



## Konwersatorium Inteligentna Energetyka

### Temat przewodni

## CZTERY RYNKI ELEKTROPROSUMERYZMU

# Modelowanie trajektorii transformacyjnych energetyki do elektroprosumeryzmu w wybranych osłonach kontrolnych

**Krzysztof Bodzek**

**Biuletyn Rynki Elektroprosumeryzmu nr 1/2020**

**POWSZECHNA PLATFORMA TRANSFORMACYJNA ENERGETYKI 2050**

[www.ppte2050.pl](http://www.ppte2050.pl)

**rynki EP**

Redakcja portalu

redaktor naczelny: Jan Popczyk

zastępca redaktora naczelnego: Krzysztof Bodzek

e-mail: [redakcja@ppte2050.pl](mailto:redakcja@ppte2050.pl)

Serwis internetowy webmaster: Andrzej Piechocki, e-mail: [it@ppte2050.pl](mailto:it@ppte2050.pl)

Konwersatorium e-mail: [konwersatorium@ppte2050.pl](mailto:konwersatorium@ppte2050.pl)



*Energetyka*

PROBLEMY ENERGETYKI  
I GOSPODARKI PALIWOWO - ENERGETYCZNEJ



Program Rozwoju  
Organizacji  
Obywatelskich  
na lata 2018-2030

**PROO**



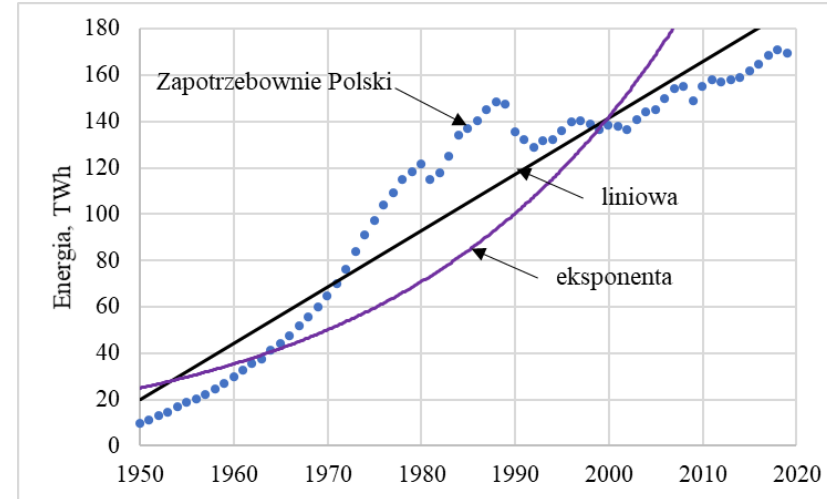
**Gliwice, 27 października 2020**

## Rodzaje aproksymacji i ich interpretacja fizyczna

### Liniowa

najprostsza krzywą, jednak jest ona zazwyczaj obarczona dużym błędem aproksymacji w szczególności dla procesów długotrwałych. Nachylenie to stała roczna zmiana.

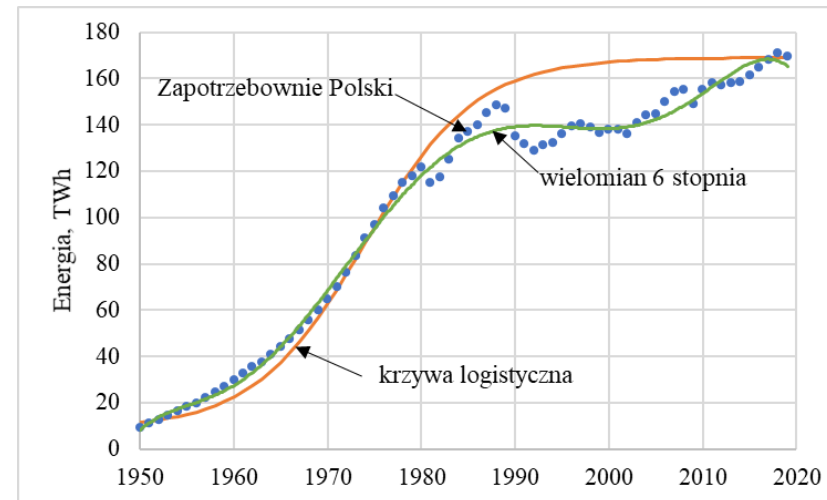
W praktyce wykorzystuje się ją w postaci aproksymacji odcinkowo liniowej, opisywanej w każdym przedziale innymi parametrami.



### Eksponenta (procent składany)

dobrze opisuje trajektorie systemów, które są nieskończone, tzn. nie mają ograniczeń w postaci wysycenia rynku. Z tego powodu nadają się do opisu trajektorii na początku procesu, jednak wraz z dochodzeniem do ograniczeń związanych z „pojemnością” rynku mogą być przyczyną dużych błędów w analizach.

Współczynnik potęgowy jest to roczna procentowa zmiana (procent składany).



