

Destrukcja mrozowa stabilizowanego ilastego podłoża ekspansywnego

Dr hab. inż. Maciej Kordian Kumor, prof. UTP

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Przemarzanie podłoża gruntowych w polskiej praktyce budowlanej zalicza się do specyficznych i niecodziennych problemów geotechnicznych, zwłaszcza gdy dotyczy ono gruntów bardzo spoistych.

Z praktyki wykonawstwa i eksploatacji obiektów budowlanych znane są w naszej strefie klimatycznej negatywne skutki spowodowane nieprzewidzianym przemarznięciem gruntów w otwartym (zwykle zabezpieczonym) na zimę wykopie fundamentowym. W działalności geotechnicznej, mimo wydawałoby się dobrej znajomości zagadnienia przemarzania, nie zawsze udaje się w prosty i skuteczny sposób wyeliminować wpływ mrozu i później odmarzania na właściwości fizyczno-mechaniczne gruntów bardzo spoistych.

Grunty, jako ośrodki wielofazowe (faza stała – szkielet mineralny, faza ciekła – roztwór porowy oraz faza gazowa), charakteryzują się specyficznymi i zróżnicowanymi właściwościami termodynamicznymi. W procesie zamarzania gruntów spoistych głównymi przyczynami zmian właściwości gruntu są:

- przemiana fazowa wody w lód, dająca przyrost objętości nowej fazy o ponad 9%,
- wzrost objętości lodu i wilgotności zamrożonego masywu, na skutek migracji cząsteczek wody niezamarzniętej ze strefy podmarzania.

Jak wiadomo [3], przemiana fazowa wody w lód oraz skutki mrozowej redystrybucji wody w masywie decydują o zakresie, charakterze oraz efektach destrukcji struktury ilów. Mrozowe zmiany układu il – woda, tj. erozja masywu, są wywoływane przez czynniki:

- mechaniczne, generowane przez ciśnienie powstające podczas przemiany fazowej wody w lód,
- fizyko-chemiczne, zależne od rozwoju kryształków lodu układu lód – woda niezamarznięta – il,
- inne, obejmujące genezę, rodzaj mikrostruktury wyjściowej itp.

Osiągnięcie stanu zamrożenia ośrodka gruntowego oznacza, że nastąpiło zamrożenie wody zawartej w porach gruntu. Podczas krystalizacji wody następuje zmiana elementów mikrostruktury (agregatów), która oznacza osiągnięcie stanu zamrożenia ośrodka i spełnienie warunku koniecznego [1, 2]. W kolejności, później następuje warunek dostateczny. Powstają typowe, trwałe i nieodwracalne skutki transformacji wyjściowej struktury i tekstury masywu.

Zmiany właściwości gruntów niezamarzniętych poddanych cyklicznemu działaniu mrozu, mają szczególne znaczenie praktyczne w geotechnicznej ocenie degradacji podłoża budowlanych. W polskich obszarach klimatycznych zwykle w ciągu jednej zimy dochodzi do wielokrotnego osiągnięcia izoterm do

