

PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ FILTRO HIDRAULINIO LAIDUMO TYRIMAI IR VERTINIMAS

Lygita MAKARAVIČIŪTĖ¹, Eglė MARČIULAITIENĖ²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹lygita.makaraviciute@stud.vgtu.lt; ²egle.marciulaitiene@vgtu.lt

Santrauka. Paviršinėmis nuotekomis laikomos tokios, kurios susidaro ant urbanizuotos teritorijos paviršiaus. Paviršinių nuotekų valymas atliekamas taikant įvairius filtrus – smėlio, augalinius. Nuotekų skverbimasis į gilesnius sluoksnius vadinamas hidrauliniu laidumu. Įvertinus hidraulinį laidumą galima nustatyti tiriamų filtro užpildų gebėjimą sulaikyti atitekėjusių paviršinių nuotekų srautą filtro užpilduose. Atlikus hidraulinio laidumo tyrimus, galima nustatyti, kurie paviršinių nuotekų filtro užpildai gali lemti efektyvesnį paviršinių nuotekų išvalymą. Tiriami keturi paviršinių nuotekų filtrai: smulkinto autoklavinio akytojo betono filtras; smulkinto autoklavinio akytojo betono ir pievinės miglės dangos filtras; kvarcinio smėlio filtras su pievinės miglės danga; kvarcinio smėlio filtras. Natūrinėmis sąlygomis hidraulinio laidumo tyrimas atliekamas, taikant *Constant-Head* metodą. Matematinio modeliavimo programa *Hydrus-1D* pateikiama, kaip kinta hidraulinis laidumas kiekviename filtro užpildo sluoksnyje. Nustatytas hidraulinis laidumas filtruose natūrinėmis sąlygomis nekito smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre (30 000 mm/d). Mažiausias hidraulinis laidumas natūrinėmis sąlygomis nustatytas kvarcinio smėlio filtre su pievinės miglės (*Poa pratensis*) augalinės dangos sluoksniu, čia jis nustatytas 209,3 mm/d. Matematinio modeliavimo programa *Hydrus-1D* nustatyta, kad hidraulinis laidumas filtruose mažėja priklausomai nuo filtro užpildo gylio.

Reikšminiai žodžiai: paviršinės nuotekos, filtras, *Hydrus-1D*, *Constant-Head* metodas, hidraulinio laidumo koeficientas.

Įvadas

Paviršinės nuotekos susidaro, patekus krituliams (sniegas, lietus) ant urbanizuotos teritorijos paviršiaus, ant vandeniui nelaidžių paviršių (pastatų stogai, šaligatviai), taip pat paviršinėmis nuotekomis yra laikomos nuotekos, susidarantys plaunant gatves (Makaravičiūtė, Marčiulaitienė 2014).

Vilniaus mieste 2012 metais susidarė 63,7 mln. m³ paviršinių nuotekų: nevalytos paviršinės nuotekos sudarė 89,1 %. Didžiausia nevalytų paviršinių nuotekų koncentracija yra nustatyta Šiaulių regione. 2012 metais nevalytų paviršinių nuotekų kiekis, išleistas į paviršinio vandens telkinius, siekė 18 419 tūkst. m³ (Aplinkos apsaugos... 2013).

Paviršinėms nuotekoms valyti taikomi įrenginiai, kurie šalina: skandinčias medžiagas, sunkiuosius metalus, maistines medžiagas (azotas, fosforas) ir naftos produktus.

Paviršinėms nuotekoms valyti gali būti taikomi augaliniai filtrai. Paviršinių nuotekų augaliniai filtrai yra viena iš galimybių, kai juos taikant galima sumažinti maistinių medžiagų kiekį išleidžiamose į paviršinius vandens telkinius nuotekose (Blecken *et al.* 2007). Taip pat paviršinių nuotekų valymo augaliniai filtrai efektyviai sulaiko ir skandinčias medžiagas bei sunkiuosius metalus (Davis *et al.* 2001; Zinger *et al.* 2007; Le Coustumer *et al.* 2009).

Paviršinių nuotekų filtrai yra apželdinti augalais, kurie yra laikomi pagrindiniais biologiniais komponentais įrenginiuose (Zhang *et al.* 2011). Augalai taip pat atlieka ir vieną iš pagrindinių funkcijų: atitekėjusių paviršinių nuotekų srautą paskirsto tolygiai įrenginio paviršiuje, kad nuotekos galėtų tolygiai filtruotis viso įrenginio tūryje. Augalai taip pat gali pagerinti hidraulinį laidumą paviršinių nuotekų filtre, nes šaknų sistemos vystosi ir auga, sudarydamos kanalus filtro užpilduose (Hatt *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2011).

Nuotekos filtruojamos per užpildą, šalinant teršalus vyksta cheminiai ir biocheminiai procesai. Filtruojant gilesniuose užpildo sluoksniuose sulaikomi teršalai: skandinčiosios medžiagos, azotas ir fosforas. Išvalytas vanduo arba patenka į gilesnius užpildo sluoksnius, arba drenažo sistemoje yra surenkamas ir tiekiamas į paviršinių nuotekų tinklus, o iš jų patenka į paviršinius vandens telkinius.

