

Hoffmann, Marian

Rozwój zastosowań turbin wodnych Kaplana w Polsce

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 23/3-4, 681-692

1978

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Marian Hoffmann
(Warszawa)

ROZWÓJ ZASTOSOWAŃ TURBIN WODNYCH KAPLANA W POLSCE

Niedawno minęła setna rocznica urodzin (27 XI 1876 r.) wielkiego wynalazcy w dziedzinie turbin wodnych — profesora Wiktora Kaplana¹. Turbina przez niego wynaleziona opanowała dziś prawie całkowicie dziedzinę zastosowań turbin wodnych, wykorzystujących zasoby wodno-energetyczne o niskim i średnim spadzie wody (od 1 do ok. 30 m)², a to dzięki bardzo korzystnym jej cechom energetyczno-eksploatacyjnym, wyróżniającym się w stosunku do innych systemów turbin — największą szybkobieżnością³. Drugą bardzo istotną zaletą tej turbiny jest to, że przy napędzeniach częściowych, odbiegających od nominalnego — w odróżnieniu od turbiny Francisa i śmigłowej — pracuje ze znacznie większymi sprawnościami.

Pierwszy egzemplarz wyżej wymienionego nowego typu turbiny wodnej został uruchomiony w marcu 1919 r. w austriackiej miejscowości Velm dla napędu maszyn w tamtejszej fabryce włókienniczej⁴. Przeprowadzone na miejscu szczegółowe pomiary gwarancyjne stwierdziły bardzo wysoką sprawność (maksymalna wartość sprawności przy ok. 3/4 obciążenia turbiny wyniosła 86% i nie spadała poniżej 80% ani przy 1/3, ani przy pełnym obciążeniu. Wirnik turbiny w Velm posiadał średnicę 600 mm i charakteryzował się wyróżnikiem szybkobieżności $n_{sN} = 700$ —800 obr./min. Turbina ta była skonstruowana na spad $H = 3,00$ m, przepływ $Q = 0,7$ —1,1 m³/sek i miała maksymalną moc około 26 kW. W 1960 r. ten oryginalny prototyp turbiny Kaplana został zdemontowany — po przeszło 40-letniej nieprzerwanej pracy — i przekazany do Muzeum Techniki i Rzemiosła (Technische Museum für Industrie und Gewerbe) w Wiedniu⁵.

¹ Bliższe dane biograficzne i wspomnienia o pracy twórczej prof. Kaplana zawiera praca J. Slavíka zamieszczona w niniejszym numerze „Kwartalnika Historii Nauki i Techniki” s. 655.

² Obecnie znajdują się na świecie turbiny Kaplana skonstruowane na spadach powyżej 70 m, jak np. w elektrowni Orlik na Weitawie na spad maksymalny 71,50 m czy w elektrowni St. Martin na spad maksymalny 77,50 m, przy czym ta ostatnia jest turbiną Kaplana o wale poziomym.

³ Definicję i objaśnienia tej charakterystycznej cechy turbin wodnych zawiera praca J. Slavíka w niniejszym numerze „Kwartalnika Historii Nauki i Techniki”

⁴ J. Slavík: *U kolébky Kaplanovy turbíny*. Technické Muzeum v Berné. 1976 s. 116.

⁵ Tamże s. 117, przypis 16. Do niedawna ta pierwsza turbina Kaplana eksponowana była na specjalnym cokole przed głównym wejściem do Technische Museum für Industrie und Gewerbe w Wiedniu, lecz obecnie — ze względu na konieczność zabezpieczenia jej przed szkodliwym oddziaływaniem czynników atmosferycznych — została umieszczona wewnątrz budynku muzealnego.

Przy okazji wspomnianego na wstępie jubileuszu — obchodzonego na całym świecie pod patronatem UNESCO — wydaje się słuszne, aby dokonać obecnie przeglądu rozwoju zastosowań turbin Kaplana w Polsce, tym bardziej, że już w dziesięć lat po uruchomieniu turbiny w Velm zainstalowano dwie turbiny tego typu, na wysokie jak naówczas parametry, w pierwszej zbudowanej w Polsce po uzyskaniu niepodległości elektrowni wodnej w Żurze na rzece Wdzie.

Z bardzo dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że turbiny wodne typu Kaplana zainstalowane są obecnie wyłącznie w obiektach podległych resortowi energetyki i energii atomowej. Nieliczne już turbiny wodne — zarówno czynne, jak i nieczynne — które znajdują się dziś na terenie Polski poza wyżej wymienionym resortem, są najprawdopodobniej tylko typu Francis'a i nie wchodzą w zakres niniejszej pracy. Tak więc oparcie się na materiałach statystycznych i dokumentacji ruchowej, dostępnych w komórkach organizacyjnych podległych Ministerstwu Energetyki i Energii Atomowej, a obejmujących całą tzw. energetykę zawodową, pozwoli na dokonanie przeglądu rozwoju zastosowań turbin wodnych Kaplana w Polsce.

Wśród istniejących obecnie w energetyce zawodowej PRL 115 elektrowni wodnych turbiny Kaplana są zainstalowane wyłącznie lub razem z turbinami innych typów w 48 elektrowniach, przy czym do grupy turbin wodnych Kaplana zalicza się w niniejszej pracy:

A — klasyczne turbiny Kaplana z pionowym wałem i podwójną regulacją (przestawiane łopatki kierownicy oraz łopatki wirnika);

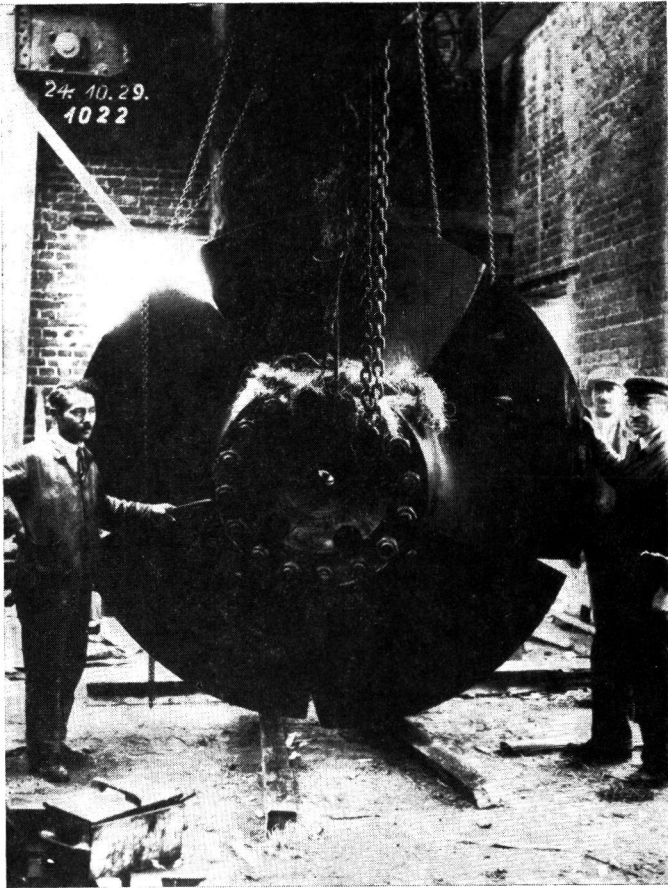
B — turbiny Kaplana z regulowanymi tylko łopatkami kierownicy, a stałymi łopatkami wirnika (tzw. turbiny śmigłowe);

C — turbiny Kaplana ze stałym — nieregulowanym — aparatem kierowniczym, lecz o przestawianych łopatkach wirnika;

D — turbiny rurowe, wyposażone w wirniki Kaplana.

