



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

WPŁYW PROSUMENCKICH INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH NA PRACĘ SIECI ROZDZIELCZEJ NISKIEGO NAPIĘCIA

Marcin Smółka (Wspólna Szkoła Doktorów PŚ, TAURON Polska Energia S.A.)

Promotor dr hab. inż. Roman Korab Prof. PŚ

Promotor pomocniczy dr inż. Marcin Połomski

Plan wystąpienia

01

Obiekt badań

02

Wpływ mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci nN

03

Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia



Obiekt badań

Charakterystyka sieci:

- moc transformatora SN/nN: 400 kVA (21kV/0,4kV)
- cztery obwody nN wychodzące ze stacji
- linie napowietrzne z przewodami izolowanymi AsXS i AsXSn o przekrojach: 25 mm² (1557 m), 35 mm² (773 m), 50 mm² (574 m), 70 mm² (2816 m)
- całkowita długość linii napowietrznych (z przyłączami) 5720 m,
- linie kablowe YAKY, YAKXS (NA2XY) o przekrojach 25 mm² (203 m), 35 mm² (1413 m), 120 mm² (806 m)
- całkowita długość linii kablowych (z przyłączami) 2422 m
- liczba odbiorców - 144



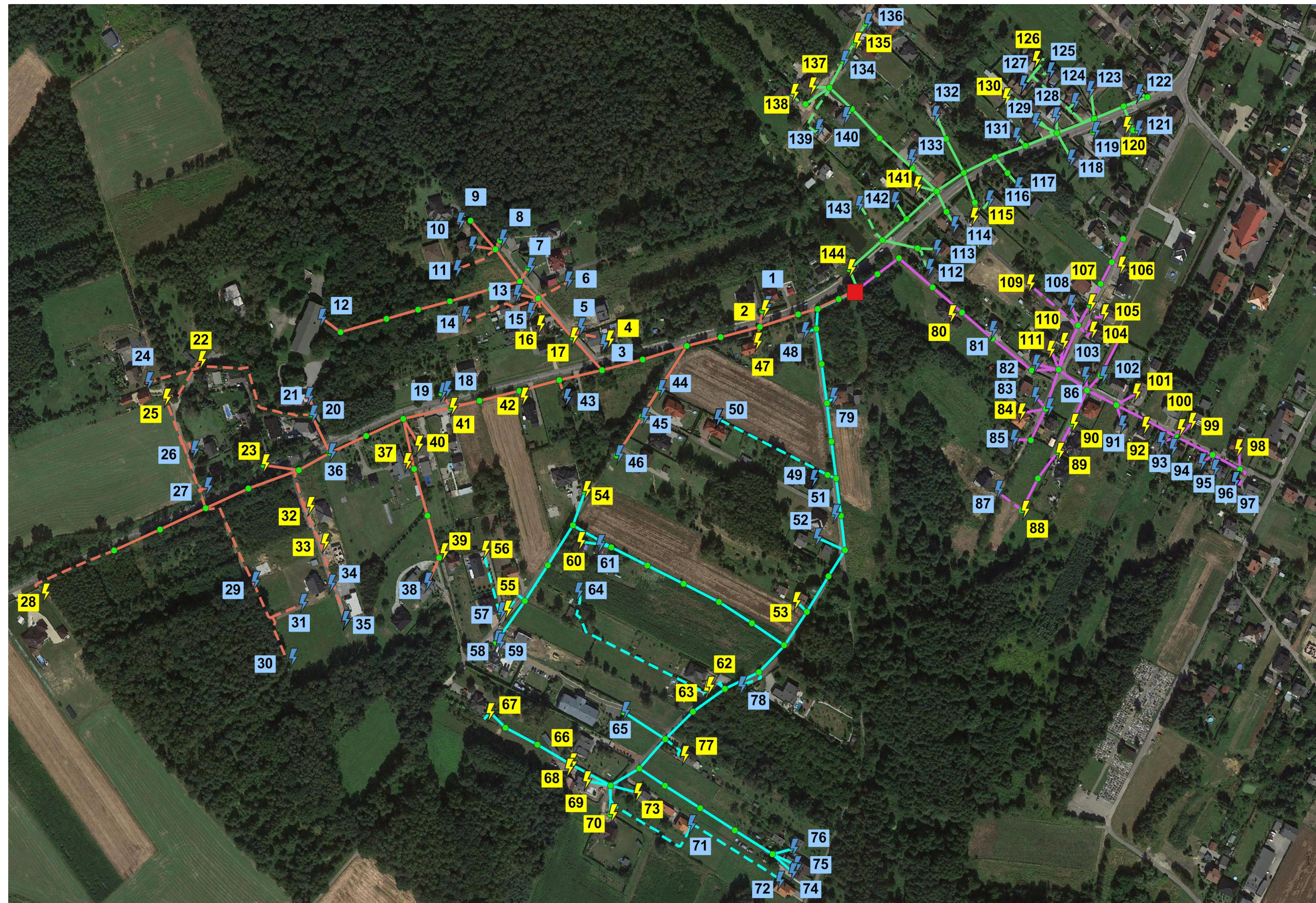
Obiekt badań

Liczba i moc źródeł PV:

- obwód „pomarańczowy”:
16 szt. (34%) 188,5 kW
- obwód „turkusowy”:
14 szt. (44%) 170,4 kW
- obwód „fioletowy”:
17 szt. (53%) 158,8 kW
- obwód „zielony”:
9 szt. (27%) 63,9 kW
- cała sieć:
56 szt. **581,6 kW**

Średnia moc PV = **10,4 kW**

Prosumenci / Odbiorcy = 56 / 144 =
40%



Symulacja pracy sieci

Wpływ mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci nN

1. Sieć bez źródeł PV – jako punkt odniesienia
2. Istniejący układ sieci – wyznaczenie ryzyka dla aktualnej liczby i rozmieszczenia prosumentów
3. Losowa lokalizacja prosumentów oraz mocy źródeł PV – ocena wpływu liczby instalacji PV, ich mocy oraz rozmieszczenia na występowanie ryzyka przekroczenia normalnych warunków pracy sieci, dla istniejącego układu sieci i parametrów urządzeń ją tworzących – 100 symulacji



RYZYO PRZEKROCZENIA NORMALNYCH WARUNKÓW PRACY SIECI

wyrażone w procentach, określa się jako stosunek liczby godzin w ciągu roku, w których wystąpiło przekroczenie wyżej zdefiniowanych warunków pracy do całkowitej liczby godzin roku,

$$R_{Si} = \frac{N_{Si>0}}{N} \cdot 100\%$$

gdzie:

i – wielkość, dla której wystąpiło przekroczenie normalnych warunków pracy

($i = U_{\max}, U_{\min}, U_2/U_1, I_n, R, \Delta E$),

$N_{Si>0}$ – liczba godzin w ciągu roku, dla których nastąpiło przekroczenie normalnych warunków pracy,

N – liczba godzin w ciągu roku, równa 8760.

Symulacja pracy sieci

Wpływ mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci nN

1. Sieć bez źródeł PV – pracuje w prawidłowy sposób. Ryzyka przekroczenie normalnych warunków pracy sieci nie występują. Całkowite roczne straty energii w całej sieci wynoszą 25 013 kWh. Wartość ta stanowi punkt odniesienia do dalszych analiz.

