

## Odpowiedzi na pytania

### dotyczące obciążalności oraz zabezpieczeń nadprądowych przewodów i kabli

Szkolenie dla Kujawsko-Pomorskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa,

Bydgoszcz – Toruń – Włocławek, 25-26 kwietnia 2008 r.

#### Pytanie 1

Aktualna norma PN-IEC 60364-5-523:2001 w porównaniu z tablicami obciążalności przewodów podanymi w Zarządzeniu nr 29 Ministra Górnictwa i Energetyki z 17 lipca 1974 r. dla tych samych przekrojów podaje obciążalność mniejszą o około 20 %. Skąd taka zmiana?

#### Odpowiedź

Po pierwsze, nie nastąpiła nowelizacja polskich przepisów, czyli ich korekta w następstwie zebrania doświadczeń z wieloletniego praktycznego stosowania, przy utrzymaniu zasadniczej koncepcji. Polskie przepisy zostały zastąpione przez normę międzynarodową IEC, opracowaną przez komitet techniczny TC 64 (IEC), bez naszego znaczącego udziału. Strona polska ograniczyła się do tłumaczenia tekstu normy międzynarodowej, tłumaczenia nieudolnego, a miejscami pokrętnego, sugerującego nieczyste intencje skutkujące zwiększonym popytem na miedź.

Po drugie, jeżeli po raz pierwszy jakieś uregulowania opracowuje się w skali międzynarodowej, to trudno oczekiwać, by pokrywały się one z dotychczasowymi rozbieżnymi przepisami różnych krajów członkowskich. Przeważa punkt widzenia i/lub interesy krajów bogatszych, czynnie uczestniczących w międzynarodowych pracach normalizacyjnych poprzez przewodniczenie komitetem technicznym i delegowanie dobrze przygotowanych ekspertów na każde zebranie.

Po trzecie, w normie IEC przyjęto klasyfikację sposobów układania przewodów w budynkach bardziej rozbudowaną niż w dawniejszych polskich przepisach, co utrudnia porównywanie tablic obciążalności.

Po czwarte, dokładność większości obliczeń w dziedzinie instalacji i urządzeń elektrycznych jest w najlepszym razie rzędu  $\pm 5\%$ , a obliczenia i reprezentatywne wyniki pomiarów dotyczące nagrzewania przewodów, aparatów i maszyn mogą być obarczone błędem jeszcze większym. Zatem kilkuprocentowe (tzn. poniżej  $\pm 10\%$ ) rozbieżności między tablicami obciążalności o różnym pochodzeniu mogą być wynikiem akceptowalnego błędu obliczeń i drobnych różnic warunków pomiarów, a nie innej koncepcji podejścia.

Po piąte, przyjęte wartości obciążalności długotrwałej mogą być świadomie nieco obniżone, aby zapewnić większy niż dawniej zapas trwałości, większy resurs, na zużycie cieplne w następstwie zwarć i przeciążeń.

Po szóste, porównywać trzeba dawniejsze i obecne obciążalności przy tej samej temperaturze otoczenia  $25^{\circ}\text{C}$ , a nie dawne dla temperatury  $25^{\circ}\text{C}$ , a obecne dla  $30^{\circ}\text{C}$ , bo tak je w normie podano. Przed porównywaniem trzeba dokonać korekty temperaturowej, zgodnie z tablicą 52-D1 normy.

Jeżeli porównać wartości obciążalności długotrwałej podobnie układanych **przewodów instalacyjnych** według PN-IEC 60364-5-523:2001 oraz według PBUE z roku 1974 (tabl. 1), to widać w nowej normie obciążalność na ogół mniejszą o  $5\div 15\%$ , ale są też przypadki odwrotne (przy sposobie układania E). Nie są to zatem duże rozbieżności w wartościach dopuszczalnego prądu obciążenia. Trzeba jednak pamiętać, że przy przeciętnej zależności obciążalności przewodów instalacyjnych od przekroju:  $I_z \propto s^{0,625}$ , obniżenie w normie obciążalności o  **$10\div 15\%$**  oznacza zwiększenie zużycia miedzi o  **$15\div 23\%$** .

**Tablica 1.** Porównanie obciążalności długotrwałej  $I_z$  [A] przewodów miedzianych o izolacji polwinitowej przy temperaturze otoczenia 25°C według PN-IEC 60364-5-523 (wiersze górne antykwą) oraz *według PBUE (wiersze dolne pogrubionym italiem)*

Ułożenie	A1		C		E	
Liczba żył obciążonych prądem	2	3	2	3	2	3
Przekrój [mm <sup>2</sup> ]	Obciążalność długotrwała przewodów [A] według PN-IEC 60364-5-523					
	<i>Obciążalność długotrwała przewodów [A] według PBUE</i>					
1,5	16,5 <i>17</i>	14,5 <i>15</i>	21 <i>25</i>	18,5 <i>22</i>	23 <i>22</i>	19,5 <i>19</i>
2,5	21 <i>24</i>	19 <i>21</i>	29 <i>34</i>	25 <i>30</i>	32 <i>30</i>	27 <i>27</i>
4	28 <i>31</i>	25 <i>28</i>	38 <i>45</i>	34 <i>40</i>	42 <i>40</i>	36 <i>33</i>
6	36 <i>40</i>	33 <i>36</i>	49 <i>58</i>	43 <i>51</i>	54 <i>51</i>	46 <i>46</i>
10	49 <i>55</i>	45 <i>49</i>	67 <i>80</i>	60 <i>70</i>	74 <i>70</i>	64 <i>62</i>
16	65 <i>74</i>	59 <i>66</i>	90 <i>107</i>	81 <i>95</i>	100 <i>95</i>	85 <i>84</i>
25	85 <i>98</i>	77 <i>87</i>	119 <i>139</i>	102 <i>123</i>	126 <i>123</i>	107 <i>110</i>
35	105 <i>120</i>	94 <i>107</i>	146 <i>174</i>	126 <i>154</i>	157 <i>154</i>	134 <i>136</i>
50	126 <i>150</i>	114 <i>134</i>	178 <i>217</i>	153 <i>192</i>	191 <i>192</i>	162 <i>170</i>
<i>PBUE, tabl. 5</i>	<i>Kolumny 7, 8</i>		<i>Kolumny 11, 12</i>		<i>Kolumny 16, 17</i>	

