

Andrzej Stelmasiewicz, Jerzy Szczepanik

Współczesne kable do taboru szynowego

Współczesne kable i przewody kolejowe muszą zapewniać wieloletnią bezawaryjną pracę (ok. 20 lat).

Większość największych operatorów kolejowych wymaga, aby współczesne kable gwarantowały możliwie niski poziom „całkowitego ryzyka pożarowego” (Total Fire Hazard). W celu spełnienia tych wymagań, materiały izolacyjne nie mogą zawierać halogenów, ani rozprzestrzeniać ognia; muszą także gwarantować bardzo niską emisję dymu i substancji drażniących, toksycznych i powodujących korozję. Osobna grupa wymagań dotyczy ograniczenia masy i średnic kabli oraz dużej elastyczności z uwagi na coraz mniejszą ilość miejsca do ich instalacji. I wreszcie, w niektórych aplikacjach, jest wymagane bardzo efektywne ekranowanie.

Współczesne kable kolejowe powinny spełniać wymagania odpowiednich norm polskich i europejskich. Odpowiednia jakość kabli powinna być potwierdzona przez stosowne autoryzowane jednostki certyfikujące.

Kable z serii RADOX®

W lokomotywie ET22-2000 zastosowano kable z serii RADOX® produkowane przez HUBER+SUHNER AG.

Kable RADOX® wykorzystano zarówno do okablowania lokomotywy, wykonywanego przez ZNLE Gliwice, jak również w szafach sterowniczych wysokiego i niskiego napięcia, tablicach kablinowych (Bombardier Transportation Polska – Obsługa Klienta Sp. z o.o.) oraz w systemie sterowania i diagnostyki (WASKO SA).

Dopuszczenia

Kable RADOX® zostały dopuszczone przez Urząd Transportu Kolejowego (Świadectwo nr T/2004/036/EL) do stosowania w pojazdach kolejowych użytkowanych na terenie Polski. PKP CARGO SA, po analizie przedstawionej dokumentacji oraz po przeprowadzeniu auditu w zakładach produkcyjnych HUBER+SUHNER AG

w Pfäffikon (Szwajcaria), upoważniło producenta do realizacji dostaw kabli RADOX® na podstawie Świadectwa 3.1.B, bez konieczności przeprowadzania odbiorów komisarycznych (nr COT-621-87/2003). Kable RADOX® uzyskały również pozytywne opinie innych kluczowych spółek z grupy PKP (PKP INTERCITY, PKP Przewozy Regionalne, PKP SKM w Trójmieście, PKP WKD).

Izolacja z poliolefin sieciowanych radiacyjnie

Izolacja żył oraz powłok (płaszcz) kabli kolejowych RADOX® jest wykonana z poliolefin sieciowanych radiacyjnie.

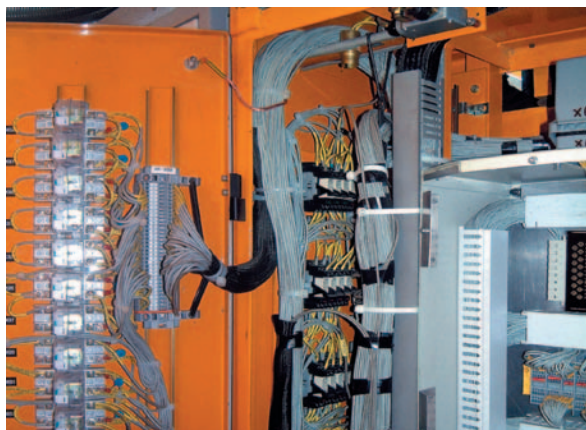
RADOX® – modyfikowane poliolefiny sieciowane radiacyjnie, opracowane przez HUBER+SUHNER AG, są materiałami specjalnymi, przeznaczonymi do izolacji kabli, zaprojektowanymi tak, aby przewyższały poprzednio stosowane materiały typu PVC, XPVC, czy XLPE.

Poliolefiny, kopolimery etylenu i propylenu, nie zawierają pochodnych chloru (Cl), fluoru (F), ani bromu (Br), czyli związków określanych jako halogeny. Nie zawierają również związków metali ciężkich, ani kadmu (Cd).