Nevalomos paviršinės nuotekos gali daryti žalingą poveikį aplinkai. Pagrindiniai veiksniai, darantys įtaką paviršinių nuotekų poveikiui aplinkai, yra nuotekų užterštumo lygis ir hidrauliniai parametrai (debitas) (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

Hidraulinis laidumas – dirvožemio (grunto) gebėjimas perduoti vandenį į gilesnius sluoksnius (Hydraulic conductivity 2015). Nuo filtro hidraulinio laidumo priklauso išvalymo efektyvumas. Mokslininkai nustatė, kad maistinių medžiagų, esančių paviršinėse nuotekose (azotas, fosforas), ir skendinčiųjų medžiagų sulaikymas valomose paviršinėse nuotekose priklauso nuo hidraulinio laidumo (Bratieres *et al.* 2008).

Reikia parinkti tokius filtrų užpildus, kad būtų galima sumažinti hidraulinį laidumą ir išvengti filtro porų užsipildymo (užsikimšimo) (Virahsawmy *et al.* 2013). Filtro porų užsipildymas (užsikimšimas) konstatuojamas tada, kai sumažėja paviršinių nuotekų išvalymo efektyvumas (Le Coustumer *et al.* 2012; Le Coustumer *et al.* 2009). Filtro poros užsipildo (užsikemša) dėl kartu su užterštu nuotekų srautu atitekėjusių molio dalelių bei dumblių, sulaikomų filtro paviršiuje (Hatt *et al.* 2008; Virahsawmy *et al.* 2013).

Nustatyta, kad įvairūs teršalai geriau išvalomi iš paviršinių nuotekų, joms tekant per smulkų užpildo sluoksnį, nei tada, kai užpildą sudaro stambios dalelės (Genc-Fuhrman *et al.* 2007; Hsieh, Davis 2005).

Skirtingose pasaulio šalyse, kuriose paviršinėms nuotekoms valyti yra taikomi filtrai, įrenginio rengimo rekomendacijose yra nurodytos hidraulinio laidumo reikšmės, kurias užtikrinus galima efektyviai valyti užterštas paviršines nuotekas:

- Naujojoje Zelandijoje filtrų rengimo rekomendacijose nurodyta hidraulinio laidumo koeficiento reikšmė K turi siekti bent 12,5 mm/h (ARC 2003; Claytor, Schueler 1996; Winogradoff 2002);
- Austrijoje hidraulinio laidumo koeficiento leistinas kitimas yra nuo 36 mm/h iki 360 mm/h (ONORM B2506-1 2000);
- Australijoje – nuo 50 mm/h iki 200 mm/h (Melbourne Water 2005; Le Coustumer *et al.* 2009).

Lietuvoje nėra nustatyta, koks hidraulinis laidumas paviršinių nuotekų valymo filtruose turi būti užtikrinamas, norint efektyviai išvalyti užterštas paviršines nuotekas.

Hidraulinio laidumo tyrimai gali būti:

- paremti *Darsi* teorija:
 - *In Situ* metodai;
 - laboratoriniai metodai;
- koreliaciniai tyrimai.

Plačiausiai paviršinių nuotekų tyrimai atliekami taikant laboratorinius metodus:

- *Constant-head* metodą;
- *Falling-head* metodą.

Constant-head metodas taikomas, norint nustatyti vandens hidraulinį laidumą tiriamame dirvožemyje (grun-

te), taip pat vertinti ir prognozuoti gyvenamųjų teritorijų paviršiaus nuolydžių įtaką vandens hidrauliniam laidumui dirvožemyje (Constant Head Permeability... 2015).

Falling-head metodas taikomas įvertinti hidraulinį laidumą konstrukciniuose elementuose, taip pat gruntui stabilizuoti statant statinį. Šaltesnio klimato šalyse taikant šį metodą nustatoma, kaip kinta skysčių hidraulinis laidumas ir judėjimas dirvožemyje, esant žemai aplinkos temperatūrai (Constant Head Permeability... 2015).

Metodika

Tyrimo tikslas – nustatyti hidraulinį laidumą filtruose su kvarcinio smėlio užpildu ir smulkinto autoklavinio akytojo betono užpildo sluoksniu (1 pav.), taip pat įvertinti žolinės augalijos įtaką hidrauliniam laidumui įrenginiuose.

Paviršinių nuotekų valymo įrenginių gebėjimas perduoti paviršines nuotekas į gilesnius užpildo sluoksnius tiriamas taikant *Constant-Head* metodą. Pagrindinė formulė, aprašanti hidraulinį laidumą taikant *Constant Head* metodą (Civil and Environmental... 2008):

$$k = \frac{V \cdot L}{A \cdot h \cdot t},$$

čia k – hidraulinio laidumo koeficientas, V – nuotekų tūris, L – filtro ilgis, A – filtro paviršiaus plotas, h – aukščių skirtumas, t – laikas, per kurį paviršiuje nebelieka vandens.

Hidraulinio laidumo tyrimas atliekamas visame įrenginio paviršiaus plote, 40 000 mm².

