

X Konferencja Naukowo-Techniczna
„Generacja rozproszona i straty energii elektrycznej
w sieciach elektroenergetycznych”

Wisła, 29 – 30 marca 2023 r.

Elżbieta Niewiedział, Ryszard Niewiedział

Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej

**ANALIZA STATYSTYCZNA
STRAT ENERGII ELEKTRYCZNEJ
W KRAJOWYM SYSTEMIE
ELEKTROENERGETYCZNYM**

ŚWIATOWE TENDENCJE ROZWOJU ENERGETYKI

Ograniczenie zużycia
energii pierwotnej

Zmniejszenie ingerencji
energetyki na środowisko

Zmniejszenie zużycia
wszystkich postaci energii
wykorzystywanych przez
odbiorców,
bez ograniczania ich potrzeb

Osiągnięcie poziomu
oszczędności energii
wymaganego przez Unię
Europejską

Wzrost efektywności energetycznej na wszystkich
poziomach użytkowania energii elektrycznej

POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI DO 2040 ROKU

CEL

KIERUNKI ROZWOJU

STRATEGIA

CEL – Bezpieczeństwo energetyczne

Zapewnienie konkurencyjności gospodarki, efektywności energetycznej i zmniejszenia oddziaływania sektora energii na środowisko przy uwzględnieniu optymalnego wykorzystania własnych zasobów energetycznych.

KIERUNKI ROZWOJU

dokument *Kierunki Rozwoju Innowacji Energetycznych*

Nowoczesne technologie i innowacje stanowią dziś kluczowy element rozwoju energetyki. Z jednej strony są one gwarancją bezpieczeństwa energetycznego, z drugiej warunkiem koniecznym dla wzrostu konkurencyjności sektora, pozwalając równolegle na sprostanie wielowymiarowym wyzwaniom na poziomie krajowym, europejskim i globalnym.



POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI DO 2040 ROKU

STRATEGIA na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju z obszaru „ENERGIA”.

Kierunek 1: Optymalne wykorzystanie własnych surowców energetycznych;

Kierunek 2: Rozbudowa infrastruktury wytwórczej i sieciowej energii elektrycznej;

Kierunek 3: Dywersyfikacja dostaw i rozbudowa infrastruktury;

Kierunek 4: Rozwój rynków energii;

Kierunek 5: Wdrożenie energetyki jądrowej;

Kierunek 6: Rozwój odnawialnych źródeł energii;

Kierunek 7: Rozwój ciepłownictwa i kogeneracji;

Kierunek 8: Poprawa efektywności energetycznej gospodarki.

ELEKTROENERGETYKA

System elektroenergetyczny – sektory:

Wytwarzania → Transportu (sieci) → Obrotu

Podstawowe zadanie całego systemu

*Gwarancje Bezpieczeństwa Energetycznego
Odbiorców*

Sieci elektroenergetyczne



*niezawodne dostawy energii elektrycznej odbiorcom
w określonym czasie w potrzebnej ilości
przy dostępnej dla niego cenie.*

**GWARANCJE
BEZPIECZEŃSTWA ELEKTROENERGETYCZNEGO
ODBIORCÓW**



Zbilansowanie

*zapotrzebowania energii elektrycznej przez odbiorców
z energią wytwarzaną w źródłach wytwórczych
czyli zamknięcie bilansu energii elektrycznej*

STRATY ENERGII ELEKTRYCZNEJ

czyli Straty i różnice bilansowe



inaczej

*Potrzeby własne sieci elektroenergetycznych
lub*

Składnik bilansu energii elektrycznej

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA

Wzrost efektywności energetycznej jest jednym z trzech filarów polityki energetycznej Unii Europejskiej

USTAWA o EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

Wersja zaktualizowana 06.11.2019 r.

Rozdział 4

Zasady realizacji obowiązku uzyskania oszczędności energii

Art. 17.

- 4) odzysk energii w procesach przemysłowych;
- 5) ograniczenie:
 - a) przepływów mocy biernej,
 - b) strat sieciowych w ciągach liniowych,
 - c) strat w transformatorach;
- 6) stosowanie do ogrzewania lub chłodzenia obiektów energii wytwarzanej we własnych lub przyłączonych do sieci odnawialnych źródłach energii, ciepła użytkowego w kogeneracji, lub ciepła odpadowego z instalacji przemysłowych.

