

**dr n. tech. Andrzej Antoni CZAJKOWSKI^a, dr inż. Piotr Stanisław FRĄCZAK^b
mgr inż. Jerzy DYRDAŁ^c, dr n. med. Małgorzata Anna CZAJKOWSKA^{d,e}**

^a Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie / Higher School of Technology and Economics in Szczecin

^b Technikum Mechaniczno-Energetyczne w Szczecinie / Mechanical and Electrical Engineering School in Szczecin

^c Zarząd Budynków i Lokali Komunalnych w Szczecinie / Administration of Buildings and Communal Premises in Szczecin

^d Spółdzielnia Pracy Lekarzy Specjalistów MEDICUS w Szczecinie / Medical Labour Cooperative MEDICUS of Medical Specialists in Szczecin

^e Przychodnia Medyczna PRAMED w Szczecinie / Dispensary PRAMED in Szczecin

SYMULACJA ANALITYCZNO-NUMERYCZNA PRZESĄCZANIA WODY GRUNTOWEJ PRZEZ FUNDAMENT BUDYNKU W ASPEKTCIE TEORII PERKOLACJI

Streszczenie

Wstęp i cele: W pracy opisano możliwość zastosowania elementów teorii perkolacji w hydrogeologii do modelowania przesączania wody gruntowej przez fundamenty budynków. Celem pracy jest stworzenie analityczno-numerycznego modelu przesączania wody przez fundamenty budynków w aspekcie teorii perkolacji.

Materiał i metody: Materiał opracowano na podstawie literatury przedmiotu. Zastosowano metodę analityczną i numeryczną z zastosowaniem programu *MathCAD*.

Wyniki: W pracy przedstawiono model analityczny, w ujęciu macierzowym, natężenia przesączania wody gruntowej przez materiał fundamentu budynku. Opracowano symulację graficzną w aspekcie teorii perkolacji z użyciem algorytmu numerycznego w programie *MathCAD*.

Wniosek: Znajomość wyników symulacyjnych w programie numerycznym z równoczesną analizą badań specjalistycznych geologicznych pozwoli przewidzieć dopuszczalny krytyczny stan nasylenia wodą gruntową fundamentu budynku.

Słowa kluczowe: Budynki, fundamenty, woda gruntowa, przesączanie, teoria perkolacji, symulacja numeryczna, *MathCAD*.

(Otrzymano: 26.04.2017; Zrecenzowano: 30.04.2017; Zaakceptowano: 05.05.2017)

ANALYTICAL AND NUMERICAL SIMULATION OF GROUNDWATER FILTRATION THROUGH BUILDING FOUNDATION IN THE ASPECT OF PERCOLATION THEORY

Abstract

Introduction and aim: The paper presents the possibility of applying the elements of percolation theory in hydrogeology to the modeling of groundwater filtration through the foundations of buildings. The aim of this work is to create an analytical and numerical model of groundwater filtration through foundations of buildings in the aspect of percolation theory.

Material and methods: The material is based on the literature of the subject. An analytical and numerical method using *MathCAD* has been used in the paper.

Results: The paper presents an analytical model, in terms of matrix, of groundwater filtration through the building foundation material. A graphical simulation of the percolation theory using numerical algorithms in *MathCAD* has been developed in the considerations.

Conclusion: Knowledge of simulation results in a numerical program with simultaneous analysis of geological research will allow predictable critical groundwater saturation of the building foundation.

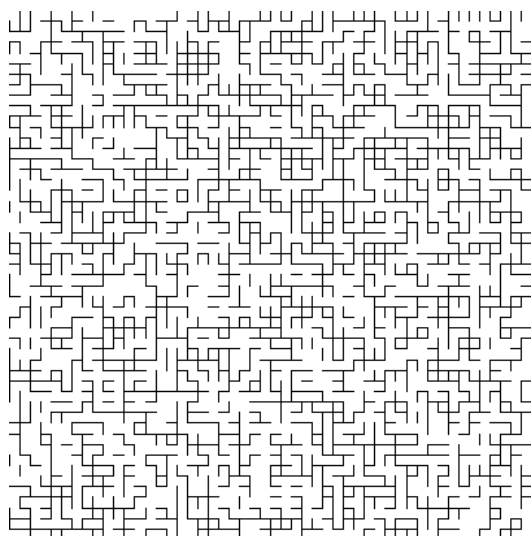
Keywords: Buildings, foundations, groundwater, filtration, percolation theory, numerical simulation, *MathCAD*.

