

Energetyka konwencjonalna odnawialna i jądrowa

Wykład 6 - 6.XI.2018

Zygmunt Szefliński

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

szef@fuw.edu.pl

<http://www.fuw.edu.pl/~szef/>

Energia fotowoltaiczna,

Panele fotowoltaiczne

Przyjmijmy też 10m^2 na osobę. Panele fotowoltaiczne zamieniają moc promieniowania słonecznego w energię elektryczną z efektywnością 10% (bardziej kosztowne 20%).

$$P = 20\% \cdot 10\text{m}^2 \cdot 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 24\text{h} \approx 5\text{kWh}$$

Można sobie wyobrazić zarówno panele fototermiczne jak i fotowoltaiczne korzystające z tej samej powierzchni dachu. Koszt instalacji paneli fotowoltaicznych jest czterokrotnie wyższy niż fototermicznych, przy niższej (~40%) produkcji energii. Koszt instalacji dla produkcji jednostki energii:

$$C_{FW} = 4 \cdot \frac{1}{40\%} \cdot C_{FT} = 10 \cdot C_{FT}$$

Fototermiczne vs. fotowoltaiczne

W panelach hybrydowych ciepła woda jest wytwarzana przez pompowanie wody pod powierzchnią elementów fotowoltaicznych.

Koszt pojedynczych paneli fotowoltaicznych zbyt wysoki, ale gdybyśmy pokryli 2,5 % powierzchni Polski (farmy między wiatrakami) to uzyskujemy:

$$\begin{aligned} P &= 2,5\% \cdot 8000 \frac{m^2}{osobe} \cdot 10\% \cdot 100 \frac{W}{m^2} \cdot 24h \\ &= 200 \frac{m^2}{osobe} \cdot 10 \frac{W}{m^2} \cdot 24h = 2 \frac{kW}{osobe} \cdot 24h \approx 50 \frac{kWh}{osobe} \end{aligned}$$

Panele fotowoltaiczne-farmy

W użyciu panele fotowoltaiczne zamieniają moc promieniowania słonecznego w elektryczną z efektywnością 10% (bardziej kosztowne 20%).

$$P = 10\% \cdot 100 \frac{W}{m^2} \approx 10 \frac{W}{m^2}$$

Park słoneczny
w Bawarii ma
 $P=5W/m^2$
(5° na południe)



Andasol - Hiszpania



Elektrownia solarno termiczna. Paraboliczne lustra koncentrują energię na rurach wypełnionych olejem, ogrzewając olej do 400°C. Gorący olej ogrzewa wodę produkując parę, a ta napędza turbinę (jak w zwykłej elektrowni węglowej).

Andasol - Hiszpania

Andasol (od **Anda**luzja, **Sol**-słońce) jest pierwszą europejską komercyjną solarną elektrownią zbudowaną w Andaluzji na płaskowyżu 1100 m n.p.m.

(15° na południe względem Warszawy (53° szerokości geograficznej))

Nasłonecznienie 2,200 kWh/m² na rok (251 W/m²).

Nadmiar energii jest magazynowany w zbiornikach z ciekłą solą. Zapewnia to ciągłą podaż energii do sieci.

Zwierciadła paraboliczne zajmują 200 ha (2 km²).

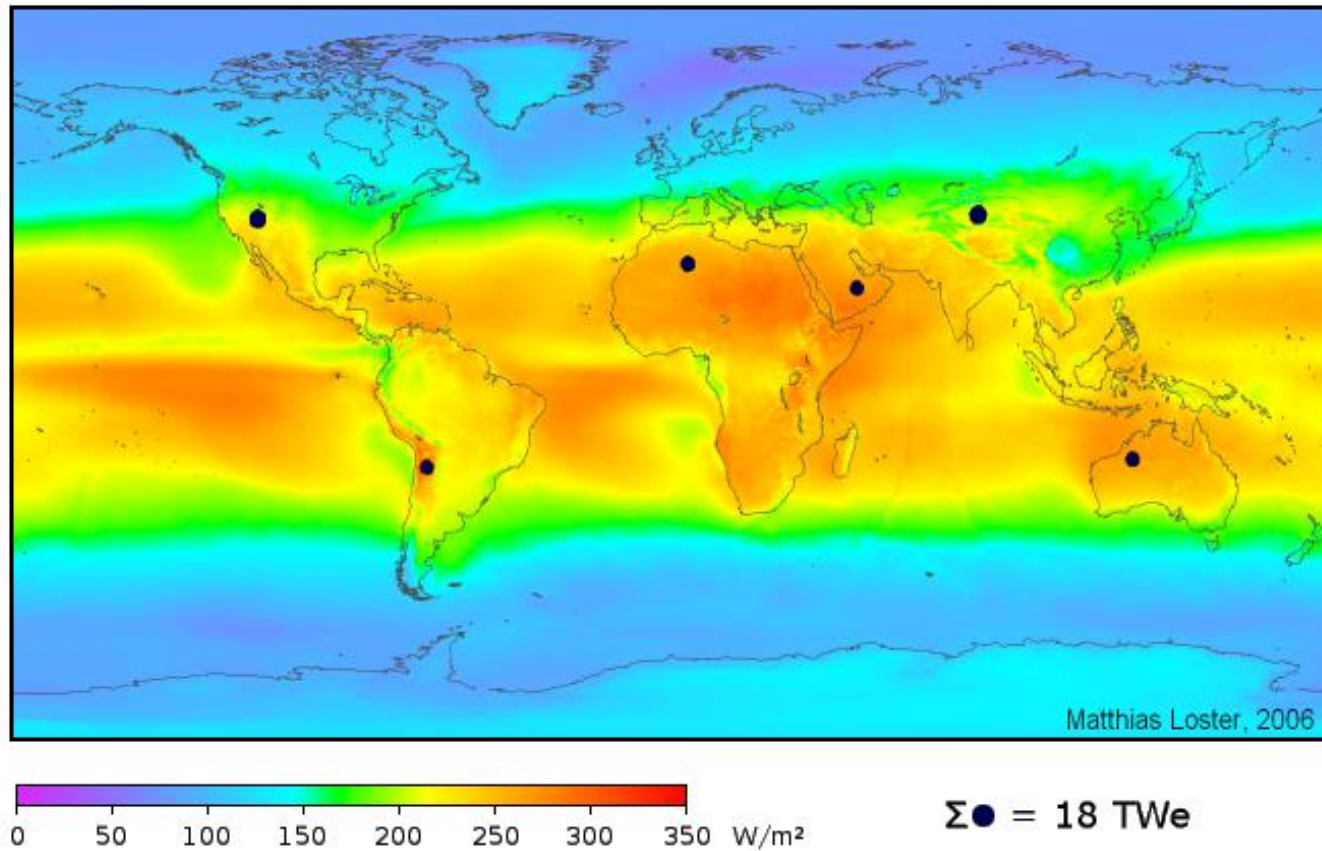
Andasol 1, 2 i 3 (2008-11) generują 495 GWh rocznie
moc instalowana 150 MW, moc średnia 57 MW.