Bardziej powinny niepokoić wartości obciążalności **kabli ułożonych bezpośrednio w ziemi**. Rzut oka na tablicę 2 dowodzi, że na przykład do obliczeniowego prądu szczytowego 250 A wystarczy według PBUE kabel **YKY 4×70 mm<sup>2</sup>** i wystarczy **YKY 4×95 mm<sup>2</sup>** według normy niemieckiej VDE i według normy francuskiej NF C 15-100. Natomiast według PN-IEC 60364-5-523:2001 potrzebny jest kabel **YKY 4×150 mm<sup>2</sup>** temu, kto wie i potrafi obciążalność przeliczyć na konduktywność cieplną polskich gruntów i wyjdzie **YKY 4×240 mm<sup>2</sup>** temu, kto bezgranicznie zaufa głupawemu tłumaczeniu drugiego akapitu punktu 523.3.1 normy, że korekta obciążalności według tablicy 52-D3 dotyczy tylko gruntu o rezystywności cieplnej **większej** niż 2,5 K·m/W (powinno być: **innej** niż 2,5 K·m/W).

Tablica 2. Obciążalność długotrwała ułożonych w ziemi kabli YKY o trzech obciążonych żyłach

Przekrój żyły	Obciążalność długotrwała [A] według różnych przepisów i norm				
	PBUE zeszyt 10	VDE 0298 Teil 2:1979	NF C 15-100:1991	PN-IEC 60364-5-523:2001	
				w gruncie 1,0 K·m/W	w gruncie 2,5 K·m/W
mm <sup>2</sup>	A	A	A	A	A
1,5	28	26	26	21	18
2,5	37	34	34	28	24
4	50	44	44	37	31
6	61	56	56	46	39
10	82	75	74	61	52
16	110	98	96	79	67
25	145	128	123	101	86
35	175	157	147	122	103
50	210	185	174	144	122
<b><u>70</u></b>	<b><u>260</u></b>	218	216	178	151
<b><u>95</u></b>	305	<b><u>275</u></b>	<b><u>256</u></b>	211	179
120	355	313	290	240	203
<b><u>150</u></b>	405	353	328	<b><u>271</u></b>	230
185	455	399	367	304	258
<b><u>240</u></b>	535	464	424	350	<b><u>297</u></b>
300	605	524	480	396	336

Jeżeli z uznanych reguł technicznych wynika konieczność dwu- bądź trzykrotnego zwiększenia przekrojów kabli w porównaniu z wymaganiami poprzednich przepisów, to znaczy, że pod ziemią już nie ma kabli dawniej ułożonych, dobranych według starszych przepisów; wszystkie dawno się popaliły.

## Pytanie 2

Problem zabezpieczenia przeciążeniowego przewodów według aktualnie obowiązujących norm jest zachowany, gdy stosunek obciążalności przewodu  $I_z$  do prądu znamionowego wkładki topikowej  $I_{nF}$  wynosi  $I_z/I_{nF} \geq 1,1$ . Według wcześniej obowiązującej normy (PN-57/E-05022 *Urządzenia elektroenergetyczne. Zabezpieczenia nadmiarowoprądowe przewodów w urządzeniach odbiorczych*) pełne zabezpieczenie przeciążeniowe przewidywała grupa 5 przewodów, co dawało stosunek  $I_z/I_{nF} > 1,7$ . Dlaczego takie zmiany w normalizacji międzynarodowej?

## Odpowiedź

Nie są to zmiany w normalizacji międzynarodowej, bo obecne arkusze 43 i 473 są pierwszym opracowaniem tej problematyki przez komitet IEC. Ich pierwowzorem jest wcześniejsza wersja normy francuskiej NFC 15 100. Operowanie stosunkiem  $I_z/I_{nF}$  nie jest przejrzyste, bo z prądem znamionowym wkładek topikowych zmienia się stosunek  $I_2/I_{nF}$  (górnego prądu probierczego wkładki  $I_2$  do jej prądu znamionowego  $I_{nF}$ ). Porównując podobne uproszczone zasady zabezpieczania przewodów od przeciążeń wprowadza się dwa inne wskaźniki:

- **Stożenie wyzyskania przewodu** (niem. *Nutzungsgrad*) rozumiany jako stosunek największego prądu, jaki można w nim dopuścić długotrwale (prądu znamionowego ciągłego urządzenia zabezpieczającego  $I_n$ ) do obciążalności długotrwałej przewodu  $I_z$

$$n = \frac{I_n}{I_z} \leq 1,00$$

- **Stożenie zabezpieczenia** (niem. *Schutzgrad*), czyli stosunek górnego prądu probierczego urządzenia zabezpieczającego  $I_2$  do obciążalności długotrwałej przewodu  $I_z$

$$S = \frac{I_2}{I_z} \leq 1,45$$

Tablica 3. Stożenie zabezpieczenia przewodów wymagany przez normę PN-57/E-05022 z roku 1957

Prąd znamionowy bezpiecznika	Stożenie zabezpieczenia dla przewodów grupy			Prąd znamionowy bezpiecznika	Stożenie zabezpieczenia dla przewodów grupy		
	1	3	5		1	3	5
A	–	–	–	A	–	–	–
6	1,42	1,90	0,95	160	1,45	2,21	1,01
10	1,46	2,11	1,00	200	1,45	2,21	1,01
15	1,58	2,38	1,06	225	1,45	2,20	1,01
16	1,60	2,34	1,05	250	1,45	2,20	1,01
20	1,33	2,00	0,89	260	1,45	2,20	1,01
25	1,33	2,00	0,91	300	1,45	2,20	1,01
32	1,42	2,13	1,00	315	1,45	2,20	1,01
35	1,44	2,15	1,00	350	1,45	2,20	1,01
40	1,45	2,21	1,00	400	1,45	2,21	1,01
50	1,45	2,16	1,00	430	1,45	2,21	1,01
60	1,45	2,18	1,00	500	1,45	2,20	1,01
63	1,44	2,19	1,01	600	1,45	2,21	1,01
80	1,45	2,21	1,01	630	1,45	2,21	1,01
100	1,45	2,19	1,01	800	1,45	2,21	1,01
125	1,45	2,20	1,01	1000	1,45	2,21	1,01

Przytoczone wartości graniczne  $n = 1,00$  oraz  $S = 1,45$  są uzgodnionym międzynarodowo kompromisem między dążeniem do zapewnienia jak najlepszego wyzyskania przewodu i zarazem skutecznego jego zabezpieczenia od przeciążeń. Procedura przyjęta przez IEC nie uwzględnia rzeczywistej charakterystyki przeciążeniowej przewodu, a zwłaszcza jego cieplnej stałej czasowej, a ogranicza się do przybliżonego sprawdzenia wzajemnego usytuowania asymptot obu charakterystyk czasowo-prądowych ( $t-I$ ): charakterystyki przeciążalności przewodu i charakterystyki działania zabezpieczenia nadprądowego.

