

Ewa Dziedzic¹

NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA TECHNICZNE W PRODUKCJI ŻYŁ I PRZEWODÓW GOŁYCH

Streszczenie: W referacie przedstawiono nowoczesne rozwiązania techniczne w zakresie produkcji żył i przewodów gołych w wyniku zakupu najnowszej generacji maszyn, urządzeń i technologii. Omówiono ważniejsze wdrożenia niezawodnych w eksploatacji przewodów o nowych i zmodernizowanych konstrukcjach.

Wstęp

Krakowska Fabryka Kabli S.A. zaliczana do największych przedsiębiorstw na krajowym rynku kabli i przewodów jest firmą o ponad 70-letniej tradycji i doświadczeniu w branży elektromaszynowej. Obecnie główny akcjonariusz Zakłady Kablowe Tele-Fonika s.c. posiada 98,5% akcji KFK S.A. Realizacja na wielką skalę programu inwestycyjnego spowodowała wyraźny wzrost potencjału produkcyjnego nowoczesnych i konkurencyjnych wyrobów kablowych zarówno na rynku krajowym jak i na rynkach zagranicznych.

1. Jakość drutów – podstawowych elementów żył przewodzących

Do produkcji żył kabli i przewodów używa się drutów miedzianych gołych i ocynowanych, aluminiowych i stopowych o różnorodnej geometrii przekroju poprzecznego (okrągłe, sektorowe, prostokątne). Aby zapewnić wysokie walory użytkowe przewodów musi być zagwarantowana najwyższa jakość wszystkich elementów konstrukcyjnych poczynawszy od drutu poprzez zachowanie odpowiedniego reżimu technologicznego.

Czynniki wpływające na jakość drutu:

- materiał,
- maszyna,
- medium smarno-chłodzące,
- ciągadła,
- zabezpieczenie powierzchni drutu.

¹ Krakowska Fabryka Kabli S.A. Grupa Kapitałowa Tele-Fonika

Materiały przewodowe

Podstawowymi materiałami używanymi do celów elektrotechnicznych są miedź (gat.MIE o czystości min. 99,9%Cu), aluminium (gat.AIE-99,5% Al), aluminium stopowe (AlMgSi), miedź z dodatkiem srebra (CuAg 0,10) w postaci walcówek krajowych i z importu, o gwarantowanej najwyższej jakości.

Nowy park maszynowy

W wyniku realizacji na szeroką skalę programu inwestycyjnego przez Zakłady Kablowe Tele-Fonika s.c. powstał m.in. kompleks ciągarniczy jeden z najnowocześniejszych w Europie. **Ciągarnia w Krakowie-Bieżanowie wyposażona jest w najnowszej generacji maszyny i urządzenia produkcji renomowanych firm zachodnich:**

- **Ciągarki 2 i 16- biegowe** (grubociągi do Cu i Al, średniciągi i cieńkociągi do Cu) pozwoliły na rozszerzenie asortymentu produkcyjnego drutów do średnicy 0,10 mm oraz produkcję pasemek 16-drutowych (o śr.dr.0,10-0,50 mm)
- **Ciągarka 5-cio stopniowa** do przewodów jezdnych (trolley), oraz drutów nawojowych prostokątnych i okrągłych o przekrojach do 180 mm²
- **Piec kołpakowy** do bezalotowego żarzenia w atmosferze ochronnej drutów Cu
- **Urządzenia Conform** do produkcji masywnych żył aluminiowych sektorowych i okrągłych o przekrojach do 240 mm² (2 szt) oraz rur Al z modułem światłowodowym (1 szt)
- **Pocynownie elektrolityczne** do cynowania drutów miedzianych o średnicy do 3,6 mm i grubości pokrycia do 20 μm
- **Skręcarki dławiące** do skrętek i żył o przekrojach do 10 mm²
- **Skręcarka 4-koszowa** do produkcji żył i przewodów Cu i Al o przekrojach do 1200 mm² wyposażona dodatkowo w urządzenia „preforming” i „postforming” oraz system do aplikacji smaru.

