

O potrzebie uwzględniania zasysania w praktycznych zagadnieniach filtracji wody podziemnej

Janusz Haurylkiewicz¹



On the need of consideration of suction in practical problems of groundwater filtration. Prz. Geol., 66: 481–482.

Abstract. Seven examples of issues have been pointed out, when one should take into account the suction exerting on groundwater by capillary attraction from fine sands or similar other fine soils.

Keywords: groundwater flow, suction, negative flow potential, Darcy's law

W panoramie współczesnych zleceń praktycznych usług geotechnicznych można zaobserwować wzrost zainteresowania inwestorów budowlanych i środowiskowych terenami dotychczas słabo wykorzystanymi. To zjawisko zauważono już w latach 30. XX w. po spektakularnym sukcesie finansowym inwestora, który tanio wykupił ogromny areal bagnistych terenów k. Nowego Jorku, odpłatnie przyjmował ziemię z wykopów w mieście oraz gruz, formując potężny nasyp, a po niecałych dziesięciu latach wymuszonej konsolidacji bagien drogo sprzedawał tereny nasypu pod obiekty budowlane. W obu dziedzinach zarówno budowlanej, jak i inżynierii środowiska projektowanie inwestycji wiązało się z koniecznymi modyfikacjami prognoz reżimu filtracji wody podziemnej wg wzoru Darcy'ego:

$$v = k\Delta H / L \quad [1]$$

gdzie:

v – prędkość filtracji,

k – współczynnik filtracji,

ΔH – różnica naporu hydraulicznego (potencjału) na długości L drogi filtracji.

Wzór Darcy'ego przez wiele lat wykorzystywano do obliczeń filtracji w strefie saturacji, jednak okazał się on niewystarczający dla potrzeb współczesnego rolnictwa, gleboznawstwa oraz inwestycji inżynierii środowiska, szczególnie jego ochrony przed zanieczyszczeniem, np. zrzutami z przydomowych oczyszczalni ścieków na dużych osiedlach. Wystąpiła potrzeba analizowania filtracji z uwzględnieniem przepływu przez strefę aeracji (Childs, 1969).

W popularnych w Polsce podręcznikach (Piętkowski, Czarnota-Bojarski, 1964; Jeske i in., 1966; Czugajew, 1982; Wiłun, 2010) zagadnienia analizy przepływu w strefie aeracji nie znalazły odzwierciedlenia, które zadowoliloby projektantów praktyków. Owszem, są podawane wzory wg prawa Darcy'ego do analizowania przepływu strumienia cieczy przez grunt, w których potencjał H inicjujący filtrację jest równy wysokości napierającego słupa cieczy na początku drogi filtracji i jest dodatni, jednak brakuje rady, co projektant ma robić, gdy potencjał H jest ujemny, tj. gdy woda podziemna jest ciągniona (zasysana). Wymienione publikacje skupiają się na zagadnieniach mechaniki gruntów i zostawiają na marginesie bardziej subtelne aspekty fil-

tracji. Jednym z nich jest właśnie analiza filtracji w warunkach obecności potencjału ujemnego (zasysania wody przez grunt). Ten problem był analizowany w niektórych trudniej dostępnych w Polsce pracach. I tak, Collins (1961) i Bułyczew (1974) sygnalizowali pojawienie się ujemnego ciśnienia hydrostatycznego na pewnym etapie pracy modelu gruntu nasyconego wodą (tzw. model Terzagiego). Childs (1973) oraz Hermance (1998) przyporządkowali ujemny napór hydrauliczny zasysaniu wody przez grunt mogący tworzyć meniski wody kapilarnej. Mitchell (1993) podsumowując do pewnego stopnia zagadnienie, stwierdził prosto, że gdy całkowity potencjał jest dodatni, grunt ma tendencję do wydalania wody, a gdy jest ujemny, grunt ma tendencję zasysania wody z otoczenia. Trzeba jednak zaznaczyć, że wg Mitchella potencjał całkowity może mieć składniki różnej genezy, nie tylko naporu hydraulicznego, ale i innych źródeł energii potencjalnej dostarczanej wodzie filtrującej.

W związku z powyższymi uwagami warto zwrócić uwagę geologów inżynierskich i geotechników na pewne kwestie, wydaje się, wymagające analizy i rozwiązania, może również potwierdzanego doświadczalnie.

