

potoków, o zalesienie nagich stoków górskich, o budowę zbiorników retencyjnych w kraju i sam rozwinął szeroką akcję około obwałowania nizinnych biegów rzek i meljorację dolin.

Nie można zaprzeczyć, że te starania, popierane przez b. Koło Polskie b. parlamentu wiedeńskiego, były uwieńczone pewnym pomyslnym wynikiem, gdyż b. rząd zaborczy po r. 1884 wdrożył większą akcję regulacji rzek karpaccich, — a rozszerzył ją w latach 1901 i 1907; ograniczał się jednak głównie do robót regulacyjnych i subwencjonował obwałowania rzek, natomiast mniej dbał o zabudowanie górskich potoków i zalesienia w górach, zaś do budowy zbiorników retencyjnych w Karpatach wogóle nie przystąpił.

Od chwili powstania Polski niepodległej nowo utworzone Ministerstwo Robót Publicznych zarządziło przeprowadzenie studjów w celu uporządkowania gospodarstwa wodnego w Polsce, opracowało programy potrzebnych robót i kontynuowało, w miarę środków budżetowych, roboty około zabudowania potoków górskich i regulacji rzek w Małopolsce, jednak wskutek ogarniającego cały świat i Polskę od r. 1930 przesilenia ekonomicznego, kredyty budżetowe na te roboty zostały ograniczone; od r. 1932 ustały zupełnie, w następstwie czego zostało w r. 1932 zwinięte nawet Ministerstwo Robót Publicznych, a jego agendy wodne rozdzielono między trzy Ministerstwa.

Tegoroczna powódź jednak jest poważną przestrogą dla Rządu i społeczeństwa, że nie można biernie przypatrywać się takim klęskom, jak tegoroczna, lecz trzeba ciągle pamiętać o tem, że takie klęski powodzi mogą się powtórzyć za lat kilka lub kilkanaście, a nawet i w roku przyszłym.

Zdaniem Polskiego Towarzystwa Politechnicznego musi być jak najrychlej przez Rząd ułożony ogólny program dużej akcji, obejmującej wszelkie roboty, jak zabudowanie potoków gór-

skich, z zalesieniem огоłoconych z lasów stoków górskich, budowę zbiorników retencyjnych, regulację i obwałowanie rzek i t. d. i należy jak najspieszniej przystąpić do zrealizowania tego programu, ażeby ile możności zmniejszyć rozmiary przyszłych powodzi, złagodzić ich skutki, a tem samem ile możności ochronić Państwo i ludność od tak ogromnych szkód, jakie wyrządzały dotąd katastrofalne wylewy naszych rzek.

Tu jednak zachodzi poważna trudność, kto miałby taki ogólny program akcji złagodzenia przyszłych powodzi opracować i wykonać, gdy niema obecnie resortu ministerjalnego w Polsce, gdzie byłyby skoncentrowane wszystkie agendy gospodarstwa wodnego w Państwie.

Z uwagi, że sprawa ta nie cierpi zwłoki, Polskie Towarzystwo Politechniczne przedkłada Panu Premierowi wnioski, ażeby utworzył przy Prezydjum Rady Ministrów osobny Centralny Organ Techniczny pod wysokim przewodnictwem Pana Premiera, który miałby za zadanie opracować jak najspieszniej wyżej wymieniony ogólny program akcji i wdrożyć jego rychłą realizację.

Nie byłoby to rzeczą nową, lecz pewną analogją, do zarządzenia Rządu francuskiego, który po wielkim wylewie rzeki Sekwany w r. 1910 powołał specjalną Komisję przy Prezydjum Rady Ministrów, na której czele stanął ówczesny Premier francuski A. Briand, złożoną z szeregu najwybitniejszych specjalistów hydrotechników.

Komisja francuska spełniła swoje zadanie jak najlepiej; Polskie Towarzystwo Politechniczne wyraża przekonanie, że również będzie miała wynik pomyslny praca projektowanego Centralnego Organu Technicznego z Panem Premierem, jako jego Prezesem na czele, a Polskie Towarzystwo Politechniczne pozwoli sobie przedłożyć Panu Premierowi, jak wyżej wspomniało, w krótkim czasie, memorjał z odpowiednimi wnioskami.

L. 641/34.

Lwów, dnia 30. listopada 1934 r.

Polskie Towarzystwo Politechniczne we Lwowie.

Izba Inżynierska we Lwowie.

Polskie Towarzystwo Leśne we Lwowie.

Dr. Inż. KAZIMIERZ WÓYCICKI

Czwarta rozbudowa Zakładów Wodnych Lungernseewerk

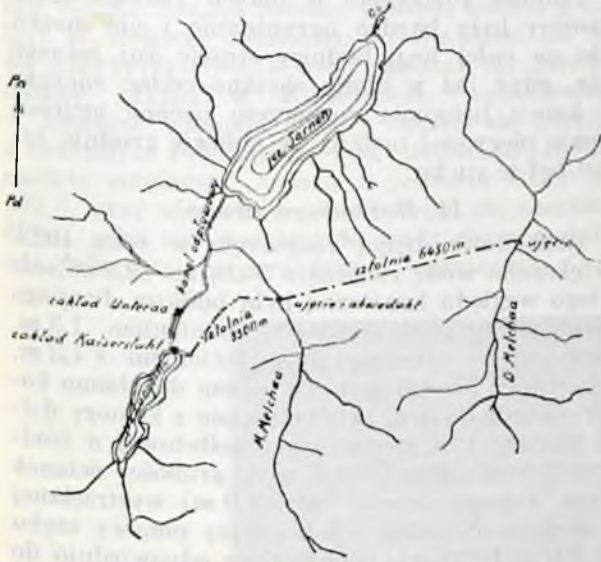
Istniejący zakład wodny Lungernseewerk znajduje się w samem centrum Szwajcarii, na południowy zachód od Lucerny, w gminie Giswil kantonu Obwalden. Czwarta i nie ostatnia jego rozbudowa zaczęta była w roku 1930 i ukończoną ma być według programu w jesieni 1933 roku. Jest on zakładem zimowym (zbiornikowym) towarzystwa Centralschweizerische Kraftwerke (C. K. W.).

Położenie jeziora Lungern jest wyjątkowo korzystne dla wyzyskania siły wodnej. Wody jeziora wznoszą się około 200 m ponad poziom sąsiedniej kotliny, w której kierunku ma ono swój

odpływ. Naturalna przegroda skalista piętrzy wody i wytwarza zbiornik dużej pojemności.

W latach, gdy nie było jeszcze dużego zapotrzebowania energii i siły wodne w Szwajcarii wykorzystywane były tylko w stopniu bardzo nieznacznym, a jak i obecnie brak było przestrzeni, które mogłyby być użyte pod uprawę, chłopi, zamieszkujący okolicę położoną ponad jeziorem, postanowili powiększyć swe grunta przez sztuczne obniżenie poziomu jeziora. Pierwotne zwierciadło wód sięgało 696 m nad poziom morza. Zdecydowano, przez przebicie skały w Kaiserstuhle, obniżyć jezioro o 40 m, przez co osiągało

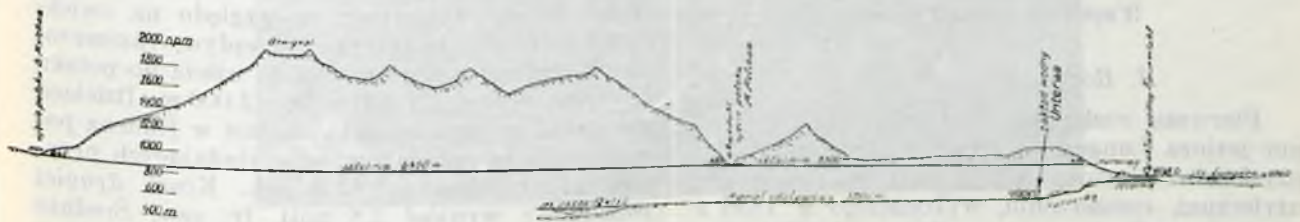
się wystąpienie ponad poziom obniżonej wody stosunkowo płaskiego dna jeziora, w jego południowej części, i uzyskanie około 140 ha gruntu. Pracę w tym kierunku rozpoczęto 16-go listopada 1788 roku. Prowadzoną ona była szereg



Rys. 1.

