## Temat nr 6:
# Energetyka wodna

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

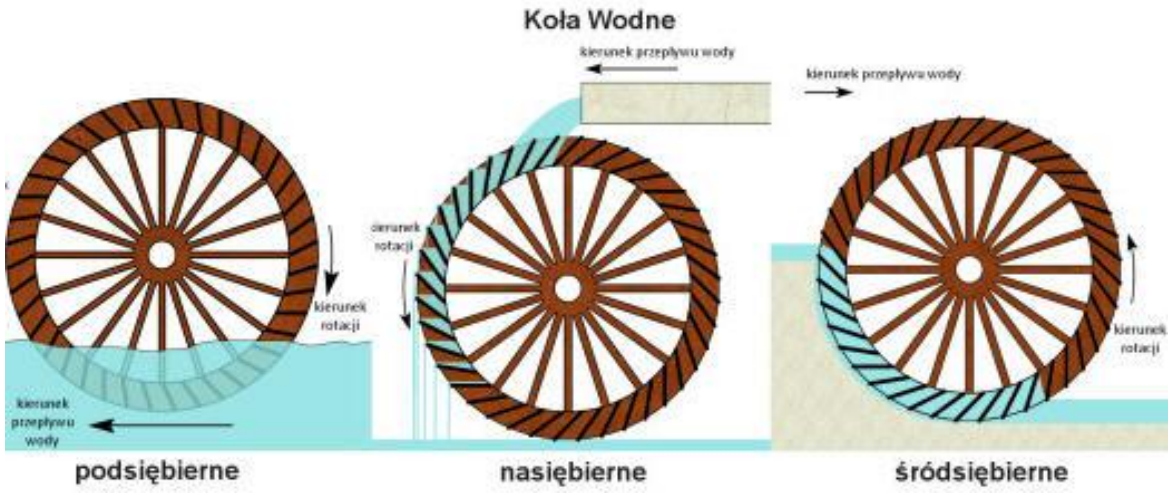
## Potencjał energii wody

Film: https://youtu.be/YmVv_JrnYw4

## 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

Grawitacyjne współdziałanie Słońca, Ziemi i Księżyca powoduje, że woda na naszym globie stale "chlupie" lub się „buja” będąc cały **czas w ruchu**. Teoria pływów morza jest dość skomplikowana, ale z grubsza można powiedzieć, że woda zbiera się w miejscach gdzie aktualnie znajduje się najbliżej Księżyc i także po przeciwnej stronie Ziemi - dla równowagi czy balansu. W tym czasie po "bokach" Ziemi woda opada.

## Energia mórz i oceanów, c.d.

## Energia pływów, c.d.

Nad oceanem łódki w porcie czekają na przypływ

## Energia mórz i oceanów, c.d.

## Energia pływów, c.d.

Więcej o pływach – polecam artykuł: **Przypływ i odpływ morza**, link: http://www.wiatrak.nl/18857/przyplyw-i-odplyw-morza

## Energia mórz i oceanów, c.d.

## Energia pływów, c.d.

**Gdy chcesz przeżyć - nigdy nie walcz z odpływem!**

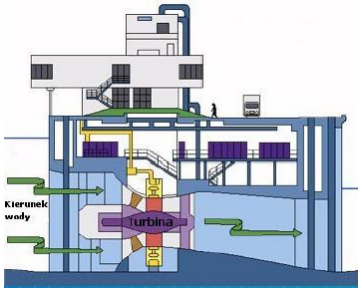
## Energia mórz i oceanów, c.d.

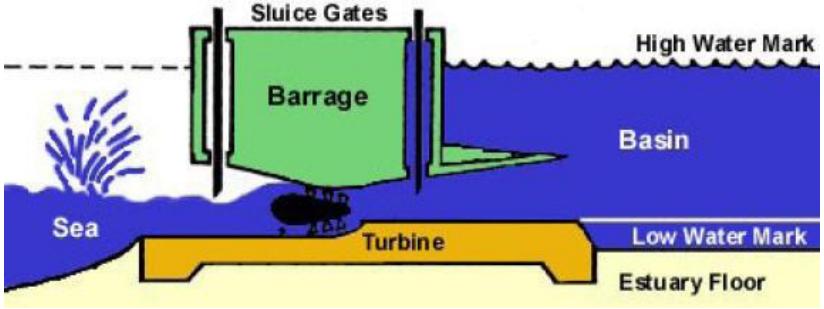
## Energia pływów, c.d.

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**.



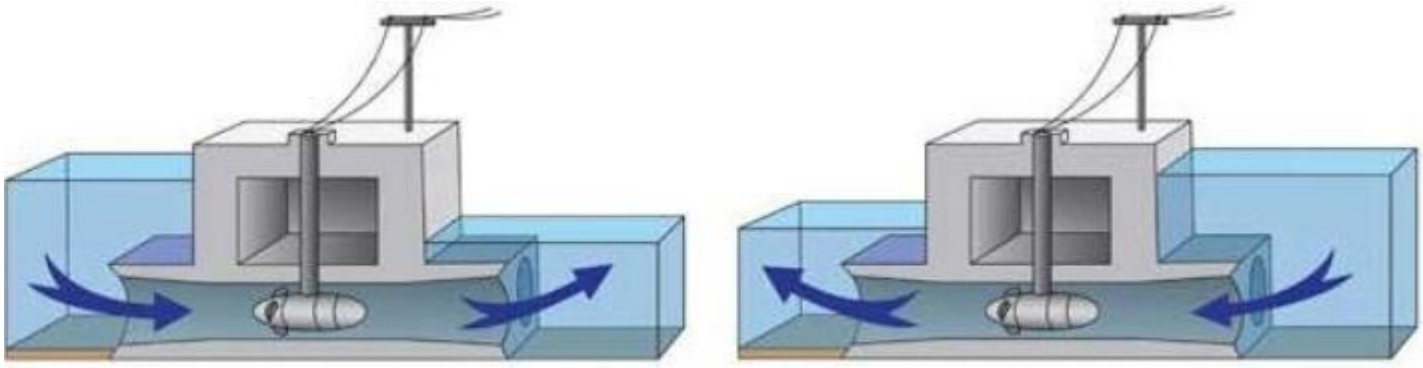
## Energia mórz i oceanów, c.d.

## 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.



## 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 30-stu centymetrów.

## Energia mórz i oceanów, c.d.

## Energia pływów, c.d.

### Różnice poziomu morza na przykładach:

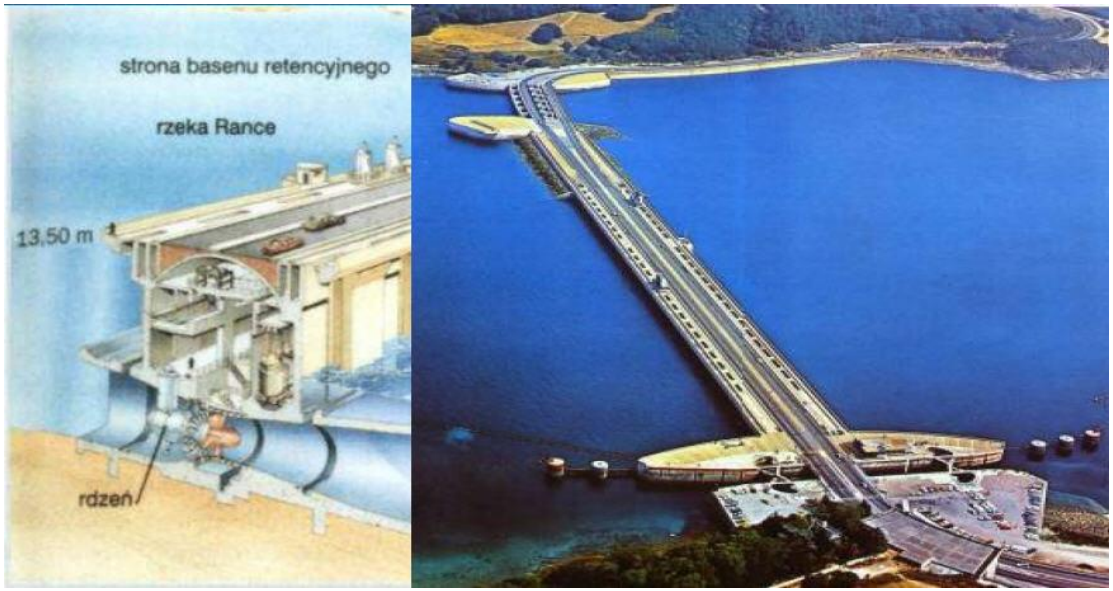
**30 cm**. W **Bałtyku** i **Morzu Śródziemnym** różnica między przypływem i odpływem wynosi maksymalnie **30 cm** - jest wiec praktycznie niezauważalna.
**4 m**. Na wybrzeżu **Morza Północnego** w Holandii to już rozpiętość **1,5- 2 metrów,** ale w Belgii już nawet do **4 metrów**!

Różnice poziomu na pełnym ocenie wynoszą około jednego metra ale szczególnie w zatokach i ujściach rzek (gdzie ląd ogranicza wodę) różnice poziomów mogą być znaczne, jak np:
**15 m**. koło pięknego **Mont Saint-Michel** we francuskiej Normandii woda wdziera się do zatoki z szybkością **65 cm na minutę** i wznosi się na wysokość **15 metrów**.
**18 m**. Rekordzistą jest **Zatoka Fundy** koło Nowej Szkocji w Kanadzie, gdzie różnica poziomów oceanu może wynosić aż do **18 m**.

## 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).

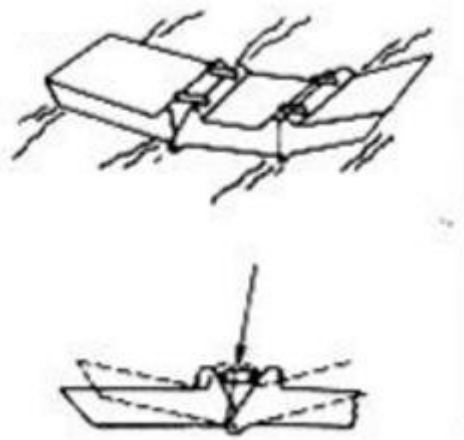
Ponadto, zastosowane urządzenia narażone są działanie wody morskiej – korozja.

