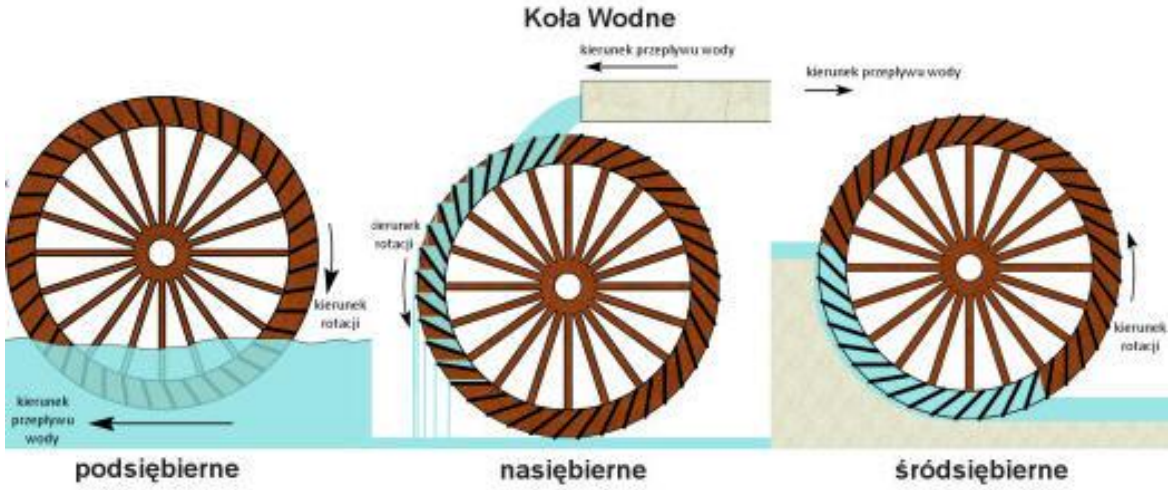
Temat nr 9:
Energetyka wodna

- Energia wody
- Rodzaje elektrowni wodnych
- Małe elektrownie wodne
- Magazynowanie energii wody

Wykorzystanie energii wody:

- energia mórz i oceanów (np. pływów, fal, prądów)
- wody śródlądowe (np. przepływu, różnic poziomu)

Zdj. Pierwsze turbiny wodne – koło wodne (od I wieku p.n.e.)



Energia mórz i oceanów :

- energia pływów
- energia fal morskich
- energia prądów morskich
- energia dyfuzji

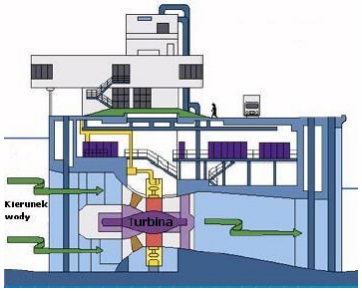
Energia mórz i oceanów, c.d.

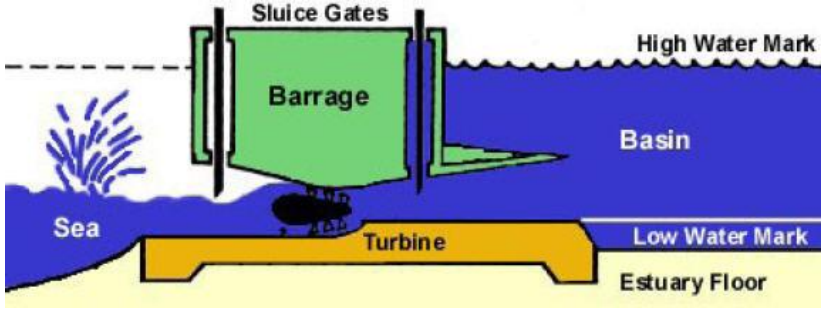
Energia pływów

Występowanie pływów morskich związane jest z oddziaływaniem grawitacyjnym Słońca i Księżyca – wywołuje cykliczne ruchy mas wód.

Żeby elektrownia pływowa działała efektywnie, potrzebna jest różnica poziomów miedzy przypływem a odpływem: ok. 5 metrów.
Największa różnica wysokości pomiędzy poziomem minimalnym i maksymalnym morza zwana jest **pływem syzygijnym**.

Ze względu na dobowe cykle pływów, elektrownie te **nie mogą pracować non stop**.





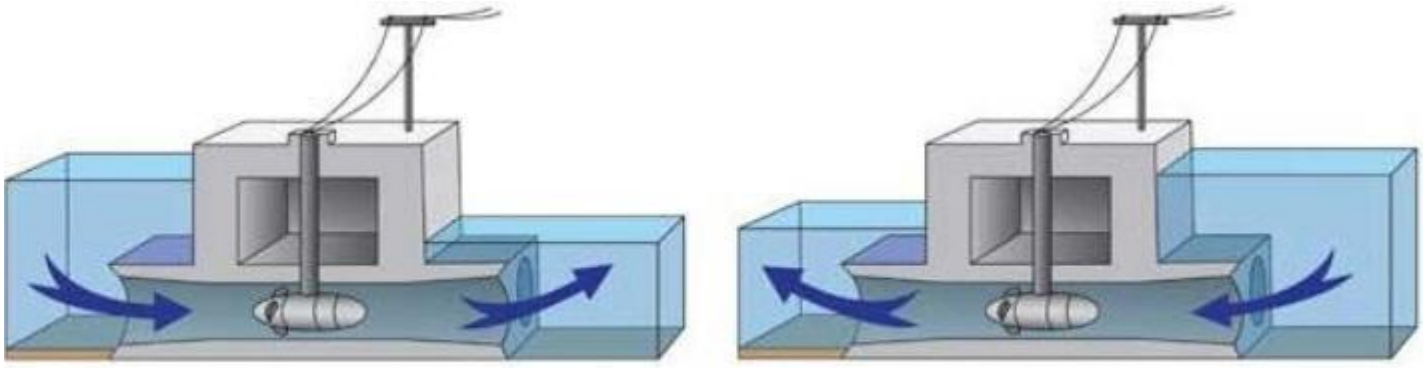
Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia pływów, c.d.

Elektrownie pływowe wykorzystują wahania poziomu wody głównie w ujściach rzek, gdzie zjawisko pływów powoduje dwukierunkowy przepływ wody:

- w czasie **przypływu** woda z morza wpływa do ujścia rzeki
- w czasie **odpływu** woda z rzeki spływa do morza

Średnio pływy występują dwa razy na dobę.



Przypływ

Odpływ

Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia pływów, c.d.

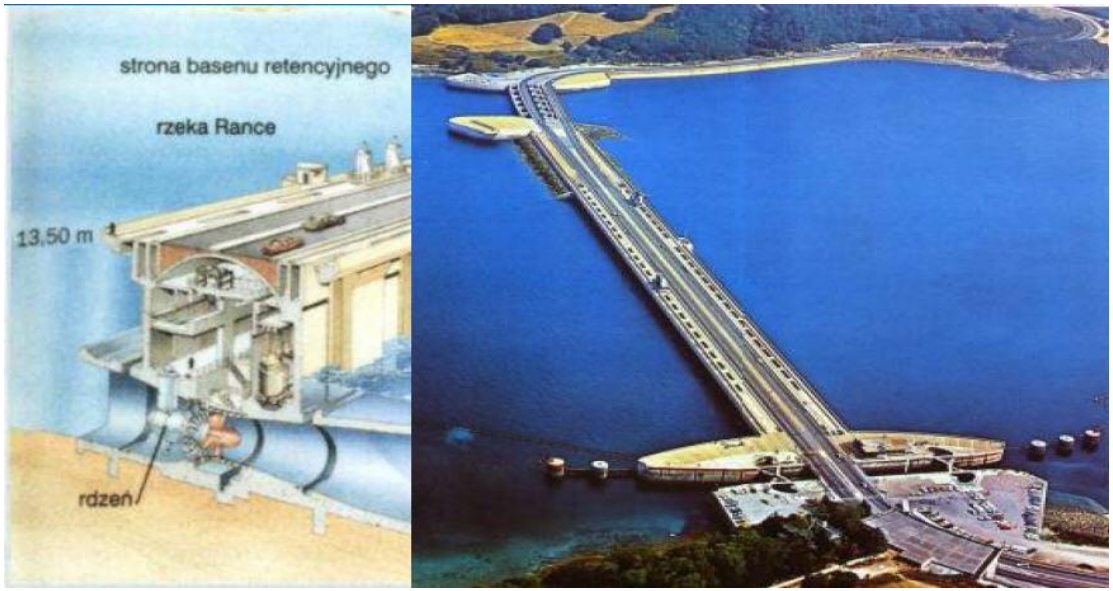
Na świecie największe pływy syzygijne sięgają **kilkunastu metrów** (Zatoka Fundy).

W przypadku **Polski** energia pływów **nie ma żadnego znaczenia** praktycznego, bowiem Morze Bałtyckie jest morzem śródlądowym, gdzie zjawisko to nie zachodzi - wielkość wahań poziomu morza Bałtyckiego nie przekracza kilku centymetrów.

Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia pływów, c.d.

Pierwsza, i wciąż największa elektrownia pływowa powstała w 1967 r. – Francja, rzeka Rence: 24 turbiny wodne rewersyjne o mocy po 10 MW (240 MW); amplituda pływów waha się miedzy 5 a 13,5 metra, a maksymalna moc wymaga spadku 6 metrów. Zapora ma 330 metrów długości, tworzy basen o powierzchni 22 km kwadratowych i objętości 189 milionów metrów sześciennych.



Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia fal morskich

Konwersja energii falowania w elektryczną jest trudna technicznie do zrealizowania, na skutek **niskiej koncentracji** i **dużych oscylacji energii**:
od wartości ekstremalnych, np. podczas sztormów (wytrzymałość materiałów);
do minimalnych, np. przy bezwietrznej pogodzie
(wpływ na opłacalność ekonomiczną).

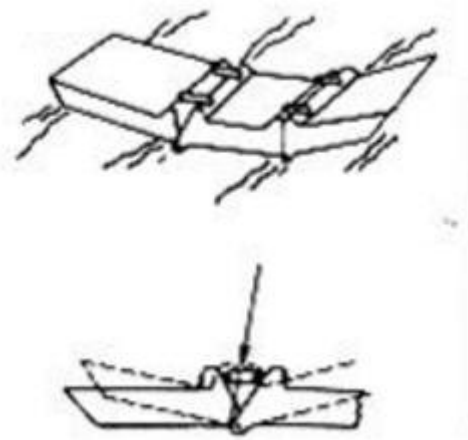
Ponadto, zastosowane urządzenia narażone są działanie wody morskiej – korozja.

Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia fal morskich, c.d.

Jednym ze sposobów wykorzystania fal morskich są tak zwane „**tratwy**” i „**kaczki**”.

„**Tratwy**” - są to trzyczęściowe elementy połączone ze sobą zawiasami, poruszają się wykorzystując **pionowy ruch fal**; na skutek ruchu urządzeń, napędzane są tłoki pompy zlokalizowanej w środkowych częściach urządzenia – przepływająca woda napędza turbinę.

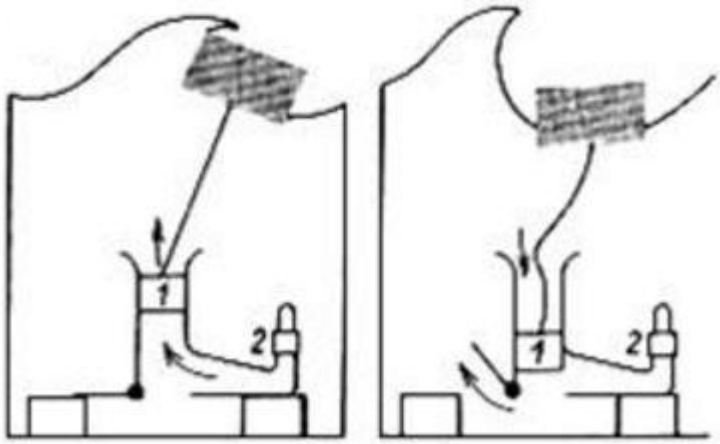


Rys. „Tratwa”

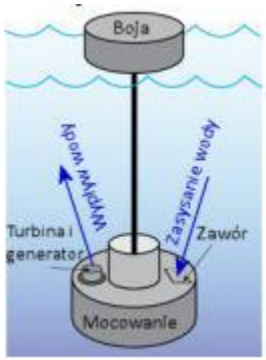
Energia mórz i oceanów, c.d.

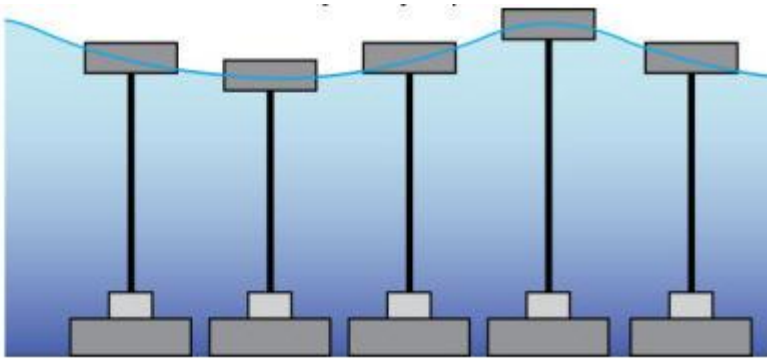
Energia fal morskich, c.d.

„**Kaczki**” - wykorzystują **poziome ruchy wody morskiej**; łańcuchy „kaczek” umocowane są na długich prętach poruszających się na falach wprowadzając w ruch tłoki pomp; rozwiązanie to cechuje mała moc, więc stosuje się do oświetlania np. boi.



Rys. Schemat elektrowni wykorzystującej energię fal - kaczki





Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia fal morskich, c.d.

Turbiny wodne - „napełnianie i opróżnianie zbiornika”.

Ich działanie polega na wykorzystaniu wody morskiej, która pchana falami przelewa się do zbiornika;
napełnia zbiornik, aż do momentu osiągnięcia odpowiedniej objętości;
następnie, woda wypuszczana jest z powrotem do morza, napędzając po drodze turbinę.