Sytuacja zakładów wodnych Lungernseewerk.

lat z dłuższymi przerwami, spowodowanymi wojnami napoleońskimi. Nareszcie w roku 1836 nadzieję było doprowadzone do końca i jedynie należało zdecydować w jaki sposób, bez narażenia



Rys. 2.

Szematyczny przekrój poprzeczny urządzeń zakładów Kaiserstuhl i Unteraa.

na niebezpieczeństwo pracujących w sztolni robotników, połączyć ją z jeziorem. Z szeregu projektów wykonano pomysł inż. Sulzberg'a z Frauenfeld'u, polegający na umieszczeniu przy końcu sztolni, pod dnem jeziora, silnej miny, której eksplozja miała stworzyć połączenie jeziora z nowozbudowanym odpływem sztolni.

Przy opadaniu poziomu wody potworzyły się miejscami silne usuwiska i szereg domów oraz kościoł w Lungern uległy zniszczeniu. Po ustaleniu się równowagi dla nowego poziomu wód gruntowych, uzyskany teren wzięty został pod uprawę łąk.

Szybki wzrost w ostatnich latach zużycia prądu elektrycznego spowodował w Szwajcarii wykorzystanie, dla jego produkcji, w możliwie dużym stopniu siły wodnej, tego jedynego bogactwa naturalnego kraju. Ze względu na specjalne warunki, bardzo niskich odpływów w okresie zimy i nadmiaru wody w okresie letnim, powstała konieczność budowy zbiorników gromadzących nadmiar wody letniej dla przechowania jej na okres zimy. Do tego celu budowane

są sztuczne zbiorniki lub używane, częstokroć powiększone przez spiętrzenie wód, górskie jeziora. Zbiorniki napełnia się w okresie wiosny i lata wodą z topnienia śniegu i lodowców.

Jezioro Lungern przedstawia wyjątkowo korzystny zbiornik naturalny, wobec czego potrzebie akumulacji wody musiała obecnie ustąpić potrzeba powierzchni uprawnej i uzyskane tereny pierwotnego dna jeziora, musiały paść ofiarą i ulec zatopieniu przy spiętrzeniu wód. Spiętrzenie nie wytwarza nic innego jak powrót do stanu z przed kilkudziesięciu lat.

Z pośród wielu, uznano, złożony w r. 1919 władzom kantonu, projekt towarzystwa C. K. W. za najbardziej gospodarczo korzystny. Pod koniec tegoż roku udzielono towarzystwu koncesję.

Przyjęty projekt określał najwyższy poziom spiętrzenia wód jeziora w wysokości 692,0 m nad poziom morza, tj. o 4-y metry niżej od najwyższego stanu wód przed rokiem 1836, najniższy 652,0 m n. p. m. W tej 40-o metrowej warstwie uzyskiwało się pojemność użyteczną 52,5 milj. m³. Jeśli wahania w ten sposób określone nie wywołałyby złych skutków, rząd miał udzielić pozwolenia na dalsze spiętrzenie o 4 m, przez co powiększyłaby się pojemność do 64 milj. m³.

Projekt uwzględniał, dla powiększenia zlewni, ujęcie i doprowadzenie do jeziora sąsiednich potoków: Małego Melchaa, Dużego Melchaa i Giswilskich potoków. Moc instalowaną określono na 70.000 KM.

Pierwotne warunki rynku nie były odpowiednie dla wykonania projektu w całości, a wymagały bardzo znacznego nakładu pieniędzy. Z tego względu budowa urządzeń następową stopniowo w 4-ch okresach, przyczem zawsze miano na względzie doprowadzenie w końcu rozbudowy do stanu, umożliwiającego wyzyskanie energii wody w stopniu, określonym w projekcie pierwotnym.

I, II i III-a rozbudowa, z uwagi na potrzebę szybkiego zwiększenia produkcji prądu, w miarę wzrostu jego zapotrzebowania, musiały być przeprowadzone w stosunkowo bardzo krótkim przeciągu czasu. Wyjątek stanowi rozbudowa IV-a, która przypadła w okresie nadejścia kryzysu, zmniejszającego konsumpcję prądu elektrycznego¹⁾, tak że właściwie tę ostatnią rozbudowę

¹⁾ Statystyka produkcji prądu elektrycznego w Szwajcarii wykazuje za ostatnie lata następujące wartości:

rok	1929	5398	milj. KWG
	1930	5462	" "
	1931	5707	" "
	1932	4800	" "

dowę traktuje się obecnie jako konieczność zatrudnienia bezrobotnych i z tego punktu widzenia w umowie z przedsiębiorcami postawiony jest warunek wykonywania robót ziemnych przede wszystkim ręcznie, mimo iż cena jednostkowa w ten sposób przeprowadzanych robót jest o 25% wyższa od wykonywanej maszynowo (3,50 fr. szw. i 2,80 fr. szw. za 1 m³ wykopu).



Rys. 3.
Wnętrze zakładu Unteraa.

I. Rozbudowa pierwsza.

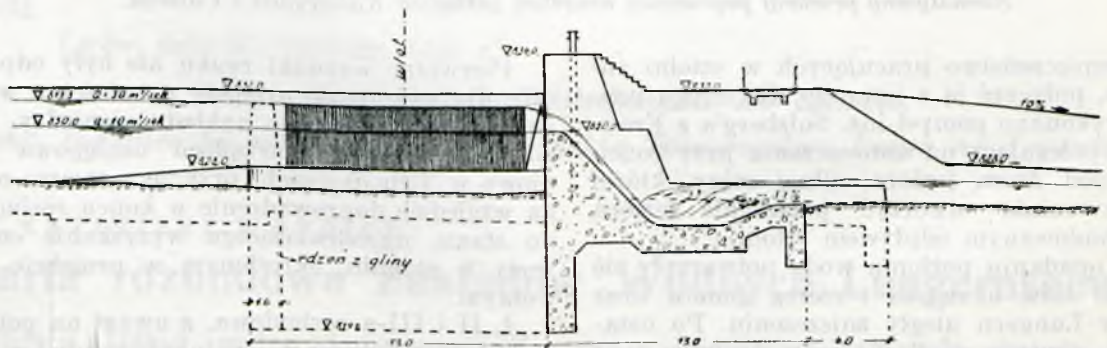
Pierwsza rozbudowa polegała na: Spiętrzeniu jeziora Lungern o 16 m, do poziomu 672,0, uzyskaniu zbiornika o 18,5 milj. m³ pojemności użytecznej, rozszerzeniu, wykonanego w 1836 r. ujęcia i przebudowę na sztolnię pod ciśnieniem o średnicy 2,40 m długości 400 m. Wykonaniu

Spadek brutto, łącznie z krótkim odcinkiem kanału odpływowego, 164—180 m (średnio netto 170 m), a produkcja energii średnia roczna 14,05 milj. KWG. Koszt pierwszej rozbudowy wyniósł 6 milj. fr. szw.

Budowę rozpoczęto w marcu 1921-go roku. Terminy były bardzo ograniczone i nie można było na całej linii budowy stracić ani jednego dnia, gdyż już w zimie chciano oddać energię. W końcu listopada rozpoczęto próbné uruchomienie pierwszej turbiny, w połowie grudnia zakład był w ruchu.

