Ograniczanie strat w sieciach nN z aktywną regulacją napięcia i symetryzacją prądów

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Krzemiński
MMB Drives sp. z o.o.

Efekty przyłączania mikroinstalacji do sieci nN

- Zwiększanie napięcia w sieci
- Niesymetryczne prądy fazowe
- **Straty w sieci**
- **Straty w transformatorach**
- Zwiększona moc bierna z powodu $Q=f(\Delta U)$
- Uszkodzenia sprzętu gospodarstwa domowego
- Wyłączenia mikroinstalacji
- Ograniczanie mocy mikroinstalacji
- Zakłócenia komunikacji LTE

Straty minimalne i straty dodatkowe w sieciach nN

Minimalne straty DP_{min} przy przesyle energii siecią trójfazową czteroprzewodową z mocą czynną P i bierną Q=0:

$$\Delta P_{\min} = 3RI_F^2$$

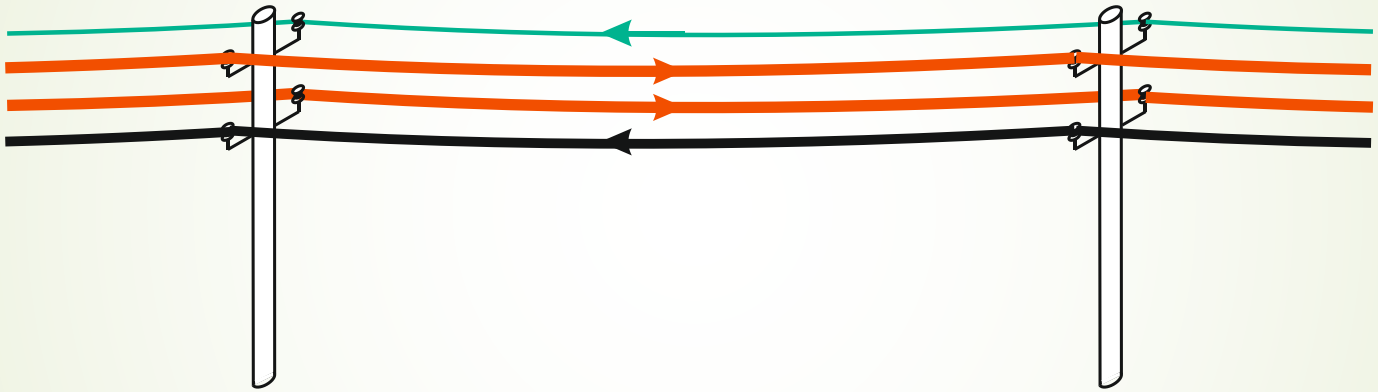
$$I_F = \frac{P}{3U_F}$$

R – rezystancja przewodu fazowego linii

U_F, I_F – napięcie i prąd fazy

Straty w sieci przy niesymetrii prądów fazowych

Sieć



Odbiory

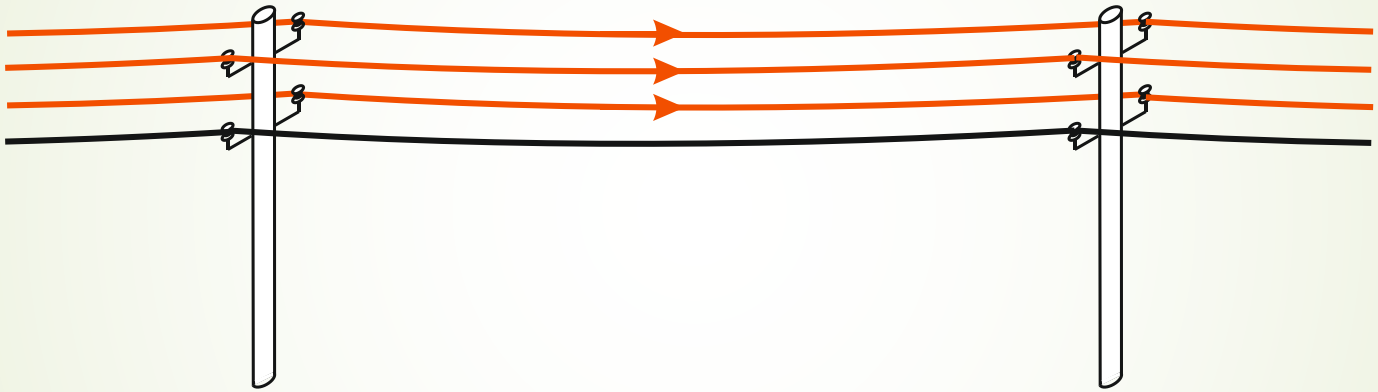
Mikro-instalacje

Rezystancja linii	0,25	Ω
Moc transmtowana	16,1	kW
Prąd w fazie 1	-30,0	A
Prąd w fazie 2	50,0	A
Prąd w fazie 3	50,0	A
Prąd w linii N	80,0	A
Straty całkowite	3075,0	W

