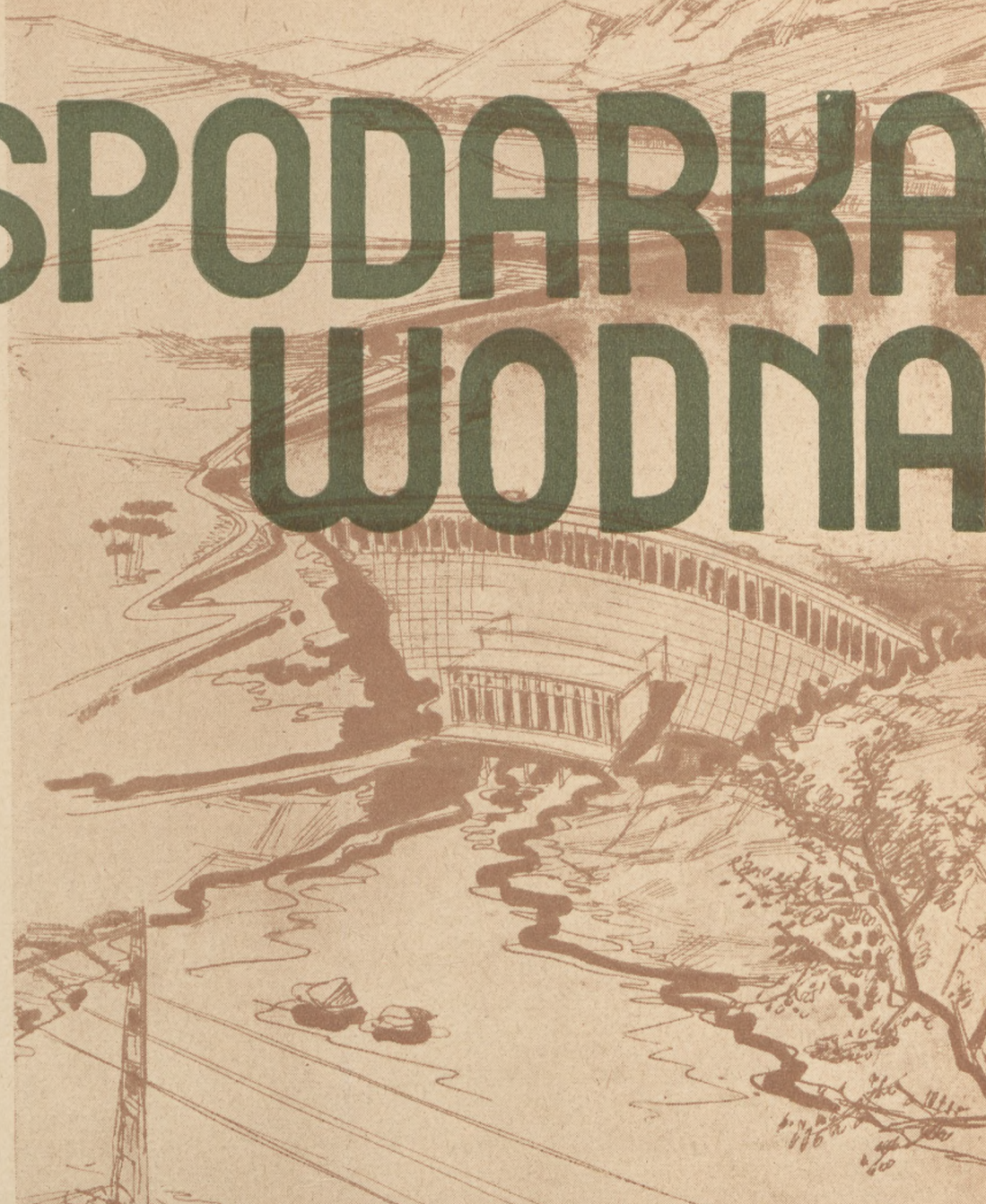


GOSPODARKA WODNA



ZESZYT POŚWIĘCONY ENERGETYCE WODNEJ

MIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM GOSPODARKI
I BUDOWNICTWA WODNEGO

ROK XII

WARSZAWA, LISTOPAD 1952 r.

Nr 11

WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

T R E Ś Ć

Od Redakcji	401
Inż. Bolesław Jaszczuk — W przededniu budowy wielkich obiektów hydroenergetycznych	404
Prof. inż. Wacław Balcerski — Zagadnienie energetyki wodnej w świetle integralnej gospodarki wodnej	404
Prof. dr inż. Edward Czetwertyński — Metody opracowania podstaw hydrologicznych dla gospodarki zbiornikowej	409
Inż. Kazimierz Kars — Studia techniczne i gospodarcze do budowy siłowni wodnych	415
Inż. Józef Waksman — Zadania „Energoprojektu“ w Dziale Siłowni Wodnych	417
Prof. inż. Zbigniew Żmigrodzki — Zagadnienia normalizacji i typizacji w projektach wodno-energetycznych	418
Inż. Władysław Krzyżanowski — O szybkobieżnych turbinach wodnych	419
Inż. arch. Andrzej Sierakowski — Zagadnienie architektury wodnych budowli inżynierskich	423
Inż. Kazimierz Dachowski — Dyspozycja mocy i racjonalna gospodarka wodna w elektrowniach wodnych systemu energetycznego	424
Inż. Bolesław Rudnicki — Racjonalna współpraca elektrowni wodnych i ciepłych w systemie energetycznym	434
PRZEGLĄD WYDAWNICTW	440

СОДЕРЖАНИЕ

S O M M A I R E

C O N T E N T S

От Редакции	Editorial	Editorial
На кануне стройки больших гидроэлектрических станций	A la veille de construction des grandes centrales hydroélectriques	On eve of the construction of great water power plants
Гидроэлектрические станции с точки зрения интегрального водного хозяйства	Problème de forces hydrauliques au point de vue d'aménagement hydraulique integral.	Water power plants from the point of view of integral water economy
Методы разработки гидрологических оснований для водного хозяйства на водохранилищах	Methodes d'elaboration de la base hydrologique pour l'aménagement des retenues d'eau	Methods of elaboration of hydrological basis of water management on water catchment reservoirs
Технические и экономические исследования в строительстве гидроэлектрических станций	Etudes techniques et économiques pour la construction des centrales hydroélectriques	Technical and economical studies for the construction of water power plants
Задания отдела гидроэлектрических станций Проектного Бюро „ЭНЕРГОПРОЕКТ“	Tâches de la Section des Centrales Hydrauliques du Bureau des Projets „Energoprojekt“	Tasks of the Section of water power plants of the Power Design Bureau
Вопросы нормализации и типизации в проектах гидроэлектрических станций	Problèmes de normalisation et de typisation dans des projets hydroenergetiques	Problems of standardization and typization of designs for the constructions of water power plants
Быстроходные водные турбины	Turbines hydrauliques à grande vitesse	High speed water turbines
Вопросы архитектуры гидротехнических сооружений	Problèmes d'architecture dans la construction des aménagements hydrauliques	Problem of architecture in the water engineering constructions
Распределение мощности и рациональное водное хозяйство гидроэлектрических станций	Disposition de puissance et exploitation rationnelle de l'eau dans les centrales hydrauliques	Disposition of power and reasonable water management in the water powers plants
Совместная работа гидроэлектрических и тепловых электростанций в общей энергетической системе	Collaboration rationnelle des usines hydroélectriques et thermiques dans un système energetique	Cooperation of water power and thermic power plants in one energetical scheme
Обзор печати	Revue des publications	Review of publications

GOSPODARKA WODNA

MIESIĘCZNIK

POŚWIĘCONY SPRAWOM GOSPODARKI I BUDOWNICTWA WODNEGO

ROK XII

WARSZAWA, LISTOPAD 1952 R.

Nr 11 (72)

OD REDAKCJI

Szybkie tempo rozwoju przemysłu i całej gospodarki narodowej w okresie Sześćciolecia, jak również dalsze zamierzenia zawarte w Programie Wyborczym Frontu Narodowego wymagać będą rozbudowy potężnej bazy energetycznej dla uwielokrotnienia dotychczasowej mocy i produkcji energii elektrycznej.

Przykłady radzieckie wskazują dobitnie, że przy rozbudowie wielkiej bazy energetycznej, opartej o różne źródła energii, i przy stwarzaniu jednolitego systemu energetycznego kraju należy się opierać o rozbudowę zakładów o sile wodnej.

Wylaniające się zatem coraz silniej szerokie perspektywy wykorzystania zasobów sił wodnych oraz wzgląd na konieczność oparcia planu elektryfikacji kraju na właściwych przesłankach ekonomiczno-technicznych skłaniają Redakcję do poruszenia tego tematu w szerszej niż dotychczas płaszczyźnie i w skali odpowiadającej wielkości zagadnienia.

Z drugiej strony, dokonywujący się rewolucyjny przełom w hydrotechnice, który od małych i wąskich zagadnień budowlanych przenosi ją w sferę wielkich budowli, potężnych ogniw nie tylko kompleksowo ujętej gospodarki wodnej lecz i całej gospodarki na rodowej, nakłada na nas obowiązek ciągłego precyzowania problematyki wodnej i tworzenia zarysu profilu techniczno-ekonomicznego na każdym jej odcinku.

* * *

Hydroenergetyka w okresie przedwojennym nie stanowiła w Polsce samodzielnego działu gospodarki wodnej.

Zagadnienia wodno-energetyczne były jeszcze do niedawna rozpatrywane wyłącznie przy okazji projektów rozbudowy sieci dróg wodnych i w dość ścisłym o nie oparciu. Własnej koncepcji jakiegokolwiek planu budowy siłowni wodnych nie stworzono. Stan ten częściowo można usprawiedliwić zupełnym brakiem zainteresowania dla spraw wyzyskania sił wodnych Polski przez rządy z okresu międzywojennego; nawet rozpoczęta w 1936 r. budowa Rożnowa miała w pierwszym rzędzie na celu ochronę przeciwpowodziową. Brak obliczonych zasobów wodno-energetycznych w kraju nie mógł oczywiście przyczyniać się do przełamania bierności i do powstania racjonalnej koncepcji w tym dziale gospodarki wodnej. Konieczność zgrania produkcji energii cieplnej z wodną natrafiała już w próbach ustalenia pewnej współpracy na bardzo duże trudności ze strony przedstawicieli zagranicznego i rodzimego kapitału węglowego, wrogo nastawionego do wielkich racjonalnych koncepcji wyzyskania sił wodnych w kraju.

Dopiero w Polsce Ludowej powstały warunki do roztoczenia większej opieki nad problemem wodno-energetycznym, a w obecnym etapie drogi do socjalizmu możemy już i musimy stworzyć plan wyzyskania sił wodnych w Polsce. Plan ten musi być oczywiście oparty na obliczonych uprzednio zasobach wodnych oraz na bilansach wodnych, uwzględniających w sposób kompleksowy potrzeby innych dziedzin gospodarki narodowej, jak przemysł, rolnictwo, transport i inne.

* * *

Racjonalne ustawienie zagadnienia hydroenergetyki w Polsce jest dość trudne. Stoją temu na przeszkodzie nikielne jeszcze studia techniczne i ekonomiczne z poprzednich okresów, oraz brak szeregów niezbędnych wskaźników i opracowań. Wobec skromnych zasobów wodnych i wielkiego zapotrzebowania wody przez różne dziedziny gospodarki narodowej zagadnienie to wymaga wnikliwej analizy.

Wiemy, że hydroenergetyka, mająca oprócz technicznego b. silne podłoże ekonomiczne, jest zagadnieniem zarówno gospodarki wodnej, jak też energetycznym i ogólnogospodarczym kraju.

Ta jej złożoność utrudnia rozwiązanie problemu.

Musimy zdać sobie sprawę, że nieskoordynowanie wylaniających się obecnie wielkich potrzeb rolnictwa z gospodarką wodno-energetyczną może mieć przykre następstwa. Skomplikować to może w najbliższej przyszłości założenia eksploatacyjne urządzeń hydrotechnicznych, między innymi w powstałych zakładach wodno-energetycznych.

Nie tylko zresztą zagadnienie gospodarki wodnej w rolnictwie komplikuje sprawę. Wstępna i zupełnie pobieżna analiza obecnego rozwoju gospodarczego Polski pozwala na stwierdzenie, że i inne czołowe gałęzie naszej gospodarki narodowej sięgają coraz wyraźniej i coraz kłopotliwiej po duże ilości wody. Zachodzi pytanie, jakie przyjąć wskaźniki rozdziału wody, aby nie popełniać błędów? Droga prowadząca do odpowiedzi jest dość długa. Nie możemy zapominać, że prowadzi ona przez żmudne prace nad bilansem wodnym i przez docieklive studia ekonomiczno-techniczne.

Jednak już dziś, bez dłuższej analizy, możemy powiedzieć, że gospodarka wodna w tych rejonach, gdzie nie ma deficytu wodnego, dawać musi pierwszeństwo hydroenergetyce, z uwzględnieniem zasad zmiany bilansu wodnego na skutek intensyfikacji rolnej. Z drugiej strony, hydroenergetyka na obszarach deficytowych w wodę powinna nagiąć swoją gospodarkę do potrzeb pozostałych dziedzin gospodarki narodowej.

W tych więc warunkach, nie mając bliżej opracowanej bazy wyjściowej, musimy dla pokonania trudności jak najszybciej uporządkować zagadnienie, jak najszybciej wywalczyć plan perspektywiczny gospodarki wodnej oraz plan wykorzystania sił wodnych i plan sprzęgnięcia energetyki wodnej z energetyką cieplną. Wiemy, że w pierwszym okresie uprzemysłowienia kraju rozbudowa elektrowni cieplnych musiała pójść daleko naprzód, pozostawiając w tyle energetykę wodną.

Dziś trzeba będzie dokonać wielkiego wysiłku inwestycyjnego, aby planowo zgrać zarówno bieżąco, jak i w przyszłości produkcję energii cieplnej z wodną. Dla łatwego poruszania się w tym zagadnieniu potrzebne są wyraźne kryteria. Czeką nas zatem opracowanie odpowiednich wskaźników współpracy energii cieplnej z wodną, wskaźników dostosowanych do naszych warunków surowcowych, wodnych, ekono-

micznych i technicznych. Już dziś możemy powiedzieć, że osiągnięcie w pierwszej fazie właściwego stosunku produkcji energii wodnej do całkowitej, tj. sześć do dziesięciu procent, a w przyszłości — o ile na to pozwolą zasoby wodne — nieskrępowana możliwość powiększenia tego stosunku w granicach uzasadnionych ekonomicznie będą stanowiły główne wytyczne zagadnienia.

Analizując dalej zagadnienie, widzimy, że w dziedzinie wyzyskania sił wodnych istnieje problem dużej energetyki i małej. Jeden wiąże się z koniecznością stworzenia potężnego systemu energetycznego w kraju, tak niezbędnego dla zabezpieczenia dalszego rozwoju przemysłu, drugi — z rozwojem rolnictwa i warunków bytowo-cywilizacyjnych oraz produkcyjnych uspołeczniowanych gospodarstw rolnych. W zagadnieniach małej energetyki brak jest wyraźnej wypowiedzi zarówno co do strony ekonomicznej, jak i technicznej zagadnienia w odniesieniu do naszych warunków wodno-gospodarczych. Nie wydały jeszcze miarodajnej opinii ani czynniki energetyczne, ani ekonomiczne, ani też instytucje kierujące gospodarką wodną. Tymczasem zagadnieniem tym należałoby się zająć z różnych względów, a między innymi z tytułu wymogów planowej gospodarki wodnej.

Musimy bowiem zawczasu przewidzieć wpływ małych elektrowni wodnych na gospodarkę wodną dużych cieków. Musimy również zdać sobie sprawę, że bez ekonomiczno-technicznego rozpoznania zagadnienie to może być narażone w dużym stopniu na pomijanie. Brak tu bowiem zewnętrznych bodźców przyspieszających realizację, jakimi są np. drogi wodne dla powstawania hydroelektrowni na dużych ciekach.

Techniczna strona hydroenergetyki nie należy również do prostych. Trzeba zdać sobie sprawę, że istnieje w tym zakresie duża ilość rozwiązań technicznych, często przypadkowych. Wiemy, że pokutuje jeszcze w świecie hydrotechnicznym dążność do rozwiązywania zagadnień z punktu widzenia interesów jednego resortu. Należy również brać pod uwagę, że eliminacja wielkiej ilości wariantów odbywać się może tylko przy kompleksowym rozpatrywaniu zagadnień, przy pełnym pogłębianiu studiów i przy szerokiej podbudowie naukowo-badawczej. Wiemy na przykład, że bez opracowanych bilansów wodnych możemy popełnić mniejsze lub większe błędy, paraliżujące przyszły rozwój gospodarki wodnej i gospodarki narodowej kraju.

U podstaw zagadnienia hydroenergetyki czekają również na opracowanie kryteria i wskaźniki gospodarki wodnej na zbiornikach zarówno w ramach pojedynczego zbiornika, jak i w szerszym ujęciu. Musimy jak najszybciej stworzyć zasady gospodarowania wodą na zbiornikach i teorii regulowania na nich przepływów. Bez tego nie może być mowy o kompleksowym rozwiązywaniu zagadnień gospodarki wodnej.

Już tych kilka przykładów wskazuje, na jak wielkie trudności natrafiamy w punkcie wyjściowym przy stawianiu zagadnienia. Widzimy, że wiele elementów nie zostało jeszcze wystarczająco opracowanych i naświetlonych, nie ma jeszcze dostatecznie mocnej bazy wyjściowej w tym zakresie. Ekonomiczna strona wymaga pełniejszego naświetlenia zagadnienia na wielu odcinkach. Strona techniczna swą ilością rozwiązań, nie zawsze opartych o podbudowę naukową i właściwe wskaźniki techniczne, gmatwa problem i czyni go mało przejrzystym.

Mając to na uwadze, pragniemy w numerze tym zapoczątkować pracę, zmierzającą do pełnego naświetlenia przekroju poprzecznego zagadnienia. Musimy wszyscy dążyć, aby luki myślowe i braki w ujęciu integralnym problemu jak najspieszniej były naświetlane przez właściwych ekonomistów, energetyków i hydroenergetyków.

W ten sposób czasopismo nasze — przez mobilizowanie tych, którzy najwięcej posiadają wiedzy w zagadnieniach energetycznych — przyspieszy proces planowania i realizacji rozbudowy hydroenergetyki w Polsce. Nie możemy zapominać, że na racjonalne wykorzystanie sił wodnych w kraju czeka niecierpliwie cała gospodarka narodowa.

* * *

Na przestrzeni ostatnich lat od wznowienia po wojnie, wydawnictwo poświęcało zagadnieniom energetyki wodnej dość dużo miejsca.

Tematyka artykułów była różnorodna, uwzględniająca w miarę możliwości aktualne zagadnienia energetyki wodnej. Dotyczyła więc ona w pierwszym rzędzie spraw planowania zarówno perspektywicznego, jak i Planu 6-letniego. Z tej dziedziny ukazały się artykuły: „Wyzyskanie sił wodnych Wisty”, „Możliwości wykorzystania Odry dla celów energetycznych”, „Zagadnienie siłowni wodnych w Polsce”, „Wykorzystanie energii wodnej”, „Zagadnienie zbiorników w dorzeczu górnej Wisty”, wreszcie „Energetyka wodna w Planie 6-letnim”. Przechodząc w dalszym ciągu od tematów ogólnych do bardziej szczegółowych, spotykamy w ubiegłych latach artykuły: „Elektrownie wodne”, „Szczytowo-pompowe siłownie wodne”, „Zasady obliczania zasobów wodno-energetycznych”, „Projektowanie nowoczesnych siłowni wodnych”, „Ogólne zasady projektowania siłowni wodnych”, „Zasady sporządzania dokumentacji technicznej dla siłowni wodnych”, „Projektowanie zbiorników wieloletniego wyrównania”, „Wytyczne i przykłady przebudowy istniejących siłowni wodnych”, „Zbiorniki w dorzeczu Odry”, „Uwagi o planowaniu produkcji siłowni wodnych na zbiornikach”, „Nadzór techniczny nad ekonomiczną eksploatacją siłowni wodnych”, „Równowaga pracy równoległej i regulacja generatorów siłowni wodnych”, „Cena za wyprodukowaną energię w zakładach wodno-elektrycznych”, „O zmniejszenie kosztów budowy siłowni wodnych”.

Ponadto zamieszczono szereg artykułów dotyczących gospodarki wodnej na zbiornikach, wiążących się ściśle z energetyką wodną.

Wyliczenie zamieszczonych dotychczas artykułów w czasopiśmie z tego zakresu wskazuje, że zagadnienie hydroenergetyki stale nurtuje wśród świata technicznego, jednak — jak wspomniano na wstępie — chwila obecna nakazuje poruszenie tego zagadnienia w szerszej niż dotychczas płaszczyźnie i z uwzględnieniem postępu technicznego.

W niniejszym zeszycie miały być zamieszczone artykuły, które — zgodnie z programem zakreślonym na naradzie wytwórczej z autorami — przedstawiałyby możliwie pełny aktualny przekrój zagadnień energetyki wodnej w Polsce.

Nie wszystkie ustalone programem artykuły zdołaliśmy otrzymać. Jednak zamieszczone materiały dotyczą najważniejszych bodaj zagadnień z zakresu energetyki wodnej i mogą być uważane za zapoczątkowanie szerokiej dyskusji na łamach czasopisma.

Spróbujmy teraz scharakteryzować zamieszczone artykuły.

Słowo wstępne Ministra Energetyki podkreśla doniosłość problemu hydroenergetycznego w Planie 6-letnim i w następnym 5-letnim planie.

Prof. Balcerski w pracy „Zagadnienie energetyki wodnej w świetle integralnej gospodarki wodnej” naświetla styczność interesów energetyki z interesami gospodarki wodnej, uwypukla kolizje, jakie przy tym mogą powstać między różnymi działami gospodarki, wskazuje drogę ich uniknięcia i wreszcie omawia sprawę podziału kosztów pomiędzy inwestorów przy inwestycjach służących jednocześnie kilku celom.

Autor wskazuje między innymi na potrzebę budowy wielkich zbiorników retencyjnych, które powinny zawierać o ile możliwości pełne pojemności zbiorników energetycznych i przeciwpowodziowych, aby przy założeniu niepewności prognoz złagodzić trudności, wynikające ze sprzecznych interesów tych dwóch

działów gospodarki wodnej. Uważając stanowisko prof. Balcerskiego o potrzebie budowy odpowiednio dużych zbiorników za słuszne, nie przekreślamy jednak potrzeby dążności do dobrych prognoz dla usprawnienia gospodarki wodą na zbiornikach.

Prof. Balcerski wysuwa ogólną tezę, że istniejące sprzeczności w gospodarce wodnej na zbiornikach dadzą się pogodzić w systemie socjalistycznej gospodarki planowej, w przeciwieństwie do gospodarki bezplanowej — kapitalistycznej.

Następny artykuł prof. Czetwertyńskiego pt. „Metody opracowania podstaw hydrologicznych dla gospodarki zbiornikowej” podkreśla złożoność gospodarki wodnej na zbiornikach i omawia gospodarkę jednego zbiornika, przeznaczonego dla jednego celu. Wobec niedostateczności prognoz zaleca opracowanie instrukcji gospodarki wodnej, przy tym podaje przykłady rozwiązania tego zagadnienia dla żeglugi, dla produkcji energii elektrycznej i dla celów przeciwpowodziowych.

Autor podkreśla w tym artykule (analogicznie do prof. Balcerskiego), że liczyć się należy tylko z częściowym wyzyskaniem zbiornika, a nie z optymalnymi możliwościami, gdyż brak jest długoterminowych i pewnych prognoz. Zaleca przy tym opracowanie klucza, który by ułatwiał decyzję kierownictwa zbiornika w dysponowaniu odpływem. Aby dojść do tego klucza, należy zawile problemy rozłożyć na prostsze elementy. Należy brać pod uwagę typy zbiorników i dla każdego typu zbiornika osobno opracować zagadnienia hydrologiczne i osobno gospodarcze. Dopiero po tym można będzie dojść do syntezy, jakim potrzebom dać pierwszeństwo na zbiorniku, służącym różnym celom.

Inż. Kars w artykule „Studia techniczne i gospodarcze do budowy siłowni wodnych”, omawia studia hydrologiczne, geologiczne i hydrogeologiczne, studia topograficzne, gospodarcze oraz koszty budowy, rentowność i amortyzację nakładów.

Artykuł inż. Karsa szczegółowo wymienia liczne czynniki, które muszą być wzięte pod uwagę przy studiach ekonomicznych do projektu zakładów i zbiorników, a których ważność podkreśla również następny artykuł inż. Waksmana. Nasuwa się tu myśl, że skomplikowane te zagadnienia należy rozwiązywać zgodnie ze wskazaniem prof. Czetwertyńskiego, rozpatrując najpierw każdy czynnik z osobna, a następnie opracowywać odpowiednie wskaźniki opłacalności. Tak rozpracowane poszczególne fragmenty zagadnienia przyczynić się mogą do ułatwienia decyzji wyboru danej siłowni wodnej przy planowaniu i projektowaniu.

Ponadto tak ujęte rozważania ekonomiczności siłowni wodnych nadają się do ich przedstawienia w osobnych artykułach, które mogłyby być zamieszczone w dalszych numerach czasopisma.

Artykuł inż. Waksmana pt. „Zadania „Energoprojektu” w Dziale Siłowni Wodnych”, podkreślając ważność opracowywania dokumentacji technicznej i potrzebę uzupełnienia brakujących kadr projektowych, zwraca uwagę na pogłębienie 3 zasadniczych cech projektowania, którymi są:

- solidna podstawa badawcza,
- kompleksowość,
- ekonomika.

Są to podstawowe cechy projektowania w dziedzinie gospodarki wodnej i należy je uznać dzisiaj jako szczególnie aktualne.

Następnie prof. Żmigrodzki w artykule pt. „Zagadnienia normalizacji i typizacji w projektach wodno-energetycznych” nawiązuje do planu prac Polskiej Akademii Nauk, omawia cel tematu, którym jest skrócenie czasu pracy projektanta oraz uzyskanie oszczędności w budowie, przy tym ilustruje to na przykładzie jednego z wariantów projektu kanalizacji Bugu. Autor w swym zwięzłym a bardzo wnikliwym artykule wskazał na zagadnienie, które musi być brane pod uwagę przy każdym projekcie.

Inż. Krzyżanowski w artykule „O szybkobieżnych turbinach wodnych” omawia:

- współczynniki szybkobieżności turbin wodnych,
- rozwój turbin osiągnięty dzięki badaniom laboratoryjnym,
- przejście do wyższych spadów,
- moce jednostek hydromotorycznych i

— możliwości rozwojowe w budowie turbin szybkobieżnych. W ten sposób autor naświetla w sposób przejrzysty zagadnienie wyboru właściwego typu turbiny dla danej siłowni wodnej.

Art. inż. Sierakowskiego pt. „Zagadnienie architektury wodnych budowli inżynierskich” podkreśla, że w ręku państwa socjalistycznego istnieje możliwość nadania pięknej formy budowlom przemysłowym i zwraca uwagę na bardzo ścisły związek architektury i inżynierii wodnej. Wielkie budowle energetyczne, jak zapory wodne, przez wielkość założeń, usytuowanie w terenie i monumentalność odgrywają bardzo ważną rolę w kształtowaniu krajobrazu, gdzie człowiek instynktownie szuka piękna i przez to uzasadniają konieczność nadania im pięknej formy, nie tylko w zakresie samej budowli zasadniczej, ale i wszystkich urządzeń otoczenia.

Z zakresu eksploatacji siłowni wodnych uzyskano 2 artykuły: inż. Dachowskiego „Dyspozycja mocy i racjonalna gospodarka wodna w elektrowniach wodnych systemu energetycznego” oraz inż. Rudnickiego pt. „Racjonalna współpraca elektrowni wodnych i ciepłych w systemie energetycznym”.

Art. inż. Dachowskiego zawiera na wstępie kalkulację ekonomiczną dostarczania 1 kWh i podaje definicję dyspozycji mocy, po czym omawia zadania dyspozycji mocy i ponadto zagadnienia: ochrony przeciwpowodziowej, żeglugi śródlądowej i produkcji energii elektrycznej w siłowniach wodnych, podkreślając przy tym, jak ważne jest w pracy dyspozytora kompleksowe podejście do zagadnienia. Przy omawianiu gospodarki hydroenergetycznej autor porusza:

- pracę elektrowni wodnej niezależnej i
- pracę elektrowni wodnej w systemie.

Chociaż zagadnienia te były już częściowo poruszane w „Gospodarce Wodnej”, to jednak artykuł inż. Dachowskiego zasadniczo pogłębia ten przedmiot, gdyż zawiera konkretne dane odnośnie wartości wody w różnych warunkach dla elektrowni, co pozwala orientować się nie tylko w potrzebach energetycznych, ale również w jakich warunkach przeważa opłacalność dysponowania wodą dla innych celów.

Artykuł inż. Rudnickiego o współpracy siłowni wodnych i ciepłych jest uzupełnieniem w innym ujęciu poprzedniego artykułu. W treści artykułu autor podkreśla, że elektrownie wodne nie odgrywają roli decydującej, gdyż energetyka zawsze będzie bazowała na elektrowniach ciepłych, jednak elektrownie wodne w jednolitym systemie energetycznym przyczyniają się w sposób zasadniczy i bardzo poważny do osiągnięcia sprawniejszej eksploatacji całego systemu, czego nie są w stanie osiągnąć same elektrownie ciepłe.

Po omówieniu roli elektrowni wodnych w systemie energetycznym autor porusza rozbić energii siłowni wodnej na energię gwarantowaną i związaną, przy tym zastanawia się nad warunkami opłacalności budowy elektrowni wodnej dla danego systemu i twierdzi, że elektrownia wodna gwarantująca pokrycie szczytów w grudniu staje się siłownią wypie rającą elektrownię ciepłą z planu inwestycyjnego

systemu energetycznego, a posiadająca moc związaną stałe się siłownią zastępującą energię elektrowni cieplnej.

Z kolei autor rozpatruje bilans mocy systemu i dochodzi do wniosku, że zadaniem dyspozytora jest tak zaplanować moce osiągane, aby pokryć obciążenia dobowe w okresie remontów, zachowując rezerwy i wykorzystując elektrownie wodne dla maksymalnego zaoszczędzenia paliwa w elektrowniach cieplnych.

Reasumując omówienie zamieszczonych artykułów, Redakcja podkreśla, że dają one szereg wskazań zarówno w planowaniu, projektowaniu, wykonawstwie jak i eksploatacji. Treść tych artykułów może ułatwić praktyczne rozwiązanie skomplikowanych problemów gospodarowania wodą na zbiornikach i należytą współpracę elektrowni wodnych i cieplnych.

Oddając ten numer do druku uważamy, że będzie on stanowił zapoczątkowanie naszej akcji publicystycznej na temat energetyki wodnej w Polsce i zagadnień z nią związanych.

Wierzimy, że w omówieniu wielu jeszcze niedostatecznie naświetlonych problemów ekonomiczno-technicznych z zakresu hydroenergetyki, wymagających aktualnego ujęcia, weźmie w pełni udział świat polskich hydroenergetyków, hydrotechników i ekonomistów.

Wierzimy, że w przededniu wielkich prac wodno-energetycznych następnego pięciolecia nie zabraknie nikogo, kto by swych doświadczeń, spostrzeżeń i wniosków nie przekazał tą drogą dla wszechstronnego przygotowania zagadnienia i realizacji prac w tym zakresie.

Inż. BOLESŁAW JASZCZUK

Minister Energetyki

W przededniu budowy wielkich obiektów hydroenergetycznych

Wydanie przez czasopismo „Gospodarka Wodna” numeru poświęconego problemom wykorzystania wodnych zasobów energetycznych i budowy elektrowni wodnych należy uznać za bardzo celowe i pożyteczne.

Poważny rozwój energetyki realizowany w Planie 6-letnim i wielkie perspektywy następnego planu 5-letniego przewidują coraz większy udział hydroenergetyki w gospodarce narodowej.

Ukończona została w tym roku największa i najbardziej nowoczesna elektrownia wodna imienia Ludwika Waryńskiego w Dychowie. Opracowuje się założenie potężnej elektrowni w Czorsztynie. W latach 1955 — 1960 moc zainstalowana w elektrowniach wodnych wzrosła przeszło 40 razy w stosunku do roku 1938.

Tak potężny rozwój energetyki wodnej możliwy jest tylko w gospodarce socjalistycznej. Tylko ona bowiem gwarantuje planowe i kompleksowe wykorzystanie zasobów wodnych, stwarza możliwości wielkiej mechanizacji robót, pobudza naukę i technikę do opanowania trudnych problemów wielkich budów wodnych.

W okresie Polski sanacyjnej, w okresie zacofanej techniki, dławionej myśli technicznej i naukowej, odciętych od przodującej nauki i techniki radzieckiej, energetyczne budowlne wodne ciągnęły się długimi latami. W elektrowni wodnej w Porąbce, o niewielkiej mocy, w ciągu 14 lat potrafiiono wykonać tylko zaporę wodną. W ciągu 20 lat zainstalowano w elektrowniach wodnych zaledwie 10 000 kW. Były to elektrownie o małej mocy, nie mające większego znaczenia gospodarczego. Do roku 1939 były tylko 4 elektrownie o mocy powyżej 1000 kW.

Na kompleksowe wykorzystanie zasobów wodnych nie zwracano zupełnie uwagi.

Dopiero Polska Ludowa stworzyła warunki rozwoju hydroenergetyki i postawiła zadanie planowego i kom-

pleksowego wykorzystania zasobów wodnych naszych rzek. Tu bowiem spotykają się i wzajemnie zająbiają interesy energetyki, żeglugi i rolnictwa, tworząc jedną całość i narzucając kompleksowe i najbardziej gospodarczo uzasadnione rozwiązanie. Kompleksowe rozwiązanie stawia przed zainteresowanymi dziedzinami naukowymi i technicznymi nowe problemy i zająbia te dziedziny ściślej między sobą. W opanowaniu tych problemów nauka i technika polska coraz pewniej korzystają z bogatych doświadczeń i wielkich zdobyczy radzieckiej nauki i techniki, służących wspaniałym budowlom komunizmu i szczytnemu celowi przeobrażenia przyrody.

Rzecz naszemu przemysłowi, naszej nauce i technice, braterska pomoc wielkiego kraju Rad, pozwalają nam przystąpić do wykorzystania górnego biegu Wisły i budowy drogi wodnej Wisła — Bug, związanych z budową siłowni wodnych.

Obok tych potężnych elektrowni wodnych, zmieniających zasadniczo udział energetyki wodnej w ogólnej produkcji energii elektrycznej i będących składową częścią wielkiego i kompleksowego rozwiązania, rozwijać się winny małe elektrownie wodne o lokalnym znaczeniu, odciażające energetykę od poważnych nakładów na urządzenia przesyłowe i rozdzielcze. Tzw. „mała energetyka” wodna może się harmonijnie rozwijać obok wielkiej energetyki i być jej uzupełnieniem. Wydaje się koniecznym zwrócić na to uwagę, ponieważ często zapomina się o miejscowych zasobach hydroenergetycznych, których wykorzystanie może mieć wpływ na rozwój rejonu, w którym te zasoby wodne występują.

Wielkość zadań, stojących przed projektantami i budowniczymi obiektów hydroenergetycznych wymaga rozwiązania szeregu nowych problemów. Pomocą w tym kierunku będzie obecny numer „Gospodarki Wodnej” i inne publikacje naukowo-techniczne.

PROF. INŻ. WACŁAW BALCERSKI

Politechnika Gdańska

Zagadnienie energetyki wodnej w świetle integralnej gospodarki wodnej

W najogólniejszym ujęciu zagadnień gospodarki wodnej możemy rozpatrywać wodę jako czynnik bądź pozytywny, o ile jest ona pożyteczna i da się wykorzystać dla celów gospodarczych, bądź jako czynnik negatywny, jeśli jej charakter lub nadmiar wywołuje szkody gospodarcze. Rozważanie tego dwojakiego aspektu zagadnień gospodarki wodnej prowadzi do sformułowania najogólniejszej tezy, że zadaniem gos-

podarki wodnej powinno być zredukowanie do minimum szkód, jakie woda wyrządza lub jest w stanie wyrządzić.

W bilansie szkód, wyrządzanych przez wodę, musimy wymienić przede wszystkim zjawiska, związane z nadmierną koncentracją opadów w pewnym czasie w pewnych rejonach kraju. Na obszarach płaskich i nizinnych prowadzi do długotrwałych zabagnień

i roztopów, zaś w terenach górzystych i pagórkowatych do gwałtownych wezbrań rzek i potoków, pociągających za sobą zalewy gruntów uprawnych i osiedli, zerwanie mostów, zniszczenie dróg komunikacyjnych itp. Innym przykładem szkodliwego działania wody w gospodarce może być działanie destrukcyjne wód zanieczyszczonych chemicznie, czy to w sposób naturalny czy też przez ścieki miejskie lub przemysłowe. Silnie zanieczyszczone wody muszą być eliminowane z większości zastosowań użytkowych, ponadto niszczą rybostan i działają korozyjnie na wszystkie obiekty, mające z tą wodą kontakt; wreszcie obniżają stan higieny i zdrowotności rejonów, przez które przepływają.

Jeśli chodzi o pożytki, jakie człowiek czerpie z wody, to wymienimy tu przede wszystkim rolnictwo, rybactwo oraz zaopatrzenie w wodę osiedli i przemysłu.

Do tych najbardziej naturalnych dziedzin wykorzystania wody przez człowieka dołączyło się z czasem, w miarę rozwoju techniki, wyzyskanie wód płynących jako arterii komunikacyjnych i wreszcie stosunkowo najmlodsza gałąź techniki — energetyka wodna.

Jako uboczne i stosunkowo mniej ważne dziedziny wykorzystania wód przez człowieka wymienimy wreszcie turystykę i sporty wodne.

Jak wynika z powyższego zestawienia, istnieje wiele dziedzin, na które sprawy gospodarki wodnej mają przemożny wpływ, czy to w sensie negatywnym czy też pozytywnym. Jednakże możliwości i sposób oceny tego wpływu są w różnych dziedzinach różnorodne. Gdy jedne inwestycje dadzą się sklasyfikować jako bezpośrednio rentowne, przy czym rentowność ta jest łatwa do uchwycenia — to inne służą celom ogólnym, których rentowność ukryta jest w dobrobycie społeczeństwa, traktowanego jako całość.

Jako przykład pierwszego typu inwestycji wymienić można np. melioracje szczególnych, odwodnienia lub nawodnienia niewielkich terenów, stanowiących jednolitą całość gospodarczą. Zyski w planach dadzą się tu łatwo skonfrontować z wysokością nakładów inwestycyjnych. Prowadzi to z kolei do jasnego obrazu rentowności zamierzenia i decyduje o jego wykonaniu lub niewykonaniu.

Podobnie sprawa przedstawiać się może z żegluga, a przede wszystkim z energetyką wodną. Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej, porównane z wysokością nakładów inwestycyjnych i kosztów utrzymania oraz ruchu pozwalają za góry, niemal bez najmniejszego ryzyka, sklasyfikować rentowność inwestycji, zaś w odniesieniu do kilku analogicznych inwestycji ustalić również hierarchię rentowności i celowej kolejności budowy.

W odróżnieniu od przykładów powyższych istnieje wiele takich dziedzin, gdzie rentowność pozostaje ukryta w formie zysku społecznego, przeważnie nie dającego się wyeliminować i ująć w formę opłat tak bezspornych jak np. opłaty za 1 kWh energii elektrycznej. Przykładowo wymienimy tu inwestycje takie, jak wielkie melioracje podstawowe, budowę zbiorników przeciwpowodziowych, ochronę wód przed zanieczyszczeniem, dostosowanie wód do potrzeb masowego sportu i turystyki itp.

W takim ujęciu zagadnień gospodarki wodnej nie trudno zrozumieć, że w ustroju kapitalistyczno-liberalnym dominować muszą w całości gospodarki wodnej te jej dziedziny, które zaliczamy do kategorii pierwszej, a więc dające bezsporny i wysoki zysk w formie doraźnych opłat. Dzieje się to ze szkodą dziedzin drugiej kategorii, nie dających się objąć działalnością przedsiębiorstwa, opierającego swój byt na sprzedaży doraźnych dostaw czy usług. Jest przy tym rzeczą uderzającą, że ewentualna interwencja rządów, reprezentujących przynajmniej w założeniu interesy całości narodu, spotyka się niemal zawsze z opozycją ze strony kapitału, który szuka dogodnych warunków eksploatacyjnych, natomiast nie chce ponosić świadczeń na rzecz inwestycji, z których nie on bezpośrednio czerpie zyski, lecz społeczeństwo.

Całe zagadnienie gospodarki wodnej przedstawia się zupełnie odmiennie w gospodarce planowej, która przez eliminację nie tylko wpływów kapitału prywatnego, ale — co ważniejsze — przez eliminację kapitalistycznego sposobu widzenia rzeczywistości stwa-

rza warunki do kompleksowego ujmowania spraw gospodarki wodnej w jednolity system i jednolity plan. Plan ten nie tyle bazuje na pojęciu takiego lub innego doraźnego zysku, ile na idei uporządkowania ogółu gospodarki wodnej z największą korzyścią dla całego społeczeństwa.

