

## PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ KIEKIO ĮVERTINIMAS

Vaidas Vinciūnas<sup>1</sup>, Mindaugas Rimeika<sup>2</sup>, Dalia Janeliauskienė<sup>3</sup>*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: <sup>1</sup>vaidas.vinciunas@vgtu.lt; <sup>2</sup>mindaugas.rimeika@vgtu.lt; <sup>3</sup>dalia.janeliauskiene@gmail.com*

**Santrauka.** Standartiniai buitinių nuotekų debito matavimo būdai sunkiai pritaikomi paviršinėms nuotekoms dėl didelių debitų svyravimų, gausaus skendinčiųjų medžiagų kiekio, elektros tiekimo nebuvimo ir vietos trūkumo esamosiose sistemose. Todėl ieškoma naujų būdų ir alternatyvų, kaip būtų galima išmatuoti paviršinių nuotekų debitą, ypač urbanizuotose teritorijose. Paviršinių nuotekų debitų šalyje faktiškai nematuojama, o nuotekų kiekis apskaičiuojamas teorinėmis formulėmis. Darbo tikslas buvo palyginti vieno iš paviršinių nuotekų baseino faktinį išmatuotą debitą su apskaičiuotu pagal galiojančią standartinę metodiką. Paviršinių nuotekų debitas buvo matuojamas naudojant hidrostatinį lygio matuoklį, o teorinis debitas apskaičiuotas pagal artimiausios metrologinės stoties kritulmačio duomenis. Apskaičiuotas paviršinių nuotekų kiekis gautas beveik du kartus didesnis, nei išmatuotas. Būtina tobulinti esamą paviršinių nuotekų debito skaičiavimo metodiką, nes tai susiję su teršalų apskaita, mokesčiais už taršą ir aplinkos kokybės gerinimu.

**Reikšminiai žodžiai:** paviršinės nuotekos, nuotekų debitas, paviršinių nuotekų apskaita.

**Įvadas**

Pagrindiniai aplinkos apsaugos strategijos tikslai yra mažinti vandenų teršimą nuotekomis. Išsprendus su buitinėmis ir gamybinėmis nuotekomis susijusias problemas, vis aktualesnė tampa paviršinių nuotekų įtaka. Šiuo metu paviršinės nuotekos į vandens telkinius išleidžiamos nesant apskaitos ir dažniausiai nevalytos. Didėjant su paviršinėmis nuotekomis išmetamų į aplinką teršalų kiekiui būtina vykdyti kuo tikslesnę jų apskaitą (Gupta 2002). Paviršinių nuotekų tinklus prižiūrinčios įmonės privalo atlikti tikslią išleidžiamų nuotekų į vandens telkinius apskaitą (Paviršinių nuotekų... 2007; Debo, Reese 2002).