(Received: 26.04.2017; Revised: 30.04.2017; Accepted: 05.05.2017)

1. Idea perkolacji

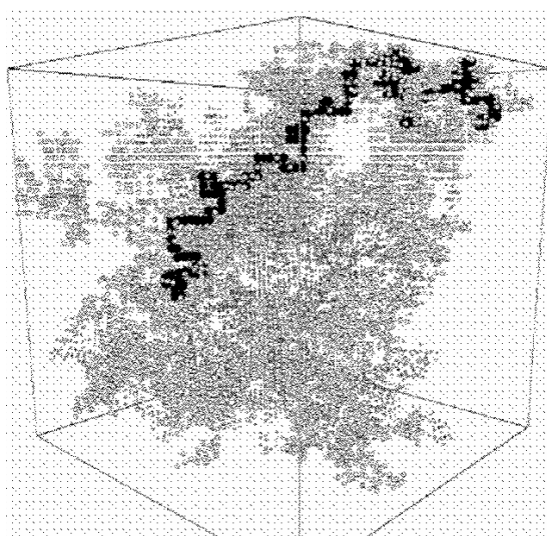
Całkowity model defektu, pewnej struktury, jest z natury procesem stochastycznym. Defekty fizyczne w pewnej strukturze zazwyczaj narastają periodycznie. W końcowym etapie tego zjawiska następuje krytyczny moment narastania defektu struktury w rezultacie czego pojawia się przerwanie jej ciągłości [3], [11]. Termin perkolacja dla modeli stochastyczno-geometrycznych zastał podany po raz pierwszy przez Hammersleya w 1957 roku.

Model płaski ukazuje strukturę materiału w postaci sieci płaskich połączeń jego najmniejszych elementów (Rys. 1). Model przestrzenny ukazuje przestrzenną strukturę materiału w postaci sieci przestrzennych połączeń jego najmniejszych elementów (Rys. 2). W modelu przestrzennym ukazano przerwanie struktury ciągłości materiału.



Rys. 1. Model siatki płaskiej ilustrujący połączenia w strukturze materiału
Źródło: Ze zbioru autorów

Fig. 1. A flat mesh model illustrating the connections in the material structure
Source: From the Authors collection



Rys. 2. Model siatki przestrzennej ilustrujący połączenia w strukturze materiału
Źródło: Ze zbioru autorów

Fig 2. A spatial mesh model illustrating the connections in the material
Source: From the Authors collection

2. Przesączanie wody gruntowej przez fundament i zagrożenie budynku

Woda gruntowa stale wywiera ciśnienie hydrostatyczne na elementy budynku, jest też podciągana kapilarnie do góry (Rys. 3) [2], [4].

W otoczeniu fundamentu budynku zawsze znajduje się woda, zarówno opadowa, która powoli przesącza się przez grunt, jak i woda gruntowa zalegająca nad warstwami nieprzepuszczalnymi. Woda napiera na fundament pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego [6]. Na skutek kontaktu z nią materiał fundamentu mający budowę porowatą powoli nią nasiąka [5].

Zgodnie z prawami fizyki w bardzo małych przewodach, a takimi są kapilary (niezwykle cieniutkie i długie pory w ceglach, pustakach ceramicznych, betonie komórkowym, silikatach i innych materiałach fundamentu), następuje podciąganie kapilarne wody [8]-[10]. W materiale fundamentu budynku woda zwykle może być podciągnięta na wysokość 0,5-1m (Rys. 4), w ścianach z cegieł pełnych wilgoci może pojawić się nawet na wysokości 2,5m nad ziemią.

Proces przesączania wody gruntowej przez strukturę fundamentu budynku zmienia się w czasie, aż do momentu osiągnięcia progu perkolacyjnego czyli wystąpienia defektu co oznacza przerwanie izolacji struktury fundamentu i całkowite przejście wody przez fundament.

