

Zagadnienia ogólne

Bezpieczeństwo użytkowania instalacji elektrycznych sprowadza się do zapewnienia ochrony przed następującymi podstawowymi zagrożeniami:

- porażeniem prądem elektrycznym,
- prądami przeciążeniowymi i zwarciovymi,
- przepięciami łączeniowymi i pochodzącymi od wyładowań atmosferycznych,
- skutkami cieplnymi.

Skuteczność ochrony przed wyżej wymienionymi zagrożeniami zależy od zastosowanych, w instalacjach elektrycznych, rozwiązań oraz środków technicznych.

Miarą skuteczności tej ochrony jest liczba śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym oraz liczba pożarów, będących następstwem wad lub nieprawidłowej eksploatacji instalacji elektrycznych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że liczba śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym w ciągu roku, przypadająca na jeden milion mieszkańców w Polsce zmniejszyła się z 9,5 w latach 1980 ÷ 1985 do 6,7 w latach 1991 ÷ 1998 z tendencją dalszego zmniejszania się w następnych latach. Jednak nadal liczba śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym jest w Polsce 3 ÷ 4-krotnie większa niż w krajach Zachodniej Europy. Liczba śmiertelnych wypadków poza statystycznym miejscem pracy, spowodowanych porażeniem prądem elektrycznym, w stosunku do ogółu śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym wynosi w Polsce około 86 %.

Wynika z tego, że niebezpieczeństwo śmiertelnych porażen prądem elektrycznym występuje przede wszystkim w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych oraz w gospodarstwach rolniczych i ogrodnich. Nadal najwięcej wypadków odnotowuje się na wsi, prawie dwukrotnie większy wskaźnik śmiertelnych wypadków w stosunku do wypadków w mieście. Równie częste są przypadki powstania pożarów, spowodowane niesprawną instalacją elektryczną. Procentowy udział w ogólnej liczbie pożarów w budynkach, spowodowanych niesprawną instalacją elektryczną, według danych za 1999 rok jest na poziomie 14,2 %.

Zasadniczy wpływ na dużą liczbę śmiertelnych porażen prądem elektrycznym oraz pożarów w Polsce ma na ogół zły stan techniczny instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych, w tym w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych oraz w gospodarstwach rolniczych i ogrodnich, a także stosowanie niedoskonałych i niewystarczających środków ochrony przed zagrożeniami w tych instalacjach, a mianowicie:

- powszechne stosowanie układu sieci TN-C w instalacjach elektrycznych z przewodami o małych przekrojach ($1,5 \div 10\text{mm}^2$) przeważnie aluminiowymi, zwiększającymi możliwość uszkodzeń mechanicznych i przerw, szczególnie w przewodach ochronno-neutralnych PEN występujących w tym układzie sieci. Stąd wynikające często przypadki pojawiania się na obudowach metalowych odbiorników napięć dotykowych wyższych od dopuszczalnych długotrwale. Również pojawianie się na przewodzie PEN napięcia niekorzystnego dla użytkowanych odbiorników, wywołanego przepływem przez ten przewód prądu wyrównawczego, spowodowanego zaistnieniem asymetrii prądowej w instalacji,

- stosowanie układu sieci TT, nie zawsze gwarantującego skuteczność ochrony przeciwporażeniowej, głównie z uwagi na dość często występujące trudności w zapewnieniu wymaganych rezystancji uziemień oraz przypadki przerw w przewodach uziemiających,
- powszechne użytkowanie bezpieczników topikowych, jako urządzeń samoczynnego wyłączenia. Stosowanie wyłączników nadprądowych było znikomo małe. Przy doborze bezpieczników topikowych, korzystanie z współczynników „*k*”, zamiast z charakterystyk czasowo-prądowych, powodujących rzeczywiste czasy samoczynnego wyłączenia, wielokrotnie dłuższe od czasów wymaganych,
- niestosowanie połączeń wyrównawczych dodatkowych (miejscowych), a także bardzo często połączeń wyrównawczych głównych,
- niestosowanie ochrony przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) w pomieszczeniach o podłodze źle przewodzącej, przeznaczonych na stały pobyt ludzi, pomimo występowania w tych pomieszczeniach metalowych uziemionych rur i grzejników centralnego ogrzewania oraz metalowych rur wodociągowych i gazowych. Dopuszczenie możliwości stosowania w wyżej wymienionych pomieszczeniach odbiorników klasy ochronności „0”,
- niestosowanie wyłączników ochronnych różnicowoprądowych,
- niestosowanie ograniczników przepięć,
- w rozwiązaniach instalacji elektrycznych prowadzenie przewodów w sposób wykluczający ich wymienialność,
- stosowanie zbyt małej liczby obwodów odbiorczych oraz gniazd wtyczkowych i wypustów oświetleniowych.

