DOBÓR PRZEWODÓW W INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH

- **Przewody w sieciach i instalacjach elektrycznych niskiego napięcia dobiera się na następujące warunki:**

  a) wytrzymałość mechaniczną,
  b) obciążalność długotrwałą,
  c) przeciążalność,
  d) spadek napięcia,
  e) warunki zwarciowe,
  f) samoczynne wyłączenie dla celów ochrony przeciwporażeniowej.

- Większość warunków sprawdza się na drodze obliczeniowej, korzystając z odpowiednich zależności, współczynników liczbowych (podawanych w normach) czy wykresów. W niektórych przypadkach korzysta się bezpośrednio z zaleceń podawanych przez te normy (np.. przekrój przewodu PE)

- Dobierając przewód do danych warunków elektrycznych i środowiskowych, określając materiał żył, rodzaj izolacji i wreszcie jego przekrój często równolegle dobiera się rodzaj zabezpieczenia przewodu.

1. Dobór przewodów ze względu na wytrzymałość mechaniczną

- Dopuszczalne najmniejsze przekroje przewodów ze względu na wytrzymałość mechaniczną wg. DIN VDE 0100: 2002 zostały przedstawione w **tabeli 1**.

Tabela 1

Rodzaje przewodów sposób ułożenia		Najmniejszy przekrój żyły w [mm²]	
		Cu	Al
Przewody ułożone na stałe, chronione przed uszkodzeniami		1,5	2,5 [1)]
Przewody umieszczone na zewnątrz pomieszczeń na izolatorach; odległość miedzy punktami mocowania: - do 20 m - do 40 m		 4 6	 16 16
Przewody izolowane do połączeń w rozdzielnicach o zastępczym prądzie obciążenia długotrwałego: - $I_B \leq 2{,}5$ A; - $2{,}5$ A $< I_B \leq 16$ A; - $I_B > 16$ A		 0,5 0,75 1,0	 zabroniony zabroniony zabroniony
Przewody do odbiorników ruchomych i przenośnych o prądzie znamionowym I_n: - $1{,}5$ A $< I_n \leq 10$ A; - $I_n > 10$ A.		 0,75 1,0	 zabroniony zabroniony
Przewody obwodu wtórnego przekładnika prądowego		2,5	zabroniony
Przewody obwodu wtórnego przekładnika napięciowego		1,5	zabroniony
Przewody sterownicze ułożone na stałe w pomieszczeniach		0,5	zabronione
Przewody napowietrzne na izolatorach przy rozpiętości przęsła „a"	$a \leq 20\ m$	4	16
	$20\ m < a \leq 45\ m$	6	16
	$a > 45\ m$	10	25

1) – w budynkach nieprzemysłowych przekroje żył przewodów aluminiowych nie powinny być mniejsze niż 16 mm²

2. Dobór przewodów na długotrwałą obciążalność i przeciążalność prądową

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

$$I_B = \frac{S}{U_{nf}} = \frac{P}{\cos\varphi * U_{nf}}$$ - dla obwodów jednofazowych

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{P}{\sqrt{3} * \cos\varphi * U_n}$$ - dla obwodów trójfazowych

gdzie:

I_B – obliczeniowy prąd obciążenia przewodu lub kabla, w [A]
U*nf* – napięcie fazowe, w [V]
U*n* – napięcie międzyfazowe, w [V]
cosφ - współczynnik mocy, w [-]
S – moc pozorna obciążenia przewodu lub kabla, w [VA]
P – moc czynna obciążenia przewodu lub kabla, w [W].

- Przy obliczaniu spodziewanego prądu obciążenia w obwodach trójfazowych pomocna może być **Tabela 2**., która pokazuje zasady wyznaczania prądu znamionowego odbiorników lub spodziewanego prądu obciążenia w obwodach zasilających wybranych odbiorników

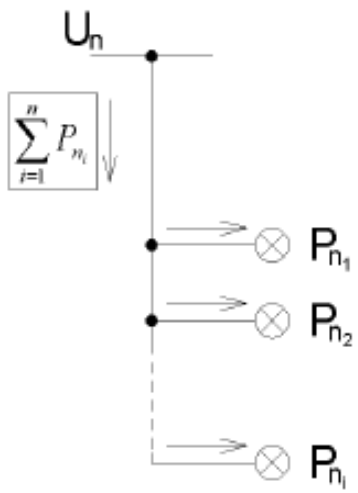
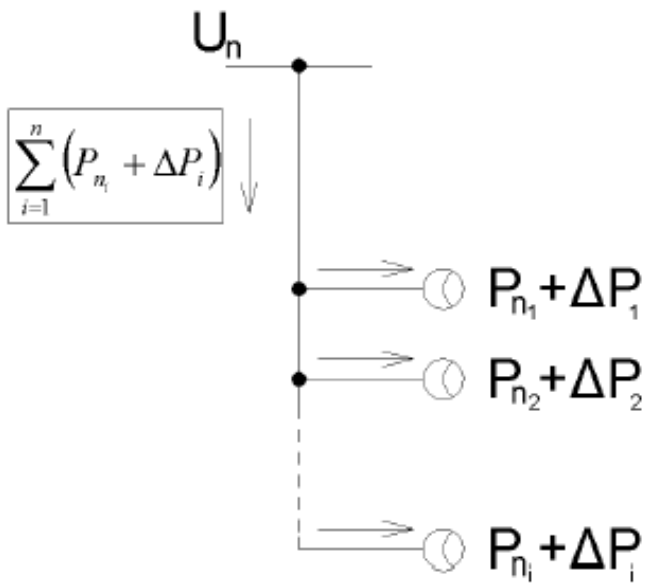
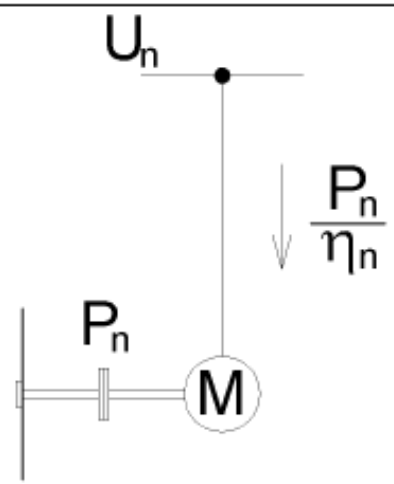
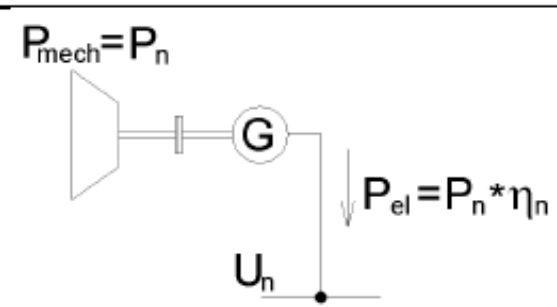
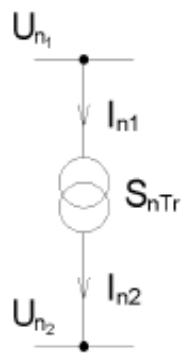
Odbiornik	Przykład	Rysunek	Wzory
Liniowy (charakter rezystancyjny)	Oświetlenie żarowe; nagrzewnica oporowa elektryczne ogrzewanie podłogowe lub konwekcyjne		$I_n = \frac{\sum P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos\varphi_{śr}}$ – grupa odbior $I_n = \frac{\sum P_n}{U_n * \cos\varphi_{śr}}$ – grupa odbiorników $I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos\varphi}$ – odbiornik trójfa $I_n = \frac{P_n}{U_n * \cos\varphi}$ – odbiornik jednofazo gdzie: $\cos\varphi = 1$