Model natężenia przepływu perkolacyjnego wody w obszarze fundamentu budynku na sieci kwadratowej zawiera dwadzieścia jeden oczek to jest połączeń. Siatkę połączeń w obszarze fundamentu można rozwinąć na płaszczyznę i uzyskać w ten sposób model płaski.

Elementem powodującym przepływ wody jest ciśnienie hydrostatyczne. Obieg stanowią: grunt, fundament budynku i ponownie grunt. Rozpatrywany problem można modelować analitycznie za pomocą sieci kwadratowej (na przykładzie sieci elektrycznej) oraz opisać metodą równań macierzowych (Rys. 5) [1], [12], [13].

Strukturę modelu przepływu perkolacyjnego wody gruntowej przez materiał fundamentu budynku na przyjętej sieci kwadratowej ujmuje następujące równanie macierzowe:

$$\mathbf{A}_{m \times m} \cdot \mathbf{B}_{m \times 1} = \mathbf{C}_{m \times 1}, \quad (1)$$

gdzie \mathbf{A} oznacza macierz struktury połączeń materiału fundamentu, \mathbf{B} - macierz natężenia przesączania wody gruntowej przez materiał fundamentu, którą tworzy wektor przepływów wody gruntowej modelu perkolacji utworzonej na sieci kwadratowej, \mathbf{C} - macierz wartości prędkości przesączania wody gruntowej przez strukturę fundamentu.

Mnożąc lewostronnie równanie (1) przez macierz odwrotną \mathbf{A}^{-1} do macierzy \mathbf{A} mamy:

$$\mathbf{A}^{-1}_{m \times m} \cdot \mathbf{A}_{m \times m} \cdot \mathbf{B}_{m \times 1} = \mathbf{A}^{-1}_{m \times m} \cdot \mathbf{C}_{m \times 1}. \quad (2)$$

Wtedy równanie (2) otrzymuje postać:

$$\mathbf{B}_{m \times 1} = \mathbf{A}^{-1}_{m \times m} \cdot \mathbf{C}_{m \times 1}. \quad (3)$$

Wprowadzamy macierz jednokolumnową \mathbf{D} oraz do niej transponowaną jednowierszową \mathbf{D}^T . W celu wyeliminowania natężenia przepływów oczkowych wody od \mathbf{B}_2 do \mathbf{B}_m równanie macierzowe (3) mnożymy lewostronnie przez macierz \mathbf{D}^T i otrzymujemy:

$$\mathbf{D}^T_{1 \times m} \cdot \mathbf{B}_{m \times 1} = \mathbf{D}^T_{1 \times m} \cdot \mathbf{A}^{-1}_{m \times m} \cdot \mathbf{C}_{m \times 1}, \quad (4)$$

gdzie symbol \mathbf{D}^T oznacza jednowierszową macierz zerowania przepływów oczkowych wody.

Ostatecznie macierz jednoelementowa \mathbf{P} natężenia przepływu perkolacyjnego wody w sieci struktury fundamentu budynku na sieci kwadratowej definiowana jest następująco:

$$\mathbf{P}_{1 \times 1} \equiv \mathbf{D}^T_{1 \times m} \cdot \mathbf{B}_{m \times 1}, \quad (5)$$

gdzie macierz $\mathbf{B}_{m \times 1}$ określona jest wzorem (3).

