



***Energetyka wodna***

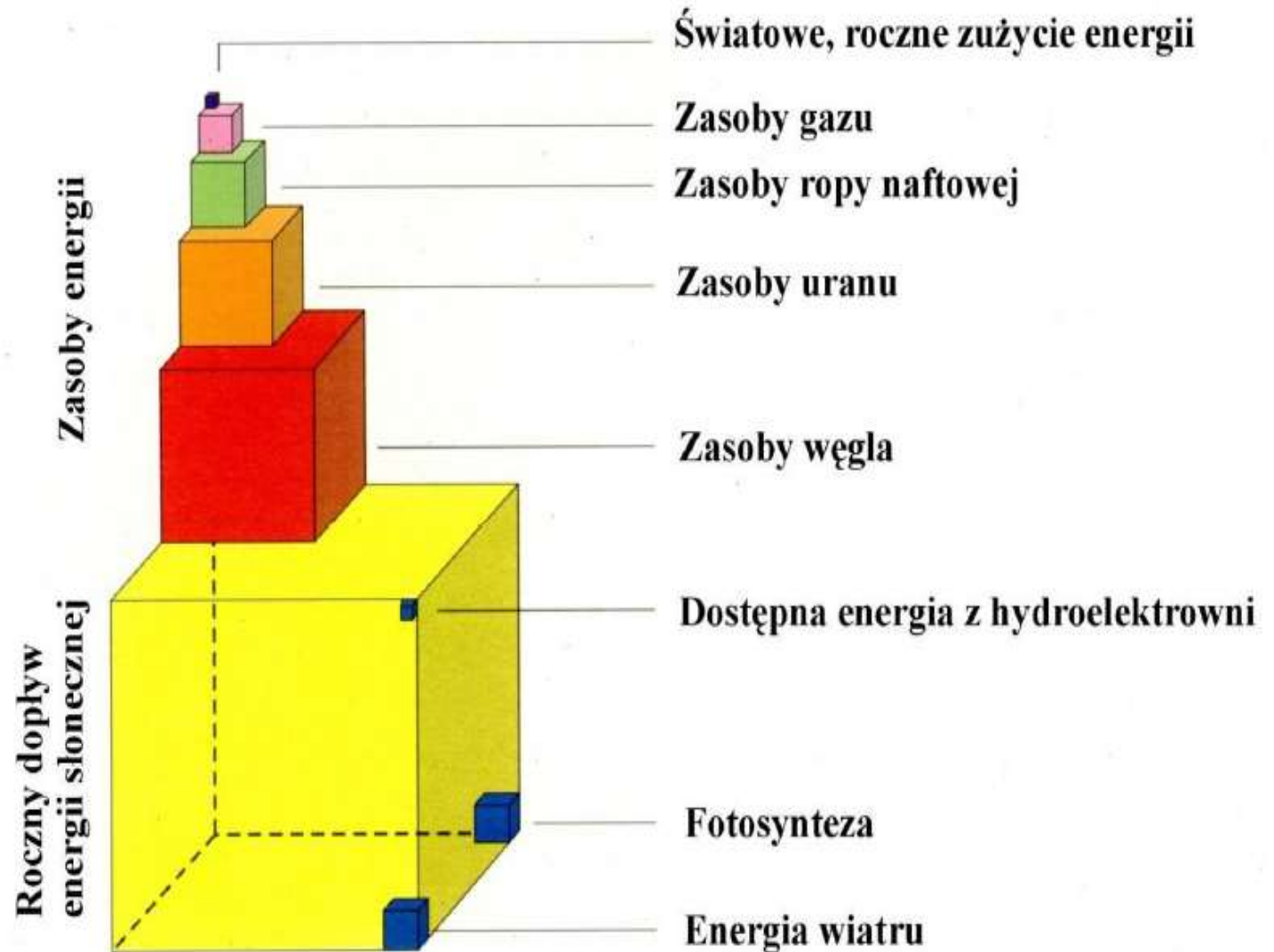
***dr inż. Kinga Turoń  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
w Krakowie***

Kraków, 16.08.2023

**ENERGIA**

# NIEODNAWIALNE I ODNAWIALNE ZASOBY ENERGII

Roczny strumień energii promieniowania słonecznego docierająca do powierzchni Ziemi ( $1,76 \times 10^{17}$ ) przekracza 30 tys. razy światowe, roczne zapotrzebowanie na energię



Source: *New Renewable Energy Sources, Norway.*

Zasoby, produkcja i zużycie pierwotnych nośników energii w 2016 roku na świecie  
i w Unii Europejskiej

| Wyszczególnienie | Jednostka             | Zasoby  |       | Produkcja |       | Zużycie |        |
|------------------|-----------------------|---------|-------|-----------|-------|---------|--------|
|                  |                       | świat   | UE    | świat     | UE    | świat   | UE     |
| Ropa naftowa     | mld ton               | 240,7   | 0,7   | 4,382     | 0,071 | 4,418   | 0,613  |
| Gaz              | bilion m <sup>3</sup> | 186,6   | 1,3   | 3,552     | 0,118 | 3,543   | 0,429  |
| Węgiel           | mld ton               | 1 139,3 | 748,2 | 7,460     | 0,485 | 3,732*  | 0,238* |

\* mld toe.

Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) i Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) definiują 1 toe jako:

1 toe = 11 630 kWh = 11,63 MWh

1 toe = 41,868 GJ

1 toe = 10 Gcal

1 toe = 39 683 207,2 BTU

1 toe = 1,42857143 tce

## ZASOBY KOPALNYCH NOŚNIKÓW ENERGII W POLSCE

|                       | zasoby<br>ogółem/<br>potencjał<br>teoretyczny | zasoby<br>przemysłowe/<br>realny potencjał<br>techniczny | zasoby<br>wykorzystane/<br>pozyskane w<br>2010r. | wystarczalność<br>w stosunku do<br>zasobów<br>przemysłowych |
|-----------------------|---|--|--|---|
|                       | [PJ]  | [PJ]   | [PJ]   | [lata]  |
| <b>Kopaliny razem</b> | 1 152 123                                     | 107 190  | 2 202  | 49  |
| gaz ziemny            | 4 989   | 3 119  | 189  | 17  |
| ropa naftowa          | 1 068   | 719  | 28   | 25  |
| węgiel brunatny       | 173 217                                       | 11 458   | 494  | 23  |
| węgiel kamienny       | 972 850                                       | 91 894   | 1 491  | 62  |

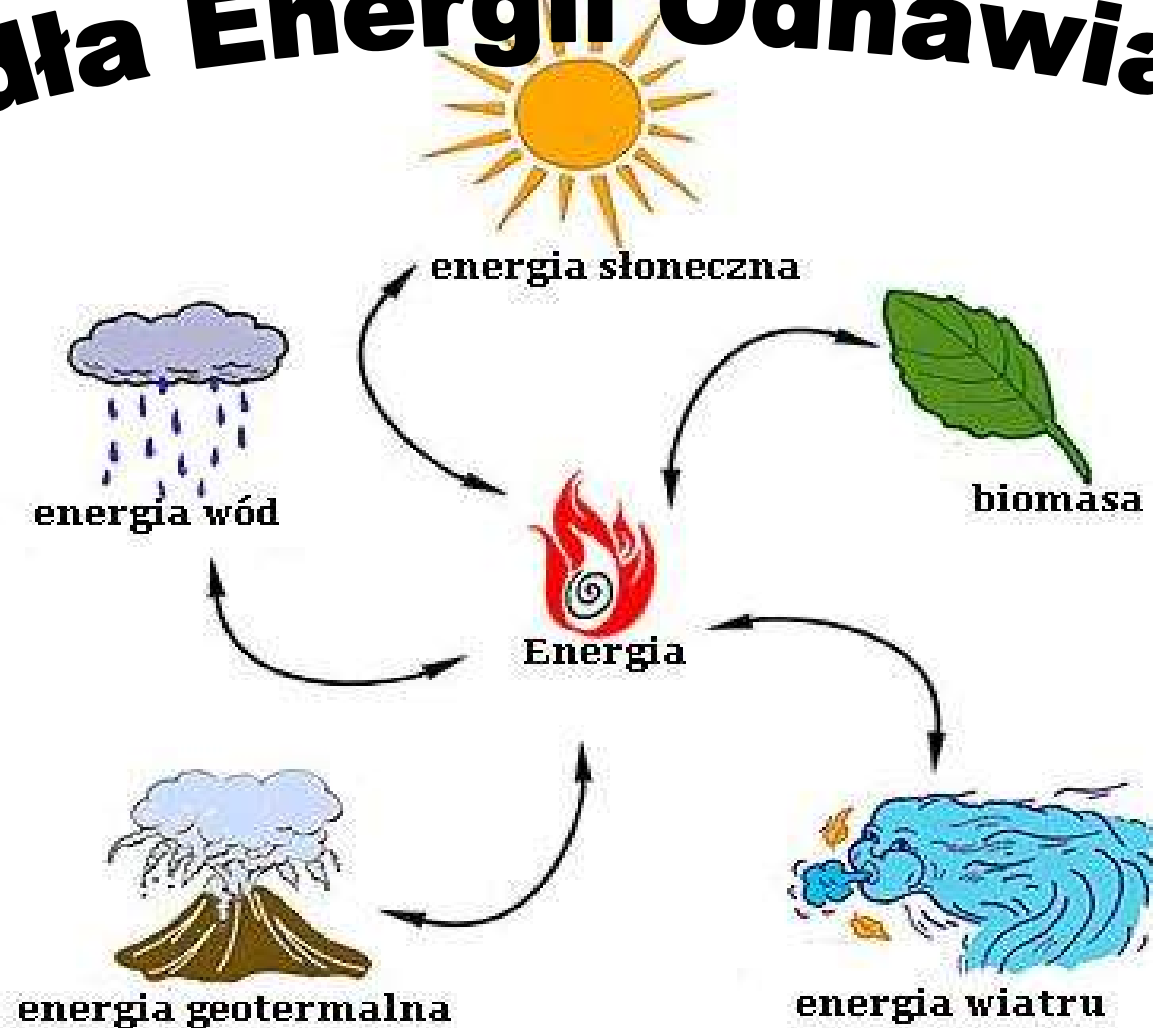
### Geologiczne zasoby bilansowe i wydobycie krajowych surowców energetycznych w Polsce w 2016 roku

| Kopalina             | Liczba złóż |                 | Zasoby bilansowe      |                                 | Wydobycie |
|----------------------|-------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------|-----------|
|                      | razem       | zagospodarowane | stan na<br>31.12.2016 | w tym zasoby<br>zagospodarowane |           |
| Gaz ziemny           | 293         | 208             | 119,72                | 98,21                           | 5,07      |
| Metan pokładów węgla | 63          | 30              | 95,95                 | 41,33                           | 0,36      |
| Ropa naftowa         | 86          | 64              | 22,03                 | 21,47                           | 0,96      |
| Węgłe brunatne       | 91          | 9               | 23 451,13             | 1 353,65                        | 60,27     |
| Węgłe kamienne       | 157         | 50              | 58 578,44             | 22 221,58                       | 66,48     |

Uwagi:

- gaz ziemny i metan w mld m<sup>3</sup>,
- ropa naftowa, gaz i metan – zasoby wydobywalne,
- węgiel kamienny i brunatny – mln Mg.

# Źródła Energii Odnawialnej:



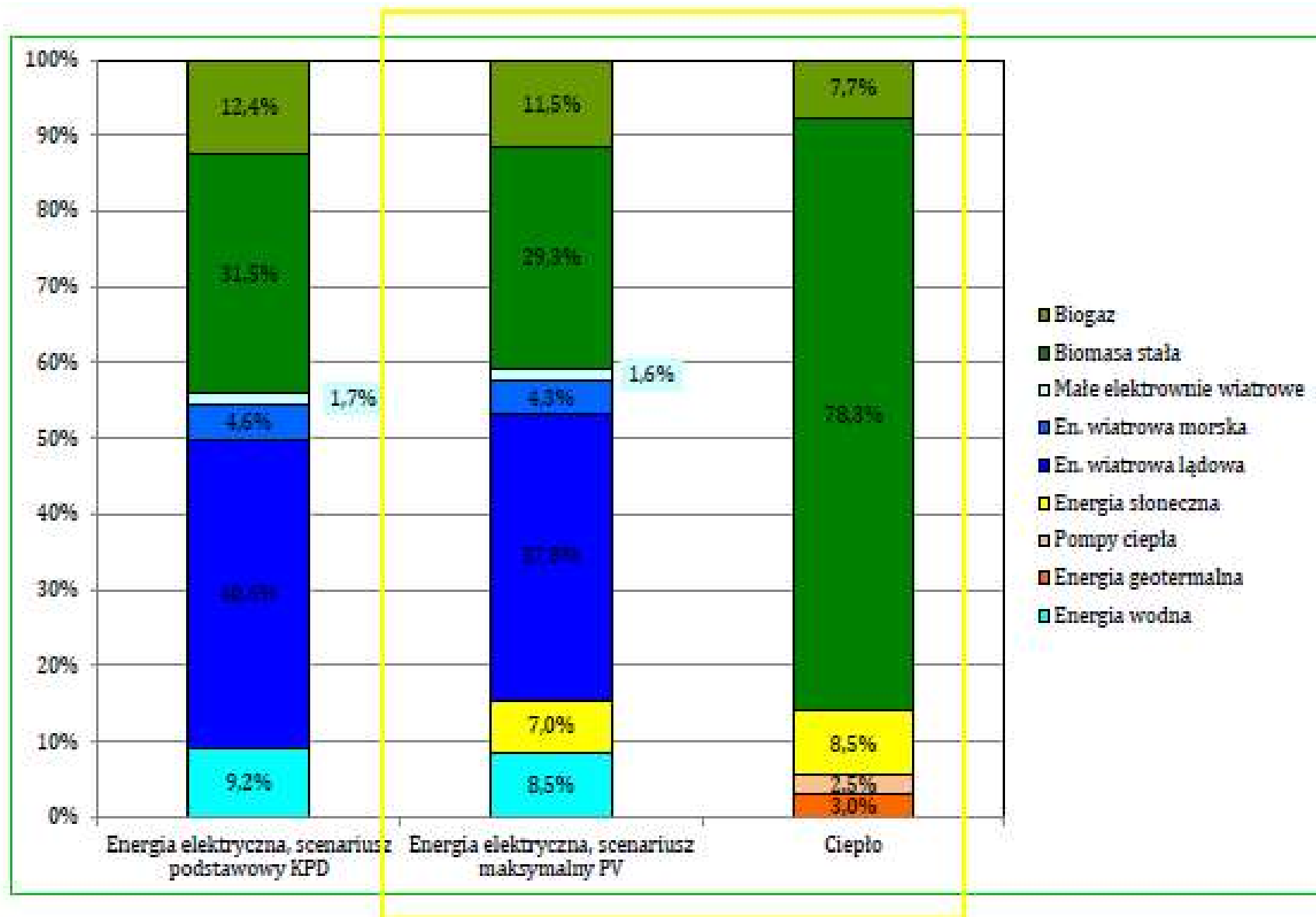
## ROCZNY POTENCJAŁ ODNAWIALNYCH ZASOBÓW ENERGII I JEGO WYKORZYSTANIE W 2010 ROKU

|                      | zasoby<br>ogółem/<br>potencjał<br>teoretyczny | zasoby<br>przemysłowe/<br>realny potencjał<br>techniczny | zasoby<br>wykorzystane/<br>pozyskane w<br>2010r. | stopień<br>wykorzystania<br>zasobów<br>(przemysłowych)<br>OZE w Polsce |
|----------------------|---|--|--|--|
|                      | [PJ]  | [PJ]   | [PJ]   | [%]  |
| <b>Razem/Średnia</b> | 42 523  | 3 896  | 288  | 7,4  |
| <b>Biomasa</b>       | 2 709   | 602  | 269  | 44,7   |
| <b>Woda</b>          | 31  | 18   | 11   | 61,2   |
| <b>Geotermia</b>     | 3 870   | 313  | 1  | 0,2  |
| <b>Wiatr</b>         | 8 725   | 2 582  | 6  | 0,2  |
| <b>Słońce</b>        | 27 188  | 381  | 1  | 0,3  |

| Wielkość instalacji | Parametr          | Razem | BG  | BM    | PVA   | WIL   | WO  |
|---------------------|-------------------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|
| Mikro (0<50 kW)     | Moc [MW]          | 19    | 0   | 0,1   | 10    | 0,2   | 8   |
|                     | Liczba instalacji | 738   | 0   | 2     | 434   | 10    | 292 |
| Małe (50-499 kW)    | Moc [MW]          | 168   | 0   | 0,7   | 49    | 33    | 51  |
|                     | Liczba instalacji | 698   | 0   | 3     | 238   | 114   | 343 |
| Duże (>500 kW)      | Moc [MW]          | 8 919 | 209 | 1 492 | 420   | 5 884 | 913 |
|                     | Liczba instalacji | 1 698 | 185 | 47    | 432   | 1 083 | 136 |
| Razem               | Moc [MW]          | 9 106 | 209 | 1 493 | 480   | 5 917 | 973 |
|                     | Liczba instalacji | 3 134 | 185 | 52    | 1 104 | 1 207 | 771 |

Koncesjonowane  
instalacje OZE  
na koniec 2019 r.

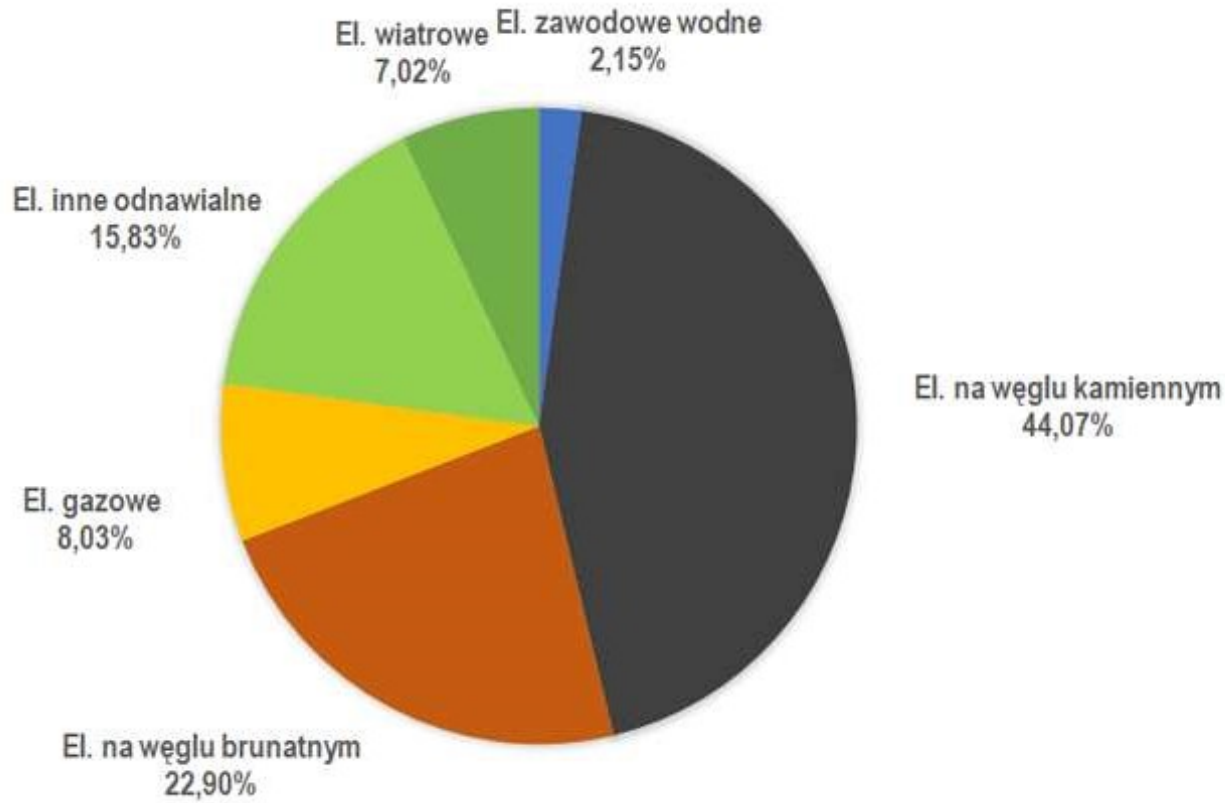
# Struktura wytwarzania ciepła i energii elektrycznej z OZE w Polsce w 2020 roku



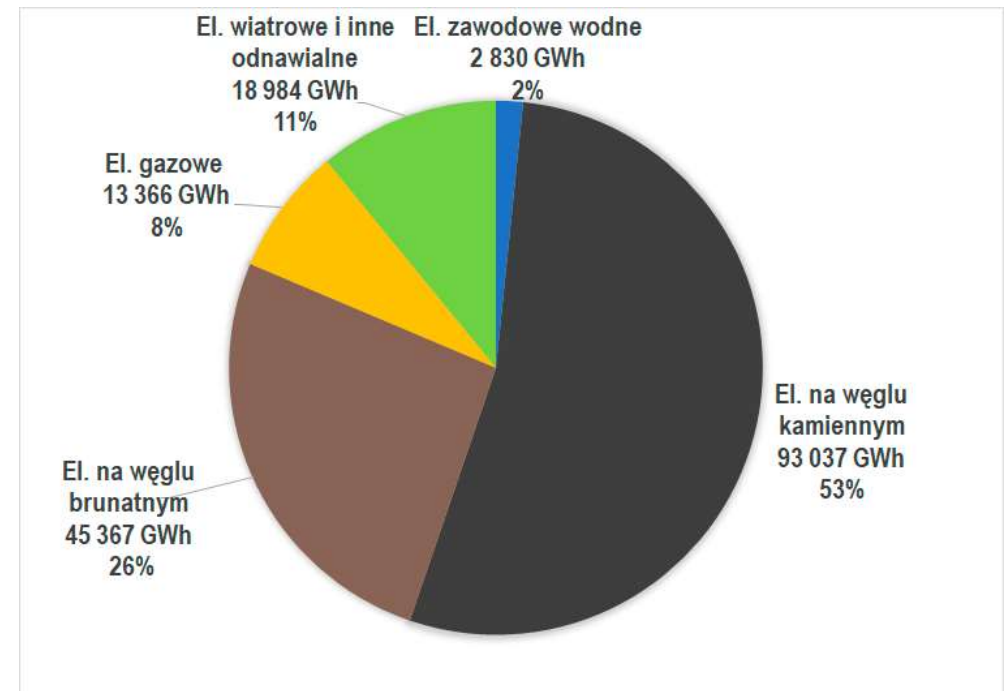
| Wyszczególnienie                     | Czerwiec |               |                 | Narastająco<br>od stycznia do czerwca |         |                 |
|--------------------------------------|----------|---------------|-----------------|---------------------------------------|---------|-----------------|
|                                      | 2022 r.  | 2023 r.       | Dynamika        | 2022 r.                               | 2023 r. | Dynamika        |
|                                      | [GWh]    | [GWh]         | $[(b-a)/a*100]$ | [GWh]                                 | [GWh]   | $[(e-d)/d*100]$ |
|                                      |          |               | [%]             |                                       |         | [%]             |
|                                      | [a]      | [b]           | [c]             | [d]                                   | [e]     | [f]             |
| <b>Produkcja ogółem</b>              | 13 600   | <b>11 811</b> | -13,15          | 89 117                                | 80 771  | -9,36           |
| Elektrownie zawodowe                 | 11 369   | 9 113         | -19,85          | 74 062                                | 63 862  | -13,77          |
| El. zawodowe wodne                   | 198      | 254           | 28,1            | 1 597                                 | 1 990   | 24,61           |
| El. zawodowe ciepłne                 | 11 171   | 8 859         | -20,7           | 72 465                                | 61 872  | -14,62          |
| <i>na węglu kamiennym</i>            | 6 558    | 5 205         | -20,63          | 43 176                                | 37 571  | -12,98          |
| <i>na węglu brunatnym</i>            | 3 750    | 2 705         | -27,86          | 23 667                                | 17 369  | -26,61          |
| <i>gazowe</i>                        | 863      | 948           | 9,92            | 5 621                                 | 6 932   | 23,32           |
| El. inne odnawialne                  | 1 332    | 1 869         | 40,33           | 4 606                                 | 6 515   | 41,44           |
| El. wiatrowe                         | 899      | 829           | -7,78           | 10 449                                | 10 395  | -0,52           |
| Saldo wymiany zagranicznej           | -5       | 894           | -               | -1 708                                | 2 346   | -               |
| Krajowe zużycie energii elektrycznej | 13 595   | 12 704        | -6,55           | 87 409                                | 83 118  | -4,91           |

