

Przerwy krótkie w zasilaniu odbiorców na poziomie sieci dystrybucyjnych – analiza zagadnienia

Streszczenie. W niniejszym artykule zostanie przedstawiona analiza zagadnienia przerw krótkich w zasilaniu odbiorców energii elektrycznej na poziomie sieci dystrybucyjnych. Podane zostaną przyczyny i skutki przerw krótkich w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych. Zostaną zaprezentowane i przedyskutowane dane dotyczące wartości wskaźnika MAIFI podawanego corocznie przez operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD) w Polsce, jak również dane na temat wartości tego wskaźnika w skali całego kraju oraz w wybranych krajach europejskich. Przedstawiona zostanie również analiza struktury terytorialnej wartości wskaźnika MAIFI w Polsce. Zostaną przeanalizowane możliwe środki zaradcze dotyczące ograniczania liczby przerw krótkich w zasilaniu odbiorców. Artykuł zostanie zakończony podsumowaniem i przedstawieniem wniosków końcowych.

Abstract. Analysis of problem of short (momentary) interruptions in supply of electricity consumers at the level of electric power distribution grids will be carried out in the paper. Causes and effects of short interruptions in electric power distribution grids will be given. Data on values of the MAIFI index announced by distribution system operators (DSOs) in Poland and the one related to the whole country, as well as to the selected European countries will be presented and discussed. Analysis of territorial structure of the values of the MAIFI index in Poland will be also presented. Possible preventive measures for limitation of number of short interruptions in supply of consumers will be analyzed. Summary and final conclusions will be placed at the end of the paper. (**Short interruptions in supply of electricity consumers at the level of electric power distribution grids – analysis of the issue.**)

Słowa kluczowe: elektroenergetyczne sieci dystrybucyjne, zasilanie odbiorców, przerwy krótkie, wskaźnik MAIFI, przyczyny i skutki przerw krótkich, środki zaradcze zapobiegające przerwom krótkim.

Keywords: electric power distribution grids, supply of consumers, short interruptions, MAIFI index, causes and effects of short interruptions, preventive measures for limitation of short interruptions.

Wprowadzenie

Jednym z podstawowych parametrów jakości energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom jest niezawodność zasilania. Zagadnienie to jest od wielu lat przedmiotem coraz większego zainteresowania w naszym kraju, jak i w innych państwach.

Zwykle przy okazji różnego rodzaju analiz niezawodnościowych omawiane są wartości wskaźników SAIDI i SAIFI, rzadziej zaś wskaźnika MAIFI [1 – 10]. W tym artykule zostanie natomiast dokonana szczegółowa analiza wskaźnika MAIFI dotyczącego przerw krótkich w dostarczaniu energii elektrycznej, podawanego corocznie przez operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD). Przedstawione zostaną informacje na temat wartości tego wskaźnika u 5 największych OSD w Polsce w ostatnich kilku latach, jak i w skali całego kraju. Oprócz tego w artykule zostanie również przedstawiona analiza struktury terytorialnej wartości wskaźnika MAIFI w Polsce. Zostaną również podane dane na temat wartości wskaźnika MAIFI w wybranych krajach europejskich. Opisane też zostaną takie zagadnienia, jak przyczyny, skutki i środki zaradcze zapobiegające przerwom krótkim w zasilaniu odbiorców przyłączonych do sieci dystrybucyjnych.

W końcowej części artykułu przedstawione zostaną spostrzeżenia i wnioski dotyczące analizowanej tematyki, tj. niezawodności zasilania odbiorców na poziomie sieci dystrybucyjnych odnośnie do przerw krótkich.

Niniejszy artykuł jest rozszerzeniem prezentacji [11] przedstawionej na Konferencji „Niezawodność sieci elektroenergetycznych”, która odbywała się w dniach 16-17 kwietnia 2024 w Wiśle.

Przerwy krótkie dotyczące dostarczania energii elektrycznej odbiorcom

Definicja przerw występujących w dostarczaniu energii elektrycznej odbiorcom została podana w rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [12]. Dalszym rozważaniem zostaną objęte przerwy krótkie (tj. przerwy, które trwają dłużej niż 1 sekundę i nie dłużej niż 3 minuty). Warto zaznaczyć, że przerwy krótkie nie zawierają przerw przemijających, tj. przerw, które trwają nie dłużej niż 1s.

Przerw krótkich dotyczy wskaźnik przeciętnej częstości przerw krótkich (MAIFI, Momentary Average Interruption Frequency Index), podawany corocznie przez OSD. Definicja wskaźnika MAIFI podana w [12] przedstawia się następująco: MAIFI – wskaźnik będący ilorzem liczby odbiorców narażonych na skutki wszystkich przerw krótkich w danym roku oraz łącznej liczby obsługiwanych odbiorców.

Zgodnie z [13], wskaźnik ten nie jest szeroko stosowany w Europie, gdyż stosuje go mniej niż połowa wszystkich krajów europejskich. Podczas obliczania wskaźnika MAIFI bardzo ważne są tzw. zasady agregacji czasowej; przerwy wielokrotne podczas okresu krótkiego mogą być bowiem traktowane jako jedno zdarzenie lub jako wiele niezależnych zdarzeń. Różnica w podejściu powoduje, że oprócz wskaźnika MAIFI w niektórych krajach wyznacza się także wskaźnik MAIFI-E (Momentary Average Interruption Event Frequency Index) [13]. W tym drugim przypadku, analizuje się wielokrotne przerwy krótkie o czasie trwania nie dłuższym od okresu wymaganego do przywrócenia zasilania przez urządzenie zabezpieczające [14]. Z danych

zawartych w [13] wynika, że 8 państw w Europie (Francja, Litwa, Norwegia, Polska, Rumunia, Szwecja, Ukraina, Wlk. Brytania) monitorowało na koniec 2018 roku przerwy krótkie za pomocą wskaźnika MAIFI na napięciu nN, zaś 11 państw (Finlandia, Litwa, Łotwa, Norwegia, Polska, Portugalia, Rumunia, Słowenia, Szwecja, Ukraina, Węgry) na poziomie napięcia SN. Z kolei 2 państwa (Norwegia, Włochy) w Europie monitorowały pod koniec tego samego roku przerwy krótkie za pomocą wskaźnika MAIFI-E na napięciu nN, zaś 4 państwa (Norwegia, Słowenia, Węgry, Włochy) na poziomie napięcia SN. Węgry używają ponadto (oprócz wskaźnika MAIFI) w zakresie przerw krótkich następujących wskaźników [13]:

- liczby i odsetka odbiorców narażonych na mniej niż 10 przerw krótkich na rok;
- liczby i odsetka odbiorców narażonych na więcej niż 10 i mniej niż 30 przerw krótkich na rok;
- liczby i odsetka odbiorców narażonych na więcej niż 30 i mniej niż 70 przerw krótkich na rok;
- liczby i odsetka odbiorców narażonych na więcej niż 70 przerw krótkich na rok.