* * *

Od czasu odzyskania niepodległości w roku 1945 Polska wkroczyła w epokę planowania gospodarczego. Planowanie to staje się z każdym rokiem coraz pełniejsze, dokładniejsze i coraz lepiej ujmujące związki i funkcjonalne zależności poszczególnych planów między sobą. W ten sposób planowany rozwój energetyki nie jest planem samym dla siebie, lecz wiąże się organicznie z planem rozbudowy przemysłu, rozwoju miast, planem przebudowy ustroju rolnego i innymi planami, wyznaczającymi kierunki i drogi rozwojowe gospodarki naszego Państwa. Jeśli chodzi o plany rozwojowe energetyki wodnej, wiąże się one ponadto organicznie z całością zagadnień gospodarki wodnej, w jednych fragmentach mniej, w innych silniej. To powiązanie planów nakazuje traktować je kompleksowo, tj. w taki sposób, aby ogólny zysk społeczny był jak największy. Ponieważ podejście to różni się zasadniczo od sposobu podejścia przedwojennego, gdzie energetyka stawiała się na doraźny szybki zysk bez oglądania się na uboczne szkody, jakie gdzieś indziej mogła gospodarce narodowej wyrządzać, przeto wypada się dziś zastanowić, gdzie te ujemne strony energetyki mogą występować. Należy zatem określić, gdzie i jakie mogą występować przeciwności między energetyką wodną a pozostałymi działami gospodarki wodnej.

Sądymy, że pogodzenie sprzeczności nie jest niemożliwe; powiedzielibyśmy, że nie jest nawet trudne, o ile zainteresowane czynniki okażą dostatecznie dużo dobrej woli i wzajemnego zrozumienia. Ponieważ jednak w Polsce pokutują jeszcze nieraz nawyki przedwojennego sposobu myślenia, przeto postaramy się — bez pretensji do wyczerpania tematu — sformułować kilka zagadnień nastrożających w kompleksowym ujęciu problemów gospodarki wodnej pewne kwestie sporne.

Zagadnieniami tymi są: kwestia pojemności zbiorników i gospodarki zbiornikowej, kwestia rybacka i kwestia podziału kosztów między inwestorów.

* * *

Jak wiadomo, ideałem zbiornika retencyjnego przeciwpowodziowego byłby zbiornik zawsze pusty, tzn. stale przygotowany na przyjęcie fali powodziowej. Po ewentualnym napełnieniu go w czasie powodzi zbiornik powinien być jak najszybciej opróżniony, aby znów był przygotowany na przyjęcie następnej fali, przy czym szybkość opróżniania ogranicza się tylko wielkością przepływu, nieszkodliwego dla dolnego biegu rzeki — a więc najczęściej wielkością tzw. wody brzegowej.

W zbiorniku energetycznym natomiast ideałem byłby zbiornik stale (lub przynajmniej jak najdłużej) napełniony, tzn. magazynujący możliwie wielką część fali powodziowej i przechowujący ją na okres wzmożonego poboru energii elektrycznej. Jeśli więc przy tak napełnionym zbiorniku zdarzy się powódź, to zbiornik nie jest już w stanie wód powodziowych uchwycić i fala powodziowa przechodzi przez zbiornik bez redukcji, tak że zbiornik traci w tym przypadku swoje znaczenie przeciwpowodziowe, a nawet — przy pewnej konfiguracji opadów — może powódź wzmocnić zamiast ją zredukować.

Jak widać z powyższego, interesy przeciwpowodziowe i energetyczne wykazują zupełnie wyraźną logiczną sprzeczność. Pogodzenie tej sprzeczności jest możliwe tylko w zbiornikach o dostatecznie dużej pojemności, gdzie część pojemności przeznaczona się na cele przeciwpowodziowe, drugą zaś — na cele użytkowe. Do tego dołączamy jeszcze trzecią część — nazwiemy ją pojemnością martwą (dawniej nazywano ją „żelaznym zapasem“), która nie bierze udziału w gospodarce zbiornika i stanowi jakby umowną rezerwę na zamulenie. Pojemność tę określamy bądź

z szybkości zamulenia, szacując np. okres trwania zbiornika na 100 lat, bądź wychodząc z określonego minimalnego stanu wody w zbiorniku, uwarunkowanego np. możliwością pracy turbin lub możliwością funkcjonowania ujęcia wody użytkowej. Decydując również tu mogą względy estetyki krajobrazu, nie pozwalające na zbytne obniżenie zwierciadła wody i obniżanie stoków i dna zbiornika.

O ile granica między pojemnością martwą i pojemnością użytkową jest określona zazwyczaj zupełnie ściśle w każdym zbiorniku czy to projektowanym, czy oddanym do eksploatacji, o tyle nie można wymagać również ściśle określania granicy między pojemnością użytkową i powodziową. Granica ta (oznaczona czy to przez horyzont wody czy przez pojemność) jest w istocie zawsze zmienna i zależy funkcjonalnie od wielu czynników, jak np. pora roku (z którą łączy się większe lub mniejsze prawdopodobieństwo powodzi), temperatura, stan wilgotności powietrza, układ barometryczny, stan nasycenia dorzecza wodami gruntowymi, aktualny stan dopływu, opady itp. czynniki, które w sumie decydują o prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi oraz o jej rozmiarach.

Zadanie, polegające na uchwyceniu i matematycznym zdefiniowaniu wyżej przytoczonych związków, nie jest do tej chwili niestety rozwiązane i nie ma dziś na świecie metody, która pozwoliłaby ustalać długoterminową prognozę wzebrań lub stanów wody w rzece. Oczywiście mówimy tu o rzekach górskich, gdyż dla nizinnych rzek prognoza np. na tydzień naprzód jest zupełnie możliwa i wysoce prawdopodobna.

Otóż, dopóki metoda ustalania prognoz nie zostanie opracowana, należy w sprawach gospodarki zbiornikowej zachować dużą ostrożność. Ostrożność taką i stosowny stopień bezpieczeństwa zapewnić może tylko pewna rezerwa pojemności ogólnej — obojętne czy zaliczona do użytkowej czy powodziowej pojemności zbiornika — skalkulowana tym wyżej, im bardziej niepewne są dane hydrologiczne, na których koncepcja zbiornika się opiera.

Świadomość tego faktu jest niestety dostatecznie ugruntowana w umysłach inżynierów. W przeważającej części projektów, sporządzanych jeszcze w chwili obecnej, spotyka się podejście do tej sprawy polegające na tym, że zakłada się przebieg gospodarki zbiornikowej, oparty na danych hydrologicznych z serii kilkunastu lat lub kilkudziesięciu, przy czym projektant — obojętnie świadomie, czy podświadomie — tak planuje gospodarkę, jakby przebieg dopływów był mu dokładnie znany na długi okres naprzód. Jest to oczywiście śluszne w odniesieniu do serii lat minionych, ale okazuje się zupełnie zawodne w późniejszej eksploatacji zbiornika, gdy kierownik tej eksploatacji nie tylko nie wie, jak ułożyć się stosunki hydrologiczne np. za miesiąc, ale również najczęściej nie wie, jak ułożyć się one za 2 lub 3 dni.

Inaczej mówiąc, projektant dobiera kształt krzywej całkowitego odpływu do znanej mu całości krzywej całkowitego dopływu i stąd oblicza pojemność zbiornika i jego efekty gospodarcze, zapominając, że praca jego jest wybitnie sugerowana przez kształt krzywej całkowitego dopływu, której przecież w normalnej eksploatacji zbiornika znać się nigdy na przyszłość nie będzie.

Stąd wynika zjawisko, że wszystkie według tego szablonu sporządzone projekty oceniają rolę zbiornika zbyt optymistycznie, zaś praktyka eksploatacyjna zadaje tym obliczeniom kłam.

Przykładowo wymienimy tu zbiornik Rożnowski, gdzie liczone się z możliwością redukcji fali powodziowej $Q = 2200 \text{ m}^3/\text{sek}$ na $Q = 800 \text{ m}^3/\text{sek}$, a więc niewiele więcej ponad wodę brzegową.

Odpowiedzialność, jaką się przy tym składa na kierownika zbiornika, raz za niepotrzebne zrzućanie wody jałowej i obniżanie produkcji energii, a drugi raz za przetrzymywanie wody i przedwczesne napełnianie zbiornika w czasie powodzi, przyczynia się jeszcze bardziej do trudności gospodarowania zbiornikiem i nerwowego szukania rozwiązania, nie zawsze naj-

lepszego. Nie byłoby tego, gdyby kierownik posiadał niewątpliwą, chociażby tygodniową prognozę dopływu.

Ponieważ obecny stan wiedzy na to nie pozwala, pozostaje tylko inne wyjście, mianowicie ustalenie ścisłego regulaminu gospodarki zbiornikowej, który ustali np. limity dopływu dla każdego dnia w zależności od stanu wody w zbiorniku, wielkości dopływu opadów z ostatnich paru dni i pory roku, o ile ta ostatnia ma istotnie wpływ na stosunki hydrologiczne dorzecza. Pojęcie pory roku może być zresztą zastąpione temperaturą — średnią lub maksymalną jako decydującą np. o topnieniu śniegów.

Tego rodzaju regulamin, opracowany dla każdego zbiornika oddzielnie, uwalniający kierownika od osobistej odpowiedzialności, przyczyniłby się niewątpliwie do usprawnienia gospodarki zbiornikowej, zwłaszcza gdyby regulamin taki stosować w eksploatacji elastycznie i pozwolić na pewne odchylenia, jednak z zastrzeżeniem, że odchylenia takie będą karalne, jeśli okażą się dla gospodarki szkodliwe — natomiast będą nagradzane jeśli okażą się korzystne. W ten sposób stworzyłaby się pewna emulacja i rywalizacja między kierownikami zbiorników, zmuszających ich do szukania bardziej ścisłych związków między elementami klimatycznymi dorzecza i gospodarką zbiornikową. W rezultacie prowadziłyby to do stopniowego poprawiania i ulepszenia regulaminów i zwiększało ilość podstaw naukowych przy opracowaniu hydrologicznej koncepcji następnych zbiorników.

Taki sam regulamin powinien być opracowany i stosowany przy projektowaniu każdego nowego zbiornika, a całość gospodarki wodnej łącznie z konstrukcją krzywych całkowitych powinna być na takim regulaminie oparta z pełnym wyłączeniem elementów jasnowidztwa. Wtedy wszystkie dane, czy to odnoszące się do możliwości redukcji fali powodziowej, czy do skutków gospodarczych zbiornika, uzyskają wyraźną i jednoznaczną ocenę, opartą o statystykę z lat ubiegłych, co ostatecznie pozwoli ocenić wartość danej koncepcji, porównać wartość różnych wariantów pojemności, albo wreszcie wartość różnych regulaminów pracy przy takiej samej pojemności zbiornika.

Jest rzeczą oczywistą, że tak pojęty regulamin gospodarki zbiornikowej nie może być sformułowany abstrakcyjnie bez oparcia o rzeczywistość. Wydaje się, że najważniejsza jest tu droga jakby kolejnych przybliżeń, polegająca na stopniowych korektach przebiegu krzywej całkowitego odpływu przy jednoczesnym naganianiu regulaminu do tych korekt. Aczkolwiek droga ta jest żmudna i ciężka, wydaje się, że jest jedyną jaką może zapewnić istotny stopień bezpieczeństwa w omawianej sprawie i pogodzić organiczne sprzeczności, istniejące między gospodarką powodziową i energetyczną. W porównaniu do metody dotychczas stosowanej, której niestusznosc staraliśmy się wykazać, da ona niewątpliwie zmniejszenie gospodarczych efektów zbiorników, jednak zmniejszenie to będzie tylko pozorne, bowiem otrzymamy liczby prawdziwe zamiast fałszywych, do jakich nieuchronnie prowadziłyby metoda dawna. Odwracając bieg myśli możemy powiedzieć, że dotychczasowa metoda szła normalnie drogą obliczeń zbyt optymistycznych, z których pojemności zbiornikowe wyznaczano zbyt małe.

Jeśli więc sygnalizujemy na tym miejscu istotne i poważne przeciwieństwo między tezami gospodarki przeciwpowodziowej i energetycznej, to jednocześnie wskazujemy, że przeciwieństwa te nie będą niezwalczane, o ile energetyka zgodzi się na budowę zbiorników odpowiednio wielkich — większych niż to się robiło i planowało dotychczas.

* * *

Drugim punktem, gdzie sprawy energetyki wodnej przeciwstawiają się innym działom gospodarki, jest sprawa rybactwa i jego ewentualnego zaniku lub zubożenia w rejonach, gdzie rzeki lub potoki zostaną przegrodzone budowlami piętrzącymi, jazami lub zaporami. Jak wiadomo, przepławki, które w sensie technicznym mogą zaspokoić potrzeby rybactwa, jeśli

chodzi o wędrówkę ryb z dołu w górę rzeki, o ile tylko są prawidłowo zaprojektowane i usytuowane. Ponieważ ryby wędrówne ciągną zawsze pod najsilniejszy prąd, przeto dolny wylot przepławki powinien znajdować się zawsze obok siłowni, tuż poniżej wylotu rur ssących, aby ułatwić jego znalezienie rybnie, która początkowo usiłuje z dołu podejść pod turbinę i którą prąd wody ustawicznie z rury ssącej wyrzuca.

Osobną jednakże i bardzo wielką trudność stanowi droga powrotu ryb wędrównych z góry rzek do morza, jaką odbywają młode lososie lub troć (smolty) o długości około 15—20 cm. Ponieważ ryby te idą z najsilniejszym prądem, przeto szlak ich prowadzi prosto na turbiny, gdzie jedynym sposobem zatrzymania ich byłoby zainstalowanie krat gęstych, o świetle między prętami kraty nie przekraczającym ok. 10 mm. Jednak tak gęsta kratka odbija się ujemnie na sprawności maszyn (zatykanie i oblodzenie kraty), przeto przy turbinach Kaplana, zwłaszcza pracujących na niskich spadach, często się kratę gęstą opuszcza lub daje ją o światłach 60—80 mm między prętami, co pozwala rybnie swobodnie wejść do wnętrza turbiny i przepłynąć przez nią, o ile słuszną jest teza, że przez turbiny Kaplana pewien odsetek ryb przechodzi nieuszkodzony. Przedwojenne prace Kulmatyckiego uzasadniły tę tezę rachunkiem, ponadto potwierdziły ją szeregiem przykładów, zacierpniętych z praktyki szwajcarskich i szwedzkich siłowni wodnych, przy czym jednak uderzające było, że przykłady te obejmowały jedynie siłownie wodne o spadach nie przekraczających ok. 15 m. Natomiast wojenne doświadczenia dra Chrzana, przeprowadzone w Rożnowie, stwierdziły ponad wszelką wątpliwość, że przy turbinach Kaplana, część ryb wprawdzie przechodziła przez turbiny bez śladu uszkodzeń mechanicznych, jednak ryby ginęły — jak się wydaje — wskutek raptownej zmiany ciśnienia, co wywoływało w nich objawy podobne od objawów choroby kesonowej u ludzi.

Orientacyjnie więc przyjąć można, że jedynie przy spadach nie przekraczających około 15—20 m liczyć można na pewne prawdopodobieństwo przejścia części ryb przez turbiny Kaplana. Przy spadkach większych turbiny stanowią dla ryb przeszkodę nie do przebycia w stanie nieuszkodzonym.

Przy budowie Wisły stopniami piętrzącymi zapewne tylko jeden z nich może otrzymać spad większy, inne będą miały spady znacznie niższe. Natomiast budowa górskich dopływów Wisły, gdzie mieszczą się tarliska ryb lososiowych, dokonana będzie w większych stopniach znacznie wyższych. Doprowadzi to albo do zupełnego wytopienia ryb wędrównych i zwinięcia aktualnego stanu równowagi biologicznej tych wód, albo trzeba będzie stosować specjalne zabiegi techniczne, żeby jednak mimo wszystko utrzymać warunki tych wędrówek. Rzecz jasna, że energetyce odpowiadałoby bardziej rozwiązanie pierwsze, przy którym w ostatecznej konsekwencji odpadłaby na wszystkich stopniach konieczność budowy kosztownych przepławek. Natomiast rybactwo oczywiście opowie się za rozwiązaniem drugim, narzucającym energetyce poważne serwituty, jak budowę przepławek i zamykanie wlotów turbinowych bardzo gęstymi kratami. Typy przepławek musiałyby być przy tym dostosowane do warunków nie tylko przechodzenia ryb z dołu do góry, ale i z góry do dołu. Wydaje się, że znalezienie rozwiązania, które całkowicie zaspokajałoby interesy rybactwa, nie będzie proste i łatwe, szczególne trudności nastręczy tu kwestia połączenia przepławek z górnym stanowiskiem o zmiennym poziomie wody, co nie obejdzie się zapewne bez stosunkowo dużych jałowych przepływów wody, konieczności wykonania specjalnych budowli, a może nawet konieczności budowy specjalnych długich kanałów obiegowych.

Przy rozważaniu całości tego zagadnienia nasuwa się tu jeszcze jedna idea. Dotyczy ona pozostawienia drogi dla ryb na pewnym odcinku rzeki z tym, że na pierwszym wysokim stopniu — gdzie budowa przepławki i ewentualna instalacja krat nastręczałaby zbyt wielkie trudności — zorganizuje się stałe odłowy

ryb wędrujących w górę, skojarzone z instalacją sztucznych wylęgarni i ośrodków wychowania ryb.

Tak czy inaczej w dziedzinie rybactwa istnieje wyraźna sprzeczność interesów tego ostatniego z interesami energetyki. Rozwiązanie tej przeciwności nie może się ograniczać do sporadycznych rozstrzygnięć w przypadkach szczególnych, lecz musi być ujęte generalnie w kompleksowym planie gospodarki wodnej. Spodziewać się można, że staranne przestudiowanie elementów geografii rybackiej pozwoli na pewną rejonizację zagadnień, tzn. że da się wyodrębnić obszary, gdzie rybactwo zrezygnuje ze swoich żądań odnośnie utrzymania wędrówek ryb — oraz inne, gdzie interesy rybactwa będą musiały być w całej pełni respektowane przez energetykę. Rozważenie i rozstrzygnięcie tych pytań jest rzeczą pilną i ważną, gdyż chodzi tu o znalezienie rozwiązań optymalnych nie z punktu widzenia jednej gałęzi gospodarki narodowej, lecz z punktu widzenia całości gospodarki. Ponadto ustalenie ogólnych zasad uwolni obie strony od ciągłego powracania do tych tematów i ustawicznych sporów przy opracowywaniu projektów szczegółowych poszczególnych inwestycji.

* * *

Trzecia trudność, natury nie tyle technicznej co koncepcyjno-gospodarczej, polega na ustaleniu właściwego klucza do podziału nakładów inwestycyjnych między inwestorów przy kompleksowym rozwiązywaniu gospodarki wodnej, szczególnie wtedy, gdy obiekt inwestowany służyć ma kilku celom jednocześnie. Mimo to, że w ujęciu ogólnopanstwowym takie zagadnienie może wydawać się nieistotne, to jednak, skoro plany i budżety poszczególnych resortów są w gospodarce naszej wyraźnie podzielone, musi ten sam podział być zastosowany i na szczeblu wykonawstwa robót wodnych. Jest to konieczne tym więcej, że tylko w ten sposób sporządzić będzie można wyraźny bilans kosztów i zysków, czyli rachunek rentowności inwestycji. Bilans ten poza samą czystością i przejrzystością rachunku jest o tyle istotny, że pozwoli sklasyfikować inwestycje wg stopnia rentowności, a więc ustalić logiczną hierarchię ich realizacji.

W okresie przedwojennym energetyka występowała w Polsce jako samodzielny inwestor jedynie w zespole elektrowni pomorskich, budując 2 siłownie wodne, tj. Gródek i Żur, natomiast budowa największej naszej ówczesnej siłowni wodnej w Rożnowie dokonana została przez resort komunikacji, przy czym w koncepcji tego zbiornika wysuwano wówczas raczej argumenty przeciwpowodziowe niż energetyczne. Doświadczenia poczynione z budową Rożnowa doprowadziły do stworzenia wówczas dalszych p'anów pod patronatem tegoż samego resortu, przy czym w planach tych, w splocie zagadnień przeciwpowodziowych i żeglugowych, występowały też zagadnienia energetyczne. Dość należy, że ówczesne koła kierownicze energetyki w Polsce, poza sporadycznymi wyjątkami, nie interesowały się tymi sprawami, będąc nastawione zgodnie z postawą kapitalizmu raczej na budowę tańszych i szybciej rentujących się elektrowni ciepłych, mimo że w wielu przypadkach budowa elektrowni wodnych byłaby dla gospodarki narodowej bardziej korzystna.

Po wojnie stan rzeczy uległ o tyle zmianie, że eksploatacja Rożnowa, podobnie jak wszystkich innych elektrowni wodnych, których znaczna ilość znajduje się na Ziemiach Zachodnich, została przejęta przez energetykę. Po doświadczalnym sprawdzeniu korzyści, jakie ten typ elektrowni przedstawia w porównaniu z elektrowniami ciepłymi, doprowadziło do zmiany w zapatrywaniach energetyki, rozumiejącej coraz lepiej i dokładniej wielki interes narodowy rozbudowy sił wodnych w Polsce. Ponieważ jednak proces narastania tej nowej świadomości odbywał się dość powoli, zaś resort komunikacji, odsuwany coraz bardziej przez energetykę nawet od eksploatacji tych zbiorników, gdzie powinien mieć niewątpliwie jak największe uprawnienia, czy to ze względów przeciwpowodziowych czy też żeglugowych, powoli także zaczął sam odsuwać się od koncepcji kompleksowych

rozwiązań gospodarki wodnej. Wytworzyła się przeto w tej dziedzinie po wojnie pewna przejściowa stagnacja, którą trudno było zwalczyć, a to tym więcej, że ówczesna rzeczywistość gospodarcza wysunęła na czoło szereg innych zagadnień, jak np. odbudowę zniszczeń wojennych, rozbudowę przemysłu, zmianę struktury rolnej, przesiedlenia itp., co siłą rzeczy odsuwało długofalowe zagadnienia gospodarki wodnej na plan dalszy. Ten stan kryzysu jest już w chwili obecnej przewyższony i przed gospodarką wodną w Polsce otwierają się perspektywy, które pozwalają wierzyć, że w najbliższym czasie nastąpią w tej gospodarce rewolucyjne przemiany, odrobione zostaną zaległości i stworzone zostaną poważne źródła siły i dobrobytu narodu.

W tych przeobrażeniach i planach udział energetyki musi być i będzie bardzo poważny. Przewidujemy wykonanie szeregu inwestycji na rachunek samej energetyki. Jednakże nie da się zaprzeczyć, że główna część inwestycji wykonana zostanie kompleksowo, wobec czego energetyka występować będzie jako współinwestor budownictwa wodnego wraz z innymi resortami, najczęściej zapewne wspólnie z drogami wodnymi (przy kanalizacji rzek żeglownych i zbiornikach żeglugowych, częściowo przeciwpowodziowych) oraz resorsem rolnictwa (siłownie wodne na rzekach niespławnych, zbiorniki dla nawodnień rolnych, częściowo przeciwpowodziowe).

Otóż skoro zagadnienie podziału kosztów między inwestorów występować będzie stale, warto by pokusić się o ustalenie pewnego jednolitego klucza podziału, dającego możliwie szybko i automatycznie taki podział bez konieczności dokonywania za każdym razem skomplikowanych obliczeń. Z motywów przytoczonych na wstępie uważamy tutaj dążność do uzyskania jakiejś absolutnej „sprawiedliwości“ za zupełnie niewłaściwą. Ewentualna więc omyłka o kilka procent, która tak czy owak zapewne działać będzie raz na korzyść jednego, a innym razem na korzyść drugiego kontrahenta, nie spowoduje z pewnością żadnych zaburzeń w ocenie rentowności zamierzeń. Natomiast szukana metoda powinna pozwolić szybko i bez sugestii osobistych ustalić procentowy udział kosztów i wskazać głównego inwestora danego zamierzenia, typowanego w ten sposób na głównego projektanta i gospodarza budowy. Oczywiście nie przesądza to sprawy organizacji budowy, która zależnie od warunków miejscowych może być rozwiązana rozmaicie.

Tak postawiona sprawa podziału kosztów nie jest oczywiście sprawą nową i była debatowana wielokrotnie w praktyce i na łamach czasopism technicznych. Znamy nam metody sprowadzające się do 3 typów, które scharakteryzujemy poniżej jak następuje:

Pierwsza metoda opiera się na wytypowaniu z góry głównego inwestora, który niejako planuje i projektuje inwestycję w rozmiarach takich, jakie są niezbędne i potrzebne dla jego własnych potrzeb. Skoro zaś kompleksowe ujęcie problemu wymaga dopuszczenia drugiego inwestora, to pokrywa on tylko tę część kosztów, jaka wynika z konieczności powiększenia inwestycji ze względu na jego potrzeby, podczas gdy założony wydatek pierwszego pozostaje niezmienny.

Nie trudno zrozumieć, że ta metoda obliczeń kosztów obciąża nadmiernie głównego inwestora, zaś faworyzuje uboższego, co prowadzi do zupełnego wypaczenia rzeczywistości przez wprowadzenie fałszywych proporcji. Następnie jest ona niepraktyczna, bo wymaga opracowania niejako 2 projektów i kosztorysów; ponadto metoda ta kryje w sobie poważny czynnik demobilizujący, skoro skłaniałaby inwestora do czekania, aż inny wystąpi z inicjatywą. Z tych względów uważamy więc tę metodę za niewłaściwą i nie nadającą się do zastosowania.

Druga metoda, nieco słuszniejsza od pierwszej, polega na tym, że w całym koszcie kompleksowej inwestycji wyodrębnią się 3 składniki, a mianowicie: koszt obciążający niewątpliwie pierwszego inwestora, następnie koszt obciążający drugiego, zaś jako trzeci składnik występuje suma wszystkich kosztów pozostałych. Składnik ten dzieli się następnie proporcjonalnie do 2 pierwszych i w ten sposób otrzymuje się przez zsumowanie udział każdego inwestora.

Na przykładzie kanalizacji rzeki dla celów żeglugowych i energetycznych można by tę rzecz ująć tak, że jednym składnikiem jest koszt siłowni wodnej, drugim koszt służy komorowej, zaś kosztem wspólnym jest koszt jazu, obwałowań, wywłaszczeń, odwodnień, przebudowy komunikacji itp.

Otóż metoda ta, mimo pozornej jasności, posiada tę stronę ujemną, że uzależnia podział większości kosztów od ich stosunkowo niewielkich części, których wysokość może być zresztą określona dość dowolnie, zależnie np. od sposobu określenia pojęcia „siłownia“ — czy pojęcie to obejmuje całość urządzeń elektrycznych i mechanicznych, czy też tylko ich część i do jakiego miejsca.

W innych wypadkach, np. przy budowie zbiorników dla celów równocześnie energetycznych i powodziowych, istniałyby trudności wyodrębnienia części kosztów budowlanych, związanych z pojęciem walki z powodzią, tak że metodę tę ocenić musimy również negatywnie i nie możemy zalecić jej do stosowania w kompleksowym planowaniu gospodarki wodnej w Polsce.

Oceniając więc ujemnie obie poprzednie metody, proponujemy przyjęcie w Polsce jako obowiązującą metodę trzecią, którą nazwiemy metodą wirtualną: zasadniczą myśl tej metody sformułował zmarły niedawno inż. Stanisław Smoleński i z niewątpliwym sukcesem zastosował w analizie założeń projektowych drogi wodnej W—Z (kanalizacja Bugu). Nie znajdując w literaturze żadnych danych co do tej metody, czujemy się w obowiązku podkreślić autorstwo i pierwszeństwo inż. Smoleńskiego, a to tym więcej, że przedwczesna śmierć nie pozwoliła Mu na podanie jej do druku, co jest niewątpliwie wielką stratą dla techniki polskiej.

Ideę tej metody, którą niniejszym pozwalamy sobie uzupełnić i zmienić w pewnych szczegółach, przedstawimy na przykładzie, przypuszczając, że chodzi o budowę poważnego obiektu, zbiornika lub stopnia kanalizacyjnego, który ma np. służyć jednocześnie dla celów przeciwpowodziowych (I inwestor), żeglugowych (II inwestor), energetycznych (III inwestor) i nawodnień rolnych (IV inwestor). Znana suma całości nakładu inwestycyjnego jest K , zaś rozbić ją trzeba na nakłady $K^I, K^{II}, K^{III}, K^{IV}$ kolejnych inwestorów i ocenić ogólną rentowność inwestycji.

Zakładamy, iż znany jest dokładnie przebieg gospodarki wodnej na danym obiekcie (odnosimy go do roku przeciętnego), określony następującymi wielkościami charakterystycznymi.

- | | |
|---|-----------------|
| I. Średnia pojemność retencyjna (przeciwpowodziowa) zbiornika w ciągu roku średniego | $P \text{ m}^3$ |
| Max. objętość fali powodziowej w danym profilu danej rzeki (np. fala 100-letnia) | $Q \text{ m}^3$ |
| II. Długość drogi wodnej w obrębie cofki | $L \text{ km}$ |
| Tonaż tej drogi wodnej (max. tonaż barek) | $T \text{ ton}$ |
| — lub jeśli zbiornik nie jest drogą wodną, a natomiast służy dla żeglugowego zasilania pewnej drogi wodnej — trwałego — lub w okresach posuchy: | |
| Ilość dni możliwego zasilania w roku | $D \text{ dni}$ |
| Tonaż tej drogi wodnej (max. tonaż barek) | $T \text{ ton}$ |
| III. Moc instalowana siłowni | $N \text{ kW}$ |
| Roczna produkcja energii (w roku przeciętnym) | $E \text{ kWh}$ |
| IV. Ilość wody przeznaczona rocznie na zasilanie urządzeń nawadniających | $R \text{ m}^3$ |
| (może na tym miejscu figurować ewentualnie ilość wody dla poboru wodociągowego, dla osiedli, przemysłu itp.). | |

Następnie wprowadzamy pojęcie wirtualnej oceny powyższych efektów osiągniętych przez budowę danej inwestycji, opierając ją na gospodarczej analizie oddzielnie każdej pozycji tak, jakby każdy efekt był osiągnięty niezależnie od drugiego. Wirtualną cenę określamy oddzielnie dla każdej inwestycji jak poniżej:

- I. Wartość 1 m^3 zmagazynowanej wody powodziowej

p zł

— przy czym p może być określone jako pewna funkcja malejąca stosunku P/Q , co określa sobą dostatecznie jasno okoliczność, że nadmiernie wielkie pojemności retencyjne przestają być opłacalne.

- II. Wartość 1 km drogi wodnej danego typu 1 zł
 — uzależniona od tonażu barek T na danej drodze wodnej.
 Ponadto wartość 1 dnia dodatkowej żeglugi na drodze wodnej zasilanej przez zbiornik d zł
 — uzależniona jw. od tonażu drogi wodnej (T).
- III. Wartość inwestycyjna 1 kW mocy instalowanej n zł
 Wartość inwestycyjna 1 kWh wyprodukowanej w roku energii e zł
 — przy czym obie miary mogą być ustalone z analogicznie wyliczonych współczynników dla istniejących elektrowni wodnych uznanych za rentowne.
- IV. Wartość 1 m³ wody dostarczonej dla nawodnień (lub dla wodociągów) r zł
 — przy czym wartość ta może być różna w różnych rejonach kraju — zależnie od obfitości lub braku innych źródeł wody.

Jeśli wirtualne ceny dałyby się określić z góry dla całej Polski, co powinno być dokonane drogą normizacji, najlepiej na poziomie PKPG, to wówczas przy zadanych efektach techniczno-gospodarczych inwestycji można by określić jej wirtualną wartość K_0 jako sumę wirtualnych wartości:

$$I. \text{ Powodziowej } K_0^I = P \cdot p$$

$$II. \text{ Żeglugowej } K_0^{II} = L \cdot I + D \cdot d$$

$$III. \text{ Energetycznej } K_0^{III} = \frac{1}{2} (N \cdot n + E \cdot e)$$

$$IV. \text{ Rolniczej } K_0^{IV} = R \cdot r$$

co po skonfrontowaniu wartości

$$K_0 = K_0^I + K_0^{II} + K_0^{III} + K_0^{IV}$$

z całkowitym kosztem inwestycji K , pozwoliłoby określić ogólny wskaźnik opłacalności inwestycji:

$$a = \frac{K_0}{K}$$

i obliczyć udział każdego inwestora w ogólnej sumie nakładów zakładając, że koszty faktyczne muszą być poniesione w takim samym stosunku, jaki istnieje w podziale wartości wirtualnych.

Proponowana metoda może się wydawać na pierwszy rzut oka nadmiernie teoretyczna. W rzeczywistości jednak jest ona najprostszą ze wszystkich wyżej wymienionych, ponadto najszybciej pozwoli ocenić rentowność każdej inwestycji, obojętne czy pojedynczej, czy też całej serii inwestycji, np. kanalizacji rzeki na dowolnej długości jej biegu. Jednakże, aby się ona popularyzowała i przyjęła, należy dążyć do jak najszybszego ustalenia miarodajnych cen wirtualnych, co zresztą nie powinno być specjalnie trudne, gdyż aktualnie rozporządzamy już dostatecznie bogatym materiałem statystycznym z dziedziny zarówno technicznej, jak i gospodarczej.

W interesie gospodarki wodnej leży zresztą rozszerzenie tej metody na inne dziedziny, których tu nie traktujemy, jak np. regulacja rzek, budowa wałów, odwodnienia, zabudowa potoków górskich. Kto wie, czy nadanie zamierzeniom inwestycyjnym tego rodzaju podbudowy gospodarczej, opartej o proste i niewątpliwie mierniki, nie doprowadzi do pewnych przemian w ocenie celowości zamierzeń, opartej jeszcze w chwili obecnej nadmiernie o dawne tradycje i intuicję, która może się okazać zawodną.

Ścieśniając temat do ram, określonych tytułem niniejszego artykułu, wyrażamy przekonanie, że metoda ta niewątpliwie określi rolę i koszt inwestycji energetycznych w całokształcie zadań gospodarki wodnej i wskaże w wielu wypadkach na decydujący jej udział w porównaniu z innymi elementami.

Dodajemy, że kształt formuły, określającej wirtualny koszt elektrowni wodnej, oparliśmy o kombinację dwóch wartości, a to dlatego, aby podkreślić wagę siłowni szczytowych. Wydaje się to zupełnie słuszne i zgodne z logiką planowania energetycznego. Oczywiście można by tu dobrać także inny prawdopodobny kształt wzoru, np. opierając się o przeciętny czas wykorzystania mocy maksymalnej. Wtedy rezultaty mogłyby być trochę odmienne, co dla całości zagadnienia nie miałyby zresztą istotnego znaczenia.

PROF. DR INŻ. EDWARD CZETWERTYŃSKI

Politechnika Warszawska

Metody opracowania podstaw hydrologicznych dla gospodarki zbiornikowej

Znaczenie zbiorników dla gospodarki wodnej, szczególnie w dobie obecnej, gdy nasza gospodarka planowa wymaga nader oszczędnego dysponowania posiadanymi zasobami wody, tak szeroko było omawiane, że nie wymaga dalszych komentarzy. Możemy uważać za pewnik, że właściwe opracowanie gospodarki zbiornikowej stanowi jedno z kluczowych zagadnień gospodarki wodnej. Z tych względów pragnę podzielić się z czytelnikami szeregiem uwag dotyczących tego zagadnienia, które jest niezmiernie złożone z następujących powodów:

- zbiornikom mogą być stawiane najrozmaitsze, często kolidujące ze sobą, zadania (zaopatrzenie rolnictwa i przemysłu w wodę, walka z powodzią, podniesienie niskich stanów w rzekach, wykorzystanie energii itp.);
- w gospodarce zbiornikowej w najszerszym znaczeniu musimy mieć na uwadze gospodarowanie nie poszczególnym zbiornikiem, lecz zespołami zbiorników rozmieszczonych zarówno na danym cieku, jak i na jego dopływach.

Tak szeroko pojęte zagadnienie gospodarki zbiornikowej nie tylko przekracza możliwości wyczerpania tematu w ramach jednego artykułu, lecz stanowi pro-

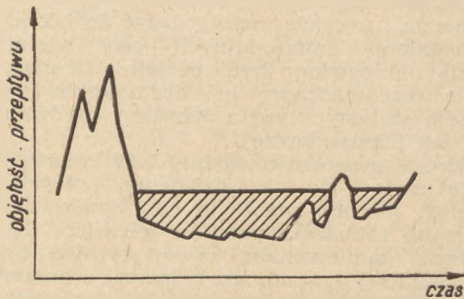
blem wymagający jeszcze wielu opracowań dla właściwego rozwiązania.

Jak zwykle, podchodząc do rozważań na temat bardzo złożonych zagadnień, musimy je rozczłonkować na możliwie najprostsze, aby po ich rozwiązaniu przejść kolejno do zagadnień coraz bardziej złożonych. Toteż obecnie zajmę się tylko rozważaniami dotyczącymi pojedynczego zbiornika, który ma do spełnienia tylko jedno zadanie. Tym bardziej jednak należy zwrócić baczną uwagę, aby sposób podejścia do zagadnienia i metoda jego rozwiązania były właściwie postawione.

Główna trudność powstaje z natury rzeczy, że wszelkie rozważania hydrologiczne opieramy na danych uzyskanych z obserwacji wodowskazowych i na pomiarach przepływu. Dane te są wyrażone w postaci krzywych hydrologicznych, dotyczących odpływu czyli wahań przepływów, sum czasów trwania, sumowania całkowitych itp. Krzywe te odnoszą się do okresu minionego. Trudno jest mówić o odpowiednich krzywych na okresy przyszłe ze względu na brak ścisłości w prognozach na dłuższy okres czasu. Na podstawie prognozy możemy co najwyżej przewidywać przebiegi krzywych na kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt godzin naprzód. Prognozy długofalowe w najlepszym

razie mogą dać wskazówki, czy w najbliższym okresie kilkumiesięcznym możemy się spodziewać bardziej lub mniej mokrego okresu, ale trudno jest mówić o ściśle przewidzianym przebiegu przepływów.

Okoliczność ta stwarza trudności w prowadzeniu gospodarki zbiornikowej. O ile bowiem, mając przed sobą dajmy na to krzywą sumowania, możemy określić odpływ wyrównany ze zbiornika, który by pozwolił na uzyskanie najlepszego efektu gospodarczego, o tyle, nie mając w danej chwili krzywej dla okresu przyszłego, trudno jest zdecydować jaki odpływ ze zbiornika będzie najdogodniejszy dla osiągnięcia zamierzonego celu gospodarczego.



Rys. 1

Trudności te można rozwiązywać jedynie w ten sposób, ażeby w oparciu o wielokrotne dane statystyczne z okresu ubiegłego ustalić ściśle sposób gospodarowania w postaci konkretnych przepisów dla prowadzącego zbiornik, czyli ustalić klucz, według którego gospodarka ma być prowadzona. Zrozumiałe, że ta

droga postępowania nie doprowadzi do najkorzystniejszego rozwiązania gospodarczego, takiego jakie można by uzyskać przy znajomości przebiegu przepływów w przyszłym okresie, ale uważam, że to jedynie może dać realne wskazówki dla właściwej gospodarki zbiornikowej.

Żeby sprawdzić, czy klucz zamierzonej gospodarki wodą na zbiorniku jest właściwy, należy sprawdzić jego zastosowanie na wykresach przepływów z lat ubiegłych. Przy sprawdzeniu można wyznaczyć w ilu przypadkach udało się osiągnąć w pełni zamierzone cele gospodarcze, w ilu częściowo, w ilu zamierzony cel nie został osiągnięty i w ten sposób określić jaki jest stopień prawdopodobieństwa osiągnięcia danego celu gospodarczego przy pomocy rozpatrywanego zbiornika (lub zespołu zbiorników), przy zastosowaniu danego klucza.

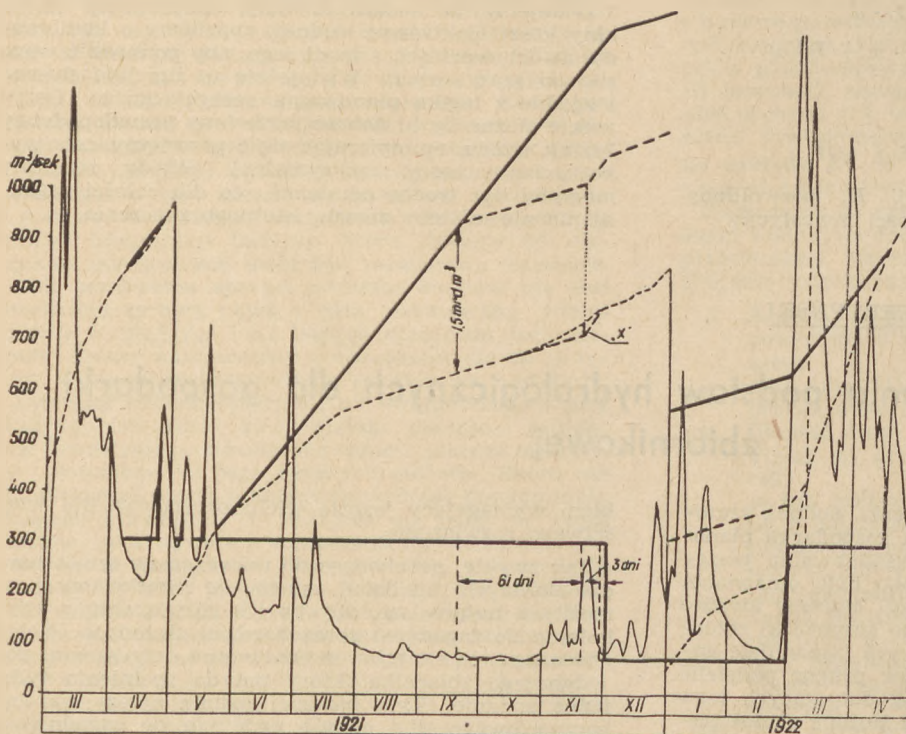
Gospodarowanie wodą zbiornika musi być uzależnione od kompleksu czynników niezależnych od warunków hydrologicznych, np. od zapotrzebowania energii, rozbudowy siłowni cieplnych, rozbudowy przemysłu i osiedli, zaawansowania robót melioracyjnych oraz stopnia rozwoju intensyfikacji rolnictwa itp. Z tych względów hydrolog rzadko kiedy otrzymuje do rozwiązania zadanie postawione w ściśle sprecyzowanej postaci, np. zapewnienia całkowitego zdjęcia fali powodziowej. Przeważnie otrzymuje pytanie jakie są możliwości spełnienia pewnego zadania przy różnych okolicznościach, a więc np. w jakim stopniu i w ilu przypadkach potrafi zmniejszyć falę powodziową zależnie od posiadanej do dyspozycji pojemności zbiornika. Toteż warunki badań hydrologicznych powinny być ujęte w takiej formie, aby stanowiły materiał do dalszych rozważań ekonomicznych, aby łatwo można było z tych opracowań odczytywać szereg różnych możliwych rozwiązań wykorzystania wody i po analizie ekonomicznej wybrać

najlepsze w danych warunkach gospodarczych rozwiązanie, ewentualnie wprowadzić zmiany w sposobie gospodarowania w miarę zmiany potrzeb gospodarczych. Dla lepszego wyjaśnienia wypowiedzianych poglądów rozpatrzę kilka najprostszych przykładów.