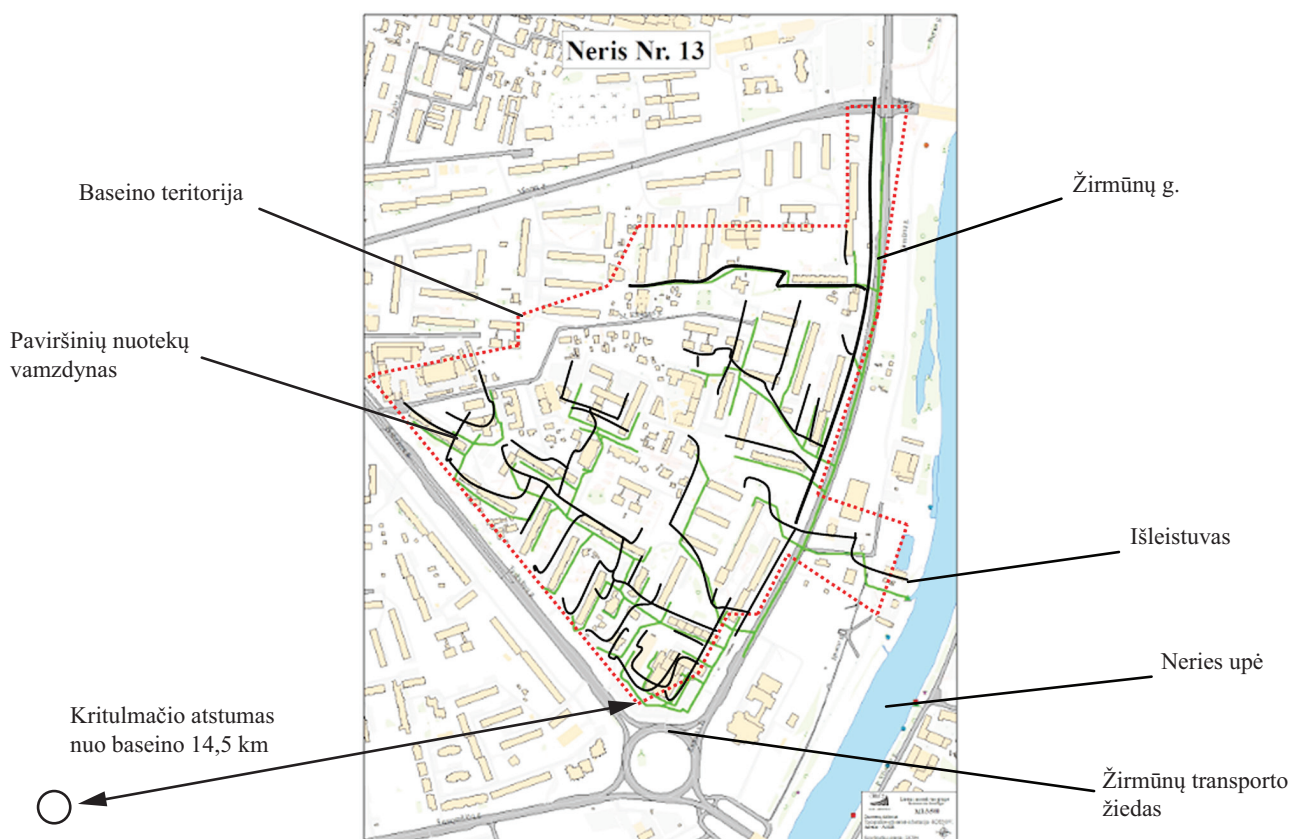
Paviršinės nuotekos paprastai teka savitaka ir tik išimtiniais atvejais statomos siurblynės. Paprasčiausias nuotekų debito matavimo būdas – tūrinis metodas, kai matuojamas vandens tūris per laiko vienetą, tačiau šis metodas taikomas tik metrologinėse stotyse. Atvirose vagose naudojami Bazeno, Tomsono, Čipoletti ar kitų konstrukcijų slenksčiai (Nguyen *et al.* 2009). Savitakiuose buitinių nuotekų tinkluose dažnai naudojami latakai. Paviršinių nuotekų debitui matuoti sunkiai pritaikomi minėti debito matavimo būdai. Dėl didelių skendinčiųjų medžiagų ir šiukšlių kiekio ir didelių debito svyravimų negalima naudoti plonasienių slenksčių. Latakų naudojimą riboja vietos trūkumas, nes urbanizuotose teritorijose rasti keliasdešimt metrų laisvos, lygios vietos prieš išleidžiant nuotekas į upes dažniausiai sunkiai įmanoma. Įrengti elektrą naudojančių matuoklių galimybes riboja atokios išleistuvų vietos, įrenginio ir jo montavimo kaina. Debitmačių pasirinkimas priklauso nuo fizikinių matuojamo skysčio savybių, galimybių įrengti įrangą matavimo vieto-

je, vamzdyno skersmens, esamų vamzdynų medžiagos ir būklės, matavimo tikslumo, gebėjimo įvertinti esamą situaciją, kitų techninių galimybių ir sąlygų (Loch *et al.* 2000; Debo, Reese 2002). Šiuo metu tiek Lietuvoje, tiek Europoje faktiškai niekas nematuoja išleidžiamų paviršinių nuotekų kiekių, todėl net sunku įvertinti, koks realus nuotekų kiekis ir tarša patenka į vandens telkinius.