Warto też wspomnieć o standardach dotyczących ciągłości zasilania odnośnie do przerw krótkich występujących w niektórych krajach. Na Węgrzech takim standardem jest maksymalna roczna liczba przerw krótkich. Liczba ta powinna być mniejsza niż 10 w liniach kablowych SN i nie większa niż 70 w liniach napowietrznych SN [13]. Dodatkowo, liczba przerw krótkich doświadczana przez odbiorców w okresie 90 dni, bez względu na typ używanej linii do ich zasilania, nie powinna przekraczać 40 [13]. Z kolei w Słowenii tego typu standardem jest maksymalna roczna liczba nieplanowanych przerw krótkich, powodowanych jedynie przez operatora sieci (nie związanych ze stroną trzecią lub siłą wyższą) [13]. Liczba ta wynosi [13]: 1 dla napięcia WN, 28/18/10 (obszary wiejskie, mieszane, miejskie) dla napięcia SN oraz 35/22/13 (obszary wiejskie, mieszane, miejskie) dla napięcia nN.

Przyczyny i skutki krótkich przerw w dostarczaniu energii elektrycznej

Przyczyny powstawania krótkich przerw w zasilaniu (zaników napięcia) mogą mieć różną genezę. Można je generalnie podzielić na przyczyny pochodzenia zewnętrznego i pochodzenia wewnętrznego względem systemu elektroenergetycznego.

Przyczynami zewnętrznymi są najczęściej zwarcia w sieci, których ewentualne skutki są eliminowane poprzez automatykę elektroenergetyczną o charakterze eliminacyjnym (działanie urządzeń zabezpieczających, tj. bezpieczników lub wyłączników) i restytucyjnym (dzięki zastosowaniu automatyki samoczynnego ponownego załączenia (SPZ), możliwe jest przywrócenie zasilania w czasie krótkim, po wystąpieniu zwarcia przemijającego). Inną możliwością związaną z przywróceniem zasilania w czasie krótkim po wykryciu uszkodzenia elementu sieci np. transformatora, jest jego wyłączenie i automatyczne przełączenie na inne zasilanie, poprzez automatykę samoczynnego załączenia rezerwy (SZR). W obu tych przypadkach wystąpi krótkie wyłączenie zasilania [15, 16].

Przyczyny wewnętrzne wystąpienia krótkich przerw w zasilaniu mogą być wywołane dokonywanymi w sieci dystrybucyjnej przełączeniami. Współcześnie operatorzy systemów elektroenergetycznych dążą do minimalizacji liczby wyłączeń zasilania, jednak część stacji elektroenergetycznych nie została zaprojektowana i zbudowana w sposób umożliwiający wykonywanie przełączeń w sposób bezprzerwowo. Zmiana konfiguracji sieci może być z kolei spowodowana koniecznością optymalizacji jej stanu pracy.

Krótkie przerwy w zasilaniu mogą być też powodowane pracami planowymi związanymi z przyłączaniem do i odłączaniem od sieci elektroenergetycznych przyłączy jednostek wytwórczych oraz odbiorców.

Skutki wystąpienia krótkich przerw w zasilaniu są niekorzystne zarówno ze względów technicznych, jak i ekonomicznych. Zaburzenia w pracy urządzeń elektrycznych (powodowane zanikami napięcia), a nawet ich odłączenie w sposób oczywisty negatywnie wpływają na komfort użytkowania urządzeń niewyposażonych w układy podtrzymania zasilania. Ponadto każda przerwa w zasilaniu powoduje ograniczenie produktywności procesów gospodarczych i wprowadza zaburzenie w procesach użytkowania i produkcji energii elektrycznej niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania nowoczesnego systemu gospodarczego. Część urządzeń, nawet po krótkiej utracie zasilania, nie powraca samoczynnie do pracy i wymaga odpowiedniej interwencji użytkowników lub wykwalifikowanych pracowników [15, 16].

Do urządzeń szczególnie wrażliwych na utratę zasilania należy sprzęt informatyczny [16]. Urządzenia tego typu, jeśli nie są zabezpieczone przed skutkami zaników napięcia, mogą działać nieprawidłowo (zwłaszcza w aspekcie transmisji sygnałów) oraz prowadzić do utraty danych użytkowników. W skrajnych przypadkach możliwe jest nawet uszkodzenie firmware'u, co może powodować długi i kosztowny czas naprawy sprzętu.

Problemy w pracy podczas zaników napięcia mogą mieć różne układy wykorzystujące sterowniki PLC [16]. Zakłócenia w podaniu napięcia na zaciski zasilacza przerywają proces technologiczny, który po przywróceniu zasilania może odbywać się w sposób zakłócony [17].

Kolejną grupą urządzeń, w której zanik napięcia wywoła nieprawidłowe działanie są styczniki i przełączniki [16]. Nieprawidłowe działanie styczników w układach łączeniowych wynika z zaniku prądu w układzie cewki i odpadania zwory stycznika. Po przywróceniu zasilania częstym problemem może okazać się konieczność ręcznego ustawiania stanów pracy urządzeń łączeniowych.

Duża liczba procesów technologicznych, które wykorzystują silniki elektryczne, jest czuła na zmiany prędkości pracy i momentu obrotowego jednostek napędowych [16]. Krótkie zaniki napięcia mogą w takich przypadkach skutkować uszkodzeniem elementów obrabianych i powodować powstawanie związanych z tym kosztów.