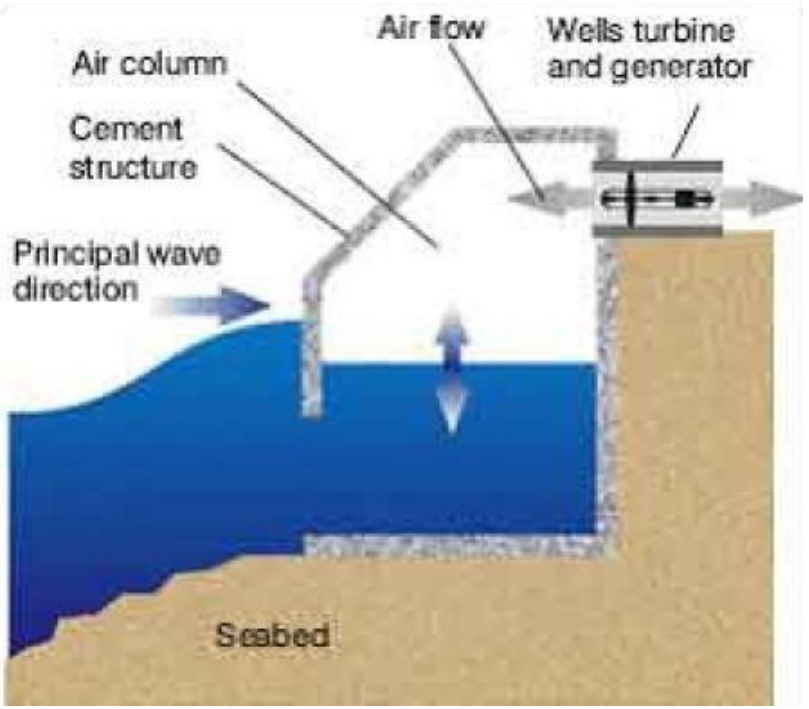
Przykład:
Dania, „Wave Dragon”

Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia fal morskich, c.d.

Turbiny powietrzne – na „sprężone powietrze”

Na brzegu morza, na platformie, zabudowany jest zbiornik;
fale wlewają się na podstawę platformy i wypychają powietrze do górnej części zbiornika;
sprężone przez fale morskie powietrze wprawia w ruch turbinę napędzającą generator.



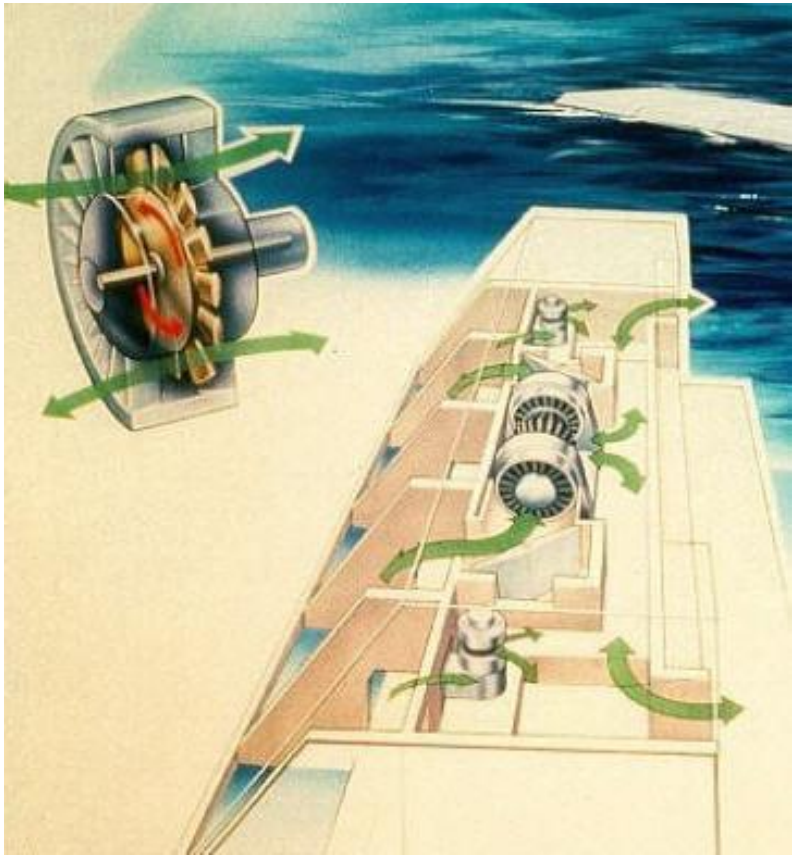
Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia fal morskich, c.d.

Turbiny powietrzne – na „sprężone powietrze”, **c.d.**

Instalacje tego typu, mające często kilkadziesiąt kilometrów długości spełniają niekiedy funkcję falochronu.

Przykład:
Wielka Brytania, moc 75 kW
Planowana: Szkocja, 400 modułów po 5 MW, łączna moc: 2 GW.



Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia prądów morskich

Duży potencjał energetyczny, nawet dwu krotnie większy od śródlądowych elektrowni wodnych, ale trudny do wykorzystania:

- najsilniejsze prądy oceaniczne i morskie znajdują się na znacznej głębokości i daleko od lądu (problematyczne przesyłanie i magazynowanie energii)
- kwestie ekologiczne – nieznane skutki nawet najmniejszego zakłócenia przebiegu prądów morskich

Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia prądów morskich, c.d.

Wykorzystanie energii prądów morskich pozostaje w sferze badań, np. pierwsze na świecie, dwie doświadczalne instalacje:

- Włochy (o mocy 150 kW), podwieszona na okrągłej pływającej platformie; prąd morski na głębokości 20 m, prędkość wody: 1,5 m/s; sprawność elektrowni: 42%
- Anglia (o mocy 300 kW), ustawiona na pionowej konstrukcji nośnej utwierdzonej w dnie; jej sprawność wynosi: 35-45%

Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia dyfuzji

Dyfuzja zasolonej wody morskiej należy do największych odnawialnych źródeł energii na świecie. Jej potencjał globalny, możliwy do wykorzystania, szacuje się na ok. **2 PWh/a**.

Energia dyfuzji wykorzystuje do pozyskania energii różnice w zasoleniu wody - gradient stężenia wody.
Do konwersji energii związanej z zasoleniem w energię elektryczną, można teoretycznie wykorzystać trzy zjawiska:

- osmozę - różnicę ciśnień
- dializę - różnicę przepuszczalności cząstek przez błony
- elektrolizę – różnice przepuszczalności jonów

Obecnie opracowano dwie metody:
PRO – metoda ciśnieniowej opóźnionej osmozy
RED – metoda odwróconej elektrolizy

Energia mórz i oceanów, c.d.

Energia dyfuzji, c.d.

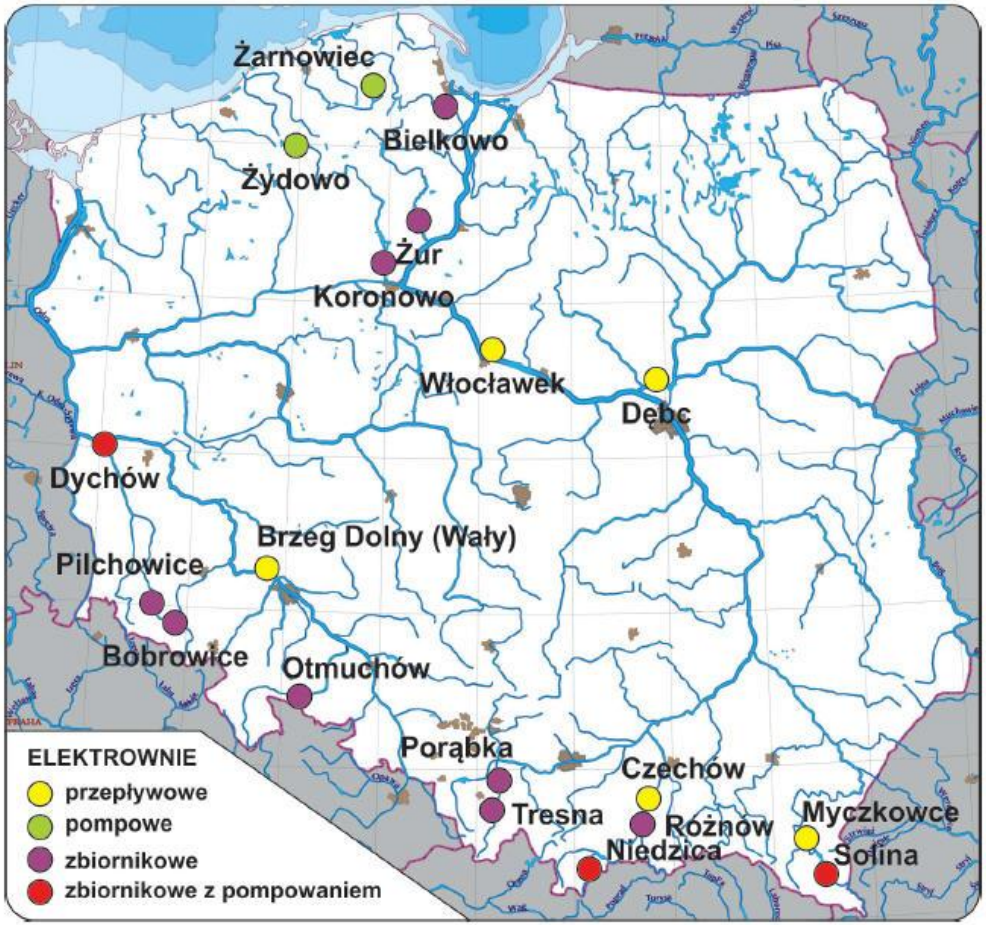
PRO – metoda ciśnieniowej opóźnionej osmozy.
Zakłada wykorzystanie membrany, która oddziela wodę morską i wodę rzeczną. Zatrzymuje ona jony z wody morskiej i przepuszcza wodę słodką. Powoduje to wzrost ciśnienia w części z wodą morską. Różnica ciśnienia umożliwia pompowanie wody, co napędza turbiny.

RED – metoda odwróconej elektrolizy.
Jest to sposób bezpośredniego przekształcenia energii dyfuzji w prąd elektryczny, dzięki zastosowaniu selektywnej membrany.
Jony soli wody morskiej przechodzą przez membranę do słodkiej wody w wyniku działania naturalnej dyfuzji, co generuje przepływ prądu.

Wody śródlądowe

W Polsce warunki dla energetyki wodnej są mało korzystne, ze względu na:

- mało obfite i niekorzystnie rozłożone opady
- dużą przepuszczalność gruntu
- niewielkie spadki terenów



Rys. Elektrownie wodne w Polsce

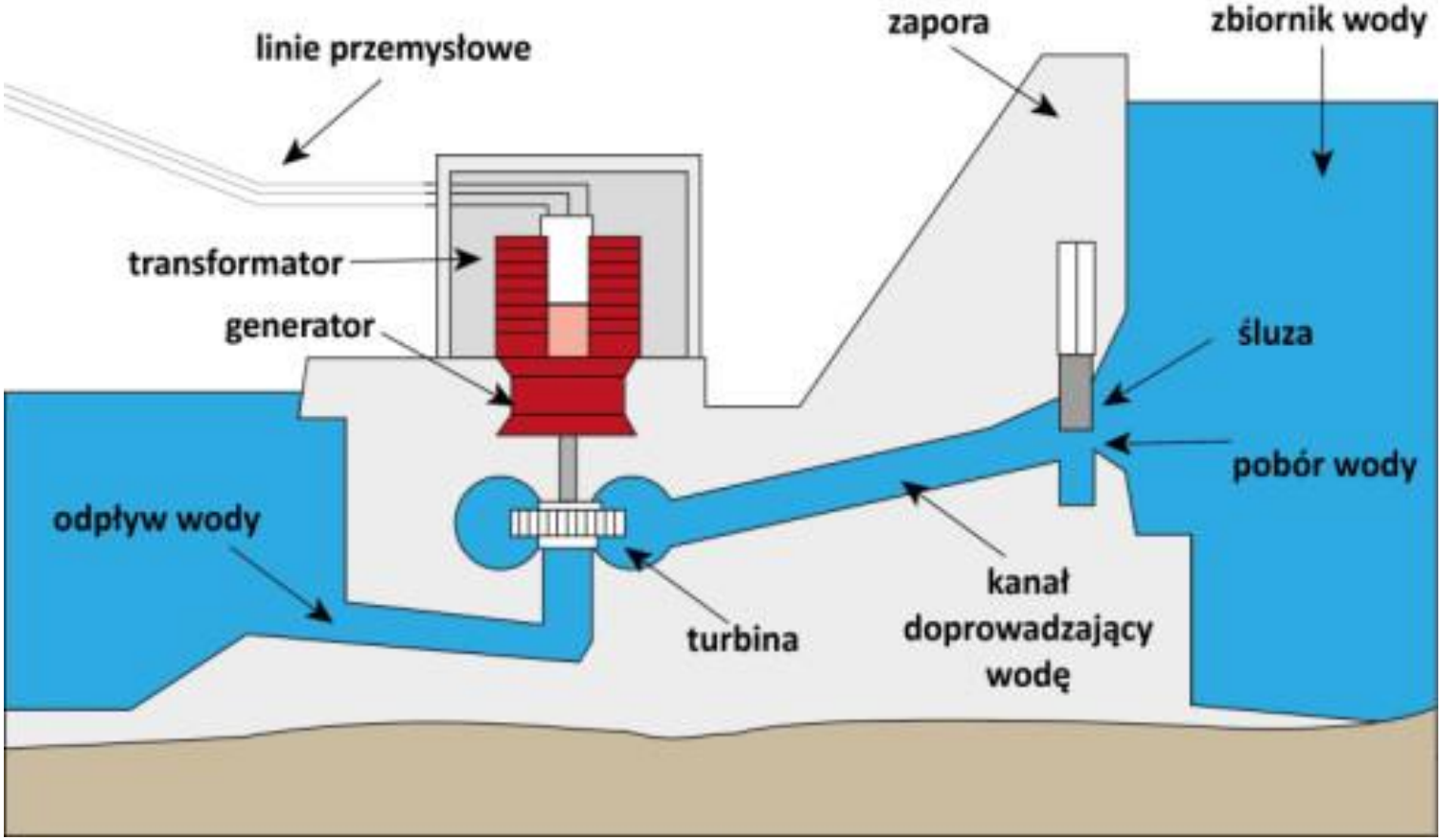
Wykorzystanie energii wodnej w Polsce i na świecie:

Lp.	Kraj	Udział elektrowni wodnych w prod. energii el. w %	Udział MEW w prod. energii el. w %	Stopień wyk. zasobów wodnych w %
1	Austria	70,0	9,3	72
2	Czechy i Słowacja	5,7	12,6	-
3	Francja	20,0	9,2	90
4	Japonia	12,0	23,4	90
5	Niemcy	4,0	7,3	80
6	Norwegia	98,0	-	84
7	Polska	2,7	0,7	12
8	Szwajcaria	61,0	-	90
9	Szwecja	40,0	-	65
10	U S A	9,5	4,8	49

Elektrownie wodne można podzielić na:

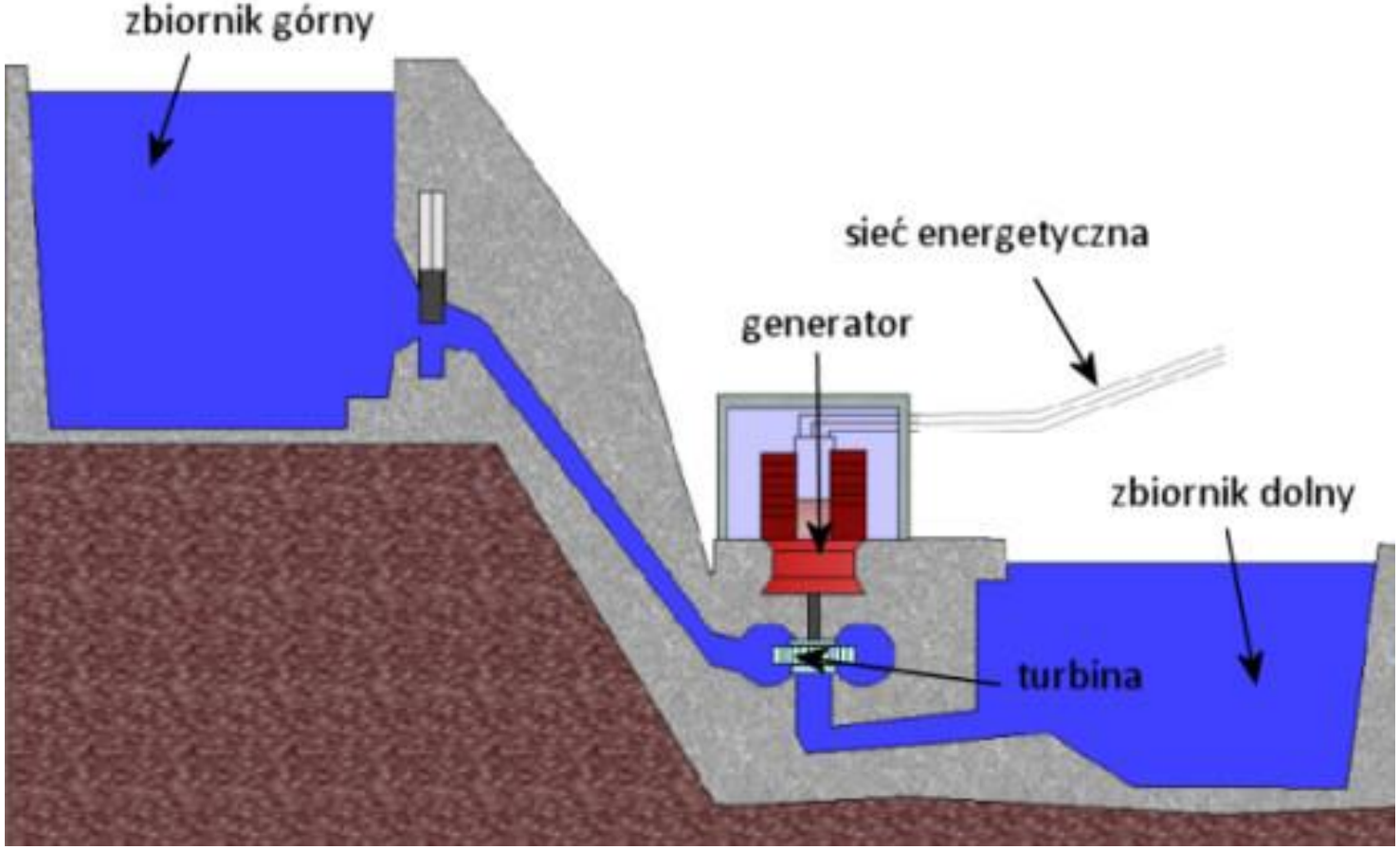
- **elektrownie przepływowe** – wykorzystują naturalny, ciągły przepływ cieku wodnego (nie mają zbiornika do magazynowania wody), np. Elektrownia Włocławek, Dębe
- **elektrownie zbiornikowe** – wyposażone w zbiorniki wody dla lepszego wykorzystania cieku wodnego (spiętrzają wodą i zwiększają jej energię potencjalną): Rożnów, Tresna, Porąbka, Otmuchów
- **elektrownie pompowe (szczytowo-pompowe)** – w okresach małego obciążenia systemu elektroenergetycznego woda przepompowywana jest ze zbiornika dolnego do górnego: Porąbka-Żar, Żarnowiec
- **elektrownie zbiornikowe z członem pompowym** – zbiorniki górne są częściowo napełniane przez dopływy naturalne, a częściowo (w okresach małych obciążeń) uzupełniane wodą tłoczoną przez pompy ze zbiorników dolnych: Solina, Niedzica

Elektrownia zbiornikowa



Rys. Schemat elektrowni zbiornikowej

Elektrownia pompowa (szczytowo-pompowa) :



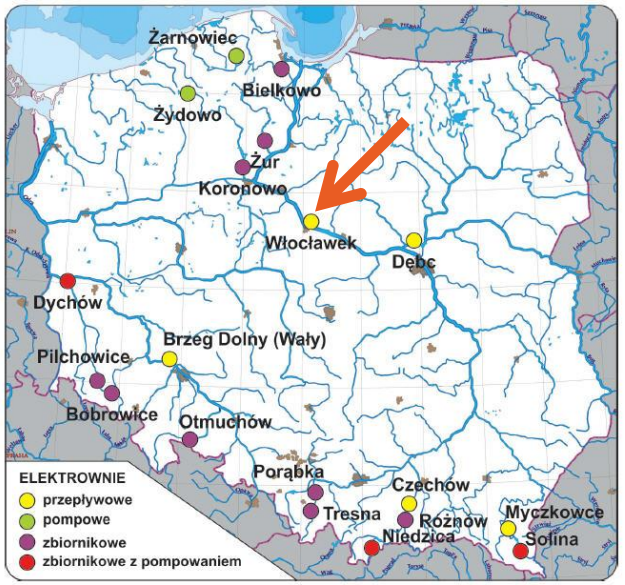
Rys. Schemat elektrowni pompowej

Wody śródlądowe

Obecnie w Polsce pracuje **130 zawodowych elektrowni wodnych**:

- 124 przepływowych
- 3 przepływowe z członem pompowym (Solina: spad 55-60 m, moc 200 MW; Niedzica: 40,5 m, 92 MW; Dychów: 27 m, moc 79 MW)
- 3 elektrownie szczytowo-pompowe (Żarnowiec: spad 120 m, moc 716 MW; Porąbka-Żar: 420 m, 500 MW; Żydowo: 81 m, 152 MW).

Do największych elektrowni zalicza się m.in. zapora we **Włocławku** – spad 8,8 m, moc 160 MW.
Powstała w 1970 roku, posiada sześć hydrozespołów wyposażonych w turbiny Kaplana.
Rocznie średnia produkcja energii elektrycznej wynosi **740 GWh**.



Wykorzystanie wód śródlądowych :

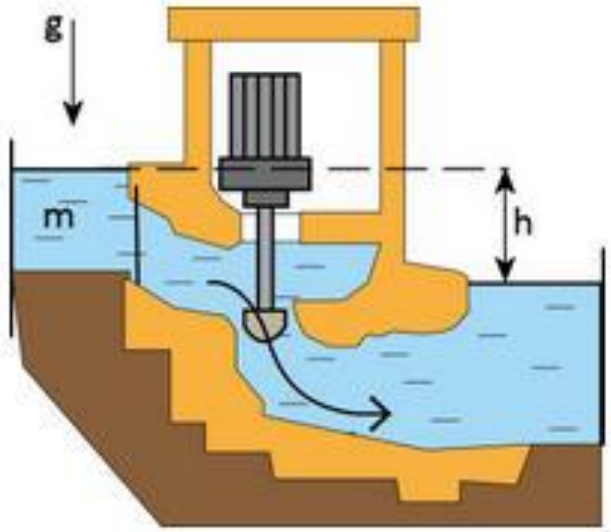
- wody śródlądowe można wykorzystać do wytwarzania energii elektrycznej, jeśli posiadają energię potencjalną – niezbędny spad
- jeśli spad nie występuje naturalnie, można go stworzyć, przez np.: spiętrzenie górnego poziomu wody, obniżenie dolnego poziomu wody, budowę kanału skracającego
- konwersja energii w elektrowni wodnej: energia potencjalna wody zamieniana jest w turbinach wodnych na energię mechaniczną, a następnie na energię elektryczną w prądnicach (hydrogeneratorach)
- rozwój elektrowni wodnych w Polsce – budowa małych elektrowni przez inwestorów prywatnych, np. na istniejących, niewykorzystanych i zniszczonych progach wodnych

Parametry elektrowni wodnej

Podstawową rolę w przemianie energii wody na elektryczną, odgrywa **energia potencjalna wody** (**spad wody**: **h**).

Na moc elektrowni wodnej ma wpływ:

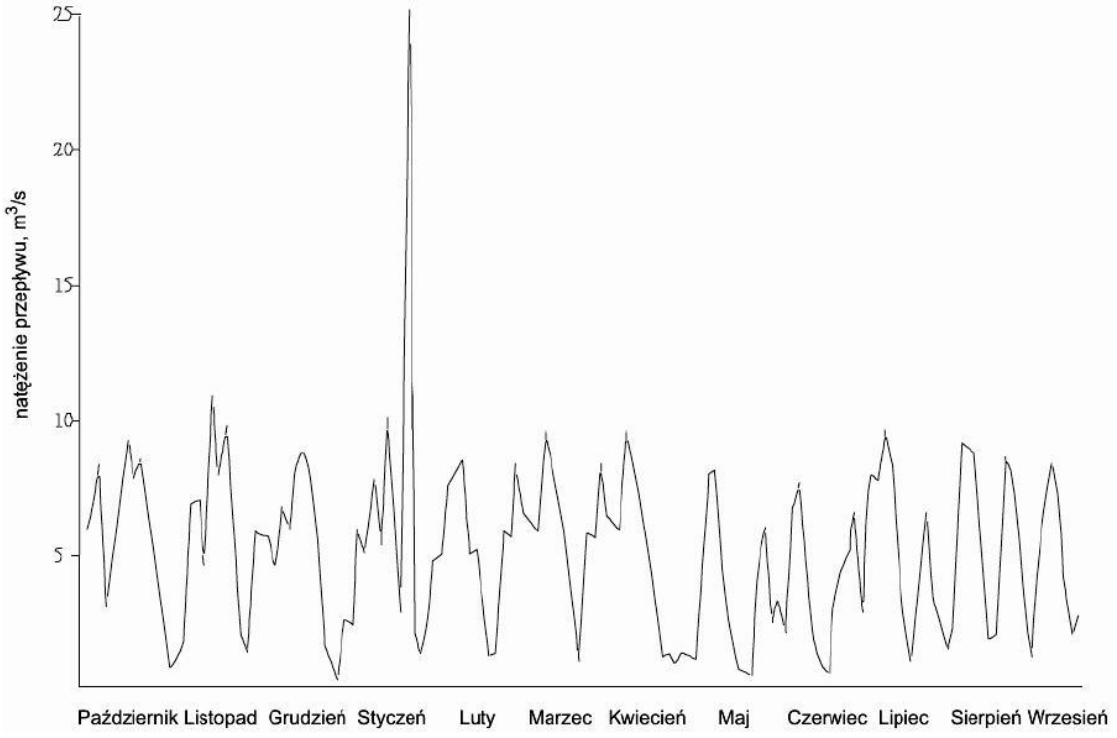
- duża **różnica poziomów** (spad wody)
- duży **przepływ masowy wody** (natężenie przepływu).



Parametry elektrowni wodnej, c.d.

Charakterystyki przepływu w cieku wodnym

Na podstawie pomiarów przepływu, realizowanym w określonym miejscu przez szereg lat, opracowuje się **hydrogramy**.



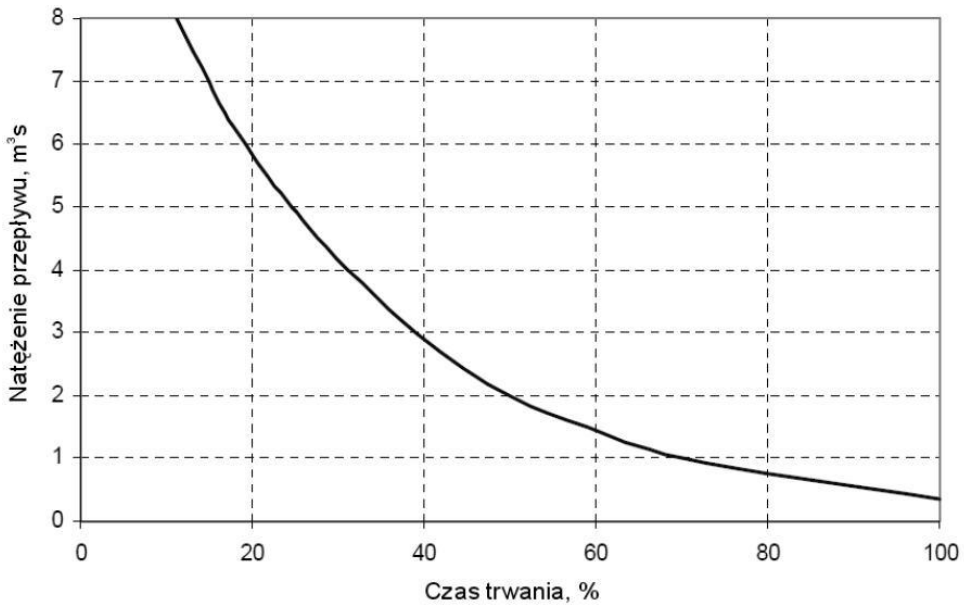
Rys. Przykład hydrogramu; przepływ w czasie, w porządku chronologicznym

Parametry elektrowni wodnej, c.d.

