Brodno, Kłodno, Białego wyniesie ok. 22 km², pozwoli wykorzystać w warstwie 1,7 m (wahania poziomu szczytowego stanowiska od 162,7 do 161,0) zapas wody ok. 36 milionów m³, pokrywający w 62% zapotrzebowanie wody dla kanału (patrz niżej), a więc uniezależniający kanał od najbardziej nawet niekorzystnych warunków posusznego roku.

Opierając się na danych pomiarów hydrometrycznych, opublikowanych przez Instytut Hydrograficzny, można przyjąć przeciętny przepływ Raduni w Ostrzycach $Q = 2{,}0$ m³/s przy zlewni $A = 194$ km². Ponieważ w miejscu spiętrzenia Raduni przez zaporę zlewnia wyniesie ok. 230 km², a spływ jednostkowy w warunkach tak wyrównanych przepływów, jakimi są przepływy rzek pomorskich, można dla Raduni przyjąć za stały, przeto zasilanie zbiornika przez Radunię wyrażać się będzie liczbą $\frac{2{,}0 \times 230}{194} = 2{,}37$ m³/s. Ten sam zbiornik (szczytowe stanowisko) zasilać będzie dopływ Raduni, rz. Słupianka, o zlewni ok. 100 km². Przy powyższym spływie jednostkowym rz. Słupianka da $Q = \frac{2{,}0 \cdot 100}{194} =$ ok. 1,0 m³/s. Jeśli dla potrzeb gospodarczych miejscowości niżej położonych oddawać będziemy z Raduni przepływ $Q = 1$ m³/s, zaś z rz. Słupianki $Q = 0{,}37$ m³/s, wtedy zbiornik szczytowy zasilać będzie przepływ $Q = 2$ m³/s, co w ciągu roku da objętość wody ok. 63 milionów m³.

Zapotrzebowanie wody obliczymy z następujących założeń. Śluzy w kierunku od szczytowego stanowiska ku morzu muszą być wykonane albo jako schodkowe, albo ze zbiornikami oszczędnościowymi. Pierwsze 2 śluzy w kierunku jez. Wdzydze musiałyby być wykonane również jako oszczędnościowe. Poniżej jez. Sudomie kanał będzie zasilany przez szereg małych rzek, których przepływ łącznie z wodą ze szczytowego stanowiska, jest już zupełnie wystarczający dla pokrycia strat oraz śluzowania nawet przy wysokich spadach.

Przyjmując wymiary śluz 11,20×80, otrzymamy zapotrzebowanie wody na jedno śluzowanie w obie strony kanału $11{,}20 \times 80 \times (5 + 4) =$ ok. 8100 m³. Przy 30 śluzowaniach dziennie w ciągu 24 dni w miesiącu oraz w ciągu 10 miesięcy całkowite zapotrzebowanie wody wypadnie 58,3 milion. m³, a więc jak widzimy, pokryte zostanie ze szczytowego stanowiska.

Koszty wykonania.

Przed wykonaniem dokładniejszych studiów w terenie można obliczyć tylko przybliżone koszty budowy i takie właśnie orientacyjne liczby zawiera poniższe zestawienie.

Zestawienie 3.

Koszty wykonania drogi wodnej w milionach zł.

	I wariant	II wariant
Wywłaszczenie . . .	2,60	2,90
Śluzy	40,40	47,20
Jazy	5,00	17,00
Zapory	22,00	22,00
Mosty kolejowe . . .	5,00	5,00
Mosty drogowe I klasy .	1,90	1,80
Roboty ziemne I wariant 42 milion. m³ . .	50,50	
Roboty ziemne II wariant 32 milion. m³ . .		38,50
Drobne roboty i nieprzewidziane 10%. . .	12,74	13,44
Administracja ok 4% . .	4,86	5,16
Razem . . .	145,00	153,00

Zaproponowane rozwiązanie połączenia Bałtyku z polską siecią dróg wodnych wymaga oczywiście szczegółowych studiów w terenie. Dopiero w wyniku tych studiów można będzie ustalić racjonalność jednego z dwuch omówionych wariantów i wtedy dopiero można będzie wyjaśnić szereg szczegółów technicznych, których rozwiązanie obecnie w ramach generalnego szkicu nie jest oczywiście możliwe. Rzucona myśl powinna jednak posłużyć za podkład przy opracowaniu programu studiów dla tego projektu i to zarówno dla studiów technicznych, jak i ekonomicznych.

Doc. Dr. Inż. Kazimierz Wóycicki

Zapory wodne budowane przez Rząd Federalny St. Zjednoczonych Ameryki Północnej.

W obecnej chwili, gdy stoimy u progu okresu wielkich robót wodnych w kraju, musimy stale zdawać sobie sprawę z postępu prac wodnych zagranicą, prac mających ścisły związek z całokształtem zagadnień gospodarczych w danym państwie i uwzględniających, trudny do rozwiązania, problem bezrobocia.

W związku z tym w ubiegłych latach podawane były na łamach naszego czasopisma wiadomości o pracach wodnych w Rzeszy Niemieckiej (Nr. 1—1935 i Nr. 1 i 2 — 1936), w Czechosłowacji (Nr. 1—1936) i Rosji Sowieckiej (Nr. 1 i 5 — 1936), artykuł zaś niniejszy omawia fragmenty wielkich robót wodnych, prowadzonych w Stanach Zjednoczonych Am. Półn. (Red.).

We wrześniu ub. roku, dzięki Trzeciej Wszechświatowej Konferencji Energetycznej oraz Drugiemu Wszechświatowemu Kongresowi Wysokich Zapór, odwiedziłem Amerykę Północną, i korzystając z organizowanych po Konferencji wycieczek jako uczestnik tury transkontynentalnej, miałem możność obejrzeć szereg wielkich budowli wodnych w St. Zjednoczonych i Kanadzie, wykończonych oraz w stadium budowy, budowli o skali nie spotykanej u nas w Europie i doprawdy jedynych w swoim rodzaju na świecie.

Z uwagi na to, iż w jednym artykule nie sposób jest opisać zwiedzonych budowli i robót wodnych bez skracania relacji do zbyt telegraficznego

stylu, zmuszającego do podawania tylko charakterystycznych dla budowli danych i nie zatrzymywania się nad sposobem wykonywania oraz trudnościami budowy, co przede wszystkim interesować będzie technika, ograniczam się narazie do budowli wodnych, wykonywanych, względnie wykańczanych przez Rząd Federalny St. Zjednoczonych, omawiając z nich trzy szczegółowiej.

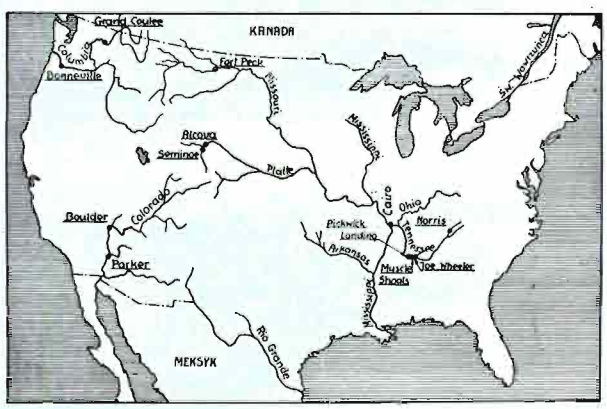
Stany Zjednoczone, pokrywające w 40% swoje zapotrzebowanie energii elektrycznej energią wody, wykorzystują szereg potężnych swych rzek, łącząc w wielu wypadkach cele energetyczne z innymi, równie ważnymi zagadnieniami gospodarki wodnej jak ochroną przed powodzią, nawodnieniami, żeglugą oraz zaopatrzeniem w wodę. W olbrzymiej większości wypadków siłownie wodne wybudowały towarzystwa prywatne, utrzymując je jako swoją własność. Coraz częściej jednak, szczególniej obecnie, rozpoczyna się budowle za pieniądze państwowe, względnie samorządowe, częściowo w celu przeciwdziałania bezrobociu, częściowo zaś dla wypełnienia pewnego programu, którego realizacja może być wykonana racjonalnie tylko przez władze państwowe, gdyż nie zawsze odpowiada polityce wielkich przedsiębiorstw, a również i dlatego, by w myśl zasad planowej gospodarki, głoszonej przez Prezydenta Roosevelta, Państwo posiadało możność wpływania na politykę wielkich przedsiębiorstw, w tym wypadku elektrycznych.

Czy istotnie zachodzi obecnie potrzeba wypełnienia pewnych programów, których pierwszym ogniwem jest wybudowanie wielkich zapór, są wśród techników i ekonomistów amerykańskich zdania podzielone, a nawet istnieje silna opozycja i propaganda przeciw, objawiająca się krytyką tych przedsięwzięć w prasie technicznej, twierdzącą, że nie posiadają one zdrowych podstaw gospodarczych, oraz w usiłowaniach odmówienia przez Kongres kredytów na całkowitą realizację projektów. Najbardziej stoją w opozycji wielkie przedsiębiorstwa elektryczne, obawiając się, zupełnie zresztą słusznie, że rzucenie na rynek dużej ilości energii elektrycznej spowoduje obniżkę jej ceny, ograniczając dochodowość przedsiębiorstw.

Jak podnoszą opozycjoniści, budowy które prowadzi Państwo, nie wynikły z potrzeb rynku, wzrostu (względnie spodziewanego wzrostu) zapotrzebowania energii elektrycznej. Twierdzą, że po wykończeniu budowli i uruchomieniu instalacji, przetwarzających energię wody w elektryczną, nie będzie na nią zbytu. Spieniężenie jej będzie możliwe tylko w razie zwiększonego zużycia w gospodarstwach domowych, po znacznej obniżce cen jednostkowych, względnie przez forsowanie rozwoju nowych środowisk przemysłu, mogącego zużyć energię elektryczną w większych blokach.

Wybór i finansowanie tych wielkich przedsięwzięć jest wywołane polityką Administracji Państwowej, skierowaną ku budowie elektrowni przez kapitał publiczny. Roosevelt wszedł do Białego Domu w roku 1933 świeżo po długiej, prowadzonej przez niego, walce z przedsiębiorstwami elektrycznymi w stanie Nowego-Yorku, rezultatem której było stworzenie Stanowego Urzędu Elektryfikacyjnego, mającego za zadanie wyzyskanie wielkich zasobów energii na międzynarodowym odcinku rzeki Św. Wawrzyńca. Zastał on przygotowany i realizowany przez Rząd Federalny, (który już posiadał w swym ręku potężny zakład wodny na Południowym-Wschodzie w Muscle-Shoals-Wilson Dam), wielki program wyzyskania źródeł energii wodnej na Południowym-Zachodzie (zapora Boulder). Przez realizację programu, opracowanego dla doliny Tennessee (obejmującego również wspomniany zakład Muscle-Shoals, uzupełniany przez szereg innych), dominowałoby się przy zaopatrywaniu w energię elektryczną na południowo-wschodnim rynku. Da to możność regulowania cen jednostkowych energii elektrycznej. Dla rozciągnięcia kontroli cen na całe Państwo należało zdobyć również przewagę na Północnym-Wschodzie i Północnym-Zachodzie Państwa. Według decyzji Prezydenta Roosevelta podobną rolę, jaką przeznaczono zakładom na rzece Św. Wawrzyńca na rynku północno-wschodnim, będą spełniać w okręgu północno-zachodnim zakłady Boneville i Grand Coulee.

Na rys. 1 zaznaczyłem miejsca realizowanych potężnych budowli wodnych, z nich w dorzeczu rzek: 1) Missouri — zapory Fort Peck, Casper-Alcova, Seminoe, 2) Tennesee (dopływ Ohio) — zapory Pickwick Landing Norris, Joe Wheeler, 3) Columbii — zapory Grand Coulee i jaz Boneville, 4) Colorado — zapory Boulder i Parker; są one budowane wszystkie przez władze Federalne oraz, tylko za wyjątkiem zapory Parker, z funduszów państwowych.



Rys. 1.

Budowlami, które stanowią przykład co może wykonać obecna technika, zaopatrzona w nowoczesne narzędzia pracy, wzbudzające ogólny podziw i zaciekawienie z uwagi na swe kolosalne rozmiary, zaś zainteresowanie techników ze względu na trudności zagadnień i godny podziwu sposób ich rozwiązania, są: najwyższa i największa w świecie zapora ziemna Fort Peck na rzece Missouri, największa (pod względem objętości) w świecie zapora betonowa Grand Coulee na rzece Columbia i najwyższa w świecie zapora betonowa Boulder na rzece Colorado.