Z całkowitej ilości 259 sztuk turbin wodnych — zainstalowanych w Polsce w energetyce zawodowej — turbiny Kaplana reprezentowane są przez 99 egzemplarzy, a więc stanowią 38,2% wszystkich turbin. Sumaryczna moc zainstalowana turbin Kaplana w Polsce wynosi 460 MW, co stanowi obecnie 55,7% całkowitej mocy zainstalowanej w zawodowych elektrowniach wodnych na terenie kraju. Wśród wspomnianych 99 turbin Kaplana znajduje się 11 sztuk odbiegających od klasycznego rozwiązania, określonego wyżej w punkcie A, a mianowicie 6 turbin posiada rozwiązanie rurowe — z czego dwie są produkcji krajowej — oraz 5 turbin w wykonaniu śmigłowym. Spośród klasycznych turbin Kaplana 3 egzemplarze są zainstalowane w tzw. układzie komory lewarowej. W tym miejscu należy jeszcze wspomnieć o jednej turbinie, jaka była zainstalowana w nieczynnej już elektrowni wodnej Lubachów II. Otóż w 1935 r. zainstalowano tu (przy wykorzystaniu budowli wodnych po starym młynie na rzece Bystrzycy) mały turbozespół wodny z turbiną Kaplana, lecz o wale poziomym, przy czym turbina ta — produkcji firmy Voith, Heidenheim — umieszczona była w otwartej betonowej komorze turbinowej i posiadała automatycznie sterowany aparat kierowniczy. Napędzała ona asynchroniczny generator o mocy 64 kW. Spad na turbinie wynosił 4,50 m.

Wspomina się o tym typie turbiny Kaplana z tego powodu, iż było to rozwiązanie wstępne, poprzedzające powstanie tzw. rozwiązania rurowego, które należy uznać za następny bardzo ważny krok rozwojowy



Ryc. 1. Zdjęcie wirnika turbiny Kaplana w elektrowni Żur, wykonane w czasie montażu w październiku 1929 r. (zbiory własne autora)

Рис. 1. Фотоснимок ротора турбины Каплянна на электростанции Жур сделан ввремя монтажа в октябре 1929 э. Собственная коллекция автора

Abb. 1. Aufnahme des Turbinenlaufrades von Kaplan im Kraftwerk Żur, gemacht während der Montage im Oktober 1929 (Eigensammlungen des Verfassers)

wodnych maszyn energetycznych, jaki nastąpił po wynalazku profesora Kaplana, o czym będzie jeszcze mowa w dalszej części tej pracy. Obecnie turbozespół z elektrowni Lubachów II po zdemontowaniu znajduje się wśród zbioru eksponatów gromadzonych przez energetykę zawodową dla wyposażenia przyszłego Muzeum Siłowni Wodnych, jakie Stowarzyszenie Elektryków Polskich postuluje utworzyć w Wielkim Młynie w Gdańsku⁶.

Pierwszą elektrownią wodną na terytorium Polski okresu międzywojennego — wyposażoną w turbiny Kaplana — była elektrownia Żur na rzece Wdzie, uruchomiona w grudniu 1929 r. Jednym z głównych jej zadań było zasilanie szybko rozwijającego się portu i miasta w Gdyni⁷.

W elektrowni tej zainstalowane są 2 turbiny Kaplana, każda na spad $H_n = 15,50$ m, przełyk $Q = 35,7$ m³/sek i moc $N = 4400$ kW przy obrotach $n = 250$ obr./min. Powyższe turbiny dostarczyła austriacka firma I. M. Voith w St. Pölten. Podówczas były to turbiny Kaplana na bardzo wysoki spad, tak, że w czasie budowy elektrowni żurskiej — należącej do przedsiębiorstwa elektryfikacyjnego Pomorska Elektrownia Krajowa „Gródek” SA w Toruniu — nadeszło zapytanie od pewnej południowo-amerykańskiej firmy elektryfikacyjnej, czy prawdą jest, że zakupione dla elektrowni Żur turbiny Kaplana będą pracować na spad ponad 10 m⁸. Tę śmiałą decyzję zastosowania najnowocześniejszej techniki, jaką w hydroenergetyce ówczesnej reprezentowały turbiny Kaplana, w nowo budowanej i największej do 1939 r. elektrowni wodnej w Polsce, podjął założyciel i dyrektor PEK „Gródek” prof. mgr inż. A. Hoffmann, pod którego kierunkiem opracowano cały projekt elektrowni w Żurze, realizując go następnie w rekordowym czasie — nawet jak na europejskie stosunki — tj. w 16 miesięcy. Głównym konsultantem i doradcą w zakresie budowl wodnych tej elektrowni był prof. dr inż. Karol Pomianowski z Politechniki Warszawskiej⁹.

Przed podpisaniem kontraktu na dostawę omawianych turbin wykonane zostały w laboratorium hydraulicznym firmy Voith pełne pomiary modelowe w obecności prof. A. Hoffmanna¹⁰.

Powyższe turbiny — sprzęgnięte z pionowymi generatorami firmy szwedzkiej ASEA, każdy o mocy 4400 kVA — pracują nienagannie do chwili obecnej, a więc prawie już 50 lat.

Przeprowadzone w 1930 r. pomiary gwarancyjne w elektrowni Żur¹¹ wykazały bardzo wysokie sprawności tych turbin — znacznie przekraczające wielkości gwarantowane przez dostawcę: pomierzona maksymalna wartość (przy obciążeniu turbiny 70%) wynosiła 92,2%.

⁶ M. Hoffmann: *Projekt utworzenia Muzeum Siłowni Wodnych w Wielkim Młynie w Gdańsku wraz z założeniami programowo-technicznymi*. Zarząd Główny Stowarzyszenia Elektryków Polskich, kwiecień 1974 r. (maszynopis).

⁷ W dniu uruchomienia zakładu wodnego w Żurze. „Przegląd Elektrotechniczny” 1930 nr 4 s. 73—91.

⁸ A. Hoffmann: *Pomiary turbozespołów elektrowni Żur*. Cz. I. — *Pomiary elektryczne prądnic*. Załącznik 12 s. 1 — Politechnika Gdańska 1956 (niepublikowane, egzemplarz maszynopisu znajduje się w Archiwum Zakładów Energetycznych Okręgu Północnego, Bydgoszcz).