Należy też wspomnieć o możliwych zaburzeniach w pracy lamp wyładowczych, takich jak np. zgaśnięcie wysokoprężnych lamp sodowych [16].

Obecnie szeroko rozwijająca się branża energetyki odnawialnej również jest czuła na zaniki napięcia. Na przykład, instalowane w mikroinstalacjach fotowoltaicznych i małych turbinach wiatrowych falowniki są falownikami prądu. Muszą mieć zatem podane napięcie zasilające jako referencyjne źródło częstotliwości. W przypadku zaniku napięcia nie jest możliwa dalsza praca falownika odnawialnego źródła energii. Jego ponowne uruchomienie odbywa się automatycznie po powrocie napięcia, jednak w zależności od producenta okres restartu wynosi od około 30 sekund do nawet kilku minut. W tym czasie falownik wykonuje niezbędne testy związane z bezpieczną pracą urządzenia oraz wykonuje badanie sieci pod kątem spełnienia reguł związanych z zakazem nieintencjonalnej pracy wyspowej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE).

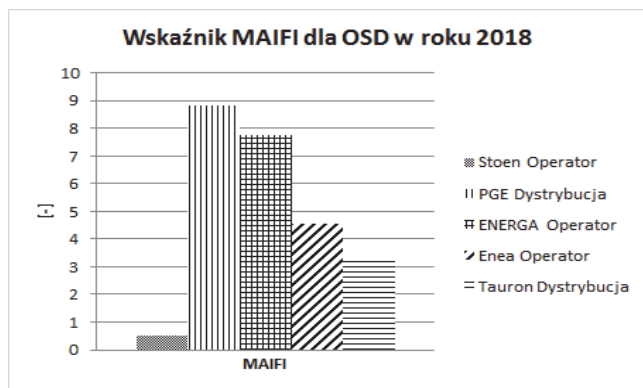
Krótkie przerwy w zasilaniu mają także wpływ na pracę trakcji elektrycznej. W przypadku braku zasilania jednej podstacji trakcyjnej, energia jest przesyłana do sekcji sieci trakcyjnej z niej zasilanej z sąsiednich podstacji (sekcji)

trakcyjnych [18]. Podstacja pozbawiona zasilania sprzęga wówczas obie sekcje, jednak prędkość pociągu z uwagi na znaczne spadki napięcia może być ograniczona, co spowoduje opóźnienia względem założonego planu jazdy.

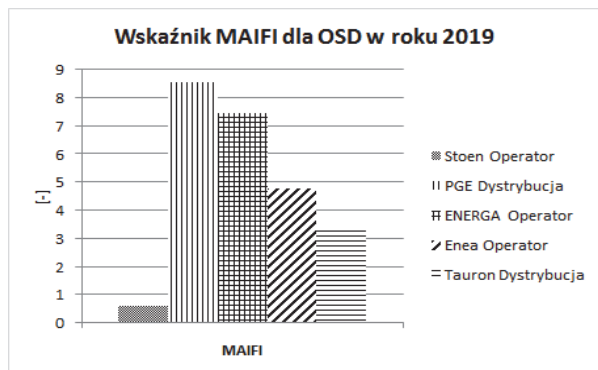
Dane na temat wartości wskaźników dotyczących przerw krótkich w dostarczaniu energii elektrycznej w Polsce

Na rysunkach 1-6 zostały przedstawione wartości wskaźników MAIFI w latach 2018-2023 dotyczących krótkich przerw w dostarczaniu energii elektrycznej przez 5 największych OSD w Polsce. Wartości wskaźników MAIFI dla poszczególnych OSD w analizowanych latach zostały z kolei zaprezentowane na rysunkach 7-11.

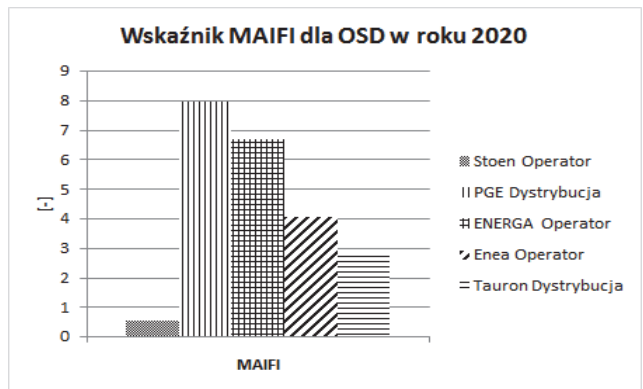
Z rysunków 1-6 wynika, że w latach 2018-2023, najmniejsze wartości wskaźników MAIFI występowały dla Stoen Operator. W dalszej kolejności najmniejsze wartości wskaźnika MAIFI, poza Stoen Operator, występowały dla Tauron Dystrybucja, a następnie dla Enea Operator [8].



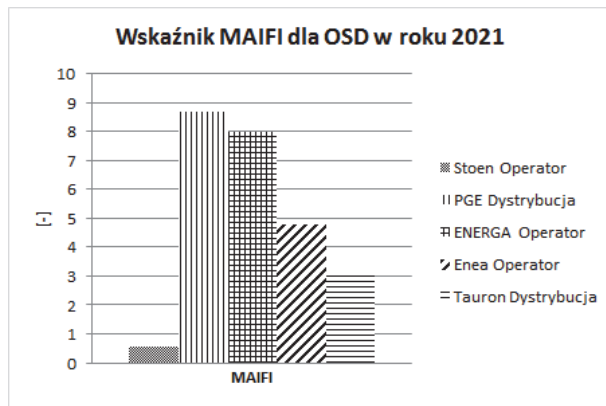
Rys. 1. Wartości wskaźników MAIFI dla analizowanych OSD w roku 2018; opracowano na podstawie [8, 19-23]