Tabela 2

cd. Tabela 2

Odbiornik nieliniowy (oświetlenie)	Lampy wyładowcze (rtęciowe, sodowe oraz fluoroscencyjne)		$I_n = k_{as}\frac{P_n+\Delta P}{U_n * \lambda_n}$ – *pojedyncza oprawa* $I_n = k_{as}\frac{\sum(P_n+\Delta P)}{\sqrt{3} * U_n * \cos\psi_n}$ – *grupa opra* *gdzie :* $k_{as} = 1{,}05 \div 1{,}25$ $\Delta P = (0{,}04...0{,}1) * P_n$ $\cos\psi = \frac{P}{S}$ $\cos\psi_n = 0{,}80 \div 0{,}96$ – *z kompensacją* $\cos\psi_n = 0{,}5$ – *bez kompensacji*
Silniki indukcyjne			*trójfazowy :* $I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \eta_n * \cos\varphi_n}$ *jednofazowy :* $I_n = \frac{P_n}{U_n * \eta_n * \cos\varphi_n}$ *gdzie :* $\cos\varphi_n = 0{,}75 \div 0{,}90$

cd. Tabela 2

Generator		$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \eta * \cos\varphi}$ $gdzie:$ $\cos\varphi = 0{,}80$
Transformator		$I_{n2} = \frac{S_{nTr}}{\sqrt{3} * U_{n2}}$

- Na podstawie obliczonego prądu obciążenia I_B, należy dobrać zabezpieczenie przewodu o prądzie znamionowym In, którego wartość ze względu na wahania napięcia zasilającego oraz asymetrię obciążenia poszczególnych faz w obwodach trójfazowych powinna spełniać następujący warunek:

$$I_n \geq 1{,}25 * I_B$$

- W obwodach, gdzie nie ma asymetrii lub wahań napięcia, nie stosujemy współczynnika **x1,25**

- Wskazane powyżej postępowanie jest uzasadnione w przypadku urządzeń o **niewielkich prądach rozruchowych**. W przypadku zasilania odbiorników, które charakteryzują duże prądy rozruchowe, obowiązują **inne zasady doboru zabezpieczeń.**

- Na podstawie obliczonego prądu obciążenia I_B oraz dobranego zabezpieczenia o prądzie znamionowym In , należy wyznaczyć wymaganą **minimalną długotrwałą obciążalność prądową przewodu Iz,** korzystając z zależności:

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

gdzie:

In – prąd znamionowy lub prąd nastawienia zabezpieczenia przewodu, w [A]

Iz – wymagana minimalna długotrwała obciążalność prądowa przewodu, w [A]

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

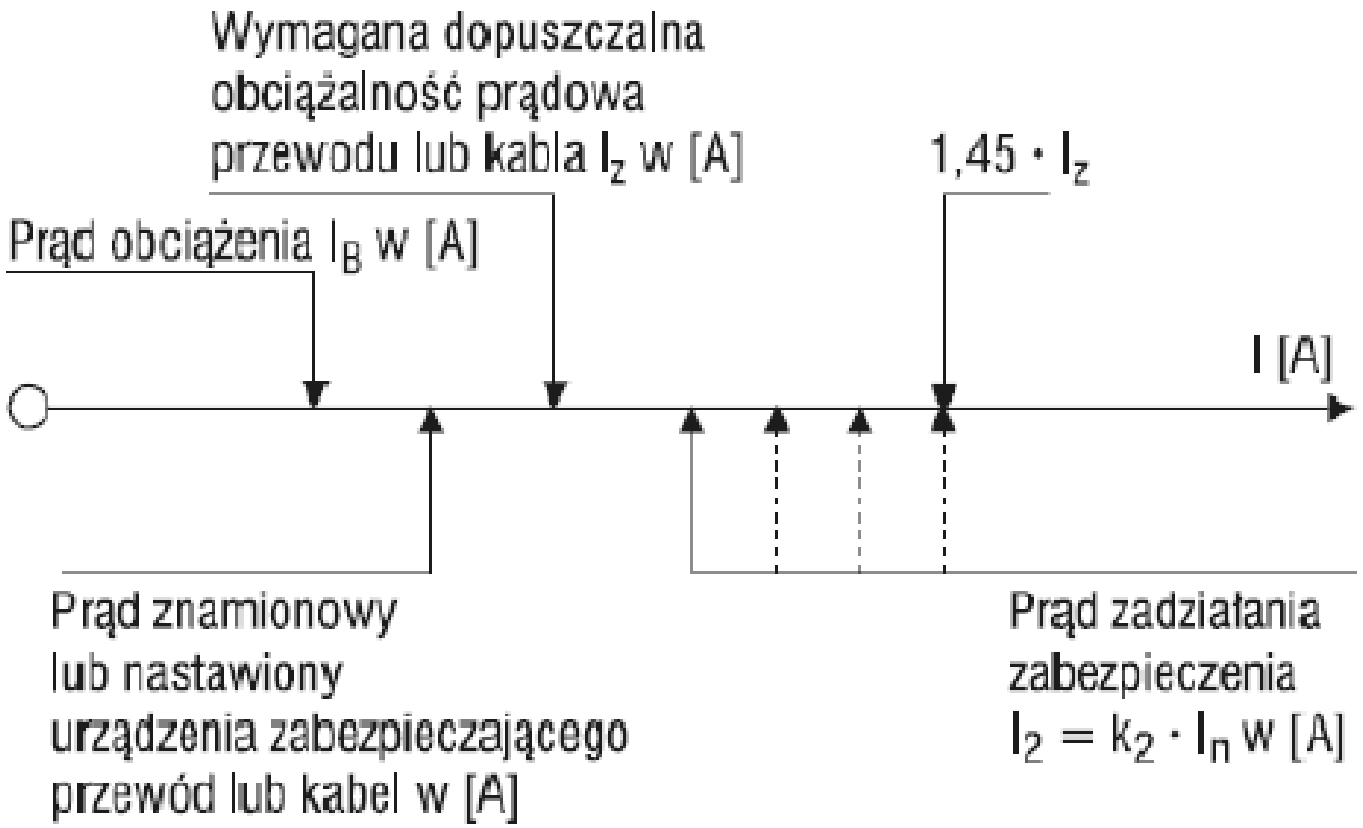
- **1,6 - 2,1** dla wkładek bezpiecznikowych (**tabela 4**)
- **1,45** dla wyłączników nadprądowych o charakterystyce B, C, D
- **1,2** dla wyłączników nadprądowych selektywnych
- **1,2** dla przekaźników termobimetalicznych