Podniesienie minimalnych przepływów (względnie stanów) w okresie żeglugi do określonej wartości.

Poruszony tu sposób podejścia do zagadnienia był już omawiany w artykule prof. Żmigrodzkiego pt. „Zagadnienia zbiorników w dorzeczu górnej Wisły”¹⁾. Poruszam to zagadnienie jeszcze raz, aby nieco szerzej je omówić oraz dodać pewne uzupełnienia.

Aby zyskać odpowiedź na pytanie, jaki wpływ może mieć zbiornik o określonej pojemności na niskie przepływy w okresie żeglugi dla podniesienia minimalnych przepływów naturalnych, postępowano zazwyczaj w następujący sposób. Na wykresie wahań przepływów dla poszczególnego roku (rys. 1) przeprowadzono prostą poziomą, tak aby odcinała pole (zakresowane na rysunku) odpowiadające pojemności zbiornika.



OZNACZENIA:

- Krzywa wahań przepływów naturalnych
- Krzywa całkowita przepływów naturalnych
- Wykres wyrównanych przepływów oraz krzywa całkowita wyrównanych przepływów przy założeniu nie ograniczonej pojemności zbiornika
- Wykres wyrównanych przepływów oraz krzywa całkowita wyrównanych przepływów przy założeniu ograniczonej pojemności zbiornika (1,5 mld m³)

Rys. 2

¹⁾ „Gospodarka Wodna” 1951, nr 11.

Oczywiście brano pod uwagę tylko część wykresu obejmującą okres żeglugi, oraz sprawdzano, czy nadwyżki wody w okresach większych przepływów zdołają wypełnić zbiornik. W ten sposób otrzymywano odpowiedź, jaki minimalny przepływ mógłby być zagwarantowany przy pomocy zbiornika w każdym z badanych lat.

Opierając się na takich badaniach, wysuwano wniośki tego rodzaju, że w roku mokrym zbiornik będzie w stanie podnieść głębokości żeglowne o określoną ilość centymetrów, a w roku suchym o mniejszą ilość centymetrów, jednak w najgorszym przypadku katastrofalnie suchego roku może być zapewniona pewna minimalna głębokość żeglowna, która pozwoli na ruch niepełnoładowanych barek.

Przytoczony sposób rozumowania zakłada pełne wykorzystanie pojemności zbiornika dla równomiernego podniesienia przepływów w okresach suchych. Niewątpliwie taki sposób gospodarki byłby słuszny, ale dla każdorazowego określenia przepływu, który uda się nam uzyskać przez dodanie wody ze zbiornika, konieczna jest znajomość przebiegu przepływów w ciągu całego sezonu. Ale na jaki przepływ zdecydować się w początku sezonu? Ile wypuszczać wody ze zbiornika dla uzupełnienia niskich przepływów, jeżeli jeszcze nie wiemy jakie będą przepływy naturalne? Odpowiedź na takie pytania w obecnym stanie możliwości prognozy nie jest możliwa.

Stąd wniosek, że rozpatrzony sposób prowadzenia gospodarki zbiornikowej nie jest realny i że opierając się na nim obiecaliśmy więcej, niż potrafimy w rzeczywistości wykonać. Przy realnym prowadzeniu gospodarki zbiornikowej jedynie wyjątkowo można utrzymać przez cały okres żeglugi określony minimalny przepływ, a jednocześnie na ten cel całkowicie wykorzystać nagromadzony w zbiorniku zapas wody. W większości przypadków nie uda się nam wykorzystać w całości posiadanej pojemności zbiornika, albo w zbiorniku wody zabraknie do utrzymania ustalonego przepływu w ciągu całego okresu żeglugi.

Spróbujmy podejść do zagadnienia bardziej realnie i rozpatrywać tylko taką gospodarkę, jaką naprawdę będziemy mogli przeprowadzić. Wyjdziemy więc z założenia, że rozpoczynamy badanie przy pełnym zbiorniku i że w okresie żeglugi ze zbiornika mamy uzupełniać przepływy w rzece do z góry założonej określonej wartości (np. $300 \text{ m}^3/\text{sek}$ — patrz rys. 2), niezależnie od tego, jaki będzie przebieg przepływów naturalnych. Ponadto w okresach, gdy żeglugi nie ma, musimy jednak utrzymywać pewne minimalne przepływy w rzece (np. $70 \text{ m}^3/\text{sek}$) ze względu na inne potrzeby gospodarcze (pojenie bydła, utrzymanie rybostanu itp.). Na rys. 2 widzimy przebieg krzywej wahań przepływów naturalnych i odpowiadającą im krzywą sumowania, a wymieniony sposób wyrównania przepływów wskazany jest grubsza linia ciągła.

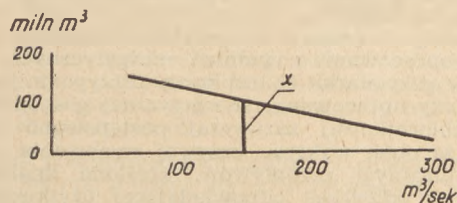
Dotychczas nie postawiliśmy jednak ograniczenia pojemności zbiornika. Przy określonej pojemności zbiornika (np. 1,5 miliarda m^3) założony przepływ ($300 \text{ m}^3/\text{sek}$) zdołamy utrzymać tylko do chwili opróżnienia zbiornika. Chwilę tę łatwo odczytać na krzywych sumowania. W chwili opróżnienia zbiornika przerywamy żeglugę, a więc można zejść na minimalny przepływ nawet niższy od naturalnych. Omawiany skok widoczny jest na rys. 2 w drugiej połowie września.

Powstaje teraz pytanie, dokąd ma trwać przerwa w żegludze, wszak czekanie na całkowite napełnienie zbiornika nie byłoby celowe. Musimy tedy założyć, że wznowienie żeglugi może się odbyć wówczas, gdy potrafimy zapewnić potrzebny przepływ przynajmniej w przeciągu określonego czasu podyktowanego warunkami żeglugi (np. ze względu na czas przejścia transportów między określonymi miejscowościami, czy też wzdłuż całej trasy, może to być tydzień czy 10 dni). Wznawiamy więc przepływy żeglugowe dopiero wtedy, gdy uzbieramy odpowiednią ilość zmagazynowanej wody.

Musimy jednak uwzględnić również naturalny przepływ w rzece. Przy uwzględnianiu naturalnych przepływów w rzece znów nie chcemy się opierać na ścisłej prognozie, ale mamy do czynienia z okresami małych przepływów, a więc z okresami, gdy nie moż-

na przewidywać gwałtownego spadku przepływu naturalnego (gwałtowny wzrost przepływu tylko polepszy sytuację). Można zatem przyjąć, że przez cały okres, na który mamy zapewnić trwanie przepływów żeglownych, z chwilą uruchomienia żeglugi po przerwie naturalny przepływ będzie równy przepływowi w danym dniu zmniejszonemu dla bezpieczeństwa o 10%.

Przy takich założeniach łatwo ustalić zapasy w zbiorniku potrzebne do zagwarantowania przepływów żeglownych na oznaczony przeciąg czasu w zależności od różnych przepływów naturalnych. Zależność tę możemy wyrazić wykresnie (rys. 3). Określenie chwili wznowienia przepływów żeglugowych jest proste: wystarczy śledzić przebieg przepływów naturalnych (dopływu do zbiornika) oraz ilość zmagazynowanej wody i wówczas gdy wartość x na rys. 3

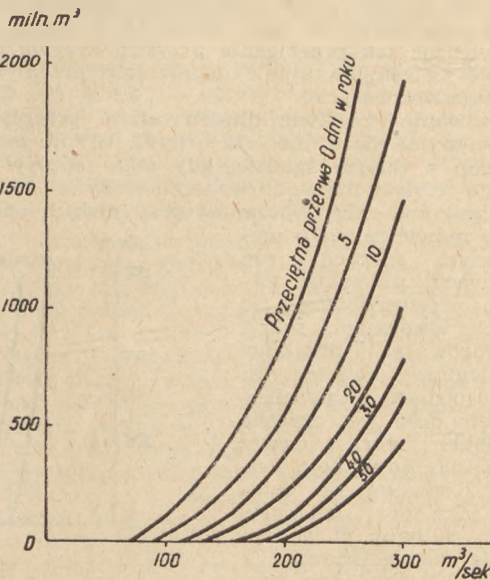


Rys. 3

będzie odpowiadała ilości wody w zbiorniku (wartość x na rys. 2) można wznowić przepływy żeglugowe. W rozpatrywanym przykładzie nastąpiło to w początkach drugiej połowy listopada. Następnie przed końcem listopada nastąpiła powtórna przerwa w żegludze. W wyniku przeprowadzonej analizy dochodzimy do wniosku, że przy przyjętych założeniach w sezonie żeglugowym 1921 r. nastąpi przerwa w żegludze $61 + 3 = 64$ dni.

Badając w ten sposób szereg lat, możemy ustalić wartość przeciętną przerwy w żegludze przy przyjętych założeniach, a jeżeli chcemy przeprowadzić analizę ściślej, to ustalić prawdopodobieństwo powstania określonej ilości dni przerwy.

Dla wyczerpującego naświetlenia zagadnienia uzupełniania niskich przepływów przez zbiornik należy przeprowadzić podobną analizę przy założeniach różnych pojemności zbiornika, oraz różnych wartościach przepływów potrzebnych do żeglugi. W ten sposób możemy dojść do zależności między trzema wartościami: potrzebną pojemnością zbiornika, wartością przepływu minimalnego utrzymywanego przez zbiornik i ilością dni przerwy. W ostatecznym zestawieniu zależności te można przedstawić w postaci rodziny krzywych pokazanej na rys. 4.



Rys. 4

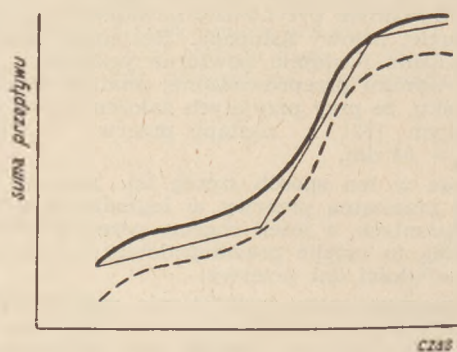
Zestawione w ten sposób wyniki badań hydrologicznych dają wszechstronną podstawę do dalszych rozważań gospodarczych. Ponadto oparte są na założeniach wykonalnych, bo został ściśle określony sposób prowadzenia gospodarki zbiornikowej.

Przejdźmy z kolei do innego zagadnienia.

Obliczanie możliwości produkcji energii elektrycznej przez siłownię zbiornikową

Przy zagadnieniach gospodarki energetycznej spotykamy się z największą różnorodnością stawianych wymagań, wielka jest bowiem zarówno różnorodność potrzeb życiowych, które zaspokajać powinna energia elektryczna, jak i różnorodność naturalnych dopływów wody i możliwości dysponowania wodą nagromadzoną w zbiorniku.

Omówimy tu jedynie na przykładzie metodę podejścia do opracowania zagadnień energetycznych, związanych z gospodarką zbiornikową. Przypomnijmy sobie, iż przy opracowaniu energetycznej gospodarki siłowni zbiornikowej zazwyczaj postępowano w ten sposób, że obok wykresu krzywej sumowania (całkowej) naturalnych przepływów, kreślono analogiczną krzywą w odległości odpowiadającej użytkowej pojemności zbiornika (rys. 5). Wewnątrz otrzymanego w ten sposób pasa można przeprowadzać dowolnie krzywą odpływów wyrównanych, innymi słowy w granicach tych projektować sposób prowadzenia tej gospodarki.



Rys. 5

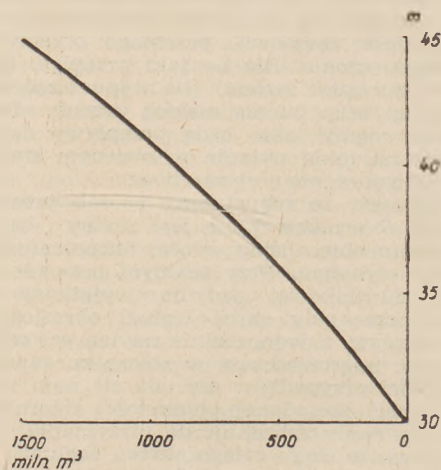
Przy wykreślaniu krzywej wyrównanych odpływów kierowano się najczęściej wskazówką, aby składała się ona z możliwie długich odcinków prostych. W rzeczywistości jednak nawet najracjonalniej przeprowadzona krzywa odpływów wyrównanych, o ile tylko opiera się na znajomości przebiegu krzywej całkowitej, a nie na stałych wytycznych co do sposobu prowadzenia gospodarki, nie jest realna, bo w danej chwili (nie wiedząc jak przebiegnie przyszła krzywa całkowita) nie jesteśmy w stanie ustalić jaki przepływ będzie najwłaściwszy.

Operowanie możliwie długotrwałymi przepływami wyrównanymi może mieć rację bytu jedynie przy siłowniach o dużym spadzie, gdy stały odpływ idzie w parze ze stałą mocą, bo wahania wody w zbiorniku grają znikomą rolę. Natomiast przy niskich spadach należy mówić raczej o wyrównanych mocach a nie odpływach, natomiast odpływy dostosowywać do potrzeb wyrównanej mocy.

Opracowując podstawy hydrologiczne energetycznej gospodarki zbiornikowej, nie dość jest określić przeciętną moc, a nawet przeciętną produkcję siłowni. Konieczne jest ustalenie, jaką moc i jaką produkcję możemy w danym okresie zagwarantować, a jaką dać tylko przy bardziej sprzyjających wa-

runkach przepływu. Dopiero dzieląc możliwą do uzyskania produkcję na zagwarantowaną i niezagwarantowaną, dajemy rzeczywiste podstawy do kalkulacji gospodarczych.

Chodzi o to, że elektrownie wodne zasilają sieć wspólnie z ciepłymi, a zatem każda zainstalowana kilowato-godzina w siłowniach wodnych, o ile jest zagwarantowana, zmniejsza potrzebę odpowiedniej rozbudowy siłowni ciepłych, natomiast każda niezagwarantowana kilowato-godzina wyprodukowana przez siłownię wodne jedynie oszczędza węgiel zużyty w siłowniach ciepłych, ale nie zmniejsza wydatków na ich budowę i wydatków stałych związanych z eksploatacją. Innymi słowy wartość gospodarcza kilowato-godziny zagwarantowanej i niezagwarantowanej jest bardzo różna i opieranie rozważań gospodarczych jedynie na przewidywanej produkcji przeciętnej może dać fałszywy obraz rzeczywistych wartości gospodarczych.

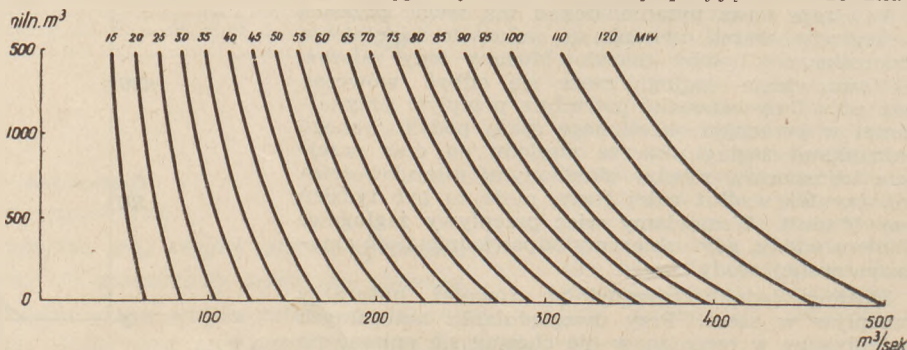


Rys. 6

Wyjaśnimy sposób podejścia do omawianych zagadnień na prostym przykładzie opracowania fragmentu energetycznej gospodarki zbiornikowej. Zadanie polega na opracowaniu gospodarki w ten sposób, aby w ciągu 4 miesięcy zimowych (listopad, grudzień, styczeń, luty) dać maksymalną produkcję, jeżeli mamy do dyspozycji zbiornik o danej pojemności. Mamy na myśli opracowanie konkretnego obiektu, a więc uważać będziemy, że wszelkie dane dotyczące przepływów, spadów i pojemności zbiornika są nam znane.

Najpierw opierając się na krzywej pojemności zbiornika (na rys. 6 podana jest zależność między pojemnością a spadem użytecznym), ustalamy zależność między ilością wody w zbiorniku a przepływem sekundowym, potrzebnym przy różnych mocach (rys. 7). Zależności te będą nam potrzebne przy dalszych rozważaniach. Przechodzimy teraz do ustalania mocy, jaką można uzyskać w ciągu całego badanego okresu 4 miesięcy zimowych przy najgorszych warunkach przepływu.

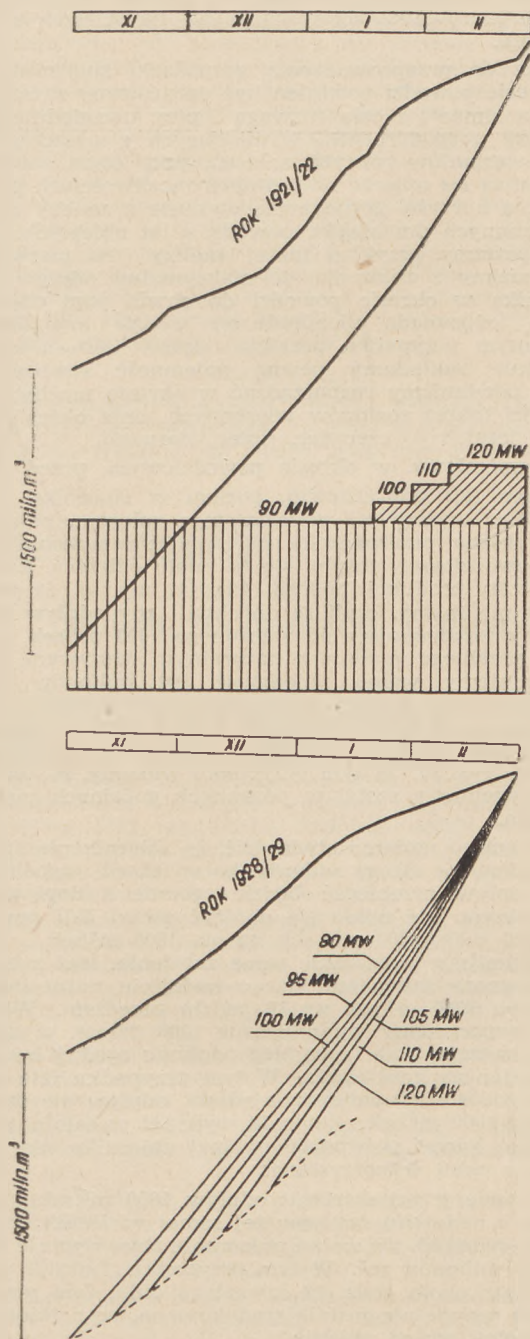
Powstaje obecnie pytanie, jak obrać lub co rozumieć pod mianem najgorszych warunków przepływu. Jako najgorszy okres możemy przyjąć taki ze zna-



Rys. 7

nych okresów, który posiadał najmniejszy odpływ łączny. Można by też zestawiać fikcyjny okres z wybranych najsuchszych miesięcy lub wymyśleć jeszcze inny sposób zestawienia najmniej korzystnego okresu przepływów zimowych. Sprawa ta wymagałaby jeszcze szeregu badań statystycznych.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że zestawienie ze sobą szeregu suchych miesięcy wybranych z różnych lat byłoby zbyt ostrożne i że wystarczy oprzeć się na najsuchszym obserwowanym okresie, oczywiście jeżeli mamy obserwacje z dostatecznej ilości lat (np. 25–30).



Rys. 8

W rozpatrywanym przykładzie (rys. 8), jako najsuchszy przyjęto zimowy okres z roku 1928/1929. Teraz rozpoczynamy konstruowanie krzywych odpływu przy założeniu, że siłownia pracuje cały czas stałą mocą i że w ciągu badanych czterech miesięcy musimy całkowicie wykorzystać posiadany w zbiorniku zapas wody, innymi słowy, żeby w końcu lutego zbiornik był pusty. Aby spełnić to założenie, rozpoczynamy wykreślanie odpływu „od końca”. Mianowicie z wykresu

(rys. 7) dla określonej mocy np. 120 MW odczytujemy przepływ przy zerowym napełnieniu zbiornika i z punktu końcowego (koniec lutego) krzywej sumowania dopływu naturalnego (rys. 8) kreślimy wstecz (powiedźmy na okres dekady) odcinek o odpowiednim pochyleniu.

Różnica rzędnych między krzywą sumowania naturalnego dopływu a wykreślonym odcinkiem krzywej sumowania odpływu wykaże, jaka ilość wody musiałaby się znajdować w danym dniu w zbiorniku. (Można by jeszcze wprowadzić pewną poprawkę, mianowicie przyjąć przepływ odpowiadający przeciętnej ilości wody w zbiorniku, zamiast przepływu odpowiadającego zerowemu napełnieniu zbiornika).

Postępując w podobny sposób, możemy wykreślić szereg krzywych sumowania odpływów odpowiadających różnym mocom. Jedną z tych krzywych spełni żądany warunek, mianowicie, że w początkach okresu różnica rzędnych między tą krzywą a krzywą odpływów równa będzie żądanej pojemności zbiornika. Krzywa ta wskaże nam moc, którą możemy uważać jako zagwarantowaną, bo osiągalną przy najmniej korzystnych przepływach.

Z kolei przeprowadzimy analizę produkcji w innych latach. Na rys. 8 (część górna) uwidoczniła jest analiza produkcji dla roku 1921/22. Przy analizie stawiamy się w sytuacji kierownika zbiornika, który w danej chwili nie zna dalszego przebiegu przepływów naturalnych, a więc w początkach okresu nie wie, czy będzie miał do czynienia z mniej czy bardziej pomyślnym przebiegiem przepływów, wie tylko, że ma pełen zbiornik (przyjęliśmy to jako założenie, realność którego trzeba jeszcze sprawdzić, analizując przepływy pozostałych okresów roku), oraz że w najgorszym przypadku może pracować mocą 90 MW.

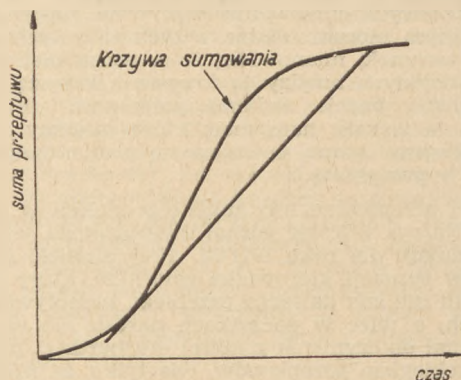
Z biegiem czasu kreślimy zarówno krzywą sumowania naturalnego dopływu, jak i krzywą sumowania odpływu. Możemy więc codziennie porównać, czy w danym dniu posiadany zapas wody w zbiorniku odpowiada zapasowi potrzebnemu w przypadku najmniej korzystnego roku (rys. 8 część dolna). Jeżeli rzeczywisty zapas spada poniżej zapasu w odpowiednim dniu wykresu porównawczego, to można sądzić, że w dalszym ciągu braki te będą jednak pokryte przez dalsze naturalne dopływy i pracować nadal mocą 90 MW (np. stan 1 stycznia w rozpatrywanym przykładzie). Jeżeli w zbiorniku mamy taki zapas wody, że według dalszego wykresu moglibyśmy przejść na krzywą odpowiadającą wyższej mocy, to można powiedzieć (z dużym prawdopodobieństwem), że do końca sezonu możemy dawać moc wyższą. W ten sposób w rozpatrywanym przykładzie przeszliśmy na moc 100, 110, 120 MW. Widzimy, że w okresie zimowym 1921/22 roku uzyskaliśmy nadwyżkę produkcji (obszar zakreskowany ukośnie) oraz, że w końcu lutego pozostał jeszcze pewien drobny zapas wody w zbiorniku.

Po przeprowadzeniu w podobny sposób analizy dla szeregu lat ubiegłych sprawdzimy, czy postępowanie według przyjętego klucza (porównanie z wykresem dla 1928/29 roku) zawsze daje dobre wyniki, oraz jaką produkcję dodatkową (niezagwarantowaną) otrzymujemy w poszczególnych latach, a tym samym ustalimy niezagwarantowaną produkcję przeciętną.

W omawianym przykładzie przyjęto, że siłownia pracuje daną mocą przez całą dobę, rozważania w niczym się nie zmieniają, jeżeli będziemy traktowali siłownię jako zakład pokrywający szczyty dobowe, zazwyczaj bowiem wahania wody w zbiorniku na skutek dobowego wyrównania są tak małe, że nie wpłyną na bieg naszych rozważań, a ustaloną moc można traktować jako miarę produkcji dobowej, którą można dysponować, wykorzystując ją w ciągu kilku godzin w ramach możliwości zainstalowanej mocy siłowni. Można by też pomyśleć inny sposób wykorzystywania nadwyżek wody w zbiorniku, mianowicie zamiast przechodzić na wyższą moc, którą można zagwarantować od danej chwili do końca sezonu, przejść na jeszcze wyższą moc na okres dajmy na to tygodnia, czy też inny wariant podyktowany potrzebami sieci.

Zdjęcie fali powodziowej

Jednym z najbardziej trudnych (a może najbardziej denerwujących) zadań, jakie ma do spełnienia kierownik zbiornika, jest zdjęcie fali powodziowej, bo przeprowadzane jest w okresie gwałtownych zmian przepływu i połączone jest z ryzykiem przedwczesnego napełnienia zbiornika, które umożliwiłoby spełnienie zadania. Analiza znanych fal powodziowych przeprowadzona w ten sposób, że na znanej krzywej sumowania (rys. 9) określamy wartość odpływu odpowiadającą pojemności zbiornika, mija się z celem, jeżeli nie posiadamy na tyle ścisłej metody prognozy, aby w chwili początkowej przewidzieć dokładny przebieg krzywej sumowania dla całego okresu powodzi.



Rys. 9

Jak wiemy z praktyki, prognozy takie są zawodne, toteż wnioski tego typu, że przy pomocy danego zbiornika moglibyśmy zdjąć nawet szczyt najgroźniejszej fali powodziowej, wypuszczając ze zbiornika przepływ o rzędzie wielkości powodzi mniejszych, aczkolwiek wyrządzających dość znaczne szkody, są niebezpieczne. Trudno bowiem przypuścić, aby kierownik zbiornika odważył się spowodować groźną powódź po to, ażeby zdjąć falę jeszcze groźniejszą, jeżeli nie jest pewien, czy ta groźniejsza fala w ogóle nadejdzie.

Na rys. 10 pokazany jest przebieg pewnej fali powodziowej, a mianowicie przebieg naturalnego dopływu (krzywa wahań przepływów i krzywa sumowania zaznaczone linią ciągłą) oraz rzeczywisty przebieg odpływu (krzywa wahań i krzywa sumowania zazna-

nacji, około godz. 16, powzięto decyzję zmniejszenia odpływu na kilka godzin przed nadejściem następnej o wiele większej fali wezbrania.

W wyniku tego największa fala przysłała do pełnego zbiornika i zbiornik nie spełnił swego zadania. Taki przebieg odpływów wykazuje, że kierownictwo zbiornika dosłownie nie wiedziało co począć. Widocznie nie miało ani dobrej prognozy, ani ścisłych wytycznych (ustalonego klucza) odnośnie regulowania odpływu w okresie powodzi. Ciągłe zmiany odpływów wskazują na działanie w stanie wielkiego zdenerwowania, czemu nie należy się dziwić, jeżeli zdjęcie fali powodziowej miało się opierać jedynie na intuicji kierownika zbiornika, a nie na ścisłych wytycznych.

Klucz do przeprowadzenia gospodarki zbiornikiem w okresie powodzi powinien być opracowany z góry „na zimno”, z całą rozważą i przy uwzględnieniu korzyści gospodarczych, wynikających z poszczególnych wariantów różnych założeń, przy czym założenia muszą się opierać na realnych możliwościach prognozy, a korzyści gospodarcze wysnute z analizy szeregu znanych przebiegów powodzi z lat ubiegłych.

Rozpatrzmy przykład takiej analizy. Po pierwsze wychodzimy z założenia, że maksymalny odpływ ze zbiornika w okresie powodzi do chwili jego napełnienia odpowiada nieszkodliwej wodzie brzegowej (w danym przypadku przyjęto odpływ 1000 m³/sek), następnie zakładamy pewną pojemność swobodną, którą powinniśmy rozporządzać w okresie możliwych powodzi (okres roztopów wiosennych, oraz okres powodzi letnich — czerwiec, lipiec, sierpień).

Innymi słowy, w okresie powodziowym, przed nadejściem fali powodziowej, poziom w zbiorniku nie może być wyższy niż wymaga tego założona pojemność próżna przeznaczona na przyjęcie ewentualnej fali powodziowej, choćby się to miało odbywać kosztem straty produkcji energii. Przyjmijmy np., że prognozy nie mamy, czyli że do chwili gdy odpływ naturalny jest mniejszy od założonego 1000 m³/sek, odpływ przebiega zgodnie z naturalnym dopływem, ale utrzymujemy wolną pojemność 100 milionów m³. Z chwilą, gdy odpływ przekroczył 1000 m³/sek, wypuszczamy ze zbiornika tylko 1000 m³/sek i krzywa sumowania odpływu przebiega zgodnie z podwójną linią na rys. 10. W tym przypadku widzimy, że zbiornik wypełniony został w porannych godzinach piątego dnia.

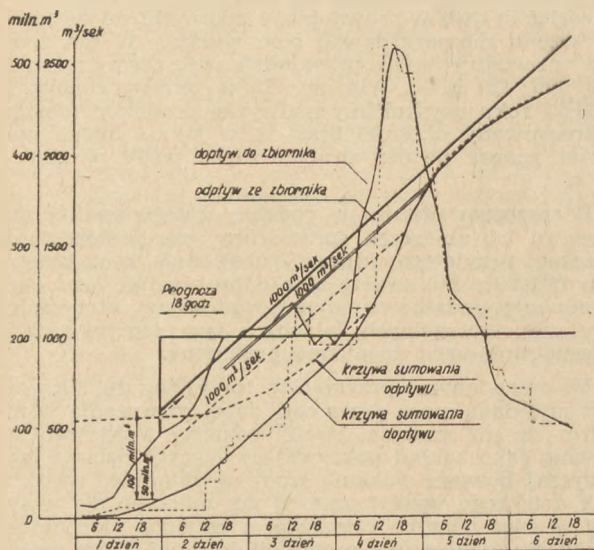
W wyniku możemy stwierdzić, że zbiornik nie spełnił całkowicie swego zadania, bo od chwili wypełnienia odpływ przebiegać będzie zgodnie z dopływem naturalnym, ale udało się obniżyć szczyt fali powodziowej z ok. 2600 m³/sek na ok. 1800 m³/sek.

Przyjmijmy teraz takie same założenia, lecz z tym, że prognoza zawiadomi nas o nadejściu naturalnego dopływu 1000 m³/sek na 18 godzin przedtem. Wówczas rozpoczniemy wypuszczanie 1000 m³/sek w końcu pierwszego dnia i przebieg odpływu zgodny będzie z pojedynczą linią ciągłą. W tym przypadku fala powodziowa została całkowicie zdjęta, odpływ nie przekroczył 1000 m³/sek. Zbiornik wykonał w całości swe zadania, nawet pojemność (wolna) zbiornika nie została w pełni wykorzystana.

Wreszcie trzeci wariant: odpływ 1000 m³/sek, prognoza o nadejściu dopływu tej samej wielkości na 18 godzin naprzód, ale wolna pojemność zbiornika nie 100, lecz 50 milionów m³. W tym przypadku zbiornik wypełnił się około godz. 19 czwartego dnia, fala powodziowa prawie nie została zredukowana, czyli zbiornik nie spełnił swego zadania.

Nasuwa się tu drobna uwaga: gdyby przy rzeczywistym stanie wody w zbiorniku na 18 godzin przed przyjściem dopływu 1000 m³/sek zaczęto wypuszczać 1000 m³/sek, tak jak wskazuje strzałka na rysunku, to fala powodziowa byłaby całkowicie zlikwidowana. Ale bez ustalonych wytycznych trudno było tak pokierować odpływem.

Omówiłem tu kilka wariantów analizy określonej powodzi z ubiegłego okresu. Przeanalizowanie szeregu innych ubiegłych powodzi w podobny sposób pozwoli na wykonanie zestawień, z których można będzie wnioskować, przy którym wariantcie w ilu przy-



Rys. 10

czone linią przerywaną). Widzimy, że w początkowym okresie odpływy były bardzo niskie, dopiero o godzinie 12 drugiego dnia zdecydowano się na podniesienie odpływu, a decyzje co do wielkości odpływu zmieniały się bardzo często (niekiedy co godzinę) i bardzo ostrożnie. W rezultacie już trzeciego dnia zbiornik był prawie wypełniony, a po przejściu pierwszej kulmi-

padkach (w jakim procencie przypadków) fala została zlikwidowana całkowicie, w ilu częściowo, a w ilu nie udało się fali zredukować. Ujęte w ten sposób wyniki badań szeregu założeń umożliwią wybór najwłaściwszego ze względów gospodarczych „klucza”. Możemy bowiem zestawić, jakie straty ponosimy przy każdym wariantcie na skutek spadku produkcji elektrycznej przez trzymanie niskiego poziomu wody w zbiorniku lub jakie ponosimy straty w żegludze na skutek małego zapasu wody w zbiorniku, z korzyściami osiąganymi przez zmniejszenie szkód powodziowych.

Obrany wariant z góry może przewidywać, że w pewnej ilości wypadków (o określonym prawdopodobieństwie) fala powodziowa nie zostanie zlikwidowana, będziemy się wówczas godzili z klęską żywiołową, wiedząc, że dla jej uniknięcia musielibyśmy zrezygnować z innych korzyści gospodarczych. Może się nawet zdarzyć, że dla uzyskania innych korzyści w ogóle zrezygnujemy z wykorzystania danego zbiornika dla celów powodziowych.

Z chwilą ustalenia sposobu prowadzenia gospodarki zbiornikowej w okresie powodzi kierownik zbiornika byłby odpowiedzialny jedynie za ściśle wykonanie ustalonego przepisu, pracowałby spokojnie, bez zbytniego zdenerwowania, wiedząc z góry, że mogą zajść przypadki siły wyższej, kiedy prowadzony przez niego zbiornik zadania swego nie spełni.

Wnioski

Przez rozpatrzenie metody badań poszczególnych zadań zbiornika bynajmniej nie mam zamiaru twierdzić, że każdy zbiornik ma służyć wyłącznie do spełnienia

tylko jednego zadania. Powinna być każdorazowo ustalona hierarchia zadań, które ma spełnić dany zbiornik, powinien być opracowany dokładnie sposób gospodarowania dla spełnienia zadania głównego, powinny być ustalone wynikające stąd zmiany przepływów, a dopiero w ramach tych przepływów opracować można najlepszy sposób zaspokajania potrzeb wynikających z następnego zadania i dalszych.

Zdaje sobie dokładnie sprawę z tego, że należyte opracowanie gospodarki nawet pojedynczego zbiornika wymaga dużego wkładu pracy, tym bardziej opracowanie gospodarki zespołu zbiorników. Jeżeli jednak mamy stanąć na stanowisku należytego wykorzystania naturalnych zasobów wody, czego wymaga gospodarka planowa, wkład tej pracy jest niezbędny.

Na zakończenie jeszcze raz chcę podkreślić następujące zasady:

- Metoda opracowania gospodarki zbiornikowej musi być oparta na realnych podstawach, czyli zawsze trzeba się liczyć z tym, że w danej chwili nie znamy dokładnego przebiegu przepływów jaki nastąpi w przyszłości.
- Jeżeli zakładamy znajomość pewnych danych o przyszłym przebiegu przepływów, to założenia te powinny być oparte na realnych, sprawdzonych możliwościach prognozy.
- Wszelkie inne rozważania wprowadzają w błąd i stają się szkodliwą fikcją.
- Dane z lat ubiegłych stanowią tylko podstawę do opracowania sposobu („klucza”) prowadzenia gospodarki na przyszłość i pozwalają na sprawdzanie, czy przyjęty klucz jest słuszny.

INŻ. KAZIMIERZ KARS

Studia techniczne i gospodarcze do budowy siłowni wodnych

Przystąpienie do projektowania każdej poważniejszej budowli powinno być poprzedzone ustaleniem założeń, które z kolei wymagają przeprowadzenia wyczerpujących badań, mających na celu techniczne i gospodarcze uzasadnienie celowości powyższych zamierzeń, oraz określenie w sposób najbardziej jasny wpływu, jaki zamierzona budowla będzie wywierać na różne gałęzie gospodarki narodowej z jednej strony i jakie będzie oddziaływanie tychże gałęzi na projektowaną budowlę z drugiej strony.

Szczególnie budowa siłowni wodnych, które często na skutek wytworzenia zbiorników wodnych o znacznych rozmiarach wywołują zasadnicze zmiany i przeobrażenia gospodarcze nie tylko w najbliższym otoczeniu, ale i daleko poza miejscem budowy, wymaga bardzo wnikliwego i dokładnego poznania zarówno wszystkich dodatnich czynników sprzyjających budowie, jak i ujemnych, tj. pomniejszających czy nawet unicestwiających wartość zamierzonej budowy.

Najbardziej ogólne dane, jakie należy posiadać dla określenia możliwości budowy i jej celowości polegają na:

- sprecyzowaniu celu i przeznaczenia budowy,
- określeniu rejonu i miejsca budowy,
- wyznaczeniu zależności jej od innych budowli oraz od gospodarki danego rejonu.

Przestudiowanie tych zagadnień i opracowanie danych dotyczących topografii terenu, geologii podłoża, przepływu wód i ich wyrównania, określenie wpływu projektowanej budowli na różne dziedziny gospodarki i odwrotnie, ujawnienie wpływu tych dziedzin na wybór rodzaju budowli oraz sporządzenie programu eksploatacji projektowanego zakładu — nazywamy s t u d i a m i.

Jeszcze nie tak dawno studia ograniczały się do uzyskania najbardziej prymitywnych danych i powierzchniowych pomiarów. Tak długo dopóki dotyczyło to niewielkich przegród, postępowanie tego rodzaju mogło być uważane za dostateczne. Z chwilą jednak ogromnego wzrostu i rozwoju siłowni wodnych, zakres studiów również rozszerzył się i obejmuje obecnie

zagadnienia: I — hydrologiczne, II — geologiczne i hydrogeologiczne, III — terenowe i IV — gospodarcze.

Różnorodne w istocie i nadzwyczaj obszerne w treści elementy pracy związanej z przeprowadzeniem studiów w pierwszym rzędzie polegać mają na:

- zbadaniu reżimu danego cieku, a w szczególności jego przepływów i sposobów ich wyrównania, ustaleniu mocy i produkcji siłowni, wyznaczeniu pojemności zbiornika itp.;
- poznaniu struktury geologicznej w sposób umożliwiający ustalenie technicznych warunków budowy oraz jej przybliżonego kosztu;
- wykonaniu zdjęć i planów topograficznych;
- ustaleniu wzajemnego stosunku pomiędzy projektowaną budowlą a wszystkimi dziedzinami gospodarki danego rejonu;
- określeniu wysokości potrzebnych nakładów i ich rentowności oraz sposobu ich amortyzacji.

Przechodząc z kolei do omówienia poszczególnych studiów zaznaczam, że w artykule niniejszym nie da się rozpatrzeć w sposób wyczerpujący wszystkich zagadnień. Każdy bowiem rodzaj studiów, czy to hydrologicznych, geologicznych, czy wreszcie finansowych, sam w sobie może stanowić poważną i obszerną pracę, wymagającą nie paru wierszy, ale wielu stronic do streszczenia. Dlatego też w ramach istniejących możliwości postaram się omówić najważniejsze zagadnienia, chociażby nawet w formie najbardziej ogólnej.

