

KABLE POWROTNE W ŁĄCZU SWEPOL LINK

Tadeusz SZCZEPAŃSKI

Polskie Sieci Elektroenergetyczne – Północ Spółka Akcyjna

tel: +48 601 68-47-59 fax: +48 52 322-98-35 e-mail: Tadeusz.szczepanski@pse.pl

Streszczenie: Kabel powrotny w łączu Szwecja-Polska pojawił się jako alternatywa wymuszona przez ekologów, spowodowana brakiem akceptacji społecznej. Dlatego w wykonanym rozwiązaniu zastąpiono wodę i ziemię dwoma kablami powrotnymi, chociaż z punktu widzenia technicznego wprowadzone rozwiązanie daje niższą sprawność. Ostatnie, jedenaste uszkodzenie kabla powrotnego wystąpiło w 2012 roku. W ośmiu wcześniejszych przypadkach przyczyną awarii były uszkodzenia elektryczne kabla w morzu w odległości kilkunastu kilometrów od polskiego brzegu, spowodowane zakłóceniami w północnej części polskiego systemu elektroenergetycznego. W tej sytuacji dla łączu Szwecja-Polska zaproponowano przeanalizowanie i zrealizowanie jednego lub dwóch niżej przedstawionych rozwiązań, które mogą istotnie ograniczyć skutki i koszty z tytułu uszkodzeń kabli powrotnych:

- montaż dodatkowych ograniczników przepięć,
- powrót do elektrod – całkowity brak kabli powrotnych,
- elektrody „niepełne” pracujące z jednym kablem powrotnym,
- praca łączu jedynie z uzziemieniami własnymi na stacjach przekształtnikowych.

Reasumując należy stwierdzić, że:

- stosunkowo tanim sposobem dalszego uodpornienia kabli powrotnych na uszkodzenia elektryczne jest zabudowa ograniczników przepięć w szafce przy kontenerze na polskim brzegu,
- z proponowanych środków zaradczych rozsądnym wydaje się zastosowanie wyżej wymienionych propozycji a) i d) jednocześnie, gdyż są to proste rozwiązania, nie wymagające dużych nakładów finansowych ani jakichkolwiek zgód, a mogą szybko zapewnić oczekiwany rezultat.

Słowa kluczowe: kabel powrotny, ogranicznik przepięć, elektroda

1. PRZYCZYNY WPROWADZENIA KABLI POWROTNYCH

Kabel powrotny w łączu Szwecja-Polska pojawił się jako alternatywa wymuszona przez ekologów spowodowana brakiem akceptacji społecznej. Decyzja o układaniu kabli powrotnych podjęta została dopiero na etapie układania kabla głównego. W pierwotnych projektach zakładano budowę anody i katody a obwód elektryczny miał się zamykać poprzez ziemię. W proponowanym rozwiązaniu zastąpiono wodę i ziemię przez kabel powrotny, chociaż z punktu widzenia technicznego wprowadzone rozwiązanie jest gorsze, gdyż daje niższą sprawność całemu łączu (przy zamykaniu obwodu poprzez ziemię wystarczy tylko zbudować elektrody o odpowiednio niskich wartościach rezystancji a oporność gruntu jest praktycznie równa zeru). W momencie podejmowania decyzji o układaniu kabla powrotnego, rynek nie dysponował kablem o przekroju

co najmniej 1.100 mm² i izolacji 20 kV, nadającym się do położenia na dnie Bałtyku. W powstałej sytuacji zdecydowano się na odcinku morskim ułożyć dwa kable o przekroju 630 mm² każdy, a na polskim odcinku lądowym jeden kabel o przekroju 1.100 mm² - wszystkie w izolacji 20 kV. Pierwsza awaria kabla powrotnego potwierdziła w praktyce trafność decyzji o dwóch kablach powrotnych – podczas awarii kabla wypina się uszkodzony a drugi pracuje z mocą maksymalną łączu jedynie 473 MW [1, 2, 3 i 4].

2. USZKODZENIA KABLI POWROTNYCH

Uszkodzenie kabla powrotnego w łączu Szwecja-Polska dnia 15 października 2012 roku było 11-tym w historii jego eksploatacji (od dziesiątego uszkodzenia minęło prawie 10 lat). Poprzednie awarie tych kabli wystąpiły w latach od 2001 do 2003 roku, czyli w okresie gwarancyjnym. Przyczyny ostatniego uszkodzenia kabla powrotnego jeszcze jednoznacznie nie ustalono, chociaż końcowe przebiecie izolacji miało z pewnością charakter elektryczny.