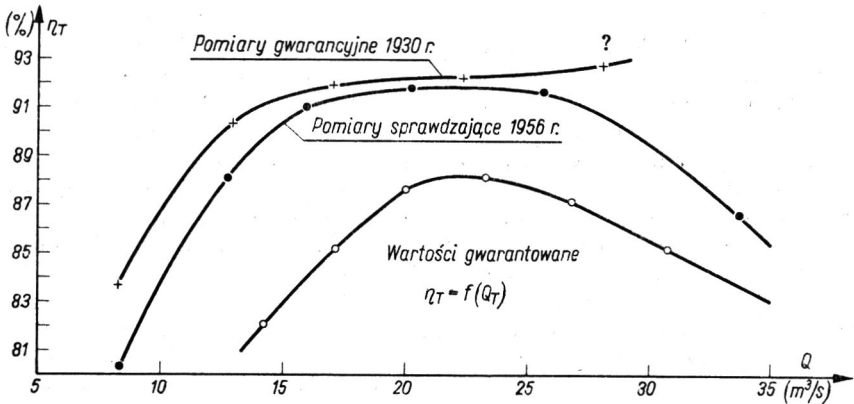
⁹ Należy tu przypomnieć, że prof. K. Pomianowski jest autorem większości projektów lokalizacyjnych dla elektrowni wodnych w Polsce i dlatego należałoby poświęcić specjalne opracowanie jego owocnej działalności jako inżyniera i pedagoga.

¹⁰ Patrz przypis 8.

¹¹ S. Gieszczykiewicz: *Próby odbiorcze turbin Kaplana w Żurze*. „Przegląd Elektrotechniczny” 1931 nr 11 s. 346—356.

Pomiary sprawdzające — przeprowadzone pod kierunkiem prof. A. Hoffmanna przez zespół naukowców Politechniki Gdańskiej w 1956 r. — a więc po 26 latach nieprzerwanej pracy — wykazały, że ta sama turbina, dla identycznego przelotyku i przy tym samym spadzie, przy jakim dokonano pomiarów w 1930 r., wykazuje sprawność 91,6%, czyli że obniżenie sprawności po 26 latach pracy wynosi zaledwie 0,6%. Przewiduje się powtórzenie pomiarów sprawdzających po upływie 50 lat eksploatacji obu turbozespołów w elektrowni wodnej w Żurze. Pomiary te najprawdopodobniej potwierdzą ich dalszą wysoką sprawność.

Zestawienie sprawności, gwarantowanych przez firmę Voith, z wartościami uzyskanymi przy pomiarach odbiorczych w 1930 r. oraz przy pomiarach sprawdzających przeprowadzonych w 1956 r. zawiera rys. 2.



Ryc. 2. Wykres sprawności gwarantowanych przez firmę Voith oraz pomierzonych w 1930 r. (pomiarów gwarancyjnych) i w 1956 r. (sprawdzających), przeprowadzone na turbinie „B” w El. Żur (rys. autora)

Рис. 2. Диаграмма эффективностей гарантированных фирмой Воит а также измеренных в 1930 э. (гарантийные измерения) и в 1956 э. (проверочные) выполнены на турбине „Б” в электростанции Жур (рис. автора)

Abb. 2. Diagramm des durch die Firma Voith garantierten und an der Turbine „B” im Kraftwerk Zur abgemessenen Wirkungsgrades. Die Messungen wurden in den Jahren 1930 (Garantiemessungen) und 1956 (Kontrollmessungen) durchgeführt. (Zeichnung des Verfassers)

Następną elektrownią wodną w Polsce — wyposażoną w turbiny Kaplana — była elektrownia w Rożnowie, której budowę rozpoczęto w 1936 r., a uruchomienie nastąpiło już w czasie II wojny światowej. Zainstalowano w niej 4 turbozespoły z turbinami Kaplana. Każda o mocy 12900 kW na spad maksymalny 31 m i o przelotyku nominalnym $Q_T = 50 m^3/sek$. Turbiny powyższe zostały wyprodukowane w latach 1938—1939 przez firmę Escher Wyss w Ravensburgu. Także i te turbiny typu Kaplana pracują nienagannie do dnia dzisiejszego.

Pierwszą elektrownią wodną na terenach Ziemi Odzyskanych, w której zainstalowano rozpatrywany typ turbin, była elektrownia Bledzew na rzece Obrze, w której już w 1923 r. zainstalowano trzy turbozespoły, z tym że dwa posiadają turbiny śmigłowe — każdy o mocy 350 kW, a jedna także pionowa jest typową turbiną Kaplana z podwójną regu-

lacją — tzn. z regulowanymi łopatkami kierownicy i wirnika. Jej moc wynosi 630 kW. Powyższe turbiny pochodzą z firmy Escher Wyss w Ravensburgu.

Porównując termin produkcji tych turbin (prawdopodobnie 1923 r.)¹² z rokiem wyprodukowania prototypowej turbiny Kaplana w Velm, można stwierdzić, że były to jedne z pierwszych egzemplarzy turbin typu Kaplana dostarczonych dla elektrowni wodnych. Bardzo charakterystyczne jest w powyższej elektrowni zestawienie dwóch turbin śmigłowych i jednej klasycznej kaplanowskiej z podwójną regulacją, z czego widać, że projektanci elektrowni wodnych już na samym początku kariery turbin Kaplana widzieli korzyści ekonomiczne wypływające z zastosowania równoczesnego w jednej elektrowni prostszych — a więc i tańszych — turbin śmigłowych z turbinami Kaplana, które przejmowały rolę jednostek mogących regulować obciążenie z dużą sprawnością, podczas gdy turbiny śmigłowe pracowały przy optymalnym swym obciążeniu.

Drugą z kolei elektrownią wodną na Ziemiach Odzyskanych, w której zainstalowano turbinę Kaplana była elektrownia w Gubinie na Nysie Łużyckiej. W elektrowni tej, która powstała w 1910 r. i pierwotnie wyposażona była w turbiny Francisa, doinstalowano w 1927 r. jeden turbozespół z pionową turbiną śmigłową sprzężoną bezpośrednio z nietypowym generatorem prądu przemiennego 6-fazowym, przeznaczonym do współpracy z prostownikami rtęciowymi dla zasilania miejskiej sieci prądu stałego. Turbinę dostarczyła firma Escher Wyss w Ravensburgu. Jej przepływ nominalny wynosi $Q = 8,0 \text{ m}^3/\text{sek}$, spad $H = 4,50 \text{ m}$, a moc $N = 310 \text{ kW}$. Dla pełnego scharakteryzowania ewolucji wyposażenia elektrowni gubińskiej należy dodać, że w 1970 r. w miejsce 2 całkowicie wyeksploatowanych turbozespołów z turbinami Francisa zainstalowano dwa nowe turbozespoły krajowe, każdy składający się z turbiny Kaplana na spad $H = 4,40 \text{ m}$, przepływ $Q = 10,2 \text{ m}^3/\text{sek}$ i moc $N = 400 \text{ kW}$. Turbiny te wyprodukowała Stocznia Marynarki Wojennej w Gdyni, a współpracujące z nimi generatory — zakłady „DOLMEL” we Wrocławiu.