I. Studia hydrologiczne

Studia hydrologiczne polegają na zebraniu i wykorzystaniu uprzednio prowadzonych obserwacji stanów wody, prędkości przepływu, ilości przepływającej wody w naturalnych warunkach, ustaleniu najmniejszych i największych przepływów oraz czasu trwania stanów i częstotliwości pojawiania się wód katastrofalnych. W zależności od rzędu wielkości budowy — okres obserwacji, który należy uwzględnić, bywa różny. Przy znacznych spiętrzeniach bezpieczeństwa samej budowli, jak również terenów i osiedli położonych w pobliżu, należy uwzględnić okresy, w których wystąpiły największe powodzie, a przy mniejszych spiętrzeniach wystarczy okres, w którym wystąpiły największe powodzie, a przy mniejszych spiętrzeniach wystarczy okres, w którym wystąpiły największe powodzie.

zonych poniżej przegrody wymaga uwzględnienia katastrofalnych wód pojawiających się nawet raz na kilkadziesiąt lat.

Studia hydrologiczne powinny pozwolić ustalić w sposób autorytatywny wysokość piętrzenia, sposób wyrównania odpływów, wielkość wody roboczej, spad użytkowy, obszar zalewu, zasięg cofki itp. W ostatecznym stadium należy określić moc projektowanego zakładu i wielkość produkcji zarówno podstawowej, jak i szczytowej. Dane te pozwolą zorientować się co do wyboru rodzaju budowli, jaką należy wykonać, jak i co do rentowności projektowanej siłowni wodnej.

II. Studia geologiczne i hydrogeologiczne

Studia te w zależności od celu i przeznaczenia budowy polegają na:

- poznaniu możliwości spiętrzenia wody z jednoczesnym zabezpieczeniem terenów obfitujących w cenne kopaliny,
- zbadaniu poszczególnych obszarów zalewu, celem umożliwienia ochrony ważniejszych obiektów gospodarczych od zatopienia i podtapiania,
- poznaniu wszelkich możliwych zjawisk sprzyjających powstawaniu zsuwów, niszczeniu brzegów i formowaniu się nowego koryta na skutek zamierzonego spiętrzenia wody,
- ustaleniu możliwości powstawania odkładów, które w rezultacie mogą spowodować całkowite замуlenie zbiornika,
- zbadaniu filtracji oraz możliwości ucieczki wody ze zbiornika,
- wykonaniu szeregu wiercen, odkrywek, szurfów itp., a w końcowej fazie na sporządzeniu geologicznej i hydrogeologicznej mapy badanego rejonu, która powinna zawierać dane geologiczne, geomorfologiczne i specjalne inżyniersko-geologiczne, w zależności od fazy prac projektowych,
- badaniach laboratoryjnych, a w szczególności na określeniu współczynnika filtracji typowych gruntów, przeprowadzeniu mechanicznej analizy tychże gruntów i analizy chemicznej wody zarówno w rzece, jak i wód gruntowych,
- pracach kameralnych na sporządzeniu profili geologicznych ze wskazaniem poziomów wód gruntowych, obliczeniu wyporu, sporządzeniu schematów i planów z naniesieniem miejsc otworów, wykonanych badań itp.,
- ustaleniu ostatecznego miejsca usytuowania przegrody i siłowni oraz podaniu wytrzymałości gruntu.

III. Studia topograficzne

Podstawą do prac projektowych są plany topograficzne badanego rejonu, które w zależności od wielkości projektowanej budowli powinny być wykonane w skali 1 : 5000 lub 1 : 2000, a dla samej budowli nawet 1 : 500. Planu sytuacyjno-wysokościowego powinny zawierać wszystkie dane dotyczące zarówno poszczególnych obiektów znajdujących się w rejonie projektowanego zalewu, jak i wykazy własności i przeznaczenia poszczególnych budowli i obiektów. Na planach tych powinna być naniesiona linia zalewu i wyłączenia. Poza tym należy wymienić dane dotyczące położenia nad poziomem morza poszczególnych obiektów, a w szczególności stopy fundamentów, sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, zbiorników podziemnych, szlaków komunikacyjnych i łączności, kopalni, szlabów, zalegania użytecznych kopalni, zakładów przemysłowych, kanałów, gospodarstw rolnych i leśnych itd. Do prac topograficznych należy również wytyczenie w terenie linii zalewu i wyłączenia, przełożenia dróg, kolei itp.

IV. Studia gospodarcze

Studia gospodarcze obejmują problemy wpływu projektowanej siłowni wodnej i zbiornika, powstałego na skutek budowy przegrody, na różne gałęzie gospodarki narodowej. Oznacza to, że do zakresu studiów wchodzi ma:

- zbadanie potrzeb i interesów zarówno osób pojedynczych, jak i instytucji czy związków, korzysta-

jących, czy to z wody danego cieku, na którym ma stanąć budowa, czy to z gruntów przyległych do projektowanego zbiornika;

- ustalenie możliwości zadośćuczynienia im w przypadku przyczynienia szkód;
- określenie wysokości nakładów, które należy na ten cel przeznaczyć;
- sprecyzowanie obowiązków, jakie będą ciążyć na ekspluatatorze;
- określenie skutków jakie wywrą te zobowiązania na całość gospodarki energetycznej danej siłowni.

Nie wolno pominąć najmniejszych nawet potrzeb poszczególnych zainteresowanych, o ile rozwój ich jest niezbędny dla kulturalnego postępu miejscowego społeczeństwa. W związku z tym projektowanie, budowa i eksploatacja powinny być prowadzone w taki sposób, aby móc zadośćuczynić nawet tym zainteresowanym, których interesy uznano za drugorzędne w porównaniu do innych, które posiadają dominujące i najważniejsze znaczenie.

*

Badając i studiując wszystkie te sprawy, musimy pamiętać, że pomimo iż jedne z nich będą wpływały dodatnio, inne zaś ujemnie, to jednak decydującym czynnikiem będzie przeznaczenie budowy.

Jeśli siłownia i przegroda wykonane zostały na rzece żeglownej, to w pierwszym rzędzie będą one stanowić przeszkodę w transporcie wodnym. Jeśli siłownia projektowana jest na dopływie szlaku żeglownego, to wpływ może być dodatni, o ile zbiornik będzie mógł podnosić niskie stany, w przeciwnym razie będzie przeszkadzać, gdyż ze względu na znaczną produkcję energii zimą będzie oddawać duże ilości wody w okresie, gdy żegluga jest nieczynna.

Prawie wszystkie rzeki w okresie wiosennego topnienia śniegów, a u nas często i w okresie letnim, prowadzą znaczne ilości wody, przyczyniając ogromne szkody i straty gospodarce zarówno osobom prywatnym, jak i instytucjom społecznym.

Pobudowanie zbiornika, którego pojemność pozwoli na kilku lub kilkunastoletnie wyrównanie przepływów, wpłynie dodatnio na życie gospodarce rejonu. Natomiast stałe utrzymywanie niewypełnionej pojemności w zbiorniku, potrzebnej na wypadek powodzi, wpływa ujemnie na ogólny bilans produkcji siłowni wodnej. Wykorzystanie zaś nadmiaru wody powodziowej może być zjawiskiem wypadkowym i w produkcji energii odegra niewielką i nieprzewidzianą rolę.

Pobór wody dla celów gospodarczych i przemysłowych w przypadku pobudowania zbiornika i siłowni będzie ułatwiony, a to z uwagi na możliwość doprowadzenia wody grawitacyjnie nawet do odległych miejsc spożycia, ze względu na czystość wody i stałą jej temperaturę. Natomiast o ile w rejonie budowy, przemysłowe i gospodarcze zapotrzebowanie wody jest duże, może zajść fakt, że efektywna ilość wody, która pozostanie do produkcji energii, zmaleje tak znacznie, że nie będzie celu budowy zbiornika i zakładu energetycznego.

Zrozumiałe jest, że pobudowanie zbiornika i siłowni wodnej przysporzy znaczne korzyści życiu gospodarstwu i przemysłowemu nie tylko w najbliższych, ale i dalej położonych rejonach, oraz pozwoli na rozwój nowego przemysłu, który powstanie w oparciu o miejscowy surowiec i półfabrykaty oraz potencjał ludzki.

W odniesieniu do gospodarki rolnej i leśnej należy rozpatrywać wpływ mającego powstać zbiornika osobno na tereny położone poniżej zbiornika i osobno na tereny przylegające do zbiornika. W przypadku pierwszym gospodarka rolna i leśna zawsze zyska, a to ze względu na uregulowanie odpływów, umożliwienie nawodnienia i odwodnienia terenów, uporządkowanie gruntów przybrzeżnych, zmniejszenie do minimum groźby powodzi itp. W przypadku drugim gospodarka leśna i rolna na ogół straci, gdyż zostaną przerwane szlaki komunikacyjne, nastąpi podmakanie gruntów, zostanie utrudnione odwodnienie ich, nastąpi zmiana struktury gleby, a więc konieczność zmiany również i rodzaju upraw itd.

Każda budowla wykonana w korycie rzeki stanowi przeszkodę dla ruchu i bytowania ryby. Szczególnie jeśli w danej rzece przebywa tak cenna ryba jak łoso-

soś lub pstrąg, straty w rybostanie spowodowane wykonaniem przegrody są tak znaczne, że mogą być uzupełniane jedynie przez budowę i prowadzenie sztucznych wylęgarni oraz stałego zarybiania zbiornika i rzeki.

Każdy kraj nawet najmniej rozwinięty gospodarczo posiada sieć dróg i łączności. Dlatego też w dobie rozbudowy gospodarki socjalistycznej, tym bardziej drogi odgrywają niezmiennie ważną rolę. Budowa zaś zbiornika wymaga przełożenia dróg, nowych mostów, linii telefonicznych i telegraficznych oraz linii przesyłowych energii elektrycznej.

Jeśli w rejonie projektowanego zbiornika położone są zakłady przemysłowe lub tereny bogate w cenne złoża i kopaliny, należy bardzo skrupulatnie zbadać ich wartość, zamierzony rozwój i korzyści jakie mogą dać krajowi, możliwości i koszt przeniesienia oraz wynikię stąd straty dla gospodarki społecznej.

Ważne obiekty przemysłowe i osiedla powinny być ochronione przed zalewem, albo przeniesione na inne tereny. Wynalezienie nowych terenów, zdalnych do założenia osiedli, umożliwienie przesiedlonym ludziom znalezienia odpowiedniej pracy i danie im możliwości korzystania przynajmniej z takich samych zdobyczy kulturalnych — wszystko to obciąża projektowany zakład wodno-elektryczny.

W przypadku konieczności przesiedlenia znacznych ilości ludzi może zająć okoliczność, że koszty obciążające zakład będą niewspółmiernie wysokie do produkcji i w tym przypadku nie będzie celowe projektowaną siłownię wykonać.

Żadno nowa budowla nie może powstać kosztem zniszczenia dobytku kulturalnego narodu. Dlatego też zabytki historyczne czy kulturalne powinny być albo przeniesione w stanie nienaruszonym, albo zabezpieczone w należyty sposób. Niestety wszelkie parki narodowe i rezerваты nie mogą być przeniesione, dlatego też należy bardzo skrupulatnie zbadać nie tylko straty finansowe, jakie się poniesie przy zniszczeniu ich, ale również i może jeszcze w większej mierze straty kulturalne, których się powetować nie da w żadnym wypadku.

V. Koszt budowy, jego rentowność i amortyzacja zakładu

Określenie ogólnego kosztu budowy jest najbardziej odpowiedzialną i trudną pracą każdego projektanta

siłowni wodnej. Szczególnie przy projektowaniu wielkich siłowni trudności związane z określeniem kosztu budowy są niezmiernie duże ze względu na to, że taka budowa jest ściśle powiązana z różnymi gałęziami gospodarki narodowej.

Ogólnie biorąc, wszystkie koszty budowy można podzielić na:

1. koszty poniesione przy wznoszeniu zakładów, gospodarstw itp., położonych w obszarze zalewu;
2. koszty jakie należy ponieść na przygotowanie terenu pod zalew;
3. koszty jakie należy ponieść na wykonanie siłowni;
4. koszty w okresie eksploatacji;
5. koszty związane z koniecznością przebudowy zakładów pobierających energię z projektowanej siłowni wodnej.

Do pierwszej grupy należą wydatki na pokrycie tych kosztów, jakie ponieśli właściciele gruntów i zakładów, które zostaną usunięte z terenu przeznaczonego pod zalew, albo zlikwidowane zupełnie.

Do grupy drugiej należą wydatki, jakie należy ponieść na usunięcie wywłaszczonych gospodarstw, wyręb i usunięcie lasów, oczyszczenie całego terenu przeznaczonego pod zalew itp.

Do trzeciej grupy należą wydatki na właściwą budowę i wszystkie pomocnicze a związane z główną i zasadniczą budowlą.

Do grupy czwartej należą normalne koszty eksploatacyjne i serwituty, jakie będą ciążyć na siłowni z tytułu uprawnień poszczególnych właścicieli usuniętych zakładów przemysłowych i instytucji społecznych.

Do piątej grupy należą specjalne zobowiązania siłowni wodnej w stosunku do tych przedsiębiorstw i zakładów przemysłowych, które czerpiąc energię z nowopowstałej siłowni zmuszone są do przebudowy własnych urządzeń.

Studia odnoszące się do rentowności projektowanej siłowni i amortyzacji włożonych nakładów mogą być wykonane na podstawie ściślej kalkulacji zapotrzebowania energii i jej podaży.

INŻ. JÓZEF WAKSMAN

Zadania „Energoprojektu“ w Dziale Siłowni Wodnych

Konieczność maksymalnego wykorzystania zasobów wodnych w ogóle, zwłaszcza zasobów sił wodnych, nie ulega już obecnie żadnej wątpliwości w świetle potrzeb energetycznych kraju z jednej i wspianego przykładu radzieckiego z drugiej strony. Środek ciężkości przesunął się dziś zdecydowanie na zagadnienie wyboru kolejności obiektów i sposobu ich budowy. Aby o tym decydować, trzeba mieć opracowane koncepcje wykorzystania odcinków lub całych rzek, trzeba rozporządzać techniczno-ekonomicznymi wskaźnikami poszczególnych obiektów. Wąskie gardło naszego budownictwa wodno-energetycznego tkwi zatem obecnie w dokumentacji technicznej, w jej niedostatecznej ilości i jakości. Toteż naczelnym zadaniem Działu Siłowni Wodnych „Energoprojektu“ jest zwiększenie i podniesienie na wyższy poziom produkcji projektowej. Dla zwiększenia zdolności produkcyjnej tego działu konieczny jest dalszy wzrost jego personelu, jak również coraz większa wydajność pracy projektantów i pomocy technicznej.

Należy przede wszystkim rozwinąć trzy cechy projektowania: solidną podstawę badawczą, kompleksowość i ekonomikę.

Projektowanie w ogóle, a zwłaszcza w budownictwie wodnym, musi opierać się na jak najdokładniejszych badaniach hydrologicznych, topograficznych i geologicznych. Wszelkie niedociągnięcia w tej dzied-

zinie mogą bardzo poważnie zaciążyć na budowie. Szczególną uwagę należy zwrócić na geologię, od której zależy bezpieczeństwo danego obiektu.

Jeśli idzie o kompleksowość, to wszyscy w teorii stosujemy już tę zasadę, ale w praktyce ciągle jeszcze spotykamy się z lekceważeniem lub przynajmniej obojętnością dla interesów innych resortów. W wyniku tej wady inwestycje projektowane są jednostronnie, lub jeśli komisje ocen projektów inwestycyjnych strzegają błąd, potrzeba wówczas dodatkowego wkładu pracy projektanckiej i związanej z tym straty cenowego czasu.

Dopóki sprawa kompleksowego projektowania obiektów wodnych nie będzie inaczej załatwiana, zainteresowane biura projektowe jak Biuro Projektów Wodno-Melioracyjnych, Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Komunalnego, Biuro Projektów Energetycznych „Energoprojekt“, Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego „Hydroprojekt“ i inne muszą między sobą ściśle współpracować i pomagać sobie nawzajem, aby wspólnym wysiłkiem podnosić poziom projektowania wodnego. Przy tym warto zaznaczyć, że kompleksowość oznacza nie tylko uwzględnienie interesów wszystkich resortów na danym obiekcie, ale również uwzględnienie „interesów całej rzeki“, tj. zaprojektowanie schematu wykorzystania rzeki, aby się upewnić o celowo-

ści i kolejności budowy danego obiektu z punktu widzenia perspektywy zabudowy całej rzeki.

Zagadnienia ekonomiczne wiążą się nierozdzielnie z technicznymi, ale nie znajdują jeszcze właściwego odbicia w projektowaniu. Szczególną trudność stanowi tu konieczność przestawienia się z ekonomiki kapitalistycznej na socjalistyczną. Trzeba śmiało wytyczyć metody obliczeń ekonomicznych i udzielić im stanowczo więcej miejsca w projektach. Również niewłaściwie traktowane są dotychczas problemy organizacji budowy, podczas gdy wiadomo przecież, że od nich zależy realność koncepcji projektowej i że na nich opierają się kosztorysy, a więc ekonomika. Musimy wiedzieć możliwie najdokładniej, jak będziemy budo-

wać, i to powinno być pokazane nie tylko w opisie ale i na szkicach.

Wielką trudnością w projektowaniu siłowni wodnych jest brak krajowych wytwórni turbozespołów i poważnej części niezbędnej aparatury elektromechanicznej. Projektowanie energetyczne wymaga ścisłej współpracy z tymi wytwórniami, a w naszych warunkach jest ona bardzo utrudniona.

Zamykając w tych krótkich słowach omówienie zadań Działu Siłowni Wodnych „Energoprojektu“, należy wyrazić nadzieję, że dział ten mimo wielu trudności, wzorując się na radzieckim „Gidroenergoprojekcie“, przyczyni się niewątpliwie do optymalnego wykorzystania zasobów wodnych Polski Ludowej.

PROF. INŻ. ZBIGNIEW ŻMIGRODZKI

Politechnika Warszawska

Zagadnienia normalizacji i typizacji w projektach wodno-energetycznych

Normalizacja i typizacja stanowią w energetyce wodnej problem ważny i trudny. Doceniając jego wagę, Polska Akademia Nauk postawiła ten problem na jednym z czołowych miejsc w planie prac swego Instytutu Wodnego.

Celem normalizacji i typizacji jest osiągnięcie możliwie daleko idących oszczędności przez powtarzanie stosowania identycznych, udoskonalonych konstrukcji, co pozwoli jednocześnie na znaczne skrócenie terminów realizacji danych inwestycji.

Trudność w rozwiązywaniu tego problemu polega przede wszystkim na tym, że poszczególne siłownie wodne noszą w zasadzie charakter raczej indywidualny.

Nie wyprzedzając wyników wyżej wspomnianych prac Polskiej Akademii Nauk, chciałbym w niniejszym artykule przeprowadzić próbę postawienia tez i wytycznych w dziedzinie typizacji siłowni wodnych, w oparciu o pewien przykład z praktyki.

Zastrzegam z góry, że praca niniejsza nie obejmuje całości zagadnienia, mam jednak nadzieję, że pobudzi ona zainteresowanych do dalszych poszukiwań i nowych wniosków w tej sprawie.

Jako przykład obrałem jeden z wariantów kompleksowego rozwiązania odcinka rzeki Bugu. Na odcinku tym ma być stworzona droga wodna, pokonywająca różnicę poziomów 60 m z wyzyskaniem sił wodnych. Wśród szeregu rozpatrywanych wariantów znajduje się również taki, w którym starano się właśnie przeprowadzić możliwie daleko idącą typizację stopni piętrzących, a zwłaszcza siłowni. W odróżnieniu od zasadniczego wariantu, przewidującego budowę pięciu stopni o różnych spadach i różnych konstrukcjach, wariant o „znormalizowanych“ siłowniach posiada jeden stopień o spadzie 8 m, oraz 8 stopni o spadzie ok. 6,5 m każdy. Z uwagi na trudne warunki terenowe w trzech stopniach „typowych“, siłownia nie znajduje się bezpośrednio przy jazie, a jest umieszczona na końcu względnie niedługiego kanału.

W ten sposób wariant ten posiada dwa typy siłowni (spad 8 i ok. 6,5 m), dwa również tylko typy słuz o wymienionych spadach oraz trzy typy budowli piętrzących (spad 8, ok. 6,5 i ok. 3,5 m). Należy zaznaczyć, że warunki fundowania są na ogół podobne.

Spróbujmy teraz wyznaczyć, przynajmniej co do rzędu wielkości, oszczędności, mogące wyniknąć z zastosowania konstrukcji znormalizowanych. Oszczędności te należy podzielić na dwie zasadnicze grupy, mianowicie:

- a) dokumentacji technicznej,
- b) wykonawstwa.

Jak wiadomo, koszt opracowania dokumentacji technicznej w wielkich budowlach wodnych wynosi ok. 3% kosztu ogólnego dla części budowlanej i ok. 10%

kosztu ogólnego dla urządzeń elektro-mechanicznych. Przy siłowniach o niskim spadzie urządzenia elektro-mechaniczne kosztują ok. 30% ogólnego nakładu inwestycyjnego. Szacując, że kanalizacja Bugu na rozpatrywanym odcinku będzie kosztować ok. 2 miliardów złotych, koszt dokumentacji technicznej wyniesie około:

$$(0,1 \cdot 0,3 + 0,03 \cdot 0,7) 2\,000\,000\,000 = 102\,000\,000 \text{ zł.}$$

Projektując 2 siłownie, 2 słuz i 3 typy budowli piętrzących, zamiast po 5 odnośnych obiektów, zaoszczędzimy ok. 50% kosztów projektów, tj. ok. 50 000 000 zł.

Jest to dopiero oszczędność bezpośrednia na dokumentacji, mając jednak na uwadze wielkie braki w naszych siłach technicznych, zwłaszcza gdy chodzi o samodzielnych projektantów, zmniejszenie prac projektowych do połowy daje większe szanse terminowego zakończenia projektów tak, by już wreszcie „budowa nie wyprzedzała projektu“, a wiadomo, że dokładnie i na czas wykonany projekt znacznie obniża koszty inwestycji.

Wkraczamy tu już automatycznie w oszczędności na wykonawstwie. Wynikają one nie tylko z terminowego dostarczenia dokumentacji technicznej, „znormalizowanie“ pozwala na opracowanie i stosowanie wyjątkowo ekonomicznego i celowego typu konstrukcji, pozwala ono też na wprowadzenie elementów prefabrykowanych na możliwie dużą skalę, co daje dalsze oszczędności, nie tylko na kosztach wykonania ale i na cennych surowcach. Mam tu przede wszystkim na myśli zastąpienie szalowań drewnianych przez prefabrykowane elementy żelbetowe, zastępujące niekiedy jednocześnie niezbędne licowanie z kamienia naturalnego; mogą tu wchodzić w rachubę również i prefabrykowane zbrojenia dla większych belek żelbetowych, względnie uruchomienie centralnych punktów gięcia żelaza. Szalowanie rur ssących i spiral turbinowych, elementów bardzo skomplikowanych, można wykonać w postaci przenośnych konstrukcji stalowych dla wielokrotnego użytku.

Jak widzimy, normalizacja i typizacja dają możliwość stosowania całego szeregu pomysłów dających z jednej strony oszczędności w kosztach i surowcach, z drugiej zaś strony możliwości znacznego przyspieszenia tempa realizacji inwestycji. Kto wie, czy przy należyтым opracowaniu harmonogramów robót takich 8 siłowni znormalizowanych nie dałoby się wykonać systemem bez mała „potokowym“.

Cyfrowe ujęcie możliwych do osiągnięcia przy tym oszczędności jest trudne, jednakże, jeżeli na samej dokumentacji zyskuje się ok. 2,5%, to na wykonawstwie winno się zyskać co najmniej 10%.

Widzimy więc na przykładzie rozpatrywanego odcinka rzeki Bugu, że przy zastosowaniu normalizacji i typizacji skarb państwa może zyskać ok. ćwierć

miliarda złotych! W tym też więc kierunku powinniśmy iść, szukać możliwie ekonomicznych rozwiązań siłowni wodnych na innych rzekach w Polsce.

W pierwszym rzędzie będą się nadawały do takiej typizacji siłownie o niskich spadach, które będzie można grupami rozwiązywać na Wiśle górnej, środkowej i dolnej.

Należy tu opracować znormalizowane zamknięcia jazowe z mechanizmami wyciągowymi, ściankami zakładanymi z suwnicą i mostem podsuwnicowym, zwiększając w miarę wzrostu wielkiej wody ilość jednakowych przesł. Wówczas, przy podobnych warunkach geologicznych, konstrukcje filarów jazowych i progów mogą pozostać, praktycznie biorąc, bez większych zmian.

INŻ. WŁADYSŁAW KRZYŻANOWSKI

Instytut Hydromechaniczny
Politechniki Gdańskiej

O szybkobieżnych turbinach wodnych

Już w początkach obecnego stulecia starano się usilnie o to, aby można było turbinę wodną łączyć z generatorem elektrycznym bezpośrednio, tzn. bez stosowania hałaśliwych, kosztownych i zużywających energię przekładni. Rozwiązanie tego zadania wymagało na ogół powiększenia liczby obrotów turbiny przy danym spadzie i mocy, a to było niekiedy niemożliwe bez wykroczenia poza obszar stosowanych podówczas szybkobieżności.

Jako miernik szybkobieżności (zwany „wyróżnikiem szybkobieżności”) przyjęto drogą umowy wielkość n określającą liczbę obrotów w minucie turbiny geometrycznie podobnej do turbiny danej i posiadającej wszystkie wymiary zmienione w takim stosunku, aby przy n_s obrotach w minucie i pod spadem użytecznym 1 m^2 oddawała maksymalnie moc równą 1 KM . Wielkość n_s określa szybkobieżność jednostki hydrometrycznej, składającej się z jednego wirnika, zasilanego z jednej kierownicy.

Tak określony wyróżnik szybkobieżności wyraża równanie:

$$n_s = \frac{n_n}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{N_m}{H \sqrt{H}}}$$

gdzie: n_n — normalna liczba obrotów turbiny w minucie,

H — spadek użyteczny w metrach,

N_m — maksymalna moc turbiny przy normalnych obrotach w KM.

Należy odróżnić szybkobieżność jednego wirnika turbiny od szybkobieżności jedno-tki hydrometrycznej, składającej się z kilku wirników osadzonych na wspólnym wale. Szybkobieżność takiej złożonej jednostki hydromotorycznej jest zależna od liczby W wirników, a w przypadku turbin natryskowych również od liczby k kierownic, zaś jej wyróżnik szybkobieżności n_s jest określony równaniem:

$$(n_s)_j = n_s \sqrt{K \cdot W},$$

gdzie: K — oznacza liczbę kierownic,

W — oznacza liczbę wirników.

Przed rokiem 1910 nie umiano uzyskać znaczącego powiększenia szybkobieżności wirników bez znacznego obniżenia ich sprawności. Żadaną liczbę obrotów osiągnęto przez budowanie jednostek hydromotorycznych z wieloma wirnikami osadzonymi na wspólnym wale. Nie zwiększając szybkobieżności pojedynczego wirnika, uzyskiwano w ten sposób zwiększenie liczby obrotów wału w stosunku kwadratowego pierwiastka z ilości wirników. Tego rodzaju rozwiązania występują w postaci turbin bliźniaczych, podwójnych, trójwirnikowych itd. Większe zakłady wodne o niskich spadach wyposażono wobec tego w dużą ilość jednostek hydromotorycznych o dwu lub więcej wir-

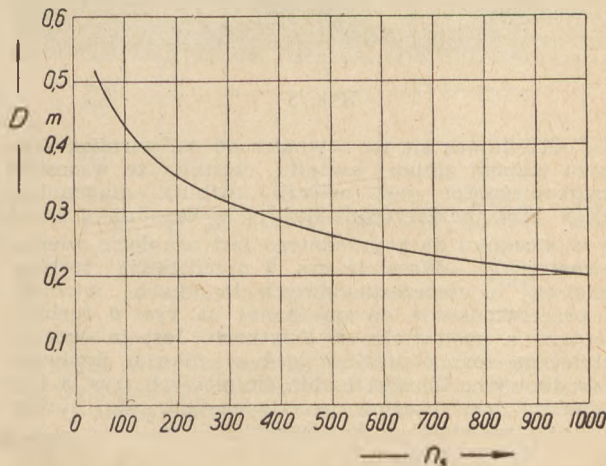
nikach. Główna oszczędność leży jednak w zastosowaniu grupami jednakowych turbozespołów, jako elementów, których projektowanie (doświadczenia laboratoryjne) i produkcja (odlewy stalowe) są wyjątkowo kosztowne. Oznaczenie każdorazowej granicy, stosowanie w miarę wzrostu dorzecza większej ilości zespołów wymaga specjalnych studiów. Oczywiście, daleko łatwiej nadają się do typizacji małe siłownie wodne na niewielkich rzeczках, przeznaczone dla elektryfikacji wsi.

Przykład Bugu wykazuje, że i na większych rzekach da się zastosować normalizację i typizację siłowni wodnych i w tym kierunku powinniśmy iść, szukając kompleksowych rozwiązań na większości rzek w Polsce.

Jako przykład może posłużyć jeden z zakładów wodnych, w którym było łącznie aż czterdzieści wirników. Taki sposób podwyższania szybkobieżności nie mógł oczywiście przypaść do gustu użytkownikom wskutek kłopotów eksploatacyjnych oraz olbrzymich kosztów budowy. Wobec tego fabryki produkujące turbiny wodne były w końcu zmuszone do pokonywania trudności w sposób najwłaściwszy, tzn. przez zwiększenie szybkobieżności pojedynczych wirników.

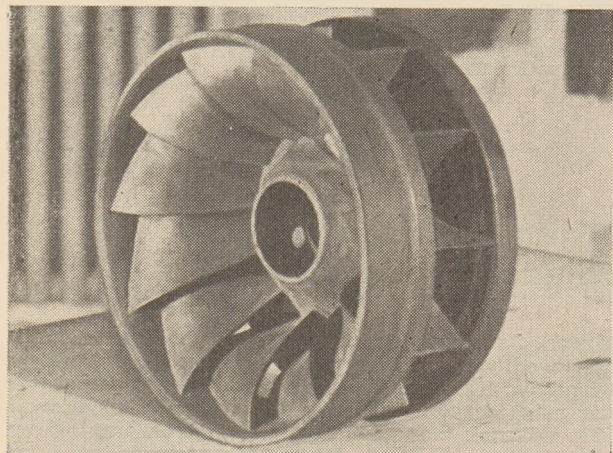
Na przełomie obecnego stulecia stosowano najchętniej turbiny Francisa, o wyróżniku szybkobieżności (pojedynczego wirnika) $n_s \approx 150$, jako uważane podówczas za najbardziej sprawne. W kilkanaście lat później budowano już turbiny Francisa o wyróżnikach szybkobieżności wirników $n_s = 450$. Jednakże okazało się, że w turbinach Francisa dochodzi się przy takim podwyższaniu szybkobieżności do coraz niższych wartości współczynnika mocy użytecznej i dlatego chętnie zastępowano turbiny Francisa o wyróżnikach $n_s > 400$ turbinami Kaplana.

W początkach budowy turbin Kaplana zadowalano się wyróżnikami $n_s = 600 - 700$. Obecnie turbiny Kaplana mają praktyczne zastosowanie w obszarze $n_s = 400 - 1200$. Ze wzrostem szybkobieżności zmieniały się kształty wirników turbin naporowych. Łopatek wirnika ubywało, kanały międzyłopatkowe stawały się coraz szersze i krótsze, a rozmiary turbin dla tych samych mocy stawały się mniejsze. Zmniejszenie liczby łopatek zwiększało bezpieczeństwo pracy turbin wskutek zmniejszenia możliwości zatykania się kanałów międzyłopatkowych zanieczyszczeniami (liście, małe gałązki, w zimie kawałki lodu), a zmniejszenie wymiarów obniżało koszty budowy turbin.



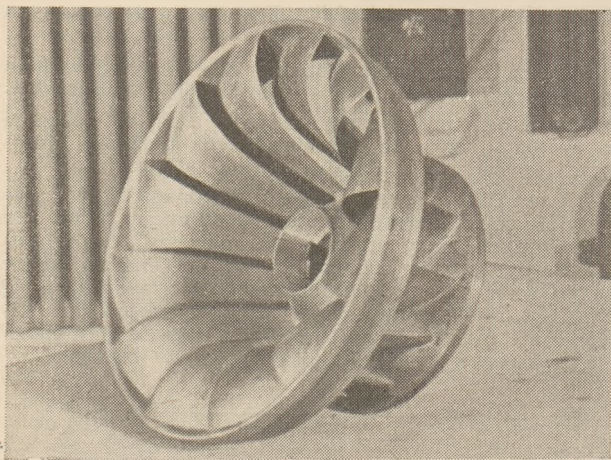
Rys. 1

Dla porównania, w jakim stopniu zwiększanie szybkości wirników nowoczesnych turbin naporowych wpływa na wielkość wirnika, może służyć rys. 1, obrazujący zależność średnicy charakterystycznej wirnika D od wyróżnika szybkości n_s dla tej samej mocy. Wykres ten został wykonany na podstawie średnich wartości szeregu dotychczasowych konstrukcji. Dla zobrazowania zmian kształtu wirnika ze wzrostem szybkości mogą służyć podane poniżej fotografie wirników turbin naporowych. Rys. 2 przed-



Rys. 2

stawia wirnik turbiny Franciszki o wyróżniku szybkości $n_s = 150$. Krawędź wlotowa łopatki tego wirnika leży w płaszczyźnie przechodzącej przez oś wirnika, a wszystkie punkty tej krawędzi leżą na prostej równoległej do jego osi. Rys. 3 przedstawia wirnik turbiny Franciszki o wyróżniku szybkości $n_s \approx 340$. W przeciwieństwie do poprzedniego wirnika krawędź wlotowa łopatki jest krzywą przestrzen-

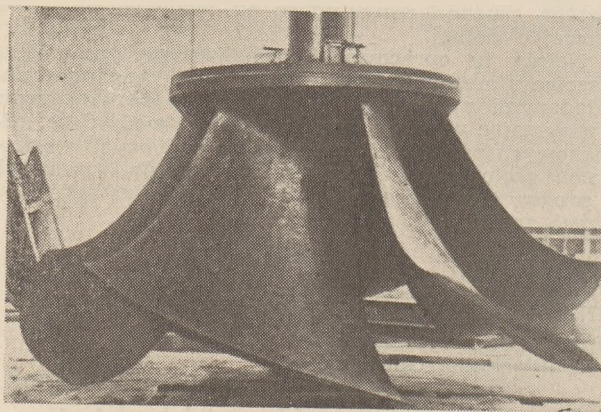


Rys. 3

ną, odchylającą się na zewnątrz od osi wirnika. Dal- szym etapem zmian kształtu wirnika ze wzrostem szybkości jest wirnik turbiny diagonalnej ($n_s = 515$), uwidoczony na rys. 4. Zasadniczą zmianą w stosunku do poprzedniego jest usunięcie wieńca zewnętrznego. Wreszcie rys. 5 przedstawia turbinę śmigłową o nieprzystawialnych łopatkach wirnika, w przeciwieństwie do pokazanej na rys. 6 turbiny Kaplana o nastawialnych łopatkach. Jest to obecnie ostateczna forma przekształceń wirnika o dopływie dośrodkowym. Wirniki turbin śmigłowych (rys. 5 i 6) posiadają zazwyczaj, w przeciwieństwie do turbin Franciszki, niewielką ilość łopatek (2 — 8).

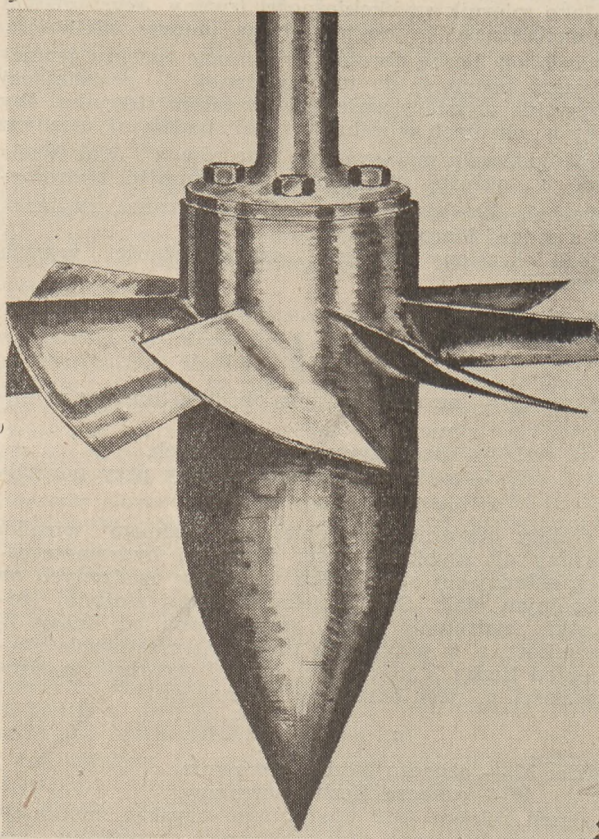
* * *

Już na początku obecnego stulecia, w miarę przy- bywania coraz to większej ilości problemów związa- nych z budową turbin wodnych, fabryki produkujące turbiny zaczynają wyposażać swoje zakłady w stacje



Rys. 4

badawcze, mające na celu rozwiązywanie tych pro- blemów i ulepszanie dotychczasowych konstrukcji. Inwestycje w postaci stacji badawczych okazały się w zupełności opłacalne i celowe. Liczne kłopoty przy budowie pierwszych turbin Kaplana zostały właśnie tą drogą usunięte, a dalsze badania laboratoryjne uczyniły z nich jednostki przewyższające pod wielo-

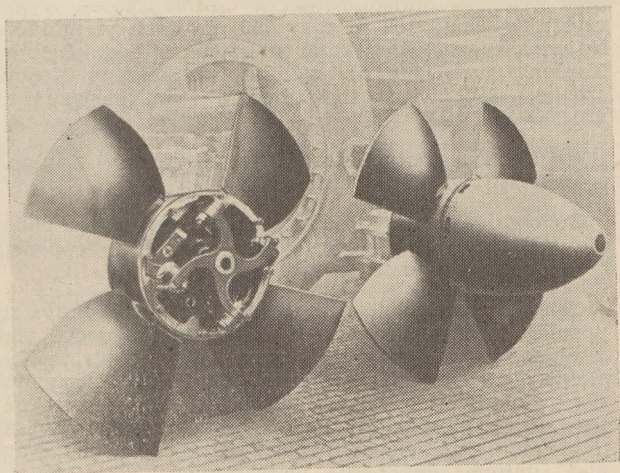


Rys. 5

ma względami turbiny Franciszki. Dzięki specjalnym zaletom turbin Kaplana są one, mimo większych kosztów budowy, coraz częściej stosowane, zwłaszcza w zakładach o zmiennej ilości wody.

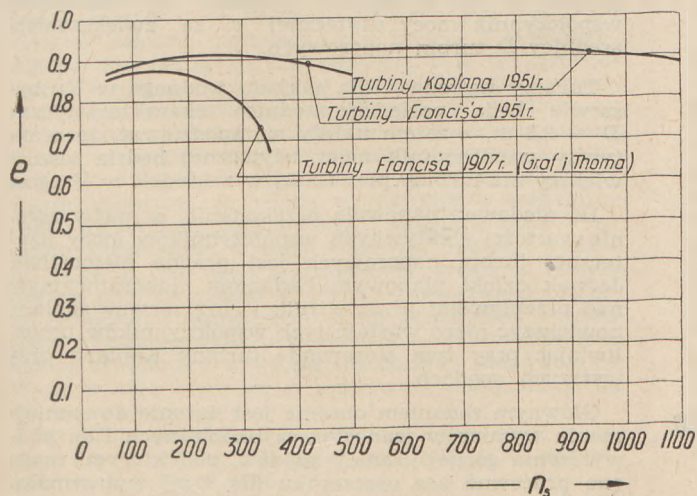
Jakie postępy uczyniono w oparciu o planowe ba- dania turbin wodnych, może zobrazować rys. 7. Podane na tym rysunku krzywe przedstawiają zależność efektywnego współczynnika mocy użytecznej od wy-

różnika szybkobieżności turbin naporowych. Dolna krzywa przedstawia tę zależność dla turbin Francisa z roku 1907, ustaloną przez *G r a f a i T h o m e*, na podstawie badań na wirnikach modelowych. Górne krzywe ujmują analogiczną zależność dla turbin Francisa i Kaplana, ustaloną na drodze badań laboratoryjnych z roku 1951. Dla należytego porównania zostały one w jednym i drugim przypadku przeliczone na średnicę 1 m. Rys. 8 przedstawia przebieg zależności efektywnego współczynnika mocy użytecznej e od napełnienia Q/Q_{max} dla wirnika turbiny Francisa o średnicy $D = 1,0$ m i $n_s = 288$. Maksymalna wartość współczynnika $e = 0,91$ osiągnięta w 1951 r., w zestawieniu z maksymalną wartością $e = 0,81$, otrzymaną przez *P f a r r a* w 1892 r. na turbinie Francisa o $n_s = 90$, daje najlepszy obraz osiągnięć na przestrzeni sześćdziesięciu lat.