Dotychczas jedynie natura tworzyła zapory o skali większej, to też w historii dzieł inżynierskiego geniusza budowle te zajmą wybitne miejsce. Każda z tych trzech budowli ma, jako główny cel, inne zadanie do spełnienia. I tak Fort Peck budowane jest przede wszystkim w celu polepszenia warunków żeglugi na rzece Missouri. Grand Coulee ma za zadanie nawodnienie terenów żyznych w stanie

Washington, Boulder zmniejszenie fali powodziowej rzeki Colorado, groźnej dla żyznych, uprawnych i gęsto zaludnionych terenów dolnego jej biegu t. zw. Imperial Valley. Oczywiście z wspomnianymi głównymi celami tych budowli, dla których głównie realizuje się projekty, łączą się i inne, często nie mniej ważne, jak wspomniane poprzednio wyzyskanie siły wodnej (Grand Coulee, Boulder), pozwalając oprzeć kalkulację gospodarczą i rentowność przedsięwzięć na bardziej realnych cyfrowych podstawach.

UŻEGLOWNIENIE RZEKI MISSOURI I ZAPORA FORT PECK.

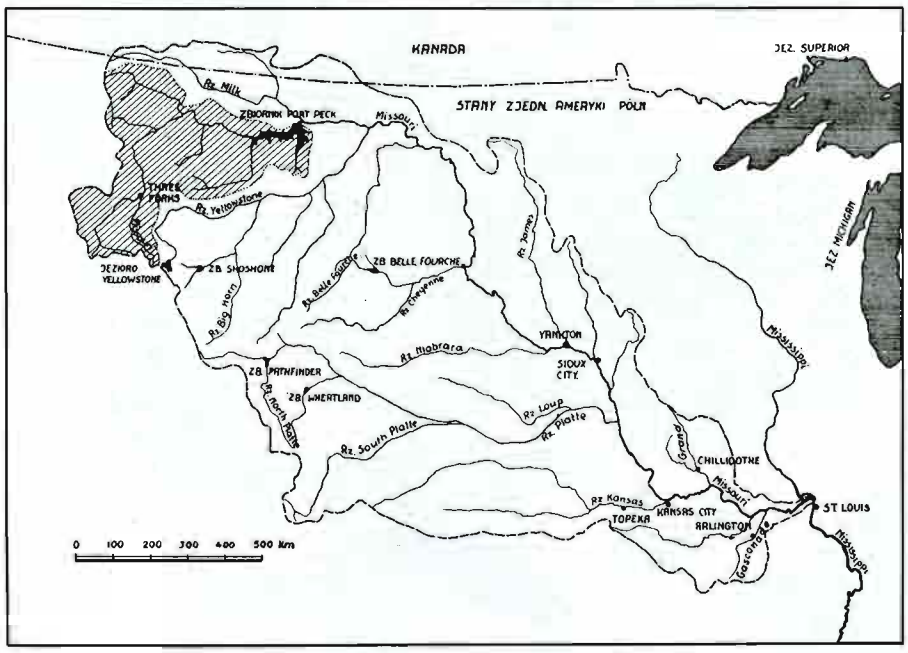
Budowa zapory Fort Peck jest częścią projektowanych i prowadzonych robót, mających na celu polepszenie warunków żeglugi na rzece Missouri. Według projektów użeglownienia rzeki Missouri, podzielono ją na trzy odcinki. Pierwszy od ujścia do miasta Yankton, na którym roboty regulacyjne nad wytworzeniem nurtu dostatecznej głębokości i szerokości prowadzi się już oddawna. Na partiach: ujście—m. Kansas (625 km) roboty wykonane są już w 97% kosztem 65 mil. dolarów, zaś od Kansas do Sioux City (610 km) w 15% kosztem 11 mil. dolarów. Na odcinku drugim od Yankton do ujścia rzeki Yellowstone projektuje się skanalizowanie rzeki przez budowę 23 zapór i śluz komorowych kosztem 248 mil. dolarów. Odcinek trzeci ma się udostępnić żegludze również przez skanalizowanie, wymagające budowy 19 zapór i śluz komorowych kosztem 155 mil. dolarów. W tej ostatniej partii rzeki znajduje się zbiornik Fort Peck. Całość robót regulacyjnych łącznie z budową zbiornika Fort Peck preliminuje się w wysokości 637 mil. dolarów.

rzeką Mississipi. Całkowita długość rzeki wynosi 3.975 km, dorzecze 1.370.940 km², spad 1.110 m. Średni opad w całym dorzeczu wynosi 500 mm, przy czym w górnej części dorzecza o tak zwanym klimacie półsuchym (semi-arid) — 400 mm, w dolnej — o klimacie wilgotnym — 1000 mm. Przepływy rzeki przy jej ujściu są następujące: najniższy 354 m³/sek, średni 2.730 m³/sek, najwyższy 25.500 m³/sek.

Dla zapewnienia po regulacji głębokości 1,8 m na odcinku rzeki poniżej Yankton do Kansas koniecznym jest minimalny przepływ 565 m³/sek, zaś od Kansas do ujścia 710 m³/sek. W latach niskich stanów przepływy spadają w przeciągu dość długiego okresu czasu poniżej określonego minimum, z tego też względu przeprowadzono studia czy nie możnaby w tych okresach uzupełniać przepływu ze zbiorników retencyjnych, umieszczonych w górnym dorzeczu Missouri. W wyniku studiów wybór padł na Fort Peck, jako na najodpowiedniejsze miejsce na magazynowanie wód w okresach powodzi.

Dolina Missouri zwęża się tu do szerokości 2.300 m, rozszerzając się powyżej korzystnie dla utworzenia olbrzymiego zbiornika. Przy jego pojemności wynoszącej 7,9 miliarda m³ zapewniony byłby pod Yankton minimalny przepływ w ilości 610 m³/sek, zaś przy pojemności 21 miliardów m³— 850 m³/sek pod Yankton, oraz 990 m³/sek pod Kansas. Przy takich przepływach głębokości w ciągu 98% czasu trwania okresu żeglugi nie spadłyby niżej 2,4—2,7 m.

Zbiornik w Fort Peck podniesie również niskie przepływy rz. Mississipi pod St. Louis, gdzie potrzebne minimum wynosić powinno 2.180 m³/sek.



Rys. 2. Dorzecze rz. Missouri.

Rzeka Missouri tworzy się przez złączenie pod Three Forks w stanie Montana trzech rzek: Jefferson, Madison i Gallatin. Przez Montanę płynie na północ i wschód, a następnie dalej ogólnie w kierunku południowo-wschodnim do złączenia się z

Całkowicie brak może być pokryty ze zbiorników Fort Peck oraz Topeka na rzece Kansas dopływie Missouri, projektowanego dla celów przeciwpowodziowych.

Zadaniem więc głównym zbiornika Fort Peck

jest polepszenie warunków żeglugi na dolnej partii Missouri, poczynając od miejscowości Yankton.

Dla zmniejszenia klęski powodzi projektuje się budowę zbiorników na dopływach Missouri:

Arlington na rzece Gasconade o pojemności 407.000.000 m^3,

Chillicothe na rzece Grand o pojemności 2.960.000.000 m^3,

Topeka na rzece Kansas o pojemności 5.180.616.000 m^3.

Trzy te zbiorniki łącznie z Fort Peck obniżyłyby falę powodziową z 1927 r. na rz. Mississipi pod Cairo o 3.0 m. Wpływ zbiornika Fort Peck na zmniejszenie powodzi w dolnym biegu Missouri jest naogół niewielki, gdyż zbiornik znajduje się w górnej części dorzecza, leżącej w klimacie półsuchym, dość daleko od partii dorzecza klimatu wilgotnego, z której przeważnie przychodzą groźne powodzie. Na obniżenie fali powodziowej rzeki Mississipi zbiornik nie wywiera właściwie wpływu, a to ze względu na mijanie się fal powodziowych, idących z Mississipi i górnej Missouri. Okres krytyczny pod Cairo na Mississipi trwa od 15.II do 25. V, uwzględniając czas przepływu fali z górnej Missouri, czas krytyczny trwałby od 20.I do 19.IV, gdy normalnie okres powodziowy w górnym dorzeczu Missouri trwa od 16.V do 15.VI.

Jako również drugorzędnego znaczenia traktowane są wpływ na zmniejszenie erozji brzegów, możliwość wyzyskania energii wodnej, oraz możliwość zużycia, w pewnym stopniu, nagromadzonej wody do nawodnień [1]).

Budowa zbiornika Fort Peck przy obecnych warunkach i stopniu żeglugi na rz. Missouri nie była na razie brana pod uwagę i nie była objęta pierwotnym programem robót finansowych przez P. W. A. (Public Work Administration). Wysokie koszta budowy, które określano łącznie z koniecznymi dodatkowymi robotami na 145 mil. dolarów, nie były, według obliczeń inżynierów projektujących, usprawiedliwione osiąganym zyskiem. Zbiornik Fort Peck w normalnych stosunkach amerykańskich nie byłby obecnie budowany; o rozpoczęciu robót zdecydowała możność zatrudnienia przez szereg lat bezrobotnych w części kraju, gdzie trudno znaleźć jakąś robotę, która mogłaby być finansowana przez P. W. A. Przewidywany czas budowy ma trwać 5 lat, przy czym ilość zatrudnionych bezpośrednio na miejscu miała wynosić stopniowo od 4.000 — 11.000 osób.

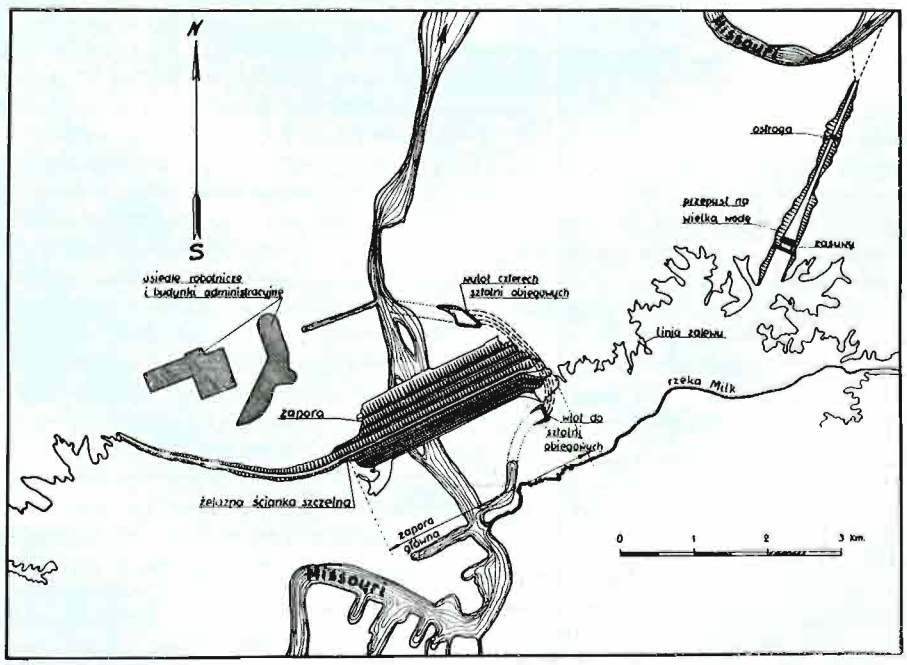
Budowę rozpoczęto w 1934 roku, zakończenie robót projektowane jest z upływem sezonu budowlanego 1939.

O rozmiarach przedsięwzięcia świadczą cyfry następujące. W miejscu zapory dorzecze rzeki Missouri wynosi 149.500 km^2. Pojemność zbiornika 24 miliardy m^3, powierzchnia zalewu 991,5 km^2 o długości 290 km, przy maksymalnej szerokości 26 km i długości linii brzegowej 2.600 km. Poziom normalny piętrzenia leży na rzędnej 685,79 m — przy pojemności 22,3 miliardów m^3, zapas żelazny do poziomu 635,50—453 mil. m^3, z czego przeznacza się na zamulenie w ciągu 100 lat pojemność 278 mil. m^3.

Głównymi obiektami budowlanymi są: 1) zapora główna i jej przedłużenie, 2) cztery sztolnie obiegowe, 3) przepust i kanał na wielką wodę.

