



UZIOMY ANODOWE
ANODE GROUNDBEDS

Jerzy Sibila

PZA CORRSTOP, Kamionki k/Poznań

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, uziomy anodowe, zasypki węglowe, gęstość prądu z zasypki
Keywords: cathodic protection, anode groundbeds, carbon backfills, current density from backfills

Streszczenie

W celu zaprojektowania uziomów anodowych o znacznych obciążeniach prądowych na długie okresy eksploatacji konieczne jest uwzględnienie w ich obliczaniu nie tylko liczby anod, ale także parametrów zasypki: jej rezystywności, obciążalności prądowej i zużycia. W artykule przedstawiono przykłady obliczeń uziomu o obciążalności 50A zaprojektowanego na 50 lat pracy.

Summary

For proper design of anode groundbeds with large current capacity and long life time of operation it is necessary to include in calculation not only current requirements and soil resistivity but also the role of carbon backfill: its resistivity, rate of consumption and allowed current density. Paper presents examples of deep groundbed calculations with 50 Amps capacity and design life of 50 years.

1. Wprowadzenie

Uziomy anodowe stanowią bardzo ważny element instalacji ochrony katodowej, gdyż to za ich pośrednictwem jest dostarczany do systemu prąd. Koszt wykonania uziomu anodowego stanowi znaczną część kosztów całej instalacji ochronnej. Ponadto anody znajdują się pod ziemią, ich naprawa jest trudna, a dla uziomów głębokich w zasadzie niemożliwa.

Prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie uziomu anodowego decyduje o okresie jego eksploatacji, a także ma wpływ na zasięg rozprzyszczenia prądu ochrony katodowej i na ewentualne szkodliwe oddziaływania na konstrukcje sąsiednie oraz na ilość i koszt zużywanej przez dziesięciolecia na potrzeby ochrony katodowej energii elektrycznej.

O ile jeszcze w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku projektowało się uziomy anodowe z reguły na dwudziestoletni okres pracy to obecnie, w związku z nowymi materiałami anodowymi, doskonale przewodzącymi zasypkami i coraz lepszymi powłokami na kablach anodowych najczęściej projektuje się je na 40–50 lat.

2. Projektowanie uziomów anodowych

Przystępując do zaprojektowania uziomu anodowego należy przede wszystkim ustalić zapotrzebowanie prądu ochrony katodowej, a następnie określić rezystywność gruntu w miejscach, w których może zostać zlokalizowany uziom anodowy.

Jeżeli zmierzona rezystywność gruntu jest wysoka, lub brak miejsca pod uziom anodowy powierzchniowy należy określić rezystywność gleby w głąb ziemi. Jak głęboko, to zależy między innymi od struktury warstw gruntu oraz od powiązanej z natężeniem prądu ochrony katodowej ilości anod, które zamierzamy umieścić w uziemiu.

Znając zapotrzebowanie prądowe, rezystywność gruntu i warunki terenowe, można wybrać typ projektowanego uziomu: powierzchniowy czy głęboki.

2.1. Typy uziomów anodowych

Uziomy powierzchniowe mogą być wykonane jako:

- ciągle: z anodami umieszczonymi horyzontalnie w zasypce anodowej w taki sposób, że anody z zasypką tworzą jedno łóżko anodowe
- nieciągle: z anodami ułożonymi poziomo w łóżku anodowym, ale oddzielnie
- pionowe: z anodami umieszczonymi w zasypce, na głębokości od jednego do kilku metrów

Uziomami głębokimi, zgodnie ze standardem NACE RPO572 [1] nazywa się uziomy, w których najpłytsza anoda umieszczona jest na głębokości co najmniej 15 m od powierzchni ziemi.

W porównaniu z uziomami powierzchniowymi mają kilka zalet:

- mniejsze zapotrzebowanie terenu, co umożliwia ich stosowanie na terenach o dużym nasyceniu konstrukcjami podziemnymi,
- możliwość stosowania na terenach o bardzo wysokiej powierzchniowej rezystywności gruntu, takich jak np. Sahara, gdzie wykonanie uziomów powierzchniowych jest niemożliwe,

- ponieważ wpływ prądu z anod następuje głęboko w ziemi, anodowy stożek potencjałowy przy powierzchni gruntu, gdzie znajduje się większość podziemnej infrastruktury, jest znacznie łagodniejszy. Na skutek znacznego zredukowania szkodliwego oddziaływania anodowego na sąsiednie konstrukcje, uziomy głębokie mogą być z powodzeniem stosowane na terenach miast i dużych obiektów przemysłowych,
- zapewniają lepszy rozkład prądu ochronnego,
- z reguły uzyskuje się dla nich niskie rezystancje uziomu, co prowadzi do obniżenia kosztów zużytej energii elektrycznej,
- są mniej podatne na przypadkowe uszkodzenia podczas prac polowych czy budowlanych,
- są niewrażliwe na sezonowe zmiany temperatury, nie ulegają zamarzaniu ani wysuszeniu.

Anody głębokie mają też wady, do których należy zaliczyć wyższy koszt wykonania uziomu oraz trudną do osiągnięcia zwartość zasypki wokół anod.

2.2. Obliczenia uziomów anodowych

W celu obliczenia rezystancji uziomów anodowych stosuje się znane wzory, z których pierwsze zostały podane w 1930 roku przez Henry B. Dwighta [2] a następnie rozwinięte przez Erlinga D. Sundry'ego [3] oraz później w pracach Waltera G. Baeckmanna i Wenera Schwenka [4].

Dla rzeczywistych parametrów uziomów anodowych, rozbieżności w obliczonych wartościach rezystancji przy stosowaniu wzorów podanych przez wymienionych autorów wynoszą od 4 - 9 procent, przy czym używając wzory podane przez Baeckmanna i Schwenka otrzymuje się wartości większe.

Posługując się wzorami na obliczanie rezystancji anod otrzymuje się rezystancję pojedynczej anody. Jednak z reguły w uziemiu, obojętnie czy powierzchniowym czy głębokim, instaluje się co najmniej kilka anod, których pola elektryczne wzajemnie oddziałują na siebie.

Współczynnik oddziaływania określa się z wzoru:

$$f = 1 + \frac{\frac{2 \cdot L_A}{S_A} \cdot (\ln N \cdot 0,656)}{\ln \frac{8 \cdot L_A}{d_A} - 1} \quad (1)$$

gdzie:

- L_A – długość anody, w m
- S_A – odstęp pomiędzy anodami, w m
- d_A – średnica anod, w m
- N – liczba anod

Przykładowo, dla łańcucha ośmiu anod o długości 1m każda, średnicy 2,5 cm i odstępach pomiędzy końcami anod 1 m, współczynnik $f_1 = 1,70$, a przy odstępach 5 m współczynnik $f_5 = 1,14$.

Oznacza to, że jeżeli obliczona rezystancja pojedynczej anody o długości 1 m i średnicy 2,5 cm wyniosła np. 10Ω , to rezystancja wypadkowa łańcucha ośmiu takich anod umieszczo-

nych liniowo w odległościach po 5 m wyniesie: $(10 \times 1,14) : 8 = 1,425 \Omega$, a przy odstępnie wynoszącym 1 m, równym długości anody, aż $2,125 \Omega$, a więc o 49% więcej.

Bardzo często podczas obliczania uziomu anodowego uwzględnia się tylko zapotrzebowanie prądowe, rozmiary anod i wypełnienia anodowego oraz wartość rezystywności gruntu. Jest to dalece niewystarczające i może prowadzić do znacznego skrócenia okresu eksploatacji uziomu anodowego.

Obliczając uziom anodowy należy ponadto uwzględnić: obciążalność prądową przewidywanych do zastosowania anod, rezystywność zasyпки oraz jej obciążalność prądową i zużycie.

2.2.1. Dopuszczalna długoletnia obciążalność prądowa anod.

W Tabeli 1 zestawiono wartości dopuszczalnych długotrwałych obciążeń prądowych pojedynczych anod umieszczonych w zasyپce węglowej.

Tab. 1. Obciążalność prądowa najczęściej stosowanych typów anod cylindrycznych

Material anody	Długość anody	Średnica	Masa	Obciążalność prądowa
Fe- Si	2 m	50 mm	29 kg	2,5 - 3 A
Fe-Si	1 m	50 mm	14,5kg	1,25 - 1,5 A
Grafit	1 m	80 mm	6 kg	1,5 - 2,5 A
Magnetyt	60 cm	80 mm	5 kg	4 A
MMO	50 cm	2,54 cm	0,18 kg	4 A
MMO	1 m	2,54 cm	0,35 kg	8 A

2.2.2. Rezystywność zasyپki

Jako zasyپki otaczające anody stosuje się drobny koks metalurgiczny o zawartości węgla do 70%, rezystywności 0,2 - 0,5 Ω m i wielkości ziaren od 2-15 mm.

Zdecydowanie lepsze zasyپki produkuje się na bazie kalcynowanego koksu ponafkowego, który jest wytwarzany z ciężkich frakcji destylacji ropy naftowej. Rezystywność tych zasypek wynosi od 0,01 – 0,05 Ω m. Zawartość węgla przekracza 99,35%, zawartość popiołu maksimum 0,60% i wilgotność 0,05%.

Zadaniem zasyپki jest obniżenie rezystancji przejścia pomiędzy anodami a gruntem, utrzymywanie wilgoci w otoczeniu anod oraz odprowadzanie wydzielanych na anodach podczas pracy uziomu gazów. Doskonale przylegająca do anody i przewodząca prąd zasyپka powoduje, że ponad 90% prądu z powierzchni anody ma charakter prądu elektronowego, a niekorzystne reakcje anodowe zachodzą dopiero na granicy faz zasyپka – ziemia, gdzie na skutek zachodzącej w obecności wilgoci reakcji elektrochemicznej następuje zamiana charakteru prądu z elektronowego na jonowy. Ponieważ reakcja elektrochemiczna powoduje konsumpcję materiału, na powierzchni którego zachodzi, zużyciu ulega zasyپka węglowa zamiast materiału anod.

Jednak ponieważ powierzchnia zasypki jest wielokrotnie większa od powierzchni anod, więc gęstość wypływającego z niej prądu jest tyle samo mniejsza, co w rezultacie obniża zużycie zasypki.

Zasypki z koksu ponaftowego cechuje też dobra porowatość. Dzięki temu, wydzielające się w procesie anodowym gazy (tlen, tlenki węgla oraz chlor) mogą się łatwo poprzez zasypkę ulatniać, wskutek czego unika się zwiększania z upływem czasu rezystancji anod poprzez blokadę gazową.

2.2.3. Zużycie zasypki

Jak już wspomniano powyżej, w trakcie pracy uziomu zasypka z koksu ponaftowego ulega zużyciu w ilości 1 kg na amper × rok [4]. Natomiast zużycie zasypki z koksu metalurgicznego wynosi ok. 2 kg/A × rok [3].

Oznacza to, że projektując uziom anodowy należy przewidzieć odpowiedni zapas zasypki. Na przykład, dla głębokiego uziomu anodowego o prądzie 50 A i projektowanym okresie pracy 50 lat, w uziemiu powinien się znajdować zapas 2500 kg zasypki ponaftowej. Przyjmując, że dla wykonania tego uziomu anodowego zaprojektowano odwiert o średnicy 300 mm zapas zasypki będzie stanowił kolumnę o wysokości 29 m.

2.2.4. Obciążalność prądowa zasypki

Maksymalna gęstość prądu z zasypki węglowej jest ograniczona i zależy od wilgotności środowiska. Dopuszczalne gęstości prądu z zasypki przedstawiono w Tabeli 2.

Ograniczenie maksymalnej gęstości prądu z zasypki ma na celu:

- utrzymanie wilgoci na granicy faz zasypka/ziemia w celu zapewnienia dobrze przewodzącej drogi przepływu prądu do ziemi,
- uniknięcia wzrostu rezystancji uziomu. Reakcje anodowe powodują wydzielanie się gazów oraz zmniejszanie wilgotności gruntu. Zarówno gromadzenie się gazów, jak i brak wilgoci utrudniają przepływ prądu. Szybkość generowania gazów oraz zużycie występującej w gruncie wilgoci są wprost proporcjonalne do gęstości prądu,
- zapobieżenie wysuszeniu gruntu. W pewnych warunkach na granicy faz zasypka/ziemia może nastąpić na skutek przepływu prądu wzrost temperatury i wysuszenie gruntu. Wzrost temperatury zależy od gęstości prądu i przewodności cieplnej gruntu.

Tab. 2. Maksymalne dopuszczalne wartości prądu z zasypki z koksu ponaftowego [5]

Środowisko	Dopuszczalna gęstość prądu
Suchy grunt	1,61 A/m ²
Grunt częściowo wilgotny, nad ustabilizowanym poziomem wód gruntowych	2,15 A/m ²
Grunt wilgotny, poniżej poziomu wód gruntowych	3,22 A/m ²
Uziom otwarty, w wodzie	4,95 A/m ²

Projektując uziom anodowy należy ponadto uwzględnić:

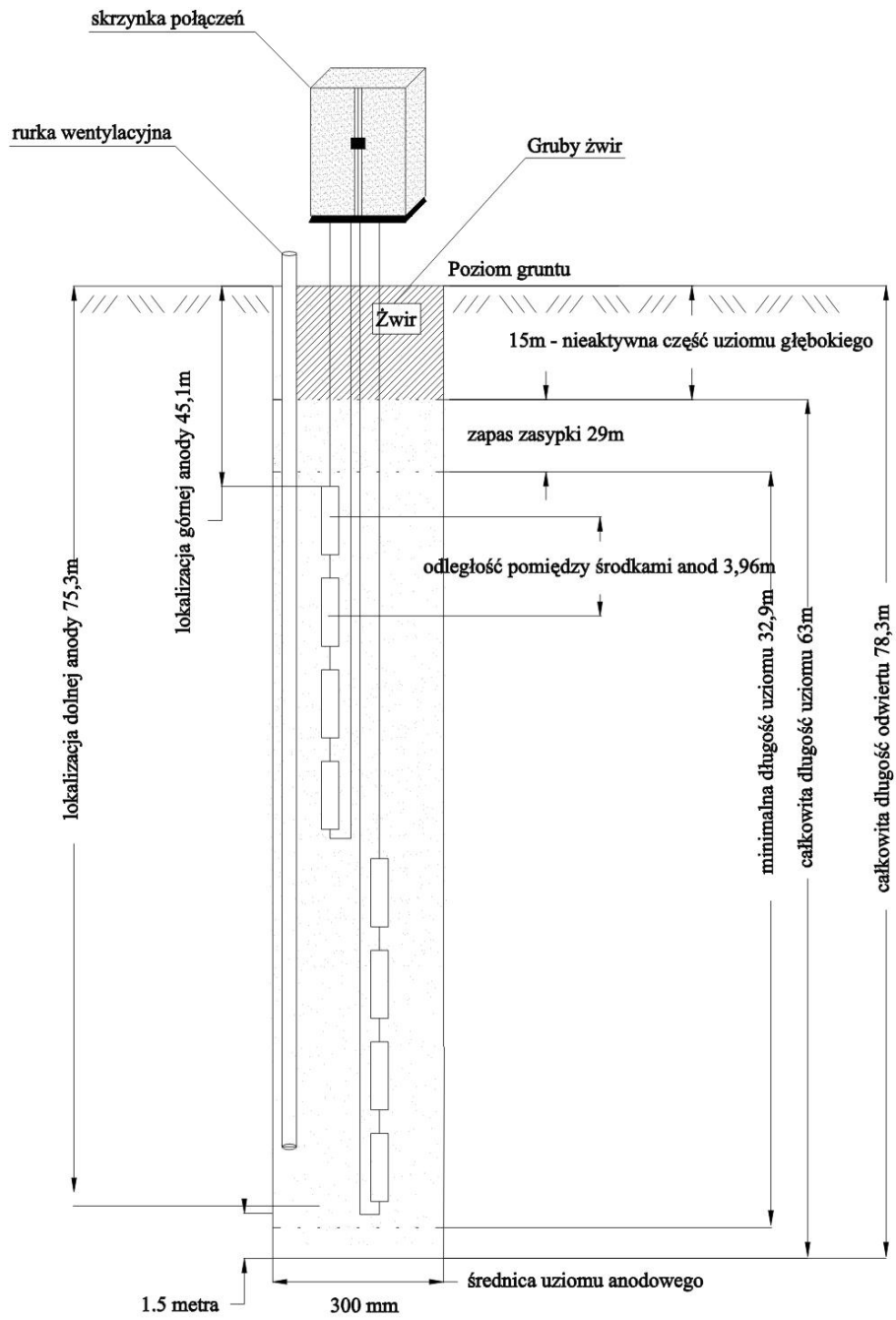
- obciążalność prądową i rezystancję zastosowanych kabli anodowych,
- zastosowanie centralizatorów, których zadaniem jest zapewnienie w uziomach głębokich centrycznej lokalizacji anod w osi uziomu i równomierne otoczenie ich zasypką,
- zainstalowanie systemu odgazowania uziomu głębokiego w postaci perforowanych rurek umożliwiających swobodne wydostawanie się gazów do atmosfery. Perforacja rurek wentylacyjnych winna być wykonana w sposób zapobiegający przedostawaniu się zasypki do wnętrza rurki.

3. Obliczenie parametrów przykładowego uziomu głębokiego

Dane wyjściowe przyjęte do obliczeń: prąd 50A, czas pracy 50 lat, rezystancja uziomu 1 Ω , średnica uziomu 300 mm, średnia rezystywność gruntu w otoczeniu anod 35 Ω m, długość kabli od uziomu do anodowej skrzynki przyłączeniowej 5m, dwustronne zasilanie anod w łańcuchach do 4 sztuk anod, rezystywność zasypki 0,02 Ω m, gęstość zasypki 1187 kg/m³, anody typu MMO 1000 mm x 25 mm. Diagram tego uziomu przedstawiono na Rys.1 a wyniki obliczeń zamieszczono w Tabeli 3.

Tab. 3. Rezultaty obliczeń anodowego uziomu głębokiego

Opis	Anody MMO, 1000 x 25 mm
Typ kabla	PVDF/HMWPE 16mm ²
Ilość łańcuchów anodowych	2
Całkowita ilość anod	8
Obciążenie kabla	50 A
Prąd z anody	6,630 A
Położenie górnej anody	45,1 m
Położenie dolnej anody	75,3 m
Odległość między środkami anod	3,96 m
Początkowa rezystancja uziomu	0,57 Ω
Rezystancja uziomu po 50 latach pracy	0,94 Ω
Początkowe robocze napięcie SOK	31 V
Maksymalne napięcie SOK	60 V
Głębokość nieaktywna	15 m
Zapasowa długość zasypki	29 m
Minimalna długość uziomu	32,9 m
Całkowita długość uziomu	63 m
Całkowita głębokość odwiertu	78,3 m
Początkowa gęstość prądu z zasypki	0,83A/m ²
Maksymalna gęstość prądu z zasypki	1,61 A/m ²
Końcowa gęstość prądu z zasypki	1,52 A/m ²
Masa zasypki	5.420 kg
Ilość centralizatorów	4 szt.
Długość rurki wentylacyjnej	75 m



Rys. 1. Diagram uziomu głębokiego

Literatura

- [1] NACE Standard SP0572-2007: *Design, Installation, Operation, and Maintenance of Impressed Current Deep Groundbeds*.
- [2] Dwight H.B.: *The Calculation of Resistances to Ground and of Capacitance*, Massachusetts Institute of Technology Journal of Mathematics and Physics. X 1930, s. 50-74.
- [3] [Sunde E.D.: *Earth Conduction Effects in Transmission Systems*, New York, Dover Publications, 1968.
- [4] Baeckmann W., Schwenk W.: *Katodowa ochrona metali*, NT, Warszawa, s. 384-385.
- [5] Lewis T.H.: *Deep Anode Systems*, NACE Item 37569.