

Ochrona katodowa podziemnych zbiorników jako konstrukcji złożonych

Seminarium Polskiego Komitetu
Ochrony Elektrochemicznej przed Korozją

Bronisławów 12.06.2025

Maciej Markiewicz

Konstrukcja złożona

- Z definicji według PN-EN-14505:
- konstrukcja złożona jest to konstrukcja składająca się z chronionej konstrukcji oraz z jednej lub więcej obcych elektrod, które ze względów bezpieczeństwa lub z innych przyczyn technicznych nie mogą być od niej elektrycznie odseparowane
- Obca anoda – konstrukcja o potencjale bardziej ujemnym niż konstrukcja chroniona – taśma FeZn
- Obca katoda - konstrukcja o potencjale bardziej dodatnim niż konstrukcja chroniona – pręty zbrojeniowe, miedź

Procesy korozyjne w obrębie konstrukcji złożonej

- Wskutek istnienia różnic potencjałów pomiędzy trzema rodzajami konstrukcji znajdujących się w jednym elektrolicie glebowym, funkcjonują ogniwa korozyjne

- **Konstrukcje stalowe**

Potencjał elektrochemiczny stali - w granicach od około -350 mV do około -750 mV względem CSE

Mniej ujemne wartości potencjałów – konstrukcje eksploatowane od dawna, pokryte produktami korozji, umieszczone w glebach lekkich, dobrze natlenionych

Bardziej ujemne wartości potencjałów - konstrukcje nowe, nie pokryte produktami korozji, umieszczone w glebach ciężkich, w których procesy katodowe odbywają się głównie z udziałem wodoru

Procesy korozyjne w obrębie konstrukcji złożonej

■ Zbrojenia żelbetu

Pręty zbrojeniowe w alkalicznym środowisku betonu (pH powyżej 10), którym jest głównie wodorotlenek wapnia Ca(OH)_2 ulegają pasywacji – pokrywają się ochronną warstwą tlenków żelaza. Dopóki pozostają spasywowane, nie korodują.

Potencjały elektrochemiczne spasywowanej stali - zwykle w zakresie $-200 \div +200$ mV względem CSE

Jeżeli w elektrolicie betonowym znajdą się ujemne jony chloru, to jony te migrując do powierzchni prętów niszczą warstwy pasywne.

Zagrożenie dla warstw pasywnych stanowią też prądy błędzące. Przy podwyższonym potencjale pręta zbrojeniowego w strefie wpływu prądu błędzącego, migracja jonów chlorkowych do powierzchni prętów jest ułatwiona.

Procesy korozyjne w obrębie konstrukcji złożonej



Konstrukcja żelbetowa jest też narażona na tzw. karbonatyzację, czyli powstawanie nierozpuszczalnego węglanu wapnia CaCO_3 i wody w wyniku oddziaływania dwutlenku węgla CO_2 na wodorotlenek wapnia Ca(OH)_2 . Zasadowość betonu obniża się i przy pH 9 powierzchnie prętów zbrojeniowych przestają być chronione warstwami pasywnymi

Potencjały nie spasywowanych korodujących prętów obniżają się, zbliżając się do potencjałów konstrukcji stalowych

Procesy korozyjne w obrębie konstrukcji złożonej

■ Taśma FeZn

Potencjał elektrochemiczny cynku wynosi -1100 mV względem CSE

Cienka powłoka cynkowa na powierzchni stalowej taśmy uziemiającej ulega stosunkowo szybko rozтворzeniu

Potencjały taśmy ocynkowanej są mieszanymi potencjałami stali i cynku i są zwykle o $100 - 200$ mV bardziej ujemne od potencjałów konstrukcji stalowych

Kryteria ochrony katodowej konstrukcji złożonych

- 1. Według PN-EN 12954 i PN-EN ISO 15589-1:
- $E_{IRfree} \leq E_p$; w przypadku konstrukcji złożonej wymagany jest pomiar potencjału E_{esoff} elektrody symulującej odłączonej na czas pomiaru przy równoczesnym przerwaniu przepływu prądu ochrony katodowej
- 2. Według PN-EN 14505:
- a) $E_{on} \leq 1,2 \text{ V}$ wzgl. CSE;
 - jeżeli punkt pomiarowy znajduje się poza obrębem działania dużej katody, np. żelbetu, a $\rho < 100 \Omega m$, to potencjał chronionej konstrukcji E_{on} bardziej ujemny niż $-1,2 \text{ V}$ jest wystarczający aby nie tworzyły się ogniwa ze stałą zbrojeniową
 - jeżeli obca duża katoda znajduje się bardzo blisko chronionej konstrukcji (do 0,5 m) to wystarczające jest uzyskanie $E_{on} = -0,8 \text{ V}$