Gęstość mocy 28 W/m². Koszt projektu 900 mln €.

Wycena deweloperska kosztów produkcji energii to
0,27 €/kWh (1,2 zł/kWh).

Chłodzenie: ~5l /kWh odparowanej wody.

Instalacje solarne w świecie -plan



Nevada Solar One - dolina Las Vegas

The plant uses 760 parabolic concentrators with more than 182,000 mirrors that concentrate the sun's rays onto more than 18,240 receiver tubes placed at the focal axis of the troughs and containing a heat transfer fluid (solar receivers). Fluid that heats up to 391 °C flows through these tubes and is used to produce steam that drives a steam turbine¹ which is connected to a generator to produce electricity.

Produkcja energii NSO [GWh]

Year	Solar	Fossil	Total
2007	41.21	0.38	41.59
2008	122.69	0.91	123.31
2009	120.65	2.43	123.07
2010	133.00	1.16	134.16
2011	128.26	1.99	130.26
2012	128.94	1.39	130.33
2013	112.79	2.31	115.10
2014	116.23	2.58	118.80
2015	105.65	2.14	107.79

6.XI.2018



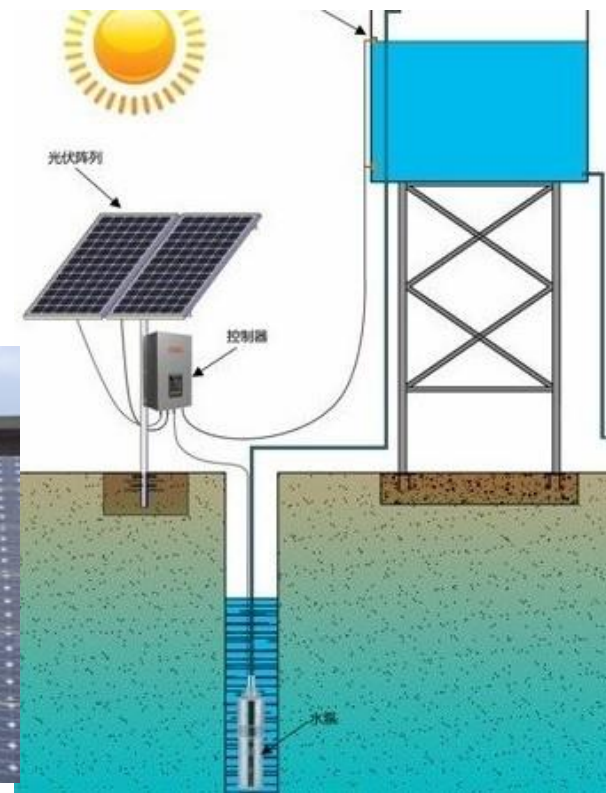
Ekonomia energii fotowoltaicznej

Cena energii fotowoltaicznej **czterokrotnie wyższa od rynkowej**.
Może koncentracja energii słonecznej (Concentrating Solar Power - CSP). To konwersja energii w miejscu skupienia promieni słonecznych - dostarcza średnia moc na jednostkę powierzchni ok. 15W/m^2 (w Andasol nawet 28W/m^2).
Istotny jest stosunek energii pozyskanej do energii zainwestowanej (EROEI - Energy Returned On Energy Invested)

Czy wyprodukowanie panelu fotowoltaicznego wymaga więcej energii niż dostarcza podczas późniejszego działania (20 lat)?

Rodzaj energii odnawialnej	EROEI
Panel na dachu podłączony do sieci w Europie	4
Panel na dachu podłączony do sieci w Australii	7
Turbina wiatrowa na wybrzeżu	80

Przykłady



Znaki drogowe:
Wysokość: 3 m;
Moc LED : < 11W
Moc solarna: 300W
Serwis co 10 000 h

**Solarny przekaźnik
telekomunikacyjny.**

Pompa solarna:
Moc solarna, do 70 kW;
Moc pompy do 55 kW;
Wydajność do 48 m³/h.