## Rodzaje aproksymacji i ich interpretacja fizyczna

### Wielomianowa

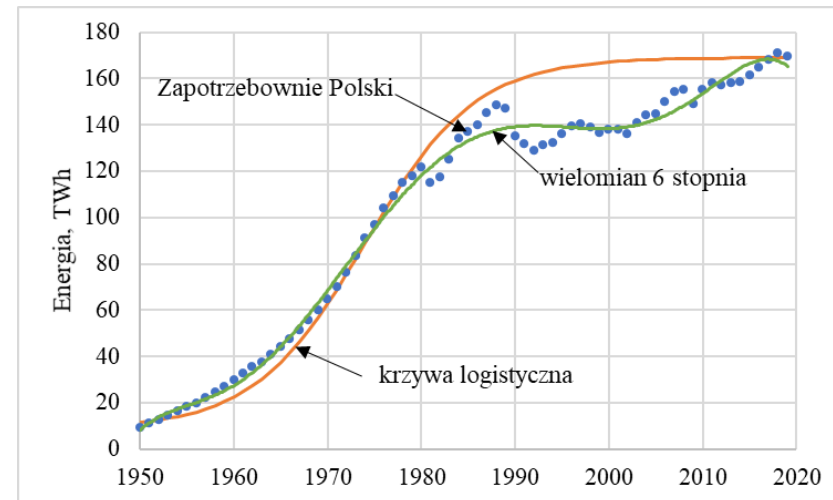
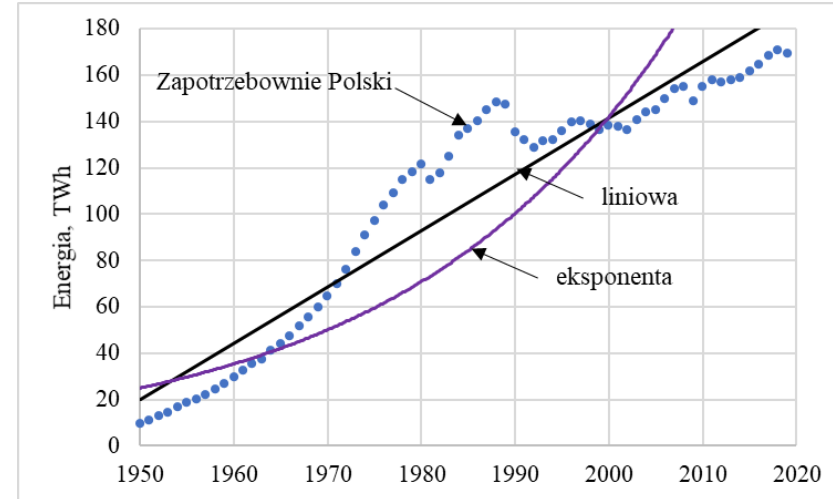
pozwała zazwyczaj najdokładniej odwzorować przebieg, w szczególności przy stosowaniu wielomianów wysokiego stopnia.

Interpretacja fizyczna poszczególnych parametrów (wyższego stopnia) jest utrudniona, przez co dobrze opisuje istniejące dane, jednak tworzenie trendu na jej podstawie może być obciążone błędem

### Krzywa logistyczna (krzywa S)

Krzywą pierwotnie zapisano w wyniku obserwacji wzrostu populacji, jednak znalazła bardzo szerokie zastosowanie w analizowaniu dynamiki zmian w naukach przyrodniczych, ekonomicznych a także medycynie.

Dla odpowiednio dobranych parametrów stanowi rozkład normalny funkcji.



# Krzywa logistyczna (krzywa S)

## Równanie krzywej logistycznej w odniesieniu do transformacji energetycznej

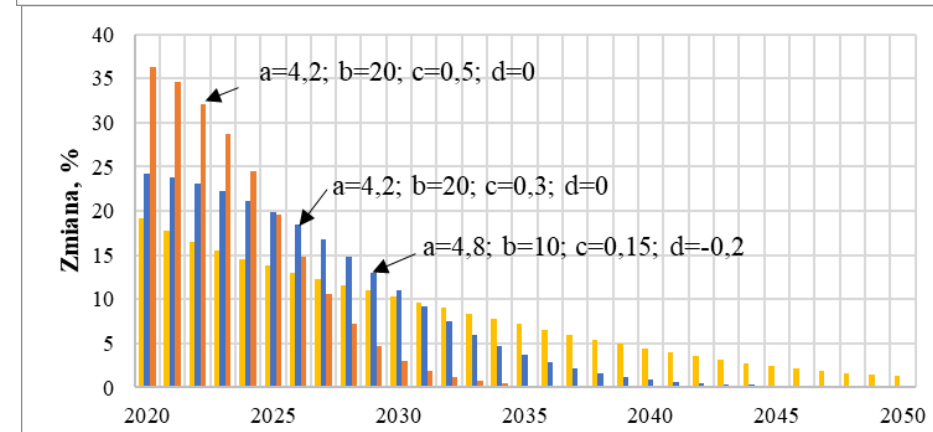
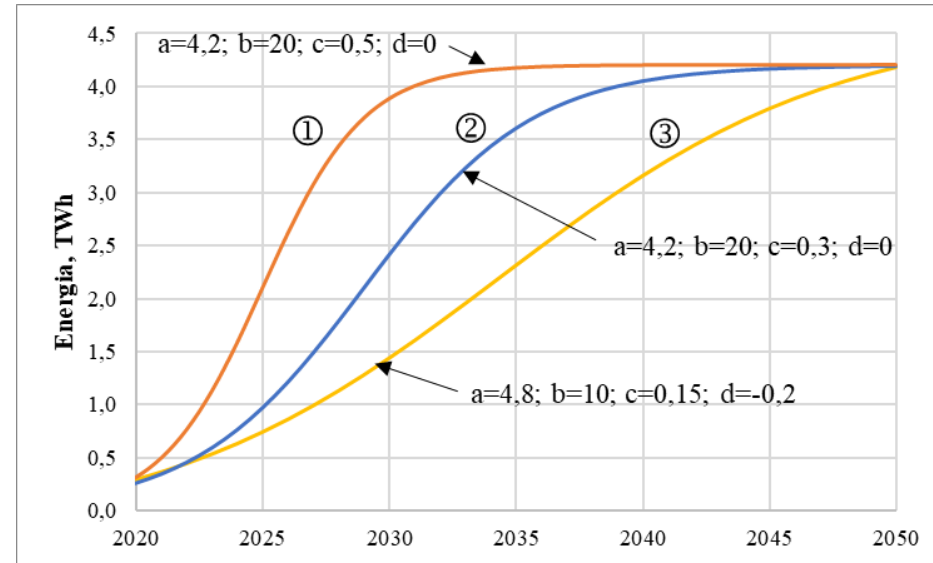
$$E(t) = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-ct}} + d$$

- a – wartość oczekiwana (po wysyceniu rynku),
- b – czas transformacji,
- c – tempo transformacji,
- d – wartość początkowa

## Wpływ parametrów krzywej logistycznej na trajektorie transformacyjne

- ① - technologie skomercjalizowane
- ② - technologie „dojrzałe”
- ③ - technologii we wczesnej fazie rozwoju

Im współczynnik  $c$  (tempo transformacji) jest większy, tym osiągnięcie wartości oczekiwanej, jest szybsze.



