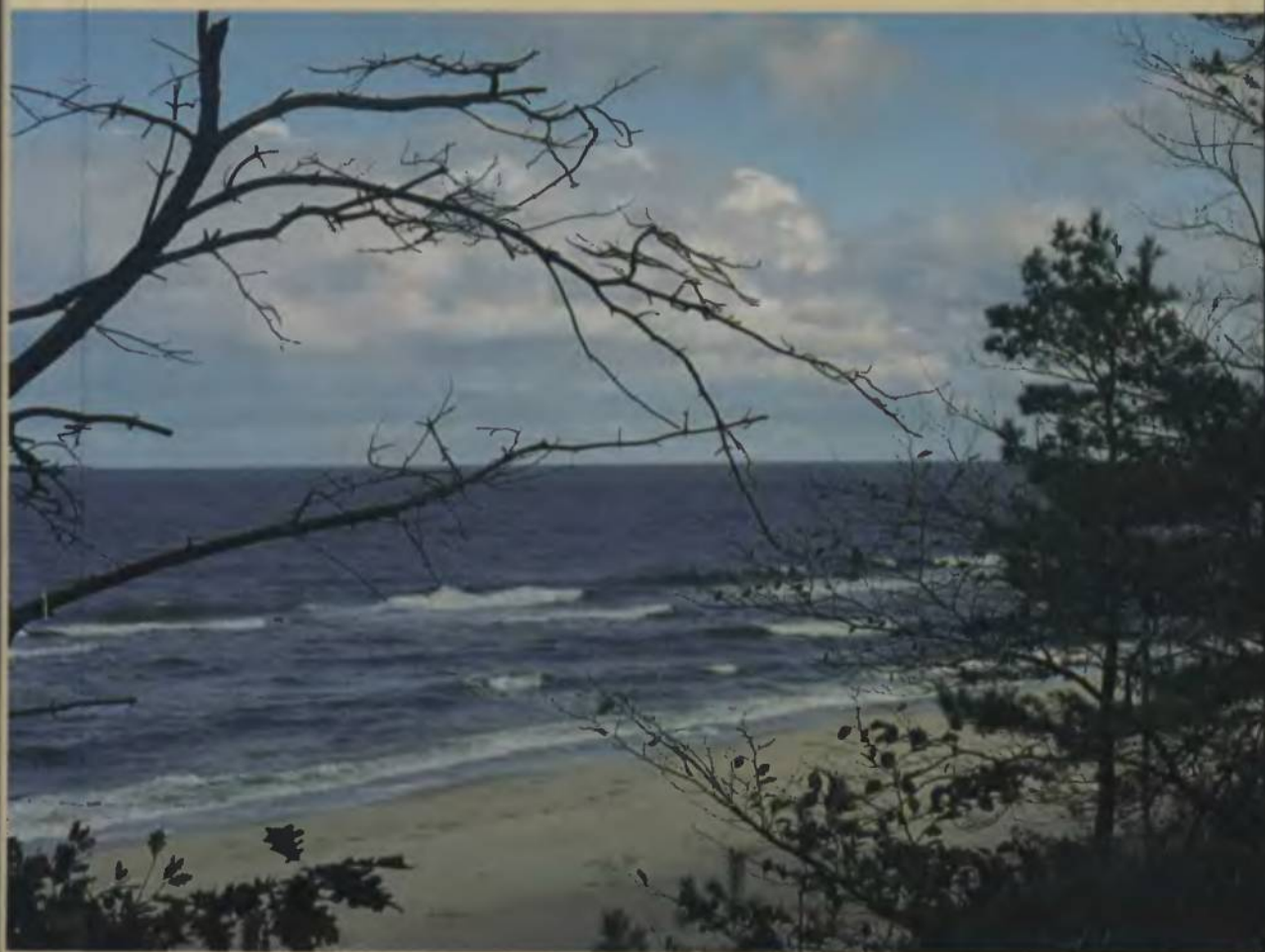


Juliusz C. Chojnacki

# PODSTAWY EKOLOGII WÓD







Cmyt C

# AKADEMIA ROLNICZA W SZCZECINIE

Juliusz C. Chojnacki

## PODSTAWY EKOLOGII WÓD

Biblioteka Główna  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
Księgozbiór Przyrodniczy

C-20207



520-000031862

SZCZECIN 1998

REDAKTOR NACZELNY  
*prof. dr hab. Aleksander Winnicki*

REDAKTOR DZIAŁU  
*prof. dr hab. Stanisław Krzykawski*

RECENZENT I WYDANIA  
*prof. dr hab. Saturnin Borowiec*

Wydano za zgodą Rektora  
Akademii Rolniczej w Szczecinie

C - 20207



659p

MFN 20207

Wydawnictwa Akademii Rolniczej w Szczecinie można nabywać  
w Ośrodku Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych Polskiej Akademii Nauk  
Warszawa, Pałac Kultury i Nauki  
w Księgarni Rolniczej „DK”, 70-427 Szczecin, Wyzwolenia 29  
w Dziale Wydawnictw Akademii Rolniczej, 71-460 Szczecin, ul. Doktora Judyma 22

ISBN 83-87327-35-2

© Copyright by Juliusz C. Chojnacki  
© Copyright by Wydawnictwo Akademii Rolniczej  
Szczecin 1998

1998 ID/18/1

## SPIS TREŚCI

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Od Autora .....                                                     | 5  |
| 1. Woda jako środowisko życia .....                                 | 7  |
| 1.1. Fizyczne i chemiczne właściwości środowiska .....              | 13 |
| 1.1.1. Dynamika wód .....                                           | 14 |
| 1.1.2. Światło w wodzie .....                                       | 19 |
| 1.1.3. Znaczenie przezroczystości wody dla procesów życiowych ..... | 21 |
| 1.1.4. Temperatura wody .....                                       | 22 |
| 1.1.4.1. Cykulacja wód lenitycznych .....                           | 24 |
| 1.1.4.2. Cykulacja wód lotycznych .....                             | 26 |
| 1.1.4.3. Cykulacje pionowe wód morskich .....                       | 27 |
| 1.1.4.4. Strefowość wód morskich .....                              | 27 |
| 1.1.5. Gazy rozpuszczone w wodzie .....                             | 28 |
| 1.1.5.1. Znaczenie tlenu dla procesów życiowych w wodzie .....      | 29 |
| 1.1.5.2. Rola dwutlenku węgla w wodzie .....                        | 30 |
| 1.1.6. Składniki mineralne wody .....                               | 32 |
| 1.1.6.1. Wapń w wodzie .....                                        | 35 |
| 1.1.6.2. Azot w hydrosferze .....                                   | 35 |
| 1.1.6.3. Fosfor w hydrosferze .....                                 | 36 |
| 1.1.6.4. Siarczany i krzemionka .....                               | 39 |
| 1.1.7. Materia organiczna .....                                     | 39 |
| 2. Ekologiczne cechy różnych środowisk wodnych .....                | 42 |
| 2.1. Czynniki ekologiczne .....                                     | 42 |
| 2.2. Czynniki ograniczające .....                                   | 43 |
| 2.3. Stenotopowość i eurytopowość hydrobiontów .....                | 43 |
| 2.4. Formacje ekologiczne organizmów wodnych .....                  | 44 |
| 2.5. Charakterystyka ważniejszych formacji ekologicznych .....      | 47 |
| 2.5.1. Plankton .....                                               | 47 |
| 2.5.2. Bentos .....                                                 | 50 |
| 2.5.3. Nekton .....                                                 | 52 |
| 2.6. Formacje ekologiczne w wód limnetycznych .....                 | 53 |
| 2.6.1. Plankton rzeczny .....                                       | 53 |
| 2.6.2. Nekton rzeczny .....                                         | 54 |
| 2.6.3. Plankton jeziorny .....                                      | 56 |
| 2.6.4. Nekton jeziorny .....                                        | 58 |



|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.6.5. Bentos .....                                                  | 58  |
| 2.6.6. Peryfiton .....                                               | 61  |
| 2.6.7. Psammon .....                                                 | 62  |
| 3. Ekologiczna typologia zbiorników wodnych .....                    | 64  |
| 3.1. Cechy ekosystemu morskiego .....                                | 64  |
| 3.2. Bałtyk - ekosystem wód słonawych .....                          | 65  |
| 3.2.1. Hydrobionty Bałtyku .....                                     | 69  |
| 3.2.1.1. Fitoplankton .....                                          | 72  |
| 3.2.1.2. Zooplankton .....                                           | 72  |
| 3.2.1.3. Bentos .....                                                | 76  |
| 3.2.1.4. Nekton .....                                                | 78  |
| 3.2.2. Bogactwa mineralne .....                                      | 79  |
| 3.3. Cechy ekosystemów jeziornych .....                              | 79  |
| 3.3.1. Strefy ekologiczne w jeziorach .....                          | 81  |
| 3.3.2. Klasyfikacja jezior .....                                     | 82  |
| 3.4. Cechy ekosystemów zbiorników zaporowych .....                   | 84  |
| 3.5. Cechy ekosystemów stawowych .....                               | 85  |
| 3.6. Cechy ekosystemów rzecznych .....                               | 89  |
| 3.7. Estuaria jako ekotony .....                                     | 96  |
| 3.8. Zalewy .....                                                    | 97  |
| 3.9. Bagna i torfowiska .....                                        | 98  |
| 4. Produkcja, trofia i zanieczyszczenia w ekosystemach wodnych ..... | 101 |
| 4.1. Bioproduktywność ekosystemów wodnych .....                      | 101 |
| 4.1.1. Produktywność ekosystemów morskich .....                      | 102 |
| 4.2. Rola i funkcjonowanie struktur troficznych .....                | 105 |
| 4.3. Procesy eutrofizacji w hydrosferze .....                        | 109 |
| 4.3.1. Samooczyszczanie wód .....                                    | 111 |
| 4.3.2. Oczyszczanie i rekultywacja .....                             | 113 |
| 4.3.3. Monitoring środowiska wodnego .....                           | 119 |
| 4.4. System saprobów .....                                           | 120 |
| 4.5. Zakwaszenie środowiska wodnego .....                            | 129 |
| 5. Katalog rycin do „Podstaw ekologii wód” .....                     | 131 |
| 6. Bibliografia .....                                                | 151 |
| 7. Słownik terminów stosowanych w ekologii wód .....                 | 153 |

## OD AUTORA

Ochrona środowiska przyrodniczego przed jego degradacją i zniszczeniem jest wyzwaniem, jakie przed ludzkością stawia XXI wiek. Degradacja przyrody spowodowana przez człowieka, jest coraz większa na całym globie i dotyka nas wszystkich. Czy działania ochronne wymyślone przez człowieka mogą skutecznie zatrzymać degradację ekosfery? Trzeba przyznać, że mimo wysiłków i szybkiego postępu technicznego naszej cywilizacji, szanse na to są niewielkie. Znacznie łatwiej, wykorzystując postęp, człowiek niszczy przyrodę i środowisko, niż je naprawia, rekultywuje, rewitalizuje czy wreszcie chroni. Ciągłe doszukujemy się przyczyn tego stanu, ale niezależnie od tego należy stwierdzić, iż jest to wynikiem stale jeszcze niskiego poziomu edukacji ekologicznej, niskiego statusu ekonomicznego i nadal niskiego poziomu potrzeb wyższego rzędu w naszym społeczeństwie. Racjonalna aktywność na rzecz ochrony środowiska wiąże się bowiem z:

- edukacją ekologiczną,
- rozpoznaniem stanu środowiska i ustaleniem jego zagrożeń,
- ustaleniem skutecznych środków przeciwdziałającym degradacji środowiska,
- wdrożeniem ustalonych środków przeciwdziałania.

Nie udało się tego dokonać w żadnym kraju. Nie usprawiedliwia to jednak naszej bezideowości i bezczynności w tym zakresie.

Aby świadomie realizować działania ochronne, należy poznać środowisko naturalne i mechanizmy, jakie nim rządzą. Istotne jest zwłaszcza zrozumienie zasad funkcjonowania środowiska wodnego - najrozleglejszego ekosystemu na świecie. Dlatego właśnie wiedzę o środowisku wodnym, zamykającą się w *Podstawach ekologii wód*, uważam za niezbędne minimum, które powinien osiągnąć każdy kończący studia stacjonarne i zaoczne na Wydziale Rybactwa Morskiego i Technologii Żywności oraz na Wydziale Rolniczym - kierunku ochrona środowiska. Zakres zawartej w tym skrypcie podstawowej wiedzy z ekologii wód wyznacza program studiów, ale wykorzystując posiadane przyrodnicze podstawy ekologii ogólnej wyniesione ze średniej szkoły, poruszane nieomal codziennie w publikatorach, można z łatwością poznać funkcjonowanie ekosystemów wód limnetycznych (lotycznych i lenitycznych), a także morskich.

Z góry przepraszam za możliwe błędy i potknięcia, od których prawdopodobnie się nie ustrzegłem, a także za niedociągnięcia i opuszczenia. Będę wdzięczny za wszelkie uwagi P.T. Czytelników dotyczące treści, które proszę przysyłać na adres: Zakład Ekologii Morza i Ochrony Środowiska, Wydział Rybactwa Morskiego i Technologii Żywności, Akademia Rolnicza, ul. Kazimierza Królewicza 4/H-19, 71-550 Szczecin, lub za pośrednictwem poczty elektronicznej na adres: marecol@fish.ar.szczecin.pl

Postaram się uwzględnić wszystkie spostrzeżenia w następnym wydaniu *Podstaw ekologii wód*.



## 1. WODA JAKO ŚRODOWISKO ŻYCIA

Ziemię tworzą trzy **geosfery**, stanowiące jednocześnie **ekotopy**, czyli środowiska życia dla organizmów roślinnych i zwierzęcych:

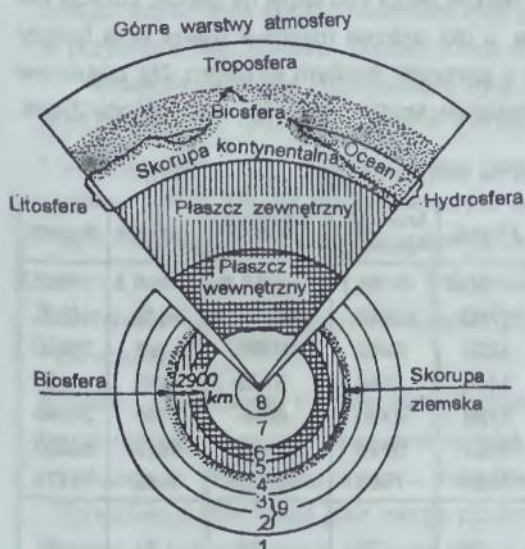
- 1) środowisko wodne - **hydrosfera** - nieożywiony element każdego biosystemu (organizmu, populacji, biocenozy i ekosystemu) zarówno wodnego, jak i lądowego, natomiast organizmy wodne nazywane są **hydrobiontami**;
- 2) środowisko powietrzne - **aerosfera** (płaszcz gazowy składający się z heterosfery i homosfery) - niezbędna do oddychania i przemian gazowych w wodzie i na lądzie;
- 3) środowisko lądowe - **litosfera** - powierzchniowa warstwa kuli ziemskiej sięgająca do głębokości 80-150 km (zewnątrzna warstwa litosfery - to gleba - środowisko życia organizmów lądowych zwanych **geobiontami**).

Organizmy żywe otaczające stosunkowo ciekłą warstwą jej powierzchnię nazywane są **biosferą** (ryc. 1). Dla biosfery podstawowe znaczenie stanowią wszystkie trzy sfery Ziemi razem, bez których nie mogłyby ona funkcjonować. Geosfery pozostające pod wpływem energii

słonecznej tworzą dynamiczny układ, dążący zawsze do **homeostazy** między organizmami żywymi a ekotopem; nazywane są one również **ekosferą**.

Istnieją dowody na to, iż wszystkie organizmy lądowe pochodzą od przodków żyjących w wodzie, stąd często hydrosferę traktuje się jako kolebkę życia na Ziemi. Hydrosferę tworzą wody morskie i słodkie. Morza i oceany (wszechocean) stanowią 361 mln km<sup>2</sup>, czyli ponad 71% powierzchni Ziemi i 95% powierzchni wszystkich wód; tylko 5% powierzchni zajmują wody śródlądowe (łącznie z lodowcami i wodami podziemnymi).

Całkowita objętość wody, nadającej się do wykorzystania przez człowieka, wraz z wodą zawartą w atmosferze szacowana jest na 5-6 mln km<sup>3</sup>, co stanowi jedynie 0,3-0,4% objętości całej hydro-



Ryc. 1. Położenie biosfery wśród sfer kuli ziemskiej (wg Mierzwińskiego 1991)

1 - egzosfera, 2 - termosfera, 3 - mezosfera, 4 - troposfera, 5 - płaszcz zewnętrzny, 6 - płaszcz wewnętrzny, 7 - jądro zewnętrzne, 8 - jądro wewnętrzne, 9 - jonosfera.

sfery, czyli objętości nie związanej wody na Ziemi. Ocenę całkowitej objętości wody na Ziemi przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Woda w hydrosferze (Wetzel 1975)

| Rodzaje wód                | Zasoby (km <sup>3</sup> ) | Udział w zasobach (%) | Czas odtworzenia |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|
| Morza i oceany             | 1370323000                | 97,627                | 3100 lat         |
| Lądolody i lodowce górskie | 29000000                  | 2,066                 | 16000 lat        |
| Wody podziemne             | 4000000*                  | 0,28                  | 300 lat          |
| Jeziora słodkowodne        | 125000                    | 0,009                 | 1-100 lat        |
| Jeziora słonowodne         | 104000                    | 0,007                 | 10-1000 lat      |
| Wilgoć w glebie            | 67000                     | 0,0047                | 280 dni          |
| Para w atmosferze          | 14000                     | 0,00089               | 9 dni            |
| Rzeki                      | 1200                      | 0,000085              | 12-20 dni        |
| Ogółem                     | 1403634200                |                       |                  |

\* Źródła podają również, że do głębokości 5 km pod powierzchnią Ziemi znajduje się około 60 mln km<sup>3</sup> wód, na głębokości 4 km zasoby ocenia się na 8,8 mln km<sup>3</sup>.

Szybki wzrost populacji ludzkiej (w 1995 roku według statystyki światowej liczba mieszkańców Ziemi wynosiła 5,8 mld) jest równoznaczny z proporcjonalnym wzrostem globalnego zapotrzebowania na wodę, które bardzo łatwo obliczyć przyjmując, że człowiek w ciągu roku zużywa około 10 m<sup>3</sup> słodkiej wody lub 27 litrów na dzień, przy fizjologicznym dziennym minimum wynoszącym 2 litry dziennie. W krajach wysoko uprzemysłowionych codziennie zużycie wody na potrzeby domowe wynosi około 250 litrów na osobę, zużycie dla potrzeb przemysłu - 1500 litrów/dzień/osobę, a dla potrzeb rolnictwa nawet kilka tysięcy litrów na osobę/dzień, zwłaszcza w krajach z gorącym, suchym klimatem. Na podstawie tabeli 2 łatwo ocenić na jak długo wystarczy zapasów słodkiej wody dla mieszkańców Ziemi.

Tabela 2. Zasoby wody i roczna równowaga wód na kontynentach (Mierzwiński 1991)

| Wyszczególnienie                           | Europa | Azja  | Afryka | Ameryka Północna | Ameryka Południowa | Australia | Razem  |
|--------------------------------------------|--------|-------|--------|------------------|--------------------|-----------|--------|
| Powierzchnia (106 km <sup>2</sup> )        | 9,8    | 45    | 30,3   | 20,7             | 17,8               | 8,7       | 132,3  |
| Skraplanie (km <sup>3</sup> )              | 7185   | 32690 | 20780  | 13910            | 29355              | 6405      | 110305 |
| Razem spływ rzekami (km <sup>3</sup> )     | 3110   | 13190 | 4225   | 5960             | 10360              | 1965      | 38830  |
| a) wody podziemne                          | 1065   | 3410  | 1465   | 1740             | 3740               | 465       | 11885  |
| b) wody powierzchniowe                     | 2045   | 9780  | 2760   | 4220             | 6640               | 1500      | 26945  |
| Łącznie wilgoć w glebie (km <sup>3</sup> ) | 5120   | 22910 | 18020  | 9690             | 22715              | 4905      | 83360  |
| Parowanie (km <sup>3</sup> )               | 4055   | 19500 | 16555  | 7950             | 18975              | 4440      | 71475  |
| Odpływ podziemny                           |        |       |        |                  |                    |           |        |
| w % całości wody                           | 34     | 26    | 35     | 32               | 36                 | 24        | 31     |

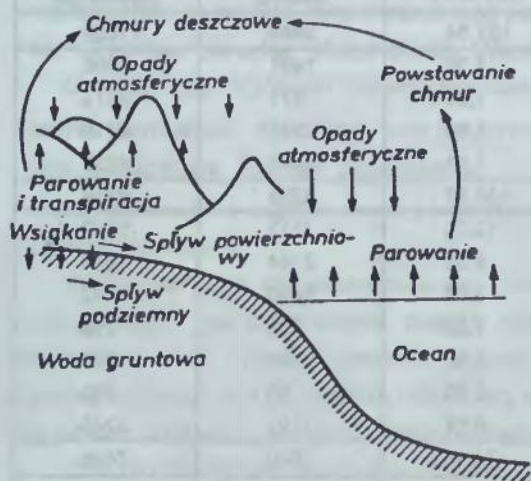
**Ekologia wód** zajmuje się właściwościami fizycznymi i chemicznymi wód naturalnych (morskich i śródlądowych), a zwłaszcza ich znaczeniem dla organizmów żywych bytujących w nich jako w środowisku nieożywionym - hydrosferze.



Cechą charakterystyczną hydrosfery jest to, że znajduje się w ciągłym ruchu podlegając zmianom ze stanu gazowego w stan ciekły i stały, a krążenie jej nazywane jest cyklem hydrologicznym (ryc. 2), przy czym ilość wody pozostaje stale taka sama (tab. 2).

Obserwowane w niektórych rejonach Ziemi deficyty wody wynikają z warunków klimatycznych.

Woda w stanie ciekłym to wody powierzchniowe - zarówno wody słone zebrane w morzach i oceanach, jak i woda słodka w zbiornikach śródlądowych, takich jak jeziora, rzeki oraz woda w glebie (kapilarna, a także wolna, czyli grawitacyjna zalegająca nad warstwami nieprzepuszczalnymi i tworząca wody podziemne). Wody podziemne mogą być zarówno zbiornikami słodkimi, jak i słonymi o podwyższonym ciśnieniu, o temperaturze „normalnej”, lub podwyż-



Ryc. 2. Schemat krążenia wody w przyrodzie - cykl hydrologiczny (wg Mierzwińskiego 1991)

szonej; zwane wodami geotermicznymi. W stanie stałym woda występuje w postaci lodu, śniegu, szadzi oraz szronu, natomiast stan gazowy wody stanowi para wodna występująca w przyrodzie najczęściej w postaci chmur i mgły.

**Wszechocean** jest zróżnicowany **hydrograficznie** na akweny (tab. 3) wśród których wyróżnia się trzy rodzaje zbiorników morskich o zasoleniu 0,5-38‰:

- **Oceany** - jako największe zbiorniki wód słonych o podobnych cechach fizycznych (posiadają własny system prądów powierzchniowych i głębinowych) oraz o specyficznej budowie geologicznej dna; zamknięte są przynajmniej dwoma kontynentami.
- **Morza właściwe** - stanowią około 10% powierzchni hydrosfery, przylegają do kontynentu, są nim czasami otoczone i zwykle mają własny system hydrologiczny; są jednak znacznie płytsze od oceanów.
- **Zatoki** - jako akweny morskie są najtrudniejsze do zdefiniowania, ponieważ nakładają się tutaj najczęściej wszystkie kryteria podziału mórz zarówno fizyczne, jak i chemiczne oraz biologiczne. Przyjmując jedno z kryteriów można Zatoki Hudsona, Meksykańską czy Bengalską potraktować jako morza przybrzeżne. Charakter zatokowy nadają im jednak daleko w łód wrzynające się małe części mórz, a także estuaria rzek.



Tabela 3. Cechy wielkościowe oceanów i wybranych mórz (Duxbury, Duxbury 1984)

| Obszar morski            | Powierzchnia wód<br>(106 km <sup>2</sup> ) | Głębokość (w m) |            |
|--------------------------|--------------------------------------------|-----------------|------------|
|                          |                                            | średnia         | największa |
| PACYFIK                  | 181,34                                     | 3940            | 11022      |
| Morze Beringa            | 2,26                                       | 1491            | 4096       |
| Morze Ochockie           | 1,39                                       | 971             | 3372       |
| Morze Wschodniochińskie  | 1,20                                       | 275             | 2719       |
| Morze Japońskie          | 1,01                                       | 1873            | 4225       |
| ATLANTYK                 | 106,57                                     | 3293            | 9219       |
| Morze Arktyczne          | 12,26                                      | 1117            | 5449       |
| Morza śródziemne Ameryki | 4,36                                       | 2164            | 7680       |
| Morza śródziemne Europy  | 3,02                                       | 1450            | 5092       |
| Zatoka Hudsona           | 1,23                                       | 128             | 218        |
| Morze Północne           | 0,58                                       | 93              | 725        |
| Morze Bałtyckie          | 0,39                                       | 55              | 459        |
| Morze Czarne             | 0,51                                       | 1191            | 2245       |
| OCEAN INDYJSKI           | 74,12                                      | 3840            | 7455       |
| Morze Czerwone           | 0,45                                       | 538             | 2604       |
| Zatoka Perska            | 0,24                                       | 25              | 170        |

W zależności od przyjętego kryterium morza właściwie dzieli się na różne kategorie.

*Kryterium powiązania z lądem stwarza podział mórz na:*

- **morza przybrzeżne** które przylegają do kontynentu i tworzą misę oddzieloną od oceanu progami, płaskowyżami, płycznami lub łańcuchami wysp podwodnych (np.: Morza Norweskie, Północne, Ochockie, Japońskie, Wschodnio- i Południowochińskie, Beringa)
- **morza śródziemne** zwykle otoczone lądem należącym do jednego lub dwóch kontynentów, a poprzez wąskie i płytkie cieśniny łączące się z oceanami (np.: Morza Śródziemne, Bałtyckie, Czarne);
  - a) **mlędzykontynentalne** - głębokie, otoczone brzegiem dwóch kontynentów (Morza Śródziemne, Czerwone, Czarne)
  - b) **wewnątrzkontynentalne** - otoczone brzegami jednego kontynentu, zazwyczaj bardzo płytkie i wysłodzone (Morza Białe, Bałtyckie)

*Przyjmując kryterium głębokości morza dzielą się na:*

- **morza płytkie** - akweny morskie leżące nad platformą kontynentalną (**szelfem**) o średniej głębokości nie przekraczającej 200 m (Morza Północne, Bałtyckie);
- **morza głębokie** - zbiorniki leżące nad wąską półką kontynentalną i poza nią (Morze Śródziemne).

*Przyjmując kryterium geograficzno-termiczne (ryc. 3) wyróżniamy poniższe kategorie mórz:*

- **morza gorące** - o termice wód powierzchniowych ustabilizowanej na średniej rocznej wartości od 15 do > 25°C, z częstymi deszczami tropikalnymi (Morza Karaibskie, Arabskie, Czerwone, Południowochińskie, Koralowe, Banda, Żółte);

- **morza umiarkowane** - o średniej rocznej termice wód powierzchniowych 5-15°C, z licznymi i częstymi sztormami (Morza Bałtyckie, Północne, Beringa);
- **morza zimne** - o średniej temperaturze wód powierzchniowych poniżej 5°C (Morza Czukockie, Ochockie, Barentsa, Morza Scotia, Weddella, Rossa).

Uwzględniając kryterium zasoleniowe dzielimy morza na:

- **morza pełnosłone** - o zasoleniu wód powierzchniowych powyżej 34 promili (Morza Karaibskie, Śródziemne, Beringa, Japońskie);
- **morza słonawe** - o zasoleniu wód powierzchniowych poniżej 34 promili (Morza Bałtyckie, Czarne, Alandzkie).

Nauką zajmującą się wszechoceanem - zarówno jego aspektami hydrologicznymi, jak i biologicznymi - jest **oceanologia**, ostatnio nazywana ekologią morza. Badaniem budowy geologicznej dna i wybrzeży oceanów, dynamiką i statyką wód oceanicznych, wzajemnymi związkami między skorupą ziemską i atmosferą zajmuje się **oceanografia**, natomiast organizmy żywe w oceanach i estuariach bada **biologia morza**, nazywana czasami oceanobiologią.

Zbiorniki śródlądowe również jest bardzo trudno zaklasyfikować na podstawie jednego kryterium. Najczęściej tworzony podział wód słodkich opiera się na dynamice wód zbiorników **limnetycznych** (słodkowodnych) i na podstawie tego kryterium wody śródlądowe (słodkie) dzielimy na:

- **lotyczne**, czyli **płynące**,
- **lenityczne**, czyli **stojące**.

Podział ten nie uwzględnia wielkości ani głębokości. Do pierwszej kategorii zalicza się wszystkie **naturalne cieki**, takie jak źródła, potoki, strumienie i rzeki wraz z **estuarium**, gdzie **cofka** wód morskich stwarza, w odpowiednich warunkach, specyficzny układ hydrologiczny wód słonawych sięgających daleko w górę rzeki. Ta kategoria obejmuje również **cieki sztuczne** stworzone przez człowieka, takie jak kanały, zbiorniki zaporowe, rowy melioracyjne, przepławki.

**Wody stojące lenityczne** mają wszystkie cechy wody podlegającej **mlksji** sezonowej, odnoszącej się do jezior, lub **stagnującej** w zbiornikach sztucznych, takich jak stawy, rozlewiska po powodziach czy kałuże, gdzie woda występuje stale lub okresowo, ale również bagna i młaki.

Ponadto do **wód lenitycznych** zaliczane są wody podziemne, zgromadzone w szczelinach skalnych, jaskiniach lub w gruntowych warstwach wodonośnych (na warstwach nieprzepuszczalnych).

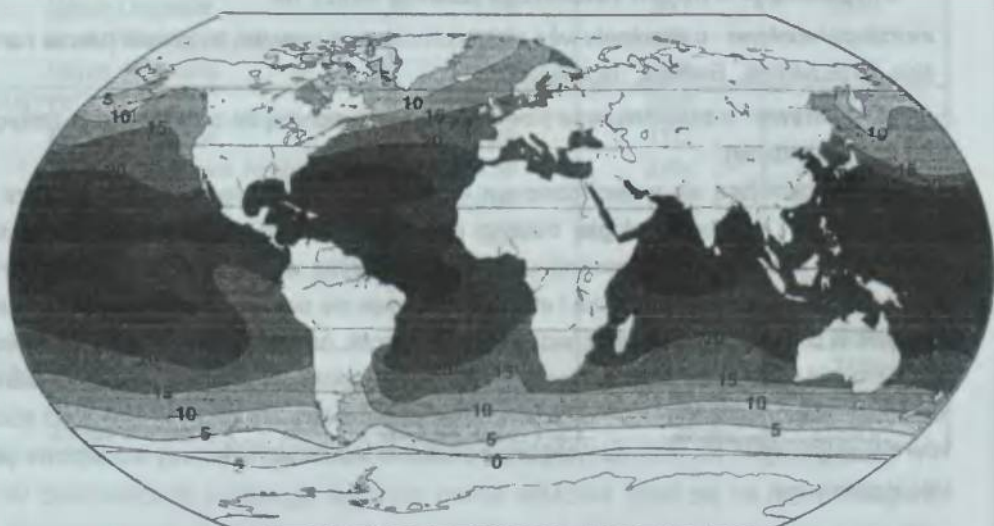
Ze względu na powiązanie z morzem wyróżnia się:

- **zbiorniki otwarte** posiadające bezpośrednie połączenie z morzem oraz odpływy z jezior, stawów czy zbiorników zaporowych w postaci kanałów, strumieni czy rzek;
- **zbiorniki zamknięte** bez odpływu do morza - jeziora, bagna, młaki.

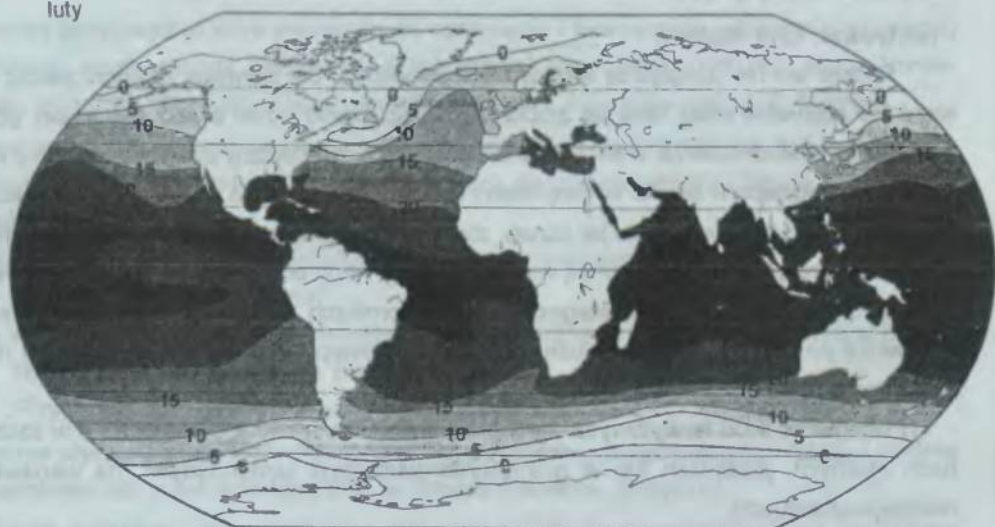




sierpień



luty



Ryc. 3. Temperatura powierzchniowych wód oceanicznych ( $^{\circ}\text{C}$ ) dla sierpnia i lutego (Tait 1972)

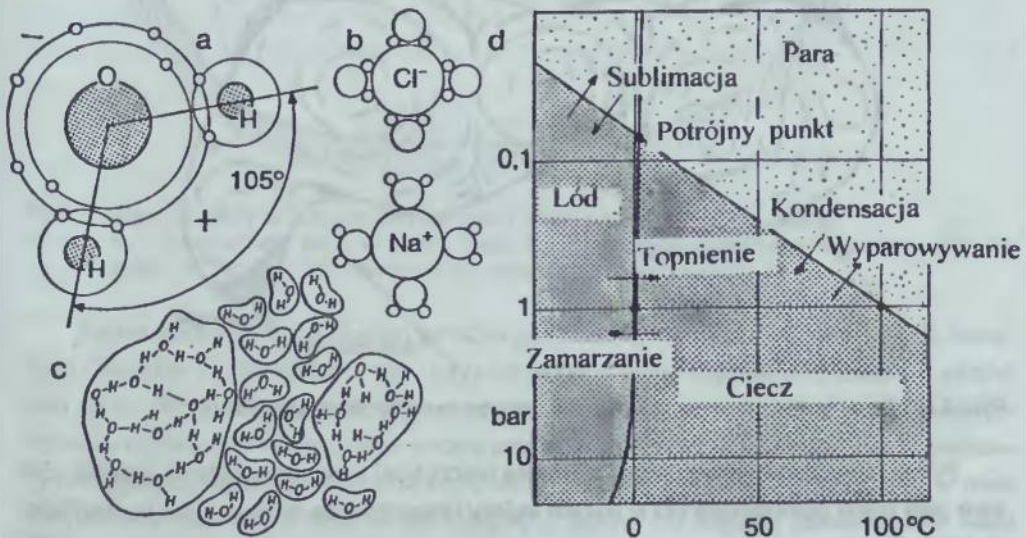


Badaniami wód śródlądowych słodkich zajmuje się **limnologia**. W tradycji badań wód śródlądowych obserwacjami dynamiki wód, a zwłaszcza cyklem hydrologicznym zajmuje się **hydrologia**, zaś geologicznymi uwarunkowaniami, chemią i dynamiką wód podziemnych - **hydrogeologia**, natomiast **hydrografia** jest nauką o wodzie jako elemencie środowiska geograficznego mającego ścisły związek z ekologią. **Hydrochemia** jest chemią wód naturalnych i stanowi część hydrografii.

**Hydrobiologia** to nauka o organizmach wodnych (także morskich) oraz o zasiedlanych przez te organizmy wodach, łącząca zagadnienia **botaniki**, **zoologii**, **hydrologii** i **ekologii**.

### 1.1. Fizyczne i chemiczne właściwości środowiska

Cząsteczka wody ma budowę niesymetryczną - atomy wodoru znajdują się pod kątem  $105^\circ$  w stosunku do atomu tlenu, co powoduje asymetryczność rozmieszczenia ładunków elektrycznych. Niesymetryczne rozmieszczenie atomów wodoru w cząsteczce wody powoduje, że ma ona właściwości polarne - bieguny ujemny i dodatni (ryc. 4).



Ryc. 4. Fizyczne właściwości wody (wg Otta 1988)

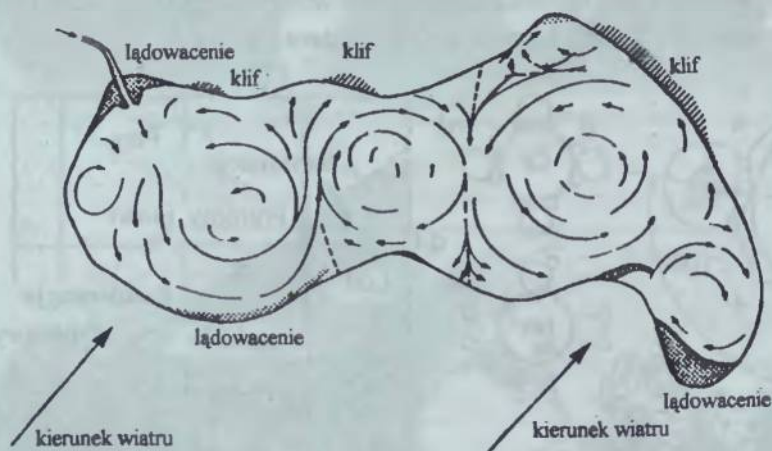
a - struktura molekuly wody b - uwodnienie anionu ( $\text{Cl}^-$ ) i kationu (z  $\text{Na}^+$ ), c - model gronowy cząsteczki wody, d - wykres faz wody w zależności od temperatury i ciśnienia.

Wiadomo, że cząsteczka wody o wzorze  $\text{H}_2\text{O}$  istnieje tylko w stanie gazowym (para wodna), natomiast w stanie ciekłym istnieją drobiny o wzorze sumarycznym  $\text{H}_4\text{O}_2$ ,  $\text{H}_6\text{O}_3$  i itd. Zmiana temperatury wody powoduje zwykle przemieszczenie cząsteczek wewnątrz układów, a zawartość wielocząsteczkowych agregacji zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. W warunkach naturalnych najliczniejsze są zwykle cząsteczki o ciężarze właściwym 18 ( $\text{O}^{18}$ ,  $\text{H}^1$ ,  $\text{H}^1$ )

i stanowią 99,8%. Zupełnie odwrotnie niż inne substancje woda słodka nie kurczy się podczas zamarzania, ale rozszerza. Jej gęstość jest największa przy temperaturze 4°C (ryc. 4). Stosunkowo duża ilość ciepła potrzebna jest do zmiany temperatury wody (duże ciepło właściwe - 1 kaloria/1 gram), a także ciepła topnienia (80 kalorii/1gram), ciepła parowania (536 kalorii/1 gram), co czyni wodę substancją o dużej bezwładności cieplnej.

### 1.1.1. Dynamika wód

Jednym z najważniejszych czynników ekologicznych, który wpływa na **stratyfikację pionową (uwarstwienie pionowe)** i **strefowość rozmieszczenia** życia w wodach jest ruch mas wodnych. Ruch ten ma zróżnicowane przyczyny, kształtuje również warunki **geomorfologiczne** zbiorników wodnych i najczęściej nazywany jest **prądem**.



Ryc. 5. Wywołane wiatrem poziome prądy w jeziorze (wg Styczyńskiego 1971)

Prądy na wodach śródlądowych powstają najczęściej w wyniku działania wiatrów, czasami jako prądy gęstościowe lub w wyniku **sejszy** (kolebania się wody w misie jeziora) jako:

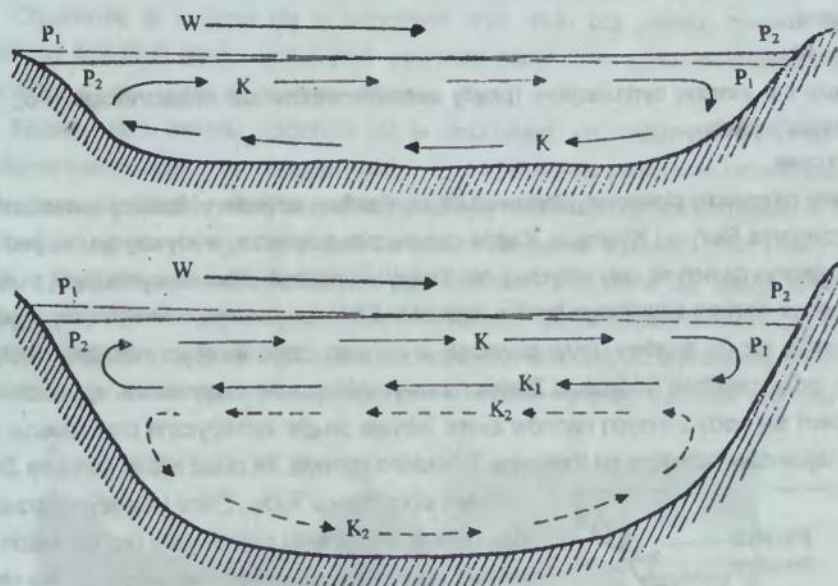
- prądy falowe,
- prądy cyrkulacyjne.

Powstawanie fal w zbiornikach śródlądowych skorelowane jest z wieloma czynnikami, m.in. z: siłą i długością czasu oddziaływania wiatru, wielkością powierzchni, a zwłaszcza z wielkością wolnego lustra wody, kształtem i głębokością misy zbiornika, ze stopniem osłonięcia i stromością brzegu i wreszcie z budową geologiczną terenu (ryc. 5). Silne falowanie niszczy brzeg tworząc **prądy wlowe** (czyli kipieli). Przy dłuższym działaniu wiatru odbita w tym czasie od brzegu woda rozchodzi się na boki i w głąb zbiornika dając początek **prądom cyrkulacyjnym**. Efektem prądów cyrkulacyjnych jest powstawanie ławicy przybrzeż-



nej (po nawietrznej stronie brzegu) z materiału skalnego powstałego w wyniku erozji brzegu przeciwnego.

Oprócz prądów **poziomych** w zbiornikach śródlądowych występują prądy pionowe - powstałe w wyniku różnic gęstości wody spowodowanych różną jej temperaturą (ryc. 6).



Ryc. 6. Krążenie wody w jeziorze pod wpływem wiatru (zbiorniki płytki i głęboki)

P<sub>1</sub> - powierzchnia wody w czasie ciszy, P<sub>2</sub> - splętrzenie wody przez wiatr, W - kierunek wiatru, K, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> - kierunki krążenia wody (wg Stańczykowskiej 1975).

**Sejsze** występują pod wpływem gwałtownych zmian kierunku wiatru, ciśnienia oraz nawałnych deszczów. Część zbiornika pod wpływem jednego z tych czynników, a czasami i wszystkich naraz, obniża powierzchnię lustra wody, co powoduje jego wyniesienie w przeciwnym rejonie w wyniku bezwładności masy wodnej zmierzającej do wyrównania poziomu. Po gwałtownym ustąpieniu przyczyny nacisku na lustro wody następuje seria kolebań masy wody w misie zbiornika, co powoduje powstanie **fall stojącej** o jednym lub większej liczbie węzłów. Sejsz powoli zanika i trwa do pełnego wygaszenia energii rozkołysu.

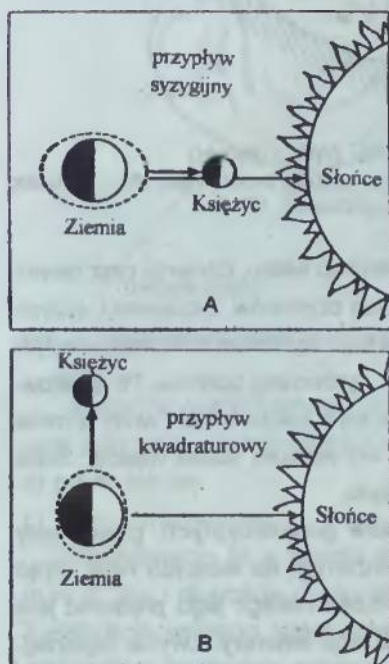
W wodach lotycznych obserwuje się działanie **prądów grawitacyjnych**, gdzie masy wód pod własnym ciężarem spływają z miejsc wyżej położonych do leżących niżej. Prąd wody w rzekach jest hamowany przez siłę tarcia o podłoże i dlatego jego prędkość jest zróżnicowana i zależy od charakteru dna, a zwłaszcza od jego **tekstury**. Zwykle najsilniejszy jest prąd w górnej warstwie położonej w **głównym nurcie rzeki**, a najsłabszy przy dnie oraz przy brzegach. Przeszkody znajdujące się w rzece, a zwłaszcza w jej nurcie, powodują powstawanie lokalnych prądów **wirowych pionowych i bocznych**, a także erozję materiału z dna oraz brzegów.



Dynamika wód morskich i oceanicznych wiąże się z trzema typami ruchu mas wody:

- 1) z pływami;
- 2) z falowaniem:
  - a) głębokowodnym,
  - b) płytkowodnym,
  - c) wiatrowym,
  - d) tsunami,
  - e) wewnętrznym;
- 3) z prądami lub inaczej cyrkulacjami (prądy *astronomiczne* lub *meteorologiczne*),
  - a) powierzchniowe,
  - b) głębinowe.

**Pływami** nazywamy okresowe, pionowe ruchy hydrosfery, atmosfery i litosfery spowodowane siłami przyciągania Słońca i Księżyca. Każda cząsteczka powietrza, wody czy gruntu jest pod wpływem działania dwóch sił - siły przyciągania Księżyca i siły odśrodkowej wynikającej z układu Ziemia - Księżyc dookoła wspólnego środka ciężkości. Efekt ten jest znacznie silniejszy w odniesieniu do wody niż do litosfery. Pływ powstaje w punkcie Ziemi leżącym najbliżej Księżyca, a więc tam, gdzie najsilniej oddziałuje Ziemia na uwypuklające się masy wodne spowodowane przesunięciem się wody z innych rejonów Ziemi. Istnieje drugie symetryczne podniesienie wód w miejscu najbardziej oddalonym od Księżyca. Taki układ sprawia, że przez każdy punkt na Ziemi,



Ryc. 7. Pływy

A - przyływ syzygijny; B - przyływ kwadraturowy (wg Demela 1974).

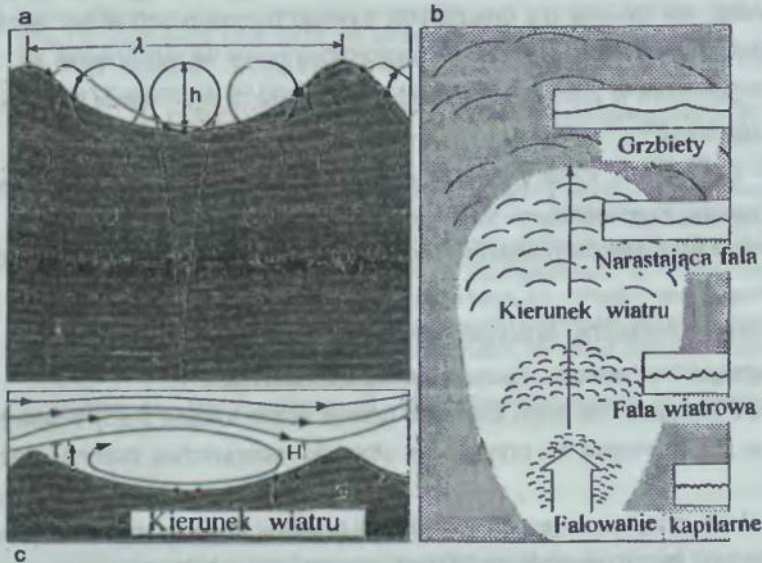
wskutek obrotowego ruchu Ziemi i Księżyca, przechodzą dwie fale wysokiej i niskiej wody (co 12 godzin i 25 minut), czyli *fala przyływu* i *fala odpływu*. Na otwartym oceanie pływ zaznacza się niewielkim podniesieniem poziomu wody - zwykle o 1 metr. Pływy najbardziej widoczne są przy urozmaiconym wybrzeżu, a zwłaszcza w lekko ujętych ujściach rzek, głęboko wcinających się w ląd zatokach i fiordach. U europejskich wybrzeży najwyższy pływ wynosi 11 m w Zatoce St. Malo w Północnej Bretanii, natomiast największy na Ziemi pływ, o wysokości ponad 14 m, występuje w Zatoce Fundy u północnych wybrzeży Ameryki Północnej. Bałtyk jest morzem śródlądowym, zamkniętym i pływy są niewielkie - ocenia się, że pływ bałtycki wynosi zaledwie 2-3 cm.

Wielkość fali pływu zależy od położenia Słońca względem układu Ziemia - Księżyc. Gdy te trzy planety znajdują się w jednej linii (zwykle w *nadzie* lub *zenicie*), czyli podczas nowiu lub pełni, siły przyciągania Księżyca i Słońca kumulują się i powstają wielkie pływy *syzygijne* (ryc. 7).

Podczas pierwszej i ostatniej kwadry następuje wzajemne osłabienie sił Księżyca i Słońca, wówczas powstają pływy zwane **kwadraturowymi**. Pływy rozchodzą się kolidując z punktów leżących na morzu, które nazywamy **amfidromicznymi**.

**Strefy pływów** tworzą specyficzny biotop dla organizmów, które zaadaptowały się do warunków okresowego życia bez wody, występując jedynie w warunkach wilgotności względnej. Organizmy te chronią się w wilgotnym dnie mułu czy piasku, zwałach glonów lub w małych kałużach wody, gdzie pod wpływem parowania okresowo następuje znaczny wzrost zasolenia w czasie trwania odpływu.

**Falowanie w morzu**, podobnie jak w zbiornikach śródlądowych, powstaje w wyniku działania wiatru - jego siły i długotrwałości. Istota falowania polega na przenoszeniu energii wiatru przez cząsteczki wody i przekazywaniu jej cząsteczkom sąsiadującym w kierunkach poziomym i pionowym (ryc. 8). Z dala od brzegu falowanie wywołuje ruch kolisty cząsteczki wody o charakterze oscylacji. Zwykle fale wiatrowe nazywane są falami **krótkimi**. Fala zatrzymywana przez płycizny powoduje powstanie spiętrzenia fal - tworzy się **przybój** i następuje przekazanie energii wiatru przeszkodzie lądowej, co wyraża się niszczycielskim działaniem fal na brzeg, a efekty najczęściej można oglądać podczas sztormu i po nim.



Ryc. 8. Schemat powstawania fal

a) fali przemieszczającej się z lewej strony na prawą, przy wygaszaniu energii wraz z głębokością, gdzie:  $\lambda$  - długość fali (pełny obrót orbity o średnicy  $h$ ),  $h$  - wysokość fali, b - efekt działania wiatru na powierzchnię wody i jego skutki - powstawanie fali wiatrowej, c - powstawanie stromizny fali w czasie działania wiatru  $h/\lambda$  (wg Otta 1988).

Najdłuższymi falami na świecie są fale typu **tsunami**, o długości około 25 km, towarzyszące nagłej erupcji podwodnych wulkanów lub erupcji wulkanów znajdujących się w rejonach czynnych sejsmicznie. Najbardziej niszczącą była tsunami powstała podczas wybuchu



wulkanu Krakatau w 1883 roku, kiedy fala osiągnęła prędkość 700 km/h. W krótkim czasie obiegła ona cały Pacyfik niszcząc wybrzeża, a zwłaszcza urządzenia portowe i statki (znane są dramatyczne opisy zniszczeń w San Francisco w USA) - zginęło wówczas ponad 36000 osób, w tym w samej Japonii prawie 27000. Do długich fal, jednakże o znacznie mniejszej energii, zaliczane są fale powstałe na wskutek *orkanów, tajfunów i huraganów*.

**Prądy oceaniczne** są ruchem wód morskich związanym z przemieszczaniem się mas wodnych, których cechą charakterystyczną jest tworzenie przez nie zamkniętych systemów cyrkulacyjnych wód powierzchniowych i głębinowych obejmujących duże obszary oceanów. Prądy na półkuli północnej mają kierunek prawoskrętny (zgodny z ruchem wskazówek zegara), a na południowej - lewoskrętny.

Przyczynami prądów są:

- 1) wirowy ruch Ziemi wokół swojej osi,
- 2) wiatry wiejące stale z tych samych kierunków (*pasaty i monsuny*),
- 3) różnice w gęstości wody spowodowane ciepłem słońca lub lodami polarnymi.

Prędkości oceanicznych prądów powierzchniowych, toczących zimne lub ciepłe wody, dochodzą do kilkunastu węzłów, a masa przesuwanych wód sięga setek milionów m<sup>3</sup>/s. Prądy kształtują klimat, wyrównują temperaturę wód wszechoceanu, pełnią rolę transportującą nie tylko dla człowieka, ale głównie dla organizmów żywych roznoszonych w ten sposób na dalekie odległości. Największymi prądami powierzchniowymi we wszechoceanie są:

- prądy ciepłe - Golfstrom w północnym Atlantyku (prędkość 2 m/s - niesie w tym samym momencie około  $63 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> wód), Kuro-shio w północnym Pacyfiku;
- prądy zimne - Labradorski, Kanaryjski, Falklandzki i Benguelski na Atlantyku, Oja-shio i Peruwiański (inaczej Humboldta) na Pacyfiku.

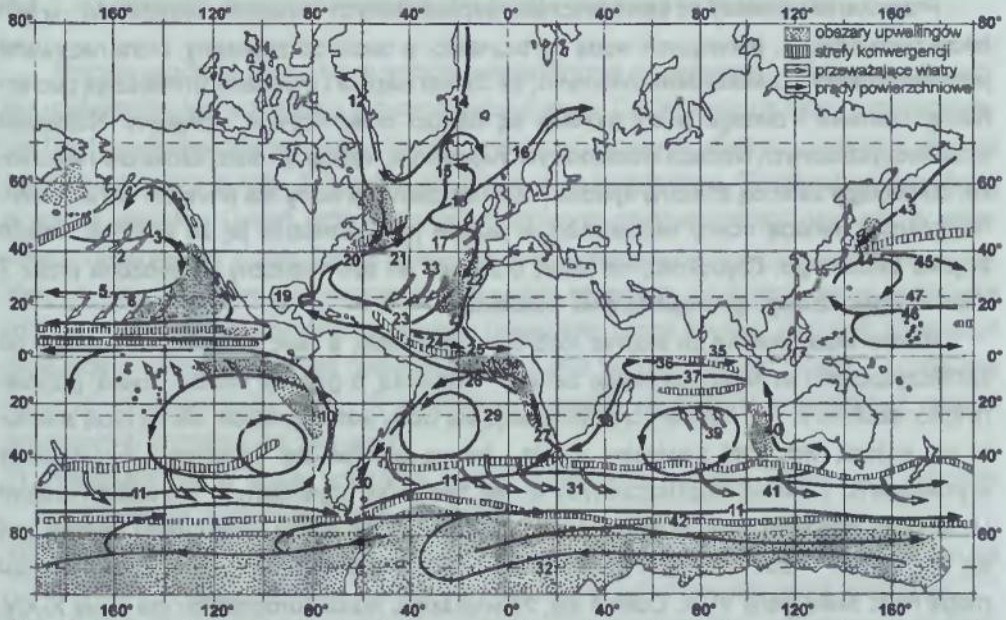
Istnieje jeszcze kilka prądów mniejszych pod względem zasięgu, ilości wód i prędkości. Są to prądy:

- ciepłe - Równikowy Wsteczny, Brazylijski, Gujański, Jukatański;
- zimne - Arktyczny i Dryf Wiatrów zachodnich wokół Antarktydy.

W oceanach, morzach i na wielu Zatokach istnieją liczne lokalne prądy powierzchniowe, które noszą nazwy miejscowe przyjęte na stałe do nazewnictwa oceanograficznego (ryc. 9).

Cyrkulacja pionowa związana jest ze specjalnymi *prądami wstępującymi*, czyli z *upwellingami*. W cyrkulacji tej zimne wody głębinowe, zawierające substancje biogenne, wynoszone są na powierzchnię w wyniku ruchów mas wodnych spowodowanych pasatami, czyli wiatrami odlądowymi, wiejącymi stale w tym samym kierunku. Efektem pojawienia się upwellingów jest wysoka produkcja biologiczna we wszystkich ogniwach łańcucha pokarmowego w morzu, poczynając od produkcji pierwotnej fitoplanktonu, poprzez zooplankton, nekton, do bentosu. Dlatego rejon upwellingów należy do najżyźniejszych naturalnych rejonów oceanicznych, gdzie koncentrują się największe łowiska i gdzie koncentrują się największe nakłady połowowe światowego rybołówstwa.





Ryc. 9. Przeważające wiatry i najważniejsze morskie prądy powierzchniowe oraz obszary upwellingów i konwergencji (Tait 1972, ze zmianami)

- 1 - Prąd Alaski, 2 - wiatry zachodnie (ryczące czterdziestki), 3 - Prąd Północnopacyficzny, 4 - Prąd Kalifornijski, 5 - Prąd Północnorównikowy, 6 - Prąd Północnowschodni, 7 - Przeciuprąd równikowy, 8 - Prąd Południoworównikowy, 9 - Pasat Południowowschodni, 10 - prąd Humboldta, 11 - Dryf Wiatrów zachodnich, 12 - Prąd Zachodniogrenlandzki, 13 - Prąd Labradorzski, 14 - Prąd Wschodniogrenlandzki, 15 - Prąd Irmingera, 16 - Prąd Norweski, 17 - wiatry zachodnie (ryczące czterdziestki), 18 - Prąd Północnoatlantycki, 19 - Prąd Florydzki, 20 - Golfstrom (Prąd Zatokowy), 21 - Morze Sargasowe, 22 - Prąd Kanaryjski, 23 - Prąd Północnorównikowy, 24 - Przeciuprąd równikowy, 25 - Prąd Gwinejski, 26 - Prąd Południoworównikowy, 27 - Prąd Benguela, 28 - Prąd Brazylijski, 29 - Zwrotnik Koziorożca, 30 - Prąd Falklandzki, 31 - wiatry zachodnie (ryczące czterdziestki), 32 - Południowe koło podbiegunowe, 33 - Pasat Północnowschodni, 34 - Pasat Południowowschodni, 35 - Równik, 36 - Przeciuprąd równikowy, 37 - Prąd Południoworównikowy, 38 - Prąd Agulhas, 39 - Pasat Południowowschodni, 40 - Prąd Zachodnioaustralijski, 41 - wiatry zachodnie (ryczące czterdziestki), 42 - Konwergencja arktyczna, 43 - Prąd Oya-schio, 44 - Prąd Kuro-schio, 45 - Prąd Pacyficzny, 46 - Prąd Północnorównikowy, 47 - Zwrotnik Raka.

### 1.1.2. Światło w wodzie

Energia promienista padając na powierzchnię wody może do niej przenikać, odbić się od niej lub ulec rozproszeniu. Latem w naszej szerokości geograficznej od gładkiej powierzchni wody odbija się około 3% promieni, podczas gdy zimą - prawie 14%. Sfalowanie powierzchni wód znacznie komplikuje te wartości. Zachmurzenie może spowodować zatrzymanie 8-100% światła padającego na zbiornik. Promienie nie odbite przenikają do wody, gdzie następuje ich **pochłanianie selektywne**. Najszybciej są pochłaniane w wodzie promienie czerwone i podczerwone, następnie fioletowe i ultrafioletowe, głębiej przenikają promienie pomarańczowe i niebieskie, a najgłębiej - promienie żółto-zielone.



Przenikanie to zależy od zawartości soli rozpuszczonych, związków koloidalnych, w tym także humusowych, barwiących wodę na brunatno, a także od zawiesiny, która nazywana jest *detrytusem* lub *sestonem*. Wiadomo, że chlorki wapnia i magnezu zmniejszają pochłanianie promieni i dlatego wody morskie są bardzo przezroczyste - błękitne. Natomiast w zanieczyszczonych wodach śródlądowych najczęściej występuje dużo azotanów i amoniaku, co pociąga za sobą znaczny spadek przepuszczalności wody dla promieni słonecznych. Najprostszą metodą oceny widzialności w wodzie jest określanie jej za pomocą białego *krążka Secchiego*. Głębokość, na której przestaje on być widoczny pomnożona przez 2 daje wartość zasięgu promieniowania widzialnego.

**Barwa wody** wynika ze stopnia rozproszenia światła, a więc jeśli woda jest wolna od zanieczyszczeń i sestonu, ma barwę zielono - niebieską, a gdy jest bardzo czysta, przybiera kolor szafirowy. Tym kolorem charakteryzują się wody jezior górskich, ale im niżej znajdują się jeziora, tym ilość zawiesiny rośnie i barwa zmienia się. Znajomość barwy wody w powiązaniu z ilością rozpuszczonych w niej związków organicznych pozwoliła Forelowi i Ulemu na wprowadzenie wizualnej uniwersalnej skali do oceny koloru wody, składającej się z 21 barw. Woda otwartych mórz wg tej skali ma wartości I-V, czyste jeziora na niżu mogą mieć skalę barw VI-IX. Ocenia się, że większość jezior europejskich ma skalę X-XIV, czyli ma różne odcienie barwy żółtej. Ostatnio do określania barwy wody stosuje się metodę spektrofotometryczną opartą na wzorcu platynowym.

**Przezroczystość** wody związana jest z wieloma czynnikami, a najważniejszymi wśród nich są:

- 1) intensywność opadów atmosferycznych (splukiwanie cząsteczek gleby),
- 2) pyły nawiewane przez wiatr,
- 3) charakter i ilość ścieków odprowadzanych do wody,
- 4) zakwity planktonu.

W zależności od stosunków świetlnych w morzach i głębokich jeziorach wyróżniamy w *pelagialu* (otwarta toń wodna) trzy warstwy poziome:

- 1) **eufotyczną** - dobrze naświetloną, nazywaną *epipelagialem*; jest to górną warstwę wód, gdzie najintensywniej zachodzi proces fotosyntezy (w morzach występuje na głębokości 50-80 m, w jeziorach *epilimnion* ma grubość 5-10 m i zdarza się nawet na głębokości 1 m);
- 2) **dysfotyczną** - z nikłą ilością światła, zwykle odpowiadającą batypelagialowi morskemu, warstwą cienia lub półmroku (w morzach na głębokości 80-400 m, w jeziorach *mezolimnion* obejmuje zazwyczaj warstwę od 10 m do termokliny);
- 3) **afotyczną** - w morzach warstwa ta odpowiada *abyssopelagialowi*, jest całkowicie pozbawiona światła, panuje tu pełny mrok (w oceanach na głębokości ponad 400 m aż do dna największych głębi i rowów oceanicznych, w jeziorach *hypolimnion* rozciąga się od termokliny do dna).

### 1.1.3. Znaczenie przezroczystości wody dla procesów życiowych

Procesy produkcji zachodzą w wodzie najintensywniej na głębokości 0,5-2 m, co oczywiście uzależnione jest od stopnia przezroczystości wody. Docierające do wody promieniowanie UHV i podczerwone jest szkodliwe dla organizmów żywych, dlatego optymalne warunki życia znajdują one poniżej 1 m, gdzie promienie te są pochłaniane. Pochłanianie pogłębiają w wodzie zawiesina i wapń, który uodparnia hydrobionty na działanie tych promieni. W zbiornikach zacienionych z małą ilością światła produkcja biologiczna bywa z tego powodu mała. Masowy rozwój glonów planktonowych, nazywany **zakwitem**, pojawienie się w nadmiarze roślin naczyniowych o pływających liściach (**nenufary**) mogą również znacznie ograniczyć produkcję w epipelagialu przez osłabienie przenikania światła, a nawet przez jego całkowite odcięcie. W zbiornikach wodnych zależnie od **stopnia oświetlenia i produkcji materii organicznej** wyróżnia się trzy strefy:

- 1) **trofogeniczną**, w której produkcja materii organicznej poprzez fotosyntezę znacznie przekracza jej zużycie na procesy oddychania i rozkładu;
- 2) **kompensacji**, w której wielkość produkcji materii organicznej równa jest jej stratom na metabolizm i rozkład. Straty materii są praktycznie wyrównywane przez produkcję.
- 3) **trofalityczną** o przewadze procesów rozkładu materii organicznej - dochodząca tu jeszcze energia światła nie wystarcza na pokrycie ilości energii potrzebnej do procesów fotosyntezy.

Powszechnie ze światłem w wodzie - jego brakiem lub nadmiarem, kojarzy się zjawisko **dobowych wędrówek planktonu i nektonu**. Wędrówki pionowe planktonu zsynchronizowane są z cyklem okołodobowym dzień-noc. Wraz ze zmniejszeniem się intensywności oświetlenia wody w godzinach wieczornych zmniejsza się intensywność fotosyntezy i produkcji **fitoplanktonu** - wówczas zooplankton pozbawiony pokarmu poszukując go pod pływa aktywnie ku powierzchni, gdzie - mimo zapadających ciemności - ilość fitoplanktonu jest relatywnie duża. Ten fenomen aktywnych wędrówek zooplanktonu ma różny zasięg i w jeziorach oceniany jest od kilku metrów nawet do 40, natomiast w morzach i oceanach bezkręgowce planktonowe o kilkumilimetrowej wielkości wędrują w ciągu doby nawet na głębokość 400-500 m. Za przemieszczającymi się **chmarami** zooplanktonu aktywnie wędrują ryby planktonożerne, powodując automatycznie w podobnym kierunku wędrówki dużych ryb i głowonogów drapieżnych za swoimi ofiarami. Takie zdolności posiadają organizmy wykazujące **fototaksję ujemną**. Pod względem reakcji na światło wyróżniamy organizmy wodne:

- 1) **fotofilne** (podążające za światłem),
- 2) **fotofobowe** (unikające światła),
- 3) **euryfotyczne** (nie reagujące na wahania natężenia światła),
- 4) **afotyczne** (zwłaszcza organizmy morskie żyjące w głębinach abysalnych, nie potrzebujące światła, często same emitujące światło za pomocą **fotoforów i luminoforów** - zjawisko to nazywane jest **bioluminescencją**).

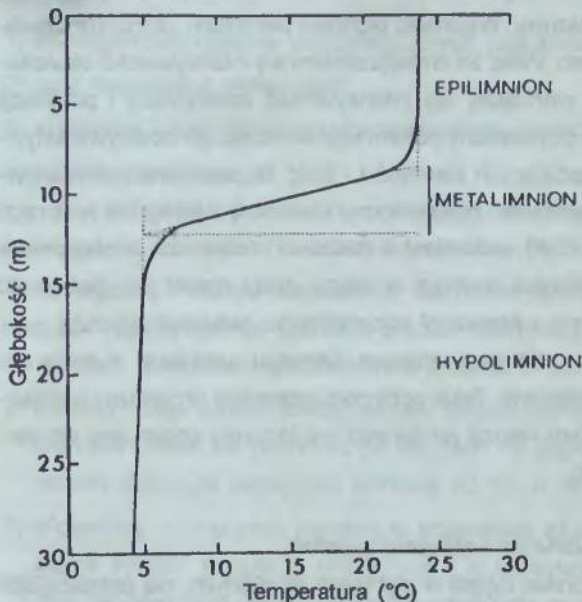


Znane jest świecenie *lucyferyny* i *enzymu lucyferazy* bruzdnic i wiciowców żyjących w epipelagialu mórz pełnostonych (np. w Morzu Czerwonym), prócz nich świecą żebroplawy, meduzy, skorupiaki (najczęściej w morzach ciepłych), a wśród nich najpospolitszy w zimnych wodach Antarktyki skorupiak *Euphausia superba* - kryl antarktyczny. Okazuje się, że w morzach strefy gorącej świecenie wywołują bakterie, które podrażnione mechanicznie świecą zimnym fosforyzującym światłem wewnątrz ciała osłonic i głowonogów.

#### 1.1.4. Temperatura wody

Zmiana temperatury wody następuje znacznie wolniej niż zmiana temperatury powietrza dzięki dużej bezwładności cieplnej, tzn. woda ogrzewa się bardzo wolno i tak samo długo oddaje ciepło do otoczenia. Ma to olbrzymie znaczenie dla procesów biologicznych zachodzących w wodzie, a zwłaszcza dla dojrzewania jaj, rozwoju zarodkowego, tempa wzrostu fauny i flory - zarówno zbiorników słodkowodnych, jak i morskich. Ta pojemność cieplna wody pozwala organizmom przystosować się do nowych warunków termicznych. Nagła zmiana termiki wód nie pozwala na adaptację termiczną i powoduje śmierć niezliczonych ilości bezkręgowców planktonowych, np. w strefie mieszania się ciepłych i zimnych prądów oceanicznych, a także w strefie konwergencji antarktycznej, gdzie mieszają się ciepłe wody podzwrotnikowe z zimnymi wodami polarnymi.

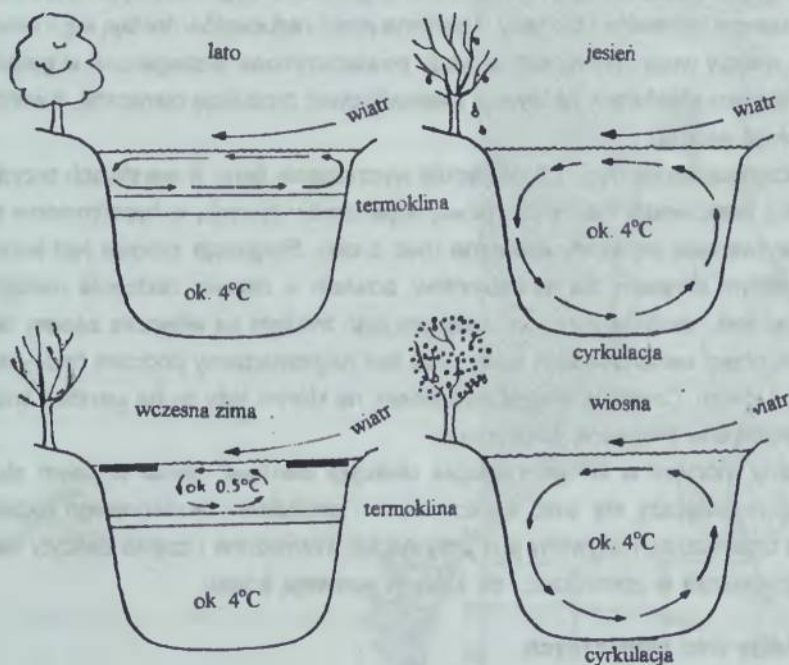
Każdy zbiornik wodny ma charakterystyczny pionowy rozkład temperatury nazywany **stratyfikacją termiczną** (ryc. 10), zależną od klimatu, warunków geologicznych, dynamiki wód,



Ryc. 10. Typowa stratyfikacja termiczna w jeziorze na warstwy: epilimnetyczną, metalimnetyczną i hypolimnetyczną (wg Szczerbowskiego 1993)

a zwłaszcza ich mieszania przez wiatr, a wreszcie od liczby sezonów w ciągu roku i wysokości położenia nad poziomem morza. Przyczyną stratyfikacji termicznej jest różna gęstość wody uzależniona od jej temperatury. Ponieważ woda zbiorników śródlądowych ma największą gęstość (jest najcięższa) w temperaturze 4°C, przeto gromadzi się nad dnem. Nad tą warstwą układa się woda cieplejsza lub zimniejsza. Latem górne warstwy epilimnionu ogrzewają się szybciej i silniej niż leżące głębiej (ryc. 11). Duże ciepło właściwe wody nie pozwala na jednakowe nagrzanie się do jednakowej temperatury całego słupa wody od powierzchni do dna zbiornika.

Przez całe lato pod górną ciepłą i znacznie lżejszą warstwą wody wytwarza się następna cienka warstwa wody rozdzielająca od wód powierzchniowych głębokie zimniejsze wody przydenne. Ta specyficzna pod względem termicznym warstwa, nazywana **termokliną** lub **skokiem termicznym**, charakteryzuje się tym, że temperatura spada w niej wraz z każdym metrem głębokości o jeden stopień Celsjusza. W czasie lata woda epilimnionu jeziornego nigdy nie miesza się z hypolimnionem, a taki warstwowy układ nazywany jest **stagnacją letnią**. Wiatr wiejący latem wprawia wodę w ruch, ale jej krążenie odbywa się tylko w warstwie powierzchniowej. Uwarstwienie powstałe latem jest **uwarstwieniem prostym**, ponieważ wyższa temperatura utrzymuje się przy powierzchni i spada w kierunku dna. Jesienią kiedy temperatura powietrza znacznie obniża się, epilimnion ulega ochłodzeniu i kiedy osiągnie temperaturę zbliżoną do temperatury wód przydennych, następuje wyrównanie temperatury (również i gęstości wody) w całym słupie wody od dna do powierzchni.