II. Rozbudowa druga.

Rozbudowę drugą rozpoczęto w roku 1923. Zwiększono wodę roboczą z 5-ciu na 12,5 m³/sek. Z tego względu konieczną była budowa drugiego równoległego rurociągu pod ciśnieniem 1,3 m. równoległego rurociągu pod ciśnieniem ϕ 1,3 m. Przy końcu sztolni pod ciśnieniem dorobiono komorę wyrównującą, składającą się z komory dolnej poziomej w postaci rury żelbetowej o średnicy 3,25 m, długości 37 m i grubości ścianek 40 cm, komory górnej (5,0×4,9 m) wystrzelanej w skale, połączonej z dolną przy pomocy szybu (ϕ 2,0 m L 90 m), pochylonego odpowiednio do spadku terenu i zbrojonego również żelazem. Do części zbrojonych użyto betonu o zawartości 250 kg p. c. na m³. Rura nie otrzymała wyprawy wewnętrznej. Przy zastosowaniu szalowania żelaznego osiągnięto dla 50 m ciśnienia absolutną szczelność. Moc zakładu powiększono o jedną jednostkę 12.000 KM i odpowiednio do tego centralę. Kanał odpływowy, ze względu na zwiększony przeszło dwukrotnie przepływ, rozszerzono od centrali w Unteraa aż do ujścia do potoku Laui, na długości 1.300+700=2.000 m. Dzielącą zaś kanał na dwa odcinki sztolnię w Rudenz powiększono do rozmiarów, odpowiadających przyszłemu przepływowi 32 m³/sek. Koszt drugiej rozbudowy wyniósł 2,8 milj. fr. szw. Średnia roczna produkcja energii pozostała bez zmiany tj. 14,05 milj. KWG.



Rys. 4.
Przekrój przez jaz na ujściu potoku D. Melchaa.

wdalszym ciągu sztolni rury żelbetowej ϕ 2,00 m, L 160 m, założeniu krat na wlocie przy jeziorze i następnie wybudowaniu z blachy nitowanej rurociągu żelaznego pod ciśnieniem ϕ 1,2 m, L 500 m. Uzyskany spadek wyzyskiwało się na dwóch jednostkach — każda o mocy 5.000 KM — w zakładzie Unteraa pod Giswil. Przy zlewni jeziora 36,7 km² woda robocza wynosiła 5,0 m³/sek.

III. Rozbudowa trzecia.

Trzecia rozbudowa trwała od września do maja 1926-go roku. Polegała na: powiększeniu zlewni jeziora o 26,3 km² przez ujęcie i doprowadzenie do jeziora potoku Małego Melchaa, wykonaniu z Klein Melchthal sztolni długości 3.200 metrów, dla przepływu bez ciśnienia wody w ilo-

ści $10 \text{ m}^3/\text{sek}$. Uwzględniono tu późniejsze przeprowadzenie wody Dużego Melchaa. Przy końcu sztolni urządzono małą komorę, z niej przewód wprowadzający wodę do jeziora. Połączenie sztolni z przewodem wykonane jest w postaci przelewu, umieszczonego w komorze na poziomie 807,35. Spadek między końcem sztolni z doliny M. Melchaa i jeziorem pozostawiono na razie niewyzyskanym, z uwagi jednak na przewidziany zakład w Kaiserstuhl, wybudowano w komorze odcinek, mający łączyć się później z przyszłym rurociągiem pod ciśnieniem. Jednocześnie spiętrzone jezioro z poziomu 672,0 na 692,0, przy obniżaniu jednak tylko do poziomu 676,0, gdyż nie wystarczało wody do wypełnienia całkowitej rozporządzonej pojemności.

(szer. $6,0 \text{ m}$ — poz. progu 816,8), zaopatrzone w kratę gęstą, wprowadzający wodę do osadnika systemu Dufour i następnie przez krótki kanał do właściwej sztolni. Przy wlocie do sztolni wybudowano krótki kawałek dla przyszłego dołączenia sztolni z doliny Dużego Melchaa.

Czas na przeprowadzenie III-ej rozbudowy był bardzo krótki. We wrześniu 1925-go roku rozpoczęto bicie sztolni, w maju następnego roku miano wodę z stopnienia śniegu w dorzeczu M. Melchaa wykorzystać na napełnienie jeziora do wysokości $692,0 \text{ m}$ n. p. m. Budowę sztolni rozpoczęto z obu końców i z trzech bocznych okien. Napotkano na pewne trudności przy wtargnięciach wody z głęboko wciętych rynien potoków. Na duże przeszkody natrafiła budowa



Rys. 5.

Budowa ujęcia potoku D. Melchaa i osadników systemu Dufour.

Sztolnia z doliny Małego Melchaa ma przekrój użyteczny $3,6 \text{ m}^2$, będąc szeroką $1,8 \text{ m}$. — Spadek jej dna wynosi $2,5\text{‰}$. Może ona przeprowadzić bez ciśnienia $10\text{--}11 \text{ m}^3/\text{sek}$. Dno i boki sztolni są obetonowane, a w miejscach łupliwej skały również i sklepienie.

Przewód do jeziora składa się z rurociągu żelaznego szwejsowanego, o średnicy u góry $0,70 \text{ m}$ u dołu $0,60 \text{ m}$, długości 560 m . Ułożony jest w ziemi na podsypce z kamienia. W miejscach załomu utwierdzono go w blokach betonowych. Ze względu na obawę wymywań przez silny prąd wody, wychodzącej z rury, przy wylocie zbudowano urządzenie ochronne. Składa się ono z zabitych pali, powiązanych z sobą kleszczami, przestrzeń między palami wypełniono blokami kamienia.

Małego Melchaa ujęto przez spiętrzenie potoku stałą zaporą, z przelewem przez jej koronę wód wielkich, założoną w poziomie $818,0$. W zaporce umieszczoną jest z lewej strony szluzą płuczącą ($3,0 \text{ m}$ szer.), służąca jednocześnie za spust. Koło spustu na brzegu znajduje się wlot

w odcinku od okna III do wylotu nad Kaiserstuhl, gdzie, z powodu wyjścia ze zdrowej skały pierwotnej trasy sztolni, musiano zmienić jej kierunek. W maju 1926 roboty były ukończone i wody M. Melchaa wprowadzone do jeziora. — Późnym latem tegoż roku poraz pierwszy od roku 1836-go osiągnęło ono poziom o 4-y metry niższy od swego dawnego naturalnego stanu.

Koszt robót trzeciej rozbudowy wyniósł $3,8$ milj. fr. szw. Pojemność zbiornika zwiększoną została do $48,5$ milj. m^3 , moc zakładu o 2.000 KM, a produkcja energii średnio rocznie do $28,65$ milj. KWG.

IV. Rozbudowa czwarta.

Rozbudowa czwarta, która opisaną będzie nieco dokładniej z uwagi na jej aktualność, rozpoczęta została w roku 1930. Polega ona zasadniczo na powiększeniu zlewni przez doprowadzenie wód Dużego Melchaa. Dotychczasową zlewnię jeziora, wynoszącą łącznie z M. Melchaa 63 km^2 powiększa się w ten sposób o dalsze $50,6 \text{ km}^2$ do wielkości $113,6 \text{ km}^2$.

Roczne dopływy do jeziora Lungern.
Średnia z 8-iu lat (1919—1926).

Miesiąc	M. Melchaa m^3	D. Melchaa m^3	Dopływy naturalne m^3	Dopływ całkowicie m^3	Suma dopływu m^3
Kwiecień	3 447 360	8 242 560	5 702 400	17 392 320	17 392 320
Maj	6 428 160	21 025 440	5 892 480	33 346 080	50 738 400
Czerwiec	5 313 600	21 254 400	5 702 400	32 270 400	83 008 800
Lipiec	4 205 088	16 284 672	5 892 480	26 382 240	109 391 040
Sierpień	2 678 400	10 847 520	5 892 480	19 418 400	128 809 440
Wrzesień	1 814 400	7 102 080	5 702 400	14 618 880	143 428 320
Październik	1 499 904	5 624 640	455 328	7 579 872	151 008 192
Listopad	1 581 120	4 924 800	440 640	6 946 560	157 954 752
Grudzień	1 499 904	2 196 288	455 328	4 151 520	162 106 272
Styczeń	1 392 768	3 106 944	455 326	4 955 040	167 061 312
Luty	1 185 408	1 790 208	411 264	3 386 880	170 448 192
Marzec	1 526 688	3 187 296	455 328	5 169 312	175 617 504
	32 572 800	105 586 848	37 457 856		

Wykonano, względnie wykonuje się, następujące urządzenie:

1. Doprowadzenie przy pomocy sztolni D. Melchaa do sztolni z doliny M. Melchaa.

2. Wyzyskanie spadów między komorą sztolni nad Kaiserstuhl a poziomem jeziora Lungern w zakładzie Kaiserstuhl na dwóch jednostkach o mocy instalowanej 14.000 KM.