Zagadnienia wynikające z przedsięwzięcia są wyjątkowo trudne. Musi być osiągnięta zupełna pewność stałości budowli. W podłożu zapory znajduje się skamieniała glina formacji mezozoicznej, tworząc podłoże zasadniczo nieprzepuszczalne. Nienaruszona glina ta jest trwałym i wytrzymałym fundamentem. Przy grubości około 300 m, nie leżąc nigdzie na przestrzeni budowli głębiej ponad 48 m pod powierzchnią terenu, znajduje się za głęboko dla oparcia na niej zapory betonowej, tworzy natomiast

[1]) Po wybudowaniu zbiornika można będzie nawodnić ~ 3.600 ha żyznych gruntów bezpośrednio lub przez pompowanie, wykorzystując energię wody wyzyskiwaną na zbiorniku. Pierwotny projekt przewidywał instalację 50.000 kw. przy produkcji rocznej 319.320.000 kwg. obecnie jednak z uwagi na projekt połączenia szeregu zakładów wodnych górnego dorzecza Missouri moc łączna przewiduje się znacznie większa (400.000 kw).



Rys. 3. Sytuacja zapory Fort Peck.

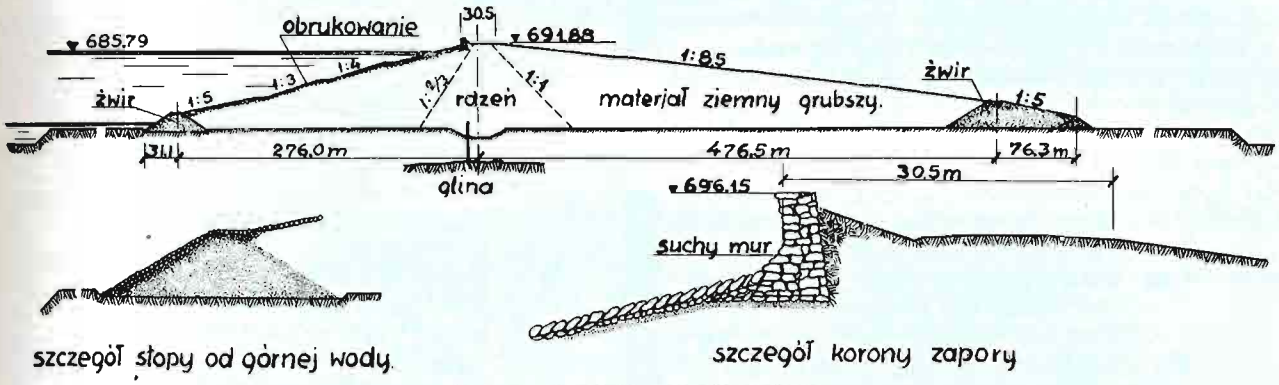
dobrą podstawę pod budowę zapory ziemnej, tym bardziej, że górne osady aluwialne są pierwszorzędnym materiałem na zaporę. Z konieczności więc zapora musi być zaporą ziemną, przy hydraulicznym transporcie materiału.

Skonstruowanie mocnej i pewnej zapory na miękkim podłożu doliny, przepuszczenie wód rzeki w czasie konstrukcji oraz przeprowadzenie katastrofalnych wód powodziowych są zagadnieniami trudnymi i przy budowlach o wymiarach przeciętnych, przy tych zaś olbrzymich rozmiarach konstrukcji, objętości gromadzonej wody oraz przepływów są z uwagi na swoje proporcje specjalnie odpowiedzialnymi.

przeprowadzono z miasteczka Glasgow, oddalonego o 32 km, przewód 200 mm średnicy. W całym osiedlu założono wodociągi, kanalizację i elektryczność, — drogi wszystkie wyasfaltowano. Dla wodociągu zbudowano stację filtrów. Woda czerpana z Missouri przechodzi przez osadnik, filtr i po przechlorowaniu wchodzi w sieć.

Dla transportu materiałów wybudowano odnogę kolejową 19.7 km długości od Wiota na głównej linii Great Northern. Łącznie z liniami obsługującymi teren budowy długość torów zbudowanych wynosi 69,5 km. Na teren budowy należało przywieźć około 12 mil. ton materiałów.

W celu zaopatrzenia miejsca budowy w prąd



Rys. 4. Przekrój zapór Fort Peck.

Zapora będzie miała długość części głównej 2.700 m — całkowitą 6.200 m, maksymalną wysokość ponad dno rzeki 74 m, szerokość korony 30,5 m, największą szerokość u podstawy 860 m, nachylenie stoków od wody 1:4 od strony powietrznej 1:8,5. Objętość materiału ziemnego w zaporze wyniesie 76,5 mil. m³, skały 585.000 m³, żwiru 3 mil. m³. Wysokość korony ponad maksymalnym poziomem piętrzenia 6,0 m. Zapora jest 5-cio krotnie większą od największej dotychczas zapory ziemnej Gatun w Panamie. W środku zapory znajduje się rdzeń, o nachyleniu płaszczyzn bocznych 1:2/3 i 1:1, składający się z namułów i gliny o średnicy ziarn nie większej niż 0,0054 mm, stanowiąc 20% całej kubatury zapory. Utrzymywany jest on przez skarpy z piasku, podtrzymywane znowu u stóp przez obsypy z kamienia i żwiru. Strona odwodna ubezpieczona jest 20 cm grubości warstwą kamienia. Najgłębsze miejsce wykopu leży w poziomie 608,67 m, dno rzeki 614,16 m, korona zapory 691,88 m, korona parapetu 696,15 m, przy normalnym poziomie piętrzenia 685,79 m, swobodna krawędź 10,38 m. W koronie umieszczono drogę betonową 6,6 m szerokości.

Z powodu małej dostępności okolicy i bardzo szczupłego jej zaludnienia, trzeba było przede wszystkim zbudować osadę na pomieszczenie pracowników. Surowy klimat wymagał budowy domów tak, by mogły one ochronić mieszkańców przed silnymi mrozami. W osiedlu umieszczono budynki administracyjne, magazyny, szkoły, hotele, laboratorium, gospodę, szpital, garaże, teatr, salę rekreacyjną. Dla robotników wybudowano obszerne pomieszczenie z wszelkimi wygodami. Dużą grupę domów zbudowano jako tymczasowe dla nadzoru i wykwalifikowanego personelu technicznego. Ogrzewanie wszystkich domów jest gazowe, w tym celu elektryczny przeprowadzono z Rainbow Falls linię długości 465 km, o napięciu 154.000 volt, dla obciążenia mocą 50.000 kw.

Przed ostatecznym wyborem profilu umieszczenia zapory wykonano dużą ilość wierceń dla zbadania pokładów. Sumaryczna ich długość wynosi 17,5 km, przy głębokości niektórych powyżej 50 m.

Wobec jednoczesnego uruchomienia robót przy budowie zapory oraz sztolni obiegowych i niemożności zamknięcia koryta rzeki, dzieli ona teren budowy zapory na dwie części, co powoduje duże utrudnienia w robotach przez konieczność budowy wzdłuż brzegów rzeki wałów dla zatrzymywania refulowanego materiału.

Budowę zapory rozpoczęto przez oczyszczenie terenu pod jej podstawę, wydobywając 3.200.000 m³ ziemi. Pracę tę wykonano dragami i kopaczkami elektrycznymi, a materiał wydobyty wywożono samochodami ciężarowymi. Dla uniknięcia przesiąkania wody pod zaporą, wzdłuż jej osi (9,5 m licząc od niej w kierunku górnej wody), zabito żelazną ściankę szczelną, na głębokość dochodzącą w miejscu najgłębszym do 50 m poniżej powierzchni terenu, aż do poziomu leżącej poniżej skały. Górę ścianki pozostawiono w poziomie około 6,0 m powyżej pierwotnej powierzchni gruntu, wpuszczając ją w rdzeń zapory. Długość zabitej ścianki szczelnej wynosi 3.000 m, a zużyto na nią żelaza o wadze 15.450 ton.

Przy zabijaniu ścianki główną trudnością było wprowadzenie jej w ziemię przez osady aluwialne aż do skały na głębokość 42 do 57 m. Do tego celu trzeba było użyć dla osadzania bali, podtrzymywania przewodów wodnych oraz baby, specjalnej konstrukcji kafarów w kształcie wież z żelaznych kratownic o wysokości 60 m. Baby uruchamiane były sprężonym powietrzem.

Ze względu na dużą wysokość ścianki, każdy bal składa się z dwóch krótszych części, z których pierwsza zapuszczona jest w ziemię hydraulicznie, zwykle na pełną swoją długość, następnie do niej przyspaja się część górną, po czym całość zabija się do definitywnej głębokości, zawsze po parze bali. Spód zakończony jest zębami (trzema lub pięcioma) i zaopatrzony między nimi w otwory półcalowe dla wypływu wody, dochodzącej do nich z przewodu tłocznego 100 mm średnicy, mieszczącego się w kieszeni, utworzonej przez przyspojenie do ścian bala na półokrągło blach. Woda wtłaczana jest pod ciśnieniem 9 atm. Kafar podnosi bal, wstawia w gniazdo ostatnio zabitego bala i wmywa możliwie jaknajgłębiej. Czynność ta trwa kilka godzin. Materiał ziemny wynoszony był przez kanał, tworzący się wzdłuż poprzednio zabitego bala. Dolną partię długości 21—24 m zapuszcza się prawie na pełną wysokość, aż do chwili gdy opory tarcia przewyższą wagę bali, wówczas przyspaja się część górną i wbija dalej całość babą.

W korycie rzeki ścianki zabite obcinane są w poziomie 3,6 m pod zwierciadłem wody dla nietamowania przepływu. Po skierowaniu wody przez sztolnie obiegowe zostaną do wierzchu przyspojone bale, dla wyprowadzenia ścianki na poziom odpowiadający partiom brzegowym.

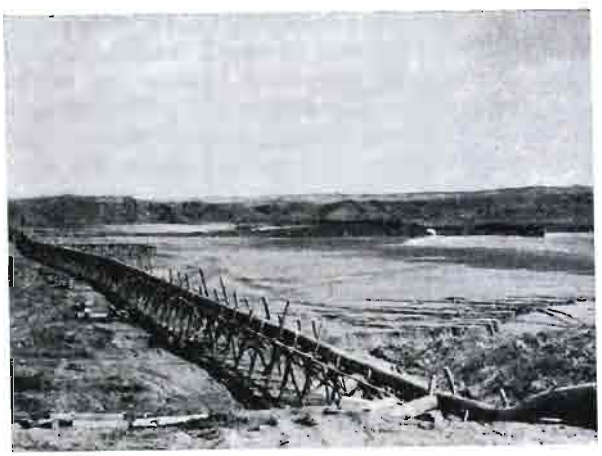
Jednoczesną czynnością z zabijaniem ścianek było usypanie ław kamiennych, tworzących stopę skarp zapory. W tym celu zbudowano wzdłuż zapory rusztowanie na kozłach, idące również przez rzekę i z niego sypano ławy z wagonów o otwieranym dnie, dostarczając materiał do miejsca budowy łodziami z odległości 128 km.

Ponieważ jednoczesna budowa sztolni obiegowych i zapory nie pozwala aż do lata b. roku na zamknięcie koryta rzeki, przez pierwsze dwa lata zapora musi być budowana w dwuch partiach, po obydwu stronach rzeki. Aż do czasu zamknięcia koryta, rdzeń zapory jest utrzymywany przez wały z piasku, wybudowane z tego samego refulowanego materiału. Pozostają one później jako część składowa zapory. Wzdłuż wałów idą ścianki szczelne, dochodzące do głównej. Zanim będzie można zamknąć rzekę zapora ma osiągnąć wysokość 30 m. W lecie 1937 r. wody rzeki ma się skierować przez sztolnie obiegowe, zapełnić koryto i refulować zaporę na całej długości jednocześnie. Przed zamknięciem rzeki bagry czerpią materiał z terenu powyżej zapory, później będą przesunięte poniżej zapory.