1. Istniejący układ sieci – pojawiają się ryzyka przekroczenia normalnych warunków pracy sieci:

- a) roczne ryzyko wystąpienia przepływu odwrotnego przez transformator R_{Tr} – 30,8%,
- b) roczne ryzyko przekroczenia dopuszczalnej obciążalności prądowej transformatora I_{NTr} – 0,4%,
- c) roczne ryzyko wzrostu strat energii w całej sieci ΔE – 65,3% (stosunek rocznych strat energii w sieci ze źródłami PV wynoszących 41 949 kWh do rocznych strat energii w sieci bez źródeł PV – 167,7%),
- d) roczne ryzyko przekroczenia maksymalnej wartości napięcia wszystkich odbiorców (średnie) U_{max} – 1,5%.
- e) najlepszym obwodem jest obwód nr 1 (zielony), najgorszym obwód nr 4 (pomarańczowy),
- f) warunki napięciowe u każdego odbiorcy - wyznaczenia średniego rocznego ryzyka przekroczenia napięcia powyżej wartości dopuszczalnej dla całego obwodu oraz dla odbiorcy, u którego występuje ono najczęściej:
 - i. Obwód nr 1 „zielony” - ryzyko nie występuje.
 - ii. Obwód nr 2 „fioletowy” - średnie roczne ryzyko – 0,1%, ryzyko u najgorszego odbiorcy – 0,3%
 - iii. Obwód nr 3 „turkusowy” - średnie roczne ryzyko – 4%, ryzyko u najgorszego odbiorcy – 6,5%
 - iv. Obwód nr 4 „pomarańczowy” - średnie roczne ryzyko – 1,8%, ryzyko u najgorszego odbiorcy – 4%

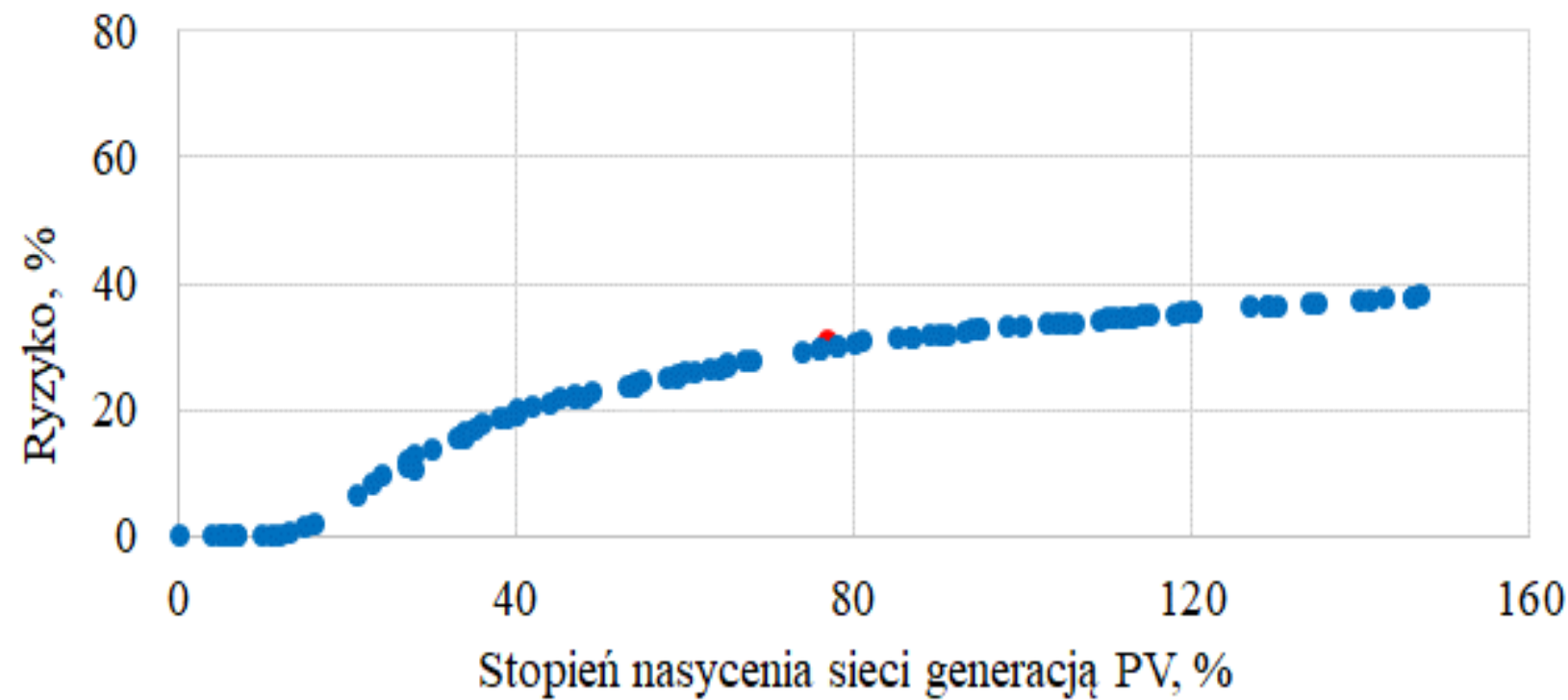
Symulacja pracy sieci

Wpływ mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci nN

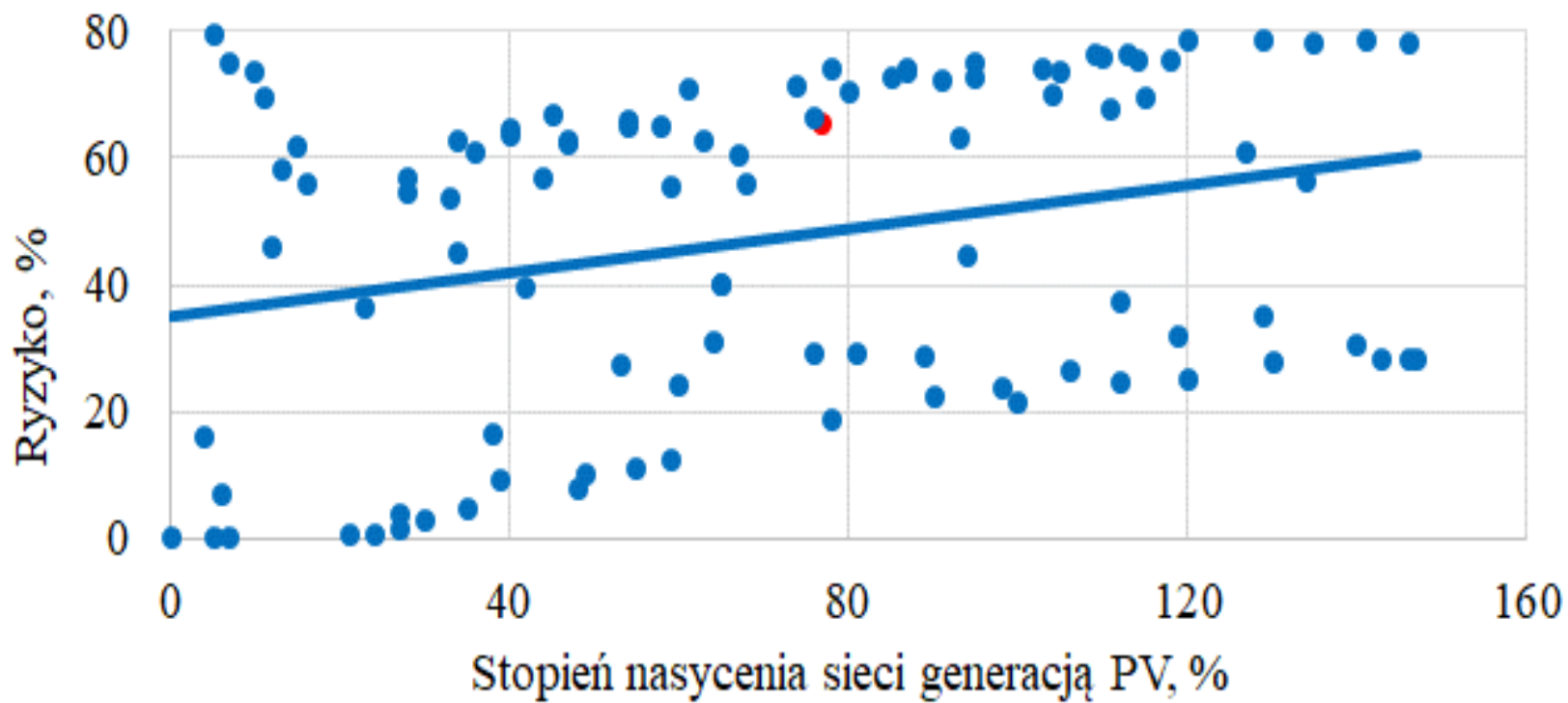
3.Losowa lokalizacja oraz moc źródeł PV - wpływ liczby prosumentów i mocy instalacji PV, wyrażony przez stopień nasycenia sieci generacją PV, na roczne ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci. Stopień nasycenia sieci generacją PV zdefiniowano jako procentowy stosunek ilości energii wygenerowanej w ciągu roku przez wszystkich prosumentów do ilości energii zużytej przez wszystkich odbiorców w tej sieci.

