

Kierunki inwestowania a straty energii elektrycznej w sieci rozdzielczej

Streszczenie. Największe straty energii w sieci rozdzielczej występują w liniach sieci niskiego i średniego napięcia oraz w transformatorach SN/nN. Dla tych elementów sieci omówiono główne kierunki inwestowania na przykładzie jednego z obszarów dystrybucji, mającego 11 oddziałów. Zasięg działalności dystrybucyjnej analizowanej OSD obejmuje 18% obszaru Polski.

Abstract. The largest energy losses in the distribution network are the lines of the low and medium voltage transformers MV / LV. For these network elements are the main investment directions on the example of one of the areas of distribution, having 11 branches. The range of activities of the distribution analyzed OSD covers 18% of the Polish. **(Directions of investment and the loss of electricity in the distribution network).**

Słowa kluczowe: inwestycje, straty energii, sieć rozdzielcza, efektywność rozdziału energii elektrycznej
Keywords: distribution network, energy losses, efficiency, investments

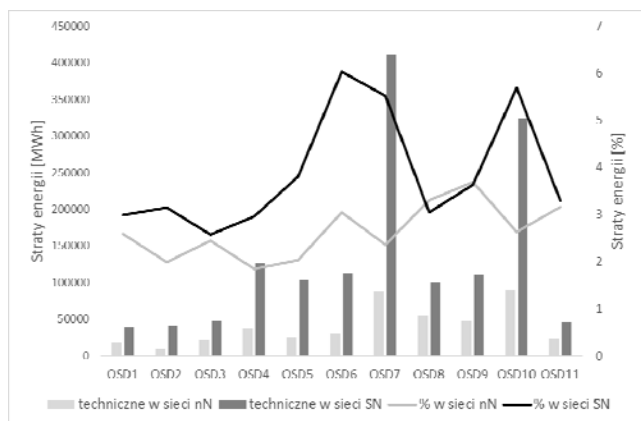
Wstęp

W każdej sieci elektroenergetycznej energia wprowadzona do danego obszaru jest mniejsza od energii z tego obszaru sprzedanej. Różnica między tymi energiami to straty energii, zwane stratami bilansowymi. Straty bilansowe to zarówno straty techniczne jak i straty handlowe. W sieci elektroenergetycznej która jest złożona z wielu elementów, techniczne straty energii są nieuniknione. Każdy element sieci ma rezystancję - przepływ prądu wytwarza ciepło, powodując stratę części przesyłanej energii. W izolacji pozostającej pod napięciem również powstają straty energii. Straty na rezystancji i w izolacji prawidłowo dobranego i użytkowanego elementu sieci wynikają z „fizyki zjawisk” zachodzących przy przesyłaniu energii - są to techniczne straty energii [1, 2].

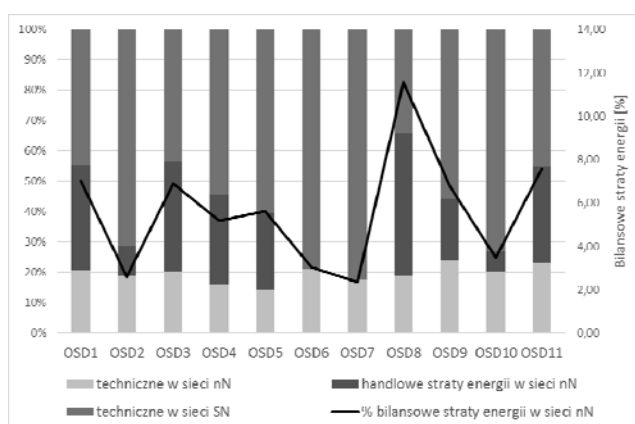
Znajomość strat energii w sieci elektroenergetycznej jest czynnikiem ważnym z punktu widzenia oceny warunków pracy sieci, oceny sprawności dostaw, czy też efektywnego podejmowania działań prowadzących do ograniczania strat [3, 4].

Wyniki badań

Badania przeprowadzono na podstawie danych pochodzących od operatora systemu dystrybucyjnego (OSD) południowo-zachodniej Polski za rok 2013. OSD ma na obszarze działania 11 oddziałów dla których przeprowadzono analizę. Zebrane dane dotyczyły ilości energii przepływającej przez poszczególne stopnie sieci oraz ilości urządzeń rozdzielających energię. Przy pomocy programu EUROEFEKT obliczono straty energii w sieci rozdzielczej. Wyniki obliczeń pokazano na rysunkach 1 - 3.

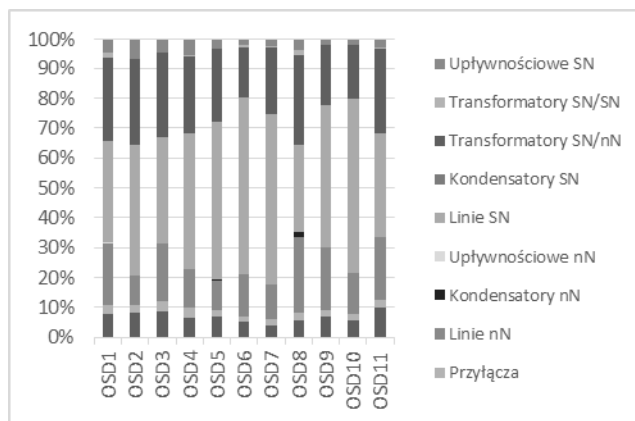


Rys.1. Techniczne straty energii elektrycznej w sieci rozdzielczej



Rys.2. Udział bilansowych strat energii w sieci niskiego i średniego napięcia w całości strat energii w sieci rozdzielczej

W sieci niskiego napięcia bilansowe straty energii stanowią od 2,36 % (OSD7) do 11,58 % (OSD8), podczas gdy techniczne straty w tej sieci kształtują się od 1,84 % (OSD4) do 3,69 % (OSD9). Tak więc handlowe straty energii wynoszą od ok. 0 % dla OSD6 i OSD7 do 8,27 % dla OSD8. Dla tego oddziału straty handlowe są ponad 2,5 krotnie wyższe niż straty techniczne. W sieci średniego napięcia straty handlowe nie występują, straty techniczne stanowią od 2,58 % (OSD3) do 6,03 % (OSD6). Aby zmniejszyć straty techniczne w sieciach należy przeprowadzić analizę dotyczącą parametrów technicznych.

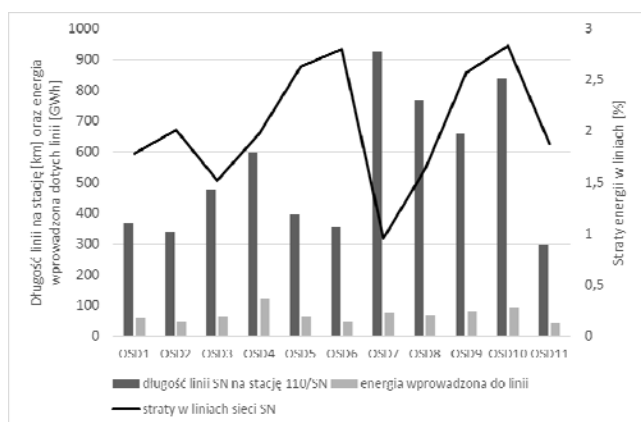


Rys.3. Udział poszczególnych elementów strat energii w całości strat energii w sieci rozdzielczej

Do technicznych strat energii w sieci niskiego napięcia zalicza się straty w licznikach, przyłączach w liniach, w kondensatorach oraz upływnościowe. Największe straty energii w sieci niskiego napięcia to straty w liniach sieci, kształtują się one od 9,51 % (OSD2) do 25,2 % (OSD8). Straty techniczne w sieci średniego napięcia to straty w liniach sieci, transformatorach SN/nN oraz transformatorach SN/SN, kondensatorach i upływnościowe. Największe straty energii w sieci średniego napięcia to straty w liniach sieci, wynoszą one od 28,98 % (OSD8) do 58,95 % (OSD6) oraz w transformatorach SN/nN i wynoszą od 17,33 % (OSD6) do 30,06 % (OSD9).

Działania inwestycyjne mające na celu ograniczenie strat energii w liniach sieci średniego napięcia

Na rysunku 4 pokazano średnią długość linii średniego napięcia wychodzących ze stacji 110/SN, średnią wartość energii wprowadzoną do linii dla każdego z analizowanych obszarów dystrybucji oraz procentowe straty energii w liniach sieci.



Rys.4. Średnia długość linii średniego napięcia wychodzących ze stacji 110/SN, średnia wartość energii wprowadzona do tych linii oraz procentowe straty energii w liniach sieci średniego napięcia

Najniższe procentowe straty energii wynoszące 0,95 % występują w OSD7. Dla tego obszaru dystrybucji długość linii wychodząca z jednej stacji 110/SN jest najwyższa i wynosi 927 km/stację. Także dla OSD8, OSD9 i OSD10 występują wysoka długość linii wychodząca ze stacji 110/SN, jednak w dla OSD9 i OSD10 stosunkowo wysokie są straty energii w liniach sieci. W celu określenia obszaru dystrybucji, dla którego najbardziej opłaca się inwestować w linie sieci w tabeli 1 pokazano gęstość energii, gęstości linii oraz procent linii kablowych.

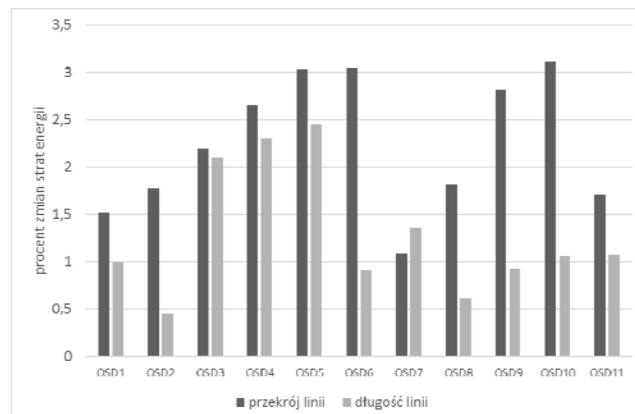
Tabela 1. Charakterystyka sieci średniego napięcia

	OSD1	OSD2	OSD3	OSD4	OSD5	OSD6
gęstość energii [MWh/km ²]	297,1	324,2	445,8	684,0	342,1	296,85
gęstość linii SN [km/km ²]	0,81	0,95	0,93	1,15	0,86	0,84
gęstość stacji 110/SN [st/km ²]	0,0053	0,0069	0,0070	0,0056	0,0054	0,0061
	OSD7	OSD8	OSD9	OSD10	OSD11	
gęstość energii [MWh/km ²]	1766,44	1291,42	780,42	645,00	339,33	
gęstość linii SN [km/km ²]	1,91	1,69	1,19	0,77	1,13	
gęstość stacji 110/SN [st/km ²]	0,0227	0,0199	0,0095	0,0070	0,0077	

Obszary dystrybucji mające dużą gęstość energii, dużą gęstość linii oraz duży udział linii kablowych w sieci mają niskie straty energii. OSD11 ma dużą gęstość linii, ale stosunkowo niską gęstość stacji, bardzo mało linii

kablowych przy stosunkowo długich ciągach linii SN i w rezultacie duże straty energii. OSD10 ma dużo linii kablowych ale niską gęstość energii, co daje wysokie straty energii.

Sieć średniego napięcia jest bardzo zróżnicowana, nie da się więc jednoznacznie określić jakie parametry sieci należy brać pod uwagę aby uzyskać największe ograniczenie strat energii w liniach sieci. Przeprowadzono więc analizę symulacyjną, obliczając straty energii gdy: 1) zwiększono o 10 % długość linii średniego napięcia, 2) zwiększono o 10 % średni handlowy przekrój linii tworzących sieć. Wyniki zamieszczono na rysunku 5.

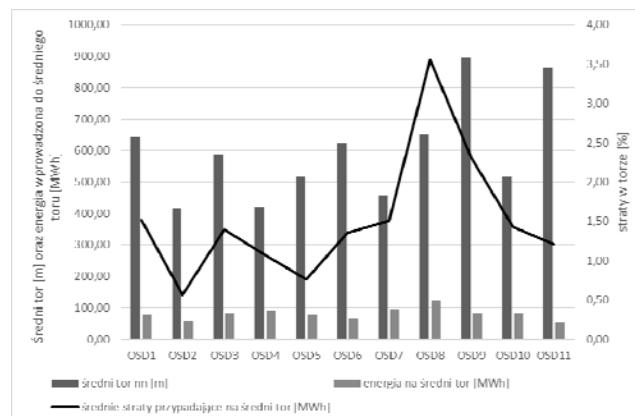


Rys.5. Procent zmian strat energii w przypadku dobudowy 10% linii średniego napięcia lub zwiększenia o 10% średniego handlowego przekroju linii średniego napięcia

Zwiększenie przekroju linii daje lepszy efekt, przy czym jest on różny dla poszczególnych obszarów dystrybucji. Ponad 3 % ograniczenia strat energii nastąpiło dla OSD5, OSD6 i OSD10. Są to oddziały, które mają największe straty energii w liniach sieci średniego napięcia.

Działania inwestycyjne mające na celu ograniczenie strat energii w liniach niskiego napięcia

Na straty energii w linii sieci niskiego napięcia mają wpływ takie parametry jak: średni handlowy przekrój linii, długość obwodu (toru) linii, energia wprowadzona do tego obwodu. Średnie wartości tych parametrów dla poszczególnych oddziałów dystrybucji oraz średnie straty obciążeniowe przypadające na obwód pokazano na rysunku 6.

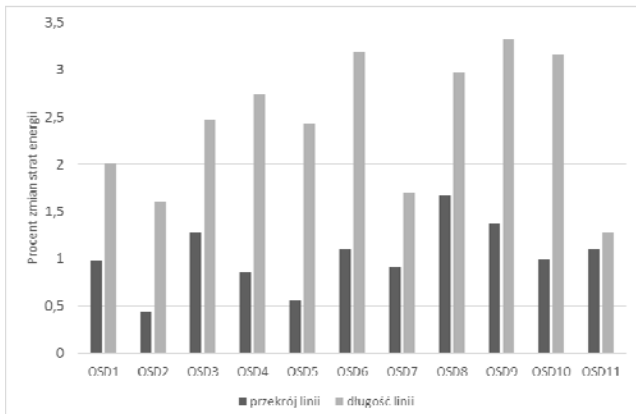


Rys.6. Uśrednione parametry sieci niskiego napięcia (tor linii, energia wprowadzona do linii oraz straty energii w obwodzie)

Najniższe straty energii, wynoszące 0,56 % występują dla OSD2. Oddział ten ma najkrótsze tory linii niskiego napięcia i w związku z tym niewielką ilość energii

wprowadzoną do linii. Przy czym nie oznacza to małej gęstości energii. Najwyższe straty energii w średnim torze linii niskiego napięcia są dla OSD8. Oddział ten ma stosunkowo długi średni tor i dużą ilość energii wprowadzoną do linii, a co za tym idzie najwyższe techniczne straty energii (rysunek 1).

Tak samo jak w przypadku sieci średniego napięcia sieć niskiego napięcia jest bardzo zróżnicowana, nie da się więc jednoznacznie określić jakie parametry sieci należy brać pod uwagę aby uzyskać największe ograniczenie strat energii w liniach sieci. Przeprowadzono więc analizę symulacyjną, obliczając straty energii gdy: 1) zwiększono o 10% długość linii średniego napięcia, 2) zwiększono o 10% średni handlowy przekrój linii tworzących sieć. Wyniki analizy zamieszczono na rysunku 7.

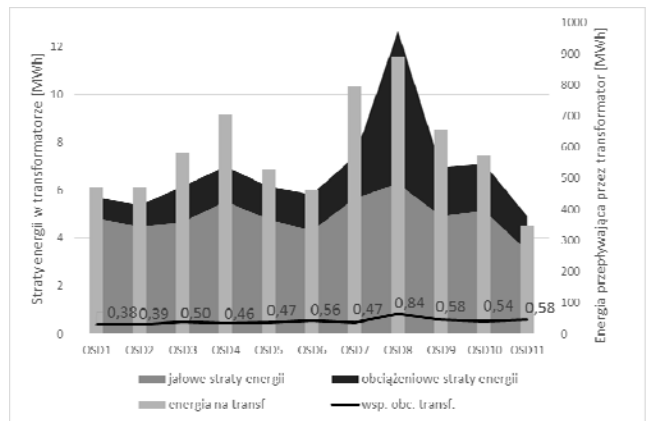


Rys.7. Procent zmian strat energii w przypadku dobudowy 10% linii niskiego napięcia lub zwiększenia o 10% średniego handlowego przekroju linii niskiego napięcia

W przypadku linii niskiego napięcia lepszy efekt daje zwiększenie długości linii, przy jednoczesnym zmniejszeniu długości pojedynczego toru linii, a nie zwiększenie przekroju linii. Ponad 3% zmniejszenia strat energii w liniach sieci niskiego napięcia wystąpiło dla OSD6, OSD9 i OSD10. Co ciekawe, największe straty energii przypadające na średni tor są dla OSD8 (rysunek 6) i należałoby się spodziewać, że dla tego obszaru będzie najkorzystniejszy efekt. Straty w przypadku zwiększenia długości linii są znaczne, wynoszą 2,97%, ale nie najwyższe. Natomiast w przypadku zwiększenia przekroju linii dla tego obszaru dystrybucji uzyskuje się najlepszy rezultat. Oznacza to, że OSD8 ma niskie przekroje w liniach sieci niskiego napięcia. I drugi wniosek z tego wynikający, należy przeprowadzać pogłębioną analizę i brać pod uwagę wszystkie aspekty analizowanego obszaru. W przypadku OSD11, który to obszar ma długie ciągi sieciowe (rysunek 6) dobudowa linii jest mało korzystna. Energia wprowadzona do linii jest niewielka i skracanie torów linii nie da spodziewanego efektu. Sieć na tym obszarze jest rozległa i mało obciążona, taka specyfika obszaru, tutaj należy liczyć się z większymi stratami energii.

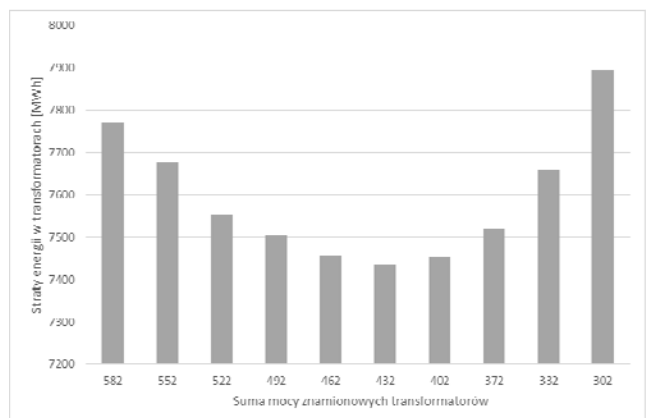
Działania inwestycyjne mające na celu ograniczenie straty energii w transformatorach SN/nN

Straty energii w transformatorach SN/nN stanowią znaczny procent strat technicznych w sieci rozdzielczej. Straty energii (przypadające na transformator) w podziale na jałowe i obciążeniowe, energia przepływająca przez transformator oraz średni współczynnik obciążenia transformatora przedstawiono na rysunku 8.



Rys.8. Straty energii (średnie) w podziale na jałowe i obciążeniowe, energia przepływająca przez transformator oraz średni współczynnik obciążenia transformatora

Najwyższe straty energii przypadające na transformator występują w sieci OSD8. Oddział ten ma również najwyższy współczynnik obciążenia transformatora, a co za tym idzie największa ilość energii przepływa przez transformator. Jałowe straty w transformatorach stanowią ponad połowę strat energii w transformatorach. W sieci złożonej moce znamionowe transformatorów są bardzo zróżnicowane. Zgodnie jednak z prawem Vidmara, znamionowe straty zarówno jałowe jak i obciążeniowe zależą od mocy znamionowej danego transformatora w potęgę 3/4. Zależność ta jest spełniona dla ±3 stopni transformatorów. Tak więc im większa moc znamionowa transformatora tym wyższe jałowe straty energii, a mniejsze obciążeniowe. Dlatego też należy tak dobrać moc znamionową transformatora, aby suma jego strat była jak najniższa. Na rysunku 9 pokazano straty energii w transformatorach funkcji mocy zainstalowanej transformatorów.



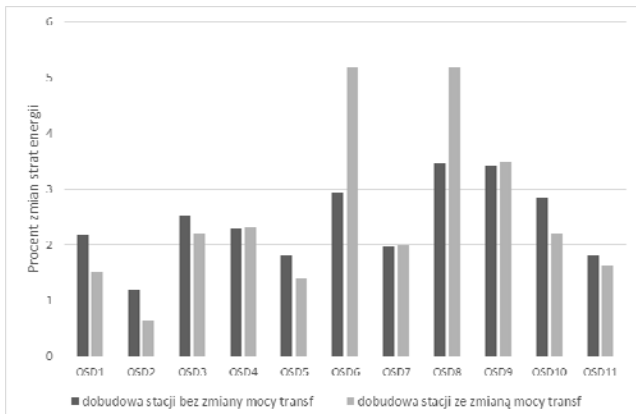
Rys.9. Straty energii w transformatorach funkcji mocy zainstalowanej transformatorów

Jak z niego wynika istnieje taka wartość współczynnika obciążenia transformatora, różna dla różnych obszarów, ponieważ zależy m.in. od czasu trwania obciążenia szczytowego, dla której straty energii w transformatorach będą najniższe.

Ograniczenie strat energii w sieci niskiego napięcia poprzez dobudowę stacji zasilających sieć niskiego napięcia

Liczba stacji zasilających sieć niskiego napięcia ma istotny wpływ na techniczne straty energii w sieci niskiego napięcia. Od liczby punktów zasilających zależy bowiem długość torów linii niskiego napięcia. Z jednej strony

zwiększenie liczby stacji powoduje zmniejszenie strat obciążeniowych w liniach sieci niskiego napięcia, z drugiej zwiększenie strat w transformatorach. Im większa liczba punktów zasilających tym większa liczba transformatorów SN/nN, a tym samym strat w nich występujących. Przeprowadzono badania symulacyjne, obliczono straty energii w sieci niskiego napięcia zwiększając o 10 % liczbę stacji zasilających sieć. Brano pod uwagę dwa warianty: 1) średnia moc stacji transformatorowych pozostawała bez zmian, 2) bez zmian pozostawała suma mocy zainstalowanych transformatorów. Wyniki analizy przedstawiono na rysunku 10.



Rys.10. . Procent zmian strat energii w przypadku dobudowy 10% stacji zasilających sieć niskiego napięcia

Dla OSD8 i OSD6 dobudowa stacji zasilających sieć niskiego napięcia z jednoczesną zmianą mocy transformatorów (zwiększeniem mocy) daje największe ograniczenie strat energii w sieci niskiego napięcia. Dla tych obszarów był wysoki współczynnik obciążenia transformatorów (rysunek 8) i tylko dla nich dobudowa stacji z jednoczesnym zwiększeniem mocy znamionowej transformatorów (obniżeniem współczynnika obciążenia transformatora) daje zmniejszenie strat energii. OSD9, OSD10 i OSD11 mają porównywalny do OSD6 współczynnik obciążenia transformatora, a w ich przypadku nie powoduje to tak dużego obniżenia strat energii. Spowodowane jest to tym, że obciążeniowe straty energii w transformatorach są zależne nie tylko od współczynnika obciążenia transformatora (w zasadzie od kwadratu tego współczynnika) ale także od czasu trwania maksymalnych strat. Tak duże obniżenie strat energii dla OSD8 w przypadku dobudowy stacji zasilających sieć niskiego

napięcia, pokazuje nam, że dla tego obszaru dystrybucji największym problemem jest zbyt niska liczba stacji zasilających sieć, a nie linie sieci niskiego napięcia. Dla pozostałych obszarów dystrybucji dobudowa stacji zasilających sieć niskiego napięcia wraz ze zwiększeniem współczynnika obciążenia transformatorów da największe korzyści.

Wnioski

1. Dla każdego oddziału dystrybucji należy przeprowadzić analizę, aby móc stwierdzić, gdzie inwestować, żeby osiągnąć najlepszy efekt, czyli ograniczenie strat energii. Analiza musi obejmować wszystkie elementy mający wpływ na straty energii elektrycznej.
2. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w przypadku sieci niskiego napięcia dobudowa stacji SN/nN da większe zmniejszenie strat energii niż zwiększenie przekroju linii lub zwiększenie długości sieci niskiego napięcia.
3. Dla różnych oddziałów, mimo zastosowania takiej samej metody inwestycyjnej, uzyskuje się inny efekt. Zależy to od bardzo wielu czynników; stanu sieci, a przede wszystkim jej struktury.
4. W analizie nie brano pod uwagę kosztów poniesionych na inwestycję, funkcją celu było ograniczenie strat energii. Należy jednak pamiętać, że koszty inwestycyjne stanowią bardzo ważny czynnik. Dlatego też należy w dalszej części uzupełnić analizę o badania dotyczące efektywności inwestowania.

Autorzy: prof. nzw. dr hab. inż. Anna Gawlak, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Dąbrowskiego 29, 42-200 Częstochowa, E-mail: gawlak@el.pcz.czyst.pl

LITERATURA

- [1] Gawlak A., Gono R, Rusek S, Szkutnik J., Method of calculating energy losses in distribution networks. Rynek energii n.5, (2012), 126-131
- [2] Gawlak A., Technological aspects of electrical energy distribution. 14th International Scientific Conferenc Electric Power Engineering, (2014), 45-48
- [3] Gawlak A., Analysis of technical losses in the low and medium voltage power network. 11th International Scientific Conference Electrical Power Engineering (2010),119-123
- [4] Szkutnik J., Gawlak A., Optimalization-based method of dividing the network development costs. Electrical Engineering ISSN 0948-7921 volume 93, number 3. Springer Electr Eng (2011) 93, 137-146