W celu obniżenia kosztów produkcji turbin, wykonano je z łopatkami wirnika przestawianymi ręcznie.

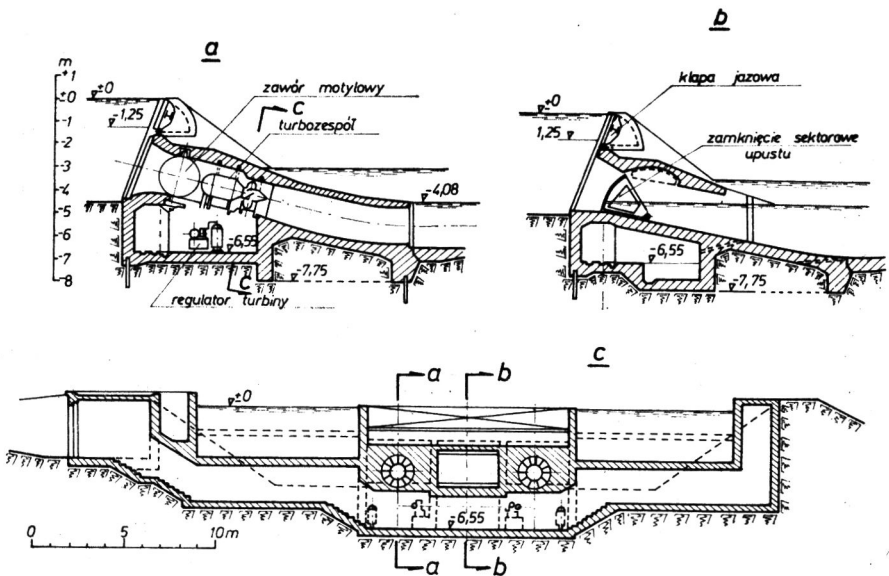
Kolejną elektrownią wodną na Ziemiach Odzyskanych wyposażoną w turbiny Kaplana, tym razem zlokalizowaną na Dolnym Śląsku, na rzece Bóbr, jest elektrownia wodna Wrzeszczyn, uruchomiona w 1927 r. Obie turbiny tej elektrowni dostarczone przez firmę Voith z Heidenheimu pracują przy spadzie nominalnym $H = 15 \text{ m}$, z tym, że jedna z nich posiada przepływ nominalny $Q = 26 \text{ m}^3/\text{sek}$. dając moc $N = 3010 \text{ kW}$, a dla drugiej powyższe parametry wynoszą $Q = 11,8 \text{ m}^3/\text{sek}$. i $N = 1370 \text{ kW}$.

Dla terenu Ziemi Odzyskanych w rozważanym problemie istotne znaczenie miał rok 1936, w którym zostały przekazane do eksploatacji dwa bardzo ciekawe obiekty, a mianowicie elektrownia wodna Dychów na rzece Bóbr oraz elektrownia wodna Rościno. W Dychowie zbudowano elektrownię szczytową z członem pompowym. Elektrownia w Dychowie jest pierwszą tego typu włączoną po odbudowie w 1951 r. do krajowego systemu elektroenergetycznego. Przez długi okres była to największa elektrownia wodna w Polsce z mocą 79500 kW¹³. Elektrownia Dychów

¹² Na skutek zaginięcia w 1945 r. dokumentacji technicznej tej elektrowni jak i tabliczek znamionowych na maszynach, trudne jest ścisłe i pewne określenie roku ich produkcji. Przyjęto rok 1923 w oparciu o datę widniejącą na tabliczce znamionowej jednego z generatorów.

została wyposażona w 3 turbozespoły z turbinami Kaplana, pierwotnie każda o mocy 25000 kW, przy spadzie $H = 30$ m. Elektrownia ta jest jeśli nie jedyną, to w każdym bądź razie jedną z nielicznych na świecie elektrowni pompowych, posiadającą turbiny Kaplana i osobny człon pompowy, który w roku jej uruchomienia składał się z 2-ch pomp akumulacyjnych z indywidualnymi silnikami napędowymi, każdy o mocy 5200 kW. Dwie turbiny dla tej elektrowni oraz obie pompy akumulacyjne dostarczyła firma Escher Wyss, Ravensburg, a trzecią turbinę firma Voith, Heidenheim¹⁴.

Drugą znaną elektrownią wodną z turbinami Kaplana, jaką uruchomiono w 1936 r. na terenie Ziemi Odzyskanych, była elektrownia Rościno, na rzecz Parsęcie, koło Białogardu. Jest to pierwsza na świecie elektrownia z turbinami rurowymi, a przy tym tzw. typu „podwodnego”, w którym przelew jałowy wody odbywa się po „dachy” elektrowni (ryc. 3).



Ryc. 3. Pierwsza na świecie elektrownia typu „podwodnego” z turbinami rurowymi w Rościniu na rzece Parsęcie. a — przekrój pionowy elektrowni przez turbosespół; b — przekrój przez upust jałowy jazu; c — przekrój pionowy podłużny przez jaz i elektrownię (rys. autora)

Рис. 3. Первая в мире гидроэлектростанция типа „подводного” в прямоточными турбинами в Росцино на реке Парсеус. а — вертикальный разрез электростанции по турбогенератору; б — разрез по холостому жаукопсов дпын вейба ливны—»рк; илт пропольный разрез по плотине и электростанции (рис. автора)

Abb. 3. Das erste in der Welt sog. Unterwasserkraftwerk mit Rohrturbinen in Rościno am Fluss Parsęta. a — Vertikalschnitt des Kraftwerkes durch den Turbosatz; b — Schnitt durch den Grundablass des Wehres; c — Vertikal — und Längsschnitt durch das Wehr und das Kraftwerk (Zeichnung des Verfassers)

¹⁴ Prymat tej elektrowni skończył się w 1968 r., w momencie uruchomienia elektrowni Solina o mocy 136 000 kW, będącej także elektrownią szczytową z członem pompowym, który stanowiły dwie turbiny odwracalne Francisa, każda o mo-

Turbina rurowa jest pierwszą modyfikacją turbiny Kaplana polegającą na tym, że wirnik Kaplana umieszczony jest w poziomej lub pochylonej rurze, a generator znajduje się na ogół w opływanej przez wodę stalowej lub żelbetowej „gruszce”, co obrazuje przekrój „a” na ryc. 3. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano kilka ulepszeń, a mianowicie:

— wzrost sprawności turbiny o ok. 2—3% (przy maksymalnym przepłyku) na skutek prawie prostoliniowego przepływu wody z górnego do dolnego stanowiska elektrowni;

— zwiększenie wyróżnika szybkobieżności turbiny o ok. 30% w stosunku do rozwiązania klasycznego z pionowym wałem i spiralą turbinową na doprowadzeniu wody do turbiny;

— zmniejszenie objętości betonów elektrowni wraz z ich daleko idącym uproszczeniem. Obniżenie kosztów budowy elektrowni z turbinami rurowymi w stosunku do klasycznych turbin określane jest na ok. 12—15%.