Metodologia losowania

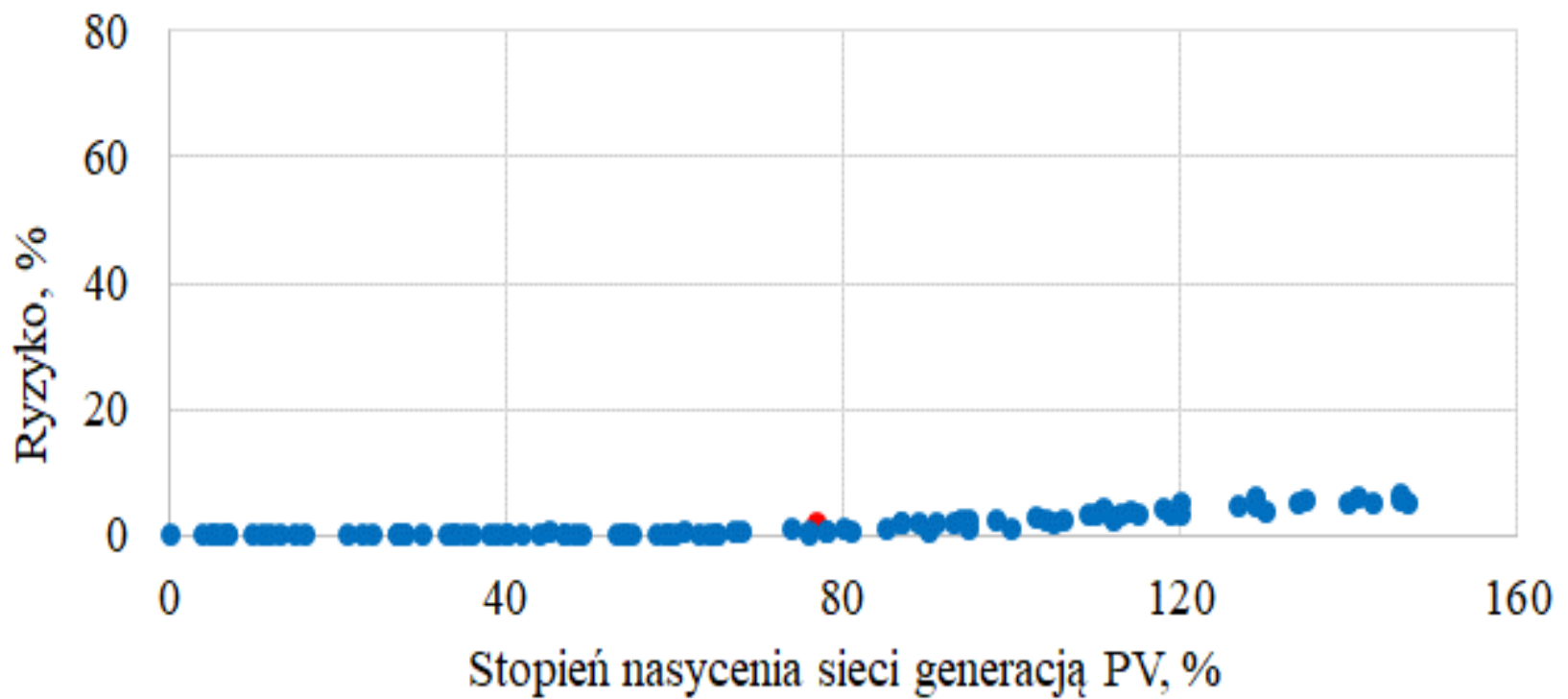
- I. W pierwszej kolejności tworzą listę odbiorców w całej sieci, losując spośród nich tych, którzy byli jednocześnie prosumentami,
- II. Następnie dla każdego z odbiorców losowano roczne zużycie energii elektrycznej, na podstawie którego, z wykorzystaniem standardowych profili obciążeń (taryfa G11) odbiorców, generowano roczne profile obciążeń każdego odbiorcy z rozdzielczością godzinową,
- III. W kolejnym kroku losowano współczynnik określający stosunek rocznej generacji źródła PV i rocznego zużycia energii przez danego prosumenta. Na tej podstawie obliczano wymaganą moc znamionową źródła PV (P_{PV}), zakładając, że roczny czas wykorzystania mocy zainstalowanej wynosi 1000 h ze wzoru $P_{PV} = \frac{w_{gen} E_r}{1000}$, gdzie: E_r – roczne zużycie energii, w kWh, w_{gen} – stosunek rocznej generacji źródła PV i rocznego zużycia energii przez prosumenta (współczynnik przewymiarowania źródła PV).



Ryzyko wystąpienia przepływu odwrotnego przez transformator w zależności od stopnia nasycenia sieci generacją PV



Ryzyko wzrostu rocznych strat energii w sieci w zależności od stopnia nasycenia sieci generacją PV



Średnie ryzyko przekroczenia maksymalnej wartości napięcia u odbiorców w zależności od stopnia nasycenia sieci generacją PV



