

Aleksander ARCISZEWSKI
Józef Jacek ZAWODNIAK

LINIE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA W ASPEKTCIE AWARYJNOŚCI ORAZ PROBLEMÓW FORMALNO-TECHNICZNYCH

STRESZCZENIE *W artykule przedstawiono problemy dotyczące eksploatacji linii średniego napięcia oraz oceny stanu technicznego sieci napowietrznej i kablowej. Część artykułu poświęcono awaryjności i porównano ze sobą linie kablowe z napowietrznymi w oparciu o dane, które zostały udostępnione przez Spółki Dystrybucyjne. Następnie omówiono aspekty formalno-techniczne odnośnie linii energetycznych. Ponadto przedstawiono nowe rozwiązania w budownictwie sieciowym, które w znaczny sposób mogą się przyczynić do ograniczenia: zajmowanego terenu przez słupy lub linie, liczby stanowisk słupowych oraz pasa wycinki drzew.*

Słowa kluczowe: *linie energetyczne SN, awaryjność, aspekty formalno-techniczne.*

mgr inż. Aleksander ARCISZEWSKI
1olo12@interia.pl

mgr inż. Józef Jacek ZAWODNIAK
jj.zawodniak@wp.pl

Zakład Sieci i Automatyki Elektroenergetycznej
Zakład Wysokich Napięć i Materiałów Elektrotechnicznych
Instytut Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 247, 2010

1. WSTĘP

Linie energetyczne średniego napięcia (SN) służą do przesyłu i rozdziału energii elektrycznej, są to linie napowietrzne i kablowe o napięciu od 15 do 30 kV. Ich głównym zadaniem do niedawna był wyłącznie przesył (wyprowadzenie) mocy elektrycznej z Głównych Punktów Zasilających (GPZ-tów) do poszczególnych stacji transformatorowo-rozdzielczych SN/nn. Aktualnie kierunek przepływu mocy w sieci SN zmienia się z jednokierunkowego (GPZ stacja SN/nn) na dwukierunkowy. Wynika to z tego, że do sieci dystrybucyjnej mogą być obecnie przyłączane niewielkie lokalne źródła energii elektrycznej (rys. 1), które w zależności od obciążenia linii zmieniają kierunki rozptywu mocy w sieci [14, 9, 24].



Rys. 1. Widok elektrowni wiatrowej o mocy $S = 2$ MVA przyłączonej do sieci SN

2. AKTUALNY STAN TECHNICZNY LINII ENERGETYCZNYCH ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

Dzisiaj w mniejszym lub większym stopniu wszyscy jesteśmy uzależnieni od energii elektrycznej.

Dlatego wszystkie sieci energetyczne powinny być eksploatowane, projektowane, budowane lub modernizowane tak, aby:

- były niezawodne w działaniu;
- pozwoliły na przesył energii o określonej jakości;
- były bezpieczne dla środowiska naturalnego;
- nie stwarzały zagrożenia dla osób postronnych i służb eksploatacyjnych;
- były powtarzalne co do rozwiązań konstrukcyjnych;

- nie były uciążliwe w eksploatacji (dostęp do stanowisk słupowych, kabli);
- umożliwiały w przyszłości łatwą rozbudowę lub modernizację;
- nie powodowały zbędnych konfliktów pomiędzy właścicielem nieruchomości a Spółką Dystrybucyjną [14, 23, 10].

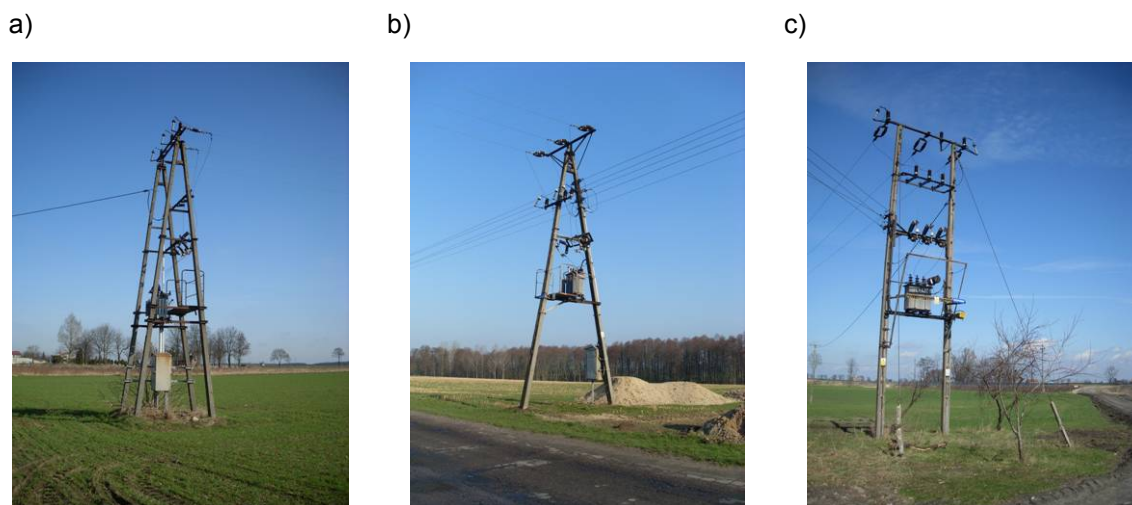
Wymienione wyżej punkty wskazują, w jaki sposób powinny być eksploatowane, projektowane, budowane sieci SN. Zagadnienie to jest istotne zwłaszcza z perspektywy eksploatacji, dlatego, że większość tych linii została zmodernizowana lub zaprojektowana w latach 70. – 80. ubiegłego wieku. Aktualnie mają po 30 – 40 lat, a ich stan techniczny jest niezadawalający, a w niektórych przypadkach nawet bardzo zły (rys. 2) [13].



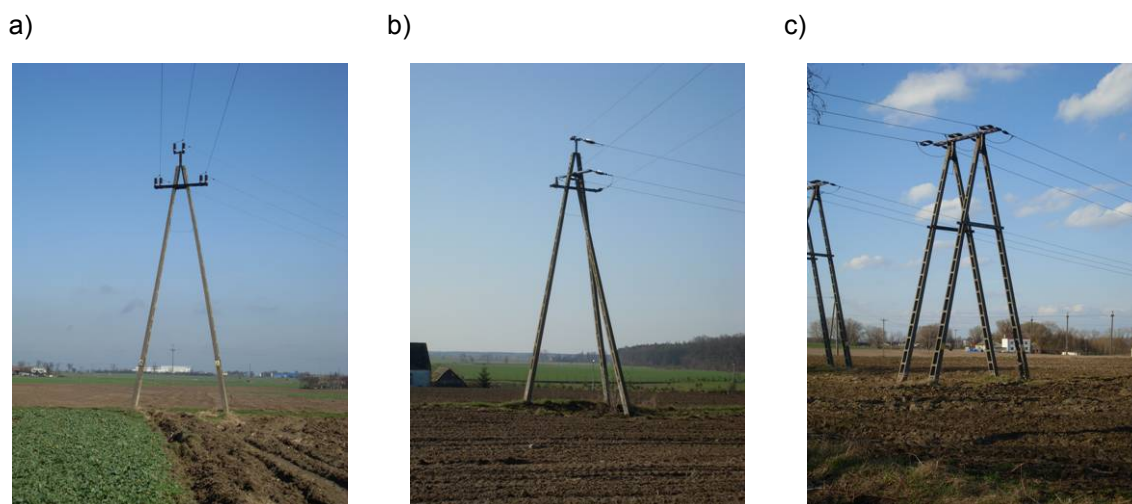
Rys. 2. Widok żerdzi typu Dana w linii SN

Modernizowane lub projektowane wówczas linie czy stacje zostały zaprojektowane w oparciu o albumy opracowane przez Biuro Studiów i Projektów Typowych Elektryfikacji Rolnictwa oraz Biuro Studiów i Projektów „Energoprojekt” w Poznaniu. Albumy te opracowano dla linii SN od 25 do 120 mm² i stacji typu STS-20/100 i STS-20/250 oraz ŻH-15B. Stację tego typu przedstawiono na rysunku 3 [1, 3, 3, 4, 5, 6].

Albumy opracowane dla linii SN w latach 70. – 80. ubiegłego wieku zawierały sylwetki słupów wykonanych z żerdzi typu: ŻN, BSW, ŻW. Żerdzie te miały wysokości od 10 do 14 m i siłę użytkową od 1,1 do 4,4 kN. Na słupy przelotowe stosowano pojedyncze lub zbliźniaczone żerdzie, natomiast słupy funkcyjne (narożny, odporowy, krańcowy itp.) zaprojektowano jako rozkraczne, tj.: aowy (rys. 4a), trójnóg (rys. 4b), czwórnóg (rys. 4c). Na słupach tych instalowano izolatory typu LWP (wsporcze) i LP (odciągowe) [1, 2, 3].



Rys. 3. Widok stacji napowietrznych SN/nn:
a) STS-20/250, b) STS-20/100, c) ŻH-15B



Rys. 4. Widok słupów funkcyjnych linii SN:
a) aowy, b) trójnóg, c) czwórnoóg

Pomimo tego, że albumy przewidywały rozwiązania dla przekrojów przewodu AFL od 25 do 120 mm², to i tak większość zaprojektowanych wówczas linii głównych wykonano przewodem typu AFL 50 mm², a odgałęzienia AFL od 25 do 35 mm² [13, 1, 2, 3]. Dlatego przewody te obecnie nie są dostosowane do przesyłania aktualnych mocy, wynikających z potrzeb odbiorców. Zwłaszcza teraz, kiedy masowo do linii dystrybucyjnych przyłączane są elektrownie wiatrowe.

W przypadku kabli energetycznych mamy podobną sytuację w zakresie przekroju przewodu jak dla linii napowietrznych. Poza tym, kable o izolacji papierowej (tradycyjne), były stosowane przez energetykę zawodową wyłącznie w centrach miast. Widok tradycyjnej głowicy olejowej typu GOz przedstawiono na rysunku 4 [27].



Rys. 4. Widok głowicy napowietrznej typu GOZ do kabla tradycyjnego linii SN

Linie energetyczne i stacje zostały zmodernizowane lub zaprojektowane w oparciu o ówczesną technologię stosowaną w budownictwie energetycznym, a co gorsze, często bez odpowiednich oświadczeń (pisemnych) ze strony Właścicieli nieruchomości.

3. AWARYJNOŚĆ LINII KABLOWYCH I NAPOWIETRZNYCH

Polskie sieci przesyłowe średniego napięcia są zbudowane w około 80% jako linie napowietrzne, a w 20% jako linie kablowe. Z biegiem lat owa proporcja ulega zmianie na korzyść linii kablowych.

Wadą linii napowietrznych jest ich łatwa podatność na warunki atmosferyczne i klimatyczne. Duży wpływ na awaryjność sieci napowietrznych mają ptaki i zwierzęta, opadanie gałęzi na linię lub działania osób trzecich. W projektowaniu linii napowietrznych częstą przeszkodą jest brak zgody właścicieli terenów, na których mają być budowane słupy. Jednak budowa linii napowietrznych jest dwukrotnie tańsza niż linii kablowych [27]. Linie kablowe SN zazwyczaj buduje się w terenie miejskim, gdzie nie wpływają na wygląd i estetykę krajobrazu.

Wskaźniki awaryjności linii napowietrznych i kablowych SN, jak i poszczególnych urządzeń pracujących można wyznaczyć na podstawie wyników badań statystycznych. Podstawę owych badań stanowią gromadzone dane o awariach (np. czasie trwania awarii, przyczynach wystąpienia zakłócenia). [26].

Awaryjność urządzenia (elementu, obiektu) można wyrazić poprzez liczbę uszkodzeń danego elementu w ciągu roku.

W artykule rozpatrywano liczbę uszkodzeń linii kablowych i napowietrznych oraz ich elementów (tj. słupów, konstrukcji, izolatorów, głowic, muf itd.), występującą w ciągu roku w wybranym fragmencie sieci SN.

3.1. Awaryjność sieci kablowych SN

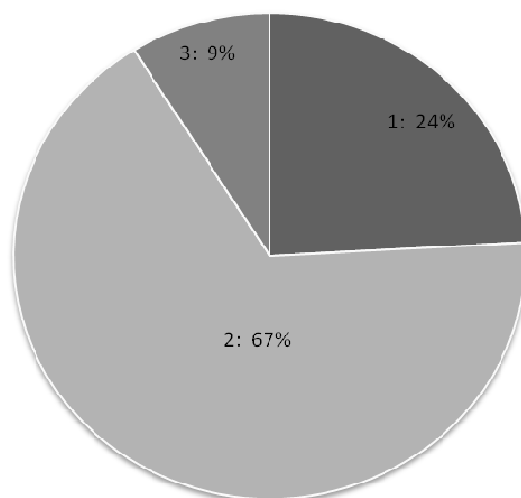
Pierwsze linie kablowe średniego napięcia były budowane w Niemczech w latach trzydziestych ubiegłego wieku. Były to linie budowane w izolacji papierowej nasączonej olejem. W Polsce po II. wojnie światowej również zostały wprowadzone linie kablowe o izolacji papierowej nasączonej olejem i z powodzeniem stosowano je do lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. W latach osiemdziesiątych wprowadzono kable o izolacji z polietylenu termoplastycznego, które zostały w latach dziewięćdziesiątych zastąpione kablami o izolacji z polietylenu usieciowanego [27].

Autorzy podjęli próbę porównania awaryjności kabli o trzech różnych izolacjach:

- papierowej nasączonej olejem (tradycyjnej);
- z polietylenu termoplastycznego;
- z polietylenu usieciowanego (XLPE).

Dane awaryjności linii kablowych pochodzą z lat 2004-2009.

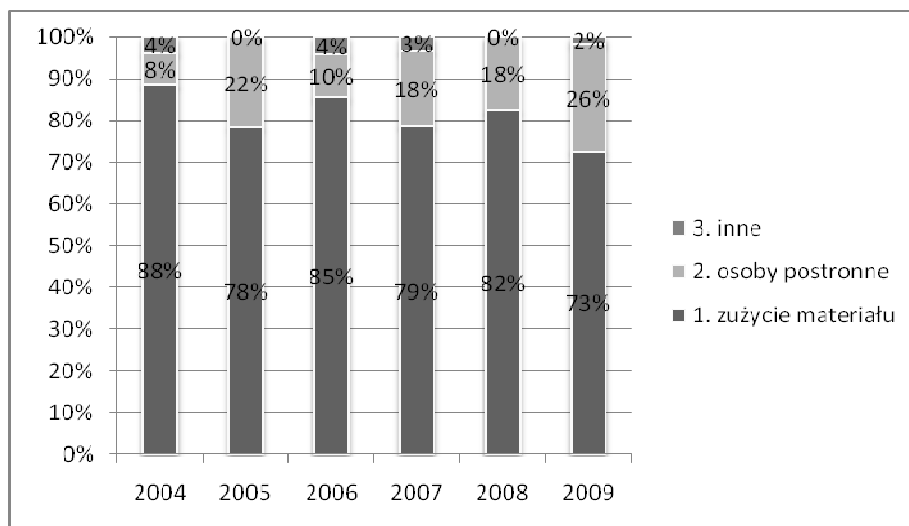
Badania awaryjności kabli energetycznych pozwalają zaobserwować paradoks: nowa technologia okazała się gorsza pod względem czasu życia niż tradycyjna, wówczas szeroko stosowana. Najlepszym przykładem jest porównanie kabla papierowego nasączonego olejem i kabla o izolacji z polietylenu termoplastycznego wprowadzonego do eksploatacji w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku (rys. 5) [27]. Linie kablowe o izolacji papierowej nie są budowane od lat osiemdziesiątych, a istniejące linie osiągnęły kres czasu życia i pracy.



Rys. 5. Procentowy udział uszkodzeń kabli SN na przestrzeni lat od 2004 do 2009:

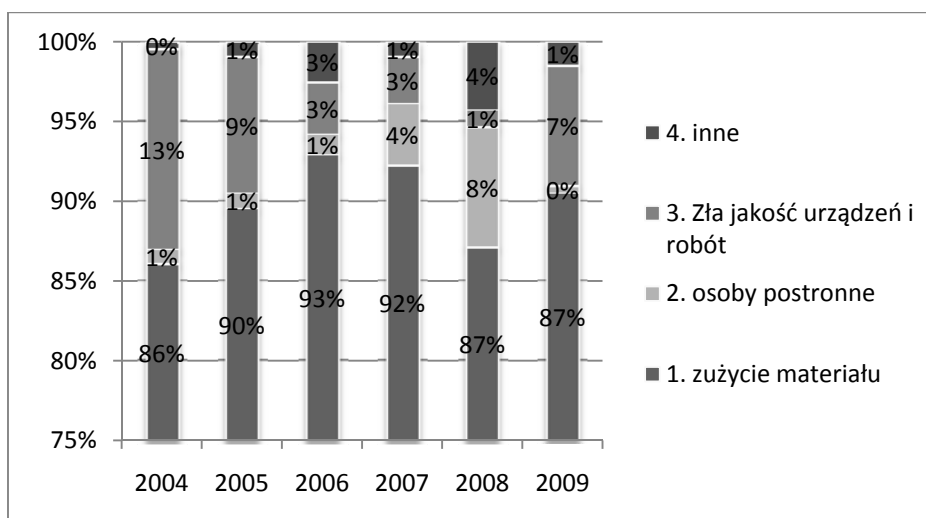
1. kabel o izolacji papierowej nasączonej olejem;
2. kabel o izolacji z polietylenu termoplastycznego;
3. kabel o izolacji z polietylenu usieciowanego

W latach 2004-2009 podstawową przyczyną awarii występujących w liniach jest zużycie materiału (np. izolacji papierowej, wycieki oleju na skutek starzenia kabla i inne). Średnia ilość awarii związana z czasem pracy kabli o izolacji papierowej jest na poziomie 80%, kolejno przyczyną 17% uszkodzeń kabli są osoby postronne (np. uszkodzenia podczas prac budowlanych itp.) (rys. 6).



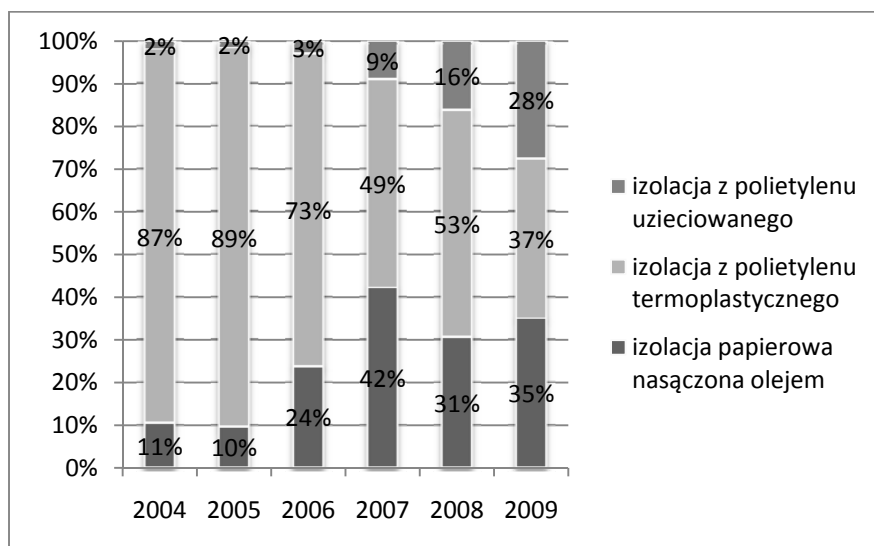
Rys. 6. Porównanie przyczyn awarii dla kabli o izolacji papierowej w latach 2004-2009

Niska kultura pracy monterów, jak i mała wytrzymałość kabli na uszkodzenia mechaniczne, spowodowały częste awarie kabli o izolacji z polietylenu termoplastycznego (rys. 7). Częste uszkodzenia kabli i duży wskaźnik ich awaryjności, a szczególnie krótki czas życia, spowodowały wycofanie się Energetyki ze stosowania takiej izolacji na rzecz nowej, z polietylenu usieciowanego.



Rys. 7. Porównanie przyczyn awarii dla kabli o izolacji z polietylenu termoplastycznego w latach 2004-2009

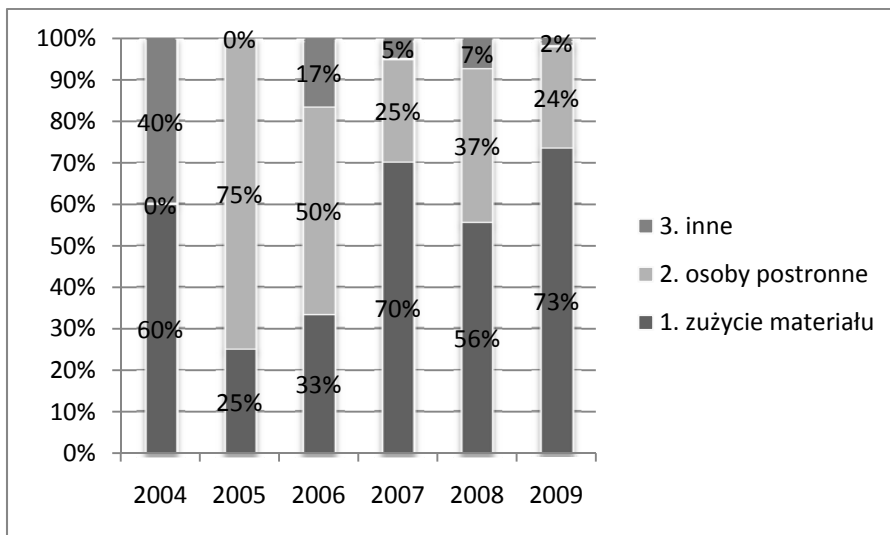
W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku kable o izolacji z polietylenu usieciowanego powoli wypierały starsze generacje kabli. Początkowo kable o izolacji z polietylenu usieciowanego faktycznie miały niski wskaźnik awaryjności (rys. 7). Jednak ich popularność i stosowanie na szeroką skalę ujawniły, że ta technologia izolacji również ma wady zmniejszające czas życia kabla (rys. 9).



Rys. 8. Porównanie udziału procentowego awarii kabli z podziałem na rodzaje izolacji kabli w latach 2004-2009

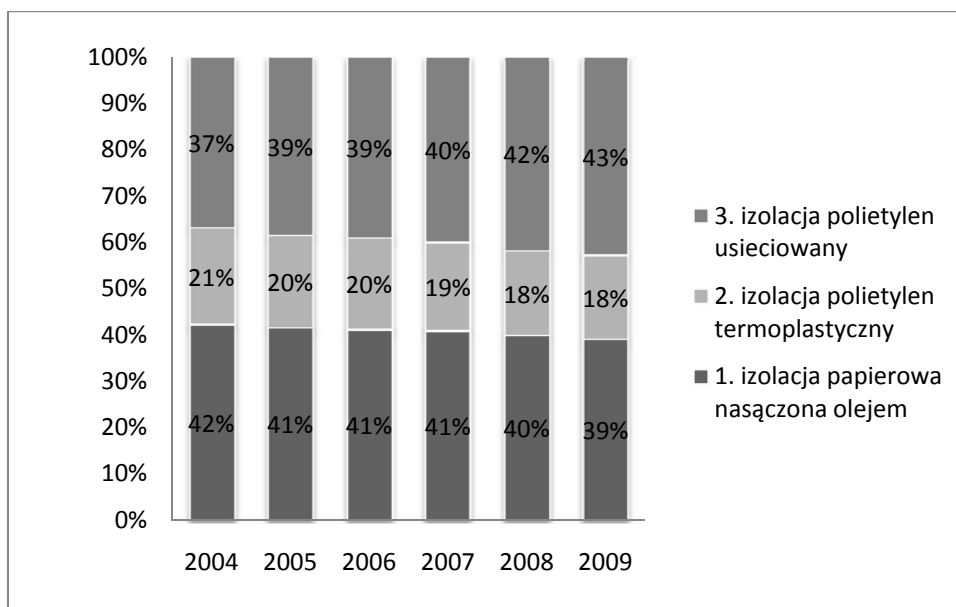
Na początku XXI wieku twierdzono, że kable z polietylenu usieciowanego będą awaryjne w momentach ingerencji osób trzecich, np. przy pracach budowlanych obok zakopanego kabla. Pierwsze lata eksploatacji pokazywały, że owe kable są bezawaryjne, jak i bezobsługowe. Rozcięcia kabli, aby od nich się odgałęzić, przebudowy linii, nie były skomplikowane. Mufy stosowane przy takich kablach są zalewane żywicą, co w praktyce zapewnia pracę bezawaryjną; jedyne awarie takiego osprzętu wynikały z błędów monterskich. Na rysunku 8 pokazano udział procentowy awarii trzech kabli w każdym roku. Najstarsze kable z izolacją polietylenową usieciowaną są stosowane od 1995 r., a więc w 2005 r. miały dziesięć lat. Jak widać na rysunku 9, w roku 2005 75% awarii zawierały uszkodzenia spowodowane przez osoby trzecie, a liczba awarii spowodowanych zużyciem materiału wynosiły 25%. Tłumaczono to w owym czasie niskimi kwalifikacjami brygad budujących linie kablowe, które stosowały złe techniki rozwijania kabla z bębna, jak i źle układały kabel. Jednak z danych o awaryjności linii kablowych wynika, że kable usieciowane nie są aż tak wytrzymałe na starzenie się izolacji jak przewidywano na początku. Badania laboratoryjne przeprowadzone na kablach o izolacji XLPE w ocenie zdegradowania i zdefektowania ukazały szereg wad owych kabli. Badania ujawniły różne etapy utleniania się materiału izolacyjnego. Wzrost zawartości wiązań

tlenowych wpływa między innymi na podwyższenie wartości $tg \delta$ oraz na zmniejszenie wytrzymałości elektrycznej i mechanicznej. Kolejnym zjawiskiem występującym w kablach o izolacji z polietylenu jest tworzenie się drzewek wodnych, które są największym zagrożeniem dla kabli [25].



Rys. 9. Porównanie przyczyn awarii dla kabli o izolacji z polietylenu usieciowanego w latach 2004-2009

Jednak w latach 2007 i 2008 liczba awarii kabli z izolacją z polietylenu usieciowanego były kilka razy mniejsza niż innego rodzaju kabli (rys. 8). Należy zauważyć, że pula awarii z udziałem kabli o izolacji z polietylenu usieciowanego liniowo wzrasta z roku na rok.

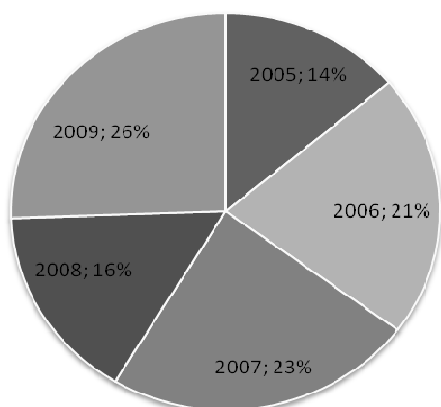


Rys. 10. Zestawienie proporcji między kablami w poszczególnych latach

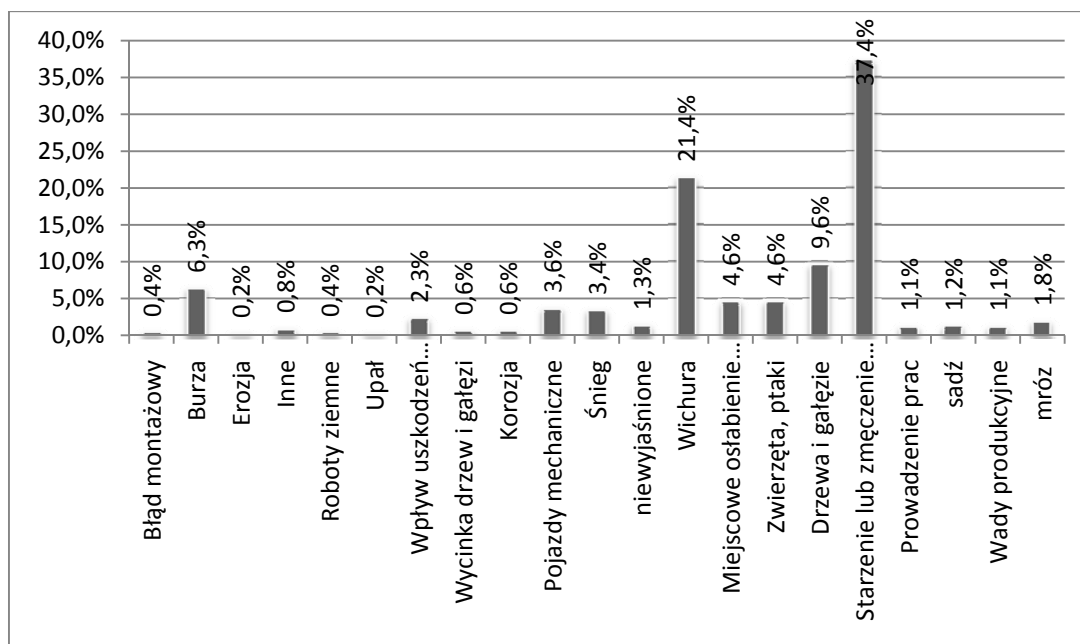
3.2. Awaryjność linii napowietrznych SN

Liczba wariantów budowy linii napowietrznych nie pozwala na dokonanie prostego podziału ze względu na rodzaj przewodów. W Polsce w liniach napowietrznych SN tradycyjnie stosuje się linki AFL-6 o przekrojach od 16 do 240 mm². Linie napowietrzne SN buduje się w kilku układach: w układzie trójkątnym, płaskim, naprzemianległym i poziomym.

Awaryjność linii napowietrznych jest w dużym stopniu uzależniona od warunków pogodowych: mrozów, burz, wichur, śniegu. Znaczny wpływ na awarie zimowe ma wielokrotnie przekroczona ilość sadzi, czyli obciążenie wagowe przewodów. Liczbę awarii w poszczególnych latach spowodowaną zmiennymi warunkami pogodowymi zaprezentowano na rysunku 11.



Rys. 11. Procentowy podział awaryjności linii napowietrznych w latach od 2005 do 2009

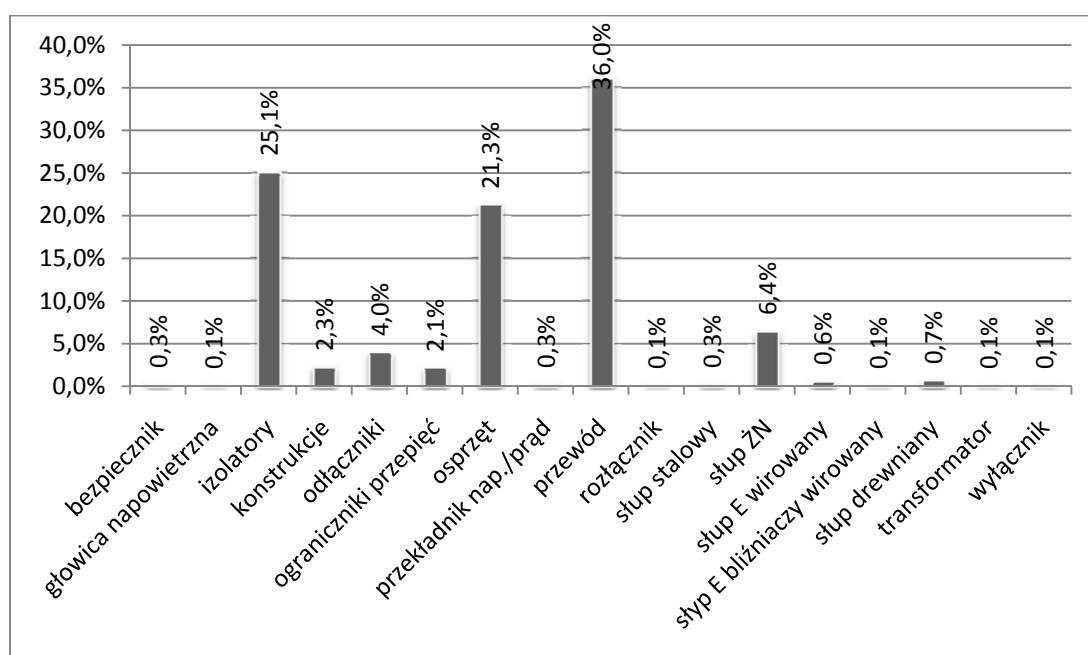


Rys. 12. Przyczyny awarii na liniach napowietrznych w latach od 2005 do 2009

Nie małym zagrożeniem dla linii napowietrznych są ptaki i zwierzęta leśne. Największy wpływ na awarie i najczęstszą przyczyną awarii jest starzenie się polskich linii napowietrznych SN, które w większości były budowane w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku (rys. 12).

Najczęściej w liniach SN ulegają uszkodzeniu przewody i izolatory (rys. 13). Kolejno: osprzęt, słupy typu ŻN i konstrukcje. Większość uszkodzeń wyżej wymienionych elementów linii spowodowana jest ich wiekiem. Linie SN projektowane są na dwadzieścia pięć lat, jednak większość linii w Polsce była budowana za czasów tzw. „wielkiej elektryfikacji”, która przypadała na lata sześćdziesiąte i siedemdziesiąte ubiegłego wieku. Odłączniki, rozłączniki i wyłączniki w większości ulegały awarii spowodowanej korozją elementów konstrukcyjnych i napędowych.

Przyczyną większości awarii niewynikających z wieku linii są zaniedbania eksploatacyjne. Drzewa i ich gałęzie nie są przycinane na odpowiednią odległość od linii, aby ich opad nie uszkadzał linii napowietrznych, co prowadzi do uszkodzeń konstrukcji nasłupowych, samych słupów lub zerwań linii napowietrznych.



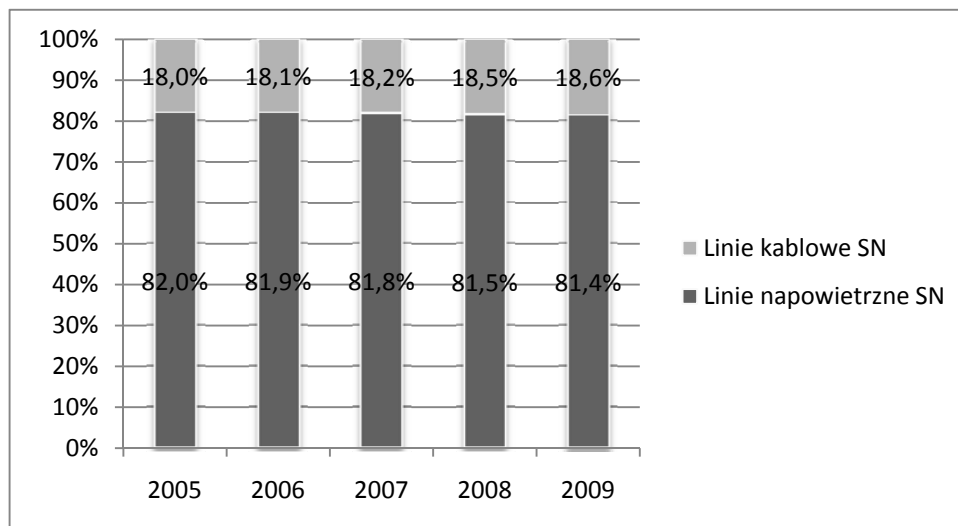
Rys. 13. Procentowy udział uszkodzeń poszczególnych elementach linii w latach od 2005 do 2009

Awaryjność nowych linii napowietrznych, słupów wirowanych typu „E”, jest znacznie niższa. Najczęstszą przyczyną uszkodzeń tych linii są pojazdy mechaniczne lub wada samego materiału (złe naciągnięcie stalowych drutów będących uzbrojeniem słupa).

Nowoczesne materiały stosowane w budowie izolatorów, ocynkowane poprzeczniki, nowe betony wykorzystywane do budowy słupów strunobetonowych i słupy stalowe dają gwarancję niższej zawodności i nadzieję na dłuższą bezawaryjną pracę linii napowietrznych.

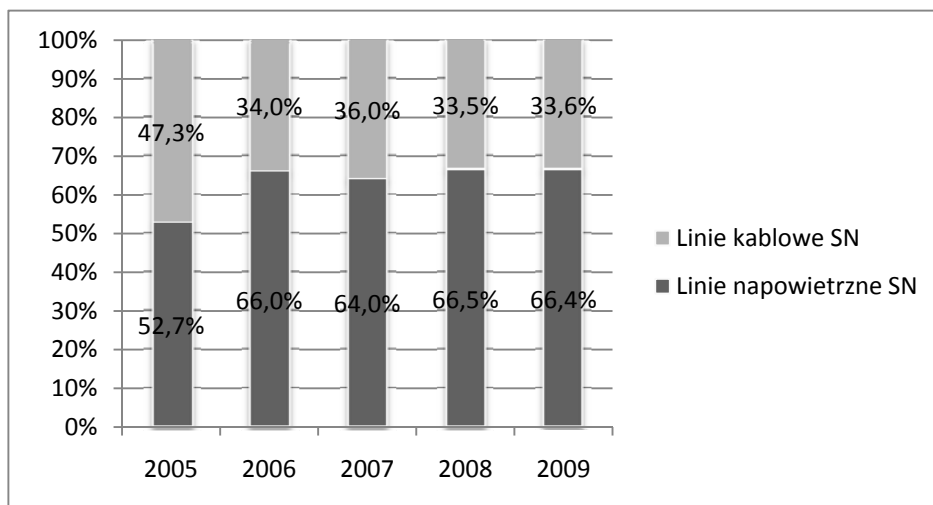
3.3. Porównanie awaryjności linii kablowych i napowietrznych SN

Polskie sieci średniego napięcia są zbudowane w około 20% jako linie kablowe, a w ponad 80% jako linie napowietrzne. Jak widać na rysunku 14, zmniejsza się ilość linii napowietrznych, które są zastępowane przez linie kablowe. Z punktu widzenia estetyki krajobrazu i bezpieczeństwa, jak i komfortu osób mieszkających na terenach linii napowietrznych, istnieje sens ponoszenia kosztów budowy linii kablowych (około dwukrotnie wyższy niż linii napowietrznej). Od strony projektanta zdecydowanie łatwiej jest dostać zgodę właścicieli gruntów na budowę linii kablowej niż na budowę linii napowietrznej.



Rys. 14. Procentowa różnica między liniami napowietrznymi i kablowymi

Tradycyjnie przyjęło się, że linie kablowe są liniami pewniejszymi, to znaczy takimi, na których jest mniej awarii. Nie są narażone na warunki atmosferyczne, nie działa na nie wiatr, mróz, śnieg. Nie zagrażają im ptaki i drzewa. Wydawało by się, że jedynym zagrożeniem dla linii kablowych jest czas i inwestycje prowadzone w ich pobliżu. Jednak jak wynika z badań nad awariami, kable znacznie częściej ulegają awarii niż linie napowietrzne.



Rys. 15. Podział procentowy na awarie linii kablowych i napowietrznych

Porównując rok 2009, na liniach kablowych wystąpiło 33,6% łącznych awarii, a na liniach napowietrznych aż 66,4% awarii (rys. 15.), jednak linii napowietrznych jest 4 razy więcej niż linii kablowych. Patrząc z tej perspektywy, zasadne jest zastanowienie, co jest przyczyną takiej sytuacji i poszukanie odpowiedzi wraz z wiodącymi Polskimi Koncernami Energetycznymi.

4. LINIE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA A PROBLEMY FORMALNO-TECHNICZNE

4.1. Akty prawne dotyczące sieci dystrybucyjnych średniego napięcia

Większość obecnie eksploatowanej infrastruktury energetycznej została zbudowana lub zmodernizowana w oparciu o prawo obowiązujące w latach 70.-80. ubiegłego wieku. Prawo to niestety ograniczało własność prywatną właściciela nieruchomości lub działki na rzecz tak zwanego dobra ogółu [13].

Aktualnie prawo własności do danej nieruchomości jest rzeczą niepodważalną, zgodnie z art. 140 Kodeksu Cywilnego (KC). Artykuł ten określa wyraźnie, że właściciel danej działki ma prawo dysponowania tą nieruchomością zgodnie z jej społeczno-gospodarczym przeznaczeniem oraz może z tego czerpać korzyści majątkowe [16].

Dlatego, wcześniej czy później, istniejąca infrastruktura energetyczna posadowiona na działkach prywatnych prowadzi do konfliktu pomiędzy właścicielem nieruchomości (rys. 16), który wnioskuje o usunięcie słupów lub o rekompensatę finansową, a Spółką Dystrybucyjną (właścicielem urządzeń energetycznych), która nie chce usunąć słupów ani wypłacić odszkodowania.



Rys. 16. Widok pola z pięcioma liniami SN

Znajdujące się na terenach prywatnych słupy linii energetycznych i stacje transformatorowe napowietrzne są główną przyczyną konfliktu; roszczenia odnośnie linii kablowych zdarzają się sporadycznie. Wynika to z faktu, że infrastruktura napowietrzna umieszczona na danej nieruchomości powoduje:

- wykluczenie możliwości budowy lub rozbudowy budynków;
- wykluczenie części gruntów z uprawy rolnej i utrudnia prowadzenie zabiegów rolniczych;
- konieczność okresowego podcinania gałęzi drzew.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione rozwiązania, które – zdaniem autorów – powinny być brane pod uwagę podczas modernizacji istniejących linii i stacji energetycznych.

4.2. Ograniczenia przy budowie i rozbudowie budynku

Norma [11] i rozporządzenia [18, 17, 16] określają wyraźnie minimalne odległości pomiędzy przewodami linii napowietrznej a danym elementem budynku czy innej infrastruktury, takiej jak: stacja paliw, gazociąg, droga.

Problem polegający na ograniczeniu możliwości budowy lub rozbudowy budynku pojawia się przeważnie na terenie przeznaczonym pod zabudowę, w miejscu, gdzie przedtem były pola uprawne. Poza tym linia napowietrzna czy kablowa przebiegająca przez środek działki nie jest obiektem atrakcyjnym dla potencjalnego nabywcy, a co za tym idzie, obniża jej wartość majątkową.

Zdaniem autorów, najlepiej rozwiązać tę kwestię poprzez skablowanie istniejącej linii napowietrznej, przy czym podczas projektowania linii kablowej należy uwzględnić przyszłe plany zagospodarowania przestrzennego terenu. Spółka Dystrybucyjna na tym etapie powinna przewidzieć miejsce dla docelowych stacji transformatorowo-rozdzielczych, które będą zasilają odbiorców.

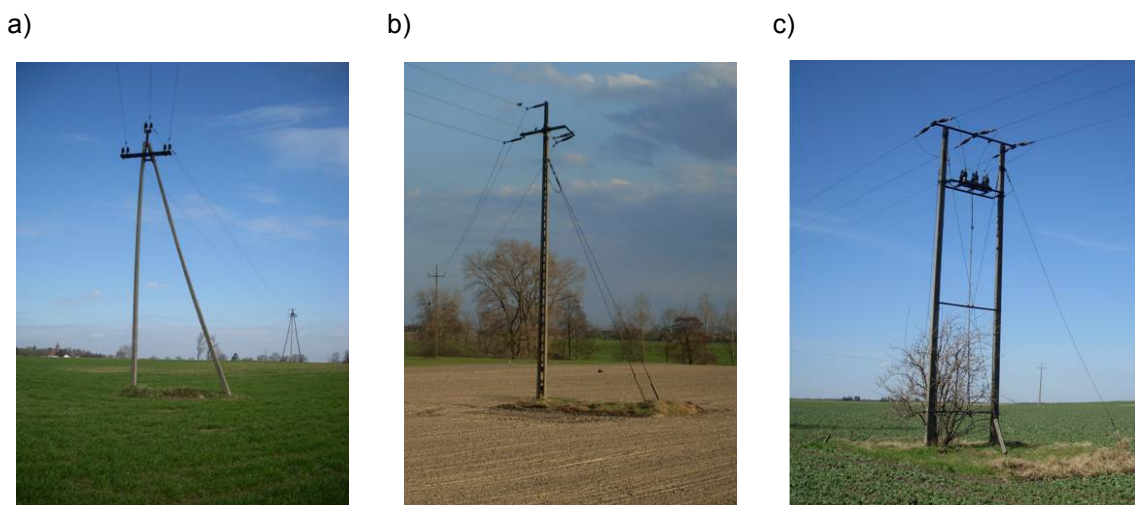
Projektowana linia kablowa powinna zostać umieszczona w pasach drogowych z kilku powodów. Po pierwsze, uzgodnienia formalno-prawne co do inwestycji obejmują tylko jedną lub kilka działek, a nie kilka lub kilkunanaście, co znacznie przyspiesza proces projektowy. Po drugie, projektowana inwestycja nie znajduje się na gruncie prywatnym, a więc wyklucza się ewentualne późniejsze konflikty. Po trzecie, kabel nie znajduje się na terenie zamkniętym (zagrodzonym), co znacznie przyspiesza proces usuwania ewentualnych awarii.

Jeżeli tego typu rozwiązanie jest niemożliwe, to niestety należy zaprojektować linię kablową na działkach prywatnych właścicieli, najlepiej w odległości 1 m od granicy nieruchomości, a nie w samej granicy, ponieważ – po pierwsze: na granicy działki prędzej czy później zostanie pobudowane ogrodzenie, a po drugie, zgodnie z [19], budynek nie może być pobudowany bliżej niż 3 m od granicy nieruchomości. Tak więc kabel ułożony w odległości 1 m od granicy praktycznie nie powinien być uciążliwy dla właściciela danej posesji.

4.3. Wykluczenie części gruntów z uprawy rolnej i utrudnienia podczas zabiegów rolnych

O ile linie napowietrzne na terenach przeznaczonych pod zabudowę mieszkalną powinny być zdecydowanie przebudowywane na kablowe, to w przypadku terenu wiejskiego, na polach uprawnych nie ma już tak jednoznacznej odpowiedzi w tej kwestii. Zdaniem autorów, raczej nadal na tych terenach będą przeważały linie napowietrzne. Dlatego należy stosować rozwiązania, które w znacznym stopniu powinny przyczynić się do wyeliminowania roszczeń odnośnie obszarów wykluczonych z uprawy rolnej, dużej liczby stanowisk słupowych na polu lub utrudnień w uprawie rolnej.

Najwięcej terenu z uprawy rolnej wyklucza ustawienie słupów funkcyjnych, takich jak: narożny z podporą lub odciągami (rys. 17a i b), bramkowy z odciągami (rys. 17c), aowy (rys. 3a), trójnóg (rys. 3b), czwórnóg (rys. 3c). Znaczący teren zajmują także stacje słupowe transformatorowe starego typu, takie jak: STS-20/250 (rys. 2a), STS-20/100 (rys. 2b), ŻH-15B (rys. 2c). W tabeli 1 i 2 podano przybliżone wartości gruntu wykluczonego z uprawy rolnej z powodu posadowienia infrastruktury sieciowej, obliczone w oparciu o albumy [1, 2, 3, 4, 5, 6, 25, 22].



Rys. 17. Widok słupów funkcyjnych linii SN:

a) słup narożny z podporą, b) słup narożny z odciągami, c) słup bramkowy z odłącznikiem

Zastosowanie nowych żerdzi typu E i E_M o wysokości od 10,5 do 18 m i sile użytkowej od 2,5 do 25 kN w budownictwie sieciowym pozwala na znaczne ograniczenie obszaru wykluczonego z uprawy rolnej na polach do wartości przedstawionych w tabeli 1. Widok słupów wykonanych z żerdzi typu E przedstawiono na rysunku 18 [25, 22].

TABELA 1

Przybliżone wartości gruntu wykluczonego z uprawy rolnej w m^2 z powodu posadowienia słupów linii SN typu ŻN, ŻW, BSW, Dana oraz nowych typu E

Rodzaj słupa	Dla linii starego typu (żerdzie typu ŻN, ŻW, BSW, Dana) o przekroju przewodów				Dla linii nowego typu (żerdzie – E)	
	35-50 mm^2	50-70 mm^2	120 mm^2	Nr rys.	35-120 mm^2	Nr rys.
Przelotowy	0,015-0,11	0,015-0,11	–	–	0,098	–
Przelotowy bliźniak	0,030-0,22	0,030-0,22	0,19-0,32	–	0,098	–
Narożny (aowy)	0,37-1,14	2,06-2,56	2,06-2,56	4a	0,12-0,23	18a
Trójnóg	9,75-9,34	13,9-18,45	–	4b	0,22-0,24	18b
Czwóróg	–	–	5,04-14,64	4c	0,22-0,32	–
Narożny z podporą	0,36-1,19	–	–	17a	0,11-0,13	–
Narożny z odciągami	1,40-1,70	1,60-1,90	–	17b	0,11-0,13	–
Bramkowy z odciągami	ok. 43,2	–	–	17c	0,11-0,13	–

TABELA 2

Przybliżone wartości gruntu (w m²) wykluczonego z uprawy rolnej z powodu posadowienia stacji transformatorowych SN/nn

Stacja typu	ŻH-15B	STS-20/100	STS-20/250	Rys.	Nowe stacje STS	Rys.
Powierzchnia w m ²	16,33	0,92	6,78	3	0,11-0,24	19

a)



b)



c)

**Rys. 18. Widok słupów funkcyjnych linii SN typu E:**

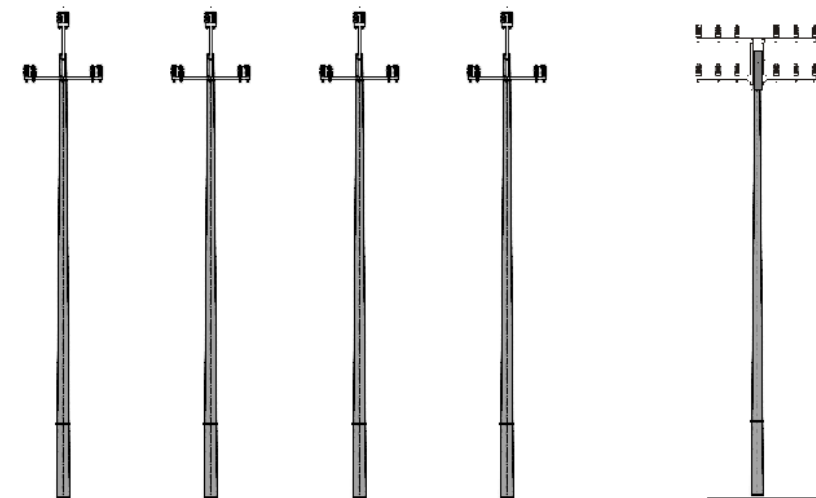
a) narożny podwójny, b) krańcowo-krańcowy podwójny, c) rozgałęźno-przelotowo-krańcowy pojedynczy

**Rys. 19. Widok nowej stacji typu STS na żerdzi wirowej typu E**

Stosując żerdzie typu E i przewody niepełnoizolowane można wyeliminować część słupów posadowionych na polu poprzez wykonanie linii wielotorowych. Cztery linie jednotorowe (rys. 4 i 20) wyprowadzone, np. z GPZ tu (najczęściej spotykana sytuacja) można bez problemów zastąpić jedną linią czterotorową. W takim przypadku liczba posadowionych słupów zmniejsza się np. z 40 do 10 [12, 26].

Stanowiska słupowe, podobnie jak kable, powinny być umieszczane w pasie drogowym lub w pobliżu drogi utwardzonej, ponieważ tego typu rozwiązanie znacznie ułatwia dojazd służbom eksploatacyjnym do linii energetycznej. Poza tym nie niszczy się w takim przypadku plonów na po-

lu podczas usuwania ewentualnej awarii. Rozwiązanie to w praktyce nie jest stosowane powszechnie. Wynika to z tego, że administratorzy dróg niechętnie wyrażają zgodę na umieszczenie stanowisk słupowych w pasie drogowym [20].



Rys. 20. Możliwości zastąpienia czterech linii SN jedną linią czterotorową

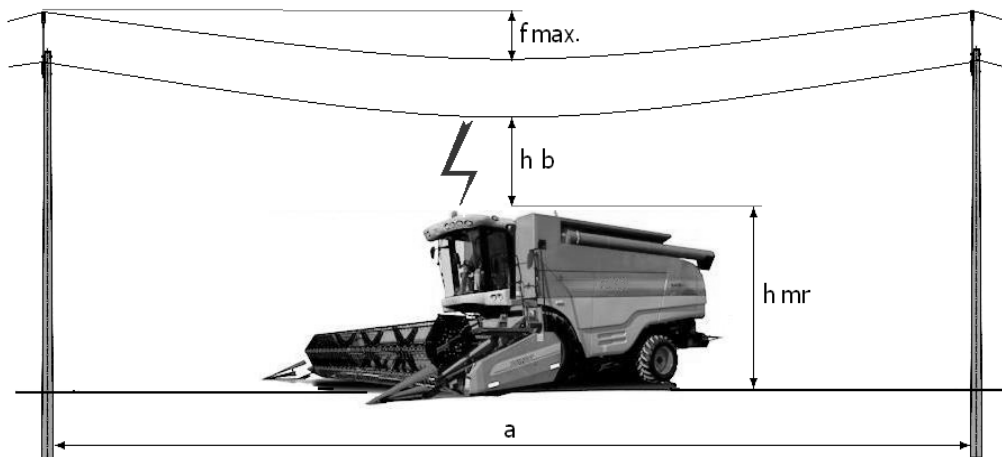
W takich przypadkach należy dążyć do tego, aby stanowiska słupowe były umieszczane na granicach działek (pół uprawnych), a nie na środku pola. Takie rozwiązanie, choć utrudnia dojazd służbom eksploatacyjnym, to nie stanowi większego utrudnienia dla rolnika odnośnie uprawy pola.

Również w celu ograniczenia liczby słupów na polu powinno się projektować linie o jak najdłuższych przęsłach, ale uwzględniając przy tym konieczne aktualne wysokości sprzętu rolniczego. Chodzi o to, aby przewody linii energetycznej nie stwarzały zagrożenia dla maszyn rolniczych, np. kombajnów zbożowych. Maszyny te mogą mieć dużą wysokość, nawet do 4 m (4,5 m z otwartym zbiornikiem). Poza tym, należy uwzględnić również to, że większość prac na polu jest wykonywana latem podczas wysokiej temperatury, a więc przy największym zwisie przewodów w linii SN (rys. 21). Dlatego należy linie tak zaprojektować, aby przy a_{max} . i najwyższej temperaturze (wg norm), odległość między przewodami linii a maszyną rolniczą była bezpieczna. Wartość zwisu przewodów w zależności od temperatury przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Wartość zwisu linii w zależności od temperatury przy: przewodach typu AFL 35 mm², $a = 100$ m i $\delta = 100$ MPa

Wartość temperatury w °C	-25	-10	-5	0	10	15	30	40	60	-5 sn	-5 sk
Wartość zwisu linii w m	0,87	1,18	1,26	1,34	1,42	1,50	1,74	1,88	2,16	1,95	2,36



Rys. 21. Widok przęsła linii SN z kombajnem zbożowym, gdzie:

- f_{max} – największy zwis przewodów dla rozpiętości przęsła a ;
- h_{mr} – wysokość maszyny rolniczej;
- h_b – minimalna bezpieczna odległość pomiędzy przewodami linii a maszyną rolniczą przy f_{max}

4.4. Podcinanie gałęzi drzew na wymaganą odległość

Linie energetyczne napowietrzne przebiegające przez tereny zadrzewione, tj. lasy, parki miejskie, ośrodki wypoczynkowe, są powodem systematycznych konfliktów pomiędzy Właścicielem działki a Spółką Dystrybucyjną. Konflikt ten wynika z konieczności dokonywania podcinki konarów drzew na wymaganą odległość określoną w normie [11].

Zachowanie minimalnej odległości pomiędzy przewodami linii a gałęziami jest konieczne ze względu na bezpieczeństwo pożarowe lasu, parku, czy ośrodka wypoczynkowego. Poza tym, gałęzie wrosnięte w linię energetyczną mogą się przyczynić do porażenia prądem elektrycznym, nawet ze skutkiem śmiertelnym [11].

Wymagana minimalna odległość dla sieci SN 15 kV, licząc od skrajnego przewodu do gałęzi drzew, powinna wynosić co najmniej 2,6 m (rys. 22). Odległość tę wylicza się z zależności (1), która jest podana w normie [11]. Norma dodatkowo proponuje uwzględnić wielkość przyrostu gałęzi w okresie pięcioletnim i podaje wzór (2). Natomiast konieczna szerokość pasa wycinki drzew wynika z zależności (3) [11].

$$2,5 + \frac{U_n}{150} \quad (1)$$

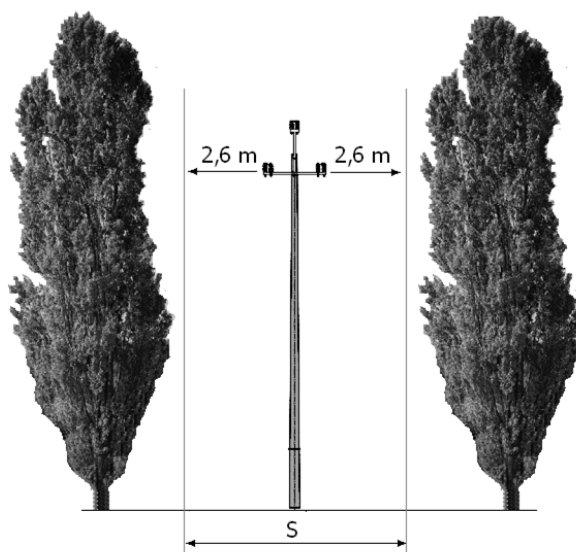
$$2,5 + \frac{U_n}{150} + s \quad (2)$$

$$S = B + 2\left(2,5 + \frac{U_n}{150} + s\right) \quad (3)$$

gdzie:

- U_n – napięcie znamionowe linii w kV;
- s – wielkość przyrostu pięcioletniego w m;
- B – odległość między skrajnymi przewodami linii w m;
- S – pas wycinki drzew w m.

Jak wynika z podanego wzoru (3), szerokość pasa, w którym nie powinny znajdować się drzewa, zależy od odległości między skrajnymi przewodami linii, czyli w praktyce od szerokości poprzecznika przelotowego. Sama szerokość poprzecznika wynika z typu i układu linii SN, co pokazano w tabeli 3.



Rys. 22. Widok pasa wycinki drzew wymaganego zgodnie z normą [11]

TABELA 3

Szerokość pasa wycinki drzew z zależności od rodzaju linii SN

Rodzaj przewodów w linii SN	Przewody nieizolowane, np. AFL		Przewody niepełnoizolowane, np. PAS		Kable uniwersalne
	trójkątny	płaski	płaski	pionowy	
Układ linii					–
Szerokość poprzecznika przelotowego w m	2	3,6	1	–	–
Szerokość pasa wycinki w m	7,2	8,8	6,2	5,2	5,2

Z tabeli tej wynika, że największy pas wycinki drzew jest potrzebny dla linii z przewodami nieizolowanymi w układzie płaskim, a najmniejszy dla kabli uniwersalnych lub przewodów niepełnoizolowanych w układzie pionowym (system PAS) [12, 21].

Niewątpliwie, linia energetyczna napowietrzna przebiegająca przez park miejski jest problemem zarówno dla miasta, jak i dla Spółki Dystrybucyjnej. Zdaniem autorów, problem tego typu najlepiej rozwiązać poprzez wymianę istniejącej linii na kablową. Projektowany kabel, o ile jest to możliwe, powinien przebiegać przez obszar słabo zadrzewiony z dwóch powodów. Po pierwsze, podczas budowy linii kablowych nie uszkadza się korzeni drzew. Po drugie, wyklucza się prawdopodobieństwo awarii linii kablowej, spowodowanej wzrostem korzeni drzew.

W przypadku terenów leśnych preferowana jest raczej wymiana istniejących przewodów nieizolowanych na niepełnoizolowane w układzie pionowym lub kable uniwersalne, co znacznie ograniczy konieczność podcinki konarów drzew.

5. PODSUMOWANIE

Duża część eksploatowanych linii energetycznych SN, jak i stacji słupowych SN/nn przez Spółki Dystrybucyjne, kwalifikuje się do kapitalnego remontu. Podyktowane jest to zarówno złym stanem technicznym poszczególnych elementów sieci (zwłaszcza żerdzi), jak i niedostosowaniem przewodów (przekroju) do aktualnych obciążeń przesyłanych przez sieci dystrybucyjne.

Inwestycje polegające na remontach linii lub stacji energetycznych będą zapewne koniecznym i znacznym wydatkiem finansowym dla danej Spółki Dystrybucyjnej. Dlatego tego typu decyzje nie powinny być podejmowane pochopnie przez inwestora. O tym, czy dany obiekt energetyczny należy zakwalifikować do remontu kapitalnego, powinna decydować grupa robocza zajmująca się tym zagadnieniem. W skład tej grupy powinni wchodzić przedstawiciele działów technicznych, tj.: eksploatacji, rozwoju, utrzymania ruchu, wykonawstwa oraz działu ekonomicznego. Pozwoliłoby to na podejmowanie decyzji dotyczącej danej inwestycji ocenianej wielokryterialnie, z uwzględnieniem wszystkich aspektów. Różnorodność przedstawicieli grupy roboczej sprawi, że wypracowany kompromis w formie ostatecznej decyzji (remontować daną linię, czy nie), będzie najbardziej korzystny dla dalszego rozwoju firmy.

Pewnym wskaźnikiem umożliwiającym wybór danego rozwiązania technicznego będzie zapewne awaryjność poszczególnych typów linii czy stacji

energetycznych. Opierając się na statystyce awaryjności można wskazać, które elementy linii charakteryzowały się największą liczbą usterek i co było ich przyczyną. Poza tym, z danych statystycznych można uzyskać informację odnośnie:

- czasu usuwania awarii;
- strat związanych z naprawą uszkodzonych elementów linii lub stacji;
- strat poniesionych przez firmę w związku z niedostarczeniem energii elektrycznej do odbiorcy.

Posiadając tego rodzaju rzetelne dane można po pierwsze określić, który element infrastruktury sieciowej nadaje się pilnie do remontu. Po drugie ocenić, jakie rozwiązanie techniczne jest preferowane ze względu na małą liczbę awarii.

Zagospodarowanie przestrzenne terenu (aktualne, docelowe) również w znacznym stopniu może wpływać na decyzję odnośnie remontów, jak i na przyjęty sposób rozwiązania technicznego dla modernizowanej linii. Niewątpliwie w zabudowie zwartej zawsze będą bardziej preferowane linie kablowe niż linie napowietrzne, ze względów estetycznych i eksploatacyjnych.

Natomiast na terenach niezabudowanych (polach) prawdopodobnie nadal będą dominować linie napowietrzne, także ze względów ekonomicznych i technicznych. Powinny być one modernizowane w oparciu o nowe technologie, stosowane obecnie w budownictwie energetycznym. Wydaje się, że rozsądnym rozwiązaniem jest umieszczanie nowych stanowisk słupowych wyłącznie w pasie drogowym lub w pobliżu, a jeżeli jest to niemożliwe, to na granicach nieruchomości (poła). Poza tym należy również rozważyć to, czy istniejących linii jednotorowych, biegnących równolegle, nie należałoby przebudować na jedną linię wielotorową. Rozwiązanie takie znacznie ogranicza liczebność słupów montowanych na polu.

Problemy związane z koniecznością okresowego podcinania gałęzi drzew na wymaganą odległość powinny mieć znaczący wpływ na decyzję odnośnie konieczności przebudowy danej linii. Niewątpliwie wzrastająca świadomość społeczeństwa w zakresie ochrony środowiska naturalnego sprawi, że określone odcinki linii zostaną zmodernizowane, czyli w parkach miejskich skablowane, a na terenach leśnych wymienione na niepełnoizolowane albo zastąpione kablami uniwersalnymi.

Należy dodać, że aspekt ekonomiczny, nieporuszony w artykule, jest także bardzo istotny z perspektywy inwestora, ponieważ jest jednym z głównych czynników decydujących o remontach. Przecież to zaplecze finansowe firmy decyduje o tym, ile linii czy stacji w danym roku zostanie zmodernizowanych i jakie rozwiązania techniczne zostaną zastosowane.

Autorzy zdają sobie sprawę, że w artykule nie omówili wszystkich problemów związanych z eksploatacją linii energetycznych SN oraz stacji słupowych SN/nn. Jednak celem artykułu było chociaż częściowe przybliżenie problematyki związanej z funkcjonowaniem systemu energetycznego na poziomie średniego napięcia.

LITERATURA

1. Album napowietrznych linii średniego napięcia 15-30 kV na słupach betonowych z przewodami o przekroju 35 i 70 mm². Biuro Studiów i Projektów energetycznych „Energoprojekt” w Poznaniu. Poznań, 1983.
2. Album napowietrznych linii średniego napięcia 15-30 kV na słupach betonowych z przewodami o przekroju 50 i 70 mm². Biuro Studiów i Projektów energetycznych „Energoprojekt” w Poznaniu. Poznań, 1983.
3. Album napowietrznych linii średniego napięcia 15-30 kV na słupach betonowych z przewodami o przekroju 120 mm². Biuro Studiów i Projektów energetycznych „Energoprojekt” w Poznaniu. Poznań, 1983.
4. Album słupowa stacja transformatorowa o napięciu 20 kV i mocy do 100 kVA. Biuro Studiów i Projektów energetycznych „Energoprojekt” w Poznaniu. Poznań, 1970.
5. Album słupowa stacja transformatorowa o napięciu 20 kV i mocy do 250 kVA. Biuro Studiów i Projektów energetycznych „Energoprojekt” w Poznaniu. Poznań, 1970.
6. Album typowych stacji transformatorowych typu ŻH-15B o mocy do 200 kVA 15/0,4 kV. Zjednoczona Elektryfikacja Rolnictwa, Warszawa, 1963.
7. Arciszewski A., Zawodniak J.: Awaryjność linii kablowych. OKME, Warszawa, 2010.
8. Bargiel J., Goc W., Sowa P., Sierociński T.: Znaczenie niezawodności sieci rozdzielczych w nowych warunkach. Politechnika Śląska GZE Gliwice.
8. Lubośny Z.: Elektrownie wiatrowe w systemie energetycznym. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2007.
9. Niebrzydowski J.: Sieci elektroenergetyczne. Dział Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej, Białystok, 2000.
10. Norma PN-E 05100-1 Elektroenergetyczne linie napowietrzne – Projektowanie i budowa – Linie prądu przemiennego z przewodami gołymi.
11. Elektroenergetyczne linie napowietrzne z przewodami izolowanymi, red. Gacek Z., PTPIREE, Poznań, 1995.
12. Elektryka bydgoska 80 lat SEP, red. Owczarek W., Sobocki W. Wydawnictwo SEP, Bydgoszcz, 2008.
13. Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze, red. Szczęsny Kujszczyk. Tom 1. Oficyna Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2004.
14. Rakowska A., Zawodniak J.: Oczekiwany czas życia linii kablowych średniego napięcia. VI Sympozjum „Nowoczesne rozwiązania w budownictwie sieciowym”, Ostrów Wlkp., 2010.

15. Rewoliński M.: Nowe regulacje statusu urządzeń na cudzych nieruchomościach – służebność przesyłu. Materiały szkoleniowe dot. projektowania sieci energetycznych, s. 31-40, Ciechocinek, 2008.
16. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy paliwowe, rurociągi przesyłowe i dalekosiężne do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie.
17. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe.
18. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
19. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.
20. SAE Katalog linii napowietrznych średniego napięcia 15-30 kV z przewodami pełnoizolowanymi z linką nośną typu AHXAMK-WA o przekrojach 25, 50, 95 i 120 mm² na pojedynczych żerdziach wirowych typu E i E_M, Poznań, 2007.
21. STELEN Album linii napowietrznych średniego napięcia 15-30 kV z przewodami gołymi na żerdziach wirowych. Poznań, 2006.
22. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. Nr 98 poz. 1091 późn. zm).
23. Winkiel W., Wiszniewski A.: Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2004.
24. WIRBET S.A. Katalog słupów o nośności 50 kN dla linii napowietrznych średniego napięcia 15-20 kV z płaskim i trójkątnym układem przewodów AFL-6 120 i 240 mm² na żerdziach wirowych. Poznań, 2007.
25. www.wirbet.com.pl (kwiecień 2010).
26. Zawodniak J.: Projektowanie i budowa linii kablowych średniego napięcia – praca magisterska. Poznań, 2001.

Rękopis dostarczono dnia 17.08.2010 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Zygmunt Piątek

MEDIUM – VOLTAGE ELECTRIC SUPPLY LINES AS MORTALITY AND FORMAL-TECHNICAL PROBLEMS ASPECT

A. ARCISZEWSKI, J. J. ZAWODNIAK

ABSTRACT *This thesis presents problems strongly connected with medium-voltage electric line exploitation and overhead system and cabling technical state estimation. Part of the article was*

performed to mortality and compared with each other cabling and overhead system based on data that are provided by Distribution Companies. Then discusses formal-legal aspects with reference to electrical supply lines. In addition new solutions in network building that can significantly contribute to reducing: occupied land by overhead line towers or overhead lines, the number of tower posts and belt slices of trees has been presented.

Mgr inż. Aleksander ARCISZEWSKI – ukończył Politechnikę Poznańską na wydziale Elektrycznym, kierunek Sieci Energetyczne. Obecnie mieszka w Poznaniu. Od 2006 r. pracuje w firmie PPU ELprojekt Poznań. Jest to firma projektowo-wykonawcza; opracowuje także tzw. rozwiązania typowe dla energetyki. Obecnie pracuje przy opracowywaniu albumów typizacyjnych dla energetyki w jednym z dwóch zespołów w Polsce. W 2006 r. rozpoczął studia doktoranckie na Politechnice Poznańskiej pod kierownictwem dr hab. inż. Ryszarda Frąckowiaka, prof. PP. Dorobek naukowy obejmuje 5 wystąpień na konferencjach krajowych, 8 publikacji naukowych i 7 publikacji zawodowych.



Mgr inż. Józef Jacek ZAWODNIAK – absolwent studiów na Politechnice Poznańskiej w Poznaniu, Wydział Elektryczny, kierunek Elektrotechnika, specjalność Energetyka, profil dyplomowania: Projektowanie i budowa linii kablowych średniego napięcia. Od października 2008 r. student studiów doktoranckich "Nowoczesna inżynieria elektryczna i informacyjna" na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej w Zakładzie Technika Wysokich Napięć i Materiałów Elektrotechnicznych. Dorobek naukowy obejmuje 4 publikacje na konferencjach polskich.

Od 2007 r. zawodowo związany z jednym z zakładów energetycznych w Polsce; zajmuje się eksploatacją sieci SN i nn oraz stacji transformatorowych SN/nn, a zwłaszcza opiniowaniem stanu technicznego urządzeń energetycznych i opracowywaniem dokumentacji technicznych.