Strata napięcia V		Nap.faz. V
R-N	27,5	257,5
S-N	-21,8	208,2
T-N	-21,8	208,2

Straty w sieci przy symetrii prądów fazowych

Sieć



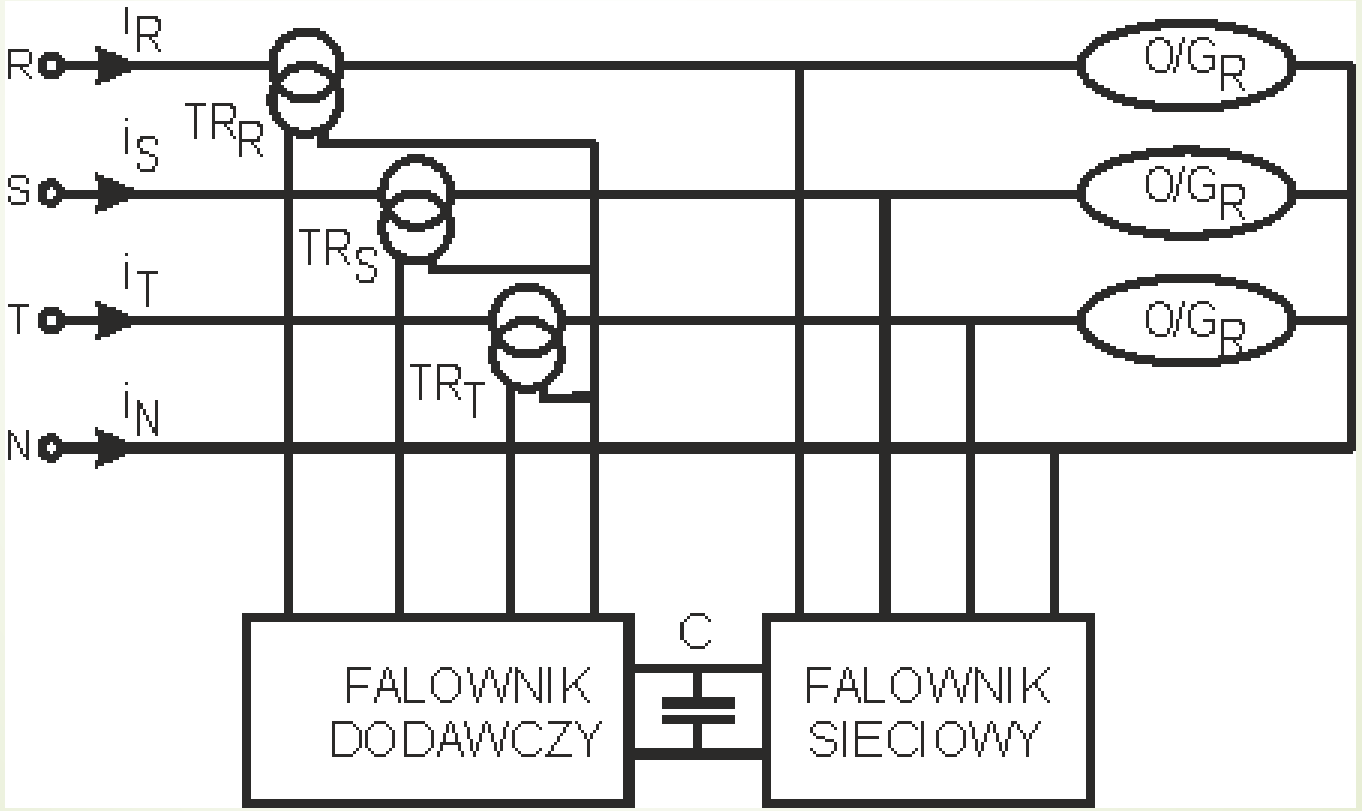
Odbiory

Mikro-instalacje

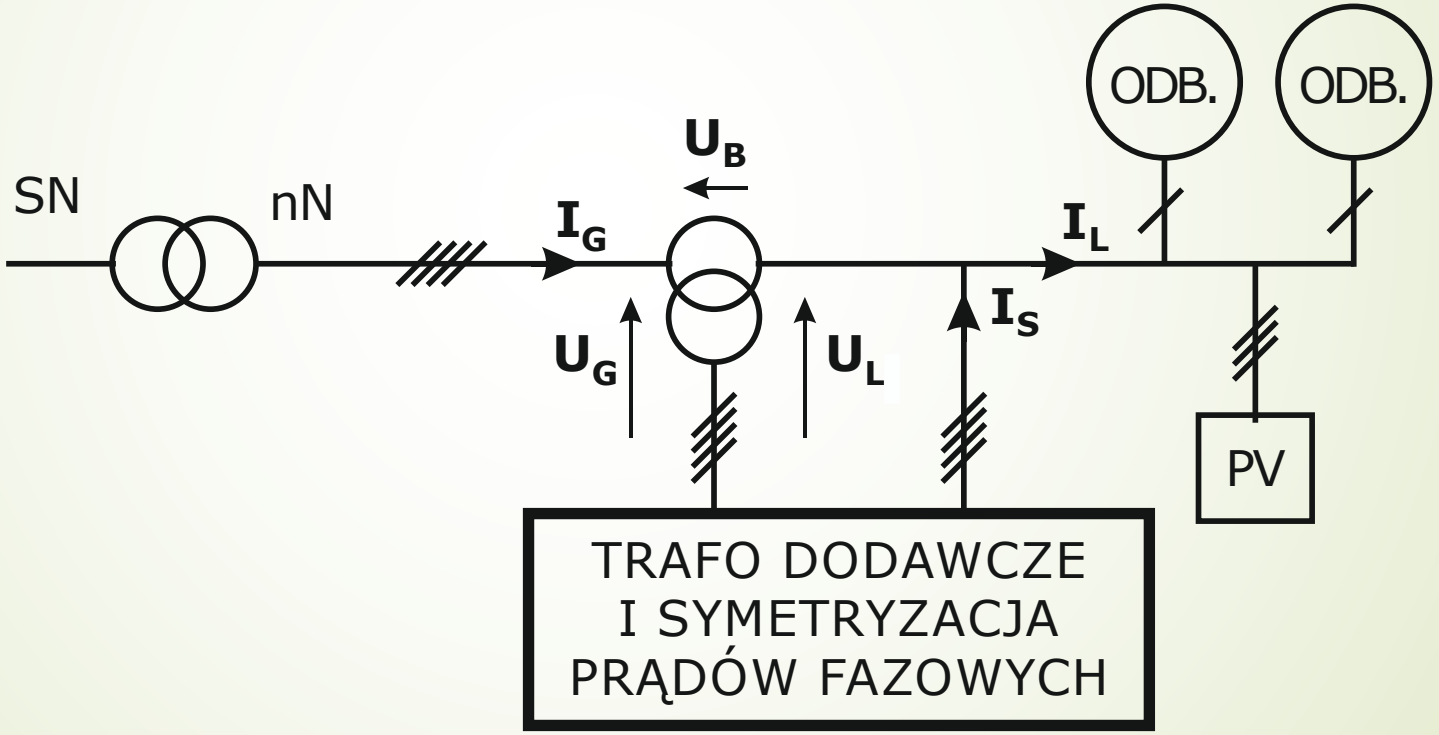
Rezystancja linii	0,25	Ω
Moc transmtowana	16,1	kW
Prąd w fazie 1	23,3	A
Prąd w fazie 2	23,3	A
Prąd w fazie 3	23,3	A
Prąd w linii N	0,0	A
Straty całkowite	408,3	W

Strata napięca V		Nap.faz. V
R-N	-5,8	224,2
S-N	-5,8	224,2
T-N	-5,8	224,2

Regulator napięcia z transformatorami dodawczymi i symetryzacją prądów w sieci



Regulacja napięcia po stronie odbiorów i symetryzacja prądów po stronie sieci



Korzyści z przesyłania energii przy symetrycznych prądach fazowych

- Niskie straty napięcia na końcu linii
- Niskie straty energii w przewodach liniowych
- Niskie straty energii w transformatorze

Obliczanie prądów sieci

Moc przesyłana z sieci

$$\underline{S}_G = \underline{U}_{G1}\underline{I}_{G1}^* + \underline{U}_{G2}\underline{I}_{G2}^* + \underline{U}_{G3}\underline{I}_{G3}^*$$

Symetria

$$\underline{S}_G = 3\underline{U}_{G1}\underline{I}_{G1}^*$$

Moc przekazywana do obciążenia

$$\underline{S}_L = \underline{U}_{L1}\underline{I}_{L1}^* + \underline{U}_{L2}\underline{I}_{L2}^* + \underline{U}_{L3}\underline{I}_{L3}^*$$

Warunki symetryzacji

$$\mathrm{Re}\left(\underline{S}_G\right) = \mathrm{Re}\left(S_L\right) \qquad \mathrm{Im}\left(\underline{S}_G\right) = 0$$

$$\mathrm{Re}\left(\underline{I}_{G1}\right) = \mathrm{Re}\left(\frac{\underline{U}_{L1}\underline{I}_{L1}^* + \underline{U}_{L2}\underline{I}_{L2}^* + \underline{U}_{L3}\underline{I}_{L3}^*}{\underline{U}_{G1} + a\underline{U}_{G2} + a^2\underline{U}_{G3}}\right) \qquad \mathrm{Im}\left(\underline{I}_{G1}\right) = 0$$

