ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 28 ELEKTRYKA z.9 1961

LUCJAN NEHREBECKI

Katedra Elektrowni

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA RZEK DO ZASILANIA OTWARTYCH OBIEGÓW CHŁODZĄCYCH DUŻYCH KRAJOWYCH ELEKTROWNI KONDENSACYJNYCH

Streszczenie. W referacie zostało zaproponowane nowe rozwiązanie zagadnienia ustalenia warunków poboru wody z rzek do zasilania otwartych obiegów chłodzących kondensatory, oparte na kilkuletnich obserwacjach i badaniach, przeprowadzonych w kilku typowych elektrowniach.

Proponowane rozwiązanie opiera się na stwierdzeniu, że tworząca się zawsze przy zrzucie wody podgrzanej struga wody zimnej, może zapewnić normalne dla danego obszaru klimatycznego warunki rozwoju życia biologicznego w rzece, wody której są wykorzystywane do chłodzenia oraz na przyjęciu występujących w rzekach danego obszaru najniekorzystniejszych naturalnych warunków termicznych za pułap ograniczający wielkość poboru wody dla tych celów. Słuszność tego kryterium została doświadczalnie wykazana dla ograniczonego zakresu stosunków $\frac{q}{Q_o}$, konieczne są dalsze badania dla uzyskania potwierdzenia w szerszym zakresie.

1. EKONOMICZNE ZNACZENIE STOSOWANIA W ELEKTROWNIACH KONDENSACYJNYCH OTWARTYCH OBIEGÓW CHŁODZĄCYCH

Dla zwrócenia uwagi na ekonomiczne znaczenie otwartych obiegów chłodzących, stosowanych w elektrowniach kondensacyjnych, przytoczę, że przeprowadzone porównanie

uporządkowanych rocznych krzywych temperatury wody ochłodzonej kilku większych elektrowni śląskich, wyposażonych w chłodnie kominowe, z odpowiednimi charakterystykami temperatury wody Wisły w górnym jej biegu, wykazało, że wprowadzenie otwartego obiegu chłodzenia kondensatorów turbin parowych daje w naszych warunkach klimatycznych obniżenie o około 10° C średniej rocznej temperatury wody zimnej. Tak poważne obniżenie temperatury wody chłodzącej powoduje odpowiedni wzrost wykorzystywanego w turbinie spadku entalpii, co z kolei w stopniu zależnym od wielkości, parametrów pary, typu i konstrukcji turbiny daje kilkuprocentową poprawę sprawności teoretycznej i zmniejszenie jednostkowego zużycia ciepła. Przykład: przejście z zamkniętego na otwarty obieg chłodzenia dla turbiny TK-120, 127 atn 535°C t_z = 10°C, budowanej u nas wg licencji Metropolitain Vickers, obniża jednostkowe zużycie ciepła w stosunku rocznym o 3,6%.

Trzeba podkreślić, że w przeciwieństwie do innych stosowanych rozwiązań, mających na celu poprawienie sprawności wytwarzania energii elektrycznej, jak na przykład podniesienie parametrów pary dolotowej, rozszerzenie regeneracyjnego podgrzewu wody zasilającej i wprowadzenie międzystopniowego wtórnego przegrzewu pary - zastosowanie otwartego obiegu chłodzenia nie tylko nie powoduje wzrostu nakładów inwestycyjnych i niektórych składników kosztów zmiennych wytwarzania, a odwrotnie w większości przypadków ich obniżenie w stopniu zależnym od miejscowych warunków. Wprowadzenie otwartego obiegu chłodzenia poprawia również dyspozycyjność elektrowni tak ze względu na jego zalety eksploatacyjne, jak i możność ograniczenia wysokości parametrów pary, obniżenia temperatury wody zasilającej a nawet zaniechania międzystopniowego przegrzewu pary, jeżeli będzie chodziło o uzyskanie tego samego efektu cieplnego. A więc usytuowanie elektrowni w miejscu umożliwiającym zastosowanie otwartego obiegu chłodzenia może dać poważny efekt ekonomiczny, wyrażający się w obniżeniu rocznych kosztów wytwarzania energii elektrycznej. Jeżeli pomimo to, wiele elektrowni kondensacyjnych lokalizowało się u nas w złych warunkach wodnych, ale za to "na węglu" lub w pobliżu punktu ciężkości odbioru energii elektrycznej, to dlatego, że takie usytuowanie elektrowni może w pewnych warunkach okazać się bardziej korzystnym przy porównaniu kosztów rocznych energii elektrycznej loco jej odbiorcy. Poza tym należy wziąć pod uwagę, że na ogół małe i nieuregulowane prze-

pływy naszych rzek, przy jednoczesnym braku naukowych podstaw dla określenia wielkości dopuszczalnego zwrotnego poboru wody z rzeki, w wielu przypadkach stwarzały nie do przebycia trudności przy próbach lokalizacji dużych elektrowni z otwartym obiegiem chłodzącym.

W ostatnich kilkunastu latach na skutek dużego postępu osiągniętego w procesie wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach kondensacyjnych, uzyskanie dalszej nawet nieznacznej poprawy sprawności wymaga dużego wzrostu nakładów inwestycyjnych.

W tych warunkach coraz większej wagi nabiera lokalizacja elektrowni w dobrych warunkach wodnych, jako dającej poważną poprawę sprawności bez potrzeby zwiększenia nakładów inwestycyjnych na budowę elektrowni. Ma to szczególne znaczenie w naszych warunkach, wobec szczupłości funduszów inwestycyjnych, jakimi dysponujemy i konieczności stosowania umiarkowanych parametrów pary ze względu na ograniczone możliwości naszego hutnictwa w zakresie produkcji stali specjalnych.

Ostatnio buduje się coraz większe elektrownie, u nas rzędu 600-1200 MW. Stwarza to tendencję do zwiększania udziału pobieranej przez elektrownie wody z rzeki w wartości jej minimalnego wieloletniego przepływu i ogranicza w praktyce możność lokalizacji elektrowni tej wielkości do średniego i dolnego biegu większych naszych rzek. Zrzut dużej procentowo ilości podgrzanej wody stanowi bezpośrednie zakłócenie naturalnych fizycznych warunków panujących w rzece i z tego powodu wywołuje zastrzeżenia instytucji i osób, którym została powierzona ochrona przyrody. Zadaniem niniejszej pracy jest wyjaśnić na podstawie przeprowadzonych badań i pomiarów, w jakim stopniu te zastrzeżenia są słuszne i przedstawić próbę sformułowania warunków, na jakich mógłby się odbywać pobór wody z rzeki dla chłodzenia kondensatorów turbin w dużych elektrowniach.

2. ZMIANY W RZECE POWODOWANE PRZEZ ZRZUT PODGRZANEJ WODY

Pobór wody z rzeki dla elektrowni pracującej z otwartym obiegiem chłodzenia ma następujące charakterystyczne cechy: jest on zwrotny, udział poboru w całkowitym przepływie jest znaczny, może dojść do 70-80% przy ni-

skim stanie wody w rzece, wyróżnia się dużą stałością wartości niezależnie od zachodzących zmian obciążenia elektrowni i przepływu rzeki oraz niezmiennością właściwości chemicznych wody po przejściu jej przez kondensatory turbin parowych; przyrost temperatury wody zrzucanej wynosi zwykle około 10°C. Obawy co do ujemnych następstw zakłóceń powodowanych przez zrzut podgrzanej wody opierają się przeważnie na przypuszczeniach i dorywczych obserwacjach. Trzeba zaznaczyć, że nie prowadzono dotychczas systematycznych badań w tym kierunku (1,5).