## 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.

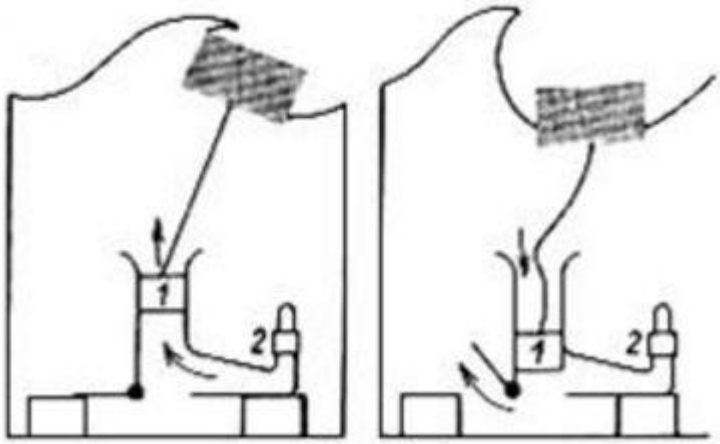


Rys. „Tratwa”

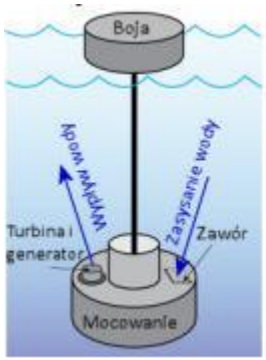
## Energia mórz i oceanów, c.d.

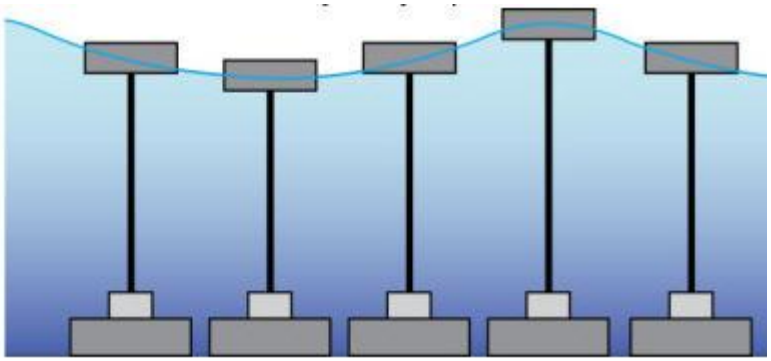
## Energia fal morskich, c.d.

„**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.

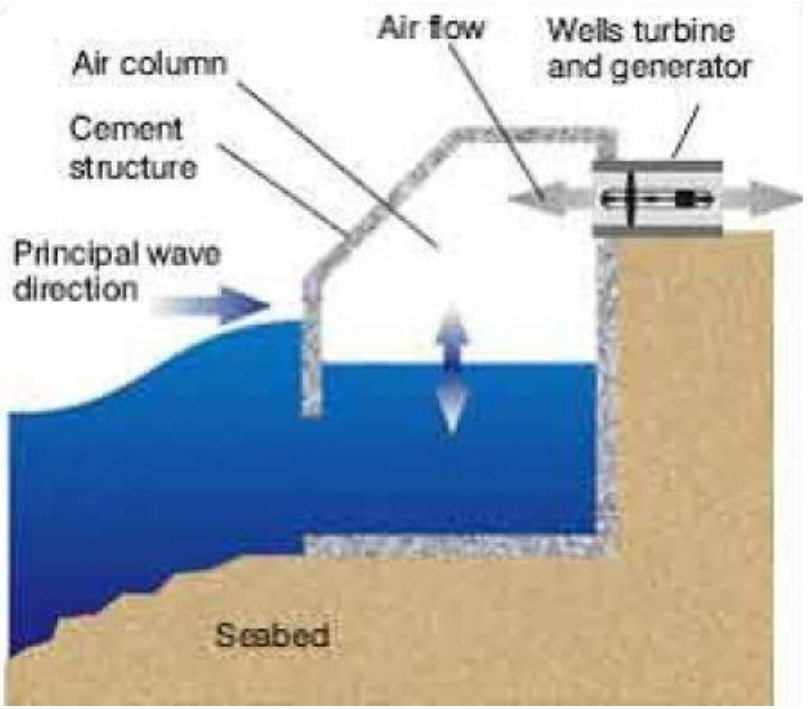
Przykład:
Dania, „Wave Dragon”

## 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.



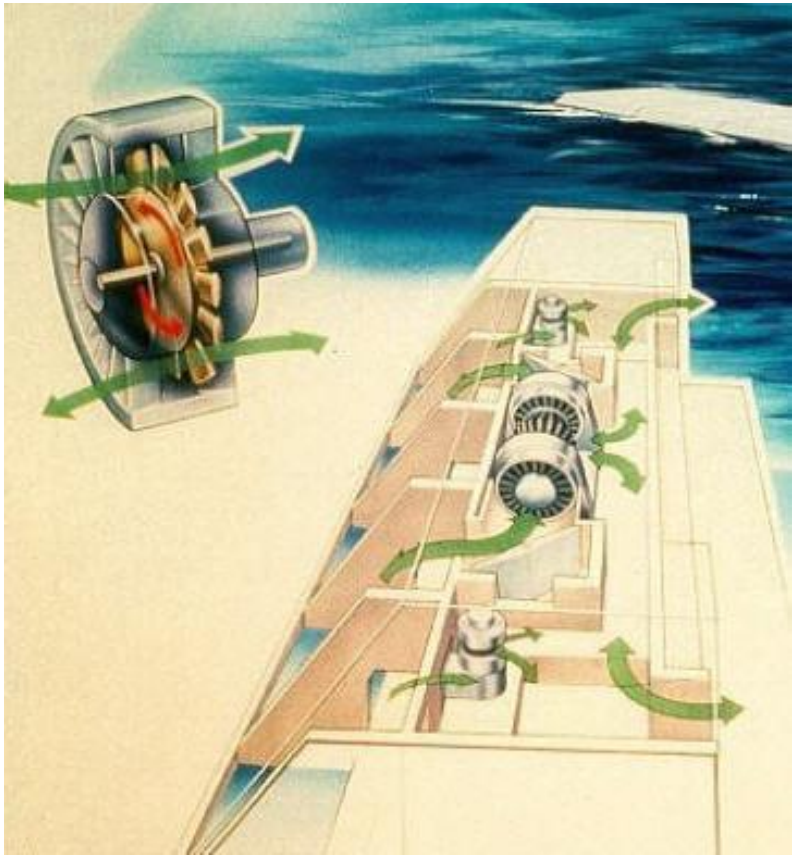
## Energia mórz i oceanów, c.d.

## 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.

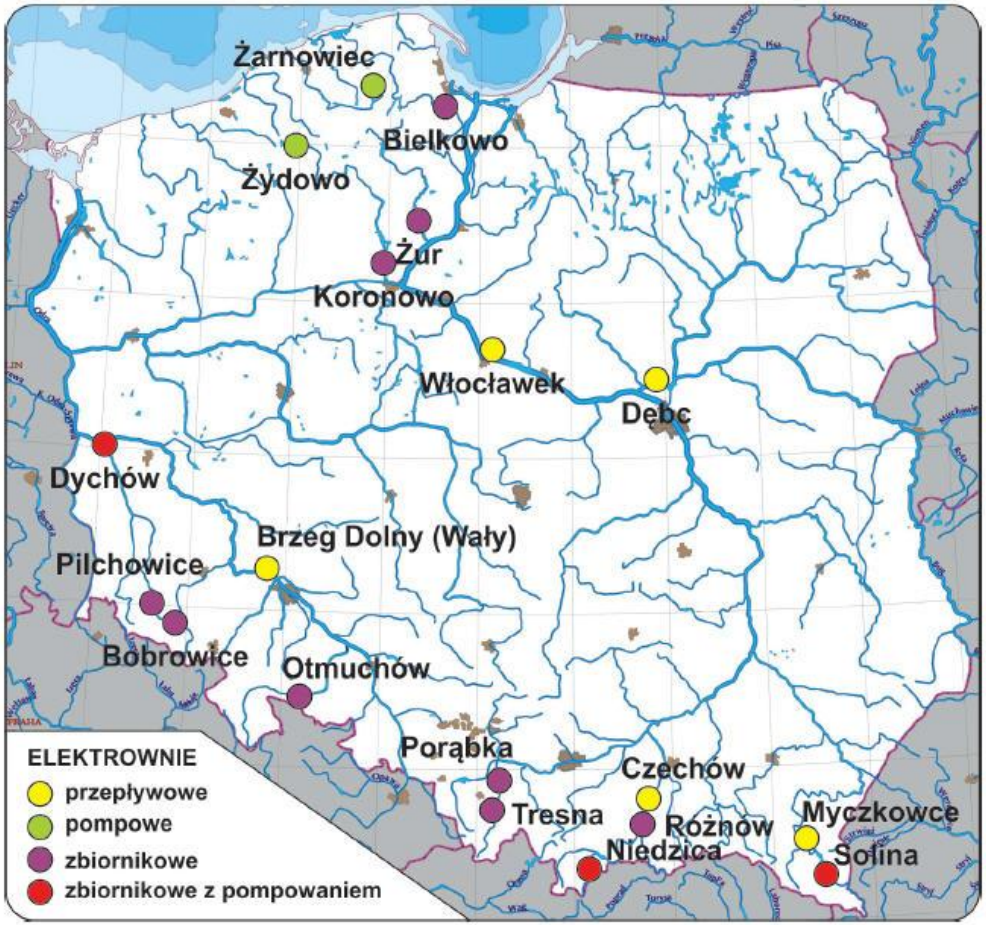
**PRO** – metoda ciśnieniowej opóźnionej osmozy.
Zakłada wykorzystanie membrany, która oddziela wodę morską i wodę rzeczną. Zatrzymuje ona jony z wody morskiej i przepuszcza wodę słodką. Powoduje to wzrost ciśnienia w części z wodą morską. Różnica ciśnienia umożliwia pompowanie wody, co napędza turbiny.