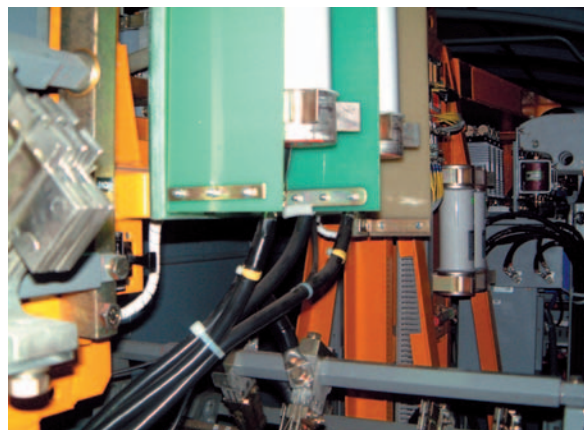
Halogeny są uważane za substancje bardzo niebezpieczne, gdyż ich związki z wodorem (chlorowódór, fluorowódór, bromowódór), powstające w podwyższonej temperaturze (zwarcie, pożar), wykazują bardzo silne działanie drażniące i toksyczne dla ludzi oraz powodują korozję aparatury elektronicznej i konstrukcji budowlanych. Uszkodzenia powstałe bezpośrednio w wyniku działania ognia nie są zwykle główną przyczyną utraty życia ludzi. Znacznie bardziej niebezpieczna jest emisja gęstego dymu zawierającego gazy o działaniu drażniącym i toksycznym.

Współczesne unormowania prawne Unii Europejskiej zabraniają używania surowców zawierających halogeny i metale ciężkie w produkcji wielu wyrobów końcowych.

Podczas spalania kabla o izolacji z PVC o długości 10 m (izolacja ok. 3 kg) wydziela się około 300 l HCl. Jest to równoważne stężeniu HCl ok. 4000 ppm w pomieszczeniu o powierzchni 50 m², co 8-krotnie przekracza dawkę śmiertelną.

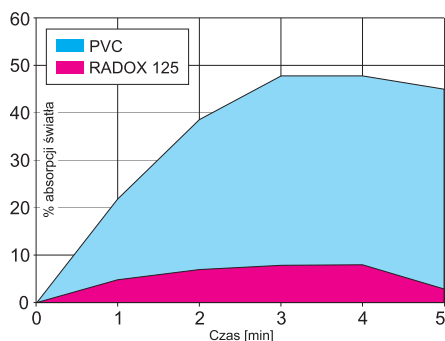


Szafa sterownicza NN w ET22-2000



Bezpieczniki WN w ET22-2000

Emisja dymów

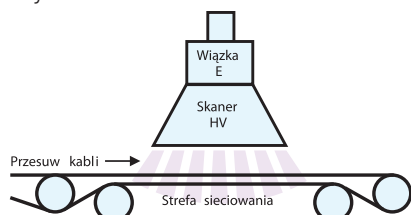


Rys. 1. Absorpcja światła – porównanie gęstości dymów emitowanych podczas spalania kabli o izolacji z PVC i z poliolefin sieciowanych radiacyjnie (RADOX® 125)

Polimery olefinowe są przyjazne dla środowiska naturalnego, jednakże ich wadą jest duża łatwopalność. Często stosowaną metodą poprawienia ognioodporności wyrobów z poliolefin jest dodawanie różnych substancji utrudniających proces palenia, które jednak najczęściej zawierają związki halogenowe lub pochodne metali ciężkich.

Sieciowanie

Poliolefinowa izolacja żył oraz powłok kabli kolejowych RADOX® jest modyfikowana przez sieciowanie radiacyjne. HUBER+SUHNER AG jest jednym z niewielu producentów kabli na świecie, którzy posiadają urządzenia umożliwiające sieciowanie radiacyjne powłok kablowych.

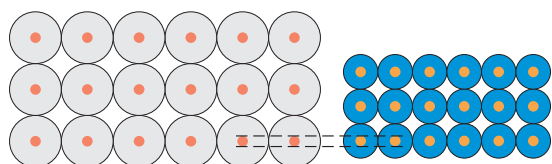


Rys. 2. Sieciowanie radiacyjne powłok kabli

Sieciowanie zmienia strukturę chemiczną polimerów. Z materiałów termoplastycznych, topliwych powstają materiały elastomerowe, nie topliwe.

Dzięki sieciowaniu radiacyjnemu izolacja kabli jest:

- trudno zapalna;
- odporna na starzenie;
- cieńsza;
- wytrzymała termowo (temperatura pracy ciągłej -40°C do $+120^{\circ}\text{C}$);
- odporna na działanie większości olejów, chemikaliów;
- nie topi się w wysokiej temperaturze.