W Polsce, w miastach i na wsi, istnieje ponad 11 milionów mieszkań oraz ponad 2 miliony gospodarstw rolniczych i ogrodniczych.

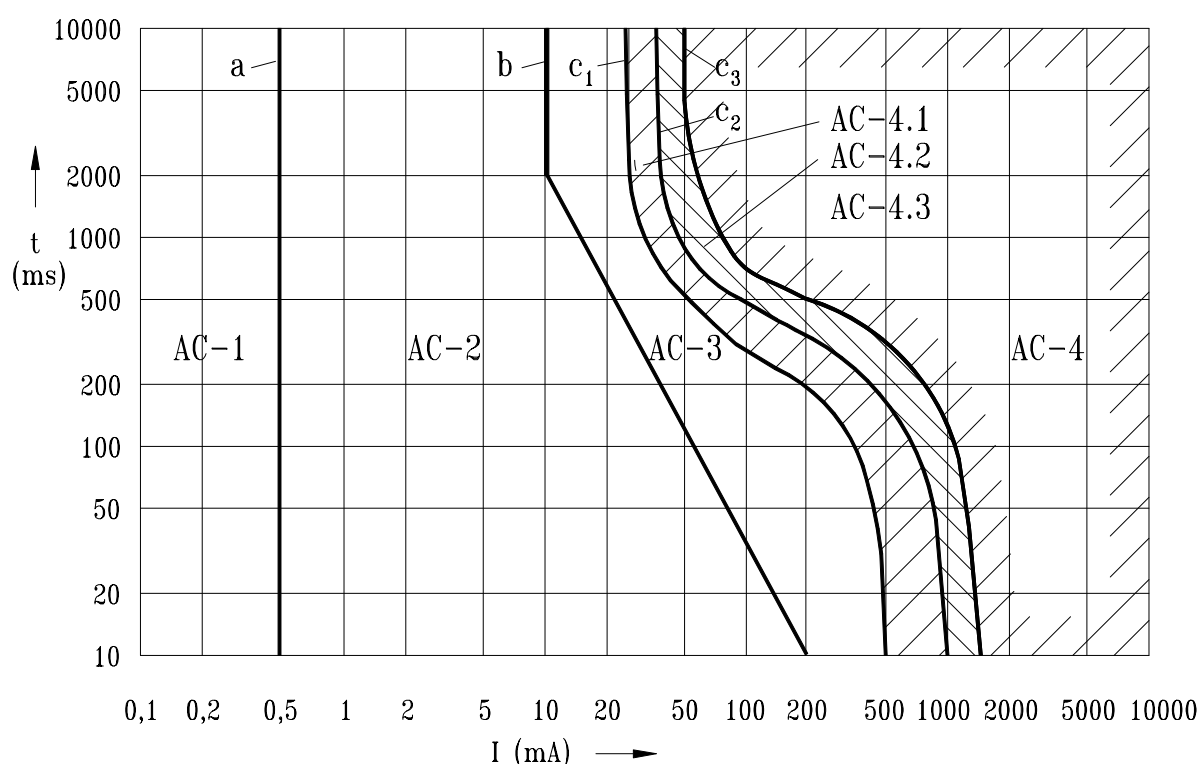
Instalacje elektryczne w tych obiektach, z wyjątkiem budowanych w ostatnich latach, nie odpowiadają postanowieniom obowiązującej Polskiej Normy PN-IEC 60364 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych” oraz postanowieniom Warunków Technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Są to instalacje elektryczne nie w pełni sprawne, będące źródłem wyżej wymienionych zagrożeń. Istnieje w związku z tym konieczność modernizacji instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych, w tym szczególnie w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych oraz w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych. W instalacjach modernizowanych lub nowo budowanych należy zapewnić konieczność realizacji nowych, preferowanych rozwiązań, które są objęte wymaganiami obowiązujących przepisów, to jest normy PN-IEC 60364 oraz Warunków Technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Norma PN-IEC 60364 „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych” jest zaktualizowaną wersją normy PN.../E-05009. Norma PN-IEC 60364 zawiera, oprócz powszechnie znanych arkuszy normy PN.../E-05009, które zostały zaktualizowane, arkusze nowe dotyczące między innymi ochrony instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia, obciążalności prądowej długotrwałej przewodów, instalacji elektrycznych w przestrzeniach ograniczonych powierzchniami przewodzącymi, wymagań dotyczących uziemień instalacji urządzeń przetwarzania danych, ochrony przed zakłóceniami elektromagnetycznymi w instalacjach obiektów budowlanych oraz układów uziemiających i połączeń wyrównawczych instalacji informatycznych.