- b) kryterium prądowe: trzeba wykazać, że prąd polaryzacji prawdopodobnie wpływa do konstrukcji: świadczy o tym przesunięcie potencjału korozyjnego E_n przynajmniej o 0,3 V w kierunku ujemnym po włączeniu prądu ochrony katodowej;

Alternatywnie można się posłużyć pomiarem prądu lub przesunięcia potencjału elektrody symulującej: wpływ prądu do elektrody symulującej i/albo przesunięcie potencjału elektrody symulującej w kierunku elektroujemnym świadczy o polaryzacji katodowej konstrukcji

- c) kryterium depolaryzacji konstrukcji: przesunięcie potencjału elektrody symulującej w kierunku dodatnim przynajmniej o 0,1 V po czasie do 1 godziny od jej odłączenia od konstrukcji z równoczesnym przerwaniem przepływu prądu ochrony katodowej świadczy o tym, że konstrukcja została wystarczająco spolaryzowana

Konstrukcja odizolowana vs konstrukcja połączona z obcymi katodami i anodami

- Jeżeli to możliwe to należy podjąć starania aby przeznaczony do ochrony katodowej zbiornik / zbiorniki nie były konstrukcją złożoną:
 - odizolować zbiorniki od uziemionych urządzeń technologicznych,
 - zainstalować złącza izolujące w rurociągach,
 - zainstalować ograniczniki przepięć w połączeniach z uziomami
- Łatwo jest spełnić powyższe warunki w przypadku nowego zbiornika / zbiorników na stacji paliw
- Trudniej – w przypadku bazy paliwowej; baza może być rozległa; może liczyć kilkanaście a nawet kilkadziesiąt zbiorników i kilkaset lub kilka tysięcy metrów odcinków rurociągów; odizolowanie chronionych konstrukcji od uziemionych urządzeń technologicznych wymaga zainstalowania kilkudziesięciu złączy izolujących.

- 
- Natomiast zbiorniki i rurociągi istniejące i nowo projektowane na terenie modernizowanej bazy paliw, raczej będą tworzyć konstrukcję złożoną. Modernizacja nie koniecznie obejmuje odizolowanie istniejących rurociągów od technologii i/albo zainstalowanie ograniczników przepięć w połączeniach zbiorników z ich uziomami otokowymi
 - Ocena skuteczności ochrony katodowej wymaga posłużenia się elektrodami symulującym.

Co należy zrobić aby podziemny zbiornik na stacji paliw nie musiał być traktowany jako konstrukcja złożona

- W stalowych rurociągach należy zamontować złącza izolujące,
- Stalowe skrzynie (studnie) zbiornikowe należy oddzielić od zbiorników za pomocą przekładek izolacyjnych z twardej gumy,
- Śruby łączące należy umieścić w tulejach izolacyjnych, a pod łby śrub i nakrętki należy włożyć podkładki izolacyjne.
- Sieć uziemiająca stacji paliw nie może mieć żadnego połączenia ze zbiornikami.
- Zbiorniki i skrzynie zbiornikowe, które muszą być uziemione, należy połączyć z uziomem otokowym zbiorników za pomocą ograniczników przepięć niskiego napięcia. Ograniczniki należy umieścić w zewnętrznej obudowie i połączyć ze zbiornikami kablami o przekroju przynajmniej 16 mm², a z uziomem – taśmą FeZn.

Ochrona katodowa zbiorników na stacji paliw

- Ochronę katodową realizuje się standardowo przy użyciu magnezowych anod galwanicznych, zwykle o długości 500mm, średnicy 50mm umieszczonych w workach jutowych wypełnionych aktywatorem. Liczbę anod dobiera się stosownie do liczby zbiorników, jakości powłoki izolacyjnej i rezystywności gruntu, w którym są posadowione zbiorniki
- Alternatywnie można zastosować magnezową anodę taśmową (ang. ribbon anode) ułożoną przy zbiornikach
- Średnia wymagana gęstość prądu ochrony katodowej na powierzchni zbiornika pokrytego powłoką izolacyjną z polimeru termoutwardzalnego – epoksydu, poliuretanu nakładanego przez natrysk lub przez malowanie (np. Endopren, Epirust, Epicoat, Gramatpur) wynosi od 0,005 do 0,015 mA/m². Dla zapewnienia takiej gęstości prądu wystarcza jedna anoda galwaniczna na 2 – 3 zbiorniki o pojemności 50 m³. Dla bezpieczeństwa daje się 2 - 3 anody na 2 - 3 zbiorniki.

Ochrona katodowa zbiorników na stacji paliw

- Anody lokalizuje się na głębokości osi zbiorników lub głębiej, w odległości, około 1 m od ścianki zbiornika. Każda anoda jest indywidualnie połączona ze zbiornikiem w szafce ochrony katodowej
- Skrzynia (studnia) nazbiornikowa jest konstrukcją, która nie powinna być metalicznie połączona ze zbiornikiem, ponieważ nie jest ona przewidziana do objęcia ochroną katodową i to nie dlatego, że będzie wymagała dużego prądu ochrony. Powłoka izolacyjna skrzyni zbiornikowej jest na ogół nie gorsza od powłoki zbiornika. Pobór prądu ochrony z powodu włączenia skrzyni do obwodu ochrony katodowej nie wzrasta istotnie. Główną przyczyną nie włączania skrzyni do ochrony katodowej jest obawa, że poprzez skrzynię może z czasem nastąpić połączenie zbiornika ze zrębnicą i z żelbetową ramą podtrzymującą płytę najazdową.

Zbiorniki na stacji paliw jako konstrukcje złożone

- Jeżeli zbiornik / zbiorniki jest połączony galwanicznie ze skrzyniami zbiornikowymi i z uziomem otokowym zbiorników, to taki układ jest konstrukcją złożoną, a potrzebny prąd ochrony katodowej dostarczany z zewnętrznego źródła jest rzędu 10^2 mA.
- Dla oceny skuteczności ochrony katodowej trzeba się posłużyć elektrodami symulującymi.

Parametry projektowe i pomiarowe ochrony katodowej zbiorników na stacjach paliw

nr obiektu	zbiorniki	S	j obl.	j pomiar.	ρ	I obl. / I pomiar.	R_{cozb}	E_{nMg}	uwagi
	m ³	m ²	mA/m ²	mA/m ²	Ωm	mA	Ω	V	
1	2x30 + 1x50	286	0,05		30	23,3	12,9	-1,55	połączenia z rurociągami
2	2x30 + 1x50	203	0,01	0,017	200	2,03 / 3,5	49,3	-1,50	rezystor 82 Ω Eon=-0,95V, Eoff=-0,92V
3	2x30 + 1x50	203	0,015		200	22,4 / 43	17	-1,50	odcinki rur , uziemienie Eon=-1,10V, Eoff=-0,85V
4	2x30 + 1x50	203	0,01	0,023	180	2,03 / 4,6	148	1,55	taśma uziem. 61 mA Eon=-1,35V, Eoff=-1,25V
5	2x50 + 6,7	185	0,015	0,014	173	2,78 / 2,6	198	-1,50	nie ma pełnego odizolowania Eon=-1,14V, Eoff=-0,85V
6	2x50	162	0,006	0,005	295	0,97 / 0,8	412	-1,45	skrzynie połączone Eon=-1,45V, Eoff=-0,83V
7	2x60	196	0,01	0,0015	104	1,96 / 0,3mA	255	-1,55	Eon=-1,43, Eoff=-0,97
8	2x60	196	0,005		240	0,98	408	-1,45	Eon=-1,36V, Eoff=-0,84V

Układy (uziomy) anodowe w ochronie katodowej konstrukcji złożonych



W instalacjach ochrony katodowej konstrukcji złożonych stosuje się następujące rozwiązania układów anodowych:

a) układ anodowy głęboki – zespół elektrod, wykonanych np. z żeliwa wysokokrzemowego albo z mieszanych tlenków metali (MMO) na podłożu tytanowym umieszczonych w rzędzie w otworze wypełnionym drobnym koksem. Z praktyki wynika, że zwykle układ taki musi być uzupełniony pojedynczymi lokalnymi uziomami.

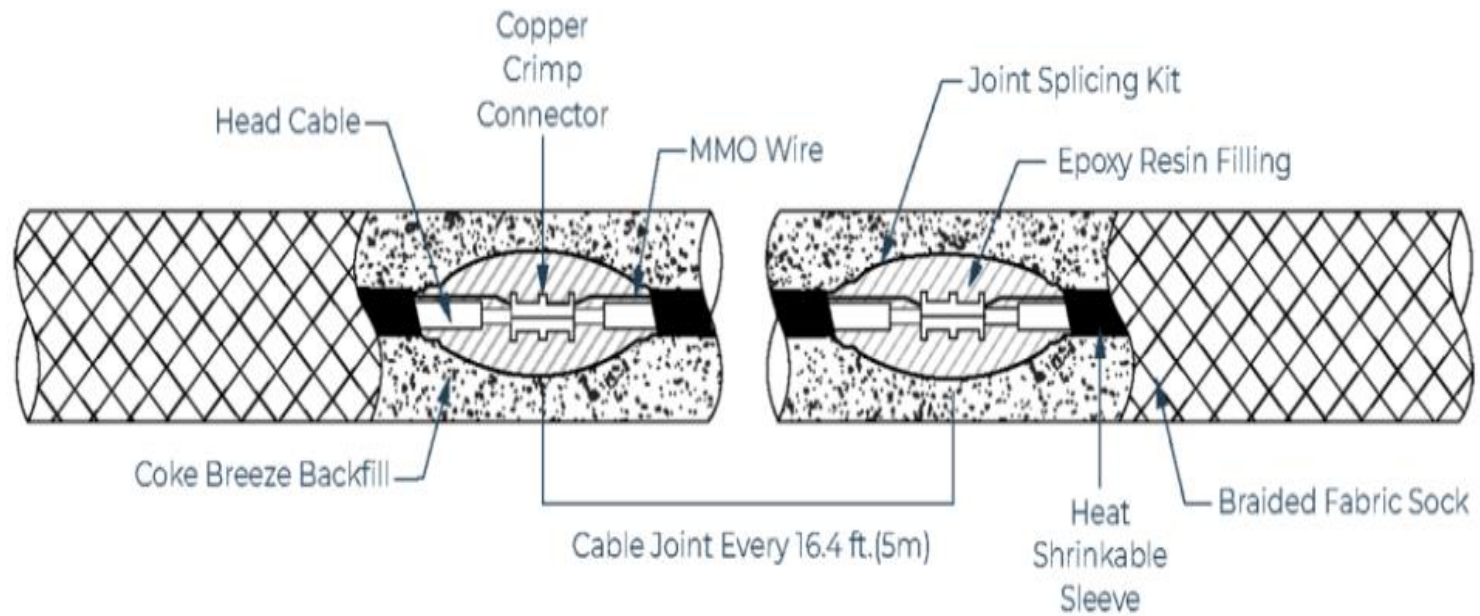
b) układ anodowy rozprzestrzeniony składający się z licznych, równolegle połączonych pojedynczych elektrod, np. z żeliwa wysokokrzemowego w zasypce koksowej, umieszczonych płytko pod powierzchnią gruntu blisko chronionych konstrukcji

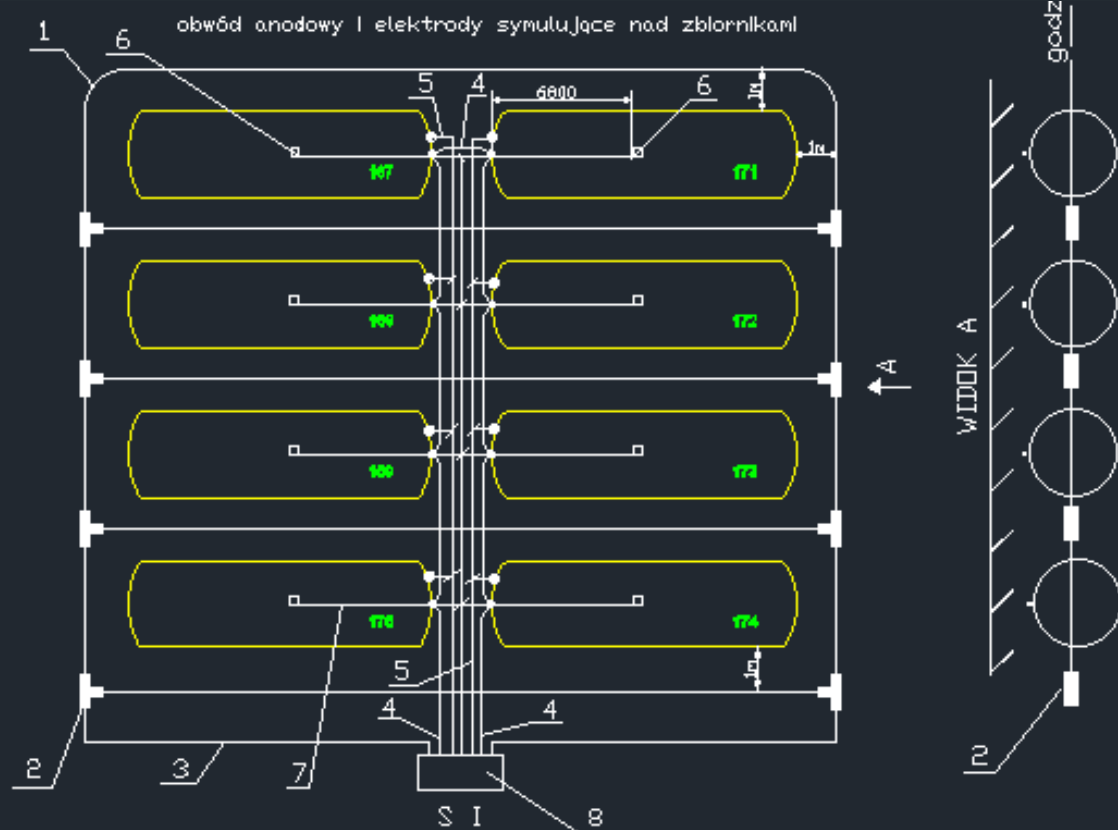
c) układ anodowy w postaci anody kablowej (ang. cable anode) ułożonej wzdłuż i wokół chronionych konstrukcji, w bliskiej od nich odległości.

Anoda kablowa jest to miedziana linka w powłoce z przewodzącego polimeru i w otoczce koksowej utrzymywanej przez specjalną tkaninę. Anoda kablowa ma postać kabla elektrycznego i podlega tym samym co kabel zasadom układania w ziemi.

■ d) układ anodowy w postaci anody liniowej (ang. linear anode): drut z mieszanych tlenków metali (MMO) na pasywnującym się podłożu tytanowym jest umieszczony we wspólnej powłoce z tkaniny z kablem rozprawdzającym prąd anodowy; co kilka metrów kabel jest łączony z anodą drutową w specjalnych złączkach; powłoka z tkaniny jest wypełniona zasypką koksową. Anoda liniowa, podobnie jak anoda kablowa, ma postać kabla elektrycznego.

Anoda liniowa





Lp.	Nazwa	Jednostka	Ilość
8	szafka pomiarowa - łączeniowa	szt.	1
7	kabel elektrody symulująceJ 1 x 4 mm2	mb	373
6	elektroda symulująca 100cm2 z kablem 1 x 4 mm2 dł. 5m	szt.	24
5	kabel potencjałowy 1 x 4 mm2	mb	116
4	kabel katodowy 1 x 16 mm2	mb	47
3	kabel anodowy 1 x 16 mm2	mb	51
2	mufa odgałęźna	szt.	8
1	anoda kablowa	mb	217

Stożek anodowy

- Zarówno w przypadku anod rozprzestrzenionych jak i w przypadku anody kablowej czy liniowej, idea jest taka sama: zbiornik ma się znaleźć się w zasięgu dodatniego stożka napięciowego uziomu anodowego i tym samym jego potencjał przesunie się w kierunku ujemnym.

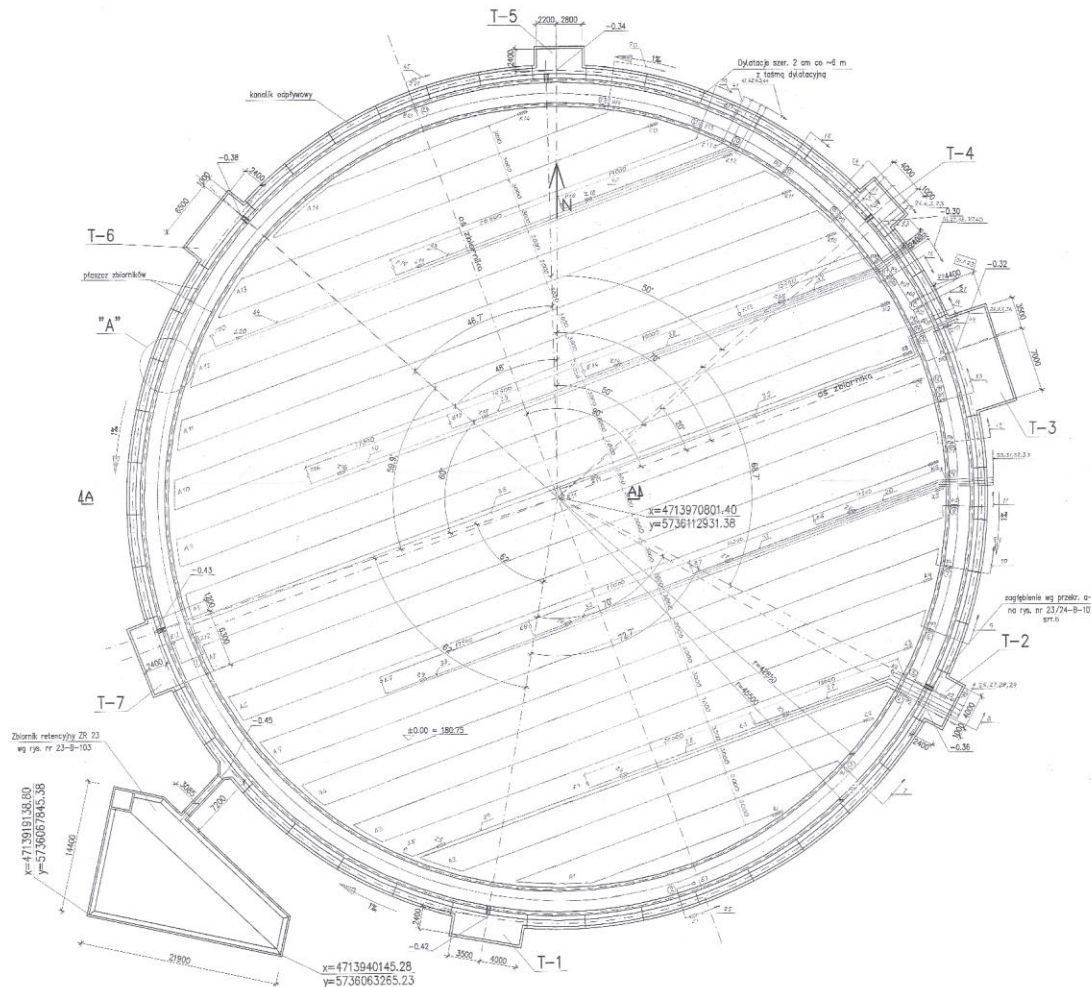
Ochrona katodowa den zbiorników

- Obiekt: zbiornik dwupłaszczowy o pojemności 100000 m³ i średnicy dna 90,4 m
- Posadowienie zbiornika – na podwójnym fundamencie żelbetowym w postaci dwóch kręgów współśrodkowych pod wewnętrznym i zewnętrznym płaszczem
- Fundamenty posiadają izolację bitumiczną poziomą i pionową
- Dno zbiornika powstaje w drodze spawania na miejscu arkuszy blachy. Dno nie jest zabezpieczone powłoką izolacyjną.
- Pod dnem zbiornika znajdują się dwie warstwy piasku: górna o grubości 10 cm z piasku drobnoziarnistego i dolna o grubości 90 cm z piasku średnioziarnistego.
- Warstwy piasku są nasycone olejem opałowym
- Pod dolną warstwą piasku jest ułożona folia olejoodporna

Koncepcja ochrony katodowej dna zbiornika

- Ochrona prądem z zewnętrznego źródła
- Dno zbiornika jest konstrukcją złożoną co wynika z bezpośredniego połączenia z rurociągami technologicznymi i z uziomem otokowym z taśmy FeZn, a być może także ze zbrojeniami fundamentów zbiornika
- Dlatego zaprojektowano bliski uziom anodowy ciągły w postaci anody kablowej ułożonej w warstwie piasku średnioziarnistego 20 cm nad folią; 14 gałęzi + okrąg pomiędzy fundamentami; łączna długość anody 2275 m
- Założono, że dzięki bliskiej odległości uziomu anodowego od powierzchni dna (80 cm), oraz ograniczenia przestrzeni pod zbiornikiem od dołu przez folię, nie nastąpi wypływ prądu polaryzacji poza dno do uziomu otokowego zbiornika i zbrojeń fundamentów.
- W takiej sytuacji uznano, że ocenę skuteczności ochrony katodowej dna zbiornika można przeprowadzić na podstawie wartości potencjałów E_{off} mierzonych względem 21 ceramicznych elektrod CSE.

ZBIORNIK NR 23 1:250



Legenda

- A1 A14 galwie anody katodowej
- E21 cewnik elektrodo odporu
- E14 mufa końcówka anody katodowej
- P14 mufa przekładowa anody katodowej
- Z1 Z11 złączenie kabla elektrodo odporu z kablem pomiarowym
- 23 przepust w fundamencie

Lista kabli anody katodowej

Nr	Wzrost kabla	Typ przewodu	Śred.	Śred.	Prędkość m
1	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
2	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
3	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
4	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
5	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
6	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
7	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
8	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
9	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
10	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
11	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
12	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
13	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
14	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
15	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
16	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
17	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
18	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
19	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
20	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
21	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
22	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
23	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
24	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
25	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
26	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
27	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
28	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
29	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
30	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
31	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
32	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
33	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
34	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
35	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
36	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
37	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
38	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
39	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
40	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
41	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
42	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
43	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
44	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
45	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
46	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
47	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
48	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
49	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
50	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
51	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
52	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
53	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
54	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
55	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
56	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
57	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
58	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
59	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
60	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
61	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
62	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
63	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
64	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
65	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
66	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
67	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
68	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
69	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
70	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
71	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
72	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
73	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
74	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
75	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
76	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
77	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
78	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
79	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
80	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
81	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
82	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
83	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
84	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
85	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
86	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
87	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
88	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
89	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
90	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
91	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
92	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
93	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
94	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
95	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
96	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
97	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
98	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
99	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24
100	anodowy	WOKS 140 mm	140	140	24

Wykaz przepustów w fundamencie

Nr przepustu	Przebieg w kierunku u	Kierunek F-2	Kierunek F-1
1	anoda A1	anoda A1	anoda A1
2	anoda A2	anoda A2	anoda A2
3	anoda A3	anoda A3	anoda A3
4	anoda A4	anoda A4	anoda A4
5	anoda A5	anoda A5	anoda A5
6	anoda A6	anoda A6	anoda A6
7	anoda A7	anoda A7	anoda A7
8	anoda A8	anoda A8	anoda A8
9	anoda A9	anoda A9	anoda A9
10	anoda A10	anoda A10	anoda A10
11	anoda A11	anoda A11	anoda A11
12	anoda A12	anoda A12	anoda A12
13	anoda A13	anoda A13	anoda A13
14	anoda A14	anoda A14	anoda A14
15	anoda A15	anoda A15	anoda A15
16	anoda A16	anoda A16	anoda A16
17	anoda A17	anoda A17	anoda A17
18	anoda A18	anoda A18	anoda A18
19	anoda A19	anoda A19	anoda A19
20	anoda A20	anoda A20	anoda A20
21	anoda A21	anoda A21	anoda A21
22	anoda A22	anoda A22	anoda A22
23	anoda A23	anoda A23	anoda A23
24	anoda A24	anoda A24	anoda A24
25	anoda A25	anoda A25	anoda A25
26	anoda A26	anoda A26	anoda A26
27	anoda A27	anoda A27	anoda A27
28	anoda A28	anoda A28	anoda A28
29	anoda A29	anoda A29	anoda A29
30	anoda A30	anoda A30	anoda A30
31	anoda A31	anoda A31	anoda A31
32	anoda A32	anoda A32	anoda A32
33	anoda A33	anoda A33	anoda A33
34	anoda A34	anoda A34	anoda A34
35	anoda A35	anoda A35	anoda A35
36	anoda A36	anoda A36	anoda A36
37	anoda A37	anoda A37	anoda A37
38	anoda A38	anoda A38	anoda A38
39	anoda A39	anoda A39	anoda A39
40	anoda A40	anoda A40	anoda A40
41	anoda A41	anoda A41	anoda A41
42	anoda A42	anoda A42	anoda A42
43	anoda A43	anoda A43	anoda A43
44	anoda A44	anoda A44	anoda A44
45	anoda A45	anoda A45	anoda A45
46	anoda A46	anoda A46	anoda A46
47	anoda A47	anoda A47	anoda A47
48	anoda A48	anoda A48	anoda A48
49	anoda A49	anoda A49	anoda A49
50	anoda A50	anoda A50	anoda A50
51	anoda A51	anoda A51	anoda A51
52	anoda A52	anoda A52	anoda A52
53	anoda A53	anoda A53	anoda A53
54	anoda A54	anoda A54	anoda A54
55	anoda A55	anoda A55	anoda A55
56	anoda A56	anoda A56	anoda A56
57	anoda A57	anoda A57	anoda A57
58	anoda A58	anoda A58	anoda A58
59	anoda A59	anoda A59	anoda A59
60	anoda A60	anoda A60	anoda A60
61	anoda A61	anoda A61	anoda A61
62	anoda A62	anoda A62	anoda A62
63	anoda A63	anoda A63	anoda A63
64	anoda A64	anoda A64	anoda A64
65	anoda A65	anoda A65	anoda A65
66	anoda A66	anoda A66	anoda A66
67	anoda A67	anoda A67	anoda A67
68	anoda A68	anoda A68	anoda A68
69	anoda A69	anoda A69	anoda A69
70	anoda A70	anoda A70	anoda A70
71	anoda A71	anoda A71	anoda A71
72	anoda A72	anoda A72	anoda A72
73	anoda A73	anoda A73	anoda A73
74	anoda A74	anoda A74	anoda A74
75	anoda A75	anoda A75	anoda A75
76	anoda A76	anoda A76	anoda A76
77	anoda A77	anoda A77	anoda A77
78	anoda A78	anoda A78	anoda A78
79	anoda A79	anoda A79	anoda A79
80	anoda A80	anoda A80	anoda A80
81	anoda A81	anoda A81	anoda A81
82	anoda A82	anoda A82	anoda A82
83	anoda A83	anoda A83	anoda A83
84	anoda A84	anoda A84	anoda A84
85	anoda A85	anoda A85	anoda A85
86	anoda A86	anoda A86	anoda A86
87	anoda A87	anoda A87	anoda A87
88	anoda A88	anoda A88	anoda A88
89	anoda A89	anoda A89	anoda A89
90	anoda A90	anoda A90	anoda A90
91	anoda A91	anoda A91	anoda A91
92	anoda A92	anoda A92	anoda A92
93	anoda A93	anoda A93	anoda A93
94	anoda A94	anoda A94	anoda A94
95	anoda A95	anoda A95	anoda A95
96	anoda A96	anoda A96	anoda A96
97	anoda A97	anoda A97	anoda A97
98	anoda A98	anoda A98	anoda A98
99	anoda A99	anoda A99	anoda A99
100	anoda A100	anoda A100	anoda A100

Uwaga: Przepusty są umieszczone 20 cm nad fundamentem.

- Anoda katodowa należy wskazać 20 cm nad fundamentem.
- Anoda katodowa A1 należy wskazać 20 cm nad fundamentem.
- Mufa końcówka anody katodowej A1 - A14 należy wskazać 20 cm nad fundamentem.
- Długość galwanizacji anody katodowej A1 - A14 należy wskazać 20 cm nad fundamentem.
- Długość galwanizacji anody katodowej A1 - A14 należy wskazać 20 cm nad fundamentem.
- Długość galwanizacji anody katodowej A1 - A14 należy wskazać 20 cm nad fundamentem.
- Długość galwanizacji anody katodowej A1 - A14 należy wskazać 20 cm nad fundamentem.

Ocena zapotrzebowania prądu ochrony katodowej dna zbiornika

- Rezystywność piasku: wykonano szereg pomiarów metodą czteroelektrodową na terenie żwirowni skąd dostarczano piasek. Średnia rezystywność $300 \Omega\text{m}$
- Parametry obliczeniowe ochrony katodowej
- Rezystancja przejścia dna zbiornika o średnicy $90,4 \text{ m}$ i powierzchni 6420 m^2

$$R_D = 1,66 \Omega$$

- Rezystancja przejścia uziomu otokowego FeZn 25x4 o długości $2 \times 157 \text{ m}$

$$R_u = 2,25 \Omega$$

- Rezystancja uziemienia zbrojeń fundamentów zbiornika – szacunkowo 2Ω
- Wypadkowa rezystancja po stronie drenażowej $R_{wd} = 0,65 \Omega$
- Wypadkowa rezystancja 14 gałęzi i jednego okręgu anody kablowej $R_{wa} = 0,28 \Omega$

- Rezystancja kabli $1 \times 50 \text{ mm}^2$ anodowego i drenażowego o łącznej długości 212 m $R_k = 0,074 \Omega$
- Przy założeniu, że mimo bliskiego uziomu anodowego, prąd wyjściowy SOK wpłynie nie tylko do dna zbiornika, ale też do obcych konstrukcji tworzących konstrukcję złożoną, I_{wy} musiałby być rzędu kilkadziesiąt amperów, a stacja ochrony katodowej musiałaby pracować przy U_{wy} kilkadziesiąt wolt:
- Natężenie prądu SOK przy $U_{wy} = 50 \text{ V}$
 $I = 50 : (0,65 + 0,28 + 0,074) = 50 \text{ A}$
- Wyniki pomiarów rozruchowych i eksploatacyjnych na przestrzeni 20 lat dowodzą jednak, że umieszczenie dna zbiornika w stożku rozprływowym prądu anodowego oraz „zamknięcie” przestrzeni podzbiornikowej od dołu warstwą folii skutecznie ogranicza rozprływ prądu ochrony katodowej poza dno zbiornika:
 $U_{wy} = 3 \div 4 \text{ V}$; $I_{wy} = 2,5 \div 4 \text{ A}$
- Obwód prądu ochrony katodowej tworzą: dno zbiornika i kable łączące SOK ze zbiornikiem
- Z 21 elektrod odniesienia, jedna jest obecnie niesprawna
- Zakresy potencjałów zbiornika: E_{on} od -1,05 do -1,45 V
 E_{off} od - 0,85 do - 1,02 V