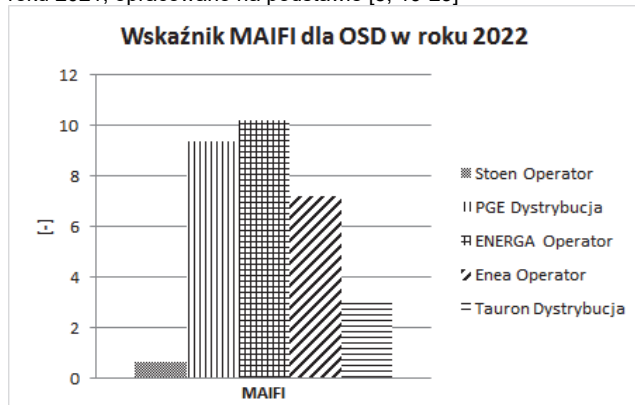
Rys. 2. Wartości wskaźników MAIFI dla analizowanych OSD w roku 2019; opracowano na podstawie [8, 19-23]



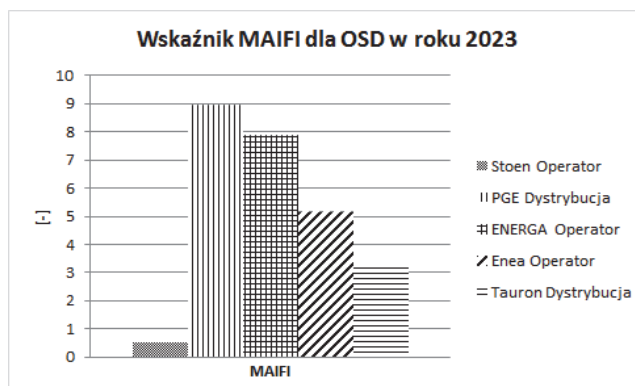
Rys. 3. Wartości wskaźników MAIFI dla analizowanych OSD w roku 2020; opracowano na podstawie [8, 19-24]



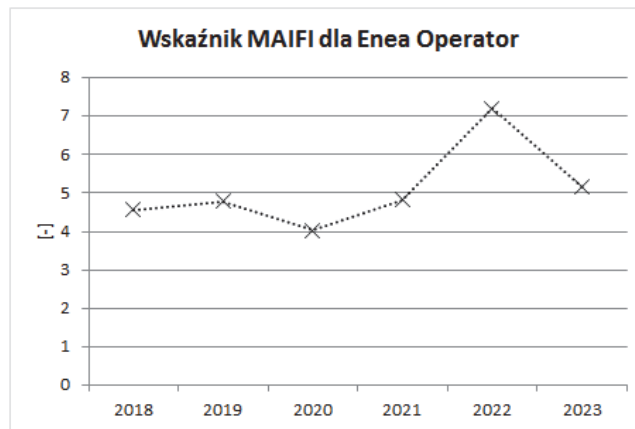
Rys. 4. Wartości wskaźników MAIFI dla analizowanych OSD w roku 2021; opracowano na podstawie [8, 19-23]



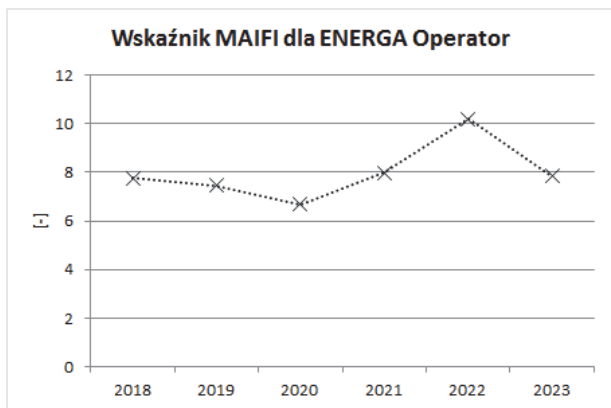
Rys. 5. Wartości wskaźników MAIFI dla analizowanych OSD w roku 2022; opracowano na podstawie [8, 19-23]



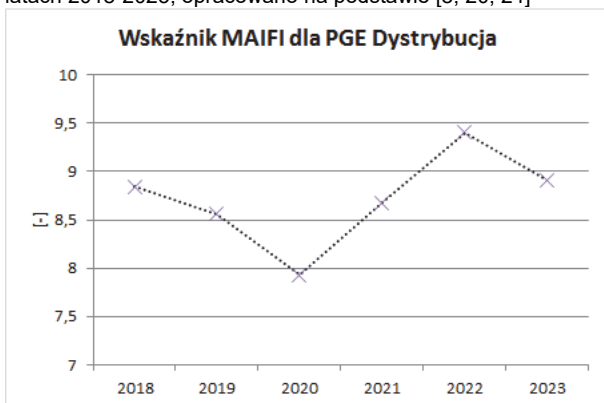
Rys. 6. Wartości wskaźników MAIFI dla analizowanych OSD w roku 2023; opracowano na podstawie [8, 19-23]



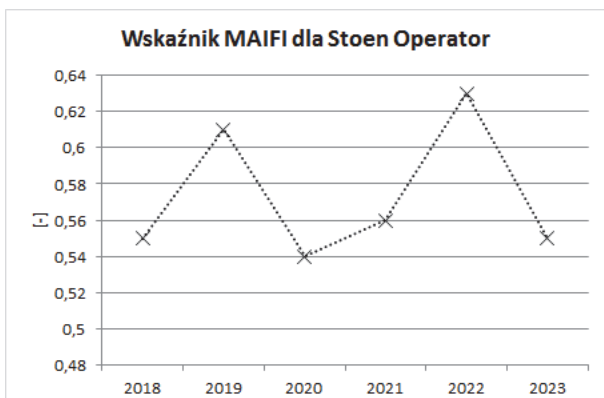
Rys. 7. Wartości wskaźników MAIFI dla Enea Operator Sp. z o. o. w latach 2018-2023; opracowano na podstawie [8, 19, 24]