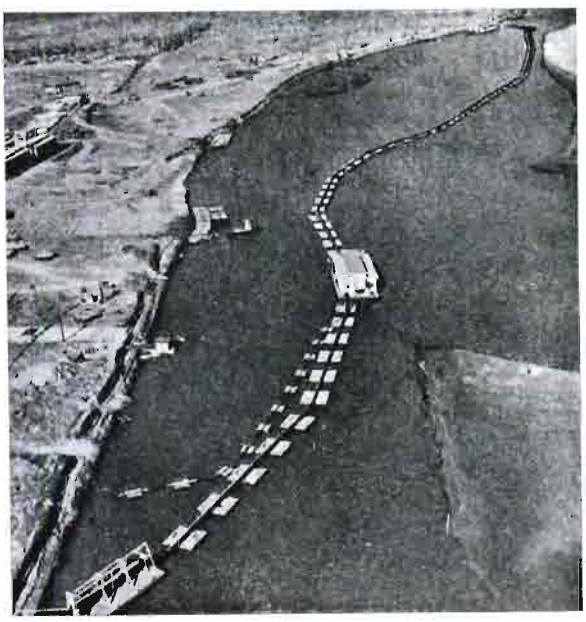
Materiał refuluje się na zaporę bez przerwy— 24 godziny dziennie w ciągu 7-io dniowego tygodnia roboczego. Roboty prowadzone są przez tabor i techników rządowych, co na amerykańskie stosunki jest wyjątkiem. Ze względu jednak na to, że całość pracy wymaga tu ciągłej kontroli i koordynacji, ten sposób prowadzenia robót uznano za najsłuszniejszy.

Dla refulowania materiału służą cztery identyczne jednostki, składające się każda z: 1) dragi z dwoma 28" (700 mm) pompami, złączonymi z elektrycznymi motorami mocy po 2.500 KM jako jeden tandem, tłoczącymi materiał do przewodu 700 mm średnicy, 2) pomocniczej pływającej stacji przepompowywania z 2-ma pompami identycznymi jak na dradze i 3) stacji lądowej umieszczonej na szynach, zaopatrzonej w jedną pompę identyczną z poprzednimi. Uzbrojenie dalsze składa się z 375 prostych odcinków rur pontonowych, 16 krzywych (krzywki, łuki) pontonowych, 200 pontonów dla podtrzymywania kabla, 2-ch łodzi z 25-io tonowej nośności derrickami, jednej łodzi pod linę (210 KM), siedmiu łodzi motorowych, czterech barek, czterech barek kotwicznych i dwu promów dla przewozu stacji lądowej. Pełna moc dla obsługi pomp pojedyńczej jednostki wynosi 12.500 KM. Ilość energii zużywana przez 4 dragi miesięcznie wynosi 20 mil. kWg. Wydajność średnia 3.600 m³/godzinę. Idealna dniówka 96-io godzinna w praktyce obraca się w granicach 75—90 godzin.

Do prowadzenia materiału służą stalowe rury przy czym 16.100 m przewodów 700 mm średnicy, 3.140 m — 500 mm średnicy i 3.050 m — 400 mm średnicy. Rury łączone są na trzech rodzajów połączenia: 1) elastyczne dla partii pływającej ciągu, 2) silne kołnierzowe dla długich odcinków na lądzie i 3) stożkowe dla szybkiego de- i montowania w odcinkach końcowych przy zaporze.



Rys. 5. Rurociąg do spławiania materiału ziemnego na zaporę.



Rys. 6. Rurociąg pontonowy.

Przy dotychczasowych odległościach spławiania 2.740—4.270 m, nie potrzeba uruchamiać wszystkich pięciu pomp. Według dotychczasowej praktyki, najbardziej wydajną prędkością w przewodach jest prędkość 6,4—7,0 m/sek. Pompy są w stanie tłoczyć materiał przy szybkości 9,15 m/sek, ale okazało się, że wówczas idzie mniej materiału stałego. Zależnie od rodzaju czerpanego materiału refuluje się części stałych przeciętnie ~ 15% całej objętości. Strata ciśnienia badana na przewodach 700 mm średnicy wynosi

$$h_s = \text{od } 0{,}011 \text{ do } 0{,}012 \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{L}{D}.$$

Ilość użytej energii odpowiadała 5,65 kWh na 1 m³ nasypu, przy czym wartość ta zależna jest od wysokości tłoczenia, która wahała się w granicach od 22,5 m do 65,0 m.

Aby nie dopuścić do wybijania zbyt dużych dziur w korpusie zapory, materiał wypływający z rur jest łapany na drewniany pokład. Przestrzeń zawodniona dla rdzenia, utrzymywana jest o głębokości 0,6—1,8 m. Lepiej utrzymywać głębokości w granicach mniejszych wartości. Budowę prowadzi się w ten sposób, że zalew nad rdzeniem utrzymuje się od 5 do 6 dni szeroki, później gwałtownie się go zwęża w celu wymycia w dół drobnego materiału wzdłuż linii brzegu i otrzymania stopniowego i jednostajnego rozmieszczenia grubszego i drobniejszego materiału wzdłuż granic rdzenia.

Odpływ wody z zalewu, przy utrzymywaniu w nim poziomu, stosownie do potrzeby, odbywa się przez drewniane przelewy, umieszczone w końcowych odcinkach rdzenia, graniczące z brzegiem rzeki. Każdy przelew o podwójnym świetle 23,5 m podnoszony jest stopniowo kaskadowo na wysokość około 1,5 m. Ilość materiału traconego, spływającego z wodą, przeważnie b. drobnego waha się od 2—6%. Osiadanie rdzenia następuje b. prędko.

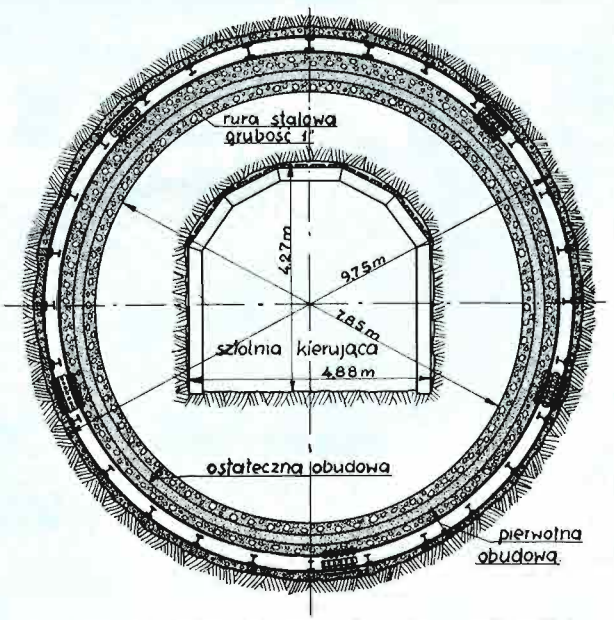
Ponieważ spławianie hydrauliczne (refulowanie) jest jakby mechaniczną segregacją materiału unoszonego przez wodę, więc podstawą dla sprawdzenia z jakiego materiału jest budowana zapora stanowi analiza mechaniczna materiału przeznaczonego do refulowania. Codziennie więc bierze się, z miejsc wyznaczonych dla pracy drag, próbki materiału idącego na zaporę. Raport codzienny podaje wykaz, ilość i rodzaj materiału umieszczonego w zaporze, oraz ilości stracone.

Dla kontroli rodzaju materiału osiadającego w miejscu rdzenia, mierzy się prędkości w zalewie pływakami. Straty materiału określa się z próbek branych codziennie na przelewach. Badania przeprowadza się w specjalnie wybudowanym w osiedlu laboratorium, przy czym objętości wybagrowane oblicza się z pomiarów przekroi w miejscach pracy drag, a zawartość procentową części stałych w spławionej masie szacuje się na podstawie codziennie przeprowadzanych pomiarów prędkości wody w rurociągach roboczych. Do tego celu służą na stałe umieszczone instalacje dla metody elektryczno-chemicznej Allena. Prócz strat materiału przechodzącego przez przelewy, uwzględnia się ucieczkę materiału z wodą, przesiąkającą przez wały boczne.

W masie tworzącej rdzeń, nie jest pożądana większa ilość materiału, zawierającego więcej gliny niż jej określona zawartość graniczna, gdyż osiadanie rdzenia trwałoby zbyt długo. Niewielka konsolidacja w okresie budowy i rozkładanie jej na okres zbyt długi po zakończeniu robót odbiłoby się szkodliwie na całej konstrukcji. To też tak określono procentową zawartość kolloidalnych części, by osiągnąć możliwie jak największe osiadanie masywu budowli już w czasie budowy, dopuszczając dalej tylko niewielkie jego wartości.

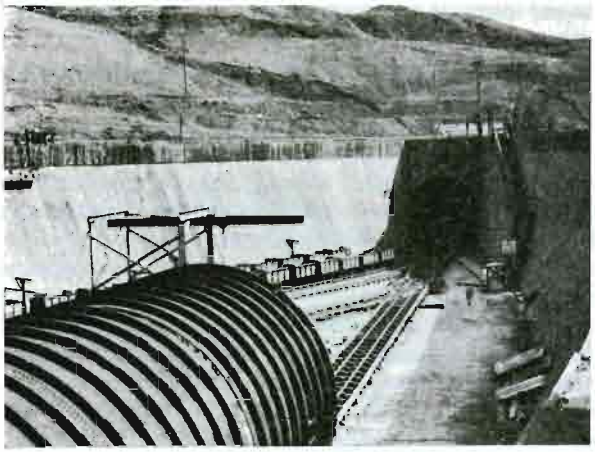
Raporty dziennego postępu robót są uzupełniane przez wyniki licznych sondowań rdzenia, określające stopień wypełnienia rdzenia i konsolidację drobnego materiału. Próbki pobiera się z różnych głębokości i miejsc. Bada się ich skład mechaniczny i zawartość wody. Prócz prób powyższych pobiera się stale próbki co każde 1,5 m wysokości w odstępach 30 × 15 m, tak że jedna próbka wypada na 700 m³ materiału. Próby bierze się aż do głębokości dostatecznie skonsolidowanego materiału, dla upewnienia się czy nie zaszły w nim jakieś zmiany. Z partii pozardzeniowych bierze się próbki również co 1,5 m wysokości z pól 30 × 60 m, tak, że jedna próbka wypada na 2.800 m³.

Dla określenia linii depresyjnej wody we wnętrzu zapory, umieszcza się w jej pięciu charakterystycznych przekrojach poprzecznych urządzenia dla badania linii przesiąkania oraz wielkości osiadania. Do badania linii przesiąkania służą 3" rury perforowane, przedłużane w górę w miarę budowy. Dla określenia całkowitej wartości osiadania prowadzi się również badania nad osiadaniem fundamentu.



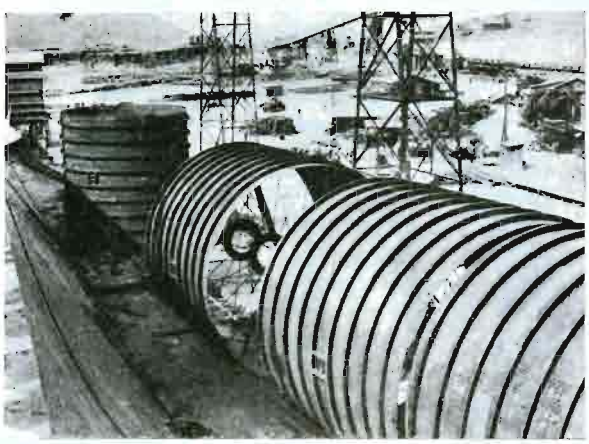
Rys. 7. Przekrój sztolni obiegowej w Fort Peck.

Do odprowadzenia wód służyć mają 4 sztolnie, umieszczone w prawym brzegu o średnicy po 7,85 m i przełyku, przy maksymalnym poziomie piętrzenia, 2.380 m³/sek. Sztolnie posłużą do odprowadzenia wody Missouri w okresie drugim budowy, gdy trzeba będzie zamknąć koryto rzeki, po zakończeniu zaś budowy — jako przewody wypustowe dla celów regulacji przepływu i doprowadzające wodę na zakład wodny. Długości sztolni są różne od 1640 m do 2220 m.



Rys. 8. Wylot jednej ze sztolni obiegowych.

Budowę sztolni prowadzono w dwuch etapach: pierwszy jako sztolnia kierująca o przekroju prostokątnym 4,27 na 4,88 m stemplowana drzewem, drugi — powiększenie przekroju do definitywnych wymiarów wiercenia o średnicy 9,75 m z silnym wzmocnieniem żelaznym, pozostającym następnie w mocnej konstrukcji żelbetowej obudowy przekroju. W jednej ze sztolni wbetonowuje się dodatkowo w postaci rury płaszcz żelazny na przestrzeni od wieży zasuw do wylotu, dla umożliwienia w przyszłości dołączenia przewodu na zakład wodny.