Ryc. 11. Mieszanie wód jeziornych w czterech sezonach roku strefy umiarkowanej (wg Stańczykowskiej 1975)

Stan taki nazywany jest **homotermią**. W tym czasie wywołany wiatrem ruch wody może z łatwością objąć całą masę wód w zbiorniku od dna do powierzchni; taki stan nazywany jest **cyrkulacją jesienną**. Dalsze oziębienie mas wodnych doprowadza do zmniejszenia gęstości wody na powierzchni, a następnie - do jej zamarzania i powstania **uwarstwienia odwróconego**. Woda przy powierzchni ma w tym czasie temperaturę bliską 0°C, głębiej temperatura wody nieco wzrasta, a przy samym dnie osiąga wartość bliską 4°C.



Epilimnion jest bardzo cienki - podobnie jak termoklina, która zakłada się blisko pod powierzchnią - w tym czasie warstwy głębinowe (hypolimnion jeziorny) stanowią zasadniczą część masy słupa wody. Wiosną lód topnieje, woda przy powierzchni powoli ogrzewa się i przy temperaturze 4°C następuje drugi wiosenny okres *homotermii*, co w połączeniu z wiatrami powoduje ponowne poruszenie i przemieszanie całego słupa wody w zbiorniku. Jest to okres *cyrkulacji wiosennej*, trwający do momentu wytworzenia się nagrzanej warstwy wód powierzchniowych - wówczas roczny cykl powtarza się.

Długości okresów cyrkulacji jesiennej i wiosennej oraz stagnacji letniej i zimowej mają olbrzymie znaczenie dla procesów życiowych w wodzie. Zwykle w czasie cyrkulacji następuje wyrównanie w całym słupie wody zawartości gazów rozpuszczonych i soli biogenicznych. Do tego czasu gazy znajdowały się w wystarczających ilościach jedynie w warstwach powierzchniowych, zaś sole biogeniczne - w warstwach przydennych. Rozkład substancji organicznych nagromadzonych na dnie zachodzi w znacznie dogodniejszych warunkach tlenowych. Substancje mineralne i biogeny uwolnione przez reducentów dostają się z łatwością do górnych warstw wody. Wymieszane wody powierzchniowe wzbogacone w biogeny, a zwłaszcza w azotany i fosforany zaczynają intensyfikować produkcję pierwotną, a wkrótce po tym - produkcję wtórną.

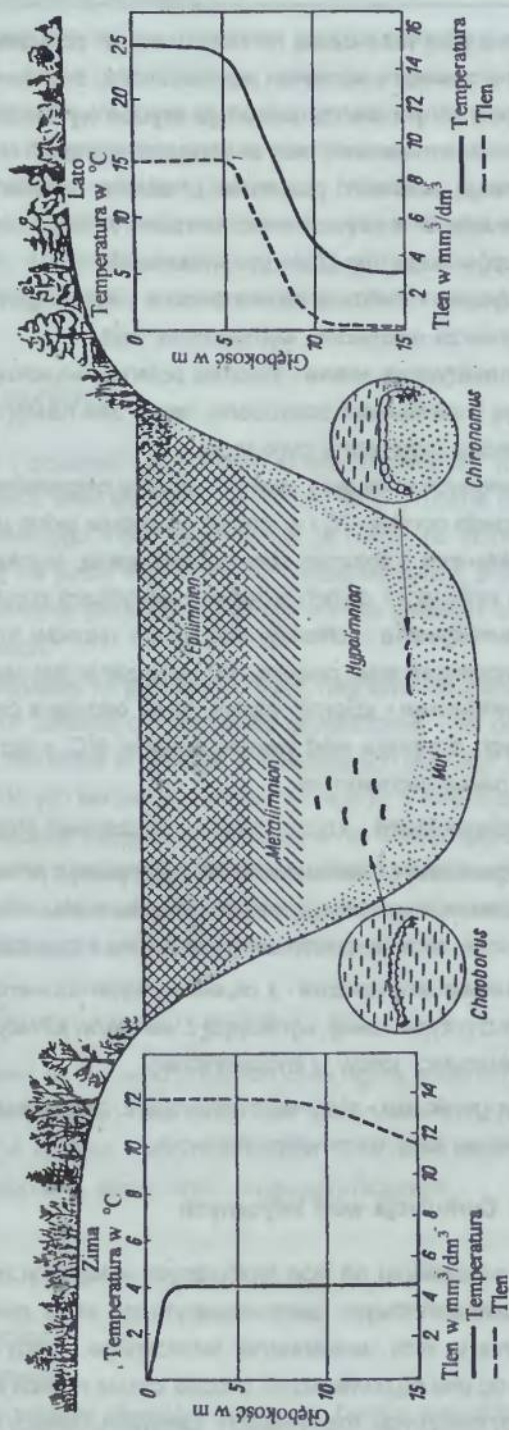
Podczas stagnacji letniej (ryc. 12) następuje wyczerpanie tlenu w warstwach przydennych, pojawia się siarkowodor hamujący rozwój organizmów żywych, w hypolimnionie nad samym dnem wytwarzają się strefy *azoiczne* (bez życia). Stagnacja zimowa jest jeszcze bardziej drastycznym okresem dla hydrobiontów, bowiem w okresie zlodzenia następuje odcięcie dostępu tlenu atmosferycznego. Jedynym jego źródłem są wówczas zapasy tlenu rozpuszczonego przed zamarznięciem wody oraz tlen nagromadzony podczas fotosyntezy zachodzącej pod lodem. Często w wodzie pod lodem, na którym leży gruba warstwa śniegu następuje zahamowanie procesów fotosyntezy.

Ten krytyczny moment w którym nastąpią *deficyty tlenowe* niemal w całym słupie wody, a przy dnie zwiększy się ilość siarkowodoru i produktów beztlenowego rozkładu martwej materii organicznej, nazywany jest *przyduchą*. Wzmózione i częste deficyty tlenowe występują zwłaszcza w zbiornikach, do których spływają ścieki.

#### 1.1.4.1. Cyrkulacja wód lenitycznych

Stosunki termiczne w całym słupie wody w okresach cyrkulacji wpływają na możliwość wymieszania ich do dna. Zwykle, gdy następuje przemieszanie zupełne mówimy o *holomiksji*, przy przemieszaniu częściowym, gdy w zbiornikach osłoniętych od wiatru nie następuje pełna cyrkulacja wód pomimo homotermii, mówimy o *meromiksji*, natomiast brak mieszania (pomimo sprzyjających warunków termicznych) nazywany jest *amiktycznością* zbiornika.

W przypadku meromiksji przemieszaniu ulega tylko część hypolimnionu zwana *miksolimnionem*, natomiast część najgłębsza nie mieszana stanowi jakby odrębną, niezależną masę wodną zwaną *monimolimnionem*.



Ryc. 12. Stratyfikacja termiczna w jeziorze, prawa strona ryciny obrazuje warunki letnie, lewa - zimowe; w kółkach przedstawione są dwa typowe organizmy hypolimnionowe (wg Oduma 1982)



Siła, z jaką wiatr działa na lustro wody, w połączeniu ze stopniem osłonięcia zbiornika, skutkuje w zasięgu mieszania i jego szybkości. Brak zastłony (np. płaski brzeg, nie porośnięty lasem) przy silnym wietrze powoduje szybkie wymieszanie całej masy wody, czyli **tachymiksję**. Powolne mieszanie, przy zastłoniętych brzegach i bardzo słabym wietrze, nazywane jest **bradymiksją**, natomiast pośrednie, przeciętne mieszanie przy słabym wietrze to **eumiksja**.

Ze względu na częstotliwość mieszania w ciągu całego roku Hutchinson i Löffler wyróżnili sześć typów jezior (podział zmodyfikowany):

- 1) **amiktyczne** - nieliczne jeziora polarne i wysokogórskie, zwykle stale zamrożone - wiatr nie stwarza możliwości wymieszania wody;
- 2) **monomiktyczne zimne** - zbiorniki polarne i wysokogórskie, które zimą są pokryte lodem i mają uwarstwienie odwrócone, latem zaś następuje wyrównanie temperatury do 4°C i powstaje tylko jedna cyrkulacja;
- 3) **monomiktyczne ciepłe** - zbiorniki strefy subtropikalnej, w których temperatura wody nigdy nie spada poniżej 4°C i w których występuje jedno uwarstwienie proste i jedna cyrkulacja;
- 4) **dimiktyczne** - zbiorniki stref umiarkowanej, tropikalnej i subtropikalnej, o dwóch okresach cyrkulacji i dwóch okresach stratyfikacji prostej oraz odwróconej;
- 5) **oligomiktyczne** - zbiorniki wilgotnych rejonów tropikalnych położonych blisko morza z temperaturą stale powyżej 4°C. Mieszanie jest słabe, nieregularne i niezwykle rzadkie;
- 6) **polimiktyczne** - zbiorniki płytkie, łatwo oddające ciepło, zbiorniki górskich rejonów tropikalnych, z termiką wód zawsze powyżej 4°C, z licznymi w ciągu roku okresami mieszania, nawet codziennymi;
  - **endogeniczne** - zbiorniki stale lub czasowo stratyfikowane
  - **biogeniczne** - stale uwarstwione, najczęściej z powodu zmian gęstości wody wynikających z przebiegu procesów biologicznych, dużej akumulacji CO<sub>2</sub> lub jonów żelazowo-magnezowych, a także z morfometrii misy jeziora i topografii otoczenia;
  - **czasowo biogeniczne** - z okresowo wyeliminowaną pełną cyrkulacją (najczęściej wiosenną lub przypadkową), wynikającą z warunków klimatycznych i procesów biologicznych, a także z akumulacji jonów w hypolimnionie;
  - **cryogeniczne** - stale stratyfikowane z akumulacją głębokowodną spowodowaną stałą warstwą lodu na powierzchni wody.

#### 1.1.4.2. Cyrkulacja wód lotycznych

W odróżnieniu od wód lenitycznych wody lotyczne charakteryzują się stałym ruchem postępowo-obrotowym, zapewniającym ich stałe mieszanie się, co wyklucza możliwość powstania w nich uwarstwienia termicznego. Wody lotyczne mają praktycznie tę samą termikę od dna do powierzchni, chociaż częste różnice temperatury wynoszą 1-2°C. W dużych zakolach rzecznych, rozlewiskach, zalewach, deltach i głębszych estuariach mogą powstać stosunki termiczne zbliżone do jezior. Latem warstwy powierzchniowe nagrzewają się najszybciej

ciej przy brzegach, w nurcie są zwykle zimniejsze, natomiast jesienią i zimą wytwarza się układ odwrotny. Przyczyną takiego układu termicznego w przekroju poprzecznym koryta rzek jest ochłodzenie lub nagrzanie brzegu. W przekroju podłużnym obserwuje się znaczną roczną amplitudę temperatury wody w dolnym biegu rzeki, a niewielką w górnym, zwłaszcza w rzekach biorących początek w źródłiskach górskich i lodowcach. Wiadomo, iż temperatura wody źródeł jest ustabilizowana i podlega małym zmianom - latem źródła sprawiają wrażenie zimnych, a zimą - ciepłych. Amplituda temperatury wody górnego biegu strumienia wynosi 1-6°C, w potoku dochodzi do 15°C, a w dolnym biegu może osiągać wartość do 25°C.

#### 1.1.4.3. Cyrkulacje pionowe wód morskich

Stosunki termiczne w morzach i oceanach są bardziej skomplikowane niż w zbiornikach śródlądowych, jedynie w morzach wewnętrznych, takich jak Bałtyk, można doszukać się analogii do jezior typu umiarkowanego. Hydrologicy zaliczają Bałtyk do zbiorników o termice podobnej do termiki typowej dla jezior dimiktycznych. Zupełnie inaczej przebiegają stosunki termiczne w Morzu Śródziemnym, położonym w strefie klimatu ciepłego, o wodach silnie zasolonych i głębokich basenach.

Epipelagial wód oceanicznych, sięgający do głębokości 200 m, nagrzewa się z większą lub mniejszą roczną amplitudą temperatur zależnie od szerokości geograficznej - na biegunach i równiku amplituda ta jest niewielka, natomiast w strefach umiarkowanych dochodzi do 10°C. Głębiej leżą wody batypelagiczne, w których temperatura stopniowo spada, a amplituda dochodzi do dziesiątych części stopnia Celsjusza. Wody abysopelagiczne nie wykazują praktycznie żadnych rocznych zmian wartości. Jest to związane ze specyfiką *cyrkulacji poziomej i pionowej* wód oceanicznych, a zwłaszcza z istnieniem *cyrkulacji wód głębinowych*, kontaktujących się z zimnymi wodami polarnymi, układającymi się nad dnem oceanicznym.

#### 1.1.4.4. Strefowość wód morskich

Wody oceaniczne można podzielić na pas wód gorących, dwa rejony polarne (z najniższą temperaturą - 1,9°C przy zasoleniu 35‰) oraz wody stref umiarkowanych, ponieważ wyraźnie różnią się one między sobą termiką i warunkami życia. Taki układ pięciu pasów klimatycznych był podstawą wyodrębnienia pięciu krain *biogeograficznych*:

- 1) *tropikalnej* - ciepłowodnej;
- 2) *arktycznej* - zimnej;
- 3) *antarktycznej* - zimnej;
- 4) *borealnej* - umiarkowanej północnej;
- 5) *notalnej* - umiarkowanej południowej.

Granica między tymi krainami przebiega równoleżnikowo, ale bardzo nieregularnie, co jest związane z anomaliami termicznymi spowodowanymi przebiegiem oceanicznych prą-



dów powierzchniowych. Dla każdej krainy określono formy wskaźnikowe przewodnie **stemontermiczne** - są to gatunki o wąskim przystosowaniu termicznym.

Dla krainy tropikalnej charakterystyczne są ciepłolubne planktonowe ślimaki skrzydłonogie (*Pteropoda*), wiciowce wapienne, krzemionkowe, bruzdnice oraz ryby latające (*Exocoetes*), rafy koralowe i zarośla namorzynowe.

Krainy polarne oraz subpolarne - notalna i borealna charakteryzują się przewagą okrzemek w fitoplanktonie, na dnie dominują notalne makrofityczne brunatnice *Macrocystis*, mające plechę dochodzącą do ponad 100 m długości (najdłuższa roślina na świecie); w strefie borealnej występuje brunatnica należąca do *Fucales* - *Laminaria*. W zimnych wodach Arktyki żyją mezoplanktonowe widłonogi (*Copepoda*) - *Calanus hyperboreus* i *Calanus finmarchicus*, białe niedźwiedzie i morsy, natomiast w Antarktyce - kryl antarktyczny, czyli skorupiaki (*Euphausiacea*) z gatunku *Euphausia superba*, ryby białokrwiste z rodzaju *Nototheniidae*, *Champscephalus*, *Chaenoccephalus* oraz kilka gatunków pingwinów, burzyków i albatrosów.

Krainy umiarkowane są środowiskami przejściowymi, w których występują formy charakterystyczne dla ekotonu, występujące również w rejonach polarnych i tropikalnych. Formami przewodnimi dla krainy borealnej są dorsz i śledź, natomiast dla krainy notalnej - kalmary z rodziny *Ommatostrephes* oraz sardynka anchovies.

#### 1.1.5. Gazy rozpuszczone w wodzie

Woda jest doskonałym rozpuszczalnikiem gazów, cieczy i ciał stałych, a zjawisko to jest pochodną jej budowy molekularnej. Rozpuszczalność gazów w wodzie maleje wraz ze wzrostem temperatury. Dla każdej temperatury woda ma określone stężenie rozpuszczonych gazów, a podwyższenie temperatury powoduje wydzielanie się gazów w postaci pęcherzyków bardzo łatwych do zaobserwowania. Źródłami gazów w wodzie są:

- 1) atmosfera (tlen, azot, dwutlenek węgla, gazy szlachetne);
- 2) procesy biologiczne i chemiczne w wodzie (tlen, azot, dwutlenek węgla, siarkowodór, wodór, amoniak, dwutlenek siarki, tlenek węgla).

Zawartość tlenu, azotu i dwutlenku węgla w wodzie zależy od jej temperatury, ciśnienia atmosferycznego i zasolenia. W wodzie obserwujemy także inny procentowy udział gazów niż w atmosferze (tab. 4).

Łatwo zauważyć, że wzrost temperatury słodkiej wody do około 30°C powoduje spadek ilości tlenu o połowę, natomiast w wodach słonych - prawie o 60%, czego konsekwencją jest zachowanie hydrobiontów, a zwłaszcza ich metabolizm. Większość gazów rozpuszczonych w wodzie (tlen, azot, dwutlenek węgla) jest składnikami powietrza, dodatkowo podczas procesów rozkładu materii organicznej do wody dostaje się amoniak, metan, siarkowodór, wodór i dwutlenek węgla. Z ekologicznego punktu widzenia najważniejsze znaczenie dla organizmów wodnych mają zawartość tlenu i dwutlenku węgla.

Tabela 4. Zróżnicowanie stężenia gazów w wodzie w zależności od temperatury i zasolenia (Ott 1988)

| Środowisko  | Temperatura<br>°C | Zawartość/<br>udział % | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Razem |
|-------------|-------------------|------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------|
| Atmosfera   |                   | cm <sup>3</sup> /l     | 790            | 210            | 0,3             | 1000  |
|             |                   | %                      | 79             | 21             | 0,03            |       |
| Woda słodka | 0°C               | cm <sup>3</sup> /l     | 18,64          | 10,29          | 0,51            | 29,4  |
|             |                   | %                      | 63             | 35             | 1,7             |       |
|             | 20°C              | cm <sup>3</sup> /l     | 12,59          | 6,57           | 0,26            | 19,4  |
|             |                   | %                      | 65             | 34             | 1,3             |       |
|             | 30°C              | cm <sup>3</sup> /l     | 10,98          | 5,57           | 0,20            | 16,65 |
|             |                   | %                      | 65,9           | 33,3           | 1,2             |       |
| Woda morska | 0°C               | cm <sup>3</sup> /l     | 11,42          | 8,04           | 0,44            | 19,9  |
|             |                   | %                      | 63             | 35             | 1,9             |       |
|             | 20°C              | cm <sup>3</sup> /l     | 10,42          | 5,36           | 0,23            | 16,0  |
|             |                   | %                      | 65             | 34             | 1,4             |       |
|             | 30°C              | cm <sup>3</sup> /l     | 9,08           | 4,5            | 0,18            | 13,76 |
|             |                   | %                      | 66             | 32,7           | 1,3             |       |

#### 1.1.5.1. Znaczenie tlenu dla procesów życiowych w wodzie

Źródłami tlenu w wodzie są atmosfera i proces fotosyntezy. Ponieważ przenikanie tlenu przez spokojną powierzchnię wody jest mało efektywne, jego przenikanie do warstw głębszych wody odbywa się prawie wyłącznie w czasie mieszania wody podczas falowania, prądów i cyrkulacji sezonowych. Z obliczeń wynika, że na zwiększenie stężenia tlenu z 13 do 13,8 mg/dm<sup>3</sup>, na głębokości 10 m, na skutek jego niewymuszonej dyfuzji z atmosfery do warstw wód powierzchniowych, trzeba byłoby czekać 638 lat. Dlatego łatwo można sobie wyobrazić, jakie znaczenie dla zawartości tlenu w wodzie ma ruch mas wodnych wywołany przez wiatry, turbulencje i okresowe cyrkulacje. Nasycenie wody tlenem uzależnione od temperatury i zasolenia przedstawia tab. 4, ale ilość tego gazu zmienia się również wraz z głębokością (przy wyraźnej korelacji z termiką wód). Teoretyczne stężenie tlenu przy temperaturze 4°C wynosi 13 mg, co odpowiada 9 cm<sup>3</sup> w 1000 ml wody. W czasie zimowej stagnacji najwięcej tlenu znajduje się tuż pod powierzchnią lodu, latem sytuacja powinna być odwrotna ze względu na wysoką temperaturę wody epilimnionu (tab. 4), tymczasem w warstwie tej najintensywniej zachodzi proces fotosyntezy i ilość wyprodukowanego tlenu jest bardzo duża. Produkcja tlenu przez fitoplankton (glony pływające), glony bentosowe i makrofity (rośliny naczyniowe zanurzone) jest tak duża, że powstająca ilość tlenu przybliża się do stanu *nasycenia*. Oczywiście produkcja tlenu w zbiorniku zależy od strefy (litoral czy woda otwarta), pory doby (zróżnicowana ilość światła w ciągu dnia i nocy), cykliczności sezonowej (różna ilość światła słonecznego zimą i latem), gęstości pokrycia dna przez rośliny oraz ilości fitoplanktonu. Czasami przy sprzyjających warunkach (duża ilość światła słonecznego w godzinach popołudniowych latem, duże nasycenie fitoplanktonem i fitoben-



tosem) może zaistnieć stan **przesycenia** tlenem ( $> 100\%$  nasycenia), który wówczas uchodzi z wody do atmosfery. Zawartość tlenu w wodzie określa się podając jego stężenie w  $\text{mg/dm}^3$ , nasycenie tlenem wyraża się w procentach. Na przykład w temperaturze  $20^\circ\text{C}$  może rozpuścić się w wodzie tylko  $9,19 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Stan ten nazywamy  $100\%$  nasyceniem tlenem. Podobnie  $100\%$  nasycenia tlenem występuje przy stężeniu tlenu  $14,64 \text{ mg/cm}^3$  w wodzie o temperaturze  $0^\circ\text{C}$ . Stężenie poniżej  $100\%$  nazywane jest **deficytem tlenowym**. Jeżeli więc w wodzie o temperaturze  $20^\circ\text{C}$  stwierdzimy zawartość tlenu  $3,5 \text{ mg/dm}^3$ , oznacza to że deficyt tlenowy wynosi około  $62\%$ .

Wielkość deficytu tlenowego zależy od bilansu kilku procesów zachodzących w środowisku wodnym. Podstawowym procesem jest zachodzące przez całą dobę **oddychanie** (konsumpcja w nocy rekompensowana jest przez produkcję w ciągu dnia), następnie **utlenianie** (zużywanie tlenu na rozkład substancji organicznej), wchodzenie w reakcje chemiczne (rozpuszczanie i wiązanie w solach żelazowych) oraz przenikanie do atmosfery podczas gwałtownego oziębiania. Zawartość tlenu jest proporcjonalna do zawartości materii organicznej, a zwłaszcza do intensywności procesów mineralizacji **detrytus**. Wysoka żyzność zbiornika zwiększa intensywność procesów produkcji i rozkładu, a w żyznych zbiornikach na ogół istnieje duża różnica między zawartością tlenu w epilimnionie i hypolimnionie.

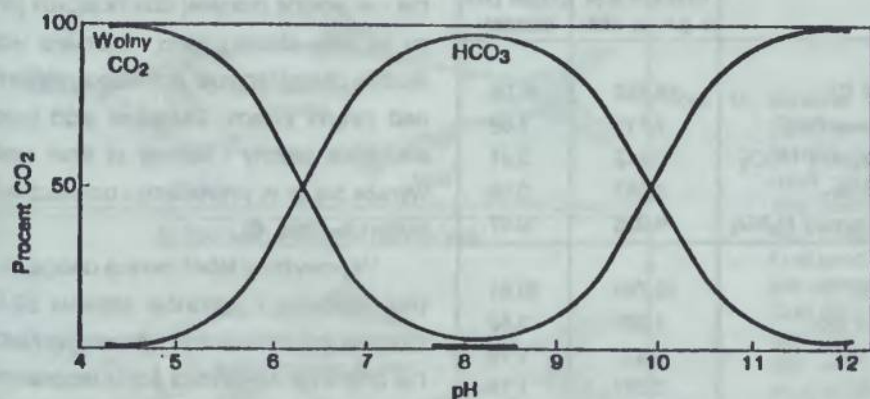
Przemiany tlenowe w rzekach zachodzą inaczej niż w jeziorach. Woda jest tu stale w ruchu - przemieszczając się ma możliwość kontaktu z atmosferą i szybciej może osiągnąć stan nasycenia. Taka właściwość wód lotycznych sprawia, że mogą one znosić większe stężenie materii organicznej **autochtonicznej** (pochodzącej z naturalnych procesów zachodzących w wodzie) i **allochtonicznej** (wprowadzanej ze ściekami).

Uwarstwienie tlenowe obserwuje się również w morzach i oceanach. Chłodne wody polarne mają w epipelagialu prawie  $100\%$  nasycenia - w kierunku dna zaznacza się jego powolny spadek, a na głębokości  $3000\text{--}4000 \text{ m}$  deficyt wynosi około  $10\text{--}15\%$ . Na  $30^\circ$  szerokości geograficznej północnej na Pacyfiku w epipelagialu znajduje się około  $4,6 \text{ ml O}_2/\text{l}$ , natomiast na głębokości  $1000 \text{ m}$  zawartość tlenu spada do  $0,3 \text{ ml/l}$ , by na głębokości  $4000 \text{ m}$  (przy niskiej temperaturze wody) osiągnąć zawartość  $3,5 \text{ ml O}_2/\text{l}$  czyli około  $70\%$  nasycenia. W Bałtyku od wielu lat obserwuje się stagnację uwarstwienia termicznego, zasoleniowego i tlenowego, przerywaną sztormowymi wlewami wód z Morza Północnego. Stagnacja oznacza zawsze dla Bałtyku wytworzenie się nad dnem warstwy wód cięższych, oddzielonych od epipelagialu termokliną, a więc praktycznie nie napowietrzanych. Na wielu obszarach dna, a zwłaszcza na kilku głębokościach zalega siarkowodor (*m.in.* na Głębi Gdańskiej i Głębi Gotlandzkiej), powstają pustynie **azolczne** dostępne jedynie bakteriom **beztlenowym**. Ponieważ nad dnem brakuje tlenu, życie dla form **tlenolubnych** staje się niemożliwe.

#### 1.1.5.2. Rola dwutlenku węgla w wodzie

Zawartość tego gazu w wodzie jest prawie 40-krotnie większa niż w powietrzu (w powietrzu wynosi około  $0,03\%$ , a w wodzie -  $1,4\%$ ). Dwutlenek węgla zużywany jest

w procesie asymilacji, ale w wodzie często już po kilku godzinach ulega wyczerpaniu. Dzięki fermentacji materii organicznej na dnie, oddychaniu zwierząt, a także oddychaniu roślin w ciągu nocy jego zapasy stale się odnawiają. Te dobowe wahania zawartości  $\text{CO}_2$  w wodzie powodują również wahania poziomu pH ( $\text{CO}_2$  z wodą tworzy kwas węglowy  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), zwłaszcza w wodach o mniejszej zawartości jonów wapnia. Kwas węglowy w wodzie szybko ulega dysocjacji na jony  $\text{H}^+$  i  $\text{HCO}_3^-$ . Jon węglanowy łatwo reaguje z jonami metali lekkich oraz wapniem, dając nietrwały związek - dwuwęglan wapnia, rozpadający się na gorzej rozpuszczający się w wodzie  $\text{CaCO}_3$  (węglan wapnia). Przy obecności jonów  $\text{Ca}^{++}$  dwutlenek węgla wchodzi z nimi w reakcje chemiczne, które regulują zakres pH w środowisku i ilość  $\text{CO}_2$  (ryc. 13). Przy pH około 4 dwutlenek węgla występuje w 100% jako wolny, a postać ta zanika prawie zupełnie przy wartości pH = 8. Proporcje między  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{CO}_3^{--}$  a wartością pH wody pokazuje tab. 5.



Ryc. 13. Procentowa zawartość różnych postaci  $\text{CO}_2$  w wodzie w zależności od pH (wg Plińskiego 1992)

Tabela 5. Zależność pH wody od zawartości  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{CO}_3^{--}$  (Hutchinson 1957)

| Wartość pH | Łączny wolny $\text{CO}_2$ | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{CO}_3^{--}$   |
|------------|----------------------------|------------------|----------------------|
| 4          | 0,996                      | 0,004            | $1,25 \cdot 10^{-9}$ |
| 5          | 0,962                      | 0,038            | $1,20 \cdot 10^{-7}$ |
| 6          | 0,725                      | 0,275            | $0,91 \cdot 10^{-5}$ |
| 7          | 0,208                      | 0,792            | $2,6 \cdot 10^{-4}$  |
| 8          | 0,025                      | 0,972            | $3,2 \cdot 10^{-3}$  |
| 9          | 0,003                      | 0,966            | 0,031                |
| 10         | 0,0002                     | 0,757            | 0,243                |

Najlepszym zabezpieczeniem przed zbyt silnymi wahaniami odczynu wody jest zawarty w wodzie wapń - jak się okazuje bardzo ważny czynnik produkcji biologicznej w środowisku. Wody o małej ilości wapnia są nieurodzajne, zwykle zakwaszone. Znane są zbiorniki wodne, w których znajduje się znaczna ilość kwasów mineralnych i organicznych (kwasów humusowych) i wówczas odczyn wody wynosi znacznie poniżej 8. Natomiast przy zawartości wapnia



w wodzie powyżej 65 mg/l  $\text{CaCO}_3$  są one silnie zbuforowane i nie podlegają wahaniom pH. W czystych jeziorach i rzekach z normalną zawartością węglanów, pH równa się lub nieco przekracza indeks 8, a wody powierzchniowe mórz i oceanów mają odczyn od pH 7,8 do 8,4. Dla większości organizmów wodnych optimum pH wynosi 6,5-8,5.

### 1.1.6. Składniki mineralne wody

Do budowy komórek roślin i zwierząt wodnych potrzebne są różne pierwiastki chemiczne, jednak do najważniejszych z nich należą: węgiel, azot, fosfor, siarka, magnez, wapń, sód,

Tabela 6. Zawartość anionów i kationów w 1000 g wody morskiej o zasoleniu 35‰ (Ott 1988)

|                                            | Koncentracja<br>w g·l <sup>-1</sup> w 35‰ | Udział pro-<br>centowy |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|
| <b>Aniony</b>                              |                                           |                        |
| Chlorki Cl <sup>-</sup>                    | 19,353                                    | 55,04                  |
| Siarczany SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>     | 2,712                                     | 7,68                   |
| Dwuwęglany HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | 0,142                                     | 0,41                   |
| Bromki Br <sup>-</sup>                     | 0,067                                     | 0,19                   |
| Kwas borowy H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> | 0,025                                     | 0,07                   |
| <b>Kationy</b>                             |                                           |                        |
| Sód Na <sup>+</sup>                        | 10,760                                    | 30,61                  |
| Magnez Mg <sup>++</sup>                    | 1,294                                     | 3,69                   |
| Wapń Ca <sup>++</sup>                      | 0,413                                     | 1,16                   |
| Potas K <sup>+</sup>                       | 0,387                                     | 1,10                   |
| Stront Sr <sup>++</sup>                    | 0,008                                     | 0,04                   |

potas, żelazo i krzem oraz mikroelementy i pierwiastki śladowe. Skład pierwiastków w wodach morskich i słodkich różni się znacznie - w wodzie morskiej dominującymi jonami są jony chlorku sodu, natomiast wody słodkie charakteryzuje przewaga węglanów nad innymi solami. Zasolenie wód tworzą wszystkie aniony i kationy w litrze wody; wyraża się je w *promilach* i oznacza symbolem ‰ (tab. 6).

W powyższej tabeli zwraca uwagę to, że pięć anionów i kationów stanowi 99,9% morskiej soli. Niezależnie od wartości zasolenia proporcja zawartości soli w wodzie morskiej jest stała. Znając zawartość chlorków w wodzie morskiej (ilość g chloru na 1 kg wody) można szybko w przybliżeniu obliczyć jej zasolenie na podstawie poniższego wzoru:

$$S = 0,03 \cdot 1,805 \text{ Cl}$$

Jeżeli podajemy, że zasolenie wody wynosi 34‰, oznacza to, że w 1000 g wody morskiej rozpuszczonych jest 34 g soli. W oceanografii zbiorniki wodne klasyfikuje się wg zasolenia co przedstawia tabela 7.

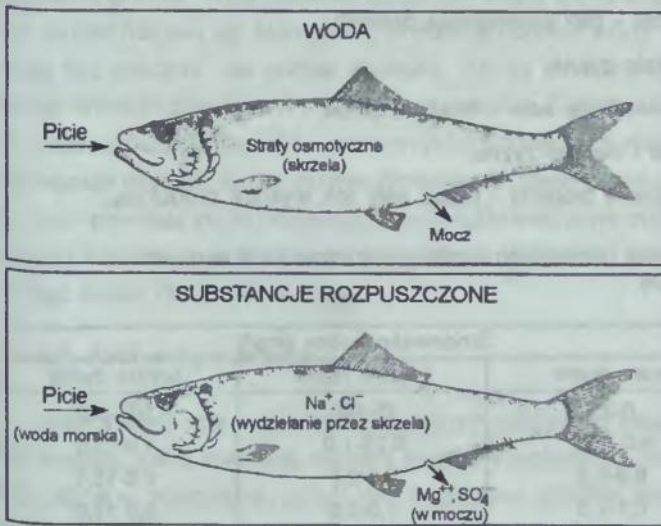
Morze Północne należy do wód słonych, ponieważ zasolenie wynosi w nim 32,8‰, w Morzu Śródziemnym 39,4‰, w Morzu Czerwonym - 43‰, w Morzu Czarnym - 18‰, natomiast w wodach powierzchniowych Północnego Bałtyku od 4 do 7,5‰.

Tabela 7. Podział wód w zależności od zasolenia (Ott 1988)

| Rodzaj wód                     | Typ wód            | Koncentracja soli<br>w ‰ |
|--------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Wody limnetyczne (słodkie)     | oligohalinowe      | < 0,5                    |
| Wody słone (miksohalinowe)     | miksooligohalinowe | 0,5-5                    |
|                                | miksoomezohalinowe | 5-18                     |
|                                | mikso-polyhalinowe | 18-30                    |
| Wody słone                     | euhalinowe         | 30-40                    |
| Wody mineralne (hyperhalinowe) | metahalinowe       | 40-70                    |
|                                | α - hypersalinowe  | 70-100                   |
|                                | β - hypersalinowe  | 100-140                  |
|                                | γ - hypersalinowe  | 140-300                  |
|                                | δ - hypersalinowe  | > 300                    |

Takie poziome zróżnicowanie zasolenia ma wpływ na bioróżnorodność gatunków roślin i zwierząt występujących w wodach morskich. W miarę zmniejszania się zasolenia **ubożeją fauna i flora**, formy morskie **karleją**, zmniejsza się ilość kręgów ryb oraz grubość muszli małży morskich. Od dawna znana jest zależność między ilością soli w wodzie morskiej a ilością występujących gatunków.

Dzięki specjalnie wytworzonym mechanizmom osmoregulacji, rozmieszczenie hydrobiontów słonawowodnych, pochodzących z wód pełnosłonnych i słodkich w wodach słonawych (takich jak Bałtyk) jest możliwe, aczkolwiek liczba gatunków pochodzenia morskiego zajmujących to samo środowisko jest znacznie mniejsza niż gatunków słodkowodnych (ryc. 14). W ekotonie na pograniczu wód morskich i słodkich wytwarza się typowa strefa styku biocenoz słodkowodnych i morskich z pewną liczbą gatunków specyficznych tylko dla wód słonawych.



Ryc. 14. Schemat pokazujący przepływ wody i substancji rozpuszczonych przez typową rybę kostnoszkieletową. Ponieważ ryba kostnoszkieletowa jest osmotycznie bardziej rozcieńczona niż otaczające środowisko wody morskiej, musi pić znaczne ilości wody morskiej. (Levinton 1982, za Schmidt-Nilsen 1975)

Jony pierwiastków zawartych w wodzie pochodzą z rozpuszczonego podłoża, i dostają się do zbiornika ze zlewni, wraz z opadami atmosferycznymi (gazy i pyły zawarte w powietrzu pochodzące z emisji naturalnych i sztucznych, antropogennych), a także z rozkładu tlenowego i beztlenowego martwej materii organicznej.

Ilość związków mineralnych w wodach naturalnych zbiorników słodkich nie jest duża i waha się od 50 do 600 mg w litrze wody. Ubogie w związki mineralne jeziora górskie mają około 50 mg/l różnych soli mineralnych, jeziora niżowe 200 - 400 mg/l, rzeki w górnym biegu 50-200 mg/l, w środkowym i dolnym > 200 mg/l. Kwaśne jeziora humusowe, wykształcone na podłożu torfowym zawierają bardzo mało anionów i kationów, ale za to dużo materii organicznej. Wśród rozpuszczonych jonów przeważają kationy **Ca** (64%) i **Mg** (17%) oraz stosunkowo małe ilości **Na** (16%), **K** (3%) i **Fe** (śladowe lub znaczne ilości, dochodzące nawet do 18 mg/l), z anionów głównie **HCO<sub>3</sub>** (73%), **SO<sub>4</sub>** (17%) i **Cl** (10%). W wodach morskich przeważają jony **Na** i **Cl** (prawie 78%), co zasadniczo różnicuje wody słodkie i



oceaniczne. Ta zawartość różnych anionów i kationów nazywana jest również **twardością ogólną wody**. Rozróżniamy następujące rodzaje twardości wody:

- 1) **węglanową** (spowodowaną węglanami i wodorowęglanami wapnia i magnezu),
- 2) **nlewęglanową** (spowodowaną przez chlorki, siarczany, azotany i in.).

Wody miękkie zawierają < 50 mg soli/ litr, w wodach średnio twardych stosunek Ca do Mg wynosi 53:34. Jednostką twardości wody jest mval/dm<sup>3</sup>.

Wody morskie i słodkie różnią się między sobą stosunkiem zawartości soli mineralnych - w morzach przeważają chlorki, w wodach słodkich - węglany wapnia, które regulują zachodzące procesy fizykochemiczne i biologiczne (tab. 8). Wody śródlądowe, lenityczne i lotyczne różnią się między sobą zawartością soli mineralnych, w związku z czym wyróżniamy następujące typy wód:

- **dystroficzne** - brak biogenów - bez organizmów żywych;
- **oligotroficzne** - ubogie - mało żyzne;
- **mezotroficzne** - średnio zasobne w sole - średnio żyzne;
- **eutroficzne** - bogate w sole - bardzo żyzne;
- **politroficzne** - bardzo bogate w biogeny - przez cały rok wysoka produkcja.

Tabela 8. Zakres występowania soli mineralnych w różnych środowiskach wodnych (wg Volenweidera 1968)

| Sole                           | Środowisko wodne (mg/l) |               |              |
|--------------------------------|-------------------------|---------------|--------------|
|                                | mało żyzne              | średnio żyzne | bardzo żyzne |
| CaO                            | 0-25                    | 25-100        | 100-300      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0-0,25                | 0,25-1,0      | 1,0-12,0     |
| NH <sub>4</sub>                | 0,0-0,3                 | 0,3-2,0       | 2,0-15,0     |
| PO <sub>4</sub>                | 0,1-1,0                 | 1,0-3,0       | 3,0-15,0     |
| Cl                             | 0,0-10,0                | 10,0-50,0     | 50,0-250,0   |
| NO <sub>3</sub>                | 0,0-1,0                 | 1,0-5,0       | 5,0-50,0     |
| NO <sub>2</sub>                | 0,0-0,5                 | 0,5-5,0       | 5,0-15,0     |
| SO <sub>4</sub>                | 0,0-10,0                | 10,0-50,0     | 50,0-100,0   |
| CO <sub>3</sub>                | 0,0-20,0                | 20,0-80,0     | 80,0-200,0   |
| Mn                             | 0,0-0,1                 | 0,1-0,5       | > 0,5        |
| CO <sub>2</sub>                | 0-5                     | 5-10          | 10,0-50,0    |
| SiO <sub>2</sub>               | 0-5                     | 5-25          | 25,0-50,0    |

Pierwiastki, które wchodzić w skład soli mineralnych wbudowywanych przez rośliny do swego ciała nazywane są **biogenami** - są to: węgiel, azot, siarka, magnez, wapń, potas, żelazo; poza tym procesy metaboliczne organizmów wchodzić niezbędne **mikroelementy**, takie jak: bar, mangan, molibden, miedź, brom, jod, fluor, cynk, glin, beryl, rubid, selen i arsen.

### 1.1.6.1. Wapń w wodzie

Wapń występuje w wodzie w postaci rozpuszczonego węglanu wapnia  $\text{CaCO}_3$ , którego ilości są stosunkowo niewielkie z powodu słabej rozpuszczalności tej soli i nie przekraczają w wodzie słodkiej 13 mg/l. Jednakże obecność  $\text{CO}_2$  powoduje powstawanie kwaśnego węglanu wapnia  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , a on może rozpuszczać się w wodzie w większych ilościach. Łatwo rozpada się na dwutlenek węgla, wodę i węglan wapnia, co sprawia, że stanowi dobrą rezerwę  $\text{CO}_2$  na potrzeby fotosyntezy. Wahaniami  $\text{CO}_2$  powodują zmiany stężenia dwuwęglanu wapnia w wodzie normując tym samym nasilenie fotosyntezy i wahaniami pH. W ciągu dnia rośliny zużywają  $\text{CO}_2$ , co powoduje zmniejszenie się ilości wolnego  $\text{CO}_2$ . Jednocześnie wiadomo, że niektóre rośliny, takie jak moczarka kanadyjska, rdestnice, wiele gatunków glonów, mogą zabierać dwutlenek węgla z dwuwęglanu, powodując jego rozpad. Ten proces nazywa się **biologicznym odwapnianiem wody**, a ilości wytrąconego węglanu mogą być znaczne. Jak podaje literatura, 100 kg moczarki kanadyjskiej strąca w ciągu 10 godzin letniego dnia prawie 2 kg węglanu wapnia. Zawartość soli wapnia w wodzie wpływa na budowę muszli mięczaków, pancerzyków wapiennych różnych organizmów, jak również impregnuje niektóre rośliny wodne. Biologiczne odwapnianie zmniejsza w wodzie zawartość fosforu - powstają trudno rozpuszczalne związki wapniowe opadające wolno na dno. Kwaśny węglan wapnia w wodzie zapobiega silnym wahaniom odczynu wody, działa jak bufor wiążąc kwasy dopływające do wody.

### 1.1.6.2. Azot w hydrosferze

Specyficzną rolę w środowisku wodnym odgrywają związki azotu z tlenem, wodorem lub węglem, które stanowią element biogeny wchodzący w skład żywej substancji. Biorą one udział w przemianie materii jako budulcowy składnik białek i elementów współtworzących, jako komponent pokarmu, a później jako wydalina odpadowa. W wodzie znajdują się znaczne ilości wolnego azotu ( $\text{N}_2$ ), ale tylko niektóre bakterie, np. *Azotobacter*, *Nitrosomonas* lub sinice *Nostoc* i *Anabaena*, mogą pobierać go w tej postaci. Inne rośliny nie mogą go pobierać, natomiast jest on dla nich dostępny w postaci związków, z których najważniejsze są azotany ( $\text{NO}_3^-$ ), azotyny ( $\text{NO}_2^-$ ), amoniak ( $\text{NH}_3$ ) oraz sole amonowe ( $\text{NH}_4^+$ ). Z zawartości azotu całkowitego w wodzie na związki organiczne przypada prawie 50%, z czego 60-80% to związki takie, jak białka, polipeptydy oraz aminokwasy. W czasie rozpadu białek pochodzących z martwych komórek powstaje amoniak, który w obecności tlenu zostaje utleniony do azotynów, które następnie przechodzą w azotany. Azotyny występują w małych ilościach i przejściowo, ponieważ są szybko zużywane w wodzie albo utleniane. Azotany są lepiej przyswajalne przez rośliny jako azot mineralny. Jest ich więcej niż azotynów. Proces transformacji azotu z formy organicznej w mineralną jest długi i złożony.

Związki azotu występujące w wodach powierzchniowych pochodzą ze ścieków przemysłowych, komunalnych i rolniczych (wymywanie z powierzchni pól, odcieki z farm hodow-



lanych). Niedobór soli azotowych może spowodować ograniczenie rozwoju producentów, nadmiar zaś powoduje gwałtowny wzrost ilości planktonu roślinnego, czyli tzw. **zakwit**. Dlatego nadmiar soli azotowych pochodzących ze ścieków jest często przyczyną niepożądanych zakwitów w wodach rzek, estuariach (Zalew Szczeciński i Zatoka Pomorska), a także w strefie przybrzeżnej mórz (tab. 9). Powodem **eutrofizacji** jezior jest zachwianie równowagi między ilością azotu organicznego i ilością azotu cząsteczkowego; w czystych naturalnych zbiornikach proporcje te powinny wynosić od 5:1 do 10:1. Podobnie proporcje węgla do azotu organicznego (C:N) powinny zawierać się w odpowiednich granicach - ze źródeł **allochtonicznych** (zewnętrznych) od 45:1 do 50:1 (w morzach 10-70:1), natomiast w materii organicznej pochodzenia **autochtonicznego** (miejscowego) proporcje te powinny wynosić 12:1 (w morzach 17:1). Przekroczenie tych proporcji zawsze ujawnia się w postaci silnych zakwitów świadczących o zachwianiu równowagi w krążeniu azotu. Ogólna ilość azotu w wodach pochodzenia naturalnego jest niezwykle zróżnicowana, na co wpływają: sezon, typ zbiornika, rejon zbiornika i jego głębokość. W epipelagialu oceanów znajduje się średnio około 10 mg N/m<sup>3</sup>.

Tabela 9. Koncentracja związków azotu w wodzie morskiej (Taft 1971)

| Źródło                       | Koncentracja (µg/ml)            |
|------------------------------|---------------------------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 1-800 (0,1-43 µg atomowego N/l) |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | 0-15                            |
| NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> | 0,4-50                          |
| Azot organiczny              | 30-200                          |

Azot tworzy jeden z najważniejszych **cykli biogeochemicznych** w środowisku, który polega na stałych, okresowych przemianach związków azotu w biosferze. Dzięki obiegowi azotu w przyrodzie utrzymuje się równowaga między biosferą i atmosferą. Jak już wyżej podano, przemiany cykliczne azotu obejmują: wiązanie azotu cząsteczkowego z atmosfery przez bakterie, przyswajanie azotu w postaci azotanów, amoniaku przez rośliny, amonifikację, nityfikację i denityfikację, w wyniku której azot cząsteczkowy uwalniany jest do atmosfery. Podstawą krążenia azotu w hydrosferze i atmosferze są heterotroficzne bakterie nityfikacyjne i denityfikacyjne *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*, *Azotobacter*, *Clostridium*, a także *Cyanobakterie* - *Trichodesmium*, *Calotrix*.

#### 1.1.6.3. Fosfor w hydrosferze

Fosfor (P) reguluje w zbiornikach wodnych produkcję biologiczną, ponieważ:

- jest elementem nieodzownym do życia organizmów jako przenośnik energii,
- występuje w tak małych ilościach, że jego niedobór może szybko okazać się decydujący.

Fosfor występuje w związkach w różnych postaciach jako:

- rozpuszczalny fosfor fosforanowy;



- rozpuszczalny fosfor organiczny;
- fosfor organiczny sestonu.

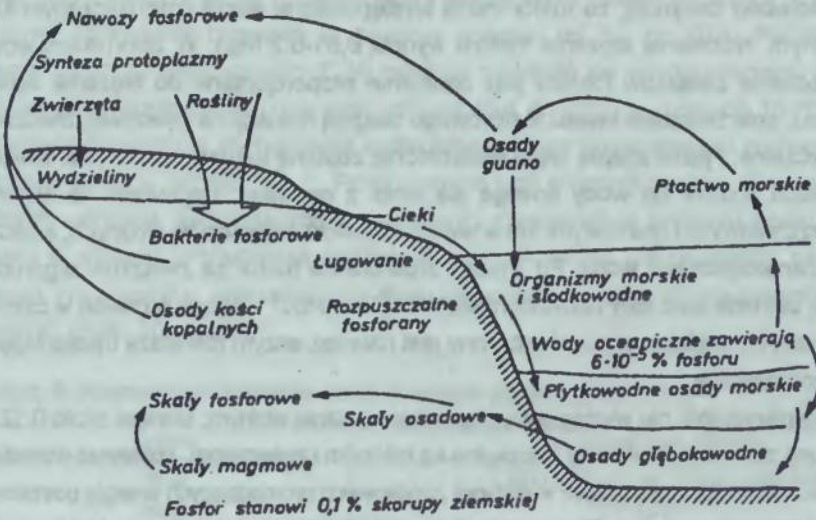
Występowanie w wodzie wapnia i żelaza, a także odczyn wody implikują tworzenie przez fosfor różnych związków - przy obojętnym lub słabo zasadowym pH jon  $PO_4^{3-}$  łączy się wyłącznie z  $Ca$ , w środowisku silnie zasadowym - z  $Na$ . W wodach kwaśnych reaguje z  $Fe^{3+}$ . Te właściwości decydują, że fosfor może występować w stanie rozpuszczonym lub nierozpuszczonym. Normalnie stężenie fosforu wynosi 0,01-0,2 mg/l. W zbiornikach wodnych rozmieszczenie związków fosforu jest odwrotnie proporcjonalne do stężenia tlenu. Przy braku tlenu, sole żelazowe kwasu fosforowego ulegają redukcji na żelazawe, znacznie łatwiej rozpuszczalne, i jeżeli znajdują się w epilimnionie zostaną bardzo szybko pochłonięte przez fitoplankton. Fosfor do wody dostaje się wraz z opadami, dopływami ze zlewni, wodami powierzchniowymi i gruntowymi lub w wyniku rozkładu organizmów wodnych, a także jako składnik zanieczyszczeń wody. Po śmierci organizmów fosfor ze związków organicznych uwalniają bakterie jako jony ortofosforowe  $HPO_4^{2-}$  lub  $PO_4^{3-}$ . W tym procesie w czasie rozkładu obumarłych części organizmów czynny jest również enzym fosfataza uwalniający fosfor z nukleoproteidów.

Fosfor jako pierwiastek nie występuje w przyrodzie w stanie wolnym; stanowi około 0,12% objętości skorupy ziemskiej. Fosforany niezbędne są roślinom i zwierzętom, ponieważ wchodzi m.in. w skład kwasów nukleinowych oraz substancji zapasowych gromadzących energię potrzebną do komórkowej przemiany materii. Poza tym fosfor jest ważnym składnikiem m.in. kości, białek roślinnych i zwierzęcych. W wodzie występuje jako fosfor fosforanowy, rozpuszczalny fosfor organiczny i fosfor organiczny związany. Stężenie fosforanów w wodzie jest niezwykle małe (0,001-0,1 mg/dm<sup>3</sup>) - te ilości fosforanów w wodzie sprawiają, że jego niedobór może ograniczać albo hamować produkcję pierwotną. W sytuacji, gdy w wodzie wystąpi większa ilość fosforanów, glony są w stanie zmagazynować 10 razy więcej fosforu niż zawierałyby go w normalnych warunkach. W wodach słodkich i morskich stosunek P:N kształtuje się na poziomie 7-15:1, w Morzu Północnym w epipelagialu występuje około 25 mg fosforu/m<sup>3</sup>, ale wraz z głębokością jego ilość rośnie, w jeziorach pomorskich latem zawartość fosforu w epilimnionie wynosi 0-4 mg/m<sup>3</sup>, a w hypolimnionie 15-30 mg/m<sup>3</sup>, natomiast podczas cyrkulacji wiosenno-jesiennych zawartość fosforu rośnie do 6-10 mg/m<sup>3</sup> w całej toni wody. Fosforany wchodzi łatwo w reakcje z jonami żelaza tworząc trudno rozpuszczalny fosforan żelazowy i wtedy nie są tak łatwo wypłukiwane z gleby. Fosforany, wprowadzane do wód w wyniku odpływu ścieków socjalno-bytowych (w ciągu doby organizm człowieka wydalą 1,3-1,5 g fosforu), ścieków przemysłowych i rolniczych, powodują intensywny rozwój organizmów wodnych. Kilogram wprowadzonych fosforanów pozwala na wyprodukowanie w sprzyjających warunkach 1500 kg substancji organicznych, głównie glonów. Latem następuje odnowienie zapasów fosforanów w strefie trofogenicznej - w epilimnionie fitoplankton szybko zużywa fosfor, w hypolimnionie, przy braku tlenu, fosforan żelazowy ulega redukcji do fosforanu żelazawego znacznie łatwiej rozpuszczalnego w wodzie. Ważna jest możliwość adsorpcji jonów fosforanowych na cząsteczkach różnych substancji bez łączenia się



łączenia się z nimi w związki chemiczne. Część fosforanów pozostaje wówczas w wodzie, i stanowi zapas fosforanów zużywany następnie przez rośliny w procesach produkcji pierwotnej. Podczas jesiennej miksji, kiedy do wody dostaje się dużo tlenu, wytrąca się na dnie prawie cały zapas fosforu w postaci nierozpuszczalnego fosforanu żelazowego.

Krążenie fosforu w przyrodzie (ryc. 15) odbywa się w dwóch cyklach: lądowym i morskim.



Ryc. 15. Krążenie fosforu w przyrodzie - cykl lądowy i morski (wg Mierzińskiego 1991)

Fosfor znajdujący się w glebie udostępniają roślinom i zwierzętom bakterie fosforowe przetwarzające martwą materię organiczną (roślinną i zwierzęcą) oraz produkty wydalania znajdujące się w glebie. Uprawy rolne, a zwłaszcza niektóre gatunki zbóż zużywają znaczne ilości fosforu, co powoduje powolne ubożenie gleby. Z tego powodu w celu uzupełnienia niedoborów fosforu gleby użytkowane rolniczo zasila się nawozami naturalnymi lub sztucznymi.

W morskim obiegu fosforu, początek cyklu rozpoczynają glony planktonowe zużywające fosforany zawarte w wodzie, następnie fosfor przechodzi do zooplanktonu jako efekt produkcji wtórnej. Następnie fosfor jest pochłaniany z pokarmem przez ryby planktonożerne, drapieżne i inne organizmy w kolejnych ogniwach łańcucha pokarmowego. Około 1% fosforu powraca na ląd dzięki połowom ryb (ludzie i ptaki) stając się źródłem nawozu, który dostarcza fosforu glebie. Tylko przy brzegach Peru ptactwo wodne wybiera z morza około 5,5 mln ton ryb rocznie przetwarzając je na niewyobrażalne ilości guano. Ludzie w tych wodach odławiają rocznie nie więcej niż 4000 ton ryb. Znaczna część fosforu wypada z obiegu, ponieważ produkty rozpadu organizmów opadają na dno, gdzie wykorzystywane są jedynie przez bentos. Najważniejszym źródłem dostępnego fosforu w morzach są organizmy planktonowe, które stanowią pierwszy element cyklu obiegu fosforu w oceanach. Na lądzie, ludzie uzyskują znaczne ilości fosforu wraz z pożywieniem (pozyskiwanym również z wody), co powoduje jego deficyty w miejscach zbiorów. Zbyt duże koncentracje ludności

w osiedlach i miastach doprowadziły do stanu, że w ściekach emitowanych do rzek, znajdują się nadwyżki fosforu w tej części łańcucha pokarmowego. Znając przyczyny strat fosforu, jak również straty, które występują w naturalnych łańcuchach troficznych dla zbilansowania ogólnego deficytu ilościowego tego pierwiastka w biosferze, musi być on uzupełniany przez celową działalność człowieka (np. przez nawożenie pól).

#### 1.1.6.4. Siarczany i krzemionka

Siarczany (najczęściej siarczan wapnia -  $\text{CaSO}_4$ ) są wykorzystywane przez rośliny w nieznacznym stopniu, ale stanowią źródło siarki wchodzącej w skład białek tworzących materię organiczną. W procesach gnicia białek powstaje siarkowodór będący substancją trującą dla większości hydrobiontów. Siarkowodór może powstać w warunkach beztlenowych również z siarczanów, co często zdarza się w przypadku dopływu ścieków zawierających siarczany (np. z celulozowni).

Krzemionka ( $\text{SiO}_2$ ) jest niezbędnym surowcem potrzebnym okrzemkom do budowy ich delikatnych pancerzyków. Wiosenne zakwity okrzemek są w stanie wyeliminować cały zapas krzemionki z wody. Źródłem krzemionki w jeziorach są osady dennie, w rzekach - wody spływające z pól w ich dorzeczu.

#### 1.1.7. Materia organiczna

W zbiornikach wodnych jest to najczęściej suma związków organicznych w stanie koloidalnym lub rozpuszczonym, zawiesina obumarłych szczątków roślin i zwierząt, nazywana **detritusem** lub **abiosestonem**, oraz żywa materia organiczna hydrobiontów, nazywana **biosestonem**.

Materia ta może powstawać w zbiorniku jako efekt aktywności biologicznej wód i wówczas nazywana jest materią **autochtoniczną** albo dostaje się spoza zbiornika jako dopływ lub opad atmosferyczny i wówczas nazywana jest materią **allochtoniczną**. Stosowane są liczne metody oceny ilości materii organicznej w wodzie m.in. metoda utlenialności, metoda **biochemicznego zapotrzebowania tlenu** (**ChZT** i **BZT<sub>5</sub>**). W substancji autochtonicznej stosunek C:N wynosi 10-12:1, ale w substancjach allochtonicznych stosunek ten może dochodzić nawet do 45-50:1.

Żyzność i produktywność biologiczną zbiorników wodnych można określić na podstawie ilości materii organicznej zawartej w wodzie. Dokonanie tego oznaczenia jest bardzo trudne ze względu na różnorodność i niestabilność związków składających się na materię organiczną (produkty hydrolizy białek, węglowodanów, tłuszczu). Materia organiczna zawieszona i rozpuszczona w wodzie stanowi źródło energii dla bakterii saprofitycznych i grzybów wodnych, niektórych glonów oraz większości mikrozooplanktonu. Organizmy lądowe i wodne, żyjące jedynie w środowiskach o dużej ilości materii organicznej i wykorzystujące ją wyłącznie jako pokarm, nazywane są **saprobiontami**. Saprobiontami są liczne grzyby, bakterie, a z roślin kwiatowych np. storczyki bezchlorofilowe oraz **saprofagi**, tj. drobne zwierzęta żyjące w wodach i zaliczane do mikrozo-



oplanktonu i mikrobionty żyjące w glebie, ściółce leśnej i mułach dennych zbiorników wodnych. Saprobionty są bardzo ważnym ogniwem obiegu materii w ekosystemach. Stworzono nawet układ klasyfikacyjny gatunków wskaźnikowych, których obecność w zbiornikach wodnych jest podstawą do określania metodą biologiczną stopnia zanieczyszczenia wód.

Dno zbiorników wodnych, tylko w okresie początkowym jest skalą macierzystą, jednakże w miarę starzenia się: ruchy wody, czynniki klimatyczne (wiatr, temperatura, wilgotność), a także procesy biologiczne powodują pojawienie się warstwy osadów. Przedostają się one na dno zbiorników drogą:

- 1) mechaniczną,
- 2) przemian chemicznych w wodzie,
- 3) przy współdziale organizmów.

Ze względu na materiały wyścielające dno jak i jego zwięzłość oraz strukturę, wyróżnia się kilka typów dna jeziornego i rzeczno:

- 1) dno skaliste, twarde (cieki górskie),
- 2) dno kamieniste, twarde, podłoże zasłane jest najczęściej głazami o średnicy  $> 10$  mm, (typowe w potokach i rzekach górskich),
- 3) dno żwirowe, cząsteczki 1-10 mm (cieki podgórskie),
- 4) dno piaszczyste - cząsteczki o średnicy 0,1-1 mm (dolny bieg rzek),
- 5) dno muliste o średnicy cząstek 0,01-0,1 mm,
- 6) dno gliniaste o cząsteczkach  $< 0,001$ -0,01 mm średnicy.

W rzeczywistości podłoże rzek i misy jeziorne mają wiele pośrednich i zmieszanych materiałów, często układających się mozaikowo ale o tym decyduje przeszłość geologiczna jak również tempo sedymentacji (opadania na dno) czy materiały wytrącone chemicznie z roztworu i cząstki organiczne. Na dnie wód limnetycznych odkładane są sole wapnia, żelaza, krzemionka organiczna oraz opadające obumarłe organizmy. W strefie litoralnej tworzą się osady mineralne pochodzenia *allochtonicznego* (z zewnątrz zbiornika) a także zawierające duże ilości szczątków makrofitów, resztek fitoplanktonu i zooplanktonu przybrzeżnego. Głębokie dno jezior, gromadzi osady mineralne a także szczątki organiczne mięczaków i skorupiaków, sole żelazowe, krzemionka z pancerzyków okrzemek oraz błonnik, lignina, ciała białkowe, tłuszcze i inne związki organiczne.

Na dnie zbiorników śródlądowych tworzą się trzy typy osadów dennych - w zależności od charakteru przebiegu procesów chemicznych, a zwłaszcza od ilości materii organicznej w wodzie:

- 1) **sapropel** - tworzy się w bardzo żyznych zbiornikach w warunkach beztlenowych (czarne, maziste, sprawiające wrażenie tłustawych);
- 2) **gyttja** - tworzy się w jeziorach eutroficznych w warunkach przewagi procesów redukcyjno-utleniających (szarozielone lub szare ze szczątkami organicznymi), osad zmineralizowany
- 3) **dy** - tworzą się na dnie zbiorników humusowych jako efekt strącania substancji humusowych przez sole wapniowe w początkowej fazie nazywa się tryptopem (ciemnobrunatne, z wtrętami koloidów humusowych, bez szczątków organicznych).

Osady denne cieków charakteryzują się wyraźną rejonizacją i allochtonicznością (osady pochodzą z erozji brzegów oraz ze zlewni). W górnym biegu, gdzie woda opuszcza źródło i zaczyna formować koryto, przy różnym nachyleniu terenu, następuje intensywne niszczenie podłoża w trakcie procesów **erozji** i **denudacji**. Gruboziarniste rumowisko skalne wleczone z prądem rzeki, rozdrabnia się coraz bardziej i dzieli na frakcje uziarnienia. Grubsze i większe kawałki podłoża macierzystego opadają szybciej i tworzą na twardym, skalistym podłożu tzw. **rumowisko**, natomiast drobniejsze frakcje przenoszone są w dół potoku w formie żwiru i piasku oraz mułu organicznego (powstaje ze zniszczonej roślinności i z brzegów). W miejscach o mniejszym prądzie, w zakolach rzeki powstają biotopy denne dogodne dla życia bentosu. W dalszych, środkowych odcinkach rzeki dochodzi zwykle do równowagi pomiędzy denudacją a akumulacją. Dolny bieg rzeki to silna przewaga procesów akumulacji. Osady rzeczne są nietrwałe i przy każdym przyborze wody czy powodzi, są rozmywane i przenoszone na inne miejsce.

W morzach i oceanach geneza osadów dennych jest bardziej skomplikowana niż w zbiornikach śródlądowych - tworzą się one w wyniku erozji, transportu, depozycji, przy udziale procesów abiotycznych i biotycznych, jako osady:

1) **litogeniczne** zwane inaczej **terrygenicznymi** (siłą erodującą jest energia hydrodynamiczna fal morskich);

- **bioabrazyjne** (podłoże ulega zniszczeniu i osadzaniu z powodu behavioru hydrobiontów);
- **biokorozyjne** (rozdrabniające materiał skalny przez borowanie);

2) **biogeniczne**:

- **pelagiczne** (szczątki wapienne pierwotniaków planktonowych należących do *Foraminifera*, a zwłaszcza do gatunków *Globigerina*, *Coccolitophora* i *Radiolaria*, okrzemek planktonowych *Diatoma* i ślimaków pelagicznych *Pteropoda*);
- **bentoniczne** (koralowce, mięczaki, foraminifera, mszywoły i glony);
- **hydrogeniczne** (powstałe w wyniku krystalizacji minerałów i soli zawartych w wodzie w postaci konkrecji żelazowych, apatytów, piritów fosforowych, manganowych, rud miedzi, kobaltu, niklu, metali ciężkich, soli kuchennej, gipsu i węgla, a także łupków organicznych).



## 2. EKOLOGICZNE CECHY RÓŻNYCH ŚRODOWISK WODNYCH

Morza, jeziora, stawy i rzeki są zbiornikami wodnymi posiadającymi dwa typowe elementy systemu ekologicznego - elementy biotyczny i abiotyczny. Każdy zbiornik wodny ma charakterystyczną dla niego florę i faunę oraz elementy nieożywione środowiska, które powiązane nawzajem ze sobą oddziałują na siebie stanowiąc jedną całość w przestrzeni.

### 2.1. Czynniki ekologiczne

Pierwszą grupę czynników ekologicznych stanowi cały kompleks czynników tworzących charakterystyczny klimat, który wpływa na rozróżnienie hydrobiontów klimatu:

- polarnego,
- umiarkowanego,
- subtropikalnego,
- tropikalnego.

Takie rozmieszczenie hydrobiontów stwarza charakterystyczną pasowość życia. Podobnie przedstawia się rozmieszczenie pionowe hydrobiontów w: zbiornikach nizin, podgórskich i górskich. Warunki klimatyczne w sposób zdecydowany wpływają na strukturę jakościową i ilościową flory i fauny wodnej.

Drugą grupę czynników ekologicznych stanowią właściwości chemiczne wody i podłoża, które decydują o selekcji hydrobiontów. Elementami przyjętymi jako podstawowe kryteria w biogeografii ekologicznej, są między innymi stosunki tlenowe, zawartość wapnia i związane z nią alkaliczność, pH, i zawartość humusu.

Hydrobionty zależne są w swoim rozmieszczeniu i rozprzestrzenieniu od warunków ekologicznych przy czym podstawowym elementem oceny jest zasięg geograficzny gatunku (zwarty lub rozdzielony). Najczęściej rozmieszczenie geograficzne pokrywa się z kontynentem lub ich grupą, które przyjmuje się jako jedną krainę biogeograficzną. Rozmieszczenie geograficzne fauny kręgowców wodnych dzieli się na trzy grupy:

1. Pierwotnie słodkowodne (nie występujące w morzach),
2. Wtórnie słodkowodne (wykazujące tolerancję na wodę morską),
3. Słodkowodne „peryferyczne” z dużą tolerancją (mogące żyć w morzach).

Odrebną grupą hydrobiontów są relikty i endemity charakterystyczne dla określonych akwenów morskich i słodkowodnych jak również dla cieków. W rozmieszczeniu fauny słodkowodnej i morskiej ma dzisiaj nie kwestionowany udział człowiek, który poprzez prowadzenie zabiegów aklimatyzacji, introdukcji oraz nieumyślne zawleczenie, wpływa na zwiększe-

nie różnorodności gatunkowej wód (*Cordylophora* - jamochłony, wirki, mszywioly, małże, *Potamopyrgus jenkinsi* - ślimaki i *Rithropanopeus harrisi*, *Eriocheir sinensis* - skorupiaki, *Salmo trutta irideus*, *Salvelinus fontinalis* - ryby łososiowate, amur biały, tołpyga, sumik amerykański itp.).

## 2.2. Czynniki ograniczające

Najmniejszym biosystemem analizowanym przez ekologów jest pojedynczy osobnik na tle czynników nieożywionych. Rzadko jednak zdarza się w przyrodzie, że na organizmy żywe działa tylko jeden czynnik fizyczny czy chemiczny środowiska. Zwykle na te organizmy działają wszystkie czynniki środowiska równocześnie. Jeszcze rzadziej czynniki te występują w przyrodzie w zakresie optymalnym dla gatunku. Jeżeli dla przykładu prześledzimy rozwój okrzemek, wówczas okaże się, iż w pierwszym rzędzie muszą zaistnieć w wodzie odpowiednie termiczne warunki dla ich rozwoju. Glony te rozmnażając się w szybkim tempie zużywają krzemionkę rozpuszczoną w wodzie, potrzebną do budowy ich pancerzyków. Wkrótce jednak dochodzi do sytuacji, gdy w wodzie brakuje krzemionki. Pomimo, że inne czynniki fizykochemiczne środowiska, np. światło, temperatura, stężenie azotanów i fosforanów, utrzymują się nadal na optymalnym poziomie, to brak krzemionki zaczyna działać jako czynnik decydujący o dalszym rozwoju komórek i jeżeli w dalszym ciągu trwa deficyt krzemionki, rozwój populacji załamuje się. Mówimy wówczas, iż zadziałał **czynnik ograniczający** decydujący o możliwości życia i rozwoju określonego osobnika, a w konsekwencji - całej populacji.

## 2.3. Stenotopowość i eurytopowość hydrobiontów

Wypadkowa działania wszystkich czynników środowiska na rozwój osobników należących do jednego gatunku zależy od ilości minimalnych, optymalnych czy maksymalnych, w jakich te czynniki występują. Zakres zmian czynników środowiskowych jest odbierany w różny sposób w zależności od gatunku. Jedne gatunki mogą wytrzymywać wąski zakres zmian środowiska, inne zaś - szerszy. Gatunki, które mogą przetrwać szerokie wahania temperatury określane są jako gatunki **eurytermiczne**, natomiast gatunki nie tolerujące większych wahań i żyjące jedynie w wąskim zakresie temperatur nazywamy gatunkami **stenotermicznymi**.

Podobny podział organizmów stosujemy również w przypadku innych czynników środowiska. Przedrostek **steno-** w wyrazie **stenobiont** oznacza, że organizm nie toleruje znacznych wahań danego czynnika i zamyka się w wąskiej strefie tolerancji ekologicznej. Przedrostek **eury-** w wyrazie **eurybiont** oznacza, że organizm może tolerować szerokie zmiany czynnika środowiskowego. Strefa tolerancji ekologicznej jest strefą pozytywnych reakcji na zmiany jakiegoś czynnika, zawartą między minimum i maksimum ekologicznym.

W pobliżu punktów krytycznych (*pessimum*) aktywność organizmów znacznie spada, ale w miarę oddalania się od nich obserwuje się wzrost pozytywnych reakcji ekologicznych



organizmu (*pejus*). Środkowa część strefy tolerancji ekologicznej (*optimum*) określa najkorzystniejsze natężenie czynnika dla funkcjonowania organizmu.

Jeżeli rozpatrujemy reakcję hydrobiontów na czynniki abiotyczne w środowisku wodnym, zdolności przystosowawcze gatunku do zawartości soli, tlenu czy ciśnienia mówimy odpowiednio o gatunku: *stenohalinowym*, *stenooksybiotycznym*, *stenobatycznym* (nie znoszącym wahań czynnika środowiskowego) albo *euryhalinowym*, *euryoksybiotycznym*, lub *eurybatycznym* (tolerującym znaczne wahania czynnika środowiskowego). Jeżeli rozpatrujemy organizm w stosunku do całego środowiska, w którym występuje (do biotopu) dany gatunek, to używamy określeń *stenotopowy* (żyjący tylko w jednym biotopie) lub *eurytopowy* (występujący w różnych środowiskach). Pstrąg, który żyje w wodach zawierających dużo tlenu, o szybkim prądzie wody, i wymaga stałej niskiej temperatury wody, jest gatunkiem stenotopowym. Natomiast okoń, występujący w jeziorach, rzekach, strumieniach i w strefie przybrzeżnej mórz słonawych, jest typowym gatunkiem eurytopowym. Skrajnym przypadkiem gatunków eurytopowych są *gatunki kosmopolityczne*, tzn. występujące na znacznym obszarze geograficznym w krańcowo zróżnicowanych środowiskach. Przykładem takiego gatunku jest trzcina (*Phragmites communis*), która występuje niemal na całej kuli ziemskiej w strefie przybrzeżnej środowisk wodnych, podmokłych i bagiennych.

Stosowany jest jeszcze inny podział organizmów żywych, zasiedlających zbiorniki wodne. Jeżeli weźmiemy pod uwagę stosunek organizmów do prądu wody, to gatunki występujące stale i z reguły w wodach o silnym prądzie nazywamy *reobiontami* (*reos* - prąd), gatunki lubiące żyć w prądzie nazywamy *reofilami*. Gatunki żyjące w środowisku ciepłym nazywamy *termofilami*, występujące w środowisku wód słonych - *halofilami*. Gatunki unikające raczej prądu wody, ale mogące jednak w nim żyć, nazywane są *reoksenami*, gatunki unikające zdecydowanie prądu - *reofobami*. Powszechnie stosowane są następujące końcówki dla określenia reakcji organizmów na konkretne czynniki środowiska:

- **-blonty**, organizmy żyjące jedynie w obecności danego czynnika;
- **-file**, organizmy, które lubią żyć w obecności jakiegoś czynnika;
- **-kseny**, organizmy unikające tego czynnika, ale znoszące go;
- **-foby**, organizmy unikające czynnika, nie znoszące jego działania czy obecności.

Mozna więc powiedzieć o pstrągu, że jest to gatunek stenooksybiotyczny, stenotopowy, halokseniczny, stenotermiczny i na dodatek reofilny.

## 2.4. Formacje ekologiczne organizmów wodnych

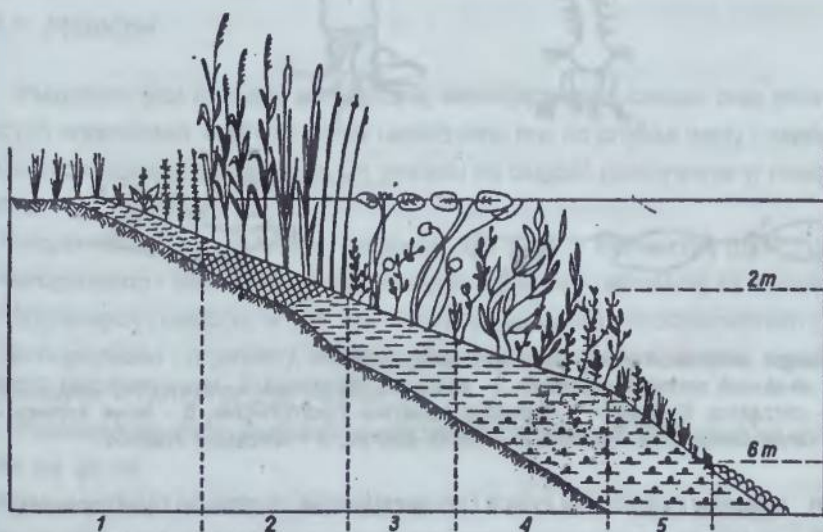
Środowiska wodne zasiedlają hydrobionty, które dzielą się na kilka formacji ekologicznych:

### 1. Seston - ogół zawiesiny w wodzie.

- 1.1. *Bioseston* lub *plankton* - są to wszystkie organizmy żywe unoszące się biernie w toni wodnej.

- 1.1.1. Bakterioplankton (ryc. I).
- 1.1.2. Fitoplankton (glony planktonowe, ryc. VII a, b, XI a).
- 1.1.3. Zooplankton (zwierzęta biernie unoszące się w wodzie, ryc. VII, VIII).
- 1.2. **Abloseston** lub **trypton** - martwe szczątki organiczne i zawiesina nieorganiczna.
2. **Nekton** - organizmy przemieszczające się bez trudności w dowolnym kierunku w toni wodnej (ryc. X).
3. **Bentos** - organizmy zasiedlające dno.
  - 3.1. Fitobentos - rośliny naczyniowe i glony zasiedlające dno (ryc. II, III, IV).
    - 3.1.1. Rhizobentos - rośliny zakorzenione, makrofity (zasiedlające litoral, ryc. 16).
      - 3.1.1.1 Amfity - rośliny ziemnowodne (ryc. III).
      - 3.1.1.2. Helofity - rośliny bagienne (ryc. II).
      - 3.1.1.3. Nimfeidy - rośliny o liściach pływających.
      - 3.1.1.4. Elodeidy - rośliny stale zanurzone w wodzie.
      - 3.1.1.5. Isoetidy - rośliny zasiedlające dno.

Najczęściej tych pięć grup makrofityów układa się strefowo, przy czym najgłębiej sięgają elodeidy i isoetidy (ryc. IV).



Ryc. 16. Strefowe rozmieszczenie rhizobentosu jeziornego (wg Starmacha, Wróbla, Pasternaka 1976)  
1 - szuwary, 2 - oczerety, 3 - strefa roślin pływających, 4 - strefa roślin zanurzonych, 5 - strefa łąk podwodnych.

- 3.2. Zoobentos - zwierzęta dna.
  - 3.2.1. Haptobentos, czyli inaczej **peryfiton** - organizmy poroślowe - **biofouling** (ryc. XI, XV).
  - 3.2.2. Herpobentos, czyli bentos właściwy żyjący stale na dnie lub w dnie i poruszający się po nim w różny sposób (ryc. XIII, XIV, XVI, XVII, XVIII).

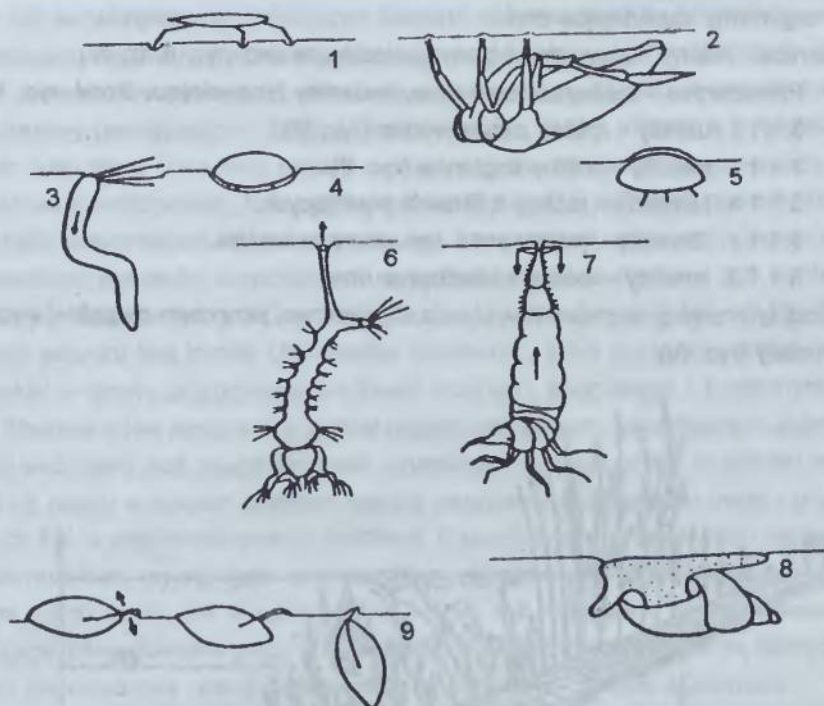


3.3.3. Nektobentos - organizmy pływające nad dnem i osiedlające się w dnie zbiorników wodnych (ryc. V, VI, XII).

4. **Neuston** - organizmy zamieszkujące powierzchnię błonki wody (ryc. 17).

4.1. Epineuston - organizmy występujące ponad błonką powierzchniową wody.

4.2. Hyponeuston - organizmy związane ze spodnią stroną błonki powierzchniowej.



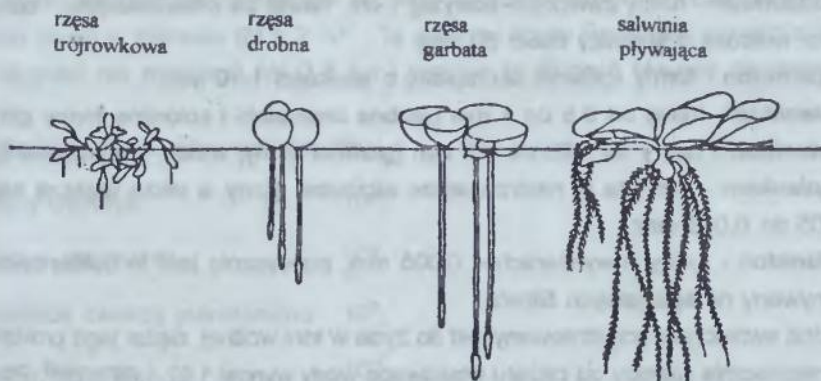
Ryc. 17. Neuston słodkowodny (wg Stańczykowskiej 1975)

1 - pluskwiak nartnik *Hydrometra*, 2 - pluskwiak *Notonecta*, 3 - larwa muchówki *Stratiomys*, 4 - chrząszcz *Gyrinus*, 5 - chrząszcz kałużnica *Hydrophilidae*, 6 - larwa komara *Culex*, 7 - larwa chrząszcza *Dytiscus*, 8 - ślimak *Limnea*, 9 - chrząszcz *Haliplus*.

5. **Pleuston** - nieliczne hydrobionty żyjące i poruszające się czynnie na błonie powierzchniowej (rośliny kwiatowe z systemem korzeniowym zanurzonym w wodzie, duże pluskwiaki itp. - ryc. 18, IX).

5.1. Pleuston właściwy - to przede wszystkim rzęsa, żabiściek, rogatek okółkowy itp.

5.2. Pleuston okresowy - meropleuston, oderwane części roślin zakorzenionych, np. wyrwane z dna gałązki rdestnic, rogatka czy moczarki.



Ryc. 18. Przedstawiciele pleustoniu słodkowodnego (wg Stańczykowskiej 1975)

## 2.5. Charakterystyka ważniejszych formacji ekologicznych

### 2.5.1. Plankton

**Plankton** - jest formacją ekologiczną, składającą się z bakterii oraz roślinnych i zwierzęcych organizmów wodnych, która uzależniona jest od prądów wody i zajęła jako środowisko życia dziedzinę pelagiczną. Ze względu na długość przebywania w pelagialu dzielimy plankton na trzy grupy:

- 1) **Holoplankton** lub euplankton - przebywa całe życie w toni wodnej (ryc. I, VIII),
- 2) **Meroplankton** - zamieszkuje pelagial jedynie okresowo - najczęściej są to larwy organizmów bentosowych i nektonu, w tym ikra i larwy ryb, nazywane ichtioplanktonem (ryc. VII),
- 3) **Tychoplankton** - organizmy, które przypadkowo znalazły się w zespole organizmów planktonowych, a normalnie żyją na dnie.

Ponieważ plankton występuje w środowiskach wód słonych i słodkich z tego względu dzieli się go na:

- 1) **Haloplankton** - plankton słonowodny,
- 2) **Salinoplankton** - plankton słonych zbiorników śródlądowych,
- 3) **Limnoplankton** - czyli plankton słodkowodny;
  - 3.1. Kreonoplankton - plankton źródeł
  - 3.2. Telmatoplankton - plankton kałuży i wysychających małych zbiorników
  - 3.3. Potamoplankton - plankton rzek
  - 3.4. Heleoplankton - plankton stawów i moczarów
  - 3.5. Eulimnoplankton - plankton jezior

Kolejny podział planktonu to podział wielkościowy, związany jest jedynie z frakcjami rozmiarów liniowych (ryc. I):



- 1) **Megaloplankton** - formy zwierzęce powyżej 1 cm, nawet do kilkudziesięciu centymetrów (np. meduzy o średnicy około 80 cm);
- 2) **Makroplankton** - formy (głównie skorupiaki) o wielkości 1-10 mm;
- 3) **Mezoplankton** - formy od 0,5 do 1 mm (drobne skorupiaki i kolonijne formy glonów);
- 4) **Mikroplankton** - formy od 0,06 do 0,5 mm (głównie glony, wrotki, pierwotniaki itp.);
- 5) **Nannoplankton** - formy te to najdrobniejsze wiciowce, glony, a także większe bakterie od 0,005 do 0,006 mm;
- 6) **Ultraplankton** - formy o wymiarach < 0,005 mm, praktycznie jest to bakterioplankton zatrzymywany na specjalnych filtrach.

Plankton ewolucyjnie przystosowany jest do życia w toni wodnej, ciężar jego protoplazmy jest tylko nieznacznie większy od ciężaru właściwego wody wynosi 1,02-1,06 g/cm<sup>3</sup>. Plankton wykazuje maksymalną redukcję szkieletu, a dla zmniejszenia ciężaru właściwego nasycza ciało kropelkami tłuszczu lub pęcherzykami gazu. Dzięki gęstości wody i jej lepkości (ich parametry zależą od temperatury) poruszające się w niej ciała natrafiają na znaczny opór. Szybkość tonięcia planktonu zależy od wielkości, kształtu ciała, a właściwie od stosunku powierzchni do objętości jego ciała. Im większa powierzchnia oporu w stosunku do objętości, tym wolniej następuje opadanie planktonu w kierunku dna.

$$\text{Szybkość tonięcia} = \frac{\text{Ciężar ciała}}{\text{względna powierzchnia} \cdot \text{lepkość cieczy}}$$

jednocześnie wiadomo, iż:

$$\text{względna powierzchnia} = \frac{\text{powierzchnia}}{\text{objętość}}$$

Podział hydrobiontów na plankton i nekton można przeprowadzić w oparciu o ich możliwość przeciwstawienia się prądom wodnym, ale dla uściślenia można się posłużyć wskaźnikiem hydrodynamicznym zwanym liczbą Reynoldsa wyrażającą relację sił ciężenia do siły tarcia:

$$Re = v \cdot l \cdot \lambda$$

gdzie:

$v$  - względna szybkość ruchu cieczy,

$l$  - długość ciała,

$\lambda$  - lepkość kinematyczna.

Przy małych wartościach liczby Reynoldsa przeważają siły tarcia, duże wartości oznaczają przewagę sił bezwładności. Małe wartości liczby Reynoldsa oznaczają przepływ laminarny, przy dużych - przepływ turbulentny. Długość organizmu jest trudno mierzalna, ponieważ musi ona uwzględniać również i kształt obiektu.

Plankton pływa w zakresie liczby Reynoldsa  $Re < 2 \cdot 10^7$ , zazwyczaj przy  $Re < 10^5$ , kształcie rozczłonkowanym, elementami wystającymi ze złą opływowością co w efekcie zapewnia mu dobry efekt spadochronowy.

Nekton odróżnia się odwrotnymi cechami niż plankton; ma opływową formę i kształt a w końcu pływa w zakresie  $Re > 2 \cdot 10^7$ . Ta wielkość liczby Reynoldsa zazwyczaj występuje przy długości nie mniejszej niż 2-3 cm i właśnie ta długość okazuje się minimalną dla nektonu.

Oto kilka przykładów wartości  $Re$ :

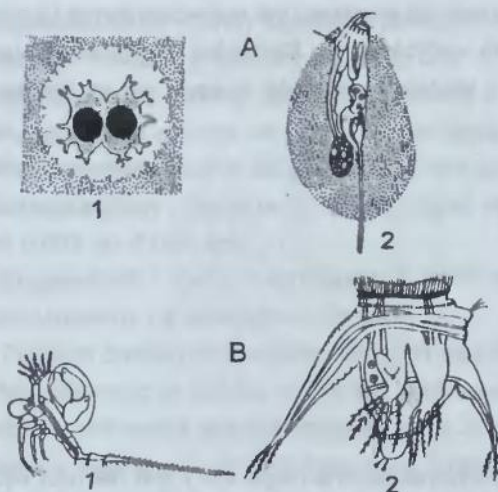
- pływający wieloryb  $10^9$ ,
- pstrąg w strumieniu  $10^5$ ,
- uciekające zwierzę planktonowe  $10^2$ ,
- pływający orzęsek  $10^{-1}$ ,
- szczecina filtracyjna plenktersa  $10^{-3}$ .

Małe organizmy żyją w środowisku przepływu laminarnego, który jest dla nich wystarczająco silny, natomiast hydrobionty bardzo duże żyją w warunkach przepływu turbulentnego proporcjonalnego do ich mocy. Stąd przyjmuje się, że wokół takich organizmów jak glony, bakterie i mikrozooplankton, przepływ wody jest laminarny. Ciało ich otoczone jest warstwą o mocno zredukowanej prędkości przepływu, warstwa ta nazywana jest warstwą graniczną.

Plankton przystosował się do unoszenia się w wodzie poprzez:

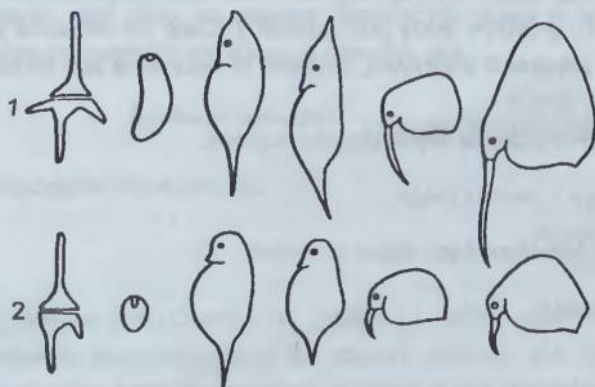
- redukcję szkieletu wewnętrznego i zewnętrznego;
- tworzenie ciała galaretowatego lub śluzu (ryc. 19);
- tworzenie delikatnych pancerzyków;
- wytwarzanie kropli tłuszczu;
- wytwarzanie wakuoli wypełnionych gazem;
- wytworzenie licznych wyrostków pierzastych, szczecinek, kolców itp. (ryc. 19);
- okresową zmianę kształtów ciała, kiedy spada lepkość wody spowodowana wysoką temperaturą wody - **cyklomorfoza** (ryc. 20);
- formowanie kształtu ciała pozwalającego na łatwiejsze unoszenie się w wodzie (kształt spadochronów, dzwonów, dysków, kul itp.);
- tworzenie kolonii o dużej powierzchni nośnej w kształcie łańcuchów, taśm, płotków;
- przystosowanie sposobu pływania do kształtu ciała (pływanie za pomocą wici, rzęsek, odnóży, skręty podłużne i poprzeczne oraz wkręcanie się w wodę, a także bieganie, skakanie, ślizganie, kurczenie i rozkurczanie całego ciała).





Ryc. 19. Przystosowania planktonu do unoszenia się w wodzie (wg Stańczykowskiej 1975)

A - formy wytwarzające galaretowate otoczki, 1- sprężnica *Staurostrum*, 2 - worek *Trichocerca*, B - formy zaopatrzone w długie wyrostki, 1 - wioślarki *Bythotrephes*, 2 - worek *Pedalia*.



Ryc. 20. Cyklomorfoza hydrobiontów planktonowych (wg Stańczykowskiej 1975)

1 - letnie formy, 2 formy zimowe *Ceratium hirundinella*, *Asplanchna priodonta*, *Daphnia hyalina*, *Hyalodaphnia curculata*, *Bosmina coregoni*.

Plankton przemieszcza się gromadnie w toni wodnej w kierunkach pionowym i poziomym (wędrowki nazywane migracjami mogą mieć charakter regularny i nieregularny), a zasięg zależny jest od gatunku i może wynosić od kilkudziesięciu do kilkuset metrów. Przyczyną migracji są zmiany następujących czynników środowiska: temperatury, zawartości tlenu, naświetlenia w poszczególnych warstwach wody. Najpowszechniejsze są dobowe migracje planktonu w kierunku pionowym.

## 2.5.2. Bentos

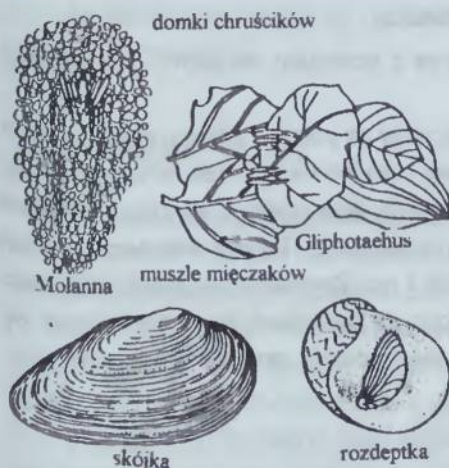
**Bentos** - jest formacją ekologiczną zasiedlającą dno środowisk wodnych - zarówno jego powierzchnię, jak i osady dennie. Zwłaszcza osady dennie stanowią swoiste środowisko, w skład którego wchodzi martwe szczątki organiczne i frakcje mineralne podłoża - od najbardziej rozdrobnionych do litej skały macierzystej. Organizmy roślinne to zarówno drobne (*mikrofitobent*

tos) i gigantyczne glony (np. antarktyczne brunatnice *Macrocystis spp.*, których plecha osiąga długość 100 i więcej metrów), jak również rośliny wyższe, nazywane łącznie **makrofitami**. Zwierzęta zamieszkujące strefę dna nazywamy **zoobentosem** (oczywiście w zależności od cech merystycznych stosowany jest podział na: mikro-, mezo-, mejo- i makrobentos). Bez wchodzenia w szczegóły taksonomiczne - środowiskowe **mikrobentos** to bakterie, glony, pierwotniaki; **mezobentos** i **mejobentos** to organizmy nieco większe, o wymiarach od 0,5 mm do kilku milimetrów, takie jak: nicienie, wirki, wrotki, brzuchorzęski, małżoraczki, skorupiaki dennie oraz

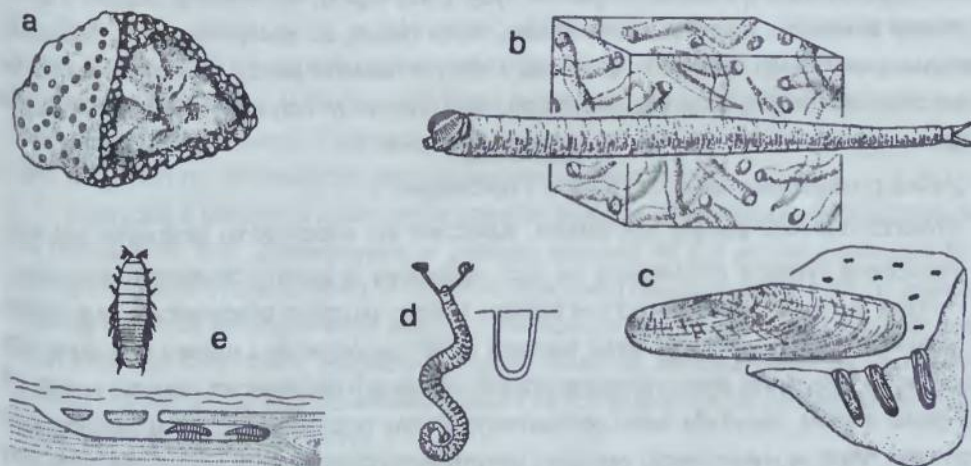
larwy skąposzczetów i owadów; **makrobentos** obejmuje w zasadzie wszystkie zwierzęta żyjące na dnie o wymiarach przekraczających meiofaunę - są to głównie gąbki, robaki, skąposzczety, wieloszczety, larwy wielu grup owadów, mięczaki, skorupiaki, a nawet kręgowce.

Przystosowaniem do dennego trybu życia hydrobiontów są:

- znaczny ciężar właściwy
- masywny szkielet zewnętrzny lub wewnętrzny
- obciążanie dodatkowe ciała w celu łatwiejszego utrzymywania się na dnie (ryc. 21);
- możliwość borowania lub chemicznego trawienia korytarzy w podłożu - w skale, w drewnie, w substracie mineralnym (ryc. 22);



Ryc. 21. Obciążenie ciała niektórych przedstawicieli bentosu (wg Stańczykowskiej 1975)



Ryc. 22. Bentos borujący (wg Finchama 1985)

a) borujący ślimak *Clione*, b) ślimak borujący w skale *Tereido*, c) małż borujący w skale *Lithophaga lithophaga*, d) wieloszczet borujący w skale kanały w kształcie litery U - *Polydora ciliata*, e) skorupiak borujący w drewnie *Limnoria sp.*



- możliwość odżywiania się resztkami organicznymi z dna (mułojady);
- zdolność mimikry - przystosowania swojej barwy, kształtu, wyglądu ciała do otoczenia (np. ryby płaskie mają oczy po jednej stronie ciała i zmieniają barwę ciała na podobną do podłoża; konik morski czy iglicznia upodabnia się kształtem, ruchami i wyglądem zewnętrznym do otaczającej roślinności);
- wytwarzanie narządów wabiących i świecących, zwłaszcza u form głębokowodnych (fotofory i luminofory na linii nabocznej ryb itp.);
- brak w ciele przestrzeni powietrznych, kropli tłuszczu;
- uzależniają od charakteru dna sposób związania z podłożem (mulistym, piaszczystym, żwirowatym, kamienistym, skałą).

Zoobentos tworzą formy osiadłe lub poruszające się za pomocą odnóży, płetw, szczecinek - biegając, pełzając, pływając, skręcając całe ciało lub na zasadzie odrzutu. Poruszanie się po dnie miękkim wiąże się z łatwym zagłębianiem się w podłoże, ale znane są gatunki wykorzystujące każdy wolny twardy substrat do osiedlania się. Takim substratem mogą być muszle małży, pancerze skorupiaków, ciała ssaków i ryb. Zoobentos dokonuje okresowych migracji poziomych w celu przetrwania w lepszych warunkach termicznych, oraz wędrówek pionowych dobowych i sezonowych, np. skąposzczety, skorupiaki, mięczaki.

### 2.5.3. Nekton

**Nekton** - nazywamy tak duże organizmy toni wodnej przemieszczające się w sposób czynny bez żadnych ograniczeń, w dowolnym kierunku, dzięki dobrze rozwiniętym narządom ruchu. Nekton w rzekach to głównie ryby, płazy i gady, ale także skorupiaki rozmieszczone strefowo. Gryzonie ziemno-wodne, które należą do specjalnej grupy, występują jedynie w niektórych biotopach. Szybkość pływania nektonu zależy od kształtu ciała i od wielkości powierzchni tarcia (kształt zbliżony do kropli wody, opływowy). Dobrze pływające organizmy wodne mają niżej wymienione właściwości:

- gładką powierzchnię ciała bez kolców i wyrostków;
- powierzchnia ciała pokryta jest śluzem, tłuszczem lub odpowiednio ułożonymi łuskami;
- dwuboczną symetrię pozwalającą na ruch postępowy w jednym określonym kierunku

Ryby poruszają się dzięki ruchowi tułowia i falistym skurczom odpowiednich grup mięśni, a zwłaszcza części ogonowej. Płetwa tworząca wiosło współpracuje z ruchem ryby, tłumi wiry, pozwala na utrzymanie stałej, normalnej pozycji, jest sterem ułatwiającym płynięcie w głąb lub ku górze, a także napęd dla ruchu postępowego. Płetwy grzbietowa, brzuszne i odbytowa są pomocne rybom w wykonywaniu zwrotów i utrzymywaniu ciała w jednej pozycji, ale także przy wynurzaniu i zagłębianiu. Prędkość poruszania się ryb wynosi od kilku do kilkudziesięciu km/h - pstrągi 15-35 km/h, łososie i troć ~ 20 km/h, tuńczyk - 108 km/h, żaglica na krótkim dystansie - do 140 km/h. Pływanie w wodzie i nurkowanie opanowały liczne ptaki. Grupę ptaków ziemno-

wodnych tworzy w Polsce około 170 gatunków ptaków, a wśród nich łabędzie, mewy, kormorany, kaczki, gęsi, perkozy, brodzie, biegusy, czaple. Mają one wyraźną tendencję do zwiększenia ciężaru właściwego, przystosowane do nurkowania i pływania mięśnie i odnóża. Rekordowe zanurzenie na 25-40 m stwierdzono u perkoza dwuczubego i kormorana.

## 2.6. Formacje ekologiczne wód limnetycznych

**Seston** rzeczny jest bogaty z powodu obfitości zawiesiny organicznej i mineralnej, a także biosestonu (planktonu).

### 2.6.1. Plankton rzeczny

**Plankton rzeczny** czyli **potamoplankton** występuje tylko w dużych rzekach w ściśle określonych warunkach z których najważniejsze to - szybkość przepływu cieku, głębokość i szerokość cieku. Potamoplankton jest ilościowo zdominowany przez **bakterioplankton** oraz **fitoplankton**. W rzekach typowe organizmy planktonowe występują jedynie w zakolach, łachach, starorzeczach i w dolnym biegu rzek. W innych warunkach planktery rzeczne są unoszone i usuwane przez prąd rzeki i nie można o nich mówić jako funkcjonującej formacji ekologicznej.

W ciągu roku bioseston rzeki przechodzi wiele sezonowych zmian typu sukcesyjnego powtarzających się z roku na rok. Naturalne zakwity zielenic i okrzemek w biosestonie obserwujemy jesienią i wiosną, a w pełni lata, kiedy stany wody są zazwyczaj niskie, temperatura wody wzrasta, następują gwałtowne zakwity glonów, a zwłaszcza sinic. Zdarzające się gwałtowne przybory wody (obfite deszcze) powodują wzrost ilości zawiesiny porywanej z dna, a zwłaszcza ze zlewni rzeki. Jest to okres, w którym ilość **abiosestonu** (martwej zawiesiny organicznej) w toni wodnej znacznie wzrasta. Rośnie ilość biogenów w rzece, a konsekwencją jest kolejny naturalny zakwit glonów. Tylko niewielka część potamoplanktonu jest jednolita autochtoniczna, reszta pochodzi z dopływów. Potamoplankton często jest zmieszany z abiosestonem (organicznym i mineralnym) utrudniającym jego opracowanie laboratoryjne.

Zazwyczaj w planktonie rzeczny na poziomie producentów występują gatunki fitoplanktonu należące do sinic (*Cyanophyceae*) w zakresie wielkości od 0,5  $\mu\text{m}$  do 1 mm jako formy kolonijne lub pojedyncze komórki, jednakże w środowisku rzeczny przechodzą na półosiadły i osiadły tryb życia lub współtworzą peryfiton i mikrobentos. Jest to typowe dla okrzemek rzecznych z rodzaju *Asterionella*, *Fragillaria*, *Synedra*, *Tabellaria*, *Melosira* i *Navicula* oraz licznych zielenic i sprężnic. Jak twierdzi Mikulski (1982) z innych grup podobnie zachowują się *Ulothrix*, *Pediastrum*, *Scenedesmus* i inne.

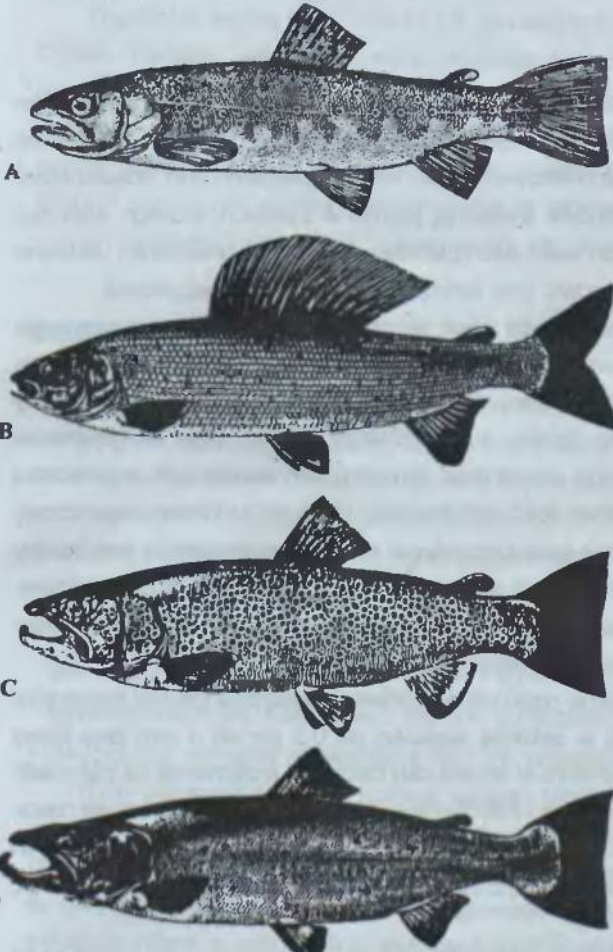
Zooplankton wód śródlądowych składa się przede wszystkim z pierwotniaków (wielkość do 100  $\mu\text{m}$ ) wrotków (30  $\mu\text{m}$  - 1 mm) i skorupiaków (widłonogi i wioślarki w zakresie wielkości 100  $\mu\text{m}$  - 1 cm). W rzekach elementy alochtoniczne i autochtoniczne tworzą formację zooplanktonową najczęściej związaną z roślinnością lub podłożem dennym (kamienistym, piaszczystym



lub mulistym) i przeważają w niej wrotki i sporadycznie skorupiaki. Poza tym występuje tam okresowo meroplankton - larwy owadów (*Chaoborus*), larwy racicznicy (*Dreissena*), wodopójki i wczesne stadia larwalne ryb. Zooplankton obejmuje kilka poziomów troficznych - formy roślinozeme, bakteriozeme i drapieżne.

### 2.6.2. Nekton rzeczny

Głównym elementem nektonu rzek są ryby, ale poza nimi tworzą go również świetnie pływające i nurkujące inne zwierzęta kręgowo lądowo - wodne: płazy, gady, liczne ptaki, a także ssaki (wydry, piżmaki, bobry).



Ryc. 23. Ichtiofauna potoków (wg Maitlanda 1977, Rolik i Rembiszewskiego 1987)

A - pstrąg potokowy (*Salmo trutta m. fario*), B - lipień (*Thymallus thymallus*), C - troć (*Salmo trutta*) D - łosoś (*Salmo salar*).

Na podstawie rozmieszczenia ichtiofauny w rzekach utworzono rybacki podział wód na różne krainy. Potoki określono jako **krainę ryb łososiowatych (pstrąga i lipienia)**, natomiast rzeki - jako **krainę ryb karpiowatych (brzany i leszcza)**. Wymienione gatunki są gatunkami przewodnimi dla krainy (ryc. 23).

Wiadomo, że pstrągi występują w zimnych, dobrze natlenionych potokach górskich. Jednakże samo położenie geograficzne rzeki nie wystarcza do określenia charakteru zamieszkującej ją biocenozy, np. do Zalewu Wiślanego wpada Pasłęka, która jest krainą pstrąga, mimo iż rzeka ta nie leży w górach, natomiast ma warunki środowiskowe charakterystyczne dla rzek górskich. Hodowlę ryb łososiowatych (pstrągów - tęczowego i źródlanego) prowadzi się jedynie w odcinkach rzek, które charakteryzują się zespołem warunków środowiskowych odpowiadających krainie pstrąga.

Kraina brzana jest środowiskiem o prądzie dość wartkim, z dnem piaszczysto-kamienistym. Oprócz brzana (*Barbus barbus*) występują tu: kleń (*Leuciscus cephalus*), świnka (*Chondrostoma nasus*), ukleja (*Alburnus alburnus*), boleń (*Aspius aspius*), certa (*Vimba vimba*) i inne. Kraina leszcza jest środowiskiem o wolnym prądzie wody i mulistym dnie. Leszczowi (*Abramis brama*) towarzyszą tu takie ryby, jak: sandacz (*Stizostedion lucioperca*), sum (*Silurus glanis*), krap (*Blicca bjoerkna*), płoć (*Rutilus rutilus*), wzdręga (*Scardinius erythrophthalmus*), szczupak (*Esox lucius*) i okoń (*Perca fluviatilis*). Kraina ta stanowi prawie 87% powierzchni polskich rzek.

W estuarium rzeki, gdzie miesza się wody słodkie i morskie, oprócz gatunków słodkowodnych wymienionych wyżej występują również gatunki morskie. Typowymi rybami występującymi dodatkowo w tej strefie są: stynka (*Osmerus eperlanus*), stornia (*Platichthys flesus*) oraz z kragloustych minogi rzeczne (*Lampetra fluviatilis*); występują tu również wędrowne ryby dwuśrodowiskowe: węgorz (*Anquilla anquilla*), łosoś (*Salmo salar*) i troć wędrowna (*Salmo trutta*).

Zarówno ryby łososiowate, jak i karpowate mają swoje wymagania środowiskowe, z których najważniejszymi są:

- 1) temperatura wody;
- 2) zawartość tlenu;
- 3) rodzaj pokarmu (plankton, bentos, roślinność czy owady).

Ryby łososiowate wolą wody chłodne i wymagają dużej zawartości tlenu, natomiast ryby karpowate żyją w wodach cieplejszych i znoszą mniejszą zawartość tlenu. W obrębie podanych wyżej krain w rzece istnieje zróżnicowanie środowiska na:

- 1) **bystrze** - miejsce o szybkim, rwącym prądzie;
- 2) **płoso** - miejsce spokojniejsze, najczęściej zakole.

W zależności od gatunku, ryby wybierają charakterystyczne dla siebie środowisko żerowania (podstawowa wiedza dla wędkarzy). Pstrąg żeruje chętnie w bystrzach, polując na unoszące się nad wodą owady, brzana przeszukuje dno w pogoni za larwami owadów ukrytych wśród kamieni i peryfitonu.

Ryby ze względu na stopień przywiązania do środowiska dzieli się na dwie grupy: **Dwuśrodowiskowe** (amfibiocytyczne), które znane są z wędrówek sezonowych rozrodczych i żerowiskowych:

- **anadromiczne** rozradzające się w wodach śródlądowych słodkich (łosoś żeruje w morzu, rozradza się w górze rzeki i to w tej samej w której przyszedł na świat);
- **katadromiczne** rozradzające się w morzu (np. węgorz), żerujące w jeziorach i rzekach i na tarło z powrotem wędrujące do Morza Sargassowego.

**Jednośrodowiskowe** (monobiocytyczne), które całe życie związały z jednym środowiskiem wodnym morskim lub słodkowodnym.

Ryby wód lotycznych spędzają całe życie w wodzie bieżącej, unikają wód stojących i nie zatrzymują się w zalewiskowych zbiornikach wodnych. Wśród tych ryb wyróżnia się gatunki:



- 1) generatywnie reofilne, rozmnażające się w bieżącej wodzie (np. miętus, pstrąg, boleń, świnka itd.),
- 2) generatywnie stagnofilne przebywają stale w rzekach ale na tarto wchodzą do zalewisk (np. sandacz, jaź itd.).

### 2.6.3. Plankton jeziorny

**Plankton jeziorny** - czyli *limnoplankton* jest formacją posiadającą najbardziej typowe cechy przystosowawcze do unoszenia się w pelagialu przy małych ruchach turbulencyjnych, które mogą powodować poziome i pionowe przemieszczanie się **plankterów**.

Tabela 10. Troficzne typy planktonu roślinnego (Mikulski 1982)

| Lp. | Typ troficzny                                        | Wymagania środowiskowe                                                                                                              | Struktura taksonomiczna                                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | ściśle autoauksotrofy i fototrofy                    | nie wymagają w środowisku niczego - czego by nie mogły wytworzyć z własnych produktów fotosyntezy i rozpuszczonych soli mineralnych | większość słodkowodnych sinic i okrzemek                                                                                     |
| 2   | autoauksotrofy, fakultatywne heterotrofy i fototrofy | mogą w ciemności zużywać glukozę, octany itp.                                                                                       | <i>Phytomonadina</i> ( <i>Volvocales</i> i <i>Chlorococcales</i> ) zwykle w środowisku stawów, bogatych w materię organiczną |
| 3   | alloauksotrofy fototroficzne                         | nie zużywają materii organicznej jako źródła energii, wymagają w środowisku kobalaminy, często także tiaminy i biotyny              | częściowo <i>Dinoflagellata</i> , <i>Chrysophyceae</i> i część okrzemek                                                      |
| 4   | alloauksotrofy, ale fakultatywne heterotrofy         | w ciemności mogą zużywać proste związki organiczne                                                                                  | niektóre okrzemki, <i>Chrysomonadina</i> , zielenice, prawie wszystkie <i>Euglenomonadina</i>                                |
| 5   | alloauksotrofy z chlorofilem, ale niepełne autotrofy | przejście do bezchlorofilowej heterotrofii                                                                                          | pewne gatunki sinic ( <i>Oscillatoria</i> ) i <i>Chrysomonadina</i> ( <i>Ochromonas malhamensis</i> )                        |

**Fitoplankton** jeziorny na poziomie producentów pierwotnych składa się z jednokomórkowych glonów unoszących się w wodzie które charakteryzują się autotroficznym sposobem życia. Nie zawsze autotrofia pokrywa się w wodach z pojęciem fototrofia, ponieważ niektóre z organizmów wykazują częściową autotrofię i heterotrofię co określamy mianem mikсотrofii. Wśród autotrofów wyróżniamy takie które potrafią wytwarzać potrzebne do wzrostu substancje (autoauksotrofia) oraz takie które substancje te muszą pobierać z zewnątrz (alloauksotrofia). Do najważniejszych grup tworzących plankton roślinny w jeziorach zaliczamy za Mikulskim (1982):

- z typu *Schizophyta* - sinice (*Cyanophyta*, tworzące tzw. „zakwity” glonów w żyznych zbiornikach, występujące jako pojedyncze komórki i galaretowate skupienia oraz jako nitkowate kolonie *Aphanisphenon*, *Anabaena*, *Gleotrichia*, *Oscillatoria* i *Lyngbya*),
- z typu *Chlorophyta* - zielenice (*Chlorophyceae*) i sprężnice (*Conjugatophyceae*),

\* z typu *Mastigota* - *Chrysomonadina*, *Cryptomonadina*, *Chloromonadina*, *Euglenoidina*, *Phytomonadina*, *Dinoflagellata*, *Baccilariophyceae*, *Xantophyceae* i *Protomonadina*.

Zwyczajowo wyróżnia się trzy kategorie wielkości glonów:

- 1) pikoplankton (< 2mm),
- 2) nanoplankton (2-30 mm),
- 3) fitoplankton sieciowy (> 30 mm).

Struktura taksonomiczna i wahania liczebności fitoplanktonu w różnych warunkach ekologicznych zbiornika oraz w czasie (klimatyczny cykl roczny), zależy od wymagań i właściwości poszczególnych gatunków. Posiadają one zróżnicowaną tolerancję ekologiczną w odniesieniu do warunków środowiska, stąd cykle życiowe gatunków mijają się ze sobą, a efektem są zmiany jakościowe w składzie fitoplanktonu w cyklu rocznym. Jedne gatunki pojawiają się a inne znikają ze składu gatunkowego - jest to zjawisko sukcesji sezonowej obserwowane zarówno w formacji roślinnej jak i zwierzęcej planktonu.

**Bakterioplankton** (najczęściej < 1  $\mu$ m) pełni w jeziorach rozmaite funkcje troficzne. W strefie tlenowej przeważają formy heterotroficzne pełniące rolę destruentów, występują tu również bakterie chemolitoautotroficzne (producenci pierwotni). W strefie beztlenowej rolę producentów pierwotnych pełnią organizmy które nazywamy fotolitoautotroficznymi. Grzyby planktonowe też biorą aktywny udział w rozkładzie materii organicznej i wówczas pełnią rolę destruentów lub pasożytów. W planktonie stwierdza się również niezwykle wysokie zagęszczenie wirusów wynoszące nawet  $10^8 \text{ ml}^{-1}$  (Lampert, Sommer 1996) aczkolwiek ich znaczenie funkcjonalne nie jest poznane do końca.

Ze względu na obecność różnych siedlisk w akwenie wśród zwierząt planktonowych wydziela się:

- **eulimnoplankton** - czyli plankton otwartych wód pelagicznych,
- **plankton litoralowy** - czyli nerytyczny.

2.6.3.1. Eulimnoplankton wyróżnia się bogatą strukturą gatunkową gdzie spośród składników roślinnych występują m.in. okrzemki, sinice, bruzdnice, zielenice i inne, natomiast plankton zwierzęcy posiada kilka zasadniczych grup taksonomicznych należących do wrotków, wioślarek i widłonogów oraz liczne gatunki należące do meroplanktonu.

Typowymi wrotkami eulimnetycznymi są: *Conochilus uniformis*, *Filinia limnetica*, oraz rodzaje *Brachionus*, *Keratella*, *Trichocerca* i *Ascomorpha*.

Wioślarki eulimnetyczne to przedstawiciele *Bosminidae* i *Daphnidae*, rodzajów - *Holopedium*, *Diaphanosoma*, *Leptodora* i *Bythotrephes*.

Wśród widłonogów limnetycznych wód otwartych wyróżniamy rodzaje: *Heterocope*, *Epischura*, *Eudiaptomus* i *Limnocalanus* zaliczane do *Calanidae*, oraz rodzaje: *Cyclops*, *Mesocyclops*, *Megacyclops* zaliczanych do *Cyclopidae*.

2.6.3.2. Plankton litoralowy w jeziorach jest mieszaniną form charakterystycznych dla siedlisk związanych z roślinnością i dnem oraz form pelagicznych. W fitoplanktonie wystę-



pują gatunki pośrednie od pelagicznych do osiadłych, czasami tworzących formacje porośnięte.

Wioślarki litoralne to formy filtrujące, drapieżne i odżywiające się detrytusem i reprezentowane przez rodziny: *Sididae*, *Macrothricidae*, *Chydoridae* z rodzajami *Alona*, *Alonella*, *Latona*, *Chydorus*, *Monospilus*, *Eurycercus* i inne. Obecne są tu też gatunki eulimnetyczne takie jak - *Bosmina longirostris* i *Bosmina coregoni*.

Widłonogi występujące w litoralu reprezentowane są przez drapieżne *Cyclopoidea* z gatunkami *Mesocyclops albidus*, *Thermocyclops oithonoides*, *Cyclops strenuus* oraz *Mesocyclops leuckarti*. Niektóre z tych gatunków występują nad dnem i jako formy drapieżne napadają na małe organizmy bentosowe. W litoralu występują meroplanktonowe larwy chrząszczy, jętek, muchówek oraz ichtioplankton.

## 2.6.4. Nekton jeziorny

Ze względu na zajmowany typ siedliska i zasiedlenie (uzależnione od stratyfikacji termicznej, tlenowej i trofii) nekton jeziorny można podzielić na kilka kategorii:

- 1) nekton pelagiczny planktonożerny (sielawa, stynka, ukleja) oraz drapieżny pelagiczny (sandacz, troć),
- 2) nekton głębinowy - bentosożerny (sieja, leszcz, brzana),
- 3) nekton przybrzeżny - roślinożerny (płoc, lin, karaś), litoralny - drapieżny (szczupak, miętus).

Ryby wód jeziornych dzieli się na następujące grupy:

- 1) gatunki pelagiczne (np. stynka, sielawa, niektóre sieje i ukleja)
  - generatywnie jeziorne, trące się w jeziorze (stynka, sielawa)
  - generatywnie rzeczne, na tarło wędrujące do dopływów jeziora
- 2) gatunki przydenne (np. lin, karaś, szczupak).

Poza rybami nekton wód tworzą inne zwierzęta kręgowce: płazy, gady, ptaki i ssaki.

Do połowu nektonu używane są różne narzędzia: sieci, wędy, haki, pułapki, światło, prąd elektryczny a także harpuny i materiały wybuchowe (powszechne narzędzie kłusowników).

## 2.6.5. Bentos

**Bentos** jest biocenozą związaną ze środowiskiem dennym. Bentos limnetyczny tworzą organizmy, które wybrały na środowisko życia podłoże dna zbiorników wodnych - jest to zespół zróżnicowany na organizmy roślinne - **fitobentos** oraz organizmy zwierzęce - **zoobentos**. Zespół ten jest pod względem wielkości zróżnicowany na:

- 1) **makrobentos** - o rozmiarach powyżej 2 mm;
- 2) **mezobentos** (lub meiofauna) - o rozmiarach 0,1-2 mm;
- 3) **mikrobentos** - poniżej 0,1 mm.

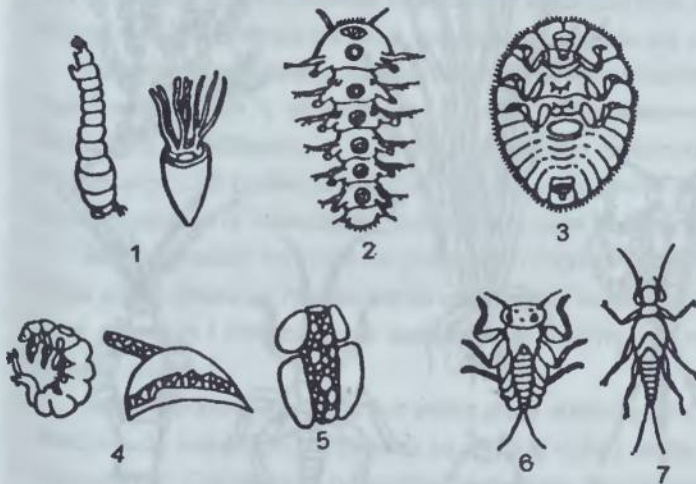
Bentos w rzekach jest znacznie bardziej zróżnicowany niż bentos jeziorny czy stawowy. W rzece środowiska dno są bardzo urozmaicone, w bliskim sąsiedztwie mogą występować miejsca o szybkim i wolnym prądzie, a dodatkowo środowiska te urozmaica tekstura materiału mineralnego. W rzekach wyróżnić można trzy podstawowe typy środowisk dennych:

- 1) środowiska **lotyczne**, piaszczysto-żwirowe w miejscach o szybkim prądzie;
- 2) środowiska **lenityczne**, piaszczysto-muliste w miejscach spokojnych;
- 3) środowiska brzegu, odpowiadające litoralowi jeziornemu z pasem roślin wodnych wynurzonych i zanurzonych, a czasami i pływających.

Zwierzęta żyjące w środowiskach lotycznych mają szereg przystosowań do przebywania w prądzie wody - są one typowymi przedstawicielami fauny reofilnej. Wiele z nich ma

przyssawki, haczyki, silne spłaszczenie grzbieto-brzuszne pozwalające na przyleganie do podłoża, odpowiedni opływowy kształt ciała, np. larwy muchówki *Blepharocera* i *Simulium* (meszki) mają wykształcone przyssawki, ślimak strumieniowy (*Ancylus fluviatilis*) ma opływową spłaszczoną muszlę (ryc. 24).

Ciała larw jętek i widelnic żyjących w prądzie jest o wiele bardziej spłaszczone niż gatunków pokrewnych żyjących w



Ryc. 24. Bentos prądotłubny

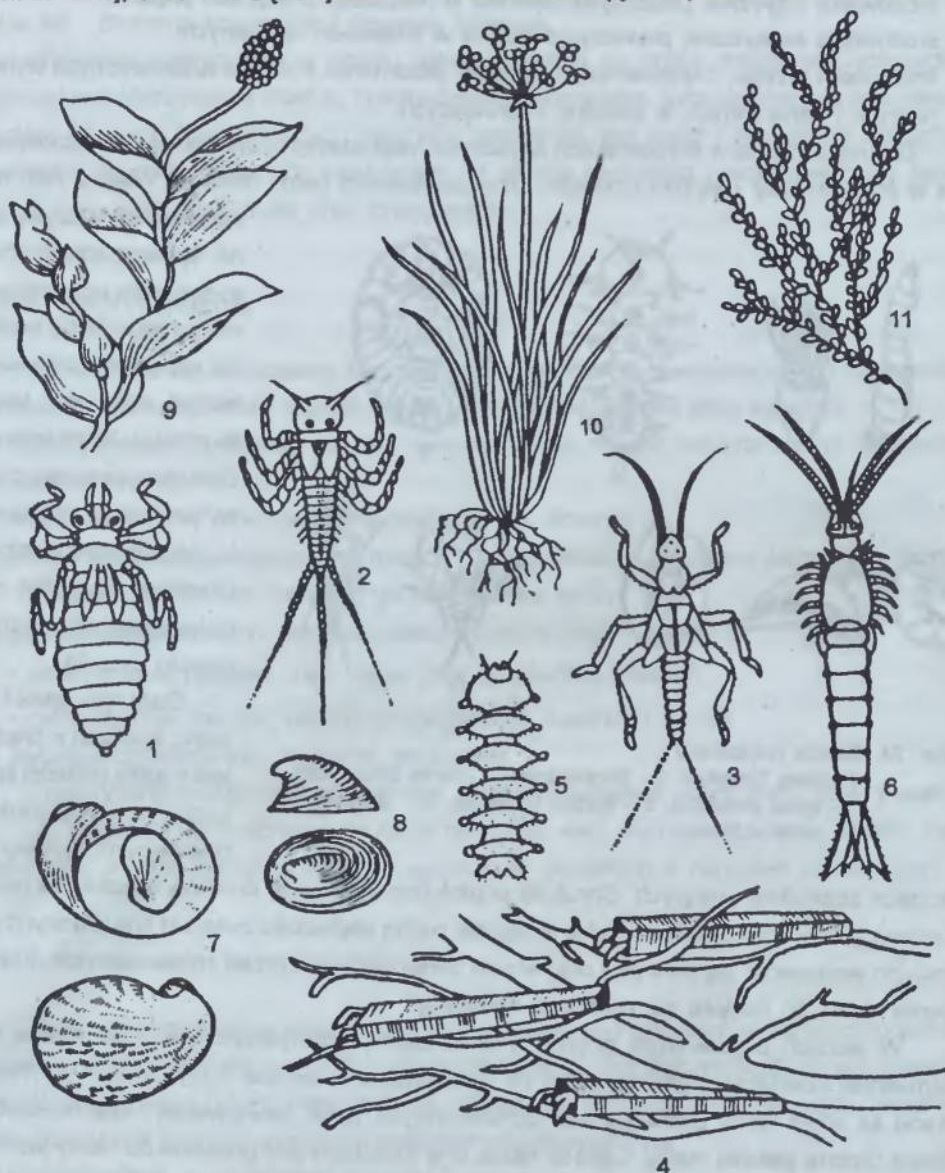
- 1 - larwa *Simulium*, 2 - *Blepharocera*, 3 - larwa chrząszcza,  
4 - larwa chruścika, 5 - domek chruścika, 6 - larwa jętki,  
7 - larwa widelnicy.

wodach zbiorników stojących. Chruściki prądotłubne do swoich domków wbudowują obciążenie w postaci drobnych kamyków. Wreszcie cechą większości zwierząt prądotłubnych jest instynkt posuwania się stale pod prąd w celu zabezpieczenia przed zniesieniem ich w dolne partie cieku, co nazywa się **reotaksją dodatnią**.

W wodach o spokojnym prądzie o wiele łatwiej żyć hydrobiontom i nie muszą one wytwarzać specjalnych przystosowań do przebywania w wodzie. Muły rzeczne zamieszkane są przez formy grzebiące larw ochotkowatych, jętek, larwy ważek i skąposzczety, a także drobne gatunki małży. Ogólnie fauna dna mulistego jest podobna do fauny jeziornej sublitoralnej. Ichtyofauna chętnie żeruje w tych środowiskach, które są zwykle bardzo obficie zamieszkiwane przez formy nie tak ściśle związane z dnem oraz mniej ruchliwe.



Środowisko pobrzeża z rozwiniętymi roślinami naczyniowymi, kwiatowymi daje schronienie wielu organizmom peryfitonowym oraz ślimakom, które można spotkać w jeziorach i stawach (*biotnlarki*, *zatoczki*, *żyworódki*). Obficie występują tu larwy ważek, jętek i chruścików, które budują domki z patyczków i szczątków organicznych roślinności wodnej i nadwodnej, a ochotki są tutaj zabarwione na zielono (ryc. 25).



Ryc. 25. Rośliny i zwierzęta żyjące w wodach płynących (wg Stańczykowskiej 1975)

- 1 - larwa ważki *Gomphus*, 2 - larwa jętki *Heptagenia*, 3 - larwa *Nemura*, 4 - larwa *Brachycentrus*,  
5 - larwa *Blepharocerus*, 6 - *Mysidae*, 7 - ślimak *Theodoxus*, 8 - ślimak *Ancylus fluviatilis*,  
9 - rdest, 10 - łączęń baldaszkowy *Butomus umbellatus*.

Nurt rzeki o dnie piaszczystym zasiedlają głównie małże: skójki, szczeżuje i groszówki, które mogą tutaj łatwo odfiltrować z wody napływające glony i martwe szczątki organiczne. Często można znaleźć w tym zespole zwierząt kilka ślimaków, a zwłaszcza żyworódkę i larwy ochotkowatych. Piasek z bardzo silnym prądem zwykle pozbawiony jest fauny dennej.

Zwierzęta denne są w różny sposób związane z dnem (mulistym, piaszczystym, żwirowatym, kamienistym) i im bardziej miękkie jest podłoże, tym trudniej utrzymać się w nim cięższym i większym organizmom. Po twardym dnie organizmy poruszają się swobodnie i czasami bardzo szybko (skorupiaki, owady, larwy) chodzą i biegają, inne pełzają pomagając sobie ruchami ameboidalnymi, ruchami perystaltycznymi, skrętami całego ciała, lub rzęskami, wyrostkami czy odnóżami. Na dnie miękkim poruszanie się jest znacznie trudniejsze i wolniejsze, jednak pozwala organizmom skąposzczetom, larwom w tym głównie ochotkowatym, a także małżom na dość znaczne zagłębienie się w nim.

Biocenozę bentosową związaną z powierzchnią osadów mulistych nazywamy w hydrobiologii - *epipelonem*, z osadami piaszczystymi - *epipsammonem*, z powierzchnią twardą, kamienistą - *epilitonem*, a z powierzchnią roślin zanurzonych - *epifitonem*. Organizmy występujące pod powierzchnią dna mulistego nazywane są - *endopelonem*, w warstwie piaszczystego dna - *endopsammonem*, borujące w litym materiale - *endolitonem*.

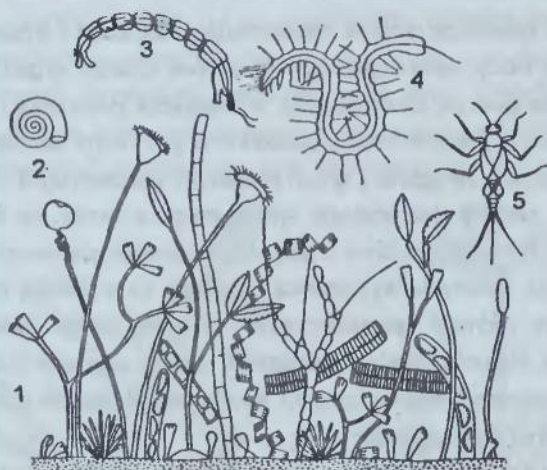
Bentos posiada zdolności do okresowych migracji - na czas odpływów, na czas zimy, na okres suszy. Znane są również wśród organizmów bentosowych migracje pionowe - o charakterze dobowym i okresowym (w poszukiwaniu pokarmu lub innego środowiska życia lub dla odbycia rozrodu).

Rolę producentów pierwotnych pełnią glony eukariotyczne, jak również rośliny naczyniowe zaliczane do makrofitów. Te ostatnie są z reguły duże i rzadko konsumowane w całości (ryby roślinożerne). Obumieranie makrofitów pod koniec sezonu wegetacyjnego dostarcza na dno dużej masy organicznej, którą przetwarzają destruenci. Makrofity stanowią podłoże dla peryfitonu, są miejscem składania ikry (ryb, płazów i mięczaków), stanowią kryjówki dla ryb i innych zwierząt wodnych, a zwłaszcza są środowiskiem w związku z którym występuje awifauna. Makrofity są ponadto potężnym konkurentem organizmów planktonowych i peryfitonowych o światło, spełniają rolę ograniczającą ruch wody w litoralu przez co sprzyjają sedymentacji.

## 2.6.6. Peryfiton

*Peryfiton* jest to zespół drobnych organizmów roślinnych i zwierzęcych, który zasiedla wszystkie podłoża stałe w wodzie. Tworzą go organizmy przytwierdzone do podłoża na stałe lub częściowo i stałe żyjące wśród form osiadłych (ryc. 26). Takim podłożem mogą być rośliny, kamienie, urządzenia hydrotechniczne, dno i burty jednostek pływających, a często odpadki twarde (plastik, butelki itp.) znajdujące się za przyczyną człowieka w wodzie. Zespół peryfitonowy to głównie glony, należące do zielenic, okrzemki i sprężnice, ale również zwierzęta bezkręgowce, takie jak: pierwotniaki, skąposzczety, nicienie, larwy (jętek i ochotkowatych) oraz mięczaki.





Ryc. 26. Peryfiton (wg Starmacha, Wróble. Pasternaka 1976)

1 - porost glonów na fragmencie rośliny podwodnej, 2 - *Pleuromma* vortex, 3 - *Corynoneura*, 4 - *Stylaria lacustris*, 5 - *Coenis macrura*.

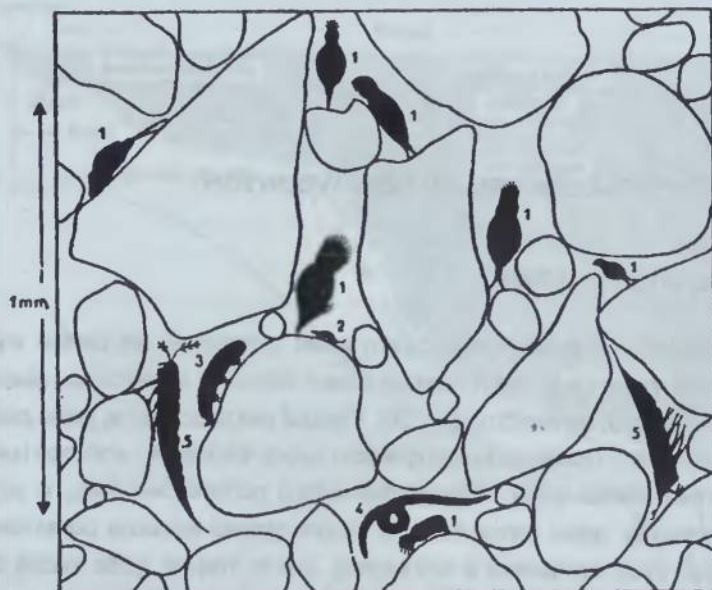
W górnych partiach rzek peryfiton składa się z glonów ciasno przylegających do podłoża. Kamienie pokrywa cienki nalot okrzemek, liczne sinice tworzą płatkowate plechy, a wśród mchów żyją larwy owadów (przede wszystkim ochotki), nicianie, młode larwy jętek i widelnic. Drapieżnikami tworzącymi peryfiton biocenoz potoków są chruściki bezdomkowe. Spokojne miejsca opanowały glony nitkowate - gałęzotka (*Cladophora*), skrętnica (*Spirogyra*), woszenia (*Vaucheria*) i kilka gatunków kolonijnych okrzemek.

## 2.6.7. Psammon

**Psammon** jest specyficznym zespołem żyjącym w piasku, a ściślej w przestrzeniach między ziarnami mineralnymi i cienkiej błonie wody otaczającej każde ziarno (ryc. 27). W związku z tym, że piasek może mieć różną wilgotność i pojemność szczelin wypełnionych powietrzem, organizmy psammonowe podzielono na:

- hydropsammon - organizmy żyjące w piaskach zalewanych permanentnie przez wodę;
- higropsammon - organizmy żyjące w warunkach dużej wilgotności z wolnym dostępem do powietrza atmosferycznego;
- eupsammon - organizmy żyjące w przestrzeniach interstycjalnych na błonie otaczającej ziarna piasku.

W skład psammonu wchodzi głównie bakterie, sinice, okrzemki, zielenice, wiciowce, korzenionózki, wrotki, wirki, brzuchorzęski, nicianie, skąposzczety, niesporczaki i widłonogi z rodziny *Harpacticoidae*. Ogólna pojemność szczelin może stanowić do 50% objętości bryły piasku, natomiast woda nasycona jest często stężonymi solami mineralnymi, związkami organicznymi, a całe środowisko charakteryzuje się wysokimi wahaniami temperatury, jak również wahaniami tlenu. Często w środowisku tym obserwuje się deficyty tlenowe i chroniczne występowanie siarkowodoru.



Ryc. 27. Charakterystyczne organizmy psammonu jeziornego (wg Lityńskiego 1952)  
 1 - wrotki, 2 - brzuchorzęski, 3 - niesporczaki, 4 - nliczenie, 5 - skorupiaki z rodziny Harpacticidae.



### 3. EKOLOGICZNA TYPOLOGIA ZBIORNIKÓW WODNYCH

#### 3.1. Cechy ekosystemu morskiego

Środowisko morskie to w sensie ekologicznym jeden ekosystem, ale bardzo wyraźnie podzielony na dwa środowiska życia - wody morskie, zwane dziedziną **pelagiczną**, i obszar dna zwany **bentalem** lub dziedziną bentoniczną (ryc. 28). Pelagial jest tą dziedziną, gdzie zachodzą wszystkie procesy związane z interakcjami na pograniczu dwóch środowisk - wodnego i gazowego. Znajdują się w nim mikroskopijne rośliny dostarczające podstawowej masy w produkcji pierwotnej mórz i oceanów, gdzie koncentruje się drugie ogniwo łańcucha pokarmowego - zooplankton przez całe życie zawieszony w toni wodnej. Jest to miejsce, gdzie można określić podstawowe parametry hydrograficzne, a zwłaszcza fizyczne, charakterystyczne dla całego zbiornika. Pelagial dzieli się na dwie prowincje:

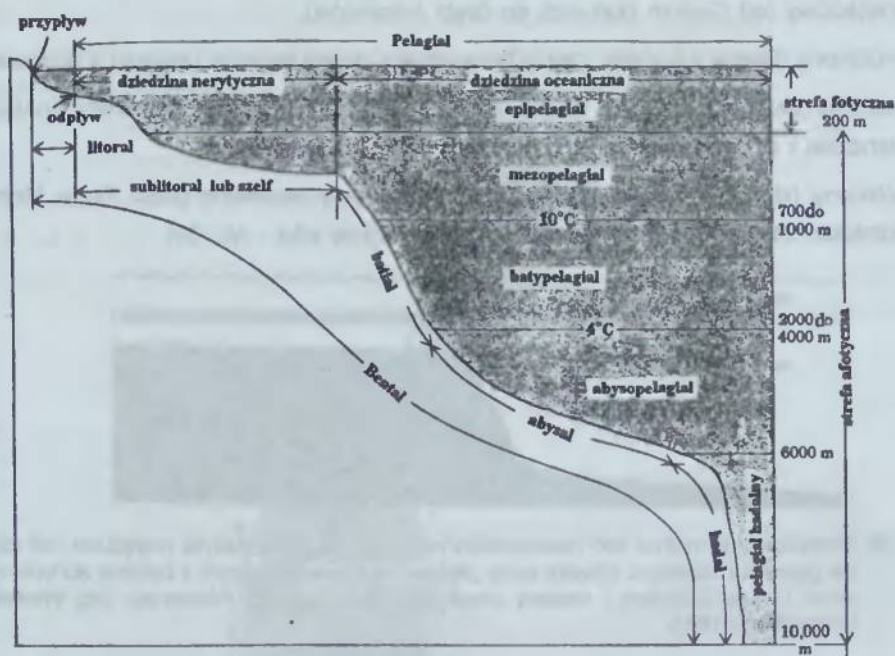
- 1) **nerytyczną**, obejmującą pas wód przybrzeżnych aż do linii, gdzie głębokość osiąga wartość 200 m;
- 2) **oceaniczną**, obejmującą wody otwarte (poza prowincją nerytyczną) od powierzchni aż do największych głębokości oceanicznych.

W pelagialu wydziela się następujące poziomy głębokości - w zależności od przenikania światła, produktywności i zasiedlenia przez organizmy żywe:

- 1) **epipelagial** - od powierzchni do 200 m głębokości;
- 2) **mezopelagial** - od 200 do 1000 m głębokości;
- 3) **batypelagial** - od 1000 do 4000 m głębokości;
- 4) **abysopelagial** - poniżej 4000 m do wód leżących bezpośrednio nad dnem rowów oceanicznych.

Środowisko **dna oceanicznego** to dwie strefy:

- 1) **litoralna** - strefa dna znajdująca się na szelfie kontynentalnym;
  - **supralitoral** - strefa oprysku, zalewana podczas sztormów,
  - **eulitoral** (lub mediolitoral) - strefa znajdująca się w zasięgu pływów,
  - **sublitoral** - (górny i dolny) - strefa zasięgu światła,
- 2) **głębokiego dna**;
  - **batial** - strefa dna od głębokości 200 m, po stoku kontynentalnym do 4000 m,
  - **abysal** - strefa poniżej 4000 m obejmuje płaskie dno oceaniczne do głębokości 6000 m,
  - **hadal** - środowisko dna rowów oceanicznych.



Ryc. 28. Strefy ekologiczne w oceanie (wg Nybakkena 1988)

### 3.2. Bałtyk - ekosystem wód słonawych

Morze Bałtyckie jest typowym morzem śródziemnym, otoczone jednym kontynentem tworzy odrębny system hydrologiczny, hydrochemiczny i biologiczny.

Bałtyk jest morzem płytkim, szelfowym, spoczywającym na platformie kontynentalnej, o średniej głębokości 50-60 m. Ten fakt ogranicza jego biocenozę praktycznie do strefy litoralnej i dziedziny pelagicznej, wyklucza istnienie dziedziny głębokowodnej tak jak w typowych morzach i oceanach. Położenie morza w strefie borealnej, umiarkowanej, związane z amplitudami temperatur 3-22°C i stawia je w rzędzie mórz chłodnych, a sezonowa rozpiętość temperatur wskazuje na silny wpływ **kontynentalizmu** na życie morza. Jest to dodatkowo związane z obfitością doprowadzanych wód śródlądowych oraz z utrudnioną łącznością z pełnosłonym Morzem Północnym. Płytke Cieśniny Duńskie, skomplikowane ukształtowanie dna całego Bałtyku nie pozwalają na wymianę wód z Morzem Północnym. Konsekwencją tego jest niskie zasolenie wód, co ma wpływ na aktualne struktury ekologiczne - oprócz żywych **reliktów** polodowcowych istnieje fauna słonawa, słodkowodna i morska. Geneza zbiornika odróżnia go wyraźnie od innych mórz.

Granice zachodnie Bałtyku z Morzem Północnym ustalone są wzdłuż najpłytszego Progu w Sundach (z minimalną głębokością 7 m) i wzdłuż linii łączącej przejście Gjedser-Dars z duńską wyspą Falster o zasoleniu do 10‰ w cieśninach granicznych. Konfiguracja dna (ryc. 30), a zwłaszcza formy topograficzne dzielą Bałtyk na baseny:



- 1) przejściowy (od Cieśnin Duńskich do Głębi Arkońskiej),
- 2) południowy (Głębia Arkońska, Głębia Bornholmska do linii łączącej Utkippan z Rozewiem),
- 3) centralny (Głębia Gotlandzka, Głębia Gdańska, Zatoki Gdańska, Ryska, Fińska po Wyspy Alandzkie i szkiery),
- 4) północny (Morze Alandzkie i Zatoka Botnicka często nazywana przez Finów Morzem Botnickim ze względu na odrębność fizykochemiczną wód - ryc. 29).



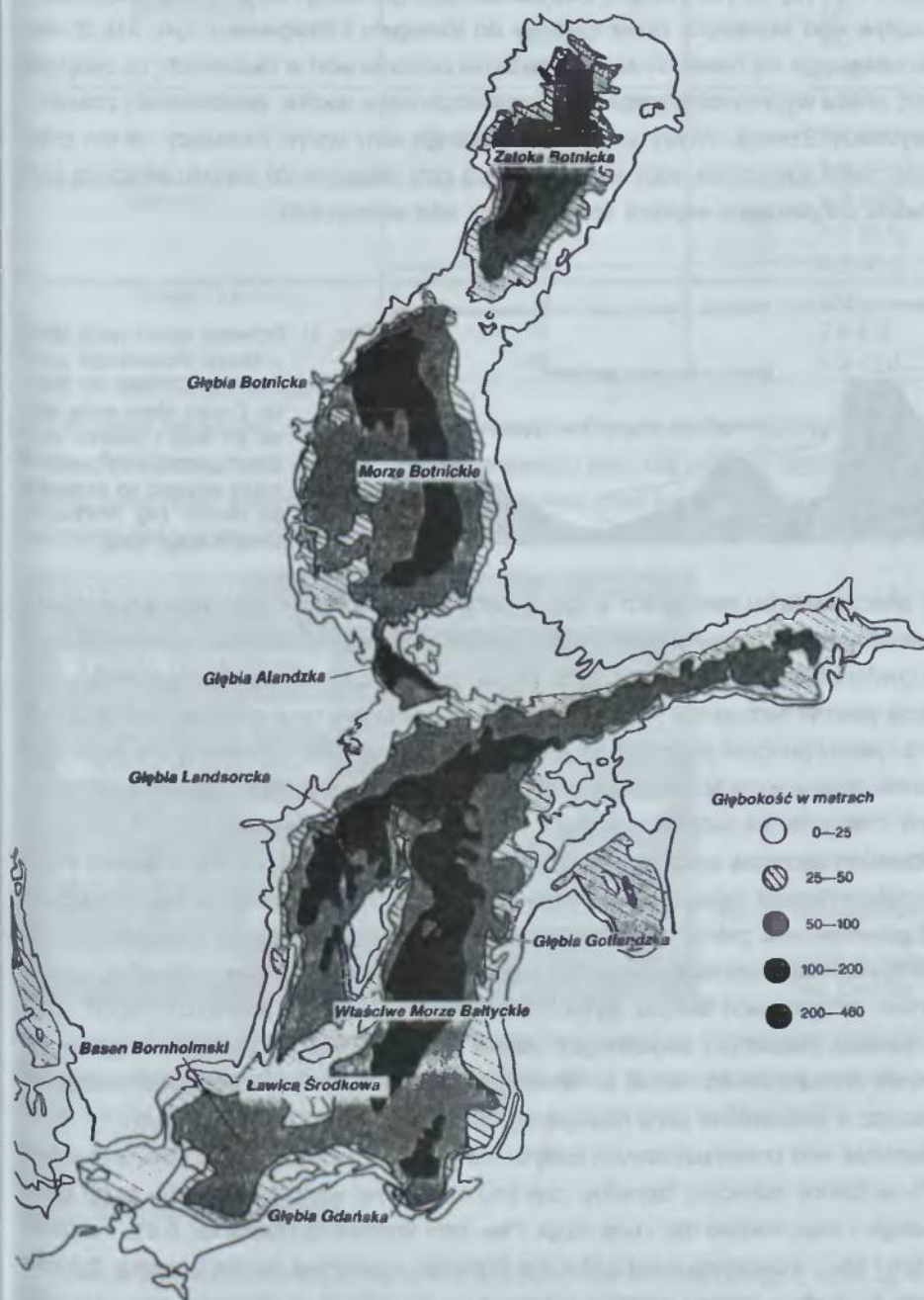
Ryc. 29. Stratyfikacja termiczna wód powierzchniowych i głębinowych w Bałtyku pogłębianą jest różnica ich gęstości i zasolenia. Lżejsze wody „słodkie” płyną nad cięższymi i bardziej słonymi w kierunku Cieśnin Duńskich i tamteży przedostają się do Morza Północnego (wg Wirdhaima, Chojnackiego 1992)

Topografia dna i osady dno morza zostały utworzone w epoce lodowej. Są to wyraźne pozostałości morenowe, widoczne są zwłaszcza żłobiące efekty ruchu lodowca w dnie i na brzegach całego basenu. Wiele płyczn śródmorskich, takich jak ławice Orła, Odrzańska, Słupska czy Środkowa, to typowe moreny przykryte osadami piaszczysto-kamienistymi, które przechodzą w kępy nadmorskie typowe dla południowych wybrzeży Bałtyku, znane jako piękne **klify** kamienisto-ilaste (Rozewski, Orłowski, Oksywski, Woliński). Poza utworami morenowymi dno Bałtyku składa się z osadów zaliczanych do:

- 1) piasków przemieszanych ze żwirami i kamieniami;
- 2) piasków przemieszanych z ilami gliniastymi;
- 3) piasków przemieszanych ze szlamem zawierającym ponad 20% szczątków organicznych;
- 4) szlamów pochodzenia organicznego i gytii.

Charakterystyczne dla ilów bałtyckich są konkrety żelazowo-manganowe o ciekawych okrągłych lub owalnych kształtach, koncentrycznie narastających pierścieni tlenków żelazystych, podobnych w składzie do limonitu.