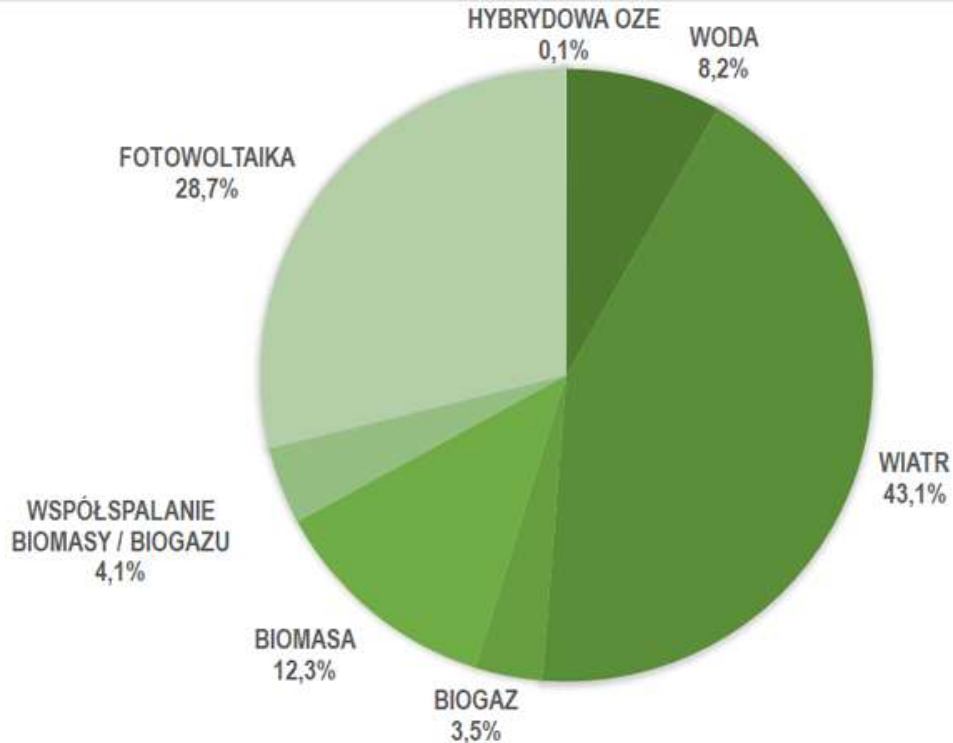
*Produkcja energii elektrycznej według rodzaju źródła w czerwcu 2023 r.*

## Struktura produkcji energii elektrycznej w czerwcu 2023 r.



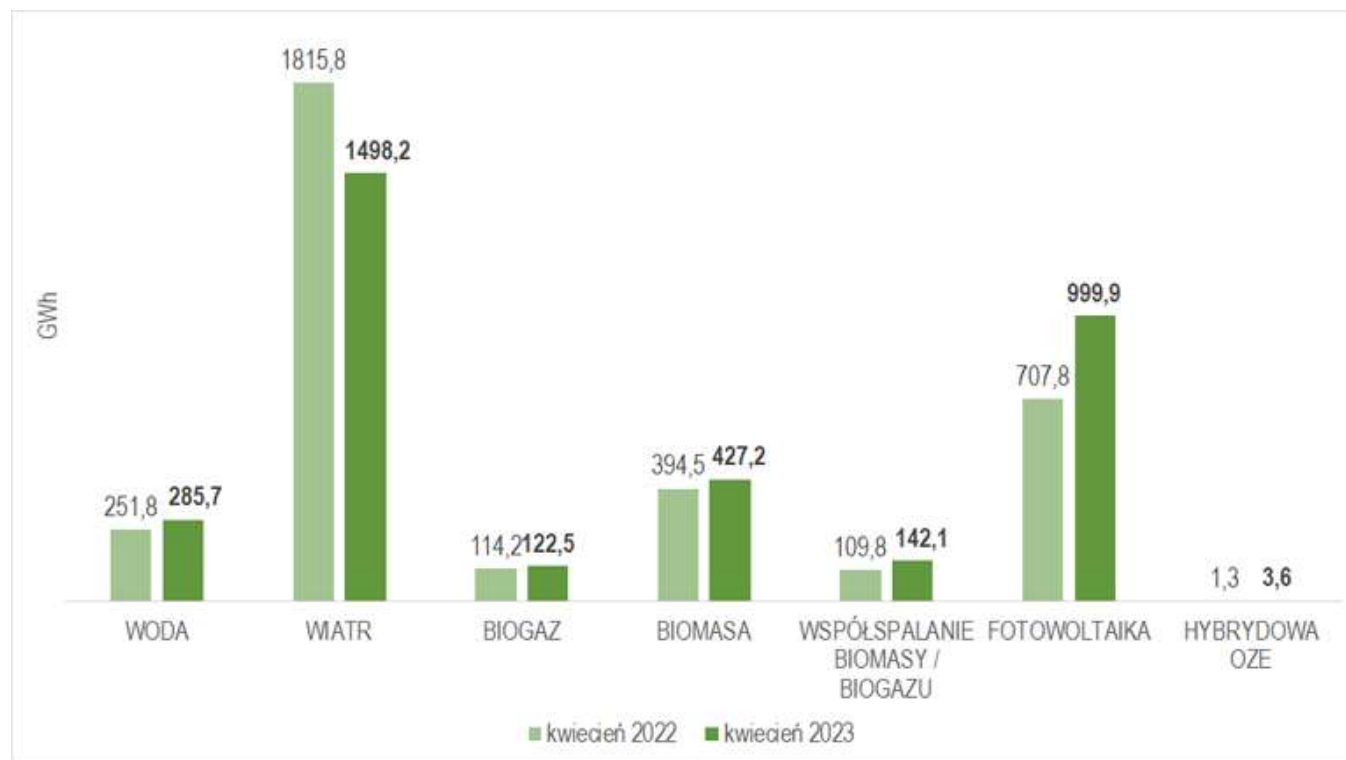
## Struktura produkcji energii elektrycznej w 2021 r.



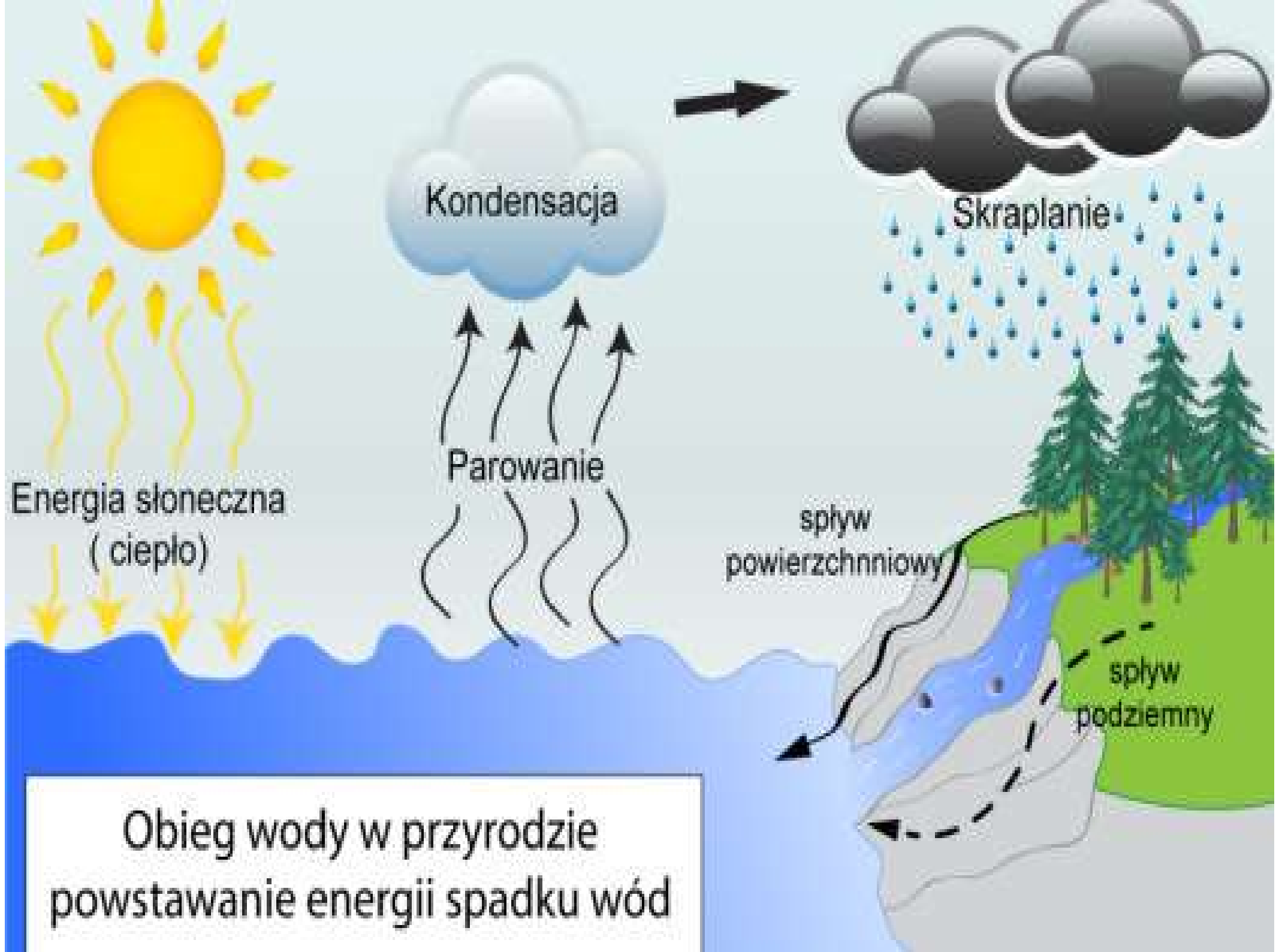


*Udział poszczególnych źródeł OZE w produkcji energii w kwietniu 2023 r.*

*Wielkość produkcji energii elektrycznej z OZE w kwietniu 2023 r. w porównaniu do kwietnia 2022 r. (GWh)*



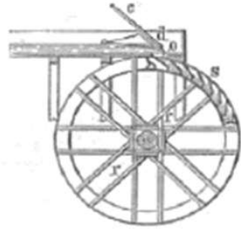
# ENERGETYKA WODNA



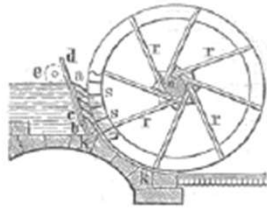
Obieg wody w przyrodzie  
powstawanie energii spadku wód

Wyróżnia się na ogół trzy typy kół wodnych:

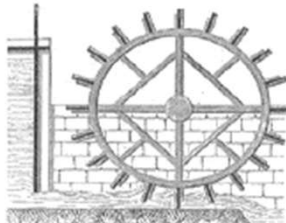
- ✓ Nasiębierne- wykorzystuje głównie energię potencjalną wody.



- ✓ Śródsiębierne- wykorzystuje energię potencjalną i kinematyczną wody.



- ✓ Podsiębierne- wykorzystuje głównie energię kinetyczną wody.

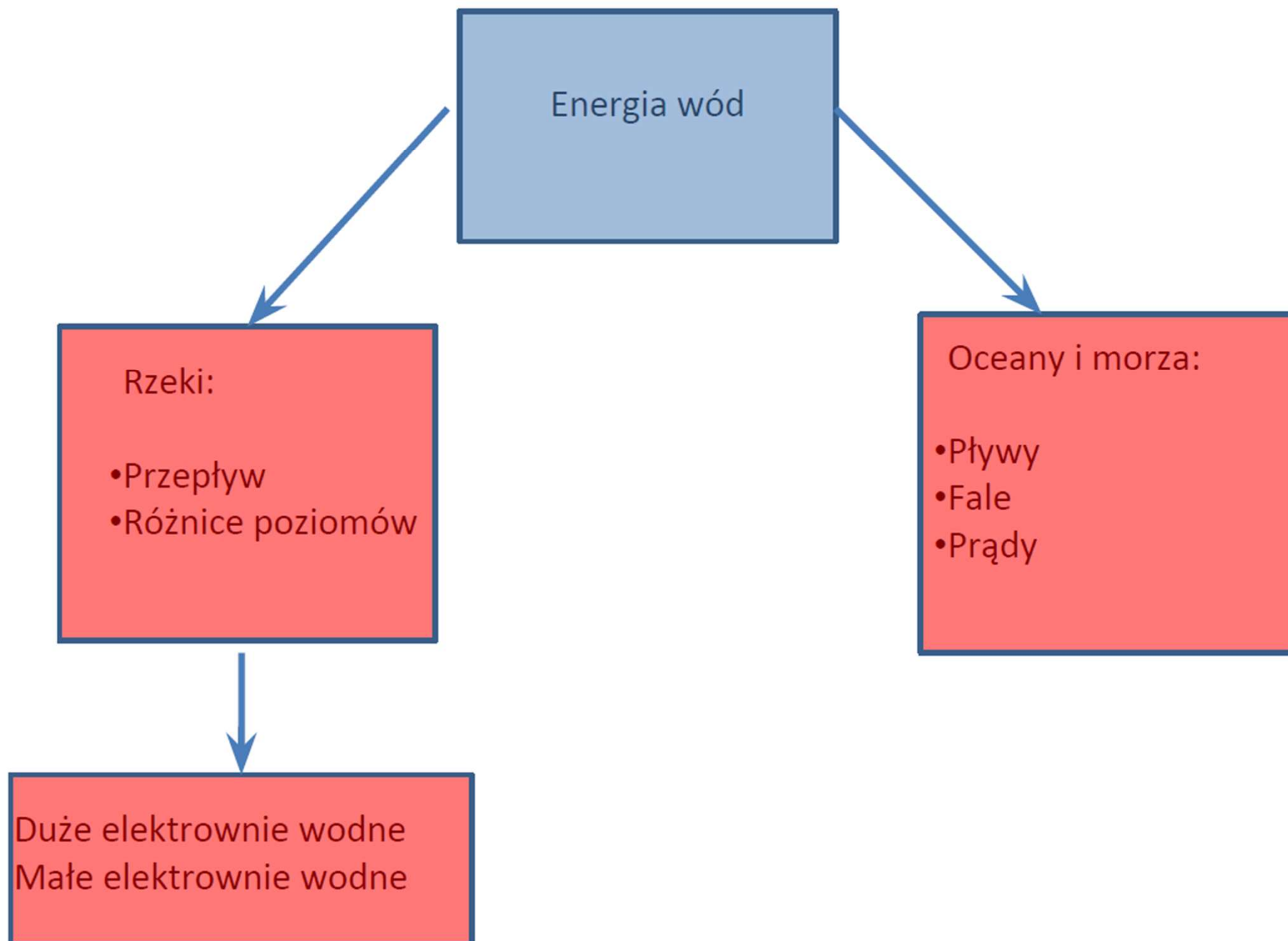


## Czy wiesz, że ....

W III wieku p.n.e Filon z Bizancjum opracowuje pojęcie pneumatyki<sup>1</sup> i jej zastosowania w formie koła wodnego.







Energia wód

Rzeki:

- Przepływ
- Różnice poziomów

Oceany i morza:

- Pływy
- Fale
- Prądy

Duże elektrownie wodne  
Małe elektrownie wodne

# Największe w Polsce elektrownie wodne



## Elektrownie wodne w Polsce

| Nazwa         | Rzeka        | Rok Uruchomienia | Moc Zainstalowana [MW] |
|---------------|--------------|------------------|------------------------|
| Pilchowice    | Bóbr         | 1912             | 7,9                    |
| Bielkowo      | Radunia      | 1925             | 7,5                    |
| Bobrowice     | Bóbr         | 1925             | 2,5                    |
| Żur           | Wda          | 1929             | 9,0                    |
| Otmuchów      | Nysa Kłodzka | 1933             | 4,8                    |
| Rożnów        | Dunajec      | 1942             | 50,0                   |
| Dychów        | Bóbr         | 1951             | 79,5                   |
| Porąbka       | Soła         | 1953             | 12,6                   |
| Czchów        | Dunajec      | 1954             | 8,0                    |
| Brzeg Dolny   | Odra         | 1958             | 9,7                    |
| Koronowo      | Brda         | 1960             | 26,0                   |
| Myczkowce     | San          | 1961             | 8,3                    |
| Dębe          | Narew        | 1962             | 20,0                   |
| Tresna        | Soła         | 1967             | 21,0                   |
| Solina        | San          | 1968             | 137,2                  |
| Włocławek     | Wisła        | 1970             | 162,0                  |
| Żydowo        | Radew        | 1971             | 152,0                  |
| Porąbka - Żar | Soła         | 1979             | 550,0                  |
| Żarnowiec     | Piasnica     | 1982             | 716,0                  |
| Niedzica      | Dunajec      | 1997             | 90,0                   |

| Lp. | Nazwa       | Rzeka       | Rok uruchomienia | Moc (MW) |
|-----|-------------|-------------|------------------|----------|
| 1.  | Żarnowiec   | Piaśnica    | 1982             | 716      |
| 2.  | Porąbka-Żar | Soła        | 1979             | 550      |
| 3.  | Włocławek   | Wisła       | 1970             | 162      |
| 4.  | Żydowo      | Radew       | 1971             | 156      |
| 5.  | Solina      | San         | 1969             | 200      |
| 6.  | Dychów      | Bóbr        | 1951             | 79       |
| 7.  | Rożnów      | Dunajec     | 1942             | 50       |
| 8.  | Koronowo    | Brda        | 1961             | 26       |
| 9.  | Tresna      | Soła        | 1966             | 21       |
| 10. | Dębe        | Narew       | 1962             | 20       |
| 11. | Porąbka     | Soła        | 1954             | 12,6     |
| 12. | Niedzica    | Dunajec     | 1997             | 90       |
| 13. | Brzeg Dolny | Odra        | 1958             | 9,8      |
| 14. | Żur         | Wda         | 1929             | 9,0      |
| 15. | Myczkowce   | San         | 1962             | 8,4      |
| 16. | Czchów      | Dunajec     | 1951             | 8,0      |
| 17. | Pilchowice  | Bóbr        | 1912             | 7,9      |
| 18. | Bielkowo    | Radunia     | 1924             | 7,5      |
| 19. | Otmuchów    | Nysa Kłodz. | 1933             | 4,8      |
| 20. | Jeziorsko   | Warta       | 1994             | 4,8      |
| 21. | Bobrowice   | Bóbr        | 1925             | 2,5      |

# Elektrownie wodne w Polsce

## Zalety dużej energetyki wodnej:

- Nie zanieczyszczają środowiska
- Nie zużywają paliw konwencjonalnych
- Tańsze w eksploatacji niż elektrownie konwencjonalne
- Stanowią bezpieczeństwo powodziowe

Największe w Polsce elektrownie wodne



## Wady dużej energetyki wodnej:

- Ingerują w środowisko
- Duże nakłady inwestycyjne
- Zmiany struktury hydrologicznej
- Zamulanie zbiorników

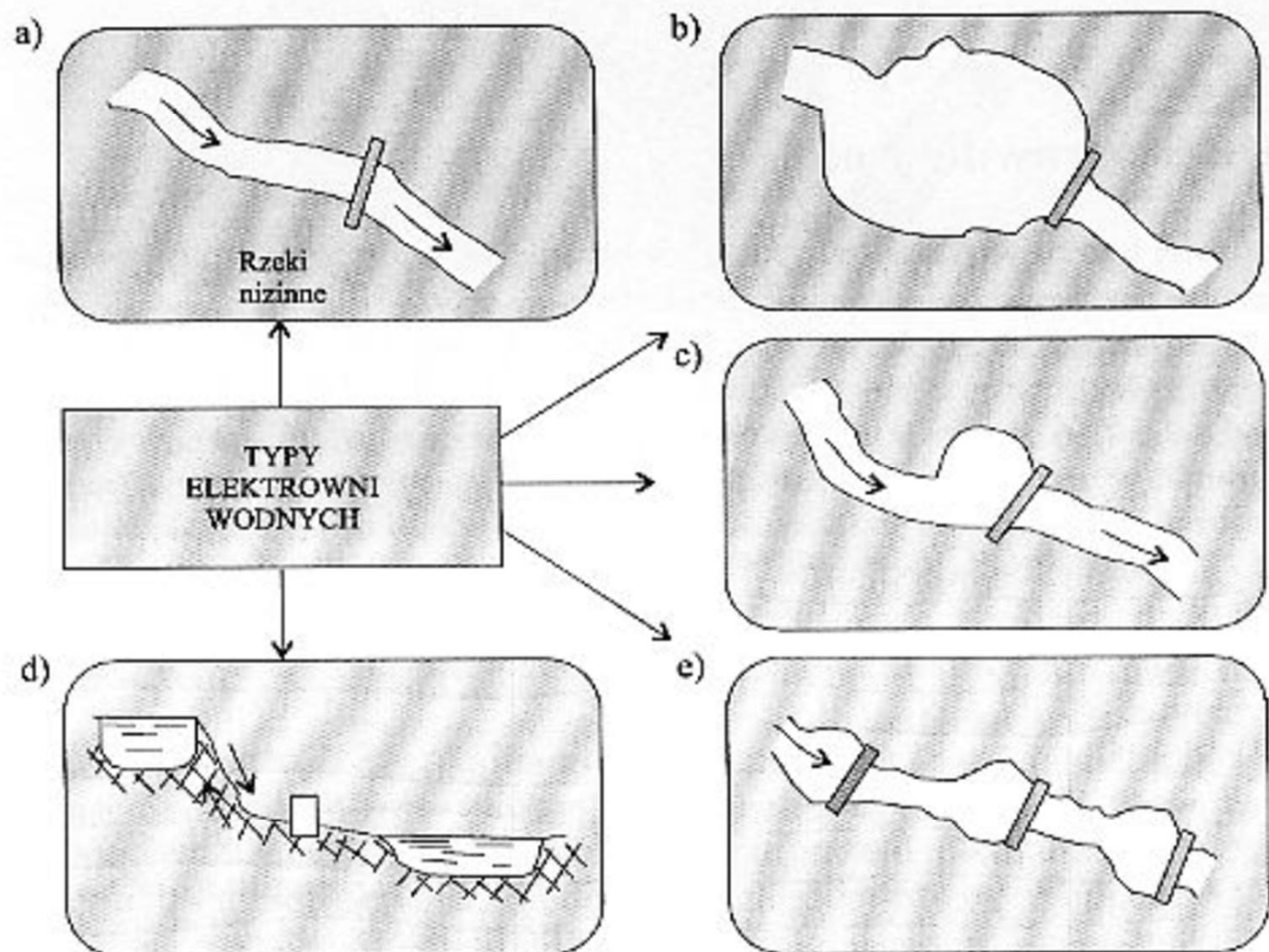


# Elektrownie wodne śródlądowe

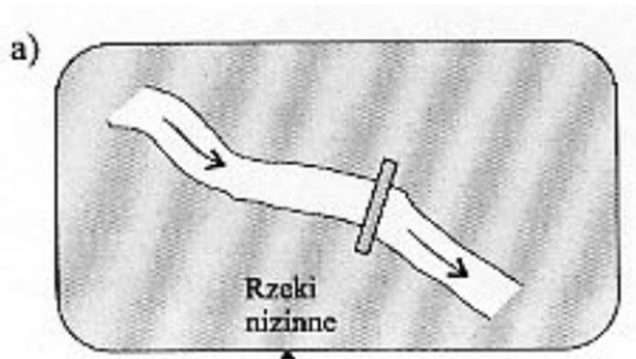
1. Zbiornikowe (akumulacyjne)
2. Szczytowo - pompowe
3. Przepływowe

# Rodzaje elektrowni wodnych

- Przeptywowe
- Zbiornikowe
- Pompowe
- Szczytowo pompowe
- Kaskadowe
- Derywacyjne



**Elektrownia wodna przepływowa** - jest to elektrownia wodna, w której wykorzystuje się dopływ naturalny chwilowy i która rozwija moc równoważną dopływowi w granicach swego przepływu.



- Duże koszty budowy
- Wielkość produkcji zależy od pory roku i o warunków meteorologicznych



# ELEKTROWNIE ZBIORNIKOWE

Elektrownie wodne zbiornikowe działają na zasadzie wykorzystania energii potencjalnej masy wody spadającej z wysokości zwanej spadem. W miarę spadania wody jej energia potencjalna przekształca się w energię kinetyczną przekazywaną na dolnym poziomie turbinie. Główne elementy elektrowni zbiornikowej to: zapora, gromadząca wodę w zbiorniku; rurociąg doprowadzający wodę do turbiny; turbina wodna przejmująca energię kinetyczną wody; prądnica (generator) prądu przemiennego przetwarzająca energię mechaniczną na elektryczną; wyposażenie pomocnicze niezbędne do regulacji mocy, napięcia i częstotliwości oraz do zapewnienia bezpiecznej pracy urządzeń.