Zasady zabezpieczania przewodów zawarte w normie PN-IEC 60364 dotyczą tylko instalacji w budynkach. Bywają one przedstawiane jako podejście nowatorskie. Warto więc przypomnieć, że podobne wymagania formułowały najdawniejsze przepisy elektrotechniczne z lat 20. XX wieku. Polska Norma PN/E-10 z roku 1928 (wznawiana w latach 1932 i 1946), wzorując się na wcześniejszych przepisach VDE, dla bezpieczników o prądzie znamionowym  $I_{nF} \geq 20$  A wymagała *stopnia zabezpieczenia*  $S = 1,28$ .

Wystarczy też sięgnąć do późniejszej Polskiej Normy PN-57/E-05022 i obliczyć wymagany przez nią *stopień zabezpieczenia* przewodów, by mieć porównywalną miarę (tabl. 3). Jak widać spełnienie dzisiejszego wymagania ze stopniem zabezpieczenia  $S = 1,45$ , to nic innego, jak koordynacja bezpiecznika z przewodem zaliczonym do grupy 1 w poprzedniej normie PN-57/E-05022. Drobne rozbieżności dla bezpieczników 15÷25 A wynikają stąd, że z biegiem lat zmieniały się wymagania co do krotności górnego prądu probierczego tych bezpieczników.

Grupa 1 ( $S = 1,45$ ) obejmowała według wspomnianej normy i przepisów PBUE przewody ułożone na stałe, użytkowane w warunkach nieprzemysłowych, a także nieliczne inne przypadki (zwłaszcza obwody oświetlenia awaryjnego). Norma IEC po prostu rozszerza koncepcję zabezpieczenia przewodów według „grupy 1” na wszelkie przewody w budynkach i tylko na tym polega jej „nowatorstwo”. Warunek  $1,45 \cdot I_z \geq I_2$  polscy elektrycy stosowali od roku 1957 (warunek  $1,28 \cdot I_z \geq I_2$  od roku 1928 wg PN/E, a wcześniej wg VDE), chociaż wielu o tym nie wiedziało, jak molierowski mieszczanin chcący zostać szlachcicem *nie miał żywego pojęcia o tym, że już przeszło 40 lat mówi prozą*.

Grupa 5 ( $S = 1,00$ ) rzeczywiście obejmowała przewody użytkowane w miejscach niebezpiecznych pod względem wybuchowym, ale tylko obwody, które nie miały na początku łącznika samoczynnego (wyłącznika lub stycznika z przekaźnikiem przeciążeniowym). W takich obwodach za bezpiecznikiem  $I_{nF} = 100$  A wymagany był przewód o obciążalności  $I_z = 159$  A. Jeżeli jednak w obwodzie było zabezpieczenie przeciążeniowe w postaci wyłącznika lub stycznika z przekaźnikiem przeciążeniowym, to zgodnie z p. 3.2.5 normy PN-57/E-05022 i tak obowiązywał dobór obciążalności przewodu ostrzejszy niż obecnie:

$$0,8 \cdot I_z \geq I_2 \quad \text{czyli} \quad I_z \geq 1,25 \cdot I_2$$

niż obecnie:

$$1,45 \cdot I_z \geq I_2, \quad \text{czyli} \quad I_z \geq \frac{I_2}{1,45} = 0,69 \cdot I_2$$

W rezultacie za łącznikiem samoczynnym z wyzwalaczem lub przekaźnikiem przeciążeniowym o prądzie nastawczym  $I_{nast} = 100$  A wymagany był przewód o obciążalności długotrwałej  $I_z = 1,25 \cdot 1,2 \cdot 100 = 150$  A (obecnie wystarcza przewód  $I_z = 83$  A). Zatem dawało to oszczędności – w porównaniu z zabezpieczeniem samym bezpiecznikiem – tylko w obwodach silnikowych, w których ze względu na prądy rozruchowe bezpiecznik miał prąd znamionowy znacznie większy niż 100 A.

Z tych porównań wynika, że dawniejsze przepisy gwarantowały wyższą skuteczność zabezpieczeń przed cieplnymi skutkami prądów przeciążeniowych w strefach zagrożonych wybuchem, ale pełny osąd wymagałby porównania dawnego i obecnego stan wszelkich norm i przepisów dotyczących instalacji i urządzeń elektrycznych w miejscach niebezpiecznych pod względem wybuchowym.

### Pytanie 3

Podręczniki i artykuły przy omawianiu tematu doboru przewodów podają zależności matematyczne, według których można dla danego bezpiecznika bądź wyłącznika dobrać przekrój przewodów. Do tych wzorów wchodzi prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego, który dla bezpieczników nie każdemu elektrykowi (np. monterowi) jest dostępny, stąd przekroje przewodów do bezpieczników są dobierane dość dowolnie. Czy nie byłoby celowym, chociaż dla podstawowych bezpieczników określić w tabelach minimalny przekrój przewodu?

### Odpowiedź

Prąd zadziałania wkładki topikowej  $I_2$ , czyli górny prąd probierczy, dla wkładek gG o prądzie znamionowym  $I_{nF} \geq 16$  A wynosi  $I_2 = 1,6 \cdot I_{nF}$ , czyli nie jest to skomplikowane, ale znać trzeba również wartości prądu zadziałania  $I_2$  dla wkładek o mniejszym prądzie znamionowym i dla innych aparatów: wyłączników nadprądowych instalacyjnych oraz przekaźników przeciążeniowych styczników i wyłączników sieciowych bądź stacyjnych. Zatem zbiorcze zestawienia wymagań co do obciążalności i zarazem zabezpieczenia przewodu są bardzo pożądane. Również dawniej nie było to zestawione w jednej tabeli w normach, lecz w poradnikach projektowania.