Obliczanie prądów sieci

Prądy fazowe sieci

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \\ \underline{I}_{G3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ a^2 \underline{I}_{G1} \\ a \underline{I}_{G1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{S1} \\ \underline{I}_{S2} \\ \underline{I}_{S3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \\ \underline{I}_{G3} \end{bmatrix}$$

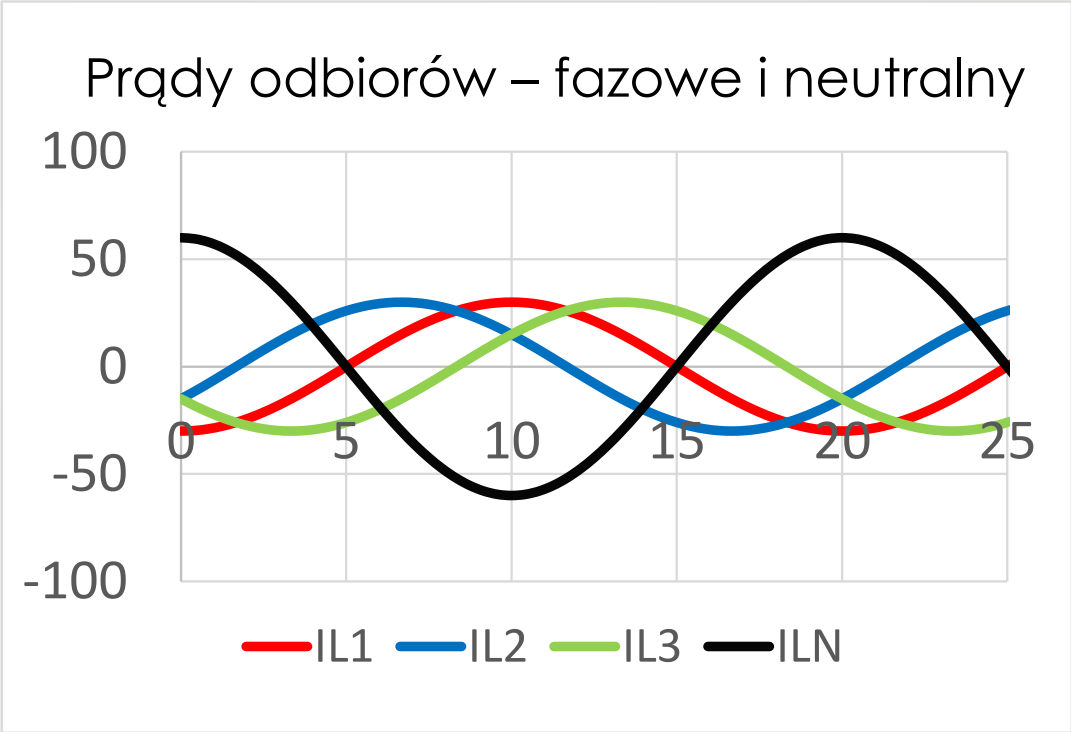
Prąd neutralny sieci

$$\underline{I}_{GN} = 0$$

Prąd neutralny symetryzacji

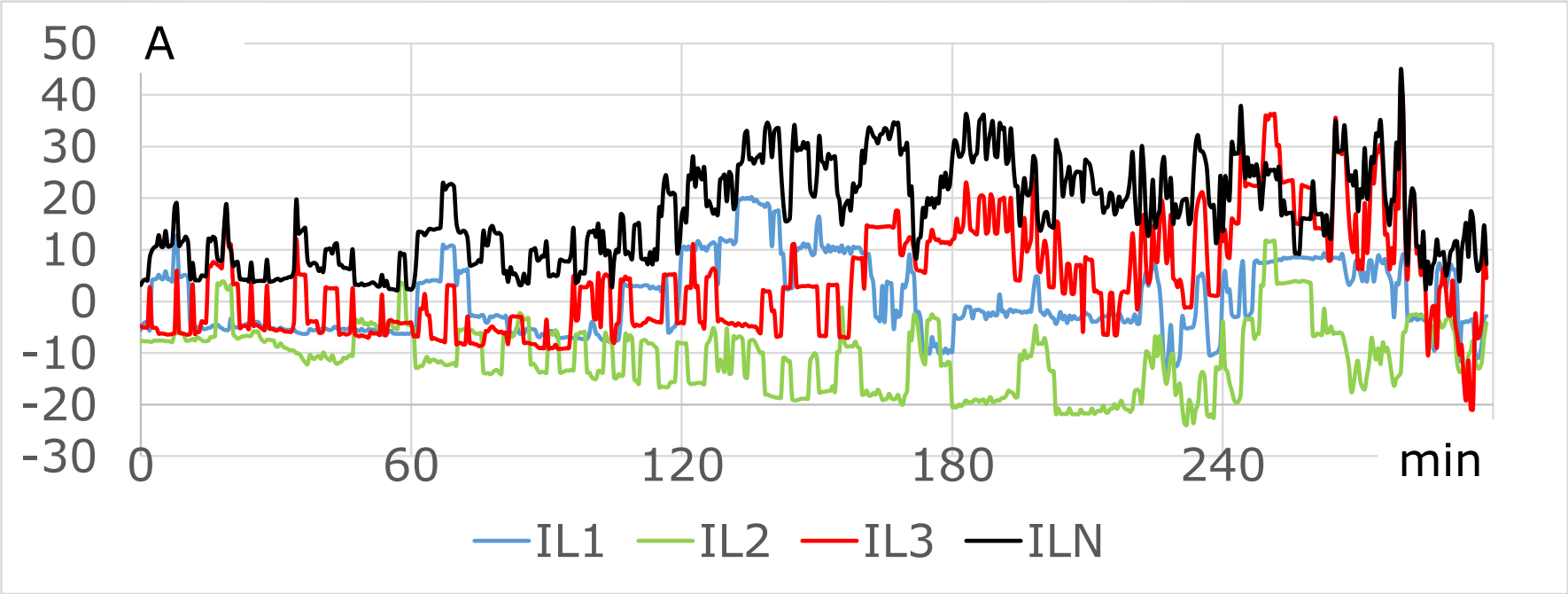
$$\underline{I}_{SN} = -\underline{I}_{S1} - \underline{I}_{S2} - \underline{I}_{S3}$$

