

HANNA SOSZKA

Zakład Użytkowania i Ochrony Wód
Instytutu Kształtowania Środowiska
Warszawa

GRZEGORZ JAN SOSZKA

Zakład Higieny Radiacyjnej
Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej
Warszawa

Reakcja biocenoz na podgrzanie wody Biocenosis reaction to heated water

1. Wstęp

W literaturze ostatnich lat coraz częściej można znaleźć wyniki badań dotyczących problematyki wód podgrzanych oraz próby ich podsumowań. Między innymi badania te związane są ze zmianami biocenoz roślinnych i zwierzęcych oraz właściwości fizyczno-chemicznych wody w odbiornikach zrzutów wód podgrzanych. W rodzimej literaturze z tego zakresu zwraca uwagę kilka ogólnych opracowań, na przykład: Horoszewicz (1969), Praszkiwicz (1974) i Grygierek i inni (dane niepublikowane). Artykuł ten jest uzupełniającym przeglądem literatury przede wszystkim na temat biocenoz zwierzęcych (z pominięciem ryb) w odbiornikach zrzutów z elektrowni tradycyjnych i atomowych. Laboratoryjne badania wpływu podwyższonej temperatury na organizmy wodne wymagałyby osobnego opracowania.

Zrzuty wody podgrzanej traktowane są często jako zanieczyszczenia termiczne. Interesującym przykładem tego typu podejścia jest praca Müllera (1970). Próbował on porównywać ze sobą skutki zanieczyszczeń przemysłowo-komunalnych z zanieczyszczeniami termicznymi, przyjmując jako wspólną miarę zapotrzebowanie na tlen, które rośnie wraz z dopływem substancji organicznej i wraz z przyspieszeniem tempa destrukcji pod wpływem podgrzania. W wodach zanieczyszczonych straty tlenu związane z biochemicznym zapotrzebowaniem tlenu oblicza się na dzień — na mieszkańca = 75 g. Po przeliczeniu według powyższej kalkulacji zrzuty wód podgrzanych przez elektrownię atomową o mocy 500 MW odpowiadają zanieczyszczeniom przemysłowo-komunalnym powodowanym przez 45-tysięczne miasto latem i 100-tysięczne miasto zimą.

Literatura na temat wpływu zrzutu wód pochłodniczych z elektrowni datuje się od 1957 roku (Van Vliet 1957), a intensywne, kompleksowe opracowania zmian biocenotycznych w tych środowiskach od niecałych 10 lat. Dla przykładu jednym z przeglądowych artykułów

tego rodzaju jest opracowanie Coutanta (1971), który przedstawił wyniki badań prowadzonych przy wielu elektrowniach na całym świecie. Do pierwszych prac z zakresu wpływu wód podgrzanych na biocenozy wodne należą prace Markowskiego (1959, 1960, 1962), które dotyczyły rzek. Według niektórych autorów (Proffitt 1969, Langford 1971) zrzuty wód ciepłych do rzek nie powodują większych, dalej idących zmian, a powrót do stanu poprzedniego może być stosunkowo szybki ze względu na to, że zmianom pod wpływem temperatury podlega najczęściej niewielki odcinek rzeki, a pobrane ciepło jest ustawicznie oddawane na skutek przepływu. Niemniej jednak wielu autorów wyraża opinie, że zarówno w rzekach jak i w jeziorach mogą następować pod wpływem podwyższenia temperatury zakłócenia równowagi biologicznej w środowisku.

Na podstawie prac z tego zakresu można powiedzieć, że z reguły rozpatrywanym czynnikiem związanym ze zrzutem wody podgrzanej jest wpływ temperatury na poszczególne organizmy czy też zespoły. Tylko w nielicznych pracach autorzy rozpatrują także wpływ innych czynników poza temperaturą na właściwości fizyczno-chemiczne środowiska i na biocenozy. Do takich czynników należą: wahania poziomu wody, wzrost ilości podchlorynów w wodzie, zwiększenie przepływu wody i wpływ ryb. Dla przykładu można zasygnalizować pracę Whitehouse'a (1971), który na jednym ze szkockich jezior zauważył, że wahania poziomu wody ograniczają rozwój roślinności na obrzeżach jeziora, a miejsca okresowo odsłaniane porasta w dużych ilościach *Juncus effusus*. Z kolei Hamilton (1970 wg Coutanta 1971) stwierdził, że w zbiornikach z wodą podgrzaną nie temperatura, a chlorowanie wody ogranicza produkcję pierwotną o ponad 50%. Podobnie ujemny wpływ chlorowania wody na organizmy osiadłe stwierdził Markowski (1959). Harmsworth (1974) w jeziorze z wodą podgrzaną stwierdził prawie wyłącznie nannoplankton. Autor analizując przyczyny eliminacji większych form glonów w obrębie fitoplanktonu sugeruje, że na ten stan rzeczy mniejszy wpływ miała selekcja na kondensatorach, a najprawdopodobniej fakt ten wiąże się z obecnością ryby *Dorosoma cepedianum*. Podobnie rzecz się ma z zooplanktonem. *Dorosoma cepedianum* charakteryzuje się filtracyjnym sposobem odżywiania się oraz tym, że przez pewien okres odżywia się zooplanktonem, a potem fitoplanktonem. Ten sam autor sugeruje, że początkowo bardzo małe ilości organizmów bentosowych prawdopodobnie wiążą się z wpływem chlorowcopochodnych pestycydów, których w dużych ilościach używali okoliczni farmerzy.

Z powodu tego, że literatura uboga jest w podsumowania dotyczące problematyki wód podgrzanych, przy omawianiu materiałów w artykule zachowane będzie kryterium wpływu temperatury na poszczególne zespoły organizmów.

2. Biocenozy roślinne

Wyniki badań i opinie na temat składu gatunkowego, udziału procentowego oraz fenologii fitoplanktonu są w zasadzie zgodne. Podkreśla się na ogół fakt zwiększenia liczby gatunków reprezentujących fitoplankton w wodach podgrzanych (Półtoracka 1966, 1970, Pidgajko et al. 1970), pojawianie się form ciepłolubnych (Vinograd-

skaja 1971) oraz wcześniejszy rozwój i dłuższe utrzymywanie się fitoplanktonu w dużych liczebnościach (Grygierek i inni — dane niepublikowane). Koops (1974) natomiast nie stwierdził żadnych korelacji między temperaturą i składem gatunkowym, udziałem procentowym gatunków przy podwyższeniu temperatury wody średnio o 8°C . Z kolei Hickman (1974) stwierdził zbliżony skład gatunkowy okrzemek we wszystkich badanych środowiskach podgrzanego jeziora Wabamun. Jedynie w kanale zrzutowym elektrowni nastąpiła redukcja ilości gatunków okrzemek.

Większość autorów jest zgodna co do tego, że produkcja fitoplanktonu w wodzie podgrzanej rośnie. Na przykład w jeziorach konińskich stwierdzono, że produkcja pierwotna jest dwukrotnie wyższa w jeziorze podgrzewanym w porównaniu z jeziorem o normalnej termicie (Sosnowska, Zdanowski i Korycka 1975). W zbiorniku Konia-kowskim natomiast, biomasa fitoplanktonu po ogrzaniu wody o $3\text{--}5^{\circ}\text{C}$ wzrosła od 1,5 do 3-krotnie (Devjatkin 1971), podczas gdy produkcja wzrosła niewiele (Pidgaiko et al. 1970). W ochładzalnikach ukraińskich przy niewielkim podgrzaniu średnia produkcja fitoplanktonu zwiększa się o $10\text{--}25\%$ (Vinogradskaja 1971). Grygierek i inni (dane niepublikowane) w stawach rybnych z wodą pochłodniczą i Koops (1974) w podgrzonym jeziorze nie stwierdzili żadnych zmian biomasy fitoplanktonu, podobnie McMaught i Fenlon (1972) w małym ocieplanym zbiorniku. Natomiast negatywny wpływ podwyższenia temperatury wody do $19\text{--}20^{\circ}\text{C}$ wiosną i $28\text{--}30^{\circ}\text{C}$ latem na biomase fitoplanktonu stwierdzili Žiteneva i Nikanorova (1972). Według Brooksa (1972 za Coutantem i Pfuderer 1973a) podwyższenie temperatury wody o $6\text{--}7^{\circ}\text{C}$ stymuluje produkcję pierwotną, gdy temperatura wody przy poborze nie przekracza 22°C , hamuje gdy ta zostanie przekroczona. Negatywny wpływ podwyższenia temperatury wody na produkcję fitoplanktonu stwierdzili Gurtz i Weiss (1972 za Coutantem i Pfuderer 1973a). Natomiast Lind (1974) analizując produkcję pierwotną w kanale zrzutowym elektrowni nie stwierdził negatywnego efektu temperatury do 40°C na fotosyntezę. Między innymi kwestią dyskutowaną przez wielu autorów jest wpływ przejścia organizmów planktonowych przez turbiny elektrowni. Według Koopsa (1974) przejście przez turbiny nie wpływa niszcząco na organizmy planktonowe. Natomiast według Morgana i Strossa (1969) fitoplankton przechodząc wraz z wodą przez system chłodzący elektrowni podlega działaniu czynników mechanicznych, które znoszą okresowo korzystne działanie podwyższenia temperatury.