## Odwzorowanie zapotrzebowania KSE

Dwa okresy:

**okres socjalizmu** - z „dynamicznie” rozwijającą się gospodarką i stanem wojennym

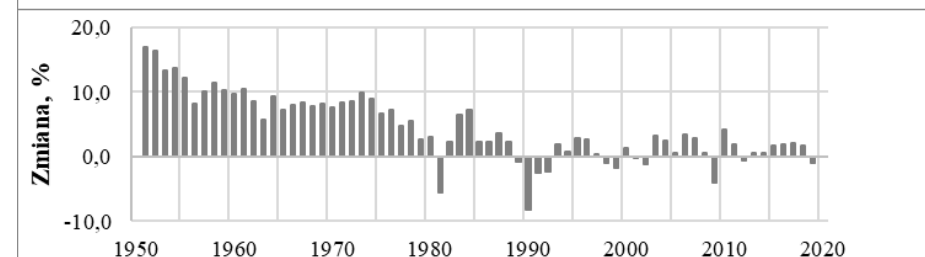
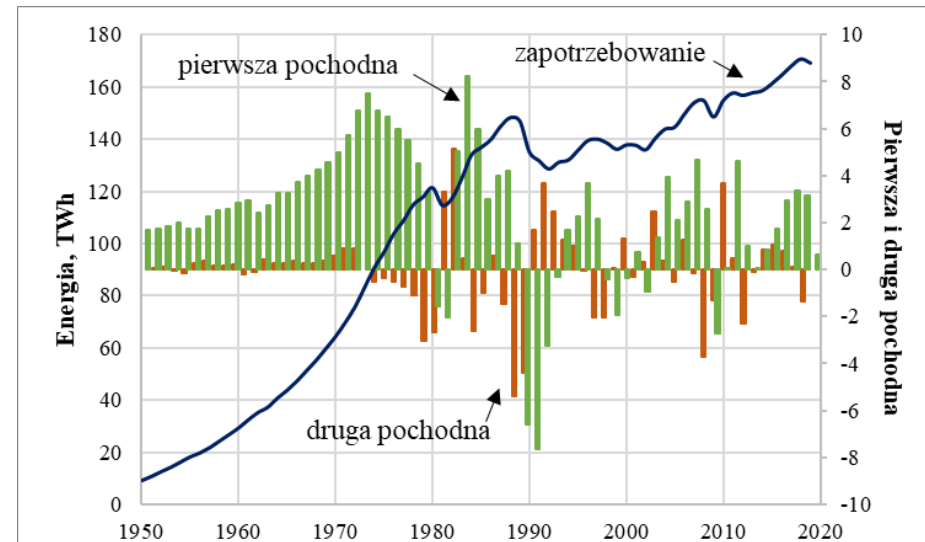
**okres III RP** - początkowo gwałtowny spadek zapotrzebowania (aż do roku 1993), następnie znacznie mniej uporządkowany, bo podlegający częściowo wpływowi rynku, okres wolnego wzrostu zapotrzebowania

## Analiza pochodnych

**Pierwsza pochodna** - roczna zmiana mocy w wartościach bezwzględnych (TWh/r)

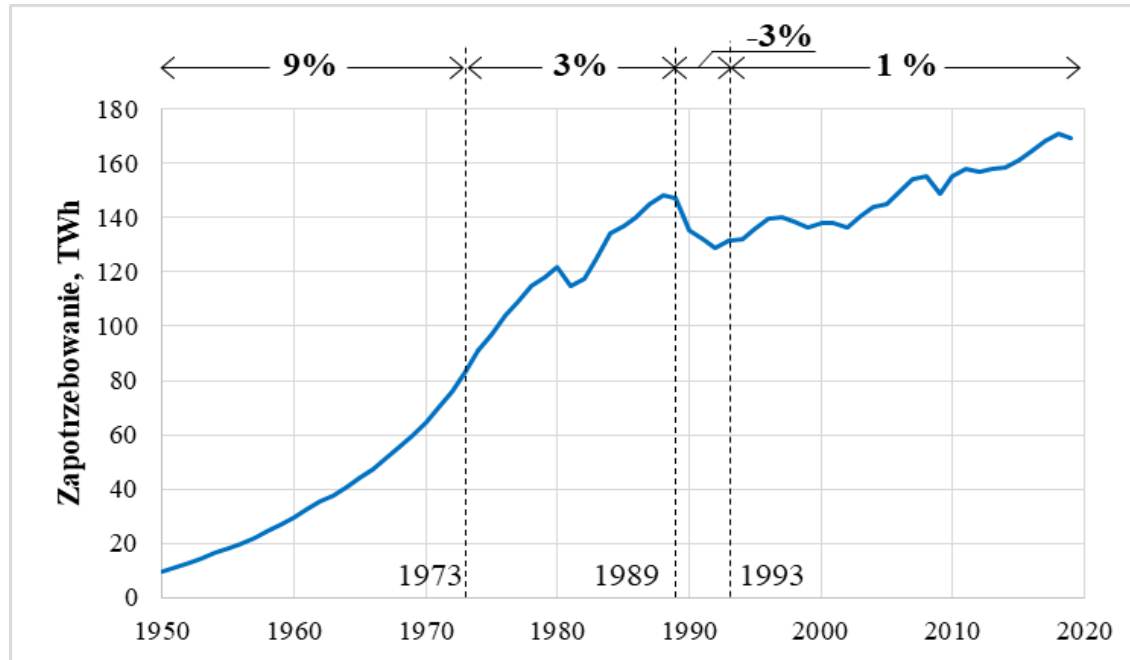
**Druga pochodna** - określa wypukłość funkcji, tendencję utrzymania wzrostu (w przypadku dodatniej wartości) oraz tendencję do stagnacji, wysycenia się rynku (w przypadku ujemnych wartości)

To również odpowiednik „zrywu” w kinematyce, czyli szybkości zmian. Im druga pochodna ma mniejszą wartość i im jej bezwzględne zmiany rok do roku są mniejsze, tym rynek jest bardziej kontrolowany ( $\text{TWh}/\text{r}^2$ )



## Zmiana zapotrzebowania (procent składany)

obliczony na podstawie odcinkowej aproksymacji funkcją eksponencjalną



**Cztery charakterystyczne okresy** - wybrane na podstawie analizy pierwszej i drugiej pochodnej

Rzeczywiste zapotrzebowanie po roku 1993 stanowi początek okresu, dla którego określa się trajektorię transformacyjną.