## Regulacyjne

Z małym lub dużym zbiornikiem

Możliwa regulacja dobowa lub tygodniowa

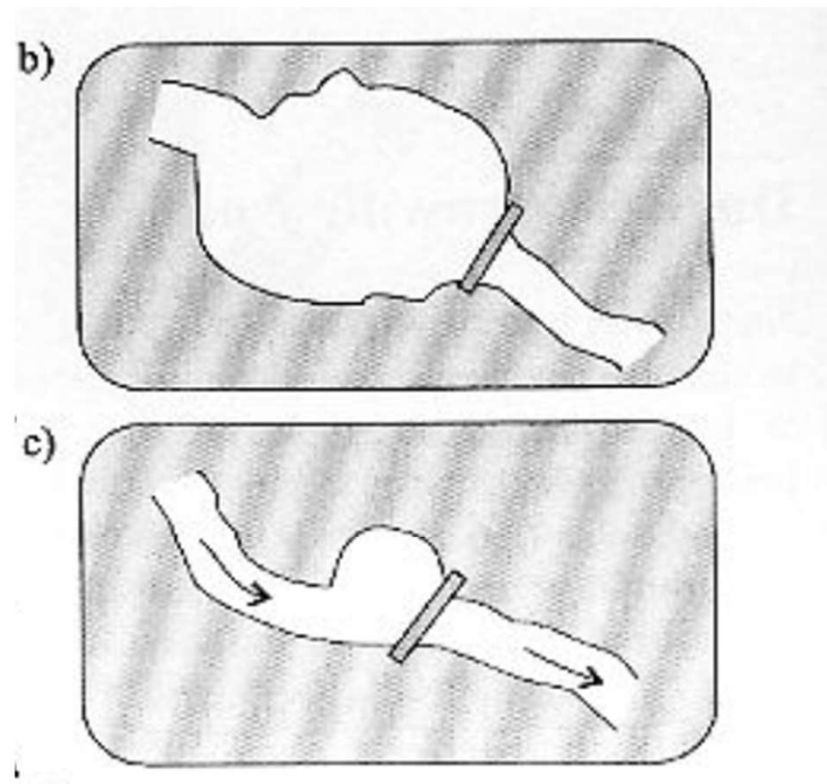
Zbiornik stanowi zabezpieczenie przeciwpowodziowe

Solina 472 Mm<sup>3</sup>

Włocławek 408Mm<sup>3</sup>

Czorsztyn – Nidzica 2121Mm<sup>3</sup>

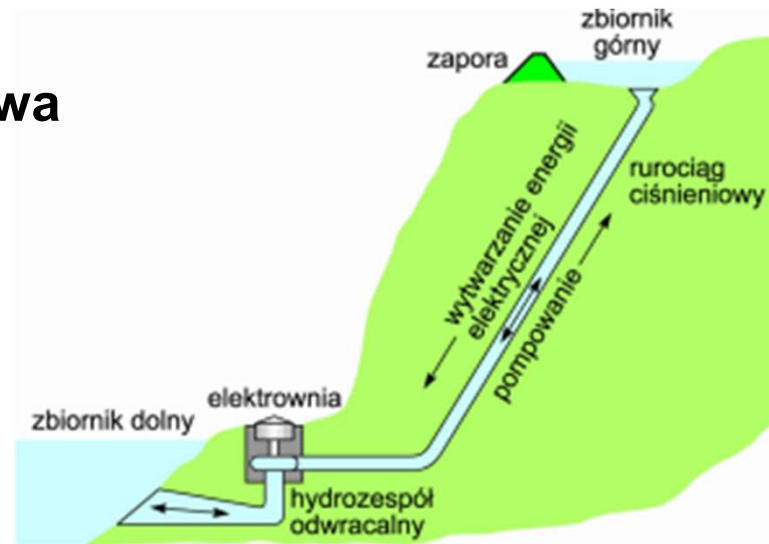
Z małym zbiornikiem – regulacja w godzinach szczytu



Regulacyjne (zbiornikowe)

Przed elektrownią znajduje się zbiornik, wyrównuje sezonowe różnice w ilości płynącej wody. Elektrownia zbiornikowa może produkować energię o większej mocy, niż moc odpowiadająca chwilowemu dopływowi.

# Elektrownia szczytowo-pompowa



**Elektrownia szczytowo-pompowa** – zakład przemysłowy, którego zadaniem jest przemiana energii elektrycznej w energię grawitacyjną wody pompowanej do górnego zbiornika oraz proces odwrotny.

W elektrowni szczytowo pompowej zamienia się energię elektryczną na energię potencjalną grawitacji poprzez wpompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego w okresie nadwyżki produkcji nad zapotrzebowaniem na energię elektryczną (np. w nocy), a następnie, w godzinach szczytu, następuje odwrócenie procesu.

Na tym też opiera się ekonomika działania tych elektrowni. Energia elektryczna jest skupowana w okresie kiedy jest najtańsza, a oddawana do systemu (sprzedawana) w okresie najwyższego zapotrzebowania i za wysoką cenę.

Elektrownia taka wbrew nazwie nie produkuje sumarycznie prądu, co więcej, sporo (prawie 30%) energii elektrycznej jest w tym procesie tracone. Jest ona za to bardzo skutecznym akumulatorem o ogromnej pojemności. Istotną zaletą takiej elektrowni jest możliwość bardzo szybkiego jej uruchomienia w nagłym przypadku, pełną moc osiąga ona w ciągu kilku minut.

Stosowanie elektrowni szczytowo pompowych ma sens jedynie w połączeniu z elektrowniami, w których występują okresowe nadwyżki energii spowodowane niemożliwością szybkiego dostosowania ilości wytwarzanej energii elektrycznej do bieżącego zapotrzebowania (zwłaszcza w elektrowniach ciepłych opalanych węglem). Nadwyżka mocy, która musi być utrzymywana w porze nocnej, przepadałaby bezpowrotnie, gdyby nie została zmagazynowana przez elektrownie szczytowo pompowe w energii potencjalnej wody.

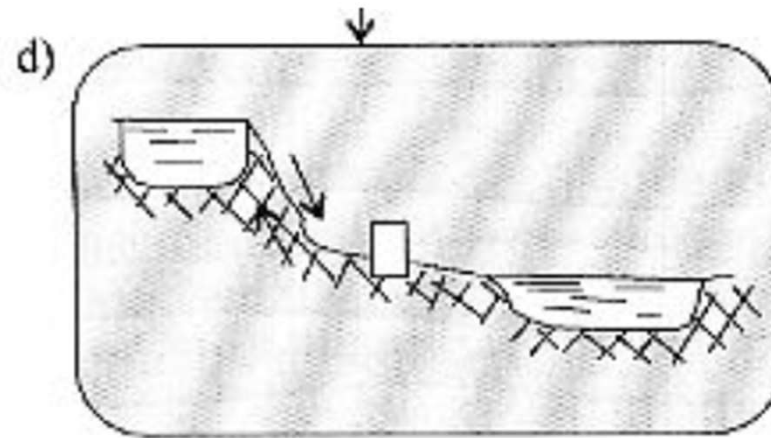
Elektrownie szczytowo-pompowe są najpowszechniej używanymi magazynami energii elektrycznej. Alternatywami dla nich są między innymi: magazynowanie energii za pomocą sprężonego powietrza, produkcja syntetycznych paliw oraz magazynowanie energii w postaci termicznej.

Polskie elektrownie szczytowo-pompowe:

# Szczytowo – pompowe

Umożliwiają magazynowanie energii elektrycznej w postaci energii potencjalnej wody i zwracaniu do sieci w godzinach szczytu

Żarnowiec  
Porąbka Żar  
Solina Myczkowice  
Dychów



## **Polskie elektrownie szczytowo-pompowe:**

Elektrownia Żarnowiec – 716 MW (największa w Polsce)

Elektrownia Porąbka-Żar – 500 MW

Zespół Elektrowni Wodnych Solina – Myczkowce – moc 200 MW po modernizacji 2000-2003, przed modernizacją 136 MW

Elektrownia Żydowo – moc 167 MW po modernizacji zakończonej w 2013 r. (pierwsza w Polsce), przed modernizacją 156 MW

Elektrownia Czorsztyn-Niedzica-Sromowce Wyżne – 94,6 MW

Elektrownia Dychów – o mocy 90 MW (do września 2005 – 79,3 MW)

## Derywacyjne

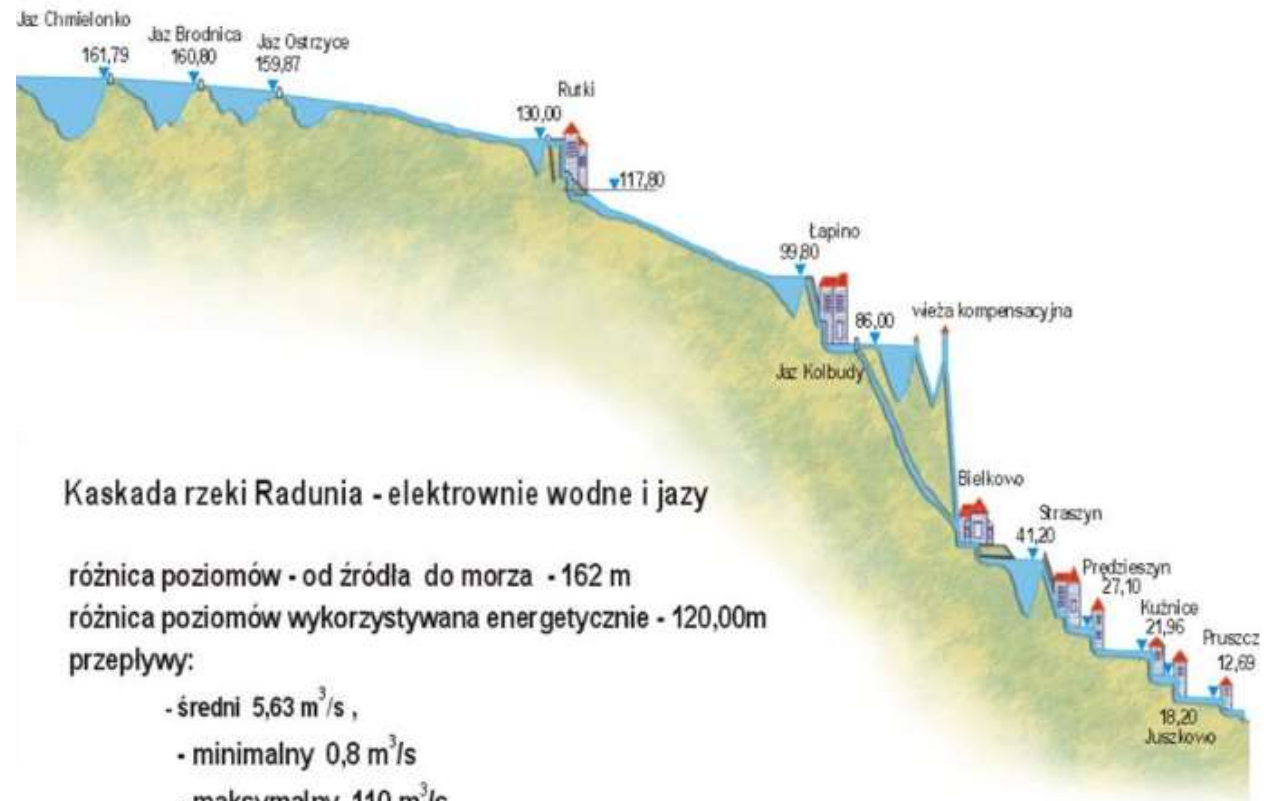
- wyposażone dodatkowo w odpowiedni kanał i rurociągi turbinowe, które doprowadzają wodę do elektrowni.
- stosowane głównie na rzekach górskich.



# Kaskadowe

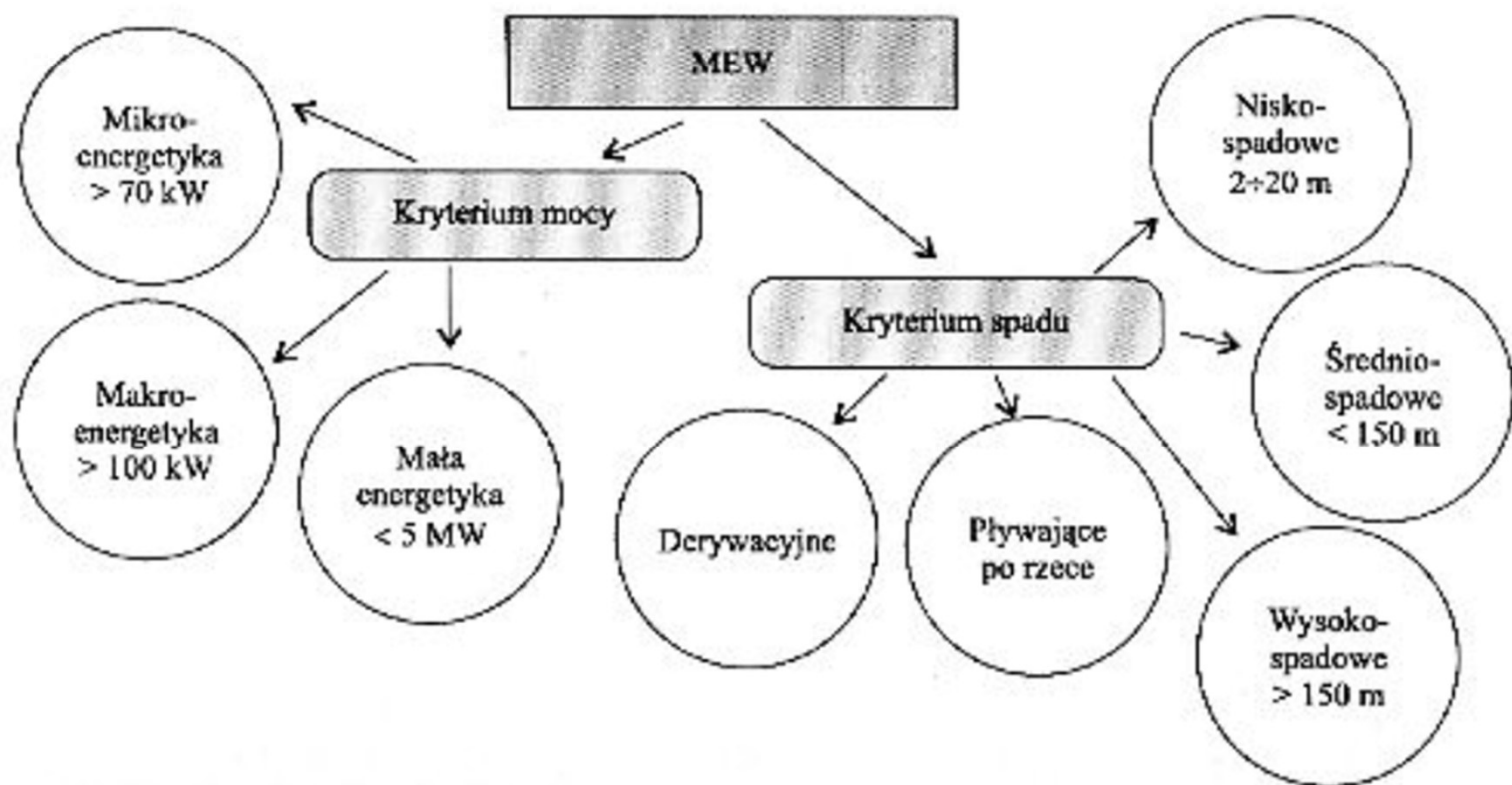
Kaskada elektrowni – szereg elektrowni wodnych jazowych, położonych na rzece nizinnej w takich wzajemnych odległościach, że cofka elektrowni niżej położonej stanowi wodę dolną elektrowni leżącej wyżej.

Elektrownie wodne tworzą unikatowy kompleks zwany Kaskadą Raduni, bardzo ciekawy ze względu na malownicze położenie wśród wzgórz morenowych oraz oryginalną architekturę elektrowni – najstarszych tego typu obiektów przemysłowych na Pomorzu.



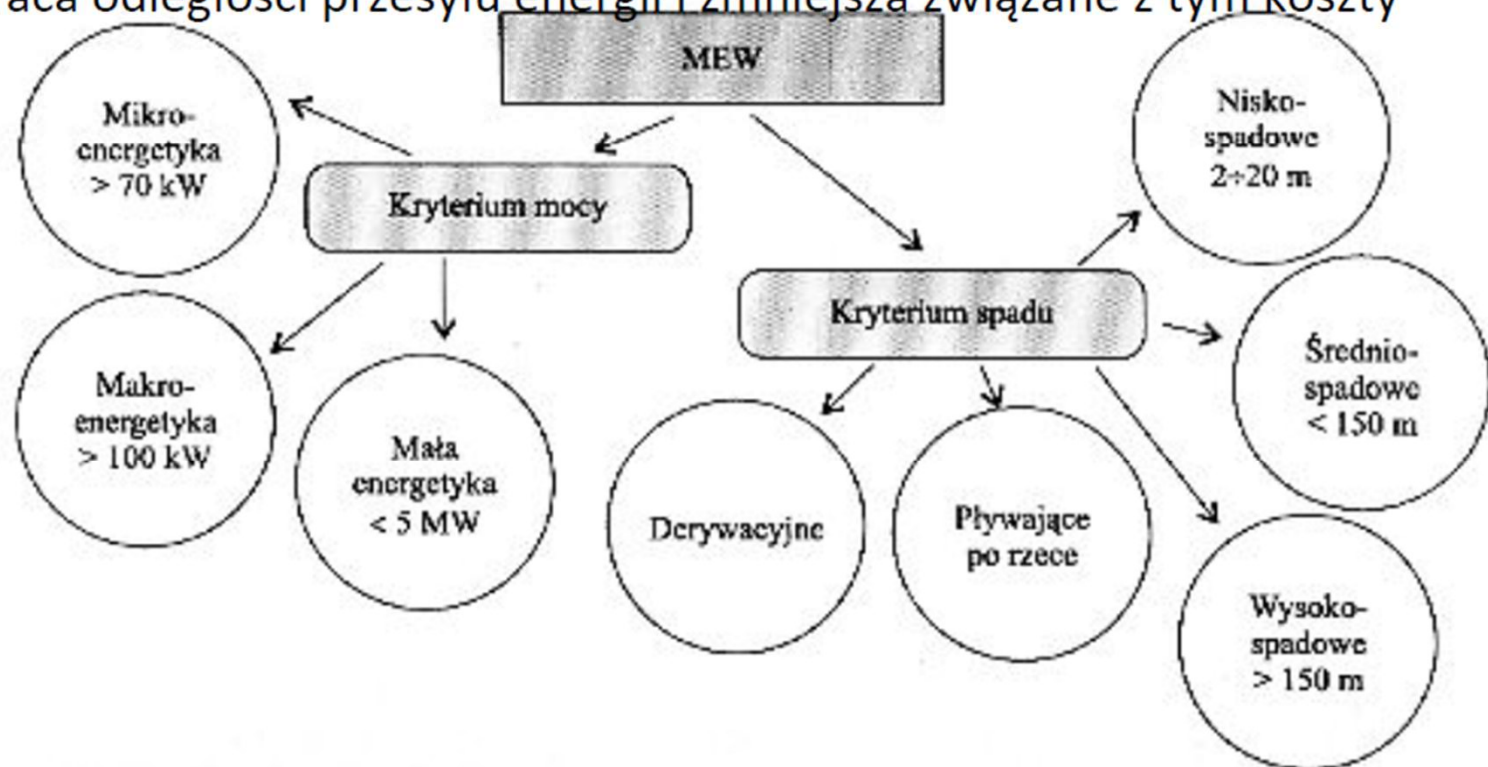
# Mała energetyka wodna MEW podział

- Produkcja energii elektrycznej na potrzeby lokalne
- Możliwość sprzedaży energii do sieci
- Mogą stanowić istotne ogniwo jako energetyka rozproszona
- Mogą polepszyć bilans energetyczny kraju

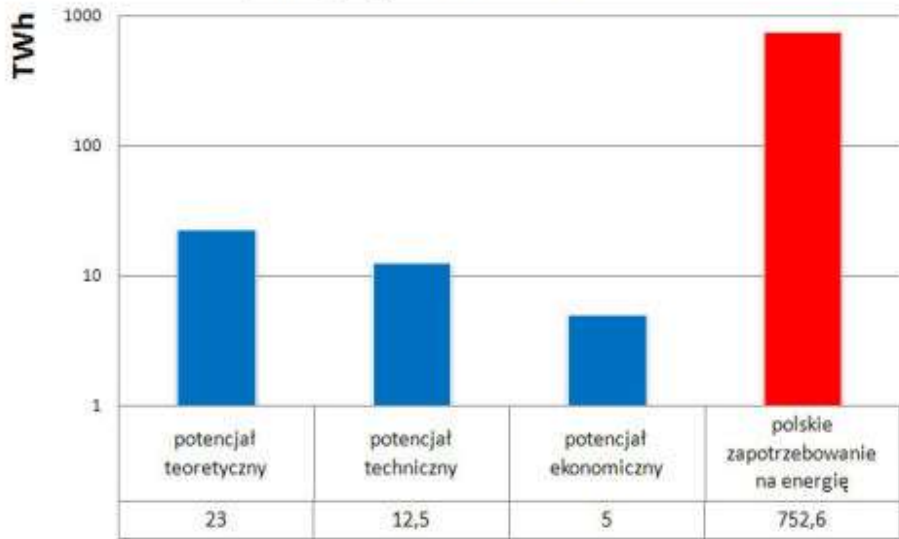


## Zalety MEW:

- nie zanieczyszczają środowiska i mogą być instalowane w licznych miejscach na małych ciekach wodnych
- mogą być zaprojektowane i wybudowane w ciągu 1-2 lat, wyposażenie jest dostępne powszechnie, a technologia dobrze opanowana
- prostota techniczna powoduje wysoką niezawodność i długą żywotność
- wymagają nielicznego personelu i mogą być sterowane zdalnie
- rozproszenia w terenie skraca odległości przesyłu energii i zmniejsza związane z tym koszty



## Zasoby energii spadku wód w Polsce

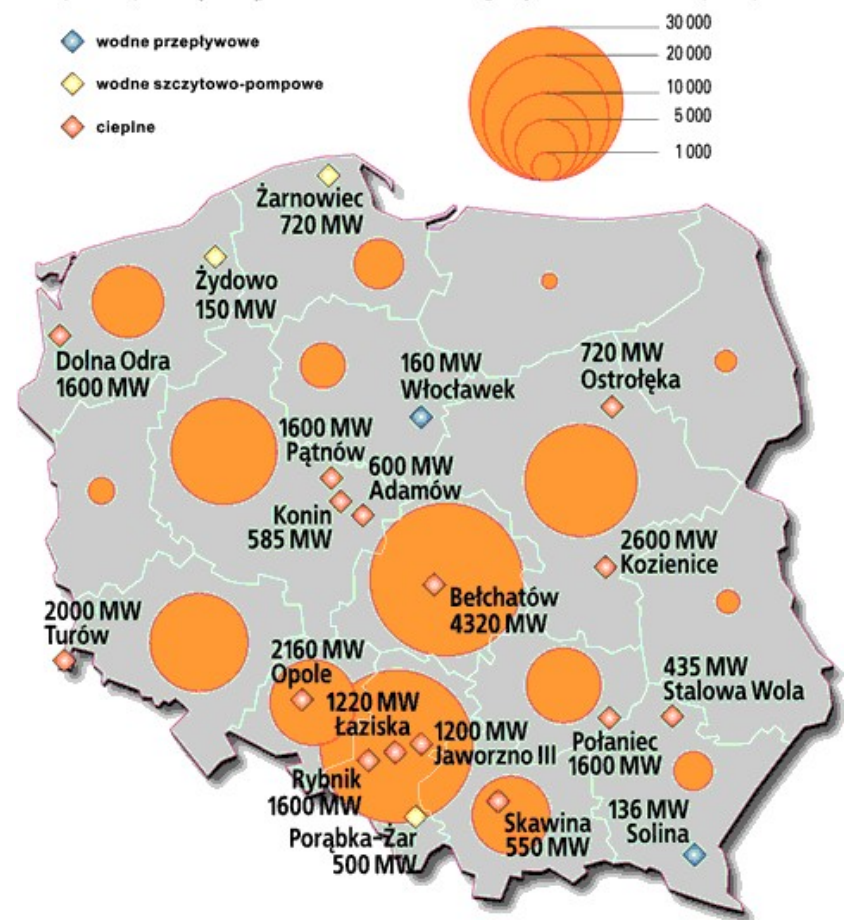


Elektrownie wodne w Polsce

## Największe elektrownie (wraz z podaną mocą)

- ◆ wodne przepływowe
- ◆ wodne szczytowo-pompowe
- ◆ ciepłone

## Produkcja energii elektrycznej wg województw w 2004 r. (GWh)



W Polsce istnieje około **800** hydroelektrowni, w tym większość o mocy mniejszej, niż **5 MW**.

