

KONFERENCJA MIESIĘCZNIKA ELEKTRO.INFO  
ZASILANIE BUDYNKÓW W ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ  
ORAZ NEUTRALIZACJA ZAGROŻEŃ POŻAROWYCH STAWIAJANYCH PRZECIWO  
INSTALACJE ORAZ ODBIORNIKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ



*DOBÓR PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH, KTÓRYCH  
FUNKCJONOWANIE JEST NIEZBEDNE W CZASIE POŻARU*

*JULIAN WIATR*  
*redaktor naczelny elektro.info*



WARSZAWA, 9 LISTOPAD 2023 ROKU

# **WARUNKI DO SPEŁNIENIA PRZY DOBORZE PRZEWODÓW LUB KABLI**

## **Przewody w instalacjach elektrycznych nn dobiera się na następujące warunki:**

- a) wytrzymałość mechaniczną,
- b) obciążalność długotrwałą,
- c) przeciążalność,
- d) spadek napięcia,
- e) warunki zwarciovowe,
- f) samoczynne wyłączenie dla celów ochrony przeciwporażeniowej,
- g) klasy reakcji na ogień zgodnie z rozporządzeniem CPR.

## **Dobierany kabel elektroenergetyczny musi spełnić następujące warunki:**

- a) dopuszczalnej wytrzymałości prądowej,
- b) ochrony przeciwporażeniowej,
- c) odporności na prądy zwarciovowe,
- d) dopuszczalnego spadku napięcia.

# **DOBÓR PRZEWODÓW – WYMAGANIA PRAWNE**

## **Akt wykonawczy do Ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [Dz. U. z 2020 roku poz. 1333 z późniejszymi zmianami]**

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [tekst jednolity: Dz. U. z 2022 roku poz. 1225].

**W załączniku do Rozporządzenia wymieniono normę, która została wycofana bez zastąpienia do archiwum, decyzją Prezesa PNK z dniem 10 maja 2017 roku:**

**PN-IEC 60364-5-523:2001** *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.*

Wymieniona wyżej norma oraz norma wymieniona poniżej jest przywołana w załączniku do w/w Rozporządzenia.

**PN-HD 60364-5-52:2011** *Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 5-52: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Oprzewodowanie.*

# MINIMALNE PRZEKROJE PRZEWODÓW ZE WZGLĘDU NA WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNĄ ZGODNIE Z NORMĄ DIN VDE 0100

Rodzaje przewodów i sposób ułożenia		Najmniejszy przekrój żyły, w [mm <sup>2</sup> ]	
		Cu	Al
Przewody ułożone na stałe, chronione przed uszkodzeniami		1,5	2,5 <sup>1)</sup>
Przewody izolowane do połączeń w rozdzielnicach o zastępczym prądzie obciążenia długotrwałego: – $I_B \leq 2,5 \text{ A}$ – $2,5 \text{ A} < I_B \leq 16 \text{ A}$ – $I_B > 16 \text{ A}$		0,5 0,75 1,0	Zabronione Zabronione Zabronione
Przewody do odbiorników ruchomych i przenośnych o prądzie znamionowym $I_n$ : – $1,5 \text{ A} < I_n \leq 10 \text{ A}$ – $I_n > 10 \text{ A}$		0,75 1,0	Zabronione Zabronione
Przewody obwodu wtórnego przekładnika prądowego		2,5	Zabronione
Przewody obwodu wtórnego przekładnika napięciowego		1,5	Zabronione
Przewody sterownicze ułożone na stałe w pomieszczeniach		0,5	Zabronione
Przewody napowietrzne na izolatorach przy rozpiętości przęsła „a”	$a \leq 20 \text{ m}$	4	16
	$20 \text{ m} < a \leq 45 \text{ m}$	6	16
	$a > 45 \text{ m}$	10	25
<b>Objaśnienia:</b> <sup>1)</sup> – w Polsce przekroje żył przewodów aluminiowych nie powinny być mniejsze niż 16 mm <sup>2</sup>			

# WPLYW ODBIORNIKÓW NIELINIOWYCH NA OBCIĄŻENIE PRZEWODÓW

Przy doborze przewodów na długotrwałą obciążalność i przeciążalność prądową pierwszym krokiem jest obliczenie prądu obciążenia, który należy wyznaczyć z poniższych wzorów w zależności od rodzaju obwodu:

- dla obwodów jednofazowych:

$$I_B = \frac{S}{U_{nf}} = \frac{P}{\cos \varphi * U_{nf}}$$

- dla obwodów trójfazowych:

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{P}{\sqrt{3} * \cos \varphi * U_n}$$

W odniesieniu do odbiorników nieliniowych współczynnik mocy  $\cos \varphi$ , przyjmowany dla odbiorników liniowych nie znajduje uzasadnienia.

Moc pozorną zapotrzebowaną przez odbiornik nieliniowy należy określić wzorem:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + V^2$$

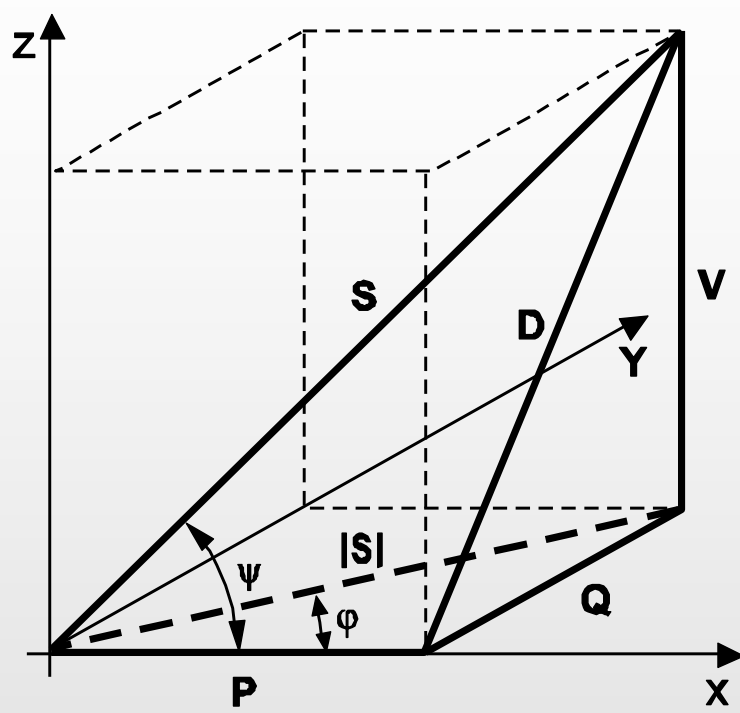
**gdzie:**

**P** – moc czynna, w [W]

**Q** – moc bierna, w [var]

**V** – moc deformacji, w [W]

Ilustrację graficzną wektorów mocy  $P$ ,  $Q$ ,  $V$ ,  $|S|$  i  $S$  dla odbiornika liniowego ora nieliniowego przedstawia rysunek .



**Czworościan mocy dla układu o odkształconych przebiegach napięcia i prądu**

**P** – moc czynna, w [W]; **Q** – moc bierna, w [var]; **|S<sup>2</sup>| = P<sup>2</sup> + Q<sup>2</sup>** - moc pozorna części liniowej, [VA];  
**V** – moc deformacji, w [W]; **D** – moc dystorsji, definiowana jako: **D<sup>2</sup> = Q<sup>2</sup> + V<sup>2</sup>**

W obwodach nieliniowych współczynnik mocy jest definiowany jako:

$$\cos \Psi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + V^2}}$$

Spodziewany prąd obciążenia odbiorników nieliniowych należy wyznaczyć z następujących wzorów:

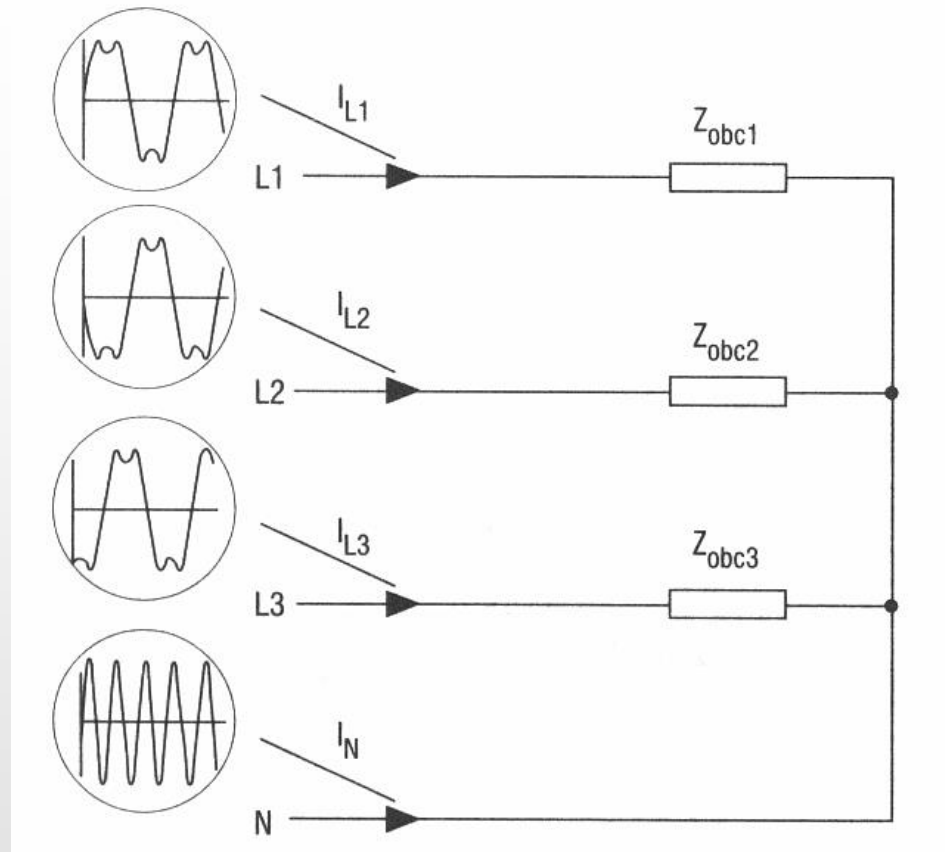
- odbiornik trójfazowy

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos \Psi}$$

- odbiornik jednofazowy

$$I_n = \frac{P_n}{U_{nf} * \cos \Psi}$$

# WYŻSZE HARMONICZNE, A PRZEWÓD NEUTRALNY LUB OCHRONNO-ENUTRALNY



**Ilustracja sumowania się prądu trzeciej harmonicznej w przewodzie neutralnym**

$Z_{obc1} - Z_{obc3}$  – nieliniowe impedancje obciążenia poszczególnych faz  
 $I_{L1} - I_{L3}$  – prądy odkształcone pobierane przez impedancje obciążenia  $Z_{obc}$   
 $I_N$  – prąd w przewodzie neutralnym