**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

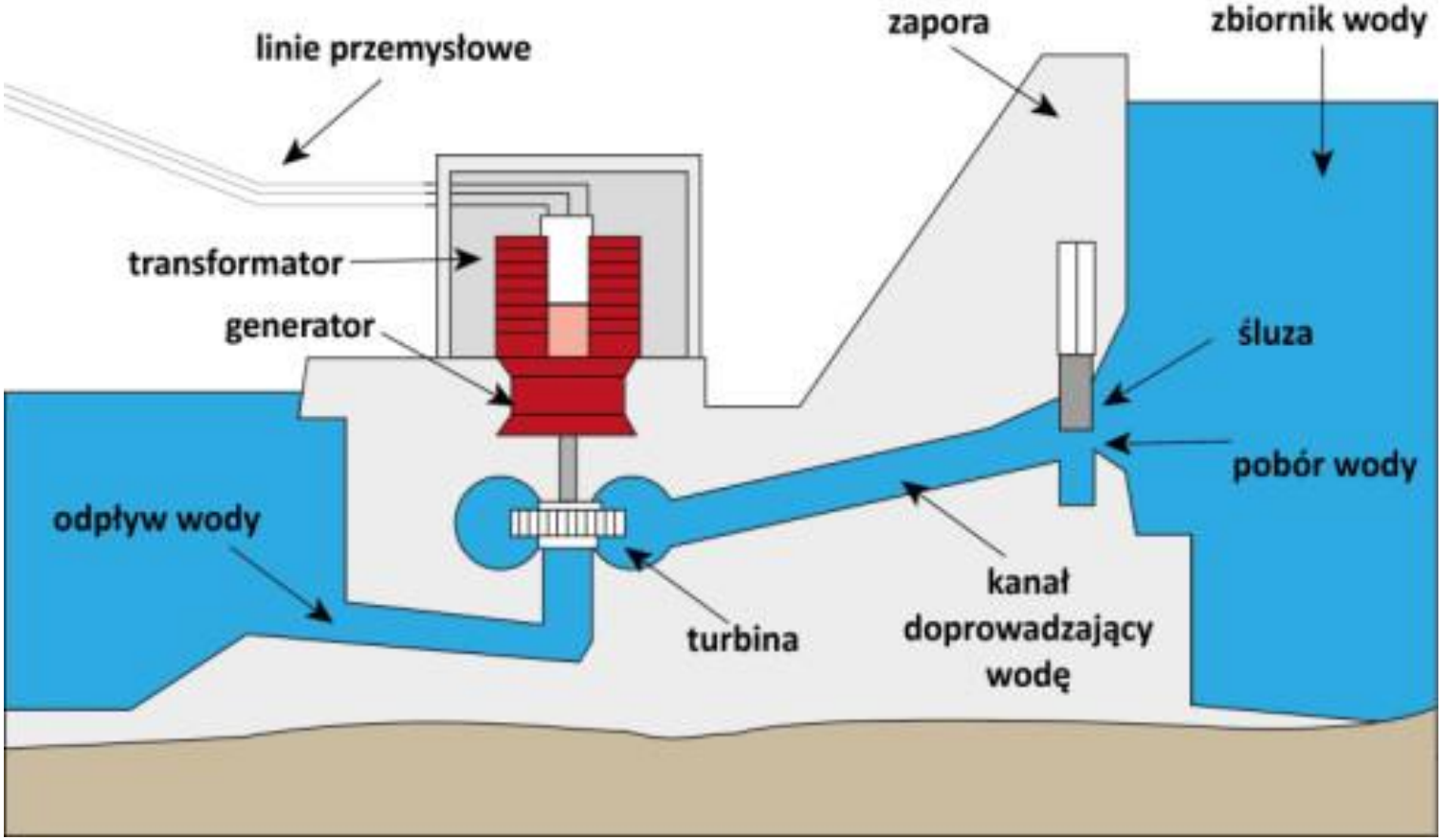
## Wykorzystanie energii wodnej w Polsce i na świecie:

| 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:

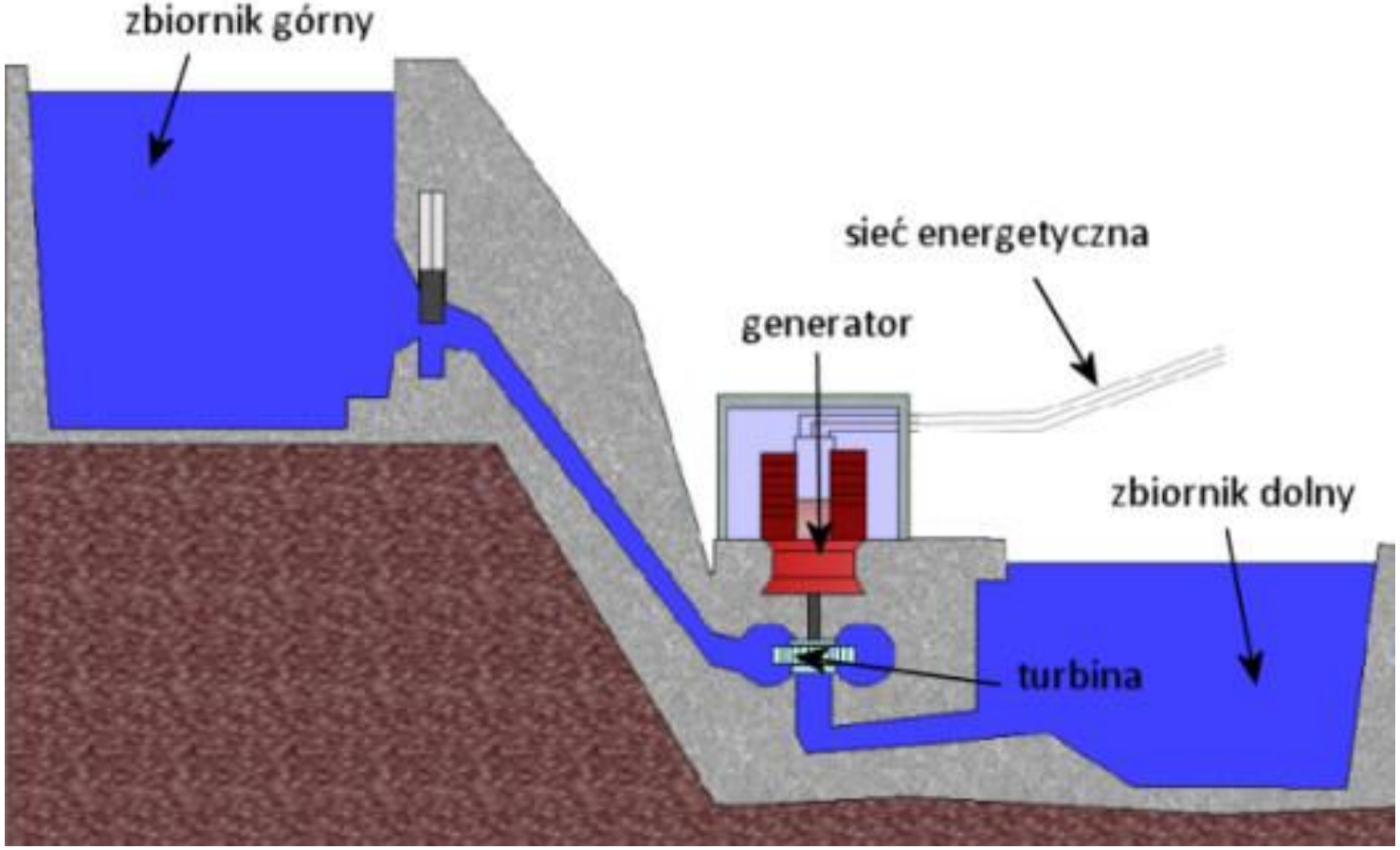
- **elektrownie przepływowe** – wykorzystują naturalny, ciągły przepływ cieku wodnego (nie mają zbiornika do magazynowania wody), np. Elektrownia Włocławek, Dębe
- **elektrownie zbiornikowe** – wyposażone w zbiorniki wody dla lepszego wykorzystania cieku wodnego (spiętrzają wodą i zwiększają jej energię 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) :



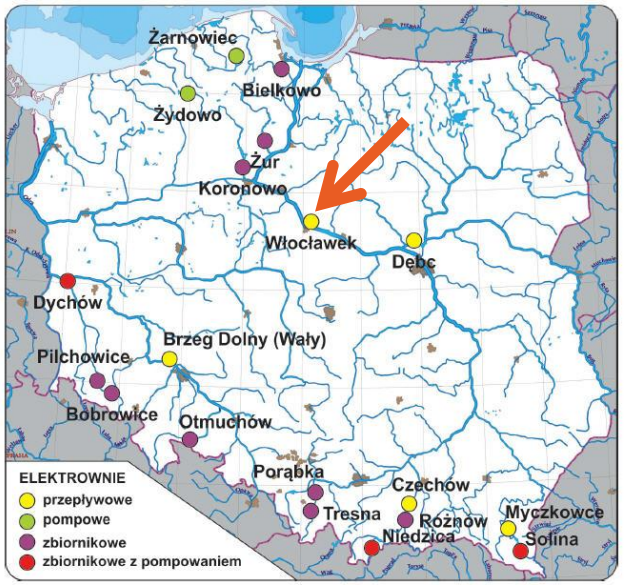

Rys. Schemat elektrowni pompowej

## Wody śródlądowe

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

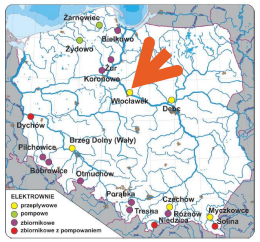
- 124 przepływowych
- 3 przepływowe z członem pompowym (Solina: spad 55-60 m, moc 200 MW; Niedzica: 40,5 m, 92 MW; Dychów: 27 m, moc 79 MW)
- 3 elektrownie szczytowo-pompowe (Żarnowiec: spad 120 m, moc 716 MW; Porąbka-Żar: 420 m, 500 MW; Żydowo: 81 m, 152 MW).

Do największych elektrowni zalicza się m.in. zapora we **Włocławku (przepływowa)** – 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**.



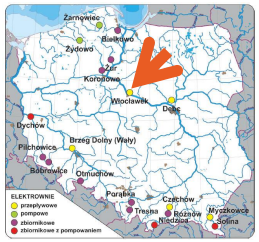
## Wody śródlądowe

## Elektrownia Włocławek



## Wody śródlądowe

## Elektrownia Włocławek; c.d.



## Wykorzystanie wód śródlądowych :

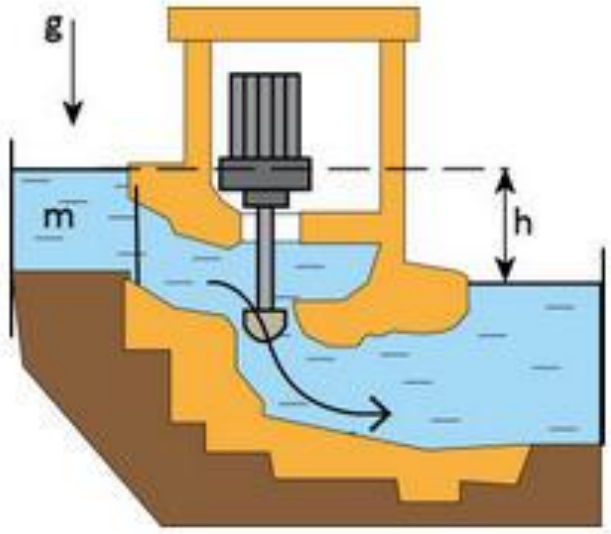
- wody śródlądowe można wykorzystać do wytwarzania energii elektrycznej, jeśli posiadają energię potencjalną – **niezbędny spad**
- jeśli **spad** nie występuje naturalnie, można go stworzyć, przez np.: **spiętrzenie górnego poziomu wody** (np. zapora), **obniżenie dolnego poziomu wody**, budowę kanału 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**:

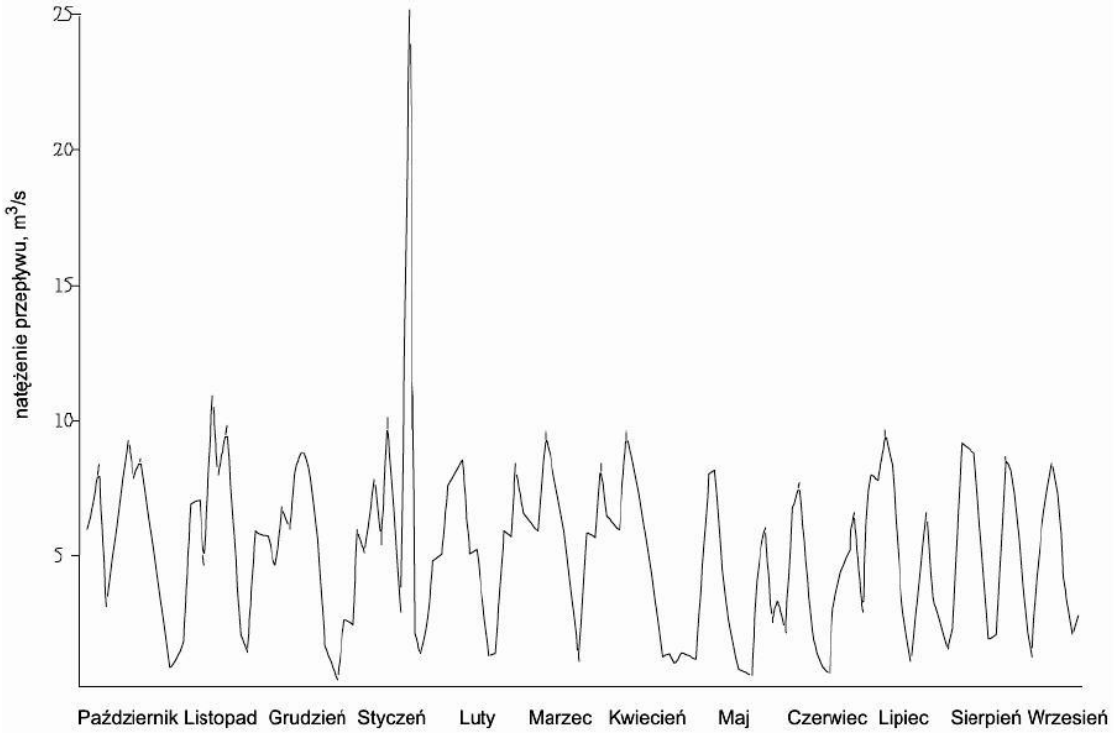
- duża **różnica poziomów** (spad wody)
- duży **przepływ masowy wody** (natężenie przepływu).



## Parametry elektrowni wodnej, c.d.

### Charakterystyki przepływu w cieku wodnym

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



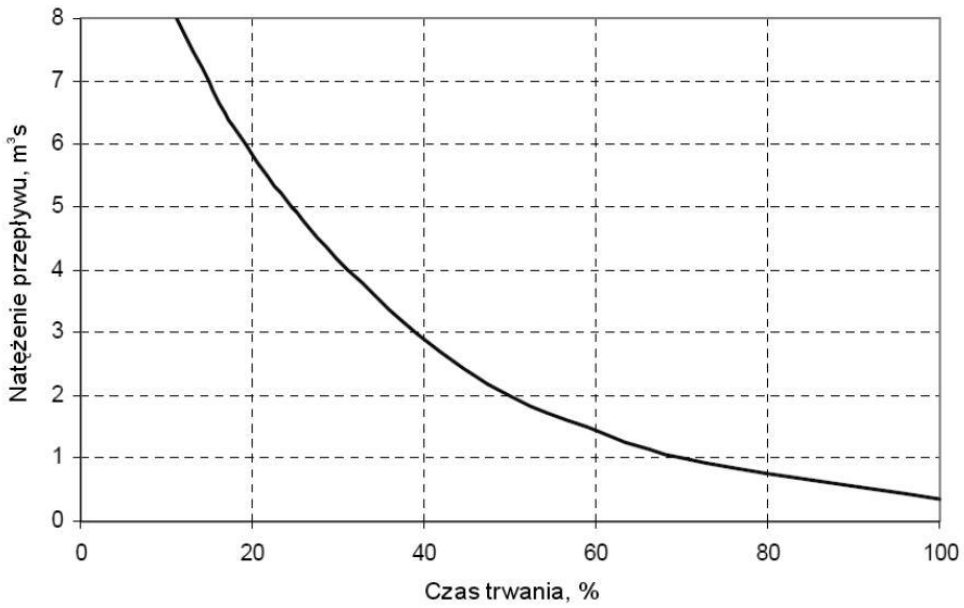

Rys. Przykład hydrogramu; przepływ w czasie, w porządku chronologicznym

## 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.

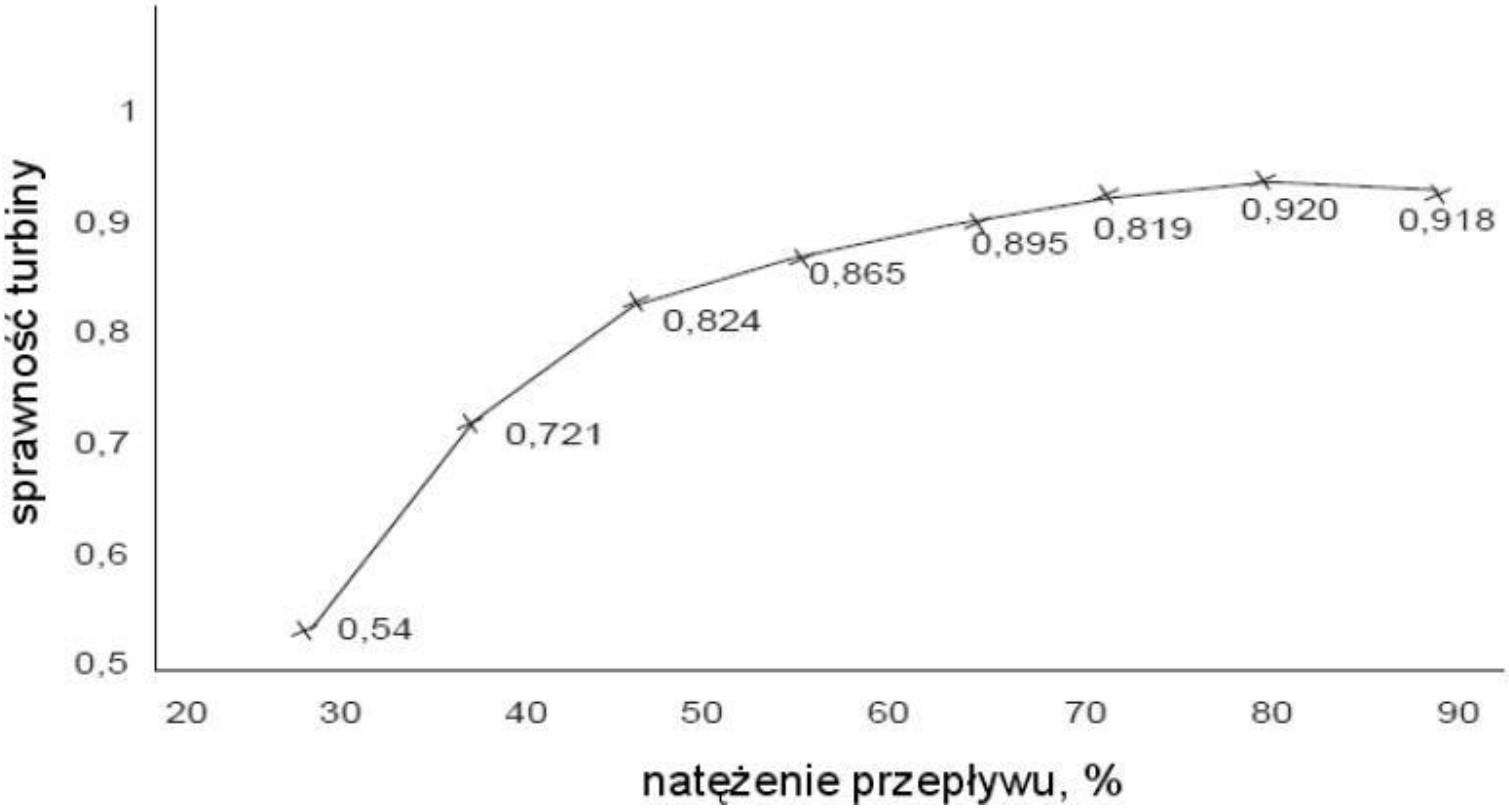
| | Liczba dni | Udział dni w roku |
|---|---|---|
| Przepływ 8,0 $m^3/s$ i większy | 41 | 11,23 |
| Przepływ 7,0 $m^3/s$ i większy | 54 | 14,90 |
| Przepływ 6,5 $m^3/s$ i większy | 61 | 16,80 |
| Przepływ 5,5 $m^3/s$ i większy | 80 | 21,80 |
| Przepływ 5,0 $m^3/s$ i większy | 90 | 24,66 |
| Przepływ 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 **$\eta_e$**

**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: $\eta_e$**
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:

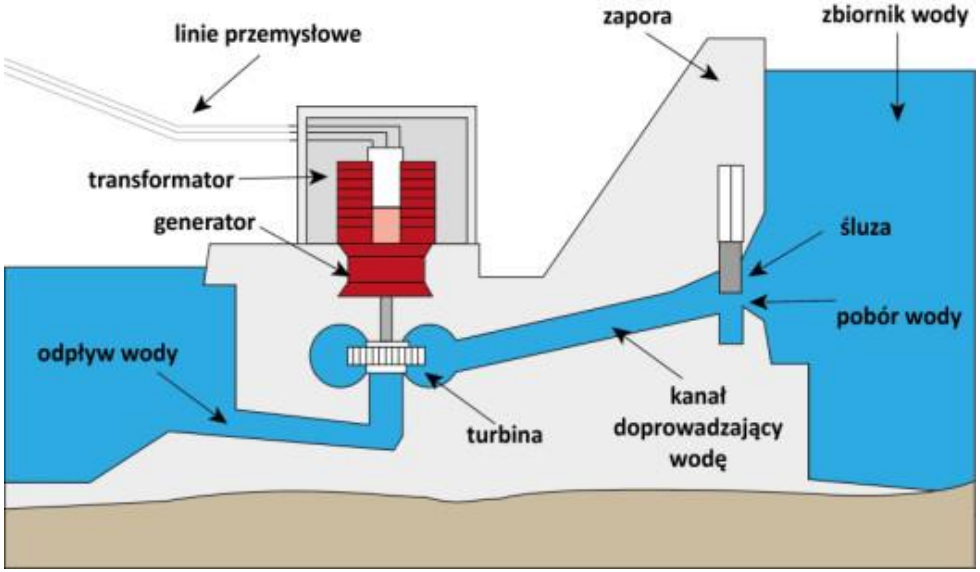
$$E_w = g \times Q \times Hu \times \eta_e \times t \ [kWh/rok]$$

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 użyteczną w wirniku (mechaniczną), w postaci momentu obrotowego.