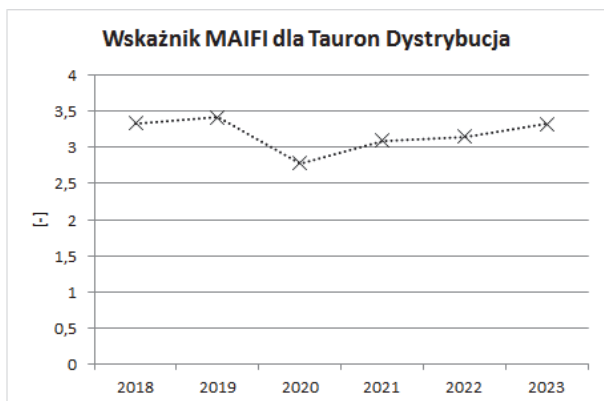
Rys. 8. Wartości wskaźników MAIFI dla ENERGA Operator S.A. w latach 2018-2023; opracowano na podstawie [8, 20, 24]



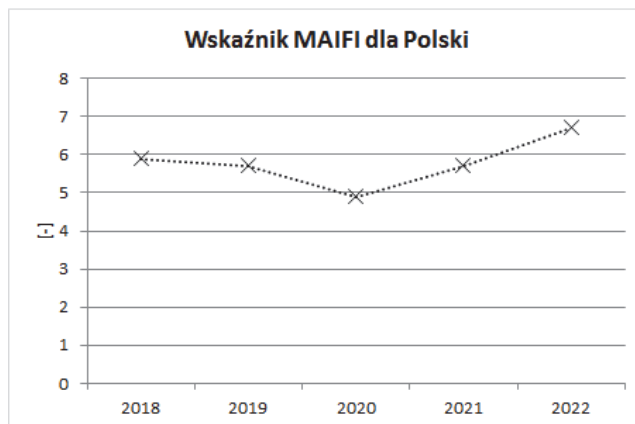
Rys. 9. Wartości wskaźników MAIFI dla PGE Dystrybucja S.A. w latach 2018-2023; opracowano na podstawie [8, 21, 24]



Rys. 10. Wartości wskaźników MAIFI dla Stoen Operator Sp. z o. o. w latach 2018-2023; opracowano na podstawie [8, 22, 24]



Rys. 11. Wartości wskaźników MAIFI dla Tauron Dystrybucja S.A. w latach 2018-2023; opracowano na podstawie [8, 23, 24]



Rys. 12. Wartości wskaźników MAIFI dla Polski w latach 2018-2022; opracowano na podstawie [8, 25 – 29]

Jak wynika z rysunku 7, dla Enea Operator najpierw wartości wskaźnika MAIFI ulegały zmianom w górę i w dół, a następnie od 2020 roku zaobserwowano ich tendencję wzrostową do roku 2022 oraz malejącą w roku 2023. W przypadku Energa Operator (patrz rys. 8), najpierw w latach 2018 – 2020 wartości wskaźnika MAIFI ulegały zmniejszeniu, a następnie zaczęły rosnąć aż do roku 2022, po czym zmalały w roku 2023. Z kolei w przypadku PGE Dystrybucja można zaobserwować, na podstawie rysunku 9, że najpierw w latach 2018 – 2020 wartości wskaźnika MAIFI miały tendencję malejącą, a następnie zaczęły rosnąć do roku 2022, po czym zmalały w roku 2023. Jak wynika z rysunku 10, dla Stoen Operator najpierw w latach 2018 – 2020 wartości wskaźnika MAIFI ulegały zmianom w górę i w dół, a następnie zaczęły rosnąć do roku 2022 oraz zmalały w roku 2023. W przypadku Tauron Dystrybucja (patrz rys. 11), zaobserwowano, że wartości wskaźnika MAIFI najpierw w latach 2018 – 2020 ulegały zmianom w górę i w dół, a następnie zaczęły nieznacznie rosnąć do roku 2023 [8].

Wartości wskaźników MAIFI dotyczących krótkich przerw w zasilaniu dla Polski w latach 2018-2022 zostały pokazane na rysunku 12. Z tego rysunku wynika, że dla Polski najpierw w latach 2018 – 2020 wartości wskaźnika MAIFI ulegały zmniejszeniu, a następnie zaczęły rosnąć w roku 2021 i 2022 [8].

Tabela 1. Wartość średnia, mediana i inne parametry statystyczne wskaźnika MAIFI dla Polski w latach 2018 – 2022; wyznaczone w oparciu o dane z [8, 25 – 29]

Wskaźnik	Wartość średnia	Mediana	Odch. stand.	Max	Min
MAIFI [przerw/odb./rok]	5,78	5,7	0,64187	6,7	4,9

Wartość średnia, mediana, odchylenie standardowe, wartość maksymalna i minimalna wskaźnika MAIFI dla Polski w latach 2018 – 2022, wyznaczone w oparciu o dane zawarte w [8, 25 – 29], zostały przedstawione w Tabeli 1.

Struktura terytorialna wartości wskaźników MAIFI w Polsce

Dostępne dane dotyczące struktury terytorialnej wskaźników MAIFI w Polsce w latach 2018 – 2022 zostały podane m.in. w [25 – 29].

Należy zauważyć, że dominanta odnośnie do wartości wskaźnika MAIFI w Polsce w układzie terytorialnym w latach 2018 – 2021, zgodnie z danymi podanymi w [25 – 28], była:

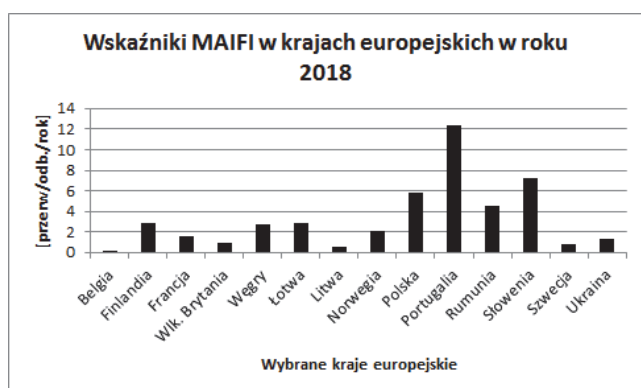
- większa od 15 przerw/odb. w roku 2018 w około 65 powiatach;