Procedura postępowania przy usuwaniu awarii kabla powrotnego w łączu Szwecja-Polska jest zawsze podobna – rozpoczyna się od ustalenia, który z dwóch kabli uległ uszkodzeniu, wycięciu go z zacisków, a następnie przy pomocy przenośnych lokalizatorów (mostków Murraya) ustala się przybliżone miejsce uszkodzenia, które niekiedy może wymagać tzw. „dopalenia” specjalnym generatorem. Kolejny etap to - w przypadku gdy uszkodzenie znajduje się pod wodą - potrzeba dokładnego ustalenia miejsca, które dokonuje się z małej łódki i oznacza boją. Po takim określeniu musi przypląć statek specjalistyczny, z którego schodzi nurek ustalający precyzyjnie miejsce uszkodzenia kabla, który w zależności od rodzaju dna musi zostać odmulony lub w przypadku dna skalistego może od razu ulec przecięciu i wyciągnięciu z wody. Wyciągnięty koniec kabla, po niezbędnym odcięciu miejsca uszkodzenia, łączy się poprzez mufę z nowym odcinkiem kabla o długości co najmniej 100-300 m i po ustawieniu statku w miejscu właściwym łączy się poprzez drugą mufę z drugim końcem kabla [2, 3, 5, 6 i 7], .

Czas naprawy zależy od rodzaju awarii oraz dostępnych środków niezbędnych do wykonania naprawy i może trwać od kilkunastu dni do kilku miesięcy.

Dotychczas występujące uszkodzenia kabli powrotnych MCRC miały następujący przebieg [8]:

- **Awaria nr1** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S8 dnia 27.02.2001r. wewnątrz przepustu w odległości 245 m od

polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 692,9 godziny,

- **Awaria nr2** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S6 dnia 12.04.2001r. wewnątrz przepustu w odległości 370 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 299,4 godziny,
- **Awaria nr3** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S8 dnia 15.07.2001r. w odległości 583 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 297,9 godziny,
- **Awaria nr4** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S8 dnia 17.08.2001r. w odległości 646 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 652,3 godziny,
- **Awaria nr5** – uszkodzenie mechaniczne kabla XL5-S6 dnia 11.11.2001r. w odległości 60.160 m od polskiego brzegu morskiego przez rybaków w akwenu Ławicy Słupskiej – łączny czas naprawy 628,1 godziny,
- **Awaria nr6** – uszkodzenie mechaniczne kabla XL5-S6 dnia 5.12.2001r. w odległości 8.410 m od polskiego brzegu morskiego przez kotwice statku – łączny czas naprawy 7,2 godziny,
- **Awaria nr7** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S6 dnia 16.07.2002r. w odległości 7.900 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 487,3 godziny,
- **Awaria nr8** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S6 dnia 10.08.2002r. w odległości 8.550 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 168,6 godziny,
- **Awaria nr9** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S6 dnia 6.09.2002r. w odległości 10.000 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 356,5 godziny,
- **Awaria nr10** – uszkodzenie elektryczne kabla XL5-S6 dnia 17.01.2003r. w odległości 7.460 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 2.887,2 godziny,
- **Awaria nr11** – uszkodzenie niewyjaśnione kabla XL5-S8 dnia 15.10.2012r. w odległości 8.007 m od polskiego brzegu morskiego – łączny czas naprawy 876,6 godziny.

3. ANALIZA PRZYCZYŃ USZKODZEŃ KABLI POWROTNYCH

W ośmiu wcześniej stwierdzonych przypadkach przyczyną awarii były uszkodzenia elektryczne w okolicy polskiego brzegu, spowodowane przez zakłócenia w północnej części polskiego systemu elektroenergetycznego 400kV i 110kV.

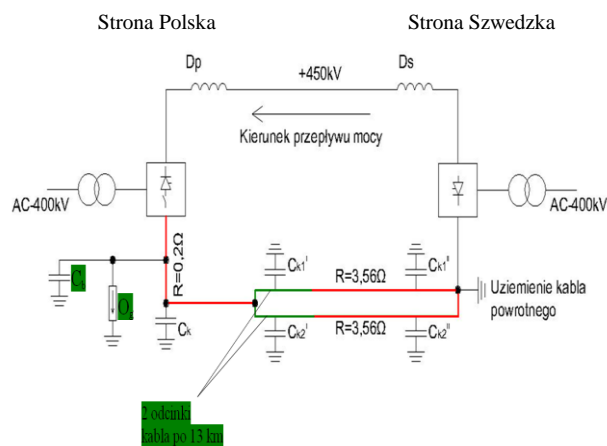
Bezpośrednią przyczyną uszkodzeń kabli powrotnych były przebiegi w KSE - nagłe wyłączenia powodujące zmniejszenia prądu w bardzo krótkim czasie do zera. Dominujące znaczenie miał tu kierunek przesyłanej energii elektrycznej i praktycznie tylko przy przesyłaniu w kierunku do Polski (przekształtnik pracuje wtedy jako falownik) miały miejsce uszkodzenia kabla powrotnego. W przypadku gdy kierunek przesyłanej energii był z Polski (przekształtnik pracuje wtedy jako prostownik), takie zakłócenie było również w pewnym stopniu odczuwane przez łącze (rejestrowane na stacji DC), ale nigdy nie powodowało uszkodzeń kabla [2, 3, 4, 5, 6, 7 i 8].

