

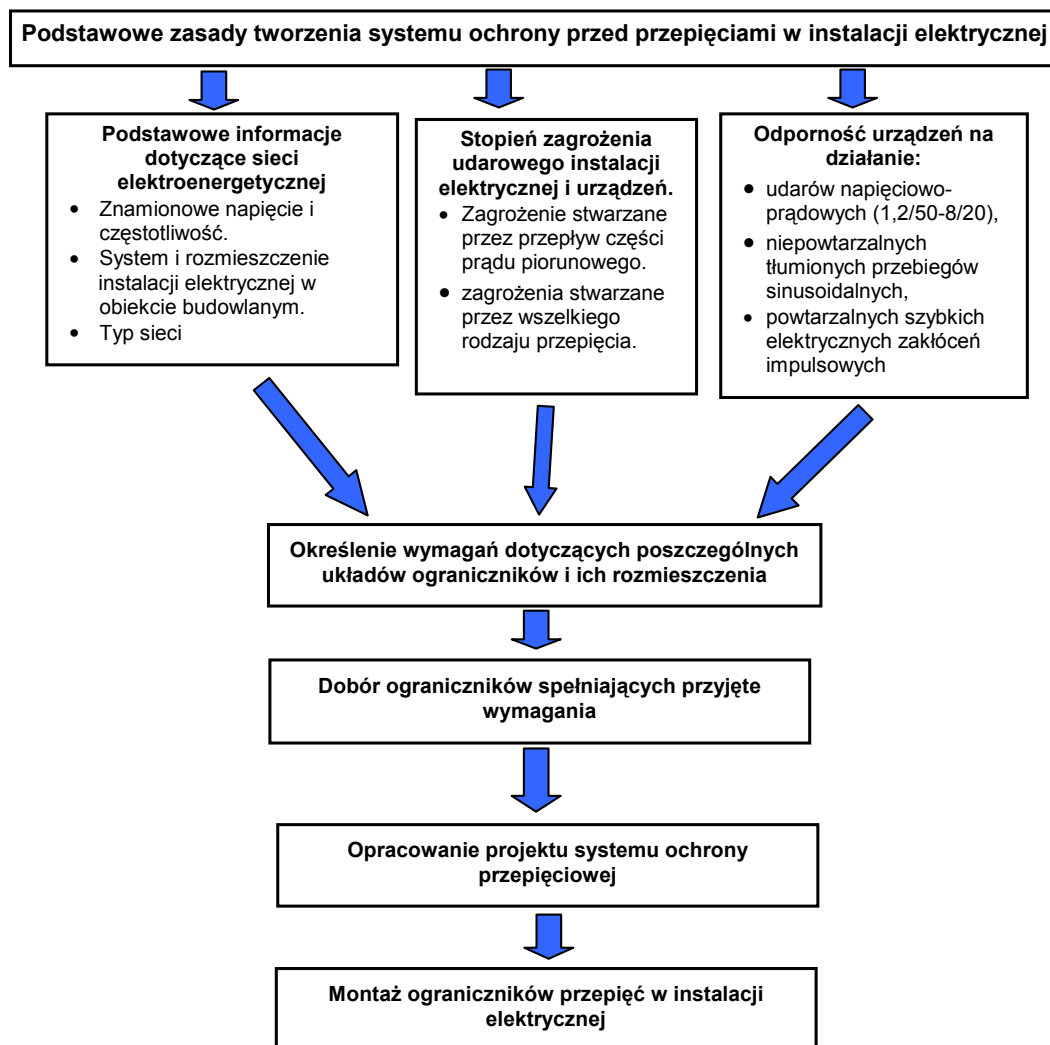
# OGRANICZANIE PRZEPIĘĆ W INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ



## Podstawowe błędy przy projektowaniu i montażu systemów ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej

Andrzej Sowa

W instalacji elektrycznej w większości obiektów budowlanych posiadających urządzenia piorunochronne wymagane jest zastosowanie dwu- lub trójstopniowego systemu ograniczania przepięć. Ogólne zasady postępowania przy tworzeniu takiego systemu przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Podstawowe zasady tworzenia systemu ochrony przed przepięciami w instalacji elektrycznej

Realizując przedstawione zasady postępowania należy unikać błędnych rozwiązań w fazie projektowania i wykonywania systemu ograniczania przepięć.

## Błędy w fazie projektowania instalacji elektrycznej

Projektując system ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej należy:

- przeanalizować występujące zagrożenie piorunowe i przepięciowe instalacji elektrycznej i urządzeń,
- zebrać informacje o poziomach odporności urządzeń na działanie napięć i prądów udarowych symulujących zagrożenie występujące w rzeczywistych warunkach,
- określić dopuszczalne poziomy przepięć w instalacji elektrycznej,
- odpowiednio rozmieścić układy ograniczające przepięcia.

Właściwe zaprojektowanie systemu jest sprawą podstawową, gdyż błędy popełnione w fazie projektowania są rzadko korygowane podczas wykonywania instalacji.