Autorem koncepcji rozwiązania elektrowni Rościno był inż. Arno Fischer, z którym ściśle współpracowała w zakresie rozwiązania turbozespołu w układzie rurowym firma Escher Wyss¹⁵.

Obie zainstalowane w powyższej elektrowni turbiny rurowe dostarczone przez wspomnianą firmę posiadały moc nominalną po 195 kW, przy spadzie $H = 3,75$ m i przepłyku $Q_T = 6,30$ m³/sek. W opływanej przez wodę „gruszcę” stalowej zainstalowany był generator asynchroniczny — sprzężony bezpośrednio z wirnikiem turbiny oraz serwowator dla hydraulicznego przestawiania łopatek wirnika. Turbiny te nie posiadały regulowanej kierownicy. Dla odcinania dopływu wody do turbin, przed ich wlotem zainstalowano zawory motylowe. Sposób rozwiązania turbozespołów pokazano na ryc. 3 i 4.

Turbozespoły te na skutek poważnych błędów konstrukcyjnych generatorów (źle rozwiązana wentylacja) oraz dławnic uszczelniających wał turbiny, nigdy nie osiągnęły większej mocy niż 130 kW. Na skutek częstych awarii obu turbozespołów¹⁶ i przeciągających się remontów dyspozycyjność tej elektrowni była bardzo niska.

Przeprowadzone po wojnie badania turbozespołów tej elektrowni, a w szczególności jej generatorów¹⁷, doprowadziły do wniosku, iż konieczne są daleko idące zmiany konstrukcyjne pierwotnych turbozespołów. Po znacznych przeróbkach konstrukcyjnych — zaprojektowanych przez Zakład Turbin Wodnych i Pomp Politechniki Gdańskiej — elektrownia ta została wyposażona w nowe turbozespoły, w których generatory wyniesiono poza „gruszkę”, realizując ich napęd przy pomocy pasów klinowych. W nowym rozwiązaniu — dla którego turbiny wykonała Stocznia Marynarki Wojennej w Gdyni — elektrownię uruchomiono ponownie w 1976 r.

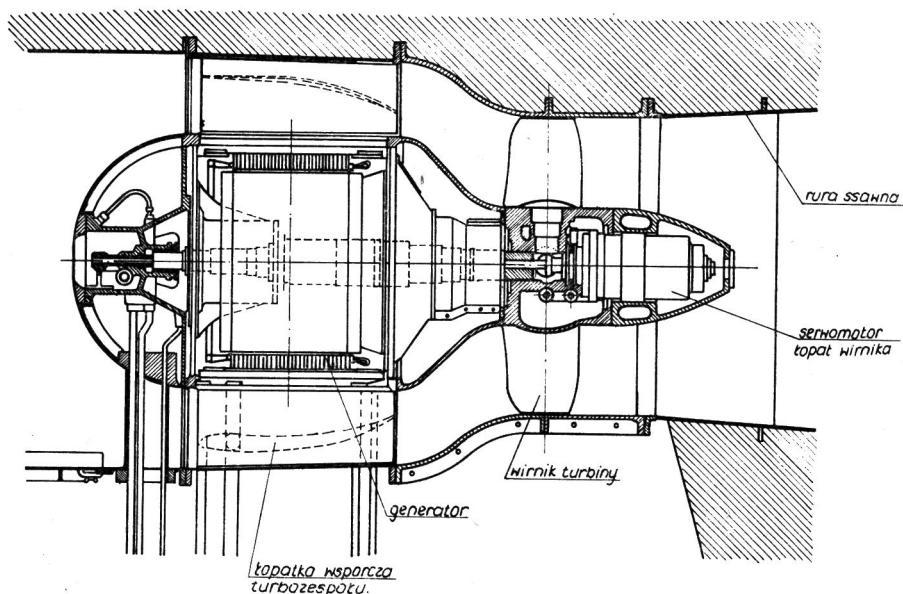
cy 21 000 kW, będące zarazem pierwszymi pompoturbinami zainstalowanymi w całym bloku państw socjalistycznych.

¹⁴ Ponieważ urządzenia elektromechaniczne tej elektrowni zostały w 1945 r. zdemontowane, dlatego po wojnie, w 1951 r. elektrownię uruchomiono ponownie, po wyposażeniu jej w nowe urządzenia dostarczone przez fabrykę LMZ w Leningradzie. Przy tej okazji zwiększono sumaryczną moc elektrowni do 79 500 kW. Wszystkie turbiny są także turbinami Kaplana.

¹⁵ O. V a s : *Über das Unterwasserkraftwerk*. Wien 1947 s. 33.

¹⁶ Tamże s. 29—31.

¹⁷ Ekspertyzę i badania turbozespołów elektrowni wodnej Rościno przeprowadziła grupa ekspertów z Politechniki Gdańskiej pod kierunkiem prof. W. Hellmanna w 1956 r.



Ryc. 4. Przekrój przez pierwszy na świecie turbosespół wodny rurowy w elektrowni Rościno. Turbina firmy Escher Wyss-Ravensburg, generator firmy Sachsenwerk (kopia rysunku firmy Escher Wyss)

Рис. 4. Разрез по первому в мире гидротурбинному прямоточному агрегату на электростанции Расьтино. Турбина фирмы Эшер Висс-Равенсбург, генератор фирмы Сашинверк (копия рисунка фирмы Эшер Висс)

Abb. 4. Schnitt durch den ersten in der Welt Turbosatz in der Rohrausführung (Kraftwerk Rościno). Die Turbine wurde durch die Firma Escher Wyss — Ravensburg und der Generator durch die Firma Sachsenwerk hergestellt. (Kopie der Zeichnungen der Firma Escher-Wyss)

Mimo szeregu publikacji¹⁸, jak np. wymienione w przypisie 18, zwalczających w pierwszych latach po wojnie koncepcje Arno Fischera, trzeba jednoznacznie stwierdzić, że jego inicjatywie oraz badaniom prowadzonym przez firmę Escher Wyss w Ravensburgu i Zurichu światowa hydroenergetyka zawdzięcza dalszy rozwój turbin Kaplana w postaci rozwiązania rurowego, co walenie przyczyniło się do jeszcze szerszego wykorzystywania zasobów wodnoenergetycznych przy bardzo niskich spadach m.in. przy wykorzystywaniu pływów morskich.