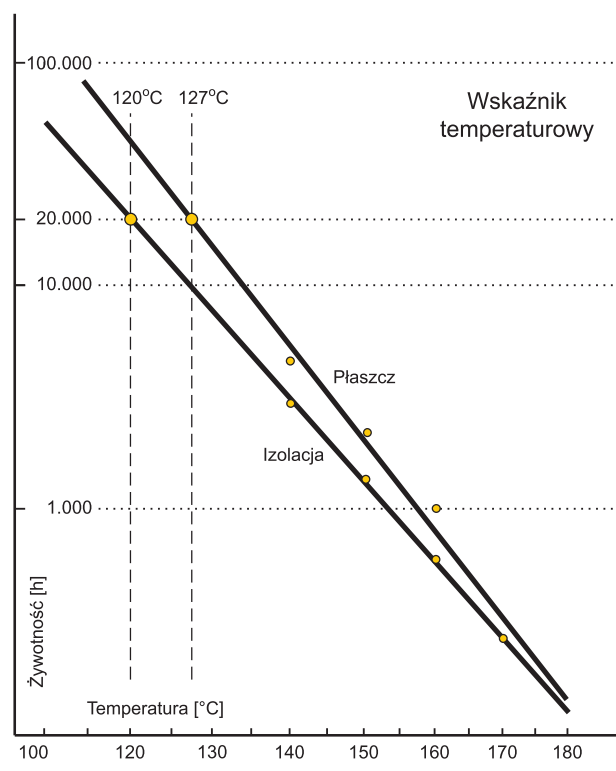
Rys. 3. Po sieciowaniu zewnętrzna średnica kabli jest o ponad 30% mniejsza w porównaniu z kablami tradycyjnymi, przy jednoczesnym poprawieniu parametrów elektrycznych i mechanicznych

Typoszereg kabli RADOX®

Rodzina/seria kabli	Liczba żył	Przekrój [mm ²]
<i>RADOX® 3GKW (600 V~/900 V=)</i>		
3GKW	1	0,5–400
3GKW EMC	1	0,5–185
3GKW/S	2–36	0,5–25
3GKW/S EMC	2–27	0,5–50
<i>RADOX® 4GKW-AX (1800 V~/2250 V=)</i>		
4GKW-AX	1	1,5–400
4GKW-AX EMC L	1	1,5–300
4GKW-AX/S EMC	2–6	1,5–95
4GKW-AX-FR	1	1,5–120
<i>RADOX® 9GKW-AX (3600 V~/4500 V=)</i>		
9GKW-AX	1	1,5–400
9GKW-AX EMC L	1	1,5–300
<i>RADOX® GKW-LW (600 V~/900 V=)</i>		
GKW-LW	1	0,25–4,0
GKW-LW/S	2–50	0,25–2,5
GKW-LW/S EMC	2–48	0,25–2,5
<i>RADOX® GKW-RW (300 V~/300 V=)</i>		
GKW-RW/S	2–25	0,34–1,5
GKW-RW/S EMC	2–50	0,34–1,5
<i>Kable do transmisji danych Databus, UIC 558</i>		
2×0,75 mm ² (120 Ω)	2	0,75
4×4×1,0 mm ²	16	1,0
4×4×1,0 mm ² +2×0,75 mm ² (120 Ω)	18	1/0,75

Starzenie

Wszystkie odmiany RADOX® GKW, testowane metodami zalecanymi w normie IEC 60 216 na podstawie pomiaru wydłużenia trwałego (do 50%), wykazywały następującą charakterystykę pod względem starzenia się.



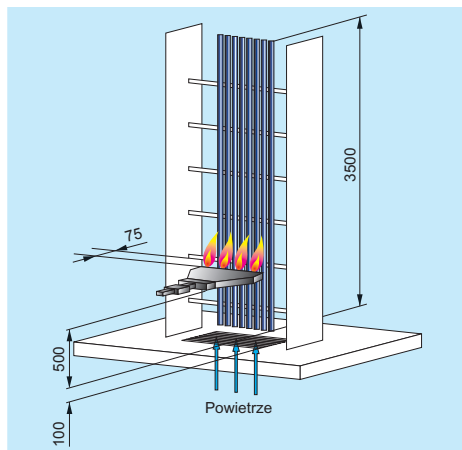
Rys. 4. Wskaźnik temperaturowy izolacji kabli 4/9GKW-AX

Bezpieczeństwo pożarowe

Współczesna filozofia bezpieczeństwa w taborze szynowym dąży do ograniczenia potencjalnych strat poprzez stosowanie takich materiałów i rozwiązań projektowych, które hamują rozprzestrzenianie się ognia i zachowują zdolności funkcjonalne zasadniczych części systemu.

