

# **Integracja metod oceny jakości serwisów internetowych z wykorzystaniem ontologii**

Rozprawa doktorska

mgr inż. Paweł Ziemba

Promotor:

Prof. dr hab. inż. Ryszard Budziński

Szczecin 2013

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Wstęp .....                                                                                                                      | 3   |
| Rozdział I. Metody oceny jakości serwisów internetowych.....                                                                     | 6   |
| 1.1 Znaczenie oceny jakości serwisów internetowych na tle rozwoju sieci Internet .....                                           | 6   |
| 1.2 Jakość serwisu internetowego w odniesieniu do jego użyteczności .....                                                        | 11  |
| 1.3 Stosowalność metod badania użyteczności serwisów w ocenie ich jakości .....                                                  | 13  |
| 1.4 Stosowane metody oceny jakości serwisów internetowych .....                                                                  | 19  |
| Rozdział II. Zastosowania ontologii i uwarunkowania ich budowy .....                                                             | 33  |
| 2.1 Definicje i zastosowania ontologii w informatyce .....                                                                       | 33  |
| 2.2 Języki reprezentacji ontologii .....                                                                                         | 37  |
| 2.3 Edytory ontologii .....                                                                                                      | 48  |
| 2.4 Metodologie projektowania i budowy ontologii .....                                                                           | 52  |
| 2.5 Dobór języka, edytora i metodologii budowy ontologii metod oceny jakości.....                                                | 57  |
| Rozdział III. Budowa i integracja ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych.....                                      | 65  |
| 3.1 Opracowana metodologia budowy ontologii .....                                                                                | 65  |
| 3.2 Budowa ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych .....                                                            | 70  |
| 3.3 Podstawy teoretyczne integracji ontologii.....                                                                               | 84  |
| 3.4 Algorytm integracji zbudowanych ontologii .....                                                                              | 95  |
| 3.5 Integracja ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych.....                                                         | 106 |
| Rozdział IV. Reorganizacja i rozbudowa bazy wiedzy systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości<br>serwisów internetowych..... | 120 |
| 4.1 Metody selekcji cech stosowane w technikach uczenia maszynowego i technikach im<br>pokrewnych.....                           | 120 |
| 4.2 Metoda selekcji kryteriów oceny jakości serwisów i nadawania im wag .....                                                    | 126 |
| 4.3 Zastosowanie wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji w ocenie jakości serwisów<br>internetowych .....                   | 138 |
| 4.4 Reorganizacja i modyfikacja ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych .....                                       | 145 |
| Rozdział V. Model systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych .....                                    | 156 |
| 5.1 Model systemu ekspertowego i jego zasilenia informacyjne .....                                                               | 156 |
| 5.2 Zastosowanie modelu systemu ekspertowego podczas oceny jakości serwisów .....                                                | 158 |
| 5.3 Wiedza i dane, jakie można uzyskać z bazy wiedzy systemu .....                                                               | 165 |
| Zakończenie.....                                                                                                                 | 170 |
| Literatura.....                                                                                                                  | 173 |
| Spis rysunków.....                                                                                                               | 194 |
| Spis tabel .....                                                                                                                 | 196 |
| Załączniki .....                                                                                                                 | 198 |

## Wstęp

Sieć Internet stale rozrasta się, począwszy od momentu jej powstania. Potwierdza to zarówno stały wzrost liczby jej użytkowników, jak również ilości dostępnych serwisów internetowych, których jest obecnie około 200 mln. W związku z tak wielką liczbą serwisów, zdobycie popularności przez nowy serwis internetowy jest zadaniem bardzo trudnym. Nowy serwis, obok podejmowania działań marketingowych, mających na celu zdobycie popularności i powiększenie liczby użytkowników, powinien dodatkowo charakteryzować się wysoką atrakcyjnością. Według Jeffa Bezosa, prezesa i twórcy serwisu Amazon.com, pozytywne doświadczenia użytkowników w kontakcie z serwisem internetowym są nawet znacznie bardziej istotne niż podejmowane przez serwis WWW działania marketingowe [19]. Nowy serwis internetowy, aby zaistnieć w sieci WWW, powinien wobec tego pozytywnie wyróżniać się jakością postrzeganą przez użytkowników. Znaczenie jakości serwisów internetowych i wpływ jakości na popularność serwisów podkreślane są również w licznych publikacjach naukowych, traktujących o badaniu i ocenie jakości. Ocena taka powinna być jak najbardziej wiarygodna i w maksymalnym stopniu odzwierciedlać oczekiwania użytkowników, a jednocześnie powinno się ją uzyskiwać jak najmniejszym nakładem kosztów i pracy.

W niniejszej pracy jakość serwisu internetowego rozumiana jest jako jego atrybut określający, jak dobrze spełnia on potrzeby użytkowników. Należy przy tym zaznaczyć, że jakość jest zdefiniowana przez pewien jej model złożony z charakterystyk i cech opisujących różne elementy składowe jakości. W literaturze stosowanych jest wiele metod oceny jakości serwisów internetowych, opartych na jej różnorodnych modelach i obejmujących różne cechy jakości. Jednak, analizując metody oceny jakości serwisów, można zaobserwować wiele występujących między nimi podobieństw:

- zazwyczaj, jako źródło pozyskiwania opinii o serwisach, wykorzystują one ankiety,
- najczęściej, do oceny serwisów, stosowana jest w nich skala Likerta,
- w pewnym stopniu korzystają one ze zbliżonych do siebie charakterystyk i kryteriów oceny,
- często zbliżone są do siebie również struktury kryteriów poszczególnych metod oceny jakości serwisów.

W związku z wymienionymi podobieństwami wydaje się, że jest możliwe utworzenie jednolitej struktury cech i charakterystyk jakości, zawierającej elementy wykorzystywane w poszczególnych metodach oceny. Narzędziem, które może mieć wysoką stosowalność w realizacji tego zadania, są ontologie.

Na podstawie analizy metod oceny jakości serwisów można też stwierdzić, że podczas tworzenia nowych metod oceny ich autorzy bazują zazwyczaj na istniejących modelach jakości, wybierając z nich kryteria oceny, które wydają się odpowiednie do zastosowania w ich autorskiej metodzie. Działanie to jest wykonywane przez autorów zazwyczaj w formie niesformalizowanej, bazującej na analizie literatury i własnych przemyśleniach. Przy zastosowaniu takiego podejścia istnieje ryzyko, że w tworzonych w ten sposób metodach będą funkcjonowały kryteria o niewielkiej rzeczywistej wadze, które nie są istotne dla

użytkowników serwisu internetowego. Wobec tego konieczne jest określenie innej metody doboru kryteriów oceny jakości serwisów internetowych.

Kolejny problem, związany ze stosowanymi metodami oceny jakości serwisów internetowych, dotyczy samej metodyki oceny jakości. Ocena ta jest wykonywana często przez ekspertów lub poprzez badanie ankietowe. Badanie ankietowe jest bardzo problematyczne ze względu na jego czasochłonność i środki potrzebne do jego przeprowadzenia. Z kolei wyniki oceny eksperckiej najczęściej są przyjmowane bezkrytycznie, w związku z czym w sytuacji, gdy dany ekspert nieprawidłowo oceni jakość serwisów, nie istnieje możliwość wykrycia takiego błędu. W związku z tym istnieje potrzeba opracowania lub zaadoptowania na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych metody, pozwalającej na, chociaż częściową, weryfikację opinii ekspertów i ewentualną korektę wyników oceny.

W związku z powyżej przedstawionymi przesłankami zdefiniowano cel i tezy pracy.

*Celem pracy jest opracowanie modelu systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych, wykorzystującego: integrację ontologii, algorytmy uczenia maszynowego oraz metody wielokryterialnego wspomagania decyzji.*

Główna teza pracy mówi, że zastosowanie teorii ontologii, metod uczenia maszynowego oraz metod MCDM/GDSS pozwoli precyzyjniej oceniać jakość serwisów internetowych.

Ponadto sformułowano dwie tezy dodatkowe, rozwijające i uszczegóławiające tezę główną.

- 1) *Wykorzystanie ontologii umożliwi opracowanie jednolitej struktury kryteriów jakości, która może posłużyć do tworzenia nowych metod oceny jakości serwisów internetowych.*
- 2) *Zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego pozwoli, dla serwisów określonego typu, dobierać kryteria istotne (którymi w rzeczywistości kierują się użytkownicy przy ocenie) i określać ich wagi.*

Niniejsza praca składa się z pięciu rozdziałów, w których autor podjął tematykę: metod oceny jakości serwisów internetowych, teoretycznych aspektów ontologii, zagadnień praktycznych związanych z ontologiami oraz wykorzystania metod uczenia maszynowego i grupowego wspomaganie decyzji w ocenie jakości serwisów internetowych. W rozprawie największy nacisk kładzie się na tematykę ontologii, co wynika z analizy krajowej literatury poświęconej temu zagadnieniu. Mianowicie w literaturze polskojęzycznej, poza nielicznymi wyjątkami, do których można zaliczyć m.in. monografię Goczyły [85] oraz rozprawy doktorskie Waloszka [290] i Boińskiego [24], brak jest kompleksowych opracowań poruszających tematykę ontologii.

W rozdziale pierwszym rozprawy omówiono znaczenie oceny jakości serwisów dla ich rozwoju, a także zdefiniowano pojęcie jakości serwisu oraz odróżniono je od pojęcia użyteczności. Dokonano także analizy stosowalności metod badania użyteczności w zadaniu oceny jakości serwisów internetowych. Najistotniejszym elementem rozdziału pierwszego jest jednak analiza stosowanych metod oceny jakości serwisów internetowych, określenie podobieństw między nimi oraz zdefiniowanie problemów związanych z budową nowych metod i doбором kryteriów oceny jakości serwisów. Należy zaznaczyć, że wskazane



podobieństwa między serwisami i w/w problemy stały się przyczynkiem badań, podjętych w dalszej części rozprawy.

W rozdziale drugim zdefiniowano pojęcie ontologii oraz omówiono jej praktyczne zastosowania, a także wskazano na jej wysoką stosowalność w prowadzonych przez autora badaniach. Głównym elementem rozdziału drugiego jest jednak omówienie trzech obszernych zagadnień, tj.: języków reprezentacji ontologii, metodologii ich budowy oraz funkcjonalności edytorów służących do ich edycji. Jeżeli chodzi o języki reprezentacji ontologii, omówiono formalizmy będące podstawą różnych języków, a także scharakteryzowano szereg tradycyjnych i opartych na znacznikach języków reprezentacji ontologii. Na podstawie analizy języka OWL określono także zależności pomiędzy poszczególnymi jego odmianami i profilami. Rozdział drugi kończy się analizą stosowalności w podjętych badaniach poszczególnych języków reprezentacji, metodologii budowy i edytorów ontologii.

Rozdział trzeci zawiera opis autorskiej metodologii budowy ontologii oraz prezentuje proces budowy ontologii dla metody oceny jakości eQual. W rozdziale trzecim zawarto także szczegółowe przykłady wnioskowania realizowanego przez mechanizm wnioskujący oraz przykłady zapytań kierowanych do ontologii z wykorzystaniem notacji Manchester języka OWL. W rozdziale tym dokonano także analizy stosowalności licznych metod badania podobieństw ontologii oraz przedstawiono rozważania dotyczące oczekiwanej struktury wewnętrznej zintegrowanej ontologii. W oparciu o przedstawione analizy sformułowano algorytm integracji ontologii i przeprowadzono integrację pięciu, wcześniej zbudowanych, ontologii metod oceny jakości serwisów w jedną ontologię docelową.

Rozdział czwarty rozprawy zawiera omówienie różnych metod selekcji cech, wywodzących się z uczenia maszynowego. W rozdziale tym również sformułowano i zastosowano autorską metodę selekcji kryteriów oceny jakości i określania ich wag oraz dokonano analizy stosowalności, w ocenie jakości serwisów, metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Rozdział ten zawiera także omówienie zagadnień związanych z reorganizacją zintegrowanej ontologii oraz dostosowaniem jej do współpracy z wybraną metodą wspomaganie decyzji.

W ostatnim już rozdziale piątym przedstawiono, opracowany przez autora rozprawy, model systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. Zawarto tutaj również studium przypadku, polegające na ocenie wybranych serwisów internetowych z wykorzystaniem modelu opracowanego systemu. Rozdział kończy się omówieniem przykładowych zasobów wiedzy i informacji, jakie można uzyskać z bazy wiedzy systemu ekspertowego, której rolę pełni opracowana ontologia.

## Rozdział I. Metody oceny jakości serwisów internetowych

### 1.1 Znaczenie oceny jakości serwisów internetowych na tle rozwoju sieci Internet

Sieć Internet ma bardzo szeroki zakres zastosowania: jest to platforma służąca do rozrywki, medium pozwalające użytkownikom komunikować się i skupiać w społecznościach wirtualnych, platforma usługowa i handlowa, a przede wszystkim szeroko pojęte źródło informacji. Jedną z podstawowych usług zapewnianych przez sieć Internet jest „World Wide Web”, tj. przestrzeń globalnych informacji dostępnych za pośrednictwem sieci [17] definiowana też jako środek prezentowania informacji oparty na hipertekście [108]. Informacje te są prezentowane za pośrednictwem stron WWW (World Wide Web).

Sieć Internet, poczynszy od jej powstania, stale się rozrasta, mianowicie dynamicznie zwiększa się liczba jej użytkowników oraz ilość dostępnych w niej serwisów WWW. W Polsce w roku 2010 liczba użytkowników sieci Internet wynosiła 22,5 mln [137], a wg danych z 3 kwartału 2012 roku, istnieje 2,4 mln aktywnych serwisów w domenie „.pl” [298]. Jeżeli chodzi o dane globalne, to według serwisu Internet World Stats, w połowie roku 2012 liczba użytkowników Internetu osiągnęła liczbę 2,4 mld [138]. Z kolei liczba dostępnych serwisów internetowych we wszystkich domenach na koniec 2012 roku wyniosła niemal 630 mln, z czego 187 mln serwisów pozostawało aktywnych [146]. Dynamikę rozwoju sieci Internet na przestrzeni ostatnich lat przedstawiono w tabeli 1.1 oraz na rysunku 1.1. Charakterystykę tę oparto na danych pochodzących z: International Telecommunications Union [134], będącej agendą ONZ do spraw technologii informacyjnej i komunikacyjnej (liczba użytkowników sieci Internet do roku 2011 włącznie), serwisu Internet World Stats [138] (liczba użytkowników Internetu w połowie roku 2012) oraz serwisu Netcraft [146] (ilość dostępnych serwisów internetowych na koniec wskazanego roku). W przypadku rysunku 1.1 posłużono się skalą logarymiczną, aby lepiej zobrazować przyrost ilości użytkowników i serwisów w kolejnych latach względem lat poprzednich. Dodatkowo skala logarymiczna, w przeciwieństwie do skali liniowej, pozwala zaobserwować duże podobieństwo w przyroście ilości dostępnych i aktywnych serwisów WWW.

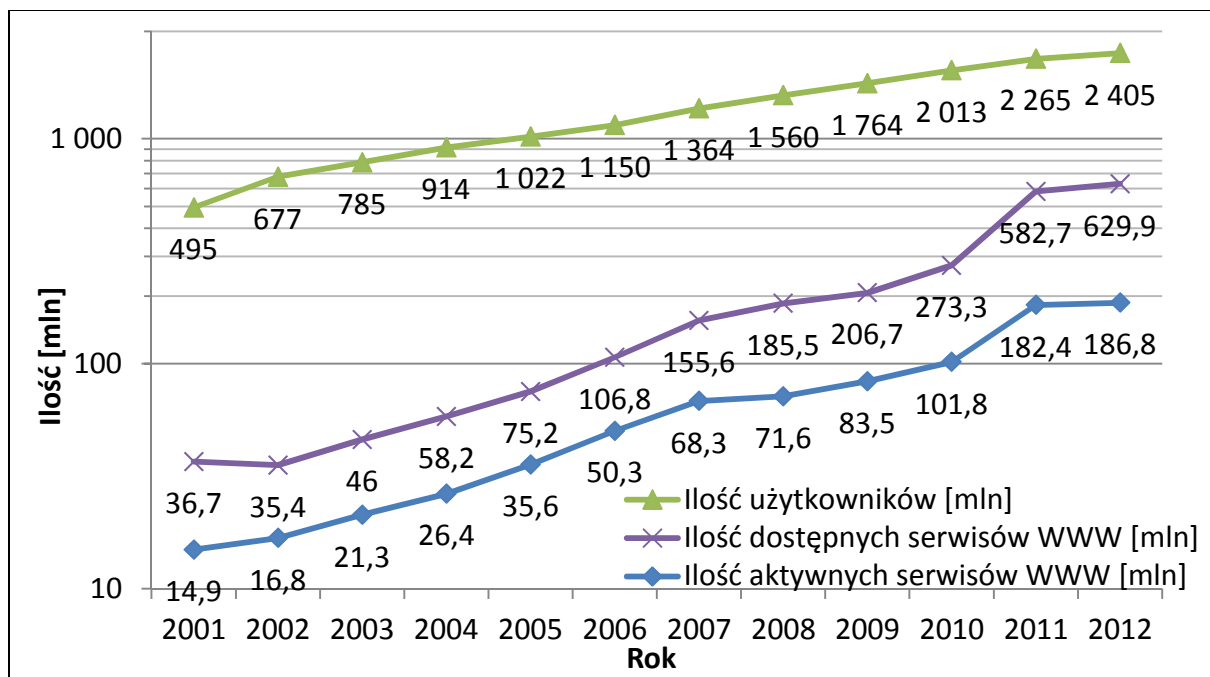
Tabela 1.1 Dynamika rozwoju sieci Internet w XXI wieku

| Rok                                 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ilość użytkowników [mln]            | 495  | 677  | 785  | 914  | 1 022 | 1 150 | 1 364 | 1 560 | 1 764 | 2 013 | 2 265 | 2 405 |
| Ilość dostępnych serwisów WWW [mln] | 36,7 | 35,4 | 46,0 | 58,2 | 75,2  | 106,8 | 155,6 | 185,5 | 206,7 | 273,3 | 582,7 | 629,9 |
| Ilość aktywnych serwisów WWW [mln]  | 14,9 | 16,8 | 21,3 | 26,4 | 35,6  | 50,3  | 68,3  | 71,6  | 83,5  | 101,8 | 182,4 | 186,8 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [138][146][134]

Analizując tabelę 1.1 i rysunek 1.1, można zauważyć, że w okresie 11 lat, poczynszy od końca roku 2001 ilość użytkowników Internetu zwiększyła się o prawie 2 mld, tj. niemal 5-krotnie. Przyrost ilości użytkowników każdego roku w odniesieniu do roku poprzedniego kształtował się w tym czasie równomiernie. Liczba serwisów internetowych zwiększała się

dynamicznie od początku roku 2003 do końca roku 2007, a w roku 2008 nastąpiło zahamowanie dynamiki przyrostu ilości serwisów. Spowolnienie takie trwało do końca roku 2009, chociaż zaznaczyć należy, że w ciągu tych dwóch lat przybyło łącznie 50 mln serwisów internetowych. Z kolei w roku 2011 ich łączna liczba zwiększyła się dwukrotnie, tj. o 300 mln. W tym samym roku liczba aktywnych serwisów internetowych wzrosła o niemal 80% - ze 102 mln do 182 mln. Jednak w roku 2012 można zauważyć ponownie osłabienie się dynamiki rozwoju sieci Internet.



Rysunek 1.1 Dynamika rozwoju sieci Internet w XXI wieku

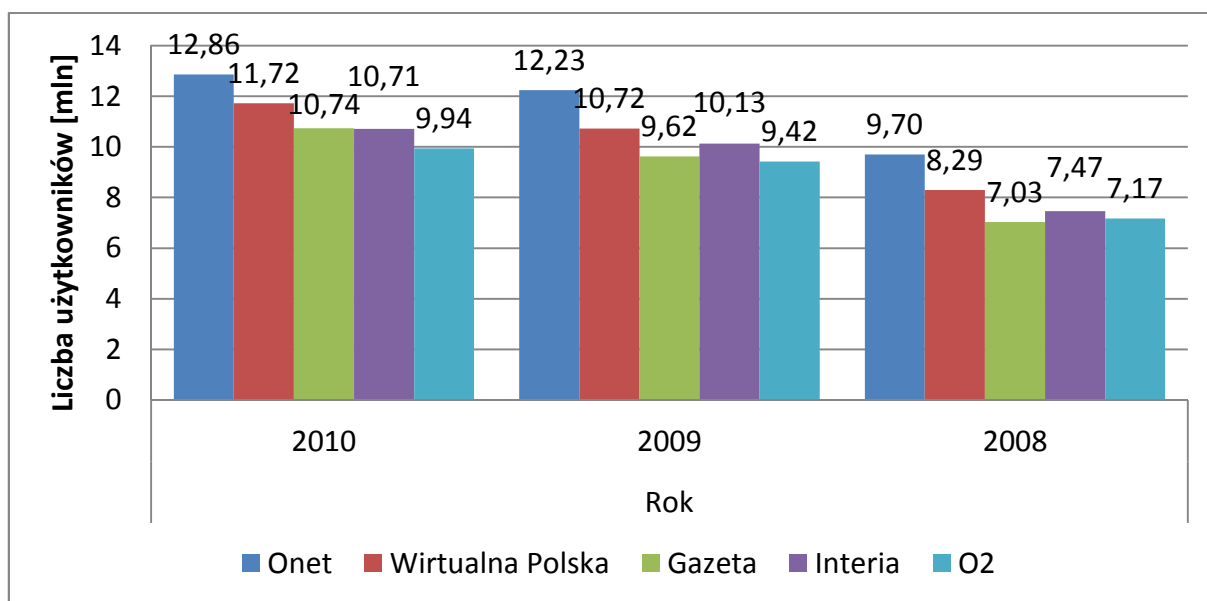
Źródło: opracowanie własne na podstawie [138][146][134]

Stały wzrost liczby użytkowników sieci Internet związany jest z powstawaniem „społeczeństwa informacyjnego”, w którym użytkownicy czerpią informacje, dokonują zakupów, „załatwiają” sprawy urzędowe i przeprowadzają transakcje handlowe za pośrednictwem Internetu. Staje się to już normą i ma istotny wpływ na postrzeganie danej instytucji przez użytkowników serwisu. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku serwisów organizacji handlowych (e-commerce), urzędów państwowych (e-government), serwisów informacyjnych i wielu innych. Rozwój „społeczeństwa informacyjnego” determinuje również stałe zwiększanie się liczby serwisów dostępnych w sieci Internet. Tymczasem w sytuacji, gdy w sieci Internet funkcjonują setki milionów serwisów, zdobycie popularności przez nowy serwis jest bardzo trudne. Popularność serwisu z kolei ma bezpośredni wpływ na liczbę jego użytkowników, tak prywatnych, jak i przedsiębiorców, będących potencjalnymi inwestorami. Nowy serwis, obok podejmowania działań marketingowych mających na celu zdobycie popularności i powiększenie liczby użytkowników, powinien dodatkowo charakteryzować się wysoką atrakcyjnością. Według Jeffa Bezosa, prezesa i twórcy serwisu Amazon.com, pozytywne doświadczenia użytkowników w kontakcie z serwisem internetowym organizacji są nawet znacznie bardziej istotne niż podejmowane przez serwis WWW działania marketingowe [19]. Nowy serwis internetowy, aby zaistnieć w sieci WWW, powinien wobec tego pozytywnie wyróżniać się jakością postrzeganą przez użytkowników.

W literaturze często podkreślany jest silny związek pomiędzy jakością serwisu internetowego a jego popularnością i liczbą użytkowników. Hwang stwierdza, że „zła jakość serwisu internetowego może powodować utratę zarówno potencjalnych sprzedaży, jak i powtórnych odwiedzin” [131]. Lin, w kontekście jakości portali internetowych, zaznacza, że „użytkownicy mają wiele opcji, które potencjalnie redukują lojalność; mogą oni przenieść się do jakiegokolwiek innego serwisu internetowego i już nie wrócić” [172]. Potwierdzenie tej tezy można znaleźć w pracy Kim i Stoel, którzy stwierdzają, że „odbiorcy muszą mieć satysfakcjonujące doświadczenia z serwisem internetowym, bo w przeciwnym wypadku nie wrócą oni do tego serwisu. Stąd ocena jakości serwisów internetowych staje się priorytetem dla organizacji”. Odnosząc się do jakości serwisów e-commerce, autorzy zaznaczają dodatkowo, że „dla przedsiębiorstw używających serwisu internetowego do generowania transakcji, jego jakość może mieć główny wpływ na sprzedaż” [152]. Potwierdzają to wyniki badań przeprowadzonych w 2006 roku w Wielkiej Brytanii, według których 91% użytkowników serwisów e-commerce rezygnuje z zakupu po 3 nieudanych próbach wykonania transakcji, 36% badanych nie wraca do serwisu internetowego sklepu, w którym taka sytuacja miała miejsce, a 20% rezygnuje z usług takiego sklepu zarówno online jak i offline [135]. Barnes i Vidgen podkreślają, jak ważna w komercyjnej aktywności w Internecie jest adaptacja do potrzeb klienta: „w sytuacji, gdy użytkownicy mogą jednym kliknięciem opuścić serwis internetowy, budowanie i utrzymywanie z nimi relacji wymaga ciągłej innowacyjności i inwestycji” [15].

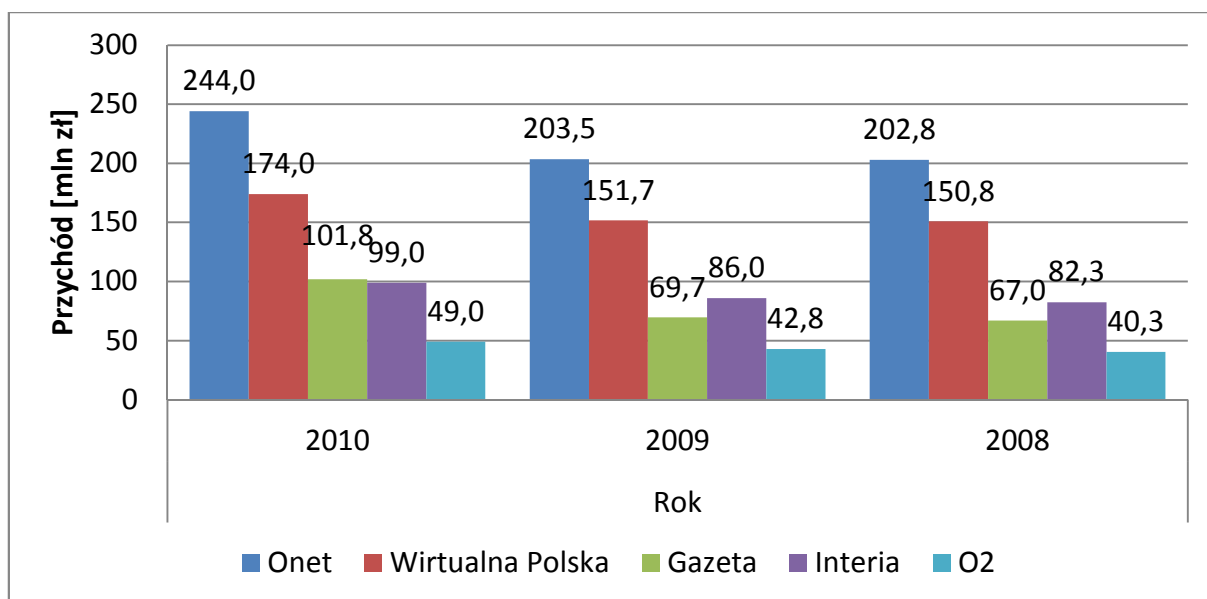
Z powyższych stwierdzeń, poza silnym związkiem między jakością serwisu internetowego i liczbą jego użytkowników, wyłania się również silna zależność pomiędzy liczbą użytkowników serwisu a generowanymi przez serwis przychodami. Potwierdzeniem tego faktu jest zestawienie liczby użytkowników i przychodów polskich portali internetowych, zawarte w tabeli 1.2 i na rysunkach 1.2 i 1.3. Omawiane zestawienie zaprezentowano w oparciu o portale dlatego, że są to najpopularniejsze serwisy internetowe i corocznie zajmują one czołowe pozycje w rankingach serwisów, uwzględniających aspekt finansowy i liczbę użytkowników. Według danych z końca 2012 roku, pod względem liczby użytkowników Internetu w Polsce, portale: Onet, Wirtualna Polska, Gazeta i Interia zajmują kolejno miejsca od 4 do 7 w rankingu Megapanel PBI/Gemius, a wyprzedzają je tylko serwisy Google, Youtube i Facebook. Portal O2 zajmuje w tym rankingu pozycję 10, a wyprzedzają go dodatkowo serwisy Allegro i Wikipedia [186]. W zestawieniu prezentowanym w tabeli 1.2 i na rysunkach 1.2 i 1.3 uwzględniono lata 2008-2010 ze względu na to, że nie ma publicznie dostępnych danych dotyczących przychodów wskazanych portali z lat 2011 i 2012. Jednakże okres trzech kolejnych lat jest przedziałem czasu, w oparciu o który można wyciągnąć wiarygodne wnioski. Należy zaznaczyć, że liczbę użytkowników portali zaczerpnięto z raportów datowanych na lipiec każdego roku. Wybrano ten okres dlatego, że liczba użytkowników w kolejnych miesiącach może się zmieniać i dane uzyskane, np. dla grudnia, mogą nie być miarodajne. Możliwe jest tutaj wystąpienie sytuacji, kiedy jeden z portali miał większą liczbę użytkowników przez 11 miesięcy, a w ostatnim miesiącu danego roku został wyprzedzony przez inny portal. Wobec tego w rankingu użytkowników byłby on na niższej pozycji, ale jego przychody byłyby określane w przeważającej części za okres, kiedy był on wyżej w rankingu liczby użytkowników.

Wobec tego w prezentowanym zestawieniu wykorzystano dane o liczbie użytkowników z lipca każdego roku, będące pewnego rodzaju uśrednieniem danych z całego roku.



Rysunek 1.2 Liczba użytkowników portali internetowych w latach 2008-2010

Źródło: opracowanie własne na podstawie [136][187][188][189]



Rysunek 1.3 Przychody portali internetowych w latach 2008-2010

Źródło: opracowanie własne na podstawie [136][187][188][189]

Analizując rysunki 1.2 i 1.3 i tabelę 1.2, można zauważyć silną korelację pomiędzy przychodem portali w kolejnych latach a liczbą użytkowników tych portali w tych samych latach. W każdym z analizowanych okresów czasu, zarówno pod względem liczby użytkowników, jak i przychodu, liderem jest serwis Onet, a drugą pozycję zajmuje serwis Wirtualna Polska. Widoczna jest też zgodność zestawień liczby użytkowników i przychodów na kolejnych pozycjach w latach 2009 i 2010. W roku 2009 w każdym z tych zestawień trzecią pozycję zajmuje serwis Interia, czwarte miejsce przypada portalowi Gazeta, a na piątym miejscu jest serwis O2. W roku 2010 w każdym z zestawień następuje zamiana miejsc

między portalami Gazeta i Interia. Jedyna rozbieżność pomiędzy omawianymi zestawieniami pojawia się w roku 2008, gdzie w zestawieniu liczby użytkowników czwarta pozycja przypada serwisowi O2, a piąte miejsce zajmuje portal Gazeta, podczas gdy w rankingu przychodów kolejność jest odwrotna. Niemniej jednak należy stwierdzić, że zależność pomiędzy liczbą użytkowników a przychodami portali w omawianym zestawieniu jest bardzo widoczna.

*Tabela 1.2 Zestawienie polskich portali internetowych pod względem liczby użytkowników i wygenerowanych przychodów w latach 2008-2010*

| Portal           |                            | Rok     |         |         |
|------------------|----------------------------|---------|---------|---------|
|                  |                            | 2010    | 2009    | 2008    |
| Onet             | Liczba użytkowników [tyś.] | 12 863  | 12 233  | 9 704   |
|                  | Przychód [tyś. zł]         | 244 000 | 203 482 | 202 808 |
| Wirtualna Polska | Liczba użytkowników [tyś.] | 11 719  | 10 718  | 8 290   |
|                  | Przychód [tyś. zł]         | 174 000 | 151 652 | 150 822 |
| Gazeta           | Liczba użytkowników [tyś.] | 10 736  | 9 624   | 7 032   |
|                  | Przychód [tyś. zł]         | 101 800 | 69 728  | 66 956  |
| Interia          | Liczba użytkowników [tyś.] | 10 714  | 10 128  | 7 466   |
|                  | Przychód [tyś. zł]         | 99 000  | 85 989  | 82 294  |
| O2               | Liczba użytkowników [tyś.] | 9 942   | 9 416   | 7 166   |
|                  | Przychód [tyś. zł]         | 49 000  | 42 826  | 40 261  |

*Źródło: opracowanie własne na podstawie [136][187][188][189]*

Potwierdzeniem zaobserwowanej zależności może być stwierdzenie Chiou, który w nawiązaniu do jakości serwisów internetowych i oceny tej jakości stwierdza, że „serwis internetowy dla biznesu nie jest tylko platformą do promowania produktów lub usług, ale jest też sposobem generowania przychodów poprzez przyciągnięcie większej liczby klientów. Niestety, nie wszystkie serwisy internetowe z powodzeniem pozyskują klientów wśród użytkowników odwiedzających serwis. Efektywna ocena serwisów internetowych stała się zatem elementem, na którym koncentrują się praktycy i naukowcy” [34]. Problem oceny jakości serwisów internetowych podsumowuje natomiast Grigoroudis, według którego „nowoczesne serwisy internetowe prezentują znaczne zróżnicowanie, złożoność struktury i mnogość cech. Podobnie jak we wszystkich systemach informacyjnych, ocena jest aspektem ich rozwoju i działaniem przyczyniającym się do maksymalnego wykorzystania zasobów zainwestowanych w serwis” [93]. Ocena i badanie jakości serwisów internetowych są również jednymi z najlepszych sposobów zwiększania postrzeganej przez użytkowników atrakcyjności serwisów i ich dostosowania do potrzeb osób je odwiedzających. Poprzez ocenę jakości serwisu internetowego jego projektanci mogą także uzyskać wskazówki odnośnie do kierunków jego modyfikacji tak, aby spełniał on – często trudne do wyrażenia i niejawne – oczekiwania użytkowników.

Ocena jakości serwisów internetowych jest więc bardzo ważna. Należy zadbać o to, aby była ona jak najbardziej wiarygodna i w maksymalnym stopniu odzwierciedlała oczekiwania użytkowników, a jednocześnie powinno się ją uzyskiwać jak najmniejszym nakładem kosztów i pracy. Ocena jakości serwisów internetowych wymaga jednak określenia

czym właściwie jest jakość i jak należy ją rozumieć w odniesieniu do serwisów internetowych.

## **1.2 Jakość serwisu internetowego w odniesieniu do jego użyteczności**

W literaturze dotyczącej oceny serwisów internetowych można spotkać się z pracami dotyczącymi oceny nie tylko jakości serwisów internetowych, ale również ich użyteczności. Jakość i użyteczność są to dwa pojęcia zbliżone do siebie i obejmujące podobny zakres znaczeniowy. Należy więc wskazać ich zakres znaczeniowy i istniejące między nimi różnice.

W jednym z „flagowych” podręczników dotyczących użyteczności pada stwierdzenie, że: „użyteczność oznacza, że coś działa dobrze, a osoba posiadająca przeciętne umiejętności i doświadczenie potrafi używać danej rzeczy zgodnie z zamierzeniem jej twórcy i bez uczucia bezradności” [166, s. 5]. Inna definicja użyteczności mówi, że „użyteczność jest to nauka zajmująca się ergonomią interaktywnych urządzeń i aplikacji. Pojęcie to stosowane jest zazwyczaj w odniesieniu do ergonomii serwisów WWW oraz aplikacji użytkowych. Użyteczność w ich przypadku skupia się na: intuicyjnej nawigacji, ułatwieniu skanowania w poszukiwaniu informacji oraz zapewnieniu zrozumiałej dla użytkownika komunikacji” [149, s. 9]. Definicje użyteczności zawarte są również w normach ISO. Część 11 normy ISO 9241 zatytułowana „wytyczne użyteczności” definiuje użyteczność jako „stopień, w jakim produkt może zostać użyty przez określonego użytkownika do osiągnięcia określonego celu w sposób efektywny, wydajny i satysfakcjonujący w określonym kontekście stosowania” [140]. Z kolei w normie ISO 9126-1 dotyczącej jakości produktów programowych, użyteczność definiowana jest jako „zdolność oprogramowania do bycia zrozumiałym, łatwym do nauki i użycia oraz atrakcyjnym dla użytkownika w określonych warunkach” [139]. Norma ISO 9126-1 w ostatnim czasie została zastąpiona przez normę ISO 25010. Definicja użyteczności zawarta w tej normie (ISO 25010) jest zbieżna z definicją umieszczoną w normie ISO 9241 [142]. Natomiast według Nielsena, jednego z najbardziej znanych badaczy użyteczności serwisów internetowych, „użyteczność jest pojęciem złożonym z wielu składników, a są nimi: wyuczalność (ang. *learnability*), wydajność (ang. *efficiency*), zapamiętywalność (ang. *memorability*), błędy (ang. *errors*) i satysfakcja (ang. *satisfaction*)” [206].

Nielsen stwierdza, że użyteczność jest atrybutem jakości opisującym, jak łatwy w użyciu jest interfejs użytkownika [205]. Na podstawie tej definicji można przyjąć, że użyteczność jest jednym ze składników jakości. Jednak w normie ISO 9241 w aneksie D znajduje się informacja, że: „termin użyteczność jest często używany w odniesieniu do zdolności produktu do bycia łatwym w użyciu. Odpowiada to definicji użyteczności jako jakości oprogramowania w normie ISO/IEC 9126” [140]. Sugerowałoby to, że pojęcia użyteczności i jakości oprogramowania według norm ISO są tożsame. Jednak w normie ISO 9126 zawarta jest informacja mówiąca o tym, że „użyteczność jest zdefiniowana w normie ISO/IEC 9241-11 podobnie do definicji jakości użytkowej zawartej w ISO/IEC 9126. Jakość użytkowa może być pod wpływem którejkolwiek z cech jakości, więc jest ona pojęciem szerszym niż użyteczność” [139]. Ponadto, zarówno w starszej normie ISO 9126, jak i w nowszej ISO 25010, użyteczność jest wymieniana jako jeden ze składników jakości. W normie ISO 9126 użyteczność jest wskazywana jako element składowy modelu jakości wewnętrznej i zewnętrznej, ale nie jest uznawana za składnik jakości użytkowej produktu

programowego [139]. Podobnie, według normy ISO 25010, użyteczność jest składnikiem jakości produktu programowego, ale nie jest wymieniana wśród składników jakości użytkowej. Niemniej jednak w normie ISO 25010 zawarta jest informacja, według której użyteczność wpływa na jakość użytkową produktu dla podstawowych użytkowników [142]. Również w wielu modelach badania i oceny jakości serwisów internetowych użyteczność jest wymieniana jako jeden ze składników jakości, np. [105][306]. Wobec tego, w niniejszej pracy, użyteczność jest traktowana jako element jakości. Jakość jest tutaj uznana za pojęcie szersze, obejmujące obszerniejszy zakres znaczeniowy niż użyteczność.

Jeżeli chodzi o pojęcie jakości, w normie ISO 9126 wyróżnionych jest kilka rodzajów jakości oprogramowania:

- jakość wewnętrzna,
- jakość zewnętrzna,
- jakość użytkowa.

**Jakość wewnętrzna** oznacza ogół cech produktu programowego z wewnętrznego punktu widzenia. Jest ona mierzona i oceniana pod względem wewnętrznych wymagań i metryk jakościowych, jak np. ilość linii kodu lub liczba usterek wykrytych podczas przeglądu. Jakość wewnętrzna odnosi się do projektowania oprogramowania na etapach implementacji kodu, przeglądu i testowania. Z kolei **jakość zewnętrzna** oznacza ogół cech produktu programowego z zewnętrznego punktu widzenia. Odnosi się ona do postrzegania jakości oprogramowania podczas jego uruchamiania w warunkach mających symulować rzeczywiste środowisko jego pracy. Jakość zewnętrzna obejmuje wymagania jakościowe wynikające z potrzeb użytkownika, w tym również wymagania jakości użytkowej. Ostatnia już - **jakość użytkowa** - jest określana jako jakość postrzegana z punktu widzenia użytkownika, gdy produkt programowy jest użytkowany w określonym środowisku i określonym kontekście stosowania. Jakość użytkowa jest miarą określającą stopień osiągnięcia przez użytkowników ich celów [139].

W normie ISO 25010, która zastąpiła normę ISO 9126, wyróżnione są:

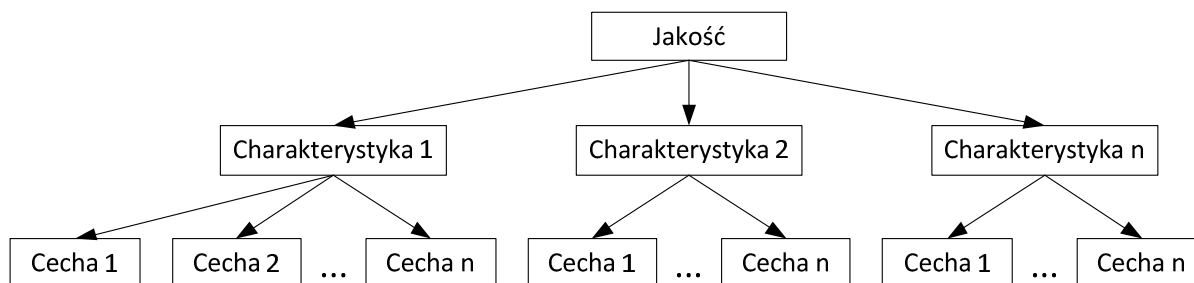
- jakość produktu programowego,
- jakość użytkowa.

**Jakość produktu programowego** oznacza stopień, w jakim produkt programowy zaspokaja stwierdzone i niejawne potrzeby, gdy jest stosowany w określonych warunkach. Natomiast **jakość użytkowa** jest to stopień, w jakim produkt lub system może być używany przez poszczególnych użytkowników dla zaspokojenia ich potrzeb tak, aby osiągnęli oni określone cele w sposób efektywny, wydajny, wolny od ryzyka i satysfakcjonujący w określonych kontekstach zastosowania. Jest to więc rozszerzona definicja użyteczności wywodząca się z normy ISO 9241.

W każdej z wymienionych norm ISO, poza definicjami, podane są także modele jakości oprogramowania. Są to różniące się od siebie modele jakości użytkowej i jakości produktu programowego (w normie ISO 25010) oraz jakości wewnętrznej/zewnętrznej (w normie ISO 9126). Każdy z tych modeli zawiera szereg charakterystyk i cech, które tworzą jakość. Również w publikacjach naukowych dotyczących zagadnienia jakości oprogramowania i jakości serwisów internetowych, jakość jest określana jako pojęcie



złożone, składające się z wielu wymiarów (elementów składowych) [42][5][151]. Opierając się na w/w normach ISO oraz publikacjach naukowych, najogólniej model jakości serwisów internetowych można przedstawić jako wielowymiarową strukturę charakterystyk (nazywanych też kategoriami) i cech (określanych również jako kryteria) jakości. Strukturę taką obrazuje rysunek 1.4.



Rysunek 1.4 Ogólny model jakości serwisów internetowych

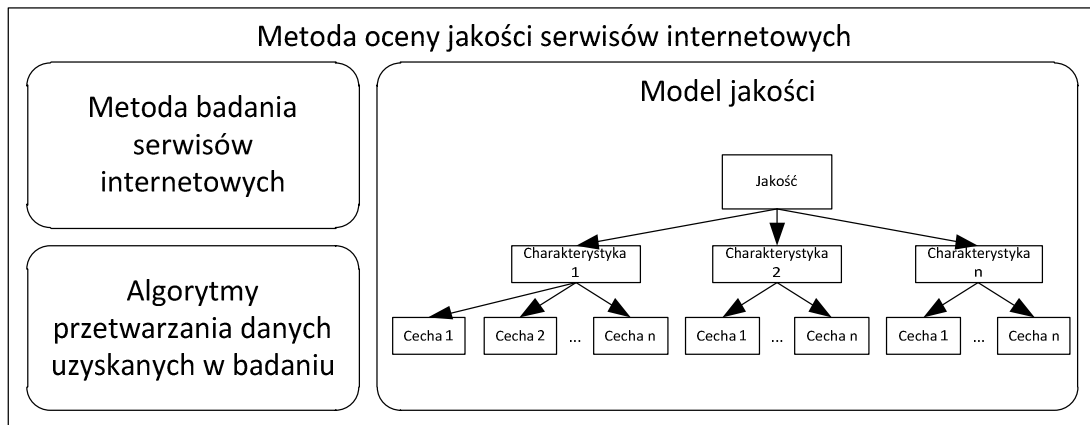
Źródło: opracowanie własne

W niniejszej pracy została przyjęta definicja jakości zbieżna z przedstawionymi wyżej znaczeniami tego pojęcia, a mianowicie: *jakość jest tutaj rozumiana jako atrybut produktu lub usługi określający, jak dobrze spełnia on potrzeby konsumentów, przy czym produktem jest w tym przypadku serwis internetowy, a konsumentami są użytkownicy serwisu* [42]. Definicja ta bierze pod uwagę fakt, że jakość systemu informacyjnego (którym jest również serwis internetowy) musi uwzględniać cele, potrzeby i preferencje użytkowników [110]. W pracy jednak uwzględniona jest także wielowymiarowość jakości. Należy zaznaczyć, że właśnie tak definiowana jakość serwisów internetowych jest przedmiotem licznych prac naukowych dotyczących oceny ich jakości.

### 1.3 Stosowalność metod badania użyteczności serwisów w ocenie ich jakości

Aby móc ocenić jakość serwisu internetowego, trzeba ją najpierw zbadać za pomocą określonej metody. Należy tutaj więc rozróżnić pojęcie metody badania serwisów internetowych i pojęcie metody ich oceny. Sama metoda jest definiowana jako „sposób wykonywania czynu złożonego, polegający na określonym doborze i układzie jego działań składowych, a przy tym uplanowany i nadający się do wielokrotnego stosowania” [162]. Można więc rozumieć metodę jako sposób sprawdzony, świadomie stosowany, powtarzalny i wzorcowy, a jej działanie metodyczne jako działanie zgodne z regułami działań racjonalnych. Metody badania serwisów internetowych koncentrują się na pozyskiwaniu opinii o serwisie i o stopniu spełnienia przez serwis określonych wytycznych. Opinie te mogą dotyczyć całego serwisu lub jego wybranych charakterystyk i cech, jak np. użyteczność. Metody badania serwisów internetowych dostarczają więc pewnych danych ilościowych lub jakościowych na temat różnych elementów serwisu. Inaczej rzecz ujmując, są one sposobem uzyskiwania danych i/lub opinii o serwisie. Z kolei metody oceny jakości serwisów internetowych umożliwiają pozyskanie danych o serwisie, ich przetworzenie oraz uzyskanie, w oparciu o określony model jakości, zagregowanej oceny jakości serwisu internetowego. Muszą więc one uwzględniać: sposób pozyskania danych lub opinii o serwisie; sposób przetworzenia tych danych i zagregowania ich w ocenę jakości; model jakości, zgodnie z którym pozyskane wcześniej dane będą agregowane w ocenę jakości. Wobec tego można

stwierdzić, że metody badania serwisów internetowych, podobnie jak modele jakości oraz algorytmy przetwarzania, zawarte są wewnątrz metod oceny jakości tychże serwisów. Obrazuje to rysunek 1.5. W niniejszym punkcie pracy skoncentrowano się na metodach badania serwisów internetowych i pozyskiwania o nich opinii. Metody oceny jakości serwisów internetowych rozważane są zaś w kolejnym punkcie pracy.



Rysunek 1.5 Składniki metody oceny jakości serwisów internetowych

Źródło: opracowanie własne

W literaturze widoczny jest niedobór opracowań dotyczących metod badania jakości serwisów internetowych. Można jednak znaleźć wiele opracowań na temat metod pozyskiwania opinii i badania serwisów pod względem ich użyteczności. Najbardziej wyczerpująca pod względem przeglądu literatury dotyczącej metod badania użyteczności jest praca Fernandez i in. [78]. W pracy Fernandez m.in. zawarte jest zestawienie szeregu metod badania użyteczności oraz ich podział na pięć grup: metody testów z użytkownikami (ang. user testing), metody inspekcji (ang. inspection methods), metody odpytywania użytkowników (ang. inquiry methods), modelowanie analityczne (ang. analytical modeling) oraz metody symulacji (ang. simulation methods). Jednak metody badania użyteczności można podzielić również w inny sposób. W oparciu o przegląd literatury, w niniejszej pracy proponuje się podział na trzy grupy metod, tj.: metody eksperckie, metody odpytywania użytkowników i metody testów z użytkownikami. Metody eksperckie w dużym uproszczeniu polegają na uzyskiwaniu wyników badania od grupy bądź pojedynczego eksperta badającego serwis. Metody testów z użytkownikami to grupa metod, w których wyniki badania są uzyskiwane w oparciu o działania użytkowników w serwisie. Wyniki te mogą być kolekcjonowane podczas bezpośredniej obserwacji działań użytkowników lub w oparciu o pozostawione przez nich ślady poruszania się po serwisie (logi). Natomiast przy zastosowaniu metod odpytywania użytkowników, ankietowani nie pracują z serwisem, ale wyrażają o nim swoją opinię w formie werbalnej lub za pomocą kwestionariusza. Zestawienie metod badania użyteczności, wraz z ustaleniem ich przynależności do jednej z grup metod, zawarte zostało w tabeli 1.3.

Tabela 1.3 Metody badania użyteczności serwisów internetowych

| Grupa metod       | Metoda                                                                                                                  | Opis i cechy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                      |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Metody eksperckie | Ocena heurystyczna (ang. Heuristic Evaluation) [206][111][239] [112][78]<br>Przegląd ekspercki (ang. Expert Review) [7] | Heurystyki są wskazówkami lub ogólnymi zasadami, które powinien spełniać serwis. Eksperci, opierając się na heurystykach (np. heurystykach Nielsena [206]), oceniają serwis i wykrywają potencjalne problemy. Na wstępie powinien zostać ustalony zestaw heurystyk, którymi eksperci będą się posługiwać. Następnie eksperci, niezależnie od siebie, oceniają serwis pod względem jego zgodności z przyjętym zestawem heurystyk. Metoda ta, przy skorzystaniu z usług jednego eksperta pozwala znaleźć ok. 35% problemów dotyczących użyteczności serwisu, ale przy wykorzystaniu pięciu oceniających można znaleźć już około 75% problemów.<br><b>Zalety:</b> pozwala znaleźć indywidualne problemy związane z użytecznością; umożliwia określenie użyteczności na etapie projektowania i w całym procesie rozwoju serwisu; intuicyjność; szybkość.<br><b>Wady:</b> stosowana w odseparowaniu od użytkowników końcowych; zawodna przy zastosowaniu do nietypowych serwisów; nie ma gwarancji, że eksperci zweryfikują cały projekt. | Liczba ekspertów: co najmniej 3-4<br>Liczba użytkowników: 0<br>Etap projektu: wszystkie (najczęściej projektowanie)<br>Czas trwania: krótki (ok. 1-2 godzin)         |
|                   | Przegląd wytycznych (ang. Guideline Reviews) [78]<br>Listy wytycznych (ang. Guideline Checklists) [112]                 | Jest to metoda w zasadzie pokrywająca się i stosowana wspólnie z metodą oceny heurystycznej. Podobnie jak przy ocenie heurystycznej, eksperci mają tutaj dostępną listę dobrych praktyk i wytycznych, pod kątem których sprawdzany jest serwis.<br><b>Zalety i wady:</b> jak w metodzie oceny heurystycznej.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Liczba ekspertów: co najmniej 3-4<br>Liczba użytkowników: 0<br>Etap projektu: wszystkie (najczęściej projektowanie)<br>Czas trwania: krótki                          |
|                   | Przegląd poznawczy (ang. Cognitive Walkthrough) [111][112][78]<br>Przeglądy (ang. Walk-Throughs) [239]                  | Jest to metoda zorientowana na zadania. Wykorzystywani są w niej eksperci, którzy przechodzą przez poszczególne funkcjonalności serwisu. Wykonują oni zadania i realizują cele w serwisie, wcielając się w rolę użytkowników i symulując ich typowe działania i zachowania. Istnieją różne warianty tej metody, np. w <i>metodzie przeglądów grupowych</i> (ang. <i>Pluralistic Walkthroughs</i> ) uczestniczą końcowi użytkownicy, projektanci oraz eksperci. Omawiają oni wspólnie każdy krok wędrówki i każdy element serwisu.<br><b>Zalety:</b> niezależność od użytkowników końcowych; skuteczna identyfikacja problemów wynikających z interakcji z serwisem.<br><b>Wady:</b> możliwość wpływu uprzedzeń ekspertów na wynik badania; możliwość niewłaściwego wyboru zadań; możliwa zbyt duża szczegółowość badania; brak zaangażowania użytkowników końcowych.                                                                                                                                                                 | Liczba ekspertów: co najmniej 3-4<br>Liczba użytkowników: 0 (3-4 – przegląd grupowy)<br>Etap projektu: wszystkie (najczęściej projektowanie)<br>Czas trwania: średni |
|                   | Analiza działań (ang. Action Analysis)<br>Analiza aktywności użytkowników (ang. User activity)                          | W metodzie tej eksperci analizują, jakie działania w serwisie będą podejmowani użytkownicy, a następnie określają szczegółowo sposób wykonania tych działań przez użytkowników (nawet na poziomie pojedynczego kliknięcia myszy). Istnieją różne warianty tej metody, jak np.: <i>analiza poznawcza zadań</i> (ang. <i>Cognitive task analysis</i> ), mająca na celu przewidywanie problemów z użytecznością; <i>analiza GOMS</i> (ang. <i>GOMS analysis</i> ), która ma umożliwiać przewidywanie czasu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Liczba ekspertów: 1-2<br>Liczba użytkowników: 0<br>Etap projektu: projektowanie                                                                                      |

| Grupa metod                               | Metoda                                                                              | Opis i cechy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | analysis) [111]<br>Modelowanie<br>analityczne (ang.<br>Analytical Modeling)<br>[78] | wykonywania zadań i nauki ich wykonywania przez użytkowników; <i>analiza otoczenia zadania</i> (ang. <i>Task environment analysis</i> ), oceniająca odwzorowanie między celami użytkowników i opcjami interfejsu użytkownika.<br><b>Zalety:</b> precyzyjne przewidywanie czasu wykonywania zadań przez użytkowników; głęboki wgląd w zachowania użytkowników.<br><b>Wady:</b> czasochłonność; wymaga dużego doświadczenia; stosowana bez zaangażowania użytkowników końcowych.                                                                                                                                                              | Czas trwania: długi                                                                                                                |
|                                           | Inspekcje [112][78]                                                                 | Poza skorzystaniem z w/w metod, eksperci mogą również, w oparciu o scenariusze testowe, przeprowadzać różnego rodzaju inspekcje: cech i funkcji oferowanych przez serwis, jego spójności (np. czy na różnych podstronach serwisu nie występuje nieuzasadnione zróżnicowanie wyglądu), zgodności ze standardami (np. układ elementów w serwisie, czas reakcji, standardy W3C, etc.), użyteczności.<br><b>Zalety i wady:</b> jak w metodach oceny heurystycznej i przeglądu poznawczego.                                                                                                                                                      | Liczba ekspertów: co najmniej 1-2<br>Liczba użytkowników: 0<br>Etap projektu: projektowanie<br>Czas trwania: zróżnicowany          |
| Metody<br>odpytywania<br>użytkownikó<br>w | Wywiady (ang.<br>Interviews)<br>[206][112][78]                                      | W metodzie wywiadu ekspert zadaje użytkownikowi pytania dotyczące serwisu, jego działania i związanych z nim doświadczeń użytkownika. Metoda ta pozwala określić potrzeby użytkowników względem serwisu i akceptowalność rozwiązań, które planuje się w nim zaimplementować. Wywiad może opierać się na z góry zaplanowanych pytaniach, ale ekspert ma również możliwość zadawania dodatkowych pytań, mających wyjaśnić nieścisłości w odpowiedziach użytkownika.<br><b>Zalety:</b> elastyczność; możliwość zadawania dodatkowych pytań i wyjaśniania odpowiedzi.<br><b>Wady:</b> czasochłonność; wyniki są trudne do analizy i porównania. | Liczba ekspertów: 1<br>Liczba użytkowników: co najmniej 5<br>Etap projektu: analiza zadań<br>Czas trwania: długi                   |
|                                           | Grupy fokusowe<br>(ang. Focus group)<br>[206][7][239]<br>[112][78]                  | W metodzie tej kilkusobowa grupa pod nadzorem eksperta prowadzi dyskusję na temat serwisu. Zadaniem eksperta jest moderowanie dyskusji w taki sposób, aby prowadziła ona do uzyskania istotnych informacji na temat potrzeb użytkowników względem serwisu i akceptowalności planowanych rozwiązań. Metoda ta pozwala uchwycić spontaniczne reakcje poszczególnych użytkowników serwisu na poruszane w dyskusji zagadnienia.<br><b>Zalety:</b> spontaniczność reakcji; dynamika grupy.<br><b>Wady:</b> wyniki są trudne do analizy; niska wiarygodność.                                                                                      | Liczba ekspertów: 1<br>Liczba użytkowników: 6-9 na grupę<br>Etap projektu: analiza zadań<br>Czas trwania: długi                    |
|                                           | Ankiety (ang.<br>Surveys,<br>Questionnaires)<br>[206][111][239]<br>[112][78]        | Ankiety pozwalają uzyskać opinie użytkowników na temat poszczególnych elementów serwisu, akceptowalności przyjętych w nim rozwiązań, możliwych do wystąpienia błędów, etc. Użytkownicy w metodzie ankietowej odpowiadają na szereg zdefiniowanych wcześniej, zamkniętych lub otwartych pytań. Ankiety mogą być rozpowszechniane w postaci wydruków lub w formie elektronicznej za pośrednictwem sieci Internet.<br><b>Zalety:</b> wskazuje subiektywne preferencje użytkowników; możliwość łatwej identyfikacji elementów, co do których użytkownicy mają zastrzeżenia; łatwość opracowywania statystyk; łatwość powtórzenia                | Liczba ekspertów: 1<br>Liczba użytkowników: co najmniej 30<br>Etap projektu: wszystkie (najczęściej analiza zadań, dalsze badania) |

| Grupa metod                   | Metoda                                                                                                                                                                                                                          | Opis i cechy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                                                                                                                                                                                 | <p>badania.</p> <p><b>Wady:</b> jest to metoda pośrednia, przez co wiarygodność wyników jest niska (możliwa rozbieżność subiektywnych i obiektywnych opinii); potrzeba uzyskania odpowiedniej liczby odpowiedzi (co najmniej 30); zalecane jest przeprowadzenie pilotażowej ankiety w celu wyeliminowania niejasności w pytaniach.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Czas trwania: krótki                                                                                                                                                               |
| Metody testów z użytkownikami | <p>Myślenie na głos (ang. Thinking Aloud) [206][111][239]<br/>           Protokół myślenia na głos (ang. Thinking-Aloud Protocol)[112][78]<br/>           Protokół zadawania pytań (ang. Question-Asking Protocol)[112][78]</p> | <p>W metodzie tej użytkownik „myśli na głos” w trakcie wykonywania zadań. Poprzez werbalizację myśli podczas wykonywania zadań i scenariuszy testowych w serwisie, użytkownik wskazuje ekspertom swój sposób postrzegania serwisu oraz pomaga im zrozumieć przyczyny określonych zachowań użytkowników podczas interakcji z serwisem. Metoda ta pozwala również znaleźć newralgiczne momenty interakcji i najbardziej problemowe elementy serwisu, które wymagają modyfikacji.</p> <p>Istnieją różne warianty tej metody, jak np.: <i>twórcza interakcja</i> nazywana też <i>wspólnym odkrywaniem</i> (ang. <i>Constructive Interaction, Codiscovery Learning</i>), podczas której użytkownicy pracują w parach; <i>testy retrospektywne</i> (ang. <i>Retrospective Testing</i>), gdzie użytkownicy oglądają swoje działanie nagrane w formie filmu i je komentują; <i>metoda coachingu</i> (ang. <i>Coaching Method</i>), w której użytkownik może w każdej chwili zadać ekspertowi pytanie i uzyskać od niego odpowiedź odnośnie do sposobu rozwiązania zadania testowego; <i>protokół zadawania pytań</i> (ang. <i>Question-Asking Protocol</i>), w którym tester nie czeka na reakcje użytkownika i werbalizację jego myśli, lecz zadaje użytkownikowi pytania dotyczące serwisu.</p> <p><b>Zalety:</b> wyjaśnia, dlaczego użytkownicy podejmują określone działania; przybliża sposób korzystania z serwisu przez użytkowników; mimo że angażuje niewielu użytkowników, dostarcza dużą ilość danych badawczych; umożliwia jednoczesne pozyskiwanie danych dotyczących wydajności i preferencji użytkowników.</p> <p><b>Wady:</b> dane dotyczące wydajności są względnie ubogie i mało wiarygodne; często jest postrzegana przez użytkowników jako nienaturalna i męcząca; czasochłonność.</p> | <p>Liczba ekspertów: 1<br/>           Liczba użytkowników: 3-5<br/>           Etap projektu: projektowanie, testowanie i ocena<br/>           Czas trwania: długi</p>              |
|                               | <p>Pomiar wydajności (ang. Performance Measurement) [206][112][78]</p>                                                                                                                                                          | <p>Pomiar wydajności polega na zbieraniu danych liczbowych w trakcie pracy użytkownika z serwisem. Dane te mogą być zbierane przez eksperta lub przez przeznaczone do tego celu oprogramowanie. Następnie są one przetwarzane i uzyskiwane są miary wydajności rozwiązania. Miarami takimi mogą być przykładowo: czas potrzebny użytkownikowi na wykonanie zadania, liczba zadań ukończonych w określonym czasie, liczba błędów użytkownika, itd.</p> <p><b>Zalety:</b> pozwala uzyskać dane liczbowe; łatwość porównywania wyników.</p> <p><b>Wady:</b> nie pozwala odkryć pojedynczych/szczegółowych problemów z serwisem.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Liczba ekspertów: 1<br/>           Liczba użytkowników: co najmniej 10<br/>           Etap projektu: analiza konkurencji, finałowe testy<br/>           Czas trwania: długi</p> |
|                               | <p>Analiza logów (ang. Log Analysis) [206][78]<br/>           Analiza ruchu na stronie (ang. Web</p>                                                                                                                            | <p>W tej metodzie ekspert lub oprogramowanie analizuje dane dotyczące np. „ścieżek”, którymi użytkownik porusza się po serwisie. Pozwala to określić, w których miejscach serwisu użytkownicy przebywają najczęściej, w których miejscach spędzają najwięcej czasu, gdzie przerywają eksplorację serwisu, gdzie najczęściej występują błędy, etc. Zależnie od przyjętego kryterium podziału metod badania serwisów, do grupy metod opartych na logach można zaliczyć też np.: <i>śledzenie kliknięć</i> (ang.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Liczba ekspertów: 1<br/>           Liczba użytkowników: co najmniej 20<br/>           Etap projektu: finalne testy, dalsze badania</p>                                          |

| Grupa metod | Metoda                                                                                                          | Opis i cechy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | traffic analysis) [7]                                                                                           | <p><i>Clicktracking</i>), czyli śledzenie kliknięć myszy wykonywanych przez użytkownika (dane te są również zawarte w postaci logów, ale jest to metoda zdalna badania), czy też <i>śledzenie wzroku</i> (ang. <i>Eye Tracking</i>) (dane te także są zapisywane w postaci logów, ale jest to laboratoryjna metoda badań, wymagająca dodatkowo skomplikowanego sprzętu badawczego).</p> <p><b>Zalety:</b> umożliwia odkrycie często i rzadko wykorzystywanych elementów/fragmentów serwisu; może działać ciągle.</p> <p><b>Wady:</b> narusza prywatność użytkowników, wobec czego często starają się oni utrudnić jej stosowanie (np. wyłączenie „ciasteczek” przeglądarki); wymaga specjalistycznego oprogramowania do analizy ogromnych ilości danych.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Czas trwania: długi                                                                                                                                                 |
|             | <p>Obserwacja pola działania (ang. Field Observation) [111][112]</p> <p>Obserwacja (ang. Observation) [206]</p> | <p>W metodzie tej ekspert prowadzi obserwację interakcji użytkownika z serwisem w jego naturalnym środowisku działania (np. w domu lub w miejscu pracy). Obserwacja może odbywać się bezpośrednio, ale wtedy obecność eksperta może dekoncentrować użytkownika i prowadzić do uzyskiwania błędnych wyników. Wobec tego często stosowana jest kamera umieszczona w miejscu działania użytkownika i przekazująca obraz do miejsca, w którym przebywa ekspert.</p> <p><b>Zalety:</b> pozwala obserwować użytkownika w naturalnym otoczeniu i typowych sytuacjach związanych z korzystaniem z serwisu.</p> <p><b>Wady:</b> narusza prywatność użytkownika; uzyskiwane dane są trudne do analizy.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Liczba ekspertów: 1</p> <p>Liczba użytkowników: co najmniej 3</p> <p>Etap projektu: analiza zadań, finalne testy, dalsze badania</p> <p>Czas trwania: średni</p> |
|             | Inne testy z użytkownikami (testy zdalne, laboratoryjne, i inne) [7][239][112][78]                              | <p>W literaturze wyróżniany jest również podział na <i>ocenę zdalną</i> (ang. <i>Remote evaluation</i>) i <i>ocenę w laboratorium</i> (ang. <i>Laboratory evaluation</i>). Metody zdalne to metody, w których ekspert i użytkownik nie przebywają w tym samym miejscu. Do tej grupy metod można zaliczyć w/w obserwację pola działania z wykorzystaniem kamery, śledzenie kliknięć, analizę logów. Do metod laboratoryjnych można zaliczyć wszelkie testy przeprowadzane w warunkach laboratoryjnych oraz metody, które wymagają wykorzystania specjalizowanego laboratorium wyposażonego w różnego rodzaju urządzenia, jak np.: kamery, eyetrackery, etc. W szczególności do tej grupy metod należy zaliczyć <i>śledzenie kliknięć</i> i <i>śledzenie wzroku</i>. Metody te dają wyniki w postaci logów, będących tzw. mapami cieplnymi, śladami skupienia wzroku lub mapami kliknięć. Logi te, w połączeniu ze scenariuszami testowymi, pozwalają stwierdzić, czy elementy serwisu potrzebne użytkownikowi w danym scenariuszu testowym są rozmieszczone w miejscach, w których spodziewa się ich użytkownik, czy też ich układ i wygląd jest błędny – nie przyciągający uwagi użytkownika. Druga informacja możliwa do uzyskania z tego typu logów mówi o tym, czy elementy zbędne użytkownikowi w danym momencie nie odwracają jego uwagi od celu, który ma do osiągnięcia w określonym scenariuszu testowym.</p> <p><b>Zalety:</b> pozwalają uzyskać dane o wysokiej wiarygodności, umożliwiają odkrycie często i rzadko wykorzystywanych elementów/fragmentów każdej z podstron serwisu.</p> <p><b>Wady:</b> wysoki koszt (wymagają laboratorium wyposażonego w specjalistyczny i/lub oprogramowanie); mogą naruszać prywatność użytkowników (np. śledzenie kliknięć); czasochłonność.</p> | <p>Liczba ekspertów: 1</p> <p>Liczba użytkowników: co najmniej 3</p> <p>Etap projektu: testowanie, dalsze badania</p> <p>Czas trwania: długi</p>                    |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [206, s. 115-226][7, s. 5-14][111][239, s. 16-20][112][78]

Wszystkie metody scharakteryzowane w tabeli 1.3 służą przede wszystkim do badania użyteczności serwisów internetowych. Natomiast w pracach poruszających zagadnienie oceny jakości serwisów, w celu pozyskania opinii na temat różnych wymiarów ich jakości, najczęściej stosuje się ankiety [110][131][172][152][15][93][5][306][151]. Stosowanie ankiet do oceny jakości serwisów internetowych wynika z faktu, że jakość jest pojęciem wielowymiarowym. Zaś w ankiecie można umieścić pytania dotyczące każdego ze zidentyfikowanych wymiarów jakości, co stanowi niepodważalną zaletę tej metody. Ankiety pozwalają również określić, poprzez odpowiednio sformułowane pytania, które z elementów jakości są dla użytkowników najważniejsze. Również niektóre metody eksperckie, tj.: ocena heurystyczna, przeglądy wytycznych, oraz różnorakie inspekcje, mogą zostać tak sformułowane, aby umożliwiały badanie różnych wymiarów jakości serwisu. Dodatkowo zarówno ankiety, jak również w/w metody eksperckie są metodami szybkimi, umożliwiającymi uzyskanie wyników badania w krótkim czasie. Wadą ankiet jest to, że ich stosowalność na etapie projektowania serwisu jest ograniczona w zasadzie tylko do określenia, jakie elementy jakości są istotne dla użytkowników. Trudno jest bowiem oczekiwać, aby kilkudziesięciu użytkowników oceniło w ankiecie serwis, który formalnie nie istnieje, a jest dopiero projektowany. W tym względzie najwyższą stosowalnością charakteryzują się metody korzystające z usług ekspertów. Jeżeli zaś chodzi o metody wywiadu i grup fokusowych, mogą być one, podobnie jak ankiety, pomocne przy określaniu, które elementy jakości są ważne z punktu widzenia użytkowników. Z kolei metody testów z użytkownikami i metody, w których eksperci wcielają się w rolę użytkowników, realizując scenariusze testowe, pozwalają uzyskać tylko wyniki dotyczące użyteczności serwisów, w tym takich jej elementów, jak np. nawigacja czy też łatwość użycia. Trudne w praktyce jest natomiast opracowanie scenariuszy testowych, które badałyby np. jakość informacji prezentowanych w serwisach lub wiarygodność serwisu. Ponadto, w przypadku metod testów z użytkownikami, zebranie danych wymaga znacznych nakładów czasowych, w związku z czym dane do analizy pochodzą zazwyczaj z bardzo małej próby badawczej [272]. Nie bez znaczenia pozostaje też fakt, że testy z użytkownikami wymagają często stosowania kosztownych urządzeń i oprogramowania. Ich zaletą jest oczywiście duża wiarygodność wyników, ale jeszcze raz należy podkreślić, że są to wyniki dotyczące tylko użyteczności, podczas gdy jakość jest pojęciem bardziej złożonym i szerszym znaczeniowo od użyteczności. Wobec tego, spośród przeanalizowanych metod badania serwisów internetowych, największą stosowalnością w badaniu i ocenie jakości serwisów internetowych wydają się cechować wybrane metody eksperckie (ocena heurystyczna, przeglądy wytycznych i inspekcje) oraz metoda ankietowa.

#### ***1.4 Stosowane metody oceny jakości serwisów internetowych***

Jak zaznaczono w pkt 1.1 niniejszej pracy, portale internetowe są jednymi z najpopularniejszych serwisów internetowych, a pod względem liczby użytkowników wyprzedzają je tylko światowi potentaci, tj.: Google, Youtube i Facebook. Potwierdza to Lin, według którego „portal internetowy jest najczęściej odwiedzanym i promowanym typem strony” [172]. Wobec tego dalsze badania podjęte w niniejszej rozprawie zdecydowano się przeprowadzić w kontekście oceny jakości portali internetowych. Należy jednak zaznaczyć, że celem pracy jest opracowanie modelu systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości

serwisów internetowych. Cel pracy nie jest więc ograniczony tylko do portali. Wobec tego opracowywany model systemu ekspertowego powinien być na tyle uniwersalny, aby znalazł zastosowanie również w ocenie jakości innych rodzajów serwisów. Również procedura jego budowy powinna charakteryzować się uniwersalnością i elastycznością, pozwalającą stosować tę procedurę przy budowie systemów na potrzeby oceny jakości różnego rodzaju serwisów. Jednak poniżej zawarte omówienie metod oceny jakości serwisów uwzględnia już określony kontekst badań, tj. ocenę jakości portali internetowych.

Metody oceny jakości pojawiają się w licznych pracach naukowych, dotyczących różnego rodzaju serwisów internetowych. Jak zaznaczono w pkt 1.3 niniejszej pracy, niemal każda metoda jakości serwisów internetowych jako źródło pozyskiwania opinii o serwisach wykorzystuje ankiety. Wszystkie stosowane w literaturze metody wykorzystują wiele charakterystyk jakości, a różnią się one wykorzystywanymi charakterystykami i kryteriami, ich ilością i strukturą. Kryteria (cechy) jakości mogą być podzielone na kategorie oraz charakterystyki i tworzyć strukturę hierarchiczną lub występować na jednym poziomie hierarchii. Kategorie, charakterystyki oraz kryteria oceny zależne są od konkretnego rodzaju serwisów, dla których przeznaczona jest metoda, gdyż kładą one nacisk na elementy szczególnie ważne w danym typie serwisów. Wagi poszczególnych kryteriów mogą być jawnie określone przez użytkowników, równe lub narzucane *a-priori*. Różnice między metodami pojawiają się również w skalach oceniania. Chociaż najczęściej wykorzystywana jest tutaj skala Likerta, to w różnych metodach stosowany jest jej różny zakres (zazwyczaj od 1 do 5 lub od 1 do 7). Jeżeli chodzi o konkretne metody oceny jakości serwisów, wyróżnić wśród nich można, m.in.:

- eQual,
- Web Portal Site Quality,
- metoda T.Ahn,
- SiteQual,
- Website Evaluation Questionnaire,
- Website Quality Model,
- SERVQUAL,
- E-S-QUAL i E-RecS-Qual,
- WAES
- modele relacyjne oparte na procedurze AHP.

eQual jest najlepiej sformalizowaną metodą oceny spośród stosowanych, a jej wielokrotne wykorzystanie wskazuje na jej wysoką uniwersalność. Była ona z powodzeniem użyta m.in. do oceny serwisów: e-commerce [15], e-government [14] [13] [12], witryn uczelnianych [16] i serwisów WAP [11]. Metoda eQual została stworzona w oparciu o funkcję dostosowania jakości (ang. Quality Function Deployment), która jest ustrukturalizowanym procesem zapewniającym środki identyfikacji i dostarczającym opinii użytkowników o jakości produktu na kolejnych etapach jego tworzenia [14]. Pierwotnie metoda ta wykorzystywała 24 kryteria odzwierciedlające wartości 8 charakterystyk ujętych w modelu. Charakterystyki były z kolei zgrupowane w 4 kategoriach [16]. W toku dalszych prac zapożyczono do niej kryteria dotyczące interakcji użytkownika z serwisem, pochodzące



ze skali SERVQUAL [15]. W kolejnej wersji metody zmieniono grupowanie kryteriów, w efekcie czego uzyskano listę 22 kryteriów i 5 charakterystyk ((1) użyteczność, (2) projekt strony, (3) jakość informacji, (4) przystępność, (5) zaufanie) zgrupowanych w 3 kategoriach ((1) użyteczność, (2) jakość informacji, (3) interakcja z usługami). Metoda ta, podobnie jak większość innych metod oceny jakości, do pozyskiwania opinii o serwisie wykorzystuje ankiety. Ankietowani użytkownicy podają tutaj stopień zgodności każdego z kryteriów ze stanem faktycznym, stosując skalę punktową Likerta o wartościach z zakresu od 1 do 7 (gdzie 1 oznacza najniższą ocenę, a 7 odpowiada ocenie najwyższej). Sama metodyka uzyskiwania opinii o serwisie internetowym, obok uzyskiwania wartości ocen poszczególnych kryteriów dla określonego serwisu, umożliwia także uzyskiwanie wag dla każdej z cech, przy czym wagi punktowane są również w zakresie 1-7. Poza przyznawaniem punktów każdemu z kryteriów ankietowani podają także ogólną ocenę serwisu. Na podstawie tejże oceny weryfikowana jest wiarygodność opinii częściowych każdego użytkownika [13]. Po zebraniu kolekcji wyników ankiet wykonywana jest ich analiza pod kątem rzetelności i wewnętrznej spójności. Konieczność takiego badania wynika z faktu, że wyniki ankiet zawsze są obciążone pewnym błędem powstającym na skutek:

- 3) złego zrozumienia pytań przez ankietowanych,
- 4) aktualnego nastroju psychicznego ankietowanych, mogącego wpływać na przyznawane w ankiecie oceny,
- 5) złego określenia kryteriów oceny i wynikającej z tego nieprecyzyjności wyników [92].

Do określenia rzetelności wyników badania ankietowego w metodzie eQual wykorzystywany jest współczynnik alfa Cronbach'a. Przyjmuje się, że rzetelność wyników jest odpowiednia, jeżeli wartość współczynnika alfa wynosi co najmniej 0,6 [12]. W metodzie tej wynikiem oceny jest indeks EQI obliczany zgodnie z wzorami (1.1), (1.2), (1.3) i (1.4):

$$EQI = \sum_{k=1}^m EQI_k / m \quad (1.1)$$

$$EQI_k = (Score_k / Max_k) \cdot 100\% \quad (1.2)$$

$$Score_k = \sum_{i=1}^n (o_i(k) \cdot w_i(k)) / n \quad (1.3)$$

$$Max_k = \sum_{i=1}^n (7 \cdot w_i(k)) / n \quad (1.4)$$

gdzie:

$m$  – liczba kryteriów (w modelu eQual jest ich 22),

$n$  – liczba ankietowanych użytkowników,

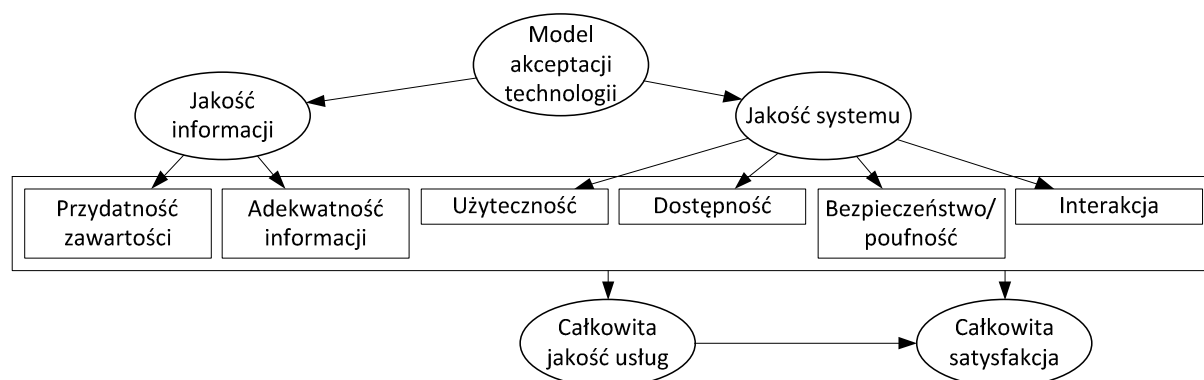
$o_i(k)$  – ocena serwisu względem  $k$ -tego kryterium, przyznana przez  $i$ -tego użytkownika,

$w_i(k)$  – waga  $k$ -tego kryterium, przyznana przez  $i$ -tego użytkownika.

Poszczególne kryteria stosowane w metodzie eQual 4.0 zawarto w załączniku 1.1.

Metoda Web Portal Site Quality powstała w oparciu o model akceptacji technologii (ang. Technology Acceptance Model). Model TAM ma na celu wyjaśnianie wpływu postrzegania charakterystyk systemu informatycznego przez użytkownika na akceptację przez niego danego systemu. Opiera się on na dwóch wymiarach jakości, tj. postrzeganej przydatności (ang. perceived usefulness) i postrzeganej łatwości użycia (ang. perceived ease of use) [255]. W metodzie oceny jakości WPSQ wykorzystano czynniki, które według wyników badań jej autorów w największym stopniu wpływają na postrzeganą przydatność

i łatwość użycia, tj. jakość informacji i jakość systemu [56][253]. Dla każdego z tych czynników wyodrębniono określone charakterystyki jakości. W toku dalszych badań nad metodą wykorzystano grupę fokusową złożoną z użytkowników i ekspertów, którzy wstępnie określili wagi poszczególnych charakterystyk jakości. Dodatkowo w tym celu zastosowano ankiety adresowane do zwykłych użytkowników, zawierające 37 cech jakości. W wyniku tego badania wybrano 21 kryteriów jakości, które przypisano do 5 charakterystyk: (1) użyteczność, (2) przydatność zawartości, (3) adekwatność informacji, (4) dostępność i (5) interakcja. Następnie zweryfikowano wyniki badań, w efekcie czego usunięto kolejne 2 kryteria. Wobec tego w metodzie tej wykorzystywanych jest 19 kryteriów oceny jakości. Użytkownicy oceniają je w ankiecie za pomocą 5 punktowej skali Likerta. Nie określono tutaj w sposób jednoznaczny wag poszczególnych kryteriów, można więc przyjąć, że wszystkie one mają takie same znaczenie. Podczas budowy i weryfikacji modelu jakości zawartego w metodzie WPSQ wykorzystano szereg technik. Do analizy badania ankietowego wykorzystano 1/2 ankiet, które badano z zastosowaniem jednej z metod analizy czynnikowej, tj. analizy składowych głównych z rotacją varimax. Pozwoliło to wyodrębnić 5 charakterystyk jakości zawierających 21 cech. Weryfikację uzyskanego modelu jakości wykonano za pomocą confirmacyjnej analizy czynnikowej, w której wykorzystano pozostałe 50% ankiet. W wyniku tego badania wyeliminowano 2 kryteria. Do weryfikacji spójności modelu wykorzystano złożone testy wiarygodności, gdyż według autorów jest to metodyka bardziej wiarygodna od zastosowania alfy Cronbacha. Ostateczną weryfikację modelu jakości przeprowadzono poprzez ocenę konwergencji, analizę dyskryminacyjną, analizę trafności kryterialnej i walidację nomologiczną. Metody oceny konwergencji i analizy dyskryminacyjnej pozwoliły na ocenę stopnia, w którym model realizuje cele pomiarowe. Analiza trafności kryterialnej i walidacja nomologiczna pozwoliły określić, czy model zachowuje się zgodnie z oczekiwaniami w odniesieniu do powiązań z innymi teoretycznie związanymi z nim zmiennymi i konstruktami. Kompletna metoda WPSQ znajduje zastosowanie w ocenie portali dostarczających szeroko pojęte informacje [306]. Wstępny model jakości zastosowany w metodzie WPSQ zawarto na rysunku 1.6, a szczegółowe kryteria, zawarte w metodzie Web Portal Site Quality, zawiera załącznik 1.5.

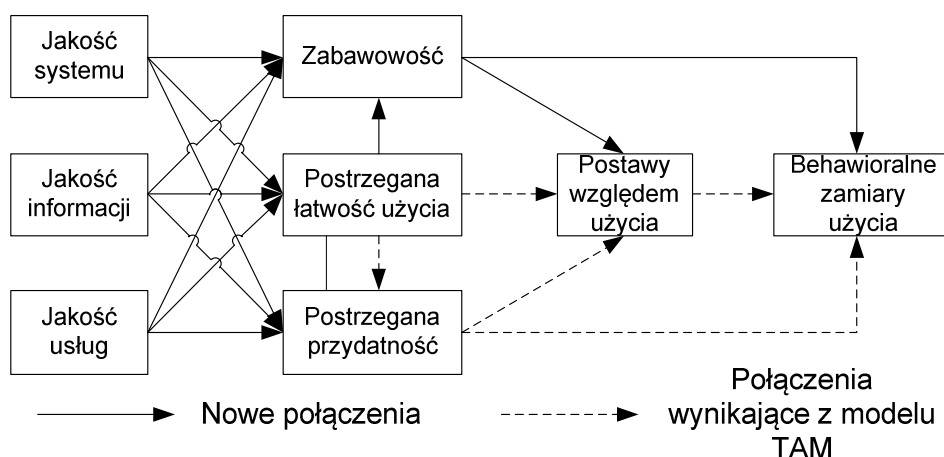


Rysunek 1.6 Struktura wstępnego modelu Web Portal Site Quality

Źródło: opracowanie własne na podstawie [306]

Metodę Ahn, podobnie jak metodę Web Portal Site Quality, opracowano, wykorzystując model akceptacji technologii. Pierwsza wersja metody Ahn miała na celu badanie wpływu zaufania do serwisów bankowości internetowej na ich akceptację przez

użytkowników. Wyróżnione w niej były wszystkie charakterystyki jakości pochodzące z modelu TAM, tj.: (1) postrzegana przydatność, (2) postrzegana łatwość użycia, (3) postawy względem użycia, (4) behawioralne zamiary użycia oraz dodatkowo (5) zaufanie [268]. W trakcie prac nad metodą Ahn rozbudowano pierwotny model TAM o kolejne składniki, ważne z perspektywy sieci Internet: jakość systemu, jakość informacji i jakość usług. Składniki te zostały zapożyczone z zaktualizowanego modelu sukcesu systemów informacyjnych DeLone i McLean, którego podstawowa wersja, zawierająca jakość systemu i jakość informacji, została wykorzystana przy budowie metody Web Portal Site Quality [57][143]. Do metody Ahn dodano również charakterystyki jakości dotyczące handlu: jakość produktu i jego dostawy [2]. Ostateczny model jakości zastosowany w metodzie Ahn zawiera 8 charakterystyk: (1) jakość systemu, (2) jakość informacji, (3) jakość usług, (4) rozrywkowość, (5) postrzegana łatwość użycia, (6) postrzegana przydatność, (7) postawy względem użycia i (8) behawioralne zamiary użycia. Według modelu trzy pierwsze charakterystyki dotyczące sieci Internet (jakość systemu, jakość informacji, jakość usług) mają bezpośredni wpływ na trzy następne (rozrywkowość, postrzegana łatwość użycia, postrzegana przydatność) oraz pośredni wpływ na pozostałe charakterystyki [3]. Strukturę elementów modelu jakości stosowanego w metodzie Ahn zawarto na rysunku 1.7.



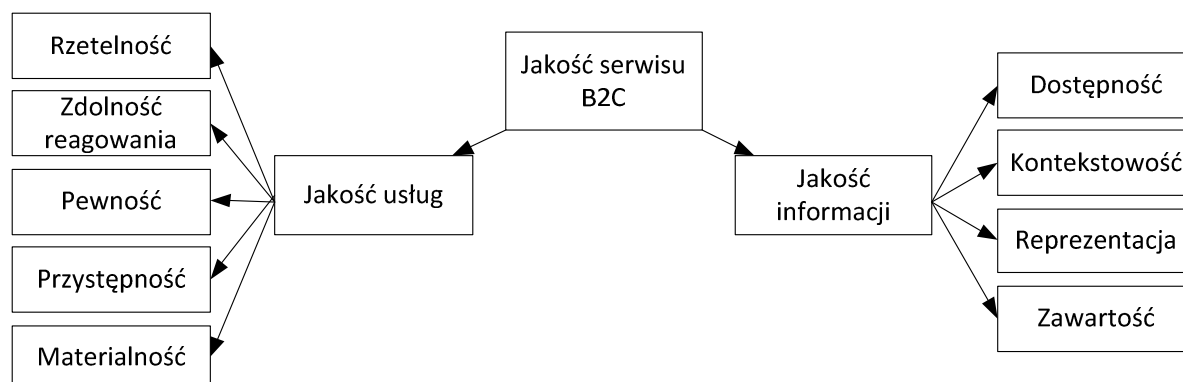
Rysunek 1.7 Struktura modelu jakości Ahn

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

Do poszczególnych charakterystyk jakości stosowanych w metodzie Ahn przypisane są łącznie 54 kryteria. Zgodnie z założeniami metody użytkownicy w ankiecie podają stopień zgodności każdego z kryteriów ze stanem faktycznym, wykorzystując skalę Likerta o wartościach z zakresu od 1 do 7. W metodzie tej nie są zdefiniowane wagi poszczególnych kryteriów i pytań, wobec czego wszystkie one są jednakowo istotne. Model jakości zawarty w metodzie Ahn był weryfikowany z wykorzystaniem współczynnika alfa Cronbacha oraz konfirmacyjnej analizy czynnikowej, w tym modelowania równań strukturalnych. Współczynnik alfa Cronbacha posłużył do weryfikacji spójności i rzetelności ankiet, a konfirmacyjna analiza czynnikowa, w postaci modelowania równań strukturalnych, została wykorzystana do weryfikacji hipotez o wzajemnym wpływie charakterystyk jakości [3]. Kryteria metody Ahn zawarte w trzech pierwotnych charakterystykach zawiera załącznik 1.2.

Metoda SiteQual powstała jako połączenie modeli SERVQUAL [280] i Data Quality [292]. Model SERVQUAL odzwierciedlać miał tutaj jakość usług natomiast Data Quality

odpowiadać miał za jakość informacji. Łącznie modele te zawierały 43 kryteria [295]. Model, który posłużył do utworzenia modelu jakości SiteQual, zobrazowano na rysunku 1.8.



Rysunek 1.8 Struktura modelu, na którym oparto model jakości SiteQual

Źródło: opracowanie własne na podstawie [296]

W ramach tworzenia metody SiteQual użytkownicy w badaniu pilotażowym oceniali w ankiecie każde kryterium. Ocena ta polegała na określeniu: minimalnego akceptowalnego, oczekiwanego i postrzeganego dla danego serwisu e-commerce poziomu jakości dla danego kryterium. W efekcie tego badania usunięto wybrane kryteria jakości oraz przeorganizowano poszczególne charakterystyki. W wyniku analizy kryteriów, które zapewniają minimalny akceptowalny poziom jakości, otrzymano 4 charakterystyki: (1) rzetelność, (2) zapewniana przystępność, (3) postrzegana użyteczność, (4) wiarygodność. Natomiast analiza kryteriów zapewniających oczekiwany poziom jakości pozwoliła uzyskać 7 charakterystyk, z których część jest podcharakterystykami wcześniej wyodrębnionych charakterystyk: (1) rzetelność, (2) zapewniana przystępność, (3) materialność, (4) nawigacja, (5) odpowiednia prezentacja, (6) precyzja informacji, (7) bezpieczeństwo. Do poszczególnych charakterystyk przypisano łącznie 28 kryteriów. Podobnie jak we wcześniej omówionych metodach, tak również tutaj, użytkownicy określają zgodność każdego z kryteriów z rzeczywistością w ankietach za pomocą skali punktowej. Wykorzystywana jest tutaj jednak 9 stopniowa skala ocen. W metodzie tej nie są zdefiniowane wagi poszczególnych kryteriów, wobec czego wszystkie one są jednakowo istotne. Model jakości stosowany w metodzie SiteQual, podobnie jak model Web Portal Site Quality, został utworzony z wykorzystaniem analizy składowych głównych z rotacją varimax. Analiza składowych głównych wraz z rotacją varimax została zastosowana do wyodrębnienia charakterystyk jakości i przypisania do nich poszczególnych kryteriów. Spójność i rzetelność ankiet została natomiast zweryfikowana z użyciem współczynnika alfa Cronbacha. Model ten utworzono w oparciu o ankiety dotyczące serwisów internetowych sklepów z branży muzycznej [296]. Kryteria stosowane w metodzie SiteQual przedstawia załącznik 1.3.

Podczas opracowywania metody Website Evaluation Questionnaire oparto się na kryteriach zawartych w modelu Website User Satisfaction. Model WUS został opracowany z wykorzystaniem podstawowej metody myślenia na głos, testów retrospektywnych oraz ankiet. W oparciu o wyniki testów z użytkownikami zidentyfikowano 11 charakterystyk jakości, które następnie zweryfikowano za pomocą badania ankietowego i jego analizy prowadzonej z wykorzystaniem confirmacyjnej analizy czynnikowej. W efekcie tych działań

struktura modelu WUS została złożona z 4 kategorii zawierających 11 charakterystyk i łącznie 34 cechy. W każdej z charakterystyk była zawarta jedna cecha negatywna, tj. zwrócona przeciwnie do pozostałych. Cechy negatywne miały służyć do weryfikacji ocen pozostałych cech w ramach danej charakterystyki w ankiecie (np. jeżeli cechy „serwis jest łatwy w użyciu” i „trudno obsługuje się ten serwis” otrzymały taką samą ocenę liczbową, oznaczało to, że dana ankieta jest mało wiarygodna) [200]. Podczas opracowywania metody Website Evaluation Questionnaire zidentyfikowano cechy modelu WUS, które wymagały modyfikacji. Uczyniono to w oparciu o wyniki badania wiarygodności ankiet za pomocą alfy Cronbacha oraz wyniki uzyskane za pomocą metody „myślenia na głos”. Wybrane cechy zmodyfikowano w taki sposób, aby dotyczyły one perspektywy użytkowników, a nie stawiały ankietowanych w roli sędziów, orzekających w imieniu innych (np. cechę „serwis jest łatwy w użyciu” zmodyfikowano do postaci „uważam, że serwis jest łatwy w użyciu”). Ponadto przeformułowano cechy w taki sposób, aby nie zawierały one przeczenia, gdyż stwierdzono, że ankietowanym trudno jest nie zgodzić się z negatywnie sformułowaną cechą (np. cechę „informacje zawarte w serwisie nie są pomocne” zmieniono na „informacje zawarte w serwisie są dla mnie mało użyteczne”). Dodatkowo tam, gdzie było to możliwe, wyeliminowano słowa będące żargonem informatycznym ze względu na to, że dla ankietowanych mogą być one mało zrozumiałe i różnie interpretowane przez każdego z nich (np. starano się wyeliminować słowo „struktura”). W toku dalszych badań, prowadzonych z wykorzystaniem analizy czynnikowej i modelowania liniowych równań strukturalnych, zdecydowano także o połączeniu wybranych charakterystyk modelu WUS. Dodano także do modelu jakości stosowanego w metodzie WEQ charakterystyki dotyczące mechanizmu wyszukiwania informacji. W efekcie tych działań pierwsza wersja metody Website Evaluation Questionnaire zawierała 9 charakterystyk ((1) trafność, (2) zrozumiałość, (3) obszerność, (4) przyjazność dla użytkowników, (5) struktura, (6) hiperłącza, (7) wydajność, (8) wyszukiwanie, (9) układ strony) przypisanych do 3 kategorii ((1) układ strony, będący odpowiednikiem charakterystyki nr 9, (2) zawartość, w której skład wchodziły 3 pierwsze charakterystyki, (3) nawigacja, obejmująca pozostałe charakterystyki). Poszczególne charakterystyki były złożone łącznie z 27 kryteriów [72]. Podczas opracowywania kolejnej wersji metody WEQ wykorzystano zarówno metodę testów z użytkownikami, jak i ankiety. W pierwszym badaniu użytkownicy realizowali scenariusze testowe w laboratorium, a po ich zakończeniu wypełniali ankietę. W drugim badaniu ankiety były wypełniane zdalnie przez użytkowników, którzy odwiedzali badane serwisy. Celami tych badań było uzyskanie odpowiedzi na pytania:

- 1) Czy WEQ posiada widoczną strukturę charakterystyk z rozróżnialnymi charakterystykami, spójnymi dla różnych serwisów internetowych?
- 2) Jak rzetelnie WEQ mierzy charakterystyki jakości serwisów internetowych?
- 3) W jakim stopniu WEQ różnicuje poszczególne serwisy internetowe?
- 4) Jak spójne są wyniki WEQ uzyskane w laboratorium i te, które uzyskano z wykorzystaniem ankiet?

W wyniku przeprowadzonych badań zmodyfikowano strukturę kryteriów metody WEQ w taki sposób, że zawierała ona ostatecznie 3 kategorie jakości tożsame z tymi, które określono we wcześniejszej wersji metody. Ponadto w poszczególnych kategoriach zawartych

było łącznie 8 charakterystyk ((1) łatwość użycia, (2) hiperłącza, (3) struktura, (4) trafność, (5) zrozumiałość, (6) kompletność, (7) układ strony, (9) opcje wyszukiwania). Przynależność charakterystyk do poszczególnych kategorii nie zmieniła się względem poprzedniej wersji metody, a jedynie zmieniły się nieznacznie nazwy pewnych charakterystyk („obszerność” została zmieniona na „kompletność”, a „przyjazność dla użytkowników” zmieniono na „łatwość użycia”). Jeżeli chodzi o charakterystykę „wyszukiwanie”, jej stosowalność określono jako opcjonalną. Poszczególne charakterystyki wykorzystują tutaj łącznie 26 kryteriów [71]. Podobnie jak ma to miejsce w modelu WUS, w każdej charakterystyce występuje jedno kryterium negatywne, które służy do weryfikacji ankiety. W metodzie tej wykorzystano 5 punktową skalę Likerta [72]. Również w tej metodzie nie określono wag poszczególnych kryteriów. Odpowiedzi na poszczególne pytania postawione w celu badań prowadzonych nad metodą WEQ weryfikowano za pomocą: grupowej confirmacyjnej analizy czynnikowej wykorzystującej walidację krzyżową (pytanie 1 i 4), oprogramowania Lisrel z wykorzystaniem zasady mówiącej, że skala powinna spójnie odzwierciedlać przedmiot pomiaru (pytanie 2), analizy wariancji (pytanie 3). Metoda ta została stworzona w celu badania serwisów e-government, ale może być z powodzeniem stosowana także do oceny innych rodzajów internetowych serwisów informacyjnych, mających na celu dostarczanie użytkownikom wiedzy i informacji [71]. Wszystkie kryteria, które zastosowano w końcowej metodzie Website Evaluation Questionnaire, zawarte są w załączniku 1.4.

Prace nad metodą Website Quality Model prowadzono od 1999 roku na Uniwersytecie Syracuse [286]. Do jej stworzenia wykorzystano model jakości Kano, w którym zdefiniowane są trzy poziomy oczekiwania klientów odnośnie do jakości produktu bądź usługi. Poziom „podstawowy” (ang. basic) określa elementy podstawowe, które powinny być zawarte w każdym towarze lub usłudze określonego typu. Poziom „satisfakcjonujący” (ang. performance) określa składniki produktu, które wywołują u klienta poczucie zadowolenia, ale ich brak jest traktowany jako wada. Poziom „zachwycający” (ang. exciting) określa składniki, które wyprzedzają potrzeby klienta [315]. W trakcie badań nad metodą WQM skonstruowano listę 74 kryteriów jakości [312], którą, w wyniku porównania z innymi pracami dotyczącymi oceny jakości serwisów internetowych, ograniczono do 65 cech. Opierając się na badaniach z udziałem ekspertów, wybrano następnie 44 kryteria jakości, które wykazywały się jednoznacznością [313]. Ostatecznie w metodzie WQM wyróżniono 10 charakterystyk jakości i 32 kryteria przypisane do poszczególnych charakterystyk. Charakterystykami tymi były: (1) efekty poznawcze, (2) poufność, (3) możliwości/uprawnienia dawane użytkownikom, (4) wygląd, (5) wsparcie techniczne, (6) nawigacja, (7) organizacja zawartości informacyjnej, (8) wiarygodność, (9) obiektywność, (10) zawartość informacyjna [314][312]. Następnie, posługując się modelem Kano i wynikami badania ankietowego, zdefiniowano przynależność każdej z charakterystyk i kryteriów do określonych poziomów oczekiwań użytkowników. Wykonano to poprzez obliczenie wag dla poszczególnych kryteriów. Kryteria o najniższych wagach znalazły się w poziomie „podstawowy”, a cechy, które uzyskały najwyższe wagi, przypisano do poziomu „ekscytujący”. Wagi były wyznaczane według wzoru (1.5):

$$w_k = (Basic(k) \cdot 1 + Performance(k) \cdot 2 + Exciting(k) \cdot 3)/n \quad (1.5)$$

gdzie:

Basic(k) – liczba ankietowanych, którzy kryterium k przypisali do kategorii „podstawowy”,  
Performance(k) – liczba ankietowanych, którzy kryterium k przypisali do kategorii „satisfakcjonujący”,  
Exciting(k) – liczba ankietowanych, którzy kryterium k przypisali do kategorii „ekscytujący”,  
n – liczba ankietowanych użytkowników.

Uczestnicy badania ankietowego podawali w ankiecie również informację, które charakterystyki jakości, ich zdaniem, mogą z upływem czasu przejść z wyższych kategorii jakości do niższych (np. z poziomu „zachwycający” do „satisfakcjonujący”). W badaniu ankietowym uczestnicy oceniali serwis CNN.com lub inne serwisy tego samego typu [314]. Wadą metody WQM jest brak sformalizowanej metodyki badania serwisów.

Metoda SERVQUAL została opracowana w latach 80-tych, a służy ona do badania i oceny jakości usług [215]. W metodzie tej bada się różnicę między oczekiwanym poziomem usług a aktualnie postrzeganym poziomem usługi oferowanym przez określonego dostawcę. Jest w niej wyróżnionych 5 charakterystyk jakości, a ocena jest uzyskiwana na podstawie ankiety złożonej z 22 kryteriów składających się na wynik względem każdej z pięciu charakterystyk. Charakterystykami tymi są: (1) materialność, (2) rzetelność, (3) zdolność reagowania, (4) pewność, (5) przystępność [280][265]. W ankiecie SERVQUAL konsumenci, posługując się siedmiopunktową skalą Likerta, formułują swoje oczekiwania odnośnie do poziomu usług i opisują postrzegany przez nich aktualny poziom usługi. Metoda SERVQUAL została sformułowana w ten sposób, aby mogła służyć do oceny dowolnych usług. Niemniej jednak jej uniwersalność stanowi jej największą wadę, ze względu na to, że zastosowane kryteria i pytania ankietowe są zbyt ogólne, aby badać jakość specyficznych usług. Wobec tego konieczne było dostosowywanie modelu jakości wykorzystywanego w tej metodzie do rodzaju badanych usług [21].

Metody E-S-QUAL i E-RecS-Qual wywodzą się bezpośrednio z metody SERVQUAL i są one właśnie efektem dostosowania skali SERVQUAL do potrzeb oceny jakości usług w sieci Internet. Zachowano tutaj część kryteriów oceny funkcjonujących w modelu SERVQUAL oraz wprowadzono nowe kryteria istotne w określaniu jakości usług elektronicznych. Model jakości stosowany w metodzie E-S-QUAL składa się z 4 charakterystyk ((1) sprawność, (2) dostępność systemu, (3) spełnianie obietnic, (4) poufność) zawierających 22 kryteria oceny. Metoda E-RecS-QUAL jest stosowana wspólnie z E-S-Qual, a zawiera ona 3 charakterystyki ((1) zdolność reagowania, (2) rekompensata, (3) kontakt) i 11 kryteriów. Metoda E-S-QUAL zawiera rdzeń skali e-SERVQUAL, tj. kryteria postrzegane przez klientów niemających pytań i problemów odnośnie do usług elektronicznych. Z kolei metoda E-RecS-QUAL obejmuje kryteria dodatkowe, istotne w sytuacji, kiedy użytkownik napotyka problemy podczas korzystania z usług lub ma pytania do właścicieli serwisu. W metodach tych wykorzystano 5 punktową skalę Likerta, za pomocą której ankietowani podają oczekiwany i postrzegany poziom spełnienia poszczególnych kryteriów przez badany serwis. Podobnie jak w większości wcześniej omawianych metod oceny jakości, również tutaj nie określono jednoznacznie wag poszczególnych kryteriów. Do utworzenia i weryfikacji modeli jakości dla metod E-S-Qual i E-RecS-Qual zastosowano analizę czynnikową, a dokładnie rzecz ujmując, analizę składowych głównych z normalizacją Kaiser’a, jako metodą rotacji czynników, oraz confirmacyjną analizę czynnikową.

Dodatkowo w ankiecie uzyskiwano informację o ostatecznej ocenie serwisu, a następnie badano korelację pomiędzy ocenami częściowymi a oceną końcową. Podczas tworzenia modeli jakości omawianych metod ankietowani oceniali wybrane przez siebie serwisy internetowe. Natomiast podczas weryfikacji metod oceniano jakość serwisów amazon.com i wallmart.com [216]. Metody te stosowano również do oceny jakości usług w serwisach bankowych [4]. Należy też zaznaczyć, że jest to para metod przeznaczonych wyłącznie do oceny jakości serwisów usługowych, takich jak: sklepy, serwisy aukcyjne, serwisy bankowe, etc.

Metoda WAES (ang. Website Attribute Evaluation System) jest przeznaczona do oceny serwisów internetowych urzędów i administracji. Jest ona złożona z dwóch grup charakterystyk opisujących: (1) przejrzystość i (2) interaktywność witryny, a w każdej grupie zawartych jest pięć charakterystyk. Dla przejrzystości są to: (1) własność, (2) informacje kontaktowe, (3) informacje o instytucji, (4) informacje tematyczne, (5) kontakt z obywatelem. Z kolei grupa interaktywności składa się z podobnych kryteriów, jak przejrzystość, z tym że „własność” została tutaj zastąpiona przez „bezpieczeństwo i prywatność”. Ponadto wewnątrz każdej charakterystyki występują konkretne kryteria, pod względem których serwis jest oceniany. Oczywiście, dla tych samych charakterystyk, występujących wewnątrz grupy przejrzystości i interaktywności, są to różne kryteria. W metodzie tej wykorzystywana jest ocena ekspercka, zbliżona metodycznie do pierwszej metody Golubevej, tzn. ekspert bada obecność każdej z cech w serwisie i przyznaje 1 punkt, jeżeli dana cecha występuje lub 0 punktów, gdy danej cechy brak w serwisie [184]. Poza podstawową metodą WAES istnieją także jej modyfikacje dostosowane do oceny różnego rodzaju serwisów administracji. Różnią się one od metody pierwotnej wykorzystywanymi charakterystykami i kryteriami [58].

W literaturze wyróżnia się również szereg metod i modeli oceny jakości serwisów bazujących na metodzie wielokryterialnego wspomaganie decyzji AHP. Sama metoda AHP pozwala hierarchicznie przedstawić problem decyzyjny, dzięki czemu otrzymuje się przejrzystą strukturę kryteriów. Do uzyskania wartości funkcji użyteczności wariantów wykorzystuje ona porównania poszczególnych alternatyw pod względem każdego kryterium. W podobny sposób, tzn. w oparciu o porównania ważności, wyznaczone są również wagi kryteriów. Wykorzystywana jest tutaj skala od 1 do 9, gdzie 1 oznacza równowagę porównywanych wariantów lub kryteriów, a 9 odnosi się do krytycznej przewagi jednego z wariantów nad innym. Model zaproponowany przez Lina [174] wykorzystuje rozmytą metodę AHP, a przeznaczony jest do oceny jakości serwisów edukacyjnych. Podczas jego tworzenia oparto się w szczególności na modelu sukcesu systemów informacyjnych DeLone’a i McLean’a, wykorzystanym również przy budowie metod Ahn i Web Portal Site Quality. Zastosowano tutaj 4 charakterystyki: (1) jakość systemu, (2) jakość informacji, (3) jakość usług oraz (4) atrakcyjność. Wewnątrz wymienionych charakterystyk umieszczonych jest 16 kryteriów. Omawiana praca koncentruje się na uzyskaniu wag dla poszczególnych kryteriów za pomocą metody ankietowej. Można więc powiedzieć, że nie jest to sformalizowana metoda, ale raczej model zawierający czynniki odpowiedzialne za jakość serwisów edukacyjnych. Również model Konga i Liu [159] korzysta z rozmytej metody AHP i również tutaj główny nacisk jest położony na uzyskanie wag poszczególnych kryteriów (czynniki sukcesu serwisu). Wybór charakterystyk i kryteriów modelu nie jest poparty



przeglądem literatury, lecz jest dokonany *ad-hoc*. Model ten odzwierciedla składniki jakości witryn e-commerce, za które uznano w tym wypadku: (1) zaufanie, (2) jakość systemu, (3) jakość zawartości, (4) usługi online i (5) łatwość korzystania, przy czym wewnątrz każdej charakterystyki zawarte są kryteria. Ostatnim przytoczonym modelem wykorzystującym metodę AHP jest model Lee i Kozara [171]. Dobór kryteriów odbył się w tym wypadku na podstawie analizy literatury i wywiadów z konsumentami korzystającymi z serwisów e-commerce. Podczas tworzenia tego modelu oparto się w głównej mierze, podobnie jak w modelu Lina oraz w metodach Anh i Web Portal Site Quality, na modelu sukcesu systemów informacyjnych DeLone i McLean [57]. Wykorzystywane są tutaj cztery charakterystyki: (1) jakość informacji, (2) jakość usług, (3) jakość systemu, (4) jakość sprzedawcy, zawierające łącznie 14 kryteriów. W modelu tym określono metodykę uzyskania wartości i wag poszczególnych kryteriów. Odbywa się to za pomocą ankiet z wykorzystaniem procedury AHP. W pracy zawarto też projekty odpowiednich ankiet służących do uzyskiwania ocen. Model ten służy, podobnie jak model Konga i Liu, do oceny serwisów e-commerce.

Scharakteryzowane wyżej metody i modele oceny jakości serwisów internetowych nie są jedynymi, które można spotkać podczas analizy literatury. Obszerność tego zagadnienia i liczność modeli oraz metod najlepiej przedstawiają dwie prace przeglądowe, których autorzy zebrali szereg charakterystyk jakości serwisów z większości dostępnych anglojęzycznych opracowań. W pierwszej z nich przeanalizowano 100 pozycji literaturowych [34], z kolei druga z prac zawiera 50 pozycji literatury [105].

Jeżeli chodzi o krajowe prace, poruszające zagadnienie oceny jakości serwisów internetowych, najbardziej znaczące są publikacje Chmielarza, który za pomocą autorskiej metody punktowej oraz z wykorzystaniem metody AHP ocenia serwisy księgarskie [41][39], bankowe [40][37], handlowe [38][36], itp. Kryteria oceny są tutaj jednak dobierane *ad-hoc* z wykorzystaniem wiedzy eksperckiej, a dobór ten nie jest poparty szeroką analizą literatury, co wydaje się nienajlepszym podejściem. W pracy Piwowarskiego i Ziemby [230] przeprowadzono ocenę portali internetowych zgodnie z procedurą oceny zawartą w metodzie eQual. W pracy Budzińskiego i Stolarskiej [27] oceniane są serwisy e-commerce, a w pracy Wątróbskiego i Wolanickiej [293] ocenie poddano portale społecznościowe. W pracach tych do oceny serwisów internetowych stosowane są różne metody wielokryterialnego wspomaganie/podejmowania decyzji (ang. Multi Criteria Decision Aid/Making). Jednak również tutaj dobór kryteriów oceny tylko w niewielkim stopniu poprzedzony jest analizą literatury, a głównie wykorzystywana jest w tym celu wiedza ekspertów. Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji wykorzystano również w ocenie różnego rodzaju serwisów internetowych w pracach Fabisiak i Ziemby [76] oraz Szarafińskiej i Fabisiak [271]. W pracach tych do oceny serwisów wykorzystano następujące kryteria: liczba użytkowników, liczba odsłon, zasięg serwisu i czas spędzony na stronie. Wydaje się, że ich dobór nie jest najlepszy, ponieważ można zakładać, że liczba odsłon serwisu zależy w dużym stopniu od jego liczby użytkowników. Zachodzi tutaj więc bezpośrednia zależność jednego kryterium od innego. Ponadto część kryteriów wydaje się być ze sobą silnie skorelowana. Głębsza analiza problemu ujawniła istnienie zagrożenia, że czynniki te mogą w pewnym stopniu zaburzać ocenę serwisów. Z kolei w pracach Ziemby i Piwowarskiego [327][328]

zdefiniowano metodę oceny jakości regionalnych portali informacyjnych i zastosowano ją w praktyce. Wybór kryteriów oceny stosowanych w metodzie poparto także analizą literatury z dziedziny oceny serwisów e-government. Selekcja kryteriów odbyła się jednak w sposób niesformalizowany na zasadzie wyboru kryteriów, które powtarzają się w analizowanych publikacjach. Należy zaznaczyć, że przytoczone wyżej prace to tylko część publikacji polskich autorów na temat oceny serwisów internetowych.

Rozważając omówione wyżej metody, należy zaznaczyć, że przedstawione metody zawarte w literaturze anglojęzycznej (poza modelami relacyjnymi wykorzystującymi procedurę AHP) są jednymi z najlepiej zweryfikowanych praktycznie metod oceny jakości. Są one również najbardziej reprezentatywne pod względem podstaw teoretycznych i literatury dziedzinowej, na których się opierają. Jeżeli jednak chodzi o ich wykorzystanie do oceny portali internetowych, można stwierdzić, że tylko część z nich wydaje się mieć zastosowanie w ocenie tego typu serwisów. Portale internetowe w głównej mierze pełnią funkcję informacyjną, a takie elementy, jak: platformy rozrywkowe, społecznościowe i usługowe, są ich dużo mniej znaczącymi elementami, gdyż użytkownicy do realizacji tego typu potrzeb wykorzystują specjalizowane serwisy. Tego typu funkcje w portalach są wciąż względnie nowymi elementami, w związku z czym użytkownicy, niemający dużego doświadczenia w obcowaniu z danym portalem, po prostu z nich nie korzystają lub nawet nie wiedzą o ich istnieniu. Wobec tego wysoką stosowalność w ocenie jakości portali wydają się mieć metody przeznaczone do oceny serwisów informacyjnych lub zawierające rozbudowane charakterystyki dotyczące jakości informacyjnej. Metodami takimi są Web Portal Site Quality i Website Evaluation Questionnaire. Ich autorzy stwierdzają, że mogą mieć one zastosowanie w ocenie różnego rodzaju serwisów dostarczających informacje. Metoda Website Quality Model została utworzona w oparciu o ocenę serwisu CNN.com, który jest typowym serwisem informacyjnym, jednak brak sformalizowanej metodyki badania serwisów powoduje, że metody tej nie można uznać za kompletną. Metody eQual, Ahn i SiteQual również posiadają rozbudowane kryteria dotyczące jakości informacji. W metodzie Ahn do oceny jakości informacji przeznaczona jest 1 z 3 podstawowych charakterystyk jakości (jest to około 1/3 kryteriów). Jeżeli zaś chodzi o metodę SiteQual, to jednym z dwóch modeli, na których została ona oparta, był model Data Quality, opisujący jakość informacji. Z kolei stosowalność modelu eQual wynika z faktu, że zawiera on rozbudowane kryteria jakości informacji oraz charakteryzuje się szeroką uniwersalnością. Ponadto jego stosowalność w ocenie jakości portali internetowych została już zweryfikowana [331]. Natomiast jeżeli chodzi o pozostałe omówione modele, tj. SERVQUAL, E-S-Qual i E-RecS-Qual oraz WAES, można stwierdzić, że ich zastosowanie do oceny portali wydaje się wątpliwe. Metoda SERVQUAL jest przystosowana do oceny usług świadczonych „offline”. Utworzona na jej podstawie para metod E-S-Qual i E-RecS-Qual zawiera kryteria pozwalające oceniać tylko jakość serwisów usługowych, np. bankowości elektronicznej czy też sklepów internetowych. Natomiast metoda WAES służy do oceny serwisów administracji publicznej i nie zawiera, zdaniem autora niniejszej pracy, odpowiednio rozbudowanych kryteriów pozwalających oceniać jakość informacji. Wobec tego w dalszych badaniach postanowiono uwzględnić tylko metody w pełni sformułowane i kompletne, co do których można mieć przypuszczenie, że

charakteryzują się one wysoką stosowalnością w ocenie jakości portali, tj.: eQual, Ahn, SiteQual, Website Evaluation Questionnaire oraz Web Portal Site Quality.

Analiza scharakteryzowanych wcześniej metod oceny jakości serwisów internetowych nasuwa kilka spostrzeżeń. Pierwsza uwaga dotyczy występowania podobieństw pomiędzy różnymi metodami oceny jakości serwisów internetowych. Z kolei drugie spostrzeżenie porusza zagadnienie tworzenia nowych metod oceny jakości serwisów internetowych i doboru kryteriów w nich stosowanych. Natomiast trzecia uwaga odnosi się do sposobów określania, które kryteria spośród wstępnie wybranych należy zastosować w danej metodzie, aby jak najlepiej odzwierciedlała ona jakość serwisów internetowych określonego typu.

