

Systemy zabezpieczeń antykorozyjnych dla mikropali oraz kotew i gwoździ gruntowych

mgr inż. Alan Rajchel, mgr inż. Grzegorz Badawika
ATM sp. z o.o.

Zastosowanie metod ochrony antykorozyjnej elementów konstrukcyjnych pozwala wydłużyć okres ich niezawodności. Największą trwałością cechują się niezwykle odporne i szczelne zabezpieczenia typu DCP

Stosowane w pracach inżynieryjno-geotechnicznych mikropale oraz kotwy i gwoździe gruntowe stanowią bardzo odpowiedzialny element konstrukcyjny. Również często mają zastosowanie jako elementy trwałe, pracujące w konstrukcji przez bardzo długi czas. Środowisko w jakim pracują ma istotny wpływ na ich trwałość i niezawodność. Dlatego też konieczne jest stosowanie odpowiedniego zabezpieczenia przed korozją. W niniejszym artykule zostaną przedstawione i omówione różne rodzaje zabezpieczeń antykorozyjnych dla kotew i gwoździ gruntowych oraz mikropali zgodnie z odpowiednimi normami.

Jak wspomniano we wstępie, kluczowe znaczenie ma agresywność gruntu w jakim ma pracować dany element. Norma dotycząca kotew gruntowych podkreśla, że nie ma dokładnej metody określającej szybkość korozji stali w gruncie. Natomiast norma dla mikropali zawiera tabelę z wartościami utraty grubości w zależności od rodzaju gruntu i czasu ekspozycji. Wartości tam zawarte zostały wyznaczone empirycznie dla okresu 5 oraz 25 lat, a dla dłuższych okresów wykonano ekstrapolację. Tabela ta jest przydatna w metodzie doboru nadmiaru grubości zbrojenia dla kompensacji ubytku stali wskutek korozji. Należy jednak zaznaczyć, że norma dotycząca kotew gruntowych [2] tej metody w ogóle nie dopuszcza dla kotew tymczasowych (do 2 lat użytkowania), jak i tym bardziej dla kotew trwałych (okres użytkowania więcej niż 2 lata).

Najbardziej skomplikowane i zarazem najszerzej opisane systemy zabezpieczeń antykorozyjnych posiadają kotwy gruntowe. Norma [1] podaje przykłady zabezpieczeń dla danego rodzaju kotwy.

W razie potrzeby elementy osłony przeciwnokorozyjnej powinny być zdolne do przenoszenia obciążeń.

W kotwach tymczasowych elementy stalowe powinny mieć osłonę antykorozyjną zabezpieczającą przez co najmniej 2 lata użytkowania. Kotwy pracujące w gruntach agresywnych lub z możliwością wydłużenia czasu użytkowania, powinny być trwale zabezpieczone przed korozją.

PRZYKŁAD OCHRONY ANTYKOROZYJNEJ KOTEW TYMCZASOWYCH

Buława – Całe ciągnie powinno mieć otulinę co najmniej 10 mm grubości. W agresywnym środowisku można ochronę zwiększyć poprzez zainstalowanie wokół cięgna pojedynczej rury karbowanej.

Swobodna długość cięgna – system ochrony przeciwnokorozyjnej powinien cechować się niskim współczynnikiem tarcia i umożliwiać swobodne przemieszczanie cięgna w otworze, np. osłonka plastikowa wokół cięgna (może być dodatkowo wypełniona substancją antykorozyjną).

Połączenie swobodnej długości cięgna z głowicą – osłona części swobodnej powinna być szczelnie połączona z płytą/głowicą kotwy.

Głowica kotwy – w przypadku, gdy głowica ma być dostępna po sprężeniu: niepłynna powłoka przeciwnokorozyjna, taśma impregnowana produktem przeciwnokorozyjnym.

W przypadku, gdy głowica jest niedostępna: osłona metalowa lub plastikowa wypełniona produktem zapewniającym ochronę przeciwnokorozyjną (tę osłonę stosuje się w przypadku dużej agresywności środowiska).

W przypadku kotew trwałych minimalna ochrona przeciwnokorozyjna cięgna powinna się składać z ciągłej warstwy produktu przeciwnokorozyjnego, który nie ulegnie zniszczeniu podczas okresu użytkowania.

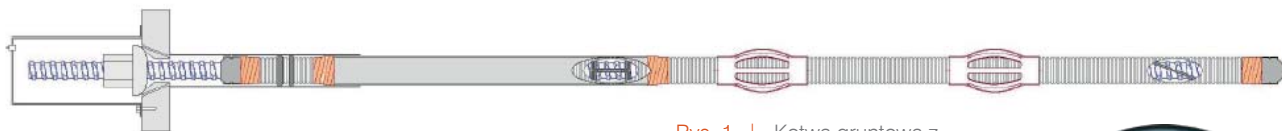
Cięgno kotwy trwałej powinno mieć jeden z następujących rodzajów ochrony przeciwnokorozyjnej:

- dwie warstwy ochrony przeciwnokorozyjnej, gdy jedna ulegnie zniszczeniu, druga zostaje nietknięta;
- jedna warstwa ochrony przeciwnokorozyjnej pod warunkiem jej sprawdzenia in situ na każdej kotwie;
- rura stalowa z zaworami opaskowymi;
- rura plastikowa karbowana;
- rura stalowa ściskana.

PRZYKŁAD OCHRONY ANTYKOROZYJNEJ KOTEW TRWAŁYCH

Buława:

- a) Cięgno w karbowanej rurze plastikowej oraz zaczynie ce-



Rys. 1. | Kotwa gruntowa z zabezpieczeniem DCP

- mentowym.
- Cięgno w 2 rurach plastikowych karbowanych, przestrzeń pomiędzy rurami wypełniona żywicą lub cementem.
 - Cięgno umieszczone w pojedynczej rurze karbowanej oraz zaczynie cementowym. Otulina zaczynu pomiędzy ciągnem a rurą min. 5 mm. Pręt gwintowany na całej długości. Szerokość rysy w zaczynie cementowym nie powinna przekroczyć 0,2 mm pod obciążeniem użytkowym.
 - Pojedyncza stalowa lub plastikowa rura karbowana z zaworami opaskowymi o minimalnej grubości 3 mm z otuliną zaczynu cementowego minimalnej grubości 20 mm iniekowanego pod ciśnieniem 500 kPa. Otulina ciągną w rurze jak w podpunkcie c).
 - Rura karbowana stalowa ściśle otaczająca smarowane ciągno stalowe. W obszarze głowicy rura i korek plastikowy zabezpieczone zaczynem cementowym o grubości 10 mm. Szerokość rysy w tym zaczynie < 0,1 mm.

Swobodna długość ciągną: System ochrony przeciwkorozyjnej musi pozwalać na swobodne wydłużanie się ciągną w otworze. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie dodatkowej zewnętrznej gładkiej rury z tworzywa, uszczelnionej na jej obu końcach, nałożonej na osłonę antykorozyjną z rury karbowanej i zaczynu cementowego. Pozwala to skutecznie zmniejszyć tarcie i tym samym spełnić wymagania normy [2] dotyczące swobodnej długości ciągną.

Połączenie swobodnej długości ciągną z głowicą kotwy:

Do głowicy kotwy jest przytwierdzona szczelnie rura stalowa lub plastikowa, są one połączone szczelnie z osłoną lub rurą części swobodnej ciągną i wypełnione zaczynem cementowym, iniektem trwale plastycznym lub żywicą.

Głowica kotwy: Do płyty przytwierdzona jest stalowa ocynkowana czapka (grubość ścianki minimum 3 mm) lub plastikowa (grubość ścianki minimum 5 mm). Zdejmowane czapki wyposażone są w uszczelki i wypełnione elastycznym produktem antykorozyjnym. Niezdejmowane pokrywy wypełnione są zaczynem cementowym lub żywicą.

Reasumując. W praktyce najczęściej stosuje się tzw. podwójną osłonę antykorozyjną (DCP – Double Corrosion Protection) (rys. 1), czyli ciągno na całej długości umieszczone w karbowanej rurze z tworzywa wypełnionej zaczynem cementowym, a w części swobodnej dodatkowo nałożona gładka rura także z tworzywa, uszczelniona na jej obu końcach. Jest to najlepsze zabezpieczenie stosowane obecnie na świecie, co potwierdzają badania i inspekcje na kotwach wykonanych już w latach 70. DCP jest ochroną stosowaną najczęściej i od wielu lat w systemie SAS dla kotew trwałych oraz tymczasowych pracujących w bardzo agresywnym środowisku gruntowym.

W punktach newralgicznych, takich jak np. połączenia buławy i długości swobodnej oraz przy zabezpieczeniu głowicy, stosuje się dodatkowe elementy zalecane przez normę [2] takie jak:

Oslony termokurczliwe – można je stosować do osłony produktów ochrony przeciwkorozyjnej pokrywających elementy stalowe, grubość ścianki osłonki po skurczeniu > 1 mm.

Elementy uszczelniające

– Połączenia mechaniczne uszczelnia się za pomocą uszczelek, pierścieniowych tulejek lub osłon termozgrzewalnych. Powinny zapewnić całkowitą szczelność nie dopuszczając do ucieczki substancji antykorozyjnej ani do wnikania wody.

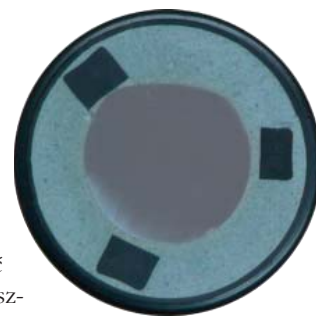
Żyvice – Dopuszcza się jako trwałą ochronę przeciwkorozyjną iniek na bazie żywic grubości minimum 5 mm zamknięty w osłonie bez naprężeń i zarysowań.

Produkty ochrony przeciwkorozyjnej – smary oraz produkty na bazie wosku naftowego. Powinny być umieszczone w osłonach izolacyjnych, rurach lub pokrywach wodoszczelnych i odpornych na działanie korozji (dla zabezpieczeń trwałych).

Metalowe powłoki ochronne – Metalowych powłok ochronnych (np. galwanizacja) NIE należy stosować do zabezpieczania ciągną. Mogą być natomiast stosowane do zabezpieczenia innych elementów stalowych, takich jak płyty oporowe, pokrywy i osłony.

Powłoki epoksydowe – tylko jako tymczasowe zabezpieczenie ciągną kotew, nakładane w wytwórni, min. 0,3 mm grubości.

Sposób zabezpieczenia antykorozyjnego nie może utrudniać sprężania oraz zabezpieczenie nie może zostać podczas tych operacji uszkodzone. W części swobodnej osłona antykorozyjna musi dawać możliwość wydłużenia ciągną podczas sprężania.



Fot. 1. | Kotwy gruntowe w osłonie DCP oczekujące na transport

Zabezpieczenie części swobodnej, jak i buławy kotwy tymczasowej można wykonywać na placu budowy.

Zabezpieczenia kotew trwałych powinno wykonywać się w wytwórni lub na budowie w miejscach specjalnie do tego przystosowanych.

Mikropale to pale o średnicy nie przekraczającej 30 cm, które mają zdolność do przenoszenia obciążeń na grunt poprzez tarcie na ich pobocznicach. Stosowanie mikropali do wzmocnień podłoża gruntowego dla potrzeb posadowienia budynków lub wzmocnienie już istniejących fundamentów uświadamia, iż właściwie zawsze jest to element trwały danej konstrukcji, który będzie poddany próbie czasu. Norma [1] dotycząca mikropali pozostawia dość dużą dowolność projektantowi w doborze odpowiedniej metody zabezpieczenia antykorozyjnego. Zawiera jednak pewne wytyczne, co należy wziąć pod uwagę podczas doboru osłony oraz jakie zabezpieczenia są zalecane.

I tak podczas doboru należy wziąć pod uwagę:

- agresywność środowiska gruntowego,
- typ mikropala,
- rodzaj przenoszonych obciążeń (ściskające, rozciągających, zmienne),
- rodzaj stali,
- czas użytkowania.

Za wystarczające metody ochrony zbrojenia mikropali uważa się:

- dokładną ciągłą osłonę z zaczynu cementowego, betonu lub zaprawy,
- przewidzianą utratę grubości stali na rzecz korozji,
- użycie odpowiedniego typu stali,
- ochronę katodową,
- użycie trwałej osłony rurowej (osłona z rury karbowanej wypełnionej zaczynem cementowym, system DCP).

Należy przy tym pamiętać, że dokładna osłona zaczynu cementowego na całej długości musi mieć odpowiednią grubość. W warunkach o niskiej agresywności – minimum 20 mm dla mikropali przenoszących obciążenia ściskające. Oczywiście czym większa agresywność korozyjna, tym ta osłona musi być grubsza.

Ilość lat w gruncie	Typ osłony antykorozyjnej	Utrata grubości stali w [mm] w zależności od agresywności gruntu		
		Niska	Średnia	Wysoka
2	A	0	0	0,2
	B	0	0	0
	A+C	0	0	0
	B+C	0	0	0
7	A	0,2	0,2	0,5
	B	0	0	0,4
	A+C	0	0	0
	B+C	0	0	0
30	A	0,4	0,6	D
	B	0	0,2	
	A+C	0,2	0,4	
	B+C	0	0	
50	A	0,5	D	D
	B	0,2		
	A+C	0,4		
	B+C	0		

A – Stal nieosłonięta
 B – Stal ocynkowana, minimum $\geq 150 \mu\text{m}$
 C – Osłona zaczynu cementowego $\geq 15 \text{ mm}$
 D – Osłona antykorozyjna zgodna z normą PN-EN 1537

Tab. 1. | Utrata grubości stali na skutek korozji

Ważne jest też, aby wszystkie elementy łączące poddać takiemu samemu zabezpieczeniu jak zbrojenie mikropala. Brak zabezpieczenia tylko na jednym elemencie może doprowadzić do powstania zjawiska skupienia energii korozji i tym samym pozbawiania tego elementu swoich parametrów wytrzymałościowych w szybkim tempie.

Podobnie jak dla kotew gruntowych, system zabezpieczenia typu DCP często jest wybierany przez projektantów jako najtrwalszy i najpewniejszy sposób na bezawaryjną pracę przez cały okres użytkowania.

Niestety nie we wszystkich systemach mikropali czy gwoździ gruntowych jest możliwość stosowania ochrony DCP (np. systemach samowierzących), wynika to z samej idei ich montażu czy sposobu wykonania.

Gwoździe gruntowe to często także bardzo odpowiedzialny element konstrukcyjny. W świetle zapisów normy prPN – EN 14490 „Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych – gwoździe gruntowe” ochrona antykorozyjna jest wymagana w przypadku dłuższego okresu użytkowania oraz w agresywnym środowisku gruntowym. A głównymi metodami pozwalającymi zapewnić żywotność gwoździ są:

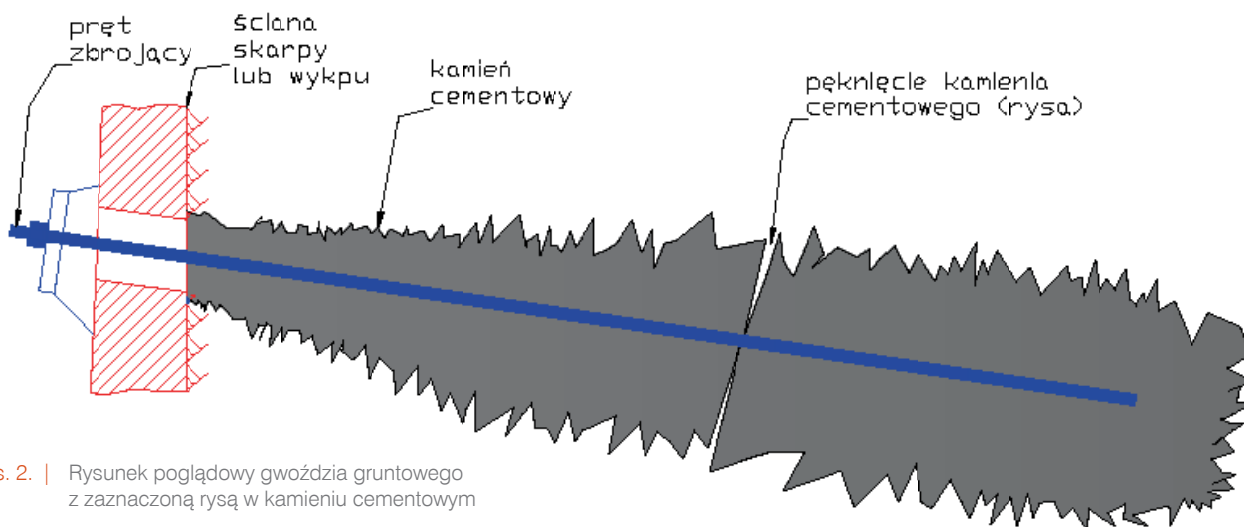
- przewidziana utrata grubości stali na skutek korozji,
- powierzchniowe osłonięcie (osłony epoksydowe, stal ocynkowana),
- okrycie szczelne zaczynem cementowym,
- nieprzepuszczalna rura karbowana,
- kombinacje powyższych.

PRZEWIDZIANA UTRATA GRUBOŚCI STALI NA SKUTEK KOROZJI

Tak samo jak w przypadku mikropali, metoda ta zakłada brak stosowania powierzchniowych zabezpieczeń lub osłon zaczynu cementowego. Stosuje się elementy zbrojące z nadładkiem średnicy przewidzianym na straty na skutek działania korozji. Przewidziana utrata grubości stali spowodowana korozją jest określona doświadczalnie na podstawie badań gwoździ gruntowych oraz innych elementów stalowych montowanych w gruntach o zbadanych parametrach korozyjnych. Najczęściej stosuje się ją do gwoździ gruntowych, których procentowa utrata pola powierzchni przekroju poprzecznego nie przewyższy połowy. Zazwyczaj stosowana dla gwoździ w przypadkach, gdy występuje stopień nadładku wytrzymałości.

Często sugerowany przez dostawców aż 30% naddatek powierzchni przekroju poprzecznego stali jest mocno przesadzony i nie ma on żadnego odniesienia do jakiegokolwiek normy związanej z opisywanymi elementami geoinżynierskimi. Austriackie Ministerstwo ds. Infrastruktury Ruchu Drogowego i Innowacji Technicznych (odpowiednik polskiego IBDiM) w aprobatkach dla systemu mikropali oraz gwoździ gruntowych SAS określa wartości utraty grubości stali na skutek korozji w zależności od osłony i panujących warunków, co zostało przedstawione w tab. 1.

Jak można wywnioskować z powyższej tabeli, zaleca się stosowanie osłon antykorozyjnych zgodnych z normą PN-EN 1537 „Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych – Kotwy gruntowe” dla mikropali i gwoździ gruntowych pracujących powyżej 7 lat oraz w agresywnych warunkach gruntowych. W takich przypadkach stosuje się osłonę DCP, która ma zdolność do przenoszenia wszelkich obciążeń oraz, jak wspomniano wcześniej, odznacza się najlepszymi parametrami ochronnymi.



Rys. 2. | Rysunek poglądowy gwoźdźca gruntowego z zaznaczoną rysą w kamieniu cementowym

ZABEZPIECZENIE POWIERZCHNIOWE

Zabezpieczenie elementów poprzez galwanizację lub powłokami epoksydowymi to również jeden ze sposobów zabezpieczenia gwoździ gruntowych przed korozją. Okres trwałości dla wymienionych okryć zależy od ich grubości i jakości.

Powłoki metaliczne (galwanizacja) są skutecznie samoregenerujące się, a konsekwencje uszkodzeń powierzchniowych są mniej poważne. W znacznym stopniu spowalnia proces korozji i redukuje utraty grubości stali. Należy pamiętać, że tempo korozji galwanizowanych elementów stalowych może się bardzo różnić w różnych warunkach i czasie użytkowania.

Zabezpieczenie epoksydowe jest czasami uznawane jako odpowiednik osłony cynkowej, jednak sposób, w jaki zabezpieczają te metody przed korozją, jest różny. Teoretycznie osłona epoksydowa umieszczona w gruncie jest bardzo odporna na czynnik czasu. Wadą takich zabezpieczeń jest fakt, że trzeba ostrożnie i ze szczególną uwagą transportować i instalować gwoździe z tym zabezpieczeniem, ponieważ niewielkie uszkodzenia mogą wywołać skupisko korozji o wysokiej energii

ZABEZPIECZENIE SZCZELNYM ZACZYNEM CEMENTOWYM

Norma dotycząca gwoździ gruntowych akceptuje osłonę przeciwkorozyjną alkalicznego zaczynu cementowego zakładając, że zostanie utrzymany poziom pH 9,5–13,5, a szerokość rysy wewnątrz zaczynu nie przekroczy 0,1 mm. Niestety problematyczne jest sprawdzenie owej rysy w warunkach in situ, ponadto sprawdzeniu podlegać powinien każdy z wykonanych gwoździ gruntowych.

Gwoździe gruntowe są elementami najczęściej stosowanymi dla zabezpieczenia skarp i zboczy, gdzie występują siły ścinające – a zatem pracują na zginanie. Kamień cementowy poddany działaniu takich sił ma znacznie mniejszą wytrzymałość niż pod obciążeniem ściskającym, co może doprowadzić do jego spękania i w rezultacie przekroczenia wymaganej minimalnej szerokości rysy. Zaleca się, aby grubość zaczynu wokół elementu zbrojącego oraz jego łączników była większa niż 20–25 mm. Zaczyn cementowy może być zatłaczany podczas wiercenia lub po wykonaniu otworu wiertniczego poprzez otwór w elemencie zbrojącym lub oddzielne rurki iniekcyjne. Zastosowanie iniekcji wieloetapowych poprzez rurki iniekcyjne w znacznym stopniu poprawia jakość zabezpieczenia.

RURY NIEPRZEPUSZCZALNE, RURY KARBOWANE (KOMBINACJA POWYŻSZYCH)

W praktyce chodzi tu o system zabezpieczenia DCP. Zastosowanie nieprzepuszczalnej rury w połączeniu z zaczynem cementowym, jako osłony elementu zbrojącego, zapobiega przedostawaniu się wody lub substancji wywołujących korozję mogących przedostawać się poprzez rysy w zaczynie cementowym. Skuteczność szczelnych rur w dużym stopniu zależy od uszczelnienia systemu i zachowania integralności podczas transportu i montażu, a następnie iniektowania otworu wiertniczego. System ten jest wiodący i zalecany do ochrony elementów zbrojących montowanych w agresywnym środowisku gruntowym lub pracujących przez dłuższy czas.

PODSUMOWANIE

Podsumowując, wróćmy do doboru i projektowania zabezpieczenia, do oceny agresywności środowiska, co jest kwestią kluczową dla wszystkich trzech wyżej wymienionych elementów geoinżynierskich. Dokładne badania geologiczne w miejscach gdzie zachodzi podejrzenie niekorzystnych warunków jest bardzo istotne dla doboru odpowiedniej osłony antykorozyjnej. Zapisy normowe bardzo jasno określają w jaki sposób można zabezpieczać dane elementy, co każdorazowo podczas projektowania powinno być brane pod uwagę.

Normy [1] [2] [3] podkreślają, aby każda z wybranych technologii zabezpieczeń antykorozyjnych była zdolna do przenoszenia zaprojektowanych obciążeń. Wykonawcy natomiast powinni ze szczególną uwagą transportować, montować oraz wyznaczać miejsce do składowania zbrojenia, aby nie doprowadzić do uszkodzenia danej osłony antykorozyjnej. Przy czym zdecydowanie największą trwałością, również z uwagi na uszkodzenia mechaniczne, cechują się masywne i niezwykle odporne, szczelne i trwałe zabezpieczenia typu DCP. ■

LITERATURA

- [1] Norma PN EN 14199:2005 „Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych – Mikropale”. PKN Warszawa 2005.
- [2] Norma PN EN 1537:1999 „Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych – Kotwy gruntowe”. PKN Warszawa 2002.
- [3] Projekt prEN 14490:2007 „Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych – Gwoździe gruntowe”.