

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Informatyki

ROZPRAWA DOKTORSKA

Agnieszka Olejnik-Krugły

**Model systemu informatycznego
monitorowania jakości produktu
poligraficznego na poziomie
operacyjnym**

Promotor rozprawy
dr hab. Emma Kusztina, prof. ZUT

Szczecin, 2012

Spis treści

Wstęp.....	4
Rozdział 1 Kontrola jakości produktu w procesie produkcji poligraficznej.....	12
1.1. Charakterystyka procesu produkcji poligraficznej.....	12
1.2. Problem zapewnienia wymaganej jakości produktom poligraficznym.....	18
Rozdział 2 Systemy informatyczne wspomagające proces kontroli jakości produktu poligraficznego	26
2.1. Metody, narzędzia i instrumenty informatyczne kontroli jakości produktu poligraficznego.....	26
2.2. Analiza możliwości funkcyjnych istniejących rozwiązań informatycznych przeznaczonych do zarządzania procesem poligraficznym.....	30
Rozdział 3 Model referencyjny Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego.....	43
3.1. Miejsce systemu informatycznego w procesach zarządzania przedsiębiorstwem poligraficznym.....	45
3.2. Charakterystyka danych w Systemie Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego.....	50
3.3. Analiza parametrów jakości produktu poligraficznego oraz przyczyn wpływających na wartości wskaźników jakości	53
Rozdział 4 Model funkcjonowania informatycznego Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego na poziomie operacyjnym	63
4.1. Wprowadzenie pierwotnych danych do Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego	70
4.2. Metoda identyfikacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego.....	73
4.3. Metoda dopasowania parametrów maszyny drukującej do wskaźników jakości produktu poligraficznego	79
4.4. Podejście do weryfikacji i walidacji wyników Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego.....	94
Rozdział 5 Studium przypadku, według zaproponowanego podejścia, do opracowania Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego na poziomie operacyjnym.....	99
Zakończenie	113
Bibliografia	118
Spis rysunków.....	126

Spis tabel	128
Załącznik 1 Macierz relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy parametrami jakości produktu poligraficznego a przyczynami ich wad	129
Załącznik 2 Baza wiedzy zawierająca reguły definiujące zależności pomiędzy parametrami jakości a parametrami nastawu maszyny drukującej	136
Załącznik 3 Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP.....	140

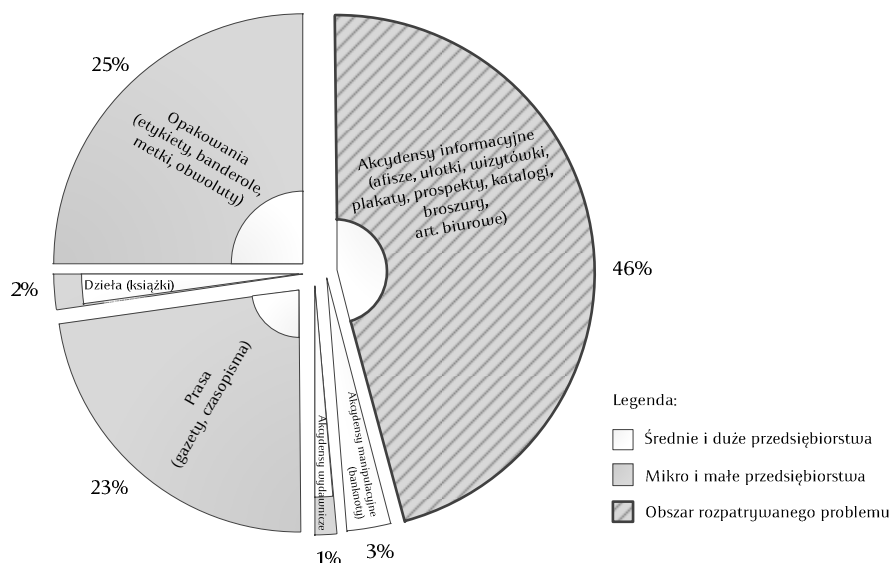
Wstęp

Dynamiczny postęp w wielu dziedzinach nauki, w szczególności informatyki, przyspieszył w ostatnich kilku dekadach, bądź wręcz umożliwił rozwój wielu branż przemysłu. Jednym z głównych beneficjentów tego procesu jest poligrafia, która w ciągu 10 pierwszych lat XXI wieku odnotowała wysokie tempo rozwoju (GUS, 2000-2011). Zapotrzebowanie na produkty poligraficzne stymulowane przez rozwój i powstawanie nowych gałęzi przemysłu zapewnia poligrafii obiecujące perspektywy na przyszłość. Popyt na nowe usługi i produkty oraz zmieniające się oczekiwania konsumentów wywierają presję na innowację i jakość świadczonych usług i produktów w firmach branży poligraficznej, co jest szczególnie widoczne na regularnie organizowanych targach reklamy i poligrafii w Poznaniu (Poligrafia w 2009 i 2011 roku), Berlinie (Post Print Berlin w 2007 roku) czy Düsseldorfie (Drupa w 2008 roku). Ponadto, rozwój technologii druku (również maszyn drukujących) oraz automatyzacja procesów produkcyjnych pozwoliły zwiększyć nakłady i uzyskiwać produkty wcześniej niemożliwe do wytworzenia.

Popyt na usługi i produkty poligraficzne jest wprost proporcjonalny do globalnej produkcji dóbr i usług, co pozwala traktować przemysł poligraficzny jako odzwierciedlenie tendencji rozwojowych całej gospodarki kraju (Bajka, 2008). Rosnący wpływ technologii cyfrowej i internetowej na społeczeństwo znacząco zmniejszył zapotrzebowanie na drukowane dzieła (książki, albumy) oraz prasę periodyczną (czasopisma, gazety), zastępując je wydaniem elektronicznymi i e-bookami. Jednocześnie, pod presją zmieniającej się sytuacji rynkowej i konkurencji, wzrasta zainteresowanie przedsiębiorstw produktami reklamowymi (Kowalska, Kowalski, 2010). Pośród wielu rodzajów reklam najpowszechniejszą grupę stanowi reklama drukowana, obejmująca m.in. akcydensy informacyjne, np. ulotki, afisze, plakaty, broszury, prospekty czy katalogi (Markowski, 2010). Taka forma prezentacji produktów i usług jest najczęściej stosowana przez sektor mikro i małych przedsiębiorstw, dla których ze względu na ograniczenia finansowe jest to jedna z nielicznych możliwości dotarcia do klienta.

Integracja Polski z Unią Europejską ujednoliciła nie tylko rynki zbytu ale też stosowane standardy; koniecznością stało się wdrożenie norm takich jak: JDF 1.4:2008, ISO 32000-1:2008, ISO 12647:2001-2012. Dotyczy to głównie średnich i dużych przedsiębiorstw poligraficznych, posiadających kapitał i klientów mogących zapewnić środki finansowe adekwatne do stawianych wymogów. Przedsiębiorstwa te dysponują najnowocześniejszą techniką i technologią mogącą realizować każde zamówienie na najwyższym europejskim – a także amerykańskim – poziomie. Pozostała część sektora przedsiębiorstw poligraficznych uległa specjalizacji, realizując

głównie zamówienia dla małych firm. Podział sektora działalności poligraficznej w Polsce przedstawiony został na rysunku 1.



Rysunek 1. Podział sektora działalności poligraficznej w Polsce według rodzajów produktów i wielkości przedsiębiorstw (opracowanie własne na podstawie danych (GUS, 2000-2011) i (KPMG, PBKB, 2011)).

Sektor działalności poligraficznej w Polsce obejmuje ponad 8 tys. podmiotów gospodarczych, z czego 94% to mikro i małe przedsiębiorstwa poligraficzne, w tym drukarnie akcydensowe (informacyjne), tworzące sektor rynku nazywany małą poligrafią (KPMG, PBKB, 2011). Działalność tego sektora opiera się na realizacji jednorazowych zamówień klientów w stosunkowo niewielkich, kilkutyśięcznych nakładach. Gama oferowanych usług jest bardzo szeroka i obejmuje większość produktów przeznaczonych do użytku reklamowego, np. ulotki, plakaty, foldery (z wyłączeniem dużego formatu). Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na produkty reklamowe, rynek drukarni akcydensowych funkcjonuje na potrzeby różnych podmiotów: klientów indywidualnych, sektora mikro i małych przedsiębiorstw lub też realizuje zlecenia dla dużych firm poligraficznych na zasadach outsourcingu (Sołdek, 2007). W tym sektorze działalności poligraficznej dominuje arkuszowa technika offsetowa. W technice tej stosunek kosztów zadruku arkuszy drukarskich (w tym kosztów wytworzenia formy drukowej, materiałów eksploatacyjnych oraz czasu zadruku) do stopnia osiągniętej jakości – w porównaniu z innymi technikami druku – jest najkorzystniejszy (Bann, 2007). Realizowana jest ona przez niewielkie, małoformatowe maszyny drukujące, produkowane przez licznych producentów i różniące się pod względem konstrukcji, mechaniki oraz stopnia zautomatyzowania (Kipphan, 2001). Wybór odpowiedniej

maszyny drukującej zależy głównie od możliwości finansowych przedsiębiorstwa oraz istniejącej już w nim infrastruktury.

Sektor małej poligrafii boryka się z rosnącą świadomością klientów, których oczekiwania i wymagania systematycznie rosną. Dotyczą one głównie świadczenia usług o bardzo wysokiej jakości oraz dążenia do spełniania norm na poziomie unijnym. Spełnienie tych wymagań wiąże się jednakże z dużymi inwestycjami w park maszynowy i infrastrukturę informatyczną, których koszty są poza zasięgiem finansowym firm z tego sektora rynku. Brak takiej infrastruktury wymusza na przedsiębiorstwach produkcję metodą prób i błędów (Thomson *et al.*, 2005), co wiąże się z wykonywaniem wielu serii prób (wydruków), a w konsekwencji zużycie materiałów (papieru, farb, niekiedy form drukowych), mediów oraz dużej ilości czasu – opóźnienia i przestoje. Przyczynia się to do wzrostu ilości nierentownych przedsiębiorstw, które stanowią około 36% wszystkich funkcjonujących na rynku podmiotów (KPMG, PBKB, 2011). Straty generowane na każdym zamówieniu zmuszają przedsiębiorstwa do podjęcia trudnych decyzji takich, jak: likwidacja miejsc pracy, przebranżowienie lub zamknięcie działalności albo podniesie cen oferowanych usług (Durlík, 2007). Ostatnia decyzja, z punktu widzenia przedsiębiorstwa poligraficznego, jest najbardziej racjonalna, szczególnie w aspekcie rosnących cen paliw, materiałów i surowców. Jednak klienci – głównie z sektora mikro i małych przedsiębiorstw – nie akceptują wzrostu cen i szukają tańszych i bardziej przystępnych rozwiązań. Dodatkowo, rosnąca konkurencja ułatwia klientom rezygnację z dotychczasowych usług i skorzystanie z innych, atrakcyjniejszych ofert.

Problem jakości w druku jest zagadnieniem wymagającym ciągłej kontroli i korekty i jako taki nie jest możliwy do jednorazowego rozwiązania (Oakland, 2000). Każde zamówienie w jego realizacji wymaga indywidualnego podejścia do kwestii doboru parametrów (np. papieru, farb, formatu czy sposobu oprawy), a następnie dostosowania procesu produkcyjnego do oczekiwań danego klienta, w tym akceptowalnego poziomu jakości. W związku z tym oszacowanie przez przedsiębiorstwo kosztów uzyskania zadanej jakości produktu jest bardzo trudne.

Największe koszty w realizacji zamówienia klienta generuje proces zadruku arkuszy drukarskich na maszynie drukującej (DeJidas, Destree, 2005). Trudność korekty powstających w tym procesie wad, w połączeniu z często stosowaną metodą prób i błędów, powoduje wzrost kosztów druku.

Wady stwierdzane są w trakcie kontroli jakości produktu, która polega na sprawdzeniu jego zgodności z wymaganiami klienta oraz normami jakości (Panàk *et al.*, 2005). Zgodnie z normami jakości (np. ISO 12647-2:2007), wyróżnić można zbiór technicznych parametrów podlegających kontroli, stanowiących próbę przełożenia nieprecyzyjnych kryteriów oceny produktu przez klienta (Breede, 2006). Niezgodność zmierzonej wartości parametrów jakości z wymaganiami uruchamia skomplikowany proces ich naprawy poprzez wykrycie przyczyn wad, a

następnie ich likwidację. Najtrudniejszym obszarem wykrycia i likwidacji wad jest maszyna drukująca, będąca skomplikowaną konstrukcją mechaniczną i w wielu aspektach niezrozumiałą dla operatora. Ilość kombinacji możliwych wartości parametrów ustawień maszyny jest bardzo duża, zaś ich wpływ na parametry jakości – skomplikowany (Destree, 2007). W małej poligrafii ich dopasowaniem zajmuje się drukarz wspierany tylko swoją intuicją, więc efekt jego działania w znaczący sposób zależy od jego wiedzy i doświadczenia. Odpowiedni dobór ustawień maszyny drukującej pozwoli otrzymać produkt spełniający stawiane wymagania, jednak wszelkie pozytywne działania są krótkotrwałe, gdyż w wyniku różnych czynników i uwarunkowań mechanizmy maszyny ulegają rozregulowaniu i proces należy powtórzyć, średnio kilkukrotnie w ciągu realizacji jednego zamówienia.

Obecnie część firm poligraficznych radzi sobie z tym problemem dzięki zatrudnianiu starszych pracowników. Dzięki swemu doświadczeniu i w oparciu o swoją intuicję dokonują oni korekt ustawień maszyny bez generowania większych strat. Rozwiązanie to jednak wiąże się z szeregiem wad. Po likwidacji szkół zawodowych, nie są kształcone kolejne pokolenia sprawnych drukarzy, zaś obecni na rynku pracownicy stopniowo kończą karierę zawodową. Ponadto, wymiana choćby części parku maszynowego powoduje, iż doświadczenie nawet wieloletnich pracowników przestaje być adekwatne. Powstaje więc problem, w jaki sposób zgromadzić wiedzę i doświadczenie oraz wykorzystać ją do wsparcia nowych pracowników, a także jak przenieść to doświadczenie na nowe maszyny drukujące.

Problematyka zapewnienia wysokiej jakości produktów poligraficznych oraz redukcji kosztów ich wykonania jest tematem dyskusji wielu krajowych i zagranicznych konferencji i spotkań branżowych. Badania na ten temat prowadzone są również przez wiodące w branży poligraficznej instytucje naukowe i badawcze takie jak Fogra/Ugra, CIP4, ICC, COBiRPP, Ghent PDF Workgroups. Rezultatem prac tych instytucji jest zbiór rozmaitych norm jakości (ISO 12647-2:2007) oraz standardów (JDF 1.4:2008, ISO 32000-1:2008) systematyzujących procesy poligraficzne, szczególnie ważnych w kontekście panującego obecnie w przemyśle trendu komputerowej integracji procesu produkcyjnego – Computer Integrated Manufacturing (Rehg, Kraebber, 2004). Standardy te stanowią podstawę do budowy systemów informatycznych automatyzujących procesy poligraficzne oraz wspomagających kontrolę jakości produktu. Wspomaganie takie może odbywać się na kilku poziomach – od samodzielnych urządzeń pozwalających na pomiar parametrów jakości, przez wydzielone stanowiska kontroli jakości aż po informatyczne systemy zapewnienia jakości zintegrowane z maszynami drukującymi (np. rozwiązania firmy X-Rite).

Najbardziej widoczny wpływ na działanie przedsiębiorstw poligraficznych mają systemy informatyczne, przy czym można wydzielić dwa główne ich rodzaje: systemy automatycznej kontroli i aplikacje

desktopowe. Zaletą pierwszego z nich jest automatyczny pomiar i analiza parametrów jakości oraz korekta niektórych ustawień maszyny drukującej. Wadami natomiast jest wysoki koszt zakupu i wdrożenia systemu oraz jego ograniczenie do konkretnego modelu maszyn jednego producenta. Przykładami takich rozwiązań są: Prinect (Heidelberg), Measuring Systems (Koenig&Bauer), PECOM (Man Roland), FALCON-66 (Soma Engineering). Zaletą aplikacji desktopowych jest stosunkowo niska cena zakupu oraz niezależność od maszyn drukujących. Wadą natomiast jest ograniczenie funkcjonalności do analizy tylko wybranych parametrów jakości. Dodatkowo wymagają one zastosowania urządzeń lub stanowisk pomiarowych. Przykładami takich aplikacji są: GMG Print Control (GMG), MultiCam i SpectralCam (QuadTech).

Chociaż przedstawione rozwiązania dedykowane są sektorowi firm akcydensowych stosujących technologię offsetową, to nie zaspokajają one w pełni ich potrzeb. Duże zintegrowane systemy wspomagające zarządzanie przedsiębiorstwem są przeznaczone dla dużych firm, posiadających rozbudowane zaplecze technologiczne oraz jednolitą infrastrukturę wystarczająco rozbudowaną, aby system spełnił swoje zadanie. Chociaż aplikacje desktopowe mogłyby rozwiązywać przedstawione problemy, to ich funkcjonalność nie jest kompletna. Ponadto, żadne z rozwiązań nie uwzględnia następujących uwarunkowań:

1. Konieczność stosowania różnych standardów (ISO 12647-2:2007, System Brunner, BVD/FOGRA lub wewnętrznych przedsiębiorstwa) wymuszona przez charakterystyczną dla sektora mikro i małych przedsiębiorstw zmienność zamówień i preferencji klientów.
2. Potrzeba dostosowania norm do wymagań jakościowych klienta.
3. Potrzeba kompleksowej analizy jakości wydruku, z uwzględnieniem każdej potencjalnej przyczyny problemu, bez zakładania znajomości zagadnienia przez operatora, związana z obniżającymi się kompetencjami pracowników.

Pozostaje zatem do rozwiązania następujący problem: w jaki sposób wyprodukować produkt poligraficzny spełniający wymagania klienta i normy jakości przy kryterium minimalizacji czasu i kosztów produkcji. Jednocześnie, w jaki sposób zidentyfikować faktyczną przyczynę wad jakości produktu oraz, w przypadku maszyny drukującej, w jaki sposób dobrać odpowiednie wartości parametrów nastawu maszyny drukującej, aby w rezultacie produkt był akceptowalny dla obu stron transakcji.

Rozwiązaniem takiego problemu jest wprowadzenie odpowiedniego systemu wspomagania decyzji, który będzie w stanie przeanalizować produkt poligraficzny pod kątem zgodności z wymaganiami i jednocześnie wspomóc operatora w procesie identyfikacji przyczyn wad, a następnie ich likwidacji. Skuteczność takiego systemu zależy od doboru trzech komponentów: 1) typu maszyny drukującej, 2) rodzaju produktu poligraficznego oraz 3) klasy systemu informatycznego (tabela 1).

Tabela 1. Dobór klasy systemu informatycznego w zależności od typu maszyny drukującej, rodzaju produktu poligraficznego oraz wielkości przedsiębiorstwa (opracowanie własne na podstawie (KPMG, PBKB, 2011)).

Wielkość przedsiębiorstwa	Liczba podmiotów w Polsce – drukarnie i wydawnictwa (wskaźnik struktury)	1. Typ maszyny drukującej	2. Rodzaj produktu poligraficznego	3. Klasa systemu informatycznego
Duże (powyżej 250 pracowników)	32 przedsiębiorstwa z sektora prywatnego i publicznego (0,24%)	Wielozespołowe maszyny drukujące cechujące się wysokim stopniem automatyzacji	- Produkty wielkoformatowe (na różnych podłożach), - Duże i powtarzalne nakłady.	Zintegrowane systemy informatyczne klasy ERP, MRP
Średnie (od 50 do 250 pracowników)	222 przedsiębiorstwa z sektora prywatnego i publicznego (1,65%)	Wielozespołowe maszyny drukujące cechujące się wysokim stopniem automatyzacji	- Produkty wielkoformatowe (na różnych podłożach, ale dominuje papier) - Średnie i powtarzalne nakłady	Zintegrowane systemy informatyczne klasy ERP, MRP
Małe (od 10 do 50 pracowników)	1104 przedsiębiorstwa z sektora prywatnego i publicznego (8,21%)	Jedno lub czterokolorowe maszyny drukujące	- Małoformatowe produkty na podłożu papierowym, - Niewielkie i głównie jednorazowe nakłady	Aplikacje desktopowe
Mikro (poniżej 10 pracowników)	12094 przedsiębiorstwa z sektora prywatnego i publicznego (89,90%)	Jedno lub czterokolorowe maszyny, przeważnie starego typu o znikomym stopniu automatyzacji	- Małoformatowe produkty na podłożu papierowym, - Niewielkie i głównie jednorazowe nakłady	Aplikacje desktopowe

Przy doborze powyższych komponentów należy uwzględnić czynnik ekonomiczny, jakościowy oraz efektywność. Zgodnie z filozofią kompleksowego zarządzania jakością TQM aspekt jakościowy może przejawiać się w wymiarze: struktur, działań oraz zachowań, zarówno w warstwie zarządzania strategicznego, taktycznego jak i operacyjnego (Oakland, 2000). Chociaż decyzje dotyczące polityki projakościowej podejmowane są na strategicznym i taktycznym poziomie zarządzania, to rzeczywisty proces zachowania jakości (proces druku) odbywa się na linii produkcyjnej (poziom operacyjny). Wprowadzenie na tym poziomie odpowiedniej klasy systemu informatycznego wymaga całościowego spojrzenia na problem z perspektywy przedsiębiorstwa poligraficznego. Niezbędna jest zatem budowa mapy procesów w postaci modelu

referencyjnego, stanowiącego podstawę do opracowania systemów informatycznych (Cempel, 2008).

Projektowanie oraz budowa ww. systemu wymaga spełnienia następujących wymagań:

1. System powinien stanowić integralną część istniejącego systemu informacyjnego przedsiębiorstwa, współpracując z istniejącymi systemami w obrębie wymiany danych.
2. Głównym zadaniem systemu jest minimalizacja kosztów materiałów eksploatacyjnych (m.in. papieru, farby, form drukowych) oraz czasu realizacji zamówień klienta (także minimalizacja opóźnień i przestojów) w porównaniu z ręcznym doбором parametrów ustawień maszyny przez operatora.
3. System powinien uwzględniać specyfikę produkcji poligraficznej, zmienność i różnorodność zamówień klientów oraz potrzebę ciągłego dostosowywania wskaźników jakości do zmieniających się warunków rynkowych.

Realizacja pierwszego zadania wymaga opracowania odpowiedniego modelu referencyjnego przedstawiającego miejsce systemu w strukturze przedsiębiorstwa oraz określenie jego głównych zadań i funkcji.

Spełnienie drugiego i trzeciego warunku wymaga: 1) określenia stopnia wpływu parametrów nastawu maszyny drukującej na parametry jakości, oraz 2) bieżącego dostosowania wskaźników jakości zamówienia klienta do przyjętych norm, w szczególnym przypadku norm ISO. Realizacja obu tych zadań wymaga opracowania modelu funkcji regresyjnej oraz przeprowadzenia wielokrotnych eksperymentów w środowisku symulacyjnym.

W związku z powyższym podjęto próbę opracowania instrumentu informatycznego przeznaczonego dla sektora mikro i małych przedsiębiorstw, realizującego ww. zadania. Sformułowano następujący cel pracy:

Opracowanie modelu referencyjnego dla potrzeb formalizacji systemu informacyjnego ze szczególnym uwzględnieniem dopasowania wewnętrznych parametrów jakości produktu poligraficznego do norm ISO.

Przyjęto następującą hipotezę naukową:

Zastosowanie w modelowaniu referencyjnym metod o charakterze regresyjnym pozwoli na usprawnienie procesu dopasowania wewnętrznych parametrów jakości do zewnętrznych standardów stawianych w normach ISO.

W pierwszym **rozdziale** przedstawiono krótką charakterystykę procesu poligraficznego z uwzględnieniem istotnych obszarów wytwarzania produktu. Przedstawiono również występujące w literaturze definicje jakości produktu oraz wskazano definicję przyjętą w pracy. Główną uwagę poświęcono zagadnieniom kontroli jakości produktu w przedsiębiorstwie oraz przedstawiono główne problemy jakie wynikają z uzyskania wymaganego poziomu jakości produktu poligraficznego.

Przegląd metod, narzędzi i instrumentów informatycznych do rozwiązania problemu zapewnienia wymaganego poziomu jakości produktów przedstawiono w **rozdziale drugim**. Dodatkowo, przeprowadzono analizę dostępnych rozwiązań wraz z określeniem ich głównych wad i zalet w kontekście poszukiwanego rozwiązania.

W **rozdziale trzecim** przedstawiono podejście, w postaci modelu referencyjnego, niezbędne do formalizacji proponowanego rozwiązania problemu. Przedstawiono miejsce rozwiązania (systemu) w strukturze przedsiębiorstwa, jego współpracę z infrastrukturą informacyjną przedsiębiorstwa, a także przeanalizowano źródła danych w systemie. Dokonano także analizy parametrów jakości oraz przyczyn ich występowania.

Rozdział czwarty zawiera dokładny opis opracowanego modelu systemu, proponowaną strukturę i funkcjonalność oraz podejście do realizacji głównych zadań systemu. Przykład działania opracowanego prototypu systemu przedstawiono w ostatnim **rozdziale – piątym**.

Rozdział 1

Kontrola jakości produktu w procesie produkcji poligraficznej

Przemysł poligraficzny można zdefiniować jako dziedzinę produkcyjną, która obejmuje „*opracowanie i powielenie wzorców na potrzeby masowego odbiorcy*” (Słownik Języka Polskiego, 2010), poprzez procesy wykonywania reprodukcji, składu, form drukowych, drukowania oraz procesy introligatorskie i wykończeniowe druków (Markowski, 2010).

Każdą dziedzinę produkcyjną można rozpatrywać poprzez pryzmat wykorzystywanej technologii, która w odniesieniu do poligrafii oznacza sposób przetwarzania i obróbki materiałów w celu uzyskania produktu, którego charakterystyka uzależniona jest od stosowanych maszyn i urządzeń, wykorzystywanych materiałów i preparatów, metod obróbki i warunków realizacji (Panák *et al.*, 2005).

1.1. Charakterystyka procesu produkcji poligraficznej

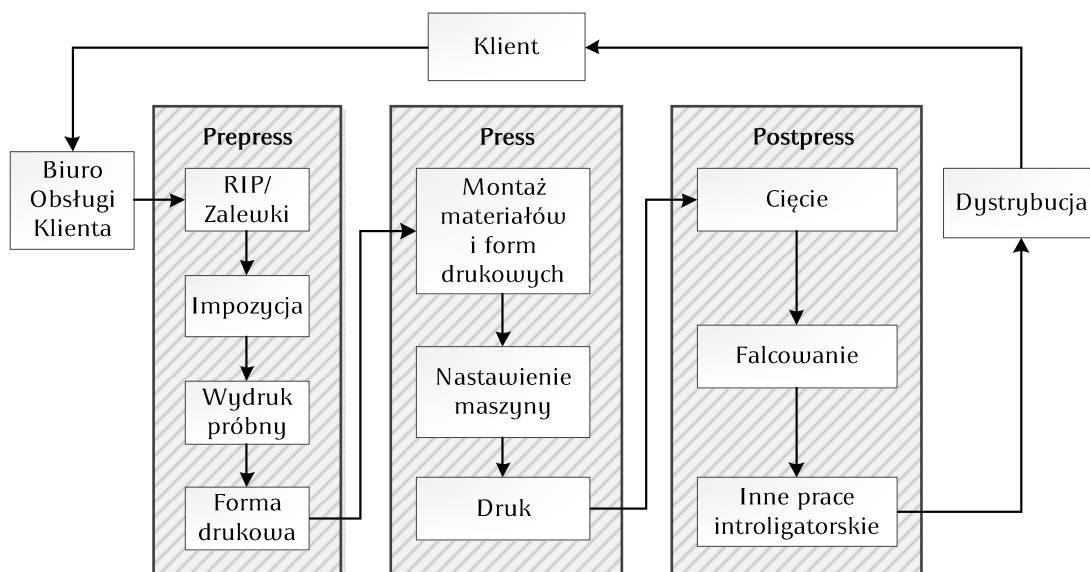
Proces produkcji poligraficznej jest zbiorem uporządkowanych działań (operacji produkcyjnych) zmierzających do uzyskania określonego wyrobu (książki, folderu, plakatu). Zbiór tych działań tworzy proces technologiczny, w którego czasie materiały wejściowe zmieniają swój kształt, wymiar lub wygląd zewnętrzny (Karpiński, 2004). Część procesu technologicznego o jednorodnym charakterze produkcji nazywana jest fazą, która składa się z zespołu operacji dających się połączyć w wyodrębnioną technologicznie całość (Durlík, 2007). Pasternak (Pasternak, 2005) dzieli proces na trzy fazy technologiczne: przygotowawczą, wytwórczą oraz końcową. Z punktu widzenia organizacji produkcji poligraficznej poszczególne fazy technologiczne będą obejmowały:

Faza przygotowawcza – opracowanie materiałów do druku (*ang. Prepress*) – obejmuje przygotowanie materiałów (tekstu, ilustracji) przeznaczonych do dalszego procesu przetwarzania i doprowadzenie ich do postaci odpowiedniej dla techniki druku poprzez przygotowanie form drukowych i ich montaż na maszynie drukującej (McCue, 2007). Prepress składa się z kilku operacji technologicznych; obróbka tekstu i ilustracji,

impozycja, rastrowanie, przygotowanie form drukowych w procesie naświetlania.

Faza wytwórcza – wydruk materiałów (*ang. Press*) – jest podstawowym procesem przetwarzania przygotowanych materiałów. Obejmuje wprowadzenie arkuszy papieru do maszyny drukującej, gdzie w trakcie przechodzenia przez nią, na powierzchni arkuszy następuje odwzorowanie elementów drukujących (Kipphan, 2001). W tym procesie główną operacją technologiczną jest druk.

Faza końcowa – wykończenie materiałów (*ang. Postpress*) – obejmuje obróbkę, w której produkt nabiera ostatecznej formy. Złożoność tego procesu, a tym samym ilość operacji technologicznych, jest zależna od rodzaju produktu poligraficznego. Niektóre druki wymagają minimalnych prac wykończeniowych typu cięcie czy łamanie (ulotki, plakaty). Produkty o skomplikowanej strukturze, np. książki, broszury, wymagają specjalnych operacji introligatorskich oraz, o ile mają być wykonane dostatecznie szybko – specjalnych urządzeń i linii produkcyjnych. Ogólny schemat procesu technologicznego w przedsiębiorstwie poligraficznym został przedstawiony na rysunku 1.1.



Rysunek 1.1. Proces produkcyjny w przedsiębiorstwie poligraficznym (opracowanie własne na podstawie Kipphan, 2001).

Produkcja poligraficzna jest specyficznym rodzajem produkcji. W odróżnieniu od tradycyjnego procesu produkcyjnego, w procesie poligraficznym produkt poddawany jest obróbce, w wyniku której zmianie ulega nie tylko jego wygląd fizyczny, ale również nośnik informacji. W tradycyjnych procesach nośnik się nie zmienia, obróbce poddawany jest ten sam materiał. Nośnik informacji w procesie poligraficznym zmienia się w zależności od techniki druku, głównie jest to papier, ale może też być folia,

tworzywo sztuczne, tkanina. W pierwszej fazie procesu technologicznego produkt przyjmuje formę cyfrową w postaci projektu stworzonego w specjalistycznym oprogramowaniu komputerowym. W formie cyfrowej, a następnie w postaci form drukowych przesyłany jest do kolejnej fazy procesu. W fazie drugiej i trzeciej produkt przybiera formę fizyczną tzn. zostaje odwzorowany na nośniku (papierze) i w formie wydrukowanych arkuszy trafia do fazy końcowej – introligatorni. W przedstawionym procesie mamy do czynienia z produktem materialnym i niematerialnym, definiowanym przez Korytkowskiego (Korytkowski, 2005) następująco:

Produkt niematerialny jest „produktem posiadającym postać cyfrową, będący rezultatem pracy intelektualnej człowieka. Produkt niematerialny może zostać zmaterializowany poprzez jego wydrukowanie, nagranie np. na płycie CD itp. Sam fakt materializacji produktu niematerialnego nie zmienia jego treści, a tylko jego formę rozpowszechniania”. W odróżnieniu, produkt materialny jest „produktem posiadającym strukturę fizyczną i informacyjną czyli połączenie tekstu, grafiki i ilustracji z jego konstrukcją”.

Powyższe rozróżnienie produktu na postać materialną i niematerialną pozwala uprościć poligraficzny proces produkcyjny na dwie fazy: przedprodukcyjną i poprodukcyjną (Panák et al., 2005). Faza przedprodukcyjna obejmuje procesy przygotowawcze, czyli opracowanie materiałów do druku, a jej produktem finalnym jest produkt niematerialny w formie cyfrowego projektu. Faza poprodukcyjna obejmuje proces druku i procesy wykończeniowe, a ich produktem finalnym jest produkt materialny w formie fizycznie istniejącej książki, broszury czy plakatu.

Bez względu na ilość wyodrębnionych w procesie produkcyjnym faz, na końcu procesu mamy zawsze do czynienia z produktem gotowym przeznaczonym dla klienta. Produkt z technicznego punktu widzenia najczęściej rozumiany jest jako wyrób opisany przez zbiór właściwości technicznych (fizycznych, chemicznych, biologicznych itd.), z których wynikają jego właściwości użytkowe (Szczepańska, 2010). Należy przy tym dodać, że „produkty będące rezultatem ludzkiej inwencji uzyskują właściwości estetyczne w procesie projektowania i w procesie realizacji (...) – proces produkcji, proces świadczenia usługi albo obydwa rezultaty traktowane łącznie. Produkt może więc być wyrobem, usługą lub kombinacją wyrobu i usługi” (Iwaszkiewicz, 2005). W branży poligraficznej stosowany jest termin produkt poligraficzny jako określenie wyrobów gotowych w postaci książki czy kalendarza oraz usług np. projektowania, drukowania, lakierowania itd. (Kipphan, 2001). Częstkowy wynik procesu technologicznego następujący po każdej fazie technologicznej nazywany jest półproduktem poligraficznym. Zatem, wynikiem fazy przedprodukcyjnej będzie półprodukt niematerialny w formie pliku, a fazy poprodukcyjnej – półprodukt materialny w postaci produktu gotowego przeznaczonego dla klienta masowego lub indywidualnego.

W produkcji poligraficznej występuje bardzo duża różnorodność produktów, które według Polskiej Klasyfikacji Wyrobów i Usług (PKWiU,

2008) najogólniej można podzielić na produkty informacyjne (ulotki, broszury, książki, wizytówki, plakaty, albumy, kalendarze itp.), opakowania i produkty dekoracyjne (tapety, papiery ozdobne). Najliczniejszą grupę stanowią akcydensy, które według Cichockiego (Cichocki et al., 1999) można podzielić na akcydensy informacyjne (afisze, plakaty, widokówki, prospekty, programy, regulaminy, katalogi, cenniki, kalendarze, ulotki, instrukcje obsługi), akcydensy manipulacyjne o charakterze użytkowym (formularze, listowniki, legitymacje, papiery wartościowe, znaczki pocztowe i skarbowe, bilety, wizytówki, zaproszenia, dyplomy), akcydensy opakowaniowe o charakterze użytkowym (etykiety, obwoluty, koperty, torebki, pudełka), akcydensy wydawnicze (nuty, reprodukcje dzieł sztuki).

Gama wytwarzanych produktów poligraficznych jest bardzo duża, dodatkowo produkty określane tą samą nazwą różnią się między sobą np. kalendarz może być jednoplanszowy (plakatowy, wielodzielny, biurkowy, listkowy), książkowy, wieloplanszowy, łączony spiralą lub klejony, lakierowany lub uzupełniony innym rodzajem wykończenia (materiał). Dodatkowo każdy produkt posiada indywidualne parametry technologiczne takie, jak zawartość informacyjna (tekst, ilustracje, układ), nakład (wielkość produkcji), objętość (ilość stron).

Każde zamówienie stanowi odrębny produkt, co powoduje trudności w określeniu charakteru organizacji produkcji. Z jednej strony produkcja poligraficzna charakteryzuje się różnorodnością i niepowtarzalnością wyrobów, wielorakością czynności i operacji, nierównomiernością czasową ich wytwarzania, uniwersalnością maszyn i urządzeń (maszyna drukująca, falcerka, bigówka), czyli przejawia cechy produkcji jednostkowej. Z drugiej strony charakteryzuje się wytwarzaniem określonej liczby (nakładu) jednakowych wyrobów, okresowością oraz podobieństwem ich wytwarzania – cechy typowe dla produkcji seryjnej (Pasternak, 2005). Przy tym liczba wyrobów składających się na jedną serię może być różna w zależności od wielkości nakładu oraz złożoności i ilości operacji, co dodatkowo pozwala rozróżnić produkcję małoseryjną, średnioseryjną lub wielkoseryjną (Brzeziński, 2002). Charakter organizacji produkcji zależy od sposobu postrzegania produktu. Rozpatrując proces produkcyjny pod kątem kategorii produktów poligraficznych (książka, folder) mówimy o seryjnym charakterze produkcji, natomiast przyjmując, że każde zamówienie jest osobnym produktem – organizacja produkcji ma charakter jednostkowy.

Analizując poligraficzny proces produkcyjny pod kątem przepływu operacji technologicznych pomiędzy poszczególnymi stanowiskami roboczymi zauważyć można potokowy charakter organizacji produkcji. Z produkcją potokową mamy do czynienia, gdy poszczególne stanowiska robocze są rozmieszczone w kolejności zgodnej z przebiegiem procesu technologicznego, a przetwarzany produkt jest przesuwany od stanowiska do stanowiska w okresach tzw. taktu, odpowiadającego zwykle okresowi trwania najdłuższej operacji (Muhlemann *et al.*, 1995). W poligrafii potokowa forma produkcji przekłada się na charakter stanowisk, których rozmieszczenie jest zgodne z fazami technologicznymi i na każdym

stanowisku wykonuje się zawsze te same operacje. W takiej produkcji nie ma miejsca na dowolność, jedynie w zależności od rodzaju produktu niektóre operacje mogą zostać pominięte.

Powyższe rozważania ilustrują złożoność procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie poligraficznym. Produkty poligraficzne pomimo, że podlegają klasyfikacji, nie są standaryzowane, a tendencja do ich ujednolicenia dotyczy głównie ich wymiarów np. wizytówki, książki. Chociaż każde przedsiębiorstwo specjalizuje się w produkcji określonej grupy produktów i organizacja produkcji jest z góry zaplanowana to niepowtarzalność każdego zamówienia wymaga indywidualnego podejścia do jego realizacji. Zarządzanie przedsiębiorstwem poligraficznym jest bardzo trudne i wymaga dużej elastyczności w podejmowaniu decyzji, szczególnie biorąc pod uwagę coraz większą presję rynku na zapewnienie najwyższej jakości wyrobów i usług. Powoduje to konieczność jej nieustannej kontroli na każdym etapie wytwarzania produktu.

W aspekcie powyższych oraz rozpatrywanego problemu bardzo istotna jest analiza pojęcia „jakość” w odniesieniu do produktu poligraficznego.

Definicja jakości produktu poligraficznego. Jakość jest pojęciem towarzyszącym ludzkości od czasów antycznych, stąd też rozumienie tego pojęcia zmieniało się na przestrzeni wieków. Według Laertiosa (Laertios, 1984) pojęcie jakości wymyślił Platon nazywając ją „poites”, natomiast pierwszą definicję jakości wysunął Arystoteles (Arystoteles, 1975), która wg niego wyrażać ma *„określoność substancji cielesnej i ujawniające się w niej specyficzne podporządkowanie materii względem formy (...) jakości”* nazywam to, na mocy czego rzeczy są w pewien sposób określone. Wyróżniać należy jakości stałe – dyspozycje trudne do zmiany, bo związane z różnicą gatunkową bytu, oraz jakości zmienne – stany mogące przechodzić w swoje przeciwieństwa (Nowa Encyklopedia Powszechna, 1996). Pomimo faktu, że pojęcie jakości pojawia się w wielu rozważaniach filozoficznych, to jednak pojęcie przyjęte jako pierwotne uznane zostało przez naukę filozoficzną za niedefiniowalne. Brak filozoficznej definicji jakości nie przeszkadzał w objaśnianiu tego terminu na potrzeby wielu innych nauk.

Obecnie znanych jest ponad sto kilkadziesiąt definicji jakości. Kindlarski (Kindlarski, 1999) w swojej pracy zebrał ich ponad sto. W Słowniku Języka Polskiego (SJP, 2010) jakość jest definiowana jako *„właściwość, rodzaj, gatunek, wartość; zespół cech stanowiących o tym, że dany przedmiot jest tym przedmiotem, a nie innym”*. Wartym podkreślenia jest fakt, że pomimo osiemnastu lat, które upłynęły od czasu pierwszej publikacji słownika powyższa definicja nie została zmieniona. Donkelaar (Donkelaar, 1983) ujmując istotę jakości w sposób najpełniejszy oraz jednoznaczny wskazując na ludzi, jako głównych producentów i odbiorców dóbr, uwzględniając jednocześnie współczesne zagrożenia tak ekologiczne jak i społeczne. Brzmi ona następująco:

„Produkt (usługa) jest dobrej jakości jedynie, gdy przy minimalnych kosztach użytkowania wnosi maksymalny wkład do zdrowia i szczęścia wszystkich ludzi biorących udział w jego projektowaniu, wytwarzaniu, dystrybucji, użytkowaniu, ochronie i wtórnym wykorzystaniu, a także odznacza się minimalnym zużyciem energii i surowców oraz możliwym do zaakceptowania wpływem na środowisko i społeczeństwo”.

Powyższa definicja jest bardzo ogólna i obejmuje swoim zakresem wiele aspektów. Gavin (Gavin, 1984) rozróżnia pięć aspektów w jakich należy postrzegać jakość: transcendentalny, produktowy, użytkownika, procesu wytwórczego i wartości, przy czym za najważniejszy uważa się aspekt użytkownika (klienta). Jakość dla klienta (nabywcy, konsumenta) jest *„stopniem, w jakim określony wyrób zaspokaja jego potrzeby”* (Juran, 1988) oraz *„stopień, w jakim klasa wyrobu ma potencjalną zdolność wywoływania u niego satysfakcji”* (Skrzypek, 2000). Beckford (Beckford, 1998) uzupełnia owy stopień jako *„ogół charakterystyk wyrobu lub usługi w sferach marketingu, projektowania, produkowania i obsługi”*. Dodatkowo, zaspokajanie potrzeb klienta, *a nawet do ich przewyższenia dotyczy sytuacji aktualnych i przyszłych* (Oakland, 2000).

W niniejszej pracy pojęcie jakości produktu poligraficznego rozpatrywane jest z dwóch perspektyw. Z pierwszej – klienta, dla którego jakość produktu jest *„ogółem właściwości obiektu wiążących się z jego zdolnością do zaspokojenia stwierdzonych i oczekiwanych potrzeb”* (ISO 9000:2005). Z drugiej – procesu wytwórczego, w którym *„jakość jest stopniem zgodności produktu z wymaganiami technologicznymi i projektowymi”* (Hryniewicz, 1996).

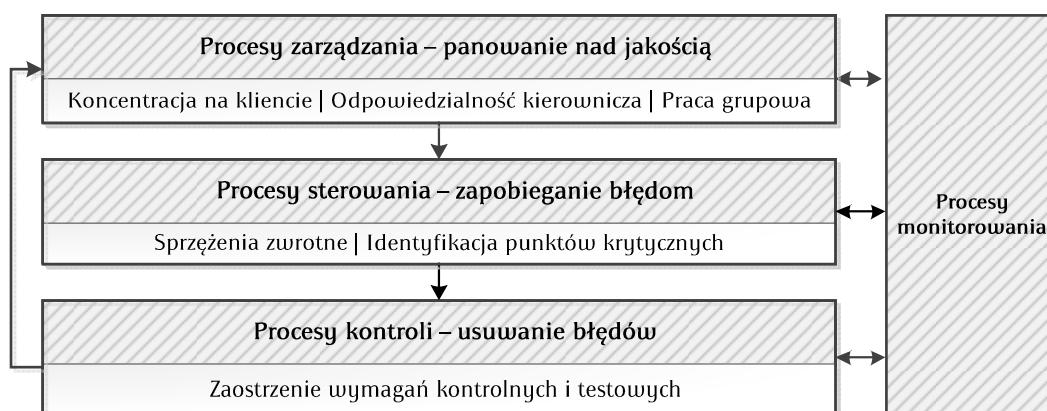
Kindlarski (Kindlarski, 1993) jakość produktu określa jako *„funkcję stanu wszystkiego (...), która może przyjmować różną postać (...) ustaloną przez prowadzącego badanie”*. W tym rozumieniu występuje pojęcie jakości częściowej odnoszącej się do wybranych cech produktu na danym etapie jego wytwarzania, czyli jakość produktu będzie wypadkową jakości projektu (jakość wzoru, koncepcja), jakości wykonania (jakość produkcji) oraz jakości eksploatacji (obsługa poprodukcyjna) (Karaszewski, 2005). W konsekwencji, jakość produktu tworzona jest w dwóch niezależnych od siebie etapach; etap projektowania i jego realizacji oraz etap poprodukcyjnej obsługi klienta. Jakość wyrobów determinowana jest głównie przez jakość projektu i jakość produkcji (Glossary of Term Used in Quality Control, 1981).

Różnaitość powyższych definicji pokazuje, że nie ma jednego, konkretnego spojrzenia na jakość. Interpretacji należy dokonywać mając na uwadze konkretny aspekt. Istota odmiennych poglądów pomiędzy poszczególnymi pojęciami jakości polega na różnym położeniu akcentów. Dla procesu produkcyjnego jakość będzie zawsze pojęciem technicznym jako zbiór relacji pomiędzy właściwościami produktu a stawianymi mu wymaganiami, i taką definicję przyjęto na potrzeby niniejszej rozprawy.

1.2. Problem zapewnienia wymaganej jakości produktom poligraficznym

W przedsiębiorstwie produkcyjnym jakość stanowi jeden z obszarów działalności organizacyjnej. Najogólniej mówi się o zarządzaniu jakością w rozumieniu wszystkich podejmowanych przez kierownictwo działań związanych z zapewnieniem jakości produktu końcowego. Jednakże, zarządzanie jakością posiada wiele aspektów, związanych głównie z ewolucją pojęcia jakość i obejmuje kontrolę (*ang. Quality Inspection*), sterowanie (*ang. Quality Control System*) oraz zarządzanie (*ang. Total Quality Management System*) (Rączka, 2000). Procesy zarządzania jakością zostały przedstawione na rysunku 1.2.

- **Kontrola jakości** jest zbiorem świadomych działań przedsiębiorstwa wobec problemu jakości produktów, mających na celu sprawdzenie, zmierzenie lub przetestowanie jednej lub więcej charakterystyk produktu i odnoszenie wyników do wyspecjalizowanych wymagań w celu potwierdzenia zgodności (Hamrol, Mantura, 2002).
- **Sterowanie jakością** to opracowanie metod i działań w celu spełnienia wymagań jakościowych (PN-ISO 3534-2:2010); zadaniem sterowania jest zapobieganie wadom jakości poprzez regulację procesu.
- **Zarządzanie jakością** rozumiane jest jako skoordynowane działania dotyczące kierowania organizacją i jej nadzorowanie w odniesieniu do jakości (Paják, 2007). Pasternak (Pasternak, 2005) uzupełnia, że prawidłowe zarządzanie jakością prowadzi do osiągnięcia zamierzonych celów każdej organizacji. Jednym z elementów zarządzania jakością jest planowanie czyli seria czynności ukierunkowana na ustalenie celów dotyczących jakości i określająca procesy operacyjne i związane z nimi zasoby niezbędne do osiągnięcia celów dotyczących jakości (ISO 9000:2005).



Rysunek 1.2. Procesy zarządzania jakością produktów w przedsiębiorstwie produkcyjnym (opracowanie własne).

W rozumieniu wszystkich procesów związanych z jakością możemy mówić o procesie ich **monitorowania**. Poprzez monitorowanie jakości rozumie się „*serię regularnych lub nieregularnych obserwacji prowadzonych w określonym czasie w celu określenia stopnia zgodności obserwowanego obiektu ze sformułowanymi oczekiwaniami*” (Hellawell, 1991). Monitorowanie może być prowadzone dla bieżących potrzeb, np. w obrębie kontroli jakości, lub długookresowo w celach statystycznych dla potrzeb zapobiegania późniejszym błędom (sterowanie).

W kontekście niniejszej rozprawy monitorowanie jakości produktu odnosi się do procesów kontroli jakości i obejmuje zbieranie, analizowanie ilościowe i jakościowe informacji oraz raportowanie dla potrzeb ustalenia lub zmian procedur funkcjonowania przedsiębiorstwa poligraficznego w obszarze realizacji polityki jakościowej.

W wyniku realizacji zadań monitorowania jakości, osoba odpowiedzialna może dokonywać modyfikacji procesu, a tym samym zmniejszać prawdopodobieństwo wystąpienia błędów oraz eliminację takowych, w momencie ich wystąpienia. W literaturze takie działania nazywane są regulacją (Drummond, 1998), a w przypadku procesów poligraficznych – kalibracją lub konfiguracją np. maszyny drukującej.

Ogół wszystkich działań przedsiębiorstwa zmierzających do zachowania jakości znany jest w literaturze jako Kompleksowe Zarządzanie Jakością (*ang. Total Quality Management*). TQM jest koncepcją strategicznego zarządzania przedsiębiorstwem, którego celem rynkowym jest wzrost konkurencyjności i rentowności firmy oraz kreowanie zdolności producenta do spełniania oczekiwań konsumenta (Ackoff, 2005). Poprawa konkurencyjności następuje poprzez ciągłe planowanie, organizowanie oraz zrozumienie każdego działania i zaangażowanie każdego pracownika na każdym poziomie funkcjonalnym organizacji (Łańcucki, 2001). Norma ISO 9000:2005 definiuje TQM jako „*sposób zarządzania organizacją skoncentrowany na jakości i zakładający, że jakość produktu zależy od wszystkich procesów występujących w przedsiębiorstwie*”. Oakland (Oakland, 2000) uzupełnia, że TQM przejawia się w wymiarze: struktur, działań oraz zachowań, zarówno w warstwie zarządzania strategicznego, taktycznego jak i operacyjnego.

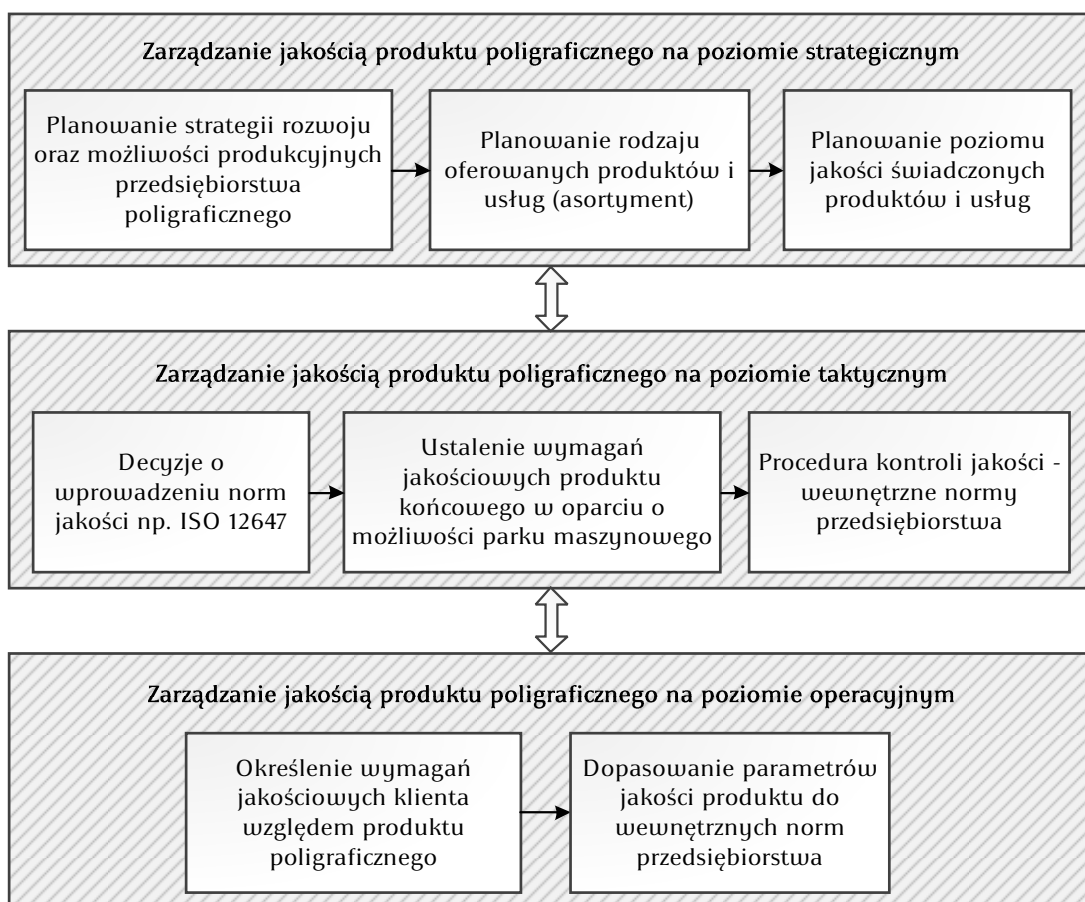
Zarządzanie na poziomie strategicznym ma na celu zapewnienie egzystencji oraz rozwoju przedsiębiorstwa w długim okresie czasu (Mulcaster, 2009). Podejmowane decyzje dotyczą perspektyw rozwojowych przedsiębiorstwa (pozycja konkurencyjna, innowacyjność, nisze rynkowe, nowe rynki zbytu), efektywnego wykorzystania zasobów, zdefiniowania strategii rozwoju organizacji, a także wprowadzenia na rynek produktów o nowych cechach jakościowych, podwyższenia poziomu oferowanych wyrobów i usług, polepszenia jakości, zadowolenia klienta oraz wprowadzenia standaryzacji produkcji (Peszek, Gazda, 2000).

Zarządzanie na poziomie taktycznym ma zapewnić funkcjonowanie przedsiębiorstwa od strony technicznej, organizacyjnej, pracowniczej i finansowej w średnim okresie czasu (Hamrol, Mantura, 2002).

Podejmowane decyzje dotyczą głównie przełożenia celów strategicznych na rzeczywiste działania i obejmują m.in. zakup maszyn i urządzeń lub reorganizację produkcji w celu lepszego ich wykorzystania, zwiększenie lub zmniejszenie zatrudnienia, zmiana dostawców materiałów, zmiany procedur kontroli jakości czy norm jakości.

Operacyjny poziom zarządzania związany jest głównie z działaniem przedsiębiorstwa w krótkich okresach czasu i dotyczy realizacji bieżących zadań procesu technologicznego (Wawak, 2011). Decyzje podejmowane na tym poziomie dotyczą operacji np. technologicznych, kontrolnych, transportowych i obejmują m.in.: ustalenie specyfiki produktu (zamówienia), sposobu realizacji zleceń (wybór technologii i poziomu jakości), obsługi klientów (czas realizacji), procedur monitorowania i kontroli jakości produktu.

Na rysunku 1.3 przedstawiono decyzje podejmowane na różnych poziomach zarządzania jakością produktu poligraficznego w przedsiębiorstwie poligraficznym. Zagadnienie zostało szerzej przedstawione w artykule (Zaikin *et al.*, 2010a). Rozpatrywanie jakości produktu w aspekcie powyższego podziału jest niezbędne do skonstruowania modelu systemu informatycznego przedstawionego w punkcie 4.3.



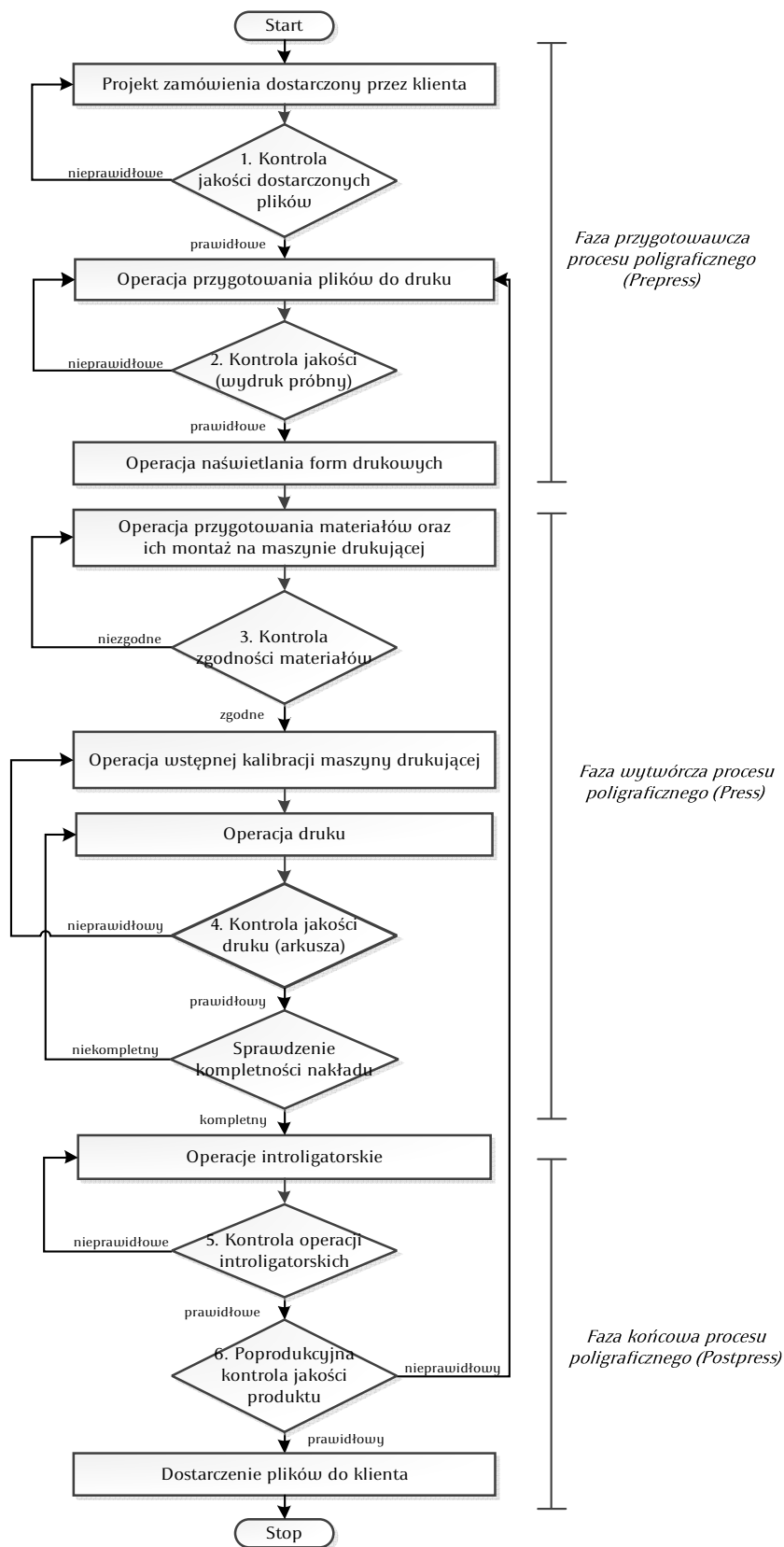
Rysunek 1.3. Zarządzanie jakością produktu poligraficznego w przedsiębiorstwie poligraficznym (opracowanie własne).

Chociaż decyzje dotyczące polityki pro jakościowej podejmowane są na strategicznym i taktycznym poziomie zarządzania, to rzeczywisty proces zachowania jakości odbywa się na linii produkcyjnej (poziom operacyjny). Realizacja bieżących zadań procesu technologicznego dotyczy głównie operacji kontrolnych. Ze względu na różnorodność asortymentu i krótkie terminy realizacji zamówienia, operacje technologiczne i kontrole jakości, muszą być rozmieszczone w sposób uniwersalny. Przyjęto za normę przeprowadzanie 5 lub 6 głównych kontroli jakości w całym procesie produkcyjnym (Kipphan, 2001). Zostały one przedstawione na rysunku 1.4.

Faza przygotowawcza obejmuje kontrolę jakości dostarczonych przez klienta plików (1 na rys. 1.4) i kontrolę jakości projektu w postaci wydruku próbnego (2 na rys. 1.4). Pierwsza kontrola obejmuje sprawdzenie plików pod kątem m.in. przestrzeni barwnej, rozdzielczości ilustracji, spadów. Druga kontrola polega na sprawdzeniu gotowości projektu do druku i obejmuje, m.in. separację kolorów, schemat impozycyjny. Wynikiem tej kontroli jest wydruk próbny stanowiący wzorzec w kolejnych etapach produkcji. Koszty wynikające z błędów popełnionych na tym etapie są niewielkie i obejmują koszty stałe (czynsze, płace pracowników), zmienne (media, materiały – formy drukowe) i alternatywne (rezygnacja klienta).

Początkiem fazy wytwórczej jest kontrola kompletności i zgodności materiałów (3 na rys. 1.4). Polega na sprawdzeniu m.in. poprawności wykonania form drukowych (w porównaniu ze wzorcem) oraz ich zamontowania na maszynie drukującej, zgodności papieru z zamówieniem, odpowiedniego doboru farb. Drugą, najważniejszą kontrolą jest kontrola wydrukowanej partii materiału (4 na rys. 1.4), która następuje po wstępnej kalibracji maszyny drukującej i po rozpoczęciu procesu druku. Wybrany arkusz poddawany jest kontroli polegającej na pomiarze parametrów jakości i porównaniu ich ze wskaźnikami przypisanymi konkretnemu zleceniu produkcyjnemu. Spełnienie norm oznacza kontynuację procesu druku – w przeciwnym przypadku – cała partia zostaje wycofana, a druk rozpoczyna się od początku. Koszty wynikające z błędów poniesionych na tym etapie są bardzo duże. Oprócz kosztów stałych i alternatywnych występujących w fazie przygotowawczej, dochodzą koszty materiałów w postaci papieru, farb, środków chemicznych jak również koszty eksploatacji maszyn, i przestojów. Jest to najdroższa faza całego procesu produkcyjnego.

Ilość kontroli jakości w fazie końcowej zależna jest od operacji introligatorskich (5 na rys. 1.4). Im bardziej produkt skomplikowany pod względem budowy, tym więcej kontroli jakości. Przyczynia się to do rozwoju wielu metod testowania wykończeń, przykładowo (Petriaszwili, 2009). Ostatnia kontrola (6 na rys. 1.4) poligraficznego procesu produkcyjnego jest opcjonalna i jej istnienie zależy od procedur przedsiębiorstwa. Polega ona na wybiórczej kontroli produktu gotowego za pomocą metod statystycznych (Lenz, Wilrich, 2004). Końcowa faza produkcji jest również kosztowna, jednakże błąd popełniony na tym etapie wiąże się najczęściej z utratą jedynie części nakładu.



Rysunek 1.4. Operacje technologiczne i operacje kontroli jakości w poligraficznym procesie produkcyjnym (opracowanie własne).

Najtrudniejszym i najbardziej kosztownym etapem całej produkcji poligraficznej jest operacja zadruku arkuszy. Poprzedzona jest ona przygotowaniem stanowiska do realizacji konkretnego zlecenia produkcyjnego, tzn. skompletowaniem materiałów i form drukowych, które są następnie montowane w odpowiednich sektorach maszyny drukującej. Podczas uruchomienia procesu druku pierwsze kilkadziesiąt arkuszy jest marnowane w związku z koniecznością równomiernego rozprowadzenia farby w zespole farbowym maszyny drukującej. Właściwy druk rozpoczyna się w momencie, gdy parametry jakości są zgodne z wytycznymi (normami jakości). W momencie wykrycia wady przez urządzenia kontrolne operator musi podjąć odpowiednie kroki jej naprawy poprzez dobór nowych ustawień maszyny drukującej. Zatrzymanie druku następuje w momencie skompletowania odpowiedniej ilości arkuszy, które otrzymały status pozytywnej kontroli jakości. Każde błędne ustawienie maszyny, czyli w konsekwencji negatywny wynik kontroli jakości wiąże się dużymi stratami materiałów oraz zachwianiem płynności produkcji z powodu nieplanowanych przestojów i opóźnień.

Osiągnięcie na tym etapie wymaganego poziomu jakości jest bardzo trudne i zależy od wielu czynników, począwszy od warunków panujących na hali produkcyjnej i sposobu magazynowania papieru, farby lub wyrobów gotowych, po koncepcję zarządzania i procedury kontroli ustalone przez przedsiębiorstwo poligraficzne.

Zarządzanie jakością w każdym przedsiębiorstwie poligraficznym będzie różne w zależności od jego wielkości, specyfiki produkcji, rynków zbytu, parku maszynowego, technologii druku i wielu innych. Niemniej jednak, dla każdego przedsiębiorstwa osiągnięcie pewnego poziomu jakości produktów jest gwarancją satysfakcji klientów i realnych korzyści w postaci zysków. Problem pojawia się wtedy, gdy koszty z tym związane przerastają potencjalne korzyści. W takiej sytuacji wiele przedsiębiorstw szuka oszczędności, najczęściej w obszarach które tego nie wymagają, a wręcz potrzebują dodatkowego wsparcia. Takie decyzje jeszcze bardziej pogrążają przedsiębiorstwo, które przestaje dostrzegać pozytywne strony całego przedsięwzięcia i rezygnuje z dalszej polityki projakościowej (Thomson *et al.*, 2005).

Problem zarządzania i kontroli jakości produktów poligraficznych dotyczy wszystkich przedsiębiorstw, bez względu na wielkość i zakres działalności. Obecnie, wdrożenie norm stało się konieczne dla dalszego istnienia i rozwoju działalności. Podstawowym problemem jest wybór odpowiedniej normy (rozdział 2.1) oraz dostosowanie jej do działalności konkretnego przedsiębiorstwa. Ogólne normy jakości są jedynie zbiorem dobrych porad i określają ogólny kierunek rozwoju, a decyzja o ich wdrożeniu podejmowana jest na najwyższym szczeblu zarządzania przedsiębiorstwem. Problem w ich wdrożeniu – czyli standaryzacji – wynika z konieczności spełnienia wielu wymagań technicznych takich, jak automatyzacja produkcji, odpowiednie maszyny drukujące czy ściśle

określone warunki jakie muszą panować na hali produkcyjnej np. klimatyzowane pomieszczenie, automatyczna regulacja wilgotności. Dodatkowo, stosowanie norm ogólnych wymaga stosowania materiałów eksploatacyjnych przewidzianych przez twórców. Przykładem może być norma ISO 12647-2:2007, którą możemy stosować pod warunkiem, że zadrukowane podłoże można zakwalifikować do jednej z pięciu ściśle określonych kategorii (Kunstetter, 2009). To i inne uwarunkowania powodują, że przedsiębiorstwa tworzą, często od podstaw lub oparte na normach ogólnych, własne wytyczne w postaci norm zakładowych.

Normy zakładowe, jako taktyczne działanie przedsiębiorstwa, tworzone są w oparciu o możliwości produkcyjne przedsiębiorstwa poligraficznego ograniczone głównie przez technologię oraz maszyny drukujące. Szeroki wybór urządzeń i ich zróżnicowanie pod względem konstrukcji, automatyzacji, parametrów technicznych oraz jakości części, powoduje że tworzone normy jakości mogą być zastosowane tylko w stosunku do konkretnej maszyny. Normy jakości wraz z innymi wytycznymi tworzą procedurę kontroli jakości, która – na podstawie (Champ *et al.*, 1991) – definiuje:

- warunki przeprowadzania kontroli takie jak moment pomiaru (który arkusz podlega kontroli), typ kontroli (inline, online, offline), stanowisko pomiarowe (rodzaj oświetlenia, tablice wzorcowe i podglądowe) oraz osobę odpowiedzialną za jej przeprowadzenie,
- charakterystykę pomiaru, czyli miejsca kontrolne (paski kontrolne czy skanowanie całego obrazu), metodę pomiaru (densytometryczną, kolorymetryczną) oraz urządzenia pomiarowe,
- normy jakości stanowiące najważniejszą część procedury. Zawierają wykaz parametrów podlegających kontroli wraz z określonym przedziałem tolerancji.

Normy zakładowe, chociaż stanowią zawężenie norm ogólnych, nie uwzględniają najważniejszego aspektu – klienta, który ma swoje wymagania i pragnie otrzymać produkt o takich cechach, jakie sobie wyobraził. Dotyczy to zarówno wartości informacyjnej produktu jak i jego wyglądu np. formatu, sposobu łamania, kształtu, rodzaju uszlachetniania, rodzaju podłoża i farb, intensywności kolorów. Taka dowolność wynika z faktu, że produkt poligraficzny nie jest dobrem zamkniętym dostępnym w sprzedaży detalicznej, lecz produkowany jest na indywidualne zamówienie klienta. Stąd też możliwość wyboru nie tylko cech wyglądu produktu, ale również poziomu jego jakości.

Spełnienie oczekiwań klienta wymaga indywidualnego podejścia do każdego zamówienia, które jest zbiorem niepowtarzalnych cech takich jak przeznaczenie (książka, ulotka), przekazywane treści (ilości szczegółów, ilustracji, tekstu), format (wizytówka, plakat), typ i rodzaj podłoża (rodzaj i gramatura papieru, folia), rodzaj uszlachetniania (lakierowanie, foliowanie), złożoności procesów introligatorskich (rodzaj oprawy, cięcie, bigowanie), itd. W procesie produkcyjnym taka różnorodność cech przejawiać się będzie

w określeniu indywidualnych cech parametrów druku dla konkretnego zamówienia klienta.

Problem zapewnienia wymaganej jakości produktom poligraficznym związany jest bezpośrednio z operacją druku i wymaga integracji możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa oraz zamówienia złożonego przez klienta. Parametry jakości produktu muszą być zgodne z wymaganiami klienta oraz mieścić się w zakresie dopuszczalnych norm ustanowionych przez przedsiębiorstwo. Szczególnie ważne jest to dla mikro i małych przedsiębiorstw offsetowych, dla których (jak zostało już to wcześniej napisane) spełnienie powyższych wymagań pozwala z jednej strony utrzymać klienta, a z drugiej zachować stabilność druku i w konsekwencji zredukować koszty w postaci zużytych arkuszy papieru, farby, eksploatacji maszyny oraz koszty opóźnień i przestojów.

Rozwiązaniem umożliwiającym likwidację przedstawionych wyżej problemów jest wykorzystanie odpowiednich metod informatycznych realizowanych w ramach rozwiązań systemowych. Takie rozwiązania przedstawiono w kolejnym rozdziale niniejszej rozprawy.

Rozdział 2

Systemy informatyczne wspomagające proces kontroli jakości produktu poligraficznego

Problem zapewnienia jak najwyższej jakości produktom poligraficznym nie jest niczym nowym. Do tej pory podjęto wiele prób jego rozwiązania poprzez tworzenie różnych systemów wspomagających proces kontroli jakości produktów. Niektóre z nich są prostymi aplikacjami, a niektóre rozbudowanymi systemami wspomagającymi różne procesy poligraficzne. Istnieją też zintegrowane systemy zarządzania, pozwalające zarządzać całym przedsiębiorstwem poligraficznym na różnych płaszczyznach działalności zgodnie ze standardem MRP i ERP. Opracowano również wiele standardów i norm, które w różnym zakresie wspomagają funkcjonowanie przedsiębiorstwa poligraficznego.

2.1. Metody, narzędzia i instrumenty informatyczne kontroli jakości produktu poligraficznego

Rosnące wymagania klientów oraz dążenia przedsiębiorców do usystematyzowania procesu druku skłoniły wiele wydawnictw, koncernów graficznych, firm produkujących sprzęt i maszyny poligraficzne oraz ośrodki naukowo-badawcze do współpracy i rozpoczęcia badań nad poprawą jakości produktów poligraficznych. Do najważniejszych ośrodków badawczych zaliczyć można CIP4 (<http://www.cip4.org/>), Fogra (<http://www.fogra.org/>) lub pokrewne Ugra i Ifra, ICC (<http://www.color.org/index.xalter>), ECI (<http://www.eci.org/en/start>), Ghent PDF Workgroups (<http://www.gwg.org/>). Rezultatem ich badań jest wysoko rozwinięta sieć norm jakości, standardów i metod, stanowiących integralną część komputerowej integracji procesów produkcyjnych (ang. Computer Integrated Manufacturing) (Rehg, Kraebber, 2004).

Szeroko rozumiane problemy zarządzania i kontroli jakości produktów w różnych branżach przemysłu są przedmiotem badań i dyskusji w wielu dziedzinach nauki. Specyfika przemysłu poligraficznego

wymusza konieczność ścisłej współpracy trzech podstawowych dziedzin nauki: chemii, fizyki (mechaniki) oraz informatyki. Do głównych kierunków prowadzonych badań zaliczyć można: 1) Badanie substancji i przemian jakościowych materiałów eksploatacyjnych, 2) Innowacje technologii drukowania, 3) Optymalizacja i standaryzacja procesów poligraficznych oraz 4) Cyfrowe wspomaganie i integracja procesów poligraficznych. Każda z tych dziedzin ma znaczący wpływ na minimalizację kosztów oraz końcową jakość produktu poligraficznego.

Kwestia, jak poprawić jakość produktów (wyrobów) i wydajność procesu technologicznego staje się coraz bardziej znacząca w wielu gałęziach przemysłu. Nawet w zupełnie różnych procesach, istnieją te same problemy do rozwiązania: jak zbudować wiarygodny model opisujący różne procesy, jak go optymalnie wykorzystać, czy w końcu jak realizować zadanie monitorowania i kontroli procesów wytwarzania dóbr. Analiza jakości produktów lub wyrobów w różnych gałęziach przemysłu oparta jest na metodach i algorytmach, realizujących konkretne zadania procesu kontroli jakości. Związane są one głównie ze statystycznym sterowaniem procesem (*ang. Statistical Process Control*) obejmującym analizę zdolności procesu lub maszyny, kontrolę odbiorczą, analizę pomiarów lub planowanie doświadczeń i ocenę ich wyników (Lenz, Wilrich, 2004). Opiera się ona głównie na zastosowaniu takich metod, jak: kart kontrolnych Shewharta, kart CUSUM i EWMA (Nezhad, Niaki, 2010), czy Six Sigma (Kumar, Antony, 2008). Metody SPC, chociaż zapewniają wysoką jakość procesu wytwarzania produktów, znajdują zastosowanie w produkcji masowej i średnioseryjnej, głównie w przemyśle zbrojeniowym, metalurgicznym, spożywczym, elektronicznym, jak również w poligraficznym, przy masowej produkcji opakowań i akcydensów manipulacyjnych (banknoty, papiery wartościowe), itd. (Kwak, Anbari, 2006).

W produkcji małoseryjnej, bądź wręcz jednostkowej, jaką cechuje się sektor małej poligrafii, zastosowanie powyższych metod jest nieopłacalne i nieskuteczne, w przypadku dużej różnorodności i zmienności zamówień. Zastosowanie znajdują podejścia diagnostyczne oparte głównie na analizie stanu oraz detali produktów, w celu wykrycia anomalii (Chiang *et al.*, 2001). Biorąc pod uwagę cały proces kontroli jakości, szczególny rozwój nowych metod i rozwiązań, dokonał się w obszarze analizy i identyfikacji wad jakości powierzchni zadruku. Realizowana jest ona w oparciu o metody i algorytmy rozpoznawania obrazu, analizujące mikroskopijnie powierzchnię zadruku i podłoża, pod kątem ubytków, zabrudzeń, przerw. Zastosowanie znajdują też metody sztucznej inteligencji (Uraikul *et al.*, 2007), w szczególności systemy ekspertowe wykorzystywane jako narzędzie do identyfikacji i klasyfikacji wad jakości (Verikas *et al.*, 2011). Powyższe metody wykrywania wad jakości powierzchni zadruku, znajdują zastosowanie w zaawansowanych systemach ciągłego monitoringu (Briggs, Tse, 2005), jak również w wielu urządzeniach pomiarowych np. densymetry czy kolorymetry.

Wykorzystanie wyżej wymienionych metod w praktyce wymaga spójnego i sformalizowanego opisu danych wejściowych do poszczególnych algorytmów. Najbardziej rozpowszechnionym standardem opisu dokumentu jest Portable Document Format – PDF, który od 2008 roku został oficjalnie uznany przez ISO i jako dokument normatywny istnieje pod nazwą ISO 32000-1:2008. W procesie kontroli jakości produktu poligraficznego PDF stanowi wiarygodne źródło podglądu produktu finalnego (wzorzec) oraz służy jako pomoc w identyfikacji pól kontrolnych oraz rozmieszczenia elementów projektu zamówienia.

Najnowszym standardem integrującym procesy poligraficzne jest Job Definition Format – JDF 1.4:2008 nadzorowany przez niezależne konsorcjum CIP4 (<http://www.cip4.org/>). Idea JDF polega na zebraniu w jednym miejscu wszystkich informacji związanych z konkretnym zamówieniem, od pierwszego zapytania klienta, poprzez DTP, drukowanie i wykańczanie, aż po dystrybucję (Kwaśny, 2002). JDF stanowi elektroniczny odpowiednik „karty technologicznej”, która w fizycznej postaci wędrowała poprzez kolejne działy i etapy realizacji zlecenia (McCue, 2007). W procesie kontroli jakości JDF jest źródłem informacji o zamówieniu takich, jak nakład, wymiar zadruku, rodzaj podłoża, oprawa, parametry rastrowania czy przestrzeń barwna. JDF integruje wiele standardów zarządzających różnymi obszarami procesu realizacji zlecenia, m.in. JMF (Job Messaging Format) przesyłający komunikaty pomiędzy urządzeniami a programami, PJTF (Portable Jobticket Format) automatyzujący procesy przygotowania do druku czy PPF (Print Production Format) pozwalający na wstępne sterowanie urządzeniami produkcyjnymi (JDF.1.4:2008).

Współczesnym trendem stała się standaryzacja procesów technologicznych, która w powszechnym ujęciu oznacza stosowanie w praktyce norm jakości (Kuczera, 2007). Ze względu na ilość norm jakości, wybór najlepszej w danym przypadku jest bardzo trudny. Najstarsze normy sięgają lat 70-tych i są to zarówno normy polskie np. PN-80/P-55207, jak i branżowe np. BN-88/7414-04. Obejmują one wiele zagadnień i jako że do niedawna były jedynymi, są cały czas stosowane w przemyśle poligraficznym. Dla tych przedsiębiorstw które jednak zdecydowałyby się na zmiany wprowadzono normę ISO 12647-2:2007. Została ona stworzona we współpracy z instytucjami naukowymi (np. FOGRA) i producentami maszyn drukujących (np. Heidelberg Druckmaschinen AG). W ramach niej opracowano definicje parametrów technicznych i metod ich badania oraz wytyczne kontroli procesów dla druku offsetowego (arkuszowego i zwojowego), wklęsłego i sitowego. Wartym uwagi jest również System Brunner (<http://www.systembrunner.com>), który pomimo wielu lat istnienia uznanie zyskał dopiero od 2009 roku, oraz PIRA International (Tritton, 1997) czy BVD/FOGRA (1981). Wśród dostępnych norm nie można wyróżnić lepszej czy gorszej. Korzystanie z norm międzynarodowych niesie za sobą pewien prestiż, lecz nie oznacza to, że przy stosowaniu normy krajowej produkt będzie gorszej jakości (Kunstetter, 2009). Wszystko zależy od wartości użytkowej konkretnej normy dla działalności przedsiębiorstwa.

Wraz z rozwojem elektroniki i optyki, powstały specjalistyczne urządzenia pomiarowe takie jak mikroskopy, densytometry czy kolorymetry. Producenci (np. X-Rite, Konica Minolta, Scorpio) oferują szeroki wybór różnych rozwiązań, od prostych urządzeń jednofunkcyjnych po wielofunkcyjne zestawy, a nawet kompleksowe stanowiska pomiarowe wyposażone w systemy wizualizacji danych. Pomiaru parametrów jakości można dokonać w sposób ręczny (np. Scorpio Fag Dens D3), automatyczny poprzez skanowanie całego arkusza (np. spektrofotometr autoskanujący z serii i1 iSis X-Rite) lub za pomocą systemu czujników i kamer umieszczonych w maszynie drukującej. Problem z różnorodnością urządzeń pomiarowych związany jest z różnymi metodami i algorytmami ich wytwarzania, które znacząco wpływają na dokładność oraz stabilność (powtarzalność) pomiarów. Wybór najlepszego rozwiązania zależy jest od wielu czynników działalności przedsiębiorstwa, przede wszystkim możliwości finansowych, parku maszynowego, procedur kontroli jakości.

Istnieje wiele firm i organizacji oferujących rozwiązania wspierające funkcjonowanie przedsiębiorstwa na różnych płaszczyznach zarządzania jakością. Wśród nich istnieją standardy i normy przyjęte przez ISO, ale również rozwiązania sprzętowe. Wszystkie one są wynikiem wielu lat badań i stanowią cenne źródło wiedzy systematyzującej chaos panujący na rynku poligraficznym. Jednakże zakres działań wszystkich instytucji kończy się na definiowaniu reguł i zasad i nie obejmuje wdrożenia ich w formie systemu informatycznego.

Przedstawione powyżej narzędzia i instrumenty kontroli jakości produktu poligraficznego stanowią wsparcie dla różnych systemów informatycznych. Dobór oraz wykorzystanie odpowiednich narzędzi zależy od rodzaju oraz złożoności przedsiębiorstwa poligraficznego. W dużych przedsiębiorstwach zastosowanie znajdują głównie narzędzia i instrumenty informatyczne automatyzujące w różnym stopniu procesy produkcyjne i kontroli jakości np. JDF, systemy automatycznego pomiaru zintegrowane z maszyną drukującą. W małych przedsiębiorstwach, głównie ze względu na ograniczenia finansowe, wykorzystywane są samodzielne urządzenia pomiarowe takie jak densytometry, lupy.

Pomimo licznej grupy rozwiązań sprzętowych powstało wiele koncepcji oraz systemów informatycznych, których analiza została przedstawiona w dalszej części rozprawy.

2.2. Analiza możliwości funkcyjnych istniejących rozwiązań informatycznych przeznaczonych do zarządzania procesem poligraficznym

Wśród opisanych w literaturze, bądź dostępnych na rynku rozwiązań wspomagających zarządzanie jakością w obszarze kontroli i zachowania jakości produktu poligraficznego wyróżnić można dwie kategorie:

- zintegrowane systemy informatyczne (ZSI) wspomagające proces zarządzania przedsiębiorstwem od kontaktu z klientem, poprzez proces produkcyjny, aż po magazynowanie i logistykę gotowych wyrobów (Kisielnicki, Sroka, 2005). Główna działalność ZSI to szeroko zakrojona wymiana informacji będąca następstwem integracji wszystkich obszarów przedsiębiorstwa. Zintegrowane systemy informatyczne dla przemysłu poligraficznego pracują w oparciu o standardy CRM, MRP, MRP II, ERP, PDF, JDF oraz przy uwzględnieniu wymagań norm jakości. Wsparcie w procesie kontroli jakości produktu opiera się na pomiarze i analizie parametrów jakości oraz (w niektórych systemach) automatycznej kalibracji maszyny drukującej. Wadą takich rozwiązań jest brak uniwersalności w zastosowaniu do różnych technik druku oraz maszyn drukujących. Ze względu na bardzo wysoką cenę oraz zasięg funkcjonalności ZSI przeznaczone są dla średnich i dużych przedsiębiorstw poligraficznych. Przykładem zintegrowanych systemów informatycznych jest Prinect (Heidelberg) lub PrintManager (Infosystems).
- aplikacje desktopowe (AD) zorientowane na rozwiązanie konkretnych problemów procesu kontroli jakości np. sposobu pomiaru parametrów jakości czy oceny zgodności produktu z normami jakości. Tego typu rozwiązania uwzględniają większość parametrów jakości i są niezależne od techniki druku i parku maszynowego przedsiębiorstwa. Aplikacje desktopowe instalowane są na samodzielnych stanowiskach komputerowych i (przeważnie) nie wymagają dodatkowego sprzętu i oprogramowania. Przykładem takiego rozwiązania jest Print Control Pro/Print Consult (GMG).

Systemów informatycznych wspomagających pracę przedsiębiorstwa poligraficznego jest bardzo dużo i różnią się między sobą przeznaczeniem, stopniem zaawansowania oraz ilością dostępnych opcji. Do dalszej analizy wybrano tylko takie, które obejmują obszar przedstawionego w rozprawie problemu, tzn. wspomagające proces kontroli jakości produktu na poziomie operacyjnym przedsiębiorstwa poligraficznego.

Zintegrowane systemy informatyczne. Analizę dostępnych rozwiązań należy rozpocząć od jednego z pierwszych systemów, jaki pojawił się na rynku poligraficznym – **Prinect** – niemieckiej firmy Heidelberger Druckmaschinen AG, będącej jednym z większych producentów arkuszowych maszyn offsetowych (www.heidelberg.com). System Prinect jest kompleksowym rozwiązaniem, wspierającym procesy zarządzania jakością i integrującym wszystkie najważniejsze obszary działalności przedsiębiorstwa. Prinect jest systemem modułowym, który można dowolnie konfigurować z dostępnych komponentów. Proces kontroli jakości produktu realizowany jest przez Prinect Inpress Control (Prinect, 2008), który zawiera:

- Prinect Auto Register – moduł odpowiedzialny za prawidłowe spasowanie wszystkich wyciągów barwnych (form drukowych). Realizuje pomiar, analizę oraz regulację registrów w maszynie drukującej.
- Prinect Axis Control – moduł umożliwiający pomiar, analizę barwy oraz regulację stopnia nafarwienia zadruku.

System nie uwzględnia pomiaru wszystkich zalecanych parametrów jakości (rozdział 3.3), ogranicza się jedynie do kontroli pasowania oraz barwy metodą spektrofotometryczną. Parametry mierzone są automatycznie na paskach kontrolnych lub przez skanowanie całego obrazu za pomocą systemu kamer i czujników umieszczonych wewnątrz maszyny drukującej (w trybie inline). Zmierzone wartości poddawane są analizie, a ich wynik wyświetlany jest operatorowi w formie tabel i wykresów. Identyfikacja wad oraz metoda ich naprawy nie jest udostępniana, a kalibracja maszyny następuje w sposób automatyczny bez możliwości ingerencji w proces. Oprócz tego system nie uwzględnia wszystkich możliwych przyczyn wykrytych wad, przerzucając całą odpowiedzialność na operatora za kontrolę nad mechanizmami maszyny oraz doбором materiałów eksploatacyjnych. System Prinect pracuje w oparciu o standard poligraficzny JDF 1.4:2008 oraz częściowo o normę ISO 12647-2:2007, nie uwzględniając innych standardów (rozdział 2.1). Wadą Prinecta jest bardzo duży koszt zakupu, instalacji, serwisu oraz koszt wymiany lub naprawy części eksploatacyjnych. Dodatkowo, system Prinect jest dedykowany tylko dla maszyn offsetowych typu Speedmaster tej samej firmy.

Po światowej premierze Prinecta na targach Drupa w 2008 roku na rynku bardzo szybko pojawiły się konkurencyjne systemy informatyczne. Jednym z ciekawszych jest **Measuring Systems** firmy Koenig&Bauer AG (<http://www.kba.com>), działającej na rynku offsetowym arkuszowym, zwojowym i gazetowym oraz na rynkach niszowych (produkcja banknotów i druków z zabezpieczeniami). Measuring Systems umożliwia automatyczny pomiar i analizę parametrów jakości oraz ponowną kalibrację maszyny drukującej, realizowane przez następujące moduły działające w trybie inline i online:

- Moduły do pomiaru i regulacji nafarбления: 1) QualiTronic Professional działający w trybie inline (QualiTronic + QualiTronic Color Control) oraz 2) DensiTronic Professional działający w trybie online.
- Moduły do kontroli pasowania: 1) Plate ident (inline) służący do wstępnego spasowania arkusza drukarskiego oraz ACR (online) umożliwiający pomiar i regulację pasowania.

System dokonuje pomiaru i analizy trzech parametrów jakości: gęstości optycznej, balansu szarości i pasowania. Pomiar dokonywany jest na pasku kontrolnym lub poprzez skanowanie obrazu (w zależności od modułu), a następnie poddawany jest analizie w oparciu o System Brunner lub normę ISO-12647-2:2007. Naprawa wad jakości produktu ogranicza się do regulacji stopnia nafarбления i rozstawu registrów, wykluczając zupełnie inne przyczyny (rozdział 3.3). Operator nie ma również możliwości wprowadzenia własnych parametrów ustawień. KBA Measuring Systems zintegrowany jest tylko z maszynami Rapida tej samej firmy. Zaletą systemu jest współpraca ze standardem poligraficznym JDF.

Podobną funkcjonalność posiada system zarządzania jakością **PECOM** firmy MAN Roland (<http://www.manroland.pl>). Składa się on z kilku modułów realizujących różne zadania. Głównym modułem jest ColorPilot odpowiedzialny za dokonanie pomiaru barwy metodą densytometryczną oraz automatyczną regulację stref farbowych. Dodatkowo funkcja Farbmetrik dla ColorPilot'a oferuje możliwość wyznaczania z pasków kontrolnych wartości kolorymetrycznych, a moduł okBalance pozwala na kontrolę balansu szarości cyjanu, magenty i żółci (PECOM, 2010). Za analizę pomiarów odpowiedzialny jest moduł PrintConsult, który przeprowadza ją w oparciu o System Brunner. System PECOM pracuje w oparciu o Job Definition Format. Oprócz tego, system jest kompatybilny w trybie online i inline z maszynami tej samej firmy – MAN Roland, ale może działać z wieloma maszynami innych marek tylko w trybie offline, tzn. analiza dokonywana jest po zakończeniu całego procesu druku i służy tylko celom informacyjnym.

Kolejnym komercyjnym rozwiązaniem jest system **FALCON-66** czeskiej firmy Soma Engineering (<http://www.soma-eng.com>). FALCON-66 jest systemem przeznaczonym tylko do kontroli jednego parametru jakości – pasowania. Pomiar dokonywany jest poprzez częściowe lub całościowe skanowanie arkusza, a system identyfikuje dwie przyczyny nieprawidłowego spasowania form: registry oraz docisk. Ich regulacja odbywa się w sposób automatyczny bez udziału operatora maszyny. System FALCON-66 jest dedykowany tylko dla maszyn tej samej firmy.

Na światowym rynku istnieje jeszcze kilka systemów realizujących zadanie kontroli jakości produktu poligraficznego, wśród nich można wymienić: **iQ300** firmy Bobst Group (<http://www.bobstgroup.pl>), moduły firmy **SISTEMAS INELME** (<http://www.inelme.com>), **CtC** i **CoRC** firmy Solna (<http://www.solna.com>). Wszystkie ww. systemy są rozwiązaniami oferowanymi przez producentów i kompatybilnymi tylko z niektórymi,

oferowanymi przez nich modelami maszyn drukujących. Realizują zadanie pomiaru i analizy wybranych parametrów jakości produktu, a następnie dokonują kalibracji maszyny drukującej uwzględniając tylko niektóre przyczyny wykrytych wad. Zgodność jakości produktu analizowana jest na podstawie normy ISO 12647 lub Systemu Brunner, nie biorąc pod uwagę innych, starszych bądź ustanowionych przez przedsiębiorstwo, norm jakości. Nie pozostawiają operatorowi możliwości ingerencji w proces.

Aplikacje desktopowe. Rynek światowy, oprócz kompleksowych systemów zarządzania wyposażonych w moduł do kontroli jakości produktu, oferuje również przedsiębiorcom bardziej uniwersalne programy, będące lekką aplikacją niezależną od parku maszynowego. Takim rozwiązaniem jest pakiet **PrintControl** firmy GMG (<http://www.gmgcolor.com>). Składa się on z dwóch aplikacji: GMG PrintControl oraz GMG RapidCheck. Pierwsza z nich wykorzystywana jest w standaryzacji druku, np. przy doborze podłoża (papieru) lub farb drukarskich. Druga z nich odpowiedzialna jest za pomiar i analizę jakości produktu. Program na podstawie pomiaru jednego, niewielkiego paska kontrolnego (dołączonego do programu), generuje wyczerpujący raport na temat najważniejszych parametrów jakości produktu. Print Control jako jeden z nielicznych programów na rynku umożliwia kontrolę pięciu parametrów jakości: gęstości optycznej dla poszczególnych barw podstawowych, przyrostu punktu rastrowego, barw podstawowych i drugorzędowych, balansu szarości, stopnia przyjmowania farby przez farbę oraz dodatkowo pozwala na pomiar gamutu maszyny. Jakość produktu poligraficznego sprawdzana jest pod kątem zgodności z normami z rodziny ISO 12647. Wyniki analizy przedstawione są w postaci raportu. Operator nie otrzymuje jednak żadnych informacji o przyczynach wykrytych wad jakości, a tym bardziej sposobu ich naprawy. Zaletą aplikacji jest niezależność od maszyny drukującej, ale za to lista kompatybilnych urządzeń pomiarowych jest bardzo krótka (Scorpio, 2012).

Rozwiązania akademicko-komercyjne. Z myślą o zaspokojeniu potrzeb klientów i zapewnieniu wsparcia przedsiębiorstwu w zakresie polityki jakościowej, jedna z największych firm poligraficznych na świecie – Quad/Graphics – powołała do istnienia jednostkę badawczo-rozwojową QuadTech (<http://www.quadtech.com>). W ramach niej opracowano wiele algorytmów i rozwiązań, z których niektóre skomercjalizowano w postaci systemów dla różnych potrzeb rynku poligraficznego. Rozwiązania ośrodka QuadTech przeznaczone są do wspomagania pracy maszyn zwojowych offsetowych, fleksograficznych i wkłēsdrukowych. Poniżej przedstawiono dwa rozwiązania, których premiera odbyła się na targach IpeX (2010):

- Pakiet rozwiązań akcydensowych i gazetowych MultiCam służący do kontroli kolorystycznej oraz regulacji poziomu nafarwienia. Dla przemysłu gazetowego system umożliwia tylko zbieranie danych oraz ich analizę w oparciu o System Brunner. Rozwiązanie dla przemysłu akcydensowego wyposażone jest dodatkowo w moduł Instrument

Flight, który pozwala na regulację maszyny drukującej. W obu przypadkach pomiar jest odczytywany w trybie inline z paska kontrolnego umieszczonego wzdłuż wstęgi papieru. Wadą systemu MultiCam jest pomiar tylko jednego parametru jakości oraz wykrywanie stref farbowych jako jedyną przyczynę wad. Wszystkie dane przetwarzane w systemie zapisywane są w formie standardowych formatów przemysłowych, pozwalając na ich odtwarzanie w obrębie całego przedsiębiorstwa np. JDF 1.4:2008, PDF (ISO 32000-1:2008).

- Pakiet SpectralCam przeznaczony jest dla przedsiębiorstw poligraficznych specjalizujących się w produkcji opakowań, głównie opakowań miękkich, z tektury falistej, kartonów pudełkowych a także przywieszek i etykiet. System umożliwia identyfikację błędów jakości poprzez skanowanie całego arkusza w trybie inline, a następnie informowanie operatora o pojawiających się smugach, błędach pasowania, brakującego tekstu lub zdjęć oraz fizycznych zanieczyszczeniach. Obszerny raport z analizy (w oparciu o ISO 12647), wyświetlany w formie graficznej, umożliwia znalezienie przyczyn wad, których naprawa leży już w kwestii operatora maszyny. Raporty wykorzystywane są do analiz służących do oszacowania kosztów, opracowania lub poprawy procedur kontroli jakości oraz do celów statystycznych.

Rozwiązania QuadTech są niewątpliwie najbardziej zbliżone do rozwiązania kompleksowej kontroli jakości produktu przedstawionego w rozprawie, niestety są to jedynie rozwiązania algorytmiczne mogące być częścią tworzonego na zamówienie systemu informatycznego. Nie istnieją one w formie samodzielnego systemu, chociaż są z powodzeniem wykorzystywane przez innych producentów np. Koenig&Bauer AG, Heidelberger Druckmaschinen AG.

Podsumowanie i krytyka dostępnych rozwiązań informatycznych. Analizę potrzeb przedsiębiorstw poligraficznych przeprowadzono w ramach projektu Zachodniopomorska Platforma Poligraficzna zrealizowanego w 2007 roku przez Szczeciński Park Naukowo-Technologiczny (<http://www.spnt.pl>). W badaniach udział wzięły 22 firmy poligraficzne, z sektora mikro, małych i średnich przedsiębiorstw prowadzące działalność głównie w województwie zachodniopomorskim. W ramach badań dokonano inwentaryzacji zasobów, kompetencji oraz potrzeb zakładów poligraficznych w zakresie m.in. techniki druku, typu usług, wyposażenia technologicznego i informatyzacji przedsiębiorstwa (Sołdek, 2007). Zgromadzone dane zaktualizowano w 2010 roku, zwiększając ilość ankietowanych mikro i małych firm do 83 oraz poszerzając terytorium o obszar województwa pomorskiego i wielkopolskiego.

Najczęściej poruszane kwestie dotyczyły rosnących kosztów produkcji związanych z niestabilnością procesu druku i koniecznością wycofywania partii produktów głównie z powodu wad jakościowych. Źródła tych problemów tkwiły: 1) w komputeryzacji procesu druku, 2) w

rosnących wymaganiach klientów dotyczących jakości produktu i 3) w młodej kadrze, która pomimo chęci i wiedzy nie posiadała doświadczenia w rozwiązywaniu problemów w procesie druku.

Dla przedsiębiorstwa poligraficznego z sektora małej poligrafii niezwykle ważny jest czas realizacji zamówień oraz minimalizacja kosztów ich produkcji. Dlatego też, bardzo ważne jest aby kontrola jakości przeprowadzona była w sposób szczegółowy, jednoznacznie odpowiadając na pytanie o przyczyny występowania wad. Jednocześnie szybki sposób naprawy poprzez ponowną kalibrację maszyny drukującej musi odbyć się przy zachowaniu standardów jakości przedsiębiorstwa oraz indywidualnych wymagań klientów.

Podsumowując sytuację w jakiej znajduje się przedsiębiorstwo z sektora małej poligrafii można powiedzieć, że:

- specyfika przedsiębiorstwa poligraficznego wymusza konieczność tworzenia i ciągłego ulepszania procedur kontroli jakości,
- znaczna redukcja kosztów może nastąpić poprzez dokładną kontrolę jakości produktu, która pozwoli wykryć wszystkie wady przed przystąpieniem do dalszej realizacji zamówienia,
- ze względu na ograniczenia finansowe (szczególnie mikro i małe przedsiębiorstwa) osiągnięcie wymaganego poziomu jakości powinno odbywać się przy jak najniższych środkach finansowych.

Analizując sytuację, w której znajduje się operator maszyny drukującej można powiedzieć, że:

- trudno jest samemu określić przyczynę występowania wad jakości, a jeżeli nawet uda się ją zidentyfikować, istnieje problem jej likwidacji,
- natłok informacji związanych z realizacją zamówienia nie jest możliwy do zapamiętania przez człowieka, dodatkowo presja czasu wprowadza czynnik stresu i możliwość błędnego oszacowania sytuacji.

Analizując wcześniej przedstawione rozwiązania wspomagające procesy zarządzania i kontroli jakości produktu, należy je porównać pod kątem spełniania poszczególnych wymagań przedsiębiorstwa poligraficznego oraz operatora maszyny drukującej. W przedstawionym w tabeli 2.1 porównaniu rozwiązań informatycznych uwzględniono następujące kryteria:

- **Ilość parametrów jakości** – świadczy o dokładności przeprowadzonej kontroli jakości produktu poligraficznego. Szczegółowa analiza wszystkich wskaźników pozwala dokładnie określić przyczyny występowania wad, co eliminuje koszty związane z późniejszym ich wykryciem i np. wycofaniem całej partii produktów lub nieplanowanym przestojem na linii produkcyjnej. Zalecana ilość kontrolowanych parametrów jakości została przedstawiono w rozdziale 3.3. Najdokładniejszą kontrolę jakości umożliwia aplikacja Print Control

(GMG), która analizuje aż pięć parametrów jakości produktu, gdzie pozostałe rozwiązania uwzględniają najwyżej dwa.

- **Ograniczenia** – świadczą o poziomie uniwersalności systemu, co ma szczególne znaczenie w kontekście kosztów przedsiębiorstwa ponoszonych na realizację procesów kontroli jakości. Uwzględniono takie aspekty jak integracja z parkiem maszynowym oraz koszty wdrożenia i zakupu dodatkowego sprzętu. Najmniej ograniczeń posiada aplikacja PrintControl (GMG), która nie wymaga dużych nakładów finansowych (jedynie standardowego stanowiska komputerowego), ani zakupu dedykowanych urządzeń pomiarowych (chyba, że przedsiębiorstwo ich w ogóle nie posiada).
- **Pomiar i analiza parametrów jakości produktu** – są niezbędne do określenia wad dyskwalifikujących produkt oraz stopnia odchylenia wartości zmierzonych od zadanych. Pomiar może być przeprowadzony przez operatora przy użyciu urządzeń pomiarowych (w trybie offline) lub automatycznie przez system pomiarowy zintegrowany z maszyną drukującą (w trybie online lub inline). Wybór sposobu pomiaru zależy od możliwości finansowych przedsiębiorstwa, jednak większość przedsiębiorstw posiada już atestowane urządzenia pomiarowe i zakup dodatkowego systemu jest dla nich dużym kosztem. Wszystkie przedstawione rozwiązania współpracują tylko z własnym systemem pomiarowym (inline, online), nie umożliwiając ręcznego wprowadzania wartości pomiarów zmierzonych za pomocą niezależnego sprzętu np. mikroskopu, densytometru. Analiza zmierzonych parametrów przeprowadzana jest w oparciu o normy jakości. System musi mieć możliwość wyboru dowolnego standardu spośród oferowanych przez instytucje normalizacyjne lub mieć możliwość zastosowania własnych norm jakości opracowanych dla potrzeb konkretnego przedsiębiorstwa. Jedynie Measuring Systems (Koenig&Bauer) posiada możliwość wyboru pomiędzy normą ISO a Systemem Brunner, lecz nie uwzględnia starszych standardów ani wewnętrznych norm ustanowionych przez przedsiębiorstwo.
- **Identyfikacja przyczyn wad jakości** – jest jednym z obszarów wymagań operatora, który nie jest w stanie sam określić źródła ich pochodzenia. Analiza źródeł pochodzenia wad jakości przeprowadzona została w rozdziale 3.3. Żadne z przedstawionych rozwiązań nie uwzględnia wszystkich (najczęściej spotykanych) przyczyn nieprawidłowości na wydruku. Jedynie Prinect (Heidelberg) i Measuring Systems (Koenig&Bauer) identyfikują dwie przyczyny błędów: nieprawidłowy rozstaw stref farbowych lub przesunięcie podłoża w układzie transportu. Nie uwzględniają innych przyczyn, których identyfikacja leży już w kwestii operatora. System FALCON-66 (Soma Engineering) identyfikuje dwie przyczyny nieprawidłowego pasowania; nieprawidłowy docisk i regulacja registrów.

- **Wsparcie w naprawie wad jakości** – obejmuje szczegółowe instrukcje określające sposób naprawy błędów, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu parametrów ustawień maszyny drukującej na jakość produktu. Jest to jeden z obszarów wymagań operatora, dla którego ilości parametrów i zależności są zbyt duże i nie jest on w stanie zrozumieć, i zapamiętać wszystkich powiązań. Najlepsze wsparcie dla operatora oferują trzy systemy, z czego Prinect (Heidelberg) i Measuring Systems (Koenig&Bauer) reguluje poziomem nafarбления oraz rozstawem registrów, a FALCON-66 (Soma Engineering) w miejsce stref farbowych reguluje dociskiem.
- **Integracja funkcjonalności** obszaru analizy parametrów jakości, identyfikacji przyczyn wad jakości oraz wsparcia w ich naprawie jest podstawą kompleksowego wspomaganie operatora w procesie kontroli jakości produktu poligraficznego.

Tabela 2.1. Zestawienie systemów informatycznych wspomagających proces kontroli jakości produktu poligraficznego (opracowanie własne).

Nazwa systemu	1. Ilość parametrów jakości	2. Ograniczenia	3. Pomiar i analiza parametrów jakości produktu	4. Identyfikacja przyczyn wad jakości	5. Wsparcie w naprawie wad jakości	Integracja obszarów 3, 4 i 5
Prinect	Pomiar dwóch parametrów jakości: barwa i pasowanie.	– Zintegrowany tylko z maszynami Speedmaster, urządzeniami i oprogramowaniem firmy Heidelberg. – Bardzo wysokie koszty zakupu, wdrożenia, serwisu i wymiany części eksploatacyjnych, dodatkowo koszt zakupu maszyny drukującej i urządzeń współpracujących np. systemu pomiarowego.	Obejmuje pomiar paska kontrolnego lub całego obrazu w trybie inline. Analiza parametrów jakości w oparciu o ISO 12647-2.	Obejmuje, ale nie uwzględnia wszystkich przyczyn wystąpienia wad jakości. Identyfikuje problemy w układzie farbowym i układzie pasowania.	Obejmuje automatyczny dobór nowych ustawień oraz regulację stref farbowych i registrów. Brak możliwości doboru własnych ustawień.	Integracja obszaru 3, 4 i 5. Wymiana informacji oparta na standardzie JDF.
Measuring Systems	Pomiar trzech parametrów: gęstość optyczna, balans szarości i pasowanie	– Zintegrowany tylko z maszynami Rapida, urządzeniami i oprogramowaniem firmy KBA. – Bardzo wysokie koszty zakupu, wdrożenia, serwisu i wymiany części eksploatacyjnych, dodatkowo koszt zakupu maszyny drukującej i urządzeń współpracujących np. systemu pomiarowego.	Obejmuje pomiar paska kontrolnego lub całego obrazu w trybie inline i online. Analiza parametrów jakości w oparciu o System Brunner lub ISO 12647-2.	Obejmuje, ale nie uwzględnia wszystkich przyczyn wystąpienia wad jakości. Identyfikuje problemy w układzie farbowym i układzie pasowania.	Obejmuje automatyczny dobór nowych ustawień oraz regulację stref farbowych i registrów. Brak możliwości doboru własnych ustawień.	Integracja obszaru 3, 4 i 5. Wymiana informacji oparta na standardzie JDF.

PECOM	Pomiar dwóch parametrów jakości: barwy i balansu szarości	– Zintegrowany tylko z maszynami, urządzeniami i oprogramowaniem firmy Roland. – Wyjątkowo kompatybilny z nielicznymi maszynami innych marek, ale tylko w trybie offline. – Bardzo wysokie koszty zakupu, wdrożenia, serwisu i wymiany części eksploatacyjnych, dodatkowo koszt zakupu maszyny drukującej i urządzeń współpracujących np. systemu pomiarowego.	Obejmuje pomiar paska kontrolnego. Analiza parametrów jakości w oparciu o System Brunner.	Obejmuje, ale nie uwzględnia wszystkich przyczyn wystąpienia wad jakości. Identyfikuje problemy w układzie farbowym.	Obejmuje automatyczny dobór nowych ustawień i regulację stref farbowych. Brak możliwości doboru własnych ustawień.	Integracja obszaru 3, 4 i 5. Wymiana informacji oparta na standardzie JDF
FALCON 66	Pomiar jednego parametru jakości: pasowania	– Zintegrowany tylko z maszynami, urządzeniami i oprogramowaniem firmy Soma. – Średnie koszty zakupu i serwisu, dodatkowo koszt zakupu maszyny drukującej i urządzeń współpracujących np. systemu pomiarowego.	Obejmuje pomiar paska kontrolnego lub części obrazu. Analiza parametrów jakości w oparciu o ISO 12647.	Obejmuje wszystkie najważniejsze przyczyny wystąpienia wad jakości. Identyfikuje problemy w układzie pasowania.	Obejmuje automatyczny dobór nowych ustawień oraz regulację registrów i docisku. Brak możliwości doboru własnych ustawień.	Integracja obszaru 3, 4 i 5.
GMG Print Control	Pomiar pięciu parametrów jakości: gęstość optyczna, przyrost	– Niezależność od maszyn drukujących. – Niskie koszty zakupu. Wymaga standardowego stanowiska komputerowego oraz sprzętu pomiarowego.	Obejmuje pomiar paska kontrolnego lub części obrazu. Analiza parametrów jakości w oparciu o ISO 12647.	Nie obejmuje	Nie obejmuje	Brak integracji

		punktów rastrowych, barw, balans szarości, przyjmowanie farby przez farbę, dodatkowo gamut.					
QuadTech	Multi Cam	Pomiar jednego parametru jakości: barwa	Brak informacji o niezależności od maszyn oraz kosztach.	Obejmuje pomiar paska kontrolnego. Analiza parametrów jakości w oparciu o System Brunner.	Obejmuje, ale nie uwzględnia wszystkich przyczyn wystąpienia wad jakości. Identyfikuje problemy w układzie farbowym (tylko dla przemysłu akcydensowego).	Obejmuje automatyczny dobór nowych ustawień oraz regulację stref farbowych (tylko dla przemysłu akcydensowego). Brak możliwości doboru własnych ustawień.	Integracja obszaru 3, 4 i 5, ale tylko dla przemysłu akcydensowego.
	Spectral Cam	Pomiar czterech parametrów jakości: pasowanie, murzenie, dublowanie, zanieczyszczenia.	Brak informacji o niezależności od maszyn oraz kosztach.	Obejmuje pomiar całego obrazu w trybie inline. Analiza parametrów jakości w oparciu o ISO 12647.	Nie obejmuje	Nie obejmuje	Brak integracji

Wśród przedstawionych rozwiązań informatycznych można znaleźć odpowiedzi na wiele problemów związanych z kontrolą jakości produktów poligraficznych. Jednak żadne z nich nie oferuje pełnego wsparcia wszystkich istotnych aspektów rozpatrywanego problemu. Podstawowym brakiem jest możliwość kompleksowej analizy jakości produktu oraz brak wsparcia operatora w rozwiązywaniu większości problemów występujących w procesie druku.

Przedstawione systemy informatyczne traktują problem bardzo wybiórczo, skupiając się głównie na realizacji „medialnej” normy ISO 12647. Nie uwzględniają innych standardów, nawet tych własnych opracowanych przez przedsiębiorstwo, które są niekiedy nawet ostrzejsze i trudniejsze do spełnienia niż te międzynarodowe (Kunstetter, 2009).

Poza tym, większość przedstawionych rozwiązań (poza aplikacjami desktopowymi) jest produktami komercyjnymi, dostępnymi w sprzedaży z całą infrastrukturą techniczną. Takie rozwiązania są poza zasięgiem finansowym mikro i małych przedsiębiorstw poligraficznych.

Przeprowadzając analizę dostępnych rozwiązań, można powiedzieć, że żadne z nich nie odpowiada w pełni zapotrzebowaniu mikro i małego przedsiębiorstwa poligraficznego. Przedstawione rozwiązania realizują jedno lub kilka z poniższych funkcjonalności:

- pomiar jednego lub dwóch parametrów jakości produktu poligraficznego,
- analizę zmierzonych parametrów jakości produktu poligraficznego w oparciu o ograniczony wybór norm jakości,
- określenie przyczyn wad jakości bez przeprowadzenia diagnostyki problemu (najczęściej wskazanie jednej przyczyny wad) oraz – w niektórych systemach – określenie sposobu ich naprawy (poprzez ponowną kalibrację maszyny drukującej),
- wymianę informacji w obrębie przedsiębiorstwa za pomocą JDF.

Brakuje systemu, który zintegrowałby wszystkie z powyższych funkcjonalności, a dodatkowo poszerzyłby ich zakres o:

- kompleksową analizę produktu poligraficznego uwzględniając możliwie największą ilość parametrów jakości,
- analizę zmierzonych parametrów jakości produktu poligraficznego w oparciu o dowolną normę,
- przeprowadzenie szczegółowej diagnostyki problemu niezbędnej do określenia wszystkich przyczyn wad oraz opracowanie szczegółowych instrukcji ich naprawy,
- możliwość wprowadzania własnych instrukcji naprawczych,
- dodatkowo cechowałby się dużą uniwersalnością tzn. niezależnością od infrastruktury technologicznej i informatycznej oraz nie wymagał nakładu dużych środków pieniężnych.

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe aspekty, funkcjonalność i elastyczność przedstawionych rozwiązań, opracowanie systemu powinno być zrealizowane w formie aplikacji desktopowej według zestawienia w tabeli 1. Z uwagi na warunek minimalizacji strat materiałów eksploatacyjnych i czasu, realizacja zadania powinna odbyć się bez konieczności ciągłego sprawdzania poprawności algorytmów w warunkach rzeczywistych. Rozwiązaniem może być zaprojektowanie systemu w formie symulatora realizującego wybrany aspekt operacji zadruku i operacji kontroli jakości. Podobne rozwiązania, lecz w szerszej perspektywie w postaci symulatora maszyny drukującej, są z powodzeniem wykorzystywane w procesie kształcenia zawodowego pracowników branży poligraficznej (Hamerliński, 2011).

Rozdział 3

Model referencyjny Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego

Na podstawie zagadnienia sformułowanego w rozdziale drugim, zostanie zaproponowane autorskie podejście do realizacji zadania zapewnienia wymaganego poziomu jakości produktom poligraficznym. Opiera się ono na opracowaniu modelu systemu informatycznego realizującego zadanie ciągłego monitorowania jakości produktu, dodatkowo uwzględniającego problemy, z jakimi boryka się sektor mikro i małych przedsiębiorstw poligraficznych.

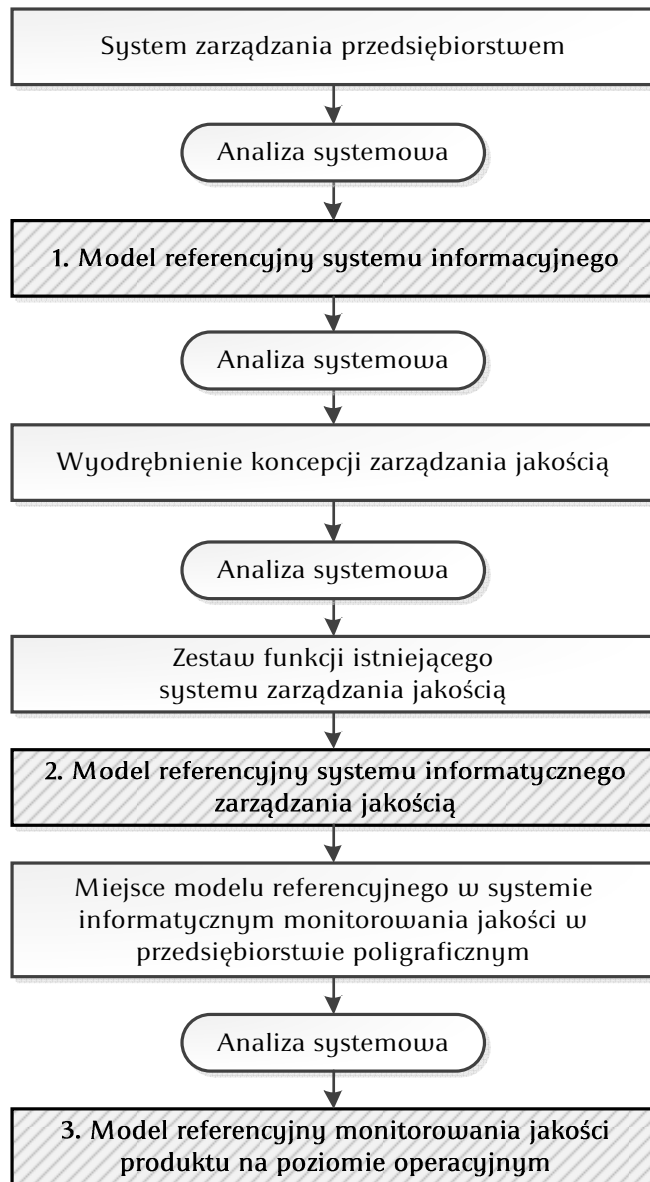
Standardem umożliwiającym budowę systemów informatycznych są modele referencyjne, które reprezentują wiedzę organizacyjną, standard modelowania oraz definiują w postaci modeli wszelkie struktury organizacyjne przedsiębiorstwa (Kasprzak, 2005).

Na rysunku 3.1 przedstawiono procedurę opracowania systemu informatycznego dla potrzeb monitorowania jakości produktu poligraficznego, składającą się z etapów omówionych w dalszej części pracy.

Pierwszym krokiem (1 na rys. 3.1) jest budowa modelu referencyjnego systemu informacyjnego zawierającego opis elementów rzeczywistych lub wirtualnych składających się na istniejący system zarządzania przedsiębiorstwem. Należy przy tym uwzględnić miejsce, przeznaczenie oraz wszystkich odbiorców informacji. Model referencyjny systemu informacyjnego zarządzania przedsiębiorstwem został przedstawiony w rozdziale 3.1.

Kolejnym krokiem (2 na rys. 3.1) jest budowa modelu referencyjnego systemu informatycznego zawierającego uszczegółowiony opis dyspozycji zadań i funkcji pomiędzy specjalistami (pracownikami), a narzędziami informatycznymi i technicznymi występującymi w przedsiębiorstwie. Szczególnie ważnym obszarem jest wskazanie które z zadań będą wspierane lub zastąpione narzędziami informatycznymi. Model referencyjny systemu informatycznego zarządzania przedsiębiorstwem został przedstawiony w rozdziale 4.

Ostatnim krokiem (3 na rys. 3.1) jest charakterystyka i sprecyzowanie zadań wyodrębnionego procesu, który będzie wspierany przez opracowane narzędzie informatyczne.

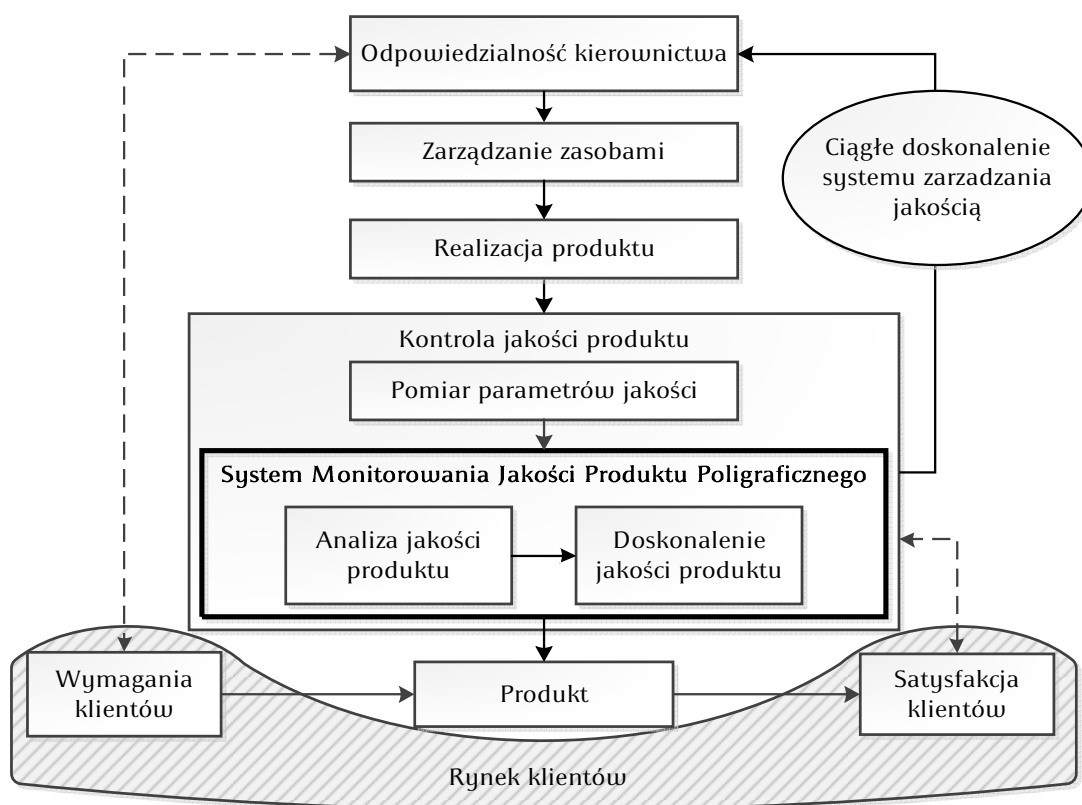


Rysunek 3.1. Procedura opracowania modelu informatycznego Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego (opracowanie własne).

Głównym celem przedstawionej metodyki jest opracowanie modelu systemu informatycznego, którego zadaniem jest realizacja zadań systemu informacyjnego przedsiębiorstwa poligraficznego. Z punktu widzenia funkcjonalności oraz wykorzystania systemu informatycznego, niezbędne jest określenie jego miejsca w strukturze przedsiębiorstwa poligraficznego.

3.1. Miejsce systemu informatycznego w procesach zarządzania przedsiębiorstwem poligraficznym

Jednym z podstawowych aspektów dotyczących opracowywanego Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego (dla uproszczenia w dalszej części pracy zwanego Systemem MJPP) jest jego umiejscowienie w strukturze przedsiębiorstwa. Stanowi to podstawę do określenia rodzaju i sposobu przepływu danych w przedsiębiorstwie. W tym celu istotne jest wskazanie obszaru działania Systemu MJPP w przyjętym przez ISO modelu zarządzania jakością (rysunek 3.2).



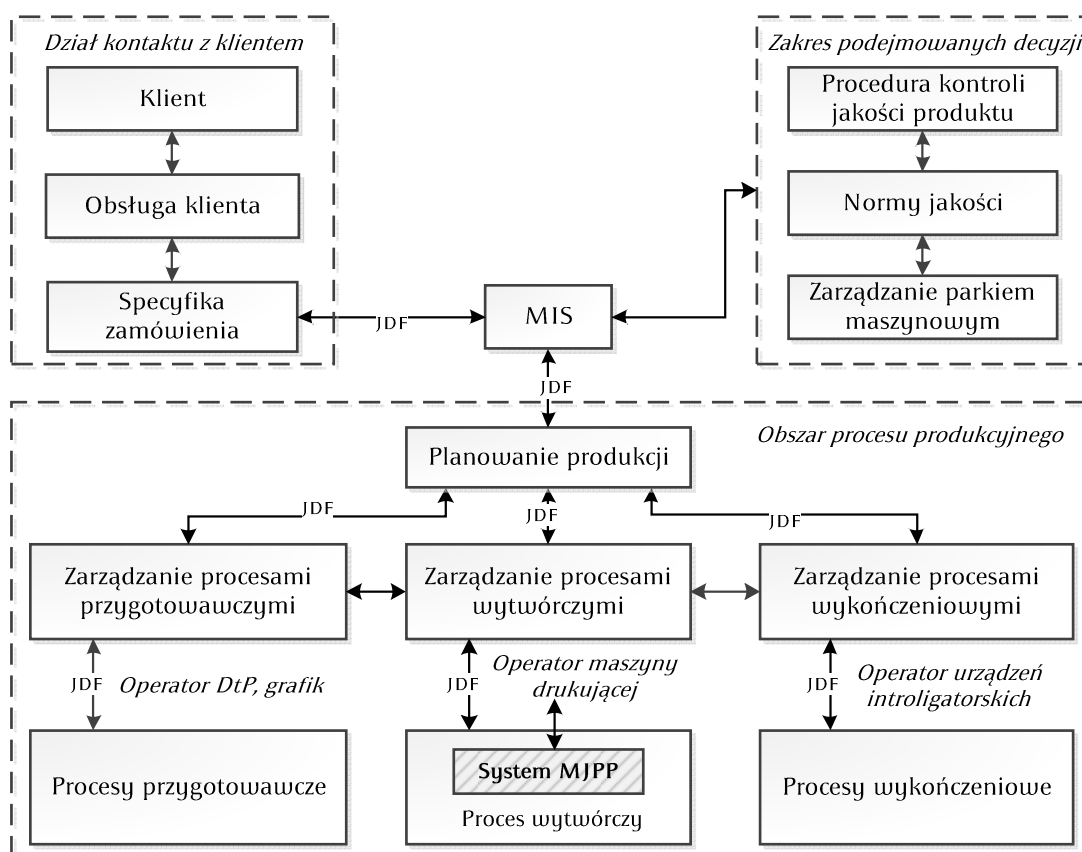
Rysunek 3.2. Umiejscowienie Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego w przyjętym przez ISO modelu systemu zarządzania jakością (opracowanie własne na podstawie ISO 9001:2008).

Jedną z naczelných zasad powyższego modelu jest podejście systemowe do zarządzania jakością, które polega na zidentyfikowaniu, zrozumieniu i zarządzaniu wzajemnie powiązаныmi procesami jako systemem (Żemigła, 2009). Niezbędny jest w tym udział Systemu MJPP, który nie tylko umożliwia kontrolę przebiegu procesu poprawy jakości, ale

także ułatwia wskazanie miejsc, w których system odbiega od normy. Miejsca w których procesy odbiegają od normy wymagają szczególnej uwagi, gdyż wystąpienie w nich niezgodności może mieć negatywny wpływ na poziom satysfakcji klientów.

Podstawową rolę w systemach zarządzania jakością pełni informacja, która jest niezbędna w procesie podejmowania decyzji dotyczących kontroli, planowania, organizowania itd. Informacja, przetworzona z danych pochodzących z różnych obszarów produkcji, jest gromadzona w systemie zarządzania informacją (*ang. Management Information Systems - MIS*). Komunikacja pomiędzy MIS a innymi systemami, w tym z Systemem MJPP, dokonywana jest za pośrednictwem Job Definition Format (JDF 1.4:2008). Format JDF został opisany w rozdziale 2.1.

Na rysunku 3.3. przedstawiono strukturę przepływu informacji w przedsiębiorstwie poligraficznym, co stanowi podstawę do określenia źródeł danych wejściowych i wyjściowych Systemu MJPP.



Rysunek 3.3. Wymiana danych Systemu MJPP w obrębie przedsiębiorstwa poligraficznego (opracowanie własne na podstawie JDF.1.4:2008).

System MJPP funkcjonuje w oparciu o informacje pochodzące z różnych obszarów zarządzania przedsiębiorstwem, które można podzielić na informacje administracyjne o kliencie i zamówieniu, informacje dotyczące

produktu, informacje przetwórcze dotyczące realizacji procesu technologicznego, informacje techniczne oraz informacje o realizowanym poziomie jakości.

W odpowiedzi system dostarcza do MIS wyniki z całego procesu monitorowania, które mogą służyć kierownictwu do celów analitycznych oraz statystycznych. Należą do nich informacje dotyczące przebiegu procesu kontroli, analizy parametrów jakości produktu oraz sposobu poprawy wad jakości produktu.

Jak już wcześniej napisano, wymiana danych następuje poprzez JDF. Jednak format ten nie obsługuje wszystkich danych wymaganych przez System MJPP, umożliwia jedynie włączenie dodatkowych bloków danych. Można również utworzyć dodatkowy kanał przesyłu danych, który powinien być kompatybilny z MIS i zapewniać bezkolizyjną transmisję danych do wszystkich obszarów zarządzania przedsiębiorstwa.

W tabeli 3.1 przedstawiono szczegółowy opis rodzaju danych wejściowych i wyjściowych w Systemie MJPP. Dane przesyłane za pośrednictwem formatu JDF oznaczono cyfrą 1.

Tabela 3.1. Rodzaje danych w Systemie MJPP (opracowanie własne).

Rodzaje danych wejściowych	Składniki danych
Dane administracyjne	– Identyfikator zamówienia¹ – Nazwa zamówienia¹ – Krótki opis zamówienia (opcjonalne)¹
Dane o produkcie	– Podgląd produktu całościowy (proof) i częściowy (separacje)¹ – Rodzaj produktu (przeznaczenie)¹ – Nakład w sztukach¹
Dane wytwórcze	– Rodzaj podłoża¹ – Informacje o kolorach, rodzaju farb¹ – Parametry rastrowania¹ – Parametry wstępnej kalibracji maszyny (strefy farbowe, registry)¹
Dane techniczne	– Parametry wytworzenia formy drukowej¹ – Specyfikacja maszyny drukującej (ilość stref farbowych, stopnie regulacji mechanizmów) – Czas eksploatacji części maszyny (łożysk, cylindrów, podkładów) – Termin ostatniej wymiany lub czyszczenia ww. części maszyny – Pozostałe informacje techniczne

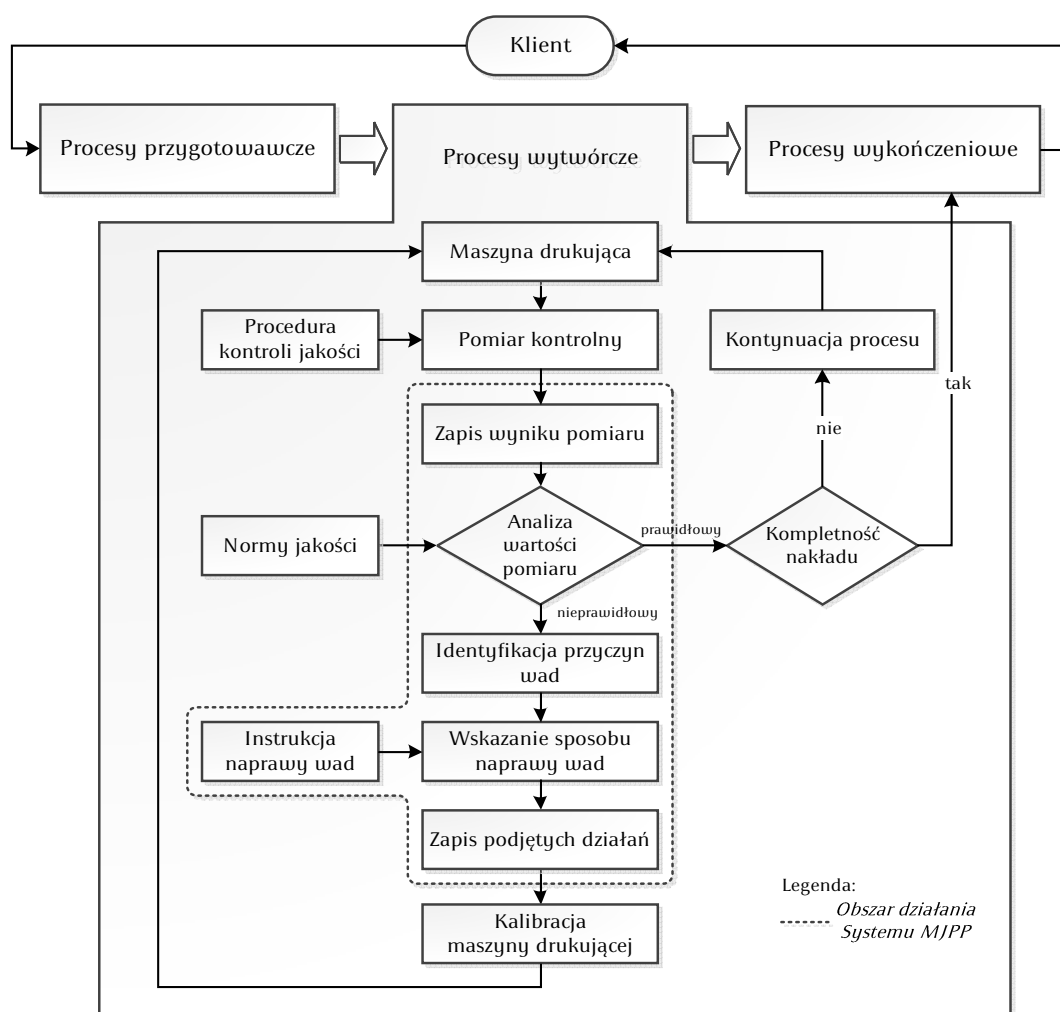
Dane jakościowe	– Rozmieszczenie kostek (pasków) pomiarowych¹ – Wykaz parametrów jakości – Tolerancje dla poszczególnych parametrów jakości produktu – Procedury kontroli jakości (sposób przeprowadzenia pomiaru, urządzenia pomiarowe)
Rodzaje danych wyjściowych	Składniki danych
Informacje dotyczące przebiegu procesu kontroli jakości	– Ilość przeprowadzonych kontroli – Częstotliwość kontroli (co ile arkuszy) – Sposób pomiaru parametrów jakości (automatyczny, ręczny, mieszany) – Wartości zmierzonych parametrów
Informacje dotyczące analizy jakości produktu	– Odchylenie wartości parametrów od norm jakości – Status parametrów po kontroli jakości – Wskazanie przyczyn wad jakości
Informacje dotyczące sposobu poprawy wad jakości	– Instrukcja naprawy wad jakości – Parametry kalibracji maszyny drukującej

Do najważniejszych aspektów związanych z obecnością systemu w przedsiębiorstwie poligraficznym można zaliczyć:

- niezależność Systemu MJPP od innych systemów informatycznych występujących w przedsiębiorstwie poligraficznym,
- niezależność Systemu MJPP od parku maszynowego, technologii druku, rodzajów produktów poligraficznych,
- działanie systemu nie jest związane z całym procesem druku, działa on tylko na etapie kontroli parametrów jakości produktu. System rozpoczyna pracę w momencie dostarczenia danych o nowym zleceniu produkcyjnym, a kończy w momencie osiągnięcia wymaganej ilości nakładu spełniającego wytyczne jakościowe stawiane przez przedsiębiorstwo i klienta. System wchodzi w stan spoczynku po każdej pozytywnej kontroli jakości produktu,
- wymiana danych z Systemem MJPP następuje poprzez MIS zintegrowanym z formatem JDF lub – w przypadku braku powyższych – za pomocą innych kanałów lub nośników umożliwiających wprowadzenie danych do systemu,
- wszystkie dane wejściowe i wyjściowe z Systemu MJPP przesyłane są w standardzie XML, który umożliwia ich szybką modyfikację,

- wymiana danych obsługiwanych przez JDF realizowana jest w ramach formatu Job Messaging Format - JMF (www.cip4.org), który umożliwia obsługę komunikatów dotyczących zlecenia. Natomiast dane nieobsługiwane przez JDF mogą być przesłane poprzez blok danych lub dodatkowym kanałem komunikacyjnym sprzężonym z innymi systemami.

Biorąc pod uwagę przebieg całego procesu kontroli jakości w procesie produkcyjnym, istotne jest wskazanie obszarów realizowanych przez System MJPP, co przedstawiono na rysunku 3.4.



Rysunek 3.4. Obszar działania Systemu MJPP w procesie kontroli jakości (opracowanie własne).

System MJPP stanowi główną część procesu kontroli jakości, która realizuje zadania analizy zmierzonych parametrów jakości produktu poligraficznego, identyfikacji przyczyn wykrytych wad jakości oraz

wskazania sposobu ich naprawy. Pozostałą część stanowią działania operatora zmierzające do usunięcia wad, np. poprzez ponowną kalibrację maszyny drukującej, zmianę warunków otoczenia, dobór innych materiałów eksploatacyjnych.

3.2. Charakterystyka danych w Systemie Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego

Jak już wcześniej wspomniano, do prawidłowej pracy proponowany System Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego wymaga dostępu do informacji na temat:

- parametrów kontroli jakości produktu (wykaz parametrów, metoda pomiaru oraz tolerancje),
- produktu poligraficznego (parametrów zlecenia produkcyjnego),
- parametrów technicznych maszyny drukującej,
- warunków procesu produkcyjnego.

Dane na temat parametrów kontroli jakości produktu. Do przeprowadzenia kompleksowej analizy jakości produktu poligraficznego system potrzebuje wykazu kontrolowanych parametrów wraz z dopuszczalnymi przedziałami wartości dla każdego z nich, a także sposobu ich pomiaru. Wszystkie powyższe czynniki określone są przez przedsiębiorstwo poligraficzne w procedurze kontroli jakości.

Lista kontrolowanych parametrów może być różna, dlatego system MJPP powinien uwzględniać jak największą ich ilość. Jedną z pierwszych norm jakości PN-80/P-55207:1980 definiuje aż 38 możliwych wad odbitek drukarskich, a późniejsza aktualizacja w postaci normy BN-88/7414-04:1988 dodatkowo je szereguje w zależności od przeznaczenia produktu na wydawnictwa i akcydensy wydawnicze, akcydensy informacyjne i manipulacyjne oraz akcydensy opakowaniowe i przemysłowe. Niektóre z parametrów wymagały utworzenia osobnych norm dla doprecyzowania metod pomiarowych, klas jakości i innych uwarunkowań np. BN-75-7419-02 zawiera dodatkowe wytyczne dla pasowania barw, a BN-80-7439 dla gęstości optycznej. Choć niektóre z powyższych norm mają około 30 lat, to duży okres czasu do wydania następnych spowodował ich bardzo szerokie upowszechnienie. Obawa przedsiębiorstw przed przejściem na nowsze normy spowodowana jest sporą reorganizacją produkcji i kosztem, tym bardziej że poziom jakości produktów może nie ulec zmianie. Niemniej jednak, jeżeli przedsiębiorstwo planuje rozszerzyć działalność o rynki europejskie stosowanie norm międzynarodowych jest dużym atutem. Jedyną międzynarodową normą jakości jest ISO 12647, która obejmuje siedem części. Pierwsza z nich opisuje ogólne pojęcia i parametry, które

należy uwzględnić podczas standaryzacji procesu związanego z wyglądem odbitki drukarskiej. Każda kolejna dotyczy specyficznej technologii druku: offsetowej, gazetowej, wklęsłej, sitowej, wypukłej, cyfrowej. Wykaz wszystkich norm poligraficznych można znaleźć w opracowaniu COBRPP (Wykaz norm poligraficznych z zakresu technologii i materiałów, 2005).

Każda z norm zawiera zakres tolerancji, czyli maksymalną odchyłkę dla poszczególnych parametrów jakości. Zakres tolerancji ustalany jest dla konkretnych warunków druku, np. w przypadku normy ISO 12647 dla pięciu ściśle określonych kategorii papieru. Zmiana warunków druku wymusi na przedsiębiorstwie dobór nowych tolerancji zgodnych ze specyfiką procesu produkcyjnego.

Aktualny (w konkretnym momencie procesu druku) stan jakości produktu poligraficznego określany jest podczas kontroli jakości. Osoba odpowiedzialna wykonuje pomiar poszczególnych parametrów, a następnie wprowadza zmierzone wartości do Systemu MJPP. W zależności od systemu pomiarowego wartości mogą być wprowadzone na dwa sposoby: automatycznie lub ręcznie. Jeżeli przedsiębiorstwo posiada system pomiarowy zainstalowany w maszynie drukującej lub samodzielne urządzenia pomiarowe z opcją przesyłu danych (najpopularniejsze), wtedy po wykonaniu pomiaru zmierzone wartości są automatycznie wczytywane do Systemu MJPP. Jeżeli nie ma takiej możliwości, istnieje możliwość ręcznego wprowadzenia danych poprzez np. ekran dotykowy.

Pomiarów dokonuje się na specjalnych paskach kontrolnych drukowanych razem z obrazem i umieszczanych na marginesie zadrukowywanych arkuszy. Paski kontrolne przyjmują formę kwadratowych pól zaprojektowanych w taki sposób, aby uwypuklić pewien konkretny parametr związany z procesem druku. Składają się one z pól o pełnym pokryciu (apla) i rastrowanych farb triadowych oraz kolorów wypadkowych powstających z nałożenia na siebie kilku farb. Pomiar wykonuje się za pomocą specjalistycznych urządzeń pomiarowych takich jak densytometry, kolorymetry czy mikroskopy (np. firmy X-Rite).

Ilość wykonywanych pomiarów, czyli ilości wydrukowanych arkuszy po których należy przeprowadzić kontrolę, określona jest w procedurze kontroli jakości. Wybór schematu kontroli zależy od przedsiębiorstwa poligraficznego, ale najczęściej przeprowadza się ją metodą kontroli partia za partią (Hryniewicz, 1996).

Dane na temat produktu poligraficznego. Informacje na temat produktu poligraficznego można podzielić na informacje pochodzące z zamówienia klienta oraz ustalane podczas tworzenia zlecenia produkcyjnego. Wszystkie informacje opisujące produkt poligraficzny mogą być wprowadzone do systemu przy pomocy JDF 1.4:2008 lub ręcznie poprzez wybranie z listy odpowiednich opcji. Informacjami niezbędnymi do prawidłowej pracy systemu są: rodzaj podłoża (papier, folia, tworzywo sztuczne, itd.), właściwości podłoża (gramatura, rodzaj powlekania, itd.), zastosowany kolor/rodzaj farby (kolory triadowe, specjalne), parametry przygotowania

formy drukowej (parametry rastra), parametry druku (właściwości zalewek, rozdzielczość obrazu), rozkład tonów na obrazie (projekcie). Z powyższych informacji, rodzaj i właściwości podłoża oraz rodzaj farby są brane pod uwagę w procesie analizy parametrów jakości produktu dla określenia prawidłowych przedziałów wartości. Pozostałe parametry uzupełniają bazę wiedzy w celu późniejszej identyfikacji przyczyn wykrytych wad. Ważną informacją jest wstępny rozkład tonów na obrazie (projekcie), stanowiący jeden z parametrów druku podczas tworzenia zlecenia produkcyjnego. Obrazuje on w jakim stopniu powinny być nafarbione poszczególne sektory drukowanego obrazu. Będzie on później wykorzystany do sprawdzenia odchylen między zadanymi a proponowanymi parametrami ustawień maszyny drukującej.

Informacje o produkcie poligraficznym są określane w fazie przygotowawczej przy pomocy specjalistycznego oprogramowania np. do przepływu prac ACCSH PuzzleFlow (<http://www.puzzleflow.pl>), i jako cyfrowy plik dołączony do zlecenia produkcyjnego jest przekazywany do fazy wytwórczej procesu poligraficznego.

Dane o parametrach technicznych maszyny drukującej. Moduł Systemu MJPP odpowiedzialny za identyfikację oraz wskazanie sposobu naprawy wad jakości opiera swoje działanie m.in. w oparciu o parametry maszyny drukującej zawarte w jej specyfikacji technicznej. Zawiera ona opis funkcjonowania maszyny, jej budowę i przeznaczenie, ale również takie parametry jak formaty papieru do zadrukowania (przeważnie podawany jest największy format), maksymalną grubość materiału do zadruku, wydajność maszyny w tysiącach arkuszy na godzinę, itd. Na odwzorowanie wymaganego poziomu jakości produktu wpływ mają wszystkie mechanizmy maszyny drukującej, ale tylko niektóre z nich są możliwe do regulacji przez operatora. Analiza tych obszarów została przeprowadzona w rozdziale 3.3.

Dane eksploatacyjne maszyny drukującej. Kolejną kwestią jest stan techniczny maszyny, który istotnie wpływa na odwzorowanie jakości produktu i musi być uwzględniony w procesie badania przyczyn i poszukiwania rozwiązań wad jakości. Stan techniczny dotyczy głównie eksploatacji części maszyny, np. łożysk, formy drukowej, gumy offsetowej. Czas eksploatacji jest podawany przez producentów maszyn i materiałów poligraficznych i musi być przestrzegany przez przedsiębiorstwa. System MJPP umożliwia wprowadzenie daty wymiany części oraz zalecanego okresu eksploatacji, a w przypadku wykrycia związku pomiędzy tymi częściami, a wadami jakości przypomina o konieczności ich wymiany lub konserwacji.

Dane z procesu produkcyjnego. Ostatni aspekt stanowią informacje o otoczeniu procesu druku, które mogą wpływać na odwzorowanie jakości produktu. Wynikają one głównie z warunków panujących na hali

produkcyjnej oraz warunków przechowywania materiałów eksploatacyjnych. Najważniejszym parametrem jest temperatura i wilgotność powietrza, która powinna być utrzymywana na poziomie zalecanym przez producenta. W praktyce stosuje się klimatyzowane pomieszczenia, których regulacja odbywa się w sposób automatyczny. Jednak w przypadku nieprawidłowego rozlokowania maszyn drukujących (np. w rogu hali) kumulacja powietrza może spowodować rozrzedzenie farby lub zwiększoną chłonność papieru (Jakucewicz, 1999).

Przedstawione powyżej dane są niezbędne do prawidłowego działania proponowanego systemu oraz zapewnienia wymaganej jakości produktom poligraficznym. Ze względu na specyfikę procesu poligraficznego przejawiającą się dużą różnorodnością zamówień klientów, przedstawione dane muszą być cały czas zbierane i aktualizowane. Oznacza to, że próby ich zebrania w formie danych statystycznych nie będą możliwe do wykorzystania z uwagi na dezaktualizację w stosunku do bieżącej sytuacji.

3.3. Analiza parametrów jakości produktu poligraficznego oraz przyczyn wpływających na wartości wskaźników jakości

W celu identyfikacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego niezbędne jest przeprowadzenie analizy istotnych parametrów jakości, a następnie dla każdego z nich określenie obszarów odpowiedzialnych za ich nieprawidłowe odwzorowanie.

Jak już wcześniej wspomniano, dobór ilości parametrów jakości i zakresu ich dopuszczalnych wartości jest indywidualny dla każdego przedsiębiorstwa i określany w procedurze kontroli jakości. Jednakże na podstawie literatury oraz analizy rynku przedsiębiorstw poligraficznych, można przedstawić ogólny zarys zagadnienia.

Wyróżnić można około 11 najważniejszych parametrów kontroli jakości produktu poligraficznego (Breede, 2006), które rozpatrując pod kątem metody pomiarowej można podzielić na trzy grupy (Zaikin, Olejnik-Krugły, 2007):

- Parametry wizualne,
- Parametry densytometryczne,
- Parametry kolorymetryczne.

Zadaniem pierwszej grupy parametrów jest określenie ogólnego stanu wydruku w sposób wizualny za pomocą wzroku lub urządzeń powiększających (np. mikroskopy lub lupy posiadające podziałki noniuszowe umożliwiające określenie wartości błędu w mikrometrach)

zwracając szczególną uwagę na rozmazania obrazu, braki lub zaniki rysunków, nienaturalne miejscowe pogrubienia w obrazach i tekstach, dodatkowe elementy przebijające z drugiej strony lub powtórzenia obrazów, zabrudzenia od niedrukujących elementów formy drukowej (tzw. smolaki), różne zachlapania, zabrudzenia, smugi, rysy, niepokrywanie się stron (PN-80/P-55207). Panàk (Panàk *et al.*, 2005) klasyfikuje ww. wady wprowadzając następujące nazewnictwo parametrów:

- Pasowanie (*ang. fitting, registration*) definiowane jest jako synchronizacja obrazu na odbitce lub stopień dokładności pokrywania się obrazu z kolejnych form drukowych – z kolejnych wyciągów barwnych (Markowski, 2010).
- Dublowanie (*ang. doubling, ghosting*) definiowane jest jako wada druku objawiająca się na odbitce podwójnym, nieostro zarysowanym obrazem (Heidelberg, 2007).
- Murzenie (*ang. ghost printing*) jest deformacją geometrii elementów drukujących, czyli punktów rastrowych, w wyniku czego na odbitce powstaje zamazany obraz (Destree, 2007).
- Cętkowanie (*ang. mottling*) jest efektem marmurkowatości w postaci nieregularnych, kilkumilimetrowych plamek (Rajnsz, 2011).
- Odwzorowanie elementów graficznych i tekstowych (*ang. graphic and text elements*) polega na ocenie dokładności prowadzenia wstęgi farby na podłożu drukowym (Bann, 2006).

Drugą grupę stanowią parametry densytometryczne służące do określania stopnia rozproszczenia farby na arkuszu drukarskim. Ocena tych parametrów wykonywana jest poprzez pomiar pól kontrolnych za pomocą specjalistycznych urządzeń densytometrycznych np. 528 firmy X-Rite. Sygnałem świadczącym o nieprawidłowościach są widoczne różnice w pokryciu farbą, nierównomierność tonów, wylewy kałamarzykowe przy brzegach rysunków, zaciemnienia, zanik szczegółów obrazów, niski kontrast pomiędzy jasnymi i ciemnymi partiami obrazu, zatonowanie obrazu w postaci plam oraz połączeń elementów, niska intensywność druku, itp. Wady te można opisać za pomocą następujących parametrów jakości:

- Gęstość optyczna (*ang. optical density*) definiowana jest jako logarytm dziesiętny odwrotności zdolności przepuszczania lub odbijania światła przez dany materiał. Gęstość optyczna określa ilość promieniowania przechodzącego przez materiał przeświecalny (diapozytyw lub negatyw) lub odbitego od materiału nieprzeświecalnego (odbitka drukarska) (Kippan, 2001). Im większa wartość gęstości optycznej tym większa absorbcja (pochłanianie) światła, a mniejsza ilość światła odbitego lub przechodzącego. Przedstawione zjawisko wykorzystywane jest w poligrafii do pomiaru grubości farby nanoszonej na odbitkę drukarską.
- Kontrast druku (*ang. print contrast*) jest stosunkiem luminacji najjaśniejszego do najciemniejszego tonalnego szczegółu

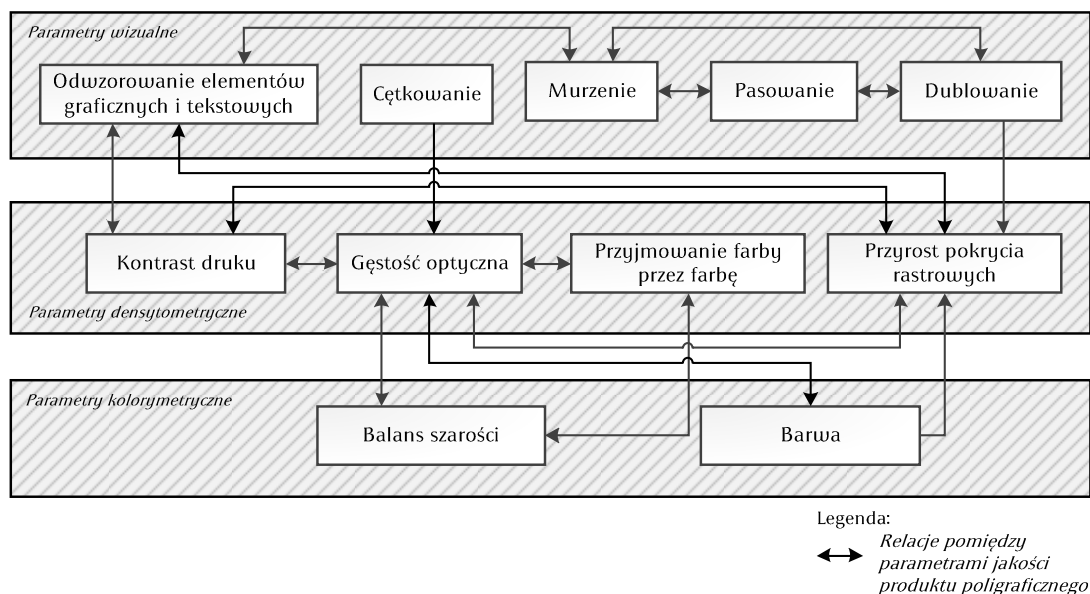
reprodukowanego obrazu i stanowi miarę prawidłowego odwzorowania tonów na odbitce drukarskiej (Breede, 2006). Kontrast druku określa zdolność procesu reprodukcji do odwzorowywania detali z ciemnych partii oryginału.

- Przyrost pokrycia rastrowego (*ang. dot gain*) jest efektem powiększania punktu rastrowego (element rastrowanego obrazu) w wyniku rozciągania warstwy farby na podłożu drukarskim podczas przechodzenia wstęgi papieru przez zespoły farbowe (Hoshino, 2008).
- Zdolność przyjmowania farby przez farbę (*ang. ink trapping*) jest zdolnością przyjmowania farby drukarskiej przez wcześniej wydrukowaną farbę na tym samym podłożu drukarskim (Heidelberg, 2007).

Ostatnią grupę stanowią parametry kolorymetryczne pozwalające określić różnice w odcieniach barwy. Ocena tych parametrów wykonywana jest poprzez pomiar pól kontrolnych za pomocą specjalistycznych urządzeń kolorymetrycznych np. Eye-One firmy X-Rite. Sygnałem świadczącym o nieprawidłowościach jest występowanie różnej, w porównaniu z wzorem intensywności, barwy na zadrukowanych miejscach odbitek, pokrycie drobnymi plamkami zadrukowanych płaszczyzn rysunku (apli) o zbliżonej do siebie wielkości i nieco mniejszym nasileniu (groszkowanie), niezgodność koloru w różnych miejscach, itp. Występują tutaj dwa parametry, w tym jeden będący nazwą grupy:

- Barwa (*ang. color*) najczęściej określana przez pozycję w trójwymiarowej przestrzeni, wyrażonej współrzędnymi LAB. System LAB dzieli informację o barwie na jasność (L^*) i informację o odcieniu (a^* , b^*) – na osiach czerwony-zielony (a^*) i żółty-niebieski (b^*). Jasność barwy zmienia się w miarę pionowego przesuwania się w przestrzeni od $L^*=0$ (czarny) do $L^*=100$ (biały) (Sharma, 2006). Numeryczny opis barwy za pomocą powyższych trzech składowych pozwala również wyznaczyć różnice pomiędzy odcieniami poszczególnych barw. Parametr ten nazywany jest ΔE (Delta Error) i oznacza odległość pomiędzy mierzonym punktem a jego idealną lokalizacją w przestrzeni barwowej lub innym punktem (Rajnsz, 2009).
- Balans szarości (*ang. grey balance*) polega na dobraniu takiej kombinacji kolorów procesowych (CMYK), aby zachować równowagę kolorystyczną w kolorach neutralnych, czyli szarościach (Kappele, Raffaldi, 2006).

Pomiędzy wszystkimi ww. parametrami istnieją w większym lub mniejszym stopniu powiązania, które wywołują pewne zależności przekładające się na jakość produktu. Zostały one przedstawione na rysunku 3.5.

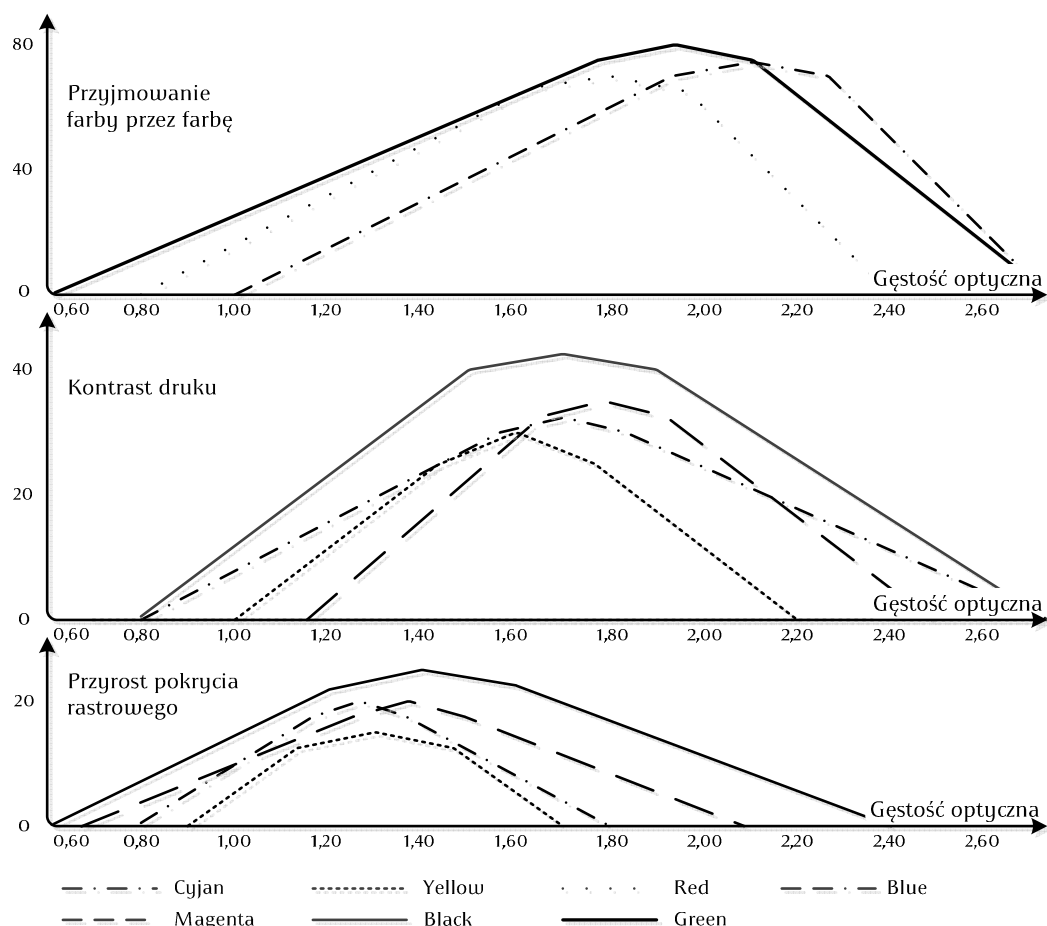


Rysunek 3.5. Zależności pomiędzy parametrami jakości produktu poligraficznego (opracowanie własne).

Problemy związane z zależnością parametrów i ich wpływem na jakość produktu poligraficznego są tematem rozważań wielu ekspertów, chociażby Destree (Destree, 2007), Kipphan (Kipphan, 2001), Breede (Breede, 2006), Panák (Panák *et al.*, 2005) i wielu innych. Przykładowo, rozpatrzmy grupę parametrów densytometrycznych. Na podstawie analizy matematycznej przedstawionej u Breede (Breede, 2006) wszystkie parametry z tej grupy opierają się na pomiarze gęstości optycznej. Zbyt niska jej wartość przejawia się małą intensywnością druku, zanikiem szczegółów oraz spadkiem ostrości krawędzi obrazu, przy czym wady te mogą wystąpić na całej szerokości arkusza drukarskiego lub tylko na jego części. Zbyt duża wartość gęstości optycznej powoduje rozlewanie farby, co wpływa na zanik szczegółów w cieniach i przejściach tonalnych oraz utratę ostrości obrazu. Wpływ gęstości optycznej na pozostałe parametry jest nieliniowy tzn., że po przekroczeniu pewnego progu jakość odbitki gwałtownie spada. W przypadku kontrastu druku zbyt duża wartość gęstości optycznej powoduje zwiększenie nasycenia powierzchni i zanik szczegółów w cieniach oraz utratę ostrości krawędzi. Na przyrost punktów rastrowych negatywny wpływ ma zarówno niska jak i wysoka wartość gęstości optycznej i powoduje, m.in. przyciemnienie obrazu w tonach ciemnych, miejscowe przebarwienia, brak gładkiego przejścia tonalnego. Dodatkowo, na przyrost punktów rastrowych ma wpływ nierównomierne podawanie lub przyjmowanie warstwy farby przez uprzednio nadrukowaną farbę.

Powyższy przykład przedstawia złożone relacje pomiędzy zaledwie niektórymi parametrami jakości. Do przybliżenia zagadnienia posłużono się eksperymentem, którego celem było zbadanie wpływu gęstości optycznej

na pozostałe parametry jakości, a następnie określenie dla każdego z nich optimum w stosunku do norm ogólnych, w tym przypadku ISO 12647-2:2007. Dokładny stopień wpływu parametrów na jakość określono na podstawie pomiarów arkuszy wydrukowanych zgodnie z normą ISO 12647-2:2007 (kategoria papieru 1). Wyniki przedstawiono na rysunku 3.6.



Rysunek 3.6. Zależność parametrów jakości względem gęstości optycznej na podstawie ISO 12647-2:2007 (opracowanie własne).

Dla wartości gęstości optycznej mieszczących się w widełkach tolerancji, pozostałe parametry jakości nie spełniały wymagań jakościowych. Przykładowo, gęstość optyczna dla magenty powinna wynosić 1,50, i przy takim odwzorowaniu wartość kontrastu druku była niższa względem progu jakości. Podobnie zachowywał się przyrost pokrycia rastrowego. Próg jakości został również określony na podstawie normy ISO 12647-2:2007. Sytuacja wygląda podobnie w przypadku parametru określającego stopień przyjmowania farby przez farbę (trap), który z założenia im wyższy, tym lepszy stopień sklejenia warstw farb. Zatem, wraz ze zwiększeniem wartości gęstości optycznej, trap również będzie się

zwiększał, ale w to miejsce pogorszeniu ulegną pozostałe parametry jakości: kontrast druku i przyrost pokrycia rastrowego.

Przedstawione powyżej rozważania pokazują, jak ważne jest rozpatrywanie jednocześnie wszystkich parametrów wpływających na końcowy wynik jakości produktu. Zmiana wartości jednego z nich może przynieść negatywne (przeważnie) skutki w stosunku do pozostałych. Najtrudniejszym zadaniem jest dopasowanie przedziałów tolerancji poszczególnych parametrów do konkretnych wymagań jakościowych produktu.

Analiza przyczyn wpływających na wartości wskaźników jakości produktu poligraficznego. Bez względu na specyfikę przedsiębiorstwa i rodzaj produktu, pochodzenie wad jakości produktu poligraficznego może być związane z czterema obszarami (w kolejności od najrzadziej spotykanych):

- Warunkami procesu druku,
- Eksploatacją maszyny drukującej,
- Błędami popełnionymi w procesach przygotowawczych,
- Nieprawidłowy dobór parametrów ustawień maszyny drukującej.

Pierwsza grupa przyczyn wpływających na wartości wskaźników jakości produktu związana jest z warunkami panującymi wokół procesu druku. Należą do nich temperatura i wilgotność pomieszczenia, mogące wpływać na właściwości podłoża przygotowanego do zadruku, które z kolei może wywołać lawinę problemów z praktycznie każdym parametrem jakości. Przykładowo, wilgotny lub wysuszony papier będzie nieprawidłowo absorbował farbę, co spowoduje smugi, rozmazania, zabrudzenia bądź nieprawidłowe odwzorowanie kolorów. Bardzo ważna jest sterylność hali produkcyjnej, gdyż zapylenie powietrza spowoduje dostanie się do maszyny pyłków kurzu bardzo trudnych do usunięcia. Likwidacja tej grupy przyczyn może nastąpić poprzez montaż czujników i regulatorów parametrów środowiska.

Drugą grupę stanowią problemy z eksploatacją maszyny drukującej. Mogą to być usterki mechaniczne np. ułamanie części, nieprawidłowości związane ze stanem technicznym maszyny, której naprawa dokonywana jest w ramach usług serwisowych. Wady związane z eksploatacją maszyny drukującej mogą dotyczyć np. wymiany łożysk w przypadku występowania murzenia, wymiany wałków farbowych, wymiany lub konserwacji obciążu gumowego, konieczności wymiany offsetowych form drukowych po wydrukowaniu ok. 30 tys. sztuk arkuszy (w zależności od producenta), uzupełnienie lub wymiana roztworu zwilżającego czy konieczność oczyszczenia mechanizmów maszyny. W tym przypadku należy przestrzegać czasu użytkowania i z góry zaplanować przestój maszyny.

Trzecia grupa przyczyn wpływających na wartości wskaźników jakości produktu związana jest z błędami popełnionymi we wcześniejszych

etapach procesu produkcyjnego lub nieprawidłowym doбором materiałów. Najczęstszą przyczyną wad jest forma drukowa, a konkretniej nieprawidłowy dobór parametrów rastra, liniatury, progów zalewek. Kłopoty z przyrostem punktów rastrowych mogą być spowodowane nieprawidłowym naświetleniem formy drukowej. Liczną grupę stanowią błędy związane z zastosowaniem materiałów nie przystosowanych z danego procesu druku np. nieprawidłowy dobór farby lub roztworu zwilżającego może zaburzyć równowagę kolorystyczną odbitki drukarskiej, elastyczny i podatny na rwanie papier będzie wykazywał tendencję do przemieszczania, a więc wystąpią kłopoty z pasowaniem i dublowaniem. Likwidacja tej grupy przyczyn wymaga zastosowania odpowiednich materiałów oraz przygotowaniem nowej formy drukowej.

Ostatnia grupa przyczyn wynika z nieprawidłowego doboru parametrów ustawień maszyny drukującej. Grupa tych przyczyn jest najtrudniejszą grupą wymagającą nie tylko identyfikacji owych mechanizmów, ale również znalezienia korelacji pomiędzy nimi, a parametrami jakości produktu poligraficznego. Destree (Destree, 2007) identyfikuje trzy obszary potencjalnych przyczyn wad:

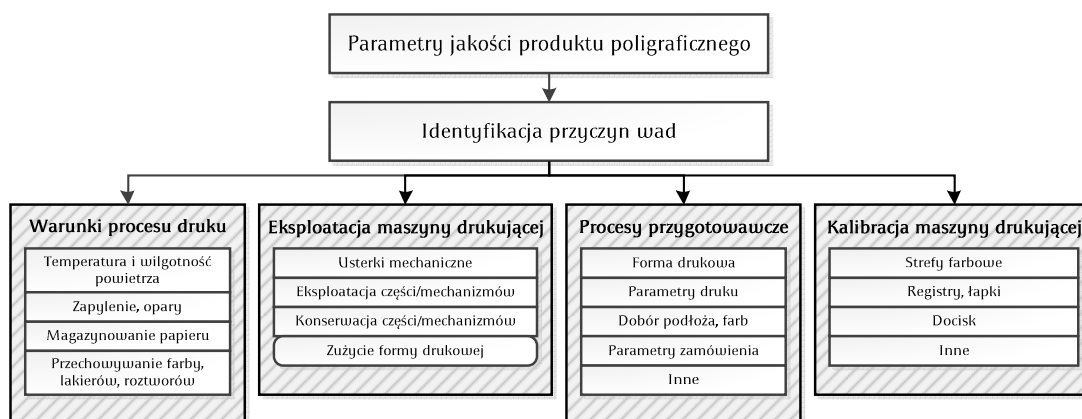
- W układzie wodno-farbowym: strefy farbowe, docisk pomiędzy wałkami farbowymi i wodnymi.
- W układzie drukowania: docisk pomiędzy cylindrami.
- W układzie transportującym: przemieszczenie registrów i łapek.

Nieprawidłowo wyregulowany docisk pomiędzy cylindrami wpływa negatywnie na wszystkie parametry jakości – zbyt duży nacisk np. cylindra offsetowego powoduje poślizg przy drukowaniu na papierach powlekanych, co powoduje występowanie efektu murzenia, zbyt duży nacisk pomiędzy formą drukową a obciążeniem powoduje rozpląszczenie punktów rastrowych czyli niekontrolowany przyrost pokrycia rastrowego, z kolei zbyt mała siła styku powierzchni cylindra zakłóca prawidłowe przenoszenie farby co prowadzi do zmniejszenia gęstość optycznej lub powstawania efektu dublowania.

Szerokość otwarcia szczelin stref farbowych, a w konsekwencji ilość przekazywanej na podłoże farby przekłada się bezpośrednio na wartość gęstości optycznej, a ona na stopień przyrostu wartości rastrowych i kontrastu druku, a także w sposób pośredni wpływa na występowanie efektu murzenia i dublowania. Regulacja stref farbowych cechuje się dużą niestabilnością. Wskutek działania różnych czynników, np. zmiany temperatury w hali maszyn w ciągu dnia lub związanej z porą roku powoduje rozwodnienie farby, która szybciej przedostaje się przez szczeliny - istnieje konieczność kilkukrotnej rekonfiguracji ustawień stref farbowych podczas jednego procesu druku zamówienia.

Regulacja elementów transportujących papier wzdłuż całej maszyny drukującej odbywa się poprzez elementy pomocnicze stołu transportowego takie jak miarki (przednie i mierzyna boczna) i łapki. Miarki zapewniają

wyrównanie i płynne przejście arkusza przez maszynę z dokładnością do ok. 0,02mm. Zadaniem łapek jest chwycenie arkusza i przekazanie go od podajnika do łapek zespołu drukującego. Pobieranie i przekazywanie arkuszy odbywa się również z dokładnością do ok. 0,02mm. Nieprawidłowe ustawienie miarek i łapek powoduje głównie błędy pasowania, niekiedy też efekt dublowania i murzenia. Regulacja elementów transportujących jest stosunkowo prosta i polega na korekcie przesunięcia o odległość wynikającą z pomiaru znaczników pasowania na odbitce drukarskiej. Klasyfikację obszarów pochodzenia wad jakości produktu przedstawiono na rysunku 3.7.



Rysunek 3.7. Przyczyny pochodzenia wad jakości produktu poligraficznego (opracowanie własne).

Analizując charakter, stopień złożoności oraz trudność w likwidacji wad jakości można powiedzieć, że:

1. Dla wad wynikających z warunków procesu druku, eksploatacji maszyny drukującej i procesów przygotowawczych:
 - Wady jakości najczęściej spowodowane są błędami lub niedopatrzzeniami pracowników uczestniczących w procesie produkcyjnym.
 - Określenie przyczyn wad jest jednoznaczne, np. rozwiązanie problemu nieprawidłowego doboru papieru polega na jego wymianie.
 - Likwidacja wad jest stosunkowo prosta, gdyż naprawie podlega jeden czynnik i znane jest oddziaływanie na niego wykrytej wady np. nieprawidłowa liniatura rastra formy drukowej zostaje zlikwidowana poprzez przygotowanie nowej formy z dobrymi ustawieniami.
 - Odpowiedzialność operatora maszyny za powstałe wady jakości produktu jest niska – najczęściej nie są związane z operacją druku. Naprawa wymaga wiedzy inżynierskiej.

- Wady likwidowane są jednorazowo i nie powinny wystąpić do końca operacji druku.
2. Dla wad wynikających z nieprawidłowego doboru parametrów ustawień maszyny drukującej:
- Przyczyny wad jakości spowodowane są nieprawidłowym doбором parametrów ustawień maszyny drukującej do konkretnej sytuacji przez operatora.
 - Określenie przyczyn wad jest jednoznaczne, ale próba ich usunięcia lub likwidacji może wywołać inne nieprzewidziane problemy, np. nieuzasadnione zwiększenie docisku może uniemożliwić prawidłowe ustawienie stref farbowych.
 - Likwidacja wad jest bardzo trudna, gdyż naprawie podlega wiele czynników jednocześnie i sam sposób regulacji jest bardzo skomplikowany (bardzo duża ilość kombinacji parametrów).
 - Sposób likwidacji wad będzie inny w zależności od parametrów zamówienia klienta oraz wyników kontroli jakości produktu. Likwidacja wad jakości wymaga wielokrotnego doboru parametrów ustawień maszyny drukującej, po każdej nieprawidłowej kontroli jakości.
 - Odpowiedzialność operatora maszyny za powstałe wady jakości produktu jest wysoka – związana wyłącznie z operacją druku. Wymaga nie tylko wiedzy inżynierskiej, ale również wiedzy dziedzicznej oraz doświadczenia.

Przedstawiona analiza przyczyn wad jakości obejmuje bardzo dużą ilość obszarów podlegających nadzorowi operatora. Zatem, opracowując strukturę systemu informatycznego wspierającego operatora w rozwiązywaniu problemów jakości produktu, należy wziąć pod uwagę najważniejszy aspekt procesu poligraficznego – zamówienie klienta. Z uwagi, że każde zamówienie to właściwie osobny produkt, należy omawiany problem rozpatrywać z dwóch aspektów przedstawionych w artykule (Różewski, Olejnik-Krugły, 2010).

Pierwszy aspekt dotyczy problemów jednoznacznych i powszechnie występujących, nie mających związku z indywidualizmem zamówienia. Rozwiązanie tych problemów wymaga ludzkiej wiedzy, która może być zgromadzona w komputerze w formie reguł (Chilukuri, 2000). Głównym celem takiego rozwiązania jest dostarczenie ekspertyzy początkującemu użytkownikowi, a sam system występuje wtedy w roli zasobnego w wiedzę asystenta (Jackson, 1999). Ten aspekt proponowanego systemu informatycznego został przedstawiony w rozdziale 4.2.

Drugi aspekt dotyczy problemów związanych z indywidualizmem zamówień klientów, który przejawia się w rozkładzie tonów na obrazie, przejściach pomiędzy kolorami, szczegółach obrazu oraz przeznaczeniem produktu. Indywidualność każdego zamówienia wymaga przeprowadzenia

eksperymentów naukowych i opracowania modelu analitycznego pozwalającego zamodelować stochastyczną naturę procesu doboru parametrów nastawu maszyny. Ten aspekt proponowanego systemu informatycznego został przedstawiony w rozdziale 4.3.

Przedstawiona powyżej analiza źródeł informacji, powiązana z możliwością kontroli jakości produktu poligraficznego w ramach istniejącego systemu informacyjnego pozwala zaproponować model systemu informatycznego przedstawiony w dalszej części niniejszej rozprawy.

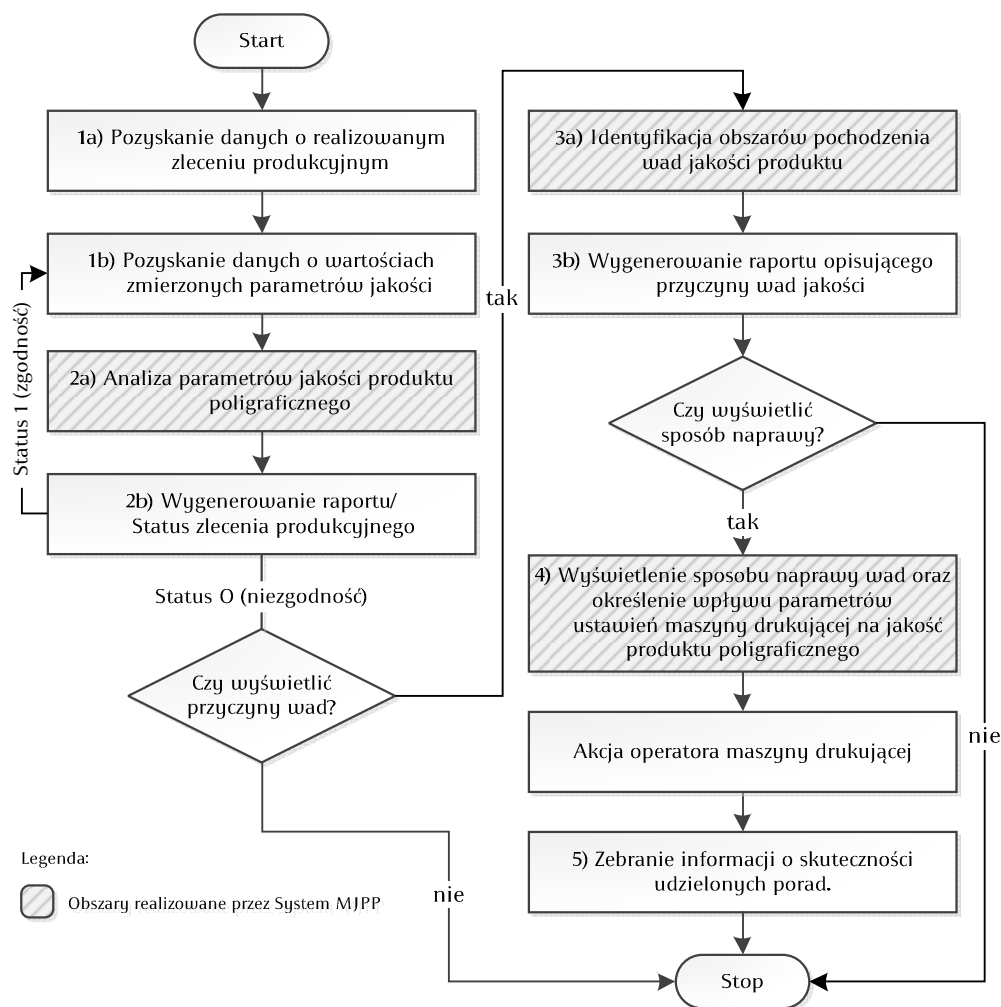
Rozdział 4

Model funkcjonowania informatycznego Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego na poziomie operacyjnym

Koncepcja Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego obejmuje: 1) wykorzystanie danych uzyskanych w formie wywiadu z ekspertami oraz własnego doświadczenia, 2) opracowanie modelu danych opisującego konkretne sytuacje procesu monitorowania jakości produktu poligraficznego, 3) interpretację uzyskanych w tym procesie danych, 4) zdefiniowanie w postaci reguł relacji pomiędzy danymi biorącymi udział w procesie kontroli jakości produktu, 5) opracowanie modelu regresyjnego opisującego wpływ parametrów nastawu maszyny drukującej na parametry jakości produktu poligraficznego, 6) opracowanie modułowej struktury systemu informatycznego.

Ogólny algorytm funkcjonowania Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego został przedstawiony na rysunku 4.1. Wyróżnić w nim można pięć głównych etapów:

- Pozyskanie danych niezbędnych do funkcjonowania systemu, czyli danych o realizowanym zleceniu produkcyjnym oraz wartości parametrów jakości zmierzonych podczas kontroli jakości produktu poligraficznego (1a, 1b na rys. 4.1).
- Analiza wartości parametrów jakości pod kątem ich zgodności z obowiązującymi normami. Wygenerowanie raportu z przeprowadzonej analizy oraz przypisanie statusu do konkretnych parametrów i całościowo do zlecenia produkcyjnego (2a, 2b na rys. 4.1).
- Identyfikacja obszarów pochodzenia wad jakości produktu oraz wyświetlenie wyników w postaci raportu (3a, 3b na rys. 4.1).
- Wyświetlenie sposobu naprawy wad i/lub wyliczenie nowych (proponowanych) parametrów nastawu maszyny drukującej odpowiadających specyfikacji zlecenia produkcyjnego w zakresie norm jakości ustalonych przez przedsiębiorstwo (4 na rys. 4.1),
- Zebranie informacji o skuteczności udzielonych porad (5 na rys. 4.1).



Rysunek 4.1. Algorytm funkcjonowania Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego (opracowanie własne).

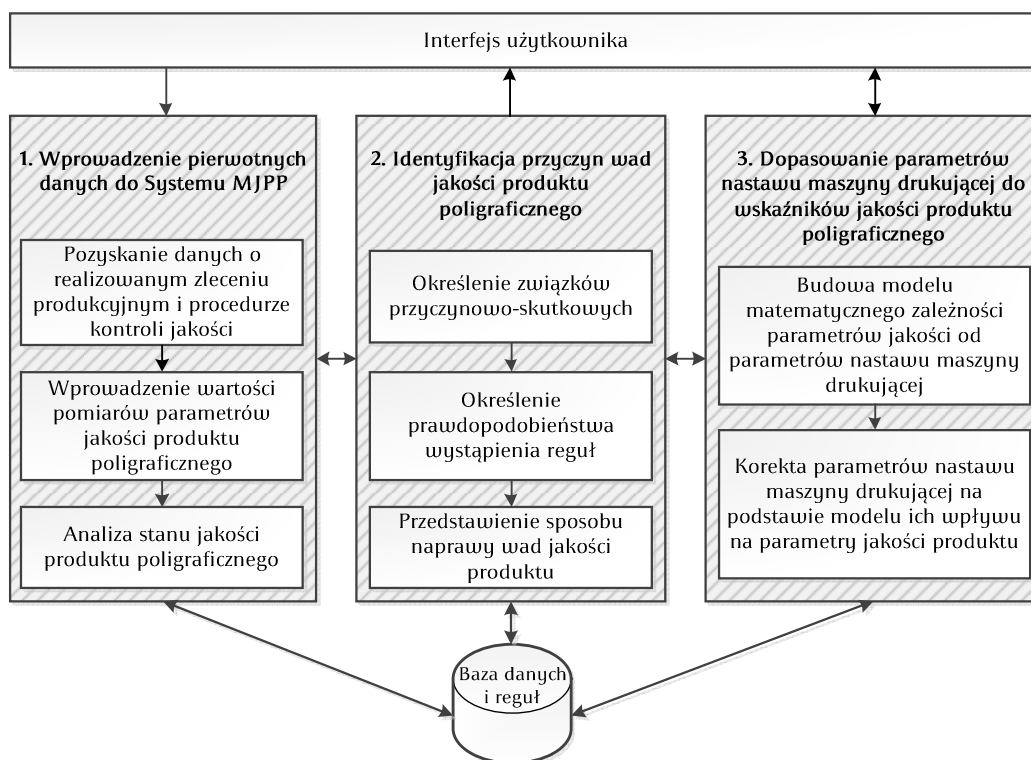
Dialog z systemem może być przerwany w dowolnym punkcie decyzyjnym, po podjęciu przez operatora decyzji o samodzielnej naprawie błędów jakości. Taka decyzja może zrównać się z poziomem skuteczności Systemu MJPP tylko w przypadku doświadczonego operatora pracującego w niezmiennych warunkach technologicznych, np. produkcja masowa.

System MJPP przechowuje dane dotyczące procedury kontroli jakości (opis sposobu pomiaru, wykaz parametrów wraz z normami jakości) opracowane ogólnie na wyższych szczeblach (poziomach) konkretnego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Jednak specyfika produktów poligraficznych wymaga dopasowania linii produkcyjnej każdorazowo dla nowego zlecenia, stąd też przy każdej operacji kontroli jakości dokonywana jest analiza zmierzonych parametrów jakości oraz identyfikacja przyczyn wykrytych wad. W przypadku przyczyn wad związanych z nieprawidłowym doбором parametrów nastawu maszyny drukującej, system określa stopień ich wpływu na parametry jakości produktu poligraficznego.

Prezentowany System MJPP jest systemem wspomagania decyzji (*ang. Decision Support System - DSS*) należącym do klasy systemów informacyjnych opartych na technologii informatycznej, które wspierają działania związane z podejmowaniem decyzji (Silver, 1991). Architektura systemów DSS składa się z trzech głównych elementów (Burstein, Holsapple, 2008):

- bazy danych zawierającej informacje o danych wewnętrznych (wbudowanych) i zewnętrznych (pozyskanych od użytkownika) niezbędnych do realizacji procesu podejmowania decyzji,
- bazy modeli zawierającej zbiór algorytmów służących podejmowaniu decyzji na podstawie informacji zawartych w bazie danych,
- interfejsu umożliwiającego komunikację użytkownika z systemem.

Według klasyfikacji Powera (Power, 2002), prezentowany System MJPP należy do klasy systemów wspomagania decyzji typu model-driven (md) oraz knowledge-driven (kd). Zatem, jest on systemem mieszanym skupiającym się na wykorzystaniu danych i parametrów użytkownika do analizy sytuacji za pomocą modeli statystycznych i symulacyjnych (md) oraz dostarczającym ekspertyz odnośnie problemu zapisanego jako fakty, reguły, procedury, itd. (kd). Struktura systemu została przedstawiona na rysunku 4.2.



Rysunek 4.2. Struktura Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego (opracowanie własne).

Główne założenia i jednocześnie wymagania wobec Systemu MJPP to:

- udzielenie poprawnych porad,
- krótki czas oczekiwania na wynik,
- niezależność od infrastruktury sprzętowej przedsiębiorstwa,
- integracja z systemami informatycznymi przedsiębiorstwa,
- stabilność,
- intuicyjność obsługi.

Krótki czas oczekiwania jest podstawą płynności procesu produkcyjnego. Realizacja działania systemu odbywa się w czasie rzeczywistym, w związku z tym zaraz po wprowadzeniu niezbędnych danych procesowych, system powinien zwracać odpowiedź w możliwie jak najkrótszym czasie.

System MJPP jest rozwiązaniem uniwersalnym pozwalającym na instalację na różnych liniach produkcyjnych, niezależnie od stosowanych maszyn drukujących. Implementacja systemu w formie aplikacji desktopowej, umożliwi jego wdrożenie na dowolnym stanowisku komputerowym wyposażonym w standardowe komponenty, bez konieczności zakupu nowoczesnej maszyny drukującej. Struktura systemu musi być zaprojektowana w taki sposób, aby umożliwić integrację z dowolnej klasy systemem istniejącym w danym przedsiębiorstwie poligraficznym. Szczególnej uwagi wymaga zaprojektowanie modelu danych, który umożliwi wymianę danych z zewnętrznymi źródłami.

Stabilność systemu, czyli stopień jego odporności na zakłócenia, powinien być zapewniony dzięki prawidłowej implementacji modeli, funkcji oraz pozostałych składników programowych.

Łatwość i intuicyjność systemu przejawia się prostym w obsłudze interfejsem użytkownika, bez konieczności zapoznawania się z instrukcją czy odbycia szkoleń. Obsługa ekranu interfejsu powinna być realizowana z użyciem paneli dotykowych z opcją słownikową, czyli odpowiedziami w formie list, tabel. Ze względu na dużą ilość danych wyświetlane informacje powinny być rozmieszczone w sposób przejrzysty, intuicyjny oraz ergonomiczny.

Dodatkowo, modułowa budowa systemu pozwala na połączenie wielu funkcji z możliwością ich obsługi w jednym miejscu oraz integracją z innymi systemami przedsiębiorstwa. Warunki integracji z zewnętrznymi systemami zostały przedstawione w rozdziale 3.1.

System MJPP funkcjonuje w oparciu o dwa rodzaje danych; bieżące oraz stałe. Dane bieżące dotyczą aktualnie realizowanego zamówienia i przechowywane są w bazie danych przez cały czas realizacji zlecenia, a ich dalsze przechowywanie może być wykorzystane na potrzeby analizy dla celów statystycznych oraz celem poszukiwania nieznanych zależności. Dane stałe dotyczą procedury kontroli jakości (metody pomiarowej, norm jakości

itp.) oraz specyfikacji maszyn i urządzeń. W przypadku norm jakości powinny być one dostarczane do systemu po każdej ich zmianie na wyższych poziomach zarządzania. Specyfikacja maszyn i urządzeń jest jednorazowo wprowadzana do systemu. Szczegółowa analiza danych w Systemie MJPP została przedstawiona w rozdziale 3.2.

Struktura bazy danych Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego. Wszystkie dane niezbędne do prawidłowej pracy Systemu MJPP przechowywane są w bazie danych sprzężonej ze wszystkimi jego modułami. Dodatkowo, moduł identyfikacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego wymaga utworzenia bazy wiedzy do przechowywania związków przyczynowo-skutkowych. Przy opracowywaniu struktury bazy danych rozpatrzono różne możliwości i najlepszym rozwiązaniem okazało się zastosowanie hybrydy architektonicznej, w której baza wiedzy będzie przechowywana w formie modelu obiektowego, którego implementacja będzie zrealizowana za pomocą bazy danych relacyjno-obiektowej (Connolly, Begg, 2010). Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest:

- przechowywanie prostych oraz złożonych relacji pomiędzy encjami (parametrami jakości produktu i parametrami nastawu maszyny drukującej) zapisanych w formie reguł,
- modyfikowanie struktur danych oraz tworzenie nowych relacji bez konieczności wprowadzania zmian w tabelach, co jest niezwykle istotne w przypadku identyfikacji nieznanymi zależności,
- przechowywanie struktur danych oraz procedur przypisanych do konkretnych obiektów,
- dziedziczenie cech poszczególnych obiektów oraz określenia pomiędzy nimi związków relacyjnych.

Wykorzystanie relacyjno-obiektowej bazy danych jest konieczne ze względu na charakter danych, gdzie dla jednych encji występują proste zależności, a dla innych konieczne jest stworzenie obiektów na których wykonywane będą dodatkowe procedury.

Na rysunku 4.3. przedstawiono diagram klas zapisany w UML reprezentujący proponowaną strukturę bazy danych relacyjno-obiektowej. W diagramie wyróżniono trzy najważniejsze klasy podstawowe i ich atrybuty i metody: Analiza_jakości, Reguła i Maszyna_drukująca. Pozostałe klasy zostały pominięte, gdyż w głównym stopniu służą do przechowywania wartości liczbowych i zasilania głównych klas. Charakterystyka klas podstawowych została przedstawiona w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Charakterystyka klas podstawowych występujących w relacyjno-obiektowej bazie danych Systemu MJPP (opracowanie własne).

Klasa	Parametry	Metody
Kontrola_jakości	– Id – numer kontroli jakości, – Data wykonania kontroli jakości, – Czas wykonania kontroli jakości, – Id_Prawdziwej przyczyny – na podstawie historii wszystkich przeprowadzonych kontroli jakości można odczytać informację o częstotliwości występowania konkretnej przyczyny wad jakości.	– Wprowadzenie, usuwanie i modyfikowanie informacji o analizie jakości w bazie, – Tworzenie, modyfikowania i usuwanie powiązań z wartościami parametru jakości.
Reguła	– Id reguły, – Opis reguły, – Wyrażenie sprawdzające – spełnienie warunku logicznego wyświetla przyczynę wad np. $(x_1 < 0 \ \& \ x_2 = 0) \parallel x_3 > 0 \Rightarrow p_1, p_2, p_3$	– Wprowadzenie, usuwanie i modyfikowanie reguł w bazie.
Maszyna_drukująca	– Id maszyny drukującej, – Nazwa maszyny drukującej.	– Wprowadzenie, usuwanie i modyfikowanie informacji o maszynie drukującej w bazie, – Tworzenie, modyfikowania i usuwanie powiązań ze zleceniem produkcyjnym.

Główne zadania Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego realizowane są poprzez moduły, których funkcjonalność została przedstawiona w dalszej części rozprawy. Należą do nich: moduł umożliwiający wprowadzenie pierwotnych danych do Systemu MJPP (rozdział 4.1), moduł identyfikacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego (rozdział 4.2), moduł dopasowania parametrów nastawu maszyny drukującej do wskaźników jakości (rozdział 4.3) oraz podejście do weryfikacji i walidacji wyników działania Systemu MJPP (rozdział 4.4).

4.1. Wprowadzenie pierwotnych danych do Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego

Do prawidłowej pracy Systemu MJPP niezbędne są dane o realizowanym zleceniu produkcyjnym, specyfikacji procesu produkcji i wytyczne procedury kontroli jakości, które zostały szczegółowo scharakteryzowane w rozdziale 3.2.

System MJPP rozpoczyna działanie w momencie określenia (przez operatora maszyny drukującej lub osobę przeprowadzającą kontrolę jakości) i wprowadzenia do systemu wartości poszczególnych parametrów jakości produktu poligraficznego. Określenie tych wartości może nastąpić w dowolny sposób, zależnie od procedur przedsiębiorstwa. Charakterystyka urządzeń pomiarowych została przedstawiona w rozdziale 2.1.

Celem modułu (moduł 1 na rys. 4.2) jest ocena stanu jakości produktu poligraficznego pod kątem wymagań jakościowych zdefiniowanych przez klienta oraz przedsiębiorstwo poligraficzne. Wymagania klienta określone są podczas składania zamówienia, a następnie indywidualnie rozpatrywane przez przedsiębiorstwo pod kątem zgodności z asortymentem wyrobów przedsiębiorstwa, możliwości produkcyjnych itp. Informacje zawarte w zamówieniu klienta oraz specyfika produkcyjna tworzą zlecenie produkcyjne, które oznaczamy jako:

$$Z_p = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_n\}$$

gdzie:

Z_p – jest zleceniem produkcyjnym dla konkretnego zamówienia klienta,

z_i – jest parametrem zlecenia produkcyjnego, $i = 1, 2, 3, \dots, n$,

n – jest ilością parametrów zlecenia produkcyjnego.

Informacje zawarte w zleceniu produkcyjnym umożliwiają odpowiednią konfigurację linii produkcyjnej. Oznacza to, że proces wykonania wyrobu zostanie rozbity na operacje technologiczne na podstawie technologii wytwarzania. Zostanie określona kolejność ich wykonywania oraz typ wykonywanych operacji, które można podzielić na obróbkowe, montażowo-demontażowe oraz kontrolne (Borkowski, Ulewicz, 2009). Wszystkie operacje, szczególnie kontrolne, wykonywane są na stanowiskach roboczych wyposażonych w specjalistyczny sprzęt oraz oprogramowanie, którego obsługa wymaga od operatora specjalistycznej wiedzy i doświadczenia. Zbiór operacji technologicznych oznaczamy jako O .

$$O = \{o_1, o_2, o_3, \dots, o_m\}$$

gdzie:

o_i – jest operacją technologiczną, $i = 1, 2, 3, \dots, m$.

Kontrola jakości poszczególnych operacji technologicznych dotyczy sprawdzenia zgodności realizacji zamówienia z parametrami zlecenia produkcyjnego w danym punkcie procesu produkcyjnego. Kontrola operacji technologicznej (druku) obejmująca κ_i parametrów jest jednocześnie kontrolą jakości produktu (Brzeziński, 2002) i oznaczona jest jako K :

$$K = \{\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \dots, \kappa_k\}$$

gdzie:

K – jest operacją kontroli jakości,

κ_i – jest parametrem kontroli jakości operacji technologicznej, $i = 1, 2, 3, \dots, k$,

k – jest ilością parametrów kontroli jakości operacji technologicznej.

Cechą charakterystyczną operacji kontroli jakości jest status, czyli stan wyrobu względem programu kontroli, który go dotyczy (ISO 9001:2008). Status operacji kontroli jakości określa, czy produkt: A) spełnia wymagania, B) nie spełnia wymagań lub C) nie został poddany jeszcze kontroli jakości. Kluczowy jest status dyskwalifikujący wyrób do dalszej realizacji procesu produkcji występujący w wyniku stwierdzenia niezgodności parametrów kontroli jakości wyrobu ze wskaźnikami zlecenia produkcyjnego. Prowadzi on do aktywacji szeregu działań identyfikacji oraz likwidacji przyczyn wad. Podstawowym elementem kontroli jakości produktu jest zbiór danych wejściowych określanych jako zbiór parametrów jakości dla konkretnego zlecenia produkcyjnego oznaczany jako X :

$$X = \{\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \dots, \kappa_r\}$$

gdzie:

κ_i – jest parametrem kontroli jakości, $i = 1, 2, 3, \dots, r$.

Dla każdego parametru jakości $x_i \in X$ istnieje zakres wartości $x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}$ określanych jako norma jakości. Wartość parametru jakości zmierzona w trakcie procesu kontroli może być różnie klasyfikowana w zależności od rodzaju tego parametru i przedziału normy jakości. Dla parametru jakości x_i spełniającego warunek $x_i > x_{imax}$ przypisywana jest flaga $b(x_i) = 1$ dla określenia położenia pomiaru powyżej górnej granicy tolerancji. Analogicznie dla parametru jakości x_i spełniającego warunek $x_i < x_{imin}$ przypisywana jest flaga $b(x_i) = -1$ dla określenia położenia pomiaru poniżej dolnej granicy tolerancji. Dla wartości parametrów zgodnych z normą jakości przypisywana jest flaga $b(x_i) = 0$, wynikająca ze spełnienia warunku $x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}$. Przykładem tak klasyfikowanych parametrów jest gęstość optyczna lub kontrast druku. Wyjątkiem od powyższego zaszeregowania są parametry wizualne (np. murzenie, dublowanie), dla których zdefiniowane są tylko dwie flagi; $b(x_i) = 2$ dla wartości parametrów x_i spełniających warunek $x_i < x_{imin} \vee x_i > x_{imax}$, oraz $b(x_i) = 0$ dla warunku $x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}$. Przypisanie powyższych flag parametrom jakości jest niezbędne w celu identyfikacji przyczyn odchyień względem norm jakości. Dla każdej flagi oznaczonej jako 1, -1 lub 2 istnieje inny zbiór czynników identyfikujących przyczynę występowania wad.

Wynik operacji kontroli jakości oznaczany jako S określa status zlecenia produkcyjnego i jednocześnie gotowość przejścia produktu do kolejnego etapu wytwarzania. Zatem, dla każdego $S(x_i)$, gdzie x_i jest parametrem kontroli jakości operacji technologicznej, $i = 1, 2, 3, \dots, k$, wartość parametru $S(x_i)$ może przyjąć postać:

$$S(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x_i < x_{imin} \vee x_i > x_{imax} \\ 0 & \text{dla } x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax} \end{cases} \quad (4.1)$$

Zatem, można sformułować następujące założenie zadania analizy jakości produktu poligraficznego. Mając dane wejściowe w postaci:

- Zbioru parametrów zlecenia produkcyjnego $Z_p = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_n\}$ zawierającego indywidualne cechy zamówienia klienta,
- Zbioru parametrów jakości produktu $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_r\}$ podlegających kontroli i określonych dla każdego rodzaju produktu w procedurze kontroli jakości przedsiębiorstwa,
- Norm jakości, definiowanych jako spełnienie warunku $x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}$ dla każdego z wyżej określonych parametrów jakości $x_i \in X$,

oraz

- dla każdego zmierzonego parametru jakości x_i określony status $S(x_i)$ taki, że dla $x_i < x_{imin} \vee x_i > x_{imax} \Rightarrow 1$ i dla $x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax} \Rightarrow 0$

należy określić status kontroli jakości produktu, gdzie:

- Status A (spełnia wymagania) dla warunku $\sum S(\kappa_i) = 0$
- Status B (nie spełnia wymagań) dla warunku $\sum S(\kappa_i) > 0$

Zatem, proces analizy jakości produktu poligraficznego kończy się przypisaniem odpowiedniego statusu kontroli jakości operacji, co jest utożsamiane ze spełnieniem lub niespełnieniem wymagań jakościowych produktu poligraficznego. Pozytywny status kontroli jakości zawiesza pracę Systemu MJPP, aż do momentu przeprowadzenia kolejnej kontroli jakości. Negatywny status, oznacza przejście do kolejnego etapu działania Systemu MJPP (moduł 2 na rys. 4.2). Należy wtedy dla każdego parametru kontroli jakości κ_i oznaczonego statusem $S(\kappa_i) = 1$ zidentyfikować przyczynę odpowiedzialną za nieprawidłowy wynik operacji kontroli jakości.

Wszystkie zebrane w tym module dane zostają wprowadzone do bazy danych i stanowią podstawę do dalszej pracy Systemu MJPP.

4.2. Metoda identyfikacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego

Drugim krokiem działania Systemu MJPP (moduł 2 na rys. 4.2) jest identyfikacja przyczyn nieprawidłowych wskaźników parametrów jakości produktu wykrytych w poprzednim kroku systemu oraz wskazanie sposobu ich naprawy.

Zadanie identyfikacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego można sformułować następująco: Mając (z poprzednich kroków działania Systemu MJPP):

- Zbiór statusów poszczególnych parametrów jakości $S(\kappa_i)$,
- Zdefiniowaną flagę dla konkretnego parametru jakości $b(\kappa_i)$,

należy określić zbiór czynników $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_l\}$ wpływających na parametr jakości κ_i dla którego $S(\kappa_i) = 1$ dla $\kappa_i < \kappa_{imin} \vee \kappa_i > \kappa_{imax}$.

Określenie związków przyczynowo-skutkowych. W najprostszym przypadku między parametrami jakości, a czynnikami (przyczynami) zachodzi relacja 1:1. Jednak, w większości przypadków będzie to relacja 1:M lub N:M. Dodatkowo, dla konkretnych wartości flag parametru jakości będą istniały różne zbiory czynników P .

Przedstawione relacje przyczynowo-skutkowe można opisać za pomocą najpowszechniejszej formy reprezentacji wiedzy – reguł (Shu-Hsien, 2005). Struktura reguł może być prezentowana w formie par warunek-akcja: Jeśli ten warunek nastąpi To zostanie podjęta następująca akcja.

Ogólna postać reguł wygląda następująco:

$$(defrule R_i \sum (x_i = b) \Rightarrow (assert (p_i))) \quad (4.2)$$

gdzie:

R_i – jest regułą, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$(x_i = b)$ – jest parametrem jakości z przypisaną flagą

$(assert(p_i))$ – przyczyna nieprawidłowej wartości parametru jakości x_i

Znajdowanie wiedzy i wyciąganie wniosków następuje na podstawie uprzednio zdefiniowanych przesłanek i predefiniowanych założeń. Ten rodzaj wnioskowania w literaturze zdefiniowany jest jako wnioskowanie w przód (Hayes-Roth, 1983). Proponowanym językiem do implementacji reguł jest Clips, gdyż w odróżnieniu od innych języków programowania, np. Prolog, oparty jest o mechanizm wnioskowania w przód (Waterman, Hayes-Roth, 2000).

Wiedza niezbędna do stworzenia reguł może pochodzić z różnych źródeł, głównie od:

- Ekspertów i specjalistów z dziedziny poligrafii i kontroli jakości, którzy reprezentują grupę osób znających teoretyczne zasady i reguły rządzące procesami wytwórczymi oraz posiadających doświadczenie pozyskane poprzez kontakt z przemysłem.
- Pracowników związanych bezpośrednio z procesami produkcyjnymi, reprezentujących grupę osób mających styczność z aktualnie realizowanym procesem, znających sprawdzone reguły działające często tylko w konkretnej sytuacji. Swoją wiedzę bardzo często opierają na intuicji.
- Producentów maszyn i urządzeń drukujących, posiadających najobszerniejszą wiedzę na temat procesów zachodzących w maszynie drukującej i zależności pomiędzy jej mechanizmami. W większości przypadków podstawowe mechanizmy zawarte są w specyfikacji technicznej maszyny.
- Producentów materiałów i części eksploatacyjnych posiadających wiedzę na temat warunków przechowywania i użytkowania różnych materiałów eksploatacyjnych np. papier, farba, forma drukowa.

Dodatkowo, uzupełnienie wiedzy o informacje pochodzące z procesu produkcyjnego pozwala wykluczyć niektóre przyczyny wad jakości produktu. Do takich informacji można zaliczyć m.in, datę wymiany materiałów eksploatacyjnych (farby, środków chemicznych), zużycie formy drukowej poprzez maksymalną ilość odbitek, temperatura i wilgotność powietrza na hali produkcyjnej.

Podstawową wiedzę na temat relacji przyczynowo-skutkowych można zgromadzić stosunkowo łatwo, opierając się na dokumentacji

produkcyjnej przedsiębiorstwa i w porozumieniu z ekspertami i specjalistami z danej dziedziny (technologii). Podstawowy wariant został zebrany w wyniku rozmów i analiz z ekspertami i został przedstawiony w załączniku nr 1, natomiast w załączniku nr 2 został przedstawiony ich zapis w postaci reguł według wzoru (4.2). Zgromadzoną wiedzę można uzupełnić o reguły odnoszące się do konkretnego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Jednak wtedy będą to reguły dedykowane konkretnej sytuacji decyzyjnej. Istnieje możliwość włączenia reguł dedykowanych do wariantu podstawowego tylko w przypadku ich analizy i pozytywnej opinii eksperta. Zatem interfejs użytkownika Systemu MJPP powinien posiadać podgląd reguł oraz mieć możliwość edycji parametrów wejściowych i wyjściowych systemu.

Określenie prawdopodobieństwa wystąpienia związków przyczynowo-skutkowych. Wynikiem pracy prezentowanego modułu jest wykaz przyczyn mogących wywołać wady jakościowe produktu. Jak już wcześniej wspomniano, zbudowane reguły prezentują jedynie ogólny charakter problemu i mogą być uszczegółowione w wyniku dodania nowych powiązań przez eksperta lub osoby upoważnione. Jednak, bez względu na ilość zidentyfikowanych związków przyczynowo-skutkowych, zawsze będzie istniał problem dezaktualizacji wiedzy. Związany jest on głównie ze zmianą warunków procesu produkcyjnego takich, jak zmiana domieszek surowców i materiałów, zwiększenie wydajności druku, ulepszenia konstrukcyjne maszyn i urządzeń, zmiany technologii wytwarzania form drukowych itd. Każda zmiana powyższych warunków powoduje, że baza wiedzy staje się niekompletna, i w wielu przypadkach identyfikuje więcej niż jedną przyczynę wad. Sytuację, w której dla takiego samego zbioru parametrów jakości istnieje więcej niż jedna przyczyna wystąpienia wad nazywany wariantem decyzyjnym w postaci:

$$W(x_1, x_2, x_3, \dots, x_r) = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_l\} \quad (4.3)$$

gdzie:

W - jest wariantem decyzyjnym dla stałych parametrów jakości x_i

p_i - jest przyczyną wady dla zestawu parametrów jakości x_i .

Przykładowy wariant decyzyjny będzie wyglądał następująco:

Dla $n = 10$ zmierzonych wartości parametrów jakości produktów trzy nie spełniały wymagań i oznaczono je flagami:

- $b(x_1) = +1$; gęstość optyczna powyżej górnej granicy normy,
- $b(x_6) = 2$; nieprawidłowe spasowanie odbitych elementów,
- $b(x_7) = 2$; zdublowanie elementów graficznych na całej powierzchni arkusza.

przy czym $b(x_2) = b(x_3) = b(x_4) = b(x_5) = b(x_8) = b(x_9) = b(x_{10}) = 0$

Dla powyższych warunków sformułowano 7 ogólnych reguł, których konkluzje przedstawiają możliwe przyczyny wykrytych wad:

- p_6 - nieprawidłowe przygotowanie formy drukowej; miejsca drukujące formy słabo przyjmują farbę,
- p_8 - problemy w zespole farbowym; za duża ilość przekazywanej na podłoże farby,
- p_9 - problemy w zespole farbowym; za mały docisk pomiędzy cylindrami,
- p_{10} - problemy w zespole farbowym; zabrudzenie wałków farbowych np. cząstkami pyłu lub włóknami papieru. Widoczne są zabrudzenia drukujących części formy oraz obciążu,
- p_{12} - nieprawidłowe przygotowanie formy drukowej,
- p_{23} - problemy z gumą offsetową (dla technologii offsetowej); wady powierzchni gumy – za lepka i/lub za wypolerowana.
- p_{25} - problemy w zespole drukującym; nieprawidłowe zamocowanie formy drukowej,

Duża ilość konkluzji stwarza trudności w likwidacji wad i dezorientuje operatora maszyny drukującej. Jedną z możliwości ulepszania wiedzy (ułatwienia operatorowi wyboru) jest dodanie do wniosków (przyczyn wad jakości p_i) wskaźnika mówiącego o sprawdzalności danej reguły w konkretnych warunkach produkcyjnych. Takie rozwiązanie przejawiać będzie cechy systemów uczących się, ale realizowane będzie w inny sposób – z wykorzystaniem podejścia Bayesowskiego.

Twierdzenie Bayesa – z definicji Hamada (Hamada *et al.*, 2008) – umożliwia przedstawienie probabilistycznych zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy dowolnymi atrybutami oraz wyciąganie wniosków o rozkładzie prawdopodobieństwa nieznanymi wartościami parametrów na podstawie znanych wartości parametrów.

Niech R będzie zbiorem reguł określających zależności pomiędzy zbiorem parametrów jakości X , a zbiorem przyczyn wad P . Dla każdej utworzonej reguły $r \in R$ określenie stopnia sprawdzalności będzie przebiegało następująco:

- Określenie zbioru danych uczących D . Zadanie realizowane jest za pomocą algorytmu zliczania poprawnych wystąpień konkretnej reguły $r \in R$ w rzeczywistości, czyli w sytuacji gdy wyeliminowała wykrytą wadę jakości produktu. Za każdym razem kiedy System MJPP wyświetli listę możliwych przyczyn wad jakości i podjęte zostaną kroki jej naprawy, operator wskazuje która z wyświetlonych reguł była rzeczywistą przyczyną wady jakości. Za każdym razem kiedy konkretna reguła zostanie wybrana, zostaje dla niej zwiększony licznik o wartość 1.

- Wyliczenie prawdopodobieństwa wystąpienia reguły $r \in R$ na podstawie wzoru Bayesa (Hamada, 2008):

$$P(r | D) = \frac{P(D | r) \cdot P(r)}{\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r')} \quad (4.4)$$

gdzie:

$P(r | D)$ - jest prawdopodobieństwem hipotezy (reguły) r po zaobserwowaniu danych D ,

$P(D | r)$ - jest prawdopodobieństwem zaobserwowania danych D przy założeniu poprawności hipotezy (reguły) r ,

$P(r)$ - jest prawdopodobieństwem wystąpienia hipotezy (reguły) r

$\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r')$ - jest sumą iloczynów dopełnień prawdopodobieństw r i $D | r$.

- Określenie mocy dla każdej z reguł wariantu decyzyjnego poprzez wskazanie, która z nich najczęściej rozwiązywała konkretny problem oraz wyliczenie prawdopodobieństwa z jakim się sprawdzi w kolejnej sytuacji.

Przyjmując, że r jest indeksem rzeczywistej przyczyny usterki, k indeksem sugerowanej przez moduł odpowiedzi, która najczęściej w przeszłości była prawdziwa, a y_k odpowiedzią sugerowaną, algorytm określający prawdopodobieństwo poszczególnych reguł na podstawie teorii Bayesa można uogólnić do następującej postaci pseudokodu (kod 4.1):

```
FOR i:=1 TO n:
  c[i]:=0

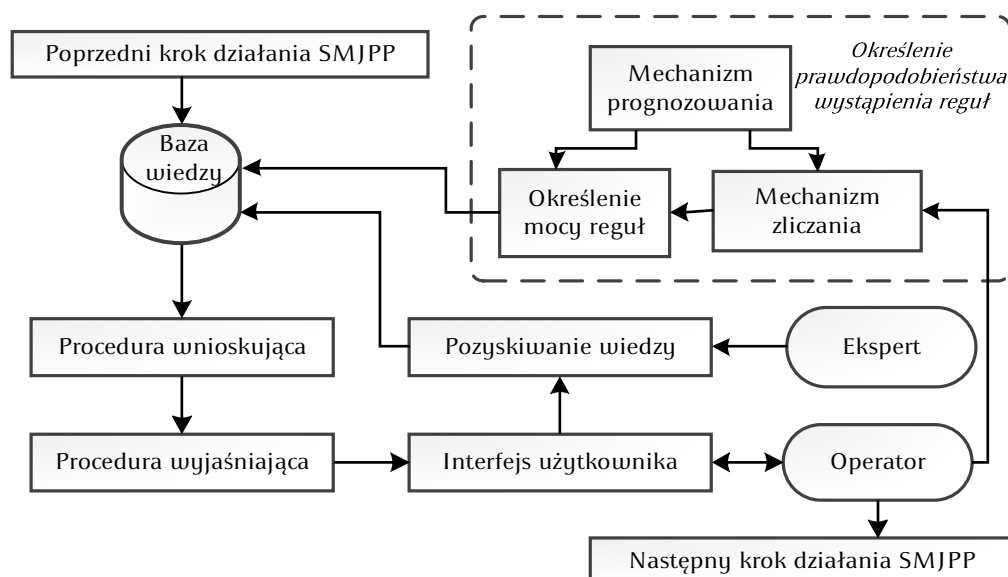
  FOR i:=1 TO n:
    READ y[i] from user
    k=1
    temp=c[1]
    FOR i:=2 TO n:
      IF c[i]>temp:
        temp:=c[i]
    k:=i
    WRITE "suggested answer is" + y[k]
    WRITE "correctness probability is" + calc_Bayes(k)
    READ r
    c[r]:= c[r]+1
```

i - jest licznikiem pętli,
 l - jest licznikiem ilości wystąpień danej odpowiedzi,
 $temp$ - jest zmienną tymczasową (pomocniczą).

Kod 4.1. Formuła wyliczania prawdopodobieństwa reguł (opracowanie własne).

Zastosowanie przedstawionego algorytmu pozwala uporządkować zbiór możliwych przyczyn wad jakości produktu w kolejności od najbardziej prawdopodobnej do najmniej, co znacznie ułatwia operatorowi podjęcie decyzji. Przyczyny najbardziej prawdopodobne dostarczają wiedzy o wadliwości procesu druku i pozwolą na szczegółową analizę tematu. Przyczyny najmniej prawdopodobne będą usuwane z listy reguł i traktowane jako informacja zakłócająca (po wcześniejszej konsultacji z ekspertem). W miarę, jak wiedza w module identyfikacji przyczyn wad jakości będzie ulepszana i stanie się bardziej dokładna, System MJPP może w końcu funkcjonować na wyższym poziomie, niż jakikolwiek pojedynczy ekspert ludzki w dokonywaniu ocen w specyficznym, zwykle wąskim, zakresie ekspertyzy (Aronson, 2003).

Na rysunku 4.4 przedstawiona została metoda określenia prawdopodobieństwa wystąpienia związków przyczynowo-skutkowych, stanowiąca rozszerzenie systemu ekspertowego przedstawionego w artykule (Zaikin, Olejnik-Krugły, 2009).



Rysunek 4.4. Metoda określenia prawdopodobieństwa wystąpienia związków przyczynowo-skutkowych (opracowanie własne).

Ostatnim krokiem, po określeniu przyczyn występowania wad jakości produktu poligraficznego, jest udzielenie operatorowi instrukcji ich naprawy. Przy realizacji tego zadania należy przede wszystkim uwzględnić rodzaje przyczyn, jakie występują w omawianym problemie. Zostały one scharakteryzowane w rozdziale 3.3. Dla większości przypadków operator otrzyma dokładną instrukcję naprawy błędów, przy czym nie będzie ona wymagała od niego dodatkowej wiedzy oraz znajomości różnych zależności.

Wyjątek stanowi grupa przyczyn, których występowanie związane jest z niepowtarzalnością zamówienia i indywidualnymi wymaganiami klienta. Główna przyczyna z tym związana to nieprawidłowy dobór ustawień maszyny drukującej odpowiedzialnych za prawidłowe odwzorowanie wszystkich elementów obrazu. Sporządzenie instrukcji naprawczych dla tej grupy przyczyn jest niemożliwe, gdyż dobór ustawień maszyny jest wykonywany na bieżąco i dostosowywany do specyfiki każdego zamówienia. Rozwiązanie tego problemu wymaga zastosowania innych metod badawczych, opisanych w rozdziale 4.3.

4.3. Metoda dopasowania parametrów maszyny drukującej do wskaźników jakości produktu poligraficznego

Kolejnym krokiem działania Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego (moduł 3 na rysunku 4.2) jest wsparcie operatora w likwidacji wad jakości produktu, związanych z niewłaściwym doбором parametrów nastawu maszyny drukującej. Realizacja zadania opiera się na autorskiej metodzie dopasowania parametrów nastawu maszyny drukującej do parametrów jakości, czyli do określonych wskaźników zlecenia produkcyjnego. Zaproponowana metoda wykorzystuje modelowanie regresyjne jako formalny zapis związków zachodzących między zjawiskami lub cechami. Pozwoli to wyjaśnić w sposób analityczny kształtowanie się wartości zmiennej losowej pod wpływem innej (innych) zmiennej (Hastie *et al.*, 2009). Wykorzystanie modelowania regresyjnego ma na celu oszacowanie nieznanych wartości jednej cechy na podstawie znanych lub założonych wartości drugiej cechy.

Metoda oparta na modelowaniu regresyjnym realizowana będzie na dwóch poziomach zarządzania przedsiębiorstwem, jak zostało to przedstawione w rozdziale 1.2:

- W pierwszym przypadku jest podstawą budowy modelu regresyjnego służącego do określenia możliwości technologicznych maszyny drukującej w zakresie wymagań stawianych w normach ogólnych np. ISO 12647-2:2007 (na poziomie taktycznym). Pozwoli to na doprecyzowanie tej normy, zawężając zakres dopuszczalnych wartości i tworząc tym samym normę zakładową. Celem metody jest sformułowanie modelu matematycznego maszyny drukującej opisującego zależności pomiędzy parametrami nastawu maszyny, a parametrami jakości produktu. Model stanowi podstawę do pracy systemu podczas realizacji bieżących zleceń produkcyjnych.
- W drugim przypadku wykorzystuje zbudowany wcześniej model w celu korekty parametrów nastawu maszyny drukującej do zadanego poziomu

jakości. Dopasowanie parametrów nastawu maszyny do określonego przez klienta i przedsiębiorstwo poziomu jakości odbywa się na bieżąco, podczas realizacji zlecenia produkcyjnego. Dopasowanie zmiennych modelu odbywa się w środowisku symulacyjnym maszyny wirtualnej, której procedura tworzenia została przedstawiona w artykule (Zaikin *et al.*, 2010b).

Zarówno w pierwszym jak i w drugim przypadku niezbędne jest określenie ogólnych warunków konstrukcji zbioru funkcji regresyjnych. Zatem, wiadomo że istnieje taki zbiór parametrów $X = \{\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \dots, \kappa_r\}$, które nie spełniają wymagań jakości i w procesie analizy (rozdział 4.1) zostały oznaczone statusem $S(\kappa_i) = 1$. Dla tych parametrów istnieje zbiór przyczyn $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_l\}$, wśród których wyróżnić można przyczyny związane z nieprawidłowym doбором parametrów nastawu maszyny drukującej określanych jako zbiór U :

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_s\}$$

gdzie:

u_i - jest parametrem nastawu maszyny drukującej, $i = 1, 2, 3, \dots, s$.

Dla każdego parametru nastawu maszyny drukującej u_i istnieje zbiór wartości podlegający regulacji, których ilość jest różna w zależności od rodzaju maszyny drukującej.

Wiedząc, że (rozdział 3.3) parametry jakości produktu są od siebie zależne, nie można rozpatrywać każdego parametru jakości κ_i osobno, tylko należy je traktować jako zbiór wzajemnie powiązanych i uzależnionych od siebie zmiennych takich, że $\kappa_1 = f(\kappa)$, $\kappa_2 = f'(\kappa)$, $\kappa_3 = f''(\kappa)$, itd. Oznacza to, że poprawa jednego parametru jakości κ_i może mieć negatywny skutek dla pozostałych, a uzyskanie odpowiednich wartości jest zależne od regulacji kilku ustawień maszyny jednocześnie. Na tej podstawie można zapisać zależność:

$$\kappa_i = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_s\}, \text{ gdzie } \kappa_i \in X \text{ przy kryterium } \kappa_{i\min} \leq \kappa_i \leq \kappa_{i\max} \quad (4.5)$$

W przedstawionej sytuacji mamy do czynienia z dwoma zmiennymi. Pierwsza z nich – parametr jakości κ_i – jest zmienną losową którą można uznać za zależną od parametru maszyny drukującej u_i . Istniejąca pomiędzy nimi korelacja pozwala sformułować zależność funkcyjną, która przedstawiałaby wartości κ w zależności od wartości u . Ponieważ wartości zmiennej κ_i zależą od wartości wielu zmiennych niezależnych $u_1, u_2, u_3, \dots, u_s$, ich relacje można napisać w postaci $\kappa = f(u_1, u_2, u_3, \dots, u_s)$.

Zadanie dopasowania parametrów maszyny drukującej do wskaźników jakości produktu poligraficznego można sformułować następująco:

Wiedząc że:

- $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_r\}$ - jest zbiorem zmiennych zależnych (objaśnianych),
- $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_s\}$ - jest zbiorem zmiennych niezależnych (objaśniających),
- Istnieje współzależność parametrów jakości przedstawiona funkcją
 $x_1 = f(x), x_2 = f'(x), x_3 = f''(x), \text{ itd.},$
- zmienna x_i zależy od więcej niż jednej zmiennej u_i

należy sformułować model uwzględniający wzajemny związek wielu zmiennych $X, U_1, U_2, \dots, U_s$, gdzie X jest zmienną zależną, a $U_1, U_2, \dots, U_s$ zmiennymi niezależnymi.

Konstrukcja takiego modelu opiera się na liniowej funkcji regresji z wieloma zmiennymi w postaci:

$$\hat{X} = \alpha_0 + \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2 + \dots + \alpha_s U_s + \xi \quad (4.6)$$

gdzie:

X - jest zmienną objaśnianą,

U_i - jest zbiorem zmiennych objaśniających, $i = 1, 2, \dots, s$

α_0 - jest wyrazem wolnym funkcji regresji,

α_i - jest zbiorem parametrów strukturalnych liniowej funkcji regresji X względem U ,

ξ - jest składnikiem losowym.

Dodatkowo, wiedząc że końcowa jakość produktu poligraficznego zależy od kilku parametrów jakości opisanych zbiorem $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_r\}$, rozwiązaniem rozpatrywanego problemu będzie zbiór funkcji regresyjnych, gdzie dla każdego rozpatrywanego X_i funkcja regresji będzie konstruowana w postaci (4.6). Zbiór rozpatrywanych funkcji regresyjnych można zapisać następująco:

$$\begin{aligned} \hat{X}_1 &= \alpha_0 + \alpha_{11} U_1 + \alpha_{12} U_2 + \alpha_{13} U_3 + \dots + \alpha_{1m} U_s + \xi_1 \\ \hat{X}_2 &= \alpha_0 + \alpha_{21} U_1 + \alpha_{22} U_2 + \alpha_{23} U_3 + \dots + \alpha_{2m} U_s + \xi_2 \\ \hat{X}_3 &= \alpha_0 + \alpha_{31} U_1 + \alpha_{32} U_2 + \alpha_{33} U_3 + \dots + \alpha_{3m} U_s + \xi_3 \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ \hat{X}_r &= \alpha_0 + \alpha_{r1} U_1 + \alpha_{r2} U_2 + \alpha_{r3} U_3 + \dots + \alpha_{rm} U_s + \xi_j \end{aligned} \quad (4.7)$$

Przy tak skonstruowanym modelu należy przyjąć następujące założenia:

- Zależność między zmiennymi ma charakter liniowy, co zostało przedstawione w dalszej części pracy na stronie 82.
- Normalny rozkład prawdopodobieństwa (strona 83).
- Wartość oczekiwana składnika losowego $E(\xi) = 0$,
- Wariancja składnika losowego jest identyczna dla wszystkich obserwacji $\forall_i \text{var}(\xi_i) = \sigma^2$,
- Kowariancja między dwoma różnymi błędami losowymi wynosi zero $\forall_i \neq j \text{cov}(\xi_i, \xi_j) = 0$,
- Składnik losowy ma rozkład normalny $N(0, \sigma^2 I)$,
- Egzogeniczność zmiennych niezależnych $E[\xi_i | u_{i,1}, u_{i,2}, \dots, u_{i,k}] = 0$.

Założenie liniowości zmiennych modelu. Przedstawiona regresja wymaga przyjęcia założenia, że zależność między zmiennymi jest liniowa. Założenie liniowości funkcji regresji powinno być sprawdzone dla każdej pary badanej zmiennej niezależnej u_i dla zmiennej zależnej x_i . Do określenia związku prostoliniowego między dwiema cechami mierzalnymi wykorzystano współczynnik korelacji liniowej Pearsona wyrażony wzorem (Sobczyk, 2008):

$$r_{ux} = \frac{\text{cov}(u, x)}{s(u)s(x)} \quad (4.8)$$

gdzie:

$\text{cov}(u, x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(x_i - \bar{x})$ jest kowariancją, czyli średnią arytmetyczną iloczynu odchyleń wartości zmiennych X i Y od ich średnich arytmetycznych, gdzie n jest wielkością próby, a $\bar{x}$ i $\bar{u}$ średnimi

wyrażonymi wzorami: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ i $\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i$.

$s(u)$ i $s(x)$ są odchyleniami standardowymi odpowiednich zmiennych wyrażone wzorami: $S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}$ i $S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$.

Powyższy wzór korelacji liniowej Pearsona jest miarą unormowaną przyjmującą wartość z przedziału $-1 \leq r_{ux} \leq +1$. Dodatni znak współczynnika korelacji wskazuje na istnienie współzależności dodatniej, a ujemny oznacza współzależność ujemną. Im wartość bezwzględna jest bliższa jedności, tym zależność korelacyjna między badanymi zmiennymi jest silniejsza (Jóźwiak, Podgórski, 2009).

Sprawdzenie liniowości zmiennych modelu przedstawiono dla jednego przypadku, dla którego pobrano 50 pomiarów z rzeczywistych warunków technologicznych. Po dokonaniu obliczeń wartość współczynnika korelacji Pearsona kształtowała się na poziomie $r = 0,84$. Oznacza to dość silną zależność liniową między parametrami jakości x , a parametrami maszyny drukującej u . Dodatkowo przy $r > 0$ występuje korelacja dodatnia tzn., że wzrostowi wartości zmiennej x towarzyszy wzrost wartości zmiennej u . Sprawdzenie liniowości zmiennych modelu zostało również przedstawione w przykładzie w rozdziale 5.

Określenie rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych modelu. Niech $x_1, x_2, \dots, x_r$ jest zbiorem n -elementowej próby losowej, a S statystyką próby określoną na przestrzeni prób, wtedy funkcja $S = f(X_1, X_2, \dots, X_r)$ przyporządkowująca wartościom zmiennej losowej prawdopodobieństwa przyjęcia danej wartości przez tę zmienną nazywana jest rozkładem prawdopodobieństwa (Wawrzynek, 2007). Badane cechy eksperymentu w postaci wartości parametrów jakości x_i uzyskanych dla konkretnych ustawień maszyny drukującej przyjmują wartości liczbowe należące do zbioru liczb rzeczywistych. Badana zmienna losowa x_i jest zatem typu ciągłego, dla której istnieje nieujemna funkcja f , taka że dla każdego przedziału $[x_1, x_2]$ zachodzi:

$$S(\{w : x_1 \leq X(w) \leq x_2\}) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$$

Występująca w równaniu funkcja f jest funkcją gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej określoną następująco:

$$f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{S(x < X \leq x + \Delta x)}{\Delta x}; S(x < X \leq x + \Delta x) \cong f(x) \Delta x \quad (4.9)$$

Metodykę określenia rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych modelu przedstawiono na przykładzie jednego z nich – gęstości optycznej. Przeprowadzono $n = 50$ pomiarów uzyskanych drogą eksperymentu rzeczywistego. Wartość nominalną dla wybranego parametru jakości określono na podstawie normy ISO 12647-2:2007. Odchylenia pomiędzy poszczególnymi wartościami pomiarów od wartości nominalnej kształtowały się w sposób przypadkowy, co pozwala traktować je jako realizacje zmiennej losowej ciągłej.

Niech $x_1, x_2, \dots, x_n$ oznacza zbiór zaobserwowanych wartości cechy, $y_1 < \dots < y_k$ różne uporządkowane wartości spośród nich, a n_i liczbę powtórzeń y_i w próbce, gdzie $i = 1, \dots, k$. Rozkładem cechy w próbce nazywamy ciąg par $(y_1, n_1/n), \dots, (y_k, n_k/n)$, przy czym ciąg par $(y_1, n_1), \dots, (y_k, n_k)$ jest rozkładem licznosci cechy w próbce (Hill, Lewicki, 2005). Rozkład cechy w próbce został sporządzony poprzez pogrupowanie

uzyskanych wyników w $l=10$ rozłącznych przedziałów $[x_i, x_{i+1})$ dla $i=1, \dots, l$, gdzie długość przedziału $[x_i, x_{i+1})$ wyrażona jest formułą $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$, a liczba pomiarów znajdujących się w tym przedziale n_i . Zbiór uzyskanych wyników przedstawiono w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Zestawienie pomiarów w celu określania rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych modelu (opracowanie własne).

Przedział	Wartość pomiaru	Liczność	Częstość
[1,0-1,2)	1,15; 1,18	2	0,04
[1,2-1,4)	1,23;1,24;1,29;1,3;1,35	5	0,1
[1,4-1,6)	1,42;1,45;1,49;1,5;1,52;1,52;1,56;1,57;1,59	9	0,18
[1,6-1,8)	1,62;1,65;1,65;1,69;1,7;1,71;1,75;1,78;1,78;1,79	10	0,2
[1,8-2,0)	1,82;1,84;1,86;1,9;1,91;1,94;1,96;1,98	8	0,16
[2,0-2,2)	2,06;2,09;2,1;2,12;2,16;2,19	6	0,12
[2,2-2,4)	2,29;2,29;2,31;2,35	4	0,08
[2,4-2,6)	2,49; 2,54; 2,59	3	0,06
[2,6-2,8)	2,69; 2,71	2	0,04
[2,8-3,0)	2,9	1	0,02

Obserwacja cech w próbce pozwala stwierdzić, że podlegają one prawu rozkładu normalnego, w którym funkcja gęstości prawdopodobieństwa dla zmiennej losowej X przyjmuje postać (Larose, 2006):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.10)$$

gdzie:

$x \in (-\infty, +\infty)$,

π , e - są parametrami stałymi funkcji,

m - jest parametrem oznaczającym średnią zmiennej losowej X o rozkładzie normalnym, gdzie $m \in R$,

σ - jest parametrem oznaczającym odchylenie standardowe (równoważnie wariancją σ^2) zmiennej losowej X , gdzie $\sigma > 0$.

Określając postać funkcji gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej X należy przyjąć, że oczekiwana wartość parametru jakości znajduje się w przedziale określonym w normie (np. ISO 12647-2:2007), czyli jest liczbą z przedziału $(1,675; 1,725 >$. Ilość kombinacji parametrów ustawień maszyny drukującej wynoszących 512 jest zmienną losową ciągłą mogąą przyjąć każdą wartość z przedziału $< 0; 19 >$, przy czym gęstość

prawdopodobieństwa w tym przedziale jest funkcją stałą. Można zatem zapisać:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x < 0, \\ c & \text{dla } 0 \leq x \leq 19, \text{ gdzie } c \text{ jest pewną stałą.} \\ 0 & \text{dla } x > 19, \end{cases}$$

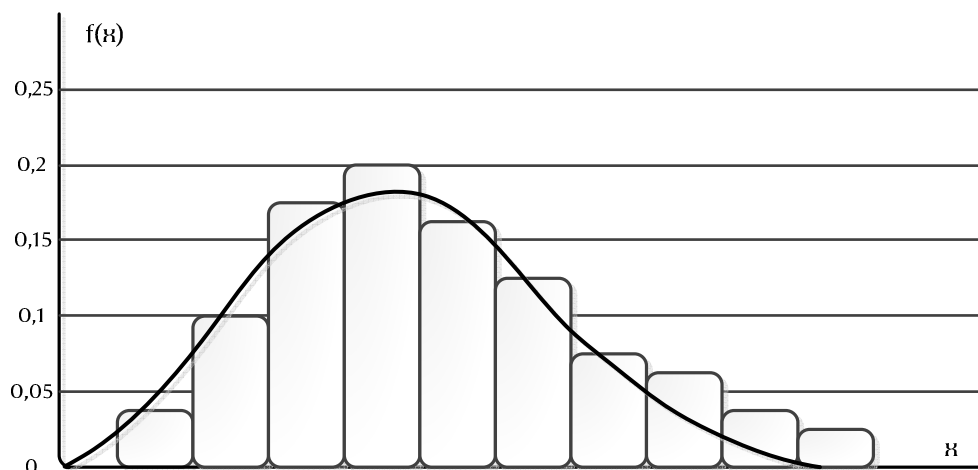
Korzystając z własności funkcji gęstości, mówiącej że funkcja gęstości musi spełniać warunek: $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = S(-\infty < X \leq +\infty) = 1$, obliczamy wartość stałej

$$c: \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = \int_{-\infty}^0 0dx + \int_0^{19} cdx + \int_{19}^{+\infty} 0dx = 0 + cx \Big|_0^{19} + 0 = 19c, \text{ zatem } c = \frac{1}{19}$$

Prawdopodobieństwo doboru takich ustawień maszyny drukującej, aby wartość parametru jakości znalazła się w przedziale dopuszczonym przez normy jakości, obliczamy korzystając z następującej własności funkcji gęstości prawdopodobieństwa:

$$P(1,675 < X \leq 1,725) = \int_{1,675}^{1,725} f(x)dx = \int_{1,675}^{1,725} \frac{1}{19} = \frac{1}{19} x \Big|_{1,675}^{1,725} = \frac{1,725}{19} - \frac{1,675}{19} = \frac{0,05}{19}$$

Zatem, można sporządzić wykres funkcji gęstości dla konkretnego parametru jakości x_i przyjmującego rozkład $N(1,7; 0,003)$ co oznacza, że wartość parametru jakości x_i jest zmienną losową o rozkładzie normalnym ze średnią $m = 1,7$ i odchyleniem standardowym $\sigma = 0,003$. Schematyczny wykres funkcji gęstości przedstawiony został na rysunku 4.5.



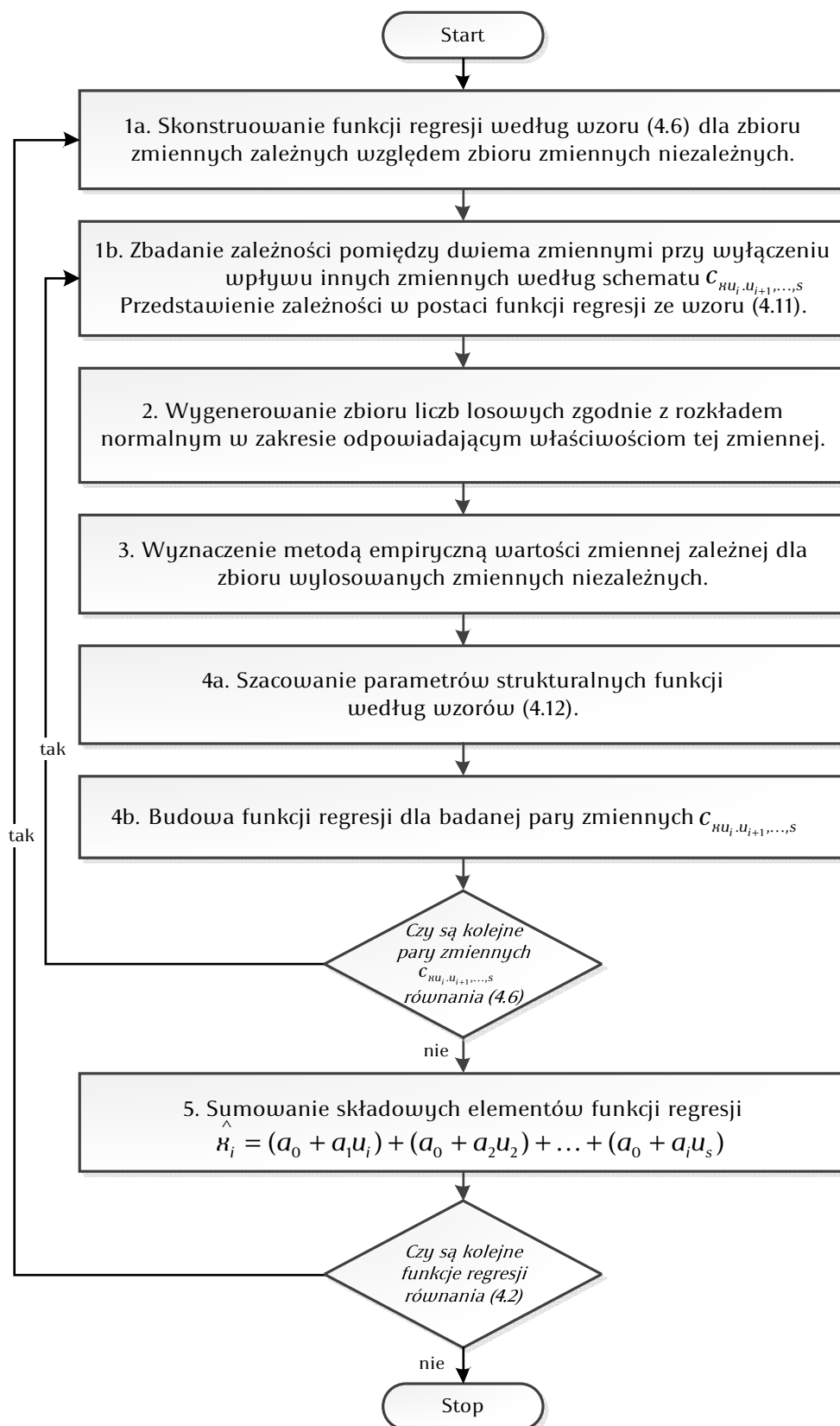
Rysunek 4.5. Funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa dla zmiennych modelu (opracowanie własne).

Budowa modelu matematycznego zależności parametrów jakości od parametrów nastawu maszyny drukującej (na poziomie taktycznym).

Jak już wcześniej napisano, ze względu na konieczność dostosowania konkretnej technologii (maszyny drukującej) do wymagań stawianych w ogólnych normach jakości takich jak ISO 12647-2:2007 zaproponowano metodę, której celem jest sformułowanie związków pomiędzy parametrami ustawień maszyny drukującej a parametrami jakości produktu poligraficznego, a następnie zapisanie ich w postaci modelu matematycznego.

Metoda ma charakter uniwersalny i może być stosowana w każdych warunkach produkcyjnych, bez względu na rodzaj technologii czy maszyn drukujących. Sformułowany na jej podstawie model matematyczny maszyny drukującej jest prawdziwy pod warunkiem zachowania tych samych warunków produkcyjnych, np. papieru, farb. Każda zmiana warunków procesu druku powoduje konieczność ponownego sformułowania modelu.

Zaproponowana metoda polega na realizacji zbioru funkcji regresji, w których każda zmienna zależna (parametr jakości) poddawana jest serii eksperymentów, w wyniku których uzyskiwane są dane odzwierciedlające jej wpływ na parametry nastawy maszyny drukującej. Algorytm realizacji zadania przedstawiony został na rysunku 4.6.



Rysunek 4.6. Algorytm badania zależności parametrów jakości od parametrów nastawu maszyny drukującej (opracowanie własne).

1a, 1b. Określenie założeń modelu funkcji regresji. Rozpatrując dowolną liniową funkcję regresyjną z układu (4.7) należy wyznaczyć zależność regresyjną jedynie między dwiema zmiennymi, przy wyłączeniu wpływu innych zmiennych. Przyjęto oznaczenie $c_{u_i, u_{i+1}, \dots, k}$, gdzie dwa pierwsze indeksy oznaczają cechy, między którymi wyznaczana jest zależność regresyjna, natomiast subskrypty po kropce oznaczają cechy eliminowane.

Dla każdej rozpatrywanej pary zmiennych należy zbudować model opisujący zależność zmiennej losowej X od U w postaci:

$$\hat{X} = f(U) = \alpha_0 + \alpha_i U_i + \xi_i$$

gdzie:

$\hat{X}$ - są teoretycznymi wartościami funkcji regresji $\hat{X} = f(U)$
 odpowiadającymi danemu poziomowi realizacji zmiennej U ,
 α_0, α_i - są parametrami strukturalnymi liniowej funkcji regresji X względem U ,
 ξ - jest składnikiem losowym.

Powyższe równanie pokazuje, że wartość zmiennej zależnej X przy ustalonej wartości zmiennej niezależnej U składa się z dwóch części. Pierwsza z nich ($\alpha_0 + \alpha_i U_i$) jest warunkową wartością oczekiwaną tej zmiennej i wyraża wpływ, jaki wywiera na nią zmienną niezależną U . Druga część (ξ_i), nazywana składnikiem losowym, reprezentuje losowe odchylenie wartości X od $E(X | U = u_i)$ i wyraża łączny wpływ wszystkich innych (poza U) czynników oddziałujących na zmienną X (Jóźwiak, Podgórski 2009). Przyjmuje się, że rozkład prawdopodobieństwa składnika losowego wynosi 0 (wszystkie przypadkowe błędy dodatnie i ujemne powinny się znosić), a wariancja jest większa od 0, tzn. $E(\xi) = 0$ oraz $D^2(\xi) = \sigma^2 > 0$.

Oszacowaniem funkcji regresji (4.6) X względem U w populacji generalnej jest funkcja regresji x względem u w próbie losowej przyjmująca postać:

$$\hat{x}_i = a_0 + a_1 u_i \quad (4.11)$$

gdzie:

$i = 1, 2, \dots, n$ są kolejnymi numerami jednostek wylosowanych z populacji generalnej do próby.

Zatem, dla każdej funkcji regresji rozpatrywanego układu par zmiennych $x_{ij, nm, \dots, z}$ można przyjąć następujące założenia:

– Związek pomiędzy x_i a u_i jest opisany równaniem $\hat{x}_i = a_0 + a_1 u_i$.

- Zależność regresyjna jest określana między dwiema zmiennymi x_i i u_i przy wyłączeniu wpływu innych zmiennych (przyjmowanych jako pewna stała).
- Istnieje tylko jedna zmienna objaśniająca u .

2. Określenie liczności oraz sposobu generowania próby losowej.

Oszacowanie funkcji regresji x względem u w próbie losowej wiąże się z problemem doboru reprezentatywnej próby odzwierciedlającej rzeczywisty stan procesu. Według Larose (Larose, 2006) próba jest reprezentatywna, wtedy gdy spełnione są dwa warunki: 1) elementy populacji są pobierane do próby w sposób losowy, 2) próba jest dostatecznie liczna.

Przez losowy dobór elementów do próby rozumiany jest sposób postępowania, w którym o fakcie znalezienia się poszczególnych elementów populacji w próbie decyduje przypadek (Jóźwiak, Podgórski, 2009). O wyborze schematu (sposobu) losowania decyduje prawdopodobieństwo dostania się elementów do próby. Zbiór zmiennych niezależnych u_i cechuje się jednakowym prawdopodobieństwem dostania się do próby, przy czym prawdopodobieństwo to nie zmienia się w trakcie losowania. Taki schemat doboru próby odpowiada schematowi losowania bez zwracaniem (Hill, Lewicki, 2005). Dla każdej wartości zmiennej niezależnej u_i istnieje takie samo, niezerowe prawdopodobieństwo, wylosowania określonego elementu na danym etapie niezależnie od wyników wcześniejszych etapów losowania. Próba losowa zmiennych niezależnych u_i jest zbiorem skończonym, odpowiadająca rzeczywistej populacji, której elementy można ponumerować liczbami naturalnymi $1, 2, 3, \dots, N$. Statystyczne próby losowe ze skończonych, realnych populacji uzyskuje się w drodze zastosowania jednej z trzech technik losowania, a mianowicie (Sobczyk, 2008):

- Wylosowanie na chybił trafił określonej liczby próbek,
- Wykorzystanie tablic liczb losowych,
- Zastosowanie generatorów liczb losowych.

Do wylosowania zestawu liczb losowych charakteryzujących zmienną niezależną u_i zaproponowano generator liczb losowych przy następujących założeniach:

- Okres generatora powinien być na tyle duży, aby wypełnić całą przestrzeń możliwych rozwiązań,
- wylosowanie zbioru liczb dla analizowanej zmiennej niezależnej u_i w zakresie odpowiadającym właściwościom tej zmiennej $u_i = (u_{i\min}, u_{i\max})$,
- rozkład prawdopodobieństwa zmiennej $N(m; \sigma)$,
- liczebność zbioru zmiennej niezależnej wyznaczona jest na podstawie metody Steina.

Minimalną liczebność próby losowej przy znanym jedynie rozkładzie prawdopodobieństwa zbiorowości generalnej można określić za pomocą metody Steina (Sobczyk, 2008).

Zgodnie z metodą Steina, pierwszym krokiem zmierzającym do oszacowania prawidłowej liczby powtórzeń pomiarów jest uzyskanie próby wstępnej o liczebności n_0 i wyznaczeniu z niej statystyki określonej wzorem:

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Liczebność właściwej próby obliczana jest ze wzoru:

$$n = \frac{t_{\alpha, n-1}^2 \hat{S}^2}{d^2}$$

gdzie:

$t_{\alpha, n-1}^2$ - jest wartością odczytaną z tablicy rozkładu Studenta dla $(n_0 - 1)$ stopni swobody,

d - jest maksymalnym błędem szacunku,

Zgodnie z interpretacją metody Steina, dla $n \leq n_0$ wykonana ilość pomiarów jest wystarczająca, natomiast dla $n > n_0$ należy zwiększyć liczebność próby wstępnej o $n - n_0$ elementów.

3. Określenie wartości zmiennej zależnej metodą eksperymentalną. Dla każdej wylosowanej zmiennej objaśniającej u_i zgodnie z zakresem $u_i = (u_{i\min}, u_{i\max})$ i rozkładem prawdopodobieństwa $N(m; \sigma)$ należy zbadać jej wpływ na zmienną objaśnianą x . Badanie zależności musi być przeprowadzone w rzeczywistych warunkach produkcyjnych na podstawie przygotowanego planu eksperymentu przedstawionego w artykule (Zaikin *et al.*, 2011).

4a, 4b. Szacowanie parametrów strukturalnych funkcji regresji metodą najmniejszych kwadratów. Do oszacowania parametrów strukturalnych funkcji regresji α_0 i α_i wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów. Polega ona na takim dopasowaniu funkcji regresji do zaobserwowanego zbioru danych empirycznych, aby odległość wartości teoretycznych $\hat{x}$ od wartości zaobserwowanych x dla zmiennej zależnej była jak najmniejsza. Zatem, celem metody najmniejszych kwadratów jest takie oszacowanie parametrów α_0 i α_i , aby dla danych z próby n wartości (u_i, x_i) , gdzie $i = 1, 2, \dots, n$ spełnione było wyrażenie:

$$W = \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - a_0 - a_1 u_i)^2 \Rightarrow \min$$

Metoda najmniejszych kwadratów sprowadza się do znalezienia minimum funkcji kwadratowej dwóch zmiennych a_0 i a_1 wyrażonych wzorami:

$$a_0 = \bar{x} - a_1 \bar{u} \quad \text{oraz} \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (4.12)$$

Oszacowane parametry a_0 i a_1 nazywane współczynnikami regresji liniowej pozwalają sformułować ostateczną zależność między zmiennymi zapisaną w postaci (4.11)

5. Sumowanie składowych elementów funkcji. Określenie zależności liniowej dla każdej pary zmiennych pozwala sformułować ostateczną postać funkcji regresji dla zbioru zmiennych niezależnych $u_i \in U$ względem zmiennej zależnej x_i . Sformułowanie ostatecznej postaci funkcji regresji można dokonać poprzez zsumowanie funkcji cząstkowych wyliczonych dla konkretnych par zmiennych $c_{xu_i, u_{i+1}, \dots, u_s}$ według schematu:

$$\hat{x}_i = (a_0 + a_1 u_i) + (a_0 + a_2 u_2) + \dots + (a_0 + a_i u_s)$$

W rezultacie otrzymamy liniową zależność funkcyjną w postaci:

$$\hat{x}_i = \alpha_0 + \alpha_1 u_i + \alpha_2 u_2 + \dots + \alpha_i u_s$$

gdzie:

$\hat{x}_i$ - jest zmienną zależną od zbioru zmiennych $u_i \in U$

α_0, α_i - są parametrami strukturalnymi liniowej funkcji regresji

X względem U ,

Przedstawiona powyżej metoda pozwala sformułować przybliżony model zależności poszczególnych parametrów ustawień maszyny drukującej (zmiennych niezależnych) względem parametrów jakości produktu poligraficznego (zmiennych zależnych). Liniowe funkcje regresyjne powinny być określone dla wszystkich zmiennych zależnych, tworząc tym samym zbiór funkcji w postaci:

$$\begin{aligned} \hat{x}_1 &= \alpha_0 + \alpha_{11} u_1 + \alpha_{12} u_2 + \dots + \alpha_{1i} u_s \\ \hat{x}_2 &= \alpha_0 + \alpha_{21} u_1 + \alpha_{22} u_2 + \dots + \alpha_{2i} u_s \\ \hat{x}_3 &= \alpha_0 + \alpha_{31} u_1 + \alpha_{32} u_2 + \dots + \alpha_{3i} u_s \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ \hat{x}_n &= \alpha_0 + \alpha_{n1} u_1 + \alpha_{n2} u_2 + \dots + \alpha_{ni} u_s \end{aligned} \quad (4.13)$$

Korekta parametrów nastawu maszyny drukującej na podstawie modelu ich wpływu na parametry jakości produktu (na poziomie operacyjnym).

Sformułowanie zbioru zależności (4.13) stanowi podstawę dopasowania parametrów ustawień maszyny drukującej do wymagań jakościowych konkretnego zlecenia produkcyjnego. Zadanie realizowane jest bezpośrednio na linii produkcyjnej podczas procesu druku.

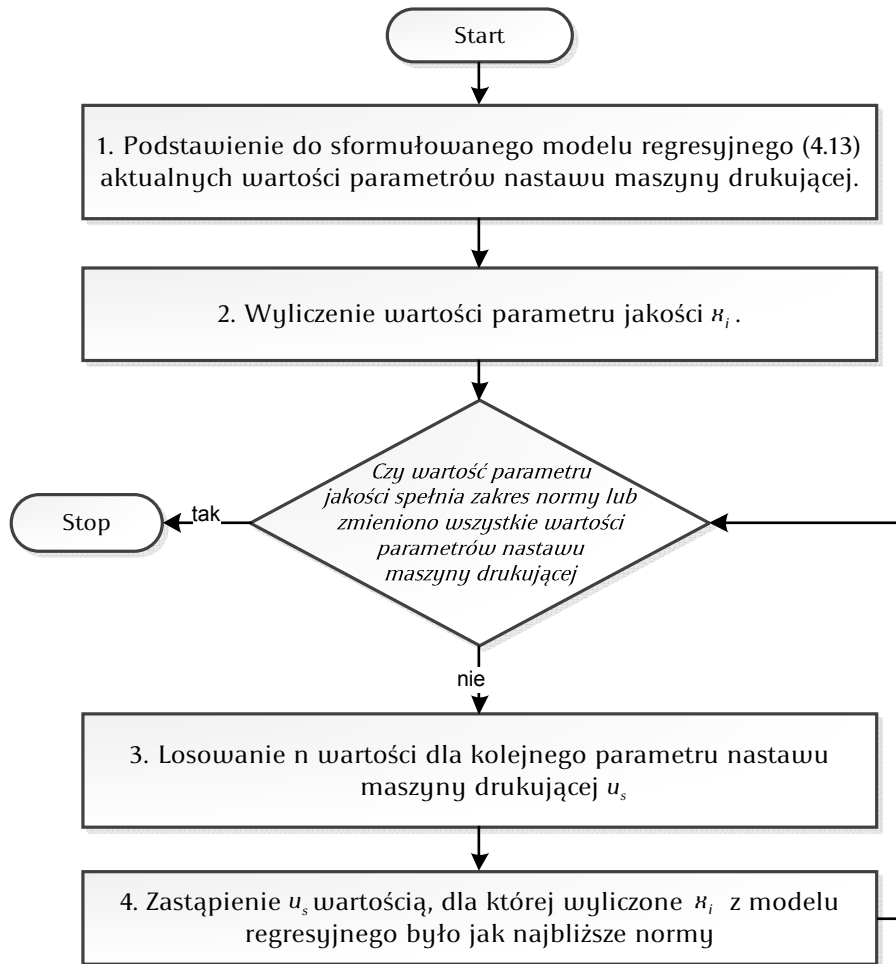
Celem prezentowanej metody jest dopasowanie parametrów nastawu maszyny drukującej do wymagań jakościowych produktu określonych w zleceniu produkcyjnym. Realizacja algorytmu odbywa się w środowisku symulacyjnym maszyny wirtualnej, co umożliwia sprawdzenie kombinacji parametrów ustawień maszyny bez konieczności kontynuacji procesu druku. Takie podejście pozwala na zmniejszenie bardzo dużej ilości materiałów oraz czasu w porównaniu z odbywającym się obecnie ręcznym doбором parametrów ustawień maszyny i każdorazowym ich sprawdzeniu w warunkach produkcyjnych.

Realizowane zadanie, którego algorytm przedstawiony został na rysunku 4.7, można sformułować następująco:

Znając:

- Zbiór i zakres (norma zakładowa) poszczególnych parametrów jakości określonych w procedurze kontroli jakości.
- Przedział regulacji poszczególnych parametrów ustawień maszyny drukującej.
- Współczynnik charakteryzujący wpływ parametru ustawień maszyny u_i na parametr jakości κ_i .

możliwe jest dopasowanie zbioru parametrów ustawień maszyny drukującej do zadanego poziomu jakości produktu poligraficznego.



Rysunek 4.7. Algorytm korekty parametrów nastawu maszyny drukującej (opracowanie własne).

Pierwszym krokiem realizacji algorytmu jest przypisanie zmiennym κ_i' , u_1' , ..., u_s' , α_0 , $\alpha_{1,...,i}$ następujących wartości początkowych:

- dla κ_i' przypisanie wartości wymaganego poziomu jakości dla konkretnego zlecenia produkcyjnego Z_p , przy czym zadaną wartość κ_i' należy zapisać w stosunku procentowym takim, że dla każdego $\kappa_i' = 100\% = 1$. Oznaczając a jako wartość początkową przedziału, a b jako końcową i przypisanym im odpowiednio udziałem procentowym 0 i 1, oraz zmienną tymczasową ut_s' dla początkowej wartości ustawienia maszyny z zakresu $u_s'(a, b)$, wartość procentową u_s' należy obliczyć z zależności:

$$u_s' = \frac{1}{b - a} \cdot ut_s' \quad (4.14)$$

- dla $\alpha_0, \alpha_{1,...,i}$ przypisanie wartości określonych na etapie badania zależności pomiędzy zmiennymi modelu (według wzoru 4.13).
- dla zbioru $u_1', ..., u_s'$ przypisanie wartości parametrów nastawu maszyny drukującej, dla których nie osiągniętożądanego poziomu jakości produktu.

Następnie dla zmierzonej wartości parametru jakości x_i określamy wpływ zmiany wartości parametru u_i na ogólną postać równania (4.13), przy założeniu że $\alpha_0, \alpha_{1,...,i}, u_2', ..., u_k' = \text{const}$. Następnie dla badanej zmiennej u_i sprawdzamy, jaką osiągnęła wartość podczas kontroli jakości. Jeśli u_i dało wartości x_i' , to przechodzimy do kolejnego parametru u_s . W przeciwnym wypadku, generujemy wartość losową dla u_i z zakresu $(u_{i\min}, u_{i\max})$ odczytanego z funkcji regresji dla danej pary zmiennych x_i, u_i dla wartości oczekiwanej x_i' w przedziale powiększonym obustronnie przez zmierzona wartość x_i ; $x_i' - x_i \leq x_i' \leq x_i' + x_i$. Dla każdej wylosowanej wartości u_i w zakresie $(x_{i\min}', x_{i\max}')$ należy sprawdzić poprawność równania (4.13) dla x_i' . Generowanie wartości powtarzamy dla n wylosowanych wartości u_i , gdzie po każdej interakcji (dla której x_i było zbieżne do x_i') granica przedziału $(u_{i\min}, u_{i\max})$ zostaje zawężona względem tej wartości. Z całego zbioru wylosowanych u_i przypisujemy tylko tą wartość dla której $x_i' - x_i \Rightarrow \min$.

4.4. Podejście do weryfikacji i walidacji wyników Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego

Proces weryfikacji i walidacji Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego zrealizowano poprzez testowanie prototypu (załącznik nr 3) systemu w rzeczywistych i symulacyjnych warunkach produkcyjnych. Celem procedury testowania było sprawdzenie, czy proponowany System MJPP spełnia wymagania specyfikacji oraz przyjętych założeń (weryfikacja) oraz czy spełnia poziom przydatności oraz oczekiwania określone przez użytkownika (walidacja).

Główną uwagę skupiono na dwóch rodzajach testów: modułowych i systemowych (Patton, 2002). W pierwszym przypadku testom podlegały poszczególne moduły systemu niezależnie (w izolacji) od pozostałych komponentów systemu. W drugim przypadku przeprowadzono testy dla całego, skomponowanego systemu. Weryfikację i walidację oparto na podstawowym standardzie dla testowania oprogramowania IEEE:829 (IEEE:829, 1998), który zrealizowano dla kilkudziesięciu losowych zestawów

danych zarówno dla poszczególnych modułów jak i całego prezentowanego systemu.

W ramach weryfikacji i walidacji sprawdzono zgodność funkcji oraz algorytmów w odniesieniu do wymagań systemu oraz przydatność danych pod kątem oczekiwań użytkownika. W szczególności sprawdzono:

- poprawność realizacji algorytmów obliczeniowych oraz funkcji rachunkowych,
- zgodność systemu z założeniami projektowymi,
- ocenę funkcjonalności oprogramowania z przyjętymi założeniami,
- ocenę użyteczności i wyników działania systemu w oparciu o zgodność z wymaganiami oraz oczekiwaniami jakościowymi klienta,
- spełnienie oczekiwań użytkownika (operatora maszyny drukującej) pod kątem intuicyjności oraz ergonomii systemu,
- integralność systemu ze środowiskiem informacyjnym i informatycznym przedsiębiorstwa,
- adekwatność wyników systemu do charakteru przedsiębiorstwa,
- kompleksowość i poprawność księgi jakości oraz procedury kontroli jakości przyjętej przez przedsiębiorstwo,
- identyfikację obszarów krytycznych oraz potwierdzenie, że przyjęte wartości kontrolne są w granicach przyjętych tolerancji.

Poniżej przedstawiono przykładowe testy modułowe przeprowadzone w warunkach symulacyjnych, które zostały przedstawione w artykule (Korytkowski *et. al.*, 2008).

Badanie stabilności algorytmu określającego prawdopodobieństwo wystąpienia związków przyczynowo-skutkowych (moduł 2 na rys. 4.2). Celem eksperymentu jest określenie ilości kroków potrzebnych do stabilizacji zaproponowanego algorytmu, którego zadaniem jest przypisanie poszczególnym regułom prawdopodobieństw ich wystąpienia w konkretnej sytuacji. Przyjęto następujące warunki eksperymentu:

- ilość wariantów decyzyjnych $W = \{w_1, \dots, w_5\}$, gdzie pojedynczy wariant zapisany jest według wzoru (4.3). Przykładowy wariant decyzyjny wygląda następująco:

$$W_1(\kappa_1, \kappa_2) = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$$

gdzie:

κ_1 - przyrost pokrycia rastrowego, $b(\kappa_1) = +1$

κ_2 - dublowanie, $b(\kappa_2) = 2$

p_1 - za duża ilość przekazywanej na podłoże farby

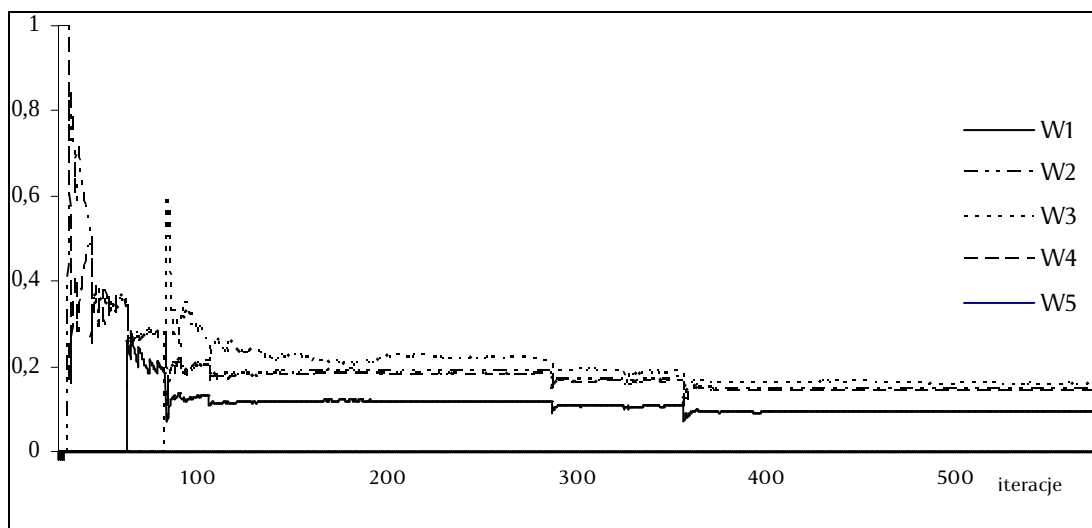
p_2 - nieprawidłowe przygotowanie formy

p_3 - wady na powierzchni obciążu (za lepki lub/i za śliski)

p_4 - nieprawidłowe ustawienie formy drukowej

- próba wynosząca 1000 iteracji,
- p_i występuje z równym niezerowym prawdopodobieństwem,
- wartości wylosowano za pomocą generatora liczb pseudolosowych każdorazowo inicjowanego innym ziarnem,
- Zmiennym p_i przypisano rzeczywiste prawdopodobieństwa wystąpienia wynoszące: $p_1 = 0,08$, $p_2 = 0,09$, $p_3 = 0,09$, $p_4 = 0,09$

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu dla powyższych warunków przedstawione zostały na rysunku 4.8.



Rysunek 4.8. Stabilizacja algorytmu określającego prawdopodobieństwo wystąpienia związków przyczynowo-skutkowych (opracowanie własne).

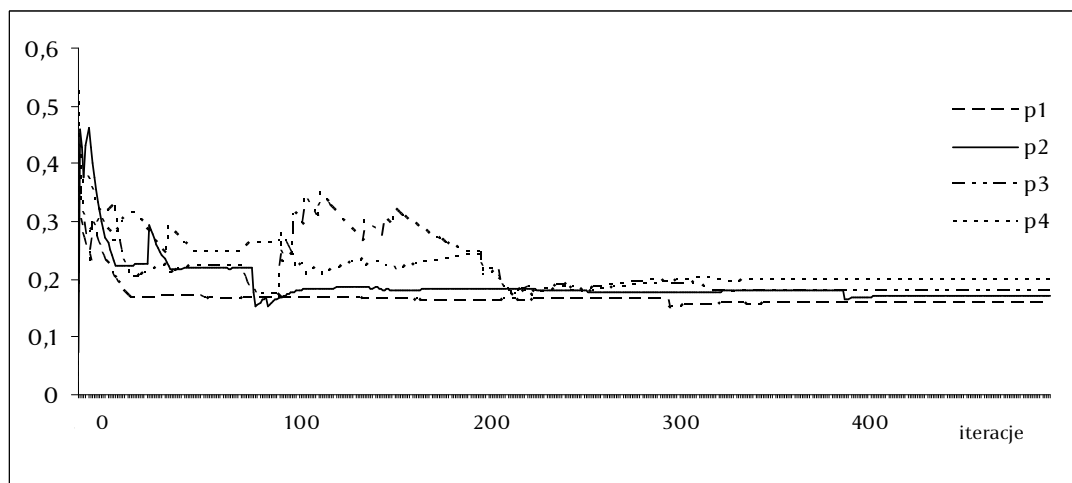
Wyniki przeprowadzonego eksperymentu wykazały, że algorytm osiąga stabilizację w granicach 100 iteracji i ten poziom utrzymany jest do końca procesu produkcyjnego (z niewielkimi odchyleniami). Wahania pomiędzy zmiennymi w pierwszych 100 iteracjach związane są z tym, że różnice pomiędzy zmiennymi systemu a rzeczywistymi są bardzo wysokie.

W celu określenia poziomu uzyskanych odchyleń prawdopodobieństw od wartości pożądanej, przeprowadzono drugi eksperyment, w którym badaniu poddano jeden wariant decyzyjny (przedstawiony w pierwszym eksperymencie), dla którego przyjęto następujące założenia:

- Ilość powtórzeń wariantu $W = \{w_1, \dots, w_5\}$ wynosi 10 razy,

- Zmiennym p_i przypisano następujące rzeczywiste prawdopodobieństwa wystąpienia wynoszące: $p_1 = 0,4$, $p_2 = 0,1$, $p_3 = 0,3$, $p_4 = 0,2$.
- Wielkość próby wynosząca 1000 iteracji.

Wyniki ilustrujące wartości bezwzględne odchylenia standardowego uśrednionych prawdopodobieństw z dziesięciu kolejnych powtórzeń przedstawione zostały na rysunku 4.9.



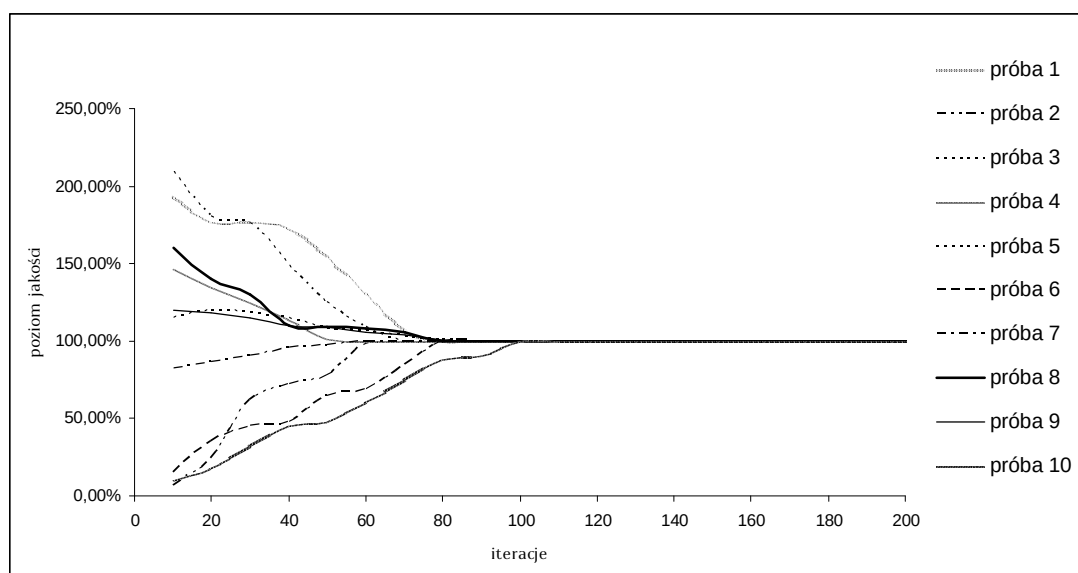
Rysunek 4.9. Uśrednione wartości odchylenia standardowego dla jednego wariantu decyzyjnego (opracowanie własne).

Wyniki drugiego eksperymentu wykazały, że system stabilizuje się, zaś wartości parametrów jakości są zbieżne do założonych (rzeczywistych). Dodatkowo, standardowe odchylenia zmniejszają się w skokach, które następują około 100. i 200. iteracji. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów, można zaobserwować zależność pomiędzy liczbą iteracji, a ilością zmiennych p_i . W miarę zwiększania ilości zmiennych, czas potrzebny na stabilizację całego systemu zmniejsza się. Wynika to z faktu, iż więcej zmiennych p_i oznacza większą ilość wyjść (konkluzji), pomiędzy które dzieli się prawdopodobieństwo niewystąpienia najbardziej prawdopodobnej z przyczyn. System dość trafnie określa prawdopodobieństwa, średnio po zaledwie 100 iteracjach przy założeniu, że występują różne rodzaje wad. Jednakże, niezależnie od różnorodności wad, po 200 iteracjach (biorąc pod uwagę element losowości), każdy wariant się stabilizuje.

Badanie stabilności algorytmu korekty parametrów nastawu maszyny drukującej na podstawie modelu ich wpływu na parametry jakości produktu (moduł 3 na rys. 4.2). Celem eksperymentu jest określenie kroków potrzebnych do osiągnięcia przez algorytm zadanego przedziału normy jakości. Przyjęto następujące warunki eksperymentu:

- Jeden parametr jakości (gęstość optyczna), któremu przypisano zbiór parametrów nastawu maszyny drukującej, mających wpływ na odchylenia jego wartości od zadanych.
- Ilość stanów początkowych parametrów nastawu maszyny drukującej, określonych jako próba wynosząca 10. Dla każdej próby przyjęto 10 parametrów ustawień maszyny drukującej, którym przypisano rzeczywiste wartości początkowe.
- Próba wynosząca 2000 iteracji.
- Zadaniem poziomem jakości jest środek przedziału normy równoznaczny z wartością 100%.

Na rysunku 4.10 przedstawiono wyniki zrealizowanego eksperymentu.



Rysunek 4.10. Stabilizacja algorytmu kolektu parametrów nastawu maszyny drukującej (opracowanie własne).

Wyniki eksperymentu przeprowadzone dla 10 różnych stanów początkowych parametrów nastawu maszyny drukującej pokazują, że korekta ich wartości umożliwiła osiągnięcie zadanego poziomu jakości. Na początku eksperymentu żadna próba nie dawała poziomu jakości przyjętego za akceptowalny. Osiągnięcie tego poziomu nastąpiło zaledwie po 80 iteracjach i utrzymało się do końca procesu produkcyjnego. Oznacza to, że algorytm spełnił założone zadanie i pozwolił na właściwą korektę pierwotnych parametrów nastawu maszyny drukującej.

Rozdział 5

Studium przypadku, według zaproponowanego podejścia, do opracowania Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego na poziomie operacyjnym

Przykład funkcjonalności zaproponowanego Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego zgodny jest z postępowaniem przedstawionym na rysunku 4.2.

Przeprowadzenie badań i testów oraz stworzenie prototypów systemu zostało sfinansowane z grantu unijnego na badania własne w wysokości 20 tys. zł przyznanego w ramach projektu Wojewódzkiego Urzędu Pracy w Szczecinie „Inwestycja w wiedzę motorem rozwoju innowacyjności w regionie” realizowanego w ramach Poddziałania 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji PO KL 2007-2013.

Charakterystyka przedsiębiorstwa poligraficznego. Działalnością przedstawionego przedsiębiorstwa poligraficznego jest świadczenie szerokiej gamy usług, od utworzenia projektu graficznego, po produkcję wyrobu gotowego (wydruk) oraz jego transport do klienta. Przedsiębiorstwo zatrudnia 10 osób, więc pod względem wielkości klasyfikowane jest jako mikro przedsiębiorstwo (wg rozporządzenia nr 364/2004 Komisji WE). W strukturze funkcjonalnej przedsiębiorstwa oprócz pionu zarządzającego wyróżnić można sześć głównych działów: obsługa klientów, studio graficzne i DtP, naświetlarnia, produkcja i introligatornia, obsługa poprodukcyjna (pakowanie, magazynowanie, transport), księgowość.

Przedsiębiorstwo realizuje różnorodne zamówienia, głównie akcydensowe i opakowaniowe, zarówno dla klientów indywidualnych, jak i instytucji, i firm. Główną technologią jest arkuszowy druk offsetowy, ale firma posiada również park maszynowy do druku cyfrowego oraz fleksografii.

Infrastruktura informatyczna przedsiębiorstwa obejmuje wsparcie w zakresie przygotowania plików do druku (oprogramowanie firmy Adobe, RIP, sterowanie naświetlarkami), przepływu prac (ACCHSH PuzzleFlow),

księgowości, obsługi zamówień oraz logistyki. Przedsiębiorstwo nie posiada żadnego systemu zarządzania integrującego wszystkie działy, nie pracuje również w oparciu o standard JDF.

Ze względu na dość dużą fluktuację kadry, przedsiębiorstwo zmuszone zostało do opracowania procedur kontroli jakości określających podstawowe standardy drukowania. Poniżej przedstawiono wybrane jej aspekty:

- Plan kontroli jakości produktu poligraficznego – kontrola przeprowadzana jest co 50 arkuszy, aż do momentu uzyskaniażądanego poziomu jakości. Po jego osiągnięciu można przejść na kontrolę ulgową wykonywaną co 200 arkuszy drukarskich. Ponowne wykrycie wad powoduje powrót do stanu pierwotnego, czyli kontrolę co 50. arkusz.
- Sposób kontroli i urządzenia pomiarowe – w momencie zawieszenia pracy maszyny (w trybie on-line), operator wyjmuje arkusz poddawany kontroli jakości, która przeprowadzana jest na wydzielonym stanowisku wyposażonym w SpectroDensitometer 528 firmy X-Rite, lupę poligraficzną 8x i oświetlenie ścienna o temperaturze barwowej 6500K.
- Wykaz kontrolowanych parametrów – ustalenie poziomu jakości produktu poligraficznego określane jest na podstawie gęstości optycznej, przyrostu pokrycia rastrowego, kontrastu druku, pasowania, murzenia oraz dublowania.
- Przedziały tolerancji parametrów jakości – zostały określone dla 6 klas papierów jakie stosuje przedsiębiorstwo. Przykład norm dla wybranego parametru – gęstości optycznej – został przedstawiony w tabeli 5.1. Dopuszczalna odchyłka dla każdego wskaźnika wynosi 0,075.

Tabela 5.1. Normy jakości dla gęstości optycznej w procedurze kontroli jakości (opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa).

Rodzaj papieru	Norma dla kolorów triadowych			
	Cyjan	Magenta	Yellow	Black
K1: offsetowy, bezdrzewny, niepowlekany, powierzchnia matowa, kolor biały, gramatura 70g/m ² .	0,9	1	0,95	1
K2: powlekany, bezdrzewny, kolor biały, powierzchnia matowa, gramatura 100g/m ² .	1,32	1,35	1,25	1,3
K3: powlekany, bezdrzewny, kolor biały, powierzchnia matowa, gramatura 150g/m ² .	1,37	1,5	0,9	1,25
K4: powlekany, bezdrzewny, kolor kość słoniowa, powierzchnia matowa, gramatura 100g/m ² .	1,45	0,95	1	1,6
K5: powlekany, bezdrzewny, kolor biały, powierzchnia błyszcząca, gramatura 90 g/m ² .	1,6	1,55	1,35	1,85
K6: powlekany, bezdrzewny, kolor biały, powierzchnia błyszcząca, gramatura 80 g/m ²	1,4	1,35	1,55	1,5

Charakterystyka zlecenia produkcyjnego. Przedstawiony przykład dotyczy realizacji wydruku ulotek reklamowych. Klient określił następujące parametry zamówienia:

- format: A4 (trójdzielna),
- podłoże (po konsultacji z drukarnią): Klasa 2,
- kolory: CMYK,
- nakład: 2000 sztuk,
- rozdzielczość projektu: 300dpi,
- wysoka jakość wydruku.

Parametry zlecenia produkcyjnego obejmują powyższe oraz dodatkowo:

- Spady: 3mm,
- Znaczniki drukarskie wg projektu (w powyższym tylko linie cięcia i falcowania),
- Liniatura rastra: 80l/cm dla całego CMYK,
- Kąt skreślenia rastra: C 75°, M 15°, Y 0°, K 45°,
- Kształt punktów rastrowych: okrągłe.

Wprowadzenie pierwotnych danych do Systemu MJPP (moduł 1 na rys. 4.2). Wszystkie ówczśnie wprowadzone dane niezbędne do prawidłowego funkcjonowania systemu zostały uzupełnione o wartości pomiarów parametrów jakości produktu pobrane w trakcie procesu kontroli jakości. Wynoszą one:

- Gęstość optyczna $\kappa_1 = 1,95$
- Przyrost pokrycia rastrowego $\kappa_2 = 23\%$
- Kontrast druku $\kappa_3 = 40,9$
- Pasowanie $\kappa_4 = 0,15$
- Murzenie $\kappa_5 =$ stwierdzono
- Dublowanie $\kappa_6 =$ stwierdzono

Zgodnie z warunkiem $\kappa_{i\min} \leq \kappa_i \leq \kappa_{i\max}$, wszystkim wprowadzonym do systemu wartościom przypisano następujące flagi: $b(\kappa_1) = +1$, $b(\kappa_2) = 0$, $b(\kappa_3) = 0$, $b(\kappa_4) = 0$, $b(\kappa_5) = 2$, $b(\kappa_6) = 2$.

Dla każdego parametru jakości κ_i , gdzie $i = 1, \dots, 6$ przypisano odpowiedni status $S(\kappa_i)$ zgodnie z warunkiem $\kappa_i < \kappa_{i\min} \vee \kappa_i > \kappa_{i\max} = 1$ i dla $\kappa_{i\min} \leq \kappa_i \leq \kappa_{i\max} = 0$.

Zatem, otrzymamy: $S(\kappa_1) = 1$, $S(\kappa_2) = 0$, $S(\kappa_3) = 0$, $S(\kappa_4) = 0$, $S(\kappa_5) = 1$, $S(\kappa_6) = 1$

Na podstawie zdefiniowanych wartości statusów dla każdego parametru jakości κ_i , gdzie $i = 1, \dots, 6$ można określić ogólny wynik kontroli jakości z warunku:

- Status A (spełnia wymagania) dla warunku $\sum S(\kappa_i) = 0$
- Status B (nie spełnia wymagań) dla warunku $\sum S(\kappa_i) > 0$

Dla powyższych danych, wynik przeprowadzonej kontroli jakości jest negatywny $\sum S(\kappa_i) > 0$, a więc produkt poligraficzny nie spełnia wymagań jakości określonych przez przedsiębiorstwo oraz klienta.

Identyfikacja przyczyn wad jakości produktu poligraficznego (*moduł 2 na rys. 4.2*). Po wykonaniu analizy i określeniu szczegółowego poziomu jakości dla wszystkich kontrolowanych parametrów, system umożliwia przejście do następnego kroku, jakim jest identyfikacja przyczyn wad jakości. Zbiorem danych wejściowych stanowią wyniki przeprowadzonej analizy jakości produktu, czyli:

- Gęstość optyczna: $b(\kappa_1) = +1 \wedge S(\kappa_1) = 1$
- Przyrost pokrycia rastrowego: $b(\kappa_2) = 0 \wedge S(\kappa_2) = 0$
- Kontrast druku: $b(\kappa_3) = 0 \wedge S(\kappa_3) = 0$
- Pasowanie: $b(\kappa_4) = 0 \wedge S(\kappa_4) = 0$
- Murzenie: $b(\kappa_5) = 2 \wedge S(\kappa_5) = 1$
- Dublowanie: $b(\kappa_6) = 2 \wedge S(\kappa_6) = 1$

Wstępne określenie zbioru przyczyn $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_l\}$ wpływających na wystąpienie wad jakości było następstwem rozmów z pracownikami oraz ekspertami w dziedzinie poligrafii i kontroli jakości procesów. Zależności pomiędzy zbiorem parametrów jakości X , a zbiorem możliwych przyczyn wad P zostały opisane za pomocą reguł. Dla powyższego przykładu baza reguł została uzupełniona o informacje pochodzące od producenta maszyny drukującej (np. format papieru, regulacja docisku, stref farbowych, registrów) oraz o informacje ze sposobu zarządzania jakością produktu w analizowanym przedsiębiorstwie (np. urządzenia pomiarowe, sposób przeprowadzania kontroli). Dodatkowo, przed rozpoczęciem procesu druku do systemu wprowadzone zostały informacje o warunkach produkcyjnych, takie jak:

- Temperatura powietrza na hali produkcyjnej mierzona za pomocą trzech czujników; wprowadzana do Systemu MJPP przed rozpoczęciem każdej kontroli jakości produktu poligraficznego.

- Rodzaj papieru na podstawie dokumentacji zlecenia produkcyjnego wprowadzany przed rozpoczęciem całego procesu druku,
- Informacje o farbach wprowadzane przed rozpoczęciem całego procesu druku,

W rezultacie utworzono zbiór 32 reguł (prosty i złożony) zapisanych w języku Clips w konwencji, z których wybrany wariant podstawowy został przedstawiony w załączniku nr 2. Dla przedstawionego przykładu system wyodrębnił 5 reguł dla zdefiniowanych predykatów.:

- R_5 - if (($x_1 == -1$ || $x_2 == -1$ || $x_6 == 2$) && $x_2 != +1$ && $x_3 != -1$ && $x_3 != +1$) $p_6 = \text{true}$;
- R_6 - if (($x_1 == +1$ || $x_2 == +1$ || $x_3 == +1$) && $x_2 != -1$ && $x_3 != -1$) $p_8 = \text{true}$;
- R_7 - if (($x_1 == +1$ || $x_2 == -1$) && $x_2 != +1$ && $x_3 != +1$ && $x_3 != -1$) $p_9 = \text{true}$;
- R_8 - if ($x_1 == +1$ && $x_2 != +1$ && $x_3 != +1$ && $x_2 != -1$ && $x_3 != -1$) $p_{10} = \text{true}$;
- R_{16} - if (($x_4 == 2$ || $x_6 == 2$) { $p_{23} = \text{true}$; $p_{25} = \text{true}$; }

Na podstawie przypisanych parametrom jakości flag oraz zdefiniowanych reguł, wyodrębniono następującą sytuację wraz z poszczególnymi wariantami decyzyjnymi:

Dla $r = 6$ parametrów jakości produktu trzy nie spełniały wymagań i oznaczono je następującymi flagami:

$b(x_1) = +1$ - gęstość optyczna powyżej górnej granicy normy,

$b(x_5) = 2$ - występowanie murzenia,

$b(x_6) = 2$ - występowanie dublowania.

oraz $b(x_2) = b(x_3) = b(x_4) = 0$

System wskazał 5 możliwych przyczyn wystąpienia błędów (po wyeliminowaniu przyczyn związanych z warunkami produkcyjnymi, takimi jak temperatura, zastosowane podłoże itd.):

p_6 - problemy z formą drukową: miejsca drukujące formy drukowej za słabo przyjmują farbę,

p_8 - problemy w zespole farbowym: za duża ilość przekazywanej na podłoże farby,

p_9 - problemy w zespole drukującym: za mały docisk pomiędzy cylindrem dociskowym a offsetowym,

p_{10} - problemy w zespole farbowym: zabrudzenie wałków farbowych cząstkami pyłu i włókien papieru (dodatkowe potwierdzenie po wizualnym zidentyfikowaniu zabrudzeń drukujących miejsc formy drukowej oraz gumy offsetowej,

p_{23} - problemy z gumą offsetową: wady powierzchni gumy, może być ona za lepka i/lub za bardzo wypolerowana.

p_{25} - problemy z formą drukową: nieprawidłowe ustawienie formy drukowej,

W omawianym przykładzie występuje aż 6 możliwych przyczyn wystąpienia wykrytych wad jakości. Dla operatora taka sytuacja wprowadza bardzo dużą dezorientację i niemoc w podejmowaniu decyzji. Być może doświadczony operator z kilkunastoletnim stażem potrafiłby zawęzić powyższy zbiór do dwóch czy trzech przyczyn, ale w większości przypadków presja czasu i wiele czynników zakłócających zakłóca proces racjonalnego i logicznego myślenia. Wprowadzony do systemu mechanizm określania mocy reguł wspomaga operatora maszyny poprzez określenie prawdopodobieństwa wystąpienia konkretnej przyczyny.

Określenie mocy dla poszczególnych reguł zostało przeprowadzone na podstawie danych historycznych, zebranych po 1000 kontrolach jakości przeprowadzonych w oparciu o System MJPP (okres ok. 3 miesięcy). Dane historyczne dotyczą wszystkich reguł, jednak poniżej przedstawiono tylko reguły związane z omawianym przykładem. Zebrane dane obrazują ilość sytuacji, w których reguła była rzeczywistą przyczyną wad jakości, ilość razy, gdy konkretna reguła była uznawana przez system za najbardziej prawdopodobną oraz ilość razy kiedy podpowiadana reguła okazała się nią w rzeczywistości. Wycinek zbioru danych historycznych przedstawiono w tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Zbiór danych historycznych wystąpień przyczyn wad jakości produktu (opracowanie własne na podstawie zebranych danych analitycznych).

Numer reguły	Ilość rzeczywistych wystąpień	Ilość sugestii systemu	Ilość trafionych sugestii
p_6	23	0	0
p_8	48	117	4
p_9	49	102	6
p_{10}	43	213	8
p_{23}	36	0	0
p_{25}	36	22	0

Na podstawie zebranych danych obliczono prawdopodobieństwo wystąpienia konkretnej reguły korzystając ze wzoru T. Bayesa. Wartość prawdopodobieństwa wystąpienia reguły $P(r)$ oszacowano w porozumieniu z ekspertem oraz operatorem maszyny drukującej. Suma iloczynów dopełnień prawdopodobieństwa r i $D|r$ obliczona została dla każdej reguły ze zbioru $n = 31$ i ze względu na ilość danych nie zostały one przedstawione w omawianym przykładzie. Dla zbioru $n = 6$ otrzymano następujące prawdopodobieństwa:

1. Dla reguły p_6 :
 $P(D | r) = 0$
 $P(r) = 0,010$ (po znormalizowaniu 0,0212)
 $\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r') = 0,0082$
Prawdopodobieństwo wystąpienia p_6 wynosi $P(r_6 | D) = 0$
2. Dla reguły p_8 :
 $P(D | r) = 4 / 117 = 0,0342$
 $P(r) = 0,028$ (po znormalizowaniu 0,0593)
 $\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r') = 0,0082$
Prawdopodobieństwo wystąpienia p_8 wynosi $P(r_8 | D) = 0,2473$
3. Dla reguły p_9 :
 $P(D | r) = 6 / 102 = 0,0588$
 $P(r) = 0,023$ (po znormalizowaniu 0,0487)
 $\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r') = 0,0082$
Prawdopodobieństwo wystąpienia p_9 wynosi $P(r_9 | D) = 0,3492$
4. Dla reguły p_{10} :
 $P(D | r) = 8 / 213 = 0,0375$
 $P(r) = 0,020$ (po znormalizowaniu 0,0424)
 $\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r') = 0,0082$
Prawdopodobieństwo wystąpienia p_{10} wynosi $P(r_{10} | D) = 0,1939$
5. Dla reguły p_{23} :
 $P(D | r) = 0$
 $P(r) = 0,015$ (po znormalizowaniu 0,0318)
 $\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r') = 0,0082$
Prawdopodobieństwo wystąpienia p_{23} wynosi $P(r_{23} | D) = 0$
6. Dla reguły p_{25} :
 $P(D | r) = 0$
 $P(r) = 0,015$ (po znormalizowaniu 0,0318)
 $\sum_{r' \in R} P(r') \cdot P(D | r') = 0,0082$
Prawdopodobieństwo wystąpienia p_{25} wynosi $P(r_{25} | D) = 0$

Wyniki otrzymane dla zbioru omawianych przyczyn wad jakości produktu poligraficznego pozwalają ułożyć reguły w kolejności najwyższego prawdopodobieństwa ich wystąpienia w konkretnej sytuacji. Zestawienie przedstawiono w tabeli 5.3.

Tabela 5.3 Zestawienie reguł z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia w konkretnej sytuacji (opracowanie własne).

Numer reguły	Opis	Ilość wystąpień	Prawdopodobieństwo wystąpienia
p_9	problemy w zespole drukującym: za mały docisk pomiędzy cylindrem dociskowym a offsetowym	49	$P(r_9 D) = 0,3492$
p_8	problemy w zespole farbowym: za duża ilość przekazywanej na podłoże farby,	48	$P(r_8 D) = 0,2473$
p_{10}	problemy w zespole farbowym: zabrudzenie wałków farbowych cząstkami pyłu i włókien papieru (dodatkowe potwierdzenie po wizualnym zidentyfikowaniu zabrudzeń drukujących miejsc formy drukowej oraz gumy offsetowej,	43	$P(r_{10} D) = 0,1939$
p_{23}	problemy z gumą offsetową: wady powierzchni gumy, może być ona za lepka i/lub za bardzo wypolerowana.	36	$P(r_{23} D) = 0$
p_{25}	problemy z formą drukową: nieprawidłowe ustawienie formy drukowej,	36	$P(r_{25} D) = 0$
p_6	problemy z formą drukową: miejsca drukujące formy drukowej za słabo przyjmują farbę,	23	$P(r_6 D) = 0$

Na podstawie powyższego zestawienia operator maszyny drukującej może podjąć decyzję o wyborze sposobu naprawy wad jakości. W każdej sytuacji ostateczna decyzja i tak należy do operatora, ale może być ona podparta faktami i wyliczeniami wysokości prawdopodobieństwa.

W prezentowanym przykładzie operator maszyn testujący System MJPP zdecydował się wybrać wariant pierwszy oznaczony najwyższym prawdopodobieństwem. Ponieważ przyczyny p_8 i p_9 zakwalifikowane zostały do grupy przyczyn związanych z nieprawidłowym doбором parametrów nastawu maszyny drukującej, realizacja tego zadania zostanie przedstawiona w następnym kroku działania Systemu MJPP (według modułu 3 na rys. 4.2).

Hipotetycznie, gdyby operator zdecydował się na wariant trzeci – p_{10} – odpowiedzią systemu byłaby instrukcja naprawy wady przedstawiona następująco:

1. Zmyć farbę z wałków za pomocą urządzenia do mycia. Następnie umyć wałki i przebierak, aby usunąć z nich pył i inne zabrudzenia z powierzchni.

2. Zastosować papier bez skłonności do pylenia i o większej odporności na zrywanie powierzchni.
3. Rozrzedzić farbę tak mocno, jak to tylko możliwe, aby zmniejszyć jej tendencję do zrywania cząstek z papieru.
4. Nadać na wałki środek myjący i pozostawić go na 24h, następnie usunąć detergent i umyć wałki wodą.
5. Stosować najlepsze z dostępnych rodzaje obciążeń kompresyjnych.

Zgodnie z wyborem operatora, wspomaganym Systemem MJPP, bieżące dopasowanie parametrów nastawu maszyny drukującej do wymaganego poziomu jakości wymaga uprzedniego skonstruowania matematycznego modelu zależności parametrów jakości od parametrów nastawu maszyny drukującej. Metoda konstrukcji tego modelu została przedstawiona poniżej.

Budowa matematycznego modelu zależności parametrów jakości od parametrów nastawu maszyny drukującej (moduł 3 na rys. 4.2). Realizacja zadania została przeprowadzona w rzeczywistych warunkach produkcyjnych, zgodnie z metodą przedstawioną w rozdziale 4.3. Eksperymenty polegały na serii testowych wydruków, podczas których sprawdzano zachowanie wskaźników jakości dla losowo ustalonych wartości kolejnych parametrów nastawu maszyny drukującej. Zebrane dane pozwoliły sformułować model opisujący te zachowania.

Ze względu na powtarzalność procedury, postępowanie przedstawiono tylko dla jednego parametru – uśrednionej wartości gęstości optycznej x_1 .

Przyjęto następujące założenia eksperymentu:

- Celem badania jest określenie wielkości wpływu (oznaczonego jako α_0 i $\alpha_{11,...,2}$) parametrów ustawień maszyny drukującej na wartość parametru jakości.
- Rozpatrywany moduł maszyny drukującej: Cyjan
- Parametry ustawień maszyny drukującej: 10 stref farbowych ($u_{11},...,u_{110}$) w zakresie od 1 do 20 oraz docisk (u_2) w zakresie od 1 do 5.

Dla powyższych założeń skonstruowano ogólną postać funkcji regresji według wzoru (4.5):

$$x_1 = \alpha_0 + \alpha_{11}u_{11} + \alpha_{12}u_{12} + \alpha_{13}u_{13} + \alpha_{14}u_{14} + \alpha_{15}u_{15} + \alpha_{16}u_{16} + \alpha_{17}u_{17} + \alpha_{18}u_{18} + \alpha_{19}u_{19} + \alpha_{110}u_{110} + \alpha_2u_2$$

Następnie dla każdej pary zmiennych funkcji zbadano zależność przy wyłączeniu wpływu pozostałych zmiennych według schematu $c_{x|u_i, u_{i+1}, \dots, u_s}$. Zależność pomiędzy wybraną parą zmiennych $c_{x|u_{11}, u_{12}, \dots, u_2}$ przedstawiono według wzoru:

$$\hat{x}_1 = a_0 + a_1 u_{11}$$

Dla tej pary zmiennych wybrano zbiór parametrów nastawu maszyny drukującej, biorących udział w eksperymencie. Z uwagi na stosunkowo małą liczebność zbioru $s = 20$, przeprowadzono eksperyment całościowy, nie wykluczając żadnej wartości zmiennej u_{11} . W przypadku zbioru o większej liczebności, wybór próby należy przeprowadzić według zaproponowanej w rozdziale 4.3 metodyki.

Dla każdej zmiennej niezależnej w przedziale $u_{11} = \langle 1; 20 \rangle$ zmierzono wartość zmiennej zależnej x_1 . Pomiaru dokonano na wydrukowanych arkuszach drukarskich za pomocą spektrofotometru z zestawu XT firmy X-Rite.

Na podstawie pomiarów zebranych dla każdej ze stref barbowych $u_{11}, \dots, u_{110}$ oraz docisku u_2 , oszacowano metodą najmniejszych kwadratów parametry strukturalne funkcji (4.11) przedstawionej następująco:

- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{11}u_{11}$; $a_0 = -0,286$, $a_{11} = 0,162$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{12}u_{12}$; $a_0 = -0,464$, $a_{12} = 0,211$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{13}u_{13}$; $a_0 = -0,633$, $a_{13} = 0,201$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{14}u_{14}$; $a_0 = 0,711$, $a_{14} = 0,098$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{15}u_{15}$; $a_0 = -0,385$, $a_{15} = 0,212$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{16}u_{16}$; $a_0 = 0,149$, $a_{16} = 0,132$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{17}u_{17}$; $a_0 = -0,326$, $a_{17} = 0,152$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{18}u_{18}$; $a_0 = -0,182$, $a_{18} = 0,206$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{19}u_{19}$; $a_0 = -0,397$, $a_{19} = 0,144$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_{110}u_{110}$; $a_0 = 0,523$, $a_{110} = 0,073$
- Dla funkcji $x_1 = a_0 + a_2u_2$; $a_0 = -0,319$, $a_2 = 0,531$

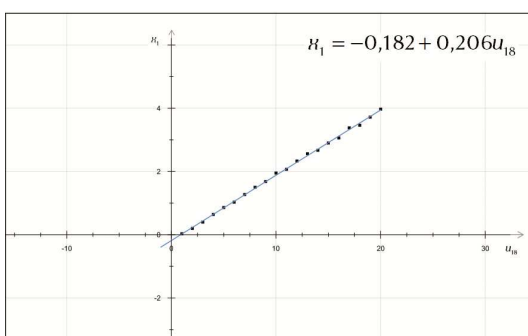
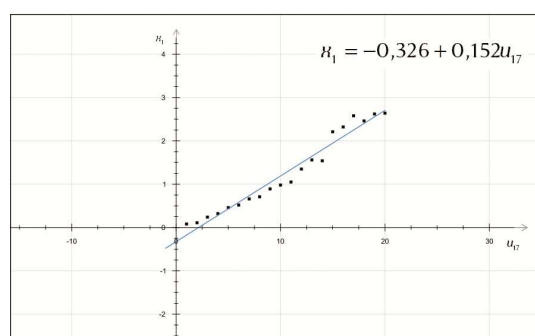
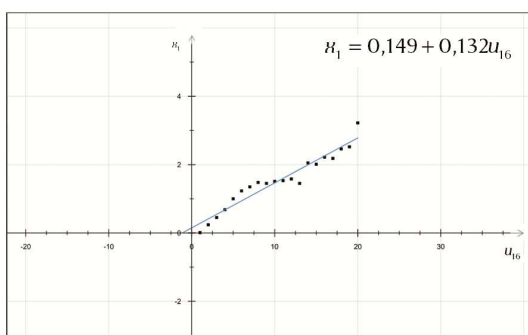
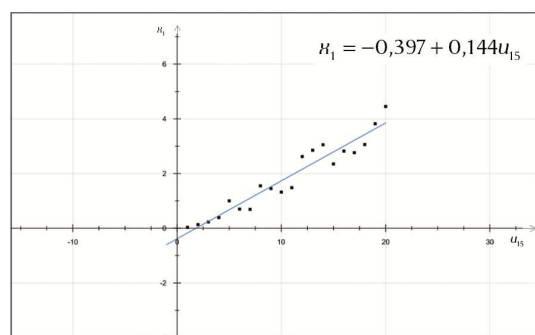
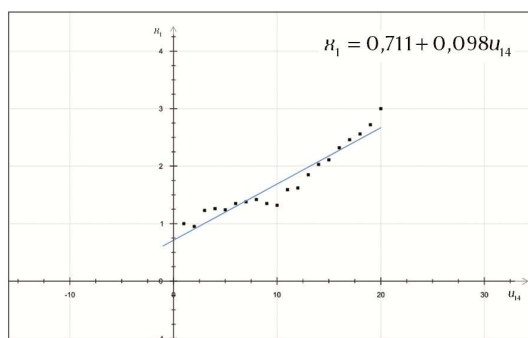
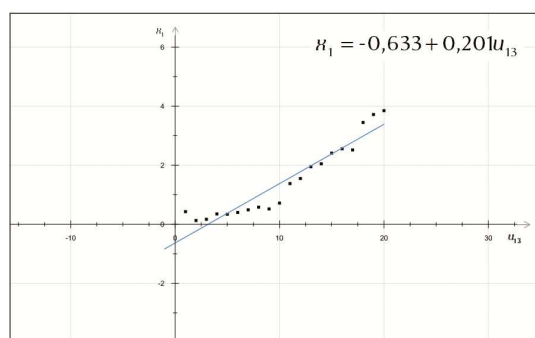
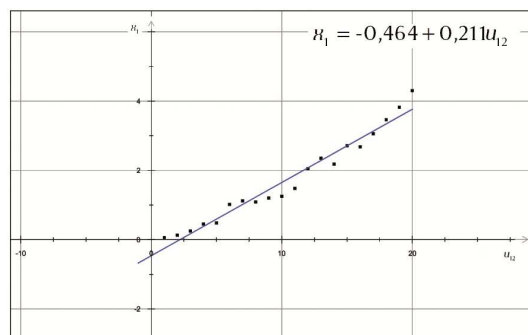
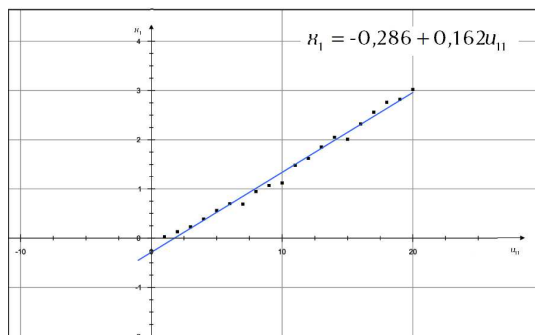
Powyższe równania zostały zsumowane stronami, co dało ostatecznie model gęstości optycznej w postaci funkcji:

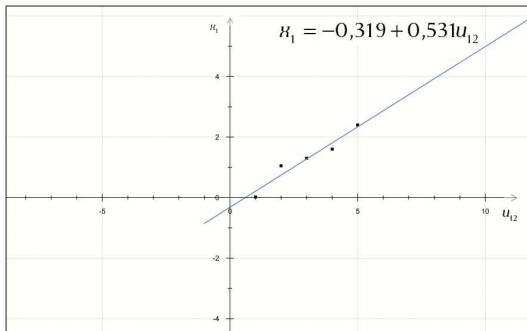
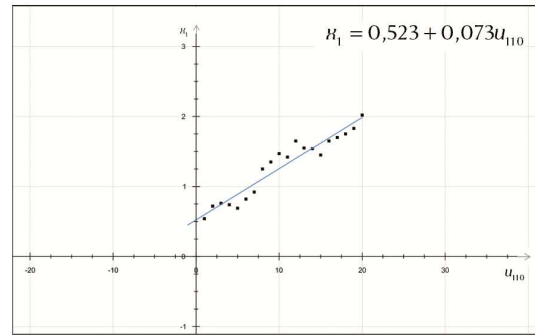
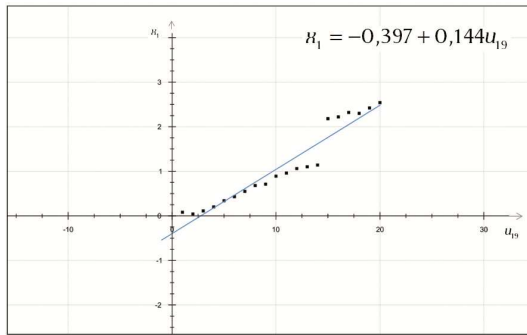
$$\begin{aligned} 11x_1 &= (a_0 + a_{11}u_{11}) + (a_0 + a_{12}u_{12}) + (a_0 + a_{13}u_{13}) + (a_0 + a_{14}u_{14}) + (a_0 + a_{15}u_{15}) + \\ & (a_0 + a_{16}u_{16}) + (a_0 + a_{17}u_{17}) + (a_0 + a_{18}u_{18}) + (a_0 + a_{19}u_{19}) + (a_0 + a_{110}u_{110}) + (a_0 + a_2u_2) \\ 11x_1 &= (-0,286 + 0,162u_{11}) + (-0,464 + 0,211u_{12}) + (-0,633 + 0,201u_{13}) + (0,711 + 0,098u_{14}) \\ & + (-0,385 + 0,212u_{15}) + (0,149 + 0,132u_{16}) + (-0,326 + 0,152u_{17}) + (-0,182 + 0,206u_{18}) \\ & + (-0,397 + 0,144u_{19}) + (0,523 + 0,073u_{110}) + (-0,319 + 0,531u_2) \end{aligned}$$

Pozwoliło to sformułować ogólną postać funkcji w postaci:

$$\begin{aligned} X_1 &= -0,146 + 0,015u_{11} + 0,019u_{12} + 0,018u_{13} + 0,009u_{14} + 0,019u_{15} + 0,012u_{16} + 0,014u_{17} \\ & + 0,019u_{18} + 0,013u_{19} + 0,007u_{110} + 0,048u_2 \end{aligned}$$

Wyniki cząstkowe z konstrukcji funkcji regresji przedstawione zostały na poniższych wykresach:





Korekta parametrów nastawu maszyny drukującej na podstawie modelu ich wpływu na parametry jakości produktu. Dopasowanie parametrów nastawu maszyny drukującej do wymaganego poziomu jakości realizowane jest w oparciu o skonstruowany matematyczny model w postaci:

$$X_1 = -0,146 + 0,015u_{11} + 0,019u_{12} + 0,018u_{13} + 0,009u_{14} + 0,019u_{15} + 0,012u_{16} + 0,014u_{17} + 0,019u_{18} + 0,013u_{19} + 0,007u_{110} + 0,048u_2$$

Do realizacji zadania zdefiniowano następujące dane wejściowe:

- x_1' - zadana wartość parametru jakości dla danego zlecenia produkcyjnego. Określona wartość dla gęstości optycznej dla wyciągu Cyjan została zdefiniowana w przedziale $x_1 < 1,25; 1,4 >$.
- x_1 - wartość parametru jakości zmierzona podczas kontroli jakości produktu i wyniosła $x_1 = 1,95$.
- $u_1', \dots, u_2'$ - wartości wstępnych parametrów nastawu maszyny drukującej, dla których x_1 nie było w normie. Wyniosły one:
 $u_{11} = 15; u_{12} = 13; u_{13} = 11; u_{14} = 8; u_{15} = 12; u_{16} = 16; u_{17} = 19; u_{18} = 15; u_{19} = 12;$
 $u_{110} = 10; u_2 = 3$

Pierwszym krokiem działania algorytmu jest przypisanie zmiennym modelu wartości początkowych i wyliczenie wartości parametru jakości:

$$X_1 = -0,146 + 0,015 \cdot 15 + 0,019 \cdot 13 + 0,018 \cdot 11 + 0,009 \cdot 8 + 0,019 \cdot 12 + 0,012 \cdot 16 + 0,014 \cdot 19 + 0,019 \cdot 15 + 0,013 \cdot 12 + 0,007 \cdot 10 + 0,048 \cdot 3$$

$X_1 = 1,931$ co jest zbliżone do zmierzonej wartości parametru jakości $\kappa_1 = 1,95$.

Ponieważ wartość parametru stanowi 193% pożądaną normy, uruchamiana jest dalsza część algorytmu. W pierwszej kolejności symulacja na maszynie wirtualnej modyfikuje w sposób losowy wartość parametru u_{11} . Wybór kolejnych parametrów nastawu maszyny do modyfikacji nastąpił losowo.

Podczas 10 iteracji w przeprowadzonym eksperymencie najlepszą wartość parametru jakości (1,825) osiągnięto dla wartości $u_{11} = 8,514$. Wyniki dalszych iteracji przedstawia tabela 5.4.

Tabela 5.4. Wyniki poszczególnych iteracji dopasowania parametrów nastawu maszyny drukującej do parametrów jakości produktu poligraficznego (opracowanie własne).

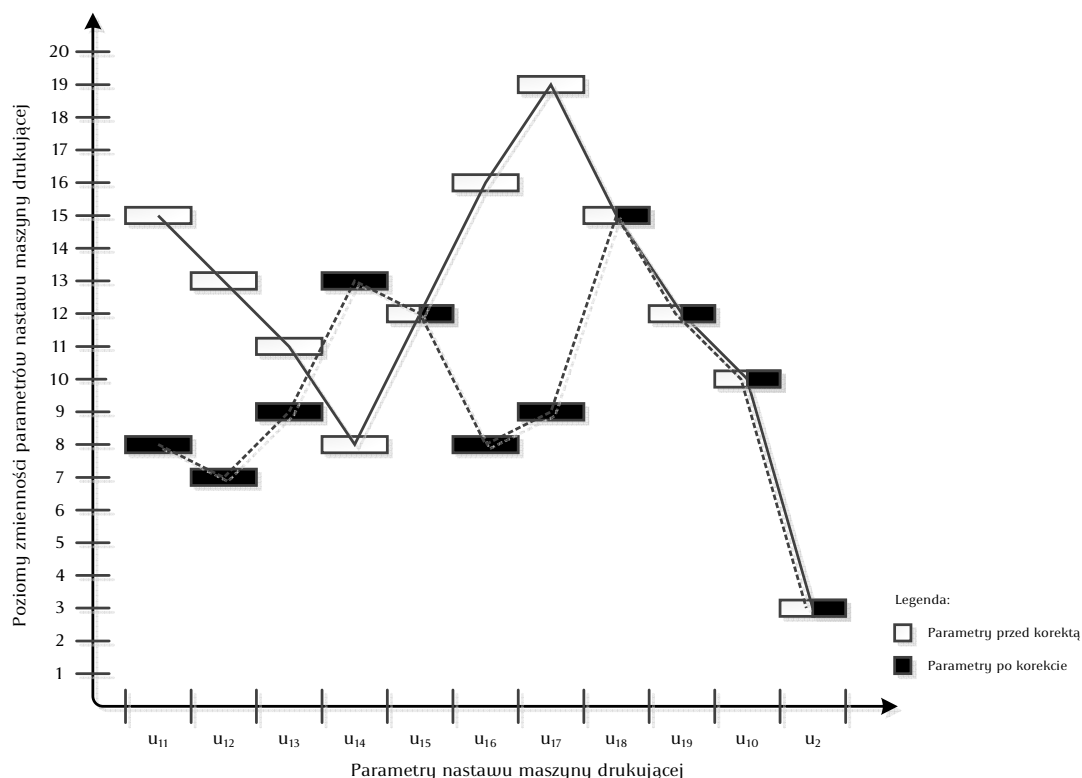
Zmieniany parametr nastawu maszyny drukującej	Wartość parametru nastawu dająca najlepszą wartość parametru jakości	Uzyskana wartość parametru jakości	Osiągnięty procent normy jakości
Wartość wyjściowa	Nie dotyczy	1,931	193,2%
u_{11}	8,514	1,825	176,9%
u_{11}	8,039	1,818	176,7%
u_{14}	13,000	1,796	172,5%
u_{16}	8,212	1,680	154,6%
u_{17}	8,789	1,519	129,8%
u_{12}	7,236	1,365	106,2%
u_{13}	8,894	1,324	99,8%
u_{13}	8,898	1,325	100,0%

Wartości parametrów nastawu maszyny drukującej przez użyciem na fizycznej maszynie powinny zostać zaokrąglone do najbliższej sprogowanej wartości.

Wynikiem działania modułu 3 na rys. 4.2 Systemu MJPP jest zbiór nowych ustawień maszyny drukującej w postaci:

$u_{11} = 8,039$; $u_{12} = 7,236$; $u_{13} = 8,898$; $u_{14} = 13,000$; $u_{15} = 12,000$; $u_{16} = 8,212$; $u_{17} = 8,789$;
 $u_{18} = 15,000$; $u_{19} = 12,000$; $u_{110} = 10,000$; $u_2 = 3,000$

Na rysunku 5.1 przedstawiono pozycję parametrów nastawu maszyny drukującej przed i po zastosowaniu wyżej przedstawionego algorytmu.



Rysunek 5.1. Pozycja parametrów nastawu maszyny drukującej przed i po korekcie według zaproponowanego algorytmu (opracowanie własne).

Algorytm dokonał korekty zbyt wysokich nastaw, sprowadzając wartość parametru jakości do pożądanego zakresu. Warto zauważyć, że po osiągnięciu celu (przedziału normy) przez algorytm, jego dalsze działanie stabilizuje się i nie wprowadza znaczących zmian.

Sprawdzenie proponowanych przez System MJPP ustawień w procesie druku odniosło pozytywny skutek w postaci prawidłowej wartości zmierzonej gęstości optycznej (1,28).

Powyższy przykład stanowi wycinek całego problemu, przedstawiony w sposób uproszczony dla pojedynczego parametru jakości. Zamodelowanie całości maszyny drukarskiej wymaga zbudowania modeli regresyjnych dla wszystkich parametrów jakości, a następnie przeprowadzania zademonstrowanego powyżej algorytmu na kolejnych parametrach jakości, aż do uzyskania prawidłowej wartości dla wszystkich z nich.

Zakończenie

Sektor mikro i małych przedsiębiorstw, jak określono go w niniejszej rozprawie, jest najdynamiczniej rozwijającym się sektorem rynku poligraficznego, a przy tym najslabiej wspieranym przez istniejące rozwiązania zarządzania i kontroli jakości produktu poligraficznego. Sektor ten koncentruje się głównie na wydawnictwach akcydensowych, a zapotrzebowanie na tego typu produkty podsyćane jest przez ogólny rozwój gospodarki, coraz częściej napędzany reklamą i marketingiem. Z tego względu można się spodziewać utrzymywania, bądź nawet wzrostu zapotrzebowania na nowe rozwiązania w poligrafii, w szczególności dotyczące zapewnienia jakości.

Mikro i małe przedsiębiorstwa poligraficzne borykają się z problemami wynikającymi z jednej strony z narzuconych przez dużą konkurencję niskich cen, a z drugiej – z rosnącymi wymaganiami klientów w zakresie jakości produktów. Spełnienie tych sprzecznych wymogów, przy braku środków na zapewnienie jakości przez stosowanie nowoczesnych, a co za tym idzie kosztownych, maszyn i systemów, jest obecnie bardzo trudne.

Jak wykazano w rozprawie, istnieje szereg rozwiązań realizujących zadanie wspomagania operatora w procesie kontroli jakości produktu poligraficznego. Jednakże są one głównie rozwiązaniami komercyjnymi, przeznaczonymi dla dużych przedsiębiorstw poligraficznych, które posiadają niezbędną infrastrukturę informatyczną (systemy pomiarowe, wielomodułowe maszyny drukujące) oraz środki finansowe na zakup zintegrowanych systemów zarządzania i kontroli jakości produktu poligraficznego. Rozwiązania te, pomimo swoich zalet takich, jak automatyczny pomiar parametrów jakości i kalibracja maszyny drukującej, zintegrowane są z konkretnym typem maszyny drukującej, a ich instalacja wymaga reorganizacji całego przedsiębiorstwa poligraficznego.

W rozprawie zaproponowano podejście do rozwiązania problemu zapewnienia jakości produktom poligraficznym w formie informatycznego Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego. Postawione przed tym systemem zadania obejmują:

- Analizę wszystkich parametrów jakości produktu poligraficznego określonych w normach i standardach (np. ISO, PN, BN, FOGRA, System Brunner), co nie jest kompleksowo realizowane przez istniejące rozwiązania,
- Identyfikację przyczyn wad jakości produktu związanych nie tylko z maszyną drukującą, ale również z innymi czynnikami (materiały eksploatacyjne, warunki druku, uprzednio popełnione błędy), co nie jest kompleksowo realizowane przez istniejące rozwiązania,

- Korektę parametrów nastawu maszyny drukującej, celem osiągnięcia parametrów jakości określonych w normach jakości, w szczególnym przypadku normach ISO.
- Uwzględnienie skomplikowanej sieci wzajemnych zależności parametrów jakości i nastawu maszyny drukującej. Istniejące rozwiązania koncentrują się na zależności pojedynczych parametrów.
- Możliwość stosowania dowolnych norm, ogólnych, branżowych jak i zakładowych. Istniejące rozwiązania operują wyłącznie w ramach ogólnie narzuconej normy.
- Gromadzenie i wykorzystanie wiedzy pochodzącej z różnych źródeł, np. producentów maszyny drukujących, ekspertów oraz wyników poprzednich przebiegów, itd. Ten obszar nie jest w pełni realizowany przez istniejące rozwiązania.
- Wykorzystanie istniejącej infrastruktury informatycznej i technicznej przedsiębiorstwa. Niezależność od stosowanych w przedsiębiorstwie maszyn i urządzeń. Większość istniejących rozwiązań dedykowana jest konkretnym maszynom drukującym, a aplikacje działające na poziomie ogólnym nie uwzględniają najważniejszych aspektów problemu.
- Niski koszt wdrożenia i utrzymania systemu w przedsiębiorstwie poprzez wykorzystanie do jego budowy standardowych komponentów informatycznych.

Opracowanie podstaw formalizacji systemu informatycznego wymagało analizy funkcjonowania przedsiębiorstwa na każdym poziomie zarządzania jakością produktu. W tym celu opracowano model referencyjny, na podstawie którego możliwe stało się określenie rodzaju danych, sposobu ich przepływu oraz główne warunki technologiczne stanowiące podstawę do stworzenia rozwiązania informatycznego. Pozwala to stwierdzić, że osiągnięty został sformułowany następująco cel pracy:

Opracowanie modelu referencyjnego dla potrzeb formalizacji systemu informacyjnego ze szczególnym uwzględnieniem dopasowania wewnętrznych parametrów jakości produktu poligraficznego do norm ISO.

We wstępie postawiono również następującą hipotezę naukową:

Zastosowanie w modelowaniu referencyjnym metod o charakterze regresyjnym pozwoli na usprawnienie procesu dopasowania wewnętrznych parametrów jakości do zewnętrznych standardów stawianych w normach ISO.

Dowodem na słuszność hipotezy są następujące stwierdzenia:

- Zastosowanie modelu regresyjnego pozwoliło na zdefiniowanie zakresu parametrów nastawu maszyny drukującej pozwalających na spełnienie norm jakości, w szczególnym przypadku norm ISO.
- Wykorzystanie sformułowanego modelu regresyjnego pozwoliło na zawężenie zbioru poszukiwanych rozwiązań, jednocześnie umożliwiając dopasowanie parametrów nastawu maszyny drukującej do konkretnego zlecenia produkcyjnego (wymagań klientów),
- Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji pozwoliło określić zależności pomiędzy zbiorem parametrów jakości produktu poligraficznego, a parametrami nastawu maszyny drukującej zdefiniowanych w formie reguł oraz określić prawdopodobieństwo ich wystąpienia w konkretnej sytuacji,
- Korekta bieżących parametrów nastawu maszyny przeprowadzona w środowisku symulacyjnym pozwoliła osiągnąć zadany poziom jakości produktu bez konieczności uruchamiania fizycznego zadruku arkuszy drukarskich.
- Uwzględnienie wszystkich zalecanych parametrów kontroli jakości oraz możliwie jak największej ilości potencjalnych przyczyn ich wad daje kompleksowe rozwiązanie informatyczne, wspierające każdego operatora, bez względu na posiadają wiedzę i doświadczenie.

Głównym przeznaczeniem Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego jest minimalizacja kosztów (np. zużycia materiałów, czasu) pracy przedsiębiorstwa oraz wsparcie drukarza, zwłaszcza niedoświadczonego, w zapewnieniu wysokiej jakości produktu poligraficznego. Proponowany system zawiera zbiór reguł, które wskazują drukarzowi możliwe przyczyny wystąpienia danego błędu i nie wymagają od niego żadnego doświadczenia. Obecnie stosowane podejście prób i błędów (Thomson *et al.*, 2005) powoduje konieczność czasochłonnego powtarzania przebiegów testowych, które pociągają za sobą zużywanie papieru. Przedstawiony System MJPP zastępuje w tym procesie rzeczywistą maszynę maszyną wirtualną, co eliminuje marnotrawienie papieru oraz wielokrotnie skraca czas przestojów.

Proponowane rozwiązanie doprowadziło do znacznego skrócenia nieproduktywnych czasów przygotowawczych, które trwały nawet do 1 godziny oraz przestojów maszyny spowodowanych pojawiającymi się błędami jakościowymi. Zaproponowany w rozprawie system informatyczny pozwolił na skrócenie czasów przygotowawczych do kilku minut oraz natychmiastowe wykrywanie odchyłeń wartości zadanych parametrów wpływających na jakość produktu. Skutkiem wdrożenia proponowanego rozwiązania (w formie prototypu) było zmniejszenie ilości zużywanego papieru rozbiegowego o około 100 arkuszy na każdy nieproduktywny przebieg. Zmniejszyło się również zużycie farb drukarskich. System MJPP

znajduje prawidłowy zestaw parametrów nastawu w ciągu średnio 80 iteracji, których wykonanie zajmuje mniej niż sekundę. Wykonanie takiej samej ilości prób przez drukarza zajęłoby kilkanaście godzin i, jako ekonomicznie nieuzasadnione, w ogólnie nie miałyby miejsca. Zastosowanie systemu pozwala zatem zwiększyć końcowy poziom jakości ze względu na fakt, iż przeprowadzenie nawet dużej ilości prób nie tylko gwarantuje osiągnięcie parametrów jakości, ale także nie wiąże się ze stratami czasu i materiałów.

Praca ma charakter metodyczny i stosowany. Aspekt metodyczny odnosi się do opracowanych metod i algorytmów identyfikacji przyczyn wad jakości oraz dopasowania parametrów nastawu maszyny do wymaganego poziomu jakości produktu poligraficznego. Aspekt stosowalności rozwiązany jest poprzez opracowany prototyp oparty na obowiązujących normach i standardach (np. JDF1.4:2008, ISO 12647-2:2007), co jest szczególnie ważne w aspekcie panującego obecnie trendu komputerowej integracji procesów produkcyjnych; ang. Computer Integrated Manufacturing (Rehg, Kraebber, 2004). System może stanowić rozszerzenie istniejących rozwiązań desktopowych oraz obszaru badań prowadzonych przez wiodące w branży poligraficznej instytucje naukowo-badawcze, takie jak: Fogra, The International Cooperation for the Integration of Processes in Prepress, Press, and Postpress Organization (CIP4) czy International Color Consortium (ICC). System MJPP może być z powodzeniem wykorzystany zarówno w przemyśle, jak i w edukacji. W przemyśle poligraficznym będzie stanowił instrument kontroli jakości i źródło informacji dla większości obszarów zarządzania jakością. W edukacji będzie sprawował program szkoleniowy przygotowujący ludzi do zawodu. Ma to szczególne znaczenie w kontekście likwidacji szkół zawodowych i zmniejszeniu kadry rzemieślniczej.

Elementy nowości jakie można odnaleźć w pracy to:

- Opracowanie modelu referencyjnego dla potrzeb formalizacji systemu informacyjnego.
- Umieszczenie systemu w przyjętym przez ISO modelu zarządzania jakością.
- Określenie klas wymiany danych w oparciu o standard branżowy JDF.
- Analiza złożoności oraz istotności parametrów kontroli jakości.
- Identyfikacja grup przyczyn wad odchylenia od zadanych wartości parametrów jakości.
- Określenie relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy parametrami nastawu maszyny drukującej, a parametrami jakości produktu poligraficznego oraz zdefiniowanie ich w formie reguł.
- Opracowanie struktury Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego oraz określenie funkcjonalności poszczególnych modułów.

- Opracowanie następujących metod związanych z funkcjonowaniem systemu:
 1. Metoda identyfikacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego,
 2. Metoda określania prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych reguł w konkretnej sytuacji,
 3. Metoda określania zależności parametrów jakości od parametrów nastawu maszyny drukującej,
 4. Metoda korekty parametrów nastawu maszyny drukującej podczas realizacji bieżącego zlecenia produkcyjnego.

Opracowany system uzyskuje przewagę nad innymi rozwiązaniami, nie tylko ze względu na kompleksowe podejście do problemu i uniwersalność, ale również ze względu na możliwości dalszego rozwoju, zarówno w zakresie rozbudowy wewnętrznej bazy wiedzy i algorytmów, jak i nowych zastosowań. Możliwości rozwoju obejmują:

- Optymalizację algorytmu wybierania parametrów nastawy maszyny drukującej do korekty.
- Zastosowanie metod data mining do analizy zbieranych danych na temat parametrów zleceń produkcyjnych, co pozwoli na identyfikację nieznanych jeszcze relacji oraz aktualizację istniejącej bazy wiedzy (co zostało już zaproponowane w (Zaikin *et al.*, 2007) i (Zaikin, Olejnik-Krugły, 2009).
- Dostosowanie metod i algorytmów do innych technik druku, w szczególności identyfikacja związków przyczynowo-skutkowych oraz opracowanie bazy reguł.
- Opracowanie metody przechowywania modeli wielu maszyn drukujących opartych na wspólnej bazie danych i regułach.

Bibliografia

1. Ackoff R.L. (2005), *The “total” in Total Quality Management (TQM), Systemic Practice and Action Research*, Springer.
2. Aronson J.E. (2003), *Expert Systems in Encyclopedia of Information Systems*, vol. 2. pp. 277-289.
3. Arystoteles (1975), *Kategorie i hermeneutyka*, PWN, Warszawa.
4. Bajka Z. (2008), *Historia mediów*, Towarzystwo Słowaków w Polsce Warszawa.
5. Bann D. (2007), *Poligrafia – praktyczny przewodnik*, ABE Dom Wydawniczy, Warszawa.
6. Beckford J. (1998), *Quality, A Critical Introduction*, Routledge.
7. BN-75-7419-02 (1976), *Sprawdzenie pasowania barw. Odbitki drukarskie i druki*, Wydawnictwo normalizacyjne
8. BN-80-7439 (1980), *Wytyczne wyznaczania gęstości optycznej*, OBRPP.
9. BN-88/7414-04 (1988), *Odbitki drukarskie. Zestawienie cech jakości i metod badań nadruku*, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Poligraficznego, Wydawnictwo Normalizacyjne Alfa.
10. Borkowski S., Ulewicz R. (2009), *Zarządzanie produkcją. Systemy produkcyjne*, Humanitas, Sosnowiec.
11. Breede M.H. (2006), *Handbook of graphics arts equations*, PIA/GATHPress, Pittsburg.
12. Briggs J., Tse M.K., (2005), *Objective Print Quality Analysis and The Portable Personal IAS; Image Analysis System*,
13. Brzeziński M. (2002), *Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.
14. Burstein F., Holsapple C. (2008), *DSS Architecture and Types*, Springer Berlin Heidelberg. pp. 163-189, dostęp 8 stycznia 2012 roku, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-48713-5_9.
15. BVD/FOGRA (1981), *Standardization of Offset Printing*, FOGRA Praxis Report nr 30.
16. Cempel C. (2008), *Teoria i inżynieria systemów. Zasady i zastosowania myślenia systemowego*, ITEE, Radom.
17. Champ C., Woodall W., Mohsen H. (1991), *A generalized quality control procedure*, Statistics & Probability Letters, vol. 11, Issue 3, pp. 211–218.

18. Chiang L.H., Russell E.L., Braatz. (2001), *Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems*, Springer, London, Great Britain.
19. Chilukuri K.M. (2000), *Frontiers of Expert Systems*, Kluwer Academic Publishers Norwell, USA.
20. Cichocki L., Pawlicki T., Ruczka I (1999), *Poligraficzny słownik terminologiczny*, Polska Izba Druku, Warszawa.
21. Connolly T., Begg C. (2010), *Database systems: a practical approach to design, implementation, and management*, Addison Wesley.
22. DeJidas L., Destree T. (2005), *Sheetfed Offset Press Operating*, PIA/GATH Press, Pittsburgh.
23. Destree T.M. (2007), *The guide to troubleshooting for the sheetfed offset press*, PIA/GATF Press, Pittsburgh.
24. Donkelaar V. (1983), *Jakość przyszłości świata*, Problemy Jakości.
25. Drummond H. (1998), *W pogoni za jakością*, Wydawnictwo Dom Wydawniczy ABC, Warszawa.
26. Drupa (2008), *Międzynarodowe targi poligraficzne. Targi druku i mediów*, 29.05 - 11.06, Düsseldorf, Niemcy.
27. Durlik I. (2007), *Inżynieria zarządzania. cz. 1*. Wydanie uzupełnione, Wydawnictwo Placet, Warszawa.
28. Gavin D. (1984), *What Does „Product Quality” Really Mean?*, Sloan Management Journal.
29. *Glossary of Term Used in Quality Control* (1981), European Organization on Quality Control, Berno.
30. GUS (Główny Urząd Statystyczny) (2000-2011), opracowanie w formie *Małego Słownika Statystycznego w Polsce w poszczególnych latach*, dostępne 3 marca 2012 roku, <http://www.stat.gov.pl>.
31. Hamada M.S., Wilson A.G, Reese C.S., Martz, H.F. (2008), *Bayesian Reliability*, Springer.
32. Hamerliński J. (2011), *Zastosowanie symulatorów maszyn drukujących w edukacji zawodowej*, II Konferencja Edukacyjna, Zawodowe szkolnictwo poligraficzne w epoce technologii cyfrowych, COBiRPP, Poznań.
33. Hamrol A., Mantura W. (2002), *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*. PWN, Warszawa.
34. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2009), *The Elements of Statistical Learning*, Springer.
35. Hayes-Roth F. (1983) *Building Expert Systems*, Addison-Wesley Publishing Company, Boston.

36. Heidelberg (2007), *Barwa i jakość*, materiały edukacyjne.
37. Hellawell J.M. (1991), *Rozwój uzasadnienie monitorowania*, Monitoring dla ochrony i ekologii, Londyn.
38. Hill T., Lewicki P. (2005), *Statistics: Methods and Applications*, StatSoft, Kraków.
39. Hoshino P. K. Y. (2008), *Halftone dot size variation in offset, electrophotographic and flexographic, printing and its perception*. Journal of Imaging Science and Technology, 52(6), 1–7.
40. Hryniewicz O. (1996), *Nowoczesne metody statystycznego sterowania jakością*, Instytut Badań Systemowych PAN, Omnitech Press, Warszawa
41. IEEE 829 (1998), *Standard for Software Test Documentation*.
42. Ipeł (2010), *Międzynarodowa wystawa rozwiązań poligraficznych*, 18–25 maja, Birmingham, Wielka Brytania.
43. *ISO 12647*, Graphic technology — Process control for the production of half-tone color separations, proof and production prints. Part 1 (2004): Parameters and measurement methods. Part 2 (2007) Offset lithographic processes. Part 3 (2005): Coldset offset lithography on newsprint. Part 4 (2005): Publication gravure printing. Part 5 (2001): Screen printing. Part 6 (2006): Flexographic printing. Part 7 (2007): Proofing processes working directly from digital data. Part 8 (2012): Validation print processes working directly from digital data.
44. *ISO 32000-1* (2008), *Document management. Portable document format*, part 1: PDF 1.7.
45. ISO 9000 (2005), *Quality management system – Fundamentals and vocabulary*.
46. ISO 9001 (2008), *Quality management systems – Requirements*.
47. Iwaszkiewicz A. (2005), *Zarządzanie jakością w przykładach i zadaniach*, Śląskie Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Nauk Społecznych, Tychy.
48. Jackson P. (1999), *Introduction to expert systems*, Addison-Wesley Publishing Company, New York.
49. Jakucewicz S. (1999), *Papier w poligrafii*, Inicjał, Warszawa.
50. *JDF Specification*, release 1.4 (2008), Process Integration Technology, W. Kuehn, M. Grell, dostępne dnia 22 grudnia 2011 roku, www.cip4.org/JDF.
51. Józwiak J., Podgórski J. (2009), *Statystyka od podstaw*, PWE, Warszawa.
52. Juran J.M. (1988), *Quality Control Handbook*, McGraw-Hill, New York.

53. Kappel W., Raffaldi J. (2006), *Gauge R&R: improves quality and profitability*, Quality Magazine, pp. 50-51.
54. Karaszewski R. (2005), *Zarządzanie jakością. Koncepty, metody i narzędzia stosowane przez liderów światowego biznesu*, Dom organizatora, Toruń.
55. Karpiński T. (2004), *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
56. Kasprzak T. (2005), *Modele referencyjne w zarządzaniu procesami biznesu*, Difin, Warszawa.
57. Kindlarski E. (1993), *Kontrola i sterowanie jakością*, Oficyna wydawnicza Politechnika Warszawskiej, Warszawa.
58. Kindlarski E. (1999), *Jakość wyrobów*, PWN, Warszawa.
59. Kipphan H. (2001), *Handbook of Print Media - Technologies and Production Methods*, Springer, Heidelberg.
60. Kisielnicki J., Sroka H. (2005), *Systemy informacyjne biznesu. Informatyka dla zarządzania*, Wydawnictwo Placet, Warszawa.
61. Korytkowski P. (2005), *Modelowanie i optymalizacja zdolności produkcyjnej w systemach potokowej produkcji niematerialnej*, rozprawa doktorska, Wydział Informatyki Politechniki Szczecińskiej.
62. Korytkowski, P., Olejnik-Krugły A., Zaikin O. (2009), *A Framework for a Quality Assurance in Offset Printing*, in proceedings of 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 3-5 June 2009, Moscow, Russia.
63. Kowalska E., Kowalski M. (2010), *Reklama w społeczeństwie informacyjnym. Bibliografia 110 artykułów*, Tychy.
64. Kuczera R. (2007), *Standaryzacja, kontrola jakości czy rutynowe działania?*, Poligrafika, nr.1, Alfa-Print, Warszawa.
65. Kumar M., Antony J. (2008), *Common myths of six sigma demystified*, International Journal of Quality & Reliability Management, 25 (8) (2008), pp. 878-895.
66. Kunstetter A. (2009), *Cele standaryzacji procesów technologicznych w systemach sterowania barwą*, Konferencja poligraficzna „Standardy w poligrafii”, Polska Izba Druku, 22 kwietnia, Poznań.
67. Kwak Y.H., Anbari F.T. (2006), *Common myths of six sigma demystified*, International Journal of Quality&Reliability Management, 25 (8), pp. 878-895.
68. Kwaśny A. (2002), *DTP. Księga eksperta*, Wydawnictwo Helion.
69. Laertios D. (1984), *Żywoty i poglądy innych filozofów*, PWN, Warszawa.

70. Łańcucki J. (2001), *Podstawy Kompleksowego Zarządzania Jakością TQM*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
71. Larose D. (2006), *Odkrywanie wiedzy z danych. Wprowadzenie do eksploracji danych*, PWN, Warszawa.
72. Lenz H.J., Wilrich P. T. (2004), *Frontiers in Statistical Quality Control*, Springer.
73. Markowski L. (2010), *Angielsko-polski słownik terminów poligraficznych*, Centralnego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Poligraficznego (COBRPP), Warszawa.
74. McCue C. (2007), *Profesjonalny druk. Przygotowanie materiałów*, Helion, Gliwice.
75. Muhlemann A., Oakland J., Lockyer K. (1995), *Zarządzanie produkcją i usługami*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
76. Mulcaster W. (2009), *Three Strategic Frameworks*, Business Strategy Series, Vol 10, No 1.
77. Nezhad M.S.F., Niaki S.T.A. (2010), *A new monitoring design for univariate statistical quality control charts*, Information Sciences, vol. 180, Issue 6, 15 March 2010, pp. 1051–1059.
78. Nowa Encyklopedia Powszechna PWN (1996), Warszawa.
79. Oakland J. (2000), *Total Quality Management*, Butterworth Heinemann, London.
80. Pająk E. (2007), *Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja*, PWN, Warszawa.
81. Panák J., Čeppan M., Dvonka V., Karpinsky Ĺ, Kordoš P., Mikula M., Jakucewicz S. (2005), *Poligrafia – procesy i technika*, COBRPP, Warszawa.
82. Pasternak K. (2005), *Zarys zarządzania produkcją*, PWE, Warszawa.
83. Patton R. (2002), *Testowanie oprogramowania*, Mikom, Warszawa.
84. PECOM (2010), System centralnego zarządzania drukarnią offsetową, Man Roland, dostępne dnia 29 marca 2012 roku, <http://www.manroland.pl>.
85. Peszko A., Gazda A. (2000), *Podstawy zarządzania*, WSiLiZ, Rzeszów.
86. Petriaszwili J. (2009), *Badania naprężeń powstających w warstwie klejowej grzbietu oprawy podczas rozkrywania kartek książki*, Przegląd papierniczy, nr 65, październik.
87. PN-80/P-55207 (1980), *Odbitki drukarskie i druku. Wady*. Polski Komitet Normalizacyjny Miar i Jakości.

88. PN-ISO 3534-2 (2010), *Statystyka – Statystyczne sterowanie jakością – Terminologia i symbole*, Polski Komitet Normalizacyjny Miar i Jakości.
89. *Polska Klasyfikacja Wyrobów i Usług* wprowadzona Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 29 października 2008 r. (DZ. U. Nr 207, poz 1293, z późniejszymi zmianami).
90. Power D.J. (2002), *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*, Studies in Informatics and Control, number 11(4): pp. 349-350.
91. Prinect (2008), Zintegrowany system zarządzania przedsiębiorstwem poligraficznym firmy Heidelberger Druckmaschinen AG, dostępne dnia 24 lutego 2012 roku, www.pl.heidelberg.com.
92. Print Control Pro/Print Consult (2010), oprogramowanie do kontroli jakości, GMG Print Color, dostępne dnia 13 marca 2012 roku, <http://www.gmgcolor.com>.
93. PrintManager.JDF (2008), System informatyczny dla przedsiębiorstw poligraficznych, dostępne dnia 8 marca 2012 roku, <http://www.infosystems.pl>.
94. Rączka M. (2000), *Zarządzanie jakością. Tom I: jakość i systemy zapewnienia jakości*, Politechnika Krakowska, Kraków.
95. Rajnsz E. (2009), *Barwy druku. Offset arkuszowy*, Michael Huber Polska, Wrocław.
96. Rajnsz E. (2011), *Niepożądany mottling*, Poligrafika, nr 6.
97. Regh J., Kraebber H. (2004), *Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall.
98. Rohdea D., Corcoranb J., Chhetric P. (2010), *Spatial forecasting of residential urban fires: A Bayesian approach*, Computers, Environment and Urban Systems, v. 34, Issue 1, pp. 58–69.
99. Różewski P., Olejnik-Krugły A., Emma Kuszina E. (2010), *Analysis of quality factors in printing production process: information systems based approach*, In: Wolski. W, Borawski M (Eds.) Computer graphics. Selected Issues, Faculty of Economics and Management, University of Szczecin, pp. 131-141
100. Rynek poligraficzny w Polsce (2011), badanie KPMG i PBKB, dostępne dnia 12 kwietnia 2012 roku, <http://www.kpmg.com/pl>.
101. Scorpio (2012), dystrybutor maszyn, materiałów i urządzeń poligraficznych, specyfikacja produktu, dostępne dnia 15 kwietnia 2012 roku, <http://www.scorpio.com.pl>.
102. Shu-Hsien L. (2005), *Expert system methodologies and applications – a decade review from 1995 to 2004*, *Expert Systems with Applications*, Vol. XXVIII, pp. 93-103.

103. Silver M. (1991), *Systems that support decision makers: description and analysis*, Nowy Jork, Wiley.
104. Skrzypek E. (2000), *Jakość i efektywność*, Lublin.
105. *Słownik języka polskiego* (2010), Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa.
106. Sobczyk M. (2008), *Statystyka*, PWN, Warszawa.
107. Sołdek J. (2007), *System innowacji dla mikro, małych i średnich przedsiębiorstw – potrzeby i formy realizacji*, Metody Informatyki Stosowanej, nr 1/2007 (tom 11), str. 9-22.
108. System Brunner, dostępne dnia 15 lutego 2012 roku, <http://www.systembrunner.com>.
109. Szczepańska K. (2010), *Kompleksowe zarządzanie jakością. Przeszłość i teraźniejszość*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
110. Thomson J.R., Kornacki J., Nieckuła J. (2005), *Techniki zarządzania jakością od Shewharta do metody „Six Sigma”*, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa.
111. Tritton K. (1997), *Colour control in lithography*, Pira International, Leatherhead, Surrey.
112. Uraikul V., Chan C.W., Tontiwachwuthikul P. (2007), *Artificial intelligence for monitoring and supervisory control of process systems*, Engineering Applications of Artificial Intelligence 20, pp. 115–131.
113. Verikas A., Lundström J., Bacauskiene M., Gelzinis A. (2011), Advances in computational intelligence-based print quality assessment and control in offset colour printing, Expert Systems with Applications, vol. 38, Issue 10, pp. 13441–13447.
114. Waterman D.A., Hayes-Roth F. (2000), *An Investigation of Tools for Building Expert Systems*, Addison-Wesley Publishing Co.
115. Wawak S. (2011), *Zarządzanie jakością. Podstawy, systemy, narzędzia*, Helion, Gliwice.
116. Wawrzynek J. (2007), *Metody opisu i wnioskowania statystycznego*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego, Wrocław.
117. *Wykaz norm poligraficznych z zakresu technologii i materiałów* (2005), Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Przemysłu Poligraficznego,
118. *Zachodniopomorska Platforma Poligraficzna*, Szczeciński Park Naukowo-Technologiczny, marzec 2007r. z aktualizacją w 2010r.
119. Zaikin O., Kustina E., Olejnik-Krugły A. (2010b), *Methodology for conducting virtual experiments for sheetfed offset printing*, materiały

- XVIII Międzynarodowej Konferencji pt.: „Problemy sterowania bezpieczeństwem systemów złożonych”, Moskwa.
120. Zaikin O., Kuszina E., Olejnik-Krugły A. (2011), *Science experiment design procedure*, materiały XVIII Międzynarodowej Konferencji pt.: „Problemy sterowania bezpieczeństwem systemów złożonych”, Moskwa, Russia.
 121. Zaikin O., Olejnik-Krugły A. (2007), *Parameters affecting correct proceeding of printing process control*, in proceedings of 14th Conference “Complex Systems Security Management Problems”, Wydawnictwo Rosyjskiego Państwowego Uniwersytetu Humanistycznego, Moscow.
 122. Zaikin O., Olejnik-Krugły A. (2009), *System ekspertowy zapewniający jakość procesu produkcyjnego w druku offsetowym*, Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe, EXIT, Warszawa, str. 545-557.
 123. Zaikin O., Olejnik-Krugły A., Kuszina E. (2010a), *Zarządzanie jakością w łańcuchu dostaw w przedsiębiorstwie poligraficznym*, Konferencja naukowo-techniczna w Warszawskiej Wyższej Szkole Informatyki, październik, Warszawa, Polska.
 124. Zaikin, O., Korytkowski P., Olejnik-Krugły A. (2007), *Quality control system for offset printing supported by expert system*, in proceedings of the 16th International Conference on Systems Science, 4-6 September 2007, Wrocław, Polska, pp. 520-528
 125. Żemigła M. (2009), *Jakość w systemie zarządzania przedsiębiorstwem*, wyd. Placet, wyd. II uzupełnione, Warszawa.

Spis rysunków

Rysunek 1. Podział sektora działalności poligraficznej w Polsce według rodzajów produktów i wielkości przedsiębiorstw	5
Rysunek 1.1. Proces produkcyjny w przedsiębiorstwie poligraficznym.....	13
Rysunek 1.2. Procesy zarządzania jakością produktów w przedsiębiorstwie produkcyjnym	18
Rysunek 1.3. Zarządzanie jakością produktu poligraficznego w przedsiębiorstwie poligraficznym	20
Rysunek 1.4. Operacje technologiczne i operacje kontroli jakości w poligraficznym procesie produkcyjnym.....	22
Rysunek 3.1. Procedura opracowania modelu informatycznego Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego	44
Rysunek 3.2. Umieszczenie Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego w przyjętym przez ISO modelu systemu zarządzania jakością. 45	
Rysunek 3.3. Wymiana danych Systemu MJPP w obrębie przedsiębiorstwa poligraficznego	46
Rysunek 3.4. Obszar działania Systemu MJPP w procesie kontroli jakości	49
Rysunek 3.5. Zależności pomiędzy parametrami jakości produktu poligraficznego	56
Rysunek 3.6. Zależność parametrów jakości względem gęstości optycznej na podstawie ISO 12647-2:2007	57
Rysunek 3.7. Przyczyny pochodzenia wad jakości produktu poligraficznego ...	60
Rysunek 4.1. Algorytm funkcjonowania Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego.....	64
Rysunek 4.2. Struktura Systemu Monitorowania Jakości Produktu Poligraficznego	65
Rysunek 4.3. Diagram klas podstawowych występujących w bazie danych Systemu MJPP	69
Rysunek 4.4. Metoda określenia prawdopodobieństwa wystąpienia związków przyczynowo-skutkowych	78
Rysunek 4.5. Funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa dla zmiennych modelu	85
Rysunek 4.6. Algorytm badania zależności parametrów jakości od parametrów nastawu maszyny drukującej	87
Rysunek 4.7. Algorytm korekty parametrów nastawu maszyny drukującej.....	93

Rysunek 4.8. Stabilizacja algorytmu określającego prawdopodobieństwo wystąpienia związków przyczynowo-skutkowych.....	96
Rysunek 4.9. Uśrednione wartości odchylenia standardowego dla jednego wariantu decyzyjnego.....	97
Rysunek 4.10. Stabilizacja algorytmu kolektory parametrów nastawu maszyny drukującej.....	98
Rysunek 5.1. Pozycja parametrów nastawu maszyny drukującej przed i po korekcie według zaproponowanego algorytmu	112
Rysunek 6.1. Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP do wprowadzania parametrów jakości produktu poligraficznego.....	140
Rysunek 6.2. Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP do wprowadzania potencjalnych przyczyn wad jakości produktu poligraficznego	140
Rysunek 6.3. Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP do definiowania związków przyczynowo-skutkowych w postaci reguł	141
Rysunek 6.4. Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP informujący o przyczynach wad jakości oraz sposobie ich naprawy.....	141

Spis tabel

Tabela 1. Dobór klasy systemu informatycznego w zależności od typu maszyny drukującej, rodzaju produktu poligraficznego oraz wielkości przedsiębiorstwa.....	9
Tabela 2.1. Zestawienie systemów informatycznych wspomagających proces kontroli jakości produktu poligraficznego.....	38
Tabela 3.1. Rodzaje danych w systemie MJPP	47
Tabela 4.1. Charakterystyka klas podstawowych występujących w relacyjno-obiektowej bazie danych	68
Tabela 4.2. Zestawienie pomiarów w celu określania rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych modelu	84
Tabela 5.1. Normy jakości dla gęstości optycznej w procedurze kontroli jakości	100
Tabela 5.2. Zbiór danych historycznych wystąpień przyczyn wad jakości produktu	104
Tabela 5.3. Zestawienie reguł z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia w konkretnej sytuacji	106
Tabela 5.4. Wyniki poszczególnych iteracji dopasowania parametrów nastawu maszyny drukującej do parametrów jakości produktu poligraficznego.....	111
Tabela 6.1. Macierz relacji przyczynowo-skutkowych parametrów jakości i przyczyn ich wad	129
Tabela 6.2. Macierz relacji przyczynowo-skutkowych przyczyn wad jakości i sposobu ich likwidacji	133
 Kod 4.1. Formuła wyliczania prawdopodobieństwa reguł.....	 77

Załącznik 1

Macierz relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy parametrami jakości produktu poligraficznego a przyczynami ich wad

Tabela 6.1. Macierz relacji przyczynowo-skutkowych parametrów jakości i przyczyn ich wad (opracowanie własne).

Przyczyny wad jakości produktu poligraficznego		Parametry jakości produktu poligraficznego	1. Flaga parametru jakości produktu poligraficznego	2. Nieprawidłowości w układzie farbowym (usterki mechaniczne)	3. Duża ilość nakładanej na podłoże farby	4. Mała ilość nakładanej na podłoże farby	5. Duży udział w procesie druku jednej z farb dominujących	6. Mały udział w procesie druku jednej z farb dominujących
Gęstość optyczna			1	X	X			
			-1	X		X		
Przyrost pokrycia rastrowego			1		X			
			-1			X		
Kontrast druku			1		X			
			-1			X		
Zdolność przyjmowania farby przez farbę			2					
Murzenie			2					
Dublowanie			2					
Pasowanie			2					
Odwzorowanie elementów graficznych i tekstowych	Brak rysunku		2					
	Zanik części obrazu		2					
	Pogrubienie elementów		2			X		
	Przestawienie rysunku		2					
	Odwrócenie elementów		1					
Barwa			1		X		X	
			-1			X		X
Balans szarości			1					
			-1					

7. Nieprawidłowa kolejność drukowania farb	8. Nieodpowiedni dobór farb do podłoża (właściwości reologiczne farby lub nieodpowiednia barwa)	9. Duży nacisk (np. cylindra do podłoża)	10. Mały nacisk (np. cylindra do podłoża)	11. Nieprawidłowa praca maszyny drukarskiej (np. niewłaściwe wyregulowanie)	12. Zabrudzenie maszyny lub jej części (np. obciążu)	13. Przesunięcie się płyty drukowej, obciążu lub papieru	14. Nieprawidłowe zamocowanie płyty drukowej	15. Nieprawidłowo wykonana, uszkodzona lub zużyta forma drukowa
		X						
			X					
		X						
			X					
		X						
			X					
X	X							
					X	X		
						X	X	
				X				X
								X
			X			X	X	X
	X	X				X	X	X
								X
								X
	X							X
	X							X
	X	X		X				X
	X		X	X				X

16. Nieodpowiedni dobór części maszyn (np. nieodpowiednia grubość obciążu, formy drukowej)	17. Uszkodzenie obciążu	18. Nieprawidłowe pasowanie	19. Mały nacisk walców farbowych	20. Duży nacisk walców farbowych	21. Uszkodzenie walców farbowych	22. Nadmierne zwilżanie formy drukowej przez wałki zwilżające	23. Niedostateczne zwilżanie formy drukowej przez wałki zwilżające	24. Mała gładkość podłoża drukowego
		X						
X								
	X		X		X			
	X	X				X		
				X			X	
X						X		
X							X	X

25. Duża gładkość podłoża drukowego	26. Odształcenia liniowe zadrukowanego podłoża	27. Niedostosowanie właściwości chromatycznych i powierzchniowych podłoża	28. Nieprawidłowości w układzie podajnika papieru	29. Załamanie się arkusza lub wstęgi podłoża drukowego
X				
	X			
			X	X
		X		
		X		
X				

Tabela 6.2. Macierz relacji przyczynowo-skutkowych przyczyn wad jakości i sposobu ich likwidacji (opracowanie własne).

Sposób likwidacji przyczyn wad jakości produktu poligraficznego Przyczyny wad jakości produktu poligraficznego	
Nieprawidłowości w układzie farbowym (usterki mechaniczne)	
Duża ilość nakładanej na podłoże farby	
Mała ilość nakładanej na podłoże farby	
Duży udział w procesie druku jednej z farb dominujących	
Mały udział w procesie druku jednej z farb dominujących	
Nieprawidłowa kolejność drukowania farb	
Nieodpowiedni dobór farb do podłoża (właściwości reologiczne farby lub nieodpowiednia barwa)	
Duży nacisk (np. cylindra do podłoża)	
Mały nacisk (np. cylindra do podłoża)	
Nieprawidłowa praca maszyny drukarskiej (np. niewłaściwe wyregulowanie)	
Zabrudzenie maszyny lub jej części (np. obciążu)	
Przesunięcie się płyta drukowej, obciążu lub papieru	
Nieprawidłowe zamocowanie płyty drukowej	
Nieprawidłowo wykonana, uszkodzona lub zużyta forma drukowa	
Nieodpowiedni dobór części maszyny (np. nieodpowiednia grubość obciążu, formy drukowej)	
Uszkodzenie obciążu	
Nieprawidłowe pasowanie	
Mały nacisk walców farbowych	
Duży nacisk walców farbowych	
Uszkodzenie walców farbowych	
Nadmierne zwilżanie formy drukowej przez wałki zwilżające	
Niedostateczne zwilżanie formy drukowej przez wałki zwilżające	
Mała gładkość podłoża drukowego	
Duża gładkość podłoża drukowego	
Odształcenia liniowe zadrukowanego podłoża	
Niedostosowanie właściwości chromatycznych i powierzchniowych podłoża	
Nieprawidłowości w układzie podajnika papieru	
Załamanie się arkusza lub wstęgi podłoża drukowego	

1. Sprawdzenie prawidłowości działania zespołu farbowego (usterki mechaniczne)	2. Zmniejszenie ilości nakładanej na podłoże farby	3. Zwiększenie ilości nakładanej na podłoże farby	4. Zmniejszenie ilości nakładanej farby o barwie dominującej	5. Zwiększenie ilości nakładanej farby o barwie dominującej	6. Sprawdzenie prawidłowej kolejności drukowanych farb	7. Sprawdzenie prawidłowego doboru farb do podłoża (pod względem właściwości reologicznych farby oraz barwy)	8. Zmniejszenie nacisku (np. cylindra do podłoża)	9. Zwiększenie nacisku (np. cylindra do podłoża)	10. Sprawdzenie stanu mechanicznego maszyny (w przypadku murzenia – np. wymiana łożysk)	11. Sprawdzenie prawidłowego wykonania formy drukowej
X	X	X	X	X	X	X				
	X						X			
		X						X		
X			X							
X				X						
					X	X				
						X				
							X		X	
								X	X	
									X	
									X	
									X	
									X	X
									X	
									X	
										X

12. Sprawdzenie prawidłowości działania obciążu	13. Poprawienie wadliwych części maszyn (np. zmiana grubości obciążu, prawidłowa forma drukowa)	14. Zmniejszenie docisku walców farbowych	15. Zwiększenie docisku walców farbowych	16. Zwiększenie zwilżania formy drukowej roztworem zwilżającym	17. Zmniejszenie zwilżania formy drukowej roztworem	18. Sprawdzenie prawidłowości działania podajnika papieru	19. Poprawienie pasowania zespołów drukujących	20. Zmniejszenie gładkości podłoża drukowego (np. zmiana rodzaju papieru)	21. Zwiększenie gładkości podłoża drukowego (np. zmiana rodzaju papieru)	22. Dostosowanie diapoztyw do warunków wykonania formy drukowej
										X
	X									
	X									
	X									
	X									
X										
						X	X			
			X							
		X								
	X									
					X					
				X						
									X	
								X		
						X	X		X	
										X
						X	X			
						X	X			

Załącznik 2

Baza wiedzy zawierająca reguły definiujące zależności pomiędzy parametrami jakości a parametrami nastawu maszyny drukującej

Poniżej przedstawiono ogólne zależności pomiędzy parametrami jakości produktu poligraficznego a potencjalnymi przyczynami ich nieprawidłowych wartości. Zachodzące relacje przedstawiono w postaci następujących reguł:

- R1. if ((P1 == 'b(P1)=-1' || P2 == 'b(P2)=-1' || P3 == 'b(P3)=-1') && P2 != 'b(P2)=1' && P5 != 'b(P5)=2' && P7 != 'b(P7)=2' && P3 != 'b(P3)=1' && P10C != 'b(P10C)=2') K1 = true;
- R2. if ((P1 == 'b(P1)=-1' || P2 == 'b(P2)=1' || P3 == 'b(P3)=1' || P10C == 'b(P10C)=2') && P2 != 'b(P2)=-1' && P3 != 'b(P3)=-1' && P5 != 'b(P5)=2' && P7 != 'b(P7)=2') K2 = true;
- R3. if ((P1 == 'b(P1)=-1' || P2 == 'b(P2)=-1' || P5 == 'b(P5)=2') && P2 != 'b(P2)=1' && P7 != 'b(P7)=2' && P10C != 'b(P10C)=2' && P3 != 'b(P3)=-1' && P3 != 'b(P3)=1' && S1 == 'tak' && S3 == 'nie') K3 = true;
- R4. if (P1 == 'b(P1)=-1' && P2 != 'b(P2)=-1' && P2 != 'b(P2)=1' && P5 != 'b(P5)=2' && P7 != 'b(P7)=2' && P10C != 'b(P10C)=2' && P3 != 'b(P3)=-1' && P3 != 'b(P3)=1' && S2 == 'nie') { K4 = true; K5 = true; K7 = true; }
- R5. if ((P1 == 'b(P1)=-1' || P2 == 'b(P2)=-1' || P7 == 'b(P7)=2') && P2 != 'b(P2)=1' && P5 != 'b(P5)=2' && P10C != 'b(P10C)=2' && P3 != 'b(P3)=-1' && P3 != 'b(P3)=1') K6 = true;
- R6. if ((P1 == 'b(P1)=1' || P2 == 'b(P2)=1' || P3 == 'b(P3)=1' || P10C == 'b(P10C)=2') && P2 != 'b(P2)=-1' && P3 != 'b(P3)=-1' && P10b != 'b(P10b)=2') K8 = true;
- R7. if ((P1 == 'b(P1)=1' || P2 == 'b(P2)=-1' || P10b == 'b(P10b)=2') && P2 != 'b(P2)=1' && P10C != 'b(P10C)=2' && P3 != 'b(P3)=1' && P3 != 'b(P3)=-1') K9 = true;
- R8. if (P1 == 'b(P1)=1' && P2 != 'b(P2)=1' && P10C != 'b(P10C)=2' && P3 != 'b(P3)=1' && P2 != 'b(P2)=-1' && P10b != 'b(P10b)=2' && P3 != 'b(P3)=-1') K10 = true;
- R9. if (P2 == 'b(P2)=1' && P7 != 'b(P7)=2' && P8 != 'b(P8)=2' && P3 != 'b(P3)=-1' && P10C != 'b(P10C)=2' && P3 != 'b(P3)=1' && P13 != 'b(P13)=2') { K11 = true; K13 = true; K14 = true; }
- R10. if ((P2 == 'b(P2)=1' || P7 == 'b(P7)=2' || P10C == 'b(P10C)=2' || P13 == 'b(P13)=2' || P3 == 'b(P3)=1' || P3 == 'b(P3)=-1') && P8 != 'b(P8)=2') K12 = true;
- R11. if ((P2 == 'b(P2)=1' || P8 == 'b(P8)=2') && P7 != 'b(P7)=2' && P3 != 'b(P3)=-1' && P10C != 'b(P10C)=2' && P3 != 'b(P3)=1' && P13 != 'b(P13)=2') { K15 = true; K16 = true; K17 = true; K18 = true; }

- R12. if (P9 == 'b(P9)=2') K19 = true;
- R13. if (P2 == 'b(P2)=-1' || P10A == 'b(P10A)=2') K20 = true;
- R14. if (P10A == 'b(P10A)=2') K21 = true;
- R15. if (P10b == 'b(P10b)=2') K22 = true;
- R16. if ((P6 == 'b(P6)=2' || P7 == 'b(P7)=2') && P13 != 'b(P13)=2') {
K23 = true; K25 = true; }
- R17. if (P6 == ' b(P6)=2' && P7 != 'b(P7)=2' && P13 != 'b(P13)=2') K24
= true;
- R18. if ((P6 == ' b(P6)=2' || P13 == 'b(P13)=2') && P7 != 'b(P7)=2')
K28 = true;
- R19. if (P4 == ' b(P4)=2' && P5 != 'b(P5)=2') K26 = true;
- R20. if (P4 == ' b(P4)=2' || P5 == 'b(P5)=2') K27 = true;

gdzie

R_i - jest regułą, $i = 1, 2, 3, \dots, 20$

P_i - jest parametrem jakości produktu poligraficznego, $i = 1, 2, 3, \dots, 13$

K_i - jest konkluzją (przyczyną) nieprawidłowych wartości P_i , $i = 1, 2, 3, \dots, 28$

S_i - dane techniczne maszyny drukującej, $i = 1, 2, 3$

1. Zbiór parametrów jakości produktu poligraficznego

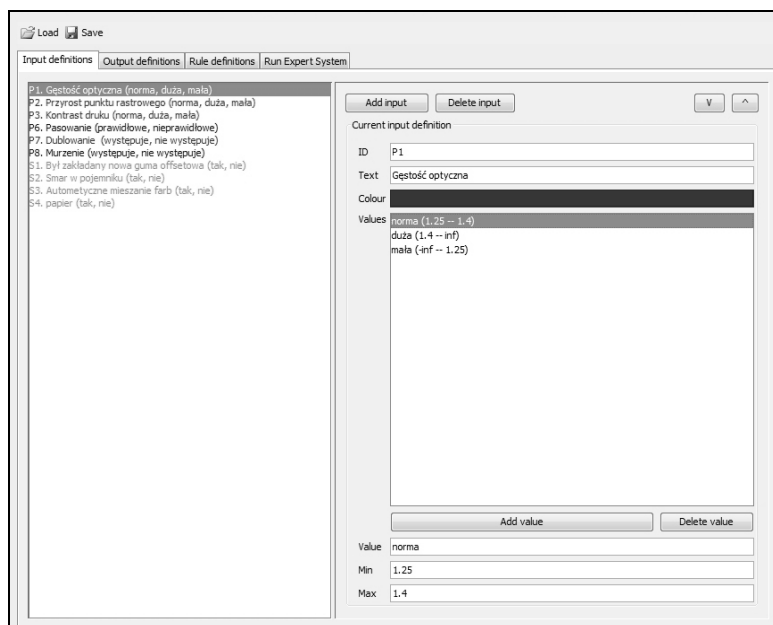
- P1. Gęstość optyczna (b(P1)=-1, b(P1)=0, b(P1)=1)
- P2. Przyrost pokrycia rastrowego (b(P2)=-1, b(P2)=0, b(P2)=1)
- P3. Kontrast druku (b(P3)=-1, b(P3)=0, b(P3)=1)
- P4. Zdolność przyjmowania farby przez farbę (b(P4)=2, b(P4)=0)
- P5. Barwa (b(P5)=2, b(P5)=0)
- P6. Pasowanie (b(P6)=2, b(P6)=0)
- P7. Dublowanie (b(P7)=2, b(P7)=0)
- P8. Murzenie (b(P8)=2, b(P8)=0)
- P9. Cętkowanie (b(P9)=2, b(P9)=0)
- P10a. Odwzorowanie elementów graficznych (brak obrazu lub jego częściowy zanik, przestawienie lub odwrócenie obrazu) (b(P10a)=2, b(P10a)=0)
- P10b. Odwzorowanie elementów graficznych (niepełne przenoszenie obrazu - stopniowe trawienie ostrości) (b(P10b)=2, b(P10b)=0)
- P10c. Odwzorowanie elementów graficznych (pogrubienie obrazu) (b(P10c)=2, b(P10c)=0)
- P13. Balans szarości (b(P13)=2, b(P13)=0)
- S1. Przydatność (termin ważności) gumy offsetowej (b(S1)=2, b(S1)=0)
- S2. Smar w pojemniku (b(S2)=2, b(S2)=0)
- S3. Automatyczne mieszanie farb (b(S3)=2, b(S3)=0)

2. Zbiór konkluzji (przyczyn) nieprawidłowych wartości parametrów jakości
- K01. (Zespół farbowy) Za mała ilość przekazywanej na podłoże farby.
 - K02. (Zespół farbowy) Za duży nacisk pomiędzy cylindrami.
 - K03. (Zespół farbowy) Farba nie jest przyjmowana przez duktor - nie obraca się w kałamarzu.
 - K04. (Zespół farbowy) Gromadzenie się farby na powierzchni wałków oraz w miejscach drukujących na formie drukowej i obciążu. Niekompletnie zdyspergowane pigmenty lub nasycenie farby wodą.
 - K05. (Zespół farbowy) Nadmierny nacisk na pierścienie odtaczania. Nacisk generuje ciepło, co powoduje rozszerzanie się pierścieni, w wyniku czego cylindry oddalają się od siebie.
 - K06. (Forma drukowa) Miejsca drukujące formy słabo przyjmują farbę.
 - K07. (Forma drukowa) Gromadzenie się wody na wałkach, formie drukowej i obciążu.
 - K08. (Zespół farbowy) Za duża ilość przekazywanej na podłoże farby.
 - K09. (Zespół farbowy) Za mały nacisk pomiędzy cylindrami.
 - K10. (Zespół farbowy) Zabrudzenie wałków farbowych cząstkami pyłu i włóknami z papieru. Widoczne zabrudzenie drukujących miejsc formy oraz obciążu.
 - K11. (Zespół farbowy) Zbyt duży docisk pomiędzy wałkami a formą drukową.
 - K12. (Zespół farbowy) Nieprawidłowe przygotowanie formy drukowej.
 - K13. (Zespół farbowy) Nieprawidłowo przygotowane wyciągi barwne.
 - K14. (Zespół farbowy) Papier zbyt szybko absorbuje farbę, co powoduje, że wsiąka ona zarówno w głąb jak i w powierzchnię papieru.
 - K15. (Guma offsetowa) Nieodpowiedni podkład pod formą drukową lub gumą.
 - K16. (Zespół farbowy) Wałki zespołu farbowego dostawione są zbyt mocno do formy/łożyska tych wałków są zbyt mało swobodne. Rezultatem jest zjawisko rozmazywania farby na formie drukowej.
 - K17. (Guma offsetowa) Niewystarczające naciągnięcie gumy.
 - K18. (Zespół farbowy) Farba jest za rzadka.
 - K19. (Zespół farbowy) Niedobór farby na aplę znajdującą się w sąsiedztwie innej apli.
 - K20. (Zespół nawilżający) Nadmiar kwasu w roztworze nawilżającym powodująca podtrawienie miejsc drukujących formy drukowej.
 - K21. (Forma drukowa) Zużycie się formy drukowej.
 - K22. (Guma offsetowa) Zbyt duże naciągnięcie gumy.

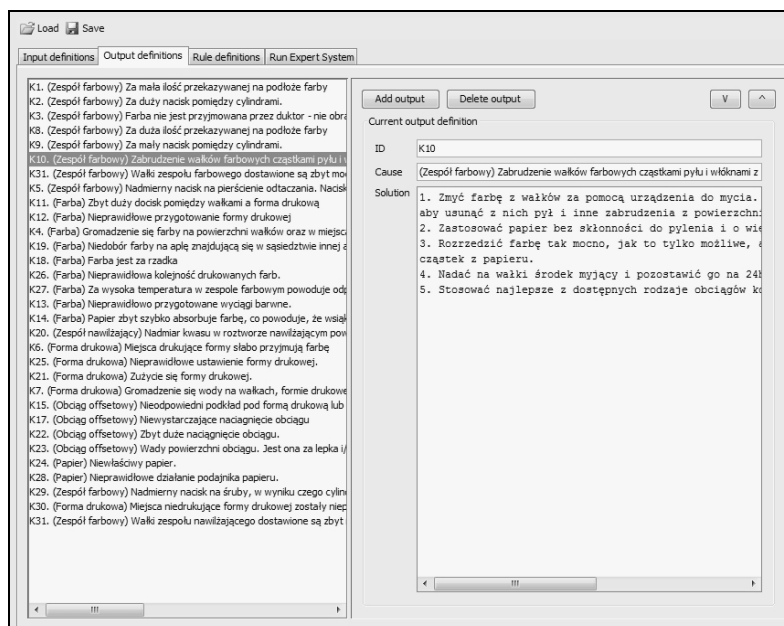
- K23. (Guma offsetowa) Wady powierzchni gumy. Jest ona za lepka i/lub wypolerowana.
- K24. (Papier) Niewłaściwy papier.
- K25. (Forma drukowa) Nieprawidłowe ustawienie formy drukowej.
- K26. (Zespół farbowy) Nieprawidłowa kolejność drukowanych farb.
- K27. (Zespół farbowy) Za wysoka temperatura w zespole farbowym powoduje odparowanie rozpuszczalnika z farby i wzrost jej tacku.
- K28. (Papier) Nieprawidłowe działanie podajnika papieru.

Załącznik 3

Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP



Rysunek 6.1. Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP do wprowadzania parametrów jakości produktu poligraficznego (opracowanie własne).



Rysunek 6.2. Interfejs użytkownika prototypu Systemu MJPP do wprowadzania potencjalnych przyczyn wad jakości produktu poligraficznego (opracowanie własne).