Duże elektrownie wodne pełnią w naszym kraju z reguły funkcje elektrowni szczytowo - pompowych.

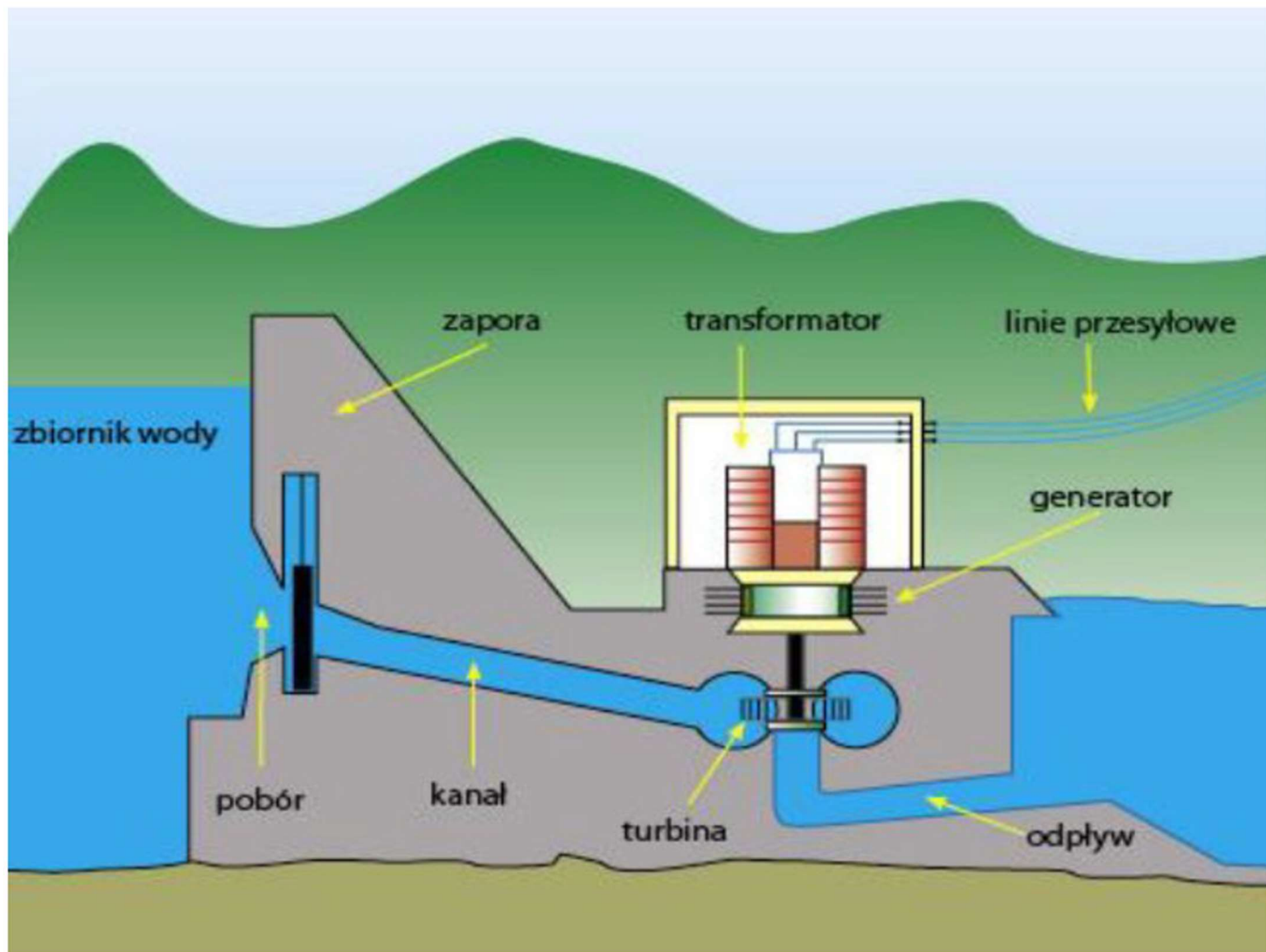
Największe elektrownie wodne w kraju to:

|                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Żarnowiec - <b>680</b> MW,        | Porąbka - Żar - <b>500</b> MW, |
| Żydowo - <b>150</b> MW,           | Włocławek - <b>162</b> MW,     |
| Solina-Myczkowce - <b>200</b> MW, | Czorsztyn - <b>93</b> MW.      |

Obecnie obserwuje się wzrost liczby elektrowni wodnych, zwłaszcza małych.

Globalna moc zainstalowana elektrowni wodnych w Polsce to ponad 2000 MW, w tym prawie połowa to OZE.

# Budowa elektrowni wodnej



# Zapora

Przegradza dolinę rzeki z w celu spiętrzenia wody. Pełni również inne role jak: rekreacyjną, stawu hodowlanego, zbiornika przeciwpowodziowego. Można wyróżnić zapory ziemne, betonowe bądź kamienne. W Polsce istnieje obecnie ponad 30 zapór o wysokości przekraczającej 200 metrów, ponieważ jednak wysokie zapory mają niekorzystny wpływ na środowisko, coraz częściej rezygnuje się z nich na rzecz zapór mniejszych. Nie każda hydroelektrownia wyposażona jest w zaporę.



# Turbina wodna

przetwarza energię mechaniczną wody na ruch obrotowy za pomocą wirnika z łopatkami

Rodzaje turbin , postaci energia doprowadzana jest do wirnika.

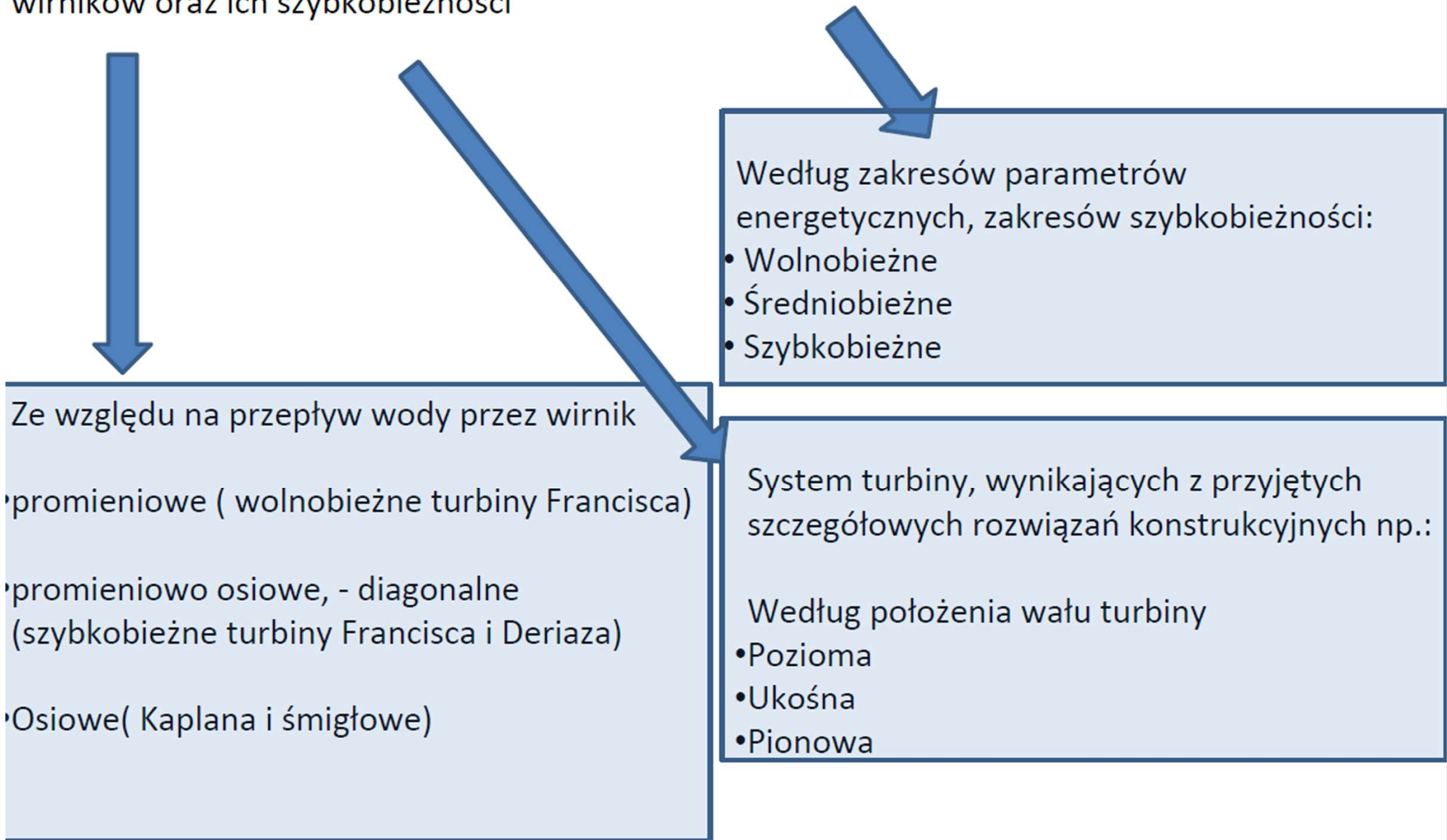
**Turbiny akcyjne** (natryskowe) - woda jest doprowadzana do wirnika pod ciśnieniem atmosferycznym. Wykorzystuje się w niej energię kinetyczną wody.



**Turbiny Reakcyjne** (naporowe) -woda doprowadzana jest do wirnika pod wyższym ciśnieniem niż ciśnienie atmosferyczne. Turbiny tego rodzaju wykorzystują energię ciśnienia wody, a także energię kinetyczną.

# Turbina wodna

Podział turbin reakcyjnych jest uzależniony od sposobu przepływu wody przez wirnik, ilości wirników oraz ich szybkobieżności



# Generator – źródło prądu i napięcia

Trójfazowe generatory synchroniczne



Trójfazowe generatory asynchroniczne

## Pozostałe elementy MEW



Przekładnia turbina – generator (pasowa, zębata)

Komora turbiny



Sterowanie



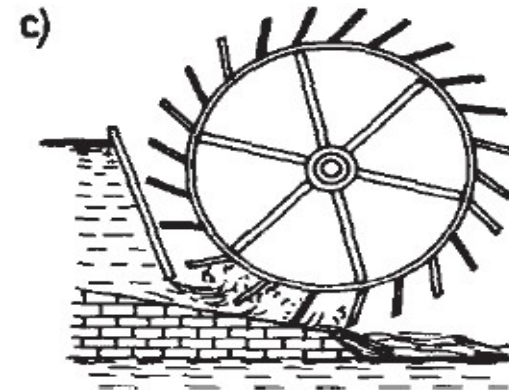
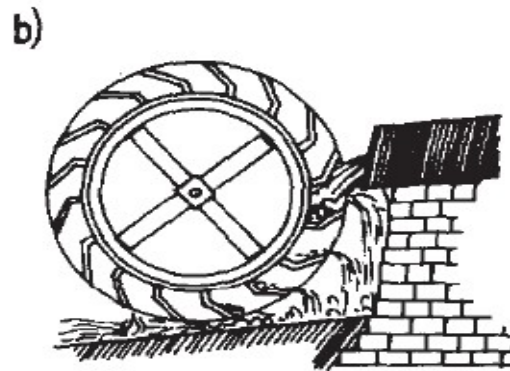
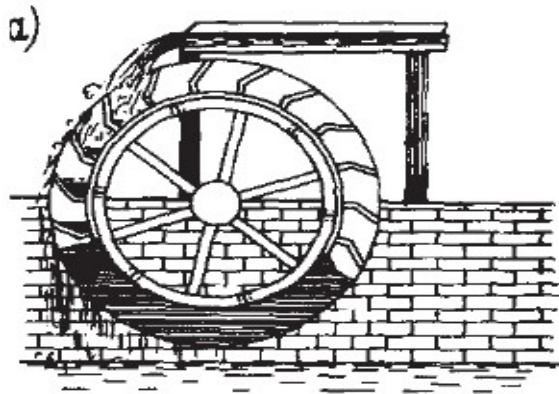
Typ turbiny

Zależnie od sposobu zasilania koła wodne dzielimy na:

**nasiębierne** (wykorzystuje głównie energię potencjalną wody) o największej wydajności,

**śródsiębierne** (wykorzystuje energię potencjalną i kinetyczną wody),

**podsiębierne** (wykorzystuje głównie energię kinetyczną wody)



# PODZIAŁ TURBIN WODNYCH

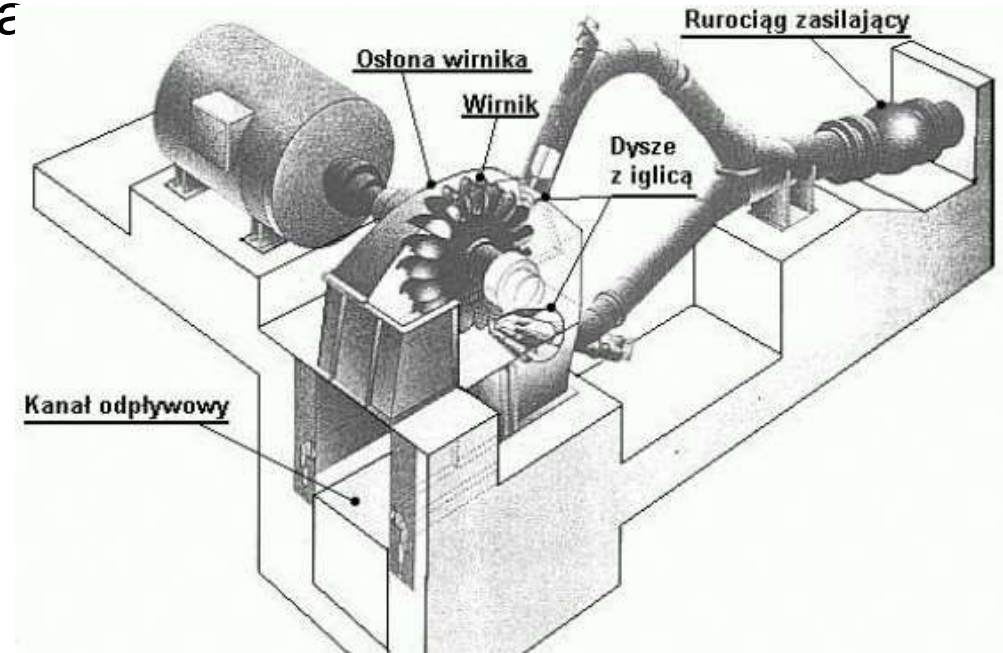
Usystematyzowanie bardzo licznych i różnorodnych konstrukcji turbin wodnych wymaga stosowania wielu kryteriów podziału, z których podstawowymi są: rodzaj, typ i system turbiny.

- **Rodzaj turbiny:**

- **turbiny reakcyjne** (*naporowe*) – przed wirnikiem turbiny ciśnienie wody jest większe od atmosferycznego, w czasie przepływu następuje zmiana ciśnienia;
- **turbiny akcyjne** (*natryskowe*) – ciśnienie wody jest równe ciśnieniu atmosferycznemu

# TURBINY AKCYJNE

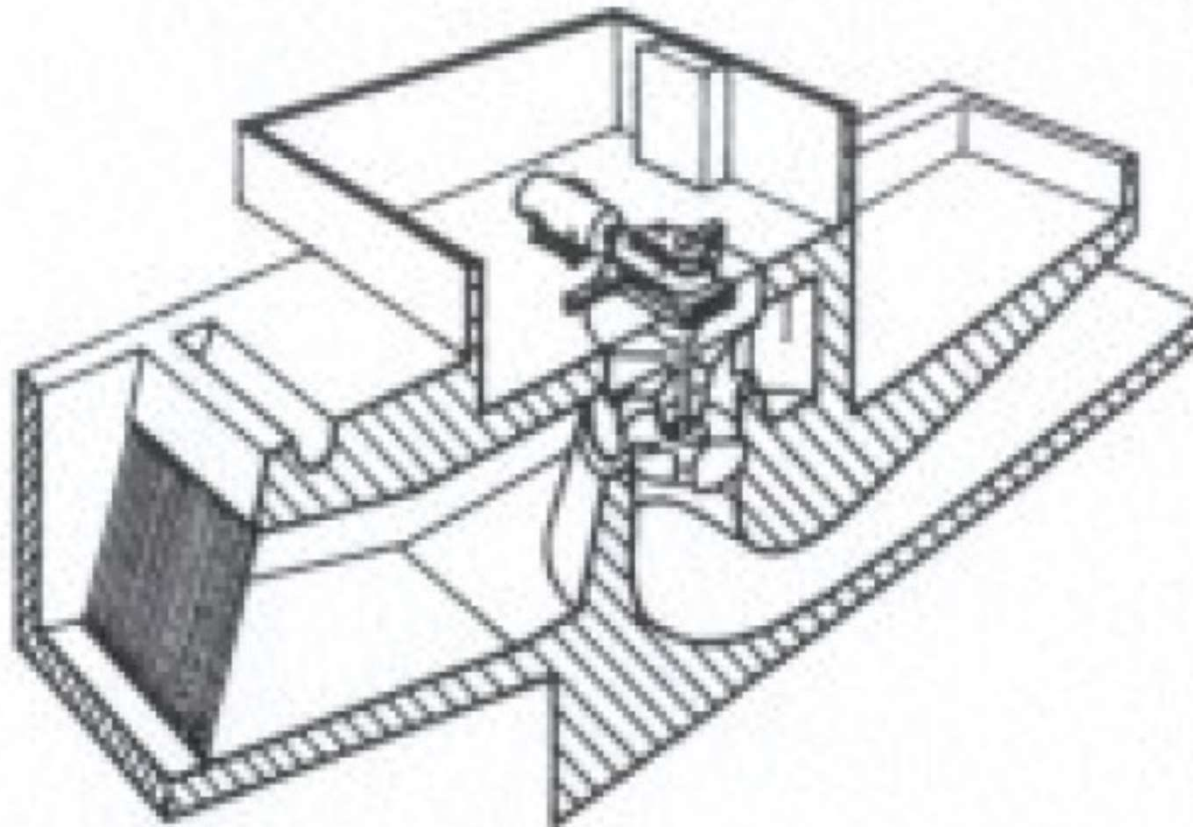
- Energia potencjalna jest przetwarzana w aparacie kierującym na energię prędkości.
- Ciśnienie wody przed wejściem na łopatkę jest równe ciśnieniu atmosferycznemu.
- Wirnik turbiny akcyjnej jest zasilany na części obwodu i powierzchnie tylne łopatek nie stykają się z wodą.
- Wirnik umieszczony jest nad zwierciadłem wody dolnej, co powoduje straty spadu.



# TURBINY REAKCYJNE

- Ciśnienie wody przy wejściu na łopatkę wirnika jest większe od atmosferycznego i maleje w czasie przepływu przez przestrzeń międzyłopatkowe wirnika.
- Podczas przepływu wody przez wirnik jej energia ciśnienia przemienia się w dodatkową energię kinetyczną.
- Woda przepływa między łopatkami wirnika, tworzącymi kanały konfuzorowe, wskutek czego doznaje przyśpieszenia i prędkość jej zwiększa się, a krzywizna łopatek wirnika powoduje zmianę kierunku ruchu wody.
- Wirnik turbiny reakcyjnej jest na całym obwodzie zasilany wodą, która przepływa przez niego strugą ciągłą i za pomocą rury ssącej jest doprowadzona do dolnego poziomu.

- Zastosowanie rury ssącej w turbinach reakcyjnych umożliwia wykorzystanie spadku między wirnikiem, a poziomem wody dolnej.
- W turbinie reakcyjnej woda wywiera na łopatkę dwojakie działanie:
  1. reakcyjne, wywołane ciśnieniem, pod którym woda przepływa przez
  2. akcyjne, wywołane przez zmianę kierunku ruchu wody.



nku ruchu

- **Typ turbiny:**
  - **Kaplana** (*śmigłowa*)
  - **Francisa**
  - **Peltona**
  - **Deriaza**
  - **Banki Michella**
  - **Tesli**
- **System turbiny:** wynika z przyjętych szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych np. turbina: w komorze otwartej, w spirali, lewarowa, z napływem kielichowy, bliźniacza itd., a także z położenia wału turbiny (pozioma, ukośna, pionowa), z liczby wirników.

# PODZIAŁ TURBIN WODNYCH

Inne kryteria podziału uwzględniają zakres parametrów energetycznych:

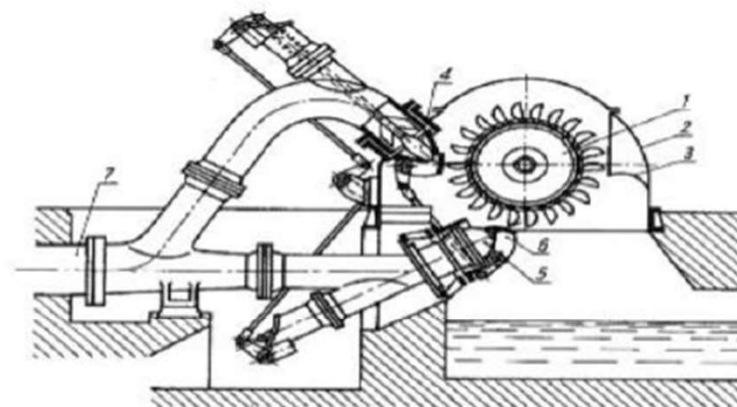
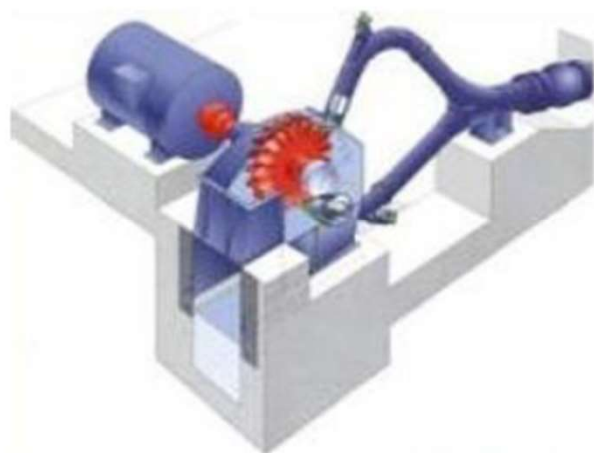
- Niskospadowe
  - Średniospadowe
  - Wysokospadowe
- oraz zakres szybkobieżności:
- Wolnobieżne
  - Średnobieżne
  - Szybkiebieżne

| Typ turbiny                           | Zakres wyróżników szybkobieżności $w$ , | Zakres spadów $H$ , $m$ |
|---------------------------------------|---|-------------------------|
| <i>Kaplan (śmigłowa) wolnobieżna</i>  | 350-500                                 | 70-30                   |
| <i>Kaplan (śmigłowa) średnobieżna</i> | 501-750                                 | 30-10                   |
| <i>Kaplan (śmigłowa) szybkobieżna</i> | 751-1100                                | 10 i poniżej            |
| <i>Francis wolnobieżny</i>            | 50-150                                  | 500-110                 |
| <i>Francis średnobieżny</i>           | 151-250                                 | 110-50                  |
| <i>Francis szybkobieżny</i>           | 251-450                                 | 50 i poniżej            |
| <i>Pelton wolnobieżny</i>             | 2-15                                    | 1800-1000               |
| <i>Pelton średnobieżny</i>            | 16-25                                   | 1000-700                |
| <i>Pelton szybkobieżny</i>            | 26-50                                   | 700-100                 |
| <i>Banki-Michella</i>                 | 30-200                                  | 100-5                   |

## Turbina Peltona

- stosowana do najwyższych spadów -nawet do 2000 m
- czarki na obwodzie turbiny pełnią rolę łopatek.
- woda doprowadzana jest do dyszy turbiny rurociągiem ciśnieniowym
- zmiana położenia iglicy w dyszy - płynna regulacja mocy

Woda po spłynięciu z czarki opada za pomocą grawitacji w komorze wirnika i odprowadzana jest do wody dolnej



1 - wirnik, 2 - obudowa wirnika, 3 - zbieracz wody,  
4 - iglica, 5 - dysza, 6 - odchylacz strumienia,  
7 - rurociąg zasilający

## Turbina Kaplana (śmigłowa)

stosowana do niskich spadów

dopasowanie do zmiennych przepływów,

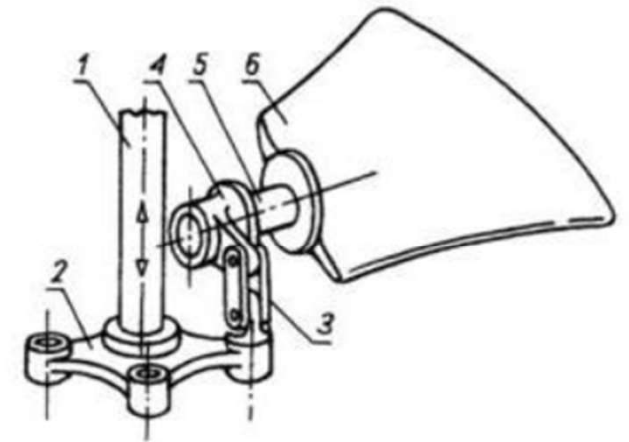
zmiana przepływu praktycznie nie wpływa na sprawność -  
śmigłowa turbina z nastawnymi łopatkami

stosowana w układzie:

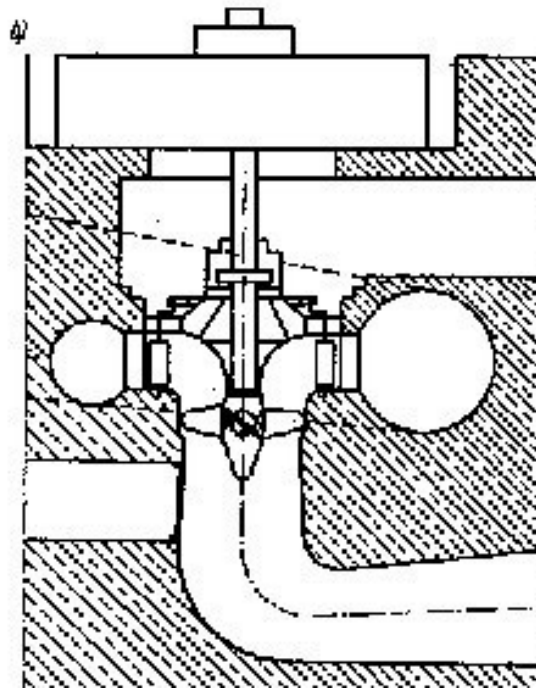
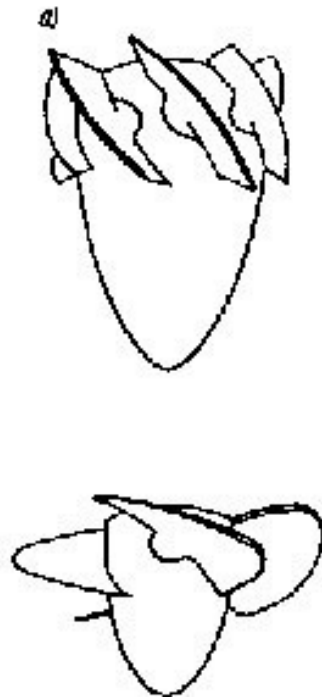
poziomym lub ukośnym w obudowie rurowej - turbiny  
rurowe.