Analiza strat energii elektrycznej w polskich sieciach energetycznych

Podstawowe wielkości

Wskaźnik strat i różnic bilansowych $\Delta E_{\%}$ czyli stosunek strat i różnic bilansowych do energii wprowadzonej do sieci

$$\Delta E_{\%} = \frac{\Delta E}{E_{wp}} \cdot 100$$

gdzie:

ΔE – straty i różnice bilansowe w sieci na danym napięciu napięcia; wartości strat energii podawane są w rocznikach Statystyka Elektroenergetyki Polskiej

E_{wp} – energia elektryczna wprowadzona do sieci na danym poziomie napięcia.

Wskaźniki określające zmiany analizowanych strat energii i różnic bilansowych w latach 2000 – 2021

Średnioroczne zmiany α wielkości X w okresach ΔT 2021-2000 / 2015-2000 / 2021-2015 / 2021-2020

$$\alpha_{\Delta T} = \left(\sqrt[\Delta T]{\frac{X_{T2}}{X_{T1}}} - 1 \right) \cdot 100\%$$

Względne wartości wielkości X odniesione do roku 2000(2002)

$$w_{1k} = \frac{E_{wp_k}}{E_{wp_2000}}$$

$$w_{2k} = \frac{\Delta E_k}{\Delta E_{2002}}$$

$$w_{3k} = \frac{\Delta E_{\%_k}}{\Delta E_{\%_2002}}$$

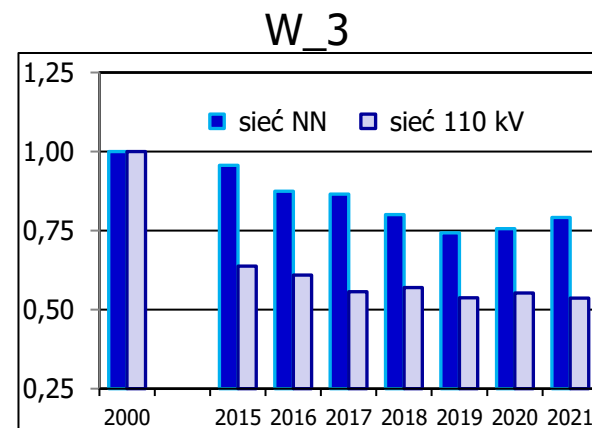
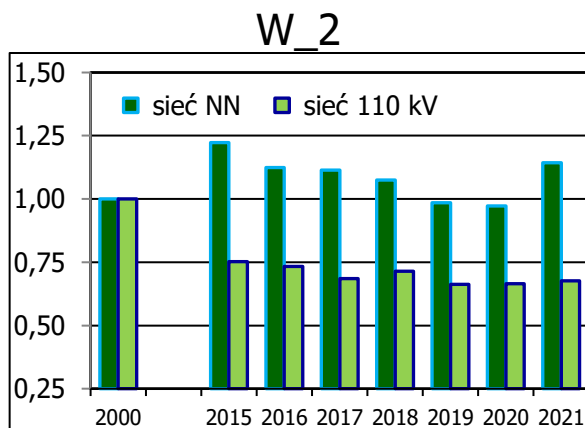
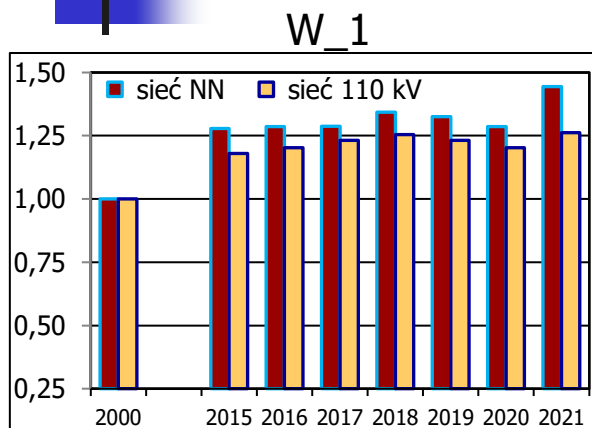
Straty i różnice bilansowe energii elektrycznej w sieciach KSE - 400 i 220 kV KSE