Udział trzeciej harmonicznej w przewodzie neutralnym dla wybranych przypadków można określić następująco:

a) oświetlenie neonowe

$$I_3 \equiv 0,3 \times I_1$$

$$I_N = 3 \times 0,3 \times I_1$$

$$I_B = \sqrt{I_1^2 + (0,3 \times I_1)^2}$$

$$\frac{I_N}{I_B} > 0,8$$

b) zasilacze elektroniczne

$$I_3 \equiv 0,7 \times I_1$$

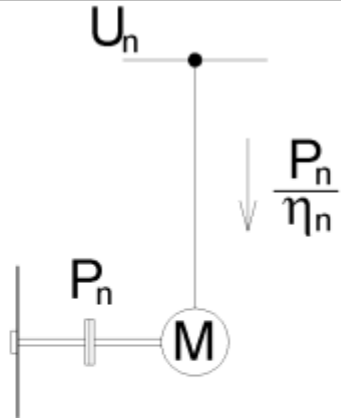
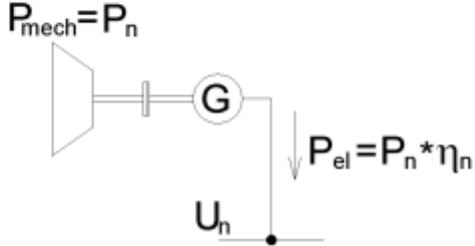
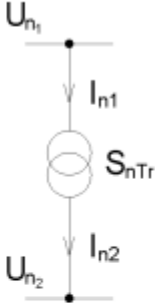
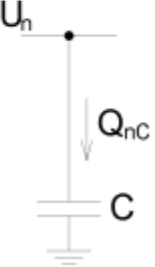
$$I_N = 3 \times 0,7 \times I_1$$

$$I_B = \sqrt{I_1^2 + (0,7 \times I_1)^2}$$

$$\frac{I_N}{I_B} > 1,7$$

# ZASADY WYZNACZANIA PRĄDU ZNAMIONOWEGO ODBIORNIKÓW LUB SPODZIEWANEGO PRĄDU OBCIĄŻENIA W OBWODACH ZASILANIA WYBRANYCH ODBIORNIKÓW

Odbiornik	Przykład	Rysunek	Wzory
Liniowy (charakter rezystancyjny)	Oświetlenie żarowe; nagrzewnica oporowa elektryczne ogrzewanie podłogowe lub konwekcyjne		$I_B = \frac{\sum P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_{gr}} - \text{grupa odbiorników trójfazowych}$ $I_B = \frac{\sum P_n}{U_n * \cos \varphi_{gr}} - \text{grupa odbiorników jednofazowych}$ $I_B = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi} - \text{odbiornik trójfazowy}$ $I_B = \frac{P_n}{U_n * \cos \varphi} - \text{odbiornik jednofazowy}$ <p>gdzie:  <math>\cos \varphi = 1</math></p>
Odbiornik nieliniowy (oświetlenie)	Lampy wyładowcze (rtęciowe, sodowe oraz fluoroscencyjne)		$I_B = \frac{P_n + \Delta P}{U_n * \cos \psi_n} - \text{pojedyncza oprawa}$ $I_B = k_{av} * \frac{\sum (P_n + \Delta P)}{\sqrt{3} * U_n * \cos \psi_n} - \text{grupa opraw}$ <p>gdzie :</p> $k_{av} = 1,05 + 1,25$ $\Delta P = (0,04 \dots 0,1) * P_n$ $\cos \psi = \frac{P}{S}$ $\cos \psi_n = 0,80 + 0,96 - \text{z kompensacją}$ $\cos \psi_n = 0,5 - \text{bez kompensacji}$

Silniki indukcyjne		<p>trójfazowy:</p> $I_B = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \eta_n * \cos \varphi_n}$ <p>jednofazowy:</p> $I_B = \frac{P_n}{U_n * \eta_n * \cos \varphi_n}$ <p>gdzie:</p> $\cos \varphi_n = 0,75 \div 0,90$
Generator		$I_B = \frac{P_n * \eta}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi}$ <p>gdzie:</p> $\cos \varphi = 0,80$
Transformator		$I_B = I_{n2} = \frac{S_{nTr}}{\sqrt{3} * U_{n2}}$
Bateria kondensatorów		$I_{BC} = \frac{Q_{nC}}{\sqrt{3} * U_n}$ <p>gdzie :</p> $\cos \varphi = 0_{poj}$

# DOBÓR PRZEKROJU PRZEWODU NA DŁUGOTRWAŁĄ OBCIĄŻALNOŚĆ PRĄDOWĄ I PRZECIĄŻALNOŚĆ

Na podstawie obliczonego prądu obciążenia  $I_B$  oraz dobranego zabezpieczenia o prądzie znamionowym  $I_n$ , należy wyznaczyć wymaganą minimalną długotrwałą obciążalność prądową przewodu  $I_Z$ .

Wyznaczenie prądu  $I_Z$  należy przeprowadzić wg. poniższych zależności:

$$\begin{cases} I_B \leq I_n \leq I_Z \\ I_2 \leq 1,45 * I_Z \\ I_2 = k_2 * I_n \end{cases}$$

w praktycznych zastosowaniach układ nierówności, przyjmuje następującą postać:

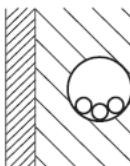
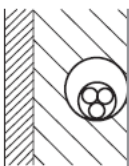
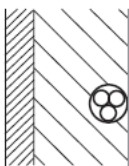
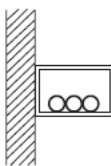

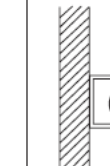
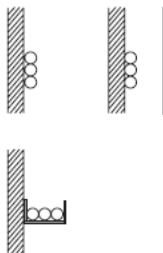
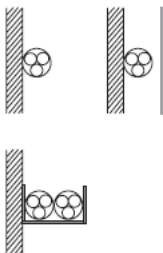
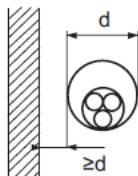
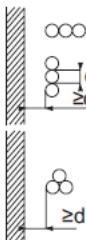
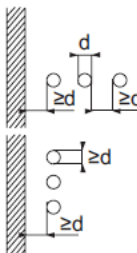
$$\begin{cases} I_B \leq I_n \leq I_Z \\ I_Z \geq \frac{k_2 * I_n}{1,45} \end{cases}$$

gdzie:

$k_2$  – współczynnik krotności prądu powodującego zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w określonym umownym czasie, przyjmowany jako równy:

- **1,6 - 2,1** dla wkładek bezpiecznikowych
- **1,45** dla wyłączników nadprądowych o charakterystyce B,C,D
- **1,2** dla wyłączników nadprądowych selektywnych z charakterystyką E
- **1,2** dla przekaźników termobimetalowych.

# SPOSOBY UKŁADANIA PRZEWODÓW ZGODNIE Z PN-HD 60364-5-52:2011

Sposób układania	A1	A2		B1	B2		
Rysunek							
Opis	Jednożyłowe w rurach lub listwach	W rurach lub listwach	Bezpośrednio na ścianie	Jednożyłowe	Wielożyłowe		
	W ścianach termoizolacyjnych			W rurach lub listwach na ścianie, w ścianie lub w podłodze			
Sposób układania	C			E	F	G	
Rysunek							
Opis	Jednożyłowe	Wielożyłowe		Wtykowe w ścianie, suficie lub przestrzeni instalacyjnej	Wielożyłowe	Stykające się	Niestykające się
	Po wierzchu, na ścianie albo suficie z materiału o rezystywności cieplnej $\rho \leq 2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ lub w korytkach kablowych nieperforowanych (tzn. o powierzchni otworów $< 30\%$ całkowitej powierzchni korytka)		Swobodnie w powietrzu, na linie nośnej, na drabince kablowej				

Zgodnie z normą **PN-HD 60364-5-52:2011**, kable układane w ziemi mogą zostać ułożone na dwa podstawowe sposoby: **D1** – w rurach osłonowych; **D2** – bezpośrednio w ziemi.

Podane w normie **PN-HD 60364-5-52:2011** wartości dopuszczalnych obciążalności kabli i przewodów nie obejmują przypadku obciążenia czwartej żyły. W celu szybkiego przeliczenia dopuszczalnej obciążalności prądowej dla czterech żył należy podane w tabelach wartości długotrwałej obciążalności prądowej dla trzech żył pomnożyć przez współczynnik **r = 0,91**.

Wartość ta wynika bezpośrednio z następującego wzoru empirycznego :

$$I_{zN} = \frac{I_{z1}}{\sqrt[3]{N}}$$

$$\left. \begin{aligned} I_{z1} &= I_{z3} \cdot \sqrt[3]{3} \\ I_{z1} &= I_{z4} \cdot \sqrt[3]{4} \end{aligned} \right\} I_{z3} \cdot \sqrt[3]{3} = I_{z4} \cdot \sqrt[3]{4}$$

$$I_{z4} = \frac{I_{z3} \cdot \sqrt[3]{3}}{\sqrt[3]{4}} = I_{z3} \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{4}} = I_{z3} \cdot 0,91$$

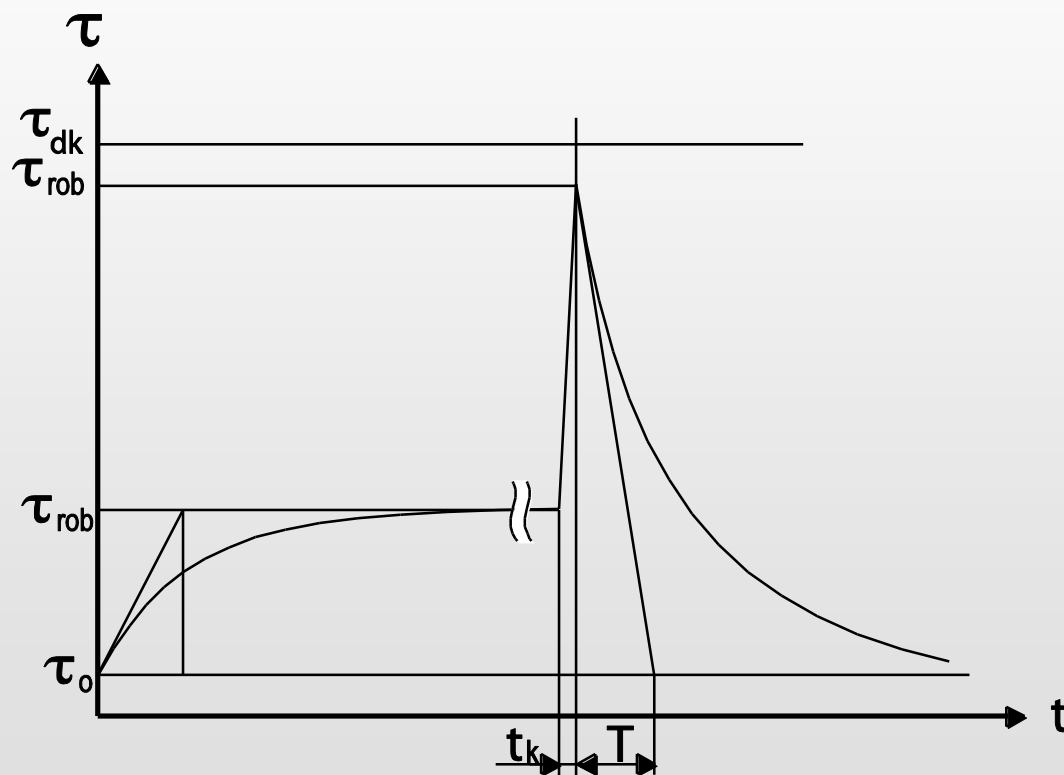
gdzie:

- N – liczba przewodów roboczych, w [-],
- I<sub>zN</sub> – obciążalność długotrwała przewodu składającego się z N przewodów roboczych, w [A],
- I<sub>z4</sub> – obciążalność długotrwała przewodu składającego się z 4 przewodów roboczych, w [A],
- I<sub>z3</sub> – obciążalność długotrwała przewodu składającego się z 3 przewodów roboczych, w [A],
- I<sub>z1</sub> – obciążalność długotrwała przewodu jednożyłowego, w [A].

# SPRAWDZENIE DOBRANYCH PRZEWODÓW LUB KABLI NA WARUNKI ZWARCIOWE

Dobry przewód na długotrwałą obciążalność prądową i przeciążalność podlega sprawdzeniu na warunki zwarcia panujące w miejscu jego zabezpieczenia.

Zwarcie stanowi krótkotrwałe przeciążenie podczas, którego następuje przepływ prądów o dużych wartościach. Problem ten graficznie wyjaśnia **rysunek**.

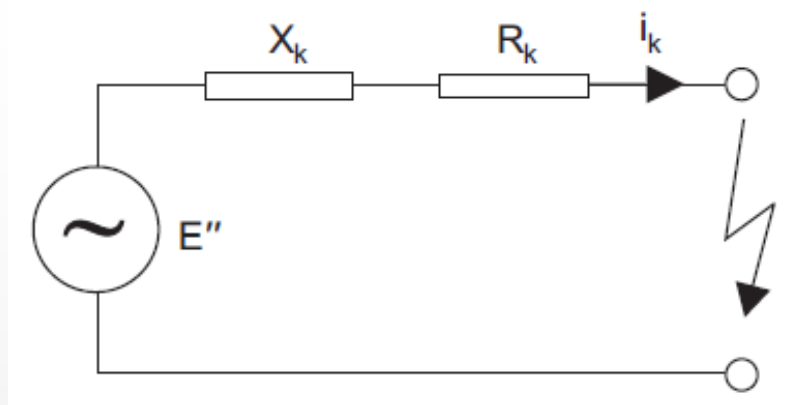


## **Przebieg nagrzewania się przewodu w czasie zwarcia**

$\tau_0$  – temperatura otoczenia;  $\tau_{rob}$  – temperatura robocza;  $\tau_k$  – temperatura przy zwarcu;  $\tau_{dk}$  – temperatura dopuszczalna krótkotrwale;  $t_k$  – czas trwania zwarcia

$T$  – cieplna stała czasowa

Na **rysunku** przedstawiony został najprostszy obwód zwarcia. Jest on scharakteryzowany przez rezystancję  $R_k$  oraz reaktancję  $X_k$ , a tym samym przez impedancję obwodu zwarcia, wyrażoną wzorem:



$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$$

Schemat najprostszego obwodu zwarcia prądu przemiennego

Przedstawiony na **rysunku** obwód można opisać równaniem różniczkowym (przy założeniu, że prąd w obwodzie tuż przed zwarcie miał pomijalną wartość w stosunku do prądu zwarcia, a kąt fazowy napięcia w chwili zwarcia wynosił  $\Psi$ ):

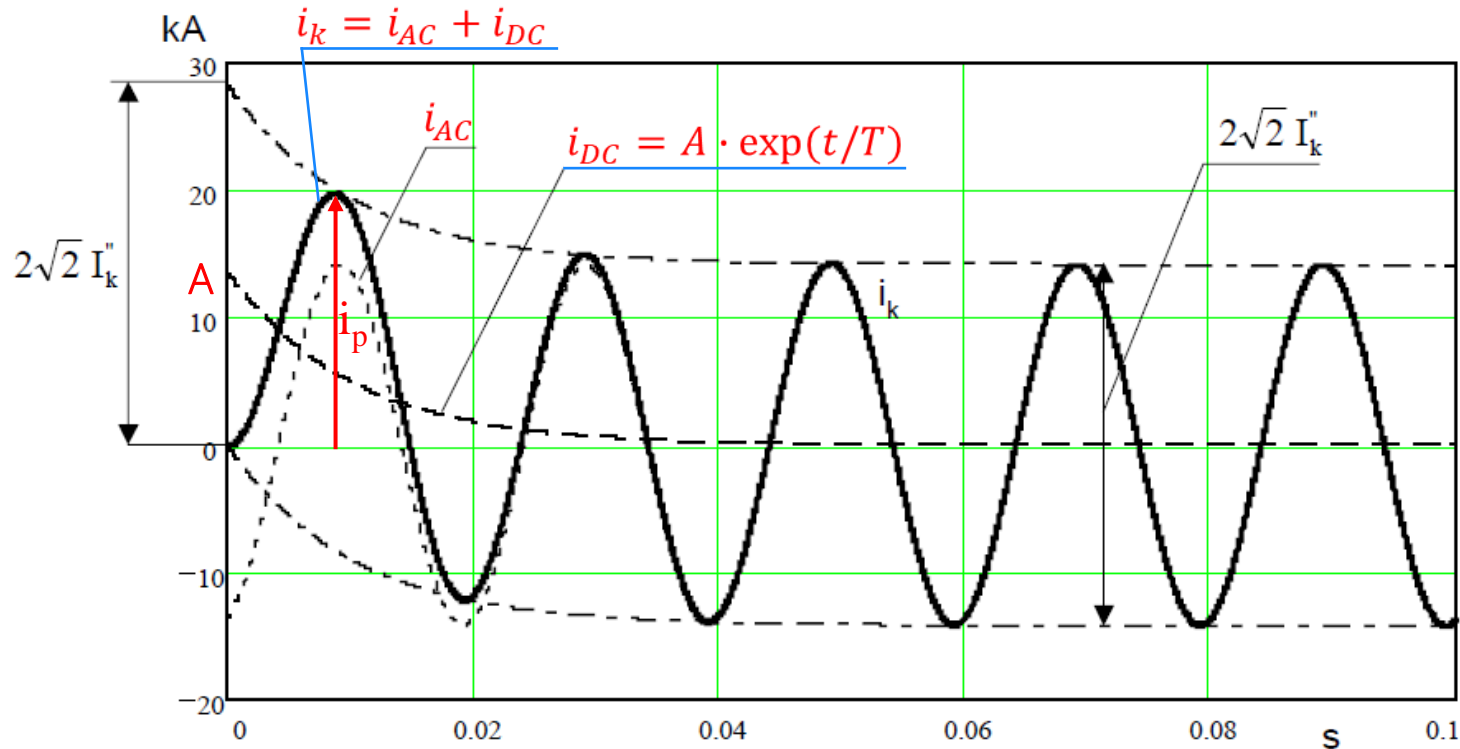
$$\sqrt{2} * E * \sin(\omega t + \Psi) = R * i * L * \frac{di}{dt}$$

Rozwiązanie tego równania prowadzi do następującej zależności:

$$\begin{aligned} i_k &= \frac{\sqrt{2}}{Z_k} * E * \sin(\omega t + \Psi - \varphi) - \frac{\sqrt{2}}{Z_k} * E * \sin(\omega t + \Psi - \varphi) * e^{\frac{t}{T}} = \\ &= \sqrt{2} * I_k'' * \sin(\omega t + \Psi - \varphi) - \sqrt{2} * I_k'' * \sin(\omega t + \Psi - \varphi) * e^{\frac{t}{T}} = i_{AC} + i_{DC} \end{aligned}$$



# PRĄD ZWARCIOWY I JEGO SKŁADOWE



## Przebieg prądu zwarciovego

Prąd udarowy  $i_p$  powstaje przy kącie fazowym napięcia  $\psi = 0$  lub  $\psi = \pi$

Po upływie czasu  $t = 3 \cdot T$ , prąd  $i_{DC}$  uzyskuje wartość  $0,05 \cdot A \Rightarrow i_k = i_{AC}$ .

gdzie:

$$T = \frac{R_k}{\omega \cdot X_k}$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''; \quad \kappa = 1,02 + 0,98 \cdot \exp\left(-\frac{3 \cdot R_k}{X_k}\right)$$

# WPLYW ŹRÓDEŁ PRĄDÓW ZAWRCIOWYCH NA DOBÓR ŁĄCZNIKÓW

$i_{nz} = i_{cm}$  – znamionowy prąd zwarciaowy załączany

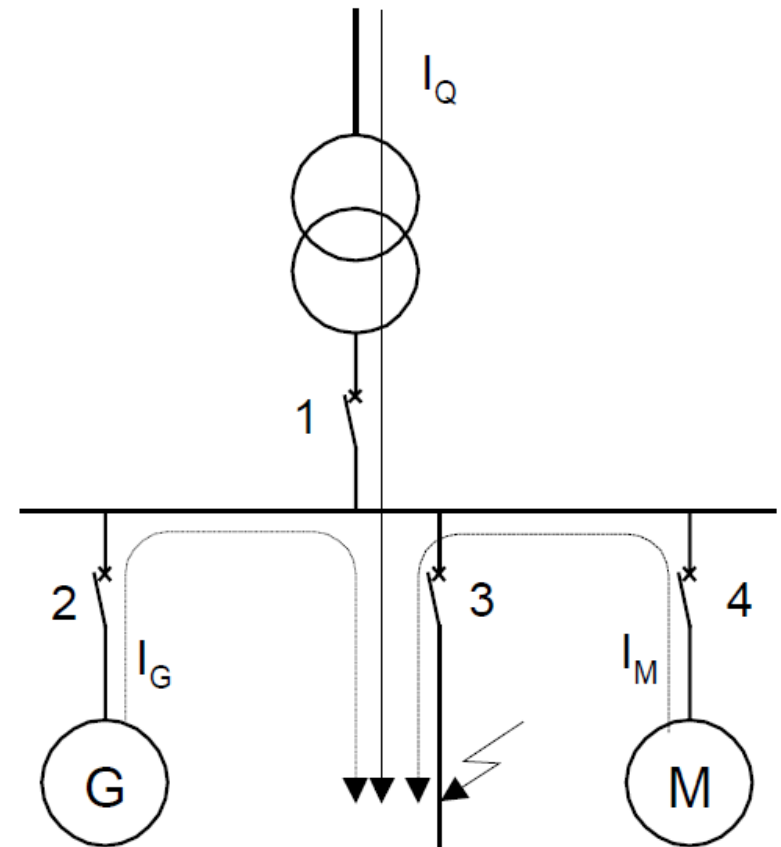
Prądy udarowe różnych źródeł prądu zwarciaowego dodaje się arytmetycznie. Przy obliczaniu wartości szczytowej prądu zwarciaowego, jaki może przepłynąć przez łącznik, należy brać możliwość zwarcia po jednej oraz drugiej stronie łącznika.

