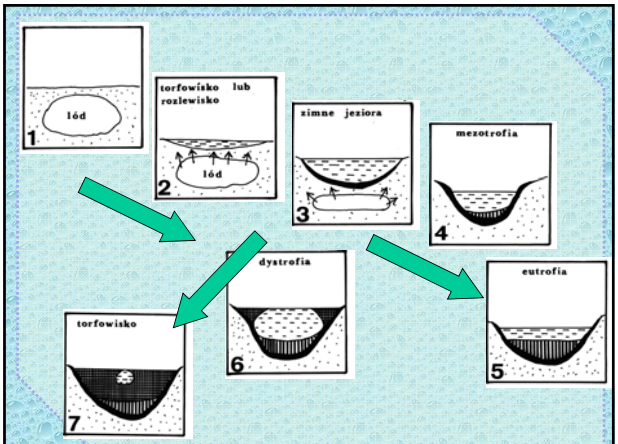
Rekultywacja jezior

Stanisław Czachorowski



Degradacja

- zaburzenia zoocenozy
- spadek różnorodności
- wyniszczenie fauny

Wzrost żyzności wody
Spadek przezroczystości
Deficyt tlenu przy dnie
Spadek różnorodności fitolitoralu

Politrofia, hypertrofia, saprotrofia

Metody rekultywacji

- Bottom-up (podstawa poziomu troficznego): redukcja nutrientów i produkcji pierwotnej

„od dołu”

drapieżcy

ryby planktonożerne

zooplankton

fitoplankton

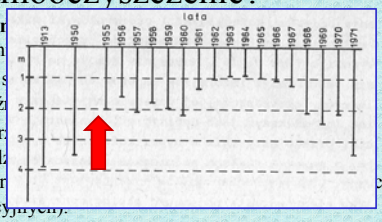
przepływ materii i energii

Metody rekultywacji

- Bottom-up (podstawa poziomu troficznego): redukcja nutrientów i produkcji pierwotnej
- Spuszczenie wody i wybranie osadów,
- Chemiczne wiązanie N i P
- Odcinanie osadów dennych
- Wybieranie osadów dennych
- Napowietrzanie, przemywanie
- Biomanipulacja związkami humusowymi

Samooczyszczenie?

- **Lake Washingtor**
spływ powierzchn
- W ciągu paru lat s
tym spadek przeźr
- W 1963 r. powstr
(skierowano je gdz
gospodarki farmer
ośrodków rekreacyjnych).



- Już po **3** latach przezroczystość wody i inne wskaźniki charakteru troficznego zaczęły ulegać poprawie, a po **10** latach jezioro powróciło do stanu sprzed okresu nasilonej eutrofizacji.
- Całkowity koszt **120 mln $,** (mimo niskich cen ziemi w USA, gdzie wykorzystywane jest zaledwie 5% areału gruntów uprawnych.

Napowietrzanie hypolimnionu

Natlenianie warstw przydennych

- Natlenianie przydennych warstw wody (hypertrofia)
- kompresor (na tratwie) tłoczy powietrze (+ cyrkulacja)
- Przykłady: **jez. Mutek**, (modyfikacja – napowietrzanie w pionowej kolumnie otwartej nad powierzchnią i nad dnem jeziora, co powoduje zachowanie pionowego uwarstwienia wody w jeziorze).
- Po raz pierwszy w **jez. Järla** k. Sztokholmu, które wskutek zanieczyszczenia ściekami komunalnymi i przemysłowymi miało głębsze warstwy wody całkowicie odtlenione, ale już po trzech miesiącach ich natlenienie wynosiło 7 mg $0_2/dm^3$.

Natlenianie warstw przydennych

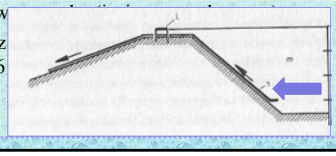
- Szybkie i korzystne skutki przede wszystkim w hypertroficznych i saprotroficznych jeziorach.
- Ustają procesy gnilne - zastąpione utlenianiem, wzrasta pojemność ekologiczna siedliska (dostępny tlen), ograniczone zostaje uwalnianie **ortofosforanów**, ulega przyspieszeniu **mineralizacja** martwej materii organicznej i cały cykl obiegu materii.
- Częściowo przywracana równowaga między ilością materii w abiotycznych ogniwach cyklu a wbudowanej w biomasę, jednak ogólna ilość materii skumulowanej w ekosystemie nie ulega zmniejszeniu a wręcz odwrotnie - **część materii uprzednio deponowanej na dnie, obecnie powraca do obiegu**.