3. Rozszerzenie centrali Unteraa przez wybudowanie nowego ujęcia wody z jeziora, drugiej sztolni pod ciśnieniem i zainstalowanie dwóch nowych jednostek, powiększających dalej moc zakładów o 40.000 KM.

4. Rozszerzenie kanału odpływowego, długości łącznej 3.700 m, od centrali w Unteraa aż do ujścia do jeziora Sarnen.

Po ukończeniu IV-ej rozbudowy zakłady Lungern posiadać będą moc 76.000 KM i produkować będą rocznie średnio 106,65 milj. KWG.

Koszt powyższych robót prelininowano w wysokości 13,64 milj. fr. szw., tak że łącznie od początku wydatki, związane z budową zakładów Lungern, wyniosą 26,24 milj. fr. szw.

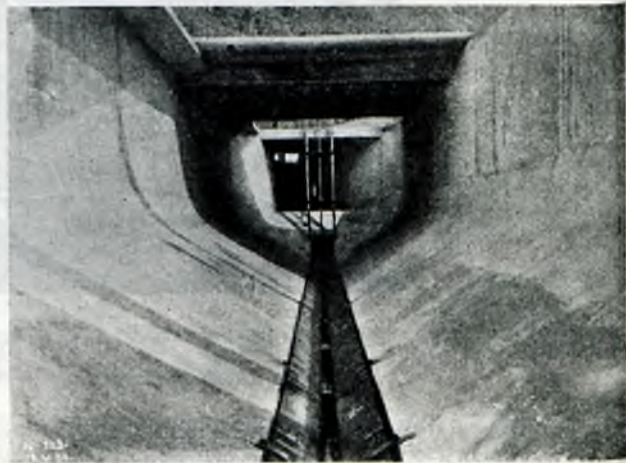
Czas budowy był znacznie dłuższy od poprzednich (1930—1933). Na wykonanie sztolni z doliny D. Melchaa przewidywano 3 lata.

1. Ujęcie wody i sztolnia z doliny D. Melchaa.

Ujęcie D. Melchaa zaprojektowano podobnie do ujęcia M. Melchaa. Składa się ono ze stałej zapory, położonej około 1 km poniżej wsi Melchthal, piętrzącej potok o 3 m (rys. 4), wlotu 12 m szerokości, zaopatrzonego w kratę gęstą i osadnika systemu Dufour.

Przy wszystkich zakładach wodnych, nie posiadających dużego zbiornika, trzeba przez odpowiednie urządzenie ujęcia, ochronić się przed wejściem do doprowadzalnika rumowiska, poruszającego się po dnie względnie zawieszzonego w dolnych warstwach wody. Duża część zawieszzonego rumowiska bywa jednak wprowadzoną przez wlot i przechodzi, jeśli nie ma możliwości osadzenia się po drodze, przez turbiny. Te drobne zawieszane części mogą wywołać przedwczesne zużycie rurociągów pod ciśnieniem

jak również i łopatek turbin. Obserwacje wykazały, że jeden okres ruchu takiego zawieszzonego materiału w potokach górskich Alp, który trwa około 5 miesięcy w roku, wystarcza by zmniejszyć sprawność turbiny o 10—20%, a czasem i więcej. Stałą poprawę stosunków można osiągnąć tylko przez jaknajdalej idące oczyszczenie wody roboczej.



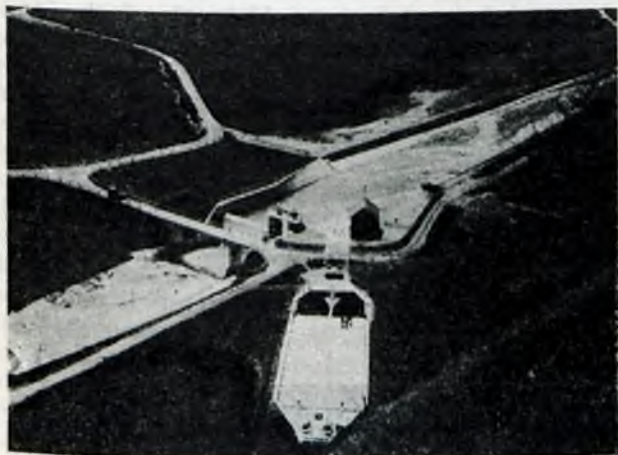
Rys. 6.

Wnętrze komory osadnika Dufour na ujęciu potoku D. Melchaa. Widok od wlotu.

Z tego względu ujętą wodę D. Melchaa wprowadzono na dwa osadniki z prędkością przepływu 0,30 m/sek. Specjalnie wybudowany system krat na wlocie umożliwia szybkie złożenie zawieszin. Na długości zaś 30 m osadnika ma woda dostateczny czas na odpiaszczenie się. Przy silniejszym ruchu rumowiska następuje stałe samoczynne przemywanie osadnika za pomocą specjalnego kanału. Przy zmniejszonym ruchu rumowiska przeprowadza się oczyszczanie zależnie od potrzeby.

Przez spiętrzenie do poziomu korony zapory (830,0 m n. p. m.) może być cała dopływająca woda, około 10 m³/sek, wprowadzona do sztolni, do której dochodzi z osadnika kanałem zataczającym silny łuk. Woda wielka, wynoszą-

ca $50 \text{ m}^3/\text{sek}$, przeprowadzana jest przez koronę zapory oraz szluzę spustową 3 m szerokości, umieszczoną przy lewym przyczółku. Powyżej ujęcia wykonano, na długości 260 m korekację potoku.



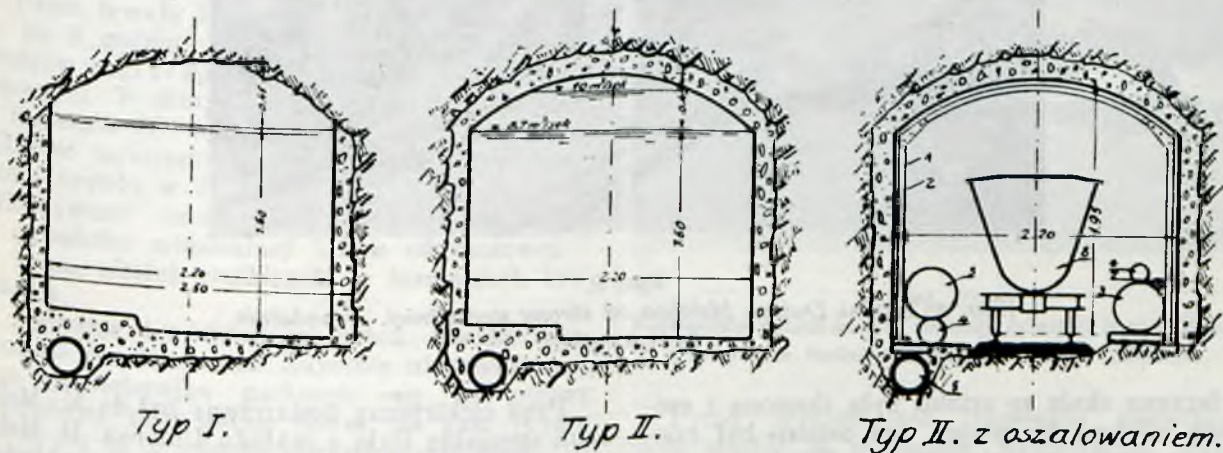
Rys. 7.

Widok na ujęcie potoku D. Melchaa (Zapora, ujęcie, osadnik Dufour).

Podczas budowy zapory nie natrafiono przy jej fundowaniu na skałę, zabezpieczono się więc przeciw ewentualnym przesiąkaniom przez rumowisko, stanowiące łożysko potoku, wykonaniem rdzenia z gliny, sięgającego około 10 m w głąb terenu.