Charakterystyki przepływu w cieku wodnym, c.d.

Inna metoda – wyznaczenie **krzywej sum czasów trwania przepływów** (FDC). Wskazuje czas (liczbę dni), w ciągu którego natężenie przepływu jest równe lub większe od określonej wartości.

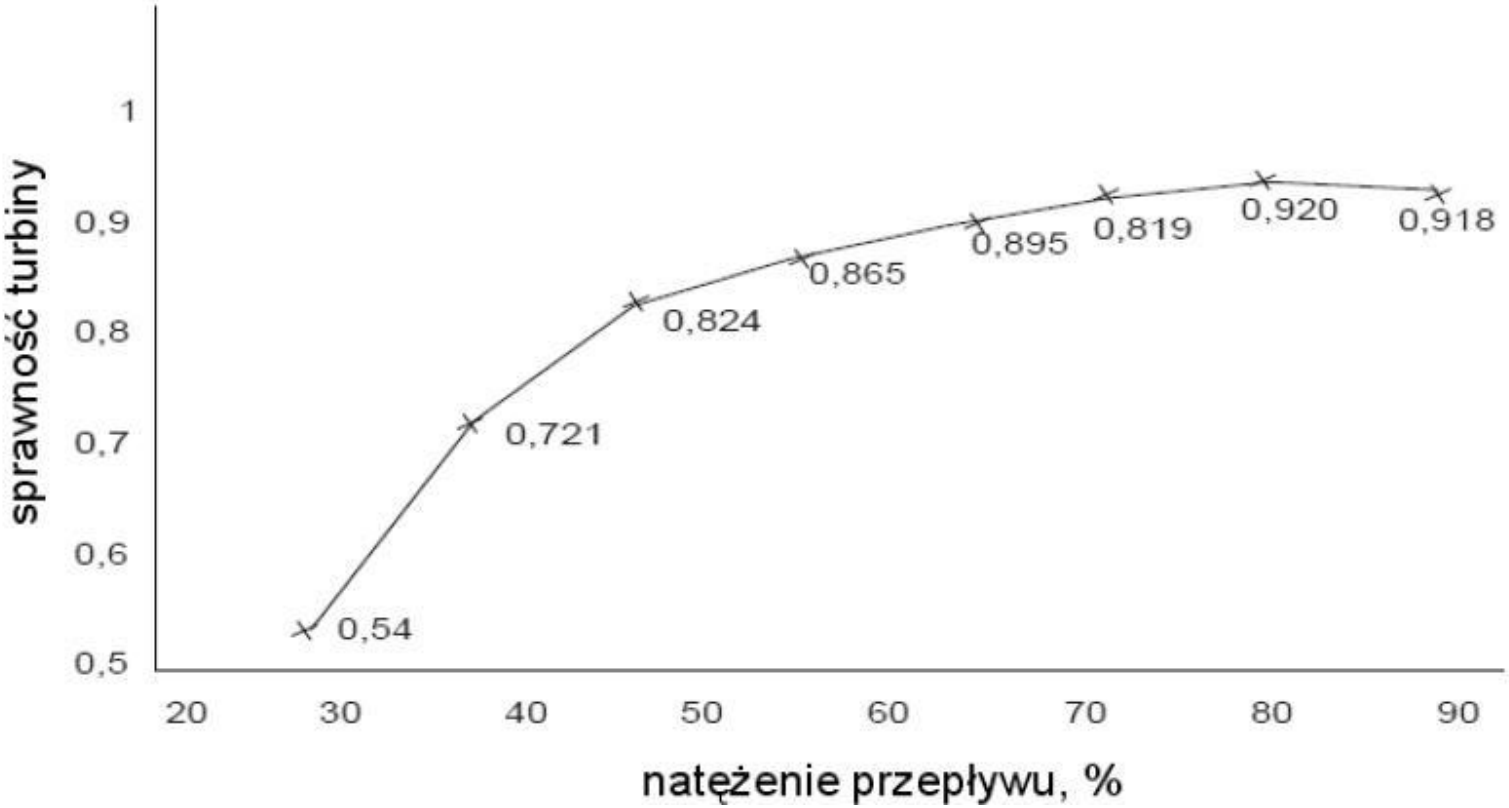
	Liczba dni	Udział dni w roku
Przepływ 8,0 m^3/s i większy	41	11,23
Przepływ 7,0 m^3/s i większy	54	14,90
Przepływ 6,5 m^3/s i większy	61	16,80
Przepływ 5,5 m^3/s i większy	80	21,80
Przepływ 5,0 m^3/s i większy	90	24,66
Przepływ 4,5 m^3/s i większy	100	27,50
Przepływ 3,0 m^3/s i większy	142	39,00
Przepływ 2,0 m^3/s i większy	183	50,00
Przepływ 1,5 m^3/s i większy	215	58,90
Przepływ 1,0 m^3/s i większy	256	70,00
Przepływ 0,35 m^3/s i większy	365	100,00



Rys. Przykład krzywej sum czasów trwania przepływów (FDC)

Parametry elektrowni wodnej, c.d.

Charakterystyki przepływu w cieku wodnym, c.d.



Rys. Przykład sprawności turbiny w funkcji natężenia przepływu.

Parametry elektrowni wodnej, c.d.

Podstawowe parametry:

- moc zainstalowana **P [kW]**
- przełyk elektrowni **Q [m3/s]**
- spad użyteczny **H_u [m]**

- czas pracy **t [h]** (w ciągu doby, tygodnia, roku itp.)
- sprawność elektrowni **η_e**

Przełyk elektrowni: Q

Przepływ wody - ma wpływ na wymiary turbiny, budynku elektrowni oraz wielkość budowli hydrotechnicznych doprowadzających wodę do elektrowni.

Zmienia się w poszczególnych porach roku: przepływ wody w rzece, charakter pracy elektrowni.

Parametry elektrowni wodnej, c.d.

Spad użyteczny: H_u
Zależy od warunków topograficznych cieku wodnego oraz od sposobu rozwiązania stopnia wodnego.

Sprawność elektrowni wodnej: η_e
Jest to stosunek mocy elektrycznej oddawanej do sieci, do mocy hydraulicznej doprowadzonej do elektrowni - w danej chwili. Czyli, jest to iloczyn: sprawności turbiny wodnej, przekładni, sprawności generatora i transformatora.
Sprawność elektrowni wodnej wynosi **od 30%** dla prostych rozwiązań i urządzeń (małych elektrowni), **do 85-90%** dla skomplikowanych technicznie rozwiązań.

Czas pracy w ciągu roku: t
Elektrownia wodna może pracować w ciągu roku od 5.000 do 8.000 h/rok.
Małe elektrownie wodne pracują średnio: 6.500 h/rok.

Parametry elektrowni wodnej, c.d.

Moc elektrowni wodnej:

$$P = g \times Q \times Hu \times \eta_e \ [kW]$$

g – przyspieszenie ziemskie = 9,81 [m/s2]
Przy założeniu, że gęstość wody = 1.000 kg/m3

Energia elektryczna wytworzona przez elektrownię wodną:

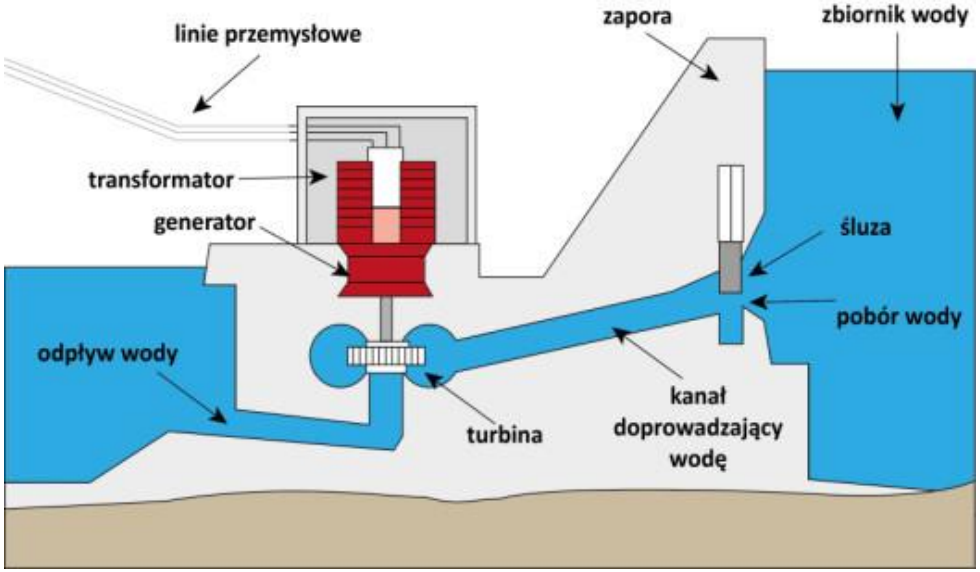
$$E_w = g \times Q \times Hu \times \eta_e \times t \ [kWh/rok]$$

t – czas [h]
(365 dni/rok x 24 h/dobę = 8.760 h/rok)

Budowa hydroelektrowni

Elektrownia wodna (hydroelektrownia), to zespół obiektów i urządzeń przetwarzających energię wody, na energię elektryczną.
Najczęściej realizują zadania gospodarki wodnej i energetycznej – oprócz wytwarzania energii elektrycznej, mogą również pełnić funkcję: opanowania fali powodziowej, gromadzenie zasobów wody dla przemysłu, miast, tworzenie stopni żeglugowych.

Hydroelektrownia składa się najczęściej z – główne elementy: zapora, turbina, generator i zbiornik wodny (zbiorniki).



Budowa hydroelektrowni, c.d.

Zapora

Buduje się zapory :

- ziemne (na terenach nizinnych)
- betonowe (najczęściej w Polsce)
- kamienne (najrzadziej).

W Polsce istnieje obecnie ponad 30 zapór o wysokości przekraczającej 200 m. Ze względu na niekorzystny wpływ na środowisko, coraz częściej rezygnuje się z wysokich zapór na rzecz zapór mniejszych.

Część zapory stanowią **przelewy** (regulacja przepływu wody), **śluzy** (umożliwiające żeglugę), **przepusty** (pozwalające przepływać tratwom) i **przepławki**, dzięki którym ryby mogą wędrować w górę rzeki. Zapory są często wykorzystywane jako drogi komunikacji publicznej.

Nie każda hydroelektrownia wyposażona jest w zaporę.

Budowa hydroelektrowni, c.d.

Ujęcie wody

Zadaniem ujęcia wody do celów energetycznych jest:

- skierowanie płynącej wody do elektrowni - przy jak najmniejszych stratach energii
- zabezpieczenie przed dostaniem się do elektrowni zanieczyszczeń niesionych, np.: wodorosty, drewno, lód
- regulowanie natężenia dopływu wody do elektrowni
- odcięcie dopływu wody w sytuacjach awaryjnych bądź na czas remontów

Budowa hydroelektrowni, c.d.

Turbina wodna

Nazywana również **silnikiem wodnym rotodynamicznym**, bądź **turbiną hydrauliczną**.

Wybór odpowiedniej turbiny zależy od wysokości spadu i ilości wody, którą dysponuje dana elektrownia (przepływu wody).

Generator

Połączony z turbiną wodną, z energii mechanicznej wytwarza (generuje) energię elektryczną. Może być połączony z turbiną **bezpośrednio** lub za pomocą **przekładni**.
Najczęściej stosowane są prądnice asynchroniczne trójfazowe i synchroniczne trójfazowe prądu przemiennego.

Budowa hydroelektrowni, c.d.

Przekładnie

Przekładnie zwiększające obroty - przekazują napęd z turbiny niskoobrotowej na prądnicę o większych obrotach:

- przekładnie zębate – w całym zakresie mocy małych elektrowni (do 5 MW)
- pasowe z pasami płaskimi – do ok. 1,5 MW
- przekładnie pasowe klinowe – do ok. 0,5 MW przenoszonej mocy

Budowa hydroelektrowni, c.d.

Systemy sterowania i regulacji

Regulacja pracy elektrowni wodnej może obywać się poprzez:

- regulację **prędkości obrotowej turbozespołu** – utrzymanie zadanej prędkości obrotowej, czyli częstotliwości wytwarzanego prądu (przy zmiennym obciążeniu sieci wydzielonej, na którą pracuje turbozespół)
- regulację **mocy turbozespołu**, oddawanej do sieci elektroenergetycznej – odpowiednio do przepływu wody w rzece, dla zachowania stałego poziomu górnej wody
- pracę turbozespołu na sieć elektroenergetyczną **z żądaną mocą**
- pracę **z zadanym przełykiem**, przy zmieniającym się spadzie – - np. wymagany minimalny przepływ wody, ze względów biologicznych, w rzece poniżej elektrowni

Turbiny wodne

Turbina wodna, jest to silnik przetwarzający energię płynącej wody, na pracę użyteczna w wirniku (mechaniczną), w postaci momentu obrotowego.

W turbinie wodnej wykorzystuje się energię prędkości oraz ciśnienia wody.

Podział turbin w zależności od doprowadzonej energii:

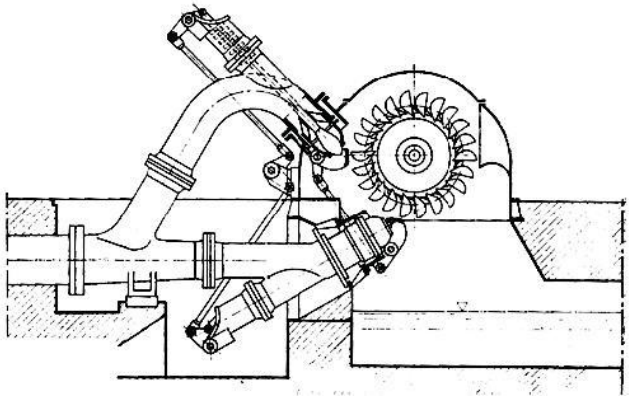
- **turbiny akcyjne** (natryskowe) – wykorzystują energię kinetyczną wody (prędkość wody), która doprowadzana jest do wirnika pod ciśnieniem atmosferycznym, np. turbina Peltona
- **turbiny reakcyjne** (naporowe) – wykorzystują energię kinetyczną wody oraz energię ciśnienia wody; woda doprowadzana jest do wirnika pod ciśnieniem wyższym od atmosferycznego, np. turbina Francisa, Kaplana.

