



# KONWERSATORIUM INTELIĞENTNA ENERGETYKA



TEMAT PRZEWODNI

JAK UPORZĄDKOWAĆ CHAOS TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ?  
ROLA SAMORZĄDÓW I ODDOLNE DZIAŁANIA NA RZECZ ELEKTROPROSUMERYZMU

## ELEKTROPROSUMERYZM FANABERIA CZY OSZCZĘDNOŚĆ

dr inż. Krzysztof Bodzek



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



Gliwice 22.10.2024 r.

**KENER**

Katedra Energoelektroniki  
Napędu Elektrycznego i Robotyki



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

Z CZYM SIĘ MIERZYMYS

## Zużycie

**1 Wh**



Silna lampka LED  
przez 1 h

x1000

**1 kWh**



Piekarnik przez 1 h

x1000

**1 MWh**



Centrum sportowe  
z basenem przez 1 dzień

x1000

**1 GWh**



Warszawa przez 75 minut

x1000

**1 TWh**



Polska przez ok. 2 dni

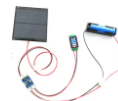
x1000

**1 PWh**



Świat przez ok. 13,5 dnia

## Produkcja



Mikro moduł PV przez 1 h



Mikro elektrownia wiatrowa 1 kW  
średnio przez 6 h (1h – max)



Panel PV 1 kW  
przez rok (1000 h – max)



Elektrownia wiatrowa 6 MW  
średnio przez 20 dni (7 dni – max)



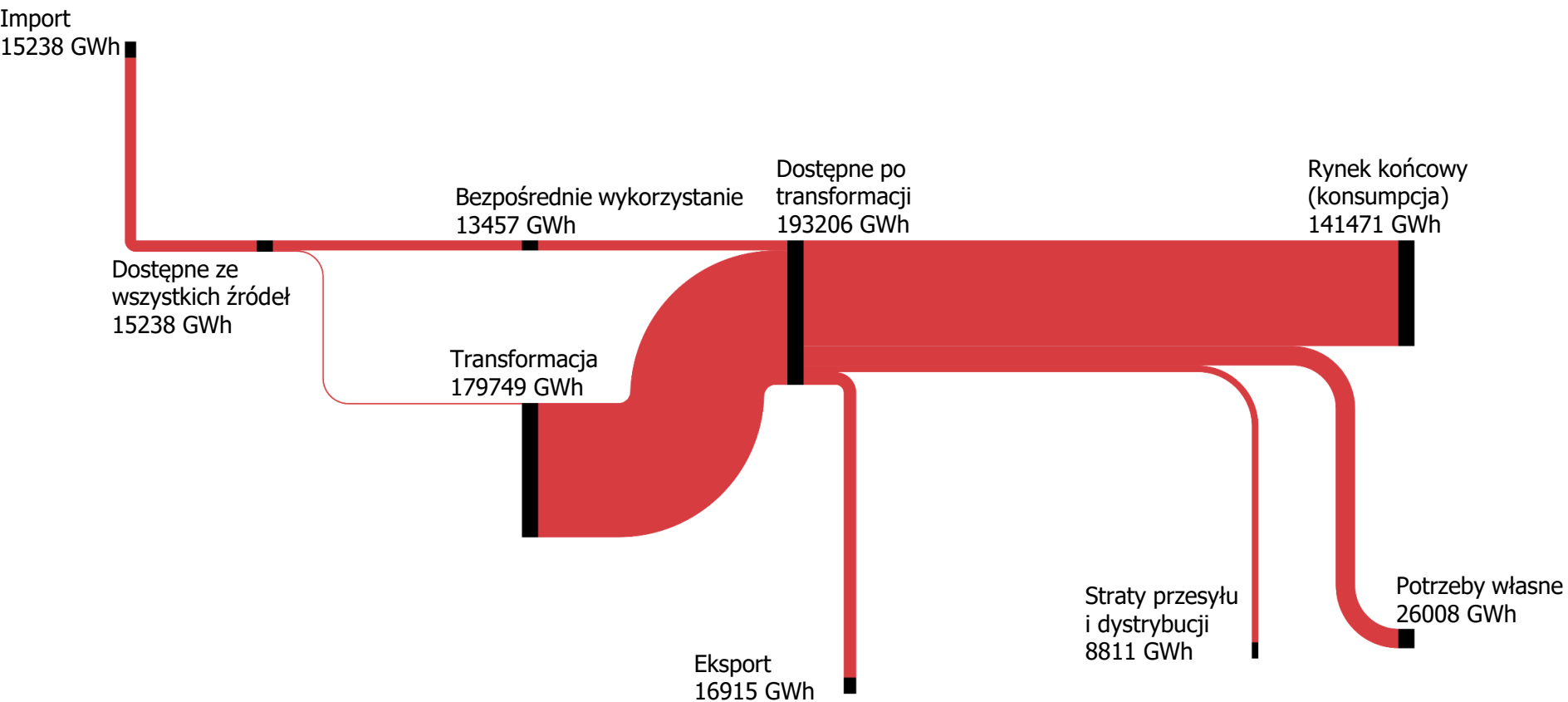
15 elektrowni wiatrowych  
morskich 15 MW przez rok  
(180 dni – max)



6 letnia produkcja w Polsce



# Wykres Sankey'a – energia elektryczna w Polsce 2022



<https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/energy/sankey.html>



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

# TGE – HANDEL ENERGIĄ

**RDN** - jest rynkiem typu spot.  
Transakcje 7 dni w tygodniu.

**Fixing I** - bez wymiany handlowej z rynkami zagranicznymi.

Oferty są składane od 8:00 do 10:30 w dniu poprzedzającym fizyczną dostawę energii.

O 10:30 kursy określone są dla wszystkich godzin dostawy w dniu następnym.

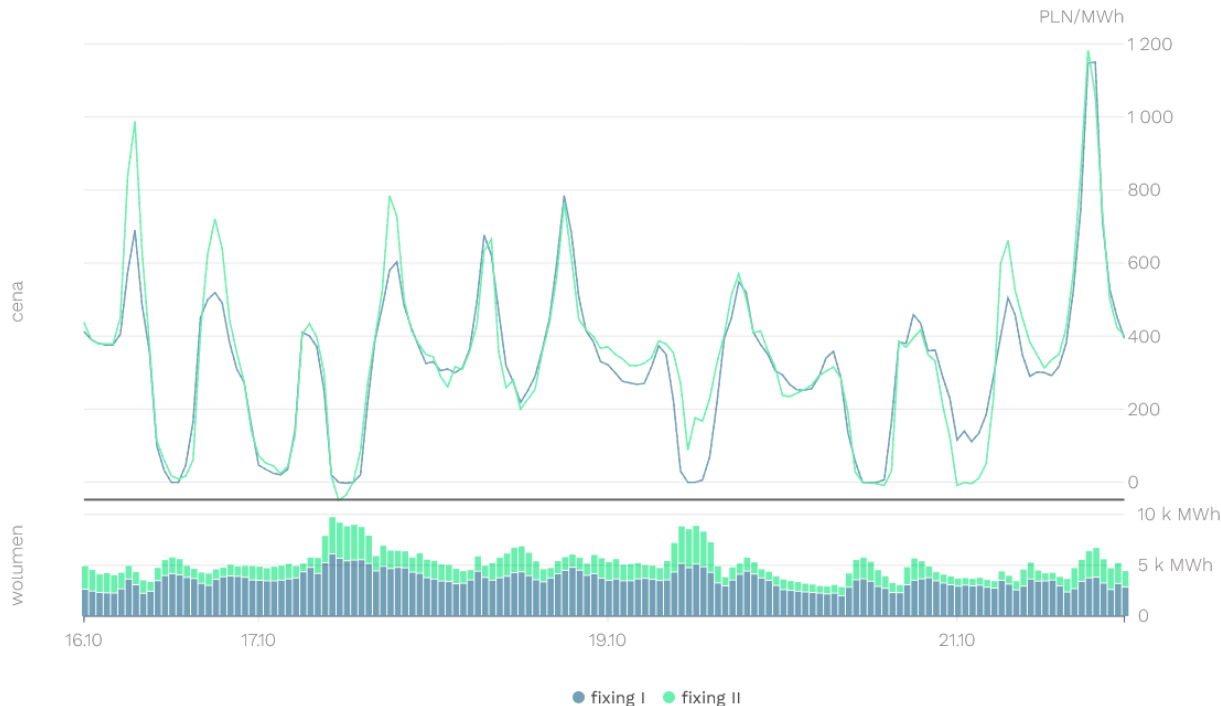
**Fixing II** - uwzględnia możliwości wymiany handlowej z rynkami zagranicznymi.

Oferty są składane od 8:00 do 12:00 w dniu poprzedzającym fizyczną dostawę energii.

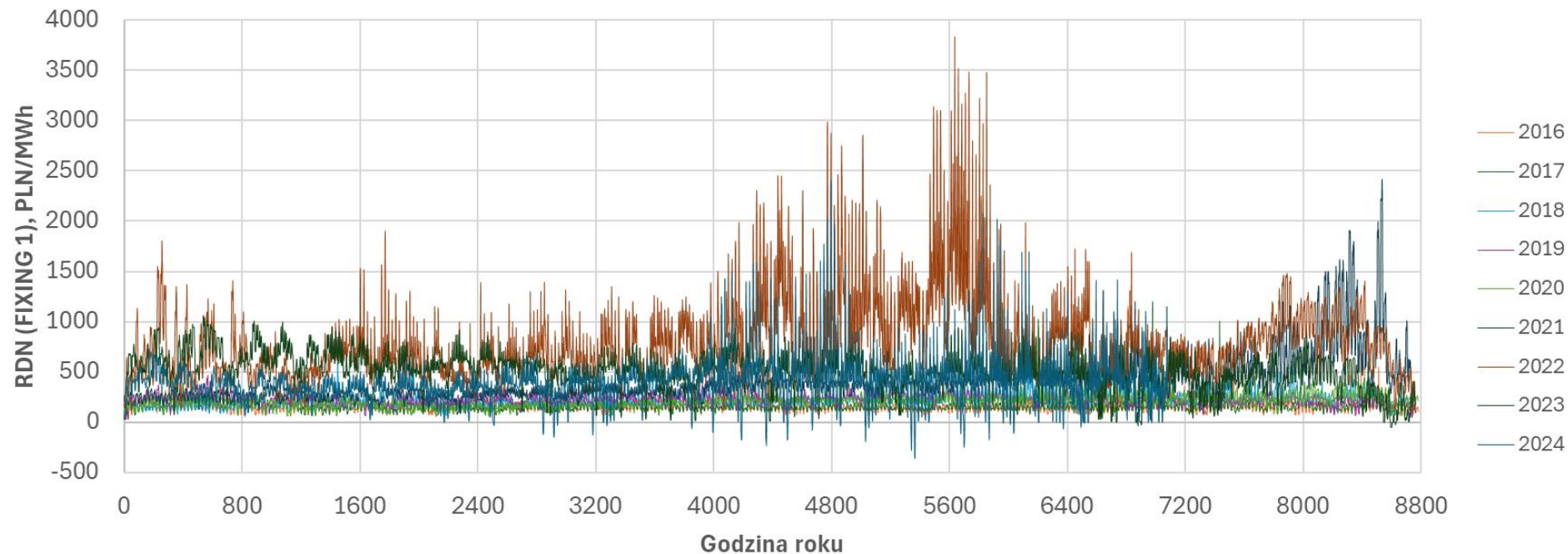
Kursy określone są w standardowych okolicznościach przed 13:00 dla wszystkich godzin dostawy w dniu następnym.