Pierwszą nową elektrownią wodną, uruchomioną po II wojnie światowej w Polsce, w której zastosowano turbiny Kaplana, jest elektrownia Czchów na Dunajcu, będąca obiektem wyrównawczym dla wyżej położonej elektrowni szczytowej w Rożnowie. W elektrowni Czchów pierwszy turbosespół uruchomiono w 1951 r. Turbinę wodną Kaplana o mocy 4200 kW dostarczyła dla tego turbosespołu firma I. M. Voith z St. Pölten w Austrii, będąca — jak to już wcześniej omówiono — dostawcą dwóch pierwszych turbin Kaplana dla największej elektrowni wodnej, zbud-

¹⁸ Por. wyżej przypis 15 oraz H. F. C a n a a n: *Das Unterwasserkraftwerk und die Unterwasserturbine Bauweise Arno Fischer*. Heidenheim 1945.

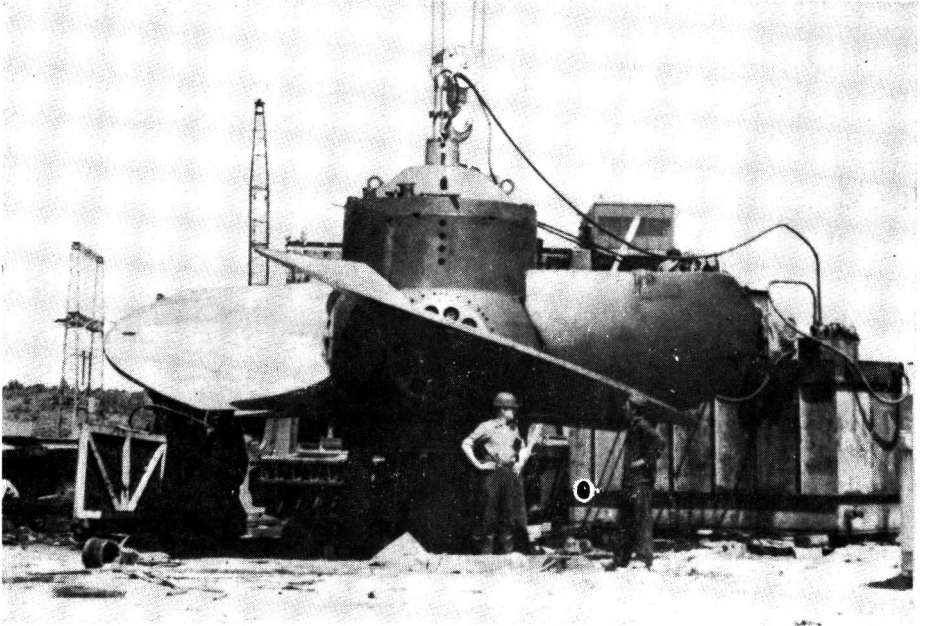
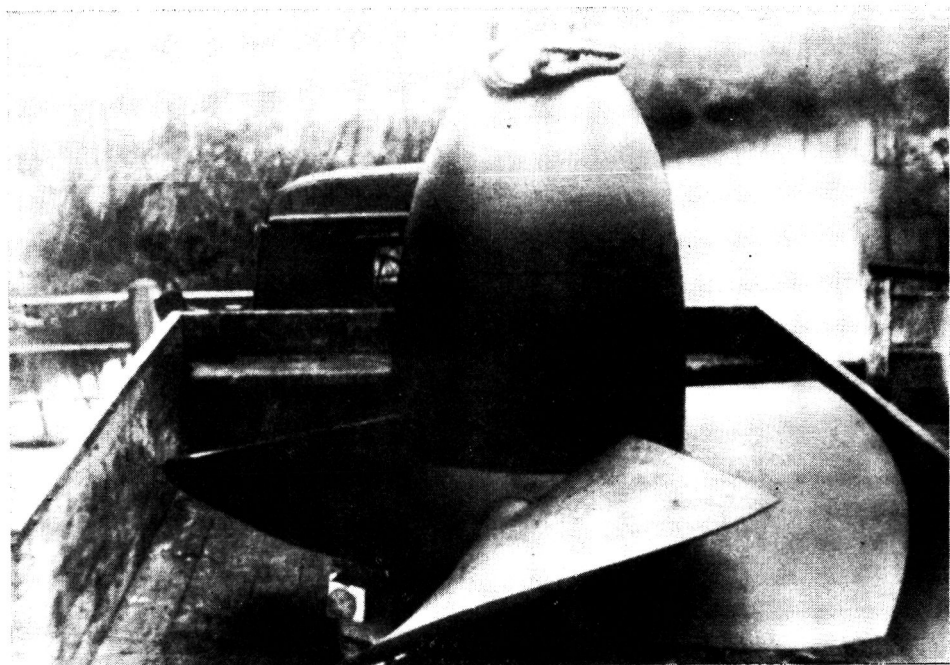


Рис. 5. Widok wirnika turbiny Kaplana we Włocławku w czasie montażu.
(Zbiory archiwum Hydroprojektu Warszawa).

Рис. 5. Вид ротора Катур бинупляна в э. Влоцлавке во время монтажа (архивные материалы
Гидропроекта в Варшаве)

Abb. 5. Ansicht des Turbinenlaufrades von Kaplan im Kraftwerk Włocławek
während der Montage. (Archivsammungen von „Hydroprojekt“ in Warszawa)





Ryc. 6. Wirnik pierwszej wyprodukowanej w kraju turbiny Kaplana dla elektrowni wodnej Kuźnice na Raduni, wykonany przez Zakłady Mechaniczne ZAMECH w Elblągu (widok wirnika ustawionego na ciężarówce przy odwróceniu o 180°). Zbiory archiwalne Zakładu Turbin Wodnych i Pomp Politechniki Gdańskiej)

Рис. 6. Ротор первой выпущенной в стране турбины Капляна для гидроэлектростанции Кузнице на реке Радуня произведенный Механическим заводом ЗАМЕХ в э. Эльбьёнг (вид ротора помещенного на грузовой автомашине при обращении на 180°). (архивные материалы завода гидротурбин и насосов Гданьского Политехнического института)

Abb. 6. Laufrad der erstmals in Polen durch ZAMECH in Elbląg für das Wasserkraftwerk Kuźnice am Fluss Radunia hergestellten Kaplan turbine. (Ansicht des Laufrades ,das auf einem Lastkraftwagen bei der Umkehrung um 180° steht.) (Archivsammlungen von Zakład Turbin Wodnych i Pomp an der Technischen Hochschule in Gdańsk.)

wanej w okresie międzywojennym na terenach Polski w Żurze. W 1951 r. uruchomiono jeszcze 2 turbiny Kaplana — produkcji LMZ z Lelingradu — w odbudowanej elektrowni Dychów, każda o mocy 27900 kW, a w 1953 r. ruszyły 2 turbiny Kaplana o mocy po 6000 kW — produkcji firmy I. M. Voith, St. Pölten — w elektrowni wodnej wybudowanej przy istniejącej od 1936 r. zaporze w Porąbce na rzece Sole. Spośród uruchomionych w następnych latach większych elektrowni wodnych z turbinami Kaplana należy wymienić elektrownię Wały na Odrze (1958 r.) z czterema turbinami po 2400 kW, Koronowo (1960 r.) z dwiema jednostkami turbinowymi o mocy po 13000 kW¹⁹, Myczkowce (1961 r.) z dwiema turbinami o mocy po 4150 kW i elektrownię Dębe na Narwi pod Warszawą, w której cztery turbozespoły o łącznej mocy 20000 kW zostały uruchomione w 1963 r. Najpoważniejszym osiągnięciem krajowej hydroenergetyki w zakresie zastosowania bardzo dużych turbin Kaplana była realizacja pierwszej elektrowni wodnej na Dolnej Wiśle we Włocławku²⁰. Jej uruchomienie odbyło się w 1970 r.