Turbiny wodne, c.d.

Turbina Peltona

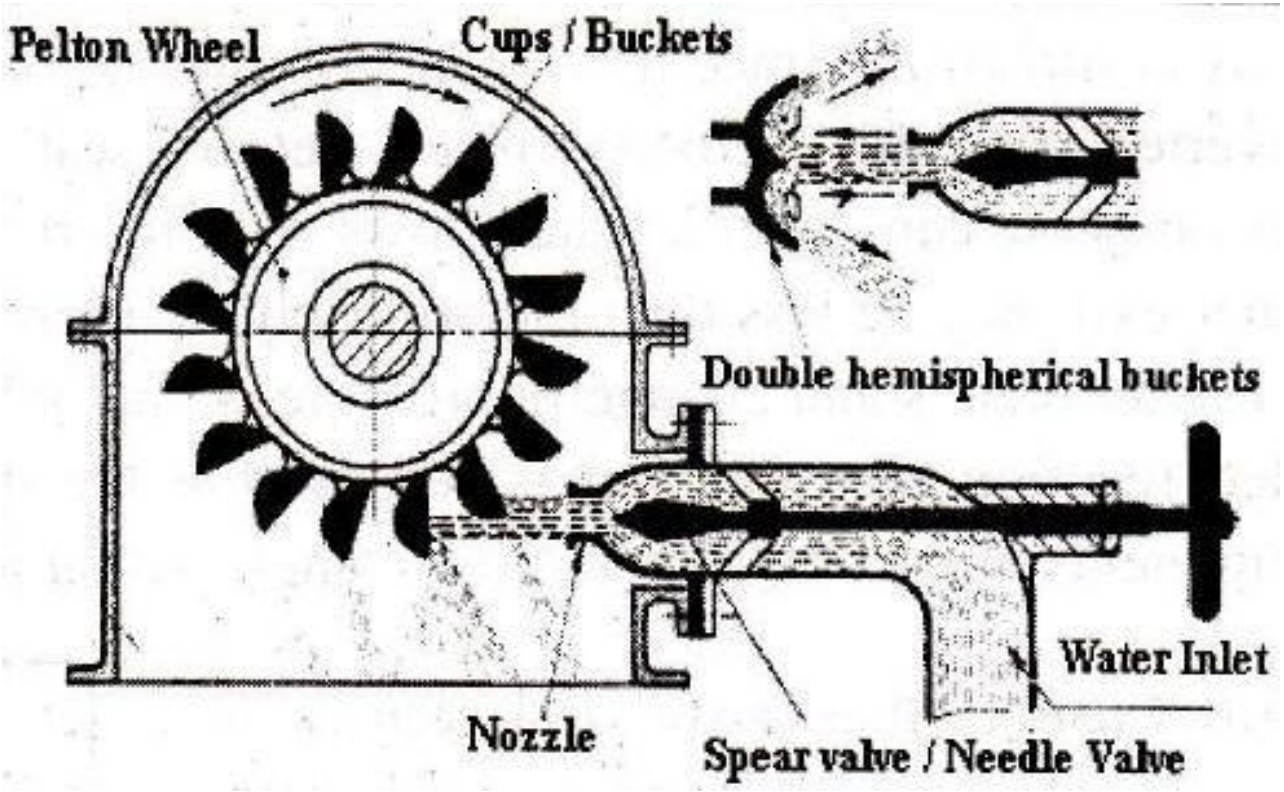
Posiada specjalnie wyprofilowane łopatki – każda łopatka składa się z dwóch połączonych półkulistych części („czaszek”). Są one ustawione pod kątem 90° w stosunku do strumienia wody wypływającej z dyszy:

- stosowana przy spadku wody >500 m
- praca w układzie poziomym (do 6 dysz)
- lub, praca pionowa (2 dysze)



Turbiny wodne, c.d.

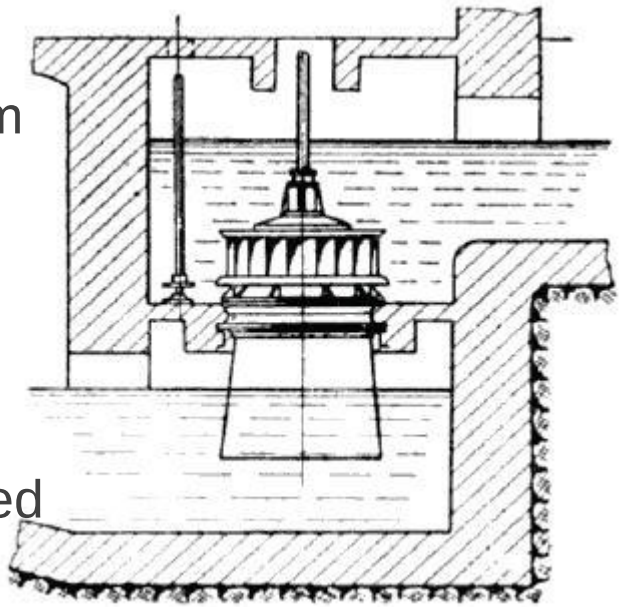
Turbina Peltona, c.d.



Turbiny wodne, c.d.

Turbina Francisa

Najczęściej stosowana - składa się z wirnika, na który obwodowo za pośrednictwem łopatek kierownicy doprowadzany jest strumień wody. Na łopatkach wirnika następuje zamiana (konwersja) energii wody w energię mechaniczną wirnika. Woda, po zmianie kierunku przepływu z promieniowego na osiowy, opuszcza turbinę.



- najlepiej pracuje przy spadku wody powyżej 10 m
- jest „odporna” na kawitację
- może być montowana w komorze otwartej z wałem pionowym
- lub, w komorze z wałem poziomym
- lub, w obudowie spiralnej
- **wymaga zanurzenia w wodzie** dla ochrony przed zasysaniem powietrza: na głębok. min.1,5-2 m

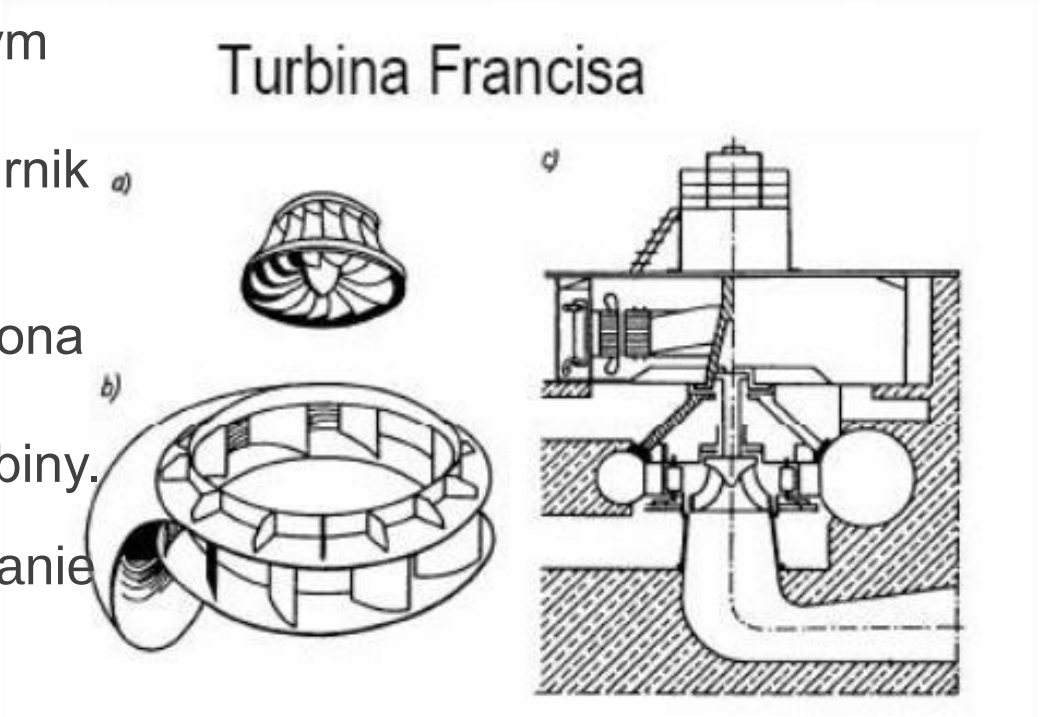
Turbiny wodne, c.d.

Turbina Francisa. c.d.

Kierownica – woda napływa całym obwodem na łopatki kierownicy i przyspiesza. Następnie zasila wirnik roboczy.

Najczęściej kierownica wyposażona jest w ruchome łopatki i stanowi element regulacji wydajności turbiny.

Bez łopatek kierownicy – sterowanie przepływem realizowane jest za pomocą klapy, umieszczonej na początku spirali.



Turbiny wodne, c.d.

Turbina Kaplana

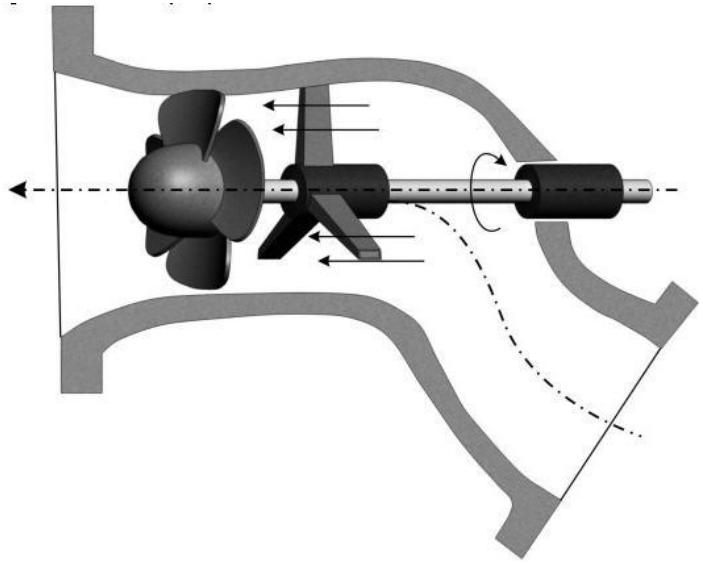
Jest odmianą turbiny śmigłowej – kształtem przypomina śrubę okrętową. Wyróżnia się możliwością regulacji łopatek w trakcie pracy, czyli można dostosować poziom otrzymywanej mocy i sprawności pracy. Wyposażona jest przeważnie w 3 do 10 łopatek na wirniku.

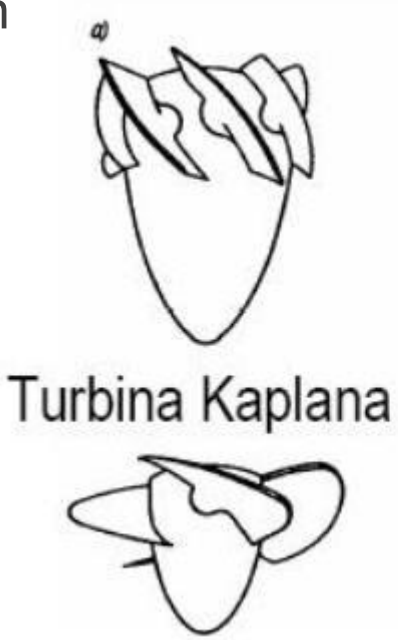
- najczęściej stosowana w nowobudowanych elektrowniach, przy spadku od kilku do kilkunastu metrów
- duża sprawność nawet przy znacznych wahaniach spadku i przełyku
- duża prędkość obrotowa, pozwalająca na stosowanie jednostopniowej przekładni, jak i bezpośredni napęd generatora
- większy przełyk przy tej samej średnicy wirnika, w porównaniu z turbiną Francisa

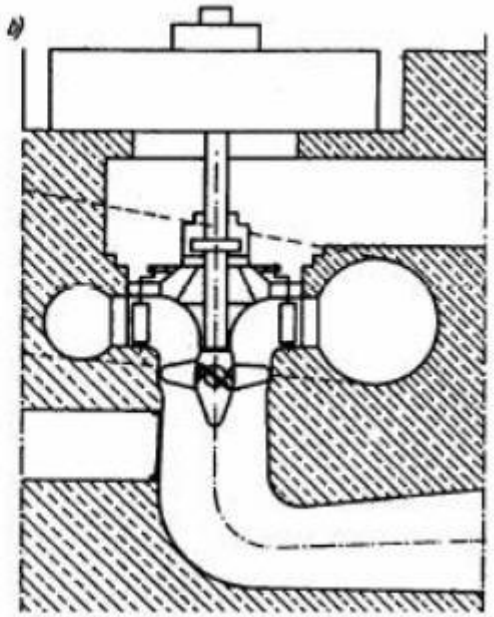
Turbiny wodne, c.d.

Turbina Kaplana, c.d.

- wada małych turbin – przy spadkach powyżej 8-10 m, **erozja kawitacyjna**
- stosowana najczęściej przy spadku wody od 1,5 do 80 m
- również w układach lewarowych







Turbiny wodne, c.d.

Kawitacja

Jest to zjawisko gwałtownej przemiany fazowej: z fazy ciekłej w fazę gazową, zachodzące pod wpływem zmiany ciśnienia.

Kawitacja występuje na częściach turbin znajdujących się w sferze ssania (podciśnienia) i jest spowodowana powstaniem w płynącej wodzie lokalnych stref ciśnienia obniżonego do pewnego ciśnienia krytycznego.