Paviršinių nuotekų sistemos paskirtis – surinkti ir pašalinti paviršines nuotekas, susidarancias lyjant lietuvi. Sausuoju metų laiku vamzdynu teka tik drenažinis vanduo. Prie drenažinio vandens taip pat priskiriamas apvalytas arba sąlygiškai švarus gamybinių procesų vanduo ir infiltraciniai vandenys. Drenažinis vanduo paviršinių nuotekų vamzdynais teka nuolat, bet kintančiu debitu. Lietaus metu vamzdynais teka nuotekos, kurių debitai šimtus kartų viršija drenažinio vandens kiekius. Esant dideliems debitų skirtumams sunku įrengti debito matavimo sistemas (Gupta 2002). Darbo tikslas – palyginti išmatuotą paviršinių nuotekų debitą su apskaičiuotu pagal galiojančią standartinę metodiką.

**Metodika**

Eksperimentiniai tyrimai atlikti tipiniame Vilniaus miesto paviršinių nuotekų surinkimo baseine (1 pav.). Paviršinės nuotekos surenkamos 41 ha teritorijoje ir išleidžiamos į Neries upę. Baseinas yra Vilniaus mieste, Žirmūnų mikrorajone. Baseino teritorija užstatyta daugiaaukščiais ir mažaukščiais gyvenamaisiais namais, yra prekybos centras,



1 pav. Paviršinių nuotekų surinkimo baseinas

Fig. 1. The area of storm water drainage

administraciniai pastatai ir gamybinė teritorija. Į teritoriją įeina intensyvaus eismo Žirmūnų gatvės atkarpa, asfaltuoti įvažiavimai į kiemus, automobilių stovėjimo aikštelės. Bendras nelaidžių dangų, nuo kurių surenkamos paviršinės nuotekos, plotas apie 13 ha. Paviršinių nuotekų sistema statyta XX a. septintame dešimtmetyje, vyrauja gelžbetoniniai vamzdynai. Bendras nuotekų tinklų ilgis baseine apie 5,4 km (be išvadų), skersmenys 200–600 mm. Atstumas nuo išleistuvo iki tolimiausių nuotekų surinkimo vietų apie 1 km.

Paviršinių nuotekų lygiui matuoti naudotas hidrostatinis vandens lygio matuoklis, tvirtinamas prie vamzdyno dugno. Antrasis daviklis naudotas atmosferos oro svyravimams kompensuoti.

Tekantis vamzdžiu nuotekų debitas apskaičiuotas pagal greičio ir ploto metodą (Jinliang *et al.* 2010). Šis metodas taikomas įvairiems hidrauliniams skaičiavimams ir priskiriamas prie klasikinių debito skaičiavimų būdų:

$$Q = A \cdot v = A \cdot C \sqrt{Ri}, \text{ m}^3/\text{s}, \quad (1)$$

čia  $A$  – užpildytas skerspjūvio plotas,  $\text{m}^2$ , apskaičiuojamas pagal lygio matuoklio duomenis;  $v$  – skysčio tekėjimo greitis,  $\text{m/s}$ ;  $R$  – hidraulinis spindulys,  $\text{m}$ ;  $i$  – hidraulinis nuolydis,  $C$  – koeficientas.