W turbinie wodnej wykorzystuje się energię prędkości oraz ciśnienia wody.

Podział turbin w zależności od doprowadzonej energii:

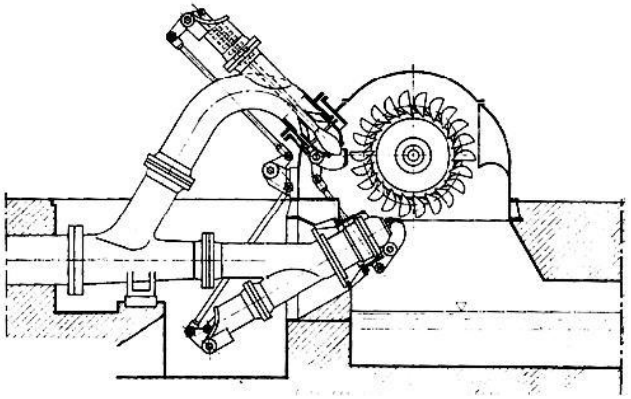
- **turbiny akcyjne** (natryskowe) – wykorzystują **energię kinetyczną wody** (prędkość wody), która doprowadzana jest do wirnika pod ciśnieniem atmosferycznym, np. turbina Peltona
- **turbiny reakcyjne** (naporowe) – wykorzystują **energię kinetyczną wody** oraz **energię ciśnienia wody**; woda doprowadzana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

## Turbiny wodne, c.d.

### Turbina Peltona

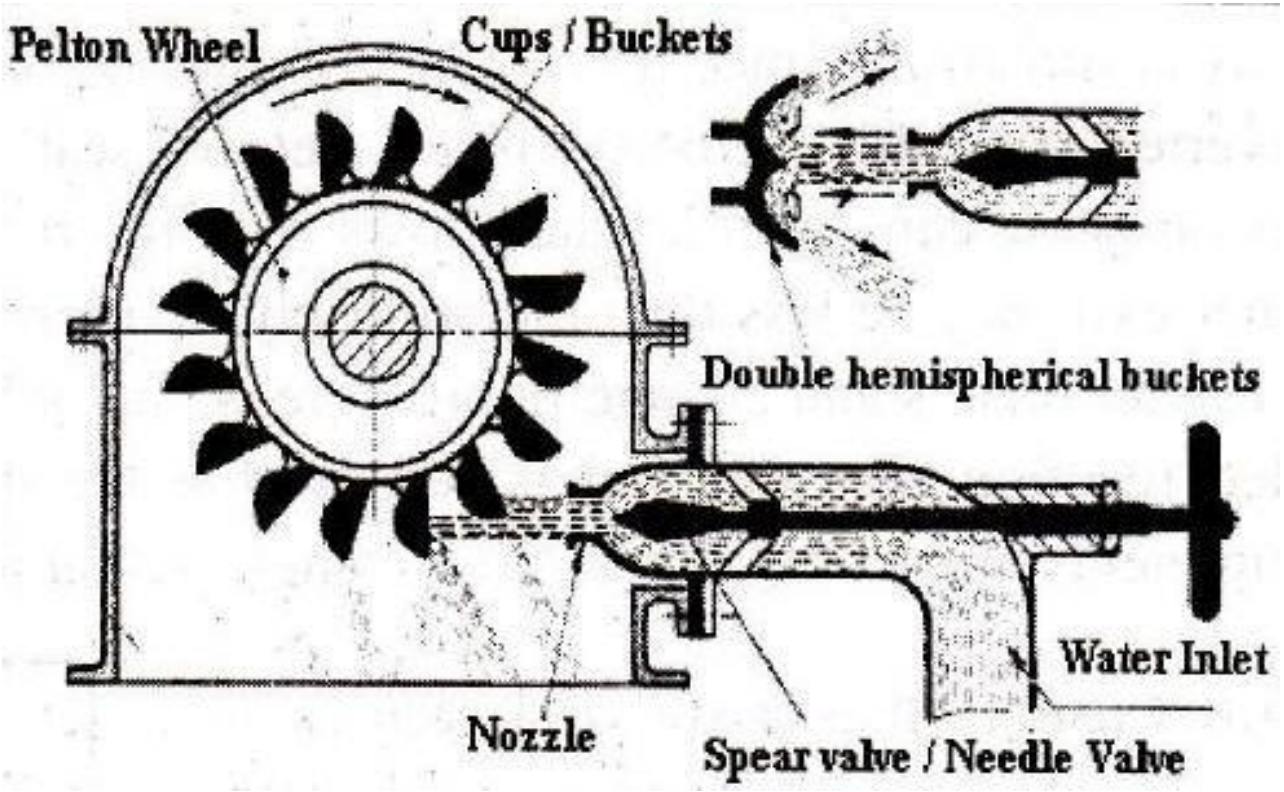
Posiada specjalnie wyprofilowane łopatki – każda łopatka składa się z dwóch połączonych półkulistych części („czaszek”). Są one ustawione pod kątem 90° w stosunku do strumienia wody wypływającej z dyszy:

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



## Turbiny wodne, c.d.

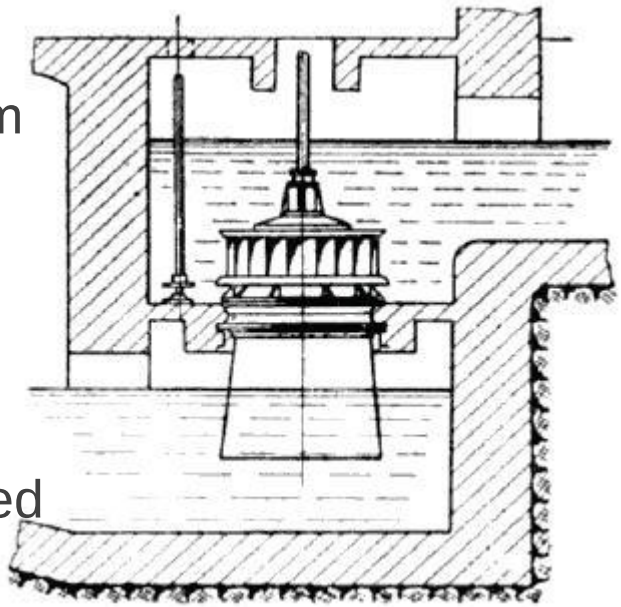
## Turbina Peltona, c.d.



## 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**

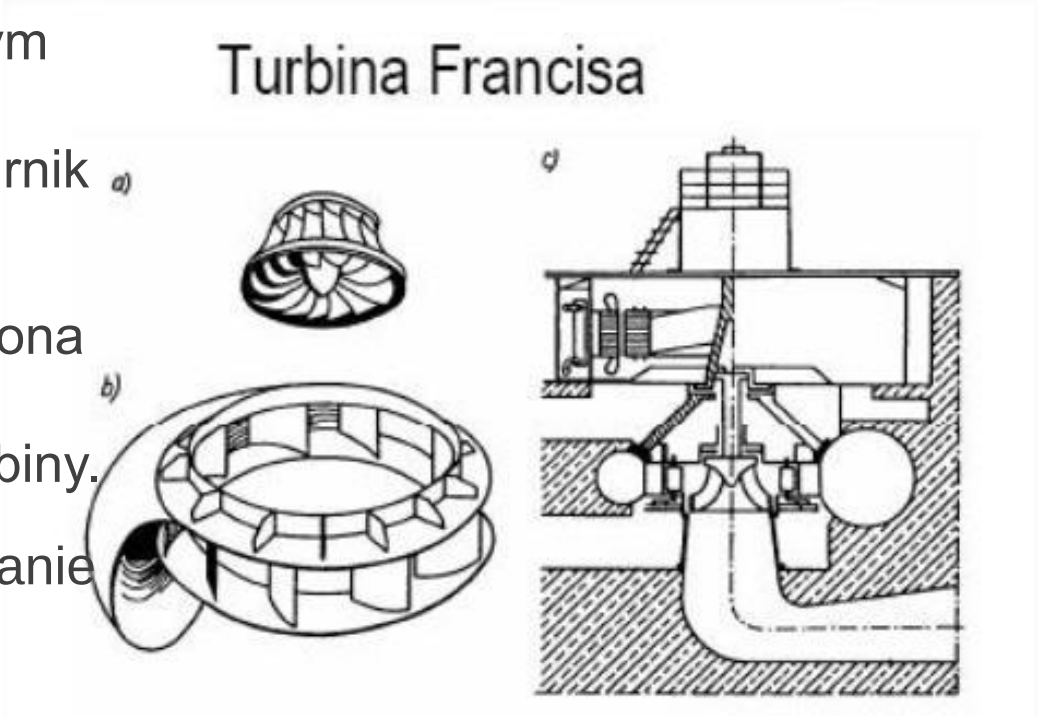
## Turbiny wodne, c.d.

## 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

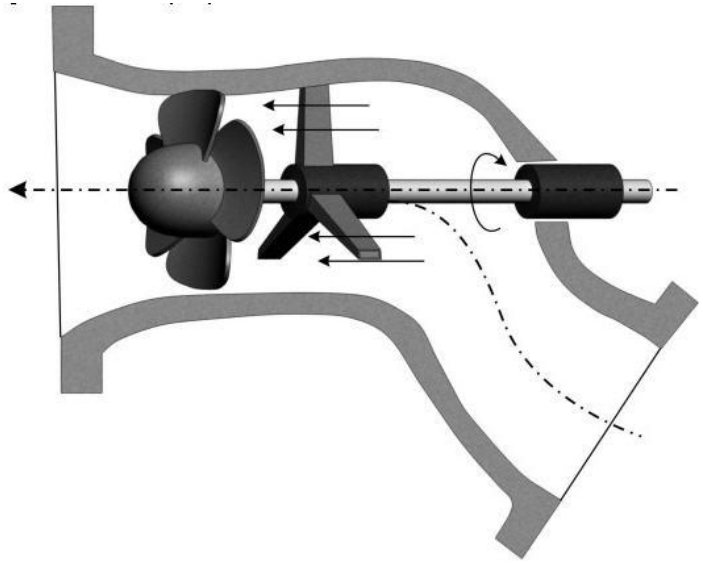
Jest odmianą turbiny śmigłowej – kształtem przypomina śrubę okrętową. Wyróżnia się możliwością regulacji łopatek w trakcie pracy, czyli można dostosować poziom otrzymywanej mocy i sprawności pracy. Wyposażona jest przeważnie w 3 do 10 łopatek na wirniku.