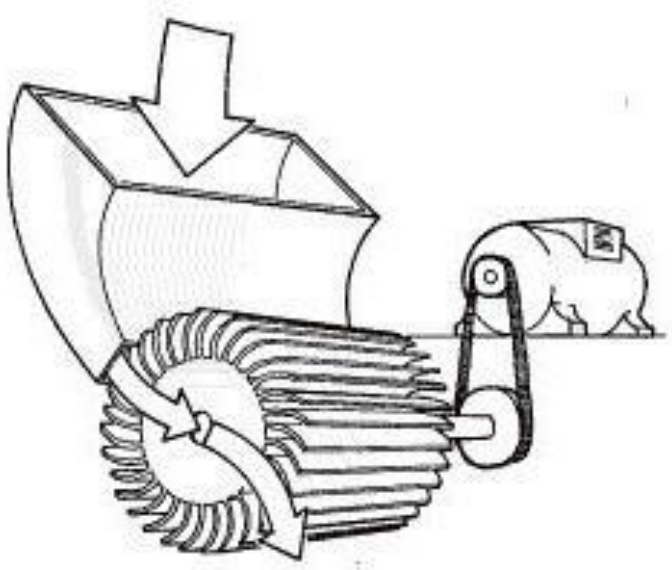
Zdj. Uszkodzenie wirnika pompy, powodowane kawitacją.

Turbiny wodne, c.d.

Tirbina Banki-Mithella

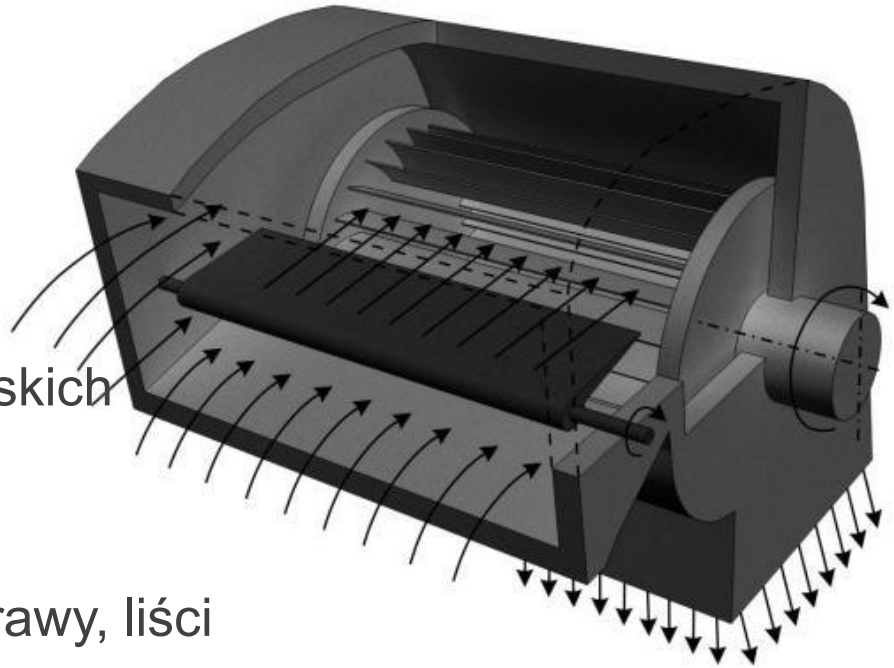
Jest połączeniem turbiny akcyjnej i reakcyjnej. Często nazywana turbiną „crossflow”. Woda przepływa dwa razy przez aktywną część turbiny: w pierwszej kolejności do wewnątrz (jak w turbinie Francisa), a następnie - na zewnątrz (analogicznie jak w turbinie Peltona).

Tylko jedna łopatka kieruje przepływem wody – odpowiednio wyprofilowana łopatkowa kierownica.



Turbiny wodne, c.d.

Turbina Banki-Mithella, c.d.

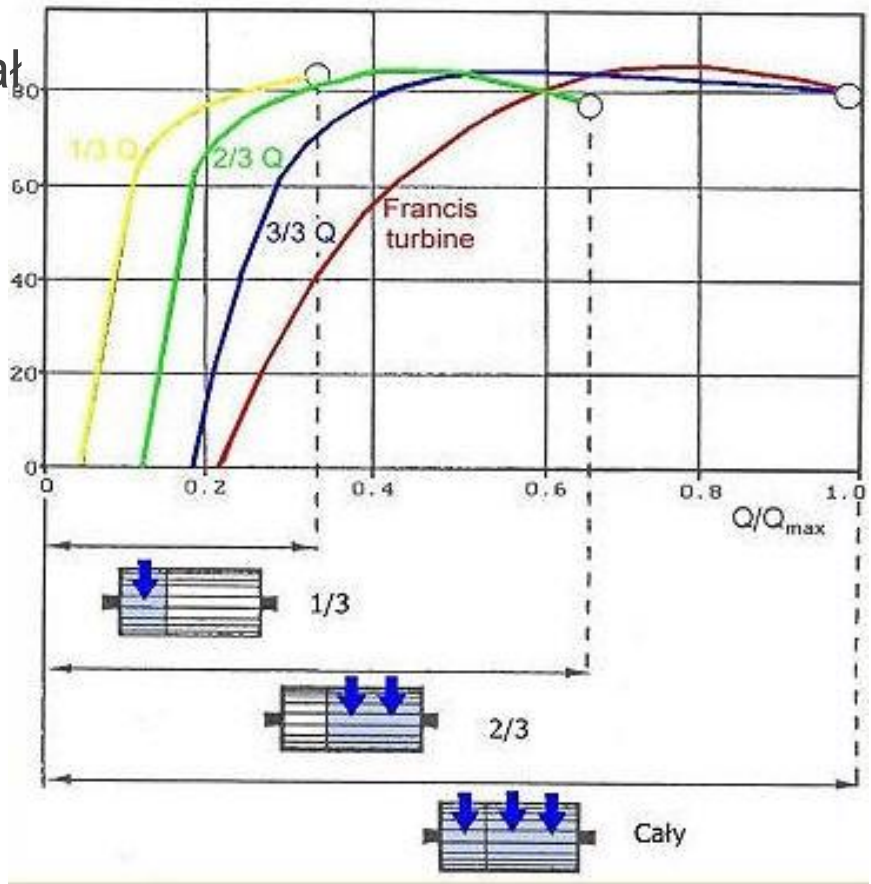


- charakteryzuje się prostą budową
- stosunkowo wolna prędkość pracy
- bardzo dobrze sprawdza się przy niskich spadkach i dużym przepływie wody (np. małe rzeki)
- zdolność samooczyszczania np. z trawy, liści
- jest popularnym rozwiązaniem w małych elektrowniach wodnych, o mocy do 2.000 kW

Turbiny wodne, c.d.

Turbina Banki-Mithella, c.d.

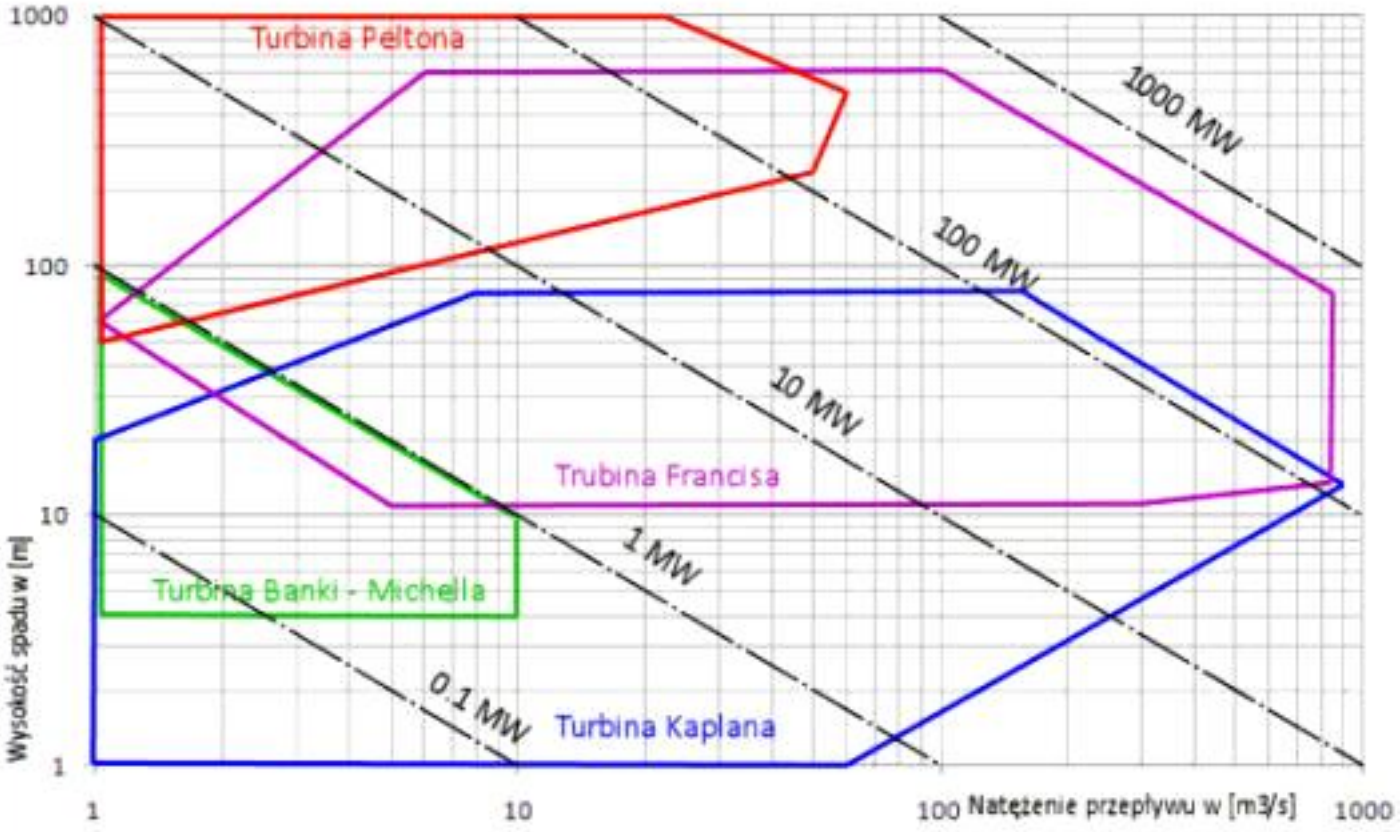
Inny sposób regulacji – poprzez podział wirnika i kierownicy na dwie części w proporcji 1/3 i 2/3 długości



Rys. Sprawność turbiny przy różnych przepływach

Turbiny wodne, c.d.

Zakres pracy turbin, w zależności od natężenia przepływu wody i wysokości spadu:



Turbiny wodne, c.d.

Turbina typu TURGO

Jest modyfikacją turbiny Peltona – jest tańsza i posiada większą prędkość obrotową. Dzięki temu, może poradzić sobie z większym przepływem wody niż turbina Peltona o tych samych parametrach.
Nie potrzebuje szczelnego środowiska pracy, w obawie przed zasysaniem do niej powietrza (turbina Francisa wymaga).

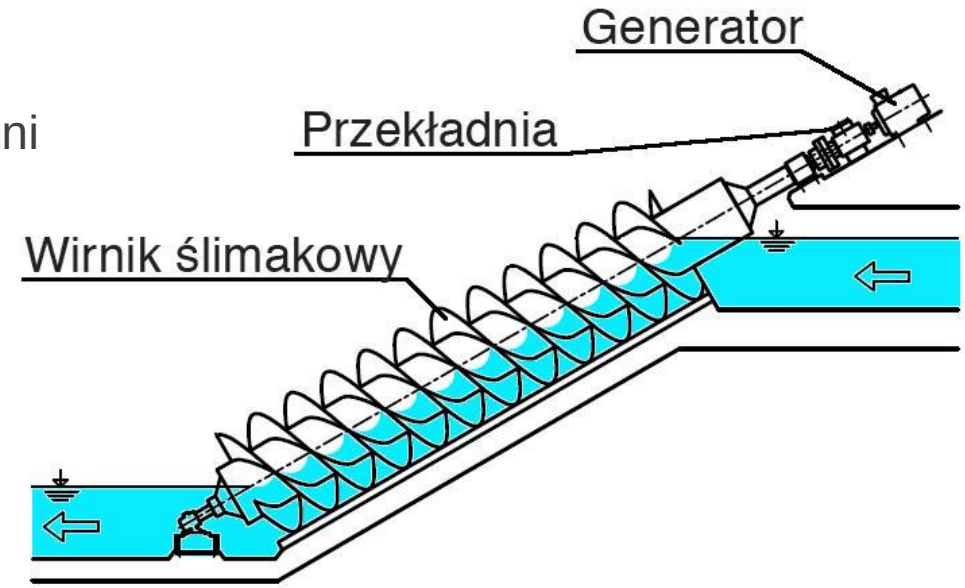
Stosowana w dużych instalacjach, jak również w małych – ze względu na niższe koszty instalacji.

Turbiny wodne, c.d.

Turbina ślimakowa - „Archimedesa”

Wykorzystuje energię kinetyczną płynącej wody. Głównym elementem jest wirnik turbiny umieszczony w rynnie, zawieszony na łożyskach. Wirnik połączony jest z generatorem za pomocą przekładni zębatej.

- moc: od 1 do 500 kW
- przepływ wody: od 0,1 do 10 m3/s
- spad: od 1 do 8 m
- nachylenie turbiny: od 22 do 36 stopni



Turbiny wodne, c.d.