Przepisy ochrony przeciwporażeniowej, zawarte w normie PN-IEC 60364, są przede wszystkim odzwierciedleniem rozpoznania skutków przepływu prądu elektrycznego przez ciało ludzkie, dostępnych środków ochrony oraz warunków ekonomicznych. W ostatnich 30 latach nastąpił znaczny postęp w rozpoznaniu skutków rażenia człowieka prądem. Prowadzone w tym zakresie badania na ludziach i zwierzętach były przedmiotem szczegółowych analiz oraz raportów Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (IEC).

W kolejnych wydaniach raportu 479 Komisji IEC opublikowane zostały uzgodnione poglądy, dotyczące reakcji organizmu człowieka na przepływ prądu przemiennego i stałego. Skutki oddziaływania prądu przemiennego o częstotliwości 50/60 Hz na ciało ludzkie zależą od wartości prądu I , przepływającego przez ciało ludzkie oraz czasu przepływu t . Ze względu na prawdopodobieństwo występowania określonych skutków można wyróżnić następujące strefy przedstawione na rysunku nr 1:



Rys. 1. Strefy skutków oddziaływania prądu przemiennego o częstotliwości 50/60 Hz na ciało ludzkie, na drodze lewa ręka – stopy

- AC-1 zazwyczaj brak reakcji organizmu,
- AC-2 zazwyczaj nie występują szkodliwe skutki patofizjologiczne. Linia b jest progiem samodzielnego uwolnienia człowieka od kontaktu z częścią pod napięciem,
- AC-3 zazwyczaj nie występują uszkodzenia organiczne. Prawdopodobieństwo skurczu mięśni i trudności w oddychaniu przy przepływie prądu w czasie dłuższym niż 2 s. Odwracalne zakłócenia powstawania i przenoszenia impulsów w sercu, włącznie z migotaniem przedsionków i przejściową blokadą pracy serca, bez migotania komór serca, wzrastające wraz z wielkością prądu i czasem jego przepływu,
- AC-4 dodatkowo, oprócz skutków charakterystycznych dla strefy AC-3, pojawia się wzrastające wraz z wartością prądu i czasem jego przepływu niebezpieczeństwo skutków patofizjologicznych, np. zatrzymanie czynności serca, zatrzymanie oddychania i ciężkie oparzenia.

Ze względu na prawdopodobieństwo wywołania migotania komór serca wyróżnia się następujące strefy:

AC-4.1 5 % przypadków migotania komór serca,

AC-4.2 nie więcej niż 50 % przypadków,

AC-4.3 powyżej 50 % przypadków.