Pierwszym bezpośrednim skutkiem zrzutu podgrzanej wody jest wzrost temperatury wody w rzece, drugim wtórnym zachodzące tam zmiany warunków tlenowych. Organizmy żywe jak wiadomo rozwijają się normalnie w pewnym zakresie temperatur i dostatecznej ilości tlenu w środowisku, w którym żyją. Odchylenie temperatury środowiska poza granice optymalne może wywołać skutki, od przyhamowania rozwoju aż do zupełnego wyniszczenia niektórych form organicznych lub odwrotnie bardzo intensywny wzrost np. bakterii. Można również wyobrazić sobie dalsze wtórne skutki podwyższenia temperatury wody w rzece, jak wyniszczenie pewnych odmian planktonu, co z kolei mogłoby spowodować zanik niektórych organizmów wyższych, na przykład ryb, karmiących się tą odmianą planktonu. Zmiany warunków tlenowych w rzece mogą być spowodowane bezpośrednio przez wzrost temperatury, a mianowicie obniżenie zawartości tlenu w związku z możliwością mechanicznego odtlenienia podgrzanej wody w warunkach, które mogą zaistnieć w miejscu zrzutu wody, lub występować jako zjawisko wtórne, na przykład jako ubytek tlenu rozpuszczonego w wodzie na skutek przyspieszenia niektórych reakcji chemicznych utleniania zanieczyszczeń mineralnych lub jako wzrost biologicznego zapotrzebowania tlenu (BZT), spowodowany przyspieszeniem samooczyszczania się wody pod wpływem podwyższenia jej temperatury. Istnieje również możliwość powstawania w rzece barier cieplnych, co może ograniczyć migracje niektórych gatunków ryb i tworzenia się stref o skokowych dużych zmianach temperatury, szkodliwych dla ryb, pewnych gatunków planktonu a nawet bakterii.

Badając zmiany jakie mogą zajść w rzece na skutek zrzutu podgrzanej wody, trzeba mieć na uwadze, że skutki tych zakłóceń i ich zasięg są zależne od stopnia zanieczyszczenia wody, w pierwszym rzędzie pochodzenia organicznego, przebiegu trasy rzeki na przestrzeni co naj-

mniej kilkunastu km poniżej zrzutu wody podgrzanej oraz istnienia na tym odcinku warunków dla powstawania zastoin wody, w pierwszym rzędzie na skutek jej piętrzenia.

3. NATURALNE CHARAKTERYSTYKI TERMICZNE RZEK

Wpływ zrzutu podgrzanej wody na życie organiczne w rzece jest między innymi uzależniony od obrazu termicznego wody i jego zmienności w ciągu roku w miejscu nieskażonym, to znaczy powyżej miejsca zrzutu.

Charakterystyka termiczna rzeki obrazuje zmienność temperatury wody w czasie. Przebieg jej zależy od charakteru rzeki i warunków klimatycznych występujących w obserwowanym przekroju. Charakterystyki termiczne rzeki za okres roczny są niepowtarzalne; dla uzyskania więc pełnego obrazu warunków temperaturowych panujących w określonym przekroju rzeki, szczególnie jeżeli interesują nas temperatury ekstremalne, konieczne są wieloletnie obserwacje. Niestety materiały, jakimi się dysponuje obecnie, są niekompletne. Pomimo to podjęto na podstawie ostatnio prowadzonych obserwacji oraz nie opublikowanych jeszcze materiałów PIHM próbę ustalenia omawianych charakterystyk dla kilku przekrojów większych naszych rzek interesujących z punktu widzenia lokalizacji dużych elektrowni kondensacyjnych. (2)

Zależności te przedstawiono w postaci uporządkowanych rocznych krzywych czasów trwania dziennych temperatur. Dla zakresu temperatur powyżej 20°C wykorzystano obserwacje wieloletnie (8 do 15 lat), otrzymano więc w ten sposób charakterystyki średnie wieloletnie. Poza tym dla jednego roku wykreślono uporządkowaną roczną charakterystykę czasu trwania dziennych temperatur wody dla pełnego występującego zakresu temperatur. Na rys.1, jako ilustrację otrzymanych wyników, pokazano dla Warty (Poznań) i Dunajca (Żabno) powyżej omówione charakterystyki oraz wykreślono uporządkowane roczne charakterystyki temperatur wyrównanych (3 i 6). Okazało się mianowicie, że rozkład punktów krzywych 2 i 4 jest zbliżony do prostych, co pozwoliło na zastąpienie ich odcinkami odpowiednich prostych. Pokazane na rys.1 zespoły charakterystyk różnią się od siebie ogólnym poziomem temperaturowym: jest on dla Dunajca, rzeki o charakterze górskim, o kilka stopni niższym od poziomu Warty, typowej rzeki nizinnej. Wspólną cechą charakterystyk termicznych obu rzek jest stosunkowo

bardzo krótki sumaryczny czas występowania temperatur wysokich. Jest to ogólną cechą wszystkich rzek w Polsce, jak to wynika z wykresów przedstawionych na rys.2.

Wykresy te łącznie z przykładowo pokazanymi charakterystykami termicznymi na rys.1 dobrze oddają ogólny charakter termiczny naszych rzek i dużą jego zgodność z rocznym rozkładem temperatur powietrza: wyraźne zróżnicowanie rzek nizinnych i górskich, krótkotrwałe wzrosty temperatury wody w miesiącach letnich i b. znaczna przewaga czasu występowania średnich i niskich temperatur wody. Można więc w naszych warunkach klimatycznych wyróżnić w charakterystykach termicznych rzek następujące odcinki: wysokotemperaturowy, czas trwania którego ograniczony jest do 15-40 dni, zależnie od charakteru rzeki, długotrwały średniotemperaturowy, o praktycznie prostoliniowym powiązaniu temperatur wody i czasów ich występowania i na koniec odcinek niskotemperaturowy o bardzo różnych czasach występowania, zależnych od charakteru rzeki i warunków klimatycznych, panujących w badanym przekroju. Graniczne temperatury oddzielające od siebie powyżej scharakteryzowane oddinki wyznacza prosta uporządkowanych wyrównanych temperatur wody: w przecięciu z osią y - naturalną maksymalną $T_{n.max.}$, w przecięciu z osią x - czas występowania temperatur niskich $T_{nis.}$, której wartość graniczną $T_{n.nis.}$ określa rzędna punktu na charakterystyce rzeczywistej, o odciętej 365 - T_{nis}

Dla wysokotemperaturowego odcinka charakterystyczny jest duży rozrzut wartości temperatur maksymalnych w poszczególnych latach obserwacji, dla średniotemperaturowego przeciwnie duża stałość przebiegu charakterystyki i na koniec dla niskotemperaturowego - wyraźna zależność czasu jego trwania od charakteru rzeki i warunków klimatycznych, przy dużej jednocześnie stałości górnej wartości temperatury niskiej. Pierwszy i trzeci odcinek uporządkowanej rocznej charakterystyki termicznej rzeki występują w zwartych okresach kalendarzowych: latem i zimą, drugi natomiast z natury rzeczy sumuje czasy trwania odpowiednich temperatur występujących na wiosnę i w jesieni. Uzasadnia to możność stosowania uporządkowanych rocznych charakterystyk termicznych rzek do badań nad dopuszczalną wartością poboru wody z rzek dla chłodzenia kondensatorów turbin w obiegu otwartym, pomimo że charakterystyki te oparte są na scalonych wartościach czasu trwania poszczególnych temperatur, interesuje bowiem nas najbardziej odcinek wysokotemperaturowy charakterystyk.

Z powyższych rozważań wynika, że zakres temperatur wody $\vartheta_{n.max.} - \vartheta_{n.nis.}$ ma najdłuższy łączny okres występowania w okresie rocznym i wykazuje jednocześnie dużą stałość w obserwacjach wieloletnich; można by więc go uważać za naturalny przedział optymalnych temperatur dla rozwoju życia biologicznego danej rzeki.

Zrzut podgrzanej wody do rzeki trwający przez cały rok, zmienia charakterystykę termiczną na wszystkich trzech jej odcinkach, stopień zmian zależy od stosunku wartości: poboru i całkowitego przepływu. Odkształcenie charakterystyki termicznej rzeki rozciąga się tylko na ograniczony odcinek poniżej zrzutu wody podgrzanej, poza którym przebieg temperatury wody po ochłodzeniu, odpowiada charakterystyce powyżej miejsca zrzutu.