Rys. 6

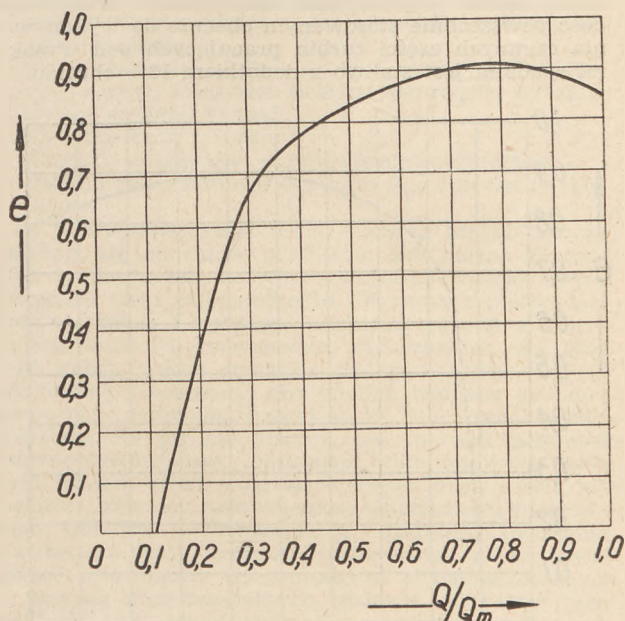
Wyniki badań przeprowadzonych ostatnio na turbinie Kaplana o średnicy $D = 0,700$ m i wyróżniku szybkobieżności $n_s = 755$ przedstawiono, po przeliczeniu na średnicę 1 m, na rys. 9. Maksymalna wartość efektywnego współczynnika mocy użytecznej wynosi $e = 0,918$. Analogiczną zależność dla turbiny Kaplana o wyróżniku szybkobieżności $n_s = 1030$ i o średnicy $D = 1,0$ m przedstawia rys. 10. Maksymalna wartość współczynnika mocy użytecznej wynosi w tym przypadku $e = 0,895$.



Rys. 7

Przykłady podane wyżej obrazują najlepiej dokonane w ciągu ostatnich lat czterdziestu podwyższenie sprawności turbin szybkobieżnych. Jednocześnie dają one doskonałe porównanie obszaru szybkobieżności stosowanego w roku 1907 z obszarem stosowanym obecnie.

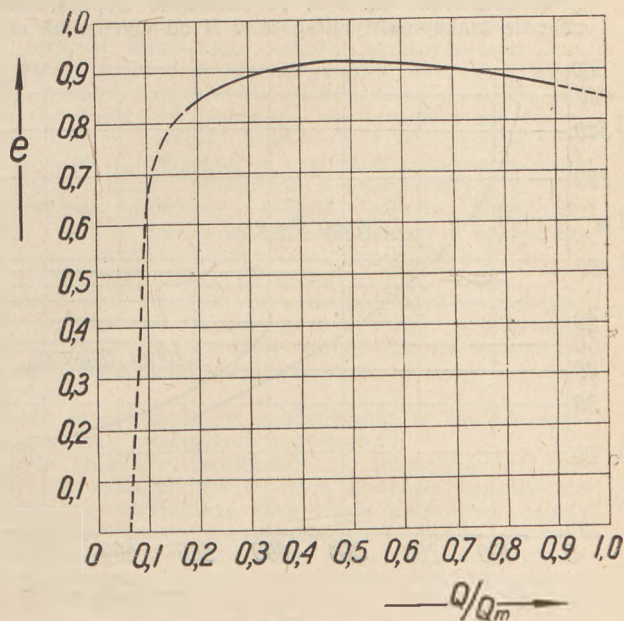
Spady, przy których stosowano turbiny Francisa, sięgały na przełomie ubiegłego stulecia 30 m. Już w 1920 r. spotyka się turbiny pracujące pod spadami sięgającymi 250 m. Obecnie zastosowanie turbin Francisa przy spadach sięgających 400 m nie jest rzadko-



Rys. 8

ścią. Jako przykład może posłużyć siłownia wodna w miejscowości Hol (Norwegia), wyposażona w dwie turbiny Francisa o mocy po 62 500 KM pracujące pod spadem 390 m. W czasie dwuletniej pracy tych turbin nie zanotowano większych defektów. W Australii, w miejscowości Limberg, pracują dwie turbiny Francisa o mocy 71 000 KM każda, wykorzystując spad 380 m.

Turbiny Kaplana stosowano w latach do 1920 r. tylko przy wyzyskiwaniu spadów, nie przekraczających

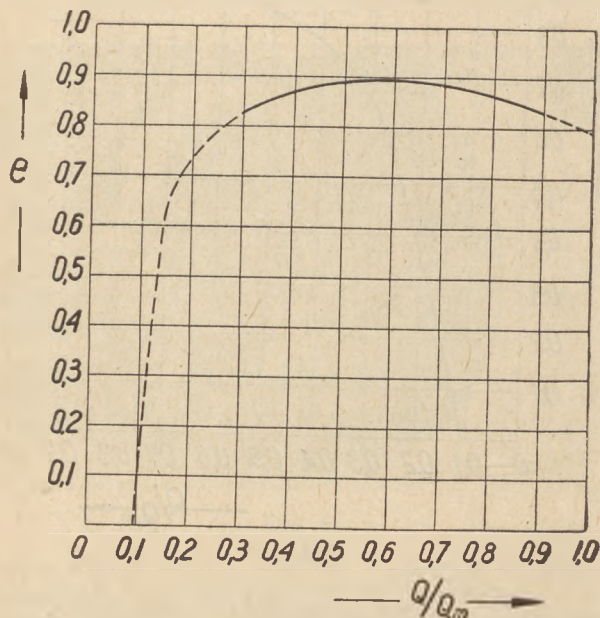


Rys. 9

15 m. W kilka lat później są jednak dość często wykorzystywane przez turbiny Kaplana spady sięgające 39 m. Obecnie przekroczono granicę 50 m. W Irlandii, w miejscowości Pollapluga, pracuje np. turbina Kaplana o mocy 25 300 KM, pod spadem 50,5 m. W zakładach Rochette (Włochy) jest zainstalowana turbina

Kaplana o mocy 5 000 KM, pod spadem 56 m. Należy nadmienić, że w budowie jest obecnie turbina, która będzie pracować pod spadem 70 m.

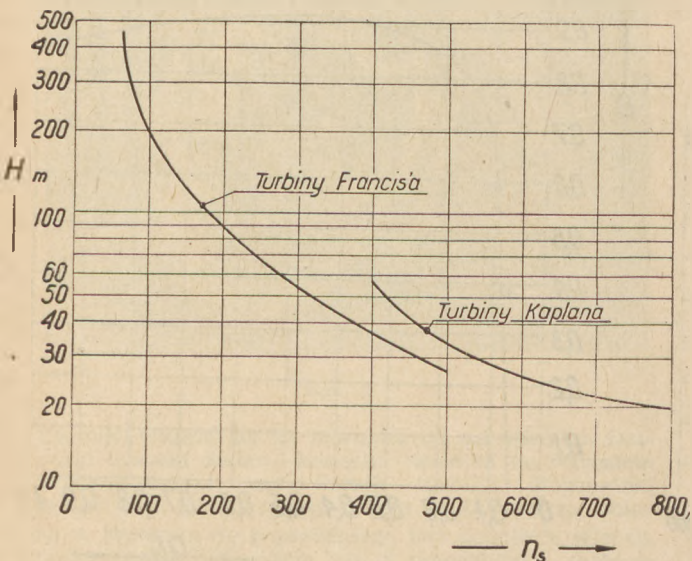
Tak znaczne postępy w rozszerzeniu obszaru stosowalności turbin Kaplana zawdzięcza się badaniom laboratoryjnym nad przepływami przez turbiny oraz zastosowaniu odpowiednich materiałów. Materiałem dość powszechnie stosowanym obecnie do wykonywania czynnych części turbin pracujących pod wysokimi spadami jest staliwo z dodatkiem 13% chromu.



Rys. 10

Nienaganna praca turbin naporowych pod tak wysokimi spadami zaczyna coraz bardziej rozszerzać obszar ich stosowalności. W wielu przypadkach zaczynają turbiny Francis'a konkurować z turbinami Peltona. Powodem tego jest niewątpliwie większa liczba obrotów, mniejszy koszt budowy oraz większa sprawność szczytowa.

Przedstawiona na rys. 11 zależność dopuszczanych obecnie maksymalnych spadów H od wyróżnika szyb-



Rys. 11

kobieźności n_s uwidacznia, że w obszarze sięgającym od $H = 40$ do $H = 60$ m stosuje się zarówno turbiny Francis'a, jak i turbiny Kaplana, przy czym jednak turbiny Kaplana wyróżniają się lepszym efektywnym współczynnikiem mocy użytecznej przy obciążeniach częściowych.

W 1900 r. największa moc jednostki hydrometrycznej wynosiła 3 000 KM (turbina Francis'a na wodospadzie Niagara). W niespełna dwadzieścia lat potem spotyka się już jednostki o mocach rzędu 30 000 KM. W latach przedwojennych największą jednostką była turbina o wyróżniku szybkobieżności $n_s = 195$, wykrzystująca wody rzeki Sungari, pracująca pod spadem 69 m i oddająca moc 115 000 KM przy 125 obrotach w minucie.

Obecnie największą moc 165 000 KM posiada turbina Francis'a zainstalowana w Grand Coulee, wykorzystująca spad 102 m przy 150 obrotach w minucie. Największymi jednostkami na świecie będą turbiny Kaplana budowane dla zakładu wodnego w Kujbyszewie. Moc jednostki będzie tam sięgać do 230 000 KM.

Największa dotychczasowa moc turbiny Kaplana wynosi 113 500 KM (Columbia).

Budowa tak dużych jednostek stawia trudne zadanie techniczne warsztatowej oraz utrudnia transport części składowych na miejsce montażu.

Celem zapobieżenia tym trudnościom wykonuje się wirniki turbiny Francis'a dla większych mocy, jako dzielone na dwie lub więcej części. Wirniki turbin Kaplana nie wymagają dzielenia, gdyż (w przeciwieństwie do turbin Francis'a) ich piasta nie stanowi całości z nastawialnymi łopatkami wirnika; stwarza to dogodniejsze warunki przy transporcie, jak również ułatwia wykonanie warsztatowe.

Ze wzrostem średnicy charakterystycznej wirnika wzrasta efektywny współczynnik mocy użytecznej turbiny, co jest jednym z powodów stosowania jednostek o dużej mocy. Jako przykład może służyć turbina Kaplana o przełyku $Q = 314 \text{ m}^3/\text{sek}$, pracująca w zakładzie Vargon (Szwecja) i wykorzystująca spad 4,3 m; jej wirnik posiada średnicę 8 m. Wartość efektywnego współczynnika mocy użytecznej wyznaczona przy użyciu dokładnych metod pomiarowych wynosi $e^t = 0,945$. Przeliczając otrzymaną wartość efektywnego współczynnika mocy na średnicę 1 m, otrzymuje się $e = 0,91$. Zestawienie z sobą tych dwu cyfr daje pojęcie, w jakim stopniu zwiększa się efektywny współczynnik mocy użytecznej e ze zwiększeniem średnicy D turbin naporowych.

Turbiny wykonane dla zakładu wodnego w Kujbyszewie będą posiadały średnice charakterystyczne $D = 9,3$ m, a zatem należy się spodziewać, że efektywny współczynnik mocy użytecznej będzie jeszcze większy niż turbiny pracującej w zakładzie w Vargon.

Do niedawna panowało przekonanie, że podwyższenie wartości efektywnych współczynników mocy użytecznej turbin naporowych jest prawie niemożliwe. Jednak dzięki planowym badaniom laboratoryjnym nad przepływami przez wirnik i rurę ssawną zdołano powiększyć nieco wartość tych współczynników, umożliwiając przy tym stosowanie turbin Kaplana przy wyższych spadach.

Głównym zadaniem obecnie jest dążenie do zmniejszenia wymiarów jednostek szybkobieżnych i do podwyższenia górnej granicy spadów, pod którymi mogą one pracować bez uszczerbku dla swej wytrzymałości i trwałości.

INŻ. ARCH. ANDRZEJ SIERAKOWSKI

Zagadnienie architektury wodnych budowli inżynierskich

Zagadnienie architektury budowli inżynierskich, w szczególności siłowni wodnych, nie ma zbyt wiele podkładu w naszych opracowaniach.

Państwo, mając w rękę dyspozycję całej gospodarki planowej, coraz większy nacisk kładzie na wyraz plastyczny wszelkich elementów kształtujących przestrzeń. Otworzy się w tym kierunku nieznane i nieosiągalne dawniej możliwości. Łoży się poważne nieraz środki dla uzyskania „wspaniałości socjalistycznej” kluczowych obiektów.

Trzeba od razu zaznaczyć, że nie ma to nic wspólnego z tzw. „reprezentacyjnością”, terminem modnym i niezbyt szczęśliwie interpretowanym przed wojną. Reprezentacja polegała przede wszystkim na pokazaniu pewnym określonym kołom, przeważnie zagranicznym, że stać nas na „mocarstwo”.

„Socjalistyczna wspaniałość” — jak ją określono — jest świadomym środkiem kształtowania kulturalnego, wyrabiania uczucia dumy i optymizmu w społeczeństwie ze wspólnych osiągnięć. Dlatego stosowana jest wszędzie tam, gdzie największej ludzi może ją oglądać o każdym czasie, za darmo i bez ograniczeń. Tak budowano metro moskiewskie, czy kanał Wołga-Don.

Środki dla osiągnięcia tego celu nie są tak łatwe do wybrania i zastosowania, jakby się mogło wydawać — zwłaszcza w budownictwie przemysłowym. Można jednak stwierdzić, że pewne budowle działają na człowieka u nas obco i przygnębiająco, podczas gdy inne zmuszają prawie do uczuć wprost przeciwnych.

Są pewne cechy architektury w Polsce, o których się wiele ostatnio mówi, które stanowią odrębności „narodowej formy”. Chodzi o pewną drobność, miękkość i wytworność detalu, pewne proporcje wysokościowe, zastosowanie attyki i podcienia, formy dachu, osadzenia stolarki, koloryt i wiele, wiele innych. Niestety, większość z nich bardzo trudno nam dzisiaj zastosować do architektury przemysłowej.

Zagadnienie to należy tym bardziej podkreślić, że rozwój wypadków w architekturze jest ważnym elementem ogólnego rozwoju kulturalnego, którego efekty wszyscy obywatele będą musieli konsumować na codzień, chcą, czy nie chcą.

Związek architektury z budownictwem inżynierii wodnej jest bardzo ścisły. Wielkie budowle wodno-energetyczne lub związane często z nimi, jak: zapory wodne, kanały z ich śluzami i portami, jazy itp. przez wielkość założeń, usytuowanie w terenie i monumentalność odgrywają bardzo poważną rolę w kształtowaniu krajobrazu i to, w większości przypadków, krajobrazu otoczenia miasta lub cennych krajobrazów w przestrzeni związanych z wodą, górami czy lasem. W okolicach tych człowiek instynktownie szuka piękna. Piękno to wynikające z praw przyrody rządzi się innymi zasadami niż piękno, wynikające ze zorganizowanej działalności inżynierskiej. Stopienie tych czynników, które same w sobie stanowią pewnego rodzaju antytezę, nie jest zagadnieniem prostym. Dzieła inżynierskie, określone ścisłymi wymaganiami funkcji, ekonomii i konstrukcji, lubią przekreślać — przy złym ukształtowaniu plastycznym — naturalną harmonię krajobrazu w sposób brutalny i nieodwołalny. Wynikłe stąd błędy są w większości przypadków nie do naprawienia.

Wyliczymy zasadnicze zagadnienia, które musi w całości lub w części rozwiązać architekt aby uniknąć tych błędów. Będą nimi:

- Uchwycenie niewłaściwej lokalizacji szczegółowej oraz charakteru całości i części z punktu widzenia plastycznego.
- Ukształtowanie bryły lub zespołu brył w sposób zgodny z otoczeniem i jego dominantami.
- Zastosowanie odpowiedniej faktury i odpowiednich materiałów.
- Zastosowanie architektury odpowiedniej do wszystkich poprzednich czynników, bardziej regionalne

formy architektury narodowej lub monumentalne potraktowanie całości w myśl metody realizmu socjalistycznego.

- Ukształtowanie otoczenia, tj. „małej architektury” — dróg, dojazdów, murów oporowych, wreszcie zieleni zorganizowanej.
- Kwestia wnętrza i detali.
- Akcenty plastyczne — przeważnie rzeźbiarskie.
- Osiedla mieszkaniowe czy awaryjne i budowle społeczne.

Te podstawowe zagadnienia i szereg innych jeszcze składają się na całość problemu. Nie można zaprzeczyć, że dobre lub złe ich rozwiązanie wpływa zasadniczo na efekt całego obiektu. W ramach możliwości ekonomicznych i wymagań eksploatacyjnych konieczne jest takie ich rozwiązanie, aby człowiek, dla którego każdy z tych obiektów jest przeznaczony, mógł być dumny z osiągnięć, aby wielkie budowle przemysłowe były symbolem naszej epoki, która przekształca przyrodę, ale jej nie niszczy, jak to robił przemysł dziewiętnastowieczny, obliczony tylko na zysk. Jednym słowem efekt musi się wyrażać, poza ilością kilowatów, również zadowoleniem estetycznym przeciętnego odbiorcy. Wzmocnia je działanie otoczenia, a zwłaszcza wody, urządzeń, statków itp., a więc czynników o działaniu dynamicznym, zharmonizowanym ze statyką monumentalnych budowli. Trwałość tych budowli jest mniej uzależniona od przypadkowych zmian procesów technologicznych oraz żywiołowego i często fatalnego w skutkach rozrostu innych obiektów przemysłowych.

Z tych powodów kwestia dobrego rozwiązania plastycznego tego rodzaju budowli jest znacznie istotniejszym problemem, niż w innych przemysłach, jak np. hutnictwie, górnictwie itp., które niewątpliwie, ulegając poważnym zmianom, mają trwałość ograniczoną, są chwilowo związane z nieuniknionym działaniem mnóstwa kominów, zadymieniem oraz dużą ilością odpadków, zatrutych odpływów, wylazów i hałd, zniekształcających otoczenie i same budynki.

Oglądając dzisiaj rzymskie akwedukty, mosty itp. odczuwamy zarówno ich piękno, jak celowość i trwałość; kształtują one nasz sąd o ówczesnej epoce. Ta rola spośród wszystkich budowli przemysłowych naszej epoki przypadnie chyba właśnie budowłom inżynierii wodnej i energetyki wodnej. Stąd wypływa odpowiedzialność ich twórców, nie mniejsza niż twórców wielkich budowli miejskich, choć często niedoceniana. Rolę spełnianą w ustrojach przeszłości przez świątynie i pałace przejmują, a właściwie już przejęła, budowla społeczna i wielkie budowle zespołowej pracy ludzkiej zgodnie z prawami rozwoju społeczeństwa w oparciu o środki i metody produkcji.

To dotyczyło istoty problemu i jego wagi.

Należy mieć pewność, że w następnym 5-letnim planie gospodarczym natężenie inwestycji w kierunku budowli wodnych wzrośnie wobec przede wszystkim słabego dotychczas wykorzystania energii wodnej w Polsce.

Jakie są trudności w uzyskiwaniu w dotychczasowej praktyce właściwych rezultatów?

Skala obiektów, narzucanie się względów utylitarnych i konstrukcyjnych i tym podobne zagadnienia niezmiennie utrudniają stosowanie klasycznej reguły o narodowej formie i spocjalistycznej treści. Niewątpliwie technicznie bezbłędnie zaprojektowany zakład, mający wszelkie urządzenia dla maksymalnego zapewnienia pracownikowi odpowiednich warunków fizycznych i psychicznych oraz właściwą gospodarczo i politycznie lokalizację, odpowiada zasadniczym wymaganiom co do treści socjalistycznej. Natomiast sprawa formy narodowej i w ogóle formy architektonicznej w tym przypadku nie jest u nas poważnie postawiona. Brak obiektywnej i naukowej krytyki w dziedzinie architektury przemysłowej jest poważnym zagadnieniem. Krytyka taka mogłaby wejść do programu pracy biur studiów.

Kilkakrotnie słyszeliśmy druzgocącą krytykę architektury przemysłowej z miarodajnych ust — krytykę w zasadzie słuszną. Jednakże trudność i nowość zagadnienia, niechęć do publikacji reprodukcji projektów i obiektów, tak naszych jak Związku Radzieckiego i krajów zaprzyjaźnionych, oraz przede wszystkim analizy tych projektów, są poważnym utrudnieniem.

Konstruktywna, fachowa, marksistowska krytyka i analiza jest koniecznością, jeśli nie mamy marnować mnóstwa wysiłków i talentu. Niech i krytyk podlega potem krytyce, niech odpowiada za to co napisał, tak samo jak projektant za projekt.

W obecnej chwili jest mnóstwo zagadnień, których nie potrafimy należycie wyrazić, gdyż nawykliśmy do myślenia raczej analitycznego niż syntetycznego. Buduje się w Związku Radzieckim szereg ogromnych obiektów wodnych, przy czym każda z kilkunastu służ i obiekty pomocnicze są projektowane pod względem architektonicznym bardzo starannie i monumentalnie. Wydaje się, że dominującą cechą jest właśnie monumentalność, tj. pomnikowość niektórych akcentów. Te pomniki mają służyć upamiętnieniu zwycięstw odniesionych w walce i pracy narodu. Będą pamiątką ogromnych wysiłków i nieraz wyrzeczeń społeczeństwa pracującego świadomie dla przyszłości. Pod tym kątem można architekturę wypełnić treścią nie tylko funkcjonalną, trzeba jednak zrozumienia ze strony inwestora oraz zapалу i wyobraźni ze strony całego zespołu projektującego.

INŻ. KAZIMIERZ DACHOWSKI

Dyspozycja mocy i racjonalna gospodarka wodna w elektrowniach wodnych systemu energetycznego

Energetyka zajmuje się zagadnieniem najracjonalniejszego i najtańszego sposobu wytwarzania i dostawy energii elektrycznej ze znajdujących się w danym państwie zapasów węgla, wody, ropy itd. Do niedawna jeszcze największy wysiłek szedł w kierunku wynalezienia źródeł energii, wybudowania elektrowni (ciepłnych i wodnych) oraz zaopatrzenia miast i osiedli wiejskich w odpowiednią sieć i urządzenia rozdzielcze. Nie stawiano sobie jednak pytania: ile kilogramów węgla lub metrów sześciennych wody na kilowatogodzinę zużywa dana elektrownia w różnych porach roku i godzinach doby, i czy nie można by zmniejszyć konsumpcję węgla lub wody, rozdzielając w ten sposób obciążenia na dane turbozespoły elektrowni względnie dane elektrownie okręgu lub systemu. Jednocześnie nie przywiązywano tyle wagi co dzisiaj sposobom zmniejszenia do minimum strat w liniach przesyłowych i na stacjach rozdzielczych.

Zaznaczyć należy, że pierwsze wysiłki poszły w kierunku zużycia cennego surowca jakim jest węgiel; nie troszczono się natomiast zbyt wiele o straty wody w elektrowniach wodnych, być może w mniemaniu, że „woda nic nie kosztuje”. W miarę jednak rozwoju przemysłowego poszczególnych krajów oraz rosnącej konkurencji w cenach surowców, półfabrykatów i gotowych wyrobów rozpoczęło szukanie metod i sposobów zmniejszenia strat i kosztów własnych, więc i kosztu kilowatogodziny, co z kolei zmusiło organizacje energetyczne do stworzenia centralnych komórek kierujących rozdziałem produkcji energii elektrycznej systemu. Komórki te nazwano rozrządami lub dyspozycjami mocy.

W niniejszym artykule omówimy dysponowanie mocą elektrowni wodnych w systemach posiadających elektrownie ciepłe i wodne. Zagadnienie dysponowania mocą elektrowni ciepłych nie wchodzi w zakres artykułu. Przypomnieć należy, iż na ogół biorąc, każdy kraj podzielony jest zwykle na kilka dużych systemów, każdy zaś system na kilka okręgów. Skoordinowaniem planów i rozdziałem mocy zajmuje się

Wyłania się tutaj od razu zagadnienie dla teoretyków bardzo rzadko poruszane. Wyjaśnienie stosunku i roli symboliki do realizmu socjalistycznego. Literaci, aktorzy, malarze dyskutują poważnie o tych sprawach, a tak potężna gałąź sztuki jak architektura nie lubi słowa pisanego.

Dalszym zagadnieniem jest zastosowanie form architektonicznych do zapór wodnych, jazów czy elektrowni wodnych. Od razy takie czy inne biuro nie uzyska tu wyników. Konieczne wydaje się stosowanie konkursów zamkniętych we wczesnym bardzo stadium dokumentacji. Ustalenie tą drogą pewnych kryteriów dla połączenia form architektury klasycznej czy narodowej z formą i skalą łuku czy szeregu łuków lub skorupy zapory, kształtem przelewów, stosowanie rzeźby, znalezienie właściwych akcentów wejściowych itd. — wszystko to wymaga najlepszych i najzdolniejszych ludzi. Wybrać ich normalną drogą służbową nie jest łatwo.

Piękno zakładu przemysłowego jest nie mniej ważne, niż MDM, tylko w innej skali. Mimo to ciągle panuje posucha w tej dziedzinie, czego najlepszym dowodem nieprzydzielanie nagród państwowych za architekturę przemysłową.

W końcu trzeba powiedzieć, że nie ma dziedziny, gdzie by nie można stworzyć w tych samych warunkach rzecz bardziej lub mniej pięknej albo szkaradnej. Naszym wspólnym dążeniem powinniśmy przeznaczać, gdzie tylko się da, szalę na właściwą stronę, przy tym żaden szczegół nie jest błahy, aby go pominąć.

centralna służba dyspozycji mocy, o ile poszczególne systemy mają połączenia sieciowe, w przeciwnym razie rola centralnej komórki odpada. W Polsce Ludowej został stworzony Państwowy Zarząd Dyspozycji Mocy przy Ministerstwie Energetyki, któremu podlega gospodarka ciepła i wodna wszystkich elektrowni zawodowych, a częściowo i przemysłowych.

PODSTAWOWE ZADANIA DYSPOZYCJI MOCY W ODNIESIENIU DO ELEKTROWNI WODNYCH

Zanim przystąpimy do opisu zadań dyspozycji mocy w odniesieniu do elektrowni wodnych musimy przede wszystkim zdać sobie sprawę z tego, że wymagania stawiane elektrowni wodnej są całkiem odmienne od wymagań stawianych elektrowni ciepłej. Istotnie, o ile praca i reżym siłowni cieplnej nie odbijają się wielce na otaczających je terenach (pomijając zanieczyszczenie powietrza i wody), to praca siłowni wodnej jest ściśle związana z ciekim, z którego czerpie energię, i każde polecenie dyspozytora mocy pociąga za sobą zmiany w ukształtowaniu brzegów, koryta, okolicznej roślinności, klimacie, pracy innych zakładów umieszczonych poniżej danej elektrowni, wpływa na bezpieczeństwo budynków, mostów i prac agrotechnicznych ludności przybrzeżnej i to w zależności od pory roku i doby.

Budowa jazu lub zapory, ew. zbiornika wraz ze służą i siłownią wodną powstaje zazwyczaj w wyniku kompleksowego rozwiązywania następujących zagadnień gospodarki państwowej:

1. Ochrony przeciwpowodziowej.
2. Zagwarantowania pewnych minimalnych głębokości wody dla zapewnienia żeglugi śródlądowej.
3. Dostarczenia danemu okręgowi pewnej ilości energii elektrycznej.
4. Zapewnienia odpowiednich rezerw wody dla nawodnienia cierpiących na posuchę gruntów.
5. Zagwarantowania rezerw wody dla przemysłu i ludności.

6. Ochrony rybstanu.

7. Stworzenia lepszych warunków dla rozwoju sportów wodnych.

Zaznaczyć należy, że powyższa kolejność zadań nie odpowiada koniecznie kolejności ich ważności, gdyż korzyści przynieszone państwu w punktach 1 do 7 różnią się w zależności od obiektów i krajów.

Wynika z powyższego, że służba dyspozytorska powinna tak gospodarować elektrownią wodną, aby wykonać zadania wymienione pod p. 1 — 7, zabezpieczając w harmonijny i sprawiedliwy sposób interesy odnośnych resortów. Jeżeli dodamy, że interesy te są częstokroć sprzeczne, łatwo pojąć jak trudna i specyficzna będzie ta praca.

Omówimy poniżej kolejno jedynie punkty 1, 2, 3, pozostawiając resztę punktów do omówienia w innym artykule.

1. OCHRONA PRZECIWPOWODZIOWA

Gospodarowanie wodą elektrowni zbiornikowych w okresie wezbrań powinno być prowadzone przez dyspozycję mocy w ścisłym porozumieniu z komitetami przeciwpowodziowymi, na podstawie precyzyjnej i szybkiej sygnalizacji hydrometeorologicznej i w oparciu o jak najdokładniej opracowaną instrukcję. Jednakże warunki topograficzno-hydrologiczne nie pozwalają zazwyczaj na całkowite uchwycenie pełnej fali powodziowej w jednym zbiorniku i projektanci zmuszeni są założyć pewne straty wody jałowej, wynikające z nieidealnej sygnalizacji, a zatem i eksploatacji. Autor radziecki A. A. Mostkow podaje, że jeżeli nazwiemy V_u pojemność użyteczną danego zbiornika oraz W_o średnią roczną objętość dopływu do zbiornika, roczne straty w zrzutach jałowych wyrażone w procentach od W_o kształtują się mniej więcej następująco:

$\frac{V_u}{W_o}$ w %	10	20	30	40	50	60	70
	nie mniej niż:						
Straty w % od W_o	14,0	7,5	4,0	2,2	1,6	1,0	0,5

Dyspozytor mocy powinien oczywiście dążyć do zmniejszenia tych strat do minimum i do przepracowania maksymalnej ilości wody przez turbiny, mając stale na uwadze, że przy spadzie netto H i współczynniku sprawności elektrowni η , każdy stracony m^3 /sek pociąga za sobą konieczność spalania około (700 —

1400) $\frac{\eta H}{366}$ g węgla w którejś z elektrowni ciepłych.

Dla elektrowni wodnej o spadzie 34 m i $\eta = 0,85$ otrzymamy liczbę 56 do 112 g węgla na sekundę! (w zależności od zużycia jednostkowego elektrowni cieplnej).

Niestety interesy energetyki nie dadzą się zawsze pogodzić z interesami walki przeciwpowodziowej i władz wodnych, przez co powstać mogą rozbieżności w metodach gospodarowania wodą w okresach wezbrań. Dla zilustrowania powyższego podamy pewien przykład.

W siłowniach zbiornikowych, wybudowanych w wąskich dolinach, obniżenie wody o kilka lub kilkanaście metrów zmniejsza znacznie moc dyspozycyjną. Energetyce zależy często dla osiągnięcia takiej maksymalnej mocy szczytowej interwencyjnej, aby turbiny pracowały przy najniższym spadzie. Z drugiej strony komitet przeciwpowodziowy żąda przed nadejściem i po przejściu fali lub fal powodziowych, aby kierownictwo siłowni obniżyło jak najszybciej poziom wody w zbiorniku, dla wytworzenia pewnej objętości retencyjnej i uchwycenia całości lub części fali.

	Spad max.	Moc max. MW	Obniżenie górnej wody	Spadek mocy w MK	Pojemność max. zbiorn. miln m ³	Objętość retencyjna po obniżeniu górnej wody
Siłownia A	31	50	3,00	5	228	50
Siłownia B	45	9	27,00	4,5	50	30

Przykład powyższy został podany dla zilustrowania jak trudna i odpowiedzialna jest praca komitetu powodziowego i elektrowni w czasie wezbrań. Niewątpliwie lepsza i szybsza sygnalizacja powinna oddać duże usługi i zmniejszyć straty gospodarcze na zbiornikach.

2. ZAGWARANTOWANIE PEWNYCH MINIMALNYCH GŁĘBOKOŚCI WODY DLA ŻEGLUGI

Drugim ważnym zadaniem niektórych zbiorników retencyjno-energetycznych jest wypuszczanie w suchych porach roku pewnej ilości wody dla podniesienia poziomu wody w danym przekroju rzeki i umożliwienia pojedynczym barkom lub całej flotyli przejechania przez tak zwany „przeziół”. Niestety i tu sprzeczności interesów żeglugi z energetyką są chwilami jaskrawe, jak to wskazuje poniższy przykład.

W sierpniu 1951 r. wskutek długotrwałej suszy poziom wody w pewnym przekroju na Odrze obniżył się poniżej dopuszczalnego poziomu. Dla osiągnięcia niezbędnej głębokości wody na tym odcinku Dyrekcja Dróg Wodnych zażądała od służby Dyspozycji Mocy byłego Centralnego Zarządu Energetyki natychmiastowego wypuszczenia 65 m^3 /sek ze zbiornika elektrowni A, oraz 35 m^3 /sek ze zbiornika elektrowni B położonych na dopływach Odry, razem 100 m^3 /sek przez 84 godziny. Ponieważ turbiny tych siłowni przełykają mniej, energetyka straciła w tym czasie 13,5 miln m^3 wody, co odpowiada około 270 000 kWh. Pomimo to państwo zyskało na tym na pewno, gdyż strata około 27 000 zł jest mniejsza od zysku wynikłego z przyspieszenia wymiany towarowej z krajami sąsiednimi. Zbiorniki A i B zostały wybudowane specjalnie w celu polepszenia warunków żeglugowych na ważnej arterii wodnej i pomimo, że roczne zrzuty jałowe wynoszą około 20% dla A i 23% dla B, dyspozycja mocy nie zawsze będzie w stanie zmniejszyć je w większej mierze. Zaznaczyć należy jednak, że staranne planowanie międzyresortowe może przyczynić się do zmniejszenia tych strat do minimum.

W związku z Uchwałą Prezydium Rządu przewiduje się wybudowanie szeregu stopni energetyczno-kanalizacyjnych na Wiśle, na Bugu i na kanale Bydgoskim. We wszystkich tych elektrowniach wodnych plan gospodarki wodnej będzie musiał być starannie uzgodniony pomiędzy energetyką, władzami wodnymi, żegluga i rolnictwem, ponieważ i tu zaistnieją niewątpliwie sprzeczności w wykonaniu zadań poszczególnych resortów. W miesiącach letnich zapotrzebowanie energii się zmniejsza i dyspozytor mocy będzie dążył do napełniania zbiorników celem wykorzystania ich zimą. Żegluga ze swej strony zwiększa latem swe transporty i częstokroć potrzebuje wypuszczać większe ilości wody w krótkim czasie dla zwiększenia głębokości rzeki, zimą zaś tego nie potrzebuje.

3. DOSTAWA ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRZEZ SIŁOWNIE WODNE

Zaznaczyć należy na wstępie, że umieszczenie tego punktu w trzeciej kolejności zadań dyspozycji mocy nie oznacza bynajmniej, że we wszystkich siłowniach wodnych energetyka odgrywa trzeciorzędą rolę. Przeciwnie, w wielu przypadkach zysk energetyczny wysuwa się na pierwszy plan¹⁾.

Jak wzmiankowano na początku, ekonomiczność produkcji wysuwa się dzisiaj na czoło spośród najważniejszych celów w łańcuchu czynności produkcji, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej. Zdolność uzyskania i utrzymania ekonomii produkcji wynika w dużej mierze z metod rozdziału obciążeń:

- a) pomiędzy turbozespołami danej siłowni cieplnej lub wodnej,
- b) pomiędzy siłowniami cieplnymi i wodnymi danego systemu,
- c) pomiędzy danymi systemami.

Podczas gdy kierownik elektrowni ma do rozwiązania zagadnienie uruchomienia takich czy innych ele-

¹⁾ Z obliczeń planu perspektywicznego kompleksowych inwestycji gospodarki wodnej wynika, że około 73% korzyści przyniesie państwu energetyka wodna.

mentów produkcji i wytworzenia żądanej energii przy najwyższym współczynniku sprawności swej elektrowni — dyspozytor systemowy, poza główną troską o zabezpieczenie stałości dostawy, musi tak rozłożyć obciążenie pomiędzy elektrowniami cieplnymi i wodnymi, aby osiągnąć jak największą ekonomiczność systemu, co nie oznacza bynajmniej, aby każda siłownia miała pracować przy optymalnym reżimie. Z kolei, centralny dyspozytor mocy, w oparciu o dobrze rozbudowane połączenia sieciowe i nowoczesną łączność, ma za zadanie szybkie likwidowanie awarii, decydowanie o wymianach energii między systemami, określanie ich wielkości i przestrzeganie ogólnej ekonomiczności.

Podstawę do rozdziału mocy na 24 godziny naprzód stanowi prawie zawsze wykres planowanego dobowego obciążenia systemu (rys. 4a), który ilustruje wahania zapotrzebowania mocy czynnej (kW). Podobne wykresy tygodniowe, miesięczne i roczne będą służyć do planowania długofalowego. Rozpatrzmy bliżej dysponowanie elektrowniami wodnymi.

Z jednej strony dyspozytor mocy będzie miał szereg siłowni wodnych typu podstawowego i szczytowego, w których będzie musiał przetworzyć jak najsprawniej energię naturalnego dopływu dobowego w energię elektryczną. Z drugiej strony zadaniem jego będzie tak rozplanować ich współpracę z cieplnymi, aby pokryć zapotrzebowanie systemu w moc wiatową (kW) i bezwiatową (kVAR), przy jednoczesnym osiągnięciu jak największej ekonomii w systemie. Jeżeli dodamy, że dyspozytor powinien uwzględnić jeszcze cogodzinne zużycie węgla we współpracujących siłowniach cieplnych, postoje maszyn dla inspekcji i kapitalnych remontów, rezerwę w systemie, straty w liniach przesyłowych oraz pewność dostawy energii, dojdziemy i tu do wniosku, że gospodarka hydroenergetyczna w elektrowni wodnej wymaga dużego doświadczenia i kompleksowego rozwiązania zadania.

Reasumując, istnieje dla każdej siłowni wodnej wiele możliwości odbiegania od właściwego reżimu i dyspozytor mocy powinien zdać sobie sprawę, że wnikliwa i cierpliwa analiza może wykryć liczne drobne źródła oszczędności, których suma może łatwo osiągnąć pokaźną liczbę m^3 wody dla całego systemu, a w rezultacie dać poważny zysk w kWh.

* * *

Na podstawie powyższych uwag rozpatrzmy poniżej gospodarkę hydroenergetyczną elektrowni wodnej:

A. z punktu widzenia najlepszego wykorzystania energii cieką i uzyskania największej sprawności danej siłowni,

B. z punktu widzenia współpracy danej siłowni z siłowniami wodnymi i cieplnymi systemu i osiągnięcia maksymalnej ekonomiczności systemu.

A. PRACA ELEKTROWNI WODNEJ JAKO JEDNOSTKI NIEZALEŻNEJ OD SYSTEMU

1. Prognoza i planowanie produkcji

Jedną z najważniejszych czynności kierownika elektrowni wodnej jest przewidywanie ilości wody, która dopłynie do zbiornika lub do siłowni w ciągu następnych 24 godzin, względnie w ciągu następnego tygodnia lub miesiąca, i obliczenie ilości energii, którą mogłaby dana siłownia wytworzyć. Im dokładniej potrafi on określić wielkość i charakter dopływu na dobę następną, tym bardziej ułatwi pracę dyspozytora przy planowaniu dobowego lub tygodniowego reżimu innych elektrowni i podniesie wydajność systemu.

Dla osiągnięcia tego celu kierownik elektrowni oraz dyspozytor mocy posługują się wieloletnią statystyką hydrometeorologiczną za lata ubiegłe, a jednocześnie dla wszystkich większych elektrowni wodnych powinny być podawane do godziny 10 meldunki sygnalizacyjne z terenu zlewni. Meldunki te obejmują zazwyczaj:

— opady w mm w najważniejszych stacjach obserwacyjnych zlewni oraz temperatury i ewentualnie grubości powłoki śnieżnej za dobę ubiegłą;

— odczyty na wodowskazach względnie przepływy w najważniejszych punktach obserwacyjnych zlewni, wykonane o godz. 7 danej doby,

— przewidywane na dobę następną opady i temperatury w danej zlewni.

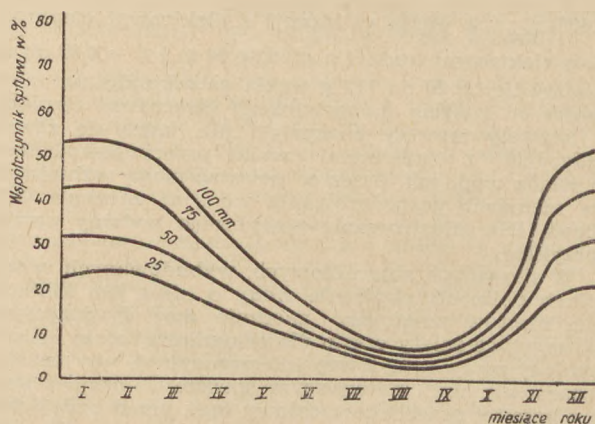
W nowoczesnych siłowniach zagranicznych istnieją teleluwiografy i telelimnigrafy, przyspieszające znacznie komunikację i ułatwiające opracowanie planu pracy elektrowni. Szybka, dokładna i sumienna sygnalizacja stanowi bezcenną pomoc dla dyspozytora i kierownika siłowni i wiele jeszcze pozostaje do zrobienia w Polsce w kierunku zmodernizowania sprzętu i wyszkolenia obsługi w tej dziedzinie. Korzyści szybkiej sygnalizacji dają się specjalnie odczuć w chwilach wezbrań powodziowych, czy to przy topnieniu śniegów, czy też w czasie ulewnych deszczów wiosennych lub letnich. Zbyt optymistyczne oszacowanie dopływu może spowodować zrezygnowanie z wykorzystania najbardziej ekonomicznej energii cieplnej, a zbyt niskie — spowodować duże straty w zrzutach jałowych.

