

STANISŁAW WRÓBEL

Przyczyny i następstwa eutrofizacji stawów — Causes and consequences of pond eutrophication

Mémoire présenté le 7 septembre 1964 dans la séance de la Commission Biologique de l'Académie Polonaise des Sciences, Cracovie

Produktywność stawów, pojęta jako zdolność produkowania organizmów gospodarczo użytecznych — ryb, jest nierozdzielnie związana ze stopniem eutrofizacji. Od stopnia eutrofizacji zależy bowiem ilość pokarmu naturalnego ryb. Wydajność stawów, czyli zrealizowana produktywność, oprócz bazy pokarmowej, jest uzależniona jeszcze od warunków bytowania ryb. Tak ilość pokarmu naturalnego jak i warunki bytowania są uzależnione od ilości i jakości materii organicznej w stawie (w wodzie i dnie). Wysoka zawartość materii organicznej, korzystna z punktu widzenia bazy pokarmowej, będzie prowadziła przez zwiększenie destrukcji do pogorszenia warunków bytowania ryb.

Aby uzyskać maksymalną ilość pokarmu naturalnego bez naruszenia optymalnych warunków bytowania, konieczne jest zachowanie pewnych granic produkcji i dopływu materii organicznej spoza stawu oraz destrukcji. Chodzi mianowicie o „znalezienie właściwych granic, do których w każdym poszczególnym wypadku można poprawić troficzność środowiska” (S t a r m a c h 1958). Określenie tych granic może nastąpić na podstawie dokładniejszego poznania przyczyn i następstw eutrofizacji stawów.

Tym zagadnieniom poświęcone były badania, które wykonano w stawach Gospodarstwa Doświadczalnego Zakładu Biologii Wód PAN w Gołyszach w latach 1962 i 1963. Stanowią one równocześnie zakończenie cyklu prac nad nawożeniem N + P, podjętych w stawach produkcyjnych w roku 1957 (W r ó b e l 1959, 1962).

Stawy w Gołyszach otrzymują wodę z górnej Wisły, ubogą w mineralne składniki pokarmowe i o małej zawartości materii organicznej. Ilość wody dopływającej do stawów w lecie jest ograniczona, tak że w lipcu i w sierpniu nie tylko nie następuje wymiana wody, ale poziom jej w stawach znacznie się obniża.

W badanych stawach stosowano nawozy azotowe i fosforowe, rodzaje nawozów i ich ilości oraz początek nawożenia i jego ukończenie podano w tabeli I. W lipcu bądź w sierpniu, w okresach masowego rozwoju fito-

Tabela I
Table I

Nawożenie stawów w latach 1962 i 1963
Fertilization of ponds in 1962 and 1963

Lp No	Stawy Ponds	Pow. ha Area	Nawozy Fertilizers	Ilość dawk Number of doses	N P ₂ O ₅ kg/ha	Nawożenie Fertilization		Inne zabiegi Other treatment
						Pierwsze first	Ostatnie final	
1 2 3 4 5 6 7	Wyszni VI	5,7	Kontrolny - control	-	-	-	-	17.VIII wapno 2,5 g/ha Lime
	Wyszni II	8,3	Amoniakat Ammoniate Superfosfat Superphosphate	7 3	94 28	11.V 11.V	12.VII 12.VII	
	Wyszni III	6,9	Woda amoniakalna 25 % Ammonia water Superfosfat Superphosphate	8 4	99 33	11.V 11.V	21.VII 21.VII	12.VIII wapno 2,5 g/ha Lime 19.VIII CuSO ₄ 2,5 kg/ha 29.VIII CuSO ₄ 2,5 kg/ha
	Wyszni IV	6,0	Siarcezan amonu Ammonium sulphate Superfosfat Superphosphate	8 5	120 40	7.V 7.V	3.VIII 3.VIII	12.VIII wapno 4 g/ha Lime
	Wyszni V	5,5	Siarcezan amonu Ammonium sulphate Superfosfat Superphosphate	8 5	120 40	7.V 7.V	20.VII 20.VII	9.VIII wapno 3,5 g/ha Lime 19.VIII CuSO ₄ 2 kg/ha 29.VIII CuSO ₄ 3 kg/ha
	Wyszni VI	5,7	Kontrolny - control	-	-	-	-	-
	Wyszni II	8,3	Woda amoniakalna 25 % Ammonia water Mocznik Urea Superfosfat Superphosphate	6 4	41 28	17.V 17.V	25.VI 25.VI	26.VII CuSO ₄ 3,0 kg/ha 2.VIII CuSO ₄ 2,5 kg/ha
	Wyszni III	6,9	Woda amoniakalna 25 % Ammonia water Superfosfat Superphosphate	5 4	55 14	17.V 17.V	27.VI 27.VI	18.VII CuSO ₄ 2,5 kg/ha 2.VIII CuSO ₄ 3,6 kg/ha 19.VIII CuSO ₄ 3,6 kg/ha
	Wyszni IV	6,0	Siarcezan amonu Ammonium sulphate Superfosfat Superphosphate	5 5	79 16	17.V 17.V	20.VII 20.VII	1.VIII CuSO ₄ 3 kg/ha

Amoniakat - roztwór mocznika nasycony amoniakiem
Ammoniate - urea solution saturated with ammonia

planktonu, stosowano wapno palone lub siarczan miedzi, co również uwi-
doczniono w tabelach.

Wszystkie stawy były obsadzone narybkiem karpi (K_1/K_2) w ilości 2000
szt./ha, przy czym w stawie kontrolnym Wyszni VI ryb nie dokarmiano,
natomiast w stawie Wyszni IV w roku 1962 pasze zaczęto stosować od
15 sierpnia. W roku 1963 w tym ostatnim stawie ryb nie karmiono.

Metodyka

W badaniach położono główny nacisk na pomiary produkcji pierwotnej
fitoplanktonu. W roku 1962 produkcję pierwotną oznaczono 11 razy od
maja do września w dwóch poziomach: przy powierzchni i na głębokości
1 m. W sierpniu wykonano ponadto kilkakrotne pomiary uwarstwienia
temperatury wody i natlenienia w okresach minimum i maksimum tleno-
wego. Również w roku 1962 oznaczono zawartość chlorofilu w wodzie,
używając do cechowania fotometru chlorofilu „a” firmy Sandoz.

Tabela II
Table II

Metody oznaczeń fizycznych i chemicznych
Methods of physical and chemical determinations

Czynniki Factors	Metoda Method	Przyrządy pomiarowe Equipment	Przygotowanie prób Preparation of samples	Według autora After author
pH	elektrometrycznie electrometric	Pehametr LBS 3A	w pracowni in laboratory	
Twardość ogólna Hardness	wersenianowa compeximetric	miareczkowo volumetric	w pracowni in laboratory	Christ, Keeding 1954
Alkaliczność Alkalinity	z fenoltaleiną i metyloanżem with phenolpht. and methyl orange	miareczkowo volumetric	w pracowni in laboratory	Just, Hermanowicz 1955
Fosforany Phosphates	kolorymetrycznie colorimetric	fotokolo- metr FEKN-57 filter photometer		Just, Hermanowicz 1955
Utlenialność KMnO ₄ cons.	KMnO ₄	miareczkowo volumetric	bez sączenia without filtering	Just, Hermanowicz 1955
C organiczny w wodzie Organic C in water	K ₂ Cr ₂ O ₇	miareczkowo volumetric	po odparowaniu after evaporation	
Produkcja pierwotna Primary production	jasne i ciemne butelki light and dark bottles		czas ekspozycji 24 godz. exposure 24 hours	Vinberg 1960
Chlorofil Chlorophyll	wyciąg acetonowy acetone extraction	FEKN-57	po odwirowaniu 4500 obr/min after centrifuging	
Mętność Turbidity		FEKN-57	w pracowni in laboratory	
C organiczny w osadach C in bottom deposits	Tiurin	miareczkowo volumetric	w powietrznym suchych próbach in air dried samples	Lityński i wspóipr.1962 Litynski et al.1962
N ogólny w osadach Total N in bottom deposits	Kjeldahl		w powietrznym suchych próbach in air dried samples	

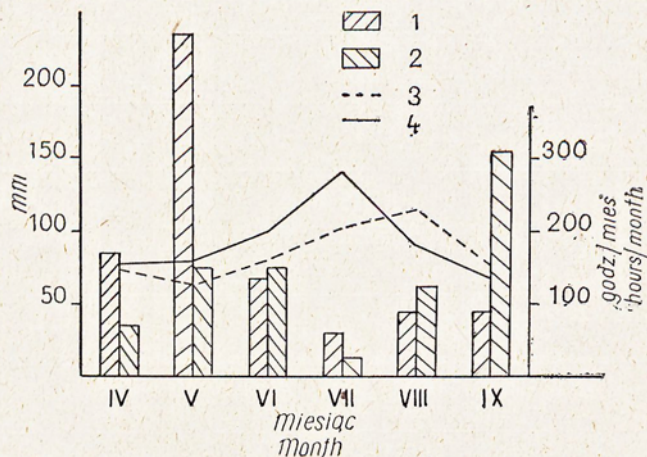
W roku 1963 zwrócono większą uwagę na pionowy przebieg fotosyntezy, oznaczając jej intensywność co 20 cm od powierzchni do dna.

W osadach dennych stawów Wyszni VI i Wyszni II oznaczono w roku 1963 węgiel w połączeniach organicznych i azot ogólny. Próby osadów pobierano z warstwy 0-1 cm, w dwóch stałych punktach każdego stawu. Miejsca pobierania prób znajdowały się w płytszej części stawów (stanowisko a) i w odległości 20—30 m od młochów odpływowych (stanowisko b).

Ze stawów zalanych pobierano próby osadów w dniach dokonywania pomiarów produkcji pierwotnej, a ponadto pobrano próby przed zalaniem i po opuszczeniu stawów. Głębokość stawu Wyszni VI na stanowisku a wynosiła 50—60 cm, a na stanowisku b 110—120 cm i odpowiednio w stawie Wyszni II 40—60 i 130—150 cm. Do oznaczeń C i N używano prób powietrznie suchych, a wyniki podano w stosunku do suchej masy osadów. Metody oznaczeń chemicznych zestawiono w tabeli II.

Charakterystyka klimatyczna sezonów 1962 i 1963

W charakterystyce warunków klimatycznych uwzględniono tylko trzy czynniki: nasłonecznienie, opady i temperaturę wody, mające bezpośredni wpływ na produkcję pierwotną i przyrosty ryb. W sezonie wegetacyjnym 1962 było mniejsze nasłonecznienie aniżeli w sezonie 1963, przy czym lipiec w roku 1963 był wyjątkowo pogodny (278 godz/mies. ryc. 1). W roku

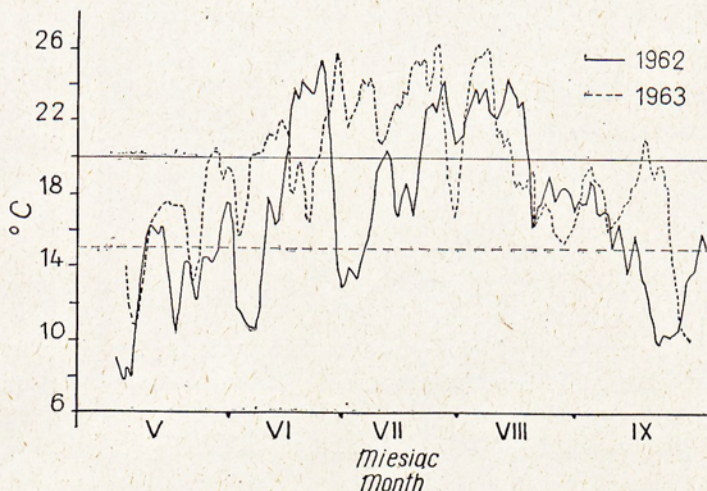


Ryc. 1. Opady i nasłonecznienie w Gołyszu w latach 1962 i 1963. 1 — opady (mm/mies) w 1962 r., 2 — opady w 1963 r., 3 — nasłonecznienie (godz/mies) w 1962 r., 4 — nasłonecznienie w 1963 r.