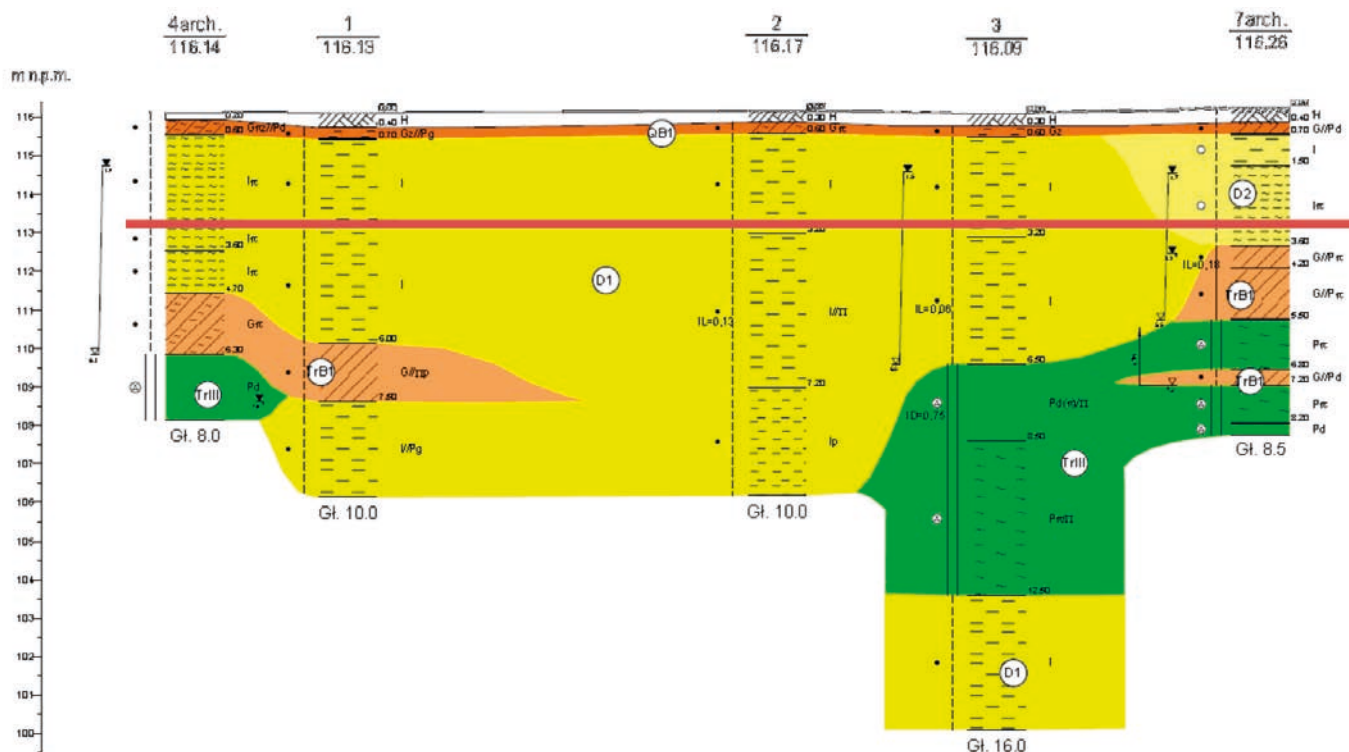
W niniejszym artykule przedstawiono praktyczny przykład skutków, jakie powstały w wyniku cyklicznego zamarzania stabilizowanego podłoża ilastego. Zaobserwowane skutki destrukcji rzeczywistego podłoża uświadamiają niski stopień znajomości problemu przemarzania w podejmowaniu decyzji o zabezpieczaniu podłoża, np.: stabilizacją cementem. Problem jest wieloaspektowy i trudny, szczególnie w odniesieniu do zmian stanu iłu ekspansywnego po rozmarznięciu, dodatkowo poddanego pęcznieniu lub skurczowi.

WARUNKI GEOTECHNICZNE I ICH OCENA

Z analizy przekrojów geotechnicznych wynikało, że poziom posadowienia znajduje się w obrębie twardoplastycznych i półzwardych ilów warstwy D1 i D2 (rys. 1). Wyznaczono wartości parametrów ekspansywnych łu A – o stopniu plastyczności $I_L = 0,13$, wskaźniku pęcznienia $V_p = 7,6\%$, ciśnieniu pęcznienia $p_c = 99,5 \text{ kPa}$ i łu B – o stopniu plastyczności $I_L = 0,06$, wskaźniku pęcznienia $V_p = 17,6\%$, ciśnieniu pęcznienia $p_c = 170,7 \text{ kPa}$.

Określono również dynamiczny moduł odkształcenia iltu nienaruszonego w dnie wykopu. Wynosił on od $E_{v1} = 10,8$ MPa i 16,2 MPa do $E_{v2} \sim 16$ MPa do $E_{v2} \sim 24$ MPa. Wartości te są niskie, ale charakterystyczne dla iltów serii poznańskiej w rejonie południowego basenu sedimentacyjnego.

Poziom wody gruntowej z napiętym zwierciadłem stabilizował się 1,40 ÷ 1,90 m p.p.t., na rzędnych 114,3 ÷ 114,6 m n.p.m., tj. powyżej posadowienia, w strefie przemarzania.



projektowany poziom posadowienia 113,30 m n.p.m.

Rys. 1. Przykładowy przekrój geotechniczny

Podsumowując stopień rozpoznania łu w poziomie posadowienia, należy stwierdzić, że mamy do czynienia z łąmi ekspansywnymi o wysokim stopniu ekspansywności w stanie twardoplastycznym i półzwardłym [3]. Cechą charakterystyczną podłoża w wykopie jest możliwość rozwoju przede wszystkim fazy pęcznienia łąów i w mniejszym stopniu skurczu oraz napięte zwierciadło wody gruntowej o poziomie ustabilizowanym powyżej posadowienia, w strefie przemarzania.

