

Krzysztof WILK¹

FUNDAMENTOWANIE NA OBSZARZE PRADOLINY PODKARPACKIEJ – PRZEGLĄD METOD I MOŻLIWOŚCI ROZWIĄZANIA ALTERNATYWNEGO

W artykule zamieszczono opis stosowanych na terenie Rzeszowa w obrębie Pradoliny Podkarpackiej metod fundamentowania. Sposoby posadowienia obiektów stosowane w przeszłości porównano z rozwiązaniami dominującymi obecnie. Wskazano na zalety i niedoskonałości różnych rozwiązań fundamentowych. W kontekście specyfiki warunków gruntowo-wodnych występujących w Rzeszowie zwrócono uwagę na alternatywny sposób posadowienia pośredniego za pomocą pali rzeszowskich – koncepcji opracowanej przez prof. Jana Jaremskiego. Wspomniane rozwiązanie zostało z powodzeniem zastosowane w praktyce i wiele wskazuje na to iż, obecna metodyka określania nośności fundamentów pośrednich znacząco niedoszacowuje możliwości przenoszenia obciążeń przez takie fundamenty.

Słowa kluczowe: grunty słabonośne, podłoże madowe, posadowienie bezpośrednie, posadowienie pośrednie, mikropale, pale rzeszowskie, iniekcja, wzmocnianie fundamentów

1. Wprowadzenie

Właściwy dobór sposobu fundamentowania obiektów budowlanych stanowi nie tylko podstawę bezpieczeństwa każdej konstrukcji – jest również jednym z głównych czynników decydujących o kosztach przyszłej inwestycji. Z tego powodu ważne jest, aby decyzje podejmowane na etapie projektowania obiektów były racjonalne i uwzględniały wszelkie czynniki mogące mieć wpływ na rozwiązanie problemu.

Warunkiem optymalnego posadowienia na gruntach typowych dla Pradoliny Podkarpackiej w Rzeszowie jest bardzo skrupulatne rozpoznanie warunków gruntowych. Jest ono kluczem do podjęcia później właściwych decyzji odnośnie rozwiązań fundamentowych. Miejscowa zmienność podłoża jest powszechna dla

¹ Krzysztof Wilk, Politechnika Rzeszowska, Zakład Geodezji i Geotechniki im. Kaspra Weigla, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel.: 17 865 1006; e-mail: kwilk@prz.edu.pl

centralnej części Rzeszowa, na której dominuje podłoże aluwialne. Osłabienie parametrów gruntu może występować jedynie lokalnie, zmiany mają miejsce na bardzo małej przestrzeni i głębokości, zatem pożądane jest, aby liczba otworów badawczych nie ograniczała się do minimum. Również zakres rozpoznania nie powinien sprowadzać się do określenia miąższości poszczególnych warstw i analizy makroskopowej. W wielu przypadkach zasadnym jest, aby obejmował także cały wachlarz badań cech mechanicznych: wytrzymałościowych i odkształceniowych.

2. Budowa geotechniczna Pradoliny Podkarpackiej

Pradolina Podkarpacka jest częścią Zapadliska Przedkarpackiego, którego trzeciorzędowe podłoże tworzą ility krakowieckie. Te ility i iłolupki z pylastymi i piaszczystymi przewarstwieniami są produktami akumulacji morskiej z okresu miocenu. Ily krakowieckie zalegają przeważnie na głębokościach przekraczających 10 m i tym samym mogą stanowić oparcie jedynie dla fundamentów głębokich.

Czwartorzędowe podłoże centralnej i północnej części Rzeszowa budują grunty akumulacji wodnej. Bezpośrednio nad warstwą mioceńskich iłów, przez wody topniejącego lodowca podczas glacjału południowopolskiego (Sannu), zostały zdeponowane żwiry. Powyżej odłożone są piaski o drobniejszym uziarnieniu, a także miejscowo warstwy organiczne.

Nad opisanymi gruntami zalegają warstwy spoiste [1, 2, 3, 4]. Reprezentowane są one przez pyły, pyły piaszczyste, piaski gliniaste oraz średnio spoiste gliny, a także gliny pylaste i gliny piaszczyste. Z uwagi na licznie występujące w przeszłości zastoiska wód powierzchniowych, pomiędzy gruntami spoistymi spotkać można przewarstwienia torfów i namułów.

Spoiste podłoże Pradoliny Podkarpackiej zbudowane jest z gruntów akumulacji rzecznej – mad, które nie zostały wyodrębnione w klasyfikacji gruntów. Mogą one posiadać zróżnicowane uziarnienie, a ich naturalną cechą jest zmienność litologiczna oraz niewielka zawartość części organicznych [5]. Zawartość substancji organicznej na poziomie kilku procent nie powinna jednak powodować odrzucenia wspomnianych gruntów jako podłoża obiektów przekazujących niewielkie obciążenie.

Opisane wyżej właściwości gruntów należy uznać za szczególne, które nie zostały uwzględnione w ogólnej charakterystyce podłoża opisanej normami PN-88/B04481 i PN-81/B-03020. Można mówić również o pewnym regionalizmie jeśli chodzi o budowę i właściwości podłoża. Fakt ten wymusza indywidualne lokalne podejście zarówno do określania charakterystyki geotechnicznej gruntów, jak i później stosowanych rozwiązań odnośnie posadowienia obiektów.

Zdecydowana większość dokumentacji geotechnicznych, opisując parametry mechaniczne gruntów, bazuje na zależnościach proponowanych w normie PN-81/B-03020 [7]. Takiego podejścia nie można uznać za poprawne. Koniecz-

ne w takich przypadkach jest przeprowadzenie adekwatnych badań laboratoryjnych, pozwalających na dokładne ilościowe wyznaczenie parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych.

Pomimo zalegania w podłożu gruntów spoistych, częstym zjawiskiem podczas realizacji robót ziemnych są lokalne wysięki wody, niekiedy dosyć intensywne i tym samym zagrażające stateczności skarp wykopów. Jest to skutek napiętego zwierciadła wód gruntowych, powiązanych z warstwą żwirów i piasków pokrywających mioceńskie dno Pradoliny Podkarpackiej. Będąca pod ciśnieniem woda wytworzyła w warstwach spoistych szczeliny sufozyjne, będące drogami uprzywilejowanej, przyspieszonej filtracji wody.

3. Metody bezpośredniego fundamentowania obiektów w nawiązaniu do podłoża aluwialnego

Podstawowe techniki bezpośredniego posadowienia obiektów budowlanych polegają na zastosowaniu stóp oraz ław fundamentowych, rusztów, a także płyt lub skrzyń fundamentowych.

W przypadku posadowienia na podłożu zbudowanym z gruntów akumulacji rzecznej fundamentowanie na stopach i ławach dotyczyć powinno jedynie obiektów niskich, o prostej konstrukcji, tym samym niewielkiej wrażliwości na nierównomierne osiadania. Aby uniknąć problemów związanych z miejscową zmiennością warunków gruntowych w wielu przypadkach zasadnym jest usztywnienie konstrukcji fundamentów poprzez wykonanie rusztu.

Dobrze sprawdzają się w warunkach rzeszowskich fundamenty płytowe, na których posadowione zostały wysokie budynki mieszkalne np. osiedla Nowe Miasto. Dzięki dużej powierzchni zmniejszają nacisk powierzchniowy obiektu na podłoże, z kolei duża sztywność kompensuje wiele niejednorodności w maszywie gruntowym. Co prawda osiadania budynku mogą być znaczące, jednak w przypadku odpowiedniego rozpoznania podłoża można wcześniej przewidzieć ich wartości i odpowiednio skompensować.

Obecnie na rynku inwestycji mieszkaniowych często mamy do czynienia z celowym przewymiarowaniem fundamentów, co ma pewne uzasadnienie praktyczne. Z uwagi na ograniczoną dostępność terenu do lokalizowania miejsc parkingowych projektowane są one w podziemnych częściach budynków wielorodzinnych. Stosując płyty fundamentowe inwestorzy ograniczają nakłady i czas realizacji inwestycji.

Możliwymi rozwiązaniami problemu w sytuacjach występowania w podłożu gruntów o niskich parametrach mechanicznych mogą być:

- wymiana gruntu, zastosowanie poduszek piaskowych,
- przyspieszenie konsolidacji podłoża,
- posadowienie głębokie (pośrednie) obiektu,
- zwiększenie wymiarów poziomych fundamentów bezpośrednich.

Wymienione sposoby mają swoje ograniczenia, oprócz uwarunkowań technicznych, przede wszystkim finansowe.

Racjonalna wymiana gruntu może sięgać głębokości do kilku metrów, przy założeniu sprzyjającego położenia poziomu wód gruntowych. Ten sposób jest nieskomplikowanym i bardzo tanim rozwiązaniem. Należy jednak pamiętać, że wymiana dotyczyć powinna większego obszaru niż obrys fundamentów budowli. Stąd przy znacznym stosunku długości boków obiektu nieproporcjonalnie wzrośnie koszt tej metody. W miejsce usuniętego gruntu słabego wbudowywany jest z reguły odpowiednio zagęszczany grunt niespoisty. Jeżeli planowana jest jedynie częściowa wymiana podłoża stosowane są dodatkowe wzmocnienia geosyntetykami.

Konsolidacja, czyli przeciążenie podłoża mające na celu zwiększenie gęstości gruntu i tym samym wzrost jego parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych, jest procesem długotrwałym – zwłaszcza w przypadku podłoża organicznego. Jest to spowodowane niskim współczynnikiem filtracji takich gruntów. W celu przyspieszenia odpływu wody z ośrodka gruntowego stosować można dodatkowe pionowe dreny syntetyczne, bądź dreny w postaci kolumn żwirowych.

W przypadku niezbyt dużych obciążeń generowanych przez obiekty budowlane wystarczającym sposobem posadowienia mogą zostać fundamenty bezpośrednie. Wiąże się to z większymi wymiarami ław, usztywnieniem fundamentów za pomocą rusztu lub koniecznością posadowienia całej budowli na płycie. Wzrost wymiarów podstawy fundamentów prowadzi, co prawda do redukcji naprężenia przekazywanego na grunt, ale tym samym zwiększa się zasięg strefy aktywnej, czyli głębokości na której dochodzić będzie do osiadania podłoża.

Posadowienie bezpośrednie może być racjonalne w przypadku warstwy organicznej zalegającej na znacznej głębokości i przy jej niewielkiej miąższości. Strefa aktywna pod fundamentem może nie sięgać lub sięgać w ograniczonym zakresie do tej warstwy. Tym samym odkształcenia podłoża mogą być mało istotne dla wznoszonej budowli.

Należy zwrócić uwagę, że w większości przypadków najbardziej niebezpieczne dla budowli nie są duże wartości osiadania lecz ich znaczące różnice pomiędzy poszczególnymi częściami konstrukcji. Prowadzi to do wystąpienia w elementach konstrukcyjnych dużych wartości sił wewnętrznych, które jako efekty II-go rzędu nie zawsze są uwzględniane wcześniej w analizach statyczno-wytrzymałościowych. Wrażliwość konstrukcji na nierównomierne osiadania zależy od:

- zastosowanych schematów statycznych i rozwiązań konstrukcyjnych mających wpływ na sztywność obiektu,
- rozwiązań materiałowych,
- wartości osiadania poszczególnych części budowli z uwzględnieniem jej gabarytów.

4. Fundamentowanie pośrednie

Niejednorodność przypowierzchniowej części podłoża akumulacyjnego Pradoliny Podkarpackiej oraz dobre właściwości mechaniczne warstwy gruntów niespoistych zalegających na łałach trzeciorzędowych zachęca do pośredniego posadowienia ciężkich obiektów budowlanych. Fundamenty palowe stosowane są coraz powszechniej z uwagi na większą dostępność takich technologii i co za tym idzie, znaczące obniżenie kosztów.

Początkowo na terenie Rzeszowa stosowane były pale Wolfscholtza. Ich technologia była kiedyś optymalną z uwagi na możliwość „suchego” betonowania i tym samym dobrą jakość materiału konstrukcyjnego. Napięty poziom wód gruntowych stanowi duży problem wykonawczy, zwłaszcza jeśli bezpośrednio wykopy w gruncie (w tym przypadku otwory pali) łączyć się będą z warstwą wodonośną. Napływająca pod dużym ciśnieniem woda może powodować rozsegregowanie mieszanki betonowej i wypłukanie spoiwa.

Obecnie najczęściej stosowaną technologią posadowienia pośredniego większych obiektów budowlanych są pale przemieszczeniowe niewielkich średnic 30 – 50 cm. Ich długość determinowana jest położeniem warstwy polodowcowych gruntów niespoistych.

W przypadku fundamentowania inżynierskich obiektów komunikacyjnych wykorzystywane są żelbetowe pale prefabrykowane, a dla większych obciążeń pale wielkośrednicowe.

Do niedawna posadowienie pośrednie na słabym podłożu, najczęściej za pomocą pali fundamentowych było dosyć drogim rozwiązaniem problemu. Koszt tego typu rozwiązań często zwiększała konieczność stosowania rur osłonowych oraz platform roboczych dla ciężkiego sprzętu budowlanego. Poza tym fundamenty takie mają stosunkowo niewielką nośność poziomą.

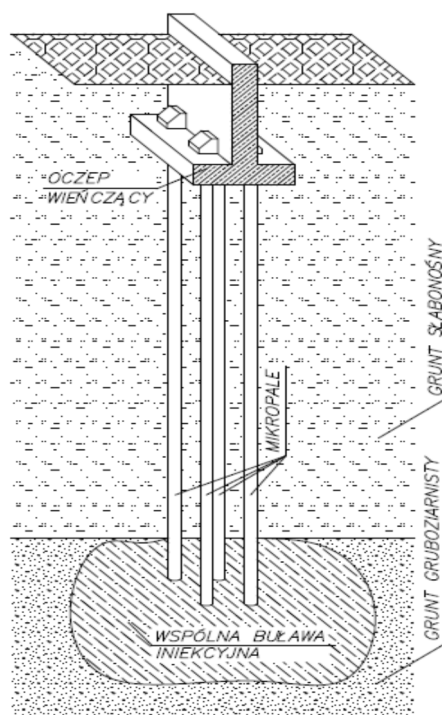
Alternatywnym i prostym rozwiązaniem, zwłaszcza w odniesieniu do gruntów o dużej zawartości części organicznych mogą być studnie fundamentowe. Najlepiej jeśli strop warstwy nośnej zalega niezbyt głęboko, bezpośrednio pod torfami. Problemem przy ich wykonaniu jest wysoki poziom piezometryczny wody gruntowej.

5. Pale rzeszowskie jako alternatywny sposób posadowienia obiektów budowlanych

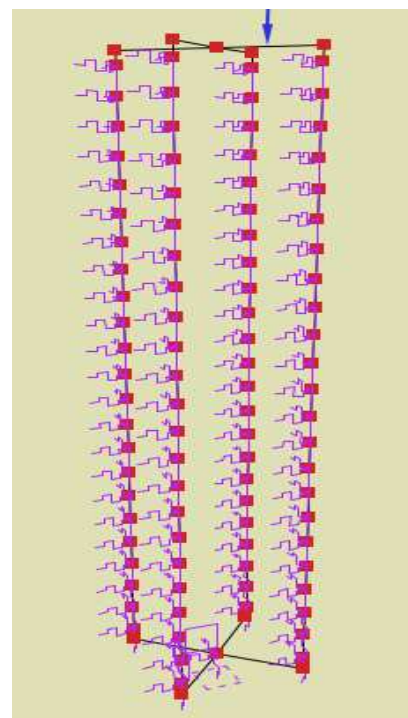
Pale rzeszowskie stanowią nowatorskie podejście do rozwiązania problemów z posadowieniem obiektów budowlanych w szczególnych warunkach gruntowych, jakie występują na obszarze Pradoliny Podkarpackiej. Jest to rozwiązanie opracowane przez prof. Jana Jaremskiego zakładające możliwość zwiększenia nośności wspólnie przenoszącej obciążenia grupy mikropali poprzez połączenie ich podstaw [8].

Aby powyższe było możliwe podłoże gruntowe musi być zbudowane w specyficzny sposób tzn. pod warstwami gruntów słabonośnych, uniemożliwiających bezpośrednie posadowienie obiektu powinny zalegać grunty niespoiste pozwalające na wykonanie iniekcji z zaczynu cementowego.

Nośność klasycznych mikropali z uwagi na ich niewielką średnicę nie jest duża. Jak w przypadku każdego pala o ich zdolności do przeniesienia obciążeń stanowi nośność podstawy oraz nośność pobocznic. Często w obliczeniach nośność podstawy ze względu na małą powierzchnię jest pomijana



Rys. 1. Rysunek poglądowy pala rzeszowskiego
Fig. 1. Drawing illustration of rzeszowski pile



Rys. 2. Schemat obliczeniowy pala rzeszowskiego
Fig. 2. Calculation scheme of rzeszowski

Opisana charakterystyka sposobu przenoszenia obciążeń przez mikropale sugeruje, że takie rozwiązania nie będą korzystne w sytuacji, gdy pod podstawą występują warstwy o dużej nośności, a na wysokości pobocznic grunty słabonośne. Tymczasem w proponowanym w palach rzeszowskich rozwiązaniu sposób przekazywania obciążeń jest diametralnie odmienny od tradycyjnych mikropali. Praca pobocznic jest pomijana, natomiast obciążenia przekazywane są przez podstawę fundamentu. Podstawę, która jest poddana iniekcji zaczynem

cementowym, przez co w gruncie niespoistym tworzona jest buława o znacznych wymiarach, zależnych od porowatości ośrodka gruntowego i tym samym możliwości rozchodzenia się iniektu w gruncie. Ważną pozytywną cechą takiego rozwiązania jest to, że buławy iniektowane w warstwie gruntu niespoistego łączyć będą sąsiednie elementy, przez co utworzona zostanie wspólna podstawa grupy mikropali (rys. 1). Zakładając bardzo dużą nośność podstawy (wynikająca z jej wymiarów) nośność pala będzie ograniczona wytrzymałością przekroju mikropali w warstwie gruntów słabonośnych. Ustalając tę nośność należy wziąć pod uwagę zmniejszenie wytrzymałości z uwagi na możliwość wyboczenia elementów ściskanych. Ta z kolei powinna zostać określona z uwzględnieniem bocznego oporu gruntu, utrudniającego takie deformacje (rys. 2).

Na możliwe odkształcenia i nośność wiązki mikropali będą mieć wpływ następujące czynniki:

- budowa i parametry podłoża gruntowego, w szczególności miąższość i sztywność pozioma warstw słabonośnych, a także warstwy, w której formowana będzie podstawa,
- sztywność samego mikropala,
- sztywność połączenia mikropala z iniektowaną podstawą z cementogruntem oraz zwieńczeniem,
- wzajemne rozmieszczenie (odległości) mikropali współpracujących z sobą w przenoszeniu obciążeń,
- charakter przekazywanych na mikropale obciążeń, w tym ewentualny wpływ siły poziomej i momentu zginającego.

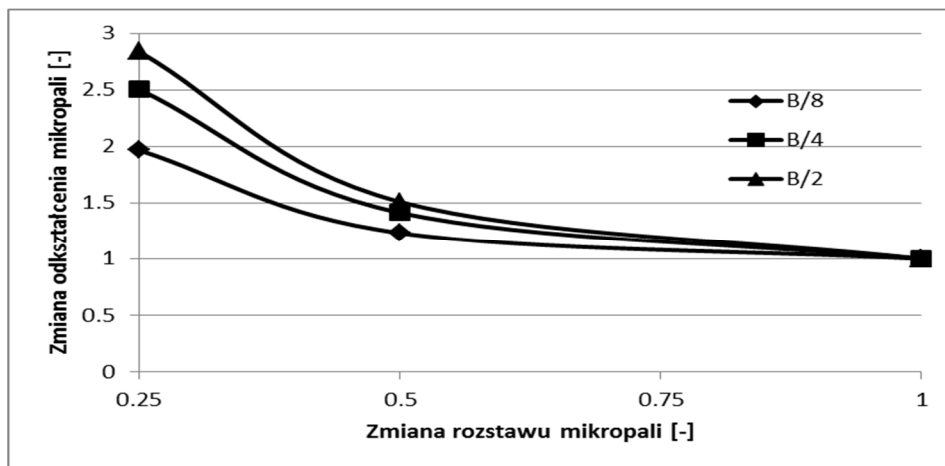
W przeprowadzonej analizie statycznej uwzględniony został wpływ efektów II-go rzędu, co dla założonego schematu pracy fundamentu ma znaczenie zasadnicze. To właśnie powstające w ściskanych elementach prętowych deformacje będą decydować o dopuszczalnym wyężeniu układu.

Fundament został zamodelowany (rys. 2) jako układ 4 prętów pionowych połączonych u podstawy oraz w zwieńczeniu elementami o dużej sztywności (konstrukcja oczepu wieńczącego głowice najczęściej jest żelbetowa, a bryła cementogruntu tworząca wspólną podstawą posiada duże wymiary).

Założono, że miąższość warstwy słabego gruntu wyniesie 5,0 m, zaś podstawa będzie zagłębiona 0,75 m w gruncie nośnym. Poziome rozmieszczenie 4 mikropali (w narożach kwadratu) zaplanowano w stałych odległościach wynoszących 0,25 m, 0,5 m oraz 1,0 m. W trakcie analiz zmieniano wartości oraz miejsca przyłożenia obciążenia pionowego, a także sztywność podpór podatnych na długości prętów pionowych.

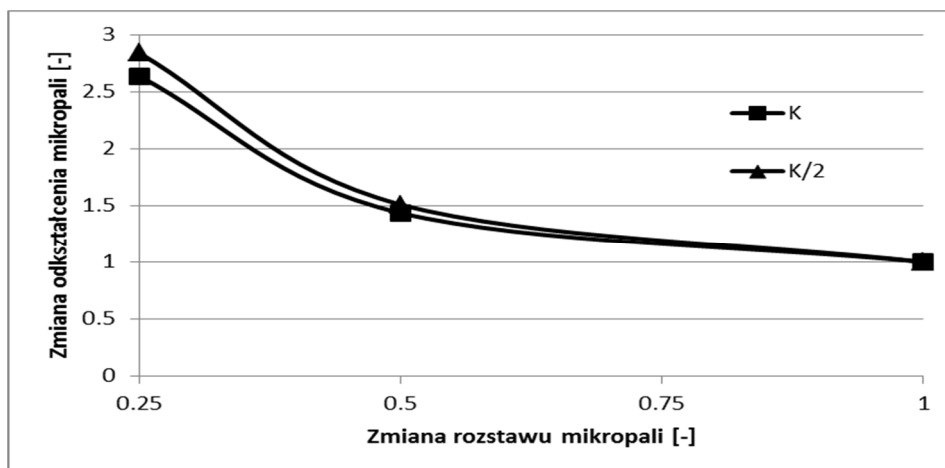
Wszystkie podpory modelu zaprojektowano jako podatne o sztywnościach wynikających z kalkulacji opartych na standardowych parametrach mechanicznych gruntu. Podatności podpór obliczono w oparciu o zalecenia [9] dla różnych, wariantowych parametrów gruntu słabonośnego. Na wysokości mikropali podpory zostały rozmieszczone co 0,25 m.

Wyniki analiz przedstawione zostały na rys. 3-4 jako wartości bezwymiarowe, których celem jest opisanie przede wszystkim charakteru zmian deformacyjnych układu palowego. Podobne symulacje były już przedmiotem publikacji [10], niemniej jednak nie uwzględniono w nich wpływu rozstawu mikropali, jak również nie analizowano zmian sztywności podpór, co jest przedmiotem niniejszych dociekań.



Rys. 3. Zmiany deformacji wiązki mikropali zależnie od ich rozstawu i mimośrodowości przyłożenia obciążenia

Fig. 3. Changes of the micropiles clusterdeformation depending on their spacing and eccentricity of load application



Rys. 4. Zmiany deformacji wiązki mikropali zależnie od ich rozstawu i sztywności podpór

Fig. 4. Changes of the micropiles clusterdeformation depending on their spacing and stiffness of the supports

W analizowanym schemacie z uwagi na brak ograniczenia przemieszczeń głowicy dodatkową podporą (zwłaszcza przemieszczeń poziomych) właśnie w tamtym miejscu wystąpiły największe odkształcenia układu. W praktyce często (zwłaszcza przy wzmacnianiu fundamentów istniejących) takie ograniczenia będą miały miejsce. Będzie to związane ze znaczną sztywnością fundamentów bezpośrednich pełniących rolę oczepu dla wiązki mikropali. Wówczas maksymalne wyężenie elementów słupowych wystąpi w okolicach środka ich długości, tam podatność na wyboczenie będzie największa.

Wyniki wykonanych obliczeń powinny zostać skonfrontowane z badaniami rzeczywistych konstrukcji palowych. Pozwoli to na wprowadzenie zmian w warunkach brzegowych prowadzonych kalkulacji, urealnających zastosowany model obliczeniowy.

6. Podsumowanie

Grunty występujące na terenie Rzeszowa nie odpowiadają typowej charakterystyce, która przedstawiona została w normie PN-81/B-03020 [7]. Dotyczy to w szczególności gruntów zalegających na obszarze Pradoliny Podkarpackiej.

Pomimo dużej zmienności podłoża, przy niezbyt dużych obciążeniach i poprawnym rozpoznaniu budowy oraz właściwości podłoża gruntowego posadowienie bezpośrednio obiektów budowlanych jest rozwiązaniem uzasadnionym. W innych przypadkach pozostają do wykorzystania sposoby wzmacniania podłoża, bądź pośredniego fundamentowania budowli.

Ciekawą alternatywą dla tych rozwiązań może być pomysł prof. Jaremskiego. Pale rzeszowskie mogą być z powodzeniem wykorzystywane do posadowienia nowych obiektów budowlanych. Jednak z uwagi na niewielki przekrój elementów konstrukcyjnych, dodatkowo wprowadzanych w słabe warstwy podłoża daje możliwość zastosowania takich rozwiązań do wzmacniania posadowienia już istniejących budowli. Z opisanych wyżej powodów ich wykonania nie wymaga zastosowania ciężkiego i wielkogabarytowego sprzętu, może się odbywać z zastosowaniem nawet ręcznych wiertnic i lekkich hydraulicznych siłowników wciskających elementy w grunt.

Literatura

- [1] Zimnal Z., Malata T.: *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski*, Arkusz Rzeszów (982), Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2014.
- [2] Zimnal Z., Malata T.: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski*, Arkusz Rzeszów (982), Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2014.
- [3] Marciniak P., Zimnal Z.: *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski*, Arkusz Głogów Małopolski (981), Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2013.

- [4] Marciniec P., Zimnal Z.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, Arkusz Głogów Małopolski (981), Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2014.
- [5] Wilk K.: Grunty madowe jako podłoże obiektów budowlanych, praca doktorska, Rzeszów 2008 (materiały niedrukowane).
- [6] Polska Norma PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- [7] Polska Norma PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [8] Jaremski J.: Zwiększenie nośności wiązki mikropali przez wykonanie łączącej je podstawy. Materiały XLVI Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 2000.
- [9] Kosecki M.: Statyka ustrojów palowych. Zasady obliczania konstrukcji palowych metodą uogólnioną i fundamentów płytowo-palowych metodą podłoża dwuparametrowego, Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa Oddział w Szczecinie, Szczecin 2006.
- [10] Jaremski J., Wilk K.: Zwiększenie możliwości wykorzystania pali rzeszowskich do posadowień fundamentów pośrednich, Materiały VI International Scientific Conference „Current Issues of Civil and Environmental Engineering” Lviv – Kosice - Rzeszów, Lviv 2001.

FOUNDATION IN THE AREA OF PODKARPACIE ICE-MARGINAL VALLEY - REVIEW OF METHODS AND POSSIBILITIES OF ALTERNATIVE SOLUTION

S u m m a r y

The paper presents a description of the foundations used in Rzeszów on Podkarpacie ice-marginal valley area. The methods of building foundation used in the past were compared to those dominant currently. The advantages and limitations of the various foundation solutions were indicated. In the context of the specific soil and water conditions occurring in Rzeszów, attention was directed to the alternative method of indirect foundation. New approach is Rzeszow piles - a concept developed by prof. Jan Jaremski. This solution was been successfully applied in practice. A many point to the fact that the current methodology for determining the bearing capacity of indirect foundations was underestimated for possibility of the load transferability by such foundations.

Keywords: weakly capacity soils, organic soil, fen soil, direct foundation, intermediate foundation, micropiles, Rzeszow piles, injection, strengthening of foundations

Przesłano do redakcji: 09.06.2017 r.

Przyjęto do druku: 01.09.2017 r.