W przypadku masowych pojawów glonów wiadomo między innymi, że z reguły temperatura wzmaga rozwój takich rodzajów jak: *Cladophora*, *Oedogonium*, *Rhizocladium*, *Zygnema*, *Spirogyra* (Müller 1970). W rzece Delaware, w której temperatura wody wzrastała nawet do 40°C pod wpływem zrzutu z elektrowni, obserwowano masowe pojawy sinic i zielenic, a pewne gatunki *Oscillatoria* rozwijały się pomyślnie w temperaturze wody 46°C . Na podstawie badań Instytutu Gospodarki Komunalnej w Poznaniu w latach 1954—1955 — przed uruchomieniem elektrowni i potem z badań Pracowni Limnologicznej przy Elektrowni Pątnów wynika, że w pierwszym okresie pracy elektrowni zaobserwowano zakwity *Anabaena spirorbis*, *A. flos-aquae*, *Oscillatoria limosa*, z okrzemek *Asterionella formosa*, *Fragillaria capu-*

ciana, *Melosira granulata*, jak również z zielenic *Pediastrum* sp. i *Sce-nedesmus* sp. (S z a r f e n b e r g 1972). Z systematycznych i wielolet-nich badań Pracowni Limnologicznej Elektrowni Pątnów wynika, że niewielkie podgrzanie w połączeniu z dużymi ilościami substancji po-karmowych spowodowało znacznie intensywniejszy rozwój form plankto-nowych, przyhamowało natomiast pojawienie się wielkich ilości form „kwitnących”.

Podgrzanie wody sprzyja rozwojowi glonów poroślowych oraz przy-spiesza sukcesję peryfitonu (S i e w e r t 1973), może faworyzować różno-rodność gatunków (S i e w e r t 1973) lub też ograniczać liczbę gatun-ków peryfitonowych, co stwierdził T r e m b l e y (1965). H i c k m a n i K l a r e r (1975) podają, że zarówno średnia biomasa jak i produkcja glonów poroślowych jest większa w środowisku podgrzanym. Było to spowodowane przede wszystkim letnim i wiosennym maksimum *Spirogyra* i *Oedogonium*. K l a r e r i H i c k m a n (1975) prowadząc badania glonów peryfitonowych na *Scirpus validus* Vahl. w jeziorze Wabamun w środowisku z wodą podgrzaną stwierdzili spadek ilości gatunków peryfitonowych, wzrost znaczenia kilku gatunków oraz znacznie wyższą średnią roczną biomasę glonów ze względu na to, że okres ich wzrostu wydłużył się z 7 do prawie 12 miesięcy.

Autorzy są zgodni co do tego, że podwyższona temperatura wody wydłuża okres wegetacyjny makrofitów, przyspiesza rozwój, szcze-gólnie w okresie wczesnowiosennym (S i e w e r t 1973). Gunter (1973 za C o u t a n t e m, P f u d e r e r i C o l l i e r 1974) na przykład stwier-dził wcześniejszy rozwój liści *Potamogeton natans* i wcześniejsze kwit-nienie *Nuphar luteum*. Jednocześnie notuje się spadek liczby gatun-ków (L e y n a u d 1967). Między innymi wyznaczono temperaturę le-talną dla *Potamogeton perfoliatus* i określono ją na 45°C (A n d e r - s o n 1969). B r o c k (1975) analizował występowanie różnych organiz-mów w gorących źródłach geotermicznych i podał 45°C jako górny limit temperatury dla roślin naczyniowych. Stwierdzono także przy-padek tak intensywnego rozwoju roślinności naczyniowej, głównie *Myriophyllum spicatum*, że spowodowała ona zakłócenia w pracy elektrowni (C h a p m a n et al. 1974).

3. Zooplankton

W literaturze spotyka się różne dane i opinie na temat modyfika-cji składu gatunkowego zooplanktonu w wodach podgrzanych. Część autorów nie stwierdziła zmian: M a r k o w s k i (1959), D y g a (1971), M a k s i m o v a, N i k a n o r o v i F l e i s (1971), K o o p s (1974). Inni stwierdzili w składzie gatunkowym formy ciepłolubne: Grygierek i in-ni (dane niepublikowane) oraz E j s m o n t - K a r a b i n o w a et al. (1975). P i d g a i k o et al. (1970) podają, że wzrasta ilość form drapież-nych, a maleje ilość filtratorów, z kolei A s t r a u s k a s i R a č j u n a s (1971) i S i e w e r t (1973), że w ogóle maleje ilość gatunków. Nato-miast Grygierek i inni (dane niepublikowane) oraz E j s m o n t - K a - r a b i n o w a et al. (1975) podają, że maleje ilość *Copepoda*. Podobnie jak w przypadku modyfikacji składu gatunkowego informacje na te-mat zmian biomasy i produkcji są niejednolite. Niektórzy autorzy na przykład: M c M a u g h t i F e n l o n (1972), Grygierek i inni (dane niepublikowane) oraz E j s m o n t - K a r a b i n o w a et al. (1975) po-

dają, że biomasa wzrasta, inni, że maleje (Pidgaiko et al. 1970, Žiteneva i Nikanorova 1972), z kolei Rivier (1971) stwierdził, że maleje biomasa *Copepoda*. Whitehouse i Luff (1971) nie stwierdzili różnicy w obfitości fitoplanktonu i zooplanktonu w środowisku podgrzanym i niepodgrzanym w okresie najcieplejszym przy różnicy temperatury 5°C. Z materiałów niektórych autorów wynika, że produkcja zooplanktonu wzrasta (Polivannaja i Sergeeva 1971, Grygierek i inni — dane niepublikowane oraz Ejsmont-Karabinowa et al. 1975), z materiałów innych autorów, że maleje (Pidgaiko et al. 1970).

Stwierdzono, że temperatura 25°C jest progowa dla zooplanktonu w sensie zachowania równowagi zespołu (Krylova 1969, Žiteneva i Nikanorova 1972). Jednocześnie wykazano, że w niektórych sytuacjach środowiskowych redukcja zooplanktonu w wodach podgrzanych powodowana była bardziej presją ryb niż wpływem temperatury (Krylova 1969, Siewert 1973, Grygierek i inni — dane niepublikowane).

W wodach podgrzanych niezależnie od wpływu temperatury rozpatruje się konsekwencję przejścia zooplanktonu przez urządzenia elektrowni. Liczni autorzy stwierdzili niszczący wpływ związany z przejściem przez kondensatory (Astrauskas i Račjunas 1971, Dyga 1971, Polivannaja i Sergeeva 1971, Mothes 1973, Kolehmainen, Martin i Schroeder 1975).

