

Tomasz Minor

*Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Wpływ prądów tellurycznych na potencjał względem ziemi stalowego podziemnego rurociągu

Prądy telluryczne są to naturalne prądy elektryczne płynące w skorupie ziemskiej oraz w metalowych podziemnych konstrukcjach pod wpływem różnic potencjałów pomiędzy rejonami Ziemi lub częściami metalowych konstrukcji podziemnych. Źródłem prądów tellurycznych są zmiany ziemskiego pola magnetycznego spowodowane oddziaływaniem fal elektromagnetycznych o niskiej częstotliwości pochodzących z kosmosu, głównie ze Słońca, wzajemnym oddziaływaniem wiatru słonecznego i magnetosfery oraz koronalnymi wyrzutami masy (CME) ze Słońca w kierunku Ziemi. Prądy telluryczne płyną w Ziemi na bardzo długich odcinkach, najczęściej w kierunku biegunów w nocy oraz w stronę równika w dzień. Rurociąg biegnący zarówno równoleżnikowo, jak i południkowo, szczególnie posiadający dobrą powłokę izolacyjną, może być poddany oddziaływaniu prądów tellurycznych, co objawia się znacznymi zmianami potencjału względem ziemi w różnych miejscach.

Słowa kluczowe: prądy telluryczne, potencjał rurociągu, ochrona katodowa, burza słoneczna.

### The influence of telluric currents on the potential relation to ground underground steel pipeline

Telluric currents are natural electrical currents flowing in the earth's crust and in the metal underground structures due to potential differences between the regions of the Earth or parts of the metal. The sources of telluric currents are changing Earth's magnetic field by the interaction of electromagnetic waves with low frequencies coming from space, mainly from the Sun, the interaction of the solar wind and the magnetosphere, and coronal mass ejections (CME) from the Sun towards Earth. Telluric currents are flow into the Earth for very long distances, usually towards the poles at night and towards the equator during the day. The pipelines running both latitudinally and longitudinally, especially those which have good insulating coating can be subjected to telluric currents. This results in significant changes in potential relative to the ground in various places.

Key words: telluric currents, pipeline potential, cathodic protection, solar storm.

### Wstęp

Oddziaływanie prądów tellurycznych na rurociągi podziemne miało miejsce od lat, jednak traktowane ono było jako wyjątkowe bądź tylko jako przeszkoda podczas wykonywania badań korozyjnych. Prądy telluryczne, inaczej zwane również ziemnymi, są to prądy indukcyjne występujące w przewodzących warstwach skorupy ziemskiej.

Powstają na skutek zmian ziemskiego pola magnetycznego, np. burz magnetycznych [8]. Obecnie oddziaływanie prądów tellurycznych jest dużo poważniejsze, ponieważ buduje się coraz więcej rurociągów w wyższych szerokościach geomagnetycznych, o coraz lepszej izolacji i w gruntach o większej rezystywności.

### Aktywność energetyczna Słońca

Aktywność energetyczna Słońca, inaczej zwana burzą słoneczną, to wynik ciągłej deformacji (ruchów) olbrzy-

miego pola magnetycznego wewnątrz tej gwiazdy. Słońce zbudowane jest z plazmy (protonów i elektronów) [2].

Jego jądro ma temperaturę 27 mln stopni, odbywa się w nim w ciągu sekundy synteza 700 mln ton protonów, w wyniku czego powstają jądra helu, wyzwalając energię równoważną wybuchowi 10 mld bomb wodorowych [2]. Powstała w jądrze energia przenoszona jest przez fotony na zewnątrz Słońca – drogę tę pokonuje w ciągu 100 000 lat. Pole to ma zasięg nie tylko w przestrzeni słonecznej, lecz sięga także daleko poza tę gwiazdę.

Według naukowców deformacje pola magnetycznego mają charakter cykliczny i powtarzają się co około 11 lat. NASA opracowała ostatni 11-letni cykl aktywności słonecznej. Zwiększoną aktywność obserwujemy już od 2010 roku, a w 2013 roku była ona największa. Obecnie nie potrafimy przewidzieć aktywności Słońca na więcej niż kilka dni do przodu, a od chwili wyrzutu masy CME do dotarcia do Ziemi upływa zaledwie około 20 minut.

Wysokiej aktywności Słońca towarzyszą wiatr słoneczny oraz koronalne wyrzuty masy (CME) ze Słońca w kierunku Ziemi. Mają one ogromny wpływ na pole magnetyczne naszej planety, powodując gwałtowne zaburzenia ziemskiego pola magnetycznego, tzw. burze geomagnetyczne. Zjawiska te są w głównej mierze odpowiedzialne za zmiany potencjałów

naturalnych Ziemi. Zmiany, czyli wyindukowane potencjały Ziemi, mogą osiągać poziom 3÷8 V/km, co powoduje przepływ geomagnetycznie wyindukowanych prądów GIC (*geomagnetically induced currents*) [1].

Amerykańska Narodowa Administracja do spraw Oceanów i Atmosfery (NOAA) na swoich stronach internetowych publikuje informacje o poziomie aktywności słonecznej, uruchomiła także specjalny program komputerowy, który określa, kiedy dany CME dotrze do Ziemi. Aktywność Słońca wyrażana jest za pomocą indeksu  $K_p$  (indeks planetarny), który zostaje wyliczony na podstawie indeksów  $K$  zebranych z 13 obserwatoriów rozmieszczonych w różnych miejscach na Ziemi. Indeks  $K_p$  wyrażany jest w skali quasi-logarytmicznej i opisuje średnią lokalną aktywność geomagnetyczną z ostatnich 3 godzin. Jego wartość zawiera się w zakresie 0÷9. Gdy  $K > 5$ , mówi się o burzy magnetycznej, a w przypadku  $K = 9$  burzę uznaje się za ekstremalnie silną. Intensywność pola magnetycznego opisana jest indeksem  $A$ , a zmiany tego pola wyrażone są w nanoteslach (nT). Podczas burz o ekstremalnej wielkości spadek pola magnetycznego może przekraczać 300 nT. Podczas obecnych burz spadki te są rzędu 100 nT.