Najgorszy przypadek



Generacja w fazie L1

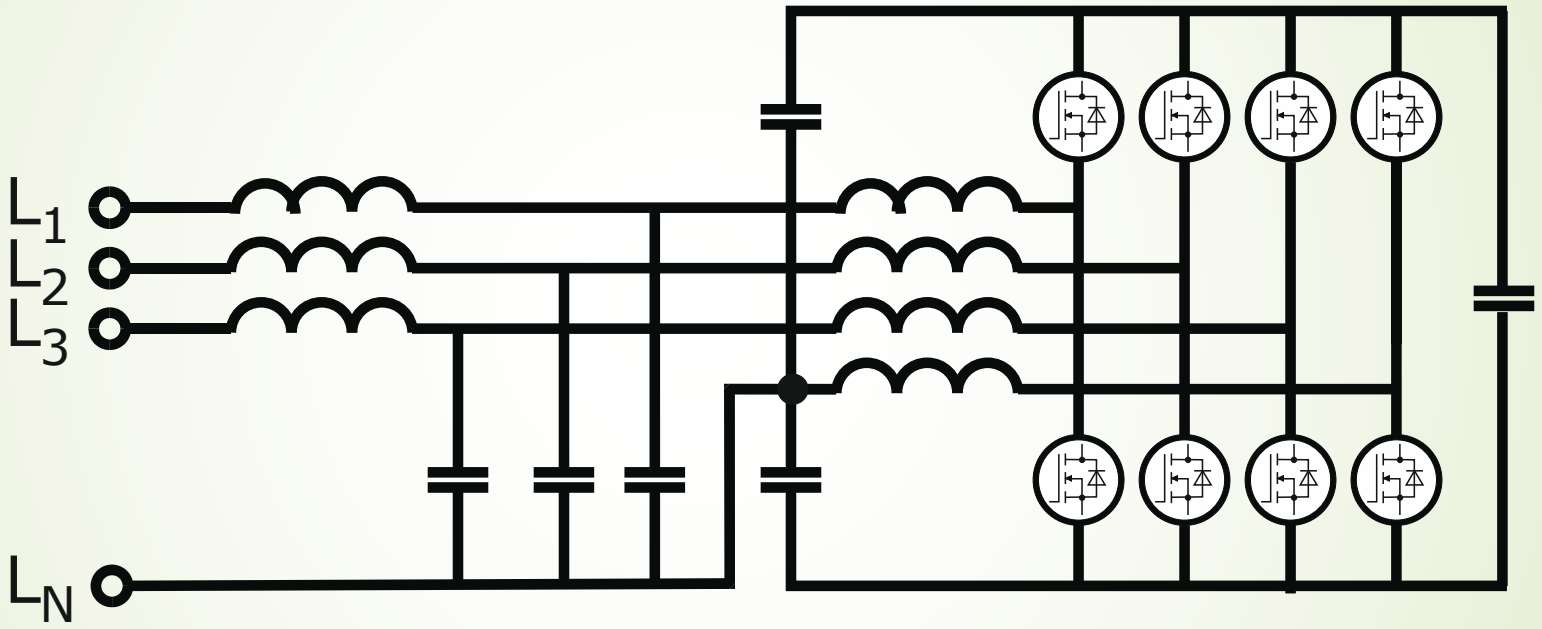
Prądy rzeczywiste



+ energia transmitowana do odbiorów

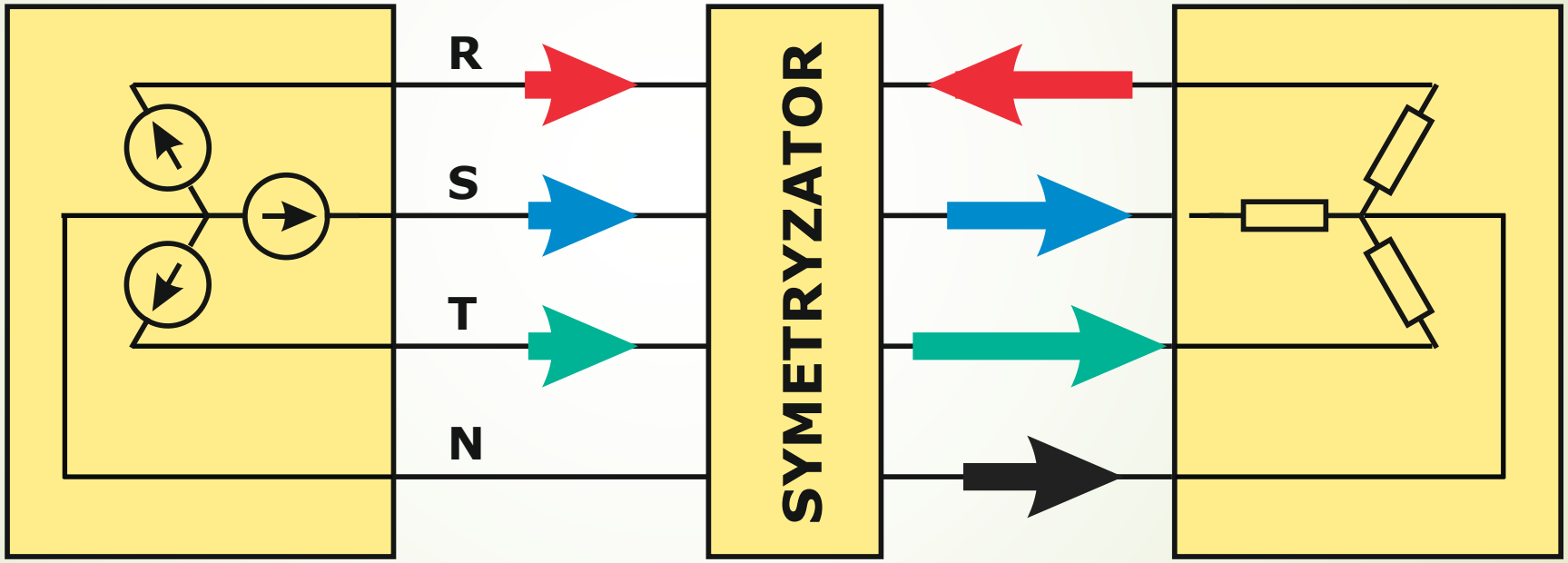
– energia transmitowana do sieci

Falownik sieciowy do symetryzacji prądów

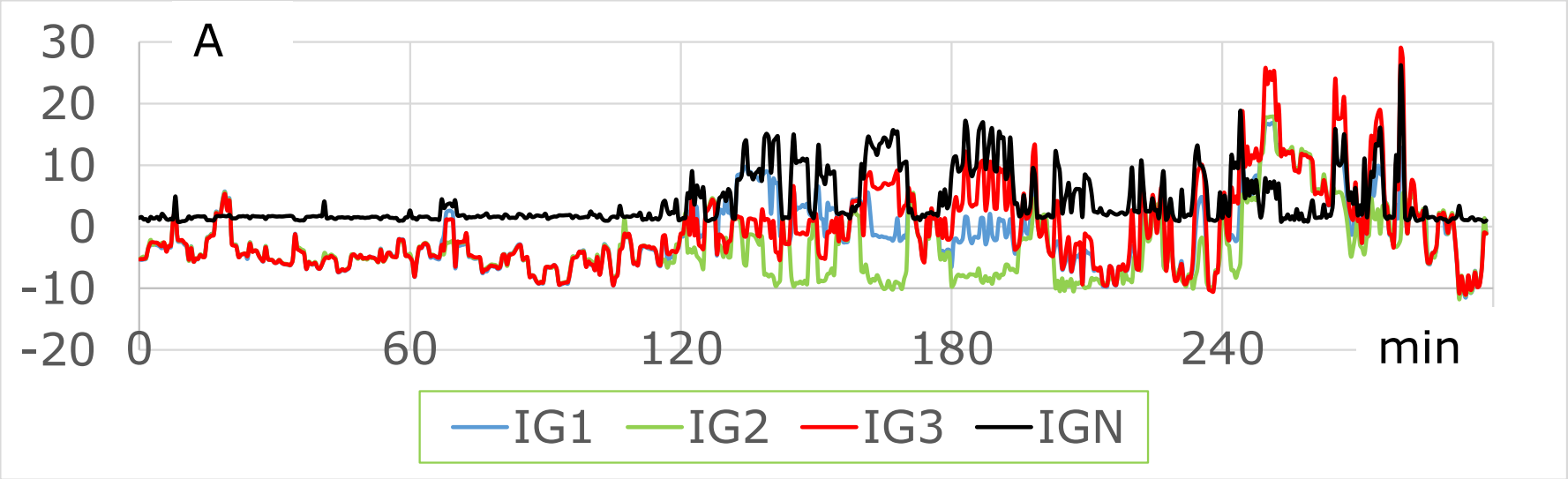


Gałąź neutralna powinna być zaprojektowana na dwa razy większy prąd niż dla gałęzi fazowej

Linia trójfazowa z symetryzatorem prądów