4. Fauna naroślinna

Stosunkowo nieliczne prace dotyczą tego zespołu zwierząt. Koops (1974) na przykład, analizując skład i liczebność fauny naroślinnej w jeziorze z wodą podgrzaną stwierdził występowanie kilku gatunków wyłącznie przy zrzucie. Między innymi *Physa fontinalis* L. znajdowana była głównie przy poborze, natomiast *Physa acuta* Drap. głównie przy zrzucie, co autor tłumaczy jej tropikalnym pochodzeniem. Dla innych gatunków podane są różnice ilościowe i tak na przykład przy zrzucie w porównaniu ze środowiskiem przy poborze *Bithynia tentaculata* występowała od 10 do 100 razy liczniej, *Dugesia tigrina* 7 razy liczniej, *Planorbis albus* 10 razy liczniej itd. Koops (1974) stwierdził 6 gatunków, które występowały jedynie przy poborze wody. Cory i Nauman (1969) podają, że w zrzucie do estuarium rzeki Patuxent przy różnicy o 6°C produkcja fauny naroślinnej była 2,8 razy większa. Stwierdzono 1,5 razy większą liczebność fauny naroślinnej oraz obecność 17 gatunków w zrzucie, w porównaniu z 14 gatunkami w poborze wody. Soszka G. J. (1975a, 1975b, 1975c) przeprowadził analizę liczebności i biomasy fauny naroślinnej w stawach o różnej temperaturze wody koło Elektrociepłowni Siekierki nad rzeką Wisłą. Autor sugeruje, że w badanych środowiskach duży wpływ na liczebność i biomase mogły wywierać obok temperatury wody takie czynniki jak: zanieczyszczenie wody, znaczne zmiany poziomu i przepływu wody oraz presja ryb. Nie stwierdzono wyraźnych różnic w faunie naroślinnej w badanych stawach. Różnice temperatury wody między najzimniejszym i najcieplejszym stawem wynosiły od 2—3°C do 5—6°C, a maksymalna temperatura wody w stawie najcieplejszym 31°C. Z kolei Nauman i Cory (1969) w środowisku,

w którym temperatura wody dochodziła maksymalnie do 34°C, w badaniach fauny naroślinnej posłużyli się metodą podłoży eksperymentalnych, podobnie zresztą jak poprzedni autor. Stwierdzili oni między innymi, że w lipcu i w sierpniu w zrzucie występowało mniej gatunków niż w pozostałym okresie badawczym, pąkle (*Balanoidea*) miały większe rozmiary, a poza tym większą produkcję przy mniejszej liczebności. Przy maksimum temperatury zanikły *Gammarus daiberi* i *Corophium lacustre*. W Sekwanie przy temperaturze 28,5°C Leynaud i Allardi (1974) zaobserwowali eliminację dwóch innych skorupiaków: *Rivulogammarus roeselli* i *R. pulex*. Zrzut z omawianej elektrowni Montereau powoduje średnio podgrzanie wody o 7°C i maksymalną temperaturę 34°C. Autorzy podają, że badania terenowe są zgodne z wynikami laboratoryjnych badań tolerancji termicznej powyższych gatunków skorupiaków. Szczegółową analizę wpływu wód podgrzanych z elektrowni atomowej Gentilly na *Gastropoda* przeprowadzili Vaillancourt i Couture (1975). Wykazali oni, że w sektorze z wodą podgrzaną występowały następujące ślimaki: *Bithynia tentaculata* (L.), *Valvata tricarinata* (Say), *Physa gyrina* (Say) i *Amnicola limosa* (Say). W wodzie podgrzanej dominowała *Bithynia tentaculata*. Okresowo stwierdzano śmiertelność tego ślimaka, a jej przyczynę autorzy upatrują nie w podwyższonej temperaturze, ale przede wszystkim w szoku termicznym spowodowanym niemierną pracą elektrowni. Mattice (1975) badał wpływ temperatury na wzrost, śmiertelność, rozrodczość i produkcję *Lymnaea obrussa* Say. Gentry et al. (1975) analizowali wpływ podgrzania wody w strumieniu na występowanie i liczebność *Anisoptera*. Badaniami objęto między innymi temperatury krytyczne, letalne oraz przyczyny śmiertelności larw z podrodziny *Libellulidae* w wodach podgrzanych. Wpływem temperatury na rozwój larwalny przedstawiciela tej samej podrodziny zajmował się Lutz (1974). Gibbons et al. (1975) podaje, że w strumieniach z wodą sztucznie podgrzaną do około 50°C *Odonata*, *Plecoptera*, *Ephemeroptera* i *Trichoptera* są nieobecne bądź znacznie zredukowane. Szarfenberg (1972) z kolei zwraca uwagę na *Dreissena polymorpha* w środowiskach o podwyższonej temperaturze wody. Autorka analizowała jej występowanie w jeziorach konińskich po uruchomieniu elektrowni. Na przykład w elektrowni Pątnów już od 1962 roku rozpoczęły się kłopoty związane z racicznica. W 1971 roku racicznica zaatakowała wszystkie urządzenia, do których miała dostęp woda chłodząca. Obrastanie było tak intensywne, że wymieniano całe fragmenty rur zarośniętych tymi małżami. Między innymi na ścianie kolektora stwierdzono liczebności *Dreissena polymorpha* dochodzące do 6 000 osobników/m², w tym 90% osobników było dojrzałych płciowo. W wyniku badań stwierdzono, że 100% śmiertelność tych małży następuje w temperaturze 40°C po upływie 1 godziny. Badania nad biologią *Dreissena polymorpha* prowadzono w Pracowni Limnologicznej Elektrowni Pątnów, korzystając między innymi z metody podłoży eksperymentalnych (Szarfenberg 1972). Intensywny rozwój *Dreissena polymorpha* stwierdzono także w strefie zrzutu elektrowni w Kučurganskim Limanie na Dniestrze (Jarošenko 1973). Prac dotyczących innych gatunków przedstawicieli fauny naroślinnej w aspekcie wpływu temperatury bądź na temat biologii w wodach o podwyższonej temperaturze jest sporo, zarówno w przypadku larw *Chironomidae*, *Gastropoda*, *Hirudinea*, *Corixidae* itd.

W literaturze na temat fauny naroślinnej w wodach podgrzanych można, przede wszystkim na podstawie wyników badań terenowych, wyróżnić organizmy „ciepłolubne”. Do takich bezkręgowców zaliczono: *Potamopyrgus jenkinsi* Smith., *Physa acuta* Drap., *Bithynia tentaculata*, *Planorbis albus*, *Dugesia tigrina* i inne (K o o p s 1974). W estuarium rzeki Patuxent do ciepłolubnych form zaliczono między innymi: *Balanus* sp., *Corophium* sp. i *Tunicata* (C o r y i N a u m a n 1969). Typowymi ciepłolubnymi bezkręgowcami są również *Dugesia tigrina* (L a s c o m b e i R u s s i e r 1970, V o w i n c k e l 1970, K o l o s a 1973), *Dugesia gonocephala* w stosunku do innych wypławków strumieniowych (P a t t e e 1970 za C o u t a n t e m, P f u d e r e r i C o l l i e r 1974), *Helobdella stagnalis* (C o u t a n t 1971), *Physa gyrina*, *Stratiomyidae*, *Lymnaea humilis* i inne (W u r t z i R e n n 1964), *Bryozoa* (S t y c z y Ń s k i et al. 1975, Obrdlik — informacja ustna). Szczególnie obfita i jednoznaczna jest literatura na temat *Physa acuta*. Müller (1970) podaje, że w rzece Schnylhill *Ph. acuta* występowała w środowiskach silnie ogrzanych w bardzo dużych ilościach. K o o p s (1974) i H a d d e r i n g h (1974) sugerują, że z uwagi na tropikalne pochodzenie *Ph. acuta* jest zrozumiałe, że tak licznie reprezentowana jest w środowiskach będących pod wpływem zrzutów z elektrowni Flevo. Fakt występowania *Ph. acuta* w dużych ilościach w wodach podgrzanych zrzutami z elektrowni stwierdzili także M a n n (1965), L a n g f o r d (1971), S o s z k a G. J. (1975a, 1975b, 1975c) i inni. Literaturę na temat biologii *Ph. acuta* w wodach o podwyższonej temperaturze podaje także F r ö m m i n g (1956). B ü t t n e r (1922) jako pierwszy podaje, że *Ph. acuta* może wytrzymywać znaczne wahania temperatury wody. F e l i k s i a k (1939) stwierdził, że *Ph. acuta* występowała w stawach okolic Łodzi w wodzie o temperaturze 40°C latem i 25°C zimą. F o r c a r t (1948) zanotował, że ślimak ten występował w kanale zrzutowym w wodzie o temperaturze 46—47°C w niedużych ilościach, natomiast na końcu kanału, gdzie temperatura wody miała już 35°C — w dużych ilościach. Autor przeprowadził badania, w wyniku których stwierdził, że *Ph. acuta* tylko przez niedługi okres może wytrzymywać temperaturę 46°C — jedynie część osobników przeżywa tak wysoką temperaturę wody. W temperaturze wody 39°C ślimaki tego mogą przebywać przez długi czas. F r ö m m i n g (1956) z kolei podaje, że zakres optymalnej temperatury odżywiania się tego ślimaka jest w granicach od 20 do 25°C. Autorzy tego artykułu w kanale zrzutowym elektrowni Kozienice na Wiśle stwierdzili, że *Ph. acuta* występuje obok *Radix ovata* i *Dreissena polymorpha* w zebranych materiale w dużych ilościach i dobrej kondycji. *Ph. acuta* występowała najliczniej, innym gatunkiem reprezentowanym obficie była *Dugesia tigrina* Girard. Na kamieniach w kanale zrzutowym elektrowni Kozienice znaleziono także kokony *Ph. acuta*. Na przykład w marcu 1975 roku na powierzchni 100 cm² kamieni rejestrowano średnio około 40 kokonów *Ph. acuta*. Ślimak ten występował także w stawach rybnych z wodą podgrzaną koło Elektrociepłowni Siekierki nad Wisłą (S o s z k a G. J. 1975a, 1975b, 1975c). Między innymi w jednym z podstawowych kluczy do oznaczania mięczaków europejskich ślimak ten opisany jest jako forma *Physa acuta* f. *thermalis* (C. R. Boettger 1913) (B r o h m e r, E h r m a n n i U l m e r 1956).