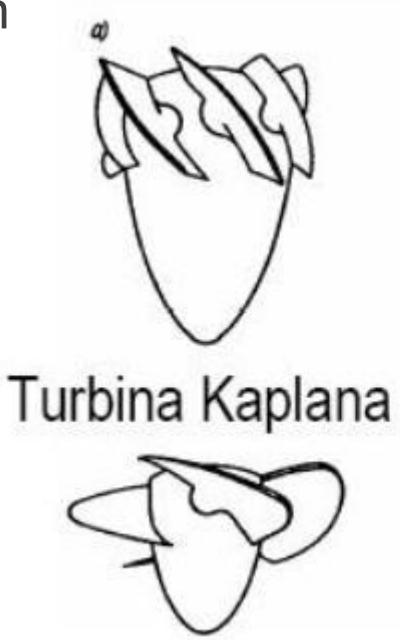
- najczęściej stosowana w nowobudowanych elektrowniach, przy spadku od kilku do kilkunastu metrów
- duża sprawność nawet przy znacznych wahaniach spadku i przełyku
- duża prędkość obrotowa, pozwalająca na stosowanie jednostopniowej przekładni, jak i bezpośredni napęd generatora
- większy przełyk przy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

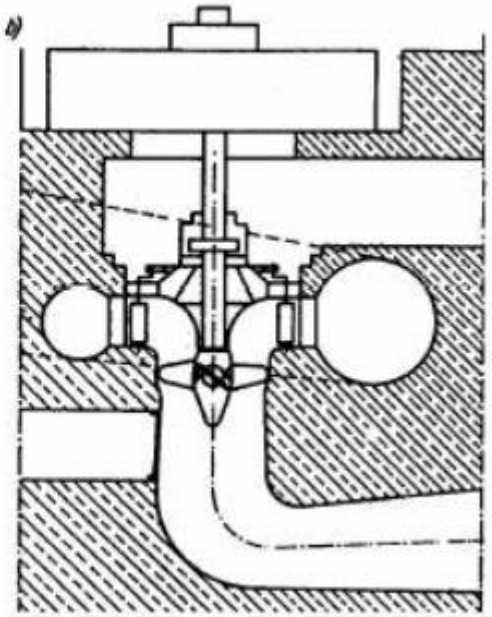
## Turbiny wodne, c.d.

## 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.

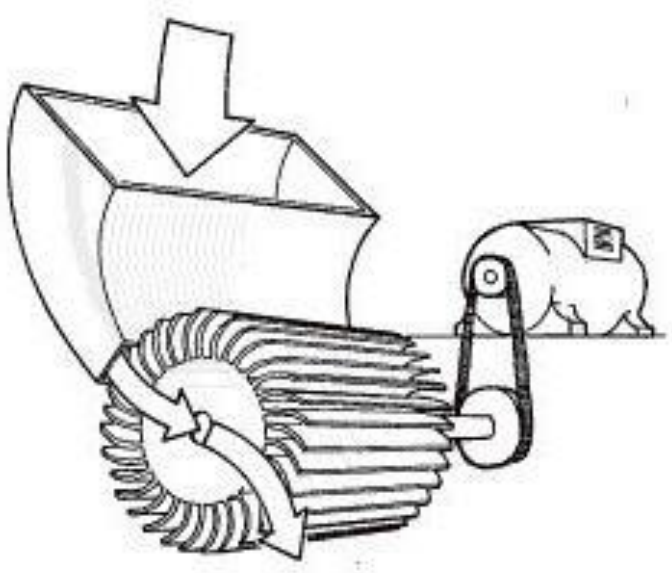
Zdj. Uszkodzenie wirnika pompy, powodowane kawitacją.

## Turbiny wodne, c.d.

### Tirbina Banki-Mithella

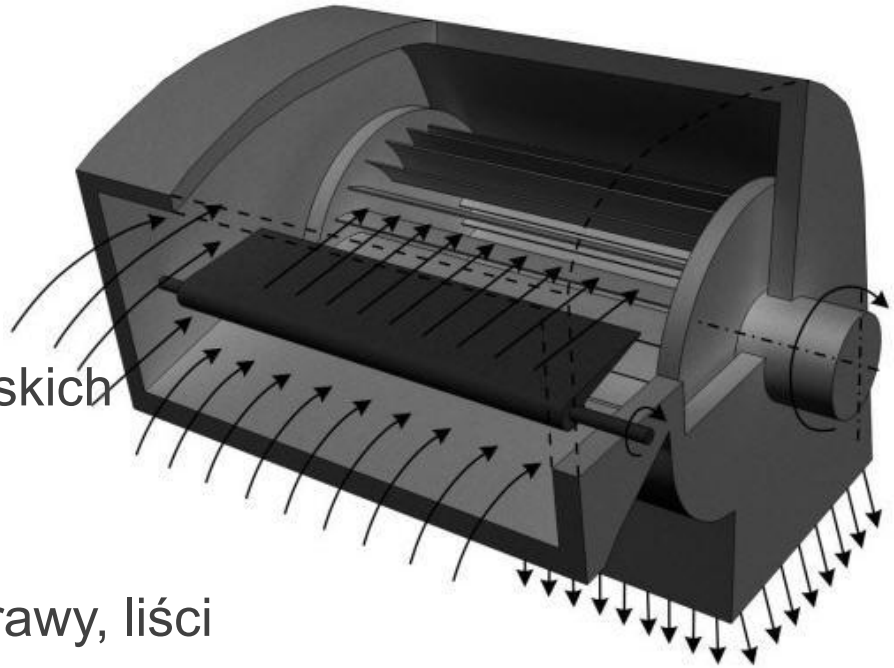
Jest połączeniem turbiny akcyjnej i reakcyjnej. Często nazywana turbiną „crossflow”. **Woda przepływa dwa razy przez aktywną część turbiny**: w pierwszej kolejności do wewnątrz (jak w turbinie Francisa), a następnie - na zewnątrz (analogicznie jak w turbinie Peltona).

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



## Turbiny wodne, c.d.

### Turbina Banki-Mithella, c.d.

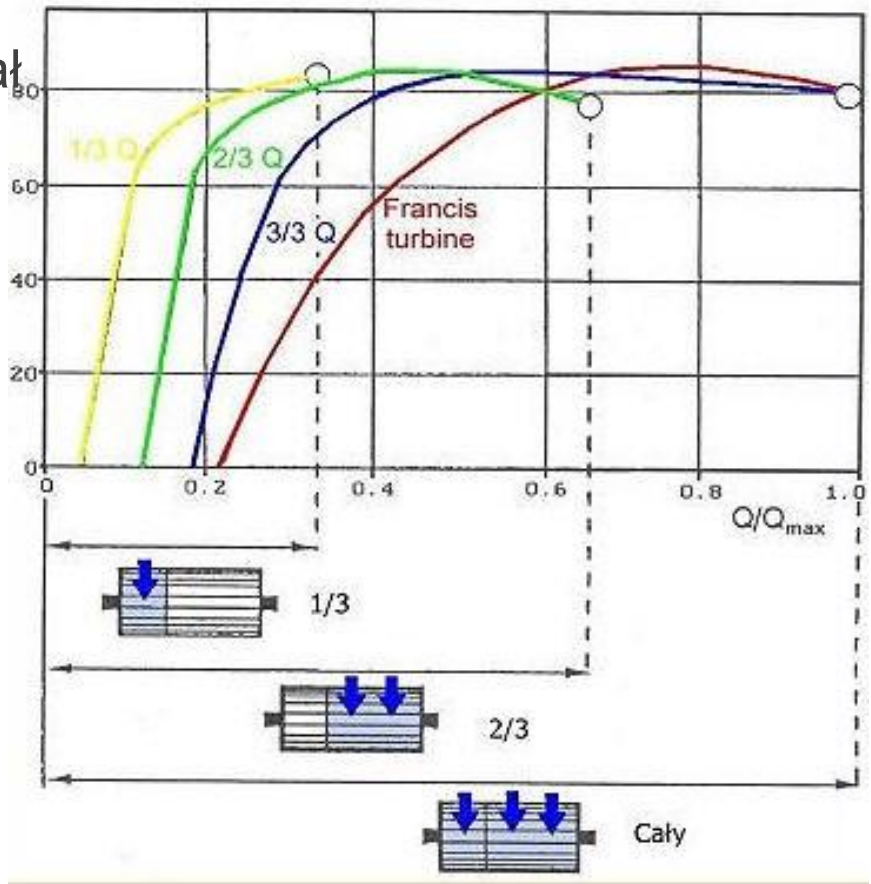


- charakteryzuje się prostą budową
- stosunkowo wolna prędkość pracy
- bardzo dobrze sprawdza się przy niskich spadkach i dużym przepływie wody (np. małe rzeki)
- zdolność samooczyszczania np. z trawy, liści
- jest popularnym rozwiązaniem w małych elektrowniach wodnych, o mocy do 2.000 kW