Usuwaniu materii

- Usuwanie materii w postaci biomasy, substancji rozproszonych w wodzie, a nawet odłożonych w osadach dennych.
- Najprostsze jest **przemywanie jezior (**skuteczność różna). Woda zasilająca jezioro musi być znacznie czystsza od usuwanej, przepływ musi być intensywny, aby woda ulegała wymianie przynajmniej kilka razy rocznie, (+ długo).
- W małych i płytkich jeziorach bez stratyfikacji.
- W USAuzyskiwano spadek biomasy glonów i dominacji sinic **po 4-5 latach** przepłukiwania,
- w innych korzystne zmiany cofały się w krótkim czasie wskutek dopływu biogenów z osądów dennych,
- a w jeszcze innych w ogóle nie uzyskiwano pozytywnych wyników.

Usuwanie wody z hypolimnionu

- (model : usuwanie brudów z akwarium)
- Wariant metody przemywania jezior, stosowana dla głębokich jezior o wyraźnej stratyfikacji
- **Hypolimnion** – najżyźniejsza strefa, gromadzi biogeny uwalniane z osadów dennych, lecz nie wbudowywane w biomasę aż do czasu wyniesienia ich do warstwy trofogenicznej (cyrkulacja wiosenna lub jesienna).
- Wodę usuwa się corocznie przez kilka dni w okresie letnim.
- Ubytek wody z jeziora musi być wyrównywany powierzchniowym dopływ
- Metoda opracowana przez
1972) i stosowana w1956



Usuwanie osadów

- osady denne są źródłem biogenów (wcześniej zdeponowanych).
- Skuteczne okazuje się usunięcie z całej powierzchni dna odpowiednio grubej warstwy osadów „cywilizacyjnych". (nawet do 40 cm)
- W **jez. Palić** (dawna Jugosławia) **całkowicie spuszczono wodę** i, po osuszeniu dna, spychaczami usunięto wierzchnią warstwę osadów, i ponownie napełniono czystą wodą.
- W wyniku tych zabiegów uzyskano trzykrotne (z 9,3 do 3,1 mg/dm^3) zmniejszenie koncentracji azotu w wodzie (przy niezmienionej koncentracji fosforu - ok. 1,25 mg/dm^3), obniżenie zawartości chlorofilu w wodzie (z 300 do 22 $\mu g/dm^3$) i produkcji pierwotnej (z 2500 do 400 mg C/m^2 na dobę) oraz wzrost widzialności z 10 do 80 cm.

jez. Trummen (Szwecja)

- W **jez. Trummen** „kulturowe" osady aż 1 m miąższości (gnijąca substancja organiczna, która pochodziła ze ścieków zakładów lniarskich, spuszczanych od **1940** r.
- Koncentracja fosforu do 0,75 i azotu do 7 mg/dm^3, biomasa fitoplanktonu w okresach letnich przekraczała 100 mg/dm^3, a widzialność spadała do 0,2 m. Zawartość tlenu w przydennych warstwach wody w okresach stagnacji zimowej (wskutek polimiktycznego charakteru jeziora brak było stagnacji letniej) spadała do zera.
- W roku **1958** wstrzymano zrzuty ścieków do jeziora.
- W ciągu dwóch sezonów letnich **1970** i **1971**, za pomocą pomp zainstalowanych na pływającej barce, wydobyto **600 tys. m^3** osadów z zawartą w nich wodą.
- Odsączone i wysuszone osady wykorzystano do nawożenia, natomiast wodę oddzieloną w odstojnikach od osadów oczyszczano przez wytrącanie siarczanem glinu rozpuszczonych w niej biogenów, przez napowietrzanie jej i w końcu przez ponowna sedymentację i tak oczyszczoną zwracano do jeziora.

jez. Trummen

- stwierdzono zmniejszenie koncentracji **fosforu** o ok. **90%** i **azotu** o ok. **80%**, biomasy fitoplanktonu do 7-14 mg/dm^3 i wzrost widzialności w wodzie do 0,6-0,8 m, a zawartość tlenu w przydennych warstwach wody nawet w szczycie stagnacji zimowej nie spada poniżej 7 mg/dm^3.
- Uzyskano zwiększenie głębokości jeziora (o metr) i masy wody wraz z zawartym w niej tlenem.
- Polepszenie statusu jeziora okazało się trwałe pomimo upłynięcia z górą dziesięciu lat.
- Wydobyta z dna masa gnijących osadów jest jednak źródłem fetoru, przez długi czas zatruwającego rozległa okolicę.
- Rekultywacja jeziora kosztowała **ok. 500 tys. $.**