Zagadnienie oceny występowania tzw. form ciepłolubnych wśród makrobezkręgowców jest jednak problemem złożonym między innymi

z powodu ich znacznej tolerancji termicznej i adaptacji w naszych warunkach klimatycznych do znacznych wahań temperatury wody w ciągu roku. Soszka G. J. (1975a, 1975b, 1975c) podaje na przykład, że ciepłolubny ślimak *Physa acuta* spotykany był zarówno w stawach niepodgrzanych jak i w stawach z wodą zrzutową. Ponadto w stawach z wodą o najniższej temperaturze ślimak ten występował najliczniej. Być może wiązało się to z najintensywniejszym żerowaniem ryb, bądź też z najsilniejszym oddziaływaniem zanieczyszczeń w stawach z wodą o podwyższonej temperaturze. Najprawdopodobniej w grę wchodziło kilka czynników, a nie tylko temperatura wody. W przypadku odbiorników zrzutów z innych elektrowni należy sądzić, że występowanie makrobezkregowców ciepłolubnych uwarunkowane jest także wpływem kompleksu czynników ekologicznych. Między innymi w trakcie dyskusji na Sympozjum RWPG w Warszawie w 1975 roku — poświęconemu badaniom wpływu wód podgrzanych na stosunki termiczne i biologiczne zbiorników wodnych — zwrócono uwagę na znaczną rolę zanieczyszczeń w odbiornikach zrzutów z elektrowni oraz na trudności z odróżnieniem wpływu podwyższenia temperatury i zanieczyszczeń na biocenozę wód podgrzanych.

5. Fauna dennea

Nagromadziło się wiele informacji na temat fauny dennej w wodach podgrzanych, brak jest jednak podsumowujących opracowań. Wielu autorów podkreśla, że w środowiskach z wodą podgrzaną w dużych ilościach występują *Oligochaeta* (Markowski 1959, Müller 1970, Wiederholm 1971, Koops 1974, Wiśniewski i Kajak 1975 i inni). Podobnie ślimaki są grupą bezkręgowców, które licznie reprezentowane są w wodach podgrzanych (Markowski 1959, Leynaud 1967, Müller 1970 i inni).

Wielokrotnie stwierdzano zarówno wzrost biomasy fauny dennej w wodzie podgrzanej (Zolotareva 1971, Wiederholm 1971, Kitičina 1971) jak i jej spadek (Žiteneva i Nikanorova 1972, Wasilewska 1973, Grygierek i inni — dane niepublikowane). Wykazano także, że bentos w wodzie podgrzanej często jest uboższy (Trembley 1961, 1965, Astrauskas i Račjunas 1971, Maksimova, Nikanorov i Fleis 1971, Pidgaiko et al. 1971, McConville 1972 za Coutantem i Pfuderer 1973a i inni). Natomiast Jarošenko (1973), prowadząc 7-letnie badania wpływu zrzutu z elektrowni o mocy 3200 MW na fizyko-chemię i biocenozę limanu na Dniestrze, stwierdził między innymi, że nie nastąpiły istotne zmiany składu, liczebności i biomasy fauny dennej. Effer i Bryce (1975) stwierdzili nieznacznie niższą różnorodność fauny dennej w jeziorze w strefie bezpośrednio przy zrzucie.

Część autorów zwraca uwagę na redukcję liczebności bezkręgowców, która zachodzi latem (Trembley 1965, Appourchaux 1965, Nauman i Cory 1969 i inni). Podejmowano również próbę sprecyzowania górnej granicy tolerancji termicznej dla fauny dennej, tzn. temperatury, która nie powoduje jeszcze zakłóceń i zmian w tym zespole. Określono ją na 25°C (Pidgaiko et al. 1971, Žiteneva i Nikanorova 1972, Grygierek i inni — dane niepublikowane). Florczyk, Gołowin i Solski (1971) sugerują, że temperatura

30°C nie powinna wywierać negatywnego wpływu na bentos rzeczny. Leynaud (1967) podaje temperaturę 32—33°C jako letalną dla zespołu fauny dennej. Morduchaj-Boltovskoj (1971) wyraża opinię, że temperatura powyżej 25—30°C wpływa ujemnie na większość organizmów.

Ważnym zjawiskiem opisywanym przez niektórych autorów są przedwczesne wyloty *Chironomidae* (Praszkiewicz 1974), które ginąc masowo w zbyt mroźnym powietrzu, powodują bezpowrotne wypadanie jednego z ważnych elementów biocenoz wodnych. Ciekawe, że w granicach 17—28°C w przypadku *Ephemeroptera* i *Trichoptera* nie stwierdzono, aby podwyższona temperatura przyspieszała wyloty (Langford i Aston 1972 za Coutantem i Pfuderer 1973a).

Zmiany okresu i tempa rozwoju w określonych przedziałach temperatur u niektórych przedstawicieli bezkręgowców, opisywane w literaturze, są zrozumiałe. Na przykład Aston (1971) znaczną liczebność *Oligochaeta* w wodach podgrzanych tłumaczy dużą tolerancją termiczną tych zwierząt. Między innymi *Limnodrilus hoffmeisteri* zwiększa produkcję embrionów wraz ze wzrostem temperatury w zakresie od 5 do 25°C, a *Tubifex tubifex* nie zmienia produkcji w przedziale temperatury od 10 do 25°C (Aston 1971). Wiśniewski i Kajak (1975), analizując wpływ wód pochłodniczych z Elektrowni Ostrołęka „B” na bentos rzeki Narwi, stwierdzili gwałtowne wahania liczebności *Tubificidae* związane ze zmianą cyklu życiowego. Leynaud (1967) również stwierdził zmiany w cyklu życiowym makrobezkręgowców wodnych. Podaje on, że w wodzie podgrzanej populacja *Asellus aquaticus* jest przedwcześnie dojrzała do reprodukcji. Na podstawie badań bezkręgowców w rzece Delaware Trembley (1965) stwierdził, że najbardziej tolerancyjnymi pod względem temperatury są larwy *Chironomidae*. Między innymi Forsyth i McColl (1974) stwierdzili, że w środowisku, w którym w sezonie temperatura dochodziła do 37,5°C — występowanie *Chironomus zealandicus* Hudson ograniczane jest przy około 34°C. Ci sami autorzy stwierdzili, że w jeziorze Rotowhero zanikły *Oligochaeta* i *Gastropoda* reprezentowane tam przed podgrzaniem. Interesującą opinię przedstawił Wiśniewski (informacja ustna), że organizmy, których cały cykl życiowy przebiega w środowisku wodnym jak na przykład ślimaki, skąposzczety — są bardziej tolerancyjne na podwyższenie temperatury, niż te organizmy, których tylko część cyklu życiowego przebiega w wodzie, jak na przykład *Chironomidae*.