W normalizacji międzynarodowej jest tendencja do obniżenia w przyszłości prądu zadziałania bezpieczników, przynajmniej wkładek o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 63 A, do poziomu  $I_2 = 1,45 \cdot I_{nF}$ . Wymaga to obniżenia również dolnego prądu probierczego wkładek, bo nie da się radykalnie zmniejszyć szerokości charakterystyki pasmowej  $t-I$ . Pierwszy krok już uczyniono. W normie PN-EN 60269-1:2001 *Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Wymagania ogólne*, w tabelicy 2 dla wkładek gG i gM o prądzie znamionowym  $I_{nF} \geq 16$  A można znaleźć wymagany prąd probierczy dolny:  $I_1 = 1,25 \cdot I_{nF}$ , a nie  $1,3 \cdot I_{nF}$ , jak dawniej.

Jeżeli uda się ten zamysł przeprowadzić, to znany warunek:

$$1,45 \cdot I_z \geq I_2, \quad \text{czyli} \quad I_z \geq \frac{I_2}{1,45}$$

stanie się bezprzedmiotowy w obwodach zabezpieczonych nadmiarowymi wyłącznikami instalacyjnymi lub bezpiecznikami o tym samym prądzie znamionowym, bo wystarczy spełnienie prostszego warunku:

$$I_z \geq I_n \geq I_B$$

Niezależnie od tego, trzeba wyraźnie podkreślić, że teksty norm i przepisów powinny służyć wyznaczaniu standardów i uznanych reguł postępowania, rozsądzaniu sporów. Nie są one przeznaczone do roli podręcznika do nauki zawodu bądź poradnika do codziennego użytku. Temu powinny służyć – napisane innym językiem, językiem zrozumiałym i komunikatywnym – komentarze do norm i przepisów oraz rzetelnie opracowane podręczniki i poradniki. Jakie są te polskie komentarze i liczne poradniki projektowania, każdy widzi.

Na uczelniach technicznych coraz mniej jest wykładowców zdolnych przekazywać rzetelną wiedzę z zakresu instalacji oraz urządzeń elektrycznych i uczyć zasad ich projektowania. Ta dziedzina jest *démodée*. Niedouczeni absolwenci po zderzeniu z praktyką biegną do księgarni, gdzie czekają na nich trujące chwasty zasiane przez płodnych nieuków. Sprawy nie załatwia projektowanie wspomagane komputerowo programami firmowymi obliczonymi na sprzedaż własnych produktów, a nie na nauczanie czegokolwiek poza małą zrzeczością przy klawiaturze.

## Pytanie 4

Aktualna norma PN-IEC-60364-5-523 zawiera tablice obciążalności przewodów umocowanych na ścianach drewnianych bądź podobnych, a brak jest tablic obciążalności przewodów układanych na ścianach z betonu lub z cegły. Czy przekroje przewodów układanych na takich ścianach mogą być mniejsze?

## Odpowiedź

Przy ułożeniu przewodu po wierzchu, bezpośrednio na ścianie, jej konduktywność cieplna ma niewielki wpływ na nagrzewanie przewodu. Ten wpływ jest pomijalny przy ułożeniu przewodu na uchwytych odległościowych.

Nie ma na ten temat informacji ani w arkuszu 523, ani w dostępnych normach zagranicznych. Nie ma więc podstaw do korygowania obciążalności z tego tytułu. W tej sprawie w normie IEC-60364-5-523 postąpiono, jak w wielu podobnych – jako reprezentatywne przyjęto warunki bardziej niekorzystne.

## Pytanie 5

Wcześniej selektywne działanie bezpieczników osiągnano przy *Faustregel*, że bezpieczniki o działaniu np. szybkim w kolejnych rozdzielnicach powinny się różnić o dwa stopnie w ciągu prądów znamionowych. Aktualnie takiej metody nie można stosować, ponieważ energetyka do określenia poboru mocy szczytowej przyjmuje wartość prądu znamionowego bezpiecznika przed licznikiem. Przy stosowaniu silników lub spawarek transformatorowych, ze względu na rozruch, bezpieczniki te mają duży prąd znamionowy i odbiorca ma przypisaną dużą moc przyłączeniową, gdy tymczasem pobiera on moc znacznie mniejszą. Jak stosować w takim przypadku zasadę selektywności działania bezpieczników?

## Odpowiedź

Wspomniana *Faustregel*<sup>1</sup> nadal obowiązuje. Polska energetyka nie ma mocy unieważniania praw fizyki i prawideł techniki. Normy na bezpieczniki gG tak określają wymagane wartości całki Joule'a przedłukowej oraz całki wyłączenia wkładek o prądzie znamionowym  $I_{nF} \geq 16$  A, by wybiorczość „na styk” zapewniały wkładki różniące się prądem znamionowym o dwa stopnie w ciągu wartości znormalizowanych wartości (stosunek prądów znamionowych 1:1,6). Na przykład (tabl. 4) wkładka topikowa gG 16 A ma całkę Joule'a wyłączenia  $I^2 t_w = 1210$  A<sup>2</sup>s, którą przetrzymuje wkładka gG 25 A o całce Joule'a przetrzymywania  $I^2 t_p = 1210$  A<sup>2</sup>s. W tejże tablicy 4 można sprawdzić, że podobna prawidłowość zachodzi dla każdej pary wkładek o prądach znamionowych różniących się o dwa stopnie. W tablicy pomieszczono tylko wkładki do 100 A, ale w normie są podane wartości również dla prądów większych, nawet przekraczających 1000 A. Ta reguła sprawdza się również wtedy, kiedy na kolejnych stopniach zabezpieczeń są wkładki o działaniu szybkim gF, nieobjęte normalizacją międzynarodową ani europejską.

---

<sup>1</sup> Niemieckie określenia *Faustregel* albo *Faustformel*, a także *Daumenregel* (anglicyzm od *rule of thumb*), oznaczają metodę szybkiego, pamięciowego uzyskiwania przybliżonego wyniku bez dokonywania dokładnych obliczeń.