Symulacja pracy sieci

Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia

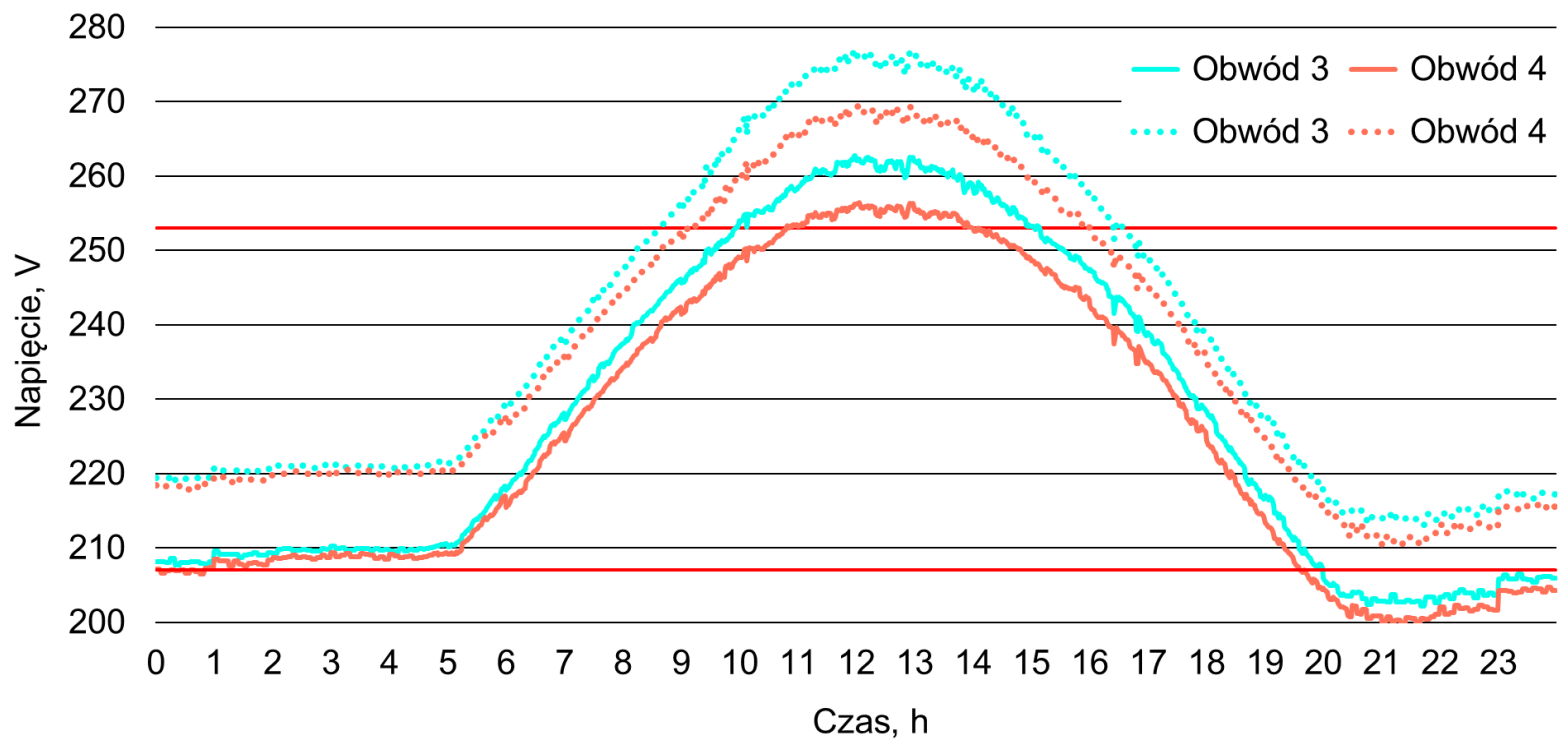
W ramach przeprowadzonych badań rozpatrzono następujące metody pozwalające na obniżenie napięcia u odbiorców podczas pracy mikroinstalacji PV:

1. Przebudowa sieci do wariantu maksymalnego, wzmocnieniu sieci (ang. grid reinforcement) - wymiana transformatora na jednostkę o mocy 630 kVA oraz wybudowanie całej sieci od nowa z wykorzystaniem kabli o przekroju 240 mm²
2. Zmiana przekroju przewodów roboczych linii - przewody o przekroju 50 mm² zostaną zastąpione przewodami o przekroju 70 mm², a przewody o przekroju 70 mm², przewodami 120 mm²
3. Wymiana transformatora (400 kVA na 630 kVA)
4. Budowa nowej stacji i skrócenie istniejących obwodów
5. Beznapięciowa regulacja przekładni transformatora - poszukiwanie takiej nastawy, która zapewni najmniejsze przekroczenia wartości dopuszczalnych napięć w całej sieci w różnych stanach jej pracy
6. Podobciążeniowa regulacja przekładni transformatora - regulację prowadzono w taki sposób, że gdy napięcie u odbiorcy, u którego stwierdzono najgorsze warunki napięciowe (koniec obwodu 3) osiągnęło 253 V zmieniano zaczepty zmieniano kolejno od zaczepty 0 (U_n) do -3 (-7,5% U_n). W odwrotnej kolejności zmieniano zaczepty podczas zmniejszania się generacji PV.
7. Zmiana współczynnika mocy falowników PV - przyjęto współczynnik mocy falowników $\cos\phi = 0,8$
8. Instalacja centralnego magazynu energii - instalacja magazynu centralnego przy stacji SN/nN o mocy 100 kW i nieograniczonej pojemności. Podczas symulacji magazyn pobrał 790 kWh energii w ciągu doby
9. Instalacja zbiorczych magazynów energii - budowę czterech zbiorczych jednostek o mocy 25 kW i nieograniczonej pojemności, zlokalizowanych w połowie długości każdego obwodu.
W symulacjach w ciągu doby pobrały one łącznie 741 kWh, co daje 185 kWh na jeden magazyn.
10. Instalacja rozproszonych magazynów energii - instalacja dwudziestu magazynów o mocy 5 kW, losowo rozlokowanych u prosumentów o nieskończonej pojemności. Podczas symulacji magazyny łącznie pobrały 719 kWh energii w ciągu doby, co pozwala oszacować pojemność pojedynczego magazynu na poziomie 38 kWh