Współczesne koncepcje bezpieczeństwa pożarowego, polegające na ocenie „całkowitego ryzyka pożarowego” (*Total Fire Hazard*), wymagają, aby komponenty używane w produkcji taboru (m.in. kable) były badane zgodnie z metodyką określoną między innymi w następujących dokumentach normatywnych:

- opóźnienie zapłonu IEC 60332-1
- gęstość dymów IEC 61034
- rozprzestrzenianie ognia IEC 60332-3
- toksyczność UITP Część 2 E7
- korozyjność IEC 60754-2



Rys. 5. Układ doświadczenia do badania rozprzestrzeniania ognia, zgodnie z normą IEC 60332-3

Obecnie każdy kraj ma własne prawodawstwo regulujące zagadnienia bezpieczeństwa w taborze kolejowym. Diagram (rys. 6) ukazuje ewolucję wymagań przeciwpożarowych w różnych normach.

Obecnie są prowadzone końcowe prace nad stworzeniem systemowej normy obejmującej całokształt zagadnień bezpieczeństwa w taborze szynowym na terenie Unii Europejskiej (pr EN 45545), która będzie dotyczyła taboru poruszającego się pomiędzy różnymi państwami (powszechny dostęp do ogólnoeuropejskiego systemu kolejowego).

CZAS	Koleje podziemne		Koleje naziemne		NORMY "WSPÓLczesne"
	●	○	●	○	
200...?					prEN 45545-2
2001					DIN 5510-2
1999					BS 6853
1993			●	●	LUL/RSE/024 Pt 6 Hong Kong RS-16
1990			○	○	NF F 63 826 NF F 63 808
1989			●		Trans Manche
1988					DIN 5510
1981					AAR S-501
1979			●		UITP / APTA
1976				○	UIC

Rys. 6. Ewolucja kolejowych norm bezpieczeństwa pożarowego

Dwuwarstwowa konstrukcja izolacji

Spełnienie wszystkich wymagań przez kable o izolacji jednowarstwowej jest praktycznie niemożliwe, szczególnie przy wysokich napięciach i natężeniach prądu.

HUBER+SUHNER AG rozwinął technologię kabli o izolacji dwuwarstwowej (RADOX® 4GKW-AX, RADOX® 9GKW-AX, RADOX® GKW-LW), gdzie wewnętrzna warstwa izolacji ma bardzo dobre właściwości elektryczne, zaś warstwa zewnętrzna (płaszcz) jest trudno zapalna, odporna na rozprzestrzenianie się ognia, warunki zewnętrzne (chemikalia, pogoda) i na ścieranie.

Obciążalność prądowa

Obciążalność prądowa kabli elektrycznych zależy od:

- jakości materiału, z którego wykonano żyłę;
- pokrycia powierzchni żyły (goła, cynowana, srebrzona, niklowana);
- pojemności cieplnej materiału, z którego wykonano izolację;
- topliwości materiałów izolacyjnych;
- temperatury otoczenia;
- sposobu zastosowania kabla:
 - na powietrzu bez ostony, w korycie kablowym, rurze ostonowej lub pod ziemią;
 - jako kabel pojedynczy lub w wiązce kablowej.

W tabelicy 2 przedstawiono maksymalne dopuszczalne wartości temperatury żył dla różnych materiałów izolacyjnych zgodnie z normą IEC 60216 (20 tys. godz./50% wydłużenia przy całkowitym zerwaniu).

Tabela 2

Maksymalna dopuszczalna temperatura żyły (praca ciągła)

PVC	[°C]	70
XL PVC, PE, XLPE, EPR	[°C]	90
RADOX® 125	[°C]	120

- PVC – polichlorek winylu,
- XL PVC – polichlorek winylu usieciowany,
- PE – polietylen,
- XLPE – polietylen sieciowany,
- EPR – elastomer etyleno-propylenu,
- RADOX® 125 – poliolefiny sieciowane.

Maksymalna temperatura pracy jest określona przez wskaźnik temperaturowy (*Ti*) zgodnie z normą IEC 60216. Wskaźnik temperaturowy jest to liczba odpowiadająca temperaturze pochodnej od wytrzymałości temperaturowej i założonego czasu pracy (zwykle 20 tys. godz.). Innymi słowy, jeżeli materiał o wskaźniku temperaturowym np. 120°C pracuje w temperaturze 120°C przez 20 tys. godz., to jego wydłużenie przy zerwaniu zmniejsza się do 50% wartości początkowej.

Maksymalna temperatura pracy krótkotrwałej zależy od tego czy materiał izolacyjny jest sieciowany, czy nie. Większość materiałów izolacyjnych to tworzywa termoplastyczne, czyli takie, które mięknią i topią się w podwyższonej temperaturze, np. PVC szybko topi się w temperaturze 140°C. Punkt topnienia polietylen (PE) wynosi 110°C. Materiały usieciowane są nie topliwe, co oznacza, że nie mięknią, ani nie topią się nawet w bardzo wysokiej temperaturze. Zatem nawet bardzo duży, krótkotrwały, wzrost temperatury przewodnika, jaki może wystąpić w przypadku zwarcia lub przeciążenia, nie niszczy tych materiałów.

W tablicy 3 przedstawiono zależność między natężeniem prądu a szybkością nagrzewania się żyły.

Tablica 3

Wzrost temperatury żyły (0,5 mm²) od +30°C do +70°C

Natężenie prądu [A]	134	95	60	42	30	19
Czas [s]	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0

Jeżeli kable/przewody pracują w sposób ciągły w temperaturze wyższej niż określona przez wskaźnik temperaturowy (zgodnie z normą IEC 60216), to nastąpi skrócenie ich „czasu życia”. Jeżeli jednak temperatura pracy jest niższa od określonej, to „czas życia” się wydłuży.

W tablicy 4 przedstawiono maksymalne dopuszczalne natężenie prądu, przy zastosowaniu różnych materiałów izolacyjnych, w temperaturze otoczenia +30°C, na wolnym powietrzu. W wyższej temperaturze otoczenia i/lub przy stosowaniu kabli w wiązkach lub w kanałach (osłonach) kablowych należy zastosować odpowiednie wskaźniki korygujące.

Tablica 4

Maksymalne dopuszczalne natężenie prądu

Przekrój kabla [mm ²]	PVC $t_{otocz} = 30^{\circ}\text{C}$ $t_{żyły} = 70^{\circ}\text{C}$	RADOX®125 $t_{otocz} = 30^{\circ}\text{C}$ $t_{żyły} = 120^{\circ}\text{C}$
	[A]	
0,25	7,8	12
0,34	9,4	14
0,50	12,0	18
0,75	15,0	24
1,00	18,0	29
1,50	26,0	36
2,50	35,0	50
4,00	46,0	67
6,00	58,0	89
10,00	79,0	127
16,00	105,0	170
25,00	140,0	225
35,00	174,0	285
50,00	212,0	359
70,00	269,0	454
95,00	324,0	547

Ochrona elektromagnetyczna

Kable i przewody, stosowane we współczesnym taborze szynowym, muszą spełniać coraz wyższe wymagania dotyczące ochrony elektromagnetycznej.

Duże wartości natężenia prądu, zasilanie impulsowe, coraz większa liczba przesyłanych danych oraz małe odległości między przewodami narzucają konieczność stosowania kabli ekranowanych o dużej skuteczności ekranowania.

Kable ekranowane z izolacją RADOX® zasilające, sterownicze oraz do przesyłu danych, zapewniają skuteczną ochronę przed zakłóceniami elektromagnetycznymi. Oplot ekranujący w kablach RADOX® jest tak skonstruowany, aby zapewnić optymalną skuteczność ekranowania przy zachowaniu wymaganej elastyczności przewodu. Jedną z miar skuteczności ekranowania kabla jest impedancja sprzężeniowa (*transfer impedance*).

Tablica 5

Impedancja sprzężeniowa przykładowych kabli RADOX®

Rodzina/typ kabla	Przykładowy kabel [$n \times \text{mm}^2$]	Impedancja sprzężeniowa [mΩ/m]
<i>RADOX® 3GKW (600 V~/900 V=)</i>		
3GKW EMC	1×50	≤10*
3GKW/S EMC	10×1,5	≤60
<i>RADOX® 4GKW-AX (1800 V~/2250 V=)</i>		
4GKW-AX EMC L	1×50	≤70
4GKW-AX/S EMC	4×50	≤10
<i>RADOX® 9GKW-AX (3600 V~/4500 V=)</i>		
9GKW-AX EMC L	1×50	≤70
<i>RADOX® GKW-LW (600 V~/900 V=)</i>		
GKW-LW/S EMC	10×1,5	≤40
<i>RADOX® GKW-RW (300 V~/300 V=)</i>		
GKW-RW/S EMC	10×1,5	≤70*
<i>Kable do transmisji danych Databus, UIC 558</i>		
2×0,75 mm ² (120 Ω)	—	≤30*
4×4×1,0 mm ²	—	≤10*
4×4×1,0 mm ² +2×0,75 mm ² (120 Ω)	—	≤30*

* Przy $f \leq 30 \text{ MHz}$

Łatwość instalacji

Kable z izolacją RADOX® (szczególnie o izolacji dwuwarstwowej) mają relatywnie małą masę, małe średnice zewnętrzne i promienie zgięcia, co znacznie ułatwia ich układanie.

W tablicach 6 i 7 przedstawiono porównanie średnic zewnętrznych i mas 1 km kabli o izolacji z PVC i z kopolimerów RADOX®.

Tablica 6

Kable do 1 kV

Przekrój kabla [mm ²]	LgY-K 750 V		GLG-K 750 V		RADOX® 3GKW izolacja jednowarstwowa 600 V~/900 V=	
	[mm]	[kg/1km]	[mm]	[kg/1km]	[mm]	[kg/1km]
1,5	3,6	25	5,9	42	2,7	19,5
2,5	4,3	40	6,6	60	3,3	30,5
4,0	5,1	55	7,3	76	3,9	46,0
6,0	6,3	80	8,4	112	4,7	69,0
16,0	9,3	210	11,5	250	7,3	166,0
25,0	11,5	320	13,8	385	8,9	250,0
70,0	16,5	750	19,3	880	14,3	690,0
95,0	19,9	1200	22,0	1160	15,9	900,0

Tablica 7

Kable powyżej 3 kV

Przekrój kabla [mm ²]	GLGb-K 3 kV		RADOX® 9GKW-AX izolacja dwuwarstwowa 3,6 kV~/4,5 kV=	
	[mm]	[kg/1km]	[mm]	[kg/1km]
1,5	10,3	111	4,4	30
2,5	10,8	130	4,9	50
4,0	11,1	164	5,7	60
6,0	12,5	195	6,3	90
16,0	14,9	340	9,4	210
25,0	16,8	485	10,9	300
70,0	22,3	1025	16,5	770
95,0	25,2	1340	18,3	1000

W tablicach 8 i 9 przedstawiono porównanie liczby kabli ułożonych w kanale kablowym o przekroju 1 dm², przy 70% wypełnieniu.

Tablica 8

Kable do 1 kV

Przekrój kabla [mm ²]	LgY-K	GLgG-K	RADOX® 3GKW izolacja jednowarstwowa 600 V~/900 V=
	750 V [szt.]	750 V [szt.]	[szt.]
1,5	510	202	960
2,5	370	157	642
4,0	253	138	448
6,0	158	100	316
16,0	85	57	131
25,0	57	35	88
70,0	26	17	34
95,0	18	14	27

Tablica 9

Kable powyżej 3 kV

Przekrój kabla [mm ²]	GLgGb-K	RADOX® 9GKW-AX izolacja dwuwarstwowa 3,6 kV~/4,5 kV=
	3 kV [szt.]	[szt.]
1,5	65	361
2,5	60	291
4,0	54	215
6,0	45	176
16,0	32	80
25,0	24	59
70,0	14	26
95,0	11	21