Typ wkładki	Zakres prądu znamionowego wkładki, w [A]	Współczynnik k_2
gG	4 6 – 16 20 – 63 80 -160 200 – 400 > 400	2,1 1,9 1,6 1,6 1,6 1,6
gL	4 6 -10 16 -25 32 – 63 80 – 160 200 – 400 400	2,1 1,9 1,75 1,6 1,6 1,6 1,6
aM	Wszystkie wartości prądu	6,3
gTr	Wszystkie wartości mocy Wszystkie wartości prądu $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$	- 1,5
gR	63 80 – 100	1,6 1,6

Tabela 4

Wartości współczynnika k_2 dla rożnych typów wkładek topikowych

- Wyznaczona z zależności wartość Iz stanowi podstawę doboru określonego przewodu na podstawie katalogu producentów.
- Dopuszczalna długotrwale wartość prądu obciążenia przewodów jest uzależniona od sposobu ich ułożenia, który ma decydujący wpływ na wymianę ciepła z otoczeniem.



Relacja pomiędzy prądami w obwodach zabezpieczonych od skutkow przeciążeń

- Mając wyznaczony prąd Iz, znając liczbę żył przewodów, materiał żył i sposób ułożenia przewodów, wyznaczamy ich przekrój, korzystając z odpowiednich tabel (tabele 5, 6, 7) .

- Pełne tabele znajdują się w **zeszycie 523 normy PNIEC 60364**

PN-IEC 60364-5-523:2001

PN-IEC 60364-5-523:2001

Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych

Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego

Obciążalność prądowa długotrwała przewodów

(Wyciąg)

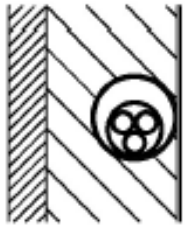
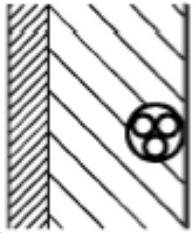
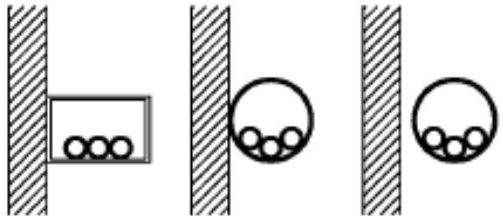
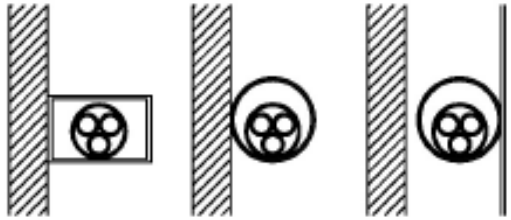
Tabela 5 Ważniejsze sposoby układania przewodów określone w zeszycie 523 normy PN-IEC 60364

Lp.	Sposób układania przewodów	Oznaczenia	
1	Przewody jednożyłowe w rurze w ścianie termoizolacyjnej	A1	A
2	Przewód wielożyłowy w rurze w ścianie termoizolacyjnej		
3	Przewody jednożyłowe lub przewód wielożyłowy w ościeżnicach		
4	Przewód wielożyłowy w rurze w ścianie termoizolacyjnej	A2	
5	Przewody jednożyłowe w ścianie murowanej	B1	B
6	Przewody jednożyłowe w rurze lub w listwie instalacyjnej na ścianie drewnianej		
7	Przewody jednożyłowe w rurze bezpośrednio na ścianie drewnianej lub murowanej lub w odległości od ściany nie większej niż 0,3 średnicy zewnętrznej rury instalacyjnej		
8	Przewody jednożyłowe w podwieszanej listwie		
9	Przewody w kanale instalacyjnym o wymiarach nie mniejszych od 5-krotnej średnicy przewodu oraz nie większych od 50-krtotnej średnicy przewodu		
10	Przewody jednożyłowe w rurze instalacyjnej prowadzonej w kanale o głębokości większej niż 20-krotna średnica zewnętrzna rury instalacyjnej		
11	Przewody jednożyłowe w korytku podłogowym w podłodze		
12	Przewody w podwójnym suficie lub podłodze przy prześwicie nie mniejszym od 5-krotnej średnicy przewodu oraz nie większym od 50-krtotnej średnicy przewodu		
13	Przewody wielożyłowe w rurze w ścianie murowanej	B2	
14	Przewód wielożyłowy w rurze lub listwie instalacyjnej na ścianie drewnianej		
15	Przewód wielożyłowy w rurze bezpośrednio na ścianie drewnianej lub murowanej lub w odległości nie większej niż 0,3 średnicy zewnętrznej rury instalacyjnej		
16	Przewód wielożyłowy w podwieszanej listwie		

cd. Tabela 5

21	Przewody na ścianie drewnianej w odległości mniejszej niż 0,3 średnicy zewnętrznej przewodu	C
22	Przewody jednożyłowe lub wielożyłowe bezpośrednio na suficie drewnianym	
23	Przewody w korytku nieperforowanym w odległości nie mniejszej niż 0,3 średnicy zewnętrznej przewodu	
24	Kable układane bezpośrednio na ziemi	D
25	Kabel wielożyłowy w rurze w ziemi	
26	Przewód wielożyłowy w powietrzu w odległości od ściany nie mniejszej niż 0,3 średnicy zewnętrznej przewodu	E
27	Przewody jednożyłowe lub wielożyłowe na lince nośnej lub przewody samonośne	
28	Przewody jednożyłowe w powietrzu stykające się w odległości od ściany nie mniejszej niż średnica zewnętrzna przewodu	F
29	Przewody w korytku perforowanym lub drabince w odległości od ściany nie mniejszej niż 0,3 średnicy zewnętrznej przewodu	
30	Przewody jednożyłowe lub wielożyłowe zawieszone na lince nośnej lub przewody wielożyłowe samonośne	
31	Przewody jednożyłowe w powietrzu nie stykające się w odległości nie mniejszej niż średnica zewnętrzna przewodu	G
32	Przewody gołe lub izolowane zawieszone na izolatorach	

Tabela 6 Sposoby układania przewodów kabelkowych oraz jednożyłowych przewodów izolowanych

Sposób układania	A1	A2		B1	B2
Rysunek					
Opis	Jednożyłowe w rurach lub listwach	W rurach lub listwach	Bezpośrednio na ścianie	Jednożyłowe	wielożyłowe
		Wielożyłowe		W rurach lub listwach na ścianie, w ścianie lub w podłodze	
	W ścianach termoizolacyjnych				

