

OBCIĄŻALNOŚĆ CIEPLNA PRZEWODÓW I KABLI

Podczas projektowania wszelkich urządzeń elektrycznych, w tym instalacji i sieci, jedną z podstawowych czynności jest dobór przewodów i kabli ze względu na obciążalność cieplną roboczą (długotrwałą i ewentualnie przejściową) oraz obciążalność zwarciovą. **Obciążalność zwarciovą**, wynikająca z warunków nagrzewania adiabatycznego żył przewodowych w krótkim czasie trwania zwarcia, daje się prosto obliczać i nie przysparza problemów kontrowersyjnych. Obciążalność robocza natomiast wiąże się z nieskończoną różnorodnością warunków nagrzewania polegających na wymianie ciepła z otoczeniem, zwłaszcza z różnorodnością warunków odprowadzania ciepła od przewodów i jest określana mniej dokładnie. Sprawę dodatkowo komplikuje fakt, iż ustanowiona dokładnie przed rokiem (30 kwietnia 2001 r.) nowa norma PN-IEC 60364-5-523 na **obciążalność długotrwałą** przewodów jest przetłumaczona tak niechluśnie, jak większość norm wychodzących spod ręki prof. Z. Flisowskiego. Zamiast porządkować, komplikuje i wkiła kwestie doboru obciążalności długotrwałej przewodów i kabli. **Obciążalnością przejściową** niskonapięciowych przewodów i kabli polskie normy w ogóle się nie zajmują.

1. Obliczeniowe temperatury i przyrosty temperatury

Obciążalność cieplna przewodów i związane z nią zasady zabezpieczania przewodów przed przeciążeniami i skutkami zwarć są związane z przyrostami temperatury dopuszczalnymi w określonych warunkach użytkowania, a te z kolei – z wartościami początkowej i końcowej temperatury charakteryzującymi proces nagrzewania przewodu. Rozróżnia się następujące wartości temperatury:

- **Obliczeniowa (umowna) temperatura otoczenia τ_o** , czyli najwyższa temperatura otoczenia występująca stale lub okresowo w normalnych warunkach użytkowania, również w trakcie budowy i uruchamiania urządzeń. Jej wartość uwzględnia warunki klimatu naturalnego, a więc zależy od strefy klimatycznej, i w razie potrzeby – dodatkowy przyrost temperatury z tytułu kryptoklimatu we wnętrzu pomieszczeń i/lub w obudowach urządzeń bądź w ciasnych przestrzeniach stropów podwieszanych albo szybów instalacyjnych. Wartości przyjmowane w Polsce w odniesieniu do przewodów są zestawione w tabl. 1. Jeśli występują okoliczności uzasadniające przyjęcie wyższej temperatury (np. pomieszczenie kotłowni, ciasne wnętrza rozdzielnic), należy to uczynić. W zasadzie nie dopuszcza się przyjmowania temperatury niższej, bo przemawiające za tym przesłanki są złudne. Gdyby przewody we wnętrzu komory chłodniczej dobrać do temperatury otoczenia równej temperaturze utrzymywanej w niej w normalnych warunkach użytkowania, np. -18°C , to nie dałoby się w ogóle przeprowadzić rozruchu urządzeń. Nowsze dokumenty normalizacyjne międzynarodowe (IEC 364-5-523:1999) i europejskie (HD 384.5.523) zawierają tablice obciążalności przewodów sporządzone przy założeniu temperatury we wnętrzu pomieszczeń $+30^{\circ}\text{C}$, bo dotyczą również krajów Europy Południowej. Nie jest to w żadnym razie wymaganie przepisowe, o czym świadczy zarówno treść punktu 532.2.2, jak i tablica 52-D1 podająca współczynniki poprawkowe dla innej temperatury otoczenia, również niższej niż 30°C . W Polsce, podobnie jak w Niemczech (DIN VDE 0298-4:1998-11) jako wartość podstawowa we wnętrzu obszernych pomieszczeń nadal wystarcza 25°C . Jest to wyraźnie napisane w normie IEC 60287-3-1 na życzenie strony polskiej (załącznik 1). Podwyższenie jej do poziomu 30°C obniżyłoby o 6 % obciążalność długotrwałą najbardziej rozpowszechnionych przewodów o izolacji

polwinitowej ($\tau_{dd} = 70^{\circ}\text{C}$). W normie PN-IEC 60364-5-523 należało wzorem DIN VDE podawać jako podstawową – obciążalność przewodów przy obliczeniowej temperaturze otoczenia 25°C . Obliczeniowa temperatura otoczenia 30°C mogłaby w uzasadnionych przypadkach dotyczyć przewodów układanych w ciasnych stropach podwieszanych i sztybach instalacyjnych.

Tablica 1. Obliczeniowa temperatura otoczenia τ_o

| Rodzaj przewodów i warunki ich ułożenia | τ_o [$^{\circ}\text{C}$] | |
|--|--|------------|
| Przewody w pomieszczeniach | +25 ¹⁾ | |
| Przewody izolowane w przestrzeniach zewnętrznych | nie narażone na bezpośrednie nasłonecznienie narażone na bezpośrednie nasłonecznienie | +25 +40 |
| Przewody gołe w przestrzeniach zewnętrznych w zależności od pory roku | +30 (+20) | |
| Kable w ziemi w zależności od pory roku | +20 (+15; +5) | |
| ¹⁾ Wartość wyższa, jeśli rzeczywiste warunki ułożenia przewodów to uzasadniają. | | |

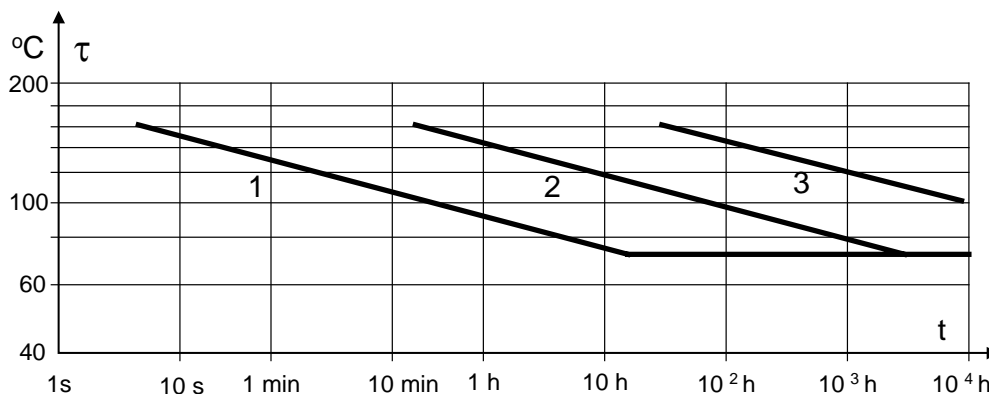
- **Temperatura graniczna dopuszczalna długotrwale** τ_{dd} , czyli najwyższa temperatura, do jakiej mogą nagrzewać się przewody przez czas nieograniczony, zachowując trwałość (izolacji i ew. powłoki) na oczekiwanym poziomie 20÷30 lat. Wartość jej zależy od materiału użytego na izolację przewodu (tabl. 2).

