

LAUKA INFILTRĀCIJAS TESTU AUTOMATIZĒŠANA

Jānis Bikše, Konrāds Popovs, Aija Dēliņa, Andis Kalvāns

Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, e-pasts: Janis.Bikse@lu.lv

Anotācija. Infiltrācijas mērījumi lauka apstākļos ir nozīmīgs informācijas avots, lai novērtētu ģeoloģiskās vides ūdens infiltrācijas ātrumu *in-situ* apstākļos. Šāda veida eksperimenti tiek izmantoti ļoti plaši gan lauksaimniecības, gan urbanizētas vides problēmu risināšanā.

Šajā pētījumā tiek prezentēts veids, kā iespējams automatizēt lauka infiltrācijas testu veikšanu dubultā gredzena infiltrācijas testa metodei ar krītošu ūdens līmeni, izmantojot pētījumā uzbūvētu automatisku līmeņa mērīšanas, apstrādes un datu saglabāšanas sistēmu. Uzbūvētā iekārta tika testēta lauka apstākļos astoņos skatrakumos, kas atrodas divos poligonos, kas pārstāv augšdevona Gaujas un Amatas svītu smilšakmens nogulumus. Katrā skatrakumā veikti divi eksperimenti – homogēnā smilšakmens virsmā un smilšakmens virsmā ar plaisu.

Ar iekārtu iegūtie rezultāti ļauj novērot infiltrācijas atšķirības starp Gaujas un Amatas svītu smilšakmens nogulumiem, kā arī rezultāti liecina par lielāku ūdens infiltrācijas ātrumu plaisainā smilšakmenī, nekā homogēnā smilšakmens nogulumos. Pēc granulometrisko analīžu rezultātiem noteiktais graudu efektīvais diametrs d_{10} korelē ar iegūtajām infiltrācijas ātruma vērtībām ($R^2=0,86$), norādot uz granulometriskā sastāva smalkās frakcijas ievērojamu ietekmi uz infiltrācijas īpašībām.

Atslēgas vārdi: dubultā gredzena infiltrometrs, filtrācijas īpašības, granulometriskais sastāvs.

Ievads

Pētījuma darba mērķis ir izstrādāt dubultā gredzena infiltrācijas testa iekārtas automatizētu sistēmu mērījumu veikšanai un pārbaudīt iekārtas lietderību veicot lauka eksperimentus.

Dubultā gredzena lauka infiltrācijas mērījumu veikšana ir izplatīta lauksaimniecības nozarē (Chen, Wuing 2002; Gregory u.c. 2005), lai noteiktu grunts filtrācijas īpašības. Tests tiek lietots arī urbanizētā vidē, lai noteiktu grunts kompresijas un grunts tehnogēnā sastāva ietekmi uz lietus ūdens infiltrāciju (Gregory u.c. 2006), kā arī lietus ūdens infiltrācijas baseinu novietojuma plānošanai (Bean, Dukes 2015).

Dubultā gredzena infiltrācijas testa mērījumus parasti nolasa manuāli, kas prasa nepārtrauktu iekārtas operatora uzmanību un līdz ar to pieļauj operatora kļūdas iespējamību. Testa automatizēšana šāda veida kļūdas var samazināt, tāpēc parādās mēģinājumi metodi automatizēt (Arriaga u.c. 2010; Fatehnia u.c. 2016).

Materiāli un metodes

Pētījuma gaitā tika izgatavota dubultā gredzena infiltrācijas iekārta, kā arī šai iekārtai pielāgota automatizēta mērījumu veikšanas sistēma. Pēc iekārtas izstrādāšanas tā pārbaudīta lauka apstākļos skatrakumos atsegtā gruntī.

Dubultā gredzena infiltrācijas tests

Šajā pētījumā izmantots dubultā gredzena infiltrācijas tests ar krītošu ūdens līmeņa sistēmu. Testā lietotā iekārta sastāv no diviem gredzeniem, kas ievietoti viens otrā, tie ievietoti gruntī līdz 10 cm dziļumā, un tajos tiek ieliets ūdens tā, lai abos gredzenos būtu vienāds līmenis. Kvazistacionāro infiltrācijas ātrumu var noteikt, panākot grunts pilnīgu piesātinājumu ar ūdeni. Mērījumi tiek veikti tikai iekšējā cilindrā, jo ārējais cilindrs kalpo kā buferis, kas liedz iekšējā cilindra ūdenim filtrēties uz sāniem,

tādējādi nodrošinot pēc iespējas vertikālu plūsmu (Gregory u.c. 2005). Krītoša ūdens līmeņa tests paredz uzpildīt gan iekšējo, gan ārējo gredzenu ar ūdeni vienādā līmenī, kas parasti ir no 5 līdz 20 cm, (Arriaga u.c. 2010), kam seko iekšējā cilindra līmeņa nolasījumi ik pēc noteikta laika. Ja ūdens līmenis ārējā cilindrā nokrītas ātrāk par iekšējo, tad nepieciešams to uzpildīt līdz iekšējā cilindra līmenim, lai ūdens spiediens uz grunti būtu vienāds.

Dubultā gredzena infiltrācijas iekārta

Dubultā gredzena infiltrācijas iekārta izgatavota no 3 mm bieza nerūsējošā tērauda, ņemot vērā standarta ASTM D3385-09 (ASTM D3385 2009) norādījumus. Iekšējais un ārējais diametrs gredzeniem ir attiecīgi 15 cm un 30 cm diametrā, apakšējā daļā izveidoti zobīņi, kas ļauj gredzenu iegriezt vidēji sacementētā gruntī. Abos gredzenos vienā malā izveidots 8 mm liels caurums, kas paredzēts spiediena sensora pievienošanai.

Dubultā infiltrācijas gredzena metodes automatizācijas sistēma

Automatizācijas nolūkos tika izgatavota sistēma, kas automātiski reģistrē ūdens līmeni dubultā gredzena iekšējā cilindrā, attēlo mērījumu ekrānā, kā arī saglabā mērījumus, mērījumu datumu, laiku un eksperimenta numuru ar konkrētu laika intervālu zibatmiņā.

Ūdens līmeņa mērījumu veikšanai izmantots "Honeywell" kompānijas spiediena sensors HSCDNAN001PG, kura mērījumu diapazons ir 0–1 psi, jeb 0–70,4 cm ūdens staba augstums un kura precizitāte ir 0,25% no nolasījuma. Datu ievadei, apstrādei un saglabāšanai izmantots vienplates dators Raspberry Pi, bet aktuālo datumu un laiku nodrošina modulis DS1307. Sistēma nodrošina iespēju fiksēt spiediena vai ūdens līmeņa vērtību pat ar sekundes intervālu, kas ļauj detalizēti sekot ūdens infiltrācijas ātruma pārmaiņām eksperimenta gaitā. Iekārtu iespējams ilglaicīgi darbināt ar 12 Voltu svina skābes akumulatoru.

Pēc iekārtas izstrādes tika veikta tās kalibrācija laboratorijas apstākļos, izmantojot 10 kalibrācijas punktus starp laboratorijā uzstādīto ūdens līmeni un iekārtas nolasīto līmeni, tika iegūta kalibrācijas līkne ar Pīrsona korelācijas koeficienta vērtību $R^2=0,9998$.

Iekārtas izmēģinājuma poligoni

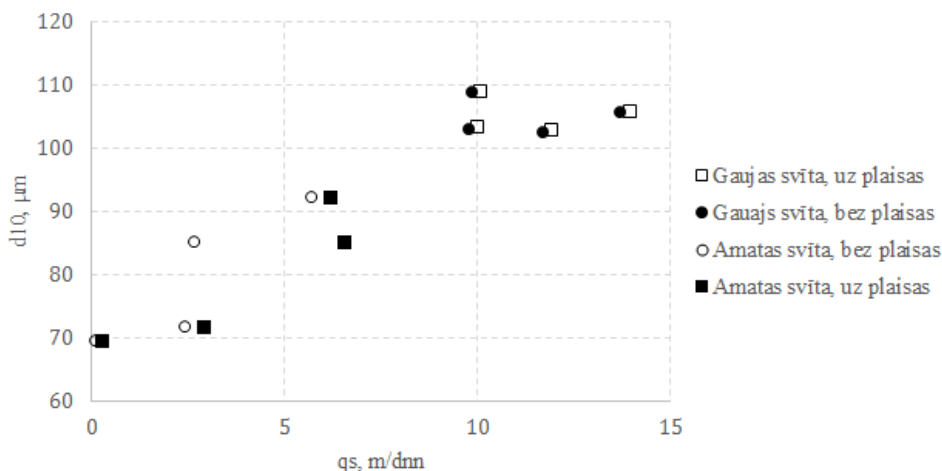
Pētījuma gaitā uzbūvētā iekārta tika izmēģināta lauka apstākļos divos poligonos: Lodes māla karjerā augšdevona Gaujas svītas (D_{3gj}) smilšakmens nogulumos un Mazās Ellītes apkārtnē, Liepas paliksnī augšdevona Amatas svītas (D_{3am}) smilšakmens nogulumos. Abos poligonos tika izveidoti 4 skatrakumi katrā vismaz viena metra dziļumā. Katrā skatrakumā tika veikti lauka infiltrācijas mērījumi uz netraucētas smilšakmens virsmas, kā arī uz vizuāli identificējamās plaisas smilšakmenī. Papildus katrā skatrakumā tika paņemti smilšakmens paraugi granulometrisko analīžu veikšanai no homogēnas smilšakmens daļas. Pēc granulometriskās analīzes, kas tika veikta ar iekārtu Retsch AS 200, rezultātiem katram paraugam tika noteikts efektīvais graudu diametrs d_{10} , atbilstoši Todd un Mays (2005) norādītajai metodikai.

Rezultāti un diskusija

Lauka darbos tika iegūti piesātinātas grunts infiltrācijas mērījumi divos dažādos poligonos, kopā astoņos skatrakumos, katrā skatrakumā divos dažādos apstākļos – uz homogēna smilšakmens un uz vizuāli identificējamās plaisas. Katram mērījumam tika veikti vismaz pieci atkārtojumi, līdz grunts piesātinājums sasniedza maksimumu un infiltrācijas ātrums kļuva laikā nemainīgs. Par ticamo rezultātu tiek uzskatīts katrā mērījumu sērijā pēdējais veiktais eksperiments. Kvizistacionāras infiltrācijas (q_s) rezultāti apkopoti 1. tabulā, kur skatrakumu vietas 1001 līdz 1004 apzīmē Gaujas svītas smilšakmens skatrakumus Lodes karjerā, bet 3001–3004 apzīmē Amatas svītas smilšakmens skatrakumus pie Mazās Ellītes.

1. tabula. Infiltrācijas testu rezultāti

Skatrakuma vieta	q_s , m/dnn		q_s uz plaisas pret q_s bez plaisas vērtību attiecība
	bez plaisas	uz plaisas	
1001	11,71	11,97	1,02
1002	9,85	10,10	1,03
1003	13,70	14,02	1,02
1004	9,77	10,04	1,03
3001	2,68	6,56	2,45
3002	5,73	6,20	1,08
3003	0,12	0,30	2,49
3004	2,45	2,95	1,20



1. attēls. Infiltrācijas ātruma atkarība no efektīvā graudu diametra d_{10}

Rezultāti liecina, ka visos skatrakumos infiltrācijas ātrums uz plaisām vienmēr ir lielāks nekā homogēnā smilšakmenī. Šī atšķirība visizteiktākā ir Amatas svītas smilšakmens skatrakumos, kuros infiltrācijas ātrums uz plaisām skatrakumos 3001 un 3003 ir vairāk kā divas reizes lielāks nekā homogēnā smilšakmenī (1. tabula), savukārt Gaujas svītas smilšakmens skatrakumos šī atšķirība ir mazāk izteikta. Gaujas smilšakmens piesātinātas grunts kvazistacionārās infiltrācijas (q_s) vidējā vērtība ir 11,4 m/dnn, bet Amatas svītas smilšakmenim šī vērtība ir 3,38 m/dnn.

Salīdzinot infiltrācijas testu rezultātus ar efektīvo graudu diametru (1. attēls), redzama korelācija ($R^2=0,8605$ visai datu kopai), kas atbilst literatūrā norādītajam, ka, jo mazāks ir efektīvais graudu diametrs (d_{10}), jo sliktākas ir terīgēnā ieža filtrācijas īpašības (Todd, Mays 2005).

Secinājumi

Pētījums prezentē pieeju, kā automatizēt lauka infiltrācijas mērījumus, kā arī pierāda automatizēta infiltrācijas eksperimenta sistēmas lietderību infiltrācijas datu iegūšanai ar dubultā gredzena infiltrācijas metodi, samazinot operatora iesaistīšanu mērījumu veikšanā un tādējādi samazinot kļūdas iespējamību. Iegūtie rezultāti liecina par izstrādātās iekārtas spēju identificēt atšķirības starp divu dažāda granulometriskā sastāva smilšakmens infiltrācijas īpašībām. Pētījumā tika iegūti dati, kas apstiprina efektīvā graudu diametra (d_{10}) korelāciju ar iežu filtrācijas īpašībām, bet neizskaidro tās pilnībā, norādot uz citu faktoru ietekmi. Izstrādātā iekārta pierāda iespēju noteikt filtrācijas īpašību atšķirības starp homogēnu smilšakmeni un smilšakmeni ar vizuāli novērojamām plaisām, pēdējam novērojot paaugstinātas infiltrācijas vērtības.

Pateicība

Pētījums izstrādāts EVIDENnT projekta "Pazemes ūdeņi un klimata scenāriji" apakšprojekta "Pazemes ūdeņu pētījumi" ietvaros.

Atsauces

- Arriaga, F. J., Kornecki, T. S., Balkcom, K. S., & Raper, R. L. (2010). A method for automating data collection from a double-ring infiltrometer under falling head conditions. *Soil Use and Management*, 26(1), 61–67.
- ASTM D3385. (2009). Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. *ASTM International*.
- Bean, E. and Dukes, M. (2015). Evaluation of Infiltration Basin Performance on Coarse Soils. *J. Hydrol. Eng.*, 21(1). doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001258
- Chen, S., Wuing, C. (2002). Analysis of water movement in paddy rice fields (I) experimental studies. *Journal of Hydrology*, 260(1-4), 206–215.
- Fatehnia, M., Paran, S., Kish, S., & Taw, K. (2016). Automating double ring infiltrometer with an Arduino microcontroller, *Geoderma*, 262, 133–139.
- Gregory, J. H., Dukes, M.D., Jones, P.H., Miller, G.L. (2006). Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61 (3), 117-124.
- Gregory, J. H., Graduate, F., & Michael, D. (2005). Analysis of Double-Ring Infiltration Techniques and Development of a Simple Automatic Water Delivery System, *Applied Turfgrass Science*, 2(1). doi:10.1094/ATS-2005-0531-01-MG.
- Todd, D.K., and Mays, L.W. (2005). Groundwater hydrology (Third Edition), *Wiley*.

Summary

Double ring infiltrometer tests are useful source of infiltration data when *in-situ* measurements are necessary. Such tests are used in many disciplines including agriculture, soil science, geology, flood risk management and many more.

This paper presents a method of using a double ring infiltrometer with an automatized measurement system, reducing the need for human assistance. A falling head system was used. The constructed infiltrometer system was field tested on two polygons representing sandstone from the Upper Devonian Gauja and Amata Formations. Eight test pits were dug in total, with ten tests conducted in each pit: five on homogenous sandstone and five on sandstone showing visible fissure.

Results were supportive of the usefulness of the constructed double ring infiltrometer system. A difference in infiltration rate was detected between the two sandstone formations, as well as a higher rate of infiltration in the fissured sandstones. The correlation ($R^2=0.86$) between effective grain size (d_{10}) and infiltration rate indicates a high impact of grain size distribution on infiltration.