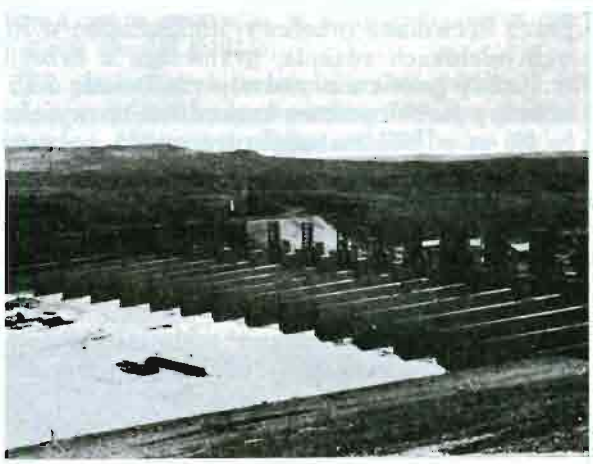
Rys. 9. Rury stalowe do sztolni obiegowej.

Ze względu na dość zdradliwy materiał (łupki iłowe, zawierające znaczne ilości soczewek iłowych b. śliskich w stanie wilgotnym), prace nad poszerzaniem przekroju były robotami dość trudnymi i ryzykownymi. Z tego też względu zaprojektowano, wspomniane wyżej, b. silne wzmocnienie żelazne, pozostające później jako część konstrukcyjna obudowy żelbetowej, której grubość wynosi średnio 0.95 m.

Nad sztolniami w przedłużeniu osi zapory, umieszczone są szyby dla zamknięć, po 2 dla każdej sztolni w sumie więc 8. Ilości robót do wykonania są następujące: wykopy 2.630.000 m³, beton 560.000 m³, żelazo w konstrukcjach 3.662 ton. Roboty rozpoczęto we wrześniu 1934, termin zupełnego wykończenia wiosna 1937 r.

Glina w miejscu sztolni wychodzi pod samą powierzchnię terenu, tak że leżą one całkowicie w materiale twardym. Glina ta jest naogół mocna i nieprzepuszczalna, zawiera jednak dużą ilość wilgoci, która uwalnia się wówczas gdy powierzchnia skały wystawiona jest na działanie powietrza, powodując bardzo szybkie jej wietrzenie. Aby nie dopuścić do tego należało świeżo odkryte powierzchnie natryskiwać kilkakrotnie izolacyjną warstwą bitumiczną, oraz utrzymywać wewnątrz sztolni wilgotność względną w wysokości 90%, przy pomocy specjalnych rozpylaczy, ustawionych co 60 m. Materiał wybierany był bagrem na taśmę wysypującą go do wywrotek.

Dla zabezpieczenia się przed niespodziewanie wielkimi wodami przy pełnym zbiorniku, aby nie dopuścić do przelania się wody przez zaporę, buduje się w prawym brzegu rzeki, w odległości około 5 km w linii powietrznej od zapory, przepust i kanał na wielką wodę, wykorzystując pętlę, jaką rzeka tworzy w rejonie zapory. Maksymalny obserwowany przepływ wynosi 4.350 m³/sek, przepust obliczony jest na przepływ 7.250 m³/sek, a będzie rozpoczynać swą czynność przy przepływie odpowiadającym połowie wartości maksymalnie obserwowanej. Jako dodatkowy współczynnik bezpieczeństwa traktowana jest pojemność zbiornika zawarta w 2,4 metrowej warstwie, przeznaczona na spłaszczanie fali powodziowej.



Rys. 10. Przepust na wielką wodę.

Wejście na przepust wyprowadza się poziomo, — poza zasuwami spad kanału 5,23%. Wyprowadzony jest on do rzeki w odległości około 14,5 km od zapory. Wlot zamyka 16-ie zasuw Stoney'a o wysokości 7,5 m i 12,0 m światła. Ma on szerokości 250 m a długości 67 m i jest ochroniony płytą betonową 0,9 m grubości, oraz ostrogą o grubości 3,0 m i głęboką na 9,0 m. Filary zafundowane są na ławie betonowej o grubości 3,80 m, opartej na 520 betonowych cylindrach 1,50—1,80 m średnicy, zapuszczonych 11—12 m w podłoże. Otwory dla cylindrów wiercono specjalnym obrotowym świdrem, zawieszonym łącznie z motorem uruchamiającym go na dźwigu.

Za zamknięciem dno kanału zwęża się do szerokości 40 m i ubezpieczone jest wraz ze skarpami

na długości 1,6 km od wlotu płytą żelbetową 0,6—1,2 m grubości. Przy końcu partii umocnionej znajduje się klatkowa ostroga, sięgająca na głębokość 40 m, dla ochrony przed podmyciem ubezpieczonej partii. Szybkości przepływu mają być bardzo znaczne: 7,2 m/sek w przekroju zasuw, zaś przy końcu obudowanej partii 28,8 m/sek. Głębokość kanału średnio 9,0 m, nachylenie skarp 2:1. W żelbetowym płaszczu ochronnym dano co 36,5 m dylatacje, zamknięte płytami stalowymi z uszczelnieniem powierzchni zewnętrznej pakułami i asfaltem na głębokość 5 cm i przy szerokości szpary 19 mm.

Skarpy kanału są zdrenowane przez doprowadzenie sączków do zbieracza 18" średnicy, biegnącego na długości 1,6 km pod dnem kanału w jego osi, w specjalnie wyciętym przekopie. Przy odkrywkach przedsiębrane były, ze względu na szybkość wietrzenia — ostrożności, jak wyżej: — pokrywanie otwartych płaszczyzn bituminą.

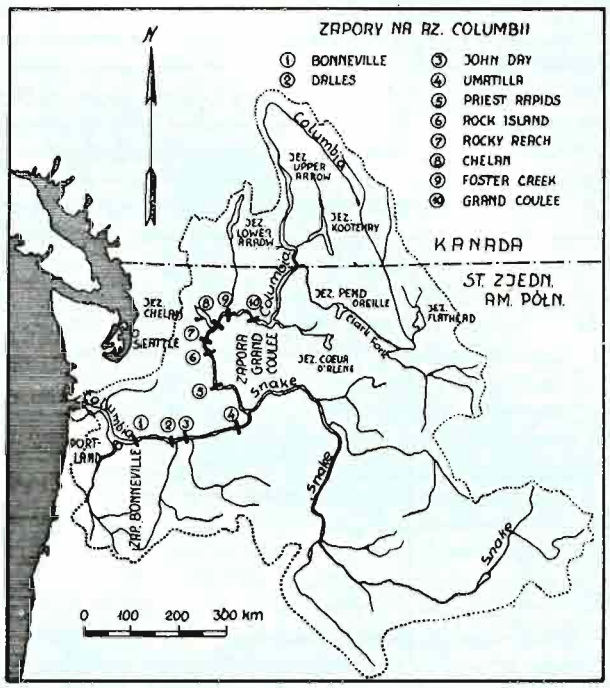
Ilość robót dla tego obiektu ilustrują następujące cyfry: wykopy 490.000 m^3, wiercenia (średnicy 1,5—1,8 m) — 5.700 mb., stal na zamknięcie dylatacji 105.000 kg, beton 220.000 m^3, żelaza użyto czasowo przy budowie 453.600 kg, w konstrukcjach 1.134.000 kg, w prętach wzmacniających żelbet 10.100.000 kg, w zasuwach 960.000 kg, różnego metalu 1.090.000 kg, przewodów elektrycznych 9.800 m, szyn 2.800 m, powierzchni ubezpieczonych 30.500 m^2.

PROJEKT GOSPODARKI WODNEJ W DORZECZU RZEKI COLUMBII.

Druga pod względem ilości spływu wód rzeka Ameryki Północnej, jest dopływem oceanu Spokojnego i pod nazwą Columbia płynie na przestrzeni 1.950 km, wypływając z jezior, leżących w prowincji British Columbia. Jeziora te dzięki swej dużej pojemności retencyjnej — 22.200.000.000 m^3 — są czynnikiem regulującym przepływy rzeki w jej górnym dorzeczu. Obfitość swych wód zawdzięcza temu, iż swymi dopływami drenuje zachodnie stoki Gór Skalistych, oraz w znacznej części zbiera spływy z gór Kaskadowych (Cascade Mountain). Jest też ona rzeką stanowiącą najobfitsze źródło energii amerykańskiego kontynentu. Całkowite jej dorzecze przy ujściu wynosi 670.000 km^2, spad na odcinku St. Zjednoczonych 392 m. Bieg rzeki charakteryzuje się stopniami o małym spadzie, skoncentrowanym na odcinkach, łączących poprzednie w postaci szypot i wodospadów.

W przeważnej części dorzecze na wschód od Cascade Rapids, za wyjątkiem terenów górskich, nie nadających się dla rolnictwa, posiada zbyt małe opady dla uprawy zboża (100—250 mm). Jednak obfitość wody w rzekach daje duże szanse osadnikom, to też obecnie około 1.600.000 ha jest uprawiane dzięki nawodnieniom. Są to przeważnie tereny, leżące w dorzeczach dopływów Columbii, mogące być nawodnionymi małym kosztem. Możliwym jest poza tym nawodnienie jeszcze około 800.000 ha terenów, z czego około 3/4 znajduje się powyżej ujścia rzeki Snake.

Istnienie tych trzech źródeł — wody, siły i żyznej ziemi były podstawą stworzenia wielkiego projektu rzeki Columbii (Columbia Basin Project),

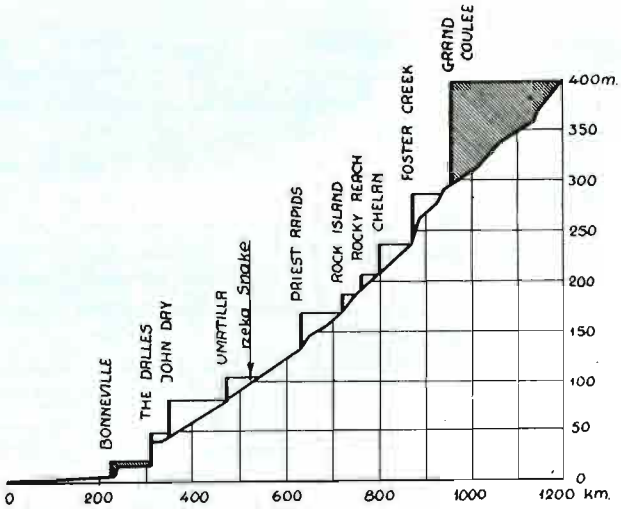


Rys. 11. Dorzecze rz. Columbii.

którego realizację postawiła sobie za cel ludność stanu Washington.

Z uwagi na swój charakter rzeka dzieli się na: 1) partię dolną, pozostającą pod wpływem poziomu wód oceanu, długości 225 km, — 2) środkową sięgającą 274 km wyżej ujścia rzeki Snake, samej w sobie potężnej rzeki, ciągnącej się na długość 2.424 km i drenującej stan Idaho i część Oregonu, — 3) górną, powyżej.

Rzeka odgrywała wydatną rolę we wczesnej historii Północnego Zachodu, gdyż, aż do chwili wybudowania w roku 1883 linii kolejowej od Portland do Spokane, podróże odbywały się głównie wodą. Obecnie dolna partia stanowi drogę wodną o dużej doniosłości i wpływie na handel. Statki oceaniczne mogą kursować na odcinku 161 km, aż do miasta Portland, tj. do zbiegu rzek Columbii i Wilamett. Głównie odbywa się tu transport drze-



Rys. 12. Profil podłużny rz. Columbii.

wa i pszenicy. Powyżej ruch odbywać się może jedynie małymi łodziami, przy dużym utrudnieniu ze względu na istniejące szypoty i wodospady, uniemożliwiające przy dzisiejszym stanie regularną żeglugę, mimo budowy miejscowych śluz komorowych oraz kanałów.

Wspomniany wyżej projekt uwzględnia w znacznym stopniu melioracją tych stosunków. Przewiduje się więc (rys. 11) w środkowej partii budowę czterech stopni Bonneville, The Dalles, John Day i Umatilla Rapids w celu polepszenia warunków żeglugi i wyzyskania siły wodnej, oraz budowę w partii górnej 6-ciu stopni Priest Rapids, Rock Island, Rocky Reach, Chelan, Foster Creek i Grand Coulee w celu wykorzystania siły wodnej, regulacji przepływów oraz użycia wody do nawodnień. Zakłady te umożliwią produkcję 42 miliardów kWg rocznie.