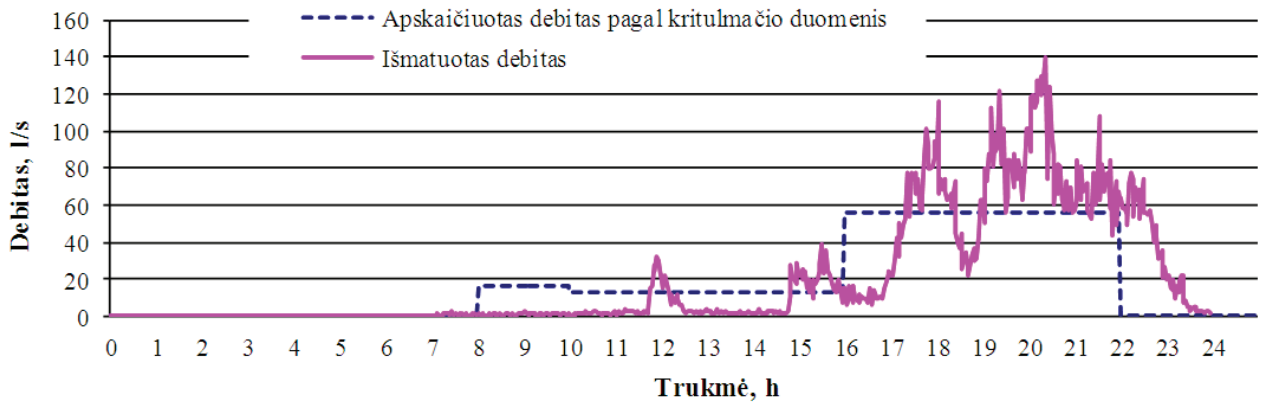
Neturint debito matavimo duomenų paviršinių nuotekų kiekis skaičiuojamas pagal iškritusių kritulių kiekį (Paviršinių nuotekų... 2007). Informacija apie kritulių kiekį gaunama iš artimiausios hidrometeorologinės stoties (naudojami kritulmačio duomenys).

$$V = 10 \cdot h \cdot C \cdot A \cdot K, \text{ m}^3, \quad (2)$$

čia  $h$  – kritulių kiekis per analizuojamą laikotarpį,  $\text{mm}$ ;  $C$  – vidutinis baseino teritorijos nuotėkio koeficientas;  $A$  – teritorijos plotas, iš kurio surenkamos nuotekos,  $\text{ha}$ ;  $K$  – sniego išvežimo koeficiento pataisa.

### Rezultatai ir analizė

Eksperimento metu (2009 m. gruodis) buvo užfiksuoti penki intensyvūs lietūs – 11, 19, 24, 26 ir 29 dienomis, atitinkamai 9,8 mm, 11,4 mm, 10,0 mm, 4,4 mm, 4,7 mm kritulių. Tyrimų laikotarpiu oro temperatūra buvo teigiama. Paviršinių nuotekų debito kitimo grafikas, apskaičiuotas pagal kritulmačio ir lygio matuoklio duomenis, pateiktas 2 pav. (gruodžio 11 d.). Meteorologinė stotis yra apie 14,5 km atstumu nuo tiriamojo baseino. Analizei naudoti tik tie lietaus atvejai, kai iškrito daugiau kaip 1,5 mm kritulių, nes mažesni kritulių kiekiai nuotėkio faktiškai nesukelia.