6. Rybactwo

Trudno nie wspomnieć o jednym z innych aspektów problematyki wód podgrzanych związanych z zagadnieniami gospodarczymi, a mianowicie o rybactwie. Literatura na temat ryb i rybactwa w wodach podgrzanych jest tak obfita, że wymagałaby osobnego opracowania. Przykładowo należałoby nadmienić o rybackim wykorzystaniu wód podgrzanych. Jest ono zainteresowane zrzutami wody o małej zmienności temperatury, o znacznej czystości i o odpowiednim przepływie. Regularnie przeprowadza się obecnie ekspertyzy na terenach elektrowni już istniejących i planowanych co do możliwości wykorzystania wód pochłodniczych w celach rybackich. Jednakże większość elektrow-

ni zanieczyszcza wodę na swoim terenie podłączając do zrzutu ścieki bytowe oraz technologiczne. Rozpatruje się wobec tego możliwości ocieplania stawów rybnych różnych typów za pomocą pary wodnej lub systemów rur z ciepłą — nawet zanieczyszczoną wodą, która przebiega pod i wokół stawów. Niestety z reguły różnica temperatur okazuje się zbyt mała, żeby wodę w stawie ogrzać do odpowiedniej temperatury. Z drugiej strony koszty oczyszczania wody — niezbędnego do celów rybackich — są zbyt wysokie. Tak więc możliwości rybackiego wykorzystania wód podgrzanych przy elektrowniach są najczęściej bardzo ograniczone. Mimo tego podejmuje się próby hodowli ryb w sadzach w odbiornikach zrzutów z elektrowni. Natomiast często z powodzeniem wykorzystuje się wody sztucznie podgrzane w celach rybackich. Źródłem podgrzania może być prąd elektryczny, węgiel, koks, mazut, para wodna itd. Wykorzystuje się też naturalne wody geotermiczne. W niewielkich basenach z wodą podgrzaną zakłada się wylęgarnie, podchowalnie, przetrzymuje się tarlaki i stosuje inne zabiegi rybackie.

8. Uwagi końcowe

Środowiskiem życia omówionych pokrótce powyżej biocenoz roślinnych i zwierzęcych jest woda podgrzana, której właściwości fizyczno-chemiczne zależą od wielu czynników towarzyszących zrzutom z elektrowni.

Elektrownie polskie, jak również szereg innych zakładów zrzucających wodę podgrzaną, jak na przykład celulozownie, zakłady tekstylne i inne, powodują różnicę temperatury wody między poborem i zrzutem z reguły 6—13° C. Z kolei w ochładzalniku elektrowni Stalowa Wola w lipcu i w sierpniu temperatura wody wynosi często 45° C. Elektrownie poza granicami Polski powodują w zasadzie wzrost temperatury wody w zrzucie tego samego rzędu. W niektórych przypadkach w Stanach Zjednoczonych temperatura wody w ochładzalniku również osiąga 40° C. W Związku Radzieckim podwyższenie temperatury wody jest z reguły niższe i wynosi od 3 do 7° C. Elektrownie atomowe w porównaniu z tradycyjnymi z reguły nie powodują większego podgrzania wody, jedynie dwukrotnie większe jej zużycie.

W wodach podgrzanych najważniejsza wydawałaby się sprawa zawartości tlenu w związku z tym, że wraz ze wzrostem temperatury zmniejsza się rozpuszczalność tlenu przy stałej zawartości soli w wodzie. Jednakże wiele informacji pochodzących z jezior (S o s n o w s k a, Z d a n o w s k i i K o r y c k a 1975, E j s m o n t - K a r a b i n o w a et al. 1975), rzek (L a n g f o r d 1971), a także ze stawów (Grygierek i inni — dane niepublikowane) dowodzi, że zawartość tlenu spada nieznacznie lub nie zmienia się wcale w wodzie podgrzanej. Jednocześnie znanym zjawiskiem jest zwiększenie tempa destrukcji w wodach podgrzanych, co obniża zawartość tlenu. Zjawisko zwiększania tempa destrukcji jest w niektórych przypadkach wykorzystywane przez energetyków, którzy wyrażają opinie, że zanieczyszczenia organiczne słabiej oddziałują w wodzie podgrzanej z powodu szybszego rozkładu. Według danych Klottera (1971 za C o u t a n t e m i P f u d e r e r 1973a) dzieje się tak tylko przy małych ilościach zanieczyszczeń. Przyspieszenie nitryfikacji powoduje zwiększenie koncentracji azotu mineralnego

(Braune i Uhlemann 1968, Langford 1971). Podobnie rośnie ilość fosforu nieorganicznego (Sosnowska, Zdanowski i Korycka 1975). Natomiast według Konenki i Abremskiej (1971) ilość fosforu i azotu nieorganicznego spada, podobnie jak i innych nutrientów ze względu na szybsze ich wykorzystanie. Co do związków organicznych zaobserwowano różnice w występowaniu kwasów organicznych w wodzie podgrzanej i o normalnej temperaturze (Kalošin 1971). Niezwykle istotnym faktem hydrologicznym, wiążącym się z właściwościami fizyczno-chemicznymi środowiska oraz ze zmianami w fenologii organizmów jest to, że zbiorniki z wodą podgrzaną nie zamarzają zimą (Praszkiewicz 1974). W przypadku elektrowni atomowych dodatkowym czynnikiem środowiska jest ciągły dopływ niskich stężeń radionuklidów.

Należałoby również zdawać sobie sprawę z faktu, że zupełnie inaczej następuje rozkład temperatur wody na skutek zrzutów do różnych odbiorników, na przykład do rzek i do jezior. W rzekach z reguły woda podgrzana miesza się w nurcie z wodą rzeczną i spływa w dół rzeki, aż do wyrównania temperatur, zaś w jeziorach woda zrzutowa wchodzi najczęściej w obieg cyrkulacyjny zbiornika podnosząc jego średnią temperaturę. Powyższe różnice są nie bez znaczenia zarówno w aspekcie analizy wpływu wód zrzutowych na właściwości fizyczno-chemiczne wody, jak i na biocenozy.

Istotny także wydaje się fakt, że wahania temperatury wody w zrzucie w ciągu doby uzależnione są między innymi od aktualnej pracy elektrowni, od kształtu i długości kanału zrzutowego, od techniki zrzutu itd. Często praca elektrowni jest niemiarowa i powoduje znaczne wahania dobowe temperatury wody. Na tym tle ważne są informacje na temat szoków termicznych organizmów wodnych, dla przykładu w odniesieniu do *Culicidae* (Cupp i Horsfall 1970 za Coutantem, Huber i Pfuderer 1972), fitoplanktonu (Gurtz i Weiss 1972 za Coutantem i Pfuderer 1973b), glonów peryfitonowych (Saks i Lee 1972 za Coutantem, Pfuderer i Collier 1974) czy też zooplanktonu i wczesnych stadiów rozwojowych ryb (Kedl i Coutant 1975). Wahania temperatury wody w zrzucie mogą być równie ważne jak maksymalne temperatury wody. Tym bardziej, że jak sugeruje Brett (1956) organizmy są bardziej tolerancyjne dla zmian temperatury w obrębie górnej granicy ich zakresu tolerancji, niż w obrębie dolnej.

Należałoby postawić pytanie: czy możemy na podstawie dotychczasowych informacji określić kierunek i zakres zmian biocenozy występujących w wodzie o podwyższonej temperaturze w odbiornikach zrzutów wód podgrzanych? Wydaje się, że w większości przypadków przedwczesne byłoby oceniać tego rodzaju zmiany. W wodach podgrzanych zachodzą złożone procesy biologiczne — dla ich zilustrowania można przedstawić kilka wybranych opinii: Langford (1971) — na podstawie badań prowadzonych przy 20 elektrowniach (temperatury wody do około 30°C, różnice temperatur między poborem i zrzutem od 1 do 12°C) jest zdania, że większość gatunków prawdopodobnie jest bardziej wrażliwa na inne zanieczyszczenia czy też czynniki naturalne w rzekach niż na skutki ogrzania wody w elektrowniach. Wurtz (1969) podkreśla, że trudno jest mówić o skutkach zanieczyszczeń termicznych, ponieważ przy każdej zmianie środowiska następują zmiany stosunków między gatunkami i być może to, co obser

wujemy jest wynikiem zmian międzygatunkowych, a nie bezpośrednio na przykład temperatury. Z kolei Praszkiwicz (1974) uważa, że wpływ wód podgrzanych na biocenozy wód powierzchniowych może się realizować w różny sposób — ujemny lub dodatni, jednakże stopień tego oddziaływania można przewidzieć tylko z pewnym prawdopodobieństwem. W warunkach pozornie identycznych skutki podgrzania mogą być zupełnie różne. Zawisza, Kajak i Pieczyńska (1975) podają, że brak jest uzasadnionych teorii i zasad ochrony oraz zagospodarowania wód podgrzanych. Hickman i Klarer (1974) analizując epifityczne glony podają, że nie można uznać temperatury za jedyną przyczynę preferowania ogrzanych bądź nieogrzanych środowisk. Bowiem zmiany środowisk, które były spowodowane temperaturą były bardziej złożone niż sam wzrost temperatury wody. Morgan i Stross (1969) uważają, że czynniki mechaniczne i chemiczne znoszą okresowo korzystne działanie podwyższenia temperatury. Siwert (1973) stwierdził natomiast, że obfitość zooplanktonu jest bardziej determinowana przez ryby niż przez podwyższenie temperatury, podobne stwierdzenie przedstawiła Grygierek i inni (dane niepublikowane). Z kolei Vaillancourt i Couture (1975) uważają, że śmiertelność *Bithynia tentaculata* w zrzucie z elektrowni atomowej jest spowodowana nie wysoką temperaturą, a szokiem termicznym w wyniku niemiarowej pracy elektrowni. Podobnie zresztą Müller (1970) stwierdził negatywny wpływ gwałtownych zmian temperatury w stosunku do roślin. Z uwagi na trudności interpretacji zjawisk biologicznych zachodzących w wodach podgrzanych sugerowano, że właściwszą formą są badania kompleksowe (Soszka G. J. 1975a).