Daty charakteryzujące poszczególne stopnie są następujące:

Nazwa zapory	Km. od ujścia	Normalny poz. piętrzenia m. n. p. m.	Projektowana moc do inst. kw	Koszt budowy wyłączając koszt śluz komorowych $	Wysokość zapory od spodu fundamentu do norm. piętrz. m	Maks. spad m	Użyteczna pojemność zbiornika m³	Przepływy średni m³/sek	Przepływy minimalny m³/sek	Przepływy maksymalny m³/sek
Grand Coulee	638	392,45	1.850.000	186.000.000	145,0	107,0	6.200.000.000	3.086	480	20.530
Foster Creek	584	299,49	691.000	49.000·000	62,5	50,0	44.400.000	3.086	480	20.530
Chelan	539	232,25	450.000	39.000.000	41,8	28,0	58.000.000	3.200	498	20.810
Rocky Reach	507	202,69	336.000	38.000.000	24,4	18,0	24.700.000	3.313	575	20.810
Rock Island	484	182,57	60.000*)	wybudowana	36,3	15,2	12.300.000	3.709	595	20.950
Priest Rapids	425	164,59	644.000	63.000.000	58,5	39,9	197.400.000	3.709	595	20.950
Umatilla Rapids	312	100,58	910.000	60.000.000	31,7	21,3	166.500.000	5.238	1.130	33.130
John Day	228	78,64	1.080.000	110.000.000	48,5	31,1	308.400.000	5.238	1.130	33.130
The Dalles	205	45,72	1.370.000	84.040.000	79,2	22,9	98.700.000	5 238	1.130	33.130
Bonneville	150	21,95	430.000	42.000.000	42,7	19,5	123.300.000	5.380	1.220	33.130
			7.821.000	671.040.000			7.233.700.000			

*) Zakład wybudowany — zainstalowano 62.000 kw z możnością rozbudowy do 185.000 kw.

Jak widzimy z podanych cyfr na rzece Columbii daje się zainstalować moc 7.821.000 kW. a łącznie z zakładami na jej dopływach 12.321.000 kw. Poza pojemnością zbiorników wskazaną w tabeli istnieją duże możliwości retencyjne na dopływach i jeziorach w dorzeczu, można więc jeszcze magazynować około 17.300.000.000 m³, z tego 12,3 miliarda w dorzeczu rzeki Snake, zaś 5,0 miliardów na dopływach Columbii poniżej Snake.

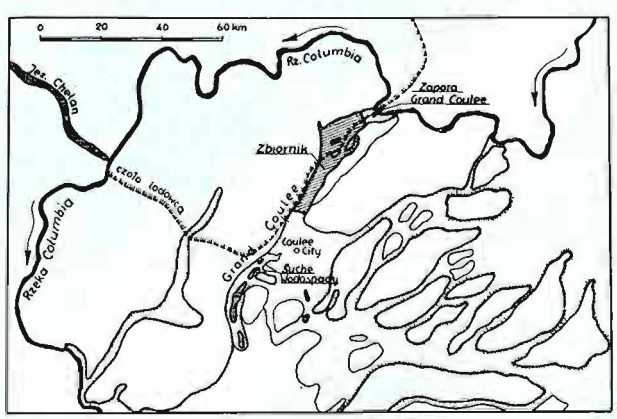
Oczywiście realizacja całości projektu musi być rozłożona na długi przeciąg czasu. Wybudowano już zaporę i zakład Rock Island przez kapitał prywatny, instalując początkowo 62.000 kW z możliwością rozbudowy do 185.000 kW. W drugiej połowie roku 1933 i 1934 rozpoczęto budowę stopni Bonneville i Grand Coulee.

Zadanie obecne obydwu przedsięwzięć rządowych jest, jak wspomniałem na początku, przede wszystkim uzyskanie dwuch źródeł poważnej masy energii, przy jednoczesnym umożliwieniu zatrudnienia bezrobotnych. W przyszłości zapora Grand Coulee ma pozwolić na nawodnienie 485.000 ha żyznego terenu stanu Washington. Po definitywnym wykonaniu zapory i zrealizowaniu projektu nawodnienia, będzie to jedno z największych przedsięwzięć na świecie. Uzyska się tanią energię i stworzy możność osadnictwa, oraz pracy dla 100.000 ludzi bezpośrednio. Na wykonanie całości przeznacza się okres lat 40-u, a koszt całości ma wynieść 393 mil. dolarów.

Zapora Grand Coulee.

Nazwa zapory Grand Coulee powstała stąd, że buduje się ją u wylotu dawniejszej doliny rzeki Columbii o tej nazwie. Jest to obecnie suche koryto 300 m głębokie, wcięte w równy płaskowyż lawy, a wyrzeźbione przez obfite wody Columbii, gdy ogromny lodowiec kontynentalny zablokował jej pierwotne koryto w okolicy Big Bend. Po cofnięciu się lodowca rzeka wróciła do pierwotnego łożyska, pozostawiając swe czasowe koryto bez wód.

Amerykanie nazywają to dzieło natury jednym z cudów świata i może nie brak w tym przesady: wysokie prostopadłe bazaltowe brzegi o posępnym



Rys. 13. Sytuacja zapory i zbiornika Grand Coulee.

kolorycie, szczątki wód, tak dawniej obficie płynących, w postaci mineralnych jezior, potężne „suche wodospady", przerastające w czasie przelewania się wód Columbii wielokrotnie wodospady Niagary, pozostałe wśród koryta wyspy, łączą w sobie jakiś dziwny urok zamarłej przeszłości.

Rys. 14. Suche wodospady „dry falls" w dawnym korycie rz. Columbii.

Grand Coulee rozpoczyna się od doliny Columbii i ciągnie w kierunku południowo-wschodnim na przestrzeni 80 km. Dno górnej części doliny długości 48 km powyżej „dry falls" leży w poziomie 150 m wyższym od rzeki, szerokość jej zmienna od 2,4 do 8,0 km. Miejsce dawnych wodospadów uwydatnia się gwałtownym uskokiem 120 m wysokości, rozpoczynając dolną partię doliny długości 32 km.

Stosownie do wskazań natury projekt ma wykorzystać w przyszłości górną część wyciętej doliny na wytworzenie, przez jej zamknięcie z dwuch stron, zbiornika, skąd będą rozprowadzone wody do nawodnień.

Zapora Grand Coulee spiętrzy wodę rzeki Columbii o 108 m, powyżej jej normalnego poziomu i będzie najwyższą zaporą przelewową na świecie. Jej długość wyniesie 1.290 m, wysokość powyżej najniższego punktu fundamentu 168 m, szerokość u podstawy 152 m i około 10 m przy wierzchołku.

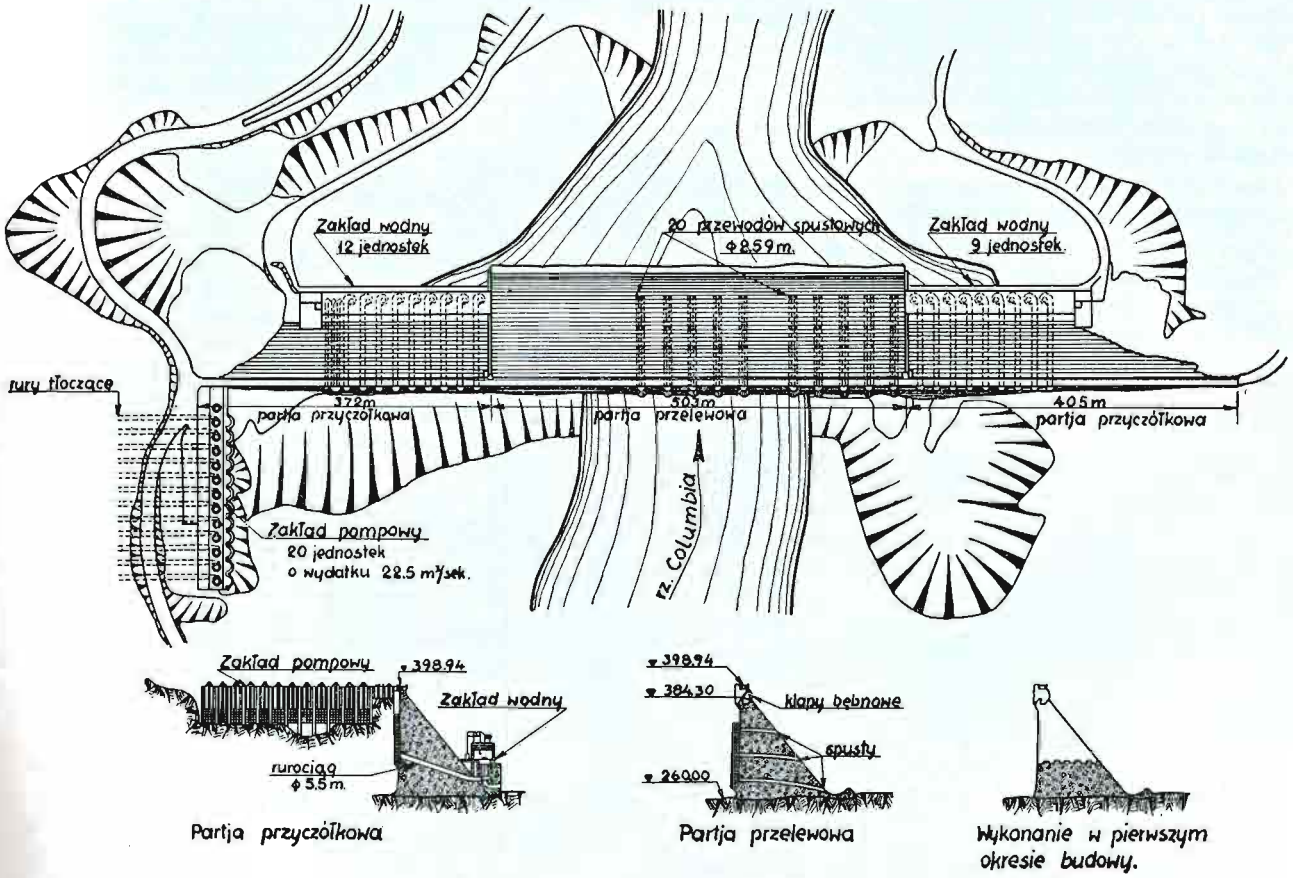
Całość więc projektu nazwanego Grand Coulee polega na wybudowaniu na rzece Columbii zapory piętrzącej wodę i stwarzającej olbrzymi zbiornik wody, na wykorzystaniu uzyskanego spadu na potężnym zakładzie wodnym, utworzeniu w dolinie Grand Coulee zbiornika, magazynującego wodę dla nawodnień, wybudowaniu na lewym brzegu dla przepompowania wód ze zbiornika Columbii do Grand Coulee stacji pomp, budowie kanałów głównych, oraz całości sieci nawadniających rowów.

Koszt całości wyniesie 393.000.000 mil. dol. a okres budowy — ok. 40 lat.

Podane niżej cyfry charakteryzują wielkość przedsięwzięcia.

Zapora i zbiornik na rz. Columbii.

Wysokość zapory	168 m
Długość w koronie	1.290 „
Szerokość u podstawy	152 „
Szerokość w koronie	10 „



Rys. 15. Plan i przekroje zapory Grand Coulee.

Wykopy	13.760.000	m^3
Objętość betonu w zaporze	8.792.000	„
Moc instalowana	1.850.000	kW
Moc stała	900.000	kW
Energia produkowana	12.490.000.000	kWg
Pojemność użyt. zbiornika	6.200.000.000	m^3
Długość zbiornika	243,0	km
Średnia szerokość	1,3	km
Średni odpływ roczny	3.090	m^3/sek
Maksymalny przepływ	20.530	„
Najniższy „	480	„
Pojemność przelewów	28.315	„
Koszt zapory	186.000.000	dol.

Zbiornik Grand Coulee.

