EFS

Doskonalenie Kadr Gospodarki

# Akademia Energetyki

*Projekt jest współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, realizowany pod nadzorem Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości*

ZIAD BIELSKO - BIAŁA Spółka Akcyjna

POLSKA AGENCJA ROZWOJU PRZEDSIĘBIORCZOŚCI
POLISH AGENCY FOR ENTERPRISE DEVELOPMENT

# Sesja 7

## Prace pod napięciem przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych

Wykładowcy:
inż. Stanisław Cader, mgr inż. Bogumił Dudek, inż. Roman Fober,
mgr inż. Tadeusz Gontarz, mgr inż. Witold Wiśniewski

### Wykład dziewiętnasty

## Bezpieczne odległości podczas prac pod napięciem

O konieczności stosowania bezpiecznych odległości w technice prac pod napięciem(PPN) pisano już w drugim wykładzie Akademii (*Energetyka* 2005, nr 12).

Wyznaczanie odległości w celu wymiarowania stref prac pod napięciem, w tym strefy zagrożenia i ochronnej, jest ciągle przedmiotem analiz różnych grup autorów, z wielu krajów, prezentowanych na cyklicznych międzynarodowych konferencjach ICOLIM i ESMO.

W wyniku analiz i praktyki wielu specjalistów są podejmowane kolejne próby znormalizowania wymagań, uwzględniające z jednej strony różnorodność urządzeń, sieci i systemów elektroenergetycznych, z drugiej strony konieczność ujednolicania kryteriów w celu ułatwienia transferu technologii i sprzętu do PPN.

**Tabela 1**
Wielkości stref prac pod napięciem i prac w pobliżu napięcia wg polskich przepisów

| Napięcie znamionowe urządzenia | Strefa | |
|---|---|---|
| | prac pod napięciem | prac w pobliżu napięcia |
| kV | mm | mm |
| do 1 | do 300 | powyżej 300 do 700 |
| powyżej 1 do 30 | do 600 | powyżej 600 do 1400 |
| 110 | do 1100 | powyżej 1100 do 2100 |
| 220 | do 2500 | powyżej 2500 do 4100 |
| 400 | do 3500 | powyżej 3500 do 5400 |
| 750 | do 6400 | powyżej 6400 do 8400 |

W polskich przepisach podano odległości wokół nieosłoniętych urządzeń i instalacji elektroenergetycznych za § 55 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 17 września 1999 r. w sprawie BHP przy urządzeniach i instalacjach energetycznych (Dz.U. 1999 nr 80, poz. 912) zestawione w tabeli 1.

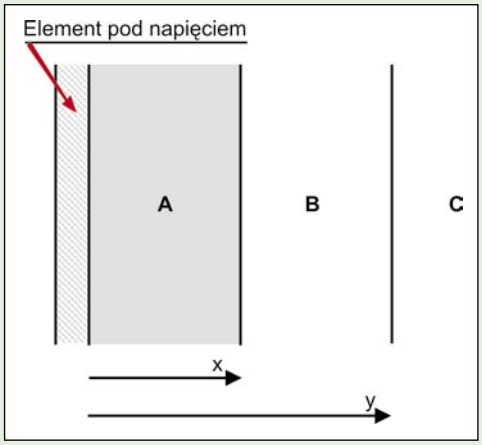
Odległości te dla urządzeń i instalacji do 1 kV dotyczą tylko linii napowietrznych, ich wymiary podano w milimetrach z uwagi na łatwość porównań różnego typu opracowań zebranych dla potrzeb niniejszego wykładu. Wyznaczanie stref nie satysfakcjonuje wszystkich, więc co pewien czas pojawiają się nowe koncepcje zagospodarowania przestrzeni wokół urządzeń i instalacji.

Najbardziej typową koncepcję wyznaczania odległości i przestrzeni dla prac tradycyjnych i pod napięciem przy urządzeniach elektroenergetycznych przedstawiono na rysunku 1, natomiast na rysunku 2 zaproponowano koncepcję wyznaczania odległości i przestrzeni dla prac przy urządzeniach elektroenergetycznych z wprowadzeniem przestrzeni dla prac nieelektrycznych, która jest uwzględniona w normie PN-EN 50110-1: Eksploatacja urządzeń elektrycznych, z marca 2005 r.