Podsumowując przedstawiony materiał można powiedzieć, że:

— Nie jest oczywiste w jak dużym stopniu istotny jest bezpośredni wpływ temperatury na właściwości fizyczno-chemiczne wody i na biocenozy, a jak duży udział mają pośrednie oddziaływania temperatur — na przykład poprzez zmianę zależności ekologicznych między organizmami.

— Zmiany fizyczno-chemiczne i biologiczne w wodach podgrzanych zależą od typu środowiska, charakteru biocenoz, strefy klimatycznej, pory roku, odległości od zrzutu itd., należy je rozpatrywać lokalnie, stąd też wynika znaczenie prac kompleksowych w celu zrozumienia tych zmian — na przykład próby tego rodzaju wykonano w odniesieniu do elektrowni: Chalk Point, Connecticut Yankee, Dresden, Flevo, Konakovskaja, Kozienice, Marshall, Merrimack, Ostrołęka B, Pątnów i Konin, Pcheinsberg, Pickering, Siekierki, Quad-Cities itd.

— Z reguły wodzie podgrzanej towarzyszą zanieczyszczenia komunalne i techniczne, dlatego trudno jest oddzielić wpływ zanieczyszczeń termicznych od innych zanieczyszczeń na właściwości fizyczno-chemiczne wody i biologię środowisk ochładzalnika.

— W niektórych sytuacjach temperatura nie jest czynnikiem decydującym o zmianach biologicznych w ochładzalniku, a czynnikami takimi mogą być: zwiększony przepływ wody, zmiana poziomu wody, chlor, presja ryb, zanieczyszczenia itd.

— Z powodu często niemiarowej pracy elektrowni — czego wynikiem są duże wahania temperatury — sugerowano analizowanie nie średnich temperatur a zakresu jej wahań w związku z szokami termicznymi organizmów wodnych.

— Sugerowano także intensywniejszą analizę w okresie lata, kiedy to organizmy reagują wyraźniej na ogół czynników w wodach podgrzanych, a szczególnie na temperatury.

Jakkolwiek trudno jest obecnie dokładnie przewidzieć kierunek zmian biocenozy w wodach podgrzanych, to jednak obserwowana w ostatnich latach wszechstronna aktywność badaczy rokuje znaczny postęp w tej dziedzinie. Między innymi w pracach coraz częściej spotyka się zalecenia co do warunków jakim powinno odpowiadać usytuowanie elektrowni (Brock 1975, Miller i Beck 1975) oraz co do badań biologicznych odbiorników zrzutów (Bramati, Gasparini i Merluzzi 1975, Coulon, Lacourly i Bovard 1975, Hartman 1975, Haugen 1975 i inni).

Piśmiennictwo

- Anderson R. H. 1969 — Temperature and rooted aquatic plants — *Chesapeake Sci.* 10: 157—164.
- Appourchaux M. 1965 — Effets de la temperature de l'eau sur la faune et de la flore aquatiques — *Eau* 8: 377—391.
- Aston R. J. 1971 — The effects of temperature and dissolved oxygen concentration on reproduction in *Limnodrilus hoffmeisteri* and *Tubifex tubifex* (*Oligochaeta*, *Tubificidae*) — *Symp. on Freshwater Biol. and Electr. Power Generation*, 2: 161—177.
- Astrauskas A. S., Račjunas L. A. 1971 — Ekologičeskie uslovija sostojanija vodočhranilišča — ochloditela Litovskoj GRES — *Simp. po vlijaniu podogretych vod*, Borok, 3—4.
- Bramati L., Gasparini R., Merluzzi D. 1975 — Regulations and environmental investigations associated with nuclear station thermal discharges — *Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants*, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA/SM-187/22: 659—673.
- Braune W., Uhlemann R. 1968 — Studien zum Einfluss der Temperature auf Ammonifikation und Nitrifikation im Flusswasser — *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 53: 453—468.
- Brett J. R. 1956 — Some principles in the thermal requirements of fish — *Quart. Rev. Biol.* 31: 75—87.
- Brock D. T. 1975 — Predicting of the ecological consequences of thermal pollution from observations on geothermal habitats — *Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants*, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA/SM-187/9: 599—622.
- Brohmer P., Ehrmann P., Ulmer G. 1956 — *Mollusca* (Tierwelt Mitteleuropas. II) — *Verl. Quelle, Mayer, Leipzig*, 294 pp.
- Büttner K. 1922 — Die jetzige Verbreitung von *Physa acuta* Drap. — *Arch. Molluskenk.* 54:40—42.
- Chapman V. J., Brown J. M. A., Hill C. F., Carr J. L. 1974 — Biology of excessive weed growth in the hydroelectric lakes of the Waikato River, New Zealand — *Hydrobiologia*, Hague 44: 349—363.
- Cory R. L., Nauman J. W. 1969 — Epifauna and thermal additions in the upper Patuxent River Estuary — *Chesapeake Sci.* 10: 210—217.
- Coulon R., Lacourly G., Bovard P. 1975 — Les criteres et la methodologie retenus pour les rejets radioactifs sont-ils transposables aux rejets thermiques? — *Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at*

- nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA/SM-187/31: 675—681.
- Coutant C. C. 1971 — Literature review. Thermal pollution. Biological effects — J. Water Pollut. Control Fed. 42: 1292—1334.
- Coutant C. C., Huber E. E., Pfuderer H. A. 1972 — Thermal effects on aquatic organisms. Annotated bibliography of 1971 literature — Oak Ridge national Laboratory, ORNL—EIS—72—28, 155 pp.
- Coutant C. C., Pfuderer H. A. 1973a — Thermal effects — J. Water Pollut. Control Fed. 45: 1331—1369.
- Coutant C. C., Pfuderer H. A. 1973b — Thermal effects on aquatic organisms. Annotated bibliography of 1972 literature — Oak Ridge national Laboratory, ORNL—EIS—73—28, 183 pp.
- Coutant C. C., Pfuderer H. A., Collier B. N. 1974 — Thermal effects on aquatic organisms. Annotated bibliography of the 1973 literature — Oak Ridge national Laboratory, ORNL—EIS—74—28, 241 pp.
- Devjatkin V. G. 1971 — Dinamika fitoplanktona v zonie vlijaniya podogretych vod Konakovskoj GRES — Simp. po vlijaniyu podogretych vod, Borok, 14—15.
- Dyga A. K. 1971 — Izmenenie zooplanktona v dneprovskom vodochranilišče pod vlijaniem teplovoj elektrostancii — Simp. po vlijaniyu podogretych vod, Borok, 18—19.
- Effer W. R., Bryce J. B. 1975 — Thermal discharge studies on the Great Lakes — the Canadian experience — Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA/SM-187/50: 371—388.
- Ejsmont-Karabinowa J., Hillbricht-Ilkowska A., Karabin A., Węgleńska T., Zdanowski B. 1975 — Wpływ wieloletnich i przestrzennych zmian reżimu termicznego na produkcję pierwotną i wtórną planktonu jezior włączonych w system chłodzący — Symp. RWPG „Badania wpływu wód podgrzanych na stosunki termiczne i biologiczne zbiorników wodnych”, Warszawa.
- Feliksiak S. 1933 — *Physa acuta* Draparnaud in den Fabrikteicher von Lodz und ihre allgemeine Verbreitung — Fragm. faun. Muz. Zool. pol. 2: 27—62.
- Florczyk H., Gołowin S., Solski A. 1971 — Niektóre wyniki badań nad wpływem zrzutowych wód podgrzanych na chemizm i biocenozę wód rzeki Wisły na odcinku poniżej ujścia Skawinki — Konf. nauk. Inst. Gosp. wod. 12 pp.
- Forcart L. 1948 — Über ein massenhaftes Auftreten von *Physa acuta* Drap. in den Thermen von Baden, sowie Untersuchungen über die Wärmeexistenz dieser Art — Bacteria, 12: 24—28.
- Forsyth D. J., McColl R. H. S. 1974 — The limnology of a thermal lake: Lake Rotowhero, New Zealand. General biology with emphasis on the benthic fauna of *Chironomidae* — Hydrobiologia 44: 91—104.
- Frömming E. 1956 — Biologie der mitteleuropäischen Süßwasserschnecken — Duncker, Humblot, Berlin, 313 pp.
- Gentry J. B., Garten C. T., Howell F. G., Smith M. H. 1975 — Thermal ecology of dragonflies in habitats receiving reactor effluent — Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, IAEA-SM-187/12: 563—574.
- Gibbons J. W., Sharitz R. R., Howell F. G., Smith M. H. 1975 — Ecology of artificially heated streams, swamps and reservoirs on the Savannah River plant — Proc. Symp. Environmental effects of cooling