W elektrowni we Włocławku zainstalowanych jest 6 największych — jak dotychczas — turbin Kaplana w Polsce, każda o mocy 27 MW i przepłyku 365 m³/sek. Spad nominalny tych turbin wynosi 8,80 m (maksymalny — 12,70 m). Wirniki turbin Kaplana elektrowni włocławskiej — dostarczone przez Charkowską Fabrykę Turbin Wodnych — posiadają średnicę 8,00 m i ciężar 126 t. Widok takiego wirnika przedstawiono na ryc. 5. Generatory do powyższych turbin pochodzą z Uralskiej Fabryki Maszyn Ciężkich w Świerdłowsku.

W 1961 r. następuje uruchomienie pierwszej całkowicie zaprojektowanej i wykonanej w kraju turbiny Kaplana — w rozwiązaniu śmigłowym — w elektrowni wodnej w Kuźnicach na rzece Raduni koło Gdańska. Wirnik tej turbiny przedstawiono na ryc. 6. Turbinę tę zainstalowano w ramach modernizacji elektrowni kuźnickiej, zastępując nią starą, wyeksploatowaną turbinę Francisa. Tę nową turbinę dla elektrowni w Kuźnicach skonstruowano w Zakładzie Turbin Wodnych i Pomp Politechniki Gdańskiej pod kierunkiem prof. dr inż. W. Krzyżanowskiego, a następnie przebadano ją modelowo w laboratorium hydraulicznym tegoż zakładu. Jej parametry podano w załączonej tabeli 4, obejmującej zestawienie wszystkich dotychczas zaprojektowanych i wykonanych w kraju turbin Kaplana. Model turbiny kuźnickiej — bardzo udany — został następnie powtórzony w elektrowniach Stocki Młyn i Gubin. Poza tym Stocznia Marynarki Wojennej w Gdyni wyprodukowała dwie turbiny rurowe dla zrekonstruowanej elektrowni wodnej w Rościnnie.

Poza elektrownią Rościno znajdują się jeszcze na terenie kraju dwie elektrownie wodne wyposażone w turbiny rurowe, a mianowicie elektrownia wodna Głębinów na Nysie Kłodzkiej z dwoma turbozespołami i elektrownia wodna Smardzewice na Pilicy, także z dwoma turbozespołami rurowymi. Każdy z tych turbozespołów ma moc 1700 kW, a wszystkie zostały wyprodukowane przez firmę GANZ-MAVAG w Budapeszcie.

Fakt wyprodukowania wymienionych turbin Kaplana trzeba podkreślić dlatego, że na ogół panuje przekonanie, iż turbin wodnych w ogóle nie

¹⁹ Jest to zrealizowanie projektu elektrowni wodnej, opracowanego jeszcze przed wojną przez prof. K. Pomianowskiego i prof. A. Hoffmanna.

²⁰ S. Cicholski i B. Rudnicki: *Perspektywy energetycznego wykorzystania dolnej Wisły na tle doświadczeń eksploatacyjnych elektrowni wodnej Włocławek*. „Energetyka” 1976 nr 9 s. 298.

Zestawienie turbin Kaplana wykonanych w Polsce

Nazwa elektrowni rzeka	Spad. nomin. (m)	Przełyk maksym. (m ³ /sek)	Ilość turbin (szt.)	Moc turbin (kW)	Rok uruchomienia	Średnica wirnika (m)	Producent/Uwagi
Kuźnice Radunia	1,00	10,5	1	360	1961	1,80	Zamech, Elbląg i Radomska Fabryka Maszyn (śmigłowa)
Stocki Młyn Wierzyca	4,60	10,0	1	360	1964	1,80	Stocznia Marynarki Wojennej
Gubin Nysa Kłodzka	4,40	10,2	2	400	1970	1,80	Stocznia Marynarki Wojennej
Rościno Parsęta	3,75	7,0	2	150	1976	1,30	Stocznia Marynarki Wojennej (rurowa)

produkowano w Polsce. A przecież poza wymienionymi w tabeli turbinami Kaplana wyprodukowano u nas w okresie powojennym dla samej tylko energetyki zawodowej wiele turbin wodnych typu Francisa, które pochodziły z Fabryki Maszyn w Radomsku, będącej kontynuacją przedwojennej firmy A. Kryzel i J. Wojakowski — Fabryka Maszyn i Odlewów Żelaza w Radomsku, która produkowała do 1939 r. turbiny wodne typu Francisa dla młynów i tartaków.

M. Хоффманн

РАЗВИТИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОТУРБИН КАПЛЯНА В ПОЛЬШЕ

В связи с недавно отмеченной во всём мире, под опекой ЮНЕСКО, сотой годовщиной со дня рождения проф. Виктора Капляна было признано целесообразным совершить просмотр развития применения гидротурбины Капляна на территории Польши. Турбина изобретения проф. Капляна характерна значительно высшей быстроходностью по сравнению с известными до сих пор типами гидротурбин, овладела почти полностью область использования низких и средних напоров воды для энергетических целей.

На территории Польши вероятно все турбины Капляна эксплуатируют на электростанциях подведомственных Министерству энергетики и атомной энергии. Среди 115 гидроэлектростанций, подведомственных этому министерству, на 48 электростанциях работают турбины Капляна, которых всего 99 экземпляров, и они составляют 38,2% всех гидротурбин. Общая мощность этого типа турбин составляет 460 Мвт. От классического решения отличается 11 экземпляров, среди которых находятся 5 пропеллерных турбин и 6 прямоточных турбин. Три классические турбины Капляна установлены в системе сифонной камеры. Первые две турбины Капляна в междувоенный период были установлены в Польше на электростанции Жур на реке Вда (Voith St. Polten) в 1929 году, каждая из них мощностью 4400 Квт при напоре 15,50 м. Самый высокий коэффициент полезного действия, измерен в 1930 г., составлял 92,2%, а по истечении 26 лет эксплуатация снизилась всего лишь на 0,6%. Второй электростанцией с турбинами Капляна в Польше является гидроэлектростанция Рожнув на реке

Дунаец с 4 турбинами мощностью 12900 Квт каждая (Escher Wyss Ravensburg). Самыми старыми турбинами Капляна на территории западного района Польши являются три турбины на гидроэлектростанции Вледзев на реке Одре, из которых одна является классической турбиной Капляна мощностью 620 Квт, а две остальные — это пропеллерные турбины мощностью 350 Квт каждая. Эти турбины производства фирмы Эшер Высс с Равенсбурга и вероятно их пустили в ход в 1923 г. Эта самая фирма поставила в 1927 году одну пропеллерную турбину для электростанции Губин на реке Ныса Лужицка мощностью 310 Квт. В 1931 году были пущены в ход первыми в мире две прямоточные турбины (195 Квт каждая) в т.н. подводной электростанции Ростино на реке Парсента, построенной по проекту инженера Арно Фишера. Турбины тоже поставила вышеуказанная фирма. Эти турбоагрегаты вследствие дефектов типа „детской болезни” имели очень низкую управляющую способность и в последнее время были заменены новыми, в которых генераторы помещены вне „груши” и их приводят в движение клиновыми ремнями.