Jakość

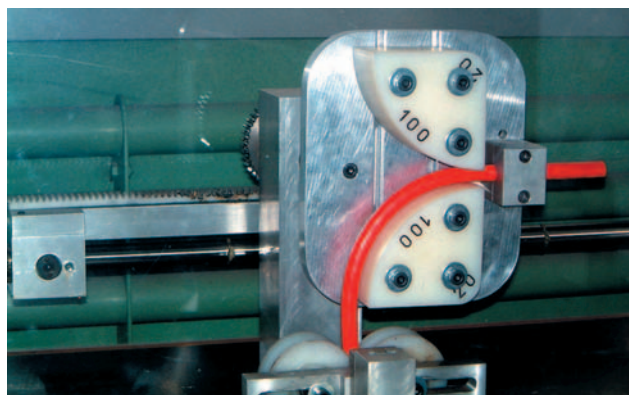
Kable kolejowe RADOX® są produkowane przy zachowaniu najwyższych standardów jakości, zgodnie z wymaganiami normy ISO 9001:2000. Kontrola jakości jest prowadzona w wielu krytycznych miejscach procesu produkcyjnego. Partie kabli, które nie spełniają wymagań, nie są dopuszczane do sprzedaży. Każda partia kabli jest również poddawana kontroli przed ekspedycją do klientów.



Punkt kontroli jakości na linii produkcyjnej



Test na skręcanie w laboratorium HUBER+SUHNER AG



Test na zginanie wielokrotne w laboratorium HUBER+SUHNER AG

Nowe konstrukcje kabli są testowane w autoryzowanych laboratoriach zewnętrznych i we własnych laboratoriach HUBER+SUHNER AG.

Badania i testy kontrolne są prowadzone według metod określonych w normach międzynarodowych.

Referencje

Kable kolejowe RADOX® są stosowane przez największych światowych producentów taboru szynowego, takich jak Bombardier Transportation, Siemens Transportation Systems, czy Alstom Transport.

W Polsce kable RADOX® stosują w swojej produkcji między innymi Pojazdy Szynowe Pesa, Kolzam, Bumar-Fablok, Bombardier Transportation Polska, Alstom Konstal i Dellner Couplers.

Tabor szynowy z zamontowanymi kablami RADOX® jest użytkowany przez operatorów europejskich (m.in. DB – Niemcy, ÖBB – Austria, SBB – Szwajcaria, WCML, LUL – Wielka Brytania), azjatyckich (m.in. KCRC – Hongkong, Tucheng Metro – Taiwan) i amerykańskich (m.in. New Jersey Transit, – USA, Metro São Paulo, Metro Fortaleza – Brazylia).

Autorzy

mgr Andrzej Stelmasiewicz

mgr inż. Jerzy Szczepanik

konsultacja techniczna – dr inż. Andrzej Kamiński

Kable RADOX®



Świadectwo UTK

Dopuszczenia:

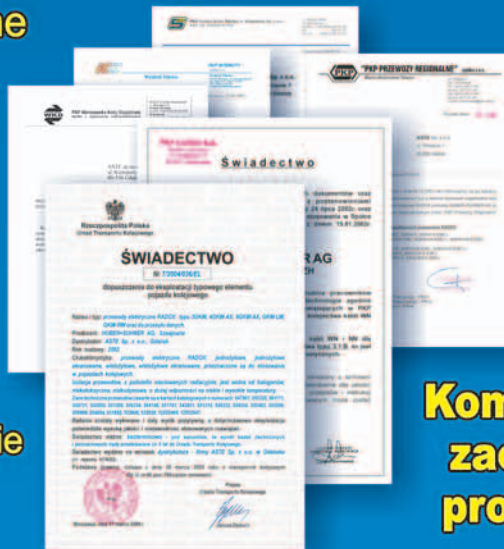
- PKP CARGO
- PKP Przewozy Regionalne
- PKP Intercity
- PKP WKD
- PKP SKM w Trójmieście

Kable zasilające

Kable sterownicze

Kable do przesyłu danych

- izolacja sieciowana radiacyjnie
- wolne od halogenów
- samogasnące
- niskodymowe
- niskotoksyczne
- temp. pracy $-40 \div +120^{\circ}\text{C}$
- wysoka obciążalność prądowa
- cienkościenne
- lekkie
- elastyczne



Kompleksowe zaopatrzenie producentów taboru szynowego

System ochrony kabli PMA

Złącza kablowe GIMOTA

Koryta kablowe siatkowe

Opaski, taśmy kablowe

Oznaczniki kablowe

Obejmy do węży



ISO 9001:2000

ASTE

Sp. z o.o.

ul. Wielopole 7
80-556 Gdańsk
telefony:
(0-58) 340 69 00
(0-58) 342 00 00
fax:
(0-58) 342 00 22
e-mail:
aste@aste.pl
internet:
www.aste.pl



HUBER-SUNNER



HellermannTyton