- systems at nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, IAEA-SM-187/13: 389—400.
- Hadding R. H. 1974 — Effects of the cooling water discharge on the macrofauna and fish populations around Flevo power station — WEC CME, 10 pp.
- Harmsworth R. V. 1974 — The ecology of an artificial cooling lake — Abstr. XIX Congr. int. Assoc. Limnol. Winnipeg, Canada, 79 pp.
- Hartman R. M. 1975 — Development of a guide for aquatic ecological surveys — Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA-SM-187/46: 771—784.
- Haugen I. 1975 — Evaluation and biological field surveys related to the siting of the first norwegian nuclear power plant — Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA-SM-187/28: 751—760.
- Hickman H. 1974 — Effects of the discharge of thermal effluent from a power station on lake Wabamun, Alberta, Canada. The epipelagic and epipsammic algal communities — Hydrobiologia 45: 199—215.
- Hickman M., Klarer D. M. 1974 — The growth of some epiphytic algae in a lake receiving thermal effluent — Arch. Hydrobiol. 3: 403—426.
- Hickman M., Klarer D. M. 1975 — The effect of the discharge of thermal effluent from a power station on the primary productivity of an epiphytic algal community — Br. phycol. J. 10: 81—91.
- Horoszewicz L. 1969 — Oddziaływanie podwyższonych temperatur na ryby — Ekol. pol. B, 15: 299—321.
- Jarošenko N. F. 1973 — Kučurganskij Liman — ochladitel moldavskoj GRES — Inst. Zool. A. N. moldav. SSR, Izd. Štinnca, Kišinev, 207 pp.
- Kalošin P. M. 1971 — Vlijanie podogretych stokov GRES na organičeskij sostav vod — Simp. po vlijaniju podogretych vod, Borok, 26—27.
- Kedl R. J., Coutant C. C. 1975 — Survival of juvenile fishes receiving thermal and mechanical stresses in a stimulated power plant condenser — Proc. 2nd thermal Ecol. Symp. Augusta, Georgia, USA, 39 pp.
- Kitičina L. A. 1971 — Žiznennyj cykl i produkcja bokoplava *Pontogammarus robustoides* (Grimm) v vodoeme — ochladitele kurovskoj GRES pri raznyh temperaturnych uslovijach — Simp. po vlijaniju podogretych vod, Borok, 27—29.
- Klarer D. M., Hickman M. 1975 — The effect of thermal effluent upon the standing crop of an epiphytic algal community — Int. Rev. ges. Hydrobiol. 60: 17—62.
- Kolehmainen S. E., Martin F. D., Schroeder P. B. 1975 — Thermal studies on tropical marine ecosystems in Puerto Rico — Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA-SM-187/14: 409—422.
- Kolosa J. 1973 — Obserwacje nad występowaniem wirków (*Turbellaria*) w podgrzanych jeziorach okolic Konina — Streszcz. Ref. IX Zjazdu Hydrobiol. pol. w Poznaniu, 70 p.
- Konenko A. D., Abremskaja S. J. 1971 — Vlijanie teploobmennych vod na gidrochimičeskij i sanitarnyj režim nekotorych vodoemov — ochladitelej teplovyh elektrostancji Ukrainy — Simp. po vlijaniju podogretych vod, Borok, 30—32.
- Koops F. B. J. 1974 — Hydrobiological investigations on the consequences of the use of surface water for cooling purposes in the Netherlands — WEC CME IX: 22 pp.

- Krylova A. G. 1969 — O vesennie-letnich depresjach zooplanktona i ich pričinach — *Gidrob. Ž.* 5: 47—53.
- Langford T. E. 1971 — The distribution, abundance and life-histories of stoneflies (*Plecoptera*) and mayflies (*Ephemeroptera*) in a British river, warmed by cooling-water from a power station — *Hydrobiologia* 38: 339—377.
- Lascombe C., Russier R. 1970 — Plenarian *Dugesia tigrina* in the Lyon Region. Ecology and thermal tolerance — *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon* 39, 197.
- Leynaud G. 1967 — Les pollutions thermiques. Influence de la temperature sur vie aquatique — *Extrait Bull. Inf. No. 224*, 25 pp.
- Leynaud G., Allardi J. 1974 — Indidences d'un reject thermique en milieu fluvial sur les mouvements des populations ichtyologiques — *Bull. franc. Piscic.* 47: 41—50.
- Lind T. O. 1974 — Effects of thermal circulation on phytoplankton photosynthesis — *Abstr. XIX Congr. int. Assoc. of Limnol. Winnipeg, Canada*, 124 p.
- Lutz E. 1974 — Effects of temperature and photoperiod on larval development in *Tetragoneuria cynosura* (*Odonata: Libellulidae*) — *Ecology* 55: 370—377.
- Maksimova G. D., Nikanorov J. I., Fleis M. L. 1971 — Vlijanie sbrosnyh teplyh vod Konakovskoj GRES na gidrochimičeskij i biologičeskij režim Ivanovskogo vodochranilišča — *Simp. po vlijaniju podogretyh vod, Borok*, 43—45.
- Mann K. H. 1965 — Heated effluents and their effects on the invertebrate fauna of rivers — *Proc. Soc. Water Treat. Exam.* 14: 45—53.
- Markowski S. 1959 — The cooling water of power stations, a new factor in the environment of marine and fresh-water invertebrates — *J. Anim. Ecol.* 28: 243—255.
- Markowski S. 1960 — Observations on the response of some benthic organisms to power stations cooling water — *J. Anim. Ecol.* 29: 349—357.
- Markowski S. 1962 — Faunistic and ecological investigations in Cavendish Dock, barrow in furness — *J. Anim. Ecol.* 31: 43—51.
- Mattice J. S. 1975 — Effect of temperature on growth, mortality, reproduction and production of adult *Lymnaea obrussa* Say (*Mollusca, Gastropoda*) — *Proc. 2nd thermal Ecol. Symp. Augusta, Georgia, USA*, 37 pp.
- McMaught D. C., Fenlon M. W. 1972 — The effects of thermal effluents upon secondary production — *Verh. int. Vereinig. Limnol.* 18: 204—212.
- Miller D. C., Beck A. D. 1975 — Development and application of criteria for marine cooling waters — *Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants, Int. atomic Energy Agency, Vienna, IAEA-SM-187/10*: 639—657.
- Morduchaj-Boltovskoj F. D. 1971 — Sostojanie voprosa o vlijanii podogretyh vod teploelektrostantsii na biologiju vodoemov — *Simp. po vlijaniju podogretyh vod, Borok*, 45—47.
- Morgan R. P., Stross R. G. 1969 — Destruction of phytoplankton in the cooling water supply of a steam electric station — *Chespeak Sci.* 10: 165—171.
- Mothes G. 1973 — Einfluss der Aufwärmung eines Sees durch ein Kraftwerk auf Phosphorhaushalt und Stoffproduktion — *Symp. Eutrophierung und Gewässerschutz, Schlos Reinhardsbrunn*, 99—102.
- Müller B. 1970 — Thermal pollution — *FAO, Berne*, 39 pp.
- Nauman J. W., Cory R. L. 1969 — Thermal additions and epifaunal organisms at Chalk Point, Maryland — *Chespeak Sci.* 10: 218—226.
- Pidgaiko M. L., Vinogradskaya T. A., Grin V. G., Lentschina L. G., Polyvannaya M. F., Sergeeva O. A., Kititsyna Z. A. 1970 — Biological productivity of the Kurakhov station cooling reservoir —