Podsumowanie (kolektory i fotowoltaika)

Dzienny przyczynek do wytwarzania energii
odnawialnej od paneli fototermicznych i
fotowoltaicznych na osobę

Abstrahujemy od kosztów!

Energia fototermiczna	12 kWh/d
Energia fotowoltaiczna	50 kWh/d

Razem	62 kWh/d
Policzone dzienne zużycie energii:	151 kWh/d

**Biomasa z energii
słonecznej,
hydroenergetyka,
energia fal, pływy.**

Biomasa z energii słonecznej

1. **Substytucja węgla.** Uprawy wyselekcjonowanych roślin i spalanie ich w elektrowni, która produkuje prąd elektryczny lub/i ciepło;
2. **Substytucja ropy.** Uprawy dobranych roślin (np. rzepak, trzcina cukrowa, kukurydza), by zamienić je w etanol lub biodiesel;
3. Wykorzystanie produktów ubocznych (odpady) pochodzące z innych rodzajów działalności rolnej i spalanie w elektrowni;
4. Uprawa roślin i karmienie nimi bezpośrednio ludzi i zwierzęta, także potrzebujących energii.

Biomasa z energii słonecznej

Gęstość mocy przy produkcji biomasy:

Uprawa	Gęstość mocy [W/m ²]
drewno (leśnictwo komercyjne)	0,1-0,25
rzepak	0,22-0,42
bio-diesel z rzepaku	0,12
buraki cukrowe	0,4
krótko żyjące uprawy energetyczne	0,55
kukurydza na etanol	0,5
pszenica na etanol	0,18
trzcina cukrowa (Brazylia, Zambia)	1,2-1,6
plantacje tropikalne	1,2-1,7
plantacje tropikalne (eukaliptus)	0,1-0,6

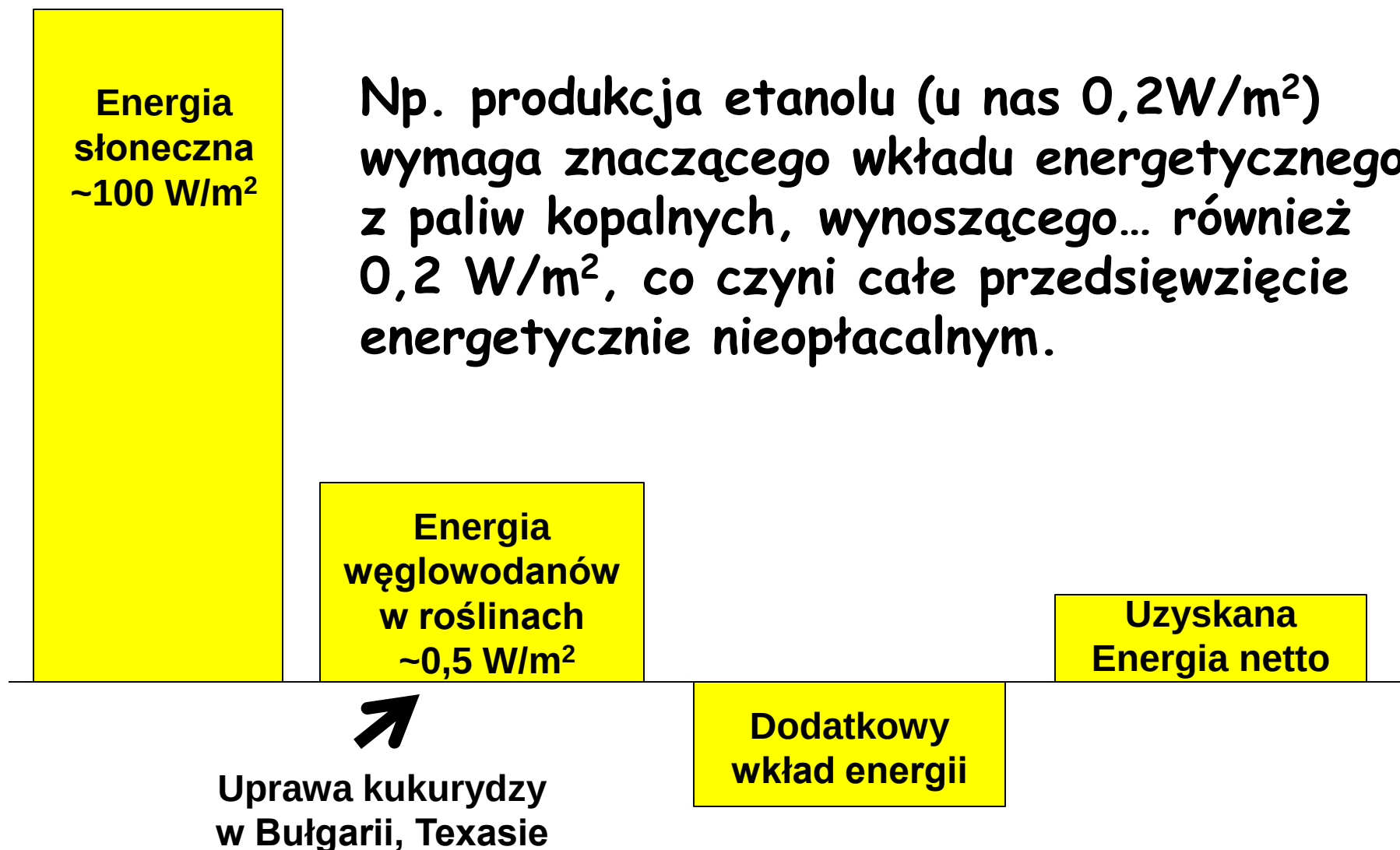
Energia wiatrowa dawiała ~2W/ m²

Biomasa z energii słonecznej

Policzmy energię z biomasy na osobę na dzień:

- Gęstość mocy przy produkcji biomasy, obliczenia teoretyczne:
- Gęstość mocy słonecznej w Polsce: $\sim 100\text{W}/\text{m}^2$
- Efektywność zamiany energii słonecznej w węglowodany (rośliny w Polsce) $\sim 0,5\%$
- $100\text{W}/\text{m}^2 \cdot 0,5\% = 0,5\text{W}/\text{m}^2$
- Rzeczywiste rezultaty z upraw w Europie $0,5\text{W}/\text{m}^2$
- Pokrycie 60% Polski uprawami ($4500\text{ m}^2/\text{osobę}$) to $54\text{ kWh}/\text{osobę}$ ($0,5\text{W} \cdot 24\text{h} \cdot 4500 = 54\text{kWh}$),
- a przy 33% stratach energii to:
 36 kWh dziennie/osobę.

Schemat produkcji biopaliw



Hydroenergetyka - geografia / meteo

Podzielmy kraj na:

- Niziny - do 200 m n.p.m, przyjmujemy **$h=100\text{m}$**
- Wyżyny - powyżej 200 m n.p.m. przyjmujemy **$h=400\text{m}$**

W Polsce mamy 75% nizin i 25% wyżyn i gór.

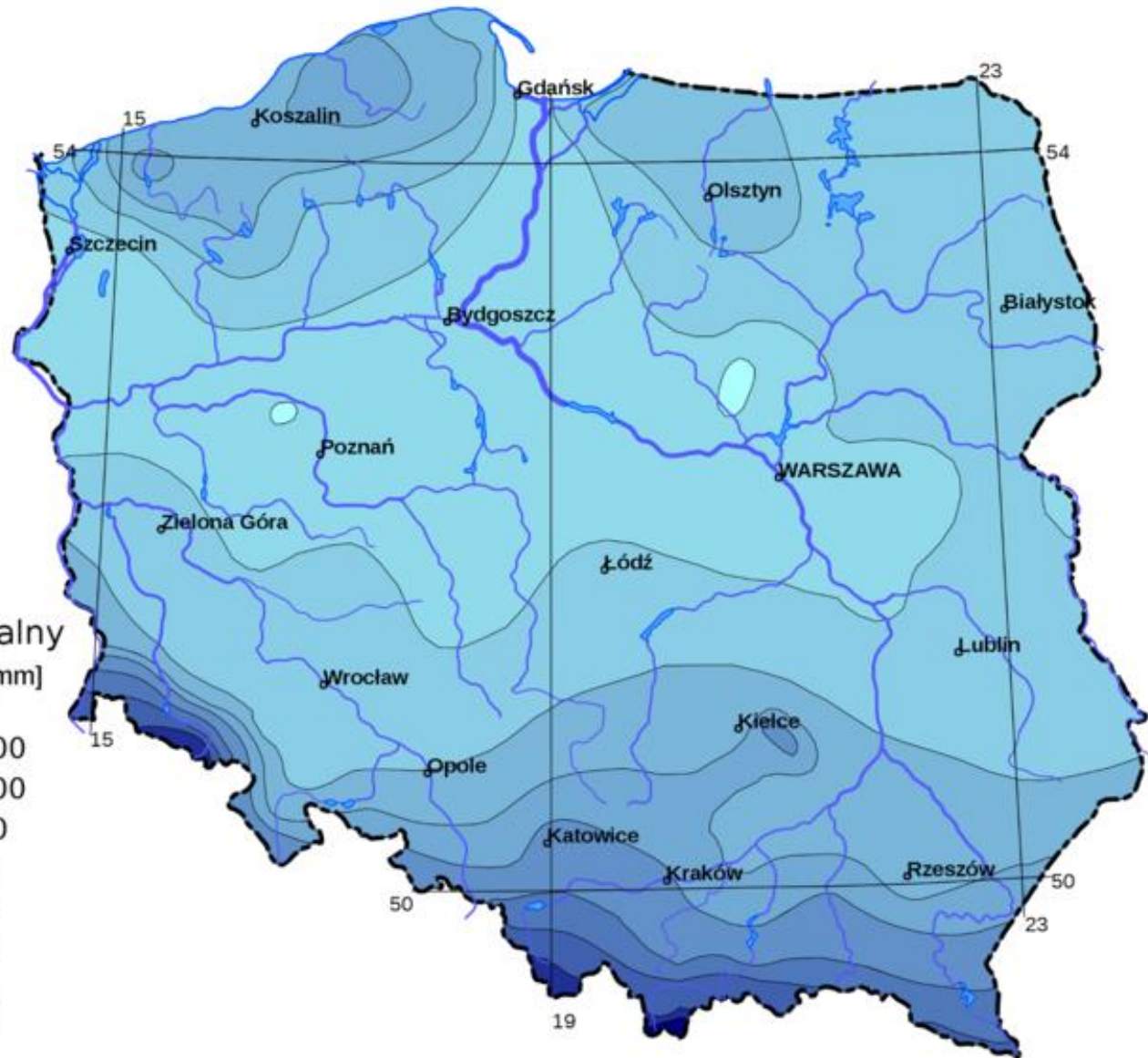
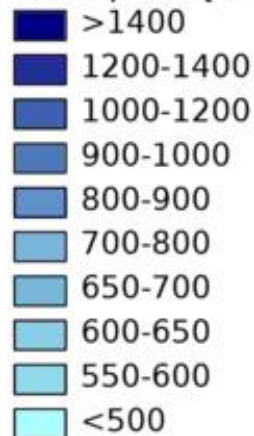
- Opady na nizinach od 450 mm (Wielkopolska, Kujawy) do 700 mm (Pomorze, Mazury), przyjmijmy średnią **600 mm rocznie**
- Opady na wyżynach od 600 mm (Małopolska, Lubelskie) do 1100 mm rocznie (Tatry), przyjmijmy średnią **800 mm rocznie**