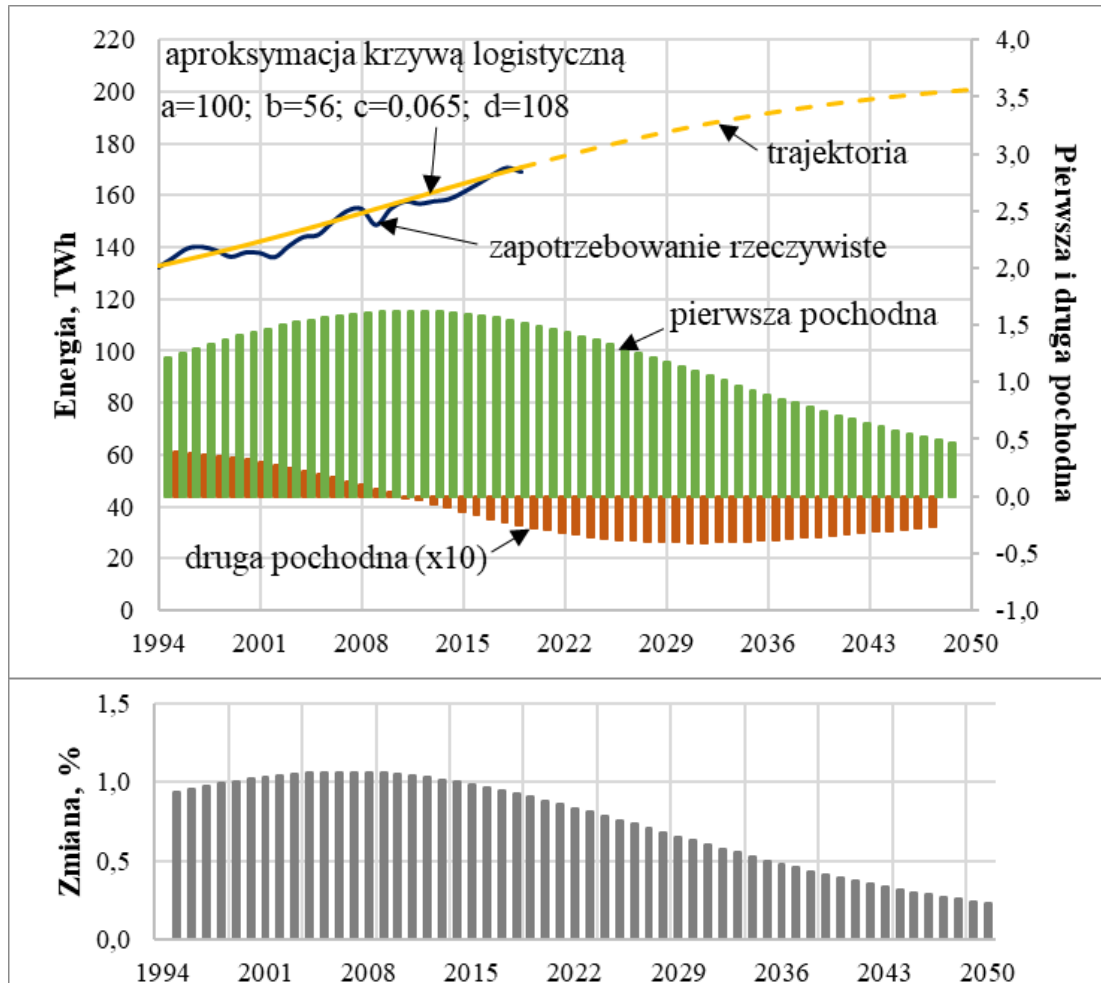
Cel elektroprosumeryzm - 200 TWh w roku 2050.

## Aproksymacji zapotrzebowania krzywą logistyczną (do 2019 r)

### Wyznaczenie trajektorii

powiązanie z czterema rynkami elektroprosumeryzmu, a w szczególności pasywizacją budownictwa, elektryfikacją ciepłownictwa oraz transportu.

Uwzględnione jedynie w sposób jakościowy, a nie ilościowy oraz przy założeniu, że znana jest końcowa wartość zapotrzebowania



## Charakterystyka osłon kontrolnych OK(JST) w kontekście podziału administracyjnego

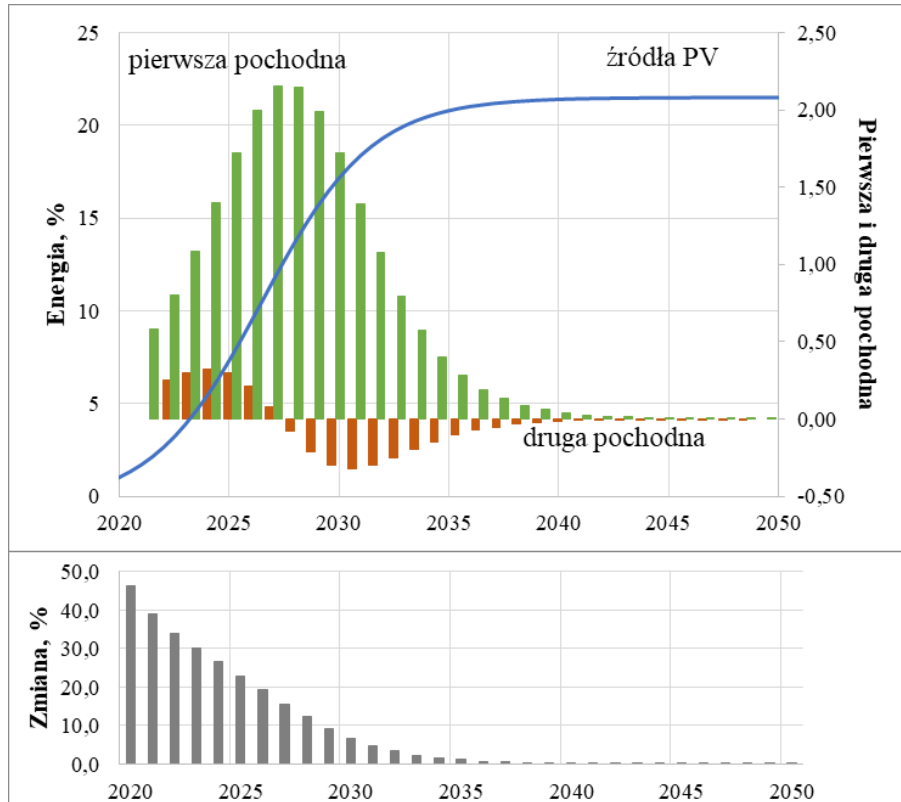
	Osłony	Mieszkańcy, mln	Zapotrzebowanie		Horyzont elektroprosumeryzmu
			TWh	%	
Miasta powyżej 500 tys.	OK(JST5), OK(JST6)	4,4	21	11	2050
Miasta 100 do 500 tys.	OK(JST4)	6,4	26	16	2050
Miasta 50 do 100 tys.	OK(JST3)	3,5	16	9	2045
Gminy miejsko-wiejskie do 50 tys.	OK(JST1), OK(JST2)	13,2	62	34	2040
Gminy wiejskie	OK(JST1), OK(JST2)	11	51	29	2035

