



---

## Kable i przewody (nn, SN, WN)

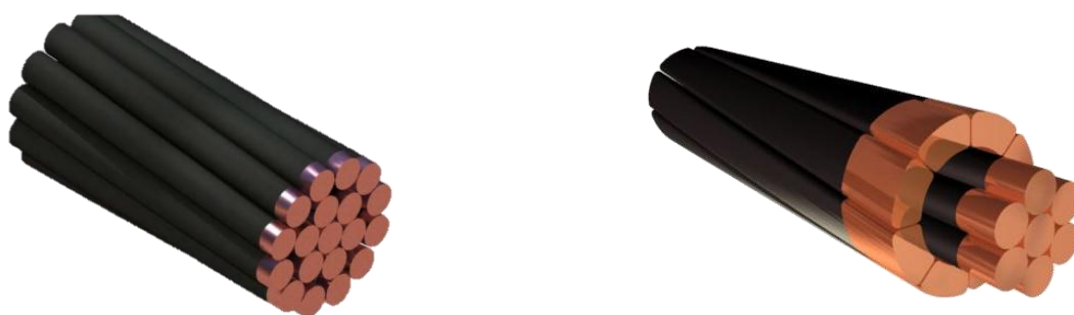
### Przewody napowietrzne z miedzi stopowej

Fernando Nuño

Styczeń 2014

## Streszczenie

Operatorzy sieci przesyłowych stają przed istotnymi, a nawet sprzecznymi wyzwaniami. Duża zmienność dostaw energii ze źródeł odnawialnych i większy nacisk kładziony na efektywność energetyczną wymagają rozbudowy sieci, a przy tym opory przeciwko budowaniu nowych linii napowietrznych nigdy nie były tak silne. Częścią rozwiązania tego problemu mogą być przewody z miedzi stopowej. Ich cenną właściwością jest efektywność energetyczna i odporność na chwilowe przeciążenia. Odporność na przeciążenia wynika z większej odporności miedzi na pękanie w wysokich temperaturach. Efektywność energetyczna przewodu miedzianego równoważy jego wyższy koszt początkowy. W wyniku tego koszt życia (LCC) przewodu z miedzi stopowej jest tego samego rzędu, lub niższy niż przewodu stalowo aluminium (ACSR). Wyliczenia te są wynikiem dwóch studiów wykonalności przeprowadzonych przez holenderską agencję konsultingową DNV KEMA: jedno dotyczące budowy nowych linii przesyłowych, drugie renowacji i modernizacji istniejących linii. To drugie studium wykazało także, dlaczego przy większym ciężarze właściwym miedzi w porównaniu z aluminium, nie zachodzi potrzeba wzmacniania słupów linii napowietrznych. W istocie rzeczy większa wytrzymałość mechaniczna miedzi czyni stalowy rdzeń zbędnym, a mniejszy przekrój poręczny w połączeniu z powłoką hydrofobową skutkuje mniejszym obciążeniem od wiatru i od oblodzenia. Z tych powodów przewody miedziane szczególnie nadają się stosowania w zimnym i wietrznym klimacie.



*Rysunek 1. Przekrój poprzeczny przewodu napowietrznego wykonanego z miedzi stopowej z drutami okrągłymi i trapezowymi.*

## Wprowadzenie: wyzwania stojące przed operatorami systemów przesyłowych

Energetyka jest obecnie w stadium całkowitej transformacji. Zmieniające się struktury rynków w połączeniu z coraz bardziej rozproszoną, zmienną i nieprzewidywalną generacją energii elektrycznej różnego pochodzenia komplikują zarządzanie siecią elektroenergetyczną. Operatorzy sieci przesyłowych stają obecnie przed istotnymi, a nawet sprzecznymi wyzwaniami.

**Elektrownie wykorzystujące odnawialne źródła energii są często budowane w odległych miejscach.** Wymaga to budowy nowych linii w celu połączenia ich z główną siecią elektroenergetyczną i przesyłania wytworzonej energii do miejsc poboru.

Coraz większy udział energii odnawialnej w generacji energii elektrycznej jest powodem **dużej zmienności dostawy energii**. Sieć jest traktowana, jako istotny element rozwiązania problemu tej zmienności, ponieważ umożliwia wymianę energii elektrycznej między regionami, w których pojawia się jej nadmiar i regionami gdzie występują chwilowe szczyty zapotrzebowania. Sprostanie wymogom nowego typu wymiany energii wymaga rozbudowy sieci.