Średnia wysokość pompowania do zbiornika w Grand Coluee	94,5	m
20 pomp o wydatku po	22,50	m^3/sek
Moc instalowana na stacji pomp	485,000	kW
Długość głównego kanału do zbiornika w Grand Coulee	21	km
Długość zbiornika w Grand Coulee	37	km
Pojemność użyteczna zbiornika	405.800.000	m^3
Długość głównego kanału do miejsca pierwszego rozdziału	18	km
Powierzchnia nawodnienia	485.000	ha
Liczba farm	30.000	

Regulacja przepływów podniesie niskie stany wody pod Boneville o 0,60 m, a 1,45 m poniżej Grand Coulee, oraz podwoi ilość stałej mocy w zakładach poniżej zapory do ujścia rzeki Snake, na dalszych zaś stopniach powiększy o 50%.

Powierzchnia dorzecza Columbii do zapory wynosi 191.650 km^2. Rzeka zaopatrywana jest w wody z lodowców i topniejących śniegów, które łącznie z wielką ilością jezior, regulujących przepływy powodują zwiększone odpływy w okresie miesięcy letnich, wówczas właśnie gdy woda jest najbardziej potrzebną do nawodnień. W okresie 1913—1931 przepływy wahały się w granicach od 480—13.900 m^3/sek przy średnim przepływie 3.090 m^3/sek, dając w sumie 97.446.240.000 m^3 rocznie. Obliczone zapotrzebowanie wody dla celów irygacyjnych 10.000 m^3 na ha, odpowiada rocznie objętości dla 485.000 ha — 4.850.000.000 m^3, tj. tylko około 1/20 tego co może dostarczyć rzeka.

Średnia temperatura roczna w tych obszarach wynosi + 10° C, a w okresie nawodnień od kwietnia do października 17° C. Okres ten charakteryzuje się upalnymi dniami i chłodnymi nocami. Średni okres mrozów trwa 159 dni, średni opad roczny 208 mm, lecz w okresie wegetacyjnym tylko 92 mm. Ziemie są naogół oceniane jako bardzo żyzne i składają się przeważnie z namułów, oraz piaszczystej gliny. Okolice te były kiedyś dość zaludnione, ale powtarzające się ostatnio okresy suszy zmusiły mieszkańców do emigracji.

Zapora główna na Columbii jest zaporą betonową typu ciężkiego. W miejscu jej usytuowania znajduje się w podłożu zdrowa skała granitowa, pozwalająca bez obaw na fundowanie zapory. Skała przykryta jest rumowiskiem i osadami na głębokość zmienną 6,0—45,0 metrów.

Pierwsze wiercenia w ilości 40-u zrobiono w roku 1921, po czym 2 dodatkowe w 1930 r. Szczegółowe badania rozpoczęto w końcu 1933 roku z chwilą rozpoczęcia budowy. Niektóre z tych wierceń zrobiono b. głęboko, do 200 m poniżej dna rzeki.

Zapora, od najniższego miejsca fundamentu, ma wysokość 168 m. Część środkowa ma być wykonana jako przelewowa. Umieszczony w koronie przelew podzielony jest na 11 przęseł o świetle po 41 m i ma być zamknięty klapami bębnowymi o wysokości 8,50 m. Krawędź ich w chwili zamknięcia wznosi się 106,0 m ponad wodę niską. Pojemność zbiornika przy najwyższym położeniu klap wynosi 11.854.000.000 m^3. Przy otwartych klapach i poziomie spiętrzenia 396,6 m n. p. m. przepływ wynosić będzie 28.315 m^3/sek, to jest więcej niż obserwowany maksymalny przepływ.

W partii przelewowej umieszcza się urządzenie spustowe w postaci 20-u rur o średnicy 2,59 m, posiadających po dwa zamknięcia. Wloty do spustów będą ochronione półkolistą kratą żelbetową, obejmującą po dwa wloty. Wydatek spustów przy najwyższym piętrzeniu wyniesie 4.250 m^3/sek.

W partiach przyczółkowych obustronnie umieszcza się zakłady wodne z ilością 12 i 9 zespołów. Stalowe przewody robocze o średnicy 5,50 m będą zabetonowane w masie zapory.

Koszt zapory, wykonanej do definitywnego poziomu, łącznie ze wszystkimi urządzeniami i zakładami wodnymi określono na 186 mil. dolarów. Według studiów ekonomicznych zysk ze sprzedaży energii zwróci koszta zapory i zakładów wodnych, oraz połowę kosztów urządzeń nawadniających.

Z uwagi na bardzo wysokie koszta budowy, na razie dla umożliwienia instalacji i uruchomienia zakładu wodnego zdecydowano robotę poprowadzić w ten sposób, że w pierwszym okresie buduje się tylko dolną część zapory do poziomu średnio od 285—300 m n. p. m. (poziom definitywny korony przelewu 384,30—drogi na zaporze 398,94 m) kosztem 63 mil. dolarów.

Skała pod stopę zapory będzie uszczelniona przed położeniem betonu zastrzykami o niskim ciśnieniu na szerokości conajmniej 18 m i głębokości 6 m i następnie po położeniu betonu zastrzykami o dużym ciśnieniu na głębokość 30 m. W odległości około 1 m od stworzonego w ten sposób nieprzepuszczalnego płaszcza wierci się otwory drenujące, na głębokość 15 m. Wody przesiąkające będą grawitacyjnie doprowadzone do ściany zewnętrznej odpowietrznej, względnie będą pompowane ze studzienek zbiorczych. Drenaż korpusu zapory składa się z dren o średnicy 125 mm, umieszczonych w odstępie osiowym 3,0 m i w odległości 3,60 m od ściany odwodnej.

Przed rozpoczęciem właściwych robót wybudowano połączenie kolejowe od stacji Odair na linii Northern Pacific Railway do Grand Coulee o długości 51,5 km, oraz 50 km długości linię przesyłową prądu elektrycznego o napięciu 110.000 V.

Następnie wybudowano osiedle dla robotników, umieszczając z lewej strony rzeki rządowe budynki administracyjne, z prawej — przedsiębiorstw, prowadzących budowę. Zbudowano komfortowo urządzone domy dla 2.100 ludzi, garaże, bank, pocztę, ratusz, składnice handlowe, teatr,

szpital, kościoły i nawet lotnisko. Wszystkie budynki bez kominów, gdyż kuchnie i ogrzewanie elektryczne. Wodociągi zaopatrują się w wodę z Columbii, powyżej osiedla. Po przechlorowaniu gromadzi się ją w zbiornikach żelaznych umieszczonych na górze. Ścieki kanalizacyjne przed wpuszczeniem ich do Columbii poniżej placu budowy podlegają oczyszczeniu w osadnikach Imhoffa.

Osiedle staje się po skończeniu budowy własnością rządu i może być albo sprzedane wraz z całością urządzeń za cenę 25.000 dolarów, lub jeśli administracja rządowa uzna za stosowne — rozebrane przez przedsiębiorcę bez odszkodowania.

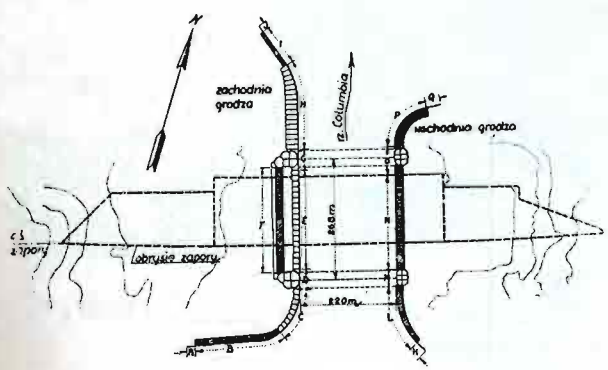
Z rozpoczęciem budowy zaczęto konstrukcję żelaznego stałego mostu poniżej miejsca zapory. Filary fundowane pneumatycznie na kesonach. Poza tym zbudowano czasowy most na kozłach, oraz most wiszący dla pieszych.

Pewien kłopot sprawiały usuwiska powstałe na lewym brzegu. Główna masa usuwiska wynosiła 1,529 mil. m³. Usunięto je częściowo, a teren zdrenowano przez system tuneli i studzien.

Właściwą budowę rozpoczęto w zimie 1934 r., w okresie niskich stanów rz. Columbii, z zamiarem wybudowania grodz przed nadejściem kwietniowej fali powodziowej. Pierwszy okres budowy polega na ochronieniu obydwuch partii przyczółkowych przez grodze i wydobyciu osadów aż do zdrowej skały, przy pozostawieniu na razie wolnym dla przepływu koryto rzeki, mające być zamkniętym dopiero w ostatnim okresie budowy. Po zabetonowaniu partyj przyczółkowych wody będą skierowane przez zabetonowany fundament lewostronnego przyczółka, a koryto główne zamknięte i po oczyszczeniu wykopu do skały, partia środkowa zabetonowaną.

Budowę grodzy rozpoczęto od strony zachodniej (lewobrzeżnej). Grodza ta ma długość 900 m i składa się z odcinków o różnej konstrukcji. Początkowo całość była pomyślaną jako żelazna ścianka szczelna.

Główną czynnością było zabicie 13.000 ton żelaznej ścianki. Sprawiło to nie małą trudność ze względu na wyjątkowy twardy materiał do przebicia. Dla przyśpieszenia budowy zmontowano specjalne dźwigi ramowe, pozwalające na jednoczesną pracę na każdym z nich czterech i więcej parowych bab. Dzięki takiemu systemowi pracy większa część robót była wykonaną w ciągu 60 dni, a całość do 10 kwietnia, to jest przed terminem spodziewanego nadejścia fali wiosennej.



Rys. 16. Plan budowy grodz.

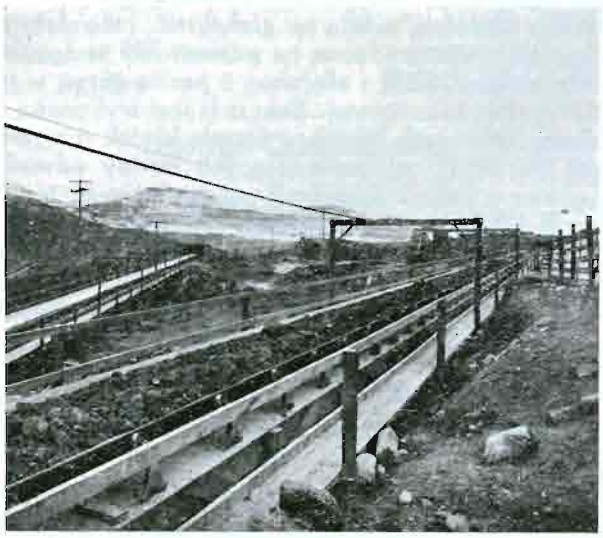
Trudności zabicia spowodowały zmianę w projekcie. Materiał do przebicia składał się z twardych osadów polodowcowych, gliny pokrytej z wierzchu moreną. Przed przystąpieniem do budowy grodz, oczyszczono teren z kamieni, ale tylko częściowo — w linii grodzy zrobiono dla usunięcia głazów wykop 3,6 m szerokości. Grodzę lewostronną wykonano ostatecznie jako cztery różne typy konstrukcyjne (rys. 16). Sekcje czołowe górna B i dolna I wykonano jako zwykłą żelazną ściankę szczelną, zabitą na głębokość, jaka dała się osiągnąć, wyprowadzoną na poziom 275 m (poziom wody niskiej 287.0) i złączoną z partią górną w postaci grodzy kaszycowej. Sekcja H jest wykonana ze ścianek żelaznych bitych w formie klatek o wymiarach 27 × 11 m, posiadających strony odwodną i lądową o kształcie półkoli o promieniu 11 m. Sekcje E i C były skonstruowane podobnie do H lecz o wymiarach 12 × 15 m, z zaokrągleniem zewnętrznych ścian o promieniu 12 m. Sekcja F składa się ze szkieletu z pojedyńczych teówek, rozpartych o ściankę szczelną, wypełnionego ściankami drewnianymi założonymi w formie łuku (w przekroju poziomych ścianek). W punktach D i G, uważanych za węzłowe, zbudowano grodzę komorową z żelaznych ścianek szczelnych. Węzły te mają następnie służyć dla dowiązania się z podobnymi punktami grodzy prawobrzeżnej, po otwarciu dla wód przejścia po brzegu lewym i zamknięciu koryta rzeki. Ze względu na wspomniane trudności budowy grodz żelaznych, grodzę prawobrzeżną buduje się z kaszyc.