Tablica 4. Prądy probiercze i wartości graniczne  $I^2t$  wkładek bezpiecznikowych gG i gM w próbie wybiórczości według PN-HD 60269-2-1:2005

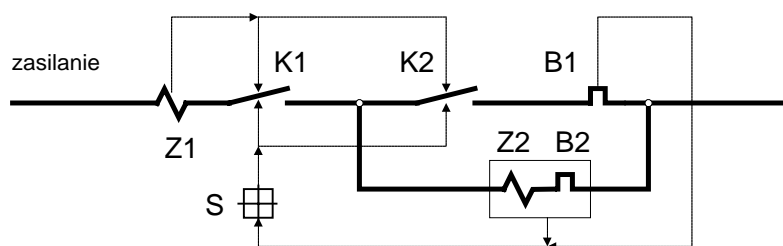
Prąd znamionowy A	Minimalne $I^2t$ przedłukowe		Maksymalne $I^2t$ wyłączenia	
	Prąd spodziewany kA	$I^2t_p$ A <sup>2</sup> s	Prąd spodziewany kA	$I^2t_w$ A <sup>2</sup> s
16	0,27	291	0,55	<b>1210</b>
20	0,40	640	0,79	2500
25	0,55	<b>1210</b>	1,00	4000
32	0,79	2500	1,20	5750
40	1,00	4000	1,50	9000
50	1,20	5750	1,85	13700
63	1,50	9000	2,30	21200
80	1,85	13700	3,00	36000
100	2,30	21200	4,00	64000

W wielu przypadkach bywa, że bezpieczniki przedlicznikowe powinny mieć prąd znamionowy znacznie większy niż wynikający z obliczeniowego prądu szczytowego obwodu, a to z dwóch powodów:

- ze względu na wybiórczość z zabezpieczeniami w instalacji zalicznikowej,
- ze względu na przetrzymywanie dużych prądów rozruchowych silników i/lub prądów załączeniowych innych urządzeń bądź udarów prądowych odbiorników niespokojnych.

Z zarysowanego w pytaniu błędnego koła są proste wyjścia od dawna znane tam, gdzie króluje rozsądek. Oprócz albo zamiast głównych bezpieczników przedlicznikowych, zabezpieczających instalację odbiorczą, wprowadza się ogranicznik mocy pobieranej, którego prąd znamionowy stanowi podstawę określania mocy przyłączeniowej:

- w rozwiązaniu elegantszym i droższym – selektywny wyłącznik ograniczający S 700 zamiast bezpieczników,
- w rozwiązaniu tańszym – rozłącznik samoczynny z wyzwalaczem przeciążeniowym (bez wyzwalacza zwarciovego!) oprócz bezpieczników o prądzie znamionowym takim, jaki wynika z wymagań wybiórczości.



Rys. 1. Selektywny odskokowy wyłącznik instalacyjny S700

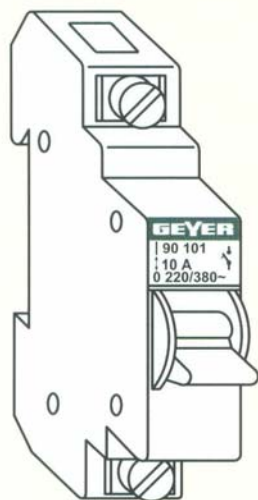
Selektywny wyłącznik odskokowy S700 (rys. 1) jest przeznaczony do instalowania jako główne zabezpieczenie poprzedzające rozdzielnicę odbiorczą. Zdolność wyłączenia na poziomie 25 kA pozwala obyć się bez bezpieczników. Jeśli przy zwarciu za kolejnym wyłącznikiem instalacyjnym w rozdzielnicy odbiorczej prąd zwarciovym przekracza jego zdolność wyłączenia, to powinien go wspomóc wyłącznik przedlicznikowy i jego zadziałanie jest wtedy jak najbardziej pożądane. Będzie się ono zdarzało i przy mniejszym prądzie zwarciovym, ale wystarczającym do pobudzenia jego



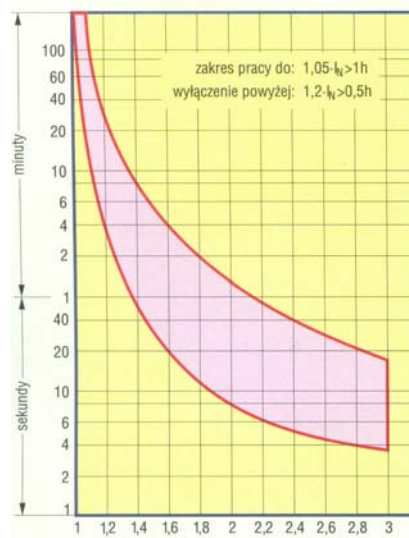
wyzwalacza zwarciovego **Z1** (rys. 1). W obu przypadkach, przy dużym prądzie zwarciovym, w wyniku elektrodynamicznego odrzutu styków i przy współdziałaniu wyzwalacza **Z1** otwierają się zestyki **K1** i **K2** wtrącając do obwodu duże napięcie łuku dwóch szybko wydłużających się kolumn łukowych. Następuje ograniczenie prądu zwarciovego i dzięki kaskadowemu działaniu dwóch wyłączników przepływ prądu zostaje szybko przerwany, nawet z ograniczeniem prądu. Zestyki wyłącznika S700 zamykają się, bo nie została zwolniona zapadka zamka **S**. Gdyby wyłącznik w obwodzie odbiorczym zawiódł albo zwarcie nastąpiło przed nim, to przedłużający się przepływ prądu w gałęzi równoległej z wyzwalaczem termobimetalowym **B2** i elektromagnesowym **Z2** wywołałby ich zadziałanie i w następstwie – zwolnienie zapadki zamka i ostateczne otwarcie wyłącznika S700. Natomiast w razie przeciążenia w obwodzie zostaje pobudzony wyzwalacz termobimetalowy **B1** i otwiera wyłącznik zwalniając zapadkę zamka.