### Aktywność energetyczna Słońca – wpływ na energetykę, telekomunikację i lotnictwo

Zjawisko cyklicznej aktywności energetycznej Słońca, jak wykazują liczne badania przeprowadzone m.in. przez zespoły z Congressional Electromagnetic Pulse Commission, National Academy of Sciences i Oak Ridge National Laboratory, stanowi duże zagrożenie dla krajowych systemów energetycznych (sieci energetycznych) [1]. Przepływ prądów GIC powoduje zakłócenia w sieci energetycznej, której punkty uziemienia są od siebie oddalone. Prąd GIC indukowany w przewodach zerowych transformatora jest trzykrotnie większy od prądu indukowanego płynącego przewodami fazowymi, jak i uzwojeniem transformatora. Przepływ trzykrotnie zwiększonego prądu w przewodzie zerowym powoduje nasycenie się rdzenia, co z kolei wpływa na wzrost temperatury obudowy transformatora i zwiększa prawdopodobieństwo jego przegrzania się, a co za tym idzie – możliwość uszkodzenia [5].

Jedną z największych odnotowanych burz słonecznych miała miejsce 13 marca 1989 roku w Quebecu w Kanadzie. Spowodowała ona trwającą 9 godzin awarię sieci energetycznej, która pozbawiła prądu około 6 mln mieszkańców. Awaria utrudniła normalne funkcjonowanie ludzi, a ponadto wiązała się z olbrzymimi skutkami ekonomicznymi. Z kolei w 1972 roku w Kolumbii w wyniku burzy eksplodowały transformatory energetyczne.

Podczas silnych burz w światowych systemach energetycznych zaobserwowano m.in. [5]:

- zmiany częstotliwości sieci,
- kołysania mocy (czynnej i biernej),
- hałas i przegrzewanie transformatorów,
- wzrost wartości prądów w przewodach zerowych transformatorów,
- wzrost poziomów harmonicznych w prądach,
- wyłączanie się baterii kondensatorów związane z pojawieniem się dużych prądów doziemnych,
- wahania napięć,
- zakłócenia w działaniach zabezpieczeń,
- problemy z poprawną łącznością.

Nie mniejszy wpływ burze słoneczne mają na funkcjonowanie systemów GPS oraz na komunikację radiową. Podczas burz zmienia ulega gęstość jonosfery, co utrudnia bądź całkowicie uniemożliwia kontakt radiowy. Satelity mogą mieć trudności w utrzymaniu orientacji w przestrzeni, dokładność systemów GPS może spadać do około 50 m.

Awaryjne systemy radiowych i GPS wpływają na komunikację samolotową, powodując duże koszty finansowe. Linie lotnicze muszą zmieniać trasy lotów, by przebiegały bliżej równika, gdzie oddziaływania są dużo mniejsze, a to może zwiększyć koszty lotu nawet o 100 tys. dolarów [2].

## Prądy telluryczne – wpływ na podziemne stalowe rurociągi

Prądy telluryczne są to naturalne prądy elektryczne płynące w ziemi i częściach metalowych konstrukcji podziemnych. Powstają na skutek zmian ziemskiego pola magnetycznego spowodowanych koronalnymi wyrzutami masy (CME) w kierunku Ziemi oraz oddziaływaniem fal elektromagnetycznych niskich częstotliwości, około 0,1 Hz, pochodzących z kosmosu, ze Słońca. Oddziaływania te mają wpływ na naturalne potencjały Ziemi, co powoduje zmiany potencjałów rurociągów względem ziemi oraz przepływ prądów GIC (prądów tellurycznych). Zmiany potencjałów Ziemi powodują przepływ prądów tellurycznych, które mają niekorzystny wpływ na potencjał rurociągu, utrudniając prawidłową pracę systemów ochrony przed korozją. Długotrwałe oddziaływanie prądów tellurycznych, powodujących np. wypływ prądów z rurociągu, może skutkować zwiększeniem ubytków korozyjnych w ściankach rurociągów.

Badania nad wpływem prądów tellurycznych na rurociągi podziemne prowadzone są od kilkadziesiąt lat. Jedne z pierwszych zjawisk związanych z tym oddziaływaniem zauważył Gideon [3] wraz ze współpracownikami podczas budowy rurociągu na Alasce. Kolejne badania wykazały wzmoczoną aktywność prądów tellurycznych na rurociągach w Nowej Zelandii, Afryce i Niemczech [3]. Na początku prądy telluryczne były traktowane jako zakłócenia w pomiarach korozyjnych. Radzono sobie z tym problemem poprzez przerywanie pomiarów i powrót w chwili, kiedy aktywność spadała. Obecnie coraz więcej rurociągów budowanych jest w wyższych szerokościach geograficznych, w gruntach o wyższej rezystywności i z zastosowaniem bardzo dobrej izolacji, dlatego uważa się, że wypływ prądów tellurycznych z rurociągu może powodować ubytki korozyjne [6].

Wartość skuteczna prądów tellurycznych jest zależna od wielu czynników. Do najważniejszych z nich należą:

- wartość indeksu  $K$ ,
- długość rurociągu,
- rezystywność gruntu (w gruncie o dużej rezystywności wartość indukowanych prądów jest większa, a przy niższej rezystywności – mniejsza),

- rezystancja przejścia rurociągu,
- rezystancja wzdłużna,
- położenie geograficzne.

Napięcia telluryczne indukowane w rurociągach można wyliczyć według dwóch modeli: DSTL – źródło napięcia rozłożone wzdłuż linii (*distributed source transmission line*) i ILC – nieskończenie długi walec (*infinitely long cylinder*) [3]. Lepszym modelem jest DSTL, w którym rurociąg przedstawia się jako linię przesyłową [3]. Za pomocą tego modelu dla danego pola elektrycznego można wyliczyć prąd telluryczny i potencjał w rurociągach długich, jak i krótkich, składających się z wielu sekcji.

Trudno znaleźć informacje na temat uszkodzeń rurociągów na skutek przepływu prądów tellurycznych, jednak wykonano badania, które mogą wskazywać na to, że istnieje ryzyko zagrożenia korozyjnego rurociągów spowodowane przepływem prądów GIC.

W 1971 roku w północnej Norwegii wykonano badania [3], rejestrując potencjał gazociągu chronionego katodowo pod kątem zagrożeń korozyjnych powstałych od prądów tellurycznych. Badania prowadzone były przez okres 2–3 miesięcy, a po przeanalizowaniu rejestracji, porównując czas trwania i wartości potencjałów bardziej dodatnich niż  $-850$  mV z badaniami laboratoryjnymi, stwierdzono, że zagrożenia korozyjne od prądów tellurycznych w strefie zorzy polarnej są takie same jak korozja rurociągu w normalnym gruncie. Kolejne badania przeprowadził w 1986 roku Seager [3] na chronionym katodowo ropociągu o długości 522 km położonym pomiędzy  $55^{\circ}\text{N}$  i  $70^{\circ}\text{N}$  szerokości geograficznej. W punktach pomiarowych na całej długości ropociągu zainstalował on stalowe elektrody symulujące, na których po odłączeniu od rurociągu mierzył potencjał wolny od składowej omowej (IR). Pomiar wykazały, że potencjał często był bardziej elektrododatni niż  $-850$  mV, a w niektórych przypadkach był bardziej dodatni niż  $-650$  mV. Na tej podstawie Seager wyliczył, że korozja powstała od prądów tellurycznych może w bardzo krótkim czasie doprowadzić do perforacji rury.

## Wpływ prądów tellurycznych na powłoki ochronne rurociągów

Zgodnie z normami zaleca się, aby ochrona katodowa spowodowała przesunięcie potencjału na granicy faz metal–elektrolit o co najmniej  $-300$  mV. Dlatego należy nie dopuścić, by wpływ napięć tellurycznych mógł przesunąć potencjał o  $+300$  mV, mimo że kryterium potencjałowe  $-850$  mV nie zostanie spełnione. Jednym ze sposobów przeciwdziałania wpływom napięć tellurycznych może być podniesienie prądu

ochrony katodowej. Należy przy tym pamiętać, że gdy do chronionej konstrukcji dopływa prąd telluryczny o kierunku zgodnym z prądem ochrony katodowej, może się na niej pojawić zbyt ujemny potencjał  $E_{on}$ , powodując nadmierną polaryzację. Według normy NACE RP0169-96 [3] potencjał polaryzacji nie powinien przekraczać wartości:  $-1200$  mV w kierunku bardziej ujemnym, a według normy PN-EN 12954

wartości:  $-1100$  mV [7], ponieważ przy bardziej ujemnym potencjale zaczyna się proces wodorowania, mogący stanowić przyczynę powstawania korozji wodorowej. Utrzymujący się wysoki ujemny potencjał niekorzystnie wpływa na powłoki ochronne rurociągów, powodując w miejscach defektów odpajanie katodowe – a w przypadku cienkich powłok

może pojawić się pęcherzykowanie powłoki. Dodatkowo długotrwale utrzymujące się zbyt ujemne potencjały w stali o podwyższonej twardości, stosowanej np. do budowy rurociągów wysokiego ciśnienia, mogą powodować efekt kruchości wodorowej, co po dłuższym czasie może doprowadzić do osłabienia ścianek rurociągu, a w konsekwencji do ich pęknięcia.

### Analiza zakłóceń ochrony katodowej przez prądy telluryczne

Wiemy już, że aby zadbać o prawidłową ochronę rurociągów przed korozją, należy zapewnić odpowiedni potencjał polaryzacji  $E_p$ . Wartość potencjału zależy od właściwości gruntu – zazwyczaj jest to  $-850$  mV, lecz w gruntach o wysokiej agresywności, gdzie występują bakterie redukujące siarczany, aby zapewnić odpowiednią ochronę, jako kryterium stosujemy potencjał  $E_p$  równy  $-950$  mV. W gruntach o dużej rezystywności stosujemy:

- $E_p = -0,75$  V, przy  $\rho > 100$   $\Omega$ m,
- $E_p = -0,65$  V, przy  $\rho > 1000$   $\Omega$ m [7].

Aby otrzymać dokładną wartość mierzonego potencjału  $E_p$  pozbawionego składowej IR oraz wpływu prądów tellurycznych bądź błędnych, pomiaru potencjału  $E_{off}$  należy dokonać po wyłączeniu prądu ochrony na elektrodzie symulującej.

Prądy telluryczne tak jak inne prądy błędne mogą powodować wypływ prądu z rurociągu, co jest niekorzystnym zjawiskiem. Przepisy dokładnie określają dopuszczalny czas, w którym może wystąpić taki wypływ z konstrukcji podziemnej. W tabelicy 1 zamieszczono dopuszczalny czas trwania przepływu prądu  $I_{es}$  podczas „najgorszej” godziny rejestracji.

Z przedstawionych danych wynika, że wypływ prądu z rurociągu dopuszczalny jest zaledwie w czasie 3,6 s/godzinę, co stanowi bardzo duże obostrzenie. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony i wypływy trwają dłużej, to należy dokładnie zbadać, czy zagrożenie korozyjne istnieje [9].

Tablica 1. Dopuszczalne czasy trwania przepływu prądu elektrody symulującej w warunkach oddziaływania prądów błędnych [9]

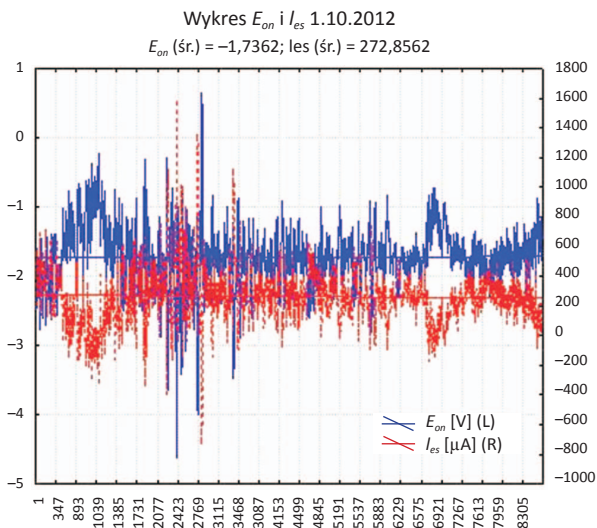
Prąd elektrody symulującej $I_{es}$ w % prądu $I_{esp}$ zmierzonego w warunkach spełnionego kryterium ochrony katodowej według PN-EN 12954	Dopuszczalny czas trwania przepływu prądu $I_{es}$ podczas „najgorszej” godziny rejestracji	
	s	%
>70		bez ograniczenia
<70	1440,0	40,0
<60	720,0	20,0
<50	360,0	10,0
<40	180,0	5,0
<30	72,0	2,0
<20	36,0	1,0
<10	18,0	0,5
<0 $\equiv$ wypływ prądu z elektrody	3,6	0,1

### Badania analityczne – wykonane na podstawie zebranych rejestracji

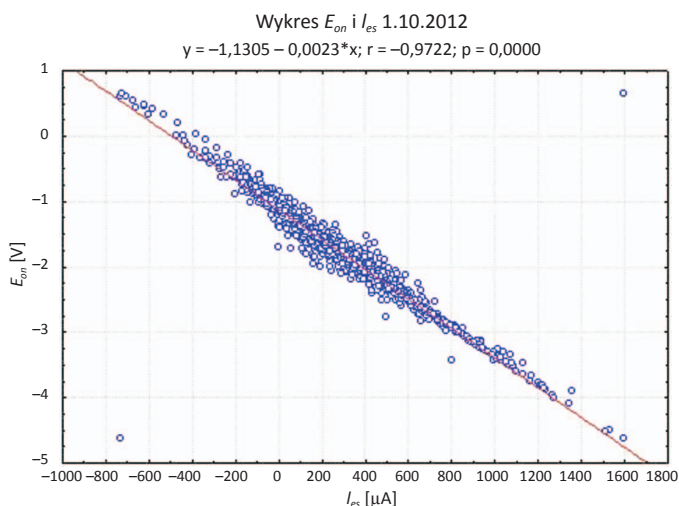
Badania zostały przeprowadzone na rurociągu długości około 100 km, o dużej średnicy oraz o bardzo dobrej izolacji, ułożonym równoleżnikowo, wyposażonym w system ochrony katodowej, realizowanej przez zewnętrzne źródło polaryzacji SOK, pracującej w trybie galwanostatu (zadany prąd ochrony). Rejestracje wykonano w punkcie po wschodniej stronie odcinka. Rejestrowano wartości potencjałów załączeniowych  $E_{on}$  i prąd elektrody symulującej  $I_{es}$ . Wyniki zostały zaprezentowane na rysunkach 1 i 2. Na rysunku 1 możemy zaobserwować zależność potencjału  $E_{on}$  od prądu  $I_{es}$ . Potwierdza to również rysunek 2, który przedstawia korelację  $E_{on}$  i  $I_{es}$ . W chwili kiedy wartość prądu  $I_{es}$  zmienia znak na ujemny (występuje wypływ prądu z rurociągu), potencjał  $E_{on}$  wzrasta w kierunku elektrododatnim. Jednocześnie, kiedy prąd wpływa do rurociągu, a jego wartość jest większa od zadanego (suma prądu ochrony i prądu tellurycznego bądź

innego prądu błędnego), zmiana potencjału następuje w kierunku bardziej elektroujemnym. Rejestracje prowadzone były przez 24 h, z odczytem co 10 s. Wypływ prądu z rurociągu wyniósł 6,71%, co daje około 24 s/24 h, czyli zjawisko to powoduje zagrożenie korozyjne i w takim przypadku należy wykonać dodatkowe pomiary, np. na czujnikach korozymetrycznych, w celu monitorowania szybkości korozji.

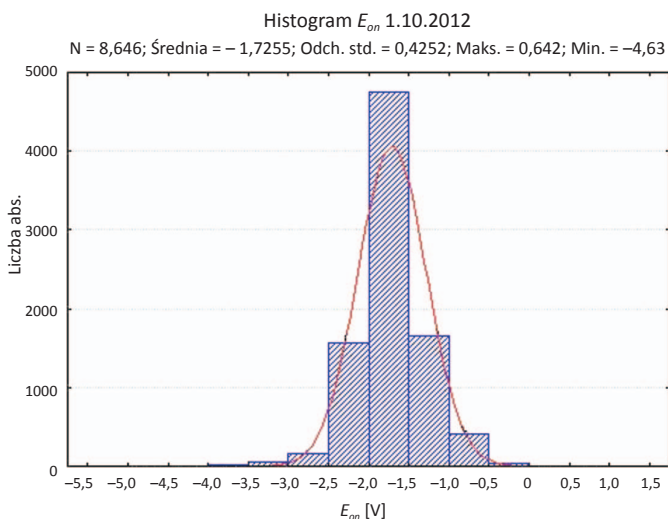
Kolejne rejestracje prowadzono w tych samych punktach pomiarowych, lecz w różnym czasie. W dniu 15.06.2013 r., gdy rejestrowano potencjał podczas niskiej aktywności słonecznej, wartość współczynnika  $K$  była z zakresu 1÷2 (rysunek 6, wykres z lewej strony), a 29.06.2013 r. rejestrowano wartości potencjału w czasie wysokiej aktywności Słońca (rysunek 6, wykres z prawej strony), gdy wartość współczynnika  $K$  wynosiła 7 (czerwone słupki, rysunek 7, wykres z prawej strony).



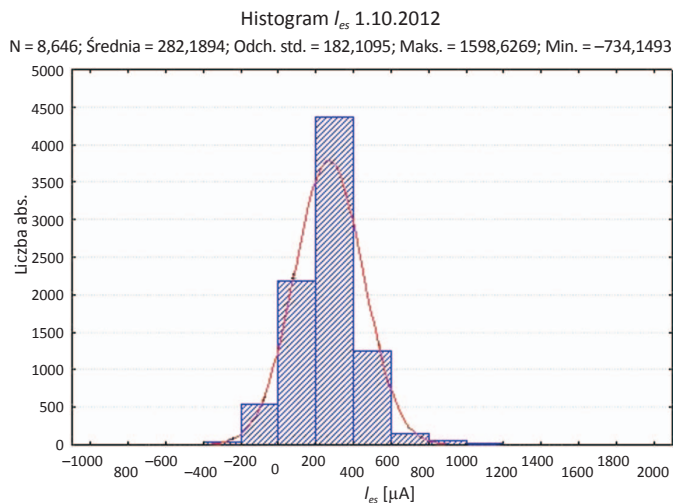
Rys. 1. Przebieg potencjału  $E_{on}$  i prądu elektrody symulującej  $I_{es}$  w czasie 24 h w dniu 1.10.2012 r.



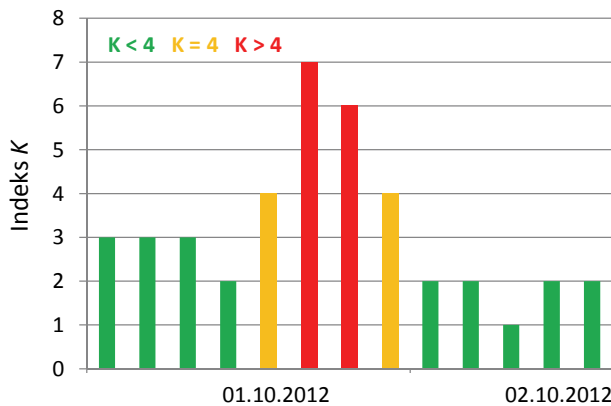
Rys. 2. Korelacja potencjału  $E_{on}$  i prądu  $I_{es}$  (elektrody symulującej) w czasie 24 h w dniu 1.10.2012 r.



Rys. 3. Histogram potencjału  $E_{on}$  rejestrowanego w czasie 24 h w dniu 1.10.2012 r.



Rys. 4. Histogram prądu  $I_{es}$  (elektrody symulującej) rejestrowanego w czasie 24 h w dniu 1.10.2012 r.



Rys. 5. Wartość współczynnika  $K$  zarejestrowana 1.10.2012 r.

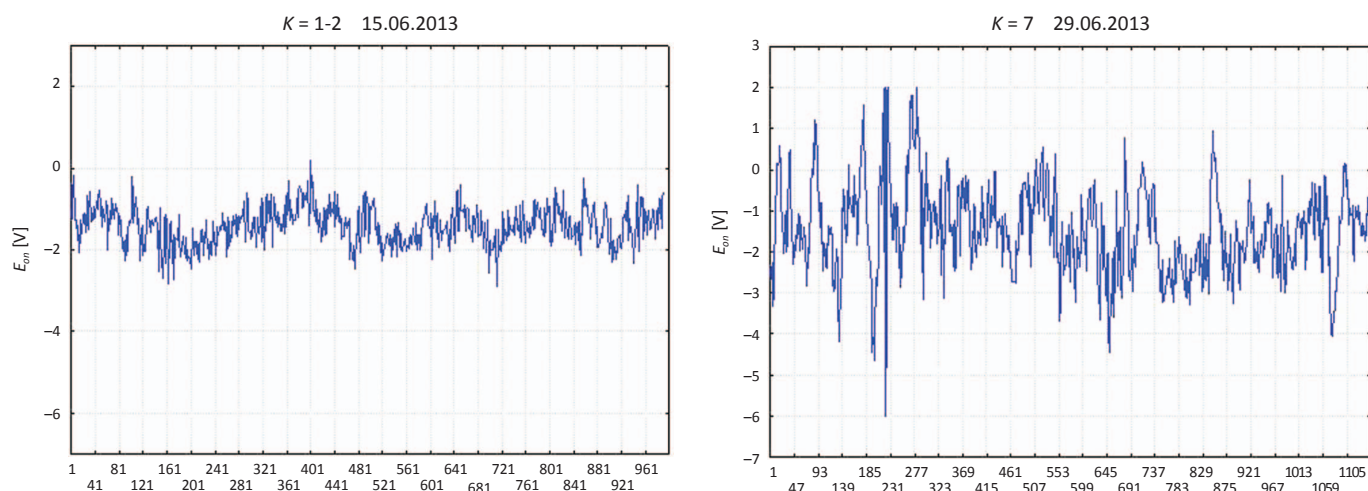
Wykres opracowano na podstawie [4]

Na podstawie obrazów przedstawionych na wyżej wymienionych rysunkach obserwujemy, że podczas wysokiej aktywności energetycznej Słońca wartości potencjałów  $E_{on}$  zmieniają się w bardzo szerokim zakresie, od  $-6$  V do  $+2$  V. Porównując je do przebiegu potencjału z dnia, w którym aktywność jest niska ( $E_{on}$  od  $-2$  V do  $+0,5$  V), można zauważyć, że tak duże zmiany mogą być spowodowane przepływem prądów tellurycznych.

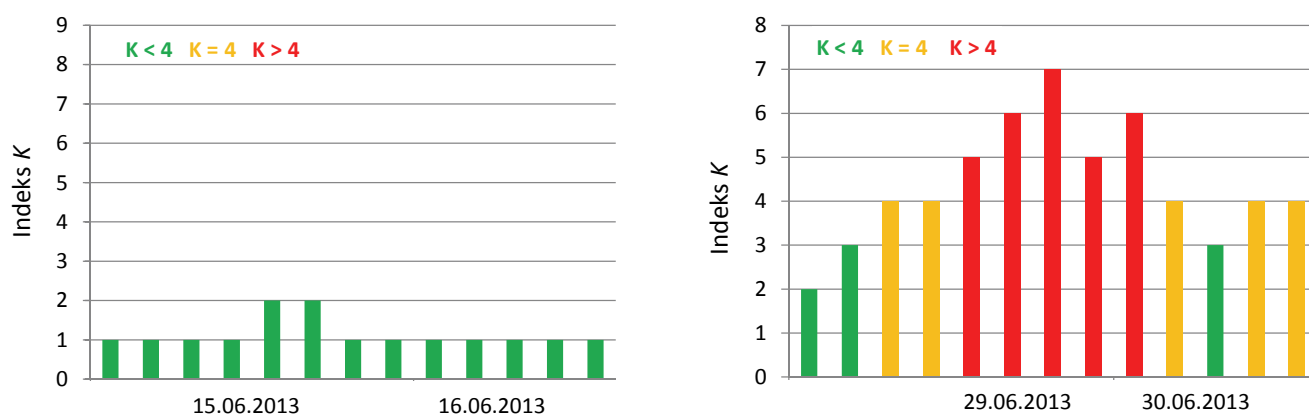
W przypadku niskiej aktywności potencjał tylko w jednym przypadku przeszedł w stronę dodatnią, zaś podczas wysokiej aktywności dodatnie wartości potencjałów pojawiły się w 86 przypadkach i stanowią około 9,5% wszystkich zarejestrowanych wartości.

Przesunięcie potencjału w kierunku elektrododatnim może być skutkiem wypływu prądu z rurociągu, co ma niekorzystny wpływ na skuteczność ochrony katodowej oraz zwiększa zagrożenie korozyjne rurociągu.

W przypadku zbyt dużych ujemnych wartości potencjałów może dochodzić do odspajania katodowego powłoki

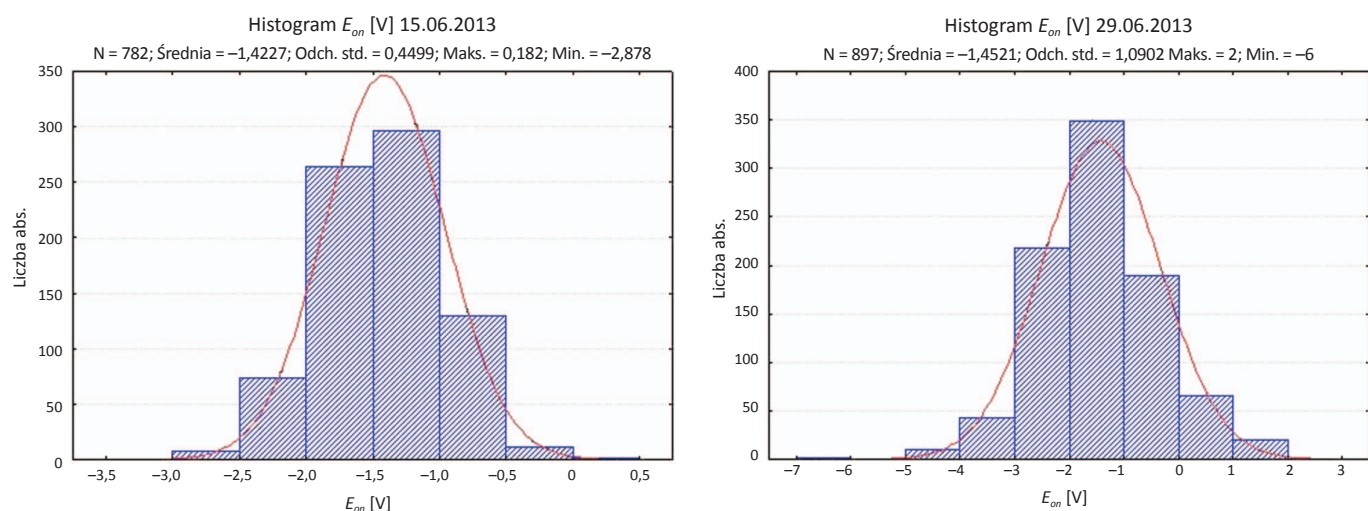


Rys. 6. Potencjał rurociągu  $E_{on}$  zarejestrowany w warunkach niskiej aktywności słonecznej (po lewej, rejestracja z 15.06.2013 r.,  $K = 1-2$ ) i wysokiej aktywności słonecznej (po prawej, rejestracja z 29.06.2013 r.,  $K = 7$ )



Rys. 7. Wartości współczynnika  $K$  w chwili prowadzonych rejestracji podczas niskiej aktywności słonecznej (po lewej, rejestracja z 15.06.2013 r.) i wysokiej aktywności słonecznej (po prawej, rejestracja z 29.06.2013 r.)

Wykresy opracowano na podstawie [4]

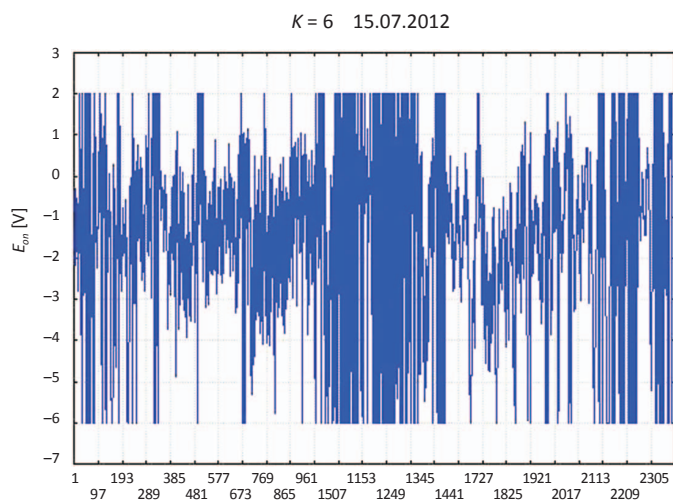


Rys. 8. Histogramy potencjałów  $E_{on}$  zarejestrowanych podczas niskiej (po lewej) i wysokiej (po prawej) aktywności słonecznej

ochronnej rury. Tak znaczne wahania potencjałów utrudniają prowadzenie prac eksploatacyjnych na rurociągach i zapewnienie odpowiedniej ochrony katodowej – nawet gdy prądy wpływają do rurociągu, a ich wartości są zbyt duże (większe

od zadanych w stacji SOK), mogą zakłócać pracę SOK lub doprowadzić do jej awarii.

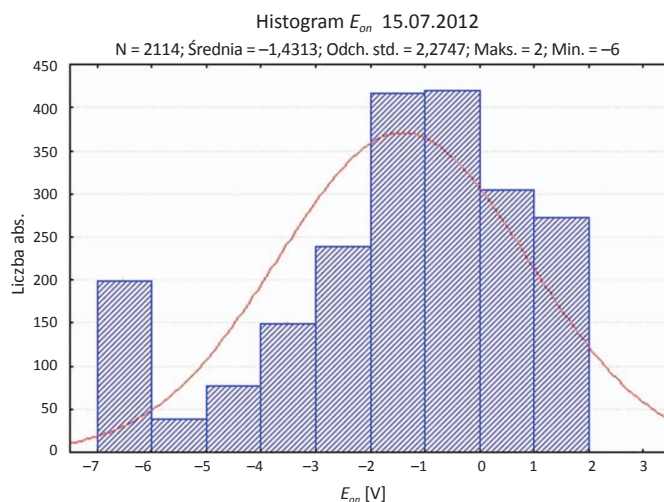
Na kolejnych wykresach przedstawiono wartości potencjałów zarejestrowanych w ciągu 24 h w dniu 15.07.2013 r.



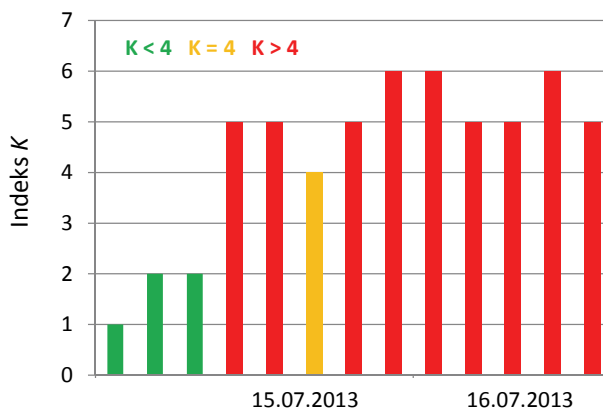
Rys. 9. Przebieg potencjału  $E_{on}$  zarejestrowany w ciągu 24 h podczas wysokiej aktywności słonecznej ( $K = 6$ ) w dniu 15.07.2012 r.

(rysunek 9), gdy aktywność słoneczna była na poziomie  $K = 6$  i utrzymywała się na tym poziomie prawie dobę (rysunek 11). Zarejestrowany potencjał jest bardzo zamazany, ponieważ jego zmienność była bardzo częsta i duża. Wynikało to zapewne ze znacznego wpływu oddziaływania tellurycznego.

Zmiany pola magnetycznego są bardzo zauważalne i wynoszą około 150 nT, a zmiany wartości potencjałów w kierunku elektrododatnim stanowią około 25% wszystkich zarejestrowanych.



Rys. 10. Histogram potencjału  $E_{on}$  zarejestrowany w ciągu 24 h podczas wysokiej aktywności słonecznej ( $K = 6$ ) w dniu 15.07.2012 r.



Rys. 11. Wartość współczynnika  $K$  w okresie 15–16.07.2012 r.,  $K = 6$

Wykres opracowano na podstawie [4]

### Stwierdzenia i wnioski

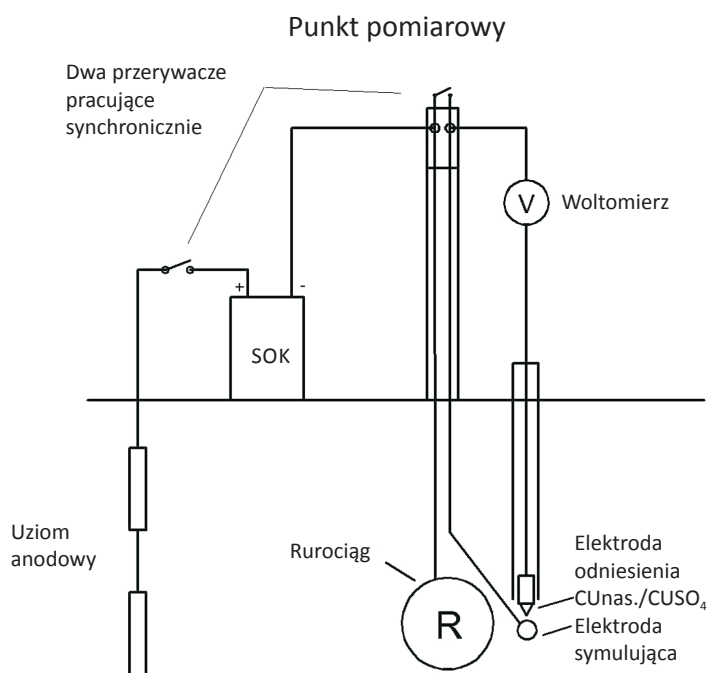
Analizując wykonane rejestracje, na podstawie danych umieszczonych na stronie internetowej NOAA, można z dużym prawdopodobieństwem uznać, że zakłócenia pojawiające się podczas pomiarów prowadzonych na rurociągach wynikają m.in. z powodu wysokiej aktywności słonecznej, a co za tym idzie – z przepływu prądów tellurycznych w ziemi. Należy więc uwzględniać tego typu prądy błądzące i próbować sobie z nimi radzić.

Problem prądów tellurycznych jest coraz bardziej istotny, ponieważ aktywność Słońca w ostatnich latach znacznie się zwiększyła. W przypadku wykonywania pomiarów należy obserwować alerty pogodowe, aby upewnić się, czy przyczyną pojawienia się zakłóceń są prądy telluryczne. Innym sposobem radzenia sobie z tymi prądami jest pomiar niezakłóconego potencjału  $E_{off}$  poprzez elektrodę symulującą, połączoną z rurociągiem w celu polaryzacji.

W chwili wyłączenia SOK synchronicznie odłączamy elektrodę symulującą od gazociągu i otrzymujemy wartość  $E_{off}$  pozbawioną wpływu prądów tellurycznych i innych prądów błądzących (rysunek 12).

Jednym ze sposobów wyeliminowania części prądów tellurycznych z rurociągów może być podłączenie do rurociągu anod galwanicznych [3]. Anody mają z reguły rezystancję przejścia niższą od gazociągu, działają jak doziemienie, pozwalając części prądu tellurycznego płynącego zgodnie z prądem katodowym w rurociągu wypłynąć do ziemi, bez powodowania w tym miejscu korozji. Warunek ten jest spełniony, jeśli pozostały prąd telluryczny w rurociągu jest mniejszy lub równy prądowi katodowemu. W przypadku systemów ochrony katodowej jedną z metod przeciwdziałania zakłóceniom od prądów tellurycznych jest ustawienie stacji SOK w tryb potencjostatyczny (zadany potencjał).

W tym trybie zadany potencjał polaryzacji utrzymywany jest przez SOK, poprzez zmianę prądu ochrony. W przypadku płynięcia w rurociągu zbyt dużego prądu stacja SOK zmniejszy zadany przez siebie prąd, powodując, że prądem polaryzacji będzie prąd obcy płynący w konstrukcji, i odwrotnie – jeśli prądy będą wypływać z rurociągu, zwiększając (w kierunku elektrododatnim) w tym czasie potencjał polaryzacji, stacja SOK zwiększy prąd polaryzacji, tak aby uniemożliwić zbyt ni wzrost potencjału  $E_{on}$ . Wadę tej metody stanowi to, że w celu sprawdzania potencjału polaryzacji nad rurociągiem umieszczona jest elektroda odniesienia  $Cu/CuSO_4$ , najczęściej w miejscu blisko stacji SOK, co powoduje, że regulacja potencjału następuje na podstawie tego jednego miejsca, bez uwzględnienia wartości potencjałów oddalonych od SOK o kilkadziesiąt lub nawet kilkaset kilometrów – a potencjały te mogą się różnić z uwagi na inny grunt, słabą powłokę izolacyjną oraz zasięg stacji. W przypadku napotkania trudności z poprawną oceną zagrożenia korozyjnego – w miejscach, gdzie zagrożenie od prądów błądzących jest duże i zapewnienie ochrony katodowej stanowi problem, należy zastosować



Rys. 12. Pomiar potencjału  $E_{off}$  poprzez elektrodę symulującą

czujniki korozymetryczne. Wykorzystanie korozymetrii rezystancyjnej zostało szczegółowo opisane w pracy [10].

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 11, s. 794–801

## Literatura

- [1] *Burze słoneczne a niezawodność sieci energetycznych*. <http://ceneg.ien.com.pl/wiadomosc/items/burze-sloneczne-a-niezawodnosc-sieci-energetycznych> (dostęp: sierpień 2013).
- [2] Ferris T.: *Porazeni Słońcem*. National Geographic Polska 2012, nr 7, pp. 46–59.
- [3] Gummow R. A., Boteler D. H., Trichtchenko L.: *Telluric and Ocean Current Effects on Buried Pipelines and their Cathodic Protection Systems*. Grudzień 2002, przekład na język polski: Hanasz M., maj 2012/maj 2013.
- [4] *Historical SWPC Products and Data Displays*. Space Weather Prediction Center (SWPC), <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html> (dostęp: sierpień 2013).
- [5] Klimpel A., Lipko K.: *Czy burze magnetyczne są groźne dla krajowej elektroenergetyki*. Elektroenergetyka: współczesność i rozwój 2011, nr 3 (9), s. 65–82.
- [6] Matus H.: *Oddziaływanie prądów tellurycznych na rurociągi chronione katodowo*. XII Krajowa Konferencja Pomiarów Korozyjnych w Ochronie Elektrochemicznej, Jurata 19–21.09.2012.
- [7] Polska Norma: PN-EN 12954 *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach – Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*.
- [8] *Prądy telluryczne*. Wikipedia, [http://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%85dy\\_telluryczne](http://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%85dy_telluryczne) (dostęp: sierpień 2013).
- [9] Stochaj P.: *Prądy błądzące jako źródło zagrożenia korozyjnego gazociągów stalowych*. Nafta-Gaz 2013, nr 9, s. 683–689.
- [10] Stochaj P.: *Zastosowanie korozymetrii rezystancyjnej w odniesieniu do kryteriów ochrony katodowej gazociągów*. Nafta-Gaz 2012, nr 5, s. 298–305.



Mgr inż. Tomasz MINOR  
Specjalista inżynierjno-techniczny w Zakładzie Przesyłania i Dystrybucji Gazu.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25A  
31-503 Kraków  
E-mail: [minor@inig.pl](mailto:minor@inig.pl)