Rok	E_{wp} [GWh]	ΔE [GWh]	$\Delta E_{\%}$	W_1	W_2	W_3
2000	79 866	1 499	1,85	1,00	1,00	1,00
2015	103 464	1 833	1,77	1,28	1,22	0,96
2016	104 038	1 685	1,62	1,29	1,12	0,87
2017	104 197	1 669	1,60	1,29	1,11	0,86
2018	108 701	1 611	1,48	1,34	1,07	0,80
2019	107 216	1 476	1,38	1,32	0,98	0,74
2020	104 097	1 458	1,40	1,29	0,97	0,76
2021	116 866	1 713	1,47	1,44	1,14	0,79

Straty i różnice bilansowe energii elektrycznej w sieciach KSE - 110 kV

Rok	E_{wp} [GWh]	ΔE [GWh]	$\Delta E_{\%}$	W_1	W_2	W_3
2000	112 721	2 739	2,43	1,00	1,00	1,00
2015	132 931	2 061	1,55	1,18	0,75	0,64
2016	135 580	2 008	1,48	1,20	0,73	0,61
2017	138 760	1 876	1,35	1,23	0,68	0,56
2018	141 316	1 956	1,38	1,25	0,71	0,57
2019	138 828	1 813	1,31	1,23	0,66	0,54
2020	135 587	1 821	1,34	1,20	0,66	0,55
2021	142 188	1 854	1,30	1,26	0,68	0,54

Średnioroczne zmiany α [%] energii wprowadzonej do sieci i procentowego wskaźnika strat w sieciach NN i 110 kV



Przedział czasu	Średnioroczne zmiany α [%]					
	Sieć NN			Sieć 110 kV		
	E_{wp}	ΔE	$\Delta E_{\%}$	E_{wp}	ΔE	$\Delta E_{\%}$
2015/2000	1,65	1,35	-0,30	1,11	-1,88	-2,95
2021/2000	1,77	0,64	-1,11	1,11	-1,84	-2,92
2021/2015	2,05	-1,12	-3,11	1,13	-1,75	-2,84
2021/2020	12,27	17,49	4,65	4,87	1,81	-2,91

SIECI NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ NN (400 i 220 kV)

Podsumowanie zmian w latach 2000 - 2021

⇒ Najwyższy względny wzrost ilości energii wprowadzonej do sieci NN w stosunku do sieci pozostałych poziomów napięć

NN → **1,44** 110kV → 1,26 SN → 1,37 nN → 1,18

⇒ Dynamiczne zmiany w roku 2021 w stosunku do roku 2020 w porównaniu do zmian w okresie 2021 -2020

E_{wp} → $\alpha_{2021-2000} = 1,77\%$ przy $\alpha_{2021-2020} = 12,27\%$

ΔE → $\alpha_{2021-2000} = 0,64\%$ przy $\alpha_{2021-2020} = 17,49\%$

$\Delta E_{\%}$ → $\alpha_{2021-2000} = -1,11\%$ przy $\alpha_{2021-2020} = 4,65\%$

SIECI WYSOKICH NAPIĘĆ 110 kV

Podsumowanie zmian w latach 2000 - 2021

⇒ Wyrównany wzrost ilości energii wprowadzonej w sieci 110 kV, co odzwierciedlają średnioroczne wskaźniki przyrostu

$$\alpha = \text{około } 1\%$$

⇒ podobnie jak w sieci NN znaczący wzrost ilości energii wprowadzonej w ostatnim roku

$$\alpha_{2021-2020} = 4,87\%$$

SIECI WYSOKICH NAPIĘĆ 110 kV

Podsumowanie zmian w latach 2000 - 2021

⇒ Znacznie mniejsze zmiany, szczególnie korzystne, wystąpiły w sieciach 110 kV

E_{wp} → $\alpha_{2021-2000} = 1,11\%$ przy $\alpha_{2021-2020} = 4,87\%$

ΔE → $\alpha_{2021-2000} = -1,84\%$ przy $\alpha_{2021-2020} = 1,81\%$

$\Delta E_{\%}$ → $\alpha_{2021-2000} = -2,92\%$ przy $\alpha_{2021-2020} = -2,91\%$