Opady w Polsce

Based on maps from Integrated Spatial Information System for Agricultural Production (ISISAP), [Department of Agrometeorology and Applied Informatics](#), 1998

Opad normalny

suma opadów [mm]



Hydroenergetyka - podstawy fizyczne

Energię dla hydroenergetyki liczymy ze wzoru na energię potencjalną zasobów wody:

$$E = mgh$$

Dla nizin 600 mm opadów rocznie to $0,6\text{m}^3$ wody na każdy m^2 powierzchni, a dla wyżyn to $0,8\text{m}^3 / \text{m}^2$.

$$E(\text{niziny}) = 0,6\text{m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100\text{m} = 0,6\text{MJ}$$

$$1 \text{ rok} = 86\,400\text{s} \cdot 365 \text{ dni} \cong 30 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$P_s = \frac{0,6\text{MJ} / \text{m}^2}{30 \cdot 10^6 \text{ s}} = 0,02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Hydroenergetyka - podstawy fizyczne

Energię dla hydroenergetyki wyżynnej liczymy ze wzoru na energię potencjalną zasobów wody:

$$E = mgh$$

Dla wyżyn 800 mm opadów rocznie to $0,8\text{m}^3/\text{m}^2$.

$$E(\text{wyzynna}) = 0,8\text{m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 400\text{m} = 3,2\text{MJ}$$

$$1 \text{ rok} = 86\,400\text{s} \cdot 365 \text{ dni} \cong 30 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$P_s = \frac{3,2\text{MJ} / \text{m}^2}{30 \cdot 10^6 \text{ s}} \cong 0,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Hydroenergetyka - ile energii

Na Polaka przypada:

- 6000 m² nizin
- 2000 m² wyżyn i gór

Obliczenia dla nizin i wyżyn dają dziennie energię:

$$P(\text{niziny}) \cong 0,02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 6000 \text{m}^2 \cdot 24 \text{h} = 0,12 \cdot 24 \frac{\text{kWh}}{\text{osoba}} \cong 3 \frac{\text{kWh}}{\text{osoba}}$$

$$P(\text{wyzyny}) \cong 0,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 2000 \text{m}^2 = 0,2 \cdot 24 \frac{\text{kWh}}{\text{osoba}} \cong 5 \frac{\text{kWh}}{\text{osoba}}$$

Łącznie niziny i wyżyny dają dziennie energię 8 kWh

Gdyby wykorzystać 20%, byłoby to **1,5 kWh**.

Rzeczywista energia czerpana z hydroelektrowni to 0,2 kWh/osobę.

Hydroenergetyka – ile energii

Dlaczego rzeczywisty wynik odbiega od wyniku obliczeń?

- ☐ Część wody z opadów odparowuje.
- ☐ Część wody z opadów wsiąka w ziemię.
- ☐ Wykorzystujemy tylko niektóre rzeki.
- ☐ Wykorzystanie tylko wybranego odcinka rzeki.

**Z obliczonych 8 kWh wykorzystujemy
0,2 kWh tj. 2,5%**

Energia fal

Moc fal Atlantyku została zmierzona - to około 40 kW na metr linii brzegowej. Wielka Brytania ma około 1000 km linii brzegowej nad Atlantykiem (jeden milion metrów), co daje 1/60 m na osobę i energia /osobę.

$$P = 40 \frac{\text{kW}}{\text{m}} \cdot \frac{1}{60} \text{m} \cdot 24\text{h} = 16\text{kWh}$$

Moc fal na Bałtyku jest dużo mniejsza - to średnio 4 kW na metr linii brzegowej. Polska ma około 400 km linii brzegowej co daje 1/100 m na osobę i energia /osobę.

$$P = 4 \frac{\text{kW}}{\text{m}} \cdot \frac{1}{100} \text{m} \cdot 24\text{h} = 0,5\text{kWh}$$

Można sobie darować, co byłoby z plażami nad morzem?

Energia fal - koszty

Moc fal Atlantyku ~ 40 kW na metr linii brzegowej.

Moc fal na Bałtyku ~ 4 kW na metr linii brzegowej..

Koszt instalacji Brytyjskich 196 GBP/MWh

$$196\text{GBP} / \text{MWh} \approx 1000\text{zł} / \text{MWh} = 1\text{zł} / \text{kWh}$$

Ale na Bałtyku 10 razy mniejsza moc fal, co oznacza wyższy dziesięciokrotnie koszt produkcji energii:
ok. 10 zł/kWh

Kompletnie irracjonalne rozwiązanie. Nie tylko pod względem wielkości produkcji, ale także kosztów ?