4. Modelowanie numeryczne przesączania wody gruntowej przez fundament budynku

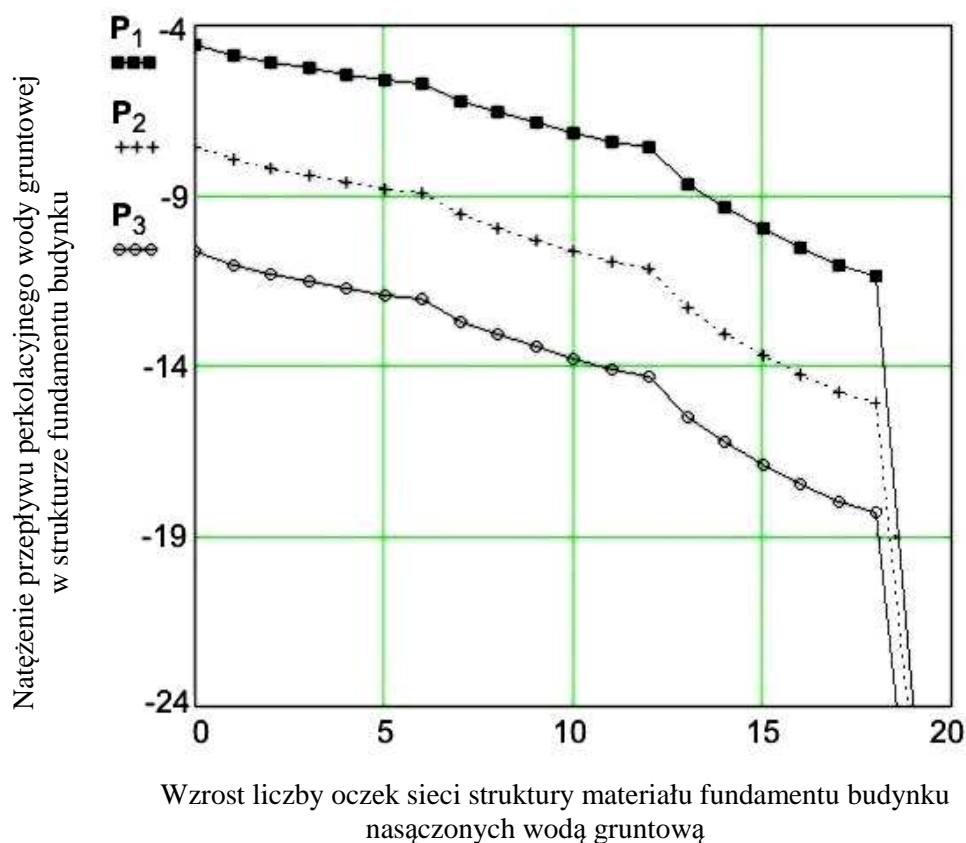
W analizie numerycznej stosuje się następujące ubezwymiarowanie natężenia przesączania perkolacyjnego wody przez strukturę fundamentu

$$\mathbf{P} \equiv \mathbf{P}_0 \cdot \mathbf{P}_i, \quad (6)$$

gdzie symbol \mathbf{P} oznacza wartość wymiarową, \mathbf{P}_0 - wymiarową wartość charakterystyczną, \mathbf{P}_i - wartość bezwymiarową dla $i=1,2,3$ natężenia perkolacyjnego przepływu wody gruntowej.

Po odpowiednim dobraniu parametrów połączeń sieci w strukturze fundamentu w macierzy \mathbf{A} oraz wartości prędkości przesączania wody gruntowej w przez materiał fundamentu w macierzy \mathbf{C} oraz przyjęciu algorytmu AL losowego przesączania wody gruntowej w strukturze fundamentu otrzymano bezwymiarowe przesączania perkolacyjne wody gruntowej w strukturze fundamentu oznaczone symbolami $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3$.

Przesączanie wody gruntowej przez materiał fundamentu realizowane jest aż do momentu całkowitego nasączenia wodą gruntową fundamentu i tym samym przerwania jego zdolności izolacyjnej (Rys. 6).



Rys. 6. Bezwymiarowe natężenie przepływu perkolacyjnego P_1 , P_2 , P_3 wody gruntowej w strukturze fundamentu budynku. Różne stany przepływu wody zależą od wielkości ciśnienia hydrostatycznego oraz rodzaju i oporu materiału budynku

Źródło: Opracowanie Autorów

Fig. 6. Dimensional intensity of percolation flow P_1 , P_2 , P_3 of the ground water in the structure of the building foundation. Different water flow states depend on the hydrostatic pressure and the type and resistance of the building material

Source: Elaboration of the Authors

Na rysunku 6 przedstawiono trzy krzywe uzyskane z losowego doboru przerwania izolacji struktury fundamentu przed wodą gruntową w przyjętej sieci kwadratowej o 21 oczkach. Oczka tej sieci imitują naturalne połączenia nienasączone wodą gruntową w strukturze materiału fundamentu.