## Struktura źródeł wytwórczych dla wybranych osłon OK(JST)

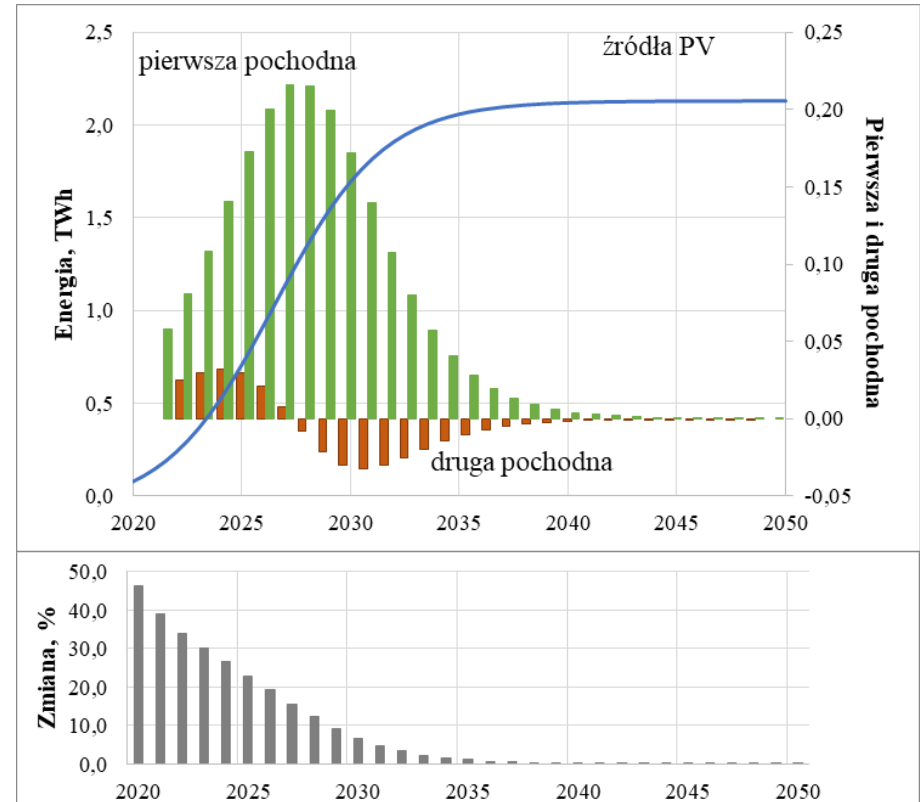
	Osłona Kontrolna			
	OK(JST1)	OK(JST2)	OK(JST3)	OK(JST6)
	Względna produkcja energii $E^*$ , %			
źródła PV	40	40	32	20
mikroelektrownie wiatrowe	5	5	0	2
elektrownie wiatrowe	0	25	38	18
mikroelektrownie biogazowe	55	10	5	0
elektrownie biogazowe	0	20	25	5
mineralizacja (GOZ)	0	0	0	5
elektrownie wiatrowe offshore	0	0	0	38

## Trajektoria transformacyjna źródeł PV

jednostki względne



jednostki bezwzględne (energia)



## Pierwsza pochodna

**wartości względne** - punkty procentowe rocznej zmiany energii względnej

**wartości bezwzględne** - roczna zmiana energii

Dobór parametrów krzywej logistycznej dla każdej technologii uwzględniał stan początkowy (rok 2019), aktualny stan rozwoju technologii, koszt technologii, obecną tendencję w instalacji źródeł, potrzebę wdrożenia, oraz końcową wartość w horyzoncie transformacji dla każdej osłony kontrolnej

**źródła PV** – technologia skomercjalizowana, z dużą dynamiką wzrostu produkowanej energii i krótkim czasem osiągnięcia wartości docelowej

**mikroelektrownie wiatrowe** – technologia skomercjalizowana, ale droga wymagająca kolejnych generacji w celu obniżenia kosztów

**elektrownie wiatrowe** – technologia skomercjalizowana, najtańsza, jednak obecnie w Polsce blokowany jest jej rozwój, dlatego pomimo dużego potencjału rozwojowego założono, mniejszy przyrost w początkowym okresie, z maksimum przypadającym na lata 2030-2040

**mikroelektrownie biogazowe** – technologia w pierwszej fazie komercjalizacji i dużym kosztem produkcji energii elektrycznej, jednak z bardzo dużym potencjałem wdrożenia w szczególności na obszarach wiejskich z powodu możliwości bilansowania. Z tego powodu założono szybki rozwój technologii

## Krzywe transformacyjne technologii

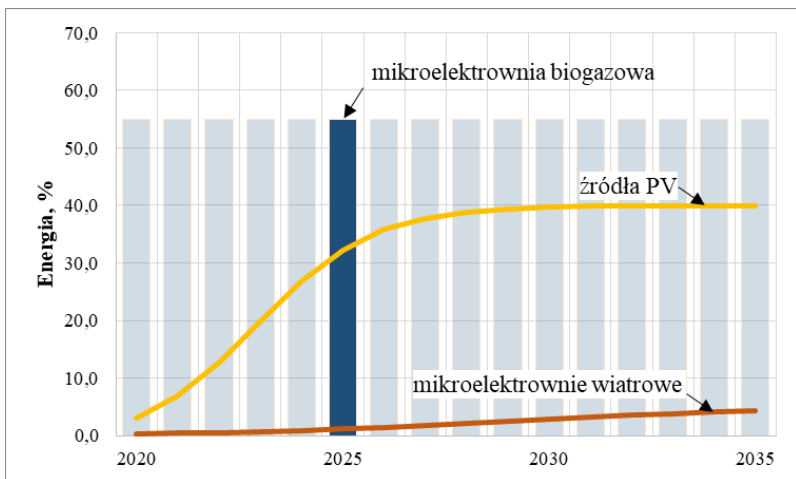
Dobór parametrów krzywej logistycznej dla każdej technologii uwzględniał stan początkowy (rok 2019), aktualny stan rozwoju technologii, koszt technologii, obecną tendencję w instalacji źródeł, potrzebę wdrożenia, oraz końcową wartość w horyzoncie transformacji dla każdej osłony kontrolnej

**elektrownie biogazowe** – technologia skomercjalizowana charakteryzująca się wysokim kosztem produkcji energii, ale ze względu na gwałtowny wzrost potrzeb lokalnego bilansowania założono jej szybki rozwój

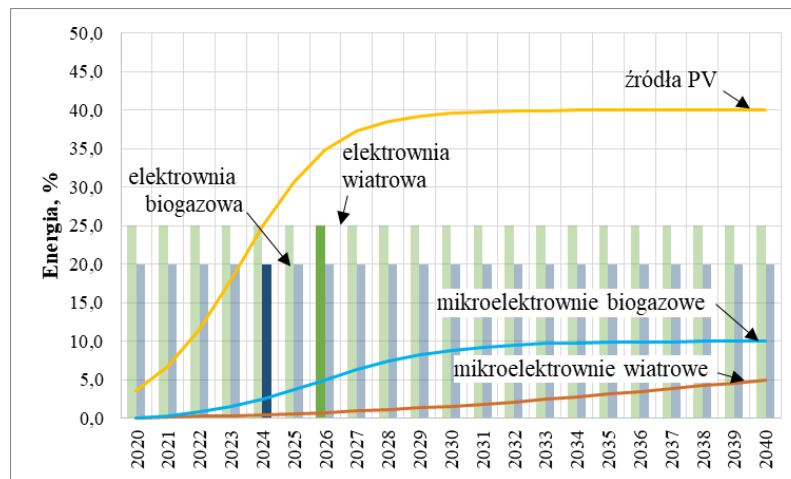
**mineralizacja (GOZ)** – technologia w początkowej fazie komercjalizacji, jednak z bardzo dużym potencjałem wdrożenia, ze względu na potrzebę utylizacji odpadów i krótkim czasem zwrotu inwestycji. Założono szybki wzrost i stosunkowo szybkie osiągnięcie wartości docelowej (ograniczona dostępność odpadów)

**elektrownie offshore** – założono, że pierwsze morskie elektrownie wiatrowe powstaną dopiero w roku 2027. Po tym okresie ich rozwój będzie szybki

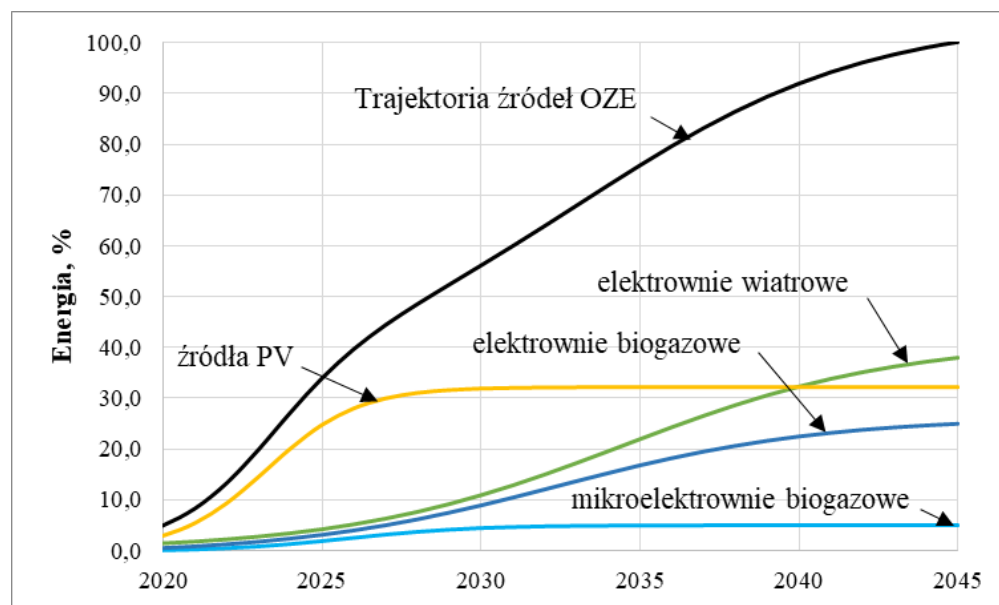
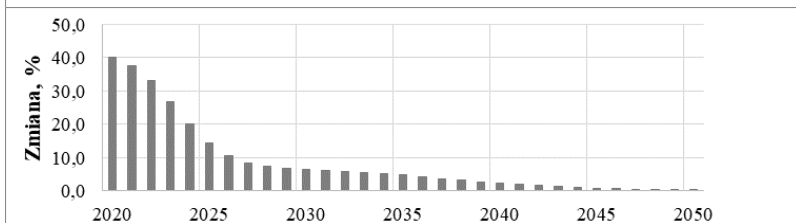
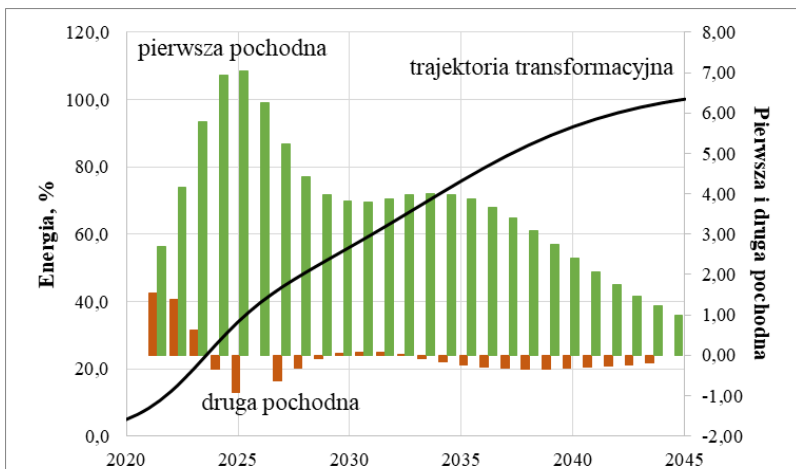
## Ośłona OK(JST1)