Wyłącznik 1:  $i_{nz} \geq i_{pQ}$  oraz  $i_{nz} \geq i_{pG} + i_{pM}$

Wyłącznik 2:  $i_{nz} \geq i_{pG}$  oraz  $i_{nz} \geq i_{pQ} + i_{pM}$

Wyłącznik 3:  $i_{nz} \geq i_{pQ} + i_{pG} + i_{pM}$

Wyłącznik 4:  $i_{nz} \geq i_{pQ} + i_{pG}$

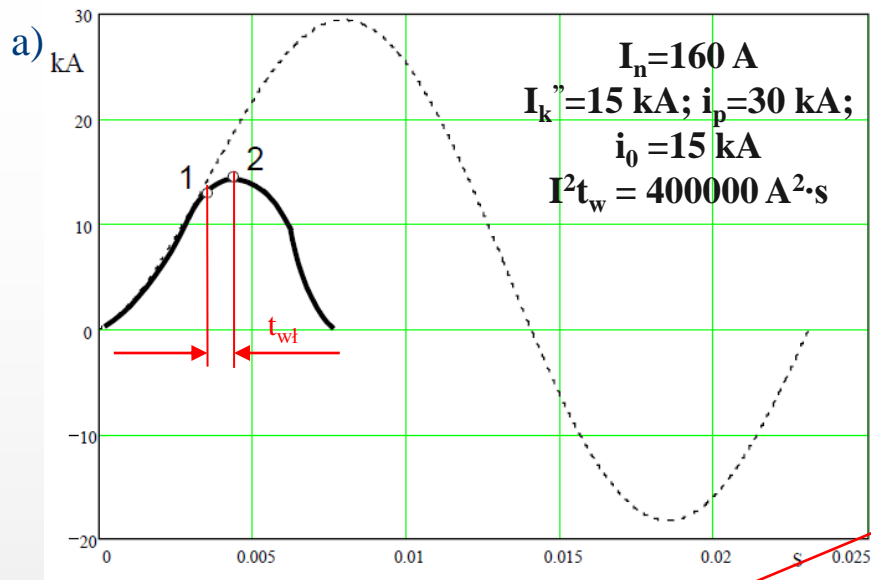


$$I_M = k_r \cdot I_{ns}$$

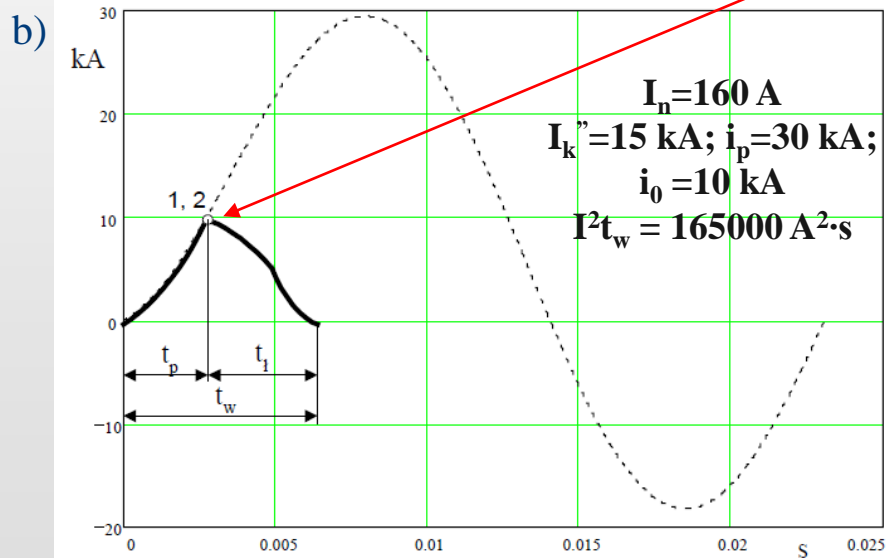
$$I_G = \frac{S_{nG}}{\sqrt{3} \cdot U_{nG} \cdot x''_d}$$

Sumowanie prądów z różnych źródeł

# WPLYW TYPU APARATU NA SKUTEK CIEPLNY PRZEPUSZCZANY PODCZAS ZWRCIA

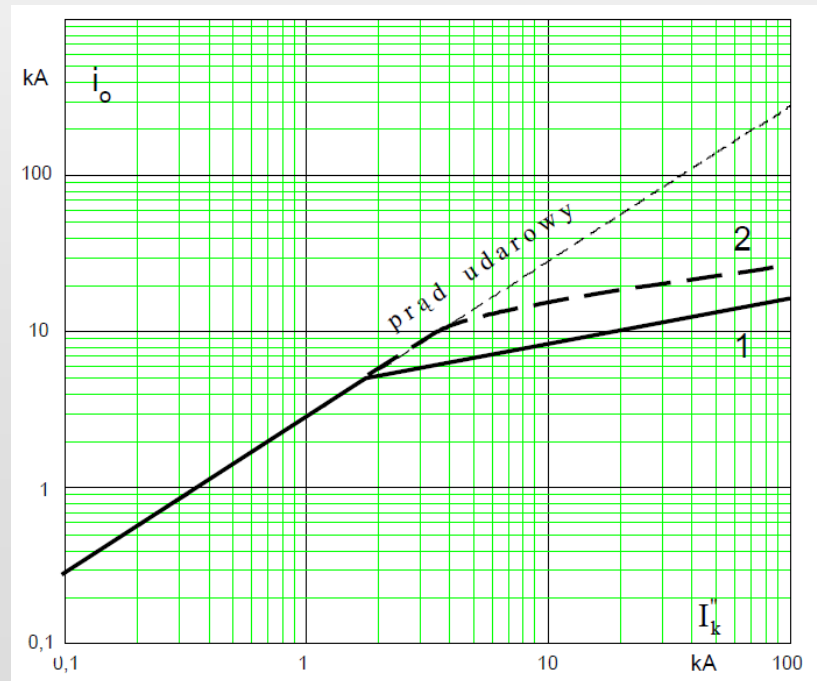


W wyłącznikach ograniczających od chwili elektrodynamicznego odrzutu styków (**pkt 1 na rys. a**) mija znaczący czas do chwili, kiedy łuk wydłuży się, przesunie się do komory gaszeniowej, ulegnie podziałowi i napięcie łuku zwiększy się (**pkt 2 na rys. a**) do poziomu koniecznego do wymuszonego gaszenia:  $t_{wl}$  - czas własny wyłącznika. W przypadku bezpieczników wspomniane punkty 1 oraz 2 **pokrywają się** (rys. b)



Rys.: Porównanie prądów ograniczonych dla:

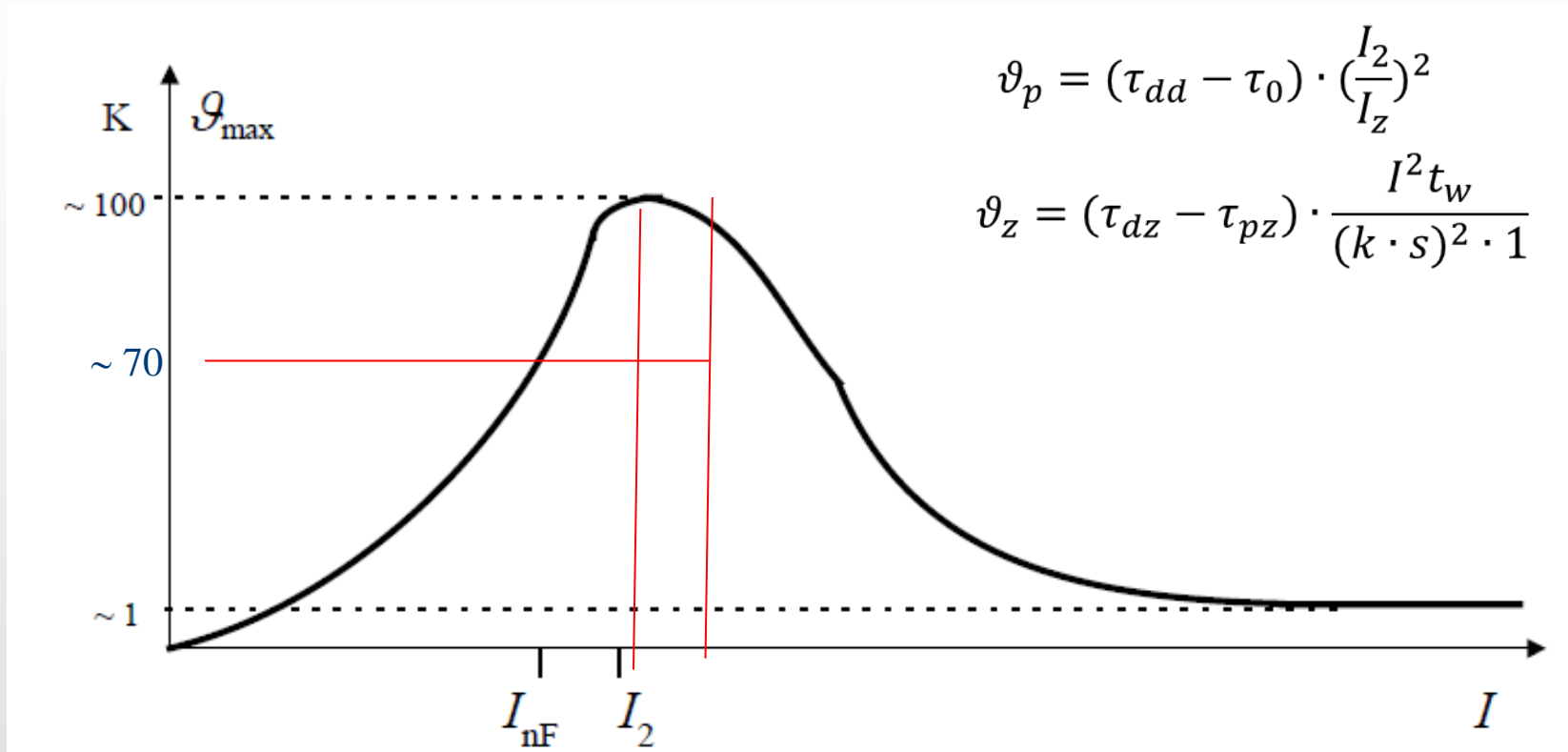
- 1) bezpiecznika topikowego
- 2) wyłącznika nadprądowego



**Rys.: Oscylogramy prądów zwarciovych:**

- a) bezpiecznika topikowego;
- b) wyłącznika nadprądowego

# MAKSYMALNY PRZYRÓST TEMPERATURY PRZEWODU ZABEZPIECZONEGO BEZPIECZNIKIEM TOPIKOWYM



Przewód lub kabel zabezpieczony bezpiecznikiem topikowym nie wymaga sprawdzenia na warunki zwarcia. Z fizyki działania bezpiecznika topikowego wynika, że przerost temperatury jest niewielki, przez poprawny dobór na warunki dopuszczalnej obciążalności prądowej konsumuje wymagania odporności zwarcia.