Prądy sieciowe w przypadku ograniczenia prądu netralnego falownika



Wymagania dla aktywnego regulatora napięcia i symetryzatora prądów

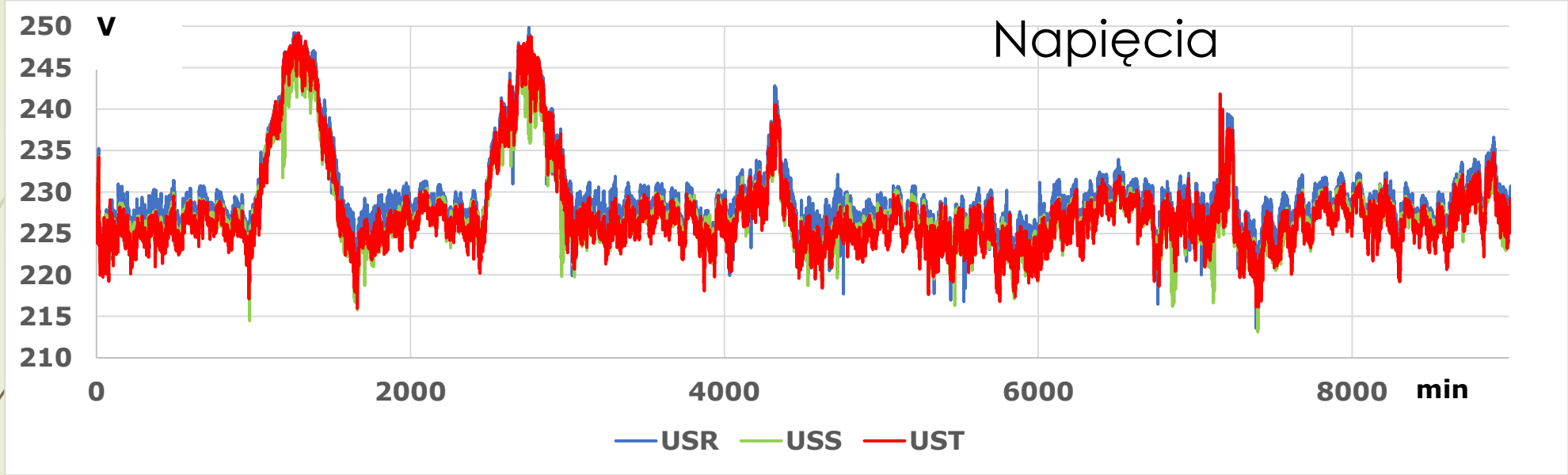
- Konfiguracja falowników i transformatora dodawczego
- Wyłączenie podczas zwarcia
- Zapewnienie komunikacji koncentratora z licznikami
- Wzmocniony słup sieciowy

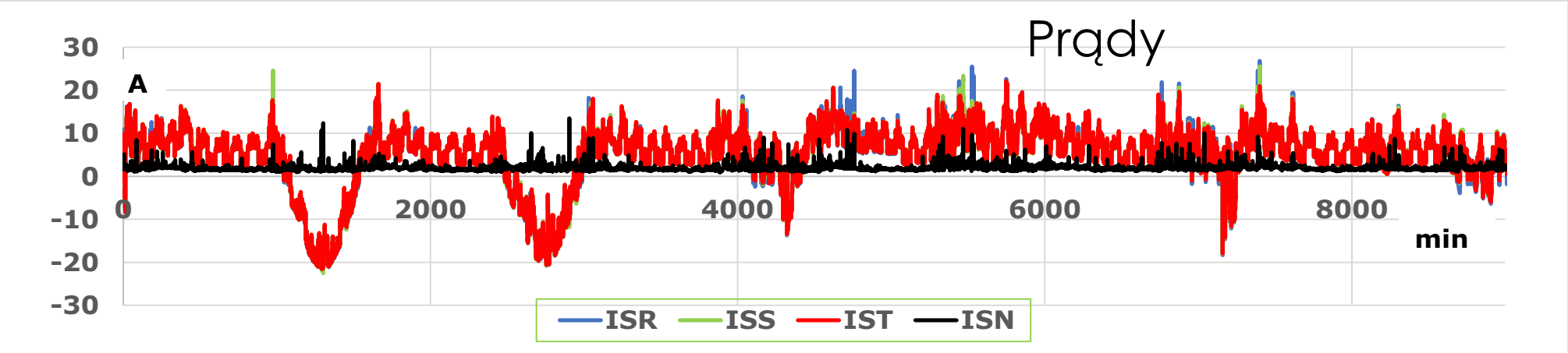
Długa linia na terenach wiejskich z transfomatorem dodawczym i symeryzacją