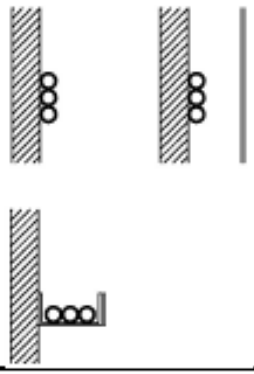
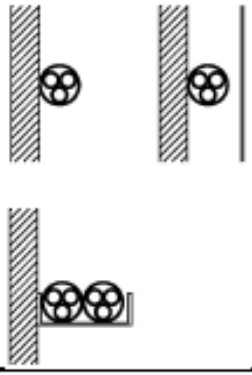
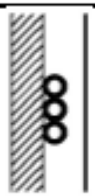
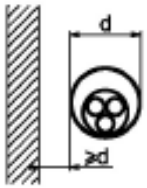
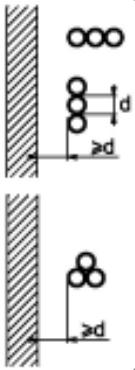
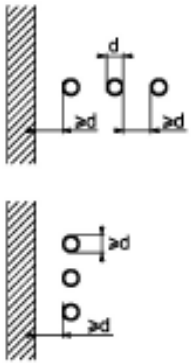
Sposób układania	C			E	F	G
Rysunek						
Opis	Jednożyłowe	Wielożyłowe	Wtynkowe w ścianie, suficie lub przestrzeni instalacyjnej	Wielożyłowe	Stykające się	Nie stykające się
	Po wierzchu, na ścianie albo suficie z materiału o rezystywności cieplnej $\rho \leq 2$ K*m/W, lub w korytkach kablowych nieperforowanych (tzn. o powierzchni otworów < 30 % całkowitej powierzchni korytka)				Jednożyłowe	
				Swobodnie w powietrzu, na lince nośnej, na drabince kablowej		

Tabela 7 **Obciążalność długotrwała Iz [A] przewodów miedzianych o izolacji polwinitowej przy obliczeniowej temperaturze 25⁰ *C***

ułożenie	A1		A2		B1		B2		C		E		F			G	
Liczba jednocześnie obciążonych żył	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3	3	3
Przekrój [mm²]	Dopuszczalny prąd obciążenia długotrwałego [A]																
1,5	15,5	14,5	15,5	14	18,5	16,5	17,5	16	21	18,5	23	19,5	-	-	-	-	-
2,5	21	19	18,5	19,5	25	22	24	21	29	25	32	27	-	-	-	-	-
4	28	25	27	24	34	30	32	29	28	34	42	36	-	-	-	-	-
6	36	33	34	31	43	38	40	36	49	43	54	46	-	-	-	-	-
10	49	45	46	41	60	53	55	49	67	60	74	64	-	-	-	-	-
16	65	59	60	55	81	72	73	66	90	81	100	85	-	-	-	-	-
25	85	77	80	72	107	94	95	85	119	102	126	107	139	121	117	155	138
35	105	94	98	88	133	117	118	105	146	126	157	134	172	152	145	192	172
50	126	114	117	105	160	142	141	125	178	153	191	162	208	184	177	232	209

- Czasem wyznaczoną wartość prądu należy skorygować odpowiednim przelicznikiem. Ma to miejsce, gdy np.. układamy instalacje w postaci wiązki przewodów, inna jest temperatura otoczenia itd. odpowiednie współczynniki są również zawarte w normie, np.:

Tabela 8 Współczynniki poprawkowe obciążalności długotrwałej dla wiązek przewodów

Sposób układania	Liczba wielożyłowych przewodów lub kabli albo liczba obwodów wykonanych przy użyciu jednożyłowych przewodów przy założeniu obciążenia prądem 2 lub 3 przewodów														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Wiązka bezpośrednio na ścianie lub podłodze albo w rurze lub korytku na ścianie lub w ścianie	1	0,8	0,7	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,5	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38
Pojedyncza warstwa stykających się ze sobą przewodów ułożona na ścianie lub podłodze	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Pojedyncza warstwa przewodów ułożona na ścianie lub podłodze, odległość pomiędzy przewodami równa ich średnicy	1	0,94	0,90	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Podane w **zeszycie 523** normy **PN-IEC 60364** wartości dopuszczalnych obciążalności 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

$$Iz_4 = Iz_3 \bullet 0{,}91$$

Zadanie

Dobrać przewód do zasilania niesymetrycznego liniowego odbiornika trójfazowego o mocy S=15 kVA. Przewód będzie układany według sposobu A1.

a) prąd obciążenia oraz znamionowy prąd zabezpieczenia koniecznego dla zabezpieczenia przewodów zasilających ten odbiornik:

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{15000}{\sqrt{3} * 400} = 21{,}65 A$$

$$I_n \geq 1{,}25 * I_B = 1{,}25 * 21{,}65 \approx 27{,}06 A$$

Na tej podstawie należy przyjąć zabezpieczenie bezpiecznikiem topikowym WTN00**gG32**

b) wymagany przekrój przewodu na długotrwałą obciążalność prądową i przeciążalność:

$$I_B \leq I_n = 32 A \leq I_Z$$

$$I_Z \geq \frac{k_2 * I_n}{1{,}45} = \frac{1{,}6 * 32}{1{,}45} = 35{,}31 A$$

Na podstawie tabeli 7 dla sposobu ułożenia A1 należy przyjąć przewód **4 x DY 10 +LgYżo 10**, który zostanie ułożony w nieprzewodzącej rurze. Jego długotrwały prąd obciążenia wynosi 45 A.

Jego dopuszczalny długotrwale prąd obciążenia przy założeniu obciążenia czterech przewodów (fazowych oraz przewodu neutralnego) wynosi :

$$Iz_4 = Iz_3 \bullet 0{,}91 = 45 \bullet 0{,}91 = 40{,}95\ A \quad \text{więc}$$

jest większy niż $Iz = 35{,}31\ A$

2. Dobór przekroju przewodu ze względu na dopuszczalny spadek napięcia

- Dopuszczalny spadek napięcia w instalacjach elektrycznych nieprzemysłowych w obwodach odbiorczych, od licznika do dowolnego odbiornika, wg N-SEP-E-002, nie powinien przekraczać 3%, a od licznika do złącza 0,5%, przy mocy przesyłanej do 100 kVA i 1% przy mocy powyżej 100 kVA, a mniejszej niż 250 kVA.
- Spadek napięcia wyrażony w %, obwodu o długości *l*, przekroju *S* i konduktywności materiału γ, obliczany jest z zależności:

dla obwodów 1 - fazowych

$$\Delta U_{\%} = \frac{200}{U_{nf}} \cdot I_B \cdot \left(R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi\right)$$

dla obwodów 3 - fazowych

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} \cdot I_B \cdot \left(R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi\right)$$

gdzie:

I_B - prąd obliczeniowy [A]
cosφ - współczynnik mocy
R, X - rezystancja i reaktancja obwodu [W]
Unf , Un - napięcie fazowe i międzyprzewodowe [V]

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot S} \qquad X = X' \cdot l$$

gdzie:
γ - konduktywność, [m/Ωmm²] **(dla żył Cu - 56, dla żył Al - 33)**
l - długość linii, [m]
S - przekrój przewodu, [mm²]
X' - reaktancja jednostkowa [Ω/m]
(dla kabli: 0,08 · 10-3 Ω/m, dla instalacji w rurkach: 0,1 · 10-3 Ω/m)

- Dla obwodów wykonanych kablami, przewodami wielożyłowymi lub jednożyłowymi o przekroju żył nie większym niż **50 mm² Cu** i **70 mm² Al**, reaktancje tych przewodów pomijamy.