Podsumowanie (+biomasa, hydroenergetyka)

Dzienny przyczynek do wytwarzania energii
odnawialnej od paneli fototermicznych i
fotowoltaicznych, biomasy i
hydroenergetyki na osobę

Energia fototermiczna	12 kWh/d
Energia fotowoltaiczna	50 kWh/d
Biomasa	36 kWh/d
Hydroenergetyka	1,5 kWh/d

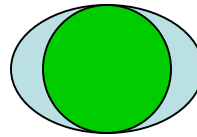
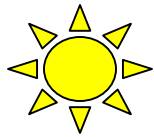
Razem

99,5 kWh/d

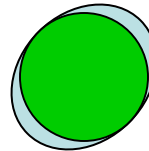
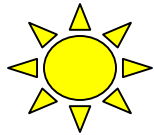
Policzone dzienne zużycie energii: **151 kWh/d**

Przybrzeżne elektrownie wiatrowe, pływy.

Energia pływów - mechanizm



Pływy
syzgijne



Pływy
kwadraturowe

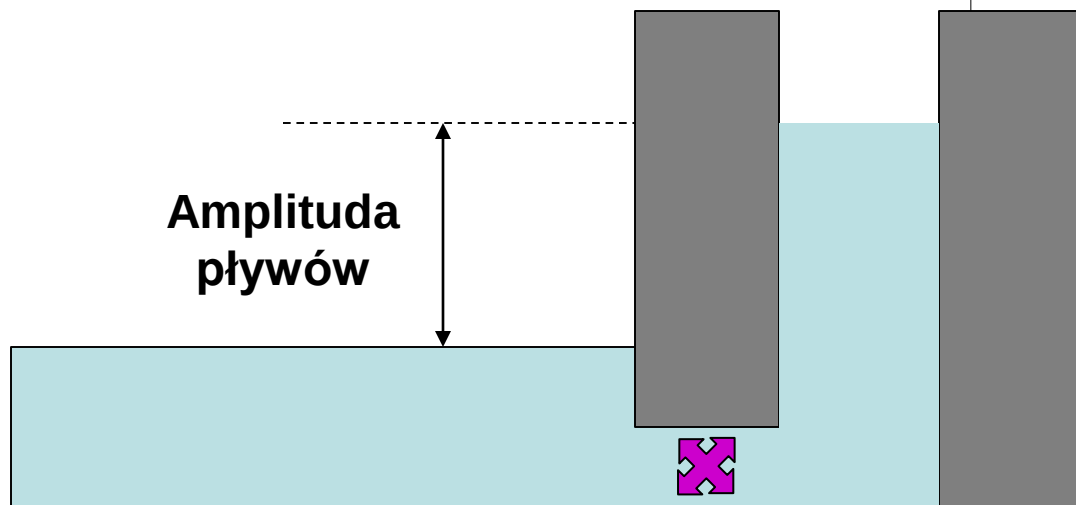


Czas między kolejnymi wschodami Księżyca ~25 godzin

Energia pływów - wykorzystanie

Daleko na oceanie fale pływowe mają kilkadziesiąt centymetrów wysokości, a docierając do europejskich estuariów, ujść rzecznych, mogą urosnąć nawet do 4 metrów.

Zbiornik może być sztuczny lub naturalny



Zbiornik został napełniony przy wysokim stanie wody, a teraz stan jest niski. Wypuszczamy wodę przez turbiny zamieniając energię potencjalną wody w elektryczność.

Energia pływów

Morze Północne
jest naturalnym
zbiornikiem
pływowym.

Wysokość pływów	Gęstość mocy W/m^2
2m	1
4m	3
6m	7
8m	13

6.XI.2018



Energia pływów



Dopływająca moc księżycowych fal pływowych, przekraczających dwie zaznaczone linie, wynosi 250 GW.

Ta moc, rozdzielona na 60 milionów Brytyjczyków, daje 100 kWh dziennie na osobę.

W Wielkiej Brytanii można uzyskać z pływów ok. 11 kWh dziennie na osobę. Wysokość pływów nad Bałtykiem to kilka centymetrów – **brak energii pływów w Polsce !!!**



Laguny pływowe, każda o powierzchni 400 km² – jedna u brzegów Blackpool, druga w Wash

Ile mamy energii wiatrowej na lądzie?

Moc jaką możemy wygenerować z powierzchni zabudowanej wiatrakami to 2W/m^2 .

W Polsce na 1 osobę przypada 8000 m^2 , co daje nam moc całkowitą rzędu 30 kWh na osobę dziennie.

$2\text{W/m}^2 \cdot 8000\text{m}^2/\text{osobę} = 16\text{kW/osobę}$

$16\text{kW/osobę} \cdot 24\text{h} \approx 400\text{kWh/osobę}$ dziennie ale, przy pokryciu 10% kraju wiatrakami mamy tylko **40 kWh/d ??**
Co z dniami bezwietrznymi? Gdzie tereny dla miast etc.?
Obecnie produkujemy: **0,25 kWh/d !!!**