Monitor napięcia

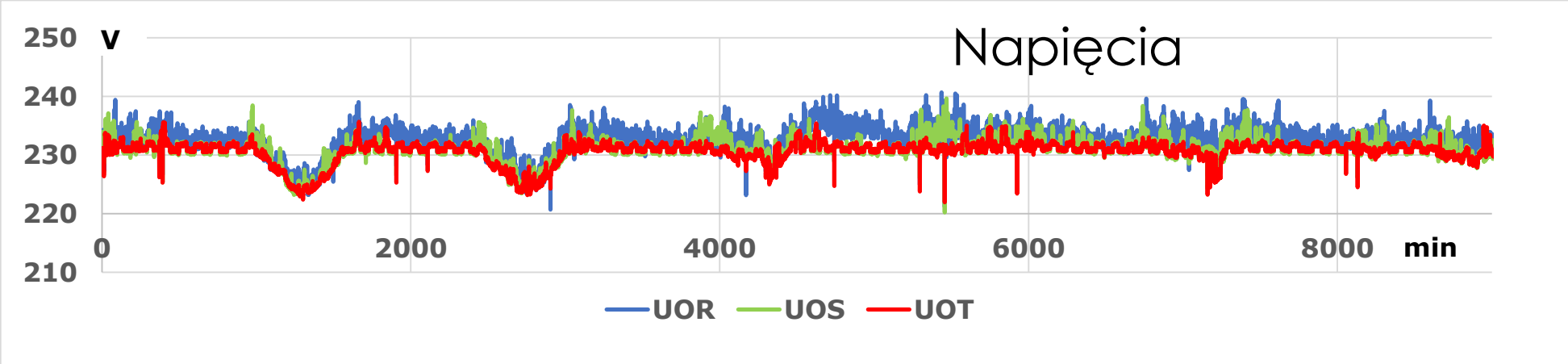
Trafo dodawcze
I symetryzacja

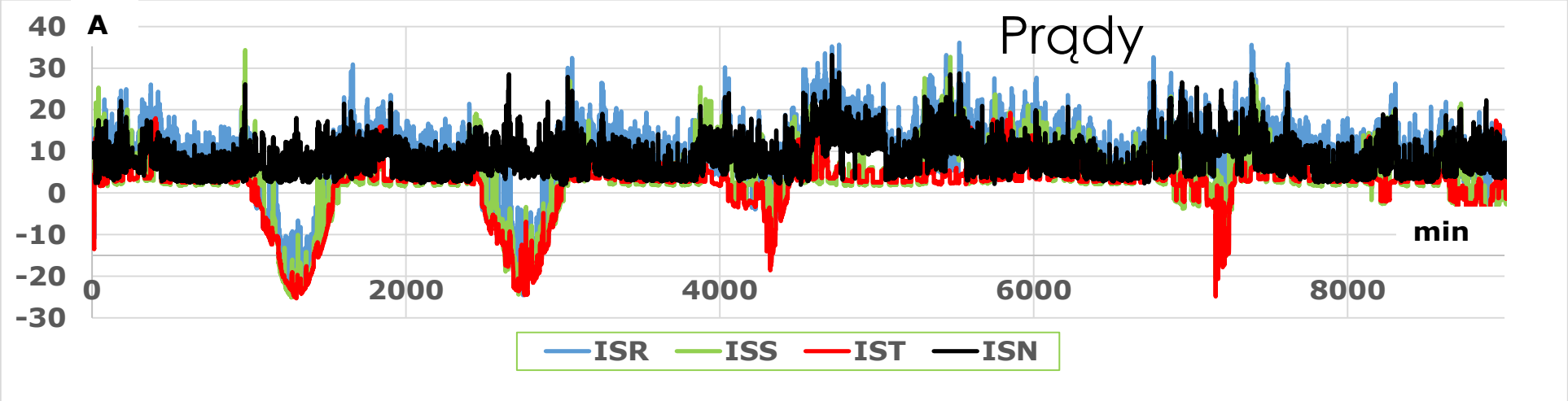
Napięcia i prądy po stronie sieci rejestracja 6 dni



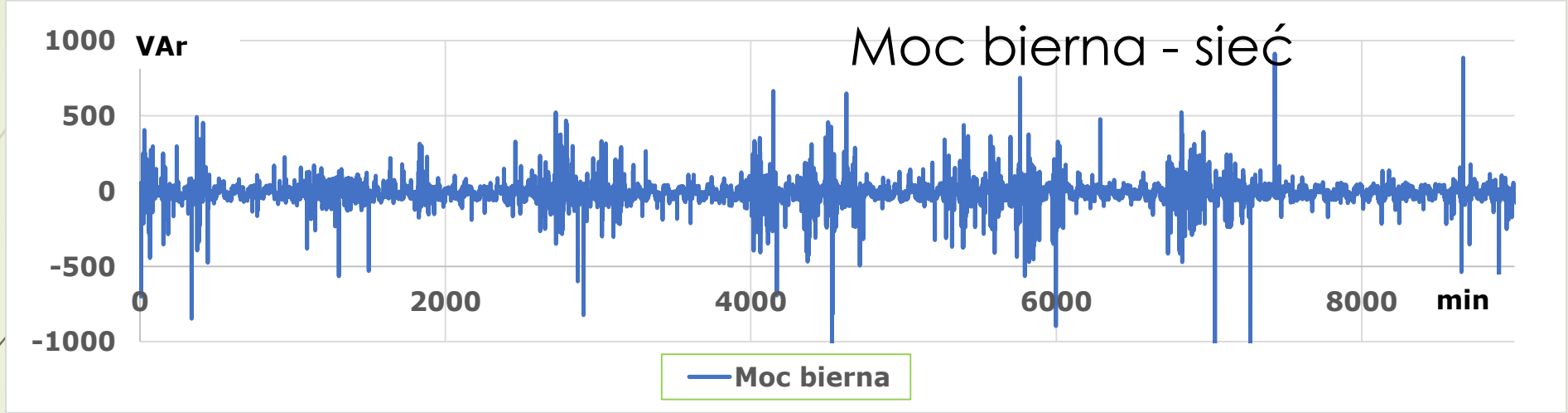


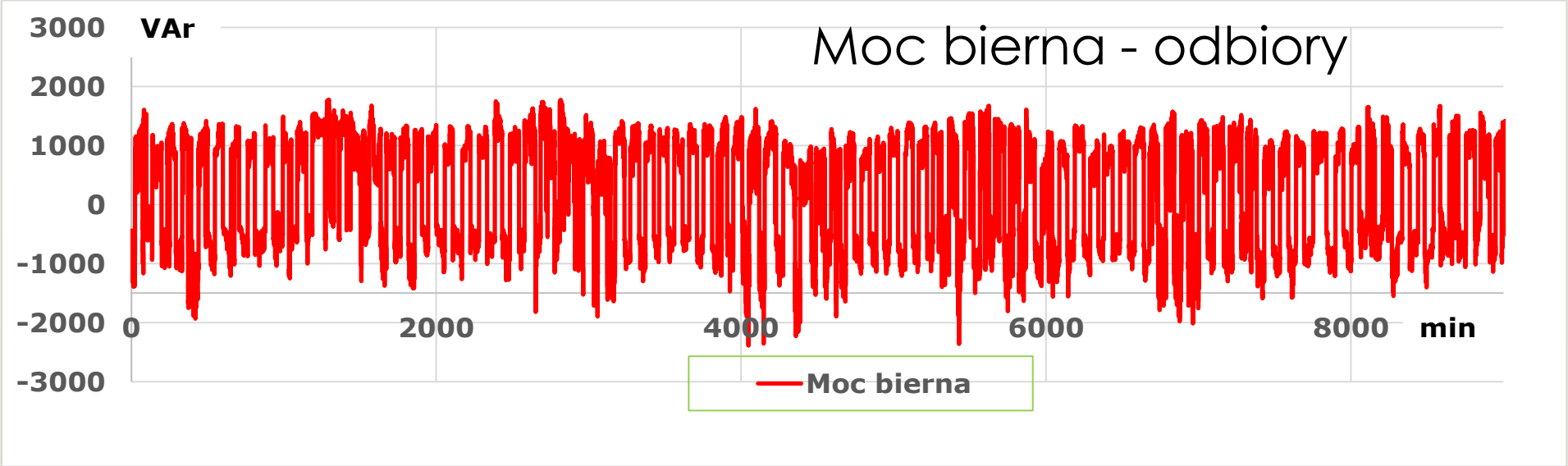
Napięcia i prądy po stronie odbiorów rejestracja 6 dni