# WYMAGNIA NORMY PN-HD 60364-4-41:2009 (2017-09)

## W ZAKRESIE CZASÓW SAMOCZYNNEGO WYŁĄCZENIA ZASILANIA

Układ sieci	50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V, w [s]		120 V < U <sub>0</sub> ≤ 230 V, w [s]		230 V < U <sub>0</sub> ≤ 400 V, w [s]		U <sub>0</sub> > 400 V, w [s]	
	ac	dc	ac	dc	ac	dc	ac	dc
TN	0,8	Wyłączenie może być	0,4	5 (1)	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	wymagane z innych przyczyn niż ochrona przeciwporażeniowa	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1
Objaśnienia: U <sub>0</sub> – nominalne napięcie ac lub dc przewodu liniowego względem ziemi								

Zmiany wprowadzone przez normę **PN-HD 60364-4-41:2017-09**:

- Zamiana jednego czasu z **5 [s]** na **1 [s]** dla układu **TN** przy napięciu stałym w zakresie napięć (**120-230**) V,
- Czasy podane w tabeli odnoszą się do obwodów odbiorczych:
  - a) gniazda odbiorcze o prądzie znamionowym **I<sub>n</sub> ≤ 63 A**,
  - b) z odbiornikami zainstalowanymi na stałe o prądzie znamionowym **I<sub>n</sub> ≤ 32 A**.

Ochrona przeciwporażeniowa przez samoczynne wyłączenie jest zachowana przy zwarcu pomiędzy **L** a **PE (PEN)** gdy:

- następuje wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym od określonego w tabeli lub
- nie są przekroczone napięcia dotykowe dopuszczalne długotrwale.

## UKŁAD ZASILANIA TN

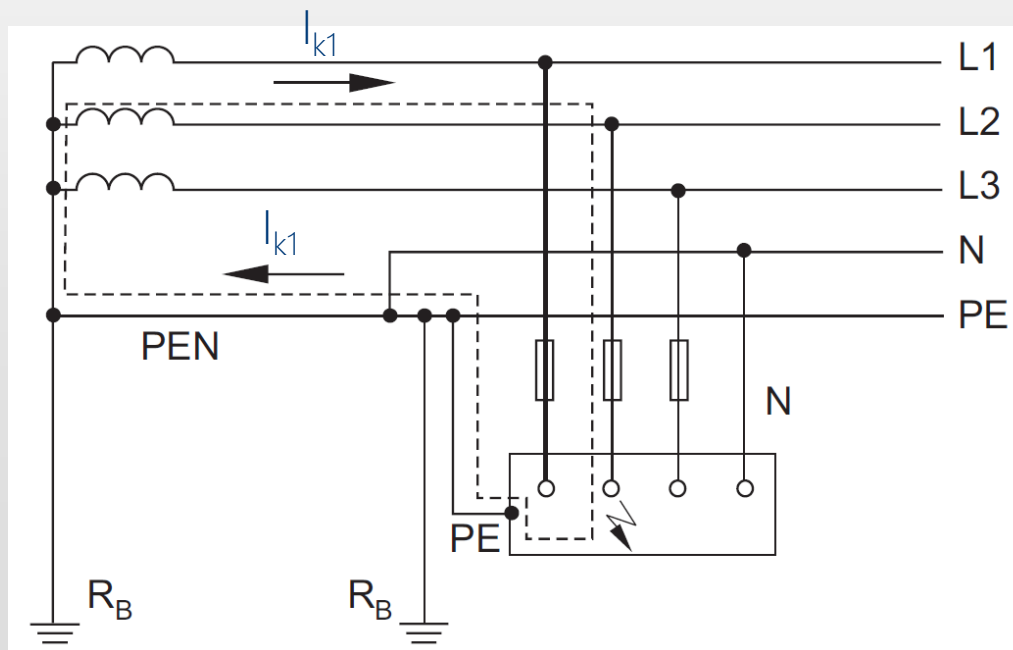
*Przy wyznaczaniu spodziewanych najniższych wartości prądów zwarcia należy uwzględnić termiczne działanie prądu.*

$$I_{k1} = \frac{0,8 \cdot U_0}{Z_{k1}} \geq I_a$$

Czy  $T \leq 70^\circ \text{C}$  nie ma wpływu na stan ochrony przeciwporażeniowej oraz spadek napięcia?

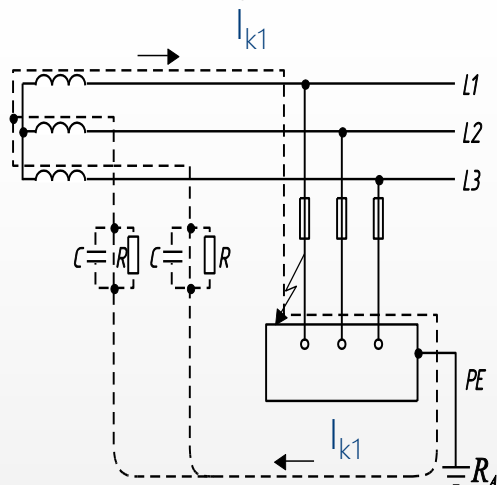
$$R_k = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1} \Rightarrow \frac{R_k}{R_{20}} = (1 + 0,004 \cdot 50) = 1,2$$

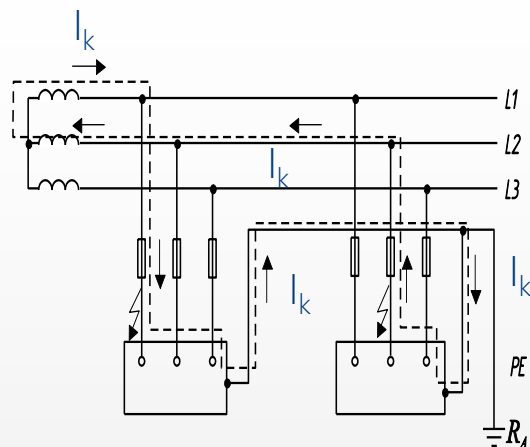


# ZWARCIE W UKŁADZIE IT

## pojedyncze



## podwójne przy zbiorowym uziemieniu



Jeśli warunek samoczynnego wyłączenia zasilania przy podwójnym zwarcu w każdym obwodzie z osobna zaostrzy się, przyjmując dwukrotną wartość prądu wyłączającego ( $2I_a$ ) to przy dowolnej kombinacji zwarcia dwufazowego, co najmniej jedno z pobudzonych zabezpieczeń nadprądowych zadziała w wymaganym czasie. Stąd wymagania określające warunek samoczynnego wyłączenia przy podwójnym zwarcu:

### Z przewodem neutralnym

$$I_k = \frac{U_0}{2 \cdot Z_s} \geq I_a$$

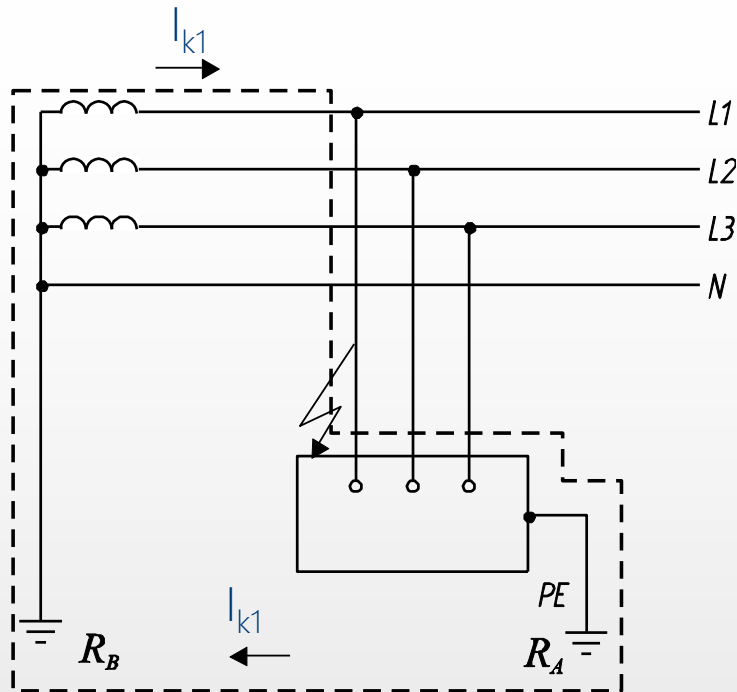
### Bez przewodu neutralnego

$$I_k = \frac{U_n}{2 \cdot Z_s} \geq I_a$$

W przeciwnym przypadku należało by rozpatrywać następującą ilość przydatków, które podlegały by ocenie:

$$C = \binom{N}{2} = \frac{N!}{2! \cdot (N-2)!}$$

## UKŁAD ZASILANIA TT



Obwód zwarciaowy tworzy dzielnik napięciowy. Na rezystancji  $\mathbf{R_A}$  odkłada się napięcie o wartości bliskiej napięciu  $U_0$  ponieważ rezystancja oporów  $(\mathbf{R_A} + \mathbf{R_B}) \gg$  pozostałej rezystancji obwodu zwarciaowego.

Duże wartości rezystancji uziomów powodują, że mogą powstać trudności w spełnieniu wymagań samoczynnego wyłączenia. Konieczne jest stosowanie wyłączników różnicowoprądowych.