Są dodatkowe powody, dla których wyłącznik S700 jest doskonałym zabezpieczeniem głównym instalacji. Może pełnić rolę ogranicznika mocy pobieranej mając bardzo wąską pasmową charakterystykę czasowo-prądową członu przeciążeniowego (typu E, niem. *Exact-Charakteristik*). Prąd niezadziałania wynosi  $I_1 = 1,05 \cdot I_n$ , a prąd zadziałania  $I_2 = 1,20 \cdot I_n$ , podczas gdy dla zwykłych wyłączników nadprądowych instalacyjnych prądy te wynoszą odpowiednio:  $I_1 = 1,13 \cdot I_n$ ,  $I_2 = 1,45 \cdot I_n$ . Zaplombowany wyłącznik tak się instaluje, że jego **dźwignia napędowa jest dostępna dla odbiorcy**, który w razie samoczynnego otwarcia wyłącznika wskutek przekroczenia mocy przyłączeniowej lub z innych powodów, może go ponownie zamknąć, bez kosztownego wzywania służb energetycznych. Ponadto wyłączniki te spełniają warunki „izolacyjnego odłączania” instalacji, bo mają **wskaźnik położenia sprzężony mechanicznie ze stykami ruchomymi**, a nie z dźwignią napędową.

a)



b)



Rys. 2. Ogranicznik mocy pobieranej: a) wygląd ogranicznika jednobiegunowego; b) charakterystyka czasowo-prądowa ogranicznika

Ogranicznik mocy pobieranej wygląda, jak nadprądowy wyłącznik instalacyjny pozbawiony wyzwalacza zwarciovego i wyposażony w wyzwalacz przeciążeniowy o bardziej precyzyjnej, węższej pasmowej charakterystyce czasowo-prądowej. Ma tę charakterystykę typu E podobnie, jak wyłącznik S700. Prądy znamionowe  $I_n$  ograniczniki mocy mają identyczne, jak nadprądowe wyłączniki instalacyjne.

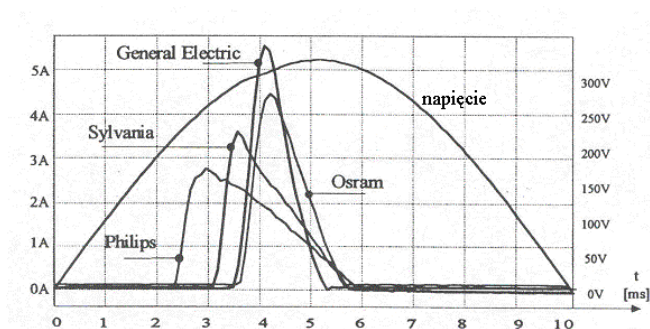
Jednobiegunowy ogranicznik mocy kosztuje ok. 60 zł, a jednobiegunowy wyłącznik S700 parokrotnie więcej.

## Pytanie 6

Kłopotliwy staje się problem obciążenia przewodu neutralnego N przy odbiornikach nieliniowych. Dotychczas mówiło się, że przewód neutralny w układzie 3-fazowym jest tylko nieznacznie obciążony, a obciążenie to jest wynikiem niesymetrii obciążenia. Teraz coraz częściej mówi się, że przewód ten jest tak samo obciążony jak przewód fazowy. Skąd ta nagła zmiana?

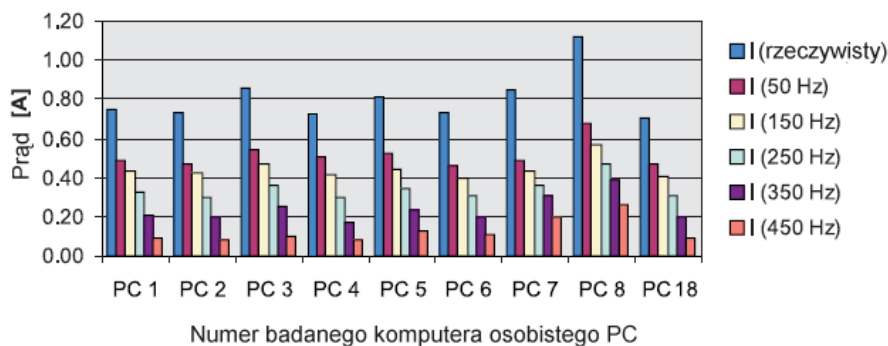
## Odpowiedź

Ta zmiana nie jest nagła, bo problem stopniowo narastał przez ostatnie 20÷30 lat, w różnym tempie w różnych krajach, w miarę upowszechniania przekształtników i sterowników energoelektronicznych. Najpierw nasilał się w instalacjach i sieciach przemysłowych, a następnie pojawił się w innych instalacjach, również w instalacjach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Stopniowo narastał problem, który Niemcy nazywali *Neue Last in alten Netzen* (nowe obciążenie w starych sieciach).



Rys. 3. Przebieg w ciągu jednego półokresu prądu pobieranego przez grupę 10 żarówek kompaktowych 15 W pochodzących z różnych wytwórni

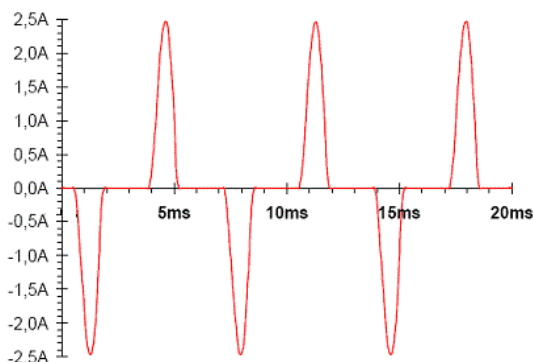
Sprzęt audiowizualny i inne urządzenia elektroniczne domowe i profesjonalne, w tym biurowe i medyczne, mają teraz zasilacze impulsowe, a nie transformatorowe, jak dawniej. Zamiast prądu o przebiegu zbliżonym do sinusoidy napięcia, w czasie trwania jednej półfali napięcia pobierają pik prądowy trwający zaledwie 3÷4 ms (rys. 3) doładowujący kondensator wygładzający (filtr prądu stałego). Rozkład widmowy takiego przebiegu prądu ujawnia dużą zawartość przede wszystkim 3. harmonicznej (rys. 4). Taki prąd pobierają w naszych domach chociażby odbiorniki radiowe i telewizyjne, odtwarzacze, komputery i świetlówki ze statecznikiem elektronicznym.



Rys. 4. Widmo prądu pobieranego przez komputer osobisty z monitorem  
Widoczny udział harmonicznych potrójnych rzędu 3. (150 Hz) oraz 9. (450 Hz)

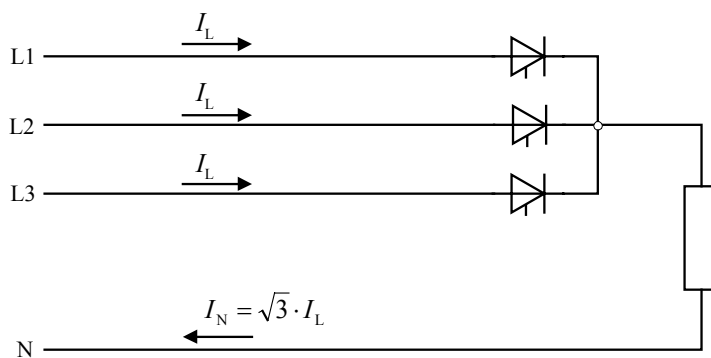
W przewodzie neutralnym instalacji symetrycznie obciążonej sumują się (rys. 5) płynące w trzech przewodach fazowych prądy harmonicznych nieparzystych podzielnych przez trzy (ang. *tri-*

plen), tzn. rzędu 3, 9, 15, 21 itd. Na to nakładają się prądy harmonicznej podstawowej i wyższych wynikające z asymetrii obciążenia. Rys. 3 wskazuje, że pozornie identyczne odbiorniki, pochodzące z różnych wytwórni, mogą wykazywać różny kształt krzywej prądu i różną zawartość harmonicznych potrójnych (*triplen*).



Rys. 5. Przebieg prądu w przewodzie neutralnym obwodu trójfazowego obciążonego symetrycznie świetłówkami ze statecznikiem elektronicznym

Przez wiele lat pewien krajowy prorok głośił i pisał, że w podobnych sytuacjach prąd w przewodzie neutralnym wynosi dokładnie  $I_N = \sqrt{3} \cdot I_L$ . Referował to między innymi podczas trzydniowej konferencji „Bezpieczne urządzenia elektroniczne” odbywającej się 24÷27 listopada 1998 r w Instytucie Elektrotechniki w Międzyzlesiu. Zapytałem publicznie, skąd się wziął ten  $\sqrt{3}$ . Po dłuższym milczeniu referent wykrztusił: *zapomniałem*. Zapomniał, skąd się wzięło jego sztandarowe hasło. Co za pech! Następnego dnia, po zreferowaniu innych rewelacji, wrócił do mego pytania. Oznajmił z dumą, że przypomniał sobie, skąd się wziął ten pierwiastek: z *opracowania Instytutu Elektrotechniki* mianowicie. Zamilkł, bo nie zaryzykował rozwijania tematu; wstał umówiony młodzian z IEl i potwierdził, że istotnie z opracowania IEl on pochodzi. Nikt niczego nie objaśnił, nikt niczego nie narysował, nikt niczego nie obliczył. Zróbmy to zatem po 10 latach.



Rys. 6. Wartości skuteczne prądów w obwodzie trójfazowego trójpulsowego prostownika sterowanego lub niesterowanego:  $I_L$  w przewodach fazowych oraz  $I_N$  w przewodzie neutralnym

Ten  $\sqrt{3}$  pojawił się, kiedy kilkadziesiąt lat temu ktoś po raz pierwszy narysował układ symetryczny sterownika bądź przekształtnika zasilanego trójfazowo. Jeżeli w każdej z trzech faz przedziały czasu prądowe występują na przemian i w każdej z faz płynie prąd o tej samej wartości skutecznej  $I_L$ , to w przewodzie neutralnym sumują się skutki cieplne (całki Joule'a) impulsów prądowych pochodzących z poszczególnych faz. Dla przyjętego powtarzalnego okresu zmienności prądu  $T$  można napisać wyrażenie na całkowitą energię (skutek cieplny) prądu w przewodzie neutralnym:

$$I_N^2 \cdot T = 3 \cdot I_L^2 \cdot T,$$

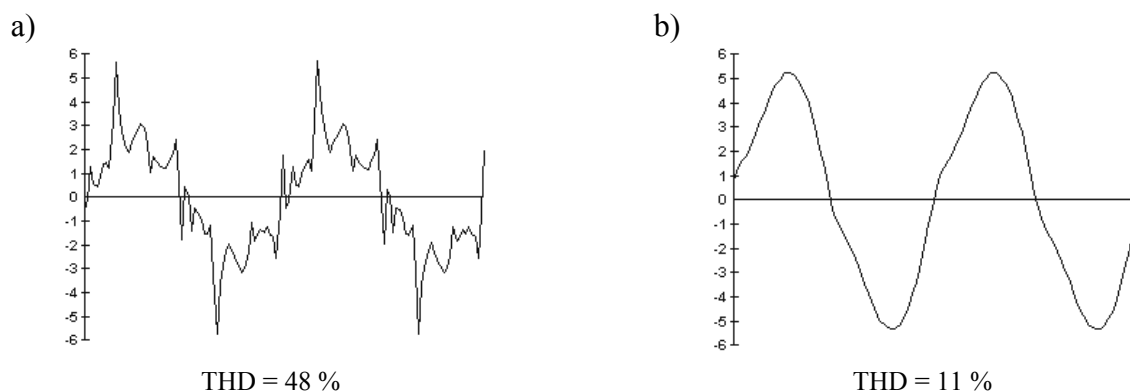
z czego wynika, że wartość skuteczna prądu w przewodzie neutralnym wynosi:

$$I_N = \sqrt{3} \cdot I_L$$

Jest tak w tym i w podobnych układach bez względu na kształt przebiegu prądu, bez względu na widmo harmoniczných. Jest tak również przy przebiegach idealnie sinusoidalnych, kiedy trójfazowy symetryczny sterownik pełnofalowy przepuszcza na przemian z poszczególnych faz prąd przez czas równy całkowitej wielokrotności okresu zmienności prądu. Zatem w przewodzie neutralnym może płynąć prąd  $I_N = \sqrt{3} \cdot I_L$  również w obwodzie pozbawionym jakichkolwiek harmoniczných. Aby dojść do takich konstatacji, wystarczy wiedzieć, co to jest wartość skuteczna prądu (średnia kwadratowa) i jak się ją oblicza.

W przewodzie neutralnym obwodu trójfazowego obciążonego symetrycznie odbiornikami nieliniowymi płynie prąd, którego wartość skuteczna może być bardzo różna. Można spotkać wartość względną prądu w przewodzie neutralnym w stosunku do prądu w przewodzie fazowym  $\nu = I_N / I_L = 0,2 \div 2,0$ . Aby ją oszacować, trzeba znać widmo pobieranego prądu. Tu zresztą czyha pułapka, bo to widmo zależy od stopnia odkształcenia napięcia zasilającego i widmo w rzeczywistych warunkach zasilania może wyraźnie odbiegać od danych dostarczonych przez wytwórcę odbiornika dla warunków zasilania napięciem sinusoidalnym.

Stosowane w Polsce co najmniej od pół wieku świetlówki liniowe z dławikiem też były i są odbiornikiem nieliniowym. Wyładowanie w gazie to czysta rezystancja, ale silnie nieliniowa; nieliniowy był też dławik i taka jego charakterystyka była pożądana. Dziesiątki lat temu pisano w Przeglądzie Elektrotechnicznym o obciążeniu *przewodu zerowego* w przemysłowych trójfazowych instalacjach oświetleniowych. Jednak stopień odkształcenia prądu był wtedy nieporównanie mniejszy i prąd w *przewodzie zerowym* również.



**Rys. 7.** Przebieg prądu pobieranego przez lampę metalohalogenkową 400 W:  
a) oprawa kompletna; b) po usunięciu z oprawy kondensatora kompensacyjnego

Projektant, który poprawnie ustali wartość prądu w przewodzie neutralnym i stwierdzi, że jest ona bardzo duża, np.  $\nu = I_N / I_L > 1$ , nie musi jej akceptować, bo są różne sposoby jej ograniczania (rys. 7). Musi sobie wtedy postawić pytanie brzmiące, jak tytuł referatu wprowadzającego w tematykę międzynarodowego seminarium w Santiago de Chile 26-28 kwietnia 2000 r.: *Double neutrals, the answer to triple harmonics?* W wolnym tłumaczeniu znaczy to: Czy podwójne przewody neutralne są właściwą odpowiedzią na potrójne harmoniczne?

## Pytanie 7

Dość często występują przypadki upalenia się przewodu neutralnego w rozdzielnicach głównych budynku, co prowadzi do asymetrii napięciowej oraz niszczenia żarówek i innych urządzeń odbiorczych. Skąd takie upalenie się przewodu neutralnego, skoro jest on mniej obciążony od fazowych?

## Odpowiedź

Takie uszkodzenia zdarzały się i dawniej, kiedy w przewodzie neutralnym płynął niewielki prąd asymetrii obciążenia obwodu trójfazowego. Jeżeli nawet upalenia przewodu neutralnego nie zdarzały się częściej niż upalenia przewodów fazowych, to ze względu na konsekwencje asymetrii napięć fazowych były głośniejsze, szerzej znane. Nie pamiętam żadnego przypadku upalenia się przewodu fazowego w instalacji, który byłby przedmiotem dochodzenia i/lub sprawy sądowej, ale znam wiele takich spraw w następstwie upalenia się przewodu neutralnego.

Przez 45 lat wkładałem studentom do głowy hierarchię ważności przewodów z punktu widzenia ich ciągłości, wymaganej staranności układania i wykonywania połączeń:

1. Przewód ochronny PE (PEN)
2. Przewód neutralny N
3. Przewody fazowe L

Wielu elektryków ma hierarchię odwrotną. Oczywiście w praktyce wykonawczej, bo głośno do tego się nie przyzna. Nie wzbudza w nich odruchowego szacunku przewod, który nie jest pod napięciem i w którym w zasadzie nie płynie prąd, a brak odruchu wynika z braku wiedzy o możliwych konsekwencjach naruszenia jego ciągłości. Jest tak nie tylko w Polsce. Takie przypadki niemieccy elektrycy rozgłaszają i piętnują (rys. 8 i 9), a polscy ukrywają, bo jak się o błędach nie pisze, to ich nie ma. Różnica między partaczem polskim a niemieckim jest tylko taka, że ten drugi nazywa się *Pfuser*.



Bild 1: Verteiler mit Neutraleiterklemme mit Flügelmuttern

Rys. 8. Rozdzielnica z nakrętkami skrzydełkowymi w zaciskach przewodu neutralnego

Wiele starszych instalacji i sieci ma przewód neutralny o przekroju obniżonym mniej więcej do połowy:  $s_N = 0,5s_L$ , co sprawia że jego obciążalność wynosi około  $I_N \approx 0,65 \cdot I_L$  (bo  $0,5^{0,625} \approx 0,65$ ). Takim przewodom neutralnym, nawet najstaranniej ułożonym i połączonym, grozi przecią-

żenie, kiedy występuje w nich prąd  $I_N > 0,65 \cdot I_L$ , o co łatwo przy zasilaniu odbiorników nieliniowych. A kiedy pojawia się w nich prąd większy niż w przewodach fazowych, to szybko dochodzi do pożaru rozdzielnicy albo trasy przewodowej, tym bardziej że w przewodach neutralnych starszych instalacji nie ma urządzeń do wykrywania przetężeń.



Bild 2: Auch nicht besser

Rys. 9. Też nie lepiej

### Pytanie 8

Spotyka się nadmierne nagrzewanie się przewodów neutralnych w rozdzielnicach o dużym poborze mocy, kiedy nadmierna temperatura staje się przyczyną zapalenia się izolacji, a dalej zwarcia i pożaru rozdzielni. Dlaczego taka sytuacja zaczyna się od przewodu neutralnego, a nie fazowego?

### Odpowiedź

Wyjaśnienia dotyczące przypadków, kiedy i dlaczego takie awarie zaczynają się od przewodu neutralnego są zawarte w odpowiedziach na dwa poprzednie pytania. Wspomniane w pytaniu awarie zaczynają się rozmaicie, raz od przewodu fazowego, a kiedy indziej od przewodu neutralnego, ale dopiero wtedy wzbudzają zdziwienie, budzą zainteresowanie i są nagłaśniane.

To trochę, jak w dziale miejskim gazety. Depeszę, że pies pogryzł człowieka wrzuca się do kosza; atrakcyjnym *newsem* jest dopiero doniesienie, że człowiek pogryzł psa.

*Edward Musiał*