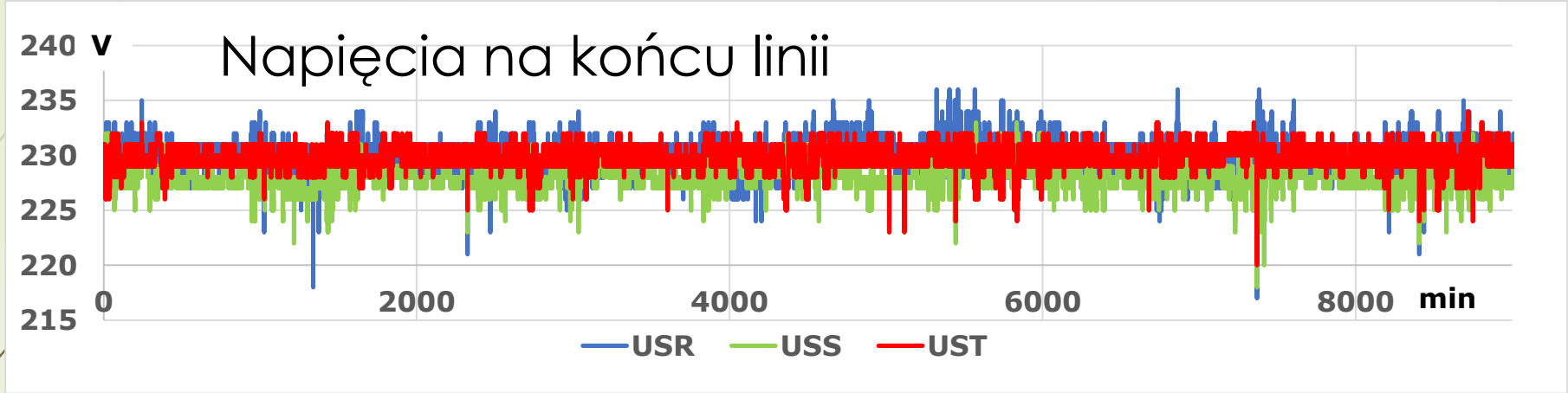


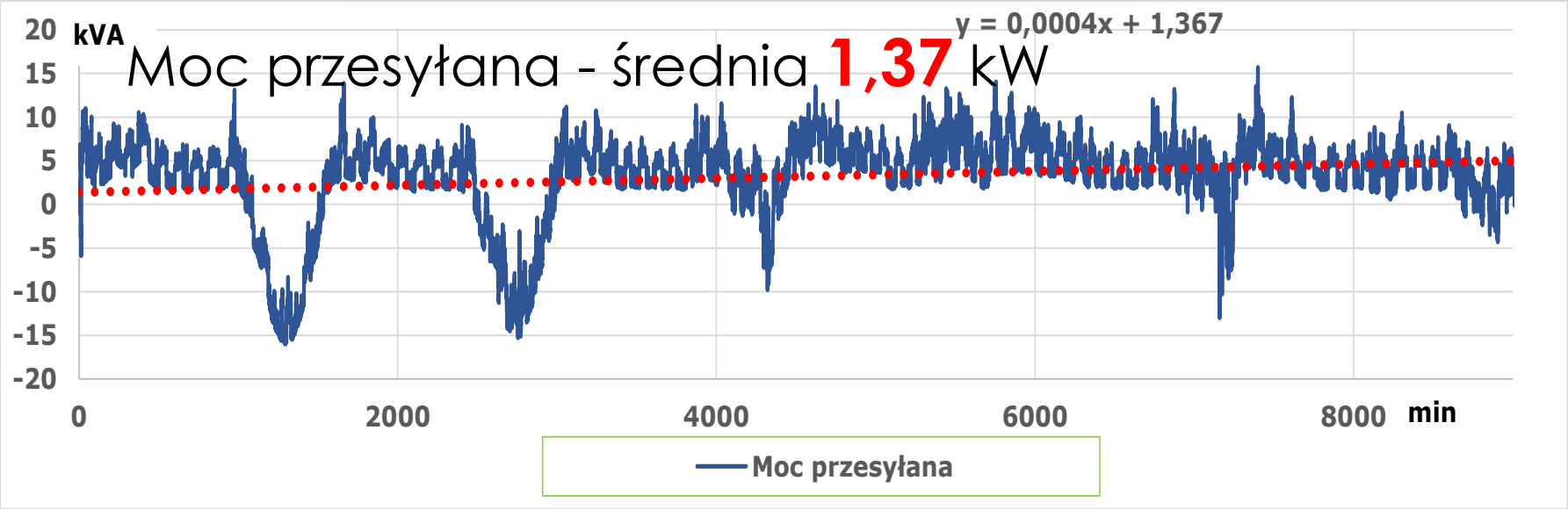
Moc bierna po stronie sieci i odbiorów rejestracja 6 dni