### Cena energii elektrycznej na poszczególne godziny kolejnej doby (RDN)

w PLN za megawatogodzinę (PLN/MWh), godzinowo



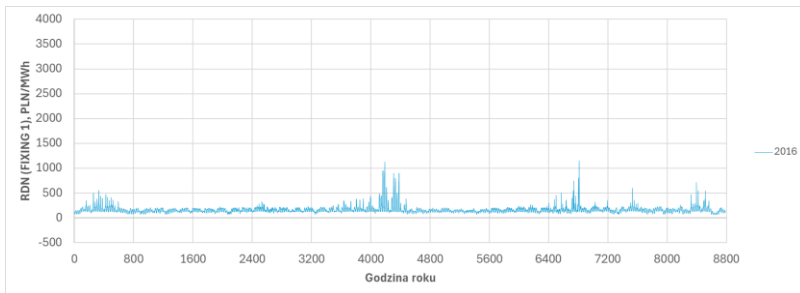
## Cena energii elektrycznej na poszczególne dni kolejnej doby



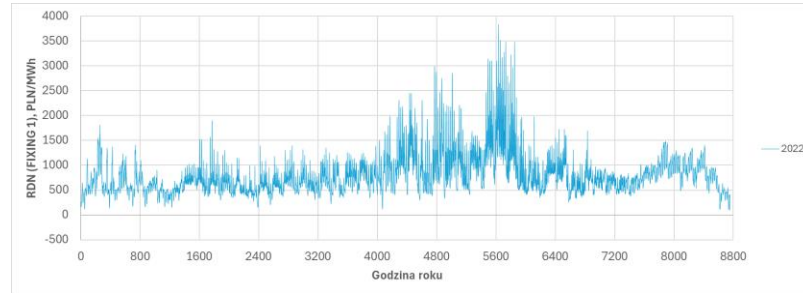


# TGE – RDN (Fixing 1)

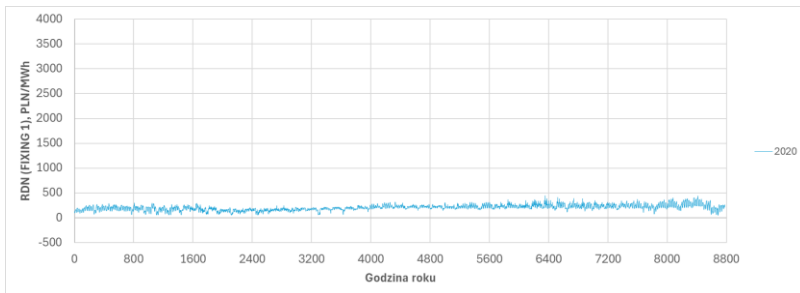
2016



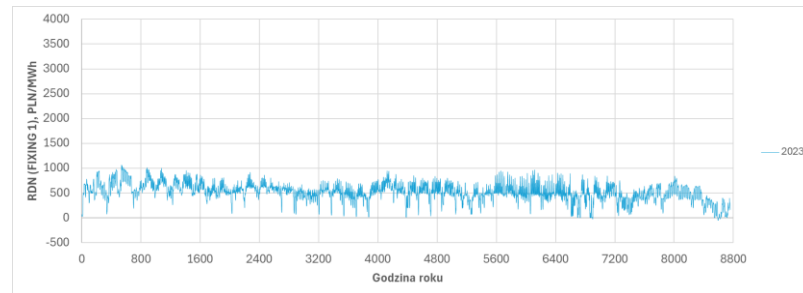
2022



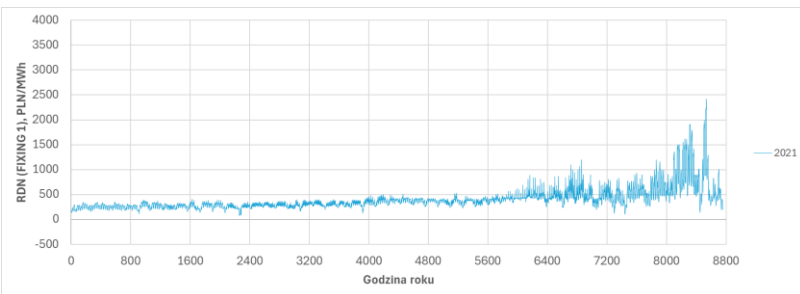
2020



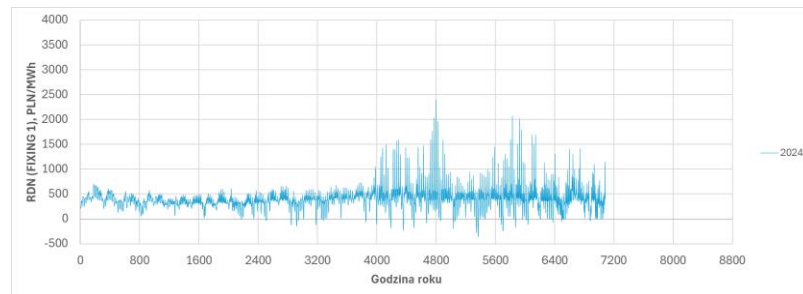
2023



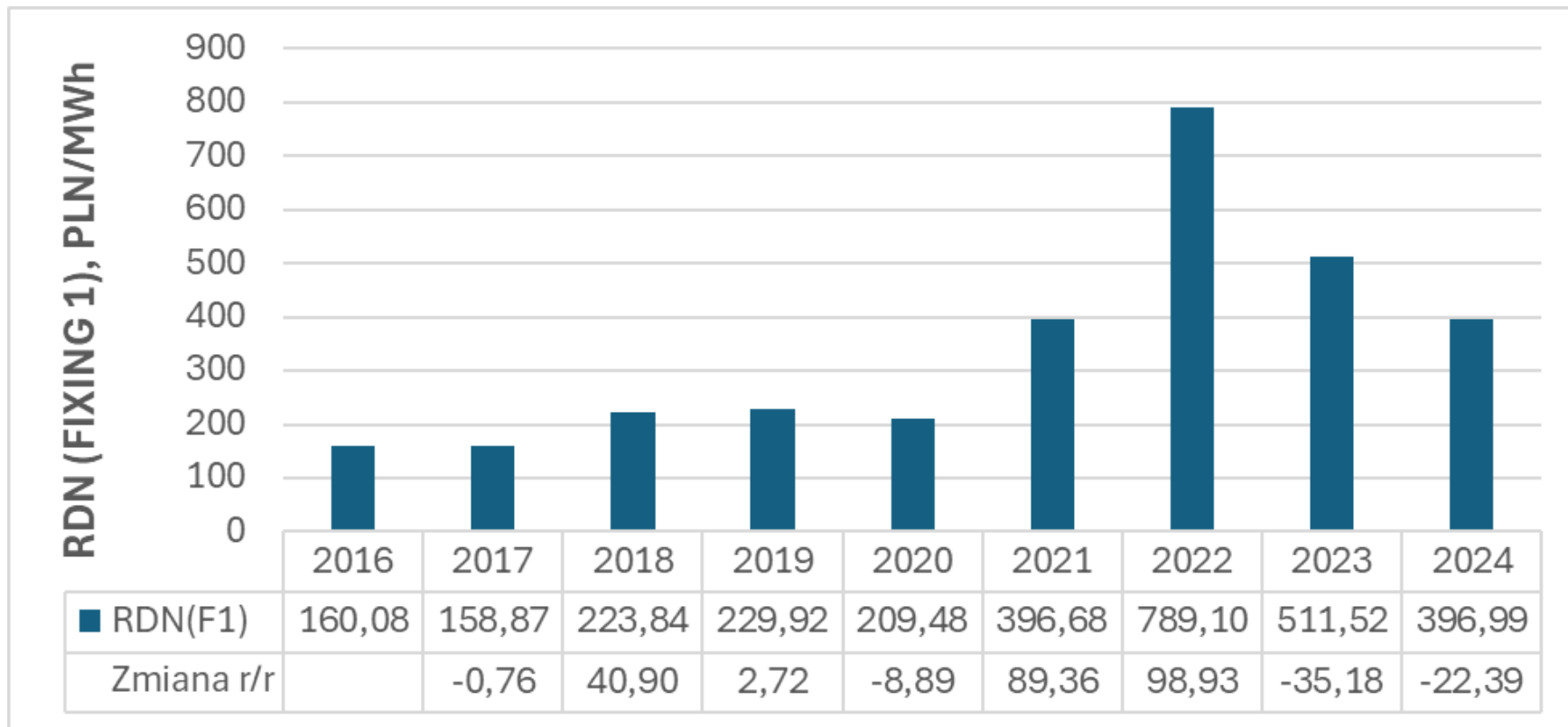
2021



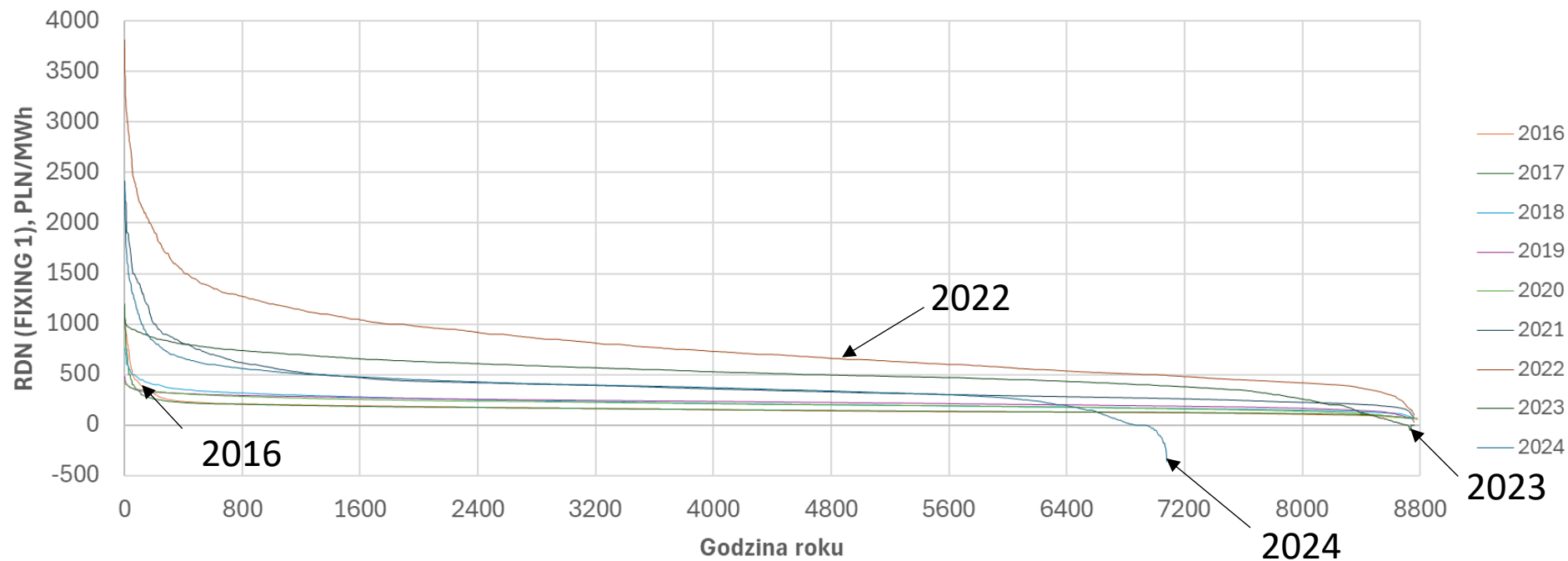
2024



## Średnia roczna cena RDN (Fixing 1)

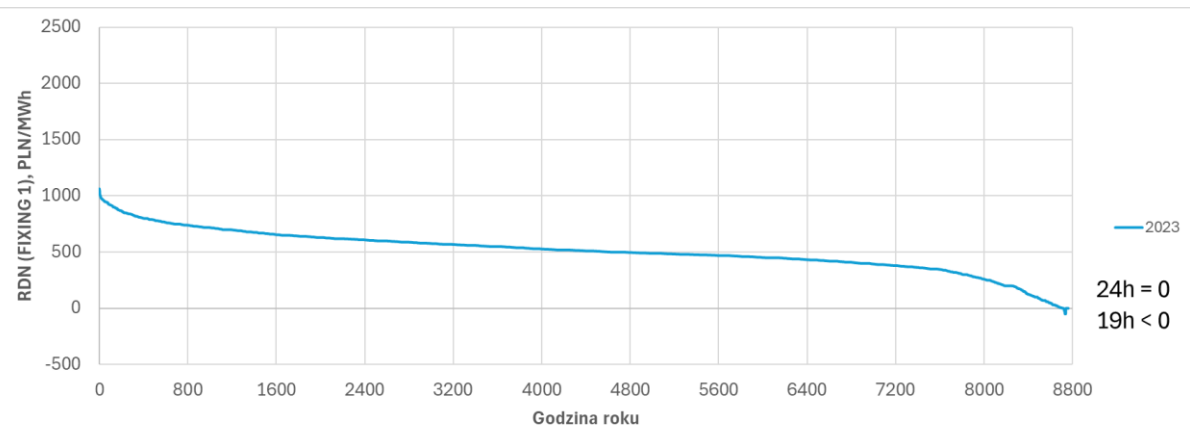