## Turbiny wodne, c.d.

## Turbina Banki-Mithella, c.d.

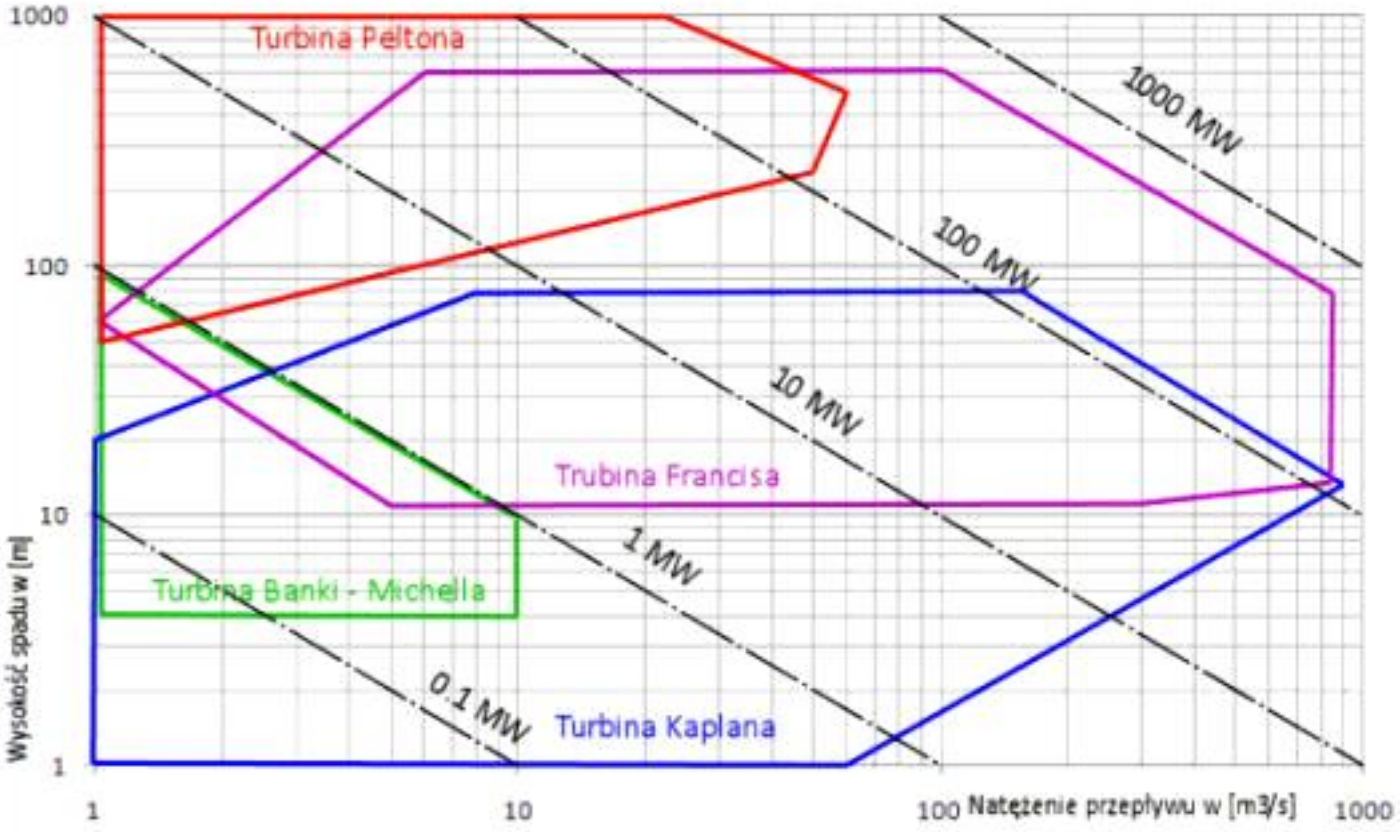
Inny sposób regulacji – poprzez podział wirnika i kierownicy na dwie części w proporcji 1/3 i 2/3 długości




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).

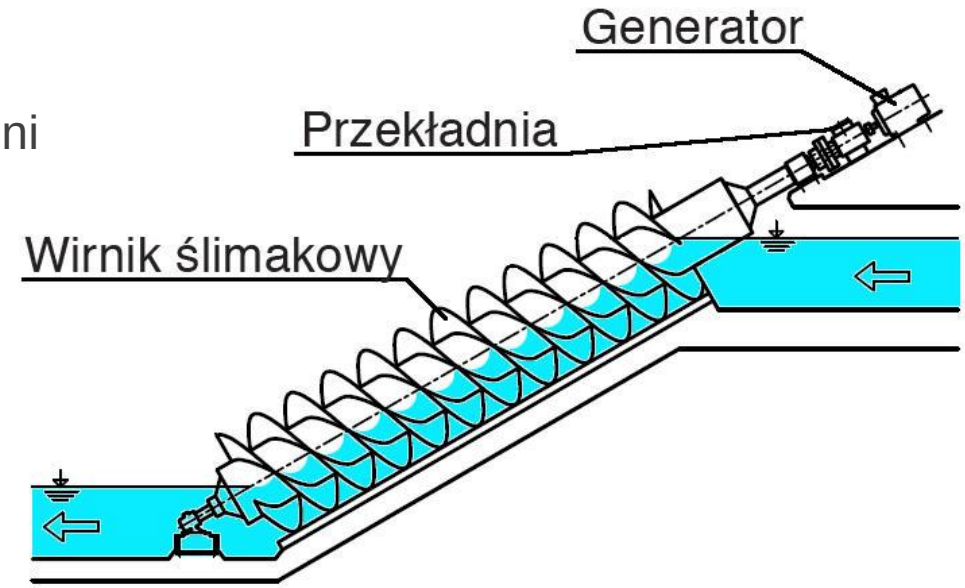
Stosowana w dużych instalacjach, jak również w małych – ze względu na niższe koszty instalacji.

## 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.

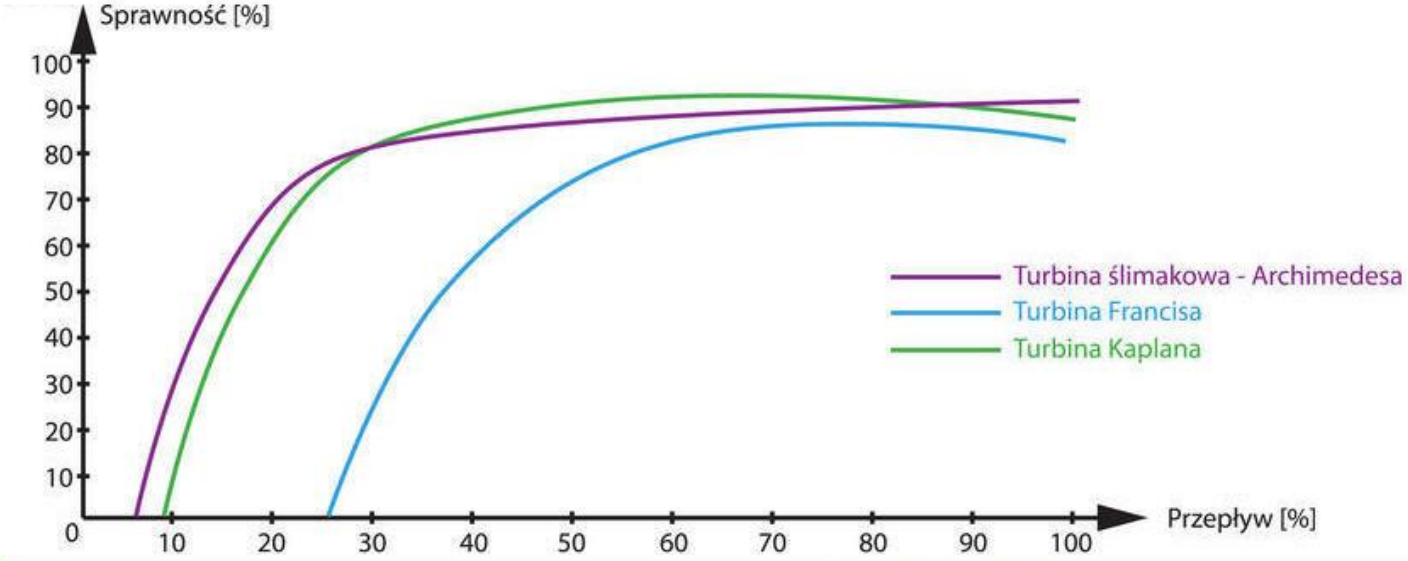
## Turbina ślimakowa - „Archimedesa”, c.d.

**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.




| Typ turbiny wodnej | Wydajność układu - przepływ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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

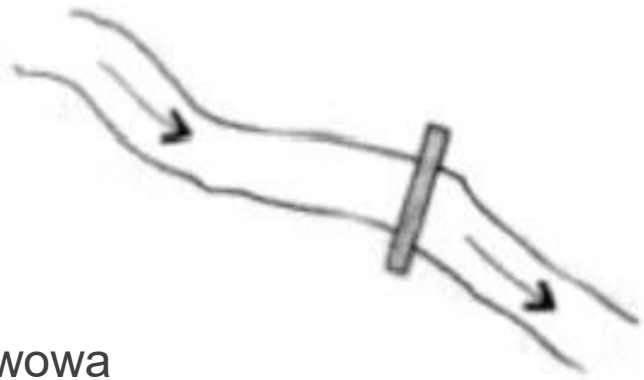
Elektrownie średnio- i wysokospadowe – budowane są najczęściej jako:

- 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

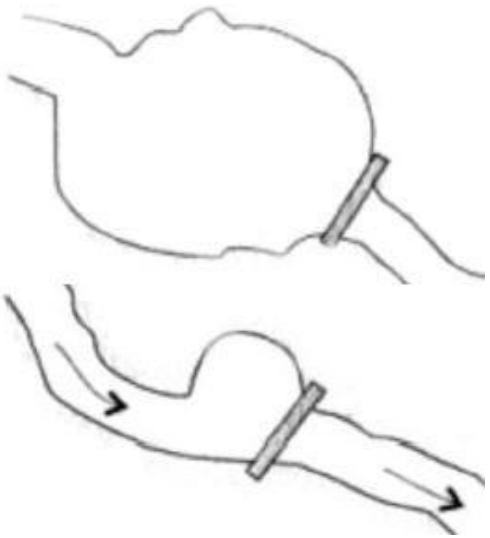


Rys. Klasyczna elektrownia przepływowa

## 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

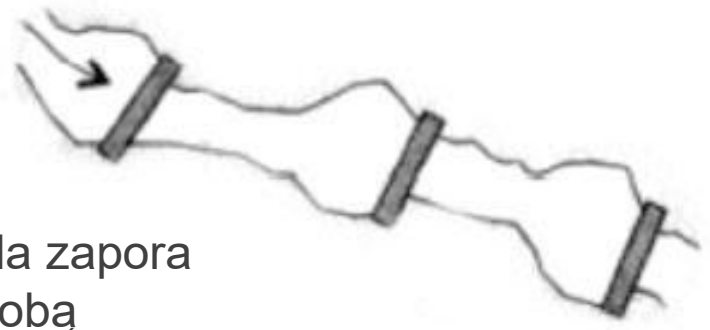


Rys. Elektrownia regulacyjna z dużym i małym zbiornikiem retencyjnym

## 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.

VIESMANN Akademia

## 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 MEW (małych elektrowni wodnych) w Polsce, mimo dość małego ich potencjału w porównaniu do innych krajów.

Dla polskich rzek potencjał ten, 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.