Matuojamas laikas, per kurį į pasirinktą tūrį infiltruojasi nuotekos (Hydraulic conductivity 2015). Hidraulinio



1 pav. Paviršinių nuotekų valymo filtrai: 1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono filtras; 2 – smulkinto autoklavinio akytojo betono filtras su žolinės augalijos sluoksniu (pievinė miglė (*Poa pratensis*)); 3 – kvarcinio smėlio filtras su žolinės augalijos sluoksniu (pievinė miglė (*Poa pratensis*)); 4 – kvarcinio smėlio filtras

Fig. 1. Stormwater filters: 1 – crushed autoclaved aerated concrete filter; 2 – crushed autoclaved aerated concrete filter with the grassy vegetation layer (Meadow grass (*Poa pratensis*)); 3 – silica sand filter with the grassy vegetation layer (Meadow grass (*Poa pratensis*)); 4 – silica sand filter

laidumo tyrimas atliekamas ant *PET* plėvelės užpilant 3 litrus paviršinių nuotekų. Nuotekos išpilamos ant įrenginio paviršiaus ir liniuote išmatuojamas ant filtro paviršiaus susidarantis vandens sluoksnio aukštis. Stebimas laikas, per kurį paviršinės nuotekos nuo patekimo momento infiltruojasi į įrenginio užpildą. Laikas stabdomas, kai vandens ant užpildo paviršiaus nebelieka, matosi tik blizgantis užpildo dalelių paviršius (Infiltration test 2015).

Taikant matematinio modeliavimo programą *Hydrus-1D* atliekamas hidraulinio laidumo modeliavimas filtruose.

Matematinio modeliavimo programa *Hydrus-1D* hidraulinio laidumo skaičiavimus atlieka pagal *Darsi dėsnį*. Vandeniui tekant visiškai prisotintu gruntu viena kryptimi, vandens debitas q ir vandens tekėjimo greitis v pagal *Darsi dėsnį* aprašomas šiomis formulėmis (Dobrego *et al.* 2001):

$$q = A \cdot k \cdot i$$

$$v = k \cdot i,$$

čia A – filtro skerspjūvio, kuriuo teka vanduo, plotas, m^2 ; k – hidraulinis laidumas, m/s ; i – hidraulinis nuolydis, m^2/s .

Hidraulinis laidumas filtruose priklauso nuo:

- filtro užpildo sluoksnių dalelių granulometrinės ir mineralinės sudėties;
- dalelių tankumo ir struktūros;
- vandens cheminės sudėties (Želnys 2011).

Hydrus-1D matematinio modeliavimo programa skirta modeliuoti nuotekų srautams filtre, šilumos pasiskirstymui įrenginyje, tirpių junginių pasiskirstymui (Šimūnek *et al.* 2009) prisotintuose, neprisotintuose ir iš dalies prisotintuose (Šimūnek *et al.* 2008) paviršinių nuotekų valymo įrenginio užpildų sluoksniuose. Programa matematinį modeliavimą atlieka pagal *Richard's* lygtį (Pachepsky *et al.* 2003):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \cdot \left(D(0) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S,$$

čia θ – dirvožemyje esančio vandens tūris, $m^3 m^{-3}$; D – dirvožemyje esančio vandens difuzija, $m^2 s^{-1}$; x – filtro gylis, m ; t – laikas, s ; K – hidraulinio laidumo funkcija, $l s^{-1}$; α – kampas tarp vertikaliios ašies ir srauto tekėjimo krypties; S – įdubos plote sulaikomas nuotekų kiekis, $l^3 \cdot l^{-3} \cdot s^{-1}$.

Pagrindiniai įvesties duomenys programoje *Hydrus-1D* yra:

- filtro aukštis;
- filtracijos tipas (vertikali, horizontali);
- filtro veikimo laikas;
- filtro užpildo sluoksnių charakteristikos (parenkama iš programoje esančios bibliotekos);
- modelis, pagal kurį atliekamas hidraulinio laidumo filtruose modeliavimas.

Rezultatai ir jų analizė

Hidraulinio laidumo tyrimai atlikti keturiuose paviršinių nuotekų filtruose:

- 1) smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre;
- 2) smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su žolinės augalijos sluoksniu (pievinė miglė (*Poa pratensis*));
- 3) kvarcinio smėlio filtre su žolinės augalijos sluoksniu (pievinė miglė (*Poa pratensis*));
- 4) kvarcinio smėlio filtre (1 pav.).

Naudojamas kvarcinis smėlis, kurio dalelių dydis yra 300 μm dydžio. Smulkinto autoklavinio akytojo betono tankis $500 \pm 50 \text{ kg/m}^3$, porėtumas 79,7 %.

1 lentelė. Natūrinėmis sąlygomis nustatytas hidraulinis laidumas filtruose

Table 1. Hydraulic conductivity set in subsistence conditions in stormwater filters

Laikas, val.	768	792	1152	1176	1183
	Hidraulinis laidumas, mm/d				
Filtr Nr. 1	30000	30000	30000	30000	30000
Filtr Nr. 2	1406,3	1500,0	7200,0	12857,1	11250,0
Filtr Nr. 3	221,9	209,3	1161,3	656,9	814,5
Filtr Nr. 4	351,6	362,2	1384,6	759,5	1343,3

Natūrinėmis sąlygomis filtrų hidraulinis laidumas tirtas 5 kartus (1 lentelė): po 768 valandų veikimo, po 792 valandų, po 1152 valandų, po 1176 valandų, po 1183 valandų.