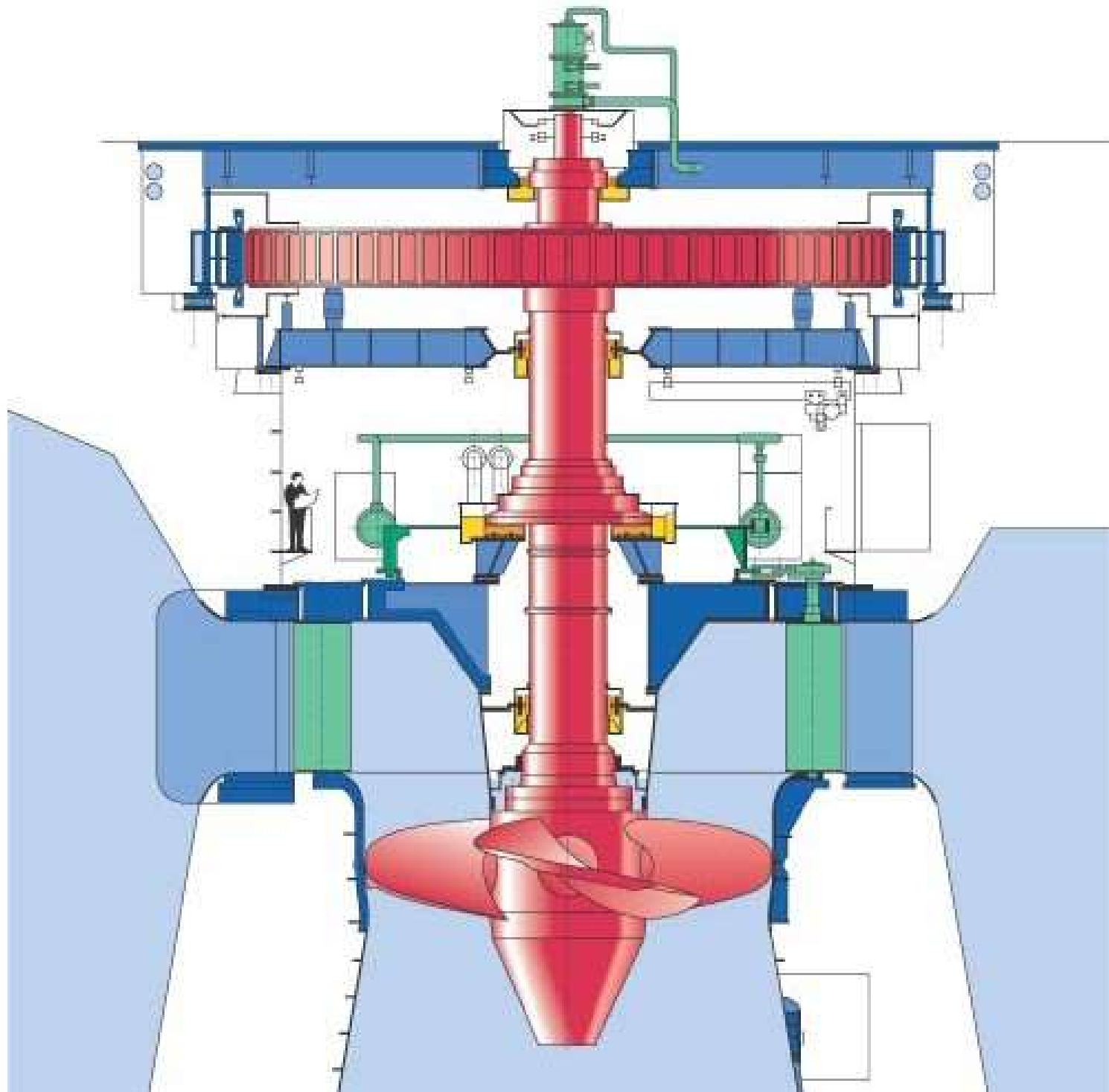
Układ rurowy umożliwia:

- uproszczenie konstrukcji
- zmniejszenie strat hydraulicznych dzięki prawie prostoosiowemu przepływowi wody przez komorę wlotową, wirnik i rurę ssącą



- Turbiny Kaplana pracują w zakresie spadów od 1÷50(70) m i uzyskują najwyższe sprawności spośród innych typów turbin, w znacznym zakresie zmian obciążenia od 40 do 100 %.
- Uzyskiwane sprawności są rzędu 90 %, a maksym

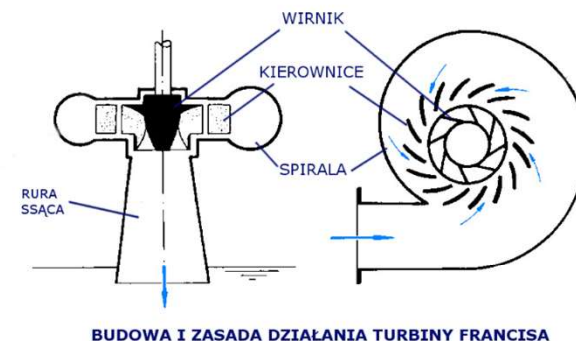




# Turbina Francisca

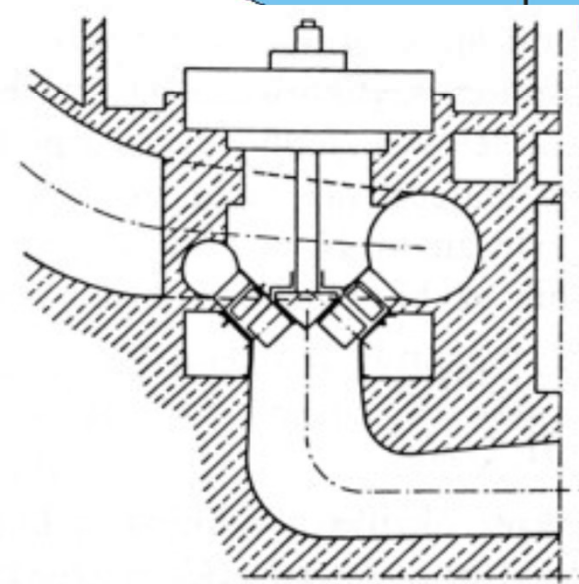
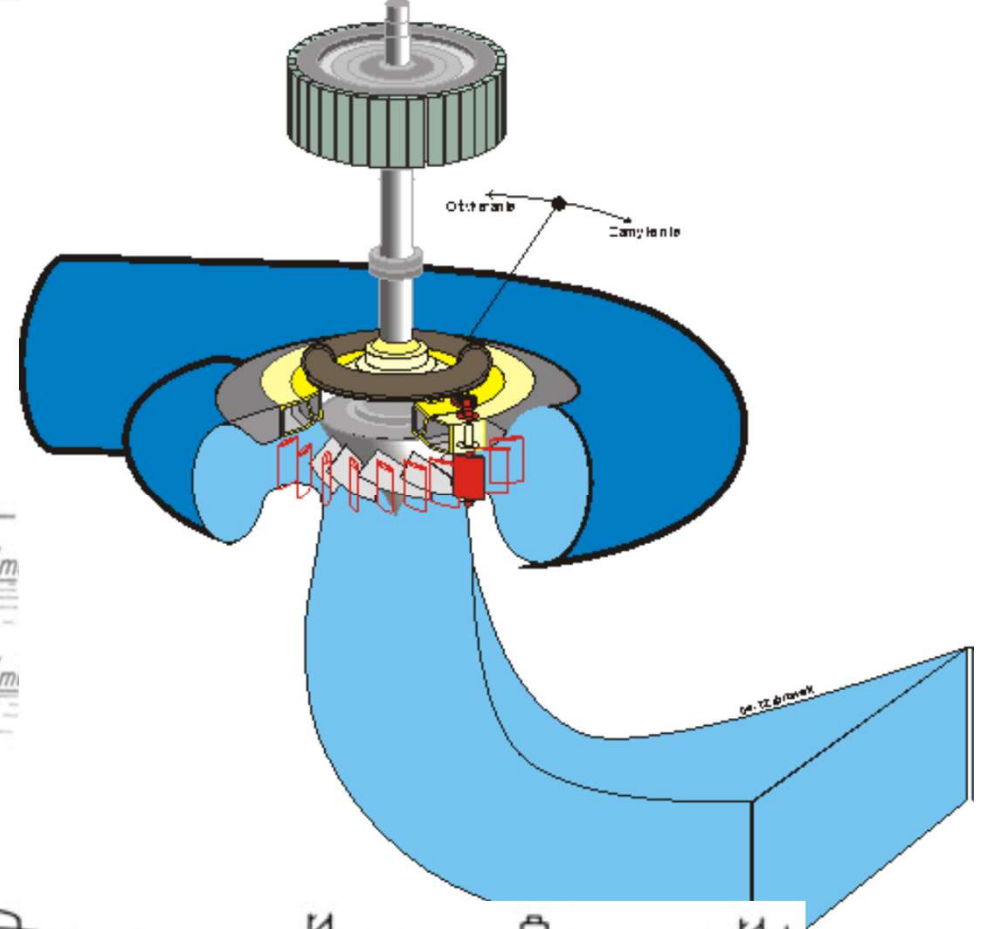
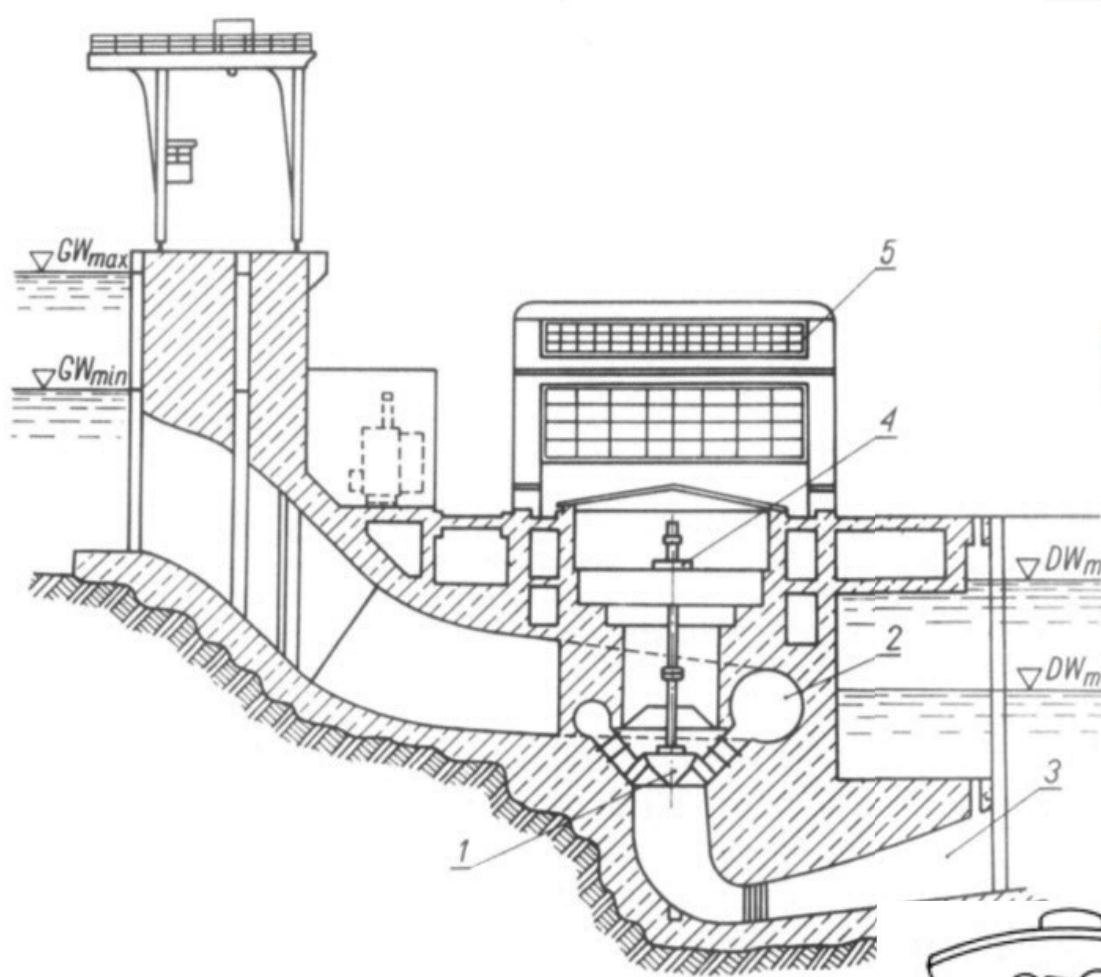
Część przepływowa:

- kierownica - zapewnia dopływ określonej ilości wody do wirnika i odpowiednie ukierunkowanie strumienia wody),
- wirnik( składa się z dwóch wieńców zewnętrznego i wewnętrznego oraz z łączących ich łopatek),
- rura ssąca
- specjalnie ukształtowana obudowa spełniająca rolę elementu doprowadzającego wodę do kierownicy w postaci spirali, leja lub kotła.



# TURBINA DERIAZA

- **Turbina Deriaza** jest znacznie bardziej skomplikowana niż turbina Francisa, gdyż jej łopatki są przestawiane.
- Stosuje się w niej kierownice promieniowe jak również ukośne.
- Zakres spadów przewyższa turbiny Kaplana i przekracza 100 m.
- Turbiny Deriaza są odwracalne i przy odpowiedniej konstrukcji mogą pracować jako pompy co jest wykorzystywane w elektrowniach szczytowo pompowych



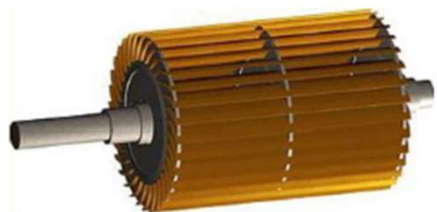
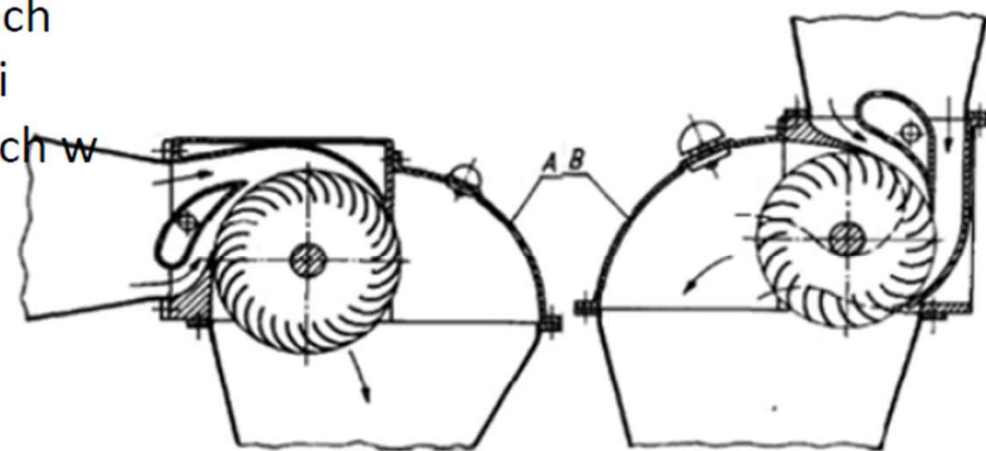
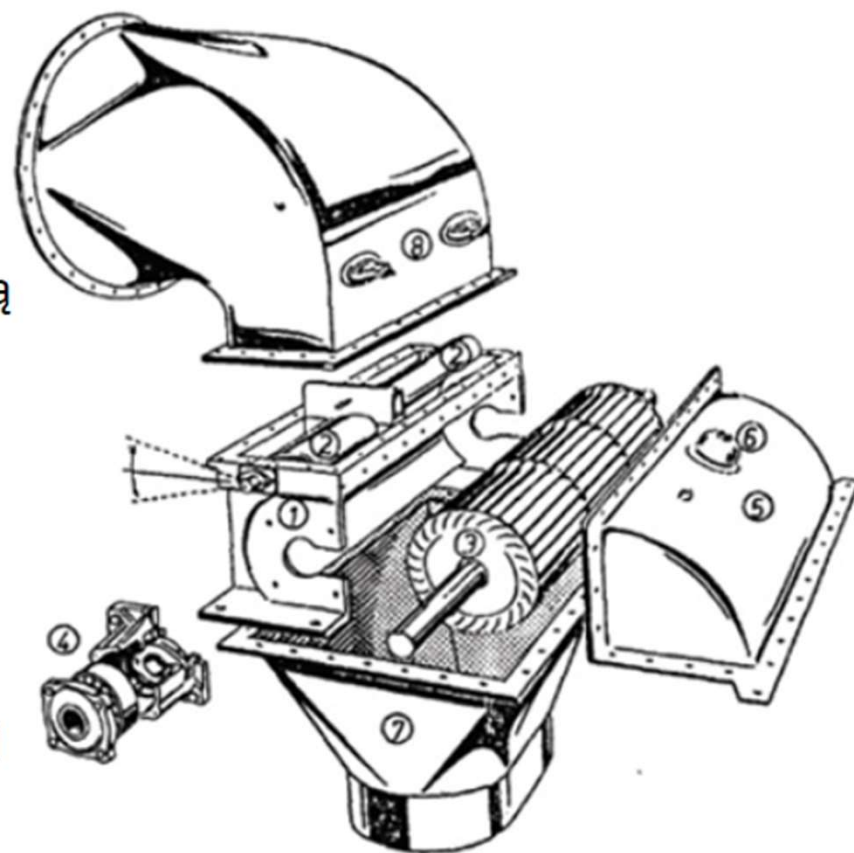
## Turbina Banki- Michella

Cechą charakterystyczną tej turbiny wodnej jest szeroki strumień wody o prostokątnym przekroju, który dwukrotnie przepływa przez palisadę łopatkową wirnika.

Wirnik zasilany jest poprzez odpowiednio wyprofilowaną 1-łopatkową kierownicę.

W części konstrukcji turbin wprowadzono podział wirnika i kierownicy na dwie części wąską w proporcji 1/3 długości i szeroką w proporcji 2/3 długości.

Poprzez ten podział dostosowano turbiny do trzech różnych natężeń przepływu. Turbiny są turbinami stosowanymi na spady od 2 do 50 m i używa się ich w małych elektrowniach wodnych



*Wirnik w turbinie Banki- Michella*

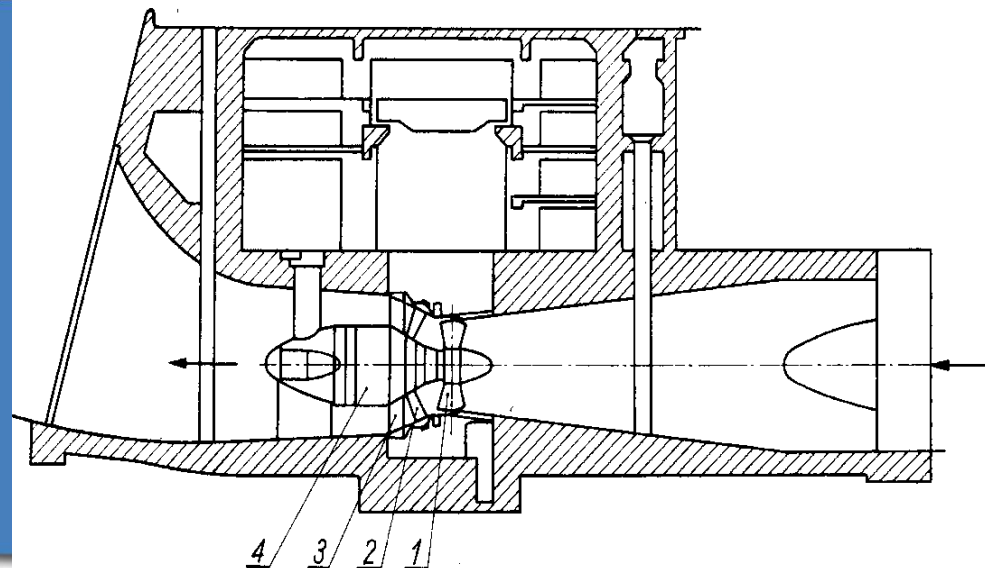
## Turbina Archimedesa – (ślimakowa)

- bezawaryjna,
- stosunkowo łatwa w utrzymaniu,
- niedroga obsługa.
  