Благодаря инициативе инж. А. Фишера и испытаниям фирмы Эшер Высс образовался новый вариант турбины Капляна — прямоточная турбина, которая позволяет в ещё более широких пределах эффективно использовать низкие напоры воды.

После войны первая турбина Капляна была установлена в Польше на электростанции Чхув в 1951 г. (Voith St. Polten) и в этом же году на электростанции Дыхув 2 турбины мощностью 279 Квт (ДМЗ Ленинград), а потом на электростанциях Поромбка, Валы, Мычковце и Дембе. В 1970 г. были пущены в ход самые большие в Польше турбины Капляна (6×27000 Квт) на электростанции Влоцлавек на реке Висла (Харьковская фабрика гидротурбин) с роторами диаметром 8 м. Первая турбина Капляна в Польше была выпущена в 1961 году для электростанции Кузнице мощностью 360 Квт (ЗАМЕХ Эльблэнг). В целом в настоящее время работает 6 турбин Капляна польского производства.

M. Hoffmann

ENTWICKLUNG DER ANWENDUNGEN VON KAPLANWASSERTURBINEN IN POLEN

Im Zusammenhang mit der unlängst unter Patronanz der UNESCO in der ganzen Welt gefeierten hundertsten Wiederkehr des Geburtstages von Professor Viktor Kaplan hatte manes für richtig gehalten, eine Übersicht über die Entwicklung der Anwendungen von Kaplanwasserturbinen auf dem Gebiet der VR Polen zu geben.

Die von Professor Kaplan erfundene Turbine, die sich von den bisher bekannten Wasserturbinen durch eine weitaus höhere Schnellläufigkeit auszeichnete, hatte sich im Bereich der Ausnützung kleiner und mittlerer Gefälle für energietechnische Zwecke fast vollständig durchgesetzt.

Auf dem Gebiet Polens werden höchstwahrscheinlich alle Kaplanturbinen in den Kraftwerken ausgenutzt, die dem Ministerium für Energetik und Atomenergie unterstellt sind. Unter 115 diesem Ministerium unterstellten Wasserkraftwerken arbeiten in 48 Kraftwerken die Turbinen von Kaplan. Es gibt insgesamt 99 Exemplare von diesen Turbinen, was 38,2% aller Wasserturbinen ergibt. Die Gesamtleistung dieser Turbinentypen beträgt 460 MW. Von der typischen Ausführung weichen 11 Exemplare ab, unter denen es 5 Propeller — und 6 Rohrturbinen gibt. Drei von den Kaplanturbinen typischer Ausführung sind in einer Heberanordnung installiert. Die ersten zwei Kaplanurbinen, jede von 4.400 kW Leistung, bei einem Gefälle von 15,50 m, wurden in der Vorkriegszeit und genau im Jahre 1929 im Kraftwerk Żur am Fluss Wda (Voith St. Polten) eingesetzt. Ihr höchster, im Jahre 1930 gemessener Wirkungsgrad betrug 92,2% und nach 26 Jahren Betriebsdauer ist

er nur um knapp 0,6% gesunken. Das zweite Kraftwerk mit Kaplan-turbinen liegt am Fluss Dunajec — es ist das Kraftwerk Roźnów mit 4 Turbinen mit einer Leistung von je 12 900 kW (Escher Wyss Ravensburg). Die ältesten Kaplan-turbinen auf den Wiedergewonnenen Gebieten in Polen sind 3 Turbinen im Wasserkraftwerk Bledzew am Fluss Obra, von denen die erste eine Turbine typischer Ausführung von 630 kW Leistung ist und die übrigen zwei — Propellerturbinen von einer Leistung je 350 kW.

Diese Turbinen wurden durch die Firma Escher Wyss in Ravensburg hergestellt und höchstwahrscheinlich im Jahre 1923 in Betrieb gesetzt. Dieselbe Firma lieferte 1927 eine Propellerturbine von 310 kW Leistung an das Kraftwerk Gubin am Fluss Nysa Łużycka. Im Jahre 1936 wurden zum ersten Mal in der Welt zwei Rohrturbinen (von je 195 kW) in dem sog. Unterwasserkraftwerk Rościno am Fluss Parsęta in Betrieb gesetzt. Dieses Kraftwerk projektierte Ing. Arno Fischer und die Turbinen lieferte ebenfalls die oben erwähnte Firma. Infolge der durch die „Kinderkrankheiten“ verursachten Fehler haben diese Turbosätze einen niedrigen Verfügungsgrad aufgewiesen und wurden in der letzten Zeit gegen neue ausgetauscht, in denen die Generatoren ausser der „Birne“ angebracht wurden und von Keilriemen angetrieben werden. Auf Anregung von Ing. A. Fischer und dank der Forschungen der Firma Escher Wyss entstand eine neue Variante der Kaplan-turbine — die Rohrturbine, welche Wasserkräfte mit kleinen Gefällen in noch grösserem Umfang ökonomisch auszunutzen ermöglichte.

Die erste Kaplan-turbine in Polen nach dem Krieg wurde im Kraftwerk Czchów im Jahre 1951 installiert (Voith, St. Pölten). Noch in demselben Jahr wurden 2 Turbinen mit einer Leistung von je 27 900 kW (LMZ, Leningrad) im Kraftwerk Dychów und etwas später die nächsten Turbinen in den Kraftwerken Porąbka, Wały, Myczkowce und Dębe eingesetzt.

Im Jahre 1970 wurden die in Polen grössten Kaplan-turbinen ($6 \times 27\,000$ kW) im Kraftwerk Włocławek an der Weichsel (Wasserturbinenfabrik in Charków) mit Laufrädern von 8 m Durchmesser in Betrieb gesetzt. Die erste Kaplan-turbine von 360 kW Leistung wurde in Polen im Jahre 1961 für das Kraftwerk Kuźnice (ZAMECH, Elbląg) hergestellt. Gegenwärtig arbeiten insgesamt 6 Kaplan-turbinen polnischer Produktion.