## Ośłona OK(JST2)

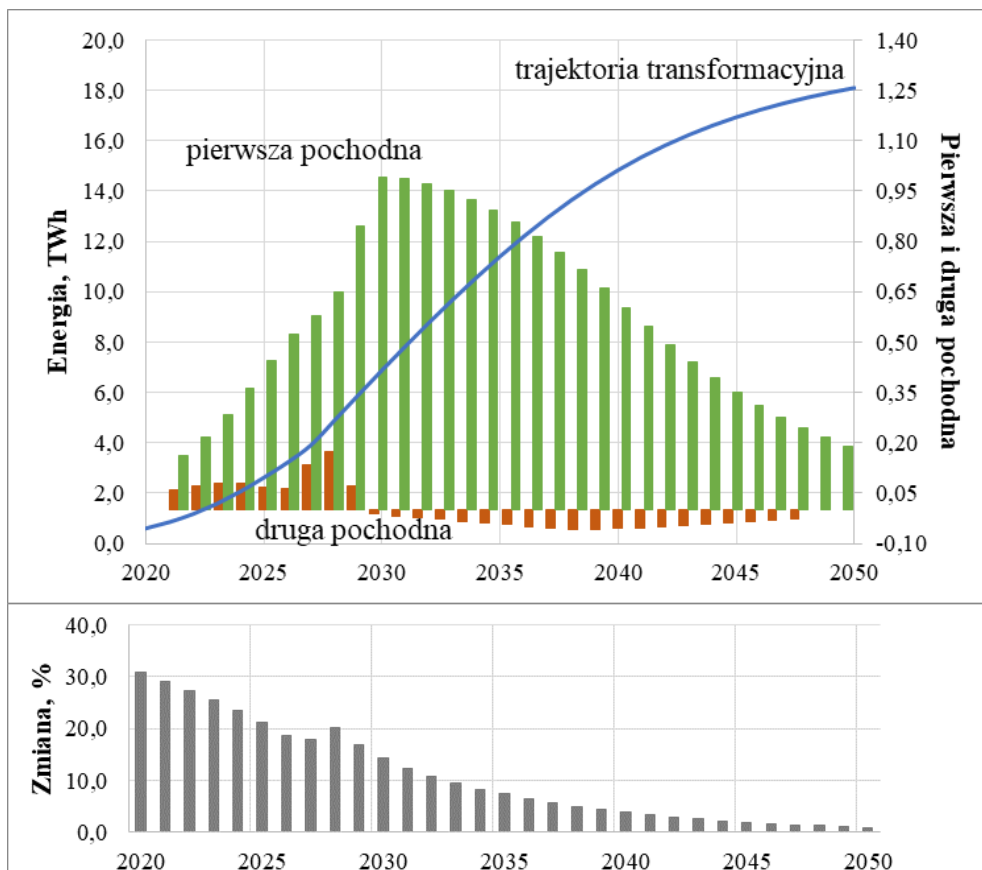


## Ośłona OK(JST3)

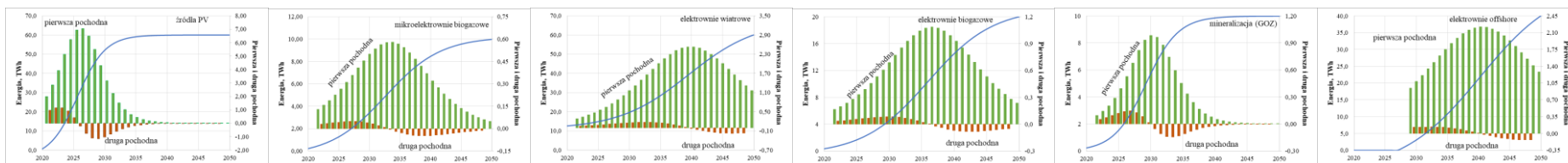


# Trajektorie transformacyjne osłon kontrolnych OK(JST)

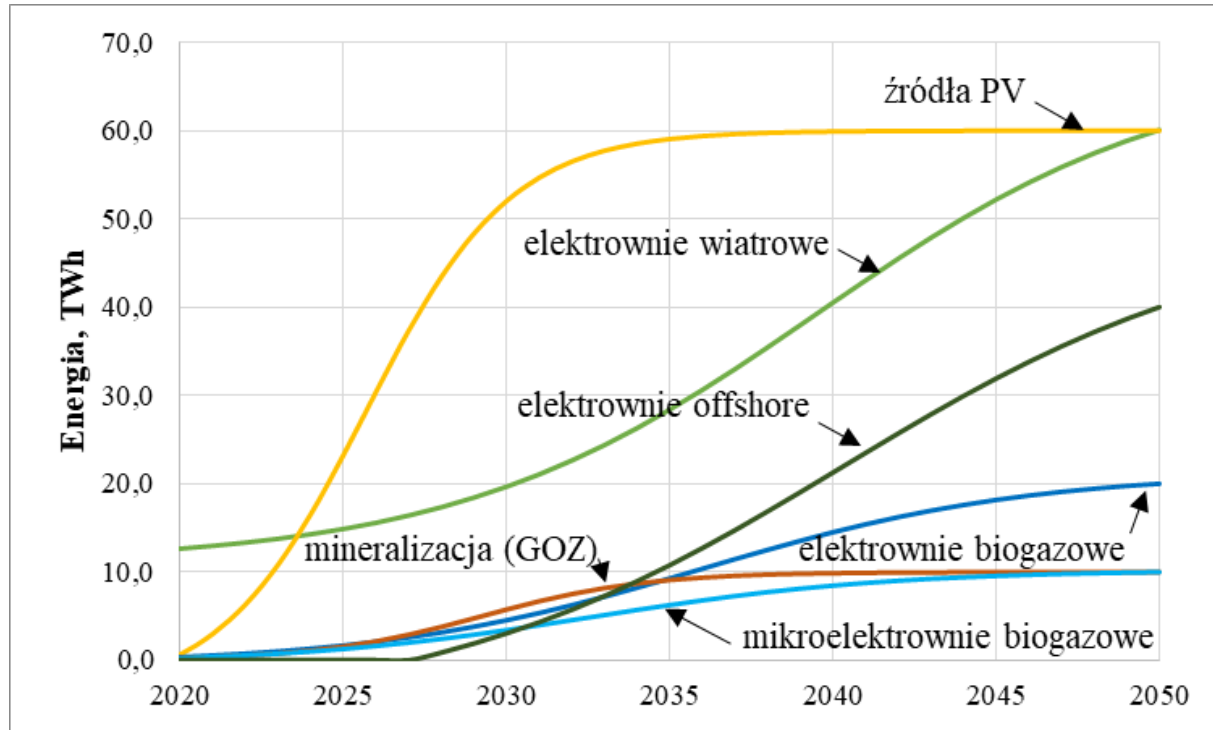
## Ośłona OK(JST6) - miasta powyżej 500 tys. mieszkańców



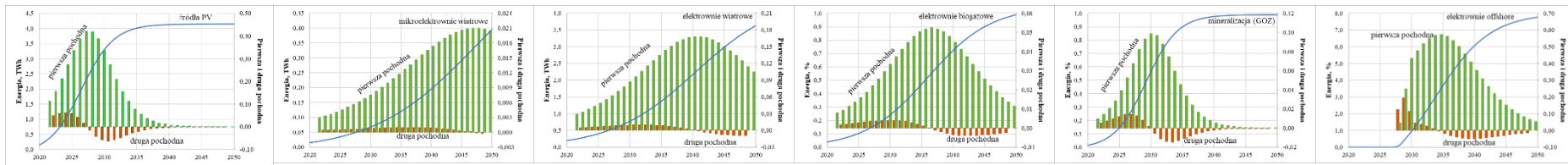
## Trajektorie transformacyjne poszczególnych technologii



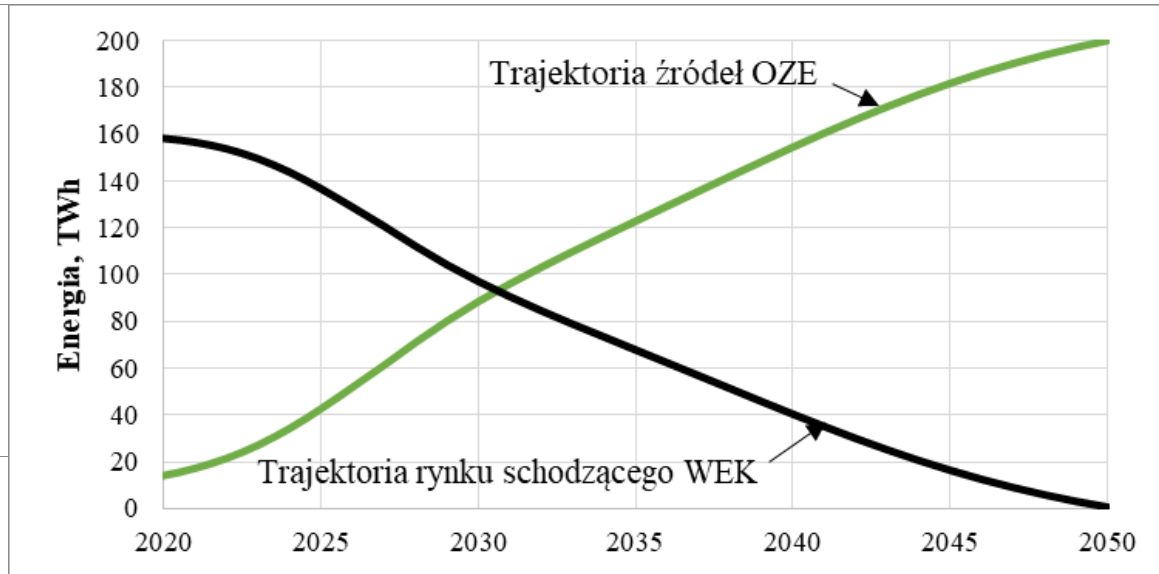
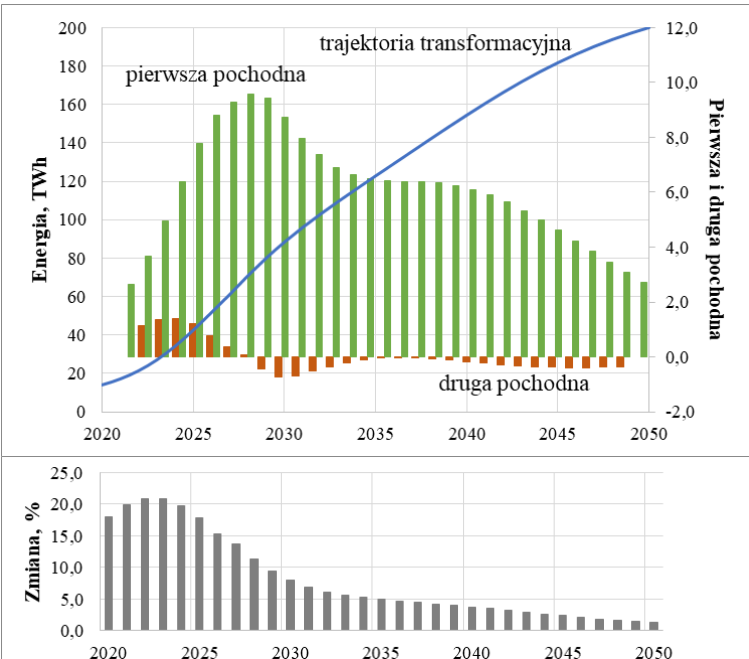
## Trajektorie transformacyjne źródeł OZE



## Trajektorie technologii



## Trajektoria rynku schodzącego WEK



W roku 2030 udział wschodzących rynków elektroprosumeryzmu powinien przekroczyć 50 %

**Dalszy etap badań to określenie rocznych kosztów transformacyjnych na podstawie trajektorii transformacyjnych**