Ły zalegające w dnie wykopu przed przemarzaniem charakteryzowały się dobrymi właściwościami geotechnicznymi [4]. Mimo że są to grunty szczególnie wrażliwe na zmiany wilgotności, mogły stanowić (bez stabilizacji) odpowiednie podłoża fundamentowe do posadowienia na płycie dużego obiektu budowlanego, pod warunkiem spełnienia zasad ochrony gruntów ekspansywnych. Stopień rozpoznania geotechnicznego dawał uczestnikom procesu inwestycyjnego wystarczające dane do opracowania właściwego sposobu realizacji prac ziemnych i fundamentowych, [4, 6], również w zakresie zimowej ochrony podłoża ekspansywnego.

STAN ŁŁU STABILIZOWANEGO W WYKOPIE PO PRZEMROŻENIU

W celu określenia jakości warstwy łu stabilizowanego cementem w dniach 20 i 21 grudnia oraz w styczniu 11 ÷ 27 zbadano wartości modułów dynamicznego i statycznego. Badanie wykonano około 1,5 godziny po ułożeniu stabilizacji, w następnym dniu powtórzono badanie. Wyniki uzyskane w 4 odmiennych warunkach wilgotnościowych świadczą o znacznym spadku nośności stabilizacji spowodowanej przemarznięciem i nawodnieniem warstwy kompozytu cement – łu ekspansywny oraz o postępującej mrozowej destrukcji łąów.



Rys. 2. Deformacja warstwy stabilizowanej podczas badań VSS (płyta zapadła się)

W dniu 10 lutego wykonano kolejne badania sprawdzające na podłożu ulepszonym (stabilizacja). Badania w poszczególnych punktach wykazały następujące wyniki:

- VSS7 – $E_2 = 45 \text{ MPa}$, $E_1 = 11 \text{ MPa}$, $I_o = 4,20$, badanie po 3 dniach stabilizacji;
- VSS8 – $E_2 = 31 \text{ MPa}$, $E_1 = 20 \text{ MPa}$, $I_o = 1,58$, badanie po 5 dniach stabilizacji;
- VSS9 – podłożo bardzo słabe, brak możliwości pomiarowych; płyta zapadła się w trakcie pomiaru, rys. 2;
- VSS10 – $E_2 = 31 \text{ MPa}$, $E_1 = 22 \text{ MPa}$, $I_o = 1,44$, badanie po 6 dniach stabilizacji,
- VSS11 – badanie po 6 dniach stabilizacji podłożo bardzo słabe, brak możliwości pomiarowych.

Stan łąów w wykopie po rozmarznięciu

Pod koniec zimy w lutym, w dodatnich temperaturach, wykonano badanie gruntu w dnie wykopu. Dno wykopu w strefie stabilizacji było w dalszym ciągu przykryte folią ochronną, która leżała na kompozycie łąowo-cementowym. Folię przyciskała warstwa ochrony termicznej – słomy o grubości około 10 cm, nawodniona (rys. 3). Woda wypełniała wykop nad folią ochronną oraz słomę. Badania stanu gruntu – łu i kompozytu cementowo-łąowego wykonano w warstwie podfoliowej, a także naturalnego łu niezabezpieczonego przed działaniem wody i przesycającego.



Rys. 3. Dno wykopu ze zdegradowaną strefą łu, również pod słomą i folią ochronną



Rys. 4. Zdegradowana przez mróz warstwa kompozytu łąowo-cementowego pod folią

Stwierdzono następujące istotne fakty dotyczące stanu przemrożonego kompozytu:

- wokół dna wykopu stabilizowanego łu znajdują się rowy opaskowe zalane wodą poniżej poziomu wody nad folią,
- strefy rozmoczonego kompozytu występują we wszystkich rejonach dna wykopu z różną intensywnością,
- łu stabilizowany poniżej folii był zdegradowany i rozmoczony na głębokość od 10 do 15 cm (rys. 4),
- łu naturalny wykazywał degradację nieprzekraczającą głębokości od 1 do 3 cm,
- łu naturalny i kompozyt stabilizowany były zamrożone od głębokości 10 ÷ 15 cm,
- zdegradowany mrozem kompozyt łuowo-cementowy w stanie przesuszonym wykazuje wysoką wartość kapilarności, $H_{kc} > 0,70$ m (rys. 5),
- kompozyt łuowo-cementowy uległ pełnej degradacji granularnej i objętościowej wzdłuż granicznych warstewek łu [6], w formie nieregularnych sieci wydzielających agregaty kompozytu łu-cement (rys. 6).