Warunek samoczynnego wyłączenia podczas zwarć doziemnych:

$$I_{k1} = \frac{0,8 * U_0}{Z_{k1}} \geq I_a$$

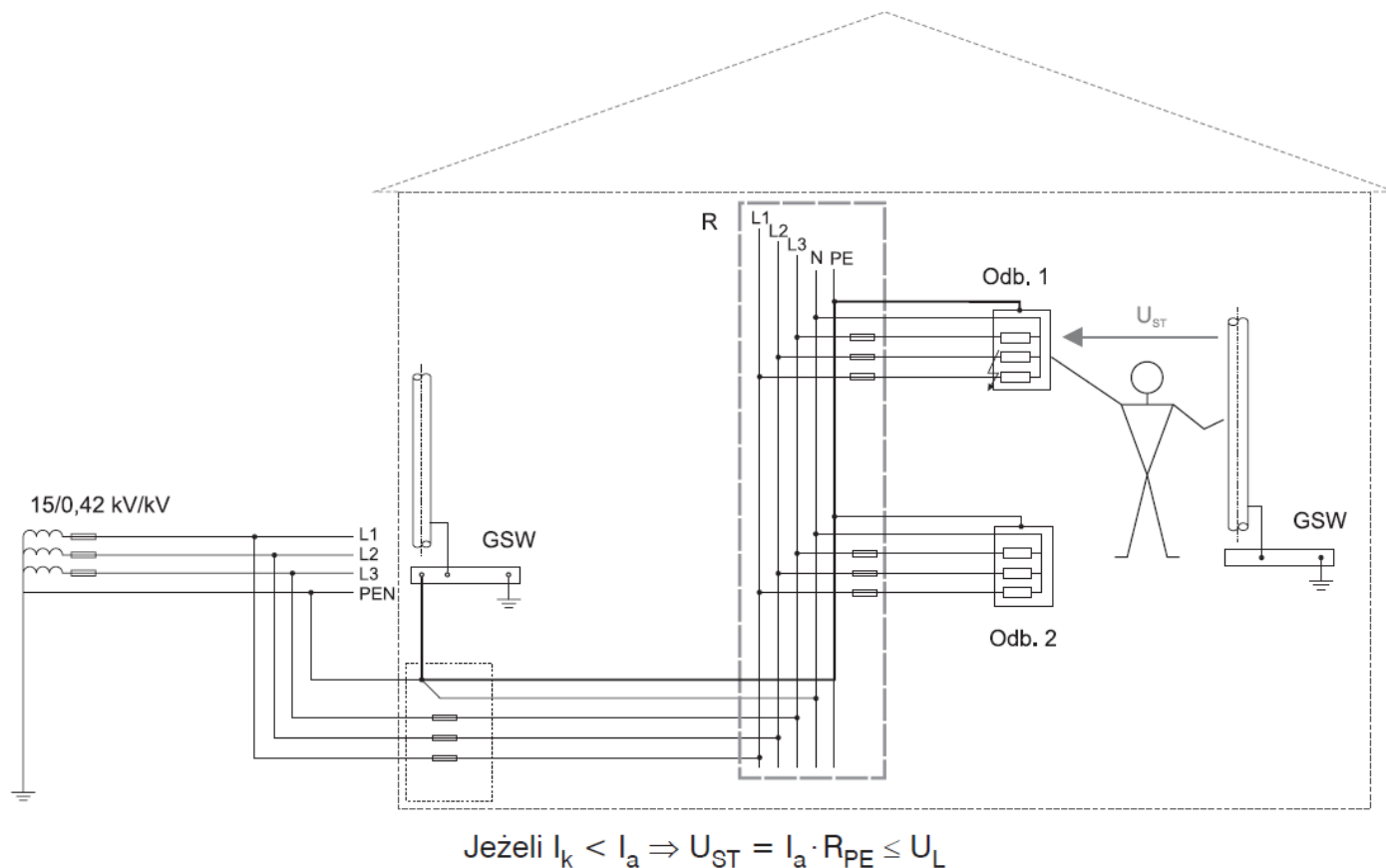
Przy zabezpieczeniu zwarciaowym

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}}$$

Przy zabezpieczeniu wyłącznikiem różnicowoprądowym



# OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA PRZY NIESPEŁNIONYM WARUNKU SAMOCZYNNEGO WYŁĄCZENIA PRZEZ WYSTEROWANIE WARTOŚCIA NAPIĘCIA DOTYKOWEGO $U_{ST}$



Sterowanie wartością napięcia dotykowego realizuje się przez dobór przekroju przewodu ochronnego PE, przy znanej wartości prądu wyłączającego w czasie nie dłuższym od określonego w normie **PN-HD 60364-4-41**:

$$I_a \cdot R_{PE} = I_a \cdot \frac{L}{\gamma \cdot S} \leq U_L \Rightarrow S_{PE} \geq \frac{I_a \cdot L}{\gamma \cdot U_L}$$

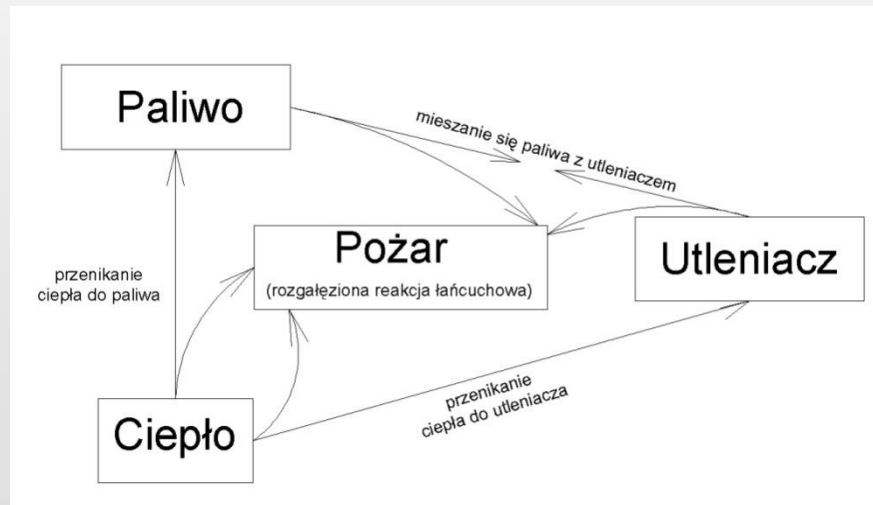
# ŚRODOWISKO POŻAROWE

**Spalanie** – proces fizykochemiczny, w którym w wyniku zachodzącej z dostatecznie dużą szybkością reakcji chemicznej między paliwem a utleniaczem, wydzielą się duża ilość energii. Spalanie zapoczątkowuje:

- zapłon,
- samozapłon,
- samozapalenie.

**Pożar** - niekontrolowany w czasie i przestrzeni proces spalania materiałów zachodzący poza miejscem do tego celu przeznaczonym.

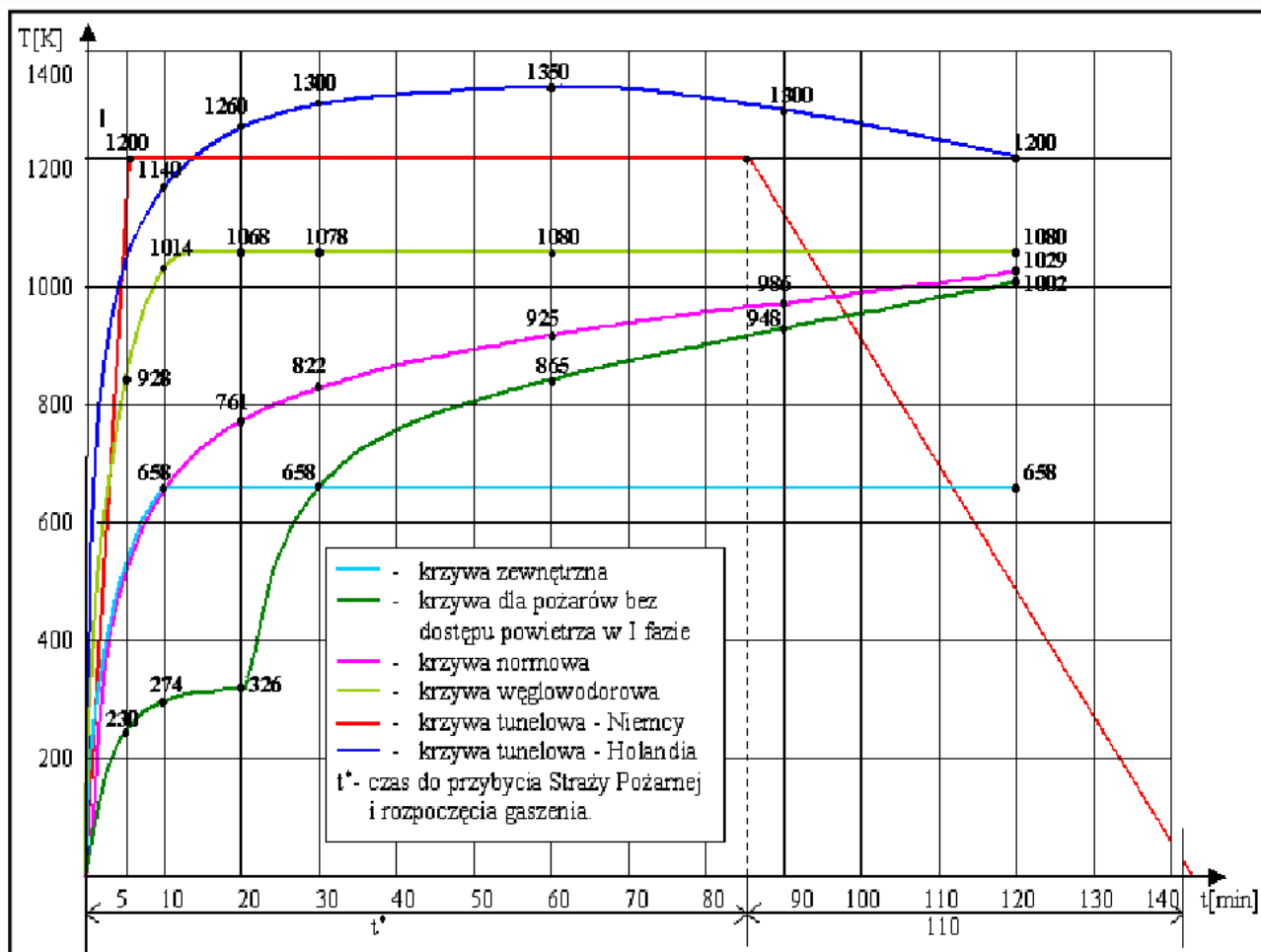
**Środowisko pożaru** - przestrzeń budynku ze strefą spalania oraz bezpośrednie sąsiedztwo.