Fig. 1. Rainfall and insolation in Gołysz in 1962 and 1963. 1 — rainfall (mm per month) in 1962, 2 — rainfall in 1963, 3 — insolation (hours per month) in 1962, 4 — insolation in 1963.

1962 bardziej słoneczne były sierpień i wrzesień. W obu sezonach w czerwcu, lipcu i sierpniu było mało opadów, a w związku z tym ilość wody dopływającej do stawów była znikoma.

Temperatura wody (średnia dzienna, mierzona w stawie Wyszni VI) była wyższa w roku 1963 niż w roku 1962 (rys. 2). Po obliczeniu ilości



Ryc. 2. Średnia dzienna temperatura wody stawu Wyszni VI w latach 1962 i 1963.

Fig. 2. Mean daily temperature of the water of pond Wyszni VI in 1962 and 1963.

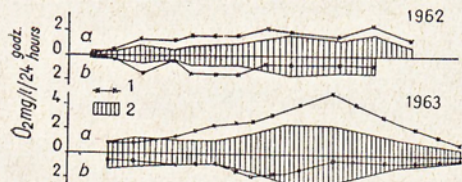
dni, w których temperatura wody była wyższa od 20 °C (Stegman 1960), okazało się, że w sezonie 1963 (maj — wrzesień) było ich 63, gdy tymczasem w 1962 r. 45. Ilość dni z temperaturą wody poniżej 15 °C wynosiła w sezonie 1963 15, a w sezonie 1962 53.

Oba sezony, w których wykonywano badania różniły się zatem znacznie ilością godzin nasłonecznienia i przebiegiem temperatury wody; wspólną cechą była natomiast mała ilość opadów w miesiącach letnich.

Wyniki badań

Charakterystykę troficzności stawów oparto na pomiarach produkcji pierwotnej fitoplanktonu, wykonanych w stawie kontrolnym i w stawach nawożonych. Natężenie fotosyntezy w stawie bez nawożenia było większe w latach 1962 i 1963 aniżeli w latach poprzednich (Wróbel 1962). Jakkolwiek w latach tych była większa również destrukcja, to jednak stosunek produkcji (P) do destrukcji (D) był większy od 1 już w pierwszej połowie sezonu, gdy tymczasem w latach 1960—61 dopiero w drugiej połowie sezonu produkcja przewyższała destrukcję. Wzrost eutrofizacji stawu kontrolnego w dwóch ostatnich latach można przypisać jedynie

zwiększonej obsadzie ryb (2000 szt/ha, w latach poprzednich 300 szt/ha). Tak więc już samo zagęszczenie ryb jest czynnikiem podnoszącym eutrofizację stawów.



Ryc. 3. Produkcja pierwotna fitoplanktonu w stawie kontrolnym Wyszni VI. 1 — produkcja, 2 — destrukcja, a — przy powierzchni, b — na głębokości 1 m.

Fig. 3. Primary production of phytoplankton in the control pond Wyszni VI. 1 — production, 2 — destruction, a — near the surface, b — at a depth of 1 m.

Porównując produkcję pierwotną w obu latach (ryc. 3) w tym stawie widać, że była ona większa w roku 1963 niż w roku 1962. Istotną przyczyną w tym przypadku było lepsze nasłonecznienie i wyższa temperatura wody w sezonie 1963. Wpływ temperatury zaznaczył się także na wielkości destrukcji, gdyż produkcja czysta, mimo większego natężenia fotosyntezy, była mniejsza w roku 1963 (tabl. III).

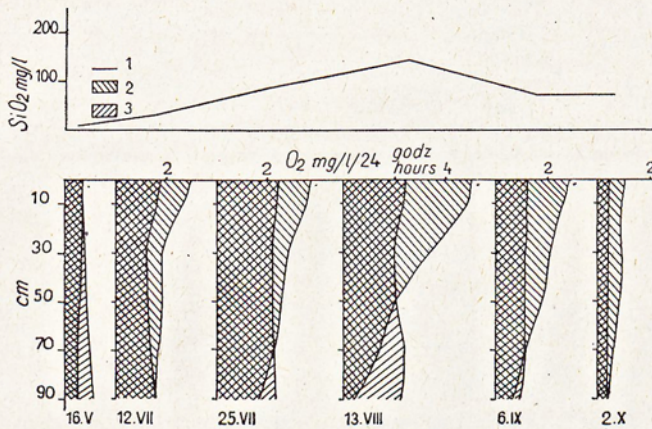
Tabela III
Table III

Produkcja pierwotna fitoplanktonu w stawach w latach 1962 i 1963
Primary production in ponds in 1962 and 1963

	Staw Pond	Wyszni VI	Wyszni II	Wyszni III	Wyszni IV	Wyszni V
	Rok Year					
Produkcja całkowita Total production $O_2/1/24$ godz hours	P 1962	1,14	3,92	4,94	3,37	3,05
	1963	1,49	2,98	4,34	2,95	-
Destrukcja Destruction $O_2/1/24$ godz hours	D 1962	0,90	3,26	3,50	2,29	2,23
	1963	1,33	2,14	2,84	1,56	-
Produkcja czysta Net production P - D	1962	0,24	0,66	1,44	1,08	0,82
	1963	0,16	0,84	1,50	1,39	-
P/D	1962	1,27	1,20	1,41	1,47	1,37
	1963	1,12	1,39	1,53	1,89	-

Przy pobieraniu wody w stawie kontrolnym do pomiarów produkcji pierwotnej i oznaczeniu zawartości tlenu okazało się, że w maju i w czerwcu większe były ilości tlenu w warstwach przydennych niż przy powierzchni wody (9,57 mg O_2/l przy powierzchni i 10,43 mg/l przy dnie). Podobne uwarstwienie obserwowano w niektórych stawach nawożonych, ale przed zastosowaniem nawozów. W dalszych terminach stwierdzano zawsze większe ilości tlenu w powierzchniowych warstwach wody. Taki układ stosunków tlenowych na początku sezonu i w dalszych miesiącach był spo-

wodowany przez różne źródła tlenu w obu okresach. Na początku sezonu, kiedy przezroczystość wody jest duża i dno stawów jest dobrze oświetlone, tlen a więc i materia organiczna są produkowane przez glony denne.

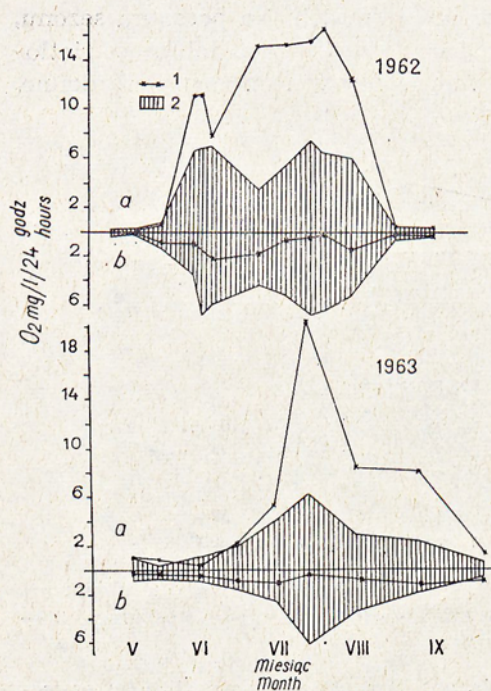


Ryc. 4. Mętność wody, natężenie fotosyntezy i destrukcji w przekroju pionowym w stawie kontrolnym Wyszni VI w 1963 roku. 1 — mętność, 2 — fotosynteza, 3 — destrukcja.

Fig. 4. Turbidity, intensity of photosynthesis, and destruction in a vertical cross-section in the water of control pond Wyszni VI in 1963. 1 — turbidity, 2 — photosynthesis, 3 — destruction.

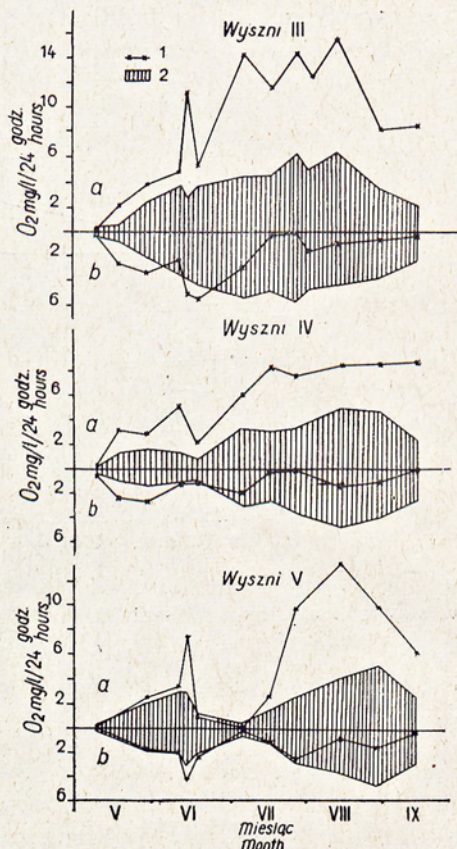
W miarę rozwoju fitoplanktonu i wzrostu mętności wody glony denne prze-stają asymilować i produkcja materii organicznej odbywa się przy udziale fitoplanktonu najpierw w całym słupie wody, a następnie zostaje ograniczana do coraz cieńszej warstwy powierzchniowej. Pod jesień fotosynteza zachodzi znowu na całej głębokości stawu (ryc. 4).

Produkcja pierwotna w stawach nawożonych była 3—5-krotnie większa niż w stawie kontrolnym, przy czym większe wartości stwierdzano w tych stawach, w których ryby były intensywnie karmione. Mała produkcja w stawie Wyszni II w pierwszej połowie sezonu 1963 była spowodowana masowym rozwojem zielenicy *Hydrodictyon reticulatum*, której produkcji niestety nie określono. Wpływ żywienia ryb na wielkość produkcji pierwotnej może być zilustrowany na przykładzie roku 1962 i stawów Wyszni II i Wyszni III oraz Wyszni IV, w którym ryby zaczęto dokarmiać dopiero w sierpniu (ryc. 5, 6). W tym ostatnim stawie, mimo zastosowania większych ilości azotu i fosforu w nawozach (tab. I), produkcja pierwotna była mniejsza niż w dwóch poprzednich stawach. W stawach z intensywnym żywieniem ryb większe było również zużycie tlenu (do 7 mg O₂/l), gdy tymczasem w stawie z opóźnionym żywieniem ryb nie przekraczało 5 mg O₂/l. W roku 1963 w stawie Wyszni IV nie stosowano pasz to też i zużycie tlenu nie przekraczało 3,50 mg O₂/l/24 godz. Widać to również



Ryc. 5. Produkcja pierwotna w stawie nawożonym Wyszni II w latach 1962 i 1963. 1 — produkcja, 2 — destrukcja, a — przy powierzchni, b — na głębokości 1 m.