Po nuolatinio filtrų veikimo nustatytas hidraulinis laidumas nekito tik smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre (filtr Nr. 1). Čia jis buvo nustatytas 30 000 mm/d.

Nustatytas mažiausias hidraulinis laidumas kvarcinio smėlio filtre su žolinės augalijos sluoksniu (filtr Nr. 3). Po nuolatinio veikimo mažiausias hidraulinis laidumas nustatytas praėjus 792 valandoms nuo filtro veikimo pradžios. Jis nustatytas 209,3 mm/d. Naujojoje Zelandijoje hidraulinio laidumo koeficientas, kuris užtikrina efektyvų paviršinių nuotekų valymą, yra 12,5 mm/h. Įvertinus filtro Nr. 3 gautus rezultatus, hidraulinis laidumas, nustatytas šiame filtre, yra 1,5 karto mažesnis nei Naujojoje Zelandijoje, 34 kartus mažesnis, nei yra nustatytas Austrijoje, ir 23 kartus mažesnis, nei nustatytas Australijoje.

Taip pat hidraulinio laidumo tyrimai filtruose atlikti esant sausros periodui. Pasirinktą laiką, 15 dienų (360 valandų), filtrai nebuvo drėkinami. Praėjus sausros periodui, filtruose atlikti hidraulinio laidumo tyrimai parodė, kad smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre hidraulinis laidumas nepriklauso nuo pasirinkto tyrimams laikotarpio.

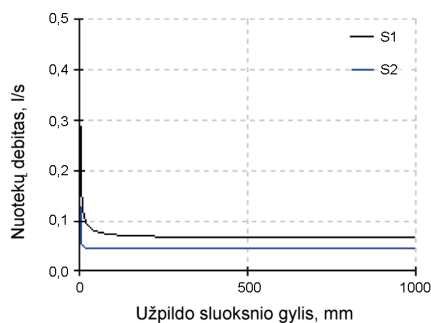
Taip pat nustatyta, kad po sausojo periodo smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su žolinės augalijos sluoksniu (filtr Nr. 2), kvarcinio smėlio filtre su žolinės

augalijos sluoksniu (filtras Nr. 3) ir kvarcinio smėlio filtre (filtras Nr. 4) nustatytas didesnis hidraulinis laidumas, nei tai buvo nustatyta po nuolatinio filtrų drėkinimo (nuolatinio veikimo). Kvarcinio smėlio filtre su žolinės augalijos sluoksniu (filtras Nr. 3) ir kvarcinio smėlio filtre (filtras Nr. 4) po 1152 valandų veikimo nustatytas staigus hidraulinio laidumo koeficiento pokytis, jis padidėjo 3,8 karto.

Hidraulinio laidumo tyrimai atlikti praėjus 384 valandoms ir 391 valandai po sausros laikotarpio. Nustatyta, kad, praėjus sausros laikotarpiui ir vėl pradėjus drėkinti filtrus, hidraulinis laidumas didėja. Kaip matyti iš 1 lentelėje pateiktų duomenų, didžiausias hidraulinio laidumo pokytis nustatytas filtre Nr. 4. Hidraulinis laidumas filtre Nr. 4, praėjus sausros periodui ir vėl drėkinant filtra, per 7 valandas padidėjo 1,77 karto, o kvarcinio smėlio filtras su žolinės augalijos sluoksniu (filtras Nr. 3) – 1,24 karto, smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su žolinės augalijos sluoksniu (filtras Nr. 2) hidraulinis laidumas sumažėjo 1,14 karto. Po sausros periodo hidraulinis laidumas filtruose sumažėja, bet praėjus sausros periodui ir vėl drėkinant filtrus, po tam tikro veikimo laiko hidraulinis laidumas ima didėti.

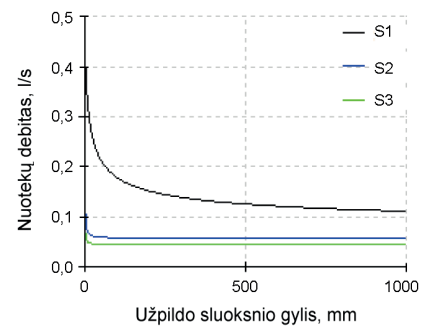
Atlikus matematinį hidraulinio laidumo modeliavimą programa *Hydrus-1D*, nustatyta, kad paviršinių nuotekų debitas staiga mažėja, įvertinus pagal užpildų sluoksnių gylį. Matematinio modeliavimo rezultatai parodė, kad maksimalus vandens debitas yra tik užpildų paviršiuje, maždaug iki 10 cm gylio. Kaip matyti, vandens debitas gilesniuose užpildo sluoksniuose mažėja (2 pav.).

Įvertinus smulkinto autoklavinio akytojo betono filtro su žolinės augalijos sluoksniu nuotekų debito priklausomybę nuo taikomų sluoksnių gylio, galima teigti, kad pievinės miglės sluoksnis sumažina maksimalaus atitekėjusio nuotekų debito greitį (3 pav.). Tokiu atveju paviršinės nuotekos teka lėčiau smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksniu, teršalai efektyviau šalinami iš paviršinių nuotekų srauto.



2 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre: S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenažo sluoksnis

Fig. 2. Flow dependence on a crushed autoclaved aerated concrete filter media depth: S1 – crushed autoclaved aerated concrete layer, S2 – the drainage layer



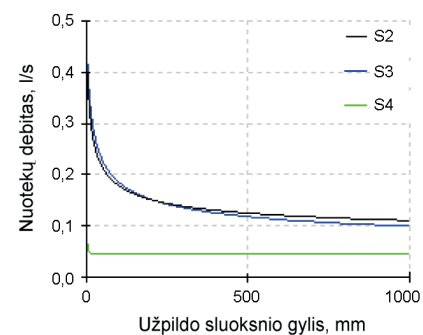
3 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su žolinės augalijos sluoksniu: S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenažo sluoksnis, S3 – pievinės miglės danga

Fig. 3. Flow dependence on a crushed autoclaved aerated concrete filter with the grassy vegetation layer media depth: S1 – crushed autoclaved aerated concrete layer, S2 – the drainage layer, S3 – Meadow grass (*Poa pratensis*) layer

Kvarcinio smėlio filtras su žolinės augalijos sluoksniu, augalinės dangos sluoksnis taip pat veikia paviršinių nuotekų debitą. Nuotekos infiltruojasi į kvarcinį smėlį lėčiau (4 pav.), dėl to nuotekos išvalomos efektyviau.

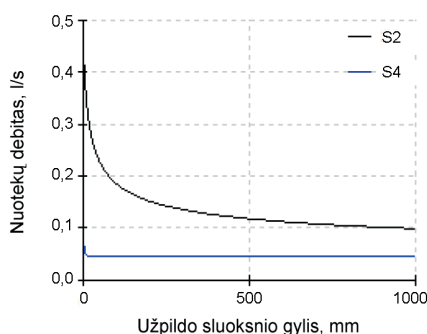
Kvarcinio smėlio filtre (filtras Nr. 4), kaip ir smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre (filtras Nr. 1), augalinės dangos sluoksnio nėra. Todėl atitekėjusios paviršinės nuotekos iškart patenka į filtro užpildo – kvarcinio smėlio – sluoksnį. Nustatyta, kad paviršinių nuotekų debitas tiriamajame užpilde mažėja (5 pav.).

Hidraulinio laidumo koeficientas, kaip ir paviršinių nuotekų debitas, taip pat priklauso nuo filtro užpildo sluoksnio gylio. Naudojantis modeliavimo programa *Hydrus-1D* apskaičiuotas skirtingų užpildų hidraulinio laidumo koeficientas skirtinguose gyliuose. Smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre (filtras Nr. 1) smulkinto autoklavinio



4 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio kvarcinio smėlio filtre su žolinės augalijos sluoksniu: S2 – drenažo sluoksnis, S3 – pievinės miglės danga, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

Fig. 4. Flow dependence on a silica sand filter with the grassy vegetation layer media depth: S2 – drainage layer S3 – Meadow grass (*Poa pratensis*) layer, S4 – silica sand layer



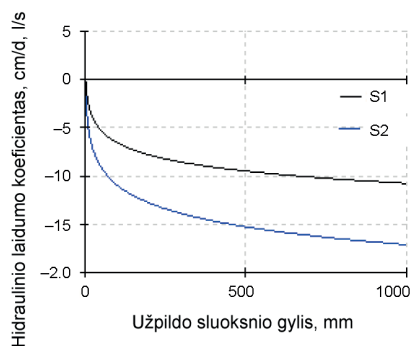
5 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio kvarcinio smėlio filtre: S2 – drenažo sluoksnis, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

Fig. 5. The flow dependence on a silica sand filter media depth: S2 – drainage layer, S4 – silica sand layer

akytojo betono sluoksnio hidraulinio laidumo koeficientas K kinta nuo 0 iki 8 cm/d (6 pav.). Laikoma, kad taikomo užpildo sluoksnio dalelių granulometrinė sudėtis kinta nuo 5 mm iki 10 mm.

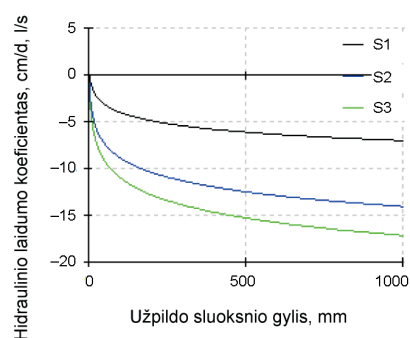
Smulkinto autoklavinio akytojo betono filtras su žolinės augalijos sluoksniu (filtras Nr. 2), hidraulinio laidumo koeficientas taip pat vertinamas atsižvelgiant į atskirus filtro sluoksnius. Augalinė danga sulėtina vandens debito tėkmę, tačiau dėl mažo sluoksnio aukščio ir šaknų sistemos išsivystymo hidraulinio laidumo koeficientas augalinės dangos sluoksnyje kinta nuo 0 cm/d iki 7 cm/d (7 pav.).