Melchaa $813,0 \text{ m}$ n. p. m. Spadek absolutny wynosi 13 m ($J=2\text{‰}$). Przekrój jest w zasadzie prostokątnym. Dno i boki ze względu na współczynnik chropowatości obetonowano. W miejscach łupliwej skały, a ma się z nią do czynienia na 70% długości, obetonowano również sklepienie. Szerokość sztolni wynosi $2,20 \text{ m}$, wysokość boków $1,60 \text{ m}$, a odległość sklepienia, w osi, od dna $2,05 \text{ m}$ (rys. 6). W ten sposób rozporządza się dla przepływu $10 \text{ m}^3/\text{sek}$ przekrojem użytkowym, $3,5 \text{ m}^2$. Zależnie od właściwości skały grubość obudowy betonowej wynosi od $10\text{--}30 \text{ cm}$. Przy wykonywaniu, dla umożliwienia w czasie budowy, szybkich transportów w sztolni, przewidziano co 600 m poszerzenia długości $50\text{--}60 \text{ m}$, które później zamurowano do normalnego profilu.

Przed przystąpieniem do robót zbadano możliwość wykonania doprowadzenia częściowo jako sztolni, częściowo jako otwartego kanału. Pominąwszy zwiększenie długości o $\sim 30\%$, teren nie nadawał się do wykonania otwartych odcinków ze względu na groźbę usuwisk, oraz dużej liczby silnie wciętych dzikich potoków, wymagających wielu sztucznych i kosztownych ich przekroczeń. Zdecydowano się więc z tych względów na wykonanie sztolni bitej tylko od obu jej końców. Jest też ona na kontynencie najdłuższą sztolnią o tak niewielkim przekroju ($2,05 \times 2,20 \text{ m}$), bitą, przez skałę osadową, tylko z dwóch punktów. Przy budowie spodziewano się wystąpienia dużych trudności.



Rys. 8.

Przekroje normalne sztolni z doliny Dużego Melchaa. Objasnienia: 1 — zebra żelazne 380 mm ; 2 — blacha szalująca 4 mm ; 3 — rury wentylacyjne $D=400 \text{ mm}$; 4 — przewód pompowy $D=200 \text{ mm}$; 5 — rura cementowa drenująca $D=250 \text{ mm}$; 6 — przewód ściśniętego powietrza $D=130 \text{ mm}$; 7 — kabel elektryczny; 8 — wywrotka.

Jednym z głównych obiektów IV-ej rozbudowy jest sztolnia z doliny D. Melchaa. Z uwagi na specjalne warunki i trudności, w jakich była budowana postaram się budowę opisać dokładniej.

Sztolnia długości 6.450 m przechodzi w linii prostej w kierunku południowo zachodnim wprost do doliny M. Melchaa. Prowadzi ona wodę bez ciśnienia. Dno sztolni od strony D. Melchaa znajduje się na poziomie $828,8 \text{ m}$.

Prawie poziomy przebieg warstw skalnych i ogólne warunki hydrograficzne wskazywały na prawdopodobieństwo dużego dopływu wody, właściwości zaś skały od strony zachodniej na możliwość wypływów gazu. Ze względu na dużą masę skały ponad trasą sztolni (1.100 m) obliczano temperaturę wnętrza skały dochodzącą do 26° C .

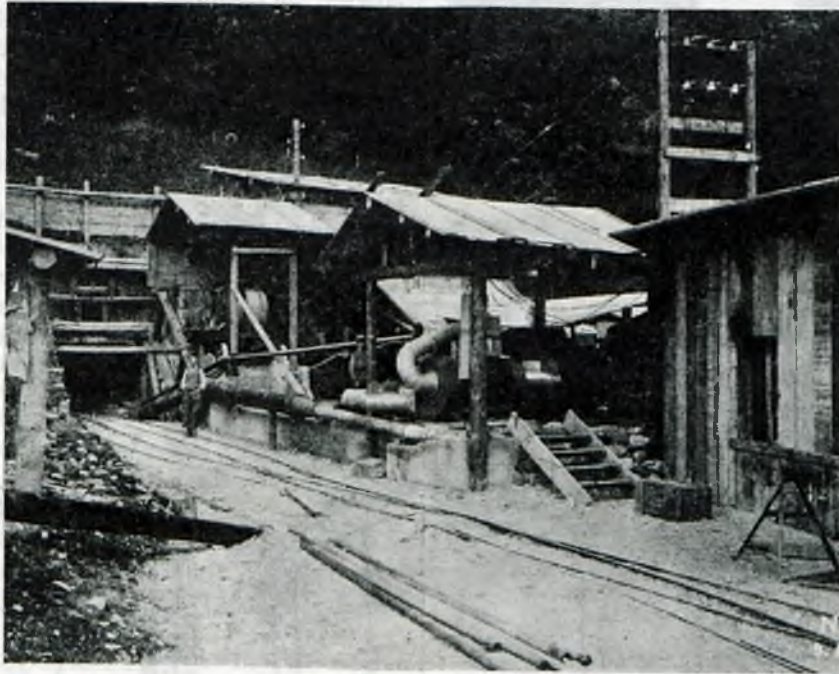
Licząc się z przewidywanymi trudnościami, zainstalowano szereg urządzeń dla wentylacji

i spompowania wody. Całość ich składała się z następującego:

Od strony D. Melchaa — wschodniej.

Wentylator o wydajności $1,50 \text{ m}^3/\text{sek}$, o działaniu ssącym lub tłoczącym, 3 kompresory rotacyjne dwustopniowe, dwa o wydajności po $6 \text{ m}^3/\text{min}$, jeden $8 \text{ m}^3/\text{min}$, z koniecznym kotłem wyrównawczym. Dwie lokomotywy poruszane ścieśnionem powietrzem, dla transportu materiałów w sztolni, do ich ładowania 4-o stopniowy kompresor o ciśnieniu 200 atm. (wobec spodziewanego występowania gazu wykluczono użycie maszyn spalinowych lub elektrycznych z uwagi na ich iskrzenie). Warsztaty z kuźnią dla naprawiania głów świrdrów i dłut i urządzeniami dla reperacji środków transportu. Urządzenia przygotowujące materiał do betonu, składające się z gryzaka i młyna piasku

portu. W czasie budowy ujęcia i sztolni M. Melchaa transporty odbywały się przy pomocy młotów. Ze względu na obecnie dużo poważniejsze ilości dostarczanych materiałów i w okresie dwóch zim zdecydowano się na budowę powietrznej kolejki linowej. Urządzenie składało się z pojedynczej liny, na 14-tu masztach. Lina niosąca była jednocześnie ciągnącą. Kolejka łączyła, w prostej linii, stację w Giswil z budową odległą o 2 km, pokonywała wysokość 411 m (na długości 1.100 m). Maksymalne nachylenie trasy wynosiło 50%, średnie 36%, największe światło między masztami 550 m, grubość liny 21 mm, szybkość jej ruchu $1,66 \text{ m}/\text{sek}$, nośność użytkowa 200 kg. Przy 10-io godzinnym ruchu można było przetransportować 12 tonn. Czas jazdy wynosił 20 minut, a jeden wózek robił ich dziennie osiem.



Rys. 9.
Wlot do sztolni Dużego Melchaa od strony wschodniej. Urządzenia wentylacyjne.

(wyłamana skała ze sztolni była tłuczona i częściowo mielona na piasek, ten ostatni był mieszany z piaskiem jeziorowym z Flüelen).

Zainstalowano też szereg wyciągów dla transportu wyłamanego materiału do miejsca odkładu, położonego wyżej, jak również do silosu urządzenia przygotowującego beton.

Od strony M. Melchaa — zachodniej.

Wentylator $1,5 \text{ m}^3/\text{sek}$, 2 kompresory o wydajności 6 i $8 \text{ m}^3/\text{min}$ — 6 atm. ciśnienia, jedna lokomotywa poruszana ścieśnionem powietrzem, łącznie ze stacją ładowania (kompresor 4-ro stopniowy 200 atm.). Warsztaty kowalskie i sztanca maszynowa do przygotowywania głów świrdrów i dłut. Wyciągi, urządzenia wodociągowe, baraki mieszkalne i biurowe.