2 pav. Apskaičiuoti ir išmatuoti lietaus nuotekų debitai

Fig. 2. Calculated and measured stormwater flow

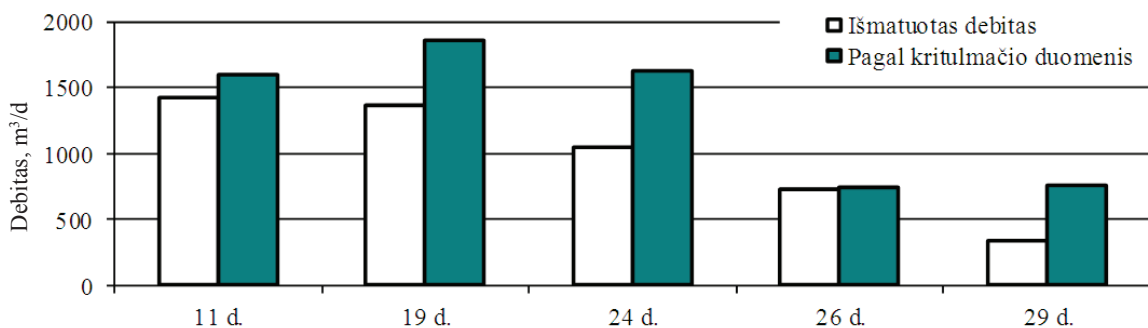
Pirmojo lietaus trukmė buvo 14 val. (8–22 val.). Per pirmąsias dvi lietaus valandas (8–10 val.) iškrito 0,7 mm kritulių, tačiau paviršinių nuotekų nesusidarė (žr. 2 pav.). Per kitas šešias lietaus valandas (10–16 val.) iškrito 1,7 mm kritulių. Kuriuo metu intensyviausiai lijo, iš pateiktų kritulmačio duomenų nustatyti negalima, tačiau pagal nuotekų debito svyravimus galima teigti, kad buvo du periodai, kai lietus lijo intensyviau. Per paskutines 6 lietaus valandas (16–22 val.) iškrito 7,4 mm kritulių, apskaičiuotas lietaus intensyvumas 0,02 mm/min, apskaičiuotas paviršinių nuotekų debitas 56 l/s, apskaičiuotas paviršinių nuotekų kiekis per penkias valandas susidarė 1204 m<sup>3</sup>. Nuotekų kiekis, apskaičiuotas pagal kritulmačio rodmenis, yra tolygus (horizontali kreivė), nes pagal pateiktus duomenis galima tik viena prielaida, kad visą nurodytą periodą kritulių intensyvumas buvo tolygus. O kreivės aukštis (debito dydis) priklauso nuo analizuojamo periodo vidutinio lietaus intensyvumo. Tačiau matuojamoji debito reikšmė svyruoja, priklausomai nuo lietaus intensyvumo. Lietaus pradžia ir pabaiga, užfiksuota Vilniaus hidrometeorologijos stoties kritulmačio, apytikriai sutampa su realiu paviršinių nuotekų

debito padidėjimu išleistuve. Lygio matuokliu užfiksuotas debito padidėjimas buvo apytiksliai pusę valandos vėliau, nei užfiksuotas kritulmačio, tai atitinka tirtu baseino plotą, vamzdyno ilgį ir tekėjimo greičius.

Pagal lygio daviklio duomenis nustatytas paviršinių nuotekų debitas yra kintantis, priešingai, negu apskaičiuotas pagal kritulmačio duomenis. Momentinis maksimalus užfiksuotas debitas pagal lygio daviklio duomenis buvo beveik tris kartus didesnis, nei apskaičiuotasis pagal kritulmačio duomenis.

Lietaus metu susidarę paviršinių nuotekų kiekiai pateikti 3 pav. Apskaičiuoti nuotekų kiekiai, susidarę lietaus metu, pagal kritulmačio duomenis visais lyjant lietaus matavimo atvejais buvo didesni, nei išmatuoti pagal lygio matuoklio duomenis. Paviršinių nuotekų kiekiai, apskaičiuoti pagal galiojančias metodikas, taikomi finansiniams atsisakitymams. Matomas akivaizdus paviršinių nuotekų kiekių skirtumas tarp faktinių matavimo duomenų ir apskaičiuotų pagal kritulių kiekį.

Kitos objektyvios neatitikimų priežastys: didelis atstumas tarp tirtu baseino bei kritulmačio vietos ir baseino vidutinio teritorijos nuotėkio koeficiento apskaičiavimo me-