Opisany przypadek odpowiada klasycznej linii długiej otwartej na końcu, co pokazano w formie uproszczonego schematu elektrycznego na zamieszczonym rysunku 1. Zachodzące zjawisko wiąże się z prawem zachowania energii - przed uszkodzeniem napięcie statyczne na kablu powrotnym jest małe i wynosi maksymalnie 2,52 kV (przy znamionowym obciążeniu wynoszącym 1.330 A).

Z chwilą zablokowania przekształtnika, cała energia magnetyczna zgromadzona w kablu powrotnym zamienia się

w energię elektryczną, co objawia się powstaniem fali przepięciowej na końcu kabla. Rozchodząca się fala przepięciowa wędruje wzdłuż kabla i w miejscu zmiany oporności falowej (w węźle łączącym kable powrotne) następuje jej odbicie powodujące jej zwiększanie rozchodzące się w części morskiej w okolicy polskiego brzegu. Tak duże napięcie powoduje uszkodzenia izolacji kabla.

Strona szwedzka kabli powrotnych była w tym przypadku całkowicie bezpieczna od wpływu zagrożeń czynników elektrycznych, dzięki uziemieniu żyły kabla powrotnego umiejscowionemu po jej stronie.



Rys.1. Schemat elektryczny układu przesyłowego Szwecja-Polska - do wyjaśnienia mechanizmu przebiegów w kablu powrotnym [własne opracowanie]

Problemy z uszkodzeniami kabli powrotnych ustały całkowicie po roku 2003 kiedy to:

- wymieniono po polskiej stronie morza oba odcinki kabli powrotnych na długości 13 km na nowe – oznaczone na rysunku kolorem zielonym, ze zmienionym wystrojeniem żyły roboczej (umieszczony na żyłce kabla ekran sterujący wykonano z materiału prawie 5 razy grubszego, dzięki czemu uzyskano lepsze wystrojenie pola elektrycznego kabla i większą jego odporność na pojawiające się w nim przebiegi łączeniowe),
- rozbudowano ograniczniki przebiegów pracujące po stronie polskiej (dzięki czemu zmniejszono napięcia zapłonu z 22 kV do 11 kV) – oznaczonych na rysunku jako O_b oraz powiększono pojemności załączonej baterii kondensatorów – oznaczonej na rysunku jako C_a , zmniejszającej stromość narastania przebiegów,
- zmniejszono oddziaływania dolegliwych dla łącza zakłóceń w sieci zewnętrznej po stronie polskiej, poprzez złagodzenie stromości narastania impulsów wyłączających tyrystory),
- w wybranych miejscach, w których kabel położony jest na skałach pomorskich, ułożono dodatkowo betonowe płyty ochronne - np. przed sieciami rybackimi,
- profilaktycznie ponownie powiadomiono i przypomniano o trasie kabla Szwecja-Polska instytucjom odpowiedzialnym za bezpieczeństwo na Bałtyku – np. przed kotwicami okrętów.

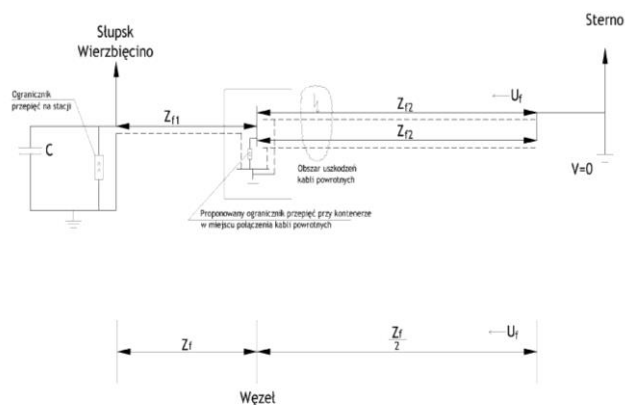
4. OCHRONA KABLI POWROTNYCH OD SKUTKÓW USZKODZEŃ

W powstałej sytuacji dla łącza Szwecja-Polska zaproponowano przeanalizowanie i ewentualne zrealizowanie jedno lub dwa z niżej przedstawionych rozwiązań technicznych, które w sposób istotny mogą ograniczyć skutki i koszty uszkodzeń kabli powrotnych.

a) montaż dodatkowych ograniczników przepięć

Praktycznie środki zaradcze, ograniczające uszkodzenia kabli powrotnych, mogą dotyczyć prawie wyłącznie awarii spowodowanych przyczynami elektrycznymi. Uszkodzenia pochodzące od przyczyn mechanicznych występują odpowiednio rzadko, tzn. średnio tylko co piąte a ich miejsce może dotyczyć każdego kilometra linii - zwłaszcza odcinków gdzie kabel ułożony jest bezpośrednio na skale.