- Przyjmując powyższe założenie, spadki napięć obliczamy z zależności:

dla obwodów jednofazowych:

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U_{nf}^2}$$

dla obwodów trójfazowych:

$$\Delta U_{\%} = \frac{100 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U_{n}^2}$$

gdzie:

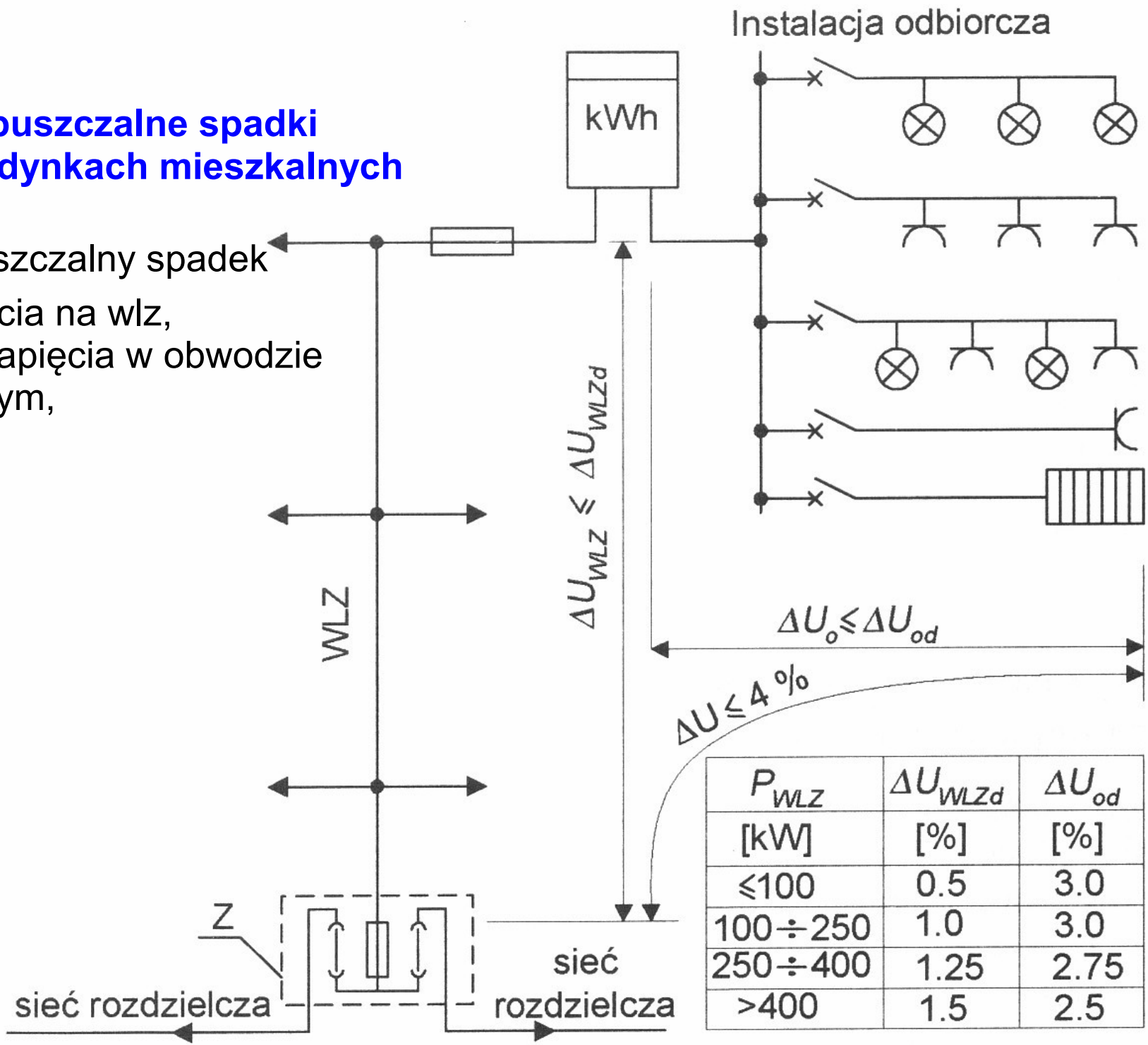
P - moc czynna, [W]
l - długość przewodu, [m]
S - przekrój żył linii, [mm²]
γ - konduktywność przewodu, [m/Ωmm²]
Unf - napięcie fazowe, [V]
Un - napięcie międzyprzewodowe, [V]

Graniczne dopuszczalne spadki napięcia w budynkach mieszkalnych

ΔU_{WLZd} - dopuszczalny spadek napięcia na wlz,

ΔU – spadek napięcia w obwodzie odbiorczym,

Z – złącze



P_{WLZ}	ΔU_{WLZd}	ΔU_{od}
[kW]	[%]	[%]
≤100	0.5	3.0
100÷250	1.0	3.0
250÷400	1.25	2.75
>400	1.5	2.5

Ćwiczenie

- Oblicz minimalny przekrój przewodu o żyle miedzianej, w linii dwuprzewodowej o długości l = 50 m. Napięcie znamionowe linii U = 230 V, dopuszczalny spadek napięcia $\Delta U\%$ = 4%, a moc odbiornika P = 1000 W.

- Porównaj uzyskany wynik z zalecaną wartością przekroju 1,5 mm^2 dla obwodów oświetleniowych i 2,5 mm^2 dla obwodów gniazd wtyczkowych,

- Wyciągnij odpowiednie wnioski z przeprowadzonego porównania.

- Wyznacz, jak zmieni się spadek napięcia na linii, jeśli jej długość zwiększymy 10-krotnie

- Przeprowadź tę sama analizę dla przewodu wykonanego z aluminium i wyciągnij wnioski z porównania

3. Dobór przekroju przewodu ze względu na skuteczność ochrony przeciwporażeniowej.

- Przekrój przewodu powinien być tak dobrany, by w przypadku zwarcia między przewodem fazowym i przewodem ochronnym lub częścią przewodzącą instalacji, impedancja obwodu zapewniła samoczynne wyłączenie zasilania przez urządzenie zabezpieczające, w określonym czasie. Powyższe jest zapewnione przy spełnieniu warunku:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0$$

gdzie:

Uo - wartość skuteczna napięcia znamionowego prądu przemiennego względem ziemi, 230 [V]

Zs - impedancja pętli zwarciowej obejmującej: źródło zasilania, przewód fazowy do punktu zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem

Ia - prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego w czasie zależnym od napięcia *Uo*.