3 pav. Mėnesio intensyviausio lietaus debitai

Fig. 3. Storm water flows of the most intensive monthly rainfall

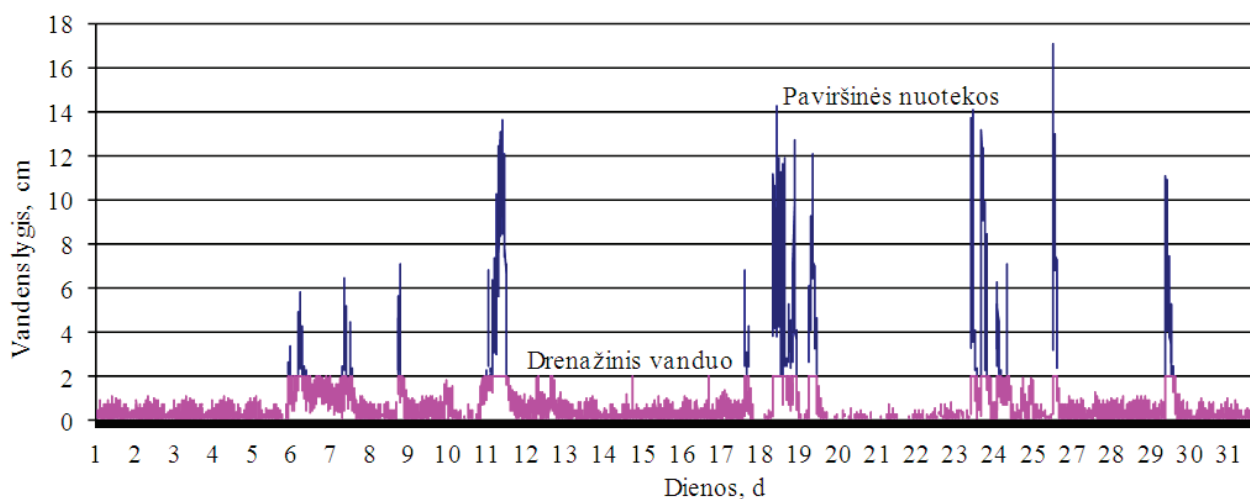
todikos netikslumas. Tačiau daugiausia įtakos turi lietaus intensyvumo kitimas ir kritulių netolygumas, lietaus trukmė ir nuotėkio susidarymo ypatumai (Tran *et al.* 2008).

Lietaus intensyvumui matuoti naudojami pliuvio-  
grafai, tačiau praktikoje dažniausiai taikomi kritulmačių duomenys, nes jie įrengti daugelyje meteorologinių stočių, be to, taip gaunamas bendras kritulių kiekis per atskaitinį laikotarpį (Park *et al.* 2009; Freni *et al.* 2009).

Pagal Vilniaus hidrometeorologijos stoties duomenis gruodžio mėnesį iškrito 61,6 mm kritulių. Pagal nuotekų lygį tirtame išleistuve išsiskiria gruodžio mėnesio intensyvūs lietūs 11, 19, 24, 26 ir 29 dienomis bei mažesnio intensyvumo lietūs 6, 7, 9 ir 18 dienomis (4 pav.). Kitomis tirtojo mėnesio dienomis lietaus nebuvo užfiksuota, tačiau nuotekų tekėjimas išleistuve buvo fiksuojamas. Sausuoju metu, nesant lietaus, nuotekų lygis iki 2 cm priskiriamas drenažiniam vandeniui, daugiau kaip 2 cm – paviršinėms (lietaus) nuotekoms. Apskaičiavus mėnesio nuotekų kiekį gaunamas drenažinio vandens kiekis – 870 m<sup>3</sup>/mėn. (5 pav.).