W 2000 roku grupa BTTF 62-3 CENELEC dokonała wnikliwej oceny normy 50110, którą opublikowano w 1996 r. Celem tej oceny było ograniczenie rozwoju różnorodnych krajowych przepisów eksploatacji instalacji, sieci elektrycznych i elektroenergetycznych. Swobodny przepływ w Unii Europejskiej towarów i usług powinien mieć w miarę jednolite warunki stosowania, inaczej będzie sprzyjał hermetyzowaniu przedsiębiorstw, a konkurowanie może owocować

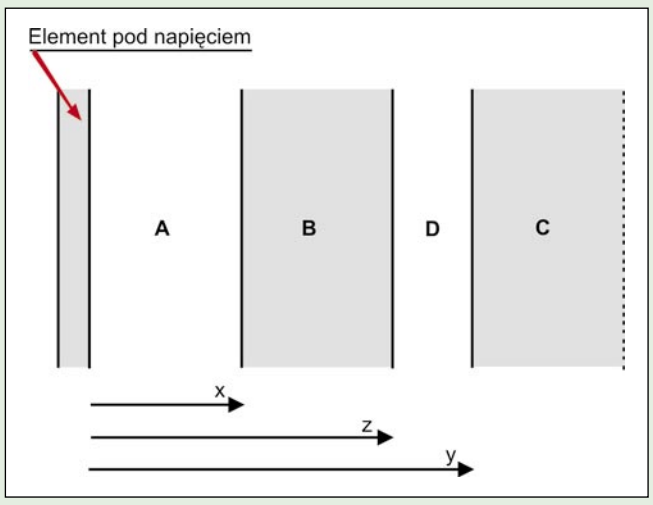
przyjmowaniem odległości narażających wykonawców na niebezpieczeństwo wynikające z niezrozumienia stanowionych wartości przez różne laboratoria i /lub stosowane przez producentów sprzętu.

Na uwagę zasługuje także ujednolicanie kryteriów wymagań sprzętowych, dzięki którym zakup sprzętu, transfer technologii nie jest obarczony ryzykiem nieporozumień, które przez wiele lat zdarzały się na świecie.




x = minimalna odległość zbliżenia przy pracach pod napięciem
y = minimalna odległość zbliżenia przy pracach tradycyjnych
A = przestrzeń prac z drążkami izolacyjnymi
B = przestrzeń pracowników realizujących prace pod napięciem
C = przestrzeń dla prac tradycyjnych

Rys. 1. Typowa koncepcja wyznaczania odległości i przestrzeni dla prac tradycyjnych i pod napięciem przy urządzeniach elektroenergetycznych




x = minimalna odległość zbliżenia przy pracach pod napięciem
y = minimalna odległość zbliżenia przy pracach nie elektrycznych
z = minimalna odległość zbliżenia dla prac w pobliżu napięcia
A = przestrzeń prac z drążkami izolacyjnymi
B = przestrzeń pracowników realizujących prace pod napięciem
C = przestrzeń dla prac nie elektrycznych
D = przestrzeń prac w pobliżu napięcia

Rys. 2. Proponowana koncepcja wyznaczania odległości i przestrzeni dla prac przy urządzeniach elektroenergetycznych z wprowadzeniem przestrzeni dla prac nieelektrycznych

*Źródło do rys.1 i 2: Mario Iulita „Live working on high voltage power lines. Training for operators at low level", ICOLIM 2000*

Zdaniem polskich specjalistów z przedsiębiorstw energetycznych, zarówno sieci przesyłowej, jak i dystrybucyjnej, nie znając innych metod wyznaczania odległości stosuje się przewymiarowanie stref narażając firmy (i ich klientów) na ekonomiczną nieefektywność.

Ponadto sporadyczne zastosowanie oceny probabilistycznej wytrzymałości elektrycznej powoduje wiele pomyłek w tego typu ocenach, obcych kulturze krajowych przedsiębiorstw. Pośrednio wynika to także z zatrzymania rozwoju procesów oceny ryzyka nakazanych ustawowo przez kodeks pracy (nieliczne są przypadki firm poprawiających systemy bezpieczeństwa pracy).

Zróżnicowanie wymagań w krajach europejskich zostało szczególnie wyróżnione w wydaniu normy EN 50110-2, z grudnia 1996 r. Pod koniec 2002 roku podjęto pierwszą próbę ujednolicenia kryteriów. W szczególności zaakceptowano koncepcję wyznaczania dwóch stref podstawowych: prac pod napięciem i prac w pobliżu napięcia.

Odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy prac pod napięciem oznaczono $D_L$, a strefy w pobliżu napięcia $D_V$.

Wartości te zebrano w tabeli 2, gdzie porównano proponowane wartości w wydaniu normy PN-EN 50110-1 z marca 2005 z wcześniejszymi normami prEN 50179 z 1994 r. i marca 2001 r. (także ENV 50196). Odstępy podane w kolumnie 2 i 5 tabeli 2 w zakresie napięciowym do 70 kV są aktualnym wskazaniem międzynarodowym, które może posłużyć weryfikacji aktualnych przepisów krajowych. Powyżej 70 kV stworzono nową normę PN-EN 61472, 2005: Prace pod napięciem – Minimalne odległości zbliżenia w sieciach prądu przemiennego od 72,5 do 800 kV – Metody obliczania. Jej poprzednikami były wydania CEI, z listopada 1998 r. oraz już jako PN-EN z marca 2002 r. Wspomniane wydanie z 2005 roku było wprowadzone metodą okładkową (tekst angielski), a w 2007 roku wydano już normę przetłumaczoną.

W wydaniu normy CEI 61472, z listopada 1998 r. określono minimalną odległość zbliżenia, inną niż w prEN 50179 i określoną zasadami koordynacji izolacji dla instalacji elektrycznych.

Z jednej strony potrzeba ograniczenia rozbudowanego aneksu do pierwszych wydań normy 50110, z drugiej strony stanowisko BTTF 62-3 CENELEC po ocenie tejże normy doprowadziło do rozpisania ankiety, aby sprawdzić stan regulacji prawnych w tej dziedzinie.

Dane $D_L$ i $D_V$ zostały zebrane odrębnie z krajów europejskich objętych ankietyzacją i oznaczono je (za oryginałem): F – Francja, NL – Holandia, FI – Finlandia, GR – Grecja, NE – Norwegia, ES – Hiszpania, IT – Włochy, AT – Austria, DE – Niemcy, SE – Szwecja, BE – Belgia.

Wyniki wspomnianych ankiet przedstawiono w tabelach 3–6.

**Tabela 2**

Wytyczne dla odległości $D_L$ i $D_V$ do prac pod napięciem wg PN-EN 50110-1

| Nominalne napięcie linii | Odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy prac pod napięciem | | Odstęp w powietrzu wyznaczający zewnętrzną granicę strefy w pobliżu napięcia | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $U_N$, kV | $D_L$, mm | | $D_V$, mm | | |
| | PN-EN 50110-1 Marzec 2005 | prEN 50179 Marzec 2001 | PN-EN 50110-1 Marzec 2005 | prEN 50179 Marzec 2001 | ENV 50196 Marzec 2001 |
| ⩽ 1 | bez dotyku | bez dotyku | 300 | 500 | 700 |
| 3 | 60 | 120 | 1 120 | 1 120 | 1 220 |
| 6 | 90 | 120 | 1 120 | 1 120 | 1 250 |
| 10 | 120 | 150 | 1 150 | 1 150 | 1 350 |
| 15 | 160 | 160 | 1 160 | 1 160 | 1 380 |
| 20 | 220 | 220 | 1 220 | 1 220 | 1 400 |
| 30 | 320 | 320 | 1 320 | 1 320 | 1 560 |
| 36 | 380 | 380 | 1 380 | 1 380 | 1 580 |
| 45 | 480 | 480 | 1 480 | 1 480 | 1 630 |
| 60 | 630 | 630 | 1 630 | 1 630 | 1 830 |
| 70 | 750 | 750 | 1 750 | 1 750 | 1 900 |
| 110 | 1 000 | 1 100 | 2 000 | 2 100 | 2 000 |
| 132 | 1 100 | 1 30 | 3 000 | 3 300 | 3 100 |
| 150 | 1 200 | 1 500 | 3 000 | 3 500 | 3 200 |
| 220 | 1 600 | 2 100 | 3 000 | 4 100 | 3 600 |
| 275 | 1 900 | 2 400 | 4 000 | 4 400 | 3 800 |
| 380 | 2 500 | 3 400 | 4 000 | 5 400 | 4 500 |
| 480 | 3 200 | 4 100 | 6 100 | 6 100 | 5 200 |
| 700 | 5 300 | 6 400 | 8 400 | 8 400 | 7 200 |

**Tabela 3**

Wartości $D_L$ dla Un < 70 kV w różnych krajach Europy, mm

| $U_n$, kV | F | NL | FI | GR | NE | ES | IT | AT | DE | SE | BE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 300 | 200 | 50 | 150 | No contact | 500 | 150 | | | 200 | 200 |
| 3 | 600 | 120 | 200 | | 400 | 620 | 150 | 120 | 120(60) | 400 | 220 |
| 6 | 600 | 120 | 300 | 360 | 400 | 620 | 150 | 120 | 120(60) | 400 | 250 |
| 10 | 600 | 150 | 400 | | 400 | 650 | 150 | 150 | 150(120) | 400 | 350 |
| 15 | 600 | 160 | – | 700 | 400 | 660 | 200 | 160 | 160 | 400 | 380 |
| 20 | 600 | 220 | 600 | 760 | 500 | 720 | 280 | 220 | 220 | 400 | 400 |
| 30 | 700 | 320 | 700 | 780 | 500 | 820 | 400 | 320 | 320 | 700 | 560 |
| 36 | 700 | 380 | – | 930 | 600 | | | 380 | 380 | 700 | 580 |
| 45 | 700 | 480 | 900 | | 600 | 980 | 600 | 480 | 480 | 700 | 630 |
| 60 | 800 | 630 | – | | 600 | 120 | | 630 | 630 | | 830 |
| 70 | 900 | 750 | – | | 700 | | | 750 | 750 | 900 | 900 |

**Tabela 4**

Wartości $D_L$ dla Un > 70 kV w różnych krajach Europy, mm

| $U_n$, kV | F | NL | FI | GR | NE | ES | IT | AT | DE | SE | BE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 110 | 1100 | 1100 | 1200 | | 750 | 1600 | | 1100 | 1100 | | 1100 |
| 132 | 1200 | 1300 | – | | 1100 | 1800 | 1520 | 1300 | 1300 | 1100 | 1300 |
| 150 | 1300 | 1500 | – | | 1300 | | 1670 | 1500 | 1500 | | 1500 |
| 220 | 1600 | 2100 | 2000 | | 1500 | 2600 | 2300 | 2100 | 2100 | 1600 | 2100 |
| 275 | 1900 | 2400 | – | | 2100 | | | 2400 | 2400 | | 2400 |
| 380 | 2500 | 3400 | 3500 | | 2400 | 3900 | 3940 | 3400 | 3400 | 2500 | 3400 |
| 480 | 2900 | 4100 | | | 3400 | | | 4100 | 4100 | | 4100 |
| 700 | | 6400 | | | 4100 | | | 6400 | 6400 | | |

**Tabela 5**

Wartości $D_V$ dla Un < 70 kV w różnych krajach Europy, mm

| $U_n$, kV | F | NL | FI | GR | ES | IT | AT | DE | SE | BE | NE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 300 | 700 | | 650 | 700 | 650 | 500 | 1000 | 700 | 700 | |
| 3 | 2000 | 1120 | | | 1120 | 1150 | 1500 | 3000 | 1400 | 1220 | 400+ DT |
| 6 | 2000 | 1120 | | 1360 | 1120 | 1150 | 1500 | 3000 | 1400 | 1250 | 400+ DT |
| 10 | 2000 | 1150 | | | 1150 | 1150 | 1500 | 3000 | 1400 | 1350 | 400+ DT |
| 15 | 2000 | 1160 | | 1700 | 1160 | 1200 | 1500 | 3000 | 1400 | 1380 | 400+ DT |
| 20 | 2000 | 1220 | | 1760 | 1220 | 1280 | 1500 | 3000 | 1400 | 1400 | 500+ DT |
| 30 | 2000 | 1320 | | 1780 | 1320 | 1400 | 1500 | 3000 | 1700 | 1560 | 500+ DT |
| 36 | 2000 | 1380 | | 1930 | | | 2000 | 3000 | 1700 | 1580 | 600+ DT |
| 45 | 2000 | 1480 | | | 1480 | 1600 | 2000 | 3000 | 1700 | 1630 | 600+ DT |
| 60 | 3000 | 1630 | | | 1700 | | 2000 | 3000 | | 1830 | 600+ DT |
| 70 | 3000 | 1750 | | | | | 2000 | 3000 | 1900 | 1900 | 700+ DT |

DT – dodatek technologiczny, wynikający ze stosowanej technologii PPN

**Tabela 6**

Wartości $D_V$ dla Un > 70 kV w różnych krajach Europy, mm

| $U_n$, kV | F | NL | FI | GR | ES | IT | AT | DE | SE | BE | NE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 110 | 3000 | 2100 | | | 2100 | | 2000 | 3000 | | 2100 | 750 + DT |
| 132 | 3000 | 3300 | | | 3300 | 3520 | 3000 | 4000 | 3100 | 3300 | 1100 + DT |
| 150 | 3000 | 3500 | | | | 3670 | 3000 | 4000 | | 3500 | 1300 + DT |
| 220 | 3000 | 4100 | | | 4100 | 4300 | 3000 | 4000 | 3600 | 4100 | 1500 + DT |
| 275 | 4000 | 4400 | | | | | 4000 | 5000 | | 4400 | 2100 + DT |
| 380 | 4000 | 5400 | | | 5400 | 5940 | 4000 | 5000 | 4500 | 5400 | 2400 + DT |
| 480 | 4000 | 6100 | | | | | | | | 6100 | 3400 + DT |
| 700 | | 8400 | | | | | | | | | 4100 + DT |

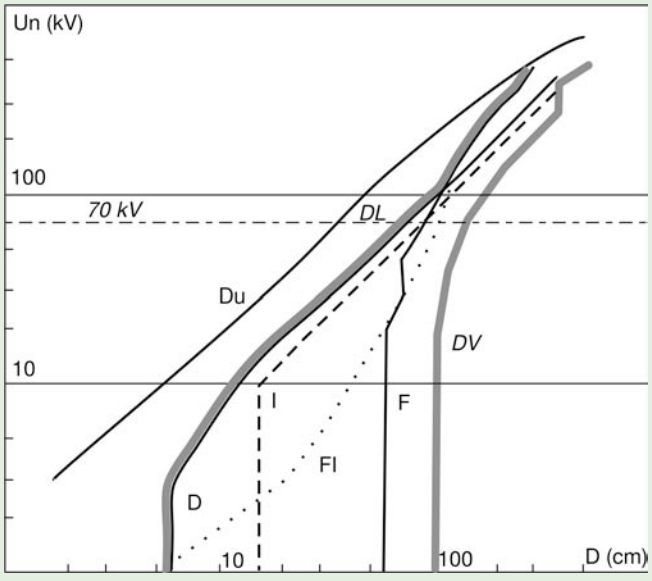
DT – dodatek technologiczny, wynikający ze stosowanej technologii PPN

*Źródło danych tabel 3–6: J. Lalot, G. De Donà, „Approche Européenne de la définition des zones de travail sur ou à proximité des installations électriques", ICOLIM 2002*

W wyniku ankiety, w której pytano o strefę prac pod napięciem ($D_L$ i $D_E$) oraz prac w pobliżu napięcia ($D_V$) zestawione wartości pomijają odstęp ergonomiczny $D_E$ z uwagi na silne zróżnicowanie wymagań, np. we Francji wynosi on dla urządzeń nn – 300 mm i 500 mm dla wysokich napięć; natomiast w Belgii wynosi on od 200 do 1000 mm w zależności od wykonywanej technologii.

W postaci graficznej uzyskane dane przedstawiono na rysunku 3.

Wynika z niego, że przy napięciach do 70 kV występuje silne zróżnicowanie wartości $D_L$ i słaba korelacja z poziomem napięcia, inaczej niż powyżej 70 kV, gdzie jest dużo mniejszy rozrzut wartości i ściślejsza korelacja z poziomem napięcia. W przypadku prac w pobliżu napięcia wartość $D_V$ w większości krajów wykazuje tendencje zwiększania się wraz poziomem napięcia.




Rys. 3. Strefa prac pod napięciem: główne tendencje obserwowane w kształtowaniu $D_L$ w funkcji napięcia znamionowego
Źródło: J. Lalot, G. De Dona, „Approche Europenne de la definition des zones de trawail sur ou a proximite des installations electriques", ICOLIM 2002

W normie CEI 61472 definiuje się jeszcze minimalną odległość zbliżenia $D_A$ wyznaczaną jako minimalną odległość w powietrzu, która powinna być utrzymana między pracownikiem lub każdym narzędziem, którym on manipuluje, a częściami noszącymi inne potencjały.

Odległość tę wyznacza wzór:

$$D_A = D_U + D_E$$

gdzie $D_U$ oznacza odstęp elektryczny.

Definicje różnych odległości i stref podano w wykładzie 2 sesji 7 (*Energetyka* 2005, nr 12). Należy jednak zwrócić uwagę na wartości zamieszczone w tabeli 1 – inne niż wyliczone i rekomendowane przez ekspertów CENELEC. Podano je w tabeli 7.

**Tabela 7**
Obliczenia składowej elektrycznej i określenie minimalnej akceptowanej odległości dla strefy prac pod napięciem

| $U_n$ kV | $U_s$ kV | $u_2$ p.u. | $D_U$ mm | $D_A$ mm | $D_L$ mm | Akceptowalne $D_L$ mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| <1 | 1 | – | – | – | bez dotyku | bez dotyku |
| 3 | 3,6 | 2,7 | 16 | – | 60 | 60 |
| 6 | 7,2 | 2,7 | 32 | – | 90 | 90 |
| 10 | 12 | 2,7 | 53 | – | 120 | 120 |
| 15 | 17,5 | 2,7 | 78 | – | 160 | 160 |
| 20 | 24 | 2,7 | 108 | – | 220 | 220 |
| 30 | 36 | 2,7 | 164 | – | 320 | 320 |
| 36 | 41,5 | 2,7 | 190 | – | 380 | 380 |
| 45 | 52 | 2,7 | 240 | – | 480 | 480 |
| 60 | 72,5 | 2,3 | 288 | – | 630 | 630 |
| 70 | 82,5 | 2,3 | 331 | – | 750 | 750 |
| 110 | 123 | 2,3 | 502 | 1 002 | 1 000 | 1 000 |
| 132 | 145 | 2,3 | 604 | 1 104 | 1 100 | 1 100 |
| 150 | 170 | 2,3 | 724 | 1 224 | 1 300 | 1 200 |
| 220 | 245 | 2,3 | 1 093 | 1 593 | 1 500 | 1 600 |
| 275 | 300 | 2,2 | 1 329 | 1 829 | 1 900 | 1 900 |
| 380 | 420 | 2,2 | 2 027 | 2 527 | 2 400 | 2 500 |
| 480 | 525 | 2,2 | 2 733 | 3 233 | 2 900 | 3 200 |
| 700 | 765 | 2,2 | 4 766 | 5 266 | 4 100 | 5 300 |

Wartości odstępu (składowej) elektrycznej są określone przez przepięcia łączeniowe. Przepięcia udarowe w wyniku uderzenia pioruna zasadniczo pomija się, gdyż pracownicy obserwują otoczenie i nie pracują w czasie burz, a pojawienie się oznak burzy (widzialna błyskawica lub słyszalny grzmot pioruna) oznacza przerwanie pracy.

Aby praca była bezpieczna, wartość przepięcia powinna być mniejsza niż wartość $U_{90}$ wytrzymałości elektrycznej izolacji w miejscu pracy. Odpowiada to sytuacji, gdy miejsce pracy jest odległe o więcej niż 10 km od miejsca uderzenia pioruna, nawet jeśli linia jest otwarta na końcu.

Amplituda przepięć jest bardzo zmienna i zależy nie tylko od charakterystyki rozważanej sieci, ale także od pochodzenia, rodzaju przepięcia. Niepewny charakter mechanizmu pojawienia się przepięcia prowadzi do zdefiniowania jego maksymalnej amplitudy w sposób statystyczny jako przepięcie statystyczne 2% $U_s$, tzn. przepięcie, którego prawdopodobieństwo przekroczenia jest mniejsze lub równe 2%. Wartość tego napięcia jest ogólnie ujmując oznaczana jako p.u. (par unité) w stosunku do najwyższego napięcia sieci, będąc wartością szczytową napięcia częstotliwości przemysłowej: 1 *p.u.* = $(\sqrt{2}/\sqrt{3})U_s$.

Wartości odległości zestawione w tabeli 7 dla „typowych przepięć" obliczono wg CEI 61472.

Wytrzymałość elektryczna i bezpieczne odległości, obliczane na podstawie metody opisanej w PN-EN 61472, są zalecane do stosowania tylko wówczas, gdy jest spełniona większość z następujących warunków:

- pracownicy są przeszkoleni i mają doświadczenie w wykonywaniu prac pod napięciem na liniach elektroenergetycznych lub w pobliżu przewodów pod napięciem,
- warunki pracy są tak dostosowane, aby statystyczne przepięcie nie przewyższało wartości wymaganego napięcia wytrzymywanego,
- decydującymi przepięciami są przepięcia przejściowe,
- powierzchnia izolacji narzędzi nie jest pokryta ciągłą warstwą wilgoci,
- w odległości do 10 km od miejsca pracy nie występują wyładowania atmosferyczne,
- bierze się pod uwagę wpływ części przewodzących narzędzi,
- uwzględnia się wpływ wysokości nad poziomem morza na wytrzymałość elektryczną.

W przeprowadzonych obliczeniach wykorzystano szereg współczynników korygujących.

Ogólnie w metodologii obliczenia minimalnych odległości zbliżenia $D_A$ przyjmuje się za podstawę trzy warunki:

- określenie statystycznego przepięcia możliwego do wystąpienia w miejscu pracy ($U_2$) i na jego podstawie wyznaczenie statystycznego napięcia wytrzymywanego izolacji w miejscu pracy ($U_{90}$),
- obliczenie minimalnego odstępu elektrycznego $D_u$ odniesionego do ($U_{90}$),
- dodanie dodatkowego odstępu uwzględniającego czynniki ergonomiczne związane z pracami pod napięciem, takie jak mimowolne poruszenie się.

## Obliczanie odstępów elektrycznych $D_U$

Wytrzymałość odstępu w powietrzu zależy od szeregu parametrów, które łącznie mogą być uwzględnione przez współczynnik $K_t$ stosowany w poniższym wzorze do obliczenia $D_U$:

$$D_U = 2{,}17(e^{U_{90}\, I\, (1080\, K_t)} - 1) + F$$

gdzie:

F – wymiar obiektu o nieustalonym (pływającym) potencjale,

$K_t$ – jest określona przez:

$$K_t = k_s\, k_g\, k_a\, k_f\, k_l$$

◆ $k_s$ – Konwencjonalny współczynnik odchylenia statystycznego

Współczynnik $k_s$ uwzględnia statystyczny charakter napięcia przebicia.

◆ $k_g$ – Współczynnik odstępu

Współczynnik odstępu $k_g$ uwzględnia wpływ konfiguracji odstępu na wytrzymałość elektryczną powietrza. W broszurze 72 CIGRE i normie IEC 60071 jest więcej informacji dotyczących określania kg dla różnych konfiguracji odstępów. Najczęściej zaleca się przyjmowanie wartości kg = 1,2 reprezentatywnej dla większości konfiguracji sieci.

◆ $k_a$ – Współczynnik uwzględniający wpływ warunków atmosferycznych

Wytrzymałość elektryczna izolacji powietrza w miejscu pracy zależy od lokalnych warunków atmosferycznych (ciśnienia, temperatury i wilgotności). Wpływ ten, który zmienia się zależnie od wysokości nad poziomem morza, jest uwzględniony przez współczynnik warunków atmosferycznych $k_a$ (dla większości przypadków wysokość do 1000 m npm jest dostateczna do obliczeń).

Pod uwagę bierze się jeszcze dwa współczynniki związane z ewentualną degradacją izolacji w miejscu interwencji i ewentualną obecnością przewodzących części, elementów sprzętu wykorzystywanych w procesie pracy – odpowiednio $k_l$ oraz $k_f$.

◆ $k_f$ – Współczynnik uwzględniający wpływ obiektu o nieustalonym (pływającym, zmieniającym się) potencjale

Obiekty o pływającym (zmieniającym się) potencjale mogą zmniejszać lub zwiększać wytrzymałość elektryczną odstępu wskutek odkształcenia pola elektrycznego. Przy obliczeniach efektów wpływu obiektów (o wymiarach F) o pływającym potencjale na wartości współczynników $k_f$ zaleca się uwzględniać wszystkie drogi, wzdłuż których możliwe jest wystąpienie wyładowań zupełnych.

◆ $k_l$ – współczynnik uwzględniający stan izolatorów

Jeśli nie ma izolatorów uszkodzonych, $k_l = 1$ (tak przyjęto do obliczeń w tab. 7). Wpływ uszkodzonej izolacji na wartość napięcia wytrzymywanego w miejscu pracy należy uwzględniać zapewniając, aby w miejscu pracy wykonywanej pod napięciem w pobliżu izolacji zawsze była minimalna ilość nieuszkodzonych ogniw izolacyjnych.

## Ocena realnego zagrożenia i ryzyka

Całkowite ryzyko związane z przebiciem izolacji w miejscu pracy jest związane z wieloma sytuacjami opisanymi poniżej. Gdy te sytuacje łączą się ze sobą ogólne ryzyko przeskoku zmniejsza się. Są to następujące przypadki:

- rzeczywista wartość napięcia sieci nie zawsze jest wartością największą,

- lokalizacja miejsca pracy prawdopodobnie nie jest tą, gdzie przepięcia przejściowe osiągają największą wartość,
- stromość czoła fali rzeczywiście występującego przepięcia przejściowego jest mniejsza niż wartość krytyczna czoła,
- około połowa przepięć przejściowych będzie miała ujemną biegunowość i stanowi mniejsze zagrożenia,
- częstotliwość i amplituda przepięć przejściowych są zmniejszane przez ograniczenia ponownego załączania wyłączników.

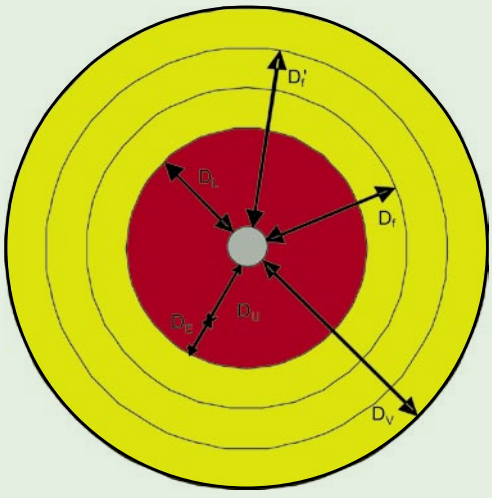
Całkowite ryzyko wystąpienia przeskoku w czasie wykonywania prac pod napięciem będzie mniejsze, jeśli uwzględni się odstęp ergonomiczny $D_E$, gdyż jest mało prawdopodobny wzrost przepięcia w miejscu wykonywania pracy, w chwili gdy odstęp ergonomiczny jest całkowicie naruszony przez mimowolne poruszenie się pracownika lub obiektu.

Odległości do prac pod napięciem i strefa prac pod napięciem są równe lub większe niż odległość $D_L$.

Autorzy analiz odległości, eksperci CENELEC BTTF 62-3 zaproponowali jednolity schemat dla określania stref i odległości prac pod napięciem, przedstawiony na rysunku 4.

Zilustrowano tu schematycznie relacje zachodzące między przepisowymi strefami (strefa prac pod napięciem i strefa prac w pobliżu napięcia) a bezpiecznymi odległościami do PPN, uwzględniającymi ryzyko przepięć w dwóch sytuacjach wykonywania prac:

- przypadek gdy odstęp powietrzny jest przedzielony obiektami o potencjale nieustalonym, odległość roboczą określa wówczas $D_f$,
- przypadek gdy w sieci może powstawać przepięcie wyższe i niezgodne z wyznaczoną minimalną odległością zbliżenia, odległość roboczą określa wówczas $D'_f$.




Rys. 2. Strefy i odległości podczas prac pod napięciem wg CENELEC

Ustanowienie normy PN-EN 61472 uświadamia, że przygotowanie technologiczne prac pod napięciem wymaga spełnienia szeregu kryteriów – jednym z nich jest wyznaczanie bezpiecznych odległości, które dla dowolnej pracy pod napięciem mogą być wyznaczone inaczej niż przyzwalaja na to ogólne przepisy, a nawet instrukcje zakładowe. Dzięki temu analiza zagrożeń nie jest powielanym zachowaniem, ale każdorazowo sprawdzane są warunki realizacji pozwalające czasami na podjęcie większego ryzyka, a czasami uproszczenie metody w granicach przeprowadzonych analiz.

Stosowana metodologia pozwala na wyznaczenie np. dopuszczalności wymiany izolatorów w łańcuchu o znacznie większej liczbie uszkodzonych kołpaków niż dopuszczona przepisami i instrukcjami obowiązującymi w kraju. Inaczej mówiąc stworzenie bezpiecznych warunków pracy w takim przypadku będzie polegało na założeniu przenośnych iskierników na słupach sąsiadujących z miejscem pracy (łańcuch o zwiększonej liczbie uszkodzonych kołpaków). Podkreśla się także istnienie zjawiska napięć indukowanych i one muszą zostać skalkulowane czy zachowane są bezpieczne warunki pracy, szczególnie ważne przy pracach z przewodami o dużych długościach w pobliżu czynnych linii wysokiego napięcia.

Uogólniając można stwierdzić, że konstrukcje urządzeń elektrycznych sprzyjające wykonywaniu prac pod napięciem powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- łatwym dostępem do elementów urządzenia, przy którym będą wykonywane czynności konserwacyjno-naprawcze lub montażowe,
- przejrzystym rozmieszczeniem części urządzenia o różnych potencjałach,
- zamocowaniem elementów umożliwiającym ich wymianę,
- odpowiednią jakością i funkcjonalnością osprzętu i aparatury,
- odpowiednią jakością izolacji w całym okresie eksploatacji urządzenia,
- pewnością połączeń mechanicznych i elektrycznych, szczególnie przy zastosowaniu bocznika toru prądowego.

*W wykładzie wykorzystano przede wszystkim referat B5.3 z konferencji ICOLIM 2002: Europäischer Vorstoß zur Definition von Arbeitsbereichen an oder in der Nähe von elektrischen Anlagen European Approach towards the Definition of Working Zones on or near Electrical Installations Approche européenne de la définition des zones de travail sur ou à proximité des installations électriques J. Lalot, EDF, Mulhouse, F; G. De Donà, TERNA SpA, Torino, I.*