⇒ Znaczące obniżenie wskaźnika strat i różnic bilansowych w całym okresie 2021-2000

$\alpha_{2021-2000} = -2,92\%$ dla $\Delta E_{\%}$ $\alpha_{2021-2000} = -1,84\%$ dla ΔE

przy wzroście strat ΔE o $1,81\%$ w okresie 2021-2020

Straty i różnice bilansowe energii elektrycznej w sieciach średniego napięcia

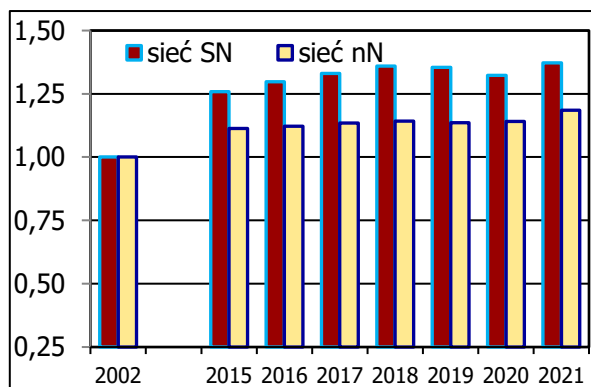
Rok	E_{wp} [GWh]	ΔE [GWh]	$\Delta E_{\%}$	W_1	W_2	W_3
2002	85 880	3 759	4,38	1,00	1,00	1,00
2015	108 016	3 230	2,99	1,26	0,86	0,68
2016	111 428	3 013	2,70	1,30	0,80	0,62
2017	114 255	2 952	2,58	1,33	0,79	0,59
2018	116 773	2 869	2,46	1,36	0,76	0,56
2019	116 286	2 725	2,34	1,35	0,72	0,54
2020	113 586	2 676	2,36	1,32	0,71	0,54
2021	117 782	2 533	2,15	1,37	0,67	0,49

Straty i różnice bilansowe energii elektrycznej w sieciach niskiego napięcia

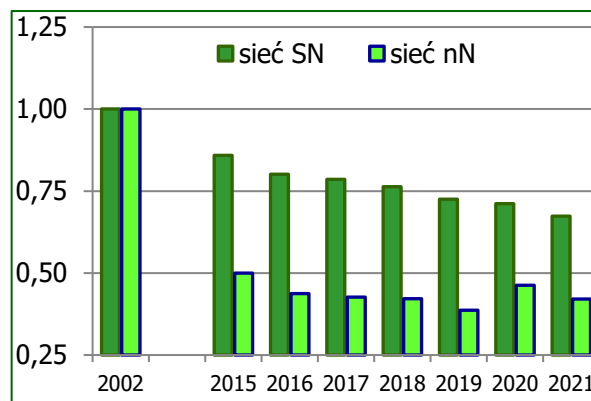
Rok	E_{wp} [GWh]	ΔE [GWh]	$\Delta E_{\%}$	W_1	W_2	W_3
2002	51 896	6 195	11,94	1,00	1,00	1,00
2015	57759	3099	5,37	1,11	0,50	0,45
2016	58239	2711	4,65	1,12	0,44	0,39
2017	58853	2646	4,50	1,13	0,43	0,38
2018	59283	2613	4,41	1,14	0,42	0,37
2019	58963	2396	4,06	1,14	0,39	0,34
2020	59166	2868	4,85	1,14	0,46	0,41
2021	61494	2608	4,24	1,18	0,42	0,36

Średnioroczne zmiany α [%] dla energii wprowadzonej do sieci i procentowego wskaźnika strat w sieciach średniego i niskiego napięcia