## Cena energii elektrycznej na poszczególne dni kolejnej doby

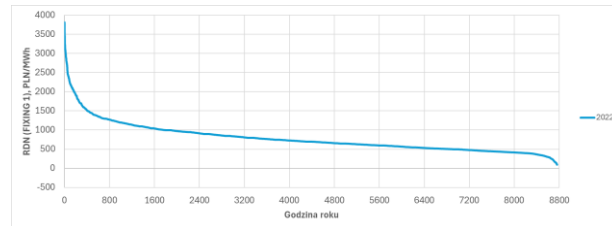


# TGE – RDN (Fixing 1)

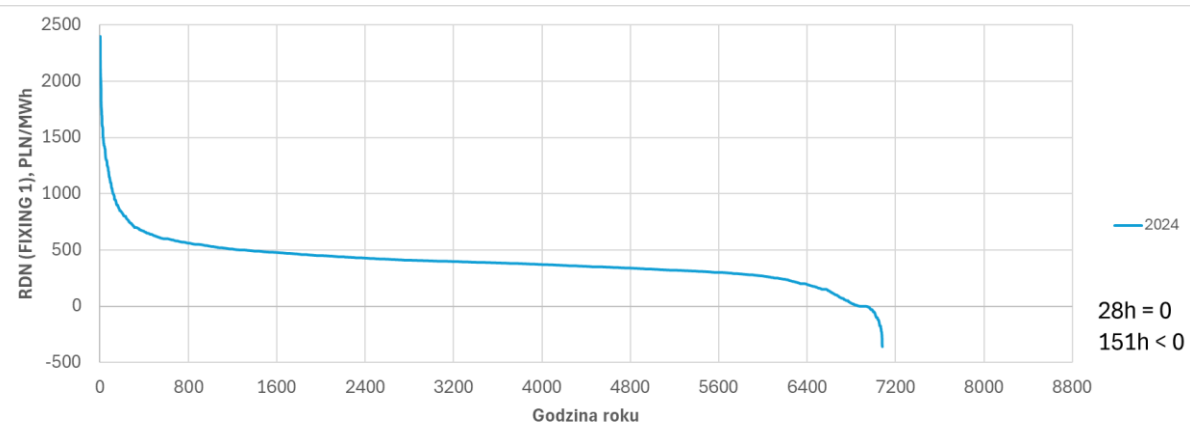
## 2023



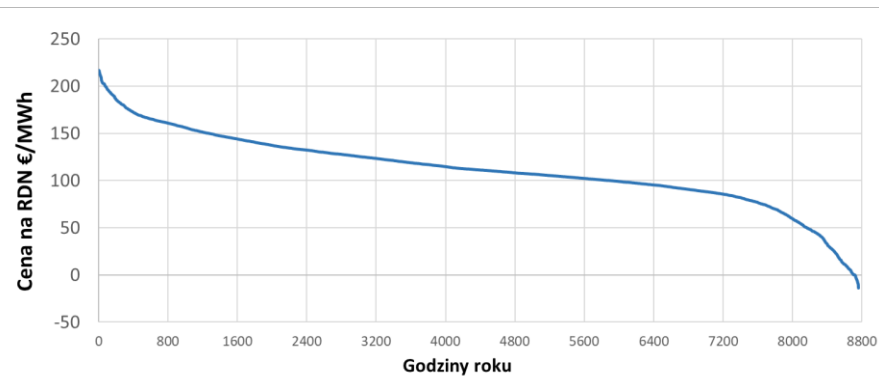
## 2022



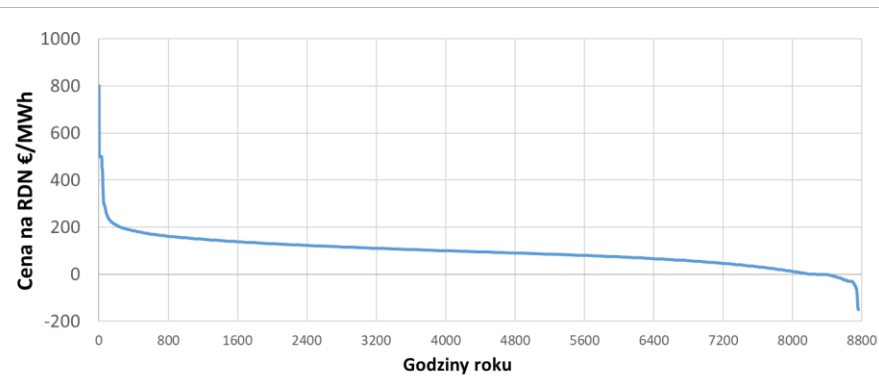
## 2024



## Wykres uporządkowany cen na RDN – Polska – 2023 r.

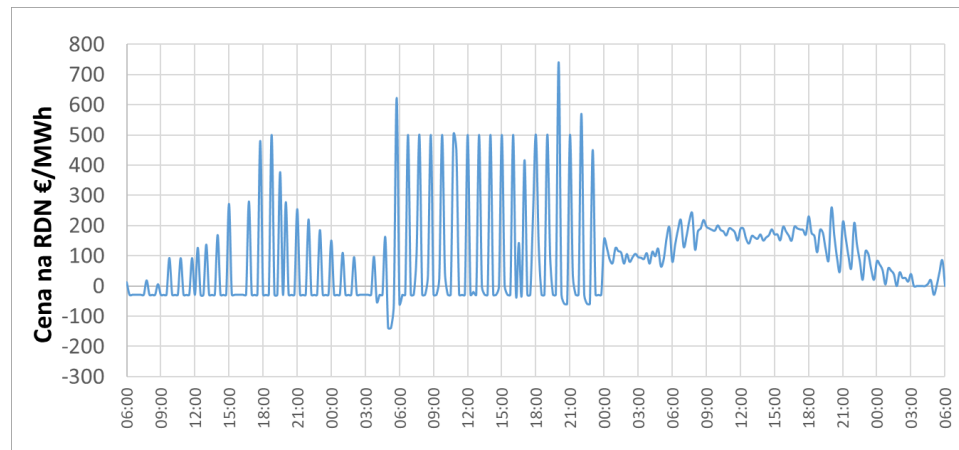


## Wykres uporządkowany cen na RDN – Niemcy – 2023 r.



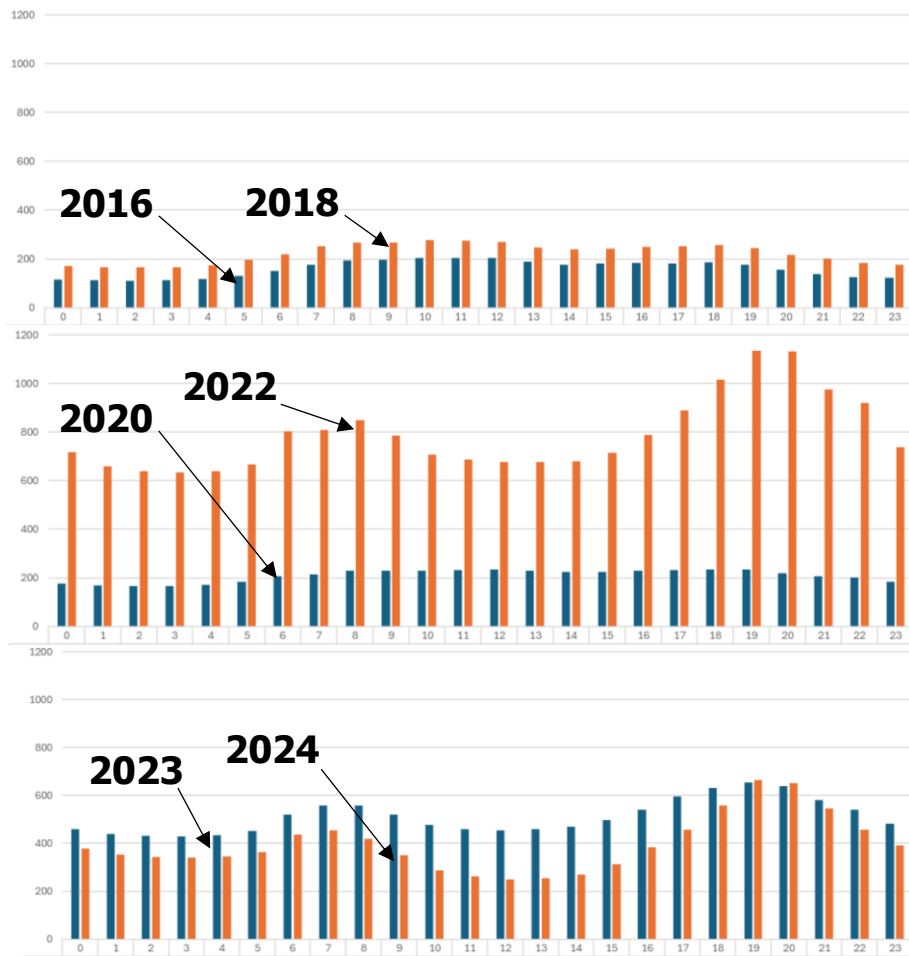
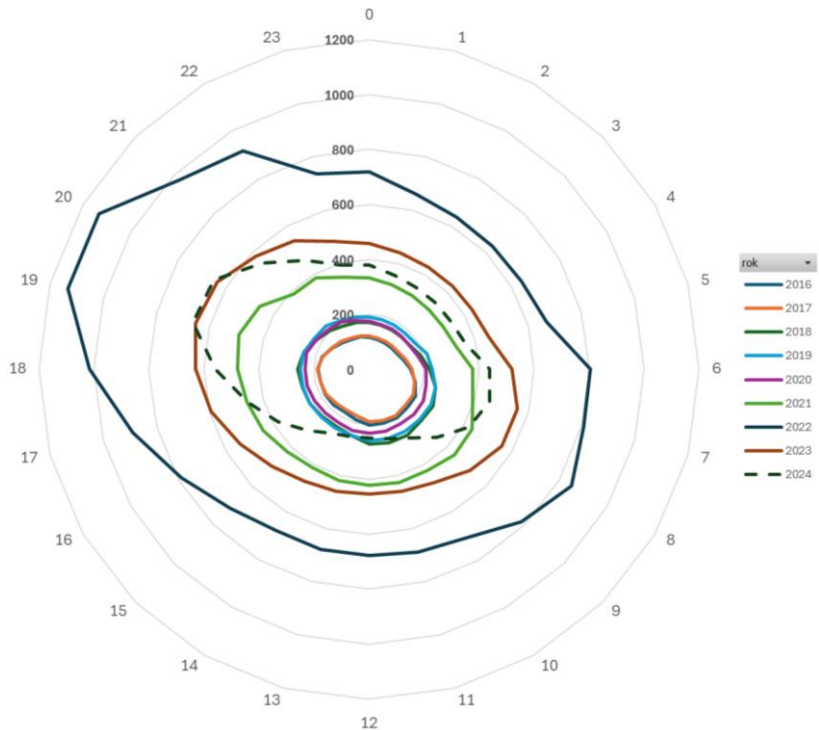
## 15-minutowy profil cen - Niemcy

od 1 stycznia 2023 6:00 do 4 stycznia 2023 6:00



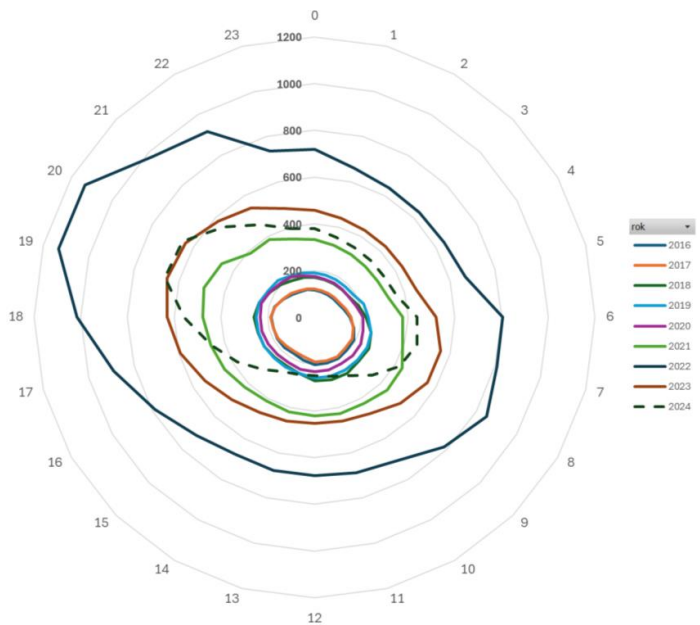
# TGE – RDN (Fixing 1)

Średnia cena energii elektrycznej na poszczególne dni kolejnej doby



# TGE – RDN (Fixing 1)

Średnia cena energii elektrycznej na poszczególne dni kolejnej doby



Godzina doby	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0	115,81	121,26	169,96	189,84	175,67	333,13	717,87	458,13	378,68
1	111,73	118,44	166,78	186,30	169,81	318,50	659,83	439,30	353,63
2	111,18	117,96	165,95	185,55	167,24	310,88	638,19	430,60	343,80
3	111,98	118,94	166,72	186,09	167,16	308,03	633,59	429,23	341,08
4	117,38	123,83	172,45	192,00	170,25	311,39	639,82	433,22	344,74
5	131,50	138,10	195,21	218,48	184,74	325,90	666,67	452,24	362,27
6	151,80	156,55	219,46	229,70	207,06	378,33	803,79	520,00	437,77
7	175,19	172,08	251,36	250,03	213,90	390,00	808,61	557,30	453,16
8	193,86	184,65	267,96	259,17	228,13	433,07	849,98	556,96	418,77
9	195,19	185,84	267,49	257,79	230,21	438,63	784,45	520,55	349,89
10	204,34	194,45	276,37	260,50	229,92	424,80	707,59	476,50	287,80
11	203,39	193,19	275,98	260,71	232,70	425,13	687,98	460,38	262,14
12	202,80	189,78	270,97	259,12	233,61	420,83	677,61	453,73	249,67
13	188,61	173,43	247,13	249,46	229,67	419,77	677,14	458,49	253,60
14	177,23	168,28	238,72	245,95	223,69	411,87	678,36	468,78	268,79
15	181,63	173,58	241,62	246,23	224,24	421,09	714,91	498,00	313,14
16	183,45	181,47	248,83	247,43	229,56	444,49	787,34	541,51	383,01
17	180,92	182,54	250,90	247,86	231,89	460,20	890,35	594,80	457,80
18	185,58	186,94	258,23	250,62	233,05	476,89	1016,18	631,42	557,98
19	176,40	173,41	244,41	245,48	234,61	489,72	1133,99	653,34	663,34
20	154,75	156,29	216,35	227,20	219,43	457,08	1132,96	638,13	651,90
21	137,85	143,53	200,99	222,28	206,64	387,25	975,55	581,27	545,79
22	126,44	131,70	182,54	204,11	200,24	384,71	918,55	541,38	457,24
23	122,78	126,53	175,67	196,15	183,91	348,05	737,03	481,22	391,64
<b>Średnia roczna</b>	<b>160,08</b>	<b>158,87</b>	<b>223,84</b>	<b>229,92</b>	<b>209,48</b>	<b>396,68</b>	<b>789,10</b>	<b>511,52</b>	<b>396,99</b>



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



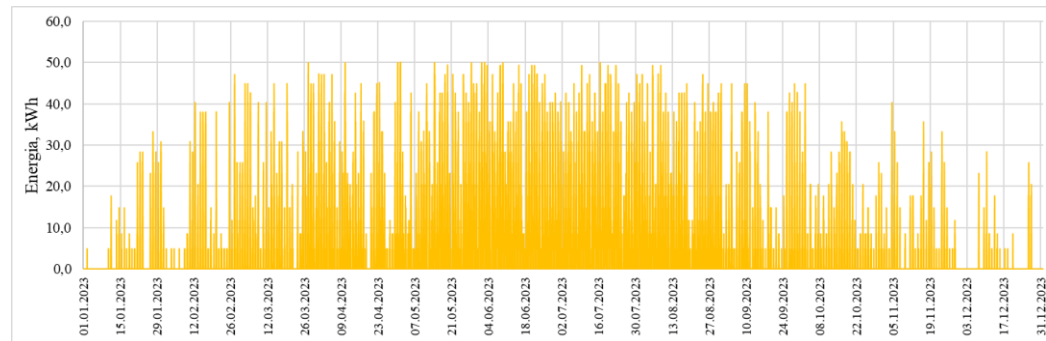
Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

ŹRÓDŁA OZE

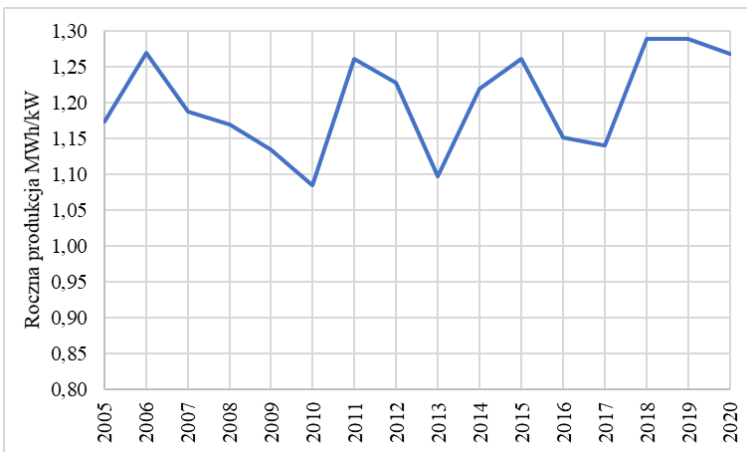
FOTOWOLTAIKA



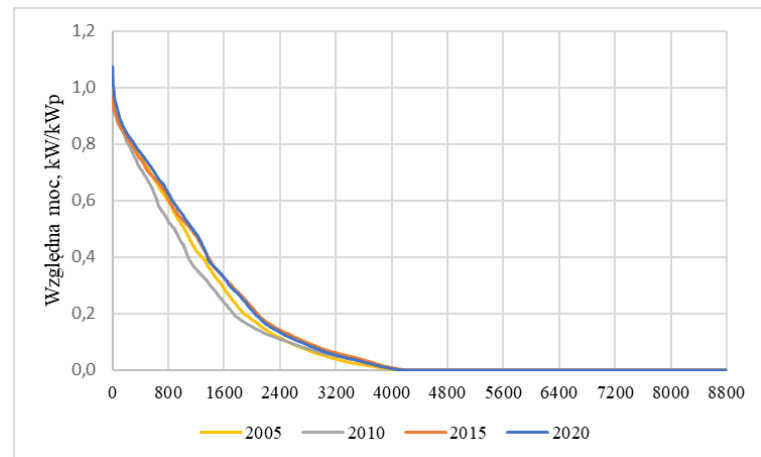
## 15 minutowy profil produkcji PV o mocy 200 kW



## Roczna produkcja MWh/kW nowa instalacja (bez strat w falownikach)



## Uporządkowana względna moc instalacji PV





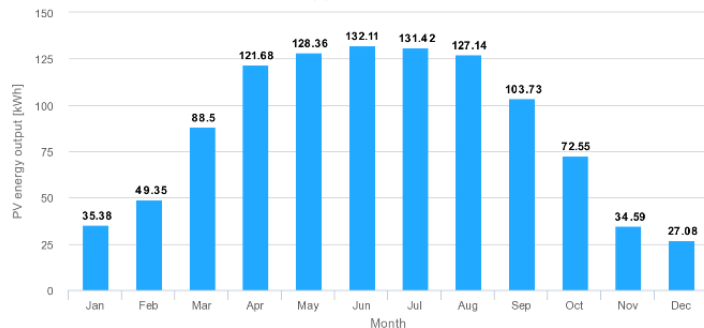
# Produkcja energii źródeł PV

## Montaż źródeł w blokach (produkcja uśredniona, uwzględniająca straty)

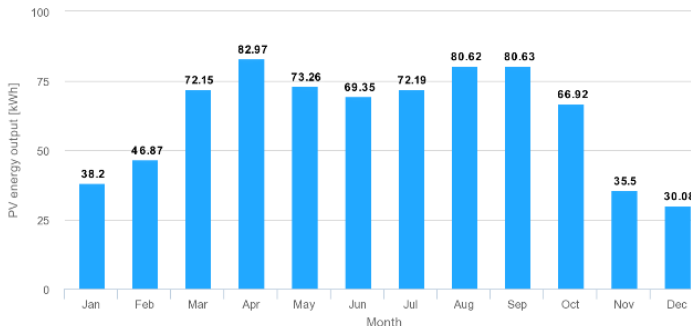
Kąt optymalny, południe 1,05 MWh/kW

Ściana boczna (90°), południe 0,75 MWh/kW

Monthly energy output from fix-angle PV system  
(C) PVGIS, 2022

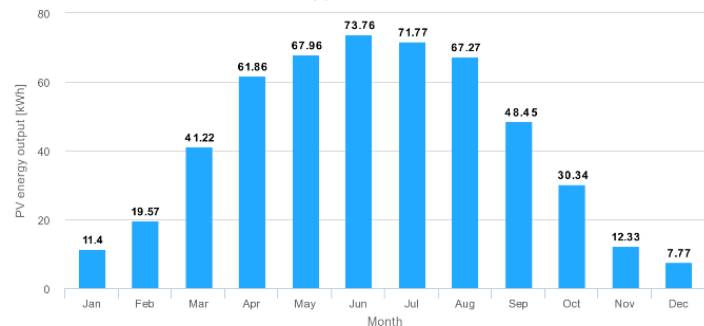


Monthly energy output from fix-angle PV system  
(C) PVGIS, 2022



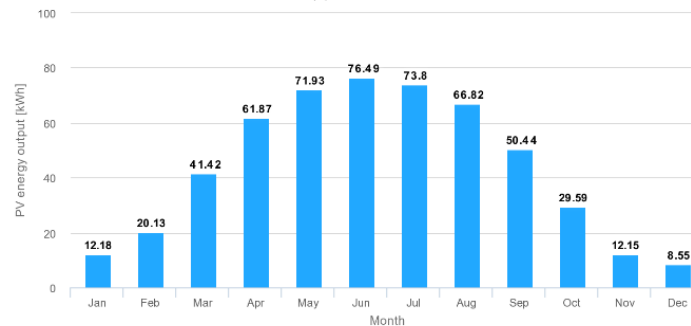
Ściana boczna (90°), zachód 0,52 MWh/kW

Monthly energy output from fix-angle PV system  
(C) PVGIS, 2022



Ściana boczna (90°), wschód 0,52 MWh/kW

Monthly energy output from fix-angle PV system  
(C) PVGIS, 2022



Portal PVGIS Photovoltaic Geographical Information System: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

## ŹRÓDŁA OZE

DOBÓR ŹRÓDŁA PV DLA ZAKŁADU  
PRZEMYSŁOWEGO  
- STUDIUM PRZYPADKU

# Dobór PV dla zakładu przemysłowego – studium przypadku

Analizowany okres: **01.01.2023 – 31.12.2023**

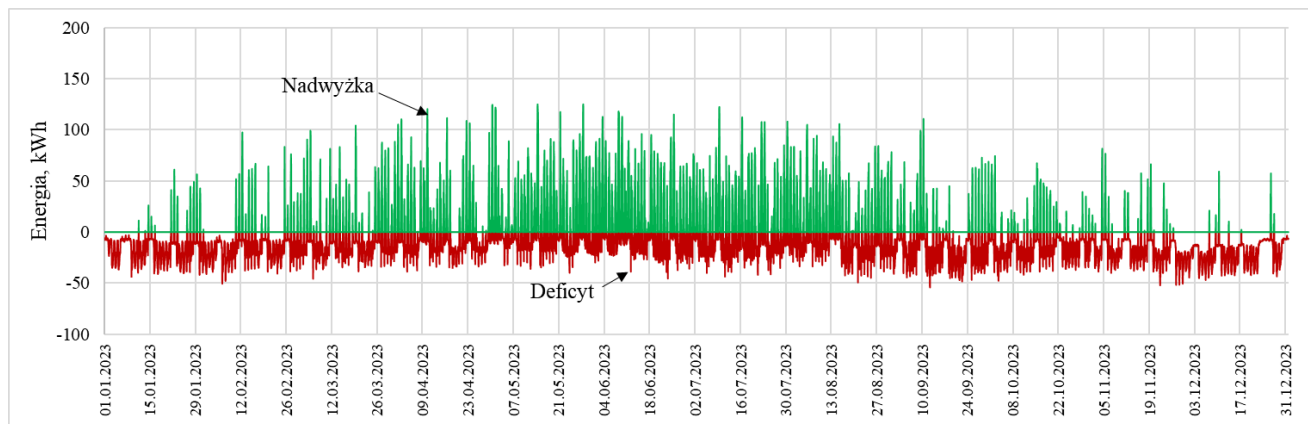
Zapotrzebowanie: **700 MWh**

Produkcja z PV: **1,07 MWh z 1 kW**

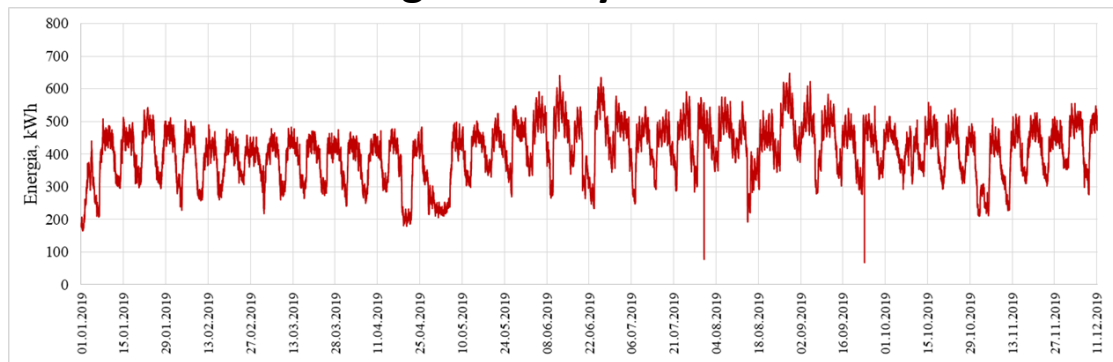
Bilansowanie na podstawie 15-minutowych profili zapotrzebowania oraz produkcji źródeł PV

$$E = \sum (E_p \pm E_M + E_Z) | t$$

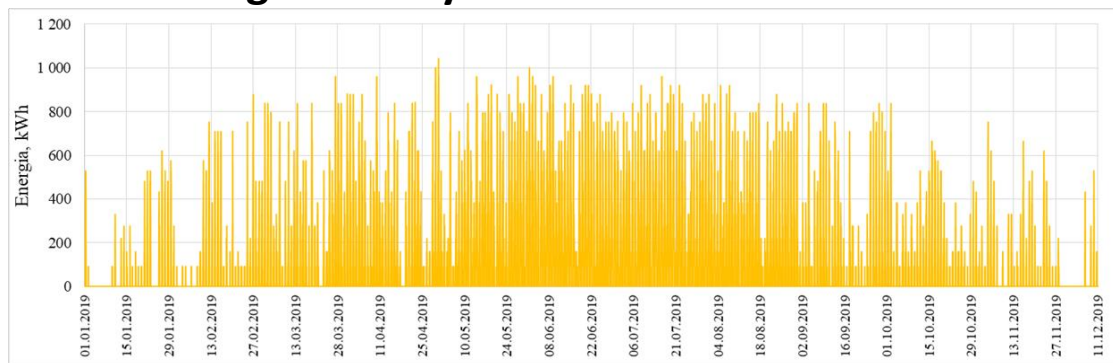
## Roczny bilans energetyczny



## Profil zapotrzebowania 15-min lub godzinowy



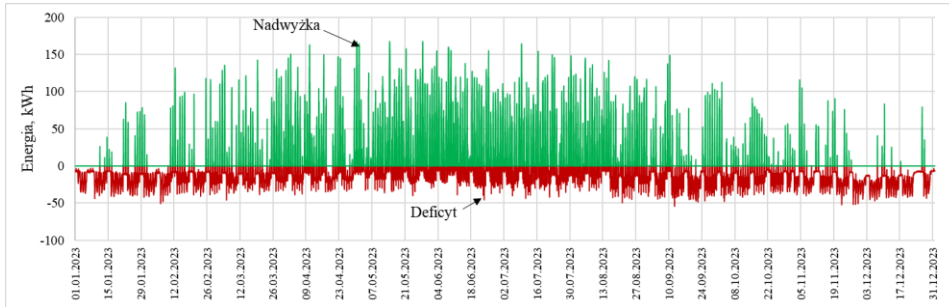
## Profil produkcji 15-min lub godzinowy



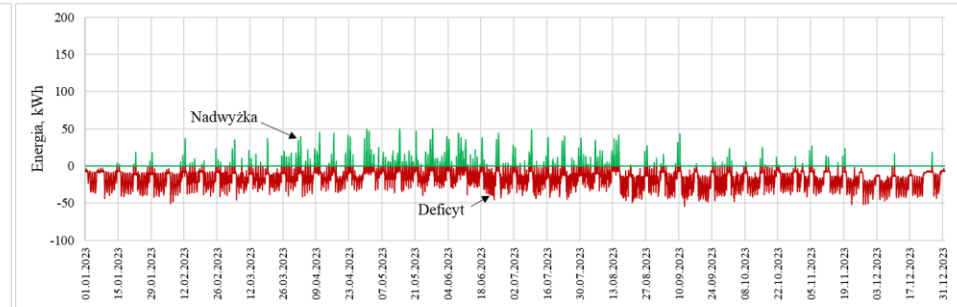
# Dobór PV dla zakładu przemysłowego – studium przypadku

## 15 minutowy bilans energetyczny

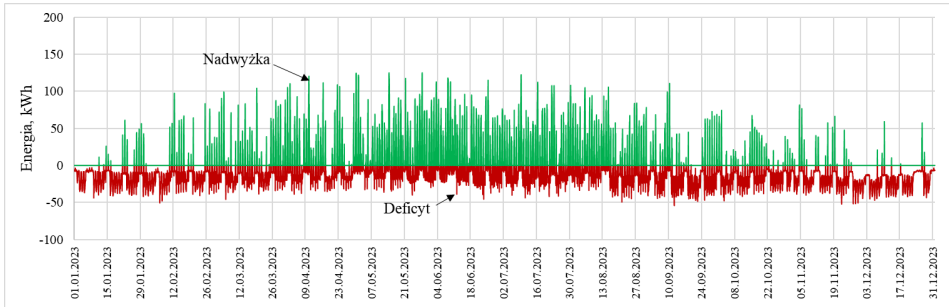
**PV = 670 kW**



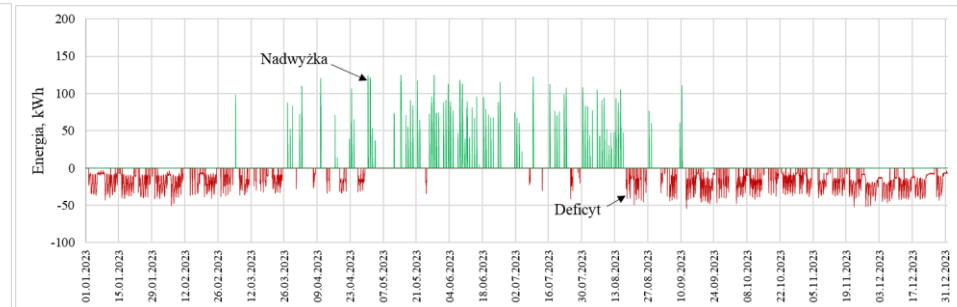
**PV = 200 kW**



**PV = 500 kW**



**PV = 500 kW, AKU = 500 kWh**



# Dobór PV dla zakładu przemysłowego – studium przypadku

Analizowany okres: **01.01.2023 – 31.12.2023**

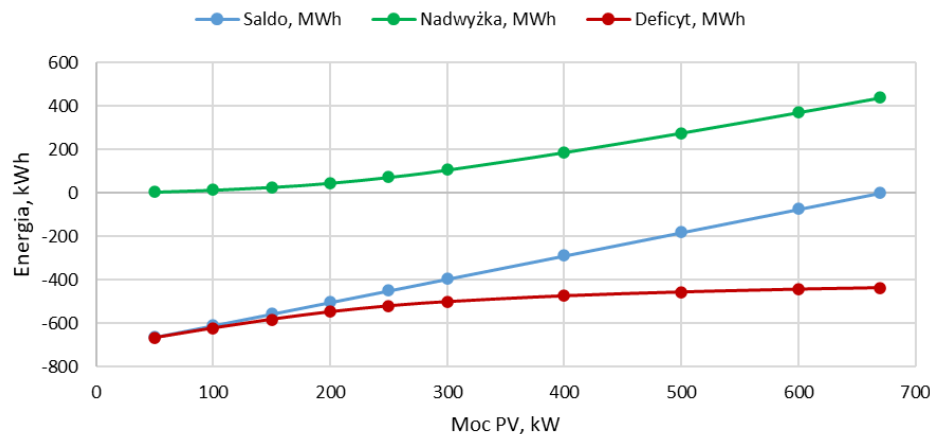
Zapotrzebowanie: **700 MWh**

Produkcja z PV: **1,07 MWh z 1 kW**

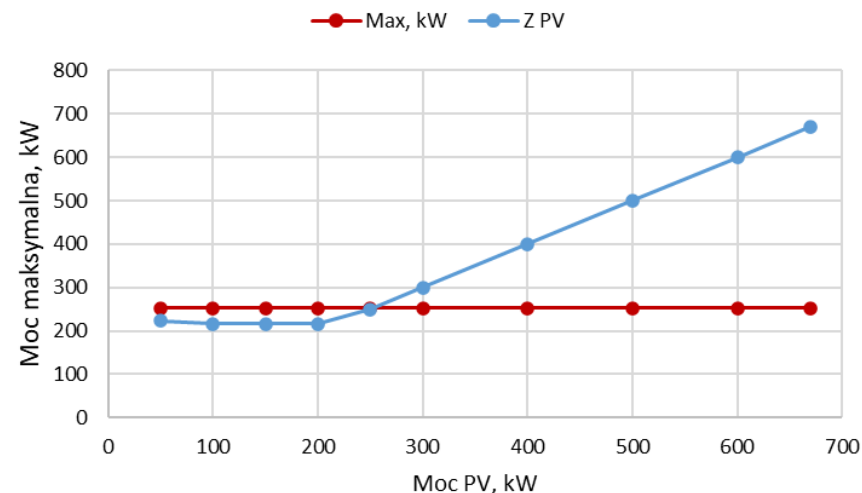
Bilansowanie na podstawie 15-minutowych profili zapotrzebowania oraz produkcji źródeł PV

$$E = \sum (E_p \pm E_M + E_Z) |_t$$

## Roczny bilans energetyczny

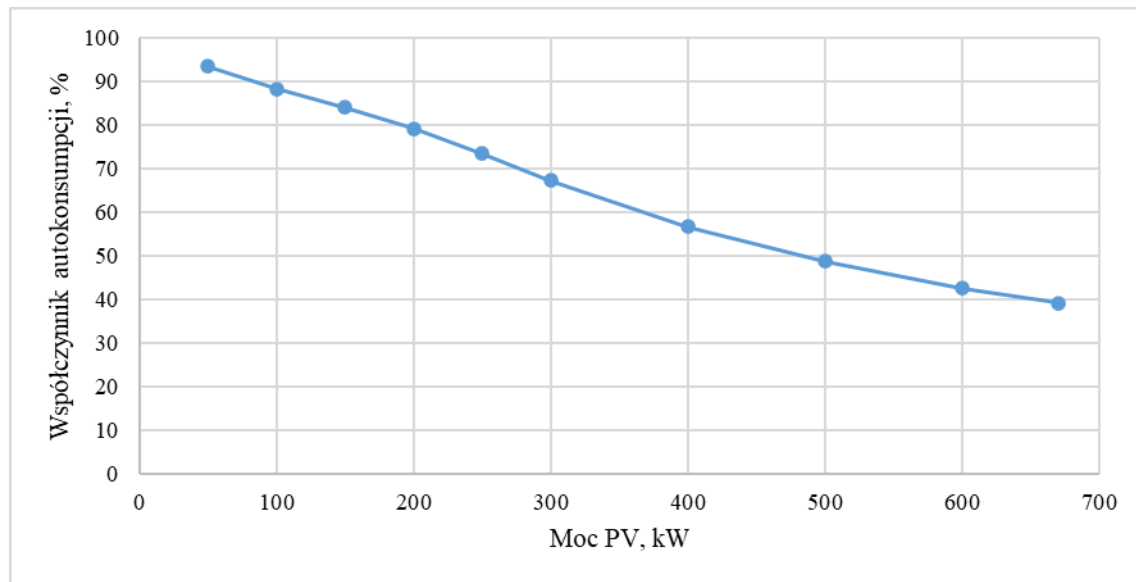


## Maksymalna moc (pobór lub produkcja) w zależności od mocy źródła PV





## Współczynnik autokonsumpcji

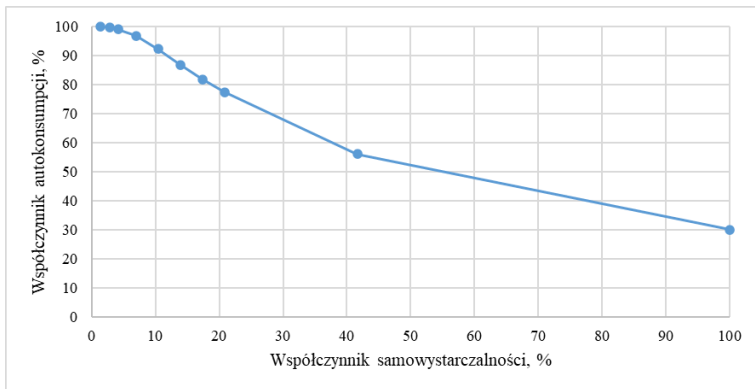


### Trzy charakterystyczne moce źródeł:

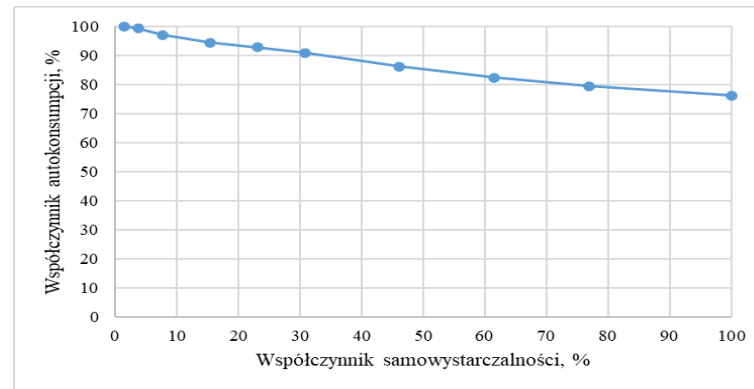
- Współczynnik **90 %** występuje dla mocy około 80 kW – straty w przypadku strażnika mocy 10 % - OK
- Współczynnik **80 %** występuje dla mocy około 200 kW – ekonomicznie dobra inwestycja, nie wymaga zmiany transformatora!?
- Współczynnik **40 %** występuje dla mocy około 670 kW – pełne pokrycie rocznych potrzeb !!!

# Dobór PV dla zakładu przemysłowego – studium przypadku

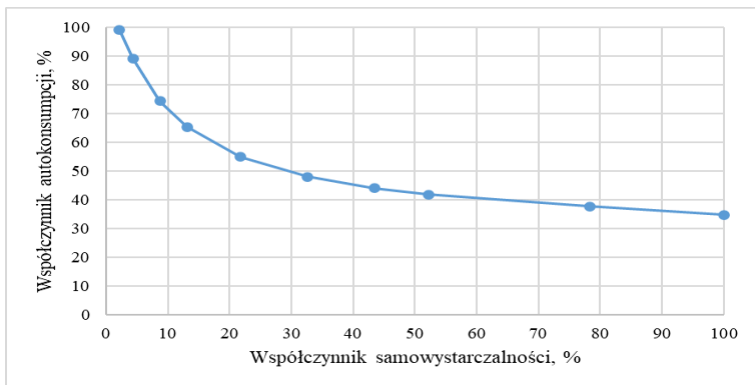
## Branża włókiennicza, 3 zmiany



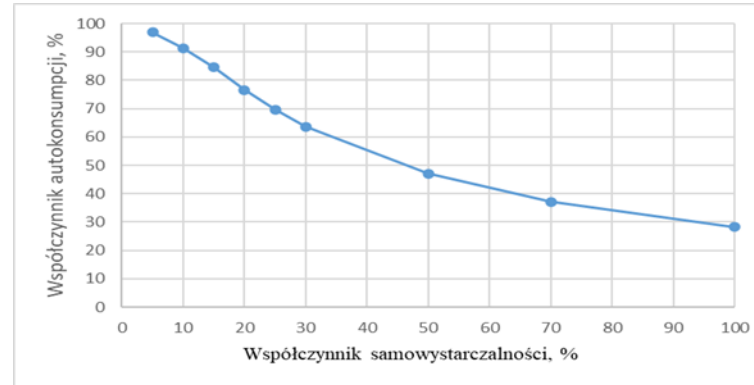
## Zakład produkcyjny, 1 zmiana



## Firma hodowlana



## Piekarnia ze sklepem



## Analiza ekonomiczna inwestycji – prosty okres zwrotu

### Założenia:

- Taryfa B
- Handel na TGE
- brak kosztów O&M
- cena zakupu to średnia cena energii na TGE za rok 2024 – 397 zł/MWh)
- sprawność akumulatora – 90 %
- strategia pracy magazynu energii (ładuj jak nadwyżka, rozładuj jak deficyt)

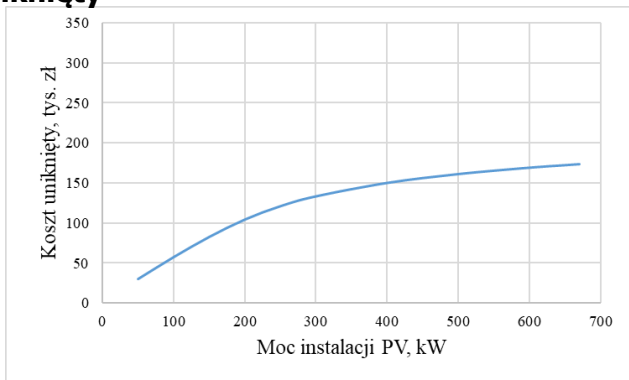
### Koszty do obliczeń

<b>Koszt energii</b>	<b>zł/MWh</b>
Zakup energii	396,99
Sprzedaż energii	320,00
Składnik zmienny opłaty sieciowej	78,90
Opłata jakościowa	31,41
Opłata OZE	0,00
Opłata kogeneracyjna	6,18
Opłata zmienna - dystrybucja	116,49
Koszt rynku mocy	126,7
<b>Jednostkowe nakłady inwestycyjne</b>	
Źródła PV, zł/kW	2500,00
Magazyn energii zł/kWh	1500,00
Koszt O&M, tys. zł	0,0

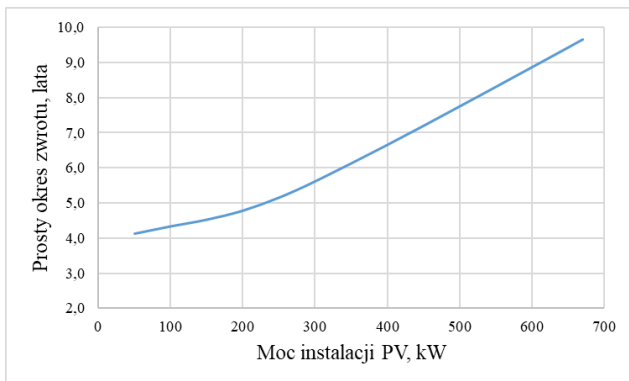
## Zmiana mocy PV

### Ze strażnikiem mocy

#### koszt uniknięty

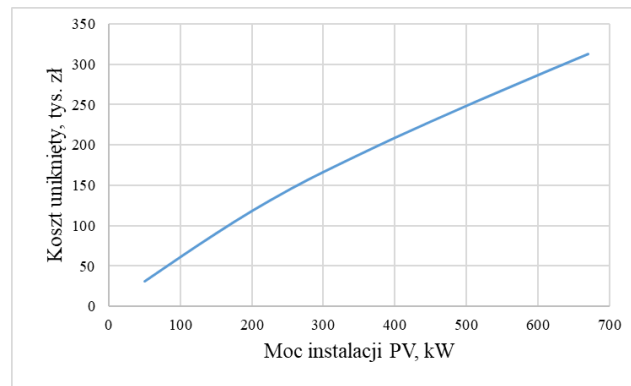


#### prosty okres zwrotu

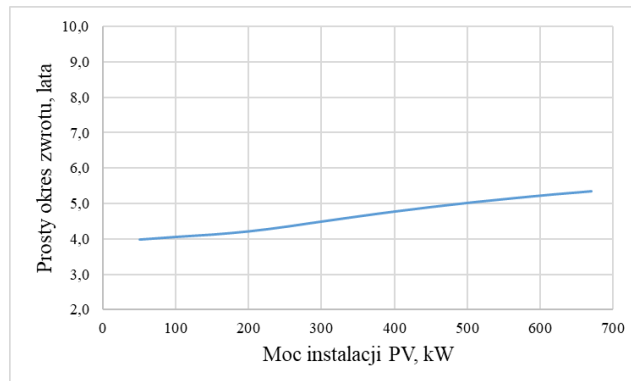


### Bez strażnika mocy

#### koszt uniknięty



#### prosty okres zwrotu



## Moc PV 200 kW

### Ze strażnikiem mocy

#### Uniknięta energia – rynek mocy

Rynek Mocy	Energia, MWh
Zużycie w godzinach szczytu	461,70
Zużycie w godzinach szczytu z OZE	319,88
Różnica	141,82

#### Analiza ekonomiczna

Autokonsumpcja, MWh	169,64
Uniknięty koszt energii (autokonsumpcja), tys. zł	87,04
Uniknięcie opłaty mocowej, tys. zł	17,44
Sprzedaż energii, tys. zł	0,00
Suma, tys. zł	<b>104,48</b>
Suma nakładów inwestycyjnych	500,00
<b>Prosty okres zwrotu, lata</b>	<b>4,79</b>

### Bez strażnika mocy

#### Uniknięta energia – rynek mocy

Rynek Mocy	Energia, MWh
Zużycie w godzinach szczytu	461,70
Zużycie w godzinach szczytu z OZE	319,88
Różnica	141,82

#### Analiza ekonomiczna

Autokonsumpcja, MWh	169,64
Uniknięty koszt energii (autokonsumpcja), tys. zł	87,04
Uniknięcie opłaty mocowej, tys. zł	17,44
Sprzedaż energii, tys. zł	14,17
Suma, tys. zł	<b>118,65</b>
Suma nakładów inwestycyjnych	500,00
<b>Prosty okres zwrotu, lata</b>	<b>4,21</b>



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

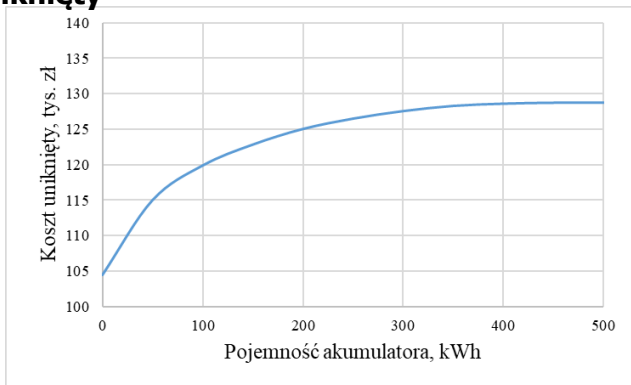
## ŹRÓDŁA OZE

DOBÓR ŹRÓDŁA PV I MAGAZYNU ENERGII DLA  
ZAKŁADU PRZEMYSŁOWEGO  
- STUDIUM PRZYPADKU

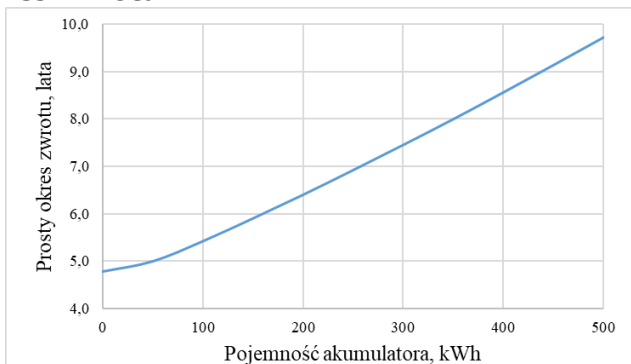
## Moc PV 200 kW – zmiana pojemności magazynu energii

### Ze strażnikiem mocy

#### koszt uniknięty

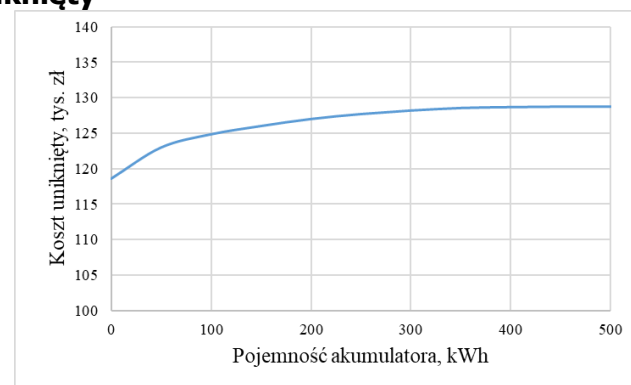


#### prosty okres zwrotu

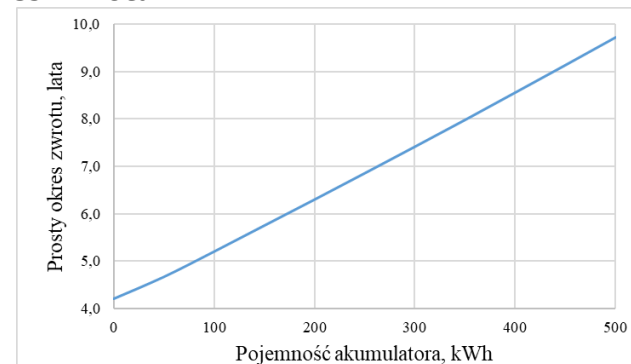


### Bez strażnika mocy

#### koszt uniknięty

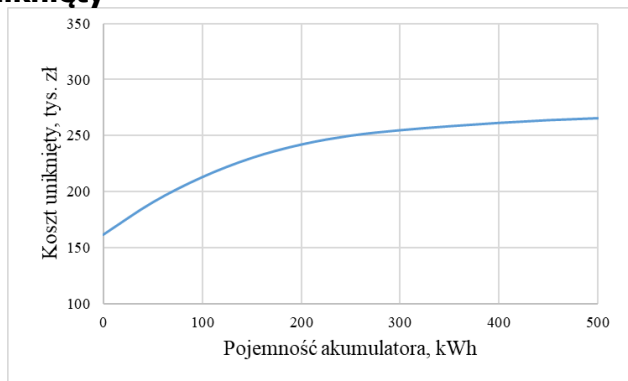


#### prosty okres zwrotu

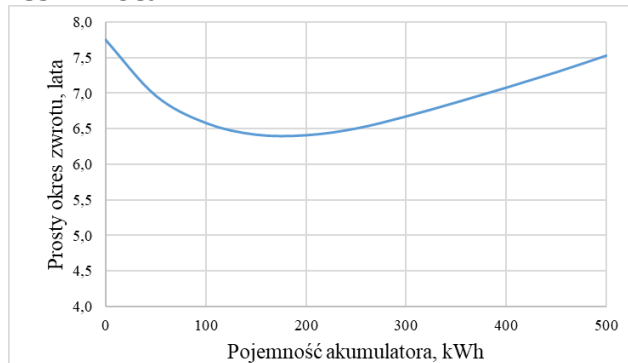


### Ze strażnikiem mocy

#### koszt uniknięty

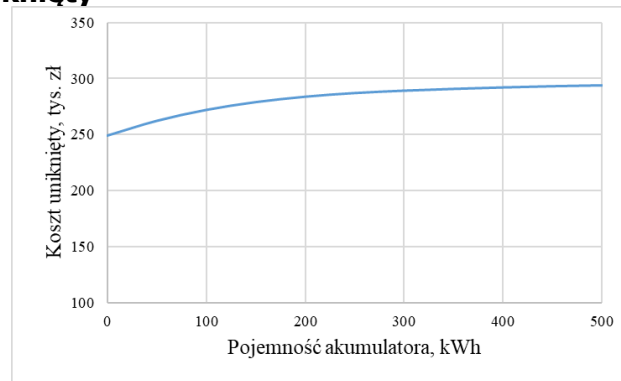


#### prosty okres zwrotu

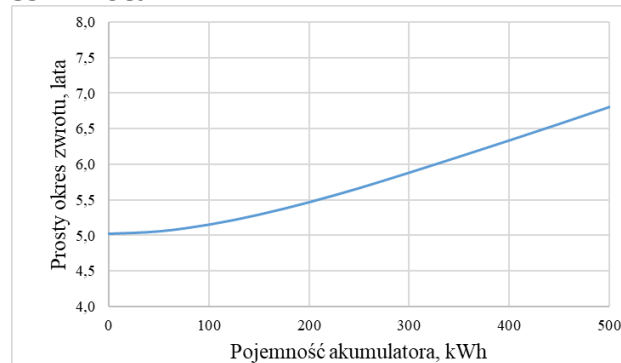


### Bez strażnika mocy

#### koszt uniknięty



#### prosty okres zwrotu

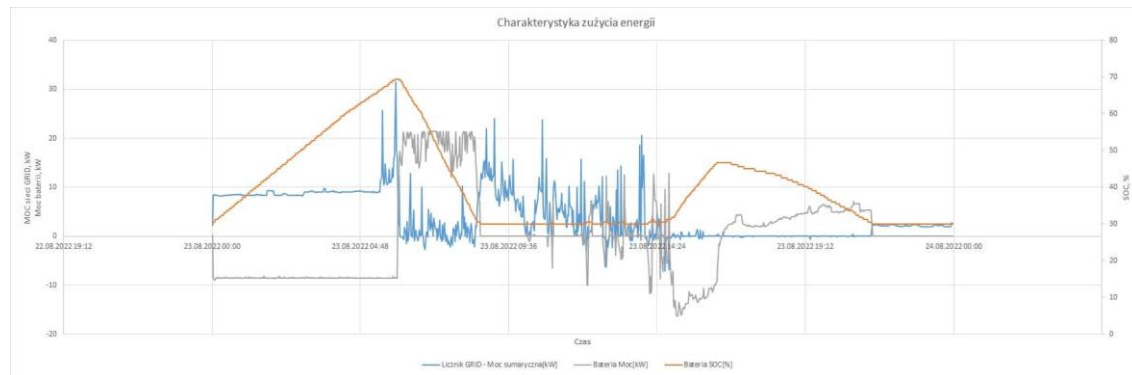




# Magazyn energii to nie tylko urządzenie do gromadzenia energii

funkcjonalności z wykorzystaniem systemu zarządzania:

- przesuwanie obciążenie,
- stabilizacja napięcia,
- gotowość do arbitrażu cenowego,
- możliwość pracy wyspowej,
- stabilizacja parametrów,
- kompensacja mocy biernej,
- ...



<https://nrgstorage.pl/>



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

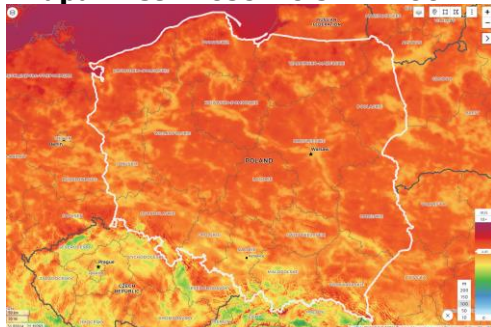
# ŹRÓDŁA OZE

# ELEKTROWNIE WIATROWE

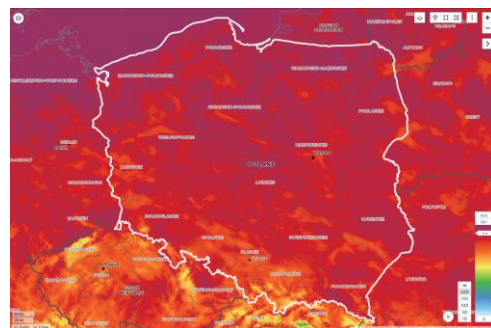
# Produkcja źródeł wiatrowych

Portal Global Wind Atlas: <https://globalwindatlas.info/>

## Mapa wietrzności Polski – 100 m

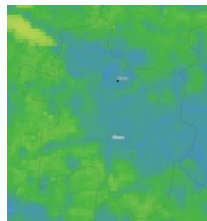


## Mapa wietrzności Polski – 200 m

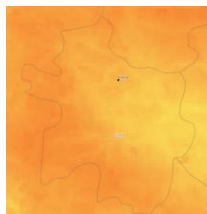


Siatka o rozmiarach 3 km na 3 km

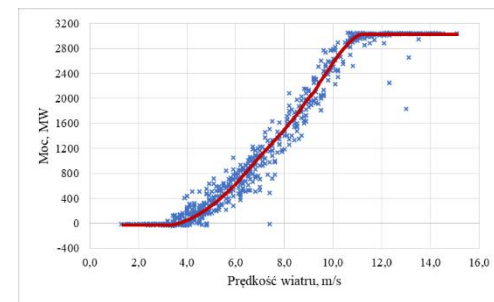
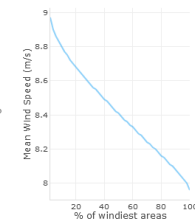
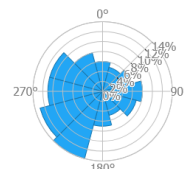
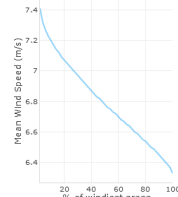
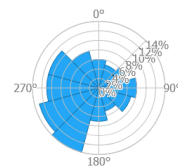
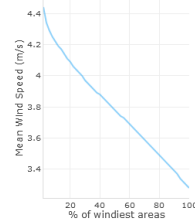
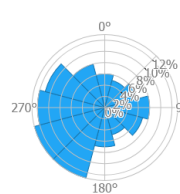
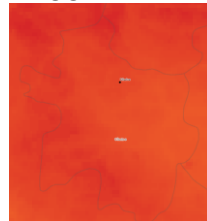
## 10 m



## 100 m

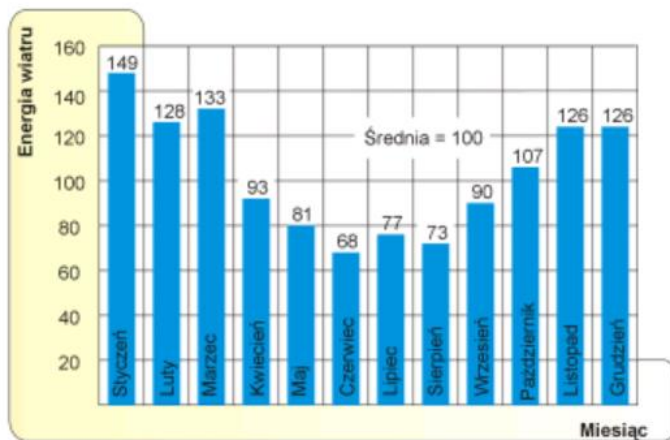


## 200 m

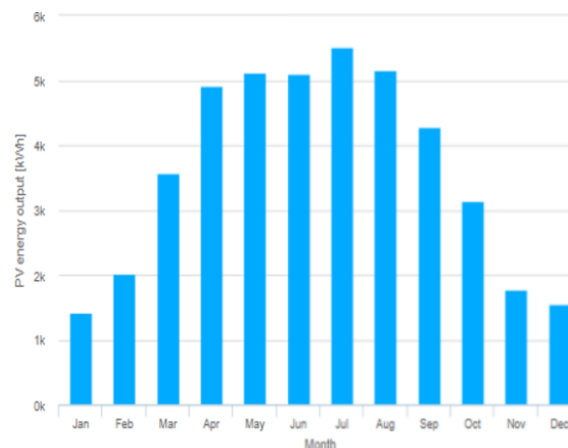


# Współpraca EW z siecią – generatory PMSG

Miesięczna zmienność produkcji EW



Miesięczna zmienność produkcji PV




Roczny uzyska w zależności od prędkości wiatru, średnicy wirnika i mocy generatora

Wielkość instalacji		Roczny uzysk energii w MWh				
wirnik	moc	$V = 5 \text{ m/s}$	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s
30 m	200 kW	320	500	670	820	950
40 m	500 kW	610	970	1360	1730	2050
55 m	1000 kW	1150	1840	2570	3280	3920
65 m	1500 kW	1520	2600	3750	4860	5860
80 m	2500 kW	2380	4030	5830	7700	9220
120 m	5000 kW	5300	9000	13 000	17 000	20 000

# Właściwości elektrowni wiatrowych

Cecha	Wpływ, stan
Pewność generacji	wymuszona, prognozowalna
Rezerwowanie mocy	brak, produkcja wymuszona
Regulacja U i Q	realizowana lokalnie
Regulacja nadrzędna U i Q	realizowalne, rzadko stosowana
Regulacja f i P	realizowalna, rzadko stosowana (jako ograniczenia)
Jakość energii	wpływ negatywny lub pozytywny - zależny od rozwiązań
Czas wykorzystania mocy szczytowej	gorszy w porównaniu ze źródłami klasycznymi
Stabilność napięciowa	poprawa
Obrona systemu EE	realizowana, stosowana jako ograniczenie
Odbudowa systemu EE	nierealizowana, możliwa w powiązaniu z systemem rozproszonymi
Przetrvanie zwarcia	realizowane
Sztuczna inercja	realizowane, efekt zależny od rozwiązań
Niechciane przepływy mocy	w układach bez sterownia
Odporność na atak	ograniczony, możliwa w powiązaniu z systemem rozproszonymi
Koszt produkcji	niski, poniżej źródeł konwencjonalnych