- przewidziana na niskie spady
- wolnoobrotowa
- niski przepływ wody

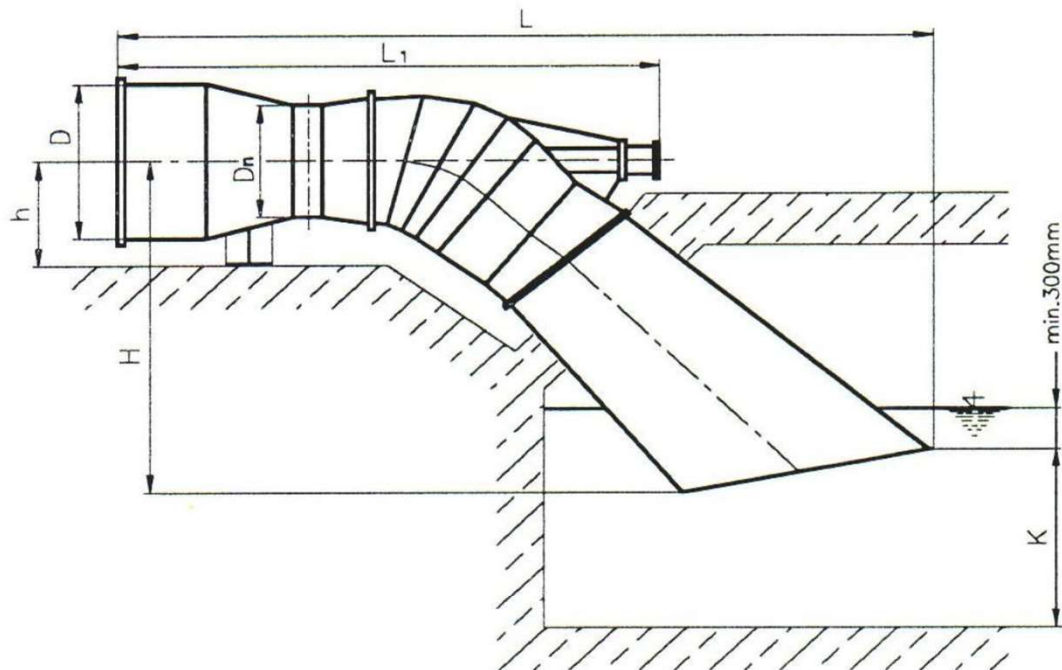


# TURBINA RUROWA Z WIRNIKIEM ŚMIGŁOWYM

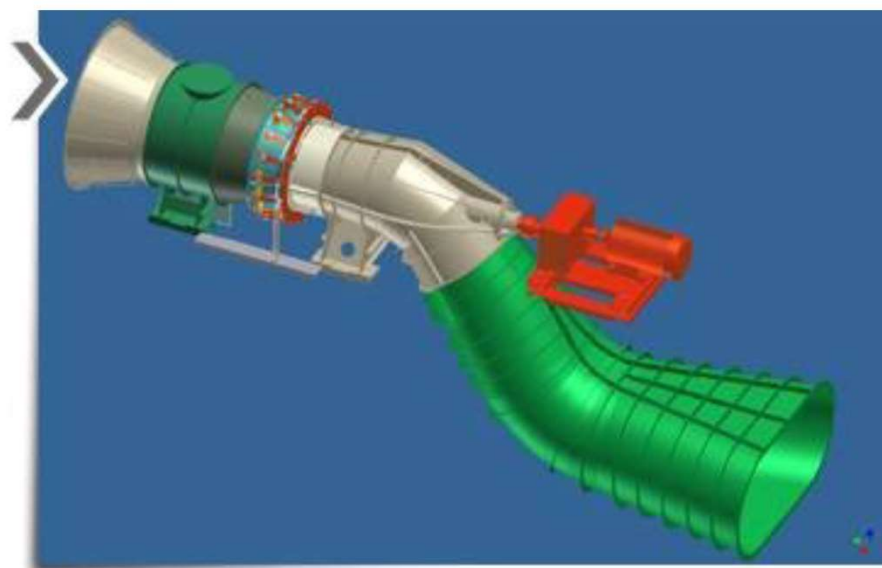
- **Turbina śmigłowa** to uproszczona wersja turbiny Kaplana z pojedynczą regulacją (tylko łopatek wirnika lub tylko kierownicy), stosowana w siłowniach średniej i małej mocy w obszarze niskich spadów ( $< 20$  m).
- Znaczne uproszczenie kształtu części przepływowej turbiny rurowej powoduje istotne zmniejszenie strat hydraulicznych oraz upraszcza



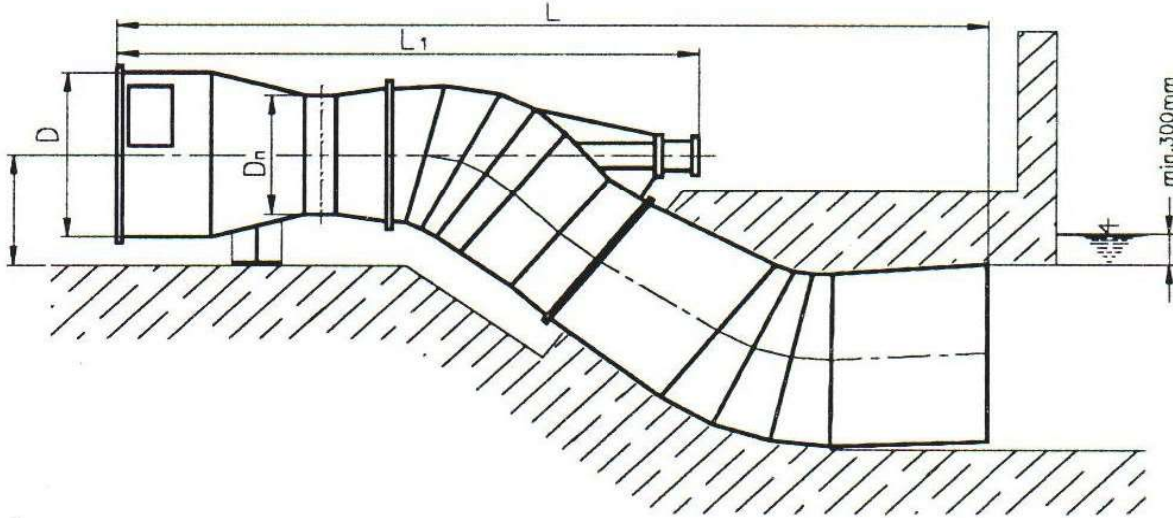
• Turbina rurowa z pojedynczo zagiętą rurą ssącą (typ K)



| $D_n$ | $D$  | $L_1$ | $L$  | $K$  | $H$  | $h$  | masa [t] |
|-------|------|-------|------|------|------|------|----------|
| 500   | 1000 | 3100  | 3340 | 960  | 1550 | 650  | 1,3      |
| 650   | 1000 | 3250  | 4160 | 1250 | 2000 | 650  | 2,1      |
| 900   | 1200 | 3500  | 5640 | 1750 | 2730 | 900  | 5,4      |
| 1100  | 1600 | 5800  | 7250 | 2100 | 3330 | 1100 | 7,0      |
| 1300  | 1800 | 6080  | 8090 | 2500 | 4120 | 1200 | 8,6      |

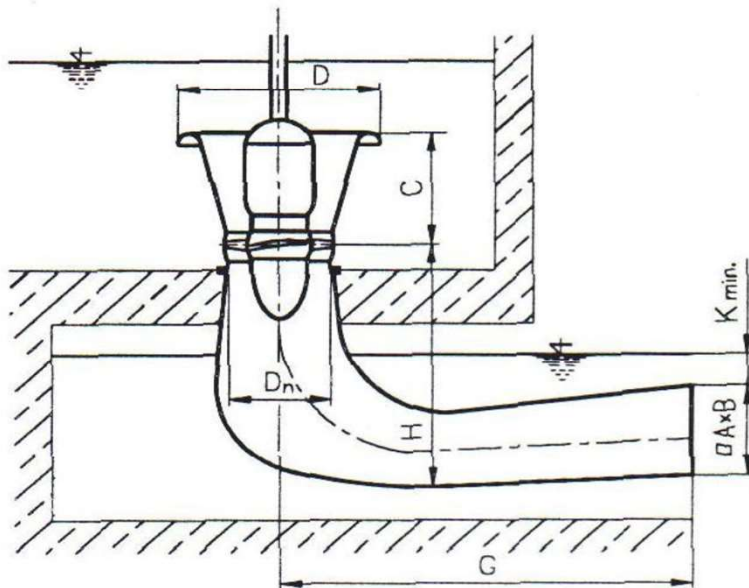


• Turbina rurowa z podwójnie zagiętą rurą ssącą (typ S)



| $D_n$ | D    | $L_1$ | L    | h    | masa [t] |
|-------|------|-------|------|------|----------|
| 500   | 1000 | 3100  | 4145 | 650  | 1,3      |
| 650   | 1000 | 3250  | 4100 | 650  | 2,1      |
| 900   | 1200 | 3600  | 5400 | 900  | 5,4      |
| 1100  | 1600 | 5800  | 7100 | 1100 | 7,0      |
| 1300  | 1800 | 6080  | 8050 | 1200 | 8,6      |

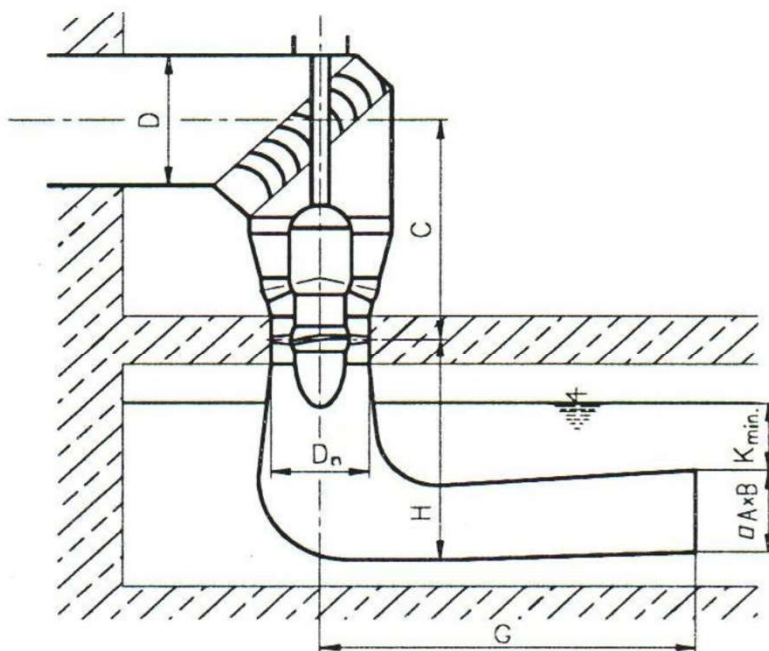
• Turbina rurowa kielichowa



| $D_n$ | D    | C    | G    | H    | $K_{min}$ | A    | B   |
|-------|------|------|------|------|-----------|------|-----|
| 400   | 800  | 428  | 1440 | 996  | 240       | 1248 | 276 |
| 500   | 1000 | 510  | 1800 | 1245 | 250       | 1560 | 345 |
| 650   | 1300 | 633  | 2340 | 1618 | 265       | 2028 | 448 |
| 750   | 1500 | 715  | 2700 | 1867 | 280       | 2340 | 517 |
| 900   | 1800 | 838  | 3240 | 2241 | 290       | 2808 | 621 |
| 1100  | 2200 | 1002 | 3960 | 2739 | 310       | 3432 | 759 |

## Turbiny rurowe pionowe (o pionowej osi wału)

- Turbina rurowa kątowa



| $D_n$ | D    | C    | G    | H    | $K_{min}$ | A    | B   |
|-------|------|------|------|------|-----------|------|-----|
| 400   | 675  | 1070 | 1440 | 996  | 240       | 1248 | 276 |
| 500   | 795  | 1350 | 1800 | 1245 | 250       | 1560 | 345 |
| 650   | 973  | 1770 | 2340 | 1618 | 265       | 2028 | 448 |
| 750   | 1092 | 2050 | 2700 | 1867 | 280       | 2340 | 517 |
| 900   | 1271 | 2470 | 3240 | 2241 | 290       | 2808 | 621 |
| 1100  | 1509 | 3030 | 3960 | 2739 | 310       | 3960 | 759 |

Pływy

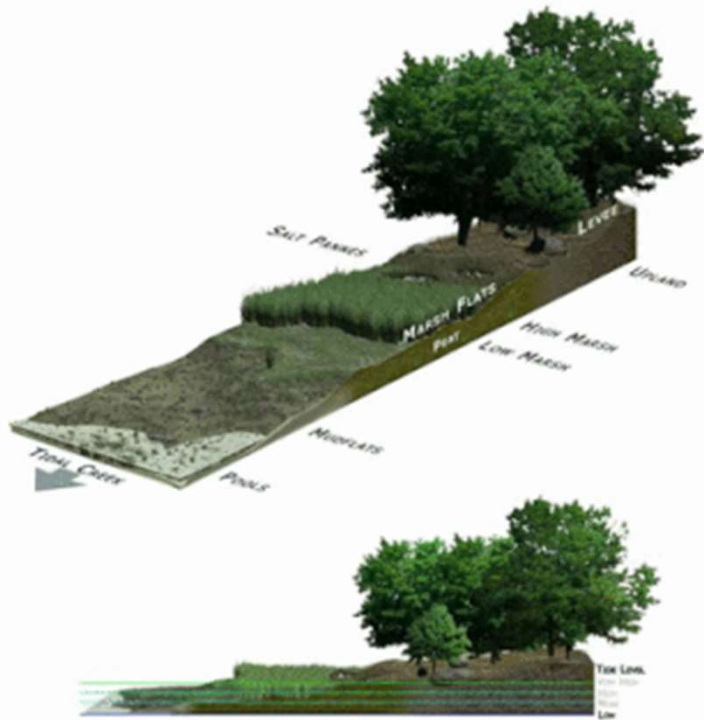
Falowanie

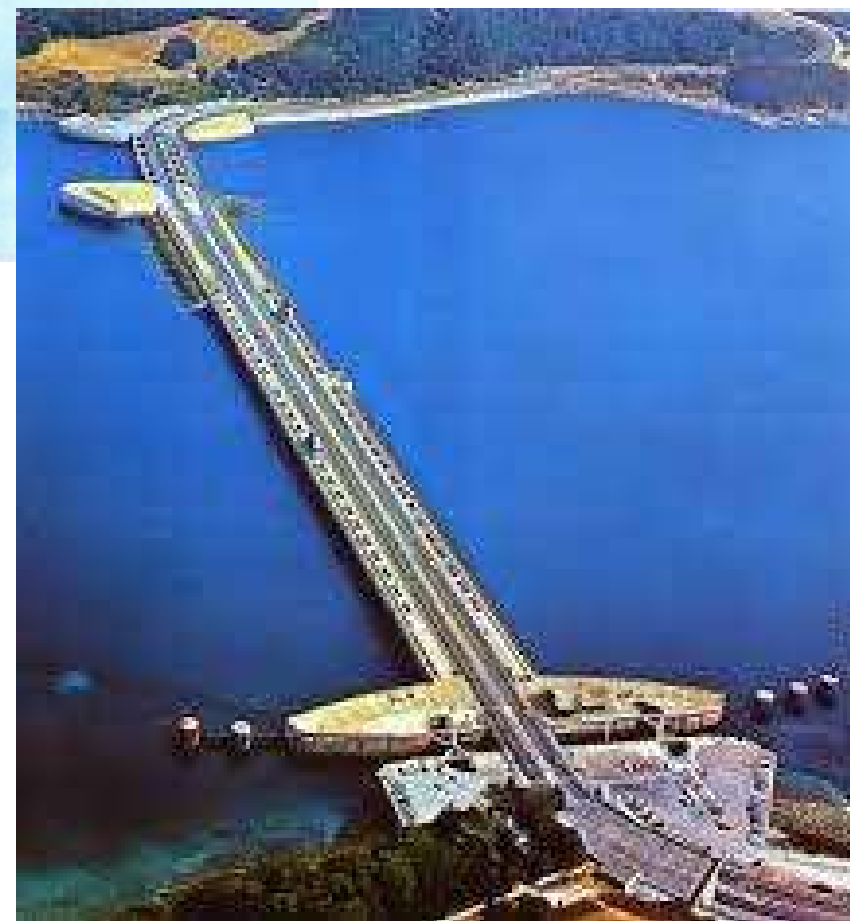
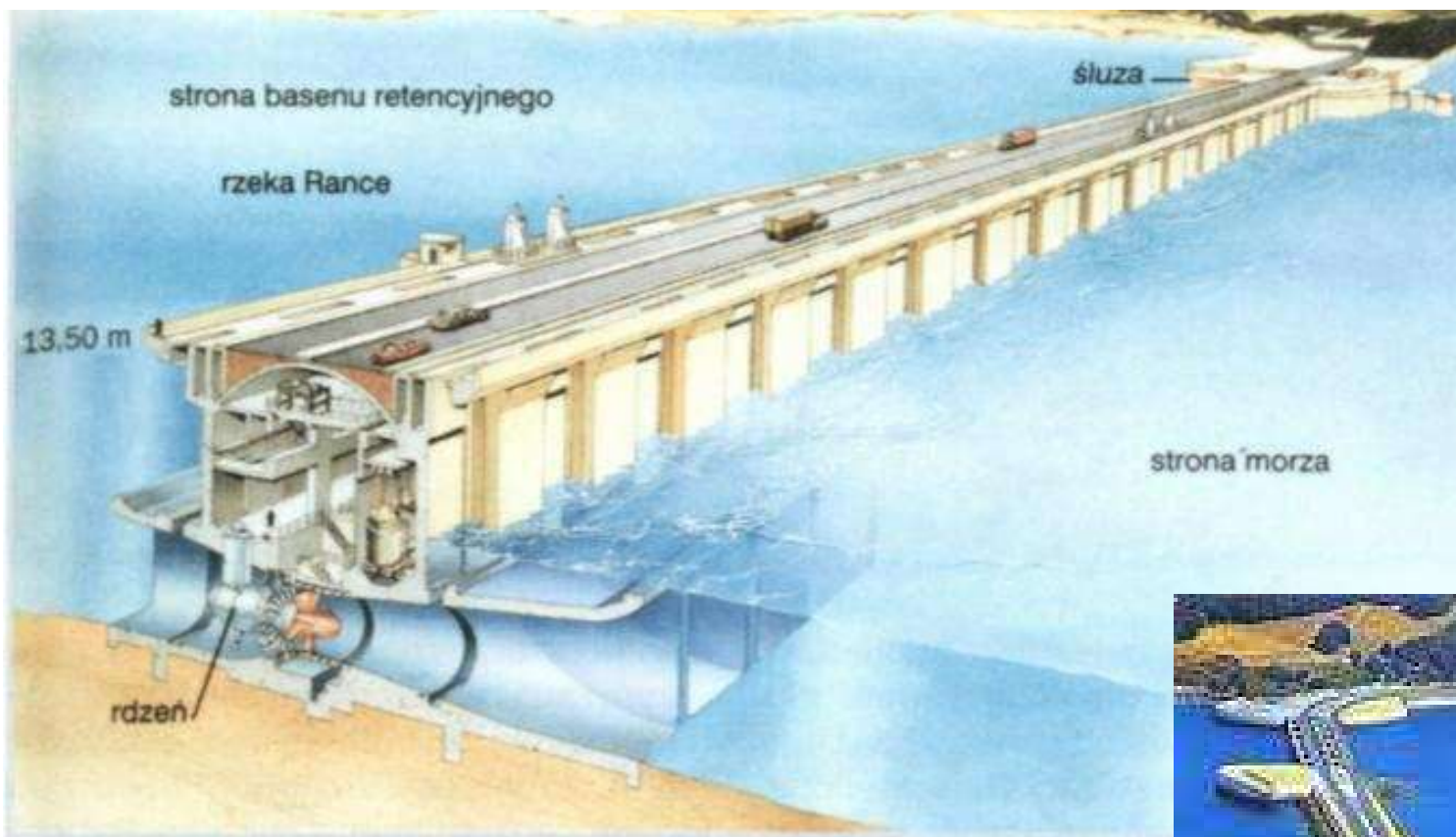
Prądy morskie

# **ENERGIA MÓRZ I OCEANÓW**

# ENERGIA PŁYWÓW

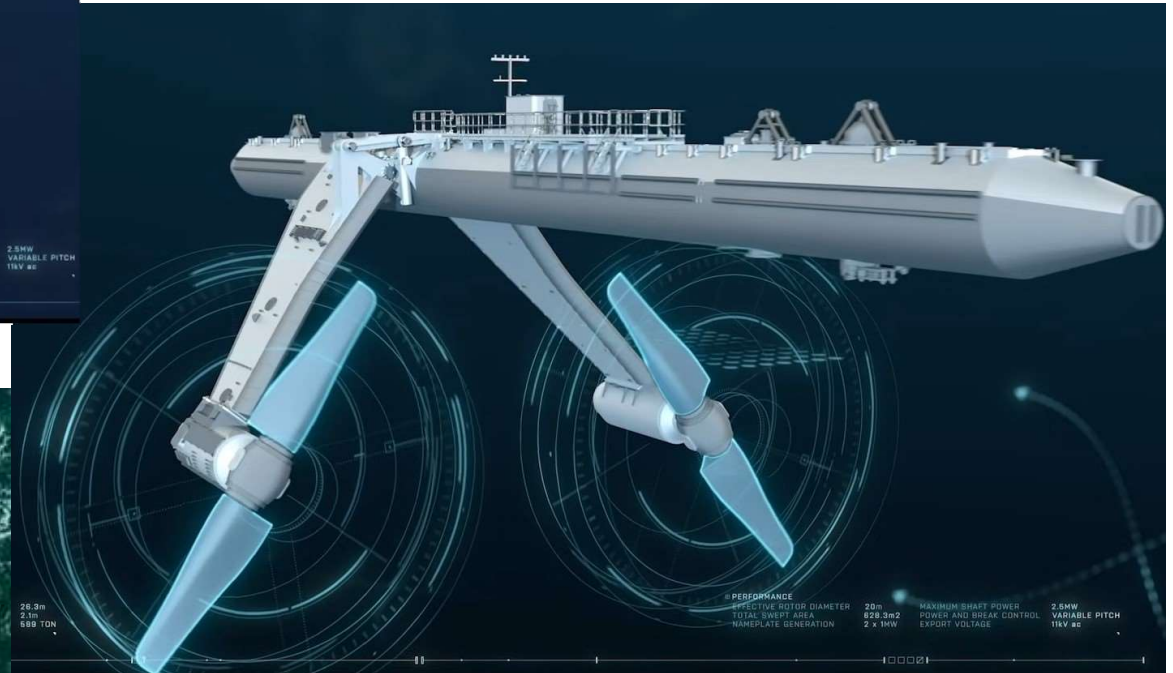
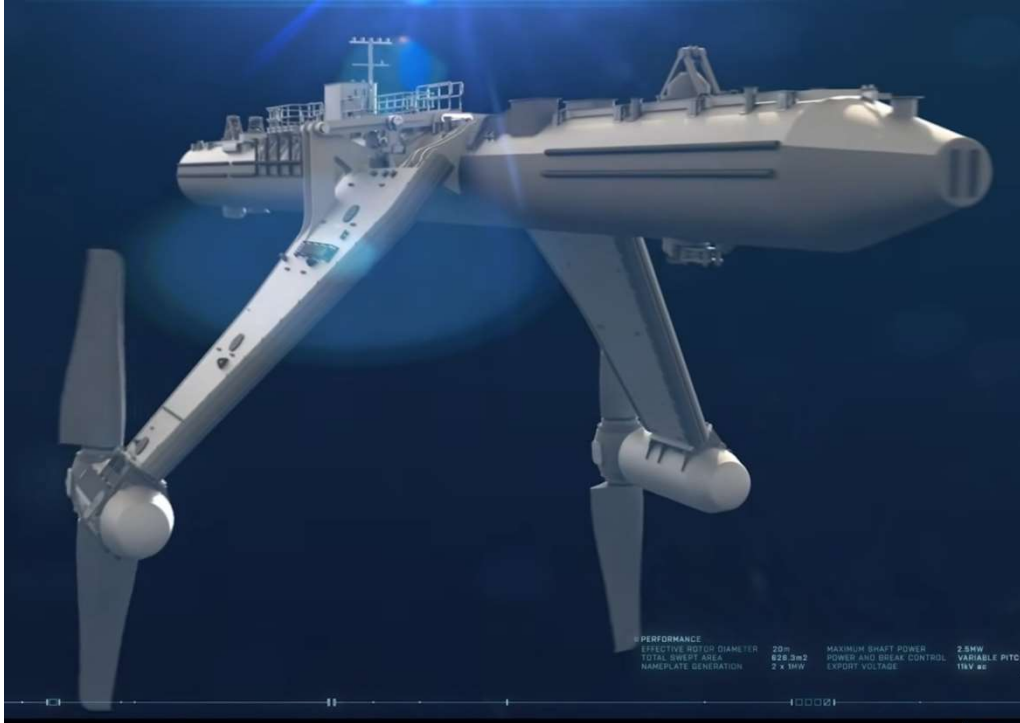
# Energia pływów