Nawiązując do pierwszego spostrzeżenia, należy stwierdzić, że między poszczególnymi metodami oceny jakości serwisów internetowych występują pewne podobieństwa. Mianowicie metody te w pewnym stopniu korzystają ze zbliżonych do siebie charakterystyk i kryteriów oceny. Często zachodzi sytuacja, kiedy dwie różne metody korzystają częściowo z tych samych kryteriów (dotyczących tych samych aspektów jakości), przy czym czasem kryteria te mogą być nieco inaczej sformułowane (nazwane). Podobieństwa między metodami często występują również w metodykach i skalach oceniania, gdyż większość metod oceny jakości do oceny stosuje ankiety i skalę Likerta. Pewne podobieństwa są również zauważalne w strukturach kryteriów. Często w różnych metodach można znaleźć tak samo sformułowane charakterystyki różniące się częściowo kryteriami, które obejmują. Ponadto struktura każdego z omówionych modeli, który jest wykorzystywany w konkretnej metodzie oceny, posiada co najwyżej 4 poziomy zagłębienia wraz z korzeniem. Przyczyną tych podobieństw jest fakt, że różne metody często oparte są na tych samych teoriach naukowych, pracach badawczych i źródłowych pozycjach literatury.

Drugie spostrzeżenie dotyczy problemu tworzenia nowych metod oceny jakości. Podczas tworzenia nowych metod oceny ich autorzy bazują zazwyczaj na istniejących modelach jakości serwisów, wybierając z nich kryteria oceny, które wydają się odpowiednie do zastosowania w ich autorskiej metodzie. Działanie to jest wykonywane przez autorów zazwyczaj *ad-hoc* w formie niesformalizowanej, bazującej na analizie literatury i własnych przemyśleniach. Jest to podejście eksperckie, ale wydaje się, że nie jest to najlepszy sposób tworzenia nowych metod oceny jakości serwisów internetowych, ze względu na pewną chaotyczność takiego działania. Dodatkowo istnieje ryzyko, że w tworzonych w ten sposób metodach będą funkcjonowały kryteria o niewielkiej rzeczywistej wadze, które nie są istotne dla użytkowników serwisu internetowego. Występuje tutaj pewien rodzaj tzw. „przekleństwa wymiarowości”, polegający na problemie wyboru spośród wielu wskaźników jakości tylko takich, które są przydatne w ocenie jakości serwisów określonego typu. Przykładowo - pewne kryteria mogą być istotne przy ocenie portali informacyjnych, a inne są wykorzystywane przy ocenie serwisów e-commerce. Niektórzy autorzy, przy wyborze kryteriów, stosują bardziej sformalizowane podejście: na podstawie badania ankietowego dokonują oni grupowania kryteriów poprzez metodę statystyczną, tj. analizę czynnikową. Eliminują oni kryteria, które według wyników analizy nie przynależą do żadnej z uzyskanych grup kryteriów czy też do żadnego z uzyskanych wymiarów jakości. Takie podejście jest stosowane we wszystkich metodach, których weryfikację prowadzono z wykorzystaniem analizy czynnikowej. Jednak z taką metodyką wyboru kryteriów oceny jest związane kolejne spostrzeżenie.

Podczas wyboru kryteriów oceny jakości z wykorzystaniem analizy czynnikowej otrzymuje się nowe klasy charakterystyk, zawierające pewne podgrupy oryginalnych kryteriów. Odrzucane są natomiast kryteria, które nie zostały przyporządkowane do żadnej z charakterystyk. Podejście takie jest znacznie bardziej uzasadnione od opisanego wcześniej podejścia eksperckiego, jednak również tutaj istnieje pewien problem związany z określaniem istotności poszczególnych charakterystyk i cech. Mianowicie, ze względu na wykorzystywane w analizie czynnikowej rotacje i skalowania zmiennych, trudno jest ustalić, które z kryteriów są istotne. Przekształcenia te mogą też wprowadzać zakłócenia i znaczące zmiany w uzyskiwanych rezultatach [305]. Rozwiązaniem tego problemu wydaje się być pozyskiwanie wag kryteriów za pomocą ankiet (jak np. w metodzie eQual), np. poprzez uśrednianie wartości wag podanych przez ankietowanych. Wprawdzie w pkt 1.3 niniejszej pracy zaznaczono, że ankiety, obok badań eksperckich, wydają się być najlepszą metodą badania jakości serwisów, ale ich stosowalność do pozyskiwania wag kryteriów oceny jest kwestią dyskusyjną. Zdaniem autora bezpośrednie zastosowanie ankiet do tego celu nie jest dobrym rozwiązaniem, gdyż określanie wag kryteriów na podstawie ankiet jest jawnym pytaniem użytkowników o ich preferencje. Tymczasem jawne deklarowanie preferencji użytkowników może generować duże błędy [309]. Potwierdzają to badania autorskie z których wynika, że jawnie deklarowane preferencje użytkowników mogą się znacząco różnić od kryteriów, które są w rzeczywistości stosowane przez użytkowników do oceny serwisów internetowych [318].

Rozwiązaniem problemów wskazanych w spostrzeżeniu drugim i trzecim mogłoby być opracowanie pewniej formalnej procedury doboru kryteriów oceny jakości serwisów internetowych i nadawania im wag. Procedura taka mogłaby umożliwiać dobór kryteriów w oparciu o czynniki mierzalne. Powinna ona również eliminować wyżej opisane wady podejścia eksperckiego i analizy czynnikowej. Drogą do opracowania takiej procedury mogłoby być utworzenie jednolitej struktury kryteriów, zawierającej kryteria wykorzystywane w poszczególnych metodach oceny jakości. Ułatwiłoby to projektantom nowych metod dobór kryteriów ze względu na to, że posiadaliby oni dostęp do szerokiej ich bazy. Nie musieliby więc oni analizować dużej ilości pozycji literaturowych w celu określenia, jakie kryteria były wcześniej stosowane w ocenie jakości serwisów. Oczywiście, nie jest to rozwiązanie problemu doboru kryteriów oceny, ale istnienie omawianej struktury kryteriów mogłoby stanowić jeden z elementów takiego rozwiązania.

Wprawdzie w literaturze dotyczącej oceny jakości serwisów znaleźć można różne bazy kryteriów [34][105], jednak są one tworzone podobnie jak wyżej opisane modele oceny jakości, tj. w sposób chaotyczny, bez sformalizowanej metodyki ich powstawania. Wydaje się, że nie jest to najlepsze podejście do ich tworzenia. Tymczasem, ze względu na fakt zreferowany w spostrzeżeniu pierwszym, tj. występowanie pewnych podobieństw pomiędzy poszczególnymi metodami oceny, jest możliwe zbudowanie omówionej wcześniej struktury kryteriów w sposób sformalizowany, w oparciu o integrację metod. Formalizację procesu integracji szeregu metod oceny jakości w jedną metodę, zawierającą strukturę kryteriów wykorzystywanych w różnych metodach, umożliwia inżynieria ontologii.

## **Rozdział II. Zastosowania ontologii i uwarunkowania ich budowy**

### **2.1 Definicje i zastosowania ontologii w informatyce**

Pojęcie ontologii wywodzi się z filozofii, gdzie oznacza ona naukę o bycie [99]. Natomiast w literaturze z dziedziny informatyki pojęcie to pojawiło się po raz pierwszy w 1967 roku w pracy S.H. Mealy w kontekście modelowania danych [170]. Obecnie najczęściej przytaczana w literaturze informatycznej definicja ontologii mówi, że jest ona „specyfikacją konceptualizacji”, która może uchwycić wiedzę dziedzinową, nadającą się do wielokrotnego użycia [310]. Rozwinięcie tej definicji precyzuje, że ontologia jest to „formalna, jednoznaczna specyfikacja dzielonej (wspólnej) konceptualizacji” [167]. Podobna definicja mówi o tym, że w informatyce ontologia jest traktowana jako struktura danych i narzędzie do reprezentacji danych, pozwalające współdzielić i ponownie wykorzystywać wiedzę w systemach sztucznej inteligencji korzystających ze wspólnego słownictwa [99]. Natomiast jedna z najbardziej rozbudowanych definicji stwierdza, że ontologia jest jednoznaczną specyfikacją konceptualizacji, w czym zawierają się cztery znaczenia: (1) konceptualizacja, która jest abstrakcyjnym modelem wywiedzionym z realnego świata do reprezentowania pewnych pojęć; (2) jednoznaczność, co oznacza, że ontologia ma jednoznacznie zdefiniowane koncepty, relacje, właściwości, funkcje, ograniczenia i aksjomaty; (3) formalizacja, która oznacza, że ontologia może być rozumiana i wykonywana przez maszynę; (4) współdzielenie - oznaczające, że ontologia jest odzwierciedleniem powszechnie uznanej wiedzy dziedzinowej i dostarcza ona usługi semantyczne [316].

Każda z tych definicji odnosi się do faktu, że za pomocą ontologii można przedstawić wiedzę dziedzinową, a następnie tę wiedzę współdzielić i wielokrotnie wykorzystywać. Wobec tego ontologia wydaje się być naturalną formą reprezentacji struktury kryteriów oceny jakości, omówionej w pkt. 1.4 niniejszej pracy. Wynika to z faktu, że zastosowanie ontologii pozwoli stworzyć modele pojęciowe, objaśniające struktury kryteriów poszczególnych metod oceny. Wykorzystanie ontologii do stworzenia takich struktur pozwoli zawrzeć w nich wiedzę z dziedziny oceny jakości serwisów internetowych, a w szczególności kryteria oceny oraz ich wagi. Zastosowanie ontologii umożliwi również współdzielenie i wielokrotne użycie takich struktur oraz ułatwi zarządzanie nimi, dzięki czemu będą mogli z nich korzystać projektanci, opracowujący nowe metody oceny jakości serwisów internetowych. Inżynieria ontologii dostarcza także szeregu narzędzi do integracji ontologii, dzięki czemu można z jej wykorzystaniem sformalizować proces integracji wielu metod oceny jakości w pojedynczą ontologię, reprezentującą kryteria szeregu metod oceny. W dalszej perspektywie istnieje też możliwość rozbudowania utworzonej ontologii i zwiększenia zakresu jej stosowalności.

Najczęściej ontologie w informatyce są wykorzystywane do zapewnienia szeroko pojętego dostępu do zasobów wiedzy [107]. Ogólnie rzecz ujmując, ich zastosowania obejmują:

- komunikację - między realizowanymi systemami obliczeniowymi, między ludźmi oraz między systemami i ludźmi,

- wnioskowanie obliczeniowe - do wewnętrznej reprezentacji planów i planowania informacji oraz w celu dokonywania analizy: wewnętrznej struktury, algorytmów oraz wejść i wyjść realizowanych systemów,
- ponowne użycie i organizację wiedzy - dla strukturalizowanych lub organizowanych bibliotek i repozytoriów informacji dziedzinowych [107][96].

Najpowszechniej ontologie stosowane są w sieci WWW do tworzenia tzw. „Semantic Web”. Ich przykładowe zastosowania w tym obszarze przedstawia dokument konsorcjum W3C [106]. Według niego ontologie w szczególności znajdują zastosowanie w:

- portalach internetowych – ontologie wykorzystywane są tutaj do oznaczania zawartości portali za pomocą dostarczonych przez ontologię pojęć z danej dziedziny, opisanych za pomocą aksjomatów. Aksjomaty mogą definiować pojęcia poprzez użycie innych pojęć z danej dziedziny, np. gdy zdefiniowane są pojęcia „gazeta” i „publikacja”, gazeta może zostać opisana definicją: „wszystkie gazety są publikacjami”. Przykładem portalu opartego na ontologii jest serwis OpenDirectory [124].
- kolekcjach multimedialnych – również tutaj chodzi o oznaczanie zawartości kolekcji za pomocą pojęć określających nośnik dokumentu (np. obraz, muzyka) lub jego zawartość (np. autor, data powstania, tematyka). Dzięki możliwości współdzielenia ontologii, jedna ontologia może być wykorzystana do oznaczenia zawartości wielu kolekcji multimedialnych.
- korporacyjnym zarządzaniu witryną – podejście ontologiczne daje w tym wypadku możliwość użycia różnych ontologii dla różnych grup użytkowników serwisu, przy czym ontologie powinny być między sobą wzajemnie powiązane, aby automatycznie tłumaczyć pojęcia kierowane do różnych grup użytkowników (np. mniej fachowy język dla zwykłych użytkowników i bardziej fachowy dla ekspertów). Dodatkowo zastosowanie ontologii umożliwia tworzenie zapytań i wyszukiwanie informacji na odpowiednio wysokim poziomie abstrakcji.
- dokumentacji projektowej – ontologie mogą być wykorzystane do budowy modelu informacyjnego, pozwalającego na eksplorację przestrzeni informacyjnej pod względem: elementów projektu, związków między nimi, ich właściwości oraz odnośników do dokumentów opisujących poszczególne elementy projektu. Wraz z rozwojem projektu lub dziedziny, której projekt dotyczy, ontologia oraz taksonomia pojęć związanych z projektem mogą być również na bieżąco rozwijane.
- systemach agentowych i usługach – zastosowanie ontologii w tym przypadku polega na zapewnieniu agentom możliwości rozumienia i integrowania danych z różnych źródeł. Przykładowo systemy agentowe polecające usługi zgodne z preferencjami użytkownika (np. agent polecający restaurację zgodnie z preferencjami kulinarnymi użytkownika) wymagają ontologii dziedzinowych i ontologii usług reprezentujących pojęcia używane w określonych usługach. Ontologie te umożliwiają przechwytywanie informacji niezbędnych agentowi do rozróżnienia preferencji użytkownika. Informacje te mogą pochodzić z wielu źródeł, np. portali tematycznych i serwisów usługowych.
- przetwarzaniu rozpowszechnionym – termin przetwarzania rozpowszechnionego odnosi się do doraźnej współpracy urzędów codziennego użytku zawierających podzespoły elektroniczne w ramach sieci komputerowej. Współpraca taka nie może być

zaplanowana przez producentów urządzeń *a priori* ze względu na to, że może ona dotyczyć urządzeń, które pojawią się w przyszłości. Zastosowanie ontologii w tym przypadku polega na opisanu za ich pomocą: cech urządzeń, środków dostępu do takich urządzeń, ich polityk użycia oraz innych ograniczeń technicznych wpływających na możliwości współpracy między urządzeniami w ramach sieci. Dzięki zastosowaniu ontologii urządzenia będą mogły dynamicznie negocjować zestawienie połączenia i użycie funkcjonalności innych urządzeń [106].

Inne popularne zastosowania ontologii to budowanie słowników semantycznych. Przykładem słownika semantycznego jest chociażby słownik WordNet. Jest on oparty na ontologii zawierającej słowa języka angielskiego, ich znaczenia oraz synsety (zbiory synonimów). Opisanie takiego słownika za pomocą ontologii pozwala powiązać zawarte w nim słowa za pomocą relacji określających wzajemne powiązania pomiędzy słowami [304][125].

Zarówno w wielu definicjach ontologii, jak również w charakterystykach ich zastosowań często przewija się sformułowanie „wiedza”. Istotnie ontologie są stosowane do reprezentacji wiedzy, a więc również do tworzenia baz wiedzy. Takie wykorzystanie ontologii pojawia się chociażby w pracy Villanueva-Rosales i Dumontier [283], gdzie przy użyciu ontologii utworzono bazę wiedzy biomedycznej. W pracy tej zasygnalizowano również stosowalność ontologii do integracji heterogenicznych źródeł danych. W pracach Ordysińskiego [210] [212] [211] przedstawione są ontologie z dziedzin e-commerce, e-learning oraz ontologia czynników determinujących wartość serwisów internetowych. Ontologie te mają w przyszłości, po odpowiednim ich zaadaptowaniu, służyć jako bazy wiedzy odpowiednich systemów ekspertowych. Podobnie w pracy Tretyakovoy [278] proponuje się wykorzystanie ontologii jako bazy wiedzy systemu ekspertowego, służącego do podejmowania decyzji w sytuacjach zagrażających życiu i normalnemu funkcjonowaniu obiektów. Możliwość wykorzystania ontologii jako baz wiedzy systemów ekspertowych potwierdzają prace: Saa i in. [240] oraz Shue i in. [256]. W pracach tych ontologie zaimplementowano w bazach wiedzy funkcjonujących systemów, tj.: systemu ekspertowego do badania wskaźników finansowych przedsiębiorstwa [256] i systemu wspomagania decyzji podejmowanych przy budowie infrastruktury kolejowej [240].

Zastosowanie ontologii do tworzenia baz wiedzy wynika z pewnej podstawowej różnicy między bazami wiedzy a bazami danych, ze względu na którą, do tworzenia baz wiedzy, nie można zastosować schematów baz danych. Mianowicie: wydobywanie informacji z baz danych jest działaniem algorytmicznym, podczas gdy to samo działanie realizowane w oparciu o bazy wiedzy ma charakter wnioskowania logicznego. Ponadto najczęściej bazy danych są niemonotoniczne, a bazy wiedzy charakteryzują się monotonicznością. Oznacza to, że nowe dane dodane do bazy danych mogą zmienić wnioski wysnuwane przez bazę (odpowiedź bazy na określone zapytanie). Z kolei nowa wiedza dodana do bazy wiedzy nie może zmienić uzyskiwanych z niej wniosków [85, s. 241-249]. Inaczej rzecz ujmując, bazy danych reprezentują świat zamknięty, w którym wnioskowanie odbywa się z założeniem, że baza zawiera kompletny opis świata. Wobec tego, jeżeli nie da się potwierdzić prawdziwości jakiegoś faktu, jest on uznawany za fałszywy (jest to tzw. domniemana negacja, ang. default negation, negation as failure). Z kolei bazy wiedzy najczęściej reprezentują świat otwarty, w którym wnioskowanie odbywa się z założeniem, że baza zawiera niekompletny opis świata.

W związku z tym, jeżeli jakiś fakt nie jest jawnie zaprzeczony, nie jest on uznawany za fałsz. Ponadto niemożność dowiedzenia prawdziwości jakiegoś faktu nie powoduje uznania go za fałsz (jest to tzw. negacja klasyczna, ang. classical negation). Inne istotne różnice między bazami danych a bazami wiedzy zawarte są np. w pracy Martinez-Cruz i in. [185].

W pracy Orłowskiego i in. [213] ontologie, obok regułowego systemu ekspertowego i innych modułów (m.in. sieci neuronowych i algorytmów genetycznych) występują w ramach systemu agentowego. Rolą ontologii w tym systemie jest kontrola poprawności danych wejściowych i wyjściowych z systemu, a są one wykorzystywane przez agentów do: wprowadzania zapytań użytkowników, zwracania użytkownikom wyników oraz dostarczania systemowi wiedzy od ekspertów i inżynierów wiedzy. Jest to więc zastosowanie zbliżone do omówionego wcześniej wykorzystania ontologii w systemach agentowych i usługach oraz częściowo zbieżne z sugestią zawartą w pracy Villanueva-Rosales i Dumontier [283] na temat wykorzystania ontologii do integracji różnych źródeł danych. Również w pracach Dudka [63] [64] oraz Dudka i Śmiałkowskiej [65] realizowana jest koncepcja zastosowania ontologii do integracji heterogenicznych źródeł danych i metod. Ontologie w tych pracach pełnią funkcję narzędzia, za pomocą którego dane pochodzące z różnych źródeł są odpowiednio transformowane i zasilają bazę wiedzy systemu ekspertowego oceny jakości oprogramowania. Każda z ontologii reprezentuje tutaj jedno ze źródeł danych, a integrację źródeł danych uzyskuje się poprzez integrację poszczególnych ontologii z wykorzystaniem metody kartograficznej. W pracy Dudka [64] pojawia się również koncepcja integracji różnych metod, jednak jest ona rozumiana jako umieszczenie w systemie ekspertowym wielu metod oceny jakości oprogramowania i umożliwienie systemowi wykorzystania każdej z nich. Zaznaczyć należy, że jest to podejście inne, niż proponuje autor niniejszej pracy, gdyż podejście autorskie ma umożliwić połączenie wielu metod w jedną nową metodę, wykorzystującą wybrane elementy integrowanych metod.

Wprawdzie Dudek stosuje ontologie do integracji źródeł danych, zasilających ekspertowy system oceny jakości oprogramowania, ale ontologie są stosowane również w innych systemach i metodach oceny jakości. Przykładowo w pracy Magoutas i in. [181] przedstawiono ontologię jakości, formalizującą wiedzę niezbędną do oceny jakości usług e-government. Ocena ta, dzięki wykorzystaniu ontologii, może być dostosowana indywidualnie do potrzeb każdego użytkownika (obywatela) i dzięki temu może być skuteczniejsza. Ontologia jakości, przedstawiona w omawianej pracy, została następnie zastosowana w samoadaptacyjnym systemie monitorowania jakości SALT (ang. Self Adaptive quaLity moniToring), służącym do badania jakości serwisów dostarczających usługi e-government [182]. W systemie tym, poza ontologią jakości, zastosowano także ontologie: charakterystyk portali internetowych, zachowań użytkowników oraz problemów napotykanym przez użytkowników podczas korzystania z portalu [183]. Natomiast Mich i Franch [191] proponują zastosowanie ontologii w metodzie oceny jakości serwisów internetowych z dziedziny usług turystycznych. W tym przypadku ontologia miałaby być elementem dostarczającym opisu zagadnień związanych z dziedziną turystyki i mogłaby ona stanowić pomoc w manualnej identyfikacji wymagań dla tego typu serwisów internetowych. Jej zastosowanie jest prezentowane przez autorów na tle innych możliwych metod określenia wymagań dla serwisów turystycznych [193] [192].



Omówione tutaj zastosowania ontologii, tj.:

- tworzenie baz wiedzy i reprezentacja wiedzy w systemach ekspertowych,
- integracja heterogenicznych źródeł danych w systemach ekspertowych,
- reprezentacja wiedzy i pojęć związanych z jakością usług,

wskazują na stosowalność ontologii w integracji metod oceny jakości serwisów internetowych. Wniosek ten wywodzi się z faktu, że ontologie umożliwiają integrację różnorodnych źródeł danych, więc najprawdopodobniej możliwe jest też wykorzystanie ich do integracji wielu metod oceny (w szczególności chodzi o integrację kryteriów stosowanych w różnych metodach oceny jakości). Ponadto ontologie są wykorzystywane do tworzenia baz wiedzy dla systemów ekspertowych. Tymczasem celem niniejszej pracy jest opracowanie modelu systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. Naturalne jest więc zastosowanie ontologii w modelu systemu ekspertowego jako bazy wiedzy. Ontologie są również stosowane do reprezentacji pojęć związanych z jakością, więc reprezentowanie za jej pomocą kryteriów oceny jakości serwisów internetowych jest zasadne.

Omówione wyżej przesłanki w połączeniu z przytoczonymi wcześniej wnioskami wynikającymi z definicji ontologii wskazują, że zastosowanie ontologii do integracji metod oceny jakości i utworzenia jednolitej struktury kryteriów oceny jest w pełni uzasadnione. Jeżeli chodzi o samą procedurę integracji wielu metod oceny w jedną metodę, to należy ją rozpocząć od zbudowania ontologii dla poszczególnych metod oceny jakości serwisów. Następnie, opierając się na teorii ontologii i narzędziach służących integracji ontologii, należy przeprowadzić integrację zbudowanych ontologii. W ten sposób zostanie uzyskana ontologia zawierająca strukturę kryteriów oceny jakości serwisów internetowych pochodzących z różnych metod oceny. Projektanci, przygotowujący nowe metody oceny jakości serwisów, będą mogli wykorzystać tę ontologię i wybierać z niej kryteria oceny jakości, przydatne do oceny różnego rodzaju serwisów. Uzyskana ontologia wraz z zawartą w niej strukturą kryteriów będzie stanowiła także bazę wiedzy systemu ekspertowego służącego ocenie jakości serwisów.

Każda ontologia powinna być wyrażona za pomocą określonego języka ontologii, a do jej budowy można posłużyć się odpowiednim edytorem ontologii. Ponadto, przy budowie ontologii, należy określić metodologię, według której będzie ona powstawała. Wobec tego, aby zbudować ontologie metod oceny jakości serwisów internetowych, należy określić język ich reprezentacji, edytor, z użyciem którego będą one budowane, oraz metodologię ich konstruowania.

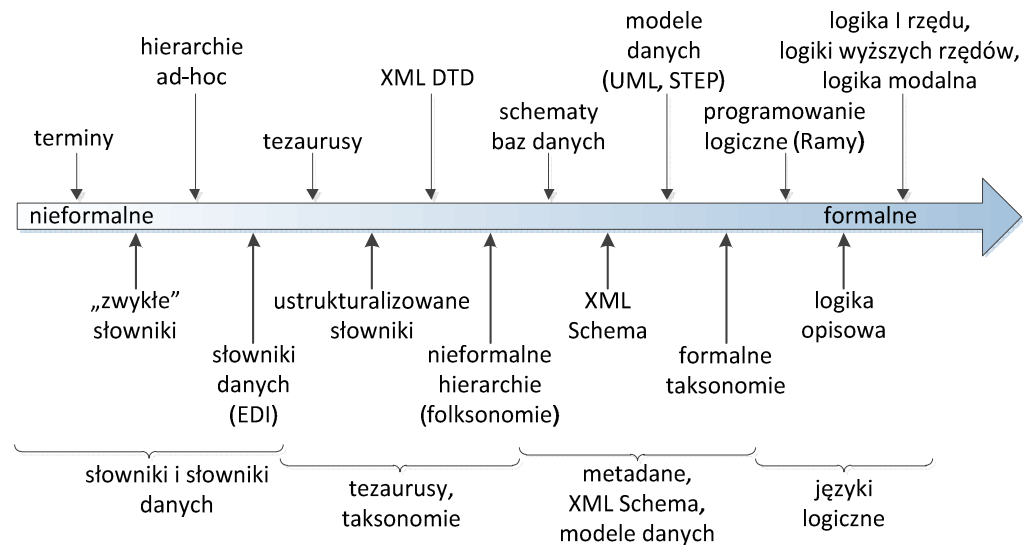
## **2.2 Języki reprezentacji ontologii**

Języki ontologii reprezentują takie ich elementy, jak: koncepty, ich atrybuty, ograniczenia i taksonomie; instancje konceptów z przypisanymi im atrybutami, relacje między konceptami oraz ich hierarchie; funkcje; aksjomaty; reguły. Pojęcie konceptu jest zbieżne z pojęciem klasy występującym w programowaniu obiektowym, a atrybuty są po prostu właściwościami konceptów. Ograniczenia pozwalają określić np.: dopuszczalne typy danych dla atrybutów (ograniczenia typu) i ilości wystąpień konceptów (ograniczenia liczności). Ponadto koncepty mogą być zhierarchizowane, czego skutkiem jest np. dziedziczenie atrybutów, relacji i ograniczeń. Często możliwe jest też określenie: rozłączności

konceptów (nie mają one wtedy elementów wspólnych), podziału zupełnego (oznaczającego, że każde wystąpienie konceptu nadrzędnego musi być jednocześnie wystąpieniem co najmniej jednego konceptu podrzędnego) oraz partycji (każde wystąpienie konceptu nadrzędnego jest jednocześnie wystąpieniem dokładnie jednego konceptu podrzędnego). Instancje konceptów są to po prostu ich wystąpienia (w programowaniu obiektowym są to obiekty klasy). Relacje mogą być typu binarnego (zachodzą pomiędzy dwoma elementami ontologii) lub n-arnego (zachodzą jednocześnie między wieloma elementami ontologii). Ponadto mogą one być zhierarchizowane (relacje podrzędne są uszczegółowieniem relacji nadrzędnych, więc jeżeli zachodzi relacja podrzędna, to zachodzi również relacja nadrzędna). W ontologiach mogą być też umieszczone tzw. „więzy integralności”, umożliwiające sprawdzenie spójności ontologii zgodnie z założeniem o świecie zamkniętym. Funkcje natomiast są specjalnym rodzajem relacji, w których ostatni element relacji jest jednoznacznie określany przez elementy, które go poprzedzają (jest on wyznaczany na podstawie poprzedników). Aksjomaty z kolei są pojęciami podstawowymi, które zawsze są prawdziwe. Ostatnim już elementem, mogącym występować w ontologiach, są reguły, określające wzajemne wynikanie elementów ontologii.

Rozważania na temat języków, za pomocą których ontologie mogą być reprezentowane, należy rozpocząć od pewnej dygresji. Mianowicie ontologie mogą mieć postać formalną lub nieformalną. Do ontologii nieformalnych można zaliczyć wszelkie słowniki, tezaury i taksonomie. Ontologie formalne natomiast są to ontologie charakteryzujące się jasną semantyką języka używanego do definiowania konceptów, jasnymi motywacjami rozróżniania konceptów i rygorystycznymi zasadami dotyczącymi sposobu definiowania konceptów i relacji [238]. Do ontologii formalnych zaliczane są więc wszelkie ontologie oparte na: programowaniu logicznym (ang. Logic Programming), ramach (ang. Frames), logice opisowej (ang. Description Logic), logice modalnej (ang. Modal Logic), logice pierwszego rzędu (rachunku predykatów I rzędu) (ang. First-order Logic) i logikach wyższych rzędów (ang. High-order Logic). W literaturze z zakresu ontologii nie jest natomiast jednoznacznie określone, do jakiej grupy ontologii należy zaliczyć ontologie oparte na modelach danych, schematach bazodanowych i standardzie XML Schema. Przykładowo Goczyła [85, s. 26-30] zalicza tego typu ontologie do grupy ontologii formalnych (jednak z zastrzeżeniem, że nie spełniają one założenia o świecie otwartym, tzn. nie są monotoniczne). Z kolei Roussey i in. [238] zaliczają je do grupy ontologii programowych (ang. Software Ontologies), przy czym grupa ta jest odrębna od ontologii formalnych. Podobnie Uschold i Gruninger [281] nie określają tego typu ontologii jako formalne. Natomiast Guarino i in. [97] stwierdzają, że trudno jest jednoznacznie określić, gdzie przebiega granica między ontologiami formalnymi i nieformalnymi. Problem przynależności różnego rodzaju ontologii do kategorii ontologii nieformalnych i formalnych został przedstawiony na rysunku 2.1. Za ontologie formalne bez wątpienia można uznać ontologie oparte na językach logicznych, umiejscowione na rysunku 2.1 po prawej stronie. Charakteryzując poszczególne typy języków logicznych, należy stwierdzić, że logiki wyższego rzędu, pełna logika I rzędu oraz logika modalna są bardzo ekspresywne, ale często nie pozwalają one na pełne wnioskowanie. Natomiast pewne podzbiory logiki I rzędu cechują się wnioskowaniem rozstrzygalnym i przebiegającym wydajniej. Podzbiory te dzielą się na

języki z rodziny logiki opisowej, będące ścisłymi podzbiorami logiki I rzędu, oraz języki oparte na programowaniu logicznym.



Rysunek 2.1 Problem podziału ontologii na formalne i nieformalne

Źródło: opracowanie własne na podstawie [97] [281]

Formalizmy, takie jak: ramy, logika opisowa i logika pierwszego rzędu, stanowią podstawę szeregu języków ontologii. Obok nich można wymienić również „wspólną logikę” (ang. Common Logic), która jest dopiero w trakcie opracowywania (jednak jest ona interesująca ze względu na to, że została już ustandaryzowana przez ISO). Formalizmy te mają pewne cechy wspólne, ale posiadają też wiele cech różnicujących je. Różnią się one od siebie m.in. stopniem formalizacji i ekspresywnością.

W paradygmacie ram wyróżnione są dwa ich rodzaje: ramy prototypowe (odpowiedniki klas) i ramy osobnicze (odpowiedniki instancji). Mogą istnieć też ramy, które są jednocześnie ramami prototypowymi dla ram będących ich potomkami (podklasami) oraz są ramami osobniczymi dla swoich przodków (nadklas). Są to tzw. metaklasy. Istnieją również dwa podstawowe rodzaje powiązań między ramami (dokładnie rzecz ujmując, są to tzw. klatki, ang. slots): IS-A, zachodząca pomiędzy ramami prototypowymi i INSTANCE-OF, która zachodzi pomiędzy ramą osobniczą i ramą prototypową. Paradygmat ram daje też możliwość przypisywania ramom innych klatek: powiązań pomiędzy ramą a inną ramą; powiązań pomiędzy ramą a konkretną wartością; ograniczeń oraz rozszerzeń proceduralnych (ang. procedural attachments). Dodatkowo każda klatka i wartość jest również ramą. Paradygmat ram jest zbliżony do paradygmatu programowania obiektowego, ale jest on mniej rygorystyczny i charakteryzuje się większym stopniem ogólności niż programowanie obiektowe [85, s. 35-55]. Istnieje również ścisły związek między ramami a sieciami semantycznymi, gdyż według literatury ramy są wariantem sieci semantycznych [50, s. 250] lub, inaczej rzecz ujmując, są to dwa warianty notacji do zapisu takich samych konstrukcji [109, s. 82]. Chociaż zaznaczyć należy, że ramy są bogatsze językowo niż sieci semantyczne, gdyż pozwalają np. na dynamiczne dodawanie wartości dla klatek poprzez rozszerzenia proceduralne [32]. Paradygmat ram spełnia założenia o unikalności nazw, co oznacza, że dwie ramy mające inne nazwy są od siebie różne (chyba że jawnie zdefiniowano między nimi powiązanie mówiące o tym, że są to te same ramy). Ramy, poprzez wykorzystanie

domniemanej negacji, spełniają również założenie o świecie zamkniętym. Ontologie oparte na ramach uwzględniają tylko jeden minimalny model (interpretację) świata. Ponadto z wykorzystaniem klatek można definiować tylko warunki konieczne, a mechanizm wnioskujący działa na zasadzie sprawdzania ograniczeń, nie potrafi on natomiast przypisać ramie osobniczej nowej ramy prototypowej [291]. Poza rozszerzeniami proceduralnymi i domniemaną negacją ramy wykorzystują również pewien fragment logiki I rzędu [303, s. 20], pokrywający się z częścią logiki opisowej (dokładnie rzecz ujmując, logika opisowa formalizuje deklaratywną część systemów wykorzystujących ramy [201] czy też formalizuje w pewnym stopniu modelowanie oparte na ramach [54]). Goczyła zaznacza także, że ramy, ze względu na zastosowanie metaklas, mogą charakteryzować się nierozstrzygalnością wnioskowania [85, s. 50]. Bazując na tych informacjach i porównując je z charakterystyką programowania logicznego zawartą w [97] („programowanie logiczne uwzględnia tylko część modeli podczas oceny wiązań semantycznych” i „jest ono niemonotoniczne”) i schematami opisującymi stopień formalizmu ontologii zawartymi w [97] [281] (gdzie ramy i programowanie logiczne zostały użyte zamiennie), można wnioskować, że pojęcie ram jest bliskie rozumieniu pojęcia programowania logicznego zawartemu w [97] [94] [8] i [53]. Potwierdza to analiza schematów zawartych w [94] [8], gdzie programowaniu logicznemu przypisuje się domniemaną negację i rozszerzenia proceduralne oraz częściową przynależność do logiki I rzędu, w tym do logiki opisowej. Wskazuje na to również opis języka WSMML-Flight, który w odniesieniu do języka WSMML-Core został rozszerzony o część programowania logicznego, niezawierającą się w logice opisowej, i w ten sposób został rozbudowany o metamodelowanie, ograniczenia i niemonotoniczną negację, a elementy te są przecież zawarte w ramach [53]. Jednak należy zaznaczyć, że wniosek ten jest ograniczony do rozumienia pojęcia programowania logicznego, zawartego w pracach [97] [94] [8] i [53].

Logika opisowa pozwala reprezentować wiedzę w ustrukturalizowanej i sformalizowanej formie. Dopuszcza ona m.in. konstrukcje: przecięcia, sumy, klasycznej negacji, ograniczenia (egzystencjalne, uniwersalne i liczności) subsumpcji, role, etc. Zaznaczyć należy, że istnieje wiele dialektów logiki opisowej charakteryzujących się różnym zakresem ekspresywności. Języki logiki opisowej są zazwyczaj podzielone na dwie części, tj.: zbiór aksjomatów terminologicznych, definiujących zależności i ograniczenia nałożone na koncepty i role (TBox); zbiór asercji unarnych i binarnych, opisujących instancje (indywidualności) konceptów oraz ról (ABox). Systemy logiki opisowej dostarczają różne możliwości wnioskowania, pozwalające uzyskać ukrytą wiedzę z tej, która jest reprezentowana jawnie. Są to np.: algorytm subsumpcji (jeżeli wszystkie instancje konceptu C są instancjami konceptu D, wtedy koncept C jest subsumowany przez D lub, inaczej rzecz ujmując, wtedy C zawiera się w D); algorytm wystąpień (indywidualność jest instancją konceptu C, jeżeli jest ona zawsze interpretowana jako element C); algorytm spójności (w tym przypadku sprawdzana jest niesprzeczność pomiędzy wiedzą zawartą w TBox i ABox) [85, s. 171-212] [9]. Logika opisowa, w przeciwieństwie do ram, jest monotoniczna i spełnia paradygmat o otwartości świata [155]. Jest ona również bardziej sformalizowana i ekspresywna od ram, ale jednocześnie charakteryzuje się mniejszą ekspresywnością od logiki I rzędu. Jest ona podzbiorem logiki I rzędu, bardzo bliskim logice modalnej, a większość dialektów logiki opisowej charakteryzuje się rozstrzygalnością [201] [54].

Istnieje szereg dialektów logiki opisowej, charakteryzowanych za pomocą symboli opisujących ekspresywność danego dialektu. Znaczenie tych symboli zawarto w tabeli 2.1.

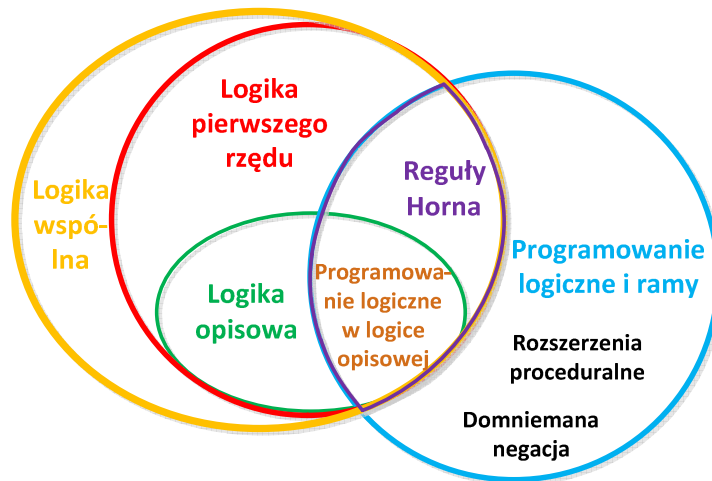
*Tabela 2.1 Symbole charakteryzujące ekspresywność dialektów logiki opisowej*

| Symbol | Znaczenie                                                                                                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AL     | koncept uniwersalny, koncept pusty, koncept atomowy, atomowa negacja, przecięcie konceptów, kwantyfikacja ogólna, ograniczona kwantyfikacja egzystencjalna |
| C      | pełna negacja, suma konceptów, pełna kwantyfikacja egzystencjalna                                                                                          |
| N      | niekwalifikowane ograniczenie liczebnościowe                                                                                                               |
| Q      | kwalifikowane ograniczenie liczebnościowe                                                                                                                  |
| S      | ALC oraz role przechodnie                                                                                                                                  |
| H      | hierarchia ról                                                                                                                                             |
| I      | role odwrotne                                                                                                                                              |
| F      | role funkcyjne                                                                                                                                             |
| O      | koncepty wyliczalne                                                                                                                                        |
| R      | złożona podrzędność ról, role rozłączne, role symetryczne i antysymetryczne, role zwrotne i przeciwzwrotne, lokalna zwrotność, rola uniwersalna            |
| rn     | negacja ról, przecięcie ról, suma ról                                                                                                                      |
| (D)    | dziedziny konkretne (typy danych)                                                                                                                          |

*Źródło: opracowanie własne na podstawie [85, s. 269-270] [45]*

Logika I rzędu obejmuje m.in. logikę opisową, modalną i reguły Horna. Języki logiki I rzędu zawierają takie terminy, jak: stałe, zmienne, symbole relacyjne (predykaty) i symbole funkcyjne (funkcje). Symbole funkcyjne zawarte w logikach I rzędu pozwalają na tworzenie nowych obiektów w trakcie wnioskowania. Ponadto logika I rzędu umożliwia definiowanie symboli funkcyjnych i relacji nie tylko stopnia 2 (połączenia unarne i binarne), ale również wyższego stopnia (połączenia n-arne). Logika ta, podobnie jak logika opisowa, jest monotoniczna i spełnia paradygmat o otwartości świata. Jednak logika I rzędu jest znacznie bardziej ekspresywna od ram i logiki opisowej. Wobec tego trudno jest w niej przeprowadzić wnioskowanie, a wiele przedstawionych w niej problemów jest nierozstrzygalnych [54].

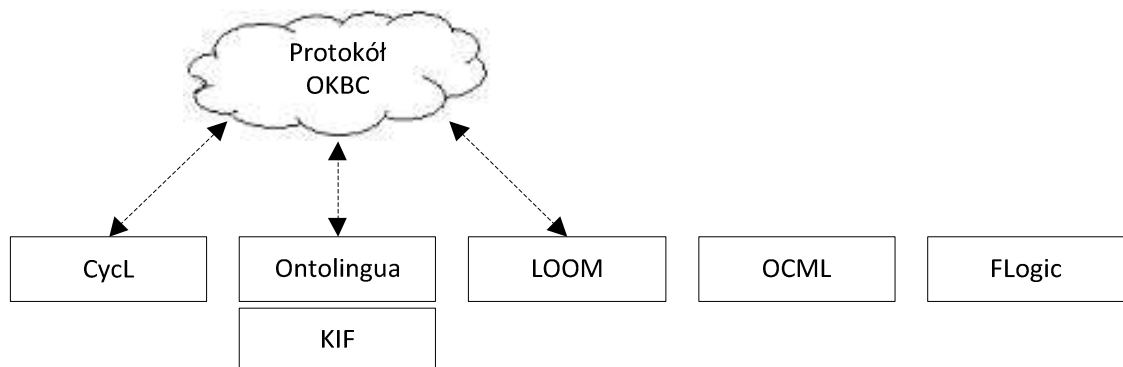
Logika wspólna jest tzw. "frameworkiem" rodziny logik I rzędu. Dostarcza ona pełnej składni i semantyki logik I rzędu, wobec czego każda konwencjonalna logika I rzędu może być bezpośrednio przełożona na logikę wspólną, bez utraty informacji lub zmiany znaczenia. Wspólna logika może więc służyć do wymiany wiedzy pomiędzy ontologiami zapisanymi za pomocą różnych języków wykorzystujących logikę I rzędu. Wśród dialektów logiki wspólnej można wyróżnić dialekty oparte na: języku KIF (CLIF, ang. Common Logic Interchange Format), grafach konceptualnych (CGIF, ang. Conceptual Graph Interchange Format), języku XML (XCL, ang. eXtended Common Logic Markup Language) [141]. Język wspólnej logiki jest monotoniczny. Ponadto język ten umożliwia połączenia n-arne elementów, a łączenia takie mogą być ustalane nie tylko za pomocą funkcji i relacji. Dostarcza on też konstrukcji wyższego rzędu, jak np. kwantyfikacja nad klasami. Umożliwia on też uzyskanie trzech rodzajów odpowiedzi mechanizmu wnioskującego (prawda, fałsz, wartość nieznana) [157]. Jednak, ze względu na to, że język wspólnej logiki jest bardzo rozbudowany, bardzo trudne w nim jest przeprowadzenie automatycznego wnioskowania [168]. Ponadto obecnie nie jest wyłoniony dialekt implementacji wspólnej logiki [157]. Wzajemne relacje pomiędzy omówionymi formalizmami, stanowiącymi podstawę istniejących języków ontologii, zawiera rysunek 2.2.



Rysunek 2.2 Relacje pomiędzy formalizmami będącymi podstawą języków ontologii

Źródło: opracowanie własne na podstawie [85, s. 184] [94] [8]

Jeżeli chodzi o konkretne języki reprezentacji ontologii, należy zaznaczyć, że poszczególne języki oparte są na różnych, omówionych wcześniej formalizmach i ich kombinacjach. Wobec tego różnią się one od siebie stopniem formalizacji, ekspresywnością i złożonością wnioskowania. Języki te można podzielić na dwie grupy: języki tradycyjne i języki znaczników. Ogólny układ tradycyjnych języków ontologii zawarto na rysunku 2.3. Języki znaczników związane z ontologiami zostały natomiast przedstawione na rysunku 2.4.



Rysunek 2.3 Tradycyjne języki ontologii

Źródło: opracowanie własne na podstawie [86]

CycL (ang. Cyc Language) jest pierwszym tradycyjnym językiem reprezentacji ontologii. Jest on oparty na ramach oraz logice I rzędu, a powstał na potrzeby budowy ontologii Cyc [86].

KIF (ang. Knowledge Interchange Format) jest oparty na logice I rzędu, a celem jego powstania było umożliwienie wymiany wiedzy pomiędzy różnymi systemami informatycznymi. KIF umożliwia niemonotoniczne wnioskowanie z reguł [86].

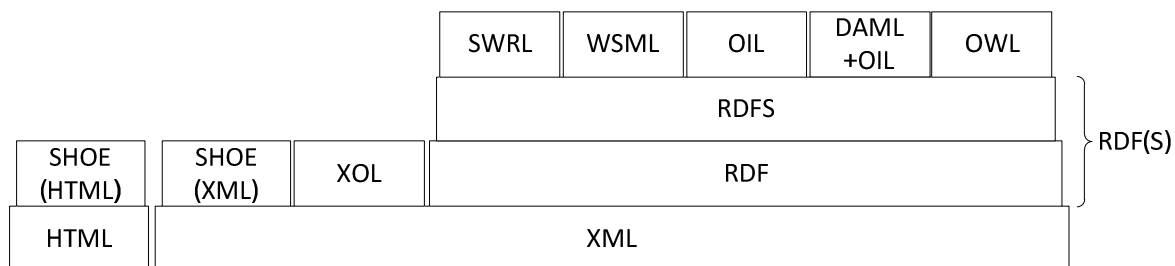
Język Ontolingua powstał na bazie języka KIF, ale został on dodatkowo rozszerzony o ramy [86]. Umożliwia on tworzenie takich elementów, jak: koncepty, taksonomie konceptów, n-arne relacje, funkcje, aksjomaty, instancje i procedury. Ze względu na wysoką ekspresywność trudno jest skonstruować dla niego mechanizm wnioskujący [48].

LOOM został opracowany nie jako język reprezentacji ontologii, lecz jego przeznaczeniem miało być konstruowanie systemów ekspertowych, baz wiedzy i innych aplikacji inteligentnych [86]. Wywodzi się on od języka KL-ONE [48]. LOOM jest ustanowiony na logice opisowej, a składa się z dwóch podjęzyków, tj.: języka opisowego, którego odpowiednikiem w logice opisowej jest TBox, i języka powiązań, któremu w logice opisowej odpowiada ABox. LOOM jest językiem monotonicznym [86]. Umożliwia on automatyczną klasyfikację conceptów. Zawiera on takie elementy, jak: concepty, taksonomie conceptów, n-arne relacje, funkcje, aksjomaty i reguły produkcyjne. Dodatkowo wspiera on obliczenia predykatów i programowanie proceduralne [86]. Wadą języka LOOM jest to, że jest on bardzo ekspresywny, w związku z czym jego mechanizm wnioskujący nie umożliwia pełnego wnioskowania (LOOM jest nierozstrzygalny) [86].

OCML (ang. Operational Conceptual Modeling Language) jest oparty na języku Ontolingua (wykorzystuje więc logikę I rzędu i ramy), a został zbudowany w celu opracowywania wykonywalnych ontologii i modeli rozwiązywania problemów [48]. Pozwala on definiować klasy, relacje, funkcje, aksjomaty i instancje oraz definiować reguły produkcyjne i dedukcyjne oraz rozszerzenia proceduralne. Zawiera on 12 podstawowych ontologii definiujących: typy danych, definicje prymitywów będących elementami ontologii (np. relacje), prymitywy używane do budowy metod rozwiązywania problemów (ang. Problem Solving Methods) oraz opis języka OCML. Ontologie te są wykorzystywane przez system dowodzenia twierdzeń. Zaznaczyć należy jednak, że system dowodzenia twierdzeń języka OCML, podobnie jak mechanizmy wnioskujące innych języków opartych na logice I rzędu i ramach, nie zapewnia pełnego wnioskowania [86].

FLogic (ang. Frame Logic) oparty jest paradygmacie programowania obiektowego, ramach i logice I rzędu. Początkowo zastosowaniem języka FLogic były dedukcyjne i obiektowe bazy danych, a dopiero potem został on zaadaptowany do zastosowania go w ontologiach [86]. FLogic umożliwia definiowanie conceptów, taksonomii conceptów, relacji binarnych, funkcji, instancji, aksjomatów i reguł dedukcyjnych [48]. Mechanizmy wnioskujące, przeznaczone dla tego języka, są w stanie zapewnić pełne wnioskowanie tylko dla jego monotonicznej części [86].

OKBC (ang. Open Knowledge Base Connectivity) w zasadzie nie jest językiem, lecz protokołem opartym na ramach [86], a wywodzi się on od protokołu GFP (ang. Generic Frame Protocol) [48]. OKBC umożliwia dostęp do baz wiedzy przechowywanych w różnych systemach reprezentacji wiedzy. Ponieważ OKBC jest protokołem dostępu do istniejących systemów reprezentacji wiedzy, nie dostarcza on żadnego mechanizmu wnioskującego [86].



Rysunek 2.4 Języki ontologii oparte na znacznikach

Źródło: opracowanie własne na podstawie [86] [53] [219, s. 29]

SHOE (ang. Simple HTML Ontology Extension) miał na celu wprowadzenie wiedzy semantycznej do dokumentów Web [86]. Został on oparty na ramach oraz regułach. Ponadto może korzystać ze składni HTML lub XML. Język SHOE zawiera reprezentację konceptów, ich taksonomii, n-arnych relacji, instancji i reguł dedukcyjnych. Mechanizm wnioskujący do pozyskania nowej wiedzy wykorzystuje właśnie reguły dedukcyjne [48].

XOL (ang. XML-based Ontology exchange Language) został opracowany w celu dostarczenia formatu wymiany różnych ontologii pomiędzy heterogenicznymi systemami oprogramowania [86]. Wykorzystuje on składnię XML. XOL zawiera podzbiór prymitywów zawartych w protokole OKBC, a dokładnie rzecz ujmując, zawiera on: koncepty, taksonomie i relacje binarne [48]. Nie jest to język ontologii *par excellence*, gdyż nie służy on do tworzenia ontologii. Wobec tego nie istnieje dla niego mechanizm wnioskujący [86].

RDF(S) (ang. Resource Description Framework + Schema) jest połączeniem (opartego na sieciach semantycznych) języka RDF i (wykorzystującego ramy) języka RDFS. Zasadniczo, język RDF(S) (podobnie jak jego przodkowie, tj. RDF i RDFS) nie powinien być rozumiany ściśle jako język ontologii, ale raczej jako ogólny język opisu danych w sieci Internet [86]. Język ten jest dużo mniej ekspresywny od niemal wszystkich wcześniej scharakteryzowanych, a stopniem wyrazistości odpowiada językowi XOL. Podobnie jak XOL, dostarcza on reprezentacji konceptów, taksonomii konceptów i relacji binarnych oraz korzysta ze składni XML. Działanie mechanizmów wnioskujących dla tego języka głównie sprowadza się do sprawdzania ograniczeń [48].

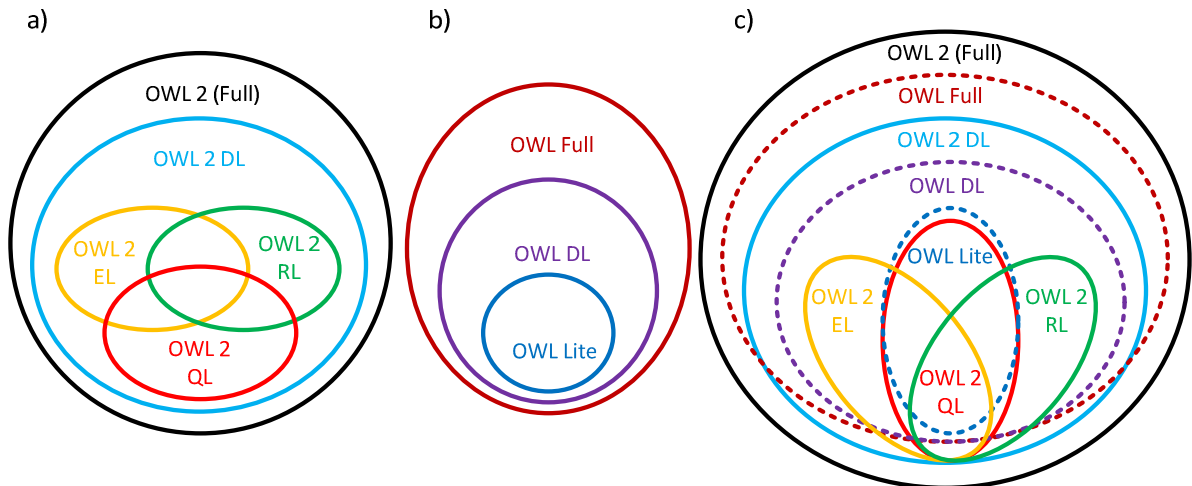
OIL (ang. Ontology Interchange Language, Ontology Inference Layer), podobnie jak języki SHOE i RDF(S), ma za zadanie wyrażać semantykę zasobów sieci Internet. W odniesieniu do RDF(S) posiada on więcej prymitywów wywodzących się z ram, a jego formalna semantyka i wnioskowanie oparte jest na logice opisowej, w związku z czym jest on rozstrzygalny. Składnia tego języka oparta jest na XML i RDF, ale ontologie OIL mogą być zapisywane także jako tekst. Wykorzystuje on dialekt SHIQ [86]. Udostępnia on reprezentację takich prymitywów, jak: koncepty, taksonomie, relacje binarne, funkcje i instancje [48]. Istnieją cztery odmiany tego języka: Core OIL, będący przecięciem Standard OIL i języka RDFS; Standard OIL, rozszerzający Core OIL o prymitywy oparte na ramach; Instance OIL, dodający do odmiany Standard OIL możliwość definiowania instancji konceptów i ról; Heavy OIL, który nie został zaimplementowany w praktyce, a miał być rozbudowany m.in. o metaklasy i reguły [88]. Dla tego języka dostępnych jest wiele mechanizmów wnioskujących, jak np. RACER i FaCT. Język ten został zastąpiony przez DAML+OIL [86].

DAML+OIL (ang. DARPA Agent Markup Language + Ontology Interchange Language) powstał z połączenia języka OIL z językiem DAML-ONT, będącym rozszerzeniem RDF(S) w kierunku ram. Ostatecznie jednak język ten jest oparty tylko na logice opisowej. W przeciwieństwie do OIL, DAML+OIL nie występuje w różnych odmianach. Dostarcza on takich samych prymitywów, jak język OIL, a oparty jest na składni XML i RDF(S). Podobnie jak OIL, wykorzystuje on dialekt SHIQ, wobec czego może on korzystać z tych samych mechanizmów wnioskujących [86]. Język DAML+OIL został zastąpiony przez OWL.



OWL (ang. Web Ontology Language), podobnie jak DAML+OIL, jest przeznaczony do publikowania i współdzielenia ontologii w sieci Internet oraz wykorzystuje składnię XML i RDF. OWL jest językiem monotonicznym [86]. Istnieją trzy odmiany języka OWL w wersji 1 różniące się od siebie ekspresywnością. Są to, oparte na logice opisowej, OWL Lite i OWL DL oraz, wykraczający poza logikę opisową, OWL Full. OWL Lite umożliwia tworzenie hierarchii i nakładanie prostych ograniczeń [238]. Jest on zgodny z dialektem SHIF(D) [53]. OWL DL dostarcza wszystkich prymitywów języka OWL z wyłączeniem metamodelowania [238]. Wykorzystuje on dialekt SHOIN(D) [53]. OWL Full jest najbardziej ekspresywną odmianą języka OWL 1, umożliwiającą m.in. metamodelowanie [238]. OWL Full jest w pełni kompatybilny z językiem RDF, czyli każdy dokument RDF jest też dokumentem OWL Full i każdy dokument OWL Full jest dokumentem RDF. Odmiany OWL Lite i OWL DL są w pełni rozstrzygalne i umożliwiają pełne wnioskowanie, podczas gdy OWL Full może być nierozstrzygalny, a wnioskowanie z tego języka może być mało przewidywalne [8].

Język OWL 2, w porównaniu do OWL w wersji 1, umożliwił tworzenie nowych konstrukcji, takich jak: klucze, nowe typy danych, kwalifikowane przez typ danych ograniczenia licznosci, nowe właściwości (m.in. asymetryczność i zwrotność oraz rozłączność właściwości) [30]. Szczegółowo różnice pomiędzy wersją 1 i 2 języka OWL zostały przedstawione w [91]. Poza pełnym językiem OWL 2 (który jest nierozstrzygalny) wyróżnia się także profile językowe: OWL 2 EL, OWL 2 QL i OWL 2 RL. OWL 2 EL jest oparty na dialekcie EL++, a jego przeznaczeniem jest tworzenie dużych ontologii i klasyfikacja, czyli określanie relacji między klasami (konceptami) zawartymi w ontologii [91]. Nie dopuszcza on stosowania: kwantyfikatora ogólnego, ograniczeń licznosci, sumy, negacji, niektórych właściwości i typów danych [308]. OWL 2 QL jest oparty na podzbiorze logiki opisowej DL-Lite [91], który to podzbiór jest z kolei bliski odmianie OWL Lite [28]. Jest on przeznaczony do zastosowań wymagających klasycznych baz danych i ontologii OWL, a jego konstrukcje mogą być zapisane również za pomocą diagramów UML i diagramów związków encji [91]. Nie dopuszcza on konstrukcji: kwantyfikatorów ogólnego i (w określonych sytuacjach) egzystencjalnego, ograniczeń pojedynczą wartością dla indywidualności i literałów, kluczy, lokalnej zwrotności, sumy, klas wyliczanych, ograniczeń licznosci, niektórych właściwości i typów danych [308]. OWL 2 RL przeznaczony jest dla aplikacji wymagających skalowalnego wnioskowania bez zbyt dużej utraty ekspresywności języka. Oparty jest on na podzbiorze będącym przecięciem logiki opisowej i reguł Horna [91], oznaczonym na rysunku 2.2 jako „programowanie logiczne w logice opisowej”. Nie są w nim dopuszczalne konstrukcje, w których po prawej stronie relacji podrzędności klas występuje wyrażenie, nie dopuszcza on również sumy klas rozłącznych i niektórych typów danych [308]. Każdy z tych profili jest oparty na podzbiorze logiki opisowej, więc również każdy z nich jest rozstrzygalny i umożliwia pełne wnioskowanie. Istnieje również nieformalny profil OWL 2 DL, ograniczający język OWL 2 do zbioru logiki opisowej. Wariant OWL 2 DL jest zgodny z dialektem SROIQ(D) [91] [287]. Zależności pomiędzy pełnym językiem OWL 2 oraz jego profilami, a także pomiędzy odmianami języka OWL 1, zawarto na rysunku 2.5.



Rysunek 2.5 Zależności pomiędzy profilami języka OWL 2 i odmianami języka OWL 1

Źródło: opracowanie własne na podstawie [288] [8] [308]

Analizując rysunek 2.5 (a), można zauważyć, że nieformalny profil OWL 2 DL zawiera się w pełnym języku OWL 2 i zawiera on formalne profile OWL 2, które mają również część wspólną. Interpretując rysunek 2.5 (b), można stwierdzić, że odmiana OWL DL jest bardziej ekspresywna od OWL Lite, ale mniej ekspresywna od odmiany OWL Full. Najtrudniej jest ustalić zależności między profilami języka OWL 2 i odmianami OWL 1, przedstawione w części (c) rysunku 2.5. Język OWL Full zawiera się w pełnym języku OWL 2, gdyż OWL 2 rozszerzył OWL Full o nowe konstrukcje, jak np. nowe właściwości. Z tego samego względu odmiana OWL DL zawiera się w profilu OWL 2 DL. Ponadto OWL 2 DL zawiera konstrukcje, które nie występowały w języku OWL Full (np. zwrotność), ale też nie zawiera wszystkich konstrukcji występujących w OWL Full. Wobec tego między tymi zbiorami nie zachodzi relacja zawierania się zbiorów. Profil OWL 2 EL zawiera np. klucze, niewystępujące w OWL Full, więc profil ten wykracza poza zbiór OWL Full oraz OWL DL. Podobna sytuacja zachodzi dla pozostałych profili: OWL 2 QL zawiera np. asymetryczność, a OWL 2 RL - rozłączność właściwości. Konstrukcje te nie występowały w języku OWL Full, więc profile OWL 2 QL i OWL 2 RL wykraczają poza język OWL Full. Jednocześnie profile te, podobnie jak profil OWL 2 DL, nie zawierają wielu konstrukcji dostępnych w języku OWL Full, wobec czego nie zachodzi tutaj relacja zawierania się zbiorów. Na rysunku 2.5 odzwierciedlono także podobieństwo między profilem OWL 2 QL oraz odmianą OWL Lite.

SWRL (ang. Semantic Web Rule Language) nie jest klasycznie rozumianym językiem ontologii opartym na znacznikach. Stanowi on raczej uzupełnienie systemów ontologicznych wykorzystujących język OWL i jest proponowanym językiem zapisu reguł, wykorzystywanym przez narzędzia do budowy ontologii. Jeżeli profil językowy OWL 2 RL jest rozumiany jako przecięcie zbiorów logiki opisowej i reguł Horna, to język SWRL może być w przybliżeniu interpretowany jako unia tych zbiorów [209]. Jego składnia jest oparta na językach XML i RDF. Jest to język bardziej ekspresywny od OWL DL, ale jego reguły nie zawsze są rozstrzygalne [10].

WSML (ang. Web Service Modeling Language) jest językiem specyfikacji różnych aspektów usług Sieci Semantycznej (ang. Semantic Web). Jest on oparty na logice opisowej,

logice I rzędu, programowaniu logicznym i ramach. Na rysunku 2.4 został on ustanowiony na języku RDFS, gdyż wykorzystuje on m.in. składnię RDFS. Ponadto niektóre jego odmiany wykorzystują reguły Horna. Istnieją cztery odmiany tego języka, z których każda kolejna charakteryzuje się coraz większą ekspresywnością. WSML-Core oparty jest na przecięciu logiki opisowej SHIQ i logiki Horna, w związku z czym jest on zbliżony do profilu OWL 2 RL (na rysunku 2.2 ten obszar oznaczono jako „programowanie logiczne w logice opisowej”). WSML-Core udostępnia takie elementy, jak: koncepty, atrybuty, instancje, hierarchie konceptów oraz wsparcie dla typów danych. Odmiana WSML-DL jest rozszerzeniem WSML-Core, opartym na logice opisowej, i może być wyrażona za pomocą dialektu SHIQ(D). Z kolei WSML-Flight rozszerza WSML-Core o język reguł (reguły bezpieczne), ograniczenia, n-arne relacje, metaklasy oraz domniemaną negację. Oparty jest on na wariancie języka F-Logic, więc również na programowaniu logicznym i ramach. WSML-Rule rozszerza odmianę WSML-Flight w jeszcze większym stopniu w stronę programowania logicznego, m.in. o reguły niepewne i symbole funkcyjne. Ze względu na to, że odmiany WSML-Flight oraz WSML-Rule korzystają tylko z domniemanej negacji, nie są one monotoniczne. Z kolei WSML-Core nie zawiera domniemanej negacji, ale również nie korzysta z negacji klasycznej, zawartej w odmianie WSML-DL. W fazie opracowywania jest także najbardziej ekspresywna odmiana języka WSML, tj. WSML-Full. Ma ona łączyć pozostałe dialekty języka WSML [53] [276].

Usystematyzowanie informacji o poszczególnych językach reprezentacji ontologii zawiera tabela 2.2. Przedstawiono w niej elementy języków ontologii, dzieląc je na te, które są wspierane przez dany język, co oznaczono symbolem ‘+’, niewspierane (‘-’), oraz niewspierane, ale względnie łatwe do zaimplementowania w sposób pośredni (‘p’). Zasadnicza część tabeli 2.2 została opracowana w oparciu o publikacje przeglądowe na temat języków ontologii [30] [47] [86]. Ponadto została ona uzupełniona o informacje na temat możliwości zastosowania więzów integralności, podziału zupełnego i funkcji dla języka OWL 2 oraz o informacje na temat języka WSML w różnych odmianach. W tabeli 2.2 nie zawarto charakterystyki języków WSML-Flight i WSML-Full, gdyż pod względem przedstawionych w tabeli 2.2 cech odmiany te różnią się tylko bardzo nieznacznie od odmiany WSML-Rule. Natomiast więcej różnic występuje pomiędzy odmianami WSML-Core, WSML-DL i WSML-Rule. Jak zaznaczono wcześniej, dialekt WSML-Core zawiera: koncepty, atrybuty, instancje i hierarchie konceptów. Ponadto w [53] zaznaczono, że zawiera on też relacje binarne i hierarchie relacji. Z kolei w jego ostatniej specyfikacji zawartej w [276] stwierdzono, że nie pozwala on tworzyć relacji (a wobec tego również ich hierarchii). Jednak w [275] zawarto informację o tym, że „relacje binarne w sensie ontologicznym nie są niczym innym niż definicjami atrybutów”. Można więc budować relacje binarne poprzez definiowanie atrybutów, których zasięg określany jest przez koncepty (stąd oznaczenie „p” przy tym elemencie języka WSML-Core). Ponadto hierarchie relacji binarnych można tworzyć poprzez użycie operatora implikacji pomiędzy definicjami atrybutów. Podobna sytuacja zachodzi w przypadku odmiany WSML-DL, która dodatkowo, przy wykorzystaniu negacji, sumy i kwantyfikatorów, umożliwia utworzenie: dekompozycji rozłącznej, partycji i podziału zupełnego. W podobny sposób elementy te można utworzyć w pozostałych odmianach języka WSML.

Tabela 2.2 Elementy poszczególnych języków ontologii

|                              | Ontolingua | LOOM | OCML | FLogic | OKBC | SHOE | XOL | RDF(S) | OIL | DAML+OIL | OWL | OWL 2 | WSML-Core | WSML-DL | WSML-Rule |
|------------------------------|------------|------|------|--------|------|------|-----|--------|-----|----------|-----|-------|-----------|---------|-----------|
| <b>Koncepty</b>              |            |      |      |        |      |      |     |        |     |          |     |       |           |         |           |
| <b>Atrybuty</b>              |            |      |      |        |      |      |     |        |     |          |     |       |           |         |           |
| Atrybuty instancji           | +          | +    | +    | +      | +    | +    | +   | +      | +   | +        | +   | +     | +         | +       | +         |
| Atrybuty klas                | +          | -    | +    | +      | +    | -    | +   | p      | -   | p        | p   | +     | +         | +       | +         |
| <b>Ograniczenia</b>          |            |      |      |        |      |      |     |        |     |          |     |       |           |         |           |
| Ograniczenia typów           | +          | +    | +    | +      | +    | +    | +   | +      | +   | +        | +   | +     | +         | +       | +         |
| Ograniczenia liczności       | +          | +    | +    | p      | +    | -    | +   | -      | +   | +        | +   | +     | -         | +       | +         |
| <b>Taksonomie konceptów</b>  |            |      |      |        |      |      |     |        |     |          |     |       |           |         |           |
| Podklasy                     | +          | +    | +    | +      | +    | +    | +   | +      | +   | +        | +   | +     | +         | +       | +         |
| Rozłączność-dekompozycja     | +          | +    | +    | p      | -    | -    | -   | -      | +   | +        | +   | +     | -         | p       | p         |
| Podział zupełny-dekompozycja | +          | -    | p    | p      | -    | -    | -   | -      | p   | p        | p   | +     | -         | p       | p         |
| Partycje                     | +          | +    | +    | p      | -    | -    | -   | -      | +   | +        | p   | +     | -         | p       | p         |
| <b>Relacje</b>               |            |      |      |        |      |      |     |        |     |          |     |       |           |         |           |
| Relacje binarne              | +          | +    | +    | +      | +    | +    | +   | +      | +   | +        | +   | +     | p         | p       | +         |
| Relacje n-arne               | +          | +    | +    | p      | p    | +    | p   | p      | p   | p        | p   | +     | p         | p       | +         |
| Hierarchia relacji           | +          | +    | +    | p      | -    | -    | -   | +      | +   | +        | +   | +     | p         | p       | +         |
| Więzy integralności          | +          | +    | +    | +      | -    | -    | -   | -      | -   | -        | -   | -     | -         | -       | +         |
| <b>Funkcje</b>               |            |      |      |        |      |      |     |        |     |          |     |       | -         |         |           |
| Funkcje binarne              | +          | +    | +    | +      | p    | -    | p   | -      | +   | +        | +   | +     | -         | -       | +         |
| Funkcje n-arne               | +          | +    | +    | +      | -    | -    | -   | -      | -   | -        | -   | -     | -         | -       | +         |
| <b>Inne komponenty</b>       |            |      |      |        |      |      |     |        |     |          |     |       |           |         |           |
| Aksjomaty formalne           | +          | +    | +    | +      | -    | -    | -   | -      | -   | -        | -   | p     | +         | +       | +         |
| Instancje                    | +          | +    | +    | +      | +    | +    | +   | +      | +   | +        | +   | +     | +         | +       | +         |
| Reguły                       | -          | +    | +    | -      | -    | +    | -   | -      | -   | -        | -   | -     | -         | -       | +         |

*Źródło: opracowanie własne na podstawie [30] [47] [86] [53] [276] [275]*

Opierając się na tabeli 2.2, można stwierdzić, że każdy język ontologii pozwala reprezentować wiele jej składników. Ponadto nie są to tylko proste elementy (takie jak zmienne, w klasycznych językach programowania), ale również konstrukcje złożone z wielu elementów podstawowych. Języki reprezentacji ontologii są więc językami o względnie dużej złożoności. Złożoność ta i liczność konstrukcji, które można przedstawić za pomocą języków ontologii powoduje, że zbudowanie ontologii zgodnej z odpowiednim językiem reprezentacji nie jest zadaniem łatwym. W celu uproszczenia procesu budowy ontologii opracowano liczne edytory, pozwalające w wygodny sposób opracowywać ontologie i badać poprawność ich konstrukcji.

### 2.3 Edytory ontologii

Edytory ontologii są narzędziami programowymi, opartymi na formalizmie ontologii, które umożliwiają interaktywną budowę i modyfikację ontologii za pomocą graficznego interfejsu użytkownika. Edytory ontologii zaliczają się do szerszej grupy „narzędzi inżynierii ontologii”, a można je określić również jako „narzędzia rozwoju ontologii”. Niektóre z edytorów są przeznaczone do budowy ontologii dla konkretnej dziedziny (np. OBO-Edit i DAG-Edit przeznaczone dla bioinformatyki), a inne z nich wspierają budowę ontologii z wykorzystaniem różnych technik, jak np. przetwarzanie języka naturalnego i uczenie maszynowe [196]. Wśród klasycznych edytorów ontologii, których podstawowym zadaniem

jest umożliwienie interaktywnej budowy ontologii, wyróżnić można edytory działające na stronach WWW (np. WebProtege [297]) oraz narzędzia instalowane lokalnie w systemie operacyjnym. W niniejszej pracy dokonano analizy edytorów służących przede wszystkim do budowy i edycji ontologii, które działają lokalnie w systemie. Pominięto natomiast narzędzia, w których praca odbywa się za pośrednictwem przeglądarki internetowej i strony WWW. Nie uwzględniono tutaj również edytorów ontologii dla konkretnych dziedzin. Jednak, nawet przy tak ograniczonej analizie, należałoby uwzględnić bardzo dużo narzędzi do budowy i edycji ontologii. Wobec tego w poniższym zestawieniu zdecydowano się ująć tylko najpopularniejsze edytory, tj.: Protege, Hozo, NeOn Toolkit, KAON2, DogmaModeler, Apollo, Swoop, OntoStudio i TopBraid Composer.

Protege jest bezpłatnym edytorem, opartym na licencji „open-source”. Udostępnia on intuicyjny i łatwy w użyciu interfejs graficzny do opracowywania ontologii. Edytor ten jest dostępny w dwóch wersjach: opartej na ramach wersji 3 oraz opartej na języku OWL 2 wersji 4. Protege napisany jest w języku JAVA, w związku z czym charakteryzuje się on przenośnością i niezależnością od platformy sprzętowej i programowej. Ponadto dostępnych jest do niego wiele rozszerzeń, znacznie zwiększających jego funkcjonalność w zakresie m.in.: wizualizacji ontologii, wnioskowania, zarządzania wersjami ontologii, edycji reguł SWRL i tworzenia zapytań SPARQL. Protege zawiera również szereg narzędzi służących do refaktoryzacji ontologii, które pozwalają na: automatyczną zamianę identyfikatorów URI, rozłączanie i łączenie aksjomatów opisujących klasy, kopiowanie, usuwanie i przenoszenie aksjomatów oraz łączenie ontologii. Obsługuje on m.in. takie języki, jak: RDF, OWL i OWL 2 (wersja 4) oraz RDFS i OWL (wersja 3). Niewątpliwą zaletą Protege jest bardzo duża społeczność jego użytkowników, w związku z czym dostępnych jest wiele źródeł informacji na temat tego edytora. Wobec tego uzyskanie pomocy w zakresie jego wykorzystania nie stanowi problemu. Wraz z edytorem Protege dostarczana jest też bardzo bogata dokumentacja, umożliwiającą szybką naukę obsługi tego edytora i prezentującą sposoby tworzenia w nim zaawansowanych konstrukcji ontologicznych. Edytor ten jest stale rozwijany pod względem nowych funkcjonalności i opracowywane są dla niego nowe rozszerzenia [30] [6] [89] [123].

Hozo jest dostępny bezpłatnie na zasadach licencji „open-source”, a ponadto dostępne jest również tzw. „Hozo API” pozwalające wykorzystywać dane utworzone w edytorze Hozo, w aplikacjach Java. Hozo dostarcza interfejs graficzny, pozwalający przeglądać i modyfikować ontologie za pomocą operacji myszy. Hozo jest oparty na teorii ontologii i metodologiach budowy ontologii, a budowane w nim ontologie są reprezentowane za pomocą języka ram opartego na XML. Edytor Hozo jest zaimplementowany w języku JAVA. Udostępnia on wizualizację ontologii oraz szereg narzędzi służących do wspólnego opracowywania ontologii (zarządzanie wersjami, współdzielenie ontologii, pracę grupową wraz z unikaniem konfliktów podczas modyfikacji ontologii przez użytkowników). Mechanizm wnioskujący Hozo na bieżąco weryfikuje spójność ontologii. Edytor ten wspiera języki: RDF(S) i OWL. Jest dla niego dostępna względnie bogata dokumentacja, jednak jest to produkt wywodzący się z Japonii, wobec czego społeczność jego angielskojęzycznych użytkowników nie jest zbyt duża. Może to skutkować trudnościami w uzyskaniu pomocy od społeczności użytkowników podczas pracy z tym edytorem [30] [196] [126].

NeOn Toolkit jest dostępny w dwóch wersjach. Wersja podstawowa udostępniona jest na licencji „Eclipse Public License” i jest ona bezpłatna, a wersja rozszerzona oferuje dodatkowe możliwości i wykorzystuje licencję komercyjną. Edytor ten jest oparty na języku JAVA, a w szczególności na środowisku programistycznym Eclipse, w związku z czym jego interfejs użytkownika jest zbliżony właśnie do Eclipse. Wśród funkcji edytora należy wymienić wizualizację ontologii, odpytywanie ontologii za pomocą zapytań SPARQL i wnioskowanie za pomocą mechanizmów Pellet i Hermit. Dla tego edytora dostępne są również liczne rozszerzenia związane m.in. z: tworzeniem dokumentacji ontologii, oceną ontologii, pozyskiwaniem wiedzy i dopasowywaniem ontologii. Problemem jest jednak to, że część rozszerzeń dostępna jest na licencjach komercyjnych, w związku z czym trzeba ponosić opłaty za korzystanie z nich. NeOn Toolkit wspiera edycję ontologii z wykorzystaniem języków FLogic, RDF(S) i OWL2. Społeczność jego użytkowników jest względnie liczna, a do edytora dostępna jest stosunkowo obszerna dokumentacja [30] [89] [122].

KAON2 jest dostępny bezpłatnie do badań akademickich, ale istnieje też komercyjna wersja tego edytora (OntoBroken OWL). Oparty jest on na językach OWL-DL i FLogic. Podobnie jak wcześniej omówione edytory, KAON2 zaimplementowany jest w języku JAVA, a umożliwia on generowanie instancji w ontologii na podstawie baz relacyjnych oraz tworzenie zapytań SPARQL. Wykorzystany w nim mechanizm wnioskujący, w przeciwieństwie do większości innych narzędzi wnioskowania, nie wykorzystuje algorytmów tablicowych, lecz redukuje dialekt SHIQ(D) do programu datalog. Wadą tego edytora jest fakt występowania problemów przy stosowaniu ograniczeń w ontologii. Obsługuje on języki OWL-DL, FLogic i język reguł SWRL. Społeczność jego użytkowników nie jest duża, a dokumentacja dostarczana wraz z edytorem jest bardzo uboga [30] [121].

DogmaModeler jest edytorem dostępnym na licencji GPL. Oparty jest on na metodzie modelowania z wykorzystaniem graficznych diagramów ORM (ang. Object Role Modeling), co ma ułatwiać proces modelowania zwykłym użytkownikom. Podobnie jak znaczna większość innych edytorów, oparty on jest na języku JAVA. W związku z wykorzystaniem diagramów ORM budowane ontologie są wizualizowane, a ponadto edytor wspiera werbalizację diagramów OML z użyciem języka „pseudo-naturalnego” i wnioskowanie przy użyciu mechanizmu Racer. DogmaModeler obsługuje import i eksport plików w językach: OWL 2, RDF i RDFS oraz dialekt SHIQ logiki opisowej. Społeczność użytkowników tego edytora jest bardzo mała, a dostępna pomoc i dokumentacja nie są zbyt obszerne [30] [127].

Apollo, podobnie jak większość omówionych edytorów, jest dostępny bezpłatnie na licencji „open-source”. Umożliwia on modelowanie wiedzy w sposób przyjazny użytkownikowi. Oparty jest on na ramach, a ze względu na wykorzystanie do jego implementacji języka JAVA charakteryzuje się on wieloplatformowością. Wraz z nim dostarczane są rozszerzenia umożliwiające: zapis ontologii i ich eksport do formatów CLOS (ang. Common Lisp Object System), OCML i XML oraz sprawdzanie spójności ontologii. Nie udostępnia on natomiast żadnego narzędzia do wizualizacji ontologii. Społeczność użytkowników tego edytora nie jest duża, wobec czego trudno jest uzyskać pomoc przy rozwiązywaniu problemów związanych z pracą z tym edytorem. Również dokumentacja dostarczana z edytorem jest bardzo uboga. Rozwój tego edytora został porzucony w 2005 roku [6] [148] [120].

SWOOP jest dostępny na licencji „open source”. Jego interfejs graficzny jest zbliżony do interfejsów przeglądarek internetowych i umożliwia on nawigowanie po ontologii w sposób podobny do poruszania się po serwisie internetowym, tj. za pomocą hiperłączy. Dedykowany jest on dla języka OWL i wspiera tylko ten język. Jego implementacja wykorzystuje natomiast język JAVA. Wśród jego funkcji wymienić należy: prezentację ontologii OWL za pomocą składni RDF/XML, OWL i Turtle, kontrolę wersji ontologii i umożliwianie współpracy podczas tworzenia ontologii. Wraz z edytorem dostarczane są także dwa mechanizmy wnioskujące, umożliwiające sprawdzenie spójności ontologii: „lekki” mechanizm dla RDFS i pełny dla OWL-DL (Pellet, dostarczany w formie rozszerzenia). Pomoc i dokumentacja, dostępne dla tego edytora, są bardzo ubogie. W roku 2006 zaprzestano prac nad rozwojem edytora SWOOP [196] [6] [89] [128].

OntoStudio jest komercyjną kontynuacją edytora OntoEdit, który nie jest już dostępny w sieci Internet. Model danych edytora OntoStudio, tak jak było to w przypadku OntoEdit, bazuje na ramach. Podobnie jak NeOn Toolkit, edytor ten jest oparty na języku JAVA, a w szczególności na środowisku programistycznym Eclipse. W zasadzie NeOn Toolkit i OntoStudio bazują na tych samych kodach źródłowych [122]. Funkcje oferowane przez ten edytor to m.in.: grupowe opracowywanie i współdzielenie ontologii, wizualizacja ontologii, eksport ontologii do modelu relacyjnego bazy danych oraz import danych m.in. z baz relacyjnych, formatu Excel, UML 2.0. Obsługiwane przez OntoStudio języki to: OWL, RDF(S), logika obiektowa, języki reguł oraz język zapytań SPARQL. OntoStudio wykorzystuje mechanizm wnioskujący OntoBroken, będący komercyjnym rozszerzeniem mechanizmu zawartego w edytorze KAON2. Ze względu na fakt, że OntoStudio jest edytorem komercyjnym, dostępne jest do niego wsparcie producenta oraz bogata dokumentacja [6] [129] [73].

TopBraid Composer jest oprogramowaniem komercyjnym, ale dostępna jest również jego bezpłatna wersja o ograniczonej funkcjonalności. Edytor ten ma swoje korzenie w edytorze Protege, w związku z czym niektóre jego elementy są podobne do tych, które zastosowano w Protege. Interfejs graficzny edytora Top Braid Composer jest oparty na środowisku programistycznym Eclipse i Jena API. Jego bezpłatna wersja umożliwia edycję ontologii i wspiera zapytania SPARQL, ale nie zawiera chociażby: wizualizacji ontologii, wsparcia refaktoryzacji, rozbudowanej obsługi zapytań SPARQL i konwersji do wielu formatów bazodanowych. Wersja bezpłatna obsługuje tylko tworzenie i edycję plików RDF i OWL. Umożliwia ona wnioskowanie (za pomocą mechanizmu wnioskującego Pellet), badanie spójności i wykrywanie błędów w ontologii. Dla wersji darmowej brak jest również wsparcia producenta [6] [89] [130].

Poza scharakteryzowanymi edytorami ontologii dostępne są także takie edytory, jak np.: TwoUse, mający formę rozszerzenia dla środowiska Eclipse; przeznaczony do pracy grupowej Knoodl; Vitro, powstały w ramach projektu VIVO; i inne. Również wiele edytorów przestało być rozwijanych i nie są one już dostępne. Przykładem takich narzędzi są chociażby: Ontolingua, Chimaera, WebODE i OntoEdit. Podsumowanie przytoczonych wcześniej informacji na temat podstawowych cech poszczególnych edytorów ontologii zostało zawarte w tabeli 2.3.

Tabela 2.3 Podstawowe cechy wybranych edytorów ontologii

| Cecha                       | Protege 4   | Hozo        | NeOn Toolkit           | KAON2       | Dogma Modeler             | Apollo      | Swoop       | Onto Studio               | TopBraid Composer |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------------|
| <b>Licencja użytkownika</b> | Open Source | Open Source | Eclipse Public License | Darmowa     | GPL                       | Open Source | Open Source | Komercyjna                | Darmowa           |
| <b>Języki ontologii</b>     | RDF, OWL 2  | RDF(S), OWL | FLogic, RDF(S), OWL 2  | FLogic, OWL | RDF, RDFS, DL-SHIQ, OWL 2 | CLOS, OCML  | RDFS, OWL   | RDF(S), OWL, Object Logic | RDF, OWL          |
| <b>Reguły</b>               | +           | -           | +                      | +           | -                         | -           | -           | +                         | -                 |
| <b>SPARQL</b>               | +           | -           | +                      | +           | -                         | -           | -           | +                         | +                 |
| <b>Wnioskowanie</b>         | +           | +           | +                      | +           | +                         | +           | +           | +                         | +                 |
| <b>Wizualizacja</b>         | +           | +           | +                      | +           | +                         | -           | -           | +                         | -                 |
| <b>Integracja</b>           | +           | +           | +                      | -           | -                         | -           | +           | +                         | -                 |
| <b>Wersjonowanie</b>        | +           | +           | -                      | -           | -                         | -           | +           | +                         | -                 |
| <b>Dokumentacja</b>         | +           | +           | +                      | -           | +                         | -           | -           | +                         | +                 |
| <b>Wsparcie</b>             | +           | +           | +                      | -           | -                         | -           | -           | +                         | -                 |
| <b>Data wydania</b>         | 3/2013      | 9/2011      | 12/2011                | 6/2008      | 5/2012                    | 6/2005      | 1/2006      | 6/2011                    | 04/2013           |

*Źródło: opracowanie własne na podstawie [30] [164] [196] [6] [148] [195] [89] [123] [120] [128] [126] [122] [121] [129] [73] [130][127]*

W tabeli 2.3 zawarto informacje na temat licencjonowania edytorów i wsparcia przez nie języków: ontologii, reguł (najczęściej SWRL) i zapytań SPARQL. Tabela 2.3 uwzględnia również: obecność mechanizmów wnioskujących w poszczególnych edytorach, dostępność narzędzi do wizualizacji ontologii oraz umożliwianie przez edytory integracji i zarządzania wersjami ontologii. Dodatkowo w tabeli 2.3 wskazano na istnienie obszernej dokumentacji do poszczególnych edytorów i łatwość uzyskania wsparcia producenta lub użytkowników danego edytora. Ponadto poprzez datę wydania ostatniej wersji edytora zasygnalizowano, czy producent danego narzędzia nadal je rozwija.

## 2.4 Metodologie projektowania i budowy ontologii

W literaturze wyróżnia się liczne metodologie budowy i projektowania ontologii. Wiele z nich jest scharakteryzowanych chociażby w pracach: Corcho i in. [48], Casellas [30], Sure i in. [270], Fernandez-Lopez i Gomez-Perez [79]. Najbardziej szczegółowa charakterystyka większości metodologii zawarta jest w pracy Gomez-Perez i in. [87]. Wśród metodologii budowy ontologii wymienić można m.in.: Cyc, metodologię Gruningera i Foxa, metodologię Usholda i Kinga, On-To-Knowledge, Methontology, DILIGENT, HCOME, DOGMA, NeOn oraz wiele innych.

Metodologia Cyc jest złożona z trzech etapów. Etap I polega na ręcznym kodowaniu ukrytej i jawnej wiedzy zawartej w źródłach. Odbywa się ono bez pomocy języka naturalnego i systemów uczących. Etap II stanowi kodowanie wiedzy przez człowieka, wspomagane przez narzędzia wykorzystujące wiedzę już wprowadzoną do bazy. Etapem III jest natomiast kodowanie wiedzy przeprowadzone przez narzędzia programowe. W fazie tej ludzie tylko wskazują źródła wiedzy i mogą wyjaśniać najbardziej skomplikowane partie tekstu. Zgodnie



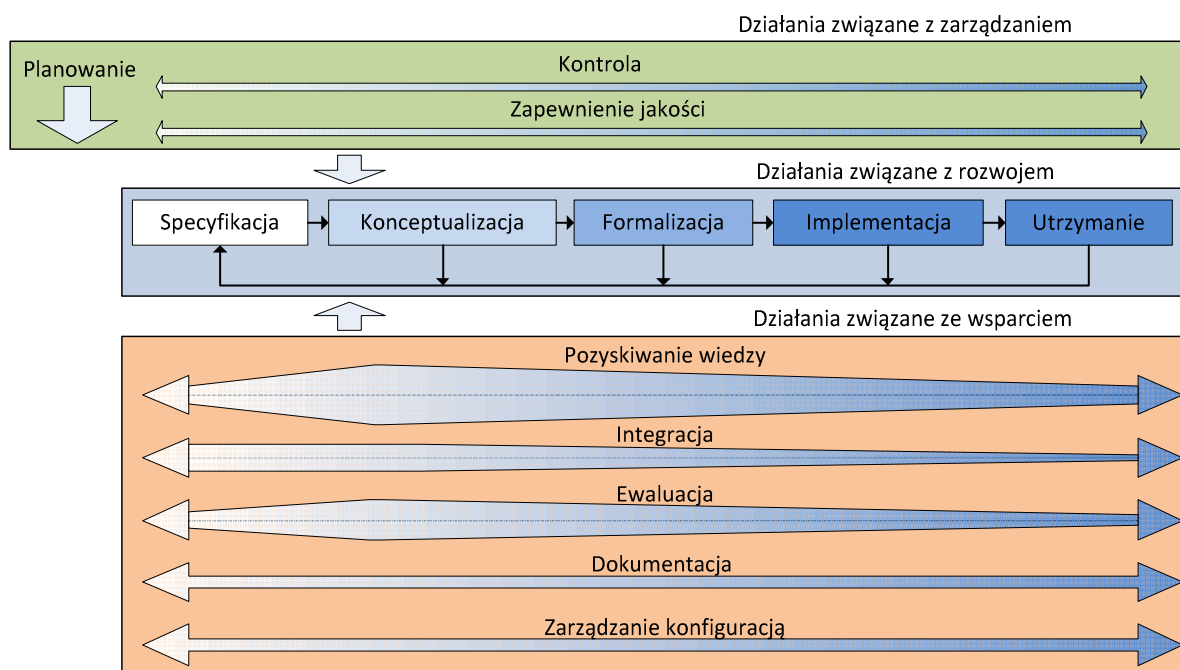
z metodologią Cyc w każdej fazie wykonywane są dwa zadania. Zadaniem pierwszym jest rozwój reprezentacji wiedzy i ontologii najwyższego rzędu, zawierającej najbardziej ogólne pojęcia. Zadanie drugie jest to reprezentowanie pozostałej części wiedzy za pomocą pojęć podstawowych, takich jak atrybuty i koncepty [87][79].

Metodologia Gruningera i Foxa inaczej nazywana jest metodologią TOVE, gdyż posłużyła ona do zbudowania ontologii o właśnie takiej nazwie [233]. Metodologia ta pozwala zbudować logiczny model wiedzy określany za pomocą ontologii. Składa się na nią sześć etapów. I etap to identyfikacja scenariusza motywacyjnego, tj. scenariusza rozwoju aplikacji, która będzie korzystać z ontologii. Scenariusz ten opisuje zbiór wymagań, które ontologia powinna spełniać. II etapem jest sformułowanie nieformalnych pytań kompetencyjnych, na które powinna odpowiadać ontologia. Kolejnym etapem jest określenie terminologii z wykorzystaniem logiki I rzędu, a w szczególności identyfikacja obiektów (instancji) i predykatów reprezentujących koncepty, atrybuty i relacje. IV etap dotyczy sformalizowania pytań kompetencyjnych za pomocą logiki I rzędu, a etap V polega na określeniu aksjomatów, również z wykorzystaniem logiki I rzędu. Ostatnim krokiem jest etap VI, w którym należy określić warunki, pozwalające na uznanie ontologii za kompletną [87] [79] [95].

Metodologia Usholda i Kinga jest też określana jako model przedsięwzięć (ang. Enterprise Model Approach) [233]. Na metodologię tę składają się cztery etapy. Etap I polega na identyfikacji celu budowy ontologii, a etapem II jest sama budowa ontologii. Na etap budowy składają się trzy kroki. Krokiem 1 jest identyfikacja i zdefiniowanie kluczowych pojęć i relacji, krok 2 polega na kodowaniu pojęć i relacji do formalnego języka ontologii, a krok 3 ma na celu sprawdzenie, czy można zintegrować istniejące ontologie z tą, która jest budowana. Etapem III jest ocena: ontologii pod względem technicznym, pytań kompetencyjnych i specyfikacji. Etap IV polega na określeniu wytycznych dotyczących dokumentacji ontologii zależnie od typu i celu budowy ontologii [87] [79] [282].

On-To-Knowledge koncentruje się na budowie ontologii z uwzględnieniem jej wykorzystania w przyszłości. Wobec tego za pomocą tej metodologii budowane są ontologie zależne od aplikacji, w których mają one być stosowane. Metodologia On-To-Knowledge składa się z pięciu etapów. Etapem I jest studium wykonywalności uwzględniające przypadki i scenariusze użycia. Etap II jest to rozpoczęcie procesu budowy ontologii. W wyniku tego etapu otrzymuje się wymagania dotyczące ontologii, takie jak: cel ontologii, wskazówki projektowe, konwencje nazw, źródła wiedzy, potencjalni użytkownicy i scenariusze użycia, pytania kompetencyjne, wspierane aplikacje. Innymi efektami uzyskiwanymi w tym etapie są: wstępny słownik pojęć ontologii i półformalny opis ontologii. Etapem III jest udoskonalanie, mające na celu wytworzenie dojrzałej ontologii, która jest ukierunkowana na aplikację. Na etap ten składają się dwa kroki: pozyskiwanie wiedzy od ekspertów dziedzinowych i formalizacja ontologii z wykorzystaniem określonego języka reprezentacji. Etap IV obejmuje ocenę ontologii, a w szczególności: sprawdzenie wymagań i pytań kompetencyjnych oraz testowanie ontologii w środowisku docelowej aplikacji. Ostatni już V etap budowy ontologii polega na jej utrzymaniu i rozwijaniu [87] [30] [269].

W Methontology zaproponowano „cykl życia budowy ontologii” oparty na tzw. „ewoluujących prototypach”. Podejście to zakłada, że poszczególne etapy tej metodologii, tj.: I specyfikacja, II konceptualizacja, III formalizacja, IV implementacja oraz V utrzymanie, są wykonywane cyklicznie, a w każdym cyklu otrzymuje się nową wersję ontologii. Jednocześnie z tymi etapami realizowane są: kontrola i zapewnianie jakości oraz procesy wspierające, takie jak: pozyskiwanie wiedzy, integracja, ocena, dokumentacja i zarządzanie konfiguracją. W metodologii tej bardzo rozbudowany jest etap konceptualizacji, na który składa się aż 11 zadań. Zadaniem 1 jest budowa słownika terminów, które będą zawarte w ontologii, ich definicji w języku naturalnym, synonimów i akronimów. Zadanie 2 obejmuje budowę taksonomii pojęć, a zadanie 3 koncentruje się na budowaniu *ad hoc* diagramów relacji binarnych pomiędzy pojęciami. Efektem zadania 4 jest słownik pojęć zawierający instancje pojęć, atrybuty klas i ich relacje. Słownik ten jest podstawą do realizacji kolejnych zadań. Zadanie 5 polega na szczegółowym opisaniu binarnych relacji *ad hoc*, występujących w diagramach i słowniku. Zadaniem 6 jest szczegółowe opisanie atrybutów instancji występujących w słowniku pojęć, a zadanie 7 polega na opisaniu atrybutów klas zawartych w słowniku. Z kolei zadanie 8 dotyczy opisanie stałych. Gdy pojęcia, taksonomie, atrybuty i relacje są zdefiniowane, należy zrealizować zadanie 9, tj. opisać aksjomaty formalne, oraz zadanie 10, którym jest opisanie reguł. Ostatnie już zadanie 11 polega na zdefiniowaniu instancji [87] [79] [46]. Kolejne etapy i działania wspierające metodologii Methontology zawarto na rysunku 2.6.



Rysunek 2.6 Etapy i działania podejmowane w metodologii Methontology

Źródło: opracowanie własne na podstawie [87]

Metodologia DILIGENT jest przedstawicielem grupy metodologii tzw. trzeciej generacji. Ma ona wspierać ekspertów dziedzinowych podczas projektowania i rozwijania ontologii w rozproszonym środowisku pracy. Na metodologię tę składa się pięć etapów. W etapie I eksperci oraz inżynierowie ontologii i wiedzy wspólnie budują początkową ontologię. Ontologię tę otrzymują użytkownicy, którzy w etapie II adaptują i modyfikują ją

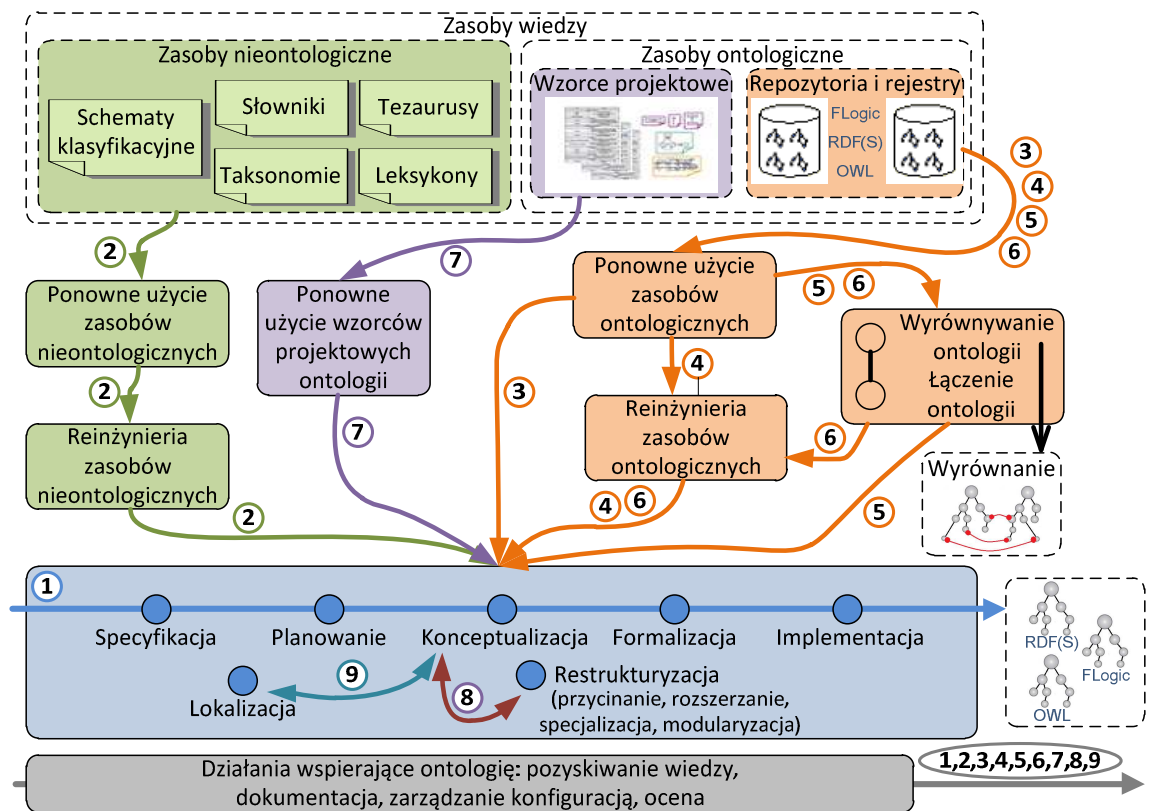
zależnie od potrzeb. W etapie III eksperci analizują modyfikacje wprowadzone przez użytkowników w ontologiach lokalnych i, zależnie od wyników analizy, decydują o wprowadzaniu ewentualnych zmian i korekt do następnej wersji ontologii. W etapie IV wprowadzane są do ontologii wcześniej ustalone korekty i zmiany, a etap V polega na aktualizacji lokalnych ontologii udostępnionych użytkownikom, aby odzwierciedlone w nich były zmiany, które zostały ujęte w etapie IV [164] [226].

HCOME jest, podobnie jak DILIGENT, metodologią trzeciej generacji. Jest ona ukierunkowana na grupowe opracowywanie ontologii, przy czym w tej metodologii większy nacisk jest położony na wspólne ustalanie przez użytkowników zakresu zmian w nowej wersji ontologii. Składa się ona z trzech etapów. Etap I jest określany jako faza specyfikacji. Obejmuje on określenie zakresu i celów ontologii, dyskusję między projektantami w celu ustalenia akceptowalnej przez wszystkich specyfikacji oraz udokumentowanie ustalonej specyfikacji. Najbardziej rozbudowany jest etap II nazywany fazą konceptualizacji, w którym każdy z członków zespołu projektantów indywidualnie opracowuje swoją wersję ontologii. W etapie tym mogą być zaimportowane istniejące ontologie ogólne, tezauryusy i zasoby domenowe, co ma pomóc inżynierom lepiej zrozumieć pojęcia dziedzinowe. Następnie rozpoczyna się proces budowy ontologii, w czym zawiera się m.in. zarządzanie wersjami ontologii, porównanie różnych wersji i identyfikacja ontologii, które mogą zostać połączone, oraz dołączanie do ontologii komentarzy, przykładów i szczegółowych specyfikacji. Ostatni etap obejmuje eksploatację ontologii, a w szczególności: korzystanie z nich, ocenę i krytykę przez członków zespołu projektantów oraz porównywanie różnych ontologii i wskazywanie różnic między nimi. W efekcie etapu eksploatacji powinna zostać zaproponowana nowa wersja ontologii uwzględniająca uwagi poszczególnych projektantów [164] [163].

Metodologia DOGMA opiera się na relacjach między aksjomatyzacją dziedzinową i aplikacyjną. Aksjomatyzacja dziedzinowa obejmuje pojęcia z danej dziedziny, a aksjomatyzacja aplikacyjna określa przyczyny i sposoby użycia pojęć dziedzinowych. W metodologii DOGMA wyróżnione są trzy etapy. Etap I jest tzw. fazą przygotowawczą, obejmującą: określenie ogólnych celów ontologii i wymagań użytkowników; identyfikację ekspertów dziedzinowych i źródeł wiedzy oraz przygotowanie studium wykonalności. Etap II odnosi się do konceptualizacji dziedzinowej i koncentruje się na pozyskiwaniu wiedzy. Z kolei etap III dotyczy specyfikacji aplikacji, a jego elementami są: strukturyzacja, definiowanie pytań kompetencyjnych i ograniczeń semantycznych oraz odpowiadanie na pytania kompetencyjne [30] [260].

Ostatnią omówioną metodologią jest NeOn, która koncentruje się na opracowywaniu sieci ontologii zamiast pojedynczej ontologii. Sieć ontologii jest tutaj rozumiana jako zbiór ontologii powiązanych za pośrednictwem różnych związków, jak np. mapowanie i wersjonowanie [30]. NeOn zawiera 9 różnych scenariuszy budowy sieci ontologii, a każdy z tych scenariuszy jest oparty na jednym z trzech modeli cyklu życia ontologii. 4-fazowy cykl życia obejmuje etapy: rozpoczęcia, projektu, implementacji i utrzymania. Z kolei cykl 5-fazowy rozszerza model 4-fazowy o etap ponownego użycia zawarty między etapem wstępnym i etapem projektu. Cykl 6-fazowy dodaje etap reinżynierii ontologii po etapie ponownego użycia. Proponowane są również rozszerzenia modeli 5 i 6-fazowego o etap łączenia ontologii, zawarty po etapie ponownego użycia ontologii. Ponadto metodologia ta

uwzględnia budowę ontologii oraz budowę zespołową, podobnie do metodologii DILIGENT i HCOME [267]. Na rysunku 2.7 przedstawiono mapę, opisującą zastosowanie poszczególnych scenariuszy zawartych w metodologii NeOn.



Rysunek 2.7 Mapa scenariuszy budowy ontologii i ich sieci w metodologii NeOn

Źródło: opracowanie własne na podstawie [267]

W tabeli 2.4 zawarto podsumowanie informacji na temat scharakteryzowanych metodologii projektowania i budowy ontologii. W podsumowaniu tym uwzględniono składniki każdej z metodologii, ich poziom szczegółowości, specyficzne cechy poszczególnych metodologii oraz wsparcie stosowania metodologii przez edytory ontologii. Jeżeli chodzi o etapy zawarte w każdej z metodologii, to określono trzy najważniejsze etapy, tj.: rozpoczęcie projektowania (wstęp), budowę ontologii oraz jej ocenę. Szczegółowość opisu każdego z tych etapów w metodologiach oznaczano poprzez symbole „p”, „o”, „s”, gdzie: „p” oznacza, że zaproponowano elementy danego etapu; „o” oznacza, że opisano elementy określonego etapu; „s” - że opis zawarty w metodologii jest odpowiednio szczegółowy. Analizując tabelę 2.4, można zauważyć, że poszczególne metodologie różnią się od innych pod względem przeznaczenia, elementów składowych i szczegółowości. Część metodologii (DILIGENT, HCOME) dotyczy budowy ontologii w zespołach projektowych, podczas gdy pozostałe koncentrują się na indywidualnym projektowaniu ontologii. Ponadto niektóre z metodologii służą do projektowania ontologii silnie zależnych od aplikacji, w których będą stosowane (TOVE, On-To-Knowledge, DOGMA). Metodologie różnią się również pod względem ich wspierania przez edytory, przy czym należy pamiętać, że część edytorów ontologii wymienionych w tabeli 2.4 nie jest już dostępna (Ontolingua Server, OntoEdit, KAON, WebODE), a Dogma Studio Workbench jest dostępny na licencji komercyjnej. Ponadto wymienione edytory zazwyczaj wspierają tylko część elementów danej metodologii.

Jeżeli chodzi o poziom szczegółowości trzech podstawowych etapów projektowania i budowy ontologii, to za najbardziej szczegółowe można uznać metodologie TOVE, Methontology, DOGMA i NeOn. Metodologie te szczegółowo charakteryzują działania podejmowane w etapie wstępnym projektowania ontologii oraz na etapach jej budowy i oceny.

*Tabela 2.4 Porównanie metodologii projektowania i budowy ontologii*

| Metodologia                                    | Przeznaczenie                                                 | Formalizm językowy                               | Narzędzia wspierające                       | Wstęp                                                                  | Budowa                                                                                                        | Ocena                                                                      |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Cyc                                            | pozyskiwanie wiedzy                                           | CycL                                             | narzędzia Cyc                               | -                                                                      | - kodowanie ręczne, kodowanie wspomagane, kodowanie automatyczne                                              | -                                                                          |
| Metodologia Gruningera i Foxa (TOVE)           | indywidualna budowa ontologii częściowo zależnej od aplikacji | logika I rzędu                                   | brak danych                                 | scenariusz motywacyjny, pytania kompetencyjne                          | s formalizacja terminologii, formalizacja pytań kompetencyjnych, formalizacja aksjomatów                      | s badanie kompletności ontologii                                           |
| Metodologia Usholda i Kinga (Enterprise Model) | indywidualna budowa ontologii                                 | języki modelowania wiedzy (np. LOOM, Ontolingua) | Ontolingua Server, inne                     | cel budowy                                                             | p definiowanie pojęć i relacji, kodowanie, integracja                                                         | p ocena specyfikacji, ocena pytań kompetencyjnych                          |
| On-To-Knowledge                                | indywidualna budowa ontologii zależnej od aplikacji           | dowolny                                          | OntoEdit, OntoStudio, KAON, KAON2           | s studium wykonalności, rozpoczęcie budowy (określenie wymagań)        | o rozpoczęcie budowy (słownik, półformalny opis ontologii), udoskonalanie (pozyskiwanie wiedzy, formalizacja) | p sprawdzenie wymagań, ocena pytań kompetencyjnych, testowanie             |
| Methontology                                   | indywidualna budowa ontologii                                 | dowolny                                          | WebODE, Protégé, KAON, OntoEdit, OntoStudio | s planowanie, specyfikacja                                             | s konceptualizacja, formalizacja, implementacja,                                                              | s ocena ontologii                                                          |
| DILIGENT                                       | zespołowa budowa ontologii                                    | dowolny                                          | brak danych                                 | -                                                                      | - budowa ontologii początkowej, adaptacja i modyfikacja, wprowadzenie ustalonych zmian                        | o ocena modyfikacji użytkowników                                           |
| HCOME                                          | zespołowa budowa ontologii                                    | dowolny                                          | brak danych                                 | s specyfikacja (zakres i cele)                                         | s konceptualizacja                                                                                            | o eksploatacja (ocena i krytyka)                                           |
| DOGMA                                          | indywidualna budowa ontologii zależnej od aplikacji           | dowolny                                          | Dogma Modeler, Dogma Studio Workbench       | s przygotowanie (cele, wymagania, źródła wiedzy, studium wykonalności) | s konceptualizacja dziedzinowa                                                                                | s specyfikacja aplikacji (pytania kompetencyjne, ograniczenia semantyczne) |
| NeOn                                           | budowa sieci ontologii                                        | dowolny                                          | NeOn Toolkit                                | s rozpoczęcie, projekt                                                 | s projekt, implementacja, (ew. ponowne użycie, reinyżynieria, łączenie)                                       | s utrzymanie                                                               |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [30][87][79][233][226][163][80]

## 2.5 Dobór języka, edytora i metodologii budowy ontologii metod oceny jakości

Aby zbudować ontologie metod oceny jakości serwisów internetowych, należy wybrać odpowiedni język ich reprezentacji. Zastosowanie do budowy odpowiedniego edytora ontologii może znacząco ułatwić i przyspieszyć proces ich implementacji. Natomiast posłużenie się odpowiednią metodologią budowy ontologii pozwoli udokumentować proces ich powstawania, umożliwi ich ocenę oraz zapewni ich odpowiednią jakość. Należy przy tym

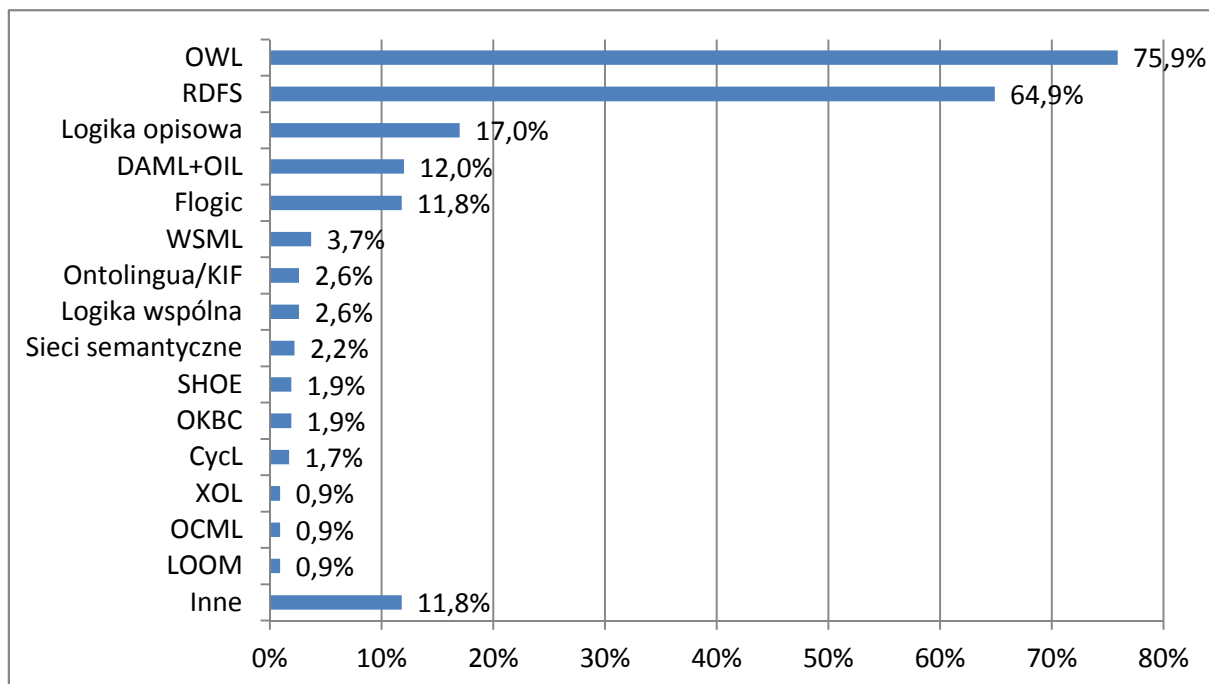
zaznaczyć, że te trzy elementy, tj. wybór: języka reprezentacji ontologii, edytora i metodologii budowy, są ze sobą powiązane. Powiązanie to wynika z faktu, że poszczególne edytory wspierają tylko wybrane języki i metodologie budowy ontologii. Ponadto niektóre metodologie wymagają użycia określonego języka reprezentacji ontologii.

Jeżeli chodzi o wybór języka reprezentacji ontologii metod oceny, powinien on charakteryzować się rozstrzygalnością oraz powinien zapewniać formalność ontologii. Pozwoli to utworzyć bazę wiedzy dla modelu systemu ekspertowego, z której będzie można przeprowadzać pełne, rozstrzygalne wnioskowanie. Wobec tego z dalszych rozważań należy wyłączyć języki niezapewniające formalności ontologii, takie jak np. XML, języki i diagramy modelowania baz danych oraz diagramy UML. Ponadto odrzucić należy języki modelowania wiedzy i reprezentacji ontologii, które nie zapewniają rozstrzygalności. Wśród takich języków wymienić należy języki oparte na ramach i logice I rzędu, tj.: CycL, KIF, Ontolingua i OCML oraz LOOM oparty na logice opisowej i regułowy SWRL. Język SWRL należy odrzucić również z tego względu, że ma on wspomagać działanie ontologii, a nie służy do ich budowy. Odrzucenie wymienionych języków (poza SWRL) związane jest też z faktem, że obecnie dynamicznie rozwijają się języki wykorzystywane w Sieci Semantycznej (ang. Semantic Web), podczas gdy tradycyjne języki ontologii są coraz rzadziej stosowane. Można też odrzucić języki, dla których nie ma dedykowanych mechanizmów wnioskujących, tj. OKBC i XOL.

Kolejnymi językami, których zastosowania w budowie ontologii metod oceny można nie brać pod uwagę, są języki, które zostały zastąpione przez język OWL. Uwaga ta dotyczy języków OIL i DAML+OIL. Ponadto ze względu na małą ekspresywność (co ujęto w tabeli 2.2) można odrzucić języki SHOE, WSMML-Core, RDF, RDFS i RDF(S). Zaznaczyć również należy, że języki RDF, RDFS i RDF(S) nie są zazwyczaj wykorzystywane do budowy ontologii, stosowane są one natomiast do opisu danych w sieci. Dodatkowo za odrzuceniem języków RDFS i DAML+OIL przemawiają wyniki badań dotyczących wykorzystania języków reprezentacji ontologii w sieci WWW przeprowadzonych w 2007 roku. Według tych badań spośród 25,5 tys. przebadanych dokumentów semantycznych, 22,2 tys. było dokumentami RDF. Z tego 6,2 tys. dokumentów było ontologiami w języku OWL, 1,7 tys. dokumentów było napisanych w języku RDFS, a 1,5 tys. zawierało znaczniki języka DAML+OIL [51]. Wskazuje to na niewielkie wykorzystanie języków DAML+OIL oraz RDFS, a szerokie stosowanie języka OWL. Można przypuszczać, że obecnie dysproporcja pomiędzy wykorzystaniem tych języków jest jeszcze większa. Ponadto, ze względu na fakt, że język OWL 2 jest następcą OWL i jest od niego bogatszy semantycznie i bardziej ekspresywny, należy wziąć pod uwagę zastosowanie nowszej wersji języka OWL, tj. OWL 2.

Po odrzuceniu wymienionych języków reprezentacji ontologii, do rozważenia pozostały języki: FLogic, odmiany języka WSMML (z wyłączeniem WSMML-Core) oraz profile języka OWL 2. Rozważając zastosowania języków FLogic i OWL, Gomez-Perez i in. [86] zaznaczają, że język FLogic znajduje zastosowanie w budowie metod rozwiązywania problemów (ang. Problem Solving Methods). Z kolei języki oparte na logice opisowej (jak np. OWL) są szeroko stosowane w integracji heterogenicznych źródeł danych i wyszukiwaniu informacji. Dodatkowo języki, takie jak OWL, mają silne wsparcie od społeczności, wobec czego szeroko dostępne są narzędzia do edycji i dokumentowania ontologii budowanych

w tych językach [86]. Ponadto mechanizmy wnioskujące dla języka FLogic zapewniają pełne wnioskowanie tylko dla jego monotonicznej części, wobec czego, ogólnie rzecz ujmując, język ten może być nierozstrzygalny. Casellas [30], w kontekście języka OWL, stwierdza, że język ten jest obecnie szeroko stosowany do opracowywania ontologii i może on stanowić podstawę do ponownego użycia i rozszerzania ontologii. Ponadto OWL stale ewoluuje, jest wzbogacany i rozszerzany, a edytory ontologii podążają za jego ewolucją [30]. Bardzo dużą stosowalność języka OWL potwierdzają wyniki badania przeprowadzonego w 2007 roku, według którego jest to język, najczęściej stosowany do implementacji ontologii. Wyniki tego badania zostały zawarte na rysunku 2.8.



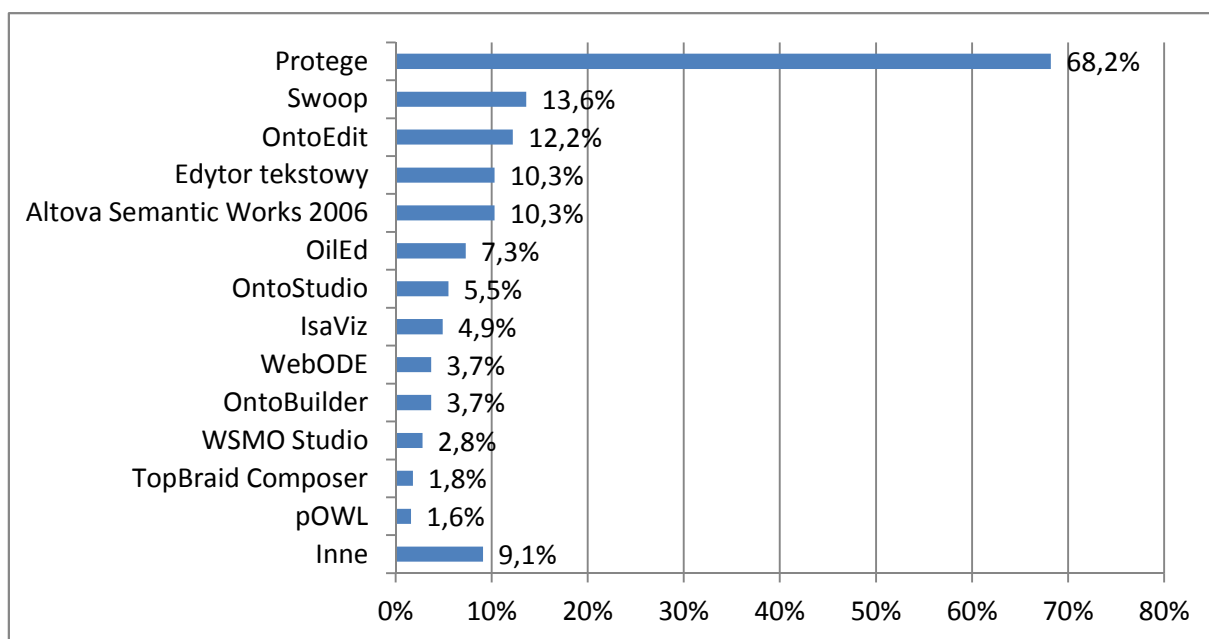
Rysunek 2.8 Wykorzystanie języków reprezentacji ontologii przez projektantów

Źródło: opracowanie własne na podstawie [29]

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunku 2.8 można wnioskować, że wybór języka OWL 2 do budowy ontologii metod oceny jakości będzie najwłaściwszy. Język OWL jest stosowany znacznie częściej od języków WSMML czy też FLogic, a to daje to gwarancję, że narzędzia umożliwiające jego wykorzystanie oraz sam język będą nadal rozwijane. Ponadto język OWL 2 oferuje dużą ekspresywność, liczną społeczność użytkowników oraz bogatą dokumentację zapewnianą przez konsorcjum W3C. Jest on (wraz z wersją OWL 1) również wspierany przez liczne edytory ontologii, omówione w pkt 2.3 niniejszej pracy. Aby jednak zagwarantować rozstrzygalność języka, należy zastosować język, dla którego mechanizmy wnioskujące potrafią przeprowadzić pełne wnioskowanie. Najbardziej ekspresywnym językiem OWL spełniającym ten warunek jest nieformalny profil OWL 2 DL.

Jeżeli chodzi o dobór edytora ontologii, na wstępie należy odrzucić edytory niewspierające wybranego języka, tj. OWL 2 DL. Wobec tego przeważająca część rozpatrywanych narzędzi do edycji ontologii nie będzie brana pod uwagę w dalszej analizie. Chodzi tutaj o takie narzędzia, jak: Apollo, Swoop, OntoStudio, TopBraid Composer Free Edition, KAON2 i Hozo. Nawet gdyby edytory te wspierały język OWL 2, to jednak ze

względnie małą liczbę oferowanych funkcji należałoby odrzucić edytory: Apollo, TopBraid Composer FE i Swoop, które nie oferują wizualizacji ontologii, a dodatkowo, podobnie jak KAON2, charakteryzują się małym wsparciem społeczności i niezbyt obszerną dokumentacją. Ponadto bardzo funkcjonalny edytor OntoStudio jest, niestety, dostępny w oparciu o licencję komercyjną, podczas gdy dostępne są inne edytory o podobnej funkcjonalności dostępne na licencjach otwartych i bezpłatnych. Z kolei edytor Hozo nie wspiera języka zapytań SPARQL, co może być przydatne podczas pozyskiwania informacji z ontologii za pomocą zapytań. Spośród pozostałych do rozpatrzenia edytorów, Dogma Modeler nie wspiera w żadnym stopniu integracji ontologii, a takie wsparcie może być przydatne w dalszym etapie badań, tj. podczas integracji zbudowanych ontologii. Edytory Protege i NeOn Toolkit oferują natomiast bardzo podobne funkcjonalności i są nadal rozwijane. Jednak bogatszą dokumentację posiada edytor Protege. Charakteryzuje się on też większą społecznością użytkowników, co może przynieść efekt w postaci łatwiejszego uzyskania pomocy w przypadku problemów w pracy z edytorem podczas budowania ontologii. Fakt dużej popularności i posiadania licznej społeczności użytkowników przez edytor Protege potwierdzają wyniki badania przeprowadzonego w roku 2007. Według tego badania w niemal 70% przypadków budowy ontologii stosowany jest edytor Protege. Wyniki przytoczonego badania przedstawiono na rysunku 2.9.



Rysunek 2.9 Wykorzystanie edytorów do budowy ontologii

Źródło: opracowanie własne na podstawie [29]

Analizując rysunek 2.9, można zauważyć, że Protege jest stosowany wielokrotnie częściej niż każdy z pozostałych edytorów. Na rysunku 2.9 zawarte są również edytory, które obecnie nie są już rozwijane (lub nawet nie są już dostępne), takie jak np.: OntoEdit i WebODE. Edytor Protege jest jednak stale rozwijany, a zakres jego funkcjonalności jest zwiększany przez rozszerzenia „plug-in”. Wydaje się, że wykorzystanie tego edytora (w najnowszej wersji 4.2) do budowy ontologii metod oceny jakości jest wyborem właściwym, chociaż jeżeli analiza metodologii budowy ontologii wykazałaby, że najlepszą metodyką jest NeOn, wtedy należałoby ponownie rozważyć zastosowanie edytora NeOn Toolkit.



Wybór konkretnej metodologii, która mogłaby zostać wykorzystana w projektowaniu i budowie poszczególnych ontologii odzwierciedlających metody oceny jakości, powinien być wykonany z uwzględnieniem specyfiki tych ontologii.

- 1) Projektowanie ontologii dla poszczególnych metod oceny jakości jest nieco łatwiejsze od budowy ontologii od podstaw, gdyż określenie konceptów i ich oczekiwanej hierarchii może się odbyć na podstawie modelu jakości zawartego w każdej z metod.
- 2) Problemem może być jedynie określenie dodatkowych relacji zachodzących między konceptami i taka ich organizacja, aby ontologia była jak najbardziej użyteczna pod względem dostarczanej wiedzy.
- 3) Ze względu na niezbyt dużą złożoność modeli jakości zawartych w poszczególnych metodach oceny, zbudowane ontologie będą zawierały niedużą ilość konceptów i relacji.
- 4) Budowa ontologii metod oceny jest etapem przejściowym większego procesu prowadzącego do utworzenia zintegrowanej ontologii, która będzie oparta właśnie na zbudowanych ontologiach metod oceny.
- 5) Projekty i konstrukcje poszczególnych ontologii metod oceny powinny opierać się na tych samych założeniach, a w efekcie tego powinny być także podobne do siebie, gdyż ułatwiłoby to ich integrację.

Zaznaczyć też należy, że integracja ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych jest w niniejszej pracy potraktowana jako odrębne zagadnienie w stosunku do budowy tych ontologii. Wobec tego rozważania nad doborem metodologii projektowania i budowy ontologii dotyczą tylko budowy ontologii metod oceny, a nie ich integracji.

Analizę stosowalności każdej z metodologii, do zadania budowy ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych, wykonano z uwzględnieniem wyżej scharakteryzowanej specyfiki tworzonych ontologii metod oceny. Wzięto tutaj pod uwagę przeznaczenie i dopasowanie każdej metodologii oraz jej elementów składowych do postawionego problemu budowy ontologii metod. Zwrócono także uwagę na: łatwość zastosowania każdej z metodologii w oparciu o klarowność i obszerność opisu jej etapów oraz wsparcie oferowane przez oprogramowanie służące do budowy i edycji ontologii.

Na wstępie można rozważyć przydatność metodologii przeznaczonych do zespołowego opracowywania ontologii, takich jak DILIGENT i HCOME. W metodologii DILIGENT użytkownicy otrzymują ontologię początkową, modyfikują ją, a następnie na podstawie zmian wprowadzonych przez użytkowników opracowywana jest jej następna wersja. Podobny przebieg ma metodologia HCOME, przy czym w tej metodologii większy nacisk jest położony na wspólne ustalanie zakresu zmian w nowej wersji ontologii przez użytkowników. Metodologie te opierają się na współpracy między użytkownikami biorącymi udział w tworzeniu ontologii. Ontologie metod oceny nie będą jednak budowane zespołowo, ale zostaną opracowane indywidualnie przez autora pracy. Wobec tego metodologie opierające się na pracy zespołowej nie mają tutaj zastosowania.

Kolejnymi metodologiami, nieprzydatnymi w budowie ontologii metod oceny, są Cyc i metodologia Gruningera i Foxa. Metodologia Cyc jest bardzo ograniczona, bo sprowadza się ona tylko do wprowadzania wiedzy o świecie. Ponadto została ona opracowana na początku lat 90. ubiegłego wieku, czyli jeszcze przed rozwinięciem się zastosowań ontologii

w informatyce. W związku z tym metodologia ta nie wykorzystuje standardowych języków budowy ontologii, lecz przeznaczony dla niej język CycL. Ze względu na zastosowanie w niej mało popularnego języka, nie jest ona też wspierana przez standardowe edytory ontologii, a jedynie przez specjalizowane narzędzia Cyc. Jeżeli natomiast chodzi o metodologię Gruningera i Foxa, to jest ona oparta na pytaniach kompetencyjnych, które stanowią podstawę do określenia terminologii oraz do oceny ontologii. Metodologia ta nie wykorzystuje do opisu ontologii popularnych języków, jak np. RDF lub OWL, lecz opiera się na logice I rzędu. Wobec tego jej stosowanie nie jest wspierane przez popularne edytory ontologii, a zastosowanie logiki I rzędu może skutkować nierozstrzygalnością ontologii. Należy jednak zaznaczyć, że pytania kompetencyjne są dobrym narzędziem do częściowej oceny ontologii, gdyż badając odpowiedzi ontologii na pytania, można zweryfikować jej kompletność.

Jeżeli chodzi o metodologie On-To-Knowledge i DOGMA, to są one przeznaczone do budowy ontologii zależnych w dużym stopniu od aplikacji, w których będą stosowane. Tymczasem ontologie metod oceny w swojej podstawowej formie nie będą stosowane w żadnych aplikacjach, ale są one jedynie środkiem do integracji metod oceny. Wobec tego zastosowanie tych metodologii wydaje się niewłaściwe. Ponadto metodologie te zawierają liczne elementy, które są zbędne przy tworzeniu ontologii odzwierciedlających metody oceny jakości serwisów. W kwestii związku tych metodologii z aplikacjami, należy zaznaczyć, że efektem etapu udoskonalania zawartego w metodologii On-To-Knowledge powinno być wytworzenie ontologii, która będzie dojrzała i ukierunkowana na aplikację. Z kolei jedną z faz, składających się na etap oceny zbudowanej ontologii, jest testowanie ontologii w środowisku aplikacji docelowej. Podobnie w metodologii DOGMA, etap specyfikacji aplikacji i wszystkie jego elementy (m.in. ograniczenia semantyczne) są ukierunkowane na zastosowanie ontologii w aplikacjach. Wskazane elementy tych metodologii są więc zbędne dla budowy ontologii metod oceny. Ponadto w metodologii On-To-Knowledge, na etapie rozpoczęcia budowy, zaleca się m.in. analizę możliwości wykorzystania w projektowanej ontologii - ontologii już istniejących [87]. Tymczasem projekt poszczególnych ontologii metod oceny jakości nie powinien opierać się na już istniejących ontologiach, gdyż mogłoby to utrudnić późniejszą ich integrację. Ostatnim etapem metodologii On-To-Knowledge jest utrzymanie ontologii. Etap ten jest zbędny ze względu na to, że poszczególne ontologie mają być etapem przejściowym w procesie tworzenia ontologii zintegrowanej. Wobec tego nie trzeba ich utrzymywać i rozbudowywać. Oczywiście, metodologie On-To-Knowledge i DOGMA zawierają także elementy, których zastosowanie w projektowaniu i budowie ontologii metod oceny jakości jest zasadne. Na etapie wstępnym elementami tymi są: określenie celu, dziedziny i wskazówek projektowych ontologii (np. konwencja nazw) oraz wskazanie pytań kompetencyjnych, kierowanych do ontologii. W etapie oceny ontologii są to elementy: sprawdzenie spójności i poprawności językowej, sprawdzenie spełnienia wymagań i weryfikacja odpowiedzi na pytania kompetencyjne zadawane ontologii.

Również w metodologii Methontology zawarte są elementy zbyteczne przy budowie ontologii metod oceny. Takim zbędnym elementem jest chociażby etap planowania, tzn. ustalenie terminarza prac, ułożenie ich oraz określenie czasu i zasobów koniecznych do ich przeprowadzenia. Tak szczegółowe planowanie jest zbędne ze względu na stosunkowo niski stopień komplikacji zagadnienia, jakim jest budowa ontologii metod oceny jakości. Ontologie

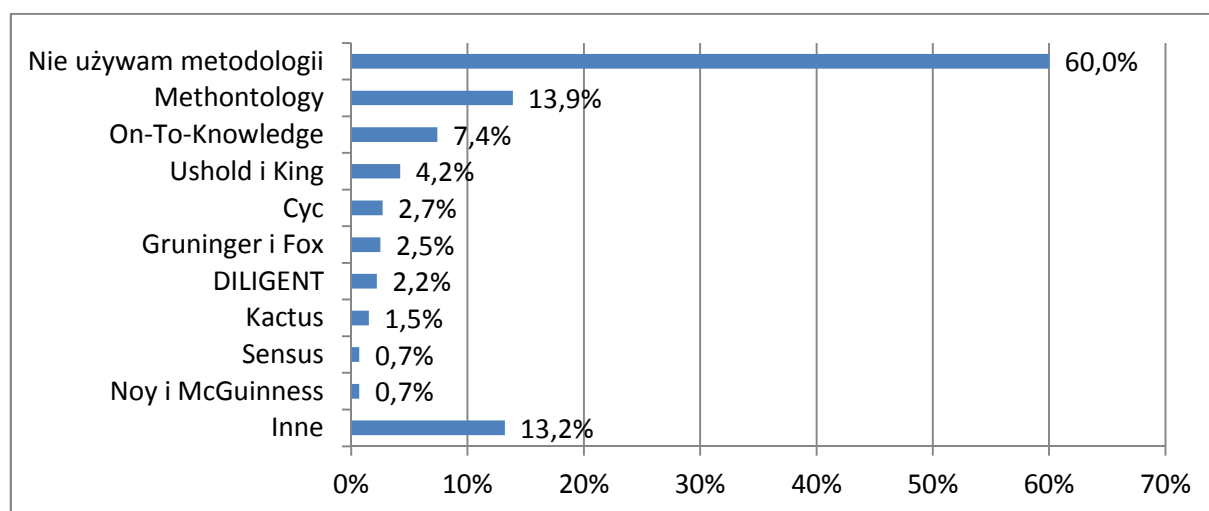
te będą względnie proste i oparte na modelach jakości stosowanych w poszczególnych metodach oceny. Wobec tego ich czas powstawania będzie bardzo krótki i będzie pochłaniał niewielkie zasoby. Podobnie zbędnym elementem jest etap utrzymania ontologii oraz proces wspierający budowę, którym jest integracja (zbyteczność tych elementów została omówiona wcześniej). Jeżeli chodzi o elementy metodologii Methontology, których zastosowanie w budowie ontologii metod oceny jest warte rozważenia, elementami takimi są etapy konceptualizacji, formalizacji i implementacji. Zadania zawarte w etapie konceptualizacji są w Methontology opisane bardzo szczegółowo, a dzięki odpowiedniej formie tych zadań model konceptualny jest bardzo łatwy do przełożenia na postać formalną oraz łatwy w implementacji. Ponadto, dzięki wykorzystaniu odpowiedniego edytora ontologii, może być wykonana jednoczesna formalizacja i implementacja.

Podstawową wadą metodologii Usholda i Kinga jest to, że uwzględnione w niej elementy w zasadzie nie są wystarczające do uznania jej za kompletną metodologię. Wynika to z faktu, że nie zawiera ona technik, metod i zasad dla uwzględnionych w niej etapów. Dodatkowo nie uwzględnia ona etapu konceptualizacji, który poprzedzałby etap implementacji, w związku z czym implementacja, przy zastosowaniu tej metodologii, jest wykonywana *ad hoc*. Ponadto metodologia ta zawiera również elementy, które są zbędne przy realizacji ontologii metod oceny. Za element taki można uznać np. fazę integracji występującą w etapie budowania ontologii (dlaczego budowa ontologii metod oceny w oparciu o wykorzystanie/integrację istniejących ontologii jest niewłaściwa, wyjaśniono w trakcie analizy stosowalności metodologii On-To-Knowledge). Z kolei przydatnymi w budowie ontologii metod oceny elementami tej metodologii mogą być: etap identyfikacji celów ontologii i etap jej oceny (ich charakterystyki są zbliżone do charakterystyk fazy specyfikacji wymagań i etapu oceny w metodologii On-To-Knowledge). Interesującym elementem tej metodologii jest też faza zdobywania wiedzy w etapie budowania, polegająca na określeniu pojęć i relacji zachodzących w danej dziedzinie (np.: „kryterium oceny jest klasą”, „klasa o nazwie kryterium, zawiera szczegółowe kryteria oceny”, itd.).

Jeżeli chodzi o metodologię NeOn, na wstępie można odrzucić zawarte w niej scenariusze, które wykorzystują cykle życia obejmujące etapy ponownego użycia, reinżynierii i łączenia ontologii. Są to scenariusze od 2 do 7. Ponadto scenariusz 8 koncentruje się na sytuacji, gdy model pojęciowy zawarty w sieci ontologii powinien być skorygowany, a scenariusz 9 dotyczy lokalizacji językowej zasobów ontologicznych. Scenariusze te nie znajdują więc zastosowania w budowie ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych. Względnie dobrze dostosowany jest do tego zadania natomiast scenariusz 1, który obejmuje m.in.: specyfikację, planowanie, konceptualizację, formalizację i implementację. Jego przebieg jest więc bardzo podobny do etapów rozwoju ontologii zawartych w Methontology, przy czym etapy te są znacznie pełniej scharakteryzowane w Methontology. Ponadto etap specyfikacji występujący w metodologii NeOn jest opisany bardziej szczegółowo niż w Methontology, a obejmuje on m.in.: studium wykonalności, specyfikację wymagań i pytania kompetencyjne. Zbędnymi elementami 1 scenariusza metodologii NeOn jest planowanie i utrzymanie ontologii. Jak zaznaczono wcześniej, szczegółowe planowanie nie jest konieczne, gdyż budowa ontologii metod oceny nie będzie

trwała długo i pochłonie niewielkie zasoby. Zaś utrzymanie ontologii jest zbędne, gdyż ontologie metod oceny powstaną głównie w celu ich zintegrowania.

Podsumowując wykonaną analizę stosowanych metodologii budowy ontologii, można stwierdzić, że część omówionych metodologii zawiera elementy przydatne przy budowie ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych. Nie można jednak wskazać jednej metodologii, która byłaby optymalnie dostosowana do wcześniej scharakteryzowanej specyfiki tych ontologii. Wobec tego zdecydowano, aby podczas budowy ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych nie stosować w pełni żadnej istniejącej formalnej metodologii. Dowodem na to, że podejście takie jest właściwe, są wyniki badania dotyczącego wykorzystania poszczególnych metodologii projektowania i budowy ontologii. Wyniki tego badania są przedstawione na rysunku 2.10.



Rysunek 2.10 Wykorzystanie metodologii projektowania i budowy ontologii

Źródło: opracowanie własne na podstawie [29]

Według wyników zawartych na rysunku 2.10, 60% projektantów ontologii często nie wykorzystuje żadnej spośród istniejących metodologii. Przyczyny tego faktu mogą być dwojakie. Część ontologii jest zapewne projektowana *ad hoc* w sposób niesformalizowany. Drugą przyczyną takich wyników omawianego badania może być fakt wykorzystywania przez inżynierów ontologii ich autorskich metodologii. Metodologie te najprawdopodobniej charakteryzują się pewnym stopniem sformalizowania, ale różnią się one od formalnych metodologii ujętych w literaturze. Wobec tego zdecydowano się opracować hybrydową metodologię budowy, zawierającą wybrane elementy metodologii omówionych wyżej. Metodologia ta powinna być, bardziej niż istniejące metodologie, dostosowana do potrzeb zadania budowy ontologii metod oceny, opartych na istniejących modelach jakości. Powinna ona również w pełni uwzględniać specyfikę tych ontologii i nie zawierać elementów zbędnych. Ponadto powinna ona być możliwa do zastosowania przy wykorzystaniu wybranego wcześniej edytora Protege.

## Rozdział III. Budowa i integracja ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych

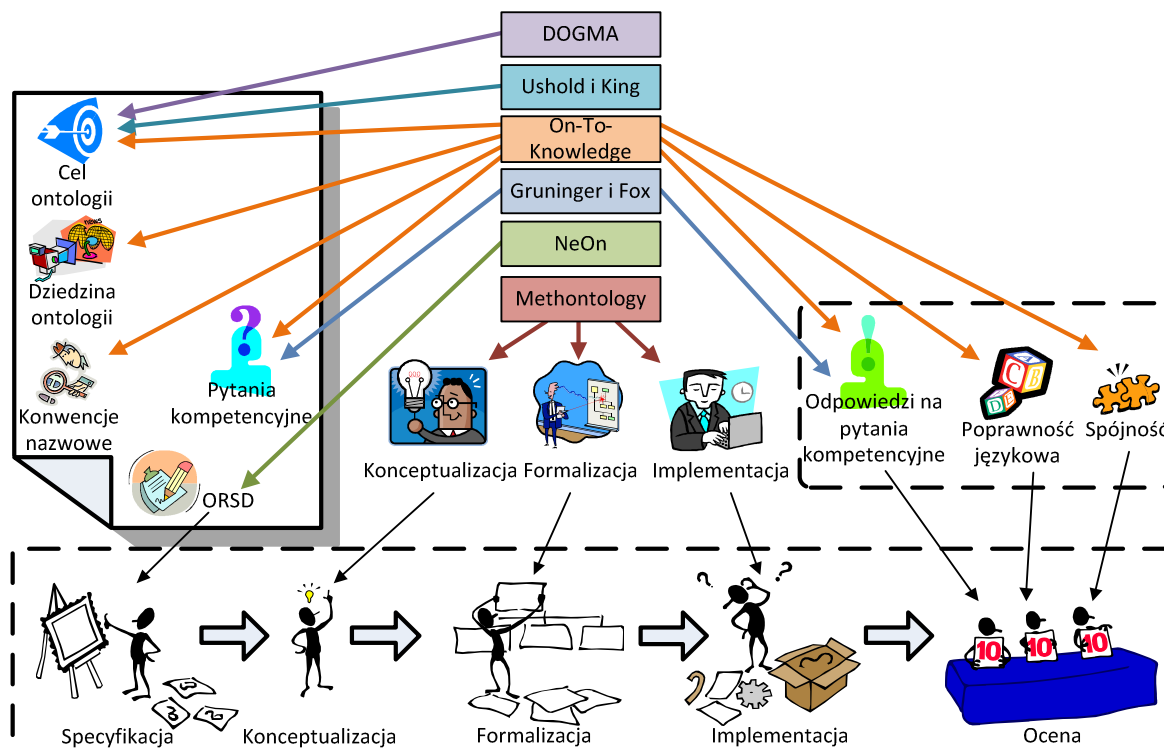
### 3.1 Opracowana metodologia budowy ontologii

Metodologia, zgodnie z którą będzie prowadzona budowa ontologii metod oceny, została opracowana z wykorzystaniem elementów wchodzących w skład stosowanych metodologii budowy ontologii. Metodologia ta jest w pełni dostosowana do potrzeb budowy ontologii metod oceny, wynikających ze specyfiki tych ontologii i w związku z tym nie zawiera ona elementów nadmiarowych. Obejmuje ona przede wszystkim elementy wywodzące się z metodologii NeOn oraz Methontology, ale zawiera również elementy ujęte w metodologiach: Gruningera i Foxa, On-To-Knowledge, DOGMA, Usholda i Kinga. Z metodologii Gruningera i Foxa zapożyczono koncepcję definiowania pytań kompetencyjnych i oceniania za ich pomocą poprawności budowy i kompletności ontologii. Z metodologii Usholda i Kinga, On-To-Knowledge i DOGMA zaczerpnięto: określenie celu i dziedziny ontologii, wskazówki projektowe (konwencje nazwowe), wykorzystanie pytań kompetencyjnych oraz ocenę ontologii poprzez sprawdzenie spójności, poprawności językowej i weryfikację odpowiedzi na pytania kompetencyjne. Metodologia NeOn wniosła do opracowanej metodologii autorskiej formalizm w postaci dokumentu specyfikacji wymagań ontologii (ang. Ontology Requirements Specification Document) [267]. Dokument ten stosowany jest w fazie wstępnej budowy ontologii, a obejmuje on wymienione wcześniej elementy różnych metodologii, takie jak np.: cel ontologii i pytania kompetencyjne oraz elementy dodatkowe, jak np. język implementacji.

Dokument ORSD składa się z elementów, którym odpowiada 8 zadań, ujętych w metodologii NeOn na etapie rozpoczęcia projektu czy też specyfikacji wymagań. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na opisaną w pkt 2.5 niniejszej pracy specyfikę budowanych ontologii i inne uwarunkowania, niektóre z elementów dokumentu ORSD są zbędne. Wobec tego zbędne są również pewne zadania ujęte w metodologii NeOn. Elementami tymi, a jednocześnie zadaniami, które pominięto w autorskiej metodologii, są: ustalanie priorytetów dla wymagań oraz budowa słownika terminów ontologii. Ustalanie priorytetów dla wymagań zostało pominięte, gdyż ma ono służyć ułatwieniu prac nad rozbudowanymi ontologiami. W sytuacji, gdy prace są czasochłonne, ustalenie priorytetów pozwala tak zaplanować prace nad ontologią, aby przede wszystkim spełniała ona najważniejsze wymagania. Gdy ontologia w swojej podstawowej formie już działa i spełnia wymagania o najwyższym priorytecie, wtedy projektanci zajmują się realizacją mniej istotnych wymagań. Charakteryzując w pkt 2.5 niniejszej pracy specyfikę ontologii metod oceny, zaznaczono, że nie będą one skomplikowane, w związku z czym proces ich budowy nie będzie czasochłonny. W związku z tym nie ma potrzeby ustalania priorytetów dla wymagań, gdyż w krótkim czasie można zbudować ontologie metod oceny, spełniające stawiane przed nimi wymagania. Ponadto również w charakterystyce metodologii NeOn zaznacza się, że realizacja zadania nadawania priorytetów wymaganiom jest opcjonalna. Z kolei przyczyna pominięcia, podczas specyfikacji wymagań, zadania budowy słownika terminów ontologii jest trywialna. Mianowicie zadanie to pojawia się również na wstępie etapu konceptualizacji pochodzącego

z metodologii Methontology. Wobec tego zdecydowano, że zostanie ono zrealizowane właśnie na etapie konceptualizacji.

Jeżeli natomiast chodzi o metodologię Methontology, to zaczerpnięto z niej bardzo szczegółowo scharakteryzowany i silnie sformalizowany etap konceptualizacji oraz etapy formalizacji i implementacji ontologii. Wobec tego wynikowa metodologia złożona jest z pięciu etapów, którymi są: specyfikacja (w oparciu o ORSD), konceptualizacja, formalizacja, implementacja oraz ocena ontologii. Schemat graficzny opracowanej metodologii wraz z oznaczeniem metodologii źródłowych, z których zaczerpnięto poszczególne elementy metodologii autorskiej, zawiera rysunek 3.1.



Rysunek 3.1 Autorska metodologia budowy ontologii

Źródło: opracowanie własne

Pierwszym etapem ujętym w metodologii autorskiej jest **specyfikacja** ontologii realizowana poprzez przygotowanie dokumentu ORSD. Etap ten wymaga wykonania 6 zadań, przy czym do realizacji pierwszych czterech zadań w źródłowej metodologii NeOn zaleca się przeprowadzanie wywiadów z użytkownikami i ekspertami dziedzinowymi. Wywiady te, ogólnie rzecz ujmując, powinny dotyczyć wymagań ontologii odnośnie do reprezentowanej przez nią wiedzy. Ze względu na to, że autor pracy realizuje budowę ontologii w oparciu o metody oceny jakości, wywiady takie nie będą przeprowadzane, a wymagania ontologii odnośnie do reprezentowanej wiedzy zostaną określone na podstawie analizy poszczególnych metod oceny, wykonanej w pkt 1.4 niniejszej rozprawy.

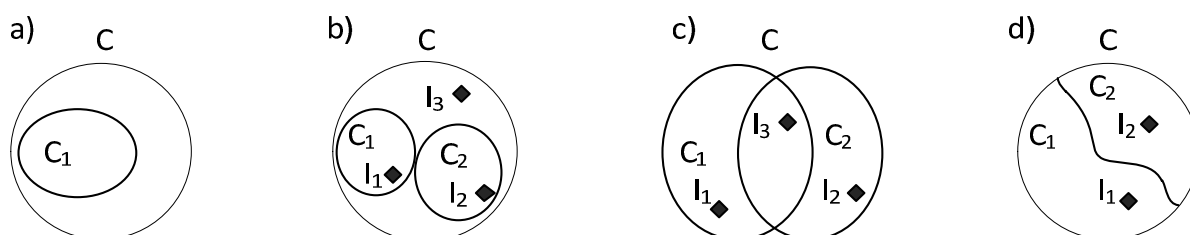
1) **Określenie celu, zakresu i języka implementacji.** W zadaniu tym należy określić główny cel ontologii, jej zasięg i poziom szczegółowości oraz język, w którym będzie ona zaimplementowana. Cel i zakres powinny odnosić się do wymagań dotyczących wiedzy, która będzie reprezentowana w postaci ontologii. Decyzja związana z wyborem języka reprezentacji ontologii powinna być podejmowana przez jej twórców.

- 2) **Identyfikacja przewidywanych użytkowników końcowych.** Efektem wykonania tego zadania powinno być ustalenie końcowych użytkowników ontologii.
- 3) **Określenie planowanych zastosowań.** Należy tutaj ustalić zamierzone zastosowania i scenariusze użycia ontologii, opisujące zestaw ogólnych wymagań, które ontologia powinna spełniać po jej implementacji. Scenariusze mogą być wyrażone w języku naturalnym lub za pomocą diagramu przypadków użycia w języku UML.
- 4) **Określenie wymagań.** Celem tego zadania jest uzyskanie wymagań, które powinna spełniać ontologia. Wymagania te są podzielone na нефункционалне i funkcjonalne.
  - Wymagania нефункционалне odnoszą się do charakterystyk, cech i innych aspektów ontologii niezwiązanych z jej zawartością. Mogą to być np.: zgodność terminologii stosowanej w ontologii ze standardami, wielojęzyczność ontologii, przyjęte konwencje nazwowe, etc.
  - Wymagania funkcjonalne odnoszą się do konkretnej wiedzy reprezentowanej w ontologii i są one formułowane w postaci pytań kompetencyjnych, na które powinna odpowiadać ontologia. Pytania kompetencyjne mogą być formułowane wg strategii: „Top-Down”, „Bottom-Up”, „Middle-Out”. Strategia „Top-Down” polega na formułowaniu złożonych (szczegółowych) pytań, które następnie są rozkładane na pytania prostsze (ogólniejsze). W strategii „Bottom-Up” ogólne pytania są następnie uszczegóławiane. Strategia „Middle-Out” jest podejściem mieszanym, łączącym strategię „Top-Down” i „Bottom-Up”.
- 5) **Grupowanie wymagań.** Zadanie to polega na pogrupowaniu wymagań funkcjonalnych (pytań kompetencyjnych), uzyskanych podczas realizacji zadania 4, w poszczególne kategorie. Część kategorii może być narzuconych *a priori*, a inne powinny być stworzone dla terminów najczęściej pojawiających się w pytaniach kompetencyjnych. Zadanie to może być wykonywane równolegle z zadaniem 4.
- 6) **Weryfikacja wymagań.** Zadanie to dotyczy zarówno wymagań нефункционалnych, jak również funkcjonalnych, a ma ono na celu wskazanie potencjalnych konfliktów i sprzeczności zachodzących pomiędzy wymaganiami ontologii. W zadaniu tym powinno uzyskać się potwierdzenie, że określone wcześniej wymagania funkcjonalne i нефункционалне są istotne. W realizacji tego zadania pomocna są następujące kryteria:
  - zestaw wymagań jest poprawny, jeżeli każde z wymagań odnosi się do cech opracowywanej ontologii,
  - zestaw wymagań jest kompletny, jeżeli użytkownicy i eksperci dziedzinowi stwierdzą, że nie potrafią wskazać dodatkowych wymagań,
  - zestaw wymagań jest spójny, jeżeli nie zachodzą konflikty między poszczególnymi wymaganiami,
  - zestaw wymagań jest sprawdzalny, jeżeli istnieje proces pozwalający w rozsądnym czasie sprawdzić, czy końcowa ontologia spełnia każde z wymagań,
  - każde wymaganie musi być zrozumiałe dla użytkowników i ekspertów dziedzinowych,
  - pojedyncze wymaganie jest jednoznaczne, gdy nie wywołuje ono wątpliwości lub nieporozumień co do jego znaczenia,
  - zestaw wymagań jest zwięzły, jeżeli każde z wymagań jest istotne i nie powiela ono znaczenia innych wymagań,

- zestaw wymagań jest realistyczny, jeżeli każde wymaganie ma odpowiedni sens w danej dziedzinie,
- zestaw wymagań jest modyfikowalny, jeżeli jego struktura i forma umożliwiają zmianę każdego wymagania w sposób łatwy, kompletny i spójny [266].

Drugim etapem metodologii autorskiej jest **konceptualizacja**, której przebieg został zapożyczony z Methontology. Pominięto jednak tutaj trzy ostatnie zadania określone w Methontology, tj.: zdefiniowanie aksjomatów formalnych, reguł i instancji, gdyż analiza metod oceny jakości serwisów nie wykazała konieczności stosowania tych elementów. Jeżeli chodzi o instancje, to mogą one pojawić się w formie przykładowych wystąpień konceptów, w celu badania odpowiedzi ontologii na pytania kompetencyjne. Wobec tego etap konceptualizacji składa się z 8 zadań.

- 1) **Zbudowanie glosariusza terminów.** Glosariusz ten powinien zawierać wszystkie istotne terminy związane z metodą oceny jakości serwisów internetowych, dla której budowana jest ontologia. Terminy te powinny być określone w języku naturalnym.
- 2) **Zbudowanie taksonomii konceptów.** Realizacja tego zadania wymaga wyodrębnienia konceptów z glosariusza terminów oraz ustalenia ich hierarchii. W taksonomii takiej dopuszczalne są cztery typy taksonomicznych relacji: zawieranie się konceptów (subsumpcja), rozłączność konceptów, podział zupełny i partycja.



Rysunek 3.2 Subsumpcja (a), rozłączność (b), podział zupełny (c) i partycja (d) konceptów

Źródło: opracowanie własne

- Zawieranie się (subsumpcja) konceptu  $C_1$  w konceptcie  $C$  oznacza, że koncept  $C_1$  jest podklasą (uszczegółowieniem) konceptu  $C$ . Wiąże się to z dziedziczeniem atrybutów konceptu  $C$  przez koncept  $C_1$ . Zawieranie się konceptów można rozumieć jako inkluzję zbiorów, co przedstawia rysunek 3.2 a).
- Rozłączność konceptów  $C_1$  i  $C_2$  zawierających się w konceptcie  $C$  oznacza, że każde wystąpienie (instancja) konceptu  $C$  może być jednocześnie wystąpieniem konceptu  $C_1$  albo  $C_2$ , ale nie może być wystąpieniem jednocześnie konceptu  $C_1$  i  $C_2$ . Ponadto może być ono wystąpieniem konceptu  $C$  i nie być wystąpieniem konceptów  $C_1$  lub  $C_2$ . Dopuszczalne wystąpienia konceptów (instancje  $I_1, I_2, I_3$ ) przy zachowaniu rozłączności przedstawia rysunek 3.2 b).
- Podział zupełny konceptów  $C_1$  i  $C_2$  zawierających się w konceptcie  $C$  oznacza, że każde wystąpienie konceptu  $C$  musi być wystąpieniem konceptu  $C_1$ ,  $C_2$  lub zarówno  $C_1$ , jak i  $C_2$ . Inaczej rzecz ujmując, wystąpienie konceptu  $C$  jest również wystąpieniem zawartym w sumie konceptów  $C_1$  i  $C_2$ . Sytuację tę przedstawia rysunek 3.2 c).
- Partycja utworzona z konceptów  $C_1$  i  $C_2$  zawierających się w konceptcie  $C$  oznacza, że każde wystąpienie konceptu  $C$  jest jednocześnie wystąpieniem konceptu  $C_1$  albo  $C_2$ .



Partycję conceptów  $C_1$  i  $C_2$  można więc rozumieć jako sumę rozłączną zbiorów, co przedstawia rysunek 3.2 d).

- 3) **Zbudowanie diagramów *ad hoc* relacji binarnych.** Celem budowy tych diagramów jest ustalenie relacji *ad hoc* między conceptami zawartymi w zbudowanych taksonomiach.
- 4) **Zbudowanie słownika conceptów.** Słownik ten powinien zawierać concepty, ich ewentualne wystąpienia oraz atrybuty i relacje opisujące poszczególne concepty. Elementy te są lokalne dla conceptów, co oznacza, że ich nazwy mogą się powtarzać w ramach różnych conceptów.
- 5) **Szczegółowe zdefiniowanie *ad hoc* relacji binarnych.** Należy tutaj szczegółowo opisać relacje binarne zawarte w słowniku conceptów. Dla każdej relacji binarnej powinny być określone takie elementy, jak: nazwa relacji, nazwy conceptów źródłowych i docelowych, liczności i relacje odwrotne.
- 6) **Szczegółowe zdefiniowanie atrybutów instancji.** W zadaniu tym powinny zostać opisane atrybuty ewentualnych instancji (wystąpień) conceptów. Są to atrybuty mające konkretnie określone wartości dla poszczególnych wystąpień każdego z conceptów. Inaczej rzecz ujmując, są to relacje, które wiążą instancje conceptów z konkretnymi danymi. Należy określić nazwę każdego atrybutu, nazwę conceptu, którego wystąpienia atrybut dotyczy, typ danych, zakres wartości oraz licznosc.
- 7) **Szczegółowe zdefiniowanie atrybutów klas.** Zadanie to polega na opisanu atrybutów klas, które to atrybuty zostały zawarte w słowniku conceptów. Zasadniczo definiowane są tutaj atrybuty conceptów, przy czym atrybuty te nie są dziedziczone przez podklasy i instancje. Powinny zostać tutaj określone: nazwa atrybutu, nazwa conceptu, dla którego atrybut został zdefiniowany, typ wartości atrybutu, wartość, licznosc oraz atrybuty instancji, które mają być wnioskowane na podstawie opisywanego atrybutu. Najczęściej w zadaniu tym określane są concepty, do których maszyna wnioskująca ma zaklasyfikować instancje innych conceptów na podstawie wartości ich atrybutów.
- 8) **Szczegółowe zdefiniowanie stałych.** Należy tutaj opisać każdą, zidentyfikowaną w ontologii, wartość stałą. W zadaniu tym powinny zostać podane: nazwy stałych, ich wartości i typy oraz jednostki miary dla stałych numerycznych [46].

Kolejnymi etapami budowy ontologii jest **formalizacja** oraz **implementacja** ontologii na podstawie zadań wykonanych w etapie konceptualizacji. W realizacji tych etapów zostanie wykorzystany, wybrany w pkt 2.5 pracy, edytor ontologii Protege, za pomocą którego wskazane dwa etapy mogą być wykonane jednocześnie. Językiem implementacji poszczególnych ontologii będzie nieformalny profil językowy OWL 2 DL, którego wybór został uzasadniony w pkt 2.5 niniejszej rozprawy.

Ostatnim już etapem budowy ontologii jest jej **ocena**, przy czym zaznaczyć należy, że podstawowa ocena powinna być też wykonywana na bieżąco w trakcie realizacji wcześniejszych etapów budowy. W ostatnim etapie powinna zostać natomiast wykonana kompleksowa ocena całej zbudowanej ontologii. Podstawowym narzędziem służącym ocenie ontologii są tutaj pytania kompetencyjne, zdefiniowane na etapie specyfikacji oraz odpowiedzi ontologii na te pytania. Ponadto zweryfikowana powinna zostać poprawność językowa i spójność ontologii. Do weryfikacji spójności oraz do uzyskania odpowiedzi na pytania kompetencyjne należy posłużyć się mechanizmem wnioskującym.

### 3.2 Budowa ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych

Metodologię autorską zastosowano do budowy ontologii odzwierciedlających metody oceny jakości: eQual, Ahn, SiteQual, Website Evaluation Questionnaire i Web Portal Site Quality. Zgodnie z opracowaną metodologią budowy, na wstępie zrealizowano etap **specyfikacji**, którego efektem było uzyskanie dokumentu ORSD, charakteryzującego wymagania ontologii. Przykłady takich dokumentów można znaleźć w pracach opisujących metodologię NeOn [267] [266] [284]. Dokument opracowany dla ontologii eQual zawarto w tabelach 3.1 i 3.2.

*Tabela 3.1 Specyfikacja wymagań ontologii eQual w zakresie jej celu, zakresu, języka implementacji, użytkowników, zastosowań i wymagań niefunkcjonalnych*

| L.p. | Dokument specyfikujący wymagania ontologii eQual                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.   | <b>Cel</b><br>Celem budowy ontologii eQual jest odzwierciedlenie w niej metody oceny jakości eQual.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2.   | <b>Zakres</b><br>Ontologia zawiera charakterystyki i cechy ujęte w modelu jakości eQual oraz respektuje skalę ocen eQual.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3.   | <b>Język implementacji</b><br>OWL 2 DL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 4.   | <b>Użytkownicy końcowi</b><br>Użytkownik 1. Ekspert oceniający jakość serwisów internetowych za pomocą metody eQual.<br>Użytkownik 2. System ekspertowy umożliwiający ocenę jakości serwisów internetowych.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 5.   | <b>Zastosowania</b><br>Zast. 1. Ocena poszczególnych składowych jakości serwisów internetowych zgodnie z metodą eQual.<br>Zast. 2. Określanie wag poszczególnych składowych jakości serwisów internetowych.<br>Zast. 3. Uzyskiwanie informacji o kryteriach wchodzących w skład poszczególnych charakterystyk jakości eQual.<br>Zast. 4. Uzyskiwanie informacji o wagach przyznanych poszczególnym kryteriom.<br>Zast. 5. Uzyskiwanie informacji o ocenach poszczególnych serwisów względem wybranych kryteriów.                                                                                           |
| 6 a. | <b>Wymagania niefunkcjonalne</b><br>WNF 1. Nieużywanie polskich znaków (możliwe występowanie problemów, np. w OWL Viz)<br>WNF 2. Nazwy klas i instancji (indywidualności) rozpoczynają się od wielkiej litery (z wyłączeniem nazw własnych zaczynających się od małej litery, np. „eQual”, oraz z wyłączeniem nazw kryteriów).<br>WNF 3. Człony wielowyrazowych nazw klas i instancji są połączone symbolem „_”, np. „łatwosc_uzycia”.<br>WNF 4. Nazwy atrybutów i relacji rozpoczynają się od czasownika pisanego małą literą, a ich odniesienie do rzeczownika pisane jest dużą literą, np. „maWartosc”. |

*Źródło: opracowanie własne*

*Tabela 3.2 Specyfikacja wymagań ontologii eQual w zakresie jej wymagań funkcjonalnych*

| 6 b.                               | Wymagania funkcjonalne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GPK 1.<br>Przynależności kryteriów | PK 1. Jakie kryteria jakości należą do wybranej charakterystyki?<br>PK 2. Do jakiej charakterystyki należy wybrane kryterium?<br>PK 3. Jakie charakterystyki posiadają co najmniej N kryteriów?<br>PK 4. Jakie charakterystyki posiadają co najwyżej N kryteriów?                                                                                                                                                                |
| GPK 2. Wartości wag kryteriów      | PK 5. Jakie kryteria mają wagę o wartości $\geq W$ ?<br>PK 6. Jakie kryteria mają wagę o wartości $< W$ ?<br>PK 7. Jakie charakterystyki mają co najmniej N kryteriów o wartości wag $\geq W$ ?<br>PK 8. Jakie charakterystyki mają co najmniej N kryteriów o wartości wag $< W$ ?                                                                                                                                               |
| GPK 3. Wartości ocen serwisów      | PK 9. Jakie serwisy mają ocenę o wartości $\geq O$ względem kryterium K?<br>PK 10. Jakie serwisy mają ocenę o wartości $< O$ względem kryterium K?<br>PK 11. Jakie kryteria o wadze $\geq W$ mają ocenę o wartości $\geq O$ dla serwisu S?<br>PK 12. Jakie kryteria o wadze $\geq W$ mają ocenę o wartości $< O$ dla serwisu S?<br>PK 13. Jakie serwisy mają ocenę o wartości $\geq O$ pod względem kryteriów o wadze $\geq W$ ? |
| GPK 4.<br>Kompletność ocen         | PK 14. Pod względem jakich kryteriów jest oceniony dany serwis?<br>PK 15. Które serwisy są ocenione pod względem wszystkich kryteriów?                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

*Źródło: opracowanie własne*

Następnym etapem była **konceptualizacja** metody eQual. Przykłady realizacji tej fazy budowy ontologii zgodnie z metodologią Methontology można znaleźć w licznych pracach, np.: [46] [87] [257] [23] [177] [217] [218]. Podczas realizacji pierwszego zadania, tj. **budowy glosariusza terminów**, wykorzystano tabelę kryteriów metody eQual zawartą w załączniku 1.1. Kryteria te są reprezentowane w ontologii przez koncepty. Ponadto w glosariuszu zawarto terminy, funkcjonujące w ontologii pod postacią atrybutów i relacji. Ujęto tutaj relacje zachodzące pomiędzy konceptami odnoszącymi się do kryteriów i charakterystyk (*jestKryterium*, *maKryterium*) oraz relacje występujące pomiędzy instancjami konceptów (*maOcene*, *jestOcena*). Przyjęto przy tym założenie, że oceny poszczególnych serwisów względem kolejnych kryteriów będą zawarte w wystąpieniach konceptów reprezentujących kryteria oceny. Fragment glosariusza terminów (z pominięciem szeregu konceptów, reprezentujących cechy i charakterystyki jakości zawarte w załączniku 1.1) utworzonego w trakcie budowy ontologii eQual zawiera tabela 3.3.

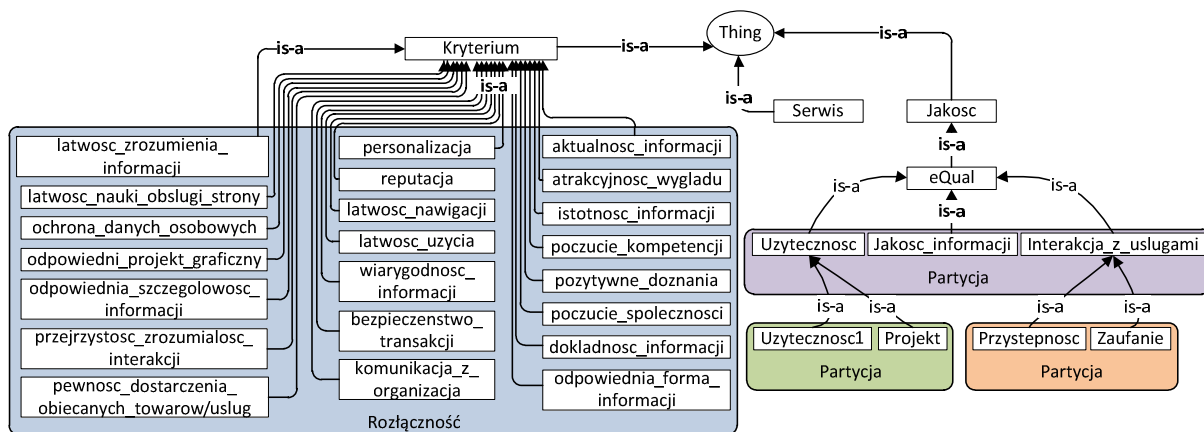
Tabela 3.3 Fragment glosariusza terminów dla ontologii eQual

| Termin                                       | Opis                                                                       | Typ               |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| personalizacja                               | Cecha opisująca stopień, w którym serwis daje poczucie personalizacji      | koncept           |
| Jakosc_informacji                            | Charakterystyka grupująca cechy odnoszące się do jakości informacji        | koncept           |
| eQual                                        | Nazwa metody oceny jakości                                                 | koncept           |
| jestKryterium (K, Ch)                        | Cecha K jest kryterium jakości przyporządkowanym charakterystyce Ch        | relacja           |
| maKryterium (Ch, K)                          | Charakterystyka Ch ma przyporządkowaną cechę (kryterium jakości) K         | relacja           |
| maOcene (I <sub>s</sub> , I <sub>k</sub> )   | Serwis I <sub>s</sub> ma ocenę względem instancji/wystąpienia (I) cechy K  | relacja           |
| jestOcena (I <sub>k</sub> , I <sub>s</sub> ) | Instancja/wystąpienie (I) cechy K zawiera ocenę dla serwisu I <sub>s</sub> | relacja           |
| maWartoscOceny (I <sub>k</sub> , Integer)    | Instancja/wystąpienie (I) cechy K ma całkowitoliczbową wartość oceny       | atrybut instancji |
| maWartoscWagi (K, Double)                    | Cecha K jest kryterium jakości mającym zmiennoprzecinkową wartość wagi     | atrybut klasy     |

Źródło: opracowanie własne

Drugim zadaniem zrealizowanym w etapie konceptualizacji była **budowa taksonomii konceptów**. W hierarchii tej oddzielono cechy (inaczej mówiąc kryteria) jakości od charakterystyk grupujących poszczególne kryteria. Podejście takie pozwoliło zachować większą przejrzystość ontologii. Ponadto ma to ścisły związek z przyszłą integracją metod oceny oraz jest spójne z reprezentacją świata otwartego i zamkniętego w ontologii. Mianowicie każdy model jakości, zawarty w poszczególnych metodach oceny, jest modelem zamkniętym. Oznacza to, że jest on kompletny i nie mogą być do niego dodane nowe charakterystyki. Inaczej rzecz ujmując, nie istnieją żadne nieujawnione charakterystyki, których brakuje w danym modelu jakości i nie ma tutaj sytuacji braku wiedzy. Model jakości może być więc rozumiany jako zamknięta część świata, do której nie zostanie już dodana żadna nowa wiedza. Z kolei kryteria oceny jakości są otwartym fragmentem świata, co oznacza, że mogą istnieć dodatkowe kryteria, do tej pory nieuwzględnione w ontologii. Z tych względów w części ontologii eQual odzwierciedlającej model jakości eQual posłużono się taksonomicznymi relacjami partycji pomiędzy konceptami występującymi na tym samym poziomie hierarchii. Oznacza to, że koncepty zawarte w koncepcie nadrzędnym są jego kompletnym opisem i nie może pojawić się nowy koncept, który będzie zawarty również w koncepcie nadrzędnym. Przykładowo w modelu eQual, charakterystykę „Interakcja z usługami” opisują tylko i wyłącznie podcharakterystyki „Przystępność” i „Zaufanie”. Natomiast pomiędzy kryteriami zastosowano taksonomiczną relację rozłączności, gdyż

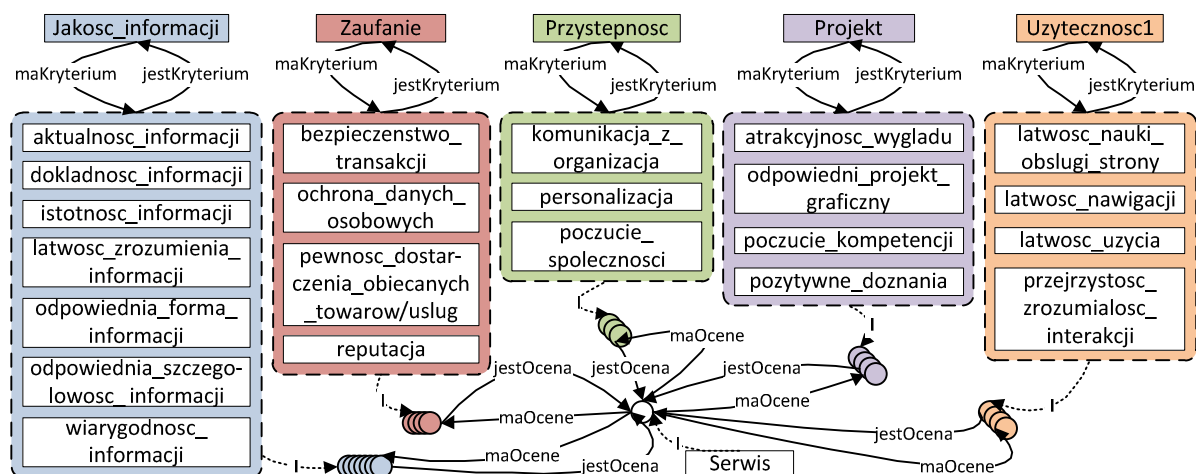
kryteria te opisują inne fragmenty jakości, ale mogą istnieć również inne kryteria opisujące jakość. Istotnie podczas integracji ontologii metod oceny będą pojawiały się kryteria z różnych metod oceny jakości i będą one uzupełniały „świat kryteriów”. Podczas integracji będą się też pojawiały nowe modele jakości, ale te z kolei będą uzupełniały otwarty „świat” konceptu „Jakość”, do którego można przypisać dowolne inne modele jakości, lecz modele te będą „zamknięte”. Taksonomię konceptów ontologii eQual zawarto na rysunku 3.3.



Rysunek 3.3 Taksonomia konceptów dla ontologii eQual

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym zadaniem była **budowa diagramów ad hoc relacji binarnych**. Zdecydowano się tutaj przedstawić wszystkie relacje na jednym diagramie, gdyż pozwala to przejrzystej zaprezentować koncepcję realizowaną w ontologii. Diagram ten został przedstawiony na rysunku 3.4, a uwzględnia on relacje określone w glosariuszu terminów zawartym w tabeli 3.3. W celu zwiększenia czytelności rysunku 3.4, poszczególne koncepty będące kryteriami oceny zostały pogrupowane w ramach charakterystyk jakości. Konkretnie relacje, poglądowo przedstawione na diagramie, odnoszą się więc do każdego konceptu zawartego w grupie, mimo że na rysunku 3.4 zostały one oznaczone jako odnoszące się do całej grupy konceptów. Ponadto na rysunku 3.4 oznaczono relacje zachodzące między instancjami konceptów. W tym celu za pomocą okręgów oznaczono przykładowe instancje, a relacje oznaczające wystąpienia zostały oznaczone linią przerywaną i symbolem „I”.



Rysunek 3.4 Diagram ad hoc relacji binarnych dla ontologii eQual

Źródło: opracowanie własne

Zadanie czwarte polegało na **zbudowaniu słownika konceptów**. Fragment tego słownika zawiera tabela 3.4. Podobnie jak w przypadku tabeli 3.3 przedstawiającej glosariusz terminów, również w tabeli 3.4 pominięto część konceptów reprezentujących kryteria i charakterystyki jakości metody eQual ujęte w załączniku 1.1. Pominięte koncepty są bardzo podobne do przedstawionych w tabeli 3.4. Przykładowo, nieujęte w tabeli 3.4 koncepty będące podklasami konceptu „Kryterium” różnią się od konceptów „istotnosc\_informacji” i „personalizacja” tylko nazwami przykładowych instancji. Należy zaznaczyć, że kryteria i charakterystyki, zawarte w poszczególnych metodach oceny jakości, w budowanych ontologiach będą reprezentowane pod postacią konceptów. Wobec tego przyjęto, że w dalszej części pracy pojęcia „charakterystyka” i „kryterium”, użyte w kontekście związanym z ontologiami, będą odnosiły się do konceptów reprezentujących te elementy.

*Tabela 3.4 Fragment słownika konceptów dla ontologii eQual*

| Nazwa konceptu        | Przykładowe instancje        | Atrybuty klas                   | Atrybuty instancji | Relacje                    |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------------|
| istotnosc_informacji  | Serwis1_istotnosc_informacji | maWartoscWagi                   | maWartoscOceny     | jestKryterium<br>jestOcena |
| personalizacja        | Serwis1_personalizacja       | maWartoscWagi                   | maWartoscOceny     | jestKryterium<br>jestOcena |
| Jakosc_informacji     | -                            | -                               | -                  | maKryterium                |
| Interakcja_z_uslugami | -                            | -                               | -                  | -                          |
| Przystepnosc          | -                            | -                               | -                  | maKryterium                |
| Zaufanie              | -                            | -                               | -                  | maKryterium                |
| Uzytecznosc           | -                            | -                               | -                  | -                          |
| Uzytecznosc1          | -                            | -                               | -                  | maKryterium                |
| Projekt               | -                            | -                               | -                  | maKryterium                |
| Kryterium             | -                            | maWartoscWagi<br>maWartoscOceny | -                  | -                          |
| Serwis                | Serwis1                      | -                               | -                  | maOcena                    |
| eQual                 | -                            | -                               | -                  | -                          |
| Jakosc                | -                            | -                               | -                  | -                          |

*Źródło: opracowanie własne*

Zadanie piąte wymagało **szczegółowego zdefiniowania ad hoc relacji binarnych**. Definicje te przedstawia tabela 3.5, w której uwzględniono relacje zachodzące pomiędzy konceptami oraz między instancjami konceptów. W przypadku każdej z relacji podano jej wzorzec, stosując konwencję zapisu z nawiasami kwadratowymi oraz przykłady. W nawiasach kwadratowych zapisano koncepty będące przodkami (tj. określające typ) konceptów lub instancji biorących udział w relacji. Relacje „jestKryterium” i „maKryterium” zachodzą między konceptami. W przypadku relacji „jestKryterium” konceptami źródłowymi są poszczególne kryteria jakości, a konceptami docelowymi są konkretne charakterystyki, do których, według modelu jakości eQual, należą kryteria. Relacja „maKryterium” jest odwrotnością „jestKryterium”, w związku z czym konceptami źródłowymi w tej relacji są charakterystyki jakości, a rolę konceptów docelowych pełnią kryteria należące do danej charakterystyki. Ponadto, aby zachować zgodność z modelem jakości eQual, należy zadbać, by mechanizm wnioskujący odkrywał przynależność kryteriów do charakterystyk i wnioskował tę przynależność jako zawieranie się konkretnych kryteriów w odpowiednich charakterystykach. Zawieranie takie można wskazać mechanizmowi wnioskującemu, np. poprzez nadanie relacji „maKryterium” właściwości zwrotności (ang. reflexive). Jeżeli

natomiast chodzi o relacje „jestOcena” i „maOcene”, to zachodzą one pomiędzy wystąpieniami konceptów. Relacja „jestOcena” ma właściwość funkcyjną (ang. fuctional), co oznacza, że jeżeli jedna instancja źródłowa odnosi się do kilku wystąpień docelowych, wtedy mechanizm wnioskujący będzie interpretował te wystąpienia jako tożsame. Przykładowo, jeżeli wystąpienie „Serwis1\_personalizacja” jest powiązane relacją „jestOcena” z instancjami „Serwis1” i „Serwis2”, wtedy mechanizm wnioskujący uzna, że wystąpienia „Serwis1” i „Serwis2” odnoszą się do tego samego serwisu internetowego. Wnioskowanie takie jest poprawne, gdyż jedna ocena względem danego kryterium odnosi się tylko do jednego serwisu. Z kolei relacja „maOcene” jest odwrotna (ang. inverse) do relacji „jestOcena”. W związku z tym jest ona odwrotnie funkcyjna. Wobec tego, jeżeli dwie różne instancje serwisów są powiązane tą relacją z jednym wystąpieniem opisującym ocenę serwisu względem danego kryterium, wtedy mechanizm wnioskujący uzna, że instancje te odnoszą się do tego samego serwisu.

*Tabela 3.5 Wybrane definicje ad hoc relacji binarnych dla ontologii eQual*

| Nazwa relacji                                      | Koncept źródłowy                                                                                              | Liczność                         | Koncept docelowy                                                                                              | Właściwości         | Relacja odwrotna  |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| jestKryterium<br>(warunek konieczny)               | [Kryterium]<br>personalizacja<br>reputacja<br>aktualnosc_informacji<br>latwosc_uzycia<br>atrakcyjnosc_wygladu | N (kwantyfikacja egzystencjalna) | [eQual]<br>Przystepnosc<br>Zaufanie<br>Jakosc_informacji<br>Uzytecznosc1<br>Projekt                           | -                   | ma<br>Kryterium   |
| maKryterium<br>(warunek konieczny i wystarczający) | [eQual]<br>Przystepnosc<br>Zaufanie<br>Jakosc_informacji<br>Uzytecznosc1<br>Projekt                           | N (kwantyfikacja egzystencjalna) | [Kryterium]<br>personalizacja<br>reputacja<br>aktualnosc_informacji<br>latwosc_uzycia<br>atrakcyjnosc_wygladu | Zwrotna             | jest<br>Kryterium |
| jestOcena                                          | [Kryterium]<br>Serwis1_personalizacja<br>Serwis1_reputacja                                                    | -                                | [Serwis]<br>Serwis1                                                                                           | Funkcyjna           | maOcene           |
| maOcene                                            | [Serwis]<br>Serwis1                                                                                           | -                                | [Kryterium]<br>Serwis1_personalizacja<br>Serwis1_reputacja                                                    | Odwrotnie funkcyjna | jestOcena         |

*Źródło: opracowanie własne*

Szóstym zadaniem było **szczegółowe zdefiniowanie atrybutów instancji**. Dla wystąpień konceptów w ontologii eQual określono jeden atrybut, który określa wartość oceny przyznanej serwisowi względem danego kryterium. Atrybut ten jest zawarty w tabeli 3.6. W tabeli 3.6 przyjęto konwencję zapisu podobną do tej, która została wykorzystana w tabeli 3.5, przy czym obok przykładowych konceptów podano również nazwy przykładowych instancji. Konkretnie wartości tych atrybutów są przypisane dla poszczególnych wystąpień konceptów odpowiadających kryteriom oceny. Zgodnie z metodą eQual wartość oceny jest liczbą całkowitą z zakresu 1-7.

*Tabela 3.6 Definicje atrybutów instancji dla ontologii eQual z przykładowymi wystąpieniami*

| Nazwa atrybutu instancji | Nazwa konceptu                                                     | Typ wartości | Zakres wartości | Liczność |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|----------|
| maWartoscOceny           | [Kryterium]<br>personalizacja<br>Instancja: Serwis1_personalizacja | integer      | 1 ... 7         | (1,1)    |

*Źródło: opracowanie własne*

Realizacja zadania siódmego polegała na **szczegółowym zdefiniowaniu atrybutów klas**. Zidentyfikowano tutaj atrybuty „maWartoscOceny” i „maWartoscWagi”, których zadaniem jest ograniczenie zakresu możliwych wartości dla atrybutów instancji i klas do wartości od 1 do 7. Mają one służyć mechanizmowi wnioskującemu do kontroli poprawności wag i instancji ocen pod względem wpisanych wartości. Ponadto atrybut „maWartoscWagi” jest również atrybutem poszczególnych konceptów zawartych w klasie „Kryterium”, a mają być w nim przechowywane wartości wag poszczególnych kryteriów. Jako atrybuty klas zaliczono też ograniczenia liczności kryteriów należących do danej charakterystyki. Atrybuty klas zostały przedstawione w tabeli 3.7.

Tabela 3.7 Definicje atrybutów klas dla ontologii eQual

| Nazwa atrybutu klas | Nazwa konceptu                | Typ wartości | Zakres wartości | Liczność                      |
|---------------------|-------------------------------|--------------|-----------------|-------------------------------|
| maWartoscOceny      | Kryterium                     | integer      | 1 ... 7         | 1 (kwantyfikacja uniwersalna) |
| maWartoscWagi       | Kryterium                     | double       | 1.0 ... 7.0     | 1 (kwantyfikacja uniwersalna) |
| maWartoscWagi       | [Kryterium]<br>personalizacja | double       | 1.0 ... 7.0     | (1,1)                         |
| maKryterium         | Przystepnosc                  | liczność     | Kryterium       | (0,3)                         |
| maKryterium         | Zaufanie                      | liczność     | Kryterium       | (0,4)                         |
| maKryterium         | Jakosc_informacji             | liczność     | Kryterium       | (0,7)                         |
| maKryterium         | Projekt                       | liczność     | Kryterium       | (0,4)                         |
| maKryterium         | Uzytecznosc1                  | liczność     | Kryterium       | (0,4)                         |

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim już zadaniem w etapie konceptualizacji było **szczegółowe zdefiniowanie stałych**, które będą wykorzystane w ontologii. Stałe te dotyczą zakresu wartości ocen (skali oceniania) i wag, a pojawiły się one już w tabelach 3.6 i 3.7. Definicje stałych zawiera tabela 3.8.

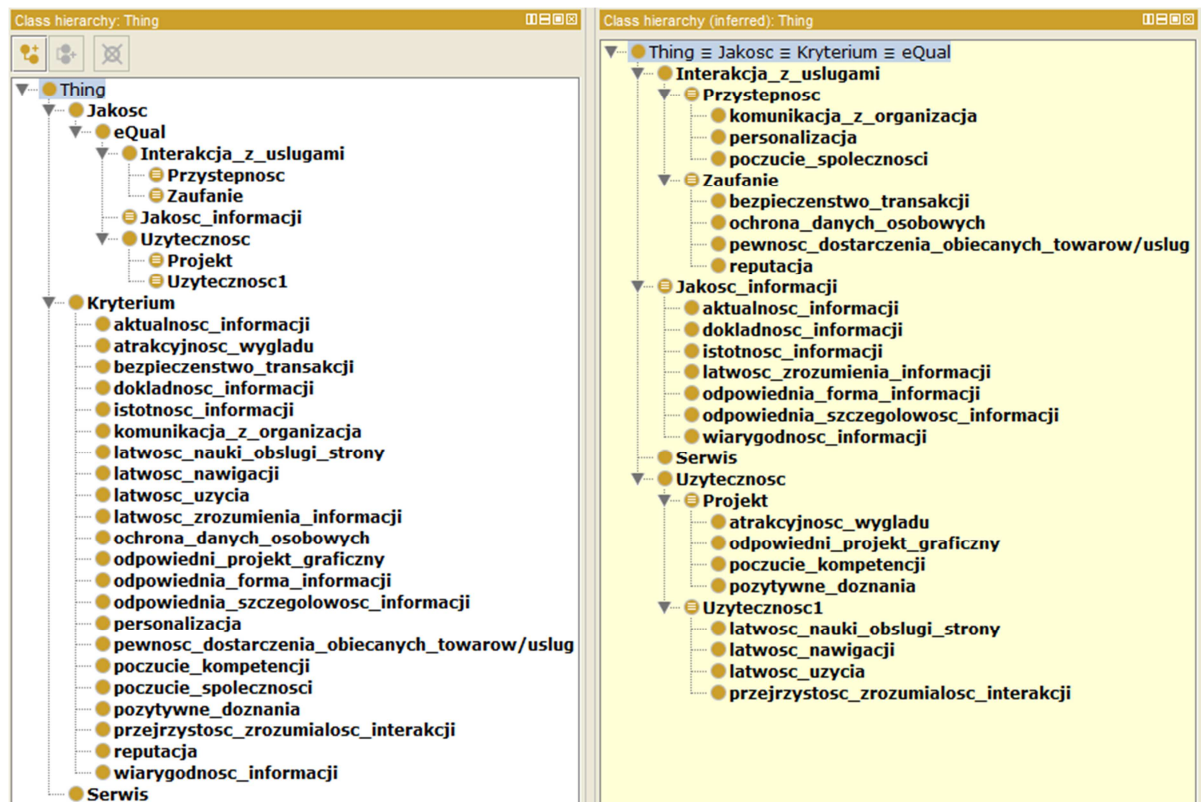
Tabela 3.8 Definicje stałych dla ontologii eQual

| Nazwa stałej | Typ wartości                | Wartość     | Jednostka miary |
|--------------|-----------------------------|-------------|-----------------|
| Ocena        | integer (całkowitoliczbowa) | 1 ... 7     | punkty          |
| Waga         | double (zmiennoprzecinkowa) | 1.0 ... 7.0 | punkty          |

Źródło: opracowanie własne

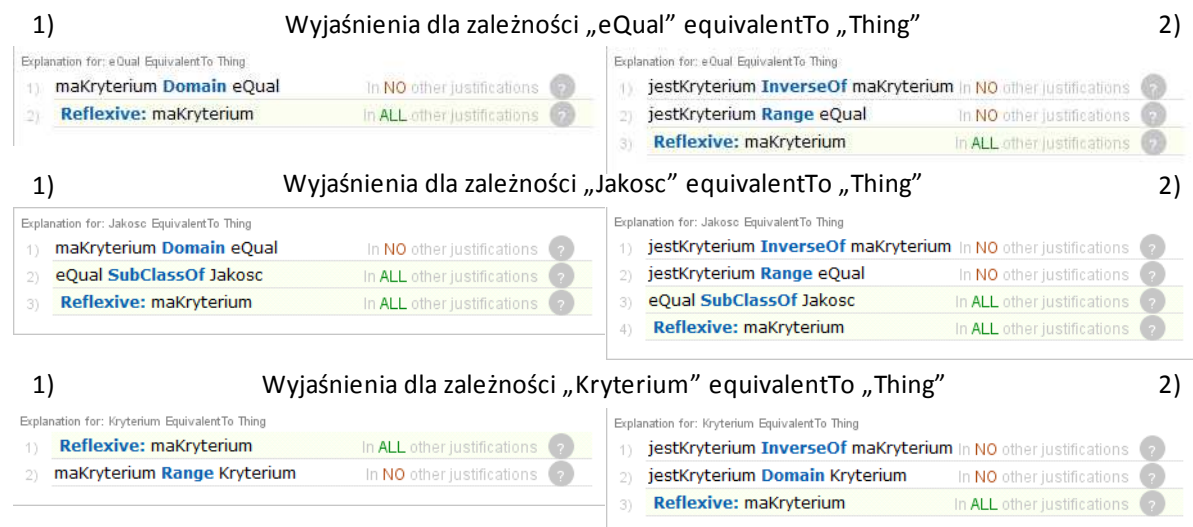
Jak zaznaczono wcześniej, przy wykorzystaniu edytora Protege etapy **formalizacji i implementacji** ontologii mogą być wykonywane jednocześnie. W niniejszej pracy na tych etapach budowy ontologii eQual wykorzystano właśnie edytor Protege, a pomocą służyły opracowania dotyczące zagadnienia modelowania ontologii z wykorzystaniem tego edytora [113] [235]. Za jego pomocą sformalizowano i zaimplementowano ontologię eQual w języku OWL 2 DL w oparciu o przedstawioną wcześniej konceptualizację. Na etapie implementowania ontologii przeprowadzano jednocześnie jej wstępną ocenę, opartą na działaniu mechanizmu wnioskującego. W efekcie oceny zidentyfikowano pewien błąd wymagający skorygowania. Powodował on wysnuwanie niepoprawnych konkluzji przez mechanizm wnioskujący. Polegał on na tym, że mechanizm wnioskujący uznał koncepty: „Thing”, „Jakosc”, „Kryterium” i „eQual” za równoważne. Dodatkowo spowodowało to niepoprawne zhierarchizowanie pozostałych konceptów w ontologii, np. koncept „Serwis”, będący podklasą konceptu „Thing”, został również błędnie uznany za podklasę konceptów „Jakosc”, „Kryterium” i „eQual”. Błędy w hierarchizacji konceptów przeprowadzonej przez

mechanizm wnioskujący przedstawia rysunek 3.5, na którym zawarto podstawową i wywnioskowaną hierarchię klas.



Rysunek 3.5 Błędnie wnioskowana hierarchia konceptów po implementacji ontologii eQual  
Źródło: opracowanie własne

Po dokonaniu analizy procesu wnioskowania stwierdzono, że przyczyną wspomnianego błędu jest określenie dziedziny i zasięgu relacji „maKryterium” i „jestKryterium” oraz nadanie relacji „maKryterium” właściwości zwrotności. Wygenerowane w edytorze Protege wyjaśnienia konkluzji wysnutych przez mechanizm wnioskujący zawiera rysunek 3.6.



Rysunek 3.6 Wyjaśnienia konkluzji mechanizmu wnioskującego wygenerowane w Protege  
Źródło: opracowanie własne



Wyjaśnienia przedstawione na rysunku 3.6 można wytłumaczyć również bardziej obrazowo, wspomagając się przy tym logiką opisową. Zaczynając od konkluzji, według której koncepty „Thing” i „eQual” są równoważne, należy zaznaczyć, że zgodnie z ustaloną taksonomią w ontologii zachodzą m.in. następujące zależności zawierania się konceptów i relacji (3.1):

$$\exists \text{maKryterium}.C \sqsubseteq \text{eQual} \sqsubseteq \text{Jakosc} \sqsubseteq T \quad (3.1)$$

gdzie:

T – koncept uniwersalny, klasa dowolnych obiektów ontologii, koncept „Thing”,

C – grupa konceptów będących cechami jakości zawartymi w konceptie „Kryterium”.

Przedstawione zależności między konceptami wynikają z taksonomii konceptów ustalonej na etapie konceptualizacji. Z kolei zależność między relacją „maKryterium” w postaci kwantyfikacji egzystencjalnej i konceptem „eQual” wynika z tego, że w grupie konceptów „C” relacja ta pełni rolę warunku koniecznego i wystarczającego. Oznacza to, że jest ona ustanowiona jako równoważna (ang. Equivalent To) z konceptami zawartymi w konceptie „eQual”, a więc podobnie jak te koncepty zawiera się ona w konceptie „eQual”. Ponadto elementy 1) i 2) wyjaśnienia 1) dla zależności pomiędzy „eQual” i „Thing” można zapisać za pomocą logiki opisowej w postaci kolejnych wyrażeń (3.2) i (3.3):

$$\exists \text{maKryterium}.T \sqsubseteq \text{eQual} \quad (3.2)$$

$$T \sqsubseteq \exists \text{maKryterium}.Self \quad (3.3)$$

Wyrażenie (3.2) oznacza, że: jeżeli pewien obiekt jest powiązany jako podmiot relacją „maKryterium” z dowolnym innym obiektem (obiektem klasy „T”), to należy on do klasy „eQual”. Z kolei wyrażenie (3.3) mówi o tym, że dowolny obiekt jest zawarty w takiej klasie, której obiekty są zwrotnie powiązane relacją maKryterium. Wobec tego, jeżeli w wyrażeniu (3.2) za dowolny obiekt (obekt klasy „T”) zostanie podstawiony obiekt charakteryzujący się relacją zwrotną (np. obiekt klasy „Przystepnosc”), wtedy otrzyma się zależność (3.4):

$$T \sqsubseteq \exists \text{maKryterium}.Self \sqsubseteq \text{eQual} \quad (3.4)$$

Na podstawie wyrażeń (3.1) i (3.4) można więc wywnioskować zależności (3.5):

$$(\text{eQual} \sqsubseteq T) \wedge (T \sqsubseteq \text{eQual}) \quad (3.5)$$

Zależność (3.5) jest zbieżna z definicją równoważności konceptów (A i B) zawartą we wzorze (3.6), wobec czego koncepty „eQual” i „Thing” są równoważne:

$$A \equiv B \Leftrightarrow (A \sqsubseteq B) \wedge (B \sqsubseteq A) \quad (3.6)$$

Wyjaśnienie 2) dla zależności pomiędzy „eQual” i „Thing” jest bardzo podobne do 1), gdyż relacja „jestKryterium” ma zasięg (ang. Range) konceptu „eQual”, więc koncept „eQual” jest dziedziną relacji do niej odwrotnej, tj. „maKryterium”. Dalsze wyjaśnienia są takie same jak te, które zostały przedstawione dla wyjaśnienia 1). Wyjaśnienia dla zależności pomiędzy konceptami „Jakosc” i „Thing” są bardzo podobne do tych, które przedstawiono dla konceptów „eQual” i „Thing”, gdyż koncept „eQual” jest zawarty w „Jakosc”. Podobnie przebiega też wyjaśnienie dla zależności pomiędzy konceptami „Kryterium” i „Thing”, gdyż relacja zwrotna charakteryzuje się tym, że zarówno dziedzina, jak i zasięg relacji są zwrotne.

Wobec tego concept będący zasięgiem relacji zwrotnej jest również dziedziną takiej relacji (w tym przypadku concept „Kryterium” jest zasięgiem i dziedziną relacji „maKryterium”).

Aby poprawić błędy wnioskowania, można pominąć właściwość zwrotności relacji „maKryterium” lub usunąć dziedzinę i zasięg relacji „maKryterium”. Pominięcie relacji zwrotności powodowało jednak, że mechanizm wnioskujący nie identyfikował poszczególnych kryteriów jako conceptów zawierających się w określonych charakterystykach modelu jakości. Było to więc rozwiązanie niezgodne z założeniami ontologii. Ponadto w dokumentacji edytora Protege [113, s. 36] odradza się stosowanie dziedziny i zasięgu relacji, gdyż ich definiowanie może dawać nieoczekiwane wyniki klasyfikacji, co miało również miejsce w tym przypadku. Wobec tego zdecydowano się na usunięcie z ontologii dziedziny i zasięgu relacji „maKryterium”, przy czym elementy te należało usunąć także z relacji „jestKryterium”, która jest odwrotna do „maKryterium”. Po wykonaniu tych działań klasyfikacja kryteriów oceny i ich przypisanie do odpowiednich charakterystyk jakości modelu eQual odbywało się poprawnie. Pojawił się tu jednak inny problem, a mianowicie we wprowadzonych testowo przykładowych instancjach mechanizm wnioskujący generował dodatkowe, błędne relacje. Pokazano to na rysunku 3.7 na przykładzie wystąpień conceptu kryterium „personalizacja” oraz conceptu „Serwis”.



Rysunek 3.7 Błędne relacje wygenerowane przez mechanizm wnioskujący

Źródło: opracowanie własne

Błędnyymi relacjami są tutaj „jestKryterium” i „maKryterium” w przypadku instancji „Serwis1\_personalizacja”, gdyż instancja ta jest wystąpieniem oceny serwisu względem kryterium personalizacji. Tymczasem relacje te powinny wiązać charakterystyki jakości z kryteriami. Wskazane relacje nie powinny pojawiać się również w instancji „Serwis1” będącej wystąpieniem conceptu „Serwis”, gdyż instancja ta opisuje serwis internetowy, a nie kryterium lub charakterystykę jakości.

Rozwiązanie, które pozwalało wyeliminować wskazany błąd, polegało na usunięciu właściwości zwrotności dla relacji „maKryterium”. Jednak, jak zaznaczono wyżej, pominięcie tej właściwości powoduje, że mechanizm wnioskujący nie odkrywa zawierania się kryteriów w charakterystykach jakości. Jednakże istnieją co najmniej dwa rozwiązania, które umożliwiają usunięcie zwrotności relacji „maKryterium” i jednocześnie zapewniają, że mechanizm wnioskujący będzie przypisywał do charakterystyk jakości odpowiednie kryteria. Polegają one na utworzeniu relacji, które w uproszczeniu można określić jako lokalnie zwrotne.

- 1) Zamiast zastosowania właściwości zwrotności relacji „maKryterium” można określić zasięg tej relacji jako „maKryterium some Self” oraz „Kryterium”. Oznacza to, że

zasięgiem tej relacji byłyby tylko instancje konceptów „Kryterium” oraz konceptów będących jednocześnie podmiotem relacji. Jednak w tym przypadku w instancjach kryteriów nadal wnioskowane są relacje „jestKryterium” i „maKryterium”, co pokazuje rysunek 3.8.



Rysunek 3.8 Efekt określenia zasięgu relacji „maKryterium” jako „maKryterium some Self”  
Źródło: opracowanie własne

2) Drugie rozwiązanie polega na przypisaniu poszczególnym charakterystykom relacji „maKryterium” z kwantyfikatorem uniwersalnym, w których konceptem źródłowym i jednocześnie docelowym są dane charakterystyki. Relacje te powinny być ustanowione w konceptach jako warunki konieczne i wystarczające. Ze względu na wydajność wnioskowania należy przy tym ustanowić istniejące relacje „maKryterium” z kwantyfikatorem egzystencjalnym jako warunki konieczne, tj. klasy nadrzędne, lub całkowicie je usunąć. Rozwiązanie to, w sytuacji gdy koncept  $C_1$  reprezentuje charakterystyki, a koncept  $C_2$  oznacza kryteria, można rozumieć następująco:

- istnieje grupa pewnych kryteriów  $C_2$ , które należą do charakterystyki  $C_1$  („ $C_2$  jestKryterium some  $C_1$ ”),
- charakterystyka  $C_1$  ma tylko takie kryteria  $C_2$ , które należą do tej charakterystyki („ $C_1$  maKryterium only  $C_1$ ”),
- charakterystyka  $C_1$  jest podklasą pewnego konceptu mającego określone kryteria  $C_2$  („ $C_1$  SubClassOf (maKryterium some  $C_2$ )”).

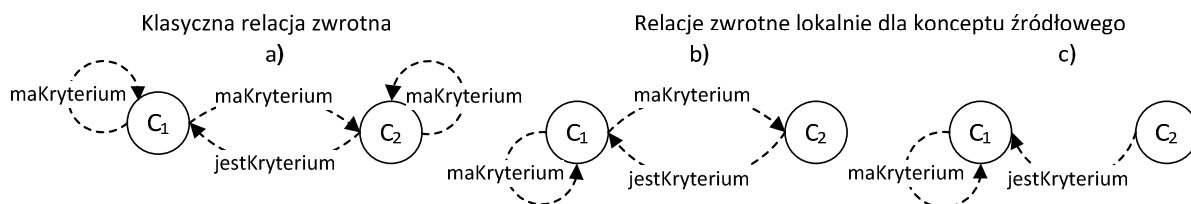
Efekt opisanego rozwiązania przedstawia rysunek 3.9. Ze względu na to, że rozwiązanie to eliminuje występowanie błędnych relacji w instancjach serwisów i ocen serwisów, zdecydowano się zastosować właśnie taką postać relacji „maKryterium”.



Rysunek 3.9 Efekt zastosowania relacji „maKryterium” z kwantyfikatorem uniwersalnym  
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 3.10 przedstawiono różnicę między klasyczną relacją zwrotną (a) a relacjami zwrotnymi lokalnie, tj. o zasięgu „maKryterium some Self” (b) i z kwantyfikatorem uniwersalnym „ $C_1$  maKryterium only  $C_1$ ” (c). Na rysunku 3.10 (c) nie zawarto zależności „ $C_1$  maKryterium some  $C_2$ ”, gdyż zależność ta nie jest niezbędna mechanizmowi wnioskującemu do prawidłowego zaklasyfikowania określonych kryteriów oceny do odpowiednich

charakterystyk jakości. Należy jednak zaznaczyć, że w zbudowanej ontologii eQual zależność ta została użyta.



Rysunek 3.10 Różnice między różnymi wariantami relacji „maKryterium”

Źródło: opracowanie własne

W efekcie podjętych działań, wynikających z wykrytych błędów, najistotniejsza zmiana zaszła w **szczegółowych definicjach ad hoc relacji binarnych**, zawartych w tabeli 3.5. Nową postać tych definicji zawiera tabela 3.9. W tabeli tej zachowano informacje o konceptach źródłowych i docelowych poszczególnych relacji. Zawarto tu również odpowiednią adnotację, jeżeli relacja nie posiada jawnie określonego zasięgu lub dziedziny.

Tabela 3.9 Zmodyfikowane definicje ad hoc relacji binarnych ontologii eQual

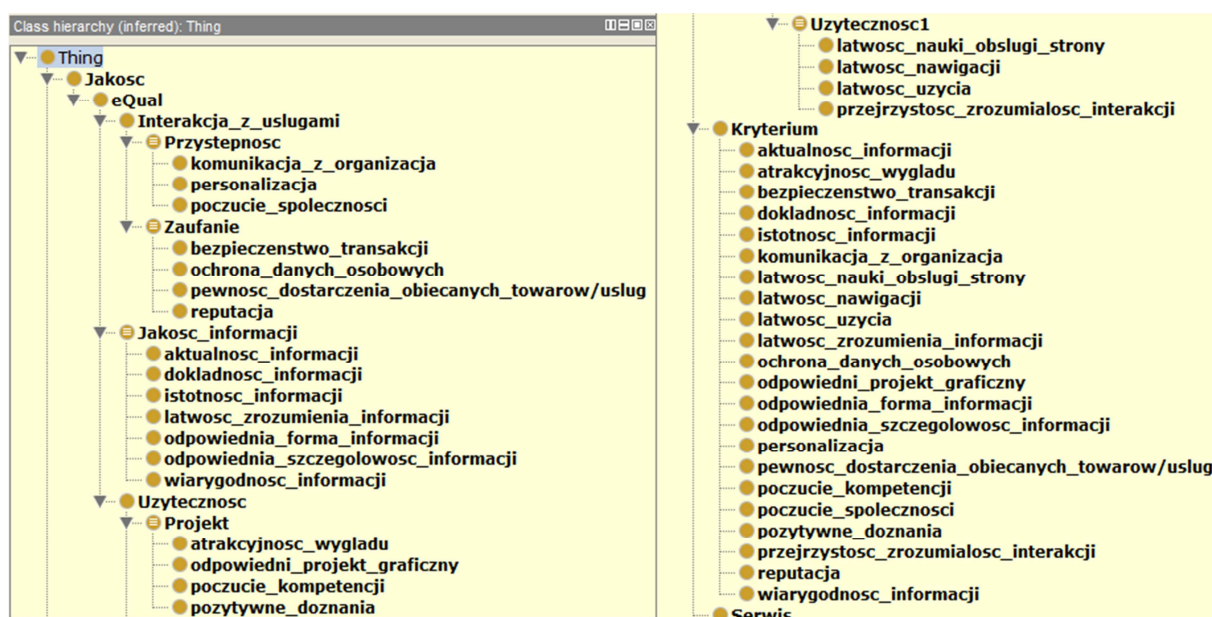
| Nazwa relacji                                      | Koncept źródłowy                            | Liczność                            | Koncept docelowy                      | Właściwości         | Relacja odwrotna  |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------|
| jestKryterium<br>(warunek konieczny)               | [Kryterium]<br>dziedzina<br>niezdefiniowana | N<br>(kwantyfikacja egzystencjalna) | [eQual]<br>zasięg niezdefiniowany     | -                   | ma<br>Kryterium   |
| maKryterium<br>(warunek konieczny)                 | [eQual]<br>dziedzina<br>niezdefiniowana     | N<br>(kwantyfikacja egzystencjalna) | [Kryterium]<br>zasięg niezdefiniowany | -                   | jest<br>Kryterium |
| maKryterium<br>(warunek konieczny i wystarczający) | [eQual]<br>dziedzina<br>niezdefiniowana     | 1 (kwantyfikacja uniwersalna)       | [eQual]<br>zasięg niezdefiniowany     |                     |                   |
| jestOcena                                          | [Kryterium]<br>Serwis1_personalizacja       | -                                   | [Serwis]<br>Serwis1                   | Funkcyjna           | maOcena           |
| maOcena                                            | [Serwis]<br>Serwis1                         | -                                   | [Kryterium]<br>Serwis1_personalizacja | Odwrotnie funkcyjna | jestOcena         |

Źródło: opracowanie własne

Na skutek przeprowadzenia formalizacji i implementacji oraz wstępnej oceny ontologii eQual i wyeliminowania z niej omówionych wyżej błędów, uzyskano ostateczną jej wersję, którą następnie poddano pełnej **ocenie**. Pierwszym etapem oceny była weryfikacja ontologii pod względem zachowania w niej przyjętych na wstępie konwencji nazwowych, a następnie zbadano ekspresywność zbudowanej ontologii. Formalnym językiem implementacji ontologii był język OWL2. Elementy tego języka zaimplementowane w ontologii eQual są zgodne z dialektem logiki opisowej ALCIQ(D), a mówiąc w uproszczeniu - SIQ(D). Oznacza to, że ostatecznie implementacja ontologii wykorzystuje język OWL 2 DL, który odpowiada dialektowi logiki opisowej SROIQ(D). Gdyby jednak usunąć z ontologii kwalifikowane ograniczenia liczebnościowe, ontologia byłaby zgodna z dialektem ALCIF(D) i opierałaby się na podzbiorze języka OWL1 Lite (dialekt SHIF). Wobec tego ontologia eQual nie jest zbyt ekspresywna, co pozytywnie wpływa na wydajność wnioskowania. Potwierdza to czas wnioskowania poszczególnych mechanizmów wnioskujących, wynoszący od 1 s (FaCT++) do kilku sekund (na komputerze wyposażonym w procesor Core i7). Zaznaczyć należy, że usunięcie z ontologii eQual relacji „C<sub>1</sub>

maKryterium some  $C_2$ ”, funkcjonujących jako warunki konieczne w konceptach charakterystyk jakości, pozwala skrócić czas wnioskowania do 0,4 s (FaCT++). Jeżeli chodzi o zastosowane w badaniu mechanizmy wnioskowania, wykorzystane zostały mechanizmy zgodne z dialektem SROIQ(D), tj.: FaCT++ 1.6.2, HermiT 1.3.7, Pellet 2.3.0 oraz RacerPro wspierający dialekt SRIQ [59]. Są to mechanizmy oparte na algorytmach tablicowych, a HermiT wykorzystuje algorytm hiper-tablicowy [195]. Do wnioskowania nie mogły być natomiast zastosowane mechanizmy wspierające mniej ekspresywne dialekty logiki opisowej, gdyż w zbudowanej ontologii wykorzystano m.in. kwalifikowane ograniczenia liczności. Z tego względu mechanizmy, takie jak np. zgodne z profilem OWL2 EL: Snorocket i ELK 0.3.2 oraz TrOWL, generowały błędy lub przeprowadzały niepełne wnioskowanie.

Kolejny etap oceny ontologii polegał na przeprowadzeniu klasyfikacji konceptów za pomocą mechanizmu wnioskującego. Efekt tej klasyfikacji przedstawia rysunek 3.11.



Rysunek 3.11 Hierarchia konceptów ontologii eQual uzyskana w efekcie przeprowadzenia klasyfikacji przez mechanizm wnioskujący

Źródło: opracowanie własne

Analizując rysunek 3.11, można zauważyć, że poszczególne kryteria jakości zostały poprawnie przyporządkowywane przez mechanizm wnioskujący do odpowiednich charakterystyk jakości. Hierarchia konceptów, wygenerowana przez mechanizm wnioskujący, jest więc zgodna z modelem jakości zawartym w metodzie eQual. Poszczególne kryteria oceny jakości są również zawarte w koncepcie „Kryterium”, wobec czego ontologia jest przejrzysta. Ponadto do konceptu „Kryterium” można będzie w procesie integracji w łatwy sposób dodawać nowe koncepty odzwierciedlające inne kryteria oceny jakości. Dodawane w ten sposób koncepty będzie można również przypisywać do wybranych charakterystyk jakości. Zaznaczyć również należy, że hierarchię konceptów generowano za pomocą różnych mechanizmów wnioskujących (FaCT++, Hermit, Pellet, RacerPro) i każdy z mechanizmów wygenerował taką samą hierarchię konceptów i relacje między konceptami.

Ostatnim etapem oceny ontologii eQual było zbadanie jej odpowiedzi na pytania kompetencyjne. W tym celu do ontologii wprowadzono przykładowe wagi wybranych

kryteriów oceny oraz przykładowe instancje ocen względem wybranych kryteriów, a także dwa wystąpienia serwisów internetowych. Wprowadzone do ontologii dane przedstawia tabela 3.10. Kryteria, których nie uwzględniono w tabeli 3.10, miały przypisaną wagę 1.0. Ponadto w ontologii nie były zawarte ich instancje, a więc żaden z dwóch serwisów nie posiadał ocen względem kryteriów niewymienionych w tabeli 3.10.

*Tabela 3.10 Przykładowe wagi kryteriów, oceny i serwisy wprowadzone do ontologii eQual*

| Charakterystyka   | Kryterium                                     | Waga | Ocena   |         |
|-------------------|-----------------------------------------------|------|---------|---------|
|                   |                                               |      | Serwis1 | Serwis2 |
| Przystepnosc      | komunikacja_z_organizacja                     | 4.1  | 5       | 1       |
|                   | personalizacja                                | 2.5  | 4       | 6       |
|                   | poczucie_spolecznosci                         | 3.7  | 7       | 7       |
| Zaufanie          | bezpieczenstwo_transakcji                     | 1.4  | 5       | 3       |
|                   | ochrona_danych_osobowych                      | 5.1  | 2       | 4       |
|                   | pewnosc_dostarczenia_obiecanych_towarow/uslug | 4.3  | 3       | -       |
|                   | reputacja                                     | 6.2  | 5       | 2       |
| Jakosc_informacji | aktualnosc_informacji                         | 6.7  | 6       | 2       |

*Źródło: opracowanie własne*

Do uzyskania odpowiedzi ontologii na pytania kompetencyjne wykorzystano rozszerzenie edytora Protege o nazwie „DL Query” [61]. Narzędzie to pozwala formułować i kierować do ontologii zapytania zgodne ze składnią Manchester OWL [114] [115] [116] oraz zapisywać zapytania w formie klas ontologii. Podczas przygotowywania zapytań do ontologii, pozwalających uzyskać odpowiedzi na sformułowane pytania kompetencyjne, poza wymienionymi źródłami dotyczącymi składni Manchester OWL korzystano także z krótkich przykładów zapytań dostępnych m.in. w sieci Internet [61] [274] [117]. Oczywiście, istnieje też możliwość kierowania do ontologii zapytań w innych językach, jak np. SQWRL lub SPARQL, ale na potrzeby weryfikacji pytań kompetencyjnych narzędzie DL Query uznano za wystarczające. Należy zaznaczyć, że pytania sformułowane na etapie specyfikacji były ogólne i aby ontologia mogła udzielić na nie odpowiedzi, musiały one zostać sprecyzowane. Niemniej jednak mogą one zostać łatwo zmodyfikowane, aby odnosiły się do innych konceptów i instancji zawartych w ontologii eQual. Pytania kompetencyjne w postaci uszczegółowionej przedstawiono w tabeli 3.11.

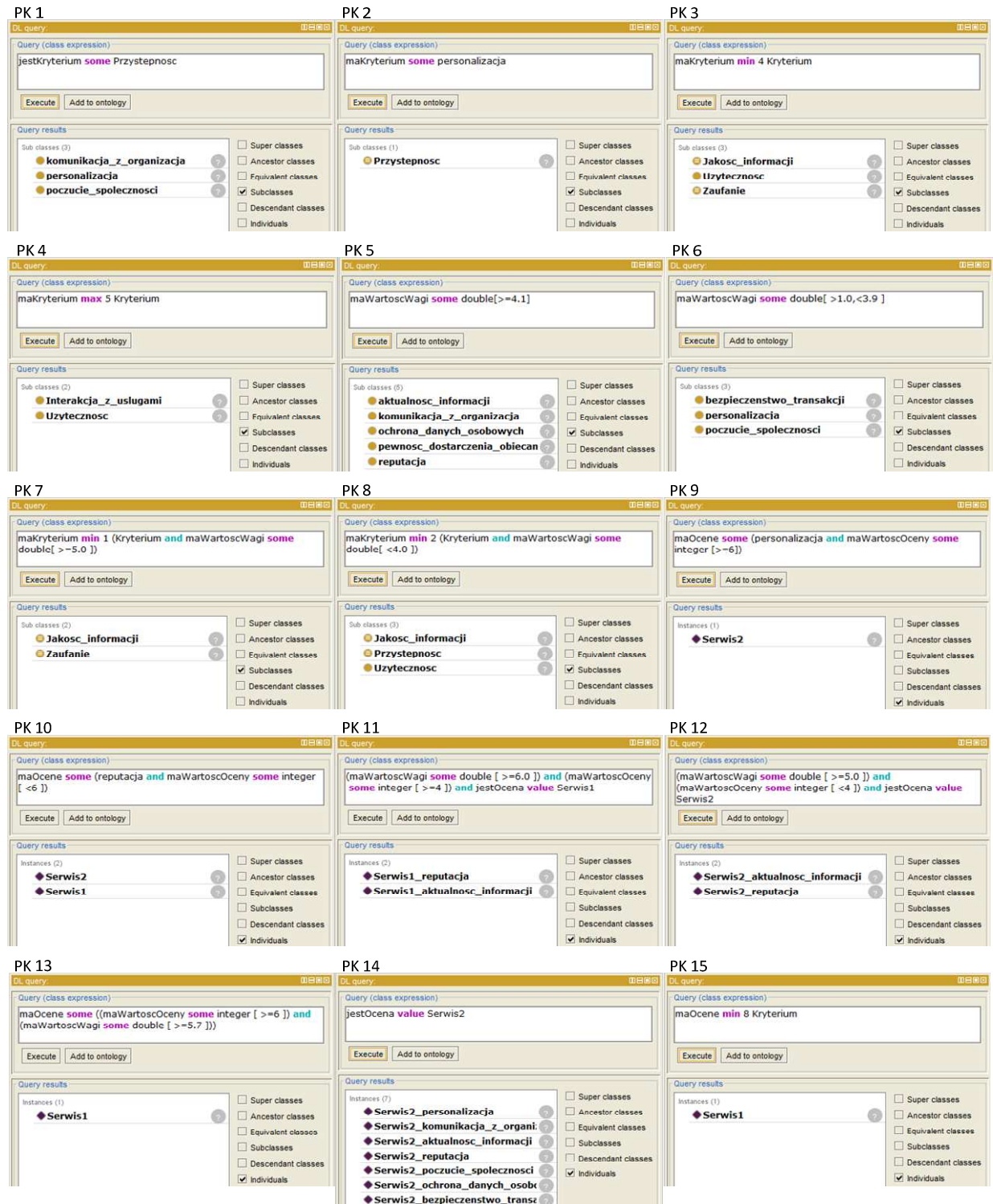
*Tabela 3.11 Uszczegółowione pytania kompetencyjne kierowane do ontologii eQual*

| Grupa pytań                        | Pytanie kompetencyjne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GPK 1.<br>Przynależności kryteriów | PK 1. Jakie kryteria jakości należą do charakterystyki „Przystepnosc”?<br>PK 2. Do jakiej charakterystyki należy kryterium „personalizacja”?<br>PK 3. Jakie charakterystyki posiadają co najmniej 4 kryteria?<br>PK 4. Jakie charakterystyki posiadają co najwyżej 5 kryteriów?                                                                                                                                                                                                 |
| GPK 2. Wartości wag kryteriów      | PK 5. Jakie kryteria mają wagę o wartości $\geq 4.1$ ?<br>PK 6. Jakie kryteria mają wagę o wartości $< 3.9$ i $> 1.0$ ?<br>PK 7. Jakie charakterystyki mają co najmniej 1 kryterium o wartości wag $\geq 5.0$ ?<br>PK 8. Jakie charakterystyki mają co najmniej 2 kryteria o wartości wag $< 4.0$ ?                                                                                                                                                                             |
| GPK 3. Wartości ocen serwisów      | PK 9. Jakie serwisy mają ocenę o wartości $\geq 6$ względem kryterium „personalizacja”?<br>PK 10. Jakie serwisy mają ocenę o wartości $< 6$ względem kryterium „reputacja”?<br>PK 11. Jakie kryteria o wadze $\geq 6.0$ mają ocenę o wartości $\geq 4$ dla serwisu „Serwis1”?<br>PK 12. Jakie kryteria o wadze $\geq 5.0$ mają ocenę o wartości $< 4$ dla serwisu „Serwis2”?<br>PK 13. Jakie serwisy mają ocenę o wartości $\geq 6$ pod względem kryteriów o wadze $\geq 5.7$ ? |
| GPK 4.<br>Kompletność ocen         | PK 14. Pod względem jakich kryteriów jest oceniony „Serwis2”?<br>PK 15. Które serwisy są ocenione pod względem co najmniej 8 kryteriów?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

*Źródło: opracowanie własne*



W odniesieniu do pytań zdefiniowanych na etapie specyfikacji, najbardziej zmienione zostało pytanie 15. Zrobiono to, aby jako efekt wykonania zapytania pokazać wystąpienie „Serwisu1” posiadającego oceny względem 8 kryteriów. Pytanie o serwisy ocenione pod względem wszystkich 22 kryteriów powinno mieć postać „maOcene min 22 Kryterium”. Odpowiedzi ontologii na poszczególne pytania kompetencyjne zawarte są na rysunku 3.12.



Rysunek 3.12 Odpowiedzi ontologii eQual na pytania kompetencyjne

Źródło: opracowanie własne

Nawiązując do przedstawionych na rysunku 3.12 odpowiedzi ontologii na pytania kompetencyjne, należy stwierdzić, że każda z odpowiedzi jest zgodna z zawartością ontologii, tzn. jest prawdziwa. Istotne jest również to, że ontologia potrafi udzielić poprawnej odpowiedzi na każde ze zdefiniowanych pytań kompetencyjnych. Wobec tego etap oceny ontologii eQual został zakończony. Ze względu na spełnienie przez ontologię wszystkich wymagań postawionych na etapie specyfikacji, autor uznał jej budowę za poprawną.

Według przedstawionej metodologii przebiegała również budowa pozostałych ontologii odzwierciedlających metody oceny jakości serwisów internetowych, tj. ontologii: Ahn, SiteQual, Website Evaluation Questionnaire i Web Portal Site Quality. Należy zaznaczyć, że w ontologii Ahn uwzględniono tylko trzy podstawowe charakterystyki jakości, tj.: jakość systemu, jakość informacji oraz jakość usług. Zdecydowano się na to ze względu na fakt, że pozostałe charakterystyki ujęte w metodzie Ahn wynikają bezpośrednio z charakterystyk pierwotnych. Nie są one natomiast użyteczne przy badaniu jakości serwisów. Ponadto dla ontologii Website Evaluation Questionnaire nie ujęto kryteriów negatywnych. Wpływ na tę decyzję miał fakt, że kryteria negatywne w metodzie WEQ służą tylko do weryfikacji poprawności ocen pozostałych kryteriów w ramach danej charakterystyki. Zdefiniowane i wywnioskowane taksonomie conceptów poszczególnych zbudowanych ontologii zawarto w załącznikach 3.1-3.5. Ontologie, których proces budowy nie został przedstawiony w pkt 3.2, różnią się od ontologii eQual głównie charakterystykami i kryteriami jakości, w związku z czym integracja zbudowanych ontologii powinna być względnie nieskomplikowana. Problemem podczas integracji mogą być różnice między metodami wynikające ze skali oceniania serwisów względem poszczególnych kryteriów jakości. Jak stwierdzono w pkt 1.4 niniejszej pracy, metody eQual i Ahn korzystają z 7 punktowej skali oceniania, Web Portal Site Quality i Website Evaluation Questionnaire stosują skalę 5 stopniową, a SiteQual wykorzystuje 9 punktową skalę ocen. Wobec tego ontologie są niespójne pod względem skali ocen, zdefiniowanych w każdej z ontologii jako ograniczenia wartości atrybutu „maWartoscOceny” nałożone na potomków conceptu „Kryterium”.

Budowa ontologii odzwierciedlających metody oceny jakości serwisów internetowych była pewnym etapem częściowym większego procesu integracji tych metod. Proces ten będzie się odbywał poprzez integrację zbudowanych ontologii. W wyniku tego powinna powstać ontologia obejmująca kryteria i charakterystyki jakości, zawarte w poszczególnych metodach oceny.

### **3.3 Podstawy teoretyczne integracji ontologii**

Pojęcie integracji ontologii nie jest jednoznacznie sprecyzowane i jest odmiennie definiowane w różnych pracach. Dodatkowo jest to pojęcie stosunkowo ogólne, związane z szeregiem pojęć bardziej szczegółowych. Pojęcia te są bliskie znaczeniowo integracji, a różnią się tylko pewnymi szczegółami. Ponadto często znaczenie tych samych pojęć dla różnych autorów jest nieco inne. Wśród pojęć ściśle związanych z integracją można wymienić: wyrównywanie (ang. aligning, alignment), odwzorowywanie lub mapowanie (ang. mapping), dopasowywanie (ang. matching), uzgadnianie (ang. adjustment), łączenie (ang.



merging), integrowanie (ang. integration) oraz integrowanie ontologii w aplikacjach (ang. integration into applications).

De Bruijn i in. [52] wyróżniają: wyrównywanie, odwzorowanie i łączenie ontologii.

- 1) Wyrównywanie można rozumieć jako proces odkrywania podobieństw między ontologiami. Mogą być to podobieństwa zachodzące między conceptami, ich instancjami lub podobieństwa struktury wyrównywanych ontologii. Sam proces wyrównywania może być wykonywany automatycznie lub półautomatycznie.
- 2) Odwzorowywanie odnosi się do reprezentowania powiązań, które występują pomiędzy ontologiami. W jego rezultacie otrzymuje się specyfikację pokrycia semantyki jednej ontologii przez inną lub, mówiąc w uproszczeniu, mapę opisującą wzajemne relacje zachodzące pomiędzy elementami odwzorowywanych ontologii. Powiązania między ontologiami są przechowywane odrębnie od ontologii i nie są ich częścią. Wobec tego odwzorowywanie nie wprowadza zmian w żadnej z ontologii.
- 3) Łączenie oznacza utworzenie nowej ontologii, która unifikuje i może zastąpić ontologie źródłowe. Ontologia ta powinna uchwycić całą wiedzę zawartą w oryginalnych ontologiach. Stosowane mogą być tutaj dwa podejścia: może być utworzona jedna nowa ontologia odzwierciedlająca ontologie źródłowe lub też może zostać zbudowana tzw. ontologia pomostowa (ang. bridge ontology). Ontologia pomostowa zawiera zaimportowane do niej oryginalne ontologie oraz powiązania między ontologiami. Jest więc ona nieco zbliżona do rezultatu, który uzyskuje się w procesie odwzorowywania ontologii. Jednak, w odróżnieniu od odwzorowywania, w przypadku ontologii pomostowej ontologie źródłowe i powiązania między nimi są przechowywane w jednym bycie.

Lin i Sandkuhl [173] definiują pojęcia: wyrównywania, odwzorowania, dopasowania, łączenia i integracji ontologii.

- 1) Wyrównywanie zostało określone jako identyfikowanie powiązań między ontologiami źródłowymi, co jest zbieżne z definicją wyrównywania sformułowaną przez de Bruijn i in.
- 2) Odwzorowanie odnosi się do poszukiwania równych sobie części w ontologiach źródłowych pochodzących z różnych dziedzin.
- 3) Dopasowanie natomiast oznacza poszukiwanie podobnych do siebie części lub reguł translacji wiedzy w celu przekazywania jej pomiędzy ontologiami źródłowymi. Obejmuje więc ono pojęcia wyrównywania i częściowo odwzorowywania, zdefiniowane przez de Bruijn i in.
- 4) Łączenie jest tutaj rozumiane bardzo szeroko, bo jest ono określone po prostu jako połączenie dwóch ontologii z tej samej dziedziny w nową ontologię.
- 5) Integracja różni się od zdefiniowanego przez Lin i Sankuhl łączenia tym, że dotyczy ona ontologii z różnych dziedzin.

Klein [154] m.in. określa definicje: wyrównywania, odwzorowywania oraz łączenia i integrowania ontologii.

- 1) Definicja wyrównania jest bardzo lakoniczna, gdyż Klein podaje, że wyrównanie oznacza po prostu doprowadzenie do wzajemnej zgodności wielu ontologii.
- 2) Odwzorowanie polega na powiązaniu ze sobą podobnych (według określonej miary podobieństwa) conceptów i relacji pochodzących z różnych ontologii relacją równoważności. Wynik odwzorowania można rozumieć jako wirtualną integrację, w

efekcie której nie uzyskuje się fizycznej postaci nowej ontologii. Wynika z tego, że definicja ta jest zgodna z odwzorowaniem zdefiniowanym przez de Bruijn i in.

- 3) Łączenie i integracja są uznane przez Kleina za pojęcia tożsame. Obejmują one tworzenie nowej ontologii z dwóch lub więcej istniejących ontologii mających pokrywające się części. Klein zaznacza, że nowa ontologia może być ontologią utworzoną fizycznie lub tylko wirtualnie, tzn. pewnego rodzaju wspólnym widokiem wielu odrębnych ontologii.

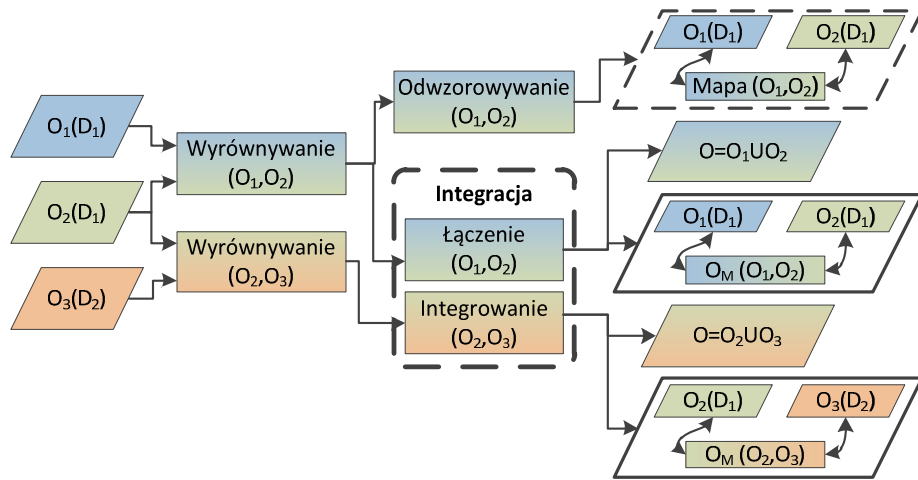
Nguyen [203] w oparciu o analizę literatury przytacza definicje uzgadniania i łączenia ontologii.

- 1) Uzgadnianie oznacza w tym wypadku ustalenie odniesień pomiędzy ontologiami w celu umożliwienia wykorzystania każdej z nich w określonym celu. Nie jest przy tym tworzona ontologia, która by je unifikowała. Uzgadnianie jest więc zgodne z podaną przez de Bruijn i in. definicją odwzorowywania.
- 2) Celem łączenia kilku ontologii jest określenie nowej ontologii na podstawie ontologii wejściowych. Ontologie wejściowe są zazwyczaj wzajemnie niespójne lub występują między nimi sprzeczności, które należy wyeliminować podczas łączenia.

Pinto i in. [225] wyróżniają trzy rodzaje integracji, które można określić jako: integrację i ponowne użycie, łączenie ontologii oraz integrowanie ontologii w aplikacjach.

- 1) Integracja i ponowne użycie polega na budowie nowej ontologii przez wykorzystanie ontologii już istniejących. Ontologie te mogą zawierać pewne fragmenty, które spełniają wymagania nowo powstającej ontologii. Fragmenty takie są wykorzystywane w budowie nowej ontologii, co oznacza ich ponowne użycie. W niektórych przypadkach nowa ontologia może po prostu zostać złożona z fragmentów istniejących ontologii, ale czasami wymagane może być ich rozszerzenie, specjalizowanie lub adaptacja.
- 2) Łączenie jest definiowane podobnie jak w pracy de Bruijn i in., a oznacza ono unifikację wielu ontologii z danej dziedziny w jedną nową ontologię. Pinto i in. zaznaczają, że łączone ontologie mogą się od siebie różnić m.in.: taksonomiami konceptów, sposobem definiowania zawartych w nich terminów, sposobem implementacji, itp. Konflikty wynikające z tych różnic powinny zostać rozwiązane podczas łączenia ontologii.
- 3) Integracja ontologii w aplikacjach polega na wprowadzeniu ontologii do aplikacji programowych lub oparciu aplikacji na ontologiach. W ten sposób w aplikacjach można zaimplementować system oparty na wiedzy. Ponadto zaznaczyć należy, że jedna ontologia może być współdzielona przez wiele aplikacji, umożliwiając im chociażby wzajemną komunikację.

Jeżeli chodzi o przytoczone wyżej pojęcia, na potrzeby niniejszej pracy przyjęto definicje wyrównywania, odwzorowywania i łączenia ontologii, zgodne z pracą de Bruijn i in. [52]. Należy przy tym pamiętać, że w wyniku łączenia ontologii można otrzymać w pełni zunifikowaną ontologię lub ontologię pomostową. Na podstawie prac Pinto i in. [225] oraz Lin i Sandkuhl [173] uznano, że integracja obejmuje łączenie ontologii z jednej dziedziny oraz integrowanie ontologii z różnych dziedzin. Mapę zależności pomiędzy wymienionymi pojęciami oraz możliwe do uzyskania postaci danych wyjściowych przedstawia rysunek 3.13.



Rysunek 3.13 Mapa zależności pomiędzy wyrównywaniem, odwzorowywaniem, łączeniem i integrowaniem ontologii oraz możliwe do uzyskania postacie danych wyjściowych

Źródło: opracowanie własne

Wyrównywanie jest pewnym procesem wstępnym, w którego następstwie możliwe jest szeroko rozumiane zintegrowanie ontologii [52], co zostało zaznaczone na rysunku 3.13. Proces ten przyjmuje na wejściu dane w postaci ontologii, które ostatecznie mają zostać odwzorowane lub zintegrowane. Danymi wyjściowymi, uzyskanymi w wyniku wyrównywania, są konkretne powiązania pomiędzy konceptami ontologii wejściowych. Wyrównywanie może opierać się na różnych podejściach, obejmujących badanie podobieństw: napisów, językowych (semantycznych, opartych na wiedzy), struktury ontologii oraz instancji [133] [202].

**Badanie podobieństwa napisów** polega na analizie nazw konceptów zawartych w ontologiach jako sekwencji liter alfabetu. Można tutaj wyróżnić metody określające podobieństwo na podstawie: wspólnych podnapisów, odległości edycyjnej oraz tokenów.

1) Metody określające podobieństwo na podstawie wspólnych podnapisów badają współwystąpienia ciągów znaków w porównywanych napisach. Mogą tutaj być badane m.in.: aliasy (np. KFOR=Kosovo Force), prefiksy (np. Net=Network) i sufiksy (np. Phone=Telephone) [133] [68]. Do metod tego typu można zaliczyć również takie, które korzystają m.in. z miary podobieństwa Jaro opartej na liczbie i porządku znaków wspólnych dla porównywanych napisów. Miara ta wykorzystuje wzór (3.7) [43]:

$$Jaro(s, t) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{|s'|}{|s|} + \frac{|t'|}{|t|} + \frac{|s'| - T_{s',t'}}{|s'|} \right) \quad (3.7)$$

gdzie:

$|s|$ ,  $|t|$  - długości napisów  $s$  i  $t$ ,

$|s'|$ ,  $|t'|$  - liczba znaków w napisie  $s$ , mających odpowiedniki w napisie  $t$  (i odwrotnie),

$T_{s',t'}$  - liczba przestawień, które należy wykonać pomiędzy pozycjami znaków w napisie  $s$ , aby ich porządek odpowiadał porządkowi zawartemu w napisie  $t$ .

Na mierze Jaro oparta jest też miara Jaro-Winkera, opisana wzorem (3.8) [43]:

$$JaroWinkler(s, t) = Jaro(s, t) + \frac{\min(|P|, |L|)}{10} \cdot (1 - Jaro(s, t)) \quad (3.8)$$

gdzie:

$P$  - długość wspólnego prefiksu napisów  $s$  i  $t$ .

Miary Jaro i Jaro-Winklera są przeznaczone głównie do porównywania krótkich napisów [43]. Znajdują one także zastosowanie w wyszukiwaniu błędów pisowni [202].

- 2) Metody wykorzystujące odległość edycyjną obliczają podobieństwo na podstawie ilości prostych operacji edycji, które należy wykonać, aby przekształcić jeden napis w inny. Są one wykorzystywane przede wszystkim do porównywania napisów, które mogą zawierać błędy w pisowni. Metody tego typu wykorzystują m.in.: odległość Levensteina, będącą sumą ilości operacji wstawienia, usunięcia i zastąpienia symboli w napisie, oraz funkcję odległości Monge-Elkana [43] zgodną z wzorem (3.9) [227]:

$$MongeElkan(s, t) = \frac{1}{|s|} \sum_{i=1}^{|s|} \max_{j=1..|t|} sim(s_i, t_j) \quad (3.9)$$

gdzie:

$sim(s_i, t_j)$  – podobieństwo pomiędzy symbolami, np. 5 - gdy symbole są takie same, 3 – gdy symbole są podobne (l i r, m i n), uwzględnione tutaj mogą być kary za niedopasowanie pozycji symboli w napisach [227] [197].

- 3) Metody oparte na tokenach rozważają podobieństwo nie pojedynczych znaków, lecz całych słów. Często też słowa te mogą być najpierw sprowadzone do ich formy podstawowej. Wykonywane jest to poprzez tzw. Stemming, tj. wydobywanie rdzenia wyrazu poprzez odcięcie przedrostka i przyrostka (np. cats -> cat) [68]. Najprostszym przedstawicielem tej grupy są metody wykorzystujące podobieństwo Jaccarda. Jest ono opisane stosunkiem liczności przecięcia zbiorów tokenów porównywanych napisów do liczności unii zbiorów tokenów zawartych w tych napisach. Do bardziej zaawansowanych miar wykorzystujących tokeny można zaliczyć m.in. miary podobieństwa: Jensena-Shannona i TFIDF. Podobieństwo Jensena-Shannona opisuje wzór (3.10) [43]:

$$JensenShannon(S, T) = \frac{1}{2} (KL(P_S \parallel Q) + KL(P_T \parallel Q)) \quad (3.10)$$

gdzie:

$S, T$  – zbiory napisów  $S$  i  $T$ ,  $w$  – słowo zawarte w napisach,

$P_S, P_T, Q$  – rozkłady prawdopodobieństwa, gdzie  $Q(w) = \frac{1}{2}(P_S(w) + P_T(w))$ ,

$KL(P_S \parallel Q), KL(P_T \parallel Q)$  - dywergencje Kullbacka-Leiblera.

Miara podobieństwa TFIDF inaczej nazywana jest miarą cosinusową. Wykorzystuje ona częstość występowania słów w napisach, a charakteryzuje ją wzór (3.11) [43]:

$$TFIDF(S, T) = \sum_{w \in S \cap T} \frac{\log(TF_{w,S}+1) \cdot \log(IDF_w)}{\sqrt{\sum_{w'} (\log(TF_{w',S}+1) \cdot \log(IDF_{w'}))^2}} \cdot \frac{\log(TF_{w,T}+1) \cdot \log(IDF_w)}{\sqrt{\sum_{w'} (\log(TF_{w',T}+1) \cdot \log(IDF_{w'}))^2}} \quad (3.11)$$

gdzie:

$TF_{w,S}, TF_{w,T}$  – częstość występowania słowa  $w$  w napisie  $S$  oraz w napisie  $T$ ,

$IDF_w$  – odwrotność częstości nazw w korpusie słów zawierającym  $w$ .

Obok wymienionych, istnieją również inne miary podobieństwa oparte na podnapisach, odległości edycyjnej i tokenach. Stosowane są także różne wariacje miar opartych na tokenach połączone z miarami wykorzystującymi podnapisy lub odległość edycyjną [18] [43] [227] [202]. Implementacje szeregu różnorodnych miar badających podobieństwo napisów zawiera oprogramowanie „SecondString” [44] [252].

**Badanie podobieństw oparte na wiedzy** koncentruje się na określaniu związków znaczeniowych nazw porównywanych konceptów reprezentowanych jako słowa języka

naturalnego. Jest to więc podejście diametralnie różne od scharakteryzowanego wcześniej podejścia polegającego na analizie napisów. Metody z tej grupy do ustalenia znaczenia porównywanych słów wykorzystują zasoby wiedzy, takie jak słowniki opisujące powiązania tychże słów z innymi w danym języku. Najczęściej do tego celu stosują one słownik (ontologię) WordNet, a podobieństwo ustalają na bazie odległości [68] lub zawartości informacyjnej [18]. Należy zaznaczyć, że obok metod i miar wykorzystujących słowniki stosowane też są metody określania podobieństw językowych czy też znaczenia słów, korzystające z miar statystycznych.

- 1) Metody określania podobieństwa oparte na odległości zliczają długość ścieżki, a inaczej rzecz ujmując, ilość krawędzi występujących pomiędzy porównywanymi słowami w ontologii WordNet [68]. Miarami opartymi na długości ścieżki są m.in. miary: Leacock-Chodorowa, Wu-Palmera i Hirst-St-Onge. W mierze Leacock-Chodorowa odległość między wystąpieniami konceptów ontologii WordNet przekształcana jest do wartości podobieństwa przez użycie ujemnego logarytmu, co określa wzór (3.12) [49]:

$$LeacockChodorow(s, t) = -\log \frac{pl(s, t)}{2D} \quad (3.12)$$

gdzie:

$pl(s, t)$  – długość ścieżki między słowami (konceptami w ontologii WordNet)  $s$  i  $t$ ,

$D$  – głębokość drzewa ontologii zawierającego koncepty  $s$  i  $t$ .

Miara Wu-Palmera określa podobieństwo na podstawie odległości między korzeniem ontologii (*root*) a położonym najgłębiej (najdalej od korzenia) przodkiem ( $c$ ) konceptów odpowiadających badanym słowom. Miara ta opisana jest wzorem (3.13) [49]:

$$WuPalmer(s, t) = 2 \cdot \frac{pl(root, c)}{pl(s, c) + pl(t, c) + 2 \cdot pl(root, c)} \quad (3.13)$$

Z kolei miara Hirst-St-Onge uwzględnia długość i zmiany kierunku ścieżki łączącej koncepty odpowiadające porównywanym słowom. Charakteryzuje ją wzór (3.14) [178]:

$$HirstStOnge = C - pl(s, t) - k \cdot d \quad (3.14)$$

gdzie:

$C, k$  – stałe,  $C=16, k=1$ ,

$d$  – ilość zmian kierunku ścieżki.

- 2) Metody badania podobieństwa wykorzystujące zawartość informacyjną oparte są m.in. na miarach: Resnika, Lina i Jiang-Conratha. Miarę Resnika opisuje wzór (3.15) [178]:

$$Resnik(s, t) = -\log(p(lso(s, t))) \quad (3.15)$$

gdzie:

$lso(s, t)$  – najbliższy wspólny przodek konceptów  $s$  i  $t$  w ontologii,

$p$  – prawdopodobieństwo/częstotliwość napotkania w określonym korpusie najbliższego wspólnego przodka  $s$  i  $t$ .

Miara Lina korzysta z informacji współdzielonej przez porównywane koncepty, ale też z informacji różnicującej je [178], co opisane jest wzorem (3.16) [49]:

$$Lin(s, t) = \frac{2 \log(p(lso(s, t)))}{\log(p(s)) + \log(p(t))} \quad (3.16)$$

Miara Jiang-Conratha jest miarą hybrydową, opartą zarówno na zawartości informacyjnej, jak i na długości ścieżki [49]. Miarę tę określa wzór (3.17) [178]:

$$JiangConrath(s, t) = 2 \log \left( p(lso(s, t)) - (\log(p(s)) + \log(p(t))) \right) \quad (3.17)$$

Obok przedstawionych miar istnieją również inne, np. oparte na wektorach [220]. Niemniej jednak przedstawione miary podobieństwa semantycznego są najczęściej stosowane w literaturze. Implementacje różnych miar podobieństwa opartych na wiedzy można znaleźć m.in. w aplikacjach: WS4J [301] i Java WordNet Similarity [147], które są implementacją programu WordNet Similarity [302] [221] wykonaną w języku Java. Podstawową wadą przedstawionych metod analizy semantycznej jest to, że w słowniku WordNet nie są zawarte powiązania między słowami należącymi do różnych części mowy. Nie ma więc możliwości określania podobieństwa pomiędzy parami słów, z których np.: jedno jest rzeczownikiem, a drugie czasownikiem. Ponadto zastosowanie ontologii WordNet daje możliwość porównywania słów tylko w języku angielskim. Wprawdzie jest opracowywany polskojęzyczny odpowiednik WordNet o nazwie „Słowosiec” [231], ale jest on we wczesnym stadium rozwoju i jego zawartość nie jest jeszcze wystarczająca, aby efektywnie móc wykorzystać go do badania podobieństw.

- 3) Przykładem metody badania podobieństw słów, opartej na miarach statystycznych, jest DISCO (ang. extracting DIStributionally similar words using CO-occurrences). Metoda ta bazuje na kontekście, w jakim słowa pojawiają się w treści tekstów bazowych. Do obliczenia podobieństwa wykorzystywane są w niej wektory zawierające wyrazy otaczające porównywane słowa w tekście. Wektory te opisują więc kontekst użycia porównywanych słów. Samo podobieństwo wyznaczane jest według wzoru (3.17) [158]:

$$Sim(s, t) = \frac{\sum_{p=1}^r \sum_{w_i=1}^v \begin{cases} g(s, w_i, p) + g(t, w_i, p) & : g(s, w_i, p) > 0 \wedge g(t, w_i, p) > 0 \\ 0 & : g(s, w_i, p) = 0 \vee g(t, w_i, p) = 0 \end{cases}}{\sum_{p=1}^r \sum_{w_i=1}^v (g(s, w_i, p) + g(t, w_i, p))} \quad (3.17)$$

gdzie:

$w_i$  –  $i$ -te wystąpienie słowa  $s$  lub  $t$  w tekście ( $i$ -ty kontekst),

$p$  – pozycja w wektorze, opisującym kontekst użycia porównywanego słowa  $s$  lub  $t$ ,

$r$  – wielkość wektorów,  $v$  – ilość słów, dla których zostały zbudowane wektory,

$g(s, w_i, p)$  – wektor zawierający wystąpienie słowa  $s$ .

Oczywiście, obliczenia takie są bardzo czasochłonne, w związku z czym dla DISCO dostępne są bazy zawierające obliczone wektory, zbudowane np. w oparciu o treści zawarte w Wikipedii. Zaletą tej metody jest to, że potrafi ona obliczać podobieństwo pomiędzy słowami, będącymi różnymi częściami mowy [20]. Ponadto dla edytora Protege jest dostępne rozszerzenie, służące do obliczania podobieństwa słów zgodnie z tą miarą [60].

**Badanie podobieństw struktury ontologii** wykorzystuje scharakteryzowane wcześniej metody określania podobieństwa napisów lub językowego. Metody te stosowane są do porównywania nazw poszczególnych elementów zawartych w ontologiach, jak np.: atrybuty konceptów, relacje taksonomiczne, ograniczenia, relacje między konceptami, dziedziny i zasięgi relacji, etc. [68]. Co więcej, elementy te mogą być też traktowane jako odpowiedniki literałów w metodach badających podobieństwo napisów. Oznacza to, że lista takich elementów zawartych w każdym z porównywanych konceptów może stanowić dane

wejściowe odpowiedniej miary podobieństwa napisów. Na podstawie porównań elementów tego typu, zawartych w badanych conceptach, określone jest podobieństwo conceptów [74]. Przykładowo, jeżeli nazwy i wartości atrybutów dwóch conceptów należących do różnych ontologii są do siebie podobne, wtedy concepty te mogą zostać uznane za równoważne. Metody badające podobieństwo struktury są więc bardziej zaawansowane od wcześniej omówionych metod bazujących na napisach i znaczeniu słów. W przypadku metod wykorzystujących wyłącznie napisy i wiedzę, np. do uznania conceptów za równoważne wystarczy tylko, że za tożsame zostaną uznane ich nazwy. Nie będzie natomiast sprawdzana budowa tych conceptów, co może skutkować błędnymi dopasowaniami [202]. W przypadku metod określających podobieństwo na podstawie struktury mogą być też wykorzystane różnego rodzaju heurystyki, np. „dwa węzły ontologii  $O_1$  i  $O_2$  są do siebie dopasowane, jeżeli dopasowane są węzły w ich sąsiedztwie” [62]. Istnieją również metody badania podobieństw struktur ontologii, wykorzystujące miary podobieństw napisów w inny sposób niż tylko do porównywania nazw i elementów conceptów. Przykładowo Ichise [133] [132], do określenia podobieństwa conceptów zawartych w dwóch ontologiach, proponuje wyznaczenie ścieżki od korzenia do porównywanych conceptów w każdej z ontologii. Następnie podobieństwo między conceptami jest wyznaczane przez obliczenie odległości edycyjnej pomiędzy wyznaczonymi ścieżkami w dwóch ontologiach (tj. ilości operacji wstawienia, usunięcia i zastąpienia conceptów w ścieżkach, koniecznej do tego, aby ścieżki były takie same).

**W badaniu podobieństw na podstawie instancji** podobieństwo conceptów określone jest z wykorzystaniem wspólnych instancji. W algorytmach tego typu najczęściej wykorzystywane są algorytmy uczenia maszynowego, które zajmują się przypisywaniem instancji do określonych klas. Zazwyczaj badanie podobieństw na podstawie instancji przebiega w ten sposób, że mając dane concepty A i B należące do różnych ontologii, algorytm uczenia maszynowego jest trenowany z wykorzystaniem instancji należących do conceptu A. Następnie wytrenowany algorytm klasyfikuje instancje pochodzące z conceptu B. Podobieństwo conceptu B do conceptu A jest tutaj określone przez ilość instancji pochodzących z conceptu B, które zostały zaklasyfikowane jako należące do conceptu A. Analogicznie określone jest podobieństwo conceptu A do conceptu B [62]. Jako miara podobieństwa najczęściej stosowana jest tutaj miara Jaccarda, w której zamiast tokenów danymi wejściowymi są instancje [150]. Mogą tu być jednak wykorzystane też inne miary, jak np. miara Jensena-Shannona lub TFIDF [251]. Algorytm uczenia maszynowego do klasyfikacji najczęściej wykorzystuje takie cechy, jak np. nazwa instancji, typ wartości, częstotliwość występowania słów w wartości, etc. [62]. W sytuacji, gdy concepty zawierają niewiele instancji, można je przekształcić do postaci atrybutów conceptów i przeprowadzić badanie podobieństwa conceptów w oparciu o ich budowę [251]. Zaznaczyć należy, że dla edytora Protege jest dostępne narzędzie SIM-DL obliczające podobieństwo conceptów z wykorzystaniem należących do nich instancji [258] [199]. Rozszerzenie to wykorzystuje tablicowy mechanizm wnioskujący, a zgodne jest z dialektem SHI logiki opisowej [144].

Omówione wyżej metody badania podobieństw między ontologiami, jako wynik porównania poszczególnych elementów wyrównywanych ontologii, najczęściej zwracają wartość liczbową podobieństwa. Jeżeli wartość ta wynosi 1, porównywane elementy (np. concepty) są uznawane za równoważne. Jednak dużo częściej zachodzi sytuacja, w której

wartość podobieństwa zawarta jest w przedziale  $(0,1)$ , co oznacza, że porównywane elementy są do siebie podobne, ale nie są dokładnie takie same. Powstaje wtedy problem polegający na tym, że nie można jednoznacznie stwierdzić czy porównywane elementy są na tyle do siebie podobne, aby móc je uznać za tożsame i połączyć w procesie integracji lub powiązać w odwzorowaniu. W takiej sytuacji inżynier ontologii może *a priori* ustalić tzw. „próg odcięcia” będący wartością graniczną podobieństwa determinującą tożsamość lub odmiennność porównywanych elementów. W tym przypadku może być też zastosowane rozwiązanie oparte na uczeniu maszynowym i klasyfikacji. Mianowicie podobieństwa między porównywanymi elementami mogą być wyznaczane za pomocą szeregu metod. Podobieństwa te będą postrzegane przez klasyfikator jako cechy obiektów. Następnie inżynier ontologii określa, czy badane elementy mogą być uznane za tożsame, czy też nie, określając w ten sposób klasę obiektów. Jest to etap uczenia klasyfikatora. Po jego zakończeniu klasyfikator na podstawie cech obiektów, tj. wyników podobieństwa uzyskanych za pomocą poszczególnych metod, potrafi samodzielnie określić, czy elementy mogą być uznane za tożsame [202] [133] [132].

Jak zaznaczono wcześniej, wyrównywanie jest procesem wstępnym, umożliwiającym przeprowadzenie integracji ontologii. Wobec tego każda metoda integracji zawiera etap wyrównywania integrowanych ontologii. Poza tym metody integracji zawierają też m.in. etapy łączenia oraz weryfikacji spójności uzyskanej ontologii. Jeżeli chodzi o konkretne metody integracji ontologii, to wiele takich metod jest opisanych w literaturze. W niniejszej pracy zostaną przytoczone tylko wybrane metody, ukazujące przebieg procesu integracji i prezentujące wykorzystanie omówionych wyżej podejść do badania podobieństwa.

Najbardziej ogólne podejście do metody integracji zawarte jest w pracach Klein [154] oraz Taboada i in. [273]. Wyróżnia się w nich trzy etapy integracji.

- 1) Znalezienie punktów przecięcia między łączonymi ontologiami, tj. znalezienie podobieństw i różnic między nimi.
- 2) Powiązanie konceptów semantycznie podobnych relacjami równoważności i subsumpcji.
- 3) Sprawdzenie uzyskanej ontologii z perspektywy jej spójności i braku nadmiarowości.

W pracy Gaeta i in. [82] sformułowano czteroetapową metodę integracji ontologii, łączącą zastosowanie badania podobieństw: napisów, semantycznego i struktury.

- 1) Wybór przez użytkownika dwóch ontologii do połączenia.
- 2) Dopasowywanie poprzez identyfikację konceptów podobnych w łączonych ontologiach.  
W etapie tym, w celu ustalenia par konceptów podobnych, na wstępie powinno być wykonane badanie podobieństwa napisów z wykorzystaniem Stemmingu i np. miary Levensteina. Następnie zaleca się przeprowadzenie analizy struktury ontologii w celu wzbogacenia zbioru par konceptów podobnych. Ostatnią techniką stosowaną w etapie dopasowywania jest analiza semantyczna, której celem jest poprawienie zbioru dopasowań z wykorzystaniem informacji o podobieństwie semantycznym.
- 3) Określenie sugerowanych operacji łączenia konceptów na podstawie dopasowań.
- 4) Wykonanie sugerowanych (wybranych) operacji łączenia oraz wskazanie i usunięcie nadmiarowości relacji i konceptów.



Zhu i in. [316] zaproponowali metodę integracji, opartą na klasyfikowaniu instancji i mierze Jaccarda, złożoną z sześciu etapów.

- 1) Normalizacja ontologii poddawanych integracji. Chodzi tutaj o normalizację opisu konceptów, relacji, atrybutów, funkcji, stałych i aksjomatów.
- 2) Klasyfikacja instancji zawartych w konceptach należących do integrowanych ontologii. Jako klasyfikatora zaleca się tutaj wykorzystanie Naiwnego Klasyfikatora Bayesa. W wyniku przeprowadzenia klasyfikacji identyfikowane są odpowiadające sobie koncepty.
- 3) Określenie najbardziej podobnych do siebie konceptów w oparciu o wyniki klasyfikacji, z wykorzystaniem miary Jaccarda.
- 4) Interpretacja podobieństw i ustanowienie powiązań między ontologiami.
- 5) Integracja ontologii, rozumiana tutaj jako dopasowanie ontologii z innych dziedzin lub połączenie ontologii z tej samej dziedziny.
- 6) Sprawdzenie zgodności i spójności ontologii wynikowej.

Rene Robin i Uma [234] zaproponowali bardzo szczegółowy, hybrydowy algorytm łączenia ontologii. Algorytm ten, podobnie jak metoda integracji Gaeta i in., wykorzystuje analizę: napisów, językową i struktury. W proponowanym algorytmie koncepty jednej z ontologii porównywane są z wszystkimi konceptami drugiej ontologii. Dla każdego z takich porównania można wyszczególnić trzy kroki prowadzące do integracji konceptów.

- 1) Ustalenie par konceptów o odpowiadających sobie nazwach. W celu znalezienia konceptów o równoważnych nazwach najpierw wykonywane jest badanie podobieństwa napisów, obejmujące Stemming i porównanie napisów. Jeżeli działanie to nie przyniesie efektów, wtedy za pomocą analizy semantycznej uzyskiwane są wszystkie synonimy nazw pierwszego z porównywanych konceptów. Następnie, z wykorzystaniem badania podobieństwa napisów, każdy z synonimów nazwy pierwszego konceptu porównywany jest z nazwą drugiego konceptu.
- 2) Ustalenie relacji równoważności między konceptami. Jeżeli w kroku 1) algorytm ustalił, że porównywane koncepty mają odpowiadające sobie nazwy, wtedy obliczane jest podobieństwo tych konceptów. Podobieństwo to jest wyznaczane w oparciu o badanie struktury wewnętrznej konceptów. Jego wartość jest stosunkiem liczby właściwości (atrybutów, relacji, ograniczeń) wspólnych dla porównywanych konceptów do maksymalnej liczby właściwości zawartych w porównywanych konceptach. Wspólne właściwości są tutaj określane analogicznie do kroku 1) (wykorzystane jest w tym celu badanie podobieństwa napisów i opcjonalnie analiza semantyczna). Obliczony stopień podobieństwa określa relację równoważności między konceptami.
- 3) Ustalenie relacji subsumpcji między konceptami. Jeżeli w kroku 1) algorytm ustalił, że nazwy porównywanych konceptów nie odpowiadają sobie, wtedy w dalszym działaniu algorytmu uwzględniany jest tylko jeden z konceptów. Porównywany jest on z każdym z konceptów należących do drugiej ontologii już tylko pod względem podobieństwa struktury wewnętrznej. Następnie wybierany jest najbardziej podobny do niego koncept należący do drugiej ontologii i wykonywana jest heurystyka. Heurystyka ta określa relację subsumpcji między parą konceptów: „koncept, który ma mniej właściwości, jest rodzicem konceptu posiadającego większą liczbę właściwości”.

Duong i Jo [68] [67] sformułowali algorytm integracji ontologii wykorzystujący m.in.: badanie struktury konceptów w celu przypisywania ich do poszczególnych klas konceptów. Równie interesujące w zaproponowanym algorytmie są reguły zależności warunkujące możliwość dopasowania konceptów z integrowanych ontologii oraz reguły rozwiązywania niespójności. W algorytmie tym można wyróżnić pięć etapów.

- 1) Przypisanie konceptów do jednej z 5 klas. Koncepty na tym etapie mogą być przypisane do jednej z klas konceptów: zdefiniowanych, częściowych, ról, prymitywnych i indywidualnych. Koncept zdefiniowany ma atrybuty w postaci warunków koniecznych i wystarczających. Koncept częściowy jest określony przez koncept ze stałymi atrybutami, lub inaczej rzecz ujmując, jest on potomkiem konceptu ze stałymi atrybutami. Koncept roli jest to koncept będący dziedziną relacji z innym konceptem. Koncept prymitywny reprezentuje możliwe stany innego konceptu i nie może on zawierać konceptów potomnych. Koncept indywidualny może być rozpatrywany jako instancja. Koncept taki nie ma atrybutów, relacji i instancji.
- 2) Wyznaczenie istotności wszystkich konceptów. Istotność jest wyznaczana w oparciu o liczbę potomków konceptu, liczbę jego relacji z innymi konceptami (w których jest on dziedziną relacji), liczbę atrybutów konceptu oraz ilość konceptów przypisanych w kroku 1) do tej samej klasy.
- 3) Wygenerowanie listy „możliwych dopasowań” konceptów. „Możliwe dopasowania” obejmują pary konceptów pochodzących z integrowanych ontologii, które należą do tej samej klasy i mają zbliżoną istotność (różnica między istotnościami konceptów w parze powinna być mniejsza od wartości progowej). Lista ta jest posortowana rosnąco według różnicy istotności konceptów w parze.
- 4) Badanie podobieństwa par konceptów zawartych na liście „możliwych dopasowań”. Badanie to odbywa się z wykorzystaniem szeregu technik badania podobieństwa: napisów, semantycznego i struktury konceptów. Jeżeli koncepty w danej parze zostaną uznane za równoważne, wtedy para ta jest przenoszona do listy „rzeczywistych dopasowań”, a wszystkie inne pary zawierające dopasowane koncepty przenoszone są z listy „możliwych dopasowań” na listę „niemożliwych dopasowań”. Ponadto stosowane są tutaj reguły zależności [66] w celu rozpoznania dodatkowych „niemożliwych dopasowań” (np. jeżeli koncepty  $C_1$  i  $C_2$  są rozłączne, wtedy ich potomkowie też są rozłączni), które wpisywane są na odpowiednią listę i usuwane z listy „możliwych dopasowań”. Dodatkowo, jeżeli podobieństwo między konceptami jest niższe od progu odcięcia i wyższe od pewnej innej wartości granicznej, wtedy para konceptów jest przenoszona na listę „słabych dopasowań” i nie są stosowane reguły zależności oraz z listy „możliwych dopasowań” nie są usuwane inne pary zawierające dopasowane koncepty.
- 5) Rozwiązywanie niespójności między parami konceptów zawartymi na liście „słabych dopasowań”. Niespójności są rozwiązywane według ustalonych reguł [66], a po ich rozwiązaniu pary konceptów przenoszone są na listę „rzeczywistych dopasowań”.

Ostatnia już przytoczona metoda integracji została opracowana przez Lv i in. [179] [311] [180]. Metoda ta obejmuje cztery etapy.

- 1) Identyfikacja dopasowań pomiędzy obiektami, które są semantycznie powiązane (wyrównywanie ontologii). W etapie tym autorzy zalecają porównywanie nazw konceptów

poprzez badanie podobieństwa napisów z wykorzystaniem np. Stemmingu, prefiksów, sufiksów i odległości Levensteina [180].

- 2) Odnalezienie obszarów, w których ontologie się pokrywają i integracja ontologii. W etapie tym można zastosować badanie podobieństwa struktury ontologii. Badanie podobieństwa struktury odbywa się w tym wypadku dla konceptów dopasowanych na podstawie porównywania napisów. Dla każdego z dopasowanych konceptów badany jest stosunek liczby potomków niewspółdzielonych z drugim dopasowanym konceptem do całkowitej liczby potomków danego konceptu. Na tej podstawie między konceptami ustalana jest relacja subsumpcji lub równoważności [179].
- 3) Przycinanie zintegrowanej ontologii poprzez wykrywanie nadmiarowości. Wykrywane są tutaj nadmiarowe relacje powstające w sytuacji, gdy w wyniku integracji jeden koncept posiada dwóch rodziców lub instancja należy (jest typu) jednocześnie do dwóch konceptów.
- 4) Sprawdzenie spójności zintegrowanej ontologii. Sprawdzenie takie może zostać wykonane chociażby przez mechanizm wnioskujący.

W oparciu o przedstawioną analizę stanu wiedzy, w dziedzinie integracji ontologii skonstruowano algorytm integracji, zbudowanych wcześniej ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych. Ze względu na specyfikę zbudowanych ontologii algorytm ten różni się od w pewnym stopniu od metod i algorytmów przedstawionych wyżej, chociaż zawiera on pewne elementy zapożyczone ze stosowanych metod integracji. Etapy przejściowe budowy algorytmu autorskiego zostały przedstawione w pracach [320] [336] [317], jednak, w stosunku do nich, końcowy algorytm został znacznie zmodyfikowany i rozszerzony. Przesłanki mające wpływ na strukturę skonstruowanego algorytmu integracji, proces jego budowy oraz ostateczna postać algorytmu zostały zawarte w pkt 3.4 niniejszej pracy.

### **3.4 Algorytm integracji zbudowanych ontologii**

Specyfika zbudowanych ontologii determinuje w pewien sposób budowę algorytmu integracji ontologii. Konkretnie rzecz ujmując, budowa ontologii była wykonywana z założeniem, że ontologie te będą integrowane. Wobec tego charakteryzują się one bardzo dużym podobieństwem struktury. Każda z ontologii jest podzielona na:

- część zawierającą model jakości wraz z charakterystykami (przodkiem konceptów reprezentujących charakterystyki jest koncept „Jakosc”),
- część zawierającą kryteria (przodkiem konceptów reprezentujących kryteria jakości jest koncept „Kryterium”).

Wobec tego nawet najbardziej trywialny algorytm integracji nie powinien generować błędnych dopasowań pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria jednej z ontologii i konceptami odzwierciedlającymi charakterystyki w drugiej ontologii. Wystarczy tylko, że będzie on zawierał krok sprawdzania, czy dopasowywana para konceptów z dwóch różnych ontologii ma takiego samego przodka („Kryterium” lub „Jakosc”). Zaznaczyć też należy, że koncepty zawarte w danej części ontologii znacznie różnią się strukturą wewnętrzną od konceptów zawartych w drugiej części. Z kolei koncepty zawarte w dwóch różnych ontologiach w tej samej części (np. kryteria) mają zbliżoną do siebie strukturę wewnętrzną. W związku z tym, żeby uzyskać poprawne dopasowania, nie można oprzeć algorytmu

integracji tylko na badaniu struktury ontologii (w tym struktury wewnętrznej konceptów). Nie można też oprzeć go na badaniu instancji, gdyż zbudowane ontologie nie zawierają rzeczywistych instancji, a jedynie przykładowe o losowych wartościach. Wobec tego nie można na ich podstawie przeprowadzić klasyfikacji konceptów za pomocą algorytmów uczenia maszynowego. Zasadniczo, poszczególne koncepty reprezentujące kryteria są najbardziej rozróżnialne poprzez ich nazwy (odnoszą się one do kryteriów reprezentowanych przez koncepty). Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku konceptów reprezentujących charakterystyki jakości. Wobec tego algorytm integracji powinien w głównej mierze opierać się na badaniu podobieństw napisów i podobieństw semantycznych. Należało więc sprawdzić, czy zastosowanie metod badania wskazanych podobieństw pozwala poprawnie dopasować do siebie koncepty pochodzące z różnych ontologii. W celu przeprowadzenia badania podobieństw wybrano losowe pary konceptów z ontologii eQual i Ahn, z których część odnosi się do tych samych rzeczywistych kryteriów lub charakterystyk. Następnie sprawdzono, jaki stopień podobieństwa ich nazw wykażą miary podobieństwa semantycznego i podobieństwa napisów. Dla metod badania podobieństwa napisów na wejście podawano nazwy konceptów oraz pełne brzmienia poszczególnych kryteriów zaczerpnięte z metod oceny jakości. Ze względu na to, że metody semantyczne wykorzystują anglojęzyczny słownik WordNet lub statystyki wystąpień słów w angielskiej Wikipedii, dla metod tych podawano anglojęzyczne brzmienia nazw konceptów. Dodatkowo z podawanych na wejście nazw wyłączono pewne części, niewystępujące w słowniku WordNet (np. zaimki i spójniki). Wyniki badania podobieństw zostały skonfrontowane z opinią eksperta, a wyniki uzyskane w badaniu zawarte zostały w tabelach 3.12 i 3.13.

W tabeli 3.12 zawarto 5 przykładowych par konceptów, z których pierwsze trzy („Pr1”-„Pr3”) zawierają koncepty uznane przez eksperta za równoważne. Dwie ostatnie pary konceptów oznaczają różne pojęcia („Pn1”-„Pn2”). Dodatkowo dla każdej pary konceptów podano też ich pełne brzmienia (oznaczone literą „b”) zgodne z opisami metod oceny jakości, z których koncepty się wywodzą. Badanie polegało na zbadaniu podobieństwa par nieodpowiadających sobie konceptów („Pn”). Następnie badano podobieństwo par konceptów wzajemnie równoważnych („Pr”). Jeżeli, przy zastosowaniu określonej miary podobieństwa (lub odległości w przypadku miary Levensteina), uzyskano podobieństwo wyższe od wyniku każdej z dwóch par nieodpowiadających sobie konceptów, wtedy wynik taki zaznaczano kolorem zielonym. Jeżeli wartość podobieństwa była zawarta pomiędzy wartościami podobieństwa dwóch par nieodpowiadających sobie konceptów, wtedy wynik był oznaczany kolorem żółtym. Natomiast, gdy uzyskany wynik był niższy niż podobieństwo każdej z dwóch par nieodpowiadających sobie konceptów, wtedy wynik podobieństwa był oznaczany kolorem czerwonym. Odwrotne reguły zastosowano dla miary Levensteina, która opisuje odległość napisów, a nie ich podobieństwo (w przypadku tej miary mniejsza wartość oznacza większe podobieństwo). Pozwoliło to łatwo zobrazować, które z miar podobieństwa w przypadku badanych par konceptów poprawnie wyznaczają stopień podobieństwa. Kolumna tabeli 3.12, odpowiadająca wynikom takiej miary, w przypadku każdej z par konceptów równoważnych powinna zostać oznaczona kolorem zielonym. Oznaczałoby to, że podobieństwo wszystkich (uwzględnionych w tabeli) par równoważnych konceptów zostało określone jako wyższe niż podobieństwo wszystkich par nieodpowiadających sobie

konceptów. Analizując tabelę 3.12, można jednak zauważyć, że żadna z miar nie dała takiego efektu. Inaczej mówiąc, żadna z rozważanych miar nie ustaliła podobieństw konceptów w sposób pozwalający przyjąć jakikolwiek próg dla wartości podobieństwa, rozgraniczający pary konceptów równoważnych i różnych od siebie. Należy zaznaczyć, że nawet miary hybrydowe, operujące na ciągach znaków w wyrazach, a następnie traktujące każdy z tych ciągów jako token (tzw. miary drugiego stopnia), nie poradziły sobie z tym zadaniem.

Tabela 3.12 Wyniki badania podobieństwa napisów dla wybranych par konceptów reprezentujących kryteria w ontologiach Ahn i eQual

| L.p. | eQual                                                | Ahn                                                                                     | Ekspert | Jaro | Jaro-Winkler | Levenstein | Monge-Elkan | Jaccard | Jensen-Shannon | TFIDF | Level2 Jaro | Level2 Jaro-Winkler | Level2 Levenstein | Level2 Monge-Elkan | Jaro TFIDF | Jaro-Winkler TFIDF | Monge-Elkan TFIDF |
|------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|--------------|------------|-------------|---------|----------------|-------|-------------|---------------------|-------------------|--------------------|------------|--------------------|-------------------|
| Pr1a | odpowiedni projekt graficzny                         | odpowiedni styl projektu graficznego                                                    | ≈1      | 0,84 | 0,9          | -9         | 0,4         | 0,17    | 0,29           | 0,29  | 0,94        | 0,97                | -1,3              | 0,96               | 0,82       | 0,84               | 0,83              |
| Pr1b | Projekt graficzny jest odpowiedni do typu strony     | Posiada odpowiedni styl projektu graficznego do typu strony                             | ≈1      | 0,8  | 0,84         | -33        | 0,43        | 0,36    | 0,53           | 0,53  | 0,93        | 0,94                | -1,1              | 0,93               | 0,87       | 0,79               | 0,85              |
| Pr2a | ochrona danych osobowych                             | bezpieczeństwo danych osobowych                                                         | ≈1      | 0,72 | 0,74         | -13        | 0,71        | 0,5     | 0,67           | 0,67  | 0,84        | 0,85                | -2,3              | 0,78               | 0,67       | 0,67               | 0,74              |
| Pr2b | Moje dane osobowe udostępnione stronie są bezpieczne | Zapewnia bezpieczeństwo danych osobowych                                                | ≈1      | 0,56 | 0,6          | -42        | 0,24        | 0       | 0              | 0     | 0,64        | 0,67                | -5,7              | 0,56               | 0,56       | 0,34               | 0,52              |
| Pr3a | personalizacja                                       | adaptacja do potrzeb użytkowników                                                       | ≈1      | 0,46 | 0,46         | -30        | 0,25        | 0       | 0              | 0     | 0,49        | 0,49                | -9                | 0,5                | 0,24       | 0                  | 0,25              |
| Pr3b | Daje poczucie personalizacji                         | Rozumie i dostosowuje się do specyficznych potrzeb użytkownika                          | ≈1      | 0    | 0,1          | -51        | 0,15        | 0       | 0              | 0     | 0,64        | 0,65                | -5,7              | 0,93               | 0,39       | 0                  | 0,48              |
| Pn1a | istotność informacji                                 | kompletność informacji                                                                  | ≈0      | 0,85 | 0,86         | -6         | 0,8         | 0,33    | 0,5            | 0,5   | 0,84        | 0,84                | -3                | 0,81               | 0,84       | 0,5                | 0,81              |
| Pn1b | Dostarcza istotnych informacji                       | Dostarcza kompletnych informacji                                                        | ≈0      | 0,88 | 0,93         | -6         | 0,55        | 0,5     | 0,67           | 0,67  | 0,89        | 0,89                | -2                | 0,87               | 0,89       | 0,67               | 0,87              |
| Pn2a | odpowiednia szczegółowość informacji                 | wystarczająca zawartość informacji gdzie są oczekiwane                                  | ≈0      | 0,61 | 0,65         | -40        | 0,4         | 0,12    | 0,23           | 0,24  | 0,74        | 0,74                | -5,7              | 0,67               | 0,52       | 0,24               | 0,45              |
| Pn2b | Dostarcza informacji odpowiednio szczegółowych       | Posiada wystarczającą zawartość informacji w miejscach, gdzie spodziewam się je znaleźć | ≈0      | 0,61 | 0,65         | -59        | 0,25        | 0,07    | 0,14           | 0,15  | 0,74        | 0,74                | -5,5              | 0,94               | 0,45       | 0,15               | 0,49              |

*Źródło: opracowanie własne*

Tabela 3.13 przedstawia wyniki badań (podobieństwa par konceptów) przeprowadzonych z zastosowaniem metod semantycznych, wykorzystujących anglojęzyczny słownik WordNet lub statystyki wystąpień wyrazów w Wikipedii. W tabeli 3.13 zawarto: sentencje podawane na wejście poszczególnych metod określania podobieństwa, pełne brzmienia kryteriów oraz wyniki uzyskane przy użyciu poszczególnych metod badania podobieństwa. Wyniki uzyskane dla poszczególnych par kryteriów są średnią wartością podobieństw dla najlepiej dopasowanych do siebie par wyrazów opisujących dane kryteria. Dla metody DISCO, w przypadku każdej pary kryteriów, otrzymano dwa wyniki. Pierwszy z wyników został uzyskany w efekcie porównania słów na podstawie słów z nimi współwystępujących, bez uwzględnienia pozycji na których słowa te występują. W drugim wyniku pozycje wystąpień słów miały wpływ na końcową wartość podobieństwa [158].

Wyniki badania podobieństwa zawarte w tabeli 3.13 zostały opisane kolorami w analogiczny sposób, jak w tabeli 3.12. Jeżeli chodzi o wnioski z badania, to są one podobne do tych, które wyciągnięto z badania stosowalności metod opartych na podobieństwie napisów. Mianowicie nie zidentyfikowano metody, dla której można przyjąć jakikolwiek próg dla wartości podobieństwa, rozgraniczający pary konceptów równoważnych i różnych od siebie. Wobec tego stwierdzono, że zarówno metody badania podobieństwa napisów, jak również metody semantyczne wykazują się niską stosowalnością w autorskim algorytmie integracji ontologii.

*Tabela 3.13 Wyniki badania podobieństwa semantycznego dla wybranych par konceptów reprezentujących kryteria w ontologiach Ahn i eQual*

| eQual                                                                                        | Ahn                                                                                                           | Ekspert | Leacock-Chodorow | Wu-Palmer | Hirst-On-Stage | Resnik | Lin  | Jiang-Conrath [tyś.] | DISCO 1 | DISCO 2 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|-----------|----------------|--------|------|----------------------|---------|---------|
| design is appropriate type site<br>The design is appropriate to the type of site             | has appropriate style design site type<br>Has an appropriate style of design for site type                    | ≈1      | 2,66             | 0,73      | 14             | 7,15   | 0,67 | 7726                 | 0,8     | 0,8     |
| personal information feels secure<br>My personal information feels secure                    | keeps personal information secure exposure<br>Keeps personal information secure from exposure                 | ≈1      | 1,48             | 0,37      | 8,75           | 4      | 0,36 | 3219                 | 0,75    | 0,77    |
| creates sense personalization<br>Creates a sense of personalization                          | understands adapts user specific needs<br>Understands and adapts to the user's specific needs                 | ≈1      | 0,63             | 0,2       | 0,67           | 0,59   | 0,09 | 0                    | 0,01    | 0,22    |
| provides relevant information<br>Provides relevant information                               | provides complete information<br>Provides complete information                                                | ≈0      | 2,34             | 0,67      | 10,7           | 7,21   | 0,67 | 7490                 | 0,67    | 0,8     |
| provides information right level detail<br>Provides information at the right level of detail | has sufficient contents expect find information<br>Has sufficient contents where I expect to find information | ≈0      | 2,06             | 0,62      | 6,2            | 4,56   | 0,39 | 2575                 | 0,21    | 0,38    |

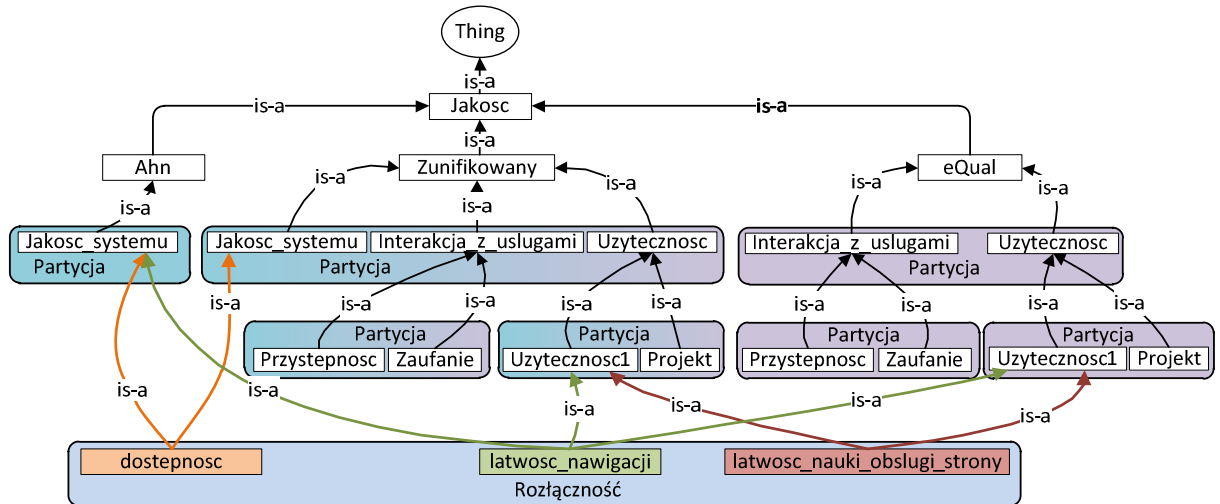
*Źródło: opracowanie własne*

Jeżeli chodzi o strukturę ontologii uzyskanej w wyniku integracji, to jej postać wynika z dwóch przesłanek.

- 1) Celem integracji zbudowanych ontologii jest uzyskanie jednolitej struktury kryteriów, zawierającej kryteria wykorzystywane w poszczególnych metodach oceny jakości. Ma to ułatwić projektantom dobór kryteriów oceny, dając im dostęp do bazy kryteriów stosowanych w różnych metodach. Z tego względu zintegrowana ontologia powinna odzwierciedlać struktury kryteriów zawarte w poszczególnych metodach oceny jakości.
- 2) Zintegrowana ontologia ma być wykorzystana w modelu systemu ekspertowego jako baza wiedzy. Musi więc ona umożliwiać ocenę serwisów pod względem wszystkich zawartych w niej kryteriów niezależnie od tego, z jakich metod oceny się one wywodzą.

Powyższe założenia wskazują, że zintegrowana ontologia powinna zawierać model obejmujący wszystkie charakterystyki i kryteria oceny, a jednocześnie muszą być w niej zawarte modele wywodzące się z poszczególnych metod. Wobec tego przodkiem każdego kryterium powinien być jednocześnie: model, z którego dane kryterium się wywodzi, oraz model zunifikowany obejmujący charakterystyki poszczególnych metod. Dodatkowo, jeżeli określone kryterium występuje w wielu różnych modelach oceny zawartych w ontologii,

wtedy będzie miało ono więcej niż dwóch bezpośrednich przodków. Problem ten przedstawiono na rysunku 3.14.



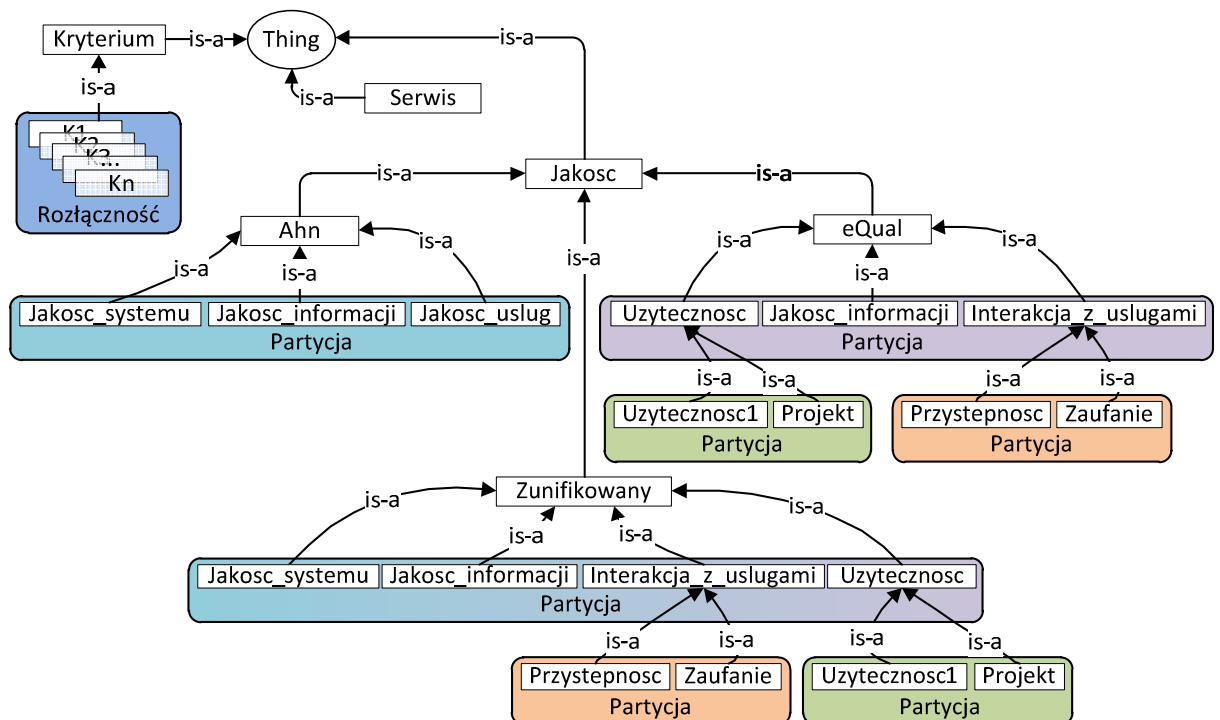
Rysunek 3.14 Problem przynależności kryteriów do modeli oceny zawartych w ontologii

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 3.14 przedstawiono część charakterystyk jakości zawartych w metodach i ontologiach Ahn i eQual. Ponadto na rysunku 3.14 ujęto hipotetyczny model, będący efektem unifikacji tych ontologii. Zawarto tutaj również trzy przykładowe kryteria, z których: „dostepnosc” wywodzi się z metody Ahn, „latwosc\_nauki\_obsługi\_strony” pochodzi z metody eQual, a „latwosc\_nawigacji” występuje w obu metodach. Biorąc pod uwagę, że zunifikowany model oceny ma zawierać unię modeli oceny zawartych w metodach Ahn i eQual, powinien on zawierać również kryteria występujące w tych modelach. Wobec tego przodkami kryterium „dostepnosc” powinny być charakterystyki zawarte w modelach Ahn i zunifikowanym. Kryterium „latwosc\_nauki\_obsługi\_strony” powinno mieć przodków w postaci charakterystyk modelu eQual i modelu zunifikowanego. Natomiast przodkami kryterium „latwosc\_nawigacji” powinny być charakterystyki każdego z trzech modeli. Jednak takie powiązanie kryteriów z wieloma charakterystykami za pomocą relacji subsumpcji w rzeczywistości nie powinno występować, gdyż oznacza to nadmiarowość. Nadmiarowe występowanie relacji subsumpcji jest z kolei traktowane jako błąd chociażby w metodach integracji sformułowanych przez Lv [179] [311], Gaeta i in. [82], Taboada i in. [273] oraz Klein [154].

Zreferowany wyżej problem można rozwiązać z wykorzystaniem przyjętej przez autora koncepcji budowy ontologii. Mianowicie na etapie specyfikacji ontologii stwierdzono, że w budowanych ontologiach kryteria zostaną oddzielone od charakterystyk. Zrobiono to ze względu na fakt, że poszczególne modele jakości są „zamkniętą częścią świata” i nie będą do nich dodawane nowe charakterystyki (oczywiście, model zunifikowany powinien być „otwarty”, gdyż w wyniku integracji mogą być w nim zawarte kolejne charakterystyki). Z kolei kryteria reprezentują „świat otwarty”, w związku z czym mogą pojawić się nowe kryteria, nieuwzględnione w danym modelu. Rozwiązanie to pozwala także w pewien sposób uniezależnić kryteria od modeli jakości. Niezależność taka stanowi z kolei rozwiązanie zreferowanego problemu przynależności kryteriów do poszczególnych modeli oceny, gdyż pozwala to nie wiązać kryteriów relacją subsumpcji z charakterystykami jakości. Zamiast

tego charakterystyki i kryteria mogą zostać powiązane relacjami „maKryterium” i „jestKryterium”. Takie podejście daje możliwość zawarcia w ontologii wielu modeli, w tym również modelu zunifikowanego. Kryteria w takiej sytuacji zostaną powiązane subsumpcją z poszczególnymi modelami jakości przez mechanizm wnioskujący, a w podstawowej strukturze ontologii nie wystąpi nadmiarowość relacji subsumpcji. Wobec tego struktura zintegrowanej ontologii powinna być zbliżona do tej, którą przedstawiono na rysunku 3.15 jako pożądaną strukturę, będącą efektem integracji ontologii eQual i Ahn. Rysunek 3.15 przedstawia hipotetyczną ontologię zawierającą trzy modele jakości, tj. model eQual, Ahn i model uzyskany w wyniku ich unifikacji. Ponadto w przedstawionej ontologii, niezależnie od modeli jakości, zawarto kryteria należące do tych modeli. Rysunek 3.15 przedstawia taksonomię konceptów zawartych w hipotetycznej ontologii, będącej oczekiwanym efektem integracji ontologii Ahn i eQual, nie obejmuje on natomiast innych niż subsumpcja (relacja bycia podklasą) związków między konceptami.



Rysunek 3.15 Hipotetyczny efekt integracji ontologii eQual i Ahn

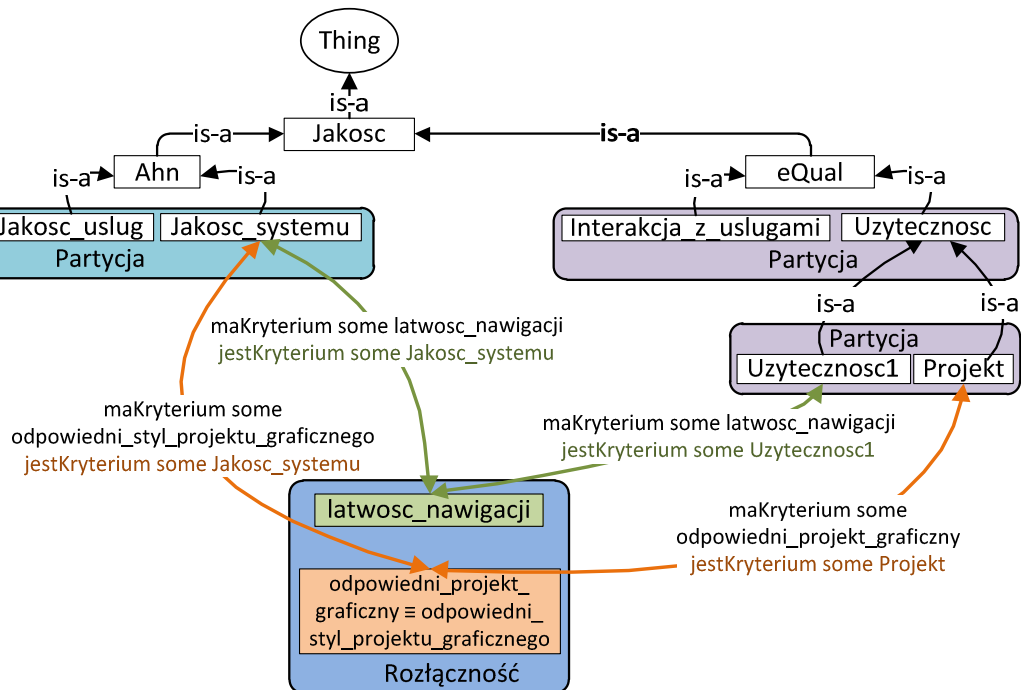
Źródło: opracowanie własne

Aby uzyskać strukturę zbliżoną do tej, która została przedstawiona na rysunku 3.15, zdecydowano się dążyć do uzyskania w wyniku integracji ontologii, będącej pewnym kompromisem pomiędzy w pełni zintegrowaną ontologią a tzw. ontologią pomostową (scharakteryzowaną w pkt 3.3 niniejszej pracy). Mianowicie ontologia wynikowa powinna zawierać w pełni zunifikowany model jakości, obejmujący charakterystyki wywodzące się z integrowanych ontologii, więc również z metod oceny, dla których zbudowano ontologie. W zintegrowanej ontologii powinny być też zawarte wszystkie występujące w ontologii kryteria jakości. Dodatkowe modele, jak np. eQual i Ahn, obejmujące charakterystyki jakości, powinny zostać dołączone do zintegrowanej ontologii w postaci elementów, które można określić w uproszczeniu jako zewnętrzne. Pozwoli to uniknąć niespójności, w sytuacji gdy w różnych modelach będą występowały takie same charakterystyki jakości. Przykładem może



być tutaj charakterystyka „Jakosc\_informacji” występująca w modelach eQual i Ahn. Na skutek pełnej integracji, w ontologii wynikowej występowałaby tylko jedna taka charakterystyka, a byłaby ona zawarta w modelu zunifikowanym oraz w modelach eQual i Ahn. Obejmowałaby ona kryteria, które należały do niej zarówno w modelu eQual, jak i Ahn. Wobec tego w każdym z tych modeli występowałaby unia kryteriów jakości informacji pochodzących z obu tych modeli. Modele te nie byłyby więc zgodne z rzeczywistością ich budową, określoną w odpowiednich metodach oceny jakości. Rozwiązaniem tego problemu, które pozwoli na dołączenie modeli jakości (np. eQual i Ahn) jako „zewnętrznych”, ale jednocześnie umożliwi zawarcie ich w zintegrowanej ontologii, jest zastosowanie dla nich innych identyfikatorów IRI niż dla zunifikowanej ontologii.

Nawiązując do procesu budowy ontologii przedstawionego w pkt 3.2 niniejszej pracy, należy zaznaczyć, że wyniki badań wykazały, iż pewne przejściowe postaci budowanych ontologii prezentowane w pkt 3.2 mogłyby uniemożliwić uzyskanie struktury przedstawionej na rysunku 3.15. Mianowicie, gdyby jako warunki konieczne i wystarczające konceptów reprezentujących charakterystyki i podcharakterystyki jakości pozostawić relacje „maKryterium”, mogłoby to powodować niespójność ontologii na poziomie relacji. Zostanie to wyjaśnione na przykładzie zawartym na rysunku 3.16. Dodatkowo w wyjaśnieniu zostanie wykorzystany opis procesu wnioskowania, zapisany przy użyciu logiki opisowej w wyrażeniach (3.18)-(3.29).



Rysunek 3.16 Sytuacja prowadząca do powstania niespójności wnioskowania, w sytuacji gdy relacje „maKryterium” występowałyby w konceptach jako warunki konieczne i wystarczające  
Źródło: opracowanie własne

$$Uzytecznosc \equiv Projekt \sqcup Uzytecznosc1 \quad (3.18)$$

$$Projekt \equiv \neg Uzytecznosc1 \quad (3.19)$$

$$Projekt \equiv \exists maKryterium. odpowiedni\_projekt\_graficzny \quad (3.20)$$

$$Uzytecznosc1 \equiv \exists maKryterium. latwosc\_nawigacji \quad (3.21)$$

$$Jakosc\_systemu \equiv \exists maKryterium. latwosc\_nawigacji \quad (3.22)$$

$$Jakosc\_systemu \equiv \exists maKryterium. odpowiedni\_styl\_projektu\_graficznego \quad (3.23)$$

$$odpowiedni\_projekt\_graficzny \equiv odpowiedni\_styl\_projektu\_graficznego \quad (3.24)$$

$$z (3.21) \text{ i } (3.22) \quad Uzytecznosc1 \equiv Jakosc\_systemu \quad (3.25)$$

$$z (3.24) \quad \begin{aligned} &\exists maKryterium. odpowiedni\_projekt\_graficzny \\ &\equiv \exists maKryterium. odpowiedni\_styl\_projektu\_graficznego \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$z (3.26), (3.20), (3.23) \quad Projekt \equiv Jakosc\_systemu \quad (3.27)$$

$$z (3.25) \text{ i } (3.27) \quad Projekt \equiv Jakosc\_systemu \equiv Uzytecznosc1 \quad (3.28)$$

$$z (3.28) \text{ i } z (3.19) \quad ((Projekt \equiv Uzytecznosc1) \wedge (Projekt \equiv \neg Uzytecznosc1)) \equiv \perp \quad (3.29)$$

Rysunek 3.16 przedstawia część ontologii docelowej, będącej hipotetycznym rezultatem integracji ontologii eQual i Ahn. Na rysunku tym zawarto m.in. podcharakterystyki jakości ontologii eQual, tj. „Projekt” i „Uzytecznosc1”, które tworzą partycję (są rozłączne i w pełni wypełniają przestrzeń konceptu eQual), co opisują aksjomaty (3.18) i (3.19). Ponadto na rysunku 3.16 zawarto koncepty „latwosc\_nawigacji”, „odpowiedni projekt graficzny” i „odpowiedni styl projektu graficznego”, będące jednymi z kryteriów. Kryterium „latwosc\_nawigacji” jest stosowane w metodzie Ahn w charakterystyce „Jakosc\_systemu” oraz w metodzie eQual w charakterystyce „Uzytecznosc1”. Kryterium „odpowiedni projekt graficzny” występuje w charakterystyce „Projekt” metody eQual, a „odpowiedni styl projektu graficznego” funkcjonuje w charakterystyce „Jakosc\_systemu” metody Ahn. Dodatkowo koncepty „odpowiedni projekt graficzny” i „odpowiedni styl projektu graficznego” zostały uznane za równoważne (3.24). Wobec tego koncepty dotyczące projektu graficznego w zintegrowanej ontologii będą powiązane relacją „jestKryterium” zarówno z konceptem „Jakosc\_systemu”, jak również „Projekt”. Z kolei koncept „latwosc\_nawigacji” w zintegrowanej ontologii będzie powiązany relacją „jestKryterium” z konceptami „Uzytecznosc1” i „Jakosc\_systemu”. Zakładając, że:

- w konceptach „Projekt” i „Jakosc\_systemu”, jako warunki konieczne i wystarczające, pozostałyby odpowiednio relacje „maKryterium some odpowiedni\_projekt\_graficzny” i „maKryterium some odpowiedni\_styl\_projektu\_graficznego” (wyrażenia (3.20) i (3.23)),
- w konceptach „Uzytecznosc1” i „Jakosc\_systemu”, jako warunki konieczne i wystarczające, pozostałyby relacje „maKryterium some latwosc\_nawigacji” (wyrażenia (3.21) i (3.22)),

podczas integracji ontologii pojawiłaby się niespójność związana z działaniem mechanizmu wnioskującego i relacjami „maKryterium” zdefiniowanymi jako warunki konieczne i wystarczające. Jeżeli np. koncept „Jakosc\_systemu” ma warunek konieczny i wystarczający „maKryterium some latwosc\_nawigacji”, wtedy zostanie on uznany przez mechanizm wnioskujący za równoważny innym konceptom posiadającym taki sam warunek. Wobec tego zostanie on uznany za równoważny konceptowi „Uzytecznosc1” (3.25). Z kolei na podstawie warunku koniecznego i wystarczającego „maKryterium some odpowiedni\_styl\_projektu\_graficznego” zostanie on uznany za równoważny konceptowi „Projekt”, który posiada równoważny warunek „maKryterium some odpowiedni\_projekt\_graficzny” (3.26), (3.27).

Powstanie więc sytuacja, gdy koncept „Jakosc\_systemu” jest równoważny konceptom „Uzytecznosc1” i „Projekt” (3.28). W związku z tym mechanizm wnioskujący uzna również te koncepty za równoważne (3.29). Istotny jest fakt, że koncepty „Uzytecznosc1” i „Projekt” tworzą partycję, wobec czego są one rozłączne i nie mogą zostać uznane za równoważne (3.29). Powstaje więc niespójność wnioskowania.

Podany przykład niespójności nie może wystąpić w integrowanej ontologii ze względu na to, że relacje „maKryterium” zostały ostatecznie ustanowione tylko jako warunki konieczne, a nie warunki konieczne i wystarczające. Niemniej jednak podczas integracji mogą wystąpić inne niespójności wynikające z relacji między konceptami, które na bieżąco należy rozwiązywać. Niespójności na poziomie konceptów mogą być związane np. z ograniczeniami liczności zawartymi w konceptach. Bazując na przykładzie przedstawionym na rysunku 3.16 oraz za pomocą wyrażeń (3.18)-(3.29) i abstrahując już od równoważności pomiędzy konceptami dotyczącymi projektu graficznego, należy zauważyć, że w wyniku posiadania wspólnego konceptu „latwosc\_nawigacji”, koncepty „Uzytecznosc1” i „Jakosc\_systemu” są równoważne. Wobec tego wszystkie koncepty, będące podklasami „Uzytecznosc1”, są również podklasami „Jakosc\_systemu” i odwrotnie. Wobec tego koncepty „Uzytecznosc1” i „Jakosc\_systemu” zawierają unię wszystkich konceptów należących do każdego z nich. Posiadają więc one łącznie 11 konceptów (patrz: załącznik 3.1 i 3.2). Tymczasem koncept „Uzytecznosc1” zawiera ograniczenie liczności „maKryterium max 4 Kryterium”, a „Jakosc\_systemu” posiada ograniczenie „maKryterium max 8 Kryterium”. Ograniczenia liczności konceptów nie są więc zachowane, co prowadzi do niespójności ontologii na poziomie konceptów. Chociaż, dzięki odpowiedniej budowie ontologii, które mają zostać zintegrowane, zminimalizowano ryzyko występowania również takich niespójności, to jednak nie ma pewności, że w trakcie integracji nie wystąpią podobne sprzeczności.

Omówione wyżej rodzaje niespójności mogą pojawić się w trakcie wnioskowania z ontologii, przeprowadzanego przez mechanizm wnioskujący. Innego rodzaju niespójności na poziomie konceptów mogą wystąpić jednak już na etapie integrowania różnych ontologii. Zostanie to omówione na przykładzie konceptów o nazwie „Kryterium” wywodzących się z ontologii eQual i SiteQual. W związku z tym, że w metodzie eQual skala ocen obejmuje zakres wartości od 1 do 7, na koncept „Kryterium” w ontologii eQual nałożono ograniczenie „maWartoscOceny only integer [ $\geq 1$ ,  $\leq 7$ ]”. Tymczasem w metodzie SiteQual oceny kryteriów obejmują wartości z zakresu od 1 do 9, wobec czego koncept „Kryterium” w ontologii opisującej tę metodę posiada ograniczenie „maWartoscOceny only integer [ $\geq 1$ ,  $\leq 9$ ]”. Podczas integracji koncepty te powinny zostać zunifikowane, w związku z czym powstaje pytanie: „jaki zakres wartości powinno obejmować ograniczenie konceptu „Kryterium” zawarte w zintegrowanej ontologii?”. W niniejszej pracy zdecydowano się przyjąć rozwiązanie pochodzące z algorytmu PROMPT, polegające na tym, że podczas integracji jedna z ontologii zostaje uznana za preferowaną i konflikty tego typu są rozwiązywane na jej korzyść [207]. Podczas integracji preferowaną ontologią będzie ontologia docelowa, unifikująca ontologie źródłowe. Różnego rodzaju niespójności ontologii i inne metody ich rozwiązywania zostały omówione np. w pracach Nguyen [203] [204].

Integracja ontologii jest jednym z najważniejszych elementów procesu budowy modelu systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. Właściwe

przeprowadzenie integracji determinuje poprawność struktury bazy wiedzy tego systemu. Tymczasem wykazano, że metody badania podobieństw napisów i podobieństw semantycznych, wykorzystywane w automatycznych i półautomatycznych metodach integracji, mogą dawać błędne wyniki. Ponadto integracja powinna dać w efekcie strukturę ontologii zbliżoną do tej, która została przedstawiona na rysunku 3.15, w związku z czym inżynier ontologii powinien mieć duży wpływ na przebieg procesu integracji. Wobec tego, opierając się na omówionych wynikach badań oraz na analizie stanu wiedzy w dziedzinie integracji ontologii, zdecydowano się na przeprowadzenie procesu integracji w sposób manualny. Takie podejście, poza zniwelowaniem ryzyka błędnego dopasowania conceptów i daniem inżynierowi dużego wpływu na przebieg integracji, pozwoli też na bieżące rozwiązywanie niespójności ontologii, które mogą powstać w trakcie procesu integracji. Dodatkowym argumentem przemawiającym za przeprowadzeniem procesu integracji ręcznie jest fakt, że w przyszłości potrzeba integracji będzie występowała tylko sporadycznie, podczas dodawania nowej ontologii metody oceny do istniejącej już struktury. Oczywiście, podczas procesu integracji zalecane jest wykorzystanie dodatkowych narzędzi, takich jak: słowniki, tezaury, edytor Protege i jego rozszerzenia wspomagające proces integracji (np. narzędzia do refaktoryzacji ontologii, mechanizmy wnioskujące, narzędzia „OWLDiff” i „OWLDiff Tool” [165] [214] pokazujące różnice między ontologiami oraz „Merge ontologies” służące do łączenia ontologii). Ponieważ wiele metod oceny, dla których zbudowano ontologie, zostało opartych na tych samych podstawach teoretycznych (co zreferowano w pkt 1.4 rozprawy), podczas integracji ontologii należy też wspierać się analizą źródłowych pozycji literatury opisujących poszczególne metody.

Bazując na powyższych spostrzeżeniach, wnioskach i wskazówkach, sformułowano algorytm integracji, zastosowany następnie w procesie integracji ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych. Algorytm ten jest podzielony na dwie części.

- 1) Część pierwsza obejmuje integrację kryteriów i umieszczenie w zintegrowanej ontologii poszczególnych modeli oceny wywodzących się z integrowanych ontologii, więc również z metod, które są odzwierciedlane przez poszczególne ontologie.
- 2) Część druga dotyczy budowy zunifikowanego modelu jakości.

Część pierwsza algorytmu integracji składa się z trzech głównych etapów. Etap 1) wykonywany jest tylko raz, na początku pierwszego procesu integracji. Etapy 2) i 3) powinny być wykonywane podczas integracji każdej kolejnej ontologii źródłowej.

- 1) Przygotowanie do integracji i integracja pierwszej ontologii.

- W celu przygotowania do integracji należy utworzyć w edytorze Protege nową, pustą ontologię, w której będą następnie integrowane ontologie źródłowe. Utworzonej ontologii należy nadać identyfikator IRI o wartości „Zintegrowana”.
- Na wstępie integracji należy utworzyć w edytorze Protege ontologię docelową „Zintegrowana” i wykonać import pierwszej ontologii źródłowej (np. „eQual”).
- Kolejnym krokiem jest użycie narzędzia „Merge ontologies” w celu połączenia ontologii źródłowej (np. „eQual”) i docelowej („Zintegrowana”). W ten sposób obie ontologie zostaną zawarte w tym samym pliku ontologii.
- Następnie, za pomocą narzędzia refaktoryzacji, należy zmienić identyfikator IRI elementów pochodzących z ontologii źródłowej na wartość „Zintegrowana”, która to

wartość jest identyfikatorem IRI ontologii docelowej. Zmianę tę należy wykonać dla wszystkich elementów ontologii źródłowej, z wyjątkiem konceptów opisujących zawarty w niej model jakości (dla „eQual” należy pozostawić bez zmian koncepty: „eQual”, „Interakcja\_z\_uslugami”, „Przystepnosc”, „Zaufanie”, „Jakosc\_informacji”, „Uzytecznosc”, „Projekt” i „Uzytecznosc1”). Działanie to pozwoli zachować model jakości ontologii źródłowej w ontologii docelowej.

- 2) Wyrównywanie części ontologii zawierającej kryteria. W etapie tym należy zidentyfikować powiązania pomiędzy kryteriami jakości występującymi w ontologii docelowej (tj. „Zintegrowanej”, zgodnie z jej bieżącą zawartością) oraz w ontologii źródłowej, która ma zostać zintegrowana w następnym etapie. W tym celu należy posłużyć się słownikami, tezaurusami, narzędziami edytora Protege oraz literaturą źródłową, dotyczącą metod reprezentowanych przez integrowane ontologie.
- 3) Integracja kolejnej ontologii. Na etap ten składają się cztery kroki.
  - Mając otwartą w edytorze Protege ontologię docelową „Zintegrowana”, należy wykonać import kolejnej ontologii źródłowej (np. „Ahn”).
  - Następnie, z wykorzystaniem narzędzia „Merge ontologies”, należy połączyć ontologię źródłową (np. „Ahn”) i docelową (np. „Zintegrowana”, zawierająca już koncepty pochodzące z „eQual”).
  - Kolejnym krokiem jest zmiana wartości identyfikatora IRI z wcześniej przypisanej wartości (np. „Ahn”) na „Zintegrowana” dla wszystkich elementów pochodzących z ontologii źródłowej z wyjątkiem tych, które opisują model jakości (dla Ahn będą to koncepty: „Ahn”, „Jakosc\_informacji”, „Jakosc\_systemu” i „Jakosc\_uslug”). Działanie to pozwoli dopasować do siebie tak samo nazwane koncepty kryteriów z ontologii źródłowej i docelowej. Dopasowane w ten sposób zostaną także relacje i koncepty będące korzeniami w ontologiach, tj. „Kryterium”, „Jakosc” i „Serwis”.
  - Następnym działaniem jest wprowadzenie do ontologii, zidentyfikowanych na etapie wyrównywania, relacji równoważności i subsumpcji między konceptami kryteriów pochodzącymi z ontologii źródłowej i docelowej.

Część druga składa się z trzech etapów, które powinny być wykonywane po zakończeniu części pierwszej algorytmu.

- 1) Wyrównywanie modeli jakości. Należy tutaj określić powiązania pomiędzy charakterystykami jakości zawartymi w integrowanych modelach. Podobnie jak w etapie wyrównywania występującym w pierwszej części algorytmu integracji, również tutaj należy posłużyć się szeregiem narzędzi ułatwiających identyfikację powiązań.
- 2) Budowa zunifikowanego modelu jakości. Model ten powinien obejmować charakterystyki zawarte w ontologii źródłowej i docelowej. Po określeniu jego struktury należy zastąpić nim poprzedni zunifikowany model, zawarty w ontologii docelowej. Charakterystyki zunifikowanego modelu jakości powinny zawierać powiązania relacjami „maKryterium” z kryteriami jakości. Z kolei kryteria powinny być powiązane z charakterystykami modelu relacjami „jestKryterium”.
- 3) Weryfikacja spójności oraz braku nadmiarowości i rozwiązywanie konfliktów. Mogą tutaj wystąpić konflikty polegające na tym, że dwie równoważne charakterystyki mają inne nazwy. Wtedy należy zdecydować, jak powinna zostać nazwana charakterystyka, która

zostanie zawarta w modelu. Ponadto jedno kryterium może być powiązane relacjami „maKryterium”/”jestKryterium” z dwoma charakterystykami zawartymi w modelu zunifikowanym. Konflikty takie należy rozwiązać poprzez, wybranie jako preferowanych, charakterystyk i relacji wywodzących się z poprzedniej wersji modelu zunifikowanego.

### 3.5 Integracja ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych

W celu integracji zbudowanych wcześniej ontologii, zgodnie z algorytmem przedstawionym w pkt 3.4 niniejszej pracy, zrealizowano **pierwszy etap integracji**, tj.: utworzono pustą ontologię docelową i zintegrowano w niej ontologię źródłową eQual. Następnie wybrano drugą ontologię do integracji, którą była ontologia Ahn i wykonano **etap drugi**, tj. wyrównywanie konceptów reprezentujących kryteria. W etapie tym zidentyfikowano powiązania pomiędzy ontologią „zintegrowaną”, zawierającą już ontologię eQual, i ontologią Ahn. Wykryte powiązania zawarte zostały w tabeli 3.14. Należy tutaj zaznaczyć, że w związku z wyrównywaniem ontologii powstają trzy problemy formalne.

- 1) Pierwszy problem dotyczy samego faktu występowania powiązania. Mianowicie pewne powiązania pomiędzy konceptami mogą nie być oczywiste. Wobec tego w sąsiedztwie tabeli, opisującej relacje równoważności lub subsumpcji zachodzące między konceptami wyrównywanych ontologii, zawarto uzasadnienia charakteryzujące odkryte powiązania.
- 2) Drugi problem wywodzi się z faktu, że integrowane ontologie metod są tworem wtórnymi, opracowanymi na podstawie metod oceny jakości. Brzmienie konceptów występujących w ontologiach powinno więc odpowiadać brzmieniu kryteriów, zawartych w poszczególnych metodach oceny. Jednak zawarte w ontologiach koncepty są prezentowane w formie skrótowej, gdyż ujęcie ich pełnego brzmienia byłoby kłopotliwe ze względu na ich długą formę (każde kryterium ma postać zdania) i obszerność treści. Wobec tego w trakcie analizy powiązań mogą pojawić się pewne niejasności dotyczące pełnego brzmienia danego konceptu i kryterium, na podstawie którego utworzono koncept. W tym przypadku takie brzmienie można sprawdzić w tabelach zawierających kryteria każdej z metod oceny, zawartych w załącznikach 1.1-1.5.
- 3) Trzeci problem jest znacznie poważniejszy i ma związek z faktem, że kryteria, na podstawie których utworzono koncepty, oryginalnie zapisane były w języku angielskim. Wobec tego ich tłumaczenie na język polski, zwłaszcza przy zastosowaniu formy skrótowej, nie zawsze może oddawać ich pełne znaczenie. Dołożono jednak starań, aby takie sytuacje nie występowały lub miały miejsce najrzadziej, jak to tylko możliwe. Niemniej jednak mogą pojawić się wątpliwości, czy relacja równoważności lub subsumpcji, ustalona na podstawie analizy leksykalnej i/lub semantycznej, jest określona poprawnie. Wyjaśnić więc należy, że badanie relacji między konceptami niejawnie było wykonywane z wykorzystaniem anglojęzycznego brzmienia konceptów. Język polski został zaś użyty, aby ułatwić analizę procesu integracji. Wobec tego, na końcu każdego uzasadnienia dla ustalonej relacji między konceptami, zawsze podane jest oryginalne (w języku angielskim) i pełne brzmienie równoważnych konceptów dwóch integrowanych ontologii. Pozwoli to badaczom, weryfikującym poprawność realizowanej integracji, samodzielnie wykonać analizę ustalonych relacji.

*Tabela 3.14 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (zawierającej ontologię eQual) i w ontologii źródłowej Ahn*

| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zawierająca eQual) |                                                   | Ontologia źródłowa Ahn |                                         |
|-------|-------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|
|       |             | Charakterystyka                        | Kryterium/Koncept                                 | Charakterystyka        | Kryterium/Koncept                       |
| 1.    | równ.       | Użyteczność <sup>1</sup>               | 3. łatwość nawigacji                              | Jakość systemu         | 2. łatwość nawigacji                    |
| 2.    | równ.       | Projekt                                | 6. odpowiedni projekt graficzny                   | Jakość systemu         | 1. odpowiedni styl projektu graficznego |
| 3.    | równ.       | Projekt                                | 7. poczucie kompetencji                           | Jakość usług           | 21. profesjonalizm/kompetencja          |
| 4.    | równ.       | Projekt                                | 8. pozytywne doznania                             | Jakość systemu         | 8. doznania multimedialne               |
| 5.    | równ.       | Jakość informacji                      | 9. dokładność informacji                          | Jakość informacji      | 12. dokładność informacji               |
| 6.    | równ.       | Jakość informacji                      | 10. wiarygodność informacji                       | Jakość informacji      | 14. rzetelność informacji               |
| 7.    | równ.       | Jakość informacji                      | 11. aktualność informacji                         | Jakość informacji      | 13. aktualność informacji               |
| 8.    | równ.       | Jakość informacji                      | 15. odpowiednia forma informacji                  | Jakość informacji      | 15. odpowiednia forma informacji        |
| 9.    | równ.       | Zaufanie                               | 18. ochrona danych osobowych                      | Jakość systemu         | 4. bezpieczeństwo danych osobowych      |
| 10.   | równ.       | Przystępność                           | 19. personalizacja                                | Jakość usług           | 19. adaptacja do potrzeb użytkowników   |
| 11.   | równ.       | Zaufanie                               | 22. pewność dostarczenia obiecanych towarów/usług | Jakość usług           | 17. zapewnienie tego co obiecano        |

*Źródło: opracowanie własne*

- 1) Równoważność wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. Potwierdza to publikacja Barnes'a i Vidgen'a [15]. (eQual – „I find the site easy to navigate”; Ahn – „Has easy navigation to information”)
- 2) Równoważność wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. Potwierdza to publikacja Barnes'a i Vidgen'a [15]. We wskazanej publikacji znajduje się również informacja, że kryterium źródłowe, które posłużyło do utworzenia konceptu, dotyczy wyglądu, tj. projektu graficznego. (eQual – „The design is appropriate to the type of site”; Ahn – „Has an appropriate style of design for site type”)
- 3) Równoważność wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. Potwierdza to publikacja Barnes'a i Vidgen'a [15]. (eQual – „The site conveys a sense of competency”; Ahn – „Gives a professional and competence image”)
- 4) Koncepty mogą wydawać się różne. Zaznaczyć jednak należy, że koncept zawarty w ontologii Ahn wywodzi się bezpośrednio z metody eQual 2.0. Jednocześnie jego znaczenie odpowiada konceptowi zawartemu w ontologii eQual (utworzonej na podstawie metody eQual 4.0). Fakt, że są to odpowiadające sobie koncepty, jest potwierdzony w publikacji Barnes'a i Vidgen'a na temat metod eQual 2.0 i eQual 4.0 [15]. Na równoważność konceptów w pewnym stopniu wskazuje także analiza semantyczna. (eQual – „The site creates a positive experience for me”; Ahn – „Creates an audio-visual experience”)
- 5) Równoważność wynika z analizy leksykalnej. (eQual i Ahn – „Provides accurate information”)
- 6) W oryginalnej metodzie eQual było użyte angielskie sformułowanie „believable”, podczas gdy w metodzie Ahn wykorzystane było słowo „reliable”. Według słownika WordNet [300] oraz serwisów prezentujących graficznie powiązania między słowami [90] [285] są to słowa o różnym znaczeniu. Jednak słownik Thesaurus.com [277] definiuje każde z tych słów jako „trustworthy”, tj. „godny zaufania” i jednocześnie określa je jako synonimy. Wobec tego zdecydowano się uznać je za równoważne. (eQual – „Provides believable information”; Ahn – „Provides reliable information”)

- 7) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej. (eQual i Ahn – „Provides timely information”)
- 8) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. Potwierdza to publikacja Barnes’a i Vidgen’a [15]. (eQual – „Presents the information in an appropriate format”; Ahn – „Communicates information in an appropriate format”)
- 9) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (eQual – „My personal information feels secure”; Ahn – „Keeps personal information secure from exposure”)
- 10) Równoważność wyniku z analizy semantycznej, gdyż personalizacja oznacza właśnie dostosowanie do indywidualnych potrzeb użytkowników. (eQual – „Creates a sense of personalization”; Ahn – „Understands and adapts to the user's specific needs”)
- 11) Podobnie jak w przypadku relacji 4, tutaj również koncepty mogą wydawać się różne. Jednak na ich równoważność wskazuje w pewnym stopniu analiza semantyczna. Mianowicie zawarte w koncepcie ontologii Ahn sformułowanie „zapewnienie” jest tłumaczeniem z języka angielskiego zwrotu „provide”, który oznacza „zapewnienie, dostarczenie”. Z kolei sformułowanie „dostarczenie”, znajdujące się w koncepcie ontologii eQual, w języku angielskim brzmiało „deliver”. Dodatkowo zaznaczyć należy, że koncept zawarty w ontologii Ahn pochodzi z metody eQual 2.0, a podczas tworzenia metody eQual 4.0 jego treść została zmodyfikowana. Potwierdzenie, że są to koncepty równoważne, można znaleźć w publikacji Barnes’a i Vidgen’a [15]. (eQual – „I feel confident that goods/services will be delivered as promised”; Ahn – „Can be depended on to provide whatever is promised”)

W oparciu o zidentyfikowane powiązania pomiędzy kryteriami wykonano **trzeci etap integracji**, tj. połączenie ontologii w edytorze Protege. Efekty kolejnych kroków integracji ontologii źródłowej wewnątrz docelowej pokazano na rysunku 3.17. Przedstawiono tutaj: (a) rezultat zaimportowania ontologii źródłowej Ahn do ontologii docelowej, (b) efekt połączenia ontologii z użyciem narzędzia „Merge ontologies”, (c) wynik zmiany wartości identyfikatorów IRI dla konceptów/kryteriów w ontologii Ahn, (d) postać narzędzia służącego do zmiany identyfikatorów IRI, (e) ontologię docelową po powiązaniu odpowiednich par konceptów relacją równoważności. Rysunek 3.17 e) przedstawia więc również ostateczną postać ontologii docelowej, będącej unifikacją ontologii eQual i Ahn na poziomie kryteriów.

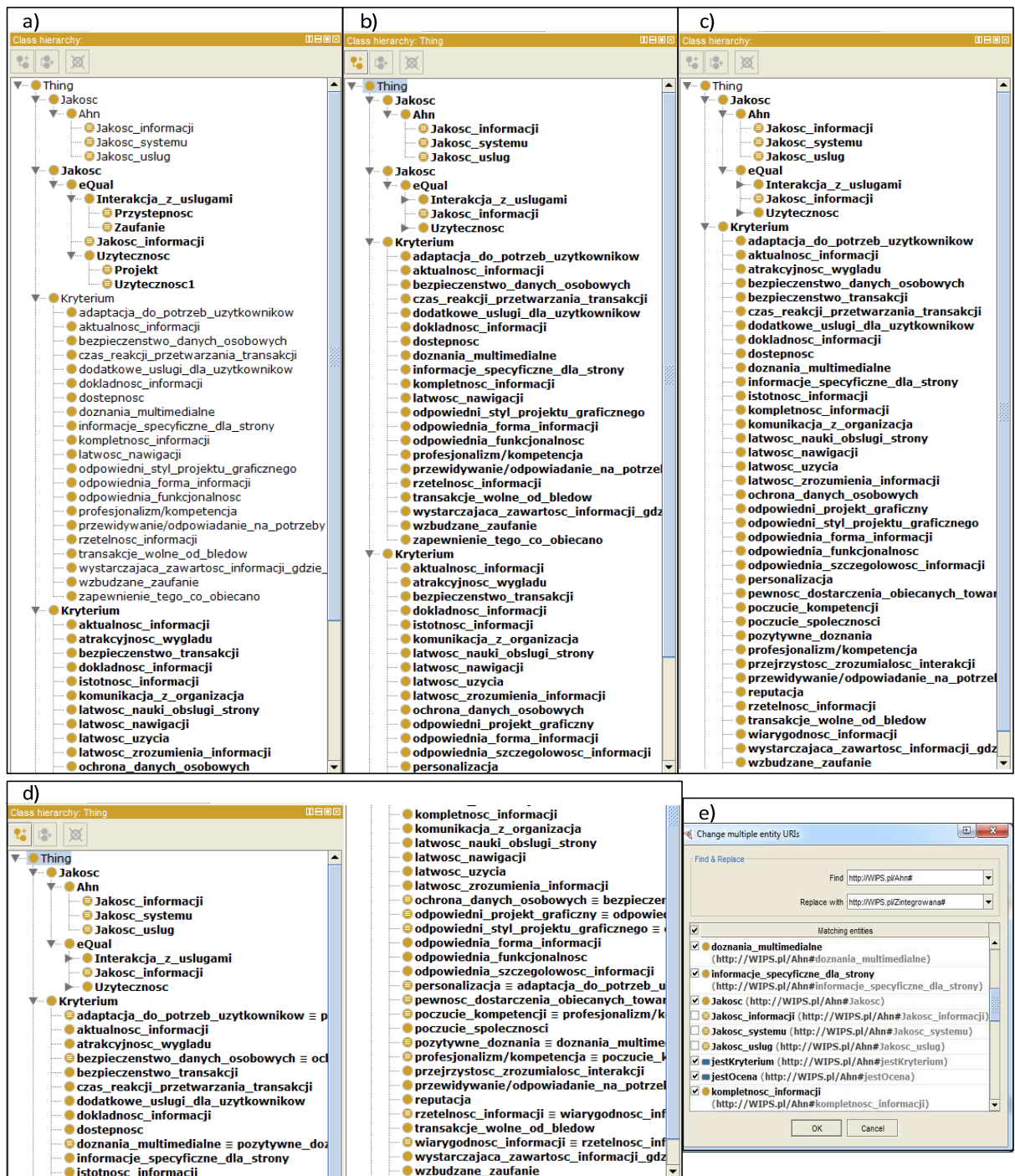
Następnie zrealizowano **etapy części drugiej algorytmu integracji**. Efekt wyrównywania konceptów reprezentujących charakterystyki modeli jakości eQual i Ahn zawiera tabela 3.15.

*Tabela 3.15 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (zawierającej ontologię eQual) i w ontologii źródłowej Ahn*

| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zawierająca eQual) |                       | Ontologia źródłowa Ahn |                   |
|-------|-------------|----------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
|       |             | Koncept nadrzędny                      | Charakterystyka       | Koncept nadrzędny      | Charakterystyka   |
| 1.    | równ.       | Jakość                                 | Jakość informacji     | Jakość                 | Jakość informacji |
| 2.    | odwr. subs. | Jakość                                 | Interakcja z usługami | Jakość                 | Jakość usług      |

*Źródło: opracowanie własne*



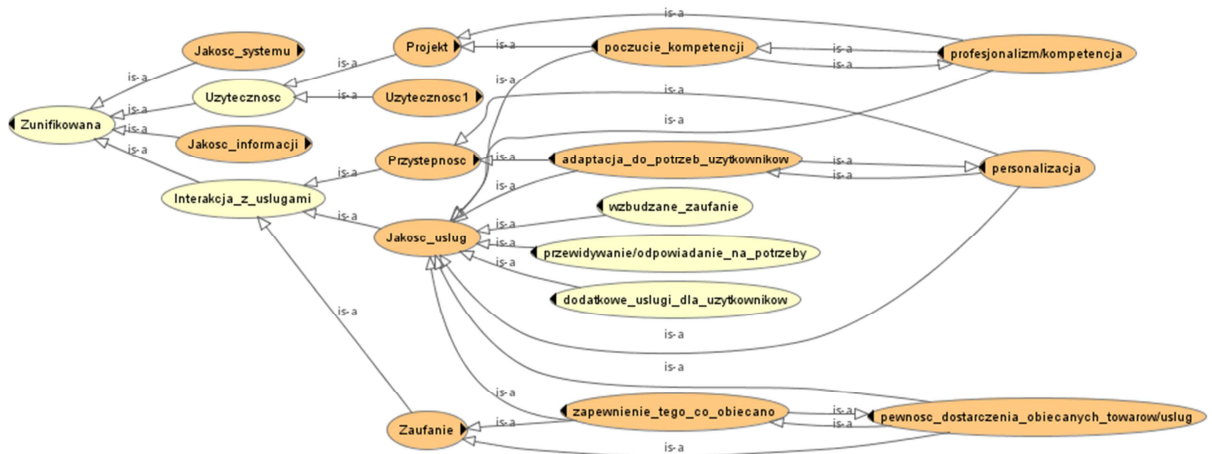


Rysunek 3.17 Etapy integracji ontologii docelowej i źródłowej (Ahn) w edytorze Protege  
Źródło: opracowanie własne

Relacje między charakterystykami w tabeli 3.15 ustalono w taki, a nie inny sposób, aby kryteria wchodzące w skład danej charakterystyki dowiązywane były do niej na tym samym poziomie hierarchii. Przykładowo, gdyby „Jakosc\_uslug” została uznana za równoważną z charakterystyką „Interakcja\_z\_uslugami”, wtedy np. kryterium „wzbudzone\_zaufanie” (należące do „Jakosc\_uslug”) występowałoby na 3 poziomie wywnioskowanej hierarchii, a „reputacja” (należąca do „Zaufanie”) byłaby na poziomie 4. Mogłoby to powodować problemy związane z niespójnością w trakcie wnioskowania przynależności kryteriów do

charakterystyki „Interakcja\_z\_uslugami”, wobec czego należało w tym przypadku powiązać omawiane charakterystyki subsumpcją.

Ostatnim etapem było sprawdzenie spójności i braku nadmiarowości w zintegrowanej ontologii. Nadmiarowość taka pojawiła się w wyniku działania mechanizmu wnioskującego, w przypadku kryteriów pochodzących z ontologii docelowej i źródłowej, które posiadają takie same nazwy lub zostały uznane za równoważne, a należą do dwóch różnych charakterystyk ujętych w zunifikowanym modelu. W każdym z takich przypadków zachodzi więc nadmiarowość relacji subsumpcji pomiędzy kryteriami i charakterystykami modelu zunifikowanego. Wybrane przykłady takich nadmiarowości przedstawiono na rysunku 3.18.



Rysunek 3.18 Przykłady nadmiarowych relacji subsumpcji w zunifikowanym modelu jakości  
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 3.18 pokazano zarówno nadmiarowe relacje w ramach jednej charakterystyki i wielu jej podcharakterystyk, jak również w ramach różnych charakterystyk. Przykładowo para równoważnych konceptów „personalizacja” i „adaptacja\_do\_potrzeb\_uzytkownikow” należy do podcharakterystyk „Jakosc\_uslug” i „Przystepnosc”. Z kolei podcharakterystyki te wchodzi w skład jednej charakterystyki „Interakcja\_z\_uslugami”. Zachodzi więc tutaj nadmiarowość w ramach jednej charakterystyki. Nadmiarowość ta wyniknęła z faktu, że kryterium „personalizacja” w ontologii eQual jest częścią podcharakterystyki „Przystepnosc”, a kryterium „adaptacja\_do\_potrzeb\_uzytkownikow” w ontologii Ahn należy do charakterystyki „Jakosc\_uslug”. Na skutek uznania tych kryteriów za równoważne, wzajemnie przejmują one relacje zachodzące między nimi i charakterystykami, do których należą. Podobna sytuacja ma miejsce chociażby w przypadku dopasowanej pary konceptów „poczucie\_kompetencji” i „profesjonalizm/kompetencja”, które na skutek występującej między nimi równoważności należą do charakterystyk „Jakosc\_uslug” i „Projekt”. Tego typu nadmiarowości relacji rozwiązywano zgodnie z założeniami opisanymi w pkt 3.4 niniejszej pracy, tj. na korzyść ontologii docelowej, zachowując wywodzące się z niej relacje, a usuwając relacje pochodzące z ontologii źródłowej (w tym przypadku z ontologii Ahn). Ostateczna taksonomia konceptów ontologii, integrującej ontologie Ahn i eQual, w postaci podstawowej i wywiedzionej przez mechanizm wnioskujący, jest zawarta w załączniku 3.6.

Kolejne iteracje procesu integracji poszczególnych ontologii źródłowych z ontologią docelową przebiegały analogicznie do integracji przedstawionej wyżej. Następną integrowaną

ontologią była ontologia źródłowa SiteQual. Efekt wyrównywania konceptów reprezentujących kryteria w ontologii źródłowej i docelowej przedstawia tabela 3.16.

*Tabela 3.16 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (integrującej eQual i Ahn) i w ontologii źródłowej SiteQual*

| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zintegrowana, zawierająca eQual i Ahn) |                                                        | Ontologia źródłowa SiteQual |                                                             |
|-------|-------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|
|       |             | Charakterystyka                                            | Kryterium/Koncept                                      | Charakterystyka             | Kryterium/Koncept                                           |
| 1.    | odwr. subs. | Zaufanie                                                   | pewność dostarczenia obiecanych towarów/usług          | Rzetelność                  | 1. pewność/czas dostarczenia obiecanych towarów/usług       |
| 2.    | równ.       | Jakość systemu                                             | transakcje wolne od błędów                             | Rzetelność                  | 3. bezbłądność przetwarzania usług                          |
| 3.    | subs.       | Interakcja z usługami                                      | przewidywanie/odpowiadanie na potrzeby                 | Zapewniana przystępność     | 5. przewidywanie/odpowiadanie na pytania                    |
| 4.    | równ.       | Przystępność                                               | personalizacja                                         | Zapewniana przystępność     | 6. personalizacja                                           |
| 5.    | równ.       | Projekt                                                    | atrakcyjność wyglądu                                   | Materialność                | 10. ogólna atrakcyjność wizualna                            |
| 6.    | równ.       | Projekt                                                    | odpowiedni projekt graficzny                           | Materialność                | 11. schludny/profesjonalny wygląd                           |
| 7.    | równ.       | Użyteczność <sup>1</sup>                                   | łatwość nawigacji                                      | Nawigacja                   | 13. łatwość nawigacji wewnętrznej                           |
| 8.    | subs.       | Jakość informacji                                          | wystarczająca zawartość informacji gdzie są oczekiwane | Odpowiednia prezentacja     | 16. właściwa ilość informacji dla zadania bez nadmiarowości |
| 9.    | równ.       | Jakość informacji                                          | odpowiednia szczegółowość informacji                   | Odpowiednia prezentacja     | 17. odpowiedni poziom szczegółowości dla zadania            |
| 10.   | równ.       | Jakość informacji                                          | odpowiednia forma informacji                           | Odpowiednia prezentacja     | 20. odpowiednia forma wyświetlania informacji               |
| 11.   | równ.       | Jakość informacji                                          | dokładność informacji                                  | Precyzja                    | 21. dokładność informacji                                   |
| 12.   | równ.       | Jakość informacji                                          | wiarygodność informacji                                | Precyzja                    | 22. wiarygodność informacji                                 |
| 13.   | równ.       | Zaufanie                                                   | reputacja                                              | Precyzja                    | 24. reputacja                                               |
| 14.   | równ.       | Jakość informacji                                          | istotność informacji                                   | Precyzja                    | 25. istotność informacji                                    |
| 15.   | równ.       | Jakość informacji                                          | kompletność informacji                                 | Precyzja                    | 26. kompletność informacji                                  |
| 16.   | równ.       | Zaufanie                                                   | ochrona danych osobowych                               | Bezpieczeństwo              | 28. odpowiedni poziom bezpieczeństwa użytkowników           |

*Źródło: opracowanie własne*

- 1) Relacja odwrotnej subsumpcji wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. Należy zaznaczyć, że kryterium w metodzie SiteQual, a w związku z tym również koncept ontologii, powstały ze złożenia dwóch kryteriów źródłowych (ang. „Providing goods/services as promised” i „Providing services at the promised time”) [296]. Pierwsze kryterium źródłowe niemal dokładnie odpowiada oryginalnemu kryterium zawartemu w zintegrowanej ontologii. Natomiast dołączenie drugiego kryterium źródłowego do właściwego kryterium i konceptu spowodowało, że koncept ontologii SiteQual ma większy zakres znaczeniowy od konceptu zintegrowanej ontologii. Wobec tego koncept zintegrowanej ontologii zawiera się w koncepcie ontologii SiteQual. (Ontologia docelowa I iteracja – „I feel confident that goods/services will be delivered as promised”; SiteQual – „Provide goods and service as promised when promised”)
- 2) Równoważność wynika z analizy semantycznej. Oba koncepty dotyczą bezbłądności przetwarzania usług, którymi są również transakcje. Co więcej, rodzaj przetwarzanych usług lub transakcji jest zależny od kontekstu, a w przypadku określonego serwisu internetowego kontekst ten będzie taki sam. Przykładowo dla serwisu e-commerce transakcją i jednocześnie usługą może być zakup, a dla serwisu e-learning transakcją i usługą będzie np. sprawdzian wiedzy. (Ontologia docelowa I iteracja – „Keeps error-free transactions”; SiteQual – „Perform services without error”)
- 3) Relacja subsumpcji wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. Analiza leksykalna wskazuje, że są to podobne koncepty. Jednak wśród potrzeb użytkowników można

wyróżnić m.in. potrzeby informacyjne, wobec czego odpowiadanie na pytania użytkowników, czyli realizacja ich potrzeb informacyjnych, jest szczególnym przypadkiem odpowiadania na ich potrzeby. Wobec tego koncept ontologii SiteQual zawiera się w koncepcie ontologii zintegrowanej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Anticipates and responds promptly to user needs”; SiteQual – „Anticipate and answer customer questions on Web site”)

- 4) Równoważność wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Creates a sense of personalization”; SiteQual – „Personalize Web site”)
- 5) Równoważność wynika z analizy semantycznej. Koncept ontologii SiteQual odnosi się w tym przypadku do ogólnego wyglądu stron serwisu. Koncept zintegrowanej ontologii również ma znaczenie ogólne, dotyczące całego serwisu. (Ontologia docelowa I iteracja – „The site has an attractive appearance”; SiteQual – „Design for overall visual appeal”)
- 6) Równoważność wynika z analizy semantycznej. Profesjonalny i schludny wygląd będzie inaczej rozumiany w zależności od typu serwisu internetowego. Przykładowo serwis informacyjny powinien charakteryzować się wyglądem umożliwiającym czytelną prezentację informacji. Z kolei serwis wyszukiwawczy powinien zawierać minimum dodatkowych treści, innych niż narzędzia służące wyszukiwaniu, a serwis dla dzieci powinien być kolorowy i przyciągający uwagę. Wobec tego to, co rozumie się poprzez profesjonalny i schludny wygląd, jest zależne od typu strony. Koncept z ontologii SiteQual jest więc równoważny z konceptem ontologii zintegrowanej „odpowiedni projekt graficzny”, oznaczającym dostosowanie projektu graficznego do typu serwisu. Jeżeli natomiast chodzi o koncept zawarty w zintegrowanej ontologii, w oryginalnym jego brzmieniu w języku angielskim jest użyte sformułowanie „design”, które może odnosić się do różnego rodzaju projektów. W pracy Barnes’a i Vidgen’a [15] zawarte jest jednak wyjaśnienie, według którego oryginalne kryterium, zaadoptowane do zintegrowanej ontologii, jest zbieżne z wynikami badań dotyczącymi oczekiwań klientów względem wyglądu serwisu. Pojęcie „design” oznacza więc projekt graficzny, projekt wyglądu serwisu. (Ontologia docelowa I iteracja – „The design is appropriate to the type of site”; SiteQual – „Provide a neat and professional appearance”)
- 7) Równoważność wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. Koncept ontologii SiteQual jest tutaj tylko bardziej uszczegółowiony poprzez zaznaczenie, czego dokładnie dotyczy pojęcie nawigacji. (Ontologia docelowa I iteracja – „I find the site easy to navigate”; SiteQual – „Design site for easy internal navigation (clear menu, links, depth of paths)”)
- 8) Subsumpcja wynika z analizy semantycznej. Wątpliwości może budzić słowo „task”, czyli „zadanie”, występujące w koncepcie ontologii SiteQual. Jednak oryginalne brzmienie kryterium źródłowego metody SiteQual miało postać „Offering the right amount of information”, tj. „Oferuje odpowiednią ilość informacji” [296]. Następnie brzmienie tego kryterium zostało przekształcone do postaci zawartej ostatecznie w metodzie - i na skutek tego również w ontologii - SiteQual. Jednak wyraźnie można dostrzec, że koncept ten dotyczy wystarczającej ilości informacji, a zastosowane w nim słowo „zadanie” nie jest użyte zbyt trafnie. Jeżeli chodzi o samą relację subsumpcji, zauważyć można, że koncept zintegrowanej ontologii ma szersze znaczenie od konceptu ontologii SiteQual. Poza wystarczającą zawartością informacji dotyczy on również właściwej ich lokalizacji, tj. położenia ich w miejscach, w których oczekuje ich użytkownik. (Ontologia docelowa

- I iteracja – „Has sufficient contents where I expect to find information”; SiteQual – „Display the right amount of information for the task without overload”)
- 9) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. Na równoważność wskazuje fakt, że oryginalne brzmienie konceptu zawartego w ontologii SiteQual miało postać „Offering information at the appropriate level of detail”, czyli było niemal takie same, jak brzmienie tożsamego konceptu w ontologii zintegrowanej [296]. (Ontologia docelowa I iteracja – „Provides information at the right level of detail”; SiteQual – „Provide an appropriate level of detail to the task”)
- 10) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Presents the information in an appropriate format”; SiteQual – „Use appropriate format for information displays”)
- 11) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Provides accurate information”; SiteQual – „Provide accurate information”)
- 12) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Provides believable information”; SiteQual – „Provide believable information”)
- 13) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Has a good reputation”; SiteQual – „Build reputation of Web site”)
- 14) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Provides relevant information”; SiteQual – „Provide relevant information”)
- 15) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa I iteracja – „Provides complete information”; SiteQual – „Provide complete information”)
- 16) Równoważność wyniku z analizy semantycznej. Należy przy tym zaznaczyć, że pierwotne brzmienie kryterium zawartego w metodzie SiteQual w języku angielskim miało postać „Provide adequate levels of security for personal information”, a zostało ono zmienione w końcowej wersji metody [296]. Koncept ontologii SiteQual został zdefiniowany o ostateczne brzmienie tego kryterium, ale jest ono równoważne z wcześniejszą jego postacią. Tymczasem wcześniejsza postać kryterium zawartego w metodzie SiteQual wykazuje silną zgodność semantyczną z konceptem zawartym w ontologii zintegrowanej. (Ontologia docelowa I iteracja – „My personal information feels secure”; SiteQual – „Provide adequate level of user security”)

Na podstawie zidentyfikowanych powiązań pomiędzy konceptami ontologii źródłowej i docelowej wykonano integrację ontologii za pomocą edytora Protege zgodnie z częścią pierwszą algorytmu. Następnie wykonano wyrównywanie charakterystyk modelu SiteQual oraz modelu zunifikowanego, zawartego w ontologii docelowej. Nadrzędnym celem przy ustalaniu relacji między charakterystykami było to, aby ich kryteria były na tym samym poziomie hierarchii. Dopasowane pary charakterystyk tych modeli zawiera tabela 3.17.

*Tabela 3.17 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (integrującej eQual i Ahn) i w ontologii źródłowej SiteQual*

| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zintegrowana, zawierająca eQual i Ahn) |                 | Ontologia źródłowa SiteQual |                         |
|-------|-------------|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|
|       |             | Koncept nadrzędny                                          | Charakterystyka | Koncept nadrzędny           | Charakterystyka         |
| 1.    | równ.       | Interakcja z usługami                                      | Przystępność    | Jakość                      | Zapewniana przystępność |
| 2.    | równ.       | Jakość                                                     | Użyteczność     | Jakość                      | Postrzegana użyteczność |

*Źródło: opracowanie własne*

W oparciu o dopasowane pary charakterystyk, zawarte w tabeli 3.17, zbudowano nowy zunifikowany model jakości, którym zastąpiono poprzednio utworzony model. Ostatnim krokiem było rozwiązanie niespójności i usunięcie nadmiarowych relacji w modelu zunifikowanym. W efekcie tych działań uzyskano końcową taksonomię conceptów ontologii zawierającej ontologie eQual, Ahn i SiteQual. Taksonomia ta, w postaci podstawowej i wywiedzionej przez mechanizm wnioskujący, jest zawarta w załączniku 3.7

Kolejną zintegrowaną ontologią była ontologia źródłowa Website Evaluation Questionnaire. W celu jej integracji z ontologią docelową, podobnie jak podczas integracji poprzednich ontologii źródłowych, wykonano kolejno: wyrównywanie kryteriów, łączenie ontologii źródłowej i docelowej w edytorze Protege, wyrównanie charakterystyk, budowę zunifikowanego modelu jakości oraz usunięcie nadmiarowości. Efekt dopasowywania kryteriów ontologii docelowej i źródłowej zawiera tabela 3.18.

*Tabela 3.18 Powiązania pomiędzy conceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn i SiteQual) i w ontologii źródłowej WEQ*

| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zintegrowana, zawierająca eQual, Ahn i SiteQual) |                                                         | Ontologia źródłowa Website Evaluation Questionnaire |                                                              |
|-------|-------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|       |             | Koncept nadrzędny                                                    | Kryterium/Koncept                                       | Koncept nadrzędny                                   | Kryterium/Koncept                                            |
| 1.    | równ.       | Użyteczność <sup>1</sup>                                             | łatwość użycia                                          | Łatwość użycia                                      | 1. łatwość użycia                                            |
| 2.    | subs.       | Jakość informacji                                                    | wystarczająca zawartość informacji gdzie są oczekiwane  | Struktura                                           | 8. obecność potrzebnych informacji w spodziewanych miejscach |
| 3.    | równ.       | wystarczająca zawartość informacji gdzie są oczekiwane               | właściwa ilość informacji dla zadania bez nadmiarowości | Kompletność                                         | 18. wystarczająca zawartość informacji                       |
| 4.    | równ.       | Jakość informacji                                                    | łatwość zrozumienia informacji                          | Zrozumiałość                                        | 16. łatwość zrozumienia informacji                           |
| 5.    | równ.       | Jakość informacji                                                    | dokładność informacji                                   | Kompletność                                         | 20. precyzja/dokładność informacji                           |
| 6.    | równ.       | Projekt                                                              | atrakcyjność wyglądu                                    | Układ strony                                        | 22. atrakcyjność wyglądu                                     |

*Źródło: opracowanie własne*

- 1) Równoważność wynika z analizy leksykalnej. (Ontologia docelowa II iteracja i WEQ – „I find this website easy to use”)
- 2) Subsumpcja wynika z analizy semantycznej. Łatwo zauważyć, że koncept ontologii WEQ dotyczy miejsca, w którym zawarte są oczekiwane/poszukiwane informacje, natomiast koncept ontologii zintegrowanej koncentruje się na miejscu i zawartości informacyjnej. (Ontologia docelowa II iteracja – „Has sufficient contents where I expect to find information”; WEQ – „I know where to find the information I need on this website”)
- 3) Równoważność wynika z analizy semantycznej. Podobne koncepty zostały szerzej opisane w pkt 8 opisu integracji ontologii SiteQual z zintegrowaną ontologią uzyskaną po I iteracji. (Ontologia docelowa II iteracja – „Display the right amount of information for the task without overload”; WEQ – „This website provides me with sufficient information”)
- 4) Równoważność wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa II iteracja – „Provides easy to understand information”; WEQ – „I find the information in this website easy to understand”)
- 5) Równoważność wynika z analizy semantycznej. W oryginalnym, angielskojęzycznym brzmieniu opisywanych conceptów użyte były słowa „accurate” i „precise”. Tymczasem zarówno słownik WordNet [300], jak i Thesaurus [277] określają każde z tych słów jako synonimy. Dodatkowo słownik Thesaurus jako definicję słowa “precise” podaje słowa “exact, accurate”, a słowo „accurate” definiuje jako „precise”. Nie ulega więc wątpliwości, że w tym przypadku zachodzi relacja równoważności conceptów. (Ontologia docelowa II

iteracja – „Provides accurate information”; WEQ – „I find the information in this website precise”)

- 6) Dosłowne tłumaczenie konceptu ontologii WEQ na język polski brzmi „Lubię sposób, w jaki ta strona wygląda”. Oznacza to oczywiście, że wygląd strony wzbudza w użytkowniku pozytywne odczucia i jest dla niego atrakcyjny. Wobec tego na podstawie analizy semantycznej można uznać koncepty za równoważne. (Ontologia docelowa II iteracja – „The site has an attractive appearance”; WEQ – „I like the way this website looks”)

W tabeli 3.19 przedstawiono dopasowane charakterystyki integrowanych ontologii. Określono tutaj relację subsumpcji, aby kryteria jakości znalazły się na tym samym poziomie hierarchii zunifikowanego modelu jakości. Wobec tego koncept „Nawigacja”, pochodzący z ontologii WEQ, w zunifikowanym modelu jakości jest podklasą konceptu „Użyteczność”, a jego podklasą jest z kolei „Nawigacja”, zawarta wcześniej w zunifikowanym modelu w koncepcie „Użyteczność”. Taksonomię konceptów zintegrowanych ontologii eQual, Ahn, SiteQual i WEQ przedstawia załącznik 3.8.

*Tabela 3.19 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn i SiteQual) i w ontologii źródłowej WEQ*

| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zintegrowana, zawierająca eQual, Ahn i SiteQual) |                 | Ontologia źródłowa Website Evaluation Questionnaire |                 |
|-------|-------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|-----------------|
|       |             | Koncept nadrzędny                                                    | Charakterystyka | Koncept nadrzędny                                   | Charakterystyka |
| 1.    | odwr. subs. | Użyteczność                                                          | Nawigacja       | Jakość                                              | Nawigacja       |

*Źródło: opracowanie własne*

Ostatnią już ontologią, którą zintegrowano w ontologii docelowej, była ontologia źródłowa odzwierciedlająca metodę Web Portal Site Quality. Efekt dopasowywania kryteriów ontologii docelowej i źródłowej zawiera tabela 3.20.

*Tabela 3.20 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn, SiteQual i WEQ) i w ontologii źródłowej WPSQ*

| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zintegrowana, zawierająca eQual, Ahn, SiteQual i WEQ) |                                                    | Ontologia źródłowa Web Portal Site Quality |                                                  |
|-------|-------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|       |             | Koncept nadrzędny                                                         | Kryterium/Koncept                                  | Koncept nadrzędny                          | Kryterium/Koncept                                |
| 1.    | równ.       | Hiperłącza                                                                | hiperłącza prowadzące do oczekiwanych informacji   | Użyteczność                                | 3. dobra organizacja hiperłączy                  |
| 2.    | równ.       | Jakość informacji                                                         | odpowiednia forma informacji                       | Użyteczność                                | 4. prezentacja informacji dostosowana do potrzeb |
| 3.    | równ.       | Bezpieczeństwo                                                            | zobowiązanie zachowania poufności danych osobowych | Użyteczność                                | 5. poufność informacji o klientach               |
| 4.    | równ.       | Jakość informacji                                                         | istotność informacji                               | Przydatność zawartości                     | 7. istotność informacji dla klienta              |
| 5.    | równ.       | Jakość informacji                                                         | aktualność informacji                              | Przydatność zawartości                     | 8. aktualność informacji                         |
| 6.    | równ.       | Jakość informacji                                                         | kompletność informacji                             | Adekwatność informacji                     | 13. kompletność zawartości                       |
| 7.    | równ.       | wystarczająca zawartość informacji gdzie są oczekiwane                    | wystarczająca zawartość informacji                 | Adekwatność informacji                     | 14. wystarczalność informacji                    |
| 8.    | równ.       | Jakość usług                                                              | dodatkowe usługi dla użytkowników                  | Interakcja                                 | 18. dodatkowe usługi dla klientów                |
| 9.    | równ.       | Jakość systemu                                                            | dostępność                                         | Dostępność                                 | 16. dostępność portalu                           |

*Źródło: opracowanie własne*

- 1) Równoważność wynika z analizy leksykalnej i semantycznej. Fakt, że pod hiperłączami użytkownik może znaleźć to, czego się spodziewa, jest równoznaczny z ich dobrym



- zorganizowaniem. (Ontologia docelowa III iteracja – „Under the hyperlinks, I found the information I expected to find there”; WPSQ – „Well-organized hyperlinks”)
- 2) Równoważność wyniku z analizy semantycznej. Koncept zawarty w ontologii WPQS mówi o tym, że prezentacja informacji jest dostosowana do potrzeb. Najczęściej oznacza to właśnie właściwą formę/format prezentowanej informacji. (Ontologia docelowa III iteracja – „Presents the information in an appropriate format”; WPSQ – „Customized information presentation”)
  - 3) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej, gdyż obydwa koncepty dotyczą faktu nieupubliczniania danych dotyczących użytkowników serwisu. (Ontologia docelowa III iteracja – „Demonstrate commitment to privacy of personal information”; WPSQ – „Confidentiality for customer information”)
  - 4) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa III iteracja – „Provides relevant information”; WPSQ – „Relevant information to the customer”)
  - 5) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. Koncept zawarty w ontologii WPSQ w oryginale brzmiał „Up-to-date information”. Z kolei koncept zawarty w ontologii zintegrowanej wywodzi się z metody eQual, a odpowiadające mu kryterium w metodzie eQual 2.0 brzmiało „Provides up-to-date information” [15]. (Ontologia docelowa III iteracja – „Provides timely information”; WPSQ – „Up-to-date information”)
  - 6) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. Słowo „zawartość” (ang. „content”) odnosi się tutaj do zawartości informacyjnej serwisu. (Ontologia docelowa III iteracja – „Provides complete information”; WPSQ – „Complete content”)
  - 7) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. (Ontologia docelowa III iteracja – „This website provides me with sufficient information”; WPSQ – „Sufficiency of information”)
  - 8) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej, gdyż klientami serwisu (ang. “customers”) są jego użytkownicy (ang. “users”). (Ontologia docelowa III iteracja – „Provides follow-up service to users”; WPSQ – „Follow-up services to customers”)
  - 9) Równoważność wyniku z analizy leksykalnej i semantycznej. Pełne brzmienie konceptu zawartego w ontologii zintegrowanej to „Można używać strony w dowolnym momencie”, co jest właśnie definicją dostępności serwisu internetowego. (Ontologia docelowa III iteracja – „Can use when I want to use”; WPSQ – „Accessibility of the portal”)

W tabeli 3.21 zawarto dopasowane charakterystyki integrowanych ontologii.

*Tabela 3.21 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn, SiteQual i WEQ) i w ontologii źródłowej WPSQ*

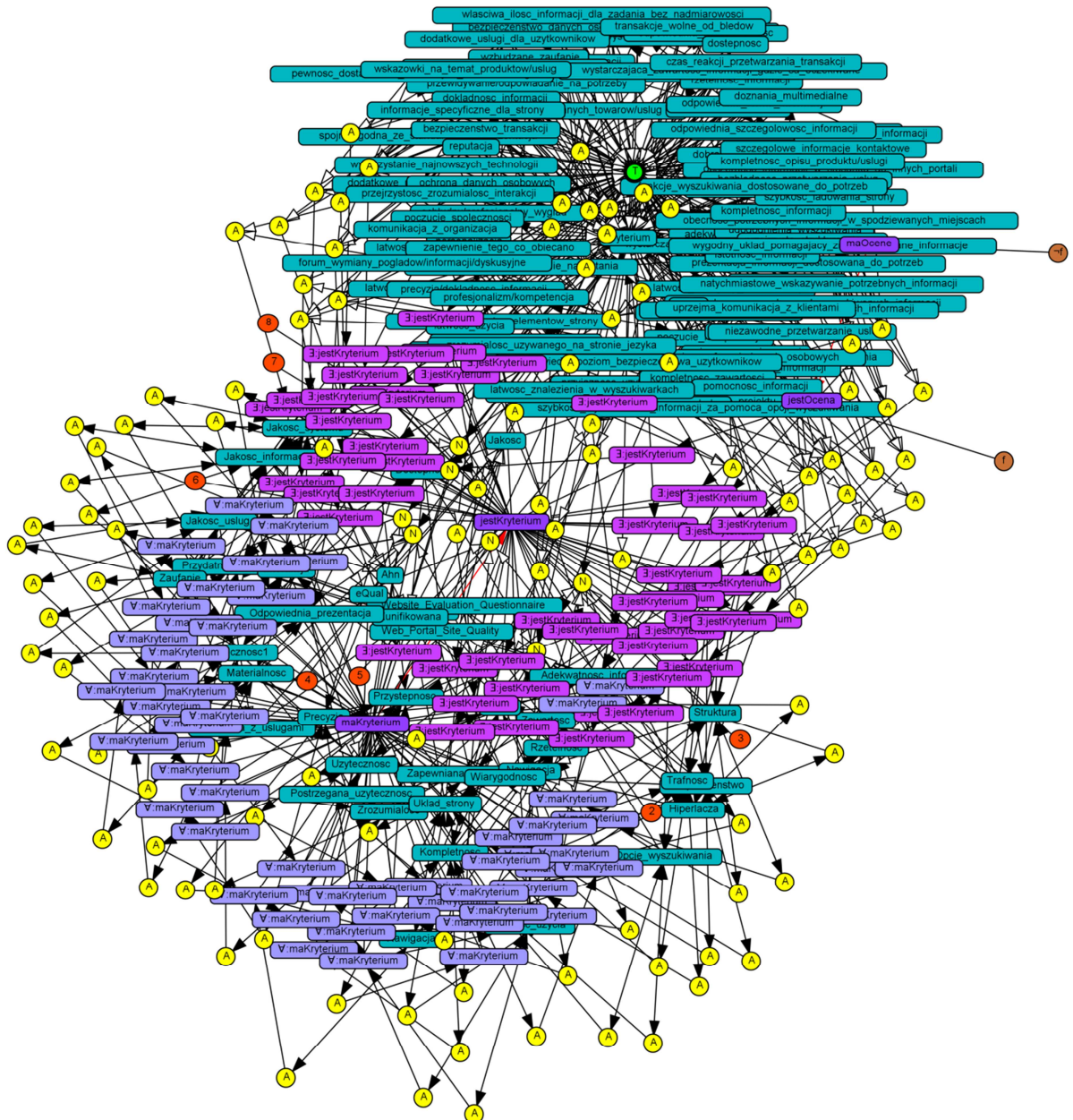
| L. p. | Typ relacji | Ontologia docelowa (zintegrowana, zawierająca eQual, Ahn, SiteQual i WEQ) |                 | Ontologia źródłowa Web Portal Site Quality |                 |
|-------|-------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|
|       |             | Koncept nadrzędny                                                         | Charakterystyka | Koncept nadrzędny                          | Charakterystyka |
| 1.    | równ.       | Użyteczność                                                               | Użyteczność1    | Jakość                                     | Użyteczność     |

*Źródło: opracowanie własne*

Podstawową oraz uzyskaną przy wykorzystaniu mechanizmu wnioskującego taksonomię konceptów ontologii, integrującej ontologie eQual, Ahn, SiteQual, WEQ i WPSQ, umieszczono w załączniku 3.9. Taksonomie ontologii zawarte w załącznikach 3.1-3.9 zostały wygenerowane za pomocą dodatku do edytora Protege o nazwie OWLViz. Na



rysunku 3.19 przedstawiono natomiast podstawową strukturę uzyskanej ontologii docelowej, wygenerowaną przy użyciu narzędzia SOVA. Na rysunku 3.19 kolorem turkusowym oznaczono koncepty, kolor żółty określa atrybuty klas, pomarańczowy - ograniczenia liczności, ciemnofioletowy - relacje, a jasnofioletowy - relacje z kwantyfikatorem egzystencjalnym. Kolorem liliowym zaznaczono relacje z kwantyfikatorem uniwersalnym, brązowym - funkcyjność i odwrotną funkcyjność relacji, zielonym - koncept uniwersalny, a czerwoną linią powiązano relacje odwrotne.



Rysunek 3.19 Ontologia integrująca metody oceny jakości serwisów internetowych  
Źródło: opracowanie własne

Nawet pobieżna analiza rysunku 3.19 lub załącznika 3.9 pokazuje bardzo wysoki poziom komplikacji zbudowanej ontologii. Jednocześnie można stwierdzić, że skonstruowanie tak rozległej ontologii, w wyniku integracji ontologii źródłowych, jest dużo mniej skomplikowanym procesem niż jej budowa od podstaw, nawet z wykorzystaniem

metodologii budowy omówionych w pkt 2.4 niniejszej pracy. Dzięki zastosowaniu podejścia autorskiego „rozłożono” problem budowy ontologii unifikującej metody oceny jakości na kilka mniejszych problemów polegających na budowie ontologii cząstkowych, które następnie zintegrowano. Uzyskano w ten sposób ontologię zawierającą modele jakości stosowane w poszczególnych metodach oraz model unifikujący poszczególne metody. Ontologia taka zawiera również jednolitą strukturę kryteriów. Warto zaznaczyć, że we wszystkich zintegrowanych metodach stosowanych jest łącznie 115 kryteriów. W ontologii zintegrowanej, ze względu na to, że część kryteriów powtarza się w różnych metodach, figurują 94 kryteria. Gdy jednak weźmie się pod uwagę, że niektóre kryteria są równoważne wobec innych, można uznać, że w zintegrowanej ontologii występuje 70 różnych kryteriów jakości. Wobec tego, poprzez analizę nazw i analizę semantyczną, udało się ograniczyć liczbę stosowanych w ontologii kryteriów o niemal 40%.

W punkcie 1.4 niniejszej pracy stwierdzono, że ze względu na występowanie podobieństw pomiędzy poszczególnymi metodami oceny jakości serwisów internetowych, można zintegrować te metody z wykorzystaniem inżynierii ontologii. W treści niniejszego rozdziału wykazano, że integracja taka istotnie jest możliwa, a w jej efekcie uzyskano jednolitą strukturę kryteriów oceny, zawierającą kryteria stosowane w pięciu różnych metodach oceny jakości. Struktura ta, w przeciwieństwie do innych baz kryteriów opisywanych w literaturze, nie powstała *ad hoc*, lecz została zbudowana w sposób sformalizowany, w oparciu o metodologię budowy i integracji ontologii. W związku ze sposobem skonstruowania omawianej struktury funkcjonuje ona pod postacią ontologii. Utworzona struktura kryteriów może służyć pomocą w doborze kryteriów oceny jakości serwisów internetowych. Fakt, że jest ona reprezentowana przez ontologię, umożliwia również jej zastosowanie jako bazy wiedzy systemu ekspertowego, na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. Ontologiczna postać struktury kryteriów umożliwia także jej współdzielenie, modyfikację, zarządzanie i zawarcie w niej dodatkowej wiedzy. Niemniej jednak utworzona ontologia posiada pewne wady.

Pierwszy problem dotyczy wydajności wnioskowania mechanizmu wnioskującego w ontologii. Ontologia zawiera 167 konceptów i 373 ograniczenia i atrybuty, w związku z czym wnioskowanie w niej trwa kilkanaście minut. Wobec tego zdecydowano się usunąć z ontologii relacje „maKryterium some [Kryterium]”, których dziedziną były poszczególne charakterystyki, a zasięgiem konkretne kryteria. Usunięcie tych relacji nie zmniejsza znacząco funkcjonalności skonstruowanej ontologii, a jednocześnie pozwala skrócić czas wnioskowania w ontologii do kilku minut. Aby zupełnie zlikwidować problem długiego czasu wnioskowania, można również, po przeprowadzeniu wnioskowania, wykonać eksport ontologii wraz z wywiedzionymi zależnościami do nowej ontologii. Podstawowa taksonomia konceptów utworzonej w ten sposób ontologii będzie odzwierciedlała wywiedzioną przez mechanizm wnioskujący taksonomię konceptów ontologii źródłowej.

Drugi problem dotyczy tego, że zunifikowany model jakości, zawarty w ontologii, jest w pewnym sensie chaotyczny. Przykładowo kryterium „obiektywnosc\_informacji” zawarte jest w charakterystyce „Precyzja”, podczas gdy wydaje się, że powinno ono być częścią charakterystyki „Jakosc\_informacji”. Ponadto niektóre charakterystyki, jak na przykład „Zrozumialosc”, zawierają tylko po jednym kryterium, a charakterystyka „Kompletnosc” nie

zawiera żadnego kryterium. Wobec tego zunifikowany model jakości powinien zostać zreorganizowany, aby jego struktura była bardziej „uporządkowana”.

W obecnej postaci ontologii nie są zawarte wagi kryteriów, w związku z czym nie zawiera ona informacji o tym, które z kryteriów są istotne i powinny zostać zastosowane podczas oceny różnego rodzaju serwisów. Problem ten jest istotny z tego względu, że w zbudowanej ontologii zawarto znaczną ilość kryteriów oceny, w związku z czym obecność wag kryteriów byłaby znacznym ułatwieniem podczas ich wyboru. Ponadto, jak skonstatowano w pkt 1.4 niniejszej rozprawy, utworzenie struktury kryteriów oceny ma być „drogą” do opracowania pewniej formalnej procedury doboru kryteriów oceny jakości serwisów internetowych i nadawania im wag. Procedura taka miałaby umożliwiać dobór kryteriów w oparciu o czynniki mierzalne. Miałaby ona też stanowić rozwiązanie problemów zasygnalizowanych w pkt 1.4 rozprawy, związanych z doбором kryteriów do oceny serwisów internetowych określonego typu w oparciu o opinie ekspertów, analizę czynnikową lub ankiety. Dobór kryteriów przez ekspertów może powodować, że w metodach oceny będą funkcjonowały kryteria o niewielkiej rzeczywistej wadze, które nie są istotne dla użytkowników serwisu internetowego. Przy zastosowaniu analizy czynnikowej wykonywane są rotacje i skalowania zmiennych, w związku z czym trudno jest ustalić, jaka jest istotność poszczególnych kryteriów. Ponadto przekształcenia te mogą wprowadzać zakłócenia i znaczące zmiany w uzyskiwanych rezultatach. Z kolei metoda ankietowa jest jawnym pytaniem o preferencje użytkowników, podczas gdy jawnie deklarowane preferencje mogą różnić się od preferencji rzeczywistych. Jako rozwiązanie problemu określania wag kryteriów zdecydowano się zastosować metody uczenia maszynowego i techniki im pokrewne. Zastosowanie metod tego typu może pozwolić na ustalenie wag kryteriów oceny różnego rodzaju serwisów internetowych, a jednocześnie umożliwi rozwiązanie problemów związanych z określaniem wag kryteriów przez użytkowników, ekspertów i za pomocą analizy czynnikowej.

Ponadto celem niniejszej rozprawy jest opracowanie modelu systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. System taki będzie oparty na bazie wiedzy, której rolę pełnić ma utworzona ontologia, zawierająca różne kryteria oceny jakości. System ekspertowy powinien więc wykorzystywać wiele kryteriów i umożliwiać ich agregację w ogólną ocenę jakości. W związku z tym wysoką stosowalnością w systemie charakteryzują się wielokryterialne metody wspomaganie decyzji, gdyż mogą one uwzględniać zarówno kryteria oceny, jak również ich wagi, a ponadto stosowany jest w nich nietrywialny aparat matematyczny. Niektóre z metod wspomaganie decyzji umożliwiają również ocenę grupową, która posiada pewne zalety w odniesieniu do oceny indywidualnej.

Zasygnalizowane powyżej kwestie związane z:

- koniecznością zreorganizowania zunifikowanego modelu jakości zawartego w ontologii,
- zastosowaniem metod uczenia maszynowego i technik im pokrewnych do określenia wag kryteriów zawartych w ontologii,
- wykorzystaniem wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji do oceny jakości serwisów internetowych,

są rozważane szczegółowo w rozdziale 4 niniejszej rozprawy.

## **Rozdział IV. Reorganizacja i rozbudowa bazy wiedzy systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych**

### **4.1 Metody selekcji cech stosowane w technikach uczenia maszynowego i technikach im pokrewnych**

Uczenie maszynowe wykorzystywane jest w zadaniach klasyfikacji i analizy regresji. W zadaniach tych na podstawie określonych cech obiektu przewidywana jest jego wartość ogólna (analiza regresji) lub przynależność do określonej klasy (klasyfikacja). Jest to wykonywane w oparciu o wcześniej przeprowadzony proces trenowania. W jego trakcie algorytm klasyfikacyjny „uczy się”, jakie są rzeczywiste klasy obiektów treningowych i jakie cechy determinują przynależność obiektów do określonych klas. Jednym z podstawowych problemów w zadaniach klasyfikacji jest wielowymiarowość obiektu, który ma zostać przypisany do określonej klasy. Wielowymiarowość stanowi poważną przeszkodę dla efektywności algorytmów eksploracji danych i uczenia maszynowego. Problem ten nosi miano „przekleństwa wymiarowości” [35]. Redukcja wymiarowości obiektów poddawanych klasyfikacji pozwala na zmniejszenie wymagań obliczeniowych i wymagań odnośnie do gromadzenia danych oraz poprawę wyników predykcji i jakości danych [98]. Redukcja wymiarów obiektów może wykorzystywać jeden z dwóch typów procesów.

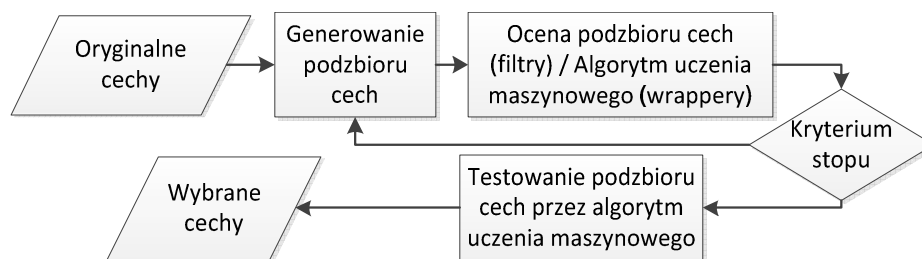
- 1) Proces ekstrakcji cech, który polega na wydobywaniu zestawu nowych charakterystyk z oryginalnych cech. Wykorzystywana jest tutaj zazwyczaj pewna funkcja mapowania pierwotnych cech na nowe zmienne. W związku z tym zastosowanie ekstrakcji cech niesie ze sobą niemożność bezpośredniego wykorzystania pierwotnych cech obiektów. Przykładem takiego podejścia do redukcji wymiarowości jest m.in. analiza czynnikowa.
- 2) Proces selekcji cech, który koncentruje się na określeniu pewnych cech w zbiorze danych jako istotnych i odrzuceniu nadmiarowych atrybutów. W tym celu wykorzystywane są różnorodne algorytmy oceniające poszczególne cechy względem określonego kryterium opisującego ich znaczenie w zadaniu klasyfikacji [103].

Proces selekcji cech można traktować jako problem przeszukiwania zbioru charakterystyk opisujących obiekt poddawany klasyfikacji według pewnego kryterium oceny. Metody selekcji cech złożone są zazwyczaj z czterech elementów (kroków), takich jak: generowanie podzbioru cech, ocena podzbioru, kryterium stopu, walidacja rezultatów [176], i dzielą się one na dwa rodzaje metod: filtry i wrappery. Uszczegóławiając w/w elementy metod selekcji cech, można wskazać na istotne różnice między tymi grupami metod.

- Filtry bazują na niezależnej ocenie cech z wykorzystaniem ogólnych charakterystyk danych. Wykorzystywane tutaj mogą być np. współczynniki korelacji między wartościami cech a przynależnością do określonej klasy. Zbiór cech obiektu jest tutaj poddawany filtracji w celu określenia najbardziej obiecującego podzbioru atrybutów przed rozpoczęciem trenowania algorytmu uczenia maszynowego [299].
- Wrappery z kolei oceniają poszczególne podzbiory cech z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego, które to algorytmy ostatecznie zostaną wykorzystane w zadaniu klasyfikacji bądź regresji. Algorytm uczący jest w tym przypadku zawarty w procedurze

selekcji cech, a do oszacowania dokładności klasyfikatora korzystającego z określonego podzbioru cech wykorzystywana jest zazwyczaj walidacja krzyżowa [101].

Strukturę algorytmów należących do kategorii filtrów i wrapperów zawarto na rysunku 4.1.



Rysunek 4.1 Struktura algorytmu selekcji cech stosowanego w filtrach i wrapperach

Źródło: opracowanie własne na podstawie [176][119]

Generowanie podzbioru atrybutów może odbywać się na różne sposoby. Najbardziej podstawowymi strategiami są: tworzenie indywidualnego rankingu, przeszukiwanie wprzód i przeszukiwanie wstecz. Tworzenie indywidualnego rankingu rozpoczyna się przy pustym podzbiorze cech. W każdym kroku do tego podzbioru dodawany jest atrybut określony jako najlepszy, bez uwzględnienia ewentualnych zależności między cechami. Od pustego podzbioru atrybutów rozpoczyna się również procedura przeszukiwania wprzód. W pierwszym kroku do podzbioru dodawana jest cecha uznana za najlepszą, bez uwzględnienia zależności między cechami. W kolejnym kroku do podzbioru atrybutów dodawany jest atrybut, który wraz z wybranym wcześniej, tworzy najlepszą parę cech. Procedura ta przebiega iteracyjnie, aż do osiągnięcia kryterium stopu. Procedura przeszukiwania wstecz rozpoczyna się, gdy podzbiór jest kopią pierwotnego zbioru cech. W jej trakcie kolejno usuwane są cechy, których eliminacja skutkuje maksymalizacją kryterium oceny podzbioru. Procedura indywidualnego rankingu nie uwzględnia zależności między atrybutami, lecz rozpatruje oddzielnie każdą z cech obiektu. W związku z tym może ona dawać gorsze rezultaty od pozostałych omówionych strategii. Procedura przeszukiwania wstecz bierze pod uwagę więcej możliwych współzależności pomiędzy cechami, jednak jest ona bardziej złożona obliczeniowo od strategii przeszukiwania wprzód [194].

Wrappery różnią się między sobą tylko zastosowanymi algorytmami uczenia maszynowego, więc rezultaty uzyskane z ich wykorzystaniem zależą wyłącznie od jakości algorytmu uczenia maszynowego i dopasowania algorytmu do określonego zadania klasyfikacyjnego. Analizują one cechy obiektów wyłącznie pod względem uzyskania maksymalnego poziomu poprawnych klasyfikacji, a pomijają inne charakterystyki cech. W opracowywanej metodzie określania wag kryteriów uzyskanie najlepszych wyników klasyfikacji nie jest jednak celem głównym. Dodatkowo ogólne charakterystyki kryteriów wydają się na tyle ważne, że powinny one wpływać na wybór kryteriów oceny jakości i określenie ich wag. Bardziej interesujące wydają się więc procedury filtracyjne, określające istotność poszczególnych atrybutów za pomocą innych miar niż stopień poprawnych klasyfikacji. Wobec tego w dalszej analizie rozważano algorytmy generowania i oceny podzbiorów cech, stosowane w metodach filtracyjnych, pominięto zaś wrappery.

Wśród procedur wykorzystujących do selekcji cech techniki filtracyjne, w metodach selekcji cech stosowane mogą być m.in. procedury korzystające z:

- funkcji odległości,
- rachunku prawdopodobieństwa,
- różnych miar korelacyjnych.

Najpopularniejszą procedurą filtracyjną, korzystającą z **funkcji odległości**, jest **ReliefF**. Podstawową ideą procedury ReliefF jest ocena atrybutów według tego, jak dobrze pozwalają one rozróżnić podobne obiekty, tj. takie, które znajdują się blisko siebie z perspektywy podobieństwa wartości cech. Stosowana jest tutaj metoda najbliższych sąsiadów, a więc również funkcja odległości [31]. W procedurze ReliefF wykorzystywana jest heurystyka mówiąca o tym, że dobry atrybut powinien rozróżniać leżące blisko siebie obiekty należące do innych klas, a dodatkowo powinien mieć taką samą wartość dla leżących blisko siebie obiektów należących do tej samej klasy [161]. Klasyczna procedura Relief pozwala na selekcję cech w zadaniach klasyfikacji tylko do dwóch klas decyzyjnych, natomiast jej rozwinięcie, tj. ReliefF, jest pozbawione tego ograniczenia [160]. W procedurze ReliefF wykorzystywane są trafienia i chybiaenia, które odpowiednio pomagają lub przeszkadzają w poprawnej klasyfikacji [22]. Dla każdego obiektu  $r$  i każdej analizowanej cechy  $X_i$ , znajdujących jest  $k$  obiektów  $s_{1...k}$  tej samej klasy  $C$ , co obiekt  $r$ , dla których analizowana cecha  $X_i$  jest najbardziej zbliżona do tej samej cechy  $X_i$  w badanym obiekcie  $r$ . Znalezione w ten sposób obiekty nazywane są trafieniami. Dodatkowo dla każdego obiektu  $r$  i każdej analizowanej cechy  $X_i$ , znajdujących jest  $k$  obiektów  $s_{1...k}$ , należących do innej klasy  $C$  niż obiekt  $r$ , dla których wartość cechy  $X_i$  jest najbliższa wartości cechy  $X_i$  w obiekcie  $r$ . W tym przypadku znajdujących jest łącznie  $k*(c-1)$  obiektów (gdzie  $c$  oznacza liczbę rozpatrywanych klas) lub, inaczej mówiąc, znajdujących jest  $k$  najbliższych obiektów odrębnie w każdej z klas, do których nie należy obiekt  $r$ . Są to tzw. chybiaenia. Procedura ReliefF pozwala uzyskać ranking cech. Ocenę cechy  $X_i$  można opisać wzorem (4.1) [161]:

$$q(X_i) = \sum_r \sum_{C(s) \neq C(r)} \left( \frac{P(C(s))}{1-P(C(r))} * \frac{d_{rs,i}}{k} \right) - \sum_r \sum_{C(s)=C(r)} \frac{d_{rs,i}}{k} \quad (4.1)$$

Funkcja odległości jest opisana wzorem (4.2) [153]:

$$d_{rs,i} = \begin{cases} 0 & \text{gdy } r(i) = s(i) \\ 1 & \text{gdy } r(i) \neq s(i) \end{cases} \quad \text{dla atrybutów nominalnych} \quad (4.2)$$

$$\frac{r(i)-s(i)}{nu(i)} \quad \text{dla atrybutów numerycznych}$$

gdzie:

$P(C(s))$  – prawdopodobieństwo wystąpienia obiektu  $s$  należącego do klasy  $C$ ,

$nu(i)$  – jednostka normalizacji, pozwalająca znormalizować odległość do wartości z przedziału  $[0,1]$ ; pozostałe symbole użyte we wzorach (4.1) i (4.2) zostały opisane w charakterystyce procedury ReliefF.

Najbardziej znanym przedstawicielem procedur wykorzystujących do selekcji cech podejście **probablistyczne** jest procedura **LVF** (ang. Las Vegas Filter). Do prowadzenia wyszukiwania rozwiązania wykorzystywana jest tutaj losowość, gwarantująca uzyskanie akceptowalnego rozwiązania nawet w sytuacji, gdy w trakcie poszukiwania najlepszego podzbioru podejmowane są błędne decyzje [175]. Algorytm LVF na wstępie generuje losowy podzbiór cech, a następnie określa jego spójność poprzez znalezienie minimalnej liczby cech, które różnicują przynależność obiektów do poszczególnych klas w taki sam sposób jak pełny

zestaw cech [176]. Wykorzystywane jest tutaj kryterium niespójności, które określa stopień akceptacji danych o zredukowanej wymiarowości. Współczynnik niespójności danych opisanych z wykorzystaniem zredukowanego podzbioru cech jest w tym przypadku porównywany ze współczynnikiem niespójności danych charakteryzowanych przez pełny zbiór cech. Zredukowany podzbiór cech jest akceptowany, gdy uzyskany dla niego współczynnik niespójności jest niższy od tego samego współczynnika określonego dla pełnego zbioru atrybutów [175]. Procedura LVF daje w efekcie zbiór cech. Współczynnik niespójności można określić za pomocą wzoru (4.3) [101]:

$$IncR = \frac{\sum_i D_i - M_i}{N} \quad (4.3)$$

gdzie:

$D_i$  – liczba wystąpień  $i$ -tej kombinacji wartości cech,

$M_i$  – licznosc obiektów klasy dominującej dla  $i$ -tej kombinacji atrybutów,

$N$  – ilość obiektów.

Procedury **korelacyjne** są najliczniejszą grupą filtrów. Wśród nich wyróżnić można procedury korzystające z klasycznych miar korelacji (np. rang Spearmana, Pearsona) oraz z miar niestandardowych. Wśród procedur korzystających z nietypowych miar korelacji, zdaniem autora, ze względu na wykorzystywane algorytmy obliczeniowe najbardziej interesujące są: miara istotności atrybutu (ang. significance attribute), symetryczna niepewność (ang. symmetrical uncertainty), FCBF (ang. Fast Correlation-Based Filter) i CFS (ang. Correlation-based Feature Selection).

W **mierze istotności atrybutów** wykorzystywane są współczynniki dwukierunkowych powiązań pomiędzy atrybutami i przynależnościami obiektów do klasy. Procedura ta oparta jest na heurystyce mówiącej o tym, że jeżeli atrybut jest istotny, to istnieje duże prawdopodobieństwo, że obiekty dopełniające zbiór wartości tego atrybutu będą należały do dopełnienia zbioru klas określanych przez ten atrybut. Dodatkowo przy założeniu, że klasy decyzyjne dla dwóch zbiorów obiektów są różne, można oczekiwać, że wartości istotnych atrybutów w obiektach należących do tych dwóch zbiorów będą różne. Istotność każdego z atrybutów jest wyznaczana jako średnia wartość ogólnych powiązań: danego atrybutu z klasami (AE) oraz klas z danym atrybutem (CE). Atrybut jest istotny, gdy wartości obydwu powiązań są wysokie. Wartość powiązania atrybutu z klasami (AE) odzwierciedla łączny wpływ wszystkich możliwych wartości atrybutu i ich związki z określonymi klasami obiektów. Współczynnik powiązania klas z atrybutem (CE) określa, w jaki sposób zmienia się wartość atrybutu zależnie od zmiany klasy obiektu. Wartości powiązań AE i CE opisane są wzorami (4.4) i (4.5) [1]:

$$AE(X_i) = \left( \frac{1}{k} * \sum_{r=1}^k (P_i^r(w) + P_i^{\sim r}(\sim w)) \right) - 1 \quad (4.4)$$

gdzie:

$k$  – ilość możliwych wartości  $i$ -tego atrybutu,

$P_i^r(w)$  – prawdopodobieństwo tego, że obiekty z określoną  $r$ -tą wartością atrybutu  $X_i$  należą do klas z określonego podzbioru klas  $w$ ,

$P_i^{\sim r}(\sim w)$  – prawdopodobieństwo tego, że obiekty z wartością atrybutu  $X_i$  różną od  $r$ -tej wartości nie należą do klas zawartych w podzbiorze klas  $w$ .

Suma prawdopodobieństw nazywana jest siłą dyskryminacji wartości atrybutu  $X_i$ .

$$CE(X_i) = \left( \frac{1}{m} * \sum_{j=1}^m (P_i^j(V_i^j) + P_i^{\sim j}(V_i^{\sim j})) \right) - 1 \quad (4.5)$$

gdzie:

$m$  – ilość klas,

$P_i^j(V)$  – prawdopodobieństwo tego, że wartości atrybutu  $X_i$  obiektów należących do klasy  $j$  zawarta jest w podzbiorze  $V$ ,

$P_i^{\sim j}(V_i^{\sim j})$  – prawdopodobieństwo tego, że obiekty nienależące do klasy  $j$  mają wartość atrybutu  $X_i$ , która nie jest zawarta z podzbiorze  $V$ .

Suma prawdopodobieństw nosi miano oddzielności wartości atrybutu  $X_i$  względem klasy  $j$ .

Miara istotności atrybutów umożliwia uzyskanie rankingu cech.

**Symetryczna niepewność** jest miarą korelacji stosowaną w selekcji cech, wykorzystującą zysk informacyjny zapewniany przez poszczególne cechy obiektu. Zysk informacyjny jest obliczany na podstawie entropii, tj. na podstawie miary niepewności zmiennej losowej, a oznacza on minimalizację tej niepewności. Dokładnie rzecz ujmując, zysk informacyjny opisuje, w jakim stopniu zmniejszyła się niepewność przynależności obiektu do danej klasy po poznaniu określonej cechy tego obiektu [305]. Zysk informacyjny jest symetryczny, jednakże wartość zysku informacyjnego odchyła się w stronę cech, które mają więcej wartości. Symetryczna niepewność kompensuje to odchylenie i umożliwia znormalizowanie wartości zysku informacyjnego do wartości z przedziału  $[0,1]$ . Wartość 1 oznacza, że znajomość danej cechy pozwala w pełni przewidzieć klasę obiektu, a 0 oznacza, że określona cecha nie niesie żadnej informacji na temat przynależności obiektu do określonej klasy. Symetryczna niepewność umożliwia uzyskanie rankingu cech, a opisana jest ona wzorem (4.6) [254]:

$$SU(C, X) = 2 * \left( \frac{IG(C|X)}{H(C)+H(X)} \right) \quad (4.6)$$

gdzie:

$IG(C|X)$  – zysk informacyjny na temat przynależności do klasy  $C$  dostarczany przez cechę  $X$ ,

$H(C)$ ,  $H(X)$  – entropia klasy  $C$  i entropia cechy  $X$ .

Na symetrycznej niepewności opiera się działanie procedur filtracyjnych FCBF i CFS.

W procedurze **FCBF** stosowane są, oddzielnie dla każdej cechy, zbiory cech nadmiarowych. Zbiór  $Sp_i^+$  zawiera cechy nadmiarowe względem cechy  $F_i$ , mające wyższy od  $F_i$  współczynnik symetrycznej niepewności w powiązaniu z klasą  $C$ . Z kolei zbiór  $Sp_i^-$  zawiera cechy nadmiarowe względem  $F_i$ , mające niższy od niej współczynnik symetrycznej niepewności w powiązaniu z klasą  $C$ . Na wstępie procedury FCBF obliczane są symetryczne niepewności dla każdej cechy, a do dalszego rozpatrzenia wybierane są tylko atrybuty, których symetryczne niepewności są większe od przyjętego progu. Umieszczane są one w zbiorze  $S'$  w porządku malejącym, opartym na wartościach ich symetrycznych niepewności. Następnie zbiór  $S'$  jest sprawdzany pod względem występowania w nim nadmiarowości cech. Nadmiarowe cechy są z niego usuwane z wykorzystaniem heurystyk.

- 1) Jeżeli zbiór  $Sp_i^+$  jest pusty, cecha  $F_i$  uznawana jest za cechę główną. Przerywana jest identyfikacja cech nadmiarowych względem cech zawartych w zbiorze  $Sp_i^-$  i zawartość zbioru  $Sp_i^-$  jest usuwana.



- 2) Jeżeli zbiór  $Sp_i^+$  nie jest pusty, przed podjęciem decyzji odnośnie do cechy  $F_i$ , przetwarzany jest zbiór wszystkich cech w  $Sp_i^+$ . Jeżeli żadna cecha znajdująca się w zbiorze  $Sp_i^+$  nie jest uznawana za główną, wykonywana jest heurystyka 1). W przeciwnym przypadku cecha  $F_i$  jest usuwana z  $S'$  i na podstawie pozostałych cech zawartych w  $S'$  podejmowana jest decyzja, czy usunąć zawartość zbioru  $Sp_i^-$ .
- 3) Cecha z największą wartością symetrycznej niepewności jest zawsze cechą główną i jest punktem startowym procedury usuwania nadmiarowych cech [307].

Procedura ta kończy się po jej wykonaniu dla każdego atrybutu zawartego w zbiorze  $S'$ . Procedura FCBF daje w efekcie zbiór cech.

Procedura **CFS** również oparta jest na badaniu korelacji pomiędzy cechami. Globalną miarą korelacji wykorzystywaną w procedurze CFS jest korelacja liniowa Pearsona, natomiast lokalnie stosowana jest symetryczna niepewność. Wykorzystywana jest tutaj heurystyka mówiąca o tym, że dobry podzbiór cech zawiera atrybuty silnie skorelowane z określoną klasą obiektów oraz nieskorelowane z innymi klasami i atrybutami. W procedurze CFS stosowany jest wzór (4.7) [102]:

$$Merit_s = \frac{k * r_{cf}}{\sqrt{k + k * (k - 1) * r_{ff}}} \quad (4.7)$$

gdzie:

$Merit_s$  – wartość heurystyki dla podzbioru  $S$  zawierającego  $k$  cech,

$r_{cf}$  – średnia wartość korelacji pomiędzy cechami podzbioru  $S$  i klasami obiektów,

$r_{ff}$  – średnia korelacja wzajemna między cechami.

Licznik wzoru (4.7) określa, jak dobrze podzbiór cech pozwala przewidzieć przynależność obiektu do danej klasy, natomiast mianownik opisuje nadmiarowość w zbiorze cech. Heurystyka procedury CFS pozwala odfiltrować cechy, które w niewielkim stopniu opisują przynależność obiektu do określonej klasy oraz cechy nadmiarowe, silnie powiązane z innymi cechami [102]. W procedurze CFS na wstępie wyznaczana jest macierz wzajemnych korelacji między atrybutami oraz korelacji między atrybutami a klasami obiektów. Wykonywane jest to poprzez obliczenie symetrycznej niepewności. Następnie wykonywane jest przeszukiwanie wprzód za pomocą algorytmu „best first”. Przeszukiwanie kończy się w sytuacji, gdy kolejne pięć rozwinięć podzbioru cech nie przynosi poprawy rezultatów [100]. W wyniku zastosowania procedury CFS otrzymuje się zbiór cech.

W pewnym stopniu podobna do procedury CFS jest **metoda wskaźników pojemności informacyjnej Hellwiga**. W przeciwieństwie do dotychczas omówionych procedur, wywodzi się ona z ekonometrii, ale podobnie jak CFS polega ona na wyborze takich cech (zmiennych objaśniających), które są silnie skorelowane z klasą obiektu (zmienną objaśnianą), a słabo skorelowane między sobą. W metodzie Hellwiga rozpatrywane są wszystkie niepuste kombinacje potencjalnych zmiennych objaśniających (inaczej mówiąc cech obiektów), tj.  $2^m - 1$  kombinacji, gdzie  $m$  oznacza ilość zmiennych objaśniających. Pierwszym krokiem metody jest obliczenie: macierzy współczynników korelacji liniowej Pearsona między zmiennymi objaśniającymi, zawartymi w  $l$ -tej kombinacji; wektora współczynników korelacji Pearsona między zmiennymi objaśniającymi i objaśnianymi (klasami obiektów), zawartymi w  $l$ -tej kombinacji. Następnie obliczane są indywidualne wskaźniki pojemności informacyjnej zmiennych dla każdej kombinacji zgodnie z wzorem (4.8) [84]:

$$h_{lj} = \frac{r_j^2}{\sum_{i=1}^m |r_{ij}|} \quad (4.8)$$

gdzie:

$h_{lj}$  – indywidualna wskaźnik pojemności informacyjnej  $j$ -tej zmiennej w  $l$ -tej kombinacji,

$r_j$  – współczynnik korelacji  $j$ -tej zmiennej objaśniającej ze zmienną objaśnianą,

$r_{ij}$  – współczynnik korelacji między  $i$ -tą i  $j$ -tą zmienną objaśniającą,

$m$  – ilość zmiennych objaśniających w  $l$ -tej kombinacji.

Następnie dla każdej z kombinacji obliczany jest integralny wskaźnik pojemności informacyjnej według wzoru (4.9) [223]:

$$H_l = \sum_{j=1}^m h_{lj} \quad (4.9)$$

Do modelu ekonometrycznego zalecane jest wybranie takiej kombinacji zmiennych, dla której uzyskano największą wartość integralnego wskaźnika pojemności informacyjnej [84]. Metoda Hellwiga daje rezultat w postaci zbioru cech.

Stosowalność szeregu omówionych tutaj procedur selekcji cech została zbadana w pracach autora [326] [334]. Omówione wyżej procedury nie są oczywiście wszystkimi stosowanymi metodami tego typu. Są one jednak reprezentatywnymi przykładami procedur wywodzących się z uczenia maszynowego, eksploracji danych i ekonometrii. Pozwalają one uprościć problem klasyfikacji poprzez wybranie najistotniejszych cech, umożliwiających skuteczną klasyfikację obiektów. Część spośród omówionych procedur może charakteryzować się także wysoką stosowalnością w rozwiązaniu problemu zreferowanego w pkt 3.5 niniejszej pracy, polegającego na konieczności określenia wag kryteriów. Zastosowanie metody selekcji cech opartej na jednej z omówionych procedur może pozwolić na ustalenie, które z kryteriów oceny (funkcjonujących w zbudowanej ontologii) są istotne podczas oceny jakości serwisów internetowych danego typu oraz jakie wagi powinny zostać przypisane poszczególnym kryteriom. Jednocześnie wykorzystanie metody selekcji cech może pozwolić na określenie wag kryteriów niezależnie od deklarowanych jawnie opinii użytkowników.

## 4.2 Metoda selekcji kryteriów oceny jakości serwisów i nadawania im wag

Jak zaznaczono w pkt 1.4 pracy, rozważania dotyczące oceny jakości serwisów internetowych w niniejszej rozprawie są prowadzone w kontekście portali internetowych, które pełnią głównie rolę serwisów informacyjnych. Kontekst ten uwzględniono także na etapie określania wag kryteriów oceny. Oznacza to, że uzyskane dalej wagi kryteriów odnoszą się do oceny jakości serwisów informacyjnych. Jednak metoda przedstawiona w dalszej części tego fragmentu pracy może być z powodzeniem stosowana do uzyskiwania wag kryteriów oceny serwisów różnego typu, a nie ogranicza się ona tylko do portali.

W pkt 1.3 niniejszej pracy, na podstawie analizy różnorodnych metod badania użyteczności i pozyskiwania opinii o serwisach, stwierdzono, że największą stosowalnością w badaniu i ocenie jakości serwisów wydają się cechować metody eksperckie oraz ankiety. Przeprowadzenie badania ankietowego jest również najprostszą metodą uzyskania wag kryteriów. Jednak w pkt 1.4 rozprawy zaznaczono, że bezpośrednie pytanie użytkowników w ankiecie o wagi kryteriów może generować duże błędy. Jednakże ankiety mogą być

zastosowane do uzyskania wag kryteriów w sposób pośredni. Ich stosowalność, mimo podatności na błędy, wynika z wykorzystania procedur selekcji cech. Tego typu procedury operują na obiektach i na ich podstawie wybierają cechy, wykorzystane potem podczas klasyfikacji. Z kolei autorska metoda selekcji i określania wag kryteriów zakłada wykorzystanie wyników ankiet jako obiektów, na których będą operowały algorytmy uczenia maszynowego, a w szczególności procedury selekcji cech. Zaznaczyć należy, że ankiety nie zostaną tutaj zastosowane wprost do uzyskania wag kryteriów, gdyż będą badane tylko zawarte w nich oceny serwisów względem kryteriów i oceny ogólne, a nie określone przez użytkowników wagi kryteriów.

Opracowana metoda selekcji kryteriów i określania ich wag bazuje na założeniu, że *ankietowa ocena wielokryterialna nie jest dokładna*. Można tego dowiedzieć, przeprowadzając ankietę, w której ankietowani oceniają serwisy pod względem kolejnych kryteriów. Przypisują oni serwisom oceny względem kryteriów oraz oceny ogólne. Ocena jest dokładna, jeżeli oceny serwisów, obliczone jako średnie ważone ocen kryteriów, odpowiadają ocenom ogólnym tych serwisów. Drugie przyjęte założenie mówi, że: *istnieje podzbiór kryteriów w dużym stopniu różnicujący jakość serwisów. Istnieją także niejawne wartości wag, których wykorzystanie w wielokryterialnej ocenie serwisów może dać rozwiązanie zbliżone do wartości oceny ogólnej serwisu określonej przez ankietowanych*. W oparciu o przyjęte założenia autor sformułował heurystykę, inspirowaną budową algorytmów stosowanych w metodach selekcji cech. Według niej: *dla poszukiwanego „dobrego” podzbioru kryteriów istnieje model klasyfikacyjny (w sensie uczenia maszynowego), charakteryzujący się niskim stopniem sprzeczności przypadków uczących model i pozwalający w dużym stopniu określić ocenę ogólną serwisu na podstawie ocen kryterialnych*. Wobec tego, budując modele klasyfikatorów z wykorzystaniem podzbiorów kryteriów, można wytypować podzbiory, dające rozwiązania bliskie optymalnym.

Pierwszym etapem badań było **zebranie ankiet** użytkowników dotyczących oceny jakości czterech największych polskich portali informacyjnych, tj. Wirtualna Polska, Onet, Gazeta oraz Interia. Ankietę zawierała pytania odpowiadające poszczególnym kryteriom oceny, funkcjonującym w zbudowanej ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych. W dwóch przypadkach ujęto w ankiecie kryteria nadrzędne, bez podkryteriów w nich zawartych („pewnosc/czas\_dostarczenia\_obiecanych\_towarow/uslug” i „przewidywanie/odpowiadanie\_na\_potrzeby”), gdyż kryteria nadrzędne pełniej opisywały ocenianą cechę. Z kolei w przypadku kryterium „wystarczajaca\_zawartosc\_informacji\_gdzie\_sa\_oczekiwane” w ankiecie zastosowano jego podkryteria, gdyż w pełni opisywały one kryterium nadrzędne. Dodatkowo ankietę zawierała pytanie o ocenę ogólną każdego z serwisów. W celach porównawczych zapytano również użytkowników, w sposób jawny, o wagi poszczególnych kryteriów. Wobec tego użytkownicy udzielali odpowiedzi na pytania dotyczące tego, jak oceniają każdy z 4 serwisów pod względem łącznie 67 kryteriów oceny, jak ważne jest dla nich każde z kryteriów oraz jak ogólnie oceniają każdy z serwisów. Odpowiedź na każde pytanie musiała być spójna ze skalą oceniania funkcjonującą w zbudowanej ontologii, w związku z czym użytkownicy udzielali odpowiedzi zgodnie z 7 stopniową skalą Likerta. Ze względu na bardzo dużą liczbę pytań wypełnienie ankiety w trakcie jednej sesji byłoby bardzo żmudne i mogłoby skutkować nierzetelnym

odpowiadaniem na zawarte w niej pytania. Wobec tego ankieta została podzielona na 3 części. Użytkownicy wypełniali poszczególne części ankiety w odstępie tygodniowym, więc przeprowadzenie całego badania ankietowego trwało 3 tygodnie. Badanie zostało przeprowadzone w marcu 2013 roku i w okresie tym w badanych serwisach nie były wprowadzane żadne znaczące modyfikacje, w związku z czym nie wystąpiła sytuacja, w której ankietowani w trakcie badania znacząco zmieniliby postrzeganie danego serwisu. Procedura wypełnienia danej części ankiety obejmowała, trwający 20 minut, etap wstępny, w trakcie którego użytkownicy korzystali z badanych serwisów. Po zakończeniu etapu wstępnego rozpoczynała się część właściwa badania polegająca na wypełnieniu ankiety. W trakcie jej uzupełniania użytkownicy także mogli korzystać z badanych serwisów, w związku z czym mogli oni na bieżąco porównywać serwisy pod względem poszczególnych kryteriów. Należy zaznaczyć, że osobami ankietowanymi były osoby posiadające umiejętność korzystania z serwisów internetowych, gdyż niemal wszyscy ankietowani byli studentami lub uczniami ostatnich klas technikum informatycznego. Do zebrania ankiet wykorzystano narzędzie „Dysk Google” pozwalające na publikację ankiet w sieci Internet. Ze względu na to, że niektóre kryteria są do siebie bardzo podobne, zadbano, aby odpowiadające im pytania nie były zamieszczone w ankiecie obok siebie. Ponadto niektóre pytania mogłyby być niejasne dla użytkowników, w związku z czym w kwestionariuszu wyjaśniono sens każdego z nich. Dodatkowo na początku ankiety zawarto objaśnienie dotyczące sposobu jej wypełnienia. W toku badań zebrano 133 ankiety, zawierające oceny kryterialne i ocenę ogólną każdego portalu. Wobec tego dysponowano bazą 532 obiektów, na których potem operowały metody selekcji cech. Przykład pytania zawartego w ankiecie i opublikowanego na stronie internetowej jest przedstawiony na rysunku 4.2. Wszystkie kryteria, którym przyporządkowano odpowiednie pytania ankietowe, zostały zawarte w załączniku 4.1.

**63. Wygodny układ strony pomaga mi znaleźć informacje, których szukam. \***

Czy rozmieszczenie elementów (loga, menu, nagłówki artykułów, linki do podstron) na stronach serwisu ułatwia znalezienie w nim potrzebnych informacji?

|                                      | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Onet                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Wirtualna Polska                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Interia                              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Gazeta                               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Jak ważne jest dla mnie te kryterium | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Rysunek 4.2 Przykład pytania zawartego w ankiecie

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym krokiem procedury była **analiza uzyskanych danych za pomocą procedur selekcji cech**. W toku wcześniejszych analiz prowadzonych na innych, mniej obszernych danych, zbadano stosowalność procedur selekcji kryteriów opartych na: analizie korelacji (Pearsona, Spearmana, gamma, tau Kendalla) [329], zbiorach przybliżonych i statystyce  $\chi^2$  [318], metodach grupowego wspomagania decyzji [332] [335], metodach uczenia maszynowego (CFS, FCBF, LVF, ReliefF, symetryczna niepewność i metoda istotności

atrybutów) [323] oraz na metodzie Hellwiga [321]. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że wagi kryteriów uzyskane z wykorzystaniem procedur selekcji cech są precyzyjniejsze i bardziej dokładne niż wagi jawnie podawane przez użytkowników. Wnioski badań należało jednak zweryfikować w oparciu o nowe wyniki, zebrane w omówionym badaniu ankietowym. W tym celu wykonano analizę rezultatów ankiety z zastosowaniem procedur selekcji cech. Rolę obiektów poddawanych analizie pełniły: zestawy ocen przyznanych przez każdego z ankietowanych każdemu serwisowi względem kolejnych kryteriów oraz oceny końcowe. Każdy obiekt składał się więc z: 67 cech, którymi były oceny kryterialne, i opisu klasy, do której należy obiekt, tj. oceny ogólnej. Procedury selekcji cech badały zaś wpływ poszczególnych cech na przypisanie obiektu do określonej klasy.

Procedury, takie jak: ReliefF, istotności atrybutów oraz symetrycznej niepewności, badają kolejne cechy niezależnie od innych i pozwoliły one uzyskać rankingi pełnego zbioru cech. Procedury FCBF, CFS, LVF na wyjściu dają zredukowane pojedyncze podzbiory cech, a poziom istotności pozostałych kryteriów wynosi 0. Dla procedur LVF i CFS, aby uzyskać liczbowe wartości istotności kryteriów, należało posłużyć się algorytmem „hill climbing” pokazującym dobroć podzbioru cech po dodaniu do niego danej cechy. Wobec tego istotności kryteriów wybranych przez te metody obliczano poprzez odjęcie od wartości 1 wyniku uzyskanego dla danej cechy. W ten sposób najistotniejsze kryteria miały przypisane najwyższe wartości liczbowe istotności. Dla procedury ReliefF do oceny pojedynczej cechy zastosowano 10 najbliższych sąsiadów, a próbkowanie było wykonywane na wszystkich obiektach. Najbardziej problemowa jest metoda Hellwiga, gdyż zakłada ona badanie wszystkich możliwych kombinacji cech. Kombinacji tych jest  $2^m - 1$ , co przy liczbie 67 kryteriów daje liczbę 147.573.952.589.676.412.927 kombinacji. Autor zaimplementował w języku Matlab procedurę, która oblicza integralne wskaźniki pojemności informacyjnej Hellwiga dla kombinacji maksymalnie 28 cech. Jednak implementacja procedury, obejmującej kombinacje większej ilości cech, jest bardzo kłopotliwa ze względu na wykładniczą złożoność obliczeniową metody Hellwiga. Przeszkodą jest tutaj ograniczona moc obliczeniowa komputerów. Sprawdzenie pojedynczej kombinacji złożonej z 21 cech, na komputerze wyposażonym w procesor Core i7 pracujący z częstotliwością ponad 3GHz, zajmuje czas ok. 0,001s. Dla kombinacji obejmujących 25 cech czas ten wynosi już ok. 0,1s, dla kombinacji 28 cech jest to 0,7s, a dla 29 cech czas obliczeń dla pojedynczej kombinacji wynosi ok. 1,4s. Przy zwiększaniu liczby cech w kombinacjach czas ten nadal będzie rósł wykładniczo. W związku z tym zdecydowano się na obliczenie indywidualnych wskaźników pojemności informacyjnej dla każdej cechy w zbiorze obejmującym wszystkie cechy i utworzenie na tej podstawie rankingu. Ponadto, w oparciu o utworzony ranking, wyznaczono integralne wskaźniki pojemności informacyjnej dla wszystkich kombinacji obejmujących co najwyżej 23 cechy o najwyższych wskaźnikach indywidualnych (oznaczone jako „Hellwig 23”). Podzbiór cech, dla którego integralny wskaźnik pojemności informacyjnej osiągnął najwyższą wartość, ujęto w dalszych badaniach w celach porównawczych. Uzyskane rankingi oraz podzbiory cech, wraz z przypisanymi cechom przez poszczególne procedury wartościami istotności, zostały zawarte w tabeli 4.1. W tabeli 4.1, w celach porównawczych, zawarto także ranking oparty na średniej arytmetycznej wag przypisanych poszczególnym kryteriom przez wszystkich ankietowanych (użytkowników).

Tabela 4.1 Rankingi i podzbiory cech uzyskane za pomocą poszczególnych procedur wraz z wartościami ich istotności

| Pozycja | Procedura   |         |           |        |                        |        |                    |       |                 |         |           |       |           |       |            |         |
|---------|-------------|---------|-----------|--------|------------------------|--------|--------------------|-------|-----------------|---------|-----------|-------|-----------|-------|------------|---------|
|         | Użytkownicy |         | ReliefF   |        | Symetryczna niepewność |        | Istotność atrybutu |       | Metoda Hellwiga |         | CFS       |       | LVF       |       | Hellwig 23 |         |
|         | Kryterium   | Waga    | Kryterium | Waga   | Kryterium              | Waga   | Kryterium          | Waga  | Kryterium       | Waga    | Kryterium | Waga  | Kryterium | Waga  | Kryterium  | Waga    |
| 1       | K10         | 5,80451 | K45       | 0,0797 | K16                    | 0,1912 | K16                | 0,541 | K16             | 0,02587 | K16       | 0,809 | K53       | 0,628 | 16         | 0,02587 |
| 2       | K18         | 5,75188 | K7        | 0,078  | K52                    | 0,173  | K19                | 0,533 | K5              | 0,02382 | K5        | 0,754 | K29       | 0,547 | 5          | 0,02382 |
| 3       | K11         | 5,57894 | K16       | 0,0771 | K5                     | 0,1727 | K52                | 0,511 | K45             | 0,02299 | K52       | 0,719 | K16       | 0,468 | 45         | 0,02299 |
| 4       | K9          | 5,49624 | K5        | 0,0759 | K45                    | 0,1696 | K5                 | 0,509 | K40             | 0,02224 | K45       | 0,698 | K42       | 0,383 | 40         | 0,02224 |
| 5       | K44         | 5,46616 | K53       | 0,0653 | K19                    | 0,166  | K53                | 0,503 | K7              | 0,02100 | K63       | 0,68  | K55       | 0,278 | 7          | 0,02100 |
| 6       | K24         | 5,45864 | K32       | 0,0647 | K53                    | 0,1628 | K55                | 0,488 | K53             | 0,02024 | K19       | 0,667 | K40       | 0,18  | 53         | 0,02024 |
| 7       | K12         | 5,33082 | K19       | 0,0644 | K7                     | 0,1627 | K63                | 0,485 | K19             | 0,0199  | K55       | 0,657 | K3        | 0,109 | 25         | 0,01981 |
| 8       | K66         | 5,30075 | K10       | 0,0641 | K55                    | 0,159  | K47                | 0,476 | K25             | 0,01981 | K40       | 0,649 | K32       | 0,062 | 63         | 0,01960 |
| 9       | K27         | 5,22556 | K66       | 0,064  | K40                    | 0,1562 | K7                 | 0,475 | K55             | 0,01972 | K29       | 0,642 | K27       | 0,036 | 37         | 0,01933 |
| 10      | K32         | 5,18045 | K40       | 0,0639 | K63                    | 0,1443 | K32                | 0,47  | K51             | 0,01966 | K53       | 0,637 | K9        | 0,021 | 29         | 0,01870 |
| 11      | K23         | 5,16541 | K29       | 0,0634 | K58                    | 0,1369 | K51                | 0,466 | K63             | 0,01960 | K7        | 0,632 | K50       | 0,013 | 58         | 0,01860 |
| 12      | K40         | 5,13533 | K55       | 0,063  | K29                    | 0,1365 | K40                | 0,465 | K37             | 0,01933 | K64       | 0,629 | K22       | 0,009 | 66         | 0,01731 |
| 13      | K49         | 5,12030 | K12       | 0,0619 | K49                    | 0,1359 | K45                | 0,464 | K9              | 0,01887 | K32       | 0,625 | K58       | 0,006 |            |         |
| 14      | K60         | 5,08270 | K64       | 0,0615 | K64                    | 0,1338 | K50                | 0,461 | K29             | 0,01870 | K66       | 0,622 | K7        | 0,004 |            |         |
| 15      | K14         | 5,06766 | K52       | 0,0612 | K12                    | 0,1306 | K42                | 0,46  | K58             | 0,01860 | K3        | 0,619 | K14       | 0,002 |            |         |
| 16      | K13         | 5,06015 | K50       | 0,0605 | K50                    | 0,129  | K9                 | 0,456 | K64             | 0,01847 | K58       | 0,616 |           |       |            |         |
| 17      | K31         | 5,06015 | K49       | 0,0603 | K32                    | 0,129  | K64                | 0,45  | K8              | 0,01831 | K42       | 0,613 |           |       |            |         |
| 18      | K54         | 5,04511 | K6        | 0,06   | K51                    | 0,1283 | K29                | 0,447 | K52             | 0,01814 | K17       | 0,612 |           |       |            |         |
| 19      | K17         | 5,03759 | K58       | 0,0592 | K6                     | 0,1276 | K49                | 0,445 | K6              | 0,01809 | K49       | 0,61  |           |       |            |         |
| 20      | K46         | 5,02255 | K63       | 0,059  | K47                    | 0,1269 | K66                | 0,442 | K10             | 0,01779 | K6        | 0,61  |           |       |            |         |
| 21      | K48         | 4,97744 | K9        | 0,0563 | K8                     | 0,1269 | K58                | 0,437 | K49             | 0,01777 | K37       | 0,609 |           |       |            |         |
| 22      | K42         | 4,96992 | K51       | 0,0547 | K42                    | 0,1255 | K57                | 0,437 | K12             | 0,01773 | K10       | 0,608 |           |       |            |         |
| 23      | K2          | 4,95488 | K2        | 0,0544 | K37                    | 0,1231 | K37                | 0,437 | K66             | 0,01731 | K2        | 0,607 |           |       |            |         |
| 24      | K52         | 4,95488 | K8        | 0,0537 | K9                     | 0,1194 | K6                 | 0,436 | K50             | 0,01722 | K51       | 0,606 |           |       |            |         |
| 25      | K45         | 4,93985 | K48       | 0,0523 | K66                    | 0,1179 | K12                | 0,435 | K47             | 0,01705 | K59       | 0,606 |           |       |            |         |
| 26      | K53         | 4,91729 | K14       | 0,0522 | K59                    | 0,117  | K59                | 0,435 | K28             | 0,01639 | K25       | 0,605 |           |       |            |         |
| 27      | K15         | 4,90977 | K44       | 0,0521 | K57                    | 0,1149 | K62                | 0,435 | K17             | 0,01633 | K50       | 0,605 |           |       |            |         |
| 28      | K50         | 4,88721 | K17       | 0,0521 | K62                    | 0,1148 | K8                 | 0,424 | K32             | 0,01593 | K62       | 0,605 |           |       |            |         |
| 29      | K47         | 4,84210 | K47       | 0,0521 | K17                    | 0,1131 | K25                | 0,411 | K60             | 0,01547 | K9        | 0,605 |           |       |            |         |
| 30      | K4          | 4,83458 | K46       | 0,0514 | K10                    | 0,1098 | K61                | 0,411 | K62             | 0,01540 |           |       |           |       |            |         |
| 31      | K34         | 4,81954 | K56       | 0,0512 | K14                    | 0,1085 | K28                | 0,408 | K46             | 0,01526 |           |       |           |       |            |         |
| 32      | K43         | 4,81203 | K62       | 0,05   | K2                     | 0,1085 | K17                | 0,408 | K15             | 0,01517 |           |       |           |       |            |         |
| 33      | K51         | 4,78947 | K28       | 0,0492 | K27                    | 0,1072 | K56                | 0,406 | K14             | 0,01515 |           |       |           |       |            |         |
| 34      | K29         | 4,78195 | K31       | 0,048  | K44                    | 0,102  | K60                | 0,402 | K2              | 0,01500 |           |       |           |       |            |         |
| 35      | K3          | 4,75939 | K41       | 0,0469 | K3                     | 0,0999 | K2                 | 0,396 | K27             | 0,01500 |           |       |           |       |            |         |
| 36      | K41         | 4,72932 | K42       | 0,0441 | K25                    | 0,0979 | K46                | 0,396 | K56             | 0,01475 |           |       |           |       |            |         |
| 37      | K7          | 4,71428 | K37       | 0,0437 | K41                    | 0,0977 | K44                | 0,394 | K26             | 0,01474 |           |       |           |       |            |         |
| 38      | K33         | 4,71428 | K11       | 0,0428 | K60                    | 0,0969 | K14                | 0,394 | K41             | 0,01459 |           |       |           |       |            |         |
| 39      | K22         | 4,69924 | K3        | 0,0427 | K15                    | 0,0966 | K15                | 0,388 | K3              | 0,01412 |           |       |           |       |            |         |
| 40      | K25         | 4,66165 | K15       | 0,0422 | K56                    | 0,0958 | K27                | 0,387 | K44             | 0,01411 |           |       |           |       |            |         |
| 41      | K55         | 4,63909 | K27       | 0,0408 | K46                    | 0,0948 | K10                | 0,381 | K48             | 0,01393 |           |       |           |       |            |         |
| 42      | K64         | 4,63909 | K43       | 0,04   | K28                    | 0,0936 | K26                | 0,378 | K42             | 0,01373 |           |       |           |       |            |         |
| 43      | K19         | 4,61654 | K24       | 0,0395 | K20                    | 0,0897 | K54                | 0,376 | K59             | 0,01343 |           |       |           |       |            |         |
| 44      | K38         | 4,58646 | K25       | 0,0393 | K26                    | 0,0876 | K41                | 0,371 | K11             | 0,01266 |           |       |           |       |            |         |
| 45      | K37         | 4,57142 | K1        | 0,0393 | K61                    | 0,087  | K18                | 0,367 | K24             | 0,01246 |           |       |           |       |            |         |
| 46      | K57         | 4,54135 | K33       | 0,0387 | K18                    | 0,0828 | K3                 | 0,367 | K54             | 0,01232 |           |       |           |       |            |         |
| 47      | K56         | 4,48872 | K57       | 0,0385 | K54                    | 0,0812 | K43                | 0,362 | K18             | 0,01203 |           |       |           |       |            |         |
| 48      | K6          | 4,45864 | K59       | 0,0384 | K43                    | 0,0811 | K11                | 0,359 | K43             | 0,01186 |           |       |           |       |            |         |
| 49      | K5          | 4,44360 | K54       | 0,0384 | K24                    | 0,077  | K23                | 0,342 | K33             | 0,01134 |           |       |           |       |            |         |
| 50      | K8          | 4,43609 | K4        | 0,0382 | K11                    | 0,0756 | K31                | 0,34  | K31             | 0,01124 |           |       |           |       |            |         |
| 51      | K39         | 4,42105 | K65       | 0,0371 | K33                    | 0,0706 | K13                | 0,336 | K30             | 0,01123 |           |       |           |       |            |         |
| 52      | K58         | 4,37594 | K67       | 0,0365 | K23                    | 0,0694 | K20                | 0,335 | K57             | 0,01116 |           |       |           |       |            |         |
| 53      | K26         | 4,34586 | K60       | 0,0359 | K31                    | 0,0692 | K48                | 0,334 | K67             | 0,01110 |           |       |           |       |            |         |
| 54      | K36         | 4,33082 | K39       | 0,0346 | K30                    | 0,0692 | K30                | 0,333 | K23             | 0,01103 |           |       |           |       |            |         |
| 55      | K35         | 4,31578 | K30       | 0,0339 | K48                    | 0,0644 | K24                | 0,326 | K61             | 0,01081 |           |       |           |       |            |         |
| 56      | K62         | 4,31578 | K26       | 0,0332 | K4                     | 0,0613 | K65                | 0,324 | K22             | 0,01070 |           |       |           |       |            |         |
| 57      | K59         | 4,30075 | K18       | 0,0331 | K35                    | 0,0598 | K22                | 0,321 | K34             | 0,01046 |           |       |           |       |            |         |
| 58      | K1          | 4,27067 | K61       | 0,0329 | K65                    | 0,0593 | K33                | 0,316 | K20             | 0,01046 |           |       |           |       |            |         |
| 59      | K16         | 4,24812 | K23       | 0,0329 | K34                    | 0,0578 | K35                | 0,309 | K1              | 0,00953 |           |       |           |       |            |         |
| 60      | K63         | 4,17293 | K20       | 0,0328 | K22                    | 0,057  | K34                | 0,303 | K65             | 0,00951 |           |       |           |       |            |         |
| 61      | K28         | 4,16541 | K36       | 0,032  | K36                    | 0,0542 | K39                | 0,289 | K35             | 0,00877 |           |       |           |       |            |         |
| 62      | K67         | 4,12030 | K21       | 0,0284 | K39                    | 0,054  | K36                | 0,286 | K4              | 0,00849 |           |       |           |       |            |         |
| 63      | K61         | 4       | K13       | 0,0267 | K67                    | 0,0525 | K67                | 0,278 | K39             | 0,00828 |           |       |           |       |            |         |
| 64      | K30         | 3,79699 | K35       | 0,0258 | K13                    | 0,051  | K4                 | 0,278 | K13             | 0,00823 |           |       |           |       |            |         |
| 65      | K65         | 3,51127 | K34       | 0,0224 | K1                     | 0,0443 | K21                | 0,269 | K36             | 0,00802 |           |       |           |       |            |         |
| 66      | K21         | 3,27819 | K22       | 0,0224 | K21                    | 0,0381 | K1                 | 0,248 | K21             | 0,00752 |           |       |           |       |            |         |
| 67      | K20         | 3,21804 | K38       | 0,0215 | K38                    | 0      | K38                | 0     | K38             | 0,00374 |           |       |           |       |            |         |

Źródło: opracowanie własne

Analizując tabelę 4.1, można zauważyć pewne prawidłowości. Mianowicie wszystkie procedury selekcji cech, tworzące ranking, za najmniej istotne uznały kryterium K38. Podobnie, we wszystkich rankingach utworzonych za pośrednictwem procedur omówionych w pkt 4.1, na niskich pozycjach znajdują się m.in. cechy: K21, K36, K34, K35 i K39. Niską istotność tych kryteriów potwierdzają wyniki uzyskane za pośrednictwem procedur generujących podzbiory cech, gdyż żadne z tych kryteriów nie znalazło się w wygenerowanych podzbiorach. Z kolei jednymi z najważniejszych kryteriów w każdym z rankingów są: K16, K5, K19, K45 i K53, przy czym, spośród procedur generujących podzbiory cech, każde z tych kryteriów zostało ujęte tylko w podzbiorze CFS. Wyniki te różnią się znacząco od rankingu uzyskanego na podstawie opinii użytkowników wyrażanych w ankietach, gdyż np. cechy K16 i K63, które według użytkowników są mało istotne, w pozostałych rankingach znajdują się wśród cech najważniejszych. Z kolei cecha K13, która według użytkowników jest uznana za jedną z bardziej istotnych, w pozostałych rankingach zajmuje niskie pozycje. Oczywiście, są również widoczne różnice w rankingach utworzonych za pomocą poszczególnych procedur selekcji cech. Przykładowo cecha K52 została uznana za bardzo istotną przez procedury symetrycznej niepewności i istotności atrybutów, podczas gdy w rankingach ReliefF i Hellwiga zajmuje ona niższe pozycje.

Po uzyskaniu rankingów i podzbiorów cech, wykonano **testowanie otrzymanych podzbiorów z wykorzystaniem metod klasyfikacji**. Wykorzystanym do tego celu klasyfikatorem były drzewa decyzyjne, a konkretnie zaawansowane drzewa klasyfikacyjne CART zaimplementowane w pakiecie Statistica Data Miner [264]. Zastosowanym kryterium podziału węzła w drzewie była w tym przypadku miara Giniego, minimalną dopuszczalną licznosc w węźle ustalono na 5 obiektów, a parametrem zatrzymania dla przycinania drzewa był błąd zły klasyfikacji [236]. Ponadto wykorzystano szacowanie *a priori* prawdopodobieństwa przynależności obiektów do poszczególnych klas [294]. Szacowanie *a priori* pozwoliło poprawić model klasyfikatora ze względu na to, że licznosci poszczególnych klas decyzyjnych były różne (w trakcie badań stwierdzono, że licznosc obiektów należących do poszczególnych klas ma rozkład zbliżony do normalnego, więc wykorzystanie szacowania *a priori* było uzasadnione). W celu uzyskania stabilnych wyników klasyfikacji zastosowano 10-krotną walidację krzyżową [237]. Badano tutaj skuteczność klasyfikacji obiektów do jednej z siedmiu klas, oznaczających określoną ocenę ogólną serwisu, za pomocą podzbiorów wyznaczonych z wykorzystaniem procedur CFS, FCBF, LVF oraz metody Hellwiga (dla 23-elementowego zbioru kryteriów). Jeżeli chodzi o rankingi cech uzyskane z wykorzystaniem procedur: ReliefF, istotności atrybutów, symetrycznej niepewności i indywidualnych wskaźników pojemności informacyjnej Hellwiga, to dla każdego z rankingów iteracyjnie eliminowano najmniej istotną cechę zgodnie z badanym rankingiem, a pozostałe cechy wykorzystywano do klasyfikacji. W tabeli 4.2 zawarto wyniki klasyfikacji otrzymane z wykorzystaniem poszczególnych podzbiorów cech. Tabela 4.2 przedstawia średni współczynnik „trafień klasyfikatora”, tj. współczynnik poprawnie zaklasyfikowanych obiektów dla wszystkich klas ( $TPR_{SR}$ , ang. true positives rate), oraz współczynnik trafień klasyfikatora dla klasy, dla której wskaźnik ten osiągnął najniższą wartość ( $TPR_{MIN}$ ). Współczynnik trafień jest obliczany jako stosunek liczby poprawnie zaklasyfikowanych obiektów do liczby wszystkich obiektów [169].

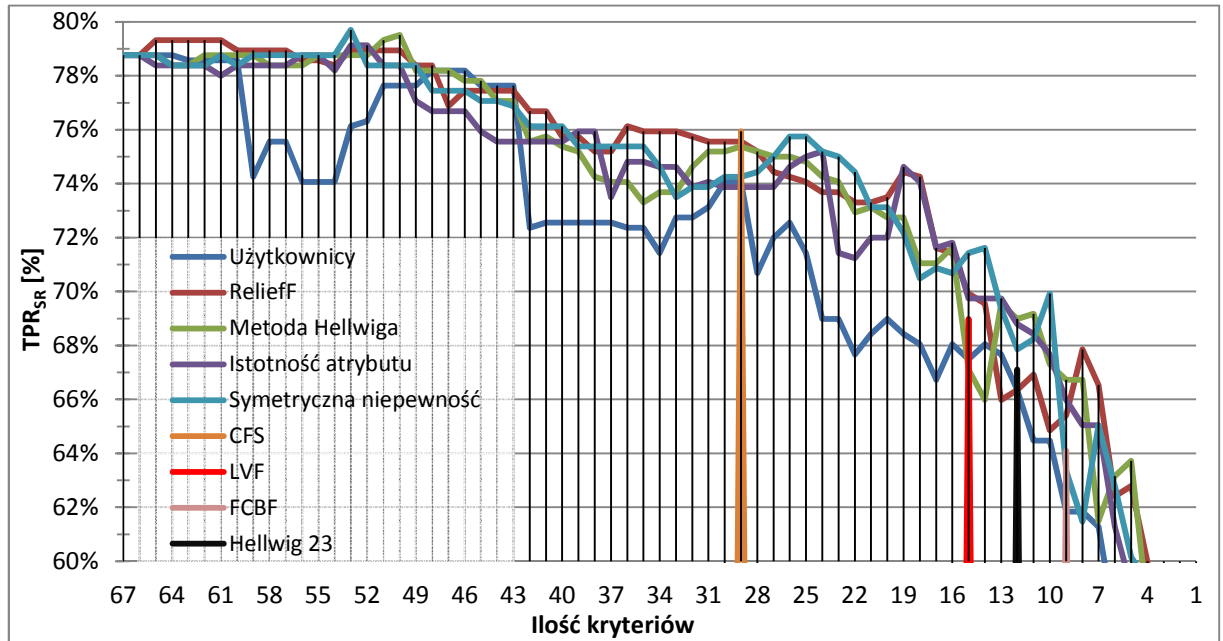
Tabela 4.2 Średnie i minimalne współczynniki poprawnych klasyfikacji uzyskane dla poszczególnych podzbiorów cech

| Ilość cech | Procedura   |        |         |        |                        |        |                    |        |                 |        |       |        |       |        |            |        |       |        |
|------------|-------------|--------|---------|--------|------------------------|--------|--------------------|--------|-----------------|--------|-------|--------|-------|--------|------------|--------|-------|--------|
|            | Użytkownicy |        | ReliefF |        | Symetryczna niepewność |        | Istotność atrybutu |        | Metoda Hellwiga |        | CFS   |        | LVF   |        | Hellwig 23 |        | FCBF  |        |
|            | TPR         | TPR    | TPR     | TPR    | TPR                    | TPR    | TPR                | TPR    | TPR             | TPR    | TPR   | TPR    | TPR   | TPR    | TPR        | TPR    | TPR   | TPR    |
|            | SR[%]       | MIN[%] | SR[%]   | MIN[%] | SR[%]                  | MIN[%] | SR[%]              | MIN[%] | SR[%]           | MIN[%] | SR[%] | MIN[%] | SR[%] | MIN[%] | SR[%]      | MIN[%] | SR[%] | MIN[%] |
| 1          | 33,65       | 0,00   | 39,29   | 0,00   | 34,77                  | 0,00   | 34,77              | 0,00   | 34,77           | 0,00   |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 2          | 40,41       | 0,00   | 47,93   | 0,00   | 46,05                  | 11,43  | 45,86              | 0,00   | 48,50           | 25,71  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 3          | 47,18       | 0,00   | 55,64   | 33,33  | 58,08                  | 37,14  | 52,82              | 11,43  | 56,20           | 22,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 4          | 51,50       | 11,43  | 59,96   | 20,00  | 59,21                  | 22,86  | 59,02              | 25,71  | 58,27           | 17,14  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 5          | 55,08       | 22,86  | 62,78   | 22,86  | 60,15                  | 31,43  | 59,02              | 48,57  | 63,72           | 33,33  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 6          | 57,71       | 25,93  | 62,41   | 22,86  | 62,78                  | 31,43  | 61,28              | 48,57  | 63,16           | 22,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 7          | 61,28       | 25,71  | 66,54   | 31,43  | 65,04                  | 28,57  | 65,04              | 31,43  | 61,47           | 42,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 8          | 61,84       | 40,00  | 67,86   | 31,43  | 61,47                  | 28,57  | 65,04              | 11,43  | 66,73           | 42,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 9          | 61,84       | 22,86  | 65,41   | 37,04  | 63,35                  | 31,43  | 65,98              | 8,57   | 66,73           | 45,71  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 10         | 64,47       | 34,29  | 64,85   | 37,04  | 69,92                  | 40,00  | 67,67              | 25,71  | 67,29           | 45,71  |       |        |       |        |            |        | 64,10 | 31,43  |
| 11         | 64,47       | 34,29  | 66,92   | 51,43  | 68,23                  | 40,00  | 68,42              | 25,71  | 69,17           | 45,71  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 12         | 66,35       | 28,57  | 66,35   | 51,43  | 67,86                  | 0,00   | 68,80              | 34,29  | 68,98           | 51,43  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 13         | 67,67       | 47,06  | 65,98   | 59,26  | 69,36                  | 25,71  | 69,74              | 44,44  | 69,55           | 44,44  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 14         | 68,05       | 43,53  | 69,55   | 57,14  | 71,62                  | 42,86  | 69,74              | 44,44  | 65,98           | 17,14  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 15         | 67,48       | 51,85  | 69,92   | 57,14  | 71,43                  | 42,86  | 69,74              | 37,14  | 67,11           | 17,14  |       |        | 68,98 | 25,71  |            |        |       |        |
| 16         | 68,05       | 45,71  | 71,43   | 60,00  | 70,68                  | 42,86  | 71,80              | 37,14  | 71,62           | 37,14  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 17         | 66,73       | 62,96  | 71,62   | 60,00  | 70,86                  | 42,86  | 71,62              | 51,43  | 71,05           | 37,14  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 18         | 68,05       | 57,14  | 74,25   | 60,00  | 70,49                  | 42,86  | 74,06              | 37,14  | 71,05           | 37,14  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 19         | 68,42       | 62,96  | 74,44   | 60,00  | 72,18                  | 51,43  | 74,62              | 54,29  | 72,74           | 45,71  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 20         | 68,98       | 62,96  | 73,50   | 54,29  | 73,12                  | 54,29  | 71,99              | 57,14  | 72,74           | 45,71  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 21         | 68,42       | 48,15  | 73,31   | 54,29  | 73,12                  | 54,29  | 71,99              | 57,14  | 73,12           | 51,43  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 22         | 67,67       | 48,15  | 73,31   | 54,29  | 74,44                  | 54,29  | 71,24              | 62,86  | 72,93           | 51,43  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 23         | 68,98       | 60,00  | 73,68   | 54,29  | 75,00                  | 54,29  | 71,43              | 62,86  | 74,06           | 54,29  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 24         | 68,98       | 60,00  | 73,68   | 57,14  | 75,19                  | 54,29  | 75,19              | 62,86  | 74,25           | 54,29  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 25         | 71,43       | 51,43  | 74,06   | 57,14  | 75,75                  | 57,14  | 75,00              | 62,86  | 74,81           | 57,14  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 26         | 72,56       | 51,43  | 74,25   | 57,14  | 75,75                  | 57,14  | 74,62              | 62,86  | 75,00           | 51,43  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 27         | 71,99       | 51,43  | 74,44   | 57,14  | 75,00                  | 62,86  | 73,87              | 60,00  | 75,00           | 51,43  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 28         | 70,68       | 40,00  | 75,19   | 57,14  | 74,44                  | 56,47  | 73,87              | 60,00  | 75,19           | 51,43  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 29         | 74,06       | 62,86  | 75,56   | 57,14  | 74,25                  | 56,47  | 73,87              | 60,00  | 75,38           | 51,43  | 75,94 | 62,86  |       |        |            |        |       |        |
| 30         | 74,06       | 62,86  | 75,56   | 57,14  | 74,25                  | 56,47  | 73,87              | 60,00  | 75,19           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 31         | 73,12       | 62,86  | 75,56   | 57,14  | 73,87                  | 56,47  | 74,06              | 56,47  | 75,19           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 32         | 72,74       | 62,86  | 75,75   | 62,35  | 73,87                  | 56,47  | 73,87              | 56,47  | 74,62           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 33         | 72,74       | 62,86  | 75,94   | 62,35  | 73,50                  | 56,47  | 74,62              | 56,47  | 73,68           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 34         | 71,43       | 44,44  | 75,94   | 62,35  | 74,62                  | 54,12  | 74,62              | 56,47  | 73,68           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 35         | 72,37       | 44,44  | 75,94   | 62,35  | 75,38                  | 61,18  | 74,81              | 56,47  | 73,31           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 36         | 72,37       | 44,44  | 76,13   | 60,00  | 75,38                  | 61,18  | 74,81              | 56,47  | 74,06           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 37         | 72,56       | 44,44  | 75,19   | 60,00  | 75,38                  | 61,18  | 73,50              | 54,12  | 74,06           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 38         | 72,56       | 44,44  | 75,19   | 60,00  | 75,38                  | 61,18  | 75,94              | 54,12  | 74,25           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 39         | 72,56       | 44,44  | 75,75   | 62,86  | 75,38                  | 61,18  | 75,94              | 54,12  | 75,19           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 40         | 72,56       | 44,44  | 75,75   | 62,86  | 76,13                  | 61,18  | 75,56              | 54,12  | 75,38           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 41         | 72,56       | 44,44  | 76,69   | 62,86  | 76,13                  | 61,18  | 75,56              | 54,12  | 75,75           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 42         | 72,37       | 62,86  | 76,69   | 62,86  | 76,13                  | 61,18  | 75,56              | 54,12  | 75,56           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 43         | 77,63       | 62,96  | 77,44   | 60,00  | 76,88                  | 61,18  | 75,56              | 54,12  | 77,07           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 44         | 77,63       | 62,96  | 77,44   | 60,00  | 77,07                  | 61,18  | 75,56              | 54,12  | 77,07           | 62,86  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 45         | 77,63       | 62,96  | 77,44   | 60,00  | 77,07                  | 61,18  | 75,94              | 58,82  | 77,82           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 46         | 78,20       | 62,96  | 77,44   | 60,00  | 77,44                  | 62,96  | 76,69              | 62,96  | 77,82           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 47         | 78,20       | 62,96  | 76,88   | 60,00  | 77,44                  | 62,96  | 76,69              | 62,96  | 78,20           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 48         | 78,20       | 62,96  | 78,38   | 60,00  | 77,44                  | 62,96  | 76,69              | 62,96  | 78,20           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 49         | 77,63       | 62,96  | 78,38   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 77,07              | 62,96  | 78,20           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 50         | 77,63       | 62,96  | 78,95   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 78,38              | 62,96  | 79,51           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 51         | 77,63       | 62,96  | 78,95   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 78,38              | 62,96  | 79,32           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 52         | 76,32       | 62,96  | 78,95   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 79,14              | 62,96  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 53         | 76,13       | 62,96  | 78,95   | 60,00  | 79,70                  | 60,00  | 79,14              | 62,96  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 54         | 74,06       | 62,96  | 78,38   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,20              | 62,96  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 55         | 74,06       | 62,96  | 78,57   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,76              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 56         | 74,06       | 62,96  | 78,57   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,76              | 60,00  | 78,38           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 57         | 75,56       | 62,96  | 78,95   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,38           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 58         | 75,56       | 62,96  | 78,95   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,38           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 59         | 74,25       | 45,71  | 78,95   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 60         | 78,57       | 60,00  | 78,95   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 61         | 78,57       | 60,00  | 79,32   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,01              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 62         | 78,57       | 60,00  | 79,32   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 63         | 78,57       | 60,00  | 79,32   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,38           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 64         | 78,76       | 60,00  | 79,32   | 60,00  | 78,38                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,38           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 65         | 78,76       | 60,00  | 79,32   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,38              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 66         | 78,76       | 60,00  | 78,76   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,76              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |
| 67         | 78,76       | 60,00  | 78,76   | 60,00  | 78,76                  | 60,00  | 78,76              | 60,00  | 78,76           | 60,00  |       |        |       |        |            |        |       |        |

Źródło: opracowanie własne



W tabeli 4.2 kolorem zielonym oznaczono podzbiory cech, które pozwalają uzyskać średni i minimalny współczynnik poprawnych klasyfikacji ( $TPR_{SR}$  i  $TPR_{MIN}$ ) na poziomie odpowiednio powyżej 73% i 50%. Kolorem żółtym oznaczono natomiast podzbiory, pozwalające uzyskać wartości tych współczynników na poziomie zbliżonym do wymienionych wartości, tj. 70-73% dla  $TPR_{SR}$  i >45% dla  $TPR_{MIN}$ . Na rysunku 4.3 przedstawiono zmienność średniego współczynnika poprawnych klasyfikacji zależnie od ilości cech w podzbiorze oraz procedury, za pomocą której wyznaczono dany podzbiór.



Rysunek 4.3 Średni współczynnik poprawnych klasyfikacji dla różnych podzbiorów cech

Źródło: opracowanie własne

Analizując rysunek 4.3 oraz tabelę 4.2, można zauważyć, że klasyfikacja wykorzystująca podzbiory cech ustalone na podstawie rankingu użytkowników w przeważającej części daje wyniki znacznie gorsze od podzbiorów ustalonych na podstawie procedur selekcji cech. Podkreślić tutaj należy „szybki” spadek współczynnika poprawnych klasyfikacji przy wykorzystaniu rankingu utworzonego na podstawie wag przypisywanych kryteriom przez użytkowników. Spadek ten następuje już przy liczbie 59 kryteriów, co świadczy o tym, że 60 kryterium w rankingu użytkowników, tj. K63, jest istotne dla budowy drzewa klasyfikacyjnego. Brak spadku współczynnika poprawnych klasyfikacji po wyeliminowaniu kolejnego kryterium, którym jest (bardzo istotne w innych rankingach) K16, wynika z tego, że klasyfikator potrafi zbudować względnie dobrze klasyfikujące drzewo z pominięciem tego kryterium. Wzrost współczynnika poprawnych klasyfikacji po wyeliminowaniu K36 (54 kryterium w rankingu użytkowników) świadczy o tym, że kryterium to zaburza wyniki klasyfikacji. Ponowny znaczny spadek wyników klasyfikacji następuje po usunięciu z rankingu użytkowników kryterium K19 (pozycja 43 w rankingu). O tym, że kryterium to jest bardzo istotne, świadczą pozostałe rankingi. Kolejny znaczący spadek wyników klasyfikacji następuje po usunięciu kryteriów K47 (pozycja 29) i K45 (pozycja 25 w rankingu użytkowników), przy czym ponownie o dużej wadze K45 świadczą pozostałe rankingi. Z kolei, redukując kryteria zgodnie z rankingami utworzonymi w oparciu o procedury selekcji cech, uzyskano znacznie lepsze i stabilniejsze wyniki klasyfikacji. Również podzbiory

kryteriów, utworzone za pomocą procedur selekcji cech, pozwalają na bardziej poprawną klasyfikację niż tak samo liczne podzbiory kryteriów, utworzone w oparciu o ranking użytkowników. Stąd można stwierdzić, że każda z procedur selekcji cech pozwala lepiej od użytkowników określić kryteria, które determinują jakość serwisów internetowych. Część kryteriów, jawnie określonych przez użytkowników jako mało istotne, w rzeczywistości różnicuje ocenę jakości serwisów, a tym samym wpływa znacznie na postrzeganie ich jakości. Z kolei niektóre kryteria, określone przez ankietowanych jako mające duży wpływ na ocenę, w rzeczywistości nie wpływają na postrzeganie jakości serwisu przez użytkowników.

Ostatnim etapem badania było **poszukiwanie optymalnego podzbioru kryteriów**, który pozwoli uzyskać wyniki oceny kryterialnej jak najbardziej zbliżone do rezultatów oceny ogólnej serwisów. W tym celu, na podstawie ocen ogólnych przyznanych serwisom przez ankietowanych, dla każdego serwisu internetowego ujętego w ankiecie obliczono jego średnią ocenę ogólną według wzoru (4.10):

$$G_s = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{L_{max}} / n * 100\% \quad (4.10)$$

gdzie:

$s_i$  – ogólna ocena serwisu przypisana przez  $i$ -tego użytkownika,

$n$  – liczba użytkowników biorących udział w ankiecie,

$L_{max}$  – maksymalna wartość skali oceniania (w tym przypadku 7).

Dla każdego uzyskanego podzbioru kryteriów obliczono też średnie znormalizowane oceny serwisów, wykorzystując oceny kryterialne i wagi zgodnie z wzorem (4.11):

$$O_s = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (w_j * k_{ij})}{\sum_{j=1}^m (w_j * L_{max})} / n * 100\% \quad (4.11)$$

gdzie:

$k_{ij}$  – ocena serwisu względem  $j$ -tego kryterium, przypisana przez  $i$ -tego użytkownika,

$w_j$  – waga  $j$ -tego kryterium na podstawie tabeli 4.1,

$m$  – liczba kryteriów, pod względem których oceniano serwis.

Ponieważ różne ilości kryteriów powodowały otrzymywanie przez serwisy różnej ilości punktów, punktacja dla każdego podzbioru kryteriów została znormalizowana do zakresu [0-1]. Jeżeli wybrany podzbiór kryteriów oceny dobrze odzwierciedla jakość serwisu internetowego, to między oceną ogólną serwisu a oceną kryterialną zachodzi zależność  $G_s \approx O_s$ . Porównanie wzorcowych wartości  $G_s$  i  $O_s$ , uzyskanych dla poszczególnych podzbiorów, wykonano z wykorzystaniem miary bezwzględnego średniego odchylenia [224], według wzoru (4.12):

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n \|O_i - G_i\|}{n} \quad (4.12)$$

gdzie:

$n$  – liczba badanych serwisów internetowych,

$G_i$  – średnia ocena ogólna  $i$ -tego serwisu internetowego,

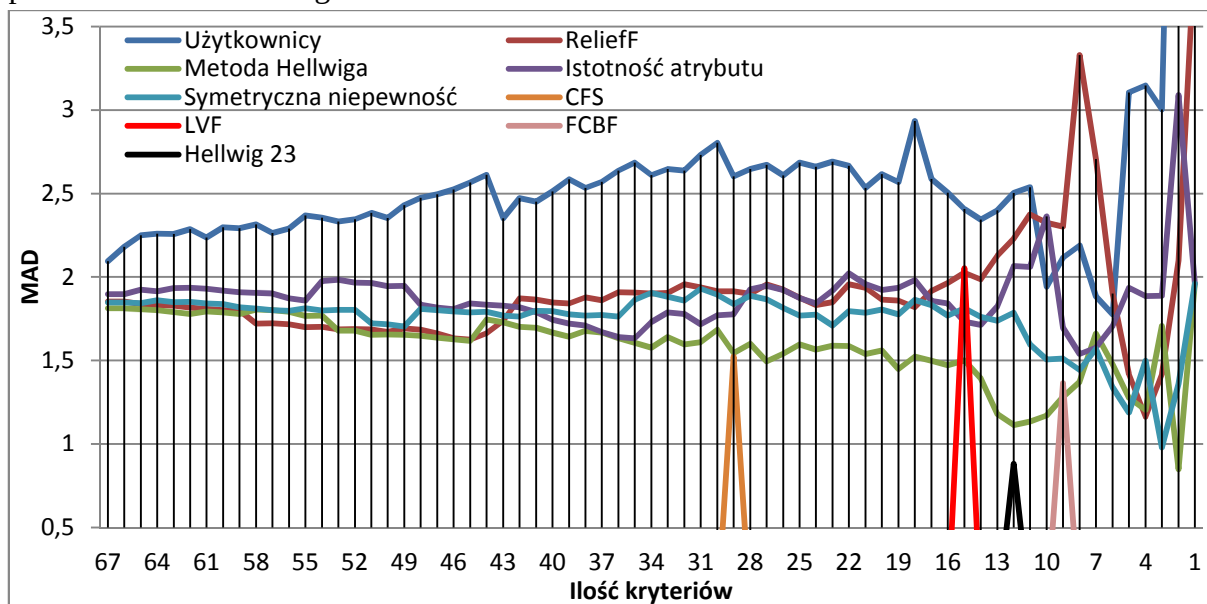
$O_i$  – średnia ocena kryterialna  $i$ -tego serwisu internetowego.

Wartości średniego bezwzględnego odchylenia, uzyskane dla wybranych podzbiorów kryteriów, zostały przedstawione w tabeli 4.3. W tabeli 4.3 zawarto również ocenę ogólną serwisów obliczoną zgodnie z wzorem (4.10) oraz średnie oceny kryterialne dla poszczególnych serwisów, obliczone zgodnie ze wzorem (4.11).

Tabela 4.3 Oceny serwisów i wartości bezwzględnego średniego odchylenia uzyskane dla poszczególnych podzbiorów cech

| Ilość<br>cech | Ogólne (G <sub>s</sub> )      |       |         |        |      | Ilość<br>cech | CFS (O <sub>s</sub> )     |       |         |        |      | Ilość<br>cech | LVF (O <sub>s</sub> )                    |       |         |        |      | Ilość<br>cech | Hellwig 23 (O <sub>s</sub> )         |       |         |        |      | Ilość<br>cech | FCBF (O <sub>s</sub> )            |       |         |        |      |
|---------------|-------------------------------|-------|---------|--------|------|---------------|---------------------------|-------|---------|--------|------|---------------|------------------------------------------|-------|---------|--------|------|---------------|--------------------------------------|-------|---------|--------|------|---------------|-----------------------------------|-------|---------|--------|------|
|               | Onet                          | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                      | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                                     | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                                 | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                              | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |
| -             | 61,87                         | 65,63 | 54,89   | 58,65  | 0,00 | 29            | 60,59                     | 62,90 | 56,52   | 59,11  | 1,52 | 15            | 60,80                                    | 63,44 | 58,09   | 60,40  | 2,05 | 12            | 61,87                                | 63,94 | 56,58   | 58,78  | 0,88 | 9             | 61,58                             | 64,47 | 58,00   | 59,54  | 1,37 |
| Ilość<br>cech | Użytkownicy (O <sub>s</sub> ) |       |         |        |      | Ilość<br>cech | ReliefF (O <sub>s</sub> ) |       |         |        |      | Ilość<br>cech | Symetryczna niepewność (O <sub>s</sub> ) |       |         |        |      | Ilość<br>cech | Istotność atrybutu (O <sub>s</sub> ) |       |         |        |      | Ilość<br>cech | Metoda Hellwiga (O <sub>s</sub> ) |       |         |        |      |
|               | Onet                          | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                      | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                                     | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                                 | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |               | Onet                              | WP    | Interia | Gazeta | MAD  |
| 9             | 62,45                         | 63,95 | 57,79   | 61,95  | 2,12 | 9             | 58,39                     | 60,81 | 54,65   | 57,97  | 2,30 | 9             | 59,89                                    | 62,75 | 55,98   | 58,54  | 1,51 | 9             | 59,54                                | 62,46 | 55,94   | 58,41  | 1,70 | 9             | 60,61                             | 63,33 | 55,64   | 57,82  | 1,28 |
| 10            | 61,03                         | 62,28 | 56,32   | 60,78  | 1,94 | 10            | 58,46                     | 60,66 | 54,59   | 58,03  | 2,32 | 10            | 60,16                                    | 62,80 | 56,26   | 58,77  | 1,51 | 10            | 58,40                                | 60,94 | 54,66   | 57,58  | 2,36 | 10            | 60,83                             | 63,51 | 56,10   | 58,34  | 1,17 |
| 11            | 61,23                         | 62,75 | 58,02   | 62,15  | 2,54 | 11            | 58,25                     | 60,51 | 55,03   | 58,04  | 2,37 | 11            | 59,91                                    | 62,42 | 56,07   | 58,68  | 1,60 | 11            | 58,79                                | 61,31 | 55,17   | 58,08  | 2,06 | 11            | 61,01                             | 63,49 | 56,36   | 58,57  | 1,14 |
| 12            | 61,06                         | 62,46 | 57,70   | 61,87  | 2,50 | 12            | 58,48                     | 60,97 | 55,14   | 58,03  | 2,23 | 12            | 59,63                                    | 62,17 | 56,34   | 58,64  | 1,79 | 12            | 58,81                                | 61,14 | 55,08   | 58,13  | 2,07 | 12            | 61,22                             | 63,58 | 56,37   | 58,37  | 1,11 |
| 13            | 61,17                         | 62,65 | 57,62   | 61,84  | 2,40 | 13            | 58,69                     | 61,03 | 55,32   | 58,35  | 2,13 | 13            | 59,83                                    | 62,36 | 56,35   | 58,83  | 1,74 | 13            | 59,32                                | 61,56 | 55,46   | 58,53  | 1,83 | 13            | 60,78                             | 63,21 | 56,04   | 58,60  | 1,18 |
| 14            | 61,59                         | 63,01 | 58,12   | 61,89  | 2,34 | 14            | 59,06                     | 61,37 | 55,63   | 58,78  | 1,99 | 14            | 60,10                                    | 62,60 | 56,57   | 59,20  | 1,76 | 14            | 59,63                                | 61,90 | 55,68   | 58,73  | 1,71 | 14            | 60,47                             | 62,93 | 56,28   | 58,57  | 1,39 |
| 15            | 61,51                         | 62,94 | 58,16   | 61,96  | 2,41 | 15            | 59,14                     | 61,48 | 55,78   | 58,98  | 2,02 | 15            | 60,18                                    | 62,55 | 56,63   | 59,39  | 1,81 | 15            | 60,22                                | 62,37 | 56,32   | 59,24  | 1,73 | 15            | 60,25                             | 62,63 | 56,14   | 58,52  | 1,50 |
| 16            | 61,96                         | 63,31 | 58,64   | 62,49  | 2,51 | 16            | 59,41                     | 61,76 | 55,94   | 59,12  | 1,97 | 16            | 60,37                                    | 62,76 | 56,74   | 59,50  | 1,77 | 16            | 59,90                                | 62,12 | 56,04   | 59,38  | 1,84 | 16            | 60,48                             | 62,83 | 56,36   | 58,88  | 1,47 |
| 17            | 62,20                         | 63,43 | 58,76   | 62,59  | 2,59 | 17            | 59,58                     | 61,93 | 55,97   | 59,25  | 1,92 | 17            | 59,73                                    | 61,94 | 56,02   | 59,01  | 1,83 | 17            | 60,14                                | 62,34 | 56,26   | 59,69  | 1,86 | 17            | 60,22                             | 62,62 | 56,16   | 58,58  | 1,50 |
| 18            | 62,91                         | 64,09 | 59,51   | 63,17  | 2,94 | 18            | 59,84                     | 62,24 | 56,17   | 59,22  | 1,82 | 18            | 59,88                                    | 62,09 | 56,24   | 59,22  | 1,86 | 18            | 59,93                                | 62,17 | 56,44   | 59,61  | 1,98 | 18            | 60,23                             | 62,65 | 56,26   | 58,75  | 1,52 |
| 19            | 62,41                         | 63,75 | 58,97   | 62,41  | 2,57 | 19            | 59,70                     | 62,04 | 56,06   | 59,15  | 1,86 | 19            | 60,10                                    | 62,36 | 56,41   | 59,20  | 1,78 | 19            | 60,06                                | 62,30 | 56,45   | 59,70  | 1,94 | 19            | 60,45                             | 62,91 | 56,43   | 58,75  | 1,45 |
| 20            | 62,55                         | 63,94 | 59,11   | 62,52  | 2,62 | 20            | 59,85                     | 62,09 | 56,20   | 59,24  | 1,86 | 20            | 60,08                                    | 62,32 | 56,37   | 59,28  | 1,81 | 20            | 60,40                                | 62,68 | 56,80   | 60,01  | 1,92 | 20            | 60,01                             | 62,44 | 56,08   | 58,65  | 1,56 |
| 21            | 62,30                         | 63,62 | 58,74   | 62,49  | 2,53 | 21            | 59,64                     | 61,93 | 56,01   | 59,34  | 1,94 | 21            | 59,89                                    | 62,17 | 56,22   | 59,03  | 1,79 | 21            | 60,24                                | 62,47 | 56,67   | 59,91  | 1,96 | 21            | 60,12                             | 62,55 | 56,09   | 58,77  | 1,54 |
| 22            | 62,59                         | 63,87 | 59,04   | 62,67  | 2,67 | 22            | 59,77                     | 62,06 | 56,19   | 59,50  | 1,96 | 22            | 60,25                                    | 62,45 | 56,60   | 59,32  | 1,79 | 22            | 60,05                                | 62,23 | 56,55   | 59,86  | 2,02 | 22            | 60,18                             | 62,52 | 56,16   | 58,92  | 1,59 |
| 23            | 62,91                         | 64,30 | 59,20   | 62,73  | 2,69 | 23            | 60,15                     | 62,52 | 56,43   | 59,67  | 1,85 | 23            | 60,38                                    | 62,54 | 56,60   | 59,20  | 1,71 | 23            | 60,20                                | 62,33 | 56,55   | 59,70  | 1,92 | 23            | 60,46                             | 62,82 | 56,46   | 59,21  | 1,59 |
| 24            | 62,81                         | 64,26 | 59,16   | 62,71  | 2,66 | 24            | 59,99                     | 62,39 | 56,30   | 59,44  | 1,83 | 24            | 60,19                                    | 62,39 | 56,42   | 59,29  | 1,77 | 24            | 60,38                                | 62,55 | 56,68   | 59,66  | 1,84 | 24            | 60,58                             | 62,96 | 56,54   | 59,29  | 1,57 |
| 25            | 62,93                         | 64,36 | 59,20   | 62,74  | 2,68 | 25            | 59,90                     | 62,20 | 56,12   | 59,52  | 1,88 | 25            | 60,43                                    | 62,65 | 56,68   | 59,52  | 1,77 | 25            | 60,42                                | 62,53 | 56,72   | 59,77  | 1,87 | 25            | 60,54                             | 62,90 | 56,51   | 59,35  | 1,60 |
| 26            | 62,74                         | 64,22 | 59,06   | 62,63  | 2,61 | 26            | 59,92                     | 62,19 | 56,21   | 59,63  | 1,92 | 26            | 60,31                                    | 62,53 | 56,65   | 59,48  | 1,81 | 26            | 60,29                                | 62,39 | 56,68   | 59,72  | 1,92 | 26            | 60,47                             | 62,78 | 56,30   | 59,15  | 1,54 |
| 27            | 62,87                         | 64,33 | 59,18   | 62,74  | 2,67 | 27            | 60,00                     | 62,24 | 56,34   | 59,74  | 1,95 | 27            | 60,17                                    | 62,35 | 56,56   | 59,46  | 1,87 | 27            | 59,97                                | 62,04 | 56,43   | 59,40  | 1,95 | 27            | 60,23                             | 62,62 | 56,06   | 58,80  | 1,50 |
| 28            | 62,90                         | 64,40 | 59,16   | 62,70  | 2,65 | 28            | 59,78                     | 62,09 | 56,12   | 59,39  | 1,90 | 28            | 59,90                                    | 62,06 | 56,35   | 59,20  | 1,89 | 28            | 59,83                                | 61,94 | 56,31   | 59,20  | 1,93 | 28            | 59,85                             | 62,13 | 55,66   | 58,53  | 1,60 |
| 29            | 62,79                         | 64,30 | 59,05   | 62,64  | 2,60 | 29            | 59,78                     | 62,07 | 56,10   | 59,44  | 1,91 | 29            | 59,71                                    | 61,93 | 56,14   | 58,89  | 1,84 | 29            | 60,04                                | 62,12 | 56,25   | 59,06  | 1,78 | 29            | 60,06                             | 62,30 | 55,92   | 58,64  | 1,54 |
| 30            | 63,32                         | 64,89 | 59,56   | 63,01  | 2,80 | 30            | 59,93                     | 62,22 | 56,26   | 59,59  | 1,91 | 30            | 59,47                                    | 61,68 | 55,94   | 58,82  | 1,89 | 30            | 60,00                                | 62,06 | 56,29   | 58,90  | 1,77 | 30            | 59,82                             | 62,03 | 55,75   | 58,42  | 1,68 |
| 31            | 63,14                         | 64,69 | 59,46   | 62,80  | 2,73 | 31            | 59,89                     | 62,16 | 56,24   | 59,60  | 1,94 | 31            | 59,49                                    | 61,68 | 56,01   | 58,93  | 1,93 | 31            | 59,95                                | 61,99 | 56,11   | 58,73  | 1,72 | 31            | 59,96                             | 62,17 | 55,90   | 58,59  | 1,61 |
| 32            | 62,93                         | 64,44 | 59,27   | 62,57  | 2,64 | 32            | 59,66                     | 61,90 | 56,07   | 59,36  | 1,96 | 32            | 59,76                                    | 62,00 | 56,18   | 59,06  | 1,86 | 32            | 59,75                                | 61,86 | 55,90   | 58,43  | 1,78 | 32            | 60,12                             | 62,30 | 56,07   | 58,77  | 1,60 |
| 33            | 62,93                         | 64,47 | 59,31   | 62,59  | 2,65 | 33            | 59,63                     | 61,84 | 55,92   | 59,21  | 1,90 | 33            | 59,75                                    | 61,90 | 56,15   | 59,06  | 1,88 | 33            | 59,71                                | 61,81 | 55,89   | 58,47  | 1,79 | 33            | 60,13                             | 62,29 | 56,14   | 58,87  | 1,64 |
| 34            | 62,74                         | 64,31 | 59,32   | 62,47  | 2,61 | 34            | 59,78                     | 61,93 | 56,03   | 59,32  | 1,90 | 34            | 59,81                                    | 61,94 | 56,25   | 59,16  | 1,91 | 34            | 59,91                                | 61,97 | 56,13   | 58,58  | 1,73 | 34            | 60,37                             | 62,58 | 56,30   | 59,00  | 1,58 |
| 35            | 63,01                         | 64,61 | 59,50   | 62,61  | 2,68 | 35            | 59,77                     | 61,89 | 56,01   | 59,31  | 1,91 | 35            | 60,09                                    | 62,22 | 56,46   | 59,34  | 1,86 | 35            | 60,17                                | 62,28 | 56,30   | 58,72  | 1,63 | 35            | 60,35                             | 62,47 | 56,27   | 59,00  | 1,61 |
| 36            | 62,91                         | 64,49 | 59,39   | 62,51  | 2,64 | 36            | 59,96                     | 62,04 | 56,22   | 59,46  | 1,91 | 36            | 60,22                                    | 62,34 | 56,42   | 59,24  | 1,76 | 36            | 60,29                                | 62,41 | 56,43   | 58,87  | 1,64 | 36            | 60,30                             | 62,41 | 56,25   | 59,02  | 1,63 |
| 37            | 62,73                         | 64,38 | 59,28   | 62,41  | 2,57 | 37            | 60,04                     | 62,10 | 56,22   | 59,39  | 1,86 | 37            | 60,20                                    | 62,30 | 56,39   | 59,24  | 1,77 | 37            | 60,34                                | 62,44 | 56,53   | 58,97  | 1,67 | 37            | 60,26                             | 62,35 | 56,21   | 59,10  | 1,67 |
| 38            | 62,66                         | 64,34 | 59,28   | 62,31  | 2,53 | 38            | 60,27                     | 62,33 | 56,46   | 59,68  | 1,88 | 38            | 60,34                                    | 62,41 | 56,56   | 59,30  | 1,77 | 38            | 60,35                                | 62,43 | 56,58   | 59,06  | 1,71 | 38            | 60,24                             | 62,30 | 56,19   | 59,09  | 1,68 |
| 39            | 62,68                         | 64,35 | 59,35   | 62,44  | 2,59 | 39            | 60,50                     | 62,57 | 56,64   | 59,84  | 1,84 | 39            | 60,45                                    | 62,50 | 56,68   | 59,42  | 1,78 | 39            | 60,48                                | 62,54 | 56,72   | 59,21  | 1,72 | 39            | 60,49                             | 62,56 | 56,39   | 59,27  | 1,64 |
| 40            | 62,77                         | 64,43 | 59,24   | 62,26  | 2,51 | 40            | 60,61                     | 62,66 | 56,75   | 59,94  | 1,85 | 40            | 60,41                                    | 62,46 | 56,65   | 59,43  | 1,80 | 40            | 60,45                                | 62,43 | 56,68   | 59,21  | 1,74 | 40            | 60,53                             | 62,58 | 56,47   | 59,34  | 1,67 |
| 41            | 62,73                         | 64,48 | 59,17   | 62,16  | 2,45 | 41            | 60,59                     | 62,58 | 56,72   | 59,93  | 1,86 | 41            | 60,50                                    | 62,55 | 56,75   | 59,53  | 1,80 | 41            | 60,25                                | 62,22 | 56,51   | 59,16  | 1,79 | 41            | 60,47                             | 62,47 | 56,37   | 59,39  | 1,70 |
| 42            | 62,77                         | 64,52 | 59,19   | 62,22  | 2,47 | 42            | 60,51                     | 62,47 | 56,66   | 59,85  | 1,87 | 42            | 60,46                                    | 62,49 | 56,63   | 59,42  | 1,76 | 42            | 60,21                                | 62,17 | 56,47   | 59,22  | 1,82 | 42            | 60,63                             | 62,60 | 56,54   | 59,53  | 1,70 |
| 43            | 62,56                         | 64,33 | 59,00   | 61,95  | 2,35 | 43            | 60,84                     | 62,77 | 56,74   | 59,86  | 1,74 | 43            | 60,20                                    | 62,25 | 56,41   | 59,15  | 1,77 | 43            | 60,51                                | 62,44 |         |        |      |               |                                   |       |         |        |      |

W tabeli 4.3 zachowano oznaczenia podzbiorów cech pochodzące z tabeli 4.2. Na rysunku 4.4 przedstawiono natomiast zmienność średniego bezwzględnego odchylenia dla różnych podzbiorów oraz rankingów cech.



Rysunek 4.4 Średnie bezwzględne odchylenie dla różnych podzbiorów cech

Źródło: opracowanie własne

Dokonując analizy tabeli 4.3 i rysunku 4.4, należy zauważyć, że wartość średniego bezwzględnego odchylenia, otrzymana dla podzbiorów kryteriów utworzonych na podstawie opinii użytkowników, jest znacznie wyższa niż dla pozostałych podzbiorów. Dopiero, poczynwszy od liczności kryteriów w podzbiórach wynoszącej 10, wartość MAD podzbioru utworzonego w oparciu o opinie użytkowników jest niższa niż ta sama wartość dla niektórych z pozostałych podzbiorów. Ponadto dla wszystkich podzbiorów utworzonych z wykorzystaniem procedur selekcji cech, pozwalających otrzymać odpowiednio wysokie współczynniki poprawnych klasyfikacji, wartość MAD jest niższa niż dla odpowiadających im podzbiorów utworzonych z wykorzystaniem opinii użytkowników. Każdy z tych podzbiorów charakteryzuje się również wartością MAD mniejszą niż wartość otrzymana dla pełnego zbioru cech z wagami będącymi średnią wag przyznanych przez użytkowników (Użytkownicy, 67 kryteriów). Analiza ta potwierdza tezę, według której procedury selekcji cech pozwalają lepiej wskazać kryteria jakości i ich wagi niż sami użytkownicy.

W oparciu o wartości bezwzględnego średniego odchylenia i współczynniki poprawnych klasyfikacji wybrano podzbiór kryteriów charakteryzujący się niską wartością MAD, wysokim TPR oraz małą licznością kryteriów. Wybrany podzbiorem był 21 elementowy zbiór kryteriów utworzony z wykorzystaniem indywidualnych wskaźników pojemności informacyjnej Hellwiga (Metoda Hellwiga, 21 kryteriów). Zbiór ten zapewnia odpowiednio wysokie współczynniki  $TPR_{SR}$  i  $TPR_{MIN}$  na poziomie odpowiednio 73% i 51,5%. Spośród innych podzbiorów, zapewniających podobne wartości współczynnika poprawnych klasyfikacji, nieco niższą wartością MAD charakteryzują się tylko: 27 elementowy zbiór kryteriów utworzony z wykorzystaniem metody Hellwiga oraz 29 elementowy zbiór zbudowany za pomocą procedury CFS. Niewiele niższa wartość średniego bezwzględnego odchylenia nie rekompensuje jednak większej liczności kryteriów oceny.

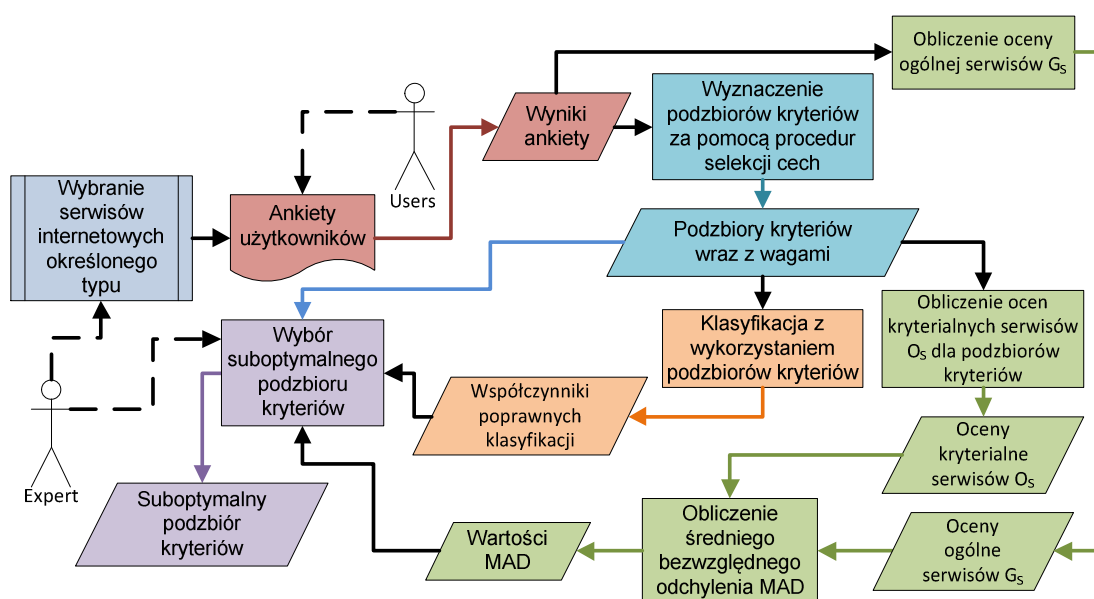
O tym, że wybrany podzbiór kryteriów jest odpowiedni, świadczy także analiza rzetelności ankiet wykonana w oparciu o kryteria (pytania) zawarte w tym podzbiorze. Jako miarę rzetelności zastosowano wartość współczynnika alfy Cronbacha, a sama analiza rzetelności została wykonana w programie Statistica. Alfa Cronbacha [263], uzyskana dla wskazanego podzbioru kryteriów, ma wartość niewiele niższą od tej, która uzyskana została dla pełnego zbioru 67 kryteriów. Ponadto jej wartość jest wyższa od wartości otrzymanej dla tak samo licznego podzbioru kryteriów, uzyskanego na podstawie opinii użytkowników. Wartości alfy Cronbacha dla wymienionych podzbiorów kryteriów przedstawia tabela 4.4. Należy zwrócić uwagę, że rzetelność przeprowadzonej ankiety jest bardzo wysoka, gdyż wartość współczynnika alfy Cronbacha przekracza 0,9, podczas gdy za rzetelne uznaje się już badania, dla których wartość  $\alpha$  osiąga poziom 0,7 [15].

Tabela 4.4 Wartość alfy Cronbacha otrzymana dla wybranych podzbiorów kryteriów

| Podzbiór kryteriów (liczność) | Metoda Hellwiga (21) | Użytkownicy (21) | Pełny zbiór (67) |
|-------------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Alfa Cronbacha                | 0,947358             | 0,925675         | 0,974649         |

Źródło: opracowanie własne

Poszczególne etapy, opisanej w tym punkcie pracy, metody selekcji kryteriów oceny jakości serwisów i nadawania im wag, przedstawiono na rysunku 4.5.



Rysunek 4.5 Etapy metody selekcji kryteriów oceny jakości serwisów i nadawania im wag

Źródło: opracowanie własne

Zastosowanie opracowanej metody selekcji kryteriów, korzystającej z metod uczenia maszynowego, pozwoliło wytypować suboptymalny podzbiór kryteriów oceny jakości serwisów informacyjnych. Podzbiór ten, w stosunku do pełnego zbioru kryteriów i ich wag określonych przez użytkowników, pozwala uzyskać precyzyjniejszą ocenę wielokryterialną serwisów informacyjnych. Wobec tego, w oparciu o wyznaczony podzbiór kryteriów i ich wagi, w opracowanej ontologii należy wskazać kryteria oceny jakości serwisów informacyjnych oraz przypisać im odpowiednie wagi. W trakcie selekcji kryteriów wykazano także, że jawnie deklarowane opinie użytkowników na temat tego, jak ważne są dla nich poszczególne kryteria, nie odpowiadają rzeczywistym wagom tych kryteriów. Inaczej rzecz ujmując, użytkownicy podczas oceny jakości serwisów internetowych podświadomie kierują

się innymi kryteriami, niż to jawnie deklarują. Uprawnione jest wobec tego stwierdzenie, że opracowana metoda określa niejawne preferencje, którymi kierują się użytkownicy, oceniając jakość serwisu internetowego. Chociaż wskazana metoda postępowania została przedstawiona na przykładzie tylko serwisów informacyjnych, z powodzeniem można ją stosować do wyznaczenie kryteriów i ich wag dla oceny serwisów internetowych dowolnego typu.

#### ***4.3 Zastosowanie wielokryterialnych metod wspomagania decyzji w ocenie jakości serwisów internetowych***

Mając wyznaczone kryteria oceny i ich wagi, można rozważyć sposób oceny jakości serwisów internetowych w opracowywanym systemie ekspertowym. Zastosowanie, podczas oceny jakości serwisów, badania ankietowego jest kłopotliwe z tego względu, że podczas każdorazowej oceny jakości należałoby ponownie angażować do ankiety wielu użytkowników. Podobnie, zbadanie jakości tylko jednego dodatkowego serwisu wymagałoby ponownego przeprowadzenia ankiety. Mniej problemowym rozwiązaniem, wymagającym mniejszych nakładów, wydaje się zaangażowanie ekspertów, którzy ocenialiby jakość serwisów. Również w pkt 1.3 niniejszej pracy stwierdzono, że metody eksperckie mogą charakteryzować się wysoką stosowalnością w badaniu i ocenie jakości serwisów internetowych. Wobec tego zdecydowano, że ocena jakości serwisów internetowych powinna być prowadzona przez ekspertów, w oparciu o wyselekcjonowane kryteria i ich wagi. Jeżeli zaś chodzi o narzędzie oceny, może nim być jedna z wielokryterialnych metod wspomagania decyzji. Za zastosowaniem tego typu metody do oceny jakości serwisów przemawiają pewne przesłanki, których wyjaśnienie wymaga chociażby krótkiego omówienia teorii decyzji.

Teorię decyzji można scharakteryzować jako teorię opisującą zachowania złożonego systemu składającego się z ludzi, środków i informacji. Zajmuje się ona podejmowaniem decyzji, a w szczególności obejmuje obszar badania decyzji, a także metod i technik ich podejmowania. Sama decyzja jest wyborem sposobu działania dokonywanym w celu rozwiązania określonego problemu [261]. Niemal w każdym przypadku problem decyzyjny jest problemem wielokryterialnym, gdyż podjęcie „dobrej” decyzji wymaga rozpatrzenia wielu wariantów decyzyjnych pod względem wielu czynników, charakteryzujących ich dopuszczalność. Metody podejmowania i wspomagania decyzji dzielą się więc na jednokryterialne i wielokryterialne. Metody jednokryterialne koncentrują się na problemie optymalizacji, natomiast wśród metod wielokryterialnych występuje podział ze względu na ilość wariantów i kryteriów. Jeśli zbiór kryteriów i wariantów decyzyjnych jest skończony, stosuje się metody dyskretne. W przeciwnym wypadku zastosowanie znajdują metody ciągłe [156]. Formalnie wielokryterialna sytuacja decyzyjna charakteryzuje się następującymi aspektami:

- wyodrębniona jest skończona liczba mierzalnych lub stopniowalnych celów opisujących obiekt decyzji,
- cele są urzeczywistniane przez wspólny zbiór decyzji dopuszczalnych,
- podstawę oceny i podjęcia decyzji stanowi zespół kryteriów sformułowanych w stosunku do celów,
- w zbiorze celów występuje zjawisko konkurencyjności powodujące, że większy stopień realizacji jednego z celów oznacza zmniejszenie stopnia realizacji innych celów [261].

Ponadto sytuacje decyzyjne można podzielić zależnie od ich natury, strategii podejmującego decyzję i celu decyzji. Zależnie od tych trzech aspektów problematyka wielokryterialnej analizy decyzyjnej może skupiać się na zagadnieniach:

- wyboru najlepszych, ze względu na rozpatrywane kryteria, wariantów decyzyjnych,
- porządkowania (rangowania) wariantów na klasy równie dobrych alternatyw, począwszy od klasy najlepszych rozwiązań, a skończywszy na klasie opcji najgorszych,
- sortowania (klasyfikacji) wariantów decyzyjnych do pewnych wcześniej ustalonych kategorii [279, s. 43].

Jeżeli rozpatrywanym problemem decyzyjnym jest ocena jakości serwisów internetowych i utworzenie na tej podstawie rankingu serwisów, to oczywiste jest, że problem ten jest problemem wielokryterialnym. Istnieje tutaj wiele wariantów decyzyjnych, którymi są poszczególne serwisy internetowe, a każdy z wariantów jest oceniany pod względem wielu kryteriów. Z kolei utworzenie rankingu serwisów jest problemem zbieżnym z zagadnieniem porządkowania (rangowania), podejmowanym przez metody wielokryterialnej analizy decyzyjnej. Ponadto stosowalność metod wielokryterialnego podejmowania i wspomagania decyzji jako narzędzia oceny serwisów potwierdzają chociażby publikacje [171] [174] [159] [41] [27] [293], w których do oceny serwisów zastosowano różne warianty metody AHP.

W toku badań nad wielokryterialnym wspomaganiem decyzji wyklarowały się dwie główne grupy metod. Różnią się one znacznie względem siebie zarówno podejściem do sytuacji decyzyjnej, jak i sposobem wyboru najlepszego wariantu decyzyjnego. Są to podejścia oparte na teorii użyteczności i relacji przewyższania [279, s. 44].

Podejście oparte na **teorii użyteczności** wywodzi się z amerykańskiej szkoły wielokryterialnej analizy decyzyjnej. Wyróżnia się tutaj dwa rodzaje relacji między wariantami decyzyjnymi: równoważność i preferencję jednego z wariantów nad drugim. Metody należące do tej grupy wykluczają sytuację nieporównywalności wariantów decyzyjnych i zakładają przechodniość preferencji na kolejne warianty decyzyjne [279, s.44]. Wśród metod opartych na teorii użyteczności wymienić można m.in.:

- MAUT (ang. Multi Attribute Utility Theory, Wieloatrybutowa Teoria Użyteczności) [69],
- AHP (ang. Analitic Hierarchy Process, Proces Analitycznej Hierarchizacji) [246],
- UTA (ang. Utility Theory Additive, Addytywna Teoria Użyteczności) [259].

Podejście oparte na teorii użyteczności znajduje przeciwników głównie w Europie. Zarzucają oni metodom tego typu, że nie uwzględniają one zmienności i nieprecyzyjności ocen decydena. Ponadto nie uwzględniają niepewności, niedokładności i nieokreśloności możliwej do wystąpienia w danych, na których opiera się analiza. Według przedstawicieli szkoły europejskiej teoria użyteczności niejednokrotnie utrudnia, a nie ułatwia, podejmowanie decyzji [279, s. 44].

Metody oparte na **relacji przewyższania** wywodzą się z europejskiej szkoły wspomagania decyzji, a sama relacja przewyższania charakteryzuje się nieprzechodniością pomiędzy parami wariantów decyzyjnych. Metody z tej grupy najczęściej rozszerzają zbiór podstawowych sytuacji preferencyjnych, w efekcie czego obejmuje on sytuacje:



- równoważności wariantów decyzyjnych (oznaczenie:  $a_i I a_j$ ),
- słabej preferencji jednego z wariantów względem innego ( $a_i Q a_j$ ),
- silnej preferencji danego wariantu decyzyjnego względem innego ( $a_i P a_j$ ),
- nieporównywalności pomiędzy danymi wariantami ( $a_i R a_j$ ).

Ponadto dla par wariantów można określić relacje zgrupowane, łączące dwie lub trzy sytuacje podstawowe. Przy wystąpieniu relacji zgrupowanej niemożliwe jest rozróżnienie, bez dodatkowych parametrów, relacji podstawowych składających się na sytuację zgrupowaną. Sytuacjami takimi są [330]:

- brak preferencji – grupuje sytuacje równoważności i nieporównywalności ( $a_i N a_j$ ),
- preferencja w szerokim sensie – gromadzi sytuacje słabej i silnej preferencji ( $a_i L a_j$ ),
- przypuszczenie preferencji – łączy sytuacje równoważności i słabej preferencji ( $a_i J a_j$ ),
- K-preferencja – grupuje sytuacje silnej preferencji i nieporównywalności ( $a_i K a_j$ ),
- przewyższanie – zawiera sytuacje równoważności, silnej i słabej preferencji ( $a_i S a_j$ ).

Najpopularniejszymi metodami opartymi na relacji przewyższania są metody z rodzin Electre (fr. ELimination Et Choin Traduisant la REalite) [81] oraz Promethee (ang. Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations) [26].

Jeżeli chodzi o wybór metody wielokryterialnej do oceny jakości serwisów internetowych, to analizy takie można znaleźć chociażby w publikacjach [328] [322]. Analizy te nie uwzględniają jednak faktu, że w zbudowanej ontologii są dostępne głównie kryteria, których w żaden sposób nie da się obiektywnie zmierzyć. Wobec tego ekspert, który będzie oceniał serwis, nie będzie mógł opierać się na danych ilościowych, na podstawie których mógłby ocenić serwisy względem poszczególnych kryteriów. W tej sytuacji trzeba polegać na opinii, wiedzy i doświadczeniu decydenta. Jednak, ze względu na to, że decydent nie będzie miał do dyspozycji danych liczbowych, ocena taka byłaby subiektywna. Obiektywny byłby w tej sytuacji tylko ranking poszczególnych wariantów, generowany przy wykorzystaniu sformalizowanego algorytmu, ale byłby on oparty na subiektywnych ocenach eksperta. Jednym ze sposobów, pozwalających w pewnym stopniu zobiektywizować taką ocenę, jest skorzystanie z usług grupy ekspertów zamiast pojedynczego eksperta. W takiej sytuacji niewielkie błędy w ocenie, popełnione przez jednego z ekspertów, mogą zostać zneutralizowane poprzez oceny pozostałych decydentów. Niemniej jednak, jeżeli jeden z ekspertów znacznie nie doszacuje lub przeszacuje oceny kryterialne jednego z wariantów, wtedy nawet oceny pozostałych decydentów mogą okazać się niewystarczające do zneutralizowania takiej pomyłki. Ze względu na to, że ocena grupowa pozwala w pewnym stopniu zobiektywizować ocenę opartą na kryteriach niemierzalnych, największą stosownością w ocenie jakości serwisów internetowych, na bazie kryteriów zawartych w zbudowanej ontologii, charakteryzują się metody grupowego podejmowania decyzji.

Do rozwiązywania problemów decyzyjnych, w których ocena bazuje na kryteriach niemierzalnych, najczęściej wykorzystuje się, opartą na teorii użyteczności, metodę AHP. Dodatkowo, w przypadku decyzji podejmowanych przez wielu ekspertów, stosowana jest jej grupowa modyfikacja. Dużo rzadziej stosowana jest grupowa metoda Promethee GDSS, oparta na relacji przewyższania. Zdaniem autora jest to jednak najpopularniejsza metoda grupowa, wywodząca się z europejskiej szkoły wspomagania decyzji.



W procedurze **AHP** najpierw należy zdefiniować problem decyzyjny oraz zbudować strukturę hierarchiczną. Problem decyzyjny w trakcie budowy hierarchii jest dekomponowany na podcele (kryteria), które są umieszczane na kolejnych poziomach struktury. Funkcje liści w tworzonej strukturze pełnią warianty decyzyjne [243]. Następnie konstruowane są macierze porównań parami wariantów decyzyjnych względem kolejnych kryteriów oraz kryteriów względem siebie. Każda taka macierz powinna być proporcjonalna, tzn. jeśli element  $a_{ij}$  zawiera wartość  $a$ , wtedy element  $a_{ji}$  powinien zawierać wartość  $1/a$ . Ponadto elementy  $a_{ii}$  powinny zawierać wartości jednostkowe [246]. Macierz taka powinna być również dodatnia, a dokładniej rzecz ujmując, powinna zawierać wartości z zakresu od 1 do 9 i ich odwrotności, gdzie 1 oznacza równość porównywanych wariantów lub kryteriów, a 9 oznacza ekstremalną przewagę wariantu lub kryterium  $i$  nad  $j$  [242]. Wobec tego każda macierz jest uzupełniana jedną z 17 wartości:  $1/9, 1/8, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 8, 9$  [248]. Dla każdej macierzy porównań parami wyznaczany jest wektor preferencji  $W=[w_1, w_2, \dots, w_n]^T$  ukazujący siłę wariantów lub kryteriów porównywanych w macierzy. Spojrzenie na macierz porównań od strony wektora preferencji pozwala przedstawić ją w postaci schematu (4.13) [243]:

$$\begin{matrix} & A_1 & A_2 & \Lambda & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ M \\ A_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \Lambda & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \Lambda & \frac{w_2}{w_n} \\ M & M & O & M \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \Lambda & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (4.13)$$

Należy zastrzec, że schemat ten jest w pełni prawdziwy, gdy macierz jest spójna. Z kolei spójność macierzy zachodzi w sytuacji, gdy:  $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$  dla każdego  $i, j, k$  [249], co ma miejsce wtedy, gdy elementy wektora preferencji są swoimi wzajemnymi wielokrotnościami (np.  $[1 \ 3 \ 6]^T$  lub  $[4 \ 2 \ 1 \ 8]^T$ ). Ujmując rzecz bardziej obrazowo, spójność preferencji jest tożsama z przechodnością ocen, np. jeżeli według decydenta wariant  $a_i$  jest 2 razy lepszy od wariantu  $a_j$  i 4 razy lepszy od wariantu  $a_k$ , wtedy wariant  $a_j$  powinien być 2 razy lepszy od wariantu  $a_k$ . Najczęściej jednak prawdziwy wektor preferencji  $V$  nie zawiera tylko i wyłącznie wartości będących wzajemnie swoimi wielokrotnościami, wobec czego wektor  $W$  jest tylko jego przybliżeniem. Zjawisko to powoduje występowanie małych niespójności w macierzy porównań, wynikających z zaokrąglania prawdziwych preferencji do wartości ze zbioru  $\{1/9, 1/8, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 8, 9\}$ . Większe niespójności w macierzy porównań powstają najczęściej na skutek błędów decydenta, polegających na niezachowaniu przez niego zasady pełnej przechodności ocen pomiędzy porównywanymi wariantami.

Saaty zaleca wyznaczanie wektora preferencji  $W$  poprzez obliczanie prawostronnego wektora własnego macierzy [244], który jest rozwiązaniem równania (4.14):

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (4.14)$$

Jeżeli macierz porównań jest spójna, wtedy istnieje tylko jedna niezerowa wartość własna macierzy  $\lambda_{\max}$  i jest ona równa wymiarowi macierzy. Z kolei wektor  $w$  jest wektorem preferencji związanym z wartością  $\lambda_{\max}$  [247]. W sytuacji istnienia stosunkowo niewielkich niespójności w macierzy, wektorem preferencji jest wektor związany z największą wartością własną (pozostałe  $\lambda$  mają wartości bliskie 0). Spójność macierzy porównań można wyliczyć

poprzez wyznaczenie indeksu spójności  $CI$  (ang. consistency index) i współczynnika spójności  $CR$  (ang. consistency ratio) zgodnie z wzorami (4.15) i (4.16) [243] [232]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.15)$$

$$CR = \frac{CI}{R} \quad (4.16)$$

$R$  jest tutaj stałą, której wartość jest zależna od wymiaru macierzy porównań, a  $\lambda_{max}$  jest największą wartością własną macierzy, przy czym dla macierzy spójnej  $\lambda_{max} = n$ , gdzie  $n$  jest wymiarem macierzy. W literaturze stosowanych jest wiele modyfikacji procedury AHP, w których wektor preferencji  $W$  wyznaczany jest nie za pomocą prawostronnego wektora własnego, lecz innymi metodami. Wyczerpujące omówienie różnych metod wyznaczania wektora preferencji w procedurze AHP można znaleźć w [324].

W grupowej metodzie AHP stosowane są, zależnie od sytuacji decyzyjnej, trzy możliwe podejścia. Pierwsze z nich polega na uzyskaniu przez decydentów konsensusu przy każdym porównaniu. Kolejne podejście polega na agregowaniu opinii ekspertów już na poziomie ocen cząstkowych względem poszczególnych kryteriów [245] [248]. Ostatnią już możliwością jest agregowanie globalnych wektorów preferencji uzyskanych przez każdego z ekspertów oddzielnie [247]. Zarówno przy drugim, jak i trzecim podejściu, Saaty zaleca skorzystanie ze średniej geometrycznej przy agregacji preferencji różnych ekspertów [249][241].

Metoda **Promethee GDSS** wywodzi się i korzysta bezpośrednio z procedury Promethee II. Metoda Promethee II wykorzystuje porównania parami i relację przewyższania w celu wybrania najlepszej alternatywy decyzyjnej. Wykorzystywane są w niej pozytywne i negatywne przepływy preferencji określające, jak bardzo dany wariant przewyższa inne i jak bardzo jest przewyższany przez inne warianty [222]. W metodzie Promethee II decydent może wybierać spośród sześciu funkcji preferencji.

1) Zwyczajne kryterium, które nie korzysta z progów równoważności i preferencji, wobec czego jest to kryterium prawdziwe. Określają je progi:

- $\varphi_k(a_i, a_j) = 1$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) > 0$  (wartość wariantu  $a_i$  jest większa od wartości wariantu  $a_j$  dla kryterium  $k$ ),
- $\varphi_k(a_i, a_j) = 0$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) \leq 0$  (wartość wariantu  $a_j$  jest większa lub równa wartości wariantu  $a_i$  dla kryterium  $k$ ).

2) Quasi kryterium, oparte na progu równoważności:

- $\varphi_k(a_i, a_j) = 1$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) > q_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest większa od wartości wariantu  $a_j$  dla kryterium  $k$  o więcej, niż wynosi próg równoważności),
- $\varphi_k(a_i, a_j) = 0$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) \leq q_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest mniejsza od wartości wariantu  $a_j$  lub większa o co najwyżej próg równoważności dla kryterium  $k$ ).

3) Kryterium z liniową preferencją, w którym stosowany jest próg preferencji:

- $\varphi_k(a_i, a_j) = 1$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) > p_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest większa od wartości wariantu  $a_j$  dla kryterium  $k$  o więcej, niż wynosi próg preferencji),
- $\varphi_k(a_i, a_j) = \frac{f_k(a_i) - f_k(a_j)}{p_k}$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) \leq p_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest mniejsza od wartości wariantu  $a_j$  lub większa, o co najwyżej próg preferencji dla kryterium  $k$ ).

4) Kryterium poziome, wykorzystujące progi równoważności i preferencji. W kryterium tym zmiany wskaźnika zgodności następują skokowo na wartościach progów. Jest ono opisane jako:

- $\varphi_k(a_i, a_j) = 1$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) > p_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest większa od wartości wariantu  $a_j$  dla kryterium  $k$  o więcej, niż wynosi próg preferencji),
- $\varphi_k(a_i, a_j) = 1/2$ , gdy  $p_k \geq f_k(a_i) - f_k(a_j) > q_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest większa od wartości wariantu  $a_j$  o więcej, niż wynosi próg równoważności, i co najwyżej o wartość progu preferencji dla kryterium  $k$ ),
- $\varphi_k(a_i, a_j) = 0$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) \leq q_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest mniejsza od wartości wariantu  $a_j$  lub większa o co najwyżej próg równoważności dla kryterium  $k$ ).

5) Kryterium z liniową preferencją i obszarem obojętności, które działa podobnie jak kryterium poziome, ale pomiędzy progami równoważności i preferencji wartość wskaźnika zgodności wzrasta liniowo.

- $\varphi_k(a_i, a_j) = 1$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) > p_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest większa od wartości wariantu  $a_j$  dla kryterium  $k$  o więcej, niż wynosi próg preferencji),
- $\varphi_k(a_i, a_j) = \frac{f_k(a_i) - f_k(a_j) - q_k}{p_k - q_k}$ , gdy  $p_k \geq f_k(a_i) - f_k(a_j) > q_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest większa od wartości wariantu  $a_j$  o więcej, niż wynosi próg równoważności, i co najwyżej o wartość progu preferencji dla kryterium  $k$ ),
- $\varphi_k(a_i, a_j) = 0$ , gdy  $f_k(a_i) - f_k(a_j) \leq q_k$  (wartość wariantu  $a_i$  jest mniejsza od wartości wariantu  $a_j$  lub większa o co najwyżej próg równoważności dla kryterium  $k$ ).

6) Kryterium Gaussa, odbiegające od powyższych funkcji preferencji i opisane jako:

- $\varphi_k(a_i, a_j) = 1 - \exp\left(-\frac{(f_k(a_i) - f_k(a_j))^2}{2\sigma^2}\right)$ . Współczynnik  $\sigma$  oznacza tutaj odchylenie standardowe wyliczane z wartości  $f_k(a_i)$  dla każdego z wariantów [26].

Indeks preferencji wariantów wyznaczany jest za pomocą wzoru (4.17):

$$\pi(a_i, a_j) = \frac{\sum_{k=1}^n w_k \cdot \varphi_k(a_i, a_j)}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (4.17)$$

gdzie:

$\varphi_k$  – wskaźnik zgodności dla pary wariantów  $a_i, a_j$  porównywanych względem kryterium  $k$  zgodnie z przyjętą funkcją preferencji,

$w_k$  – waga kryterium  $k$ ,

$n$  – ilość kryteriów.

Pozytywne i negatywne przepływy preferencji obliczane są zgodnie z wzorami (4.18) i (4.19):

$$\phi^+(a_i) = \sum_{j=1}^m \pi(a_i, a_j) \quad (4.18)$$

$$\phi^-(a_i) = \sum_{j=1}^m \pi(a_j, a_i) \quad (4.19)$$

gdzie:

$m$  – ilość wariantów.

W końcowym etapie procedury Promethee II wyznaczany jest całkowity porządek wariantów zgodnie z przepływem preferencji netto opisanym wzorem (4.20):

$$\phi(a_i) = \phi^+(a_i) - \phi^-(a_i) \quad (4.20)$$

W metodzie tej wyróżnia się relacje równoważności i preferencji w szerokim sensie:

- wariant  $a_i$  przewyższa wariant  $a_j$  ( $a_i L a_j$ ), gdy  $\phi(a_i) > \phi(a_j)$ ,
- wariant  $a_i$  jest równoważny wariantowi  $a_j$  ( $a_i I a_j$ ), gdy  $\phi(a_i) = \phi(a_j)$  [83].

Stosowalność i działanie metody Promethee II autor zbadał w pracach [229] [228].

Procedura Promethee GDSS rozszerza funkcjonalność Promethee II o zagadnienie grupowego podejmowania decyzji. Końcowa agregacja ocen poszczególnych decydentów odbywa się tutaj za pomocą metody Promethee II [25]. W procedurze Promethee GDSS następują kolejno: wyznaczenie alternatyw decyzyjnych i kryteriów, indywidualna ocena wariantów przez każdego decydenta, agregacja indywidualnych ocen wariantów w ocenę grupową [198]. Zaleca się tutaj użycie liniowej funkcji preferencji z progiem preferencji  $p=2$  [156] [26].

Poza obliczeniem grupowego rankingu Promethee II, w metodzie Promethee GDSS wykonywana jest także analiza GAIA (ang. Geometrical Analysis for Interactive Assistance). W metodyce GAIA informacje dotyczące  $k$ -kryterialnego problemu decyzyjnego przedstawione w  $k$ -wymiarowej przestrzeni rzutowane są na płaszczyznę, wobec czego część informacji jest tracona. Na płaszczyźnie prezentowany jest m.in. wektor  $J$  wskazujący kompromisowy kierunek wynikający z wag przypisanych poszczególnym decydentom (w ogólnym przypadku - kryteriom) [145]. Alternatywy są reprezentowane przez punkty, a preferencje decydentów symbolizowane są przez wektory. Jeżeli decydenci mają podobne preferencje, wektory zwrócone są w tym samym kierunku, natomiast sprzeczne preferencje skutkują przeciwnymi zwrotami wektorów. Jeżeli nie istnieje powiązanie między preferencjami ekspertów, ich wektory zwrócone są do siebie prostopadle. Długość wektora oznacza siłę reprezentowanych przez niego preferencji. Im koniec wektora jest bliżej określonej alternatywy decyzyjnej, tym bardziej wektor ten wspiera tę alternatywę w rankingu wynikowym. W sytuacji, gdy z analizy GAIA wynika, że preferencje decydentów są między sobą w konflikcie, zalecane są kolejno: zmiana wag przypisanych decydentom, zmiana indywidualnych ocen, zmiana kryteriów, zmiana alternatyw, dodanie kolejnego decydenta. Kolejne czynności są konieczne, jeżeli wcześniejsze nie dają oczekiwanych rezultatów w postaci eliminacji konfliktów [156][26].

Zarówno grupowa metoda AHP, jak i Promethee GDSS są odpowiednie do oceny jakości serwisów internetowych, gdyż rozwiązują one problem porządkowania wariantów decyzyjnych, w związku z czym pozwalają utworzyć ranking serwisów. Ponadto metody te, w przeciwieństwie chociażby do metod z rodziny Electre, nie dopuszczają sytuacji nieporównywalności wariantów, w związku z czym umożliwiają utworzenie pełnego rankingu. Z zastosowaniem, do oceny jakości serwisów, metody AHP wiąże się jednak pewne komplikacje. Przede wszystkim metoda AHP podczas tworzenia rankingu wariantów wymaga, aby eksperci porównywali poszczególne pary wariantów względem każdego kryterium. Nie pozwala ona więc wyznaczyć bezwzględnego poziomu jakości pojedynczego portalu, a umożliwia tylko wyznaczenie poziomu jakości jednego serwisu w odniesieniu do innych. Wobec tego, gdyby do istniejącego porównania witryn chciano dołączyć kolejny serwis lub zamierzano by uaktualnić porównanie w sytuacji, gdy jedna z witryn została zmodyfikowana, eksperci musieliby ponownie badać wszystkie serwisy i je porównywać. Tymczasem zastosowanie w takiej sytuacji (do uzyskania uaktualnionego rankingu) metody

Promethee GDSS wymagałoby tylko tego, aby eksperci ocenili nowy lub zmodyfikowany serwis. Można oczywiście wykorzystać metodę AHP w ten sposób, że najpierw serwisom przypisywano by bezwzględne oceny jakości dla każdego kryterium, a potem konwertowano by je na oceny względne przewag pomiędzy serwisami. Nie taka jest jednak idea użycia metody AHP i nie do takiego zastosowania została ona zbudowana. Ponadto problemem przy użyciu metody AHP jest możliwość wystąpienia niespójności ocen na skutek błędów decydentów oraz konieczności zaokrąglania preferencji do wartości ze zbioru  $\{1/9, \dots, 9\}$ . Wady tej jest pozbawiona metoda Promethee GDSS. Dodatkowo metoda Promethee GDSS dostarcza narzędzie w postaci analizy GAIA, pozwalające w łatwy sposób analizować wyniki działania metody Promethee GDSS pod kątem występowania konfliktów pomiędzy decydentami. GAIA pozwala na badanie „dobroci” uzyskanego rozwiązania i wskazanie kierunków jego ewentualnej poprawy. Wysoka stosowalność metody Promethee GDSS i analizy GAIA w ocenie grupowej została potwierdzona w badaniach przedstawionych w pracach [325] [333]. Z kolei w pracy [319] stwierdzono jej wyższą stosowalność w porównaniu do grupowej metody AHP. Wobec tego w opracowywanym modelu systemu ekspertowego zdecydowano się zastosować metodę Promethee GDSS. Jej zastosowanie umożliwi agregację ocen cząstkowych względem kolejnych kryteriów w ocenę ogólną danego decydenta oraz zagregowanie wyników oceny pojedynczych ekspertów w ocenę grupową. Sama metoda matematyczna Promethee GDSS charakteryzuje się dużą „elegancją”, gdyż opiera się ona w zasadzie na iteracyjnym wykorzystaniu innych procedur z rodziny Promethee. Każdy z decydentów może tutaj samodzielnie określić swoje preferencje w postaci ocen wariantów względem kryteriów oraz wybrać jedną z sześciu funkcji preferencji. Istnieje też możliwość określenia przez każdego decydenta swoich własnych progów obojętności i preferencji. Jeżeli zaś chodzi o poprawę „dobroci” uzyskanego rozwiązania, obok analizy GAIA można do tego celu zastosować także analizę wrażliwości.

#### ***4.4 Reorganizacja i modyfikacja ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych***

Jak zaznaczono w pkt 3.5 niniejszej pracy, zunifikowany model jakości zawarty w ontologii jest nieco chaotyczny. Chaos ten objawia się tym, że pewne kryteria, które wydają się dotyczyć podobnych elementów serwisów internetowych, są zawarte w różnych, niepowiązanych ze sobą charakterystykach. Wobec tego należało zreorganizować zunifikowany model jakości, aby uzyskać bardziej uporządkowaną jego strukturę. Ponadto należało zawrzeć w zintegrowanej ontologii wagi kryteriów oceny jakości serwisów informacyjnych, które to wagi zostały ustalone za pomocą autorskiej metody przedstawionej w pkt. 4.2 pracy. W pkt 4.3 dokonano też wyboru wielokryterialnej metody oceny jakości serwisów internetowych, w związku z czym w ontologii, pełniącej rolę bazy wiedzy opracowywanego systemu ekspertowego, należało wykonać odpowiednie modyfikacje, aby dostosować ją do potrzeb aparatu matematycznego zawartego w metodzie Promethee GDSS.

Aby uporządkować strukturę zunifikowanego modelu jakości, zdecydowano się zastosować metodę analizy czynnikowej. Wprawdzie stosowalność tej metody podczas selekcji kryteriów oceny serwisów została przez autora podważona, jednak analiza czynnikowa może być pomocna podczas konstruowania struktury modelu jakości.

Analiza czynnikowa pozwala na takie przekształcenie danego, często wzajemnie skorelowanego, układu zmiennych, aby uzyskać nowy układ zmiennych (tzw. czynników wspólnych), wzajemnie nieskorelowany, lecz porównywalny z układem wyjściowym [250]. Pod pojęciem analizy czynnikowej rozumie się analizę eksploracyjną i konfirmacyjną. Analiza eksploracyjna stosowana jest w celu zbadania zależności między jawnymi zmiennymi i ukrytymi czynnikami, bez żadnych wstępnych założeń co do powiązań między zmiennymi i czynnikami. Założenia takie są czynione na wstępie konfirmacyjnej analizy czynnikowej, która pozwala na ich weryfikację [75]. Wśród metod eksploracyjnej analizy czynnikowej wyróżnia się m.in. metodę głównych składowych, która znajduje zastosowanie w analizie współzależności zbioru zmiennych i w analizie struktury zbioru obserwacji. Do podstawowych celów klasycznej analizy czynnikowej oraz metody głównych składowych zalicza się m.in.:

- identyfikację ukrytych w zbiorze zmiennych czynników wspólnych,
- redukcję wymiarów przestrzeni zmiennych,
- ortogonalizację przestrzeni, w której są rozpatrywane zmienne,
- transformację układu zmiennych w jakościowo nowy układ czynników głównych,
- identyfikację charakteru zmiennych [289].

Wobec tego zastosowanie analizy czynnikowej, a w szczególności metody głównych składowych, pozwala na dokonanie analizy zbioru zmiennych pod kątem ich współzależności, wyodrębnienie grup zmiennych wzajemnie niezależnych (lub jak najmniej od siebie zależnych) oraz określenie ich struktury.

Badanie struktury kryteriów oceny należących do zunifikowanego modelu jakości wykonano w programie Statistica. Do tego celu wykorzystano moduł eksploracyjnej analizy czynnikowej, a zastosowaną metodą wyodrębniania czynników była analiza składowych głównych. Jako maksymalną liczbę wyodrębnianych czynników ustawiono wartość 67, aby nie narzucać z góry maksymalnej możliwej ilości składowych. Zastosowanym ograniczeniem liczby wyodrębnianych czynników była reguła Kaisera, według której wyodrębniane są tylko takie składniki, którym odpowiadają wartości własne  $>1$ . Dodatkowo podczas wyodrębniania czynników zastosowano znormalizowaną rotację Varimax [262]. Danymi, na których przeprowadzono analizę, były ankiety w części opisującej wagi przyznane poszczególnym kryteriom. Zdecydowano się zastosować do analizy ten fragment ankiety, gdyż jej część, dotycząca ocen poszczególnych serwisów względem kryteriów, dawała gorsze wyniki analizy. Było to spowodowane tym, że oceny serwisów względem niektórych kryteriów opisujących zupełnie inne elementy jakości, jak np. jakości informacji i użyteczność, były ze sobą względnie silnie skorelowane. Wobec tego analiza czynnikowa dawała niektórym kryteriom, dotyczącym różnych wymiarów jakości, wysokie wartości ładunków dla tych samych czynników. Sugerowało to przynależność zupełnie różnych kryteriów do tych samych grup. Efekt ten w najmniejszym stopniu występował w części ankiet dotyczącej wag poszczególnych kryteriów. Zastosowanie tej części wyników ankiet w analizie czynnikowej jest poparte również spostrzeżeniem, że użytkownicy podobnie oceniają istotność kryteriów obejmujących zbliżone obszary jakości. Przykładowo, podobnie oceniają oni wagę istotności i aktualności informacji prezentowanych w serwisie, a już nieco inaczej oceniają wagę kryteriów dotyczących atrakcyjności wyglądu serwisu. Niemniej jednak również przy

wykorzystaniu w analizie wag poszczególnych kryteriów, często widoczny jest efekt osiągania wysokich wartości ładunków dla tych samych czynników przez różne, niepowiązane ze sobą znaczeniowo, kryteria. Wobec tego wyników analizy czynnikowej nie zastosowano arbitralnie, lecz stanowiły one tylko pewną formę pomocy przy reorganizacji struktury kryteriów zunifikowanego modelu jakości. W efekcie zastosowania analizy czynnikowej uzyskano zbiór 16 składowych głównych, z których każda wyjaśnia co najmniej 1% ogółu wariancji, a łącznie wyjaśniają one ponad 72% zmienności. Wyniki analizy czynnikowej, w postaci wartości ładunków czynnikowych uzyskanych przez poszczególne kryteria, zawarte są w tabeli 4.5. W wynikach tych można zaobserwować pewne wzorce, opisujące przynależność kryteriów do poszczególnych grup. Nie są to wzorce jednoznaczne, ale w połączeniu z analizą semantyczną mogły one posłużyć do pogrupowania kryteriów. W wyniku analizy czynnikowej wyodrębniono 14 takich grup kryteriów, przy czym część grup, zdaniem autora, dotyczy podobnych elementów jakości. Pierwsze 5 grup wydaje się dotyczyć użyteczności serwisu, kolejne 3 zespoły kryteriów obejmują jakość informacji i nawigację informacyjną, a następne 5 grup dotyczy usług dostarczanych przez serwisy. Ostatnia już czternasta grupa zawiera kryteria nieprzyporządkowane w wyniku analizy czynnikowej do żadnej z poprzednich grup lub kryteria, które zostały, zdaniem autora, przyporządkowane błędnie. Błędne przyporządkowanie oznacza tutaj wysoki ładunek czynnikowy kryterium  $k$  względem czynnika, obejmującego inne kryteria, niezwiązane znaczeniowo z  $k$ . Przykładem tego rodzaju niewłaściwego przypisania może być wysoka wartość ładunku czynnika 11 dla kryterium K45 („przyjazność użytkownikowi”), gdyż czynnik 11 jest związany z kryteriami dotyczącymi jakości informacji. Niemniej jednak w wyniku analizy czynnikowej wyodrębniono, w przeważającej części poprawne, grupy kryteriów. Przykładem tego jest chociażby grupa piąta, obejmująca kryteria związane z mechanizmem wyszukiwania informacji w serwisie. W strukturze zunifikowanego modelu jakości, zawartego w zintegrowanej ontologii, kryteria te były ułożone w różnych charakterystykach, co przedstawia rysunek 4.6. Tymczasem zastosowanie analizy czynnikowej wykazuje, że kryteria te powinny występować w ramach jednej charakterystyki.



Rysunek 4.6 Położenie w zunifikowanym modelu jakości, zawartym w zintegrowanej ontologii, kryteriów związanych z mechanizmem wyszukiwania informacji w serwisie

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie danych, uzyskanych z wykorzystaniem analizy czynnikowej, zreorganizowano strukturę zunifikowanego modelu jakości, przypisując ponownie kryteria do określonych charakterystyk. Poza analizą czynnikową zastosowano tutaj także analizę semantyczną, aby uniknąć utworzenia błędnych powiązań charakterystyk z kryteriami. W sytuacjach wątpliwych starano się dobrać najodpowiedniejszą, zdaniem autora, charakterystykę opisującą dane kryterium. Wynik reorganizacji struktury kryteriów przedstawia tabela 4.6, w której zawarto, poprzednio istniejące i zdefiniowane na nowo, powiązania kryteriów z charakterystykami jakości.

Tabela 4.5 Ładunki czynnikowe uzyskane przez poszczególne kryteria oceny

| Kryterium | Czynnik                                                       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   |
|-----------|---------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K1        | łatwość nauki obsługi strony                                  |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,70 |      |      |      |      |      |      |      |
| K2        | przejrzystość zrozumiałość interakcji                         | 0,23 |      |      |      |      |      |      |      | 0,83 |      |      |      |      |      |      |      |
| K3        | łatwość nawigacji                                             | 0,27 |      |      |      |      |      |      |      | 0,66 | 0,22 |      |      |      |      |      |      |
| K4        | łatwość użycia                                                |      |      | 0,42 |      | 0,25 |      |      |      | 0,51 |      |      |      |      |      |      |      |
| K23       | czas reakcji przetwarzania transakcji                         | 0,24 |      |      | 0,36 |      |      |      |      | 0,40 |      |      |      |      |      |      | 0,37 |
| K25       | odpowiednia funkcjonalność                                    |      |      |      |      |      |      | 0,38 |      | 0,54 |      |      |      | 0,24 |      |      |      |
| K50       | przejrzysta struktura strony                                  | 0,21 |      |      |      |      |      |      | 0,24 | 0,43 | 0,45 |      |      |      |      | 0,21 | 0,22 |
| K54       | zrozumiałość używanego na stronie języka                      | 0,36 |      | 0,25 | 0,26 |      |      |      |      | 0,35 | 0,35 |      |      |      |      | 0,30 |      |
| K60       | adekwatność funkcji zabezpieczeń                              |      | 0,23 |      |      | 0,43 |      |      |      | 0,39 |      |      |      |      |      | 0,26 | 0,41 |
| K5        | atrakcyjność wyglądu                                          |      |      | 0,78 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| K6        | odpowiedni projekt graficzny                                  | 0,26 | 0,28 | 0,64 |      |      |      |      |      | 0,27 |      |      | 0,21 |      |      |      |      |
| K7        | poczucie kompetencji                                          | 0,49 |      | 0,38 |      |      |      | 0,30 |      | 0,21 |      |      |      |      |      |      |      |
| K8        | pozytywne doznania                                            | 0,32 |      | 0,58 |      |      | 0,29 | 0,23 |      |      |      | 0,23 |      |      |      |      |      |
| K37       | atrakcyjność wizualna elementów strony                        | 0,35 |      |      |      |      |      |      | 0,31 | 0,23 |      | 0,33 |      |      |      | 0,29 | 0,29 |
| K55       | atrakcyjność projektu                                         | 0,26 |      |      |      |      |      |      |      | 0,32 |      | 0,44 |      |      | 0,21 |      | 0,31 |
| K63       | kompletność opisu produktu/usługi                             |      |      |      |      | 0,45 |      |      |      |      |      | 0,50 |      |      |      |      | 0,35 |
| K65       | szczegółowe informacje kontaktowe                             |      |      |      |      |      |      | 0,22 |      |      |      | 0,74 |      |      |      |      |      |
| K36       | wykorzystanie najnowszych technologii                         |      |      |      |      |      |      | 0,20 | 0,71 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| K62       | unikalność zawartości                                         |      |      | 0,22 |      | 0,22 |      |      | 0,68 |      |      | 0,23 |      |      |      |      |      |
| K39       | wewnętrzna wyszukiwarka                                       |      |      |      | 0,58 | 0,36 |      |      | 0,29 |      |      | 0,20 |      |      | 0,23 |      |      |
| K56       | szybkość wyszukiwania informacji za pomocą opcji wyszukiwania |      |      |      |      | 0,53 |      |      |      |      |      | 0,35 | 0,30 |      |      | 0,26 | 0,27 |
| K57       | użyteczność wyników wyszukiwania                              |      |      |      |      | 0,59 |      |      |      |      | 0,22 | 0,34 |      |      |      |      |      |
| K58       | funkcje wyszukiwania dostosowane do potrzeb                   |      | 0,22 |      | 0,60 |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,35 |      |      |      |
| K59       | udogodnienia wyszukiwania                                     |      |      |      | 0,73 |      |      |      |      |      |      |      | 0,30 |      |      |      |      |
| K9        | dokładność informacji                                         | 0,72 |      |      |      |      |      |      |      | 0,25 |      |      |      |      |      |      | 0,24 |
| K10       | wiarygodność informacji                                       | 0,73 |      |      |      |      |      |      |      | 0,27 | 0,22 |      |      |      |      |      |      |
| K43       | obiektywność informacji                                       | 0,43 |      |      |      | 0,24 |      |      |      |      | 0,28 |      |      |      |      |      | 0,30 |
| K47       | natychmiastowe wskazywanie potrzebnych inf.                   | 0,48 |      | 0,20 |      | 0,27 |      |      |      | 0,35 |      | 0,37 |      |      |      |      |      |
| K48       | hiperłącza prowadzące do oczekiwanych inf.                    | 0,58 |      |      | 0,28 |      |      |      | 0,27 |      | 0,26 |      |      |      | 0,21 |      |      |
| K15       | odpowiednia forma informacji                                  | 0,35 |      |      |      |      |      |      | 0,39 |      |      | 0,48 |      |      | 0,27 |      |      |
| K27       | kompletność informacji                                        | 0,41 |      |      |      |      |      |      |      | 0,29 |      | 0,49 |      |      |      |      | 0,22 |
| K40       | wystarczająca zawartość informacji                            | 0,28 |      |      | 0,21 |      |      |      | 0,22 | 0,20 |      | 0,54 |      | 0,24 |      |      |      |
| K46       | bezpośrednie kierowanie do potrzebnych inf.                   | 0,39 |      |      | 0,21 |      |      |      | 0,22 |      |      | 0,58 |      |      |      |      |      |
| K49       | obecność potrzebnych informacji w spodziewanych miejscach     | 0,32 |      |      |      |      |      |      |      | 0,33 |      | 0,39 | 0,28 |      |      | 0,32 | 0,25 |
| K51       | wygodny układ pomagający znaleźć szukane inf.                 |      |      |      |      | 0,24 |      |      |      | 0,21 |      | 0,55 | 0,26 |      |      |      | 0,36 |
| K52       | pomocność informacji                                          | 0,35 |      | 0,26 |      | 0,39 |      |      |      |      | 0,29 | 0,45 |      |      |      |      |      |
| K53       | użyteczność informacji                                        | 0,31 |      |      |      | 0,32 |      |      |      | 0,22 |      | 0,48 |      |      | 0,31 |      | 0,26 |
| K64       | obszerność informacji w stosunku do innych portali            |      |      |      | 0,24 | 0,27 |      |      |      |      |      | 0,34 | 0,44 | 0,33 |      |      |      |
| K11       | aktualność informacji                                         | 0,35 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,69 |
| K12       | istotność informacji                                          | 0,28 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,28 |      |      |      | 0,21 | 0,75 |
| K13       | łatwość zrozumienia informacji                                | 0,36 |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,29 | 0,27 | 0,26 |      |      |      | 0,40 |
| K14       | odpowiednia szczegółowość informacji                          | 0,20 |      | 0,23 |      | 0,22 | 0,25 | 0,28 |      | 0,24 |      | 0,33 |      |      |      |      | 0,42 |
| K28       | informacje specyficzne dla strony                             |      |      |      |      |      |      |      | 0,37 |      |      |      | 0,27 |      |      | 0,28 | 0,32 |
| K17       | bezpieczeństwo transakcji                                     |      |      |      | 0,73 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| K18       | ochrona danych osobowych                                      |      |      |      | 0,49 |      |      |      |      | 0,27 | 0,30 | 0,31 |      |      |      |      |      |
| K24       | dostępność                                                    | 0,34 |      | 0,27 | 0,44 |      |      |      |      | 0,23 |      |      | 0,22 |      |      | 0,28 |      |
| K33       | przewidywanie/odpowiadanie na potrzeby                        |      |      | 0,23 | 0,40 |      |      |      | 0,26 |      |      | 0,33 | 0,26 | 0,27 | 0,33 | 0,26 |      |
| K34       | interesy klientów                                             |      |      | 0,32 | 0,40 | 0,20 |      |      |      |      |      | 0,29 |      |      | 0,33 | 0,38 |      |
| K42       | spójna/zgodna ze standardami reprezentacja                    |      | 0,22 | 0,32 |      |      |      | 0,27 | 0,27 | 0,22 |      |      |      |      | 0,20 |      | 0,28 |
| K19       | personalizacja                                                | 0,23 |      | 0,27 |      |      |      |      | 0,62 |      | 0,21 |      |      |      |      |      |      |
| K20       | poczucie społeczności                                         | 0,35 |      |      |      | 0,28 | 0,26 | 0,49 | 0,27 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| K29       | wzbudzane zaufanie                                            |      |      |      |      |      |      | 0,36 |      | 0,36 |      | 0,33 |      | 0,32 | 0,24 | 0,29 |      |
| K30       | dodatkowe usługi dla użytkowników                             |      |      |      |      |      |      | 0,76 |      |      |      |      | 0,21 |      |      |      |      |
| K38       | łatwość znalezienia w wyszukiwarkach                          |      |      |      | 0,26 |      |      |      | 0,29 | 0,28 |      |      |      | 0,28 | 0,56 |      |      |
| K41       | wartość dodana                                                |      | 0,22 | 0,31 |      |      |      |      | 0,38 |      |      | 0,29 |      |      | 0,48 |      | 0,27 |
| K67       | forum wymiany poglądów/informacji/dyskusyjne                  |      |      |      |      | 0,22 |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,73 | 0,22 |      |
| K22       | pewność/czas dostarczenia obiecanych towarów/usług            |      |      |      |      |      |      | 0,20 |      |      |      |      |      |      |      | 0,70 |      |
| K26       | transakcje wolne od błędów                                    |      |      | 0,22 |      | 0,22 |      | 0,40 |      |      |      |      |      |      |      | 0,53 | 0,22 |
| K31       | niezawodne przetwarzanie usług                                |      |      |      |      |      |      |      | 0,34 | 0,23 |      | 0,24 |      |      |      | 0,57 |      |
| K16       | reputacja                                                     | 0,31 |      | 0,29 | 0,32 |      | 0,49 | 0,21 |      |      |      | 0,26 |      | 0,21 |      |      |      |
| K35       | uprzejma komunikacja z klientami                              | 0,26 | 0,23 |      |      |      | 0,45 |      |      | 0,26 |      | 0,29 |      | 0,24 | 0,21 | 0,26 |      |
| K21       | komunikacja z organizacją                                     |      | 0,78 | 0,24 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| K44       | zobowiązanie zachowania poufności danych osobowych            |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,22 | 0,71 | 0,24 |      |      |      |      |      |
| K45       | przyjazność użytkownikowi                                     |      |      |      | 0,26 |      |      |      |      |      |      | 0,62 | 0,21 |      |      | 0,24 |      |
| K61       | wskazówki na temat produktów/usług                            |      |      | 0,21 |      | 0,27 |      |      | 0,25 |      |      | 0,20 | 0,56 |      |      |      |      |
| K66       | szybkość ładowania strony                                     |      |      |      |      | 0,21 |      |      |      | 0,30 |      |      |      | 0,63 |      |      |      |
| K32       | nierozpraszcianie uwagi                                       | 0,62 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,27 |      |      |      |      |      |

Źródło: opracowanie własne

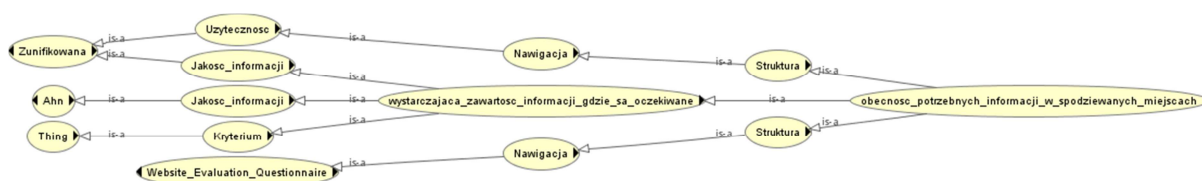


Tabela 4.6 Zdefiniowane na nowo powiązania kryteriów z charakterystykami jakości

| Kryterium |                                                               | Położenie w strukturze „Zunifikowana”                    |                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|           |                                                               | Poprzednie                                               | Nowe                                    |
| K1        | łatwość nauki obsługi strony                                  | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1                              | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1             |
| K2        | przejrzystość zrozumiałość interakcji                         | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1                              |                                         |
| K3        | łatwość nawigacji                                             | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1                              |                                         |
| K4        | łatwość użycia                                                | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1                              |                                         |
| K23       | czas reakcji przetwarzania transakcji                         | Jakosc_systemu                                           |                                         |
| K25       | odpowiednia funkcjonalność                                    | Jakosc_systemu                                           |                                         |
| K50       | przejrzysta struktura strony                                  | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Struktura                    |                                         |
| K54       | zrozumiałość używanego na stronie języka                      | Zawartosc -> Zrozumialosc                                | Uzytecznosc -> Projekt                  |
| K60       | adekwatność funkcji zabezpieczeń                              | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1                              |                                         |
| K5        | atrakcyjność wyglądu                                          | Uzyteczność -> Projekt                                   |                                         |
| K6        | odpowiedni projekt graficzny                                  | Uzyteczność -> Projekt                                   |                                         |
| K7        | poczucie kompetencji                                          | Uzyteczność -> Projekt                                   |                                         |
| K8        | pozytywne doznania                                            | Uzyteczność -> Projekt                                   |                                         |
| K37       | atrakcyjność wizualna elementów strony                        | Uzytecznosc -> Materialnosc                              |                                         |
| K55       | atrakcyjność projektu                                         | Uklad_strony                                             |                                         |
| K63       | kompletność opisu produktu/usługi                             | Adekwatnosc_informacji                                   |                                         |
| K65       | szczegółowe informacje kontaktowe                             | Adekwatnosc_informacji                                   |                                         |
| K36       | wykorzystanie najnowszych technologii                         | Uzytecznosc -> Materialnosc                              | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1             |
| K62       | unikalność zawartości                                         | Przydatnosc_zawartosci                                   |                                         |
| K39       | wewnętrzna wyszukiwarka                                       | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Nawigacja1                   | Uzytecznosc -> Wyszukiwanie             |
| K56       | szybkość wyszukiwania informacji za pomocą opcji wyszukiwania | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Opcje_wyszukiwania           |                                         |
| K57       | użyteczność wyników wyszukiwania                              | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Opcje_wyszukiwania           |                                         |
| K58       | funkcje wyszukiwania dostosowane do potrzeb                   | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1                              |                                         |
| K59       | udogodnienia wyszukiwania                                     | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1                              |                                         |
| K9        | dokładność informacji                                         | Jakosc_informacji                                        | Jakosc_informacji                       |
| K10       | wiarygodność informacji                                       | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K43       | obiektywność informacji                                       | Wiarygodnosc -> Precyzja                                 |                                         |
| K47       | natychmiastowe wskazywanie potrzebnych inf.                   | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Hiperlacza                   |                                         |
| K48       | hiperłącza prowadzące do oczekiwanych inf.                    | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Hiperlacza                   | Jakosc_informacji                       |
| K15       | odpowiednia forma informacji                                  | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K27       | kompletność informacji                                        | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K40       | wystarczająca zawartość informacji                            | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K46       | bezpośrednie kierowanie do potrzebnych inf.                   | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Hiperlacza                   |                                         |
| K49       | obecność potrzebnych informacji w spodziewanych miejscach     | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Struktura /Jakosc_informacji |                                         |
| K51       | wygodny układ pomagający znaleźć szukane inf.                 | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Struktura                    |                                         |
| K52       | pomocność informacji                                          | Zawartosc -> Trafnosc                                    |                                         |
| K53       | użyteczność informacji                                        | Zawartosc -> Trafnosc                                    |                                         |
| K64       | obszerność informacji w stosunku do innych portali            | Adekwatnosc_informacji                                   | Jakosc_informacji                       |
| K11       | aktualność informacji                                         | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K12       | istotność informacji                                          | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K13       | łatwość zrozumienia informacji                                | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K14       | odpowiednia szczegółowość informacji                          | Jakosc_informacji                                        |                                         |
| K28       | informacje specyficzne dla strony                             | Jakosc_informacji                                        | Jakosc_uslug -> Interakcja              |
| K17       | bezpieczeństwo transakcji                                     | Interakcja_z_uslugami -> Zaufanie                        |                                         |
| K18       | ochrona danych osobowych                                      | Interakcja_z_uslugami -> Zaufanie                        |                                         |
| K24       | dostępność                                                    | Jakosc_systemu                                           |                                         |
| K33       | przewidywanie/odpowiadanie na potrzeby                        | Interakcja_z_uslugami -> Jakosc_uslug                    |                                         |
| K34       | interesy klientów                                             | Interakcja_z_uslugami -> Przystepnosc                    |                                         |
| K42       | spójna/zgodna ze standardami reprezentacja                    | Uzytecznosc -> Odpowiednia_prezentacja                   | Jakosc_uslug -> Zaufanie_i_przystepnosc |
| K19       | personalizacja                                                | Interakcja_z_uslugami -> Przystepnosc                    |                                         |
| K20       | poczucie społeczności                                         | Interakcja_z_uslugami -> Przystepnosc                    |                                         |
| K29       | wzbudzane zaufanie                                            | Interakcja_z_uslugami -> Jakosc_uslug                    |                                         |
| K30       | dodatkowe usługi dla użytkowników                             | Interakcja_z_uslugami -> Jakosc_uslug                    | Jakosc_uslug -> Interakcja              |
| K38       | łatwość znalezienia w wyszukiwarkach                          | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Nawigacja1                   |                                         |
| K41       | wartość dodana                                                | Uzytecznosc -> Odpowiednia_prezentacja                   |                                         |
| K67       | forum wymiany poglądów/informacji/dyskusyjne                  | Interakcja                                               | Jakosc_uslug -> Zaufanie_i_przystepnosc |
| K22       | pewność/czas dostarczenia obiecanych towarów/usług            | Interakcja_z_uslugami -> Zaufanie                        |                                         |
| K26       | transakcje wolne od błędów                                    | Jakosc_systemu                                           |                                         |
| K31       | niezawodne przetwarzanie usług                                | Rzetelnosc                                               | Jakosc_uslug -> Zaufanie_i_przystepnosc |
| K16       | reputacja                                                     | Interakcja_z_uslugami -> Zaufanie                        |                                         |
| K35       | uprzejma komunikacja z klientami                              | Interakcja_z_uslugami -> Przystepnosc                    | Jakosc_uslug -> Zaufanie_i_przystepnosc |
| K21       | komunikacja z organizacją                                     | Interakcja_z_uslugami -> Przystepnosc                    |                                         |
| K44       | zobowiązanie zachowania poufności danych osobowych            | Wiarygodnosc -> Bezpieczenstwo                           | Uzytecznosc -> Uzytecznosc1             |
| K45       | przyjazność użytkownikowi                                     | Uzytecznosc -> Nawigacja -> Latwosc_uzycia               |                                         |
| K61       | wskazówki na temat produktów/usług                            | Przydatnosc_zawartosci                                   | Uzytecznosc -> Projekt                  |
| K66       | szybkość ładowania strony                                     | Dostepnosc                                               |                                         |
| K32       | nierozpraszcianie uwagi                                       | Interakcja_z_uslugami -> Przystepnosc                    |                                         |

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 4.6 niejasna może wydawać się sytuacja kryterium K49, związana z faktem jego przynależności, w poprzednim zunifikowanym modelu jakości, do dwóch charakterystyk, tj. „Struktura” i „Jakosc\_informacji”. Przynależność do charakterystyki „Struktura” wynikała bezpośrednio z faktu, że w ontologii „WEQ”, z której pochodzi kryterium K49, należało ono właśnie do tej charakterystyki. Ponadto w trakcie integracji ustalono subsumpcję pomiędzy tym kryterium i cechą „wystarczajaca\_zawartosc\_informacji\_gdzie\_sa\_oczekiwane” (porównaj: tabela 3.18). Z kolei cecha ta należy do charakterystyki „Jakosc\_informacji”, co wynika z budowy ontologii Ahn. Wobec tego zachodzi sytuacja przedstawiona na rysunku 4.7. Jednak, dzięki zastosowaniu analizy czynnikowej, również ten element zunifikowanego modelu jakości został poprawiony, poprzez przypisanie kryterium K49 do charakterystyki „Jakosc\_informacji”, do której należy również kryterium nadrzędne dla K49.

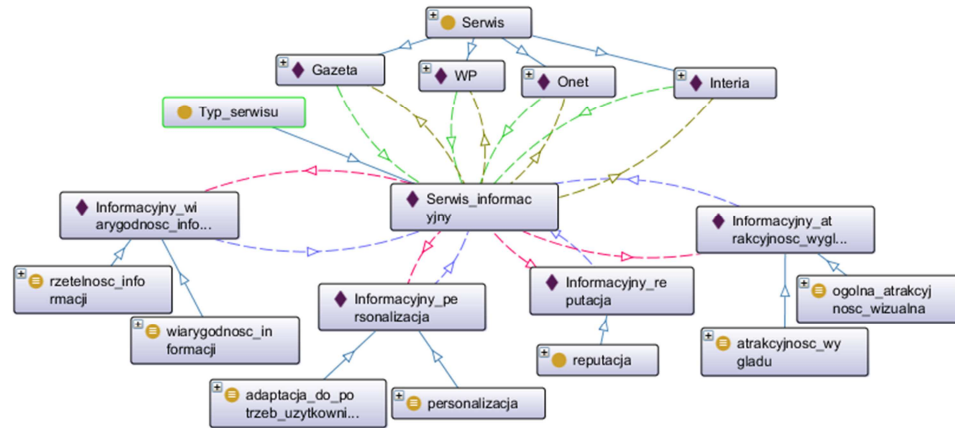


Rysunek 4.7 Przynależność kryterium K49 jednocześnie do dwóch charakterystyk jakości  
Źródło: opracowanie własne

Obok reorganizacji zunifikowanego modelu jakości, w zintegrowanej ontologii należało także ująć wagi kryteriów ustalone w pkt 4.2 pracy. Przed zapisaniem wag kryteriów w ontologii wagi zostały znormalizowane do wartości jednostkowej poprzez podzielenie każdej z wag przez ich sumę. Ponadto, ze względu na to, że ustalone wagi obejmują wartość z zakresu [0,1], zmodyfikowano ograniczenie wartości wag, zawarte w ontologii jako atrybut klasy „Kryterium”, na taki właśnie zakres (porównaj: tabela 3.7). Dotychczas wagi kryteriów były zawarte w ontologii jako wartości atrybutów klas „maWartoscWagi” dla conceptów reprezentujących poszczególne kryteria (porównaj: tabela 3.7). Niemniej jednak przedstawiona w pkt 4.2 metoda selekcji kryteriów i określania ich wag dla oceny różnego rodzaju serwisów internetowych dała pewne nowe możliwości. Mianowicie pojawiła się możliwość zawarcia w ontologii profili serwisów, określających istotne kryteria oceny i ich wagi, dla oceny konkretnych typów serwisów. Rozwiązanie takie, dzięki „bogactwu” kryteriów oceny zawartych w ontologii, umożliwiłoby w przyszłości rozbudowę ontologii o wagi kryteriów, np. dla serwisów handlowych, bankowych, administracji publicznej, etc. Konieczne przy tym byłoby pozyskanie wag kryteriów dla tego typu profili, zgodnie z metodą przedstawioną w pkt 4.2. Ze względu na potencjał omawianego rozwiązania autor zdecydował się na jego realizację w ontologii.

Zaimplementowanie profili serwisów w zintegrowanej ontologii wymagało jej reorganizacji. Mianowicie należało usunąć atrybuty klas „maWartoscWagi” zawarte w conceptach odzwierciedlających kryteria oceny jakości. Działanie to było konieczne z tego względu, że w sytuacji, gdy wagi funkcjonowałyby w ontologii jako wskazane atrybuty klas, byłyby one nierozróżnialne dla różnych typów serwisów. Zamiast tego poszczególne wagi kryteriów zostały zawarte w postaci instancji conceptów opisujących kryteria oceny jakości. Ponadto do ontologii dodano concept „Typ\_serwisu” i jego instancje reprezentujące różne typy serwisów oraz powiązano instancje wag kryteriów i typów serwisów odpowiednimi

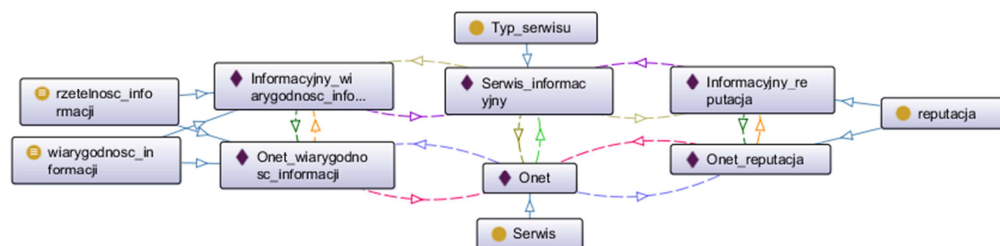
relacjami, tj. „jestKryteriumTypuSerwisu” i „maKryteriumOceny”. Dodatkowo należałoby powiązać, zawarte w przyszłości w ontologii, wystąpienia konkretnych serwisów internetowych z instancjami opisującymi typy serwisów. Powiązania te można zrealizować za pomocą relacji „jestSerwisemTypu” i „okreslaSerwis”. Całościowo koncepcję tego rozwiązania przedstawiono na rysunku 4.8.



Rysunek 4.8 Koncepcja zawarcia w ontologii profili wag dla oceny różnego rodzaju serwisów  
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 4.8 przedstawiono koncept „Typ\_serwisu” oraz instancję tego konceptu, określającą typ „Serwis\_informacyjny”. Ten typ serwisów powiązany jest relacjami „jestKryteriumTypuSerwisu” (kolor niebieski) i „maKryteriumOceny” (kolor czerwony), z wystąpieniami przykładowych kryteriów oceny, opisującymi wagi kryteriów stosowane przy ocenie serwisów informacyjnych. Dodatkowo instancja typu serwisów „Serwis\_informacyjny” powiązana jest z czterema serwisami tego rodzaju poprzez relacje „okreslaSerwis” (kolor żółty) i „jestSerwisemTypu” (kolor zielony).

Wprowadzenie wag kryteriów w postaci instancji spowodowało konieczność powiązania wystąpień opisujących oceny kryterialne serwisów z instancjami określającymi wagi kryteriów. Zrealizowano to za pomocą nowych relacji „jestWaga” i „maWage”. Działanie to zostało zobrazowane na rysunku 4.9.



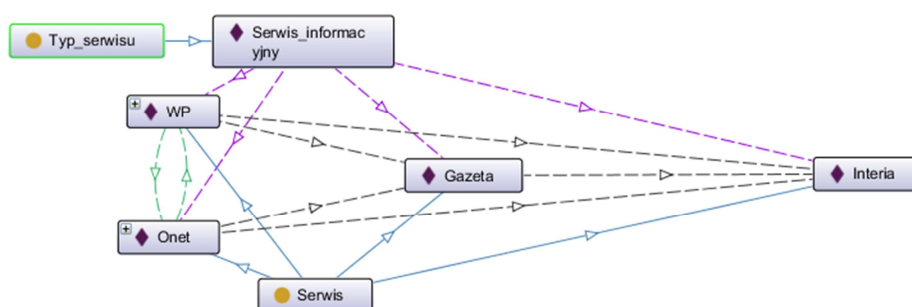
Rysunek 4.9 Przykładowe instancje ocen kryterialnych dla serwisu Onet  
Źródło: opracowanie własne

Rysunek 4.9 przedstawia przykładowy serwis internetowy „Onet” oraz dwa wybrane kryteria jego oceny, tj.: „wiarygodnosc\_informacji” i „reputacja”, powiązane z serwisem „Onet” relacjami „maOceny” (kolor niebieski) i „jestOcena” (kolor czerwony). W instancjach tych kryteriów, powiązanych bezpośrednio z serwisem „Onet”, zawarte są atrybuty opisujące wartości ocen przyznanych temu serwisowi względem kryteriów. Z kolei w instancjach powiązanych z typem serwisu „Serwis\_informacyjny” za pomocą relacji

„jestKryteriumTypuSerwisu” (kolor fioletowy) i „maKryteriumOceny” (kolor złoty), zawarte są wagi kryteriów. Instancje ocen powiązane zostały z instancjami wag poprzez relacje „maWage” (kolor pomarańczowy) i „jestWaga” (kolor zielony).

Obok reorganizacji zunifikowanego modelu jakości i modyfikacji związanych z wprowadzeniem wag dla profili serwisów, zintegrowaną ontologię zaadaptowano w taki sposób, aby umożliwiała ona współpracę z metodą Promethee GDSS. Dostosowanie ontologii do potrzeb metody Promethee GDSS polegało na zastąpieniu atrybutów „maWartoscOceny”, zawartych w instancjach ocen serwisów względem poszczególnych kryteriów, atrybutami opisującymi oceny przyznane przez poszczególnych ekspertów, np. „maWartoscOcenyDM1”, „maWartoscOcenyDM2” itd. (porównaj: tabela 3.6). Atrybuty te zawarte zostały w instancjach poszczególnych kryteriów, które to instancje mają na celu opisywanie ocen serwisów względem kryteriów. Przykładowe instancje ocen kryterialnych dla serwisu Onet zawarto na rysunku 4.9. W ontologii zawarto też atrybuty opisujące, otrzymane w wyniku zastosowania metody Promethee GDSS, przepływy preferencji netto. Atrybuty opisujące przepływy preferencji netto otrzymane dla pojedynczych ekspertów nazwano „maWartoscPPNDM1”, „maWartoscPPNDM2” itd. Atrybut zawierający wartość oceny grupowej nazwano natomiast „maWartoscPPN”. Atrybuty te zawarte zostały w instancjach reprezentujących oceniane serwisy (np. „Onet”).

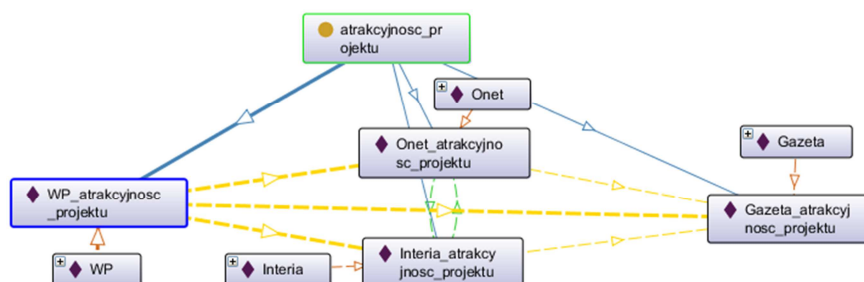
W ontologii zawarte zostały także relacje charakteryzujące, otrzymaną w wyniku oceny grupowej, relację równoważności i preferencji w szerokim sensie, tj. „jestRownowazny”, „jestPrzewyzzszanyPrzez” i „przewyzzsza”. Analogiczne relacje zostały zdefiniowane dla ocen indywidualnych, np. „jestRownowaznyDM1”. Relacje te opisują więc indywidualne i grupowe rankingi serwisów. Poza opisywaniem globalnego przewyzzszania jednego serwisu przez inny, w/w relacje wykorzystano również do opisu wzajemnego przewyzzszania się ocen kryterialnych poszczególnych serwisów, które to oceny zostały przyznane przez określonego decydenta. Przykład zastosowania relacji przewyzzszania dla serwisów zawarto na rysunku 4.10, który zawiera instancje czterech serwisów internetowych powiązanych relacją „przewyzzsza” (kolor brązowy) i „jestRownowazny” (kolor zielony).



Rysunek 4.10 Instancje serwisów internetowych powiązane relacjami przewyzzszania

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 4.11 przedstawiono zaś przykład powiązania, za pomocą relacji przewyzzszania, instancji ocen kryterialnych różnych serwisów internetowych. Zostały tutaj zobrazowane przewyzzszania zachodzące między ocenami jednego z decydentów dla kryterium „atrakcyjnosc\_projektu”. Konkretnie są to relacje „przewyzzsza” (kolor złoty) oraz „jestRownowazny” (kolor zielony).



Rysunek 4.11 Instancje ocen kryterialnych serwisów powiązane relacjami przewyższania  
Źródło: opracowanie własne

Należy zaznaczyć, że ze względu na fakt, iż relacje przewyższania opisują zarówno powiązania między serwisami internetowymi, jak również związki między ocenami kryterialnymi, nie zdefiniowano ich dziedziny oraz zasięgu.

Relacje przewyższania nie są w ontologii zapisywane na stałe, lecz są one generowane przez mechanizm wnioskujący, na podstawie wartości ocen kryterialnych i przepływów preferencji netto oraz w oparciu o reguły zapisane w ontologii. Reguły te zostały sformułowane w języku SWRL, a część z nich przedstawia tabela 4.7. W tabeli 4.7 zawarto reguły generujące relację przewyższania na podstawie oceny grupowej i ocen decydenta DM1, natomiast pozostałe reguły, nieujęte w tabeli 4.7, generują relacje przewyższania dla ocen kolejnych decydentów. Reguły 1-4 dotyczą globalnej relacji przewyższania zachodzącej pomiędzy ocenianymi serwisami, a dwie kolejne opisują preferencje decydenta DM1 odnośnie do poszczególnych ocen kryterialnych serwisów. Reguły języka SWRL opracowano na podstawie analizy publikacji dotyczących tego języka [209] [208] [70] [118].

Tabela 4.7 Reguły języka SWRL, na podstawie których mechanizm wnioskujący ustala występowanie relacji przewyższania dla ocen kryterialnych i dla serwisów

| L.p. | Ciało reguły                                                                                                                                                                                                              | Głowa reguły                       |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1.   | Serwis(?s1), Serwis(?s2), jestSerwisemTypu(?s1,?t1), jestSerwisemTypu(?s2,?t2), SameAs(?t1,?t2), maWartoscPPN(?s1,?ppn1), maWartoscPPN(?s2,?ppn2), equal(?ppn1,?ppn2), DifferentFrom(?s1,?s2)                             | jestRownowazny(?s1,?s2)            |
| 2.   | Serwis(?s1), Serwis(?s2), jestSerwisemTypu(?s1,?t1), jestSerwisemTypu(?s2,?t2), SameAs(?t1,?t2), maWartoscPPN(?s1,?ppn1), maWartoscPPN(?s2,?ppn2), greaterThan(?ppn1,?ppn2)                                               | jestPrzewyzzszanyPrzez(?s2,?s1)    |
| 3.   | Serwis(?s1), Serwis(?s2), jestSerwisemTypu(?s1,?t1), jestSerwisemTypu(?s2,?t2), SameAs(?t1,?t2), maWartoscPPNDM1(?s1,?ppn1), maWartoscPPNDM1(?s2,?ppn2), equal(?ppn1,?ppn2), DifferentFrom(?s1,?s2)                       | jestRownowaznyDM1(?s1,?s2)         |
| 4.   | Serwis(?s1), Serwis(?s2), jestSerwisemTypu(?s1,?t1), jestSerwisemTypu(?s2,?t2), SameAs(?t1,?t2), maWartoscPPNDM1(?s1,?ppn1), maWartoscPPNDM1(?s2,?ppn2), greaterThan(?ppn1,?ppn2)                                         | jestPrzewyzzszanyPrzezDM1(?s2,?s1) |
| 5.   | Serwis(?s1), Serwis(?s2), maOcene(?s1,?k1), maOcene(?s2,?k2), maWage(?k1,?wk1), maWage(?k2,?wk2), maWartoscOcenyDM1(?k1,?o1), maWartoscOcenyDM1(?k2,?o2), equal(?o1,?o2), SameAs(?wk1,?wk2), DifferentFrom(?s1,?s2)       | jestRownowaznyDM1(?k2,?k1)         |
| 6.   | Serwis(?s1), Serwis(?s2), maOcene(?s1,?k1), maOcene(?s2,?k2), maWage(?k1,?wk1), maWage(?k2,?wk2), maWartoscOcenyDM1(?k1,?o1), maWartoscOcenyDM1(?k2,?o2), greaterThan(?o1,?o2), SameAs(?wk1,?wk2), DifferentFrom(?s1,?s2) | jestPrzewyzzszanyPrzezDM1(?k2,?k1) |

Źródło: opracowanie własne

Wprowadzone w ontologii modyfikacje spowodowały, że jej budowa, w porównaniu do zintegrowanych w niej ontologii źródłowych, znacząco się zmieniła. W tabelach 4.8-4.11 za pomocą kursywy przedstawiono najważniejsze zmiany wprowadzone do ontologii. Część słownika konceptów, występujących w zmodyfikowanej ontologii, przedstawia tabela 4.8 (porównaj: tabela 3.4). Relacje zawarte w ostatecznej postaci ontologii wraz z przykładowymi instancjami zostały zaś ujęte w tabeli 4.9 (porównaj: tabela 3.9).

Tabela 4.8 Fragment słownika konceptów dla zmodyfikowanej ontologii zintegrowanej

| Nazwa konceptu    | Przykładowe instancje  | Atrybuty klas                                                  | Atrybuty instancji                                        | Relacje                                                                                                                                                       |
|-------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| reputacja         | Onet_reputacja         | -                                                              | maWartoscOcenyDM1<br>maWartoscOcenyDM2<br>...             | jestKryterium<br>jestOcena<br>maWage<br>przewyższaDM1<br>jestPrzewyższanyPrzezDM1<br>jestRownowaznyDM1<br>...                                                 |
|                   | Informacyjny_reputacja | -                                                              | maWartoscWagi                                             | jestKryterium<br>jestWaga<br>jestKryteriumTypuSerwisu                                                                                                         |
| Jakosc_informacji | -                      | -                                                              | -                                                         | maKryterium                                                                                                                                                   |
| Kryterium         | -                      | maWartoscWagi<br>maWartoscOcenyDM1<br>maWartoscOcenyDM2<br>... | -                                                         | -                                                                                                                                                             |
| Serwis            | Onet                   | -                                                              | maWartoscPPN<br>maWartoscPPNDM1<br>maWartoscPPNDM2<br>... | maOcene<br>jestSerwisemTypu<br>przewyższa<br>przewyższaDM1<br>jestPrzewyższanyPrzez<br>jestPrzewyższanyPrzezDM1<br>jestRownowazny<br>jestRownowaznyDM1<br>... |
| Typ_serwisu       | Serwis_informacyjny    | -                                                              | -                                                         | okreslaSerwis<br>maKryteriumOceny                                                                                                                             |
| Zunifikowana      | -                      | -                                                              | -                                                         | -                                                                                                                                                             |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4.9 Definicje relacji binarnych zawartych w zmodyfikowanej ontologii zintegrowanej

| Nazwa relacji                                      | Koncept źródłowy                                                          | Liczność                     | Koncept docelowy                                                       | Właściwości            | Relacja odwrotna             |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| jestKryterium<br>(war. konieczny)                  | [Kryterium]<br>dziedzina niezdefiniowana                                  | N (kwant.<br>egzystencjalna) | [Jakosc]<br>zasięg niezdefiniowany                                     | -                      | ma Kryterium                 |
| maKryterium<br>(war. konieczny)                    | [Jakosc]<br>dziedzina niezdefiniowana                                     | N (kwant.<br>egzystencjalna) | [Kryterium]<br>zasięg niezdefiniowany                                  | -                      | jest Kryterium               |
| maKryterium<br>(war. konieczny<br>i wystarczający) | [Jakosc]<br>dziedzina niezdefiniowana                                     | 1 (kwant.<br>uniwersalna)    | [Jakosc]<br>zasięg niezdefiniowany                                     | -                      | jest Kryterium               |
| jestOcena                                          | [Kryterium]<br>Onet_reputacja                                             | -                            | [Serwis]<br>Onet                                                       | Funkcyjna              | maOcene                      |
| maOcene                                            | [Serwis]<br>Onet                                                          | -                            | [Kryterium]<br>Onet_reputacja                                          | Odwrotnie<br>funkcyjna | jestOcena                    |
| maWage                                             | [Kryterium]<br>Onet_reputacja                                             | -                            | [Kryterium]<br>Informacyjny_reputacja                                  | -                      | jestWaga                     |
| jestWaga                                           | [Kryterium]<br>Informacyjny_reputacja                                     | -                            | [Kryterium]<br>Onet_reputacja                                          | -                      | maWage                       |
| maKryterium<br>Oceny                               | [Typ_serwisu]<br>Serwis_informacyjny                                      | -                            | [Kryterium]<br>Informacyjny_reputacja                                  | Odwrotnie<br>funkcyjna | jestKryterium<br>TypuSerwisu |
| jestKryterium<br>TypuSerwisu                       | [Kryterium]<br>Informacyjny_reputacja                                     | -                            | [Typ_serwisu]<br>Serwis_informacyjny                                   | Funkcyjna              | maKryterium<br>Oceny         |
| okreslaSerwis                                      | [Typ_serwisu]<br>Serwis_informacyjny                                      | -                            | [Serwis]<br>Onet                                                       | -                      | jestSerwisemTypu             |
| jestSerwisemTypu                                   | [Serwis]<br>Onet                                                          | -                            | [Typ_serwisu]<br>Serwis_informacyjny                                   | -                      | okreslaSerwis                |
| przewyższa                                         | [Serwis] Onet<br>[Kryterium] Onet_reputacja<br>dziedzina niezdefiniowana  | -                            | [Serwis] Interia<br>[Kryterium] WP_reputacja<br>zasięg niezdefiniowany | -                      | jestPrzewyższany<br>Przez    |
| jestPrzewyższany<br>Przez                          | [Serwis] Interia<br>[Kryterium] WP_reputacja<br>dziedzina niezdefiniowana | -                            | [Serwis] Onet<br>[Kryterium] Onet_reputacja<br>zasięg niezdefiniowany  | -                      | przewyższa                   |
| jestRownowazny                                     | [Serwis] Onet<br>[Kryterium] Onet_reputacja<br>dziedzina niezdefiniowana  | -                            | [Serwis] Interia<br>[Kryterium] WP_reputacja<br>zasięg niezdefiniowany | -                      | -                            |

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 4.10 zawarto natomiast definicje, zastosowanych w ontologii, atrybutów instancji (porównaj: tabela 3.6).

*Tabela 4.10 Definicje atrybutów instancji dla zmodyfikowanej ontologii zintegrowanej*

| Nazwa atrybutu instancji                                                       | Nazwa konceptu                                                | Typ wartości | Zakres wartości | Liczność |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|----------|
| <i>maWartoscOcenyDM1</i><br><i>maWartoscOcenyDM2</i><br>...                    | [Kryterium]<br>reputacja<br>Instancja: Onet_reputacja         | integer      | 1 ... 7         | (1,1)    |
| <i>maWartoscWagi</i>                                                           | [Kryterium]<br>reputacja<br>Instancja: Informacyjny_reputacja | double       | 0.0 ... 1.0     | (1,1)    |
| <i>maWartoscPPN</i><br><i>maWartoscPPNDM1</i><br><i>maWartoscPPNDM2</i><br>... | Serwis<br>Instancja: Onet                                     | double       | 0.0 ... 1.0     | (1,1)    |

*Źródło: opracowanie własne*

Tabela 4.11 zawiera z kolei najważniejsze definicje atrybutów klas dla zintegrowanej ontologii, przy czym w tabeli nie zawarto atrybutów pełniących rolę ograniczeń liczności (porównaj: tabela 3.7).

*Tabela 4.11 Definicje atrybutów klas dla ontologii eQual*

| Nazwa atrybutu klas                                         | Nazwa konceptu | Typ wartości | Zakres wartości | Liczność                      |
|-------------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------|-------------------------------|
| <i>maWartoscWagi</i>                                        | Kryterium      | double       | 0.0 ... 1.0     | 1 (kwantyfikacja uniwersalna) |
| <i>maWartoscOcenyDM1</i><br><i>maWartoscOcenyDM2</i><br>... | Kryterium      | integer      | 1 ... 7         | 1 (kwantyfikacja uniwersalna) |

*Źródło: opracowanie własne*

Ontologia w przedstawionej powyżej postaci będzie stanowiła bazę wiedzy modelu systemu ekspertowego, którego opracowanie stanowi cel pracy. Podczas budowy struktury bazy wiedzy zastosowano szereg metod, metodologii i technik, z których najważniejszymi są:

- teoria i inżynieria ontologii, w tym m.in.: metodologie budowy ontologii Methontology i NeOn, języki OWL2, SWRL i logika opisowa, metody integracji ontologii,
- metody uczenia maszynowego, takie jak: metody selekcji cech oparte na procedurach filtracyjnych, analiza czynnikowa i metody klasyfikacji,
- metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji, a w szczególności metoda Promethee GDSS.

Wykorzystując wyżej wymienione elementy, sformułowano autorskie metody i algorytmy, zastosowane podczas budowy i integracji ontologii oraz wykorzystane w celu selekcji i ustalenia wag kryteriów oceny serwisów informacyjnych. Opracowana baza wiedzy zawiera strukturę kryteriów oceny jakości serwisów internetowych, z której eksperci mogą wybierać kryteria oceny serwisów. Ponadto w bazie wiedzy zawarte są predefiniowane wagi kryteriów, które mogą być zastosowane podczas oceny określonego typu serwisów. Baza wiedzy jest też przystosowana do oceny jakości serwisów z wykorzystaniem grupowej metody wspomaganie decyzji Promethee GDSS. W oparciu o skonstruowaną bazę wiedzy oraz opracowane metody i techniki można więc zaprojektować model systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. Struktura takiego systemu oraz analiza jego stosowalności zawarte są w rozdziale 5 niniejszej pracy.

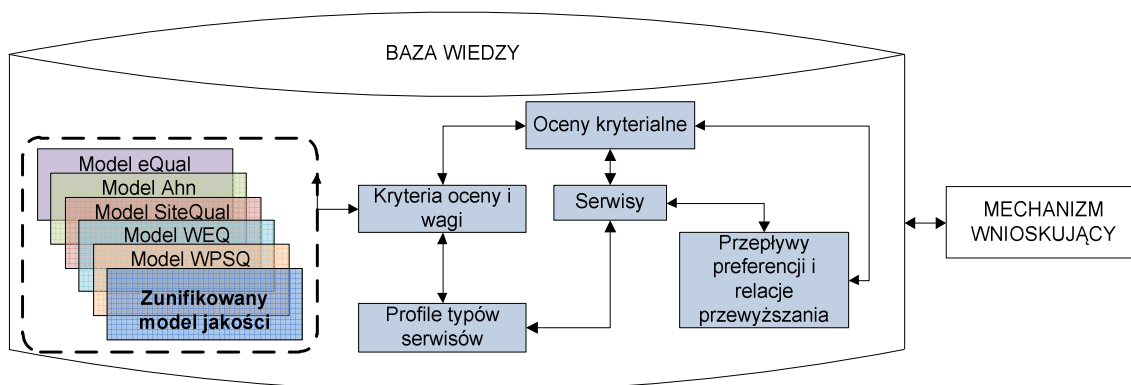


## Rozdział V. Model systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych

### 5.1 Model systemu ekspertowego i jego zasilenia informacyjne

System ekspertowy jest komputerowym, interaktywnym narzędziem decyzyjnym, wykorzystującym fakty i analizę heurystyczną w celu rozwiązywania trudnych problemów decyzyjnych w oparciu o wiedzę zdobytą od eksperta. System ekspertowy powinien być w stanie przeprowadzać wnioskowanie i uzyskiwać konkluzje. Powinien on też umożliwiać wyjaśnianie rozumowania, które doprowadziło do uzyskania konkluzji [33]. Definicja ta pozwala uznać, że zbudowana ontologia i zastosowany w niej mechanizm wnioskujący tworzą system ekspertowy. Ontologia stanowi bazę wiedzy systemu, natomiast mechanizm wnioskujący zajmuje się przeprowadzaniem wnioskowania, uzyskiwaniem konkluzji i nowych faktów, a także potrafi wyjaśnić konkluzje za pomocą szeregu przesłanek. Przykłady wnioskowania realizowanego przez mechanizm wnioskujący zostały zawarte chociażby w pkt 3.2 (rys. 3.5-3.9 i 3.11 oraz wyrażenia 3.1-3.6) i 3.4 (wyrażenia 3.18-3.29) niniejszej pracy, gdzie wyjaśniano konkluzje mechanizmu wnioskującego dotyczące struktury ontologii. Ponadto mechanizm wnioskujący odpowiada również m.in. za generowanie odpowiedzi ontologii na pytania kompetencyjne (rys. 3.12) i za wywnioskowanie postaci struktur ontologii źródłowych, które to postacie zawarte zostały w załącznikach 3.1b) – 3.8b). W ostatecznej postaci ontologii mechanizm wnioskujący w podobnym zakresie odpowiada za wywnioskowanie jej struktury i odpowiedzi na kierowane do niej pytania, a dodatkowo za określanie relacji przewyższania na podstawie reguł zapisanych w bazie wiedzy.

Jeżeli chodzi o samą budowę modelu systemu ekspertowego, to, jak zaznaczono wyżej, w zasadniczej części składa się on z dwóch podstawowych elementów tj. bazy wiedzy i mechanizmu wnioskującego. Należy przy tym zaznaczyć, że baza wiedzy zawiera: szereg modeli jakości, kryteria oceny i ich wagi według profili typów serwisów, oceny cząstkowe serwisów i wyniki oceny uzyskane za pomocą metody Promethee GDSS. Z kolei mechanizm wnioskujący zajmuje się wnioskowaniem oraz uzyskiwaniem i wyjaśnianiem konkluzji. Strukturę modelu systemu ekspertowego oraz powiązania pomiędzy elementami bazy wiedzy przedstawia rysunek 5.1.



Rysunek 5.1 Struktura podstawowej części modelu systemu ekspertowego

Źródło: opracowanie własne



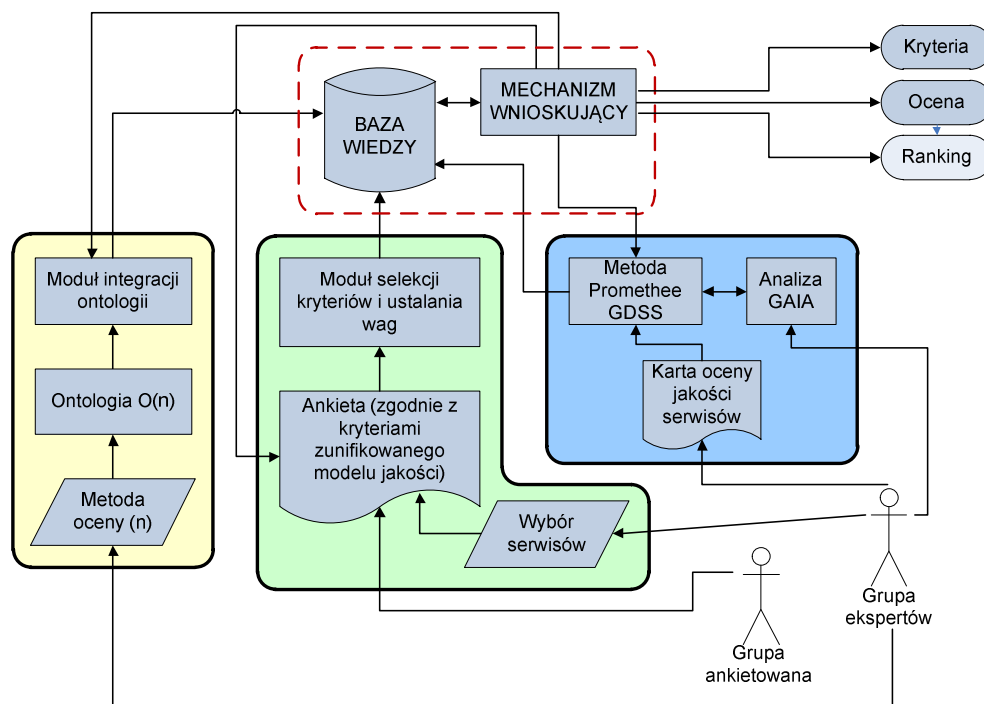
Podkreślenia wymaga fakt, że przedstawiona na rysunku 5.1 struktura, w przeciwieństwie do wielu tego typu struktur zawartych w pracach naukowych, ma nie tylko postać teoretyczną. Model ten został zaimplementowany w praktyce, co pozwoliło zweryfikować poprawność jego budowy i działania oraz poprawić ewentualne błędy i nieścisłości w nim występujące (patrz: pkt 3.2).

Jeżeli chodzi o zasilenia informacyjne systemu, to wyróżnić można ich trzy rodzaje:

- 1) Zasilenia w zakresie nowych kryteriów i modeli oceny jakości. Tego rodzaju zasilenia polegają na integracji nowych ontologii metod oceny jakości serwisów w bazie wiedzy. Umożliwiają one zawarcie w bazie wiedzy nowych kryteriów i nowych modeli oceny jakości, wywodzących się z kolejnych metod oceny jakości serwisów. Zasilenia tego rodzaju wymagają zbudowania ontologii dla wybranej metody oceny zgodnie z przykładem zawartym w pkt 3.2 niniejszej pracy. Następnie należy przeprowadzić integrację zbudowanej ontologii źródłowej z bazą wiedzy systemu w taki sposób, jak pokazano to w pkt 3.5 rozprawy. Ostatnim krokiem wymaganym podczas tego rodzaju zasilenia jest modyfikacja zunifikowanego modelu jakości tak, jak pokazano to w pkt 4.4 pracy.
- 2) Zasilenia w zakresie dodania nowych, i aktualizacji istniejących w bazie, profili typów serwisów internetowych. Zasilenia te obejmują kryteria i ich wagi, służące ocenie serwisów określonego rodzaju. Zasilenie systemu tego rodzaju informacjami wymaga przeprowadzenia badania ankietowego, polegającego na ocenie przez użytkowników kilku serwisów wybranego typu. Następnie wyniki badania powinny zostać przeanalizowane z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego, a w szczególności metod selekcji cech. System ekspertowy powinien zostać zasilony uzyskanymi w ten sposób informacjami, obejmującymi podzbiór kryteriów, który zapewnia odpowiednio wysokie wyniki klasyfikacji oraz niski poziom bezwzględnego średniego odchylenia. Zasilenie to wymaga wprowadzenia do bazy wiedzy informacji zarówno o kryteriach i ich wagach, jak również o profilu typu serwisów, którego dotyczą wyselekcjonowane kryteria i ich wagi. (patrz: pkt 4.2 i 4.4 pracy).
- 3) Zasilenia polegające na dodaniu informacji o nowej ocenie serwisów. Zasilenia dotyczące nowego procesu oceny serwisów wymagają wprowadzenia do bazy wiedzy ocen cząstkowych serwisów i przepływów preferencji netto, wyznaczonych dla poszczególnych serwisów z wykorzystaniem metody Promethee GDSS. Na podstawie tego typu informacji mechanizm wnioskujący, z wykorzystaniem reguł SWRL zawartych w bazie, generuje relacje przewyższania. Zasilenie takie może wymagać również wprowadzenia do bazy, poza ocenami i wartościami przepływów preferencji serwisów, informacji o samych serwisach oraz powiązania ich z określonym profilem typu serwisów (patrz: pkt 4.4 niniejszej rozprawy).

Każde z tych zasileń wprowadza do bazy wiedzy nowe informacje, na podstawie których mechanizm wnioskujący może generować nowe fakty. Zasilenia te wymagają również wykonania w pewnym stopniu reorganizacji bazy wiedzy w taki sposób, jak zaprezentowano to w pkt 4.4 pracy. Uwzględniając wymienione rodzaje zasileń informacyjnych, można przedstawić model systemu ekspertowego jako strukturę bardziej rozbudowaną w stosunku do

tej, która została zawarta na rysunku 5.1. Strukturę obejmującą model systemu ekspertowego i jego najbliższe otoczenie, wraz ze źródłami zasilenia informacyjnych, ujęto na rysunku 5.2.



Rysunek 5.2 Struktura modelu systemu ekspertowego z uwzględnieniem źródeł jego zasilenia informacyjnych i informacji wyjściowych

Źródło: opracowanie własne

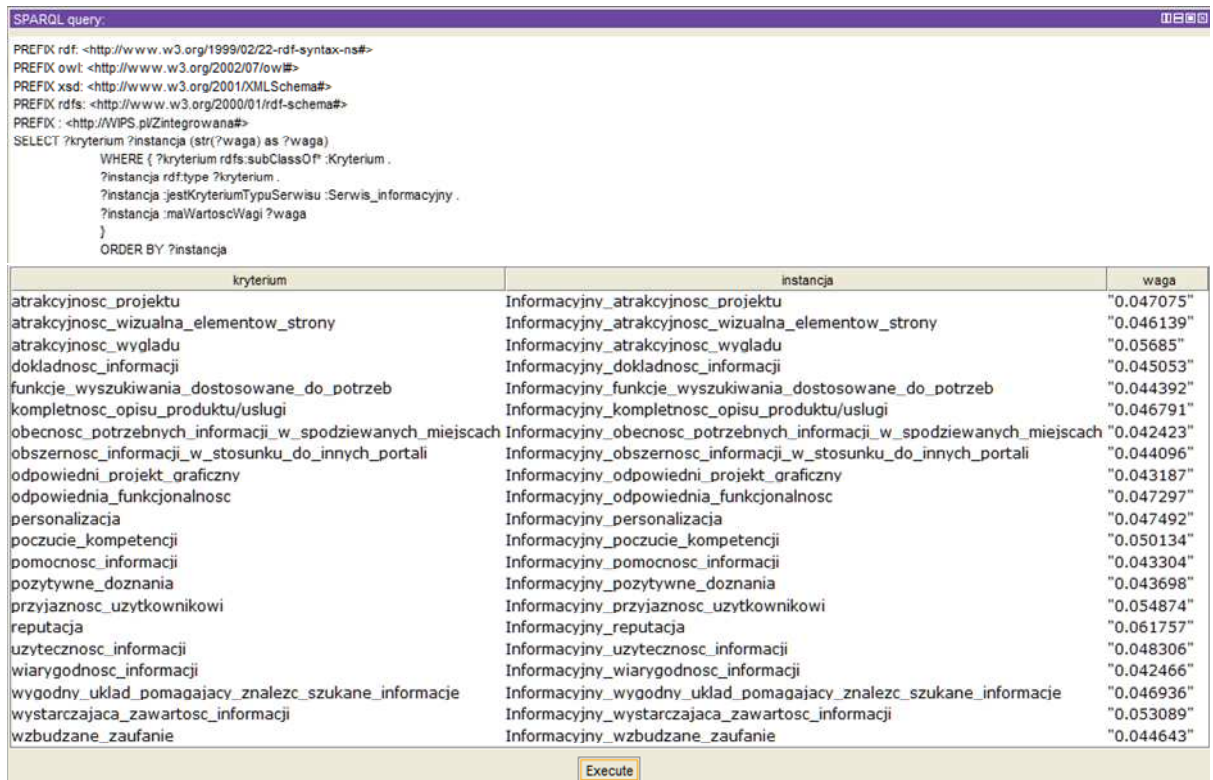
## 5.2 Zastosowanie modelu systemu ekspertowego podczas oceny jakości serwisów

Przedstawiony model systemu ekspertowego na bieżącym etapie jego rozwoju może służyć do oceny jakości serwisów informacyjnych. Wobec tego, w ramach studium przypadku, zbadano jego stosowalność w procesie oceny właśnie tego rodzaju serwisów internetowych. W ocenie jakości brało udział trzech ekspertów, a ocenianymi serwisami były serwisy informacyjne portali: Wirtualna Polska, Onet.pl, Gazeta.pl oraz Interia.pl. Po wybraniu alternatyw decyzyjnych, których rolę pełnią oceniane serwisy, w procesie oceny wykonywane są cztery kolejne etapy:

- 1) uzyskanie kryteriów, według których należy ocenić serwisy,
- 2) ocena indywidualna serwisów przez każdego eksperta,
- 3) agregacja ocen indywidualnych w ocenę grupową,
- 4) weryfikacja uzyskanego rozwiązania poprzez analizę GAIA i ewentualna jego korekta.

**Uzyskanie kryteriów, względem których należy ocenić serwisy,** odbywa się poprzez skierowanie zapytania do bazy wiedzy systemu ekspertowego. Zapytanie takie, w opracowanym modelu systemu, może być skierowane do bazy wiedzy np. z wykorzystaniem notacji Manchester języka OWL i narzędzia DL Query, tak jak to zaprezentowano w pkt 3.2 niniejszej pracy (rys. 3.12). Inną metodą jest opracowanie zapytania w języku SPARQL [55] [104] [77]. Przewagą języka SPARQL jest to, że umożliwia on uzyskanie na wyjściu również danych liczbowych i tekstowych, zawartych

w atrybutach klas i instancji, wobec czego w podanym przykładzie posłużono się właśnie językiem SPARQL. Odpowiednie zapytanie, pozwalające uzyskać z bazy wiedzy listę kryteriów i ich wagi, oraz jego wyniki przedstawia rysunek 5.3.



SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?kryterium ?instancja (str(?waga) as ?waga)
WHERE {
  ?kryterium rdfs:subClassOf* :Kryterium .
  ?instancja rdf:type ?kryterium .
  ?instancja :jestKryteriumTypuSerwisu :Serwis_informacyjny .
  ?instancja :maWartoscWagi ?waga
}
ORDER BY ?instancja

```

| kryterium                                                 | instancja                                                              | waga       |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| atrakcyjnosc_projektu                                     | Informacyjny_atrakcyjnosc_projektu                                     | "0.047075" |
| atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | Informacyjny_atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | "0.046139" |
| atrakcyjnosc_wygladu                                      | Informacyjny_atrakcyjnosc_wygladu                                      | "0.05685"  |
| dokladnosc_informacji                                     | Informacyjny_dokladnosc_informacji                                     | "0.045053" |
| funkcje_wyszukiwania_dostosowane_do_potrzeb               | Informacyjny_funkcje_wyszukiwania_dostosowane_do_potrzeb               | "0.044392" |
| kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | Informacyjny_kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | "0.046791" |
| obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | Informacyjny_obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | "0.042423" |
| obszernosc_informacji_w_stosunku_do_innych_portali        | Informacyjny_obszernosc_informacji_w_stosunku_do_innych_portali        | "0.044096" |
| odpowiedni_projekt_graficzny                              | Informacyjny_odpowiedni_projekt_graficzny                              | "0.043187" |
| odpowiednia_funkcjonalnosc                                | Informacyjny_odpowiednia_funkcjonalnosc                                | "0.047297" |
| personalizacja                                            | Informacyjny_personalizacja                                            | "0.047492" |
| poczucie_kompetencji                                      | Informacyjny_poczucie_kompetencji                                      | "0.050134" |
| pomocnosc_informacji                                      | Informacyjny_pomocnosc_informacji                                      | "0.043304" |
| pozytywne_doznania                                        | Informacyjny_pozytywne_doznania                                        | "0.043698" |
| przyjaznosc_uzytownikowi                                  | Informacyjny_przyjaznosc_uzytownikowi                                  | "0.054874" |
| reputacja                                                 | Informacyjny_reputacja                                                 | "0.061757" |
| uzytecznosc_informacji                                    | Informacyjny_uzytecznosc_informacji                                    | "0.048306" |
| wiarygodnosc_informacji                                   | Informacyjny_wiarygodnosc_informacji                                   | "0.042466" |
| wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | Informacyjny_wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | "0.046936" |
| wystarczajaca_zawartosc_informacji                        | Informacyjny_wystarczajaca_zawartosc_informacji                        | "0.053089" |
| wzbudzane_zaufanie                                        | Informacyjny_wzbudzane_zaufanie                                        | "0.044643" |

Execute

Rysunek 5.3 Zapytanie SPARQL pozwalające uzyskać listę kryteriów i ich wag dla oceny serwisów informacyjnych

Źródło: opracowanie własne

Na samym początku zapytania przedstawionego na rysunku 5.3 zdefiniowane są prefiksy adresów URI danych i ontologii, które można w dużym uproszczeniu określić jako przestrzenie nazw, znane z języków programowania. W klauzurze „SELECT” zdefiniowane są zmienne, które mają zostać wyświetlone w wynikach, a w klauzurze „WHERE” zdefiniowane są powiązania, które powinny występować pomiędzy zmiennymi. Relacja „SubClassOf” dotyczy conceptów i oznacza bycie podklasą, a relacja „type” określa instancje danej klasy. Bardzo ważnym elementem podanego zapytania jest operator „\*” występujący przy relacji „rdfs:subClassOf\*”. Jest to operator dowolnej długości ścieżki i umożliwia on, w tym przypadku, uzyskanie klas niebędącymi bezpośrednimi potomkami klasy „Kryterium”. Jest on istotny szczególnie w przypadku kryterium „wystarczajaca\_zawartosc\_informacji”, gdyż concept reprezentujący to kryterium jest podklasą conceptu „wystarczajaca\_zawartosc\_informacji\_gdzie\_sa\_oczekiwane”. Concept reprezentujący kryterium „wystarczajaca\_zawartosc\_informacji” nie jest więc bezpośrednim potomkiem klasy „Kryterium”. Wobec tego zastosowanie w zapytaniu klauzuli „rdfs:subClassOf” bez operatora „\*” spowoduje nieuwzględnienie tego kryterium w wynikach, co może wprowadzić w błąd ekspertów i skutkować pominięciem przez nich tego kryterium podczas oceny. Skutek pominięcia operatora „\*” w analogicznym zapytaniu przedstawia rysunek 5.4, na którym można zauważyć, że wskazane kryterium zostało pominięte w wynikach.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?kryterium ?instancja (str(?waga) as ?waga)
WHERE {
  ?kryterium rdfs:subClassOf :Kryterium .
  ?instancja rdf:type ?kryterium .
  ?instancja :jestKryteriumTypuSerwisu :Serwis_informacyjny .
  ?instancja :maWartoscWagi ?waga
}
ORDER BY ?instancja

```

| kryterium                                                 | instancja                                                              | waga       |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| atrakcyjnosc_projektu                                     | Informacyjny_atrakcyjnosc_projektu                                     | "0.047075" |
| atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | Informacyjny_atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | "0.046139" |
| atrakcyjnosc_wygladu                                      | Informacyjny_atrakcyjnosc_wygladu                                      | "0.05685"  |
| dokladnosc_informacji                                     | Informacyjny_dokladnosc_informacji                                     | "0.045053" |
| funkcje_wyszukiwania_dostosowane_do_potrzeb               | Informacyjny_funkcje_wyszukiwania_dostosowane_do_potrzeb               | "0.044392" |
| kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | Informacyjny_kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | "0.046791" |
| obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | Informacyjny_obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | "0.042423" |
| obszernosc_informacji_w_stosunku_do_innych_portali        | Informacyjny_obszernosc_informacji_w_stosunku_do_innych_portali        | "0.044096" |
| odpowiedni_projekt_graficzny                              | Informacyjny_odpowiedni_projekt_graficzny                              | "0.043187" |
| odpowiednia_funkcjonalnosc                                | Informacyjny_odpowiednia_funkcjonalnosc                                | "0.047297" |
| personalizacja                                            | Informacyjny_personalizacja                                            | "0.047492" |
| poczucie_kompetencji                                      | Informacyjny_poczucie_kompetencji                                      | "0.050134" |
| pomocnosc_informacji                                      | Informacyjny_pomocnosc_informacji                                      | "0.043304" |
| pozytywne_doznania                                        | Informacyjny_pozytywne_doznania                                        | "0.043698" |
| przyjaznosc_uzytkownikowi                                 | Informacyjny_przyjaznosc_uzytkownikowi                                 | "0.054874" |
| reputacja                                                 | Informacyjny_reputacja                                                 | "0.061757" |
| uzytecznosc_informacji                                    | Informacyjny_uzytecznosc_informacji                                    | "0.048306" |
| wiarygodnosc_informacji                                   | Informacyjny_wiarygodnosc_informacji                                   | "0.042466" |
| wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | Informacyjny_wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | "0.046936" |
| wzbudzone_zaufanie                                        | Informacyjny_wzbudzone_zaufanie                                        | "0.044643" |

Execute

Rysunek 5.4 Zapytanie SPARQL dające niepełną listę kryteriów oceny jakości serwisów informacyjnych na skutek pominięcia operatora „\*”

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym etapem jest **indywidualna ocena każdego z serwisów względem kolejnych kryteriów, wykonywana przez poszczególnych ekspertów**. Ocena ta, zgodnie z ograniczeniami zapisanymi w bazie wiedzy, odbywa się z wykorzystaniem skali 1-7. Oceny kryterialne, przyznane serwisom przez ekspertów, zostały zawarte w tabelach 5.1-5.3.

Tabela 5.1 Oceny przyznane serwisom przez eksperta DM1

| Kryterium                                                 | Onet | WP | Interia | Gazeta |
|-----------------------------------------------------------|------|----|---------|--------|
| atrakcyjnosc_projektu                                     | 5    | 6  | 4       | 6      |
| atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | 5    | 6  | 5       | 5      |
| atrakcyjnosc_wygladu                                      | 5    | 6  | 4       | 4      |
| dokladnosc_informacji                                     | 5    | 6  | 5       | 6      |
| funkcje_wyszukiwania_dostosowane_do_potrzeb               | 4    | 3  | 4       | 4      |
| kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | 7    | 6  | 5       | 6      |
| obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | 6    | 6  | 5       | 5      |
| obszernosc_informacji_w_stosunku_do_innych_portali        | 4    | 5  | 5       | 5      |
| odpowiedni_projekt_graficzny                              | 5    | 5  | 4       | 4      |
| odpowiednia_funkcjonalnosc                                | 5    | 5  | 6       | 6      |
| personalizacja                                            | 7    | 5  | 6       | 5      |
| poczucie_kompetencji                                      | 5    | 5  | 6       | 5      |
| pomocnosc_informacji                                      | 5    | 4  | 5       | 5      |
| pozytywne_doznania                                        | 5    | 6  | 4       | 5      |
| przyjaznosc_uzytkownikowi                                 | 5    | 5  | 4       | 6      |
| reputacja                                                 | 6    | 6  | 5       | 4      |
| uzytecznosc_informacji                                    | 5    | 6  | 5       | 6      |
| wiarygodnosc_informacji                                   | 4    | 5  | 4       | 6      |
| wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | 6    | 6  | 5       | 5      |
| wystarczajaca_zawartosc_informacji                        | 6    | 7  | 6       | 6      |
| wzbudzone_zaufanie                                        | 5    | 6  | 5       | 6      |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.2 Oceny przyznane serwisom przez eksperta DM2

| Kryterium                                                 | Onet | WP | Interia | Gazeta |
|-----------------------------------------------------------|------|----|---------|--------|
| atrakcyjnosc_projektu                                     | 3    | 4  | 3       | 4      |
| atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | 5    | 5  | 4       | 4      |
| atrakcyjnosc_wygladu                                      | 4    | 5  | 5       | 4      |
| dokladnosc_informacji                                     | 3    | 4  | 4       | 5      |
| funkcje_wyszukiwania_dostosowane_do_potrzeb               | 4    | 4  | 4       | 4      |
| kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | 4    | 4  | 5       | 6      |
| obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | 5    | 4  | 5       | 4      |
| obszernosc_informacji_w_stosunku_do_innych_portali        | 5    | 5  | 6       | 6      |
| odpowiedni_projekt_graficzny                              | 4    | 4  | 4       | 3      |
| odpowiednia_funkcjonalnosc                                | 5    | 4  | 5       | 5      |
| personalizacja                                            | 3    | 4  | 4       | 3      |
| poczucie_kompetencji                                      | 3    | 3  | 6       | 4      |
| pomocnosc_informacji                                      | 3    | 3  | 4       | 4      |
| pozytywne_doznania                                        | 6    | 4  | 6       | 6      |
| przyjaznosc_uzytkownikowi                                 | 4    | 5  | 5       | 4      |
| reputacja                                                 | 5    | 4  | 6       | 4      |
| uzytecznosc_informacji                                    | 3    | 3  | 4       | 4      |
| wiarygodnosc_informacji                                   | 3    | 5  | 4       | 2      |
| wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | 4    | 3  | 5       | 4      |
| wystarczajaca_zawartosc_informacji                        | 4    | 3  | 5       | 4      |
| wzbudzane_zaufanie                                        | 3    | 5  | 5       | 4      |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.3 Oceny przyznane serwisom przez eksperta DM3

| Kryterium                                                 | Onet | WP | Interia | Gazeta |
|-----------------------------------------------------------|------|----|---------|--------|
| atrakcyjnosc_projektu                                     | 6    | 6  | 6       | 5      |
| atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | 6    | 7  | 6       | 5      |
| atrakcyjnosc_wygladu                                      | 6    | 6  | 4       | 5      |
| dokladnosc_informacji                                     | 5    | 5  | 5       | 6      |
| funkcje_wyszukiwania_dostosowane_do_potrzeb               | 5    | 5  | 5       | 5      |
| kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | 6    | 4  | 4       | 5      |
| obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | 7    | 7  | 7       | 7      |
| obszernosc_informacji_w_stosunku_do_innych_portali        | 5    | 5  | 6       | 6      |
| odpowiedni_projekt_graficzny                              | 7    | 7  | 6       | 6      |
| odpowiednia_funkcjonalnosc                                | 5    | 6  | 5       | 6      |
| personalizacja                                            | 5    | 5  | 5       | 5      |
| poczucie_kompetencji                                      | 6    | 6  | 4       | 5      |
| pomocnosc_informacji                                      | 5    | 5  | 5       | 5      |
| pozytywne_doznania                                        | 7    | 7  | 6       | 6      |
| przyjaznosc_uzytkownikowi                                 | 6    | 7  | 7       | 6      |
| reputacja                                                 | 6    | 6  | 6       | 6      |
| uzytecznosc_informacji                                    | 5    | 5  | 5       | 6      |
| wiarygodnosc_informacji                                   | 5    | 5  | 6       | 5      |
| wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | 7    | 7  | 6       | 6      |
| wystarczajaca_zawartosc_informacji                        | 5    | 5  | 5       | 6      |
| wzbudzane_zaufanie                                        | 6    | 6  | 5       | 5      |

Źródło: opracowanie własne

Każdy z decydentów wybrał także, stosowaną podczas porównań, funkcję preferencji oraz ustalił dla niej odpowiednie progi. Decydenci DM2 i DM3 zastosowali kryterium z liniową preferencją, a ekspert DM1 wykorzystał kryterium z liniową preferencją i obszarem obojętności. Wybrane przez decydentów funkcje preferencji przedstawia tabela 5.4.

Tabela 5.4 Funkcje preferencji i zdefiniowane dla nich progi, stosowane przez ekspertów

| Ekspert | Funkcja preferencji                      | próg równoważności (q) | próg preferencji (p) |
|---------|------------------------------------------|------------------------|----------------------|
| DM1     | liniowa preferencja i obszar obojętności | 1                      | 3                    |
| DM2     | liniowa preferencja                      | 0                      | 4                    |
| DM3     | liniowa preferencja                      | 0                      | 2                    |

Źródło: opracowanie własne

Przepływy preferencji netto i pozycje w rankingach indywidualnych, otrzymane na podstawie ocen poszczególnych ekspertów, przedstawia tabela 5.5.

Tabela 5.5 Przepływy preferencji netto i pozycje serwisów w rankingach indywidualnych

| Ekspert | Onet         |         | WP           |         | Interia      |         | Gazeta       |         |
|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
|         | $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja |
| DM1     | 0,0268       | 2       | 0,0365       | 1       | -0,0565      | 4       | -0,0068      | 3       |
| DM2     | -0,0914      | 4       | -0,0625      | 3       | 0,1701       | 1       | -0,0163      | 2       |
| DM3     | 0,0796       | 2       | 0,1161       | 1       | -0,1501      | 4       | -0,0455      | 3       |

Źródło: opracowanie własne

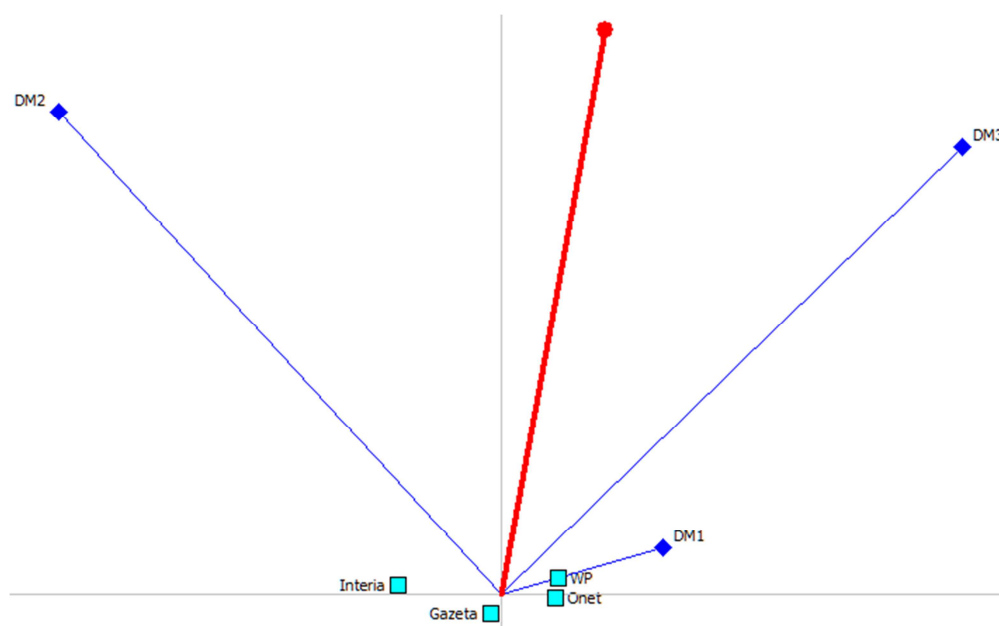
Następnym krokiem była **agregacja ocen indywidualnych w ocenę grupową**. W efekcie agregacji uzyskano przepływy preferencji netto wariantów i ranking grupowy, zawarte w tabeli 5.6.

Tabela 5.6 Przepływy preferencji netto i pozycje serwisów w rankingu grupowym

| Onet         |         | WP           |         | Interia      |         | Gazeta       |         |
|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja |
| 0,0033       | 2       | 0,0200       | 1       | -0,0081      | 3       | -0,0152      | 4       |

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim krokiem oceny jest **wykonanie analizy GAIA w celu weryfikacji uzyskanego rozwiązania**. Wykres preferencji decydentów, w odniesieniu do serwisów, na płaszczyźnie GAIA przedstawia rysunek 5.5.



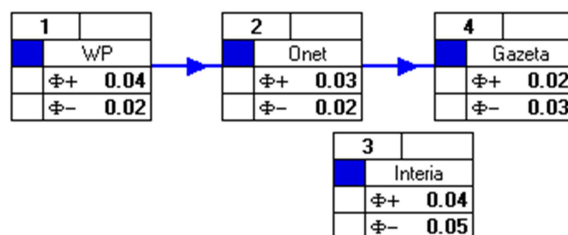
Rysunek 5.5 Płaszczyzna GAIA ukazująca preferencje decydentów w odniesieniu do ocenianych serwisów

Źródło: opracowanie własne

Analizując rysunek 5.5, można wywnioskować, że największą siłę i wpływ na ocenę końcową mają oceny rankingi decydentów DM2 i DM3. Przyczyną tego jest fakt, że różnice w przepływach preferencji netto uzyskanych na podstawie ocen tych ekspertów są największe. Końce wektorów decydentów DM1 i DM3 są położone najbliżej wariantów Onet i WP, w związku z czym wymienieni decydenci najsilniej wspierają właśnie te warianty. Z kolei wektor eksperta DM2 jest położony najbliżej wariantu Interia, wobec czego decydent



DM2 najsilniej wspiera właśnie ten serwis. Rozwiązanie kompromisowe, symbolizowane przez wektor  $\pi$ , umiejscowione jest najbliżej serwisu WP, który zajmuje pierwszą pozycję w rankingu, a jednocześnie najdalej od serwisu Gazeta, który jest ostatni. Ponadto istnieje konflikt pomiędzy preferencjami decydentów DM1 i DM2, o czym świadczy kąt rozwarty pomiędzy ich wektorami. Może to wskazywać, że uzyskane rozwiązanie nie jest w pełni poprawne. O tym, że rozwiązanie jest błędne, może świadczyć również wynik procedury Promethee I, wykonanej dla indywidualnych przepływów preferencji netto, gdyż procedura ta uznaje serwis Interia za nieporównywalny z żadnym innym serwisem. Ranking Promethee I zobrazowano na rysunku 5.6.



Rysunek 5.6 Ranking Promethee I wskazujący na nieporównywalność serwisu Interia z innymi  
Źródło: opracowanie własne

W sytuacji zaistnienia konfliktu pomiędzy decydentami przeprowadzono dodatkowo analizę wrażliwości uzyskanego rozwiązania. Badano tutaj wrażliwość rozwiązania na wagi przypisane poszczególnym decydentom. Wyniki analizy wrażliwości zawarto w tabeli 5.7.

Tabela 5.7 Analiza wrażliwości rozwiązania na zmiany wag ekspertów

| Ekspert | Waga eksperta |        |        | Waga eksperta [%] |        |        |
|---------|---------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|
|         | obecnie       | min    | max    | obecnie           | min    | max    |
| DM1     | 1,00          | 0,3818 | 1,6459 | 33,33%            | 16,03% | 45,14% |
| DM2     | 1,00          | 0,8278 | 1,1969 | 33,33%            | 29,27% | 37,44% |
| DM3     | 1,00          | 0,7758 | 1,3069 | 33,33%            | 27,95% | 39,52% |

Źródło: opracowanie własne

W wyniku wykonanej analizy wrażliwości stwierdzono, że uzyskane rozwiązanie jest najmniej odporne na wagę przyznaną decydentowi DM2. Jeżeli zmniejszy lub zwiększy się jego wagę o niewiele ponad 4%, wtedy zmieni się kolejność serwisów w rankingu. Należy przy tym zaznaczyć, że rozwiązanie jest mniej odporne na zmianę wagi eksperta DM2 niż na modyfikację wagi decydenta DM1, którego preferencje są w konflikcie z preferencjami decydenta DM2. W związku z tym zdecydowano się obniżyć wagę eksperta DM2 poniżej progu 29,27% i przyjąć za właściwe otrzymane w ten sposób rozwiązanie. Końcowy rezultat oceny serwisów, z uwzględnieniem zmniejszonej wagi eksperta DM2, przedstawia tabela 5.8.

Tabela 5.8 Przepływy preferencji netto i pozycje serwisów w rankingu grupowym po obniżeniu wagi eksperta DM2

| Onet         |         | WP           |         | Interia      |         | Gazeta       |         |
|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja | $\phi$ netto | Pozycja |
| 0,0075       | 2       | 0,0240       | 1       | -0,0160      | 4       | -0,0155      | 3       |

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu badania serwisów i przeprowadzeniu oceny w bazie wiedzy zapisywane są informacje na temat ocen kryterialnych serwisów, przyznanych przez poszczególnych

decydentów, oraz indywidualnych i grupowych przepływów preferencji netto dla poszczególnych serwisów.

Jeżeli chodzi o poprawność rozwiązania, to świadczą o niej wyniki badania Megapanel PBI/Gemius za marzec 2013 roku, przedstawiające liczbę użytkowników serwisów informacyjnych i publicystycznych ocenianych portali. Według wyników omawianego badania, wśród serwisów internetowych z dziedziny informacji i publicystyki najwięcej użytkowników mają serwisy Wirtualnej Polski. Drugie miejsce w omawianym rankingu zajmuje Onet, trzecia pozycja przypada portalowi Gazeta.pl, a dopiero szóste miejsce zajmuje Interia.pl [190]. Wynik tego badania przedstawia tabela 5.9.