Fig. 5. Primary production in the fertilized pond Wyszni II in 1962 and 1963. 1 — production, a — near the surface, b — at a depth of 1 m.

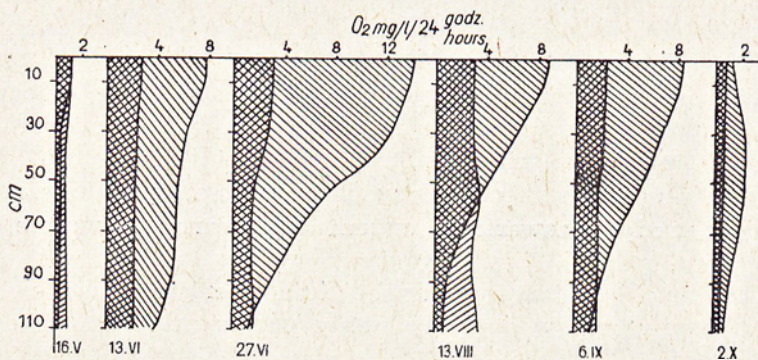


Ryc. 6. Produkcja pierwotna w stawach nawożonych w 1962 roku. 1 — produkcja, 2 — destrukcja, a — przy powierzchni, b — na głębokości 1 m.

Fig. 6. Primary production in fertilized ponds in 1962. 1 — production, 2 — destruction, a — near the surface, b — at a depth of 1 m.

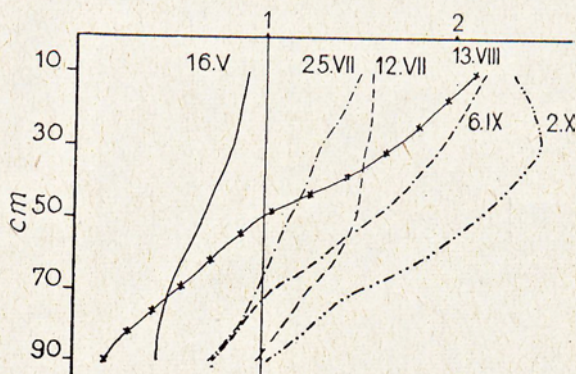
wyraźnie ze średnich dla całego sezonu przytoczonych w tabeli III. Stosowanie pasz w stawach przyczyniło się więc, obok nawożenia mineralnego do zwiększenia eutrofizacji stawów.

Produkcja czysta (różnica między produkcją całkowitą i destrukcją) w stawach nawożonych, mimo wysokiej fotosyntezy w miesiącach letnich (lipiec, sierpień), była mniejsza niż na początku i na końcu sezonu wegetacyjnego (ryc. 7). Stosunek produkcji całkowitej do destrukcji kształtował się na wysokim poziomie w czerwcu, wrześniu i październiku, w miesią-



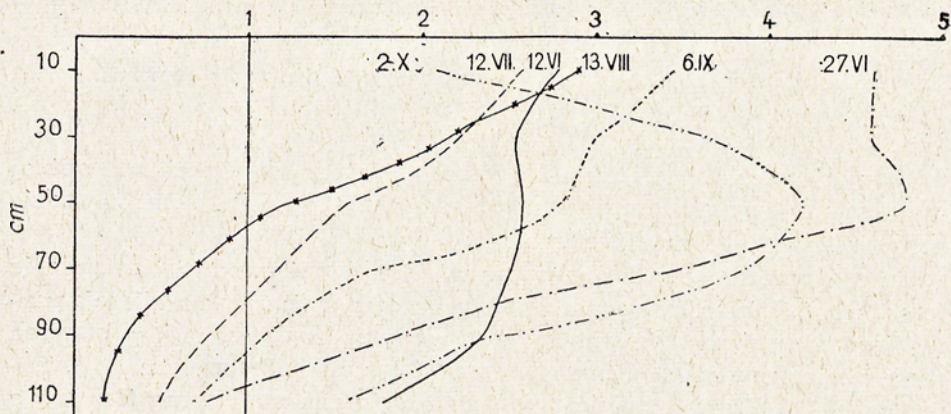
Ryc. 7. Natężenie fotosyntezy i destrukcji w przekroju pionowym w stawach nawożonych w 1963 roku. 1 — fotosynteza, 2 — destrukcja.

Fig. 7. Intensity of photosynthesis and destruction in a vertical cross-section in fertilized ponds in 1963. 1 — photosynthesis, 2 — destruction



Ryc. 8. Stosunek produkcji do destrukcji w stawie kontrolnym Wyszni VI w 1963 roku

Fig. 8. P/D ratio in control pond Wyszni VI in 1963.

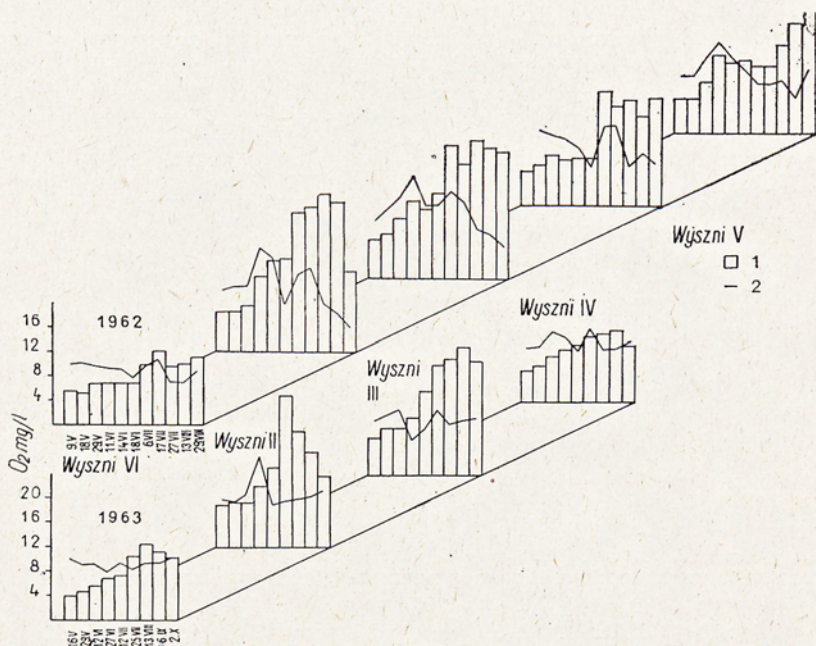


Ryc. 9. Stosunek produkcji do destrukcji w stawach nawożonych w 1963 roku.

Fig. 9. P/D ratio in fertilized ponds in 1963.

cach letnich był on z reguły mniejszy od 1,50 (średnio dla całego słupa wody). Węższy był także stosunek P/D w stawie kontrolnym (ryc. 8) aniżeli w stawach nawożonych (ryc. 9). O wielkości stosunku P/D decydowało przede wszystkim zużycie tlenu, które z kolei było uzależnione od temperatury wody i zawartości materii organicznej w wodzie i dnie stawów.

Duża zawartość materii organicznej (duża utlenialność wody, ryc. 10) i wysoka temperatura wody powodowały pogorszenie warunków tleno-



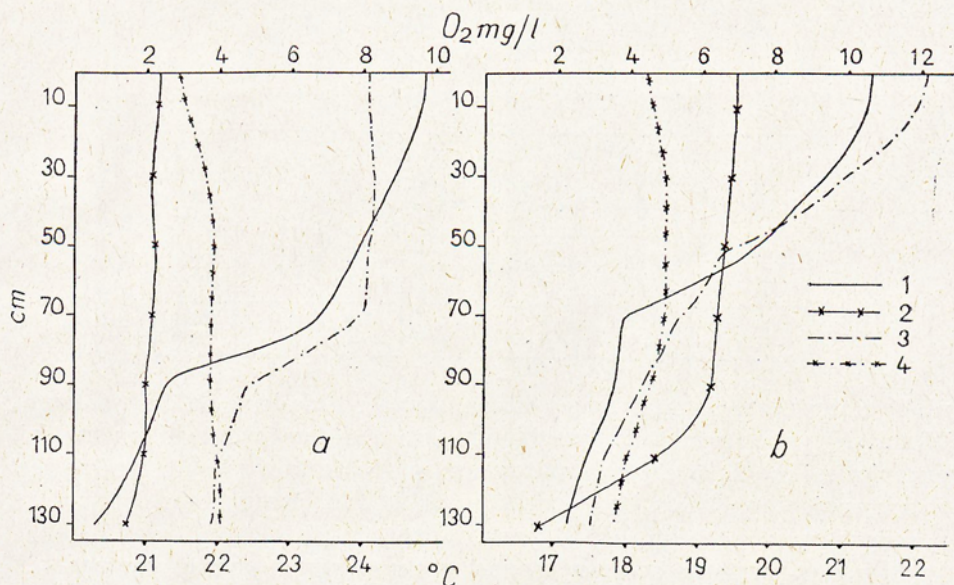
Ryc. 10. Utlenialność wody i zawartość tlenu w stawach w latach 1962 i 1963. 1 — utlenialność, 2 — zawartość O_2

Fig. 10. Consumption of $KMnO_4$ and oxygen content in the water of ponds in 1962 and 1963. 1 — $KMnO_4$ cons. 2 — O_2 content

wych w stawach. W sierpniu nawet przy wysokiej produkcji pierwotnej w warstwach powierzchniowych spotykano mniejsze ilości tlenu w wodzie niż w miesiącach poprzednich.

Intensywne procesy destrukcyjne w całym słupie wody i ograniczenie fotosyntezy do warstw powierzchniowych oraz szybka mineralizacja materii organicznej na dnie stawów prowadziły do wykształcenia w stawach silnie zeutrofizowanych bardzo wyraźnej stratyfikacji termicznej i tlenowej (ryc. 11). Warto zwrócić uwagę, że w okresie maksimum tlenowego w warstwach przydennych zawartość tlenu była mniejsza niż rano dnia następnego (ryc. 11a). Różnice temperatury i natlenienia wody są szcze-

gólnie duże po nagłej zmianie pogody. Na przykład w dniu 1 sierpnia, który był słoneczny i ciepły, po znacznym ochłodzeniu w ostatnich dniach lipca (ryc. 2) różnica temperatury wody warstw powierzchniowych stawów Wyszni II, Wyszni III i Wyszni IV na głębokości 1,20 m wynosiła 5,8 °C, gdy tymczasem w stawie kontrolnym 2,4 °C. Różnica zawartości tlenu w warstwach powierzchniowych i przydennych stawów pierwszych wynosiła 9,0 mg/l, a stawu kontrolnego 0,5 mg/l.