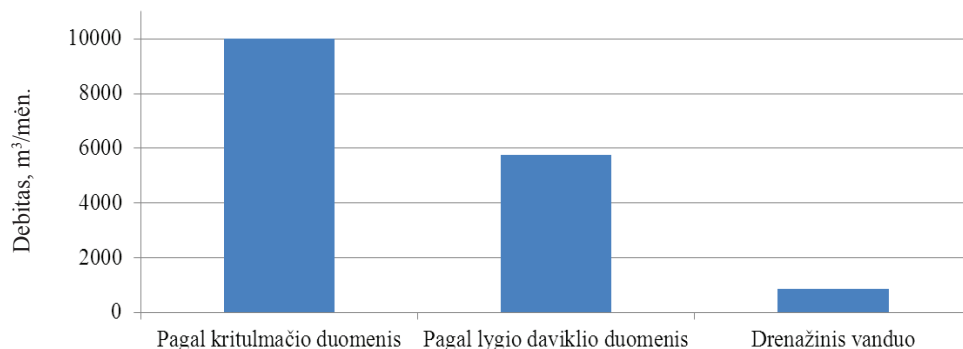
Dviem metodais apskaičiuotas mėnesio paviršinių nuotekų kiekis yra skirtingas. Pagal kritulmačio duomenis apskaičiuotas paviršinių nuotekų debitas (10 010 m<sup>3</sup>/mėn.) yra beveik 2 kartus didesnis nei pagal nuotekų lygio matuoklio duomenis tirtame išleistuve apskaičiuotą debitą (5750 m<sup>3</sup>/mėn.). Pagrindinė tokio skirtumo priežastis yra kritulmačio duomenys, nes jis fiksuoja visus lietus, be to, nežinomas lietaus intensyvumas, kuris yra pagrindinis formuojantis nuotėkį veiksnys. Jeigu lyja neintensyviai, bet ilgai, nuotėkis gali būti labai nedidelis, tačiau bendras kritulių kiekis bus didelis, o nuotėkis nedidelis. Todėl skaičiuojant pagal bendrą kritulių kiekį gaunami didesni nuotekų kiekiai. Pagal šią metodiką skaičiuojami mokesčiai ir daromos ataskaitos.

Paviršinių nuotekų debitui ir kiekio skirtumams taip pat turi įtakos nemažas atstumas (14,5 km) tarp tirtojo baseino ir kritulmačio (meteorologinės stoties). Tačiau šios problemos pašalinti negalima, nes meteorologinių stočių skaičius yra nustatytas valstybės lygiu. Akivaizdu, kad nau-



4 pav. Matuokliu išmatuotas nuotekų lygis išleistuve (vieno mėnesio duomenys)

Fig. 4. Measured water level in the effluent pipe (monthly data)



5 pav. Paviršinių nuotekų kiekis per mėnesį

Fig. 5. Storm water volume per month

dojant kito miesto kritulių duomenis, rezultatai gali būti dar blogesni. Iš gautų duomenų matyti, kad pagal pateiktus hidrometeorologijos stoties duomenis negalima tiksliai nustatyti paviršinių nuotekų debito konkrečiame baseine. Yra kelios problemos, susijusios su kritulmačių naudojimu: a) kritulmatis fiksuoja visus lietus, bet trumpi ir neintensyvūs lietūs nesukelia nuotėkio, tačiau įtraukiami į bendrą kiekį, b) negalima nustatyti, kada prasidėjo ir pasibaigė lietus, c) nežinomas lietaus momentinis intensyvumas. Kritulių duomenys paviršinių nuotekų kiekiui skaičiuoti turėtų būti taikomi tik išmatuoti pliuviografais. Tačiau šie prietaisai įrengti tik keliuose meteorologijos stotyse ir veikia tik šiltoju metų laikotarpiu.

Pasiūlytas debito matavimo būdas yra paprastas ir patikimas, nes nesukelia hidraulinių kliūčių tekant nuotekomis, nereikalauja nuotakyno rekonstrukcijos, gali būti naudojamas esamuose tinkluose, nereikalingas elektros energijos tiekimas. Siūlomas metodas pagrįstas vandens lygio matavimu ir perskaičiavimu pagal hidraulikos dėsnius į pratekančio vandens debitą. Metrologinė tokio debito matavimo mazgo patikra gali būti atliekama vietoje, tekant skirtingam vandens debitui ir atliekant kontrolinius matavimus tūriniu būdu.

Netikslus paviršinių nuotekų kiekio nustatymas trukdo spręsti aplinkosaugos problemas ir nustatyti bei įvertinti taršos apimtį. Todėl debito matavimo mazgų įrengimas yra pirmas būtinas žingsnis problemos sprendimo link.