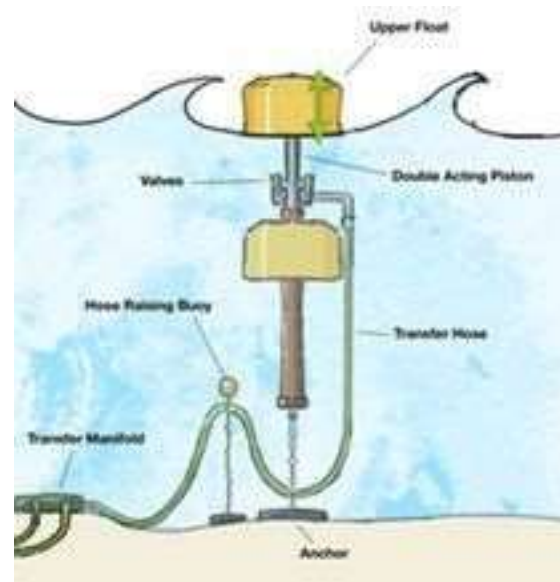
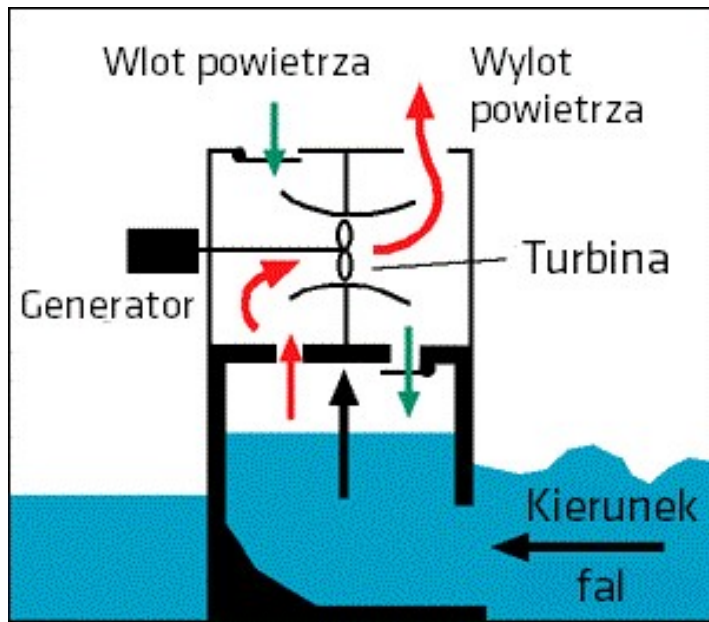
# Turbina pływowa O2

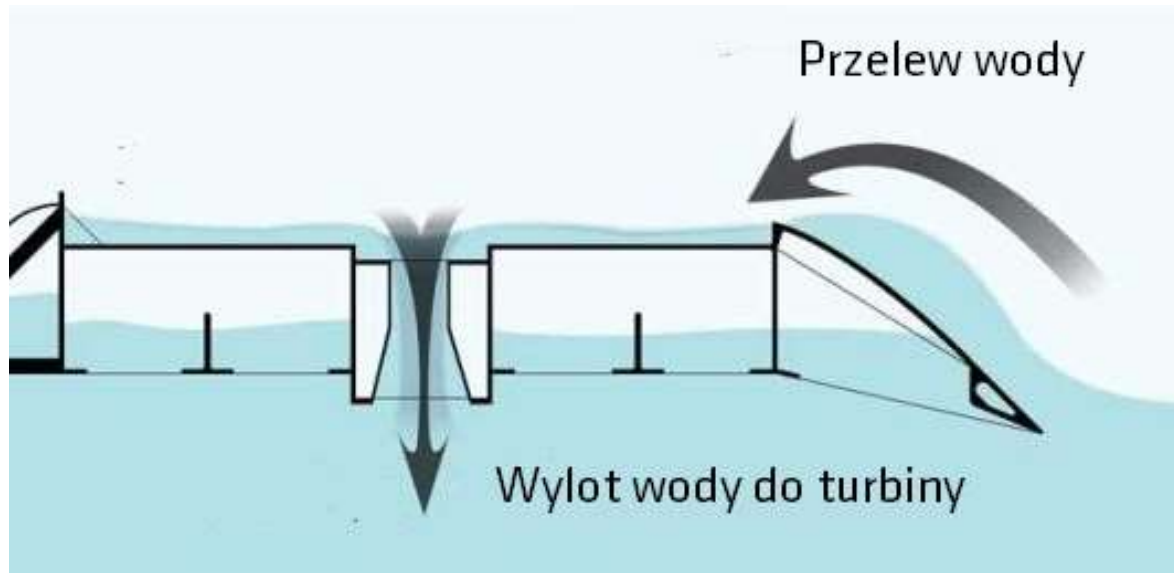
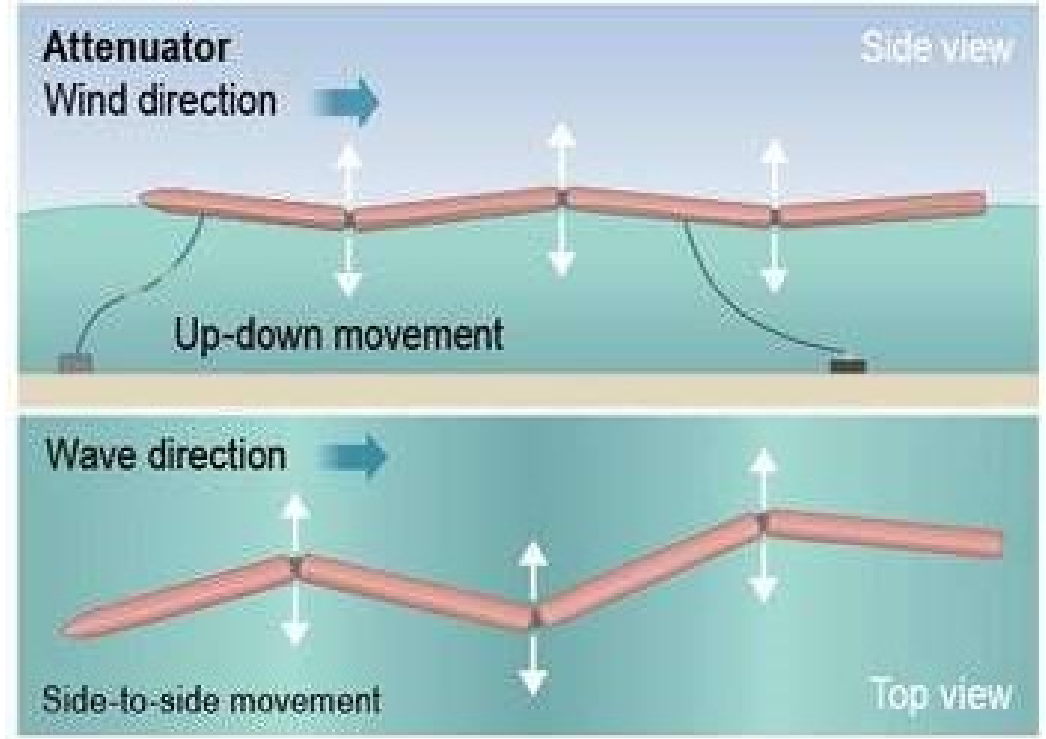


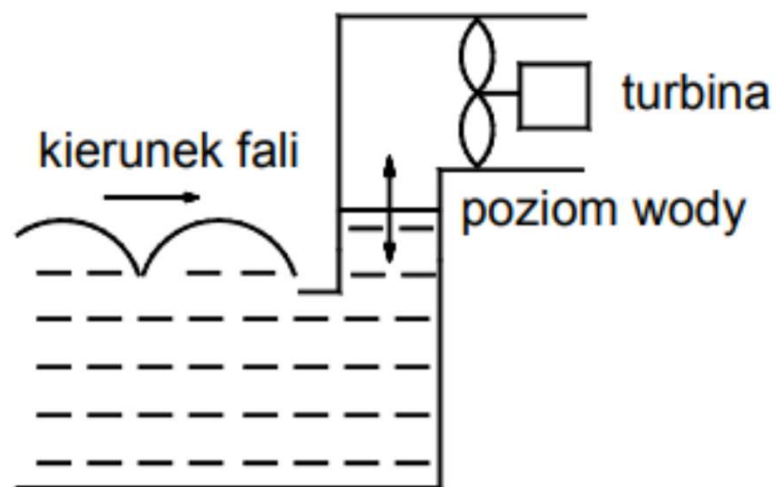
**2 MW**  
**74 m długości**  
**dwa dwupłatowe**  
**wirniki**  
**o średnicy 21 m każdy**

**ENERGIA FALOWANIA**

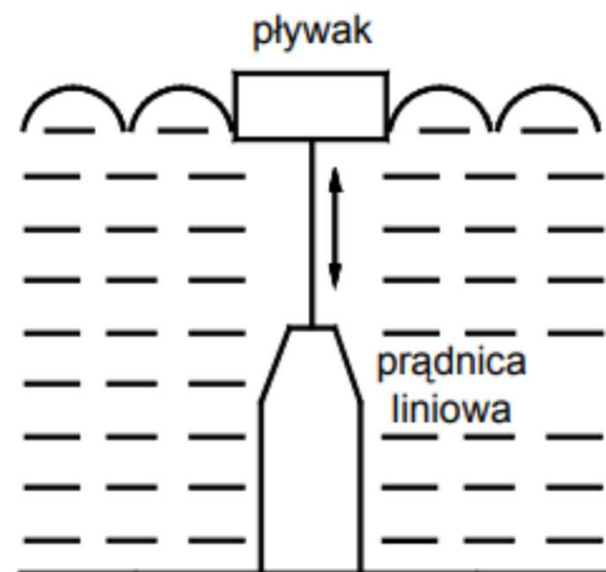




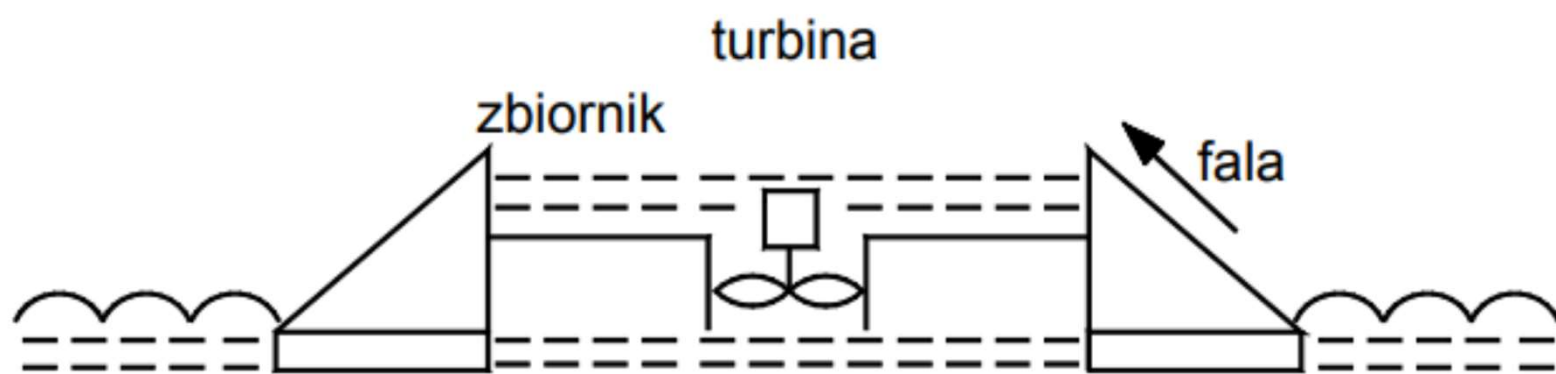




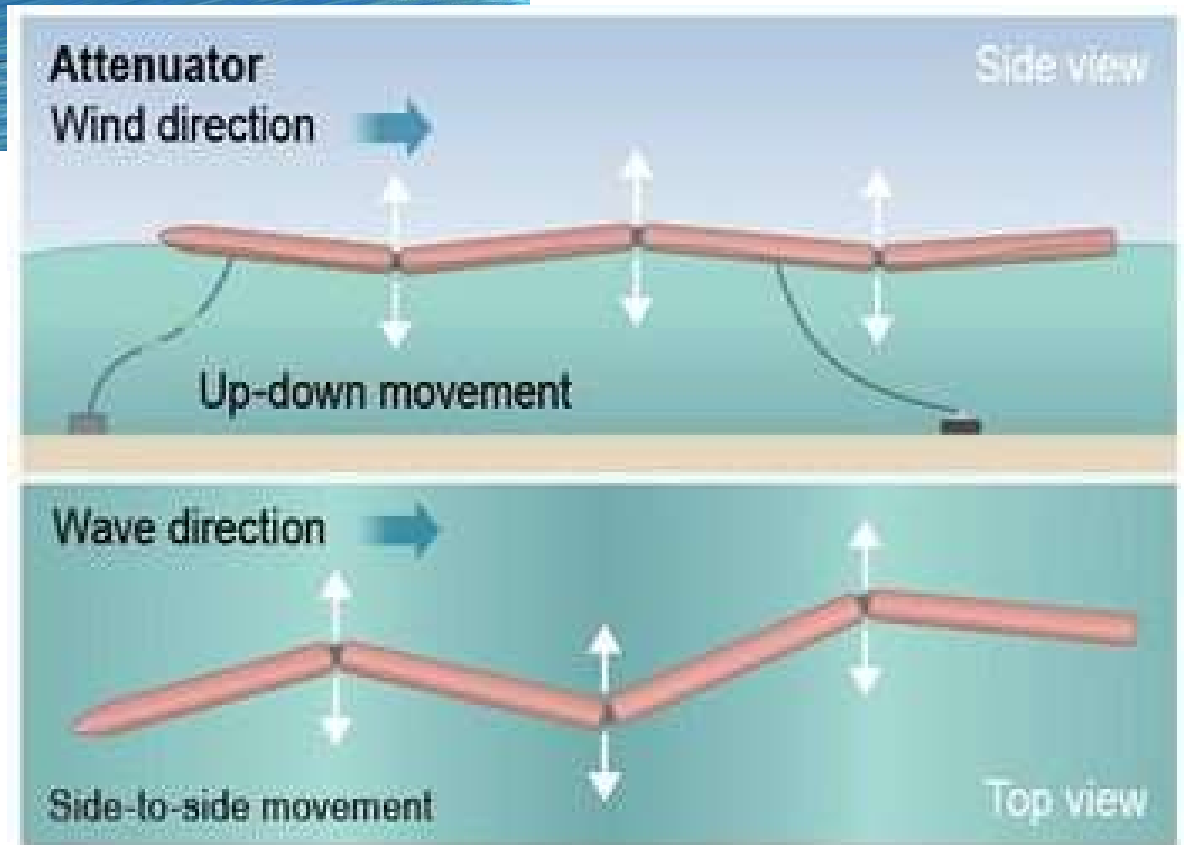
**Rys. 1. Zasada działania kolumny oscylacyjnej wykorzystującej turbinę powietrzną**



**Rys. 2. Zasada działania elektrowni pływakowej**



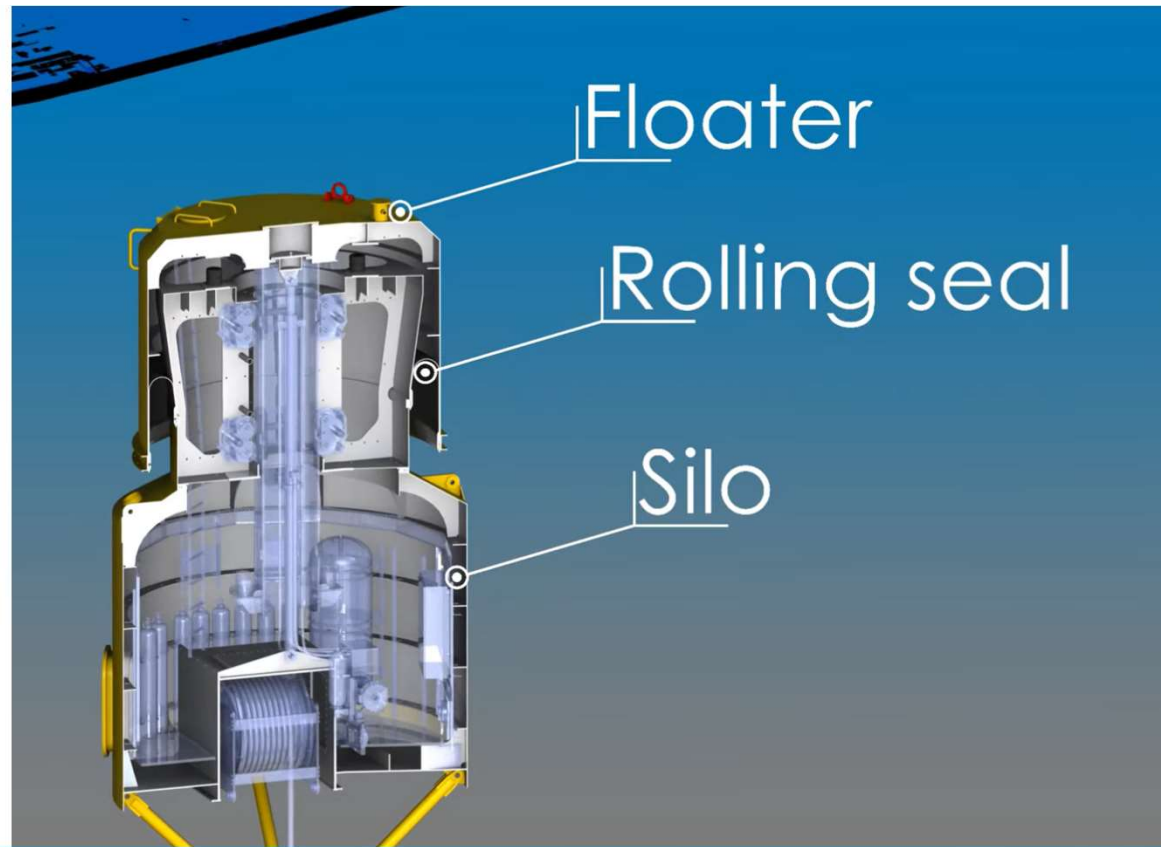
**Rys. 3. Zasada działania konstrukcji przelewowej wykorzystującej turbinę wodne**











# ENERGIA PRĄDÓW MORSKICH

**PRĄDY MORSKIE**  
skala 1: 90 000 000

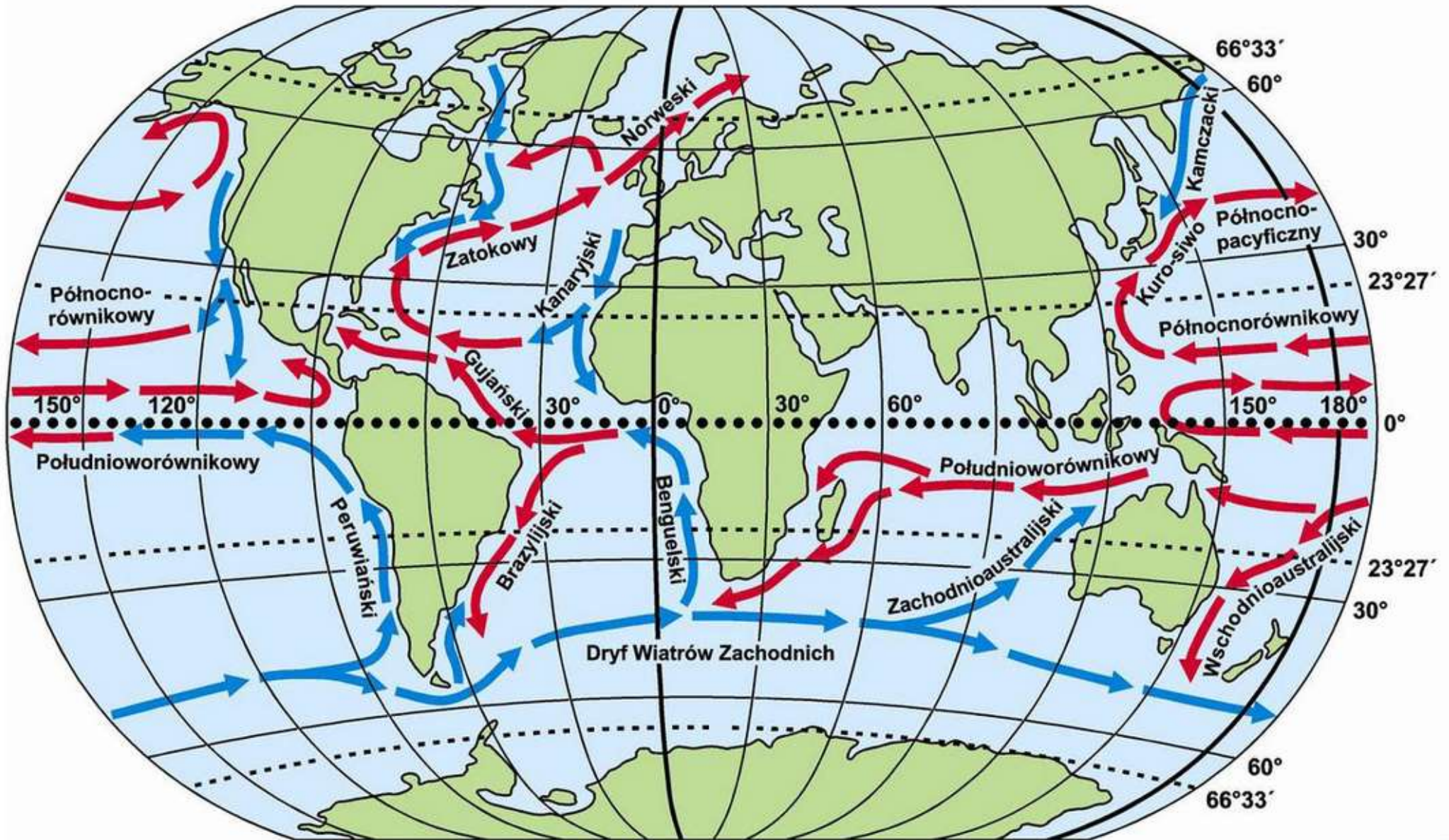
prądy morskie:

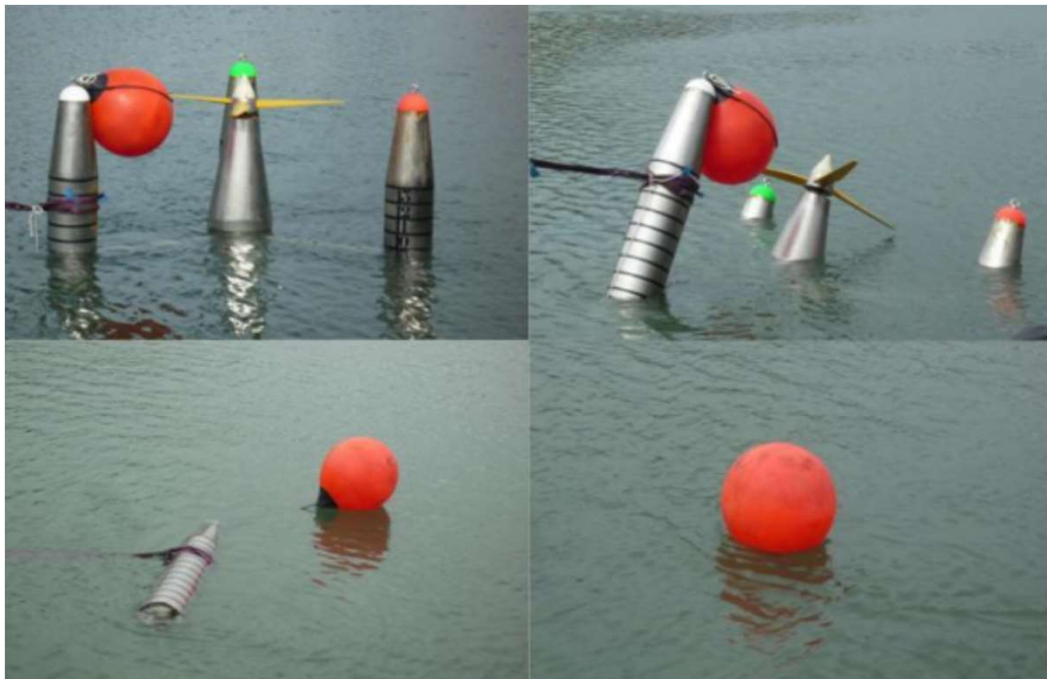
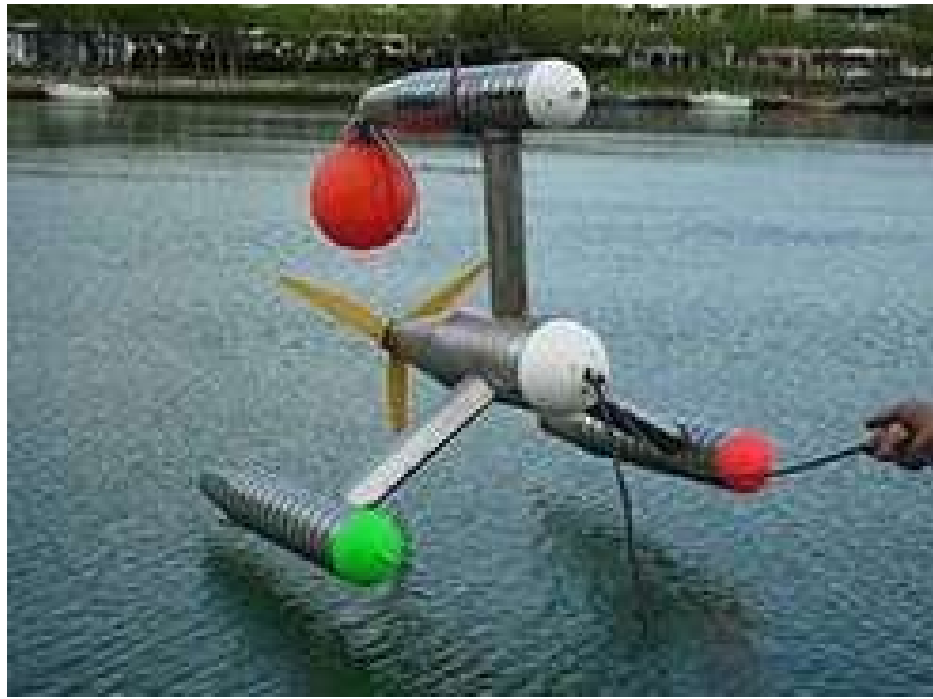


ciepłe



zimne





# Zasada działania MEW

## Zamiana energii strumienia wody na energię elektryczną

### Energia strumienia wody

W rzecznych elektrowniach wodnych energię elektryczną uzyskuje się z energii kinetycznej a zwłaszcza z energii potencjalnej wody – po przez wykorzystanie równania Bernoulliego:

$$\frac{c^2}{2} + g \cdot h + \frac{p}{\rho} = const$$

gdzie:

$c$  – prędkość wody [m/s]

$g$  – przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>]

$h$  – wysokość [m]

$p$  – ciśnienie [Pa]

$\rho$  – gęstość wody [kg/m<sup>3</sup>]

Możliwe jest obliczenie energii wody w każdym przekroju rzeki

$g \cdot Z$  - energia położenia (potencjalna)

$\frac{p}{\rho}$  - energia ciśnienia

$\frac{c^2}{2}$  - energia prędkości (kinetyczna)

$$A_1 = \left[ g \cdot Z_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} \right] \rho \cdot V \quad [J]$$

$$A_2 = \left[ g \cdot Z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} \right] \rho \cdot V \quad [J]$$

## Zasada działania MEW

Jednostkowa energia użyteczna między dwoma przekrojami rzeki przekazywana turbinie

$$A_u = g \cdot H + \frac{c_1^2}{2} - \frac{c_2^2}{2} - g \sum h_{str} \quad [\text{J/kg}]$$

gdzie:

$g \cdot H$  - energia potencjalna wody w zbiorniku górnym

$\frac{c_1^2}{2}$  - energia kinetyczna związana z ruchem wody w górnym zbiorniku z prędkością  $c_1$

$\frac{c_2^2}{2}$  - energia kinetyczna wody odpływającej na dolnym poziomie z prędkością  $c_2$

$g \sum h_{str}$  - strata energii związana z oporami przepływu wody w doprowadzeniach i odprowadzeniach z turbiny

## Energia zamieniana na elektryczną

Przy wyznaczaniu energii transformowanej na elektryczną, trzeba uwzględnić sprawność tego procesu. A zatem uzyskiwana energia wyniesie :

$$A_{el} = A_u \cdot \rho \cdot V \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g \quad [J]$$

gdzie:

$\eta_t$  - sprawność turbiny wodnej

$\eta_p$  - sprawność przekładni

$\eta_g$  - sprawność generatora

$V$  - objętość przepływającej wody [m<sup>3</sup>]

$\rho$  - gęstość wody [kg/m<sup>3</sup>]

## Zasada działania MEW

Jeśli cała różnica poziomów wody jest skoncentrowana na niewielkim obszarze, można pominąć spadki ciśnienia w przewodach doprowadzających wodę do turbiny. Na ogół prędkości wody przed i za spiętrzeniem są zbliżone, czyli  $c_1 = c_2$ . W takich przypadkach podstawową rolę w przemianie energii wody na elektryczną odgrywa energia potencjalna. Zatem wyrażenie jednostkowej energii użytecznej  $A_u$  można uprościć do postaci:

$$A_u = g \cdot H \quad [\text{J/kg}]$$

Moc elektrowni wodnej:

$$P_{el} = \frac{A_{el}}{t} \quad [\text{W}]$$

$$P_{el} = g \cdot H \cdot Q \cdot \rho \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g \quad [\text{W}]$$

gdzie:

$Q$  – przepływ turbiny, czyli objętość strumienia wody przepływającego przez turbinę w ciągu sekundy [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

## Zasada działania MEW

Ostatecznie moc oddawana do sieci przez elektrownię wodną przy założeniu  $\rho=1000\text{kg/m}^3$ , a  $g=9,81\text{m/s}^2$  wynosi:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_g \cdot \eta_s \quad [\text{kW}]$$

gdzie:

- sprawność układu wyprowadzającego moc do systemu elektroenergetycznego

## Zasada działania MEW

- dla turbin:  $\eta_t = 0,82 - 0,92$
- dla generatorów  $\eta_g = 0,94 - 0,97$
- dla układu wyprowadzenia mocy  $\eta_s = 0,98 - 0,99$
- dla elektrowni  $\eta = 0,84 - 0,90$



# Budowa MEW

# JAKIE MAMY PRZEPISY?

- Produkcja energii elektrycznej w MEW wymaga stworzenie odpowiednich warunków ekonomicznych i prawnych sprzyjających rozwojowi tego sektora.
- Do standardów wspierania małej energetyki w państwach Europy Zachodniej należy:
  - obowiązkowy zakup całej energii wyprodukowanej ze źródeł odnawialnych,
  - pierwszeństwo w zakupie energii czystej przez zakłady energetyczne przed energią ze spalania,
  - stała cena zakupu energii czystej
  - zwolnienie z podatku do 5 lat, a potem minimalne
  - podatki,
  - dotacje wspierające budowę,
  - niskooprocentowane (przeważnie umarzone)
  - kredyty bankowe.

# ZASADY PRZYZNAWANIA WSTĘPNEJ MOŻLIWOŚCI BUDOWY

- Z istniejącym piętrzeniem
  - Udostępnianie budowli piętrzących na podstawie konkursu na hydroenergetyczne wykorzystanie urządzeń wodnych wg jednolitych procedur opracowanych przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej.
- Bez istniejącego piętrzenia
  - Wniosek inwestora z koncepcją programowo przestrzennej realizacji przedsięwzięcia - stopnia piętrzącego z MEW. Koncepcja powinna m.in. zawierać:
    - analizę warunków przepływu wód powodziowych i lodu przez projektowaną budowlę,
    - rysunki budowli i urządzeń,
    - obliczenia zasięgu cofki,
    - mapę ewidencyjną,
    - plan sytuacyjno - wysokościowy, umożliwiający
    - rozpoznawanie szczegółowe,
    - plan poglądowy w skali umożliwiającej określenie
    - lokalizacji,

# NA CO MOŻE LICZYĆ INWESTOR?

- Sieci energetyczne mają obowiązek przyłączenia Elektrowni wytwarzających energię z Odnawialnych źródeł.
- Zakłady Energetyczne muszą skupić całą wyprodukowaną energię po ustalonej przez Urząd Regulacji Energetyki cenie.
- Za każdą wyprodukowaną ilość energii właściciel Elektrowni otrzymuje papier wartościowy notowany na Towarowej Giełdzie Energii – Świadcstwo Pochodzenia Energii.
- Budowę elektrowni można finansować przy wsparciu środków unijnych – do 60% wartości inwestycji.

# PROCES INWESTYCYJNY

## 1. LOKALIZACJA

- Poszukiwanie lokalizacji (zakup lokalizacji)
- Ocena lokalizacji, wywiad środowiskowy
- Studium wykonalności, wstępne szacunki
- Koncepcja elektrowni
- Niezbędne badania: geodezja, geologia, przepływy, przyłączenie do sieci
- Szacunek przychodu
- Szacunek kosztów
- Ocena możliwości finansowych
- Tytuł do nieruchomości
  - Zakup
  - Dzierżawa
  - Umowa przyrzeczenia

## 2. KONCEPCJA

- Wybór projektantów – doradztwo techniczne
- Projekt koncepcyjny elektrowni
- Optymalizacja wszystkich parametrów
- Wybór technologii (rodzaj turbiny determinuje wszystkie kolejne kroki)

## 3. DECYZJA O WARUNKACH ZABUDOWY

- Zapisy w planie zagospodarowania przestrzennego
- Wniosek o ustalenie lokalizacji inwestycji celu publicznego lub wniosek o wydania warunków zabudowy i zagospodarowania terenu

## 4. OPERAT WODNOPRAWNY

- Wykonanie operatu wodnoprawnego wraz z koncepcją elektrowni.
- Inwestycja budowy elektrowni wodnej o mocy mniejszej niż 2,5 MW określonej w rozporządzeniu nie należy do inwestycji uciążliwych, wymienionych w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2004 roku w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko.
- Ustalenie stron postępowania
- Uzgodnienia
- Przyjęcie obowiązków i przejęcie praw.

## 5. DECYZJA WODNOPRAWNY

- Warunki decyzji
- Czas obowiązywania
- Obowiązki
- Wytyczne dla projektu budowlanego i zagospodarowania stopnia wodnego
- Przeławka dla ryb



## PROJEKT BUDOWLANY

- Od jakości projektu będą zależeć koszty inwestycji i eksploatacji elektrowni
- Należy uważać na błędy projektowe – warto konsultować projekt ze specjalistami technologii MEW
- Projekt przeławki

## 7. POSTĘPOWANIE BUDOWLANE

- Uzgodnienia ze stronami postępowania
- Uzgodnienia z sąsiadami
- Uzgodnienia z urzędem formy edytorskiej projektu
- **Pozwolenie na budowę**
- Pozwolenie budowlane na przepławkę

## 8. PROJEKT WYKONAWCZY

- • Konsultacje z potencjalnymi wykonawcami
- • Weryfikacja warunków lokalowych
- • Ścisła współpraca z dostawcą technologii

## 9. WYBÓR WYKONAWCÓW

- Inwestycja sposobem gospodarczym
- Inwestycja powierzona generalnemu wykonawcy
- Inwestycję prowadzi na zlecenie firma (osoba) pełniąca rolę nadzoru właścicielskiego
- **Umowy z wykonawcami**

## 10. NADZÓR

- Zewnętrzny nadzór właścicielski
- Nadzór budowlany powinien być dopasowany do specyfiki branż
- Nigdy nie korzystaj z nadzoru budowlanego związanego z wykonawcą!!!
- Szczegółowy harmonogram pozwoli w każdym momencie kontrolować przebieg inwestycji

## 10. INWESTYCJA

- Organizacja planu budowy
- Media na czas budowy
- Prace hydrobudowlane
- Prace budowlane
- Architektura
- Wyposażenie technologiczne towarzyszące

## 11. WYPOSAŻENIE HYDROENERGETYCZNE

- Montaż turbin
- Montaż przekładni
- Montaż generatorów
- Montaż części elektrycznej
- Przyłącze do sieci
- Uruchomienie – prądy eksploatacyjne ( ruchowe )



## ODBIORY

- Kompleksowe odbiory budowlane
- Odbiory energetyczne z lokalnego Zakładu Energetycznego
- Wewnętrzne odbiory robót od wykonawców i dostawców urządzeń – gwarancje

### 13. PRZEKAZANIE DO EKSPLOATACJI

- Okres gwarancji i eksploatacja po gwarancji
- Szczegółowe procedury eksploatacyjne
- Dziennik pokładowy
- Dokumentacja techniczna – instrukcje, gwarancje itp.
- Procedury awaryjne
- Wyposażenie elektrowni i obsługujących
- Sprzęt asekuracyjny i serwisu technicznego

# PODSTAWOWE PARAMETRY

- W celu określenia podstawowych parametrów przepływowej MEW należy przeprowadzić odpowiednie działania przygotowawcze.
  - Założono, że część wodna, w postaci odpowiedniego spiętrzenia, jest już wykonana, lub przynajmniej zaprojektowana.
  - Część parametrów cieku wodnego zmienia się w cyklu rocznym, dlatego trzeba je wyznaczać przynajmniej przez okres roku, a następnie dokonać wyboru wartości przyjmowanych do dalszych obliczeń.

## **W części technicznej projektu wyznacza się następujące główne elementy:**

1. poziom górnej wody,
2. poziom dolnej wody,
3. spad strumienia wody, tzw. spad niwelacyjny,
4. przepływ w rzece dla danego przekroju piętrzenia,
5. instalowany przełyk turbiny, czyli maksymalną objętość strumienia wody przepływającej przez turbinę w jednostce czasu (na podstawie średniego rocznego przepływu),
6. moc znamionową elektrowni,
7. parametry turbiny i przekładni mechanicznej,
8. dane hydrogeneratora,

9. układ i typ rozdzielni elektrownianej,
10. schematy układów sterowania, automatycznej regulacji i zabezpieczeń,
11. parametry linii i ewentualnie stacji rozdzielczej, łączącej z systemem elektroenergetycznym,
12. wartość produkcji energii w ciągu roku, oszacowaną na podstawie znajomości zmian parametrów przepływu wody w ciągu roku,
13. czas wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni, służący do oceny ekonomiczności elektrowni, wyznaczany z wartości produkcji rocznej i mocy zainstalowanej.

Przykład

# Projekt elektrowni wodnej nr I

Mała elektrownia wodna na istniejącym zbiorniku o powierzchni 4,6 ha

Zbiornik zasilany jest z rzeki



Pytanie:

jak oszacować nominalną moc turbiny ?



# Projekt elektrowni wodnej nr I

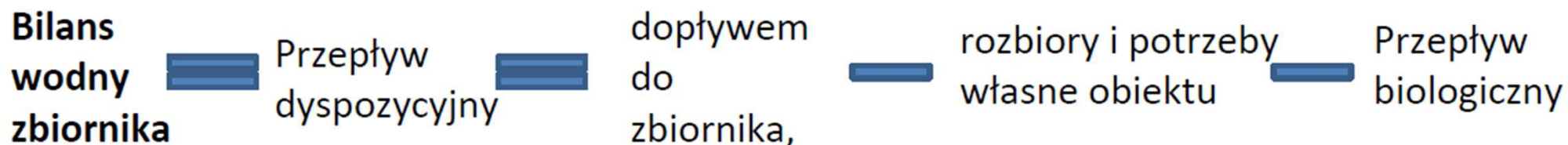
Długość rzeki wynosi 60,9 km, a powierzchnia jej zlewni 531,7 km<sup>2</sup>.

Głębokości 0,5 - 1,0 m przeplatają się z odcinkami głębszymi - nawet ponad 2 m.



# Projekt elektrowni wodnej nr I

## Oszacowanie zasobów wodnych



W analizowanym przypadku gospodarka wodna nie przewiduje rozbiorów.

$$Q_{\text{BIOL}} = (0,5 - 1,0) Q_{\text{SNW}}$$

Na potrzeby własne składają się **parowanie** z powierzchni lustra akwenu oraz **przeięki**.

Wielkości średnich miesięcznych opadów obliczono z wykorzystaniem posterunku meteorologicznego IMGW

Stożenie wodny **nie ma przepławki dla ryb**. Wysoki spad na zasuwach i duże prędkości pod nimi uniemożliwiają migrację ichtiofauny również tą drogą. Natomiast przelew powodziowy uruchamia się jedynie w czasie przejścia wezbrania o przepływie większym niż możliwości hydrauliczne spustu. W tej sytuacji **przepływ biologiczny może w całości być skierowany na turbinę**.



Średni roczny przepływ dyspozycyjny wynosi  $Q_{\text{DYSP}} = 0,486 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
Jako przepływ instalowany przyjęto:  $Q_t = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$

Wymiary zewnętrzne w planie 2,8 m\* 2,8 m  
wysokość ok. 7 m

Efektywny spad w komorze turbiny wynosi:  
 $H = 2,85$  m.

- przepływ instalowany  $Q_t = 0,4$  m<sup>3</sup>/s
- efektywny spad  $H = 2,85$  m
- moc teoretyczna  $P = 9,81 * Q_t * H * q = 9,81 * 0,4 * 2,847 = 11,17$  kW

$q = 1000$  [kg/m<sup>3</sup>]



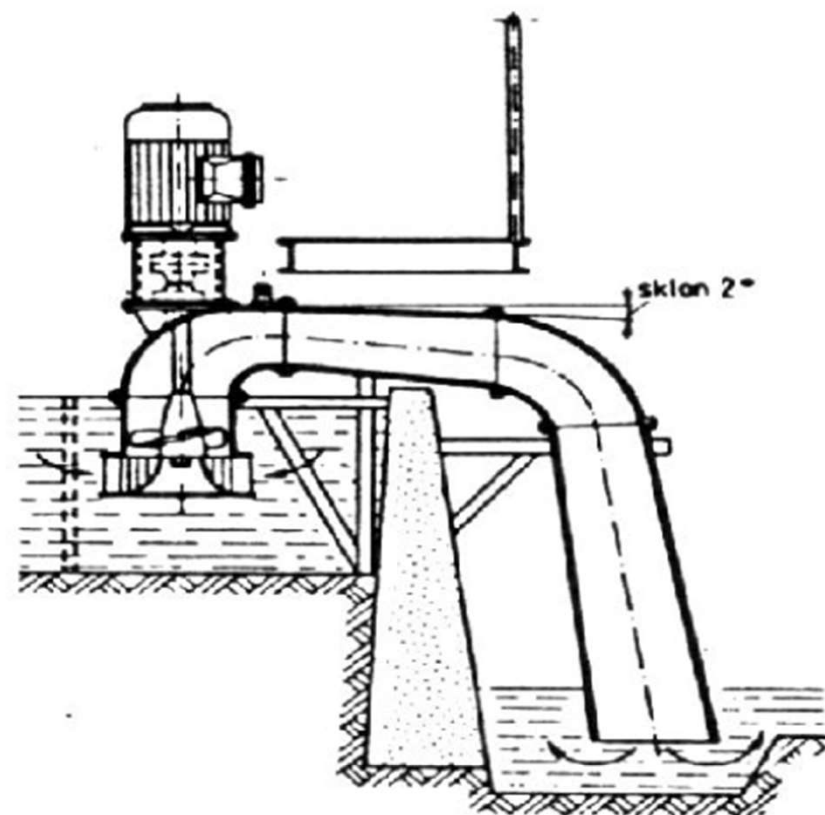
Proponuje się instalację turbiny lewarowej o mocy nominalnej 9[kW]

### Algorytm pracy turbiny:

1. Przy przepływach w rzece większych niż przepływ instalowany turbina pracować będzie jako przepływowa.
2. W przypadku przepływów mniejszych turbina będzie pracowała z pełnym przepływem pulsacyjnie.

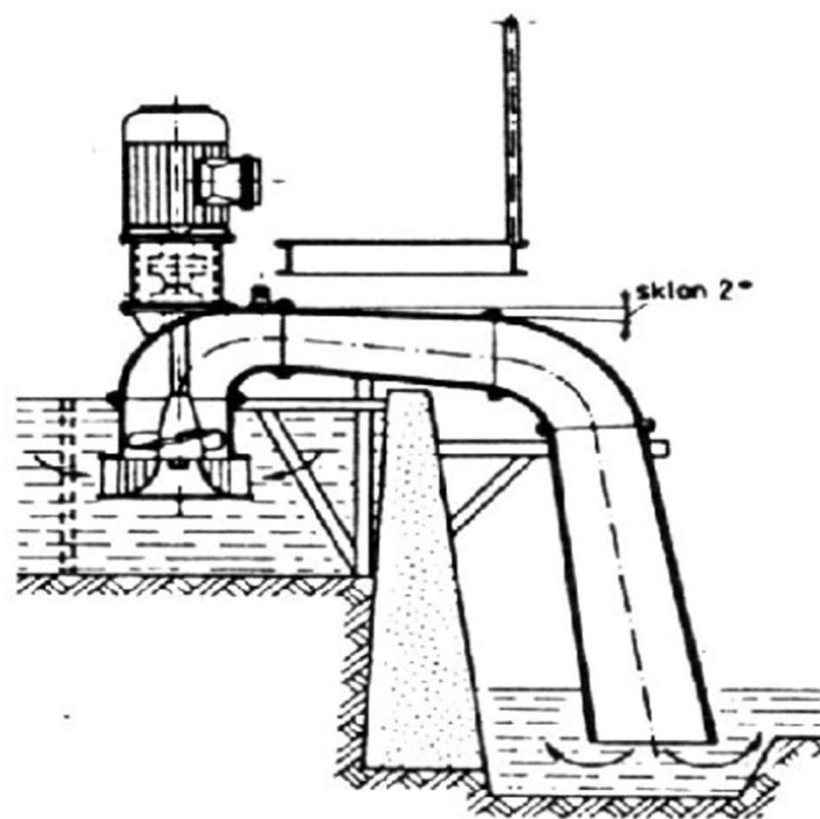
Przewiduje się obniżenie poziomu górnej wody w czasie cyklu pracy turbiny o 0,2 m. Zakładając nawet całkowity brak dopływów przy przepłyku 0,4 m<sup>3</sup>/s spracowanie zbiornika umożliwi nieprzerwaną pracę przez okres:

$$t = \frac{46000[m^3] * 0.2[m]}{0.4[m^3/s]} = 23000[s] = 6.4[h]$$



## Algorytm pracy turbiny:

- Po obniżeniu wody górnej o 0,2 m turbina będzie automatycznie zatrzymywana, aż do czasu odtworzenia retencji.
- Spracowana retencja będzie uzupełniana doływem do zbiornika pomniejszonym o przepływ biologiczny, przepuszczany spustem. Po ponownym odtworzeniu normalnego poziomu piętrzenia turbina samoczynnie zostanie uruchomiona.
- W pierwszej fazie rozruchu generator pracuje jako silnik, a turbina jak pompa zasilająca lewar, pobierając prąd z sieci. Po zassaniu lewara układ zaczyna pracować jako turbozespół, aż do osiągnięcia minimalnego poziomu górnej wody.
- Zaleca się takie ustawienie automatyki turbiny, aby okresy pracy pokrywały się z okresami zwiększonego zapotrzebowania w sieci na energię elektryczną.



# Projekt elektrowni wodnej nr II



Gospodarstwo rolnicze dysponuje stawem o powierzchni 4 ha. Stawy połączone między sobą za pomocą kanałów stanowią spójny system. Średnia głębokość wynosi 1,5 m

Staw zasilany jest z rzeki





Konieczna jest analiza dostępnych zasobów wodnych – określenie przepływu dyspozycyjnego –  
operat wodno prawny

# Charakterystyczne zmienności stanów wody w zlewni Łupi w ostatnich latach:

- od listopada (początek roku hydrologicznego) do stycznia obserwowane są nieznaczne amplitudy wahań stanów wody.
- od stycznia do końca kwietnia notowane są wysokie stany wody.
- od lipca do września, a nawet do października występują najniższe stany wody

W czasie trwania długotrwałych susz hydrologicznych (występujących w zlewni w okresie czerwiec – lipiec i sierpień – wrzesień) częstym zjawiskiem na tym obszarze jest znaczne obniżenie pierwszego poziomu wód podziemnych, wysychanie źródeł oraz zanikanie mniejszych cieków na przestrzeni wielu kilometrów.



Dysponując przepływem dyspozycyjnym wody w rzece  $Q_{\text{DYSP}} = 0,92 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  
przyjęto przepływ instalowany siłowni  $Q_t = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  
przy efektywnym spadzie  $H = 2,1 \text{ m}$ .

Można zatem określić moc teoretyczną turbiny:

$$P = 9,81 \cdot Q_t \cdot H = 9,81 \cdot 0,9 \cdot 2,1 = 18,5 \text{ kW}$$



- praca ciągła elektrowni : październik – maj – przepływ: 0,8 – 1,3 m<sup>3</sup>/s.
- pozostałych miesiącach mogą wystąpić ograniczenia - okresowa praca elektrowni np.: po intensywnych opadach podnoszących poziom wody w stawach lub w okresach pomiędzy nawodnieniami, kiedy dopuszczane byłyby wahania lustra wody w stawach w granicach 35 cm.
- uwzględniając przepływ biologiczny, elektrownia może pracować z mocą nominalną przy przepływach rzeki powyżej 0,9 m<sup>3</sup>/s - według średniej wieloletniej przez 150 dni czyli przez 3600 godzin.

# Projekt elektrowni wodnej nr II