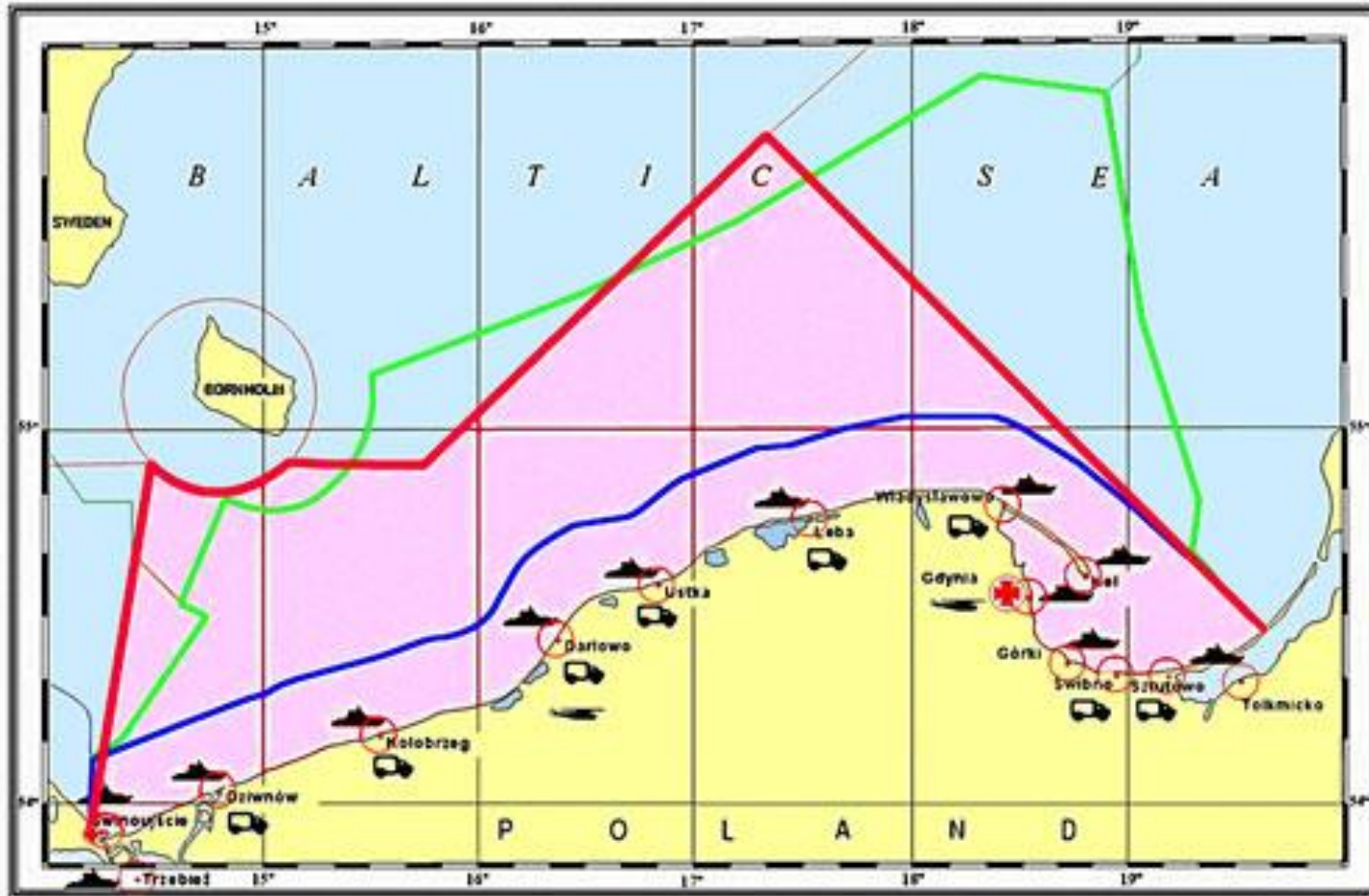
Przybrzeżna energia wiatrowa

Moc z elektrowni wiatrowych na jednostkę powierzchni:

Lądowa: 2W/m^2 , $\rightarrow$ Przybrzeżna 3W/m^2 ,

1. *Płytko posadzone elektrownie wiatrowe* (budowane na dnie o głębokości do 25–30 m), chociaż są prawie dwa razy droższe od elektrowni lądowych, to przy niewielkich dopłatach są ekonomicznie opłacalne.
2. Budowa elektrowni osadzonych *głęboko na dnie morza* nie jest obecnie opłacalna, ale takie elektrownie mogą dostarczać energię do platform wiertniczych.

Bałtyk wody terytorialne



Linia niebieska - wody terytorialne 8 681 km² ; linia zielona - wyłączny obszar ekonomiczny 26 156 km² ; linia czerwona - strefa odpowiedzialności

Źródło: <http://www.sar.gov.pl>

Dno Bałtyku



1. Głębia Arkońska 50 m
2. Głębia Bornholmska 105 m
3. Głębia Gdańska 118 m
4. Głębia Gotlandzka 249 m
5. Głębia Landsort 459 m
6. Głębia Alandzka 405 m
7. Głębia Botnicka 294 m

Ile możemy wygenerować przybrzeżnej energii wiatrowej

Polskie wody terytorialne to $\sim 8000 \text{ km}^2$ ($400 \times 20 \text{ km}$),
 $8000 \text{ km}^2 \cdot 3 \text{ W/m}^2 = 24 \text{ GW}$ (**przeliczyć**)
 $24 \text{ GW} \cdot 24 \text{ h} \approx 600 \text{ GWh}$ dziennie

$$\frac{600 \text{ GWh}}{40\,000\,000} = \frac{600 \cdot 10^9 \text{ GWh}}{40 \cdot 10^6 \text{ osob}} = 15 \text{ kWh/osobe}$$

Przy wykorzystaniu 30% wód terytorialnych
wybrzeża możemy uzyskać dziennie **5 kWh/osobę**
Gdzie obszary dla żeglugi? Czy akceptujemy
wiatraki po horyzont?