Autor amerykański Creager pisze, że w elektrowni zbiornikowej o mocy 100 000 kW, o dużych wahanach obciążeń, nie powinno się żałować kredytów na poprawienie sygnalizacji. Oszczędności uzyskane wydają pracą jednego a nawet dwóch specjalistów w dziedzinie hydrometeorologii mogą częstokroć przewyższyć potencjalne straty spowodowane wadliwą i spóźnioną prognozą, brakiem dokumentacji technicznej oraz przestarzałą aparaturą pomiarową.

Dla przykładu można podać, że na niewielkiej rzeczce o charakterze górskim i gwałtownych wezbraniach, toczącej 1500 m^3 /sek w czasie powodzi, opóźnienie 3-godzinne w meldunku może spowodować stratę 15 miln m^3 wody, co przy spadzie średnim około 29 m oznacza zmarnowanie 1 miliona kWh, czyli ok. 100 000 zł. Suma ta wystarczy na roczne utrzymanie jednego technika hydrologa, zakupienie telelimnigrafów i pokrycie części kosztów polepszenia łączności.

Trudno w krótkim artykule opisać w sposób wyczerpujący wszystkie metody oraz całą dokumentację techniczną służącą do opracowania prognozy, a w rezultacie planu gospodarki wodnej danej siłowni na następną dobę lub przyszły tydzień.

Wystarczy wspomnieć, iż każda zlewnia różni się od innej i posiada swój specyficzny charakter. Analiza statystyczna opadów i spływów za możliwie długi okres lat pozwoli wykreślić średnie współczynniki spływu w zależności od pory roku, da więc orientacyjne wskazówki dla planowania. Rys. 1 uwidacznia ob-



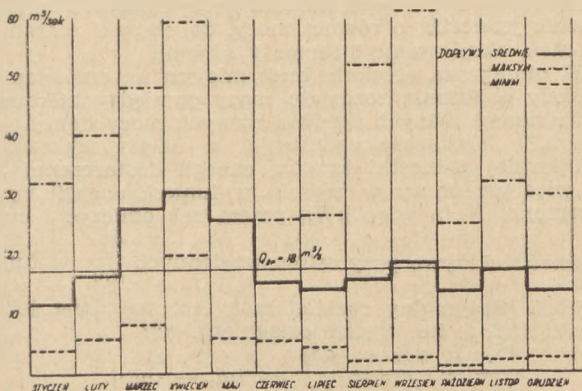
Rys. 1. Wykresy współczynnika spływu w funkcji pory roku

liczone na podstawie długoletnich obserwacji średnie współczynniki spływu dla jednej ze środkowo-zachodnich zlewni USA o powierzchni 39 000 km^2 , dla opadów od 25 do 100 mm w ciągu 15 dni (od 1,5 do 6,5 mm na dobę).

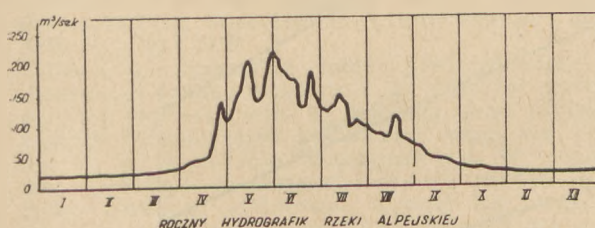
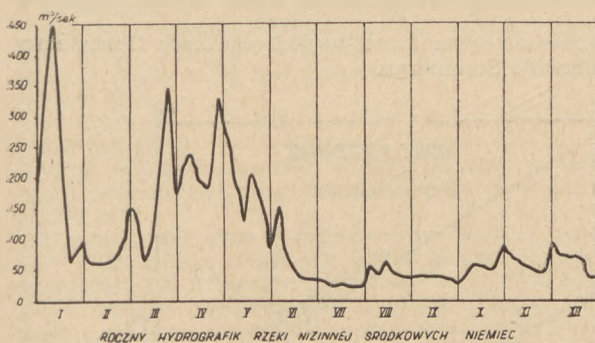
Nadmienić trzeba, że retencje naturalne gruntu w dolinach i danego cieką muszą być brane pod uwagę przy ustalaniu prognozy przepływu w wyniku danego opadu. I tak, przy gruncie nasiąkniętym wodą

oraz pełnych korytach dopływów i samej rzeki, współczynnik spływu może osiągnąć 70%, a czasami przekroczyć 80%.

Doświadczenie wykazało, iż nawet orientacyjne prognozy stanowią dużą pomoc dla kierownictwa elektrowni i służby dyspozycyjnej, a porównanie rzeczywistych dopływów z dopływami przewidzianymi może wzbogacić ich doświadczenie. Dlatego też planowane dopływy naturalne powinny być starannie notowane, co pozwoli zbadać rokrocznie, czy został dokonany postęp w tej dziedzinie.



Rys. 2a. Średnie maksymalne i minimalne dopływy miesięczne na rzece górskiej (okres 1936–1947).



Rys. 2b

Drugim wykresem pomocniczym, opartym o statystykę ostatnich 15, 20 lub więcej lat, jest wykres średnich, maksymalnych i minimalnych miesięcznych dopływów naturalnych do zbiornika lub elektrowni. Rys. 2a przedstawia taki wykres dla siłowni zbiornikowej umieszczonej na niedużej rzece o charakterze górskim, w oparciu o statystykę 11 lat. Podstawę do obliczenia takiego wykresu stanowią roczne hydrografiki: rys. 2b ilustruje przebieg wahań przepływu w ciągu roku dla rzeki nizinnej środkowych Niemiec oraz dla rzeki typu alpejskiego. Poza tym każda większa siłownia wodna powinna prowadzić roczny grafik, na którym będą naniesione średnie dobowe dopływy, odpływy, spadły, dobowe wytwórczości oraz wahania poziomu górnej wody dla elektrowni zbiornikowych.

Wreszcie dużą pomocą przy określeniu prawdopodobieństwa średniego miesięcznego dopływu w ciągu roku, w oparciu o charakterystykę dopływów za ubiegłe miesiące, stanowi metoda polegająca na wykreślaniu krzywych całkowitych dopływów naturalnych

za szereg lat charakterystycznych (bardzo suchy, średnio suchy, średni, średnio mokry, mokry i bardzo mokry). Metoda ta została opisana przez autora radzieckiego inż. Gorbunowa w książce pt. „Energetyka gidroelektryczeskich stancij”. Leningrad GEI 1949 r.

Dobowy bilans wodny

Jak podano powyżej, każda elektrownia wodna powyżej 1 MW powinna prowadzić jak najdokładniejszy bilans wodny, obejmujący obliczenie lub pomiar następujących wielkości za każdą dobę:

- średni dobowy dopływ naturalny w m^3/sec ,
- objętość wody zamagazynowanej lub wypuszczonej ze zbiornika,
- objętość wody przepracowanej przez turbiny,
- objętość wody wypuszczonej w zrzutach jałowych,
- objętość wody wyparowanej przez zbiornik, straconej wskutek przecieków ze zbiornika i kanału roboczego, nieszczelności zasuw i turbin podczas postojów, przepławek dla ryb, służowania statków, przepłukiwania dna itp.,
- średni dobowy odpływ z elektrowni w m^3/sec , które to wartości zostają wpisane do raportów dobowych elektrowni. Dane te stanowią cenny materiał szczególnie w okresach wezbrań, a to nie tylko dla kierownictwa siłowni, ale również dla wszystkich zainteresowanych resortów.

Dokładnie sporządzone: 1) bilans wodny i 2) wykres obciążenia dobowego elektrowni za ubiegłe 24 godziny obrazują w sposób zwięzły i przejrzysty, w jaki sposób dana elektrownia wodna wykorzystwała energię dopływu, umożliwiając kierownikowi siłowni opracowanie planu na dobę następną. Plan ten powinien być oparty na następujących postulatach:

- dążeniu do zmniejszenia do minimum strat wody jałowej, przecieków itp.,
- dążeniu do zmniejszenia do minimum jednostkowego zużycia wody, czyli przestrzegania optymalnych reżimów pracy jednostek.

Zmniejszenie do minimum strat wody

Ideałem dobrej gospodarki jest przetworzenie całkowitej rocznej objętości dopływu naturalnego na energię elektryczną, wskutek czego współczynnik wykorzystania wody przez siłownię osiąga 100%. W rzeczywistości, szczególnie na rzekach o gwałtownych wezbraniach, jesteśmy zmuszeni przepuścić część wody poza turbinami. Szybka i dokładna sygnalizacja, fachowa prognoza oraz o bogate doświadczenie, wreszcie starannie opracowana statystyka mogą zmniejszyć zrzuty jałowe do minimum.

Drugim ważnym źródłem strat wody dla siłowni o wyższych spadach są przecieki wynikłe z nieszczelności aparatów kierowniczych, zasuw, upustów itp. Są to straty stałe i mogą łatwo spowodować dość znaczne ubytki w wytwórczości rocznej. W siłowniach zbiornikowych pracujących na szczycie, podczas małych i średnich dopływów, szereg jednostek stoi zamkniętych przez znaczną część doby. W tym przypadku straty przez przecieki stanowią poważny procent wytwórczości. W niektórych jednostkach przecieki przez łopatki kierownicze zaraz po uruchomieniu mogą osiągnąć 1% przeliku maksymalnego, lecz po roku mogą wynieść łatwo 2%, a w niektórych przypadkach przekroczyć 4%. Na przykład, jeżeli w okresie małych wód pracują jedynie 4 jednostki na 10, to przy stracie 2% na przecieki tracimy 5% ogólnej produkcji. W wielu mniejszych siłowniach wodnych, wskutek braku nadzoru, wadliwej obsługi, niedokładnych remontów widzi się spore ilości wody wyciekające spod zasuw lub wzdłuż boków. Obowiązkiem kierownika elektrowni jest dopilnowanie dokładnego przeprowadzenia remontu i zmniejszenie do minimum strat przeciekowych. Również kierownictwo elektrowni powinno zwracać baczną uwagę na przecieki z kanału roboczego, zbiornika oraz pod lub blisko zapory. Wreszcie istnieją elektrownie wodne niedoinstalowane, w których 50% lub więcej objętości rocznego dopływu zostaje przepuszczone bokiem. Obowiązkiem kierownika eksploatacji jest zameldowanie władzom zwierzchnim o marnotrawstwie źródła energii, zaś in-

westor powinien rozpatrzyć możliwie natychmiast rentowność zainstalowania dodatkowej jednostki energetycznej i zdecydować o ewentualnej inwestycji.

Optymalne rozkłady obciążenia w elektrowni wodnej

Każdy kierownik siłowni wodnej powinien opracować wykres optymalnych reżimów pracy elektrowni, który podaje jak obciążyć każdą jednostkę, aby przy danym spadzie i danym przepływie osiągnąć żadaną moc przy minimalnym zużyciu wody. Zobaczmy poniżej, że stosowanie tego wykresu jako „żelaznej reguły”, od której nie wolno odbiegać, nie zawsze się opłaca i w niektórych przypadkach elektrownia wodna współpracująca w systemie może otrzymać od dyspozytora mocy polecenie pracowania w warunkach mniej ekonomicznych, celem poprawienia ekonomiczności całego systemu.

Tym niemniej dyspozytor mocy i kierownik elektrowni powinni dokładać wszelkich starań, aby reżimy siłowni wodnych były jak najbardziej zbliżone do reżimów optymalnych i rzecz można, że coraz większe wysiłki kładzie się ostatnio w celu racjonalnego obciążania jednostek wodnych. W książce swej „La répartition de la charge entre les groupes d'une centrale hydroelectrique” (Paris, Dunod 1941) autorowie inż. P. Danel i J. Pinto podają, że różnice wytwórczości rocznej elektrowni wodnej, pracującej przy optymalnych a najmniej ekonomicznych reżimach, mogą wynieść:

dla turbin Peltona	— 2,4%
dla turbin wolnobieżnych Francisa	— 5,4%
dla turbin Kaplana	— 7,3%
dla turbin szybkobieżnych Francisa	— 11,5%

dla turbin śmigłowych o stałych łopatkach

—11,7%

W niektórych elektrowniach wodnych wybudowanych przed 10 i więcej laty ustawiano kilka turbozespołów o różnej mocy w jednej i tej samej elektrowni, dla ułatwienia ekonomicznego wykorzystania zmiennych dopływów i spadów. Jednak z chwilą udoskonalenia konstrukcji turbiny Kaplana, o zmiennym kącie nastawienia łopatek wirnika, osiągnięto doskonałe współczynniki sprawności przy obciążeniach od 4/4 do 2/4 i nawet 1/4 i dla zmiennych spadów. W rezultacie, dzisiejsi konstruktorzy instalują przeważnie jednostki o równej mocy, co ułatwia znacznie montaż, eksploatację i remonty siłowni.

W niniejszym artykule brak miejsca na omówienie metody obliczania rozdziału mocy pomiędzy kilkoma jednostkami różnych typów i różnych mocy danej siłowni.²⁾ Wystarczy nadmienić, że należy wykreślić dla każdej jednostki krzywą energii dostarczonej S (a więc przepływu w m^3/sec) w funkcji energii wytworzonej N (a więc kW), potem zaś obliczyć i ew.

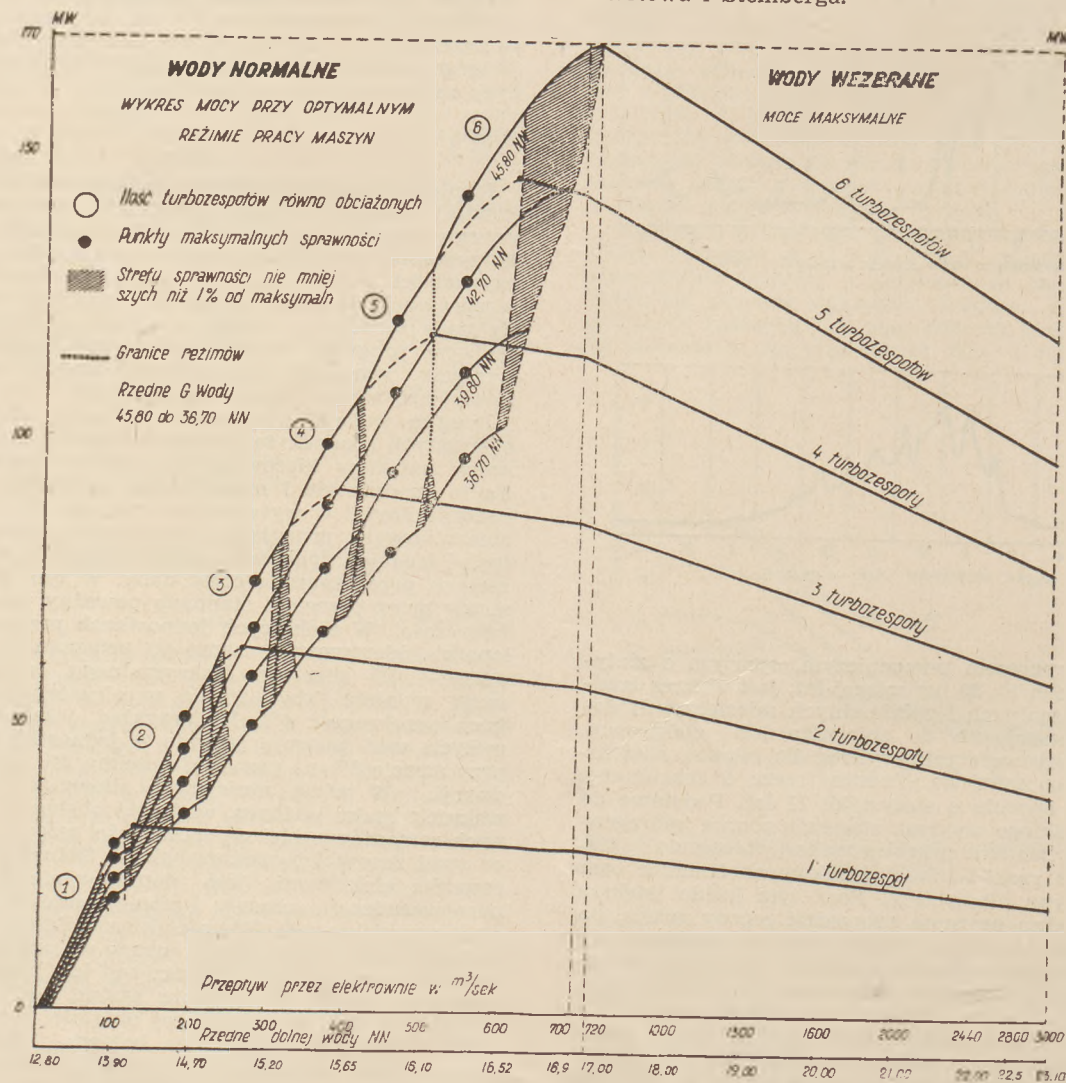
wykreślić krzywe przyrostów względnych $\frac{dS}{dN}$ w fun-

kcji N . Optymalny rozkład mocy między dane jednostki 1, 2, 3, itd. będzie osiągnięty, gdy

$$\frac{dS_1}{dN_1} = \frac{dS_2}{dN_2} = \frac{dS_3}{dN_3} = \text{itd.} = \text{const.}$$

Dla siłowni o identycznych jednostkach reguła optymalnego rozkładu mocy między turbozespoły jest bardzo prosta: wystarczy przy pracy kilku zespołów

²⁾ Metoda opisana jest w podręcznikach Gornsteina, Bołotowa i Steinberga.



Rys. 3. Wykres optymalnych obciążeń elektrowni wodnej 6 turbozespołów po 25 MW

rozdzielić moc w taki sposób, aby każdy turbozespół był równo obciążony. Punkty przejściowe z jednej strefy do drugiej, czyli pracy jedną jednostką do dwóch, dwoma do trzech itp. wskazuje wykres (rys. 3).

Krótko mówiąc, kierownictwo każdej większej elektrowni wodnej powinno opracować w pierwszym lub drugim roku ruchu podobny pęk krzywych opartych o dane statystyczne i pomiary. Bez takiego wykresu nie sposób obliczyć dobowego, a więc i rocznego bilansu wodnego, przy czym dyspozytor mocy nie będzie wiedział dokładnie, czy siłownia pracuje blisko optymalnego reżimu pracy.

Na rys. 3 pokazano strefy optymalnych reżimów pracy elektrowni wodnej o 6 turbinach po 25 MW, dla czterech różnych poziomów spiętrzenia wody w zbiorniku, a mianowicie 45, 80—42, 70—39, 80— i 36, 70 m n.p.m. i dla przepływów przez siłownię od zera do 3 000 m³/sek. Wykres podaje, jaka będzie moc na zaciskach prądnic, przy pracy 1, 2 do 6 maszyn, czyli przepływach od zera do maksymalnego przepływu przez turbiny równego 700 m³/sek, z uwzględnieniem wpływu zmniejszenia się spadku przy wzrastającym odpływie z siłowni (na drugiej osi odczytanych podano rzędne dolnej wody). Po prawej stronie rysunku uwidocznił się spadek mocy w okresach wezbrań przy odpływach od 700 do 3 000 m³/sek. Dla łatwiejszego zrozumienia wykresu rozpatrzmy kilka przykładów:

a) Praca jedną turbiną przy maksymalnej rzędnej spiętrzenia (GW) 45, 80 m.

Przy $Q = 105 \text{ m}^3/\text{sek}$, $DW = 14,00 \text{ m}$, Spad = 31,80 m, η turbozespołu = 87%, Moc $N = 25,8 \text{ MW}$.

b) Praca dwiema turbinami równo obciążonymi i GW jak wyżej. Przy $Q = 210 \text{ m}^3/\text{sek}$, $DW = 14,75 \text{ m}$, Spad = 31,05 m, η turbozespołu = 87,8%, Moc $N = 56,2 \text{ MW}$.

c) Praca sześcioma turbinami równo obciążonymi i GW jak wyżej.

Przy $Q = 630 \text{ m}^3/\text{sek}$, $DW = 16,60 \text{ m}$, Spad = 29,20 m (spad optymalny), η turbozespołu = 88,6%, Moc $N = 160 \text{ MW}$.

d) Praca sześcioma turbinami przy wielkiej wodzie. $Q = 3 000 \text{ m}^3/\text{sek}$ i GW jak wyżej. W tym przypadku przepływa 700 m³/sek przez turbiny oraz 2 300 m³/sek przez upusty. Poziom dolnej wody podnosi się do rzędnej 23,10 m, przez co spad zmniejsza się do 22,70 m, a każda turbina pracuje przy $\eta = 75,5\%$ i mocy $N = 118 \text{ MW}$.

e) Praca pięcioma turbinami przy GW = 39,80 m i $Q = 92 \text{ m}^3/\text{sek}$ na turbinę. Q ogólny = 460 m³/sek, $DW = 15,90 \text{ m}$, Spad 23,90 m, η turbozespołu = 86,2%, Moc $N = 93,4 \text{ MW}$.

Jasne, że dyspozytor mocy powinien dążyć do utrzymania reżimu elektrowni jak najbliżej czarnych punktów wykresu (rys. 3), unikając stref zakreskowanych ukośnie, gdzie sprawności różnią się więcej niż 1% od sprawności maksymalnych. W chwilach tzw. „podejścia do szczytu” może się okazać, że zamiast pozwalać elektrowni wodnej na stopniowe przejście przez nieekonomiczne strefy, można obciążyć tą pracą takie turbozespoły ciepłe, dla których zmiana obciążenia nie zwiększy zbytnio przyrostu względnych kosztów produkcji. Jest szczególnie ważne dla turbozespołów wodnych dużej mocy, dla których praca przy częściowo otwartej kierownicy pociąga za sobą duże straty w porównaniu do strat jednostek ciepłych w normalnych granicach wahań.

Gospodarka zbiornikiem

Umiejętne dobowe i tygodniowe wykorzystanie zapasu wody zamagazynowanej w zbiorniku stanowi jedno z najważniejszych zadań kierownika elektrowni i dyspozytora mocy. W dużym systemie mogą się znajdować elektrownie przepływowe, które muszą zazwyczaj pracować przy równym obciążeniu, chyba że charakter dopływu zostaje zniekształcony pracą elektrowni zbiornikowej położonej powyżej. Inne znow posiadają duże zbiorniki i mogą pracować wybitnie szczytowo. Dla tych elektrowni dyspozytor mocy planuje tygodniowe programy obniżenia wody w zbiorniku, biorąc głównie pod uwagę możliwości napełnienia zbiornika pomiędzy sobotą po szczycie a poniedział-

kiem rano. Zagadnienie rozkładu obciążeń pomiędzy elektrowniami ciepłymi i wodnymi systemu zostanie poruszone w punkcie B. Wystarczy nadmienić, że elektrownie szczytowe mogą pracować w różnych miejscach wykresu obciążenia.

Częstym błędem jest obniżanie rzędnej wody w zbiorniku w chwilach zapotrzebowania obciążenia i niekompletne napełnianie go w okresach międzyszczytowych, w obawie przed ewentualnymi zrzutami jałowymi. W rezultacie turbiny pracują przy niższych spadach niż to jest konieczne. W wielu przypadkach dokładna analiza wykazuje, że lepiej pracować bliżej maksymalnej rzędnej spiętrzenia, tracąc od czasu do czasu trochę wody, ponieważ zysk wynikły ze zwiększonego spadku jest większy od strat spowodowanych zrzutami jałowymi.

Dla każdej elektrowni należy przestudiować zagadnienie maksymalnego ekonomicznego obniżenia poziomu górnej wody, w oparciu o charakter obciążenia, pojemność zbiornika oraz wartości spadku maksymalnego i spadku optymalnego turbozespołów. Niekiedy przy zbyt dużym obniżaniu górnej wody oddalamy się bardzo od spadku optymalnego i tracimy na współczynniku sprawności.

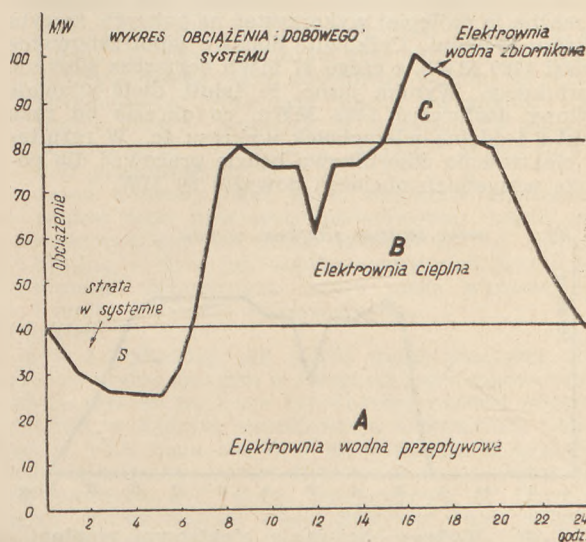
Gdy na danej rzece istnieje kilka siłowni wodnych, o cofkach sięgających wylotów elektrowni położonych powyżej, obniżenie poziomu wody w jednej z siłowni nie pociąga za sobą większych strat w wytwórczości ogólnej zespołu. W tym przypadku duże usługi oddają wykresy energii zamagazynowanej w każdym zbiorniku oraz tabele podające ilości godzin pracy danej siłowni pracującej przy odpowiedniej mocy i danym dopływie. Są one szczególnie pożyteczne w okresach małych wód, gdy siłownie wodne powinny dostarczać jak największą moc szczytową.

Wreszcie należy wspomnieć, że wahania obciążeń siłowni o niskich spadach mogą spowodować dość znaczne straty wyprodukowanej energii. Zagadnienie to zostanie omówione niżej.

B. PRACA ELEKTROWNI WODNEJ W SYSTEMIE.

Plan pracy elektrowni wodnej przy współpracy z elektrowniami ciepłymi

Jak już wspominaliśmy powyżej, każdy system obejmujący siłownie wodne i ciepłe powinien opracować dobowe, tygodniowe, a czasem i roczne plany pracy wszystkich elektrowni systemu, a to na podstawie przewidywanego wykresu obciążenia. Z jednej strony, plany te nie mogą być zbyt sztywne i powinny umożliwić każdemu kierownikowi siłowni lub grupy siłowni wykazać się swym doświadczeniem. Z drugiej strony, ekonomiczność systemu lub całości systemów jest podstawą rozdziału produkcji i dyspozytor po-

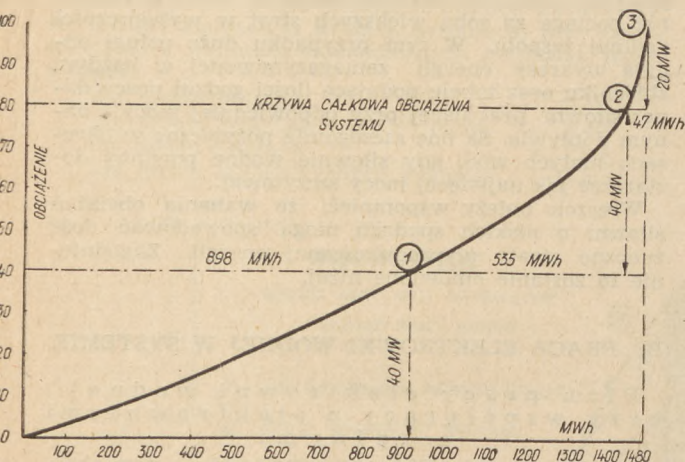


Rys. 4a. Wykres obciążenia dobowego systemu

winien uświadomić niekiedy kierownika siłowni, że pracując przy gorszym współczynniku sprawności może pomimo to przyczynić się do poprawy tej ekonomiczności.

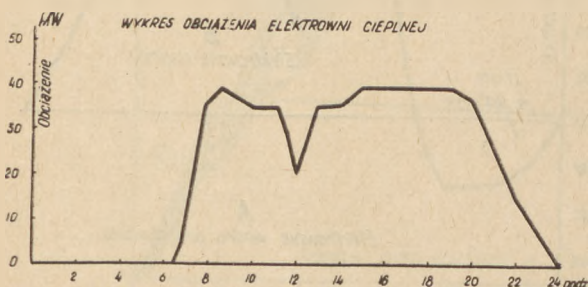
Zazwyczaj elektrownie przepływowe, które muszą przepuszczać wodę przez całą dobę, będą pracować na obciążenie podstawowe, zaś elektrownie pólsczytowe lub szczytowe będą pokrywać górne części wykresu. Artykuł prof. Nowackiego pt. „Metoda wykreślna rozdziału obciążeń pomiędzy elektrowniami cieplnymi i wodnymi”³⁾ podaje znany i prosty sposób wykorzystania krzywej całkowitej obciążenia dla wyznaczenia udziału siłowni wodnych w wykresie dobowego obciążenia.

Zakładamy, że mamy rozłożyć obciążenie systemu składającego się z trzech elektrowni: jednej parowej oraz dwóch wodnych. Siłownia cieplna B składa się z dwóch turbozespołów po 25 MW, jedna elektrownia wodna A jest typu przepływowego o 3 jednostkach po 20 MW, druga elektrownia wodna C jest zbiornikowa o 2 turbozespołach po 15 MW. Dobowy wykres obciążenia podany jest na rys. 4a. Dodamy, że elektrownia przepływowa może dostarczyć stałą moc dobową 40 MW, wykorzystując pełny przepływ rzeki, druga zaś może dostarczyć do 47 MWh na dobę, wykorzystując ekonomicznie swój zbiornik.



Rys. 4b. Krzywa całkowita obciążenia systemu

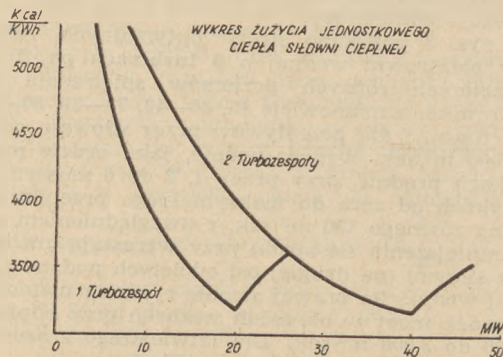
Rys. 4a pokazuje jak powinny pracować w ciągu doby każda z 3 elektrowni przy powyższych założeniach. Rozdziału energii dokonuje dyspozytor, posługując się krzywą całkową na rys. 4b, ilustrującą związek pomiędzy danym obciążeniem i odpowiednią energią. Punkt 1 odpowiada całkowitej powierzchni A, punkt 2 — powierzchni A + B, punkt 3 — całej energii dobowej. Ponieważ energia zbiornika jest ograniczona, można ją najlepiej wykorzystać na pokrycie szczytu wykresu systemu. Całkowite dobowe zapotrzebowanie wynosi 1480 MWh, z czego 47 MWh dostarcza siłownia zbiornikowa. Wynika jasno, że tamte dwie siłownie powinny dostarczyć 1433 MWh, co określa od razu punkt 2 i odcina wierzchołek wykresu 4c. W rezultacie, elektrownia zbiornikowa będzie pracować dla pokrycia wszystkich obciążeń powyżej 80 MW.



Rys. 4c. Wykres obciążenia elektrowni cieplnej

Elektrownia przepływowa, która nie posiada możliwości magazynowania energii, musi zużywać energię dopływu w tej formie, jaka jej zostaje podana. W ten sposób zostaje zakreślona powierzchnia A. Zauważyć można, że od północy do około godz. 6,30 zapotrzebowanie jest mniejsze od 40 MW i, jeżeli nie ma połączenia z innym systemem, energia S zostanie stracona.

W wyniku powyższego powierzchnia B określa obciążenie elektrowni cieplnej. Dolny wykres 4c ilustruje przebieg wahań jej pracy i wykazuje, że w granicach



Rys. 4d. Wykres zużycia jednostkowego ciepła siłowni cieplnej

od 35 do 40 MW pracować będzie blisko ekonomicznego zużycia (zobacz wykres 4d). Poniżej podana tabela zawiera plan pracy dobowej trzech siłowni.

	Siłownia cieplna B	Siłownie wodne		Ogólne obciążenie
		Przepl. A	Zbiorn. C	
Produkcja MWh	535	898	47	1480
Szczyt obc. MW	40	40	20	100
Ilość godzin pracy	17	24	4,3	24
Współczynnik wykorzystania mocy w %	76	93,6	54,6	61,7
Strefa obciążeń	40—80	0—40	80—100	—

Powyższy przykład służy do zorientowania, w jaki sposób dyspozytor mocy opracowuje rozkład obciążeń systemu pomiędzy siłowniami cieplnymi a wodnymi. Jednakże, zasada wykorzystania siłowni zbiornikowych dla pokrycia wierzchołków wykresu obciążenia nie zawsze się opłaca i zobaczymy poniżej, że w niektórych porach roku lub doby decydować będzie zapotrzebowanie mocy, w innych zaś — energii.

Zapotrzebowanie mocy

Moce elektrowni wodnych (szczególnie zbiornikowych) będą wykorzystane do maksimum w przypadku, gdy wszystkie elektrownie systemu będą pracować pełną mocą dla pokrycia obciążenia szczytowego. Będzie to miało miejsce np. przed wprowadzeniem do ruchu w systemie nowej dużej jednostki prądotwórczej. O ile jednak sytuacja energetyczna nie osiągnęła punktu krytycznego, należy unikać obniżenia poziomów wód w zbiornikach poniżej minimalnych dopuszczalnych spiętrzeń i dążyć do obciążania siłowni cieplnych do ich maksimum. W ten sposób zmagazynuje się pewne objętości wody, które będą stanowić ceną rezerwę na czas wycofania największej jednostki cieplnej do remontu, a więc w okresie najbardziej dla systemu krytycznym.

Opróżnienie zbiorników dla wytworzenia pojemności retencyjnej przed nadejściem fali powodziowej, pomimo zwiększenia produkcji (kWh), odgrywa drugorzędną rolę, gdy pojawia się brak mocy (kW) w systemie. Należy w takim przypadku opierać się na danych statystycznych i liczyć na minimalne „pewne” objętości wód jałowych.

³⁾ „Przegląd Elektrotechniczny” Nr 11 — 1948 r.

W niektórych systemach posiadających kilkanaście elektrowni wodnych można za pomocą dokładniejszej analizy obliczyć, że mogą one dostarczyć większe moce szczytowe, aniżeli to było planowane. W miarę rozrostu systemu i w zależności od gospodarki wodnej, obrysy szczytów stają się coraz bardziej strome. W miarę rozrostu systemu i w zależności od gospodarki wodnej, obrysy szczytów stają się coraz bardziej strome. W rezultacie, przy danej dobowej energii ciepła można obciążyć daną siłownię wodną większym udziałem w pokrywaniu mocy szczytowej, o ile oczywiście da się wodę zmagazynować w zbiorniku w okresie międzyszczytowym.

Zapotrzebowanie mocy rezerwowej

Dla natychmiastowej dostawy energii rezerwowej wynoszącej od 10 do 25% w niektórych dużych systemach, służby dyspozytorskie utrzymują tak zwane „rezerwy wirujące” cieplne i wodne. Koszty trzymania kotłów pod parą dla napędzania kilku turbozespołów cieplnych są oczywiście znacznie większe od kosztów napędzania prądem sieciowym kilku turbin wodnych przy zamkniętych kierownicach i przy obniżonym za pomocą sprężonego powietrza poziomie wody w rurze ssącej, oraz przy przygotowanych do pracy regulatorach. Dla pewnego systemu w Stanach Zjednoczonych utrzymanie 30 000 kW rezerwy wodnej kosztowało 2—3 dolary za godzinę, gdy ta sama rezerwa parowa kosztowała dwa razy więcej. Poza tym turbina wodna przy spirali napełnionej wodą i zamkniętej kierownicy może przejąć moc prawie momentalnie, zaś na ogrzanie zimnej turbiny parowej i włączenie jej do sieci trzeba około 30 minut.

Do czynności rezerwy nadają się specjalnie elektrownie zbiornikowe lub nawet pompowo-zbiornikowe. Pomimo mniejszych kosztów rezerwy wodnej, nie należy przewidywać więcej tej energii aniżeli potrzeba, gdyż powoduje to straty w ekonomiczności systemu.

Przy dostawie energii dla zastąpienia jednostek podczas krótkich remontów, sięga się zazwyczaj do rezerwy wodnej, gdyż jest ona szybka i tania. Przy dłuższych remontach, gdzie wymagana jest dość znaczna energia zastępcza, wykorzystuje się zwykle rezerwę cieplną. Niektórzy autorzy twierdzą, że ogólnie biorąc pewność ruchu w systemie energetycznym ciepłowodnym jest większa, aniżeli w którymkolwiek z systemów cieplnych lub wodnych wziętych z osobna. W niektórych systemach moc zainstalowana jednej z elektrowni zbiornikowych zostaje tak wybrana, aby była równa mocy największej jednostki cieplnej. Jest to najtańsza forma rezerwy.

Zapotrzebowanie na moc bierną

Dla podniesienia napięcia w pewnych punktach sieci dyspozytor powinien wykorzystać najtańsze źródła energii elektrycznej bezwzględnie i turbozespoły wodne, pracujące jako kompensatory synchroniczne, mogą być często używane ekonomiczniej od turbozespołów cieplnych. Do tego celu zostają one zazwyczaj napędzane z sieci, jak to jest opisane wyżej, czyli przy zamkniętej kierownicy.

Należy pamiętać, że wirniki turbin pionowych szybkobieżnych typu Kaplana muszą się wtedy obracać powyżej poziomu dolnej wody, inaczej bowiem następują straty spotęgowane pompującym działaniem wirnika na wodę. Można oczywiście w niektórych przypadkach napędzać turbozespoły wodą. Ścisła kalkulacja powinna decydować w każdym przypadku z jakiego źródła napędu będzie dyspozytor korzystać.

Przykład I.

W pewnej elektrowni wodnej o turbinach Kaplana średnicy ok. 5 m, mocy 9 000 kW, jeden z turbozespołów pobierał tylko 500 kW, pracując na moc bezwzględnie przy zamkniętej kierownicy i obniżonej wodzie w rurze ssącej. Uruchomiony wodą i biegnący luzem turbozespoł używał ilość wody odpowiadającą produkcji 1 500 kW normalnie pracującej jednostki. Wreszcie przy nieobniżonym poziomie wody w rurze ssącej

i zamkniętej kierownicy, turbozespoł pobierał z sieci 2 000 kW wskutek pompującego działania wirnika.

Z powyższego wynika jasno, że przy wykorzystaniu turbozespołu do produkcji mocy bezwzględnie najekonomiczniejszy jest napęd z sieci.

Przykład 2.

W innej elektrowni zbiornikowej pracują 4 jednostki typu Francis'a o przełyku nominalnym 25,4 m³/sek, wytwarzając razem 4,8 MW, przy spadzie 25 m, oraz jeden turbozespoł o przełyku nominalnym 8,7 m³/sek, o mocy 2,6 MW przy spadzie 40 m. Dla zaoszczędzenia wody w chwilach małych wód, jedynie 5-ta turbina pracuje czynnie, oddając 1,0 MW przy 6 m³/sek przełyku i spadzie 25 m. Reszta turbin napędzana jest z sieci, pobierając około 70 kW na jednostkę i oddaje około 6 MVAR mocy biernej do systemu.

Oszczędność wody jest wyraźna, jeżeli się weźmie pod uwagę, że dla samego wytwarzania tej samej ilości megawatów, pędząc turbiny wodą, należałoby przepuścić po 2 m³/sek przez każdą z czterech turbin, co daje razem 8 m³/sek.

Z powyższego wynika, że wirujący turbozespoł wodny może służyć jednocześnie jako wirująca rezerwa wodna oraz jako kompensator synchroniczny. Dodać można, że o ile nie liczymy na turbinę jako na rezerwę, to zamyka się często główne zasowy wlotowe dla zmniejszenia strat przez przecieki aparatu kierowniczego. Pamiętać jednak należy, że pewna ilość wody musi być zawsze doprowadzona dla chłodzenia łożyska nośnego, ewentualnie dla smarowania łożyska sztywnego dolnego, wreszcie dla chłodzenia peryferii wirnika.

Zapotrzebowanie energii

W przeciwieństwie do warunków omawiających zapotrzebowanie mocy można, ogólnie biorąc, powiedzieć, że dyspozytor mocy będzie dążył do pełnego wykorzystania energii (kWh) elektrowni wodnych systemu, gdy istnieje wystarczający zapas energii w całym systemie.