***Warunki niezbędne do powstania pożaru, tzw. trójkąt pożarowy***  
*(spalaniu płomieniowemu towarzyszy rozgałęziona reakcja łańcuchowa rodników)*

# KRZYWE SYMULUJĄCE PRZEBIEG POŻARU

W normie PN-EN 1363-2:2001 „*Badanie odporności ogniowej. Część 2: Procedury alternatywne i dodatkowe*”, zdefiniowano następujące krzywe pożarowe  $T=f(t)$ :



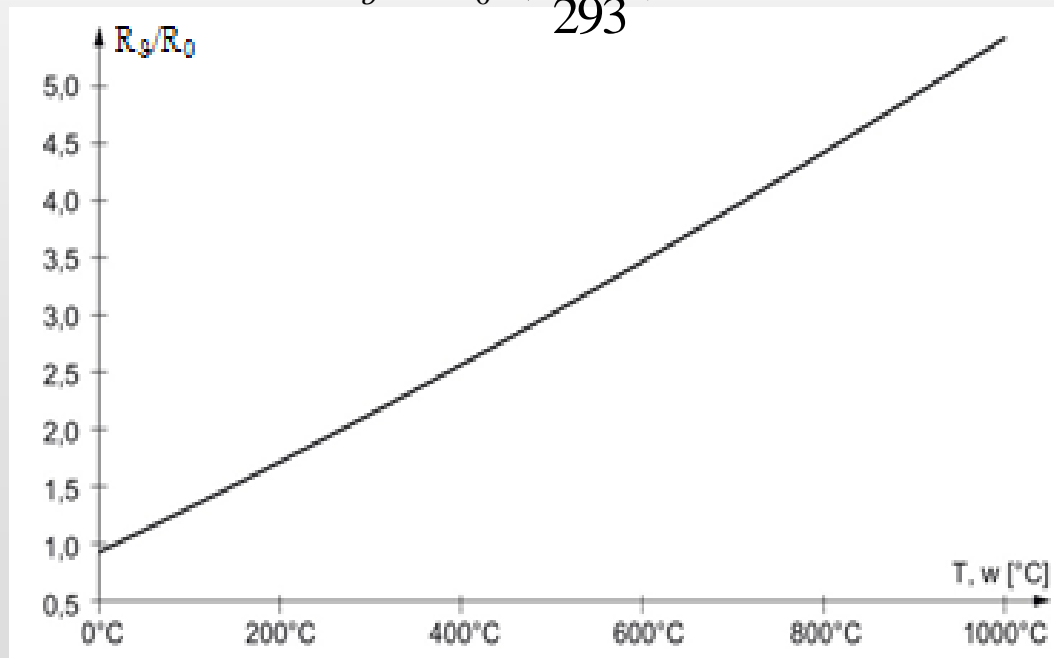
## CZY REAKCJA NA OGIEŃ PRZEWODÓW WYMAGANA PRZEZ ROZPORZĄDZENIE CPR DOTYCZY TYLKO IZOLACJI?

Zgodnie z prawem **WIEDEMANN-*FRANZA*-LORENTZ** (1853; 1873), ze wzrostem temperatury powstaje wzrost przewodnictwa cieplnego i spadek przewodnictwa elektrycznego metalu:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = L \cdot T$$

Rezystancję przewodu w dowolnej temperaturze można obliczyć ze wzoru:

$$R_g = R_0 \cdot \left( \frac{T_g}{293} \right)^{1,16}$$



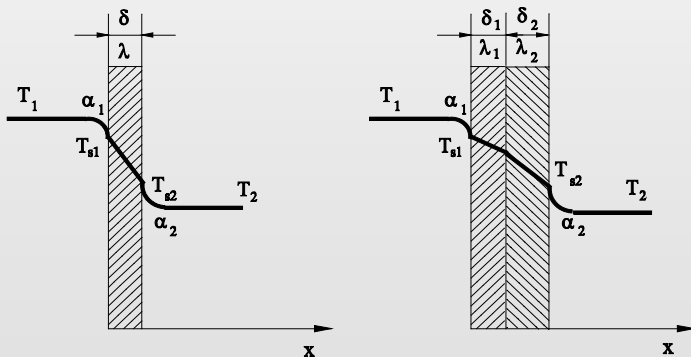
# SYMULACJA KOMPUTEROWA ORAZ BADANIA LABORATORYJNE

program demonstracyjny, symulujący zmienność rezystancji przewodu  
zobrazowaną graficznie jako spadek napięcia powodowany wysoką  
temperaturą, ulegającą zmianie zgodnie z przebiegiem krzywej normowej  
w piecu rurowym



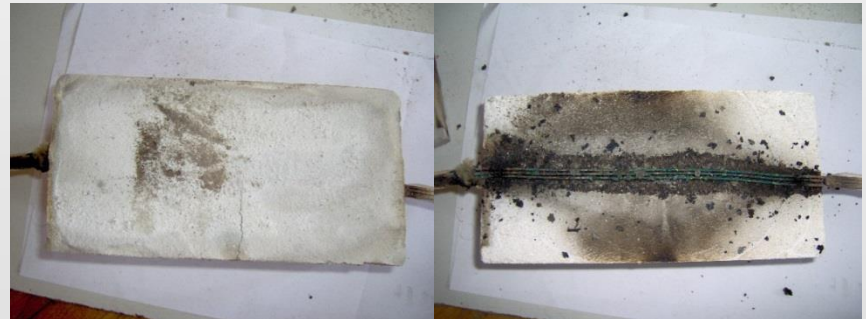
Symulacja Elektryczna.rar

**Wyniki symulacji komputerowej zostały w całości potwierdzone podczas badań laboratoryjnych wykonanych jesienią 2014 roku przez prof. dr hab. inż. TADEUSZA KNYCH w AGH**



$$\lambda_z = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$T_{1/x} = T_1 - \frac{R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i}{R_T} \cdot (T_1 - T_2)$$



**WARSTWA TYNKU NIE STANOWI OCHRONY DLA PRZEWODÓW**  
**W CZASIE POŻARU**

## WPŁYW TERMICZNEGO DZIAŁANIA POŻARU NA PRACĘ ZASILANYCH ODBIORNIKÓW

Jeżeli trasa przewodowa przechodzi przez co najmniej dwie strefy pożarowe, należy wyznaczyć współczynnik  $k_x = \frac{l_x}{l} < 1 \Rightarrow$  rezystancję przedwodu w funkcji temperatury można wyrazić wzorem:

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot k_x \cdot \left(\frac{T_k}{293}\right)^{1,16}$$

$R_0$  – rezystancja przewodu w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ , w  $[\Omega]$ ,

$R_{\vartheta}$  – rezystancja przewodu w spodziewanej temperaturze pożaru, w  $[\Omega]$ ,

$l$  – długość przewodu obwodu zasilającego, w  $[\text{m}]$ ,

$l_x$  – odcinek przewodu, obwodu zasilającego, narażony na działanie wysokiej temperatury, w  $[\text{m}]$

$T_{\vartheta}$  – spodziewana temperatura otoczenia przewodów zasilających, która może wystąpić w czasie pożaru, w  $[\text{K}]$

***Wzrost rezystancji powoduje wzrost spadku napięcia oraz zmniejszenie prądów zwarciovych. Skutkuje to pogorszeniem funkcjonowania zasilanych urządzeń oraz pogorszeniem warunków ochrony przeciwporażeniowej realizowanej przez samoczynne wyłączenie.***

**Wpływ zmian napięcia zasilającego na pracę silnika elektrycznego:**

$$M = M_n \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 \rightarrow j. T \nearrow \Rightarrow U \searrow \Rightarrow M \searrow$$

przy:  $U = 0,8U_n \rightarrow M = 0,64M_n \rightarrow j. M_o > M \Rightarrow$  **silnik utknie**

**Wpływ spadku napięcia oraz wzrostu rezystancji przewodów zasilających na stan ochrony przeciwporażeniowej:**

jeżeli:  $U_n = U_0 \Rightarrow I_k = \frac{0,8 \cdot U_0}{R_v} \rightarrow j. T \nearrow \Rightarrow R_v \nearrow \Rightarrow U_0 \searrow \Rightarrow I_k \searrow \rightarrow j. I_k < I_a \Rightarrow$  **brak ochrony**

# CIĄGŁOŚĆ DOSTAWY ENERGII A FUNKCJONOWANIE ODBIORNIKÓW

Czy ciągłość dostawy energii elektrycznej stanowiąca podstawowy warunek określony w *§187 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [tekst jednolity: Dz. U. z 2022 roku nr 1225],

## JEST WYSTARCZAJĄCA DLA POPRAWNEJ PRACY ZASILANYCH URZADZEŃ PRZECIWPOŻAROWYCH?

**NIE!**

## JEST ZALEDWIE WARUNKIEM KONIECZNYM I WYMAGA UZUPEŁNIENIA O WARUNEK DOSTATECZNY!!!

Jako warunek **dostateczny** należy przyjąć wymagania wynikające z prawa **Wiedemanna-Franza-W. Lorentza**, spełnienie którego zagwarantuje oprócz ciągłości dostawy energii stanowiącej warunek konieczny, jej właściwe parametry, przy których możliwe będzie poprawne funkcjonowanie zasilanych urządzeń. Wymagania w tym zakresie definiuje norma **N SEP-E 005**, której zapisy zostały implementowane do normy **PN-HD 60364-5-56:2019-01**.

# JAKIE ZAGROŻENIA STWARZAJĄ HALOGENKI

**Tworzywa bezhalogenkowe** – wykonywane są na bazie czystych węglowodorów. Podczas pożaru nie wydzielają halogenów (**chlorki, fluorki, bromki, jodki**) oraz siarki i nie tworzą kwasów: **fluorowodorowego (HF)**, **chlorowodorowego (HCl - solnego)**, **bromowodorowego (HBr)** oraz **jodowodorowego (HI)**.