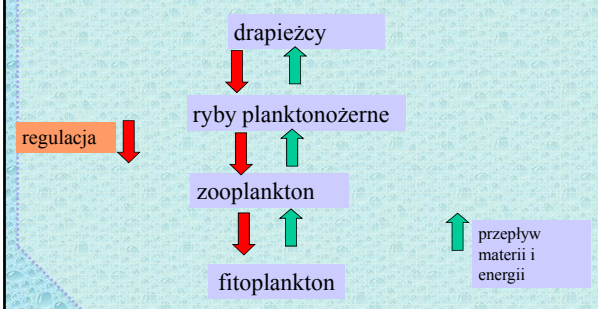
Usuwanie biomasy

- **Teoretycznie** skuteczne powinny być metody rekultywacji jezior oparte na usuwaniu biomasy, powstałej w procesach produkcji pierwotnej bądź wtórnej.
- Na przykład całkowite **usunięcie makrofitów** przy ich plonie 40 t/ha jest równoznaczne z usunięciem 20 g/m^2 fosforu, a **wyłowienie tony ryb z hektara** jest równoznaczne ze zmniejszeniem ilości fosforu krążącego w ekosystemie jeziora o 0,7 g/m^2, (tak wysokie połowy nie zdarzają się w wodach naturalnych).

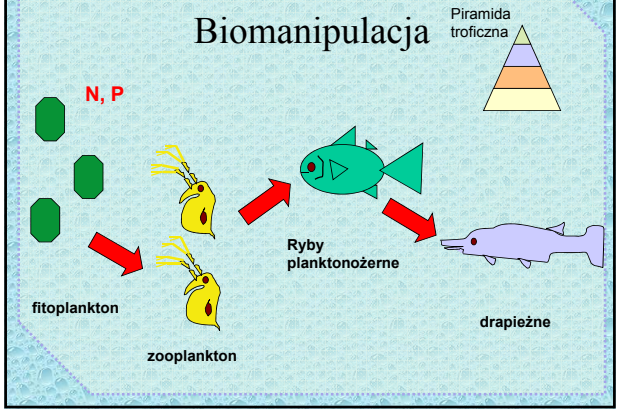
Bimanipulacje c.d.

- Usuwanie biomasy (N, P), usuwanie roślinności wodnej
- Zarybianie roślinożercanmi i glonojadami (tołpyga, amur)
- Top-down: regulacyjna rola konsumentów

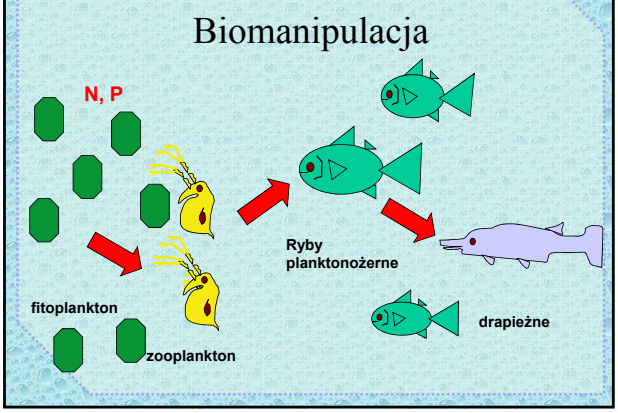
„od góry"



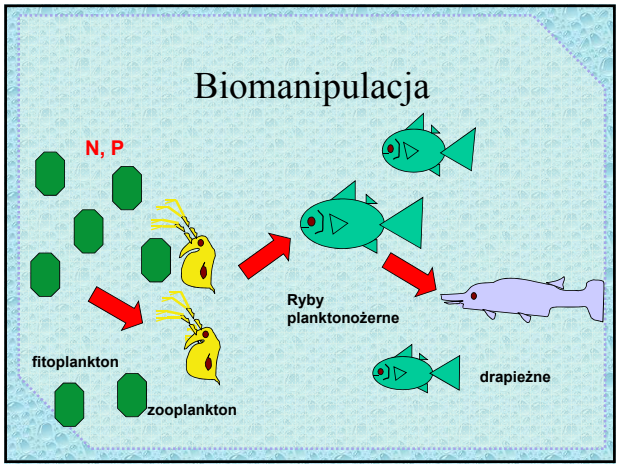
Biomanipulacja



Biomanipulacja

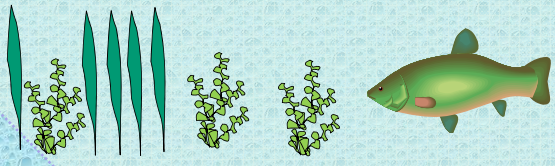


Biomanipulacja



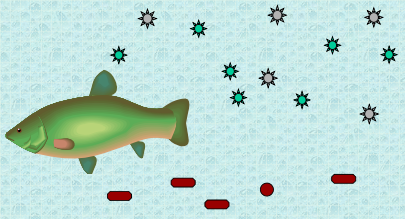
Inne eksperymenty z biomanipulacją

- Introdukcja amura
- Introdukcja tołpygi
- Dlaczego nie ma wędzonych węgorzy?



Inne eksperymenty z biomanipulacją

- Introdukcja amura

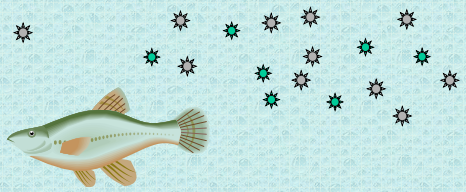


Ryby roślinożerne

- introdukowanych gatunków ryb roślinożernych, które pozwalają na **skrócenie łańcuchów pokarmowych** do dwóch zaledwie ogniw.
- Na przykład **amur** może w ciągu sezonu wegetacyjnego wbudować w swoją biomasę 2 g fosforu z powierzchni 1 m^2, a jest to zaledwie 43% ilości pobranej ze zjedzoną masą roślinną.
- W Polsce do usuwania roślinności wodnej wykorzystano **amura białego**, który żeruje na **makrofitach** oraz **tołpygi białej** i **tołpygi pstrej**, które odżywiają się **planktonem**.
- Gatunki pochodzące z Dalekiego Wschodu, nie rozmnażają się w Europie. **(?)**

Inne eksperymenty z biomanipulacją

- Introdukcja tołpygi



- Zamienianiu biomasy planktonu w fekalia, które wprawdzie opadają tak szybko (1-3 m/s), że znaczna część zawartych w nich biogenów może trafić na dno zanim ulegnie wyługowaniu w trofogenicznej warstwie wody, ale w stagnujących jeziorach biogeny te są, wycofywane z obiegu tylko do czasu najbliższej **cyrkulacji**, a w jeziorach polimiktycznych powoduje to wręcz przyspieszenie obiegu materii. Fekalia tołpygi w osadach dennych mogą stymulować procesy destrukcji i uwalniania substancji pokarmowych.
- Ryby planktonożerne wybierają pokarm. **Niektóre gatunki sinic nie były zjadane** nawet wówczas, kiedy dominowały w planktonie, a w przypadkach ich wyłącznego występowania (co jest reguła w warunkach zaawansowanej eutrofii), kiedy ryby nie miały żadnej możliwości wybierania pokarmu, sinice przechodziły przez ich przewód pokarmowy żywe i bez uszkodzeń, natomiast ryby wykazywały znaczną śmiertelność.

Zarastanie akwenów

- Czasem rozwój makrofitów jest wręcz plagą, jak np. na Florydzie, gdzie gęsta sieć rzek, kanałów i płytkich jezior jest stale zarastana głównie przez 4 gatunki: hiacynt wodny (*Eichhornia crassipes*), przesiąkrę okółkową (*Hydrilla verticillata*), wywłócznik kłosowy (*Myriophyllum spicatum*) i moczarkę brazylijska (*Egeria densa*), usuwanie na torach żeglugowych - **15-20 mln $** rocznie (ok., 1978 r.).
- Wielkie nadzieje wiąże się amurem, tym bardziej, że koszt oczyszczenia z roślinności jednego hektara metodami chemicznymi wynosi **300 $**, a metodami mechanicznymi wprawdzie **tylko 89 $,** ale przy tym ulega zniszczeniu ok. 35 kg ryb (na hektar), a zabieg ten należy powtarzać co 2 miesiące .

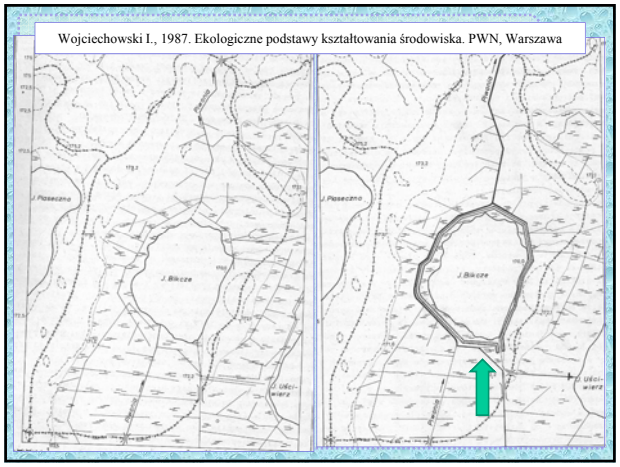
- **jeziora Hornborga** w Szwecji (o powierzchni 30 km^2) - metody mechaniczne
- Miejsce **gniazdowania ptactwa wodnego** - zarastanie na skutek sztucznego obniżania poziomu wody (od 1905 r.), w 1932/33 zarósł na całej powierzchni trzciną (11 km^2) oraz turzycą błotną i zaroślami wierzbowymi (18 km^2).
- Plan odtworzenie otwartej wody,(usunięcie trzciny) przy zachowaniu bagnistych turzycowisk pokrytych roślinnością wynurzoną.
- W 1967-1969 ścinano sprzętem zmechanizowanym trzcinę (zimą z lodu, wiosną pontonowymi kosiarkami, latem, przy niskim stanie wody, kosiarkami ścinano odrosty, a w końcu sprzętem przystosowanym do poruszania się po płytkich wodach i bagnach, zaopatrzonym w kultywatory, przeorano dno, niszcząc podziemne części trzciny.
- Po podniesieniu poziomu wody trzcina już nie powróciła na swoje poprzednie siedliska, a na jej miejsce rozwinęła sie roślinność zanurzona.
- zagęszczenie fauny dennej (*Chironomidae*) wzrosło w okresie 1965-1971 ok. 5,5 razy, a ilość ptaków wodnych zwiększyła się w tym okresie ponad 4-krotnie.
- Koszt całej akcji określono na **4 mln $,** w tym wstępne badania naukowe, ok. 600 tys. $.

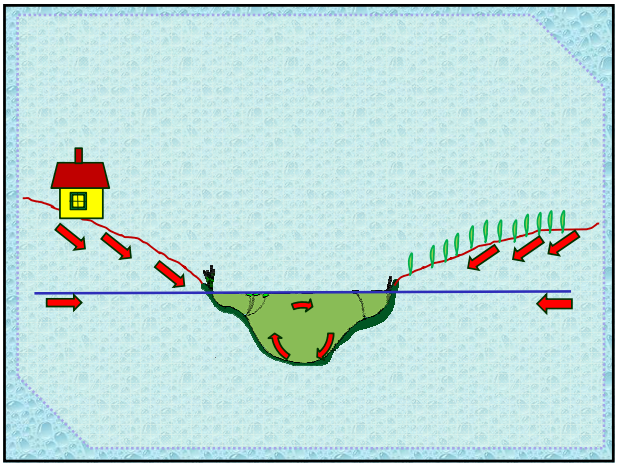
Metody chemiczne

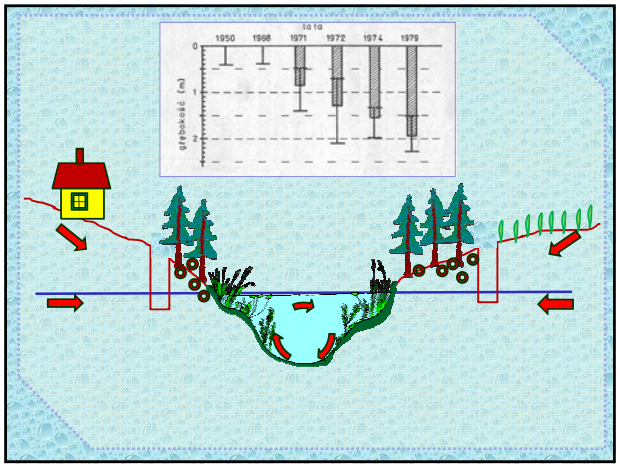
- **toksyczne** - w celu zmniejszenia biomasy glonów lub przynajmniej ograniczenia rozwoju sinic (herbicydy, woda amoniakalna, siarczan miedzi, nadmanganian potasu, chlor)
- **chemicznie i biologicznie obojętnych pyłów** - w celu spowodowania mechanicznej sedymentacji glonów planktonowych, pogorszenia warunków świetlnych dla glonów pozostałych w wodzie, a w końcu dla częściowego przeciwdziałania uwalnianiu biogenów z osadów dennych (gliny, pył cementowy lub inne materiały o silnych właściwościach sorpcyjnych)
- **koagulanty** -powodujących flokulację i sedymentację sestonu (przede wszystkim glonów) a także wytracanie rozpuszczonych związków biogennych i przeciwdziałających ich uwalnianiu z osadów (związki glinu, żelaza)

Jez. Bikcze (silnie zeutrofizowane)

- Odcięcie od znacznej części spływów obszarowych i zainicjowanie procesów dystrofizacji, które dalej rozwijały się samoczynnie, (w kwasy humusowe)
- jez. Bikcze, **płytkie** (gł. maks. 3,3 m, śr. 1,5 m), **duże** (85 ha), **polimiktyczne**, zlewnia (553 ha). Z małej rzeczki Piwonii przesączała się do jeziora żyzna woda z wyżej położonych obszarów rolniczych.
- Fragmenty torfowisk przylegających do jeziora mogły być źródłem kwasów humusowych, jednak na tyle mało wydajnym, że nie stwierdzano ich oddziaływania na ekosystem jeziora.
- **1969** - system nasypów rowy opaskowym, do którego skierowano koryto Piwonii (ok. 130 m od linii brzegowej), na zewnątrz areał pól uprawnych i użytków zielonych, a wewnątrz pozostała niemal cała powierzchnia niskich i przejściowych torfowisk.
- W **1979** nasycenie wody jeziornej kwasami humusowymi było już duże, przezroczystość wody, produkcja pierwotna planktonu, koncentracja biomasy glonów lub chlorofilu w wodzie oraz udział nannoplanktonu osiągnęły, wartości charakterystyczne dla **jezior mezotroficznych**. Jedynie zużycie tlenu w wodzie pozostało na wysokim poziomie.

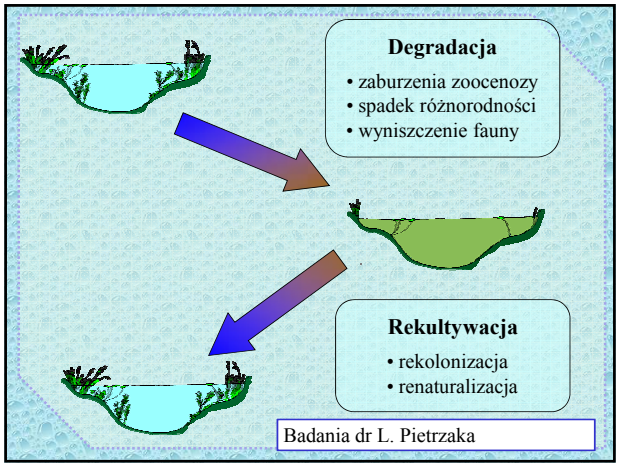






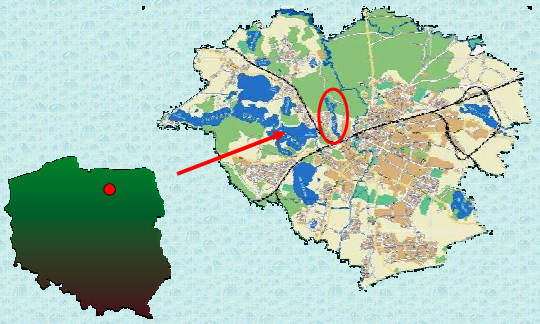
Jak rekultywacja wpływa na owady wodne?

- Przykład – chruściki jez. Długie (Olsztyn)

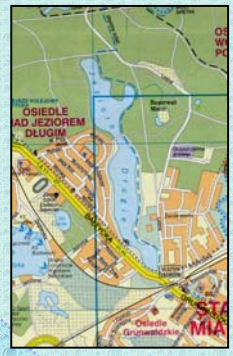


CHRUŚCIKI (*TRICHOPTERA*)

JEZIORO DŁUGIE



JEZIORO DŁUGIE



powierzchnia - 26,8 ha

głębokość maks. – 17,3 m

zlewnia – 0,55 km^2

JEZIORO DŁUGIE

Przed wojną kąpielisko garnizonowe, jezioro użytkowane rekreacyjnie jeszcze w latach 50.