Dla Uo = 230 V , dla układu TN wg PN-IEC 60364-4-41 czas wyłączania wynosi 0,4 s.

- Maksymalne czasy wyłączeń w układzie TN podaje tabela 9.

3. Dobór przekroju przewodu ze względu na skuteczność ochrony przeciwporażeniowej.

- Przekrój przewodu powinien być tak dobrany, by w przypadku zwarcia między przewodem fazowym i przewodem ochronnym lub częścią przewodzącą instalacji, impedancja obwodu zapewniła samoczynne wyłączenie zasilania przez urządzenie zabezpieczające, w określonym czasie. Powyższe jest zapewnione przy spełnieniu warunku:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0$$

gdzie:

Uo - wartość skuteczna napięcia znamionowego prądu przemiennego względem ziemi, 230 [V]

Zs - impedancja pętli zwarciowej obejmującej: źródło zasilania, przewód fazowy do punktu zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem

Ia - prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego w czasie zależnym od napięcia *Uo*.

Dla Uo = 230 V , dla układu TN wg PN-IEC 60364-4-41 czas wyłączania wynosi 0,4 s.

- Maksymalne czasy wyłączeń w układzie TN podaje tabela 9.

Tabela 9 Maksymalne czasy wyłączeń w układzie TN

U_0 [V]	Czas wyłączenia t_w [s]	
	$U_L \leq 50$ V	$U_L \leq 25$V
120	0,8	0,35
230-277	0,4	0,20
400	0,2	0,05
480	0,1	0,05
580	0,1	0,02*)
* - przypadku gdy warunek samoczynnego wyłączenia nie może zostać zachowany należy zastosować połączenia wyrównawcze		

- Impedancję obwodu zwarciowego wyliczamy z zależności:

$$Z_S = \sqrt{\left(\sum R\right)^2 + \left(\sum X\right)^2}$$

gdzie:
ΣR, ΣX - suma rezystancji i reaktancji obwodu

- Wartość prądu wyłączającego określamy:

$$I_a = k \cdot I_n$$

gdzie:
In - wartość znamionowa urządzenia zabezpieczającego, [A]
k - krotność prądu znamionowego powodująca zadziałanie urządzenia zabezpieczającego

4. Sprawdzenie dobranych przewodów lub kabli na warunki zwarciowe.

- Dobrany przewód na długotrwałą obciążalność prądową i przeciążalność podlega sprawdzeniu na warunki zwarciowe panujące w miejscu jego zabezpieczenia. W skutek zwarcia następuje przepływ prądu o wartości większej niż znamionowa.
- Zastosowane zabezpieczenia maja na celu przerwanie tego prądu w krótkim czasie w celu nie dopuszczenia do zniszczenia izolacji lub żyły przewodu.

- Zabezpieczenie zwarciowe powinno mieć zdolność do przerwania prądu zwarciowego o wartości większej od przewidywanego (spodziewanego) prądu zwarciowego, zgodnie z zależnością:

$$I_{nw} \geq I_{ws}$$

gdzie:

Inw - prąd znamionowy wyłączalny urządzenia zabezpieczającego, [A] (podawany przez producenta urządzeń), np. dla wyłącznika typu CLS6 wynosi 6 kA)

Iws= Ik - spodziewana wartość prądu zwarcia, [A]

***Ik* obliczamy z zależności:**

$$I_k = \frac{0{,}95 \cdot U_{nf}}{Z_k}$$

Dla zwarcia jednofazowego

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$$

Dla zwarcia trójfazowego

- Rzeczywisty czas trwania zwarcia t_k, od momentu powstania zwarcia do przerwania przepływu prądu zwarciowego, powinien być na tyle krótki, by temperatura żył przewodów nie przekroczyła wartości dopuszczalnej (granicznej) przy zwarciu dla danego typu przewodu.

- Czas t_{km} (graniczny), przy którym żyły osiągną temperaturę dopuszczalną przy zwarciu, obliczamy ze wzoru:

$$t_{km} = \left(k \cdot \frac{s}{I_k} \right)^2$$

gdzie:
s - przekrój przewodu, [mm²]
I_k - wartość skuteczna prądu zwarciowego, [A]
k - współczynnik liczbowy odpowiadający jednosekundowej dopuszczalnej gęstości prądu podczas zwarcia, zależny od właściwości materiału przewodowego, rodzaju izolacji i typu przewodu wynoszący:

- 135 dla przewodów Cu z izolacją z gumy, butylenu, polietylenu
- 87 dla przewodów Al z izolacją z gumy, butylenu, polietylenu
- 115 dla przewodów Cu z izolacją PVC,
- 74 dla przewodów Al z izolacją PVC.

- Dla bezpieczników rzeczywisty czas trwania zwarcia t_k wyznacza się z charakterystyk czasowo-prądowych.
- Dla wyłączników, jeśli prąd zwarciowy jest większy od prądu wyzwalającego wyzwalaczy zwarciowych, czas rzeczywisty określa się z charakterystyki prądowo-czasowej.
- Zwykle czas ten nie przekracza 0,1 s.
- W przypadku bardzo krótkich czasów, mniejszych od 0,1 s dla urządzeń ograniczających wartość prądu, iloczyn **k^2s^2** powinien mieć wartość większą od wartości **I^2t**, którą według producenta może przenieść urządzenie zabezpieczające.

$$(k \cdot s)^2 \geq I^2 \cdot t$$

gdzie:

I^2t - ilość energii cieplnej przenoszonej, zwana całką cieplną (wartość podawana przez producenta urządzenia) [A^2s]

s - przekrój przewodu [mm^2]

k – współczynnik liczbowy (opisany wyżej)

Dobór przewodu ochronnego PE

Jako przewody ochronne mogą być stosowane:

- żyły w przewodach wielożyłowych,
- izolowane lub gołe przewody ułożone we wspólnej osłonie z przewodami roboczymi,
- ułożone na stałe przewody gołe i izolowane,
- metalowe powłoki i pancerze kabli,
- metalowe rury i inne osłony przewodów.

Wśród przewodów ochronnych wyróżnia się:

- przewód ochronny PE,
- przewód ochronno-neutralny PEN,
- przewód uziemiający E,
- przewód wyrównawczy CC

(zgodnie z normą **PN-EN 60445: 2002** oraz **PN-EN 60446: 2004** przewody wyrównawcze powinny być oznaczane jako PE).

- Przewody ochronny powinien spełniać warunki:
  a) odporności zwarciowej,
  b) określone w **zeszycie 41** normy **PN-IEC 60364** podane w **tabeli 10**.