**Bezhalogenkowość nie jest wymagana przez CPR.**

**O stosowaniu przewodów i kabli bezhalogenkowych decydują względy bezpieczeństwa.**

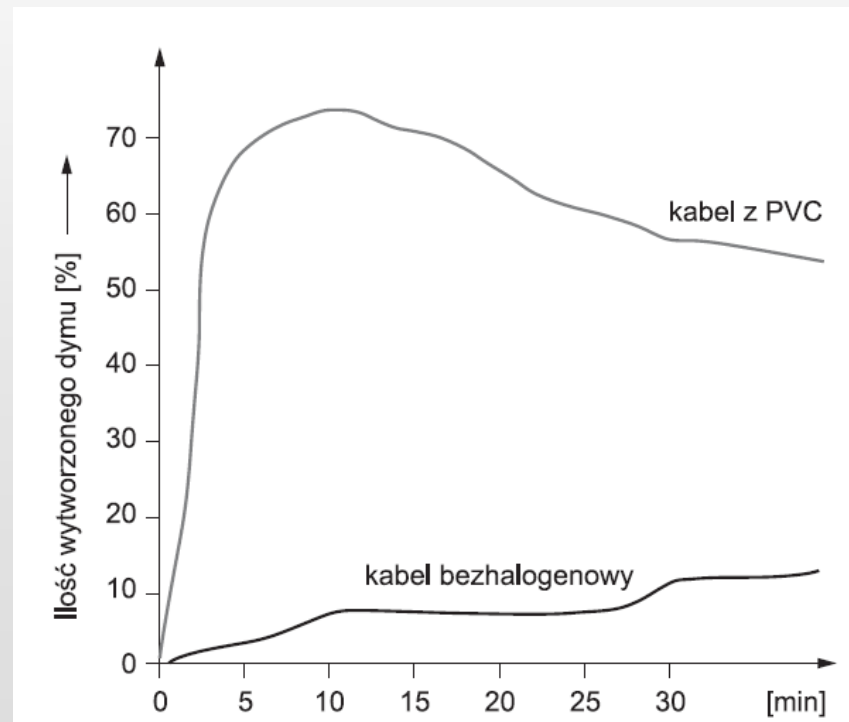
## **Zagrożenia stwarzane przez PVC**

Dawki śmiertelne prowadzące do śmierci człowieka w ciągu **30 minut**:

***Fluorowodór 100 ppm***

***Chlorowodór 500 ppm***

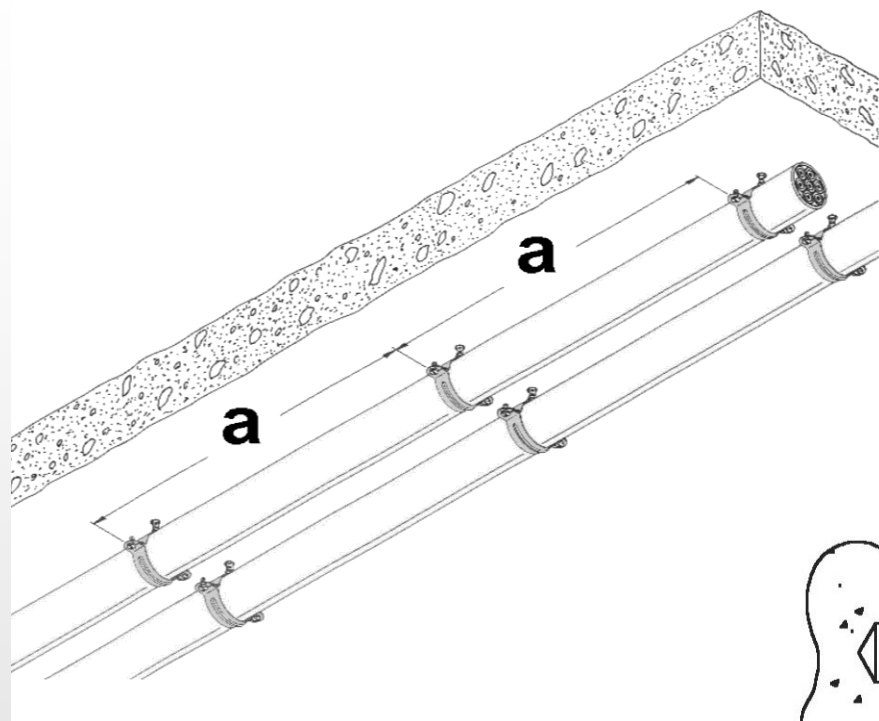
Spalanie **10 m** przewodu o izolacji PVC, wydziela około **300 l** chlorowodoru co jest równoważne **4000 ppm** w pomieszczeniu o powierzchni **50 m<sup>2</sup>**.



**Ilość wydzielanego dymu przez palące się przewody o różnych izolacjach**



# METODYKA MOCOWANIA KABLI I PRZEWODÓW FUNKCYJNYCH

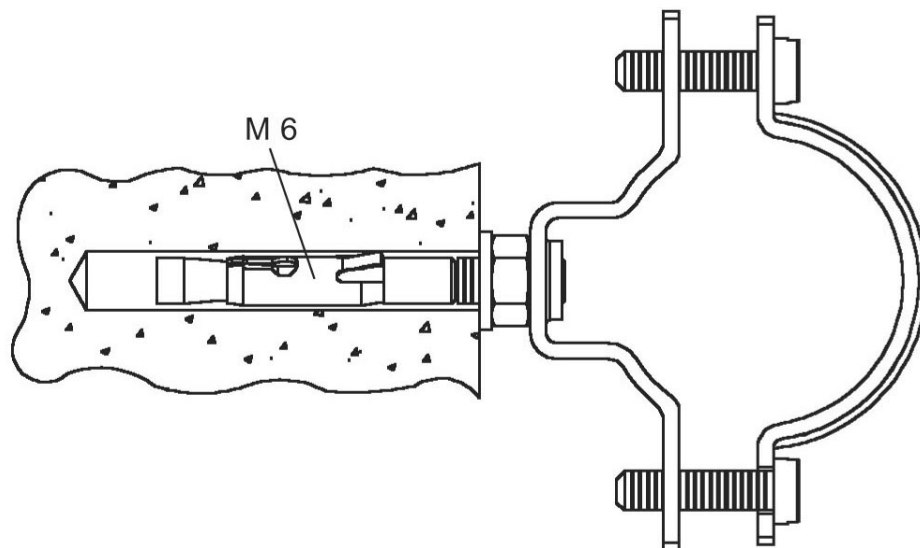


a)

b)

UWAGA

NIEDOPUSZCZALNE JEST STOSOWANIE KOŁKÓW  
PLASTYKOWYCH LUB DREWNIANYCH.



Obejma pojedyncza kabla

a) sposób montażu;

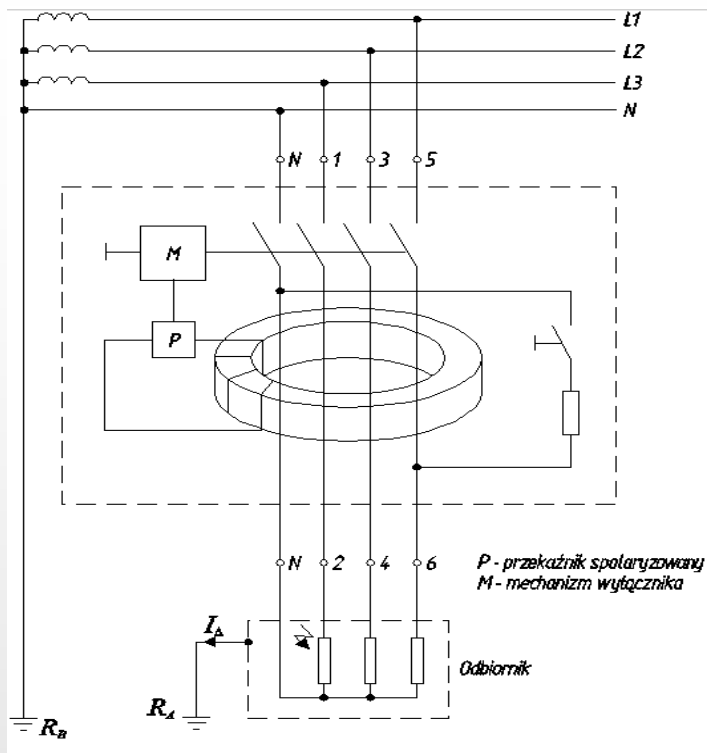
b) sposób mocowania

**PRZYKŁADOWE WYMAGANE CZASY FUNKCJONOWANIA URZĄDZEŃ**  
**W CZASIE POŻARU:**

<b>1.</b>	<b>Pompy tryskaczowe:</b>	<b>30; 60 lub 90 minut</b>
<b>2.</b>	<b>Pompy pożarowe:</b>	<b>120 minut</b>
<b>3.</b>	<b>Oświetlenie awaryjne wspomagające ewakuację:</b>	<b>60 minut</b>
<b>4.</b>	<b>Dźwigi dla ekip ratowniczych:</b> (nie mniej niż odporność ogniowa szybu)	<b>60 lub 120 minut</b>
<b>5.</b>	<b>Siłowniki klap dymowych:</b>	<b>30 minut</b>

# WYŁĄCZNIK RÓŻNICOWOPRĄDOWY

## ZABEZPIECZENIE NIEDOPUSZCZALNE W INSTALACJACH PRZECIWPÓŻAROWYCH



$$(I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}) - I_N = I_{\Delta} \geq (0,5 - 1) I_{\Delta n}$$

Pod działaniem temperatury pożaru, jonizacji ulega izolacja przewodów skutkując zwiększonymi prądami upływu doziemnego, które mogą prowadzić do niekontrolowanego działania wyłączników różnicowoprądowych prowadząc do pozbawienia funkcji zasilanych urządzeń. Zjawisko to powoduje, że wyłącznik różnicowoprądowy nie nadaje się do stosowania w obwodach zasilających urządzenia przeciwpożarowe, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru.

Jedynym skutecznym sposobem ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach przeciwpożarowych gwarantującym, zachowanie ciągłości dostawy energii jest samoczynne wyłączenie realizowane za pomocą urządzeń przetężeniowych lub wysterowanie napięciem dotykowym do wartości dopuszczalnych długotrwale w określonych warunkach środowiskowych  $U_L$ .

# METODYKA ZABEZPIECZANIA W OBWODACH URZĄDZEŃ PRZECIWPÓŻAROWYCH

Czy obwody zasilania urządzeń przeciwpożarowych należy zabezpieczać?

**TAK !!!**

**Zabezpieczenia należy dobierać o dwa stopnie większe niż wynika to z obliczeń ale przy zachowaniu warunków ochrony przeciwporażeniowej określonej w normie PN-HD 60364-4-41: 2009 (2017-09)**

**CEL**

**UZYSKANIE NIEZAWODNEJ DOSTAWY ENERGII ORAZ WARUNKÓW  
BEZPIECZNEGO WYŁĄCZNIKA DOSTAWY ENERGII ELEKTRYCZNEJ  
DO PŁONĄCEGO BUDYKU**



# DZIEKUJĘ ZA UWAGĘ

julianwiatr@wp.pl

W IMIENIU DYREKTORA DZIAŁU KSZTAŁCENIA USTAWICZNEGO  
I E-LEARNINGU POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

DR INŻ. KAZIMIERZA HERLEDERA,  
PROFESORA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

oraz

KIEROWNIKA STUDIÓW

DR INŻ. MARKA JAWORSKIEGO



Politechnika  
Wrocławska

ZAPRASZAM NA STUDIA PODYPLOMOWE

W ZAKRESIE OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ  
I PRZECIWPOŻAROWEJ W INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH