

# Niskostratne wysokotemperaturowe przewody o małym zwisie ACMCC® oszczędzające środowisko naturalne oraz redukujące koszty budowy i eksploatacji linii – nowe podejście do modernizacji i budowy energetycznie efektywnych linii WN o obniżonych stratach, wysokich zdolnościach przesyłowych i wydłużonych przesłach

ACMCC® High Temperature Low Loss Small Sag (HTLLSS) conductors preserving the natural environment and reducing the costs of line construction and operation – a new approach to the modernization and construction of energy-efficient HV lines with reduced losses, high transmission capacities and extended spans

Wojciech Sokolik

Niskostratne wysokotemperaturowe przewody o małym zwisie – HTLLSS (High Temperature Low Loss Small Sag) to przewody, które mają zdolność do pracy w wysokich temperaturach ( $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ), mają rezystancję mniejszą o 25–30% od tradycyjnych przewodów AFL (ACSR) o takiej samej średnicy. W literaturze na przestrzeni ostatnich lat pojawiło się wiele przekłamań, dlatego warto niektóre sprawy wyjaśnić.



Rys. 1. Budowa przewodu ACMCC®  
Fig. 1. ACMCC® conductor construction

Z wyjątkiem nielicznych przypadków, nie jest prawdą, że straty energii w liniach z przewodami wysokotemperaturowymi przekraczają kilkakrotnie straty w liniach dotychczas pracujących [1], chyba że np. w akademicki sposób analizuje się linię 220 kV, na której „wiesza się” przewód AFL-6 150 lub AFL-185 [1], co jest zupełną teorią w żaden sposób nieprzystającą do rzeczywistości. Sam fakt zainstalowania wysokotemperaturowych przewodów o małym zwisie na linii WN nie spowoduje, że straty przesyłowe generowane w tej linii wzrosną. Wręcz przeciwnie mogą one zmniejszyć się, wszystko zależy od doboru odpowiedniej konstrukcji przewodów i od umiejętnej ich eksploatacji. Poza nielicznymi przypadkami, wysokotemperaturowe przewody o małym zwisie są mniej lub bardziej niskostratne, a zbliżony do ideału przewód ACMCC® jest przykładem połączenia „ognia z wodą”, tzn. zdolności do pracy w wysokich temperaturach (w sposób ciągły maksymalnie  $180^{\circ}\text{C}$ ) i generowania niskich strat przesyłowych – rezystancja przewodu ACMCC® pracującego w temperaturze  $180^{\circ}\text{C}$  jest niewiele większa od rezystancji przewodu AFL

(ACSR) o tej samej średnicy, pracującego w temperaturze  $80^{\circ}\text{C}$ . A rezystancja przewodu ACMCC® pracującego w temperaturze  $80^{\circ}\text{C}$  jest dużo mniejsza (o 25–30%) od rezystancji przewodu AFL (ACSR) o tej samej średnicy, pracującego w temperaturze  $80^{\circ}\text{C}$ .

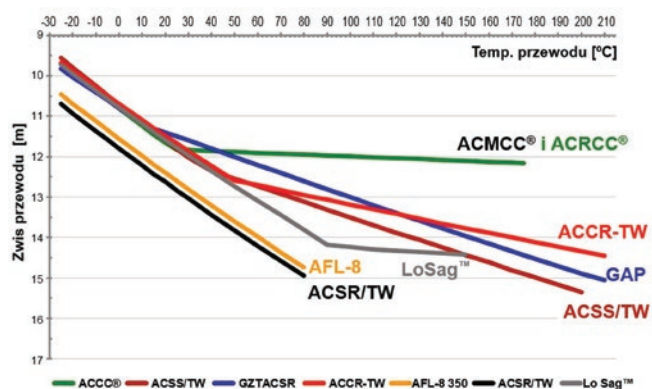
## Przewód ACMCC® (Aluminium Conductor Multistrand Carbon fiber Core)

ACMCC® to przewody z trapezoidalnymi wyżarzonymi drutami z aluminium o podwyższonej czystości (99,7%) i z wieloprętowym (odporniejszym na pęknięcie) rdzeniem kompozytowym z włókien węglowych otoczonych włóknami polimerowymi, na osnowie ze specjalnie modyfikowanej żywicy epoksydowej odpornej na wysokie temperatury. Jest to znana od ok. 15 lat japońska technologia udoskonalona i na nowo opatentowana w Chinach.

## Przewody ACMCC® – unikalne połączenie kilku własności

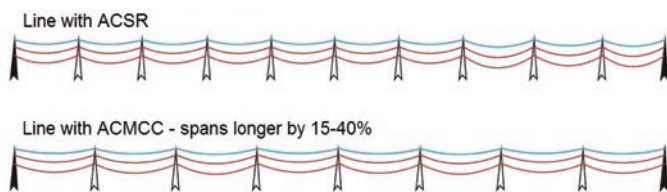
### Mały zwis w wysokich temperaturach

Płaska charakterystyka zwisu ACMCC® w zależności od temperatury (włókna węglowe nie rozszerzają się wraz ze wzrostem temperatury przewodu, tak jak wszystkie inne materiały), w połączeniu z punktem kolanowym położonym na charakterystyce zwisu w niskich temperaturach (dzięki drutom z wyżarzonego AL) umożliwia



Rys. 2. Przewód ACMCC® – płaska charakterystyka zwisu i punkt kolanowy położony w niskiej temperaturze  
Fig. 2. ACMCC® conductor – flat sag characteristic and knee point at low temp.

Mgr inż. Wojciech Sokolik (sokolik.wojciech@zircon.pl)  
– Zircon Poland Sp. z o.o., Warszawa



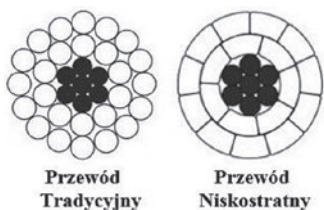
Rys. 3. Wydłużenie przęseł z ACMCC® o 15–40%  
Fig. 3. Extension of span lengths with ACMCC® by 15–40%

ją zmieszczenie się przewodu ACMCC® w zwisie linii projektowanej na 40°C, nie wymagając przebudowy konstrukcji wsporczych.

### Wysoki RTS

Dzięki włóknom węglowym mocniejszym od stali RTS przewodów ACMCC® jest o 20–60% wyższe od RTS tradycyjnych przewodów AFL (ACSR) i AFLs (ACSR/TW). Dzięki temu możliwe jest powiększenie o 15–40% długości przęseł w nowo budowanych liniach, co pozwala znacznie zredukować liczbę konstrukcji wsporczych i fundamentów, przyczyniając się do ochrony środowiska naturalnego i zmniejszając liczbę negocjacji z właścicielami gruntów. ACMCC® bardzo dobrze sprawdza się przy długich przęsłach, np. przejścia przez rzeki, teren górzisty itd., tam gdzie inne technologie zawiodą np. w przewodach GAP ścieka w dół smar.

### Niska rezystancja



Rys. 4. Przewód niskostratny  
Fig. 4. Low-loss conductor

Przewody ACMCC® są niskostratne, ponieważ dzięki drutom trapezoidalnym z aluminium o wysokiej czystości (99,7%) w stanie wyżarzonym mają rezystancję mniejszą o 25–30% od rezystancji przewodów AFL (ACSR) o takiej samej średnicy, co zapewnia obniżenie strat o 25–30% przy takim samym profilu obciążenia jak dla przewodu AFL. Przewód

ACMCC® jest niskostratny, będąc przewodem wysokotemperaturowym, ponieważ jego rezystancja podczas pracy w temperaturze 180°C jest niewiele wyższa od rezystancji przewodów AFL (ACSR) pracujących w temperaturze 80°C. W porównaniu z innymi tradycyjnymi technologiami niskostratnymi np.: AFLs, AAAC i ACSR/TW (maksymalna temperatura 80°C), przewody ACMCC® (maksymalna temperatura 180°C) mają 2-krotnie wyższą obciążalność prądową, co zapewnia znacznie większą elastyczność pracy systemu, np. w stanach *n-1* i *n-2*, co ma kapitalne znaczenie przy słabo rozwiniętej w Polsce sieci WN.

### Mała masa

Dzięki znacznie lżejszemu rdzeniowi polimerowemu przewód ACMCC® ma małą masę, mniejszą od większości innych przewodów o takiej samej średnicy (rys. 6), co również bardzo dobrze wpływa na parametry projektowe linii WN.

### Co ma Audi do wiatraka?

Audi SQ7 TDI z 4-litrowym silnikiem o mocy 435 KM i z momentem obrotowym 900 Nm to jeden z najpotężniejszych samochodów typu SUV z silnikiem diesla dostępnych obecnie na rynku. Przyspiesza do 100 km/h w 4,8 s, a jego prędkość



Rys. 5. Audi SQ7 (fig. 5)

maksymalna to 250 km/h. Jednak nie można stwierdzić tego, co kiedyś określało tak duże silniki, że spala dużo paliwa, ponieważ jeżdżąc tym samochodem, ważącym ponad 2 tony, możemy osiągnąć spalanie na poziomie 15 l/100 km lub niewiarygodnie niskie 6 l/100 km – zależnie od tego, z jaką prędkością będziemy jeździć, jak szybko będziemy przyspieszać i od tego jak „ciężką” nogę mamy. Fakt posiadania przez ten samochód tak dużego (ale nowoczesnego) silnika nie oznacza, że jest on wysokostratny – wszystko zależy od kierowcy i jego sposobu jazdy. Używanie takiego samochodu daje jednak olbrzymi komfort, tzn. gdy w trudnej sytuacji trzeba będzie przyspieszyć, to zrobimy to w kilka sekund, a gdy trzeba będzie gdzieś szybko dojechać autostradą, to można tego dokonać dużo szybciej niż samochodem o gorszych osiągach, spalając wtedy krótkotrwale 15 l/100 km. Jednak, gdy będziemy jeździli spokojnie i zgodnie z przepisami, to ten samochód będzie spalał ok. 6 l/100 km i gdy przez większość czasu będziemy tak jeździć, to średnie roczne spalanie będzie wynosiło 7–8 l/100 km, co daje niewiarygodnie niską wartość dla samochodu z tak dużym silnikiem.

Podobnie jest z wysokotemperaturowymi przewodami o małym zwisie: sam fakt ich zainstalowania nie spowoduje, że straty przesyłowe nam wzrosną. Wręcz przeciwnie, takie przewody umiejętnie dobrane, zaprojektowane i eksploatowane mogą, w zależności od rodzaju i konstrukcji przewodu oraz czasu pracy w wysokotemperaturowym zakresie, ograniczyć straty przesyłowe od kilku procent (ACSS z okrągłymi drutami) do 25–30% (ACMCC® z drutami trapezoidalnymi). Nie opłaca się przewymiarowywać linii odbierających moc z elektrowni wiatrowych, budując linię 2-torową lub z bardzo dużymi tradycyjnymi przewodami, np. AFL-8 350 (26,1 mm) lub 525 (31,5 mm) dla obsługi okresów maksymalnej generacji, które występują przez 5% całego czasu pracy farm wiatrowych. Lepiej jest zainstalować przewód ACMCC®, który w 1-torowej linii o gabarycie przewodu AFL-6 240 (21,7 mm) bez problemu obsłuży te ww. 5%, zapewniając obciążalność prądową 1284 A równą obciążalności prądowej przewodu AFL-8 675 (36,0 mm, 1250 A).

Stosując ACMCC® o średnicy 21,70 mm zamiast AFL-6 240 i ACSR/TW 311 o średnicy 21,70 mm uzyskujemy w gabarycie linii zaprojektowanej na przewód 21,70 mm obciążalność prądową linii z przewodem AFL-8 675 o średnicy 36,00 mm bez wymiany, podwyższania i wzmacniania konstrukcji wsporczych. Jest to możliwe m.in. dzięki punktowi kolanowemu w niskiej temperaturze oraz płaskiej charakterystyce zwisu przewodów ACMCC®. Brak ingerencji w konstrukcję wsporcze umożliwia bardzo szybkie i bezproblemowe wykonanie modernizacji linii WN w ramach prac eksploatacyjnych, bez konieczności uzyskiwania pozwolenia na budowę, ponieważ wymienia się jedynie przewody w stosunku 1:1 (taka sama średnica, mniejsza masa). W nowo budowanych liniach 110 kV dzięki temu że RTS przewodów ACMCC® jest o 20–60% wyższe od RTS tradycyjnych przewodów AFL (ACSR) i AFLs (ACSR/TW) możliwe jest powiększenie o 15–40% długości przęseł, co pozwala znacznie zredukować liczbę konstrukcji wsporczych i fundamentów, przyczyniając się do ochrony środowiska naturalnego i zmniejszając liczbę negocjacji z właścicielami gruntów.

### Kiedy przewody wysokotemperaturowe są wysokostratne, a kiedy niskostratne?

Zależy to od:

- Ilości zawartego w przewodzie aluminium i jego czystości oraz stanu, co decyduje o rezystancji przewodu.



- Doboru przez projektanta przewodu o parametrach odpowiednich dla danej linii.
- Potrzeb eksploatacyjnych operatora systemu dystrybucyjnego i przesyłowego, które determinują zakres temperatur pracy przewodów.