Miejsce budowy w dolinie M. Melchaa, trudne do dojścia szczególnie w okresie zimy, wymagało należytego rozwiązania sprawy trans-

Prąd elektryczny dostarczany był do M. Melchaa specjalną linią z zakładu Unteraa. D. Melchaa zaopatrywana weń była z linii zakładu Kerns. Zainstalowana moc silników wynosiła od: strony wschodniej 550 KM
zachodniej 360 KM

W czasie budowy zużyto od

wschodu	1,970.000 KWG
zachodu	1,300.000 KWG
razem	3,273.000 KWG

Koszt budowy sztolni wyniósł 3,61 milj. fr. szw. (560 fr./mb.).

Bardzo ważną podstawą dla budowy sztolni jest kierunek i poziom. Punkty więc wyjścia obydwu końców sztolni były wysokościowo związane precyzyjną niwelacją z państwowymi reperami. Kierunek wytyczony na podstawie przeprowadzonej triangulacji, złączonej z siecią

państwową. Wszystkie czynności pomiarowe, ze względu na ich wagę, były przeprowadzone, z wyjątkową starannością, przez specjalistę. — Z uwagi na to, że, w głęboko wciętych dolinach M. Melchaa, wizury na sygnały triangulacyjne były b. niekorzystne (b. strome i krótkie) trasę sztolni, na podstawie wartości wyliczonych trygonometrycznym rachunkiem, wytyczono przez góry. Musiały być przytem przekroczone góry Arnigrat wysokości 2.200 m, jak również głęboko wcięte doliny Melchthalalp, Wengenalp, Astli i Arnialp. Pierwsze wytyczenie wykazało w wyniku różnicę około 1 m. W środku sztolni spowodowałoby to odchyłkę około 0,5 metrową. Przez poprawkę kąta zamykającego, która, przy dużej długości 6,5 km, wynosiła zaledwie parę sekund, różnicę wyrównano. Następnie jeszcze raz przeprowadzona kontrola (przez góry) wykazała dostateczną zgodność. Po przebicciu otrzymano w wyniku różnicę w poziomie 4 cm, w kierunku 2 cm, co należy uważać za wyjątkowo dobre rezultaty.

W czasie budowy co 3—4 miesiące były przedsiębrane tyczenia kontrolne. Były one możliwe tylko w nocy przy przerwaniu robót. — Przerwa w robotach była konieczna, gdyż dłuższe wizury w sztolni, ponad 1 km, były możliwe tylko przy dobrze wywentylowanym powietrzu.

Bicie sztolni rozpoczęło 1 maja 1930 roku. Przewidziany czas budowy wynosił $2\frac{3}{4}$ roku. Połączenie obu odcinków nastąpiło 4-go grudnia 1931, ostateczne skończenie wszystkich robót dnia 1-go maja 1932. Zużyto więc na budowę okrągło 2 lata.

Praca trwała 24 godziny dziennie, trzy zmiany po 8 godzin. Przy użyciu pneumatycznych świrdrów wagi 17 kg postęp robót wynosił w dniu roboczym 7—8 m, max. 8,80—9,0 m, średnio w miesiącu 230 m. Posuwając się naprzód zasadniczo wystrzelivano cały przekrój. Wyrównanie profilu w dnie, bokach i sklepieniu było wykonywane przez grupę robotniczą, idącą w odległości minimalnej 110 m od czołowej.

Trasa sztolni przebiegała w formacjach kredowych.

Pierwsze 4-y miesiące praca trwała obustronnie bez przeszkód. Zupełnie nieoczekiwanie 3-go października natknięto się od strony wschodniej, przy stanie 850 m, na gaz. Wydobywał się on z jednego otworu wiertniczego, — 9-go października pokazał się znowu gaz. Na hektometrze 8,50 zapalało się 5 płomieni długości 20 cm, gasnąc po użyciu 5—15 minut. — Odtąd następowały stałe wypływy gazu ciągle jednak w stopniu niebezpiecznym.

Badania nad gazem wykazały, że jest to gaz kopalniany metan. Wydobywał się on ze skały w stosunkowo niewielkich ilościach bez ciśnienia i mógł być bez obawy zapalony i spalony. Natychmiast zorganizowaną została ochrona przeciwgazowa; specjalne aparaty tlenowe, maski, lampy bezpieczeństwa wykazujące gaz. — Dotychczasowa wentylacja $1\text{ m}^3/\text{sek}$ została zwiększona na $1,5\text{ m}^3/\text{sek}$. Zwrócono specjalną uwagę na sposób wiercenia i strzelania.

Wszystkie dotychczasowe miejsca wydobywania gazu należało zapalać. W nowych miejscach

przy silnych wpływach gazu, w czasie pracy, należało gasić wszystkie, znajdujące się na miejscu, latarki z otwartym płomieniem i wentylację przestawiać na ssanie. W skale, gdzie rozpoznawano silne sprasowanie, czarne płaszczyny ślizgu, plamy olejowe (tłuste), uderzający zapach, niezwykły szum, nie wolno było pracować na czole sztolni i w okolicy z otwartym światłem.

W razie zauważenia gazu należało natychmiast brać przykrycie, cofnąć się, dać sygnał alarmujący, przestawić wentylację na ssanie. W razie silnych wpływów gazu należało przy wentylatorze poddawać ssany gaz próbie.



Rys. 10.

Najwyższy maszt kolejki linowej, łączącej stację Giswil z miejscem budowy w dolinie Małego Melchaa.

Przed wykonaniem ładowania oświetlano czoło sztolni, w miejscach wychodzenia gazu, lampami bezpieczeństwa na sztangach za przykryciem. Przy silnym wypływie gazu płomień takiej lampy staje się coraz dłuższym aż w końcu gasnie. Nie powinno się wówczas ładować i strzelać, względnie zapalać gazu. Nie można również pozwalać używania w pobliżu latarek z otwartym płomieniem. Jeżeli nic nie wykazuje niebezpieczeństwa, czoło oświetla się otwartą latarką na długiej sztandze za przykryciem. — W razie stwierdzenia przez płomień gazu ładowanie wstrzymywano dopóki nie palił się on bąblami o płomieniu nie dłuższym niż 20 cm. Aż do tej chwili latarki zgaszone, wentylator przestawiony na ssanie.

Zapalanie ładunków odbywało się:

przy małych wpływach gazu przy pomocy lontu;

przy średnich: elektrycznie;
przy dużych nie ładowano i przerywano roboty.

Wszystkie te ostrożności były stosowane przy wypływach dotychczasowych gazu, bez ciśnienia. Do Bożego Narodzenia 1930 pojawiał się gaz zawsze po strzelaniu, odtąd nastąpiła inna faza, pokazywał się on już przy wierceniu otworów. 21—26 grudnia były wiercone odcinki, znajdujące się pod ciśnieniem gazu. Następowywały silne wydmuchy, które mimo ostrożności powodowały lekkie wypadki. Od *hkm* 13,50 weszło się w strefę niebezpieczną poszczególnych partji o silnem ciśnieniu gazu. Przytoczony krótki wyciąg z raportów daje obraz zdarzeń w czasie krytycznym.



Rys. 11.

Czoło sztolni załadowane do wystrzału. Pośrodku u góry widać lampę Wolff'a.

18. XII. 1930. Z jednego otworu na czole pali się gaz płomieniem długości 30 *cm*.

19. XII. 1930. Godz. 10 — z jednego otworu pali się gaz płomieniem 30 *cm*.

20. XII. 1930. Po strzelaniu o godz. 6-tej 10 dużych płomieni 30—50 *cm*. W nocy o 2-iej silny szum, ze wszystkich otworów wiertniczych gaz o płomieniu 40—50 *cm*.

21. XII. 1930. Od godz. 8-iej do 22-iej dużo gazu. O godz. 2-iej zatrzymano pracę na *hkm* 13,75. Temperatura 50° C. Drobne eksplozje płomieni. Trzech ludzi lekko poparzonych na rękach i twarzy.

22—25. XII. Niema gazu.

26. XII. 1930. O godz. 14-iej na czole szum, uderzający zapach. Godz. 20,30, *hkm* 14,11 nagły wybuch w otworze wiertniczym po lewej stronie u dołu. Płomień długości 15,0 *m*. Temperatura 50° C. Jeden robotnik silnie, 6-iu lekko oparzonych na rękach i twarzy. Pracę zatrzymano od godz. 20,30 do 27. XII. godz. 12-iej.

27—28. XII. Niema gazu.

29. XII. 1930. Gaz z dna.

30. XII. 1930. Godz. 11 i 13 z czoła po lewej w górze z otworu wiertniczego płomień 1,0 *m* długości. Od godziny 14-iej palą się 4 płomienie.

31. XII. 1930. Niema gazu.

1—3. I. 1931. Niema gazu.

4. I. 1931. Zmiana zaczynająca się o godzinie 22-iej wywierciła 4 otwory. O godz. 23,15 przy wierceniu 5—6 otworów wypłynął, przy odgłosie podobnym do strzału i silnym szumie, duży bąbel. W okolicy było wszystko oświetlone elektrycznie i znajdowały się 2 lampy bezpieczeństwa. Latarki oddalone były o 100 *m*. Ludzie cofnęli się w czasie wydobywania się gazu o ~ 75 *m* i oczekiwali dalszych objawów. Na krzyk gaz jeden z minerów, będący przy latarkach, zgasił 3, przy czwartej zauważył płomień, rozszerzający się w stronę czoła, bez powstawania eksplozji. Prowadzący zmianę polecił telefonicznie przestawić wentylację na ssanie. Robotnicy uciekli pod płomieniem w kierunku wlotu, przyczem trzech z nich zostało silnie poparzonych. Lampy bezpieczeństwa zgasły. Przybliżone obliczenie wypłyniętego gazu wykazywało ilość 50—80 *m*³.

5. I. 1931. Godz. 13 na *hkm* 14,745 przy wierceniu 5-go otworu w środku czoła wytrysk nowego pęcherza. Oświetlenie na miejscu elektryczne. Z tyłu znajdujące się latarki były czempredziej zgaszone. Nie było wypadku oparzenia.

Zjawiska opisane doprowadziły kierownictwo budowy do wniosku, że, wobec wzmożonego wypływu gazu, dotychczasowe środki ostrożności nie były dostateczne. Można się było obawiać każdej chwili wybuchów. Z tego względu postęp robót wiertniczych był z dniem 5. I. 1931 zatrzymanym. Prowadzono dalej poszerzenie i rozpoczęto obetonowywanie boków.

Od strony zachodniej nie było dotychczas wpływów gazu.

Po przestudjowaniu urządzeń w kopalniach Lotaryngji i zasięgnięciu opinji fachowców zastosowano następujące środki zapobiegawcze:

Usunięcie z całkowitej długości sztolni otwartych płomieni. Założenie oświetlenia elektrycznego. Ze względu na możliwość wybuchów, usunięcie wszelkich iskrzących aparatów i motorów. Przed zapaleniem min każdorazowo specjalna kontrola gazu. Stałe kontrolowanie zawartości gazu lampami bezpieczeństwa przez prowadzącego zmianę²⁾.

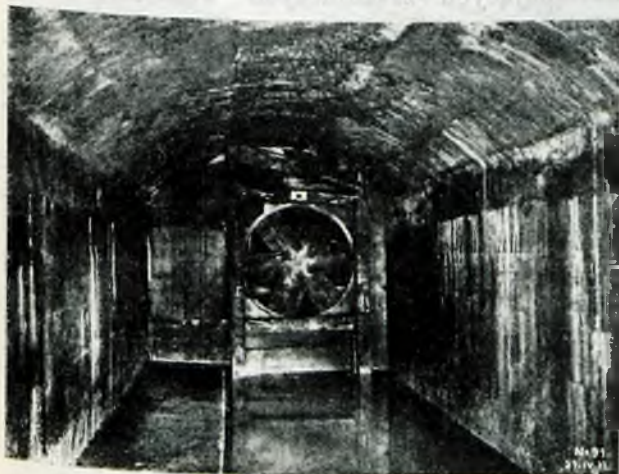
Przy zawartości gazu mniejszej niż 2% stosowanie zwykłego zapalania, przy zawartości

²⁾ Lampa bezpieczeństwa Wolff'a służy nie do oświetlenia lecz dla ustalenia zawartości gazu w powietrzu sztolni, przyczem wykazuje już 1,50% jego obecności. Jeden *m*³ skały zawiera 2,6 *m*³ gazu metanu. Większa część metanu może się ułożyć w początkowych stadiach procesu zwęglania, gdy jeszcze skała, na razie, nie była szczelnie dla gazu zamkniętą. Dalsza część może również z biegiem czasu wywedrować, tak że ostatecznie pozostaje w skałe jakaś część powyższej wartości od 0,3—1,0 *m*³. Jeżeli przewierci się partje skały, zawierające większe ilości gazu, to wypływa on pod dużym ciśnieniem. Mieszanina gazu do 4% nie jest niebezpieczną, przy 5—14% jest trującą i wybuchową, ponad 14% nie wybuchą. Lecz jest silnie trującą z powodu braku tlenu. Skoncentrowany metan pali się niebieskim płomieniem, bez niebezpieczeństwa wybuchu. Towarzyszy paleniu b. silne wydzielanie się ciepła. — Lampa bezpieczeństwa wskazuje zawartość gazu przez zabarwienie płomienia: Przy 2% gazu pokazuje się płomień w postaci stożka wysokości 1 *cm*, 3% wierzchołek stożka pozostaje niżej od górnego brzegu cylindra gazowego, 4% wierzchołek sięga aż do kosza z drutu, 4,5% wierzchołek sięga do górnego przykrycia dolnego kosza z drutu, 5% obraz płomienia nieregularny — lampa gaśnie.

2—3% elektrycznego, powyżej 3-ch, z obawy wybuchów, używanie specjalnego materiału strzelniczego. Zdeponowanie dalszych 15 masek



Rys. 12.
Przewody wentylacyjne w sztolni.



Rys. 13.
Wentylator kopalniany umieszczony w pobliżu czoła bitanej sztolni.



Rys. 14.
Wnętrze sztolni z przewodami i rusztem pod blachy szalujące.

o 100 m od miejsca roboty. Zwiększenie dotychczasowej ilości doprowadzanego świeżego powietrza do $3 m^3/sek$.

W doprowadzeniu powietrza nastąpiła zasadnicza zmiana. Wentylację zmieniono na ssanie, przez co wypływający gaz był możliwie szybko wyssany, zanim się mogła utworzyć w sztolni mieszanina wybuchowa, i odprowadzony przez przewód na zewnątrz. Ponieważ przy takiej wentylacji złe powietrze było wysane przez przewód a dobre dopływało ze sztolni, koniecznym było zwiększenie dwukrotnie jego ilości, aby jeszcze dostatecznie świeże dopływało do miejsca robót. W tym celu zainstalowano nowy dwustopniowy wentylator, poruszany motorem 75 KM. By nie zmieniać dotychczasowego przewodu 400 mm, ułożono po drugiej stronie sztolni nowy przewód o tej samej średnicy, zaś na nowym odcinku sztolni obydwa rurociągi połączono w jeden o 500 mm. Dla dobrego przewietrzenia założono jeszcze dodatkowo wewnątrz sztolni t. zw. wentylator kopalniany, poruszany sprężonym powietrzem. Ten, będąc oddalony o 50 m od miejsca robót, ssał świeże powietrze i wypychał je wprzód. Osiągnano przez to stałe odnawianie powietrza w miejscu robót tak, że wszelkie niebezpieczne mieszaniny wybuchowe, które mimo silnej wentylacji mogły się pod sklepieniem zbierać, były rozproszone i nie miały okazji się zapalić.

Jak widać z załączonego rys. 6 miejsca w sztolni nie było wiele. W przekroju wielkości $2,05 \times 2,20 m$ założono ze strony wschodniej, prócz żelaznego rusztu do szalowania, 2 przewody powietrzne 400 mm w świetle 1 przewód 130 mm dla ściśnionego powietrza do świdrów, 1 przewód 200 mm dla odprowadzenia wody.

Musiła pozostać jeszcze dostateczna szerokość dla ruchu maszyny i wózków.

Przy zastosowaniu tych ostrożności, po 56-u dniach przerwy, rozpoczęto dnia 2-go marca bicie sztolni. Okazało się, że środki przedsięwzięte były konieczne, gdyż aż do chwili przebiccia pojawiały się stale, podobne do opisanych, wybuchowe wypływy gazu, które, bez zastosowanych ostrożności i urządzeń, mogły doprowadzić do dużej katastrofy.

Bicie skończono 4-go grudnia 1931. Również od strony zachodniej przy stanie 1.200 m pojawił się gaz, jednakże tu przybrał złośliwy charakter dopiero na jakieś 200 m od miejsca złączenia.

Temperatura skały w sztolni nie osiągnęła spodziewanej wysokości $26^{\circ} C$, badana co 200 m (każdego miesiąca) wskazywała wzrost o około $0,1^{\circ} C$, aż do maksimum $18,2^{\circ} C$ w miejscu przebiccia.

Ilość wody wynosiła bezpośrednio po przebicciu od strony wschodniej $11 l/sek$, od strony zachodniej $30 l/sek$. Od strony wschodniej w czasie budowy, była spompowywana, po przebicciu odprowadzona w odcinek zachodni przewodem 25 cm.

Po stronie zachodniej zaobserwowano liczne źródła siarkowe. Zbadane nie wykazywały szkodliwego wpływu na beton, wobec czego spe-

cialnego cementu do obudowy sztolni nie stosowano.

Betonowanie boków skończono w końcu stycznia. Początek rozpoczęto od środka w stronę wylotów betonowanie dna. Boki szalowano blachą 4 mm, wzmocnioną kształtkami. Żebra rusztu żelazne. Beton o zawartości 250 kg p. c. na m^3 .

Transport materiałów odbywał się przy pomocy maszyn poruszanych ścieśnionem powietrzem. Na każdej z nich znajdowało się 5 flasz, ładowanych do ciśnienia 200 atm. Przed wejściem do motoru powietrznego wentyl redukujący zmniejszał ciśnienie na 25 atm, tak że maszyna pracowała przy powyższym stałym ciśnieniu. Mogła ona wykonać jedną jazdę do 3.800 m odległości w górę i spowrotem i trzeba ją było na nowo ładować, przy pomocy wspomnianego 4-o stopniowego kompresora wysokiego ciśnienia (200 atm). Ciężar maszyny 4.000 kg, średnia prędkość 1,5 m/sek, siła pociągowa 500 kg max. 900 kg.

Obetonowywanie odbywało się jednocześnie z wyłamywaniem sztolni, etapami, tak że następowało za wylotem o 100 do 600 m. Liczba zajętych przy budowie robotników, przy 3-krotnej 8-godzinnej zmianie, wynosiła 150 ludzi. — Pierwszego maja 1932 sztolnia była gotową do użytku.

Złączenie sztolni D. Melchaa, z wybudowaną w latach 1925/26, sztolnią z doliny M. Melchaa wykonano przy pomocy żelbetowego akweduktu, o przekroju $1,80 \times 2,24$ m, długości 25,0 m, przekraczającego dolinę potoku M. Melchaa. Akwedukt zaopatrzony jest w obustronny przelew, przez który odpływa do potoku nadmiar wody.

(Dok. nast.).

Dr. Inż. MIECZYŚLAW BESSAGA

O nomogramach prostokątnych z podziałką logarytmiczną

W artykule Inż. Lufta „Nomografja“ (*Czasop. Techn.* 1927), przedstawiającym główne zasady tej dziedziny wiedzy, widzimy między innymi nomogramy, oparte na podziałce logarytmicznej, a służące do obliczenia funkcji z kształtu $z = x^m \cdot y^n$. Obliczenie to polega na połączeniu prostą odpowiednich punktów dwóch równoległych do siebie osi X i Y , oraz na wyznaczeniu punktu przecięcia tej prostej łączącej z odpowiednio wycechowaną osią Z (równoległą do X i Y). W analogiczny sposób można przedstawić iloczyn potęg dwóch zmiennych niezależnych przy pomocy prostokątnego układu współrzędnych, z podziałkami logarytmicznymi na osiach. Pierwowzorem tego rodzaju nomogramów był nomogram Lalanne'a *) (skonstruowany jeszcze w połowie XIX wieku); iloczyn $xy = const$ odpowiada tu układ prostych równoległych.

Na podobnej zasadzie opierają się wykresy Dr. Mazura (*Czasop. Techn.* 1929) odnoszące się do wzorów Prof. Matakiewicza, a ułatwiające rozwiązywanie pewnych zagadnień z budownictwa wodnego.

Celem niniejszego artykułu jest bliższe rozpatrzenie głównych własności nomogramów, opierających się na prostokątnym układzie współrzędnych z logarytmicznymi podziałkami na 2 i więcej osiach. Nomogramy te służą do wyznaczenia funkcji kształtu:

$$z = f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \dots$$

Weźmy pod uwagę najprostszą funkcję, kształtu $z = f(xy) = a \cdot x^m \cdot y^n$ (m i n wykładniki, dodatnie lub ujemne, całkowite lub ułamkowe). Zakres zmienności (granice) dla x i y , podobnie jak i wielkość przyjętych jednostek dla podziałek logarytmicznych tych zmiennych mogą być zupełnie dowolne — w niczem nie zmieni to

następujących zasadniczych własności nomogramu:

(1) Wszystkie punkty $P(\log x, \log y)$ spełniające warunek $f(xy) = C$ leżą na jednej prostej.

(2) Proste $f(xy) = C_1, f(xy) = C_2 \dots$ są równoległe.

(3) Punkty przecięcia dowolnej prostej z układem równoległych $f(xy) = C$, tworzą na tej prostej podziałkę logarytmiczną.

ad (1). Niech punkty $P_1(\log x_1, \log y_1)$ i $P_2(\log x_2, \log y_2)$ spełniają warunek $a x_1^m y_1^n = a x_2^m y_2^n = C_1$. Punkt $P_i(\log x_i, \log y_i)$ leży na prostej łączącej punkty P_1, P_2 — między temi punktami lub na zewnątrz. Zachodzą związki:

$$\log x_i = \log x_1 + \kappa \cdot (\log x_2 - \log x_1)$$

$$\log y_i = \log y_1 - \kappa \cdot (\log y_1 - \log y_2).$$

Stąd (po wykonaniu podstawień):

$$n \log x_i + m \log y_i = n \log x_1 + m \log y_1,$$

czyli: $a x_i^m y_i^n = a x_1^m y_1^n = C_1$.

ad (2). Równanie prostej $L \equiv f(xy) = C_1$ w odniesieniu do danego prostokątnego układu opiewa:

$$m \log x + n \log y = \log C_1 - \log a.$$

Kąt nachylenia tej prostej (względem osi x) określa wzór:

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{m}{n}.$$

Tym samym wzorem określa się kąt nachylenia prostej $L_2 \equiv f(xy) = C_2$; stąd $L_1 \parallel L_2$.

ad (3). Weźmy pod uwagę punkty przecięcia osi Y ($x=1, \log x=0$) z układem równoległych $f(xy) = C$. Poszczególnym punktom przecięcia $R_1, R_2, R_3 \dots$ odpowiadają rzędne $\log y_1, \log y_2, \log y_3 \dots$ takie, iż:

$$n \log y_1 = \log C_1 - \log a$$

$$n \log y_2 = \log C_2 - \log a$$

$$n \log y_3 = \log C_3 - \log a$$

Podziałka na osi Y jest zatem (w pewnej skali) podziałką logarytmiczną wielkości $C = f(xy)$.

*) Rodolphe Soreau: „Nomographie“. Paris 1921 (str. 16 i 62).