- w przedziale od 5,5 do 7,5 przerw/odb. w roku 2019 w trochę ponad 50 powiatach;
 - w przedziale od 1,0 do 2,5 przerw/odb. w roku 2020 w trochę ponad 55 powiatach;
 - w przedziale od 5,5 do 7,5 przerw/odb. w roku 2021 w 60 powiatach.
- Z kolei zgodnie z [29], wskaźnik MAIFI w 2022 roku:
- o wartościach mniejszych od 1 przerw/odb. występował w prawie 30 powiatach w Polsce;
 - o wartościach od 1 do 2,5 przerw na odb. występował w około 45 powiatach;
 - o wartościach od 2,5 do 4 przerw/odb. oraz od 4 do 5,5 przerw/odb. występował w prawie 40 powiatach;
 - o wartościach od 5,5 do 7,5 przerw/odb. występował w trochę ponad 50 powiatach;
 - o wartościach od 7,5 do 9 przerw/odb. występował w trochę ponad 15 powiatach;
 - o wartościach od 9 do 11 przerw/odb. występował w około 35 powiatach;
 - o wartościach od 11 do 13 przerw/odb. występował w trochę ponad 20 powiatach;
 - o wartościach od 13 do 15 przerw/odb. występował w trochę ponad 25 powiatach;
 - o wartościach większych od 15 przerw/odb. występował w około 80 powiatach (dominanta).

Dane na temat wartości wskaźników dotyczących przerw krótkich w dostarczaniu energii elektrycznej w krajach europejskich

Wartości wskaźników MAIFI dotyczących przerw krótkich w zasilaniu odbiorców dla wybranych krajów europejskich w roku 2018 zostały podane na rysunku 13.

Odnosnie do wskaźnika MAIFI, należy zauważyć, że najmniejszymi jego wartościami w roku 2018 charakteryzowały się [13]: Belgia, Litwa, Szwecja i Wielka Brytania. Dla wymienionych państw wskaźnik ten był odpowiednio z przedziału od 0,05 (dla Belgii) do 0,96 (dla Wlk. Brytanii) przerw na odbiorcę w ciągu roku. Wartość średnia wskaźnika MAIFI dla pokazanych na rysunku 13 państw europejskich na koniec 2018 roku wynosiła 3,268 przerw/odb./rok, zaś mediana 2,395 przerw/odb./rok. Odchylenie standardowe analizowanej wielkości wynosiło 3,326 przerw/odb./rok. Największą wartość wskaźnika MAIFI w roku 2018 odnotowano dla Portugalii – 12,36 przerw/odb./rok.



Rys. 13. Wartości wskaźników MAIFI w wybranych krajach europejskich w roku 2018; opracowano na podstawie [13]

Środki zaradcze wpływające na ograniczenie liczby przerw krótkich w zasilaniu odbiorców energii elektrycznej

Podstawowym środkiem zaradczym ograniczającym powstawanie krótkich przerw w zasilaniu jest dążenie do ograniczenia przypadków występowania zwarć lub

ograniczenia obszaru objętego skutkami zwarć. Istnieje wiele środków zaradczych, aby zmniejszyć potencjalną liczbę zwarć w systemie elektroenergetycznym (SEE), o których mowa poniżej.

Zastępowanie linii napowietrznych przez linie kablowe stanowi jeden z najskuteczniejszych sposobów ograniczenia występowania zwarć w sieciach elektroenergetycznych. Statystyki wskazują, że zjawiska w liniach kablowych są zdecydowanie rzadsze niż w liniach napowietrznych. Jest to jednak sposób kosztowny oraz w pewnych sytuacjach niemożliwy ze względów prawno-administracyjnych [30]. Oprócz tego istotne są m.in. takie działania, jak [16]: stosowanie przewodów izolowanych w liniach napowietrznych, stosowanie regularnego przycinania gałęzi w strefach linii napowietrznych, zwiększanie częstości przeprowadzania oględzin, przeglądów i remontów linii napowietrznych i kablowych.

Inną metodą jest stosowanie układów dwustronnie zasilanych, w tym układów pętlowych. W przypadku prawidłowego selektywnego zadziałania zabezpieczenia elektroenergetycznego przerwa w zasilaniu obejmie mniejszy obszar sieci i ograniczona zostanie liczba odbiorców dotkniętych skutkami zaniku napięcia.

Właściwa konserwacja i eksploatacja urządzeń elektrycznych również pozytywnie wpłynie na awaryjność elementów sieciowych i może ograniczyć konieczność stosowania automatyki SZR.

Działania operatorskie, których podejmuje się operator sieci, często wiążą się z krótkimi odłączeniami odbiorców od zasilania. W przypadku układów dwusystemowych stacji elektroenergetycznych część przełączeń może odbywać się z bezprzerwowym przesyłem energii elektrycznej, co ogranicza w sposób znaczący występowanie zaników napięcia na okres przełączeń w układzie sieciowym.

Odbiorca również może zastosować odpowiednie środki zaradcze (stabilizatory napięcia) ograniczające skutki krótkich przerw w zasilaniu. Do najpopularniejszych należy zastosowanie urządzenia do bezprzerwowego podtrzymania napięcia (UPS - *Uninterruptible Power Supply*) [15, 16]. W przypadku wykrycia braku zasilania, urządzenie to przełącza się w tryb zasilania wybranych odbiorców i ogranicza negatywne skutki braku napięcia. Oprócz tego możliwe jest także stosowanie takich urządzeń, jak: SMES (nadprzewodnikowe urządzenia magazynujące energię), koła zamachowe, zespoły agregatów prądotwórczych [16].

Śród innych czynników mających wpływ na zmniejszenie wartości wskaźnika MAIFI można również wskazać na potrzebę skracania długości ciągów liniowych SN i nN [5, 31].

W dalszej części skoncentrowano się na kablowaniu linii napowietrznych SN i nN. Z danych zawartych w [9] i [13] wynika, że największy stopień skablowania linii SN wśród państw europejskich występował w 2018 roku w Holandii, Danii, Niemczech oraz Szwajcarii i zawierał się w przedziale od około 80 do 100%. Z kolei największy stopień skablowania linii nN występował w 2018 roku w Holandii, Danii, Szwajcarii oraz Niemczech i zawierał się w przedziale od 90 do 100%. Mediana udziału linii kablowych w sieciach SN dla wybranych państw europejskich na koniec 2018 roku wynosiła 47,65%. Z kolei mediana udziału linii kablowych w sieciach nN dla wybranych państw europejskich na koniec 2018 roku wynosiła 49,1% [9].

W przypadku Polski, pod koniec 2023 roku stopień skablowania linii SN wynosił 30,56%, zaś stopień skablowania linii nN wynosił 38,41%, wg danych zawartych w [32]. Największy stopień skablowania linii SN miał miejsce pod koniec 2023 roku w Stoen Operator, a następnie w Tauron Dystrybucja i Enea Operator. Z kolei

największy stopień skablowania linii nN występował w Stoen Operator, a następnie w Enea Operator i Energa Operator [32].

Warto wspomnieć, że zgodnie z „Polityką Energetyczną Polski do roku 2040” [33], powinno odbywać się sukcesywne kablowanie linii napowietrznych SN, co niewątpliwie przyczyni się do zmniejszenia liczby zwarć i w konsekwencji do zmniejszenia liczby przerw krótkich.

Podsumowanie i wnioski końcowe

W niniejszym artykule została przeprowadzona analiza wartości wskaźników MAIFI odnoszących się do przerw krótkich w dostarczaniu energii elektrycznej odbiorcom, podawanych corocznie przez operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD). Zaprezentowane zostały szczegółowe informacje odnośnie do wartości wskaźników MAIFI u 5 największych OSD w Polsce, jak i w skali całego kraju, w ostatnich kilku latach. Ponadto w artykule przedstawiono analizę struktury terytorialnej wartości wskaźników MAIFI w naszym kraju. Opisano przyczyny, skutki i środki zaradcze zapobiegające przerwom krótkim w zasilaniu odbiorców przyłączonych do sieci SN i nN.

Głównymi przyczynami przerw krótkich są: zwarcia w sieci, eliminowane przez urządzenia zabezpieczające i automatykę SPZ po wystąpieniu zwarcia przemijającego, przełączenia na zasilanie rezerwowe realizowane przez układy SZR, przełączenia dokonywane w sieci dystrybucyjnej, prace planowe związane z przyłączeniem do i odłączeniem od sieci elektroenergetycznych przyłączy jednostek wytwórczych oraz odbiorców. Skutkami przerw krótkich są m.in.: zaburzenia w pracy urządzeń elektrycznych, ograniczenia produktywności procesów gospodarczych, zaburzenia w procesach użytkowania i produkcji energii elektrycznej, nieprawidłowe działanie sprzętu informatycznego, problemy w pracy układów wykorzystujących sterowniki PLC, nieprawidłowe działanie styczników i przełączników, nieprawidłowa praca napędów silnikowych, zaburzenia w pracy lamp wyładowczych, zaburzenia w pracy falowników odnawialnych źródeł energii, niedogodności w pracy trakcji elektrycznej.

Należy zauważyć, że w latach 2018-2023 najmniejsze wartości wskaźników MAIFI występowały dla Stoen Operator, a następnie dla Tauron Dystrybucja i Enea Operator. Jeśli chodzi o wskaźnik MAIFI dla Polski, to najpierw w latach 2018 – 2020 wartości tego wskaźnika ulegały zmniejszeniu, a następnie zaczęły rosnąć w roku 2021 i 2022. Średnia wartość wskaźnika MAIFI dla Polski w latach 2018 – 2022 wyniosła 5,78 przerw/odb./rok, zaś mediana 5,7 przerw/odb./rok. Wartości te są większe od wyznaczonych wartości na koniec roku 2018 dla państw europejskich, pokazanych na rysunku 13.

Dominanta odnośnie do wartości wskaźnika MAIFI w Polsce w układzie terytorialnym w latach 2018 – 2022: była większa od 15 przerw/odb. w roku 2018 w około 65 powiatach; znajdowała się w przedziale od 5,5 do 7,5 przerw/odb. w roku 2019 w trochę ponad 50 powiatach; znajdowała się w przedziale od 1,0 do 2,5 przerw/odb. w roku 2020 w trochę ponad 55 powiatach; znajdowała się w przedziale od 5,5 do 7,5 przerw/ odb. w roku 2021 w 60 powiatach, była większa od 15 przerw/odb. w roku 2022 w około 80 powiatach.

Najmniejszymi wartościami wskaźnika MAIFI w roku 2018 charakteryzowały się w Europie: Belgia, Litwa, Szwecja i Wielka Brytania. Wartość średnia wskaźnika MAIFI dla państw europejskich, pokazanych na rysunku 13, na koniec 2018 roku wynosiła 3,268 przerw/odb./rok, zaś mediana 2,395 przerw/odb./rok.

Podstawowym środkiem zaradczym ograniczającym wartość wskaźnika MAIFI (powstawanie krótkich przerw w

zasilaniu) jest ograniczenie liczby zwarć lub ograniczenie obszaru objętego skutkami zwarć. Można to uczynić np. poprzez zastępowanie linii napowietrznych przez linie kablowe. Innymi możliwymi działaniami w tym zakresie są m.in. takie czynności jak [16]: stosowanie przewodów izolowanych w liniach napowietrznych, stosowanie regularnego przycinania gałęzi w strefach linii napowietrznych, zwiększanie częstości przeprowadzania oględzin, przeglądów i remontów linii napowietrznych i kablowych. Spośród innych czynności zmniejszających wartość wskaźnika MAIFI można wymienić: stosowanie układów dwustronnie zasilanych, w tym układów pętlowych, prowadzenie właściwej konserwacji i eksploatacji urządzeń elektrycznych, stosowanie dwu- i trójsystemowych układów stacji elektroenergetycznych, skracanie długości ciągów liniowych SN i nN, stosowanie odpowiednich środków zaradczych – stabilizatorów napięcia przez odbiorców.

Mediana udziału linii kablowych w sieciach SN dla wybranych państw europejskich na koniec 2018 roku wynosiła 47,65%. Z kolei mediana udziału linii kablowych w sieciach nN dla wybranych państw europejskich na koniec 2018 roku wynosiła 49,1% [9]. W przypadku Polski, wg danych zawartych w [32], pod koniec 2023 roku stopień skablowania linii SN wynosił 30,56%, zaś stopień skablowania linii nN wynosił 38,41%.