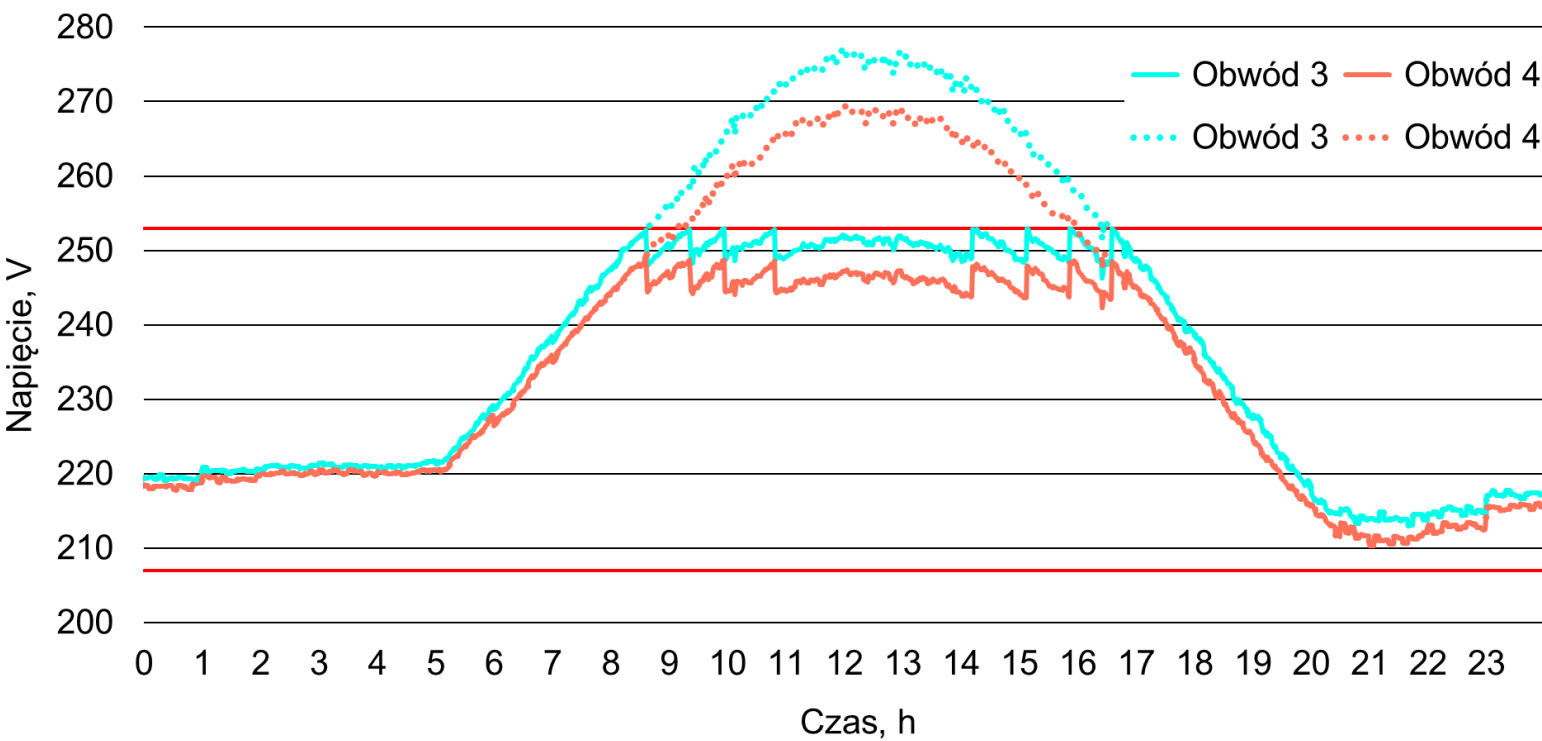
Symulacja pracy sieci

Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia

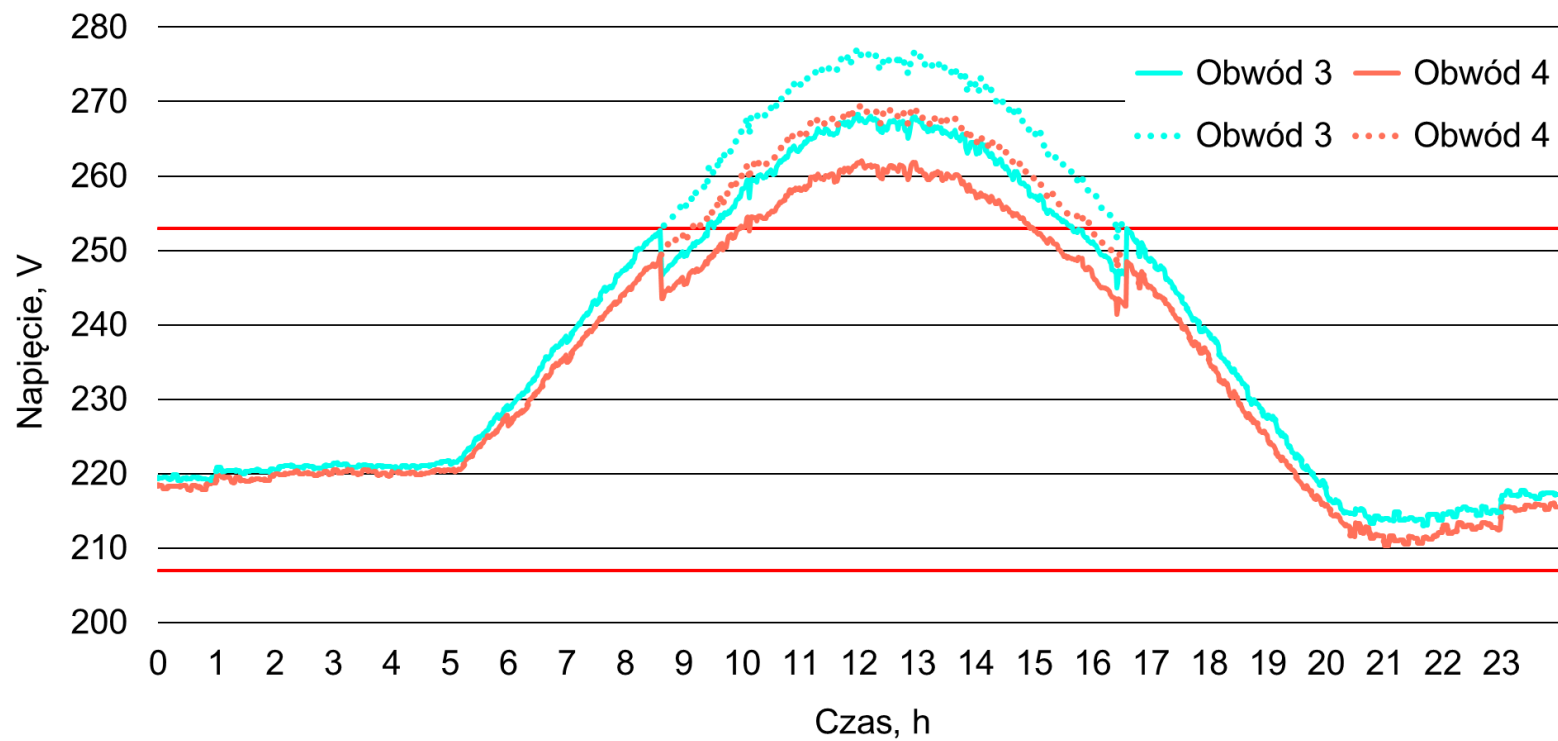
Beznapięciowa regulacja przekładni transformatora



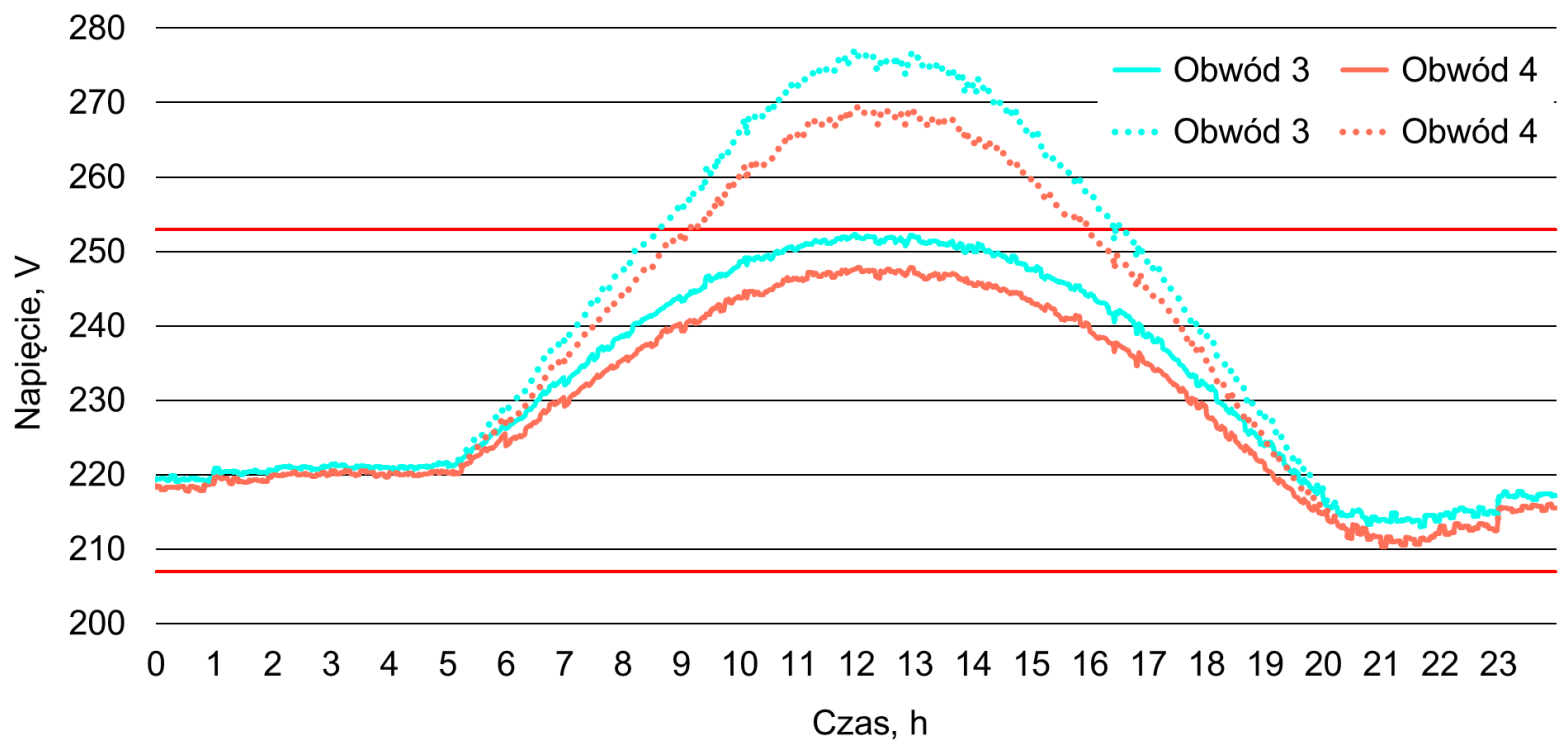
Podobciążeniowa regulacja przekładni transformatora