Jak wspomniano kilkakrotnie w niniejszym, nie jest to równoznaczne z osiągnięciem najlepszego współczynnika sprawności tej lub tych siłowni. Celem służby dyspozytorskiej jest wykorzystanie energii ciepła, a jednocześnie zmniejszenie do minimum kosztu produkcji siłowni cieplnych, w oparciu o cegodinną analizę wykresu obciążenia i na podstawie następujących wytycznych:

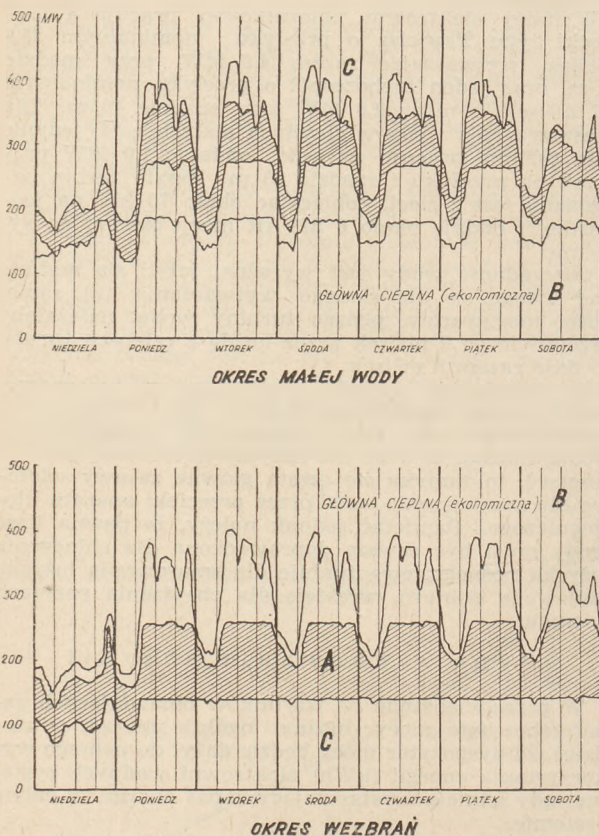
— O ile zbiorniki elektrowni wodnych pozwolą, to przy małych dopływach energia siłowni wodnych zostanie umieszczona w najwyższej części krzywej całkowitego obciążenia, gdzie koszt produkcji cieplnej byłby największy. Dokładna proporcja „wody” w szczycie będzie zależeć: od różnicy przyrostów względnych kosztu kWh cieplnej w szczycie i w dolinie, od objętości wody do zmagazynowania na okres późniejszy, od ilości jednostek wirujących systemu, od planu remontów oraz od tego, jak daleko odbiegać będzie reżim elektrowni wodnej od reżimu optymalnego. Poza tym należy uwzględnić lokalizację siłowni wodnych w stosunku do punktów największych odbiorów i wreszcie przepustowość linii przesyłowych.

— Jeżeli dopływy będą duże, wszystkie elektrownie wodne będą pracowały podstawowo, często przy maksymalnym otwarciu kierownicy, a siłownie cieplne — przy obciążeniach odpowiadających minimum technicznemu, które może wynieść 20% i mniej ich mocy maksymalnych.

Przykład.

Rys. 5 wykazuje, jak różnie mogą pracować elektrownie wodne systemu w zależności od dopływu wody. Górny wykres ilustruje tygodniowy rozkład obciążenia systemu, w którym współpracują elektrownie cieplne (wśród nich duża siłownia ekonomiczna B o małym zużyciu jednostkowym) i dwie elektrownie wodne, jedna zbiornikowa C, druga przepływowa A. Dany tydzień charakteryzują małe dopływy wody, wskutek czego wykorzystuje się siłownię C do pracy szczytowej. Dolny wykres ilustruje tygodniowy rozkład obciążenia tego samego systemu, ale w okresie dużych wód.

Elektrownia C pracuje u samej podstawy, produkując maksymalną ilość kWh, przy małych wahanach spadów, zaś główna cieplna B o małym zużyciu jednostkowym pracuje szczytowo, chwilami przy obciążeniu równym minimum ekonomicznym.



Rys. 5. Typowe tygodniowe rozkłady obciążeń w systemie siłowni ciepłych i 2 wodnych A i C

- W dążeniu do osiągnięcia największej ekonomiczności systemu, w którym pracuje kilka siłowni wodnych o dużych zbiornikach, dyspozytor mocy będzie nawet mógł w niektórych przypadkach decydować o całkowitym zamknięciu jednej lub więcej nieekonomicznych elektrowni ciepłych, o zużyciu powyżej 1,0 — 1,2 kg/kWh węgla umownego.
- W przypadku, gdy elektrownia wodna przesyła energię do ośrodka bardzo uprzemysłowionego za pomocą długiej linii przesyłowej, należy rozpatrzyć ekonomiczność przesyłu, traktując linię i elektrownię wodną jako całość.

Zmiany reżimów elektrowni wodnej i rozdział wahań reżimów pomiędzy elektrowniami wodnymi i cieplnymi

Jak wynika z powyższego, przy średnich dopływach i w ogólnych warunkach elektrownie zbiornikowe powinny pracować w najwyższej części krzywej całkowitego obciążenia. Jest to słuszne tylko do pewnego stopnia. Otóż dla siłowni wodnych o niskich spadach pociąga to za sobą straty w produkcji wskutek podniesienia się dolnego poziomu wody przy większych obciążeniach, a w rezultacie zmniejszenie się spadku. Elektrownia dostarcza w ciągu dnia więcej kWh przy niskich spadach, a w nocy mniej kWh przy wyższych spadach, czyli że reżim o zmiennych obciążeniach wytwarza mniej kWh z energii cieku aniżeli reżim o stałym obciążeniu. Straty w produkcji są mniej więcej proporcjonalne do kwadratu różnicy energii dziennej a nocej.

Przykład.

Elektrownia wodna zbiornikowa o mocy 50 MW może dostarczyć 24-godzinna moc równą 25 MW, przy niezmiennym poziomie górnej wody i spadzie 10 m. Przy-

puścmy, że zamiast obciążenia stałego chcemy dostarczyć 50 MW przez 12 godzin dnia, zatrzymując siłownię przez 12 godzin nocnych, i że w rezultacie poziom wody w zbiorniku obniży się o 0,20 m w ciągu dnia, wzrośnie zaś o 0,20 m w ciągu nocy. Wynika z powyższego, że średni spadek w ciągu szczytu 50 MW będzie mniejszy o około 0,10 m, aniżeli podczas dostawy mocy stałej 24-godzinnej, równej 25 MW zakładając, że poziom dolnej wody podniesie się w szczycie o 0,70 m. W pierwszym przypadku dysponujemy średnim spadem 10 m, w drugim — spadem 9,20 m, — produkcje dobowe wyniosą zatem 600 000 kWh oraz 552 000 kWh (strata 8%). Jeżeli dodamy do tego koszt dodatkowego uruchomienia i zatrzymania turbozespołów (jest ich kilka w elektrowni) oraz straty przejścia z jednego reżimu do drugiego, całkowita strata energii osiągnąć może 9%.

Widzimy z powyższego, że wahania reżimu elektrowni wodnej wpływają tak jak w elektrowni cieplnej na zmniejszenie produkcji i dyspozytor mocy winien przeanalizować zagadnienie. Ogólnie biorąc, można powiedzieć, że wszystkie elektrownie systemu powinny brać udział w fluktuacjach reżimu. Dokładny rozdział tych wahań powinien być obliczony dla typowych obciążeń dobowych przy dodaniu strat spowodowanych w każdej siłowni cieplnej i wodnej wskutek wahań reżimu. Najekonomiczniejszy rozdział wahań będzie ten, przy którym suma strat osiągnie minimum.

Długofalowe planowanie gospodarki zbiornikowej

We wszystkich systemach, gdzie istnieje możliwość sezonowego wyrównania, dyspozycja mocy powinna planować poziom wody w poszczególnych porach roku tak, aby zmniejszyć do minimum rzuty wód jałowych oraz zmagazynować jak największą objętość wody dla wykorzystania jej w okresie suszy.

Liczne współczynniki wpływające na planowanie gospodarki zbiornikowej stwarzają konieczność, tak dla kierownika siłowni jak i dla dyspozytora mocy, uporządkowania doświadczeń lat ubiegłych w postaci rocznego planu gospodarki wodnej danego zbiornika. Plan ten zawierać powinien ekonomicznie uzasadnione maksymalne i minimalne poziomy wody w zbiorniku w poszczególnych miesiącach roku.

Praktyka wykazała, że pożyteczne jest opracowanie 2 charakterystycznych planów gospodarki, a mianowicie:

- planu wykorzystania maksymalnej mocy (kW),
- planu wykorzystania maksymalnej energii (kWh).

Plany te nie powinny być uważane jako sztywne reguły, ale raczej jako wskazówki dla gospodarzącego wodą.

Pierwszy z wymienionych planów będzie dążył do szybszego spiętrzenia wody w okresach wezbrań dla osiągnięcia większych mocy dyspozycyjnych i ewentualnego późniejszego wykorzystania objętości zmagazynowanych wód w okresach suszy. Drugi plan będzie dążył do śmielszego obniżania górnej wody w zbiorniku celem uchwycenia większych ilości wezbranych wód i wytworzenia większej produkcji. Mając w ręku oba plany „graniczne“, dyspozytor będzie mógł dokładniej ustalić plan pracy zbiornika dla każdej pory roku i dla danego układu energetycznego. W przypadku wejścia do ruchu nowej siłowni lub linii przesyłowej względnie zmiany w charakterze obciążenia systemu, plany wyżej wymienione ulegną odpowiedniemu zmodyfikowaniu.

W klimatach północnych, wskutek zmniejszenia się szybkości wody do 50% w porach zamarzania, obserwuje się zmniejszenie dopływów w okresie pomiędzy stanem wód wolnych od lodów, a wodami pod lodem. Zmagazynowana w ten sposób pewna objętość wody zostaje gwałtownie zwolniona na wiosnę. W związku z powyższym, część wody zakumulowanej może być wykorzystana dla pokrycia deficytu w okresie zamarzania. Tak samo, dokładna prognoza roztopów pozwoli dyspozycji mocy na obniżenie górnej wody przed nadejściem fali oraz na dokładne napełnienie zbiornika po przejściu wezbrania.

Rola zbiorników jest również bardzo ważna przy redukowaniu tygodniowych wahań maksymalnych obciążeń siłowni ciepłych w dążeniu do zastąpienia droższych kilowatogodzin tańszymi. Nierzadko przewidująca gospodarka zbiornikiem pozwoli uniknąć kosztownego uruchomienia pomocniczej elektrowni ciepłej.

Starannie wykonany plan gospodarki wodnej może również uwzględnić braki paliwa w elektrowniach ciepłych i powinien koniecznie brać pod uwagę kolejność remontów w systemie. Dzięki temu, z chwilą wycofania dużej jednostki do remontu, dyspozytor czerpie energię ze zbiorników, nie potrzebując uruchamiać nieekonomicznych jednostek. W niektórych przypadkach plan pozwoli na całkowite unieruchomienie większej elektrowni ciepłej na dłuższy czas i na przeniesienie całej załogi do innej części systemu celem przeprowadzenia remontu kapitalnego. Jest to szczególnie korzystne w systemie o dużych elektrowniach wodnych i licznych mniejszych siłowniach ciepłych.

Planowanie remontów

Roczny plan kapitalnych remontów i napraw w systemie elektrowni ciepłych i wodnych powinien opierać się o jak najdokładniejszą analizę statystyki tygodniowych, miesięcznych i rocznych dopływów naturalnych do poszczególnych siłowni wodnych. Koszty eksploatacji mogą być znacznie zmniejszone, jeżeli remonty elektrowni ciepłych będą przeprowadzane w okresach większych wód siłowni wodnych, a remonty i naprawy w siłowniach wodnych — w okresach małych wód. Idealne rozwiązanie zostałyby oczywiście osiągnięte, gdyby elektrownie wodne i ciepłe były umieszczone blisko siebie, mogły korzystać ze wspólnych brygad remontowych i wspólnego warsztatu, w rezultacie czego nasilenie prac byłoby mniej więcej stałe.

Inspekcje i remonty jednostek ciepłych obniżają ekonomiczność systemu, szczególnie, gdy jednostki są duże i wydajne, ponieważ muszą być wtedy zastąpione nierzadko jednostkami o dwukrotnie większym zużyciu jednostkowym. W systemie obejmującym elektrownie wodne, dyspozytor może przyspieszyć lub opóźnić termin danego remontu w zależności od warunków hydrologicznych i, jeżeli dopływy są małe a prognoza niekorzystna, może przesunąć termin remontu do czasu pojawienia się wezbrania. Niekiedy opóźnienie 6-miesięczne może okazać się rentowne.

Rola połączeń międzyokręgowych w systemie

Pomimo korzyści wynikających dla okręgu z posiadania elektrowni ciepłych i wodnych oraz własnej rezerwy, ogólna ekonomika energetyczna systemu lub kraju wymaga połączenia okręgów odpowiednimi liniami, ponieważ zmniejszają się w ten sposób koszty utrzymania rezerwy systemowej i, ogólnie mówiąc, umożliwia się każdej elektrowni pracę blisko optymalnego reżimu.

Istotnie, z chwilą powiązania między sobą wszystkich jednostek prądowców można uważać, że w razie awarii różnica pomiędzy maksymalnym obciążeniem a obciążeniem optymalnym (ok. 80% maks. każdej elektrowni) stanowiłby będzie moc rezerwową.

Jeżeli linie międzyokręgowe są średnio obciążone, wypadnięcie z pracy największej jednostki zostanie częściowo pokryte przez nadwyżkę mocy wszystkich maszyn systemu; z jednej strony okręg o dużej jednostce będzie wymagał mniej rezerwy, z drugiej zaś rezerwa tego okręgu będzie do dyspozycji wszystkich innych okręgów. Gdyby nie było powiązania międzyokręgowego, każdy z nich musiałby mieć rezerwę równą mocy największej jednostki, a w rezultacie rezerwa systemu byłaby mniej więcej proporcjonalna do ilości niepowiązanych okręgów.

Połączenie okręgów zmniejsza również straty spowodowane pracą w strefach nieekonomicznych, gdyż

w dążeniu do dopasowania reżimów do wahań obciążenia, siłownie ciepłe i wodne będą odbiegać od reżimów optymalnych; straty te są szczególnie znaczne, gdy moc dostarczona przez siłownię jest duża w stosunku do wielkości jednostek.

W skrócie można powiedzieć, że połączenie 2 okręgów odpowiednimi liniami zmniejsza do połowy straty wynikłe z pracy turbozespołów w strefach nieekonomicznych.

Elektrownie zbiornikowe pompowe

Specjalnie interesujące z punktu widzenia poprawienia ekonomiczności systemu są siłownie zbiornikowe pompowe. Brak miejsca nie pozwala na rozwinięcie tematyki gospodarki wodnej tego rodzaju siłowni i ich współpracy z elektrowniami ciepłymi. Elektrownie te zmniejszają koszty własne elektrowni ciepłych współpracujących z nimi, ponieważ zwiększają liczby rocznego wykorzystania ich mocy zainstalowanej⁴⁾.

* * *

Reasumując powyższe, można stwierdzić, że racjonalna gospodarka wodna w elektrowniach wodnych współpracujących z siłowniami ciepłymi w systemie energetycznym jest trudnym zagadnieniem o charakterze wybitnie kompleksowym, wymagającym doświadczenia oraz odpowiednio wykwalifikowanych kadr.

Uderza fakt, że tak jak projektowanie i budowa wielu elektrowni wodnych wymaga jak najściślejszej współpracy fachowców z dziedzin żegluga, energetyki, rolnictwa, gospodarki komunalnej, lasów, budownictwa przemysłowego i wielu innych resortów, również i eksploatacja tych siłowni będzie wymagała kompleksowego rozwiązania każdego ważniejszego zagadnienia.

Plan 6-letni jak i plany następne przewidują rozbudowę sieci dróg wodnych śródlądowych, budowę zapór, jazów i elektrowni wodnych. Coraz bardziej wysuwa się zagadnienie wyszkolenia kadr potrzebnych do realizacji tego programu.

W oparciu o powyższy artykuł i na zakończenie można by więc postawić następujące wnioski:

- Celem uniknięcia wielotorowości koncepcji i strat czasu przy opracowaniu założeń, projektów oraz planów gospodarki wodnej nowopowstającej siłowni, komórki projektujące powinny utrzymywać ścisły kontakt pomiędzy sobą, odpowiednimi resortami i rozwiązywać zagadnienia kompleksowo.
- Gospodarka wodna na danym stopniu żegludowym lub innym powinna być oparta o wyżej wymieniony plan i być tak przeprowadzona, aby korzyści uzyskane przez którykolwiek z resortów nie pociągnęły za sobą zwiększenia strat innego resortu. Jedynym słowem państwo osiągać powinno w każdej chwili maksymalny zysk przy minimalnych stratach.
- W związku z powyższym należy opracować programy szkolenia odpowiednich kadr, które by obejmowały techników i inżynierów ze specjalności budownictwa wodnego i hydroenergetyki. W szczególności inżynierowie-hydroenergetycy powinni być elektrykami z ogólną znajomością hydrologii, hydrauliki, budownictwa zapór i urządzeń hydrotechnicznych, turbin, urządzeń elektrycznych siłowni wodnych oraz automatyki tych elektrowni. Specjalny nacisk powinien być położony na zagadnienie współpracy elektrowni wodnych i ciepłych w systemie, na racjonalną eksploatację zbiorników wodnych i na współpracę międzyresortową w gospodarowaniu wodą.

⁴⁾ Zobacz artykuły: — Inż. S. Krzycki — Elektrownie wodne pompowe i zbiornikowe oraz ich rola w eksploatacji systemów energetycznych. „Energetyka” maj—czerwiec 1950 r. — Inż. B. Rudnicki — Szczytowo-pompowe siłownie wodne. „Gospodarka Wodna” Nr 7—8, 1950 r.

INŻ. BOLESŁAW RUDNICKI

Racjonalna współpraca elektrowni wodnych i ciepłych w systemie energetycznym

Rola elektrowni wodnych w systemie energetycznym

Elektrownie wodne prawie zawsze pracują w systemie energetycznym, współpracując z pozostałymi elektrowniami. Rzadko zdarzają się wypadki, gdy elektrownia wodna pracuje samodzielnie, dostarczając energię elektryczną jednemu względnie grupie odbiorców. Do tych wyjątków należą małe elektrownie o lokalnym znaczeniu gospodarczym (elektrownie wiejskie, elektrownie przemysłowe itp.).

Elektrownia wodna pracująca w systemie nie może mieć zadania zaspokajania potrzeb określonego odbiorcy. W strukturze energetycznej naszego kraju elektrownie wodne nie mogą odegrać roli decydującej i energetyka będzie zawsze bazowała na elektrowniach ciepłych. Jednakże elektrownie wodne mogą i powinny przez racjonalną współpracę w systemie stworzyć warunki do tego, by system energetyczny (S. E.) jako całość wykonywał swoje zadanie w sposób najbardziej ekonomiczny.

Dzięki swojej długowieczności i niskim kosztom eksploatacji elektrownie wodne mimo wysokich nakładów produkują energię wielokrotnie taniej od elektrowni ciepłych.

Rozpatrując celowość wybudowania elektrowni wodnej w naszych warunkach, należałoby kierować się wg następujących zasad:

- Jeżeli kompleks zagadnień wodnych tworzy warunki do wybudowania siłowni wodnej, należy z tej okazji bezwzględnie skorzystać.
- Jeżeli są dogodne warunki topograficzne do utworzenia dużego spadku i zbiornika — decydują niskie

wskaźniki ekonomiczne energetyki, przy uwzględnieniu ewentualnych korzyści ubocznych.

- Przy nagłych potrzebach S. E., jeżeli są względnie dogodne warunki topograficzne i hydrologiczne — decydują względy gospodarcze przy możliwych do przyjęcia wskaźnikach ekonomicznych energetyki.

Skoro celowość wybudowania elektrowni wodnej została uznana i inwestycja wykonana, elektrownia musi spełnić swoje zadanie w S. E.

Pokonywanie obciążeń szczytowych jest i będzie nadal poważnym problemem. Największą z punktu widzenia energetyki wartość posiadają elektrownie wodne zbiornikowe, używane jako elektrownie szczytowe.

Szczytowe obciążenia systemu wypadają w okresie zimy. Przyjęto, że krytycznym pod tym względem jest miesiąc grudzień. Wykres obciążeń w tym miesiącu można uznać za maksymalny i dlatego, układając bilans mocy S. E., należy wziąć za podstawę wykres obciążeń dobowych z grudnia, przyjmując go jako miarodajny dla całego okresu zimowego. Wykresy obciążeń w lecie są niższe i minimalne obciążenia przypadają przeważnie na lipiec.

Aby więc sprostać zadaniom, S. E. powinien posiadać moc instalowaną taką, aby przy zachowaniu rezerw pokonać obciążenia szczytowe w grudniu. Każda siłownia wodna, która gwarantuje wypełnienie przydzielonej sobie części wykresu obciążeń grudniowych S. E., jest siłownią zapewniającą moc i energię, tzn. nie wymagającą dublowania jej przez inną elektrownię (np. ciepłą).

Elektrownie wodne, które zapewniają moc i energię, mają w stosunku do elektrowni ciepłych pierwszeństwo w planie produkcji, wobec czego nazwać je możemy wypierającymi.

Rys. 1 przedstawia w sposób schematyczny wykresy obciążeń dobowych S. E. dla grudnia (zimowych) i lipca (letnich).

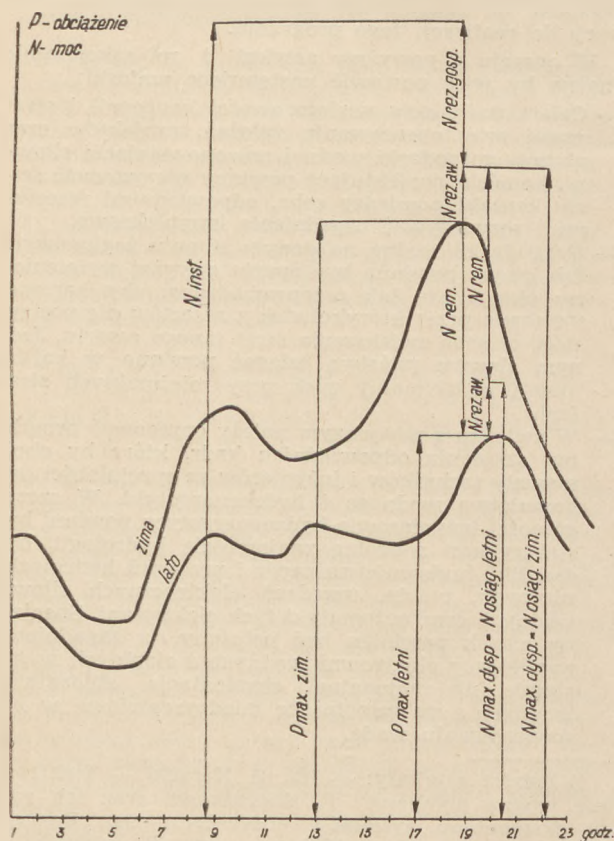
Aby pokonać obciążenia zimowe, S. E. powinien zapewnić osiągnięcie maksymalnej mocy dyspozycyjnej ($N_{max. dysp.}$), przy zachowaniu rezerwy awaryjnej ($N_{rez. aw.}$) (czyli moc osiągalna w zimie $N_{oz} = N_{max. dysp.}$). W lecie, gdy obciążenia systemu są niższe, część mocy dyspozycyjnej można zaplanować do remontu i wtedy moc osiągalna S. E. $N_{ol.} = N_{max. dysp.} - N_{rem.}$

Moc instalowana systemu składa się ponadto z tak zwanej mocy związanej ($N_{zw.}$) i rezerwy gospodarczej ($N_{rez. gosp.}$).

Moc związana jest to ta część mocy instalowanej, która nie może być w pewnych warunkach osiągnięta. W elektrowniach ciepłych przypadek taki może zaistnieć, gdy użyje się paliwa o mniejszej niż normalnie wartości kalorycznej. W elektrowniach wodnych moc związana występuje, gdy nie może być zapewniony przełyk turbin (brak wody), względnie zmniejszy się spadek poniżej wartości nominalnej.

Należy podkreślić istotną różnicę, jaka zachodzi w przypadku elektrowni wodnych zbiornikowych między mocą związaną na skutek braku wody i braku spadku. Brak wody, nawet przy niewielkim zbiorniku, powoduje wprawdzie konieczność przerwania pracy jednostek na pewien czas, moc jest jednakże osiągalna. Brak wody wpływa tu głównie na produkcję, zaś moc nabiera w pewnym sensie charakteru mocy rezerwowej. Brak spadku powoduje bezpowrotną stratę mocy i energii.

Gospodarcza moc rezerwowa jest przewidywana w S. E. na szczeblu gospodarki państwowej, dla zabezpieczenia prawidłowego rozwoju gospodarczego



Rys. 1. Schemat wykresu obciążeń dobowych S. E. dla dnia roboczego letniego i zimowego

kraju i nie jest wprowadzana do pokrywania obciążeń systemu, do chwili decyzji jej uruchomienia.

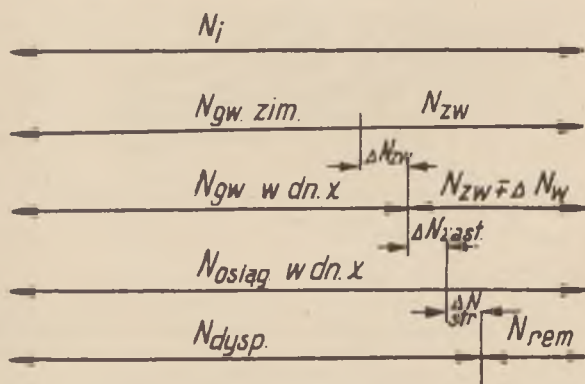
Bilans mocy systemu można ująć ostatecznie w następującym wzorze:

$$N_{inst.} = N_{max. dysp.} + N_{zw.} + N_{rez. gosp.} = (N_{osiq.} + N_{rem.}) + N_{zw.} + N_{rez. gosp.} = (P_{max.} + N_{rez. aw.} + N_{rem.}) + N_{zw.} + N_{rez. gosp.}$$

gdzie $P_{max.}$ — obciążenie maksymalne systemu.

Zadaniem dyspozytora S. E. jest tak zaplanować moce osiągalne, aby pokryć występujące obciążenia dobowe przeprowadzające remonty, zachowując rezerwy i wykorzystując elektrownie wodne dla maksymalnego zaoszczędzenia paliwa w elektrowniach cieplnych.

SCHEMAT MOCY EL. WODNEJ



Rys. 2. Schemat pokrywania wykresu dobowego w dowolnym dniu roboczym przez elektrownie wodne i ciepłe

Ogólny pogląd na tę sprawę daje rys. 1 i 2. Moc związana elektrowni wodnych, w przypadku wystąpienia pozagwarancyjnych warunków hydrologicznych, może zwolnić pewną część mocy elektrowni ciepłych. Pozagwarancyjna energia elektrowni wodnych umieszczona w wykresie obciążeń w godzinach pozaszczytowych nie eliminuje pracy siłowni cieplnej, jednakże skraca czas jej pracy czyli wpływa na oszczędność paliwa.

Bilansu mocy elektrowni wodnej pracującej w S. E. nie można rozpatrywać bez równoczesnego uwzględnienia bilansu energii dobowej (różnej dla każdego miesiąca). Stąd wyłania się konieczność wprowadzenia pojęcia gwarancji mocy i energii elektrowni wodnej (problem ten nie istnieje w elektrowni cieplnej).

Bilans mocy elektrowni wodnej można przedstawić następująco:

$$N_{inst.} = N_{gw. zim.} + N_{zw.} (N_{gw. zim.} \pm \Delta N_{zw.}) + (N_{zw.} \mp \Delta N_{zw.}) + (N_{zw.} \mp \Delta N_{zw.}) = N_{gw.} + (\Delta N_{zast.} + \Delta N_{str.} + N_{rem.}) = (N_{osiq.} + \Delta N_{str.})$$

$$N_{rem.} = N_{dysp.} + N_{rem.} \text{ (patrz rys 2),}$$

gdzie: $N_{gw. zim.}$ — oznacza jednoznacznie określony gwarantowany udział elektrowni wodnej w pokrywaniu zimowego obciążenia szczytowego S. E. w dniu roboczym,

$N_{zw.}$ — oznacza część związaną mocy instalowanej nie biorącej udziału w pokrywaniu obciążeń szczytowych S. E. w dniu roboczym,

$N_{gw.}$ — moc gwarantowana, zmienna w granicach od 0 do N_i w poszczególnych godzinach doby, zależna

od gwarantowanej produkcji i potrzeb S. E.,

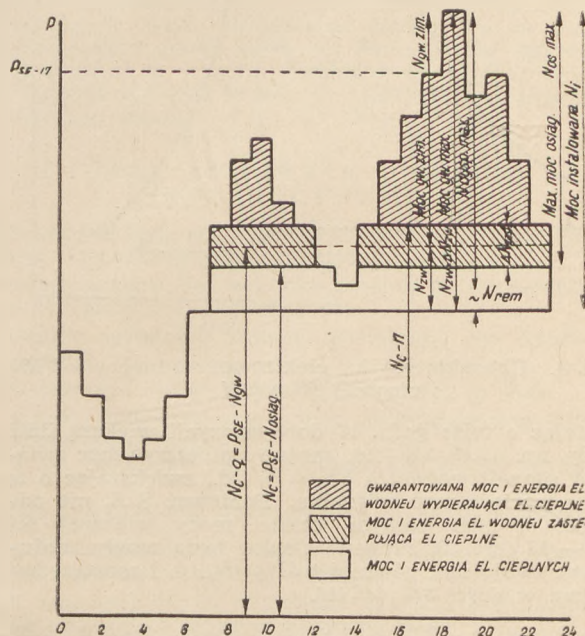
$\pm \Delta N_{zw.}$ — zmienny element mocy gwarantowanej,

$N_{zw.} \mp \Delta N_{zw.}$ — oznacza moc, jaką przy sprzyjających warunkach można osiągnąć poza mocą gwarantowaną.

Rozkłada się ona na trzy podgrupy: $\Delta N_{zast.}$ — zastępuje moc elektrowni ciepłych powodującą oszczędność paliwa w S. E., $N_{str.}$ — nie dająca się w ogóle wykorzystać w ramach mocy dyspozycyjnej i $N_{rem.}$ — stanowiąca zaplanowaną do remontu część mocy instalowanej. Gdy $N_{str.} = 0$ i $N_{rem.} = 0$, $N_{zast.} = N_{zw.} \mp \Delta N_{zw.}$

Moc gwarantowaną $N_{gw. zim.}$ należy określać w ten sposób, aby mogła ona spełnić zawsze swoją rolę na maksymalnym wykresie obciążeń dobowych (dla grudnia), który przyjmujemy za niezmienny w ciągu miesięcy zimowych. Błędem jednakże byłoby, gdyby przyjął minimalną moc i energię dobową elektrowni wodnej w grudniu do uznania jako wartości gwarantowane. Jeżeli bowiem jest do przyjęcia, że wykres obciążeń dobowych S. E. zmienia się w ciągu zimy stosunkowo nieznacznie, to moce i energie dobowe elektrowni wodnej w poszczególnych miesiącach zimy mogą wahać się w sposób poważny. Dlatego należy oprzeć się na najbardziej niekorzystnych danych z miesięcy zimowych. W ten sposób ustalona moc i energia gwarantowana elektrowni wodnej absolutnie wypiera moc i energię elektrowni cieplnej, która musiałaby być zbudowana dla sprostania zadaniom S. E. Obciążenia dobowe S. E. w okresie letnim, ponieważ są niższe, nie ograniczają swobody dyspozytora przy planowaniu rezerw w ramach maksymalnej mocy dyspozycyjnej.

Moc i energia gwarantowana zimowa, czyli tzw. wypierająca decyduje o nakładach inwestycyjnych S. E. Dla tego przypadku w bilansie mocy elektrowni wodnej $\Delta N_{zw.} = 0$, zaś produkcja dobową równa produkcji minimalnej zimowej, czyli $E_{dob.} = E_{min. zim.}$ W pozostałych miesiącach gwarantuje się moce różne od $N_{gw. zim.}$ o wartość $\Delta N_{zw.}$, tzn., że część mocy związanej zmienia wartość mocy gwarantowanej, przy czym $\Delta N_{zw.}$ może posiadać różne znaki. Wprowadzając na wykres obciążeń gwarantowaną przy mocy osiągalnej produkcję (pole wykresu), dochodzi się do wykresu mocy gwarantowanych w przekroju dobowym (różnego dla każdego miesiąca lub sezonu — rys. 3).



Rys. 3

W górnej części wykresu wyznaczono pole pracy siłowni wodnej. Zakreskowana powierzchnia przedstawia w pewnej skali gwarantowaną energię dobową. Maksymalna moc gwarantowana przypada na przytoczonym rysunku na godzinę 19. Moce gwarantowane w innych godzinach są niższe, względnie równe zeru. Pozostałą część wykresu pokrywałyby siłownie ciepłe, gdyby elektrownie wodne pracowały w momencie najniekorzystniejszych warunków hydrologicznych. Zakreskowana energia zajmuje stałe miejsce na wykresie obciążeń, a więc stałe miejsce w bilansie mocy i energii S. E., wypierając siłownie ciepłe.

Przeważnie elektrownie wodne pracują, mając do dyspozycji więcej wody niż gwarantowano i rozporządzają zarówno większą energią dobową, jak i mocą, mają więc możliwość dalszego wypierania mocy i energii z wykresu obciążeń systemu, tzn. ograniczania zużycia paliwa w elektrowniach ciepłych.

Metoda cząstkowej oszczędności paliwa w S. E.

Osiąganie pewnej mocy przy ustalonym spadzie trwającej określony okres czasu (np. 1 godz.), wymaga przeprowadzenia określonej ilości wody. Dla uproszczenia przyjmijmy na wstępie, że mamy do czynienia ze stałym średnim spadem bez względu na to, z jaką mocą siłownia wodna pracuje. Wówczas można wykreślić krzywą zależności:

$$W = f(N_w),$$

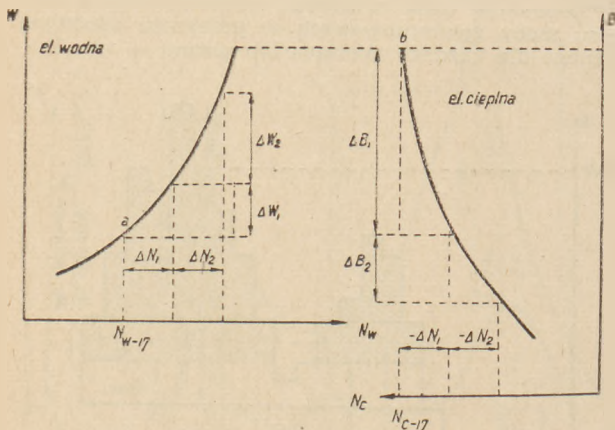
gdzie W — ilość wody jaką elektrownia zużywa w ciągu 1 godz. przy osiągnięciu mocy N_w .

Równocześnie można zbudować podobną charakterystykę dla pozostałych siłowni ciepłych S.E. w postaci:

$$B = \varphi(N_c),$$

gdzie B — ilość paliwa jaką zużywają elektrownie ciepłe w ciągu 1 godz. przy osiągnięciu łącznej mocy N_c .

Na rys. 4 przedstawiono górne gałęzie takich charakterystyk. Punkt a odcina moc gwarantowaną elektrowni wodnej np. w godz. 17 (patrz rys. 3 i 4). W tym samym czasie elektrownie ciepłe muszą osiągnąć moc N_{c-17} wyznaczoną punktem b , aby zapełnić wykres obciążeń.



Rys. 4. Charakterystyka elektrowni wodnej $w = f(N_w)$ i ciepłej $B = \varphi(N_c)$.

Mając o tejże godz. 17 do dyspozycji większą ilość wody, np. o $\Delta W_1, \Delta W_2$ itd., można zmniejszyć moc związaną siłowni wodnej o $\Delta N_1, \Delta N_2$ itd., zwiększając o tę samą wartość moc osiągalną. Ponieważ S. E. nie odbierze w tym samym czasie mocy większej niż $N_s - 17$ (rys. 3), siłownie ciepłe będą mogły zredukować swoją moc również o $\Delta N_1, \Delta N_2$ itd. i zaoszczędzić paliwa w ilości $\Delta B_1, \Delta B_2$ itd.

Stosunek $\lambda = \frac{\Delta B}{\Delta W}$ nazwiemy współczynnikiem przyrostu oszczędności paliwa w S.E.

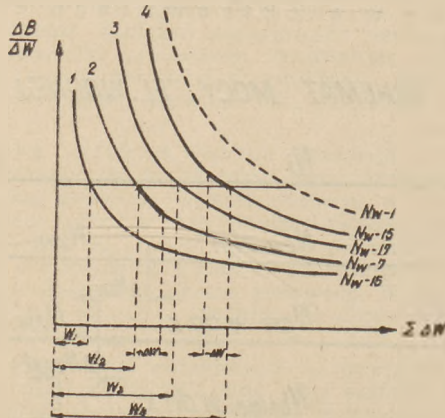
Dla każdej godziny (równocześnie dla określonej mocy gwarantowanej w danej godzinie) można wykreślić krzywe zależności:

$$\frac{\Delta B}{\Delta W} = f(\Sigma \Delta W) = f(W).$$

Otrzymamy rodzinę krzywych charakterystycznych dla danego wykresu obciążeń gwarantowanych elektrowni wodnej (rys. 5).

Należy pamiętać, że $W_{dob.} = \sum_0^{24} W$. Ponadgwarancyjna dobową objętość przepływu $W_{dob.}$ musi być rozłożona na poszczególne godziny w ten sposób, aby:

$$\frac{\Delta B_1}{\Delta W_1} = \frac{\Delta B_2}{\Delta W_2} = \dots = \frac{\Delta B_i}{\Delta W_i} = const.$$



Rys. 5. Krzywe godzinowe cząstkowej oszczędności paliwa w S. E.

Regułę tę można w sposób łatwy udowodnić. Przyjmijmy, że na rys. 5 znaleźliśmy taką linię ab wyrażającą $\frac{\Delta B}{\Delta W} = const.$, przy której $W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_i = W_{dob.}$ Gdybyśmy zmniejszyli objętość przepływu np. W_4 o ΔW , to w myśl równania

$W_{dob.} = \sum_0^{24} W$ musielibyśmy zwiększyć o tę samą

wartość ΔW objętość np. W_2 . Zauważymy od razu na rysunku, że rezygnując z korzystniej położonego

odcinka $e - e'$ (większy współczynnik $\frac{\Delta B}{\Delta W}$) musimy o godz. 17 pracować z gorszym współczynnikiem (odcinek $f - f'$), a tego właśnie należy unikać.

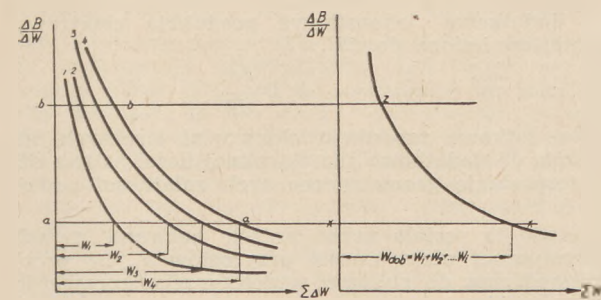
Stąd wynika ważna reguła, na której opiera się całe dalsze rozumowanie. Elektrownie wodne, pracując w S. E., powodują największą możliwą oszczędność paliwa w elektrowniach ciepłych, jeżeli ponadgwarancyjną objętość przepływu, będąca w dyspozycji w danym okresie czasu, zużyje się, zachowując stałą wartość współczynnika przyrostu paliwa ($\frac{\Delta B}{\Delta W} = const$).

W obliczeniach hydrologicznych nie operuje się przepływami godzinowymi. Najmniejszym okresem czasu, dla którego określa się średni przepływ sekundowy, względnie objętość przepływu, jest doba. Częściej operuje się przepływami średnimi dekadowymi i miesięcznymi. Metoda obliczeń musi więc dawać możliwość posługiwania się dostępnymi danymi hydrologicznymi.

Mając zbudowane „krzywe godzinowe cząstkowej oszczędności paliwa” (jak na rys. 5), można skonstruować

¹⁾ Twierdzenie powyższe zostało udowodnione na drodze matematycznej. (Patrz lit. 1).

wać „krzywą dobową cząstkowej oszczędności paliwa” w sposób podany na rys. 6.



Rys. 6. Krzywa dobową cząstkowej oszczędności paliwa w S. E.

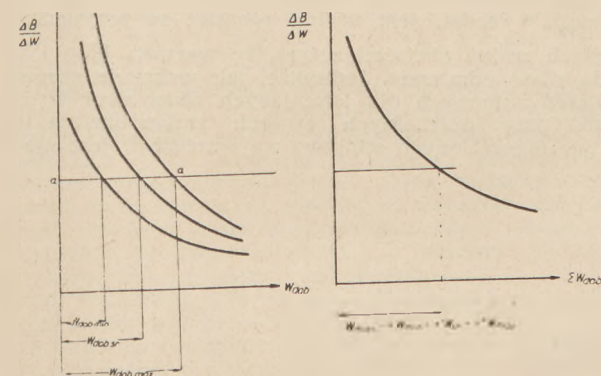
Sumując wartości przyrostów godzinowych ponad gwarancyjnych objętości przepływu dla różnych znaczeń $\frac{\Delta B}{\Delta W} = \text{const.}$, otrzymujemy wykres $\frac{\Delta B}{\Delta W} = f(W_{\text{dob.}})$.

Znając więc nadwyżkę objętości przepływu, ponad wartość gwarantowaną w danym dniu roboczym, możemy znaleźć rzeczywisty wykres obciążeń dobowych elektrowni wodnej, który wprowadzony na wykres systemu, w myśl podanego prawidła, zapewni najekonomiczniejszą pracę siłowni cieplnych.

W podobny sposób można zbudować krzywe $\frac{\Delta B}{\Delta W} = f(W_{\text{dek.}})$ i $\frac{\Delta B}{\Delta W} = f(W_{\text{mies.}})$, gdzie $W_{\text{dek.}}$ i $W_{\text{mies.}}$

należy zawsze rozumieć jako objętości przepływu ponad wartość gwarantowaną na daną dekadę lub miesiąc (objętości dodatkowe). Należy tu zastosować uproszczenie uwzględniające fakt, że na przestrzeni dekady a nawet miesiąca można wybrać trzy doby charakterystyczne: minimalną, średnią i maksymalną i sklasyfikować wszystkie doby wg tych grup (rys. 7).