### Błędna ocena występującego zagrożenia instalacji elektrycznej

Podstawowym błędem jest pomijanie układu ograniczników klasy I (tzw. pierwszego stopnia ochrony). Takie rozwiązanie może być przyjmowane:

- świadomie, najczęściej ze względów ekonomicznych,
- nieświadomie, zakładana jest tylko możliwość oddziaływania przepięć wewnętrznych lub atmosferycznych indukowanych a lekceważone zagrożenie występujące podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w obiekt budowlany.

Nieświadome pomijanie układów ograniczników klasy I najczęściej występuje w instalacji elektrycznej ułożonej w obiektach posiadających urządzenie piorunochronne i zasilanych z zakopanych linii kablowych.

Niezależnie od przyczyny podjęcia błędnej decyzji, stosując ograniczniki klasy II w miejsce ograniczników klasy I narażamy instalację, chronione urządzenia i same ograniczniki na zniszczenie podczas bezpośrednich wyładowań piorunowych w obiekty budowlane lub uderzeń w bliskim ich sąsiedztwie.

### Niewłaściwe rozmieszczenie ograniczników przepięć różnych klas

Tworząc w instalacji elektrycznej wielostopniowe systemy ograniczania przepięć należy zapewnić wzajemną koordynację energetyczną pomiędzy ogranicznikami poszczególnych klas. Dotyczy to szczególnie układów ograniczników klasy I i II.

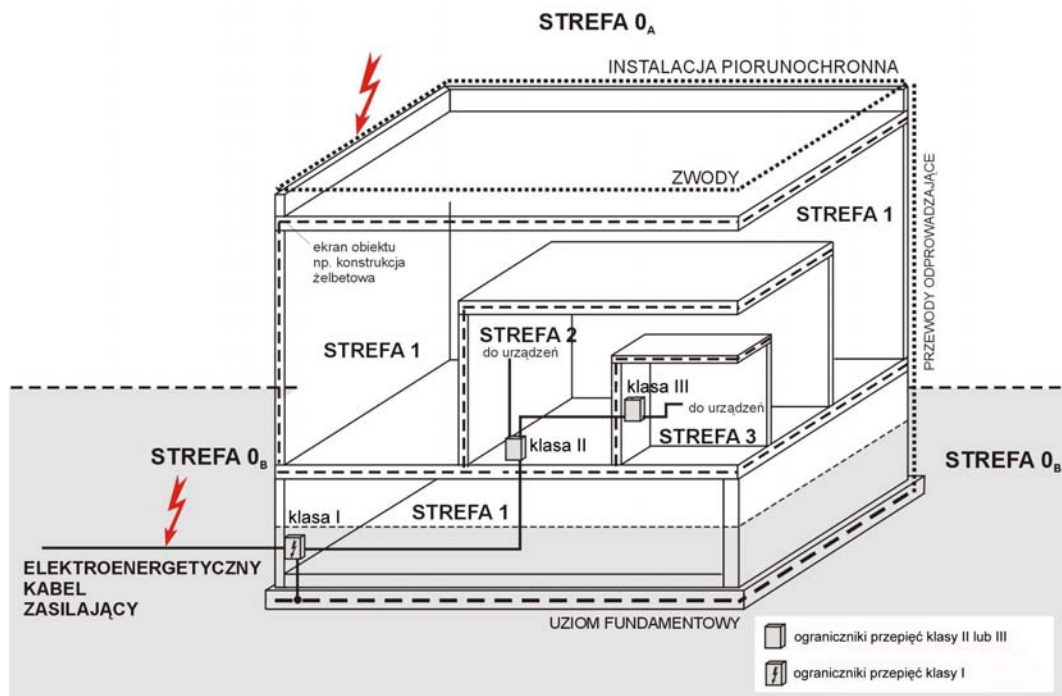
Dobierając ograniczniki, których właściwości zapewniają odpowiedni podział energii prądów udarowych, należy posiadać podstawowe informacje o :

- charakterystykach prądowo-napięciowych ograniczników,
- napięciowych poziomów ochrony ograniczników różnych klas,
- przewidywanym rozmieszczeniu układów ograniczników w instalacji elektrycznej.

Dodatkowo powinny być uwzględniane wymagania dotyczące ograniczania przepięć i wyrównywania potencjałów, jakie wynikają ze strefowej koncepcji ochrony odgromowej (rys.2.).

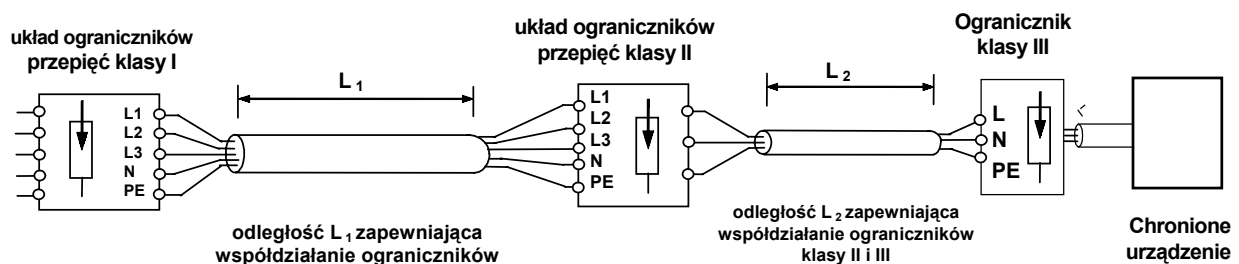
Koordynację energetyczną pomiędzy układami ograniczników klas I i II zapewnia stosowanie jednego z przedstawionych poniżej rozwiązań:

- zachowanie wymaganych odległości pomiędzy układami ograniczników,
- zastosowanie indukcyjności odsprzęgających pomiędzy układami ograniczników (ten sposób jest rzadziej stosowany),
- dobór ograniczników przepięć klasy I o niskich napięciowych poziomach ochrony, które mogą współpracować z ogranicznikami klasy II bez odstępów pomiędzy układami ograniczników.



**Rys.2.** Rozmieszczenie ograniczników przepięć zgodnie z zasadami strefowej koncepcji ochrony

Typowy trójstopniowy system ograniczania przepięć, w którym zastosowano odpowiednio rozmieszczone układy ograniczników różnych klas, przedstawiono rys.3.



**Rys.3.** Przykład połączeń trójstopniowego systemu ograniczania przepięć

Dobierając miejsce montażu ograniczników należy również zachować odpowiednie odległości pomiędzy układem ograniczników przepięć klasy II a:

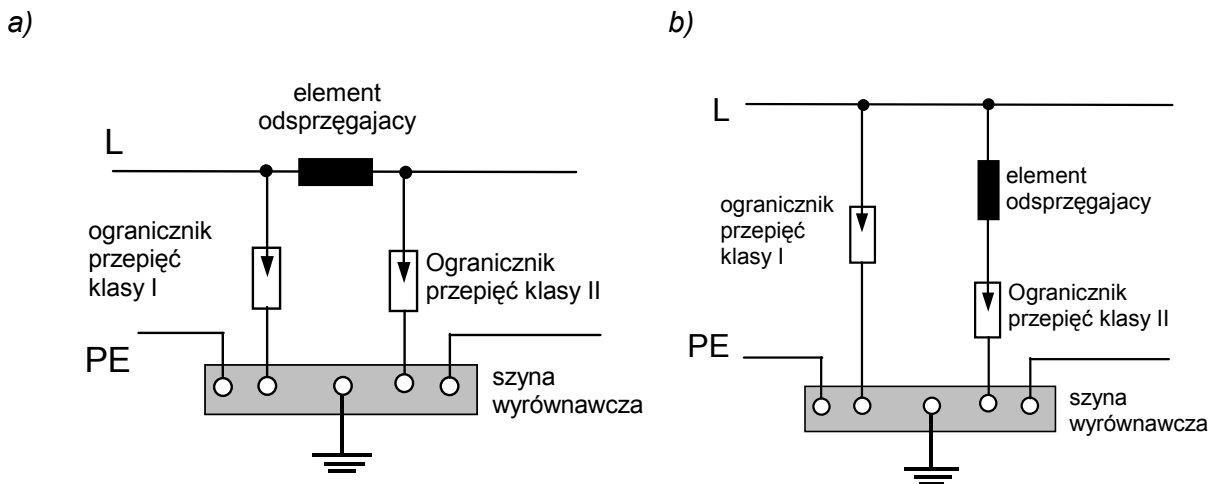
- ogranicznikami przepięć klasy III,
- urządzeniami, w których zainstalowano elementy ograniczające przepięcia.

Zapewniając koordynację energetyczną w systemie ograniczania przepięć uzyskujemy pewne i długotrwałe działanie poszczególnych ograniczników.

### Błędne układy połączeń

W czasopiśmie technicznych oraz materiałach informacyjnych firm produkujących ograniczniki przepięć zamieszczone są układy połączeń ograniczników przepięć w zależności od systemu sieci. Są to stosunkowo proste układy połączeń i niewłaściwe rozwiązania praktycznie niewystępują. Błędne połączenia pojawiają się sporadycznie w układach z elementami odsprzegajacymi. Typowy przykład błędnego układu połączeń ograniczników klasy I i II przedstawiono na rys. 4b.

W przedstawionym błędnym układzie połączeń przepięcia są ograniczane tylko do napięciowego poziomu ochrony ograniczników klasy I.



**Rys. 4.** Układy połączeń ograniczników klasy I i II oraz elementów odsprężających a) układ poprawny, b) układ błędny

### Brak koordynacji poziomów obniżania przepięć przez ograniczniki z odpornością udarową chronionych urządzeń

Zadaniem systemu ochrony przepięciowej jest ograniczenie przepięć do wartości leżących poniżej poziomów wytrzymałości udarowej chronionych urządzeń. Informacje o wytrzymałości udarowej urządzeń elektrycznych i elektronicznych zawierają normy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej. W przypadku analiz zagadnień ochrony odgromowej i przepięciowej należy uwzględnić poziomy odporności urządzeń na działanie:

- **jednokierunkowych (jednobiegunowych) udarów napięciowo-prądowych** o kształcie 1,2/50 - 8/20 [2], powodowanych przez przepięcia łączeniowe i piorunowe
- **niepowtarzalnych, tłumionych przebiegów sinusoidalnych** powstających podczas procesów łączeniowych w liniach zasilających lub sterujących oraz wyładowań atmosferycznych [1],
- **powtarzalnych szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych** o nanosekundowym charakterze zmian (kształt 5/50 ns) [3].

Przykładowe wartości wymaganych poziomów wytrzymałości udarowej urządzeń elektrycznych i elektronicznych zestawiono w tabelicy 1.

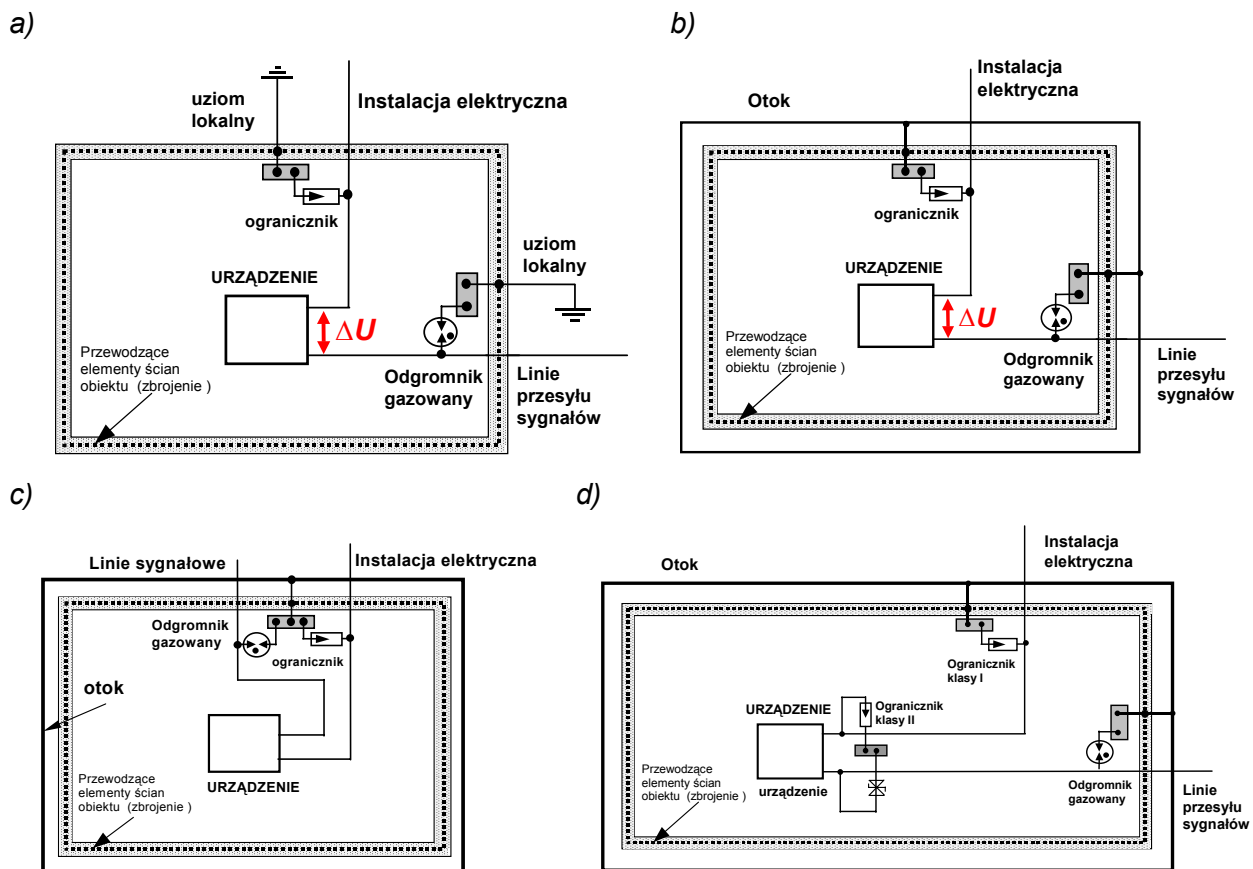
**Tablica 1.** Wymagane poziomy wytrzymałości na udary 5/50 ns i 1,2/50-8/20µs przyłączy zasilania prądem przemiennym urządzeń elektrycznych i elektronicznych

Urządzenia	Poziomy wytrzymałości urządzeń na udary od strony zasilania napięciem przemiennym
Urządzenia elektryczne powszechnego użytku <b>PN-EN 55014-2</b> [4]	Urządzenia powszechnego użytku, narzędzia elektryczne, podobne urządzenia elektryczne <ul style="list-style-type: none"> <li>• udary 5/50 - <b>1 000V</b></li> <li>• udary 1,2/50-8/20 - <b>2 000V / 1 000V</b></li> </ul>
Urządzenia informatyczne. <b>PN-EN 55024</b> [5]	Urządzenia informatyczne <ul style="list-style-type: none"> <li>• udary 5/50 - <b>1 000V</b></li> <li>• udary 1,2/50-8/20 - <b>2 000V / 1 000V</b></li> </ul>

### Różnice potencjałów pomiędzy instalacjami dochodzącymi do urządzenia

Projektując systemy ograniczania przepięć należy zwrócić szczególną uwagę na urządzenia, które połączone są z instalacją elektryczną oraz z innymi instalacjami niskonapięciowymi, np. telekomunikacyjnymi, kontrolno-pomiarowymi.

W takich przypadkach zastosowanie ograniczników w każdej z instalacji dochodzących do urządzenia może nie zapewnić jeszcze pełnej ochrony, gdyż przepięcia są ograniczane pomiędzy przewodami danej instalacji a nie pomiędzy poszczególnymi instalacjami (rys.5a,b).



**Rys.5.** Różnica potencjałów pomiędzy instalacjami w obiekcie budowlanym (a,b) oraz sposoby eliminacji tego zagrożenia (c,d)

Ochronę przed tego rodzaju zagrożeniem zapewnia wprowadzanie instalacji w jednym miejscu i połączenie ograniczników do jednej szyny wyrównawczej (rys.5c.) lub zastosowanie kolejnych stopni ochrony bezpośrednio przed urządzeniem (rys.5d).

## Błędy przy montażu ograniczników przepięć

Poprawnie zaprojektowany system ograniczania przepięć powinien być również bezbłędnie wykonany. Często brak dokładnych wskazówek montażowych jest przyczyną różnorodnych błędów, które mogą spowodować niewłaściwego działania systemu.

### Długie przewody stosowane do połączeń ograniczników

Oceniając poziomy przepięć „przepuszczonych” przez ograniczniki do dalszej części instalacji, należy uwzględnić nie tylko spadki napięć na samych ogranicznikach, ale również spadki napięć na przewodach łączących ograniczniki (rys.6a).

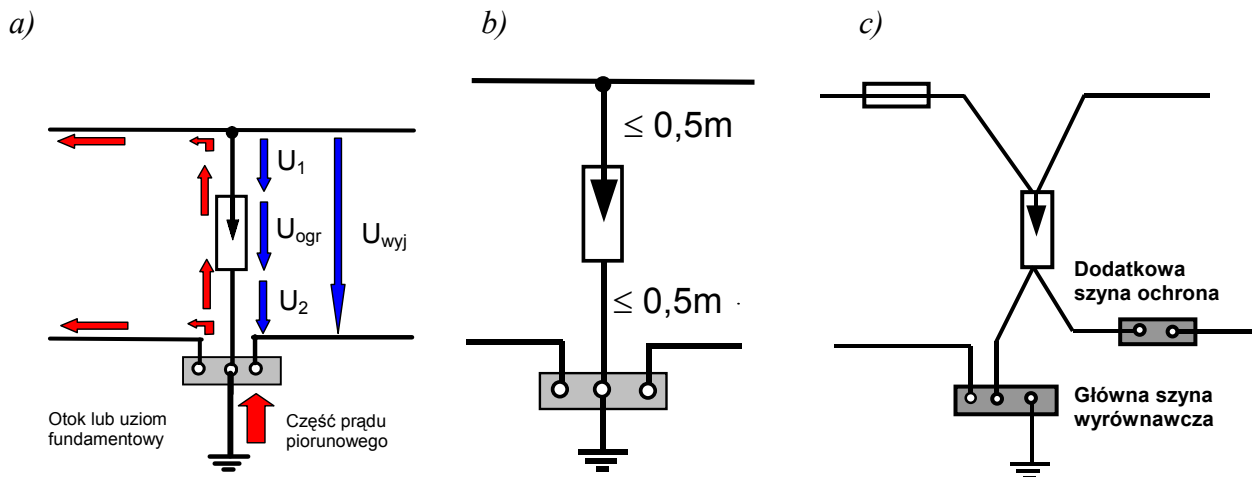
Napięcie na wyjściu układu ochronnego  $U_{wyj.}$  jest równe:

$$U_{wyj.} = U_{ogr} + U_1 + U_2$$

gdzie:  $U_{ogr}$  - napięcie panujące na ograniczniku,

$U_1$  - spadek napięcia na przewodzie łączącym ogranicznik z przewodem fazowym lub neutralnym,

$U_2$  - spadek napięcia na przewodach łączących ogranicznik z szyną wyrównywania potencjałów lub przewodem ochronnym PE.



**Rys.6.** Połączenie ogranicznika klasy I; a) widok ogólny, b) zalecane długości przewodów, c) optymalny układ przyłączenia

W przypadku przepływu prądów udarowych podstawowe znaczenie mają spadki napięć na indukcyjnościach przewodów i zależność określająca  $U_{wyj}$  przyjmuje postać:

$$U_{wyj} = U_{ogr} + L \cdot l_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + L \cdot l_2 \cdot \frac{di_c}{dt} \quad [\text{kV}]$$

gdzie:  $L$  - indukcyjność jednostkowa przewodów [w  $\mu\text{H}/\text{m}$ ],

$l_1, l_2$  - odpowiednio długości przewodów łączących ogranicznik z przewodem fazowym i szyną wyrównywania potencjałów [m],

$di_1/dt, di_c/dt$  - odpowiednio stromości narastania prądów udarowych płynących w przewodach łączących ogranicznik z przewodem fazowym i szyną wyrównywania potencjałów [w  $\text{kA}/\mu\text{s}$ ].

Do przybliżonego oszacowania zagrożenia można przyjąć (dla indukcyjności jednostkowej przewodu  $1 \mu\text{H}/\text{m}$ ), że przepływ prądu udarowy o stromości narastania  $1 \text{kA}/\mu\text{s}$  wywołuje na przewodzie o długości 1m spadek napięcia o wartości ok. 1kV.

W przypadku rzeczywistych zagrożeń należy uwzględnić możliwość wystąpienia prądów udarowych o stromości narastania dochodzącej do kilku  $\text{kA}/\mu\text{s}$ .

Szczególnie duży spadek napięcia występuje na przewodzie łączącym ogranicznik z szyną wyrównywania potencjałów. W przewodzie tym może popłynąć prąd wielokrotnie większy od prądu w poszczególnych przewodach łączących ogranicznik z przewodami fazowymi, a dodatkowo długość tego przewodu może być znaczna.

W celu zmniejszenia pojawiającego się zagrożenia należy ograniczniki umieszczać w takich miejscach, w których do ich połączenia można zastosować możliwie najkrótsze przewody. Obecnie zalecane jest ograniczenie długości przewodów poniżej 0,5m (rys.6b.).

Spadki napięć na indukcyjnościach przewodów można wyeliminować stosując tzw. „połączenia V” (rys.6c.). Ograniczniki stosowane do takiego układu powinny posiadać możliwość podłączenia dwu przewodów do każdego bieguna (podwójne zaciski).

## Siły dynamiczne działające pomiędzy przewodami z prądem udarowym

Zapewnienie poprawnego działania układu ograniczników, dotyczy to szczególnie ograniczników klasy I, wymaga również uwzględnienia zagrożeń stwarzanych przez siły elektrodynamiczne działające pomiędzy przewodami, w których płyną prądy udarowe.

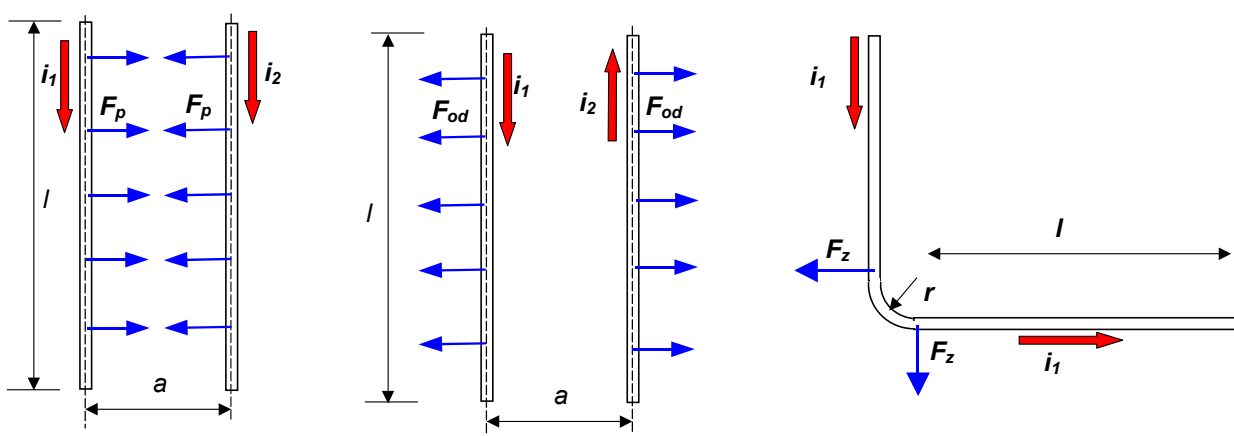
W przypadku prądów udarowych płynących w układzie przewodów równoległych (rys.7.) można, do przybliżonej oceny wartości sił elektrodynamicznych, zastosować zależność:

$$F = \left( \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi \cdot a} \right) \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot l = 2 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \left( \frac{l}{a} \right) \cdot 10^{-7}$$

gdzie:  $i_1 \cdot i_2$  - chwilowe wartości prądów płynących w przewodach [A],

$a$  - odstęp między przewodami,

$l$  - długość przewodów ułożonych równoległe.



**Rys.7.** Przykłady sił elektrodynamicznych działających na przewody z prądem

Podjęmowane są również próby wyznaczania sił elektrodynamicznych wykorzystując zależność określającą tzw. energię właściwą prądu udarowego  $W$ :

$$W = \int i^2 dt$$

Jednostkowe impulsy sił są proporcjonalne do energii właściwej prądu udarowego

$$\int F dt = f \int i^2 dt$$

gdzie  $f$  jest współczynnikiem proporcjonalności, którego wartość uzależniona jest od wzajemnego ułożenia przewodów.

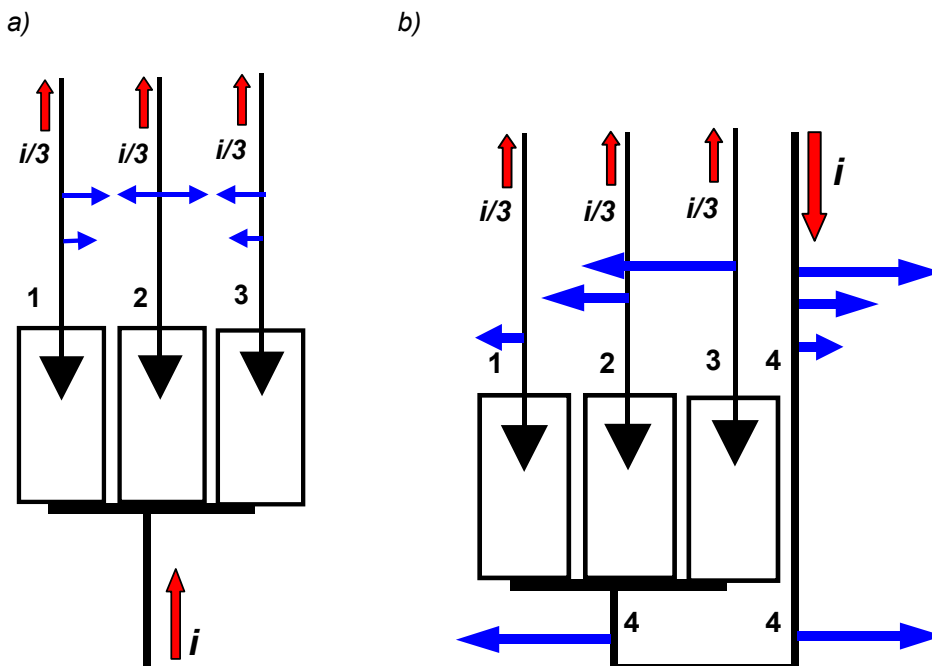
Przykład rozkładu sił działających na przewody w typowym układzie połączeń ograniczników przepięć przedstawia rys.8a.

Z punktu widzenia oddziaływania sił elektrodynamicznych, najbardziej niekorzystny jest układ połączeń, w którym wszystkie przewody dochodzące do ogranicznika ułożone są równoległe względem siebie (rys.8b.).

Prądy udarowe płynące w przedstawionym układzie powodują powstawanie sił działających:

- pomiędzy przewodami 1, 2 i 3 (rozkład tych sił nie został przedstawiony na rys.8b gdyż jest analogiczny do przedstawionego na rys.8a),
- pomiędzy przewodem 4 i przewodami 1,2 i 3 (rys.8b),

- w samym przewodzie 4 w miejscach zginania tego przewodu (rys.8b).



**Rys.8.** Siły elektrodynamiczne działające na układy przewodów łączących ograniczniki przepięć klasy I z przewodami fazowymi

Należy zauważyć, że działanie sił elektrodynamicznych na przewody w układach ograniczników przepięć ogranicza się tylko do krótkiej chwili czasowej (kilkadziesiąt  $\mu\text{s}$ ). Pomimo tak krótkiego czasu działania nie należy lekceważyć tego zagrożenia.

Występujące siły elektrodynamiczne dążą do wyrwania przewodów z zacisków mocujących i mogą spowodować uszkodzenia przewodów oraz sąsiednich urządzeń elektrycznych.

W celu ograniczenia działania sił elektrodynamicznych należy unikać:

- równoległego układania przewodów stosowanych do podłączenia ograniczników,
- zaginania przewodów.

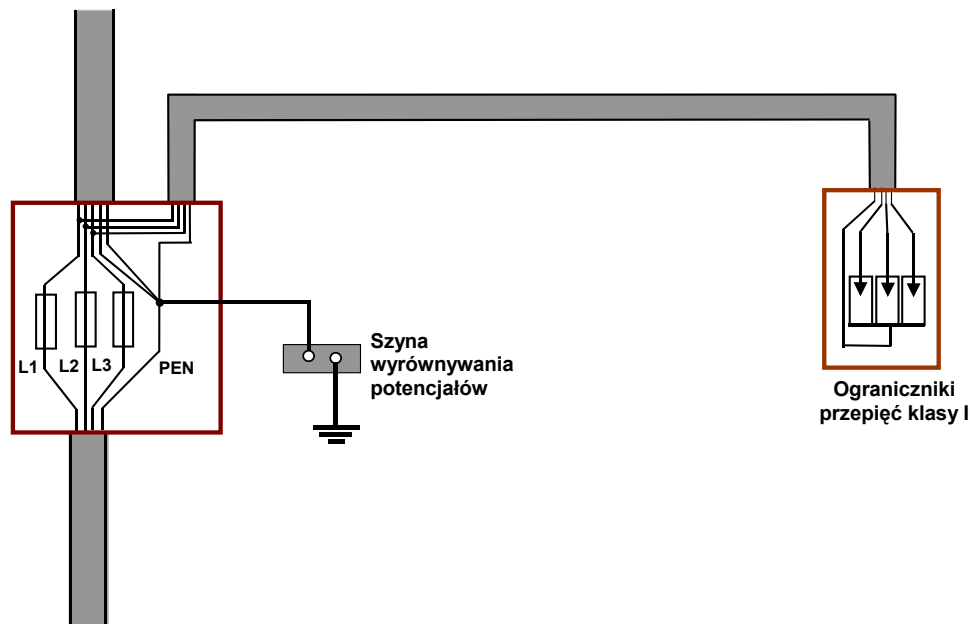
Jeśli w układzie połączeń ograniczników występują odcinki równoległe ułożonych przewodów to należy zastosować dodatkowe elementy mocujące te przewody, np. uchwyty kablowe montowane co ok. 15 – 20 cm.

Dobierając ograniczniki należy również zwrócić uwagę na jakość wykonania zacisków śrubowych służących do mocowania przewodów. Odpowiednie ich wyprofilowanie zapobiega wysunięciu się przewodu z zacisku podczas działania sił elektrodynamicznych.

Przykładem połączeń, w którym wystąpi dodawanie błędów wynikających ze stosowania zbyt długich przewodów oraz oddziaływania sił elektrodynamicznych pomiędzy poszczególnymi przewodami przedstawiono na rys.9.

### Wydmuch gazów na zewnątrz ograniczników przepięć

W części ograniczników klasy I stosowane są iskierniki otwarte (nieobudowane), w których podczas przerywania prądu następczego, następuje wydmuch gorących, zjonizowanych gazów na zewnątrz ograniczników.



**Rys.9.** Błędne połączenie układu ograniczników

W takim przypadku rozmieszczając ograniczniki należy uwzględnić:

- kierunek wydmuchu gazów,
- obszar zagrożenia stwarzanego przez strumień gazów.

Strefę niebezpiecznego działania gazów określają zwykle producenci ograniczników. W strefie tej nie należy umieszczać:

- materiałów łatwopalnych,
- nieizolowanych, ułożonych blisko siebie przewodów elektrycznych,
- urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Montując ograniczniki w oddzielnych szafkach należy również uwzględnić wzrost ciśnienia, występującego podczas wydmuchu gazów i odpowiednio dobrać wymiary i właściwości szafek.

***Powyższych zagrożeń można uniknąć stosując ograniczniki klasy I z obudowanymi iskiernikami, w których nie występuje wyprowadzanie gazów na zewnątrz.***

## Podsumowanie

Przyjęcie błędnych rozwiązań w projekcie oraz niewłaściwy montaż ograniczników eliminują podstawowe właściwości ochronne systemów ograniczania przepięć. Skutki takiego postępowania to najczęściej uszkodzenie chronionych urządzeń, instalacji elektrycznej oraz samych ograniczników (tablica 2.).

Wśród przedstawionych błędnych rozwiązań najczęściej występują zbyt długie przewody stosowane do połączeń ograniczników. Jest to szczególnie istotne w układach połączeń ograniczników klasy I, które chronią przed działaniem części prądu piorunowego i ograniczają przepięcia do 1000V lub 1500V.

Dodatkowo należy zauważyć, że pewną i niezawodną ochroną przed przepięciami zapewniają tylko systemy poprawnie eksploatowane. Stwarza to konieczność prowadzenia okresowych przeglądów układów ograniczników oraz oględzin po burzy, która odbywała się bezpośrednio nad obiektem lub w bliskim jego sąsiedztwie.

**Tablica 2. Zestawienie podstawowych błędów i skutki, jakie one wywołują**

Opis błędnego rozwiązania	Skutki wywołane przez błędne rozwiązania
Zbyt długie przewody stosowane do połączeń ograniczników przepięć	Uszkodzenie chronionych urządzeń. Uszkodzenie ograniczników przepięć w kolejnym stopniu ochrony.
Wydmuch gazów na zewnątrz ograniczników	Uszkodzenie urządzeń w sąsiedztwie ograniczników. Uszkodzenie skrzynki z układem ograniczników. Zwarcie w instalacji, jeśli w strefie wydmuchu znajdują się nieizolowane przewody ułożone obok siebie.
Nieuwzględniani sił elektrodynamicznych działających pomiędzy przewodami z prądem udarowym	Wyrwanie przewodów z zacisków ograniczników lub zacisków łączących przewody. Uszkodzenie chronionych urządzeń
Stosowanie przewodów o zbyt małych przekrojach do połączeń ograniczników	Uszkodzenie przewodów, z możliwością eksplozji włącznie. Uszkodzenie skrzynki z ogranicznikami. Uszkodzenie chronionych urządzeń.
Niewłaściwe rozmieszczenie ograniczników różnych klas	Uszkodzenie ograniczników przepięć w systemie ochrony przed przepięciami. Uszkodzenie chronionych urządzeń
Badanie wytrzymałości izolacji instalacji z zainstalowanymi ogranicznikami klasy II lub III	Uszkodzenie ograniczników podczas badań.

## Literatura

- [1] PN-EN 61000-4-4:1998, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na serie szybkich zakłóceń impulsowych.
- [2] PN-EN 61000-4-5:1998, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na udary.
- [3] PN-EN 61000-4-12:1999, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na przebiegi oscylacyjne. Podstawowa publikacja EMC
- [4] PN-EN 55014-2:1999, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Wymagania dotyczące przyrządów powszechnego użytku, narzędzi elektrycznych i podobnych urządzeń.
- [5] PN-EN 55024:2000, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Urządzenia informatyczne. Charakterystyka odporności. Metodyka pomiaru i dopuszczalne poziomy.
- [6] [www.ochrona.net.pl](http://www.ochrona.net.pl)