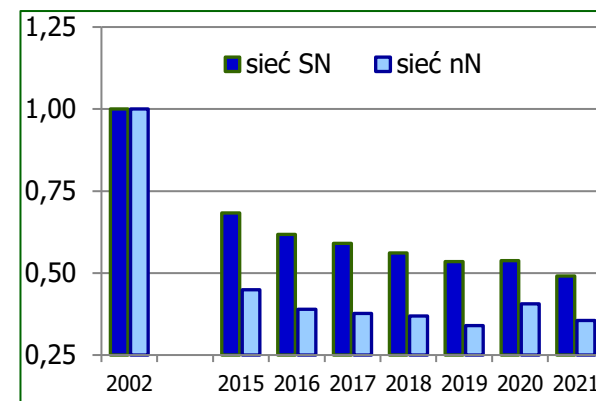
W_1



W_2



W_3



Przedział czasu	Średnioroczne zmiany α [%]					
	Sieć SN			Sieć nN		
	E _{wp}	ΔE	$\Delta E_{\%}$	E _{wp}	ΔE	$\Delta E_{\%}$
2015/2002	1,78	-1,16	-2,89	0,83	-5,19	-5,97
2021/2002	1,68	-2,06	-3,67	0,90	-4,45	-5,30
2021/2015	1,45	-3,97	-5,35	1,05	-2,83	-3,84
2021/2020	3,69	-5,34	-8,72	3,93	-9,07	-12,51

Podsumowanie

SIECI ŚREDNICH NAPIĘĆ

⇒ Średnioroczne przyrosty energii wprowadzonej do sieci SN w całym okresie lat 2021 - 2002

$$\rightarrow \alpha_{2021-2002} = 1,68\%$$

Występuje również znaczny wzrost wprowadzanej energii do sieci w ostatnim roku $\rightarrow \alpha_{2021-2020} = 3,69\%$

⇒ Obserwuje się stałą tendencję w spadku wartości strat i różnic bilansowych ΔE o 33% i wskaźnika $\Delta E_{\%}$ o 51% w całym okresie lat 2021 - 2002 z wyraźnie szybszym ich obniżaniem od roku 2015 – średnioroczne spadki obu wielkości wynoszą odpowiednio:

$$\rightarrow \alpha_{2021-2015} = -3,97\%(\Delta E) / -5,35\% (\Delta E_{\%})$$

$$\rightarrow \alpha_{2021-2020} = -5,34\%(\Delta E) / -8,72\% (\Delta E_{\%})$$

Podsumowanie

SIECI NISKICH NAPIĘĆ

⇒ W okresie lat 2021 – 2022 wystąpił najniższy przyrost energii wprowadzonej do sieci nN w porównaniu z przyrostami w pozostałych sieciach wyższych napięć

$$\Rightarrow \alpha_{2021-2022} = 0,90\%$$

⇒ Analizując poziom strat w sieciach nN widać najwyższy spadek strat w tych w sieciach nN w latach 2021 – 2022 (tak w wartościach strat energii ΔE jak i wskaźnika $\Delta E_{\%}$)

$$\Delta E \text{ o } 58\% \text{ i } \Delta E_{\%} \text{ o } 64\%;$$

natomiast średnioroczne zmiany obu wielkości były równe

$$\Rightarrow \alpha_{2021-2015} = -2,83\% (\Delta E) / -3,84\% (\Delta E_{\%})$$

$$\Rightarrow \alpha_{2021-2020} = -9,07\% (\Delta E) / -12,5\% (\Delta E_{\%})$$

ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Wskaźniki określające zmiany energii wytworzonej z OZE i wprowadzonej do sieci w latach 2002 - 2021

$$w_4 = \frac{E_{wp_OZE}}{E_{wp}} \cdot 1000 \text{ [‰]}$$

$$w_5 = \frac{E_{wp_OZE_k}}{E_{wp_OZE_2002}}$$

Współczynnik korelacji R

y = w₃ zmiany wartości wskaźnika strat ΔE_%

x = w₅ zmiany energii wytworzonej w OZE i wprowadzonej do sieci

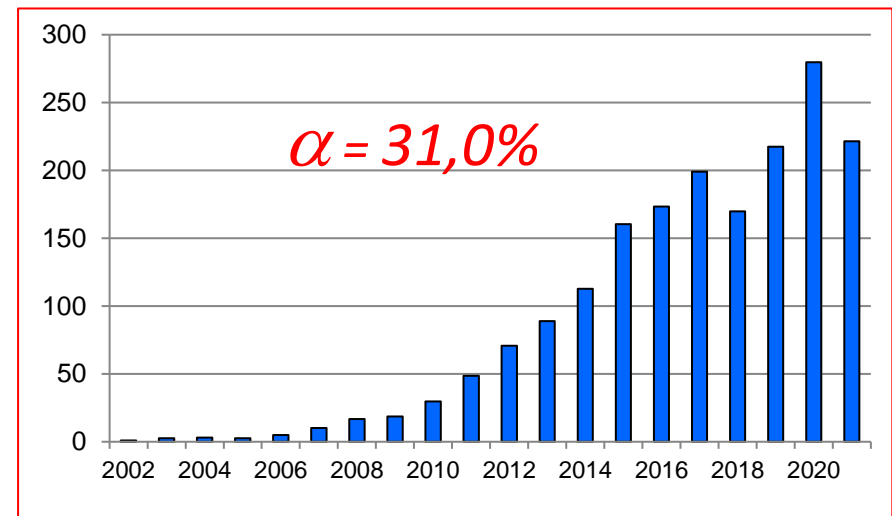
$$R = \frac{Kov(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Sieć 110 kV

udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitej energii elektrycznej dostarczonej do sieci 110 kV wzrósł od 0,4‰ w roku 2002 do 66,9‰ w roku 2021

Rok	E_{wp_OZE} [GWh]	$W_{4_‰}$	W_5
2002	43	0,4	1,0
2005	115	1,0	2,7
2010	1 275	10,0	29,7
2015	6 893	51,9	160,3
2016	7 456	55,0	173,4
2017	8 555	61,7	198,9
2018	7 299	51,6	169,7
2019	9 345	67,3	217,3
2020	12 022	88,7	279,6
2021	9 516	66,9	221,3

$$R = - 0,676$$



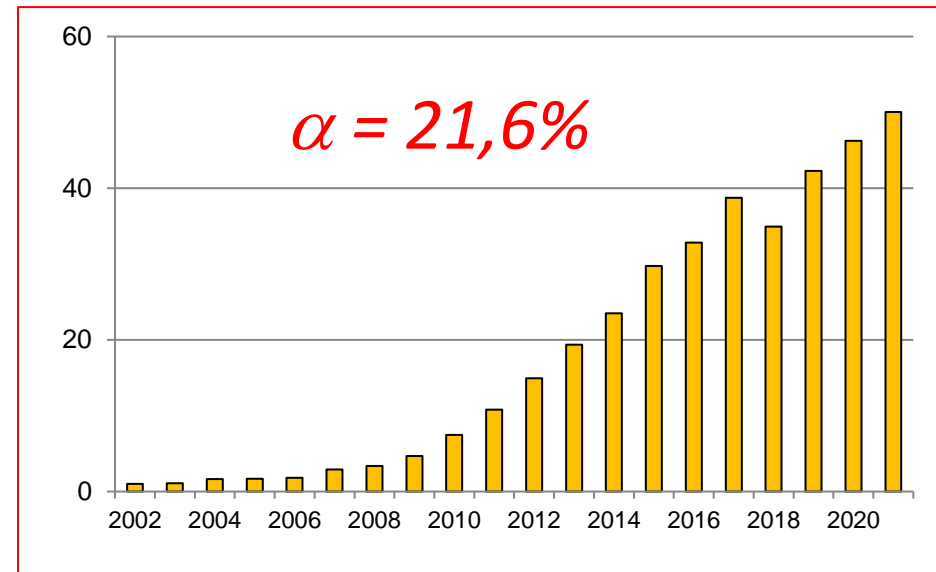
$$W_5 = f(T)$$

Sieć SN

udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitej energii elektrycznej dostarczonej do sieci SN wzrósł od 1,5‰ w roku 2002 do 53,1‰ w roku 2021

Rok	$E_{wp\ OZE}$	$W_4\ ‰$	W_5
2002	125	1,5	1,0
2005	209	2,3	1,7
2010	934	9,1	7,5
2015	3 719	34,4	29,7
2016	4 103	36,8	32,8
2017	4 840	42,4	38,7
2018	4 368	37,4	34,9
2019	5 286	45,4	42,3
2020	5 779	50,9	46,2
2021	6 253	53,1	50,0

$$R = -0,959$$



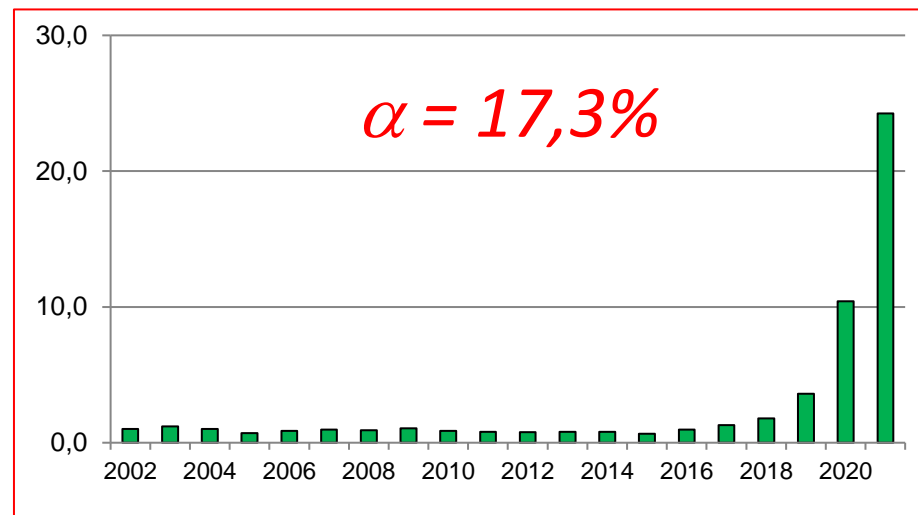
$$W_5 = f(T)$$

Sieć nN

Udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitej energii elektrycznej dostarczonej do sieci nn zmieniał się od 2,2‰ w roku 2002 do 45,4‰ w roku 2021

Rok	E_{wp_OZE}	$W_4 \text{ ‰}$	W_5
2002	115	2,2	1,00
2005	81	1,5	0,70
2010	98	1,7	0,85
2015	74	1,3	0,64
2016	109	1,9	0,95
2017	148	2,5	1,29
2018	204	3,4	1,77
2019	413	7,0	3,59
2020	1 197	20,2	10,4
2021	2 790	45,4	24,8

$$R = - 0,357$$



$$W_5 = f(T)$$

Podsumowanie

wpływu OZE na straty energii i różnice bilansowe

- ⇒ Najwyższy – blisko 280-krotny – przyrost energii dostarczanej z OZE wystąpił w sieci 110 kV w roku 2020; średnioroczny przyrost dla okresu 2021-2002 był równy 37,2%, a maksymalny dla okresu 2015 - 2002 wyniósł 47,8%
- ⇒ Znacznie niższy, ale ponad 50-krotny przyrost energii dostarczanej z OZE wystąpił w sieci SN; średnioroczny przyrost dla okresu 2021-2002 był równy 24,6%, a maksymalny dla okresu 2015-2002 wyniósł 29,8%
- ⇒ Zupełnie nietypowe są analogiczne wartości dla sieci nN; średnioroczny przyrost dla okresu 2021-2002 był równy tylko 7,8%, a maksymalny ok.100% (102,5%) wystąpił w ostatnim roku 2021

Podsumowanie

wpływu OZE na straty energii i różnice bilansowe

⇒ Najsilniejsza współzależność między obniżeniem procentowego wskaźnika strat i różnic bilansowych $\Delta E_{\%}$ w miarę wzrostu ilości energii elektrycznej wprowadzonej z OZE zauważa się dla sieci SN; świadczy o tym bardzo wysoka wartość współczynnika korelacji

$$R = -0,959$$

⇒ Niższą współzależność zauważa się przy analogicznej analizie dla sieci 110 kV – wartość współczynnika korelacji równa jest

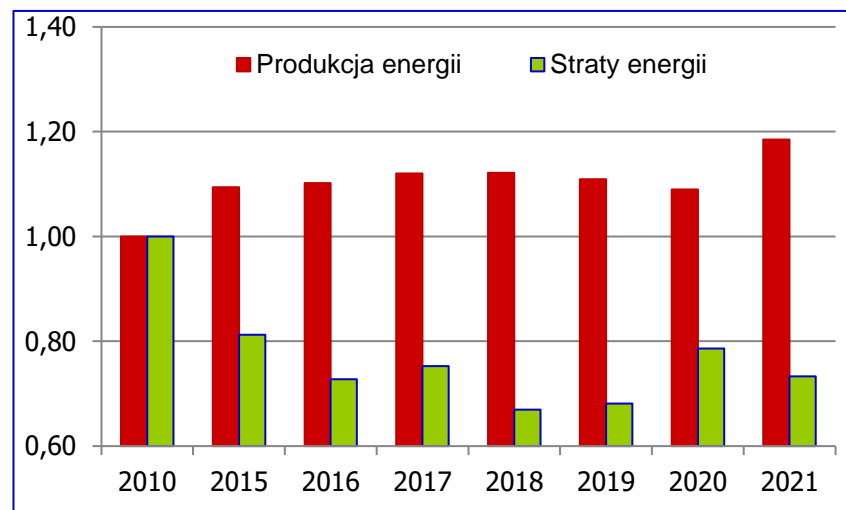
$$R = -0,676$$

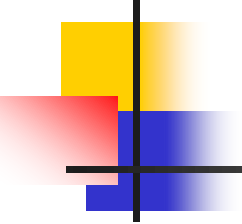
co wskazuje na nieco słabszą współzależność obu wielkości

Produkcja energii E_{prod} w polskich elektrowniach oraz bezwzględne ΔE i procentowe $\Delta E_{\%}$ straty energii w odniesieniu do E_{prod} w latach 2010 ÷ 2021

Rok	Jednostka	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
E_{prod}	TWh	163,97	179,40	180,65	183,74	183,86	181,86	178,67	194,29
ΔE	TWh	11,85	10,53	9,50	10,00	8,89	8,95	10,14	10,29
$\Delta E_{\%}$	%	7,23	5,87	5,26	5,44	4,84	4,92	5,68	5,30

Zmiany produkcji energii E_{prod} w polskich elektrowniach oraz wskaźnika strat energii w polskich sieciach elektroenergetycznych w latach 2010 ÷ 2021





Produkcja E_{prod} w polskich elektrowniach i straty w polskich sieciach elektroenergetycznych w latach 2010 ÷ 2021

- ⇒ Łączne, rzeczywiste straty i różnice bilansowe energii w ciągu 11-tu lat zmalały o **13,2%** przy wzroście produkcji energii na poziomie **18,5%**;
- ⇒ Nieco większe wartości zmian widać w procentowym wskaźniku strat, który zmalał w tym samym czasie o **26,7%** (średniorocznie o **4,7%**);



Produkcja E_{prod} w polskich elektrowniach i straty w polskich sieciach elektroenergetycznych w latach 2010 ÷ 2021

⇒ Zmiana udziału strat energii na poszczególnych poziomach napięć w łącznych stratach kształtują się następująco:

- udział strat w sieciach nN zmalał w ciągu 11-tu lat z blisko 36% na 29%,
- udziały strat w sieciach pozostałych napięć zwiększyły przy czym największy przyrost udziału wystąpił w sieciach NN - wzrost o 22%;
- w sieciach 110 kV i SN przyrost udziału był rzędu kilku procent;



Produkcja E_{prod} w polskich elektrowniach i straty w polskich sieciach elektroenergetycznych w latach 2010 ÷ 2021

⇒ Procentowy wskaźnik strat w ostatnich dwóch latach ma tendencję wzrostową

rok 2018 – 4,84%

rok 2019 – 4,92%

rok 2020 – 5,68%

rok 2021 – 5,30%

⇒ Zmniejszenie sieciowych strat energii skutkuje zwiększeniem efektywności energetycznej procesu przesyłu energii elektrycznej i wywiązywaniem się z wymogów Ustawy o efektywności energetycznej i Unii Europejskiej

OBY NIGDY NIE ZABRAKŁO NAM
ENERGII ELEKTRYCZNEJ
Z POLSKICH ELEKTROWNI



DZIĘKUJĘ BARDZO ZA UWAGĘ