Biorąc pod uwagę aspekt przeprowadzania analiz niezawodnościowych sieci, wskazane byłoby publikowanie przez Agencję Rynku Energii S.A. lub operatorów systemów dystrybucyjnych oddzielnych wskaźników MAIFI dla poszczególnych poziomów napięć (tj. nN, SN i WN).

Autorzy składają wyrazy podziękowania Panu dr. inż. Jarosławowi Tomczykowskiemu z PTPIREE za udostępnienie odpowiednich danych dotyczących wskaźników niezawodności zasilania w Polsce w roku 2020 [24].

Autorzy: prof. dr hab. inż. Mirosław Parol, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: miroslaw.parol@pw.edu.pl; mgr inż. Michał Polecki, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: michal.polecki@pw.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Kornatka M.: Analiza wskaźników niezawodnościowych krajowych operatorów systemu dystrybucyjnego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 5, 331-337
- [2] Parol M.: Analiza wskaźników dotyczących przerw w dostarczaniu energii elektrycznej na poziomie sieci dystrybucyjnych. *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 8, 122-126
- [3] Kornatka M.: Automatykacja pracy sieci średniego napięcia a poziom ich niezawodności. *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 8, 109-112
- [4] Parol M.: Analiza poziomu niezawodności zasilania odbiorców w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych. *Przegląd Elektrotechniczny*, 93 (2017), nr 3, 1-6, DOI: 10.15199/48.2017.03.01
- [5] Tomczykowski J.: Kluczowa rola linii SN w ocenie niezawodności sieci dystrybucyjnych. *Energia Elektryczna*, 2019, nr 8, 22 – 24
- [6] Kornatka M.: Analiza niezawodności sieci elektroenergetycznych metodami nieparametrycznymi. *Materiały Konferencji „Niezawodność sieci elektroenergetycznych – 2024”*. Wiśła, 16-17.04.2024, Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, 43-50
- [7] Tomczykowski J.: Poziom niezawodności a charakterystyczne cechy sieci elektroenergetycznych. *Materiały Konferencji „Niezawodność sieci elektroenergetycznych – 2024”*. Wiśła, 16-17.04.2024, Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej,

- <http://niezawodnosc.ptpiree.pl/konferencje/niezawodnosc/2024/materiały/32.pdf>
- [8] Parol M.: Niezawodność zasilania odbiorców w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych oraz w mikrosieciach – analiza problemu – część 1. *Przegląd Elektrotechniczny*, 100 (2024), nr 6, 48-54, DOI: 10.15199/48.2024.06.09
- [9] Parol M.: Niezawodność zasilania odbiorców w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych oraz w mikrosieciach – analiza problemu – część 2. *Przegląd Elektrotechniczny*, 100 (2024), nr 6, 55-60, DOI: 10.15199/48.2024.06.10
- [10] II Krajowy Raport Benchmarkingowy nt. jakości dostaw energii elektrycznej do odbiorców przyłączonych do sieci przesyłowych i dystrybucyjnych. Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków czerwiec 2021
- [11] Parol M., Połom M.: Niezawodność zasilania odbiorców na poziomie sieci dystrybucyjnych odnośnie do przerw krótkich – analiza zagadnienia. *Materiały Konferencji „Niezawodność sieci elektroenergetycznych – 2024”*. Wisła, 16-17.04.2024, Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, 51-59
- [12] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. z 2023 r., poz. 819 z późniejszą zmianą)
- [13] 7th CEER-ECRB Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas Supply. Council of European Energy Regulators, 2022
- [14] Common T&D Reliability Indices, https://www.ewh.ieee.org/r6/san_francisco/pes/pes_pdf/Reliability_and_Artificial_Intelligence/Common_T&D_Reliability_Indices.pdf
- [15] Hanzelka Z.: Jakość energii elektrycznej. Część 2 – Zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu – wpływ na pracę napędów elektrycznych o regulowanej prędkości. Twelve Electric Sp. z o. o., http://www.twelvee.com.pl/pdf/Hanzelka/cz_2_pelna.pdf
- [16] Hanzelka Z.: Zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu. *Automatyka – Elektryka – Zakłócenia*. 1 (2010), nr 2, 55 – 70, <https://www.cire.pl/pliki/2/hanzelka-zapady1.pdf>
- [17] Marszałkiewicz K.: Badania odporności sterownika PLC na zapady i zaniki napięcia zasilającego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 83 (2007), nr 9, 71-72
- [18] Bartłomiejczyk M., Połom M.: Wpływ struktury przestrzennej układu zasilania na energochłonność trakcji miejskiej - analiza teoretyczna. *Technika Transportu Szynowego*, 2014, nr 11 – 12, 75-80
- [19] www.operator.enea.pl
- [20] www.energa-operator.pl
- [21] www.pgedystrybcja.pl
- [22] www.stoenoperator.pl
- [23] www.tauron-dystrybcja.pl
- [24] Tomczykowski J.: Dane na temat wartości wskaźników SAIDI, SAIFI i MAIFI dla 5 największych OSD w Polsce w roku 2020, materiały niepublikowane
- [25] Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2018, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa 2019
- [26] Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2019, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa 2020
- [27] Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2020, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa 2021
- [28] Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2021, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa 2022
- [29] Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2022, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa 2023
- [30] Olejnik B., Łowczowski K.: Techniczne metody poprawy współczynników SAIDI oraz SAIFI stosowane w sieci dystrybucyjnej. *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, 2016, nr 86, 165-176
- [31] Tomczykowski J.: Analiza zmian sieci dystrybucyjnej w latach 2016 – 2020. *Energia Elektryczna*, 2021, nr 9, 15 - 18
- [32] Energetyka, dystrybcja, przesył. Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej. Raport z roku 2024 za rok 2023, Poznań 2024
- [33] Polityka energetyczna Polski do 2040 r., Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 2 marca 2021 r., Monitor Polski, poz. 264 z 2021 roku