Ryc. 11. Stratyfikacja termiczna i tlenowa w wodzie stawu nawożonego Wyszni III (1962 r.). 1 — zawartość O_2 popołudniu, 2 — zawartość O_2 rano, 3 — temperatura wody popołudniu, 4 — temperatura wody rano, a — 17/18. VIII, b — 21/22. VIII.

Fig. 11. Temperature and oxygen stratification in the water of the fertilized pond Wyszni III in 1963. 1 — O_2 content in the afternoon, 2 — O_2 content in the morning, 3 — temperature in the afternoon, 4 — temperature in the morning, a — Aug. 17/18, b — Aug. 21/22.

W powierzchniowej 1 cm warstwie dna następowały szybkie zmiany zawartości materii organicznej (ryc. 12), przy czym wzrost ilości C organicznego w dnie stawu kontrolnego był mniejszy aniżeli stawu Wyszni II. Większe ilości materii organicznej stwierdzono również w miejscach płytszych obu stawów. Charakterystycznym zjawiskiem, szczególnie dla miejsc płytszych, było podniesienie zawartości materii organicznej zaraz na początku sezonu. Źródłem materii organicznej w dnie stawów w tym okresie była najprawdopodobniej fotosynteza peryfitonu, o czym wspomniano wcześniej. Zmiany zawartości C organicznego odpowiadały wahaniom ilości materii organicznej w wodzie, w niektórych przypadkach współczynnik korelacji wynosił 0,70.

Z obliczenia przyrostu ilości materii w dnie i w wodzie oraz z porównania tego przyrostu z produkcją czystą wynika, że fotosynteza fitoplanktonu nie jest jedynym źródłem substancji organicznej tak w stawie kontrolnym, jak i nawożonym. W stawie kontrolnym produkcja czysta była o 1/3 mniejsza od przyrostu materii na końcu sezonu, również w stawie nawożonym była ona mniejsza (Tab. IV). W obliczeniach tych nie uwzględ-

Tabela IV
Table IV

Wzrost zawartości węgla organicznego oraz produkcja czysta i destrukcja w głębszych partiach stawów w roku 1963
The increase of carbon content, net production, and destruction in deeper parts of the ponds in 1963

Staw Pond	Okres dni Season days	Wzrost zawartości C Increase of C content			Produkcja czysta Net production g/m ²	Destrukcja Destruction g/m ²
		w dnie in bottom g/m ²	w wodzie in water g/m ³	Razem Total g/m ²		
Wyzni VI	113	16,7	7,1	23,8	16,2	59,0
Wyzni II	127	42,6	5,8	48,4	47,5	118,4

niono ilości materii organicznej, która uległa rozkładowi na dnie stawów. W stawie nawożonym z dokarmianiem ryb dodatkowym źródłem materii organicznej mogła być pasza, natomiast w stawie kontrolnym trudne jest tłumaczenie tego faktu bez dodatkowych badań, szczególnie nad roślinnością naczyniową i florą epifityczną.

Stosunek węgla do azotu w osadach we wszystkich prawie przypadkach przekraczał wartość 10 (Tab. V), co wskazywałoby na daleko posunięty rozkład komórek glonów, w których jest on węższy.

W roku 1962 w dwóch stawach Wyzni V (ryc. 6) i Wyzni II (ryc. 5) nastąpił z trudnych do wytłumaczenia przyczyn spadek produkcji pierwotnej, mimo stosunkowo dużej zawartości fosforanów (0,45 mg PO₄/l) i mineralnych związków azotowych (0,20 mg N—NH₄/l, 0,32 mg N—NO₃/l, 0,122 mg N—NO₂/l). W sierpniu natomiast wystąpiła w tym stawie masowo sinica *Microcystis aeruginosa*, gdy tymczasem w pozostałych stawach nawożonych występowały w tym okresie zielenice z grupy *Chlorococcales*. W drugim z wymienionych stawów gwałtowny spadek produkcji pierwotnej wystąpił w połowie sierpnia, przy czym już do końca sezonu była ona bardzo mała (ryc. 5). I w tym stawie stwierdzono dużą zawartość mineralnych składników pokarmowych (1,50 mg PO₄/l, 0,54 mg N—NH₄/l). W innych stawach w tym okresie zawartość mineralnych związków pokarmowych była mniejsza i mimo tego nie nastąpiło obumarcie zakwitów.

Natężenie fotosyntezy fitoplanktonu w stawach nawożonych i kontrolnym była porównywana w roku 1962 na podstawie dziennych liczb asymilacyjnych (ilość jednostek CO₂ przyswojonych w ciągu dnia na jednostkę chlorofilu). Liczby asymilacyjne w stawach nawożonych były mniej-

sze niż w stawie kontrolnym (w stawach nawożonych średnia dla całego sezonu wynosiła 53, a w stawie kontrolnym 85). W roku 1962 liczby asymilacyjne były mniejsze niż w roku 1961, mimo że ilości chlorofilu podane poprzednio (Wróbel 1962) były wyższe niż rzeczywiste, ponieważ użyto wtedy do wzorcowania fotometru chlorofilu a+b, a nie chlorofilu a, jak

Tabela V
Table V

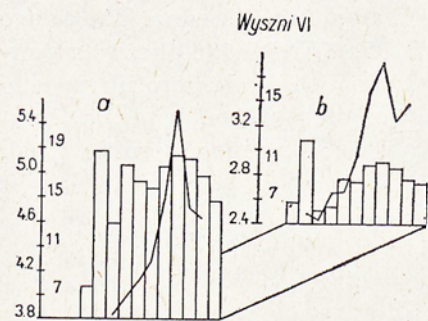
Zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w osadach dennych stawów Wyszni VI i Wyszni II w 1963 r.
The content of organic carbon and total nitrogen in bottom deposits of the ponds Wyszni VI and Wyszni II in 1963

Staw Pond	Stanowisko Station	a shallower			b deeper		
		Data Date	C %	N %	C : N	C %	N %
Wyszni VI	3.IV.	4,072	0,378	10,77	2,574	0,227	11,34
	16.V.	5,167	0,464	11,14	3,072	0,313	9,81
	29.V.	4,579	0,367	12,48	2,504	0,210	11,92
	12.VI.	5,056	0,400	12,62	2,528	0,210	12,04
	27.VI.	4,928	0,401	12,29	2,766	0,252	10,98
	12.VII.	4,873	0,407	12,18	2,739	0,250	10,96
	25.VIII.	5,052	0,407	12,41	2,897	0,252	11,39
	13.VIII.	5,145	0,434	11,85	2,837	0,271	10,69
	7.IX.	5,108	0,393	13,00	2,837	0,247	11,48
	2.X.	4,979	0,409	12,17	2,750	0,273	10,07
30.X.	4,776	0,418	11,42	2,721	0,274	9,35	
Wyszni II	3.IV.	4,724	0,432	10,94	-	-	-
	16.V.	5,263	0,484	10,87	2,493	0,257	9,70
	29.V.	5,459	0,484	11,28	2,751	0,254	10,83
	12.VI.	4,805	0,471	10,20	3,046	0,258	11,81
	27.VI.	4,773	0,455	10,97	3,063	0,302	10,44
	2.VII.	2,482	0,481	11,40	3,388	0,301	11,26
	25.VIII.	6,203	0,513	12,09	3,503	0,307	11,41
	13.VIII.	6,594	0,573	11,51	3,771	0,350	10,77
	7.IX.	6,365	0,543	11,72	3,529	0,315	11,20
	2.X.	6,280	0,534	11,76	3,390	0,304	11,15
30.X.	6,247	0,540	11,57	3,240	0,295	10,88	

to odbywało się w roku 1962. Większe liczby asymilacyjne w stawie kontrolnym były wynikiem lepszego oświetlenia niż w stawach nawożonych, w których mętność wody w miesiącach letnich była 2,5 razy większa (ryc. 13).

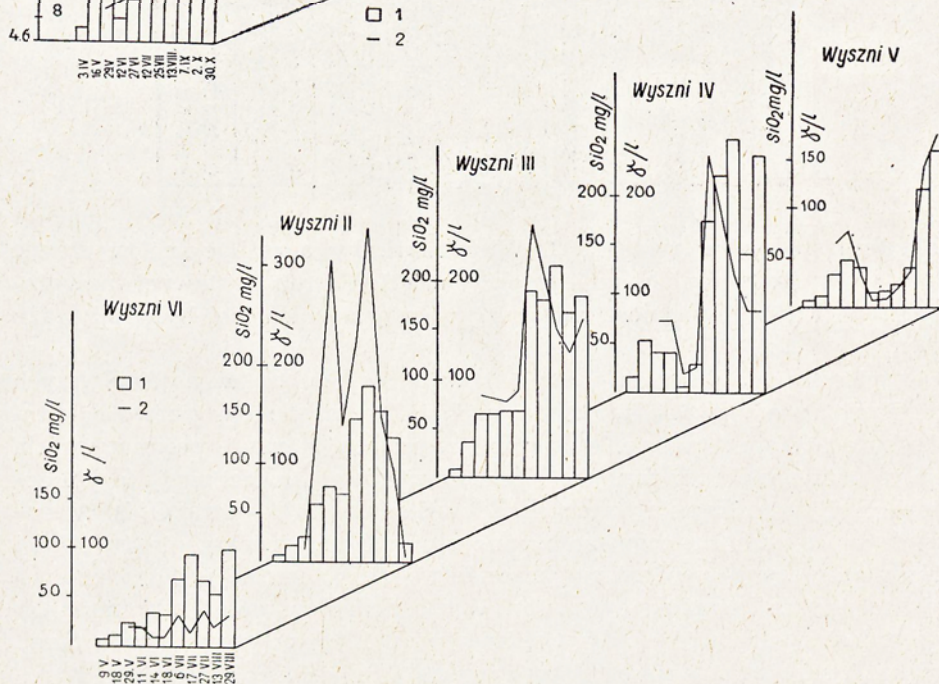
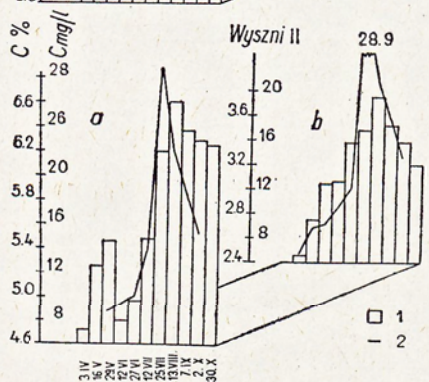
Zastosowanie siarczanu miedzi i wapna palonego w najcieplejszych miesiącach nie wywarło większego wpływu na produkcję pierwotną fitoplanktonu. Wapno palone, stosowane w innych stawach produkcyjnych, wpłynęło w sposób widoczny na zmniejszenie utlenialności wody (po 24 godzinach od zastosowania wapna spadek utlenialności 2—4 mg O₂/l). W stawach, w których zastosowano wapno stwierdzono zwiększenie twardości wody, przy czym twardość przekraczała niekiedy 6 °n, co jest rzadko spotykane w tym kompleksie stawów. Warto dodać, że tak alkaliczność jak i twardość ogólna wody były wyższe w roku 1963, po zastosowaniu przed zalaniem stawów większych dawek wapna (1 t/ha), gdy tymczasem w roku 1962 dawki wapna wynosiły 400 kg/ha.