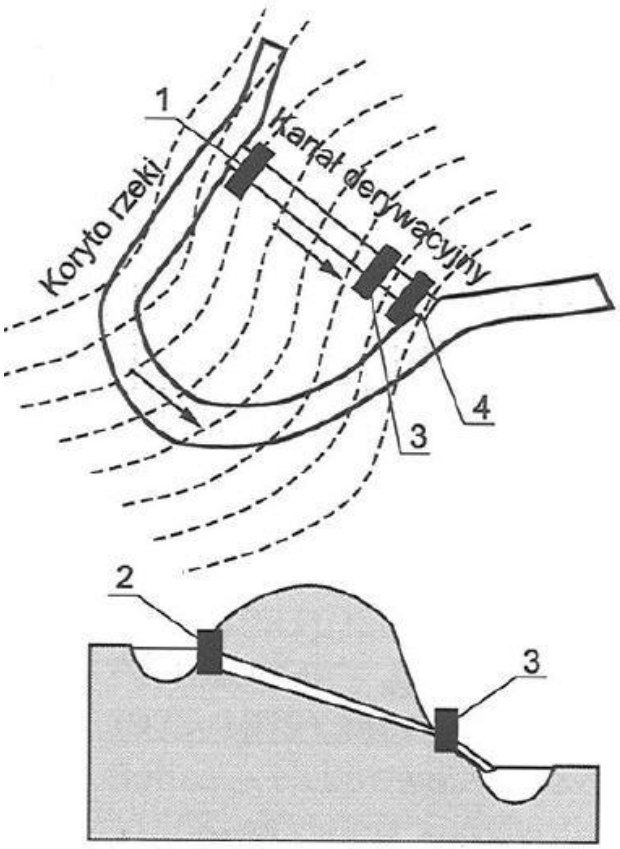
Małe elektrownie wodne (MEW) podzielić możemy dodatkowo ze względu na moc :

- 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

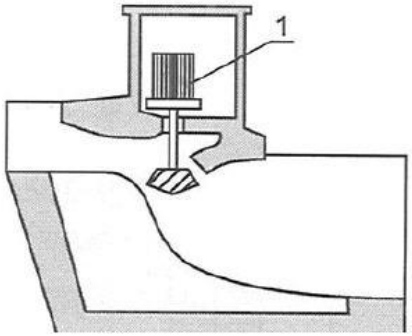
MEW staje się opłacalna przy mocy min 30 kW.

Rys. Miejsca dogodnej lokalizacji dla MEW

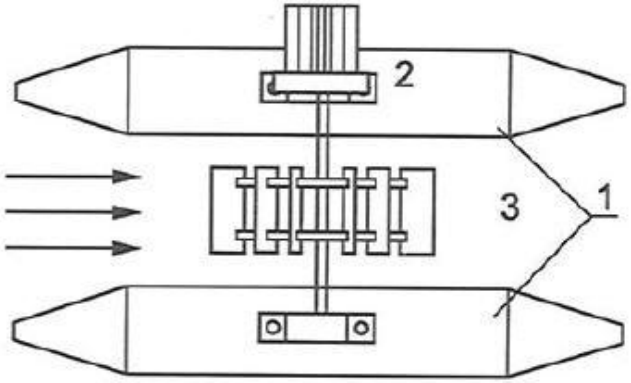
## Przykładowe rozwiązania



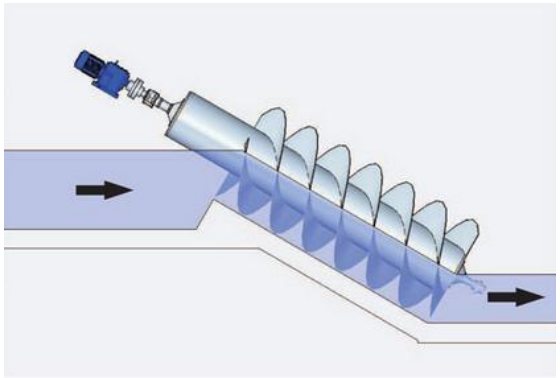

Rys. Elektrownia dyrywacyjna




Rys. Elektrownia niskospadowa



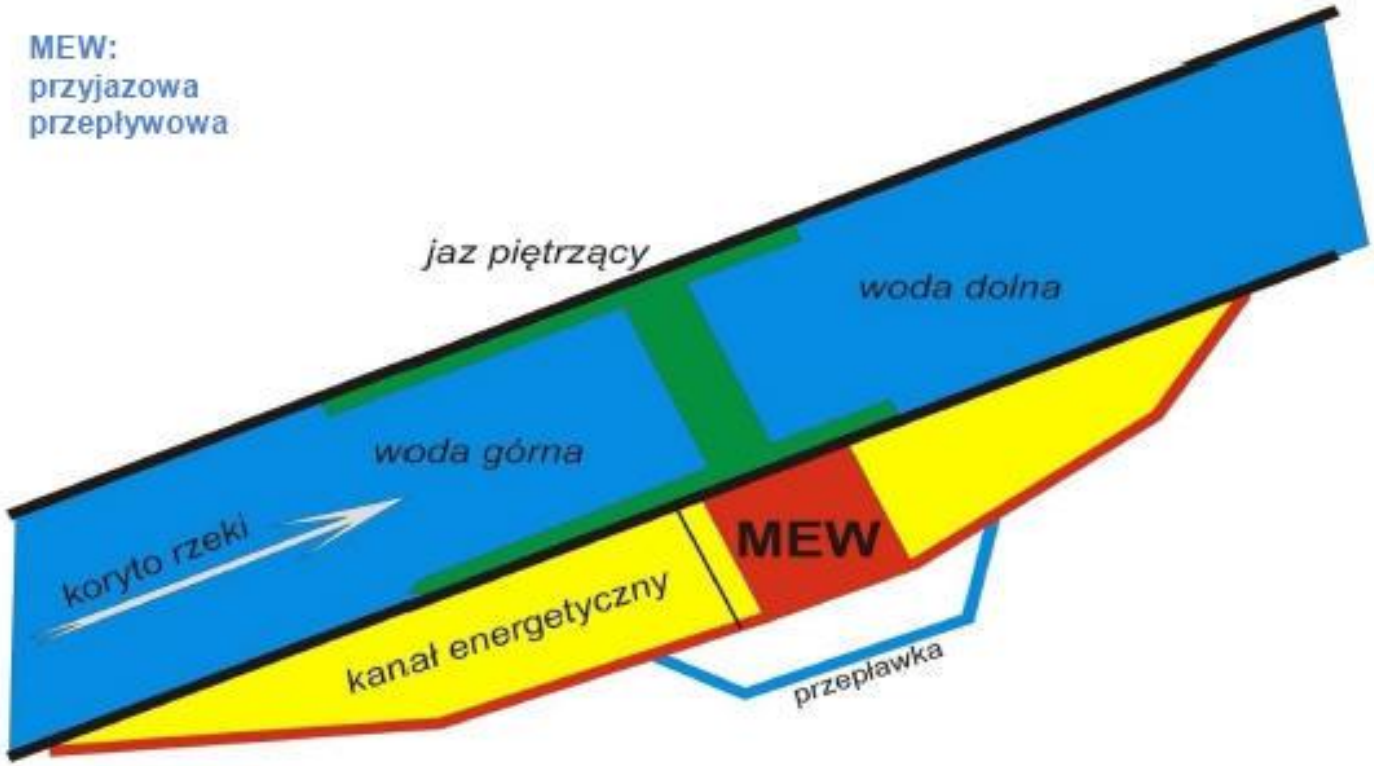

Rys. Elektrownia pływająca



Rys. Elektr. z turbiną ślimakową

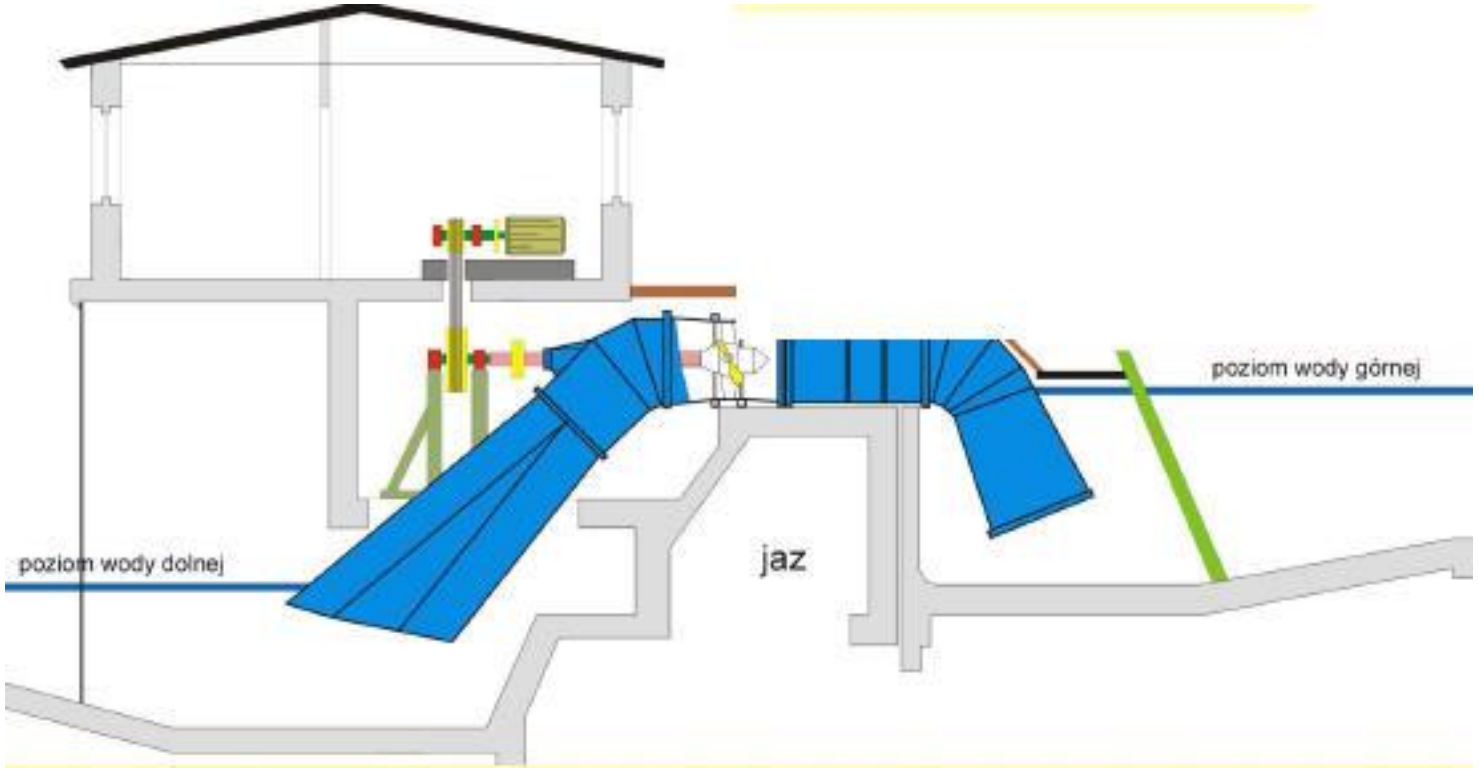
## Przykładowe rozwiązania, c.d.

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

## Przykładowe elektrownie

MEW Zawada i Groszowice – link do filmu:
https://youtu.be/4qAp2GsmjaQ

## 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 6; 10.05.2017:
## 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