$S_L = S_N$ [mm^2]	S_{PE} [mm^2]
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Gdzie:

SL – przekrój przewodu fazowego
SN – przekrój przewodu neutralnego
SPE – przekrój przewodu ochronnego

Tabela 10 Wymagane przekroje przewodów ochronnych

Uwaga!

Wartości podane w **PN – IEC 60364** (**tabela 9**) dotyczą przewodów ochronnych wykonanych z tego samego materiału co przewody fazowe. W innym przypadku należy wykonać przeliczenia uznając za podstawę konduktancję przewodu fazowego.

$$S_2 = \frac{\gamma_1 * S_1}{\gamma_2}$$

S_1 – przekrój przewodu fazowego [mm2]
S_2 – równoważny przekrój przewodu fazowego wykonanego z innego materiału
γ_1 – konduktywność przewodu fazowego [m/(Ω mm2)]
γ_2 – konduktywność przewodu ochronnego wykonanego z innego materiału jak przewód fazowy

- Należy przy tym pamiętać, że podane wymagania dotyczą minimalnego przekroju przewodu ochronnego. W praktyce może okazać się koniecznym jego zwiększenie, co ma miejsce w przypadku trudności w zachowaniu warunku samoczynnego wyłączenia podczas zwarć w chronionych odbiornikach.

- Przekroje przewodów ochronnych nie będących żyłą przewodów wielożyłowych nie mogą być mniejsze niż:

  - **2,5 mm²** – jeżeli przewód ochronny jest chroniony przed uszkodzeniami mechanicznymi,
  - **4 mm²** – jeżeli przewód nie jest chroniony przed uszkodzeniami Mechanicznymi.

- W układach TN, w instalacjach ułożonych na stałe, funkcje przewodu neutralnego i ochronnego **(PEN)**, mogą pełnić te same żyły, jeżeli przekroje tych żył są nie mniejsze jak **10 mm² Cu** lub **16 mm² Al**.

- **W przewodach ochronnych nie wolno umieszczać żadnych aparatów zabezpieczających, ponieważ mogłoby to doprowadzić do przerwania ich ciągłości.**

Dobór przewodów wyrównawczych

- Przekrój przewodów wyrównawczych dobieramy z odpowiednich tabel zawartych w normie **PN-IEC 600364** „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych.

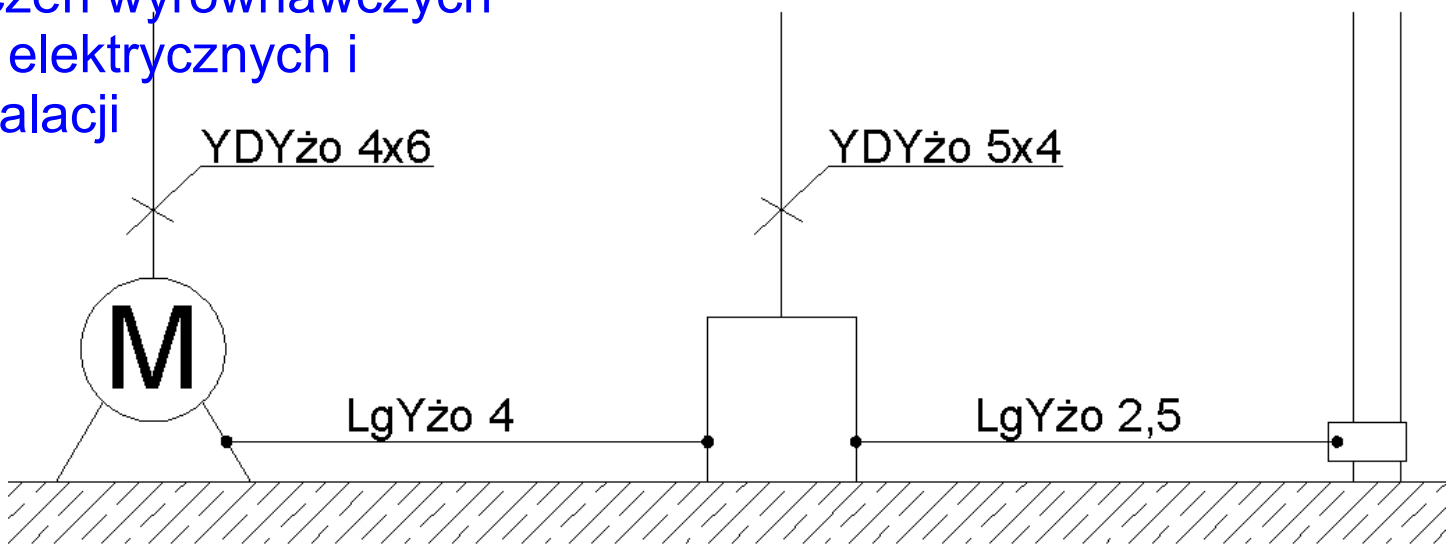
Tabela 11 Wymagane przekroje przewodów wyrównawczych

	Połączenia wyrównawcze główne	Połączenia wyrównawcze miejscowe	
Wymaganie podstawowe	$S_{CC} \geq 0,5\ S_{PE\ max}$	$S_{CC} \geq 0,5\ S_{PE\ min}$	$S_{CC} \geq 0,5\ S_{PE}$
Wymaganie dodatkowe	6 mm^2	2,5 mm^2 jeżeli są chronione od uszkodzeń mechanicznych 4 mm^2 jeżeli nie są chronione od uszkodzeń mechanicznych	
Dopuszczalne złagodzenie wymagania podstawowego	S_{CC} = 25 mm^2 Cu W przypadku gdy $S_{PE} \geq 50\ mm^2$	---------	----------

Tabela 12 Minimalne przekroje żył przewodów do połączeń wyrównawczych dodatkowych

Wyszczególnienie	Wymagany przekrój żył przewodów wyrównawczych dodatkowych
Pomiędzy dwoma dwoma urządzenia elektrycznymi	Równy lub większy niż mniejszy z przekrojów przewodów ochronnych
Pomiędzy urządzeniami elektrycznym a częścią przewodzącą obcą	≥ 0,5 przekroju przewodu ochronnego
Przekrój minimalny	- 2,5 mm^2 Cu lub 4 mm^2 Al, z zastosowaniem ochrony przewodów przed uszkodzeniami - 4 mm^2 bez zastosowania ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi

Przykład wykonania połączeń wyrównawczych miejscowych odbiorników elektrycznych i uziemionej metalowej instalacji



Przykład wyznaczenia przekroju przewodów

Zadanie 1

Zadanie 1

Dobrać zabezpieczenia i przewody obwodu kuchni elektrycznej mającej 4 płytki (3 x 2,6 kW + 1,85 kW) oraz piekarnik (3,1 kW), zasilanej trójfazowo. Obwód ma długość 8m i ma być zasilany z rozdzielnicy mieszkaniowej, przy której rezystancja pętli zwarciowej L-PE wynosi R_R = 0,4Ω. Połączenie wykonać przewodami H07VU ułożonymi w rurce winidurowej Φ28 pod tynkiem.