Silny rozwój fitoplanktonu w stawach nawożonych wywarł duży wpływ przede wszystkim na odczyn wody i alkaliczność. Odczyn wody w tych stawach w roku 1962 był silnie alkaliczny, przy czym duży udział stano-



Ryc. 12. Sezonowe zmiany zawartości węgla organicznego w osadach dennych i w wodzie stawu kontrolnego i stawu nawożonego w 1963 roku. 1 — C w osadach, 2 — C w wodzie, a — część płytsza, b — część głębsza.

Fig. 12. Seasonal changes in organic carbon content in the bottom deposits and in the water of control pond and fertilized pond in 1963. 1 — C in bottom, 2 — C in water, a — in shallower parts, b — in deeper parts.



Ryc. 13. Mętność i zawartość chlorofilu w wodzie stawów w 1962 roku. 1 — mętność SiO_2 mg/l, 2 — chlorofil γ /l.

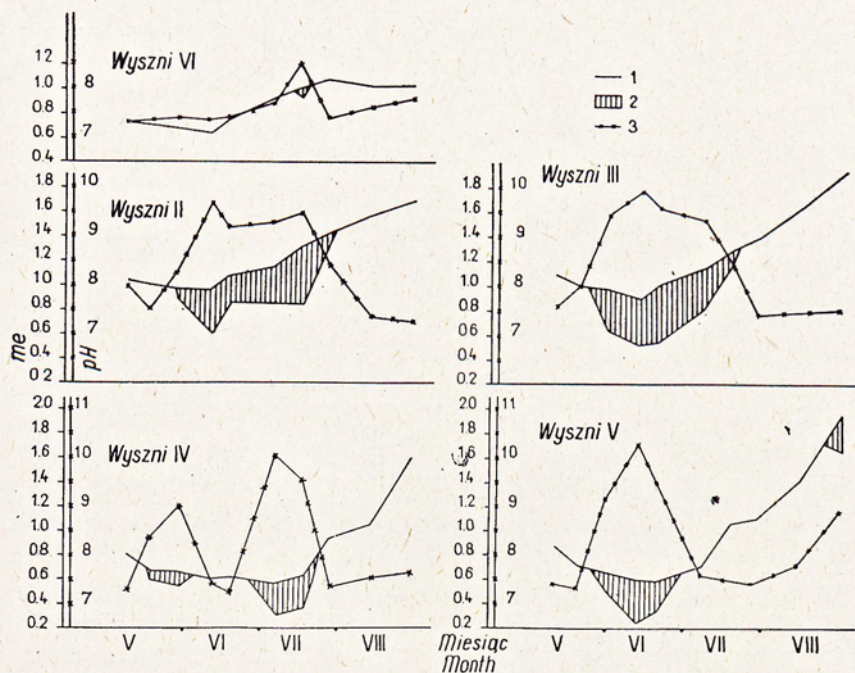
Fig. 13. Turbidity and chlorophyll content in the water of ponds in 1962. 1 — turbidity, 2 — chlorophyll.

Niektóre cechy składu chemicznego wody stawów w roku 1963
Some physical and chemical conditions of water of ponds in 1963

Staw Pond	Czynniki Factors	Data Date	16.V.	29.V.	12.VI.	27.VI.	12.VII.	25.VII.	13.VIII.	6.IX.	2.X.
Wyszni VI	pH		8,4	7,7	8,8	7,3	8,2	7,6	7,9	7,4	7,2
	Alkaliczność węglanowa Carbonate alkalinity	me	0	0	0,06	0	0,04	0	0	0	0
	Alkaliczność dwuwęglanowa Bicarbonate alkalinity	me	0,86	0,88	0,86	1,04	1,10	1,42	1,36	1,16	1,06
	Twardość ogólna Total hardness	°n	3,80	3,62	3,95	4,25	4,35	4,75	5,00	4,42	3,95
	Fosforany Phosphates	PO ₄ mg/l	0,016	0,016	0,040	0,022	0,036	0,042	0	0,016	0,042
	Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen	O ₂ mg/l	9,90	9,02	9,20	7,96	9,41	8,30	9,40	9,27	10,18
	Utlenialność KMnO ₄ cons.	O ₂ mg/l	4,1	4,5	5,4	7,0	7,4	10,4	12,4	11,0	10,2
	C organiczny Organic carbon	C mg/l	5,68	5,14	7,38	7,62	10,36	15,65	18,05	13,28	14,50
	Mętność Turbidity	SiO ₂ mg/l	8	17	10	16	30	85	144	72	72
	Wyszni II	pH		7,4	7,7	8,9	9,3	7,7	7,9	7,7	7,4
Alkaliczność węglanowa Carbonate alkalinity		me	0	0	0,26	0,42	0	0	0	0	0
Alkaliczność dwuwęglanowa Bicarbonate alkalinity		me	1,17	1,32	1,02	0,97	1,56	1,86	1,93	1,62	1,44
Twardość ogólna Total hardness		°n	4,65	4,95	4,75	4,60	4,95	5,25	5,70	5,10	4,85
Fosforany Phosphates		PO ₄ mg/l	0,252	0,620	0,400	1,120	1,530	1,530	0,530	0,182	0,275
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen		O ₂ mg/l	7,86	7,13	9,60	14,88	6,68	7,44	7,84	8,15	9,32
Utlenialność KMnO ₄ cons.		O ₂ mg/l	6,8	7,3	7,0	9,8	13,1	24,8	18,8	14,7	11,7
C organiczny Organic carbon		C mg/l	6,67	8,75	9,11	10,52	12,10	28,87	20,87	17,83	14,59
Mętność Turbidity		SiO ₂ mg/l	13	27	22	21	30	380	136	108	96
Wyszni III		pH		7,8	7,9	8,6	7,3	7,3	8,1	7,4	7,3
	Alkaliczność węglanowa Carbonate alkalinity	me	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0
	Alkaliczność dwuwęglanowa Bicarbonate alkalinity	me	0,86	1,02	0,98	1,31	1,33	1,62	1,71	1,60	1,36
	Twardość ogólna Total hardness	°n	3,90	4,30	4,35	4,65	4,65	4,80	5,20	4,65	4,67
	Fosforany Phosphates	PO ₄ mg/l	0,040	0,348	0,078	0,162	0,172	0,120	0,042	0,058	0,300
	Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen	O ₂ mg/l	8,83	-	10,68	5,76	7,44	10,59	8,22	8,93	9,22
	Utlenialność KMnO ₄ cons.	O ₂ mg/l	5,8	7,3	7,5	9,1	13,5	17,8	18,8	20,8	18,4
	C organiczny Organic carbon	C mg/l	5,84	5,86	10,86	11,40	16,74	25,91	23,69	24,08	23,35
	Mętność Turbidity	SiO ₂ mg/l	6	17	30	24	64	194	184	148	336
	Wyszni IV	pH		8,6	7,8	8,8	8,6	7,6	8,8	7,4	7,3
Alkaliczność węglanowa Carbonate alkalinity		me	0,04	0	0,08	0,10	0	0,21	0	0	0
Alkaliczność dwuwęglanowa Bicarbonate alkalinity		me	0,88	0,98	0,84	0,94	1,12	0,94	1,28	1,26	1,27
Twardość ogólna Total hardness		°n	4,05	4,50	4,50	4,80	4,80	4,85	4,90	4,90	4,85
Fosforany Phosphates		PO ₄ mg/l	0,022	0,195	0,64	0,148	0,072	0,110	0,112	0,126	0,112
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen		O ₂ mg/l	9,70	-	11,46	10,50	8,14	11,95	8,58	8,56	9,54
Utlenialność KMnO ₄ cons.		O ₂ mg/l	5,1	5,8	7,4	8,3	9,2	10,6	11,0	11,7	9,3
C organiczny Organic carbon		C mg/l	5,56	5,31	11,44	11,40	10,95	13,76	15,79	13,57	9,92
Mętność Turbidity		SiO ₂ mg/l	6	40	114	177	96	200	272	232	152

Twardość ogólna w stopniach niemieckich
Total hardness in German degrees.

wily węglany (ryc. 14). W stawach nawożonych amoniakiem (Wyzni II) i wodą amoniakalną (Wyzni III) alkaliczna reakcja utrzymywała się do końca lipca, nie była ona jednak spowodowana bezpośrednim działaniem



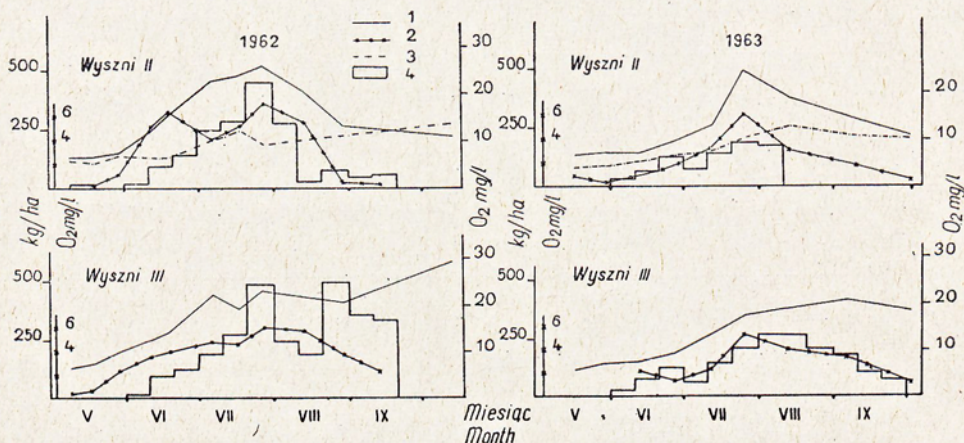
Ryc. 14. Alkaliczność i odczyn wody stawów w 1962 roku. 1 — alkaliczność dwuwęglanowa, 2 — alkaliczność węglanowa, 3 — pH.

Fig. 14. Alkalinity and pH value of the water of ponds in 1962. 1 — bicarbonate alkalinity, 2 — carbonate alkalinity, 3 — pH.

wody amoniakalnej, ponieważ dawki wody amoniakalnej w wysokości 70 l/ha wywoływały bardzo krótkotrwałe i słabe zalkalizowanie środowiska. W stawach nawożonych siarczanem amonu spotykano mniejszą twardość węglanową, toteż i odczyn wody często przekraczał pH 10 (słabsze zbuforowanie wody). W sezonie 1963 r. omówione powyżej czynniki (pH i alkaliczność węglanowa) kształtowały się na niższym poziomie i krótsze były również okresy silniejszego zalkalizowania środowiska (Tab. VI).

W roku 1963 oprócz utlenialności wody oznaczano także całkowitą zawartość węgla organicznego w wodzie. Największą utlenialność wody stwierdzono w stawach nawożonych i z dodatkowym żywieniem ryb (ryc. 15). W stawie kontrolnym utlenialność nie przewyższała 12,5 mg O₂/l, gdy tymczasem w stawach poprzednich przekraczała 25,0 mg/l (rok 1963). W stawie Wyzni IV w roku 1963 mimo zastosowania 79 kg N/ha utlenialność wody wahała się w tych samych granicach jak w stanie kontrolnym.

Zawartość materii organicznej wyrażona w węglu przekraczała w stawach nawożonych i z dodatkowym żywieniem karpia 28 mg C/l, a w stawie kontrolnym, poza jednym przypadkiem, nie była większa od 18 mg/l. Z powyższych danych wynika, że intensywne żywienie ryb wpływa bardzo wydatnie na zawartość materii organicznej w wodzie, a tym samym na stosunek produkcji pierwotnej do destrukcji.



Ryc. 15. Porównanie utlenialności i zużycia tlenu z ilością pasz stosowanych w stawach w latach 1962 i 1963. 1 — utlenialność, 2 — zużycie O_2 , 3 — utlenialność wody stawu kontrolnego, 4 — dekadowe zużycie pasz.

Fig. 15. Comparison of $KMnO_4$ consumption and BOD_1 of pond water with the amount of feed for carp applied in ponds in 1962 and 1963. 1 — $KMnO_4$ cons. 2 — BOD_1 , 3 — $KMnO_4$ cons. in control pond, 4 — decadal amount of feed

Dla celów metodycznych przeprowadzono porównanie utlenialności wody z całkowitą zawartością węgla w połączeniach organicznych. Na podstawie tego porównania okazało się, że $KMnO_4$ utlenia 31,4% całkowitej zawartości materii organicznej znajdującej się w wodzie stawów. Należy dodać, że przy najwyższej temperaturze wody procent utlenienia spadał do 26. Przy wysokiej temperaturze wody w stawach przebiegał zatem intensywniejszy (i pełniejszy) proces mineralizacji materii organicznej i dlatego nadmiar tej materii ulegał mniejszemu utlenieniu w warunkach laboratoryjnych.

W latach 1962 i 1963 zwiększono obsadę karpia z 1300 szt./ha do 2000, zwiększono również ilości nawozów azotowych do 120 kg/ha (rok 1962). Mimo zagęszczenia obsady i większego zużycia nawozów w latach tych nie zwiększyły się przyrosty naturalne ryb. Największy przyrost naturalny uzyskany w stawie Wyszni III wynosił 513 kg/ha, a więc był on równy przyrostowi ryb w stawie Wyszni IV w roku 1961 (Wróbel 1962). Dokładniejszej analizy przyrostów naturalnych ryb uzyskanych w latach

1962—1963 nie można dokonać z powodu wystąpienia masowych śnięć ryb w stawach Wyszni II (1962, 1963), Wyszni V i Wyszni IV (1963). Przyczyną tych śnięć była zgorzel skrzeli, przy czym największe straty były w stawie Wyszni II, wynosiły one w 1961 roku 97%, a w 1963 roku 75%. Masowe śnięcia ryb występowały w miesiącach letnich (lipiec, sierpień, a nawet wrzesień) w kilka dni (8—12) po stwierdzeniu bardzo dużej produkcji pierwotnej fitoplanktonu, a przede wszystkim dużego zużycia tlenu. Śnięcia te występowały tak w okresach słonecznej pogody, jak i po nagłych zmianach nasłonecznienia i temperatury wody, a ubytki na skutek śnięć były tym większe, im większa była zawartość materii organicznej w wodzie stawów. Zgorzel skrzeli (śnięcie — 400 szt.) stwierdzono również u karpia w stawie, w którym ryby nie były dokarmiane, a zawartość materii organicznej nie była większa od 14 mg C/l (Wyszni IV — 1963). W stawie tym stwierdzono dużą mętność wody (spowodowaną zawiesiną mineralną) i wyraźną stratyfikację termiczną i tlenową. Na przykładzie stawu Wyszni II widać (ryc. 5), że występowanie zgorzeli skrzeli u karpia niekoniecznie wiąże się z całkowitym obumarciem zakwitów fitoplanktonu. W stawach płytkich, silnie zeutrofizowanych i przy ograniczonym dopływie świeżej wody śnięcie ryb występowało wcześniej i procent strat był większy aniżeli w stawach głębszych. W jednym tylko przypadku w innych stawach produkcyjnych stwierdzono śnięcie trzeciego rocznika (K_2/K_3); mniej odpornym na zgorzel był zatem rocznik młodszy K_1/K_2 .

W okresach śnięć ryb i w okresach poprzedzających stwierdzano dużą mętność wody, spowodowaną zawiesiną organiczną (komórki glonów) lub mineralną oraz silną stratyfikację termiczną i tlenową. W ciągu całego okresu badań nie stwierdzono branchiomykozy w stawie kontrolnym.

Poziomy eutrofizacji stawów

Rozpatrując stosunki produkcyjne w stawach odrostowych z punktu widzenia zmian troficzności można stwierdzić, że w ciągu jednego sezonu przechodzą one od oligotrofii poprzez eutrofię do politrofii. To przejście od wyższych poziomów eutrofizacji i długość okresów ich trwania uzależnione są od dopływu substancji odżywczych z wodą zaopatrującą stawy, od nawożenia mineralnego, gęstości obsady ryb i ilości stosowanych pasz oraz szybkości przemiany materii, uwarunkowanej temperaturą wody.

Przy małej zawartości mineralnych składników pokarmowych w wodzie dopływającej, jak to dzieje się w gospodarstwie w Gołyszcu, które jest zasilane wodą z górnej Wisły (W r ó b e l 1962), rozwój fitoplanktonu jest słaby, mała jest również zawartość materii organicznej. Dobre natlenienie wody na początku sezonu jest wynikiem intensywnej fotosyntezy roślinności zanurzonej oraz glonów rozwijających się na dnie stawów. Udział tych ostatnich w wytwarzaniu materii organicznej jest widoczny

ze wzrostu zawartości substancji organicznej w dnie stawów (ryc. 12) oraz większych ilości tlenu w warstwach przydennych aniżeli powierzchniowych.

Zwiększenie obsady ryb powoduje wzmożenie produkcji pierwotnej, a tym samym przesunięcie poziomu eutrofizacji. Wpływ zwiększonej liczby ryb, bez dodatkowego ich dokarmiania, można wytłumaczyć lepszym przemieszaniem dna oraz żerowaniem karpia w partiach przybrzeżnych i w miejscach zarosniętych roślinami naczyniowymi, a następnie rozprawdzeniem odchodów ryb w całej masie wody.

Właściwe przejście stawu nienawożonego do poziomu eutroficznego następuje ze wzrostem temperatury wody w lipcu, w sierpniu. W tym okresie produkcja globalna fitoplanktonu przekracza $1 \text{ mg O}_2/\text{l}/\text{dobę}$ (W r ó b e l 1962), a zawartość materii organicznej jest większa od 10 mg C/l (tabela VI). Zwiększona szybkość przemiany materii wyrównuje w pewnym sensie niedostatek mineralnych składników pokarmowych. M o s e v i ć (1954) i R o d h e (1958) skłonni są uważać, że zwiększona szybkość przemiany materii odgrywa większą rolę niż bezpośrednio dostarczanie mineralnych składników pokarmowych. Na skutek niskiego stosunku produkcji do destrukcji (ryc. 8) mała ilość materii organicznej odkłada się na dnie stawu, z tego też powodu, mimo ograniczenia fotosyntezy w dolnych warstwach wody (ryc. 3, 4), brak jest wyraźnej stratyfikacji tlenowej.

Inaczej kształtuje się przebieg eutrofizacji stawów, w których zastosowano nawożenie mineralne, a w dalszych miesiącach żywienie ryb. Poziom oligotroficzny w tych stawach panuje tylko do czasu nawożenia lub nie występuje, jeżeli nawożenie stosowane było od kilku lat; po dodaniu azotu i fosforu zwiększa się szybko produkcja pierwotna fitoplanktonu. Intensywna fotosynteza, przebiegająca w całym słupie wody (ryc. 7), i wysoki współczynnik P/D powodują dobre natlenienie wody (przy zastosowaniu większej ilości nawozów w roku 1962 nasycenie wody tlenem sięgało 170% w godzinach 10—12). Nadmiar nierozłożonej materii organicznej opada na dno wzbogacając jego powierzchniową warstwę (ryc. 12). W stawach głębszych, na skutek pełniejszego rozkładu materii organicznej już w wodzie (dłuższa droga opadania cząstek organicznych, W r ó b e l 1960), ilość jej na dnie jest mniejsza, a więc i wpływ rozkładu tej materii na stosunki tlenowe w najcieplejszych miesiącach będzie mniejszy. Intensywna fotosynteza w tym okresie wywiera znaczny wpływ na cechy fizyko-chemiczne wody, następuje wtedy rozbitcie kwaśnych węglanów, i wskutek tego odczyn wody przekracza często pH 10 (ryc. 14). Silnie alkaliczny odczyn mają jednak wody tego typu jak w gospodarstwie Gołysz, w których zawartość wapnia rzadko jest większa od 30 mg/l , a zatem stosunkowo słabo zbuforowane.

Wraz ze wzrostem temperatury wody zwiększa się ilość materii organicznej podawanej do stawu w postaci paszy dla ryb (do około 1000 kg/ha/mies.). Od czasu intensywnego karmienia ryb zaczyna się więc szyb-

ki wzrost zawartości materii organicznej w wodzie i dnie stawów oraz zwiększa się mętność wody (ryc. 13). Przy wysokiej temperaturze następuje szybka mineralizacja substancji organicznej w wodzie i dnie (szybki rozkład odchodów ryb, M a m o n t o v a 1958), zwiększa się przez to zużycie tlenu, a jednocześnie zmniejsza się współczynnik P/D. Fotosynteza fitoplanktonu ograniczona jest wtedy do powierzchniowej warstwy wody i mimo dużej intensywności fotosyntezy w tej warstwie mniejsza jest produkcja materii organicznej i tlenu na jednostkę powierzchni, gdyż wskutek dużej gęstości glonów zmniejsza się znacznie warstwa wody, w której odbywa się fotosynteza. Zwracają również na to uwagę H e p h e r (1962) i P y r i n a (1961). Spadek intensywności fotosyntezy w dolnych warstwach wody i szybki rozkład materii organicznej na dnie stawów prowadzą w dni bezwietrzne do wykształcenia wyraźnej stratyfikacji tlenowej (ryc. 11), której nie obserwowano się w poprzednim okresie ani w stawie kontrolnym. Zmienia się również charakter fizyko-chemiczny wody stawów: natlenienie wody jest dwukrotnie mniejsze aniżeli w maju czy w czerwcu (ryc. 10), a odczyn wody obniża się do słabo alkalicznego (ryc. 14). Wyrównanie temperatury, a zarazem zawartości tlenu we wszystkich warstwach wody następuje w stawach jeden raz w ciągu doby w nocy (S z u m i e c 1964). Cykl dobowy stratyfikacji w stawach odpowiadałby zatem rocznemu cyklowi w jeziorach leżących w mniejszych szerokościach geograficznych. Podobne stosunki, jak w stawach intensywnie nawożonych, w których ryby są intensywnie dokarmiane paszami, spotyka się w stawach przeznaczonych do oczyszczania ścieków organicznych (O l i f a n 1928, U h l m a n n 1958/59, 1961). Podobne zjawiska stwierdzono również w stawach na Ukrainie (Š p e t 1961).

W najcieplejszych miesiącach sezonu wegetacyjnego w przesunięciu stawów do wyższego poziomu eutrofizacji (politrofii) biorą udział różne czynniki, a mianowicie: gęstość obsady ryb i w zależności od niej ilość zadawanej do stawu paszy oraz szybkość przemiany materii. Nie pozostaje bez wpływu uprzednie nawożenie stawów, gdyż w wyniku szybkiej mineralizacji wracają do obiegu unieruchomione czasowo na dnie składniki pokarmowe.

W stawach intensywnie zagospodarowanych można zatem wyodrębnić trzy poziomy troficzności: oligotroficzny od pierwszych dni po zalaniu stawów do zaczęcia nawożenia, eutroficzny od początku nawożenia do zaczęcia intensywnego żywienia ryb, politroficzny w okresie zadawania dużej ilości pasz. Ten ostatni poziom utrzymuje się niekiedy, w zależności od temperatury wody we wrześniu, do końca sezonu. Każdy z tych poziomów ma wyraźne i swoiste cechy. Poziom pierwszy oligotroficzny charakteryzuje się niską produkcją pierwotną i małym zużyciem tlenu oraz niewielką amplitudą wahań zawartości tlenu. Jako granicę między oligotrofią i eutrofią należałoby przyjąć całkowitą produkcję pierwotną fitoplanktonu odpowiadającą 1 mg O₂/l/dzień. W drugim poziomie — eutroficznym —

intensywna fotosynteza fitoplanktonu zachodzi w całym słupie wody, przy czym stosunek produkcji do destrukcji jest szeroki (powyżej 2, ryc. 9), a wskutek tego nasycenie wody tlenem przekracza znacznie 100%. W tych warunkach brak jest wyraźnej stratyfikacji tlenowej w stawach. Trzeci poziom — politroficzny — wyróżniałby się intensywną fotosyntezą fitoplanktonu w wierzchnich warstwach wody stawu, wąskim stosunkiem P/D (około 1 dla całej głębokości stawu) i dużym zróżnicowaniem zawartości tlenu w poszczególnych warstwach wody i porach doby.

Przedstawiony powyżej podział stawów, uwzględniający obok produkcji pierwotnej fitoplanktonu procesy destrukcyjne (a od nich uzależnione są warunki bytowania ryb) stanowi dalsze rozwinięcie podziału troficzności stawów, który podano w jednym z poprzednich opracowań (Wróbel 1962). Przyjęcie powyższego podziału troficzności stawów byłoby znacznie prostsze od podziału stawów, podanego przez Nygarda (1938), opartego na wskaźnikach chemicznych, które przy obecnym stanie intensywnej gospodarki stawowej nie zawsze są oczywiste. Terminologię podziału troficzności stawów przyjęto z konieczności z typologii zbiorników naturalnych — jezior — i to może budzić pewne zastrzeżenia, ponieważ wysoka intensyfikacja gospodarki stawowej (nawożenie i stosowanie dużych ilości pasz) jest niczym innym jak zanieczyszczeniem środowiska stawowego. Znajdują się bowiem wzmianki w literaturze (Ljachnowiç 1958, Mizuno 1961), że do charakterystyki stawów znacznie zanieczyszczonych powinno się stosować system saprobów Kolkwitza-Marsona. Są to jednak uwagi mniej trafne, gdyż strefy saprobowości dość wyraźnie się zaznaczające w rzekach, nie są w stawach odgraniczone przestrzennie i z tego powodu są nieuchwytnie.

Stosunki tlenowe w stawach

Stopień natlenienia wody w poszczególnych poziomach eutrofizacji nie jest jednakowy, jest on wysoki w dwóch pierwszych poziomach, natomiast w trzecim znacznie się obniża. Szczególnie niebezpiecznymi wydają się być duże wahania zawartości tlenu: zawartość O_2 spada często poniżej 1 mg/l w przydennych warstwach wody przy równocześnie znacznym przesyleniu tlenem warstw powierzchniowych. Krytyczne stosunki tlenowe w najcieplejszych miesiącach sezonu są wywołane specyficzną przemianą materii w wodzie i dnie stawów. W wodzie stawów panuje względna równowaga między produkcją i rozkładem materii organicznej. Ten typ przemiany jest charakterystyczny raczej dla zbiorników położonych w mniejszych szerokościach geograficznych (wysoka produkcja materii organicznej i szybki jej rozkład — ubogie w materię organiczną osady dennie). Każde dodatkowe przyczyny zwiększające zużycie tlenu będą prowadziły w tym okresie do naruszenia równowagi między produkcją a de-

strukcją. Tymi dodatkowymi przyczynami są: szybki rozkład materii organicznej odłożonej na dnie stawów oraz nagłe obumieranie zakwitów fitoplanktonu. Należy dodać, że to obumieranie zakwitów spowodowane jest nie tyle brakiem mineralnych składników pokarmowych, co raczej nagromadzeniem bliżej nieokreślonych substancji, będących inhibitorami rozwoju fitoplanktonu (Kuznecov 1945, Lefèvre i współpracownicy 1949, Zavarzina 1955).

W najcieplejszych miesiącach w strefie klimatu umiarkowanego występuje w stawach jak gdyby przejście typu przemiany materii na subtropikalny, jednak z ujemnymi następstwami przemiany materii typowej dla klimatu umiarkowanego, charakteryzującej się znaczną przewagą syntezy nad rozkładem materii organicznej.

Zapadanie ryb na branchiomykozę w najcieplejszych miesiącach jest przypuszczalnie związane z tą zmianą typów przemiany materii w stawach. Tłumaczyłoby to w pewnym sensie nasilenie branchiomykozy w wąskim pasie strefy klimatu umiarkowanego. Wydaje się bardzo prawdopodobne, że bezpośrednią przyczyną śnięć — rozwój grzyba *Branchiomyces sanguinis* — jest pochodzenia wtórnego: szybko zmieniająca się zawartość tlenu i duża amplituda wahań powodują prawdopodobnie uszkodzenie aparatu oddechowego i dopiero następnym etapem jest opanowanie skrzelii przez grzyba. Częstsze zapadanie na to schorzenie młodszych roczników karpia, a więc mających większe wymagania tlenowe, wskazywałoby, że stosunki tlenowe odgrywają tu główną rolę.

Polepszenie stosunków tlenowych w stawach będących w stadium polifitofitii może nastąpić przez zmniejszenie destrukcji i zwiększenie stosunku fotosyntezy do destrukcji, a więc cofnięcie troficzności do poziomu eutrofii. Można to osiągnąć przez zwiększenie przepływu wody i odprowadzenie ze stawu nadmiaru materii organicznej. Usuwając nadmiar materii organicznej w postaci martwych i żywych komórek glonów zmniejszy się mętność wody, a tym samym wzrośnie produkcja tlenu na jednostkę powierzchni. Na podstawie oznaczeń zawartości węgla organicznego w wodzie stawów jako graniczną wartość dla materii organicznej należałoby przyjąć 20 mg C/l. Z obliczenia stosunku całkowitej zawartości węgla i zużycia tlenu wynika, że w ciągu doby w najcieplejszych miesiącach sezonu ulega rozkładowi 8—10% materii organicznej. Tak więc przy 20 mg C/l zużycie tlenu byłoby mniejsze od 5 mg O₂/l (masowe śnięcia ryb w badanych stawach występowały z reguły przy zużyciu tlenu większym od 5 mg O₂/l/24 godz.).

W stawach o ograniczonym dopływie wody w najcieplejszych miesiącach sezonu regulacja zawartości materii organicznej i intensywności fotosyntezy może się odbywać przez zmniejszenie ilości stosowanych pasz, co jednak pociąga za sobą zmniejszenie gęstości obsady ryb. Również zastosowanie zbilansowanych pod względem składników pokarmowych pasz

i lepsze ich wykorzystanie przez ryby mniej będzie obciążało materią organiczną wodę i dno stawu. Wstrzymanie żywienia ryb przy wysokich temperaturach, praktykowane w gospodarstwach stawowych, względnie opóźnianie karmienia do sierpnia przyczyniać się będzie do polepszenia stosunków tlenowych. Regulacja rozwoju fitoplanktonu przez stosowanie siarczanu miedzi udaje się tylko w przypadku masowego występowania sinic (*Cyanophyceae*), zawodzi jednak przy innych grupach glonów, dla których granice toksyczności leżą wyżej niż dla poprzedniej grupy roślin wodnych (Gerasimov 1937, Guseva 1940). Aby uniknąć niekorzystnych następstw rozkładu materii organicznej nagromadzonej na dnie stawów, konieczne jest stosowanie w pierwszej połowie sezonu wegetacyjnego umiarkowanego nawożenia mineralnego. W stawach płytkich (o głębokości do 1 m) i słabo zaopatrywanych w wodę w miesiącach letnich ilość azotu nie powinna przekraczać 80 kg N/ha (Wróbel 1964).

Tak więc intensywność nawożenia i ilość stosowanych pasz powinny być uzależnione od wielkości dopływu wody do stawów. Nasuwa się tu analogia między intensyfikacją gospodarki stawowej a zanieczyszczaniem rzek, gdzie ilość nieszkodliwa ścieków powinna być uzależniona od wielkości przepływu wody w rzece.

Jednym z czynników najbardziej niezależnych od człowieka, a istotnych dla przemiany materii, jest temperatura powietrza i wody. Stwierdzona przez Stegmana (1960) dodatnia korelacja między temperaturą wody (ilością dni z temperaturą wody powyżej 20 °C) a wzrostem ryb i wydajnością stawów jest, ze względu na warunki bytowania ryb, tylko do pewnej granicy słuszna. Przy wysokiej i długotrwałej temperaturze wody następuje bowiem naruszenie równowagi między produkcją tlenu a destrukcją. Optymalnym dla wzrostu karpia i warunków ich bytowania zakresem temperatury jest 20—25 °C. Utrzymanie temperatury wody poniżej tej górnej granicy nie nastręcza trudności przy dobrym zaopatrzeniu stawów w wodę, natomiast przy słabym dopływie wody jedynym środkiem byłoby pogłębienie stawów.

Wnioski

1. Stopień eutrofizacji stawów, określony na podstawie pomiarów produkcji i destrukcji, uzależniony jest od następujących czynników: nawożenia mineralnego, gęstości obsady ryb i ilości stosowanych pasz oraz od szybkości przemiany materii, uwarunkowanej temperaturą wody.

2. Nawożenie mineralne N + P wywiera bezpośredni wpływ w pierwszej połowie sezonu. Wpływ tego nawożenia zaznacza się również w drugiej połowie sezonu przez włączenie do produkcji składników mineralnych, uruchomionych w wyniku szybkiej mineralizacji odłożonej na dnie materii organicznej.

3. Wpływ zagęszczonej obsady ryb na poziom eutrofizacji może być tłumaczony lepszym przemieszczaniem dna oraz zerowaniem ryb w partiach przybrzeżnych stawu i w miejscach pokrytych roślinnością naczyniową, a następnie rozproszaniem odchodów ryb w całej masie wody.

4. Pasze stosowane w stawach powodują zwiększenie zawartości materii organicznej w wodzie, a tym samym zwiększają destrukcję. Uruchomione w rezultacie szybkiego rozkładu paszy i odchodów ryb składniki pokarmowe zwiększają troficzność środowiska stawowego.

5. W stawach intensywnie zagospodarowanych można wyróżnić trzy poziomy eutrofizacji: oligotroficzny od początku zalewu do czasu nawożenia; eutroficzny w czasie nawożenia; politroficzny w okresie intensywnego żywienia ryb.

6. W dwóch pierwszych poziomach troficzności istnieją dobre warunki bytowania ryb, warunki te ulegają pogorszeniu w stadium politroficznym. Pogorszenie warunków bytowania wyraża się przede wszystkim w dużych różnicach zawartości tlenu w poszczególnych warstwach wody i porach doby.

7. Duża amplituda dobowych wahań zawartości tlenu i duże różnice jego zawartości w poszczególnych warstwach wody w ciągu dnia wpływają prawdopodobnie na uszkodzenie aparatu oddechowego ryb, co może się przyczynić do opanowania skrzelii przez *Branchiomyces sanguinis*.

8. Aby utrzymać optymalne stosunki tlenowe w stawach konieczna jest regulacja zawartości materii organicznej w wodzie, która może być dokonana przez wymianę wody w stawach.

9. Intensyfikacja gospodarki stawowej (nawożenie mineralne, zagęszczenie obsad i ilość stosowanych pasz) powinna być uzależniona od ilości dopływającej wody i głębokości stawów.

W zakończeniu składam serdeczne podziękowanie Panu profesorowi Karolowi Starmachowi, kierownikowi Zakładu Biologii Wód PAN za cenne rady udzielane w toku wykonywania badań.

SUMMARY

The results of two years research on the causes and consequences of pond eutrophication are presented in this paper. The research was carried out on ponds in the Experimental Farm of the Laboratory of Water Biology of the Polish Academy of Sciences in Gołysz (district Cieszyn). The ponds in which these investigations were undertaken were fertilized with nitrogen and phosphorus manures (Table I), lime and cupric sulphate also being used in periods of strong algal water blooms in the summer months. Ponds of the farm in Gołysz receive water from the upper part of the Wisła (Vistula) river, poor in mineral components and organic matter. In the summer months these ponds are almost deprived of an inflow of fresh water and the limiting of the intensification of pond farming is, therefore, of great importance, especially as more than 50% of ponds in Poland have analogical water conditions.

The fertilization (fig. 3, 5, and 6), density of fish stocking rate, and, in conformity with it, the amount of feed given, and the metabolic rate depending upon the temperature of the water were the principal factors influencing the eutrophication of the pond environment. In the warmest months of the vegetation season the influence of all these factors led to a rapid increase in organic matter content in the water and bottom of ponds (fig. 12), to an increase in water turbidity (fig. 13), and to a photosynthesis limited to the surface layer of the water (fig. 7). In the period of pond fertilization more than 50% of organic matter produced by the phytoplankton is deposited on the pond bottom (a high coefficient of P/D, fig. 9) and at a maximum water temperature (reaching up to 28 °C in the day time) it quickly becomes decomposed. A limitation of photosynthesis to the surface layer of the water and a rapid decomposition of organic matter on the pond bottom led on windless days to a great oxygen stratification being formed in the daytime and large fluctuations of oxygen content during the 24 hours (fig. 11). Oxygen conditions therefore deteriorate, hence the resistance of fish decreases, which may lead in consequence to branchiomycosis. In the investigated ponds mass deaths of fish occurred in periods of strong stratification. In order to maintain optimal oxygen conditions in this period, the organic matter content in ponds must be so controlled that its amount does not exceed 20 mg C/l. This control may be carried out by exchanging water in ponds by a sufficient inflow. In ponds with a limited inflow of fresh water the control of organic matter content may be carried out by reducing the fish stocking rate and hence limiting the amount of feed given.

On the basis of measurements of primary production and destruction three trophic levels in ponds were identified: oligotrophic, eutrophic, and polytrophic. Each of these levels has distinct and specific characteristics. The first, oligotrophic, level is characterized by a low primary production, small oxygen consumption, and small amplitude of fluctuations of the oxygen content. In the second, eutrophic, level an intensive phytoplankton photosynthesis occurs in every depth; at the same time the production to destruction ratio is large and in consequence water saturation with oxygen considerably exceeds 100%. In such conditions there is no distinct oxygen stratification in ponds. The third, polytrophic, level is characterized by an intensive photosynthesis in the upper layers of water in the pond, a narrow P/D ratio (about 1 for all depths together), and a large differentiation of oxygen content in individual layers of water and times of day.

From the investigations presented in this paper, the following conclusions may be drawn:

1. The level of pond eutrophication identified on the basis of measurements of production and destruction of organic matter depends upon the following factors: fertilization, carp stocking rate, amount of feed given, and the metabolic rate depending upon the temperature of the water.
2. The fertilization (N + P) shows a direct influence in the first half of the season. In the second half of the season the influence of this fertilization is also observed, owing to mineral components being included in production, mobilised in consequence of rapid mineralisation of organic matter deposited on the bottom.
3. The influence of dense fish stocking upon the eutrophication level may be explained by a better stirring up of bottom and the feeding of fish in parts of the pond near the banks and in places covered with vascular plants, and then by a scattering of fish excrements throughout the mass of water.
4. The feed given in ponds induces an increase of the organic matter content in the water, and hence increases destruction. Mineral components mobilised as a result of rapid decomposition of feed and fish excrements enhance the eutrophication of the pond environment.

5. In intensively cultivated ponds three trophic levels may be indentified: an oligotrophic one before fertilization, eutrophic one during fertilization, and a polytrophic one during the intensive feeding of fish.

6. In the first two trophic levels the fish have the correct oxygen conditions, but these conditions deteriorate in the polytrophic level. The deterioration of the oxygen condition is expressed mainly in large differences in oxygen content in individual layers of water and different times of day.

7. A large amplitude of fluctuations of oxygen content in the 24 hours and great differences in its content in individual layers of water during the day may lead to damage of the respiratory organs of fish, which again may lead to an invasion of *Branchiomyces sanguinis* on fish gills.

8. In order to maintain optimal oxygen conditions in ponds, control of the organic matter content in the water is necessary; this may be carried out by exchanging the water in ponds.

9. An intensification of pond farming (fertilization, dense stocking, and amount of feed given) should depend upon the amount of water flowing in and upon the depth of the ponds.

LITERATURA

- Christ W., Kaeding J., 1954. Zur titrimetrischen Härtebestimmung mit dem Dinatriumsalz der Äthylendiamintetraessigsäure Wasserwirtsch. Wassertechn. 4, 171.
- Gerásimov P. A., 1937. O vlijanii sernokisloj medi na vodorosli grupy *Protococcales*. Mikrobiologija, 6, 1, 37—46.
- Guseva K. A., 1940. Dejstvie medi na vodorosli. Mikrobiologija, 9, 5, 480—494.
- Hepher B., 1962. Primary production in fishponds and its application to fertilization experiments. Limnology and Oceanography, 7, 2, 131—136.
- Just J., Hermanowicz W., 1955. Fizyczne i chemiczne metody badania wody do picia i potrzeb gospodarczych. Warszawa, Państw. Zakład. Wyd. Lek.
- Kuznecov S. I., 1945. Biologičeskij metod ocenki bogatstva vodoema biogennymi elementami. Mikrobiologija, 14, 4, 248—253.
- Lefèvre M., Nisbet M., Jakob E., 1949. Action des substances excrétées en culture par certains espèces d'Algues, sur le Métabolisme d'autres espèces d'Algues. Verh. Int. Ver. Limnol., 10, 259—264.
- Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E., 1962. Analiza chemiczno-rolnicza. Warszawa-Kraków, PWN.
- Ljachnovič V. P., 1958. O biologičeskich pokazateljach ryboproduktivnosti prudov. Trudy Bilogičeskoj Stancii na oz. Naroč. 1, 197—208.
- Mamontova L. N., 1958. Vlijanie kormlenija ryb na gidrochimičeskij režim prudov. Voprosy prudovogo rybovodstva. 9, 158—168.
- Mizuno T., 1961. Hydrobiological studies on the artificially constructed ponds (Tamé-ike-Ponds) of Japan. The Japanese Journal of Limnology, 22, 2—3, 67—192.
- Mosevič N. A., 1954. K izučeniju krugovorota fosfora v vodoemach. Trudy problemnyh i tematičeskich soveščanij ZJN. Problemy gidrobiologii vnutrennyh vod, 2, 150—160.
- Nygaard G., 1938. Hydrobiologische Studien über dänische Teiche und Seen. Arch. f. Hydrobiol. 32, 523—692.
- Olifan V. J., 1928. Biologija planktona i fizyko-chimičeskij režim gigerevskogo pruda. Primenenie metodov fizyčeskoj chimii k izučeniju biologii presnyh vod. Moskva, Izd. Gosud. Inst. Zdrovo-ochranija.

- Pyrina I. L., 1961. Zavisimost' pervičnoj produkcii ot sostava fitoplanktona. Pervičnaja produkcija morej i vnutrennych vod. 308—313.
- Rodhe W., 1958. Primärproduktion und Seetypen. Verh. Int. Ver. Limnol. 13, 121—141.
- Starmach K., 1958. Wydajność stawów nawożonych superfosfatem w Gospodarstwie Doświadczalnym PAN w Ochabach w latach 1952—1956. Biuletyn Zakł. Biol. Stawów PAN, 6, 81—95.
- Špet G. I., 1961. Značenie fotosinteza v kislorodnom režime karpovych prudov. Pervičnaja produkcija morej i vnutrennych vod. 179—185.
- Stegman K., 1960. Wpływ temperatury środowiska w granicach optimum fizjologicznego na wzrost karpia. Zeszyty Naukowe SGGW, 2 Zootechn., 67—83.
- Szumiec M., 1964. Charakterystyka termo-dynamiczna hodowlanych stawów karpowych. Acta Hydrobiol. 6, 1, 41—60.
- Uhlmann D., 1958/59. Untersuchungen über die biologische Selbstreinigung häuslichen Abwasser in Teichen. Wissenschaftliche Zeitschr. der Karl-Marx-Universität Leipzig, 8, 17—66.
- Uhlmann D., 1961. Über den Einfluss von Planktonorganismen auf ihr Milieu. Int. Revue ges. Hydrobiol. 46, 1, 115—129.
- Vinberg G. G., 1960. Pervičnaja produkcija vodoemov. Minsk, Izd. Akademii Nauk BSSR.
- Wróbel S., 1959. Wpływ nawożenia azotowo-fosforowego na skład chemiczny wody stawów. Acta Hydrobiol. 1, 1, 55—86.
- Wróbel S., 1960. Współzależność między dnem i wodą w stawach. Acta Hydrobiol. 2, 69—124.
- Wróbel S., 1962. Wpływ nawożenia azotowo-fosforowego na skład chemiczny wody, produkcję pierwotną fitoplanktonu i przyrosty ryb w stawach. Acta Hydrobiol. 4, 2, 151—204.
- Wróbel S., 1964. Stan badań nad wpływem nawożenia mineralnego na biocenozę stawów. Ekologia Polska, ser. B, 10, 2, 77—89.
- Zavarzina N. B., 1955. Izučenie pričín vlijajuščich stimulirujuščim ili zaderživajuščim obrazom na razvitie fitoplanktona. Trudy Vsesojuznogo Gidrobiol. Obšč., 6, 104—109.

Adres autora — Author's address

Dr Stanisław Wróbel

Zakład Biologii Wód, Polska Akademia Nauk, Kraków, ul. Sławkowska 17.