4. ZAKRES I WYNIKI BADAŃ PROWADZONYCH W 1958, 1959 i 1960 r.

Pierwsze badania fizykochemicznych, hydro- i mikrobiologicznych właściwości wody ważniejszych naszych rzek rozpoczęte były pod koniec 1957 r. (1). Miały one na celu ustalenie tych właściwości i ich zmienności w ciągu roku w warunkach naturalnych. Jednak już po kilku miesiącach przekonano się, że bez dokładnego poznania zjawisk zachodzących przy zrzucie wody podgrzanej do rzeki w skali przemysłowej, próbom ekstrapolacji parametrów fizycznych a tymbardziej biologicznych z warunków naturalnych na zakłóceniowe nie można było wróżyć powodzenia. Już więc w drugiej połowie 1958 r. rozpoczęto równolegle serię takich badań w normalnych dużych elektrowniach kondensacyjnych (3, 4, 6). Istnieje wielka różnorodność właściwości hydrologicznych, fizykochemicznych i biologicznych rzek, które mogą występować przy różnych możliwych lokalizacjach elektrowni. Dla uzyskania więc pełnego obrazu zjawisk występujących przy zrzucie podgrzanej wody należałoby przeprowadzić badania w b. wielu elektrowniach pracujących w różnych warunkach wodnych. Niestety mamy w Polsce zaledwie około 10 elektrowni pracujących z otwartym obiegiem chłodzenia kondensatorów, z których tylko 4 miały wg wstępnej oceny dostatecznie charakterystyczne warunki pracy. Były nimi: Skawina, Stalowa Wola, Żerań i Ostrołęka. Po jednej serii pomiarów odrzucono dwie ostatnie z wymienionych elektrowni, gdyż nie wniosły nic nowego.

Wody Wisły na wysokości ujścia Skawinki i Sanu koło Stalowej Woli różnią się zasadniczo pod względem fizycznym, chemicznym i mikrobiologicznym: woda Wisły jest silnie zanieczyszczona przez ścieki z zakładów przemysłowych wyżej położonych; poza tym udział zrzutu wody podgrzanej w ogólnym przepływie rzeki był w Skawinie znacznie wyższy.

W latach 1958-1960 przeprowadzono w elektrowniach Skawina i Stalowa Wola 5 serii pomiarów. Jak wynika z liczb przytoczonych w tablicy 1 nie zdołano utrafić z pomiarami na okres najniekorzystniejszy, a mianowicie zbieżności występowania wysokich temperatur wody, małego przepływu w rzece i dużego obciążenia elektrowni lub małego przepływu i pokrywy lodowej na rzece.

Badania były prowadzone w kilku przekrojach rzek, w jednym powyżej miejsca zrzutu i w kilku poniżej, z których ostatnie znajdowały się w odległości do 20 km od elektrowni. W każdym z przekrojów prowadzono badania w 3 punktach: przy każdym z brzegów i w środku nurtu, temperaturę wody mierzono w odstępach co 10 m na szerokości przekroju. Pierwsze cztery serie pomiarów były prowadzone w ten sposób, że badania w poszczególnych przekrojach następowały kolejno po sobie, tak, że przesunięcie w czasie pomiędzy pomiarami w pierwszym i ostatnim przekroju wynosiło do 5-6 godzin.

Podczas dwóch ostatnich serii badania były prowadzone jednocześnie we wszystkich przekrojach w ciągu 10 godzin, przy czym pomiary temperatur dokonywane były w odstępach dwugodzinnych, pozostałe co 5 godzin.

Badania wody szły w trzech kierunkach: fizykochemicznym, hydrobiologicznym i mikrobiologicznym. Poza tym notowano parametry hydrologiczne i meteorologiczne. Badania fizykochemiczne obejmowały pomiary temperatury, zawartości tlenu i BZT, jak również skrócone analizy chemiczne wody. Badania hydrobiologiczne objęły plankton, bentos, seston i peryfiton. Analizy mikrobiologiczne prowadzone były metodą Państwowego Zakładu Higieny: określano ogólną ilość bakterii oraz miano coli. Oprócz tego oznaczano ogólną ilość drobnoustrojów. Wymienione badania dostarczyły bardzo obszernych materiałów. Nie ma możności z braku miejsca przedstawienia ich w niniejszym referacie nawet w najbardziej skróconej formie. Ograniczono się więc do podania wyników w najbardziej ogólnej formie.

Tablica 1

Charakterystyka warunków hydrologicznych i temperaturowych jakie występowały podczas pomiarów przeprowadzonych w Skawinie (Wisła) i w Stalowej Woli (San)

Seria pomiarów		Przepływ rzeki		Zrzut wody podgrzanej		Temperatury wody w °C				Obciążenie elektrowni MW	Pokrywa lodowa
Nr	Data	m^3/s	% Q_o	m^3/s	% przepływu	w dniu pomiaru	maksym. wieloletnia	maksym. natur.	zrzutu wody		
Wisła na wysokości Skawiny, wodowskaz Tyniec; Q_o = 16 m^3/s; Q_1 = 22,5 m^3/s; Q_{sr} = 77,8 m^3/s											
1	21.VIII.1958	42	263	5.6	13.3	21.5	26.0	22.0	31.0	100	
2	14. XII.1958	30	187	9.7	32.0	3.9	26.0	22.0	18.7	196	
3	15. II.1959	28	175	4.75	17.0	0.2	26.0	22.0	11.8	100	x
4	12. VII.1959	70	436	8.8	12.6	23.0	26.0	22.0	31.1	195-115	
5	14. IV.1960	23	144	16.5	72.0	12.7	26.0	22.0	21.9	300-275	
San na wysokości Stalowej Woli, wodowskaz Radomyśl, Q_o = 25 m^3/s; Q_1 = 50 m^3/s; Q_{sr} = 130 m^3/s											
1	29.VIII.1958			4.5		15.7	26.0	22.4	37.4	107-55	
2	22. XII.1958	290	1160	4.5	1.60	4.2	26.0	22.4	23.5	130-90	
3	8. III.1959	232	925	4.5	1.9	5.9	26.0	22.4	21.3	187-92	
4	11.VIII.1959	110	440	7.0	6.4	23.6	26.0	22.4	38.9	150-80	
5	3. V.1960	50	200	1.2	18.4	10.2	26.0	22.4	27.6	168-133	

4.1. Wyniki hydrologicznych i fizykochemicznych badań

We wszystkich badanych obiektach stwierdzono tworzenie się w korycie rzeki strugi wody ciepłej, rozciągającej się wzdłuż brzegu przyzrzutowego na kilkanaście km poniżej miejsca zrzutu. Struga ta tworzy się niezależnie od rodzaju zastosowanych, najczęściej przypadkowych technicznych rozwiązań zrzutu. Zaznaczyć należy, że w żadnej z badanych elektrowni nie zastosowano rozwiązania zapewniającego zupełne wymieszanie się wód w miejscu zrzutu.

Strugę wody ciepłej charakteryzuje ciągłość, zmiany jej szerokości spowodowane przez zakręty rzeki są na ogół nieznaczne. W podobny sposób można scharakteryzować strugę wody zimnej, trzymającą się brzegu przeciwległego. Na rys.3 i 4 przedstawione zostały dla ilustracji izotermy Wisły i Sanu na podstawie pomiarów przeprowadzonych tam w dniach 14.4.1960 i 3.5.1960 r.

Pod względem temperaturowym omawiane strugi można scharakteryzować następująco: niezmienność temperatury wody poczynając od powierzchni aż do dna, co dowodzi jej doskonałego wymieszania w obrębie określonego przekroju każdej ze strug; struga ciepła wyróżnia się w stosunku do strugi zimnej wyższymi temperaturami i większymi gradientami temperatury w przekrojach poprzecznych i wzdłuż strugi, wyrównywującymi się stopniowo do wartości występujących w przekroju nieskażonym; za umowną granicę rozdzielającą obie strugi można by przyjąć miejsce geometryczne punktów, w których zachodzi skokowa zmiana wartości gradientu temperatury w poszczególnych przekrojach poprzecznych rzeki. W tablicach 2 i 3 zostały zestawione odpowiednie gradienty temperatur dla Wisły i Sanu, obliczone na podstawie izoterm przedstawionych na rys.3 i 4. Umowną granicę strug zaznaczono linią grubą.

Wstępne wnioski z badania rozkładu temperatur w strugach o różnych temperaturach wody, tworzących się pod wpływem zrzutu podgrzanej wody można sformułować następująco:

a. Struga wody zimnej niezależnie od warunków zrzutu i kształtu linii biegu rzeki stanowi ciągły kanał, którego przekrój w żadnym ze zbadanych przypadków nie był mniejszy od 40% pełnego przekroju rzeki.

b. Pod względem temperaturowym struga wody zimnej charakteryzuje się nieznacznym wzrostem temperatury wody w stosunku do przekroju nieskażonego (3°C

w przypadku Wisły i około 0,6°C w przypadku Sanu). Wartości poprzecznych i podłużnych gradientów są b. małe, nie przekraczają odpowiednio 0,03°C/m i $0,9 \cdot 10^{-3}$ °C/m dla Wisły oraz 0,02°C/m i $0,2 \cdot 10^{-3}$ °C/m dla Sanu. Odpowiednie wartości dla strugi wody ciepłej są wielokrotnie wyższe.

c. Struga wody ciepłej stopniowo się rozszerza z biegiem rzeki, jednocześnie następuje obniżenie temperatury wody i jej gradientów do wartości występujących w strudze wody zimnej. Całkowity powrót warunków temperaturowych w rzece do występujących w przekrojach nieskażonych stwierdza się w odległości od kilkunastu do kilkudziesięciu km poniżej zrzutu.

d. Ochładzanie się wody odbywa się przeważnie przez parowanie, szczególnie intensywne na powierzchni strugi ciepłej, miarą jego jest przebieg gradientów temperatury wzdłuż nurtu rzeki. Intensywność tej drogi chłodzenia zależna jest od warunków atmosferycznych. Wymiana ciepła pomiędzy ciepłą i zimną strugą jest ograniczona przez stosunkowo małe powierzchnie zetknięcia i szybko malejące z biegiem rzeki wartości poprzecznych gradientów temperatur, pod działaniem których między innymi następuje ten rodzaj wymiany ciepła. Wyrównanie temperatur pomiędzy strugami następuje również przez mieszanie wody obu strug, spowodowane przez porywanie wody zimnej przez szybszą strugę wody ciepłej.

e. Jak wynika z porównania wyników pomiarów dla poszczególnych obiektów, sposób zrzutu, zarys brzegów i szerokość rzeki w miejscu zrzutu oraz kształt linii biegu rzeki poniżej miejsca zrzutu mają duży wpływ na ukształtowanie się strug i ustalające się w nich temperatury.

f. Powyższe wnioski z pomiarów znalazły potwierdzenie również w wynikach badań prowadzonych na Wiśle na wysokości Żerania i na Bugu w Ostrołęce.

Obraz warunków tlenowych w rzece poniżej zrzutu podgrzanej wody jest związany z wyżej opisanym obrazem temperaturowym wody. Zawartość tlenu w wodzie w poszczególnych przekrojach ulega zmianom odpowiednio do tempe-

Tablica 2

Gradienty temperatur w przekrojach poprzecznych i wzdłuż biegu rzeki Wisły
Pomiary w dniu 14.IV.1960

Gradienty temperatur		Przekrój I 0,3 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki I-II 1,7 km	Przekrój II 2,0 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki II-III 2,5 km	Przekrój III 3,5 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki III-IV 4,0 km	Przekrój IV 7,5 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki IV-V 2,5 km	Przekrój*) V 10,0 km poniżej zrzutu
Podłużne w 10^{-3} °C/m	Poprzeczne w °C/m od brzegu przyzrzutowego									
10 m od brzegu przeciwległego	50 m	0	+0,29	0	+0,9	-0,01	+0,137	-0,01	-0,1	+0,01
	40 m	-0,03		0		-0,03		-0,03		-0,01
W środku rzeki	30 m	-0,05	+0,58	-0,17	+1,34	-0,18	-0,05	-0,07	-0,32	-0,02
	20 m	-0,74		-0,46		-0,18		-0,035		-0,03
10 m od brzegu przyzrzutowego	10 m od brzegu przyzrzutowego	-0,43	-0,77	-0,18	-1,07	-0,05	-0,5	-0,02	-0,08	-0,09
										-0,06

Gradienty temperatur podłużne dotyczą poszczególnych odcinków rzeki.

Gradienty temperatur poprzeczne dotyczą poszczególnych poprzecznych przekrojów rzeki.

*) W przekroju V szerokość Wisły wynosiła 60 m.

Tablica 3

Gradienty temperatur w przekrojach poprzecznych i wzdłuż biegu rzeki Sanu
Pomiary w dniu 3.V.1960 r.

Gradienty temperatur		Przekrój I 0,5 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki I–II 0,3 km	Przekrój II 3,5 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki II–III 2,95 km	Przekrój III 6,45 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki III–IV 4,0 km	Przekrój IV 10,45 km poniżej zrzutu	Odcinek rzeki IV–V 9,0 km	Przekrój V 19,45 km poniżej zrzutu
Podłużne w 10^{-3} °C/m	Poprzeczne w °C/m od brzegu przyzrzutowego									
10 m od brzegu lewego przyzrzutowego	Skraju ciepła	–0,09	–0,565							
		–0.16								
10 m od brzegu lewego przyzrzutowego		–0,10		–0,06	+0,033	0	–0,1			
10 m od brzegu lewego przyzrzutowego		–0,07		–0,08		–0,04		0	–0,01	0
	Co 10 m w przekrojach poprzecznych licząc od brzegu przyzrzutowego	0		–0,05		–0,02		0		0
		0		–0,02		–0,02		–0,04		–0,01
		0		–0,01		–0,02		–0,05		–0,02
W środku rzeki		–0,01		–0,01		–0,02		–0,04		–0,02
		0	0	0	+0,2	–0,02	–0,125	–0,01	+0,077	–0,02
		0		0		–0,01		0		–0,02
		0		+0,01		–0,01		0		–0,02
		0		0		–0,04		0		–0,02
10 m od brzegu prawego		0		0		0		+0,01	0	0
10 m od brzegu prawego		0		0,01	+0,1	+0,01	+0,05			
		–0,01								
		+0,01								
10 m od brzegu prawego		+0,02	+0,033							

ratur tam występujących. Stopień nasycenia wody tlenem ulega tylko nieznacznym wahaniom, utrzymując się na tym samym poziomie co i w przekrojach nieskażonych. W żadnym z badanych przypadków nie stwierdzono załamania się ustalonych stosunków tlenowych, jedynie w miejscach zrzutu ścieków na trasie przepływu badanych rzek zanotowano spadek ilości rozpuszczonego tlenu i wzrost BZT, jednak te depresje tlenowe z reguły szybko po 2-3 km wyrównywały się. Ogólnie stwierdzonym zostało w rzekach o wodzie zanieczyszczonej mniejszy stopień nasycenia tlenem w porównaniu do wód czystych, na przykład woda w Wiśle na odcinku Skawina - Bielany - 65,7 do 88,5%, podczas gdy woda w Sanie koło Stalowej Woli - 82,5 do 97%. Stwierdzenia tego nie można jednak uważać za regułę bez wyjątku - woda Wisły na wysokości Warszawy. Z braku miejsca nie zostaną tu przytoczone liczbowe wyniki pomiarów dla ilustracji przedstawionego obrazu stosunków tlenowych; są one jednoznaczne i nie nasuwają wątpliwości. Podobnie jednoznaczne wyniki otrzymano jeżeli chodzi o skład chemiczny wody, nie ulega on jakimkolwiek znaczącym zmianom tak w strumieniu wody podgrzewanej w kondensatorach, jak i w ciepłej i zimnej strugach wody poniżej zrzutu.

4.2. Wyniki badań hydro- i mikrobiologicznych

Ta grupa badań jest najtrudniejsza pod względem interpretacji wyników. Ustalane bowiem były wartości tylko ograniczonej ilości wskaźników, nie wiadomo czy dostatecznie reprezentatywnych dla kompleksowych, skomplikowanych przemian zachodzących w biocenozie rzeki. Poza tym seria pomiarów wykonana w odstępach kilkumiesięcznych, często trudno porównywalnych, nie daje podstaw do stwierdzenia, nawet kierunku zachodzących zmian. Jeżeli chodzi o konkretne wyniki badań hydrobiologicznych nie stwierdzono istotnych różnic w planktonie, bentosie i peryfitonie, tak w przekrojach poprzecznych jak i wzdłuż biegu rzek badanych. Występują natomiast niekiedy zwiększone ilości tryptonu w strugach przyzrzutowych rzek. Jeżeli chodzi o badania mikrobiologiczne, to wykazały one silny rozwój mikroorganizmów w strudze wody ciepłej, przy jednoczesnym zachowaniu normalnych dla danej rzeki stosunków w strudze wody zimnej. Jednak stosunkowo szybko, bo po kilku km, stosunki w zakresie roz-

woju mikroorganizmów wracają do stanu panującego w przekrojach nieskażonych.

5. WNIOSKI OGÓLNE

Omówione w rozdziale 4 badania w dużym stopniu wyjaśniły przebieg zjawisk zachodzących podczas zrzutu podgrzanej wody do rzeki od strony hydrologicznej i fizykochemicznej, pomimo niewspółmiernie małej ilości zbadanych obiektów i przeprowadzonych tam w różnych warunkach pomiarów w stosunku do mogących w praktyce wystąpić zestawień różnych parametrów i naturalnych warunków lokalnych. Wydaje się, że te braki będą mogły być częściowo wyrównane przez stosowanie ekstrapolacji w obliczeniach wstępnych i modelowania przy projektowaniu konkretnych obiektów. Inaczej sprawa się przedstawia jeżeli chodzi o wnioski z badań w zakresie hydro- i mikrobiologii - pozostaje tam szereg spraw niewyjaśnionych, pomimo że przeprowadzone pomiary nie stwierdziły jakichkolwiek znaczących zmian w biocenozie rzeki na odcinku za zrzutem wody podgrzanej. Trudno byłoby więc dać nie obwarowanej zastrzeżeniami odpowiedzi na postawione w rozdziale pierwszym pytanie, czy są uzasadnione obawy co do szkodliwości dla przyrody rzeki stosowania otwartego obiegu chłodzenia kondensatorów turbin.

Pomimo tych trudności, ze względu na znaczny wpływ stosowania obiegów otwartych na koszt wytwarzania energii elektrycznej i konieczność ustalenia wytycznych dla lokalizacji elektrowni w planie perspektywicznym, należałoby szukać rozwiązania nie uwarunkowanego uprzednim wyjaśnieniem wszystkich kwestii spornych. Rozwiązanie takie nasuwa się analizując potwierdzone przez wszystkie pomiary zjawisko tworzenia dwóch strug o różnych temperaturach wody i rozkład temperatur w tych strugach. Na rys.5 i 6 przedstawiono rozkłady temperatur w poszczególnych przekrojach badanych odcinków Wisły i Sanu. Wykresy te uzupełnione danymi zawartymi w tablicach 2 i 3 potwierdzają istnienie w rzece ciągłej strugi (kanału) wody zimnej, charakteryzującej się nieznacznym, bo od $\Delta T_{zs} = 0{,}9^{o}C$ dla Sanu do $\Delta T_{zs} = 3^{o}C$ dla Wisły, przyrostem temperatury w stosunku do przekroju nieskażonego. Inne właściwości tej strugi zostały podane w rozdziale 4.

Przyrost temperatury $\Delta\vartheta_{zs}$ utrzymuje się stały, niezależnie od zmian poziomu temperatury wody w rzece, pod warunkiem, że pozostałe parametry, a w pierwszym rzędzie stosunek wartości przepływu zrzutu do całkowitego przepływu ($\frac{q}{Q}$) pozostaje stały.

W ciągu roku, z wyjątkiem dwóch miesięcy letnich, temperatura strugi wody zimnej będzie znacznie niższa od maksymalnej naturalnej, w czasie dwóch wymienionych miesięcy bardziej lub mniej do niej zbliżona, a tylko wyjątkowo w ciągu kilku dni w roku może przekroczyć maksymalnie o kilka stopni rzeczywiste wieloletnie maksimum (ϑ_{max}), notowane dla badanego odcinka rzeki. Czy krótkotrwałe przekroczenie o kilka stopni temperatury ϑ_{max} może spowodować zmiany w biocenozie rzeki i być szkodliwe dla ryb? Prawdopodobnie nie, o ile ta nadwyżka nie przekroczy występującej maksymalnej różnicy wartości ϑ_{max} notowanych w kraju dla rzek tego samego rodzaju. Z rys.2 można wywnioskować, że różnica ta wynosi $\Delta\vartheta_{zs} = 3^{o}C$. Rzeczywiście występujący przyrost temperatury jest zależny od wielu czynników, między innymi od zastosowanego sposobu zrzutu[1] i wartości stosunku $\frac{q}{Q}$.

Istnieje więc możliwość dostosowania wartości $\Delta\vartheta_{zs}$ do dopuszczalnej dla danego odcinka rzeki przez odpowiednie skonstruowanie zrzutu lub ograniczenie stosunku $\frac{q}{Q}$. W skrajnych wypadkach można by przejściowo stosować szeregowe łączenie kondensatorów, daje to obniżenie wartości przepływu zrzutu kosztem wzrostu temperatury wody zrzucanej. Jak wynika z pomiarów przeprowadzonych na Sanie, wzrost temperatury wody zrzucanej nie ma większego wpływu na $\Delta\vartheta_{zs}$.

Koncepcja proponowanego rozwiązania polegałaby więc na wykorzystaniu tworzącego się przy zrzucie podgrzanej wody kanału (strugi) wody zimnej, jako obszaru o prawie naturalnych temperaturowych i tlenowych warunkach na skażonym odcinku rzeki. Kanał ten jest ciągły, zajmuje przeciętnie ok.60% powierzchni rzeki na odcinku skażonym. Właściwe wymiary kanału i rozkład temperatur, a mianowicie w przeważającej części roku temperatury mieszczące się w granicach naturalnych optymalnych, a tylko w ciągu kilku dni w roku przekraczające maksymalne rzeczywiste o wartość doświadczalnie stwierdzoną jako nieszkodliwą,

---

1) Zrzut wody w elektrowni Skawina jest skierowany pod kątem 45°C do nurtu Wisły a w Stalowej Woli prostopadle do nurtu Sanu.

można uzyskać przez odpowiednie ułożenie zrzutu wody i dobór właściwego stosunku $\frac{q}{Q}$.

Równolegle do kanału (strugi) wody zimnej istniałby wzdłuż brzegu przyzrzutowego kanał wody ciepłej, granicę pomiędzy nimi wyznaczałby skokowy wzrost gradientu temperatury w poszczególnych przekrojach. Kanał ten odgrywałby podobną rolę, jak zastosowany ostatnio w jednej z elektrowni angielskich kanał zrzutowy prowadzony równolegle do koryta rzeki w celu ochłodzenia wody przed jej wprowadzeniem do rzeki. Prędkość ochładzania się wody w strudze ciepłej przyjmuje b. różne wartości dla poszczególnych odcinków badanych rzek: od 1,1 do 0,02°C/km, średnio około 0,5°C/km przy prędkościach wody notowanych w granicach od 0,6 do 0,9 m/s. Trudno jest ustalić regularność w zmienności tego wskaźnika, gdyż wartość jego jest zależna nie tylko od prędkości przepływu i warunków atmosferycznych, ale również od intensywności wymiany ciepła pomiędzy strugami i postępującego z biegiem rzeki mieszania wody obu strug, na skutek różnicy prędkości strugi ciepłej i zimnej. W strudze wody ciepłej, zajmującej około 40% powierzchni rzeki na odcinku skażonym występują temperatury wyższe od $T_z + \Delta T_{zs}$, w szczególności w bezpośrednim sąsiedztwie zrzutu mogą one się różnić zaledwie o kilka stopni od temperatury wody zrzucanej przez elektrownię.

Jak wynika z przebiegu izoterm pokazanych na rys.3 i 4 obszar najwyższych temperatur zajmuje około 15% obszaru rzeki skażonego; w obrębie tego obszaru, w warunkach najniekorzystniejszych, temperatura wody mogłaby przekraczać w ciągu kilku dni w roku o 5-6°C notowaną dla tego odcinka rzeki temperaturę $T_{maks.}$. Ten obszar rzeki należałoby uważać za wyłączony z obszaru o normalnych warunkach rozwojowych dla przyrody rzeki, w pierwszym rzędzie dla ryb. Jednak podobne obszary spotyka się w wielu nieuregulowanych rzekach w postaci płytkich zalewów, kanałów itd., w których warunki temperaturowe i stosunki tlenowe znacznie odbiegają od występujących w głównym nurcie rzeki.

W obszarze strugi ciepłej, gdzie występują najwyższe temperatury w miesiącach letnich, może nastąpić intensywny rozwój bakterii i drobnoustrojów, co z kolei może doprowadzić do wtórnego skażenia wody, aż do jej zupełnej nieprzydatności na pewnym odcinku rzeki dla gospodarstw domowych i celów przemysłowych. Z takimi zakłóceniami należałoby się liczyć wobec stale u nas wzrastają-

cego zanieczyszczenia rzek, pomimo że przeprowadzone badania nie zanotowały takich wypadków nawet na stosunkowo silnie zanieczyszczonym odcinku Wisły (Skawina) podczas dużych upałów. (Pomiary w sierpniu 1959 r.). Tu zetknęliśmy się z zagadnieniem zasadniczym, właściwe rozwiązanie którego warunkuje między innymi możność wykorzystania rzek do zasilania otwartych obiegów chłodzących w sposób zaproponowany w tym referacie. Otóż wybór lokalizacji takiej elektrowni powinien opierać się na perspektywicznym planie kompleksowego zagospodarowania rzeki na całej jej długości, przy tym proponowane do lokalizacji elektrownie powinny stanowić integralną część tego planu. Chodzi o zabezpieczenie w planie trzech spraw, o zasadniczym znaczeniu dla elektrowni: wyrównanie przepływów przy pomocy zbiorników retencyjnych, ograniczenie zrzutów ścieków komunalnych i przemysłowych na odcinku rzeki związanym z eksploatacją elektrowni i odsunięcie od elektrowni w dół rzeki zapór, jazów itp. urządzeń piętrzących na odległość konieczną do całkowitego wyrównania temperatury wody do wartości występujących w przekrojach nieskażonych rzeki.

W referacie zostało zaproponowane nowe rozwiązanie zagadnienia wykorzystania rzek do zasilania otwartych obiegów chłodzących wielkich elektrowni, oparte na wynikach przeprowadzonych badań. Liczbowe jego skonkretyzowanie, a w pierwszym rzędzie propozycje ustalenia dopuszczalnego granicznego stosunku $\frac{q}{Q_0}$ będą mogły być sformułowane po ostatecznym opracowaniu uzyskanych z pomiarów materiałów. W każdym razie proponowane rozwiązanie zostało doświadczalnie sprawdzone dla wartości stosunków $\frac{q}{Q_0}$ wynikających z danych przytoczonych w tabl.1.

WYKAZ ZRÓDEŁ I LITERATURY

1. Studia dla lokalizacji elektrowni o otwartym obiegu chłodniczym.
Praca Naukowego Towarzystwa Ekspertów Gospodarki Wodnej w Krakowie, wykonana na zlecenie Kom. El. Polski PAN, 1958.

2. Prof. dr Kajetanowicz: Hydrologiczne warunki poboru wody chłodniczej z rzek.
Praca Naukowego Towarzystwa Ekspertów Gospodarki Wodnej w Krakowie, wykonana na zlecenie Kom. El. Polski PAN, 1958.

3. Mgr inż. Nosalski i zespół: Sprawozdanie z prac badawczych związanych z ustaleniem wpływu zrzutów wód chłodzących z elektrowni Skawina i Stalowa Wola na ich odbiorniki.
Naukowe Towarzystwo Ekspertów Gosp. Wodnej w Krakowie 1958 r. Praca wykonana na zlecenie Kom. Elektr. Polski PAN.

4. Mgr inż. Nosalski i zespół: Sprawozdanie z prac badawczych związanych z ustaleniem wpływu zrzutów wód chłodzących z elektrowni Skawina i Stalowa Wola, Ostrołęka i Żerań.
Katedra Elektrowni Politechniki Śląskiej, Gliwice 1959 r. Praca wykonana na zlecenie Kom. Elektr. Polski PAN.

5. Prof. L.Nehrebecki i zespół: Fizyczne i biologiczne kryteria możliwości wykorzystania rzek i jezior dla elektrowni z otwartym obiegiem chłodzącym.
Zespół Śląski Biura Studiów Elektryfikacji Polski, Katowice grudzień 1959 r. Praca wykonana na zlecenie Kom. Elektryfikacji Polski PAN.

6. Mgr inż. Nosalski i zespół: Sprawozdanie wstępne z prac badawczych nad ustaleniem wpływu zrzutu wód elektrowni Skawina i Stalowa Wola na ich odbiorniki, przeprowadzonych w okresie zimowo-wiosennym 1960 r. Katedra Elektrowni Politechniki Śl., Gliwice 1960 r. Praca wykonana na zlecenie Kom. Elektr. Polski PAN.

РЕЗЮМЕ

В работе предлагается новое решение вопроса определения условий для приема речной воды для питания открытых систем охлаждения конденсаторов. Автор базируется на наблюдениях и исследованиях выполненных на нескольких типичных электростанциях.

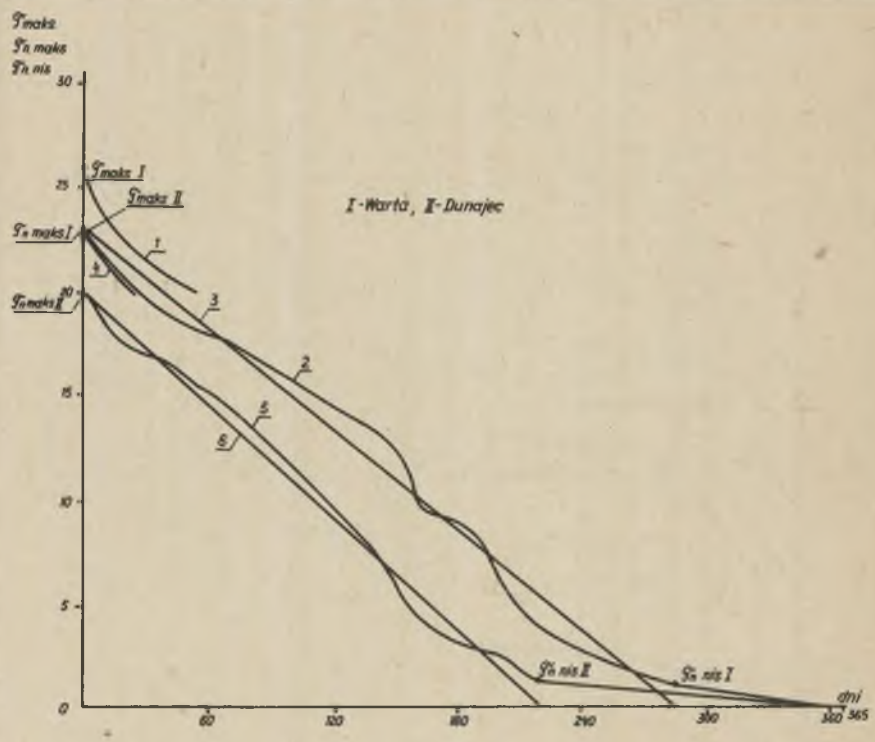
Предлагаемое решение обосновано тем, что появляющаяся неизменно при отводе подогретой воды струга холодной воды может создать естественные и свойственные данному климатическому району условия стимулирующие биологические существования в реке, воды которой используются для целей охлаждения. В виду этого следует учитывать выступающее в реках данного района найболее неблагоприятные естественные термические условия в качестве фактора лимитирующего размеры потребления воды для вышеуказанной цели. Обоснованность этого критерия была наидена опытным путем для ограниченного интервала отношения q/Q_o.

Необходимы дальнейшие исследования для подтверждения правильности этого заключения в более широком масштабе.

R é s u m é

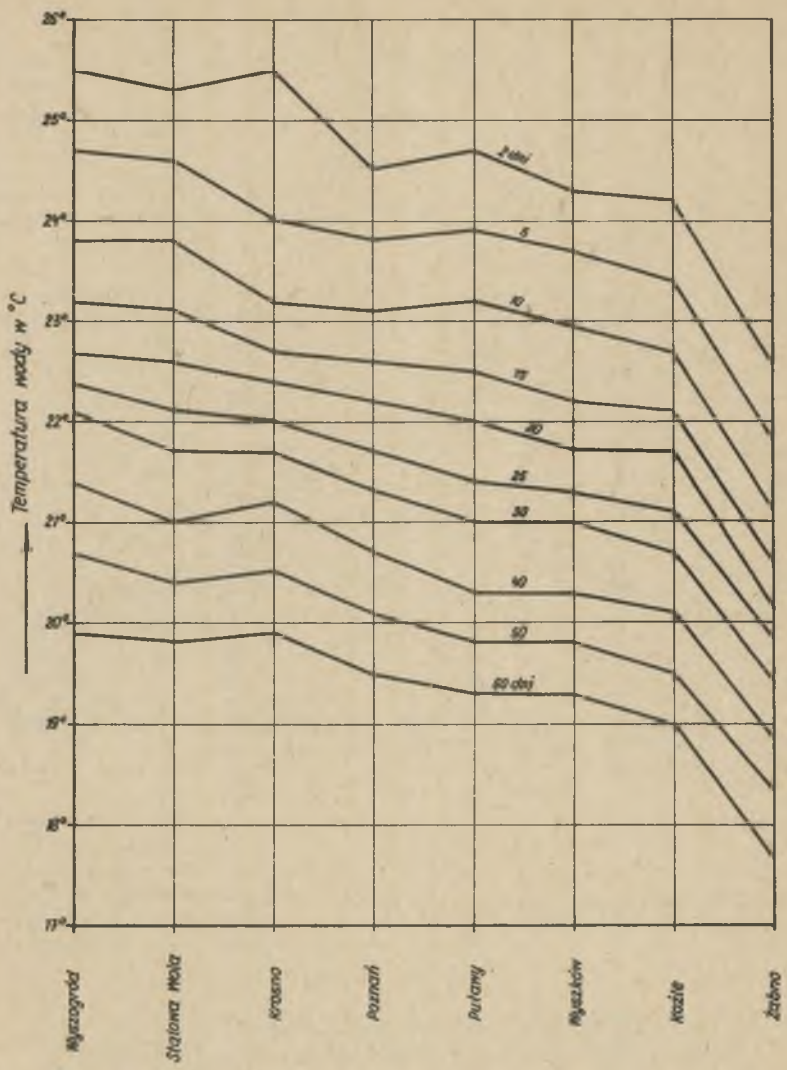
On propose une nouvelle solution pour déterminer les conditions de la prise d'eau des fleuves pour l'alimentation des circuits ouverts de la refrigération des condeuseurs. Cette solution est basée sur les observations effectuées dans quelques centrales types.

La méthode proposée est basée sur un phenomène d'une formation d'un jet d'eau froide auprés du jet d'eau chaude, produit dans le fleuve par le circuit de la réfrigération, peut assurer les conditions favorables pour la vie biologique dans le fleuve. On a admis les conditions thermiques du fleuve les plus défavorables comme limite de la prise d'eau. Les critéres mentionnés ont été verifiés pour certains rapports $\frac{q}{Q_0}$, ainsi que des recherches sont encore necéssaires pour les pouvoir verifier dans une étendue plus large.

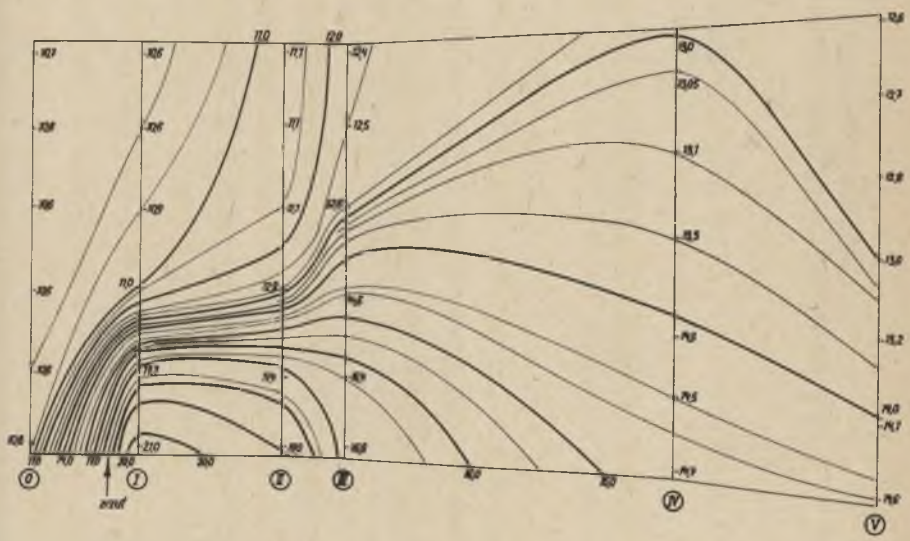


1. Średnia wieloletnia (14 lat) uporządkowana roczna krzywa czasów trwania temperatur wody wyższych od 20°C rzeki Warty (Poznań)
2. Uporządkowana roczna (1956) krzywa czasów trwania temperatur wody rzeki Warty (Poznań)
3. Uporządkowana wyrównana roczna (1956) krzywa czasów trwania temperatur wody rzeki Warty (Poznań)
4. Średnia wieloletnia (8 lat) uporządkowana roczna krzywa czasów trwania temperatur wody wyższych od 20°C rzeki Dunajec (Żabno)
5. Uporządkowana roczna (1956 r) krzywa czasów trwania temperatur wody rzeki Dunajec (Żabno)
6. Uporządkowana wyrównana roczna (1956 r) krzywa czasu trwania temperatur wody rzeki Dunajec (Żabno)

Rys. 1. Uporządkowane roczne charakterystyki termiczne wód Warty na wysokości Poznania i Dunajca na wysokości Żabna



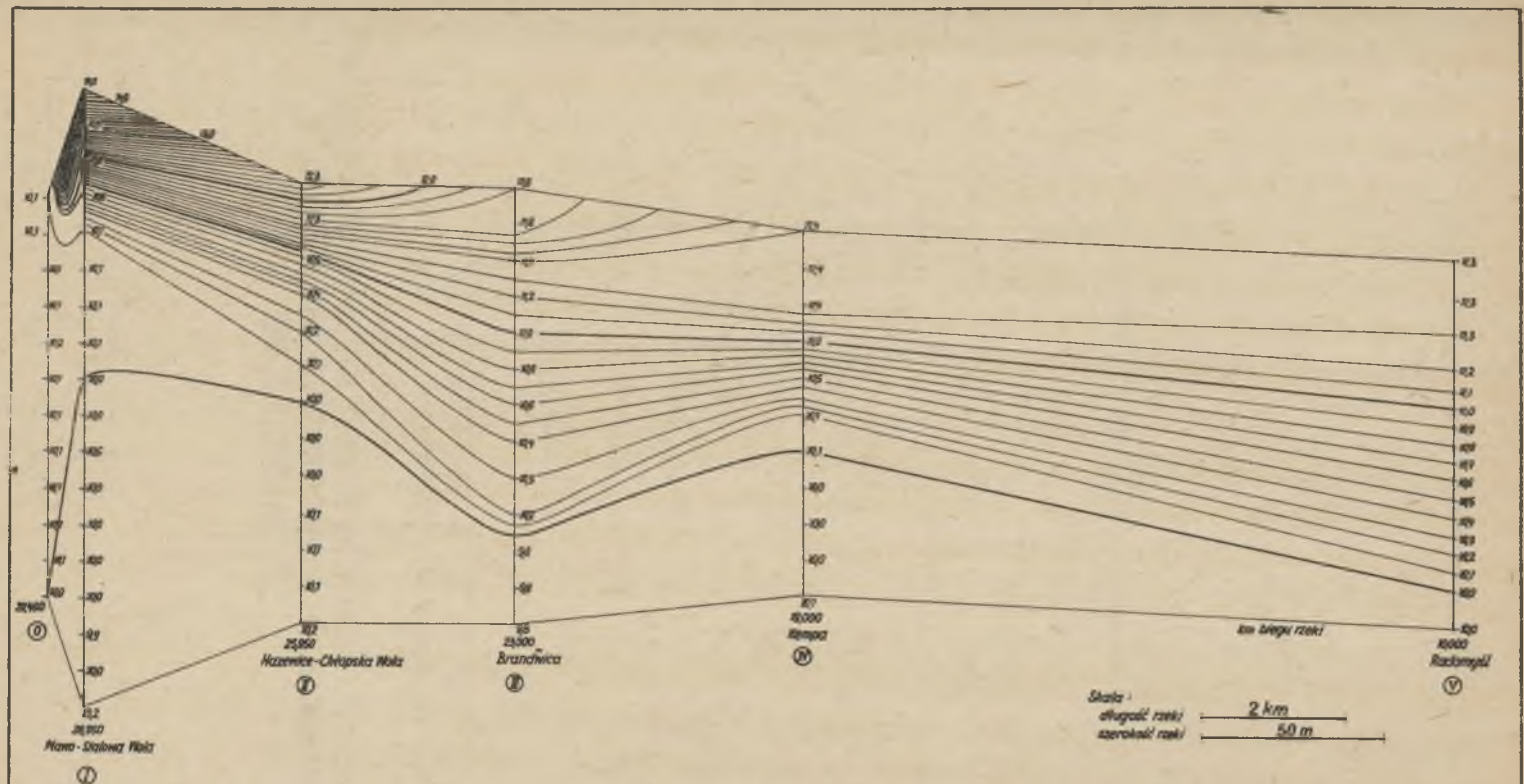
Rys. 2. Temperatury wody ważniejszych rzek o przeciętnym rocznym czasie trwania 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 i 60 dni (2)



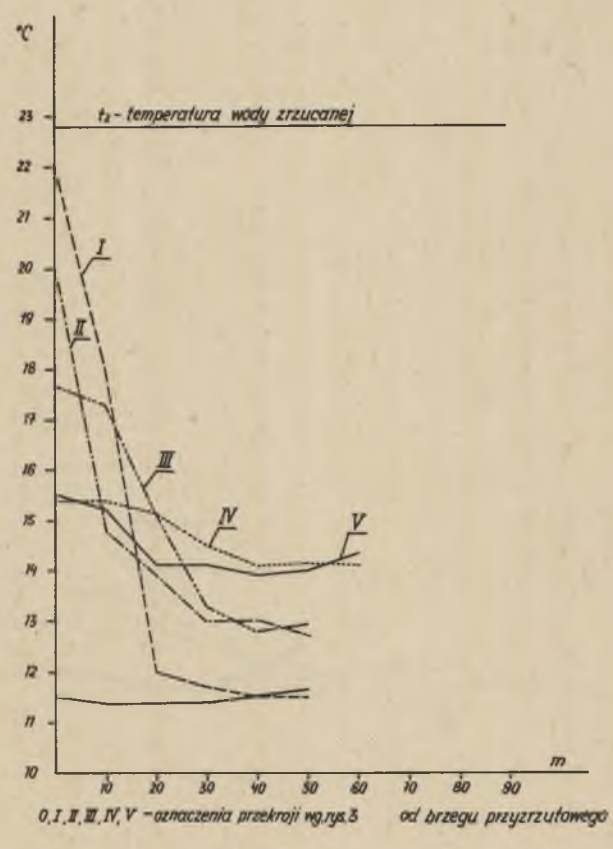
pkt. 0 1000 m powyżej zrzutu
pkt. I 0,3 km poniżej zrzutu
pkt. II 2,0 km poniżej zrzutu
pkt. III 3,5 km poniżej zrzutu (prom w Tyńcu)
pkt. IV 7,5 km poniżej zrzutu (Bielany)
pkt. V 10,0 km poniżej zrzutu (Bodzów)

Skala :
długość rzeki — 2 km
szerokość rzeki — 100 m

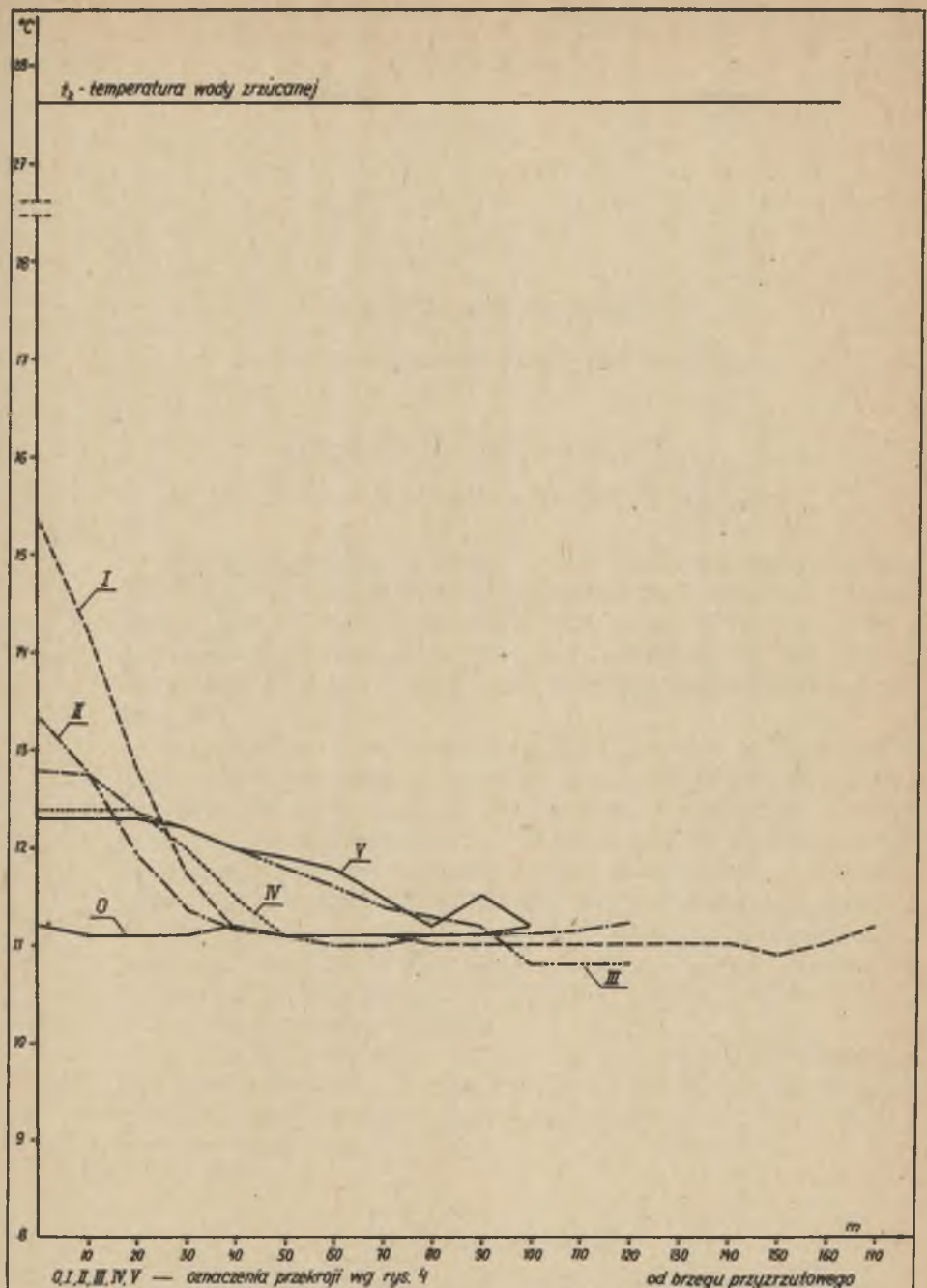
Rys. 3. Izotermy wody w Wiśle na odcinku od ujścia Skawinki do Bielan na podstawie pomiarów przeprowadzonych dn. 14. IV. 1960 r. o godz. 12 (6)



Rys. 4. Izotermy wody w Sanie na odcinku od Elektrowni Stalowa Wola do Radomyśla na podstawie pomiarów przeprowadzonych dn. 3.V.1960r godz. 13(6)



Rys. 5. Przebiegi temperatury wody w poprzecznych przekrojach Wisły na odcinku od Skawiny do Bielan na podstawie pomiarów przeprowadzonych dnia 14.IV.1960 o godz. 12.00



Rys.6. Przebiegi temperatur wody w poprzecznych przekrojach Sanu na odcinku od Stalowej Woli do Radomyśla na podstawie pomiarów przeprowadzonych dnia 3.V.1960r o godz. 13