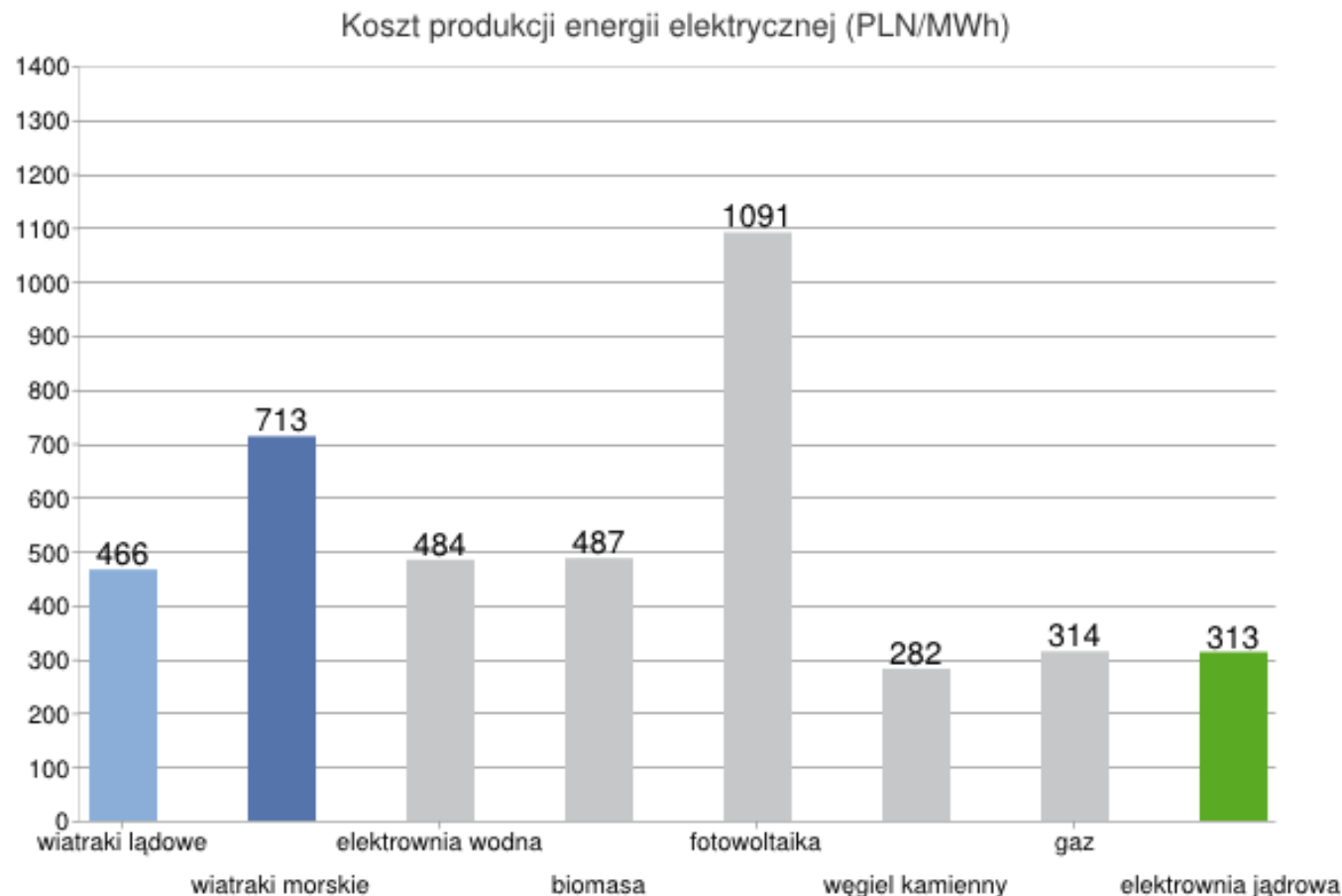
Koszty przybrzeżnej energii wiatrowej

W Wielkiej Brytanii koszt produkcji przybrzeżnej energii wiatrowej wynosi 92 GBP/MWh

$$92\text{GBP} / \text{MWh} \cong 500\text{PLN} / \text{MWh} = 50\text{gr} / \text{kWh}$$

W Polsce wg raportu Ernst & Young koszt produkcji przybrzeżnej energii wiatrowej wynosi 713 zł/MWh, tj. 71,3 gr/kWh.

Podsumowując możliwą skalę produkcji (mimo kosztów)
Morskie wiatraki mogą dać dziennie **5 kWh/osobę**.



Przytoczone dane pochodzą z raportu "[Wpływ energetyki wiatrowej na wzrost gospodarczy w Polsce](#)", przygotowanego przez firmę Ernst & Young we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Energetyki Wiatrowej oraz European Wind Energy Association. Dane z 2012 roku.

Podsumowanie (wykład 6)

Dzienny przyczynek do wytwarzania energii
odnawialnej w Polsce na osobę

Energia fototermiczna	12	kWh/d	
Energia fotowoltaiczna	50	kWh/d	??
Biomasa	36	kWh/d	
Hydroenergetyka	1,5	kWh/d	
Fale i pływy	0	kWh/d	
Wiatraki lądowe	40	kWh/d	??
Wiatraki morskie	5	kWh/d	

Razem

144,5 kWh/d

Policzone dzienne zużycie energii: **151 kWh/d**