Przy biciu ścianek grodzy lewostronnej pracowało łącznie 30 bab. Wyżej wspomniany system pracy przyspieszył budowę w 50% i zmniejszył znacznie jej koszt wykonania. Nie dało się zabić ścianki do głębokości projektowanej, gdyż już od głębokości zagłębienia 12 m zabijanie nie dawało prawie żadnego efektu. Na tej więc głębokości pozostawiono spód ścianek, uważając, że tak twardy materiał będzie dostatecznie nieprzepuszczalny i przesiąkanie pod ścianką będzie minimalne.

Klatki, względnie przestrzenie wewnętrzne, utworzone przez ściany ogniw, były zapełnione materiałem ziemnym w ilości 300.000 m³, który początkowo dowożono samochodami ciężarowymi, następnie zaś dostarczano transporterem taśmowym.

Rys. 17. Grodze lewo i prawostrome oraz most wiszący.

Jednym z poważniejszych zagadnień przy budowie był transport materiału ziemnego, którego należało usunąć wielką ilość ~ 14 mil. m³ z wykopu dla przygotowania fundamentu pod beton. Materiał ten należało odtransportować do miejsc gdzieby nie przeszkadzał dalszym robotom, względnie celom całości. Na razie transportuje się go do Rattlesnake Canyon na odległość około 2 km.



Rys. 18. Transporter taśmowy.

Dla wykonania transportu zainstalowano transporter taśmowy (szerokość taśmy 1.5 m) o wydajności 1.911 m³ na godzinę. Obecnie jego długość całkowita wynosi 1.840 m, a wysokość pokonywana — 166 m. W miarę budowy obydwie wartości ulegają zwiększeniu.

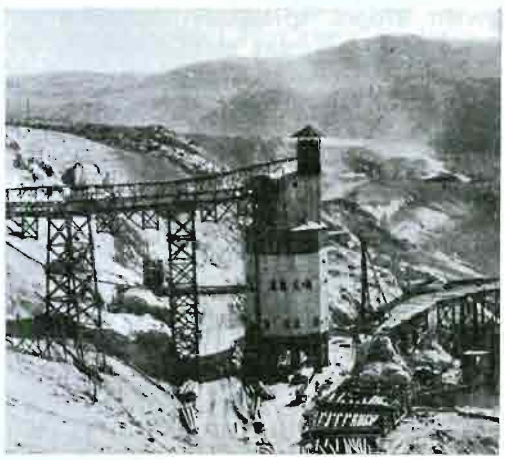
Materiał wydobywany jest w wykopie bagrami łyżkowymi, ładującymi go na samochody ciężarowe o pojemności 9—15 m³. Samochody zwożą materiał do punktów wyjściowych, zsypując go na otwory przykryte kratą, pod którą przechodzi taśma. Zsypany materiał zgarnia pług. Całość instalacji urządzona jest w ten sposób, że z poszczególnych miejsc wykopu dochodzą transportery do centralnej stacji, skąd idzie główna taśma wynosząca materiał w górę do kanionu. Taśma idzie z prędkością 189 m/minutę. Składa się ona z 19-u odcinków. Wydajność teoretyczna w ciągu 21 godzinnego dnia roboczego wynosi 40.131 m³, dotychczas osiągnięta maksymalna wydajność 38.760 m³ na dzień. Każdy odcinek taśmy poruszany jest motorem o mocy 200 KM. Długości odcinków zależą od spadu do pokonania. Na przejściach traci się 1,8—2,4 m, — 1,8 w prostych 2,4 na załamaniach. Siła do poruszania 2.500 KM, gdy transportuje się 4.000 ton na godzinę, obciążenie takie wymaga 13 KM na 31 m podniesienia. Motory znajdują się w górze każdego odcinka. Wszystkie stacje obsługi połączone są telefonem i kładką. Wystarcza 1 człowiek na 4 stacje.

Główna taśma ma 3/4" grubości i składa się z ośmiu warstw płótna z plecionką drucianą, pokrytych warstwą gumy 5/32" grubości.

Wykop lewobrzeżny obsługują:

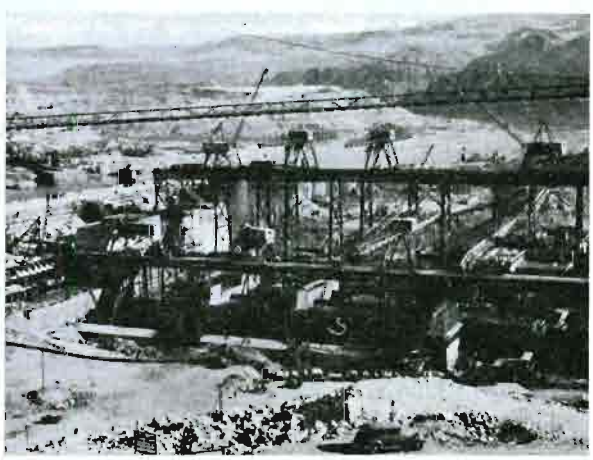
cztery punkty zwozu materiału z motorami po 60 MK —	240 KM
odpowiadające im cztery transportery z motorami po 200 MK —	800 „
punkt węzłowy główny —	75 „
główny transporter 19 × 200 MK —	3.800 „
końcowe odcinki	150 „
	100 „
	10 „
	20 „
Razem	5.195 KM

Zakończenie transportera składa się z trzech odcinków, pozwalających na szybkie wydłużenie względnie skrócenie taśm.



Rys. 19. Betoniarka prawobrzeżna.

Dla robót betonowych wybudowano dwie betoniarnie, każda z 4-ma betoniarkami o pojemności 3,0 m³, po obu stronach rzeki. Silosy na cement umieszczone są przy linii kolejowej na zachodnim brzegu rzeki. Osiem silosów używa się do magazynowania cementu dostarczonego przez fabryki, dwa dla cementu zmieszanego na budowie. Mieszanie to odbywa się na zachodnim brzegu, podobnie jak sortowanie i mieszanie żwiru oraz piasku odbywa



Rys. 20. Budowa zapory Grand Coulee — partia lewobrzeżna, zakładowa.

się na wschodnim brzegu rzeki. Obydwie betoniarnie łączy most wiszący długości 1.070 m. Idący przez most transporter (taśma 0,9 m szerokości przesuwająca się z prędkością 120 m/minutę) dostarcza kruszywa do lewostronnej betoniarni, przez przewód zaś rurowy idzie w odwrotną stronę cement (przesyłany pneumatycznie na odległość maksymalną 1.800 m). Betoniarnie są obliczone dla ułożenia 2,675 mil. m^3. Maksymalna wydajność obu betoniarni obliczana jest na 490 m^3 na godzinę.

Kruszywo dostarczane jest z odległości 2,5 km do sortowni.

Beton na budowę idzie w kubłach o pojemności 3.0 m^3, ustawianych na platformach, ciągniętych przez lokomotywy elektryczne 10 tonowe. Ubijanie betonu odbywa się metodą wibracji.

Dla uniknięcia pęknięć spowodowanych skurczem betonu, zapora budowana jest w postaci bloków prostokątnych w formie kolumn, które są zazębione pomiędzy sobą. Fugi zaopatrzone są w przewody z otworami w ścianach, którymi po ostygnięciu betonu wprowadza się mleko cementowe pod ciśnieniem dla wypełnienia fug. Fugi uszczelnione są od strony górnej wody blachą. Temperatura wiązania betonu jest obniżona przy pomocy rur 1", zabetonowanych w masywie w odstępie poziomym 1,75 m, pionowym 1,5 m, w których cyrkulować będzie woda. Rury później zapełnia się wtłoczonym cementem.

Na budowie przyjęty jest system trzech zmian 7-io godzinnych.

(dok. nast.).

Inż. Jan Wokroj

Zejście lodów i tworzenie się zatorów w dorzeczu Wisły w roku 1937.

Obfite opady deszczowe jesienią 1936 r. spowodowały znaczne podniesienie się stanów wody na rzekach w Polsce, tak że w okresie tegorocznej zimy były one wyższe aniżeli zwykle w tej porze roku. Wisła wraz z dopływami z początkiem stycznia była nie zamarznięta, a dorzecze prawie wolne od śniegu. Jedynie śnieg pojawił się w Tatrach i Karpatach.

Z początkiem stycznia rozwinął się nad Rosją i Polską silny wyż barometryczny, który spowodował napływ wielkiej ilości powietrza polarno-kontynentalnego, zaś północno-zachodnią część Europy pokryło cieplejsze powietrze polarno-morskie. Stan ten utrzymał się do końca stycznia powodując silne mrozy w kraju. Wskutek tego w ciągu kilku dni pod koniec pierwszej dekady stycznia zamarzły rzeki dorzecza Wisły. Szerokość tegorocznej pokrywy lodowej na rzekach była wskutek wyższych stanów większa aniżeli zwykle. Ponieważ w okresie tworzenia się lodu i narastania jego nie było opadów śnieżnych ani odwilży, tegoroczny lód był o jednolitej strukturze, przezroczysty i trudniej topniejący, wyjątkowo mocny, średnio ok. 40 cm gruby. Na wodach stojących grubość lodu dochodziła do 65 cm. Cofnięcie się wyżu na wschód w pierwszych dniach lutego dało nagłą zmianę temperatury powietrza. Ciepły wiatr południowy, deszcze i tajanie śniegu spowodowały ruszenie lodów na rzekach karpackich. W środkowej i dolnej części dorzecza Wisły temperatura powietrza wahała się około 0°, tak że warunki nie sprzyjały zejściu lodów. Jedynie na niektórych odcinkach zaznaczyło się pękanie i lokalne przesunięcie kry. W pierwszych dniach lutego lody zeszły z Małej Wisły, Soły i Skawy, gromadząc się na Wiśle pod Tyńcem koło Krakowa na przestrzeni 10 km. Wprawdzie nie tworzyły zatoru, jednak wobec utrzymujących się nienaruszonych płyt lodowych w zakolach Wisły w obrębie miasta groziło wytworzenie się zatoru bądźto pod wzgórzem Wawelu, bądźto przy mostach. Szkody w tym wypadku mogły by być bardzo znaczne, dlatego usunięto lód na rzece w obrębie miasta przy pomocy środków wybuchowych. Przeważnie użyto ładunków z czarnego prochu o wadze około 3—4 kg, rozmieszczonych w odstępach od 20 — do 50 kroków. Akcja ta ułatwiła następnej fali wezbrania przeniesienie około 600.000 m^3 lodu z pod Tyńca poza obręb miasta Krakowa. Przebieg pogody oraz wytworzenie się następnych krótkotrwałych fal wezbrań niezdolnych do pokruszenia i odprowadzenia lodów z trudniejszych miejsc całkowicie potwierdziły celowość tej akcji. Jednak nie wszędzie można było w ten sposób utorować drogę pochodowi lodu. Brak śniegu w środkowej i dolnej części dorzecza powodowały, że fale wezbrania, zdolne do kruszenia lodu i przenoszenia go w górnych biegach napotykając w dalszym swym pochodzie większą ilość lodu a nie zasilane w wodę z tającego śniegu w dorzeczu, były za słabe do dalszego transportu i magazynowały znaczne ilości lodu równocześnie na kilkukilometrowych odcinkach. Zjawisko to wystąpiło prawie równocześnie w całym dorzeczu nagle w miejscach nieoczekiwanych.

Szczególnie trudny okazał się spływ przy ujściach dopływów wskutek znacznego nagromadzenia się lodów w tych miejscach. Poza tym tworzyły się zatory na odcinkach rzek o zbyt małej głębokości, które to mielizny powstały bądźto z braku regulacji lub wytworzyły się z powodu zaniechania w tych miejscach od szeregu lat konserwacji tam regulacyjnych. W takich miejscach lód trudniej pęka tworząc płyty zdolne zatrzymywać z góry nadpływające lody.

Z licznych krótkotrwałych wezbrań wiosennych na Wiśle postępujących po sobie w odstępach kilkudniowych, pierwszą znaczniejszą falą wezbrania była przepływająca w ostatnich dniach lutego i w pierwszych dniach marca. Fala ta zatrzymywała się wprawdzie przy zatorach, lecz po kolei likwidowała je począwszy od Kars (ujście Dunajca) aż do Płocka. Wskutek piętrzenia wody przez zatory wysokość fali wzrastała. Szczególnie podniosła się kulminacja tej fali przy zatorach pod Sandomierzem następnie pod Mniszewem, Królewskim Lasem i Wyszogrodem. W dalszym swym biegu napotkała