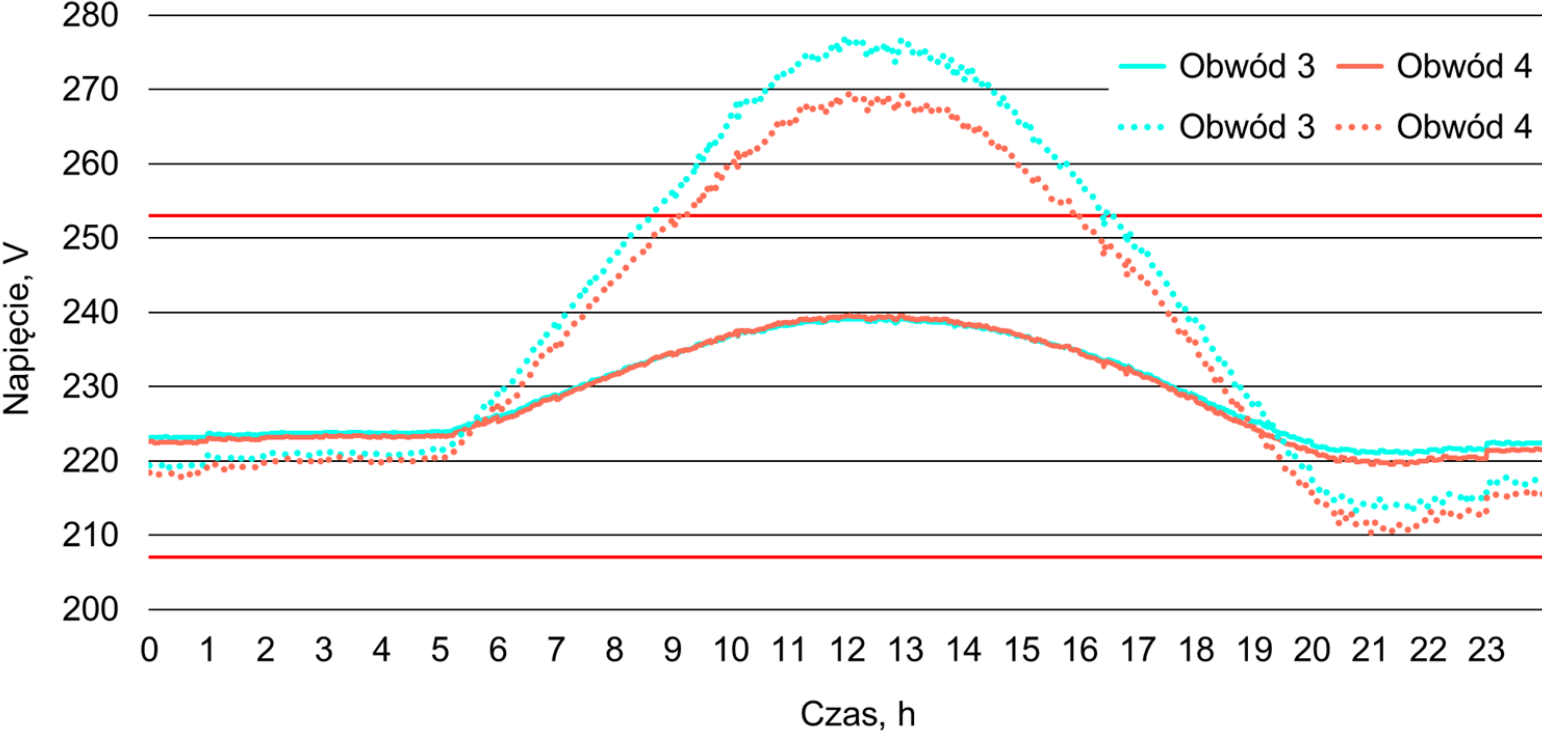
Zbiorcze magazyny energii



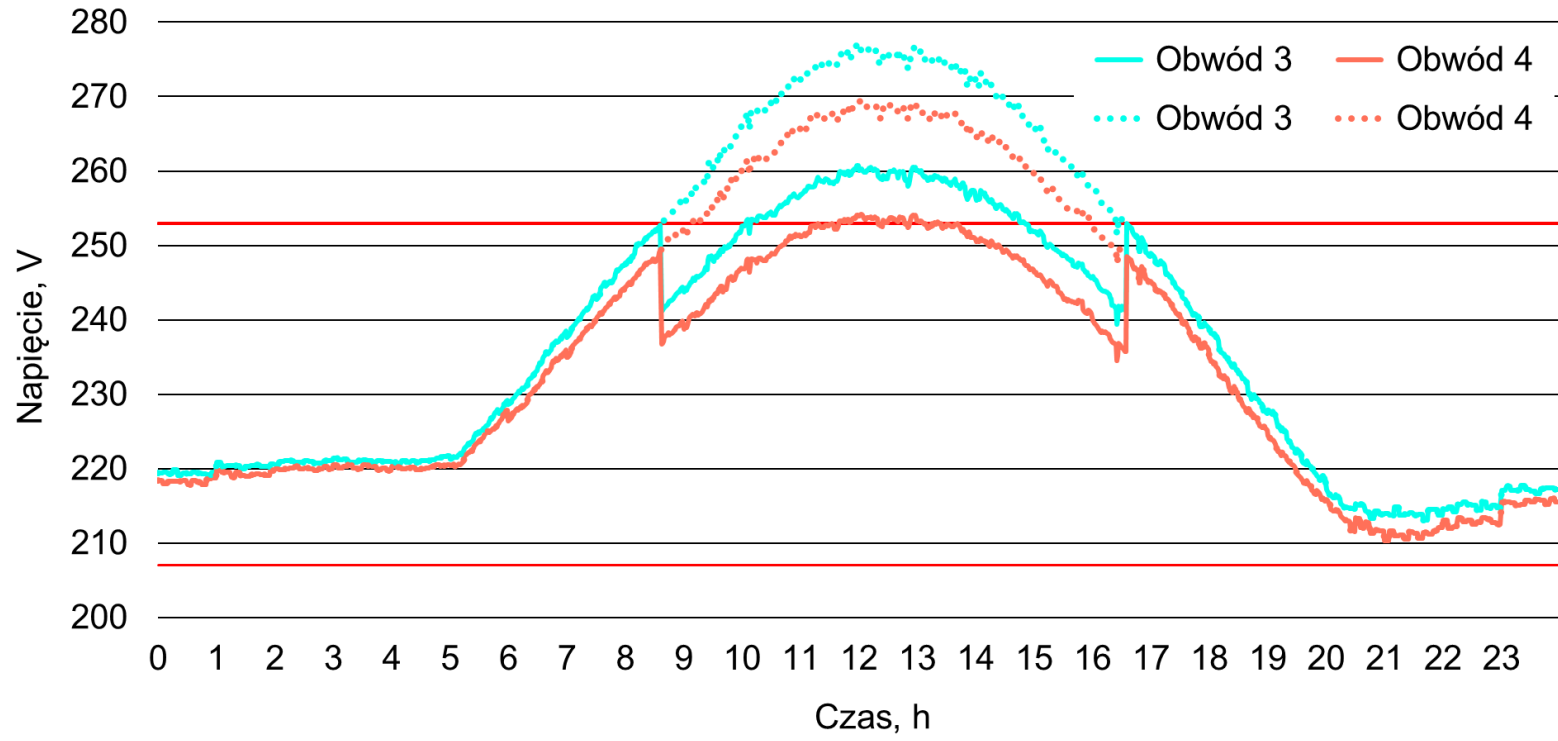
Zmiana współczynnika mocy falowników



Przebudowa sieci do wariantu max



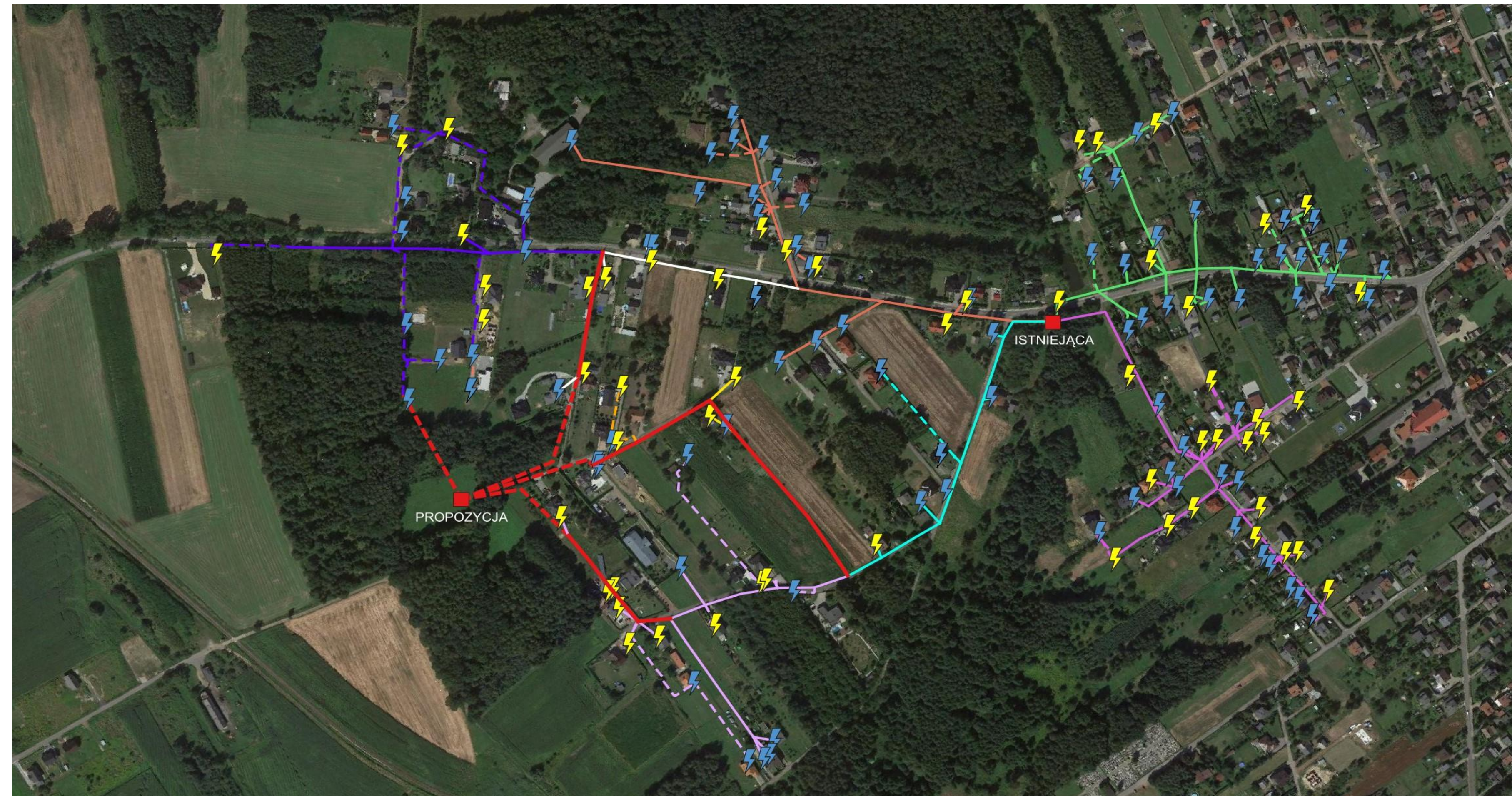
Rozproszone magazyny energii



Symulacja pracy sieci

Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia

Budowa nowej stacji i skrócenie istniejących obwodów,



Sieć zasilana z istniejącej stacji:

- obwód nr 1 „zielony” – 24 odbiorców + 9 prosumentów,
- obwód nr 2 „fioletowy” – 15 odbiorców + 17 prosumentów,
- obwód nr 3 „turkusowy” – 6 odbiorców + 1 prosument,