Napięcia na końcu linii i moc przesyłana do transformatora





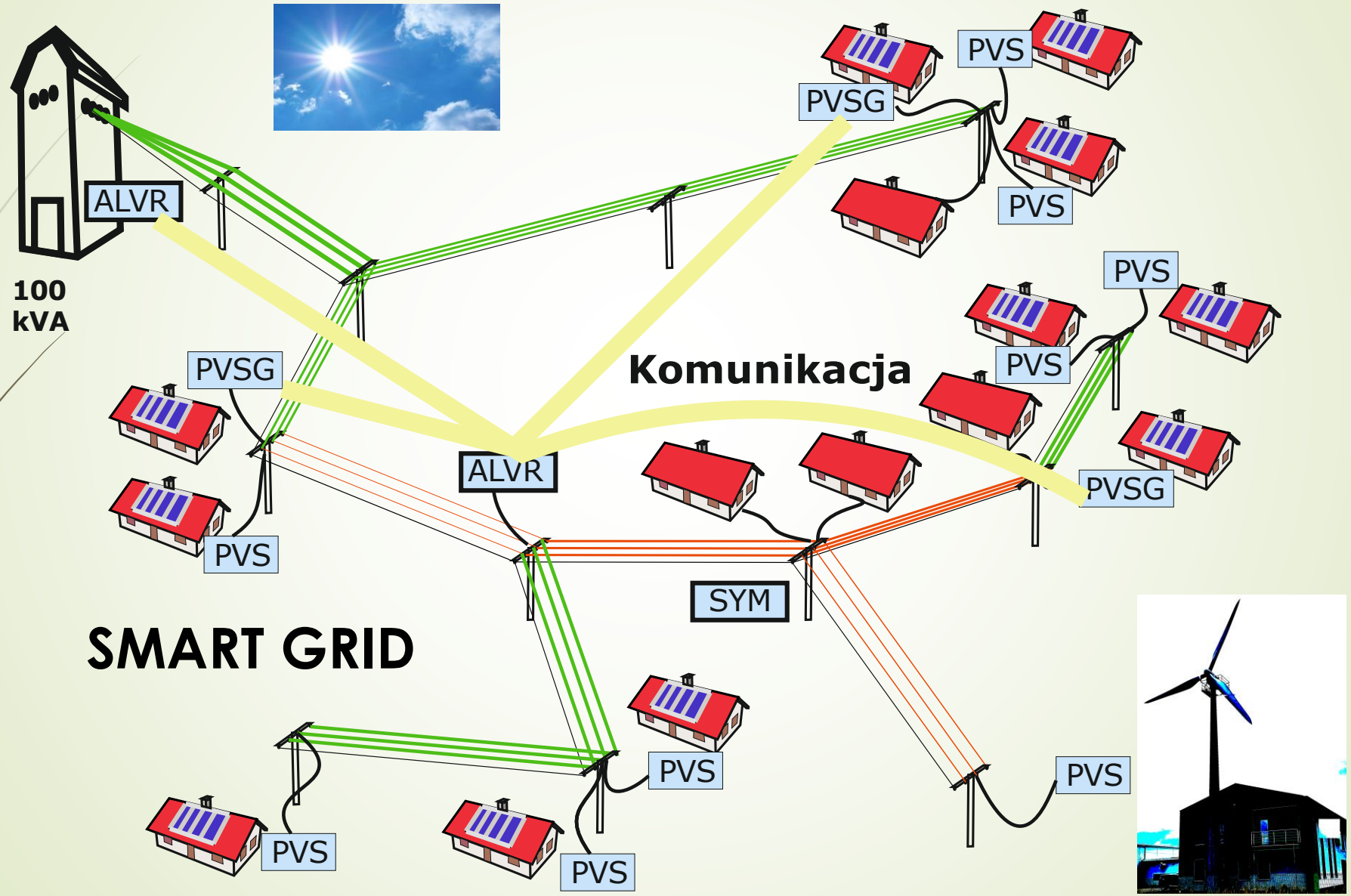
Straty w linii – średnie roczne

WARTOŚCI ROCZNE	kWh
Straty w linii bez regulatora	2533,5
Straty w linii z regulatorem	1570,6
Straty w regulatorze	891,3
Oszczędność na linii i regulatorze	71,5
Straty przy średniej mocy	88,0

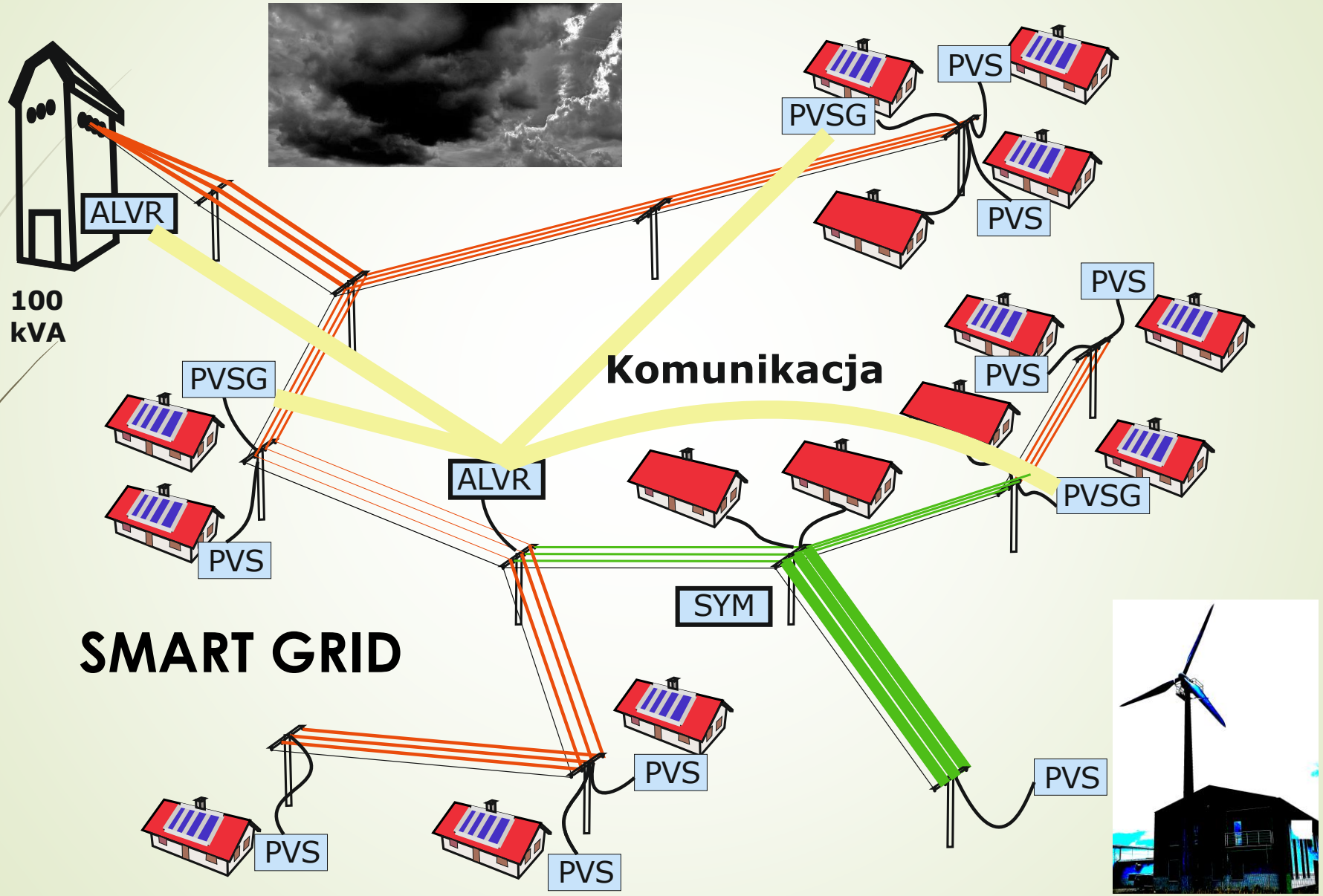
Aktualna przepustowość linii – 20 kVA: możliwości zmniejszenia strat przy większej przepustowości

- Dodatkowy aktywny regulator napięcia - straty ↓
- Zwiększenie przekrojów przewodów - straty ↓
- Dodatkowe symetryzatory prądów - straty ↓
- Magazyny energii elektrycznej - straty ↓
- Sterowana konsumpcja u odbiorców energii - straty ↓
- Czterogałęziowe falowniki do fotowoltaiki ze sterowaniem autokonsumpcją i symetryzacją - straty ↓
- Inteligentne sterowanie obszarem wytwarzania oraz konsumpcji energii - straty ↓

Sieć ze zmniejszonymi stratami - generacja



Sieć ze zmniejszonymi stratami - odbiór



Efekty pojawiające się w sieciach ze zmniejszonymi stratami

- Symetryczne prądy w liniach rozdzielczych
- Symetryczne prądy w transformatorach
- Kontrolowane napięcie w wybranych punktach linii
- **Zmniejszone straty w liniach i transformatorach**
- Zwiększona produkcja energii
- Przepływy i zużycie energii sterowane lokalnie
- Lokalne rejony tworzące wirtualne elektrownie

Dziękuję