Charakter wpływu

Negatywny  Pozytywny



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



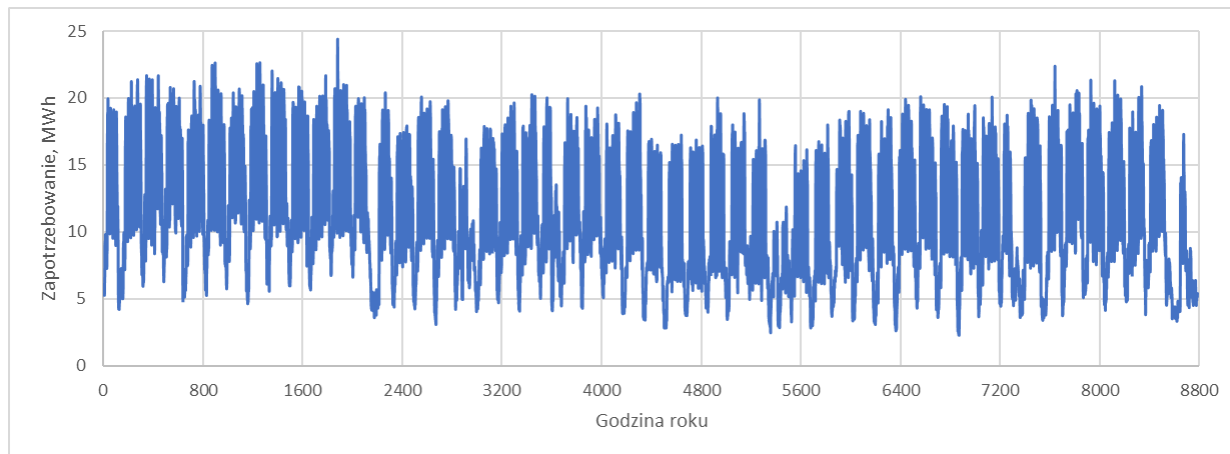
Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

## ŹRÓDŁA OZE

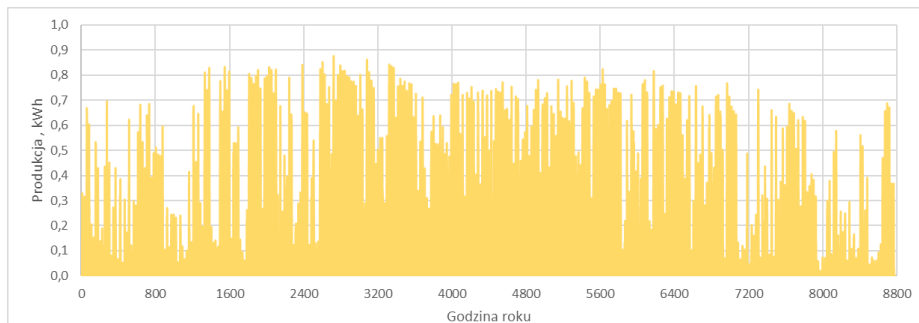
DOBÓR ŹRÓDEŁ DLA STREFY PRZEMYSŁOWEJ  
- STUDIUM PRZYPADKU

## Roczny godzinowy profil

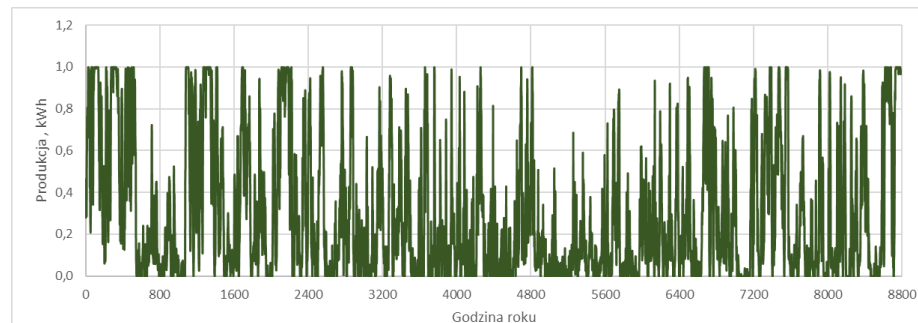
100 GWh



## Profil – źródła PV 1,07 MWh/kW



## Profil – elektrownia wiatrowa 2,60 MWh/kW



## Przyjęto:

- cenę zakupu energii na TGE – 400 PLN/MWh,
- cenę sprzedaży energii ze źródeł na TGE – 360 PLN/MWh
- nakłady inwestycyjne na PV – 2200 PLN/kW,
- nakłady inwestycyjne na elektrownię wiatrową (EW) – 5000 PLN/kW,
- nakłady inwestycyjne na elektrownię biogazową (EB) – 20000 PLN/kW,
- nakłady inwestycyjne na akumulatory (AKU) – 1500 PLN/kWh.

## Ponadto:

- sprawność AKU – 90 %,
- pełne roczne pokrycie energii przez wybrane technologie (współczynnik samowystarczalności 100 %) oraz współczynnik autokonsumpcji nie mniejszy niż 50 %,
- przyjęto elektrownie biogazową o mocy elektrycznej 2 MW, która wyposażona jest w dodatkowy kogenerator pozwalający na pracę z mocą równą 150 % mocy znamionowej (wynikającej ze średniej produkcji ekwiwalentnej energii elektrycznej) w chwilach deficytu mocy, oraz magazyn biogazu pozwalający na przechowywanie biogazu na okres pracy z mocą 150 % przez 6 godzin.
- minimalna moc EB wynosi 50 % mocy znamionowej, ze względu na ograniczenia techniczne,
- algorytm sterowania pracą akumulatora jest standardowy, czyli ładują jak nadwyżka, rozładują jak deficyt,
- dla elektrowni wiatrowych przyjęto moc, jako wielokrotność 3 MW,
- marża 5 %.

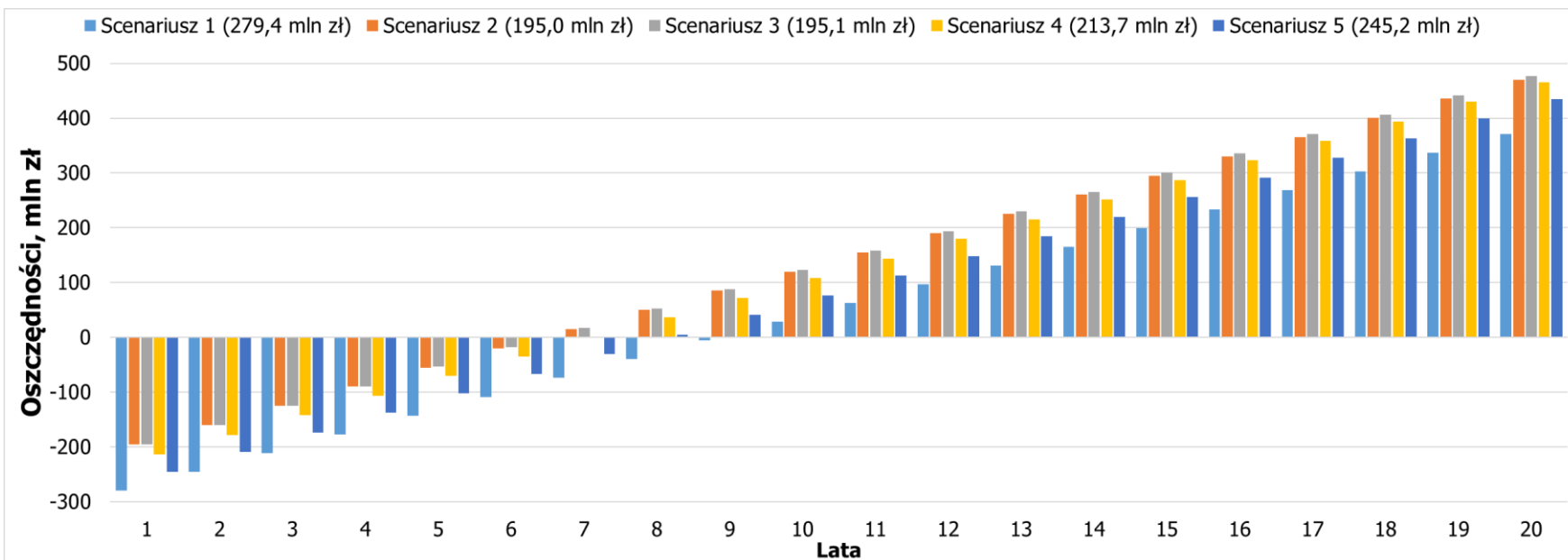


## Klaster – strefa przemysłowa

- Scenariusz 1: tylko źródła PV i magazyn energii,
- Scenariusz 2: tylko EW i magazyn,
- Scenariusz 3: miks PV, EW i magazynu,
- Scenariusz 4: miks PV, EW, EB i magazynu,
- Scenariusz 5: miks PV, EW, EB i magazynu, współczynnik autokonsumpcji co najmniej 70 %.

	Scenariusz 1	Scenariusz 2	Scenariusz 3	Scenariusz 4	Scenariusz 5
<b>PV, MW</b>	92,9	0	20,5	24,4	24,4
<b>EW, MW</b>	0	39,0	30,0	24,0	24,0
<b>EB, MW</b>	0	0	0	2	2
<b>AKU, MWh</b>	50,0	0	0	0	21,0
<b>Łączna produkcja OZE, GWh</b>	100,0	101,3	100,0	100,0	100,0
<b>Nadwyżka, GWh</b>	48,3	46,8	38,0	33,3	30,0
<b>Deficyt, GWh</b>	50,0	48,0	38,0	33,3	30,0
<b>Współczynnik autokonsumpcji, %</b>	50,0	52,5	62,0	66,7	70,0
<b>Nakłady inwestycyjne, mln PLN</b>	279,4	195,0	195,1	213,7	245,2
<b>Koszty uniknięte, mln PLN</b>	34,22	35,02	35,39	35,76	35,80
<b>Prosty okres zwrotu, lata</b>	8,16	5,57	5,51	5,97	6,85

# Klaster – strefa przemysłowa



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Scenariusz 1 (279,4 mln zł)</b>	-279,4	-245,2	-211,0	-176,7	-142,5	-108,3	-74,1	-39,9	-5,6	28,6	62,8	97,0	131,2	165,5	199,7	233,9	268,1	302,3	336,6	370,8
<b>Scenariusz 2 (195,0 mln zł)</b>	-195,0	-160,0	-125,0	-89,9	-54,9	-19,9	15,1	50,1	85,2	120,2	155,2	190,2	225,2	260,3	295,3	330,3	365,3	400,3	435,4	470,4
<b>Scenariusz 3 (195,1 mln zł)</b>	-195,1	-159,7	-124,3	-88,9	-53,5	-18,2	17,2	52,6	88,0	123,4	158,8	194,2	229,6	265,0	300,4	335,8	371,1	406,5	441,9	477,3
<b>Scenariusz 4 (213,7 mln zł)</b>	-213,7	-177,9	-142,2	-106,4	-70,7	-34,9	0,9	36,6	72,4	108,1	143,9	179,7	215,4	251,2	286,9	322,7	358,5	394,2	430,0	465,7
<b>Scenariusz 5 (245,2 mln zł)</b>	-245,2	-209,4	-173,6	-137,8	-102,0	-66,2	-30,4	5,4	41,2	77,0	112,8	148,6	184,4	220,2	256,0	291,8	327,6	363,4	399,2	435,0



Politechnika  
Śląska



Wydział Elektryczny



Katedra Energoelektroniki Napędu  
Elektrycznego i Robotyki

# WNIOSKI I REKOMENDACJE



Po pierwsze: DZIAŁAJ (PROCENT SKŁADANY)



Po drugie: ZNAJ PROFILE (DANE)



Po trzecie: ZMIEŃ SPOSÓB MYŚLENIA



Po czwarte: MAKSYMALIZUJ AUTOKONSUMPCJĘ (ELASTYCZNOŚĆ)



Po piąte: DYWERSYFIKUJ ŹRÓDŁA



Po szóste: ANALIZUJ I SPRAWDZAJ