*Tabela 5.9 Ilość użytkowników porównywanych serwisów w marcu 2013*

| Serwis             | Wirtualna Polska | Onet      | Gazeta.pl | Interia.pl |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|------------|
| Ilość użytkowników | 6 863 901        | 6 661 107 | 6 082 171 | 3 549 780  |

*Źródło: opracowanie własne na podstawie [190]*

Analizując tabele 5.8 i 5.9, łatwo stwierdzić, że kolejność badanych serwisów, ustalona na podstawie liczby ich użytkowników, jest zgodna z kolejnością rankingu uzyskanego za pomocą metody Promethee GDSS. Analizując tabele 5.5, 5.6, 5.8 i 5.9, można również zauważyć, że oceny decydenta DM2 nie są skorelowane z liczbą użytkowników badanych serwisów. Jednak w wyniku wykonania analizy GAIA udało się zidentyfikować możliwość niepoprawnego oceniania serwisów przez eksperta DM2 i skorygować jego wpływ na końcową ocenę serwisów. Należy też zaznaczyć, że, gdyby wyeliminowano oceny eksperta DM2, otrzymano by jeszcze bardziej wiarygodne przepływy preferencji netto, gdyż serwis Interia.pl uzyskałby ocenę jeszcze bardziej oddaloną od pozostałych serwisów.

Przedstawione studium przypadku zastosowania modelu systemu ekspertowego podczas oceny jakości serwisów internetowych miało przede wszystkim na celu pokazanie, podczas których etapów oceny następuje interakcja pomiędzy bazą wiedzy a modułem oceny. Zaznaczyć należy, że moduł oceny implementujący metodę Promethee GDSS nie jest zawarty ściśle w systemie ekspertowym, lecz można go uznać za element zewnętrzny i powinien on zostać zaimplementowany niezależnie od bazy wiedzy i mechanizmu wnioskującego, z wykorzystaniem np. języka JAVA. Oczywiście, istnieje możliwość zaimplementowania pełnej metody Promethee GDSS w bazie wiedzy w postaci reguł języka SWRL i powierzenie całej procedury obliczeniowej mechanizmowi wnioskującemu, ale jest to rozwiązanie bardzo niewydatne. Ponadto implementacja szeregu reguł, niezbędnych do obliczeń metodą Promethee, byłaby kłopotliwa ze względu na to, że język SWRL umożliwia korzystanie tylko z reguł bezpiecznych, tj. takich, w których w „głowie” reguły mogą występować tylko zmienne zawarte w jej „ciele”. Ponadto implementacja szeregu dodatkowych reguł w bazie wiedzy skutkowałaby wprowadzeniem do niej dużego chaosu.

Drugim celem studium przypadku było zweryfikowanie stosowalności metody Promethee GDSS do oceny jakości serwisów i sprawdzenie, czy oceny niewielkiego grona eksperckiego mogą być poprawne. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że precyzja oceny zależy w głównej mierze od ekspertów oceniających serwis, gdyż to ich opinie i oceny wpływają na ocenę końcową serwisów. Potwierdzeniem tego faktu są, zawarte w przedstawionym studium przypadku, oceny eksperta DM2, które zaburzyły uzyskaną ocenę



grupową i spowodowały uzyskanie błędnej kolejności wariantów decyzyjnych. Niemniej jednak zaletą zastosowanej metody Promethee GDSS jest to, że daje ona możliwość weryfikacji poprawności uzyskanego rozwiązania i jego ewentualnej poprawy. Pozwala ona więc wykryć przynajmniej część sytuacji, w których jeden z ekspertów popełnił błędy podczas oceny. W związku z tym, że za pomocą metody Promethee GDSS poprawiono, uzyskane na wstępie, błędne rozwiązanie, można stwierdzić, że ocena serwisów wykonywana przez niewielkie grono eksperckie może być poprawna. Eliminuje to potrzebę przeprowadzania oceny serwisów za pomocą czasochłonnego badania ankietowego i umożliwia prowadzenie oceny permanentnej z wykorzystaniem grona ekspertów.

### **5.3 Wiedza i dane, jakie można uzyskać z bazy wiedzy systemu**

Podstawową funkcją bazy wiedzy, zaimplementowanej w postaci ontologii, jest wywodzenie nowej wiedzy oraz przechowywanie informacji o ocenach serwisów i wagach kryteriów dla poszczególnych profili typów serwisów. Jeżeli chodzi o wywodzenie nowej wiedzy z bazy, to zadanie to realizowane jest w zakresie określania związków pomiędzy zawartymi w niej modelami oceny. Zapewniane jest to za pośrednictwem kryteriów, które mechanizm wnioskujący może przypisać jednocześnie do wielu modeli oceny (patrz: np. załączniki 3.1-3.8, a w szczególności załącznik 3.9b). Ponadto mechanizm wnioskujący, na podstawie wartości ocen kryterialnych i przepływów preferencji netto, ustala zachodzenie relacji przewyższania pomiędzy zawartymi w bazie wiedzy serwisami (patrz: pkt 4.4 pracy). Zapytania mogą być kierowane do bazy m.in. w notacji Manchester języka OWL poprzez narzędzie DL Query oraz z wykorzystaniem języka SPARQL i narzędzia SPARQL Query. Zapytania kierowane do bazy wiedzy w języku SPARQL mogą dotyczyć w zasadzie tylko wiedzy zapisanej w bazie na stałe, a nie wywodzonej na bieżąco przez mechanizm wnioskujący. W związku z tym, przed wykonaniem zapytań, należy dokonać eksportu ontologii w postaci wywnioskowanej przez mechanizm wnioskujący. Pozwala to na uzyskanie nowej struktury bazy wiedzy, w której zawarte są wszystkie związki pomiędzy konceptami i instancjami, ustalone za pośrednictwem mechanizmu wnioskującego. Zapytania kierowane do bazy pozwalają uzyskać wiedzę i informacje m.in. na temat:

- 1) jakie kryteria należą do poszczególnych modeli jakości,
- 2) do jakich modeli jakości należy wybrane kryterium,
- 3) jakie kryteria służą ocenie serwisów wybranego typu,
- 4) jakie kryteria mają wybraną wartość wagi dla oceny serwisów wybranego typu,
- 5) ile kryteriów dla oceny serwisów danego typu zawierają poszczególne modele jakości,
- 6) jakie serwisy mają ocenę o określonej wartości względem dowolnych kryteriów,
- 7) jakie są wartości przepływów preferencji netto poszczególnych serwisów,
- 8) jakie relacje przewyższania zachodzą pomiędzy poszczególnymi serwisami.

Zapytania te nie obejmują oczywiście wszystkich informacji, jakie można uzyskać z bazy wiedzy, a przedstawiają one jedynie najbardziej użyteczną wiedzę, możliwą do uzyskania z bazy.

Zapytanie 1) zapisane w języku SPARQL i fragment zwróconych z bazy wiedzy informacji przedstawia rysunek 5.7. Zapytanie to może być też odpowiednio uszczegółowione, aby zwracało ono tylko kryteria należące do wybranego modelu jakości.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX eQual: <http://WIPS.pl/eQual#>
PREFIX Ahn: <http://WIPS.pl/Ahn#>
PREFIX SiteQual: <http://WIPS.pl/SiteQual#>
PREFIX WEQ: <http://WIPS.pl/WEQ#>
PREFIX WPSQ: <http://WIPS.pl/WPSQ#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?model ?charakterystyka ?kryterium
WHERE {
    ?model rdfs:subClassOf .Jakosc .
    ?charakterystyka rdfs:subClassOf* ?model .
    ?kryterium rdfs:subClassOf ?charakterystyka .
    ?kryterium rdfs:subClassOf :Kryterium
}
ORDER BY ?model ?charakterystyka

```

| model                            | charakterystyka        | kryterium                                          |
|----------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| Website_Evaluation_Questionnaire | Trafność               | użyteczność_informacji                             |
| Website_Evaluation_Questionnaire | Trafność               | pomocność_informacji                               |
| Website_Evaluation_Questionnaire | Układ_strony           | atrakcyjność_wyglądu                               |
| Website_Evaluation_Questionnaire | Układ_strony           | atrakcyjność_projektu                              |
| Website_Evaluation_Questionnaire | Układ_strony           | ogólna_atrakcyjność_wizualna                       |
| Website_Evaluation_Questionnaire | Zrozumiałość           | łatwość_zrozumienia_informacji                     |
| Website_Evaluation_Questionnaire | Zrozumiałość           | zrozumiałość_używanego_na_stronie_jezyka           |
| Web_Portal_Site_Quality          | Adekwatność_informacji | kompletność_informacji                             |
| Web_Portal_Site_Quality          | Adekwatność_informacji | kompletność_zawartości                             |
| Web_Portal_Site_Quality          | Adekwatność_informacji | kompletność_opisu_produkty/usługi                  |
| Web_Portal_Site_Quality          | Adekwatność_informacji | szczegółowe_informacje_kontaktowe                  |
| Web_Portal_Site_Quality          | Adekwatność_informacji | obszerność_informacji_w_stosunku_do_innych_portali |
| Web_Portal_Site_Quality          | Dostępność             | dostępność                                         |

Execute

Rysunek 5.7 Zapytanie bazy wiedzy o kryteria należące do poszczególnych modeli jakości

Źródło: opracowanie własne

Jako uszczegółowienie zapytania 2) wybrano kryterium reputacja. Na rysunku 5.8 zawarto więc treść i wynik zapytania o modele jakości, do których należy kryterium reputacja.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX eQual: <http://WIPS.pl/eQual#>
PREFIX Ahn: <http://WIPS.pl/Ahn#>
PREFIX SiteQual: <http://WIPS.pl/SiteQual#>
PREFIX WEQ: <http://WIPS.pl/WEQ#>
PREFIX WPSQ: <http://WIPS.pl/WPSQ#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?kryterium ?charakterystyka ?model
WHERE {
    ?model rdfs:subClassOf .Jakosc .
    ?charakterystyka rdfs:subClassOf* ?model .
    ?kryterium rdfs:subClassOf ?charakterystyka .
    FILTER (?kryterium=reputacja) }

```

| kryterium | charakterystyka         | model        |
|-----------|-------------------------|--------------|
| reputacja | Precyzja                | SiteQual     |
| reputacja | Zaufanie_i_przystepność | Zunifikowana |
| reputacja | Zaufanie                | eQual        |

Execute

Rysunek 5.8 Zapytanie bazy wiedzy o modele jakości, do których należy kryterium reputacja

Źródło: opracowanie własne

Zapytanie 3) i odpowiedź na nie zostały zawarte na rysunku 5.3 na przykładzie serwisów informacyjnych. Z kolei zapytanie 4) zostało przedstawione na rysunku 5.9.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX eQual: <http://WIPS.pl/eQual#>
PREFIX Ahn: <http://WIPS.pl/Ahn#>
PREFIX SiteQual: <http://WIPS.pl/SiteQual#>
PREFIX WEQ: <http://WIPS.pl/WEQ#>
PREFIX WPSQ: <http://WIPS.pl/WPSQ#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?kryterium ?typ_serwisu (str(?waga) as ?waga)
WHERE {
  ?kryterium rdfs:subClassOf* :Kryterium .
  ?instancja rdf:type ?kryterium .
  ?instancja :jestKryteriumTypuSerwisu ?typ_serwisu .
  ?instancja :maWartoscWagi ?waga .
  FILTER (?typ_serwisu=:Serwis_informacyjny)
  FILTER (?waga > 0.05)
}
ORDER BY DESC (?waga)

```

| kryterium                          | typ_serwisu         | waga       |
|------------------------------------|---------------------|------------|
| reputacja                          | Serwis_informacyjny | "0.061757" |
| atrakcyjnosc_wygladu               | Serwis_informacyjny | "0.05685"  |
| przyjaznosc_uzytkownikowi          | Serwis_informacyjny | "0.054874" |
| wystarczajaca_zawartosc_informacji | Serwis_informacyjny | "0.053089" |
| poczucie_kompetencji               | Serwis_informacyjny | "0.050134" |

Execute

Rysunek 5.9 Zapytanie bazy wiedzy o kryteria oceny jakości serwisów informacyjnych, mające wagę większą od 0,05

Źródło: opracowanie własne

Zapytanie 5) zostało pokazane na przykładzie serwisów informacyjnych. Zapytanie i odpowiedź bazy wiedzy zostały zaprezentowane na rysunku 5.10. Odpowiedź bazy wiedzy może wydawać się błędna, gdyż do oceny serwisów informacyjnych stosowanych jest 21 kryteriów, tymczasem analizując odpowiedź bazy, może wydawać się, że łączna ilość kryteriów wynosi 60. Należy jednak pamiętać, że wiele kryteriów jest współdzielonych przez poszczególne modele jakości, mogą być więc one zliczane w wielu modelach.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX eQual: <http://WIPS.pl/eQual#>
PREFIX Ahn: <http://WIPS.pl/Ahn#>
PREFIX SiteQual: <http://WIPS.pl/SiteQual#>
PREFIX WEQ: <http://WIPS.pl/WEQ#>
PREFIX WPSQ: <http://WIPS.pl/WPSQ#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?model (STR(COUNT(?instancja)) AS ?ile_kryteriow)
WHERE {
  ?model rdfs:subClassOf* :Jakosc .
  ?kryterium rdfs:subClassOf* ?model .
  ?kryterium rdfs:subClassOf* :Kryterium .
  ?instancja rdf:type ?kryterium .
  ?instancja :jestKryteriumTypuSerwisu ?typ_serwisu .
  FILTER (?typ_serwisu=:Serwis_informacyjny)
}
GROUP BY ?model

```

| model                            | ile_kryteriow |
|----------------------------------|---------------|
| SiteQual                         | "8"           |
| Website_Evaluation_Questionnaire | "9"           |
| Ahn                              | "10"          |
| Zunifikowana                     | "21"          |
| Web_Portal_Site_Quality          | "4"           |
| eQual                            | "8"           |

Execute

Rysunek 5.10 Zapytanie bazy wiedzy o ilość kryteriów oceny jakości serwisów informacyjnych, zawartych w każdym z modeli jakości

Źródło: opracowanie własne

Zapytanie 6) w postaci bardziej sprecyzowanej, w której wybierano tylko oceny kryterialne większe od 5, przyznane przez ekspertów DM1 i DM3, zostało zawarte na rysunku 5.11.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX eQual: <http://WIPS.pl/eQual#>
PREFIX Ahn: <http://WIPS.pl/Ahn#>
PREFIX SiteQual: <http://WIPS.pl/SiteQual#>
PREFIX WEQ: <http://WIPS.pl/WEQ#>
PREFIX WPSQ: <http://WIPS.pl/WPSQ#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?serwis ?kryterium (STR(?ocenaDM1) AS ?ocenaDM1) (STR(?ocenaDM2) AS ?ocenaDM2) (STR(?ocenaDM3) AS ?ocenaDM3)
WHERE {
  ?serwis rdf:type :Serwis .
  ?kryterium rdfs:subClassOf* :Kryterium . ?instancja rdf:type ?kryterium . ?serwis :maOcene ?instancja .
  ?instancja :maWartoscOcenyDM1 ?ocenaDM1 . ?instancja :maWartoscOcenyDM2 ?ocenaDM2 . ?instancja :maWartoscOcenyDM3 ?ocenaDM3 .
  FILTER (?ocenaDM1 > 5) . FILTER (?ocenaDM3 > 5)
}
ORDER BY ?serwis ?kryterium

```

| serwis | kryterium                                                 | ocenaDM1 | ocenaDM2 | ocenaDM3 |
|--------|-----------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Gazeta | dokladnosc_informacji                                     | "6"      | "5"      | "6"      |
| Gazeta | odpowiednia_funkcjonalnosc                                | "6"      | "5"      | "6"      |
| Gazeta | przyjaznosc_uzytkownikowi                                 | "6"      | "4"      | "6"      |
| Gazeta | uzytecznosc_informacji                                    | "6"      | "4"      | "6"      |
| Gazeta | wystarczajaca_zawartosc_informacji                        | "6"      | "4"      | "6"      |
| Onet   | kompletnosc_opisu_produkту/uslugi                         | "7"      | "4"      | "6"      |
| Onet   | obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | "6"      | "5"      | "7"      |
| Onet   | reputacja                                                 | "6"      | "5"      | "6"      |
| Onet   | wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | "6"      | "4"      | "7"      |
| WP     | atrakcyjnosc_projektu                                     | "6"      | "4"      | "6"      |
| WP     | atrakcyjnosc_wizualna_elementow_strony                    | "6"      | "5"      | "7"      |
| WP     | atrakcyjnosc_wygladu                                      | "6"      | "5"      | "6"      |
| WP     | obecnosc_potrzebnych_informacji_w_spodziewanych_miejscach | "6"      | "4"      | "7"      |
| WP     | pozytywne_doznania                                        | "6"      | "4"      | "7"      |
| WP     | reputacja                                                 | "6"      | "4"      | "6"      |
| WP     | wygodny_uklad_pomagajacy_znalezc_szukane_informacje       | "6"      | "3"      | "7"      |
| WP     | wzbudzone_zaufanie                                        | "6"      | "5"      | "6"      |

Execute

Rysunek 5.11 Serwisy mające ocenę kryterialną > 5 przyznaną przez ekspertów DM1 i DM3  
Źródło: opracowanie własne

Rysunek 5.12 przedstawia treść zapytania 7) dotyczącego wartości przepływów preferencji.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX eQual: <http://WIPS.pl/eQual#>
PREFIX Ahn: <http://WIPS.pl/Ahn#>
PREFIX SiteQual: <http://WIPS.pl/SiteQual#>
PREFIX WEQ: <http://WIPS.pl/WEQ#>
PREFIX WPSQ: <http://WIPS.pl/WPSQ#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?serwis (STR(?ppn) AS ?PPN) (STR(?ppndm1) AS ?PPN_DM1) (STR(?ppndm2) AS ?PPN_DM2) (STR(?ppndm3) AS ?PPN_DM3)
WHERE {
  ?serwis rdf:type :Serwis .
  ?serwis :maWartoscPPN ?ppn .
  ?serwis :maWartoscPPNDM1 ?ppndm1 .
  ?serwis :maWartoscPPNDM2 ?ppndm2 .
  ?serwis :maWartoscPPNDM3 ?ppndm3 .
}
ORDER BY DESC (?ppn)

```

| serwis  | PPN       | PPN_DM1   | PPN_DM2   | PPN_DM3   |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| WP      | "0.024"   | "0.0365"  | "-0.0625" | "0.1161"  |
| Onet    | "0.0075"  | "0.0268"  | "-0.0914" | "0.0796"  |
| Gazeta  | "-0.0155" | "-0.0068" | "-0.0163" | "-0.0455" |
| Interia | "-0.016"  | "-0.0565" | "0.1701"  | "-0.1501" |

Execute

Rysunek 5.12 Wartości przepływów preferencji netto uzyskane przez poszczególne serwisy  
Źródło: opracowanie własne

Ostatnie już przykładowe zapytanie 8), kierowane do bazy wiedzy, dotyczy relacji przewyższania zachodzących pomiędzy serwisami. Wynik zapytania zawiera rysunek 5.13.

SPARQL query:

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX eQual: <http://WIPS.pl/eQual#>
PREFIX Ahn: <http://WIPS.pl/Ahn#>
PREFIX SiteQual: <http://WIPS.pl/SiteQual#>
PREFIX WEQ: <http://WIPS.pl/WEQ#>
PREFIX WPSQ: <http://WIPS.pl/WPSQ#>
PREFIX : <http://WIPS.pl/Zintegrowana#>
SELECT ?serwis1 ?relacja ?serwis2
WHERE {
  ?serwis1 rdf:type :Serwis .
  ?serwis2 rdf:type :Serwis .
  ?serwis1 ?relacja ?serwis2 .
  FILTER( regex(str(?relacja), 'przewyższa$') || regex(str(?relacja), 'jestRownowazny$') || regex(str(?relacja), 'jestPrzewyższanyPrzez$') ) .
}
ORDER BY ?relacja ?serwis1

```

| serwis1 | relacja               | serwis2 |
|---------|-----------------------|---------|
| Gazeta  | jestPrzewyższanyPrzez | WP      |
| Gazeta  | jestPrzewyższanyPrzez | Onet    |
| Interia | jestPrzewyższanyPrzez | Gazeta  |
| Interia | jestPrzewyższanyPrzez | WP      |
| Interia | jestPrzewyższanyPrzez | Onet    |
| Onet    | jestPrzewyższanyPrzez | WP      |
| Gazeta  | przewyższa            | Interia |
| Onet    | przewyższa            | Interia |
| Onet    | przewyższa            | Gazeta  |
| WP      | przewyższa            | Interia |
| WP      | przewyższa            | Gazeta  |
| WP      | przewyższa            | Onet    |

Execute

Rysunek 5.13 Relacje przewyższania zachodzące pomiędzy poszczególnymi serwisami

Źródło: opracowanie własne

Powyżej zaprezentowane przykłady zapytań i odpowiedzi bazy wiedzy nie reprezentują oczywiście całego zakresu wiedzy i informacji, jakie można uzyskać z bazy, a przedstawiają jedynie ich niewielką część. Z bazy wiedzy można również m.in. uzyskać informacje przedstawione w pkt 3.2 pracy, na etapie badania odpowiedzi na pytania kompetencyjne ontologii źródłowej eQual (porównaj: rysunek 3.12). Baza wiedzy umożliwia również formułowanie i kierowanie do niej bardziej precyzyjnych zapytań, obejmujących jednocześnie szerszy zakres informacji i wiedzy. Istotna jest też możliwość zastosowania bazy wiedzy do integracji w niej heterogenicznych danych, pochodzących z różnych metod oceny, których modele jakości zostały zawarte w bazie.

Nawiązując do opracowanej bazy wiedzy wchodzącej w skład modelu systemu ekspertowego, należy zaznaczyć, że uzyskanie tego typu struktury nie byłoby możliwe z wykorzystaniem klasycznych systemów bazodanowych. Pierwszą przeszkodą byłoby tutaj zawarcie modeli oceny jakości serwisów, gdyż baza danych nie umożliwiałaby automatycznego wywnioskowania przynależności kryteriów do poszczególnych charakterystyk i modeli oceny. Ponadto baza danych nie pozwalałaby na zastosowanie np. reguł generujących relacje przewyższania czy też tworzenie powiązań między instancjami i conceptami na podstawie innych relacji. Ontologia wraz z mechanizmem wnioskującym są natomiast potężnym narzędziem, którego zastosowanie nie ogranicza się tylko do odpytywania bazy lub budowy prostej taksonomii.



## Zakończenie

Celem niniejszej rozprawy było opracowanie modelu systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. Model ten miał wykorzystywać: integrację ontologii, algorytmy uczenia maszynowego oraz metody wielokryterialnego wspomagania decyzji. Praca opierała się na tezie, według której zastosowanie teorii ontologii, metod uczenia maszynowego oraz metod wielokryterialnego i grupowego wspomagania decyzji pozwoli precyzyjniej oceniać jakość serwisów internetowych. Wykorzystanie ontologii miało umożliwić opracowanie jednolitej struktury kryteriów jakości, która może posłużyć do tworzenia nowych metod oceny jakości serwisów internetowych. Natomiast zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego miało pozwolić na dobór, dla serwisów określonego typu, kryteriów istotnych oraz umożliwić określanie ich wag.

W treści pracy na wstępie podjęto zagadnienia związane ze znaczeniem jakości serwisów internetowych, pojęciem jakości oraz dokonano analizy stosowanych metod oceny jakości serwisów. Następnie rozważono problem doboru podstawowych elementów związanych z budową ontologii metod oceny jakości serwisów internetowych, tj. języka ich reprezentacji oraz zastosowania odpowiedniego edytora i metodologii jej budowy. W efekcie dokonanych analiz, w celu skonstruowania ontologii reprezentujących poszczególne metody oceny, zastosowano edytor Protege, autorską metodologię budowy opartą na metodologiach Methontology i NeOn, a jako język reprezentacji ontologii wybrano profil językowy OWL2 DL. Kolejnym podjętym zagadnieniem była budowa ontologii źródłowych, które następnie miały zostać zintegrowane w ontologii docelowej. W trakcie budowy i integracji ontologii rozważono również jej architekturę wewnętrzną i dokonano analizy stosowalności podczas integracji różnych metod badania podobieństw ontologii. Ostatecznie w ontologii docelowej zintegrowano pięć modeli oceny jakości serwisów internetowych, tj. eQual, Ahn, SiteQual, Website Evaluation Questionnaire i Web Portal Site Quality. Następnie spośród zawartych w ontologii docelowej kryteriów oceny wybrano te, które charakteryzowały się najwyższą stosowalnością w ocenie jakości serwisów informacyjnych, jednocześnie też określając ich wagi. Dokonano również, z zastosowaniem analizy czynnikowej, reorganizacji struktury ontologii uzyskanej w wyniku integracji i dostosowano jej architekturę do potrzeb grupowej metody wspomagania decyzji Promethee GDSS. Uzyskana w ten sposób ontologia posłużyła jako baza wiedzy zawarta w modelu systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. Przeprowadzono również studium przypadku, polegające na ocenie wybranych serwisów z wykorzystaniem modelu systemu ekspertowego i jego bazy wiedzy. Ponadto zweryfikowano możliwości uzyskania wiedzy i informacji z bazy wiedzy za pomocą składni Manchester języka OWL i języka zapytań SPARQL.

Nawiązując do celu rozprawy, należy zaznaczyć, że w pkt 5.1 pracy przedstawiony został model systemu ekspertowego na potrzeby oceny jakości serwisów internetowych. W modelu tym zawarta została ontologia pełniąca rolę jego bazy wiedzy. Ontologia ta powstała w wyniku integracji ontologii źródłowych, reprezentujących w/w metody oceny jakości. W bazie wiedzy systemu zawarto również profil obejmujący kryteria wyselekcjonowane do oceny jakości serwisów informacyjnych oraz ich wagi. Selekcję kryteriów oraz określenie wartości ich wag przeprowadzono z wykorzystaniem różnorodnych

algorytmów uczenia maszynowego, takich jak m.in. metody klasyfikacji i selekcji cech. Baza wiedzy systemu jest też dostosowana do współpracy z metodą grupowego wspomagania decyzji Promethee GDSS. Wobec tego nie powinno budzić wątpliwości stwierdzenie, że opracowany model systemu ekspertowego wykorzystuje integrację ontologii, metody uczenia maszynowego oraz metody wielokryterialnego wspomagania decyzji. W związku z tym, zdaniem autora, cel rozprawy został w pełni zrealizowany.

W kwestii weryfikacji głównej tezy pracy należy zaznaczyć, że precyzja oceny zależy w głównej mierze od ekspertów oceniających serwis, gdyż to ich opinie i oceny wpływają na ocenę końcową serwisów. Niemniej jednak w pracy wykazano, że wykorzystanie cech jakości, uzyskanych w wyniku integracji ontologii i zastosowania metod uczenia maszynowego, jako kryteriów oceny grupowej, pozwala precyzyjnie oceniać jakość serwisów. Wykorzystanie metody grupowego wspomagania decyzji Promethee GDSS pozwala w tym przypadku, w odniesieniu do metod wykorzystujących pojedynczego eksperta, wykryć i zniwelować błędy w ocenie popełnione przez jednego z ekspertów. Ponadto, w porównaniu z metodami wykorzystującymi w ocenie badanie ankietowe (np. eQual), ekspercka ocena grupowa nie wymaga przeprowadzania, czasochłonnego i problematycznego logistycznie, badania ankietowego. Pozwala więc ona badać jakość serwisów w każdym momencie, przy wykorzystaniu niewielkiego nakładu środków. Wobec tego, zdaniem autora, główna teza postawiona w pracy została potwierdzona. Potwierdzone w rozprawie zostały również tezy podrzędne, mówiące o tym, że:

- integracja ontologii pozwoli uzyskać jednolitą strukturę kryteriów, która może posłużyć do budowy nowych metod oceny jakości serwisów,
- zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego pozwoli na dobór, dla serwisów określonego typu, kryteriów istotnych i umożliwi określanie ich wag.

W treści rozprawy, poza rozważaniami czysto naukowymi, w szerokim zakresie zawarto także różnorodne badania praktyczne. W pracy zaprezentowano m.in. zastosowanie: metod selekcji cech wywodzących się z uczenia maszynowego do selekcji kryteriów, wykorzystanie analizy czynnikowej do reorganizacji struktury kryteriów oraz realizację procesu oceny jakości za pomocą metody grupowego wspomagania decyzji. Jednak zarówno rozważania teoretyczne, jak również badania praktyczne koncentrowały się na teorii i inżynierii ontologii. W rozprawie omówiono i usystematyzowano informacje na temat licznych języków ontologii, metodologii ich budowy oraz narzędzi służących do ich edycji. W zakresie inżynierii ontologii zaprezentowano procesy budowy ontologii z wykorzystaniem określonej metodologii oraz integracji ontologii. Ponadto, za pomocą logiki opisowej, pokazano przykłady wnioskowania mechanizmu wnioskującego oraz ujęto wykorzystanie notacji Manchester języka OWL i języka SPARQL do uzyskiwania wiedzy i informacji z ontologii. Pokazano także przykład zastosowania reguł języka SWRL do wzbogacania wiedzy zawartej w ontologii. Elementy te ujęto w pracy tak szczegółowo, ponieważ, zdaniem autora, w literaturze polskojęzycznej widoczny jest niedobór kompletnych opracowań dotyczących teorii, inżynierii oraz praktycznych zastosowań ontologii. Wielu autorów polskojęzycznych prac z dziedziny ontologii prezentuje je natomiast jako narzędzie do budowy prostych taksonomii konceptów lub jako bazy danych, w których mechanizm wnioskujący w zasadzie jest odpowiedzialny tylko za realizację niezbyt skomplikowanych

zapytań o dane. Prace te natomiast nie pokazują wielu innych możliwości, które dają ontologie.

Jeżeli chodzi o dalszą rozbudowę modelu systemu ekspertowego, to właściwym kierunkiem wydaje się zawarcie w nim kolejnych profili typów serwisów oraz kolejnych ontologii. Ponadto w niniejszej rozprawie, ze względu na jej obszerność oraz licznosc przedstawionych badań, nie podjęto tematu dodatkowego zastosowania drzew CART, wykorzystanych na etapie selekcji kryteriów oceny (patrz: pkt 4.2). Tymczasem zastosowanie drzew CART pozwala uzyskać reguły mówiące o tym, jak oceny kryterialne determinują ocenę ogólną serwisów. Reguły takie mogłyby być wykorzystane do badania indywidualnych rankingów poszczególnych decydentów i mogłyby wskazywać „dyskusyjne” rankingi niezgodne z kolejnością serwisów, uzyskaną na podstawie reguł operujących na ocenach kryterialnych. Przytoczony kierunek badań, wraz z zastosowaniem analizy GAIA, w efekcie może pozwolić na skuteczniejszą weryfikację rozwiązań uzyskiwanych metodą Promethee GDSS. Interesującymi kierunkami badań, zdaniem autora, wydają się również zagadnienia związane z automatyzacją procesu selekcji kryteriów i określania ich wag oraz integracją ontologii. Tego typu automatyczne lub półautomatyczne narzędzia, wraz z implementacją metody oceny grupowej, mogłyby być opracowane np. w postaci rozszerzeń dla edytora ontologii Protege lub też w ramach implementacji opracowanego modelu systemu ekspertowego.



## Literatura

- [1] Ahmad A., Dey L., A feature selection technique for classificatory analysis. *Pattern Recognition Letters*, Vol. 26, No. 1, 2005, s. 43-56.
- [2] Ahn T., Ryu S., Han I., The impact of the online and offline features on the user acceptance of Internet shopping malls. *Electronic Commerce Research and Applications*, Vol. 3, No. 4, 2004, s. 405-420.
- [3] Ahn T., Ryu S., Han I., The impact of Web quality and playfulness on user acceptance of online retailing. *Information & Management*, Vol. 44, No. 3, 2007, s. 263-275.
- [4] Akinci S., Atilgan-Inan E., Aksoy S., Re-assessment of E-S-Qual and E-RecS-Qual in a pure service setting. *Journal of Business Research*, Vol. 63, No. 3, 2010, s. 232-240.
- [5] Aladwani A.M., Palvia P.C., Developing and validating an instrument for measuring user-perceived web quality. *Information & Management*, Vol. 39, No. 6, 2002, s. 467-476.
- [6] Alatrish E.S., Comparison of Ontology Editors. *e-RAF Journal on Computing*, Vol. 4, 2012, s. 23-38.
- [7] Albert B., Tullis T., Tedesco D., *Beyond The Usability Lab, Conducting Large-scale Online User Experience Studies*. Elsevier, Morgan Kaufmann, 2010.
- [8] Antoniou G., van Harmelen F., *Web Ontology Language: OWL*. [W]: *Handbook On Ontologies*. Second Edition. International Handbooks on Information Systems, red.: Staab S., Studer R., Springer, 2009, s. 91-110.
- [9] Baader F., Horrocks I., Sattler U., *Description Logics*. [W]: *Handbook On Ontologies*. Second Edition. International Handbooks on Information Systems, red.: Staab S., Studer R., Springer, 2009, s. 21-43.
- [10] Bąk J., Jędrzejek C., Wnioskowanie hybrydowe w relacyjnej bazie danych wykorzystujące podejście semantyczne. [W]: *Bazy Danych: Rozwój metod i technologii*, red.: Kozielski S., Małyśiak B., Kasprowski P., Mrozek D., WKŁ, 2008, s. 335-350.
- [11] Barnes S.J., Liu K., Vidgen R., Evaluating WAP News Sites: The WebQual/M Approach. *Proceedings of the 9th European Conference on Information Systems*, 2001.
- [12] Barnes S.J., Vidgen R., Data triangulation and web quality metrics: A case study in e-government. *Information & Management*, Vol. 43, No. 6, 2006, s. 767-777.
- [13] Barnes S.J., Vidgen R., Data Triangulation in action: using comment analysis to refine web quality metrics. *Proceedings of the 13th European Conference on Information Systems*, 2005.
- [14] Barnes S.J., Vidgen R., Measuring Web site quality improvements: a case study of the forum on strategic management knowledge exchange. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 103, No. 5, 2003, s. 297-309.
- [15] Barnes S.J., Vidgen R., The eQual Approach to the Assessment of E-Commerce Quality: A Longitudinal Study of Internet Bookstores. [W:] *Web Engineering: Principles and Techniques*, red.: Suh W., Idea Group Publishing, 2005, s. 161-181.
- [16] Barnes S.J., Vidgen R., WebQual: An Exploration of Web-site Quality. *Proceedings of the 8th European Conference on Information Systems*, Vol. 1, 2000, s. 298-305.

- [17] Berners-Lee T., WWW: past, present, and future. *Computer*, Vol. 29, No. 10, 1996, s. 69-77.
- [18] Bernstein A., Kaufmann E., Burki C., Klein M., How Similar Is It? Towards Personalized Similarity Measures in Ontologies. [W]: *Wirtschaftsinformatik 2005, eEconomy, eGovernment, eSociety*, red.: Ferstl O.K., Sinz E.J., Eckert S., Isselhorst T., Physica-Verlag, 2005, s. 1347-1366.
- [19] Bezos J., Amazon.com, *Business Week*, 22.03.1999, s. EB30.
- [20] Bhagwani S., Satapathy S., Karnick H., SRANJANS: Semantic Textual Similarity using Maximal Weighted Bipartite Graph Matching. *Proceedings of the First Joint Conference on Lexical and Computational Semantics*, Vol. 1-2, 2012, s. 579-585.
- [21] Bigne J.E., Martinez C., Miquel M.J., Andreu L., SERVQUAL Reliability and Validity in Travel Agencies. *Annals of Tourism Research*, Vol. 30, No. 1, 2003, s. 258-262.
- [22] Bins J., Draper B.A., Evaluating Feature Relevance: Reducing Bias in Relief. *Proceedings of the 6th Joint Conference on Information Science*, 2002, s. 757-760.
- [23] Blazquez M., Fernandez M., Garcia-Pinar J.M., Gomez-Perez A., Building Ontologies at the Knowledge Level using the Ontology Design Environment. *Proceedings of the 11th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop*, 1998.
- [24] Boiński T., Procedury odwzorowania i łączenia ontologii dziedzinowych. Rozprawa doktorska. Politechnika Gdańska, 2012.
- [25] Brans J.P., Macharis C., Kunsch P.L., Chevalier A., Schwaninger M., Combining multicriteria decision aid and system dynamics for the control of socio-economic process. An iterative real-time procedure. *European Journal of Operational Research*, Vol. 109, No. 2, 1998, s. 428-441.
- [26] Brans J.P., Mareschal B., Promethee Methods. [W]: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, red.: Figueira J., Greco S., Ehrgott M., Springer, 2005, s. 163-195.
- [27] Budziński R., Stolarska M., Aspekty metodyczne oceny witryn internetowych. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 16, 2008, s. 5-14.
- [28] Calvanese D., De Giacomo G., Lembo D., Lenzerini M., Tractable Reasoning and Efficient Query Answering in Description Logics: The DL-Lite Family. *Journal of Automated Reasoning*, Vol. 39, No. 3, 2007, s. 385-429.
- [29] Cardoso J., The Semantic Web Vision: Where Are We? *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 22, No. 5, 2007, s. 84-88.
- [30] Casellas N., Methodologies, Tools and Languages for Ontology Design. [W]: *Legal Ontology Engineering. Methodologies, Modelling Trends, and the Ontology of Professional Judicial Knowledge*, red.: Casellas N., Springer, 2011, s. 57-107.
- [31] Chang C.C., Generalized iterative RELIEF for supervised distance metric learning. *Pattern Recognition*, Vol. 16, No. 8, 2010, s. 2971-2981.
- [32] Chaudhary D., Yadaav P.K., Singh R.K., Mitra S., Ghaziabad S., Integrated Knowledge Base: an Approach to Knowledge Extraction. *International Journal of Computer Applications, Special Issue on Issues and Challenges in Networking, Intelligence and Computing Technologies*, No. 6, 2012, s. 19-26.

- [33] Chen Y., Hsu C.Y., Liu L., Yang S., Constructing a nutrition diagnosis expert system. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 2, 2012, s. 2132-2156.
- [34] Chiou W.C., Lin C.C., Perng C., A strategic framework for website evaluation based on a review of the literature from 1995–2006. *Information & Management*, Vol. 47, No. 5-6, 2010, s. 282-290.
- [35] Chizi B., Maimon O., Dimension Reduction and Feature Selection. [W]: *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. Second Edition, red.: Maimon O., Rokach L., Springer, 2010, s. 83-100.
- [36] Chmielarz W., Analysis and Evaluation of Selected Shops with Organic Food in Poland. *Lecture Notes in Business Information Processing*, Vol. 90, 2011, s. 267-280.
- [37] Chmielarz W., Comparative analysis of electronic banking services in selected banks in Poland after the 2009-2010 crisis. *Studies & Proceedings Polish Association for Knowledge Management*, No. 58, 2012, s. 20-32.
- [38] Chmielarz W., Ocena użyteczności internetowych witryn sklepów komputerowych. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 13, 2008, s. 17-24.
- [39] Chmielarz W., Oceny jakościowe wybranych internetowych serwisów księgarskich. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 27, 2010, s. 84-99.
- [40] Chmielarz W., Problemy oceny witryn bankowości elektronicznej dla klienta indywidualnego wybranych banków w Polsce. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 16, 2008, s. 15-25.
- [41] Chmielarz W., Quality assessment of selected bookselling websites. *Polish Journal of Management Studies*, Vol. 1, 2010, s. 127-146.
- [42] Chou W.C., Cheng Y., A hybrid fuzzy MCDM approach for evaluating website quality of professional accounting firms. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 3, 2012, s. 2783-2793.
- [43] Cohen W.W., Ravikumar P., Fienberg S.E., A Comparision of String Distance Metrics for Name-Matching Tasks. *Proceedings of the IJCAI2003 Workshop on Information Integration on the Web (IIWeb-03)*, 2003, s. 73-78..
- [44] Cohen W.W., Ravikumar P., Fienberg S.E., A Comparison of String Metrics for Matching Names and Records. *Proceedings of the KDD-2003 Workshop on Data Cleaning and Object Consolidation*, 2003.
- [45] Complexity of reasoning in Description Logics, <http://www.cs.man.ac.uk/~ezolin/dl/> [dostęp: 03.05.2013]
- [46] Corcho O., Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., Lopez-Cima A., Building Legal Ontologies with METHONTOLOGY and WebODE. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3369, 2005, s. 142-157.
- [47] Corcho O., Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 46, No. 1, 2003, s. 41-64.

- [48] Corcho O., Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., *Ontological Engineering: Principles, Methods, Tools and Languages*. [W]: *Ontologies for Software Engineering and Software Technology*, red: Calero C., Ruiz F., Piattini M., Springer, 2006, s. 1-48.
- [49] Cross V., Hu X., *Using Semantic Similarity in Ontology Alignment*. *Proceedings of the 10th International Semantic Web Conference, Workshop on Ontology Matching*, 2011.
- [50] Cummings L., *Pragmatics: A Multidisciplinary Perspective*. Edinburg University Press, 2005.
- [51] d'Aquin M., Baldassarre C., Gridinoc L., Angeletou S., Sabou M., Motta E., *Characterizing Knowledge on the Semantic Web with Watson*. *Proceedings of the International Workshop Evaluation of Ontologies and Ontology-Based Tools (EON)*, 2007.
- [52] de Bruijn J., Ehrig M., Feier C., Martin-Recuerda F., Scharffe F., Weiten M., *Ontology Mediation, Merging, and Aligning*. [W]: *Semantic Web Technologies: Trends and Research in Ontology-based Systems*, red.: Davies J., Studer R., Warren P., Wiley, 2006, s. 95-113.
- [53] de Bruijn J., Lausen H., Polleres A., Fensel D., *The Web Service Modeling Language WSM: An Overview*. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4011, 2006, s. 590-604.
- [54] de Bruijn J., *Logics for the Semantic Web*. [W]: *Semantics Web Services: Theory, Tools and Applications*, red.: Cardoso J., IGI Global, 2007, s. 24-43.
- [55] Della Valle E., Ceri S., *Querying the Semantic Web: SPARQL*. [W]: *Handbook of Semantic Web Technologies*, red.: Domingue J., Fensel D., Hendler J.A., Springer, 2011, s. 299-363.
- [56] DeLone W.H., LcLean E.R., *Information Systems Success: The Quest for the Dependent Variable*. *Information Systems Research*, Vol. 3, No. 1, 1992, s. 60-95.
- [57] DeLone W.H., LcLean E.R., *The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update*. *Journal of Management Information Systems*, Vol. 19, No. 4, 2003, s. 9-30.
- [58] Demchak C.C., Friis C., La Porte T.M., *Webbing Governance: National Differences in Constructing the Face of Public Organizations*. [W:] *Handbook of Public Information Systems*, red.: Garson G.D., s.179-196.
- [59] Dentler K., Cornet R., ten Teije A., de Keizer N., *Comparison of reasoners for large ontologies in the OWL 2 EL profile*. *Semantic Web*, Vol. 2, No. 2, 2011, s. 71-87.
- [60] DISCO, compute semantic similarity beetween words. [http://www.linguatools.de/disco/disco\\_en.html](http://www.linguatools.de/disco/disco_en.html), [dostęp: 11.05.2013]
- [61] DL Query Tab - Protege Wiki, <http://protegewiki.stanford.edu/wiki/DLQueryTab> [dostęp: 28.04.2013]
- [62] Doan A., Madhavan J., Domingos P., Halevy A., *Ontology Matching: A Machine Learning Approach*. [W]: *Handbook on Ontologies*. Springer Series on Handbooks in Information Systems, red.: Staab S., Studer R., Springer, 2003, s. 385-404.
- [63] Dudek T., *Integracja danych w systemach ekspertowych oceny jakości. Metody informatyki stosowanej w zarządzaniu*, *Roczniki Informatyki Stosowanej Wydziału Informatyki Politechniki Szczecińskiej*, Nr 9, 2005, s. 191-196.

- [64] Dudek T., Integracja metod i danych w otwartym systemie wieloaspektowej analizy porównawczej. *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, Tom 11, Nr 2, 2010, s. 120-129.
- [65] Dudek T., Śmiałkowska B., Architektura ekspertowego systemu oceny jakości. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 18, 2009, s. 69-77.
- [66] Duong T.H., Cha S.J., Jo G.S., An Effective Method for Ontology Integration by Propagating Inconsistency. *Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge and Systems Engineering*, IEEE, 2010, s. 41-46.
- [67] Duong T.H., Jo G.S., Anchor-Prior: An Effective Algorithm for Ontology Integration. *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2011, s. 942-947.
- [68] Duong T.H., Jo G.S., Enhancing performance and accuracy of ontology integration by propagating priorly matchable concepts. *Neurocomputing*, Vol. 88, No. 1, 2012, s. 3-12.
- [69] Dyer J.S., MAUT – MultiAttribute Utility Theory. [W]: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, red.: Figueira J., Greco S., Ehrgott M., Springer, 2005, s. 265-295.
- [70] Elenius D., SWRL-IQ: A Prolog-based Query Tool for OWL and SWRL. *Proceedings of the International Workshop on OWL: Experiences and Directions*, 2012.
- [71] Elling S., Lentz L., de Jong M., van den Bergh H., Measuring the quality of governmental websites in a controlled versus an online setting with the ‘Website Evaluation Questionnaire’. *Government Information Quarterly*, Vol. 29, No. 3, 2012, s. 383-393.
- [72] Elling S., Lentz L., de Jong M., Website Evaluation Questionnaire: Development of a Research-Based Tool for Evaluating Informational Websites. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4656, 2007, s. 293-304.
- [73] Escorcio A.L., Cardoso J., Editing Tools for Ontology Construction. [W]: *Semantics Web Services: Theory, Tools and Applications*, red.: Cardoso J., IGI Global, 2007, s. 71-95.
- [74] Euzenat J., Valtchev P., An integrative proximity measure for ontology alignment. *Proceedings of the 1st International Workshop on Semantic Integration*, 2003.
- [75] Everitt B., Hothorn T., Exploratory Factor Analysis. [W]: *An Introduction to Applied Multivariate Analysis with R*, red.: Everitt B., Hothorn T., Springer, 2011, s. 135-161.
- [76] Fabisiak L., **Ziemia P.**, Wybrane metody analizy wielokryterialnej w ocenie użyteczności serwisów internetowych. *Studia Informatica*, Nr 28, 2011, s. 21-33.
- [77] Feigenbaum L., SPARQL By Example. A Tutorial. 30.05.2013, <http://www.cambridgesemantics.com/semantic-university/sparql-by-example/> [dostęp: 14.06.2013]
- [78] Fernandez A., Insfran E., Abrahao S., Usability evaluation methods for the web: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, Vol. 53, No. 8, 2011, s. 789-817.
- [79] Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., Overview and analysis of methodologies for building ontologies. *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 17, No. 2, 2002, s. 129-156.
- [80] Fernandez-Lopez M., Overview Of Methodologies For Building Ontologies. *Proceedings of the IJCAI-99 workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods*, 1999.

- [81] Figueira J., Mousseau V., Roy B., Electre Methods. [W]: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, red.: Figueira J., Greco S., Ehrgott M., Springer, 2005, s. 133-162.
- [82] Gaeta M., Orciuoli F., Ritrovato P., Advanced ontology management system for personalised e-Learning. Knowledge-Based Systems, Vol. 22, No. 4, 2009, s. 292-301.
- [83] Ghafghazi S., Sowlati T., Sokhansanj S., Melin S., A multicriteria approach to evaluate district heating system options. Applied Energy, Vol. 87, No. 4, 2010, s. 1134-1140.
- [84] Gnat S., Przegląd niektórych metod doboru zmiennych do modeli jednorównaniowych. Prace Katedry Ekonometrii i Statystyki, Nr 17, 2006, s. 165-178.
- [85] Goczyła K., Ontologie w systemach informatycznych. Exit, 2011.
- [86] Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O., Languages for Building Ontologies. [W]: Ontological Engineering, With Examples from the Areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web, red.: Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O., Springer, 2004, s. 199-292.
- [87] Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O., Methodologies and Methods for Building Ontologies. [W]: Ontological Engineering, With Examples from the Areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web, red.: Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O., Springer, 2004, s. 107-197.
- [88] Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O., The Most Outstanding Ontologies. [W]: Ontological Engineering, With Examples from the Areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web, red.: Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O., Springer, 2004, s. 47-106.
- [89] Gomez-Perez J.M., Ruiz C., Ontological Engineering and the Semantic Web. Studies in Computational Intelligence, Vol. 311, 2010, s. 191-224.
- [90] Graph Words online thesaurus, <http://graphwords.com/> [dostęp: 13.05.2013]
- [91] Grau B.C., Horrocks I., Motik B., Parsia B., Patel-Schneider P., Sattler U., OWL 2: The Next Step for OWL. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 6, No. 4, 2008, s. 309-322.
- [92] Greber T., Badanie satysfakcji klienta w kontekście zapewnienia jakości. StatSoft Polska, <http://www.statsoft.pl/czytelnia/jakosc/jabadaniesatysf4.pdf> [dostęp: 11.02.2013]
- [93] Grigoroudis E., Litos C., Moustakis V.A., Politis Y., Tsironis L., The assessment of user-perceived web quality: Application of a satisfaction benchmarking approach. European Journal of Operational Research, Vol. 187, No. 3, 2008, s. 1346-1357.
- [94] Grosz B.N., Horrocks I., Volz R., Decker S., Description Logic Programs: Combining Logic Programs with Description Logic. Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web, ACM, 2003, s. 48-57.
- [95] Gruninger M., Fox M.S., Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, 1995.
- [96] Gruninger M., Lee J., Ontology Applications and Design. Communications of the ACM, Vol. 45, No. 2, 2002, s. 39-41.

- [97] Guarino N., Oberle D., Staab S., What is an Ontology? [W]: Handbook On Ontologies. Second Edition. International Handbooks on Information Systems, red.: Staab S., Studer R., Springer, 2009, s. 1-17.
- [98] Guyon I., Practical Feature Selection: from Correlation to Causality. [W]: Mining massive data sets for security: advances in data mining, search, social networks and text mining, and their applications to security, red.: Fogelman-Soulié F., Perrotta D., Piskorski J., Steinberger R., IOS Press, 2008, s. 27-43.
- [99] Guzman-Arenas A., Cuevas A.D., Knowledge accumulation through automatic merging of ontologies. Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 3, 2010, s. 1991-2005.
- [100] Hall M.A., Correlation-based Feature Selection for Discrete and Numeric Class Machine Learning. Proceedings of the 17th International Conference on Machine Learning, 2000, s. 359-366.
- [101] Hall M.A., Holmes G., Benchmarking Attribute Selection Techniques for Discrete Class Data Mining. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 15, No. 6, 2003, s. 1437-1447.
- [102] Hall M.A., Smith L.A., Feature Selection for Machine Learning: Comparing a Correlation-based Filter Approach to the Wrapper. Proceedings of the 12th International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, 1999, s. 235-239.
- [103] Hand D., Mannila H., Smyth D., Eksploracja danych. WNT, 2005, s. 414-416.
- [104] Harris S., Seaborne A., SPARQL 1.1 Query Language. 21.03.2013, <http://www.w3.org/TR/sparql11-query/> [dostęp: 14.06.2013]
- [105] Hasan L., Abuelrub E., Assessing the quality of web sites. Applied Computing and Informatics, Vol. 9, No. 1, 2011, s. 11-29.
- [106] Heflin J., OWL Web Ontology Language Use Cases and Requirements. W3C Recommendation, 10.02.2004, <http://www.w3.org/TR/webont-req/> [dostęp: 10.03.2013]
- [107] Hepp M., Ontologies: state of the art, business potential, and grand challenges. Computing for Human Experience, Vol. 7, 2008, s. 3-22.
- [108] Hirsch P.M., Exercise the Power of the World Wide Web. IEEE Computer Applications in Power, Vol. 8, No. 3, 1995, s. 25-29.
- [109] Hirst G., Semantic Interpretation and the Resolution of Ambiguity. Cambridge University Press, 1992.
- [110] Ho L.A., Kuo T.H., Lin B., The mediating effect of website quality on Internet searching behavior. Computers in Human Behavior, Vol. 28, No. 3, 2012, s. 840-848.
- [111] Holzinger A., Usability Engineering Methods for Software Developers. Communications of ACM, Vol. 48, No. 1, 2005, s. 71-74.
- [112] Hom J., The Usability Methods Toolbox Handbook. 1998, <http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/lecturenotes/UsabilityMethodsToolboxHandbook.pdf> [dostęp: 4.02.2013]
- [113] Horridge M., A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools, Edition 1.3. The University of Manchester, 2011.

- [114] Horridge M., Drummond N., Goodwin J., Rector A., Stevens R., Wang H.H., The Manchester OWL Syntax. Proceedings of the OWLED'06 Workshop on OWL: Experiences and Directions, 2006.
- [115] Horridge M., Patel-Schneider P.F., Manchester Syntax for OWL 1.1. Proceedings of the OWLED'08 Workshop on OWL: Experiences and Directions, 2008.
- [116] Horridge M., Patel-Schneider P.F., OWL 2 Web Ontology Language, Manchester Syntax (Second Edition). 11.12.2012, <http://www.w3.org/TR/owl2-manchester-syntax/> [dostęp: 04.05.2013]
- [117] Horridge M., The Manchester OWL Syntax Editor Guide. The University of Manchester, 2005.
- [118] Horrocks I., Patel-Schneider P.F., Boley H., Tabet S., Grosz B., Dean M., SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. 21.04.2004, <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> [dostęp: 12.06.2013]
- [119] Hsu H.H., Hsieh C.W., Lu M.D., Hybrid feature selection by combining filters and wrappers. Expert Systems with Applications, Vol. 38, No. 7, 2011, s. 8144-8150.
- [120] <http://apollo.open.ac.uk/> [dostęp:14.04.2013]
- [121] <http://kaon2.semanticweb.org/> [dostęp:15.04.2013]
- [122] [http://neon-toolkit.org/wiki/Main\\_Page](http://neon-toolkit.org/wiki/Main_Page) [dostęp:15.04.2013]
- [123] <http://protege.stanford.edu/> [dostęp:14.04.2013]
- [124] <http://rdf.dmoz.org/> [dostęp: 10.03.2013]
- [125] <http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn>
- [126] <http://www.hozo.jp/> [dostęp:14.04.2013]
- [127] <http://www.jarrar.info/Dogmamodeler/> [dostęp:16.04.2013]
- [128] <http://www.mindswap.org/2004/SWOOP/> [dostęp:14.04.2013]
- [129] <http://www.semafora-systems.com/en/products/ontostudio/> [dostęp:15.04.2013]
- [130] [http://www.topquadrant.com/products/TB\\_Composer.html](http://www.topquadrant.com/products/TB_Composer.html) [dostęp:15.04.2013]
- [131] Hwang J., Yoon Y.S., Park N.H., Structural effects of cognitive and affective responses to web advertisements, website and brand attitudes, and purchase intentions: The case of casual-dining restaurants. International Journal of Hospitality Management, Vol. 30, No. 4, 2011, s. 897-907.
- [132] Ichise R., Evaluation of Similarity Measures for Ontology Mapping. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5447, 2009, s. 15-25.
- [133] Ichise R., Machine Learning Approach for Ontology Mapping using Multiple Concept Similarity Measures. Proceedings of the Seventh IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, IEEE, 2008, s. 340-346.
- [134] International Telecommunication Union, <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/> [dostęp: 28.01.2013]
- [135] Internet Marketing News Watch, <http://www.imnewswatch.com/2006/06/16/poor-web-application-performance-threatens-consumer-loyalty/> [dostęp: 27.01.2013]



- [136] Internet Standard, Raport Specjalny Internet 2K11, <http://files.idg.pl/news/Internet2K11aktualizacja.zip> [dostęp: 31.01.2013]
- [137] Internet World Stats, <http://www.internetworldstats.com/eu/pl.htm> [dostęp: 27.01.2013]
- [138] Internet World Stats, <http://www.internetworldstats.com/stats.htm> [dostęp: 27.01.2013]
- [139] ISO 9126-1:2001(E), Software engineering – Product quality – Part 1: Quality model.
- [140] ISO 9241-11:1998(E), Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) – Part 11: Guidance on usability.
- [141] ISO/IEC 24707:2007(E), Information technology – Common Logic (CL): a framework for a family of logic-based languages.
- [142] ISO/IEC 25010:2010(E), Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.
- [143] Jafari S.M., Ali N.A., Sambasivan M., Said M.F., A Respecification and Extension of DeLone and McLean Model of IS Success in the Citizen-centric e-Governance. Proceedings of the International Conference on Information Reuse and Integration, IEEE, 2011, s. 342-346.
- [144] Janowicz K., Wilkes M., SIM-DL<sub>A</sub>: A Novel Semantic Similarity Measure for Description Logics Reducing Inter-Concept to Inter-Instance Similarity. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5554, 2009, s. 353-367.
- [145] Janssens G.K., Pangilinan J.M., Multiple Criteria Performance Analysis of Non-dominated Sets Obtained by Multi-objective Evolutionary Algorithms for Optimisation. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol. 339, 2010, s. 94-103.
- [146] January 2013 Web Server Survey, Netcraft, <http://news.netcraft.com/archives/2013/01/07/january-2013-web-server-survey-2.html> [dostęp: 27.01.2013]
- [147] Java WordNet::Similarity, <http://www.sussex.ac.uk/Users/drh21/> [dostęp: 10.05.2013]
- [148] Kapoor B., Sharma S., A Comparative Study Ontology Building Tools for Semantic Web Applications. International Journal of Web & Semantic Technology, Vol. 1, No. 3, 2010, s. 1-13.
- [149] Karwatka T., Usability w e-biznesie, co kieruje twoim klientem? Helion, 2009.
- [150] Kassaie B., Vazifedoost A., Rahgozar M., Application of Textual Corpus in Ontology Matching. International Journal of Information and Education Technology, Vol. 2, No. 6, 2012, s. 638-642.
- [151] Kim H., Niehm L.S., The Impact of Website Quality on Information Quality, Value, and Loyalty Intentions in Apparel Retailing. Journal of Interactive Marketing, Vol. 23, No. 3, 2009, s. 221-233.
- [152] Kim S., Stoel L., Dimensional hierarchy of retail website quality. Information & Management, Vol. 41, No. 5, 2004, s. 619-633.
- [153] Kira K., Rendell L.A., A Practical Approach to Feature Selection. Proceedings of the 9th international workshop on Machine learning, 1992, s. 249-256.

- [154] Klein M., Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions. *Proceedings of the IJCAI Workshop on Ontologies and Information Sharing*, 2001, s. 53-62.
- [155] Knorr M., Alferes J.J., Hitzler P., Local closed world reasoning with description logics under the well-founded semantics. *Artificial Intelligence*, Vol. 175, No. 9-10, 2011, s. 1528-1554.
- [156] Kodikara P.N. *Multi-Objective Optimal Operation of Urban Water Supply Systems*. Victoria University, 2008, s. 21-26.
- [157] Koide S., Takeda H., *Common Languages for Web Semantics*. [W]: *Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering*, red.: Maciaszek L.A., Loucopoulos P., Springer, 2011, s. 148-162.
- [158] Kolb P., Experiments on the difference between semantic similarity and relatedness. *Proceedings of the 17th Nordic Conference of Computational Linguistics*, 2009, s. 81-88.
- [159] Kong F., Liu H., Applying fuzzy analytic hierarchy process to evaluate success factors of e-commerce. *International Journal of Information and System Sciences*, Vol. 1, No. 3-4, 2005, s.406-412.
- [160] Kononenko I., *Estimating Attributes: Analysis and Extensions of RELIEF*. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 784, 1994, s. 171-182.
- [161] Kononenko I., Hong S.J., *Attribute Selection for Modelling*. *Future Generation Computer Systems*, Vol. 13, No.2-3, 1997, s. 181-195.
- [162] Kotarbiński T., *Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk*. Ossolineum, 1961.
- [163] Kotis K., Vouros G., *Human-centered ontology engineering: The HCOME methodology*. *Knowledge and Information Systems*, Vol. 10, No. 1, 2006, s. 109-131.
- [164] Kotis K., Vouros G., *Ontological Tools: Requirements, Design Issues and Perspectives*. [W]: *Theory and Applications of Ontology: Computer Applications*, red.: Poli R., Healy M., Kameas A., Springer, 2010, s. 155-173.
- [165] Kremen P., Smid M., Kouba Z., *OWLDiff: A Practical Tool for Comparison and Merge of OWL ontologies*. *Proceedings of the 22nd International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, IEEE, 2011, s. 229-233.
- [166] Krug S., *Don't Make Me a Think, A Common Sense Approach to Web Usability*, Second Edition. New Riders Publishing, 2006.
- [167] Kusztna E., Różewski P., Ciszczyk M., Sikora K., *Struktura ontologii jako narzędzie opisu wiedzy dziedzinowej*. *Metody Informatyki Stosowanej*, Tom 12, Nr 2, 2007, s. 73-88.
- [168] Kutsia T., Marin M., *Solving, Reasoning, and Programming in Common Logic*. [W]: *Proceedings of the 14th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC)*, IEEE, 2012, s. 119-126.
- [169] Labatut V., Cherifi H., *Accuracy Measures for the Comparison of Classifiers*. *Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology*, 2011,
- [170] Łabuzek M., *Wykorzystanie metamodelowania do specyfikacji ontologii znaczenia opisów rzeczywistości*. E-informatyka.pl, <http://www.e-informatyka.pl/attach/>

Wykorzystanie\_metamodelowania\_do\_specyfikacji\_ontologii\_znaczenia\_opisów\_rzeczywistości/402.pdf [dostęp: 10.03.2013]

- [171] Lee Y., Kozar K.A., Investigating the effect of website quality on e-business success: An analytic hierarchy process (AHP) approach. *Decision Support Systems*, Vol. 42, No. 3, 2006, s.1383-1401.
- [172] Lin C.S., Wu S., Tsai R.J., Integrating perceived playfulness into expectation-confirmation model for web portal context. *Information & Management*, Vol. 42, No. 5, 2005, s. 683-693.
- [173] Lin F., Sandkuhl K., A New Expanding Tree Ontology Matching Method. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4806, 2007, s. 1329-1337.
- [174] Lin H.F., An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers & Education*, Vol. 54, No. 4, 2010, s.977-888.
- [175] Liu H., Setiono R., A Probabilistic Approach to Feature Selection – A Filter Solution. *Proceedings of the 13th International Conference on Machine Learning*, 1996, s. 319-327.
- [176] Liu H., Yu L., Motoda H., Feature Extraction, Selection, and Construction. [W]: *The Handbook of Data Mining*, red.: Ye N., Lawrence Erlbaum Associates, 2003, s. 409-424.
- [177] Lopez-Pellicer F.J., Vinches-Blazquez L.M., Nogueras-Iso J., Corcho O., Bernabe M.A., Rodriguez A.F., Using a hybrid approach for the development of an ontology in the hydrographical domain. *Proceedings of the 2nd Workshop Ontologies for urban development: Conceptual models for practitioner*, 2008.
- [178] Lula P., Paliwoda-Pękosz G., Podobieństwo semantyczne w analizie danych przekrojowych. *Taksonomia*, Nr 16, 2009, s. 104-112.
- [179] Lv Y., An Approach to Ontologies Integration. *Proceedings of the 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, IEEE, Vol.2, s. 1262-1266.
- [180] Lv Y., Xie C., A Framework for Ontology Integration and Evaluation. *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, IEEE, 2010, s. 521-524.
- [181] Magoutas B., Halaris C., Mentzas G., An Ontology for the Multi-perspective Evaluation of Quality in E-Government Services. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4656, 2007, s. 318-329.
- [182] Magoutas B., Mentzas G., SALT: A semantic adaptive framework for monitoring citizen satisfaction from e-government services. *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, No. 6, 2010, s. 4292-4300.
- [183] Magoutas B., Schmidt K.U., Mentzas G., Stojanovic L., An adaptive e-questionnaire for measuring user perceived portal quality. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 68, No. 10, 2010, s. 729-745.
- [184] Marjak H., Metody oceny i walidacji stron internetowych. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego*, Nr 45, Tom I, 2008, s.357-369.
- [185] Martinez-Cruz C., Blanco I.J., Vila M.A., Ontologies versus relational databases: are they so different? A comparison. *Artificial Intelligence Review*, Vol. 38, No. 4, 2012, s. 271-290.

- [186] Megapanel PBI/Gemius, Wyniki Magapanel PBI/Gemius za grudzień 2012 r., Informacja prasowa, 4.02.2013, <http://gemius.pl/pl/aktualnosci/2013-02-04/01> [dostęp: 6.02.2013]
- [187] Megapanel PBI/Gemius, Wyniki Magapanel PBI/Gemius za lipiec 2008 r., Informacja prasowa, 24.09.2008, [http://gemius.pl/pl/archiwum\\_prasowe/2008-09-24/01](http://gemius.pl/pl/archiwum_prasowe/2008-09-24/01) [dostęp: 31.01.2013]
- [188] Megapanel PBI/Gemius, Wyniki Magapanel PBI/Gemius za lipiec 2009 r., Informacja prasowa, 23.09.2009, [http://gemius.pl/pl/archiwum\\_prasowe/2009-09-23/01](http://gemius.pl/pl/archiwum_prasowe/2009-09-23/01) [dostęp: 31.01.2013]
- [189] Megapanel PBI/Gemius, Wyniki Magapanel PBI/Gemius za lipiec 2010 r., Informacja prasowa, 23.09.2010, [http://gemius.pl/pl/archiwum\\_prasowe/2010-09-24/01](http://gemius.pl/pl/archiwum_prasowe/2010-09-24/01) [dostęp: 31.01.2013]
- [190] Megapanel PBI/Gemius, Wyniki Magapanel PBI/Gemius za marzec 2013 r., Informacja prasowa, 7.05.2013, <http://www.gemius.pl/pl/aktualnosci/2013-05-07/01> [dostęp: 17.06.2013]
- [191] Mich L., Franch M., Instantiating Web Sites Quality Models: an Ontologies driven Approach. Proceedings of the CAISE'05 Workshop on Web Oriented Software Technologies, 2005.
- [192] Mich L., Franch M., Inverardi P.N., Marzani P., Choosing the "Rightweight" Model for Web Site Quality Evaluation. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2722, 2003, s. 334-337.
- [193] Mich L., Franch M., Martini U., A Modular Approach to Quality Evaluation of Tourist Destination Web Sites: The Quality Model Factory. [W]: Information and Communication Technologies in Tourism, Proceedings of the International Conference in Innsbruck, red.: Frew A.J., Springer, 2005, s. 555-565.
- [194] Michalak K., Kwaśnicka H., Correlation-based feature selection strategy in classification problems. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, Vol. 16, No. 4, 2006, s. 503-511.
- [195] Mishra R.B., Kumar S., Semantic web reasoners and languages. Artificial Intelligence Review, Vol. 35, No. 4, 2011, s. 339-368.
- [196] Mizoguchi R., Kozaki K., Ontology Engineering Environments. [W]: Handbook On Ontologies. Second Edition. International Handbooks on Information Systems, red.: Staab S., Studer R., Springer, 2009, s. 315-336.
- [197] Monge A.E., Elkan C.P., The field matching problem: Algorithms and applications. Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1996.
- [198] Morais D.C., Almeida A.T., Group decision-making for leakage management strategy of water network. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 52, No. 2, 2007, s.441-459.
- [199] Mulligann C., Trame J., Janowicz K., Introducing the new SIM-DL<sub>A</sub> Semantic Similarity Measurement Plug-in for the Protege Ontology Editor. Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on Spatial Semantics and Ontologies, 2011, s. 17-24.

- [200] Muylle S., Moenaert R., Despontin M., The conceptualization and empirical validation of web site user satisfaction. *Information & Management*, Vol. 41, No. 5, 2004, s. 543-560.
- [201] Nebel B., *Frame-Based Systems*. [W]: *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences (MITECS)*, red.: Wilson R.A., Keil F., MIT Press, 2001, s. 324-326.
- [202] Nezhadi A.H., Shadgar B., Osareh A., *Ontology Alignment using Machine Learning Techniques*. *International Journal of Computer Science & Information Technology*, Vol. 3, No. 2, 2011, s. 139-150.
- [203] Nguyen N.T., *A Method for Ontology Conflict Resolution and Integration on Relation Level*. *Cybernetics and Systems*, Vol. 38, No. 8, 2007, s. 781-797.
- [204] Nguyen N.T., *Ontology Integration*. [W]: *Advanced Methods for Inconsistent Knowledge Management*, red.: Nguyen N.T., Springer, 2008, s. 241-262.
- [205] Nielsen J., *Usability 101: Introduction to Usability*. Jakob Nielsen's Alertbox, 4.01.2012, <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/> [dostęp: 3.02.2013]
- [206] Nielsen J., *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, 1993.
- [207] Noy N.F., Musen M.A., *The PROMPT suite: interactive tools for ontology merging and mapping*. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 59, No. 6, 2003, s. 983-1024.
- [208] O'Connor M., Das A., *SQWRL: a Query Language for OWL*. *Proceedings of the 6th International Workshop on OWL: Experiences and Directions*, 2009.
- [209] O'Connor M., Knublauch H., Tu S., Grosz B., Dean M., Grosso W., Musen M., *Supporting Rule System Interoperability on the Semantic Web with SWRL*. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3729, 2005, s. 974-986.
- [210] Ordysński T., *Ontology of e-commerce application functionality*. [W]: *Information Systems in Management VI, Ontologies and Data Base Technologies*, red.: Jałowiecki P., Orłowski A., WULS Press, 2010, s. 57-66.
- [211] Ordysński T., *Ontology of e-learning applications*. *Annales UMCS Informatica*, Vol. 11, No. 1, 2011, s. 79-87.
- [212] Ordysński T., *Ontology of factors determining website value*. *Informatyka Ekonomiczna*, Nr 20, 2011, s. 244-256.
- [213] Orłowski C., Ziółkowski A., Czarnecki A., *Validation of an Agent and Ontology-Based Information Technology Assessment System*. *Cybernetics and Systems*, Vol. 41, No. 1, 2010, s. 62-74.
- [214] *OWL Diff*, <http://krizik.felk.cvut.cz/km/owldiff/index.html> [dostęp: 12.05.2013]
- [215] Parasuraman A., Zeithaml V.A., Berry L.L., *SERVQUAL: A Multiple-item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality*. *Journal of Retailing*, Vol. 64, No. 1, 1988, s.12-40.
- [216] Parasuraman A., Zeithaml V.A., Malhotra A., *E-S-QUAL A Multiple-Item Scale for Assessing Electronic Service Quality*. *Journal of Service Research*, Vol. 7, No. 10, 2005, s.1-21.

- [217] Park J., Sung K., Moon S., Developing Graduation Screen Ontology based on the METHONTOLOGY Approach. Proceedings of the Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management, Vol. 2, 2008, s. 375-380.
- [218] Park J., Sung K., Moon S., Using the METHONTOLOGY Approach to a Graduation Screen Ontology Development: An Experiential Investigation of the METHONTOLOGY Framework. Asia Pacific Journal of Information Systems, Vol. 20, No. 2, 2010, s. 125-155.
- [219] Paulheim H., Ontology-based Application Integration. Springer, 2011.
- [220] Pedersen T., Pakhomov S.V.S., Patwardhan S., Chute C.G., Measure of semantic similarity and relatedness in the biomedical domain. Journal of Biomedical Informatics, Vol. 40, No. 3, 2007, s. 288-299.
- [221] Pedersen T., Patwardhan S., Michelizzi J., WordNet::Similarity – Measuring the Relatedness of Concepts. Proceedings of the 19th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-04), 2004, s. 1024-1025.
- [222] Peng Y., Wang G., Wang H., User preferences based software defect detection algorithms selection using MCDM. Information Sciences, Vol. 191, 2012, s. 3-13.
- [223] Perzyńska J., Zastosowanie metody Hellwiga do wyznaczania wag prognoz kombinowanych. Ekonometria, Nr 34, 2011, s. 292-302.
- [224] Pham-Gia T., Hung T.L., The Mean and Median Absolute Deviations. Mathematical and Computer Modeling, Vol. 34, No. 7-8, 2001, s. 921-936.
- [225] Pinto H., Gomez-Perez A., Martins J., Some issues on ontology integration. Proceedings of IJCAI99's Workshop on Ontologies and Problem Solving Methods, 1999.
- [226] Pinto H.S., Tempich C., Staab S., Ontology Engineering and Evolution in a Distributed World Using DILIGENT. [W]: Handbook On Ontologies. Second Edition. International Handbooks on Information Systems, red.: Staab S., Studer R., Springer, 2009, s. 153-176.
- [227] Piskorski J., Sydow M., Usability of String Distance Metrics for Name Matching Tasks in Polish. Proceedings of the 3rd Language & Technology Conference: Human Language Technologies as a Challenge for Computer Science and Linguistics, 2007.
- [228] Piwowarski M., **Ziomba P.**, Metoda Promethee II w wielokryterialnej ocenie produktów. Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, Nr 18, 2009, s. 135-144.
- [229] Piwowarski M., **Ziomba P.**, Multi-Criteria Decision Support in the Internet Comparative Systems. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 17, No. 3B, 2008, s.336-340.
- [230] Piwowarski M., **Ziomba P.**, Zastosowanie modelu eQual 4.0 do oceny złożonych serwisów internetowych. Ekonomiczne problemy usług, Nr 57, 2010, s. 681-688.
- [231] Półautomatyczna konstrukcja Słownosieci, <http://plwordnet.pwr.wroc.pl/main/?lang=pl> [dostęp: 10.05.2013]
- [232] Pomerol J.C., Barba-Romero S., Multicriterion decision in management: Principles and Practice. Kluwer Academic Publishers, 2000, s. 94-99.

- [233] Rajpathak D., Chougule R., A generic ontology development framework for data integration and decision support in a distributed environment. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 24, No. 2, 2011, s. 154-170.
- [234] Rene Robin C.R., Uma G.V., A Novel Algorithm for Fully Automated Ontology Merging Using Hybrid Strategy. *European Journal of Scientific Research*, Vol. 47, No. 1, 2010, s. 74-81.
- [235] Riordan D., Ontology Modelling. <http://web.cs.dal.ca/~riordan/CSCI6501/Resources/Ontologies/OntologiesV9.doc> [dostęp: 27.04.2013]
- [236] Rokach L., Maimon O., Classification Trees. [W]: *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. Second Edition, red.: Maimon O., Rokach L., Springer, 2010, s. 149-174.
- [237] Rokach L., Maimon O., Supervised Learning. [W]: *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. Second Edition, red.: Maimon O., Rokach L., Springer, 2010, s. 133-148.
- [238] Roussey C., Pinet F., Kang M.A., Corcho O., An Introduction to Ontologies and Ontology Engineering. [W]: *Ontologies in Urban Development Projects*, red.: Falquet G., Metral C., Teller J., Tweed C., Springer, 2011, s. 9-38.
- [239] Rubin J., Chisnell D., *Handbook of Usability Testing, How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*, Second Edition. Wiley, 2008.
- [240] Saa R., Garcia A., Gomez C., Carretero J., Garcia-Carballeira F., An ontology-driven decision support system for high-performance and cost-optimized design of complex railway portal frames. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 10, 2012, s. 8784-8792.
- [241] Saaty T.L., Decision making – the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 13, No. 1, 2004, s. 1-35.
- [242] Saaty T.L., Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 2008, s. 83-98.
- [243] Saaty T.L., How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, No. 1, 1990, s. 9-26.
- [244] Saaty T.L., Hu G., Ranking by Eigenvector Versus Other Methods in the Analytic Hierarchy Process. *Applied Mathematics Letters*, Vol. 11, No. 4, 1998, s. 121-125.
- [245] Saaty T.L., Shang J.S., Group decision-making: Head-count versus intensity of preference. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 41, No. 1, 2007, s. 22-37.
- [246] Saaty T.L., The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making. [W]: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, red.: Figueira J., Greco S., Ehrgott M., Springer, 2005, s. 345-407.
- [247] Saaty T.L., The seven pillars of the analytic hierarchy process. *Proceedings of the 5th International Symposium on the AHP*, 1999.
- [248] Saaty T.L., Vargas L.G., Dispersion of group judgments. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 46, No. 7-8, 2007, s. 918-925.

- [249] Saaty T.L., Vargas L.G., The possibility of group choice: pairwise comparisons and merging functions. *Social Choice and Welfare*, Vol. 38, No. 3, 2012, s. 481-496.
- [250] Sagan A., *Badania marketingowe. Podstawowe kierunki*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, 1998, s. 162-163.
- [251] Schopman B., Wang S., Isaac A., Schlobach S., Instance-Based Ontology Matching by Instance Enrichment. *Journal on Data Semantics*, Vol. 1, No. 4, 2012, s. 219-236.
- [252] SecondString: Open source Java-based Package of Approximate String-Matching, <http://secondstring.sourceforge.net/> [dostęp: 3.05.2013]
- [253] Seddon P.B., A Respecification and Extension of the DeLone nad McLean Model of IS Success. *Information Systems Research*, Vol. 8, No. 3, 1997, s. 240-253.
- [254] Senthamarai Kannan S., Ramaraj N., A novel hybrid feature selection via Symmetrical Uncertainty ranking based local memetic search algorithm. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 23, No. 6, 2010, s. 580-585.
- [255] Shih H-P., Extended technology acceptance model of Internet utilization behavior. *Information & Management*, Vol. 41, No. 6, 2004, s. 719-729.
- [256] Shue L.Y., Chen C.W., Shiue W., The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2, 2009, s. 2130-2142.
- [257] Silva M., Elias E., Costa E., Bittencourt I.I., Barros H., da Silva L.D., da Silva A.P., Veras D., Combining Methontology and Ontology Driven Approach to Build an Educational Ontology. *IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine*, Vol. 6, No. 3, 2011, s. 11-18.
- [258] SIMCAT Semantic Similarity Measurement for Role – Governed Geospatial Categories. <http://sim-dl.sourceforge.net/>, [dostęp: 11.05.2013]
- [259] Siskos Y., Grigoroudis E., Matsatsinis N.F., UTA Methods. [W]: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, red.: Figueira J., Greco S., Ehrgott M., Springer, 2005, s. 297-343.
- [260] Spyns P., Tang Y., Meersman R., An ontology engineering methodology for DOGMA. *Journal of Applied Ontology*, Vol. 3, No. 1-2, 2008, s. 13-39.
- [261] Stachowiak K., Wielokryterialna analiza decyzyjna w badaniach przestrzenno-ekonomicznych. [W]: *Możliwości i ograniczenia zastosowań metod badawczych w geografii społeczno-ekonomicznej i gospodarce przestrzennej*, red.: Rogacki H., Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2002, s. 127-136.
- [262] Stanisław A., *Przystępny kurs statystyki, z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*. Tom 3. *Analizy wielowymiarowe*. Statsoft, 2007, s. 213-267.
- [263] StatSoft (2006), *Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL*. Kraków, <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html> [dostęp: 1.06.2013]
- [264] StatSoft, Inc. (2011), *STATISTICA (data analysis software system)*, version 10. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- [265] Stoma M., *Modele i metody pomiaru jakości usług*. Q&R Polska, 2012.



- [266] Suarez-Figueroa M.C., Gomez-Perez A., Villazon-Terrazas B., How to Write and Use the Ontology Requirements Specification Document. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5871, 2009, s. 966-982.
- [267] Suarez-Figueroa M.C., NeOn Methodology for Building Ontology Networks: Specification, Scheduling and Reuse. 2010.
- [268] Suh B., Han I., Effect of trust on customer acceptance of Internet banking. *Electronic Commerce Research and Applications*, Vol. 1, No. 3-4, 2002, s. 247-263.
- [269] Sure Y., Staab S., Studer R., Ontology Engineering Methodology. [W]: *Handbook On Ontologies*. Second Edition. International Handbooks on Information Systems, red.: Staab S., Studer R., Springer, 2009, s. 135-152.
- [270] Sure Y., Tempich C., Vrandecic D., Ontology Engineering Methodologies. [W]: *Semantic Web Technologies. Trends and Research in Ontology-based Systems*, red.: Davies J., Studer R., Warren P., Wiley, 2006, s. 171-190.
- [271] Szarafińska M., Fabisiak L., Analiza porównawcza metod wielokryterialnych w ocenie audencji serwisów internetowych. *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, Tom 11, Nr 2, 2010, s. 232-241.
- [272] Szewczyk A., Ocena użyteczności serwisów społecznościowych za pomocą metody usability test. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 32, 2010, s. 155-163.
- [273] Taboada M., Martinez D., Mira J., Experiences in reusing knowledge sources using Protege and PROMPT. *International Journal Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 5, 2005, s. 597-618.
- [274] The Manchester OWL Syntax, [http://www.co-ode.org/resources/reference/manchester\\_syntax](http://www.co-ode.org/resources/reference/manchester_syntax) [dostęp: 30.04.2013]
- [275] The WSMML working group members, D16.1v0.3 WSMML Language Reference, 25.09.2007, <http://www.wsmo.org/TR/d16/d16.1/v0.3/20070925/> [dostęp:09.04.2013]
- [276] The WSMML working group members, D16.1v1.0 WSMML Language Reference. 08.08.2008, <http://www.wsmo.org/TR/d16/d16.1/v1.0/> [dostęp:09.04.2013]
- [277] Thesaurus.com, <http://thesaurus.com/> [dostęp: 13.05.2013]
- [278] Tretyakova T., O roli ontologii w kształtowaniu bazy wiedzy system ekspertowego "HMDECISION". *Metody informatyki stosowanej w zarządzaniu*, *Roczniki Informatyki Stosowanej Wydziału Informatyki Politechniki Szczecińskiej*, Nr 9, 2005, s. 415-422.
- [279] Trzaskalik T., *Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2006.
- [280] Udo G.J., Bagchi K.K., Kirs P.J., Using SERVQUAL to assess the quality of e-learning experience. *Computers in Human Behavior*, Vol. 27, No. 3, 2011, s. 1272-1283.
- [281] Uschold M., Gruninger M., Ontologies and Semantics for Seamless Connectivity. *SIGMOD Record*, Vol. 33, No. 4, 2004, s. 58-64.
- [282] Uschold M., Gruninger M., Ontologies: Principles, methods and applications. *Knowledge Engineering Review*, Vol. 11, No. 2, 1996, s. 93-155.

- [283] Villanueva-Rosales N., Dumontier M., yOWL: An ontology-driven knowledge base for yeast biologists. *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 41, No. 5, 2008, s. 779-789.
- [284] Villazon-Terrazas B., Ramirez J., Suarez-Figueroa M.C., Gomez-Perez A., A network of ontology networks for building e-employment advanced systems. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 11, 2011, s. 13612-13624.
- [285] VisuWords online graphical dictionary, <http://www.visuwords.com/> [dostęp: 13.05.2013]
- [286] von Dran G.M., Zhang P., Small R., Quality Websites: An Application of the Kano Model to Website Design. *Proceedings of the 5th Americas Conference on Information Systems*, 1999, s.898-900.
- [287] W3C OWL Working Group, OWL 2 Web Ontology Language, Document Overview (Second Edition). 11.12.2012, <http://www.w3.org/TR/owl2-overview> [dostęp: 06.04.2013]
- [288] W3C OWL Working Group, OWL 2 Web Ontology Language, Document Overview. 27.03.2009, <http://www.w3.org/TR/2009/WD-owl2-overview-20090327> [dostęp: 06.04.2013]
- [289] Walesiak M., Bąk A., Wykorzystanie analizy czynnikowej w badaniach marketingowych. *Badania operacyjne i decyzje*, Nr1, 1997, s. 75-87.
- [290] Waloszek W., Metody strukturalnej analizy ontologii opartych na logice opisowej. Rozprawa doktorska. Politechnika Gdańska, 2007.
- [291] Wang H.H., Noy N., Rector A., Musen M., Redmont T., Rubin D., Tu S., Tudorache T., Drummond N., Horridge M., Seidenberg J., Frames and OWL Side by Side. [W]: *Proceedings of the 9th international Protégé conference*, 2006, s. 54–57.
- [292] Wang R.Y., Strong D.M., Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers. *Journal of Management Information Systems*, Vol. 12, No. 4, 1996, s. 5-33.
- [293] Wątróbski J., Wolanicka S., Model oceny jakości użytkowej portali web 2.0. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 28, 2010, s. 291-300.
- [294] Webb G.I., Association Rules. [W]: *The Handbook of Data Mining*, red.: Ye N., Lawrence Erlbaum Associates, 2003, s. 25-40.
- [295] Webb H.W., Webb L.A., Business to consumer electronic commerce Website quality: integrating information and service dimensions. *Proceedings of the 7th Americas Conference on Information Systems*, 2001.
- [296] Webb H.W., Webb L.A., SiteQual: an integrated measure of Web site quality. *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 17, No. 6, 2004, s. 430-440.
- [297] WebProtege, <http://webprotege-beta.stanford.edu/> [dostęp:14.04.2013]
- [298] Wiśniewska-Skura A., Domagała I., Goławski P.T., Rynek nazw domen .pl. Szczegółowy raport NASK za trzeci kwartał 2012 roku. NASK, 2012, s. 4.
- [299] Witten I.H., Frank E., Hall M.A., *Data Mining. Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Third Edition. Elsevier, 2011, s. 307-313.
- [300] WordNet Search, <http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn> [dostęp:13.05.2013]
- [301] WordNet Similarity for Java, <http://code.google.com/p/ws4j/> [dostęp: 10.05.2013]
- [302] WordNet::Similarity, <http://wn-similarity.sourceforge.net/> [dostęp: 10.05.2013]

- [303] Wu Z., Chen H., *Semantic Grid: Model, Methodology, and Applications*. Springer, 2008.
- [304] Yang C.Y., Lin H.Y., *An Automated Semantic Annotation based-on Wordnet Ontology*.
- [305] Yang Q., Shao J., Scholz M., Plant C., Feature selection methods for characterizing and classifying adaptive Sustainable Flood Retention Basins. *Water Research*, Vol. 45, No. 3, 2011, s. 993-1004.
- [306] Yang Z., Cai S., Zhou Z., Zhou N., Development and validation of an instrument to measure user perceived service quality of information presenting Web Portals. *Information & Management*, Vol. 42, No. 4, 2005, s. 575-589.
- [307] Yu L., Liu H., Feature Selection for High-Dimensional Data: A Fast Correlation-Based Filter Solution. *Proceedings of the 20th International Conference on Machine Learning*, 2003, s. 856-863.
- [308] Yu L., *OWL: Web Ontology Language. [W]: A Developer's Guide to the Semantic Web*, red.: Yu L., Springer, 2011, s. 155-239.
- [309] Zenebe A., Zhou L., Norcio F., User preferences discovery using fuzzy models. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 161, No. 23, 2010, s. 3044-3063.
- [310] Zhang H., Li Y.F., Tan H.B., Measuring design complexity of semantic web ontologies. *The Journal of Systems and Software*, Vol. 83, No. 5, 2010, s. 803-814.
- [311] Zhang J., Lv Y., An Approach of Refining the Merged Ontology. *Proceedings of the 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, IEEE, 2012, s. 802-806.
- [312] Zhang P., Small R.V. von Dran G.M., Barcellos S., *Websites that Satisfy Users: A Theoretical Framework for Web User Interface Design and Evaluation*. *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 1999.
- [313] Zhang P., Small R.V., von Dran G.M., Barcellos S., *A Two Factor Theory for Website Design*. *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000.
- [314] Zhang P., von Dran G., *Expectations and Rankings of Website Quality Features: Results of Two Studies on User Perceptions*. *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2001.
- [315] Zhang P., von Dran G.M., *User Expectations and Rankings of Quality Factors in Different Web Site Domains*. *International Journal of Electronic Commerce*, Vol. 6, No. 2, 2002, s.9-33.
- [316] Zhu L., Yang Q., Chen W., *Research on Ontology Integration Combined with Machine Learning*. *Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Vol. 1, IEEE, 2009, s. 464-467.
- [317] **Ziemba P.**, Budziński R., Algorytm integracji modeli oceny jakości serwisów internetowych. *Materiały konferencji „Badania operacyjne i systemowe”*, 2012.
- [318] **Ziemba P.**, Budziński R., Dobór kryteriów dla oceny serwisów informacyjnych w portalach internetowych. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, Nr 37, 2011, s.368-378.

- [319] **Ziomba P.**, Budziński R., Metody grupowego podejmowania decyzji Promethee GDSS i AHP - analiza porównawcza. Metody ilościowe w badaniach ekonomicznych, Tom 11, Nr 2, 2011, s. 428-438.
- [320] **Ziomba P.**, Budziński R., Ontologies in integration of websites evaluation methods. [W:] Information Systems In Management VI, red.: Jałowiecki P., Orłowski A., WULS Press, 2010, s.121-130.
- [321] **Ziomba P.**, Budziński R., Selekcja kryteriów oceny jakości serwisów internetowych z wykorzystaniem pojemności informacyjnej Hellwiga. Metody ilościowe w badaniach ekonomicznych, Tom. 13, Nr 3, 2012, s. 302-311.
- [322] **Ziomba P.**, Fabisiak L., Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji w ocenie użyteczności serwisów internetowych. Informatyka ekonomiczna - Wybrane zagadnienia, Nr 20, 2011, s.303-312.
- [323] **Ziomba P.**, Formal procedure of selecting the significant website assessment criteria based on data mining methods. Materiały konferencji Forum Innowacji Młodych Badaczy, 2011.
- [324] **Ziomba P.**, Metody agregacji preferencji stosowane w procesie analitycznej hierarchizacji. Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, Nr 57, 2011, s. 311-326.
- [325] **Ziomba P.**, Piwowski M., Dobór platformy e-learningowej za pomocą metody Promethee GDSS. Metody Informatyki Stosowanej, Tom 25, Nr 4, 2010, s.109-124.
- [326] **Ziomba P.**, Piwowski M., Feature Selection Methods in Data Mining Techniques. Research Papers of Wrocław University of Economics, No. 206 , s. 213-223.
- [327] **Ziomba P.**, Piwowski M., Identyfikacja perspektyw oceny jakości portali informacyjnych. [W:] Technologie informacyjne. Wybrane problemy i zastosowania, red. M. Łatuszyńska, K. Nermend, 2010, s. 11-32.
- [328] **Ziomba P.**, Piwowski M., Metoda oceny regionalnych portali informacyjnych. [W:] Technologie informacyjne. Wybrane problemy i zastosowania, red.: M. Łatuszyńska, K. Nermend, PPH Zapol, 2010, s. 33-52.
- [329] **Ziomba P.**, Piwowski M., Metoda redukcji wymiarów oceny jakości serwisów internetowych. Ekonomiczne problemy usług, Nr 67, 2011, s.649-657.
- [330] **Ziomba P.**, Piwowski M., Metody analizy wielokryterialnej we wspomaganie porównywania produktów w Internecie. Metody Informatyki Stosowanej, Tom 15, Nr 2, 2008, s. 137-147.
- [331] **Ziomba P.**, Piwowski M., Metody oceny jakości portali internetowych. Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, Nr 27, 2010, s. 278-293.
- [332] **Ziomba P.**, Piwowski M., Procedure of Reducing Website Assessment Criteria and User Preference Analyses. Foundations of Computing and Decision Sciences, Vol. 36, No.3-4, s.315-325.
- [333] **Ziomba P.**, Piwowski M., Wspomaganie decyzji w doborze rozwiązań systemowych w kształceniu na odległość. Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy, Nr 22, s. 260-272.

- [334] **Ziomba P.**, Redukcja wymiarowości i selekcja cech w zadaniach klasyfikacji i regresji z wykorzystaniem uczenia maszynowego. *Studia Informatica*, Nr 30, 2012, s. 221-232.
- [335] **Ziomba P.**, Zastosowanie korelacji i metody wielokryterialnego podejmowania decyzji przy doborze kryteriów oceny serwisów internetowych. *Ekonometria*, Nr 34, 2011, s. 154-164.
- [336] **Ziomba P.**, Zastosowanie ontologii do łączenia metod oceny serwisów internetowych. *Informatyka ekonomiczna - wybrane zagadnienia*, Nr 20, 2011, s. 290-302.

## Spis rysunków

|                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rysunek 1.1 Dynamika rozwoju sieci Internet w XXI wieku.....                                                                                                                             | 7   |
| Rysunek 1.2 Liczba użytkowników portali internetowych w latach 2008-2010 .....                                                                                                           | 9   |
| Rysunek 1.3 Przychody portali internetowych w latach 2008-2010.....                                                                                                                      | 9   |
| Rysunek 1.4 Ogólny model jakości serwisów internetowych .....                                                                                                                            | 13  |
| Rysunek 1.5 Składniki metody oceny jakości serwisów internetowych .....                                                                                                                  | 14  |
| Rysunek 1.6 Struktura wstępnego modelu Web Portal Site Quality .....                                                                                                                     | 22  |
| Rysunek 1.7 Struktura modelu jakości Ahn.....                                                                                                                                            | 23  |
| Rysunek 1.8 Struktura modelu, na którym oparto model jakości SiteQual .....                                                                                                              | 24  |
| Rysunek 2.1 Problem podziału ontologii na formalne i nieformalne .....                                                                                                                   | 39  |
| Rysunek 2.2 Relacje pomiędzy formalizmami będącymi podstawą języków ontologii .....                                                                                                      | 42  |
| Rysunek 2.3 Tradycyjne języki ontologii .....                                                                                                                                            | 42  |
| Rysunek 2.4 Języki ontologii oparte na znacznikach.....                                                                                                                                  | 43  |
| Rysunek 2.5 Zależności pomiędzy profilami języka OWL 2 i odmianami języka OWL 1 .....                                                                                                    | 46  |
| Rysunek 2.6 Etapy i działania podejmowane w metodologii Methontology.....                                                                                                                | 54  |
| Rysunek 2.7 Mapa scenariuszy budowy ontologii i ich sieci w metodologii NeOn .....                                                                                                       | 56  |
| Rysunek 2.8 Wykorzystanie języków reprezentacji ontologii przez projektantów.....                                                                                                        | 59  |
| Rysunek 2.9 Wykorzystanie edytorów do budowy ontologii.....                                                                                                                              | 60  |
| Rysunek 2.10 Wykorzystanie metodologii projektowania i budowy ontologii.....                                                                                                             | 64  |
| Rysunek 3.1 Autorska metodologia budowy ontologii .....                                                                                                                                  | 66  |
| Rysunek 3.2 Subsumpcja (a), rozłączność (b), podział zupełny (c) i partycja (d) konceptów .....                                                                                          | 68  |
| Rysunek 3.3 Taksonomia konceptów dla ontologii eQual .....                                                                                                                               | 72  |
| Rysunek 3.4 Diagram ad hoc relacji binarnych dla ontologii eQual.....                                                                                                                    | 72  |
| Rysunek 3.5 Błędnie wnioskowana hierarchia konceptów po implementacji ontologii eQual.....                                                                                               | 76  |
| Rysunek 3.6 Wyjaśnienia konkluzji mechanizmu wnioskującego wygenerowane w Protege.....                                                                                                   | 76  |
| Rysunek 3.7 Błędne relacje wygenerowane przez mechanizm wnioskujący.....                                                                                                                 | 78  |
| Rysunek 3.8 Efekt określenia zasięgu relacji „maKryterium” jako „maKryterium some Self” .....                                                                                            | 79  |
| Rysunek 3.9 Efekt zastosowania relacji „maKryterium” z kwantyfikatorem uniwersalnym .....                                                                                                | 79  |
| Rysunek 3.10 Różnice między różnymi wariantami relacji „maKryterium” .....                                                                                                               | 80  |
| Rysunek 3.11 Hierarchia konceptów ontologii eQual uzyskana w efekcie przeprowadzenia klasyfikacji<br>przez mechanizm wnioskujący.....                                                    | 81  |
| Rysunek 3.12 Odpowiedzi ontologii eQual na pytania kompetencyjne .....                                                                                                                   | 83  |
| Rysunek 3.13 Mapa zależności pomiędzy wyrównywaniem, odwzorowywaniem, łączeniem<br>i integrowaniem ontologii oraz możliwe do uzyskania postacie danych wyjściowych.....                  | 87  |
| Rysunek 3.14 Problem przynależności kryteriów do modeli oceny zawartych w ontologii .....                                                                                                | 99  |
| Rysunek 3.15 Hipotetyczny efekt integracji ontologii eQual i Ahn .....                                                                                                                   | 100 |
| Rysunek 3.16 Sytuacja prowadząca do powstania niespójności wnioskowania, w sytuacji gdy relacje<br>„maKryterium” występowałyby w konceptach jako warunki konieczne i wystarczające ..... | 101 |
| Rysunek 3.17 Etapy integracji ontologii docelowej i źródłowej (Ahn) w edytorze Protege .....                                                                                             | 109 |
| Rysunek 3.18 Przykłady nadmiarowych relacji subsumpcji w zunifikowanym modelu jakości.....                                                                                               | 110 |
| Rysunek 3.19 Ontologia integrująca metody oceny jakości serwisów internetowych.....                                                                                                      | 117 |
| Rysunek 4.1 Struktura algorytmu selekcji cech stosowanego w filtrach i wrapperach .....                                                                                                  | 121 |
| Rysunek 4.2 Przykład pytania zawartego w ankiecie .....                                                                                                                                  | 128 |
| Rysunek 4.3 Średni współczynnik poprawnych klasyfikacji dla różnych podzbiorów cech .....                                                                                                | 133 |

|                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rysunek 4.4 Średnie bezwzględne odchylenie dla różnych podzbiorów cech .....                                                                                          | 136 |
| Rysunek 4.5 Etapy metody selekcji kryteriów oceny jakości serwisów i nadawania im wag .....                                                                           | 137 |
| Rysunek 4.6 Położenie w zunifikowanym modelu jakości, zawartym w zintegrowanej ontologii, kryteriów związanych z mechanizmem wyszukiwania informacji w serwisie ..... | 147 |
| Rysunek 4.7 Przynależność kryterium K49 jednocześnie do dwóch charakterystyk jakości .....                                                                            | 150 |
| Rysunek 4.8 Koncepcja zawarcia w ontologii profili wag dla oceny różnego rodzaju serwisów .....                                                                       | 151 |
| Rysunek 4.9 Przykładowe instancje ocen kryterialnych dla serwisu Onet .....                                                                                           | 151 |
| Rysunek 4.10 Instancje serwisów internetowych powiązane relacjami przewyższania .....                                                                                 | 152 |
| Rysunek 4.11 Instancje ocen kryterialnych serwisów powiązane relacjami przewyższania .....                                                                            | 153 |
| Rysunek 5.1 Struktura podstawowej części modelu systemu ekspertowego .....                                                                                            | 156 |
| Rysunek 5.2 Struktura modelu systemu ekspertowego z uwzględnieniem źródeł jego zasileń informacyjnych i informacji wyjściowych .....                                  | 158 |
| Rysunek 5.3 Zapytanie SPARQL pozwalające uzyskać listę kryteriów i ich wag dla oceny serwisów informacyjnych .....                                                    | 159 |
| Rysunek 5.4 Zapytanie SPARQL dające niepełną listę kryteriów oceny jakości serwisów informacyjnych na skutek pominięcia operatora „*” .....                           | 160 |
| Rysunek 5.5 Płaszczyzna GAIA ukazująca preferencje decydentów w odniesieniu do ocenianych serwisów .....                                                              | 162 |
| Rysunek 5.6 Ranking Promethee I wskazujący na nieporównywalność serwisu Interia z innymi .....                                                                        | 163 |
| Rysunek 5.7 Zapytanie bazy wiedzy o kryteria należące do poszczególnych modeli jakości .....                                                                          | 166 |
| Rysunek 5.8 Zapytanie bazy wiedzy o modele jakości, do których należy kryterium reputacja .....                                                                       | 166 |
| Rysunek 5.9 Zapytanie bazy wiedzy o kryteria oceny jakości serwisów informacyjnych, mające wagę większą od 0,05 .....                                                 | 167 |
| Rysunek 5.10 Zapytanie bazy wiedzy o ilość kryteriów oceny jakości serwisów informacyjnych, zawartych w każdym z modeli jakości .....                                 | 167 |
| Rysunek 5.11 Serwisy mające ocenę kryterialną > 5 przyznaną przez ekspertów DM1 i DM3 .....                                                                           | 168 |
| Rysunek 5.12 Wartości przepływów preferencji netto uzyskane przez poszczególne serwisy .....                                                                          | 168 |
| Rysunek 5.13 Relacje przewyższania zachodzące pomiędzy poszczególnymi serwisami .....                                                                                 | 169 |

## Spis tabel

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1.1 Dynamika rozwoju sieci Internet w XXI wieku.....                                                                                                                    | 6   |
| Tabela 1.2 Zestawienie polskich portali internetowych pod względem liczby użytkowników i wygenerowanych przychodów w latach 2008-2010.....                                     | 10  |
| Tabela 1.3 Metody badania użyteczności serwisów internetowych .....                                                                                                            | 15  |
| Tabela 2.1 Symbole charakteryzujące ekspresywność dialektów logiki opisowej.....                                                                                               | 41  |
| Tabela 2.2 Elementy poszczególnych języków ontologii .....                                                                                                                     | 48  |
| Tabela 2.3 Podstawowe cechy wybranych edytorów ontologii.....                                                                                                                  | 52  |
| Tabela 2.4 Porównanie metodologii projektowania i budowy ontologii.....                                                                                                        | 57  |
| Tabela 3.1 Specyfikacja wymagań ontologii eQual w zakresie jej celu, zakresu, języka implementacji, użytkowników, zastosowań i wymagań niefunkcjonalnych.....                  | 70  |
| Tabela 3.2 Specyfikacja wymagań ontologii eQual w zakresie jej wymagań funkcjonalnych .....                                                                                    | 70  |
| Tabela 3.3 Fragment glosariusza terminów dla ontologii eQual .....                                                                                                             | 71  |
| Tabela 3.4 Fragment słownika konceptów dla ontologii eQual.....                                                                                                                | 73  |
| Tabela 3.5 Wybrane definicje ad hoc relacji binarnych dla ontologii eQual.....                                                                                                 | 74  |
| Tabela 3.6 Definicje atrybutów instancji dla ontologii eQual z przykładowymi wystąpieniami.....                                                                                | 74  |
| Tabela 3.7 Definicje atrybutów klas dla ontologii eQual .....                                                                                                                  | 75  |
| Tabela 3.8 Definicje stałych dla ontologii eQual .....                                                                                                                         | 75  |
| Tabela 3.9 Zmodyfikowane definicje ad hoc relacji binarnych ontologii eQual .....                                                                                              | 80  |
| Tabela 3.10 Przykładowe wagi kryteriów, oceny i serwisy wprowadzone do ontologii eQual .....                                                                                   | 82  |
| Tabela 3.11 Uszczegółowione pytania kompetencyjne kierowane do ontologii eQual .....                                                                                           | 82  |
| Tabela 3.12 Wyniki badania podobieństwa napisów dla wybranych par konceptów reprezentujących kryteria w ontologiach Ahn i eQual.....                                           | 97  |
| Tabela 3.13 Wyniki badania podobieństwa semantycznego dla wybranych par konceptów reprezentujących kryteria w ontologiach Ahn i eQual.....                                     | 98  |
| Tabela 3.14 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (zawierającej ontologię eQual) i w ontologii źródłowej Ahn .....                    | 107 |
| Tabela 3.15 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (zawierającej ontologię eQual) i w ontologii źródłowej Ahn.....              | 108 |
| Tabela 3.16 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (integrującej eQual i Ahn) i w ontologii źródłowej SiteQual .....                   | 111 |
| Tabela 3.17 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (integrującej eQual i Ahn) i w ontologii źródłowej SiteQual .....            | 113 |
| Tabela 3.18 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn i SiteQual) i w ontologii źródłowej WEQ.....               | 114 |
| Tabela 3.19 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn i SiteQual) i w ontologii źródłowej WEQ .....       | 115 |
| Tabela 3.20 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi kryteria w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn, SiteQual i WEQ) i w ontologii źródłowej WPSQ.....         | 115 |
| Tabela 3.21 Powiązania pomiędzy konceptami reprezentującymi charakterystyki w ontologii docelowej (integrującej eQual, Ahn, SiteQual i WEQ) i w ontologii źródłowej WPSQ ..... | 116 |
| Tabela 4.1 Rankingi i podzbiory cech uzyskane za pomocą poszczególnych procedur wraz z wartościami ich istotności .....                                                        | 130 |



|                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 4.2 Średnie i minimalne współczynniki poprawnych klasyfikacji uzyskane dla poszczególnych podzbiorów cech .....                                          | 132 |
| Tabela 4.3 Oceny serwisów i wartości bezwzględnego średniego odchylenia uzyskane dla poszczególnych podzbiorów cech .....                                       | 135 |
| Tabela 4.4 Wartość alfy Cronbacha otrzymana dla wybranych podzbiorów kryteriów .....                                                                            | 137 |
| Tabela 4.5 Ładunki czynnikowe uzyskane przez poszczególne kryteria oceny .....                                                                                  | 148 |
| Tabela 4.6 Zdefiniowane na nowo powiązania kryteriów z charakterystykami jakości .....                                                                          | 149 |
| Tabela 4.7 Reguły języka SWRL, na podstawie których mechanizm wnioskujący ustala występowanie relacji przewyższania dla ocen kryterialnych i dla serwisów ..... | 153 |
| Tabela 4.8 Fragment słownika konceptów dla zmodyfikowanej ontologii zintegrowanej .....                                                                         | 154 |
| Tabela 4.9 Definicje relacji binarnych zawartych w zmodyfikowanej ontologii zintegrowanej .....                                                                 | 154 |
| Tabela 4.10 Definicje atrybutów instancji dla zmodyfikowanej ontologii zintegrowanej .....                                                                      | 155 |
| Tabela 4.11 Definicje atrybutów klas dla ontologii eQual .....                                                                                                  | 155 |
| Tabela 5.1 Oceny przyznane serwisom przez eksperta DM1 .....                                                                                                    | 160 |
| Tabela 5.2 Oceny przyznane serwisom przez eksperta DM2 .....                                                                                                    | 161 |
| Tabela 5.3 Oceny przyznane serwisom przez eksperta DM3 .....                                                                                                    | 161 |
| Tabela 5.4 Funkcje preferencji i zdefiniowane dla nich progi, stosowane przez ekspertów .....                                                                   | 161 |
| Tabela 5.5 Przepływy preferencji netto i pozycje serwisów w rankingach indywidualnych .....                                                                     | 162 |
| Tabela 5.6 Przepływy preferencji netto i pozycje serwisów w rankingu grupowym .....                                                                             | 162 |
| Tabela 5.7 Analiza wrażliwości rozwiązania na zmiany wag ekspertów .....                                                                                        | 163 |
| Tabela 5.8 Przepływy preferencji netto i pozycje serwisów w rankingu grupowym po obniżeniu wagi eksperta DM2 .....                                              | 163 |
| Tabela 5.9 Ilość użytkowników porównywanych serwisów w marcu 2013 .....                                                                                         | 164 |

## Załączniki

### Załącznik 1.1 Kryteria i charakterystyki jakości stosowane w metodzie eQual

| Charakterystyka EN               | Charakterystyka PL                         | L.p. | Skrót                                         | Cecha EN                                                           | Cecha PL                                                                       |
|----------------------------------|--------------------------------------------|------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| eQual 4.0                        |                                            |      |                                               |                                                                    |                                                                                |
| Usability / Usability            | Użyteczność /<br>Użyteczność               | 1.   | łatwość nauki obsługi strony                  | I find the site easy to learn to operate                           | Uważam, że łatwo można nauczyć się obsługi tej strony                          |
|                                  |                                            | 2.   | przejrzystość zrozumiałość interakcji         | My interaction with the site is clear and understandable           | Interakcja ze stroną jest dla mnie przejrzysta i zrozumiała                    |
|                                  |                                            | 3.   | łatwość nawigacji                             | I find the site easy to navigate                                   | Strona jest dla mnie łatwa w nawigacji (poruszaniu się po niej)                |
|                                  |                                            | 4.   | łatwość użycia                                | I find the site easy to use                                        | Strona jest dla mnie łatwa w użyciu                                            |
| Usability / Design               | Użyteczność /<br>Projekt                   | 5.   | atrakcyjność wyglądu                          | The site has an attractive appearance                              | Strona ma atrakcyjny wygląd                                                    |
|                                  |                                            | 6.   | odpowiedni projekt graficzny                  | The design is appropriate to the type of site                      | Projekt graficzny jest odpowiedni do typu strony                               |
|                                  |                                            | 7.   | poczucie kompetencji                          | The site conveys a sense of competency                             | Strona daje poczucie kompetencji autorów                                       |
|                                  |                                            | 8.   | pozytywne doznania                            | The site creates a positive experience for me                      | Strona wywołuje we mnie pozytywne doznania                                     |
| Information quality              | Jakość informacji                          | 9.   | dokładność informacji                         | Provides accurate information                                      | Dostarcza dokładnych (ściślych, celnych) informacji                            |
|                                  |                                            | 10.  | wiarygodność informacji                       | Provides believable information                                    | Dostarcza wiarygodnych informacji                                              |
|                                  |                                            | 11.  | aktualność informacji                         | Provides timely information                                        | Dostarcza aktualnych informacji                                                |
|                                  |                                            | 12.  | istotność informacji                          | Provides relevant information                                      | Dostarcza istotnych (stosownych, powiązanych) informacji                       |
|                                  |                                            | 13.  | łatwość zrozumienia informacji                | Provides easy to understand information                            | Dostarcza łatwych do zrozumienia informacji                                    |
|                                  |                                            | 14.  | odpowiednia szczegółowość informacji          | Provides information at the right level of detail                  | Dostarcza informacji odpowiednio szczegółowych                                 |
|                                  |                                            | 15.  | odpowiednia forma informacji                  | Presents the information in an appropriate format                  | Prezentuje informacje w odpowiedniej formie (formacie)                         |
| Service interaction /<br>Trust   | Interakcja<br>z usługami /<br>Zaufanie     | 16.  | reputacja                                     | Has a good reputation                                              | Ma dobrą reputację                                                             |
|                                  |                                            | 17.  | bezpieczeństwo transakcji                     | It feels safe to complete transactions                             | Daje poczucie bezpieczeństwa przy wykonywaniu na niej transakcji (np. zakupów) |
|                                  |                                            | 18.  | ochrona danych osobowych                      | My personal information feels secure                               | Moje dane osobowe (prywatne dane) udostępnione stronie są bezpieczne           |
| Service interaction /<br>Empathy | Interakcja<br>z usługami /<br>Przystępność | 19.  | personalizacja                                | Creates a sense of personalization                                 | Daje poczucie personalizacji (dostosowania do potrzeb użytkownika)             |
|                                  |                                            | 20.  | poczucie społeczności                         | Conveys a sense of community                                       | Daje poczucie przynależności do (tworzy) społeczności wirtualnej               |
|                                  |                                            | 21.  | komunikacja z organizacją                     | Makes it easy to communicate with the organization                 | Komunikacja z twórcami strony (organizacją) jest łatwa                         |
| Service interaction /<br>Trust   | Interakcja<br>z usługami /<br>Zaufanie     | 22.  | pewność dostarczenia obiecanych towarów/usług | I feel confident that goods/services will be delivered as promised | Daje pewność dostarczenia zamówionych za jej pomocą towarów/usług              |

## Załącznik 1.2 Kryteria i charakterystyki jakości stosowane w metodzie Ahn

| Charakterystyka EN  | Charakterystyka PL | L.p. | Skrót                                                  | Cecha EN                                                   | Cecha PL                                                                                                |
|---------------------|--------------------|------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ahn                 |                    |      |                                                        |                                                            |                                                                                                         |
| System quality      | Jakość systemu     | 1.   | odpowiedni styl projektu graficznego                   | Has an appropriate style of design for site type           | Posiada odpowiedni styl projektu graficznego do typu strony                                             |
|                     |                    | 2.   | łatwość nawigacji                                      | Has easy navigation to information                         | Posiada łatwą nawigację dla informacji (łatwo znajduje się na niej poszukiwane informacje)              |
|                     |                    | 3.   | czas reakcji przetwarzania transakcji                  | Has fast response and transaction processing               | Posiada krótki czas reakcji i przetwarzania transakcji (np. zakupy)                                     |
|                     |                    | 4.   | bezpieczeństwo danych osobowych                        | Keeps personal information secure from exposure            | Zapewnia bezpieczeństwo danych osobowych (prywatnych danych)                                            |
|                     |                    | 5.   | dostępność                                             | Can use when I want to use                                 | Można używać strony w dowolnym momencie (strona jest zawsze dostępna)                                   |
|                     |                    | 6.   | odpowiednia funkcjonalność                             | Has good functionality relevant to site type               | Posiada dobrą funkcjonalność, odpowiednią do typu strony                                                |
|                     |                    | 7.   | transakcje wolne od błędów                             | Keeps error-free transactions                              | Zapewnia wolne od błędów przetwarzanie transakcji (np. zakupy)                                          |
|                     |                    | 8.   | doznania multimedialne                                 | Creates an audio-visual experience                         | Wywołuje doznania multimedialne                                                                         |
| Information quality | Jakość informacji  | 9.   | wystarczająca zawartość informacji gdzie są oczekiwane | Has sufficient contents where I expect to find information | Posiada wystarczającą zawartość informacji w miejscach, gdzie spodziewam się je (te informacje) znaleźć |
|                     |                    | 10.  | kompletność informacji                                 | Provides complete information                              | Dostarcza kompletnych informacji                                                                        |
|                     |                    | 11.  | informacje specyficzne dla strony                      | Provides site-specific information                         | Dostarcza informacji specyficznych dla strony                                                           |
|                     |                    | 12.  | dokładność informacji                                  | Provides accurate information                              | Dostarcza dokładnych (ściślych, celnych) informacji                                                     |
|                     |                    | 13.  | aktualność informacji                                  | Provides timely information                                | Dostarcza aktualnych informacji                                                                         |
|                     |                    | 14.  | rzetelność informacji                                  | Provides reliable information                              | Dostarcza rzetelnych (wiarygodnych) informacji                                                          |
|                     |                    | 15.  | odpowiednia forma informacji                           | Communicates information in an appropriate format          | Przekazuje informacje w odpowiedniej formie (formacie)                                                  |
| Service quality     | Jakość usług       | 16.  | przewidywanie/odpowiadanie na potrzeby                 | Anticipates and responds promptly to user needs            | Przewiduje i natychmiast odpowiada na potrzeby użytkownika                                              |
|                     |                    | 17.  | zapewnienie tego co obiecano                           | Can be depended on to provide whatever is promised         | Można wierzyć stronie, że zapewni to, co obiecuje (np. w sensie zamówienia towaru)                      |
|                     |                    | 18.  | wzbudzane zaufanie                                     | Instills confidence in users, reducing their uncertainty   | Wzbudza zaufanie użytkowników zmniejszając ich niepewność                                               |
|                     |                    | 19.  | adaptacja do potrzeb użytkowników                      | Understands and adapts to the user's specific needs        | Rozumie i dostosowuje się do specyficznych potrzeb użytkownika                                          |
|                     |                    | 20.  | dodatkowe usługi dla użytkowników                      | Provides follow-up service to users                        | Dostarcza użytkownikom dodatkowe (uzupełniające) usługi                                                 |
|                     |                    | 21.  | profesjonalizm/ kompetencja                            | Gives a professional and competence image                  | Wywołuje wrażenie profesjonalizmu i kompetencji                                                         |

## Załącznik 1.3 Kryteria i charakterystyki jakości stosowane w metodzie SiteQual

| Charakterystyka EN                            | Charakterystyka PL                                | L.p. | Skrót                                                   | Cecha EN                                                                     | Cecha PL                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SiteQual                                      |                                                   |      |                                                         |                                                                              |                                                                                                                                    |
| Reliability                                   | Rzetelność                                        | 1.   | pewność/czas dostarczenia obiecanych towarów/usług      | Provide goods and service as promised when promised                          | Towary i usługi dostarczane są zgodnie z obietnicą i na czas                                                                       |
|                                               |                                                   | 2.   | niezawodne przetwarzanie usług                          | Handle service requests dependably                                           | Niezawodnie przetwarza zapytania usług                                                                                             |
|                                               |                                                   | 3.   | bezbłądność przetwarzania usług                         | Perform services without error                                               | Usługi wykonywane są bez błędów                                                                                                    |
| Assured empathy                               | Zapewnienia przystępność                          | 4.   | nierozpraszcianie uwagi                                 | Minimize distractions                                                        | Strona nie rozprasza uwagi                                                                                                         |
|                                               |                                                   | 5.   | przewidywanie/odpowiadanie na pytania                   | Anticipate and answer customer questions on Web site                         | Przewiduje i odpowiada na pytania klienta (np. w FAQ i pomocy)                                                                     |
|                                               |                                                   | 6.   | personalizacja                                          | Personalize Web site                                                         | Personalizacja strony                                                                                                              |
|                                               |                                                   | 7.   | interesy klientów                                       | Keep customer best interests in a forefront                                  | Dbą o interesy klientów                                                                                                            |
|                                               |                                                   | 8.   | uprzejma komunikacja z klientami                        | Deal with customers in a courteous manner                                    | Komunikuje się z klientami w uprzejmy sposób                                                                                       |
| Perceived usability / Tangibility             | Postrzegana użyteczność / Materialność            | 9.   | wykorzystanie najnowszych technologii                   | Provide latest technology                                                    | Wykorzystuje najnowsze technologie                                                                                                 |
|                                               |                                                   | 10.  | ogólna atrakcyjność wizualna                            | Design for overall visual appeal                                             | Projekt strony jest ogólnie atrakcyjny wizualnie                                                                                   |
|                                               |                                                   | 11.  | schludny/profesjonalny wygląd                           | Provide a neat and professional appearance                                   | Charakteryzuje się schludnym i profesjonalnym wyglądem                                                                             |
|                                               |                                                   | 12.  | atrakcyjność wizualna elementów strony                  | Design each Web site component for visual appeal                             | Projekt każdego składnika strony jest atrakcyjny wizualnie                                                                         |
| Perceived usability / Navigability            | Postrzegana użyteczność / Nawigacja               | 13.  | łatwość nawigacji wewnętrznej                           | Design site for easy internal navigation (clear menu, links, depth of paths) | Projekt strony umożliwia łatwą nawigację wewnętrzną (przejrzyste menu, linki, zagłębienia ścieżek)                                 |
|                                               |                                                   | 14.  | łatwość znalezienia w wyszukiwarkach                    | Register site for easy location (search engines)                             | Strona łatwa do znalezienia w wyszukiwarkach                                                                                       |
|                                               |                                                   | 15.  | wewnętrzna wyszukiwarka                                 | Provide for internal search capability                                       | Dostarcza wewnętrzną wyszukiwarkę                                                                                                  |
| Perceived usability / Relevant representation | Postrzegana użyteczność / Odpowiednia prezentacja | 16.  | właściwa ilość informacji dla zadania bez nadmiarowości | Display the right amount of information for the task without overload        | Prezentuje właściwą ilość informacji dla zadania bez informacji nadmiarowych                                                       |
|                                               |                                                   | 17.  | odpowiedni poziom szczegółowości dla zadania            | Provide an appropriate level of detail to the task                           | Dostarcza odpowiedni poziom szczegółowości dla zadania                                                                             |
|                                               |                                                   | 18.  | wartość dodana                                          | Provide a value-added experience                                             | Dostarcza wartość dodaną (zakres, w jakim informacje dostarczane przez serwis są przydatne i zapewniają korzyści z ich stosowania) |
|                                               |                                                   | 19.  | spójna/zgodna ze standardami reprezentacja              | Use consistent standardized representations/ metaphors                       | Używa spójnej, zgodnej ze standardami reprezentacji treści                                                                         |
|                                               |                                                   | 20.  | odpowiednia forma wyświetlania informacji               | Use appropriate format for information displays                              | Używa właściwej formy prezentowania informacji                                                                                     |
| Trustworthiness / Accuracy                    | Wiarygodność / Precyzja                           | 21.  | dokładność informacji                                   | Provide accurate information                                                 | Dostarcza dokładnych (ściślych, celnych) informacji                                                                                |
|                                               |                                                   | 22.  | wiarygodność informacji                                 | Provide believable information                                               | Dostarcza wiarygodnych informacji                                                                                                  |
|                                               |                                                   | 23.  | obiektywność informacji                                 | Eliminate bias in information provided                                       | Eliminuje stronniczość w dostarczanych informacjach                                                                                |
|                                               |                                                   | 24.  | reputacja                                               | Build reputation of Web site                                                 | Strona buduje sobie dobrą reputację                                                                                                |
|                                               |                                                   | 25.  | istotność informacji                                    | Provide relevant information                                                 | Dostarcza istotnych (stosownych, powiązanych) informacji                                                                           |
|                                               |                                                   | 26.  | kompletność informacji                                  | Provide complete information                                                 | Dostarcza kompletnych informacji                                                                                                   |
| Trustworthiness / Security                    | Wiarygodność / Bezpieczeństwo                     | 27.  | zobowiązanie zachowania poufności danych osobowych      | Demonstrate commitment to privacy of personal information                    | Zobowiązuje się zachować poufność danych osobowych (prywatnych danych)                                                             |
|                                               |                                                   | 28.  | odpowiedni poziom bezpieczeństwa użytkowników           | Provide adequate level of user security                                      | Zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa użytkowników                                                                             |

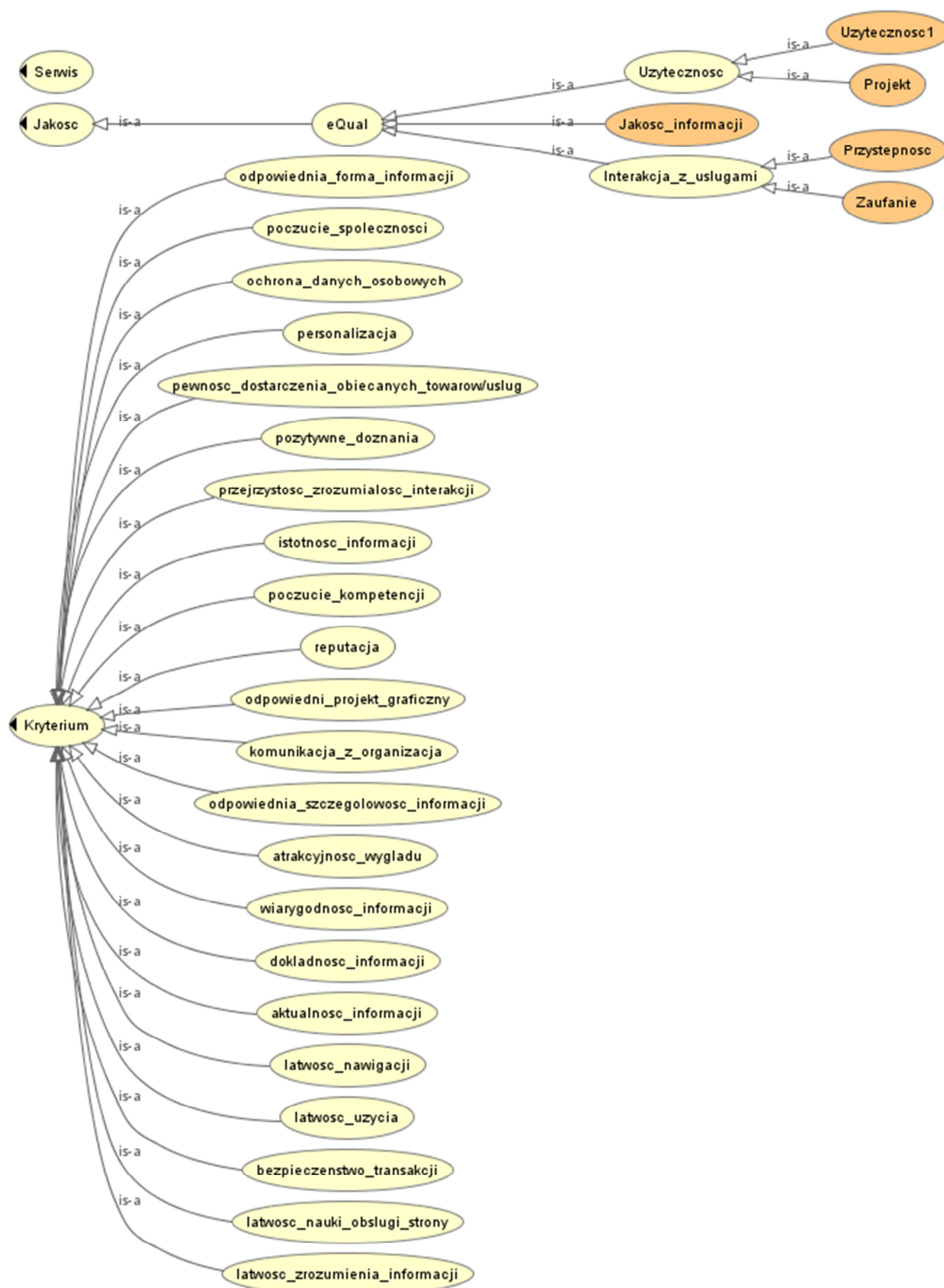
## Załącznik 1.4 Kryteria i charakterystyki jakości stosowane w metodzie Website Evaluation Questionnaire

| Charakterystyka EN               | Charakterystyka PL             | L.p. | Skrót                                                         | Cecha EN                                                                              | Cecha PL                                                                                 |
|----------------------------------|--------------------------------|------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Website Evaluation Questionnaire |                                |      |                                                               |                                                                                       |                                                                                          |
| Navigation / Ease of use         | Nawigacja / Łatwość użycia     | 1.   | łatwość użycia                                                | I find this website easy to use                                                       | Strona jest dla mnie łatwa w użyciu                                                      |
|                                  |                                | 2.   | -                                                             | I had difficulty using this website                                                   | Miałem trudności z korzystaniem z tej strony !!!                                         |
|                                  |                                | 3.   | przyjazność użytkownikowi                                     | I consider this website user friendly                                                 | Uważam, że strona jest przyjazna użytkownikowi                                           |
| Navigation / Hyperlinks          | Nawigacja / Hiperłącza         | 4.   | bezpośrednie kierowanie do potrzebnych informacji             | The homepage clearly directs me towards the information I need                        | Strona główna bezpośrednio kieruje mnie do potrzebnych informacji                        |
|                                  |                                | 5.   | natychmiastowe wskazywanie potrzebnych informacji             | The homepage immediately points me to the information I need                          | Strona główna natychmiast wskazuje mi potrzebne informacje                               |
|                                  |                                | 6.   | -                                                             | It is unclear which hyperlink will lead to the information I am looking for           | Niejasne jest, które hiperłącze prowadzi do informacji, których szukam !!!               |
|                                  |                                | 7.   | hiperłącza prowadzące do oczekiwanych informacji              | Under the hyperlinks, I found the information I expected to find there                | Pod hiperłączami znalazłem informacje, których tam oczekiwałem                           |
| Navigation / Structure           | Nawigacja / Struktura          | 8.   | obecność potrzebnych informacji w spodziewanych miejscach     | I know where to find the information I need on this website                           | Wiem gdzie znaleźć potrzebne informacje na tej stronie                                   |
|                                  |                                | 9.   | -                                                             | I was constantly being redirected on this website while I was looking for information | Byłem stale przekierowywany na tej stronie podczas poszukiwania na niej informacji !!!   |
|                                  |                                | 10.  | przejrzysta struktura strony                                  | I find the structure of this website clear                                            | Struktura tej strony jest przejrzysta                                                    |
|                                  |                                | 11.  | wygodny układ pomagający znaleźć szukane informacje           | The convenient set-up of the website helps me find the information I am looking for   | Wygodny układ strony pomaga mi znaleźć informacje, których szukam                        |
| Content / Relevance              | Zawartość / Trafność           | 12.  | pomocność informacji                                          | I find the information in this website helpful                                        | Informacje na stronie są pomocne                                                         |
|                                  |                                | 13.  | -                                                             | The information in this website is of little use to me                                | Informacje na stronie są dla mnie mało przydatne !!!                                     |
|                                  |                                | 14.  | użyteczność informacji                                        | This website offers information that I find useful                                    | Strona zawiera informacje, które uważam za użyteczne                                     |
| Content / Comprehension          | Zawartość / Zrozumiałość       | 15.  | zrozumiałość używanego na stronie języka                      | The language used in this website is clear to me                                      | Język używany na stronie jest dla mnie jasny/zrozumiały                                  |
|                                  |                                | 16.  | łatwość zrozumienia informacji                                | I find the information in this website easy to understand                             | Informacje na stronie są łatwe do zrozumienia                                            |
|                                  |                                | 17.  | -                                                             | I find many words in this website difficult to understand                             | Wiele słów na stronie jest trudnych do zrozumienia !!!                                   |
| Content / Completeness           | Zawartość / Kompletność        | 18.  | wystarczająca zawartość informacji                            | This website provides me with sufficient information                                  | Strona dostarcza mi wystarczających informacji                                           |
|                                  |                                | 19.  | -                                                             | I find the information in this website incomplete                                     | Informacje na stronie są niepełne/niekompletne !!!                                       |
|                                  |                                | 20.  | precyzja/dokładność informacji                                | I find the information in this website precise                                        | Informacje na stronie są precyzyjne/dokładne                                             |
| Lay out                          | Układ strony                   | 21.  | -                                                             | I think this website looks unattractive                                               | Strona wygląda nieatrakcyjnie !!!                                                        |
|                                  |                                | 22.  | atrakcyjność wyglądu                                          | I like the way this website looks                                                     | Lubię wygląd tej strony                                                                  |
|                                  |                                | 23.  | atrakcyjność projektu                                         | I find the design of this website appealing                                           | Projekt strony jest atrakcyjny/interesujący                                              |
| Navigation / Search option       | Nawigacja / Opcje wyszukiwania | 24.  | szybkość wyszukiwania informacji za pomocą opcji wyszukiwania | The search option on this website helps me to find the right information quickly      | Opcja wyszukiwania na stronie pomaga mi szybko znaleźć właściwe informacje               |
|                                  |                                | 25.  | użyteczność wyników wyszukiwania                              | The search option on this website gives me useful results                             | Opcja wyszukiwania na stronie daje mi przydatne/użyteczne wyniki                         |
|                                  |                                | 26.  | -                                                             | The search option on this website gives me too many irrelevant results                | Opcja wyszukiwania na stronie daje mi zbyt wiele nieistotnych (nie trafnych) wyników !!! |

## Załącznik 1.5 Kryteria i charakterystyki jakości stosowane w metodzie Web Portal Site Quality

| Charakterystyka EN      | Charakterystyka PL                   | L.p. | Skrót                                              | Cecha EN                                                                                                                  | Cecha PL                                                                                                                |
|-------------------------|--------------------------------------|------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Web Portal Site Quality |                                      |      |                                                    |                                                                                                                           |                                                                                                                         |
| Usability               | Użyteczność                          | 1.   | funkcje wyszukiwania dostosowane do potrzeb        | Customized search functions                                                                                               | Dostosowane do potrzeb funkcje wyszukiwania                                                                             |
|                         |                                      | 2.   | udogodnienia wyszukiwania                          | Search facilities                                                                                                         | Udogodnienia wyszukiwania                                                                                               |
|                         |                                      | 3.   | dobra organizacja hiperłączy                       | Well-organized hyperlinks                                                                                                 | Dobrze zorganizowane hiperłącza                                                                                         |
|                         |                                      | 4.   | prezentacja informacji dostosowana do potrzeb      | Customized information presentation                                                                                       | Dostosowana do potrzeb prezentacja informacji                                                                           |
|                         |                                      | 5.   | poufność informacji o klientach                    | Confidentiality for customer information                                                                                  | Poufność informacji o klientach                                                                                         |
|                         |                                      | 6.   | adekwatność funkcji zabezpieczeń                   | Adequacy of security features                                                                                             | Adekwatność (dopasowanie) funkcji zabezpieczeń                                                                          |
| Usefulness of content   | Przydatność zawartości               | 7.   | istotność informacji dla klienta                   | Relevant information to the customer                                                                                      | Istotność informacji dla klienta                                                                                        |
|                         |                                      | 8.   | aktualność informacji                              | Up-to-date information                                                                                                    | Aktualność informacji                                                                                                   |
|                         |                                      | 9.   | wskazówki na temat produktów/usług                 | Valuable tips on products/services                                                                                        | Cenne wskazówki dotyczące produktów / usług                                                                             |
|                         |                                      | 10.  | unikalność zawartości                              | Unique content                                                                                                            | Unikalna zawartość                                                                                                      |
| Adequacy of information | Adekwatność (dopasowanie) informacji | 11.  | kompletność opisu produktu/usługi                  | Complete product/service description                                                                                      | Kompletność opisu produktu/usługi                                                                                       |
|                         |                                      | 12.  | obszerność informacji w stosunku do innych portali | Information comprehensiveness relative to other portals<br>Relatively comprehensive information compared to other portals | Obszerność informacji w stosunku do innych portali<br>Stosunkowo wyczerpujące informacje w porównaniu do innych portali |
|                         |                                      | 13.  | kompletność zawartości                             | Complete content                                                                                                          | Kompletność zawartości                                                                                                  |
|                         |                                      | 14.  | wystarczalność informacji                          | Sufficiency of information<br>Sufficient information for potential and existing customers                                 | Wystarczalność informacji<br>Wystarczające informacje dla potencjalnych i aktualnych klientów                           |
|                         |                                      | 15.  | szczegółowe informacje kontaktowe                  | Detailed contact information                                                                                              | Szczegółowe informacje kontaktowe                                                                                       |
| Accessibility           | Dostępność                           | 16.  | dostępność portalu                                 | Accessibility of the portal<br>Accessibility of the site                                                                  | Dostępność portalu<br>Dostępność strony                                                                                 |
|                         |                                      | 17.  | szybkość ładowania strony                          | High speed of page loading                                                                                                | Szybkość ładowania strony                                                                                               |
| Interaction             | Interakcja                           | 18.  | dotatkowe usługi dla klientów                      | Follow-up services to customers                                                                                           | Dalsze działania usługowe dla klientów                                                                                  |
|                         |                                      | 19.  | forum wymiany poglądów/informacji/dyskusyjne       | Message board forum<br>Message board forum for customer-to-customer/company                                               | Forum dyskusyjne<br>Forum dyskusyjne dla komunikacji klient-klient/firma                                                |

Załącznik 3.1a) Taksonomia konceptów ontologii eQual

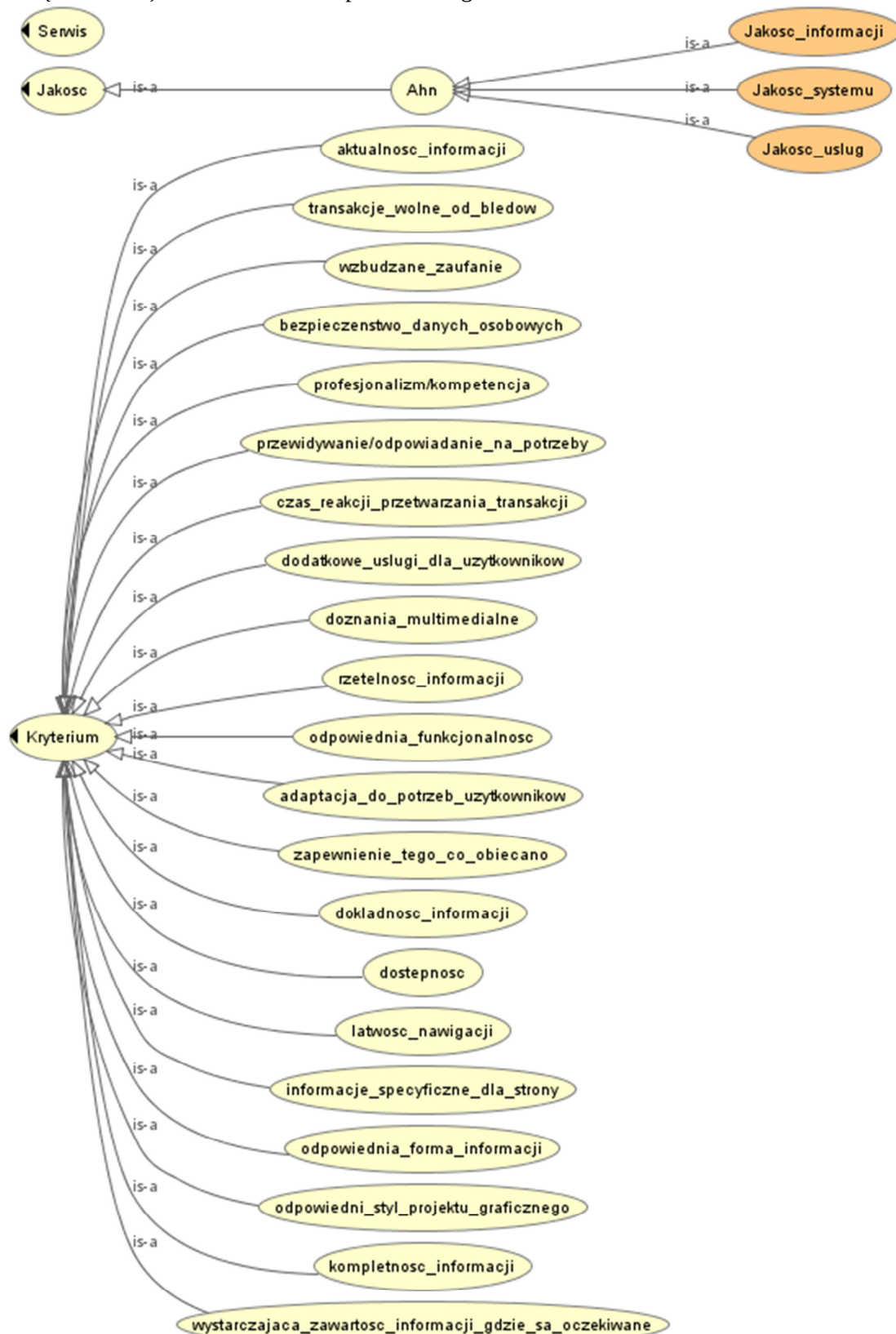


Załącznik 3.1b) Wywnioskowana taksonomia konceptów ontologii eQual

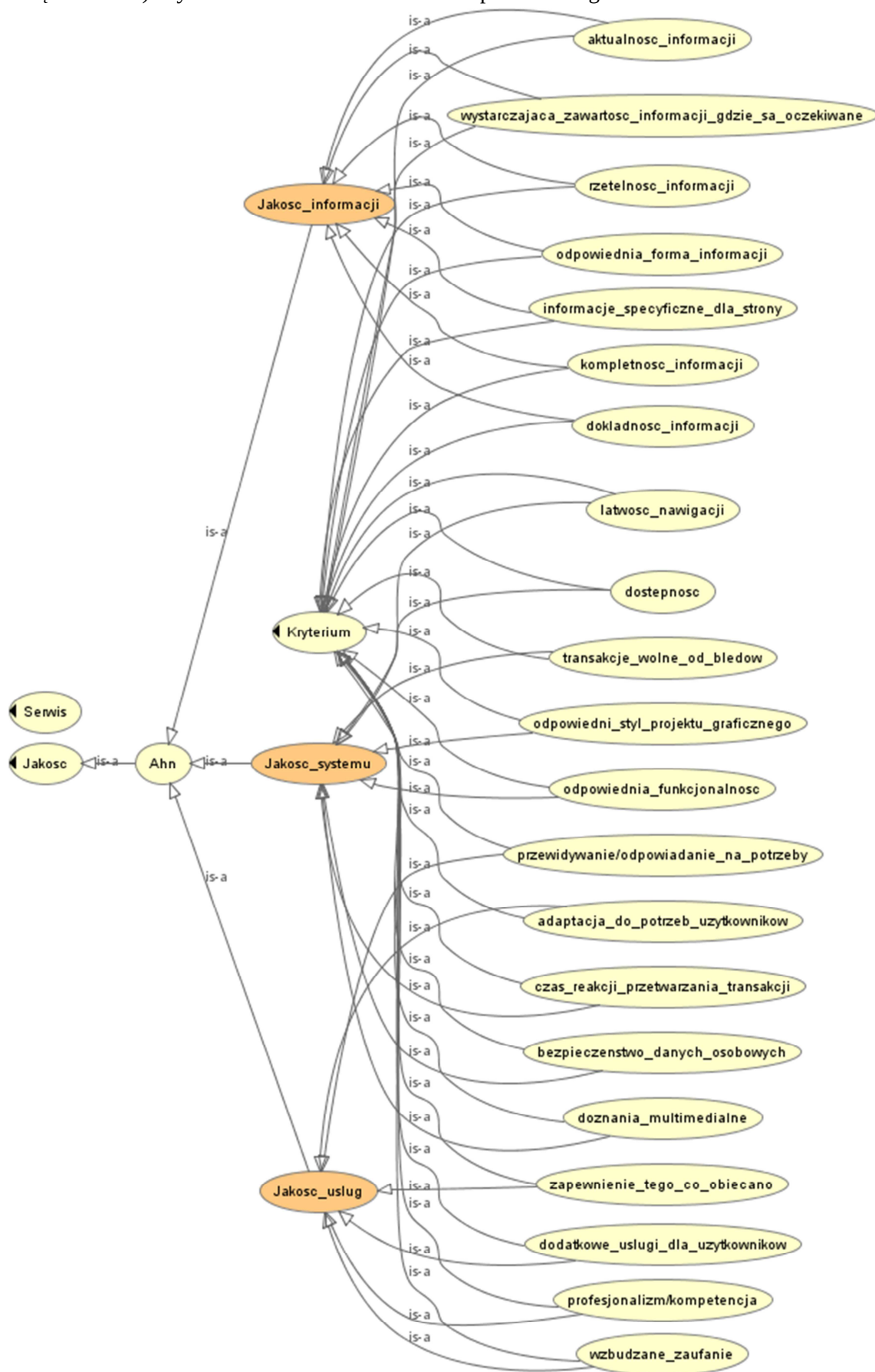




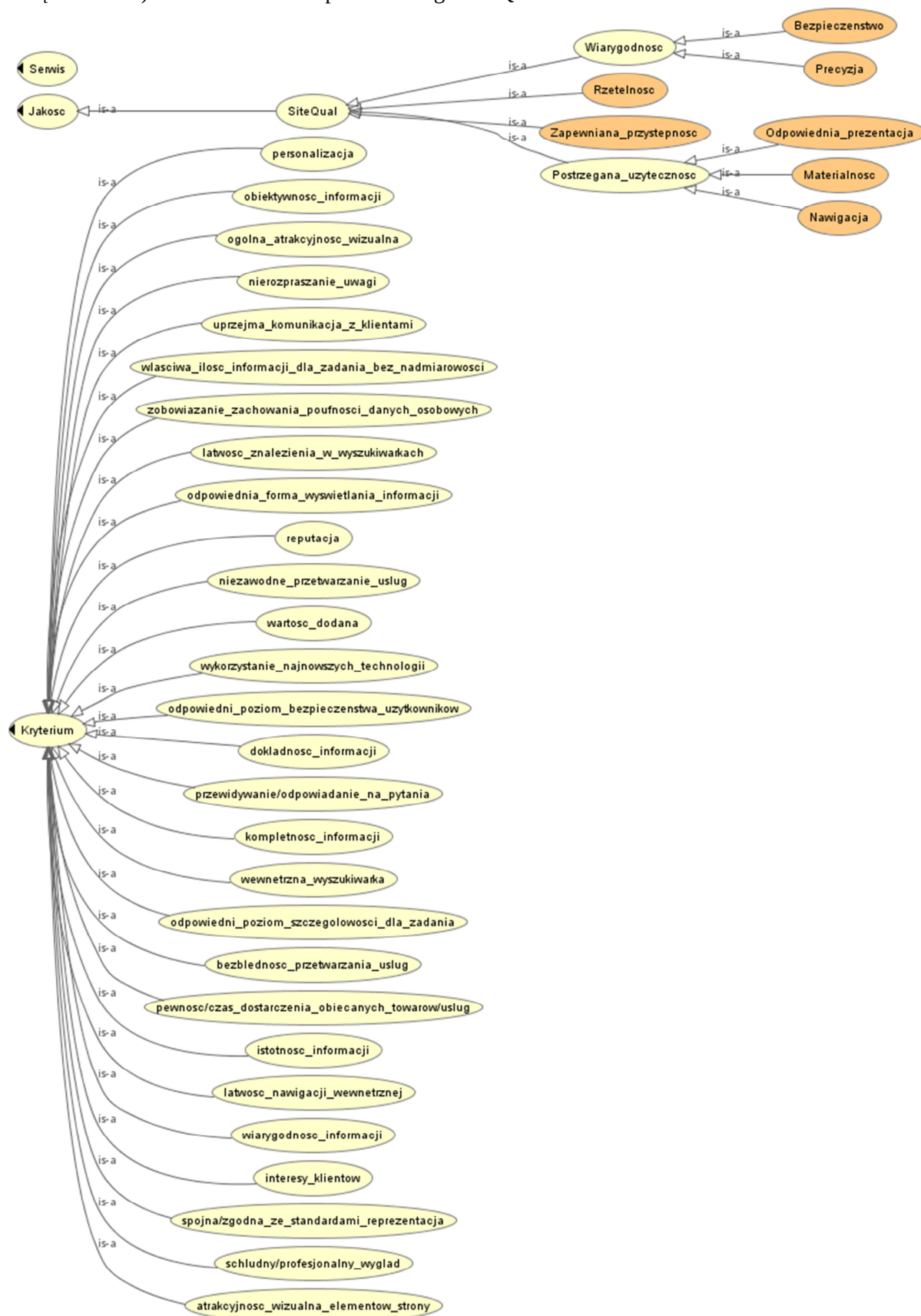
Załącznik 3.2a) Taksonomia konceptów ontologii Ahn



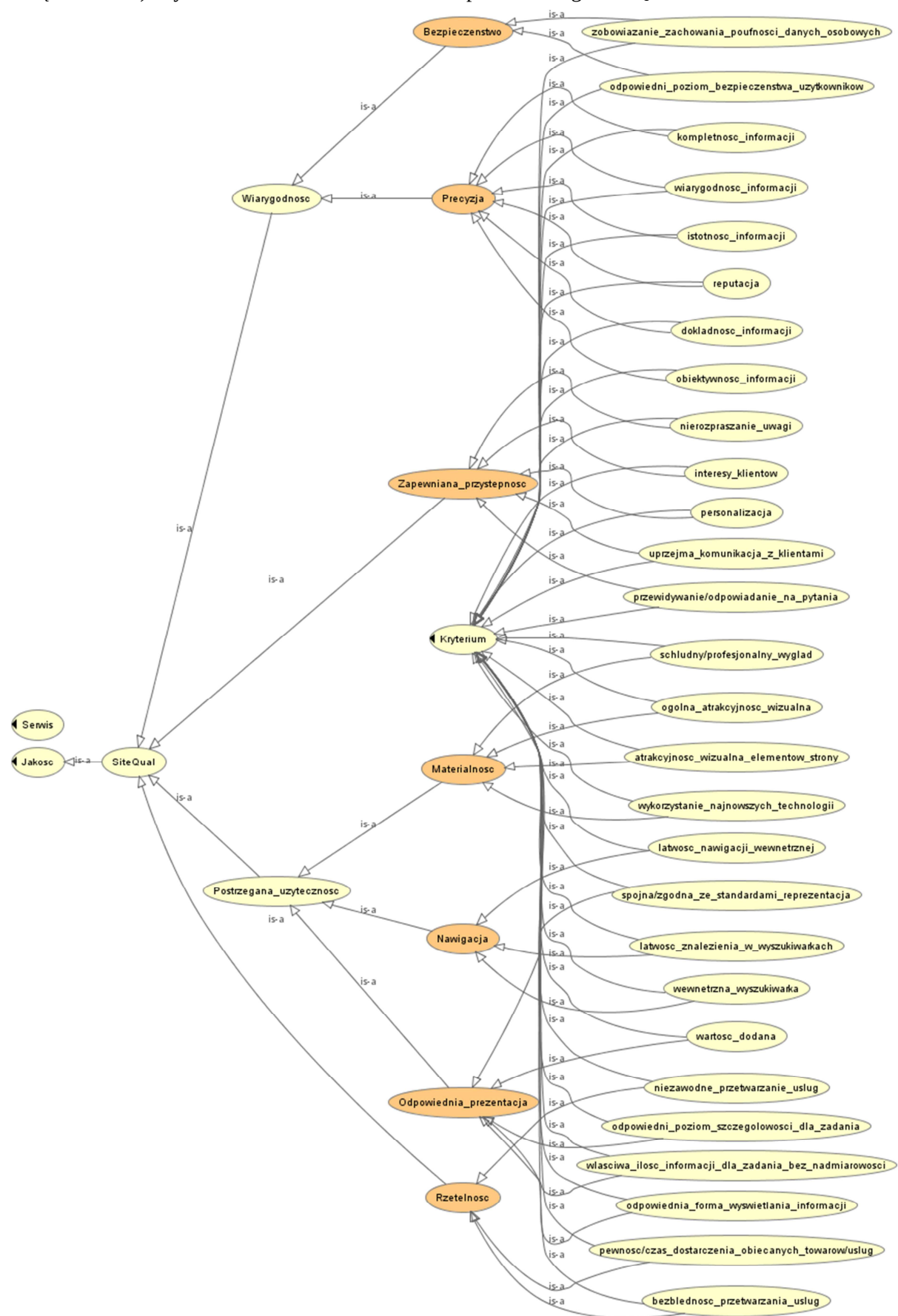
Załącznik 3.2b) Wynioskowana taksonomia konceptów ontologii Ahn



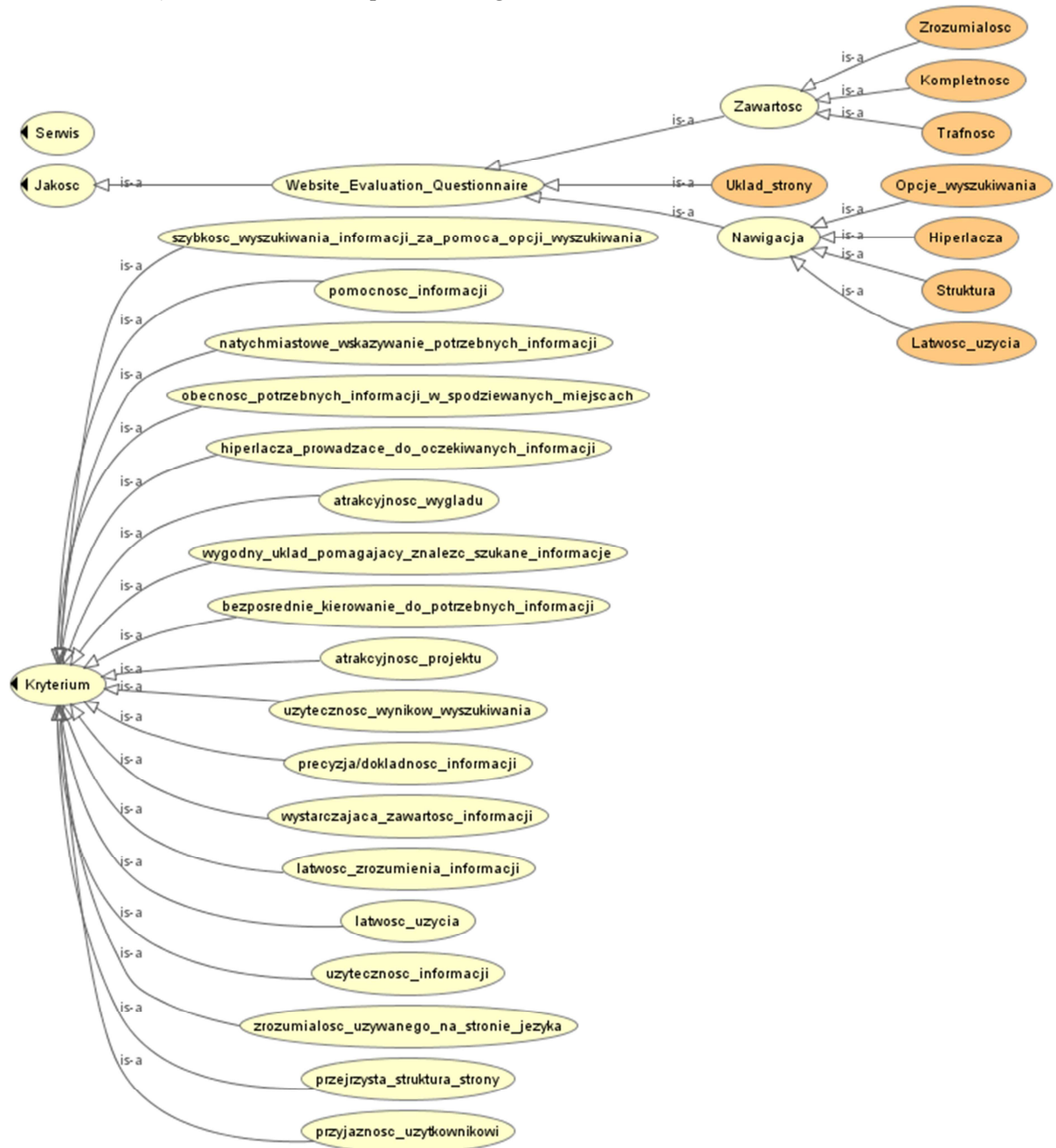
Załącznik 3.3a) Taksonomia konceptów ontologii SiteQual



Załącznik 3.3b) Wywnioskowana taksonomia konceptów ontologii SiteQual

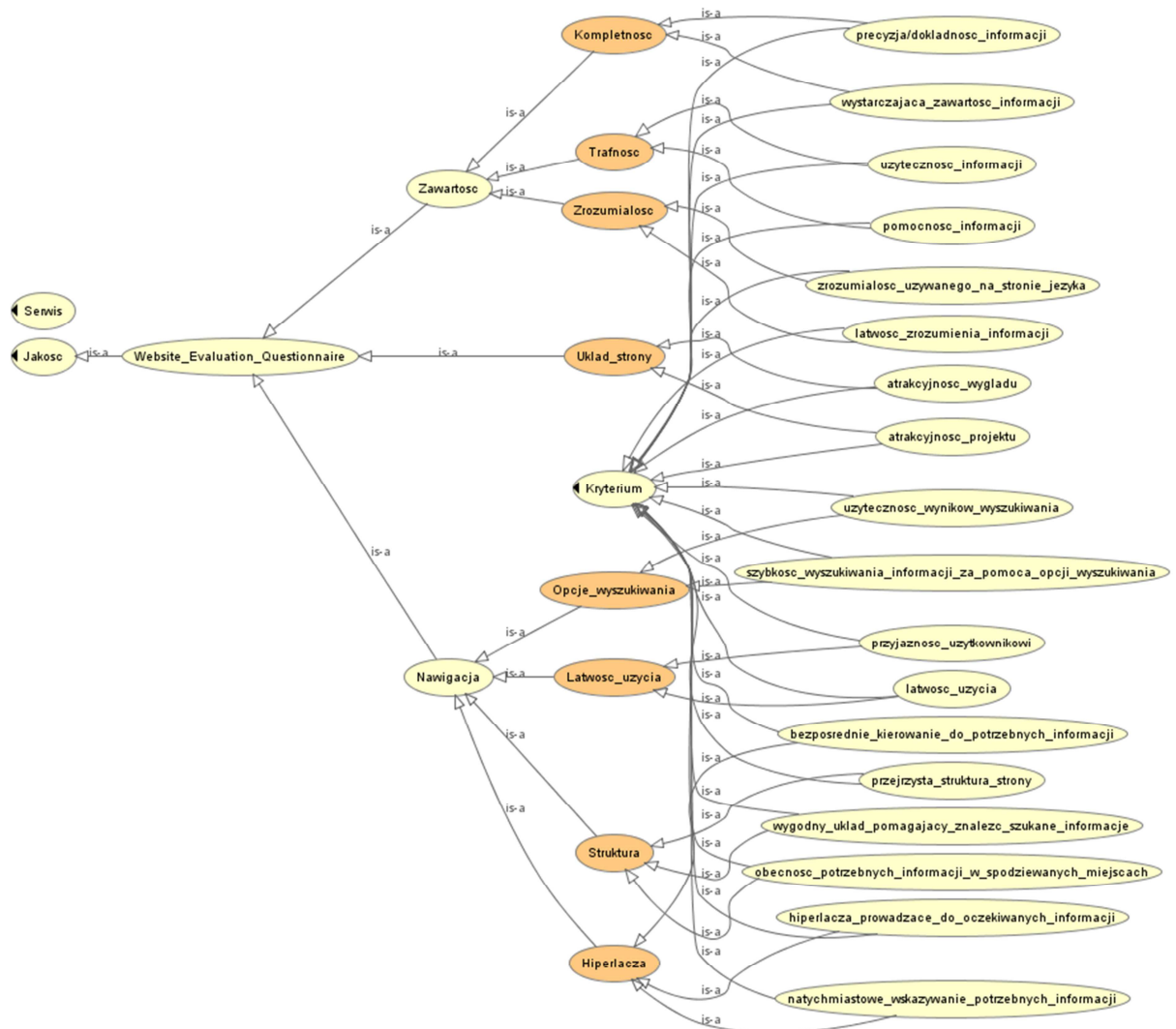


Załącznik 3.4a) Taksonomia konceptów ontologii Website Evaluation Questionnaire

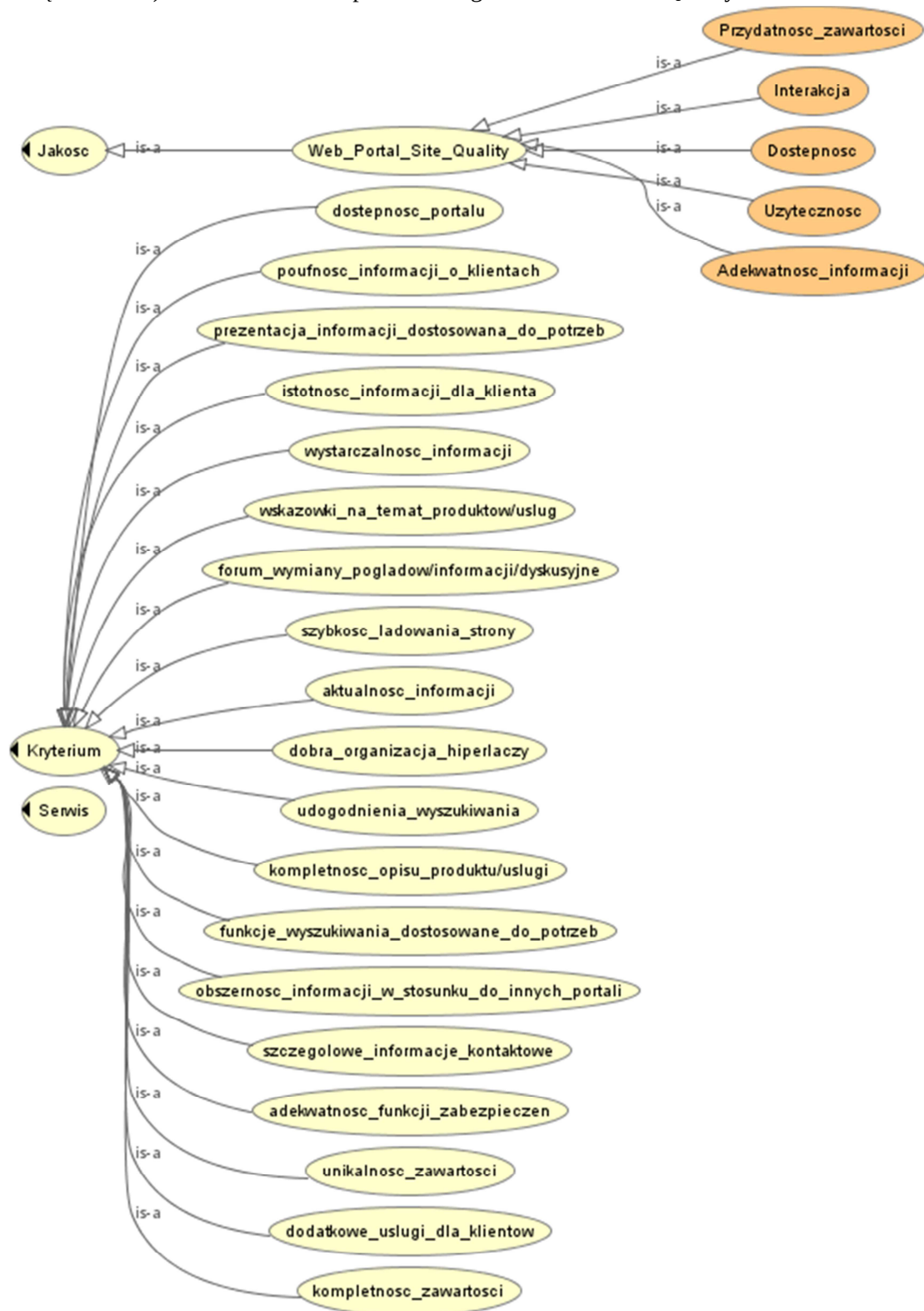




Załącznik 3.4b) Wywnioskowana taksonomia konceptów ontologii WEQ



Załącznik 3.5a) Taksonomia konceptów ontologii Web Portal Site Quality

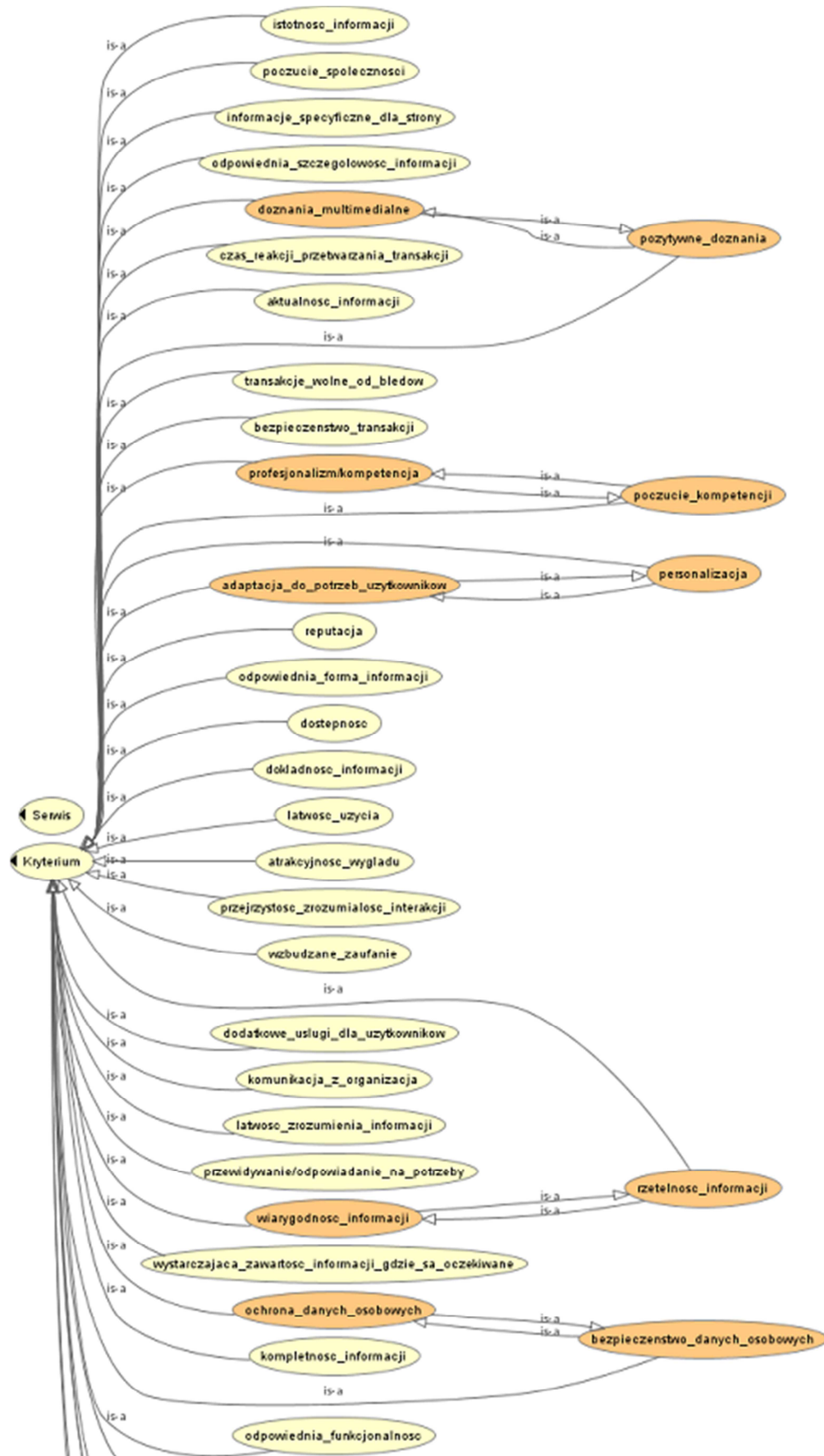


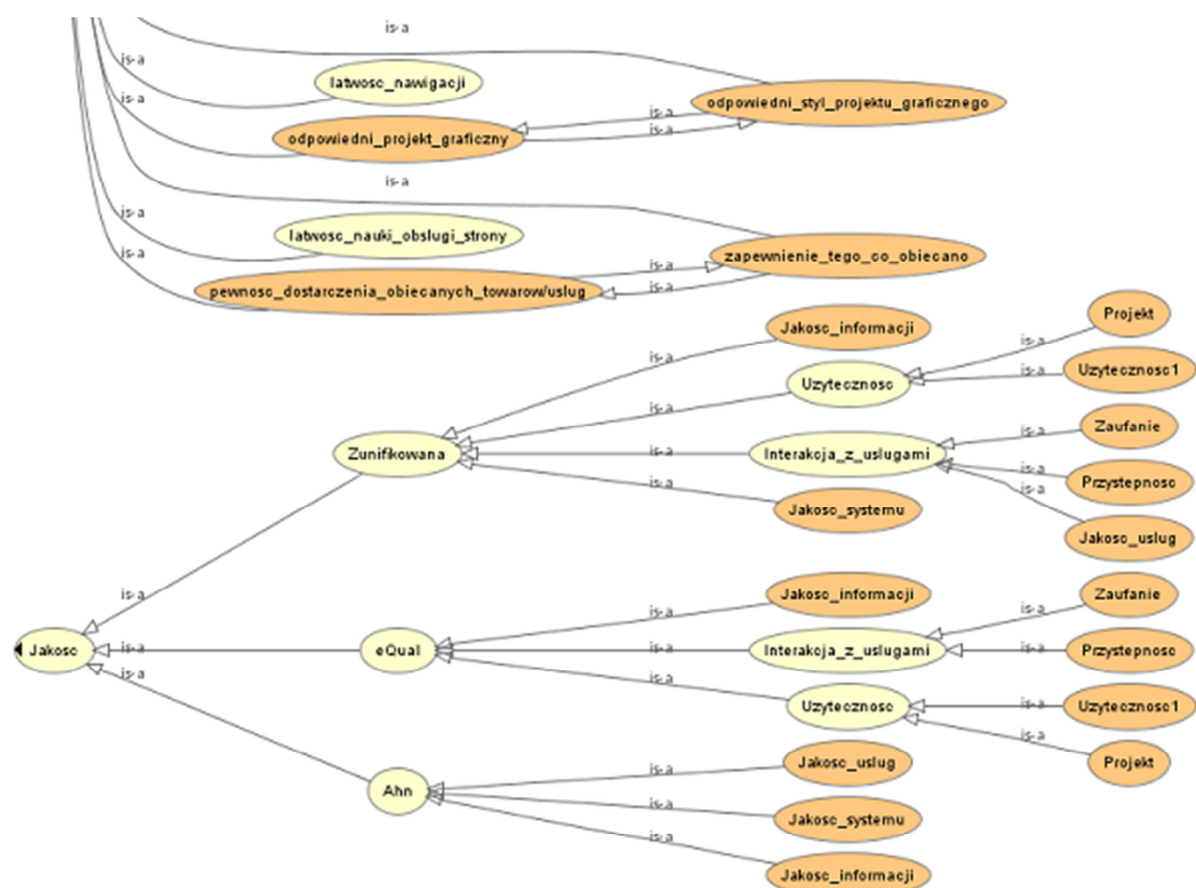
Załącznik 3.5b) Wywnioskowana taksonomia konceptów ontologii Web Portal Site Quality



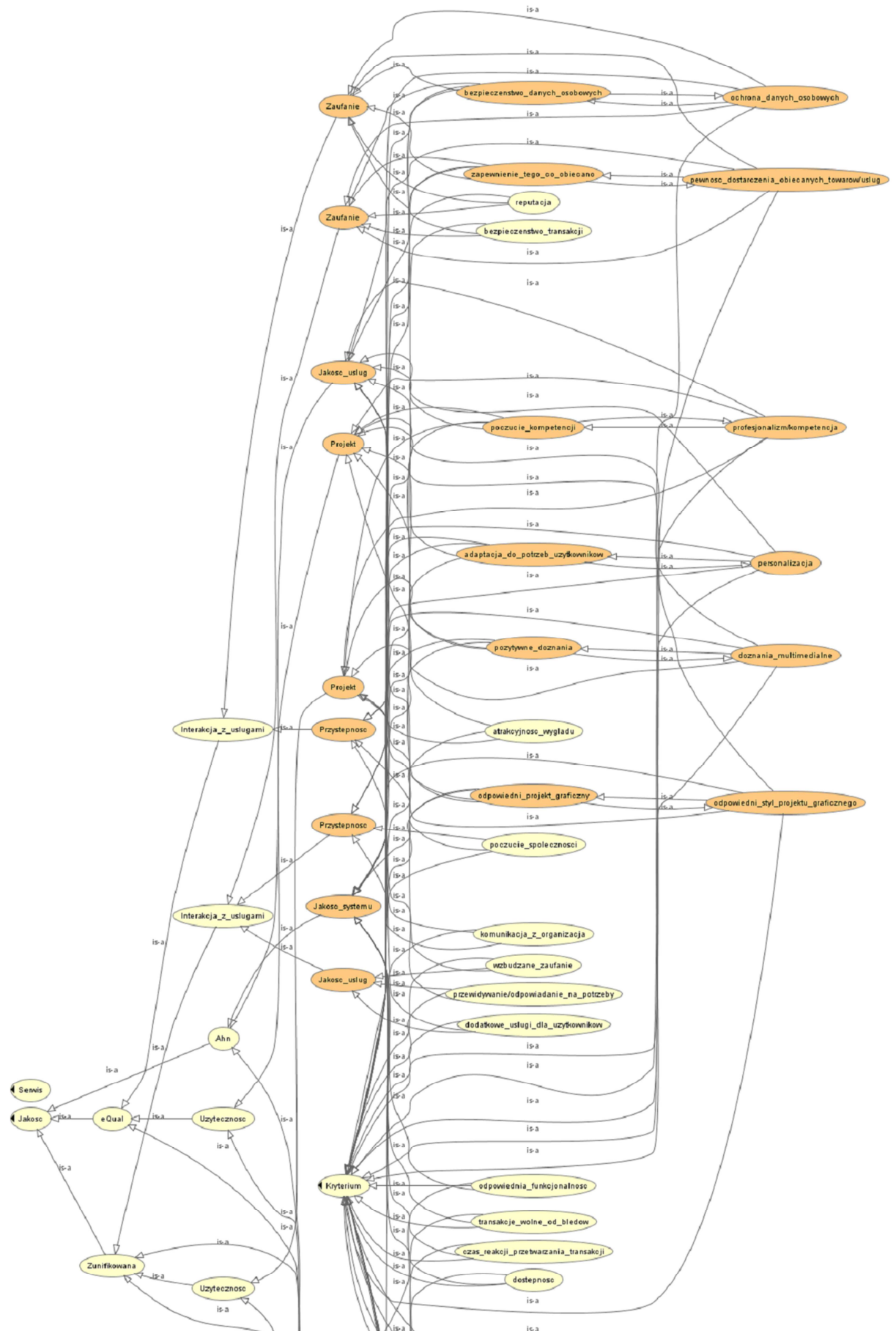


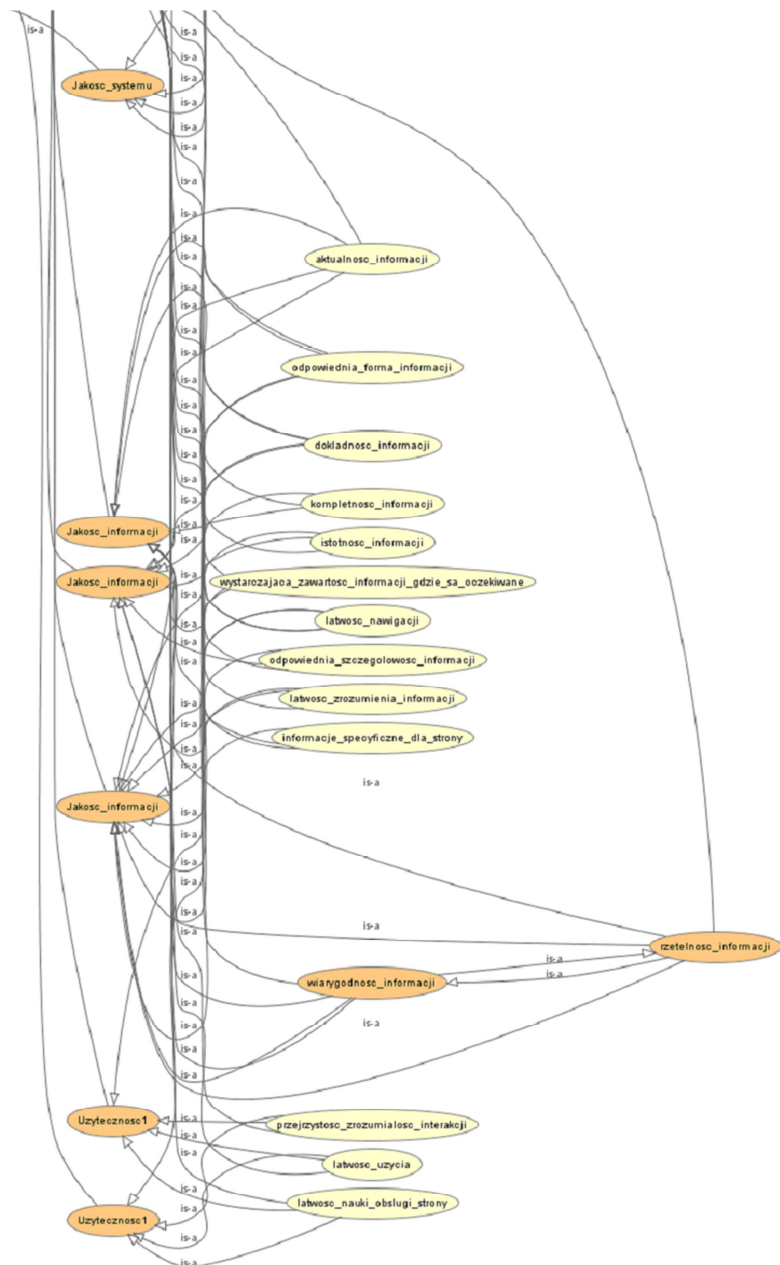
Załącznik 3.6a) Taksonomia konceptów zintegrowanej ontologii (eQual i Ahn)



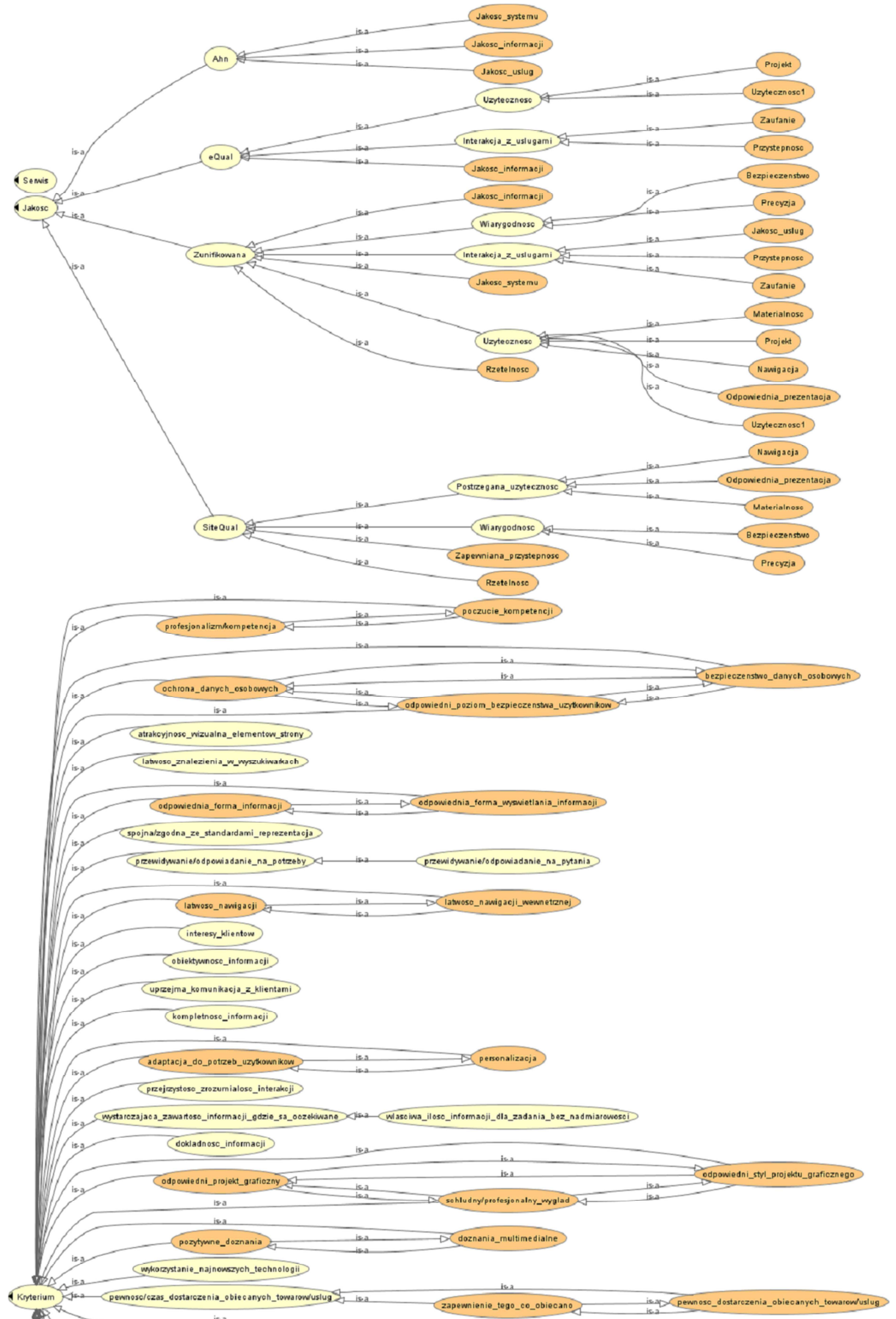


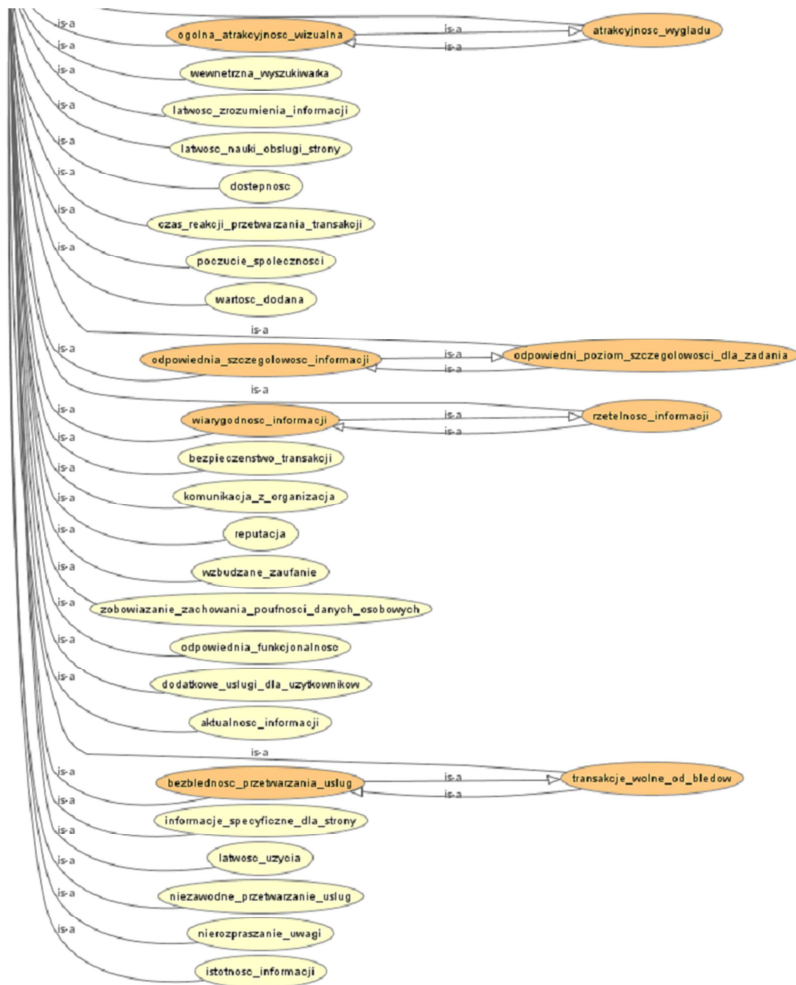
Załącznik 3.6b) Wywnioskowana taksonomia konceptów zintegrowanej ontologii (eQual i Ahn)





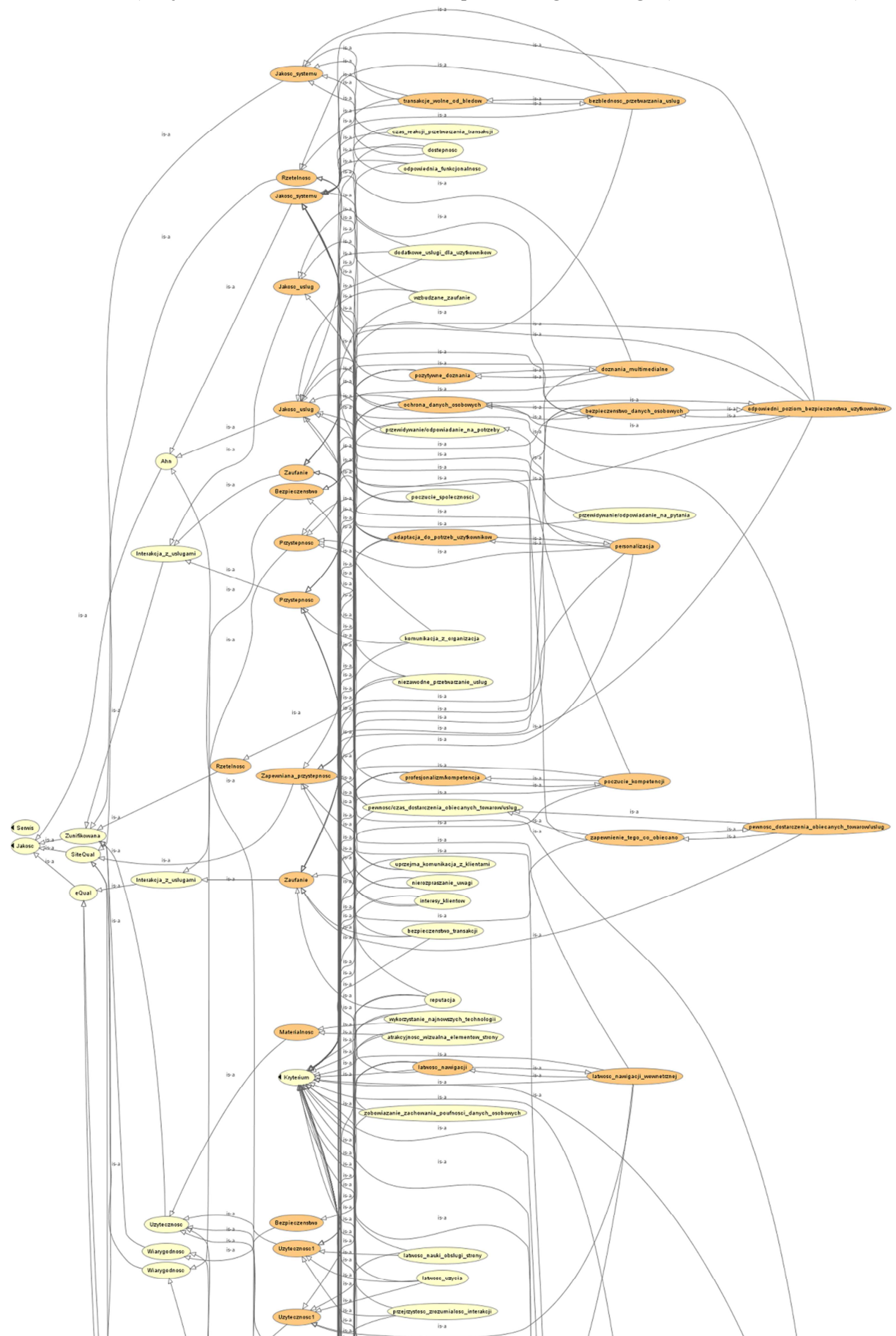
Załącznik 3.7a) Taksonomia konceptów zintegrowanej ontologii (eQual, Ahn i SiteQual)

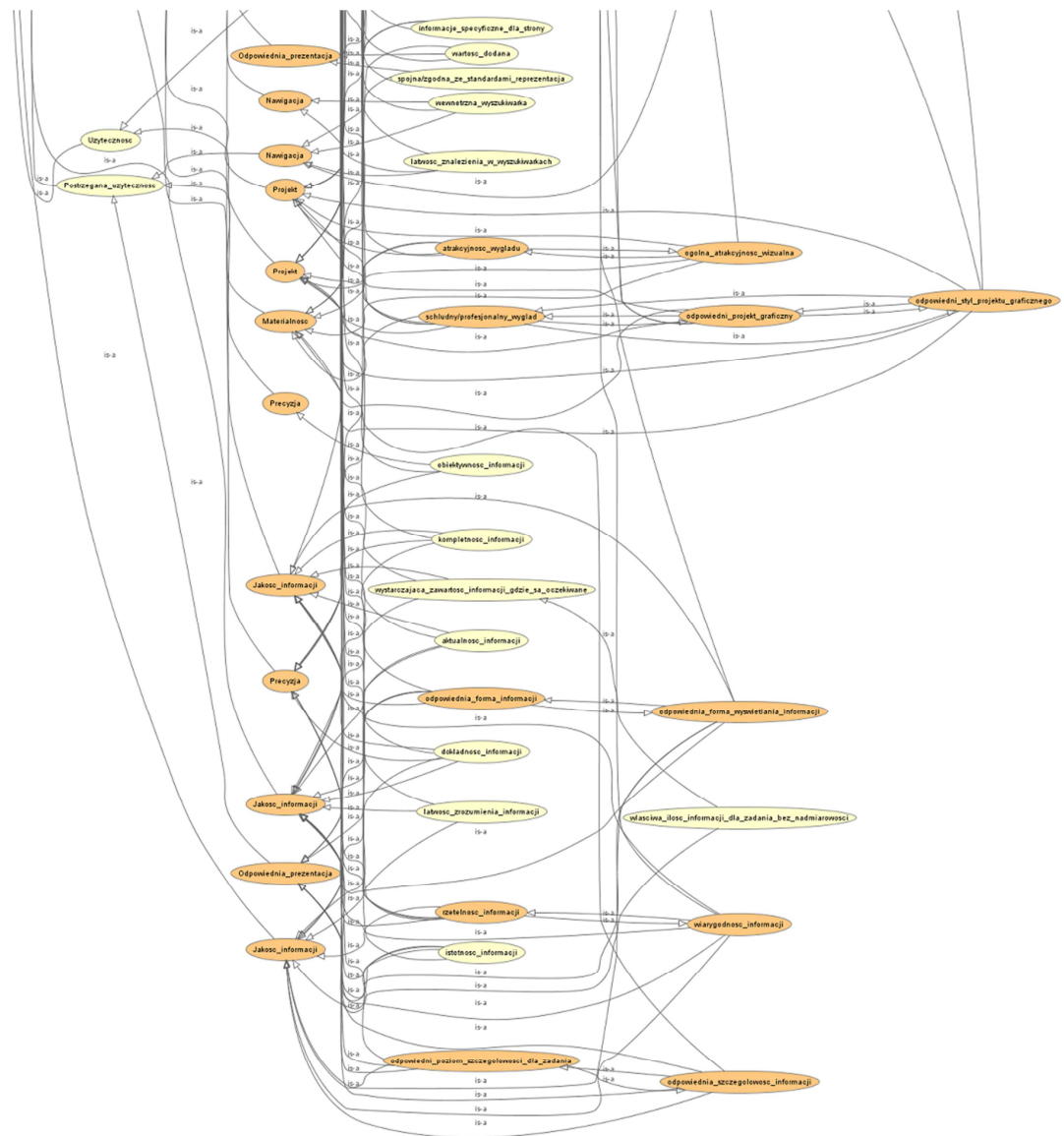






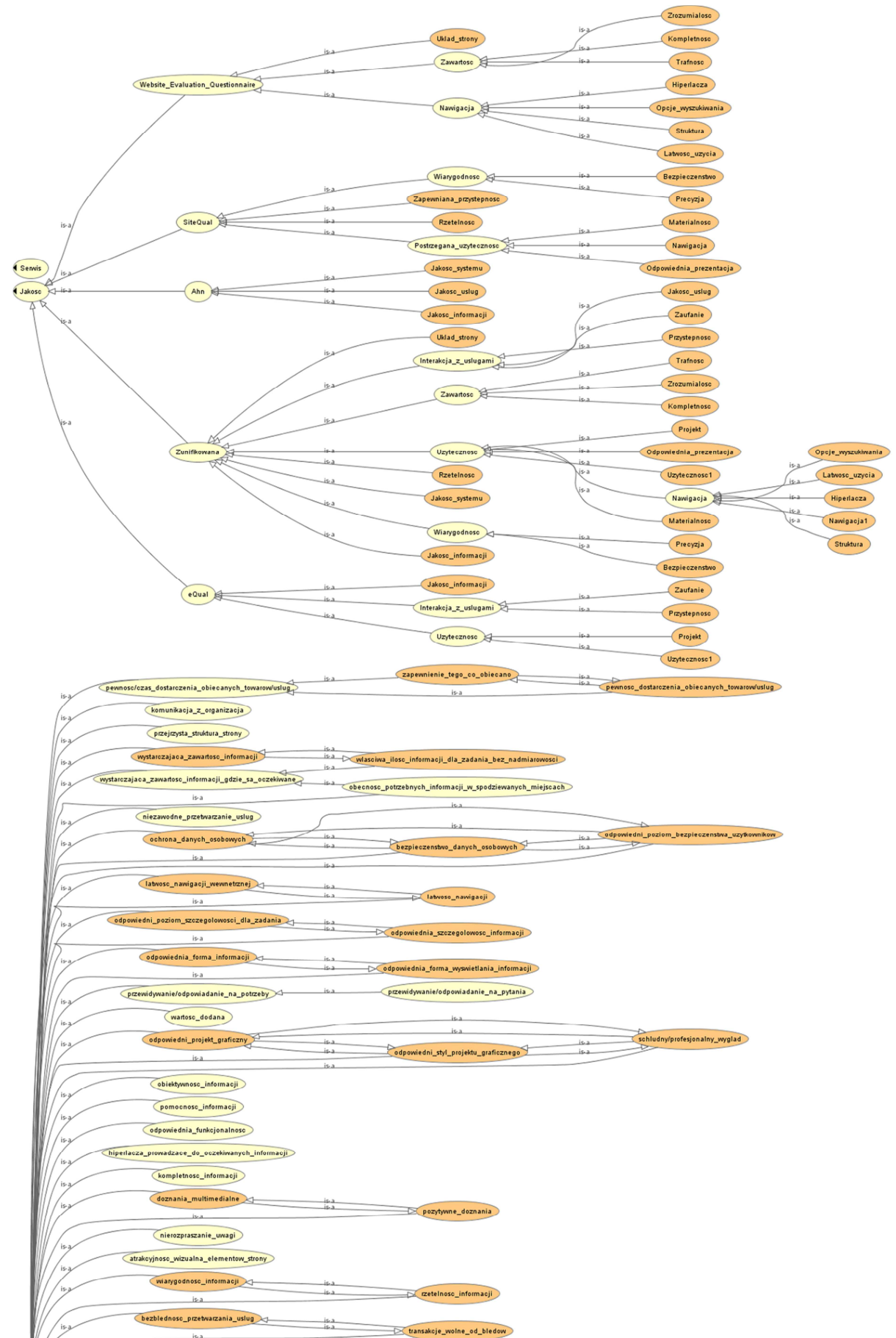
Załącznik 3.7b) Wywnioskowana taksonomia konceptów zintegrowanej ontologii (eQual, Ahn, SiteQual)

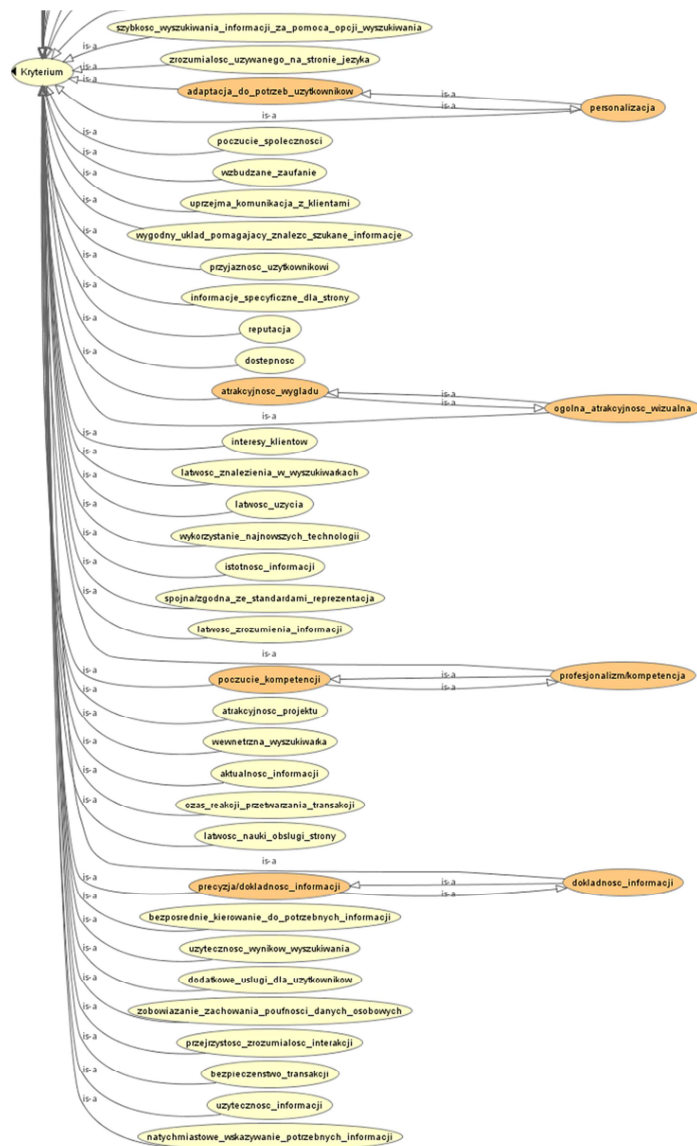




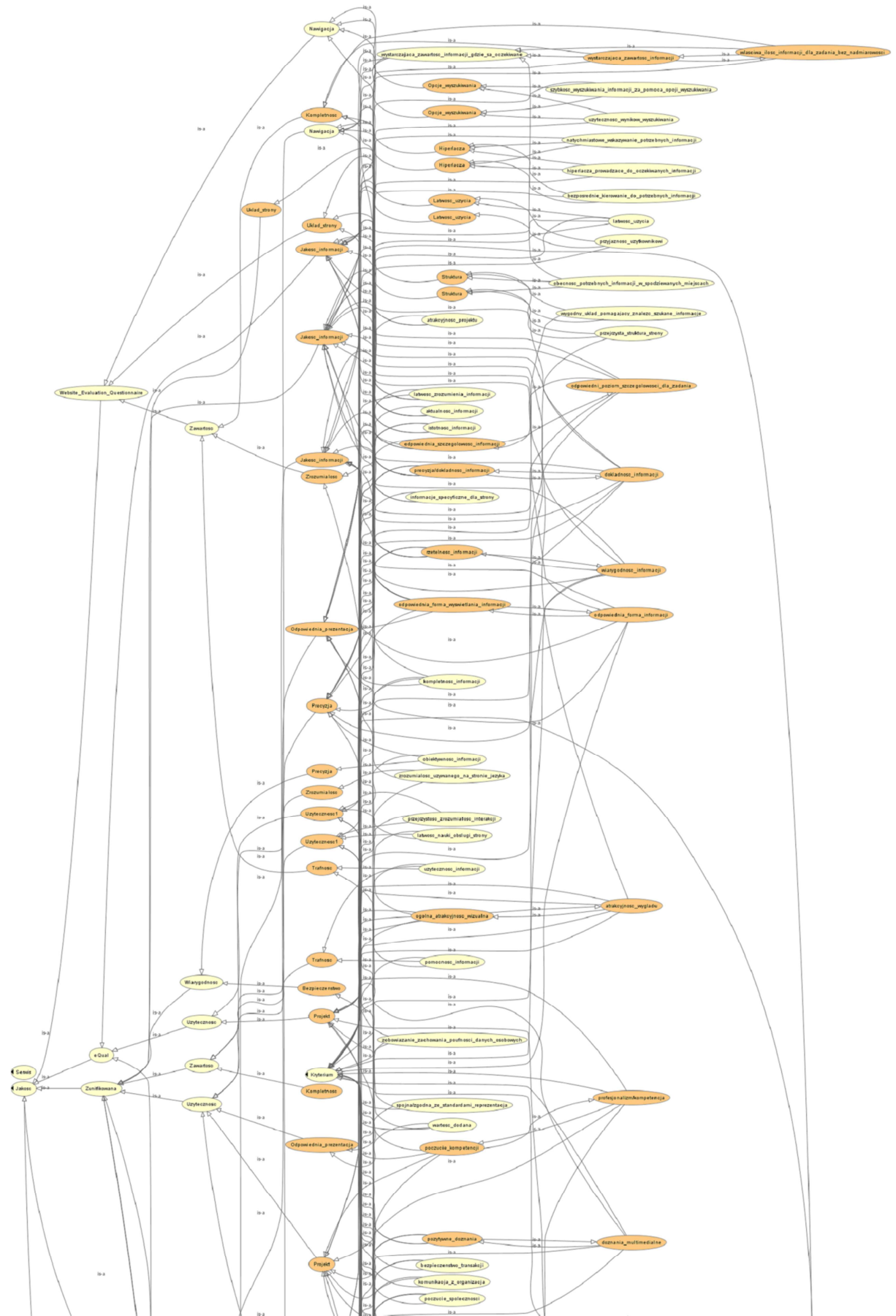


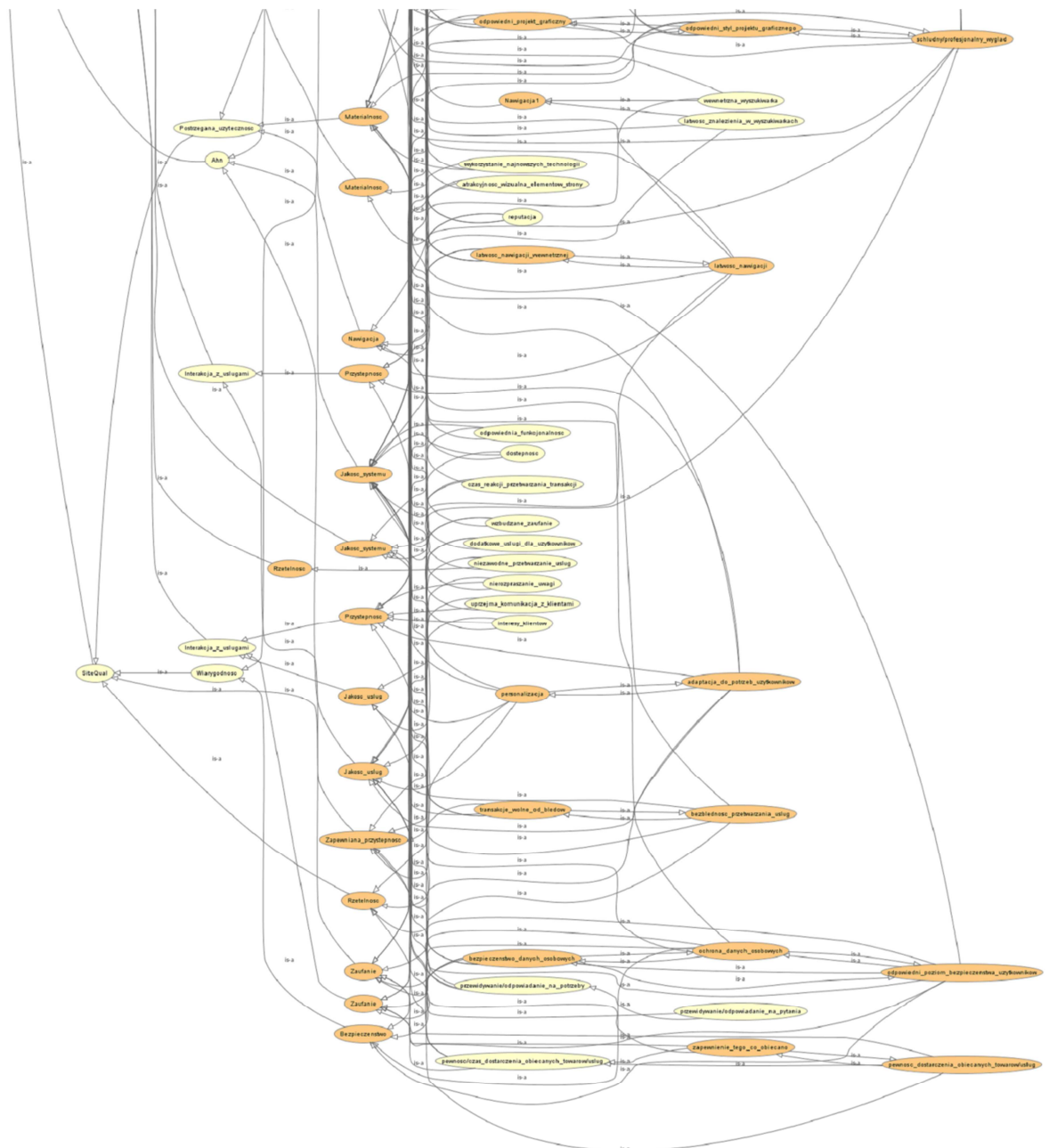
Załącznik 3.8a) Taksonomia konceptów zintegrowanej ontologii (eQual, Ahn, SiteQual i WEQ)



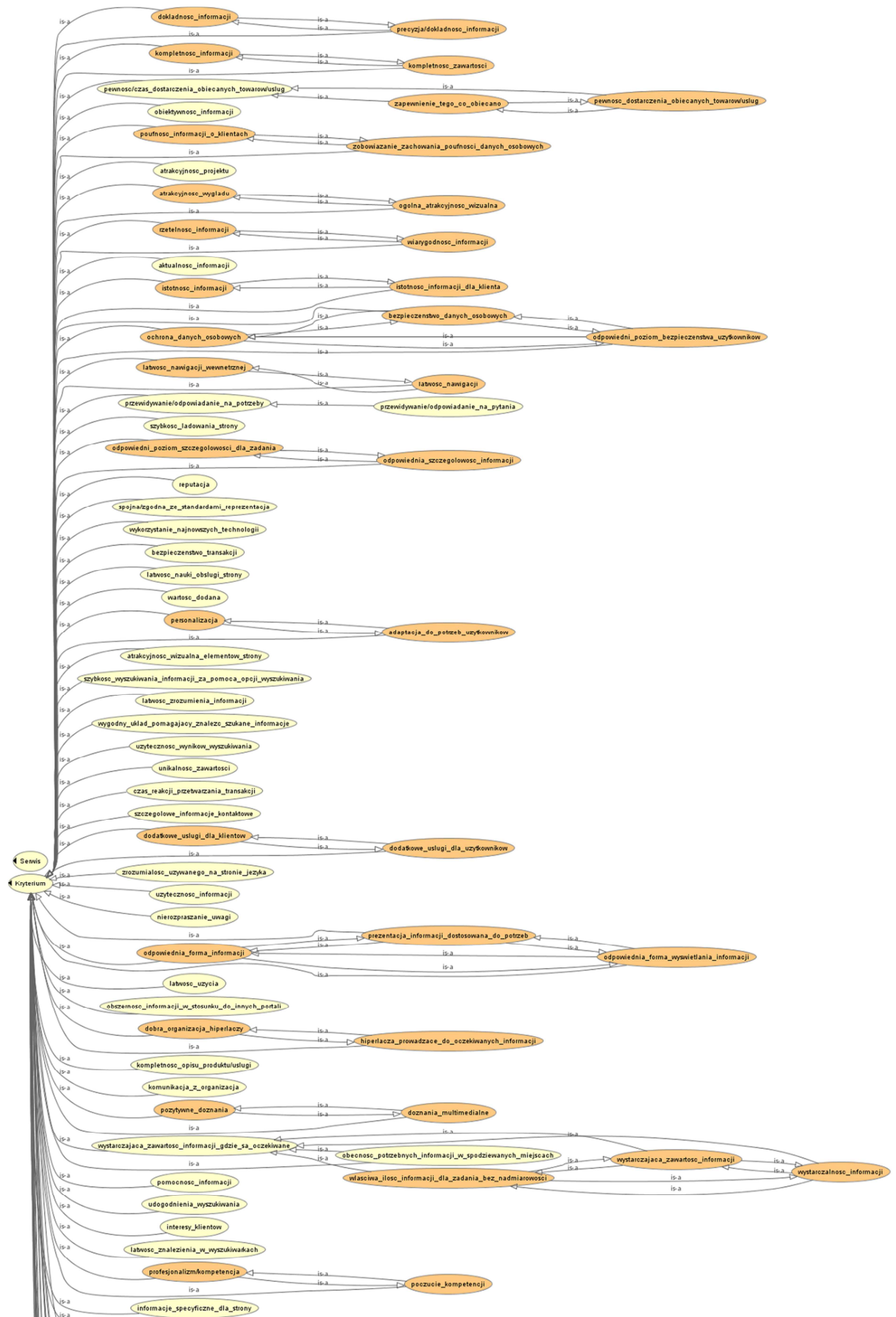


Zał. 3.8b) Wywnioskowana taksonomia konceptów zintegr. ontologii (eQual,Ahn,SiteQual,WEQ)

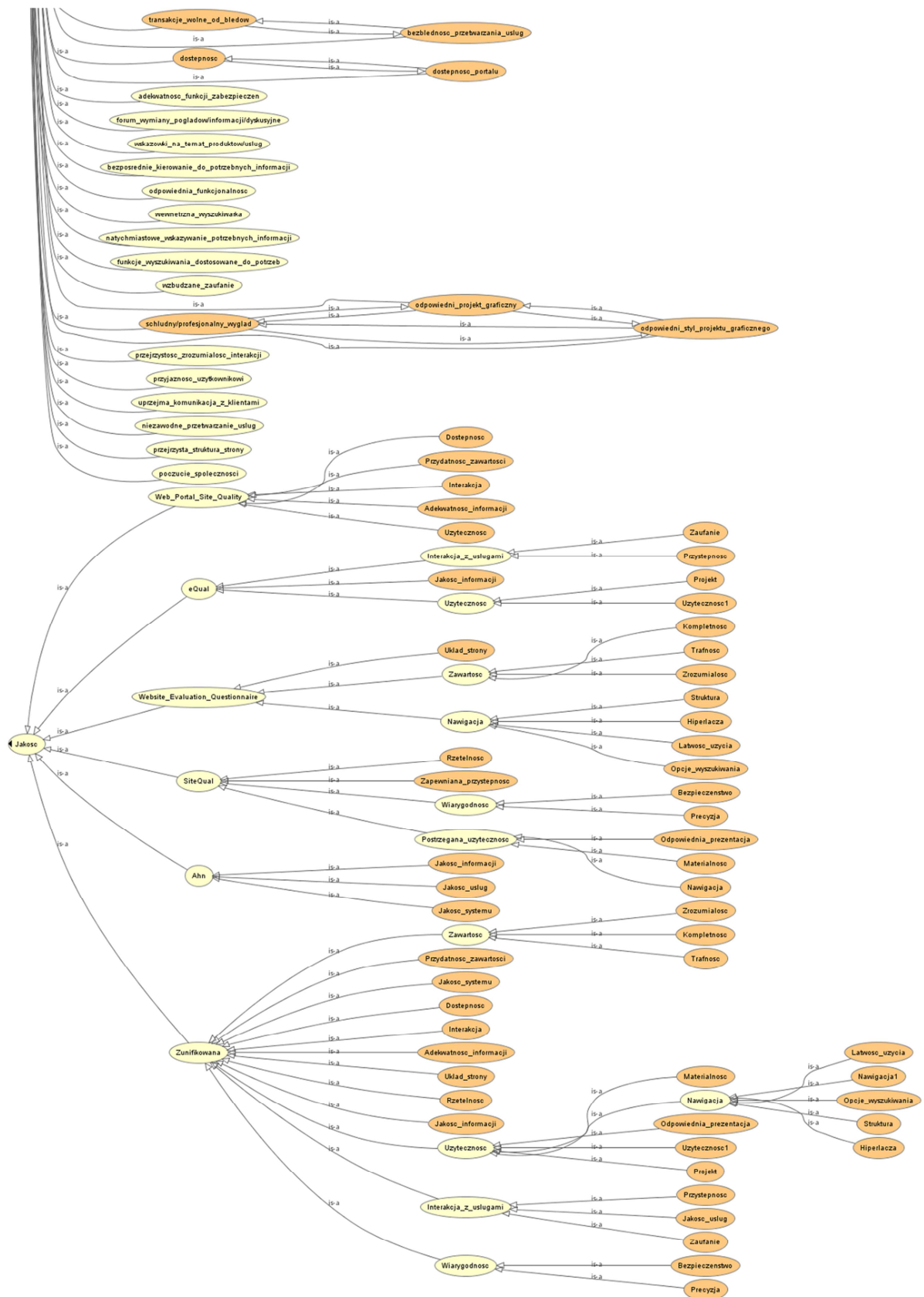


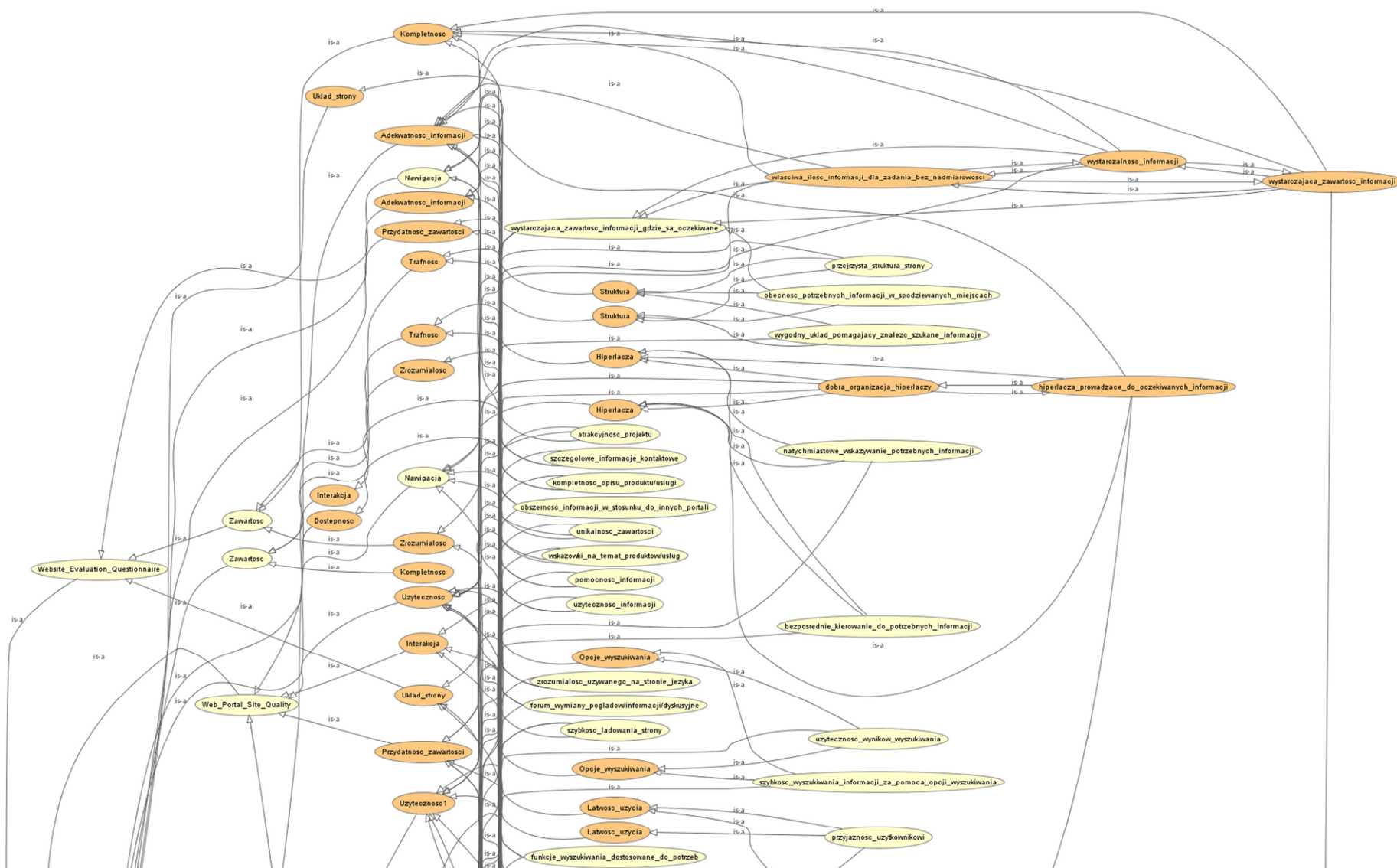


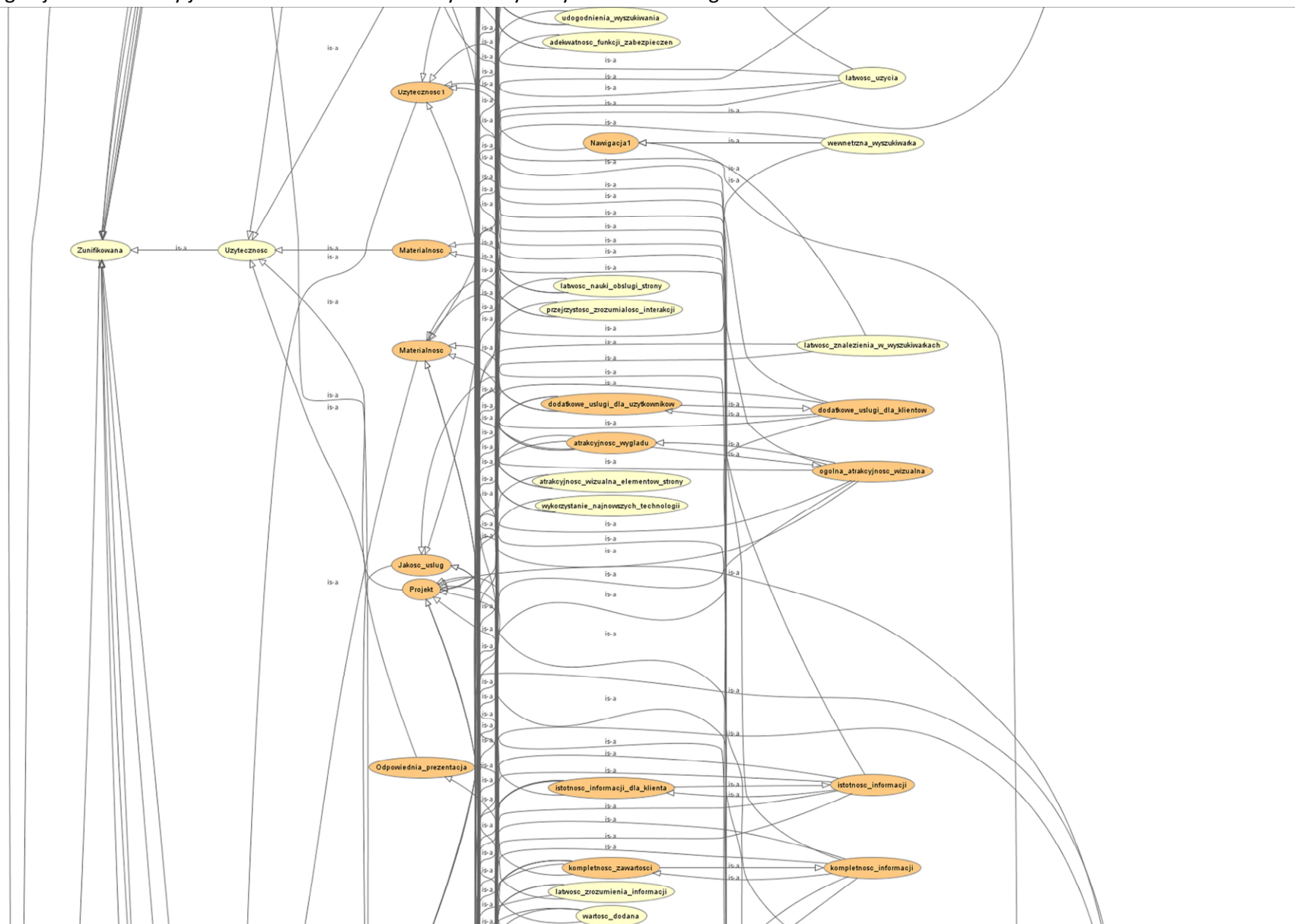
Załącznik 3.9a) Taksonomia konceptów zintegrowanej ontologii (eQual,Ahn,SiteQual,WEQ,WPSQ)



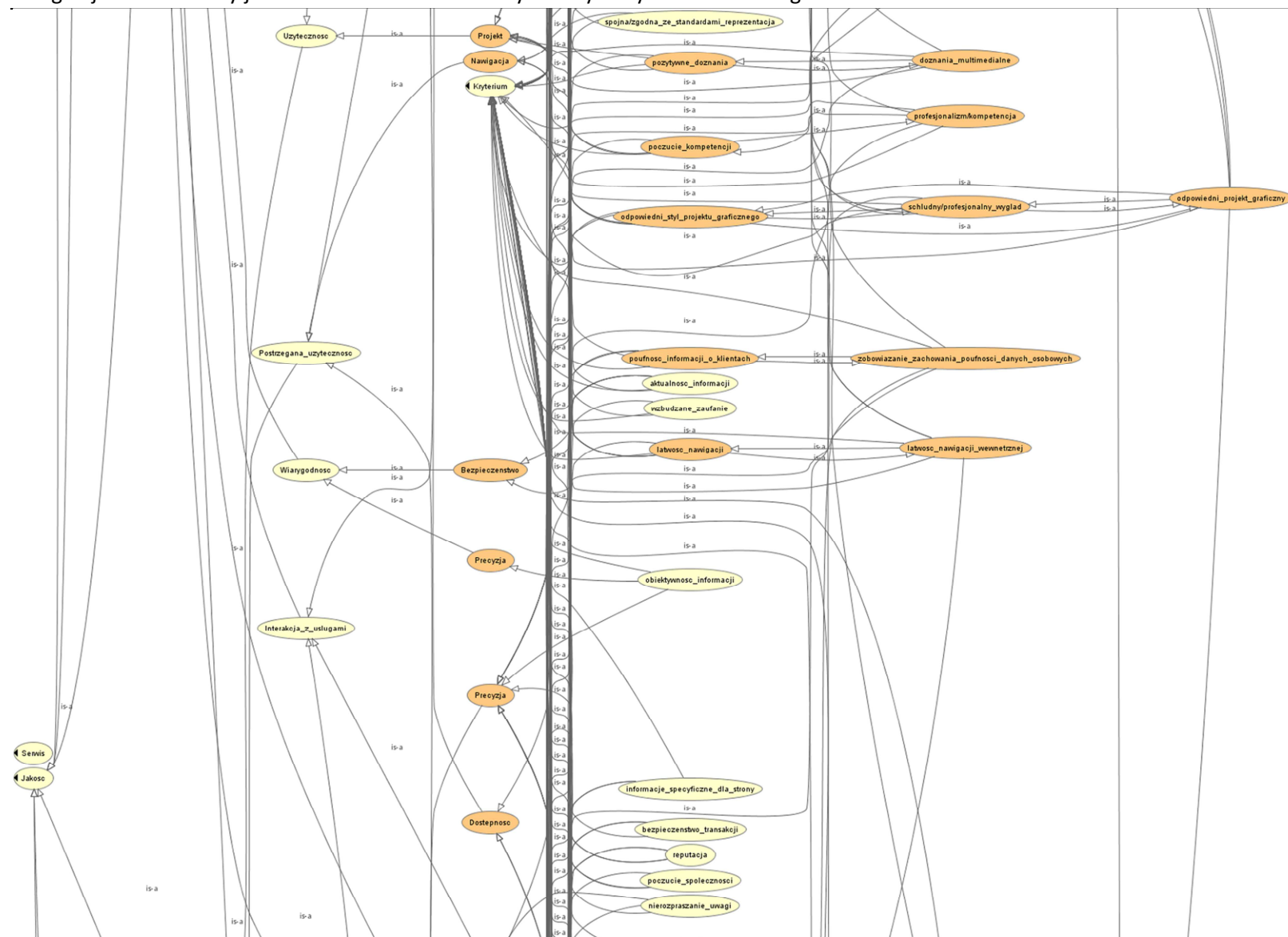


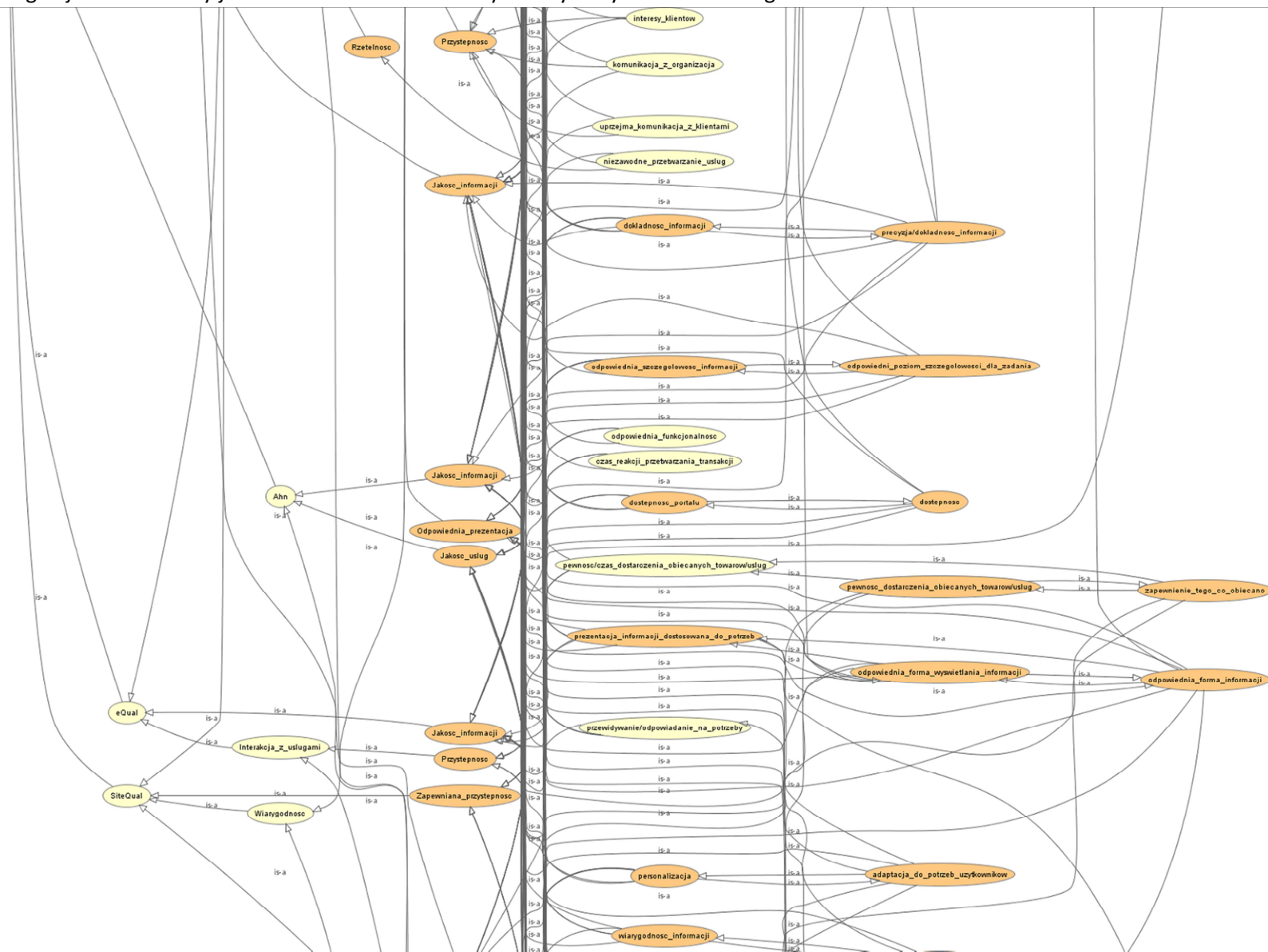


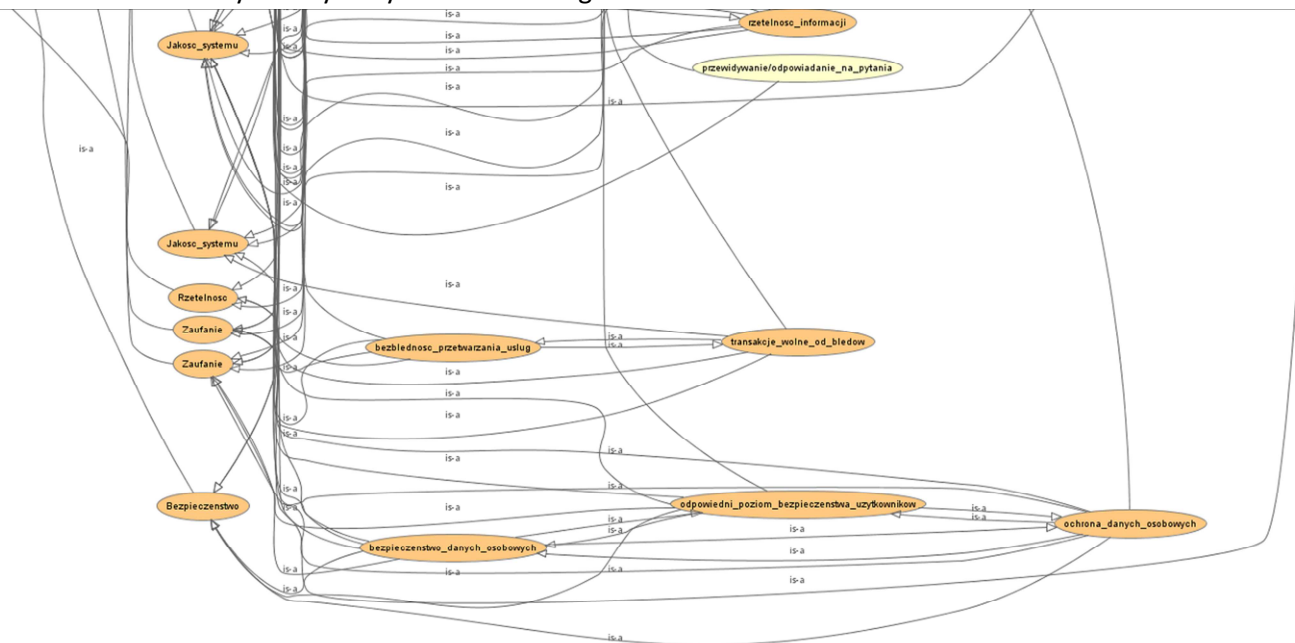












## Załącznik 4.1 Pytania ankietowe w postaci nazw kryteriów zawartych w ontologii

| Kryterium | Nr pytania | Treść kryterium                                               |
|-----------|------------|---------------------------------------------------------------|
| K1        | 1          | łatwość nauki obsługi strony                                  |
| K2        | 2          | przejrzystość zrozumiałość interakcji                         |
| K3        | 3          | łatwość nawigacji                                             |
| K4        | 4          | łatwość użycia                                                |
| K5        | 5          | atrakcyjność wyglądu                                          |
| K6        | 6          | odpowiedni projekt graficzny                                  |
| K7        | 7          | poczucie kompetencji                                          |
| K8        | 8          | pozytywne doznania                                            |
| K9        | 9          | dokładność informacji                                         |
| K10       | 10         | wiarygodność informacji                                       |
| K11       | 32         | aktualność informacji                                         |
| K12       | 33         | istotność informacji                                          |
| K13       | 34         | łatwość zrozumienia informacji                                |
| K14       | 41         | odpowiednia szczegółowość informacji                          |
| K15       | 42         | odpowiednia forma informacji                                  |
| K16       | 11         | reputacja                                                     |
| K17       | 12         | bezpieczeństwo transakcji                                     |
| K18       | 13         | ochrona danych osobowych                                      |
| K19       | 14         | personalizacja                                                |
| K20       | 15         | poczucie społeczności                                         |
| K21       | 16         | komunikacja z organizacją                                     |
| K22       | 26         | pewność/czas dostarczenia obiecanych towarów/usług            |
| K23       | 23         | czas reakcji przetwarzania transakcji                         |
| K24       | 21         | dostępność                                                    |
| K25       | 17         | odpowiednia funkcjonalność                                    |
| K26       | 18         | transakcje wolne od błędów                                    |
| K27       | 24         | kompletność informacji                                        |
| K28       | 25         | informacje specyficzne dla strony                             |
| K29       | 19         | wzbudzone zaufanie                                            |
| K30       | 20         | dodatkowe usługi dla użytkowników                             |
| K31       | 27         | niezawodne przetwarzanie usług                                |
| K32       | 28         | nierozpraszczenie uwagi                                       |
| K33       | 40         | przewidywanie/odpowiadanie na potrzeby                        |
| K34       | 37         | interesy klientów                                             |
| K35       | 29         | uprzejma komunikacja z klientami                              |
| K36       | 30         | wykorzystanie najnowszych technologii                         |
| K37       | 31         | atrakcyjność wizualna elementów strony                        |
| K38       | 35         | łatwość znalezienia w wyszukiwarkach                          |
| K39       | 43         | wewnętrzna wyszukiwarka                                       |
| K40       | 44         | wystarczająca zawartość informacji                            |
| K41       | 36         | wartość dodana                                                |
| K42       | 38         | spójna/zgodna ze standardami reprezentacja                    |
| K43       | 39         | obiektywność informacji                                       |
| K44       | 54         | zobowiązanie zachowania poufności danych osobowych            |
| K45       | 46         | przyjazność użytkownikowi                                     |
| K46       | 47         | bezpośrednie kierowanie do potrzebnych informacji             |
| K47       | 57         | natychmiastowe wskazywanie potrzebnych informacji             |
| K48       | 49         | hiperłącza prowadzące do oczekiwanych informacji              |
| K49       | 45         | obecność potrzebnych informacji w spodziewanych miejscach     |
| K50       | 50         | przejrzysta struktura strony                                  |
| K51       | 63         | wygodny układ pomagający znaleźć szukane informacje           |
| K52       | 51         | pomocność informacji                                          |
| K53       | 64         | użyteczność informacji                                        |
| K54       | 52         | zrozumiałość używanego na stronie języka                      |
| K55       | 65         | atrakcyjność projektu                                         |
| K56       | 66         | szybkość wyszukiwania informacji za pomocą opcji wyszukiwania |
| K57       | 53         | użyteczność wyników wyszukiwania                              |
| K58       | 58         | funkcje wyszukiwania dostosowane do potrzeb                   |
| K59       | 59         | udogodnienia wyszukiwania                                     |
| K60       | 60         | adekwatność funkcji zabezpieczeń                              |
| K61       | 62         | wskazówki na temat produktów/usług                            |
| K62       | 48         | unikalność zawartości                                         |
| K63       | 67         | kompletność opisu produktu/usługi                             |
| K64       | 71         | obszerność informacji w stosunku do innych portali            |
| K65       | 69         | szczegółowe informacje kontaktowe                             |
| K66       | 70         | szybkość ładowania strony                                     |
| K67       | 78         | forum wymiany poglądów/informacji/dyskusyjne                  |