## Išvados

1. Į aplinką išleidžiamas paviršinių nuotekų debitas turi būti matuojamas. Pagal kritulmačio duomenis apskaičiuoti nuotekų kiekiai yra netikslūs ir negali būti naudojami.
2. Išmatuoti ir apskaičiuoti lietaus metu susidarančių nuotekų kiekiai skiriasi du kartus, apskaičiuoti kiekiai visada yra didesni. Tačiau matuoti momentiniai nuotekų debitai yra kelis kartus didesni, nei apskaičiuoti.
3. Būtina įvertinti drenažinio vandens kiekį, kuris tirtame baseine sudaro apie 15 % bendro nuotekų kiekio. Be to, periodiškai reikia tikrinti ir drenažinio vandens kokybę.
4. Paviršinių nuotekų debitui matuoti gali būti naudojami hidrostatiniai lygio davikliai, kuriuos galima įrengti ir esamuose tinkluose.

## Literatūra

- Debo, N.; Reese, J. 2002. *Municipal Stormwater Management*, Lewis Publishers. 650 p.
- Freni, G.; Mannina, G.; Viviani, G. 2009. Uncertainty assessment of an integrated urban drainage model, *Journal of Hydrology* 373(3–4): 392–404. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.04.037

- Gupta, S. V. 2002. *Practical Density Measurement and Hydrometry*. Taylor & Francis. 352 p. doi:10.1887/0750308478
- Jinliang, H.; Zhenshun, T.; Pengfei, D.; Jie, L.; Qingsheng, L. 2010. Uncertainties in stormwater runoff data collection from a small urban catchment, Southeast China, *Journal of Environmental Sciences* 22(11): 1703–1709. doi:10.1016/S1001-0742(09)60309-0
- Loch, R. J.; Connolly, R. D.; Littleboy, M. 2000. Using rainfall simulation to guide planning and computer simulations using parameters from rainfall simulation, *Land Degradation and Development* 11(3): 241–255. doi:10.1002/1099-145X(200005/06)11:3<241::AID-LDR382>3.0.CO;2-Y
- Nguyen, L. S.; Schaeli, B.; Sage, D.; Kayal, S.; Jeanbourquin, D.; Barry, D. A. 2009. Vision-based system for the control and measurement of wastewater flow rate in sewer systems, *Water Science and Technology* 60(9): 2281–2289. doi:10.2166/wst.2009.659
- Park, M. H.; Swamikannu, X.; Stenstrom, M. K. 2009. Accuracy and precision of the volume-concentration method for urban stormwater modelling, *Water Research* 43(11): 2773–2786. doi:10.1016/j.watres.2009.03.045
- Paviršinių nuotekų tvarkymo reglamentas. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas. Vilnius. 2007 m. balandžio 2 d. Nr. D1-193.
- Tran, D. H.; NG, A. W. M.; Mcmanus, K. J.; Burn, S. 2008. Prediction models for serviceability deterioration of stormwater pipes, *Structure and Infrastructure Engineering* 4(4): 287–294. doi:10.1080/15732470600792236

## THE EVALUATION OF STORMWATER RUNOFF

V. Vinciūnas, M. Rimeika, D. Janeliauskienė

### Abstract

Conventional wastewater flow measurement techniques are difficult to apply for stormwater runoff. Therefore, a strong need for the new types of flow measurements is foreseen, especially in the existing urban areas. Water level was measured applying a hydrostatic level meter and flow was calculated according to typical hydraulic relationship. The theoretical flow rate was calculated based on rain gauge data from the nearest metrological station. Following gauge data, the calculated storm water runoff was almost two times higher than the measured one. Differences in flow data will lead to uncertainties in statistical reports and misunderstanding between different authorities. The measurements of storm water flows are necessary, because they are associated with emission accounts, taxes on pollution and improvements to environmental quality.

**Keywords:** stormwater, runoff flow, flow measurement.