Od połowy lat 50. odbiornik wody z kanałów burzowych i ścieków bytowo-gospodarczych

Jedno z najbardziej zanieczyszczonych jezior w Polsce

Fauna bentosowa skrajnie uboga, bliska całkowitego wyniszczenia

JEZIORO DŁUGIE

1973 r. – odcięcie dopływu ścieków

1987 r. –1990 r.
sztuczne napowietrzanie
1991 r. –2000 r.

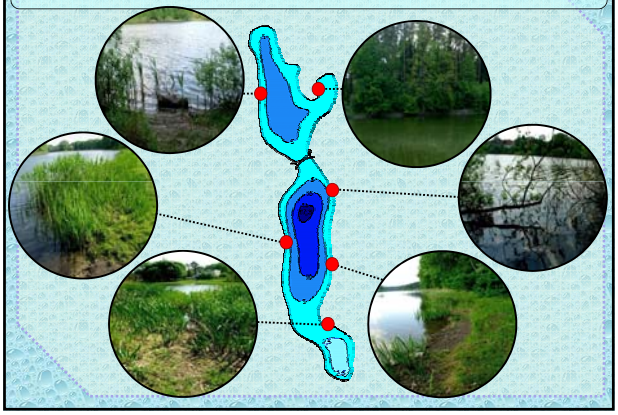
2001 r. i 2002r. strącanie i wiązanie fosforu w osadach jeziornych za pomocą koagulantu glinowego PAX 18

METODY BADAŃ

<u>Chruściki w Jez. Długim badano:</u>

- **Sporadycznie: 1985 – 1995**
- **Systematycznie V.2000 – X.2002**

METODY BADAŃ



METODY BADAŃ

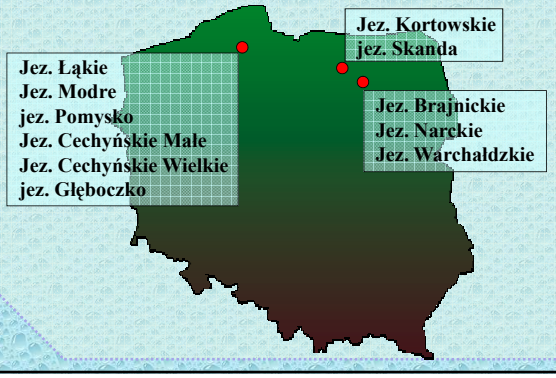
Chruściki w Jez. Długim badano:
- **Sporadycznie: 1985 – 1995**
- **Systematycznie V.2000 – X.2002**

Różnorodność gatunkowa:
współczynnik Shannona – Weavera (H')

Specyficzność siedliskowa:
współczynniki naturalności (Wns i Wni)

Wyniki porównano z danymi z innych jezior

METODY BADAŃ



WYNIKI

1972 – 1973 nie znaleziony żaden gatunek chruścika (Sikorowa)

Lata 80. – ubóstwo gatunkowe w litoralu

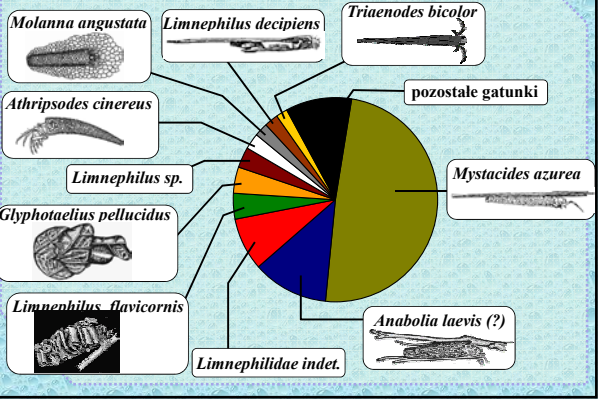
1991 – pewne informacje tylko o dwóch gatunkach: *Mystacides azurea*, *Anabolia laevis (?)*

WYNIKI

lata 2000 – 2002

1271 larw z 31 gatunków

WYNIKI



WYNIKI

1271 larw z 31 gatunków

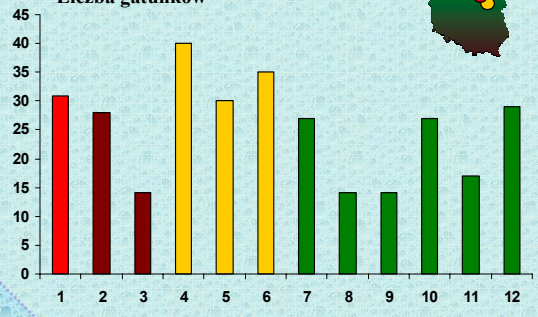
Gatunki z czerwonej listy zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce (Szczęsny 2002)

Agrypnia picta (?)
gatunek prawdopodobnie wymarły?