Gauti kvarcinio smėlio filtro su žolinės augalijos sluoksniu (filtras Nr. 3) rezultatai taip pat priklauso nuo sluoksnių gylio bei nuo pasirinkto tyrimui laiko. Kadangi natūriniai tyrimai atliekami vertinant per dvi valandas surinktas išvalytas nuotekas, taip pat parenkamas dviejų valandų trukmės modeliuojamo filtro veikimas. Per trumpą filtro veikimo laiką labiausiai hidraulinio laidumo koeficientas kinta drenažo sluoksnyje (žvyras, 2–4 mm), čia jis kinta nuo 0 iki 16 cm/d (8 pav.).



6 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio autoklavinio akytojo betono blokelių skaldos filtre: S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenažo sluoksnis

Fig. 6. Hydraulic conductivity coefficient dependence on the crushed autoclaved aerated concrete filler layer depth: S1 – crushed autoclaved aerated concrete layer, S2 – the drainage layer



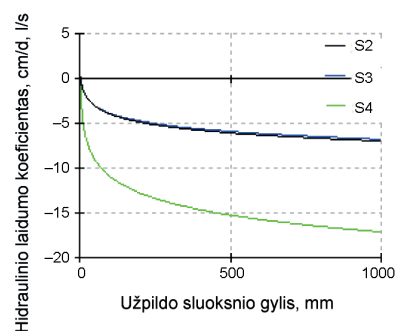
7 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su žolinės augalijos sluoksniu: S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenažo sluoksnis, S3 – pievinės miglės dangą

Fig. 7. Hydraulic conductivity coefficient dependence on the autoclaved aerated concrete filter with the grassy vegetation layer depth: S1 – crushed autoclaved aerated concrete layer, S2 – the drainage layer, S3 – Meadow grass (*Poa pratensis*) layer

Kvarcinio smėlio filtre (filtras Nr. 4), vertinant skirtingus filtro sluoksnius (kvarcinio smėlio užpildo sluoksnį ir žvyro drenažo sluoksnį), hidraulinio laidumo koeficientas kinta nuo 0 cm/d iki 17 cm/d (9 pav.).

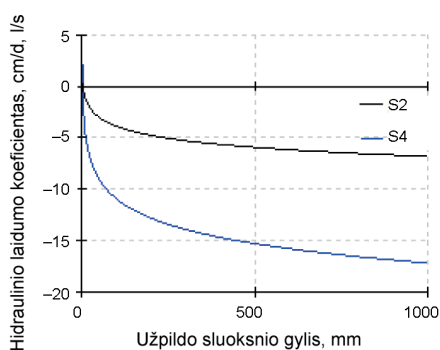
Kvarcinio smėlio hidraulinis laidumas priklauso nuo kvarcinio smėlio granulometrinės sudėties.

Mokslininkai nustatė, kad filtruose, kuriuose yra naudojamas smulkinto autoklavinio akytojo betono užpildo sluoksnis, hidraulinio laidumo koeficientas turi būti užtikrinamas mažiausiai 2500 mm/h (Renman, G., Renman, A. 2012). Pasiiekus mokslininkų nustatytą hidraulinio laidumo reikšmę, galima užtikrinti efektyvų fosforo ir azoto šalinimą iš paviršinių nuotekų srauto. Tyrimų metu taikomų filtrų su smulkinto autoklavinio akytojo betono užpildu hidraulinis laidumas neatitinka efektyviam nuotekų valymui užtikrinti reikiamo hidraulinio laidumo ir yra mažesnis 2 kartus.



8 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio kvarcinio smėlio filtre su žolinės augalijos sluoksniu: S2 – drenažo sluoksnis, S3 – pievinės miglės dangą, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

Fig. 8. Hydraulic conductivity coefficient dependence on the silica sand filter with the grassy vegetation layer media depth: S2 – drainage layer, S3 – Meadow grass (*Poa pratensis*) layer, S4 – silica sand layer



9 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio kvarcinio smėlio filtre: S2 – drenažo sluoksnis, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

Fig. 9. Hydraulic conductivity coefficient dependence on the silica sand filter media depth: S2 – drainage layer, S4 – silica sand layer

Mokslininkų nustatyta, kad hidraulinis laidumas skirtinguose kvarcinio smėlio filtruose gali kisti nuo 22 ± 1 mm/d iki 1130 ± 64 mm/d (Arias *et al.* 2001). Skirtingoms hidraulinio laidumo koeficiento reikšmėms atsirasti sudaromos sąlygos, norint efektyviai šalinti fosforą iš užteršto paviršinių nuotekų srauto.

Pagal natūrinėmis sąlygomis nustatytas hidraulinio laidumo reikšmes smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre taikymas gali užtikrinti efektyvų maistinių medžiagų (fosforo ir azoto) šalinimą, nes hidraulinis laidumas kinta nuo 1406,3 mm/val. iki 30 000 mm/val.

Tiriamas kvarcinis smėlis gali užtikrinti maistinių medžiagų šalinimą (azoto ir fosforo), nes hidraulinio laidumo reikšmės patenka į mokslininkų nustatytą hidraulinio laidumo dydžio intervalą nuo 22 ± 1 mm/d iki 1130 ± 64 mm/d.

Išvados

1. Hidraulinis laidumas, nustatytas natūrinėmis sąlygomis smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su drenažo sluoksniu, nekito (30 000 mm/d).
2. Atlikus matematinę modeliavimą programa *Hydrus-1D*, gauti rezultatai parodė, kad viso veikimo metu visuose filtruose hidraulinio laidumo koeficientas mažėja, kinta nuo 0 mm/d iki 16 mm/d, tai rodo, kad paviršinės nuotekos, tekėdamos filtrų užpildais, yra efektyviau išvalomos dėl ilgesnio filtracijos laiko.
3. Remiantis mokslininkų atliktais tyrimais, parinktas smulkinto autoklavinio akytojo betono užpildo sluoksnis nėra tinkamas taikyti paviršinėms nuotekoms valyti skirtinguose filtruose, nes nėra užtikrinamas hidraulinis laidumas siekiant, kad filtras efektyviai veiktų (2500 mm/d). Gautas hidraulinio laidumo reikšmės yra mažesnės 2 kartus. Natūrinėmis sąlygomis nustatytos

tiriamo kvarcinio smėlio hidraulinio laidumo reikšmės kinta nuo 209,3 mm/d iki 1343,3 mm/d, gauti rezultatai rodo, kad taikomas kvarcinis smėlis tinkamas valyti paviršinėms nuotekoms, nes yra užtikrinamos hidraulinio laidumo reikšmės, siekiant efektyviai valyti paviršines nuotekas (22 ± 1 mm/d – 1130 ± 64 mm/d).

4. Filtruose, kuriuose taikoma pievinė miglė (*Poa pratensis*), nustatyta, kad hidraulinis laidumas mažėja, tai reiškia, kad vyksta efektyvesnis skendinčiųjų medžiagų ir maistinių medžiagų (azotas, anglis) šalinimas.

Literatūra

- Aplinkos apsaugos agentūra. 2013. *Aplinkos būklė. Tik faktai* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2015 m. vasario 5 d.] Prieiga per internetą: <http://gamta.lt/files/Aplinkos%20b%C5%ABkl%C4%97%202013.%20Tik%20faktai.pdf>
- ARC. 2003. *Stormwater management devices: design guidelines manual*. Auckland: Auckland Regional Council.
- Arias, C. A.; Bubba, M. D.; Brix, H. 2001. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds, *Water Research* 35(5): 1159–1168. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00368-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00368-7)
- Blecken, G. T.; Zinger, Y.; Muthama, T. M.; Deletic, A.; Fletcher, T. D.; Viklander, M. 2007. The influence of temperature on nutrient treatment efficiency in stormer biofilter systems, *Water Science and Technology* 56(10): 83–91. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2007.749>
- Bratieres, K.; Fletcher, T. D.; Deletic, A.; Zinger, Y. 2008. Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study, *Water research* 42: 3930–3940. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.009>
- Civil and Environmental Engineering Department. 2008. *Constant head and falling head permeability test* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. balandžio 13 d.] Prieiga per internetą: http://faculty.fullerton.edu/btiwari/geotech_Lab/mainpage_files/other/Permeability.pdf
- Claytor, R. A.; Schueler, T. R. 1996. *Design of stormwater filtering systems, the centre for watershed protection*. Maryland: Silver Spring.
- Constant Head Permeability Test in Sand* [interaktyvus]. 2015. University of Texas in Arlington [žiūrėta 2015 m. kovo 30 d.] Prieiga per internetą: http://www.uta.edu/ce/geotech/lab/Main/Soil%20Lab/08_Permeability/permeability_lecture%20note.pdf
- Davis, A. P.; Shokouhian, M.; Sharma, H.; Minami, C. 2001. Laboratory study of biological retention for urban stormwater management, *Water Environment Research* 73(1): 5–14. <http://dx.doi.org/10.2175/106143001X138624>
- Dobrego, K. V.; Zhdanok, S. A.; Zaruba, A. I. 2001. Experimental and analytical investigation of the gas filtration combustion inclination instability, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 44(11): 2127–2136. [http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310\(00\)00263-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310(00)00263-5)
- Genc-Fuhrman, H.; Mikkelsen, P. S.; Ledin, A. 2007. Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents, *Water Environmental Research* 41(3): 591–602. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.10.024>

- Hatt, B. E.; Fletcher, T. D.; Deletic, A. 2008. Hydraulic and pollutant removal performance of fine stormwater filtration systems, *Environmental Science Technology* 42: 2535–2541. <http://dx.doi.org/10.1021/es071264p>
- Hydraulic conductivity* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/conuct.htm>
- Hsieh, C. H.; Davis, A. P. 2005. Evaluation and optimization of bioretention media for treatment of urban storm water runoff, *Journal of Environment Engineering* 131(11): 1521–1531. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:11\(1521\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:11(1521))
- Hvitved-Jacobsen, T.; Vollertsen, J.; Haaning Nielsen, A. 2010. *Urban and highway stormwater pollution. Concepts and engineering*. London: CRC. 347 p. <http://dx.doi.org/10.1201/9781439826867>
- Infiltration Test* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: http://www.phillywatersheds.org/whats_in_it_for_you/residents/infiltration-test
- Le Coustumer, S.; Fletcher, T. D.; Deletic, A.; Barraud, S.; Lewis, J. F. 2009. Hydraulic performance of biofilter systems for stormwater management: Influences of design and operation, *Journal of Hydrology* 376(1–2): 16–23.
- Le Coustumer, S.; Fletcher, T. D.; Deletic, A.; Barraud, S.; Poelsma, P. 2012. The influence of design parameters on clogging of stormwater biofilters: A large-scale column study, *Water Research* 46(15): 6743–6752. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.01.026>
- Makaravičiūtė, L.; Marčiulaitienė, E. 2014. Vilniaus miesto paviršinių nuotekų tarša skendinčiomis medžiagomis, iš 17-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2014 m. balandžio 10 d., Vilnius, Lietuva. Vilnius: Technika, 104–109.
- Melbourne Water. 2005. *Water Sensitive Urban Design (WSUD) Engineering Procedures: Stormwater*. Melbourne: CSIRO Publishing.
- ONORM B2506-1. 2000. *Soakaways for rain water from roof gutters and reinforced surfaces – application, hydraulic dimensioning, construction and operation*. Wien, Österreich: Österreichisches Normungsinstitut.
- Pachepsky, Y.; Timlin, D.; Rawlsc, W. 2003. Generalized Richards' equation to simulate water transport in unsaturated soils, *Journal of Hydrology* 272(1–4): 3–13. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694\(02\)00251-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694(02)00251-2)
- Renman, G.; Renman, A. 2012. Sustainable use of crushed autoclaved aerated concrete(CAAC) as a filter medium in wastewater purification, in *Proceedings of 8th International conference on sustainable management of waste and recycled materials in construction*, 30 May – 1 June, Gothenburg, Sweden.
- Šimūnek, J.; Šejna, M.; Saito, H.; Sakai, M.; van Genuchten, M. T. 2009. *The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media* [interaktyvus], [žiūrėta 2014 m. lapkričio 16 d.]. Prieiga per internetą: http://www.pc-progress.com/Downloads/Pgm_hydrus1D/HYDRUS1D-4.08.pdf
- Šimūnek, J.; van Genuchten, M. T.; Šejna, M. 2008. *Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages and related codes* [interaktyvus], [žiūrėta 2014 m. lapkričio 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.pc-progress.com/Documents/Simunek%20et%20al.,%20VZJ%20-%202008,%20Hydrus%20and%20Stanmod%20models.pdf>
- Virahsawmy, H. K.; Stewardson, M. J.; Vietz, G.; Fletcher, T. D. 2013. Factors that affect the hydraulic performance of rain-gardens: implications for design and maintenance, *Water Science and Technology* 69(5): 982–988. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2013.809>
- Winogradoff, D. A. 2002. *The bioretention manual, Prince's Georges County Maryland* [interaktyvus], 2008 [žiūrėta 2015 m. vasario 5 d.]. Available from Internet: <http://www.co.pg.md.us/Government/AgencyIndex/DER/ESD/Bioretention/bioretention.asp>
- Zinger, Y.; Fletcher, T. D.; Deletic, A.; Blecken, G. T.; Viklander, M. 2007. *Optimisation of the nitrogen retention capacity of stormwater biofiltrations systems. Sustainable techniques and strategies in urban water management*. Lyon: Novatech, 893–900.
- Zhang, Z.; Rengel, Z.; Liaghati, T.; Antoniette, T.; Meney, K. 2011. Influence of plant species and submerged zone with carbon addition on nutrient removal in stormwater biofilter, *Ecological Engineering* 37(11): 1833–1841. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.016>
- Želnys, M. 2011. Filtracijos koeficiento priklausomybės nuo grunto granulometrinės sudėties tyrimas, iš 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2011 m. teminės konferencijos „Statyba“ straipsnių rinkinys, 2011 m. kovo 23–25 d., Vilnius, Lietuva. Vilnius: Technika.

CONDUCTIVITY TESTING AND EVALUATION

L. Makaravičiūtė, E. Marčiulaitienė

Summary

Surface wastewater is considered as effluents, which are formed on the surface of urbanized areas. Stormwater treatment is performed out using a variety of filters: sand, grass. Wastewater penetration into the deeper layers is called hydraulic conductivity. After evaluation of the hydraulic conductivity, it is possible to determine the ability of the investigated filters to entrap the stormwater flow. The hydraulic conductivity tests can indicate which filters of stormwater filters may influence the more effective stormwater cleaning. Four stormwater filters were tested: crushed autoclaved aerated concrete filter; crushed autoclaved aerated concrete with Meadow grass (*Poa pratensis*) layer; silica sand filter with Meadow grass (*Poa pratensis*) layer; silica sand filter. Under in-situ conditions hydraulic conductivity in filters is investigated using Constant-head method. Mathematical modeling program *Hydrus-1D* presents the changes of hydraulic conductivity in each filter layer of the filter. Assessed hydraulic conductivity in filters under in-situ conditions hasn't changed only in crushed autoclaved aerated concrete filter (30 000 mm/d). The smallest hydraulic conductivity in filters under in-situ conditions was estimated in silica sand filter with Meadow grass (*Poa pratensis*) layer, here it was equal to 209.3 mm/d. With mathematical modeling program *Hydrus-1D* it was found that the hydraulic conductivity in each filter decreases, depending on the depth of filler in the filter.

Keywords: stormwater, filter, *Hydrus-1D*, Constant-Head method, hydraulic conductivity.