

RYZIKO NIESZCZELNOŚCI PŁYTY ŻELBETOWEJ POSADOWIONEJ NA MIKROPALACH W WARUNKACH WYSOKIEGO CIŚNIENIA WODY

PIOTR WOYCIECHOWSKI, *e-mail: p.woyciechowski@il.pw.edu.pl*

WIOLETTA JACKIEWICZ-REK

ANDRZEJ GARBACZ

Zakład Inżynierii Materiałów Budowlanych
Politechnika Warszawska

JACEK BORUC

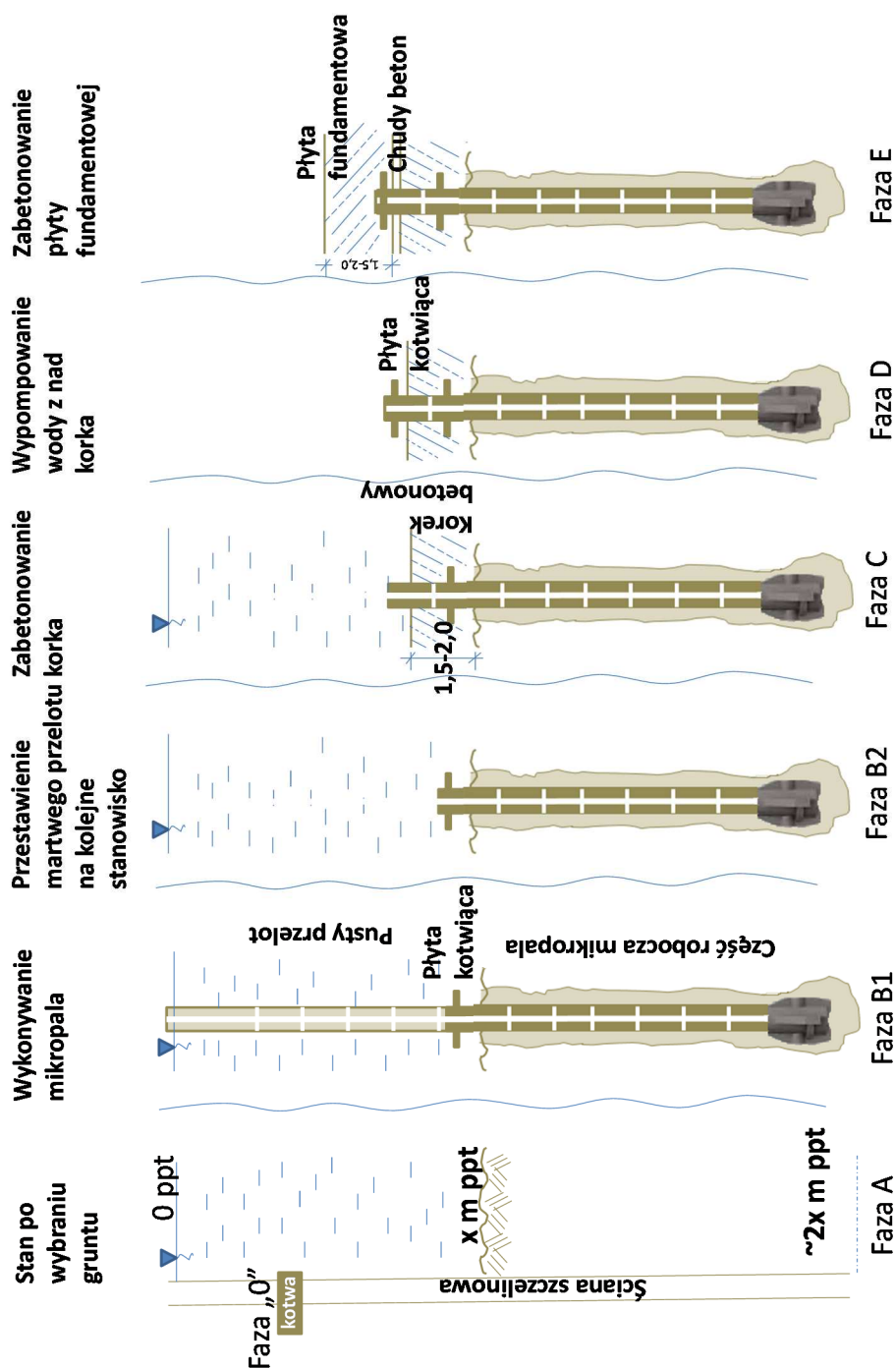
Warbud SA.