W celu ograniczenia kolejnych uszkodzeń kabli powrotnych, od uszkodzeń elektrycznych, najprostszym rozwiązaniem jest zainstalowanie ograniczników przepięciowych przy polskim brzegu morskim w miejscu, w którym połączono kabel powrotny przychodzący ze stacji DC w Wierzbicinie z dwoma kablami powrotnymi wchodzącymi do morza i łączącymi stację Sterno (tam gdzie następuje zmiana oporności falowej, tj. w węźle elektrycznym znajdującym się w szafce kablowej przy kontenerze po stronie polskiej). Ograniczniki przepięciowe powinny być dobrane na obciążalność udarową około 30 kA - tj. 3 x 10 kA i napięcie robocze 11 kV (podobnie jak w stacji Wierzbicino), obowiązkowo wyposażone w liczniki zadziałań. Uziemienie ograniczników przepięć oraz wszystkie ekrany kabli powrotnych powinny być połączone z nowo zbudowanym uziemieniem o rezystancji mniejszej niż 5 Ω. Szczególnie narażony obszar uszkodzeń kabli powrotnych pokazano na rysunku 2.



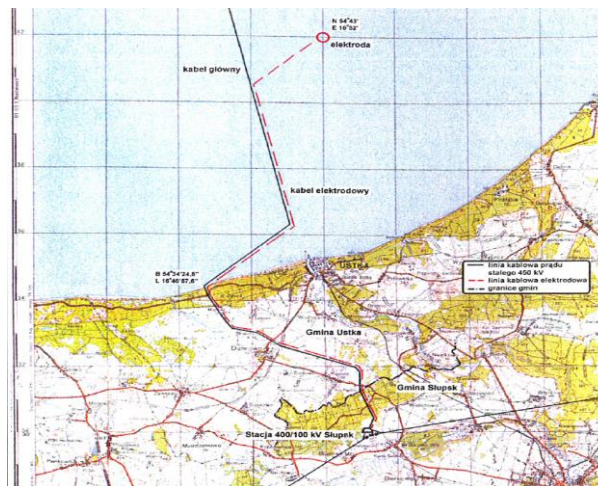
Rys.2. Kable powrotne w łączu Szwecja-Polska [własne opracowanie]

b) powrót do elektrod – całkowity brak kabli powrotnych

Sposobem łagodzenia skutków uszkodzeń kabli powrotnych może i powinno być ponowne rozważenie budowy katody i anody dla zamykania obwodu elektrycznego przez ziemię – tylko lub dodatkowo. Ewentualny brak kabli powrotnych w rozwiązaniu łącza eliminowałby automatycznie problemy awaryjności dotyczące przedmiotowych kabli - chociaż nie ma pewności, że nie spowoduje to kolejnych akcji niezadowolonia ekologów.

Na obecnie dziewięć łączy pracujących w rejonie morza Bałtyckiego, tylko łącze Szwecja-Polska posiada kable powrotne a powszechnie na świecie kabel powrotny w łączach nie jest stosowany.

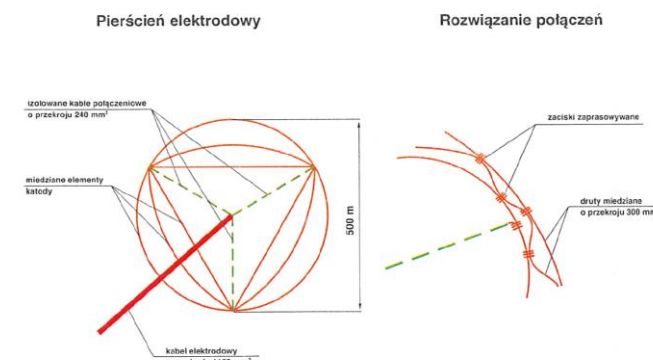
Proponuję rozważyć powrót do propozycji zastąpienia kabli powrotnych przez wodę i ziemię, poprzez zastosowanie elektrod, zgodnie z pierwotnym projektem. Pierwsze założenia zakładały, że obie elektrody uziemiające będą zlokalizowane na morzu w odległości około 12 km od brzegu. Lokalizacja elektrody uziemiającej to wynik dyskusji i uzgodnień z instytucjami związanym z użytkownikami przybrzeżnego pasa morskiego. Zaproponowaną szczegółową lokalizację elektrody po polskiej stronie pokazano na rysunku 3 [1].



Rys.3. Trasa linii kablowej przy polskim brzegu [1]

Podstawowym problemem związanym z oddziaływaniem elektrody uziemiającej na środowisko morskie, jest przepływ prądu w wodzie w pobliżu elektrody. Z tych względów elektroda, przez którą prąd jest wprowadzany do wody, musi mieć odpowiednio dużą powierzchnię [1].

Wykorzystanie w łączu Szwecja-Polska kabla powrotnego do zamknięcia obwodu elektrycznego powoduje łączne straty około 3%. Gdyby zrezygnować z kabla powrotnego a obwód elektryczny zamykać jedynie poprzez ziemię, to straty w przesyłce energii elektrycznej można zmniejszyć do 2%, czyli ograniczyć straty o 6 MW przy pełnym przesyłce wynoszącym 600 MW.



Rys.4. Propozycja rozwiązania technicznego elektrody uziemiającej – katody [1]

Zgodnie z pierwotnym projektem po stronie szwedzkiej miała być zbudowana anoda, czyli elektroda przyjmująca elektrony. Przy anodzie w wodzie wydzielalby się w niewielkich ilościach chlor [1].

Projekt pierwotny zakładał po stronie polskiej budowę katody, czyli elektrody oddającej elektrony wędrujące do anody. Przy katodzie w wodzie wydziela się w niewielkich ilościach wodór. Przewidywane rozwiązanie techniczne elektrody morskiej (katody) pokazano na rysunku 4. Średnica katody rzędu 500 m spowoduje, że gęstość prądu na powierzchni elektrody nie będzie większa niż 0,5 mA/cm² co zapewni jej nieszkodliwą pracę w środowisku morskim. Trzy odseparowane połączenia oraz sześć wewnętrznych, krzyżujących się ramion, zapewnia bezpieczną pracę elektrody nawet w przypadku jej częściowego uszkodzenia. Wyżej opisana elektroda powinna być ułożona na dnie morskim i zabezpieczona przed unoszeniem poprzez elementy obciążające na jej obwodzie (co 20 m) i na połączeniach wewnętrznych.

Zasadnicze różnice w budowie obu elektrod powodują, że nie można zamienić ich funkcji, czyli że katoda nie może pracować jako anoda.

c) elektrody „niepełne” pracujące z jednym kablem powrotnym

Rozwiązaniem kompromisowym, zapewniającym pełen przesył mocy łączem Szwecja-Polska przy uszkodzeniu jednego kabla powrotnego, mogłaby być budowa elektrod „niepełnych”.

Dla zapewnienia pełnego przesyłu mocy w wysokości 600 MW przez elektrody musi płynąć prąd 1.330 A. W przypadku uszkodzenia jednego z dwóch kabli powrotnych ustalono, że maksymalna moc jaka może płynąć w takim przypadku wynosi tylko 473 MW, co oznacza prąd w wysokości 1.048 A. Gdyby zbudować elektrody (anodę i katodę) jedynie na wartość prądu będącego różnicą pomiędzy wyżej wymienionymi prądami, tzn. 1.330 A i 1.048 A to przy elektrodach na wartość prądu niecałe 290 A można by przy awarii jednego kabla roboczego dalej pracować z pełną mocą. Załączony obwód elektryczny musiałby posiadać rezystor włączony szeregowo z „niepełnymi” elektrodami, który ograniczałby prąd do wartości podanej powyżej (parametry takiego rezystora to: $R = \text{ok.}13 \Omega$, $P = \text{ok.}1 \text{ MW}$ i $I_{\text{max}} = 290 \text{ A}$). Praktycznie oznacza to potrzebę budowy elektrod (anody i katody) o powierzchni jedynie 22% pierwotnie projektowanej elektrody „pełnej”.

Normalna praca łącza mogłaby być prowadzona tak jak dotychczas z kablami powrotnymi, a w przypadku awarii jednego z nich, po lokalizacji i wypięciu (trwającego nie dłużej jak 3 godziny), można by natychmiast łączyć nowo zbudowane elektrody „niepełne” z szeregowo załączonym rezystorem i pracować dalej z pełną mocą.

Praca łącza z jednym kablem powrotnym (bez wyżej proponowanego rozwiązania) powoduje stratę dzienną, dla każdego ze współwłaścicieli.

d) praca łącza jedynie z uzienieniami własnymi na stacjach przekształtnikowych

Pracę łącza Szwecja-Polska, z ograniczonym przesyłem, można także prowadzić jedynie z uzienieniami własnymi stacji - które według przepisów budowy mają rezystancję co najmniej 0,5 Ω .

Oznacza to, że w przypadku uszkodzenia jednego kabla powrotnego można realizować pełen przesył mocy poprzez drugi kabel powrotny oraz trwałe uzienienia stacji (tzn. ich siatki uzieniające). Szwedzka strona łącza, posiadająca trwałe uzieniony kabel powrotny, jest praktycznie gotowa do takiej pracy. Strona polska

wymagałaby wykonania powiązania z siatką uzieniającą stacji poprzez specjalny rezystor ograniczający prąd do maksymalnie 290 A i odłącznik zamykany w przypadku uszkodzenia jednego z kabli powrotnych. Parametry takiego rezystora to: $R = \text{ok.}13 \Omega$, $P = \text{ok.}1 \text{ MW}$ i $I_{\text{max}} = 290 \text{ A}$.

Ewentualna praca łącza Szwecja-Polska jedynie z uzienieniami własnymi z dwoma uszkodzonymi kablami powrotnymi byłaby możliwa jedynie z mocą 127 MW, w układzie przedstawionym powyżej.

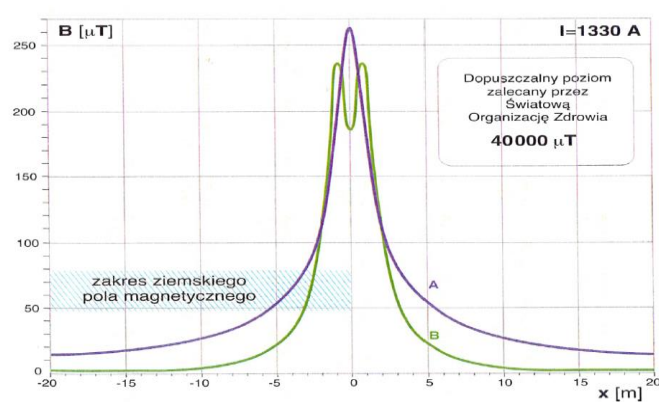
5. ODDZIAŁYWANIE UKŁADU PRZESYŁOWEGO NA ŚRODOWISKO

W układzie przesyłowym prądu stałego Szwecja-Polska pod uwagę brać należy następujące rodzaje oddziaływań [1]:

- W otoczeniu kabla
 - pole magnetyczne,
- W otoczeniu stacji przekształtnikowej:
 - pole elektryczne,
 - hałas,
 - zakłócenia radioelektryczne i telewizyjne.

W układzie przesyłowym Szwecja-Polska źródłem pola magnetycznego jest linia kablowa. Pole to pod względem oddziaływania na otoczenie jest porównywalne z naturalnym polem magnetycznym ziemi.

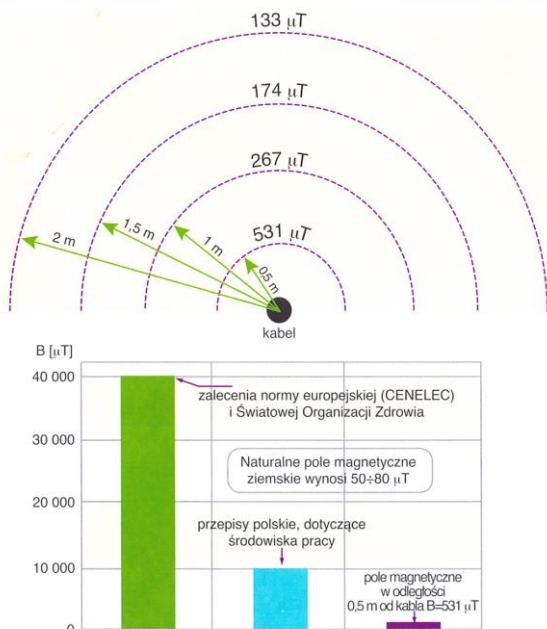
W otoczeniu kabla przy prądzie znamionowym 1.330 A powstające pole magnetyczne w odległości 6 metrów nie przekracza 50 μT , a przy bezpośrednim kontakcie z żyłą miedzianą niewiele ponad 250 μT . Oznacza to, że w zestawieniu z dopuszczalnym poziomem zalecanym przez Światową Organizację Zdrowia wynoszącą 40.000 μT jest to wielkość pomijalnie mała - zjawisko to nie ma wpływu na organizmy żywe. Rozkład wyżej opisanego pola magnetycznego nad wysokonapięciowym kablem prądu stałego z przepływającym prądem 1.330 A pokazano na rysunku 5 [1].



Rys.5. Pole magnetyczne w otoczeniu linii kablowej prądu stałego A, B – rozkład pola magnetycznego nad jedną i dwiema wysokonapięciowymi liniami kablowymi [1]

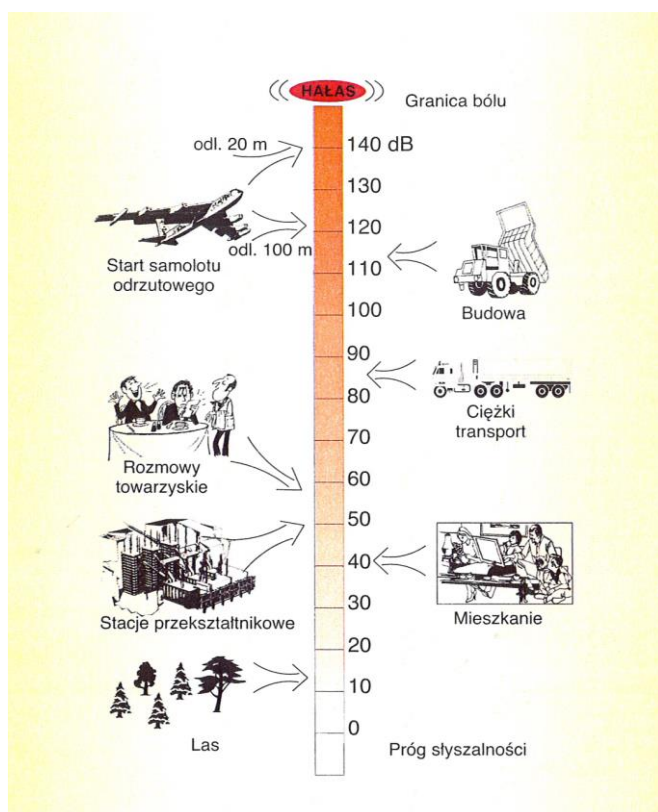
Zmianę wartości indukcji magnetycznej pola ze zmianą odległości od kabla pokazano na rysunku 6. Nawet w odległości 0,5 m od kabla pole magnetyczne nie osiąga wartości, które mogłyby budzić obawy.

W otoczeniu stacji prądu stałego wytwarza się pole elektryczne stałe, którego źródłem jest ładunek znajdujący się na przewodach pod napięciem oraz ładunek przestrzenny w otoczeniu tych przewodów.



Rys.6. Pole magnetyczne w otoczeniu kabla z prądem $I=1.330A$ [1]

Pole elektryczne stałe, wytwarzane przez układ prądu stałego, będzie występować praktycznie tylko w odległości nie większej niż kilkanaście metrów od ogrodzenia stacji, przy czym natężenie tego pola będzie porównywalne z naturalnym polem elektrycznym, wynoszącym przeciętnie 0,13 kV/m. Zjawisko to nie ma wpływu na organizmy żywe [1].



Rys.7. Porównanie poziomów hałasu w środowisku [1]

Hałas na stacji przekaźnikowej pochodzi przede wszystkim od transformatorów przekaźnikowych i jest słyszalny w praktyce tylko w odległości nie większej jak 200 m od ogrodzenia. Przy ogrodzeniu poziom hałasu nie przekracza 50 dB. Na załączonym rysunku 7. pokazano

porównanie hałasów występujących w środowisku naturalnym człowieka. Mając na uwadze fakt, że w bezpośrednim otoczeniu stacji Wierzbicino nie ma zabudowań mieszkalnych, oddziaływanie stacji jest pomijalnie małe [1].

Wyładowania na przewodach układu przesyłowego prądu stałego mogą być źródłem zakłóceń radiowych telewizyjnych w otoczeniu stacji. Zasięg tych zakłóceń jest niewielki, praktycznie nieodczuwalny w odległości kilkudziesięciu metrów od stacji [1].

6. PODSUMOWANIE ROZWAŻAŃ

W podsumowaniu dokonanych rozważań należy stwierdzić:

- w łączu Szwecja-Polska uszkodzenia kabli powrotnych najczęściej spowodowane są przyczynami elektrycznymi, a miejscem ich powstawania jest morze w odległości kilkunastu kilometrów od polskiego brzegu,
- wykonane prace w przeszłości polegające na częściowej wymianie kabli powrotnych, rozbudowie ograniczników przepięć i korekcji wysterowania tyrystorów znacząco uodporniły kable powrotne na uszkodzenia,
- stosunkowo tanim sposobem dalszego uodpornienia kabli powrotnych na uszkodzenia elektryczne jest zabudowa ograniczników przepięć w szafce przy kontenerze na polskim brzegu,
- rozpoznania i analizy opłacalności wymaga propozycja rezygnacji z kabli powrotnych w łączu Szwecja-Polska,
- przy braku akceptacji lub sprzeciwie ekologów na rezygnację z kabli powrotnych, zasadne wydaje się rozważenie propozycji budowy tzw. elektrod „niepełnych”,
- szkodliwe oddziaływanie łącza wyposażonego zarówno w kable powrotne jak i przy ich braku, na środowisko naturalne nie potwierdza się,
- podane wielkości poszczególnych parametrów w punktach: a), b), c) i d) określono szacunkowo; ewentualne zastosowanie wyszczególnionych sposobów wymaga dokładnego ich określenia przez projektanta, jednak podane szacunkowe wartości nie odbiegają znacząco od dokładnych wielkości.
- z proponowanych środków zaradczych zaleca się wykorzystać przede wszystkim rozwiązanie a), gdyż jest to prosty sposób, nie wymagający dużych nakładów finansowych ani żadnych zgód, a może zapewnić szybko oczekiwany efekt.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Argasińska H., Kula M., Arciszewski J., Komorowska I., Szmigielski St., Andrulewicz E., Szeffler K.: Układ przesyłowy 450 kV prądu stałego Szwecja-Polska a środowisko – edycja II. AKCEPT-ART Katowice. Warszawa, październik 1997.
2. Kamrat W., Szczepański T.: Sieci przesyłowe najwyższych napięć. Gdańskie Dni Elektryki – SEP Oddział Gdańsk. Wydawca DOM TECHNIKA. Gdańsk 2009.
3. Kamrat W., Szczepański T.: Wybrane zagadnienia budowy i eksploatacji sieci przesyłowych najwyższych napięć. Kongres Elektryki Polskiej. Warszawa, 2-4 wrzesień 2009 i również Przegląd Elektrotechniczny nr 11. Wydawnictwo SIGMA-NOT. Warszawa 2009.

4. Lubośny Zb.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2009.
5. Szczepański T.: Analiza niezawodności wysokonapięciowych łączy prądu stałego. Referat wygłoszony na Seminarium na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Gdańsk, 30 marca 2010.
6. Szczepański T.: O eksploatacji połączenia stałoprądowego Polska-Szwecja w latach 2001-2006. Wokół Energetyki nr 3. Warszawa 2007.
7. Szczepański T.: Wysokonapięciowe połączenie prądu stałego Szwecja-Polska. Materiały VIII Sympozjum „Energoelektronika w nauce i dydaktyce”. Wydawnictwo Uczelniane ATR. Bydgoszcz, 26-28 września 2002.
8. Źródłowe materiały do oceny niezawodności łączy prądu stałego. Bydgoszcz 2000-2012 (niepublikowane).

PROPOSALS FOR PROTECTION OF RETURN CABLES ON SWEPOL LINK

Summary: The return cable on SwePol Link has been introduced as an alternative enforced by environmentalists due to lack of social acceptance for other solutions. This is why in the proposed solution water and earth have been replaced by two return cables, although from the technical point of view such solution is less effective. The last, eleventh fault of return cable took place on 15 October 2012. In eight earlier cases the faults were caused by electrical failures in the cable in the sea and were located between ten and twenty kilometers from the Polish shore and triggered by disturbances in the northern part of the Polish power grid. In this situation it has been suggested to analyze and introduce one or two solutions shown below which may significantly limit the effects and lower the costs caused by return cable faults:

- a) assembly of additional surge arresters,
- b) return to electrodes – lack of return cables,
- c) “partial” electrodes working with one return cable,
- d) operation of the link only with earthings on converter stations.

To sum up it needs to be said that:

- a relatively cheap way of protecting return cables against electrical failures is installing surge arresters in the cabinet located next to the cable container on the Polish shore,
- from the suggested preventive measures it seems reasonable to introduce the above mentioned solutions a) and d) simultaneously, as both of them are simple solutions which require neither considerable financial expenditures nor authorizations and may fast show expected results.

Key words: return cable, surge arrester, electrode

dr inż. Tadeusz Szczepański

Polskie Sieci Elektroenergetyczne – Północ Spółka Akcyjna

e-mail: tadeusz.szczepanski@pse.pl

Absolwent: Wydziału Telekomunikacji i Elektrotechniki Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy – studia inżynierskie (1976), Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej – studia magisterskie (1980), Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej – doktor nauk technicznych (2012). Zdobył także specjalność energetyka jądrowa na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej (1984), ukończył kierunek menedżerski w Kolegium Zarządzania i Finansów Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie (1998) oraz studia podyplomowe z zakresu zarządzania spółką na rynku Unii Europejskiej w Kolegium Gospodarki Światowej SGH (2003). Jest działaczem i rzeczoznawcą SEP, a od 2006 roku pełni funkcję prezesa zarządu Oddziału Bydgoskiego SEP. Jest autorem 22 publikacji z zakresu sieci elektroenergetycznych.

Od 2001 roku pracuje na stanowisku prezesa zarządu PSE-Północ SA.