Przyjęto, że graniczna bezpieczna wartość prądu rażeniowego, płynącego w dłuższym czasie przez ciało ludzkie, wynosi 30 mA dla prądu przemiennego. Znajomość współczynnika prądu serca F pozwala na obliczanie prądów I_d na innych drogach przepływu niż lewa ręka – stopy, które stanowią to samo niebezpieczeństwo wystąpienia migotania komór serca w odniesieniu do prądu I lewa ręka - stopy, przedstawionego na rysunku nr 1. Jego wartość jest stosunkiem:

$$F = \frac{I}{I_d}, \Rightarrow I_d = \frac{I}{F}$$

gdzie:

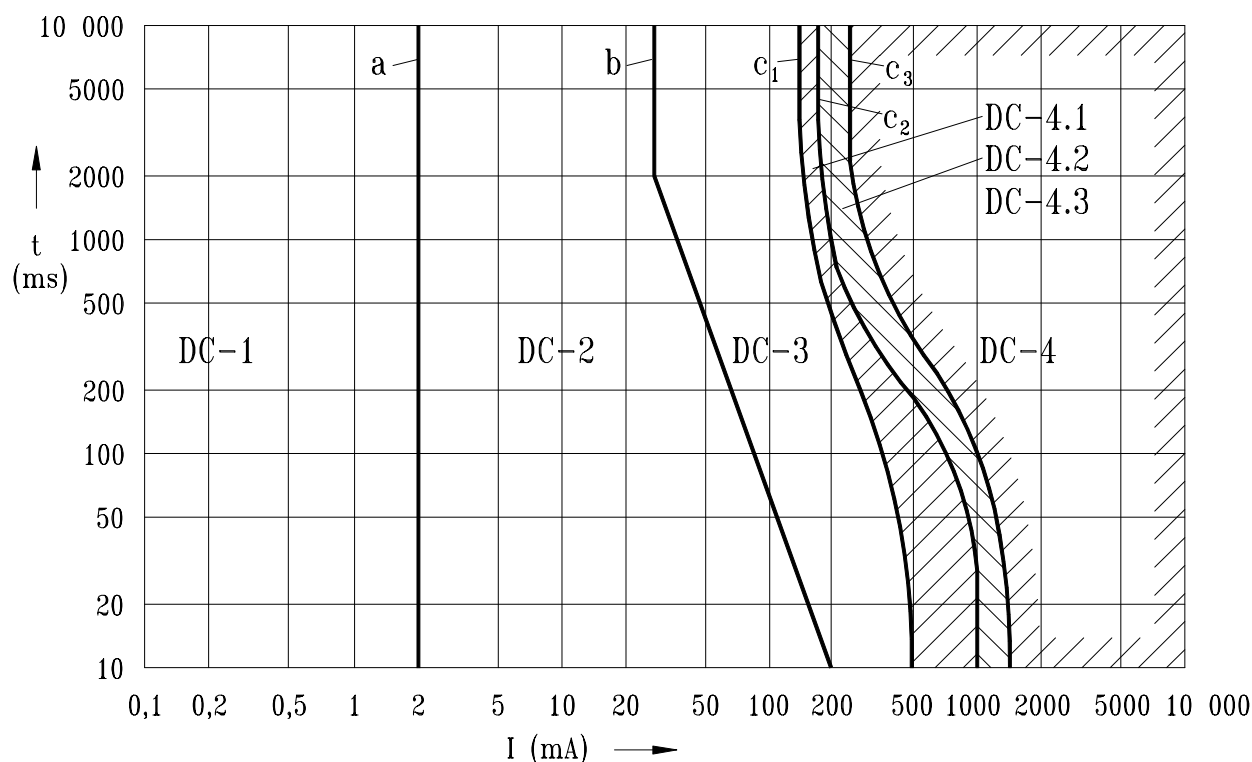
- I 1) prąd płynący przez ciało ludzkie na drodze lewa ręka - stopy przedstawiony na rysunku nr 1,
- I_d 2) prąd płynący przez ciało ludzkie na drogach przedstawionych w tablicy nr 1, wywołujący te same skutki jak prąd I ,
- F 3) współczynnik prądu serca, o wartościach dla różnych dróg przepływu prądu I_d przedstawionych w tablicy nr 1.

Tablica 1. Współczynnik prądu serca dla różnych dróg przepływu prądu przez ciało ludzkie

Droga przepływu prądu przez ciało ludzkie	Współczynnik prądu serca F
Lewa ręka do lewej stopy, prawej stopy lub obydwu stóp	1,0
Obydwie ręce do obydwu stóp	1,0
Lewa ręka do prawej ręki	0,4
Prawa ręka do lewej stopy, prawej stopy lub obydwu stóp	0,8
Plecy do prawej ręki	0,3
Plecy do lewej ręki	0,7
Klatka piersiowa do prawej ręki	1,3
Klatka piersiowa do lewej ręki	1,5
Pośladek do lewej ręki, prawej ręki lub obydwu rąk	0,7

Przykład: prąd 200 mA płynący przez ciało ludzkie na drodze lewa ręka do prawej ręki powoduje taki sam skutek, jak prąd 80 mA płynący na drodze lewa ręka do obydwu stóp.

Skutki oddziaływania prądu stałego na ciało ludzkie zależą od wartości prądu I , przepływającego przez ciało ludzkie oraz czasu przepływu t . Ze względu na prawdopodobieństwo występowania określonych skutków można wyróżnić następujące strefy przedstawione na rysunku nr 2.



Rys. 2. Strefy skutków oddziaływania prądu stałego (prąd wznoszący) na ciało ludzkie, na drodze lewa ręka - stopy

- DC-1 zazwyczaj brak reakcji organizmu,
- DC-2 zazwyczaj nie występują szkodliwe skutki patofizjologiczne,
- DC-3 zazwyczaj nie występują uszkodzenia organiczne. Prawdopodobieństwo odwracalnych zakłóceń powstawania i przewodzenia impulsów w sercu, wzrastających wraz z natężeniem prądu i czasem ,
- DC-4 prawdopodobieństwo wywołania migotania komór serca oraz wzrastające wraz z natężeniem prądu i czasem inne szkodliwe skutki patofizjologiczne, np. ciężkie oparzenia.

Ze względu na prawdopodobieństwo wywołania migotania komór serca wyróżnia się następujące strefy:

- DC-4.1 5 % przypadków migotania komór serca,
- DC-4.2 nie więcej niż 50 % przypadków,
- DC-4.3 powyżej 50 % przypadków.

Informacje dotyczące wypadków porażień prądem stałym oraz przeprowadzone badania wskazują, że:

- niebezpieczeństwo migotania komór serca jest w zasadzie związane z prądami wzdłużnymi (prąd płynący wzdłuż tułowia ciała ludzkiego, np. od ręki do stóp).
- Dla prądów poprzecznych (prąd płynący w poprzek tułowia ciała ludzkiego, np. od ręki do ręki) migotania komór serca mogą pojawiać się przy większych natężeniach prądu,
- próg migotania komór serca dla prądów opadających (prąd płynący przez ciało ludzkie, dla którego stopa stanowi biegun ujemny) jest około dwa razy wyższy, niż dla prądów wznoszących (prąd płynący przez ciało ludzkie, dla którego stopa stanowi biegun dodatni).

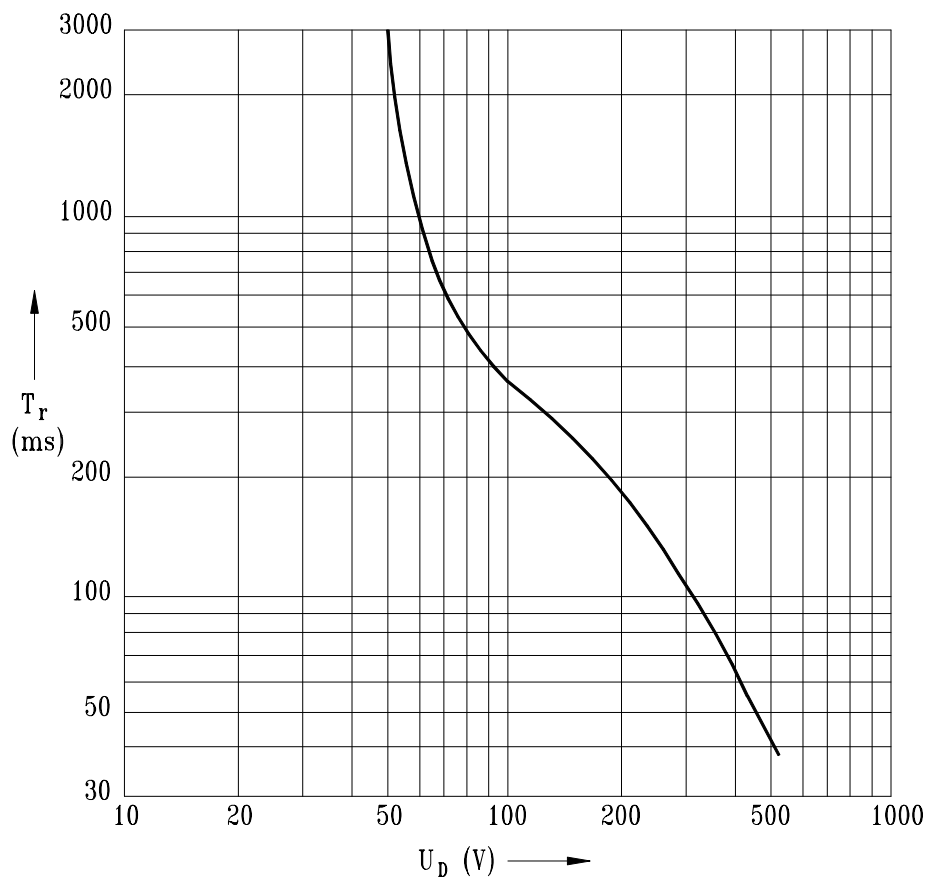
Na podstawie określonych wartości impedancji i rezystancji ciała ludzkiego oraz wartości prądu rażeniowego, wyznaczono wartości napięć dotykowych dopuszczalnych długotrwale w różnych warunkach środowiskowych. W warunkach środowiskowych normalnych, wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale U_L wynosi 50 V dla prądu przemiennego i 120 V dla prądu stałego.

Do środowisk o warunkach normalnych zalicza się lokale mieszkalne i biurowe, sale widowiskowe i teatralne, klasy szkolne (z wyjątkiem niektórych laboratoriów) itp. W warunkach środowiskowych o zwiększonym zagrożeniu, wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale U_L wynosi 25 V dla prądu przemiennego i 60 V dla prądu stałego.

Do środowisk o zwiększonym zagrożeniu zalicza się łazienki i natryski, sauny, pomieszczenia dla zwierząt domowych, bloki operacyjne szpitali, hydrofornie, wymiennikownie ciepła, przestrzenie ograniczone powierzchniami przewodzącymi, kanały rewizyjne, kempingi, tereny budowy i rozbiórki, tereny otwarte itp.

W warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym, jakie może nastąpić przy zetknięciu się ciała ludzkiego zanurzonego w wodzie z elementami znajdującymi się pod napięciem, wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale U_L wynosi 12 V dla prądu przemiennego i 30 V dla prądu stałego.

Określono również dla prądów rażeniowych przemiennych, odpowiadających krzywej C_1 na rysunku nr 1 oraz impedancji ciała ludzkiego, które nie są przekroczone dla 5% populacji, czasy utrzymywania się napięć dotykowych, przekraczających wartości napięć dotykowych dopuszczalnych długotrwale, bez powodowania zagrożenia dla ciała ludzkiego. Dane te przedstawione są na rysunku nr 3.



Rys. 3. Największe dopuszczalne napięcia dotykowe U_D w zależności od czasu rażenia T_r

Powyższe dane stanowiły podstawę do ustalenia maksymalnych czasów samoczynnego wyłączenia zasilania w warunkach środowiskowych normalnych oraz w warunkach środowiskowych o zwiększonym zagrożeniu.