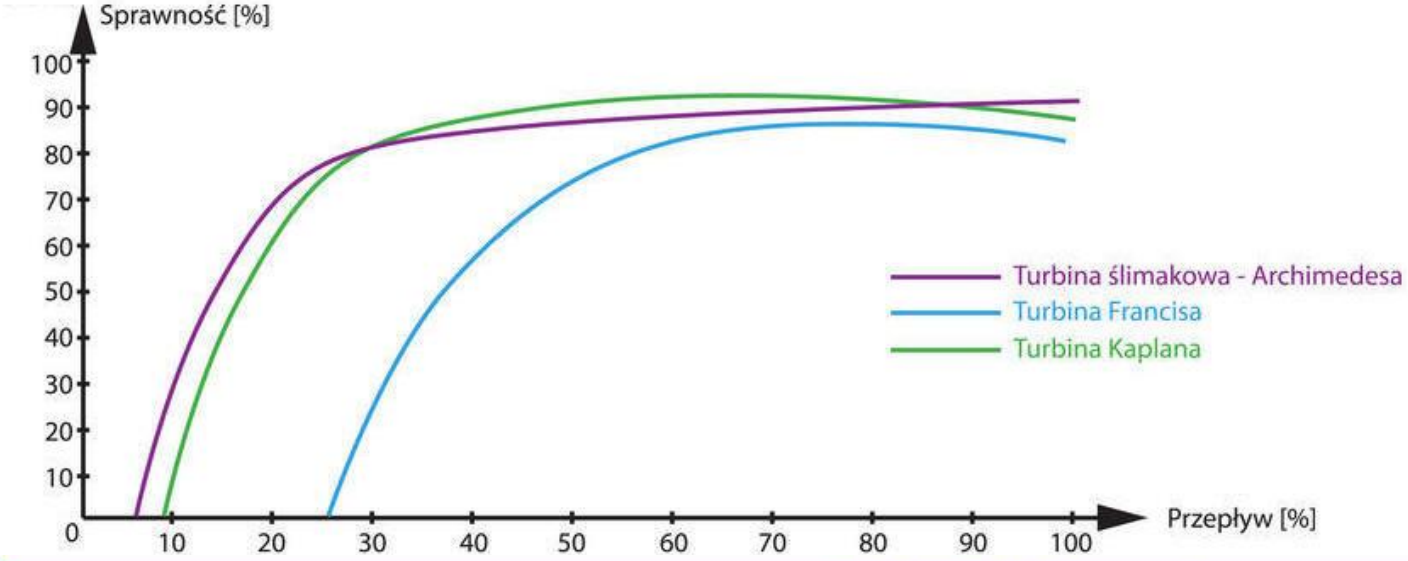
Turbina ślimakowa - „Archimedesa”, c.d.

Zalety:

- dużo niższe koszty budowy, w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami
- większa wydajność przy małym przepływie (przy przepływie 20%, sprawność wynosi ok. 74%)
- odporna na zjawisko kawitacji
- prosta obsługa – niskie nakłady eksploatacyjne
- możliwy montaż na małych spadach rzek, jazów, wód z oczyszczalni ścieków
- duża trwałość łożysk, dzięki małej prędkości obrotowej turbiny
- prosta konstrukcja i długa żywotność
- zbędne kraty wlotowe i czyszczaki – przepływ przez turbinę małych ciał stałych nie wpływa negatywnie na jej pracę (gałęzie, liście itp.)
- konstrukcja nie zagraża przepływom ryb wzdłuż biegu rzeki

Turbiny wodne, c.d.

Turbina ślimakowa - „Archimedesa”, c.d.



	Wydajność układu - przepływ									
Typ turbiny wodnej	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Śruba Archimedesa	25	74	77	79	82	83	84	85	86	87
Turbina Kaplana	15	70	85	88	90	90	90	90	88	85
Turbina Francisa	-	-	15	58	72	78	82	82	82	80
Turbina Banki	-	40	60	68	72	74	75	74	72	70

Sprawność turbin wodnych [%]

Podział elektrowni wodnych

Podział ze względu na sposób pracy (gospodarowanie zasobami wodnymi):

- elektrownie przepływowe
- elektrownie regulacyjne
- elektrownie kaskadowe
- elektrownie szytowo-pompowe

Podział ze względu na wielkość (moc):

- duże elektrownie wodne
- małe elektrownie: do 5 MW
- mikroelektrownie: do 75 kW

Podział elektrowni wodnych, c.d.

Podział ze względu na spad wody:

- elektrownie niskospadowe: do 15 m
- elektrownie średniospadowe: 15 do 50 m
- elektrownie wysokospadowe: ponad 50 m

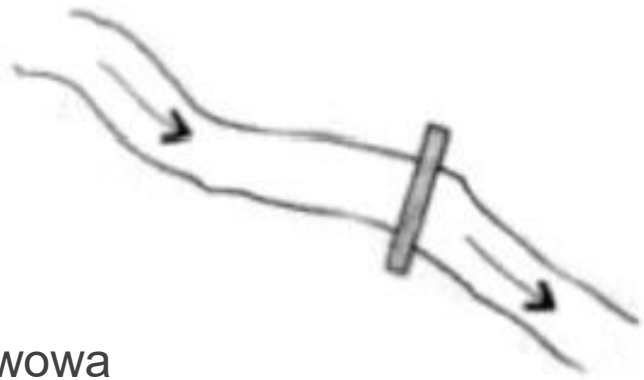
Elektrownie średnio- i wysokospadowe – budowane są najczęściej jako:

- przyzaporowe (wolnostojące, wbudowane w korpus zapory)
- elektrownie derywacyjne (zagłębione, podziemne)

Podział elektrowni wodnych, c.d.

Elektrownie przepływowe :

- budowane głównie na rzekach nizinnych
- wykorzystują energię przepływających wód, po ich niewielkim spiętrzeniu
- pracują praktycznie w systemie ciągłym, a ich moc uzależniona jest od wysokości spadku oraz ilości przepływającej wody

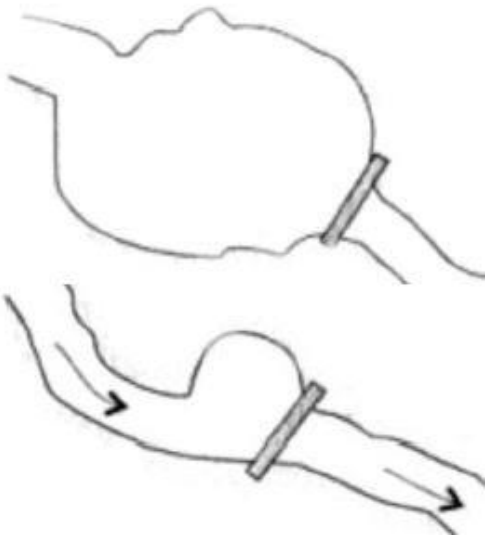


Rys. Klasyczna elektrownia przepływowa

Podział elektrowni wodnych, c.d.

Elektrownie regulacyjne :

- ich praca polega magazynowaniu wody w specjalnie wybudowanym lub przystosowanym do tego zbiorniku (mniejszym lub większym)
- magazynowanie pozwala również na kontrolowanie ilości wody przepływającej przez elektrownię, czyli zapewnia stałą regulację zapotrzebowania na energię elektryczną

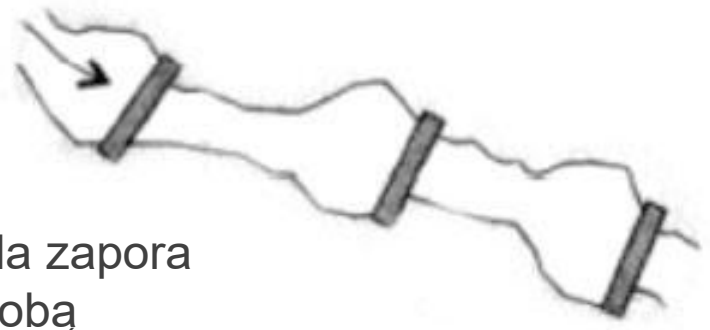


Rys. Elektrownia regulacyjna z dużym i małym zbiornikiem retencyjnym

Podział elektrowni wodnych, c.d.

Elektrownie kaskadowe :

- również wykorzystują zbiorniki, ale jest ich kilka (magazynowanie wody)
- zazwyczaj posiadają regulację zbiorową jak i indywidualną każdego zbiornika
- regulacja przepływu wody realizowana jest w jeszcze większym zakresie
- elektrownie tego typu stanowią dobre zabezpieczenie przeciwpowodziowe



Rys. Elektrownia kaskadowa – każda zapora posiada mały zbiornik wody przed sobą

Podział elektrowni wodnych, c.d.

Elektrownie szczytowo-pompowe :

- ich głównym zadaniem jest magazynowanie energii wody i wykorzystanie jej w czasie największego zapotrzebowania na energię elektryczną
- składają się z dwóch zbiorników położonych na różnych wysokościach: dolnego i górnego; pojemność zbiorników wystarcza zazwyczaj na 2-6 godzinną pracę turbinową
- nocą, w czasie małego zapotrzebowania na energię elektryczną, woda przepompowywana jest ze zbiornika dolnego do górnego (praca pompowa)
- w dzień, przy dużym zapotrzebowaniu na energię elektryczną, woda spuszczana jest ze zbiornika górnego i napędza turbiny wodne – wytwarza prąd (praca turbinowa).

Rys. Elektrownia szczytowo-pompowa

Podział elektrowni wodnych, c.d.

Elektrownie szczytowo-pompowe, c.d.

Współpraca z systemem elektroenergetycznym:

- **praca programowalna**

Elektrownia produkuje „drogą” szczytową energię elektryczną, za pomocą wody zmagazynowanej w górnym zbiorniku - doprowadzonej pompami pobierającymi „tanią” energię elektryczną z systemu elektroenergetycznego, w czasie jego małego obciążenia („doliny” nocnej lub dziennej).

- **praca interwencyjna (regulacyjna)**

Ze względu na dobre własności ruchowe, elektrownia pompowa może brać udział w pokrywaniu szybkich zmian obciążenia w systemie elektroenergetycznym, jak również w sytuacjach awaryjnych, np. wypadnięcie bloku w elektrowni cieplnej.

Podział elektrowni wodnych, c.d.

Elektrownie szczytowo-pompowe, c.d.

Elektrownia Żarnowiec:

- największa elektrownia szczytowo-pompowa, o mocy zainstalowanej: 716 MW
- wykorzystuje dwa zbiorniki wody; utworzony sztucznie zbiornik górny o powierzchni 135 ha i pojemności 13,8 min m3, oraz naturalny zbiornik dolny którym jest jezioro Żarnowiecki: 1470 ha
- różnica poziomów zwierciadeł wody w górnym i dolnym zbiorniku wynosi od 110 do 126 m
- czas napełniania górnego zbiornika wynosi ok. 6 h
- elektrownia wyposażona jest w 4 turbiny o mocy 176 MW każda

Duże elektrownie wodne

Zalety:

- nie wprowadzają zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego
- nie wykorzystują również tradycyjnych paliw
- są tańsze w eksploatacji niż konwencjonalne elektrownie
- są modułowe, a więc mniej narażone na awarię
- pozytywnie wpływają także na warunki przeciwpowodziowe.

Duże elektrownie wodne, c.d.

Wady:

- mocno ingerują w środowisko naturalne najbliższego otoczenia
- budowa dużych zbiorników, spiętrzanie wody, spowalnianie naturalnego nurtu rzeki prowadzi do dużych zachwiań w lokalnym ekosystemie oraz zmiany struktury hydrologicznej
- zalane tereny muszą zostać opuszczone przez zajmujące je zwierzęta, ptaki tracą swe miejsca lęgowe
- utrudniają także podróż ryb na tarło
- powodują również znacznie szybsze zamulanie się zbiorników
- mimo tańszej eksploatacji takiej elektrowni, koszty samej budowy bywają kilkukrotnie wyższe niż przy konwencjonalnych elektrowniach

Potencjał energetyczny

Obecnie planuje się odbudowę systemu małych elektrowni wodnych w Polsce, mimo dość małego ich potencjału w porównaniu do innych krajów.

Dla polskich rzek potencjał ten, oszacowany z uwzględnieniem katastru sił wodnych, wynosi teoretycznie 23 TWh, techniczny 12,1 TWh a ekonomiczny 8,5 TWh. Jest to konsekwencja nierównomiernych i niewielkich opadów, dużej przepuszczalności gruntu w przeważającej większości płaskiego.

Hydroenergetyczny potencjał techniczny – ilość energii, którą można uzyskać budując wszystkie elektrownie wodne, możliwe do wykonania ze względów technicznych.

Hydroenergetyczny potencjał teoretyczny – ilość energii stanowiąca sumę potencjału grawitacyjnego wszystkich rzek w kraju.

Potencjał energetyczny, c.d.

Szacuje się, że w przedwojennej Polsce było nawet ok. 8.000 obiektów tego rodzaju. Obecnie ich liczba wynosi ok. 630.

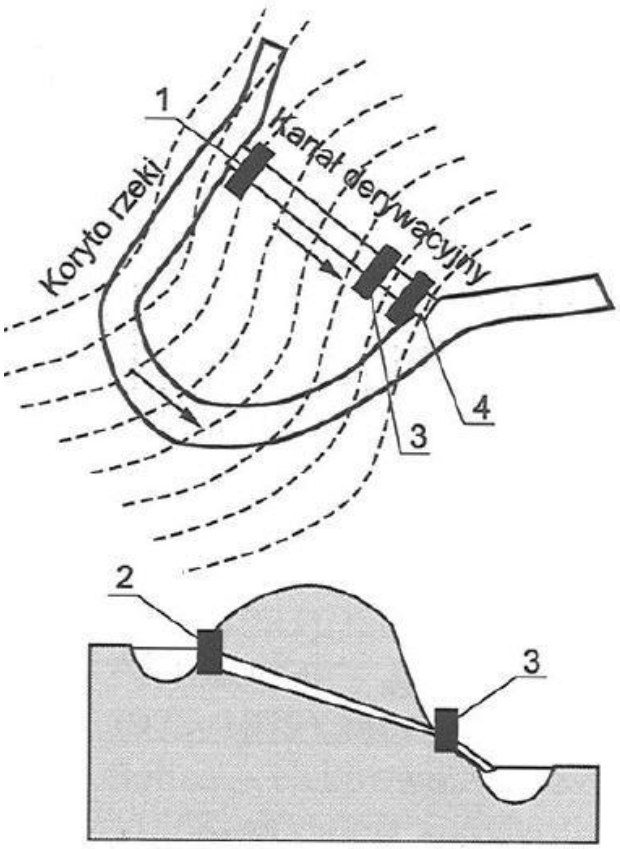
Małe elektrownie wodne (MEW) podzielić możemy dodatkowo ze względu na moc :

- mikro elektrownie: o mocy poniżej 70 kW
- makro elektrownie: o mocy w przedziale od 70 kW do 100 kW
- małe elektrownie: o mocy w przedziale od 100 kW do 500 kW

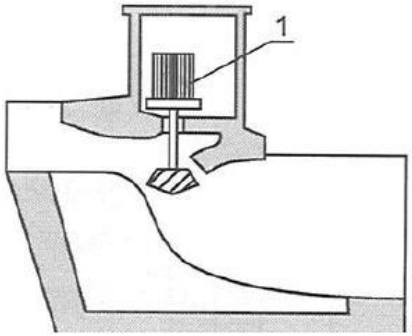
MEW staje się opłacalna przy mocy min 30 kW.