Ylodes simulans (?)
gatunek niższego ryzyka

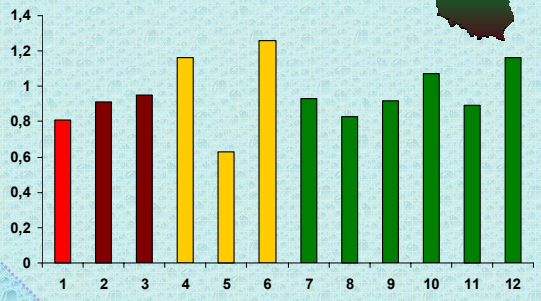
WYNIKI

Liczba gatunków



WYNIKI

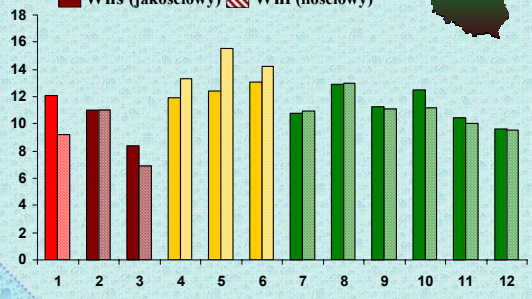
Różnorodność gatunkowa (H')



WYNIKI

Współczynniki naturalności (Wn)

Wns (jakościowy) Wni (ilościowy)



WYNIKI

Gatunki rzeczne i strumieniowe

Cyrnus trimaculatus

Halesus digitatus

Ylodes conspersus

Limnephilus rhombicus

Limnephilus extricatus

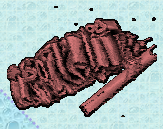
PODSUMOWANIE

Fauna bogata w gatunki, w tym gatunki rzadkie

Stosunkowo duża różnorodność

Gatunki w większości typowo jeziorne

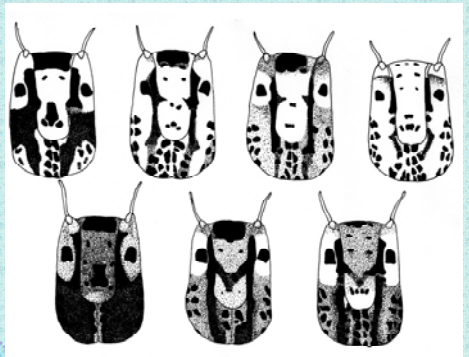
SKUTECZNOŚĆ REKULTYWACJI



Gatunki nietypowe dla jezior

Zmienność morfologiczna larw

PODSUMOWANIE



PODSUMOWANIE

Fauna bogata w gatunki, w tym gatunki rzadkie

Stosunkowo duża różnorodność

Gatunki w większości typowo jeziorne

SKUTECZNOŚĆ REKULTYWACJI

Gatunki nietypowe dla jezior

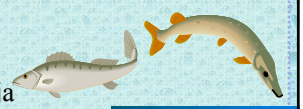
Zmienność morfologiczna larw

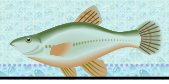
REKOLONIZACJA I RENATURALIZACJA FAUNY

Wykorzystano badania dr. L. Pietrzaka

Dlaczego nie ma wędzonych węgorzy?

- Węgorzowe eldorado w czasach PRL
- Zaniechanie zarybiania gatunkami rodzimymi
- Zawleczenie choroby
- Azjatycka konkurencja
- Dwie przyczyny: ekonomiczna i przyrodnicza





Upadek gospodarstw rybackich?

- Poszukiwanie innych dochodów
- Łowiska specjalne, zarybianie gatunkami rodzimymi
- Renaturyzacja ichtiofauny? Jaki to będzie miało wpływ na środowisko jeziorne?

Dwa wymiary biomanipulacji

- Poznać ekosystemy jeziorne
- Jaka jest ich struktura, jak funkcjonują?
- Biomanipulacja jako metoda utrzymywania niższej trofii (turystyka, bioróżnorodność)
- Biomanipulacja jako metoda rybacka (turystyka, aktywna ochrona przyrody)