Wraz ze wzrostem liczby przerwań połączeń izolacyjnych natężenie przepływu perkolacyjnego wody gruntowej maleje i w końcu następuje przerwanie zdolności izolacyjnej materiału fundamentu. Odpowiednie obliczenia i wykres wykonano przy użyciu programu numerycznego *MathCAD*.

Niepożądane długotrwałe działanie wody gruntowej na materiał fundamentu budynku może spowodować szybszy spadek jego wytrzymałości na nacisk struktury budynku.

Stąd też ściany fundamentowe lub piwniczne zawsze muszą być oddzielone od ścian parteru oraz gruntu izolacją poziomą i pionową. Obie warstwy powinny być szczelnie ze sobą połączone, tak żeby woda nie mogła przedostać się do ścian parteru, bo osłabiłaby ich nośność.

Zatem hydroizolacja jest zawsze konieczna, ponieważ woda gruntowa stale wywiera ciśnienie hydrostatyczne na elementy budynku, jest też podciągana kapilarnie do góry. Stan taki może powodować uszkodzenie struktury nośnej dalszych wyższych partii budynku.

5. Wnioski

- Powiększający się stopień nasycenia wodą gruntową struktury materiału fundamentu budynku może początkowo nieznacznie wpływać na stopień przesączania wody, by w końcowej fazie, gdy wystąpi próg perkolacji, być przyczyną całkowitego jej przejścia przez materiał fundamentu.
- Zastosowanie teorii perkolacji do problemu modelowania przepływu perkolacyjnego wody gruntowej przez strukturę materiału fundamentu budynku daje możliwość przybliżonego oszacowania parametrów przepływu (np. natężenie, prędkość) przy zastosowaniu specjalistycznych metod.
- Woda gruntowa nasączająca ścianę budynku może być przyczyną powstawania grzybów i pleśni. Grzyb i pleśń na ścianie są zagrożeniem dla zdrowia osób przebywających w takim pomieszczeniu. Toksyny wytwarzane przez grzyby atakują przede wszystkim układ oddechowy i mocno osłabiają odporność organizmu, przez co mogą być przyczyną wielu chorób. Przyczyniają się do występowania astmy i alergii. Często wywołują bóle głowy, mięśni i stawów oraz rozdrażnienie, zmęczenie, bezsenność, zmniejszenie koncentracji, zaburzenia pamięci, a nawet depresję. W układzie pokarmowym zaburzają przemianę materii, co może prowadzić do otyłości. W skrajnych przypadkach grzyby i pleśnie bytujące na ścianach pomieszczeń, gdzie przebywają ludzie - mogą wywołać martwicę wątroby, dysfunkcję nerek a nawet nowotwory.

Literatura

- [1] Dreszer J.: *Zarys elektrotechniki*. Warszawa: Wyd. WSIP, 1984.
- [2] Gabzdyl W.: *Geologia ogólna*. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej, 1998, w. II.
- [3] Hunt A.: *Percolation theory for flow in porous media*, Series: Lecture Notes in Physics, Vol. 674, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2005.
- [4] Kisiel L.: *Reologia w budownictwie*. Warszawa: ARKADT, 1967.
- [5] Kowalski W.C.: *Geologia inżynierska*. Warszawa: Wyd. Geologiczne, 1988.
- [6] Książkiewicz M.: *Geologia dynamiczna*. Warszawa: Wyd. Geologiczne, 1979, w. V.
- [7] Lawless J.F.: *Statistical models and methods for lifetime data*, J. Wiley & Sons, New York 1982.
- [8] Pazdro Z.: *Hydrogeologia ogólna*. Warszawa: Wyd. Geologiczne, 1977, w. II.
- [9] Płochniewski Z.: *Hydrogeologia*. Warszawa: Wyd. Geologiczne, 1971.
- [10] Smoczyńska U. (pod red.): *Hydrogeologia dynamiczna*. Warszawa: PWN, 1997.
- [11] Stauffer D.: *Introduction to percolation theory*, Taylor and Francis, London 1985.
- [12] Sawicki J.: *Elektrotechnika*. Warszawa: PWSZ, 1962.
- [13] Stodółkiewicz J.: *Sieci elektroenergetyczne. Wskazówki, organizacja i eksploatacja*. Warszawa: Wyd. Naukowo-Techniczne, 1978.