Streszczenie: Jednym z rozwiązań problemu fundamentowania w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych jest zastosowanie fundamentu w postaci tak zwanej betonowej wanny szczelnej. W przypadku bardzo wysokiego poziomu wód gruntowych i występowania w podłożu gruntów słabonośnych, kiedy to nie ma możliwości fundamentowania bezpośredniego, konieczne jest dodatkowo oparcie szczelnej wanny na systemie mikropali. Przedmiotem niniejszego artykułu jest analiza zagrożeń, które mogą wystąpić w trakcie realizacji opisanego typu fundamentów, prowadząc do nieszczelności części fundamentowej obiektu. Ponadto w pracy zweryfikowano doświadczalnie możliwości diagnostyki tych nieszczelności metodami nieniszczącymi.

Słowa kluczowe: mikropale, szczelność płyty fundamentowej, betonowa wanna szczelna, metody nieniszczące

1. Wprowadzenie

Jednym z rozwiązań problemu fundamentowania w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych jest zastosowanie fundamentu w postaci tak zwanej betonowej wanny szczelnej. W przypadku bardzo wysokiego poziomu wód gruntowych i występowania w podłożu gruntów słabonośnych, konieczne jest dodatkowo oparcie szczelnej wanny na systemie mikropali. Skuteczne wykonanie wanny szczelnej powinno zakładać taką konstrukcję części fundamentowej obiektu, aby odciąć możliwość napływu wody do wykopu na czas wykonywania wanny i jednocześnie zapewnić zespolenie jej płyty dennej z systemem pali. Wymaga to prowadzenia robót etapami, przykładowo według schematu przedstawionego na rys. 1. Faza A obejmuje wykonanie ścian szczelinowych, stanowiących obudowę przyszłego wykopu, które są wspornikowo zamocowane w podłożu i dodatkowo zakotwione kotwami bocznymi, a następnie wybranie gruntu do poziomu posadowienia. Efektem jest powstanie w obszarze przyszłego wykopu zbiornika częściowo wypełnionego wodą. Faza B obejmuje wykonanie mikropali na głębokości odpowiadającej poziomowi dolnej powierzchni fundamentu bezpośredniego. Mikropale są wykonywane z segmentów, a sposób ich wykonywania opisywany jest w wielu publikacjach (przykładowo [1–5]). Ostatni od góry segment mikropala – w poziomie płyty fundamentowej obiektu zespolony jest z płytą kotwiącą, która zostanie zabetonowana w grubości fundamentu.



Rys. 1 Fazy wykonania wanny szczelnej posadowionej na mikropalach (opis w tekście)

Wykonanie szczelnej wanny stanowiącej właściwy fundament obiektu powinno odbywać się w osuszonym wykopie. Jeśli – z uwagi na warunki gruntowo-wodne – nie ma możliwości

czasowego osuszenia wykopu przez odpompowywanie wody, rozwiązaniem jest wykonanie na dnie wykopu betonowego korka, który pozwoli na czas dalszych robót ograniczyć napływ wody do wykopu i jednocześnie przeniesie parcie wody. Zmongolizowanie całego układu wymaga, aby mikropala był połączony z korkiem płytą kotwiącą, ale jednocześnie kolejny segment mikropala i kolejna płyta kotwiąca łączyły mikropal z właściwą płytą denną fundamentu, opartą na korku, z uwzględnieniem dodatkowej hydroizolacji poziomej. Wykonanie korka betonowego (faza C) umożliwia docelowo wypompowanie wody z wykopu (faza D) i prowadzenie dalszych robót – montaż kolejnej płyty kotwiącej, wykonanie warstwy chudego betonu i hydroizolacji, betonowanie płyty fundamentowej – na sucho (faza E).

Ten skróty opis robót fundamentowych wskazuje jak ważnym aspektem prowadzonych robót jest zapewnienie szczelności układu przed rozpoczęciem fazy E. W przypadku nieszczelności na tym etapie pod znakiem zapytania staje możliwość uzyskania szczelnej wanny fundamentowej, stanowiącej obudowę najniższej kondygnacji obiektu, często o charakterze użytkowym. Komplikuje to zarówno dalsze roboty we wnętrzu obiektu, jak i następnie bieżące użytkowanie obiektu, nie pozostając także bez wpływu na jego rzeczywistą trwałość.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest analiza zagrożeń, które mogą wystąpić w trakcie realizacji opisanego typu fundamentów, powodując niezapewnienie szczelności części fundamentowej obiektu.

2. Ryzyka zagrażające szczelności konstrukcji

Każdy z etapów wykonywania posadowienia pokazanych na rysunku 1 może nieść za sobą ryzyko nie uzyskania szczelności układu. Czynniki ryzyka omówione poniżej należy, zdaniem autorów, traktować jako prawdopodobne zagrożenia szczelności analizowanej konstrukcji. Analiza ich roli i rangi w konkretnym obiekcie, kiedy to kolejne fazy realizacji synergicznie sumują kolejne potencjalne przyczyny nieszczelności jest zagadnieniem trudnym i wykraczającym poza ramy tego artykułu. Kolejne czynniki ryzyka zostaną omówione w kolejności technologicznej.

2.1. Identyfikacja i ocena warunków gruntowo-wodnych

Właściwa identyfikacja i ocena warunków geologicznych/gruntowo-wodnych jest podstawą przyjmowania właściwych współczynników dla projektowania posadowienia a tym samym prawidłowego wykonania projektu a następnie prac. Ustalenie rzeczywistych charakterystyk fizyko-mechanicznych gruntu jest niejednokrotnie trudne z uwagi na niejednorodność geologiczną podłoża jak i przyjmowanie ogólnych wartości.

2.2. Wykonanie ścian szczelinowych i wykopu

Ściany szczelinowe wykonywane są metodą kontraktor i kotwione kotwami poziomymi. Ich szczelność zapewnia się przez powierzchniowe uszczelnienie, np. matą bentonitową, a kotwy dodatkowo powinny mieć uszczelki, np. pierścienie uszczelniające z taśmy bentonitowej.

Istnieje ryzyko nieuzyskania pełnej szczelności ścian szczelinowych, w tym zwłaszcza w rejonie przechodzenia przez ścianę kotew, pomimo bentonitowych uszczelek. Wpływ wody w rejonie kotew może stanowić źródło stałego napływu wody do wnętrza wanny fundamentowej w fazie „suchego wykopu”.

Wykop ograniczony zakotwionymi ścianami szczelinowymi pogłębiany jest (metodą wybierania gruntu lub metodą refulacji) do rzędnej odpowiadającej posadowieniu betonowego korka, przy czym w czasie pogłębiania może on samoistnie wypełniać się wodą. „Zbiornik”, który powstaje w wyniku usunięcia warstw gruntu (w tym np. humusu, torfów, namulów)

wypełnia się de facto nie wodą a zawiesiną różnych substancji, w tym także organicznych pochodzących z gruntu.

Nie jest to środowisko sprzyjające podwodnemu wykonaniu dobrej jakości betonu, ponieważ wymienione zanieczyszczenia mogą mieć bezpośredni wpływ tak na przebieg wiązania cementu, jak i na właściwości zaczynu/betonu, co może w efekcie pogarszać szczelność betonowego korka.

2.3. Wykonanie mikropali

Mikropale mają postać żerdzi stalowych o przekroju rurowym łączonych z segmentów o długości kilku metrów i są rozmieszczone w obszarze wykopu w regularnej siatce kwadratowej. Każdy mikropal powstaje w kilku fazach, które obejmują: opuszczenie traconych żerdzi z wiertłem przez wodę; wiercenie z jednoczesną iniekcją i dołączaniem kolejnych segmentów do docelowej głębokości; rozpięcie przez nurka żerdzi na granicy konstrukcji mikropala i tzw. „martwego przelotu”; naprowadzenie przez nurka „martwego przelotu” na pozycję kolejnego mikropala i dołączenie do niego koronki wiertniczej, tak aby dotychczasowy „martwy przelot” stał się „początkiem” konstrukcji tego kolejnego mikropala; – powrót nurka do wykonanego mikropala i zamocowanie głowicy z blachy stalowej z przelotowym otworem, na odcinku żerdzi wystającym o około 0,5 m nad dnem wykopu.

Konstrukcja mikropala z zastosowaniem dużej liczby połączeń odcinków żerdzi, pomimo deklarowanej przez producentów dużej szczelności złącza żerdzi (nawet 250 barów) oraz jego sztywności, może przyczynić się do zaburzeń jednorodności iniektu mikropala.

Osadzenie długiej części roboczej mikropala w silnie nawodnionym, niestabilnym gruncie czyni konstrukcję wrażliwą na oddziaływania statyczne i dynamiczne w tzw. fazie tymczasowej, kiedy to mikropal nie jest w pełni dociążony obiektem. Może to powodować niekontrolowane lokalne przemieszczenia poszczególnych mikropali, zwłaszcza biorąc pod uwagę sekwencję robót, w tym wykonywanie kolejnych mikropali, betonowanie korka, czy segmentowe betonowanie płyty.

Spośród czterech faz obciążenia tymczasowego mikropali (rys. 1 Fazy B2, C, D i E) najbardziej wytężony stan pracy mikropala związany jest z fazą D, kiedy to mikropal po odpompowaniu wody dociążony jest jedynie korkiem betonowym a działają na niego siły wyporu od nawodnionego gruntu uwięzionego pod betonowanym korkiem.

Odpięcie rurowej żerdzi „martwego przelotu” od konstrukcji mikropala bezpośrednio po jego uformowaniu powoduje przepływ wody w otworze centralnym żerdzi (rys. 1 Faza B2) i jej mieszanie z iniektem, uwzględniając, że otwór głowicy ponad dnem narażony jest na działanie dużego ciśnienia słupa wody. Momentem zakończenia tłoczenia iniektu w konstrukcję mikropala jest wzrost odczytu ciśnienia na urządzeniu kontrolnym. Oznacza to wiązanie zaczynu w strefie końcówki wiertniczej, ale nie jest równoznaczne z zapewnieniem uniemożliwienia późniejszego przepływu wody od góry w otworze żerdzi, czy też wypływu rozwodnionego iniektu na dole żerdzi.

Dochowanie wymaganego – zwykle dość niskiego – współczynnika w/c iniektu na całej wysokości roboczej mikropala – w tak złożonych warunkach jest trudne. Możliwość mieszania się zaczynu i wody w strefie otworu dostępnej od góry po rozłączeniu żerdzi przez nurka, jak i w dolnej części mikropala (po wypływie z żerdzi) będzie skutkowało podwyższeniem w/c, zmianą przebiegu wiązania i obniżeniem właściwości po stwardnieniu (większa porowatość, niższa wytrzymałość). W efekcie może to prowadzić do migracji wody w mikropalu.

2.4. Zabetonowanie korka

Korek betonowy – w postaci betonowej płyty o znacznej grubości, oparty jest na mikropalach. Każdy mikropal zakotwiony jest od góry w „korku” za pomocą płyty kotwiącej połączonej z kolejnym odcinkiem żerdzi wychodzącym ponad wierzch korka i stanowiącym starter do betonowania płyty fundamentowej. Zakończenie mikropala stanowi kolejna płyta kotwiąca nad górną powierzchnią korka (rys. 1 Faza C). Betonowanie podwodne korka musi być realizowane jako proces ciągły, co przy znacznej powierzchni fundamentu stanowi wyzwanie technologiczne i logistyczne.

Każdy mikropal przechodzi na wskroś przez grubość betonowego korka, przy czym złącze żerdzi znajduje się wewnątrz płyty. Otwór centralny w żerdzi mikropala stanowi drogę migracji wody pod ciśnieniem, a ewentualna nieszczelność złącza w grubości korka może stanowić o lokalnym zaburzeniu twardnienia i pogorszeniu jakości betonu i w efekcie także nieszczelności strefy przyczepności pomiędzy żerdzią a betonem korka.

Skala, trudność betonowania korka i czas jego trwania, w połączeniu z małym rozstawem mikropali każą zwrócić uwagę na zagrożenie szczelności korka w wyniku przemieszczeń i drgań żerdzi w tężejącym betonie (puste przestrzenie wokół żerdzi!) powodowanych oddziaływaniami robót w otoczeniu. Specyfika i trudność betonowania korka wynika z operowania strumieniem mieszanki pod wodą niejako „na ślepo” pomiędzy końcami żerdzi, i konieczności zapewnienia ciągłości betonowania, aby uzyskać monolityczność konstrukcji (szwy robocze pomiędzy kolejnymi pasami).

2.5. Odpompowanie wody znad korka w celu uzyskania „szczelnego wykopu”

Wodę z wnętrza wykopu znad korka odpompowuje się po uzyskaniu przez beton korka pełnej wytrzymałości. W efekcie odsłania się jego górną powierzchnię z wystającymi końcówkami żerdzi.

Sytuacja po odpompowaniu wody jest stanem największego wyężenia mikropala poddanego działaniu siły wyporu nawodnionego gruntu pod korkiem a dociążonego jedynie płytą korka. W sytuacji synergicznego działania negatywnych czynników omówionych we wcześniejszych fazach występuje w związku z tym ryzyko uszkodzenia (zarysowania) konstrukcji korka.

Wypompowanie wody z wykopu ograniczonego ścianami szczelinowymi i korkiem zmienia warunki na powierzchni korka betonowego, związane z wysychaniem i nagrzewaniem betonu. W takich warunkach zachodzi ryzyko powstania zmiennych i zróżnicowanych pól ciepłno-wilgotnościowych w konstrukcji korka, co może prowadzić do zarysowania betonu.

2.6. Wykonanie płyty fundamentowej

Wykonanie płyty fundamentowej (rys 1 Faza E) wymaga prac przygotowawczych obejmujących czyszczenie dna wykopu (tj. powierzchni korka) z mułu i zabrudzeń, wyrównywanie go poprzez frezowanie powierzchni i uszczelnienie za pomocą żywicy. Następnie – wykonuje się warstwę chudego betonu, która stanowi podkład pod hydroizolację, np. z mat bentonitowo-haloizytowych. Ponieważ powyżej hydroizolacji muszą wystawać końce żerdzi mikropali istnieje konieczność dodatkowego uszczelnienia wokół każdej żerdzi, np. w postaci taśm pęczniejących mocowanych szpachlą z granulatem bentonitowo-haloizytowym. Wykonywanie płyty betonowej w „suchych” warunkach wymaga ciągłej pracy pomp odprowadzających pewne ilości wody pochodzącej w sposób nieunikniony z przecieków w ścianach szczelinowych i ewentualnie wody napływającej przez dno wykopu oraz wody opadowej. Tak więc,

pomimo teoretycznie „suchego wykopu”, należy brać pod uwagę występowanie wody na dnie w trakcie betonowania płyty fundamentowej.

Zbieranie się wody na górnej powierzchni korka betonowego pomimo jej stałego odpompowywania w czasie betonowania płyty fundamentowej, prowadzić może do zakłóceń w betonowaniu płyty co może skutkować powstaniem niemożliwego do przewidzenia i określenia rozszczelnienia korka betonowego w trakcie układania betonu i w efekcie lokalnym pogorszeniem jakości betonu płyty fundamentowej.

Żelbetowa płyta fundamentowa, projektowana jest zgodnie z EC2 na dopuszczalną szerokość rysy (np. 0,2 mm). Skomplikowany rozkład naprężeń w płycie, związany między innymi z zakotwieniem w niej licznych mikropali, może jednak powodować nieregularny rozkład rys w płycie, wpływający na szczelność konstrukcji płyty. Ponadto dopuszczalna szerokość rysy przyjmowana z uwagi na zginanie nie uwzględnia „pracy” od skurczu i termiki, w tym długiego okresu narastania skurczu od wysychania [6].

Ryzyko przecieków związane jest także z trudnościami wykonawczymi przejść elementów instalacyjnych przez izolację oraz z zaizolowaniem przejść żerdzi mikropali przez izolację.

Niejednokrotnie prace przygotowawcze obejmują uszczelnienie wszelkich ciekących zarysowań, czyszczenie wierzchu korka betonowego z wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń, wyrównanie powierzchni zgodnie z wymaganiami przewidzianych do zastosowania systemów hydroizolacyjnych. Jak wspomniano wcześniej, uzyskanie jednorodnego, szczelnego podłoża pod wykonanie kolejnego etapu prac nie jest łatwe nawet dla bardzo doświadczonych firm. W zależności od przyjętych założeń projektowych w zakresie uzyskania szczelności części podziemnej budowli, kolejnym etapem może być wykonanie izolacji wodoszczelnej (najczęściej typu ciężkiego). Dobór systemu uszczelniającego związany jest z koniecznością zapewnienia właściwej odpowiedzi na zagrożenia z tytułu występującego parcia wody oraz agresywności środowiska. Wykonanie kompleksowego i bezpiecznego uszczelnienia jest zadaniem zespołu projektowego z istotnym udziałem projektanta konstrukcji i architekta. W rozwiązaniach będących przedmiotem tego opracowania zastosowano uszczelnienia w formie izolacji powłokowej (maty bentonitowe, papy, membrany); coraz częściej wykonuje się uszczelnienia w formie szczelnej konstrukcji żelbetowej (tzw. „biała wanna”).

W przypadku stosowania zewnętrznych systemów wodoszczelnych konieczność zachowania reżimu realizacyjnego narzuconego przez producentów w kontekście ilości czynności związanych z wykonaniem płyty dennej (zbrojenie, betonowanie, podział na sekcje i działki robocze) kończy się nie zawsze najlepszym kompromisem. Problem może stanowić:

- zapewnienie ciągłości poszczególnych systemów lub zapewnienie szczelności na styku pomiędzy różnie zabezpieczonymi fragmentami budynków (np. styk płyta denna / ściana szczelinowa);
- zapewnienie właściwych warunków ochrony materiału izolacyjnego w rejonie wykonywanych prac konstrukcyjnych w tym szczególnie szczelności w rejonie styku roboczego płyty dennej, który z uwagi na konieczność minimalizowania wpływu skurczu powinien być niezabudowywany przez jak najdłuższy czas;
- zminimalizowanie przebieg i przejść instalacyjnych przez projektowaną powłokę. Dotyczy to zarówno instalacji technicznych jak kanalizacja lub przyłącza ale także urządzeń tymczasowych jak studnie, igłofiltry, piezometry, urządzenia do pomiaru wysokości wody oraz elementów konstrukcyjnych jak barety, pale lub opisywane w tym artykule mikropale.

Wykonanie prac uszczelniających zwykle wymaga stałego odpompowywania wody z dna przygotowanego wykopu a często także stałego zmniejszania ciśnienia wody napierającej na korek betonowy.

Zaprojektowanie i wykonanie żelbetowej płyty fundamentowej związane jest z uwzględnieniem wielu czynników z których najistotniejszym jest zapewnienie bezpieczeństwa i trwałości

realizowanego budynku. Z uwagi na to, w zależności od projektowanego sposobu użytkowania części podziemnej, docelowych warstw licowych oraz wspomnianych wcześniej zagrożeń od strony gruntu, projektant zakłada możliwość powstania rys o szerokości 0.1, 0.2, 0.25, 0.3 mm. W tym zakresie stosowane w praktyce normy (PN i eurokod) różnią się podejściem. Przewidzenie i minimalizacja zarysowań jest szczególnie istotne przy konieczności spełnienia przez element konstrukcyjny dodatkowej roli (np. izolacji wodoszczelnej) lub własnej ochrony przed czynnikami szkodliwymi (klasy ekspozycji np. XA, XC, XD). Metody obliczeniowego projektowania zbrojenia niezbędnego dla minimalizacji ryzyka nie są doskonałe a uzyskiwane przekroje zbrojenia wydają się nieekonomiczne. Pomimo istnienia kilku bardzo istotnych opracowań dotyczących możliwych sposobów wymiarowania płyt fundamentowych brak jest wypracowanego algorytmu uwzględniającego wszystkie oczekiwania i czynniki ryzyka. W tej sytuacji niezmiernie istotne staje się także zaprojektowanie odpowiedniego składu mieszanki betonowej, technologii jej wbudowania oraz późniejszej pielęgnacji betonu.

Projektowany skład betonu musi uwzględniać wymagania konstrukcyjne wyrażone projektem ale także wymagania technologiczne związane z jego wbudowaniem. W przypadku płyt fundamentowych pojawia się problem obniżania temperatury wiązania w kontekście możliwych do stosowania rodzajów cementu oraz przewidzianych do montażu warstw podłogowych.

Technologia wbudowania uwzględnić musi wielkość i kształt działek roboczych, czas i zasady betonowania w celu uniknięcia powstawania „zimnych styków” mogących być źródłem późniejszych zarysowań lub przecieków. Przyjęte rozwiązania wpływać będą także na rozwiązania hydroizolacyjne w przerwach roboczych, wybór deskowań i zabezpieczeń.

Niezwykle istotnym problemem w przypadku tego typu realizacji pozostaje opracowanie prawidłowych i zindywidualizowanych zasad pielęgnacji i zabezpieczeń betonu od momentu wbudowania, uwzględniających masywność elementu, charakterystykę betonu i warunki atmosferyczne.

3. Metody nieniszczące jako narzędzie oceny jednorodności płyty żelbetowej

Przeanalizowane wyżej możliwe ryzyka wystąpienia nieszczelności mogą powodować skutki widoczne już na etapie prowadzenia kolejnych robót, jak np. przecieki przez rysy widoczne na powierzchni korka lub specyficzne zachowanie się mieszanki betonowej podczas betonowania płyty fundamentowej w miejscach intensywnego wypływu wody, sygnalizowane w konkretnych opisach budów jako „przesączanie wody przez mieszankę betonową” czy wręcz lokalne „gejzery”. Z reguły konieczna jest jednak także diagnostyka stanu ustroju fundamentowego już po jego wykonaniu. Z oczywistych przyczyn w grę wchodzi w zasadzie tylko nieniszczące systemy pomiarowe NDT. Do oceny jednorodności struktury płyty dennej można zastosować przykładowo dwie metody: Ground Penetrating Radar (GPR) oraz Impact-Echo (IE) – tabl. 1.

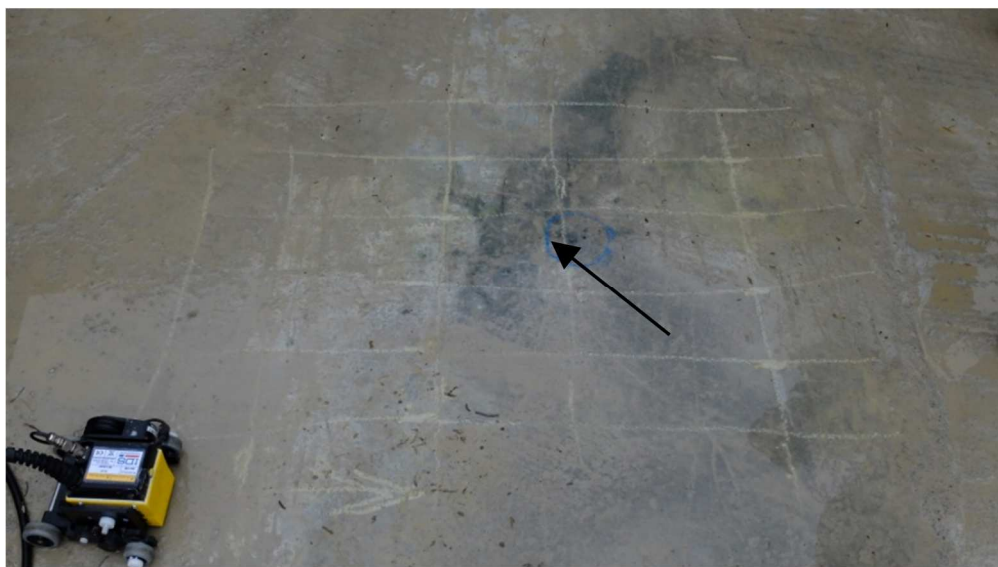
Zastosowanie powyższych metod jest znacznie utrudnione w miejscach, w których występują przecieki wody na powierzchni i jest obecna warstwa wody. Autorzy podjęli jednak próby przetestowania przydatności obu metod do badania jednorodności betonu po „ściągnięciu” wody z badanej powierzchni (rys. 2a). Należy zauważyć, że w warunkach budowy utrzymanie powierzchni elementu bez wody było praktycznie niemożliwe (rys. 2b).

nasycenia betonu wodą. Wskazuje to jednocześnie na konieczność osuszenia powierzchni przed przystąpieniem do badań którejkolwiek z metod NDT wykorzystujących fale sprężyste.

Metoda GPR

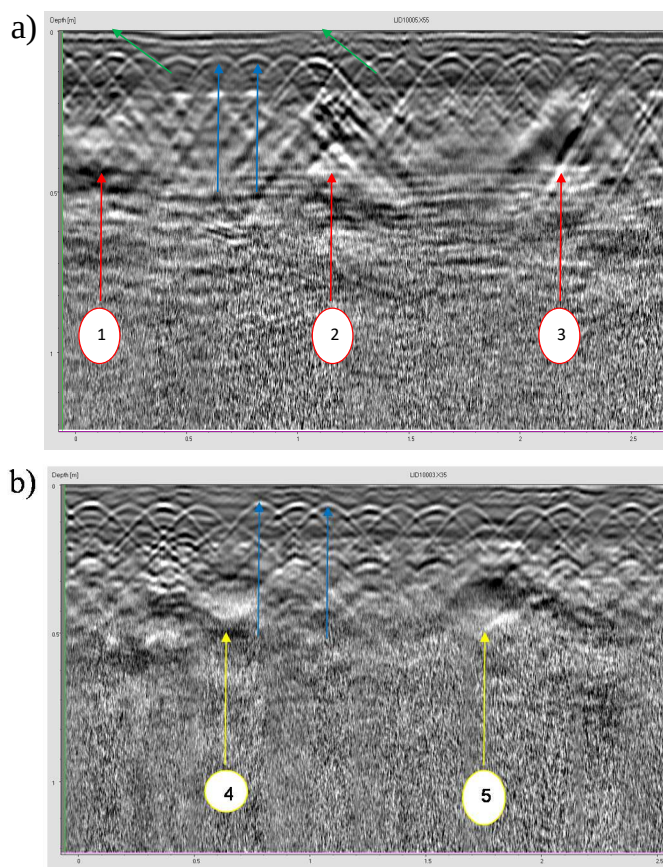
Badania na obiekcie przeprowadzono głowicą GPR o częstotliwości 1,6 GHz. Analizowano przekroje o długości około 250 cm. Zobrazowanie B-scan uzyskane metodą GPR w lokalizacji 1 (rys. 3), w której stwierdzono przeciek, jest zbliżone charakterem do obrazu w lokalizacji 2 – referencyjnej, w której nie wystąpiły przecieki.

W obydwu badanych lokalizacjach wyraźnie widoczne są pręty zbrojenia górnej siatki płyty – na obrazach są to wierzchołki parabol wskazane na rys. 4. W obrazie uzyskanym w lokalizacji 1 stwierdzono zaburzenia na głębokości ok. 30–50 cm, w rozstawie poziomym ok. 110 cm (czerwone strzałki na rys. 4a). Mają one regularny charakter, ewentualne różnice w obrazowaniu obszarów 1, 3 i 2 oraz analogicznych w lokalizacji referencyjnej obszarów 4, 5 (rys. 4b, strzałki żółte) mogą być spowodowane zawilgoceniem powierzchni płyty betonowej, po której była prowadzona głowica aparatury GPR – znajduje to potwierdzenie w zróżnicowanym obrazowaniu strefy przypowierzchniowej. W badaniach metodą GPR nie stwierdzono wyraźnych różnic pomiędzy obrazowaniem obszarów w lokalizacji 1 oraz w lokalizacji 2, które pozwalałyby wnioskować o niedogęszczonych miejscach płyty betonowej (lokalizacja przecieków). Wynika to z obecności gęsto rozmieszczonych prętów zbrojeniowych płyty betonowej, które ograniczają czytelność obrazu w strefie poniżej prętów oraz zawilgocenia powierzchni betonu, które powoduje zmiany właściwości ośrodka i lokalne zaburzenia sygnału.



Rys. 3. Badanie metodą GPR w lokalizacji 1 – strzałką oznaczono miejsce przecieku wody

Uzyskane wyniki nie przekreślają możliwości zastosowania metod nieniszczących do wykrycia występujących wad struktury płyty żelbetowej. Wskazane jest jednak użycie innych metod wykorzystujących fale sprężyste, np. metoda odpowiedzi na impuls (metoda „impulse-response”) lub tomografia ultradźwiękowa. W przypadku metody GPR wskazane byłoby zastosowanie głowicy o niższych częstotliwościach



Rys. 4. Obraz uzyskany metodą GPR w lokalizacji: a) obszar, w którym stwierdzono przeciek;
b) obszar referencyjny – brak przecieków

4. Wnioski i podsumowanie

Analiza aspektów technologiczno-materiałowych wykonywania szczelnej wanny fundamentowej posadowionej na mikropalach w warunkach dużego naporu wody gruntowej pozwoliła na zidentyfikowanie następujących czynników ryzyka zagrażających szczelności konstrukcji części fundamentowej obiektu:

- wycieki przez kotwy ścian szczelinowych;
- wpływ stanu zanieczyszczenia wody w wykopie na jakość „betonu podwodnego”;
- szczelność połączeń odcinków żerdzi mikropala;
- odkształcenia/przemieszczenia części roboczej mikropala w wyniku mechanicznych oddziaływań zewnętrznych w silnie nawodnionym gruncie;
- migracja wody przez otwór centralny żerdzi mikropala w fazie wykonywania iniekcji;
- jakość zaczynu i stan wypełnienia otworu w żerdzi;
- migracja wody przez otwór w żerdzi w obrębie grubości korka betonowego, z uwzględnieniem ryzyka nieszczelności złącza żerdzi mikropala usytuowanego w korku;
- przemieszczanie i drganie żerdzi mikropala w trakcie betonowania korka;
- nieuwzględnienie efektu wyciągania mikropali przez siłę wyporu wody od dołu korka i ich oddziaływania na korek;

- ryzyko zarysowań powierzchni korka po wypompowaniu wody, z uwagi na skurcz i termikę wysychającego betonu;
- przecieki przez korek jako zakłócenia betonowania płyty fundamentowej;
- złożony stan zarysowań płyty fundamentowej, dopuszczalny konstrukcyjnie, ale zwiększający ryzyko nieszczelności;
- komplikacja wykonania skutecznej izolacji przeciwwodnej płyty fundamentowej z uwagi na wystające końce żerdzi mikropali.

Próby diagnostyki ewentualnych nieszczelności metodami nieniszczącymi, podjęte przez autorów wykazały, że jest to trudne, a ograniczenia wynikają przede wszystkim z faktu, że badania dotyczą powierzchni potencjalnie stale silnie zawilgoconych, co ogranicza zakres możliwych do wykorzystania metod.

Jednocześnie warto zauważyć, że naprawa ewentualnych nieszczelności w tego typu konstrukcji jest trudna i należy liczyć się z faktem, że nie musi być ona w pełni skuteczna. Tak więc identyfikacja zagrożeń i zapobieganie im już na etapie wykonywania robót jest szczególnie istotna z punktu widzenia użyteczności i trwałości obiektu.

Literatura

1. Kłosiński B., Mikropale – stan techniki i projektowanie, materiały seminarium „Konstrukcje stalowe w geotechnice”, Warszawa, 18 listopada 2010 r;
2. Rychlewski P., Wzmacnianie i fundamentowanie obiektów na mikropalach, Inżynier Budownictwa, 03/2014;
3. Szruba M., Pale i mikropale w budownictwie, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, lipiec–sierpień 2016 r.
4. Sierant J., Kotwienie płyty dennej budynku Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne 7–8/2014, 34–37;
5. Tomczak U., Tomczak H., Wykonanie suchego wykopu budowy Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku, Inżynier Budownictwa, 07/2016;
6. Flaga K.: Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych. Monografia nr 295. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2004.

THE RISK OF LEAKAGE OF THE REINFORCED CONCRETE SLABS SET ON MICRO-PILES UNDER HIGH WATER PRESSURE

Abstract: One of the solutions of the problem of foundation in unfavorable ground-water conditions is the technology of the watertight concrete system. In the case of the very high ground-water level and low-quality soil, it is necessary to support the concrete slab on a system of micropiles. The objective of this paper is the analysis of risks that may arise for this type of concrete foundations. This can cause lack of concrete slab tightness and water leakage. Possible NDT methods for such difficult conditions were also analyzed.

Keywords: micropiles, tightness of concrete foundation, watertight concrete system, NDT methods