Rozwiązanie:

- Obliczamy moc zainstalowaną:

$$P=3*2,6 + 1,85 + 3,1 = 12,75 \text{ kW}$$

- Wyznaczamy obliczeniowy prąd szczytowy:

$$I_B = P/ \sqrt{3}\ U_n = 1270/ \sqrt{3}\ 400 = 18,4 \text{ A}$$

- Na podstawie obliczonego prądu I_B, należy dobrać zabezpieczenie przewodu o prądzie znamionowym In, którego wartość ze względu na wahania napięcia zasilającego oraz asymetrię obciążenia poszczególnych faz w obwodzie trójfazowym powinna spełniać następujący warunek:

$$I_n \geq 1{,}25\ I_B = 1{,}25 * 18{,}4 = 23\ A$$

- Będzie to wyłącznik nadprądowy **B25** o prądzie **In = 25 A**, zdolności wyłączania **6 kA** i **I^2t = 45000 A^2s** i krotności prądu wyłączającego **k = 5**

Dobieramy przekrój przewodu:

1. Wyznaczamy wartość długotrwałej obciążalności przewodu, kierując się dwoma warunkami:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \text{ czyli } I_z = 25\ A$$

$$I_z \geq k_2 I_n / 1{,}45$$

dla wyłączników nadprądowych typu B, C, D współczynnik k_2 = 1,45, więc

$$I_z \geq 25\ A.$$

2. Z tabeli, dla odpowiedniej rubryki zależnej od sposobu ułożenia przewodu, odczytujemy przekrój przewodu:

- liczba jednocześnie obciążonych żył – 3, ułożenie B1, prąd 30A, co oznacza przekrój

$$\mathbf{S = 4mm^2}$$

3. Sprawdzenie na wytrzymałość mechaniczną – wyliczony przekrój jest większy niż wymagany przekrój minimalny 1,5 mm^2

4. Wyznaczenie przekroju przewodu PE – z tabeli dla $S_L=S_N=4\ mm^2$ przewód PE musi mieć ten sam przekrój, czyli:

$$\mathbf{S_{PE} = 4\ mm^2}$$

5. Sprawdzamy przekrój ze względu na dopuszczalny spadek napięcia:

$$\Delta U\% = 100PI / \gamma SU^2_n =$$

$$= 100 * 12750*8 / 58*4*400^2 = 0,27$$ **jest mniejszy od 3%**

6. Sprawdzenie przekroju ze względu na nagrzewanie prądem zwarciowym:

$$(kS)^2 \geq I^2t$$

czyli: (115*4)2 = 211600 **warunek spełniony, bo** I^2t = 45000 A^2s

7. Sprawdzenie warunku samoczynnego wyłączania zasilania:

$$Z_S I_a \leq U_0 \qquad I_a = kI_n, \quad Z_s = R_R + (R_L + R_{PE})$$

$$R_L = 1 / \gamma S, \quad R_{PE} = R_L, \quad U_0 = 230V$$

(0,4 + 2*8 / 58*4) * 5*25 = 58,6

jest mniej niż 230 więc warunek jest spełniony.

Rozwiązanie zadania:

Połączenie wykonamy pięcioma przewodami H07V-U 4mm^2 zabezpieczonymi czterobiegunowym wyłącznikiem nadprądowym B25 (np.ETIMAT10 3p+N B 25).

Przewody będą w kolorach: BK, BN, BK, BU, ŻO

Zadanie 2

Zadanie 2

- Prąd obliczeniowy obwodu elektrycznego wynosi I_B =18 A. Należy dobrać do ochrony przewodu przed prądem przeciążeniowym:
  a) wyłącznik instalacyjny nadmiarowoprądowy o charakterystyce typu B,
  b) bezpiecznik topikowy o charakterystyce pełnozakresowej gG.

- W obu przypadkach trzeba określić wymaganą obciążalność prądową długotrwałą przewodu.

- Na podstawie porównania wyników, wyciągnij odpowiednie wnioski odnośnie zabezpieczenia przewodu.

Rozwiązanie

a) ochrona przewodu za pomocą wyłącznika instalacyjnego nadmiarowoprądowego

Dla wyłącznika nadmiarowoprądowego prąd zadziałania wynosi:

$$I_2 = 1{,}45 I_n$$

ale musi być spełniony warunek:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

$$18 \leq I_n$$

- należy więc dobrać wyłącznik, dla którego **In = 20A.**
- obciążalność prądowa długotrwała przewodu musi więc wynosić co najmniej **Iz = 20 A.**

b) ochrona przewodu za pomocą bezpiecznika topikowego

Z warunku $I_B \leq I_n \leq I_Z$ **I_n =20 A**

Prąd zadziałania bezpiecznika wynosi **I_2 =1,6I_n** i musi być spełniony warunek :

$I_2 \leq 1{,}45 I_Z$ czyli:

$1{,}6 I_n \leq 1{,}45 I_Z$ **$I_Z \geq 22{,}1$ A**

- obciążalność prądowa długotrwała przewodu musi więc wynosić co najmniej **Iz = 22,1 A**.

Wnioski:

Wyłącznik instalacyjny nadmiarowoprądowy ma lepiej dopasowaną charakterystykę czasowo-prądową do ochrony przewodu przed prądem przeciążeniowym niż bezpiecznik topikowy i pozwala nieraz na stosowanie przewodow o mniejszej obciążalności prądowej długotrwałej.

Zadanie 3

Zadanie 3

Przewód o przekroju s = 10 mm^2 z żyłami miedzianymi w izolacji polwinitowej jest zabezpieczony przed prądem zwarciowym za pomocą bezpiecznika topikowego o charakterystyce gG 32 A. Prąd zwarciowy w miejscu zainstalowania bezpiecznika wynosi Ik = 5200 A.

- Należy sprawdzić, czy ochrona przewodu przed prądem zwarciowym jest Skuteczna.

Rozwiązanie

Dla przewodu z żyłami miedzianymi w izolacji polwinitowej współczynnik k wynosi 115. Czas dopuszczalny można wyznaczyć ze wzoru:

$$t_{dop} = (ks / I_k)^2$$ czyli:

$$t_{dop} = (115*10 / 5200)2 = 0,049 \text{ s}$$

Ponieważ czas ten jest mniejszy niż 0,1 s, więc należy sprawdzić nierówność:

$$k^2 s^2 \geq I^2 t_{max}$$

Całka Joule'a wyłączania $I^2 t_{max}$ dla bezpiecznika topikowego gG 32 A ma wartość 5000 $A^2 s$. Wobec tego :

$$k^2 s^2 = 115^2 * 10^2 = 1322500 > 5000$$

Wniosek:

Ochrona przewodu przed prądem zwarciowym jest zapewniona.

The End