Medium smarno-chłodzące

Odpowiedni środek smarno-chłodzący w procesie ciągnięcia gwarantuje uzyskanie drutów o wysokiej jakości powierzchni (gładkiej i błyszczącej) oraz właściwej struktury wewnętrznej drutu co ma wpływ na parametry mechaniczne i elektryczne.

Przeprowadzone liczne testy środków smarnych od różnych producentów krajowych i zagranicznych pozwoliły na dokonanie wyboru i zastosowanie środków przynoszących najlepsze efekty jakościowe i ekonomiczne.

Ciągadła

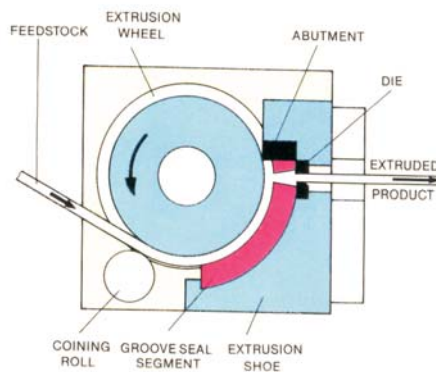
Zastosowanie wysokiej klasy ciągałek compaxowych wytworzonych w procesie ciśnieniowego spiekania proszków diamentowych, pozwala na produkcję drutów o gładkiej powierzchni i stabilnej geometrii wymiarowej. Trwałość ciągałek ma duże znaczenie w produkcji 16-drutowych pasemek z drutów o średnicy 0,10 mm gdzie w procesie ciągnięcia używa się około 400 szt. ciągałek. Wysoka żywotność ciągałek ma wpływ na obniżenie kosztów produkcji.

Zabezpieczenie drutów przed utlenianiem.

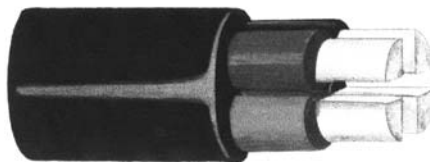
Trwałe zabezpieczenie powierzchni drutów przed utlenianiem bezpośrednio po wyżarzaniu w linii, wybranym po licznych testach środkiem zabezpieczającym, daje pełną gwarancję zachowania czystej, błyszczącej powierzchni drutu, co nie jest bez znaczenia w procesie izolowania przewodów.

2. Produkcja żył aluminiowych masywnych technologią Conform

Urządzenia Conform jedyne w polskim przemyśle kablowym przeznaczone są do produkcji aluminiowych żył masywnych okrągłych i sektorowych oraz rur z modułem światłowodowym. Proces technologiczny przebiega na zasadzie ciągłego wyłaczania materiału w postaci 2-ch walcówek aluminiowych o średnicy 9,5 mm. Oczyszczony chemicznie materiał podawany jest w sposób ciągły do rowkowanego obrotowego koła odlewniczego. W trakcie procesu wytwarza się odpowiednia temperatura i ciśnienie co pozwala na przetłoczenie wsadu przez matrycę (ciągadło) o geometrii przekroju poprzecznego odpowiedniego dla wyrobu gotowego. Produkt w stanie wyżarzonym zostaje wprowadzony do systemu chłodzenia a następnie na urządzenie odbiorcze. Urządzenie Conform pozwala na produkcję aluminiowych żył masywnych sektorowych i okrągłych w zakresie przekrojów 25 do 240 mm² ora rur aluminiowych o średnicach do 22 mm.



Aluminiowe żyły sektorowe masywne o najwyższej jakości powierzchni i stabilnych własnościach w funkcji długości są stosowane m. in. do kabli YAKY, YAKXS, NAYY.

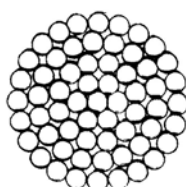
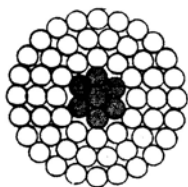


3. Nowe i zmodernizowane wyroby

Przewody z aluminium stopowego

Po wdrożeniu do produkcji jednorodnych przewodów AAL z aluminium stopowego ALMgSi przeznaczonych do napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokich i średnich napięć warto przypomnieć o możliwości ich stosowania nie tylko w nowo-budowanych liniach, lecz również w liniach modernizowanych. Przedmiotem nowej normy zakładowej ZN-KFK-021:2000 są przewody gołe wielodrutowe o skręcie regularnym, wykonane ze stopu aluminium-magnez-krzem. Przewody te równoważne pod względem własności elektromechanicznych i średnicy stanowią zamienniki klasycznych przewodów stalowo-aluminiowych w gatunku AFL-6 i AFL-8.

3.1 Jednorodne przewody AAL – zamienniki AFL-6 i AFL-8



Oznaczenie przewodu:

AAL-240 ZN-KFK-021:2000

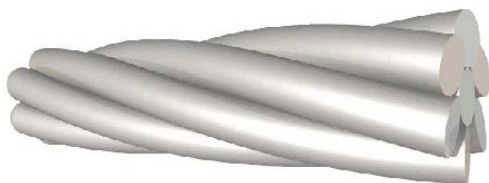
Objaśnienie oznaczenia:

- przewód ze stopu aluminium (AA)
- wielodrutowy (L)
- kod liczbowy 240 informuje, że jest to zamiennik przewodu AFL-6 240 mm²

Zalety przewodów stopowych w porównaniu z przewodami klasycznymi AFL:

- mniejsza masa,
- wysoka wytrzymałość mechaniczna,
- wysoka odporność na korozję,
- większa obciążalność prądowa,
- mniejszy zwis przewodu,
- korzystna charakterystyka termiczna,
- długa żywotność eksploatacyjna,
- ekonomiczna budowa linii.

3.2 Przewód z aluminium stopowego AAL 70 mm² zaprojektowany na nowe żerdzie żelbetowe typu KR do linii napowietrznych ŚN 15 kV



Objaśnienie oznaczenia: **AAL 70**

- przewód napowietrzny ze stopu aluminium (AA) wielodrutowy (L) o przekroju znamionowym 70 mm²

Zastosowanie: do elektroenergetycznych linii napowietrznych średnich napięć.

Parametry i własności przewodu napowietrznego stopowego AAL 70mm²

Konstrukcja	(1+6)x3,56
Średnica D[mm]	10,7
Skok skrętu [x D]	12,9xD
Kierunek skrętu	Prawy
Przekrój obliczeniowy [mm ²]	70,15
Masa liniowa 1 km przewodu [kg]	190,31
Obliczeniowa siła zrywająca [kN]	22
Rezystancja obliczeniowa w 200°C [Ω/km]	0,439

Własności drutów stopowych (typ A – wg IEC 104)

Średnica [mm]	3,56 ±1%
R _m [MPa] min.	315
A ₂₅₀ [%] min.	3,0
ρ [nΩm.] max	31,0
Moduł sprężystości [Mpa]	5,9x10 ⁴
Wsp. wydłużenia cieplnego [1/°C]	23x10 ⁻⁶

Porównanie parametrów przewodów AAL70 i AFL-6 70

Parametry	Przewód AAL 70mm ²	Przewód AFL-6 70 mm ²
Konstrukcja	(1+6)x3,56 mm - wszystkie druty ze stopu AlMgSi	(1+6)x3,75 mm - 1 drut stalowy 6 drutów Al
Średnica (mm)	10,7	11,25
Przekrój obliczeniowy (mm ²)	70,4	77,31
Obliczeniowa siła zrywająca (kN) min.	23	23
Masa przewodu (kg/km)	190	272
Moduł Yunga (MPa)	5,9 x 10 ⁴	7,52 x 10 ⁴
Współczynnik wydłużenia cieplnego (1/°C)	23 x 10 ⁻⁶	18,7 x 10 ⁻⁶
Rezystancja obliczeniowa 1km w 20°C (Ω/km) max	0,439	0,44

Porównanie charakterystycznych parametrów projektowych linii SN na nowych żerdziach typu KR i na żerdziach wirowanych

Linia na żerdziach KR z przewodami AAL 70 mm ²		Linia na żerdziach KR z przewodami AFL 70 mm ²	
Napężenie obliczeniowe $p_0 = 120$ MPa		Napężenie obliczeniowe $p_0 = 110$ MPa	
Przęsło gabarytowe 210 m		Przęsło gabarytowe 200 m	
Przęsło wytrzymałościowe 210 m		Przęsło wytrzymałościowe 210 m	
Zwis w temp. +40°C $l = 210$ m.	4,18 m (mniejszy o 1,09)	Zwis w temp. +40°C $l = 210$ m	5,27 m
Zwis w temp. -5°C _{SN} $l = 210$ m.	4,93 m (mniejszy o 0,57)	Zwis w temp. -5°C _{SN} $l = 210$ m	5,50 m

Zalety:

Zastosowanie przewodów AAL 70mm² na nowo zaprojektowanych żerdziach żelbetowych typu KR pozwoli uzyskać nowoczesne i atrakcyjne ekonomicznie linie na napięcie 15 kV. Spodziewane efekty ekonomiczne budowy nowej linii wyniosą ok. 8% w porównaniu do budowy linii z zastosowaniem przewodów typu AFL i żerdzi tradycyjnych.

3.3 Przewód odgromowy typ AAFL-1,7 70 mm² ze stopu aluminium wzmocniony rdzeniem stalowym.



Objaśnienie symboliki oznaczenia przewodu: **AAFL-1,7 70**

- przekrój: 70 mm² ze stopu aluminium (AA) z rdzeniem stalowym (F) wielodrutowy (L) stosunek stopu do stali (1,7)

Zastosowanie: w elektroenergetycznych liniach napowietrznych w celu ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi.

Parametry i własności przewodu napowietrznego odgromowego AAFL-1,7 70mm²

	Część stopowa	Część stalowa
Konstrukcja	12/2,6	7/2,6
Średnica [mm]	13	7,8
Skok skrzytu [x D]	12,9xD	20xD
Kierunek skrzytu	prawy	lewy
Przekrój obliczeniowy części stalowej [mm ²]	-	37,16
Przekrój obliczeniowy części AlMgSi [mm ²]	63,71	-

Przekrój obliczeniowy całego przewodu [mm ²]	100,9
Masa liniowa 1 km przewodu [kg]	455
Obliczeniowa siła zrywająca [kN]	81,69*
Rezystancja obliczeniowa w 200C [Ω /km] max	0,491
*Obliczeniowa siła zrywająca dla przewodu AFL-1,7 70 mm ² wynosi 51,05 kN	

Własności drutów ze stali typu S2

Średnica (mm)	2,6 ±0,04
R _m [MPa] min.	1410
A ₂₅₀ [%] min.	2,5
Moduł sprężystości [MPa]	19,6x10 ⁴
Wsp. wydłużenia cieplnego [1/°C]	11,5x10 ⁻⁶

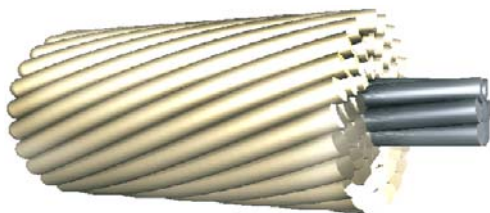
Własności drutów stopowych – typ B (wg IEC 104)

Średnica [mm]	2,6±0,03
R _m [MPa] min.	295
A ₂₅₀ [%] min.	3,0
ρ [n Ω m] max	32,53
Moduł sprężystości [MPa]	5,9x10 ⁴
Wsp. wydłużenia cieplnego [1/ °C]	23x10 ⁻⁶

Zalety przewodów odgromowych stalowo - stopowych

Przewód odgromowy z aluminium stopowego z rdzeniem stalowym charakteryzuje się znacznie wyższymi parametrami mechanicznymi (siła zrywająca oraz wytrzymałość zmęczeniowa przy współpracy z uchwytami przelotowymi) od przewodu AFL-1,7. Nowa konstrukcja przewodu przy zachowaniu wymaganych parametrów elektrycznych gwarantuje długą żywotność oraz niezawodność eksploatacyjną.

4. Przewód z aluminium stopowego AAL 400 „S” do modernizacji linii 220 kV Kopenina – Liskowiec, Bujaków – Liskovec



Objaśnienie oznaczenia: **70AAL 400 „S”**
 – przewód napowietrzny ze stopu aluminium (AA), wielodrutowy (L), o przekroju 400 mm², wykonanie o podwyższonych parametrach technicznych (S), wnętrze pokryte smarem

**Parametry i własności przewodu
napowietrznego stopowego AAL 400mm² typ „S”**

Konstrukcja	(1+6+12+18+24)x2,90
Średnica D [mm]	2,90
Skok skrętu [x D]	15 Dw / 11 Dz
Kierunek skrętu	Prawy
Przekrój obliczeniowy [mm ²]	402,9
Masa liniowa 1 km przewodu ze smarem [kg]	1160,8
Obliczeniowa siła zrywająca [kN]	137,0
Rezystancja obliczeniowa w 20°C [Ω/km]	0,0818
Minimalny końcowy moduł sprężystości obl. Wg IEC 1597[MPa x 10 ⁻³]	58,3

Własności drutów AL stopowych (AlMgSi)

Średnica znamionowa [mm]	2,90
R _m [MPa] min.	340
A ₂₅₀ [%] min.	3,0
ρ [nΩm] max	32,23
Moduł sprężystości [MPa]	5,9x10 ⁴
Wsp. wydłużenia cieplnego [K ⁻¹]	23x10 ⁻⁶
Stopień relaksacji naprężeń po czasie 10 h [%] max	6,5
Stopień relaksacji naprężeń po czasie 25 h [%] max	7,0
Pelzanie 10-letnie ε _p [‰]	0,33

Porównanie parametrów przewodu AAL 400 typ „S”- zamiennika AFL-8 350 mm²

Parametry	Przewód AAL 400 typ „S”	Przewód AFL-8 350 mm ²
Konstrukcja	(1+6+12+18+24)x2, 90 mm wszystkie druty ze stopu AlMgSi	54x2,90 / 7x2, 90 Fe mm rdzeń stalowy 7x2,90
Średnica (mm)	26,10	26,10
Przekrój obliczeniowy (mm ²)	402,90	402,90
Obliczeniowa siła zrywająca (kN) min.	137,0	112,21
Masa przewodu ze smarem (kg/km)	1160,80	1352,00
Moduł Younga (MPa)	6,0 x 10 ⁴	6,9 x 10 ⁴
Współczynnik wydłużenia cieplnego (1/°C)	23 x 10 ⁻⁶	19,3 x 10 ⁻⁶
Temperaturowy współczynnik rezystancji α _R [K ⁻¹]	0,0036	0,00403
Rezystancja obliczeniowa 1km w 20°C (Ω/km) max	0,0818	0,0821

Zalety przewodu AAL 400 typ „S” zamiennika przewodu AFL-8 350

Siła zrywająca wyższa o 22,1%, masa mniejsza o 16,5 %, porównywalna rezystancja, jednorodna konstrukcja, zabezpieczenie antykorozyjne (wszystkie warstwy wewnętrzne pokryte smarem, gwarancja dłuższej żywotności w warunkach eksploatacyjnych).

5. Podsumowanie

Na wysoką jakość przewodów, jak również realizację nowoczesnych konstrukcji składa się wiele czynników, które zostały omówione w niniejszym referacie. Warto również podkreślić znaczenie prowadzonych przez nas na szeroką skalę prac badawczo-rozwojowych realizowanych przez AGH i dofinansowanych przez Komitet Badań Naukowych. Kompleksowe badania nowych rozwiązań konstrukcyjnych przeprowadzone zostały w specjalistycznych jednostkach badawczych takich jak Energoprojekt-Kraków i Instytut Energetyki w Warszawie. Dzięki tym działaniom udało się między innymi uruchomić produkcję nowej generacji przewodów z aluminium stopowego do elektroenergetycznych linii napowietrznych średnich i wysokich napięć, które uzyskały pozytywną opinię Polskich Sieci Elektroenergetycznych. Zaprezentowane Państwu przykłady nowych rozwiązań technologicznych produkcji żył i przewodów o wysokich walorach użytkowych zasługują na uwagę w świetle nowej rzeczywistości ekonomicznej.