Tablica 2. Temperatura graniczna dopuszczalna dla przewodów zależnie od materiału izolacji

| Materiał izolacji | Temperatura graniczna [$^{\circ}\text{C}$] dopuszczalna | | |
|--|--|-------------|--------------|
| | długotrwale | przejściowo | przy zwarciu |
| polwinit (PVC) | 70 | 100 | 160 |
| polietylen (PE) | 75 | 90 | 150 |
| guma butylowa (IIK) | 85 | | 220 |
| polwinit ciepłoodporny, polietylen sieciowany (XLPE), guma etylenowo-propylenowa (EPR) | 90 | 130 | 250 |
| izolacja mineralna MgO | 105 | | |
| polietylenowinyloacetat (EVA) | 120 | | |
| guma silikonowa | 180 | | 350 |

- **Temperatura graniczna dopuszczalna przejściowo** (ang. *conductor emergency loading temperature*) τ_{dp} , czyli najwyższa temperatura, jaką dopuszcza się przy sporadycznie występujących przeciążeniach ruchowych o ograniczonym czasie trwania, np. nie dłużej niż 100 h w ciągu roku i nie dłużej niż 500 h w całym przewidywanym okresie eksploatacji. Przeciążenia takie zmniejszają trwałość termiczną izolacji, czyli wywołują jej dodatkowe zużycie termiczne (rys. 1), ale na akceptowalnym poziomie, np. w odniesieniu do jednego przeciążenia – nie większe niż 0,1% trwałości lub 200 h [4]. Wartość temperatury τ_{dp} zależy od materiału izolacji przewodu (tabl. 2); określają ją tylko niektóre normy i przepisy w odniesieniu do przewodów o dużej obciążalności, używanych w sieciach rozdzielczych i przesyłowych.
- **Temperatura graniczna dopuszczalna przy zwarciu** τ_{dz} , czyli najwyższa temperatura, jaką dopuszcza się w końcowej chwili trwania zwarcia. Jest ona tak ustalona, że zwarcie wprawdzie wywołuje znaczący ubytek trwałości termicznej, ale nie zagraża natychmiastowym termicznym zniszczeniem izolacji, np. jej zapaleniem, roztopieniem czy chociażby zmięknięciem powodują-

cym trwale przemieszczenie żyły. Wartość temperatury τ_{dz} , zależna od materiału izolacji (tabl. 2), może być zróżnicowana, np. nieco niższa w przypadku przewodów o wyższym napięciu znamionowym i/lub o dużym przekroju żył ze względu na większe prawdopodobieństwo deformacji przegrzanej izolacji albo groźniejsze skutki takiej deformacji. Przyjęta wartość nie powinna też powodować nadmiernego obniżenia wytrzymałości mechanicznej żył przewodów, zwłaszcza w przypadku linii napowietrznych i szyn sztywnych. Ponadto wartość τ_{dz} powinna uwzględniać zagrożenia dla otoczenia, zwłaszcza dla podłoża, na którym przewód jest ułożony.



Rys. 1. Zależność temperatury granicznej dopuszczalnej przejściowo dla przewodów o izolacji polwinitowej [4] od średniego czasu trwania przecięcia przy założonej łącznej liczbie przecięć w czasie „życia” przewodu: 1 – 10000; 2 – 100; 3 – 1

Warunki **nagrzewania z wymianą ciepła z otoczeniem**, opisywane w uproszczeniu zależnością jednowykładniczą o określonej cieplnej stałej czasowej, pozwalają wyznaczyć obciążalność cieplną roboczą przewodu:

obciążalność długotrwałą I_z , tzn. prąd o niezmienniej wartości, który płynąc długotrwale, w określonych warunkach ułożenia przewodu, wywołuje ustalony przyrost temperatury równy **przyrostowi temperatury dopuszczalnemu długotrwale** θ_{dd} , czyli różnicy między temperaturą graniczną dopuszczalną długotrwale τ_{dd} a obliczeniową temperaturą otoczenia τ_o ($\theta_{dd} = \tau_{dd} - \tau_o$),

obciążalność przejściową I_p , tzn. prąd o niezmienniej wartości, który płynąc w określonym czasie wywołuje największy przyrost temperatury równy przyrostowi temperatury dopuszczalnemu przejściowo θ_{dp} , czyli różnicy między temperaturą graniczną dopuszczalną przejściowo τ_{dp} a temperaturą przed obciążeniem przejściowym $\tau_{pp} \in (\tau_o, \tau_{dd})$; obciążalność przejściowa zależy od poprzedzającego stanu cieplnego przewodu ($\theta_{dp} = \tau_{dp} - \tau_{pp}$).

Z kolei warunki **nagrzewania adiabatycznego** (bez wymiany ciepła z otoczeniem), związane z przyrostem temperatury dopuszczalnym przy zwarceniu θ_{dz} , który jest równy różnicy między temperaturą graniczną dopuszczalną przy zwarceniu τ_{dz} a temperaturą przed zwarceniem τ_{pz} ($\theta_{dz} = \tau_{dz} - \tau_{pz}$) wyznaczają **obciążalność zwarciovą cieplną** przewodu w określonym czasie trwania zwarcia. Podaje się ją zwykle jako największą dopuszczalną gęstość prądu w czasie 1 sekundy, co pozwala obliczyć obciążalność przewodu o dowolnym przekroju dla dowolnego czasu trwania zwarcia. Temperatura przed zwarceniem τ_{pz} jest w zasadzie równa temperaturze granicznej dopuszczalnej długotrwale τ_{dd} (ew. dopuszczalnej przejściowo τ_{dp}) dla przewodów czynnych (roboczych) i obliczeniowej temperaturze otoczenia τ_o – dla przewodów ochronnych (uziemiających, wyrównawczych). Jeśli poddany nagrzewaniu przewód traktuje się jako układ cieplnie jednorodny, to założenie nagrzewania adiabatycznego jest dopuszczalne (powoduje błąd mniejszy niż 5%), jeśli czas nagrzewania nie przekracza $0,1 \cdot T$ (10% cieplnej stałej czasowej). Umownie przyjmuje się 5 sekund

bądź 3 sekundy jako najdłuższy czas nagrzewania, przy którym jest dopuszczalne założenie nagrzewania adiabatycznego przewodów.