1. Czy wzór Darcy'ego [1] wymaga zmiany w zapisie? Jeśli strumień filtracyjny pomiędzy punktami A i B ma w punkcie A potencjał (napór) tłoczenia dodatni H_t (indeks t od tłoczenia), a w punkcie B napór ssania ujemny H_s , to na długości L drogi filtracji różnica naporu hydraulicznego wynosi $\Delta H = H_t - H_s$. Należy pamiętać o odejmowaniu liczby ujemnej, np. przy naporze tłoczenia 6 m słupa wody i naporze ssania -6 m, różnica naporów wynosi $\Delta H = H_t - H_s$, tj. $6 - (-6) = 12$ m, więc pojawienie się potencjału ujemnego nie wymaga zmiany zapisu wzoru [1].

2. Czy definicja spadku hydraulicznego $i = \Delta H / L$ może pozostać bez zmiany? A ponieważ:

$$\Delta H = H_t - H_s, \quad [2]$$

to jaki sens fizyczny mają odpowiednio wyrażenia H_t/L i H_s/L , spadek hydrauliczny (H_t) tłoczenia i spadek hydrauliczny ssania? I jakie znaczenie praktyczne mają te liczby dla intuicji inżynierskiej? W tej sprawie daje się wyczuć potrzeba wykonania określonych eksperymentów.

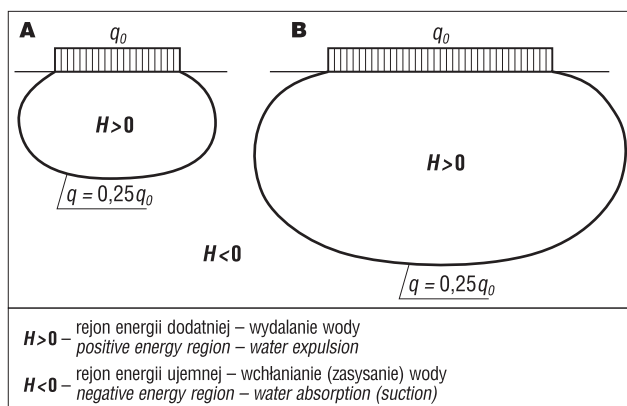
3. Jeśli połączyć linią prostą punkty T i S, odpowiadające wysokości naporu hydraulicznego tłoczenia (T)

¹ Emerytowany pracownik Politechniki Koszalińskiej; wilnowin@gmail.com.

i ssania (S), to linia ta przecnie linię prostą poziomą odniesienia dla naporu w pewnym punkcie pośrednim M . Powstaje pytanie wzbudzane intuicją inżynierską, czy z punktem M można kojarzyć określoną interpretację fizyczną, np. jaką rolę odgrywa napór hydrauliczny w punkcie M , jaka powinna być poprawna procedura eksperymentalna wyznaczania punktu M , jaka jest relacja nachylenia linii TS do nachylenia linii TM i do nachylenia linii MS i jakie są interpretacje geomechaniczne tych relacji? Powyższe zagadnienia mają ukierunkowanie bardziej teoretyczne. Ale uwzględnianie potencjału ujemnego rodzi też kwestie ukierunkowane bardziej praktycznie.

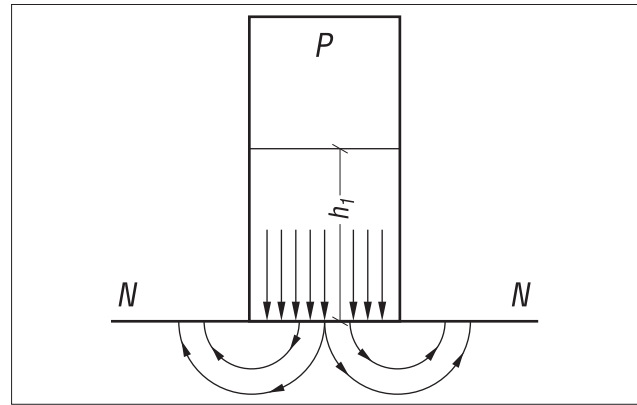
4. Tempo wzmocnienia podłoża fundamentu. w procesie konsolidacji. Uwzględnienie zasysania wody porowej z otoczenia bryły naprężeń pod fundamentem (ryc. 1), rejon z $H < 0$, zwiększa całkowity potencjał hydrauliczny we wzorze Darcy'ego i obliczaną prędkość filtracji, przez co skraca czas konsolidacji podłoża pod fundamentem i odpowiednio przyspiesza wzmocnienie tego podłoża. Trzeba zaznaczyć, że wskazany na rycinie 1 rejon potencjału ujemnego odpowiada w naturze gruntowi tylko częściowo nasyconemu wodą lub stopniowo nasycanemu po zainicjowaniu siły ssącej napięciem menisków wody kapilarnej. W miarę postępu nawodnienia w rejonie potencjału ujemnego to napięcie i siła ssąca maleją. Wielkość napięcia menisków wody kapilarnej odniesiona do ciężaru objętościowego wody porowej ma miano długości i we współczesnej praktyce laboratoryjnej gruntoznawstwa mierzy się wysokością podciągania kapilarnego i niekiedy nazywa się kapilarnością czynną. Sposoby pomiaru kapilarności czynnej i biernej są regulowane państwowymi normami budowlanymi. W ewentualnych obliczeniach geomechanicznych należy uwzględniać zasysanie zarówno z poziomego otoczenia bryły naprężeń, jak i z głębokiego. Intuicja inżynierska podpowiada, że do rozwiązania tego zagadnienia może być potrzebny będzie pewien program weryfikacji doświadczalnej analiz teoretycznych.

5. Zagrożenie nadmiernym ciśnieniem sphywowym. Może ono wystąpić i powodować filtracyjne wypieranie gruntu spod fundamentu, jak to przedstawiono na rycinie 2, np. gdy fundament będzie stał na warstwie podsypki piaskowej o znaczącej wysokości ujemnego potencjału zasysania. Wskazane na powołanym wyżej rysunku linie filtracji będą związane ze zwiększonym spadkiem hydrau-



Ryc. 1. Bryły naprężeń pod fundamentami różnej wielkości i rejon potencjalnej energii wody; **A** – fundament mały, **B** – fundament duży (wg Piętkowskiego, Czarnoty-Bojarskiego, 1964, zmodyfikowany)

Fig. 1. Stress bulbs under foundations of various dimensions and potential water energy regions; **A** – small foundation, **B** – large foundation (after Piętkowski, Czarnota-Bojarski, 1964, modified)



Ryc. 2. Filtracyjne wyparcie gruntu spod fundamentu (wg Piętkowski, Czarnota-Bojarski, 1964)

Fig. 2. Filtration-squeeze of soil from foundation bottom (after Piętkowski, Czarnota-Bojarski, 1964)

licznym przy wchodzeniu w poziom $N-N$ i konsekwentnie ze zwiększonym ciśnieniem sphywowym i przekroczeniem tzw. krytycznego spadku hydraulicznego, więc z filtracyjnym wyparciem gruntu spod fundamentem.

6. Naprężenia efektywne w przestrzeni gruntowej. Zgodnie z powszechnie dziś akceptowanym podejściem (Terzaghi, 1943; Wiłun, 2010), uwzględnienie zasysania wody z bryły gruntu przez siły kapilarne z jej otoczenia (niekiedy dość znaczne) powoduje uznanie wzrostu naprężenia efektywnego w szkielecie gruntowym tej bryły. Przykładowo, zasysanie kapilarne z potencjałem ujemnym 5 m słupa wody zwiększa naprężenie efektywne w obszarze odsysanym o te 5 m, co może mieć znaczący wpływ na ocenę nośności podłoża fundamentu wspartego na tym obszarze, jeśli ocenę tę formułowałoby się na podstawie obliczeń w naprężeniach efektywnych.

Podane powyżej przykłady potrzeby uwzględniania sił ssania w zagadnieniach filtracji można uzupełnić dalszymi informacjami z zakresu klasycznych zagadnień mechaniki gruntów – parcia gruntu na ściany oporowe i odporu oraz stateczności zboczy. Każdy z takich przykładów stanowi ciekawe zagadnienie, warte weryfikacji doświadczalnej i ewentualnej odpowiednio wysokiej rangi stopnia naukowego, np. rozprawy doktorskiej.

LITERATURA

- BULYCZEW W.G. 1974 – Mechanika dispersnych gruntów. Strojizdat, Moskwa.
- CHILDS E.G. 1969 – An introduction to the Physical basis of soil water phenomena Cambridge Univ. Press., London.
- COLLINS R.E. 1961 – Flow of fluids through porous materials. Reinhold Publ. Corp., New York.
- CZUGAJEW R.R. 1982 – Gidrawlika. Energoizdat, Leningrad.
- HERMANCIE J.F. 1998 – A mathematical primer on groundwater flow. Prentice Hall, London.
- JESKE T., PRZEDECKI T., ROSSIŃSKI B. 1966 – Mechanika gruntów. PWN, Warszawa.
- MITCHELL J.K. 1993 – Fundamentals of soil behavior. J. Wiley, New York.
- PIĘTKOWSKI R., CZARNOTA-BOJARSKI R. 1964 – Mechanika gruntów. Arkady, Warszawa.
- TERZAGHI K. 1943 – Theoretical soil mechanics. New York. (tłum. ros.: Terzaghi – 1961. Gosstrojizdat, Moskwa).
- WIŁUN Z. 2010 – Zarys geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 21.02.2018 r.
Akceptowano do druku 4.06.2018 r.