Ilość zawartego w przewodzie aluminium i jego czystość decydują o tym, czy jest on wysokostratny czy niskostratny

Przewód z drutami trapezoidalnymi ma zawartość aluminium większą o 25–40% od zawartości aluminium w przewodzie o takiej samej średnicy z drutami okrągłymi. Dlatego przewód z drutami trapezoidalnymi ma rezystancję mniejszą o 25–40% od rezystancji przewodu o takiej samej średnicy z drutami okrągłymi, przy takiej samej temperaturze pracy. Przewód z drutami AL o czystości 99,7% w stanie miękkim wyżarzonym ma rezystancję mniejszą o kilka procent od rezystancji przewodu o takim samym przekroju z drutami z cyrkonowego stopu aluminium ALZr w stanie twardym.

**Dobór przez projektanta przewodu o odpowiednich parametrach i jego umiejętne powieszenie na linii decydują o tym czy pracując na danej linii, jest on wysokostratny czy niskostratny**

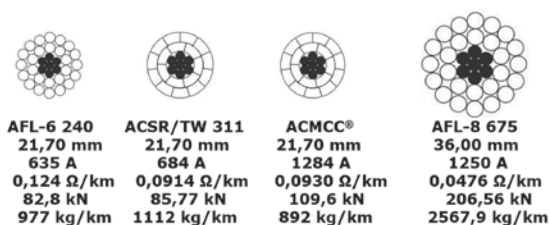
Projektując nowe linie wysokich napięć i modernizując istniejące linie, parametry wysokotemperaturowego przewodu dobiera się tak, żeby pracował on jak najkrócej w wysokiej temperaturze oraz żeby jego rezystancja była jak najmniejsza, czyli:

- nie wybieramy przewodów z drutami okrągłymi, lecz profilowymi (o przekroju zbliżonym do trapezu),
- nie wybieramy przewodów z drutami ALZr w stanie twardym, lecz z drutami AL 99,7% w stanie miękkim, ze względu na położenie punktu kolanowego w znacznie niższych temperaturach, dzięki czemu np. trzeba podwyższać znacznie mniej konstrukcji wsporczych w modernizowanych liniach oraz ze względu na różnicę w wartości rezystancji.

**Potrzeby eksploatacyjne operatora systemu dystrybucyjnego i przesyłowego, determinując przesyłane moce i zakres temperatur pracy przewodu, decydują o tym, czy jest on wysokostratny czy niskostratny**

Tylko w nielicznych przypadkach linie WN pracują przez dużą część ich czasu pracy przy maksymalnie dopuszczalnej temperaturze roboczej przewodów, osiągając wtedy maksymalną obciążalność prądową i generując bardzo duże straty. Tak działają np. niektóre linie w Japonii oraz w USA (Kalifornia), gdzie ze względu na ograniczoną liczbę linii WN i trudności z budową nowych linii (brak możliwości uzyskania prawa drogi), istniejące linie eksploatowane są z maksymalną wydajnością. W takich sytuacjach wysokotemperaturowe przewody o małym zwisie rzeczywiście są wysokostratne, ale jest to wtedy świadoma decyzja operatora systemu przesyłowego, który dla zapewnienia wystarczającej przepustowości linii jest zdecydowany ponieść bardzo wysokie koszty zwiększonych strat.

Jednak większość wysokotemperaturowych przewodów o małym zwisie (w tym wszystkie zainstalowane do tej pory w Polsce) jest stosowana dla zaspokojenia krótkotrwałych zwiększonych potrzeb systemowych, np. gdy dana linia musi przejść przesył z innej linii, która uległa awarii (stan  $n-1$ ) lub w okresie maksymalnej generacji farm wiatrowych lub gdy wystąpią skrajnie niekorzystne warunki pogodowe (temperatura powietrza 30°C lub wyższa, maksymalne nasłonecznienie, brak wiatru) i wszystkie klimatyzatory pracują z maksymalną wydajnością. Przewód



Rys. 6. Co daje nam zastosowanie ACMCC®

Fig. 6. What gives us using ACMCC®

wysokotemperaturowy w takich sytuacjach pracuje bardzo krótko (podobnie jak ww. szybko jadące Audi) w swoim wysokotemperaturowym zakresie temperatur pracy, a większość czasu pracuje w niskotemperaturowym zakresie. Na przykład, zakładając że przewód ACMCC® przez 5% całego czasu pracy linii będzie pracował w zakresie wysokich temperatur, zapewniając wtedy 2-krotnie wyższą przepustowość linii niż tradycyjne przewody AFL (ACSR) i AAAC o tej samej średnicy pracujące w temperaturze 80°C, a przez 95% całego czasu pracy linii będzie przewód ACMCC® pracował w zakresie niskich temperatur, wtedy przewód ACMCC® będzie generował straty mniejsze o ok. 20–30% od strat generowanych przez przewody AFL (ACSR) i AAAC o tej samej średnicy.

### Porównujemy „jabłka z jabłkami”

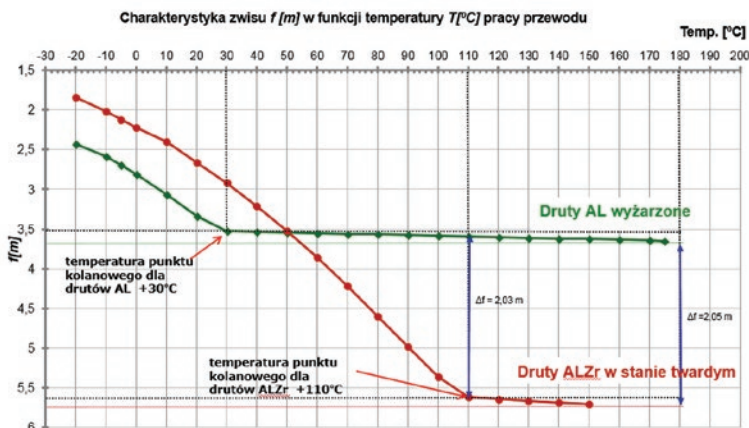
Porównując różne technologie przewodów należy upewnić się, że porównujemy jabłka z jabłkami, a nie jabłka z gruszkami.

#### Przykład 1

Przewody Lo-Sag™ z polimerowym rdzeniem kompozytowym z włókien węglowych z drutami ALZr z cyrkonowego stopu aluminium mają zupełnie inną charakterystykę zwiisu niż przewody ACMCC®, ACCC® i ACRCC® z polimerowym rdzeniem kompozytowym z włókien węglowych z drutami z czystego AL w stanie wyżarzonym. Ze względu na zastosowanie oplotu z cyrkonowego stopu aluminium ALZr przewód kompozytowy Lo-Sag™ ma punkt kolanowy położony bardzo wysoko na charakterystyce zwiisu w porównaniu z przewodem z oplotem z wyżarzonego aluminium. Dlatego w szerokim zakresie temperatur rozkład naprężeń w przewodzie z drutami ALZr jest podobny jak w przewodzie AFL, a kompozytowy rdzeń Lo-Sag™ przejmuje całe obciążenie mechaniczne w stosunkowo wysokiej temperaturze, co w połączeniu z maksymalną temperaturą pracy 150°C sprawia, że tylko w niewielkim stopniu wykorzystywana jest w tym przewodzie płaska charakterystyka zwiisu kompozytowego rdzenia. Skutkuje to koniecznością podwyższania słupów, co stawia pod znakiem zapytania celowość stosowania tej technologii. Można zmniejszyć liczbę podwyższeń przez zastosowanie przewodu o mniejszej średnicy, ale wtedy znacznie wzrosną straty. Zastosowanie droższych przewodów z rdzeniem kompozytowym ma sens tylko wtedy, gdy w ogóle nie trzeba podwyższać słupów, bo w wielu przypadkach znacznie tańsza technologia ACSS/TW będzie wymagała niewiele więcej podwyższeń niż polimerowy przewód kompozytowy z drutami ALZr. Przewód kompozytowy z drutami z cyrkonowego stopu ALZr w stanie twardym zwisa znacznie niżej niż przewód kompozytowy z drutami z czystego AL w stanie wyżarzonym, co pokazuje rys. 7.

#### Przykład 2

Przewody ACCC® i ACRCC® z 1-prętowym polimerowym rdzeniem kompozytowym z włókien węglowych otoczonych włóknami szklanymi z trapezoidalnymi drutami AL w stanie wyżarzonym mają



Rys. 7. Charakterystyka zwiisu w funkcji temperatury pracy przewodu  
Fig. 7. Conductor sag as a function of the operating temperature

bardzo podobne płaskie charakterystyki zwiisu i punkt kolanowy położony również w niskiej temperaturze (rys. 2) podobnie jak przewód ACMCC®. Różnią się jednak w sposób zasadniczy budową i własnościami: 1-prętowy rdzeń jest podatniejszy na pęknięcie niż 7- lub 19-prętowy rdzeń przewodu ACMCC®. Nawet lekkie uszkodzenie rdzenia przewodu ACCC® i ACRCC® może spowodować jego całkowite pęknięcie, a w przypadku wieloprętowego rdzenia przewodu ACMCC® uszkodzenie jednego z prętów nie przenosi się na pozostałe. Przewód ACMCC® jest tak zaprojektowany, że uszkodzenie jednego pręta nie wpływa na jego deklarowane własności mechaniczne, ponieważ jest duży zapas RTS = rzeczywisty RTS jest wyższy od deklarowanego.

**Przykład 3**

Inną cechą odróżniającą wieloprętowe przewody ACMCC® od jedno-prętowych przewodów ACCC® i ACRCC® jest osprzęt, który w przypadku przewodów ACMCC® jest dużo tańszy i prostszy, ponieważ stosuje się dla tego przewodu uchwyty odciągowe zaprasowywane takie same jak dla przewodów AFL (ACSR), lecz o nieco większych rozmiarach, podczas gdy do przewodów jednoprętowych ACCC® i ACRCC® muszą być stosowane dużo droższe uchwyty klinowe.

**Podsumowanie**

Niskostratne wysokotemperaturowe przewody o małym zwiisie istnieją i są w tej chwili najlepszą technologią przewodów dla napowietrznych linii wysokich napięć zarówno dla ich modernizacji, jak i dla budowy nowych linii, znacznie redukując koszty inwestycji przez wydłużenie przeseł, co umożliwia redukcję liczby konstrukcji wsporczych i fundamentów. Użycie przewodów ACMCC® do budo-



Rys. 8. ACMCC® jest odporniejszy na pęknięcie  
Fig. 8. ACMCC® is much more resistant to cracking

wy nadleśnych linii 400 kV pozwoli znacznie obniżyć koszt inwestycji dzięki zastosowaniu 2-przewodowej wiązki z przewodami ACMCC® zamiast 3-przewodowej wiązki z przewodami ACSR/TW 468 [12].

Jedynymi rzekomymi wadami technologii przewodów ACMCC® z drutami AL w stanie miękkim wyżarzonym i polimerowym rdzeniem kompozytowym są łatwe do uniknięcia: – możliwość utraty własności mechanicznych przy nadmiernym podgrzaniu, która występuje nie tylko w przypadku tych przewodów, ale wszystkich, w tym tradycyjnych AFL (ACSR), a szczególnie AAAC, które nie mają rdzenia stalowego, – możliwość „klatkowania” (birdcaging) drutów aluminiowych w stanie miękkim wyżarzonym, które przy odpowiednim montażu przewodów i osprzętu nie wystąpi.

Dla biur projektowych istotną „wadą” technologii ACMCC® jest stosunkowo niski koszt wykonania projektu modernizacji linii za pomocą tego przewodu, ponieważ nie wymaga ona podwyższeń konstrukcji wsporczych. Dużo więcej pieniędzy można zarobić na projekcie modernizacji linii, np. za pomocą przewodu ACSS/TW lub GAP, które w linii zaprojektowanej do pracy w 40°C będą wymagały kilkudziesięciu podwyższeń, a jeszcze więcej można zarobić pieniędzy (ok. 10 razy więcej) na projekcie zburzenia istniejącej linii i postawienia na jej trasie nowej, co tłumaczy dlaczego biura projektowe wolą wybierać ten wariant, nie zważając na to, że często naraża on inwestora na wieloletnie walki z właścicielami gruntów, którzy chętnie zgadzają się na usunięcie istniejącej konstrukcji wsporczych, ale nie chcą się zgodzić na postawienie nowych.

Nasi sąsiedzi zza Odry najpierw zabudowali całe Niemcy liniami wysokich napięć, których nota bene obecnie zaczyna im brakować, a dopiero po tym wprowadzili obszary Natura 2000. W Polsce sytuacja jest odmienna – my nie mając rozbudowanej infrastruktury sieciowej wprowadziliśmy te obszary, a na domiar złego – na wielu niechronionych obszarach społeczeństwo bardzo ostro sprzeciwia się budowie nowych linii i w niektórych przypadkach żadna specustawa tu nie pomoże. W takiej sytuacji modernizowanie istniejących linii zaprojektowanych do pracy w 40°C, podwyższając temperaturę ich pracy linii jedynie do 60°C lub 80°C za pomocą tradycyjnych technologii AFL (ACSR) lub nawet do 90°C za pomocą AAAC, zamiast uzyskać 2 razy większą obciążalność prądową za pomocą niskostratnych przewodów wysokotemperaturowych, wydaje się być rażąca niegospodarnością.

Biorąc pod uwagę ww. zalety przewodów ACMCC® i korzyści jakie mogą odnieść wszystkie zainteresowane strony, a przede wszystkim firmy zajmujące się przesyłem i dystrybucją energii oraz nasze środowisko naturalne, można stwierdzić, że przewody ACMCC® zapewniają najefektywniejszy i bezpieczny sposób przesyłania energii napowietrzными liniami wysokiego napięcia, i rzetelnie analizując wszystkie opcje nie można ich nie wziąć pod uwagę zarówno przy budowie nowych linii, jak również przy modernizacji istniejących.

Dzięki jej nie mającym sobie równych właściwościom



Rys. 9. Przewody jedno- i wieloprętowe z polimerowym rdzeniem kompozytowym  
Fig. 9. Single and multi-rod polymer composite core conductors



technicznym, rynek przekonał się do tej nowoczesnej technologii z kompozytowym rdzeniem z włókien węglowych oferującej niezrównaną efektywność przesyłu energii. Świadczy o tym ponad 150 000 km tych przewodów zainstalowanych w ostatnich 10 latach oraz szybko przyrastająca liczba składanych nowych zamówień.

Znaczne opóźnienie modernizacji polskich sieci przesyłowych i dystrybucyjnych paradoksalnie wychodzi nam w tym przypadku na korzyść, dając możliwość zastosowania od razu najbardziej efektywnej energetycznie i niezawodnej technologii ACMCC®, zamiast przechodzenia przez te same etapy rozwoju sieci przez które przechodziły państwa wysoko rozwinięte, które zaczynały modernizację linii od przewodów AFLs (ACSR/TW) z drutami segmentowymi z twardego aluminium, co szybko okazało się niewystarczające, przez przewody AAC ze stopów aluminiowych (idealnych do stosowania w krajach zimnej Skandynawii, ale nie w cieplejszych jak Polska) oraz przewody z rdzeniem Inwarowym (drogich i nadających się tylko do wysokich słupów), a skończywszy na przewodach GAP ze szczeliną powietrzną, z których wydostaje się smar, powodując zwiększony ulot oraz które nie dają się naprawiać za pomocą złączek. Dodatkowo należy zauważyć, że nie możemy i nie jesteśmy w stanie w Polsce powielać schematów z Europy Zachodniej, ponieważ większość linii była projektowana tam na temperaturę pracy od 60°C do 80°C, podczas gdy u nas większość linii projektowana była na 40°C i dlatego nasze konstrukcje wsporcze są dużo niższe i cieńsze od tych stosowanych w Europie Zachodniej, co czyni u nas zadanie modernizacji termicznej linii trudniejszym i przy wszystkich technologiach, oprócz ACMCC® i AC(R)CC®, wymaga znacznej ingerencji w konstrukcje wsporcze, co przy ich stosunkowo słabej konstrukcji i złym stanie technicznym, jest bardzo ryzykowne. Nasuwa się pytanie, czy przy tak słabych słupach jest w ogóle sens inwestować w termiczną modernizację linii, które mają po kilkadziesiąt lat? Odpowiedź jest taka, że oczywiście lepiej jest wybudować nową linię na innej trasie lub zburzyć istniejącą linię i w jej miejsce postawić nową z większymi przewodami. Operator jednak musi zawsze zadać sobie pytanie, czy stać go na wieloletnie oczekiwanie aż nowa linia zostanie wybudowana po pokonaniu wszelkich przeszkód i po załatwieniu wszelkich formalności, co z reguły trwa od kilku do kilkunastu lat. W wielu przypadkach pilność szybko wzrastającego zapotrzebowania na przesył energii elektrycznej wymusza zastosowanie przewodów wysokotemperaturowych, spośród których ACMCC® są najlepszym, najszybszym i najbezpieczniejszym rozwiązaniem, ponieważ ich instalacja nie wymaga modyfikacji słupów i spośród wszystkich technologii HTLS generują one najmniej strat podczas pracy w podwyższonej temperaturze, która w przypadku przewodów ACMCC® jest zawsze niższa niż w innych przewodach HTLS o takiej samej średnicy, przy takim samym prądzie. Na podstawie przeprowadzonych analiz (np. przez niemiecki RWE), można powiedzieć, że zastosowanie przewodu o małym zwisie odracza konieczność budowy nowej linii o 20 lub więcej lat.

W ciągu ostatnich 10 lat udało się autorowi (literatura) przekonać polską elektroenergetykę zawodową (Energia Operator SA i PSE SA) do stosowania przy budowie linii WN niskostratnych przewodów z drutami trapezoidalnymi ACSR/TW zamiast przewodów z drutami okrągłymi AFL (ACSR), co będzie skutkowało obniżeniem strat prze-



Rys. 10. Uchwyt odciągowy do przewodu ACMCC®  
Fig. 10. ACMCC® tension fitting

syłowych w nowo budowanych liniach o 25–30%. Jest to pierwszy taki przypadek na świecie wprowadzenia niskostratnych przewodów z drutami trapezoidalnymi o maksymalnej dopuszczalnej temperaturze pracy 80°C jako standardu przy budowie nowych sieci przesyłowych i dystrybucyjnych. Dzięki temu Polska stała się liderem w stosowaniu technologii niskostratnych. Obecnie celem autora jest przekonanie budujących linie WN do stosowania wysokotemperaturowych przewodów niskostratnych o małym zwisie ACMCC®,

których zastosowanie zapewni, oprócz niskostratności oraz innych ww. zalet, większą elastyczność pracy systemów przesyłowych i dystrybucyjnych (2-krotnie większą obciążalność prądową). Jeżeli ktoś nie nabrał jeszcze zaufania do tej wieloprętowej (bardziej niezawodnej od jednoprętowej) technologii przewodów kompozytowych, to warto stosować przy budowie linii WN znane na świecie od kilkudziesięciu lat niskostratne wysokotemperaturowe przewody o małym zwisie typu ACSS/TW, których cena niewiele odbiega od ceny przewodów ACSR/TW, a jedynym dodatkowym kosztem inwestycji jest koszt wyższych i mocniejszych konstrukcji wsporczych, który dzięki dodatkowej redukcji strat bardzo szybko się spłaca.

**Uwaga prawna:** Lo-Sag™ i ACCC® to zastrzeżone znaki towarowe odpowiednio firm Nexans i CTC Global, Inc., które zostały użyte wyłącznie w celach porównawczych.

ACMCC® i ACRC® to zastrzeżone znaki towarowe zarejestrowane w Urzędach Patentowych przez odpowiednio firmy: Fogang Xinyuan Hengye Cable Technology Co., Ltd. i Zircon Poland. Posługiwanie się tymi znakami bez zgody ich właścicieli, w celach innych niż porównawcze, w tym oznaczanie tymi znakami wyrobów innych firm jest prawnie zabronione.

#### LITERATURA

- [1] Lejdy Brunon. 2014. „Wysokostratne przewody elektroenergetyczne wysokotemperaturowe linii napowietrznych wysokonapięciowych”. *Wiadomości Elektrotechniczne* 2.
- [2] Jakubczak P., W.A. Sokolik. 2008. „Przewody wysokotemperaturowe jako alternatywa dla budowy nowych linii”. IV Sympozjum Nowoczesne rozwiązania w budownictwie sieciowym. Ostrów Wielkopolski.
- [3] Jakubczak P. 2008. „ACCC/TW energooszczędne wysokotemperaturowe przewody napowietrzne nowej generacji. Porównanie techniczne z przewodami stalowo-aluminiowymi”. Konferencja Sieci 2008. Szklarska Poręba.
- [4] Sokolik W.A. 2008. „Nowoczesny sposób na szybkie zwiększenie zdolności przesyłowych linii napowietrznych za pomocą przewodów o małych zwisach”. V Konferencja Szkoleniowo-Techniczna „Nowoczesna energetyka” NOE 2008. Nałęczów.
- [5] Sokolik W., P. Jakubczak. 2009. „Poprawa efektywności przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych przewodów o małych zwisach typu ACCC/TW. Energooszczędność na miarę XXI wieku”. XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Aktualne problemy w elektroenergetyce”, APE’09, Jurata.
- [6] Sokolik W., P. Jakubczak. 2009. „Poprawa efektywności przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych przewodów o małych zwisach typu ACCC/TW”. *Wiadomości Elektrotechniczne* 6.
- [7] Sokolik W.A. „Niskostratne technologie przewodów napowietrznych spełniające wymagania nakreślone w polityce energetycznej Polski do 2030 roku”. XVIII Konferencja Szkoleniowo-Techniczna „Elektroenergetyczne linie kablowe i napowietrzne” KABEL 2011.
- [8] Sokolik W.A. 2011. „Optymalizacja strat w przesyśle i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych przewodów”. V Konferencja Naukowo-Techniczna „Straty energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych”.
- [9] Sokolik W.A. 2011. „Optymalizacja energetycznej efektywności przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych przewodów o małym zwisie”. XV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Aktualne Problemy w Elektroenergetyce” APE’11.
- [10] Sokolik W.A., Ł. Odzinkowski, M. Sobek. 2012. „Optymalizacja strat w napowietrznych liniach elektroenergetycznych poprzez dobór przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach”. VII Konferencja Naukowo-Techniczna – Sieci elektroenergetyczne w przemyśle i energetyce, SIECI 2012.
- [11] Sokolik W.A., A. Klimas, M. Sobek. 2014. „Optymalizacja strat w przesyśle i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych kabli i przewodów”. Konferencja KABEL’2014, Kudowa Zdrój.
- [12] Sokolik W.A. 2017. „Modernizacja linii WN za pomocą przewodów ACCC® jako bardzo szybka alternatywa dla budowy nowych linii 400 kV”. *Urządzenia dla energetyki*.