- obwód nr 4 „pomarańczowy” – 16 odbiorców + 5 prosumentów,

Sieć zasilana z nowej stacji:

- obwód nr 1 „ciemnoniebieski” – 11 odbiorców + 6 prosumentów,
- obwód nr 2 „biały” – 4 odbiorców + 5 prosumentów,
- obwód nr 3 „żółty” – 4 odbiorców + 4 prosumentów,
- obwód nr 4 „różowy” – 8 odbiorców + 9 prosumentów.

Symulacja pracy sieci

Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia

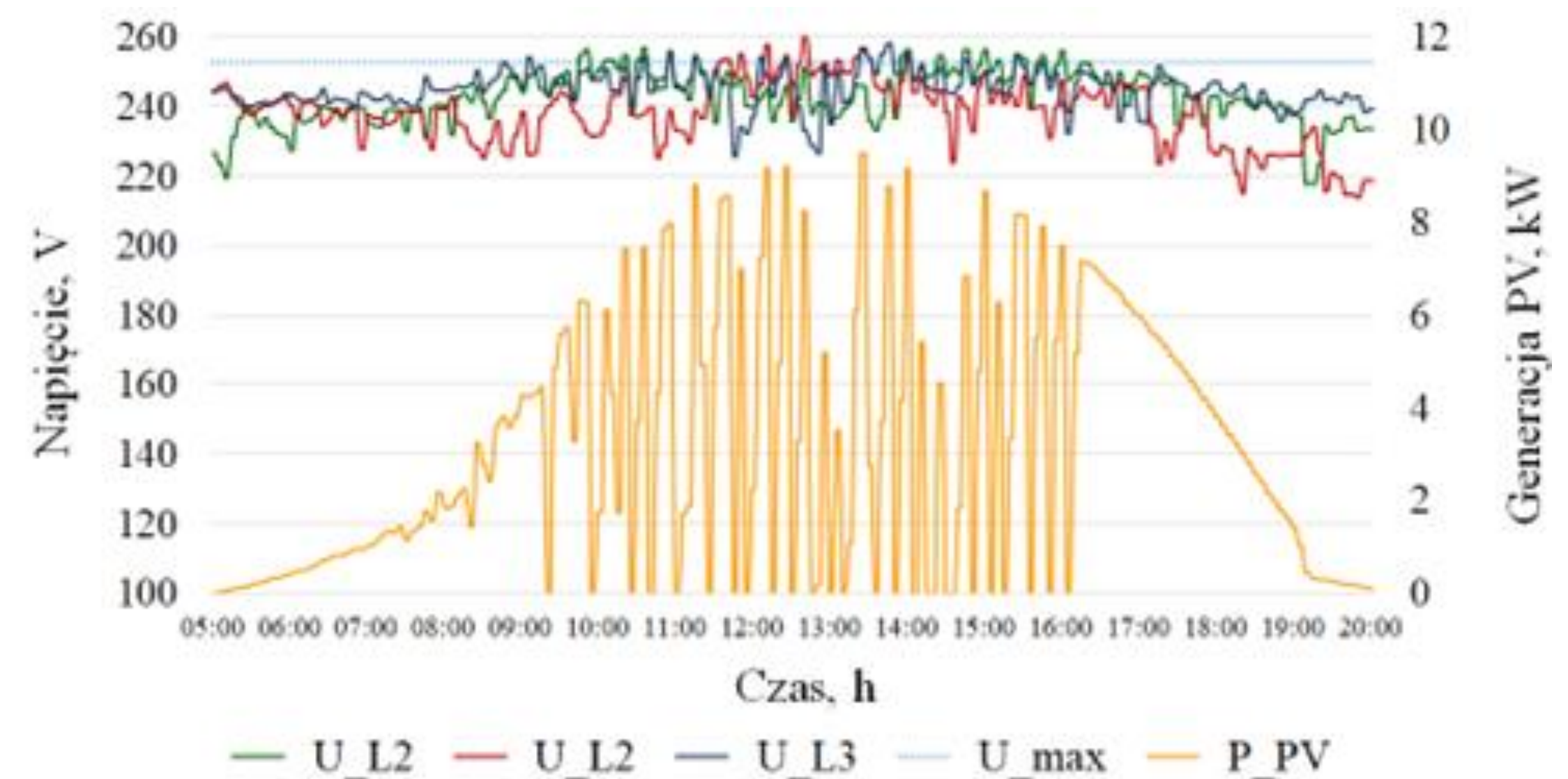
Maksymalne ($U_{\max}$) i minimalne ($U_{\min}$) dobowe wartości napięć, w V, u odbiorców w poszczególnych obwodach analizowanej sieci