- Prel. Pap. UNESCO IBP Symp. on productivity problems of freshwater, Kazimierz Dolny, Vol. 2: 358—364.
- Polivannaja M. F., Sergeeva O. A. 1971 — Dynamika zooplanktona i biologija nekotorych dominirujuščich vidov v vodoemach — ochladiteljach GRES juga Ukrainy — Simp. po vlijaniu podogretych vod, Borok, 50—51.
- Półtoracka J. 1966 — Skład gatunkowy fitoplanktonu w jeziorze podgrzanym przez elektrownię cieplną oraz w jeziorach o normalnej temperaturze — Acta Soc. Bot. Pol. 37: 297—325.
- Półtoracka J. 1970 — Wpływ zrzutu wód podgrzanych na skład gatunkowy planktonu roślinnego w jeziorach okolic Konina — Gosp. rybna 12: 12—14.
- Praszkiewicz A. 1974 — Uwagi o oddziaływaniu wód podgrzanych na biocenozę wód powierzchniowych — Wiad. ekol. 20: 377—384.
- Proffitt M. A. 1969 — Effects of heated discharge upon aquatic resources of White River at Petersburg, Indiana — Water Resour. Res. Cent. Rep. Invest. No. 3, Bloomington, Indiana.
- Rivier I. K. 1971 — Zooplankton Moskovskiego zaliva, podverdennoego vlijaniem podogretych vod Konakovskoj GRES — Simp. po vlijaniu podogretych vod, Borok, 52—54.
- Siewert H. F. 1973 — Thermal effects on biological production in a pond — Ph. D. Thesis, Univ. of Wisconsin, Medison.
- Sosnowska J., Zdanowski B., Korycka A. 1975 — Zmiany w chemizmie i produkcji pierwotnej pelagialu podgrzanych jezior konińskich — Symp. RWPG „Badania wpływu wód podgrzanych na stosunki termiczne i biologiczne zbiorników wodnych”, Warszawa.
- Soszka G. J. 1975a — Badania biocenotyczne w stawach z wodą podgrzaną — Gosp. rybna 3: 4—7.
- Soszka G. J. 1975b — Fauna bezkręgowców na podłożach eksperymentalnych w stawach z wodą podgrzaną — Gosp. rybna, 16.
- Soszka G. J. 1975c — Charakterystyka biocenoz roślinnych i zwierzęcych w stawach z wodą podgrzaną — Opracowanie, Bibl. Inst. Ryb. śródl. 78 pp.
- Styczyński B., Praszkiewicz A., Słomczyńska B., Żbikowski W. 1975 — Wpływ wód podgrzanych z Elektrowni Kozienice na wybrane elementy biocenozy rzeki Wisły — Symp. RWPG „Badania wpływu wód podgrzanych na stosunki termiczne i biologiczne zbiorników wodnych”, Warszawa.
- Szarfenberg M. 1972 — Badania biologiczne jezior konińskich — Konf. nauk.-techn. „Ochrona środowiska człowieka Konińskiego Okręgu Przemysłowego”, 94—116.
- Trembley F. J. 1961 — Research project on effects of condenser discharge water on aquatic life — Prog. Rept. 1960 Inst. Research Leigh Univ.
- Trembley F. J. 1965 — Effects of cooling water from steam-electric power plants on steam biota — Biol. Probl. Water Pollut. 3rd Seminar 1962, PHS Publ. 999-WP-25: 334—346.
- Vaillancourt G., Couture R. 1975 — Influence de l'apport thermique originaire de la centrale nucleaire Gentilly sur la temperature de l'eau et sur les Gastropodes — Proc. Symp. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants Int. atomic Energy Agency Vienna, IAEA-SM-187/51: 449—459.
- Van Vliet V. 1957 — Effect of heated condenser discharged water upon aquatic life — Amer. Soc. mech. Engr. Rep. 57: 1—4.
- Vinogradskaja T. A. 1971 — Nekotorye itogi izučenija vlijanija podogreva na rozvitie fitoplanktona v vodochraniliščach — ochladiteljach GRES juga Ukrainy — Simp. po vlijaniu podogretych vod, Borok, 8—10.
- Vowinckel C. 1970 — The role of illumination and temperature in the

- control of sexual reproduction in the Planarian *Dugesia tigrina* (Girard) — Biol. Bull. 138 (77).
- Wasilewska B. 1973 — Fauna stawów o podwyższonej temperaturze wody — Streszcz. Ref. IX Zjazdu Hydrobiol. pol. w Poznaniu, 67 p.
- Whitehouse J. W. 1971 — Some aspects of the biology of Lake Trawsfynydd, a power station cooling pond — Hydrobiologia 38: 253—288.
- Whitehouse J. W., Luff S. 1971 — The plankton of the lake Trawsfynydd — Symp. on freshwater biology and electrical power generation, Central Electricity Generating Board, 131—159.
- Wiederholm T. 1971 — Bottom fauna and cooling water discharges in a basin of lake Mälaren — Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 51: 197—214.
- Wiśniewski R., Kajak Z. 1975 — Wpływ wód podgrzanych, odprowadzanych przez elektrownię ciepłą, na biocenozę Narwi — Symp. RWPG „Badania wpływu wód podgrzanych na stosunki termiczne i biologiczne zbiorników wodnych”, Warszawa.
- Wurtz C. B. 1969 — The effects of heated discharges on freshwater benthos (Biological aspects of thermal pollution) — Vandubilt Univ. Press: 199—228.
- Wurtz C. B., Renn C. E. 1964 — Water temperatures and aquatic life — Edison electr. Inst. Res. Proj. No. 49, 102 pp.
- Zawisza J., Kajak Z., Pieczyńska E. 1975 — Program badań hydrobiologicznych jeziora Żarnowieckiego i prognoza zmian wywołanych pracą elektrowni jądrowej i pompowej — Post. Fiz. Med. 10: 75—83.
- Zolotareva V. J. 1971 — K voprosu o vlijaniju pridneprovskoj GRES na biologiju *Pontogammarus crassus* (Grimm) — Simp. po vlijaniju podogretych vod, Borok, 23—25.
- Žiteneva T. S., Nikanorova J. A. 1972 — Nekotorye itogi izučeniija vlijanija podogretych vod Konakovskoj GRES na biologičeskij režim Ivanovskogo vodochranilišča — Rybochozj. Izuč. vnutr. Vodoemov 8: 3—6.

Summary

The article consists of a review of literature on biocenosis reaction in reservoirs and lakes receiving heated waste water from traditional and atomic power stations. The results are given of studies on phytoplankton, algal blooms, periphytic algae, macrophytes, zooplankton, fauna associated with macrophytes and bottom fauna. A discussion is given of the occurrence, species composition, abundance, biomass and production of aquatic organisms.

In summing up the material presented it may be said that:

- Physical, chemical and biological changes in heated waters depend on the type of habitat, character of biocenoses, climatic zone, time of year, distance from discharge of heated water etc. and must therefore be considered locally. This shows the importance of complex studies from many aspects in order to be able to interpret such changes. For instance attempts of this kind have been made in relation to the power stations at: Chalk Point, Connecticut Yankee, Dresden, Flevo, Konakovskaja, Kozienice, Marshall, Merrimack, Ostrołęka B, Pałnów and Konin, Pcheinsberg, Pickering, Siekierki, Quad-Cities etc.
- Heated water is usually accompanied by communal and technical pollution, and it is difficult to distinguish between the effect of thermal pollution and other pollutions on the physical, chemical and biological properties of cooling habitats.
- Under certain circumstances temperature is not an only factor determining biological changes in the cooling system, the other factors may be:

increased flow of water, changes in water level, chlorination of water, pressure of fish, pollutions etc.

— On account of the frequently fluctuating operation of the power station — which results in considerable variations of temperature — it has been suggested that it is not average temperatures which should be studied, but the range of temperature variations, in connection with thermic shock to aquatic organisms.

— It has also been suggested that more intensive analysis should be carried out during the summer period, when organisms react more distinctly to the group of factors as a whole in heated water, particularly to temperature.

— In recent years it has been observed that biologists have become far more active and recommendations are far more often made as to the conditions with which location of power station should comply as to biological research on heated reservoirs and lakes, and attempts are far more often made at foreseeing the biocenotic changes which will take place in such reservoirs and lakes.