Charakterystyczne objawy i skutki degradacji mrozowej kompozytu łuowo-cementowego w dnie wykopu pokazano na rys. 3 ÷ 6.



Rys. 5. Podciąganie kapilarne przemrożonego kompozytu łuowo-cementowego $H_{kc} > 0,70$ m

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie analizy wyników rozpoznania geotechnicznego oraz wykonanych badań identyfikacyjnych stanu kompozytu łu – cement należy potwierdzić drastyczną formę destrukcji przemrażanej strefy warstwy stabilizacji łuów cementem. Zdegradowanie przypowierzchniowej warstwy podłoża w dnie wykopu nastąpiło poprzez niewłaściwe zastosowanie mechanicznej stabilizacji i mimo użycia innych środków ochrony przeciwwodnej i mrozowej.

Przyczyny bezpośrednie działania mrozu na podłoże stanowią: niewłaściwy dobór metody stabilizacji, naturalny proces cyklicznego przemarzania odmarzania oraz wpływ wody opadowej i gruntowej – poziomu piezometrycznego, które doprowadziły do wzmocnienia negatywnej roli przemarzania i procesów pęcznienia łu, desegregacji oraz rozmakania strefy stabilizowanej cementem łu.

W rezultacie przemrażany cyklicznie kompozyt łu-cement uzyskał w strefie stabilizacji stan płynny, a zasięg degradacji struktury podłoża objął praktycznie cały obszar wykonanej stabilizacji w wykopie jako wynik zastosowania nietrafnych środków ochrony.

Przedstawiony przykład skutków destrukcji mrozowej podłoża ekspansywnego zwraca uwagę na ciągle jeszcze obecne w naszej rzeczywistości geotechnicznej przypadki pozostawiania niechronionego skutecznie otwartego wykopu na okres zimowy.

Warstwy łuów serii poznańskiej, jak wiadomo, np. [6], charakteryzują się specyficznymi właściwościami i wrażliwością na zmiany warunków atmosferycznych, w tym szczególnie mrozu oraz wód atmosferycznych i podziemnych.

Przedstawiony przypadek pozwala przypuszczać, że dostępna specjalistom podstawowa wiedza inżynierska o problemach związanych z przemarzaniem, przypomniana w pierwszej części artykułu, oraz doświadczenia o przydatności cementu do stabilizacji gruntów silnie zdyspergowanych, jakimi są łuły serii poznańskiej, została zignorowana lub prześlęła w konfrontacji z argumentami technologii zamiennej.



Rys. 6. Skutki mrozowej degradacji i pęcznienia warstwy łu-cement

LITERATURA

1. Jershov E. D.: Formirovanie kriogennyh tekstur pri epigeneticzeskom i syngeneticzeskom promierzani dispersnyh porod. Problems of geocryology. Publishing House Nauka Moscow 1983, 143-152,.
2. Kozłowski T.: Low temperature exothermic effect on cooling of homionic clays. Cold Reg. Sci. Technology. 68, 2011, 139-149.
3. Kumor M. K.: Charakterystyczne parametry geotechniczne serii poznańskiej rejonu Bydgoszczy. [W:] Geologiczno-inżynierskie problemy serii poznańskiej, Acta Universitatis Wratislaviensis, No 1354, Prace Geologiczno-Mineralogiczne XXVI. Wrocław 1992, 67-90.
4. Niedzielski A., Kumor M. K.: Geotechniczne problemy posadowień na gruntach ekspansywnych w Polsce. XV Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej, Bydgoszcz 2009.
5. Olchawa A., Kumor M. K.: Wpływ cyklicznych przemrożeń na pęcznienie i skurcz mrozowy gruntowych materiałów kompozytowych: grunt organiczny – popioły lotny, grunt organiczny – il monomineralny. Archiwum Hydrotechniki Z.2 T. XXXII, 2008, 299-307.
6. Przysański J. i zespół: Wytyczne projektowania posadowień fundamentów na gruntach ekspansywnych. Zeszyt Politechniki Poznańskiej Rozprawy 224, Poznań 1991.