Obwód sieci:	1 - zielony		2 – fioletowy		3 - turkusowy		4 - pomarańczowy	
	$U_{\max}$	$U_{\min}$	$U_{\max}$	$U_{\min}$	$U_{\max}$	$U_{\min}$	$U_{\max}$	$U_{\min}$
Odbiorca na początku obwodu								
Istniejący układ sieci	230	223	238	221	235	222	238	221
Przebudowa sieci do wariantu maksymalnego	227	224	230	223	228	224	229	223
Zmiana przekroju przewodów roboczych linii	228	223	233	222	230	223	233	222
Wymiana transformatora (400 kVA na 630 kVA)	228	223	237	221	232	222	237	221
Budowa nowej stacji i skrócenie istniejących obwodów	228	224	237	222	228	224	230	223
Beznapięciowa regulacja przekładni transformatora	217	212	228	210	223	211	226	209
Podobciążeniowa regulacja przekładni transformatora	226	206	233	214	230	209	232	213
Zmiana współczynnika mocy falowników PV	225	217	226	221	225	218	225	220
Budowa centralnego magazynu energii	229	223	237	221	234	222	238	221
Budowa zbiorczych magazynów energii	228	223	235	221	232	222	235	221
Budowa rozproszonych magazynów energii	228	223	235	221	231	222	234	221
Odbiorca na końcu obwodu								
Istniejący układ sieci	235	220	250	218	277	214	269	210
Przebudowa sieci do wariantu maksymalnego	228	223	234	222	239	221	239	219
Zmiana przekroju przewodów roboczych linii	232	221	241	220	260	216	251	216
Wymiana transformatora (400 kVA na 630 kVA)	234	220	249	218	275	214	267	211
Budowa nowej stacji i skrócenie istniejących obwodów	233	221	249	219	232	223	233	221
Beznapięciowa regulacja przekładni transformatora	224	209	240	207	263	202	256	200
Podobciążeniowa regulacja przekładni transformatora	230	210	239	218	253	214	249	210
Zmiana współczynnika mocy falowników PV	224	219	236	218	252	214	248	210
Budowa centralnego magazynu energii	234	220	250	218	276	213	269	210
Budowa zbiorczych magazynów energii	231	220	245	218	268	214	262	210
Budowa rozproszonych magazynów energii	232	220	245	218	261	214	254	210



Wnioski

1. Rozwój prosumenckich źródeł PV zmienia warunki pracy sieci dystrybucyjnej nN.
2. Pojawia się ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci, dotyczące głównie powstania odwrotnych przepływów mocy (transformator), wzrostu strat energii (wskaźnik różnicy bilansowe) oraz przekroczenia dopuszczalnego poziomu napięcia, w szczególności u odbiorców zlokalizowanych w głębi sieci (obwód nr 3 oraz nr 4)
3. Wzrost stopnia nasycenia sieci źródłami PV zwiększa ryzyka przekroczenia normalnych warunków pracy sieci.
4. Istnieją metody minimalizujące wpływ prosumenckich instalacji PV na pracę sieci
5. Dla badanej sieci najlepsze efekty przyniosły poniższe rozwiązania:
 - a) instalację rozproszonych magazynów energii (u prosumenta) oraz
 - b) zmniejszenie wartości impedancji sieci poprzez budowę nowej stacji SN/nN i skrócenie istniejących obwodów



Działalność wdrożeniowa

Zastosowanie opracowanej metody wyznaczania ryzyka przekroczenie normalnych warunków pracy sieci w wyniku pracy źródeł PV:

1. OSD - możliwość lepszego reagowania na zmieniające się warunki pracy sieci. Operator, zakładając pewną ścieżkę rozwoju mikroinstalacji PV, może oszacować przyszłe ryzyko i z wyprzedzeniem uwzględnić w swoich planach inwestycyjnych zadania poprawiające warunki pracy sieci, do których należą.
2. OSD - określenia maksymalnej zdolności przyłączeniowej sieci, tzw. hosting capacity, przy założonym rocznym poziomie ryzyka przekroczenia poszczególnych parametrów charakteryzujących jej pracę.
3. OSD - oszacowanie czasu trwania wyłączeń falowników, a co za tym idzie braku generacji energii, pomimo sprzyjających warunków pogodowych.
4. OSD - oceny efektywności różnych wariantów rozwojowych, pozwalając wybrać rozwiązanie optymalne pod względem techniczno-ekonomicznym.
5. Inwestor - lepsza kalkulacja czasu zwrotu nakładów poniesionych na budowę źródła PV w oparciu o szacowany czas trwania wyłączenie falowników.
6. Prosument - duża wartość ryzyka przekroczenia napięcia powinna skłaniać prosumentów do zwiększenia poziomu autokonsumpcji, m.in. przez wykorzystanie magazynów energii oraz odpowiednie sterowanie wybranymi odbiornikami = zmniejszenie wymiany energii elektrycznej z siecią OSD.

Efektem badań zrealizowanych w ramach współpracy wdrożeniowej z TAURON Dystrybucja S.A. jest uwzględnienie przez Spółkę w swoim planie inwestycyjnym zadania inwestycyjnego do realizacji dla analizowanej sieci, którego celem jest wybudowanie nowej stacji transformatorowej wraz z wyprowadzeniem nowych obwodów do istniejącej sieci oraz wprowadzeniem nowych podziałów sieci nN. Potwierdzeniem realizacji części wdrożeniowej doktoratu wniosek inwestycyjny TAURON Dystrybucja S.A.

DZIĘKUJE ZA UWAGĘ



Phone

+48 608 677 505



E-mail

info@polsl.pl

marketing@polsl.pl



Follow us:

facebook.com/polsl

twitter.com/polsl



**Politechnika
Śląska**



**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI