

Jerzy Szkutnik¹⁾

Politechnika Częstochowska

Wydział Elektryczny

Aspekty techniczno-ekologiczne pracy stacji rozdzielczych z SF₆

Technical and ecological aspects of distribution substations with SF₆ operation

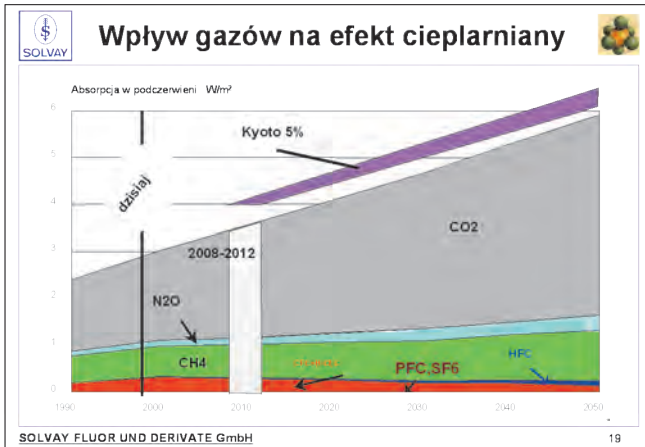
Sześćciofluorek siarki (SF₆) jako czynnik gaszący łuk elektryczny oraz ośrodek izolacyjny w urządzeniach elektrycznych wysokich i średnich napięć zaczęto stosować począwszy od roku 1960. Czołowe firmy aparaturowe na świecie rozwinęły produkcję wysokonapięciowych rozdzielnic osłoniętych z izolacją gazu SF₆ oraz wysokonapięciowych wyłączników, w których czynnik ten stanowił medium gaszące łuk elektryczny. Prefabrykowane elementy rozdzielnic z izolacją stałą o wymaganej wytrzymałości dielektrycznej były ciężkie i zawodne, na skutek pęknięć odlewów żywicznych o dużej objętości. Rozdzielnice z izolacją olejową były niebezpieczne pod względem wybuchowym i pożarowym i również ciężkie. Wobec tego SF₆ szybko stał się alternatywą, przyczyniając się do zwiększenia efektywności systemów przesyłu i rozdzielenia energii elektrycznej z punktu widzenia bezpieczeństwa, ekonomii i racjonalizacji technicznej. Uogólniona ocena, która obejmuje aspekty: ekologiczne, ekonomiczne, techniczne i bezpieczeństwa wykazała, że SF₆ został doskonale wybrany jako ośrodek izolacyjny i gasiwo. Przez lata technika SF₆ była stale doskonalona w dziedzinie przesyłu i rozdzielenia energii elektrycznej. Dziś uczestniczy ona w dalszym rozwoju technicznym i ekonomicznym [1,2,8,17].

Najważniejsze w produkcji urządzeń w izolacji SF₆ jest ograniczenie negatywnego oddziaływania na środowisko. Wieloletnie badania wykazały, że ilość i skład produktów rozpadu SF₆ zależą w decydującym stopniu od czystości monta-

żu, suszenia, uzyskania wysokiej próżni i zachowania reżimu napełnienia gazem. W procesie produkcji kluczowymi czynnościami kontrolnymi są badania spadków napięć, badanie szczelności zbiorników, badanie wytrzymałości dielektrycznej i wyładowań niezupełnych. Producent gazu firma Solvay oraz badania przeprowadzone przez naukowców dowodzą, że wpływ gazu SF₆ na środowisko jest niewielki i dotyczy urządzeń z wyłącznikami zwłaszcza wysokich napięć. SF₆ nie szkodzi ekosystemom, gdyż jest to gaz obojętny o bardzo niskiej rozpuszczalności w wodzie, tak że nie stanowi niebezpieczeństwa dla wód i gleby.

Mimo że współczynnik globalnego ocieplenia dla SF₆ (WOG) jest 22 500 - 22 200 razy większy od CO₂ i jest to gaz trwały w atmosferze (Atmospheric Life Time – ALT = 650 – 3200 lat) stwierdza się, że wpływ gazu SF₆ dostającego się do atmosfery na efekt cieplarniany jest pomijalny. Gaz ten nie uczestniczy w efekcie stratosferycznego rozkładu ozonu – ponieważ nie ma w swym składzie atomów chloru, nie ulega aktywności fotolitycznej. Jednak SF₆, podobnie jak wiele innych gazów, np. CO₂, absorbuje promieniowanie podczerwone. Jego obecność w atmosferze może przyczynić się do tak zwanego wtórnego sztucznego napromieniowania podczerwonego, powracającego w dolne partie atmosfery, powodującego efekt cieplarniany. Należy jednak podkreślić, iż omawiany wyżej efekt cieplarniany jest wywoływany sztucznie, powiększany przez działalność człowieka, w odróżnieniu od naturalnego ocieplania powodowanego przez wydzielającą się parę wodną, CO₂ itp. Roczny wskaźnik emisji SF₆ z urządzeń elektroenergetycznych stanowi 0,1% rocznego wskaźnika emisji globalnie wytwarzanych przez człowieka gazów cieplarnianych (tzw. szklarniowych). Na międzynarodowej konferencji CIGRE przyjęto dopuszczalny poziom emisji 1% rocznie, natomiast emisja europejskich producentów i użytkowników stanowi tylko 0,008% globalnej emisji. Na rysunku 1 pokazano wpływ gazów na efekt cieplarniany.

¹⁾ Jerzy Szkutnik, prof. w Politechnice Częstochowskiej. Autor i współautor 6 książek, 190 artykułów publikowanych w czasopiśmie i prezentowanych na krajowych i zagranicznych konferencjach, m.in. w Berlinie, Bangkoku, Koszycach, Budapeszcie, Florencji, Barcelonie, Turynie, Brnie, Salzburgu. Ekspert w dziedzinie efektywności w sektorze dystrybucji energii elektrycznej raz innowacyjnych rozwiązań w zakresie SmartGrid i Smart-Metering, wykładowca na zagranicznych uniwersytetach w Koszycach, Wiedniu i Brnie.



Rys. 1. Wpływ gazów na efekt cieplarniany [2]

Szacując przyszły wpływ SF₆ na omawiane zjawisko przyjęto, że w roku 2020 ilość uwolnionego do atmosfery gazu wyniesie 1/3 globalnej produkcji, to jednak wpływ SF₆ będzie rzędu 0,2% całego wpływu wszystkich wytwarzanych w wyniku działalności człowieka gazów. Zatem wykazano, iż mimo dużego relatywnego i potencjalnego wpływu na globalne ocieplenie, przyczynienie się SF₆ zarówno obecnie jak i w przyszłości do zwiększenia efektu cieplarnianego będzie nieistotne. Wynika to głównie z ograniczenia ubytków gazu z urządzeń i ich emisji wskutek błędów obsługi, jak również minimalizacji powstawania odpadów w procesie budowy nowych oraz likwidacji wyeksploatowanych urządzeń.

Szczegółowe wyjaśnienia dotyczące recyklingu znajdują się w Technicznej Broszurze CIGRE nr 117. Termin recykling należy rozumieć jako połączenie regeneracji i ponownego użycia na miejscu zainstalowania urządzenia energetycznego lub oczyszczenie gazu u producenta, gdy nie może być on łatwo zregenerowany na miejscu, aż po nieszkodliwe dla środowiska naturalnego ostateczne usunięcie SF₆ z ekocyklu.

Obecnie, gdy już w Polsce coraz więcej przedsiębiorstw ubiega się o certyfikację zarządzania środowiskowego wg norm międzynarodowych serii ISO 14001, trudno się godzić na ewentualne, niefrasobliwe emitowanie SF₆ do atmosfery w przypadku likwidacji urządzenia. W tej sytuacji poddawanie SF₆ recyklingowi jest logicznym etapem jego użytkowania. Technika SF₆ na bieżąco

oferuje najlepszy, możliwy kompromis w odniesieniu do kosztów, wykorzystania naturalnych surowców, efektywności eksploatacyjnej, bezpieczeństwa i zwartości konstrukcji aparatury SN. Na całym świecie użytkownicy aparatury z SF₆, producenci, organizacje zawodowe i kompetentne autorytety zobowiązują się do działań minimalizujących uwalnianie do otoczenia gazu SF₆ na wszystkich etapach produkcji i eksploatacji urządzeń elektrycznych. Udział emisji SF₆ pochodzącej z urządzeń elektrycznych SN i WN w globalnej emisji gazów cieplarnianych jest znikomy. Udział ten wynosi około 0,1% i wykazuje tendencję spadkową.

Rozdzielnie gazowe wprowadzają przewrót w budownictwie stacji średnich napięć i wysokich napięć, polegający na [16]:

- zmniejszeniu 10-krotnie i więcej powierzchni terenu zajmowanego przez rozdzielnię gazową w porównaniu z konwencjonalną rozdzielnią napowietrzną,
- fabrycznej produkcji kompletnych urządzeń rozdzielni, wymagających znacznie mniejszego zakresu prac montażowych na budowie,
- rozdzielnie gazowe dzięki szczelnie zamkniętym metalowym obudowom są bezpieczne dla obsługi, a także nie są narażone na działanie zabrudzeń oraz wilgoci i dzięki temu są bardziej niezawodne oraz wymagają mniej zabiegów konserwacyjnych.

Rozdzielnie z SF₆ są budowane głównie z przeznaczeniem do współpracy z liniami kablowymi, a transformatory w takich stacjach są lokalizowane w bliskiej odległości od rozdzielni. Jedną z głównych korzyści stosowania rozdzielni z SF₆ jest bardzo mały teren zajmowany przez te rozdzielnie. Stanowi on jedynie kilka procent terenu potrzebnego na stację napowietrzną o podobnym układzie połączeń. Kubatura takich stacji wynosi jedynie kilkanaście procent kubatury stacji wewnątrzowej w wykonaniu tradycyjnym. Szczególnie korzystnie wypadają porównania dla napięć najwyższych. Stworzono możliwości lokalizacji w zabudowanych terenach miejskich i przemysłowych, często w pomieszczeniach piwnicznych dużych domów biurowych, mieszkalnych i handlowych. Mimo że koszt tych stacji jest nieco wyższy od tradycyjnych stacje te są coraz powszechniej stosowane. I tak, w przodujących gospodarczo krajach 25-50% ogólnej liczby stacji wysokich i średnich napięć buduje się z rozdzielnicami z sześćiofluorkiem siarki [3,5,13,14,23]. W tabeli 1 (opracowanie własne na podstawie dostępnej literatury) dokonano porównania stosowanych rozdzielnic w izolacji powietrznej i gazowej SF₆.

Tabela 1

Porównanie stosowanych rozdzielnic

Rozdzielnice w izolacji powietrznej	Rozdzielnice w izolacji gazowej
Większe gabaryty od rozdzielnic w izolacji gazowej	Najmniejsze możliwe gabaryty dzięki całkowitej izolacji gazowej
Szeroka gama stosowanej aparatury (pola pomiarowe, odgromnikowe, sprzętowe, uziemnikowe, wyłącznikowe, pola mogą być wyposażone w aparaty dowolnych producentów)	Mniejsza liczba konfiguracji pól i dostępnych akcesoriów
Wieloletnie doświadczenia brygad eksploatacji i firm montażowych oraz wykonawczych	Profesjonalnie przeszkolone brygady, np. do zarabiania głowic
Łatwa możliwość wymiany poszczególnych części bez konieczności dużych kosztów serwisu	Możliwość wymiany elementów tylko przez serwis producentów, duże koszty serwisu w przypadku producentów zagranicznych
Wszystkie części rozdzielnic podlegają procesowi recyklingu	Rozdzielnice, jak i gaz SF ₆ podlegają procesowi recyklingu
Możliwy wpływ środowiska na pracę urządzenia	Brak wpływu środowiska (wilgoć, zapylenie) na pracę urządzenia dzięki szczelnej konstrukcji rozdzielnic
Bezpośrednia możliwość sprawdzenia położenia styków łączników, bez konieczności użycia pośrednich urządzeń, np. wskaźnika	Możliwość sprawdzenia stanu pracy aparatu poprzez urządzenia pośrednie, np. wskaźniki
Modułowa konstrukcja umożliwiająca dowolną konfigurację pól i ich przebudowę	Kompaktowa budowa, potrzeba rozbudowy wiąże się z rezerwą dodatkowego miejsca na stacji

Analizując powyższe porównania można sformułować następujące wnioski:

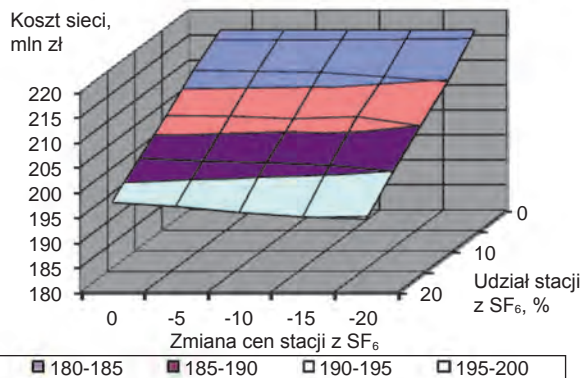
- szeroka gama oferowanych na rynku rozdzielnic pozwala na optymalny dobór, dzięki czemu można uzyskać korzystne rozwiązanie pod względem nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji,
- izolacja powietrzna daje możliwość projektowania nietypowych rozwiązań przemysłowych i rozwiązań abonenckich z pomiarem strony SN,
- w trudnych warunkach klimatycznych i zabrudzeniowych oraz gdy dostępna jest mała powierzchnia, zastosowanie mają nowoczesne urządzenia w izolacji gazowej SF₆ ze względu na kompaktowość budowy oraz odporność na wpływy środowiska,
- izolacja gazowa SF₆ stwarza możliwość uzyskania najmniejszych gabarytów dla stacji miejskich i złącz kablowych SN.

Analizy przydatności proponowanych rozwiązań

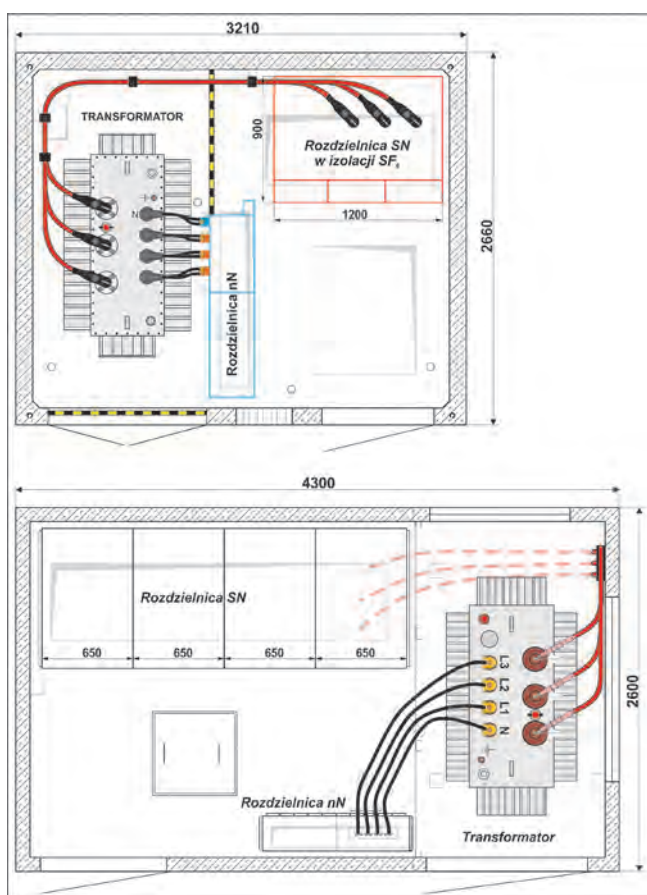
Przeprowadzono szereg analiz techniczno-ekonomicznych przydatności proponowanego modelu sieci w praktyce. Oparto się na istniejącej sieci dystrybucyjnej w jednym z rejonów typowo miejskich. W pierwszym rzędzie zbadano, jak przedstawiają się koszty inwestycyjne sieci przy zmieniającej się proporcji pomiędzy długością sieci średniego napięcia i długością sieci niskiego napięcia, związane z przechodzeniem na stacje z SF₆. Założono bowiem, że wraz z tworzeniem nowego modelu dystrybucji energii elektrycznej następować będzie wydłużenie sieci średniego napięcia przy jednoczesnym przyroście liczba stacji SN/nn. W wyniku takiego scenariusza następować będzie znaczna redukcja długości linii kablowych niskiego napięcia. Wszystkie te aspekty wzięto jednocześnie pod uwagę i przeprowadzono kompleksowe analizy [6, 7, 11-13, 16, 18, 19, 24]. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunku 2. Są one bardzo zachęcające.

Uzyskano bowiem znaczne zmniejszenie kosztu inwestycyjnego sieci rozdzielczej z poziomu 216 mln zł do poziomu 188 ml zł. Analizy z rysunku 2 uwzględniają dwa aspekty, a mianowicie: zmianę ceny jednostkowej stacji z SF₆ oraz udział tych stacji w ogólnej liczbie wszystkich stacji pracujących w Rejonie. Założono zmiany w przedziałach 0-25 %.

Zastosowanie gazu SF₆, jako medium gaszącego tłu przyczynia się w znaczący sposób do zmniejszenia ich gabarytów. Niejednokrotnie małe wymiary stacji kontenerowych są argumentem przetargowym przy wyborze oferty na ich dostawę. W miastach o bardzo wysokim stopniu zurbanizowania powierzchnia zabudowy stacji przekłada się bezpośrednio na cenę gruntu, jaki ona zajmuje. Dla przykładu, kontenerowa stacja transformatorowa z rozdzielnicą SN w izolacji SF₆ zajmuje powierzchnię 8,54 m². Dla porównania, stacja z rozdzielnicą SN w izolacji powietrznej oraz analogicznym pozostałym wyposażeniem zajmuje już 11,18 m². W Warszawie czy innych większych miastach Polski, gdzie ceny gruntów sięgają od 4 do 5 tys. zł/m² różnica przy zakupie działki może przekraczać kwotę 10 tys. zł dla jednej stacji (różnica w wielkości zabudowy to 2,64 m²).



Rys. 2. Koszty inwestycyjne związane z przyrostem stacji SF₆ oraz zmianą jednostkową tych stacji (źródło nt. kosztów [18])



Rys. 3. Porównanie wielkości stacji transformatorowej z rozdzielnicą SN w SF₆ (8,54 m²) oraz w izolacji powietrznej (11,18 m²)

Biorąc pod uwagę efekt skali, np. dostawy sukcesywne dla potrzeb Zakładów Energetycznych, są to oszczędności dochodzące do setek tysięcy złotych w skali roku. Niejednokrotnie zwarta miejska zabudowa wymusza projektowanie stacji o bardzo małych gabarytach (zbliżenia do innych budynków, aspekt wyznaczenia stref pożarowych itp.), co w konsekwencji skutkuje budową stacji z rozdzielnicami gazu SF₆. Ciekawym przykładem aplikacji o bardzo małej powierzchni zabudowy są stacje

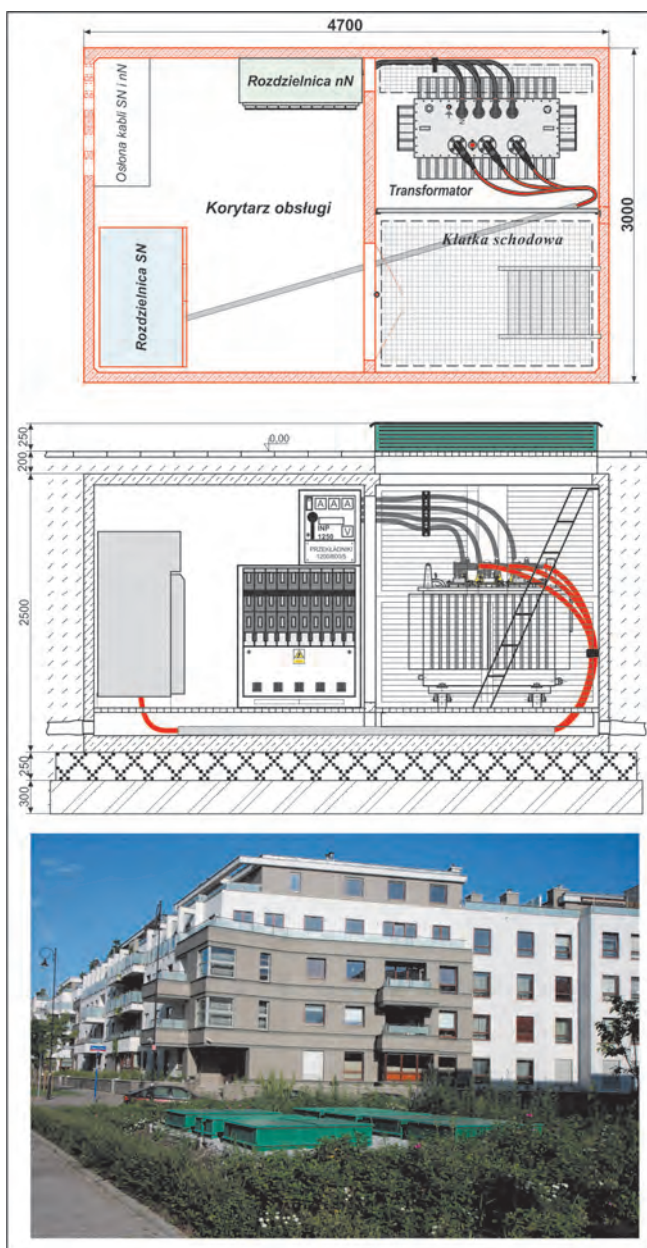
transformatorowe z obsługą zewnętrzną, nawet poniżej 5 m² powierzchni. Stacje te jednak nie wszędzie cieszą się jednakową popularnością, ze względu na dość uciążliwe prace eksploatacyjne w czasie złych warunków pogodowych.

Kolejnym czynnikiem przemawiającym za minimalizacją gabarytów stacji są koszty związane z dystrybucją energii elektrycznej i stratami przesyłowymi z nią związanymi. Mniejszą stację możemy zlokalizować zdecydowanie bliżej odbiorców docelowych nn, a co za tym idzie docieramy dalej liniami SN w konsekwencji ograniczając koszty strat na przesyłach energii. Ciekawym przykładem mogą być stacje transformatorowe w wykonaniu nietypowym lokalizowane pod poziomem gruntu. Stanowią one idealny kompromis w sytuacjach, których ze względów architek-

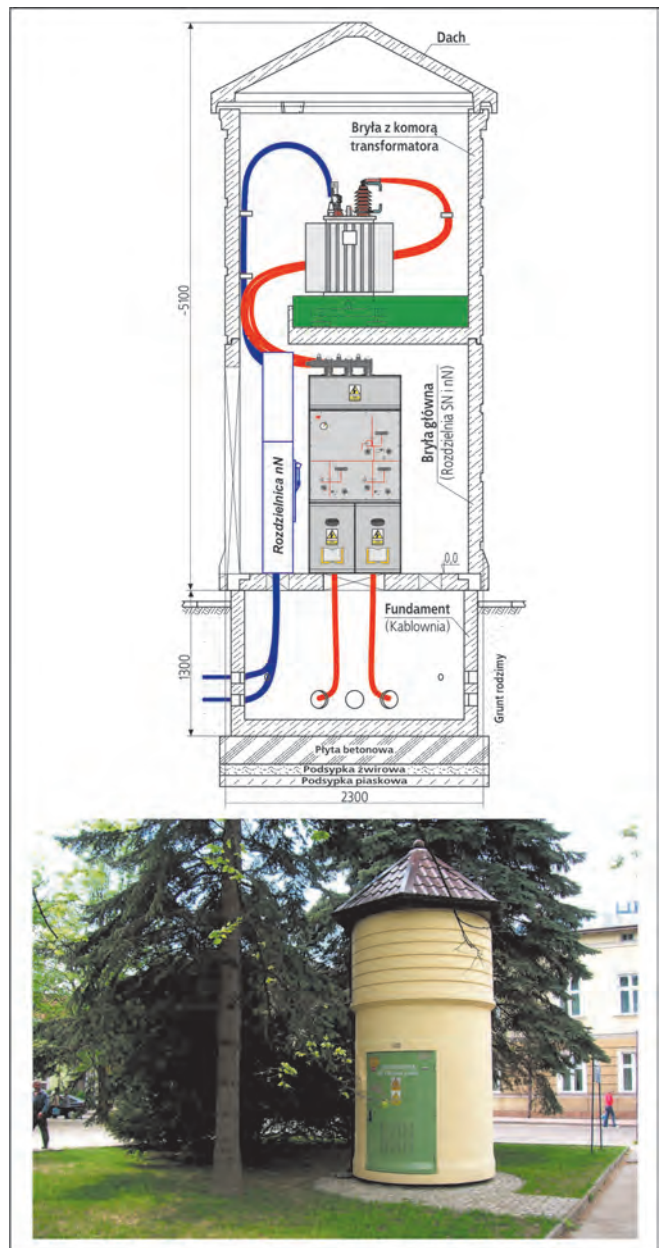
tonicznych nie ma możliwości budowy tradycyjnej stacji ponad poziomem gruntu.

Innym przykładem mogą być stacje transformatorowe o kształtach (np. stacja wieżowa o podstawie koła), które pod względem architektonicznym pozwalają na ich lokalizację w zwartej miejskiej zabudowie bezpośrednio w sąsiedztwie budynków mieszkalnych lub użyteczności publicznej. Dodatkowo ich powierzchnia może być wykorzystana w celach reklamowych.

Z analiz wynika bardzo istotny wniosek – w większym stopniu na ostateczny ich wynik wpływa procentowy udział zastosowania nowoczesnych stacji, a w mniejszym poziomie ceny jednostkowej tych stacji. Jest to dodatkowy czynnik przemawiający za stosowaniem tego typu rozwiązań.



Rys. 4. Przykładowa stacja transformatorowa w wykonaniu podziemnym



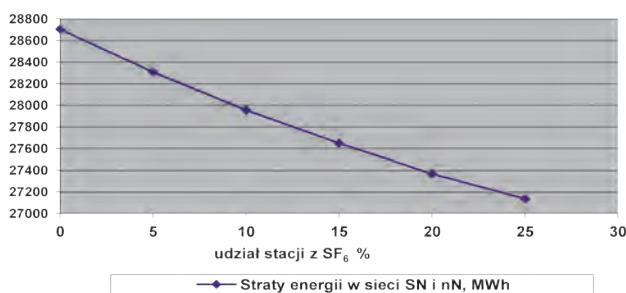
Rys. 5. Przykładowa stacja transformatorowa w wykonaniu wieżowym

Wnioski

Dodatkowy argument w tej sprawie przyniosła wielka awaria sieci zasilającej jedno z dużych osiedli mieszkaniowych w Warszawie w dniu 12 grudnia 2012 r. Potrzebne są zatem szybkie działania w tym obszarze – budowanie sieci zapewniającej znacznie większe bezpieczeństwo energetyczne. Proponowane w artykule rozwiązanie jest wyjątkowo zbieżne z oczekiwaniami w tym zakresie.

Sieć dystrybucyjną analizowanego Rejonu Energetycznego stanowiło 2425 km linii niskiego napięcia, z tego 1695 km to linie kablowe. Sieć średniego napięcia zbudowana była na 1104 km, z tego 398 km stanowiły linie kablowe. Odbiorcy niskiego napięcia byli zasilani poprzez 856 stacji SN/nn.

Przeanalizowano także wpływ proponowanej struktury sieci na poziom strat. Analizy prezentuje rysunek 6. I w tym przypadku uzyskano poprawę efektywności rozdziału energii elektrycznej [4,20-23].



Rys. 6. Zmiany strat energii elektrycznej w funkcji udziału stacji SF₆ (obliczenia programem STRATY Politechniki Częstochowskiej)

Roczne straty z poziomu 28 700 MWh mały do poziomu 27 100 MWh przy 25% udziale nowoczesnych stacji z SF₆ w całkowitym wolumenie stacji SN/nn pracujących w Rejonie.

Dzięki zastosowaniu zamkniętej konstrukcji rozdzielnic w izolacji gazu SF₆ ogranicza się do minimum wpływ czynników atmosferycznych oraz zabrudzeniowych na prawidłową pracę urządzenia, a tym samym zwiększa się ich niezawodność oraz gwarantuje wysoki stopień bezpieczeństwa ich użytkowania.

Takie rozwiązanie radykalnie wpływa na obniżenie kosztów związanych z oględzinami oraz przeglądami tychże rozdzielnic. Zakładając, że prace okresowe związane z konserwacją styków oraz głównych elementów roboczych rozdzielnic należy wykonywać nie rzadziej niż raz na trzy lata, to koszt takiej operacji, łącznie z nakładami pomocniczymi: zakup materiałów konserwacyjnych, amortyzacja narzędzi, koszty dojazdu itp., jak również ewentualnych kosztów związanych z przerwą w dostawie energii elektrycznej zamyka się w kwocie około 1000 zł dla jednej stacji.

Podsumowując, w skali trzyletniej (obowiązkowe przeglądy) dla rozpatrywanych 856 stacji to koszt 856 000 zł, który to w przypadku stacji z rozdzielnicami w izolacji gazu SF₆ stanowi niewątpliwie oszczędności. Przekładając powyższą kwotę na całkowity okres eksploatacji rozdzielnic (około 30 lat) wartość oszczędności sięga prawie 9 mln zł.

Przeprowadzone analizy umożliwiają stworzenie podstaw dla harmonijnego rozwoju sieci dystrybucyjnej, przy uwzględnieniu aspektu bezpieczeństwa energetycznego. Zagadnienia te zaczynają odgrywać zasadniczą rolę w polityce energetycznej państwa, istnieje konieczność zastosowania wielu instrumentów w różnych obszarach w celu wpływania na podniesienie jego poziomu. W tym względzie przywołuje się następujące obszary i metody oddziaływania na bezpieczeństwo energetyczne: instrumenty polityczne, prawne, ekonomiczne, technologiczne i instrumenty kulturowe [3].

Spośród instrumentów technologicznych umożliwiających podniesienie poziomu bezpieczeństwa wymienia się m.in. zmianę struktury systemów energetycznych. Sposób ten jest zbieżny z propozycją zmiany modelu infrastruktury sieciowej, jaki został zaprezentowany w artykule. Zasadne są zatem dalsze studia i analizy, które uwzględnią wszelkie aspekty rozdziału energii elektrycznej, nieuwjęte na tym etapie badań.

Należy także zaznaczyć, że proponowane zmiany prowadzą równoległe do podnoszenia efektywności rozdziału energii elektrycznej w sieciach rozdzielczych średniego i niskiego napięcia.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Balle A., Modern cable terminions in metal clad switchgear, IEE Conference on metalclad switchgear. Conf. Publ. 83.
- [2] Battaglia B., L'hexafluorure de soufre, nouveau moyen d'extinction de l'arc dans les disjoncteurs a haute tension., *Bull. SFE* 1962, ser. 8-e, t. III. nr 34.
- [3] Bartodziej G., Tomaszewski M., Polityka energetyczna i bezpieczeństwo energetyczne. Wydawnictwo Nowa Energia, Racibórz 2009.
- [4] Efektywność w sektorze dystrybucji energii elektrycznej, aspekty ekonomiczne, pod red. Jerzego Szkutnika, Wydawnictwo *Tekst Sp. z o.o.*, Częstochowa 2009.
- [5] Drechny M., Możliwość zastosowania obliczeń równoległych w elektroenergetyce. *Rynek Energii* 2012, nr 4(101).
- [6] Gawlak A., Influence of the transformers parameters over the energy loss on power network (s. 81-86), Technical and economic aspect of modern technology transfer in context of integration with European Union. Kosice 2004 (ISBN 80-89061-99-0 EAN 9788089061990).
- [7] Gawlak A. Analysis of technical losses in the low and medium voltage power network. 11th International Scientific Conference EPE 2010, Electrical Power Engineering 2010, Brno, Czech Republic.
- [8] Horak J., Gawlak A., Sieci elektryczne. Cz. III. Zagadnienia optymalizacyjne w projektowaniu sieci rozdzielczych. Skrypt Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1996. Wydanie III poprawione i uzupełnione (ISBN 83-85031-61-8 ISSN 1234-9909).
- [9] IEC, Raport Techniczny Nr 1634 – Typu 2, 04 – 1995.
- [10] Jędrzał W., Efektywność energetyczna jako ważny zasób energetyczny – porównanie z wybranymi źródłami energii. *Rynek Energii* 2011, nr 4(95).

- [11] Kocot H., Nakłady inwestycyjne niezbędne do realizacji scenariuszy rozwojowych podsektora wytwarzania. *Rynek Energii* 2010, nr 2(87).
- [12] Korab R., Zdolności przyłączeniowe krajowej sieci 400 i 220 kV. *Rynek Energii* 2010, nr 2 (87).
- [13] Lis R., Błajszczak G., Zarządzanie mocą bierną w krajowym systemie elektroenergetycznym w horyzoncie długoterminowym. *Rynek Energii* 2010, nr 1(86).
- [14] Malko J., Sieci inteligentne – zasady i technologie. *Rynek Energii* 2009, nr 3(82).
- [15] Malko J., Sieci inteligentne jako czynnik kształtowania sektora energii elektrycznej. *Rynek Energii* 2010, nr 2(87).
- [16] Marzecki J., Rozdzielcze sieci elektroenergetyczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [17] Mauthe G. i in., SF₆ and the global atmosphere. *Elektra* 1996, nr 164; 110 kV/SN w warunkach gospodarki rynkowej. *Rynek Energii* 2009, nr 2(81).
- [18] Olek B., Wierzbowski M., Optymalizacja sieci dystrybucyjnej z generacją rozproszoną. *Rynek Energii* 2012, nr 1(98).
- [19] Paska J., *Ekonomika w elektroenergetyce*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
- [20] Szkutnik J., Extend Network Efficiency Indicator as the modern tool in energy distribution Europe. The 2nd International Scientific Symposium ELEKTROENERGETIKA EE'2003, Technical University of Kosice 2003, September 16-18, 2003, High Tatras, Stará Lesná, Slovak Republic, p.194-195 (ISBN 80-8906180-X).
- [21] Szkutnik J., Gawlak A., Dynamiczna efektywność rozdziału energii elektrycznej w sieciach rozdzielczych. *Rynek Energii* 2009, nr 2(81).
- [22] Szkutnik J., The energy efficiency as the necessary element of the planning in the sector of the electrical energy, Proceedings of the 9th International Scientific Conference ELECTRIC POWER ENGINEERING 2008, EPE'2008, May 13-15, 2008, Hotel Santon, Brno, Czech Republic, p. 397-400 (ISBN 978-80-214-3650-3).
- [23] Świerć A., Ciuman H., Wpływ systemu zasilania w energię budynku mieszkalnego na jego charakterystykę energetyczną. *Rynek Energii* 2012, nr 1(98).
- [24] Zieliński J.S., Smart distribution grids importance in smart grid Systems. *Rynek Energii* 2012, nr 1(98).



Roman Korab
Politechnika Śląska

Energetyka słoneczna sposobem na zwiększanie udziału źródeł odnawialnych w pokrywaniu potrzeb energetycznych budynków¹⁾

Solar energy as a way to increase the share of renewables in meeting energy needs of buildings

Słońce jest głównym źródłem energii docierającej do Ziemi. Promieniowanie słoneczne jest promieniowaniem elektromagnetycznym o dużym zakresie długości fal, wynoszącym od około 300 do blisko 2500 nm, przy czym gęstość energii jest silnie uzależniona od długości fali. Około połowa energii promieniowania przypada na promieniowanie podczerwone, ponad 40% na promieniowanie widzialne, a reszta na nadfiolet [2].

¹⁾ Artykuł powstał na podstawie wyników uzyskanych w ramach udziału autora w realizacji Projektu Badawczego Strategicznego „Zintegrowany system zmniejszenia energochłonności eksploatacyjnej budynków” – zadanie nr 3 „Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł energii w budownictwie” (projekt badawczy nr NCBiR SP/B/3/76469/10).

Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do zewnętrznej warstwy atmosfery nazywa się stałą słoneczną i wynosi 1367 W/m². Na skutek odbicia, absorpcji i rozproszenia, w zależności od pory dnia i roku, do powierzchni Ziemi dociera średnio około 50% tej energii. W dni słoneczne gęstość promieniowania padającego na poziomą powierzchnię Ziemi może dochodzić do 1000 W/m² [6]. W Polsce latem osiąga zwykle 600-700 W/m², a od listopada do stycznia nie przekracza z reguły 150 W/m². Średnioroczna suma energii promieniowania słonecznego, w zależności od regionu kraju, wynosi od około 1100 do 1300 kWh/m² (rys. 1), przy czym liczba godzin w ciągu roku z widoczną tarczą słoneczną zawiera się w przedziale od 1400 do 1700 h.