Tak samo jak poprzednio, znając nadwyżkę objętości wody w miesiącu, można ją rozrzucić poprzez wykres dobowy na wykres godzinowy i stworzyć dyspozytorski wykres obciążeń dla elektrowni wodnej na dany dzień.



Rys. 7. Krzywa miesięczną cząstkowej oszczędności paliwa w S. E.

Powróćmy teraz do sprawy spad. Jest rzeczą oczywistą, że osiąganie mocy i energii wodnej w dużej mierze zależy od zmian spad. Zagadnienie to jest ogromnie skomplikowane, gdyż wymaga uwzględnienia nie tylko zmiennych stanów dolnej wody przy różnych obciążeniach ale i charakteru tych zmian w czasie, gdy występują przepływy nieustalone. Nikitin uważa, że należy tu wprowadzić uproszczenia, które nie mogą zaważyć w stopniu decydującym na dokładności obliczeń.

Zawsze można dobrać taki jednakowy dla wszystkich godzin doby spad, a więc i taką równoznacz-

ną charakterystykę siłowni wodnej $W_{\text{godz.}} = f(NW)$, którą posługując

się otrzymamy krzywą $\frac{\Delta B}{\Delta W} = f(\Sigma \Delta W)$, dającą dla identycznej, sumarycznej nadwyżki objętości przepływu ($W_{\text{dob.}}$)¹, identyczną wartość $(\frac{\Delta B}{\Delta W})^1$.

Przy rozrzucaniu na poszczególne godziny można popełnić błąd, nie mający żadnego praktycznego znaczenia. Stosujemy tu jak gdyby pewien średni ważony spad, analogicznie do metody stosowanej powszechnie w obliczeniach energetycznych.

Np. dla przypadku wyrównania dobowego przy pracy ciągłej zaleca się stosować wyznaczenie spad z zależności $H = 0,95$ (GW—DW), gdzie rzędna górnej wody GW określa się jako maksymalną w danym dniu, rzędna dolnej wody DW — znajduje się z krzywej konsumpcyjnej dla przepływu średniego dobowego, zaś stały współczynnik uwzględnia 5% strat na wyrównanie.

Przy większych zbiornikach niepodobna wyznaczyć w sposób dokładny rzędnej górnej wody, gdyż założona gospodarka wodna może znacznie odbiegać od rzeczywistości. Natomiast jest rzeczą zupełnie możliwą wyznaczyć granicę wahań poziomu zbiornika w poszczególnych miesiącach i w ten sposób zacieśnić obszar przewidywań. W konsekwencji należy budować dla każdego miesiąca pewien komplet krzywych, pokrywający możliwy zakres zmienności spad. Niezmiennymi czynnikami pozostaje stały dla danego miesiąca wykres obciążeń gwarantowanych elektrowni wodnej i charakterystyka elektrowni cieplnych systemu $N_c = \varphi(B)$. Zmianie zaś ulega spad, a więc i funkcja $N_w = f(W)$.

Serię krzywych miesięcznych cząstkowej oszczędności paliwa w S.E., uwzględniającą wszystkie możliwe w danym miesiącu spady, nazwiemy charakterystyką cząstkowych oszczędności paliwa na dany miesiąc.

Posługując się taką charakterystyką, dyspozytor mocy S. E., znając stany zbiornika, ilości wody dyspozycyjnej oraz zapotrzebowanie mocy i energii w danym miesiącu lub dniu, może w łatwy sposób zaplanować najekonomiczniejszy wykres dobowy dla elektrowni wodnej współpracującej w systemie.

Opisana powyżej metoda, choć posiada niewątpliwie cechy metody o dużym praktycznym znaczeniu, posiada jednakże sporo luk jeśli chodzi o wprowadzenie jej w życie. Projektanci muszą się do niej przyzwyczaić i wczuć się w jej istotną treść, dyspozytorzy muszą ją w pełni docenić, a teoretycy rozwinąć i podać w takiej formie, by stanowiła ona pewną metodyczną całość.

Dalsza ewolucja podstaw teoretycznych

Do poważniejszych, nierozwiązanych, względnie zaledwie naszkicowanych problemów należą:

- wprowadzenie do rachunku zmiennego współczynnika sprawności turbozespołów,
- wpływ szybkości zmiany obciążenia na współczynnik λ ,
- współpraca kilku elektrowni wodnych w S.E.,
- wybór współczynnika λ przy kompleksowym wykorzystaniu rzeki.

W. G. A j w a z j a n w swoim artykule (wykaz 3) podaje interpretację wyrażenia $\lambda = \frac{d B}{d W} = f(H_1 W_1 r_1 B_1 e_c)$,

czyli funkcji wartości charakterystycznych dla energetyki. Rozumowanie jest następujące.

W dowolnej chwili obciążenie systemu jest równe mocy oddawanej przez elektrownie S.E.:

$$P_{SE} = P_w + P_c = N_w + N_c$$

Dla uproszczenia rozpatrzmy element czasu równy 1 godzinie i zamieńmy moce produkcją godzinową:

$$E_{SE} = E_w + E_c = \frac{H \cdot \eta \cdot W}{367} + e_c B,$$

gdzie:

E_w — produkcja godzinowa elektrowni wodnych,

E_c — produkcja godzinowa elektrowni ciepłych,

H — spadek w metrach,

η — sprawność ogólna zakładu,

W — pełna dyspozycyjna objętość godzinowa przepływu,

e_c — jednostkowa produkcja na jednostkę paliwa przy mocy N_c ,

B — ilość paliwa zużywanego w ciągu 1 godziny,
 $367 = \frac{3600}{9,81}$

Ponieważ E_{SE} można uznać dla badanego okresu za wartość stałą, pochodną tego wyrażenia można przyrównać do zera:

$$dE_{SE} = \frac{1}{367} (H\eta dW + HW d\eta + W\eta dH) + (B de_c + e_c dB) = 0$$

stąd po uporządkowaniu:

$$\lambda = \frac{dB}{dW} = \frac{\frac{H}{367} (\eta + W \frac{d\eta}{dW}) + \eta \frac{W}{H} \cdot \frac{dH}{dW}}{e_c + B \frac{de_c}{dB}}$$

Zgodnie z przyjętą metodą, obliczenia przeprowadza się niezależnie przy różnych wyznaczonych spadach, co prowadzi do stwierdzenia, że $\frac{dH}{dW} = 0$. Wówczas wyrażenie uprości się:

$$\lambda = \frac{\frac{H}{367} (\eta + W \frac{d\eta}{dW})}{e_c + B \frac{de_c}{dB}} = \frac{\frac{H}{367} \eta dW}{e_{dB}} = \frac{e_{dW}}{e_{dB}}$$

$$\text{gdzie: } \eta_{dN} = \eta + W \frac{d\eta}{dW}$$

— oznacza dopełniający współczynnik sprawności zakładu wodnego, odniesiony do dodatkowo wykorzystanej objętości przepływu dW .

$$^2) E_{godz.} = 9,81 QH\eta = \frac{9,81 WH\eta}{3600} = \frac{WH\eta}{367,1} kWh$$

$$e_{dW} = \frac{H}{367} \cdot \eta_{dW}$$

— dodatkowa jednostkowa produkcja elektrowni wodnej odniesiona do dW .

$$e_{dB} = e_c + B \frac{de_c}{dB}$$

— dodatkowa produkcja elektrowni ciepłych odniesiona do dodatkowo zużytkowanej ilości paliwa dB . Interpretację geometryczną tych zależności podaje rys. 8.

Metoda ta została przez autora nazwana metodą energetycznej efektywności przyrostów i jest próbą wprowadzenia do obliczeń współczynnika sprawności turbozespołów.

Kryterium optymalnego rozrządu mocy między elektrowniami S. E. służą równości:

$$\lambda = \frac{dB}{dW} = \text{const.}$$

$$e_{dW} = \lambda e_{dB}$$

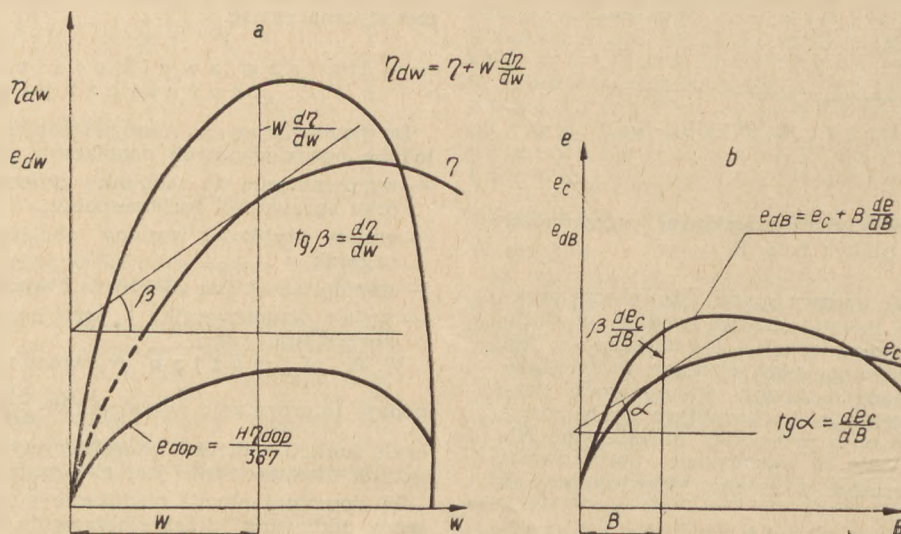
W. M. G o r n s t e i n w swoim artykule (wykaz 4) porusza zagadnienie szybkości zmiany obciążeń i zagadnienie rozdziału obciążeń między kilkoma elektrowniami wodnymi.

Twierdzenia autora poparte wnikliwą analizą matematyczną można streścić w sposób następujący:

Oznaczając przyrost zużycia paliwa przy wzroście mocy elektrowni ciepłej jak $b = \frac{dB}{dP_c}$ i przyrost zużycia wody przy wzroście mocy elektrowni wodnej jako $q = \frac{dW}{dP_w}$, wychodząc z równania obciążeń chwilowych systemu $P_{syst.} = P_c + P_w = \text{const.}$, można napisać po zróżniczkowaniu: $dP_w = -dP_c$, czyli że przyrost mocy elektrowni wodnej powoduje obniżenie mocy elektrowni ciepłej o tę samą wartość. Stąd

$$\frac{b}{q} = \frac{\frac{dB}{dP_c}}{\frac{dW}{dP_w}} = \frac{dB}{dW} = \lambda \text{ c. b. d. o.}$$

Autor udowadnia, że ogólne prawo rozdziału mocy $\frac{dB}{dW} = \text{const.}$ jest ważne również w przypadku nagłych zmian obciążeń z tym, że wartości b , q i λ będą nieco odmienne. Jednakże, jak wskazuje szereg obliczeń robionych dla istniejących elektrowni wodnych, przy normalnych czasach zmian obciążenia wpływ nieustalonego odpływu na wartość λ jest nie-



Rys. 8. Interpretacja geometryczna wzoru $\lambda = f(H, W, \eta, B, e_c)$

znaczny i praktycznie może być pominięty. Różnica we współczynniku λ obliczonym przy tym samym spadzie i obciążeniu dla $0 < \frac{dP}{dt} < \infty$ nie przekracza 10%. Ponieważ rzeczywiste znaczenie leży między tymi krańcowymi przypadkami, błąd będzie wynosił średnio około 5%, co jest absolutnie do przyjęcia. Stąd wniosek, że nie należy uwzględniać szybkości zmian obciążenia i wystarczy posługiwać się stałym średnim ważonym spadem. Zmiany spadu o charakterze długotrwałym natomiast należy uwzględnić posługując się „charakterystyką cząstkowych oszczędności paliwa” dla danego okresu.

Jeżeli w systemie współpracuje większa ilość elektrowni wodnych, rozdział mocy należy prowadzić wg równania:

$$b = \lambda_1 q_1 = \lambda_2 q_2 = \dots \lambda_i q_i$$

gdzie b — współczynnik przyrostu zużycia paliwa dla elektrowni ciepłych S. E.,
 q — współczynnik przyrostu zużycia wody dla elektrowni wodnej; indeks oznacza numer kolejny,
 λ — współczynnik cząstkowej oszczędności paliwa w S. E. odniesiony do danej siłowni wodnej.

Zastosowanie praktyczne

Jak wynika z poprzednich wywodów, najekonomiczniejsza współpraca elektrowni wodnych w S. E. nastąpi, gdy stałość współczynnika λ zachowa się przez możliwie długi okres czasu. Praktycznie czas trwania tego okresu jest ograniczony pojemnością zbiornika i warunkami hydrologicznymi.

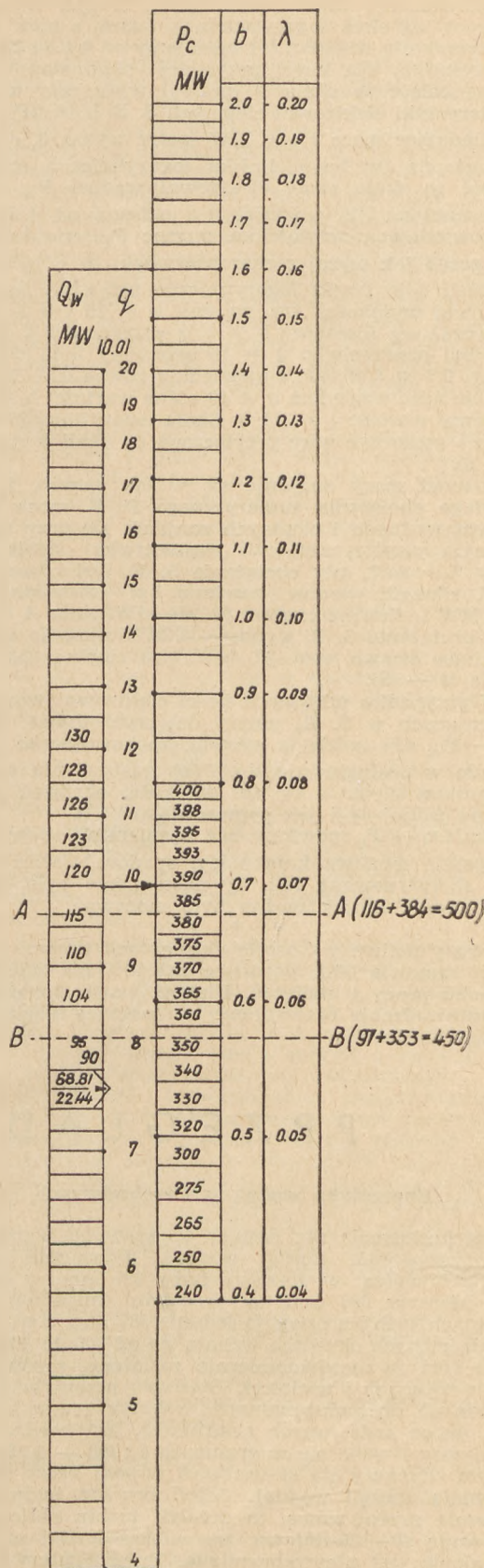
Przy małej pojemności zbiornika przyjęcie $\lambda = \text{const.}$ w dłuższym podziale czasu doprowadziłoby do szybkiego jego przepełnienia w okresach obfitych w wodę i szybkiego opróżnienia w okresach małowodnych. Dlatego współczynnik λ zmieniać należy w zależności od wodności i od innych potrzeb. W okresach dużych przepływów współczynnik należy zmniejszyć, a w okresach suchych — powiększać. Jeżeli względny np. żegluga czy rolnictwa tego wymagają, należy również odpowiednio współczynnik ten dostosowywać, regulując tym samym odpływy ze zbiornika. Jednym słowem współczynnik λ staje się w ręku dyspozytora narzędziem umożliwiającym mu prowadzenie równocześnie z gospodarką energetyczną gospodarką wodną wg wytkniętego planu kompleksowego.

Rozpatrzmy porządek obliczeń dla siłowni zbiornikowej pracującej z wyrównaniem rocznym. Z analizy pracy zbiornika wyniki najdogodniejsze rzędne napełnienia oraz wielkości i okresy utrzymywania warstw przeciwpowodziowych. Dane wyjściowe stanowią charakterystyki elektrowni ciepłych dla każdego miesiąca z uwzględnieniem planu remontów, wykresy obciążeń dobowych dla każdego miesiąca i miesięczne przepływy dyspozycyjne.

Na podstawie tych danych, zakładając pewną wielkość λ dla każdej elektrowni wodnej, przeprowadza się obliczanie rozbitcia obciążeń dla miesiąca charakterystycznego, w którym spodziewamy się przepełnienia zbiornika.

W rezultacie otrzymuje się typowe wykresy obciążeń każdej elektrowni wodnej, wg których można przeliczyć objętość przerobioną zbiornika i ustalić rzędną napełnienia na początek następnego miesiąca. Jeżeli otrzymany wynik nie wykaże zgodności z przewidywaniami, należy rachunek powtórzyć przy innej, zmodyfikowanej w odpowiednią stronę wartości λ . W ten sposób równocześnie koryguje się plan gospodarki zbiornikowej w myśl potrzeb energetyki. Obliczenia takie można przeprowadzić dla kilku lat charakterystycznych i w ten sposób zdobyć materiał pozwalający dyspozytorowi w okresie późniejszej eksploatacji na określanie współczynnika λ „na oko”.

Przy badaniu „ekonomicznej” głębokości warstwy użytkowej należy opracować kilka wariantów gospodarki wodnej i wybrać taką głębokość, przy której



Rys. 9. Suwak dyspozytorski

podliczone zużycie paliwa w elektrowniach ciepłych jest najmniejsze.

Jako przykład zastosowania praktycznego rozrządu mocy przez dyspozytora może posłużyć sposób podany przez W. M. G o r n s z t e i n a (wykaz 4).

Całe obliczenie przeprowadzamy na suwaku logarytmicznym o następującej konstrukcji (rys. 9).

Sporządzamy kilka jednakowych linijek wykalkowanych wg skali logarytmicznej. Jedną z nich przeznaczamy dla wartości b i opisujemy od 0,4 do 2,0, jak na rysunku. Na lewej przyległej skali stanowiącej jedną całość ze skalą b (prawą) wpisujemy z charakterystyki elektrowni ciepłych S. E. $b = f(P_c)$, odpowiadające moce P_c w MW (patrz wykaz 3, rys. 4).

Następna (w lewo) linijka logarytmiczna stanowi całość ze skalą mocy elektrowni wodnej P_w i jest przeznaczona dla wartości q i opisana od 4 do 20. Odpowiadająca wartościom q moc P_w znajduje się w sposób jak wyżej z charakterystyki $q = f(P_w)$.

Jeżeli obie linijki logarytmiczne ustawimy na jednakowej wysokości, tzn. zgramy $q = 10$ i $b = 1$, to wówczas wg równania $b = \lambda q$ otrzymamy $\lambda = 0,1$.

Jeżeli naprzeciwko $q = 10$ ustawimy inną wartość b , np. 0,7 to λ będzie odpowiednio równe 0,07. Nastawiając więc względem $q = 10$ różne wartości b , otrzymujemy wartość $\lambda = 0,1$. Skala logarytmiczna wartości λ może być więc przyłączona do skali b (jak na rys. 9).

Rozrząd mocy znajduje się w ten sposób, że dla każdego obciążenia sumarycznego S. E. moce elektrowni wodnych i ciepłych znajdują się przy nastawionym współczynniku λ naprzeciwko siebie. Np. przy $\lambda = 0,07$, gdy obciążenie S. E. jest równe 500 MW, siłownia wodna powinna być obciążona do 116 MW i siłownie ciepłe do 384 MW (linia A — A); gdy obciążenie S. E. wynosi 450 MW siłownia wodna powinna osiągać moc 97 MW, zaś ciepłe 355 MW (linia B — B).

W przypadku większych ilości elektrowni wodnych, pracujących w S. E., należy dołączyć dalsze skale $q - P_w$ dla każdej z siłowni, zachowując tę samą zasadę w posługiwaniu się. Przy nastawieniu współczynników $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ itd. wielkości obciążeń ułożą się na jednej linii jak poprzednio.

Skale $q - P_w$ powinny być wymienne i obejmować wszystkie możliwe kombinacje spadów. Całość musi być skonstruowana tak, by nastawienie było łatwe, a położenie linijek można było mocować.

* * *

Koszty paliwa w koszcie eksploatacji siłowni ciepłych stanowią 60%, pozostałe zaś 40% nie zależą od sposobu pracy i obciążeń. Dlatego warto pokusić się o wprowadzenie oszczędności w spalaniu węgla, gdy to jest możliwe.

W elektrowniach wodnych zamagazynowane w zbiornikach objętości wody stanowią również „paliwo” (patrz artykuł in ż. K. D a c h o w s k i e g o pt. „Podstawowe zasady dyspozycji mocy w odniesieniu do elektrowni wodnych o określonym potencjale przez spadek dyspozycyjny”).

Należy dążyć, aby to „paliwo” w pełni zastąpiło węgiel, tzn. by nie marnować energii wodnej przy pokrywaniu obciążeń systemu. Z drugiej strony praca elektrowni wodnej jest uzależniona od warunków wodnych, które są na ogół trudne do przewidzenia, a niekiedy zawodne.

Wysiłki projektanta powinny zmierzać do ustalenia reżimu gwarantowanego. Głównym wysiłkiem eksploatacji powinno być zachowanie reżimu gwarantowanego za wszelką cenę (w najgorszych warunkach wodnych), nawet gdyby należało pracować w obszarach gorszych sprawności.

Ponadgwarancyjne objętości wody należy bezwzględnie wykorzystać w celu osiągnięcia oszczędności paliwa.

W dobie rozwoju rodzimej energetyki wodnej należy przygotować się na jej przyjęcie. Autor ma nadzieję, że artykuł niniejszy, oparty o doświadczenia i prace inżynierów ZSRR, rzuci nieco światła na ten jeden z ciekawszych problemów nowoczesnej energetyki.

L i t e r a t u r a

W. M. G o r n s z t e i n — Najwygodniejsze rozprędielenie nagruzki miezdu parallelno rabotajuszczimi elektrostancjami. Goseniergoizdat. 1949.

B. I. N i k i t i n — Optimalnyj energeticeskij reżim sovmiestnoj raboty gidrostancij i tieplostancij w usłowiah izbytočnoj pritocznosti. Gidrotechničeskoe Stroitelstwo Nr 2/1951.

W. G. A j w a z j a n i W. A. K u c e n o w — Racionalnyje reżimy sovmiestnoj raboty gidroelettriceskich i tiepłowych stancij w eniergosystemie. Gidrotechničeskoe Stroitelstwo Nr 2/1951.

W. M. G o r n s z t e i n — O wyborze najwygodniejszewo reżima parallelnoj raboty gidrostancij s tiepłowymi stancjami. Gidrotechničeskoe Stroitelstwo Nr 2/1951.

T. L. Z o ł o t a r e w — Gidroeniergetika cz. I. Goseniergoizdat. 1951.

W. W. B o ł o t o w — Tieorieticeskije osnovy wybora ekonomičnecwo rieżima słożnoj elektroeniergeticeskoj sistemy. Izd. Akad. Nauk. SSSZ. 1947.

P R Z E G L Ą D W Y D A W N I C T W

Energetyka wodna w Czechosłowacji

Czechosłowacja nie posiada korzystnych warunków dla wyzyskania energii wodnej. Przeciętne roczne opady wynoszą: w dorzeczu Łaby 687 mm, w dorzeczu Morawy 663 mm, a w całym kraju 728 mm. W latach suchych osiągają jedynie 537 mm, a w szczególnie suchych okęgach wahają się od 300 do 400 mm. Poza tym są nierównomiernie rozłożone, zarówno w ciągu roku, jak i wieloleci. Stosunek przepływów minimalnych do maksymalnych, wskutek braku lodowców, jezior bądź innych zbiorników, jest bardzo niekorzystny i waha się w granicach 1 : 300 — 1 : 2200.

Tym tłumaczy się stosunkowo wysoki koszt wyzyskania energii wodnej. Jeżeli bowiem buduje się siłownie przepływowe, to przełyk turbin oblicza się na wodę 90—120-dniową, zaś większość dni w roku instalacja jest niewykorzystana. Trzeba zatem budować kosztowne przegrody ze zbiornikami o dużej zdolności retencyjnej.

Dane o zasobach sił wodnych w Czechosłowacji są niedokładne i dotychczas nie ustalone. Dopiero po opracowaniu państwowego planu w zakresie gospodarki wodnej, nad którym się obecnie pracuje, a który będzie zakończony w 1953 r. uzyska się właściwe liczby.

Ostatnie oszacowania podają, że maksymalna możliwość wyzyskania energii wodnej w Czechosłowacji wynosi około 10 miliardów kWh, przy max-

mocy 3000 MV.

Systematyczne wykorzystanie energii wodnej w Czechosłowacji zaczyna się dopiero od 1919 r., kiedy to została wydana ustawa o elektryfikacji kraju. Do tego czasu wyzyskiwano siłę wodną przeważnie na zakładach przemysłowych, jak młyny, tartaki, szlifiernie, szklarnie i inne. Do wytwarzania energii elektrycznej służyło niewiele małych siłowni wodnych, zaopatrujących w elektryczność jedynie najbliższą okolicę.

Rozwój siłowni wodnych wzmógł się nieco od 1931 r. wskutek wydania ustawy o użegłownieniu rzek, budowie portów, zapór wodnych i wykorzystaniu sił wodnych. Wówczas dopiero zaczęto budować siłownie wodne, zaopatrujące duże obszary kraju.

Do końca 1950 r. wybudowano w Czechach 79 a w Słowacji 19 siłowni z mocą instalowaną ponad 200 kW, o przeciętnej rocznej produkcji około 850 miln kWh. Ogółem w całym kraju siłownie wodne produkują przeciętnie 900 miln kWh rocznie. W budowie znajduje się 20 siłowni wodnych, z czego w Czechach 11 i w Słowacji 9, o mocy instalowanej 411 kW i przeciętnej rocznej produkcji 1378 miln kWh.

Z powyższego wynika, że dotychczas wykorzystano do produkcji energii elektrycznej jedynie niewielki procent zasobów energii wodnej. Jednakże wskutek

wielkiego rozwoju gospodarczego budowa siłowni wodnych pójdzie tak szybkim tempem, że do końca 1955 r. wyzyskanie siły wodnej osiągnie 20% udziału w całkowitej produkcji energii elektrycznej.

Od początku obecnego stulecia produkcja i zużycie energii elektrycznej wzrasta bardzo szybko, a szczególnie szybko po 1945 r., kiedy następuje planowanie gospodarcze. Produkcja i zużycie energii elektrycznej przypadające na 1 mieszkańca są jednymi z ważniejszych wskaźników rozwoju gospodarczego i uprzemysłowienia kraju. W Czechosłowacji liczby te przedstawiały się następująco:

w roku 1919	przypadało na 1 mieszkańca	88 kWh
.. 1924	"	125 "
.. 1937	"	270 "
.. 1948	"	610 "

Na koniec 5LP planuje się 1000 kWh na 1 mieszkańca. W porównaniu do innych krajów Czechosłowacji była zawsze na pierwszym z pierwszych miejsc, jeśli chodziło o wykorzystanie sił wodnych; w 1937 r. stała na 9 miejscu.

W ogólnym pokryciu zapotrzebowania energii elektrycznej siłownie wodne Czechosłowacji biorą na razie niewielki udział. W 1919 r. z całkowitej produkcji około 1160 mln kWh na energię wodną przypadało 85 mln kWh, a więc 7,2%; w 1930 r. wartość ta podniosła się do 9%, zaś w 1948 r. do 10,5% (850 mln kWh na ogólną produkcję 7400 mln).

Obecnie na pierwszym miejscu wśród zadań gospodarki wodnej 5LP znajduje się systematyczne i racjonalne wykorzystanie sił wodnych, szczególnie w Słowacji, gdzie brak innych źródeł energetycznych. Wykorzystanie sił wodnych Słowacji jest podstawą do jej uprzemysłowienia. W 1953 r. produkcja energii elektrycznej wzrosła trzykrotnie w stosunku do produkcji przedwojennej. Udział sił wodnych w energetyce wzrósł w 1955 r. do 15% na ogólną produkcję 2700 mln kWh.

Z powyższego widać, jak wielkie zadania stoją przed hydrotechniką czeską w zakresie wyzyskania sił wodnych. O ile w ciągu 30 lat zbudowano 98 siłowni wodnych o przeciętnej produkcji rocznej 900 mln kWh, to za 5 — 7 lat zbudowanych będzie 20 siłowni o produkcji aż 1378 mln kWh. Planuje się do 1965 r. podnieść produkcję energii elektrycznej w siłowniach wodnych do 8500 mln kWh, tj. na 20% całkowitej rocznej produkcji energii. W ten sposób wykorzystano by 68% zasobów wodnych w Czechosłowacji. Roczna oszczędność węgla wyniosłaby przez to 85 000 000 ton. W przypadku całkowitego wyzyskania zasobów wodnych udział siłowni wodnych w energetyce osiągnąłby około 25%.

Z tego wynika, iż siłownie wodne mogą pokryć jedynie część zapotrzebowania i że pozostała ilość produkować się będzie z innych źródeł energetycznych.

Z całkowitych zasobów energii wodnej prawie 40% przypada na główne rzeki energetyczne Wełtawę i Vah, który to system będzie się dobrze wzajemnie uzupełniał. Podczas, gdy siłownie na Wełtawie wykorzystywać będą przeważnie instalacje na 2000 godzin, to elektrownie na Vahu — 3400 godzin. Siłownie te oraz siłownie dunajskie wespół z centralami cieplnymi w zagłębiu węgla brunatnego w północnych Czechach i ostrawskim zagłębiu węgla kamiennego stanowią będą główny filar gospodarki energetycznej w Czechosłowacji.

Ekonomiczność budowy siłowni wodnych w Czechosłowacji była zawsze przedmiotem dyskusji. Sto-

ją jeszcze w pamięci dyskusje z lat trzydziestych o rentowności budowy siłowni na środkowej Wełtawie, kiedy udowodniano, że produkcja w siłowniach cieplnych jest łatwiejsza i tańsza. Oczywiście chodziło tu o szybką rentowność włożonego kapitału. Dziś w dobie planowania socjalistycznego czynnik ten odpada. Nadto stwierdzono, że siłownie wodne, mimo niekorzystnych stosunków wodnych i morfologicznych, są ekonomiczniejsze w porównaniu z cieplnymi. Jedynie małe siłownie wodne o przeciętnej rocznej produkcji do 5 mln kWh mogą okazać się nierentownymi z uwagi na wysokie nakłady kapitału, a często i utrzymania. Oplacają się one przeważnie wtedy, gdy służą także innym celom.

Rentowność budowy wielkich siłowni wodnych wykazać można na przykładzie 7 wybranych siłowni, których moc wynosi 400, 1700, 2000, 13 400, 23 000, 76 000, 146 000 kWh; nakład w koronach czeskich na 1 instalowany kW w tym samym porządku wynosi: 125 000, 79 500, 77 000, 74 700, 65 200, 51 600, 22 100 Kcs.

Porównując ekonomiczność budowy siłowni przepływowych i szczytowych, widać mniejszy stosunkowo nakład na instalowany kW w elektrowniach szczytowych, ale zdarzają się wyjątki.

Zarzuca się często zaniedbanie wykorzystania energii rzek małych, podając na przykład Związek Radziecki, gdzie zbudowano już tysiące siłowni, tzw. kolchozowych i sowchozowych. Należy tu podkreślić, że o ile małe siłownie wodne w ZSRR są ekonomiczne, gdyż wskutek wielkich przestrzeni koszt prowadzenia linii wysokiego napięcia od siłowni wielkich jest zbyt duży, to o tyle w Czechosłowacji, wskutek gęstej sieci elektrycznej, budowa małych siłowni nie jest rentowna.

Jednak wykorzystanie energetyczne rzek małych musi być także wzięte pod uwagę, tym bardziej, że istnieje już kilkaset małych elektrowni. Prawdopodobnie dokonywać się będzie systematycznej pełnej automatyzacji ich, zniżać koszty nakładu do minimum i włączać do sieci przedsiębiorstw energetycznych bądź komunalnych tak, aby te mogły nimi korzystnie gospodarować w ramach swej gospodarki energetycznej.

W zakończeniu uzasadniania ekonomiczności budowy siłowni wodnych należy podkreślić, że w naszych warunkach, przy ograniczonych zasobach energetycznych, wykorzystanie energii wodnej jest bardzo istotne, bowiem oddala datę wyeksploatowania węgla, podstawowego źródła energii i cennego surowca całego szeregu produktów chemicznych.

Rentowność wykorzystania energetycznego rzek Czechosłowacji jest problemem ogólnogospodarczym. Jasne jest, że z punktu widzenia gospodarczego należy przede wszystkim wykorzystać najłatwiejsze do ujęcia zasoby sił wodnych, tzn. wyzyskać wielkie spadki bądź wielkie przepływy, a po tym budować średnie i małe elektrownie zwłaszcza wespół z budową obiektów wodnych, służących innym celom gospodarki wodnej (jazy, przegrody, stopnie kanalizacyjne itp.).

Systematycznym wyzyskaniem zasobów wodnych dla produkcji energii elektrycznej hydrotechnika czeska przyczynia się do rozwoju sił produkcyjnych kraju i budowy materialnych podstaw socjalizmu w państwie, a przez to współdziała w pokojowym dążeniu do dobrobytu narodu.

(Vodni Hospodárstvi, 7—8.1952).

Inż. Z. Mikulski

Wydawca: NACZELNA ORGANIZACJA TECHNICZNA

REDAGUJE KOMITET:

REDAKTOR NACZELNY — Inż. M. CHUDZYŃSKI

REDAKTORZY DZIAŁOWI: Inż. Z. MIKULSKI, Inż. K. PUCZYŃSKI, Inż. A. RIEDEL,

Dr Inż. Z. SOCHOŃ, Inż. T. SUSZCZEWSKI, Inż. J. WOKROJ

SEKRETARZ REDAKCJI: HALINA MIKULSKA

REDAKTOR TECHNICZNY: JÓZEF IZYCKI

Redakcja i Administracja: Warszawa, ul. Czackiego 3/5. Tel. 8-95-10.

Zam. 859 z dn. 6.X.52 r. Podpisano do druku 19.XI.52 r. Druk ukończono 24.XI.52 r. Nakład 2050.

Papier druk. sat. kl. V format A1 60 g

Druk. „Prasa Demokratyczna“ W-wa, Śniadeckich 16.

3-B-29601

Warunki prenumeraty czasopism technicznych na rok 1953

Administracja Czasopism Technicznych Naczelnej Organizacji Technicznej, Państwowe Wydawnictwa Techniczne i Wydawnictwa Komunikacyjne, wprowadzają zatwierdzone przez Biuro Prasy i Informacji przy Prezydium Rady Ministrów i Departament Techniki PKPG następujące warunki prenumeraty czasopism technicznych na rok 1953:

Lp. p.	Nazwa czasopisma	A b o n a m e n t					
		Opłata normalna			Opłata ulgowa		
		roczna	półroczna	kwartalna	roczna	półroczna	kwartalna
1	2	3	4	5	6	7	8
CZASOPISMA NAUKOWO-TECHNICZNE							
1.	Architektura	180,—	90,—	45,—	90,—	45,—	22,50
2.	Budownictwo Przemysł.	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
3.	Gazeta Cukrownicza	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
4.	Gaz, Woda i Techn. Sanit.	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
5.	Gospodarka Wodna	90,—	45,—	22,50	54,—	27,—	13,50
6.	Gospodarka Ciepła (dwumiesięcznik)	27,—	13,50	—	—	—	—
7.	Inżynieria i Budownictwo	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
8.	Materiały Budowlane	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
9.	Odzież	48,—	24,—	12,—	—	—	—
10.	Ochrona Pracy	48,—	24,—	12,—	—	—	—
11.	Poligrafika	36,—	18,—	9,—	18,—	9,—	4,50
12.	Przegląd Budowlany	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
13.	Przegląd Elektrotechn.	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
14.	Przegląd Geodezyjny	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
15.	Przegląd Mechaniczny	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
16.	Przegląd Papierniczy	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
17.	Przegląd Skórzany	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
18.	Przegląd Spawalnictwa	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
19.	Przemysł Chemiczny	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
20.	Przegląd Techniczny	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
21.	Przegląd Telekomunik.	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
22.	Przemysł Drzewny	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
23.	Przemysł Rolny i Społ.	90,—	45,—	22,50	54,—	27,—	13,50
24.	Przemysł Włókienniczy	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
25.	Szkoła i Ceramika	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
26.	Technika Lotnicza	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
27.	Technika Motoryzacyjna	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
28.	Cement Wapno, Gips	54,—	27,—	13,50	36,—	18,—	9,—
29.	Drogownictwo	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
30.	Energetyka	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
31.	Hutnictwo	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
32.	Nafta	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
33.	Przegląd Górniczy	108,—	54,—	27,—	54,—	27,—	13,50
34.	Przegląd Odlewnictwa	72,—	36,—	18,—	36,—	18,—	9,—
CZASOPISMA POPULARNOTECHNICZNE							
35.	Chemia	54,—	27,—	13,50	18,—	9,—	4,50
36.	Horyzonty Techniki	36,—	18,—	9,—	—	—	—
37.	Mechanika	108,—	54,—	27,—	36,—	18,—	9,—
38.	Motoryzacja	54,—	27,—	13,50	18,—	9,—	4,50
39.	Technik Przemysłu Spożywczego	30,—	15,—	7,50	—	—	—
40.	Gospodarka Węglem	36,—	18,—	9,—	—	—	—
41.	Wiadomości Elektrotechniczne	36,—	18,—	9,—	18,—	9,—	4,50
42.	Wiadomości Telekomunikacyjne	36,—	18,—	9,—	18,—	9,—	4,50
43.	Wiadomości Górnicze	54,—	27,—	13,50	18,—	9,—	4,50
44.	Wiadomości Hutnicze	54,—	27,—	13,50	18,—	9,—	4,50
45.	Włókiennictwo	24,—	12,—	6,—	—	—	—

- wszyscy pracownicy zatrudnieni w zakładach pracy — przy abonowaniu zbiorowym — przez mężów zaufania lub koła zakładowe stowarzyszeń technicznych NOT,
 - studenci szkół wyższych przy abonowaniu zbiorowym — przez koła naukowe uczelni lub inne stowarzyszenia studentów,
 - uczniowie szkół zawodowych — przy abonowaniu zbiorowym — przez dyrekcję szkoły.
- Termin składania zgłoszeń na prenumeratę ulgową na I kwartał 1953 r. upływa z dniem 30 listopada br.
- Zgłoszenia na prenumeratę w następnych kwartałach należy składać w okresach:

II kwartał — do 1 marca 1953 r.,

III „ — „ 1 czerwca „

IV „ — „ 1 września „

Zgłoszenia na prenumeratę ulgową przez oddziały wojewódzkie NOT, koła naukowe studentów szkół wyższych oraz dyrekcje szkół zawodowych należy przysyłać do PPK „Ruch”, wpłacając jednocześnie należność do PKO na następujące konta:

dla czasopism poz. od 1 do 8

„ 10 „ 15

„ 18 „ 23

„ 25 „ 27,

poz. 29 i od 36 do 39 oraz poz. 41 i 42

— PPK „Ruch”, Warszawa, Centralna Ekspedycja, ul. Srebrna 12, konto PKO Nr I-14400/110;

dla czasopism wg poz. 9, 16, 17, 24 i 43:

— Oddział PPK „Ruch” w Łodzi, konto PKO Nr VII-9907/110;

— Oddział PPK „Ruch” w Katowicach, konto PKO Nr III-13763/110;

— Oddział PPK „Ruch” — Katowice, konto PKO Nr III-13763/110.

Przy czasopismach „Technik Przemysłu Spożywczego”, „Horyzonty Techniki”, „Włókiennictwo”, „Odzież”, „Gospodarka Ciepła”, „Ochrona Pracy” i „Gospodarka Węglem” ze względu na niskie ceny obowiązują tylko prenumerata normalna.

Prenumerata normalna

Stosownie do zarządzenia Ministerstwa Poczty i Telegrafów z dnia 16 kwietnia 1952 r. Nr P. C. 243, dotychczasowy sposób przyjmowania zgłoszeń na prenumeratę normalną bezpośrednio przez PPK „Ruch” zostaje z dniem 31 grudnia 1952 r. skasowany.

Zgłoszenia na prenumeratę normalną na rok 1953 przyjmują wyłącznie urzędy pocztowe oraz listonosze miejscy i wiejscy.

Termin zgłaszania prenumeraty normalnej na okres kwartalny, półroczny lub roczny upływa z dniem 15 każdego miesiąca poprzedzającego okres prenumeraty.

Prenumerata ulgowa

A. Czasopisma naukowo-techniczne.

Z prenumeraty ulgowej czasopism naukowo-technicznych korzystać mogą tylko:

- członkowie stowarzyszeń inżynierów i techników zrzeszonych w NOT oraz członkowie klubów racjonalizacji i techniki przy zamawianiu zbiorowym przez mężów zaufania lub koła zakładowe stowarzyszeń technicznych NOT i oddziałów NOT,
- studenci szkół wyższych przy abonowaniu zbiorowym przez koła naukowe uczelni lub inne stowarzyszenia szkół wyższych.

B. Czasopisma popularnotechniczne

Z prenumeraty ulgowej czasopism popularnotechnicznych korzystać mogą:

- członkowie stowarzyszeń inżynierów i techników zrzeszonych w NOT oraz członkowie klubów racjonalizacji i techniki — przy abonowaniu zbiorowym — w taki sam sposób jak przy zamawianiu czasopism naukowo-technicznych, przez mężów zaufania lub koła