Jednakże **nigdy dotąd opory przeciwko budowie nowych linii nie były tak silne**. Budowa nowych linii w gęsto zaludnionych obszarach zawsze stanowiła wyzwanie. Obecnie niepewność, co do oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego oraz coraz bardziej restrykcyjne przepisy lokalne pogłębiają ten problem. W obszarach mniej zaludnionych proces uzyskania pozwolenia na nowe linie napowietrzne może być nawet bardziej skomplikowany z powodu ich wizualnego oddziaływania na krajobraz.

Z powodu zmiennego i nieprzewidywalnego profilu generacji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, operatorzy systemów przesyłowych są coraz częściej zmuszeni **eksploatować linie elektroenergetyczne na granicy ich zdolności przesyłowej**. Zadanie operatorów byłoby łatwiejsze gdyby dysponowali rezerwą

mocą przesyłową, którą mogliby od czasu do czasu wykorzystywać. Jednak **ograniczeniem dla nich jest maksymalna temperatura pracy przewodu**, powyżej której przewód wykazuje nadmierną tendencję do pękania i nie można dłużej gwarantować jego ciągłości mechanicznej.

**Wzrastający nacisk na efektywność energetyczną linii przesyłowych** czyni tę sytuację jeszcze trudniejszą. I rzeczywiście - po dokonaniu znacznych inwestycji dla poprawy sprawności energetycznej po stronie zasilania i po stronie poboru, przychodzi czas na skoncentrowanie się na energii traconej pomiędzy tymi ogniwami systemu. Według Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) światowe zużycie energii elektrycznej wynosi ponad 20 000 TWh rocznie, z czego 7% (tj. 1 400 TWh/rok) jest tracone w przewodach doprowadzających tę energię. Udział wyczerpywalnych paliw kopalnych w strukturze źródeł energii wykorzystywanej do produkcji energii elektrycznej jest nadal wysoki. Każda poprawa efektywności energetycznej zmniejsza nasze uzależnienie od tego rodzaju paliw i ogranicza związaną z ich użyciem emisję dwutlenku węgla. Zmniejszenie strat przesyłowych o jedną trzecią mogłoby zmniejszyć roczną emisję CO<sub>2</sub> o 250 milionów ton (przyjmując średnią emisję 0,5 kg CO<sub>2</sub> na 1 kWh wyprodukowanej energii elektrycznej), co jest równoważne wyeliminowaniu z ruchu 50 milionów samochodów. Taka poprawa efektywności energetycznej mogłaby również zastąpić zapotrzebowanie na budowę 60 000 MW nowych mocy wytwórczych, co oznacza pożądany czas na przejście do gospodarki opartej na odnawialnej energii, a także zwiększyć efektywność energetyczną i finansową całego systemu elektroenergetycznego. Z tych właśnie powodów organy regulacyjne [1] coraz więcej uwagi poświęcają efektywności linii napowietrznych i przenoszą swój główny cel z minimalizacji kosztów inwestycyjnych na minimalizowanie kosztu życia linii. To jednakże stawia przed operatorami systemów przesyłowych dodatkowe, istotne wyzwania.

Aby podołać wszystkim tym zadaniom jednocześnie, potrzebny jest przewód, którym można zastąpić stare przewody w ramach istniejących pasów terenu zajętych pod linie elektroenergetyczne i który przy tym zwiększy efektywność energetyczną, zdolność przesyłową i obciążalność linii. Odpowiedzią na wszystkie te potrzeby razem może być przewód z miedzi stopowej (CAC). W przewodach napowietrznych będących tradycyjnie domeną aluminium wykorzystuje się albo wzmocnienie przewodu rdzeniem stalowym, albo stopy aluminium. Postrzeganie miedzi, jako materiału na przewody linii napowietrznych może być zaskoczeniem, ponieważ jest ona materiałem znacznie cięższym. Jednakże, jak wyjaśnimy to dalej, ciężar nie jest najistotniejszą cechą tego przewodu.

## Porównanie podstawowych właściwości różnych typów przewodów napowietrznych

Holenderska agencja energii i zrównoważonego rozwoju DNV KEMA przeanalizowała, pod względem technicznym i finansowym, różnice między dwoma typami przewodów stalowo aluminiowych (ACSR) i innowacyjnym przewodem z miedzi stopowej (CAC) [2, 3]. Trzy poniższe przewody mają w przybliżeniu taką samą obciążalność prądową w temperaturze 80°C:



Rysunek 2. Porównanie trzech różnych typów przewodów dla napowietrznych linii elektroenergetycznych

Przewód miedziany CAC 185: wyższy koszt inwestycyjny, niższe straty;

Przewód stalowo aluminiowy ACSR Eagle La 350: wyższy koszt inwestycyjny, niższe straty.

Od lewej do prawej: koszt początkowy przewodu rośnie, ale maleją straty energii. W dalszej części artykułu omówimy, w jaki sposób obniżone straty energii wpływają korzystnie na koszt cyklu życia napowietrznej linii elektroenergetycznej w warunkach średniego obciążenia. Poniżej zamieszczono podstawowe parametry techniczne tych trzech typów przewodów:

Tabela 1. Podstawowe parametry przewodów napowietrznych typu ACSR i CAC.

|                                        | ACSR Hawk <sup>1</sup> | ACSR Eagle | CAC 185  |
|----------------------------------------|------------------------|------------|----------|
| Przekrój poprzeczny (mm <sup>2</sup> ) | 280                    | 350        | 185      |
| Obciążalność prądowa w 80°C (A)        | 630                    | 700        | 700      |
| Obciążalność prądowa w 150°C (A)       | -                      | -          | 1115     |
| Ciężar (kg/km)                         | 982,3                  | 1301,8     | 1652     |
| Rezystancja (Ohm/km)                   | 0,1195                 | 0,103      | 0,09     |
| Wytrzymałość na rozciąganie (kN)       | 85                     | 123,6      | 93       |
| Sprężystość (kN/mm <sup>2</sup> )      | 77                     | 81         | 32       |
| Rozszerzalność cieplna (1/°C)          | 0,0000189              | 0,0000178  | 0,000017 |
| Maksymalna temperatura pracy (°C)      | 80°C                   | 80°C       | 150°C    |

Zauważmy, że dla podobnej obciążalności prądowej w danej temperaturze przewód wykonany z miedzi stopowej ma znacznie mniejszy przekrój. Miedź stopowa ma wystarczającą własną wytrzymałość mechaniczną i przewody wykonane z niej nie wymagają wzmocnienia stałą. W połączeniu z wyższą przewodnością elektryczną miedzi skutkuje to znacznie mniejszym przekrojem przewodu przy tej samej zdolności przesyłowej linii. Obciążalność na jednostkę powierzchni przekroju poprzecznego jest ponadto zwiększona przez zredukowanie efektu naskórkowości. W przewodzie miedzianym typu CAC powłoka izolująca jest nakładana oddzielnie na każdy drut przewodu, co powoduje równomierny rozkład prądu w drutach rdzenia i warstwy zewnętrznej. Wyższa przewodność elektryczna miedzi i obniżony efekt naskórkowości powodują zmniejszenie strat energii, jak pokazano w tabeli 1. **Maksymalna temperatura pracy przewodów z miedzi stopowej jest znacznie wyższa niż temperatura pracy odpowiadających im przewodów stalowo aluminiowych (ACSR).**

Na pierwszy rzut oka może się wydawać, że większy ciężar i niższa sprężystość są niekorzystnymi cechami miedzianego przewodu. Jednak w praktyce tak nie jest, ponieważ:

- Wytrzymałość słupów linii napowietrznej jest wyznaczona nie tylko ciężarem przewodu, ale w większym stopniu **wytrzymałością na siły parcia wiatru i obciążenia lodem**. Im mniejszy jest przekrój poprzeczny przewodu tym siły te będą mniejsze.
- Wysoka temperatura wyżarzania miedzi (> 300°C) **ułatwia powlekanie przewodu** bez obawy pogorszenia mechanicznych właściwości materiału. Mogą być stosowane powłoki hydrofobowe, które zapobiegają oblodzeniu.

W rezultacie, przewód wykonany z miedzi stopowej stanowi technicznie wykonalną i finansowo atrakcyjną alternatywę dla przewodów stalowo aluminiowych (ACSR).

Możliwość powlekania przewodów miedzianych daje jeszcze jedną korzyść: umożliwia uzyskanie powierzchni, która **pozwala obniżyć straty ulotowe** oraz poziom hałasu związany z wyładowaniami ulotowymi. Wyładowania ulotowe, szczególnie w wilgotnym klimacie, mogą być źródłem dyskomfortu dla przechodniów, dodatkowo pogarszając niekorzystny obraz napowietrznych linii wysokiego napięcia. Powłoki także zapobiegają korozji. Miedź jest znacznie mniej podatna na korozję środowiskową niż aluminium. Ponadto, jeżeli powłoka jest nakładana na każdą żyłę przewodu korozja praktycznie nie zachodzi.

<sup>1</sup> Przypis tłumacza: HAWK, EAGLE - słowne oznaczenia typu przewodu wg normy UNE 21018. Część tych oznaczeń ma swoje odpowiedniki w normach IEC 61089 i PN-EN 50182.

# Analiza ekonomiczna

## Nowe linie o obniżonym koszcie cyklu życia [1]

Jak już wspomniano, europejskie organy regulacyjne sieci elektroenergetycznych zmierzają do obniżenia strat energii i w związku z tym przenoszą nacisk z minimalizowania kosztów inwestycyjnych nowych linii na minimalizowanie kosztu życia linii. Na koszt cyklu życia linii składa się pięć odrębnych elementów:

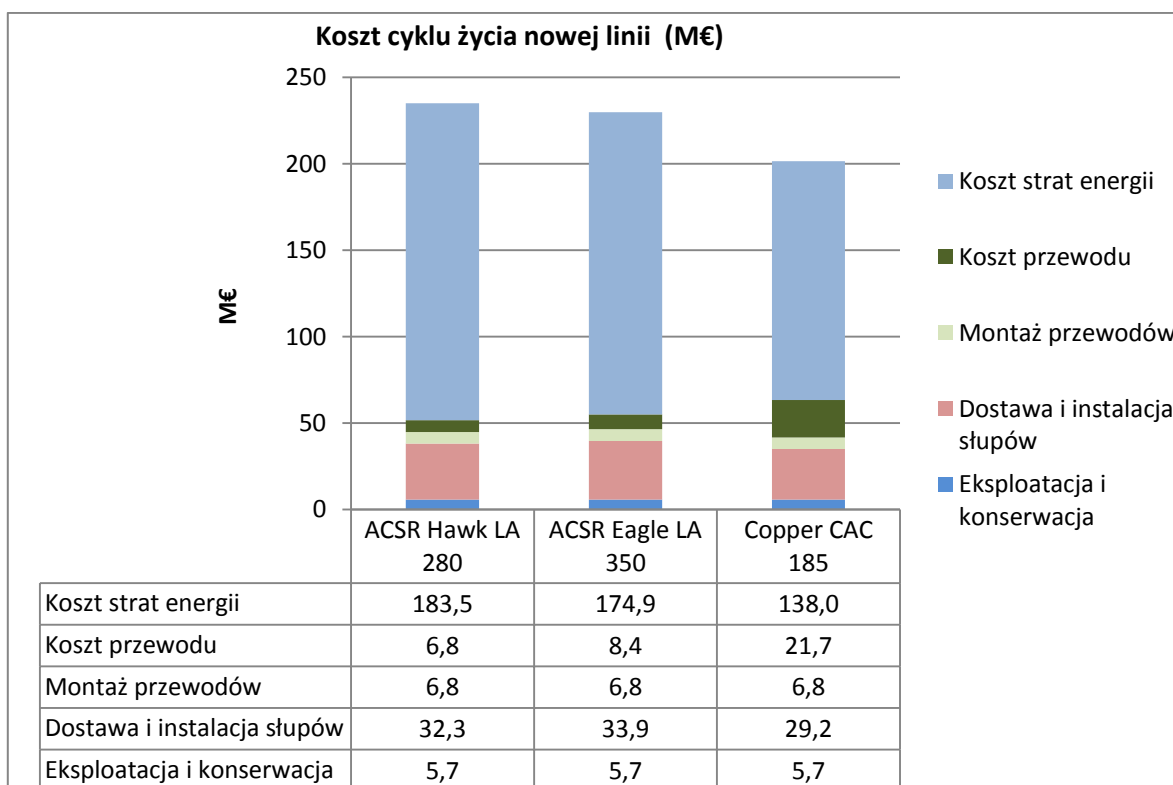
- 1) Słupy i fundamenty (dostawa i instalacja),
- 2) Przewody,
- 3) Montaż i naprężanie przewodów,
- 4) Obsługa eksploatacyjna i konserwacja,
- 5) Straty energii.

W swoim studium wykonalności [1] Agencja DNV KEMA wykonała obliczenia powyższych pięciu składników kosztu cyklu życia dla kilku różnych typów przewodów i dla różnych scenariuszy. We wszystkich scenariuszach straty energii stanowią największą część kosztu cyklu życia. Ich udział zawiera się w przedziale od 40% do 80%, w zależności od typu przewodu, długości cyklu życia, profilu obciążenia i ceny energii elektrycznej.

Przyjmijmy następujące warunki:

- Profil obciążenia:
  - 100% obciążenia w ciągu 25% cyklu życia,
  - 80% obciążenia w ciągu 20% cyklu życia,
  - 40% obciążenia w ciągu 55% cyklu życia,
- Cena energii elektrycznej: 5 c€/kWh,
- Czas trwania cyklu życia: 20 lat.

Założenia te prowadzą do następujących wyników:



Rysunek 3. Porównanie kosztów cyklu życia nowej linii napowietrznej z przewodami miedzianymi CAC i takiej samej linii z przewodami stalowo aluminium ACSR.

Przewód wykonany z miedzi stopowej jest w przybliżeniu 3 krotnie droższy od przewodu stalowo aluminiowego, ale cena przewodu stanowi jedynie małą część całkowitego kosztu cyklu życia. Wyższy nakład inwestycyjny jest w znacznym stopniu kompensowany przez niższe koszty wynikające z obniżenia strat energii (co najmniej o 20%) w wyniku czego koszt przewodu zwraca się w okresie krótszym niż 5 lat. Koszty dostawy i instalowania słupów, montażu i naprężania przewodów oraz obsługi eksploatacyjnej i konserwacji są podobnego rzędu wielkości dla wszystkich trzech typów przewodów. Całkowity koszt cyklu życia przewodu wykonanego z miedzi stopowej jest niższy o 14,3% w porównaniu z przewodem aluminiowo stalowym ACSR Hawk.

Należy zauważyć, że straty w przewodzie można zredukować zwiększając przekrój przewodu aluminiowo stalowego ACSR, jak w przypadku przewodu Eagle w porównaniu z przewodem Hawk. Jednak redukcja strat nie jest tak znaczna jak w przypadku przewodu wykonanego z miedzi stopowej, a niemal cała oszczędność nakładu inwestycyjnego zostaje utracona z powodu wyższego kosztu słupów i fundamentów, ponieważ większy przekrój poprzeczny przewodu powoduje większe obciążenia od wiatru i od oblodzenia, co z kolei wymaga wzmocnienia słupów.

Biorąc pod uwagę wszystkie korzyści płynące z zastosowania przewodów wykonanych z miedzi stopowej, okazują się one szczególnie przydatne w przypadku łączenia dużych farm wiatrowych z siecią elektroenergetyczną. Po pierwsze, uwzględnianie kosztu cyklu życia jest ogólnie przyjęte w ocenie ekonomicznej opłacalności farm wiatrowych. Po wtóre, przewód miedziany jest preferowanym wyborem dla zastosowań w regionach o dużej wietrzności, ponieważ z powodu małego przekroju poprzecznego ogranicza obciążenia od wiatru, co pozwala uniknąć wzmocniania słupów linii. I ostatnie, ale nie mniej ważne, fakt, że przewody miedziane mogą być poddawane przeciążeniom prądowym do 60% jest główną zaletą przy przesyłaniu mocy o dużej zmienności generowanej przez farmę wiatrową.

## Unowocześnienie istniejących linii pod względem ich konkurencyjności [2]

Koszt cyklu życia w przypadku modernizacji istniejącej linii składa się tylko z czterech elementów:

- 1) Przewody,
- 2) Montaż i naprężanie przewodów,
- 3) Obsługa eksploatacyjna i konserwacja,
- 4) Straty energii.

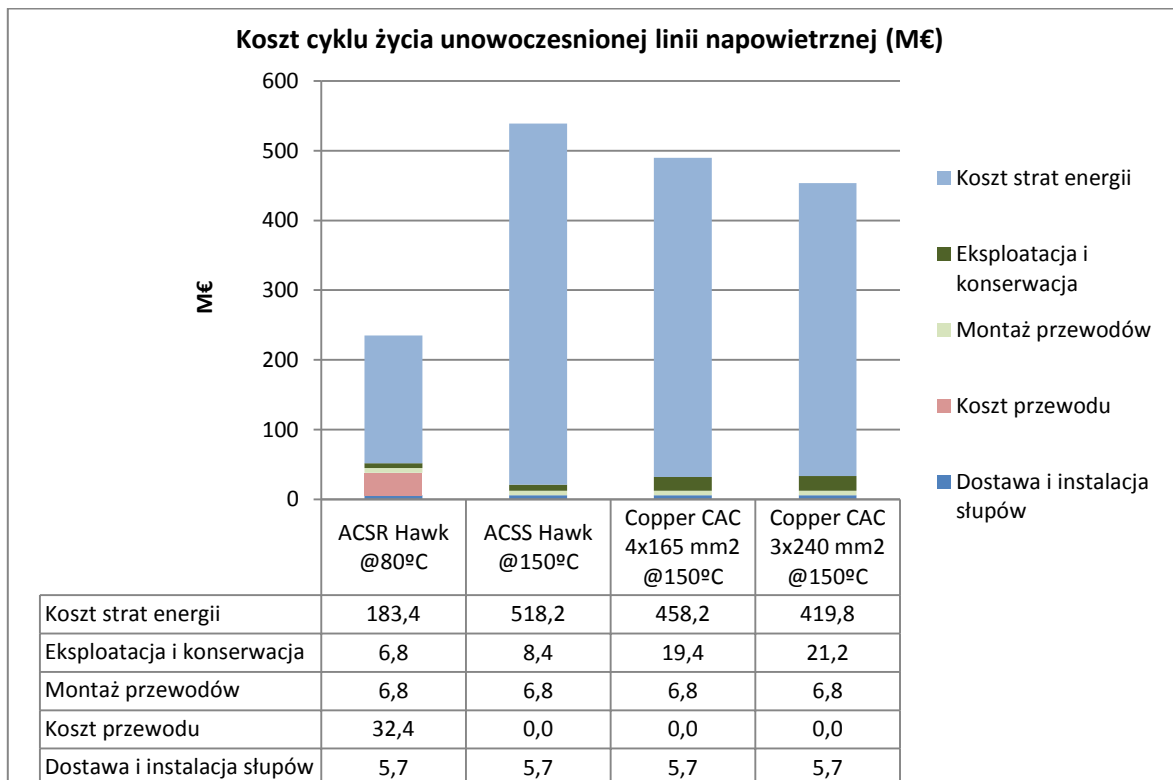
W drugim studium wykonanym przez DNV KEMA [2] koszt cyklu życia unowocześnianej linii napowietrznej został obliczony dla różnych scenariuszy. Jak można było się spodziewać, udział strat energii w całkowitym koszcie życia jest większy i stanowi 85-95% LCC, zależnie od typu przewodu, czasu trwania cyklu życia, profilu obciążenia i ceny energii elektrycznej.

Przyjmijmy te same warunki, co poprzednio:

- Profil obciążenia:
  - 100% obciążenia w ciągu 25% cyklu życia,
  - 80% obciążenia w ciągu 20% cyklu życia,
  - 40% obciążenia w ciągu 55% cyklu życia,
- Cena energii elektrycznej: 5 c€/kWh,
- Czas trwania cyklu życia: 20 lat.

Założenia te prowadzą do następujących wyników obliczeń kosztu cyklu życia unowocześnianej linii napowietrznej z przewodem ACSR Hawk lub CAC-165 – zestawione na rysunku 4.

Straty w przewodzie typu CAC-165 są o ponad 10% niższe w porównaniu z przewodem aluminiowo stalowym ACSR Hawk. W rezultacie, nawet, jeżeli nakład inwestycyjny jest w przybliżeniu o 70% wyższy to całkowity koszt życia unowocześnionej linii jest o 8,5% niższy. Inne parametry, takie jak przekroje przewodów, profile obciążenia, cena energii elektrycznej i długość cyklu życia, prowadzą do nieco innych wyników, ale do podobnych wniosków [2].



Rysunek 4. Porównanie kosztów cyklu życia unowocześnionej linii napowietrznej z przewodami miedzianymi CAC i takiej samej linii z przewodami stalowo aluminium ACSR.

## Unikalne rozwiązania techniczne

### Korzyści wynikające z wyższej temperatury maksymalnej

Jedną z najbardziej interesujących właściwości przewodów napowietrznych z miedzi stopowej jest ich wyższa temperatura maksymalna w porównaniu z przewodami aluminium stalowymi ACSR.

Maksymalna temperatura dla przewodów aluminium stalowych ACSR pozwalająca uniknąć nadmiernego pęcznienia materiału przewodu wynosi około 80°C. Miedź posiada znacznie wyższą odporność na pęcznienie w podwyższonej temperaturze i może być bezproblemowo podgrzewana do temperatury co najmniej 150°C. Oznacza to, że jeżeli przy znamionowym obciążeniu przewód nawet osiąga temperaturę 80°C to może on przewodzić sporadyczne krótkotrwałe prądy przetężeniowe bez obawy trwałych skutków. Przykładowo, przewód aluminium stalowy ACSR Eagle i przewód miedziany CAC 185 mają taki sam prąd znamionowy 700 A w temperaturze 80°C. Jednakże, aby uniknąć przekroczenia temperatury przewód ACSR Eagle nie może być przeciążany, podczas gdy przewód CAC 185 może być obciążony prądem do 1115 A, który nagrzewa go do temperatury 150°C, co odpowiada przeciążeniu o ponad 60%.

Przeciążenia takie powinny być krótkotrwałe z powodu wyższych strat energii w porównaniu ze znamionowymi warunkami pracy, niemniej pomagają operatorom systemów przesyłowych reagować w sytuacjach awaryjnych. Na przykład:

- **Spełnienie kryterium bezpieczeństwa N-1.** System elektroenergetyczny powinien być zdolny do opanowania awarii pojedynczej linii lub elektrowni i niedopuszczenia do rozwinięcia się jej w awarię systemową. W takiej sytuacji pozostałe linie powinny przejąć moc przesyłaną linią, która uległa awarii lub inne elektrownie, położone dalej od miejsc poboru mocy, powinny zastąpić wyłączone moce wytwórcze. W obu przypadkach funkcjonujące linie przejmują dodatkowe moce w celu osiągnięcia nowego stanu równowagi. Aby uniknąć stanu, w którym niektóre linie zostają przeciążone i również zagrożone awarią, buduje się nowe linie w celu zapewnienia rezerwy zdolności przesyłowych. Buduje się także elektrownie szczytowe dla zapewnienia pokrycia lokalnego zapotrzebowania oraz instaluje się przesuwniki fazowe w celu skierowania przepływu mocy do linii posiadających rezerwę zdolności przesyłowej. Zastosowanie przewodów z miedzi stopowej pozwala uniknąć tego rodzaju inwestycji.

- **Przesyłanie energii wytwarzanej przez farmy wiatrowe w krótkotrwałych szczytach.** Jaka powinna być zdolność przesyłowa linii łączącej odległą farmę wiatrową z siecią? Farma wiatrowa generuje maksymalną moc tylko w ciągu bardzo krótkiego czasu w skali roku. Nasuwa się, zatem pytanie czy dostosowywanie znamionowej zdolności przesyłowej linii do maksymalnej mocy wytwarzanej przez farmę wiatrową jest ekonomicznie uzasadnione? Rozwiązaniem tego dylematu może być zastosowanie przewodów wykonanych z miedzi stopowej. Nawet, jeżeli przyjęta znamionowa zdolność przesyłowa linii będzie niższa to linia nadal będzie mogła sporadycznie przesyłać do sieci maksymalną wytwarzaną moc. To może być istotnym czynnikiem stanowiącym o ekonomicznej opłacalności farmy wiatrowej.

## Lepsze funkcjonowanie w ekstremalnych warunkach atmosferycznych

Międzynarodowa norma EN 50341-1:2001 [4] przewiduje cztery kategorie ekstremalnych warunków atmosferycznych w jakich należy sprawdzać działanie linii napowietrznych:

- LC 1a – Ekstremalna prędkość wiatru w temperaturze projektowej (10°C),
- LC 1b – Wiatr w minimalnej temperaturze (-20°C),
- LC 2c – Niezrównoważone obciążenia od oblodzenia, różne obciążenia na przęsłach (-5°C),
- LC 3 – Kombinacja obciążenia od wiatru i od oblodzenia (-5°C).

We wszystkich tych czterech kategoriach przewody z miedzi stopowej mają przewagę nad przewodami stalowo aluminiowymi ACSR. Dzięki mniejszej średnicy obciążenie przewodu od wiatru jest mniejsze. Dzięki wyższej temperaturze wyżarzania miedzi przewody mogą być powlekane różnego rodzaju powłokami bez obawy pogorszenia mechanicznych właściwości materiału. Mogą być stosowane powłoki hydrofobowe, które znacznie zmniejszają ryzyko oblodzenia.

Cechy te powodują, że przewody z miedzi stopowej szczególnie nadają się stosowania w zimnym, wilgotnym i wietrznym klimacie.

## Zmniejszenie strat ulotowych

Straty ulotowe w liniach wysokich napięć stanowią tylko nieznaczną część strat energii, ale zjawisko ulotu wiąże się z hałasem, który przez wiele osób jest postrzegany, jako irytujący. Straty ulotowe są szczególnie wysokie w środowiskach wilgotnych. Dzięki wysokiej temperaturze wyżarzania miedzi, na przewody z miedzi stopowej może być nakładana powłoka anty-ulotowa, która w prosty sposób zmniejsza straty, a samo zjawisko ulotu redukuje do granicy percepcji ludzkiego ucha. Może to być istotnym elementem akceptacji napowietrznych linii wysokiego napięcia w gęsto zaludnionych obszarach w wilgotnym klimacie.

## Wnioski

Przewody z miedzi stopowej stanowią interesującą alternatywę dla stosowania przewodów stalowo aluminiowych w napowietrznych liniach wysokiego napięcia.

Chociaż miedź jest metalem o większym ciężarze właściwym niż aluminium, przewody z miedzi stopowej nie wymagają wzmocnienia słupów linii napowietrznej. W istocie rzeczy większa wytrzymałość mechaniczna miedzi czyni stalowy rdzeń zbędnym, a mniejszy przekrój poprzeczny w połączeniu z powłoką hydrofobową skutkuje mniejszym obciążeniem od wiatru i obciążeniem od oblodzenia. Z tych powodów przewody miedziane szczególnie nadają się stosowania w zimnym i wietrznym klimacie.

Niższa rezystywność miedzi w połączeniu ze słabszym efektem naskórkowości skutkuje znacznie niższymi stratami energii w porównaniu z przewodami stalowo aluminiowymi ACSR. Straty energii stanowią istotną część kosztu cyklu życia, szczególnie w przypadku modernizacji linii, ale także nowych linii. W rezultacie, jeżeli nawet zastosowanie przewodu miedzianego wymaga większego nakładu inwestycyjnego (w przybliżeniu o 70%) to w wielu przypadkach koszt cyklu życia jest niższy niż dla przewodów ACSR.

Jedną z najbardziej interesujących właściwości przewodów napowietrznych wykonanych z miedzi stopowej jest ich wyższa temperatura maksymalna w porównaniu z przewodami aluminiowo stalowymi ACSR. Daje to możliwość przeciążania przewodu, o co najmniej 60% bez ryzyka pogorszenia jego właściwości mechanicznych. Przeciążenie takie powinno być krótkotrwałe ze względu na znacznie większe straty energii

w porównaniu do znamionowych warunków pracy, ale umożliwi operatorowi systemu przesyłowego spełnienie kryterium bezpieczeństwa N-1 w krótkich okresach bardzo wysokiej produkcji energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych.

## Literatura

- [1] Artykuł 15 Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej:  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:PL:PDF>
- [2] DNV KEMA Energy & Sustainability: 'New generation copper conductors for overhead lines / Feasibility Study', M.L.J. Clerx, czerwiec 2013
- [3] DNV KEMA Energy & Sustainability: 'New generation copper conductors for upgrading overhead lines / Feasibility Study', M.L.J. Clerx, sierpień 2013
- [4] CENELEC norma EN 50341 – 1:2001: (polski odpowiednik: PN-EN 50341–1:2005  
[http://www.cenelec.eu/dyn/www/f?p=104:110:63257080764913::::FSP\\_PROJECT,FSP\\_LANG\\_ID:155,25](http://www.cenelec.eu/dyn/www/f?p=104:110:63257080764913::::FSP_PROJECT,FSP_LANG_ID:155,25)