2. Zasady sporządzania tablic obciążalności długotrwałej przewodów

Z punktu widzenia możliwości obciążenia przewodów w warunkach roboczych i zasad ich zabezpieczania przed przeciążeniami podstawową informacją o przewodzie jest jego obciążalność długotrwała I_z . W stanie cieplnie ustalonym strumień ciepły $q = I^2 R$ wydzielany w jednożyłowym przewodzie o rezystancji elektrycznej R (przekroju żyły s i konduktywności γ) przez prąd I w całości odpływa do otoczenia przez rezystancję cieplną R_c wywołując przyrost temperatury θ

$$\theta = q \cdot R_c = I^2 \cdot R \cdot R_c \quad (1)$$

przy czym obie rezystancje odnoszą się do jednostki długości przewodu. W warunkach największego długotrwale dopuszczalnego obciążenia występuje przyrost temperatury

$$\theta_{dd} = I_z^2 \cdot R \cdot R_c \quad (2)$$

Z zależności tej można wyznaczyć obciążalność długotrwałą

$$I_z = \sqrt{\frac{\theta_{dd}}{R \cdot R_c}} = \sqrt{\frac{\tau_{dd} - \tau_o}{R_c} s \cdot \gamma} \quad (3)$$

co pozwala sprawdzić, jak wpływają na nią różne czynniki i na zasadzie proporcji, z obciążalności długotrwałej w znanych warunkach, obliczyć obciążalność długotrwałą dla innych warunków, jeżeli nie zmienia się rezystancja cieplna R_c . Jest to bowiem parametr, którego wartość liczbowa dla określonej sytuacji najtrudniej ustalić. Wartość ta zależy m.in. od przekroju żyły s , co sprawia, że wbrew pozorom obciążalność długotrwałą przewodu, wynikająca ze wzoru (3), nie jest proporcjonalna do przekroju żyły w potęgę $\frac{1}{2}$. Występujące w powyższych wzorach elektryczna rezystancja żyły R oraz jej konduktywność γ przyjmują wartości odpowiadające ustalonej temperaturze w rozpatrywanych warunkach, np. temperaturze τ_{dd} , przy której oblicza się obciążalność długotrwałą I_z . W przypadku przewodu wielożyłowego wzór byłby bardziej złożony, ale charakter zależności pozostałby ten sam.

Przypisane przewodom wartości obciążalności długotrwałej pochodzą z pomiarów przeprowadzanych dla wybranych sytuacji modelowych, których wyniki są następnie przeliczane dla wielu innych, fizycznie podobnych warunków. W przypadku przewodów linii napowietrznych różnorodność warunków ułożenia i użytkowania w określonej strefie klimatycznej jest niewielka, a w przypadku kabli oraz przewodów instalacyjnych – nieporównanie większa. Stąd rozbudowane tablice obciążalności długotrwałej takich przewodów i liczne współczynniki poprawkowe, pozwalające ją skorygować w przypadku warunków ułożenia odbiegających od wzorcowych: innej temperatury otoczenia, innej liczby żył przewodu obciążonych prądem lub skupienia większej liczby przewodów na wspólnej trasie.

Przepisy zwykle podają obciążalność długotrwałą przewodów 1-, 2-, 3- i 4-żyłowych. Obciążalność I_{zN} przewodu o większej liczbie żył N można oszacować w pewnym przybliżeniu znając obciążalność podobnego i identycznie ułożonego przewodu jednożyłowego I_{z1}

$$I_{zN} = \frac{I_{z1}}{\sqrt[3]{N}} \quad (4)$$

Wzór dotyczy przewodów oddających ciepło głównie przez konwekcję, których wszystkie żyły są jednakowo obciążone. Jeśli niektóre są znacznie niedociążone bądź zupełnie niewykorzystane, to poprawiają oddawanie ciepła do otoczenia i obciążalność pozostałych może się zwiększyć, a nie zmniejszyć.

Koordinacja przewodu z zabezpieczającym go przeciążeniowo bezpiecznikiem sprowadza się do zapewnienia właściwej relacji między obciążalnością długotrwałą przewodu I_z a prądem znamionowym bezpiecznika I_n . Podobnie jest przy zabezpieczaniu przewodów za pomocą instalacyjnych wyłączników nadprądowych o nienastawialnych wyzwalaczach. Procedura koordynacji byłaby harmonijna, gdyby ciąg liczb przedstawiających obciążalność długotrwałą określonych przewodów o kolejnych przekrojach był ciągiem R10, jak ciąg prądów znamionowych wkładek bezpiecznikowych (wyłączników nadprądowych) albo był ciągiem geometrycznym o tym samym ilorazie, a przynajmniej – ciągiem pochodnym R5. Zwiększenie przekroju o jeden stopień oznaczałoby zwiększenie o jeden stopień (dwa stopnie w przypadku ciągu R5) największego dopuszczalnego prądu znamionowego wkładki bezpiecznikowej (wyłącznika nadprądowego).

Tablica 3. Ciąg przekrojów znamionowych żył przewodów elektroenergetycznych

| Przekrój [mm ²] | | | | | | | Przybliżony iloraz ciągu | Ciąg | |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|--------------------------|------------------------|------|
| 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | $\sqrt[5]{10} = 1,58$ | R5 |
| 35 | 50 | 70 | | | | | | 1,4 | ---- |
| 95 | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 | | | $\sqrt[10]{10} = 1,26$ | R10 |

Nie jest to możliwe co najmniej z dwóch powodów. Po pierwsze, kolejne przekroje przewodów nie tworzą regularnego ciągu geometrycznego, można się go w przybliżeniu dopatrzeć tylko w wybranych fragmentach ciągu przekrojów (tabl. 3). Po drugie, obciążalność długotrwałą I_z nie jest proporcjonalna do przekroju s , lecz jest z nim powiązana funkcją potęgową

$$I_z = A \cdot s^m - B \cdot s^n \approx A \cdot s^m \quad (5)$$

Potrzeba uwzględniania drugiego składnika wzoru ($B \neq 0$) zachodzi niekiedy w przypadku bardzo dużego przekroju przewodów (powyżej 120 mm², a nawet dopiero powyżej 300 mm²). Stała A ma wartość zależną od budowy przewodu, sposobu ułożenia i dopuszczalnego przyrostu temperatury. Teoretycznie wykładnik potęgowy m przyjmuje wartości od 0,50, jeśli rezystancja cieplna żyła-otoczenie R_c nie zależy od przekroju żyły s i pola jej zewnętrznej powierzchni, do 0,75 – jeśli rezystancja cieplna przewodów (o podobnym profilu przekroju poprzecznego) jest odwrotnie proporcjonalna do pola zewnętrznej powierzchni żyły i w rezultacie $R_c \sim s^{-0,5}$. W rzeczywistości dla przewodów izolowanych m ma wartość z przedziału (0,55÷0,67). Rezystancja cieplna R_c w przypadku izolowanych przewodów ułożonych w powietrzu jest w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalna do pola zewnętrznej powierzchni przewodu wraz z izolacją i powłoką (czyli $R_c \sim s^{-0,25}$) i dla nich wykładnik potęgowy m ma wartość zbliżoną do 0,625, czyli wartości średniej z podanych przedziałów. Wartość zbliżona do 0,56 dotyczy kabli ułożonych w ziemi, a wartość zbliżona do 0,75 – przewodów gołych (linii napowietrznych, szyn).

Pożądaney harmonii, zmiany obciążalności długotrwałej w stosunku ilorazu ciągu R10, można się natomiast doszukać w paru drugorzędnych kwestiach, co też może okazać się użytecznym. Na przykład przy kolejnym podwyższaniu klasy ciepłoodporności izolacji przewodu, kiedy temperatura graniczna dopuszczalna długotrwałe τ_{ad} wzrasta od 70°C do 90°C, od 90°C do 120°C, a następnie od 120°C do 180°C (tabl. 2), obciążalność długotrwałą I_z zwiększa się w stopniu zbliżonym do ilorazu ciągu R10, np.:

$$\frac{I_{zEPR}}{I_{zPVC}} = \sqrt{\frac{\tau_{ddEPR} - \tau_o}{\tau_{ddPVC} - \tau_o}} = \sqrt{\frac{90 - 25}{70 - 25}} = 1,20 \approx \sqrt[10]{10} \quad (6)$$

Dobór przewodu o kolejnej wyższej klasie ciepłoodporności izolacji pozwala *ceteris paribus* zastosować – dla zabezpieczenia przeciążeniowego – bezpiecznik (wyłącznik nadprądowy) o prądzie znamionowym większym o jeden stopień.

Podobna relacja zachodzi przy zamianie żyły przewodu z aluminiowej na miedzianą, przy niezmiennych innych warunkach. W obu przewodach w stanie cieplnie ustalonym może być wydzielany ten sam strumień ciepły I^2R , co prowadzi do zależności¹

$$\frac{I_{zCu}}{I_{zAl}} = \sqrt{\frac{\gamma_{Cu}}{\gamma_{Al}}} = \sqrt{\frac{55}{34}} = 1,27 \approx \sqrt[10]{10} \quad (7)$$

Z punktu widzenia skuteczności zabezpieczenia od przeciążeń przewodu miedzianego największy dopuszczalny prąd znamionowy bezpiecznika (wyłącznika) jest o jeden stopień ciągu R10 większy niż w przypadku przewodu aluminiowego o tym samym przekroju.

Porównanie przewodów miedzianych i aluminiowych prowadzi do jeszcze jednego wniosku, dotyczącego tym razem ich obciążalności przejściowej. Różnica w wartości cieplnej stałej czasowej T przewodów różniących się tylko materiałem żyły wynika z odmiennej wartości ciepła właściwego odniesionego do jednostki objętości: $3,45 \text{ J}/(\text{cm}^3 \cdot \text{K})$ dla miedzi i $2,50 \text{ J}/(\text{cm}^3 \cdot \text{K})$ dla aluminium. Z tego powodu przewód miedziany ma cieplną stałą czasową (żyły) 1,38 razy większą niż przewód aluminiowy identycznej budowy, o tym samym przekroju, identycznie ułożony. Przy zmianie przekroju pojemność cieplna żyły zmienia się proporcjonalnie do przekroju s , a rezystancja cieplna żyła-otoczenie przewodu izolowanego – jak wyżej wspomniano – w przybliżeniu proporcjonalnie do $s^{-0,25}$, wobec czego cieplna stała czasowa (iloczyn rezystancji cieplnej i pojemności cieplnej) jest potęgową funkcją przekroju z wykładnikiem 0,75, jako że $T \sim s \cdot s^{-0,25} = s^{0,75}$. W obwodzie o określonym obciążeniu, zamiast przewodu miedzianego, można zastosować przewód aluminiowy o tej samej obciążalności długotrwałej I_z . Będzie on miał przekrój (1,5÷1,6) razy większy i cieplną stałą czasową w stosunku do przewodu miedzianego, który zastępuje

$$\frac{T_{Al}}{T_{Cu}} = \frac{(1,5 \div 1,6)^{0,75}}{1,38} = 0,98 \div 1,03 \approx 1,0 \quad (8)$$

Wzajemnie zamienne przewody miedziane i aluminiowe o tej samej budowie mają w przybliżeniu tę samą cieplną stałą czasową. Wobec tego mają nie tylko zbliżoną obciążalność długotrwałą, ale również zbliżoną obciążalność przejściową, zachowują się jednakowo we wszelkich procesach nagrzewania z wymianą ciepła z otoczeniem. Różnią się natomiast obciążalnością cieplną zwarciową, określoną przez warunki nagrzewania adiabatycznego.

3. Norma międzynarodowa IEC 60364-5-523 na obciążalność długotrwałą przewodów

Arkusze 523 [9], podobnie jak inne arkusze normy IEC 60364, próbuje formułować reguły techniczne odpowiadające aktualnym potrzebom i aktualnemu stanowi wiedzy w takim zakresie i w takim stopniu, w jakim daje się to uzgodnić w skali międzynarodowej. Wielokrotnie ogranicza się

¹ Oba metale mają niemal identyczny temperaturowy współczynnik rezystywności (ok. $0,004 \text{ K}^{-1}$), wobec czego do wzoru można wstawić wartość konduktywności w dowolnej temperaturze, byle tej samej dla obu materiałów.

to do informacji, iż określony problem nadal jest *w opracowaniu*. Są też zalecenia, aby zawarte w dokumencie postanowienia, zalecenia i tablice traktować jako podstawę do bardziej przystępnej prezentacji wymagań w przepisach krajowych. Nie stawia się żadnych ograniczeń odnośnie do sposobu ujęcia wymagań krajowych, wystarcza ich zgodność merytoryczna z oryginałem. Takie postawienie sprawy opiera się na założeniu, że w każdym kraju normalizacją zajmują się ludzie kompetentni i odpowiedzialni, którzy – podobnie jak to uczynił komitet niemiecki [10] – potrafią dokument międzynarodowy przystosować do potrzeb krajowych.

Sklasyfikowano różne sposoby układania przewodów zaliczając te sposoby do jednej z licznych grup (A, B ... G) i ewentualnie podgrup (np. A1, A2) i stosownie do tego różnicując obciążalność długotrwałą przewodów. Takie postępowanie jest zrozumiałe, ale jego prezentacja w zawitych tablicach 52-B1 i 52-B2 jest nieprzejrzysta i utrudnia doszukiwanie się w nich logiki i ewentualnych potknięć. Na przykład do sposobu układania przewodów B1 zalicza się w poz. 6 (tablica 52-B2) *przewody jednożyłowe w listwie instalacyjnej (raczej w korytku instalacyjnym) na ścianie drewnianej*, ale kiedy przewody są układane w listwie (korytku) z przegrodami (poz. 13), to z niejasnych powodów materiał podłoża już nie ma znaczenia. Podobna wątpliwość dotyczy odpowiednio pozycji 7 i 14 tejże tablicy. Po ujednoczeniu tej klasyfikacji (tabl. 4 i 5) widać w niej więcej rozstrzygnięć budzących zdziwienie.

Omawiany dokument w ogóle nie obejmuje przewodów ruchomych, a więc na przykład przyjęcie go w Polsce w tej postaci nie jest w stanie zastąpić dotychczasowych przepisów określających obciążalność przewodów. Niemiecki komitet normalizacyjny rozszerzył zakres o przewody ruchome, co widać już w tytule [10].

Arkusze 523 wprowadza liczne współczynniki poprawkowe korygujące obciążalność długotrwałą przewodów z tytułu warunków odprowadzania ciepła innych niż wzorcowe, przyjęte przy sporządzaniu tablic obciążalności. Są one związane przede wszystkim z liczbą jednocześnie obciążonych żył przewodu wielożyłowego, z liczbą jednocześnie obciążonych przewodów układanych w wiązkach (tabl. 6), a także z obciążeniem przewodu neutralnego w obwodzie trójfazowym obciążonym wprawdzie symetrycznie, ale prądami odkształconymi.

Tablica 4. Ważniejsze sposoby układania przewodów oraz kabli i ich umowne oznaczenia

| Sposób układania przewodów | Oznaczenie | |
|--|------------|---|
| Przewody jednożyłowe w rurze w ścianie termoizolacyjnej | A1 | A |
| Przewód wielożyłowy bezpośrednio w ścianie termoizolacyjnej | | |
| Przewody jednożyłowe lub przewód wielożyłowy w ościeżnicach drzwiowych lub okiennych | | |
| Przewód wielożyłowy w rurze w ścianie termoizolacyjnej | A2 | |
| Przewody jednożyłowe w rurze w ścianie murowanej | B1 | B |
| Przewody jednożyłowe w rurze lub w listwie na ścianie (drewnianej) | | |
| Przewody jednożyłowe w rurze bezpośrednio na ścianie (drewnianej albo murowanej) albo w odległości mniejszej niż $0,3 \cdot D$ od ściany | | |
| Przewody jednożyłowe w podwieszanej listwie | | |
| Przewody w przestronnym kanale instalacyjnym ($5 \cdot d \leq V < 50 \cdot d$) | | |
| Przewody jednożyłowe w rurze w przestronnym kanale instalacyjnym ($V \geq 20 \cdot D$) | | |
| Przewody jednożyłowe w korytku podłogowym w podłodze | | |
| Przewody w suficie podwieszanym lub w podwójnej podłodze przy dużym prześwicie ($5 \cdot d \leq V < 50 \cdot d$) | B2 | B |
| Przewody jednożyłowe w rurze w ścianie murowanej | | |
| Przewód wielożyłowy w rurze lub listwie na ścianie (drewnianej) | | |
| Przewód wielożyłowy w rurze bezpośrednio na ścianie (drewnianej lub murowanej) albo w odległości mniejszej niż $0,3 \cdot D$ od ściany | | |
| Przewód wielożyłowy w podwieszanej listwie | | |
| Przewody w ciasnym kanale instalacyjnym ($1,5 \cdot d \leq V < 5 \cdot d$) | | |
| Przewody jednożyłowe w rurze w ciasnym kanale instalacyjnym ($1,5 \cdot D \leq V < 20 \cdot D$) | | |
| Przewód wielożyłowy w korytku podłogowym w podłodze | C | C |
| Przewody w suficie podwieszanym lub w podwójnej podłodze przy małym prześwicie ($1,5 \cdot d \leq V < 5 \cdot d$) | | |
| Przewody (jedno- lub wielożyłowe) bezpośrednio na ścianie drewnianej lub w odległości mniejszej niż $0,3 \cdot d$ od ściany | | |
| Przewody (jedno- lub wielożyłowe) bezpośrednio na suficie drewnianym | D | D |
| Przewody w korytku nieperforowanym (w odległości nie mniejszej niż $0,3 \cdot d$ od ściany) | | |
| Kable bezpośrednio w ziemi | | |
| Kabel wielożyłowy w rurze w ziemi | E | E |
| Przewód wielożyłowy w powietrzu, w odległości co najmniej $0,3 \cdot d$ od ściany | | |
| Przewody w korytku perforowanym lub na drabince (w odległości nie mniejszej niż $0,3 \cdot d$ od ściany) | | |
| Przewody (jedno- lub wielożyłowe) zawieszane na linie nośnej lub przewody wielożyłowe samonośne | | |

| | |
|---|----------|
| Przewody jednożyłowe w powietrzu stykające się, w odległości co najmniej d od ściany | F |
| Przewody w korytku perforowanym lub na drabince (w odległości nie mniejszej niż $0,3 \cdot d$ od ściany) | |
| Przewody (jedno- lub wielożyłowe) zawieszane na lince nośnej lub przewody wielożyłowe samonośne | |
| Przewody jednożyłowe w powietrzu nie stykające się, w odległości co najmniej d od ściany i między sobą | G |
| Przewody gołe lub izolowane zawieszane na izolatorach | |
| d – średnica zewnętrzna przewodu D – średnica zewnętrzna rury instalacyjnej V – głębokość kanału instalacyjnego Ściana termoizolacyjna – ściana o małej przewodności cieplnej, ale nie mniejszej niż $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. | |

Norma dotyczy instalacji elektrycznych w budynkach, ale zajmuje się również obciążalnością kabli układanych w ziemi, bo i one mogą wchodzić w skład instalacji odbiorczej (np. kabel od złącza na granicy posesji do głównej rozdzielniczy w budynku, kable między budynkami należącymi do tej samej instalacji odbiorczej).

W najprostszym przypadku kabla bezpośrednio zakopanego w ziemi jego ustalony przyrost temperatury jest w przybliżeniu proporcjonalny do sumy dwóch rezystancji cieplnych:

- wewnętrznej rezystancji cieplnej kabla, na drodze przenoszenia ciepła od żył do zewnętrznej warstwy ochronnej kabla,
- zewnętrznej rezystancji cieplnej kabla, na drodze przenoszenia ciepła od tej warstwy zewnętrznej do odległych połaci otaczającego gruntu i proporcjonalnej do rezystywności cieplnej gruntu ρ_z .

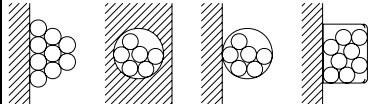
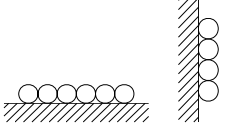
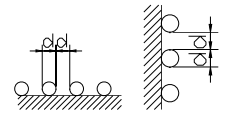
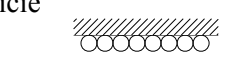
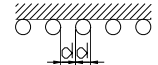
Im większy jest udział tego drugiego składnika, tym silniej obciążalność robocza kabla zależy od założonej rezystywności cieplnej gruntu. Dotychczasowe polskie przepisy przyjmowały $\rho_z = 1,2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$, co dotyczy np. piasku i gruntu piaszczystego o wilgotności 4÷12 %; wartości zbliżone, a nawet mniejsze ($0,4 \div 1,8 \text{ K} \cdot \text{m/W}$) przyjmowano w innych krajach [1, 2, 7]. Do tej wartości stosowano współczynnik poprawkowy $2/3$ ($2/3 \cdot 1,2 = 0,8 \text{ K} \cdot \text{m/W}$), wprowadzony przez BERA (British Electrical Research Association), aby wyniki obliczeń rezystancji cieplnej zewnętrznej kabla wykonywane powszechnie według wzoru Kennelly’ego przybliżyć do wyników pomiarów. Było to niekiedy źródłem niepotrzebnych kontrowersji, czy polskie tablice są dla gruntu o rezystywności cieplnej 1,2 czy 0,8 $\text{K} \cdot \text{m/W}$.

Arkusze 523 normy IEC zawiera tablice obciążalności dla kabli w gruncie o rezystywności cieplnej $\rho_z = 2,5 \text{ K} \cdot \text{m/W}$, czyli ponad dwukrotnie większej. Tłumaczy się to (pkt 523.3.1 oryginału IEC) ostrożnością konieczną przy ustalaniu zaleceń w skali ogólnoswiatowej (a nie „przy ogólnym stosowaniu”, jak to błędnie przetłumaczono w polskiej wersji arkusza 523), kiedy nic nie wiadomo o rodzaju gruntu i jego usytuowaniu geograficznym, od którego zależy rozpiętość sezonowych zmian rezystywności cieplnej (rezystywności elektrycznej zresztą też) wokół wartości średniej. I tak, jak byłoby nonsensem wymagać, aby na całym świecie przy projektowaniu uzemień ostrożnie zakładać rezystywność elektryczną gruntu np. $1000 \Omega \cdot \text{m}$, tak nonsensem byłoby wymagać powszechnego przyjmowania rezystywności cieplnej $2,5 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ (żużel, popiół, grunt piaszczysty bardzo suchy).

Tablica 5. Sposoby układania na stałe w budynkach przewodów kabelkowych oraz jednożyłowych przewodów izolowanych [3]

| Sposób ułożenia | A1 | | A2 | | B1 | | B2 | |
|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|-------------------|
| Rysunek | | | | | | | | |
| Opis | w ścianach termoizolacyjnych jednożyłowe w rurach lub listwach | | w ścianach termoizolacyjnych wielożyłowe w rurach lub listwach | | w ścianach termoizolacyjnych bezpośrednio w ścianie | | w rurach lub zamkniętych korytkach na ścianie, w ścianie lub w podłodze | |
| Sposób ułożenia | C | | | | E | F | G | |
| Rysunek | | | | | | | | |
| Opis | po wierzchu na lub w ścianie albo suficie, lub w korytkach kabelkowych jednożyłowe | | po wierzchu na lub w ścianie albo suficie, lub w korytkach kabelkowych wielożyłowe | | wtynekowe w ścianie, suficie lub w „pustce budowlanej” | swobodnie w powietrzu, na linie nośnej, na drabince kablowej wielożyłowe | swobodnie w powietrzu, na linie nośnej, na drabince kablowej jednożyłowe stykające się | |
| | | | | | | | | nie stykające się |

Tablica 6. Współczynniki poprawkowe obciążalności długotrwałej dla wiązek przewodów (O jest symbolem jedno- lub wielożyłowego przewodu/kabla)

| Sposób ułożenia | Liczba wielożyłowych przewodów/kabli lub liczba obwodów wykonanych przy użyciu jednożyłowych przewodów/kabli (2 lub 3 przewody obciążone prądem) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | |
| <p>Wiązka bezpośrednio na ścianie lub podłodze albo w rurze lub korytka na ścianie lub w ścianie</p>  | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,5 | 0,48 | 0,45 | 0,43 | 0,41 | 0,39 | 0,38 | |
| <p>Jedna warstwa stykających się przewodów na ścianie lub podłodze</p>  | 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 | |
| <p>Jedna warstwa przewodów na ścianie lub podłodze, odstępy między przewodami równe ich średnicy</p>  | 1 | 0,94 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | |
| <p>Jedna warstwa stykających się przewodów na suficie</p>  | 0,95 | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | |
| <p>Jedna warstwa przewodów na suficie, odstępy między przewodami równe ich średnicy</p>  | 0,95 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | |

Na szczęście oryginalny arkusz 523 normy IEC tak sprawy nie stawia. Traktuje podawane tablice obciążalności długotrwałej kabli jako punkt wyjścia. Do odczytanych wartości należy stosować współczynniki poprawkowe zwiększające obciążalność kabli układanych w gruncie o mniejszej rezystywności cieplnej, co nasuwa następujące uwagi:

- przy projektowaniu, choćby krótkiego odcinka kabla, dochodzi nowy parametr, który należałoby zdobyć i uwzględnić,
- podane w tablicy 53-D3 współczynniki zwiększające (przy $\rho_z < 2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$) są za małe, bo dotyczą kabli układanych w blokach i innych osłonach, a są przypisywane również kablom układanym bezpośrednio w ziemi; nieporozumieniem jest też zrównanie obciążalności kabli dla obu przypadków, bo przecież różni się ona o ok. 25 %.

4. Norma polska PN-IEC 60364-5-523 na obciążalność długotrwałą przewodów

Polska wersja arkusza 523 jest kolejnym arkuszem normy PN-IEC 60364 spaprany przez prof. Z. Flisowskiego i jego współpracowników z komisji normalizacyjnej nr 55. Najpierw ktoś tekst oryginału IEC tłumaczy na język polski, potem ktoś to tłumaczenie weryfikuje, potem kilkakrotnie obraduje nad tym 30-osobowa komisja najlepszych specjalistów, jakich udało się znaleźć na skrzyżowaniu Marszałkowskiej z Alejami Jerozolimskimi. Jest w niej dwóch profesorów i kilku doktorów nauk. A gotowy produkt ma taką postać, jakby to napisał pierwszy lepszy dureń. I mają to być *uznane reguły techniczne* do ogólnokrajowego stosowania i mają udawać standardy europejskie.

Aby tekst normy IEC dobrze przetłumaczyć na język polski, trzeba:

- dość dobrze znać języki oryginału, tzn. angielski i francuski; niestety większość tłumaczy w ogóle nie bierze pod uwagę tekstu francuskiego, który jest bardzo pomocny, ilekroć występują niejasności w tekście angielskim,
- perfekcyjnie znać dziedzinę wiedzy, której tekst dotyczy, w tym jej terminologię,
- mieć lekkie pióro, jasno, zrozumiale formułować myśli po polsku.

Żadnego z tych warunków nie spełnia komisja Flisowskiego. Przykłady błędów przy preparowaniu arkusza 523 można znaleźć w pliku <http://www.edwardmusial.info/pliki/normal.pdf>. Gorzej niż mały Jasio, rozpoczynający naukę angielskiego, komisja Flisowskiego nie widzi różnicy pomiędzy *to close* a *close to*, pomiędzy *on a wall* a *in a wall*, pomiędzy *overall* a *all over*. Trudno się dziwić, że popełnia rażące błędy, wypaczające sens wymagań przepisowych, kiedy chodzi o trudniejszy tekst techniczny. Jeśli do tego dodać toporną polszczyznę w całym tekście, zajmującym zresztą niedużą część arkusza normy pełnego tablic, to otrzymuje się obraz dokumentu normalizacyjnego o cechach akcji sabotażowej.

Poza błędami wynikającymi z nieuctwa i/lub nieodpowiedzialności profesorów, doktorów nauk i pozostałych specjalistów, widać tam znane z innych pól ich działalności usiłowania przypodobania się koncernowi miedziowemu i hurtowniom elektrotechnicznym. Są one następnie ugruntowywane w trakcie tzw. szkoleń prowadzonych przez osoby związane z upadłym przedsiębiorstwem COBR Elektromontaż. Widać to w różnych miejscach polskiego tekstu arkusza 523.

Wmawia się polskim elektrykom, że są zobowiązani dobierać wszelkie przewody układane w pomieszczeniach do temperatury otoczenia co najmniej 30°C, co wcale nie wynika z dokumentów IEC (patrz załącznik 1).

Tablice obciążalności długotrwałej kabli należało przystosować do rezystywności cieplnej ρ_z polskich gruntów. W każdym kraju są znane choćby orientacyjne dystrybuanty rozkładu rezystywności cieplnej gruntów, w których zwykle układa się kable, i można ustalić wartość ρ_z , która z określonym dużym prawdopodobieństwem nie będzie przekraczana. Nie zrobiono tego, być może tylko z umyślowego lenistwa profesorów i doktorów nauk. Ale dlaczego w punkcie 523.3.1 napisano:

„Współczynniki poprawkowe dla gruntu o rezystywności cieplnej większej niż 2,5 K·m/W są podane w tablicy 52-D3”, skoro w oryginale jest napisane *dla gruntu o rezystywności cieplnej innej niż 2,5 K·m/W*. Czy chodzi o to, by polskich elektryków mających do czynienia niemal wyłącznie z gruntami o rezystywności cieplnej znacznie mniejszej niż 2,5 K·m/W zniechęcić do korzystania ze współczynników poprawkowych albo zabronić im tego? A przecież w normie IEC 60287-3-1 strona polska wyraźnie podała 1,0 K·m/W jako średnią rezystywność cieplną polskich gruntów stosowaną w obliczeniach (załącznik 1). Grupa sabotażowa Flisowskiego tego nie wie, czy nie rozumie?

Jeśli układany pojedynczo bezpośrednio w ziemi kabel YKY o trzech obciążonych żyłach ma przewodzić prąd 260 A, to w myśl dotychczasowych przepisów (PBUE, zeszyt 10, tabl. 16) potrzebny był przekrój 70 mm², a według arkusza 523 (tabl. 52-C3) – potrzebny jest przekrój 240 mm². Czy żaden z profesorów i doktorów nauk, który to akceptował, nie puknął się w głowę? Czy w taki sposób chce sobie zasłużyć tylko na dotację do kolejnej broszurki propagującej zwiększenie popytu na miedź, czy może już na spiżowy pomnik ufundowany z wdzięczności przez koncern miedziowy? Zalecałbym ostrożność, bo może się to skończyć stalowymi kratkami, kiedy sprawą zainteresuje się prokurator.

Reasumując, polska wersja arkusza 523 jest buble normalizacyjnym nie nadającym się do stosowania przez elektryków odpowiedzialnych za swoje poczynania.

5. Obciążalność zwarciowa cieplna przewodów

Przyjmuje się, że energia cieplna wydzielona w czasie zwarcia T_k nie przekraczającym 3 lub 5 sekund przez rzeczywiście płynący prąd zwarciowy i_k (lub prąd zwarciowy zastępczy cieplny I_{th}), której miarą jest skutek cieplny (całka Joule'a)

$$\int_0^{T_k} i_k^2 dt = I_{th}^2 T_k \quad (16)$$

w całości zostaje zużyta na adiabatyczne nagrzewanie żyły przewodu o przekroju s i długości l , od temperatury przed zwarcie τ_{pz} do temperatury granicznej dopuszczalnej przy zwarcie τ_{dz}

$$I_{th}^2 \cdot T_k \cdot \frac{l}{\gamma_{sr} \cdot s} = s \cdot l \cdot c \cdot (\tau_{dz} - \tau_{pz}) \quad (17)$$

przy czym c – ciepło właściwe materiału żyły w J/(cm³·K),

γ_{sr} – konduktywność materiału żyły w temperaturze τ_{sr} w m/(Ω·mm²).

Skoro zakłada się liniową zmianę rezystancji przewodu wraz z temperaturą, to dla rozpatrywanego procesu nagrzewania należy przyjąć zastępczą rezystywność bądź konduktywność żyły w temperaturze będącej średnią arytmetyczną temperatury początkowej i temperatury końcowej

$$\tau_{sr} = \frac{\tau_{pz} + \tau_{dz}}{2} \quad (18)$$

Znając przyrost temperatury dopuszczalny przy zwarcie $\theta_{dz} = \tau_{dz} - \tau_{pz}$ i własności materiału żyły można obliczyć **największą dopuszczalną jednosekundową gęstość prądu k** [A/mm²] czyli (średnią kwadratową) gęstość prądu, jaką w żyłce przewodu można dopuścić podczas zwarcia trwającego $T_k = 1$ s.

$$k = \frac{I_{th}}{s} = \sqrt{\gamma_{sr} c \frac{\tau_{dz} - \tau_{pz}}{T_k}} \quad (19)$$

Na przykład dla przewodu aluminiowego ($\gamma_{20} = 34 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$, $\rho = 2,7 \text{ g}/\text{cm}^3$, $c = 2,48 \text{ J}/\text{cm}^3 \cdot \text{K}$) o izolacji polwinitowej ($\tau_{dz} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau_{pz} = \tau_{dd} = 70^\circ\text{C}$) średnia arytmetyczna temperatury początkowej i temperatury końcowej przy nagrzewaniu prądem zwarciovym wynosi

$$\tau_{sr} = \frac{\tau_{pz} + \tau_{dz}}{2} = \frac{160 + 70}{2} = 115 \text{ }^\circ\text{C}$$

a konduktywność aluminium w tej temperaturze

$$\gamma_{sr} = \frac{\gamma_{20}}{1 + \alpha \cdot (\tau_{sr} - 20)} = \frac{34,0}{1 + 0,0040 \cdot (115 - 20)} = 24,47 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

Największa dopuszczalna jednosekundowa gęstość prądu k w takim przewodzie wynosi (po sprawdzeniu jednostek, bo wartości liczbowe nie są wyrażone w jednostkach podstawowych układu SI):

$$k = \sqrt{\gamma_{sr} c \frac{\tau_{dz} - \tau_{pz}}{T_k}} = \sqrt{24,47 \cdot 2,48 \cdot \frac{160 - 70}{1}} = 74 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Inne przykładowe wartości największej dopuszczalnej jednosekundowej gęstości prądu są zestawione w tabl. 8.

Tablica 8. Największa dopuszczalna jednosekundowa gęstość prądu k [A/mm^2] dla przewodów izolowanych

| Materiał izolacji | Materiał żył | |
|--|--------------|-----------|
| | miedź | aluminium |
| polwinit | 115 | 74 |
| guma naturalna, guma butylowa, guma etylenowo-propylenowa | 135 | 87 |

L i t e r a t u r a

1. Bładowski St.: Przepływ ciepła z kabli ułożonych w ziemi. Energetyka, 1965, nr 2, s. 36-39, nr 3, s. 76-80.
2. Brakelmann H.: Belastbarkeit der Energiekabel. Berechnungsmethoden und Parameteranalysen. VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 1985.
3. Fischer M.: Neue Verlegearten und Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen. Elektropraktiker, 1999, nr 6, s. 530-532.
4. Hirsch H.: Überlast- und Kurzschlußschutz von Leitungen und Kabeln. ETZ-A, 1974, nr 3, s. 174-181.
5. Morgan V. T.: Thermal behaviour of electrical conductors. Steady, dynamic and fault-current ratings. Research Studies Press Ltd., John Wiley & Sons Inc., New York, 1991.
6. Senkbeil H.: Querschnittbestimmung von Kabeln und Leitungen. Elektropraktiker, 2000, nr 12, s. 8-11, 2001, nr 1, s. 9-13, 2001, nr 2, s. 8-11.
7. Włodarski E.: Nagrzewanie się kabli elektroenergetycznych ułożonych w ziemi. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1963.

8. PN-IEC 60364-5-523:kwiecień 2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.
9. IEC 60364-5-523:1999-02 Electrical installations of buildings. Part 5: Selection and erection of electrical equipment. Section 523: Current-carrying capacities in wiring systems.
10. DIN VDE 0298-4 (VDE 0298 Teil 4):1998-11 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen; Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für die feste Verlegung in Gebäuden und von flexiblen Leitungen.

Dane bibliograficzne:

Musiał E.: **Obciążalność cieplna przewodów i kabli.** W: [Materiały] Ogólnopolskie Szkolenie Techniczne „Zabezpieczenia niskonapięciowych instalacji i urządzeń elektrycznych – cz. II” Poznań – Kiekrz, maj 2002. Poznań: ENERGO-EKO-TECH. 2002, s. [1-19].

IEC 60287-3-1:1999 Electric Cables - Calculation of the Current Rating - Part 3-1: Sections on Operating Conditions - Reference Operating Conditions and Selection of Cable Type

Zmiana 1 wprowadzona na wniosek PKN

60287-3-1 Amend. 1 © IEC:1999

- 3 -

FOREWORD

This amendment has been prepared by subcommittee 20A: High-voltage cables, of IEC technical committee 20: Electric cables.

The text of this amendment is based on the following documents:

| | |
|--------------|------------------|
| FDIS | Report on voting |
| 20A/403/FDIS | 20A/408/RVD |

Full information on the voting for the approval of this amendment can be found in the report on voting indicated in the above table.

Page 27

4.11 Poland

Replace this subclause by the following subclause:

4.11 Poland

1) *Thermal characteristics of the soil*

a) *Thermal resistivity:*

average value to be used in calculations 1,0 K.m/W

b) *Temperature:*

average value to be used in calculations 20 °C

minimum value 5 °C

2) *Depth of laying for directly buried cables*

Cables at voltages

up to 1 kV 700 mm

up to 15 kV 800 mm

above 15 kV 1 000 mm

3) *Ambient air temperature*

Average value to be used in calculations 25 °C