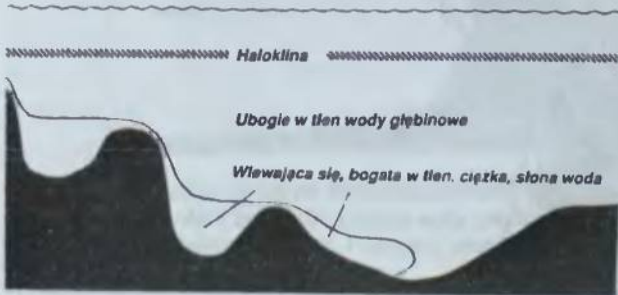
Dynamika wód kształtowana jest przez olbrzymi dopływ wód słodkich ze zlewni, silne opady i małe parowanie, co w efekcie tworzy **prąd wyprowadzający** słodkie wody z Bałtyku na zewnątrz do Morza Północnego i wyzwalaający **prąd kompensacyjny** - przydeniowy skierowany przeciwnie, ale wprowadzający dołem atlantyckie wody oceaniczne.



Ryc. 30. Topografia dna Morza Bałtyckiego i jego podział na baseny (wg Wirthaima, Chojnackiego 1992)



Jak się ocenia, roczny **dodatni bilans** wód słodkich w Bałtyku wynosi około 500 km<sup>3</sup>. Ten prosty obraz wymiany wód jest jednak nieregularny, a przyczyną są wiatry zachodnie lub wschodnie. Przy silnych wiatrach wschodnich, częstych zimą i wiosną, następuje wzmożony odpływ wód słonawych przez cieśniny do Kattegatu i Skagerraku (ryc. 31). Z tego powodu obserwuje się nawet okresowe obniżanie poziomu wód w cieśninach, co zwiększa prędkość prądu wyprowadzającego wody powierzchniowe wzdłuż wschodnich i południowych wybrzeży Szwecji. Wiatry zachodnie wywierają silny wpływ hamujący na ten prąd, stwarzają nawet spiętrzenie wody w cieśninach, a przy dłuższym ich trwaniu wtłaczają góra i warstwami przydennymi większe ilości słonych wód atlantyckich.



Ryc. 31. Schemat wlewu wody słonej z Morza Północnego przez Cieśniny Duńskie do Bałtyku. Ciężka słona woda spływa po dnie i dopiero kiedy basen „przeleje się”, woda ta może spływać do następnego basenu (wg Wirdhaima, Chojnackiego 1992)

W efekcie wiatrów zachodnich w całym Bałtyku obserwuje się spiętrzenie poziomu wód i zakłócenia w prądach powierzchniowych. Wyrównują się różnice termiki i zasolenia między dnem i powierzchnią, a zwłaszcza likwidowane są ubytki tlenowe w wodach przydennych. Taka dominacja wiatrów zachodnich w Bałtyku występuje w zasadzie dwukrotnie na przełomie zimy oraz lata i jesieni podczas silnych zmian mas powietrza między kontynentem a oceanem. Stąd nieustannie obserwujemy ścieranie się wiatrów z kierunków wschodniego i zachodniego, co ma ogromne znaczenie dla cech biologicznych i fizykochemicznych Bałtyku.

**Oceanizm** zaznacza się częstymi wlewami wód słonych do Bałtyku, cofką w rzekach południowej części wybrzeża, zahamowaniem odpływu wód słodkich, pojawieniem się wielu **pseudopulacji** gatunków wód pełnosłonnych, traktowanych często jako biologiczne wskaźniki wlewów.

**Kontynentalizm** zaznacza się nasileniem prędkości i objętości prądów wyprowadzających, obniżeniem poziomu wód Bałtyku, wytworzeniem się stagnacji wód powierzchniowych i cięższych, bardziej zasolonych przydennych. Jest to zjawisko mniej korzystne dla organizmów żywych, dla produktywności morza, ponieważ przy dnie głębokich basenów Bałtyku tworzą się strefy azoiczne pozbawione tlenu niezbędnego dla wszelkich procesów życiowych.

Zasolenie wód powierzchniowych Bałtyku ma niewielką rozpiętość - od 10‰ w Sundach do 2-3‰ w Zatoce Botnickiej. Izohaliny, czyli linie o tej samej wartości zasolenia, są od siebie dość odległe i mają wartość 8‰ - przy Rugii, 7‰ - przy Bornholmie i Gotlandii, 5-6‰ - w Morzu Alandzkim i 4‰ - w zwężeniu między Morzem Botnickim a właściwą Zatoką Botnicką. Załączona tabela 11 ilustruje zmiany wartości zasolenia na przekrojach poziomym i pionowym wód morskich w trzech najważniejszych basenach Bałtyku.

Tabela 11. Struktura przestrzenna zasolenia Bałtyku (Demel 1974 ze zmianami)

| Basen          | Głębokość (m) | Zasolenie (‰) |
|----------------|---------------|---------------|
| Bornholmski    | 0             | 7,5           |
|                | 50            | 9,0           |
|                | 93            | 15-18         |
| Gotlandzki     | 0             | 6,0           |
|                | 50            | 7,0           |
|                | 100           | 9,5           |
| Botnicki       | 0             | 4,5 (3,0)     |
|                | 50            | 6,0 (3,5)     |
|                | 100           | 6,0 (4,0)     |
| Głębia Gdańska | 0             | 7,0           |
|                | 50            | 7,0-8,0       |
|                | 100           | 12,0-13,0     |

W tabeli tej bardzo wyraźnie widać istnienie w Bałtyku dwóch warstw wody, różnych pod względem zasolenia: warstwy powierzchniowej o grubości od 0 do 40-60 m, o zmiennej termice zależnej od sezonu, praktycznie izohalinowej, oraz warstwy głębinowej leżącej pod **halokliną**, zalegającej na dnie i znacznie bardziej słonej od powierzchniowych (ryc. 32).



Ryc. 32. Schematyczne uwarstwienie termohalinowe w Bałtyku (wg Demela 1975)

Warstwa głębinowa ma ustabilizowane zasolenie, ale tym samym jednocześnie uniemożliwia mieszkę tych wód z wodami powierzchniowymi i skutecznie blokuje wymianę tlenową w trakcie procesów rozkładu martwej materii organicznej na dnie morza.

### 3.2.1. Hydrobionty Bałtyku

Fauna Bałtyku składa się w większości z organizmów **euryhalinowych**, które są w stanie żyć w wodach o znacznych różnicach zasolenia. Zasolenie powoduje silną selekcję **stenohalinowych** organizmów morskich i słodkowodnych. Można podać wiele przykładów zubożenia



fauny Bałtyku wskutek zmniejszenia zasolenia wody: w Kattegacie żyją 132 gatunki kielży, w Zatoce Kilońskiej - 21, a u wybrzeży Finlandii - tylko 8; liczba gatunków ryb bałtyckich jest 10 - krotnie mniejsza niż w morzach pełnosłonych, a gąbki, ukwiały, koralowce, osłonice i szkarłupnie w ogóle nie występują. **Selekcyjny** wpływ zasolenia dotyczy również gatunków słodkowodnych, które żyją w strefach przyujściowej i przybrzeżnej morza. Dalszym negatywnym wpływem mniejszego zasolenia jest zahamowanie tempa wzrostu i skarlenie form. Małże, bezkręgowce i ryby osiągają w Bałtyku znacznie mniejsze rozmiary niż te same gatunki żyjące stale w morzu pełnosłonym. „Skarleniu” nie podlegają ryby dwuśrodowiskowe, takie jak: łosoś, węgorz, ałosa czy popularne: płoć, leszcz i okoń. Te właściwości selekcyjne i modyfikacyjne związane są z **ekofizjologią** organizmów żyjących w ekotonach wodnych. Estuaria rzek są równocześnie granicą biocenoz morskich i limnetycznych o krańcowo odmiennych właściwościach fizykochemicznych środowiska.

Gatunki morskie, występujące w wodach o zasoleniu 35‰ wytrzymują znaczne ich rozcieńczenie, skoro można je jeszcze spotkać przy przeciętnych wartościach zasolenia 5-8‰. Organizmy słodkowodne inaczej reagują na wzrost słoności wody - liczba gatunków gwałtownie spada, osiągając minimum przy 5-8‰. Trzecią grupą ekologiczną w Bałtyku są nieliczne gatunki słonawowodne przystosowane do wody morskiej rozcieńczonej w granicach 3-10‰. Charakterystyczną ich cechą jest to, że rozrzedzają się niezwykle obficie w środowisku, które zdominowały - w wodach przybrzeżnych, ujściach rzecznych i w wodach estuaryjnych.

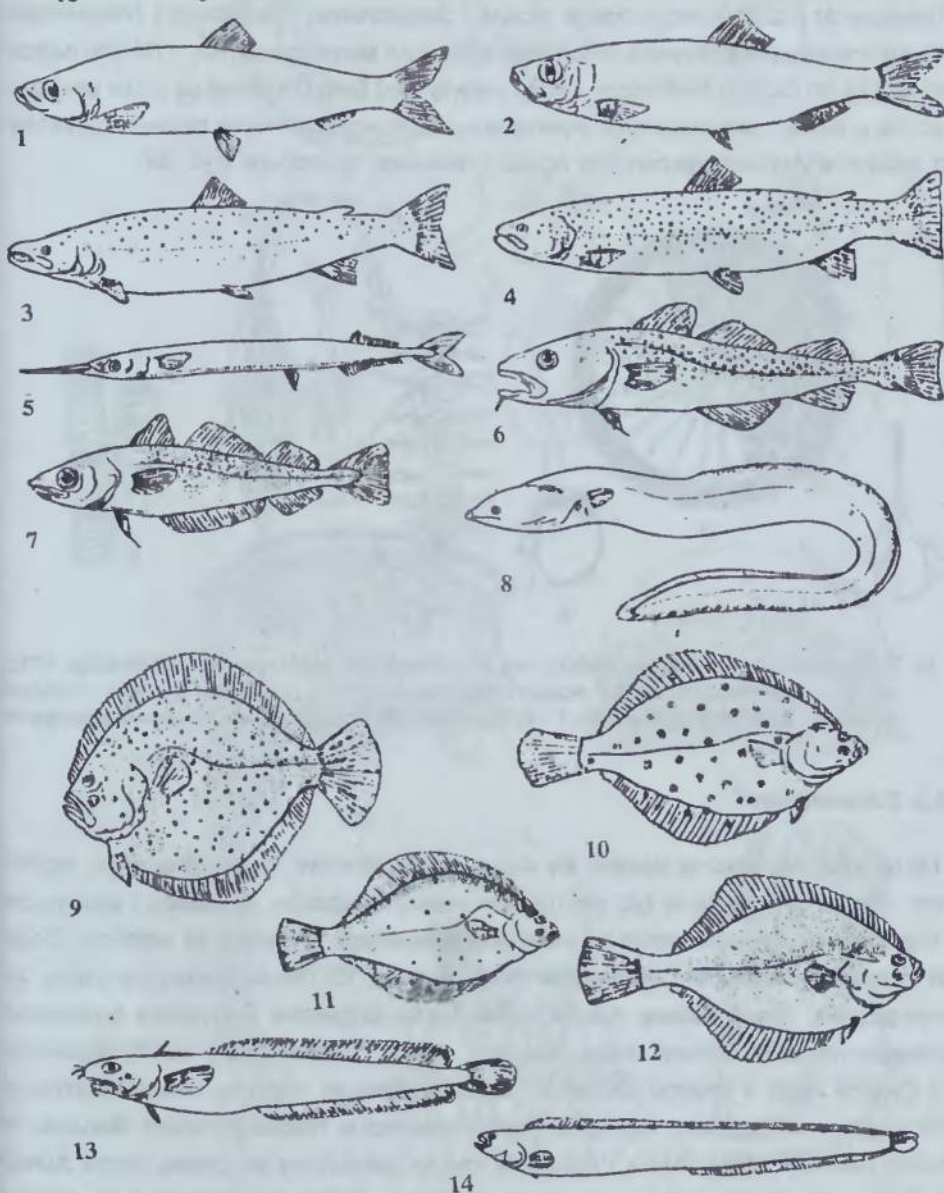
Z kilkunastu morskich gatunków ryb (ryc. 33), w Bałtyku żyją i normalnie się rozrzedzają: szprot, śledź, dorsz oraz płastugi - stornia, gładzica, zimnica i skarp.

Poza śledziem wszystkie wymienione ryby składają **ikrę pelagiczną**, dla której problem gęstości wody uwarunkowanej zawartością soli ma zasadnicze znaczenie. Ciężar ikry unoszącej się w wodzie musi być równoważony ciężarem wody, ponieważ cięższe od wody ziarenko ikry opada na dno i ginie. Ryby bałtyckie dla zrównoważenia ciężaru wody i ikry wytworzyły jaja o 1,3-1,5 raza większe niż ryby z mórz sąsiadujących (wyjątkiem jest gładzica, która ma ikrę tej samej średnicy, w związku z czym jej zasięg poziomy nie przekracza Basenu Bornholmskiego).

Stornia i dorsz wymagają minimalnej koncentracji zasolenia, które wynosi 10‰ i dlatego dla odbycia tarła, ryby te wędrują tam, gdzie takie zasolenie występuje, a więc istniejące przy dnie Głębi Bornholmskiej, Gdańskiej i Gotlandzkiej. Niestety wymienione głębie są to znane w Bałtyku strefy pozbawione tlenu, gdzie dominuje  $H_2S$ , co zmusza ryby do szukania miejsc na tarło o znacznie gorszych warunkach zasolenia ograniczających normalne warunki rozwoju ikry.

Warunki życia, a zwłaszcza rozrodu utrudniają rybom w Bałtyku: dwuwarstwowość zasoleniowa, dwuwarstwowość tlenowa i termiczna. Zmniejszenie możliwości rozrodu rekompensują ryby zwiększeniem płodności jednostkowej, co utrzymuje na podobnym poziomie liczebność populacji ryb morskich w Bałtyku. Zahamowanie rozwoju ryb jest jednak coraz częściej spowodowane zbyt niskim zasoleniem nawet w wodach przydennych, a także toksycznymi zanieczyszczeniami, brakiem tlenu, powiększaniem się stref azoicznych. Jedynym skutecznym sposobem

bem na poprawę warunków zasoleniowych i zwiększenie zawartości tlenu przy dnie są silne wlewy słonych wód z Morza Północnego do Bałtyku. Takie odświeżenie i przewietrzenie wód przydennych w Bałtyku nie zdarza się co roku - ostatnio przez ponad 20 lat (od 1970 do 1993 roku) panowała stagnacja wód bardzo niekorzystna dla większości gatunków kręgowców i bezkręgowców bałtyckich.



Ryc. 33. Ichtyofauna Bałtyku (wg Łomniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)

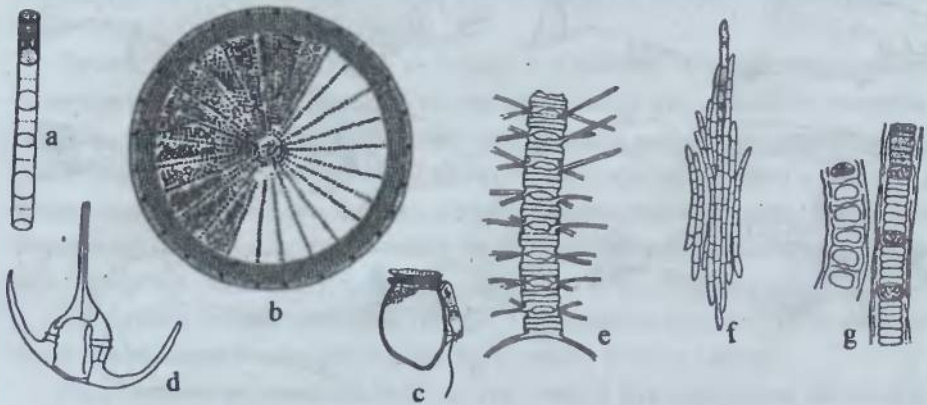
1 - śledź, 2 - szprot, 3 - łosoś, 4 - troć, 5 - belona, 6 - dorsz, 7 - witlinek, 8 - węgorz, 9 - skarp, 10 - gładzica, 11 - zimnica, 12 - stomia, 13 - motela, 14 - ostropletwiec.



### 3.2.1.1. Fitoplankton

Zależny jest od zasolenia wód i temperatury, a ilość gatunków zmniejsza się wraz ze słabnącym zasoleniem. Plankton roślinny tworzą okrzemki i bruzdnice typowe dla mórz pełnosłonych oraz sinice, które wtórnie opanowały to środowisko. Zimą występują tu gatunki okrzemek należące do rodzaju *Coscinodiscus*, wiosną - *Skeletonema*, *Chaetoceros* i *Thalassiosira*.

Bruzdnice są reprezentowane przez wiele gatunków słonawowodnych, z których najliczniejsze należą do rodzaju *Peridinium*. Letnie zakwity wód Bałtyku powodują sinice występujące licznie w wodach przybrzeżnych wysłodzonych, zanieczyszczonych biogenami, należące do gatunków *Aphanisomenon flos aquae* i *Nodularia spumigena* (ryc. 34).

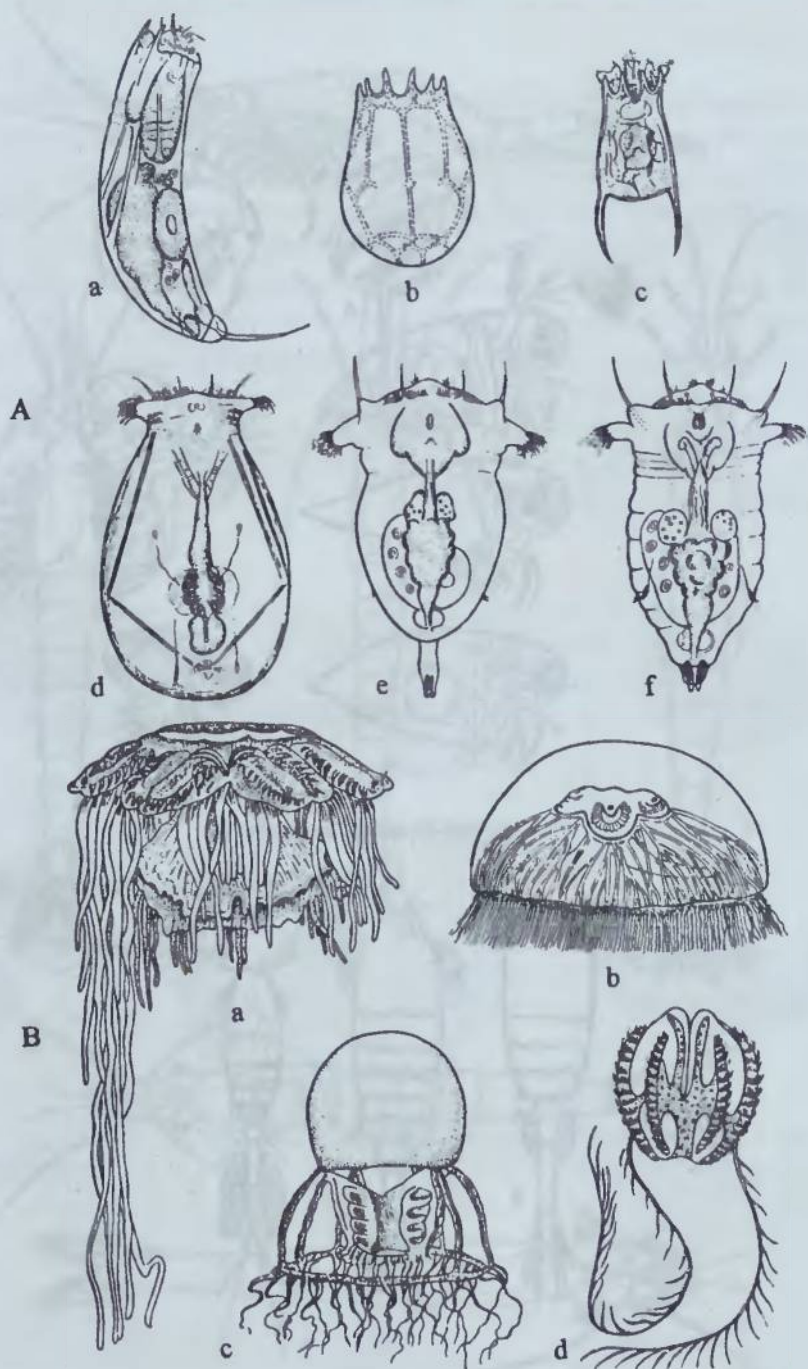


Ryc. 34. Przedstawiciele fitoplanktonu Bałtyku (wg Łomniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)  
 a - *Skeletonema costatum*, b - *Actinocyclus ehrenbergii*, c - *Dinophysis acuta*, d - *Ceratium tripos*, e - *Chaetoceros borealis*, f - *Aphanisomenon flos aquae*, g - *Nodularia spumigena*.

### 3.2.1.2. Zooplankton

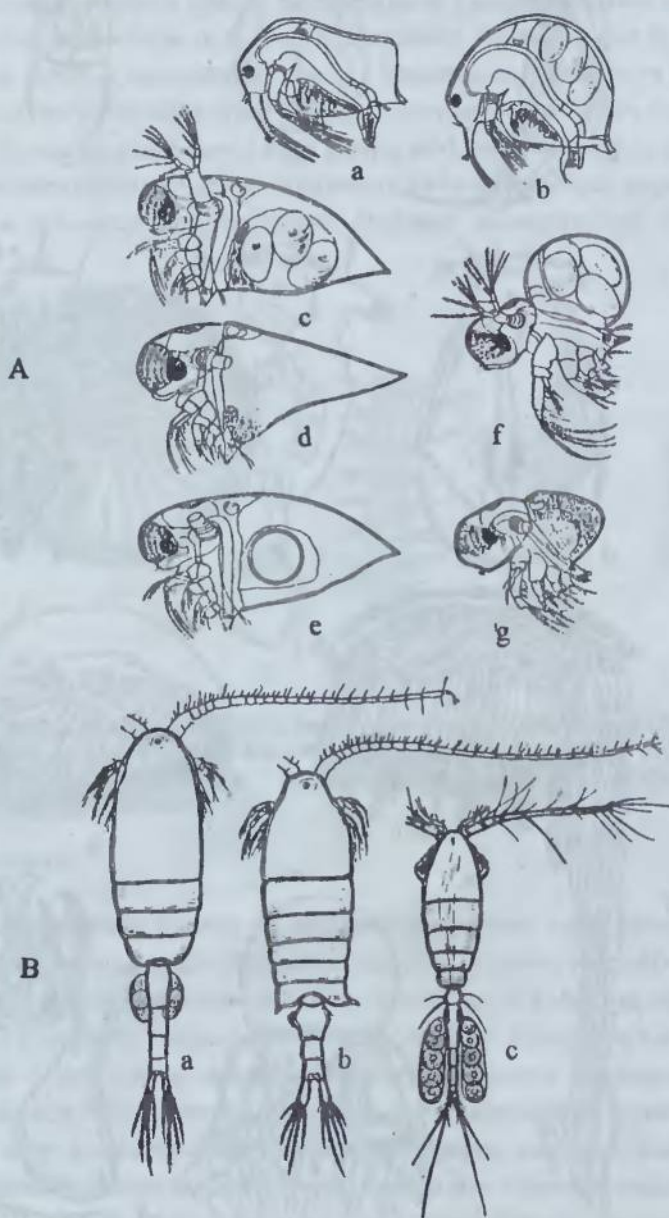
Na tę grupę ekologiczną składają się skorupiaki planktonowe, wrotki, jamochłony, strzałki, ogonice, pierwotniaki oraz larwy ryb, skorupiaków wyższych, robaków, mięczaków i wąsonogów.

Najważniejszą grupą organizmów planktonu zwierzęcego w Bałtyku są widłonogi (*Cope-poda*) i wioślarki (*Cladocera*). Widłonogów morskich jest ~ 10: *Pseudocalanus elongatus*, *Temora longicornis*, *Acartia biflosa*, *Acartia tonsa*, *Acartia longicornis*, *Eurytemora hirundoides*, *Centropages hamatus*, *Oithona similis*, oraz słodkowodne *Limnocalanus grimaldii*, *Diaptomus* spp. i *Cyclops viridis* a spośród wioślarek - *Bosmina coregoni maritima*, *Evadne nordmanni*, *Podon polyphemoides*, *Podon leuckardti*, *Podon intermedius*. Najpopularniejsze skorupiaki to skorupiaki nektobentosowe: *Mysis* i *Neomysis integer*, jamochłony to: chetwia modra *Aurelia aurita*, beltwa *Cyanea capillata*, zimnowodny *Halitholus ciratus* oraz drapieżna grzebieńnica *Pleurobrachia pileus*; strunowce to: ogonice *Oicopleura dioica* i *Frittilaria borealis* oraz strzałka *Chaetognatha* (ryc. 35, 36 i 37).

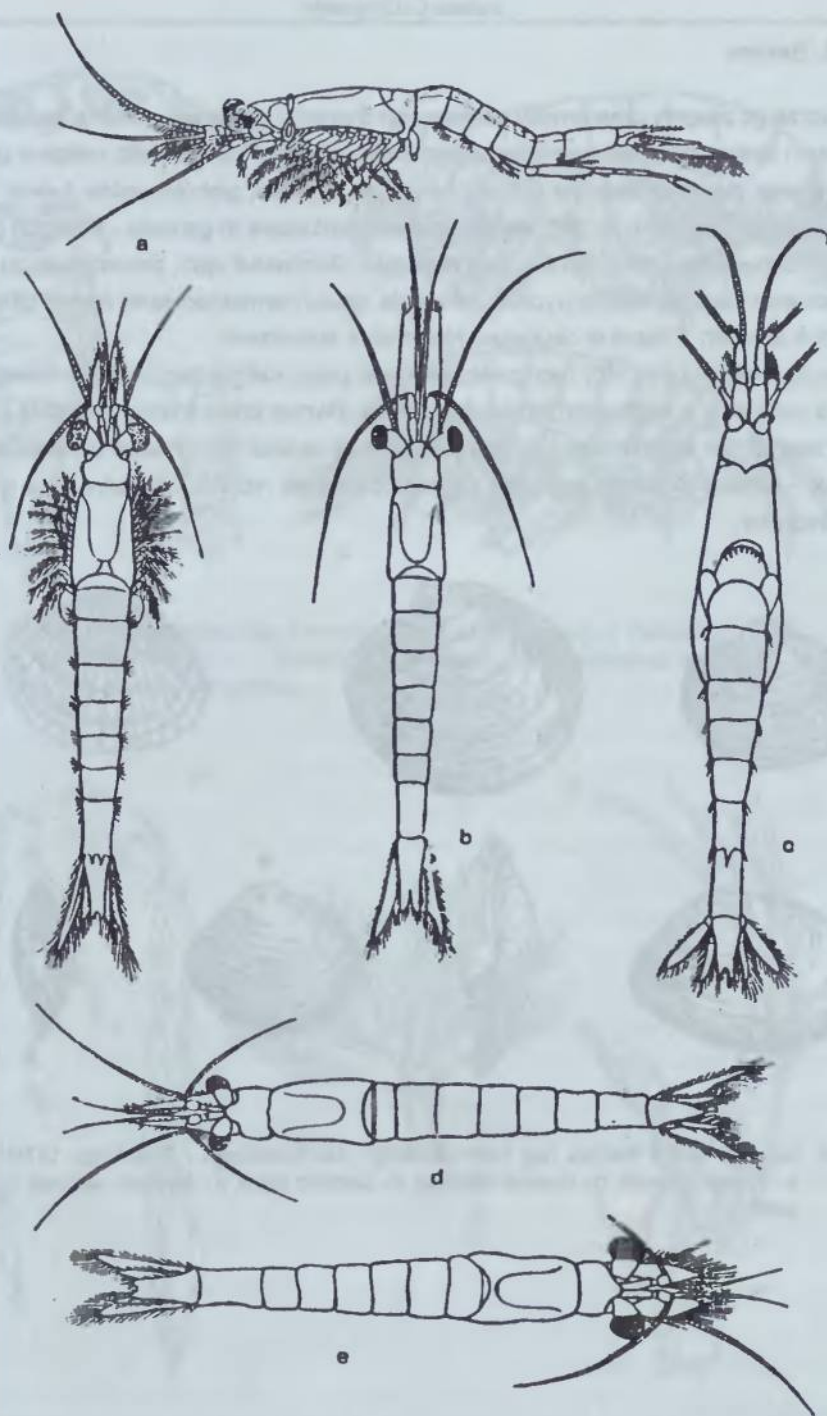


Ryc. 35. Zooplankton Bałtyku (wg Łoniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)  
 wrotki Aa - *Trichocerca marina*, Ab - *Branchionus plicatilia*, Ac - *Keratella quadrata*, Ad - *Synchaetta monopus*, Ae - *Synchaetta baltica*, Af - *Synchaetta litoralis*; jamochłony Ba - *Cyanea capillata*, Bb - *Aurelia aurita*, Bc - *Halitholus cirratus*, Bd - *Pleurobrachia pileus*.





Ryc. 36. Zooplankton Bałtyku (wg Łomniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)  
 wioślarki - Aa,b - *Bosmina coregoni maritima*, Ac,d,e - *Evadne nordmanni*, Af - *Podon intermedius*, Ag - *Podon polyphemoides*; widłonogi Ba - *Pseudocalanus elongatus*, Bb - *Centropages hamatus*, Bc - *Oithona similis*.



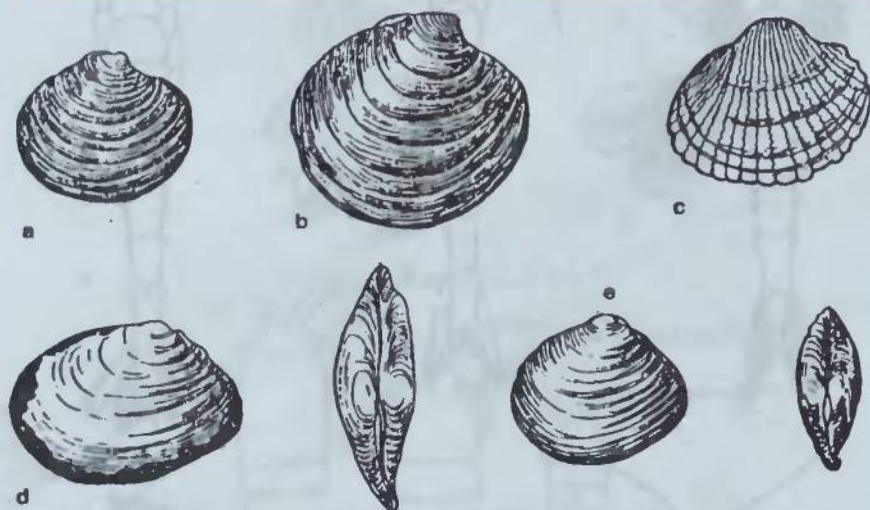
Ryc. 37. Szczeponogi bałtyckie (wg Łomniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)  
 a - *Mysis mixta*, b - *Praunus flexuosus*, c - *Gastrosaccus spinifer*, d - *Neomysis vulgaris*,  
 e - *Mysis oculata* var. *relict*.



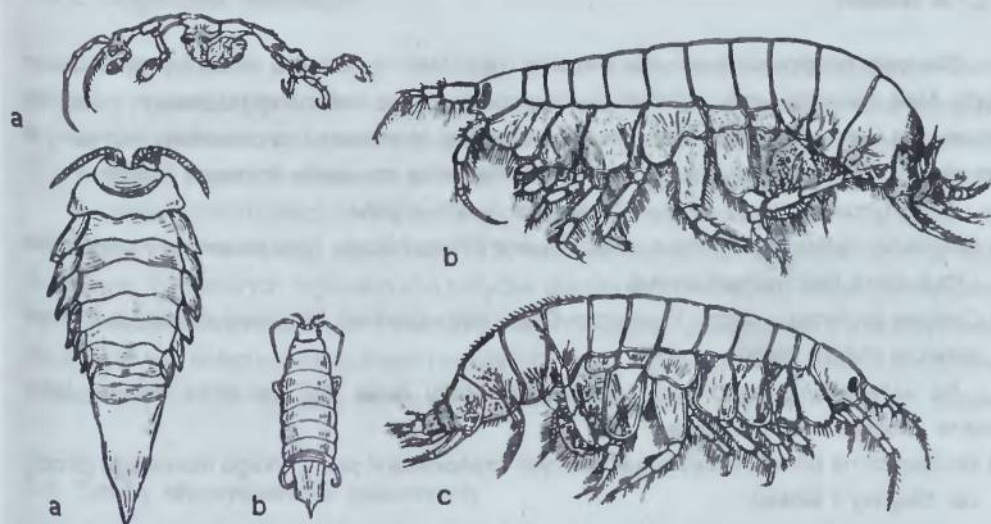
### 3.2.1.3. Bentos

Tworzą go zespoły organizmów zwierzęcych charakterystycznych dla dna piaszczystego, mulistego i skalistego. Najpowszechniej występują: omulek *Mytilus edulis*, małgiew piaszkołaz *Mya arenaria*, makoma *Macoma balthica* i *Macoma calcarea*, głębokowodna *Astarte borealis* oraz sercówka *Cardium* (ryc. 38), skorupiaki nektobentosowe to garnella - *Crangon crangon*, a także *Pontoporeia affinis*, *Pontoporeia femorata*, *Gammarus* spp., podwój bałtycki *Saduria entomon* oraz *Diastylis rathkei* (ryc. 39), wreszcie robaki *Harmothoe sarsi*, *Nereis diversicolor*, *Scoloplos armiger*, *Priapulus caudatus*, *Halicryptus spinulosus*.

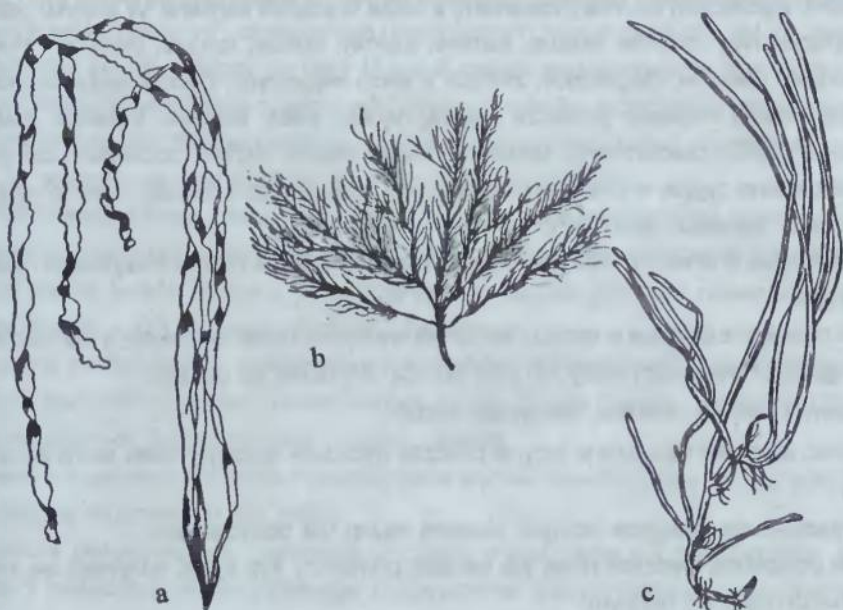
Bentos roślinny (ryc. 40) reprezentowany jest przez rośliny naczyniowe - trawę morską *Zostera marina*, a w wysłodzonych wodach zatok również przez trzcinę pospolitą i oczeret. Glony bentosowe zdominowały brunatnice - *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus* oraz kraśnorosty - widlik *Furcellaria fastigiata* i zielenice - sałata morską *Ulva ulva* oraz wstężnica *Enteromorpha*.



Ryc. 38. Niektóre małże Bałtyku (wg Łomniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)  
a - *Astarte borealis*, b - *Cyprina islandica*, c - *Cardium edule*, d - *Macoma calcarea*, e - *Macoma balthica*.



Ryc. 39. Skoruplaki dna Bałtyku (wg Łomniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)  
 a - *Carpella linearis*, b - *Pontoporeia femorata*, c - *Pontoporeia affinis*, e - *Saduria entomon*, f - *Idothea balthica*.



Ryc. 40. Przedstawiciele flory Bałtyku (wg Łomniewskiego, Mańkowskiego i Zaleskiego 1975)  
 a - zieleńca *Enteromorpha intestinalis*, b - krasnorost *Rhodomela subfusca*, c - roślina kwiatowa *Zostera marina*.



### 3.2.1.4. Nekton

Stanowią go głównie kręgowce bałtyckie: ryby, foki, morświny, a także żyjące na lądzie wydry. Małe zasolenie wody w Bałtyku wpływa również na te elementy biocenozy - powoduje ich selekcję i karlenie oraz kształtuje strukturę populacji. W stosunku do osobników tych samych gatunków z mórz pełnosłonnych oznacza to zmniejszenie rozmiarów liniowych i ciężaru.

W Bałtyku występują ssaki należące do dwóch rzędów:

- a) *Pinnipedia* (pletwonogie) - foka obrączkowana *Phoca hispida*, foka pospolita *Phoca vitulina* i foka szara *Halichoerus grypus*;
- b) *Cetacea* (walenie) - podrząd uzębione *Odontoceti* - morświn *Phocaena communis* - przedstawiciel rodziny delfinów.

Na wybrzeżach morza przebywa w ciągu roku około 200 gatunków ptaków, które można zaliczyć do dwóch grup:

- 1) żerujących na brzegu i często nazywanych czyścicielami plaż i brzegu morskiego (brodźce, biegusy i siewki);
- 2) zdobywających pokarm z wody przy nadlatywaniu z powietrza (mewy, rybitwy) lub nurkujących za pokarmem z powierzchni wody (alki, kormorany, nury, perkozy, gęsi, trzcze, kaczki, markaczki i tyski).

Ryby dwuśrodowiskowe morskie i słodkowodne Bałtyku są najbardziej znanym elementem biocenozy, ponieważ stanowią pokarm dostarczany na rynek w postaci świeżej, utrwalonej soleniem, wędzeniem lub marynowaniem, a także w postaci konserw. W Bałtyku odławia się następujące ryby morskie: śledzie, sardele, szproty, dorsze, łososie, płastugi - skarpie, stornie (turbot), gładzice, niegładzice, zimnice a także węgorzyce, belony, wężyki, motele, tasze, kury - diabły, rogacze, głowacze i szare, denniki, lisice, taśmiaki, tobiasze, dobijaki, ostropłetwce, babki - czarnoplamki, piaskowe, małe i czarne, cierniki, pocierńce i cierniczki. Ryby słodkowodne żyjące w strefach przybrzeżnych związanych z ujściami rzek to: węgorz, płoć, szczupak, sandacz, okoń i troć jeziora.

Na podstawie charakteru wędrówek ryb morskich stworzona została klasyfikacja i podział ryb na grupy:

1. Gatunki pelagiczne bytujące w morzu - jest to typowy nekton morski odżywiający się i rozradzający w górnych warstwach wody lub przy brzegu. Wyróżnia się gatunki:
  - ławicowe (makrela, sardela, sardynka, śledź)
  - okresowo ławicowe tworzące je jedynie podczas wędrówek tarłowych (rasy śledzi oceanicznych)
  - rozproszone nie tworzące licznych skupień nawet dla odbycia tarła
2. Gatunki przydenne, pędzące mniej lub bardziej przydenny tryb życia, odżywiają się pokarmem naddennym lub dennym:
  - ławicowe (dorsz),
  - rozproszone wędrownie (płastugowate, rajowate),
  - rozproszone osiadłe (węgorzyca, zając morski, nawęd).

### 3.2.2. Bogactwa mineralne

Od niepamiętnych czasów na wybrzeżach i z dna Bałtyku wydobywa się bursztyn. Znane są wielkie pokłady tego minerału na południowo-wschodnim wybrzeżu, gdzie wydobywany jest w kopalniach odkrywkowych, można go też wykopać lub znaleźć w dużych bryłach, kawałkach albo w postaci piasku po większych sztormach na plażach wzdłuż polskich wybrzeży Bałtyku.

W piasku morskim znajdują się krzemiany cyrkonu z domieszkami żelaza  $ZrSiO_4$ , ilmenit - tlenek żelaza i tytanu  $FeTiO_3$ , tytan i rutil  $TiO_2$ , które nie są jeszcze eksploatowane na skalę techniczną. W niektórych regionach dno bałtyckie pokryte jest konkrecjami żelazowo-manganowymi i żelazistymi wymieszanymi z osadami, złożami kruszyw i piasku. Z wody morskiej można pozyskiwać sole potasowo-manganowe i zwykłą sól jadalną. Od niedawna prowadzi się pilotażowo eksploatację obfitych złóż ropy naftowej i gazu znajdujących się pod dnem morskim Bałtyku.

### 3.3. Cechy ekosystemów jeziornych

Czynniki ekologiczne w jeziorach wykazują, podobnie jak w morzach, stratyfikację pionową i strefowość poziomą, których rozległość uzależniona jest przede wszystkim od pochodzenia i wielkości zbiornika. Na rycinie 41 porównano powierzchnię większych jezior świata, przy czym wszystkie są odwzorowane w tej samej skali. Pochodzenie jezior ma znaczenie dla ich morfometrii (wpływa na typ stratyfikacji termicznej i objętość zbiornika) i geomorfologii (wpływ zlewni) dla właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych wód, a zwłaszcza dla ich metabolizmu. Kształt masy jeziora, zbliżony do litery *U* czy *V*, często dyktuje wielkość jego produktywności. Często proporcjonalnie mała objętość wód wynika z grubości sedimentów proporcjonalnych do produktywności zbiornika wyrażającej się ilością wytwarzanej materii organicznej.

Ze względu na pochodzenie wyróżnia się 8 grup jezior:

1. Jeziora **tektoniczne** - powstałe w wyniku pęknięć skorupy ziemskiej, opadania lub wynoszenia dużych krystalicznych płyt lądu. Takie pochodzenie mają jeziora: Bajkał (najgłębsze jezioro świata 1620 m), Tanganika oraz Kaspjskie (jezioro o największym obszarze na świecie - 371 tys. km<sup>2</sup>), Aralskie i Victorii.
2. Jeziora **wulkaniczne** - znajdujące się w utworach wulkanicznych lub w kraterach wygasłych wulkanów. Do jezior wulkanicznych należą jeziora Caldera, Oregon w USA i liczne małe zbiorniki Azji równikowej i Nowej Zelandii.
3. Jeziora **zaporowe** naturalne - powstające w wyniku obsunięcia się zbocza góry do doliny zasilanej strumieniem czy rzeką.
4. Jeziora **polodowcowe** - powstałe w czasie przesuwania się mas lodowca. Najwięcej jezior powstało podczas ostatniego zlodowacenia, kiedy wycofujące się lodowce rzeźbiły podłoże, pozostawiając często na swojej drodze moreny boczne, czołowe czy denne, które spiętrzały wody potoków i strumieni górskich. Wyróżnia się jeziora polodowcowe:
  - **moreny dennej** - tworzone we wklęsłościach równiny denudacyjnej;





Poniższe zestawienie naturalnych jezior świata zawiera kilka przykładów maksymalnych powierzchni i głębokości oraz informacje o grupie pochodzenia (tab. 12).

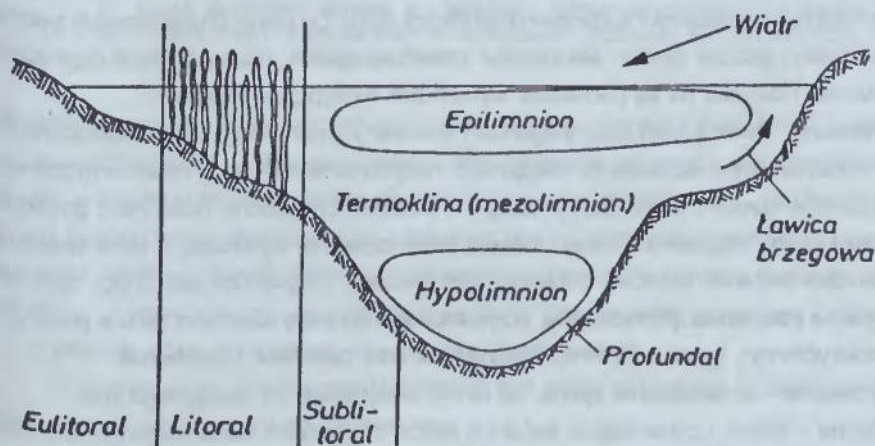
Tabela 12. Największe naturalne jeziora świata (Mierzwiński, 1991)

| Jezioro              | Powierzchnia (km <sup>2</sup> ) | Maksymalna głębokość (m) | Typ genetyczny |
|----------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------|
| Kaspijskie           | 371000                          | 995                      | tektoniczny    |
| Górne                | 83300                           | 307                      | polodowcowy    |
| Wiktorii             | 68800                           | 80                       | tektoniczny    |
| Arałskie             | 66458                           | 150                      | tektoniczny    |
| Huron                | 59570                           | 223                      | polodowcowy    |
| Michigan             | 57016                           | 265                      | polodowcowy    |
| Tanganika            | 34000                           | 1435                     | tektoniczny    |
| Wielkie Niedźwiedzie | 31792                           | 445                      | polodowcowy    |
| Bajkał               | 31500                           | 1620                     | tektoniczny    |
| Niassa - Malawi      | 30500                           | 706                      | tektoniczny    |

### 3.3.1. Strefy ekologiczne w jeziorach

Misa jeziorna wykształcona w zagłębieniu terenu ma zawsze dwie dziedziny (rnc. 42):

- **limnetyczną**, czyli toń jeziorną;
- **bentoniczną**, czyli stoki i dno misy z platformą przybrzeżną (ławicą przybrzeżną).



Rnc. 42. Strefy ekologiczne jeziora (wg Mierzwińskiego 1991)

Podobnie jak w morzach, pelagial pasa wody przybrzeżnej leżącej nad ławicą nazywany jest strefą **neryticzną**, a pozostałe wody określa się jako wody **śródziężniowe limnetyczne**. Toń wody podzielono na:

- **epilimnion** - ciepła i bogata w tlen powierzchniowa warstwa wody nad strefą neryticzną i wodami śródziężniowymi;
- **mezolimnion** - obejmuje szeroką warstwę wody z termokliną i oksykliną;



- **hypolimnion** (czasami nazywany **metalimnionem**) - jest dolną warstwą wód jeziornych, sięgającą do samego dna głębokich jezior.

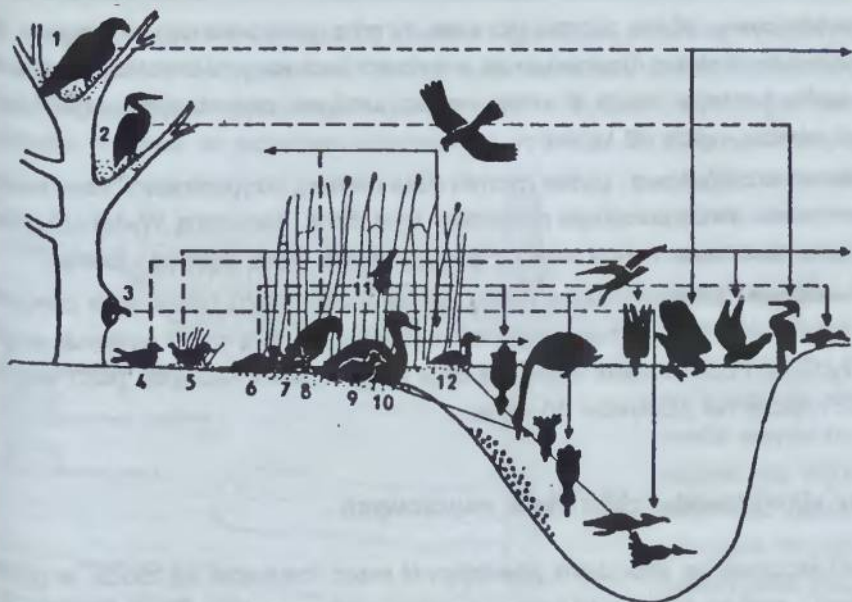
Dno misy jeziornej dzieli się na dwie strefy:

- 1) **litoralną** - płytkie dno jeziorne, piaszczyste z pasem roślin wynurzonych, zanurzonych i pływających;
  - **supralitoral** - strefa oprysku,
  - **epilitoral** - strefa okresowo zalewana wodą i leżąca w zasięgu silnego falowania,
  - **eulitoral** - strefa dna platformy brzegowej,
  - **sublitoral** - strefa dna wykształcona na stoku platformy brzegowej.
- 2) **profundalną** - głębokie dno z zalegającymi osadami pochodzenia organicznego autochtonicznego.

### 3.3.2. Klasyfikacja jezior

Liczne klasyfikacje jezior opierają się na wynikach badań dotyczących cech fizycznych i chemicznych wody, ale również danych biologicznych, morfometrycznych i geomorfologicznych. Jeziora można także klasyfikować ze względu na ilość i jakość soli mineralnych (głównie azotanów i fosforanów), od których zależy produktywność tych zbiorników. Przyrost biomasy (żywej masy organicznej) w jeziorze nazywany jest **produkcją** jeziora i ten parametr okazał się najpopularniejszym i najlepszym sposobem klasyfikacji jezior. Do pełnej charakterystyki typologii jezior opracowano jeszcze system wskaźników zawartości gazów, martwej materii organicznej, termiki i światła i dopiero na tej podstawie wyróżniono następujące jeziora:

- 1) **oligotroficzne** - bardzo mała ilość biogenów i zawiesiny organicznej, duża przezroczystość, odczyn wody zmienny i zbliżony do obojętnego, nasycenie tlenem duże, nawet w hypolimnionie, mała ilość humusu, osady denne ubogie w składniki organiczne. Roślinność przybrzeżna niezbyt obfita, fitoplankton ubogi, zakwity praktycznie nie występują, a jeżeli występują to zielenice i okrzemki ilościowo dominują nad sinicami, zooplankton jest ubogi, natomiast fauna denna gatunkowo zróżnicowana, przystosowana do stałej obecności tlenu w profundalu (**stenooksybioty**), typowe są larwy **Tanytarsus** oraz brak larw **Chaoborus**;
- 2) **mezotroficzne** - umiarkowanie żyzne, są formą przejściową do następnego typu;
- 3) **eutroficzne** - żyzne, odznaczające się dużą ilością biogenów i materii organicznej z małą przezroczystością wody, odczyn wody zasadowy lub obojętny, ilość humusu mała lub umiarkowana. Są to zbiorniki stosunkowo płytkie, o dużym zagęszczeniu planktonu roślinnego: często występują zakwity, w których dominują sinice nad zielenicami i okrzemkami, roślinność w strefie litoralnej obfita, a w profundalu - częsty deficyt tlenowy, osady denne bogate w autochtoniczne składniki organiczne o charakterze mułu gnilnego, czyli **sapropelu** (gyttia), mają kolor czarny na skutek nagromadzenia siarczków. Fauna denna przystosowana do deficytów tlenowych (euryoksybioty); typowe są larwy **Chironomus**, częste larwy **Chaoborus**; gatunkowo mało zróżnicowana, liczne ptactwo wodne (ryc. 43),



Ryc. 43. Avifauna jezior (wg Dobrowolskiego 1971)

linia ciągła - miejsce żerowania, linia przerywana - miejsce gniazdowania; 1- rybołów - *Pandion haliaetus* lub *Haliaetus albicilla*, 2 - czapla - *Ardea sp.*, 3 - tracz - *Mergus sp.*, 4 - rybitwa - *Sterna sp.*, 5 - mewka śmieszka - *Larus rudibundus*, 6 - kaczki właściwe - *Anas*, 7 - kaczki nurkujące *Nyroca*, 8 - błotniak - *Circus aeruginosus*, 9 - łyska - *Fulica atra*, 10 - łabędź niemy - *Cygnus olor*, 11 - wróblowate, trzciniaki, łożówki, brzęczki, świerszczaki i in., 12 - perkozy - *Podiceps*.

- 4) **dystroficzne** - kwaśne (humusowe) o małej przezroczystości z dużą ilością zawiesiny, małą zawartością wapnia; nasycenie tlenem małe, osady dennie ubogie w składniki autochtoniczne, a bogate w allochtoniczne związki humusowe typu **tyrfopel (dy)**. Roślinność przybrzeżna bardzo uboga, plankton roślinny ilościowo ubogi, praktycznie nigdy nie występują zakwity, sinice zawsze ustępują zielenicom, bruzdnicom, plankton zwierzęcy nieliczny, bentos zwierzęcy ubogi w gatunki: wskaźnikiem są larwy ***Chironomus plumosus*** i prawie zawsze występują larwy ***Chaoborus***. Muł często jest bez infauny.

Podstawą innej, praktycznej klasyfikacji jest skład gatunkowy występujących w jeziorach ryb. W Polsce przyjęto podział na:

- **Jeziora sielawowe** - głębokie, o twardym, piaszczystym dnie, małej ilości makrofytów przybrzeżnych. Oprócz sielawy występują tu: stynki, ukleje, sieja, płoć, leszcz, okoń, krap, jazgarz, węgorz, szczupak i miętus. Wydajność rybacka jezior nie jest większa niż 30 kg ryb z hektara;
- **Jeziora leszczowe** - płytsze niż sielawowe (do około 20 m) z dnem pokrytym osadami dennymi i bogatą roślinnością litoralu, z łakami podwodnymi. Leszcz występuje tu wraz z linem, płocią, wzdregą, krapiem, ukleją, szczupakiem, sendaczem, okoniem, węgorzem i jazgarzem. Wydajność rybacka jezior około 34 kg/ha;



- **Jeziora sandaczowe** - płytkie zbiorniki (do około 10 m) z gęsto porośniętymi brzegami, ale z łakami podwodnymi słabiej rozwiniętymi niż w jeziorach leszczowych. Ichtyofaunę tych jezior stanowią oprócz sandacza: leszcz, lin, ukleja, węgorz, szczupak, płoć, wzdręga, jazgarz i karp. Wydajność rybacka - około 38 kg/ha;
- **Jeziora linowo-szczupakowe** - płytkie zbiorniki (kilka metrów), przypominające stawy karpio-we, zwykle muliste, obficie porośnięte roślinnością wynurzoną i zanurzoną. Wydajność rybacka ~ 40 kg/ha. Ichtyofauna ograniczona do lina, szczupaka, płoci, węgorza i karasia;
- **Jeziora karasiowe** - zbiorniki nieduże, płytkie (do 2-4 m głębokości), bardzo silnie zamulone i w znacznej mierze zarośnięte bujną roślinnością wynurzoną. Zimą często występują w nich okresy przyduszy. Poza karasiem występują takie gatunki, jak lin, szczupak, płoć i węgorz. Wydajność rybacka nie przekracza 20 kg/ha.

### 3.4. Cechy ekosystemów zbiorników zaporowych

Zbiorniki zaporowe są zbiornikami powstającymi przez obsunięcie się zbocza w górską dolinę rzeczną - powyżej tak powstałej tamy powstaje spiętrzenie wody. Tę mogą tworzyć pnie drzew powalone przez zwierzęta, człowieka, wiatr lub rośliny, a nawet głazy wyerodowane ze zbocza. Sztuczny zbiornik wodny, jaki powstaje za pomocą budowli piętrzącej (która nazywa się zaporą) ma regulowaną objętość przez zwiększony lub zmniejszony odpływ. Jeziora zaporowe tworzone są w ściśle określonych

Tabela 13. Wykorzystanie zbiorników zaporowych (Mierzwiński 1991, ze zmianami)

| Nazwa jeziora zaporowego | Pełnione zadania |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|
|                          | A                | B | C | D | E | F | G | H |
| Brackie (Rosja)          | +                | + |   | + | + | + |   | + |
| Buchtarna j.w.           | +                | + |   | + | + |   | + | + |
| Krasnojarskie j.w.       | +                | + |   | + | + | + | + | + |
| Wołgograd j.w.           | +                | + | + | + | + |   |   | + |
| Kariba (Zambia)          | +                | + | + |   | + |   | + |   |
| Nasera (Egipt)           | +                | + | + |   |   |   | + | + |
| Džerdap (Rumunia)        | +                | + |   |   |   |   | + | + |
| Zegrzyńskie (Polska)     | +                |   | + | + | + |   | + | + |

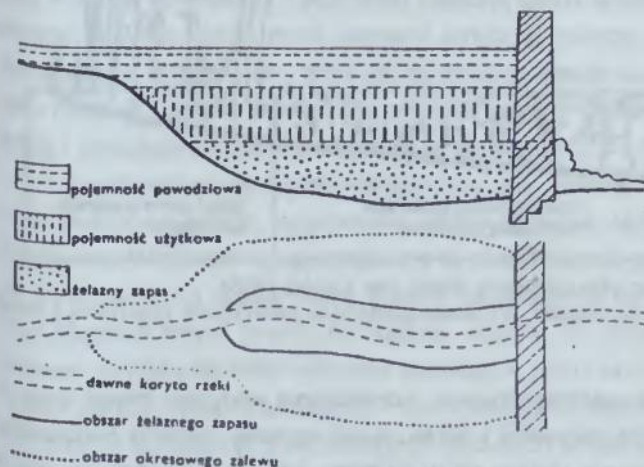
Objaśnienia: A - energetyka, B - żegluga, C - nawodnienia, D - transport, E - rybołówstwo, F - spław drewna, G - ochrona przed powodzią, H - wypoczynek, rekreacja, sport.

celach gospodarczych, co decyduje o rozwoju jakiegoś obszaru, np. jeziora Nassera w Egipcie, Kariba w Zambii. Najczęściej jednak zbiorniki zaporowe wykorzystuje się jako elektrownie wodne do produkowania energii, jako zbiorniki służące do nawodnień, do zaopatrzenia miast lub zakładów przemysłowych w wodę, dla rybołówstwa, żeglugi, rekreacji i sportu. Przykłady wykorzystania wybudowanych zbiorników zaporowych do różnych celów przedstawia tabela 13.

W każdym zbiorniku zaporowym następuje spiętrzenie wody i utworzenie sztucznego jeziora, które ma następujące cechy:

- zmienny poziom wody;
- dużą asymetrię dna;
- warstwy powierzchniowe wody są, płynące, a głębsze - stagnujące.

Asymetria dna rzutuje na cechy fizyczne i chemiczne zbiornika. W epilimnionie panują podobne warunki jak w rzece, nurt jest stosunkowo szybki, rozkład temperatury, biogenów i gazów w toni wodnej jest zwykle równomierny. W wodach przydennych tworzy się stratyfikacja podobna do jeziornego uwarstwienia typowego dla stagnacji letniej (ryc. 44).



Ryc. 44. Zbiornik zaporowy (wg Rudnickiego za Stańczykowską 1975)

chemicznego charakteru zlewni, która w znacznym stopniu decyduje o troficzności zbiornika.

Biocenozy podobnie jak ekoton mają specyficzny charakter, choć po pewnym czasie bardzo zbliżony do jezior. Największym zmianom ulegają biocenozy bentosowe, a zwłaszcza *psammonowe* - dna piaszczystego, *lilonowe* - dna kamienistego, *pelonowe* - dna mulistego i dna gliniastego. Szczególny rozwój osiąga *peryfiton* - fauna tworząca się na powierzchni przedmiotów zanurzonych na stałe w wodzie. Zmienny poziom wody w zbiornikach zaporowych wpływa na rozwój lub destrukcję bentosu typowego dla charakteru dna aktualnie zalanego przez wodę.

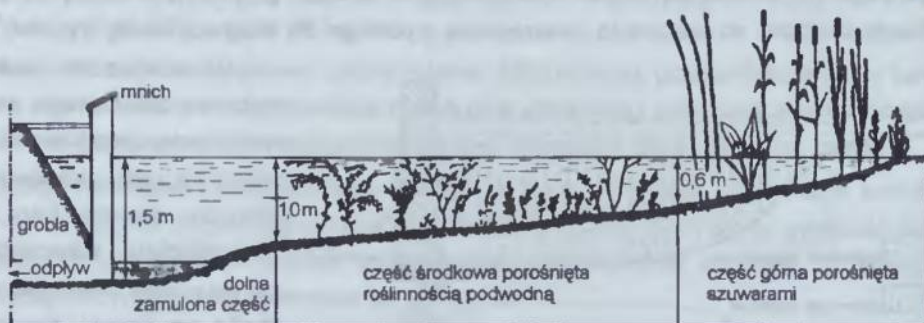
### 3.5. Cechy ekosystemów stawowych

Stawy są zbiornikami naturalnymi (rozlewiska wody gromadzące się w zagłębieniach terenu) i sztucznymi, piętrzonymi przez człowieka dla celów gospodarczych (hodowla ryb, młyny wodne), dekoracyjnych (sadzawki i stawki w parkach). Stawy regulują poziom wód gruntowych na obszarach przyległych, zatrzymują wodę w okresach roztopowych, stanowią naturalną ostoję dla wielu gatunków ryb i ptaków. Różnią się od jezior tym, że nie występuje w nich pelagial głębinowy ani termoklina, ani położone głęboko dno. Typowe dla jezior uwarstwienie sezonowe w stawach nie występuje. Światło dociera często do samego dna tak, że asymilacja producen-

W momencie zalania zbiornika zaporowego przez wodę następują zmiany na powierzchni gleby stanowiącej teraz dno zbiornika. Darni ulega rozkładowi i mineralizacji, co powoduje zanik tlenu w strefie przydennej, okresowo pojawia się siarkowodor, rośnie ilość bakterii, żelaza i manganu. Po jakimś czasie te niekorzystne zjawiska ustają, ale narasta zjawisko sedymentacji allochtonicznej zawiesiny organicznej. Wielkość i typ tych osadów zależy od



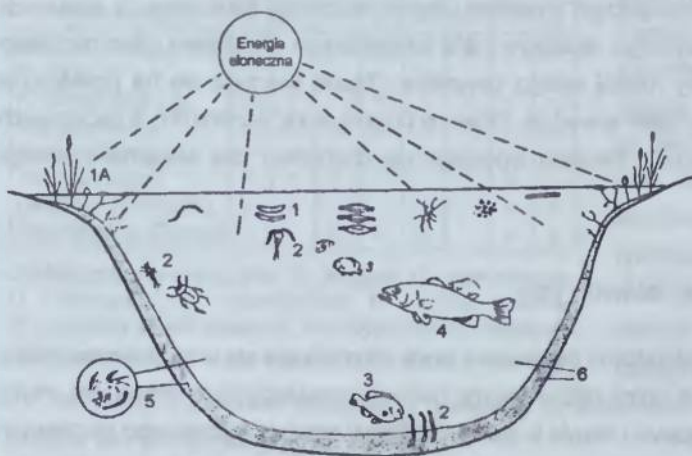
tów jest możliwa nawet tam. Warunki oświetleniowe, tlenowe i termiczne w stawach przypominają te, które panują w strefie przybrzeżnej jeziora w jego litoralu (ryc. 45).



Ryc. 45. Schemat morfologicznego ukształtowania stawu (wg Kajaka 1995)

Część górna porośnięta szuwarami, środkowa porośnięta roślinnością zanurzoną i dolna zamulona.

Masa wody w stawach jest znacznie mniejsza, powierzchnia wody jest zwykle duża w porównaniu do głębokości. Woda nagrzewa i ochładza się szybciej, wahania temperatury krótko- i długoterminowe są znacznie większe niż w jeziorach. Nie ma w stawach regulatora temperatury, którym w jeziorach są chłodne warstwy wody. Po okresie wiosennych roztopów do stawów spływa duży zapas wody pozbawionej soli mineralnych, która rozcieńcza wodę stawu, co sprawia, że po roztopach mają one często charakter zbiorników oligotroficzných. Latem i jesienią następuje szybkie odparowanie wody i stawy nabierają charakteru eutroficznego, wy-



Ryc. 46. Schemat ekosystemu stawowego (wg Oduma 1982)

1 - producenci (glony), 1A - rośliny kwiatowe, 2 - konsumenci I rzędu, 3 - konsumenci II rzędu, 4 - konsumenci III rzędu (ryby drapieżne), 5 - reducenty (bakterie i mikroorganizmy), 6 - woda i dno jako nieożywione elementy ekosystemu.

stępują w nich bardzo często zakwity (głównie zielonice i sinice). Charakter zbiornika sprawia, że prawie cały słup wody jest warstwą produkcyjną (ryc. 46). Latem na dnie stawów szybko gromadzi się zbyt duża ilość obumarłych glonów pochodzących z zakwitów, która nie może być całkowicie zmineralizowana. Na dnie tworzy się gnijąca warstwa mułu organicznego, zużywająca znaczne ilości tlenu na procesy rozkładu - rozpoczynają się procesy gnilne, beztlenowe na

tylę intensywne, że nawet w okresie letnim obserwuje się przyduchę, zwłaszcza nad ranem, kiedy nocny deficyt tlenowy jest szczególnie ostry ze względu na dużą biomasę roślin zanurzonych i wynurzonych w litoralu stawów. Nie jest to w stawach zjawisko katastroficzne. Nawet małe cyrkulacje wody wywołane wiatrem i ruchami konwekcyjnymi (wynikającymi z różnicy temperatury wody na powierzchni i przy dnie) mieszają górną dobrze natlenioną wodę z warstwami przydennymi, co szybko może poprawić krytyczną sytuację tlenową. Zimą stawy najczęściej zamarzają aż do dna - tam, gdzie jest to możliwe, zostaje spuszczone z nich woda i na okres kilku miesięcy - odkryta zostaje cała powierzchnia dna. Wiosną stawy ponownie są napełniane wodą i produkcja biologiczna rozpoczyna się na nowo.

Czynniki warunkujące życie w stawach są mało stabilne. Hydrobionty zamieszkujące stawy to w większości gatunki *eurytopowe* niezbyt czułe na wszystkie zmieniające się elementy środowiska. Wszystkie są przystosowane do ekstremalnych zmian całego środowiska, włącznie do zaniku wody na dłuższy okres. Rośliny naczyniowe w okresie wegetacyjnym pojawiają się przy brzegach całymi łanami, np. turzyce, skrzypy, sit, trzcina czy pałka wodna. W małych stawach rozwijają się łatwo moczarka kanadyjska, jaskry wodne, strzałki wodne i rzęsa. Producenci - plankton roślinny to zielenice i sinice, rzadko okrzemki. Konsumenci I rzędu - zooplankton złożony jest głównie z ciepłolubnych, filtrujących wioślarek (które na okres zimny składają w *ephippium* jaja wytrzymałe na zamarzanie) oraz z widłonogów i wrotków. Roślinność wyższa składa się z tych samych gatunków, które występują zwykle w litoralu jeziornym. Zdecydowanie większe powierzchnie lustra wody niż w jeziorach zajmują jednak rośliny o liściach pływających, co powoduje, że zarastanie stawów ma charakter płatowy. Jednocześnie rośliny wyższe stanowią bardzo dogodną podłogę dla *peryfitonu* (wrotki, skąposzczety, skorupiaki i larwy owadów), którego produkcja pozwala na wyżywienie w stawach znacznej ilości ryb. *Epifauna* (fauna naroślinna i poruszająca się po dnie) oraz *infauna* (fauna zamieszkująca osady denną), złożona ze ślimaków, larw owadów, wodopójek skąposzczetów i nicieni, rozwija się bardzo licznie stanowiąc podstawową bazę pokarmową dla ryb. Również *Tubificidae* oraz larwy ochotkowatych, takie jak *Chironomus plumosus*, wzbogacają faunę dna stawów.

Pliński (1992) podzielił stawy na następujące kategorie, biorąc pod uwagę ich cechy biologiczne:

1) stawy oligotroficzne:

- utworzone na podłożu przepuszczalnym, dobrze natlenione, z bardzo ubogą produkcją, wody obojętne;
- podłoże mieszane przepuszczalne i nieprzepuszczalne, wody kwaśne, najczęściej są to zbiorniki śródleśne;
- utworzone na torfowiskach, na dnie dużo osadów organicznych;

2) stawy mezotroficzne mają słabo zamulone dno, są dobrze natlenione w całym przekroju pionowym wody;

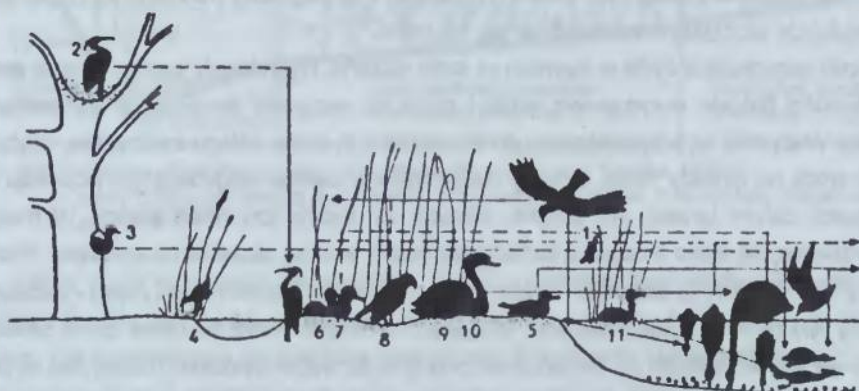
3) stawy eutroficzne z dużą warstwą mułu, natlenienie wody zróżnicowane:

- słabo eutroficzne - obfita roślinność naczyniowa, względnie liczny peryfiton;



- średnio zeutrofizowane z bardzo obfitą fitocenozą podwodną;
  - silnie zeutrofizowane z dominacją sinic;
- 4) stawy politroficzne - na dnie duża ilość osadów organicznych pochodzenia autochtonicznego, częste deficyty tlenowe, duża produkcja pierwotna glonów i roślin naczyniowych.

W Polsce istnieje od bardzo dawna tradycja hodowli ryb w stawach. Stanowią one także ostoję dla zwierząt ziemno-wodnych, a zwłaszcza dla ptactwa (ryc. 47). W tabeli 14 podano kompleksy najstarszych polskich stawów szczególnie chronionych ze względu na *avifaunę*.



Ryc. 47. Ptaki stawów (wg Dobrowolskiego 1971)

1 - mewy śmieszka - *Larus rudibundus*, 2 - czapla - *Ardea sp.*, 3 - kaczki właściwe - *Anas*, 4 - kaczki nurkujące *Nyroca*, 5 - błotniak - *Circus aeruginosus*, 6 - łyska - *Fulica atra*, 7 - tabędź niemy - *Cygnus olor*, 8 - wróblowate - *Passeriformes*, 9 - perkozy - *Podiceps*, 10 - gągoł krzykliwy - *Bucephala clangula*, 11 - kurka wodna - *Gallinula chloropus*; linia ciągła - miejsce żerowania, linia przerywana - miejsce gniazdowania.

Tabela 14. Kompleksy stawów w Polsce chronionych ze względu na bogactwo flory i fauny, a zwłaszcza ptaków wodnych i błotnych (Mierziński 1991)

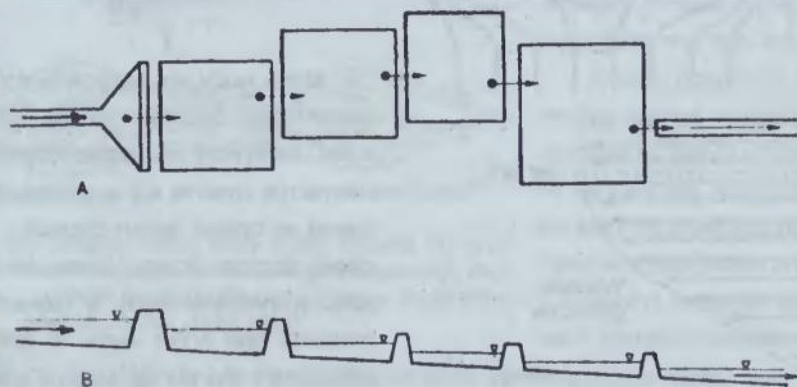
| Nazwa kompleksu stawowego | Województwo      | Liczba gatunków ptaków |               |
|---------------------------|------------------|------------------------|---------------|
|                           |                  | lęgowych               | przelotnych   |
| Stawy Milickie            | wrocławskie      | 55                     | -             |
| Stawy Bronków             | siedleckie       | 27                     | kilkadziesiąt |
| Stawy Przemkowskie        | legnickie        | 44                     | 101           |
| Stawy Goczałkowickie*     | bielsko-bialskie | 33                     | -             |
| Lężaczak                  | katowickie       | 32                     | -             |
| Stawy Zatorskie*          | krakowskie       | ~ 30                   | -             |
| Stawy w Mławadach         | kieleckie        | 40                     | -             |
| Stawy w Górkach           | kieleckie        | 39                     | -             |

\* informacje ustne.

Biologiczną produkcją stawów można bardzo łatwo sterować przez odpowiednie sztuczne nawożenie biogenami - solami azotu i fosforu lub przez usuwanie nadmiaru roślinności wyższej z dna i powierzchni wody. Rozwijająca się bujnie w stawach dobrze nawożonych roślinność

Wyższa jest ważnym, lecz nie wykorzystanym przez większość konsumentów (zwierząt) składnikiem zespołu producentów pierwotnych. Zwykle zwiększenie produktywności w stawach uzyskuje się przez prosty zabieg, polegający na usuwaniu z nich roślinności. Łańcuchy pokarmowe w pozbawionym roślinności wyższej stawie są znacznie krótsze i składają się wyłącznie z fitoplanktonu, zooplanktonu, bentosu i ryb oraz ptaków. Krótsze łańcuchy pokarmowe powodują zminimalizowanie strat energii w stawach na etapie od producentów (fitocenoz) do konsumentów ostatniego rzędu (ryb), a tym samym - większą produkcję ryb.

Ostatnio bardzo często zamiast nawożenia bezpośredniego nawozami sztucznymi wykorzystuje się ścieki zawierające substancje organiczne. Ten sposób biologicznego doczyszczania wód wydaje się być najbardziej racjonalną formą wykorzystania ścieków, a zwłaszcza usuwania z nich biogenów, które dzięki temu służą do produkcji ryb konsumpcyjnych w stawach różnego systemu (ryc. 48). Ten sposób wykorzystania ścieków w stawach hodowlanych nazywanych **stawami biologicznymi**, (jako obiekty znajdujące się w łańcuchu technologicznym oczyszczalni ścieków) znalazł zastosowanie w wielu oczyszczalniach w naszym regionie, np. w Zakładach Chemicznych Police oraz w oczyszczalni komunalnej w Pyrzycach. W stawach tych szybkie tempo przemiany materii pozwala na dodatkową dużą produkcję tlenu przez fitoplankton, a głównie przez zieleńce. Stawy biologiczne można wykorzystać do oczyszczania ścieków bytowo - gospodarczych z gospodarstw domowych.



Ryc. 48. Stawy do hodowli ryb w układzie łańcuchowym (wg Styczyńskiego 1971)  
A - widok z góry, B - profil podłużny.

### 3.6. Cechy ekosystemów rzecznych

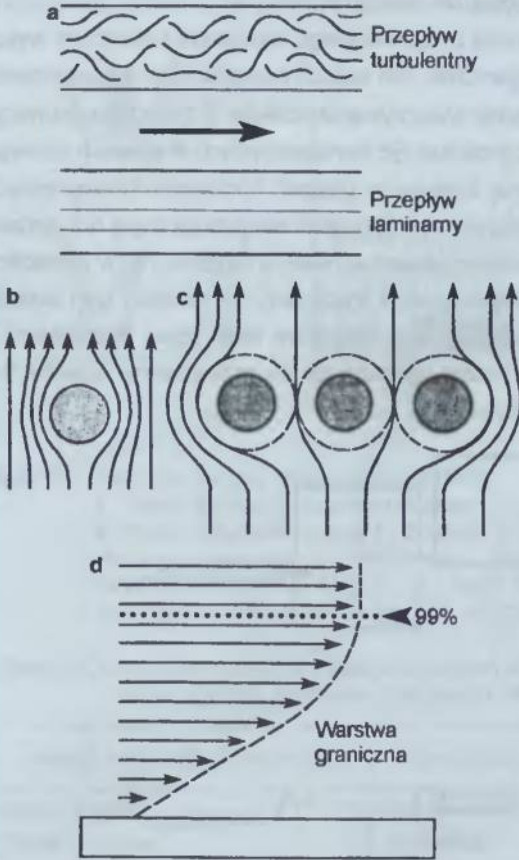
Istnienie rzek związane jest z dwoma warunkami - z występowaniem obfitego źródła stałego zasilania wód powierzchniowych oraz z istnieniem odpowiedniego wgłębienia i nachylenia terenu. Rzeki są bardzo zróżnicowane w zależności od środowiska przez jakie płyną. Strugi lub potoki, dające początek rzekom wypływają ze źródeł ukrytych w bagnach lub jeziorach. Same rzeki uchodzą do innych rzek, jezior, mórz i oceanów albo w rejonach skrajnie suchych kończą swój bieg w zbiornikach bezodpływowych.



W warunkach naturalnych istnieją dwa rodzaje prądów rzecznych:

1. prąd uwarstwiony (*laminarny*) - powolny, gdzie cząsteczki płyną po torach równoległych;
2. prąd burzliwy (*turbulentny*) - szybki, często wirowy polegający na stałym mieszaniu cząsteczek wody poruszających się po torach zmiennych z różną prędkością.

Moment przechodzenia prądu laminarnego w turbulentny określa liczba Reynoldsa (ryc. 49). Prądomi zawsze towarzyszy erozja substratu, transport i depozycja. W górnym biegu rzeki



Ryc. 49. Przepływ turbulentny i laminarny oraz przepływ przy bardzo małych wartościach liczby Reynoldsa (wg Lamperta i Sommera 1996) a - turbulentny i laminarny, b - laminarny wokół małej cząstki, c - przez aparat filtracyjny, d - powstawanie warstwy granicznej Prandtl'a, gdy woda przepływa wokół trwałej powierzchni (np. kamienia) Bezpośrednio na powierzchni kamienia prędkość prądu jest zerowa.

przeważa erozja i przenoszenie materiału nad akumulacją - w dolnym biegu rzeki sytuacja jest odwrotna. Erozja powoduje pogłębianie i poszerzanie koryta, tworzą się meandry, progi i zagłębienia.

Prąd wody w środowiskach lotycznych stanowi wyróżniający je podstawowy czynnik ekologiczny. Ilość płynącej wody uzależniona jest od średniej prędkości wody ( $v$ ), spadku dna rzeki ( $s$ ), średniej głębokości ( $d$ ) oraz siły tarcia ( $f$ ) i przyspieszenia ziemskiego ( $g$ ):

$$v = \sqrt{\frac{8gds}{f}}$$

Masa wody spływającej w dół rzeki rośnie dzięki zasilaniu wodami gruntowymi i dopływom wód powierzchniowych i wyraźnie zmienia się w czasie choćby nawet w czasie zmian pogody - silne opady deszczu, śniegu i lodowców. Prędkość spływającej wody w rzekach hamowana jest przez tarcie o podłoże, powietrze i lód ale jej średnie wartości nie przekraczają zazwyczaj  $100 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , znane są jednak prędkości przy przepływach katastrofalnych, przekraczające  $800 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ . W każdej rzece istnieją miejsca o szybkim i wolnym prądzie. Cały górny bieg rzek zaliczyć można do odcinków lotycznych a odcinki nizinne mają często charakter mieszany lub wyraźnie leniczny. W przekrojach poprzecznych rzek prędkość prądu maleje logarytmicz-

nie od powierzchni do dna, i dla organizmów planktonowych duże znaczenie ma fakt, że rzeki płyną ze średnią szybkością całej masy wody dopiero na około 60% głębokości słupa wody. Tymczasem dla organizmów bentosowych najważniejsze znaczenie ma naprężenie ścinające ( $r_0$ ) które powoduje przemieszczanie cząsteczek zalegających na dnie:

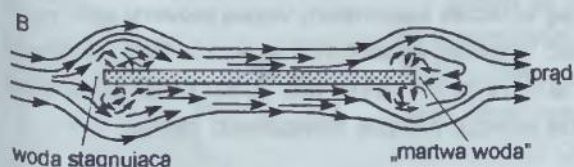
$$r_0 = yds$$

gdzie:

- d - głębokość wody,
- s - spadek,
- y - gęstość wody.

Sila ta maleje z biegiem rzeki w których szybko zmniejsza się spadek znacznie szybciej niż ich głębokość. Dlatego prawdopodobieństwo przemieszczenia się zalegającego na dnie odcinka dolnego biegu, substratu i organizmów jest mniejsze niż w górnym biegu potoku.

Każdy przedmiot zanurzony w wodzie tworzy wokół siebie skomplikowane układy prądów co wykorzystują organizmy wodne a zwłaszcza kiedy za przedmiotem tworzy się tzw. strefa „martwej wody”. W tym miejscu ruch wody jest powolny czasami cząsteczka wody porusza się po torach walcowatych. Ten obszar „martwej wody” jest mniejszy im mniej wystaje on nad powierzchnię dna (ryc. 49d, 50).



Ryc. 50. Diagram ruchu wody wokół cylindra (A) oraz wokół szkiełka podstawowego ustawionego równolegle do prądu (B) (wg Kawecka, Pertti 1994 za Munteanu, Maly 1981)

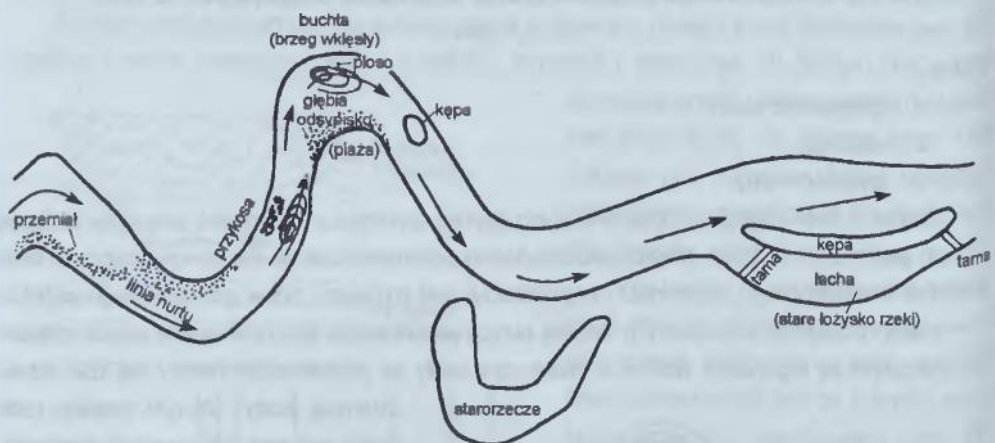
Każdy przedmiot zanurzony w wodzie tworzy warstwę graniczną o grubości od części milimetra do 3 mm. W tej warstwie, której grubość zależy od średniej prędkości prądu i wzrasta zgodnie z kierunkiem przepływu, prąd turbulentny redukuje się do prędkości i charakteru laminarnego a nawet

spada do zera. Warstwa ta stanowi obszar życia dla organizmów bentosowych żyjących na dnie, im są one bardziej płaskie tym mniejsze prawdopodobieństwo oderwania od podłoża i porwania przez prąd wody.

Układy biocenotyczne w rzekach ustawione są kolejno od najuboższych - *oligotroficznych* do *eutroficznych* - położonych w dolnym biegu stref przyujściowych. Istotnymi cechami biocenotycznymi w wodach lotycznych są: duża zmienność linii brzegowej, stabilność dna, wahania poziomu wody i ciągły ruch postępowy środowiska - są to jednocześnie cechy różniące rzeki od zbiorników jeziornych. Stan wody, szybkość jej prądu i temperatura ulegają w ciągu roku znacznym wahaniom, co zmusza biocenozy środowisk lotycznych do szeregu przystosowań - zarówno do warunków aktualnie panujących w środowisku, jak też do krańcowych zmian tych warunków. Biocenozy rzek muszą przetrwać stany „niskiej” wody i okres wezbrań powodziowych, kiedy brzegi i dno są rozmy-



wane, a istniejące dotąd biocenozy przestają funkcjonować (ryc. 51). Zalanie przez wodę terenów przybrzeżnych w wyniku wezbrania rzeki jest jedną z klęsk żywiołowych przynoszących znaczne straty nie tylko biocenozom rzeczny, ale również człowiekowi.



Ryc. 51. Schemat różnicowania środowiska na odcinku rzeki (wg Kajaka 1995)

Powodzie powstają wskutek nagłego spływu wód z roztopionego śniegu i długotrwałych opadów deszczu (tab. 15). Obserwuje się wówczas katastrofalny wzrost poziomu wód, np. w 1937 roku poziom Missisipi w miejscowości Vicksburg wzrósł o 17,9 m, poziom Ohio w Cincinnati wzrósł o 24 m. Jednakże największe znane przybory poziomu wód (o 60 i 82 m) zanotowano na rzece Jangcy w Chinach na obszarze wąwozu powyżej miejscowości Inczeg.

Tabela 15. Charakterystyka największych powodzi na świecie w ostatnim stuleciu (Mierzwiński 1991)

| Nazwa rzeki                                       | Rok  | Obszar zalany           | Straty i szkody                                                                             |
|---------------------------------------------------|------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Huang-ho (zmiana koryta)                          | 1887 | 22000 km <sup>2</sup>   | zginęło ponad 1 mln osób                                                                    |
| Dunaj (spiętrzenie wody w Karpatach na przełomie) | 1897 | Wielka Nizina Węgierska | zginęło 151 osób w Szeged, zalanych zostało 5585 domów                                      |
| Garonna                                           | 1930 | południowa Francja      | zginęło 120 osób i kilka tysięcy sztuk bydła, uległo zniszczeniu 650 tysięcy domów          |
| Missisipi                                         | 1937 | brak danych             | zginęło 140 osób                                                                            |
| Missisipi                                         | 1973 | 70000 km <sup>2</sup>   | straty 1046 mln \$                                                                          |
| Ganges i Brahmaputra                              | 1974 | Bangladesz              | zginęło oficjalnie 2000 osób, 30 mln było poszkodowanych, 80% upraw ryżu uległo zniszczeniu |

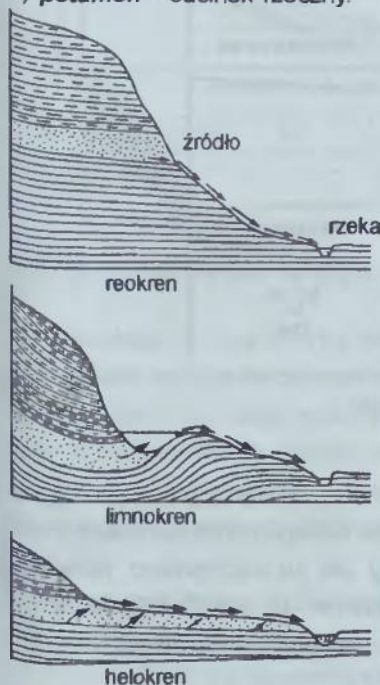
Ostatni katastrofalny przybór wód na Wiśle, spowodowany zatorami lodowymi, notowano z 6 na 7 stycznia 1982 roku, kiedy zalana została dzielnica Płocka - Radzewie.

Dnia 24 lipca 1970 roku letni przybór wód, spowodowany ulewnymi deszczami, doprowadził do wzrostu poziomu wód Wisły o 752 cm, w tym samym czasie przepływ wzrósł od 497 do 5120 m<sup>3</sup>/s, zniszczeniu uległy 242 mosty, uszkodzeniu 990. Woda zrujnowała 160 km dróg i uszkodziła dalsze 580 km; ewakuowano 35 tysięcy ludności z terenów zagrożonych, śmierć poniosło 11 osób, ucierpiało kilkanaście tysięcy budynków - zarówno na wsi, jak i w ponad 900 miastach. Katastrofalna powódź w lipcu 1997 r. zniszczyła osiedla, wsie i miasta Górnego i Dolnego Śląska zwłaszcza w dorzeczu Odry, powodując śmierć 58 osób i straty materialne obliczane na blisko 20 mld złotych.

Powodzie powodowane są także sztormami, które wprowadzają do rzek duże ilości wód morskich i jeżeli zbiegną się w czasie z przybojem wód deszczowych, lub roztopowych, wówczas rozmiary powodzi przyjmują rozmiary katastrofy dla miejscowej ludności, a także dla zwierząt lądowych i wodnych.

W każdej rzece wyróżnia się trzy odcinki charakteryzujące się swoistymi cechami środowiskowymi:

- 1) **krenon** - odcinek źródłowy,
- 2) **rhitrion** - odcinek potokowy,
- 3) **potamon** - odcinek rzeczny.



**Źródła** są naturalnymi wypływami wód podziemnych na powierzchnię skorupy ziemskiej, mają stałą temperaturę (latem są zimne, zimą ciepłe i nigdy nie zamarzają), opływają się przez hydrobionty stenotermiczne. Źródła zazwyczaj dają początek ciekom. Wykształcone są w zależności od warunków geomorfologicznych płaszcza ziemi, a zwłaszcza od specyficznego układu warstw przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych, którymi woda wydostaje się na powierzchnię.

Wyróżniamy następujące typy źródeł (ryc. 52):

- 1) **reokreny** - źródła bijące z podłoża kamiennego lub skalistego, mają szybki nurt, brakuje miejsc spokojnych, sprzyjających tworzeniu się osadów;
- 2) **limnokreny** - źródła tworzące się w zagłębieniach terenu, stanowią początek strumieni, piaszczyste dno może mieć pewną ilość martwej materii organicznej. Brzegi takich źródeł porośnięte są wątrobowcami, mchami i nierzadko roślinami kwiatowymi;
- 3) **helokreny** - źródła bijące w kilku miejscach (teren źródliskowy), zwykle w podmokłych, zarośniętych bagnach, z których wysącza się woda i spływa tworząc strumień rzeki powstającej na nizu.

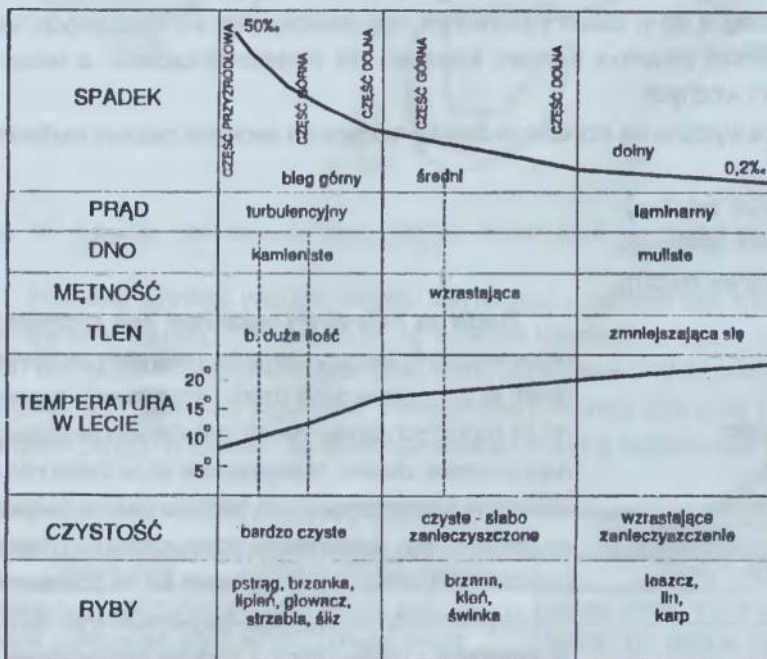
Ryc. 52. Schematy trzech typów źródeł (wg Starmacha, Wróbla, Pasternaka 1976)



Skład chemiczny wody źródeł zależy od geologicznych właściwości podłoża w miejscu jego powstania. Najuboższe są źródła helokrenowe, a następnie reokrenowe - rozwój roślinności jest w nich bardzo słaby.

Każde ze źródeł w zależności od składu chemicznego i typu ma swoistą niezbyt obfitą florę i faunę. Najczęściej występują w nich okrzemki (*Meridion circulare*, *Diatoma hiemale* var. *mesodon*), zielenice (*Draparnaldia*, *Tribonema*), krasnorosty (*Batrachospermum*), mchy (*Cratoneuron*, *Bryum*, *Philonotis*) a z roślin kwiatowych - rukiew wodna (*Cardamine amara*). Fauna to przede wszystkim skąposzczety, nieliczne skorupiaki oraz larwy różnych owadów.

Pozostałe odcinki rzeki różnią się między sobą wielkością spadku podłużnego koryta, jakością i wielkością uziarnienia dna, a także zawartością tlenu i ilością akumulowanej zawiesiny organicznej oraz strukturą taksonomiczną ichtiofauny. Zależności te przedstawiono na ryc. 53.

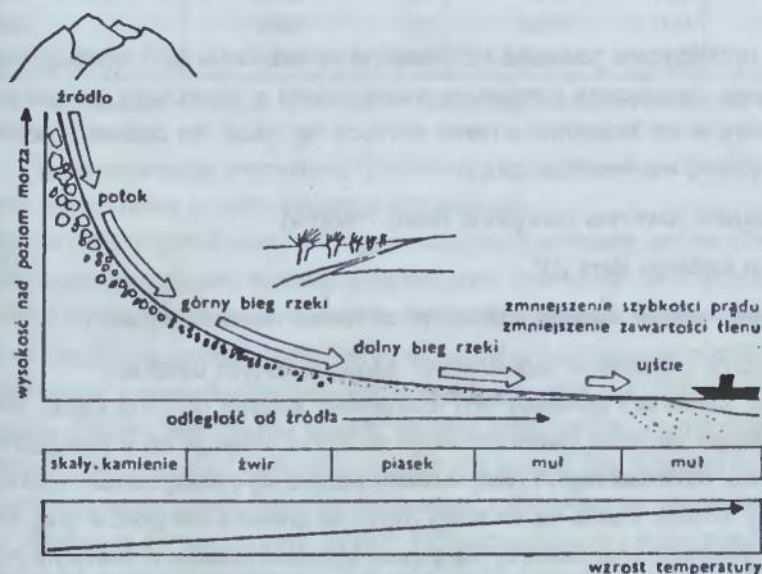


Ryc. 53. Zmienność czynników środowiskowych z biegiem rzeki (wg Starmacha, Wróbla, Pastemaka 1976)

**Potok** od odcinka rzecznego (ryc. 54), oprócz różnic morfometrycznych i hydrologicznych, bardzo wyraźnie różni się pod względem warunków ekologicznych, ponieważ z biegiem koryta wykształcają się w nim odmienne biocenozy. Jak już wspomniano, wcześniej odcinek potokowy rzeki, czyli **rhiton**, określany jest również jako biocenoza **mikrofitów** lub **kraina ryb łososłowatych**, natomiast odcinek rzeczny **potamon** - jako biocenoza **makrofitów** albo **kraina ryb karpiowatych**.

**Rhiton** opanowały glony o płaskich plechach, łatwo przylegające do dna, zwłaszcza w odcinkach górskich (sinice, krasnorosty oraz kilka rodzajów okrzemek i zielenic), częste są porosty.

mchy oraz rośliny kwiatowe. Te fitocenozy są siedliskiem dla licznych drobnych zwierząt, takich jak pierwotniaki, robaki, skorupiaki, larwy owadów - z nich najbardziej charakterystyczne są larwy jętek (*Ephemeroptera*), widelnic (*Plecoptera*), muchówek (*Diptera*), prądotłubnych *Blepharocera*, chrzączek (*Trichoptera*). W górnym biegu potoków woda osiąga duże prędkości, ma stałą niską temperaturę, a ilość tlenu jest zawsze duża. Na kamieniach i głazach na stałe zanurzonych w wodzie występują wypławki (*Planaria*), ślimaki przytuliki (*Ancylus*), zarośla gąteżatki (*Cladophora*), kielże (*Gammarus*), ośliczki (*Asellus*) a także gąbki i mszywioly. Do biocenoz potoków zalicza się również mikrobioty, takie jak: wiciowce, pierwotniaki, wrotki, nicienie i drobne skorupiaki.



Ryc. 54. Środowiska wód płynących (wg Stańczykowskiej 1975)

**Potamon**, inaczej odcinek rzeczny to dobrze rozwinięte biocenozy roślin kwiatowych, które charakteryzują się ukorzeniem na dnie litoralu, płyczn, nurtu i starorzeczy (ryc. 54). Obfity i różnorodny zespół roślinny rzeki jest środowiskiem dla zespołów zwierzęcych podobnych do występujących w litoralu jeziornym - dla ślimaków (*Limnea* i *Planorbis*), larw ważek, jętek, chrzączek, muchówek, a zwłaszcza ochotkowatych (*Chironomidae*), skąposzczetów, skorupiaków - wioślarek, widłonogów, a w czystych rzekach - również raków (*Potamobius astacus*).

**Potamoplankton**, czyli plankton rzeczny charakteryzuje się niewielką ilością form typowo planktonowych, które mogą rozmnażać się w nurcie rzeki. Już przy prędkości 0,5-0,8 m/s możliwe jest rozwijanie się planktonu, a nawet powstanie zakwitów. Z tego powodu prawdziwego planktonu nie ma w odcinku źródeł rzecznych.



### 3.7. Estuaria jako ekotony

Estuaria są strefami ujściowymi rzek w których woda morska jest znacznie rozcieńczona przez słodką wodę z dopływu lądowego. Zetknięcie się środowiska słodkowodnego i słonowodnego stwarza swoistą strefę przejściową, pośrednią ze zmiennymi właściwościami fizykochemicznymi i hydrologią, która z punktu widzenia ekologii jest ekotonem. Biocenozy estuarium to mieszanina gatunków pochodzenia słodkowodnego i morskiego oraz nielicznych gatunków endemicznych, euryhalinowych o zdolności osmotycznej pozwalającej im na przemieszczanie się ze środowiska słodkowodnego do słonego i na odwrót. Roślinność naczyniowa i fitoplankton estuariów są niezwykle obfite. Tereny te są zazwyczaj wydajnymi i obfitymi łowiskami ryb.

Ta zmienność hydrologiczna powoduje zróżnicowane wykształcenie cech morfologicznych ujścia rzeki. Działanie denudacyjne i abrazyjne morza wespół z akumulacją osadów rzeki powoduje silne zmiany w linii brzegowej a nawet cofnięcie się ujścia. Na podstawie geomorfologii estuariów wyróżnia się 4 większe grupy:

1. Przybrzeżne estuaria równinne (zatopione doliny rzeczne),
2. Fiordy - doliny o kształcie litery „U”,
3. Estuaria ławicowe - płytkie akweny oddzielone od morza ławicami z piasku,
4. Estuaria tektoniczne powstałe w zagłębieniach spowodowanych uskokami.

Ze względu na zasolenie i dynamikę wód rozróżniamy estuaria od I - IV rzędu. Woda słodka przemieszczająca się przez obszar estuarium do morza, znajduje się w powierzchniowych warstwach wody, natomiast napływ wody morskiej odbywa się poniżej warstwy wysłodzonej. Słony klin wody morskiej wciska się od strony morza na znaczną odległość w górę rzeki, zaznaczając swoją obecność silną halokliną, która może być obserwowana w dowolnym punkcie estuarium. Haloklina jest płytsza i bardziej rozwinięta bliżej ujścia estuarium.

W estuariach falowanie wiatrowe powoduje **cofkę** determinującą poziomy zasięg wód słonych i form morskich. W skrajnych przypadkach wody te sięgają daleko w górę rzeki. Estuaria zależą od wielkości rzeki, masy wód oraz zawiesiny organicznej, jakie ona niesie ze sobą do morza oraz od powierzchni, na której możliwa jest akumulacja sestonu i wreszcie od kształtu ujść rzeki (zalew czy delta). Missisipi odprowadza rocznie do morza ponad 980 mln ton zawiesiny organicznej (z tego 40% osadza się w dolnym biegu rzeki), Ganges - 360 mln ton, Nil - 51 mln ton, a Łaba - 0,63 mln ton. Niektóre rzeki utworzyły z niesionych zawiesin nieorganicznej i organicznej delty w strefach ujściowych o olbrzymich rozmiarach, np. delta Amazonki ma powierzchnię 100000 km<sup>2</sup>, Ganges i Brahmaputra - 80000 km<sup>2</sup>, Lena - 45000 km<sup>2</sup>, Missisipi - 30000 km<sup>2</sup>, Huang-Ho - 25000 km<sup>2</sup>, Nil - 20000 km<sup>2</sup>, Wołga - 18000 km<sup>2</sup>, Dunaj - 4000 km<sup>2</sup>. Ujścia rzek stanowią specyficzne środowisko dla hydrobiontów, avifauny i działalności gospodarczej człowieka (tab. 16).

Tabela 16. Charakterystyka największych rzek na Ziemi (Mierzwinski 1991)

| Rzeka                | Dorzecze<br>(tys. km <sup>2</sup> ) |      | Maksymalna długość<br>rzeki (km) |      | Średni roczny przepływ<br>w ujściu (m <sup>3</sup> /s) |      |
|----------------------|-------------------------------------|------|----------------------------------|------|--------------------------------------------------------|------|
| Amazonka             | 7180                                | (1)  | 6516                             | (1)  | 180000                                                 | (1)  |
| Kongo                | 3822                                | (2)  | 4700                             | (8)  | 42000                                                  | (2)  |
| Missisipi - Missouri | 3221                                | (3)  | 6109                             | (3)  | 17545                                                  | (8)  |
| Ob - Irtyś           | 2975                                | (4)  | 5570                             | (5)  | 1548                                                   | b.d. |
| Nil                  | 2881                                | (5)  | 6482                             | (2)  | 19500                                                  | (7)  |
| La Plata             | 2650                                | (6)  | 4700                             | (9)  | 19600                                                  | (6)  |
| Jenisiej             | 2605                                | (7)  | 5550                             | (6)  | 16400                                                  | (9)  |
| Lena                 | 2490                                | (8)  | 4270                             | (12) | 5700                                                   | (23) |
| Niger                | 2092                                | (9)  | 4030                             | (14) | 35000                                                  | (3)  |
| Jangcy               | 1970                                | (10) | 5800                             | (4)  | 12500                                                  | (14) |

- cyfry w nawiasach informują o kolejności, jaką rzeka zajmuje w określonej klasyfikacji.

Wymienione wyżej ekosystemy rzeki tworzą niezwykle ważne ogniwo w procesie krążenia wody w przyrodzie o czym świadczy ich wielkość.

Całkowita objętość wody w korytach rzecznych oceniana jest na 1230 km<sup>3</sup>, co stanowi około 0,0001% całkowitej objętości wód na Ziemi. Ocenia się, że roczny odpływ wód rzekami do mórz wynosi 35560 km<sup>3</sup> (1/3 opadów na Ziemi). Obliczono, że czas potrzebny do wypełnienia od początku wszystkich zagłębień oceanicznych do dzisiejszego poziomu wynosi 34700 lat. Rzeki oprócz znaczenia przyrodniczego mają dla człowieka znaczenie gospodarcze, zaopatrują w wodę miasta i inne osiedla ludzkie, zakłady przemysłowe, uruchamiają turbiny elektrowni wodnych i młynów, służą także od niepamiętnych czasów jako szlaki komunikacyjne. Powodzie są jedynym kataklizmem, jaki grozi człowiekowi i przyrodzie ze strony rzek.

Rzeka ma bardzo sprawny system samooczyszczania i może przyjmować wiele zanieczyszczeń *antropogenicznych*. Jednakże ilość odprowadzanych ścieków nie może rosnąć w nieskończoność, dotyczy to również „jakości” ścieków (toksyn, trucizn itp.) - nadmierne ich ilości mogą łatwo doprowadzić do zniszczenia systemu samooczyszczania w rzece i stanu śmierci biologicznej rzeki. Staje się ona wtedy korytem, ukształtowanym wprawdzie w sposób naturalny, ale odprowadzającym martwe wody do odbiorników.

### 3.8. Zalewy

Ujścia rzek, kiedy wylot estuarium jest zatarasowany przez większe lub mniejsze wyspy albo mierzeje, a rzeka łączy się z morzem cieśninami, tworzą szerokie zalewy. Przykładem takich ujść mogą być - Zalew Szczeciński, Zalew Wiślany, czy Zalew Kuroński. Akweny te są stosunkowo płytkie, dość rozległe, długie i szerokie na kilkanaście kilometrów, podlegają silniej wpływowi wód śródlądowych niż morskich. Są to akweny o dużej akumulacji abiosestonu i ulegają stopniowemu zamulaniu i wypłycaniu. Można je porównywać do płytkich zbiorników typu stawowego lub płytkich jezior przy morskich. Warunki hydrologiczne kształtowane są przez



dopływające masy wodne z rzek; charakterystyczne są tutaj okresowe zjawiska cofki wód morskich. Podczas silnych, długotrwałych wiatrów wody morskie tarasują ujście cieśnin i powodują spiętrzenie spływających wód rzecznych.

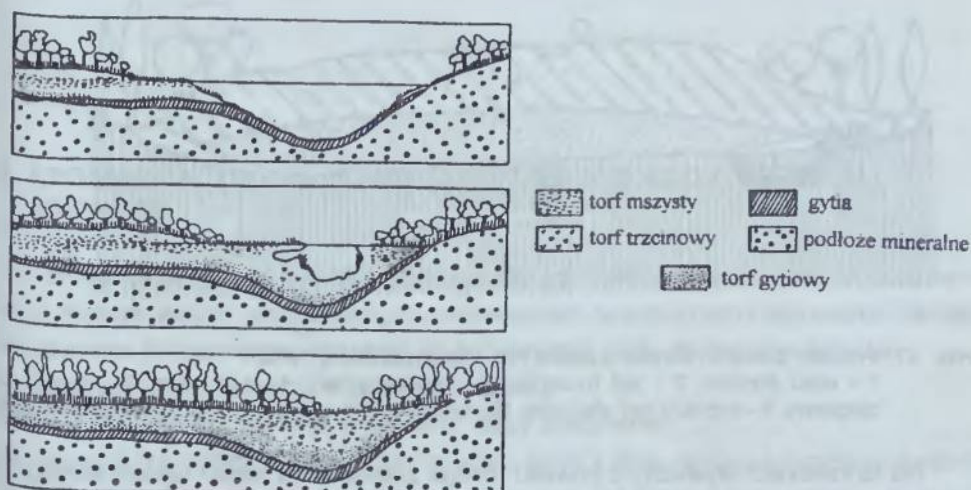
Zasolenie wód zalewów nie przekracza poziomu wód oligohalinowych ale poziom biogénów stale dostarczanych z obszaru całej zlewni rzeki, jest niezwykle wysoki, co stwarza warunki eutrofii a czasami hypertrofii. Dla przykładu w Zalewie Szczecińskim wysoka zawartość biogénów spowodowała powstanie produkcji pierwotnej wynoszącej około 350-460 g C/m<sup>2</sup>/rok a więc 3-4 razy większej niż w południowym Bałtyku. W fitoplanktonie, zmiennym w poszczególnych sezonach, coraz częściej przewagę nad innymi glonami uzyskują sinice - *Microcystis aeruginosa*. Konsekwencją tego stanu są zmiany w składzie zooplanktonu w którym dominują wrotki oraz wioślarki, a jedynie po wlewach pojawia się znaczna ilość widłonogów. W faunie dennej przeważają taksony słodkowodne - *Chironomidae*, *Chaoborus*, *Hirudinea* i *Gastropoda* oraz *Bivalvia*. Halofilnymi gatunkami są: *Neomysis integer*, *Rhydropanopeus harrisi* i *Polychaeta*. Bogactwo ichtiofauny odpowiada zasobności pokarmu w tych wodach - prócz leszcza, płoci i karpia dobre warunki bytowania mają tu drapieżniki takie jak sandacz, szczupak, węgorz i okoń. Poławiane są tutaj ryby morskie - parposz i płastugi.

Zalewy są akwenami bardzo bogatymi z punktu widzenia połowów ryb, jedynym zagrożeniem są zanieczyszczenia allochtoniczne wnoszone z całej zlewni rzeki.

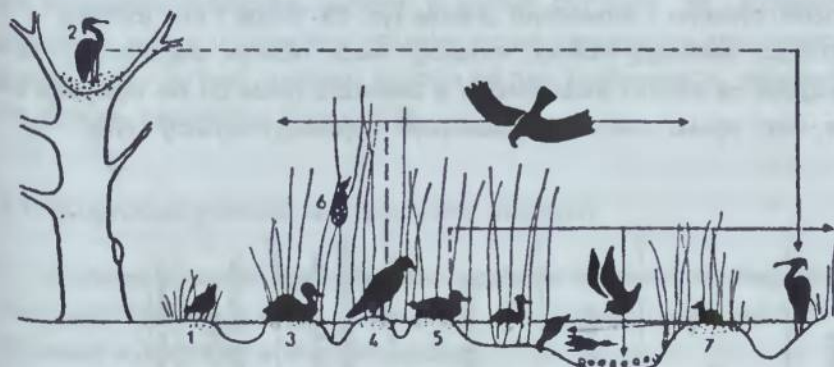
### 3.9. Bagna i torfowiska

Najliczniejsze na terenie całej Polski torfowiska niskie powstają przez gromadzenie się materii organicznej na dnie jezior, przy jednoczesnym silnym zarastaniu brzegów przez roślinność wynurzoną (ryc. 55). W pierwszej fazie jeziora zamieniają się w grząskie bagna, zmienia się pH środowiska, wody stają się kwaśne a jeziorne zespoły roślinne i zwierzęce ulegają przebudowie. Na bagnie rozrastają się welnianki, turzycy oraz mchy. Powstaje **torfowisko niskie**.

Identyczny proces następuje w dolinach wolno płynących rzek oraz w starorzeczach. Woda bogata w sole mineralne, dopływająca powierzchniowo lub przesączająca się z głębszych warstw gleby, stale zasila torfowiska niskie. Tereny te zwykle pokryte są mozaiką turzycowisk, trzcinowisk, szuwarów mozgowych, olsów i łozowisk. Turzycy (*Carex*) i trzciny (*Phragmites*) rosnące masowo na terenach bagiennych tworzą torfowiskowe zespoły turzycowe lub trzcinowe, a pozostałe zespoły roślinne oprócz turzyc obejmują również sity (*Juncus*), pływacz (*Utricularia*), tatarak (*Acorus*), pałkę (*Typha*), mannę (*Glyceria*), paprotniki i mszaki. Mało poznany świat zwierzęcy stanowią gąbki, stułbie, wrotki, pijawki, mięczaki i mszywioly oraz ptactwo wodne (ryc. 56).



Ryc. 55. Zatorfianie się jeziora i tworzenie się gleby torfowej (wg Stańczykowskiej 1975)

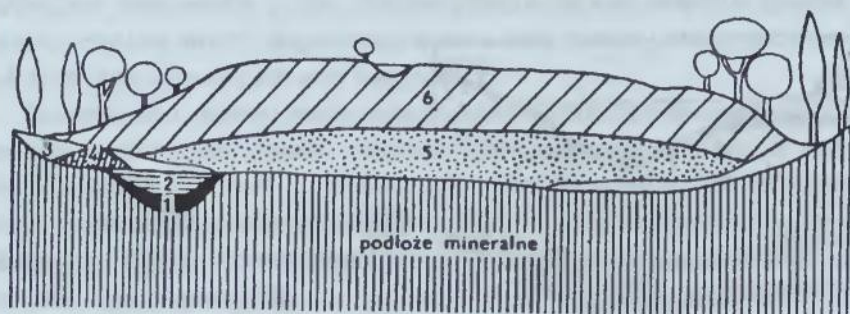


Ryc. 56. Ptaki błot i bagien (wg Dobrowolskiego 1971)

- 1 - mewy śmieszki - *Larus rudibundus*, 2 - czapla - *Ardea sp.*, 3 - kaczki właściwe - *Anas*,  
4 - błotniak - *Circus aeruginosus*, 5 - wróblowate - *Passeriformes*, 6 - perkozy - *Podiceps*,  
7 - kurka wodna - *Gallinula chloropus*;  
linia ciągła - miejsce żerowania, linia przerywana - miejsce gniazdowania.

**Torfowiska przejściowe**, mniej żyzne niż torfowiska niskie, stanowią etap przejściowy do torfowisk wysokich. Powstają one na skutek zmiany warunków środowiska, a zwłaszcza obniżania się wartości pH poniżej 5 turzycy zaczynają ustępować licznym skupieniom mchów torfowych (pionnika - *Polytrichum commune*, torfowca - *Sphagnum*), bagna zwyczajnego, wełnianki, wrzосу, rosiczki, żurawiny, łochy i modrzewnicy (ryc. 57). Skupienia torfowca są zwarte, a narastając z roku na rok w sposób ciągły, powodują podwyższenie torfowiska, które może dochodzić do kilku metrów, stąd nazwa **torfowiska wysokie**.

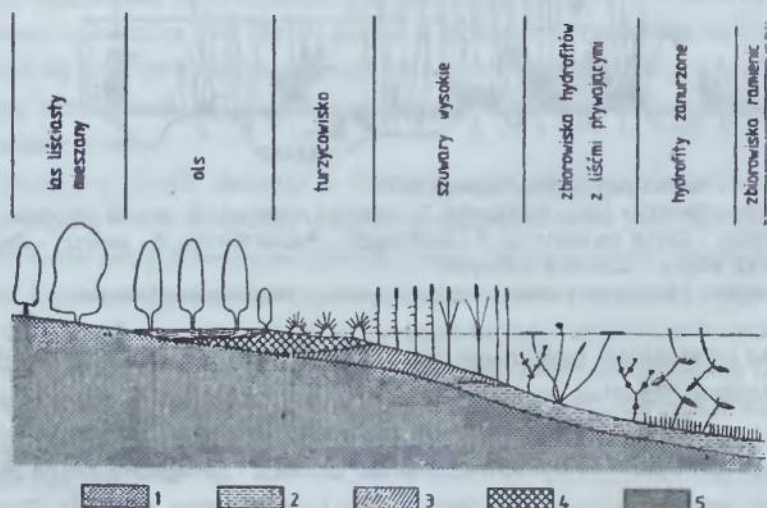




Ryc. 57. Przekrój przez torfowisko wysokie (wg Stańczykowskiej 1975)

1 - osad jeziorny, 2 - torf trzcinowy, 3 - torf turzycowy, 4 - torf leśny, 5 - starszy torf sfagnowy, 6 - młodszy torf sfagnowy. Na wierzchołku torfowiska jezioro (oczko torfowe).

Na torfowiskach wysokich, z powodu silnego zakwaszenia, braku bakterii nityfikacyjnych, słabego natlenienia, małych ruchów wody, przy dużych dziennych i rocznych wahaaniach temperatury, następuje ograniczenie procesów gnilnych, a resztki organiczne obumarłych torfowców ulegają zwęgleniu. Typowy układ strefowości roślin w jeziorze eutroficznym z podłożem torfowym i mineralnym ukazuje ryc. 58. Wodę i dno torfowisk w ich wczesnych stadiach zasiedlają wioślarki, widłonogi, wrotki, nicianie, skąposzczety i larwy ważek. Ze względu na warunki środowiskowe a zwłaszcza niskie pH nie występują tutaj gąbki, stułbie, wirki, pijawki, małżoraczki, wodopójki, mięczaki, mszywoły i ryby.



Ryc. 58. Strefowy układ roślinności brzegu jeziora eutroficznego (wg Styczyńskiego 1971)

1 - podłoże mineralne (marglowe), 2 - gytia, 3 - torf trzcinowy, 4 - torf turzycowy, 5 - torf olsowy.

#### 4. PRODUKCJA, TROFIA I ZANIECZYSZCZENIA W EKOSYSTEMACH WODNYCH

Woda od dawna jest wykorzystywana przez człowieka do zaspokojenia potrzeb bytowych, transportowych, energetycznych, rekreacyjnych, turystycznych i sportowych. Jednakże używanie jej najczęściej prowadzi do powstawania różnych rodzajów ścieków:

- 1) komunalnych (powstałych w osadach ludzkich);
- 2) przemysłowych (substancje chemiczne, wody podgrzane);
- 3) rolniczych (zawierających środki ochrony roślin, ścieki z farm, nawozy sztuczne i naturalne);
- 4) opadowych (splukujących pyły, metale ciężkie, dioksyne, furany, gazy - kwaśne deszcze).

Ładunki zanieczyszczeń w ściekach wyraża się głównie wskaźnikami *BZT<sub>5</sub>*, *ChZT* i zawiesiną. Wszystkie typy ścieków, niezależnie od tego, jak i gdzie powstały, są szkodliwe dla ekosystemu odbiornika. Zarówno w wodach płynących, jak i stojących natychmiast samoistnie zostaje uruchomiony naturalny proces zmniejszania zanieczyszczenia. Jest to proces bardzo złożony, ponieważ składają się nań: biodegradacja, sedimentacja, absorpcja, fotoliza, parowanie i bioprodukcja.

##### 4.1. Bioproduktywność ekosystemów wodnych

**Bioproduktywność**, czyli potencjalna możliwość środowiska wodnego do wyprodukowania pewnej biomasy w ciągu 1 dnia przez 1 m<sup>3</sup> wody lub na powierzchni 1 m<sup>2</sup> dna, jest procesem wytwórczym w zbiorniku wodnym.

W wyniku działalności organizmów autotroficznych powstaje materia organiczna wykorzystująca energię słoneczną i tlen, a zwłaszcza biogeny zawarte w wodzie, które dostały się do niej na drodze naturalnej lub wraz ze ściekami. Podczas procesu fotosyntezy producenci zapoczątkowują wytwarzanie i gromadzenie materii organicznej w środowisku wodnym. Powstawanie materii organicznej w wodzie określane jest jako proces produkcji pierwotnej (brutto i netto). W celu zmierzenia jej wielkości wykorzystuje się wiele metod, m.in.: metoda określania ilości węgla radioaktywnego (<sup>14</sup>C) w powstałych związkach organicznych, zużycia tlenu w procesie produkcji (metoda jasnej i ciemnej butelki), określenia ilości chlorofilu „a”.

Na podstawie wielu badań stwierdzono, że produkcja pierwotna różnych typów wód mieści się w granicach 0,01-24 gC/m<sup>2</sup>/24 h. Różnicowanie takie wynika przede wszystkim z naturalnych możliwości troficznych zbiornika, strefy klimatycznej i potencjału produkcyjnego hydrobiontów. Przykłady wielkości produkcji brutto różnych środowisk przedstawia tabela 17.

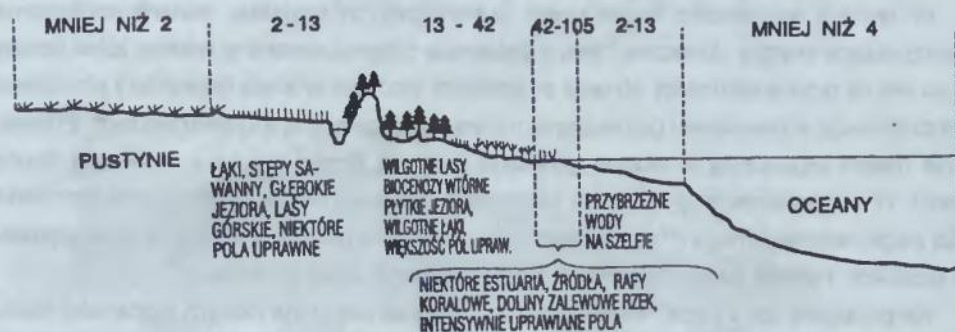


Tabela 17. Produkcja pierwotna brutto głównych typów systemów ekologicznych Ziemi (wg Duxbury, Duxbury 1984)

| Ekosystemy                        | Powierzchnia (mln km <sup>2</sup> ) | Produkcja pierwotna brutto (kJ/m <sup>2</sup> /rok) | Procent produkcji pierwotnej |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| Otwarte wody oceaniczne           | 326,0                               | 4190                                                | 32,4                         |
| Strefa przybrzeżna                | 34,0                                | 8380                                                | 6,6                          |
| Strefy prądów głębinowych         | 0,4                                 | 21140                                               | 0,2                          |
| Estuaria i rafy koralowe          | 2,0                                 | 83800                                               | 4,0                          |
| Razem ekosystemy morskie          | 362,4                               |                                                     | 43,2                         |
| Pustynie i tundra                 | 40,9                                | 838                                                 | 0,8                          |
| Biocenozy trawiaste i pastwiska   | 42,0                                | 10475                                               | 10,3                         |
| Suche lasy                        | 9,4                                 | 10475                                               | 2,4                          |
| Tajga                             | 10,0                                | 12570                                               | 3,0                          |
| Pola o uprawie prymitywnej        | 10,0                                | 12570                                               | 3,0                          |
| Wilgotne lasy strefy umiarkowanej | 4,9                                 | 33250                                               | 3,7                          |
| Pola uprawiane intensywnie        | 4,0                                 | 50280                                               | 4,7                          |
| Włecznie zielone lasy liściaste   | 14,7                                | 83800                                               | 28,9                         |
| Razem ekosystemy lądowe           | 135,0                               |                                                     | 56,8                         |

#### 4.1.1. Produktywność ekosystemów morskich

Większość ekosystemów wodnych cechuje stosunkowo niewielka biomasa jak również mała produkcja. Pomimo, że oceany zajmują 71% powierzchni Ziemi, zatrzymują 1/3 energii Słonecznej to dostarczają zaledwie 30% produkcji biosfery. Przyczyną jest szybki spadek intensywności oświetlenia w wodzie i ograniczone działanie niewielkiej koncentracji substancji biogenicznych w naturalnych ekosystemach wodnych. Produkcja pierwotna możliwa jest jedynie w prześwietlonych górnych warstwach pelagialu, uzależniona jest od termiki wody, zmian długości dnia, przebiegu prądów morskich i intensywność mieszania się wód. Wysokiej produkcji pierwotnej towarzyszą upwellingi, zimne prądy wynoszące znad dna ku powierzchni nagromadzone tam sole biogeniczne powstałe w wyniku naturalnych procesów rozkładu martwej materii organicznej (ryc. 59).



Ryc. 59. Zróżnicowanie produktywności pierwotnej brutto w głównych typach ekosystemów świata (wg Szczerbowskiego 1993)

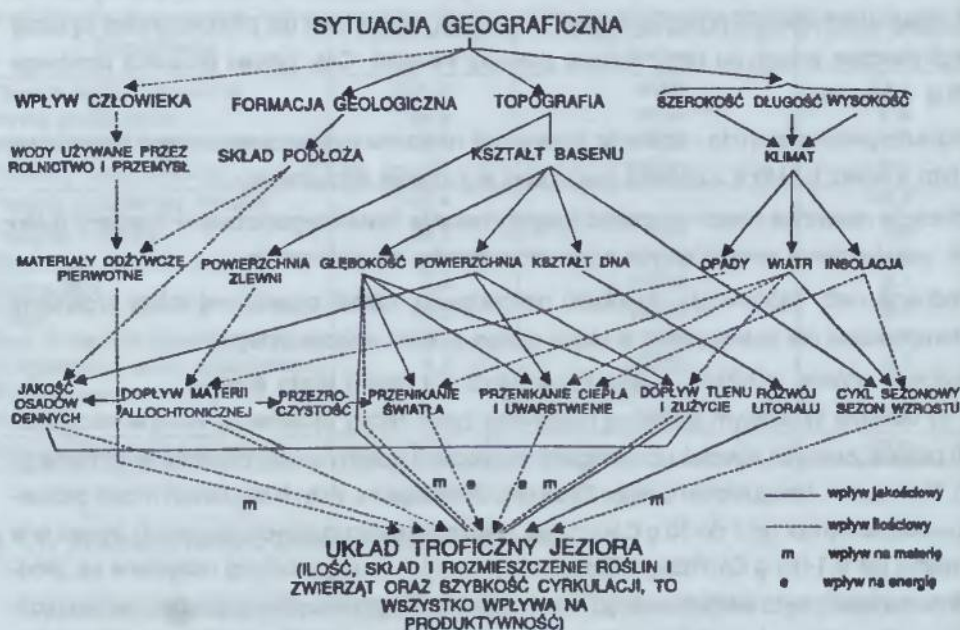
Proces produkcji zbiorników wodnych związany jest ze strukturą pokarmową ekosystemów oraz przepływem energii i przemianą materii ale szczególnie istotne dla produktywności są straty energii podczas przepływu przez kolejne poziomy troficzne. Cały proces produkcji przebiega według schematu:

- produkcja pierwotna brutto - szybkość fotosyntezy mierzona wytwarzaniem materii organicznej w tym również tej którą zużywają producenci w procesie oddychania,
- produkcja pierwotna netto - szybkość magazynowania materii organicznej w tkankach roślin bez uwzględnienia energii zużytej przez producentów na oddychania,
- produkcja netto biocenozy - szybkość gromadzenia materii organicznej której organizmy heterotroficzne nie wykorzystają w ciągu całego sezonu wegetacyjnego,
- produkcja wtórna - szybkość z jaką konsumenci (I-V rzędu) wiążą energię.

W oceanie światowym znane są najbardziej żyzne rejony łączone są z aktywnością zimnych prądów zwanych również upwellingami: Humboldta, Kalifornijskim, Labradorskim, Kanaryjskim, Gwinejskim, Benguelskim a także Zachodnio Australijskim. W tych obszarach morza produkcja pierwotna wynosi od 1 do 10 g C/m<sup>2</sup>/dzień, natomiast na pozostałych obszarach wynosi ona nie więcej jak 0,1-0,5 g C/m<sup>2</sup>/dzień. Często miejsca o tak niskiej produkcji nazywane są „wodnymi pustyniami”, są to wody otwartego oceanu Atlantyckiego i Pacyfiku gdzie żyje bardzo urozmaicony ale bardzo ubogi ilościowo zooplankton. Są inne rejony gdzie bioróżnorodność jest mała natomiast bogactwo ilościowe zooplanktonu jest znaczne. Relatywnie wysoką produkcją pierwotną cechują się obszary szelfowe i osiągają one średnie wartości 0,5-2,0 g C/m<sup>2</sup>/dzień. W morzach przybrzeżnych, zatokach i estuariach a zwłaszcza na szelfie w warstwie od 0-200 m, stosunkowo szybko następuje obieg materii i dlatego w epipelagialu powstaje ponad 80% biomasy. Wraz ze zwiększającą się głębokością zmniejsza się ilość produkowanej biomasy: na głębokości 100-200 m wynosi ona 1397 g/m<sup>2</sup>, w warstwie 200-500 m 239 g/m<sup>2</sup>, w warstwie 500-1000 m już tylko 43 oraz w warstwie 1000-2000 g/m<sup>2</sup> jedynie 13 g/m<sup>2</sup>, natomiast w abysalu jedynie < 1 % produkcji osiąganey w epipelagialu. W wodach nerytycznych i otwartych wodach oceanicznych istnieje wysoka, pozytywna korelacja między zawartością fito- i zooplanktonu, natomiast ta zależność w stosunku do fitoplanktonu i bentosu jest nieznaczna (ryc. 60). Wynika to faktu iż wraz z głębokością, zmniejsza się ilość światła wpływająca na produkcję pierwotną glonów planktonowych, który nie odgrywa ważniejszej roli w odżywianiu się bentosu.

Mając dane o wielkości **produkcji pierwotnej**, stosując odpowiednie formuły można obliczyć wielkość biomasy wyprodukowanej przez konsumentów (I-V rzędu), czyli określić wielkość **produkcji wtórnej**. Trzecim ogniwem funkcjonującym w każdej biocenozie są **reducenci**, czyli heterotroficzne mikroorganizmy, które redukują materię organiczną do postaci prostych związków organicznych. Powstałe w ten sposób biogeny są pochodzenia **autochtonicznego**. Produktywność biologiczna zbiornika jest więc procesem, w którym wytworzona zostaje pewna ilość materii organicznej na danej przestrzeni w odpowiednim czasie.





Ryc. 60. Zależności środowiskowe i ekologiczne w ekosystemach wodnych (wg Szczerbowskiego zmienione z Mikulskiego 1993)

W procesie produkcji pierwotnej synteza materii zachodzi przy wykorzystaniu energii promienistej, która w postaci energii chemicznej przepływa przez kolejne ogniwa łańcucha pokarmowego w ekosystemie. Wiadomo, że jedynie 2% energii świetlnej wiązane jest w procesie fotosyntezy, a przy przejściu przez każdy następny poziom troficzny przenosi się tylko 10% energii wyjściowej. Straty te związane są z metabolizmem, ale najwięcej energii organizmy zużywają na oddychanie. Energia chemiczna pokarmu przetworzona na energię cieplną ulega rozproszeniu i jest dla ekosystemu bezużyteczna. Znając wartość energii potrzebnej na procesy metaboliczne (oddychanie, wydzielanie, wydalenie, krwioobieg itd.) można wyliczyć produkcję ogólną - brutto i produkcję czystą - netto każdego ekosystemu.

W procesach produkcyjnych mórz i oceanów fitoplankton dostarcza ponad 90% pożywienia zwierzętom morskim. Najbardziej produktywne rejony morskie są tam, gdzie powstaje największa ilość biogenów wiązanych w procesie fotosyntezy, a więc w miejscach, gdzie występuje upwellingi i dywergencja. Wysokość produkcji pierwotnej w oceanach jest bardzo zróżnicowana i w samym tylko Atlantyku waha się od 0,02-0,03 g C/m<sup>2</sup>/dobę, w Morzu Sargassowym - do 3-5 g C/m<sup>2</sup>/dobę, u wybrzeży Namibii średnio dla całego oceanu - 190 mg C/m<sup>2</sup>/dzień. W Oceanie Spokojnym średnia produkcja pierwotna równa jest 127 mg C/m<sup>2</sup>/dobę. Najwyższą produktywność pierwotną na świecie mają wody Oceanu Indyjskiego - 222 mg C/m<sup>2</sup>/dobę.

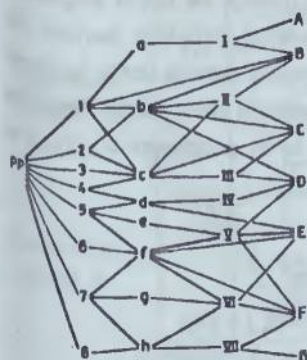
W jeziorach oligotroficznym strefy umiarkowanej produkcja pierwotna nie przekracza 100 mg C/m<sup>2</sup>/dobę, gdy tymczasem wody jezior eutroficznym osiągają wielkość produkcji pierwotnej 200-2000 mg C/m<sup>2</sup>/dobę.

W rzekach, bardzo niestabilnym biotopie, produkcja pierwotna jest znacznie mniejsza.

## 4.2. Rola i funkcjonowanie struktur troficznych

We wczesnym okresie historii badań limnologicznych istniało przekonanie, że duże i głębokie jeziora są najczęściej mniej produktywne w porównaniu do małych i płytkich zbiorników, zauważono, że istotną rolę odgrywa tu powierzchnia zlewni w stosunku do powierzchni jezior. Dopływ (i odpływ) biogenów, czas retencji a także powierzchnia akwenów miała wpływ na różnice ilościowe i jakościowe produkcji pierwotnej i wtórnej. Od warunków środowiskowych, a zwłaszcza niszy ekologicznej dominantów zależy struktura troficzna w zbiornikach wodnych. Powiązania troficzne organizmów wodnych są w zasadzie proste i linearne - łączą poszczególne gatunki producentów, konsumentów i reducentów, gdzie każde poprzedzające ogniwo troficzne jest pokarmem dla następnego (ryc. 61). Rozróżnia się trzy typy łańcuchów pokarmowych:

- 1) **roślinożerców** (producenci - konsument I rzędu),
- 2) **paszytów** (producenci - konsumenci - szereg paszytów),
- 3) **saprofagów** (producenci - drapieżcy - saprofity).

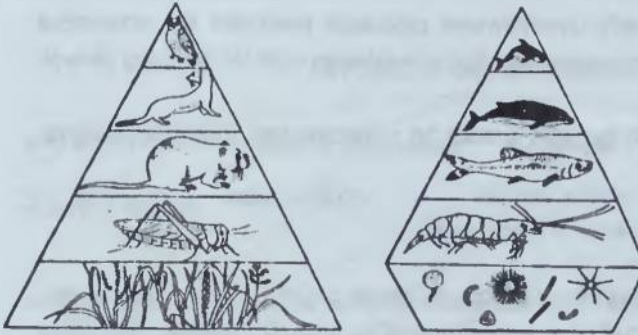


Ryc. 61. Hipotetyczna sieć troficzna w dowolnym biosystemie (wg Millera 1985)  
pp - producenci pierwotni, 1...8 fitofagi, a...h zoofagi I, I...VII zoofagi II, A...G zoofagi III.

Łańcuchy troficzne krzyżują się, łączą i rozgałęziają, często tworząc skomplikowane sieci zależności pokarmowych, które umożliwiają zamknięty obieg materii i przepływ energii w biocenozie.

Jednokierunkowy przepływ energii i krążenie materii są podstawowymi zasadami (prawem) ekologii, stosującymi się do wszystkich środowisk - wodnych i lądowych. Drugą zasadę ogłosił Lindeman w 1942 roku i nazwał zasadą „ekonomiki energii przyrody” - im bliżej początku łańcucha pokarmowego znajduje się konsument, tym dysponuje on większą ilością pokarmu i energii. Praktycznie oznacza to, że im zwierzę zajmuje wyższe piętro w łańcuchu pokarmowym,





Ryc. 62. Piramida biomasy dla zależności troficznych w ekosystemach lądowych (a) i wodnych (b) (wg Mullera 1985)

wym, ma znacznie mniejszą koncentrację pokarmu niż to zwierzę, które zajmuje niższą pozycję w łańcuchu.

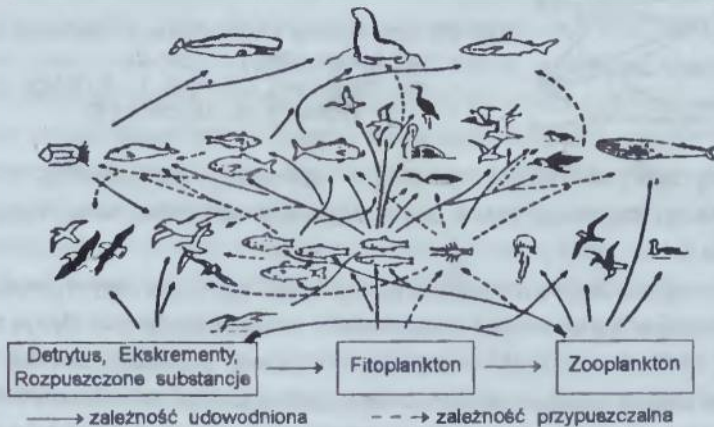
Elton w 1927 roku zwrócił uwagę na fakt że piramidy troficzne i łańcuchy pokarmowe nie mogą zawierać nieograniczonej liczby ogniw i że w naturze jest ich zwykle nie więcej niż 5-6 (ryc. 62).

Przykładowy prosty, mało skomplikowany łańcuch troficzny w morzu może wyglądać następująco:

*fitoplankton*  $\Rightarrow$  *zooplankton* (*Calanus finmarchicus*)  $\Rightarrow$  *makrela* (*Scomber scombrus*)  $\Rightarrow$  *pelamida* (*Sarda sarda*)  $\Rightarrow$  *delfin* (*Delphinus delphinus*)  $\Rightarrow$  *narwal* (*Monodon monoceros*)

W naturalnych biocenozach wymiana materii między organizmami żywymi a otoczeniem, ze względu na krzyżowanie się w wielu punktach łańcuchów pokarmowych, przebiega w układzie przypominającym sieć. Taki związek biocenotyczny Elton nazwał siecią pokarmową (ryc. 63).

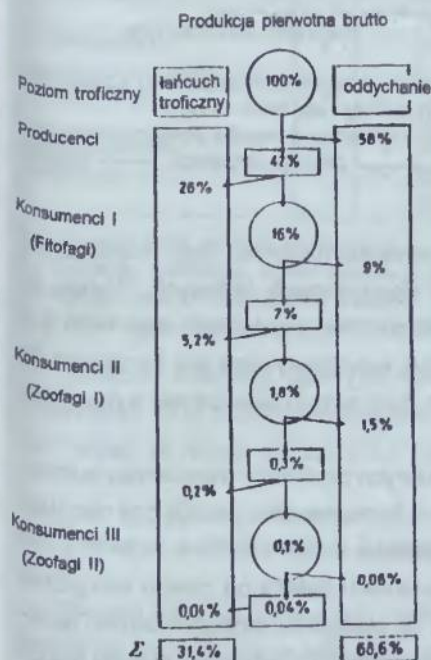
Dla przykładu sieci powiązań w rzece warunkują stosunki pokarmowe oraz zależność między gatunkami i czynnikami abiotycznymi. Jeżeli w wodzie rozwija się bujna roślinność powoduje to ograniczenie szybkości prądu wody w rzece, stwarza pomyślne warunki dla larw *Anopheles*, ale niekorzystne dla larw *Simuliidae*. Karpie chętnie zjadają obfite formacje plechowców, przez co niszczą kryjówki dla larw komarów z rodzaju *Anopheles*. Powstają więc warunki dla ryb drapieżnych które łatwiej mogą wyjadać larwy pozbawione ukrycia w fitobentosie rzeki.



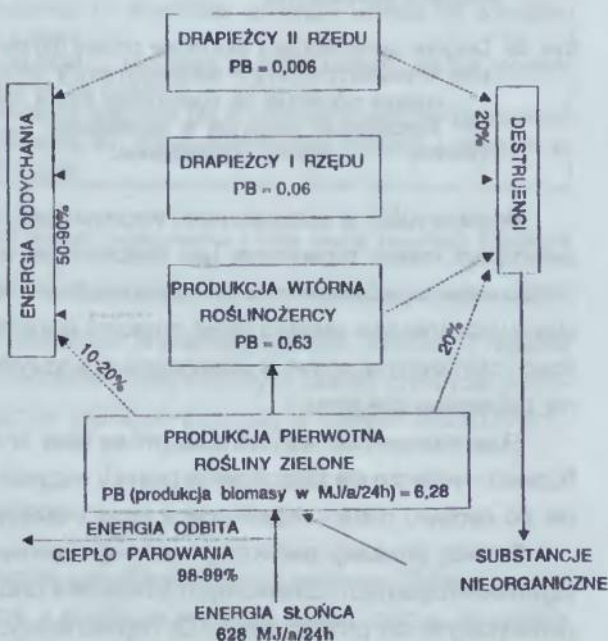
Ryc. 63. Sieć pokarmowa makrofauny pelagialu prądu Humboldta (wg Mullera 1985)

Im bardziej bogata jest biocenoza, tym bardziej skomplikowana jest sieć zależności pokarmowych. Sieć zależności pokarmowych w biocenozach jest uproszczoną ilustracją struktury troficznej biosystemu. W każdym biosystemie wyróżnia się organizmy, które odżywają się podobnym pokarmem i wówczas tworzą jednakowy poziom troficzny. Rośliny tworzą poziom autotrofów, zwierzęta roślinożerne - poziom roślinożerców (herbivora) czyli konsumentów I rzędu, zwierzęta drapieżne - poziom konsumentów II rzędu itd.

Zależności pokarmowe między organizmami różnych poziomów wiążą się z przepływem energii przez ekosystem (musi być ona uzupełniana dzięki stałemu dopływowi energii słonecznej) oraz krążeniem materii w obrębie ekosystemu (ryc. 64). W procesie mineralizacji uwalniane są składniki nieorganiczne ponownie wykorzystywane przez autotrofy. W ekosystemach wodnych i lądowych produkcja opiera się na dwóch procesach: obiegu materii i przepływie energii (ryc. 65).



Ryc. 64. Przepływ energii przez łańcuch pokarmowy saprobiontów (wg Mullera 1985)

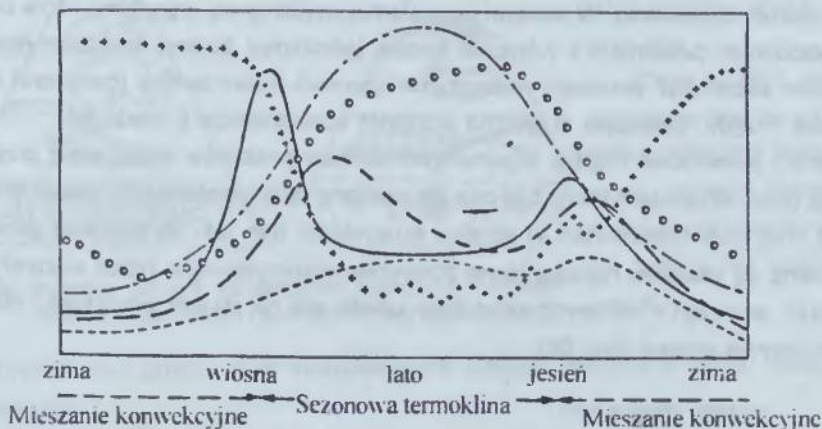


Ryc. 65. Struktura pokarmowa ekosystemu oraz przepływ energii i przemiana materii (wg Szczerbowskiego 1993)

Znaczna część roślinności produkowana w biosystemie nie jest wykorzystywana przez roślinożerców, obumiera i jest rozkładana przez mikroorganizmy stanowiące bazę pokarmową konsumentów wyższego rzędu. Mikroorganizmy w procesie biosyntezy wykorzystują tylko niewielką część produktów rozkładu materii organicznej. Intensywność procesów pro-



dukcji (pierwotnej i wtórnej) zmienia się w ciągu roku co wiąże się ze zmianami temperatury i zawartości biogenów w wodach morskich strefy umiarkowanej (ryc. 66).



Rys. 66. Diagram generalizujący sezonowe zmiany temperatury, biogenów, fitoplanktonu i zooplanktonu w powierzchniowych warstwach strefy umiarkowanej (wg Taita 1972)  
 - - - energia słoneczna na powierzchni morza, ooo temperatura warstw powierzchniowych,  
 +++ koncentracja biogenów w epipelagialu, — zasoby okrzemek, ——— zasoby zielenic, - - - zasoby zooplanktonu.

Biomasa roślin w ekosystemach wodnych jest niewielka, natomiast ilość dostarczanej zwierzętom materii organicznej jest podobna jak w ekosystemach lądowych. Wynika to z dużo większej intensywności metabolizmu fitoplanktonu. W ekosystemach jeziornych czy stawowych znacznie większa część produkcji pierwotnej wykorzystywana jest bezpośrednio przez roślinożerców, aniżeli w ekosystemach lądowych. Tym samym większe jest wykorzystanie pobranego pokarmu.

Ekosystemami samowystarczalnymi są takie, w których produkcja organizmów autotroficznych wystarcza dla zaspokojenia potrzeb wszystkich konsumentów. Istnieją one niezależnie od dopływu materii organicznej z innych ekosystemów.

Procesy produkcji pierwotnej i wtórnej w ekosystemach zależą od całego kompleksu czynników fizycznych i chemicznych środowiska oraz od stosunków biocenotycznych (antagonistycznych czy protekcyjnych). Do najważniejszych interakcji między populacjami dwóch gatunków należą (tab. 18):

**Neutralizm** - dwie populacje na siebie nie wpływają, brakuje interakcji, jest to zjawisko niezwykle rzadkie w przyrodzie.

**Mutualizm** - interakcje wzajemnie korzystne, obcowanie populacji stałe.

**Protokooperacja** - interakcja wzajemnie korzystna chociaż nie trwająca stałe.

**Komensalizm** - główny żywiciel nie ponosi bezpośrednich strat, komensal odnosi korzyści.

**Amensalizm** - zarówno jedna jak i druga populacja nie ponoszą szkody, ale nie osiągają korzyści.

**Konkurencja** - antagonistyczne populacje wzajemnie się ograniczają.

**Drapieżnictwo** - drapieżnik zabija ofiary i spożywa zdobycz.

**Pasożytnictwo** - pasożyt wykorzystuje populację żywiciela który ponosi straty.

Tabela 18. Zestawienie interakcji między populacjami dwóch gatunków (Odum 1982)

| Typ interakcji                                | Gatunek |   | Ogólny charakter interakcji                                                                     |
|-----------------------------------------------|---------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | 1       | 2 |                                                                                                 |
| Neutralizm                                    | 0       | 0 | populacje nie wpływają na siebie                                                                |
| Konkurencja typu bezpośredniego oddziaływania | -       | - | bezpośrednie wzajemne hamowanie rozwoju obu populacji                                           |
| Konkurencja o wykorzystanie zasobów           | -       | - | pośrednie wzajemne hamowanie, kiedy wspólne zasoby środowiska są ograniczone                    |
| Amensalizm                                    | -       | 0 | populacja I hamowania, brak wpływu na populację II                                              |
| Pasożytnictwo                                 | +       | - | populacja I - pasożytów zazwyczaj mniejsza niż populacja II - gospodarzy                        |
| Drapieżnictwo                                 | +       | - | populacja I - drapieżców zazwyczaj większa niż populacja II - ofiara                            |
| Komensalizm                                   | +       | 0 | populacja I - komensali - czerpie korzyści, ale nie wywiera wpływu na populację II - gospodarzy |
| Protokooperacja                               | +       | + | interakcje korzystne dla obu populacji, lecz nie nieodzwonne                                    |
| Mutualizm                                     | +       | + | interakcje są nieodzwonne dla obu populacji i obustronnie korzystne                             |

0 - Oznacza brak istotnej interakcji.

+

++ Oznacza ograniczenie wzrostu i innych cech populacji (ujemne wyrażenie dodane do równania wzrostu).

Nasilenie interakcji ujemnych lub dodatnich charakteryzuje stan ewolucji i rozwoju ekosystemu. Przy przewadze interakcji dodatnich zwiększających szansę przeżycia gatunków następuje rozwój ekosystemu. Ujemne interakcje powstają w nowych biosystemach.

### 4.3. Procesy eutrofizacji w hydrosferze

Mianem eutrofizacji określamy nadmierny wzrost trofii zbiornika wodnego. Zbiorniki wodne nadmiernie wzbogacone w sole mineralne, a zwłaszcza w związki azotu i fosforu, (na drodze naturalnej i sztucznej), nazywane są wodami **eutroficznymi**. Eutrofizacja jezior jest najczęstszym i niezwykle silnym antropogenicznym zakłóceniem funkcjonowania ekosystemów wodnych. W ostatnich dziesięcioleciach obserwuje się gwałtowne przyspieszenie eutrofizacji wód wskutek działalności człowieka. Substancje biogenne odprowadzane do wód ze ściekami komunalnymi i przemysłowymi, a specjalnie spływy wielkoobszarowe i ścieki z terenów rolniczych prowadzą do **zakwitów wody**. Antropogeniczny wzrost dopływu biogenów doprowadził do eutrofizacji bardzo dużych jezior (a także mórz czego przykładem są Bałtyk i Morze Kaspijskie) takich jak Erie (25800 km<sup>2</sup>) czy Ontario (24500 km<sup>2</sup>). Zagęszczenie glonów, jakie powstaje wówczas w wodach powierzchniowych jest widoczne gołym okiem i nadaje wodzie charakterysty-



czne zabarwienie. Podczas zakwitów w wodzie dominuje najczęściej jeden rodzaj glonów - sinice (*Cyanobacteria*), ale inne glony również występują, tyle tylko, że w niespotykanych normalnie ilościach. Tworzą się wówczas na powierzchni wody masowe zakwity. Duża masa glonów skutecznie hamuje proces fotosyntezy, do wody uwalnia się duża ilość toksycznych metabolitów i produktów rozkładu martwych glonów, jednocześnie pogorszeniu ulegają warunki tlenowe. Do glonów które powodują wydzielanie organicznych substancji psujących zapach i smak wody należą wiążące azot sinice z rodzajów *Anabaena* i *Aphanisomenon* jak również gatunki niezdolne do wiązania azotu cząsteczkowego - *Microcystis*, *Limnothrix* i *Planktothrix*.

**Eutrofizacja** jest procesem występującym wtedy, gdy w wodzie zwiększa się zawartość biogenów, w efekcie czego gwałtownie intensyfikuje się rozwój roślin wodnych (m.in. zakwity glonów), co prowadzi do nadprodukcji materii organicznej. Biogeny odprowadzane do wód ze ściekami komunalnymi, przemysłowymi oraz spływające z terenów użytkowanych rolniczo stają się powodem gwałtownych zmian ewolucyjnych zbiorników wodnych. Jeziora eutroficzne leżące wśród żyznych pól uprawnych mają rozwinięte płycizny przybrzeżne, bujny pas szuwarów i roślinności pływającej. Podstawowym objawem eutrofizacji w strefie litoralu jest jednak znaczne pogorszenie się warunków świetlnych dla pasa zanurzonych makrofity. Jeżeli zawartość biogenów w wodzie nadal wzrasta, to glony perofytonowe (epifity) bardzo bujnie porastają powierzchnie makrofity i nitkowate formy z rodzajów *Cladophora* i *Spirogyra* stopniowo zajmując ich miejsce. Dno takich jezior pokrywa roślinność podwodna, natomiast w toni wodnej unosi się dużo sestonu (plankton roślinny i zwierzęcy), który sprawia, że przejrzystość wód jest ograniczona do kilkudziesięciu centymetrów. Nadmiar biogenów i związków organicznych powoduje, że przy ich rozkładzie następuje duże zużycie tlenu, zahamowanie procesów mineralizacji, czego wynikiem jest szybkie starzenie się zbiornika. W następstwie obumierania roślin i zwierząt gromadzą się duże ilości mułu, pojawiają się saprobionty. Postępująca eutrofizacja często towarzyszy masowa śmiertelność ryb zwłaszcza zimą, gdy pod pokrywą lodową dochodzi do deficytów tlenowych, a latem w wyniku wzrostu pH związanego ze wzmożonym natężeniem fotosyntezy. Dotyczy to zwłaszcza zbiorników o dużej zawartości amoniaku w wodzie. Wzrostowi pH towarzyszy zmiana stanu równowagi w układzie jony amonowe - niezdysoncowany amoniak. Zbiornik przechodzi w stan dystrofii, zamieniając się w końcu w torfowisko.

W naturalnych zbiornikach oligotroficznym stosunek  $C:N:P = 600:20:1$  natomiast w zmineralizowanych ściekach komunalnych stosunek ten wynosi  $6:4:1$ . Glony potrzebują powyższych pierwiastków w stosunku  $40:7:1$ . Głównym naturalnym źródłem biogenów są ługowe gleby zlewni. Sztuczne zwiększenie ich ilości następujące poprzez ścieki i zanieczyszczenia atmosferyczne spowodowało eutrofizację niemal wszystkich zbiorników naturalnych. Niewłaściwie prowadzona polska gospodarka rolna, a zwłaszcza niska kultura upraw oraz złe stosowanie sztucznych nawozów mineralnych doprowadziły do katastrofalnego stanu zarówno wody limnetyczne, jak i morskie.

W wyniku zanieczyszczenia powietrza opady atmosferyczne stanowią źródło związków azotowych, a zwłaszcza amonowych. Ocenia się, że ilość związków azotowych pochodzą

cych z opadów atmosferycznych w rejonach rolniczych wynosi około 10 kg/ha, w rejonach przemysłowych – nawet ponad 20 kg/ha. Tą drogą do gleb i wody dostaje się średnio około 15 kg/ha związków azotowych.

Przez eliminację z wody soli biogenych można zmniejszyć i znacznie ograniczyć zjawisko eutrofizacji, zwłaszcza przez oczyszczanie ścieków. Znaczne zmniejszenie ilości fosforanów osiąga się przez stosowanie metody wytrącania ich w nierozpuszczalnych solach żelaza, wapnia i glinu. Dodanie chlorku żelazowego w czasie oczyszczania łatwo eliminuje ze ścieków ponad 90% fosforanów. Niestety trudniej jest usuwać azotany i sole amonowe, gdyż są one bardzo dobrze rozpuszczalne w wodzie, a stosowanie metod fizykochemicznych (alkalizowanie ścieków, wymiennicze jonowe) jest stosunkowo mało wydajne. W tym wypadku najskuteczniejszą i najefektywniejszą metodą jest biologiczna denitryfikacja azotanów, możliwe jest też użycie glonów jako eliminatorów soli biogenicznych. Dotychczas metody biologicznej walki z eutrofizacją stosowane są w punktowych źródłach zanieczyszczeń, znacznie trudniej jest eliminować rolnicze źródła eutrofizacji, które są typowym przestrzennym źródłem zanieczyszczeń.

#### 4.3.1. Samooczyszczanie wód

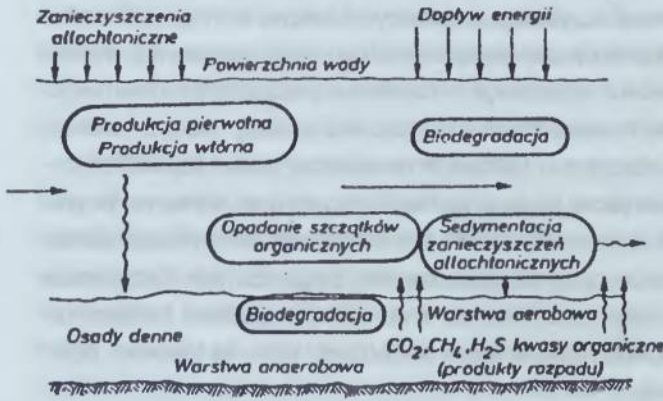
Substancje wprowadzane ze ściekami, zużywane przez organizmy żywe, są przerabiane na związki proste albo pozostają w wodzie lub na jej dnie w stanie nie rozłożonym. Materia organiczna dociera w ciągły lub pulsacyjny sposób do zbiornika wodnego i po pewnym czasie zostaje ostatecznie rozłożona i zmineralizowana. Ten proces określany jest jako sukcesja heterotroficzna która istnieje nie tylko w zbiornikach lenitycznych ale również w wodach lotycznych. Równolegle następują w wodzie zjawiska chemiczne i fizyczne dotyczące poszczególnych składników zanieczyszczeń, polegające na:

- 1) zubożeniu,
- 2) adsorpcji,
- 3) utleniania,
- 4) redukcji,
- 5) sedymentacji.

Cały kompleks zjawisk fizykochemicznych i biologicznych prowadzący do powolnego, stopniowego oczyszczenia wody z zanieczyszczeń nazywany jest **samooczyszczaniem** wód. Gdy w ściekach przeważają substancje organiczne, mogą one podlegać rozkładowi biologicznemu (z udziałem organizmów) i wówczas głównym czynnikiem oczyszczającym jest biocenoza zbiornika wody. Znacznie trudniej zachodzi samooczyszczanie, gdy ścieki zawierają substancje nie podlegające **biodegradacji** lub trudno ulegające rozkładowi przez hydrobionty. Proces samooczyszczania przebiega wtedy głównie na drodze reakcji chemicznych między składnikami wody a składnikami ścieków oraz na drodze **adsorpcji** zanieczyszczeń przez osady dennie i organizmy. Trzcina i sitowie są w stanie zatrzymać w swych tkankach znaczną ilość fenoli, biogenów, a jony



metali ciężkich wchodzi w połączenia metaloorganiczne z substancjami organicznymi, które są składnikami cząstek osadów dennych. Na tym polega zasada popularyzowanych obecnie biologicznych oczyszczalni trzcinowych i korzeniowych specjalnie wyselekcjonowanego szczepu



Ryc. 67. Schemat rozkładu substancji w rzece (wg Mierzińskiego 1991)

wierzby (nazywanej zupełnie nieślusnie wierzbą ekologiczną) lub przy pomocy zwyczajnej wierzby porastającej powszechnie brzegi wód i miejsca wilgotne.

Zwiększająca się z biegiem rzeki odległość od źródła emisji materii organicznej do wody, odpowiada coraz bardziej zaawansowanemu wiekowi płynącej masy wody. Odpowiada to przestrzennej sekwencji stadiów dojrzałości biosystemu w czasie co odzwierciedla przebieg sukcesji zilustrowanej na ryc. 67.

Heterotrofy są biologicznymi czynnikami procesów samooczyszczania, ponieważ eliminują ze środowiska nadmierne ilości pokarmu przez produkcję materii organicznej. Istota samooczyszczania zbiornika wodnego polega na rozkładzie materii organicznej, a następnie na mineralizowaniu jej przez heterotrofy. Ponieważ substancje organiczne występują zarówno w formie rozpuszczonej, jak i w formie cząstek, zawiesiny te mogą być przyswajane równocześnie przez mikroorganizmy (głównie przez bakterie i grzyby - tlenowe i beztlenowe) i przez plankton roślinny i zwierzęcy (pierwotniaki, wrotki, skorupiaki). Cząstki, które opadają na dno są eliminowane przez organizmy dennie (skąposzczęty, larwy owadów i inne).

Przemiana materii w zbiornikach naturalnych, jeszcze nie zanieczyszczonych, ma charakter heterotroficzny, ponieważ większość materii organicznej w ciekach pochodzi z łądu. Heterotroficzny charakter biocenozy wodnej zaznacza się jeszcze wyraźniej w ciekach zanieczyszczonych, kiedy dotychczasowa biocenoza ulega przebudowie strukturalnej. Wówczas dominującą grupą stają się konsumenci i reducenty. Substancje rozpuszczone są likwidowane przez organizmy odżywiające się na drodze osmozy - bakterie, grzyby, glony mikstotroficzne i niektóre wiciowce. Równocześnie szybko rozmnażają się konsumenci I rzędu (pierwotniaki i wrotki), którzy zjadają zarówno bakterie, jak i martwe cząstki zawiesiny organicznej. Ponieważ pierwotniaki i wrotki zjadają bakterie, nie mogą osiągnąć fazy maksymalnego wzrostu, czyli takiego wysycenia środowiska komórkarni, aby zaczęły się procesy starzenia. Stale pojawiające się nowe generacje heterotroficznych bakterii mineralizują rozpuszczone substancje organiczne.

W pierwszej fazie rozkładu ulegają białka i cukry proste, później tłuszcze, cukry złożone, takie jak pektyny i celuloza, a także inne substancje organiczne. Rozkład ten

Prowadzony jest przez bakterie i grzyby ale również mikstotroficzne glony. Jest to faza, w której materia organiczna stopniowo ulega mineralizacji do związków prostszych, przyswajalnych przez rośliny posiadające w swoich komórkach chlorofil. Rośliny stają się wówczas zespołem współuczestniczącym w samooczyszczaniu. Zbiornik zaczyna produkować własną materię organiczną. W tak zmienionej ilościowo i jakościowo strukturze biocenoza zawiera wszystkie elementy łańcucha pokarmowego:

- 1) producentów,
- 2) konsumentów,
- 3) reducentów (*destruentów*).

Dzięki procesowi samooczyszczania wytwarza się korzystny dla człowieka stan równowagi w biocenozie między doprowadzaną ilością zanieczyszczeń a możliwościami ich mineralizacji przez hydrobionty. W hydrochemii i hydrobiologii przyjmuje się, że rzeka potrafi oczyścić się sama gdy ilość ścieków organicznych w stosunku do czystej wody wynosi 1:50. Trudno jest jednak stale taki stosunek utrzymać, najczęściej jest on przekraczany. Doprowadzane ścieki z reguły przewyższają zdolność zbiornika do całkowitej ich mineralizacji, najczęściej szybko gromadzi się nie rozłożona materia organiczna i osadza na dnie lub pozostaje w wodzie w postaci roztworów koloidalnych (z zawiesiną zawierającą bakterie). Cechy fizyczne takiej wody łatwo rozpoznać po mętności, opalizowaniu, braku tlenu oraz po wydobywaniu się na powierzchnię bąbelczek gazu z osadów dennych. Proces samooczyszczania ulega całkowitemu zahamowaniu, zwłaszcza wówczas gdy ścieki zawierają substancje toksyczne, takie jak pestycydy, cyjanki, sole metali ciężkich, fenole, ponieważ jedynie organizmy żywe zdolne są do skutecznej likwidacji zanieczyszczeń.

#### 4.3.2. Oczyszczanie i rekultywacja

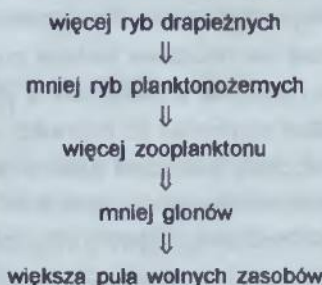
Nie tak dawno w Europie sztucznie użyźniano duże jeziora oligotroficzne dla podniesienia produkcji rybackiej wód. Nie upłynęło nawet pół wieku gdy okazało się, że większość zbiorników limnetycznych - zarówno lenitycznych jak lotycznych (zwłaszcza) uległa silnej eutrofizacji dzięki emisjom zanieczyszczeń (komunalnym, przemysłowym i rolniczym) wprowadzanym bez żadnych ograniczeń do wód otwartych. Szybko okazało się, że zasoby wodne są wyczerpalne i że zasobami wodnymi należy niezwykle ekonomicznie zarządzać. Do najważniejszych zadań w gospodarowaniu wodą należy pozyskiwanie odpowiedniej ilości i jakości wody pitnej dla potrzeb ludności, budowa kąpielisk, podejmowanie różnych działań mających na celu przywrócenie stanu pierwotnego zbiorników limnetycznych i morskich.

Ponieważ zbiorniki wodne nie mogły podołać z samooczyszczaniem emitowanych ścieków allochtonicznych, szczególnie aktualnym problemem dla człowieka stało się oczyszczanie wód z zanieczyszczeń antropogennych a w następnej kolejności rekultywacja wód i ochrona wód. Ochrona wód stosowana w obrębie misy jeziora jak i w ich zlewniach polega na próbach ograniczenia dopływu związków biogennych i organicznych do jezior. **Oczy-**

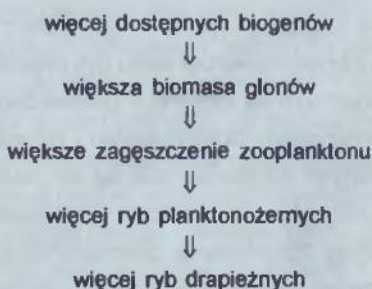


**szczenie** wód polega na usuwaniu ze środowiska nadmiaru biogenów a **rekultywacja** jest zespołem zabiegów (technicznych i biologicznych) mających na celu cofnięcie a przynajmniej zatrzymanie lub zwolnienie eutrofizacji zbiornika oraz przywrócenie wodom zdegradowanym zdolności użytkowych lub produkcyjnych. Pełna rekultywacja wód polega na ich oczyszczeniu i przywróceniu pierwotnych cech hydrobiologicznych, gospodarczych i rekreacyjnych poprzez zwiększenie dopływu czystych wód, natlenienie, usuwanie mułu z dna, wprowadzenie organizmów roślinożernych i inne zabiegi biomanipulacyjne. Biomanipulacja jest to jeden ze sposobów rekultywacji zbiorników wodnych, który pozwala osiągnąć poprawę stanu czystości wody przez sterowanie naturalnymi zależnościami troficznymi. Ta ingerencja może przebiegać od szczytu ku podstawie piramidy troficznej (top - down) i system ten nazywany jest kaskadą troficzną Carpentera, lub od podstawy łańcucha troficznego do jej szczytu (bottom - up).

Hipoteza top - down zakłada, że wartości biomasy sąsiadujących poziomów troficznych są ujemnie skorelowane i przebieg ich jest następujący:



W koncepcji kontroli skierowanej od podstawy łańcucha troficznego, biomasy wszystkich poziomów troficznych są dodatnio skorelowane i zależą od obfitości limitujących zasobów w środowisku:



Po kilkunastu latach prowadzenia doświadczeń trudno wybrać jedną z metod, decydują o tym: zawartość pierwiastków biogennych i obsada ryb. W dużej skali przestrzennej (porównanie jezior, modele eutrofizacji) strukturą biocenozy limnetycznych rządzą mechanizmy skierowane od podstawy, a w mniejszej skali przestrzennej (w granicach jednego zbiornika lub w mezosystemach eksperymentalnych) - od szczytu piramidy troficznej. W pewnych przypadkach nawet jednorazowa ingerencja w biosystemie może doprowadzić do długotrwałej poprawy stanu czy-

stości wód. Najważniejszym bowiem efektem biomanipulacji, niezależnie od kierunku działań (bottom - up czy top - down) jest zwiększenie przezroczystości wody, związana z mniejszym zagęszczeniem fitoplanktonu co jest widocznym efektem rekultywacyjnym.

W odróżnieniu od rekultywacji prowadzone są zabiegi restytucyjne polegające na odtworzeniu normalnego stanu ekologicznego zdegradowanym elementom przyrody ożywionej i nieożywionej zniszczonym przez rabunkową, nieracjonalną gospodarkę człowieka. W polskich rzekach prowadzi się zabiegi restytucyjne związane z przywróceniem do biosystemów wodnych bobra, jesiota i łososia.

Najskuteczniejszym sposobem walki z eutrofizacją jest ograniczenie dopływu antropogenicznych biogenów do jeziora lub rzeki. Pierwszym etapem jest redukcja dopływu ścieków - m.in. poprzez właściwe kompostowanie odpadów, które „normalnie” trafiają do sieci kanalizacyjnej a także przez zastępowanie fosforanów w detergentach przez inne związki o podobnych właściwościach piorących. W rolnictwie powszechnie ogranicza się stosowanie nadmiernej ilości nawozów sztucznych a zwłaszcza zwraca się uwagę na ich odpowiednie stosowanie. Niestety, są to jednak zabiegi i działania przynoszące efekty na które trzeba długo czekać, dlatego powszechnie w gospodarce wodą stosuje się radykalne odcinanie ścieków i ich oczyszczanie.

Takim zabiegiem, który stosowany jest od niedawna dla odcięcia dopływu ścieków wielkoobszarowych, jest kopanie wokół jeziora kanału (rowu opaskowego), który kieruje ścieki wprost do odpływu z jeziora. Zakłada się, że autochtoniczna produkcja pierwotna w cieku odgrywa mniejszą rolę niż w jeziorze i dopływ pierwiastków biogennych wywołujących produkcję pierwotną nie ma tak poważnych następstw, istnieje bowiem szansa na intensywne procesy samooczyszczania.

W prawidłowo zaprojektowanych oczyszczalniach ścieków odtwarza się kolejne etapy samooczyszczania zachodzące w warunkach naturalnych, tylko znacznie bardziej intensywnie i dzięki energii dostarczonej z zewnątrz znacznie szybciej. To co przebiega w oczyszczalni, znacznie wolniej dokonuje się w profilu pionowym jeziora stratyfikowanego oraz wzdłuż biegu rzeki.

Oczyszczanie ścieków zwykle przebiega w trzech etapach:

1. Mechanicznym - usuwanie dużych cząstek za pomocą urządzeń mechanicznych (m.in. kraty, piaskowniki, filtry)
2. Biologicznym - w warunkach tlenowych, osad czynny (mikroorganizmy heterotroficzne) rozkłada związki organiczne zawarte w ściekach
3. Chemicznym - wytrącanie fosforu (m.in. przy pomocy preparatu PIX produkowanego z odpadów poprodukcyjnych ZCh Police pod Szczecinem).

Zdegradowane środowisko wodne bardzo długo reaguje na zabiegi oczyszczania, mija wiele lat zanim koncentracja fosforu w jeziorze spadnie do pierwotnego poziomu. Buforem dla szybkiej rekultywacji są osady dennego, które w okresie obciążenia zbiornika dopływem ścieków deponowały fosfor. Na skutek zmniejszenia stężenia fosforu w limnionie ponad osadem, gradient dyfuzji staje się ostrzejszy i dochodzi nawet do przejściowego wzrostu wewnętrznego



ładunku fosforu. Dopiero po kilku latach dochodzi do sytuacji, że biomasa fitoplanktonu odpowiednio zmniejszy się ponieważ zmniejszyła się globalna ilość fosforu w wodzie. Przez zabiegi oczyszczania, podaż fosforanów zostaje tak dalece ograniczona że fosfor ponownie staje się pierwiastkiem ograniczającym. Zaobserwowano, że populacje ryb planktonożernych rozrastających się dynamicznie w okresie silnej eutrofizacji, jeszcze przez kilka lat wywierają silną presję na zooplankton (eliminując go). Powstaje sytuacja, w której ilość fitoplanktonu uwalnia się do środowiska bez żadnej lub pod niewielką presją roślinożerców.

Kiedy reakcja zbiornika na procesy oczyszczania (zmniejszenie spływów wielkoobszarowych, oczyszczanie ścieków komunalnych, przemysłowych itp.) jest zbyt powolna wówczas sięga się po radykalne narzędzia rekultywacyjne. Zabiegi te polegają między innymi na zintensyfikowaniu eksportu biogenów ze zbiornika, czasowym unieruchomieniu biogenów w osadach dennych oraz na utrudnieniu i spowolnieniu wbudowywania pierwiastków biogennych w biomase gónów i roślin naczyniowych.

W jeziorach stratyfikowanych koncentracja biogenów jest wyższa w hypolimnionie niż w epilimnionie. Zwykle ciekły wypływający z jeziora wyprowadzają stosunkowo ubogą w biogeny wodę z epilimnionu. Można jednak ten odpływ częściowo lub całkowicie odciąć a zastąpić go równie wydajnym ilościowo odpływem hypolimnetycznym, wówczas eksport pierwiastków biogennych z jeziora wydatnie wzrośnie. Taki sposób był podstawą konstrukcji służącej do odprowadzania wód z hypolimnionu do cieku wyprowadzającego z jeziora, opartej na zasadzie syfonu, którego otwór ssący leży nad dnem w hypolimnionie. Ten pomysł znany pod nazwą *metoda Olszewskiego*, lub *selektywne odprowadzanie wód hypolimnionu* był zrealizowany w 1956 roku po raz pierwszy na świecie w jeziorze Kortowskim koło Olsztyna. Było to pierwsze na świecie praktyczne działanie rekultywacyjne w naturalnym zbiorniku wodnym. Jak podaje Mientki (1994), rurociąg Olszewskiego zastosowano poza granicami Polski m.in. na jeziorach Piburger See i Reither See w Austrii, Arendsee i Grebner See w Niemczech, Mauensee i Wilersee w Szwajcarii, Damman i Kakserranjarvi w Finlandii, Taushawa Lake w Kanadzie oraz Russel i Sheridan w Stanach Zjednoczonych. Na jeziorze Starodworskim w Olsztynie wdrożono po raz pierwszy w Polsce metodę sztucznego napowietrzania wód jeziora, przy pomocy polskich urządzeń do wprowadzania sprężonego powietrza do hypolimnionu (urządzenia te znane były pod nazwą „ekoflox”).

Usuwanie wód hypolimnionu ma jednak niepożądane efekty uboczne:

- woda hypolimnetyczna cuchnie często siarkowodorem zgromadzonym w odtlenionych wodach głębinowych,
- zbyt silny odpływ może spowodować obniżenie się warstwy skoku termicznego co w konsekwencji może prowadzić do wzrostu temperatury i wzmożonego wyczerpania tlenu w hypolimnionie.

W osadach dennych i hypolimnionie można doprowadzić do poprawy stosunków redoks. Praktykuje się to poprzez bezpośrednie utlenianie osadu, napowietrzanie hypolimnionu (specjalne pompy głębinowe powietrzne, ekofloksy) oraz iniekcje azotanów do osadu.



Powstające podczas wtłaczania obfitującej w tlen wody powierzchniowej do hypolimnionu wymuszone intensywne mieszanie podczas „stagnacji letniej” powoduje nadmierną podaż pierwiastków biogenych z hypo- do epilimnionu. W tej sytuacji najlepsze sukcesy osiągane są poprzez powolne mieszanie, częste zmiany warunków w czasie wzrostu glonów a zwłaszcza wolno rosnących sinic, powoduje ograniczenie ich rozwoju, a skład gatunkowy fitoplanktonu przesuwa się w pożądanym kierunku szybko rosnących i chętnie zjadanych glonów nanoplanktonowych lub szybko opadających okrzemek.

Obecnie w Polsce metodą sztucznego napowietrzania bez destratyfikacji (natlenianie hypolimnionu) rekultywuje się następujące jeziora Miłki k. Giżycka, Kierskie k. Poznania, Jaroszewskie k. Sierakowa, Zamkowe k. Wałcza, Lidzbarskie k. Lidzbarka Welskiego, Klasztorne Małe w Kartuzach, Starodworskie w Olsztynie, a metodą sztucznego napowietrzania z destratyfikacją termiczną jeziora Starodworskie w Olsztynie, Mutek k. Reszla, Długie k. Olsztyna, Skąpe woj. Toruńskie, Kolbudy woj. Gdańskie, Łąckie woj. Płockie, Karczemne w Kartuzach oraz Komurzyno. Usuwanie hypolimnionu stosuje się od ponad 41 lat w jeziorze Kortowskim w Olsztynie a usuwanie osadów dennych z jeziora Mogileńskiego w Mogilnie (Lossow 1994).

Jak podaje Lossow (1994) skuteczność działania stosowanych w wielu krajach zabiegów rekultywacyjnych jezior jest jednak ciągle jeszcze zbyt niska, jest to ciągle zabieg ryzykowny i jednocześnie bardzo drogi.

Do biologicznych metod rekultywacyjnych zaliczamy różnego rodzaju zabiegi wyprowadzające poza obręb misy jeziora, nadmiernej biomasy roślin wyższych (koszenie szuwarów i oczek), sestonu, wprowadzanie ryb roślinozernych (amur biały, tołpyga pstra i tołpyga biała) oraz biostruktury czyli specjalne sztuczne podłoża umieszczane w toni wodnej rzek, kanałów, jezior a także zbiornikach doczyszczających w biologicznych oczyszczalniach ścieków. Metody biologiczne nie są w stanie podjąć oczyszczeniu dużych ilości silnie zanieczyszczonych ścieków, są one jednak niezbędnymi działaniami wspomagającymi metody techniczne. Służą także stabilizacji osiągniętego polepszenia stanu trofii zrehabilitowanych jezior.

Przykładem aktywnych działań rekultywacyjnych w zdegradowanym środowisku morskim, jest tworzenie sztucznego podłoża dla autochtonicznych biofiltratorów w morzu, przy czym te biostruktury nazywane są powszechnie na całym świecie sztucznymi rafami. Opis pierwszej sztucznej rafy na Bałtyku, eksperymentu prowadzonego przez Zakład Ekologii Morza i Ochrony Środowiska Akademii Rolniczej w Szczecinie, znajduje się poniżej.

Stały wzrost allochtonicznych zanieczyszczeń powoduje degradację biotycznych i abiotycznych elementów ekosystemu przybrzeżnych wód Bałtyku (Larsson, Elmgren, Wulff 1989, Wulff, Stigebrandt and Rahm 1990). Główny Urząd Statystyczny (1992) podał, że tylko w 1991 roku ze zlewni polskich rzek o powierzchni 341100 km<sup>2</sup> spłynęło do Bałtyku 222171 ton azotu całkowitego oraz 21380 ton fosforu ogólnego. Ładunek zanieczyszczeń wnoszony przez Wisłę i Odrę stanowi odpowiednio 55% i 45%. W ostatnich dwóch latach, jak podawała prasa, znacznie spadła ilość biogenów wprowadzanych tymi rzekami do morza ale jest to tylko efekt zmniejszonej produkcji i popytu na nawozy sztuczne w Polsce.



Przez wiele lat do Bałtyku odprowadzano zbyt duży ładunek zanieczyszczonych wód (zanieczyszczenia komunalne, przemysłowe i rolnicze a wreszcie transgraniczne) czego efektem jest silna eutrofizacja i znaczny wzrost makro-, mikroelementów, substancji toksycznych oraz ropopochodnych w wodach strefy przyujściowej Południowego Bałtyku (Tadajewski, Knasiak, Mutko 1989, Report 1989, Chojnacki 1989). Spadła mikrobiologiczna jakość wód (Ceronik 1989), zmianom uległa struktura taksonomiczna i przestrzenna zooplanktonu, bentosu i ryb (Chojnacki 1986, 1987, 1991) a w efekcie zmianom uległa struktura i wielkość połowów ryb prowadzonych w strefie przybrzeżnej (Bojanowski, Szymanowicz 1989). Prowadzone obserwacje niestety nie zmieniły stanu Zatoki Pomorskiej i nie zatrzymały postępujących procesów degradacji. Opierając się na zachęcających wynikach rekultywacyjnych uzyskiwanych w Europie Zachodniej ze sztucznym podłożem wprowadzanym do morza Śródziemnego, Północnego i Egejskiego (Doumenge 1986, Relini 1986), w Bałtyku podjęto próby zastosowania tej biotechniki polegającej na wykorzystaniu właściwości filtracyjnych biofauingu autochtonicznego (Luther 1990, Chojnacki 1991, Chojnacki 1993). Metoda ta stosowana jest z powodzeniem od wielu lat w morzach Japonii, Chin, Korei, USA a także w Italii, Wielkiej Brytanii, Francji i Hiszpanii jako programy narodowe zwiększające bioróżnorodność i produkcję biologiczną wód morskich. U podnóża Wolińskiego Parku Narodowego na Zatoce Pomorskiej od 26 czerwca 1990 roku, funkcjonują dwa eksperymentalne poligony ze sztucznymi rafami, jeden w odległości 0,3 Mm a drugi 6 Mm od brzegu na głębokości odpowiednio 9 i 12 m. Substratem stanowiącym podłoże dla mikro- i makrobiofauingu morskiego są elementy betonowe, rury plastikowe oraz zużyte opony samochodowe. Sztuczne rafa są kontrolowane (zależnie od warunków pogodowych) kilka razy w ciągu roku przez pletwonurków, pobierane są z powierzchni sztucznych substratów próby bentosu oraz próby hydrochemiczne, mikrobiologiczne i toksykologiczne.

Analiza materiału biologicznego wykazała, że najchętniej zasiedlanym typem sztucznych raf w południowym Bałtyku na obu poligonach były konstrukcje w kształcie gwiazdy i piramidy, ale największą efektywność procesu sukcesji wykazywała rafa położona w odległości 6 Mm od brzegu na głębokości 12 m. Organizmem dominującym w procesie kolonizacji był *Mytilus edulis* - omulek bałtycki a następnie *Balanus improvisus* - pąkla bałtycka, a najczęściej występującymi subdominantami były *Amphipoda*, *Isopoda* i *Polychaeta* oraz *Turbellaria*. Eksperyment potwierdził w pełni efektywność funkcji filtracyjnych sztucznych raf, nawet przy bardzo drastycznych kierunkach sukcesji, kiedy zagęszczenie dominujących biofiltratorów z okresu pionierskiego w stosunku do stadium ustabilizowanego, spada 20-krotnie. Sztuczne rafa wydają się być dobrym medium do rekultywacji biotycznych i abiotycznych elementów zdegradowanych ekosystemów przybrzeżnych w warunkach morza Bałtyckiego.

#### 4.3.3. Monitoring środowiska wodnego

Badania ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych z obszaru Polski realizuje się w ramach międzynarodowego monitoringu Bałtyku, natomiast ocenę stanu zanieczyszczenia wód wyraża się klasie czystości odpowiadającej ustalonym normom jakościowym. Klasyfikację czystości wód prowadzi się według trzech kryteriów:

- fizykochemicznego opartego na 23 cechach fizykochemicznych wody,
- biologicznego (wartość miana Coli i indeks saprobowości),
- statystycznego, polegającego na zastosowaniu metody gwarantowanych stężeń zanieczyszczeń Nesmeraka.

Stosowane w Polsce klasy „czystości wód” wyrażają różnicę jakości wody w cieku w stosunku do stanu naturalnego (normalnego), spowodowaną wpływami antropogennymi. Najczęściej stosowana jest czterostopniowa skala czystości wody od I klasy - wody bez zanieczyszczeń do IV klasy - wody silnie zanieczyszczone, pozaklasowe. Wbrew pozorom określenie jakości wody nie jest proste. Z pewnością najbardziej precyzyjnych danych dostarczyłyby wskaźniki chemiczne i fizyczne jakości wody. Obciążenie ściekami jest jednak bardzo nierównomierne i zmienne w czasie, nawet w rytmie dobowym. Jeżeli próbki wody do analizy są pobrane w nieodpowiednim czasie, możemy popełnić błąd w klasyfikacji. Jeśli wybrane parametry chemiczne analizuje się w zintegrowanej próbie, która odpowiada pewnemu przedziałowi czasowemu, sezonowi klimatycznemu, wówczas zdarzenie epizodyczne, często nawet o wymiarze katastrofalnym, może zostać przeoczone. Najczulszym wskaźnikiem jakości wody są jednak organizmy które w określonych warunkach bytują, mają znane optima tolerancji ekologicznej i jeżeli przebywają w warunkach silnego zanieczyszczenia - albo przenoszą się w inne miejsce albo giną. Hydrobionty z których potrafimy wydzielić organizmy wskaźnikowe (szczególnie czułe na zmiany środowiska) przebywając w określonych warunkach dość długo odbierają nawet minimalną zmienność warunków środowiskowych poprzez swoje reakcje i zachowanie. Nienaturalne reakcje hydrobiontów a zwłaszcza ich długotrwałe zachowanie pozwala na wnioskowanie o jakości wody. Takim najczęściej stosowanym indeksem jakości wody jest wskaźnik saprobowości który omówiony zostanie w następnym rozdziale.

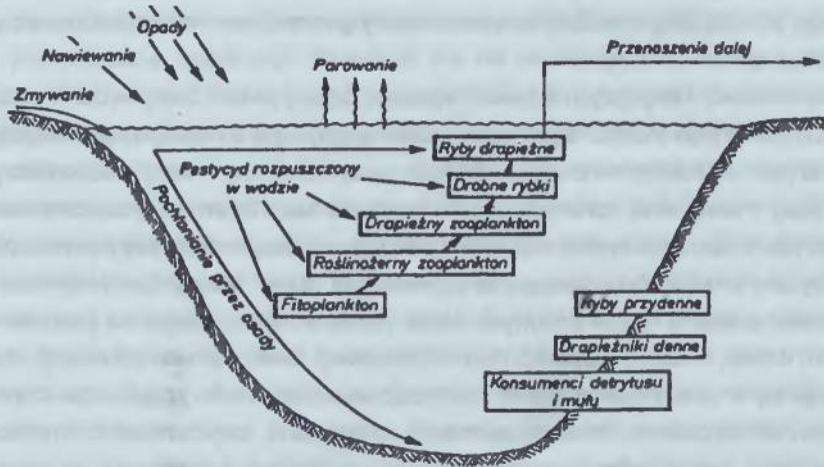
Szczególnie niebezpieczne w wodzie są pestycydy, herbicydy i fungicydy stosowane do zwalczania wszelkiego rodzaju szkodników, ponieważ ulegają bioakumulacji, tzn. gromadzeniu się w ciele żywych organizmów. Najbardziej trwałe okazał się DDT, za pomocą którego zniszczono niemal całkowicie roznosicieli zimnicy i duru plamistego.

Okazało się jednak, że ptaki zjadające bezkręgowce i wytrute owady zaczęły masowo ginać lub ciężko chorować. Powszechne stosowanie DDT doprowadziło do częściowego uodpornienia niemal wszystkich owadów (w tym i szkodników) na ten środek (tab. 19). Od ponad 20 lat wydano absolutny zakaz stosowania tego pestycydu, ale jeszcze teraz w ciele ptaków, ssaków łownych, ssaków domowych i ryb znajdują się znaczne jego ilości niemożliwe do usunięcia. Na rycinie 68 przedstawiono schemat krążenia pestycydów w zbiornikach stojących.



Tabela 19. Dopuszczalne stężenie niektórych pestycydów w wodzie do picia (Mierzwiński 1991)

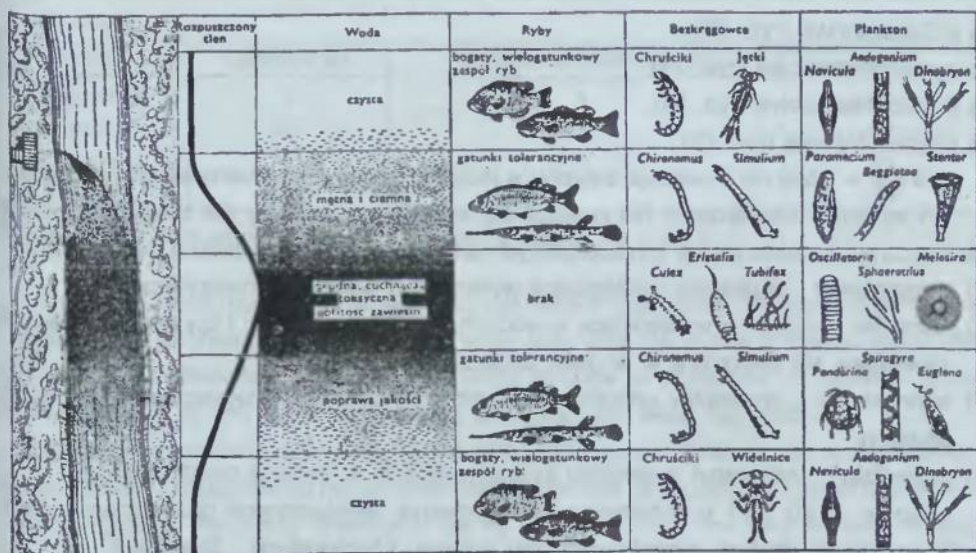
| Nazwa pestycydu | Dopuszczalne stężenie pestycydów ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) |       |                |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|-------|----------------|
|                 | w Polsce                                                       | w USA | wg zaleceń WHO |
| Lindan          | 40                                                             | 4     | 3              |
| DDT             | 30                                                             | -     | 1              |
| 2,4-D           | 100                                                            | 100   | 100            |
| Metoksychlor    | 20                                                             | 100   | 30             |
| Toksafen        | 5                                                              | 5     | brak danych    |



Ryc. 68. Schemat krążenia pestycydów w zbiornikach stojących (wg Mierzwińskiego 1991)

#### 4.4. System saprobów

Monitorowanie wód stosowano od dawna, ale otrzymywane wyniki informowały jedynie o strukturze ilościowej lub jakościowej hydrobiontów w zależności od jakości wody - im więcej było w niej zanieczyszczeń i ścieków, tym trudniej było porównywać ze sobą otrzymane wyniki. Dopiero Kolkwitz i Marsson w latach 1908-1910 opracowali zasady wykorzystania danych biologicznych do oceny jakości wody. System ten nazwany został systemem saprobów i od tego czasu doskonalono wykaz gatunków roślin i zwierząt, które najczęściej lub z reguły występują w wodach o różnym stopniu zanieczyszczenia (ryc. 69).



Ryc. 69. Linia tlenowa w rzece zanieczyszczonej oraz zmiany w biocenozie pod wpływem ścieków (wg Oduma 1982)

Rozwinęła się też nauka określana jako **saprobiologia** (z gr. *sapros* - gnijący) albo **biologia ścieków**, której zadaniem jest poznanie, ograniczanie i usuwanie zanieczyszczeń metodami biologicznymi, chemicznymi i technicznymi. Wody zawierające dużą ilość biogenów nazywa się wodami:

- 1) **eutroficznymi**,
- 2) **politroficznymi**,
- 3) **hypertroficznymi**,

ale równie dobrze moglibyśmy je określić wodami zanieczyszczonymi. W sytuacji, gdy następuje tak duża kumulacja materii organicznej, że procesy obiegu materii są zahamowane, stan ten określamy **saprotrofią** lub **gniciem**. Tak więc o zbiorniku **saprotroficznym** mówimy wtedy, gdy procesy destrukcji (rozpadu lub **saprobii**) przeważają nad procesami produkcyjnymi, czyli **trofią**. Wspomniany na początku system saprobów Kolkwitza i Marssona opiera się na podziale organizmów na 4 grupy:

- 1) **polisaproby** - żyjące w wodach silnie zanieczyszczonych;
- 2)  **$\alpha$ -mezosaproby** - występujące w wodach bardzo zanieczyszczonych;
- 3)  **$\beta$ -mezosaproby** - występujące w wodach średnio zanieczyszczonych;
- 4) **oligosaproby** - żyjące w wodach mało zanieczyszczonych.

Wszystkie organizmy, jakie występują w zbiornikach zupełnie nie zanieczyszczonych nazywane są katarobami. Grupy tych organizmów występują w środowisku wodnym w zależności od charakteru procesów rozkładu, stężenia zanieczyszczeń, ilości tlenu itp.

Strefy zanieczyszczonych zbiorników wodnych, w których występują podane wyżej organizmy saprobowe, dzielimy odpowiednio na strefy:



- 1) polisaprobową (ryc. 70),
- 2)  $\alpha$ -mezosaprobową (ryc. 71),
- 3)  $\beta$ -mezosaprobową (ryc. 72),
- 4) oligosaprobową (ryc. 73).

Strefę, w której nie występują saproby, a jedynie kataroby, nazywamy strefą katarobową.

W systemie saprobowym nie znalazły się wszystkie organizmy, ale biorąc pod uwagę ekologiczną charakterystykę poszczególnych gatunków organizmy można podzielić na:

- 1) **saprobionty** - organizmy występujące wyłącznie w wodach zanieczyszczonych;
- 2) **saprofile** - organizmy występujące w wodach zanieczyszczonych i czystych, lecz licznie rozwijające się zwłaszcza w wodach zanieczyszczonych;
- 3) **saprokseny** - organizmy unikające wód zanieczyszczonych, występujące w wodach czystych;
- 4) **saprofoby** - (**kataroby**) organizmy żyjące wyłącznie w wodach czystych.

Tabele 20 i 21 przedstawiają występowanie wymienionych grup organizmów w poszczególnych strefach saprobowych (wg systemu Fjerdingstada i Śladecka).

Tabela 20. Ekologiczne grupy organizmów w poszczególnych strefach saprobowych (Styczyński 1971)

| Strefa                  | Saprobionty               | Saprofile                   | Saprokseny            | Saprofoby        |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|
| Polisaprobowa           | panują wyłącznie          | nieliczne                   | nie występują         | nie występują    |
| $\alpha$ -mezosaprobowa | nieliczne                 | osiągają maksimum rozwoju   | nieliczne             | nie występują    |
| $\beta$ -mezosaprobowa  | znikają prawie całkowicie | występują licznie nieliczne | pojawiają się         | nie występują    |
| Oligosaprobowa          | nie występują             | nie występują               | panują wyłącznie      | pojawiają się    |
| Katarobowa              | nie występują             |                             | występują spordycznie | panują wyłącznie |

Organizmy saprobowe zestawiano w różne zespoły zbiorowisk określające strefy saprobowe, obok saprobowości wprowadzono ocenę stanu toksyczności, radioaktywności, stosunku produkcji do oddychania (P/R), a także BZT<sub>5</sub> w jednym systemie.

W celu określenia wskaźnika saprobowości pobierana jest reprezentatywna próbka z określonego miejsca cieku. Organizmy te są oznaczane z możliwie największą precyzją i określana jest ich liczebność na jednostkę objętości lub powierzchni dna. Każdy znaleziony gatunek jest kwalifikowany na podstawie katalogu wg Stopnia saprobowości (s) (np. Żelinka i Marwan 1961 za Lampertem i Sommerem 1996). Liczebność lub frekwencję osobników każdego gatunku (H) mnożymy przez stopień saprobowości. Do obliczeń powinno się brać pod uwagę gatunki, które osiągają porównywalne zagęszczenie (jeżeli nie wówczas w obliczeniach uwzględniamy zakres zmienności zagęszczenia w skali kilkustopniowej). Wskaźnik saprobowości oblicza się wg poniższej formuły:

$$S = \frac{\text{Suma } s \cdot h}{\text{Suma } h}$$

## Przykład:

| Takson    | Częstość (h) | Stopień saprobowości (s) | s·h |
|-----------|--------------|--------------------------|-----|
| Gatunek A | 8            | 4                        | 32  |
| Gatunek B | 33           | 2                        | 66  |
| Gatunek C | 7            | 3                        | 21  |
| Łącznie   | 48           |                          | 119 |

Obliczona wartość S wyniesie dla ww. przykładu:  $S = 119 : 48 = 2,4$

Z powodu małej reprezentatywności prób, trudności w dokładnej identyfikacji gatunków i ograniczonej przydatności wskaźnikowej wielu gatunków nie trzeba podawać wskaźnika saprobowości w dokładnością wyższą niż jedno miejsce po przecinku. W zakresie przejściowym można opisać wynik jako stopień pośredni ( np. klasa czystości 2-3).

Biologiczna analiza klas czystości jest trudna i wymaga dużej wprawy od przeprowadzającego badania. Z tego powodu nowoczesne metody opierają się na połączeniu analizy chemicznej i biologicznej. Parametry chemiczne nie są przy tym podawane jako wartości średnie określonych stężeń, ale jako prawdopodobieństwo przekroczenia określonych wartości progowych charakterystycznych dla każdej z wyróżnionych stref.

Gatunki heterotroficzne będące podstawą systemu saprobow mogą być stosowane jako wskaźniki dla wód płynących ponieważ przebieg kolejnych etapów samooczyszczania może być przestrzennie odseparowany. W zbiornikach lenitycznych (zamkniętych) poszczególne etapy samooczyszczania przebiegają równocześnie w tym samym miejscu stąd trudno tu mówić o organizmach wskaźnikowych, których obecność wskazywałaby na saprobowość jeziora. W ten sposób można jedynie określić saprobowość różnych stref w jeziorze. Dlatego charakterystykę jezior opiera się na wskaźnikach określających stan trofii, zależny od procesów autotroficznych a nie heterotroficznych. Tak więc systemu saprobow nie stosuje się do określania klasy czystości wód lenitycznych.

Tabela 21. System saprobow wód zanieczyszczonych (Starmach 1973)

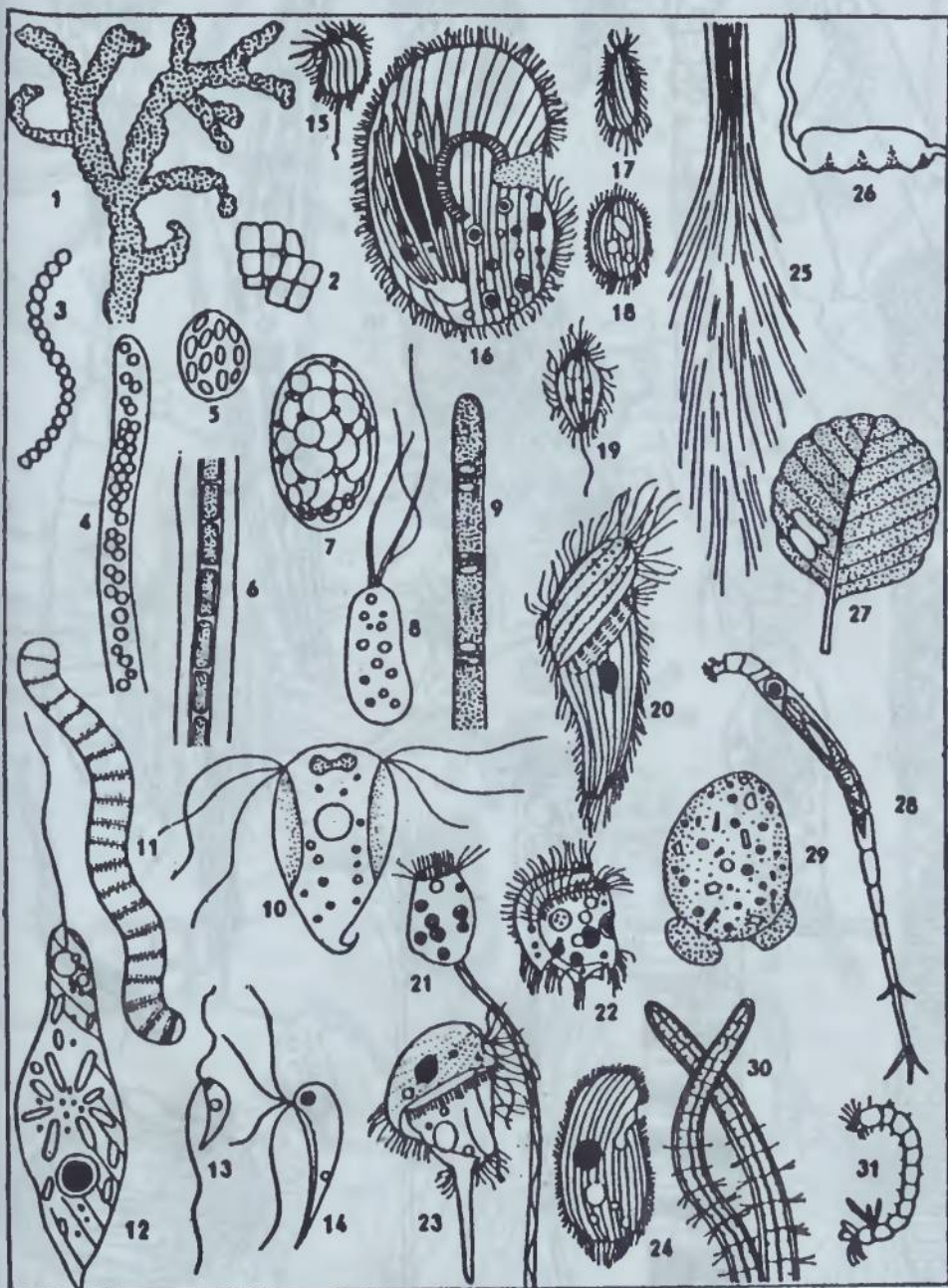
| Stopień saprobowości | Charakterystyka ogólna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Aspekt higieniczny         |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Ksenosaprobowość     | $P/R > 1$ ; $O_2 > 8$ ; $BZT_5 < 1/2$ ; bakterii do 1000, miano <i>Coli</i> do 10000; flora: <i>Hildebrandtia rivularis</i> , <i>Draparnaldia plumosa</i> , <i>Chlorotylum cataractarum</i> ; fauna: <i>Ameletus</i> , pstragi                                                                                                                                                     | wody czyste                |
| Oligosaprobowość     | $P/R > 1$ ; $O_2 > 6$ ; $BZT_5 < 2,5/4$ ; bakterii do 10000; miano <i>Coli</i> do 50000; flora: <i>Phormidium inundatum</i> , <i>Vaucheria sessilis</i> , <i>Lemanea annulata</i> , <i>Batrachospermum vagum</i> , <i>Hildebrandtia rivularis</i> , <i>Mendion circulare</i> , <i>Draparnaldia glomerata</i> ; fauna: <i>Rhithrogena</i> , pstragi                                 | wody czyste                |
| β-Mezosaprobowość    | $P/R > 1$ ; $O_2 > 4$ ; $BZT_5 < 4/6$ ; bakterii do 50000, indeks <i>Coli</i> do 100000; flora <i>Batrachospermum moniliforme</i> , <i>Lemanea fluviatilis</i> , <i>Cladophora glomerata</i> , <i>Ulothrix zonata</i> , <i>Phormidium subfuseum</i> , <i>Ph. favosum</i> , <i>Ph. retzii</i> ; fauna: <i>Eodyonurus</i> , <i>Oligoneuriella</i> , <i>Ephemera</i> , lipień, brzana | wody słabo zanieczyszczone |



cd. tab. 21

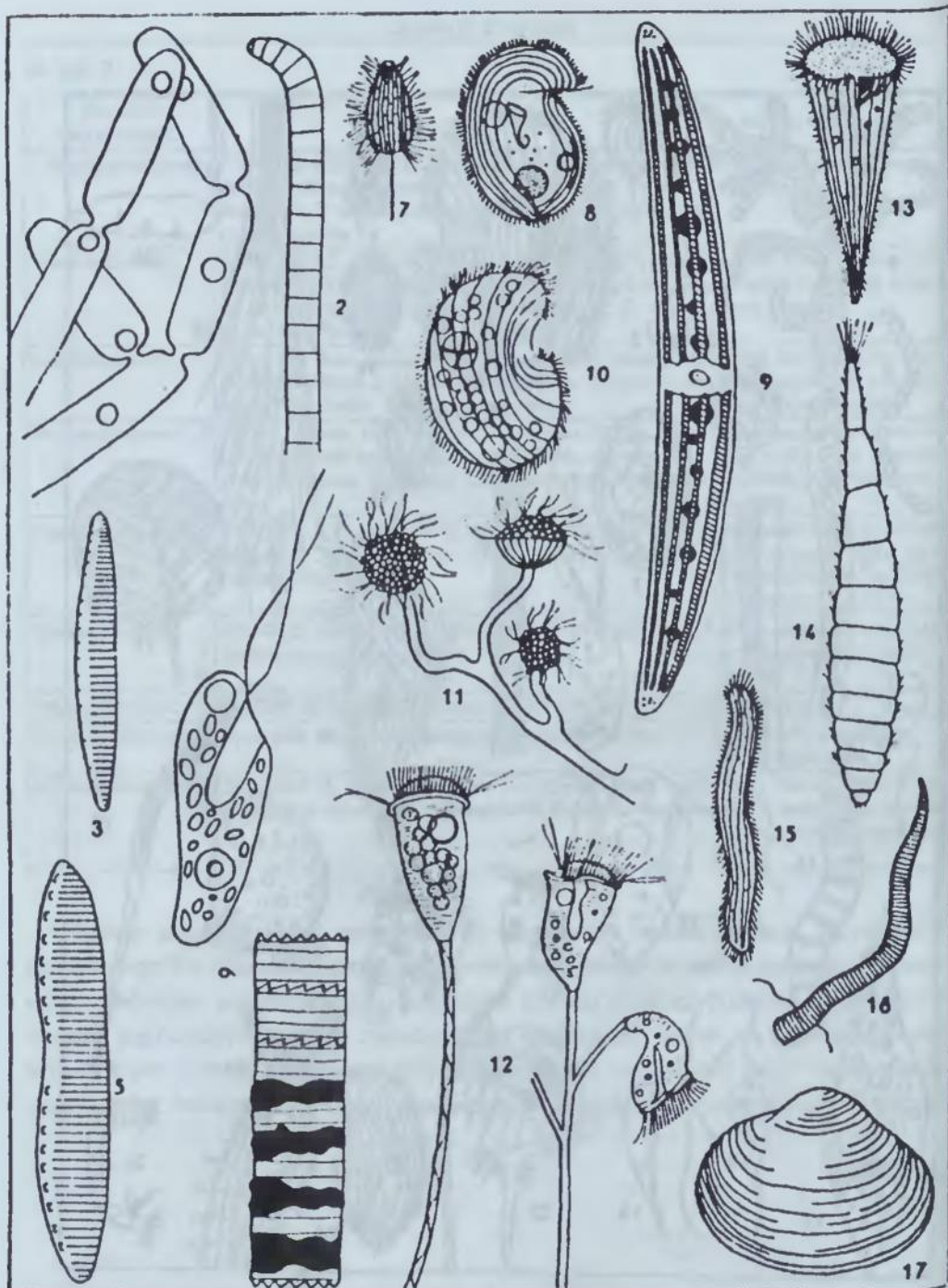
| Stopień saprobowości      | Charakterystyka ogólna                                                                                                                                                                                                                                                  | Aspekt higieniczny                                                               |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$ -Mezosaprobowość | $P/R < 1$ ; $O_2 > 2$ ; $BZT_5 < 7/9$ ; bakterii do 250000; miano <i>Coli</i> do 1000000; flora: <i>Stigeoclonium tenue</i> , <i>Oscillatoria brevis</i> , <i>O. splendida</i> , <i>O. limosa</i> , <i>Ulothrix zonata</i> ; fauna: <i>Herpobdella</i> , ryby karpowate | wody wyraźnie zanieczyszczone                                                    |
| Polisaprobowość           | $P/R < 1$ ; $O_2 > 0.5$ ; $BZT_5 < 40/80$ ; bakterii do 2000000, miano <i>Coli</i> do 20000000; flora: <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Mucor</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Oscillatoria chlorina</i> , <i>Euglena viridis</i> , <i>E. desesi</i> ; fauna: karp, karaś      | wody silnie zanieczyszczone, możliwość zakażenia                                 |
| Izosaprobowość            | $P/R \leq 1$ ; $O_2$ ilości śladowe; $BZT_5 < 40-400/600$ ; bakterii do 10000000, miano <i>Coli</i> do 3 miliardów; flora: <i>Euglenophyta</i> , <i>Mycophyta</i> ; fauna: <i>Zooflagellata</i> , <i>Ciliata</i>                                                        | ścieki surowe; duże niebezpieczeństwo zakażenia patogenicznego                   |
| Metasaprobowość           | $P/R \leq 1$ ; $O_2$ brak; $BZT_5$ 200-700; bakterii do 20 mln; miano <i>Coli</i> do 10 mld; organizmy: wiciowce <i>Bodo</i> , bakterie, m.in. <i>Thiothrix nivalis</i> , <i>Baggiatoa</i> , <i>Chlorobacterium</i> , <i>Rhodobacterium</i>                             | ścieki septyczne zawierające $H_2S$ ; duże niebezpieczeństwo zatrucia ptomainami |
| Hypersaprobowość          | $P/R \leq 1$ lub 0; $O_2$ brak; $BZT_5$ 500-1500/2000; $H_2S$ do 10; bakterii do 50 mln., indeks <i>Coli</i> do 1000000; organizmy: bakterie beztlenowe                                                                                                                 | skoncentrowane ścieki przemysłowe, duża niebezpieczeństwo zatrucia ptomainami    |
| Ultrasaprobowość          | $P/R = 0$ ; $O_2$ brak; $BZT_5$ 1000-60000; bakterii 0 lub 10; zachodzą procesy anaerobowe                                                                                                                                                                              | skoncentrowane ścieki przemysłowe (np. cukrownicze)                              |
| Antysaprobowość           | $O_2$ brak; $BZT_5 = 0$ ; bakterii brak; indeks <i>Coli</i> - 0                                                                                                                                                                                                         | cieki trujące                                                                    |
| Radiosaprobowość          | Zawartość $O_2$ różna, organizmy obecne lub ich brak                                                                                                                                                                                                                    | możliwość skażenia radioaktywnego                                                |
| Kryptosaprobowość         | Zawartość $O_2$ różna; organizmy zwykle nieobecne; ścieki przeważnie abiotyczne, zawierające substancje mineralne                                                                                                                                                       | wody zanieczyszczone pyłem węglowym lub innymi zawiesinami mineralnymi           |

System saprobów został zastosowany w oczyszczalni ścieków w etapie oczyszczania biologicznego. Po etapie oczyszczania mechanicznego następują zabiegi naturalne, półnaturalne i techniczne prowadzące do uruchomienia procesu samooczyszczania w mikroskali z efektem przynoszącym redukcję zanieczyszczeń organicznych jednak nie usuwającego soli biogenicznych. Dlatego do pełnego oczyszczenia stosuje się końcowy etap - oczyszczania chemicznego. Pominięcie tego etapu praktycznie nie likwiduje przyczyn eutrofizacji w wodzie.

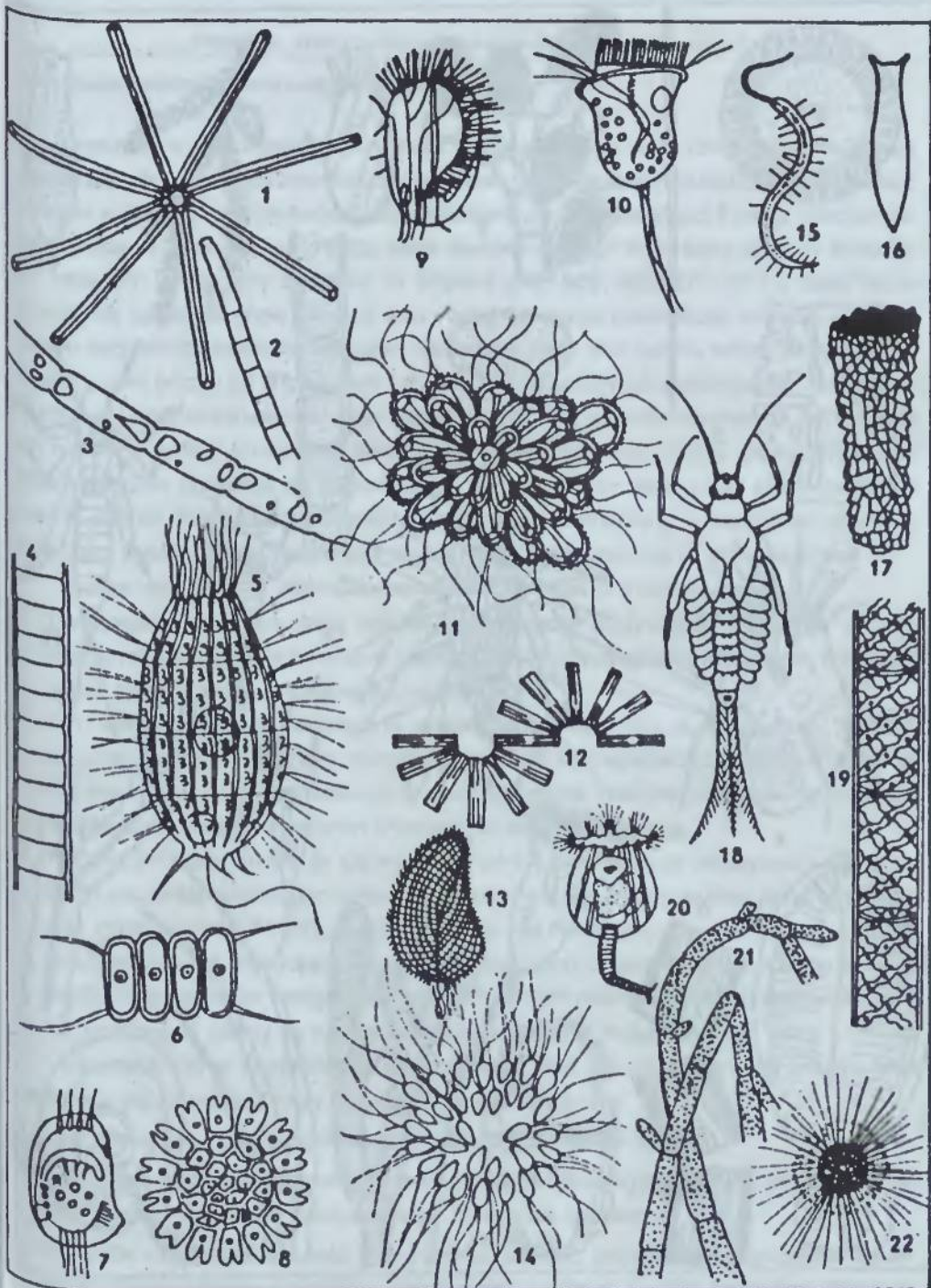


Ryc. 70. Zespół organizmów polisaprobowych (wskaźnikowe) (wg Styczyńskiego 1971)  
 1-8 bakterie, 9, 11 - sinica, 10, 13, 14 - wiciowce bezbarwne, 12 - euglena, 15-24 - orzęski,  
 25 - kolonie bakterii *Sphaerotilus natans*, 26 - larwa muchówki *Eristalis*, 27 - kolonia bakterii  
 na liściu, 28 - wrotek, 29 - ameba, 30 - skąposzczet *Tubifex tubifex*, 31 - larwa ochotki  
*Chironomus*



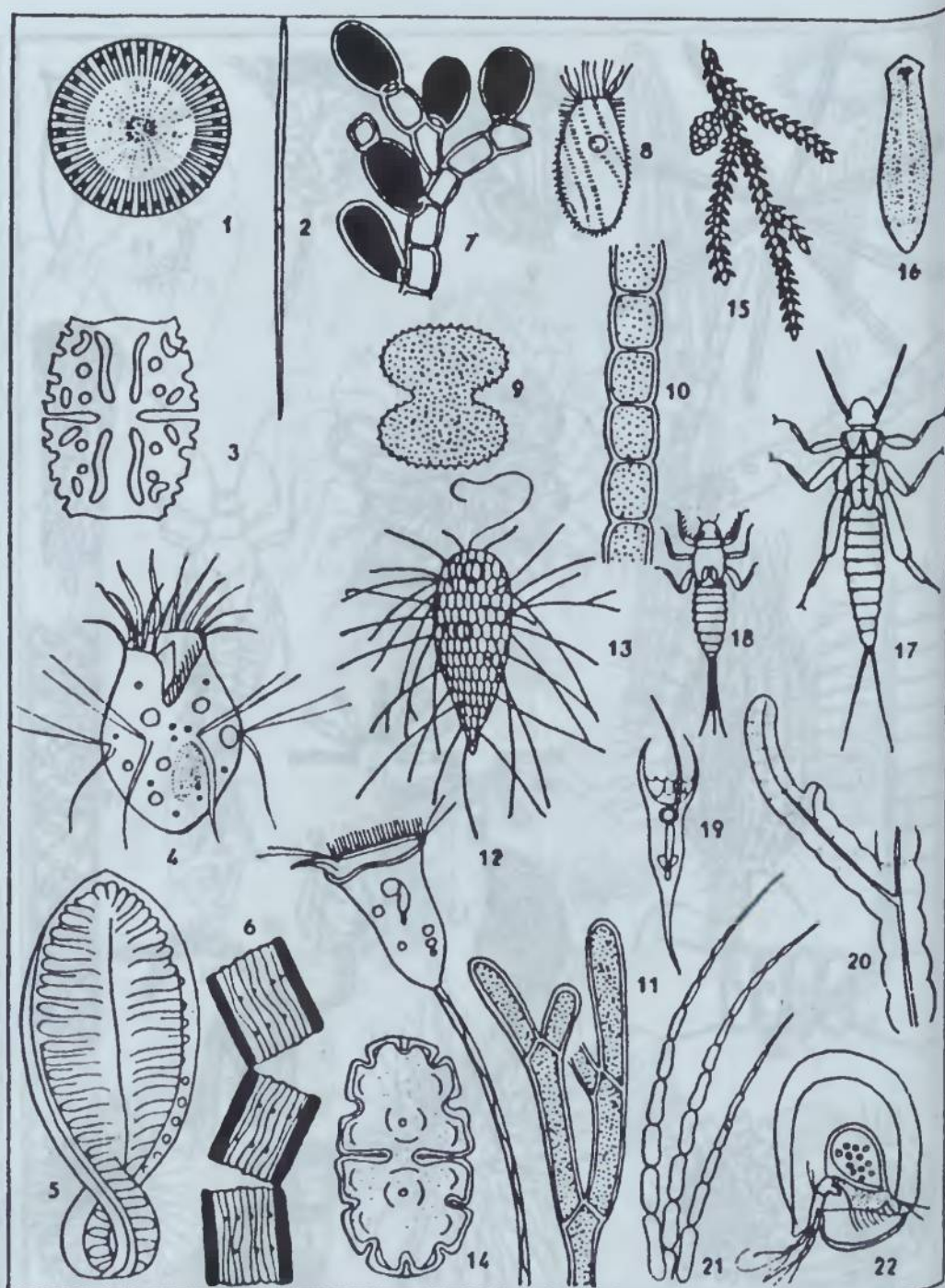


Ryc. 71. Zespół organizmów  $\alpha$  - mezosaprobnych (wskaźnikowe) (wg Styczyńskiego 1971)  
 1 - grzyb ściekowy, 2 - sinica, 3, 5, 6, - okrzemki, 4 - wiciowiec, 7, 8, 10, 12, 13, 15 - orzęski,  
 9 - zielenica, 11 - wiciowiec kolonijny, 14 - larwa muchówki *Stratiomys*, 16 - pijawka, 17 - mała kulkówka



Ryc. 72. Zespół organizmów  $\beta$  - mezosaprobnych (wskaźnikowe) (wg Słczyńskiego 1971)  
 1, 4, 12 - okrzemki, 2, 3 - sinice, 5, 7, 9, 10, 13 - orzęski, 6, 8, 19, 21 - zielenice, 11,  
 14 - złotowiciowce, 15 - skąposzczety, 16 - wypłavek kryniczny, 17 - domek chruścika, 18 -  
 larwa jętki, 20 - wrotek, 22 - słonecznica





Ryc. 73. Zespół organizmów wskaźnikowych - oligosaprobnych (wg Styczyńskiego 1971)  
 1, 2, 5, 6, - okrzemki, 3, 7, 9, 10, 13, 14 - zielenice, 4, 8, 12 - orzęski, 11 - wiciowce,  
 15 - mech wodny, 16 - wypłavek kątołowy, 17 - larwa widelnicy, 19 - wrotek, 20, 21 - sinica,  
 22 - wioślarka

#### 4.5. Zakwaszanie środowiska wodnego

Obecność w atmosferze tlenków azotu ( $NO_x$ ), dwutlenku siarki ( $SO_2$ ), związków chloru, pochodzących z emisji przemysłowych i transportu, jest powodem zakwaszenia środowiska. Gazy te w atmosferze przechodzą proces utleniania przy udziale wilgoci i energii fotochemicznej. Tworzą się kwas azotowy ( $HNO_3$ ), kwas siarkowy ( $H_2SO_4$ ) i kwas solny ( $HCl$ ). W środowisku wilgotnym ulegają one dysocjacji na aktywne jony:  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  i  $H^+$  i w takiej formie dostają się na powierzchnię Ziemi, tj. wód i łąd. Depozycja mokra może wystąpić w postaci opadu nazywanego kwaśnym deszczem lub kwaśną mgłą. Bez wpływu antropopresji deszcze powinny mieć odczyn pH w granicach 5-6. Obecnie, na olbrzymich przestrzeniach niemal całej Europy, pH wody opadowej mieści się w granicach 4-4,5, a notowano również pH 3. Obniżenie pH o jedną jednostkę oznacza, że stężenie kwasu wzrosło ponad 10 razy. Około 30% kwasowości deszczów przypisuje się tlenkom azotu, a 70 % tlenkom siarki. Opad suchy (depozycja sucha) jest nie mniej groźny niż mokry - jest łatwiej przenoszony w troposferze nawet na odległości przekraczające tysiące kilometrów - są to zanieczyszczenia **transgraniczne**.

Proces zakwaszania zbiorników wodnych przebiega w trzech etapach:

1. Dwuwęglany w wodzie mają zdolność buforowania dopływających kwasów, zbiornik wodny ma na tyle duże naturalne nadwyżki jonów dwuwęglanowych, że nie występują w nim żadne zmiany procesów życiowych.
2. Jony wodorowe nie są buforowane, dwuwęglany w zbiorniku są wyczerpane. Wartość pH wody staje się niestabilna, zaczyna zaznaczać się degradacja zbiornika - obserwuje się spadek zdolności reprodukcyjnej wielu gatunków, niektóre bezkręgowce zanikają, a ichtiofauna reaguje masowym śnięciem na stałą acydyfikację.
3. Wartość pH wody stabilizuje się wokół wartości 4,5, substancje humusowe i jony glinu ( $Al^{3+}$ ) zaczynają działać jako bufony naturalne zbiornika. Dalszy spadek jonów pH powoduje rozpuszczanie  $Al(OH)_3$ , następuje okresowa neutralizacja kwasów, ale w wodach powierzchniowych drastycznie wzrasta zawartość glinu, co jest niestety niezwykle toksyczne dla bezkręgowców i kręgowców wodnych. W tym czasie ichtiofauna całkowicie zanika, dominujące rośliny są nieliczne, znacznie wzrasta przezroczystość wody.

Po katastrofalnej acydyfikacji jezior w Szwecji dość dobrze rozpoznano zmiany, jakie zachodzą wśród hydrobiontów w zbiornikach zakwaszonych:

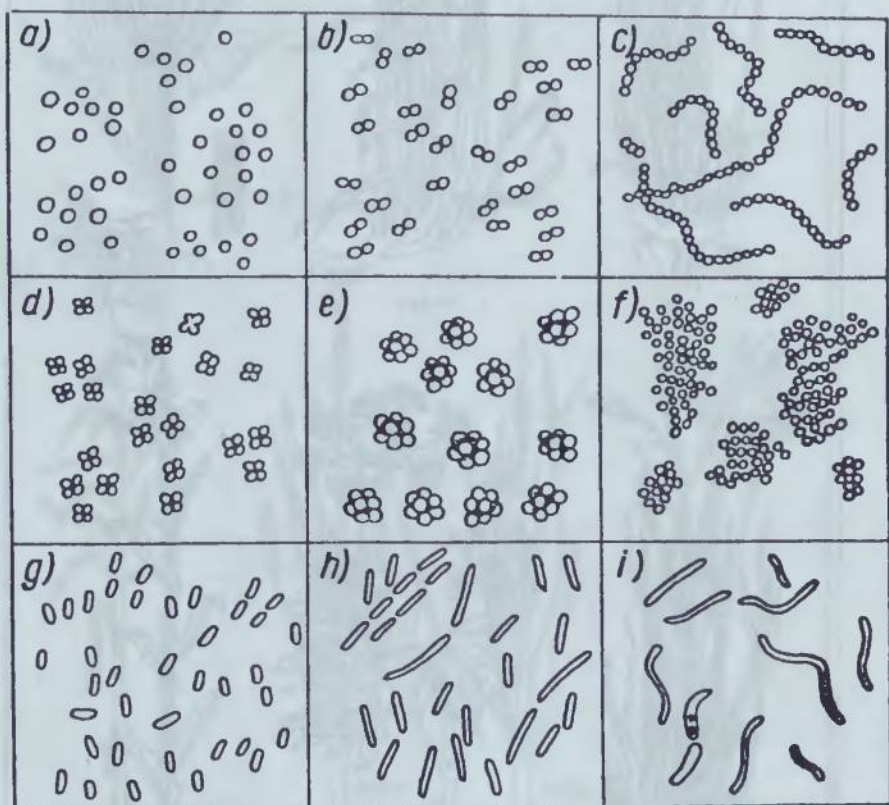
- liczba gatunków glonów planktonowych spada z 30-80 do 5-10;
- zooplankton ubożeje jakościowo podobnie jak fitoplankton, występują tylko pojedyncze gatunki spośród *Copepoda* (widłonogów) i *Cladocera* (wioślarek);
- zoobentos - zmniejsza się ilość larw owadów, pijawek, skorupiaków, mięczaków, a pancerze i muszle ulegają wyraźnemu zmniejszeniu grubości; wzrasta liczba larw *Chironomidae*, ponieważ brakuje drapieżników, które przedtem je wyjadały;
- płazy i gady wykazują zaburzenia w rozmnażaniu;
- nie jest określony wyraźny wpływ na awifaunę;



- spada pogłowie ryb, a niektóre gatunki zupełnie zanikają.

W zbiornikach o podłożu wapiennym lub przy zlewni posiadającej pokłady węglanu wapnia proces acydyfikacji zachodzi znacznie wolniej. To nasunęło myśl o walce z acydyfikacją wód powierzchniowych przez ich wapnowanie lub dodawanie minerału diatomitu. Metoda ta daje pozytywne efekty, ale jest niezwykle kosztowna i w dodatku jest jedynie zabiegiem profilaktycznym. W celu wyeliminowania zakwaszania zbiornika wodnego należy usunąć jego przyczyny, a zwłaszcza źródła emisji  $\text{SO}_2$  i tlenków azotu.

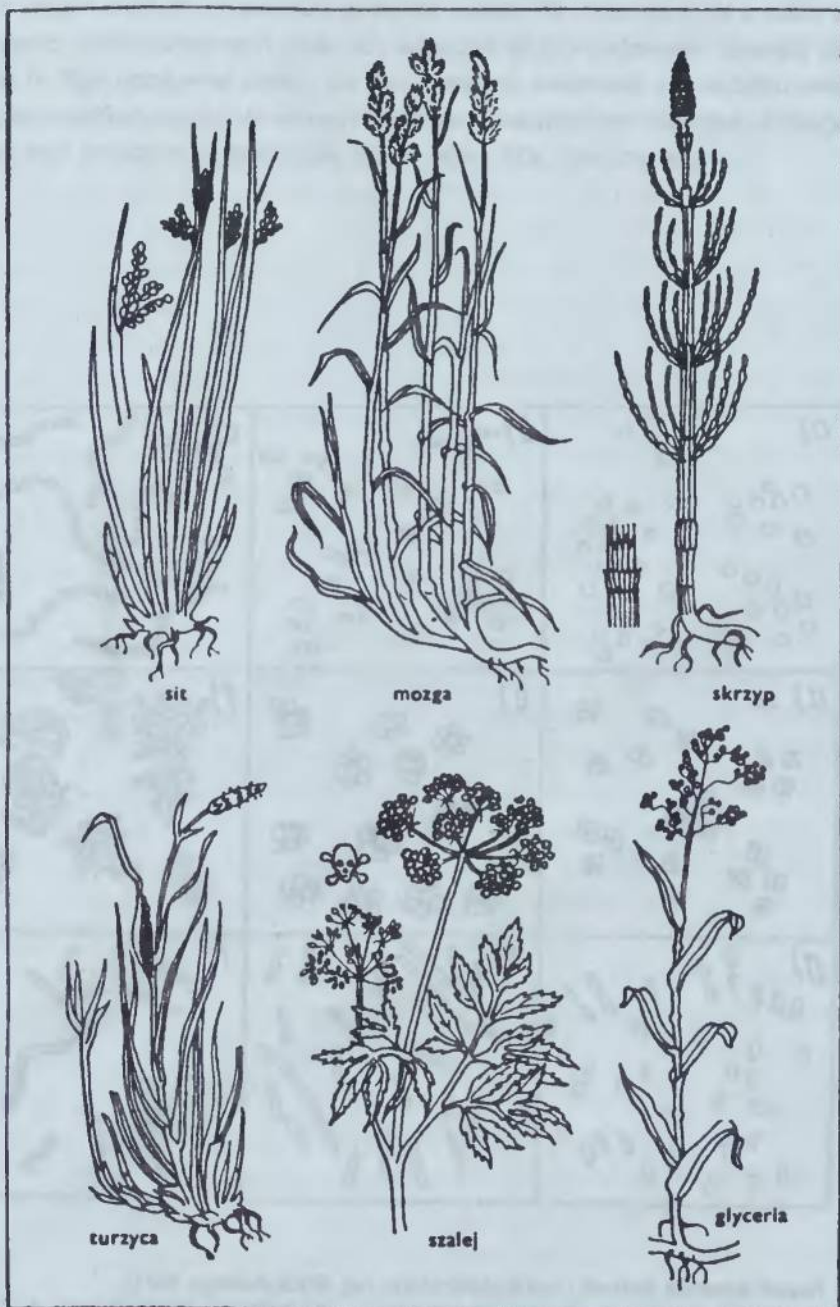
# 5. KATALOG RYCIN DO „PODSTAW EKOLOGII WÓD”



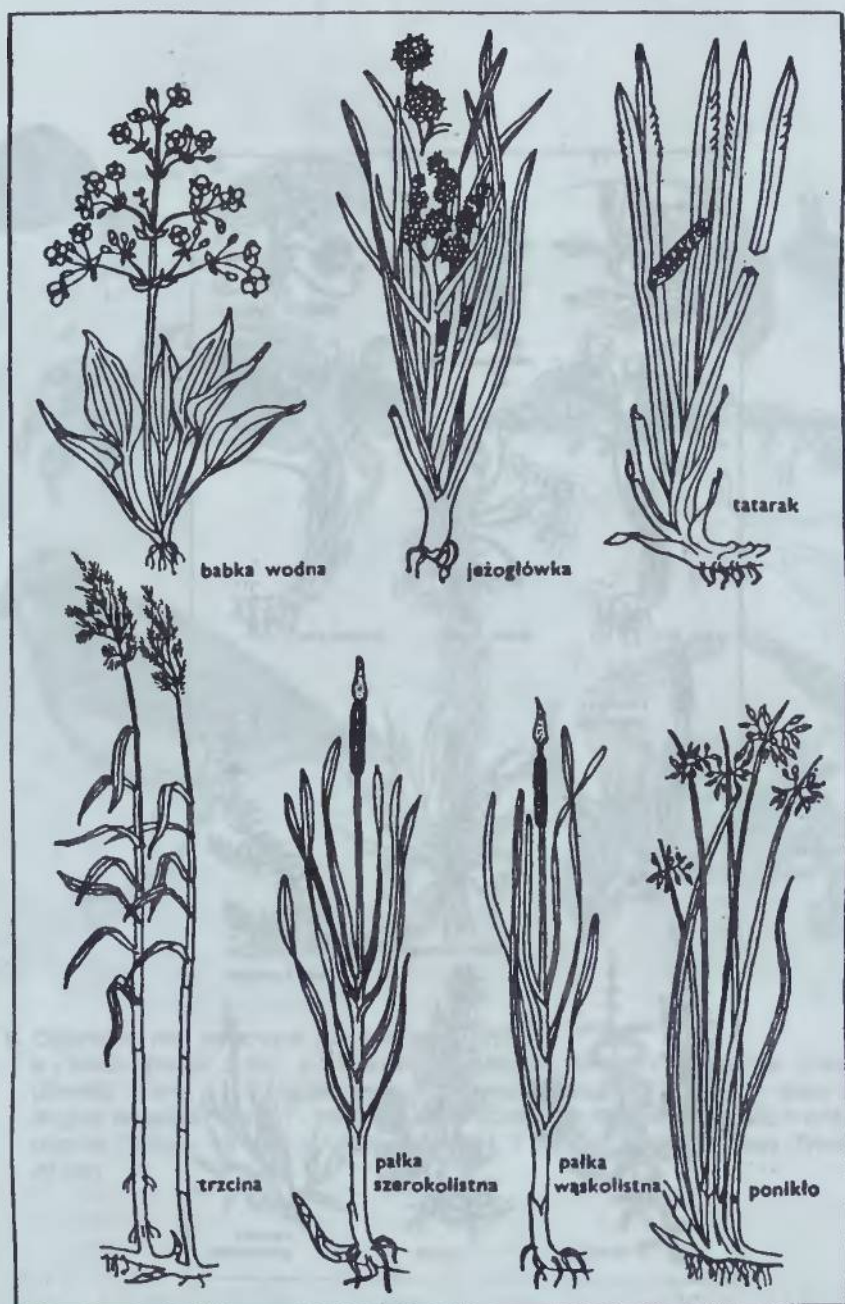
Ryc. 1. Kształt komórek bakterii i bakterioplanktonu (wg Styczyńskiego 1971)

a - ziarniak (coccus), b - dwójka (diplococcus), c - paciorkowiec (streptococcus), d - czwórniak (tetracoccus), e - sześcianka (sarcina), f - gronkowiec (staphylococcus), g - pałeczka (bacterium), h - laseczka (bacillus), i - skrętniak (spiryllum).



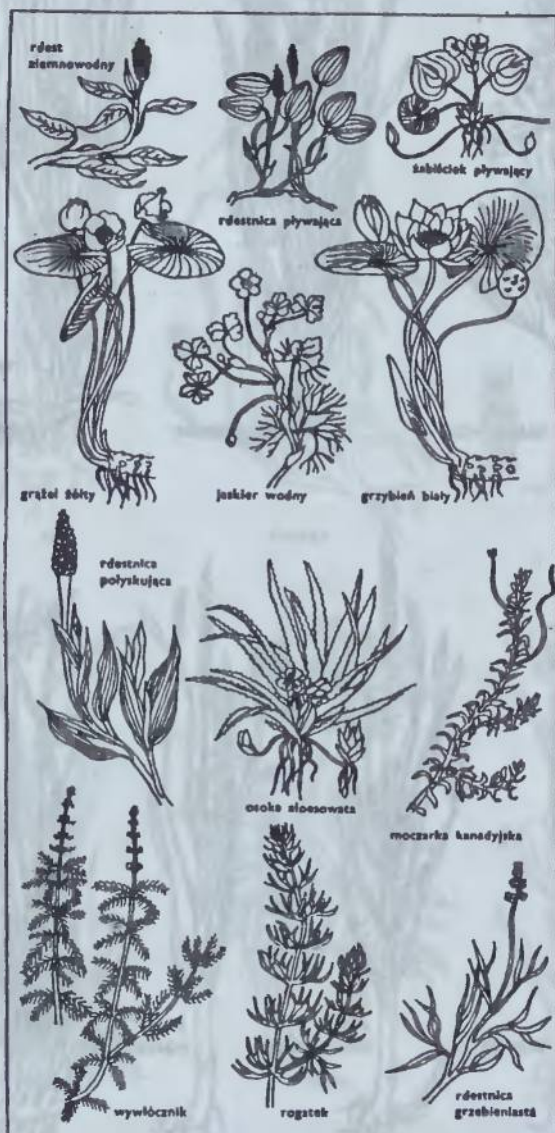


Ryc. II. Przedstawiciele roślin błotnych (wg Styczyńskiego 1971)

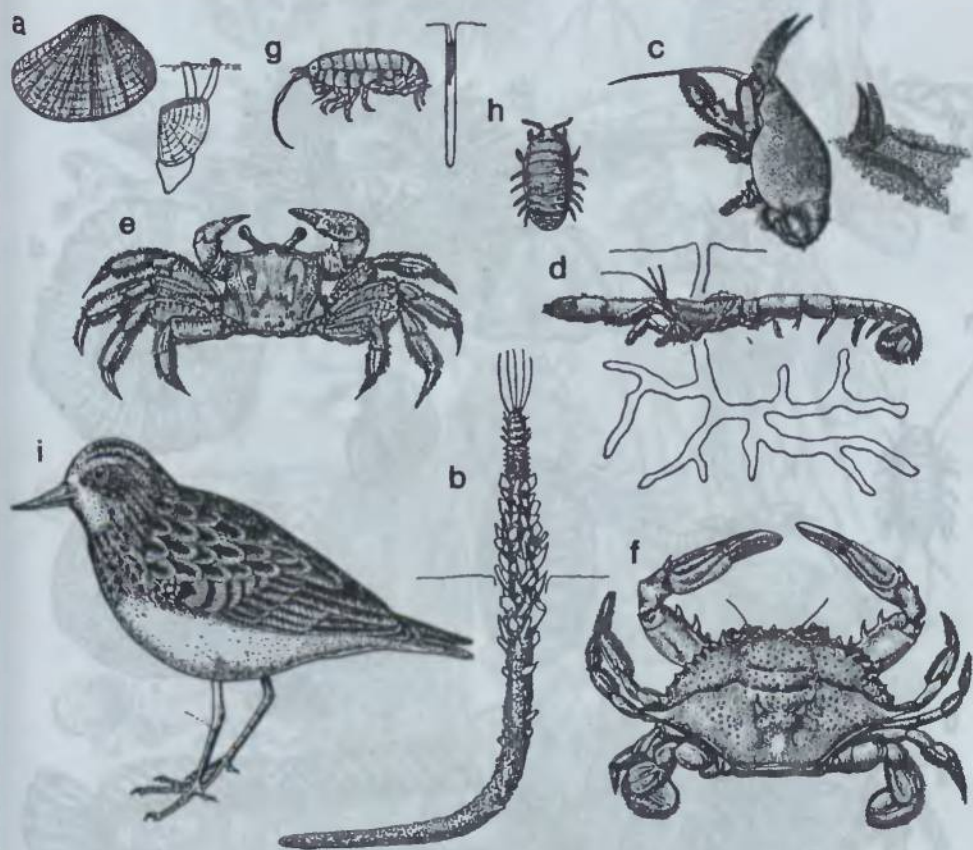


Ryc. III. Oczereły i szuwary (wg Styczyńskiego 1971)





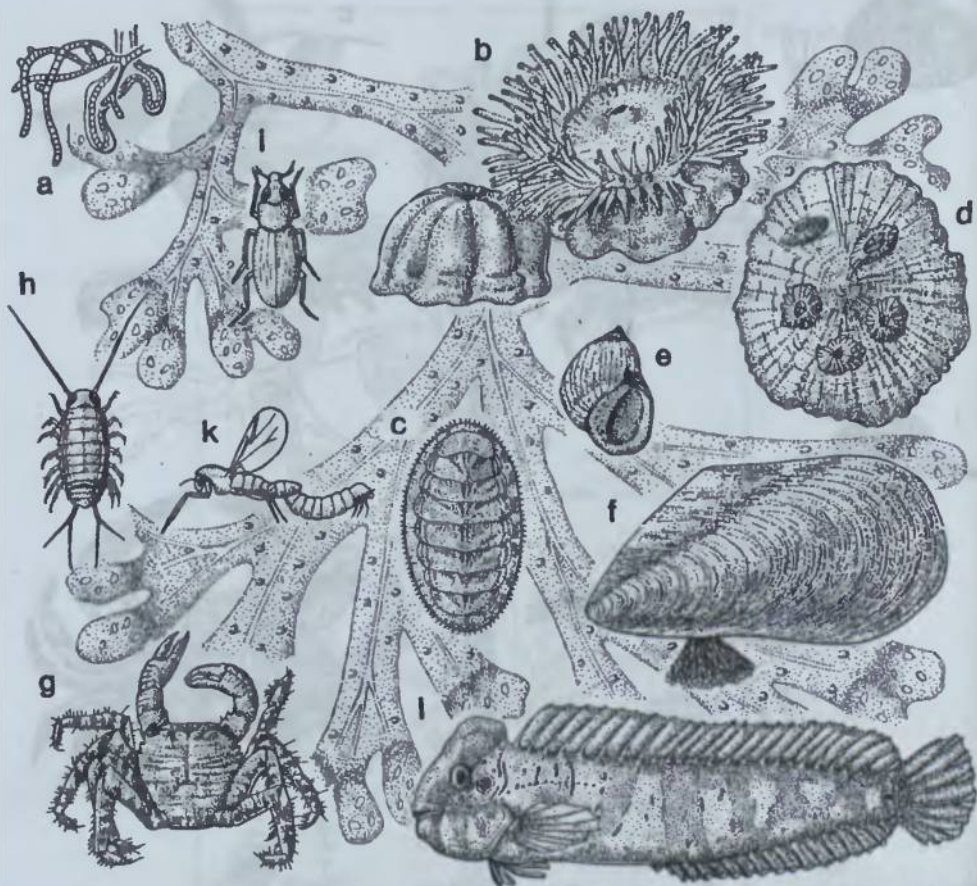
Ryc. IV. Przedstawiciele roślin o liściach pływających i liściach zanurzonych (wg Styczyńskiego 1971)



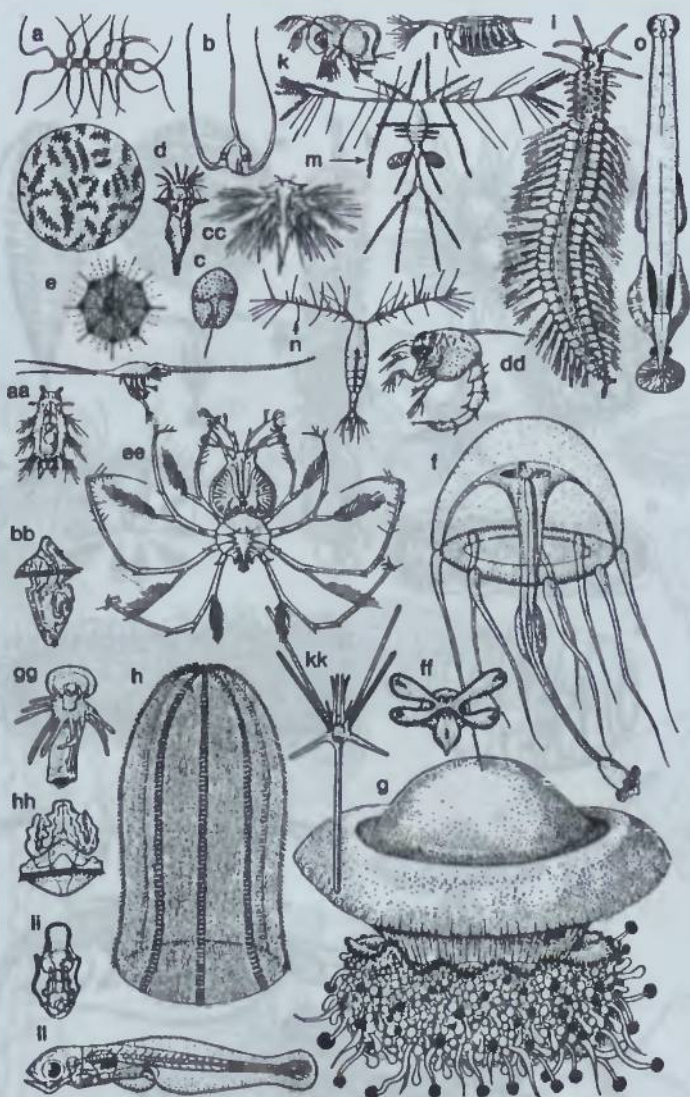
Ryc. V. Organizmy plaż pływowych (wg Finchama 1985)

a - małże (*Donax*, 2 cm), b - wieloszczety (*Diopatra*, 10 cm) c - skorupiaki dziesięcionogie (*Emerita*, 3 cm), d - skorupiaki drążące korytarze (*Callinassa*, 5 cm), e - kraby (*Ocypode*, długość karapaksu 3 cm), f - kraby pływające (*Callinectes*, długość karapaksu 8 cm), g - pchły plażowe (*Talitrus*, 1,5 cm), h - równonogi (*Tylos*, 7 mm), i - biegacz plażowy (*Crocethia alba*, 20 cm).



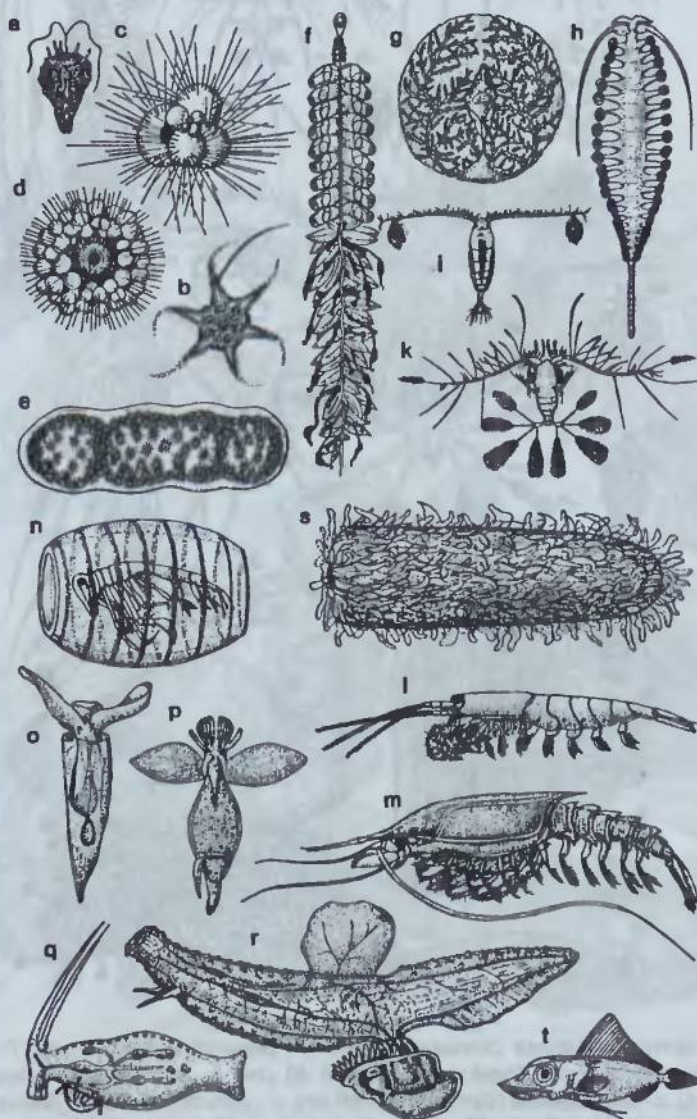


Ryc. VI. Organizmy charakterystyczne dla supra- i eulitoralalu morskiego (wg Finchama 1985)  
a - sinice (500 mm), b - ukwiały (*Actinia equina*, 3 cm), c - chitony (*Middendorfia*, 2 cm),  
d - czaszółki (*Patella*, 2 cm) z biofoulingiem w postaci wąsonogów (*Chthamalus*, 5-8 mm)  
e - ślimak (*Littorina neritoides*, 6 mm), f - omulek (*Mytilus*, 5 cm), g - kraby (*Pagogyrapus*,  
3 cm), h - równonogi (*Ligia*, 8 mm), i - chrząszcz (*Ochthebius*, 2 mm), k - dwuskrzydło  
(*Clunio*, 1,5 mm), l - ryby (*Blennius pavo*, 10 cm); w tle plecha morskoczynu (*Fucus*).



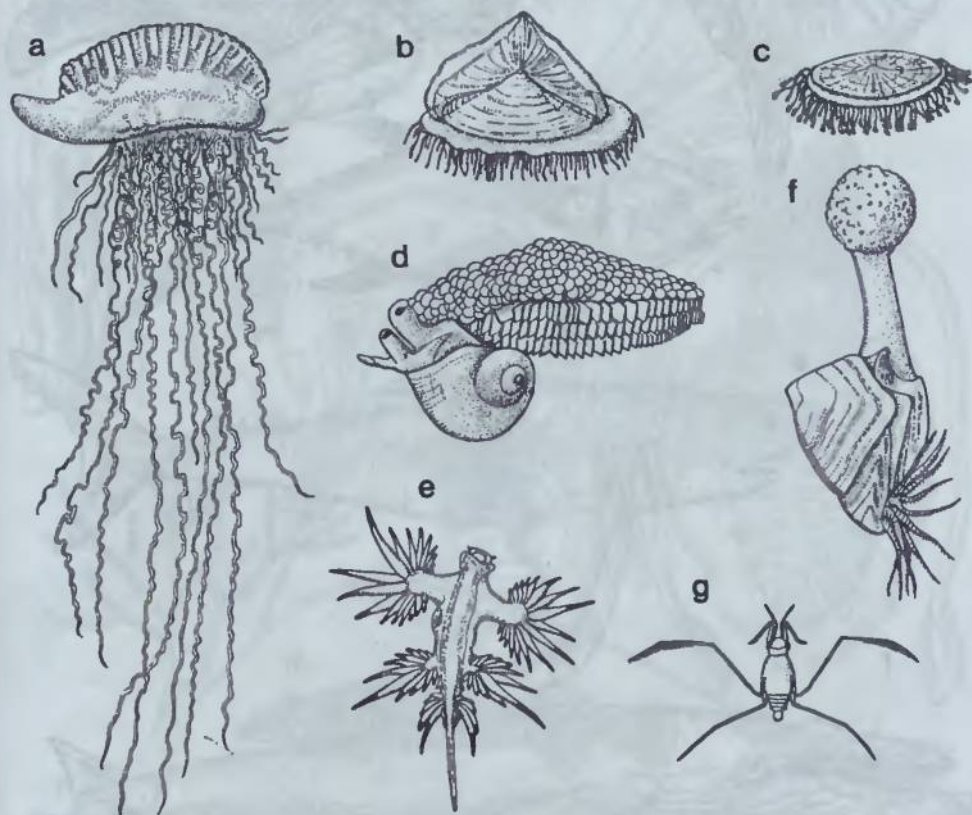
Ryc. VII. Organizmy planktonowe charakterystyczne dla prowincji nerytycznej (wg Finchama 1985)  
 a - glon planktonowy (*Chaetoceros*, długość 40  $\mu$ m), b - dinoflagellata (*Ceratum*, wielkość 400  $\mu$ m), c - dinoflagellata (*Gymnodinium* 40  $\mu$ m), d - pierwotniaki *Ciliata* (*Tintinnopsis*, 180  $\mu$ m), e - Rhizopoda (*Acantharia*, 50  $\mu$ m), f - hydromeduza (*Octorchis*,  $\varnothing$  1,5 cm), g - krążkopławy (*Cotylorhiza*,  $\varnothing$  20 cm), h - żebroplawy (*Beroë*, 10 cm), i - larwa wieloszczeta (4 cm), k - wisłarka (*Podon* spp., 1 mm), l - wioślarka (*Penilia*, 1,1 mm), m - widłonóg *Cyclopoid* (*Oithona* 1,2 mm), n - widłonóg *Acartia* (1,2 mm), o - szczecioszczękie (*Sagitta*, 1,5 cm). Larwy: aa - nectochaeta wieloszczeta (400  $\mu$ m), bb - sipunculoid (900  $\mu$ m), cc - nauplius wąsonogów (700  $\mu$ m), dd - larwa kraba *Zoea* (3 mm), ee - larwa langusty phyllosoma (9 mm), ff - weliger ślimaka (1 mm), gg - actinotrocha *Phoronide* (800  $\mu$ m), hh - tomaria enteropneusta (1,5 mm), ii - bipinnaria larwa rozgwiazd (1,2 mm), kk - pluteus larwa nieregularnych jeżowców (6 mm), ll - larwa ryby (5 mm).





Ryc. VIII. Organizmy planktonowe charakterystyczne dla prowincji oceanicznej (wg Finchama 1985)

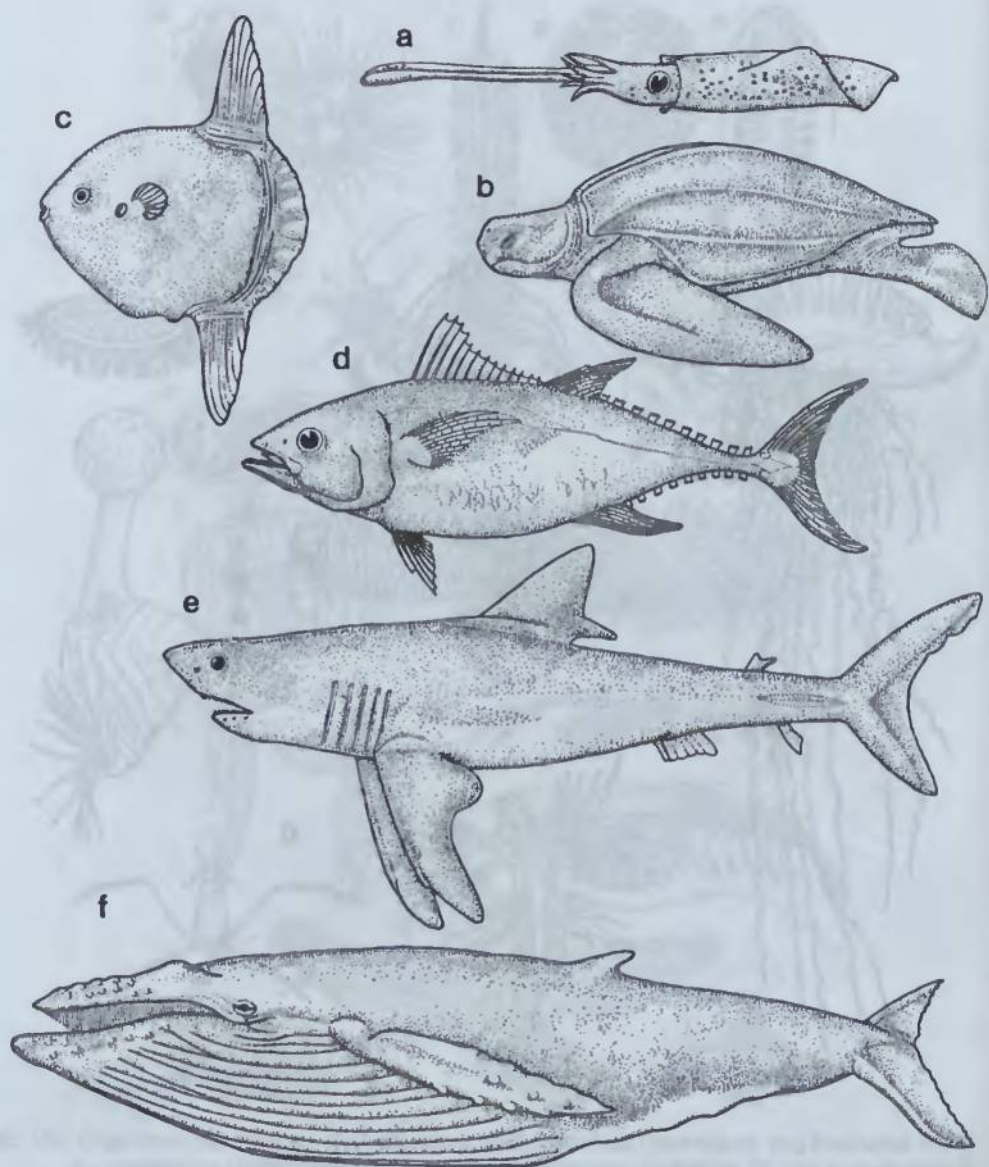
a - kokcolitofory (*Syracosphaera*, 15  $\mu$ m), b - silikoflagellata (*Dictyocha*, 60  $\mu$ m), c - foraminifera (*Globigerina*, 1 mm), d - *Halistermm* (4 cm), g - półstrunowce (*Planktosphaera*, 1 cm), h - wieloszczet (*Tomopteris*, 4 cm), i - widłonogi *Calanoidea* (*Calanus* spp., 3 mm), k - widłonogi *Calanoidea* (*Calocalanus* spp. 2 mm), l - krył antarktyczny (*Euphausia superba* 10 cm), m - gamele (*Gnathopausia* 15 cm), n - obunogi (*Phronima* 2 cm), o - ślimaki (*Clio*, 2 cm), p - ślimaki (*Pneumodermopsis*, 1 cm), q - małż (*Phyllirhoe*, 2,5 cm), r - ślimak (*Carinaria*, 20 cm), s - *Pyrosoma* 10 cm, t - larwa miecznika (*Xiphias*, 1 cm).



Ryc. IX. Pleuston oceaniczny (wg Finchama 1885)

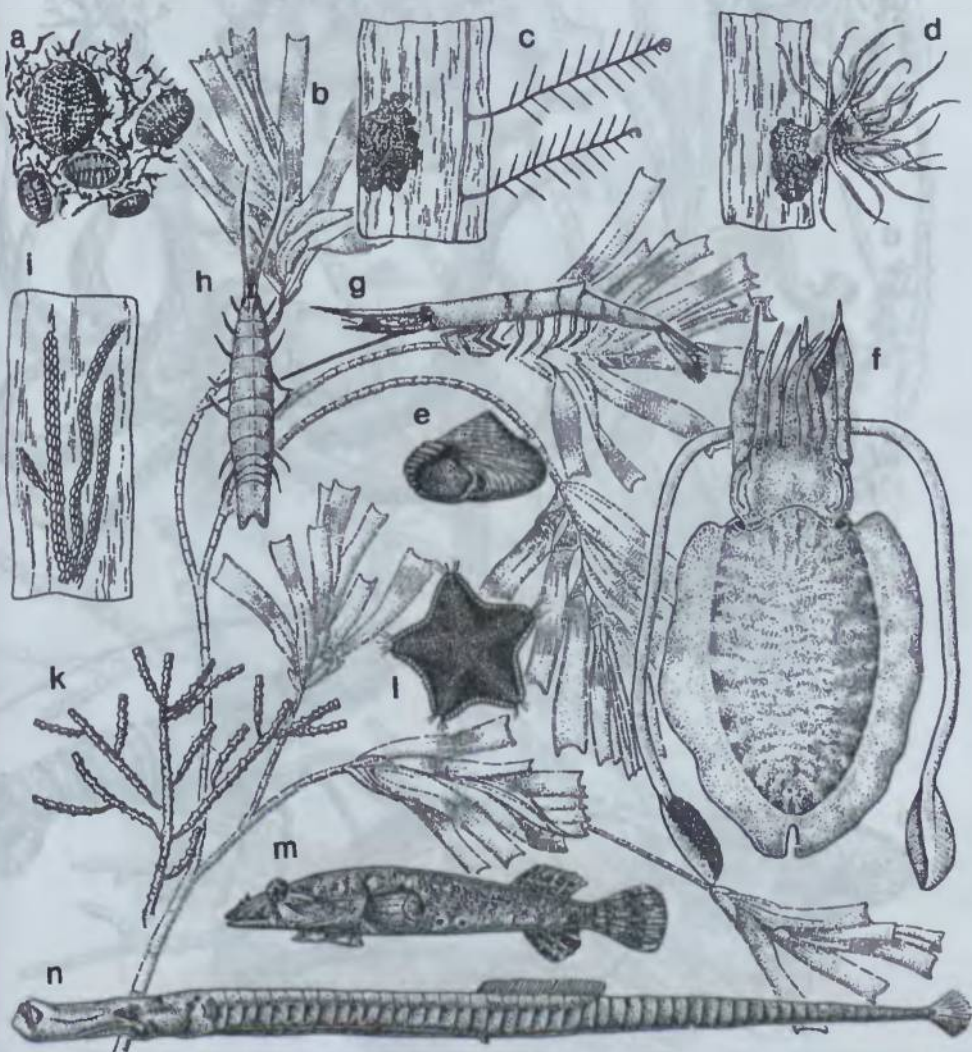
a - żeglarek portugalski (*Physalia caravella*, 3 cm - korpus), b - *Velella velella*, 4 cm, c - *Porpita porpita*, 3,5 cm, d - ślimak (*Janthina* sp., 3 cm), e - *Glaucus atlanticus* 2,5 cm, f - wąsonóg (*Lepas fascicularis* 4 cm), g - skoczek wodny (*Halobates*, 5 mm).





Ryc. X. Nekton morski (wg Finchama 1985)

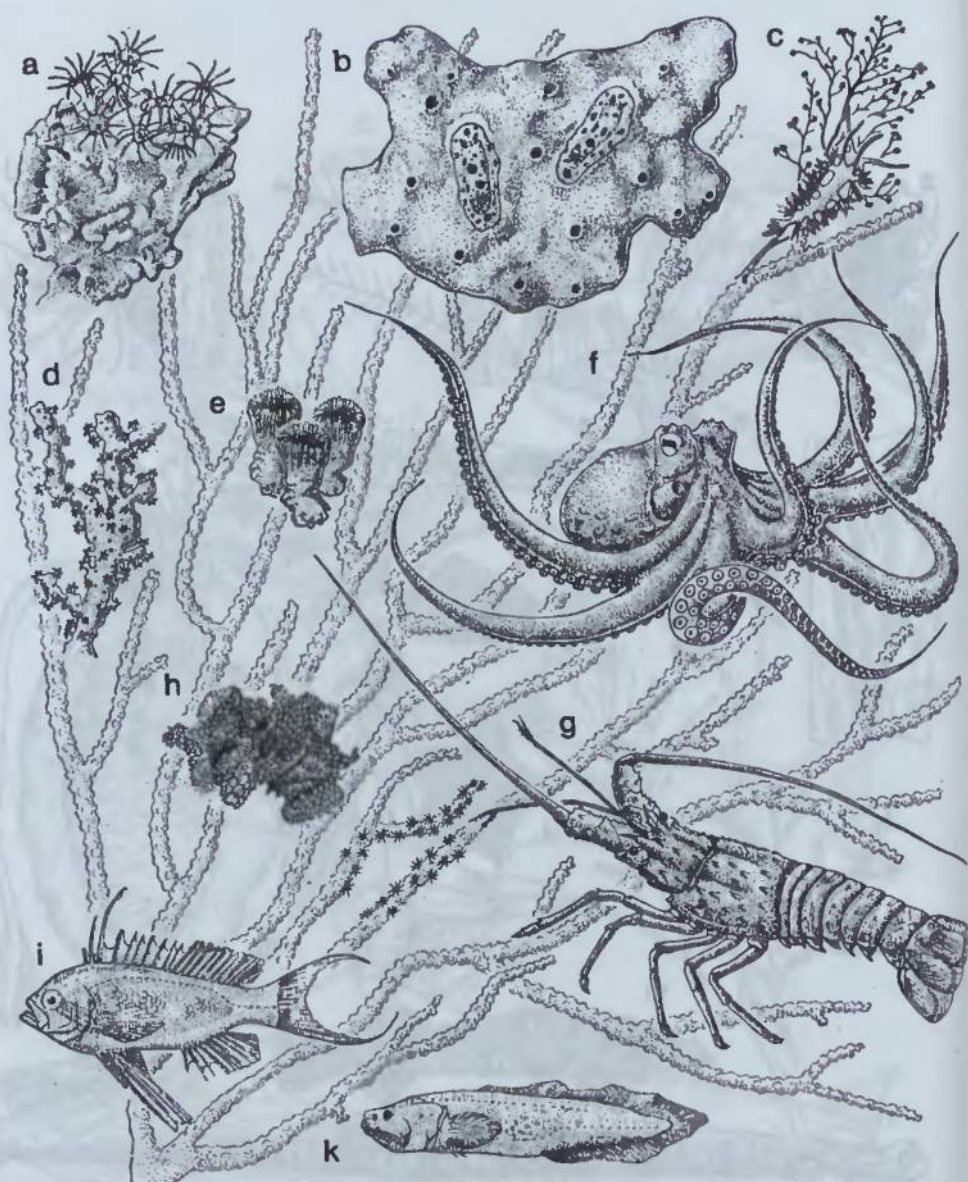
a - kalmary (*Loligo*, długość grzbietowa 30 cm), b - żółw szyldkretowy (*Dermochelys coriacea*, 1 m), c - samogłów (*Mola mola*, 50 cm), d - tuńczyk (*Thunnus thynnus*, 1 m), e - rekin żarłacz ludojad (*Carcharodon carcharias*, 5 m), f - wieloryb fiszbinowy północny (*Megaptera novaeangliae*, 12 m).



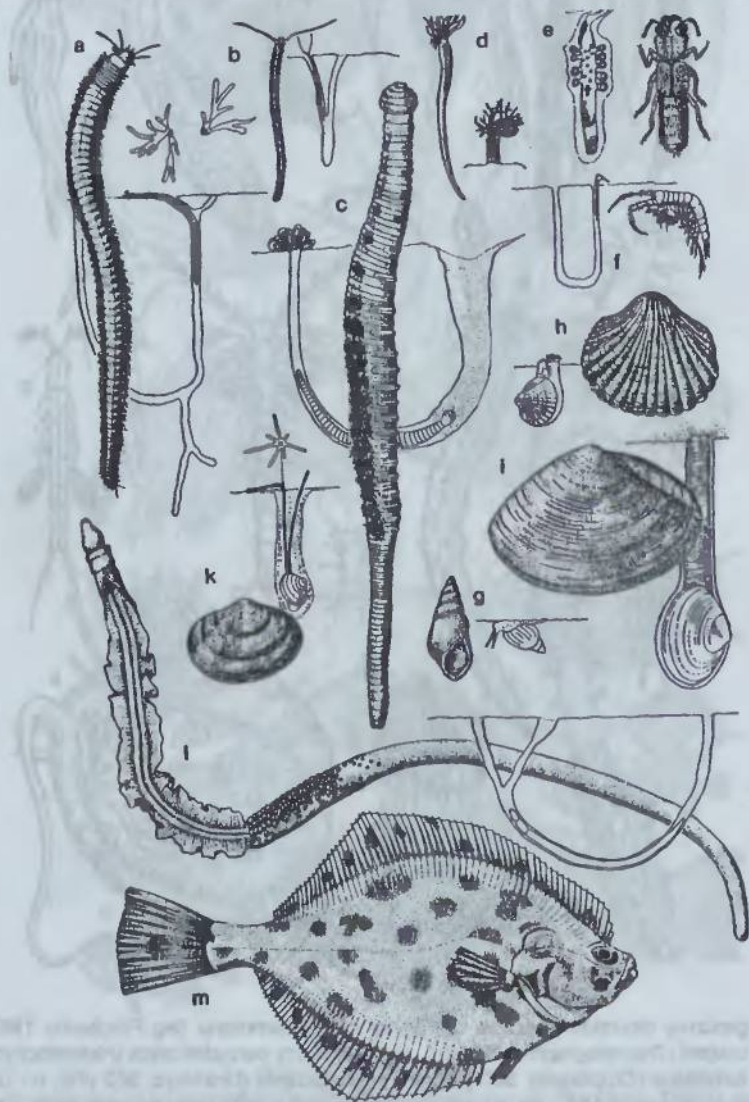
Ryc. XI. Organizmy charakterystyczne dla zarośli sargassowych (wg Finchama 1985)

a - okrzemki (*Cocconeis*, 50  $\mu$ m), b - glon (*Fosliella*), c - hydrozoa (*Aglaphenia harpago*, 1 cm), d - ukwiały (*Bunedeopsis*, 1,5 cm), e - ślimak (*Gibbula*, 1,2 cm), f - małża (*Sepia*, 30 cm), g - gameta morska (*Tozeuma*, 3 cm), h - równonóg (*Kotona*, 3 cm), i - mszywiół (*Electra posidoniae*), k - mszywiół (*Margeretta*, 3 cm), l - rozgwiazda (*Asterina*, 2 cm), m - ryba z rodziny Gobioidae, 5 cm, n - iglicznia (*Syngnathus typhle*, 30 cm). W tle *Amphibolis antarctica*, 25 cm.





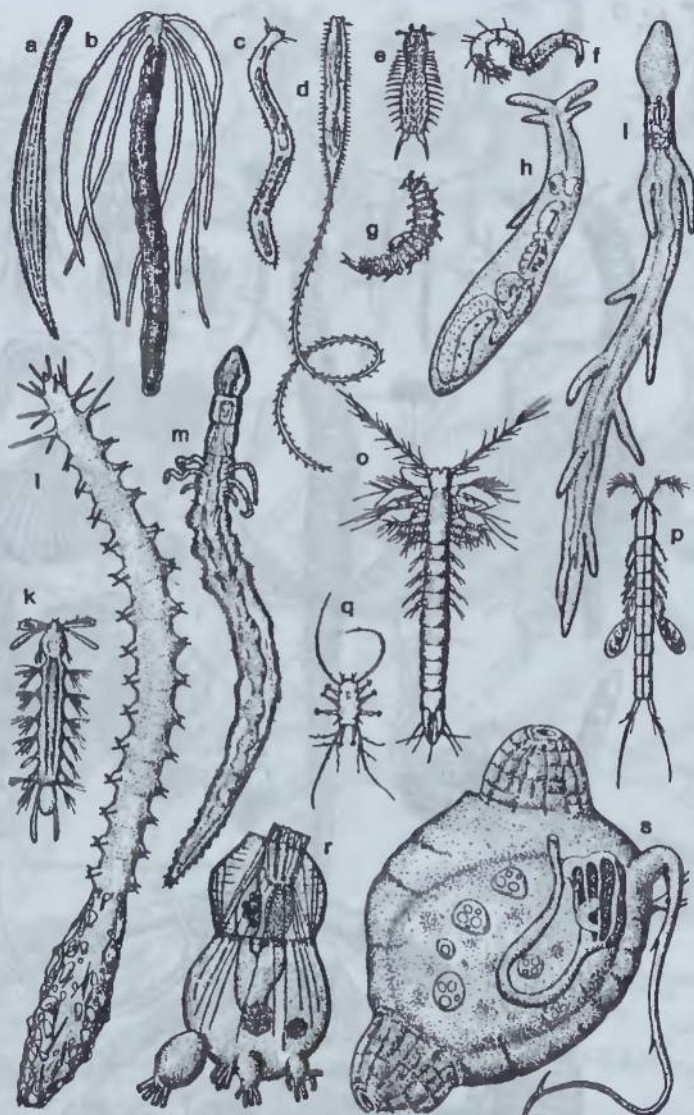
Ryc. XII. Organizmy charakterystyczne dla strefy litoralu wysokiego pływ (wg Finchama 1985)  
 koralowiec (*Axinella*, 4 cm) z ukwiatami (*Parazoanthus*), b - gąbka (*Petrosia*, 15 cm),  
 c - hydrozoa (*Eudendrium* z jednym osobnikiem ślimaka *Hervia*, 3 cm), d - koralowiec (*Corallium  
 rubrum*, 6 cm), e - koral (*Caryophyllia*, 1 cm), f - ośmiornica (*Octopus*, 80 cm), g - langusta  
 (*Palinurus vulgaris*, 50 cm), h - mszywiol (*Sertella*, 3 cm), i - ryby *Anthias* 15 cm, k - ryby z  
 rodziny *Brotulidae*, 10 cm. Tło koralowiec rogowy (*Eunicella cavolinii*, 15 cm).



Ryc. XIII. Organizmy litoralu piaszczystego (wg Finchama 1985)

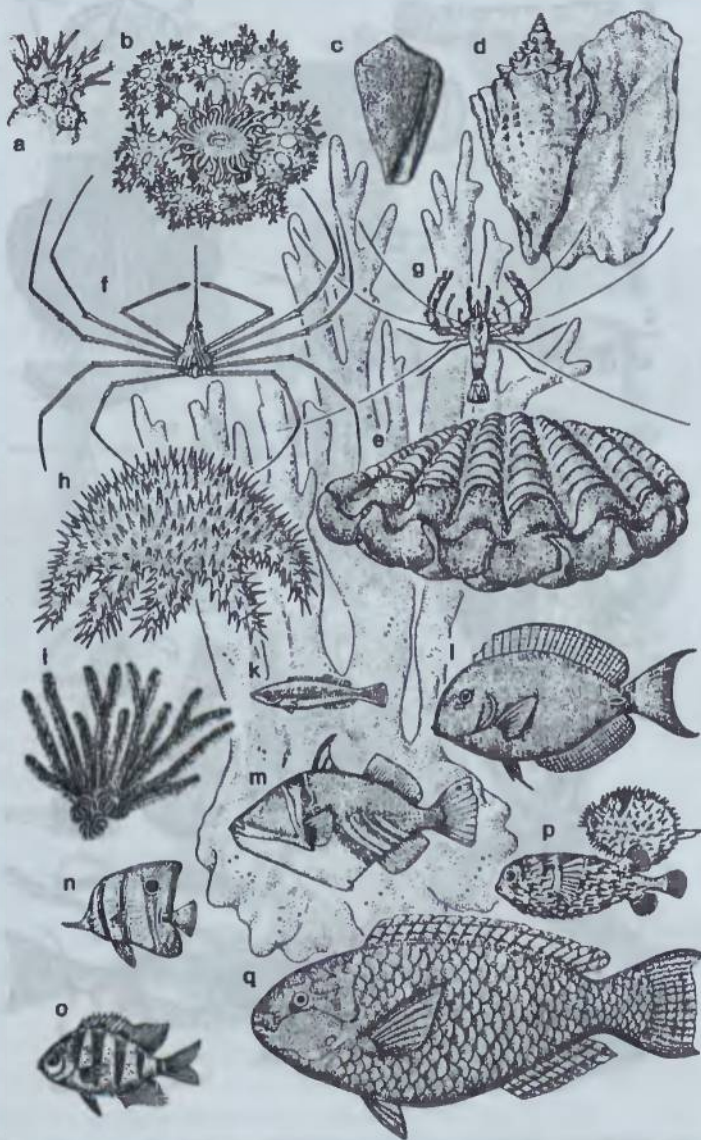
a, b, c, l - Polychaeta borujące korytarze w dnie, d - wieloszczety osiadłe wystające z dna, e - larwy Insecta, f - skorupiak Amphipoda (*Corophium* spp.), g - ślimak (*Limnoria*), h - matka sercówka, i - matka małowia piaszczysta, k - matka *Macoma*, m - ryba płastuga (stomia).





Ryc. XIV. Organizmy charakterystyczne dla grupy mezopsammonu (wg Finchama 1985)

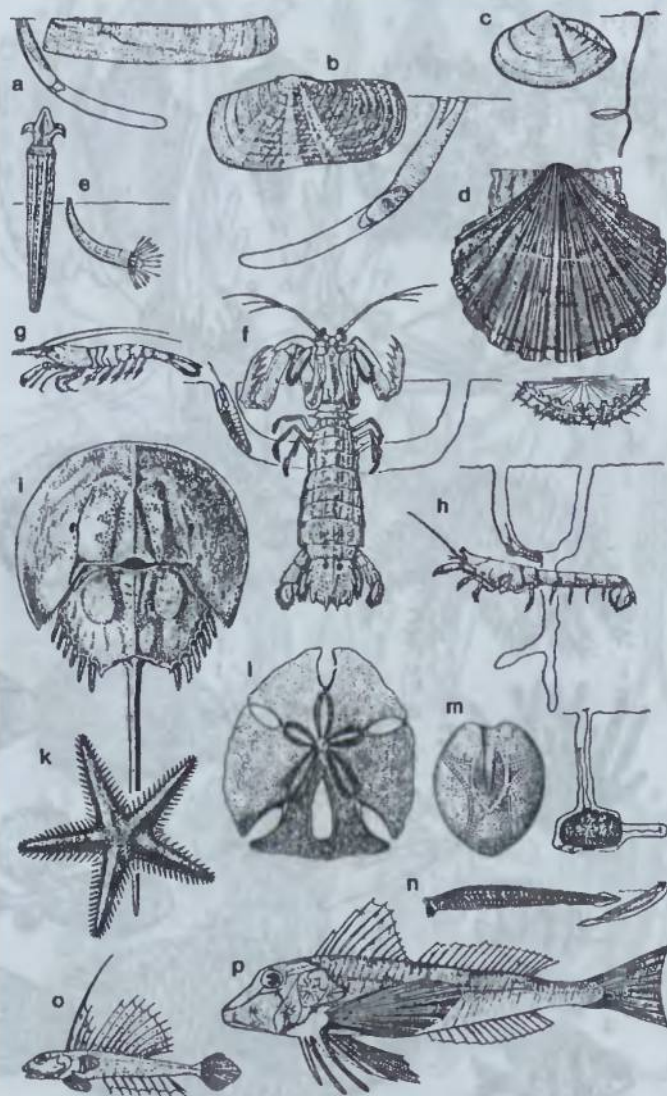
a - orzęski (*Trachelographis*, 700  $\mu$ m), b - jamochłony parzydełkowce (*Halammohydra*, 1,5 mm), c - turbellaria (*Otoplanella*, 500  $\mu$ m), d - brzuchorzęski (*Urodasys*, 300  $\mu$ m), e - brzuchorzęski (*Halichaetonotus*, 150  $\mu$ m), f - nicienie (*Epsilonema*, 400  $\mu$ m), g - nematoda (*Desmoscolex*, 400  $\mu$ m), h - ślimak (*Microhedyle*, 1,2 mm), i - ślimak (*Pseudovermis*, 3 mm), k - staroraki (*Nerillidium*, 400  $\mu$ m), l - wieloszczet (*Microphthalmus*, 3,5 mm), m - wieloszczet (*Psammodrillus*, 2 mm), n - mystacocardia (*Derocheilocaris*, 1 mm), o - widłonóg Harpacticoida (*Cylindropsyllis*, 600  $\mu$ m), p - tardigrada (*Tanarctus*, 100  $\mu$ m), q - mszywioly (*Monobryozoon*, 800  $\mu$ m), r - mszywioly (*Monobryozoon*, 800  $\mu$ m), s - osłonica (*Psammostyela*, 2 mm).



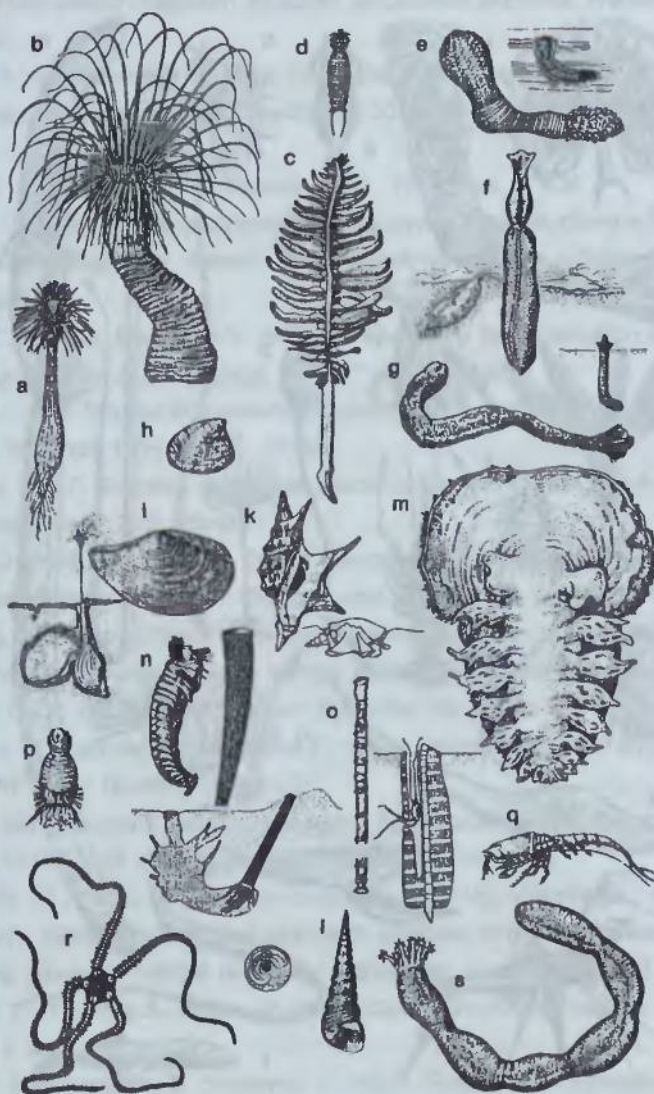
Ryc. XV. Organizmy charakterystyczne dla raf koralowych (wg Finchama 1985)

a - foraminifera (*Homotermia*, 3 mm), b - jamochłony *Actinaria* (*Lebrunia*,  $\varnothing$  8 cm), c - ślimak (*Conus*, 7 cm), d - ślimak (*Strombus gigas*, 25 cm), e - małż gigant (*Tridacna gigas*, 30 cm), f - kikutnica (*Stenorhynchus*, 2,5 cm), g - gamela (*Stenopus*, 5 cm), h - rozgwiazda (*Acanthaster planci*,  $\varnothing$  30 cm), i - liliowiec (*Heterometra*, 15 cm), k, l, m, n, o, p, q - ryby raf koralowych. Tło - koralowiec kolonijny *Millepora* 40 cm.





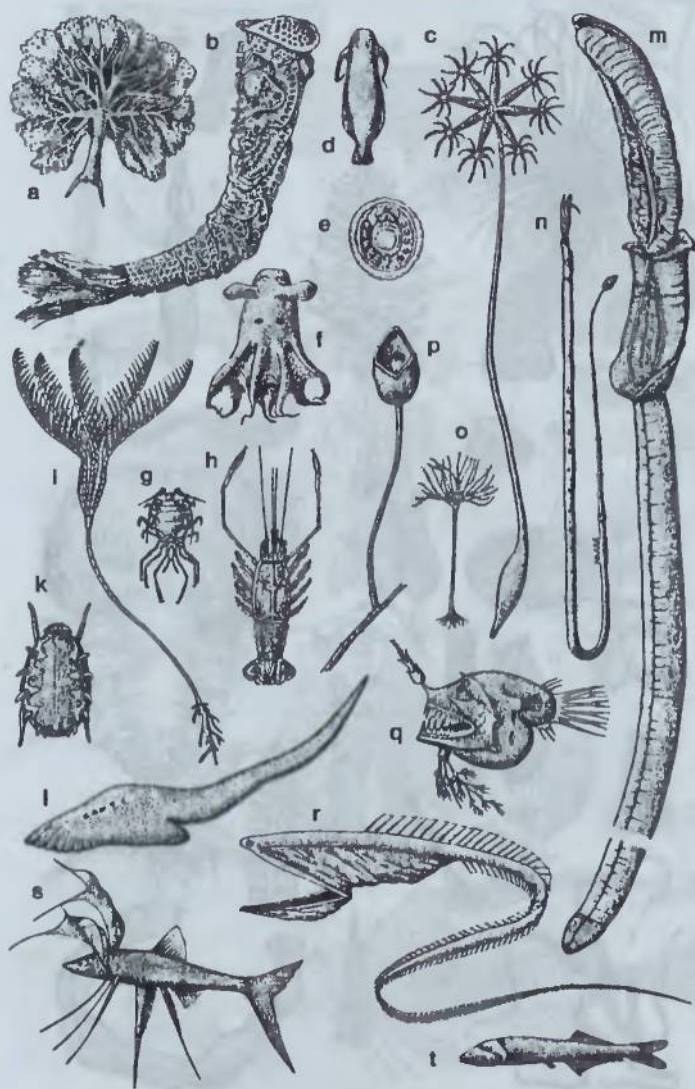
Ryc. XVI. Organizmy bentosowe charakterystyczne dla sublitoralu piaszczystego (wg Finchama 1985)  
a - małż brzytwik (*Ensis*, 13 cm), b - małż *Solecutrus*, 7 cm, c - małż *Angulus*, d - przegrzebek (*Pecten*, 15 cm), e - *Sscaphopoda*, 8 cm, f - krab rafka (*Squilla*, 20 cm), g - gamela piaszczysta (*Crangon*, 5 cm), h - rak piaszczysty (*Upogebia*, 7 cm), i - starorak (*Limulus polyphemus*, 30 cm), j - rozgwiazda (*Astropecten*, 20 cm), k - jeżowiec bezkolcy (*Encope*, 7 cm), l - jeżowiec bezkolcy (*Echinocardium*, 5 cm), m - jeżowiec bezkolcy (*Echinocardium*, 5 cm), n - lancetnik (*Amphioxus*, 5 cm), o - ryby: *Callionymus*, 7 cm i kurek (*Trigla*, 25 cm).



Ryc. XVII. Organizmy bentosowe charakterystyczne dla sublitoralu mulistego (wg Finchama 1985)

a - jamochłony (*Corymorpha*, 10 cm), b - jamochłony (*Cerianthus*, 20 cm), c - pióro morskie (*Pennatula*, 20 cm), d - kinorhyncha (*Echinoderes*, 1 mm), e - priapulida (*Priapulid*, 5 cm), f - echiurida (*Echiurus*, 10 cm), g - mięczak (*Falcidens*, 1 cm), h - małż orzechowy (*Nucula*, 1 cm), i - małż (*Yoldia*, 4 cm), k - ślimak stopa pelikana (*Apornthis*, 5 cm), l - ślimak (*Turritella*, 5 cm), m - ślimak przodoskrzelny (*Tethys*, 20 cm), n, o - polychaeta (*Pectinaria*, 3 cm i *Maldanidae*, 5 cm), p - wieloszczet (*Sternaspis*, 1,5 cm), q - ośródk (*Diastylis rathkei*, 8 mm), r - węzowidło (*Amphiura*, 8 mm), s - strzykwa (*Oostergrenia*, 18 cm).





Ryc. XVIII. Bentos charakterystyczny dla strefy hadalnej (wg Finchama 1985)

a - *Stannophyllum*, 20 cm, b - gąbka szklista (*Euplectellum*, 30 cm), c - *Umbellula*, 50 cm, d - wstężnice (*Pelagonemertes*, 4 cm), e - monoplacophora (*Neopilina*, 3,5 cm), f - głowonóg (*Vamphyrotheutis*, 5 cm), g - równonóg (*Dendrothion*, 2 cm), h - dziesięcionóg (*Willemoesia*, 10 cm), i - liliowiec (*Bathycrinus*, 30 cm), k - strzykwa (*Scotoplanes*, 13 cm), l - elasipoda (*Psychropotes*, 15 cm), m, n - pogonofora (*Riftia*, 40-100 cm), o - mszywioly (*Kinetoskias*, 4 cm), p - osłonica (*Culeolus*, 4 cm), q - *Linophryne*, 7 cm, r - *Eupharynx*, 40 cm, s - *Bathypterois*, 25 cm, t - *Cyclothone*, 7 cm.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Augustowski B., 1987, Południowy Bałtyk. Z N Ossolińskich, Wrocław 1987, s. 411.
2. Barnier M., Atlas wielkich zagrożeń. Ekologia, środowisko, przyroda. Wydaw. NT, Warszawa 1995 s. 122.
3. Bojanowski A., Szymanowicz A., 1989, Przybrzeżne rybołówstwo łódzowie w polskiej strefie rybackiej. Mat. seminarium polsko - szwedzkiego 35 lat AR. Ochrona wód Bałtyku. AR Szczec. 40-47.
4. Campbell B., 1995, Ekologia człowieka. PWN, Warszawa, s. 234,
5. Ceronik E., 1989, Możliwości pozytywnego oddziaływania na mikroflorę wód przybrzeżnych Bałtyku południowego. Mat. Semin.: Mikrobiologia wód Bałtyku i Zatoki Gdańskiej. 59-66 (maszynopis).
6. Chojnacki C.J., 1993, Man - made reefs. An alternative for recultivation and protection of the Pomeranian Bay. *Aqua*, 6, page 1 and 11-13. (In Polish).
7. Chojnacki J., 1986, Strukturalne zmiany zooplanktonu ze strefy przybrzeżnej Zatoki Pomorskiej. Mat. 13 zjazdu PTH Szczec. 31-32.
8. Chojnacki J., 1987, Sukcesja sezonowa zoocenoz planktonowych Południowego Bałtyku. Szczec. Roczn. Nauk. 2, 2, 29-44.
9. Chojnacki J. 1989, Hydrobionty Zatoki Pomorskiej i Estuarium Odry. Mat. seminarium polsko - szwedzkiego 35 lat AR: Ochrona wód Bałtyku. AR Szczec. 21-27.
10. Chojnacki J. 1991, Variability of telson observed in population of *Neomysis integer* (Leach, 1815) (Crustacea, Mysidacea) from inshore waters of southern and north - eastern Baltic Sea. Zesz. Nauk. AR Szczec. 143 Ser. Ryb. Mor. 18, 31-35.
11. Chojnacki J. C., Ceronik E., Perkowski T., 1993, Artificial reefs - an environmental experiment. *WWF Baltic Bulletin*, 1/93, 19-20.
12. Demel K., 1975, Morza i oceany - ekologia i biogeografia. PWN, Warszawa, s. 348.
13. Demel K., 1974, Życie morza. Wydaw. Morskie, Gdańsk s. 431,
14. Dobrowolski K., 1971, Jak pływają zwierzęta. PZWS, Warszawa.
15. Doumenge F., 1989, Problematique des recifs artificiels. In *FAO Fisheries Report No. 428*, The working group on artificial reefs and mariculture. Ancona, Italy 428, 52-69.
16. Duxbury A. C., Duxbury A., 1984, An introduction to the world's oceans. Addison-Wesley Publ. Co., s. 549,
17. Filipiak J., Trzebiatowski R., Sadowski J., 1995, Rybactwo. Przewodnik do ćwiczeń. I. Gospodarka na wodach otwartych. Wydaw. AR Szczec. s. 209,
18. Fincham A. A., 1985, Basic marine biology. Brit. Mus. Cambridge Univ. Press. London, s. 157.
19. Główny Urząd Statystyczny, 1992, Ochrona środowiska. Materiały i opracowania statystyczne. Warszawa s. 385.
20. Häfner M., 1993, Ochrona środowiska. Księga eko-testów do pracy w szkole i w domu. PKE, Kraków s. 349.



21. Hutchinson G. E., 1957, A treatise in limnology. J. Wiley i Sons, Geogr. Phys.Chem., New York s. 1015.
22. Kajak Z., 1979, Eutrofizacja jezior. PWN, Warszawa s. 231.
23. Konstantinov A. S., 1979, Obstshaya gidrobiologia. Wshaya skola, Moskva s. 480.
24. Lampert W., Sommer U., 1996, Ekologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa s. 389
25. Larsson U., Elmgren R., Wulff F., 1989, Eutrofication and the Baltic Sea: Causes and Consequences. Ambio, 14, 1, 9-14.
26. Levinton J. S., 1982, Marine ecology. Prentice - hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey s. 526.
27. Lityński A., 1952, Hydrobiologia ogólna. PWN, Warszawa s. 544,
28. Lossow K., 1994, Doświadczenia krajowe w rekultywacji jezior i zbiorników wodnych. In: Materiały Międzynarodowej Konferencji Ochrona i rekultywacja jezior i zbiorników wodnych. Międzyzdroje 145-162.
29. Lucas M. A. G., 1991, Atlas ekologii. Wiedza i Życie, Warszawa s. 87,
30. Luther G., 1990, Erhalt von Fauna und Flora in kustennahen Ostseegewässern durch Verlangern der Übergangszeit. Ideen des Vereins Ostseesänerung e. V. Konf. Rostock. Manuskript.
31. Łomniewski K., Mańkowski W., Zaleski J., 1975, Morze Bałtyckie. PWN, Warszawa, s. 505.
32. Łomniewski K., Mańkowski W., Zaleski J., 1975, Morze Bałtyckie. PWN, Warszawa, s. 508.
33. Müller H. J., 1984, Ökologie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, s. 395.
34. Maitland P. S., 1977, The Hamlyn Guide to Freshwater fishes of Britain and Europe. Hamlyn, London, s. 256.
35. Mientki Cz., 1994, Rekultywacja jezior metodą usuwania wód hypolimnionu do odpływu. In: Materiały Międzynarodowej Konferencji Ochrona i rekultywacja jezior i zbiorników wodnych. Międzyzdroje, 81-99.
36. Mierzwiński A., 1991, 1000 słów o ekologii i ochronie środowiska. Bellona, Warszawa, s. 293.
37. Mikulski J. St., 1982, Biologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa, s. 491.
38. Nybakken J. W., 1988, Marine biology. An ecological approach. Happer i Row, New York, s. 513,
39. Odum E. P., 1982, Podstawy ekologii. PWRiL, Warszawa, s. 662.
40. Ott J., 1988, Meereskunde. UTB Ulmer, Stuttgart, s. 386,
41. Pliński M., 1994, Biologia organizmów morskich. Wydaw. UG, Gdańsk, s. 204.
42. Pliński M., 1992, Hydrobiologia ogólna. U. G., Gdańsk, s. 189.
43. Podbielkowski Z., Tomaszewicz H., 1979, Zarys hydrobotaniki. PWN, Warszawa, s. 531.
44. Prusinkiewicz Z., 1994, Leksykon ekologiczno - gleboznawczy. PWN, Warszawa, s. 288.
45. Report to the Nordic Council's International Conference on the Population of the Seas, 1989: Northern Europe's seas. Northern Europe's environment. The Baltic Sea and the Kattegat. Stockholm, 150-169.

46. Rolik H., Rembiszewski J. M., 1987, Ryby i krągoustę (Pisces et Cyclostomata), PWN Warszawa, s. 314.
47. Różańska Z., 1987, Zasoby, zanieczyszczenia i ochrona wód morskich ze szczególnym uwzględnieniem Bałtyku. PWN, Warszawa, s. 187.
48. Stańczykowska A., 1975, Ekologia naszych wód. WSiP, Warszawa, s. 210.
49. Stańczykowska A., 1990, Ekologia naszych wód. WSiP, Warszawa, s. 224.
50. Starmach K., Wróbel S., Pasternak K., 1976, Hydrobiologia. PWN, Warszawa, s. 621.
51. Starmach K., 1973, Wody śródlądowe, zarys hydrobiologii. Skrypty. UJ Krak.
52. Stępczak K., 1994, Ochrona i kształtowanie środowiska. WSiP, Warszawa, s. 197.
53. Styczyński B., 1971, Hydrobiologia dla technikum gospodarki wodnej. PWSZ, Bielsko-Biała, s. 220.
54. Szczerbowski J., 1993, Rybactwo śródlądowe. Inst. Ryb. Śródl. Olsztyn, s. 568.
55. Tadajewski A., Knasiak M., Mutko T., 1989, Warunki hydrochemiczne ekosystemu estuarium Odry: Materiały seminarium polsko - szwedzkiego 35 lat AR: Ochrona wód Bałtyku. AR Szczec., 5-14.
56. Tait R. V., 1972, Elements of marine ecology. An introductory course. Butterworths, London, s. 314.
57. Thorson G., 1976, Życie w morzu. Wydaw. Morskie, Gdańsk, s. 432.
58. Thurman H. V., 1982, Zarys oceanologii. Wydaw. Morskie, Gdańsk, s. 553.
59. Turoboyski L., 1979, Hydrobiologia techniczna. PWN, Warszawa, s. 444.
60. Vollenweider R. A., 1968, Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular references to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Rep. OECD, Paris, s.159.
61. Wetzel R. G., 1975, Limnology. W. B. Saunders and Co. Philadelphia, s. 763.
62. Wirdheim A., Chojnacki J. C., 1992, Co się dzieje z morzem bałtyckim. Naturskyddsföreningen, CCB, Stockholm, s. 86.
63. Wulff F., Stigebrandt A., Rahm L., 1990, Nutrient dynamics of the Baltic Sea. Ambio. 19, 3, 126-133.
64. Żadin W. I., 1966, Metody badań hydrobiologicznych. PWN, Warszawa, s. 244.
65. Żmudziński L., 1990, Świat zwierzęcy Bałtyku. WSiP, Warszawa, s. 196.



## 7. SŁOWNIK TERMINÓW STOSOWANYCH W EKOLOGII WÓD

**Aeracja** - napowietrzanie.

**Abracja** - niszczenie brzegów morskich przez fale i prądy wody oraz przez dynamiczne uderzenia fal i materiału skalnego o brzeg.

**Abysal** - środowisko dna morskiego na głębokościach 4000-6000 m.

**Abysopelagial** - środowisko wód pelagicznych poniżej 4000 m głębokości.

**Afotyczny** - pozbawiony światła.

**Aklimacja** - przystosowanie fizjologiczne do zmiany określonego parametru.

**Aklimatyzacja** - przystosowanie się organizmów do nowych warunków.

**Akumulacja** - gromadzenie lub magazynowanie jakichś środków, substancji lub energii np. substancji chemicznych i radioaktywnych w organizmie itp. (bioakumulacja dotyczy gromadzenia w organizmach żywych).

**Allochtoniczny** - wyprodukowany poza układem i wprowadzony do układu z zewnątrz (przeciwieństwo **autochtonicznego**).

**Aluwia** - materiał składany współcześnie przez wody rzek i potoków na dnie ich koryt i w strefach ujściowych.

**Amensal** - negatywne oddziaływanie jednego lub kilku gatunków.

**Amiktyczne jezioro** - zbiornik, którego wody nigdy nie mieszają się (np. na powierzchni leży gruba warstwa lodu).

**Anaerobowość** - beztlenowość.

**Anadromiczna ryba** - ryba dwuśrodowiskowa, spędzająca większość swego życia w otwartym oceanie, ale udająca się na okres tarła do wód słodkich.

**Anoksja** - brak tlenu.

**Antropopresja** - całość planowych i bezplanowych działań ludzkich wywołujących zamierzone i niezamierzone zmiany w środowisku, genetyczne zmiany w populacjach itp.

**Asymilacyjna wydajność** - część przyjmowanego pokarmu, który jest absorbowany i wchłaniany na drodze metabolizmu.

**Atol** - wyspa koralowa mająca kształt podkowy lub pierścienia. Powstaje przez narastanie rafy w wyniku podnoszenia się poziomu morza lub obniżania jego dna.

**Auksotroficzne glony** - glony wymagające do swojego wzrostu obecności pochodnych substancji organicznych, np. witamin.

**Autotrofy** - bakterie i rośliny samożywne, syntetyzujące związki organiczne z soli nieorganicznych przy udziale energii słonecznej.

## B

**Batial** - środowisko dna morskiego między głębokościami 200-4000 m.

**Batypelagial** - środowisko wód pelagicznych między głębokościami 1000-4000 m.

**Barwnik krwi** - cząstka pełniąca funkcję transportową tlenu w układzie krwionośnym.

- Bental** - środowisko dna morskiego podzielone na strefę litoralną (w zasięgu pływu) i środowisko dna głębokiego (poza strefą pływów).
- Bentos** - zespół organizmów żyjących na dnie oceanów i innych zbiorników wodnych.
- Bentoso-pelagiczne połączenie** - cykl biogenów pomiędzy osadami a warstwą wody nad nimi.
- Biocenoza** - żywa część ekosystemu, składają się na nią zespoły populacji różnych gatunków roślin i zwierząt, które zasiedlają określone środowisko nieożywione (biotop - warunki klimatyczne, nasłonecznienie, rodzaj podłoża, środowisko wodne).
- Biodegradacja** - naturalny rozkład materii organicznej pod wpływem działalności organizmów żywych (głównie mikroorganizmów) nie zakłócający obiegu pierwiastków w biosferze.
- Biogeny** - związki organiczne i nieorganiczne niezbędne dla autotrofów w produkcji pierwotnej (makro- i mikroelementy). Związki azotu i fosforu wywołują nadmierny rozwój glonów w zbiornikach wód stojących, co może doprowadzić nawet do odtlenienia wód.
- Bioindykatory** - organizmy wskaźnikowe.
- Bioklimat** - klimat kształtowany (modyfikowany) przez roślinność np. klimat lasu, wybrzeża morskiego itp.
- Bioluminescencja** - emisja światła, często w postaci błysku, charakterystyczna dla wielu organizmów morskich.
- Bio-manipulacja** - prowadzone przez człowieka celowe zabiegi zmierzające do przebudowy sieci troficznej w biosystemie dla uzyskania określonych efektów np. Usuwanie planktonożernych ryb prowadzi do wzrostu biomasy zooplanktonu a w efekcie do redukcji biomasy glonów i wzrostu przezroczystości wody.
- Biomasa** - masa żywa organizmów w określonym wycinku środowiska.
- Biosfera** - strefa na Ziemi obejmująca powierzchnię i górną warstwę skorupy ziemskiej i dolną część atmosfery, do wysokości, na jakiej mogą jeszcze występować organizmy.
- Bioróżnorodność** - parametr opisujący bogactwo gatunków w biocenozie.
- Biotop** - nieożywione, fizykochemiczne środowisko życia organizmów; fragment powierzchni Ziemi, charakteryzujący się względnie jednolitymi abiotycznymi warunkami środowiska.
- Biłona biologiczna** - jest to zespół mikroorganizmów zaczepiony na podłożu naturalnym lub sztucznym wykorzystywany w procesie oczyszczania ścieków w złożach biologicznych.
- Bore** - stromy grzbiet fali przyprływu przemieszczającej się w górę rzeki.
- Brzeg** - pas lądu ciągnący się od wybrzeża w kierunku zbiornika wodnego.

## C

- Chemosynteza** - wytwarzanie przez niektóre bakterie związków organicznych z wody i dwutlenku węgla przy wykorzystaniu energii utleniania prostych substancji nieorganicznych.
- Chlorność** - gramy jonów chloru na 1000 g wody morskiej.
- Chlorofil** - barwnik zielony roślin fotosyntetyzujących.
- Ciek** - wszelkie wody powierzchniowe płynące (rzeki, strumienie, potoki, kanały, rowy).



**Ciepło** - postać energii o zdolności przepływania z ośrodka o wyższej temperaturze do ośrodka o niższej temperaturze.

**Ciepło utajone** - ilość ciepła pobieranego lub wydalanego przez jednostkę masy jakiegoś ciała podczas przemiany fazowej przy danym ciśnieniu i temperaturze.

**Ciepło właściwe** - niezbędna ilość ciepła do zmiany temperatury 1 g substancji o 1°C (dla wody 4,186J).

**Ciężar właściwy** - stosunek gęstości substancji do gęstości czystej wody w temperaturze 4°C, przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym.

**Ciśnienie osmotyczne** - ciśnienie, które może być miarą tendencji do osmozy, należy je wywierać na roztwór bardziej stężony, aby zapobiegać przenikaniu do niego cząsteczek wody z roztworu o mniejszym stężeniu.

**Cykl hydrologiczny** - pełny obieg wody pomiędzy atmosferą, lądem i oceanem, który związany jest z procesem parowania, opadami atmosferycznymi, spływem wód powierzchniowych i podziemnych.

**Cyklomorfoza** - sezonowa zmienność morfologiczna (kształtu ciała, jego wielkości, przydatków zwiększających powierzchnię oporu) w populacjach niektórych glonów, pierwotniaków, wrotków i wióslarek planktonowych, wywołuje ją letnie zwiększenie temperatury wody i zmniejszenie jej lepkości.

**Cyrkulacja Langmuira** - komórkowa cirkulacja wód wywołana przez wiatry wiejące w jednym kierunku z prędkością przekraczającą 12 km/h. Spirale śrubowe równoległe do kierunku wiatru mają przemiennie bieg zgodny i bieg niezgodny z ruchem wskazówek zegara.

**Cyrkulacja termohalinowa** - ruch wody w kierunku pionowym wywołany różnicami gęstości, co jest efektem zmian temperatury i zasolenia.

**Czerwony przyływ** - zabarwienie wody powierzchniowej w rejonach przybrzeżnych spowodowane wysoką koncentracją fitoplanktonu, a zwłaszcza bruzdnic. Ta gradacja spowodowana jest efektem wzrostu jakiegoś specyficznego biogenu egzo- i enterotoksyny, jakie powstają w efekcie procesów życiowych, a także po śmierci bruzdnic powodują natychmiastową śmierć ryb i innych hydrobiontów. Martwe rośliny i zwierzęta rozkładając się wyczerpują zasoby tlenu w warstwach powierzchniowych, co z kolei powoduje duszenie się wielu zwierząt

## **D**

**Degradacja** - obniżenie roli, pozycji lub wartości kogoś lub czegoś. Degradacja wód - zespół zjawisk i procesów powodujących obniżenie jakości wód.

**Demografia** - określa liczbowo charakter populacji (np. ludności, strukturę wiekową, itp.)

**Delta** - nisko leżący osad w ujściu rzeki w kształcie litery „Y”.

**Destruenci** - mikroorganizmy, głównie bakterie rozkładające obumarłą materię organiczną, wykorzystujące niektóre produkty rozkładu oraz uzdatniające składniki potrzebne do produkcji roślinnej.

- Detrytus** - rozproszony materiał powstały z rozkładu skał (detrytus organiczny powstaje w wyniku rozkładu obumarłych organizmów).
- Diapauza** - okres zahamowania procesów fizjologicznych w różnych stadiach rozwoju ontogenetycznego. Występuje zwykle w okresie niesprzyjających warunków klimatycznych lub biotycznych (u widłonogów, wioślarek i owadów).
- Dimiktyczne jezioro** - pełna cyrkulacja w jeziorze zachodzi dwukrotnie w ciągu roku.
- Długość fali** - odległość pozioma między dwoma jednoimiennymi punktami profilu fali, np. między dwoma sąsiednimi dolinami lub grzbietami fali.
- Doba księżycowa = doba pływowa** - czas między dwoma kolejnymi przejściami Księżyca przez jeden i ten sam południk (24 godziny i 50 minut).
- Dolina ryftowa** - szczelina w środkowej części grzbietu śródoceanicznego o szerokości od 25 do 50 km
- Downwelling** - pionowy ruch wody morskiej w dół.
- Dryft kontynentów** - teoria, w myśl której istnieje możliwość ruchu kontynentów ponad skorupą ziemską.
- Dy** - osad organiczny gromadzący się na dnie niektórych dystroficznych zbiorników wodnych bogatych w rozpuszczone kwasy humusowe.
- Dyfuzja** - przemieszczanie się jednostek substancji z obszaru o wyższej koncentracji do środowiska o niższej koncentracji tej substancji.
- Dystrofia** - zaburzenia w odżywianiu organizmu lub zbiornika wodnego spowodowane silnym niedoborem składników pokarmowych.
- Dywergencja = rozbieżność** - poziomy przepływ wody z obszaru centralnego występujący w upwellingu.

## E

- Ekmana cyrkulacja** - ruch na powierzchni wody wynikający z działania sił Coriolisa.
- Ekologiczna wydajność** - poziom energii wytwarzany na poziomach troficznych, podzielony przez poziom energii zmagazynowanej na tym poziomie.
- Ekosystem** - fragment biosystemu stanowiący funkcjonalną całość w której zachodzi wymiana między częścią żywą (biocenozą) a nieożywioną (biotopem).
- Ekoton** - różnej szerokości strefa przejściowa między dwoma układami ekologicznymi (ekosystemami, biocenozami) np. Zalew Szczeciński a zwłaszcza Roztoka Odrzańska są ekotonem pomiędzy biocenozą słodkowodną Ody i słonowodną Bałtyku.
- Emitowanie** - wydzielanie, wysyłanie, puszczanie lub nadawanie czegoś, np.: emitowanie gazów do atmosfery, wypuszczanie zanieczyszczeń do wody.
- Emigracja** - trwała zmiana lokalizacji.
- Endosymbioza** - bycie w symbiozie i życie wewnątrz ciała organizmu.
- Energia elektromagnetyczna** - energia przenoszona jako fale i cząsteczki z prędkością światła; właściwości energii elektromagnetycznej zależą od długości fali; najdłuższe



należą do zakresu fal radiowych i osiągają długość do  $10^4$  m, najkrótsze to promienie kosmiczne o znikomej przenikliwości osiągające długość  $10^{-15}$  m.

**Energia kinetyczna** - energia ruchu; wzrasta ze wzrostem prędkości lub masy ciała, które znajduje się w ruchu.

**Entropia** - miara stopnia nieuporządkowania; jest tym większa, im bardziej rozmyty jest układ prawdopodobieństwa.

**Epibentos** - organizmy żyjące na powierzchni dna.

**Epicentrum** - miejsce na skorupie ziemskiej bezpośrednio powyżej ogniska trzęsienia Ziemi.

**Epifauna** - zwierzęta przytwierdzone do twardego substratu albo swobodnie poruszające się po dnie.

**Epifyta** - mikroglony żyjące na powierzchni roślin, naroślinne.

**Epilimnion** - w jeziorach stratyfikowanych jest to warstwa wód powierzchniowych o najwyższej temperaturze.

**Epiliton** - organizmy bentosowe żyjące na powierzchni substratu twardego, skalistego.

**Epipelagial** - powierzchniowa warstwa dziedziny oceanicznej do głębokości około 200 m.

**Epipelon** - organizmy bentosowe żyjące na powierzchni osadów mulistych.

**Epipsammon** - organizmy bentosowe żyjące na powierzchni osadów piaszczystych.

**Estuarium** - dolina rzeczna w strefie ujściowej, gdzie wpływ morza zaznacza się obecnością pływów i wzrostem zasolenia wody rzecznej.

**Estuarium okresowe** - estuarium, gdzie zasolenie w każdym punkcie geograficznym zmienia się okresowo (np. wzrost zasolenia podczas wiosennych roztopów).

**Euryhalinowy** - organizm mający zdolność tolerancji szerokiego zakresu zasolenia.

**Eurytermiczny** - organizm mający zdolność tolerancji szerokiego zakresu temperatur.

**Eutrofizacja** - wzbogacanie (niekiedy nadmierne) w wyniku procesów naturalnych lub (częściej) antropogenicznych jakiegoś środowiska (np. jezior, rzek, mórz) w składniki pokarmowe. Nadmierna chemizacja rolnictwa (zbyt obfite naturalne lub sztuczne nawozy azotowe i fosforowe) powoduje przedostawanie się do wód nadmiernej ilości biogenów które powodują szereg niekorzystnych zjawisk w ekosystemach wodnych - zakwity fitoplanktonu, nadprodukcja zooplanktonu, ubytki tlenowe, powstawanie stref azoicznych a także zanikanie stenobiontów w tym cenniejszych gatunków ryb itd.

## F

**Fala** - przemieszczające się zaburzenie powierzchniowe lub wewnętrzne ośrodka z prędkością zależną od właściwości ośrodka.

**Fala grawitacyjna** - dominującą siłą podtrzymującą jest w jej wypadku siła ciężkości. Długość fal grawitacyjnych przekracza 1,7 cm, przy prędkości rozprzestrzeniania uzależnionej od siły ciężkości.

**Fala kapilarna** - dominującą siłą determinującą tych fal jest napięcie powierzchniowe. Długość fali kapilarnej jest mniejsza niż 1,74 cm.

- Fala Kelvina** - długa fala progresywna, która podczas cyklu pływowego przemieszcza się z otwartego morza do zatoki. Wielkość amplitudy fali jest większa po stronie zbiornika będącej w czasie przyływu jego prawym brzegiem (w kierunku ruchu fali). Takie zachowanie się fali wynika z obrotu zbiornika w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, gdy tymczasem fala ma tendencję do ruchu prostoliniowego.
- Fala na głębokościach przejściowych** - przemieszcza się z głębokiego morza na małe głębokości. Długość jej jest większa od dwóch głębokości i mniejsza od dwudziestu głębokości wody; orbity cząstek podlegają wpływowi dna.
- Fala płytkowodna** - jest falą powierzchniową, której długość jest co najmniej 20 razy większa od głębokości wody. Dno wpływa na orbity cząsteczek wody a prędkość rozprzestrzeniania się jest determinowana przez głębokość wody, czyli:  $V = (m \cdot s^{-1}) = 3,1 \cdot \text{pierwiastek kwadratowy z głębokości wody (m)}$ .
- Fala pływowa** - jest falą długookresową wywołaną siłami przyciągania grawitacyjnego; przejawiają się one we wzroście i opadaniu pływu.
- Fala podłużna** - zjawisko ruchu falowego, gdy drganie cząsteczek jest równoległe do kierunku propagacji energii.
- Fala poprzeczna** - cząstki fali poruszają się w kierunku prostopadłym do kierunku propagacji energii.
- Fala progresywna** - kształt tej fali przemieszcza się w określonym kierunku.
- Fala sejsmiczna** - fala tsunami - grawitacyjna fala pochodzenia sejsmicznego, wywołana trzęsieniem dna morskiego lub erupcją wulkanu podwodnego. Fala ta jest niewidoczna na otwartym oceanie (mała stromość), ma jednak dużą wysokość w strefie brzegowej.
- Fala wewnętrzna** - powstaje pod powierzchnią wody o zmiennej gęstości, zmniejszającej się w kierunku dna.
- Fala głębokowodna** - rozchodzi się po powierzchni morza, którego głębokość jest większa od połowy średniej długości fali.
- Falowanie swobodne** - wywołane jest działaniem siły o charakterze impulsowym i istniejące po ustaniu działania tej siły.
- Falowanie wymuszone** - wymuszone i podtrzymywane przez działanie słabej siły, np. przez przyciąganie Księżyca.
- Fikoerytryna** - czerwony barwnik charakterystyczny dla glonów - krasnorostów.
- Fiord** - długa, głęboka zatoka o wlocie w kształcie litery „U”, związana z działalnością lodowca.
- Fitocenoza** - roślinna część biocenozy.
- Fitoplankton** - organizmy fotosyntetyzujące, występujące w planktonie.
- Fluwialny** - rzeczny, utworzony przez rzekę.
- Fotorespiracja** - wzmożone oddychanie roślin w świetle w stosunku do oddychania w ciemności.
- Fotosynteza** - asymilacja  $CO_2$  przy użyciu energii światła słonecznego i udziale chlorofilu oraz niektórych barwników karotenoidowych.



**Fototaksja** - ruch w kierunku światła.

**Fototrofia** - w odróżnieniu od chemotrofii, wykorzystanie światła jako źródła energii w procesie budowy własnej biomasy.

**Fukoksantyna** - barwnik czerwono-brązowy nadający glonom zaliczanym do brunatnic ich charakterystyczną barwę.

## G

**Głębokość kompensacji  $O_2$  = poziom kompensacji  $O_2$**  - na tej głębokości produkcja tlenu w wyniku fotosyntezy jest równa zapotrzebowaniu tlenowemu; poniżej tej głębokości rośliny nie mogą żyć.

**Głębokość mieszania** - głębokość wody, na której energia wiatru powoduje mieszanie wody w kolumnie.

**Gęstość** - ciężar w gramach wody morskiej na 1 milimetr<sup>3</sup> płynu.

**Gradient** - wielkość zmiany jakiegoś wskaźnika na jednostkę zmiany innego wskaźnika (odległości).

**Grazer** - drapieżnik, który konsumuje organizmy znacznie mniejsze niż on sam (np. copepoda żywi się okrzemkami).

**Grobla** - budowla hydrotechniczna otaczająca sztuczny zbiornik wodny lub brzegi rzeki.

**Grzbiet śródoceaniczny** - podwodny, sejsmiczny grzbiet górski występujący we wszystkich oceanach, wznoszący się od 1 do 3 km powyżej dna basenu oceanicznego; średnia szerokość 1500 km, wzdłuż jego osi centralnej występują doliny ryftowe.

**Guano** - złoża ekskrementów i trupów ptaków morskich (np. pingwinów, kormoranów, głuptaków) żyjących w milionowych koloniach na zachodnich wybrzeżach Peru, Chile i w Antarktyce; pokłady guana osiągają miąższość kilkudziesięciu metrów i są eksploatowane jako naturalny nawóz azotowy, potasowy i fosforowy.

**Gujot** - podwodna góra stołowa pochodzenia wulkanicznego o ściętej górnej części.

**Głęboka warstwa** - warstwa rozciągająca się od najniższego punktu termokliny do dna.

**Gytia** - osad organiczny lub mineralno-organiczny gromadzący się na dnie niektórych eutroficznych i dobrze natlenionych zbiorników wodnych (osad składa się głównie z rozkładających organizmów planktonowych).

## H

**Hadalny** - związany z najgłębszym środowiskiem oceanicznym, rowów o głębokości powyżej 6000 m.

**Haloklina** - warstwa wody, w której następuje ostra zmiana zasolenia, zwykle minimum o 1‰ na 10 m głębokości.

**Halobionty** - organizmy żyjące wyłącznie w wodach o dużej zawartości soli (od 50‰ do około 200‰) lub na glebach silnie zasolonych.

- Herbiwora** - organizmy żywiące się roślinami.
- Heterotrofia** - cudzożywność w trakcie której następuje przetwarzanie organicznych źródeł węgla w procesie budowy własnej biomasy.
- Heterotroficzne glony** - glony, które adsorbują cząsteczki organiczne jako podstawowe źródło biogenów.
- Heterozygota** - komórka powstająca w wyniku połączenia się 2 gamet o różnym składzie genetycznym.
- Hermafrodyta** - organizm zdolny do produkcji komórek męskich i żeńskich.
- Herptobentos** - zwierzęta kroczące lub pełzające po dnie.
- Holoplankton** - plankton spędzający wszystkie cykle życiowe w toni wodnej.
- Holomiktyczne jezioro** - akwen, którego wody co najmniej raz w roku ulegają pełnemu wymieszaniu, aż do dna.
- Homeotermi** - organizmy utrzymujące stałą temperaturę ciała pomimo zmian temperatury w środowisku zewnętrznym.
- Homozygota** - komórka powstająca w wyniku połączenia 2 gamet o tym samym składzie genetycznym.
- Hydrobionty** - organizmy, dla których środowiskiem bytowania i rozwoju jest woda.
- Hydrosfera** - wodna powłoka Ziemi, przenikająca skorupę ziemską i atmosferę.
- Hydrotermiczne otwory** - miejsca w podłożu głębokiego oceanu, gdzie gorące, bogate w siarkę wody wyzwalane są z gorących skał geotermalnych.
- Hypertoniczny** - właściwość roztworu wodnego o ciśnieniu osmotycznym (zasoleniu) wyższym niż inny roztwór wodny; roztwory muszą być rozdzielone błoną półprzepuszczalną umożliwiającą osmozę. Roztwór wzbogaca się o cząsteczki przechodzące przez błonę z innego płynu.
- Hypolimnion** - strefa zimnych wód głębinowych w jeziorach stratyfikowanych.
- Hypotoniczny** - właściwość roztworu wodnego o ciśnieniu osmotycznym (zasoleniu) niższym niż inny roztwór wodny; roztwory rozdzielone błoną półprzepuszczalną dopuszczającą do osmozy. Roztwór traci cząsteczki przechodzące przez błonę do innego płynu
- I
- Infauna** - zwierzęta zagrzebane w mule lub piasku.
- Interstycjalna fauna** - organizmy żyjące w porowatych przestrzeniach pomiędzy osadami piaszczystymi a miękkimi.
- Izohalina** - linia łącząca miejsca o jednakowym zasoleniu wody.
- Izolinie wysokości pływów** - linie łączące punkty o jednakowej wysokości pływów.
- Izoterma** - linia łącząca miejsca o jednakowej temperaturze.
- Izotoniczność** - właściwość w której roztwór znajdujący się na zewnątrz ma ciśnienie osmotyczne równe ciśnieniu osmotycznemu w komórce.



K

- Kanion podmorski** - głęboki kanion o kształcie litery „V”, który wcina się w stok lub szelf kontynentalny.
- Karniwora** - organizmy drapieżne, odżywiające się mięsem zwierząt.
- Karoten** - żółty lub czerwony barwnik roślinny.
- Katabolizm** - zachodzące w komórce procesy rozkładu związków organicznych (złożone cząsteczki ulegają przekształceniu na prostsze m.in.  $\text{CO}_2$  i jest uwalniana energia).
- Katadromiczne ryby** - ryby wędrujące na czas tarła do morza, a żyjące w estuariach lub wodach słodkich.
- Kierunek nawietrzny** - kierunek, z którego rozprzestrzeniają się fale lub z którego wieje wiatr.
- Kierunek zawietrzny** - kierunek, do którego zmierzają się fale lub do którego wieje wiatr.
- Klif (faleza)** - urwisty brzeg morza lub jeziora; powstaje na wysokich wybrzeżach wskutek działania abrazji.
- Klimaks** - końcowe stadium procesu sukcesji.
- Komensalizm** - forma współżycia osobników dwóch gatunków, polegająca na ułatwianiu przez jednego z nich, bez własnego uszczerbku zdobycia pokarmu drugiemu (komensalowi).
- Komin** - samotna skała stercząca z oceanu na zewnątrz przylądka, od którego została odcięta w wyniku erozji fal.
- Kompensacja intensywności światła** - to taka intensywność, przy której ilość tlenu wytwarzanego na drodze fotosyntezy jest równa ilości tlenu zużytego na oddychanie.
- Kontynentalny szelf** - przybrzeżna, płytka część dna morskiego rozciągająca się do głębokości 100 -200 m.
- Konwekcja oceaniczna** - cząsteczki wody przemieszczając się do góry przenoszą ciepło na drodze swojej wędrówki.
- Konwergencja** - występuje w regionach polarnych, tropikalnych i subtropikalnych, gdzie spotykają się masy wodne o różnych właściwościach fizycznych. Wzdłuż linii konwergencji bardziej gęste masy wody opadają pod lżejsze.
- Koprofagi** - organizmy odżywiające się odchodami.
- Koralowe rafy** - struktury odporne na działanie fal, powstałe z koralowców madreporowych, glonów wapiennych i innych organizmów wytwarzających wapiń.
- Kra** - pływający lód o stosunkowo płaskiej powierzchni, nie jest to lód stały ani góra lodowa, ma jednak wymiary od 20 m do około 1 km. Wg klasyfikacji lodów WMO kra dzieli się na siedem typów wielkościowych.
- Krażki lodowe** - płaskie, okrągłe kawałki świeżo utworzonego lodu morskiego o średnicy 0,3-3,0 m i grubości do 0,1 m, z charakterystycznie podniesionym obrzeżem powstającym w wyniku falowania.

**Kryl** - pospolita nazwa pokarmu wielkich ssaków morskich i niektórych ptaków; tak określa się dużego widłonoga planktonowego *Calanus finmarchicus* w Morzu Północnym, a w wodach antarktycznych makroplanktonowe skorupiaki należące do rzędu *Euphausiacea* - *Euphausia superba*.

**Krytyczna głębokość** - głębokość, powyżej której poziom fotosyntezy równy jest poziomowi oddychania organizmów fotosyntetyzujących.

**Krytyczne zasolenie** - zasolenie 5-8‰, które oznacza minimalną ilość gatunków w estuarium.

**Krzywa rozpadu tlenu** - krzywa przedstawiająca istniejącą sytuację barwnika krwi jako funkcję koncentracji tlenu w płynie.

**Krzywa przeżywalności** - krzywa opisująca zmiany poziomu śmiertelności jako funkcja wieku.

## L

**Laguna** - zbiornik wodny w morzu, częściowo lub całkowicie odcięty od otwartego oceanu przez wydłużony skrawek lądu, rafy lub wyspy barierowej.

**Larwa** - oddzielne stadium rozwojowe u wielu gatunków, poczynając od zygoty.

**LD<sub>50</sub>** - dawka letalna, po zastosowaniu której następuje 50% śmiertelność populacji.

**Liczba Reynoldsa (Re)** - wartość, która opisuje siły działające na ciała poruszające się wobec cieczy (np. opadający w pelagialu plankton). Re - podaje stosunek sił bezwładności do sił tarcia wewnętrznego podczas ruchu cieczy wokół obiektu lub ruchu obiektów w cieczach.

**Liman** - przybrzeżne słonawe lub słone jezioro nad Morzem Czarnym lub Azowskim powstałe wskutek odcięcia mierzeją płytkiej zatoki morskiej.

**Linia brzegowa** - linia przecięcia powierzchni wody z brzegiem, zmienia się raz w górę, a raz w dół zależnie od fali pływowej.

**Linia wybrzeża** - dobrzeżna granica wpływu najwyższych fal sztormowych na brzeg.

**Litoral** - strefa dna pomiędzy poziomami stanów najwyższej i najniższej normalnej wody; często określamy ją w morzu jako strefę międzyplywową. W rzekach, stawach i jeziorach jest to płytkie, prześwietlone dno w strefie przybrzeżnej zbiornika.

**Litosfera** - zewnętrzna powłoka Ziemi z warstwą skorupy i górnym płaszczem do głębokości około 80-150 km. Górne piętro litosfery zbudowane jest ze skał magmowych (granitu), a dolne piętro - z bazaltu.

**Lodowiec** - masa lodu utworzona na lądzie przez rekrytalizację starego śniegu pod wpływem ciśnienia warstw, zmiany struktury i składu. Porusza się on z obszaru tworzenia do obszaru niszczenia, gdzie lód jest odrywany przez kruszenie albo usuwany przez topnienie.

**Lód morski** - różne rodzaje lodu powstałe w wyniku wymarzania wody morskiej; barwa tego lodu jest szara, nieprzezroczysta.

**Lód stały** - morski lód przymarznięty do brzegu, jeżeli wystaje na ponad 2 m nad powierzchnię wody nosi nazwę lodu szelfowego lub płyty lodowej.



Ł

- Ładunek zanieczyszczeń w ściekach** - jest to łączna masa zanieczyszczeń zawartych w ściekach w jednostce czasu, równa iloczynowi natężenia przepływu ścieków i stężenia zanieczyszczeń, wyrażona np. w BZT<sub>5</sub>, ChZT lub zawartością zawieszin w kg/d, g/h i mg/s.
- Łańcuch pokarmowy** - uszeregowanie organizmów od producentów do destruentów w przenoszeniu energii.
- Łuk morski** - otwór w cyplu spowodowany erozyjną działalnością fal; powstaje wówczas, gdy jaskinie morskie z jednej lub obu stron cypla rozszerzają się i łączą ze sobą.

M

- Magma** - masa skalna w stanie płynnym, składająca się z różnych związków (głównie krzemionki i krzemianów) oraz rozpuszczonych w nich gazów; z masy tej w procesie zastygania krystalizują się skały magmowe.
- Makrobentos** - makrofauna lub makroflora, których wielkość przekracza 0,5 mm.
- Makroflora** - organizmy, których najmniejszy rozmiar jest większy lub równy 0,5 mm.
- Makrofity** - wyższe rośliny wodne i ramienice.
- Makroplankton** - duże formy planktonu, najczęściej zwierzęcego, o wielkości od 1 do 10 mm.
- Martwa woda** - przy prędkości równej zero prąd pływowy zmienia swój kierunek w czasie wysokiej lub niskiej wody.
- Marsze** - (mady morskie) podmokłe obszary wilgotnego, płaskiego lądu, zalewane okresowo przez wodę morską; stanowią często część lagun.
- Masa wodna** - masy wody o określonej temperaturze, zasoleniu i składzie chemicznym.
- Meander** - (zakola) wężowate zakręty koryta rzeki zwłaszcza cieków o niewielkim spadku, gdzie erozja boczna działa bez przeszkód (meander tworzą dwa zakola prawe i lewe).
- Mechaniczno - biologiczne oczyszczanie ścieków** - jest systemem oczyszczania ścieków, w którym wykorzystuje się mechaniczne i biologiczne procesy w oddzielnych urządzeniach oczyszczających.
- Mechaniczne oczyszczanie ścieków** - oczyszczanie ścieków wykorzystujące procesy fizyczne (sedymentację, flotację, cedzenie i filtrację) w takich urządzeniach jak: osadniki, sita, filtry itd.
- Meiobentos** - bentos zwierzęcy lub roślinny o wielkości poniżej 0,5 mm, ale nie większej niż 0,1 mm.
- Meiofauna** - organizmy, których wielkość zawiera się w granicach 0,5 mm - 0,1 mm.
- Meroplankton** - organizmy, które spędzają część swojego życia w pelagialu, a resztę na dnie zbiornika wodnego.
- Meromiktyczne jezioro** - akwen w którym wody głębinowe (monimolimnion) pozostają poza zasięgiem mieszania.

- Metalimnion** - w jeziorach stratyfikowanych jest to strefa o najostrzejszym spadku temperatury wraz z głębokością (zawsze występuje w nim termoklina, skok termiczny).
- Mezopelagial** - strefa głębokości od 150 do 2000 m w kierunku stoku kontynentalnego
- Mezotroficzny akwen** - zbiornik wody o cechach pośrednich między oligotrofią a eutrofią
- Mętność** - stan umownej czystości spowodowany obecnością zawiesziny nazywanej sestonem (bio- lub abiosestonem).
- Mierzeja** - mały szpic, niski cypel lub wąski nasyp lądu, składający się zazwyczaj z piasku osadzonego przez prądy litoralne i mający jeden koniec związany z lądem, a drugi w otwartej wodzie.
- Miesiąc księżycowy** - czas między fazami księżyca równy w przybliżeniu 29,53 dniom. Natomiaś okres od pełni do nowiu Księżyca wynosi 14,75 dnia (potocznie dwa tygodnie).
- Mikrobentos** - organizmy roślinne lub zwierzęce, których rozmiary są mniejsze od 0,1 mm
- Mikrofauna** - zwierzęta o wielkości poniżej 0,1 mm.
- Mikrokontynent** - podmorski płaskowyż, izolowany fragment skorupy oceanicznej, spotykany w Oceanie Indyjskim.
- Mikroplankton** - plankton sieciowy, łatwy do odcedzenia za pomocą siatki planktonowej (Kopenhaska, Judaya, WP2, Nansena itp.).
- Miksolimnion** - występuje w zbiorniku meromiktycznym jako strefa wód objęta mieszaniem
- Miksotrofia** - typ odżywiania częściowo oparty na autotrofii a częściowo na heterotrofii (typ mieszany).
- Miktyczne typy jezior** - zbiorniki wyróżnione wg. Częstotliwości i zasięgu mieszania (jeziora amiktyczne, dymiktyczne, holomiktyczne, meromiktyczne, monomiktyczne, oligomiktyczne, polimiktyczne).
- Młaka** - miejsce podmokłe, związane z lokalnym wysiękiem wód gruntowych.
- Mnich** - urządzenie hydrotechniczne (najczęściej drewniane) z zastawkami, które służy do regulowania poziomu wody w stawach.
- Molo** - konstrukcja inżynierska biegnąca od brzegu w kierunku otwartych wód zbiornika, ochraniająca port lub przejście nawigacyjne przed spływaniem poprzez osadzanie materiału transportowanego wzdłuż brzegu.
- Monimolimnion** - jest to strefa wód w jeziorach meromiktycznych zupełnie nie objęta mieszaniem.
- Monomiktyczne jezioro** - to jest taki akwen w którym wody ulegają pełnemu wymieszaniu raz do roku.
- Monsuny** - sezonowe wiatry wiejące z południowego zachodu podczas lata i z północnego wschodu podczas zimy na Oceanie Indyjskim.
- Morze przybrzeżne** - morze marginalne, półzamknięty zbiornik wodny przyległy do kontynentu, z którego spływają osady.
- Morze Sargassowe** - obszar konwergencji na Atlantyku Północnym, leżący na południowym wschodzie od Bermudów, gdzie woda na dużych głębokościach jest bardzo czysta,



ma kolor niebieski i zawiera duże ilości pływających glonów brunatnych - gronorostów (*Sargassum*).

**Mszar** - miejsce podmokłe (zabagnione) porośnięte mchami, karłowatymi drzewami i krzewinkami jagodowymi.

**Muł** - osad składający się z cząsteczek mniejszych niż 0,06 mm; zazwyczaj są w nim również większe cząstki organiczne. Jest to osad pelagiczny, zawierający co najmniej 30% szczątków szkieletów organizmów pelagicznych, reszta to faza mineralna (muł okrzemkowy, otwornicowy, radiolariowy, pteropodowy).

## N

**Nadir** - punkt na nieboskłonie przeciwny zenitowi i znajdujący się pionowo pod obserwatorem.

**Nannoplankton** - plankton (najczęściej fitoplankton) o wymiarach od 2-30 mikronów, który nie da się zebrać siatką planktonową, jest odwirowywany z wody lub odfiltrowywany przy użyciu specjalnych mikrofiltrów.

**Nanos przybrzeżny** - materiał osadzający się podczas transportu przez prąd litoralny wzdłuż plaży - od strefy grzywaczy do szczytu linii zmywu wstępującego.

**Nastłonecznienie = insolacja** - ilość promieniowania słonecznego, jaką otrzymuje jednostka powierzchni Ziemi w jednostce czasu.

**Nekrofag** - trupojad - organizm żywiący się padliną.

**Nektobentos** - organizmy pływające lub spędzające życie nad dnem.

**Nekton** - organizmy pelagiczne zdolne do aktywnego pływania - głowonogi, ryby i ssaki

**Neuston** - organizmy planktonowe związane z warstwą powietrze-woda, głównie w wodach stojących.

**Nieciągłość** - nagła zmiana właściwości, np. temperatury lub zasolenia, uwidacznia się jako uskok liniowy lub powierzchniowy.

**Nieciągłość Mohorovicica** - gwałtowna nieciągłość w składzie pomiędzy skorupą i płaszczem Ziemi. Występuje od 8 km poniżej dna oceanu do 60 km poniżej niektórych grzbietów górskich na kontynentach.

**Nisza** - obszar zajmowania i występowania gatunku.

**Nisza abrazyjna** - podcięcie u podnóża klifu w miejscu najbardziej narażonym na niszczące działanie fal morskich.

**Niższa woda niska** (ang. lower low water LLW) - niższy z dwóch poziomów występujących przy wodzie niskiej w czasie doby; odnosi się do pływów mieszanych.

**Niższa woda wysoka** (ang. lower high water, LHW) - niższy z dwóch poziomów występujących przy wodzie wysokiej w czasie doby; odnosi się do pływów mieszanych.

## O

**Odnoga** - mały potok płynący od głównego potoku; potoki takie są charakterystyczne dla delt.

**Oceaniczny grzbiet** - esowaty grzbiet górski wyrastający z głębokiego dna oceanicznego.

- Oczyszczanie ścieków** - proces technologiczny polegający na zmianie właściwości fizycznych i składu chemicznego lub biologicznego ścieków do stanu umożliwiającego ich odprowadzenie do wód powierzchniowych lub wykorzystanie w rolnictwie.
- Oddychania iloraz** - stosunek ilości  $\text{CO}_2$  produkowanego do ilości tlenu zużytego w procesie oddychania.
- Oddechowy barwnik** - cząsteczka, polimer lub inny kompleks przystosowany do wiązania tlenu, w układzie krążenia, np. hemoglobina.
- Oddychanie** - zużycie tlenu w procesie tlenowego metabolizmu.
- Okres fali** - czas pomiędzy przejściem dwóch sąsiednich grzbietów fali przez jeden ustalony punkt.
- Okres pływu** - czas pomiędzy dwoma kolejnymi wysokimi lub niskimi poziomami morza.
- Oksykлина** - strefa gwałtownej zmiany warunków tlenowych wraz z głębokością w zbiorniku stratyfikowanym. Zwykle oksykлина towarzyszy termicznej warstwie skokowej (termoklinie).
- Oligomiktyczne jezioro** - jest zbiornikiem którego wody nie zawsze i nie co roku mieszają się.
- Oligotroficzny akwen** - obszar wodny lub mieszkańcy o małej koncentracji biogenów, małej produkcji pierwotnej i niskiej zawartości materii organicznej w wodzie i osadach dennych.
- Osad** - cząstki o genezie organicznej lub nieorganicznej, osadzające się w luźnej formie.
- Osad biogeniczny** - zawiera materiał wytworzony przez rośliny lub zwierzęta, np. rafy koralowe, fragmenty muszli oraz skorupki okrzemek, promienic, otwomic oraz kokkolitoforów.
- Osad czynny** - zespół mikroorganizmów tworzących drobne kłaczkę, które w napowietrzanej mieszance ze ściekami powodują tlenowy biochemiczny rozkład zanieczyszczeń wykorzystywany w oczyszczaniu ścieków metoda osadu czynnego.
- Osad hydrogeniczny** - utworzony przez sedymentację substancji wytrącających się w wodzie morskiej lub powstający na dnie morza na drodze wymiany jonowej między osadem istniejącym a wodą morską, np. koncentracje żelazowo - manganowe, fosforyty, glaukonit, filipsyt, montmorylonit.
- Osad kosmogeniczny** - każdy osad pochodzący z przestrzeni zewnętrznej kuli ziemskiej.
- Osad litogeniczny** - składający się z ziaren mineralnych pochodzących ze skał kontynentów i wysp, transportowany do oceanu przez wiatr lub płynącą wodę.
- Osad pelagiczny** - iły nieorganiczne abysalne i muły organiczne, osadzające się niezwykle wolno na dnie głębokiego oceanu.
- Osad terrygeniczny** - pochodzi z materiału zawleczonego do morza z kontynentu, osadza się szybko na szelfie kontynentalnym, stoku kontynentalnym jako turbidyt.
- Osmokonformer** - organizm, którego płyn zmienia się wraz ze zmianą koncentracji rozpuszczonych jonów w środowisku zewnętrznym.
- Osmoregulator** - organizm, który reguluje koncentrację rozpuszczonych jonów w płynach ustrojowych niezależnie od zmian w środowisku zewnętrznym.
- Osmoza** - ruch wody ze środowiska o małym stężeniu jonów do środowiska o wyższym stężeniu przez błonę półprzepuszczalną dzielącą dwa wodne roztwory.



- Ostroga** - niska, sztuczna konstrukcja biegnąca od brzegu w morze; wykonuje się ją w celu stworzenia przeszkody dla transportu materiału wzdłuż brzegu; w efekcie tworzy się plaża.
- Outwelling** - ujście biogenów z estuarium lub słonych mokradeł morskich do wód szelfowych.

## P

- Pak lodowy** - pole lodu morskiego innego niż lód stały, niezależnie od jego postaci lub rozmieszczenia na powierzchni wody.
- Pasaty** - masy powietrza przesuwające się z subtropikalnych stref wysokiego ciśnienia ku równikowi, z północnego wschodu na półkuli południowej.
- Pasma wiatrowe** - pasma pływających zawieszin ułożone równolegle do kierunku wiatru jako wynik cyrkulacji Langmuira.
- P/B** - współczynnik wielkości produkcji całkowitej zbiornika P do wielkości biomasy B.
- Pelagial** - środowisko otwartego oceanu, podzielone na rejon nerytyczny (0-200 m głębokości) i rejon oceaniczny (ponad 200 m).
- Perigeum** - punkt orbity satelity Ziemi (Księżycy) najbliższy Ziemi.
- Perihelium** - najbliższy od Słońca punkt wokółsłonecznej orbity planety lub komety.
- Peryfiton** - zespół organizmów porastających zanurzony pod wodą twardy substrat (powierzchnie liści, łodyg, zwierząt, kamieni itp.).
- Piasek** - cząstki mineralne skały macierzystej o wielkości frakcji od 1/16 do 2 mm.
- Piknoklina** - warstwa wody charakteryzująca się gwałtowną zmianą gęstości w przekroju pionowym.
- Pikoplankton** - fitoplankton o frakcji wielkości < 2 mikrometrów.
- Pionowe homogeniczne estuarium** - estuarium, gdzie wiatr i pływy mieszają wody o stałym zasoleniu.
- Plama (gładkiej wody)** - plama wygładzonej powierzchni morza, wywołana obecnością filmu organicznego, powodującego obniżenie napięcia powierzchniowego.
- Plankton** - organizmy zawieszone w wodzie, niezdolne do aktywnego ruchu, unoszone przez prądy wody; obejmuje większość glonów mikroskopowych, a zwierzęta od pierwotniaków do pólstrunowców oraz formy larwalne zwierząt wyższych.
- Planktotroficzna larwa** - larwa będąca częścią składową planktonu i odżywiająca się planktonem.
- Plaża** - osad, nagromadzony po domorskiej stronie linii wybrzeża, poprzez strefę przyboju (kipieli), transportowany wzdłuż brzegu i w obrębie tej strefy.
- Plaża reliktowa** - osad plażowy, złożony i pogrążony w wyniku podniesienia się poziomu morza.
- Płyta** - główna część na powierzchni Ziemi, ograniczona przez grzbiety oceanu środkowego.
- Płyta lodowcowa** - pływająca tafia lodu przytwierdzona do brzegu; wysokość w części nadwodnej od 2 do 50 m; narastanie odbywa się w wyniku corocznej akumulacji śniegu i spływu lodowca lądowego do morza. Morska krawędź nazywana jest barierą lodowcową.

**Pływy** - okresowe ruchy wody morskiej będące rezultatem grawitacji pomiędzy Ziemią, Słońcem i Księżycem. Siła przyciągania nie jest równomiernie rozłożona na powierzchni Ziemi.

**Pływ dobowy** - pływ o jednym stanie wysokim i jednym stanie niskim w ciągu doby.

**Pływ mieszany** - charakteryzuje się dwoma wodami wysokimi i dwoma wodami niskimi w ciągu doby.

**Pływ księżycowy** - składowa pływu wywołana działaniem siły przyciągania Księżyca.

**Pływ kwadraturowy** - pływ o minimalnej wysokości występujący, gdy Księżyc znajduje się w pierwszej i trzeciej kwadrze.

**Pływ półdobowy (księżycowy)** - charakteryzuje się dwoma wysokimi i dwoma niskimi stanami w czasie jednego okresu, przy małych nierównościach pomiędzy kolejnymi stanami wysokimi czy niskimi; okres pływu wynosi ok. 12 h i 25 min.

**Pływ równikowy** - pojawia się dwa razy w miesiącu, gdy Księżyc znajduje się nad równikiem; charakteryzuje się minimalną nierównością dobową.

**Pływ słoneczny** - składowa pływu wywołana przyciąganiem mas wodnych przez Słońce.

**Pływ syzygijski** - pływ o maksymalnej wysokości, występujący co dwa tygodnie, gdy Księżyc jest w nowiu lub w pełni.

**Pływ tropikalny** - występuje dwa razy w miesiącu, gdy położenie Księżyca wykazuje maksymalną deklinację północną lub południową w stosunku do równika. Występuje w strefach tropikalnych, gdzie pływy osiągają największe różnice dobowe.

**Podniesienie** - długa, szeroka elewacja, wznosząca się łagodnie i równo z dna głębokiego oceanu.

**Podniesienie przedkontynentalne** - łagodnie nachylona powierzchnia sedymentacyjna u podstawy stoku kontynentalnego.

**Pogranicze kontynentu** - nieregularna część brzegu kontynentu pokryta oceanem i charakteryzująca się większymi głębokościami niż szelf kontynentalny.

**Poikilotermy** - organizmy zmiennocieplne, których temperatura ciała jest taka sama jak temperatura otoczenia.

**Pojemność środowiska** - inaczej wydolność środowiska, maksymalne osiągalne zagęszczenie (lub biomasa) populacji w określonych warunkach.

**Polimiktyczne jezioro** - zbiornik lenityczny którego wody ulegają pełnemu mieszaniu częściej niż dwukrotnie w ciągu roku (np. polskie jeziora przybrzeżne, jezioro Dąbie).

**Populacja** - zbiór osobników jednego gatunku zamieszkująca określony obszar lub określoną objętość.

**Poziom troficzny** - w określonej biocenozie organizmy o tym samym statusie troficznym, np. herbiwora. Najniższy poziom tworzą producenci (rośliny), następnie roślinożercy i drapieżcy.

**Poziom metabolizmu** - ogólny poziom biochemicznych reakcji w organizmie, często szacowany jako poziom spożycia tlenu.

**Prąd** - poziomy ruch wody.

**Prąd El Nino** - ciepły prąd, skierowany na południe, powstający na wybrzeżu Ekwadoru w styczniu, czasami dochodzi aż do wybrzeża Peru, powodując znikanie planktonu i ryb.



- Prąd geostroficzny** - prąd wywołany ruchem wirowym Ziemi, będący wynikiem stanu bliższego równowadze między siłą ciężkości i siłą Coriolisa.
- Prąd litoralny** - prąd w strefie przyboju biegnący równolegle do linii brzegowej; tworzy się w rezultacie załamывania fal podchodzących do brzegu pod pewnym kątem.
- Prąd podpowierzchniowy** - prąd płynący poniżej piknokliny (warstwy o dużym gradiencie gęstości), na ogół z mniejszą prędkością i w kierunku przeciwnym do prądów powierzchniowych.
- Prąd przypiływu** - prąd pływowy związany ze wzrostem amplitudy pływu, skierowany ku brzegowi.
- Prąd rotacyjny** - prąd pływowy obserwowany na otwartym oceanie; linie grzbietów fal pływowych wykonują pełny obrót w jednym okresie pływu.
- Prąd wirowy** - powstaje na peryferiach prądu głównego; charakteryzuje się kołowymi torami i powstaje w miejscu, gdzie prądy napotykają na przeszkody lub gdzie dwa prądy się przecinają.
- Prąd zawieszinowy** - prąd grawitacyjny wynikający ze wzrostu gęstości wywołanej wzrostem mętności wody; może być spowodowany nagłą siłą, np. trzęsieniem ziemi. Mętna masa porusza się w dół stoku podmorskiego pod działaniem siły ciężkości.
- Prąd zwrotny** - prąd pływowy występujący u brzegów kontynentów. Woda prądu płynie w jednym, a następnie w przeciwnym kierunku w jednakowym czasie. Przepływy rozdzielone są martwą wodą, co ma miejsce, gdy stany wód znajdują się w pobliżu minimalnych lub maksymalnych wartości.
- Producent pierwotny** - organizm zdolny do produkowania materii organicznej przy użyciu energii świetlnej lub substancji chemicznych.
- Produkcja** - jest to nowowytworzona w jednostce czasu biomasa (B) populacji lub poziomu troficznego, łącznie z tą ilością substancji organicznej, która w trakcie obserwacji uległa eliminacji (E).
- $$P = \Delta B + E$$
- Produkcja pierwotna** - całkowita produkcja materii organicznej przez organizmy fotosyntetyzujące lub chemosyntetyzujące; wyrażona w gramach jako,  $Cm^{-2}y^{-1}$ . Wyróżnia się produkcję pierwotną brutto i produkcję pierwotną netto (produkcja po odjęciu strat katabolicznych).
- Produkcja wtórna** - produkcja materii organicznej przez organizmy heterotroficzne (roślinozerców) na jednostkę powierzchni w określonej jednostce czasu.
- Promil** - jednostka oznaczająca jedną tysięczną część dowolnej wielkości (%).
- Przepływ laminarny** - przepływ, w którym woda lub inna ciecz płynie w równoległych warstwach lub warstewkach. Kierunek przepływu nie zmienia się w czasie w żadnym punkcie. Jest to przepływ nieburzliwy.
- Przepływ turbulentny** - burzliwy, ruch wody składający się z ruchu cząsteczek wzdłuż linii prądu oraz ruchu cząsteczek między sąsiadującymi warstwami wody wzdłuż skręconych linii prądu.

**Przybrzeże** - płaska zanurzona strefa o zmiennej szerokości, rozciągająca się od linii grzywaczy do krawędzi szelfu kontynentalnego.

**Przylądek** - wystająca ku oceanowi, stromościenna nieregularność wybrzeża.

**Punkt amfidromiczny** - punkt węzłowy lub punkt bez pływu na morzu, wokół którego obracają się grzbiety fal pływowych (jeden obrót w czasie jednego okresu).

**Punkt zamarzania** - temperatura, w której następuje przemiana fazy ciekłej w stałą; punkt zamarzania wody pod ciśnieniem atmosferycznym równym 760 mm Hg wynosi 0°C.

## Q

**Q<sub>10</sub>** - współczynnik określający wzrost poziomu metabolizmu (tempa reakcji chemicznych lub biologicznych) wraz ze wzrostem temperatury o 10°C.

## R

**Rafa** - skonsolidowana skała na głębokości 20 m lub mniejszej.

**Rafy przybrzeżne** - rafy koralowe występujące niedaleko i równoległe do linii brzegowej. Zewnętrzny skraj rafy jest zanurzony i składa się z wapienia lądowego, skały koralowej oraz żyjących koralów.

**Rejon nerytyczny** - część pelagialu od linii brzegowej do miejsca, gdzie woda osiąga głębokość 200 m.

**Rejon oceaniczny** - część środowiska pelagicznego o głębokości wody przekraczającej 200 m.

**Rejon załamania** - rejon, w którym fale ulegają załamaniu, odmorska część strefy przyboju

**Reotaksja** - samodzielne ruchy organizmu w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu wody (reotaksja dodatnia) lub zgodnie z kierunkiem przepływu (reotaksja ujemna).

**Retencja** - gromadzenie się wody opadowej w gruncie, w rzekach i jeziorach oraz gromadzenie zapasu wody w sztucznych zbiornikach (retencja sztuczna).

**Rekrutacja** - proces, w czasie którego część grzbietu fali na małej głębokości porusza się wolniej, w wyniku czego promień fali ulega ugięciu, dostosowując się do profilu dna.

**River continuum** - koncepcja ciągłości rzeki jako ekosystemu, w której hierarchiczny system cieków w dorzeczu tworzy pewne continuum gradientów abiotycznych i związanych z nimi organizacji biotycznej. Struktura biocenoz a zwłaszcza ich funkcjonowanie od źródeł do ujścia regulowane są przez gradient ładunku materii auto- i allochtonicznej.

**Rozciągłość** - 1) część powierzchni otwartego oceanu, nad którą wieje wiatr ze stałą prędkością i o stałym kierunku, działanie wiatru wytwarza falowanie powierzchni oceanu; 2) wymiar części powierzchni oceanu objętej działaniem wiatru, liczony w kierunku działania wiatru.

**Rozkład materii organicznej** - proces rozkładu martwych organizmów lub odchodów produkowanych przez organizm na cząsteczki.

**Rozkołys** - długie fale regularnie rozchodzące się z rejonów generacji falowania.



**Rozrodczy wysilek** - frakcja wchłoniętych biogenów, wykorzystanych w dalszym etapie do procesu rozmnażania i produkcji gamet.

**Rów oceaniczny** - długa, wąska i głęboka depresja dna oceanu o względnie stromych bokach.

**Równia rafowa** - platforma fragmentów koralu i piasku po lagunowej stronie rafy względnie odsłonięta w czasie odpływu.

**Różnorodność gatunkowa** - miara równomierności rozdziału osobników w biocenozie pomiędzy różne gatunki. Maksymalne zróżnicowanie odpowiada sytuacji, w której wszystkie gatunki są reprezentowane przez tę samą liczbę osobników, minimalne sytuacji, w której wszystkie osobniki należą do jednego gatunku.

**Ryft** - wąski i bardzo długi rów zapadliskowy, powstały w wyniku rozciągania i rozrywania skorupy ziemskiej.

## **S**

**Samooczyszczanie** - zdolność środowiska do neutralizacji i kompensacji skutków wywołanych przez wprowadzenie do niego zanieczyszczenia.

**Sejsmiczny** - dotyczący trzęsienia lub wibracji ziemi, także obu tych zjawisk wywołanych sztucznie.

**Sejsz** - fala stojąca na powierzchni akwenu zamkniętego lub półzamkniętego o okresie zawartym w przedziale od kilku minut do kilku godzin, zależnie od wymiarów akwenu; ruch falowy trwa również po ustaniu siły sprawczej.

**Seralne stadia** - kolejne stadia rozwojowe biosystemu w procesie sukcesji.

**Sessilne organizmy** - organizmy osiadłe, na stałe przytwierdzone do podłoża.

**Seston** - specyficzna materia zawieszona w wodzie morskiej.

**Siatka planktonowa** - przyrząd w kształcie stożka do odfiltrowywania planktonu, złożony z materiału filtrującego. Jest on opuszczany do wody i wyciągany pionowo w górę; podczas wyciągu następuje odfiltrowanie planktonu.

**Sieć pokarmowa** - sieć wzajemnych powiązań opartych na łańcuchach pokarmowych.

**Siedlisko** - całokształt warunków (habitat, biotop) a także miejsce, gdzie żyje określona roślina lub zwierzę; na ogół odnosi się do przestrzeni mniejszej niż środowisko.

**Siła Coriolisa** - siła pozorna wynikająca z obrotu Ziemi; powoduje odchylenie toru cząstek na półkuli północnej - w prawo, na półkuli południowej - w lewo.

**Siła dośrodkowa** - siła skierowana ku środkowi obrotu, która sprawia, że ciało poruszające się wokół tego środka dąży ku niemu.

**Siła odśrodkowa** - siła pozorna powodująca ruch ciała w kierunku od środka toru zakrzywionego; wynika ze zrównoważenia siły dośrodkowej, która działa w kierunku przeciwnym do siły bezwładności ciała.

**Siła van der Waalsa** - słaba siła przyciągania między cząsteczkami będąca wynikiem oddziaływania ładunków niesymetrycznie w nich rozmieszczonych.

- Simatyczny** - dotyczący części skorupy ziemskiej podścielającej oceany oraz sialiczne kontynenty, bogatej w magnez oraz żelazo i dlatego gęstszej niż sialiczna skorupa kontynentalna.
- Skala temperatury Celsjusza ( $^{\circ}\text{C}$ )** - stustopniowa skala termometryczna, w której zero odpowiada temperaturze topnienia lodu, a  $100^{\circ}$  - temperaturze wrzenia wody.
- Skala temperatury Fahrenheita ( $^{\circ}\text{F}$ )** - skala, w której punkt zamarzania wody odpowiada  $32^{\circ}$ , a punkt jej wrzenia  $212^{\circ}\text{C}$ .
- Skala temperatury Kelvina ( $^{\circ}\text{K}$ )** - skala o podziałce równej podziałce skali Celsjusza, której początek jest przesunięty w stronę temperatury ujemnej ( $0^{\circ}\text{K} = -273,16^{\circ}\text{C}$ ). Zero stopni w skali Kelvina jest najniższą możliwą temperaturą (tzw. zero bezwzględne).
- Skala krystaliczna** - skala ogniowa lub metamorficzna, zbudowana z cząstek krystalicznych o uporządkowanych strukturach cząsteczkowych.
- Skala metamorficzna** - skala, która uległa rekrytalizacji w stanie stałym w wyniku zmiany temperatury, ciśnienia i środowiska chemicznego.
- Skala ogniowa = skala magmowa** - powstała w wyniku konsolidacji materiału stopionego lub częściowo stopionego (magmy).
- Skala osadowa** - skala powstała przez konsolidację luźnego osadu lub przez chemiczne wytrącanie, na przykład piaskowiec i wapień.
- Skarpa** - linijny, ostry stok na dnie oceanu, oddzielający powierzchnie łagodnie zapadające lub płaskie.
- Składowa harmoniczna pływu** - jedna ze składowych harmonicznych pływu w danym punkcie; okresy tych składowych wynikają z kombinacji prędkości kątowych Ziemi, Słońca, Księżyca oraz wzajemnych prędkości kątowych innych planet.
- Skorupa** - jednostka strukturalna Ziemi składająca się z bazaltowej skorupy oceanicznej i granitowej skorupy kontynentalnej. Ogólna grubość jednostek skorupy może wahać się od 5 km pod oceanem do 50 km pod kontynentem.
- Skorupa oceaniczna** - masa skał bazaltowych o grubości około 5 km, która może rozciągać się poniżej kontynentów.
- Skraplanie** - przemiana wody z fazy gazowej w fazę ciekłą, połączoną z wydzielaniem ciepła skraplania - dla wody  $2,45 \text{ kJ/g}$  w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ .
- Ślone bagna (mokradła)** - rejon zamieszkiwany przez organizmy słonolubne, bytujące w bogatym podłożu na poziomie morza.
- Sondaż akustyczny** - metoda pomiaru głębokości basenów wodnych bądź lokalizacji obiektów podwodnych oparta na wykorzystaniu zjawiska echa, występującego w wyniku odbicia fali ultradźwiękowej od ciał stałych; polega na pomiarze czasu przebiegu fali od nadajnika do obiektu i z powrotem; prędkość dźwięku w wodzie wynosi około  $1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Sól** - substancja, która tworzy w roztworze jony inne niż wodorowe lub wodorotlenowe; sole powstają z kwasów przez zastąpienie w nich wodoru metalem.



**Spirala Ekmana** - model wyjaśniający wynik teoretycznej analizy działania stałego wiatru, wiejącego nad oceanem o nieograniczonej głębokości i szerokości oraz o jednolitej lepkości. Skutkiem tego działania jest odchylenie przepływu powierzchniowego o  $45^\circ$  w prawo od kierunku wiatru na półkuli północnej. Wraz ze wzrastającą głębokością wody kierunek prądu zmienia się stopniowo, odchylając się w prawo aż do głębokości 100 m, gdzie płynie w kierunku przeciwnym do kierunku wiatru. Wypadkowy przepływ masowy skierowany jest pod kątem  $90^\circ$  do kierunku wiatru, a prędkość tego przepływu zmniejsza się wraz z głębokością.

**Standing crop** - biomasa populacji w danym czasie.

**Stan morza** - określenie stanu powierzchni oceanu, uwzględniające średnią wysokość.  $1/3$  h fal najwyższych, obserwowanych w danym ciągu falowym. Stan morza określony jest za pomocą specjalnego kodu liczbowego.

**Stenohalinowy** - mający zdolność do tolerancji zmian zasolenia w wąskim zakresie.

**Stenotermiczny** - posiadający zdolność tolerancji zmian temperatury jedynie w wąskim zakresie.

**Stenotopowy** - o wąskim zakresie tolerancji w stosunku do zmiennych czynników środowiska.

**Stok** - głęboko zanurzone dno, rozszerzające się w kierunku krawędzi szelfu kontynentalnego i skierowane w dół wzniesienia.

**Stok kontynentalny** - linia demarkacyjna, będąca łagodnym przejściem do bardziej stromego gradientu głębokości; jest to nachylona powierzchnia, leżąca w kierunku morza od szelfu kontynentalnego.

**Strefa ciszy** - strefa słabo zmiennych wiatrów na  $10-15^\circ$  szerokości geograficznej północnej i południowej, powstała wskutek pionowego przepływu powietrza o niskiej gęstości wewnątrz tej strefy równikowej.

**Strefa dysfotyczna** - strefa światła rozproszonego odpowiadająca mniej więcej mezopelagialowi, w której brak dostatecznej ilości światła do przeprowadzenia fotosyntezy; nazywana strefą półmroku.

**Strefa eufotyczna** - powierzchniowa warstwa oceanu, która otrzymuje dostateczną ilość światła dla zaistnienia fotosyntezy; dolna granica tej strefy, określająca głębokość kompensacyjną, ulega zmianom; jej wartości maksymalnie wynoszą około 150 m w bardzo czystych wodach otwartego oceanu.

**Strefa fotyczna** - strefa głębokości rozciągająca się od powierzchni wody do głębokości, na której możliwa jest fotosynteza.

**Strefa kipieli = strefa przyboju** - strefa zawarta pomiędzy linią brzegową a linią załamania, w której przeważająca część energii ulega rozproszeniu.

**Strefa międzyplytowa** - strefa litoralna, brzeg dolny; część dna oceanu przykrywana podczas najwyższych normalnych przyptywów i odsłaniana podczas najniższych normalnych odpływów.

**Strefa rozłamu** - rozległa strefa o nadzwyczaj nieregularnej topografii dna oceanu, cechująca się obecnością dużych gór podmorskich, stromościennych lub asymetrycznych grzbietów, niecek lub długich, stromych stoków; zazwyczaj strefa uskoku transformacyjnego.

**Strefa wymywania** - głęboka strefa, gdzie osady są transportowane przez fale w pobliże strefy brzegowej.

**Strefa zmywu** - strefa od linii brzegowej do linii grzywaczy.

**Strefowość** - występowanie pojedynczych gatunków lub grup gatunków rozpoznawalnych, które mogą określać zakres wody lub wysokość jej zasięgu w strefie międzyzływowej.

**Stromość fali** - stosunek wysokości fali do jej długości.

**Strzałka** - punkt profilu fali stojącej, charakteryzujący się maksymalnym pionowym ruchem cząstek; w punkcie tym występują na przemian grzbiety i doliny fali.

**Sublitoral** - część środowiska bentonicznego rozciągającego się od linii odpływu do głębokości 200 m.

**Substrat** - podłoże naturalne lub sztuczne, na którym żyje organizm.

**Sukcesja** - uporządkowany, ukierunkowany proces zmian w strukturach gatunkowych biosystemu, trwający kilkaset a nawet kilka tysięcy lat ale mogą to być regularne powtarzalne sekwencje zmian w biosystemie na tle cyklicznych zmian w środowisku (roczna sukcesja planktonu). Wyróżniamy sukcesję **allogeniczną** o przebiegu wymuszonym i sterowanym przez czynniki zewnętrzne (np. globalne zmiany klimatu) i sukcesję **autogeniczną** w której następstwo gatunków w biosystemie zależy od aktywności pozostałych (np. efekt wyczerpania zasobów). Sukcesję rozpoczyna proces kolonizacji poprzez kolejne sery aż do klimaksu.

**Supralitoral** - strefa zmywu występującego powyżej śladu wysokiego pływu.

**System łuków wysp** - linijny układ wysp, wśród których wiele jest wulkanicznych; zazwyczaj są one zakrzywione tak, że strona wklęsła jest zwrócona ku morzu oddzielającemu wyspy od kontynentu; strona wypukła jest zwrócona ku oceanowi i ograniczona przez rów oceaniczny.

**Szelf kontynentalny** - łagodnie nachylona powierzchnia sedymentacyjna, ciągnąca się od linii niskiej wody do głębokości znacznego wzrostu nachylenia wokół brzegu kontynentu lub wyspy.

**Szerokość niszy** - przestrzeń, gdzie możliwa jest eksploatacja bogactw poza zasięgiem bogactw alternatywnych.

## Ś

**Ścieki** - zanieczyszczone chemicznie lub termiczne wody, powstające wskutek działalności komunalnej, gospodarczej i rolniczej działalności człowieka, odprowadzane do wód lub ziemi.

**Średni poziom morza** - poziom morza wyznaczony przez uśrednienie wszystkich stanów wody w ciągu 19 lat; wartość średnią określa się zwykle na podstawie codziennych obserwacji poziomów wzdłuż otwartego wybrzeża.

**Średnia woda niska** (mean low water MLW) - poziom wody równy średniemu poziomowi wyznaczonemu ze wszystkich poziomów niskich występujących w ciągu 19 lat.



**Średnia woda wysoka** (mean high water MHW) - poziom wody równy średniemu poziomowi wyznaczonemu ze wszystkich poziomów wysokich występujących w ciągu 19 lat.

**Średnia wysokość pływu** - różnica pomiędzy średnią wodą wysoką (MHW) i średnią wodą niską (MLW).

**Środek ciężkości** - punkt, dla którego możemy przyjąć, że jest w nim skoncentrowana cała masa ciała.

**Środowisko głębokiego dna** - środowisko obejmujące wszystkie środowiska bentoniczne poniżej litoralu (sublitoral, batial, abysal oraz hadal).

**Środowiskowy stress** - definiowany jako zmiany w środowisku, które powodują, że organizm nie może się zaaklimatyzować (dostosować).

## T

**Tajfun** - silny sztorm tropikalny występujący na zachodnim Pacyfiku.

**Taras erozyjny** - łagodnie zapadająca powierzchnia wytworzona przez erozję fal i rozciągająca się od podstawy klifu erozyjnego poza rejon przybrzeża.

**Technika tlenowa** - produkcja podstawowa szacowana poprzez pomiar poziomu wzrostu tlenu.

**Tektonika** - badanie powstania i historii deformacji strukturalnej skorupy ziemskiej.

**Teoria pływów statyczna** - hipoteza dotycząca pływów, która zakłada, że oceany pokrywają równomiernie całą kulę ziemską; ponadto przyjmuje, że ocean odpowiada natychmiast na działanie siły grawitacji, wywołanej przez Słońce i Księżyc.

**Termohalinowa cyrkulacja** - ruch wody morskiej, który jest kontrolowany przez różnicę gęstości.

**Termoklina** - warstwa skoku termicznego, gdzie temperatura zmienia się maksymalnie w przekroju pionowym (gradient pionowy  $1^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ ).

**Tombole** - bariera piaszkowa lub żwirowa łącząca wyspę z inną wyspą lub lądem.

**Topografia** - ukształtowanie powierzchni; w oceanologii dotyczy dna oceanu lub powierzchni masy wody o pewnych formach.

**Topografia dynamiczna** - konfiguracja powierzchni powstała wskutek różnicy geopotencjałów między daną powierzchnią a powierzchnią odniesienia. Mapa konturowa takiej powierzchni jest używana do oceny istoty prądów geostroficznych.

**Trofia** - jest żyznością, zasobnością jezior w pierwiastki biogenne która decyduje o wielkości produkcji pierwotnej i zawartości materii organicznej w wodzie i osadach dennych.

**Trzeciorzędowa produkcja** - produkcja materii organicznej na określonej jednostkę powierzchni w określonym czasie przez organizmy konsumujące herbiwora, wyrażona w  $\text{g}/\text{cm}^2\text{y}$ .

**Turbidyt** - osad lub skała utworzona z osadu powstałego z prądu zawiesinowego; cechuje je warstwowanie frakcjonalne w poziomie i w pionie.

## U

**Ultraplankton** - plankton o maksymalnych wymiarach  $5\text{ }\mu\text{m}$ , trudny do wydzielenia z wody.

**Upwelling** - ruch wody bogatej w biogeny z określonej głębokości do powierzchni, powodowany zwykle przez dywergencyjne prądy równikowe lub prądy przybrzeżne, które odprowadzają wodę od brzegu.

**Uskok** - szczelina lub system szczelin w skorupie ziemskiej, wzdłuż której nastąpiło przemieszczenie.

**Uskok blokowy** - blok skorupy ograniczony co najmniej z dwóch stron przez uskoki, zazwyczaj wydłużony; jeśli jest przesunięty w dół, tworzy rów; jeśli jest wypiętrzony, tworzy żrąb.

**Uskok transformacyjny** - uskok typowy dla grzbietów śródoceanicznych, które są przesunięte wzdłuż niego.

**Uzdatnianie wody** - usuwanie z wody naturalnej zanieczyszczeń w celu otrzymania wody zdanej do picia.

## W

**Warstwa rozpraszająca** - warstwa utworzona najczęściej przez planktonowe organizmy morskie w otwartym oceanie, która odbija sygnały echosondy; przez praktyków nazywana jest „drugim dnem”, głębokość jej położenia waha się od 100 m w nocy do przeszło 800 m podczas dnia; wiąże się z dobowymi migracjami zooplanktonu.

**Warstwowanie frakcyjne** - warstwowanie, w którym każda warstwa wykazuje zmniejszanie się wielkości ziarna od dołu do góry.

**Wezbranie sztormowe** - podniesienie się poziomu morza ponad stan normalny w wyniku działania naprężeń wiatrowych i spadku ciśnienia atmosferycznego w czasie sztormu. Wezbranie sztormowe może być katastrofalne, jeżeli wystąpi w czasie przyływu.

**Węzeł** - 1) punkt na profilu fali stojącej, w którym nie występuje ruch pionowy lub gdzie jest on minimalny. Jeżeli taki stan ruchu występuje wzdłuż pewnej linii na falującej powierzchni, linię tę nazywamy linią węzłową; 2) jednostka prędkości stosowana w żegludze morskiej, równa jednej mili morskiej na godzinę ( $1 \text{ węzeł} = 1852 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1} = 51 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

**Wiatry zachodnie** - masy powietrza przesuwające się z subtropikalnych stref wysokiego ciśnienia w kierunku wyższych szerokości. Mają one kierunek południowo-zachodni na półkuli północnej i północno-zachodni na półkuli południowej.

**Wir, zawirowanie** - ruch o kolistej, spiralnej formie; jest to kolisty ruch wody (cyrkulacja) w każdym z większych basenów oceanicznych w subtropikalnych obszarach wysokiego ciśnienia.

**Witaminy** - substancje chemiczne, wymagane w określonych ilościach, działających jako kofaktory enzymów w katalizowaniu biochemicznych reakcji.

**Włok** - narzędzie połowu ryb; sieć w kształcie worka, ciągnięta w pelagialu lub nad dnem na toczykach z deskami rozporowymi przez jeden kuter lub statek zwany trawlerem. Włok może być ciągnięty przez dwa kutry, z których każdy ciągnie jedno skrzydło włoka - ten sposób połowu nazywany jest połowem „w tukę”.

**Woda niska** (low water, LW) - najniższy poziom wody występujący podczas odpływu.

**Woda wysoka** (high water, HW) - najwyższy poziom wody osiągany przez falę pływową.



**Współczynnik współzawodnictwa** - parametr, który ilościowo wyraża negatywny efekt wpływu jednego organizmu na drugi.

**Współzawodnictwo** - interakcja pomiędzy lub wśród dwóch lub więcej organizmów polegająca na czerpaniu korzyści z organizmu żywiciela, przynosząca szkodę organizmom żywicielskim.

**Współzawodnictwo gatunkowe** - współzawodnictwo w obrębie tego samego gatunku o niszę, pokarm, itp.

**Współzawodnictwo ingerencyjne** - współzawodnictwo, w którym jeden organizm aktywnie przeszkadza drugiemu w zdobywaniu pokarmu.

**Wybrzeże** - pas lądu, który rozciąga się od linii wody w kierunku lądu aż do granicy wpływu morza, co można stwierdzić w rzeźbie terenu.

**Wysokość fali** - pionowa odległość pomiędzy grzbietem i sąsiednią doliną fali.

**Wysokość pływu** - różnice kolejnych rzędnych wysokiego i niskiego poziomu wody (LW i HW).

**Wyspa barierowa** - długa wąska wyspa zbudowana przez fale, odcięta od lądu przez lagunę.

**Wywierzysko** - wypływ wód podziemnych na powierzchnię w terenach krasowych.

**Wyższa woda niska** (higher low water, HLW) - wyższy z dwóch poziomów niskich fali pływowej, występujących w ciągu doby; odnosi się do pływów mieszanych.

**Wyższa woda wysoka** (higher high water, HHW) - wyższy z dwóch poziomów fali pływowej występujących w ciągu doby; odnosi się do pływów mieszanych.

## Z

**Zakwit wody** - bardzo duża koncentracja fitoplanktonu będąca wynikiem jego szybkiego rozwoju, związana z optymalnymi warunkami środowiska, a zwłaszcza optymalną ilością biogenów w wodzie.

**Zasoby** - wyczerpywalne rekwizyty środowiska, wykorzystywane przez osobniki w procesie produkcji biomasy, wzrostu a także reprodukcji.

**Zasolenie** - ilość gramów rozpuszczonej soli w 1000 g wody morskiej.

**Zatoka** - część morza lub jeziora wcinająca się w ląd, który otacza ją z trzech stron.

**Zenit** - punkt na nieboskłonie dokładnie przeciwny nadirowi i znajdujący się pionowo bezpośrednio nad obserwatorem.

**Zmyw** - nabieganie i wycofywanie się fali na skarpę tuż po załamaniu się fali.

**Zoocenoza** - wielogatunkowy zespół zwierząt zasiedlający określone środowisko (np. zoocenoza planktonowa, bentosowa itp.).

**Zooplankton** - organizmy zwierzęce będące częścią składową planktonu - od bakterii do makroorganizmów, np. meduzy o średnicy dzwonu około 0,8-1,2 m.



OPRACOWANIE EDYTORSKIE

*mgr Alicja Berner*

KOREKTOR

*Małgorzata Augustynowicz*

SKŁAD KOMPUTEROWY

*Maciej Abramowicz*

**WYDAWNICTWO AKADEMII ROLNICZEJ W SZCZECINIE**

Wydanie II poprawione. Nakład 600 egz. Ark. wyd. 11,0. Papier drukowy kl. III, format B-5.

Oddano do druku w styczniu 1998 r. Druk ukończono w marcu 1998 r.

Zamówienie AR-4338/1/98

Wykonano w Dziale Poligrafii Akademii Rolniczej w Szczecinie





Biblioteka Główna  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
Księgozbiór Przyrodniczy

C-20207



520-000031862



ISBN 83-87327-35-2