Rys. Miejsca dogodnej lokalizacji dla MEW

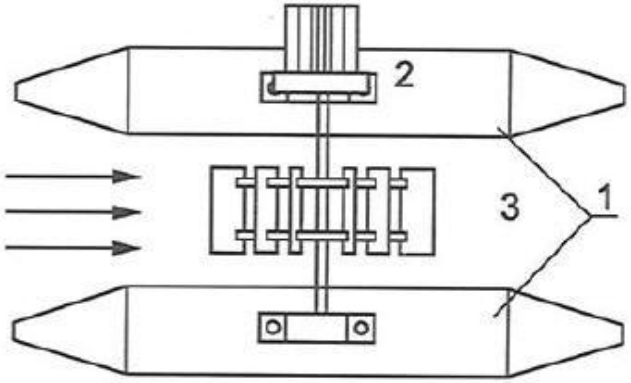
Przykładowe rozwiązania



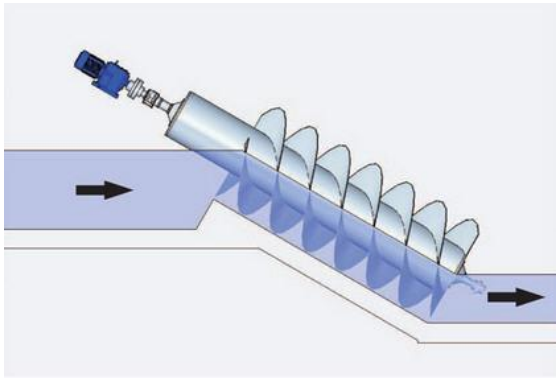
Rys. Elektrownia dyrywacyjna



Rys. Elektrownia niskospadowa



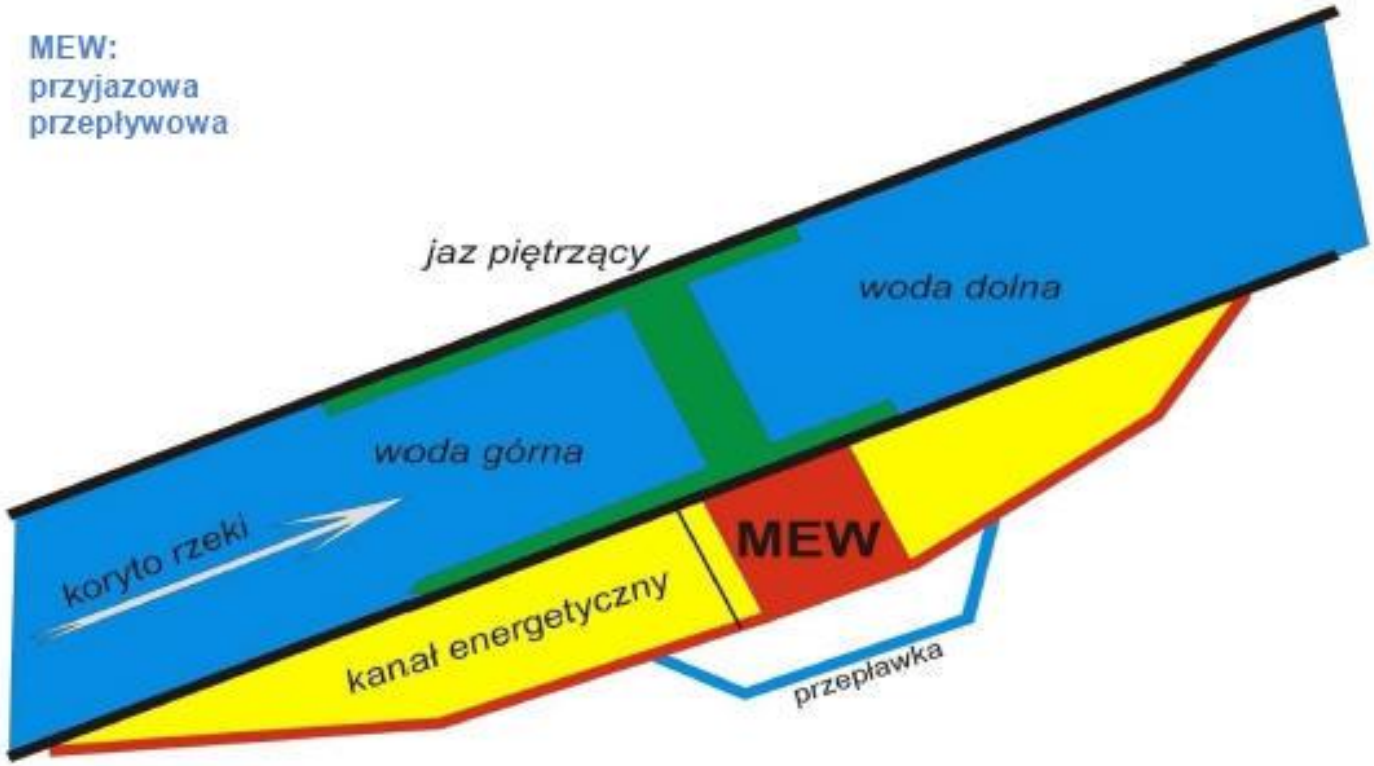
Rys. Elektrownia pływająca



Rys. Elektr. z turbiną ślimakową

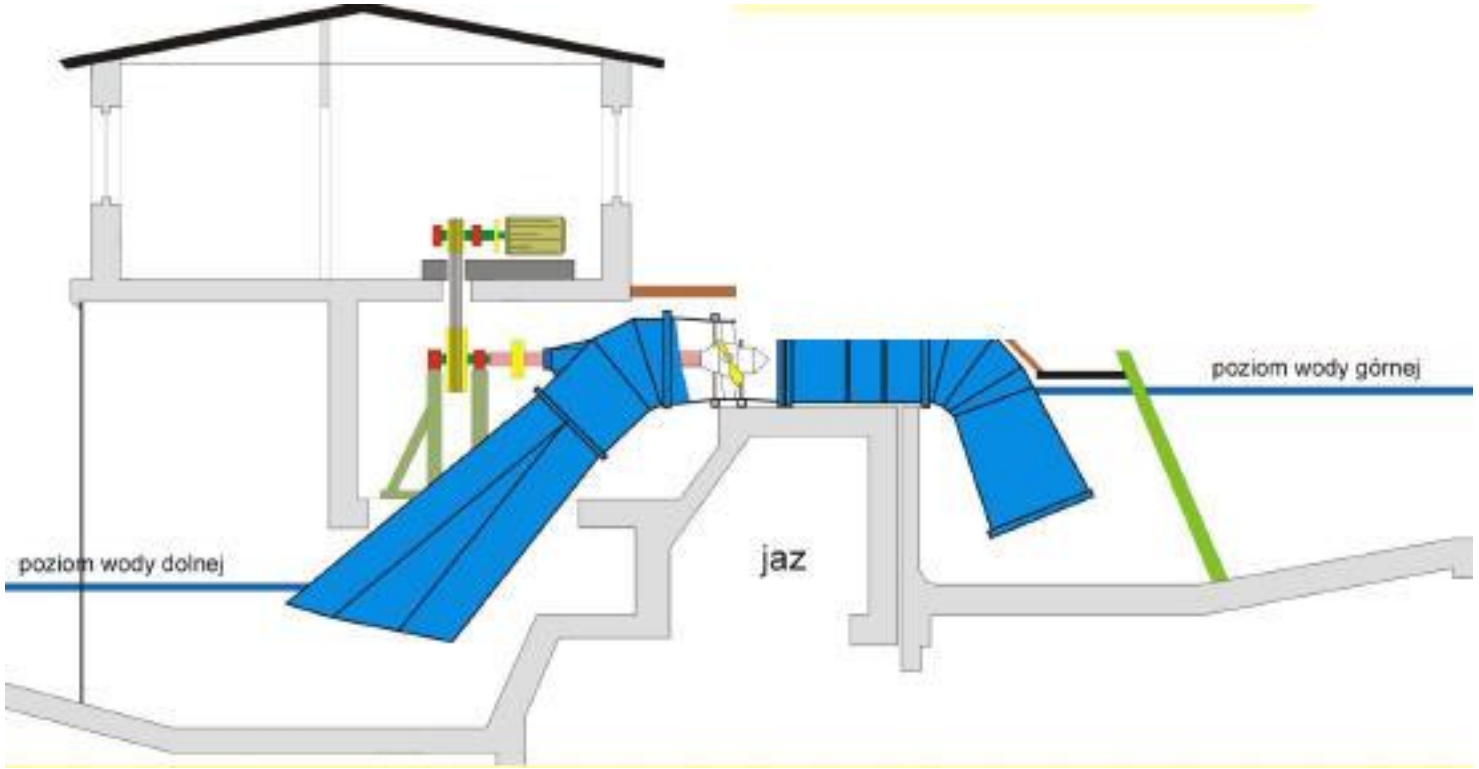
Przykładowe rozwiązania, c.d.

Przykładowe usytuowanie MEW i jazu na rzece:



Przykładowe rozwiązania, c.d.

Schemat elektrowni wodnej z turbiną w układzie lewarowym:



Małe elektrownie wodne

Zalety:

- MEW mogą być ważnym elementem przyszłej polityki energetycznej kraju
- produkują prąd elektryczny głównie na potrzeby lokalne; mogą również wykorzystywać energię mechaniczną wody, np. do mielenia zboża.
- w małym stopniu wpływają na środowisko naturalne
- nie powodują znacznego spadku poziomu wód gruntowych za zaporą
- nie spowalniają na tyle nurtu rzeki, by doprowadzić do jej zamulenia
- ograniczają erozję dna rzeki powyżej zapory
- nie wymagają budowania dużych zapór czy zbiorników wodnych
- nie utrudniają podróży ryb i rozwojowi narybku
- pozytywnie wpływają na stan powietrza atmosferycznego, zmniejszając zapotrzebowanie na konwencjonalne źródła energii
- szybka budowa MEW i łatwa obsługa.

Małe elektrownie wodne

Wady:

- wysoki koszt inwestycyjny
- koszt budowy 1 kW wynosi ok. 3.000 - 4.000 zł
- średni okres amortyzacji: ok. 6-8 lat
- trudne do pokonania bariery formalno-prawne

Po co magazynować energię ?

Magazynowanie energii jest istotne, gdy mamy doczynienia z nadprodukcją energii elektrycznej w godzinach niskiego na nią zapotrzebowania, np. w nocy, gdy zapotrzebowanie na niż znacznie spada.

Jednym ze sposobów magazynowania energii wody są **elektrownie szczytowo-pompowe**:

- dwa zbiorniki (naturalne lub sztuczne), położone blisko siebie, ale na różnych wysokościach
- w godzinach nocnych, pompy wtłaczają wodę z nisko położonego zbiornika, do górnego (zamiana energii elektrycznej na energię potencjalną wody); proce pompowania wody może trwać od kilku do kilkunastu godzin, w zależności od objętości pompowanej wody
- w dzień, gdy potrzeba dostarczyć dużo energii elektrycznej, woda z górnego zbiornika jest spuszczana z powrotem do dolnego – - po drodze napędzając turbiny wodne podłączone do generatorów prądu.

Elektrownie szczytowo-pompowe

Elektrownie S-P pracują z ujemnym bilansem energetycznym – więcej energii potrzeba na wtłoczenie wody, niż uzyskuje się dzięki jej spadkowi. Jednak rozwiązanie to jest uzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia, bo:

- na pompowanie wody do zbiornika górnego zużywana jest tania energia elektryczna, która nie znajdzie zastosowania nigdzie indziej – jest to często energia, która nie znajdując odbiorcy, zwyczajnie zostałaby stracona

- w dzień, przy dużym zapotrzebowaniu na energię elektryczną kraju, w ciągu kilku minut elektrownia szczytowo-pompowa osiąga pełną moc i dostarcza niezbędny prąd do sieci

Elektrownie szczytowo-pompowe, c.d.

Przykłady elektrowni szczytowo-pompowych:

Elektrownia Żydowo
Pierwsza w Polsce, zbudowana w 1971 roku w woj. zachodnioporskim.

W jej skład wchodzą dwa naturalne jeziora: Kamienne oraz Kwiecko, których różnica poziomów lustra wody wynosi około 80 m. Łączą je trzy rurociągi o średnicy 5 m i długości 467 m.

Elektrownia osiąga moc 156 MW.

Zdj. Elektrownia Żydowo

Elektrownie szczytowo-pompowe, c.d.

Przykłady elektrowni szczytowo-pompowych, c.d.:

Elektrownia Żarnowiec
jest największą w Polsce elektrownią S-P.

Znajduje się nad Jeziorem Żarnowieckim w miejscowości Czymanowo w woj. pomorskim. Budowę elektrowni rozpoczęto w 1976 r., a jej uruchomienie nastąpiło w 1983 roku. Początkowo miała pełnić rolę akumulatora energii dla powstającej w niedaleko położonym Krotoszynie elektrowni jądrowej.
Górnym zbiornikiem elektrowni jest Czymanowo – sztuczne jezioro o powierzchni 122 ha i pojemności 13 mln m3, wybudowane na terenie byłej wsi Kolkowo.

Posiada cztery hydrozespoły wyposażone w turbiny Francisa o mocy łącznej 716 MW w systemie pracy generatorowej i 800 MW w systemie pracy pompowej.

Elektrownie szczytowo-pompowe, c.d.

Przykłady elektrowni szczytowo-pompowych, c.d.:

Elektrownia Porąbka-Żar

Druga największa w Polsce elektrownia S-P. Położona w terenie górskim, a Jezioro Międzybrodzkie ma za dolny zbiornik. Górny zbiornik zbudowany został na szczycie góry Żar.

Podobnie jak w przypadku elektrowni w Żarnowcu posiada ona cztery zespoły wyposażone w turbiny Francisa o łącznej mocy 500 MW dla pracy generatorowej oraz 540 MW dla pracy pompowej.

Zdj. Zbiornik górny elektrowni Porąbka-Żar

Systemy energetyki odnawialnej

Temat nr 9; 26.01.2016:
Energetyka wodna

Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych: http://trmew.pl

Energetyka wodna: http://ioze.pl/energetyka-wodna

mgr inż. Krzysztof Gnyra
tel. 602 231 407
e-mail: kgnyra@gmail.com