



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Vytautas Kairys

**PILAITĖS MIKRORAJONO PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ BASEINO KLIMATO
KAITOS KONTEKSTE VERTINIMAS
EVALUATION OF PILAITE DISTRICT SURFACE RUNOFF BASIN IN THE
CONTEXT OF CLIMATE CHANGE**

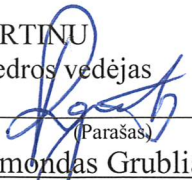
Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX035

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2019

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Raimondas Grubliauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Vytautas Kairys, VImf-17

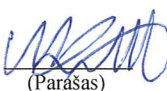
**PILAITĖS MIKRORAJONO PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ BASEINO KLIMATO
KAITOS KONTEKSTE VERTINIMAS
EVALUATION OF PILAITE DISTRICT SURFACE RUNOFF BASIN IN THE
CONTEXT OF CLIMATE CHANGE**

Baigiamasis magistro darbas

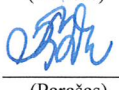
Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX035

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr. Mindaugas Rimeika
(Pedag. vardas, vardas, pavardė)

 2018-05-14
(Parašas) (Data)

Konsultantas lekt. Regina Žukienė
(Pedag. vardas, vardas, pavardė)

 2018-05-08
(Parašas) (Data)

Vilnius, 2019

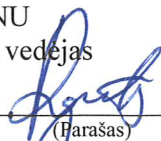
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa

valstybinis kodas 6211EX035

TVIRTINU
Katedros vedėjas



Raimondas Grubliauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

2019-04-02 Nr.

Vilnius

Studentui: Vytautui Kairiui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseino klimato kaitos kontekste vertinimas

patvirtinta 2019 m. kovo 6 d. dekanų potvarkiu Nr. 71ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2019 m. gegužės mėn. 14 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Susipažinti su kritulių ir paviršinių nuotekų debito matavimo prietaisais, jų veikimo principais ir montavimo rekomendacijomis. Atlikti literatūros analizę apie paviršinių nuotekų debito skaičiavimo metodikas, principus ir metodus. Išanalizuoti metodus, kurie įtakoja paviršinių nuotekų debito reguliavimą ir mažinimą. Surinkti informaciją apie Pilaitės mikrorajono Vilniaus mieste paviršinių nuotekų baseiną: nuotėkio teritoriją, nelaidžius paviršius, esamus nuotekų tinklus (skersmenys, medžiagos ir įgilinimas), bei planuojamą rajono plėtrą. Sudaryti skaitmeninį hidraulinių paviršinių nuotekų tinklo modelį. Atlikti kritulių kiekio ir debito matavimus Pilaitės baseine. Sukalibruoti skaitmeninį hidraulinių paviršinių nuotekų baseino modelį. Įvertinti esamo baseino hidraulines savybes įvairioms lietaus pasikartojimo tikimybėms. Išanalizuoti būsimos plėtros įtaką esamiems tinklams ir numatyti paviršinių nuotekų tinklų rekonstrukcijos poreikį. Įvertinti kokią įtaką darys prognozuojami klimato kaitos veiksniai Pilaitės paviršinių nuotekų baseinui.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas



(Parašas)

dr. doc. Mindaugas Rimeika

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau



(Parašas)

Vytautas Kairys

(Vardas, pavardė)

2019-04-03

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Vandens ūkio inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseino klimato kaitos kontekste vertinimas**

Autorius **Vytautas Kairys**

Vadovas **Mindaugas Rimeika**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Dėl klimato kaitos stiprėjančios liūtys sukelia vis daugiau nepatogumų urbanizuotų vietovių gyventojams. Magistro darbe nagrinėjamas vienas iš sparčiausiai besiplečiančių Vilniaus miesto rajonų – Pilaitė ir šio mikrorajono paviršinių nuotekų baseinas. Tikslui pasiekti naudojamas hidraulinis modelis, kuriuo naudojantis yra analizuojama esama paviršinių nuotekų kolektoriaus situacija. Darbe atlikti lietaus intensyvumo ir paviršinių nuotekų debitų matavimai, surinkti duomenys panaudojami hidraulinio modelio kalibravimui. Sudarius hidraulinį modelį, atliekama paviršinių nuotekų kolektoriaus analizė, kai lietaus pasikartojimo periodas yra 1, 5, 10 ir 20 metų, pateikiamos rekomendacijos tinklų rekonstrukcijai probleminėse vietovėse. Pagal paviršinių nuotekų kolektoriaus situaciją vertinama, kaip keisis tinklo pralaidumas prijungus mikrorajono plėtroje numatytas teritorijas. Įvertinamas tinklų pralaidumas pagal lietaus intensyvumo padidėjimo prognozes Vilniaus mieste.

Darbo rezultatai būtų naudingi Vilniaus miesto savivaldybei bei įmonėms, kurios eksploatuoja paviršinių nuotekų tinklus.

Darbą sudaro 8 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, tyrimų metodika, rezultatų aptarimas, išvados, rekomendacijos, naudota literatūra bei priedai.

Darbo apimtis – 67 puslapiai teksto be priedų, 43 iliustr., 9 lent., 44 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: hidraulinis modelis, paviršinių nuotekų kolektorius, paviršinės nuotekos, klimato kaita, CivilStorm programa

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Environment Protection and Water Engineering

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Water Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Evaluation of Pilaite District Surface Runoff Basin in the Context of Climate Change**

Author **Vytautas Kairys**

Academic supervisor **Mindaugas Rimeika**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Due to climate change, the increasing intensity of rainfall causes more and more inconvenience to the inhabitants of the urban areas. This research examines one of the fastest growing districts in Vilnius – Pilaite and its storm runoff basin. The research includes measurements of rainfall events and storm runoff flow in the pipes. Hydraulic storm sewer model is calibrated according to the measurements and is used to evaluate the situation of the district's storm sewers. Rainfall return events of 1, 5, 10 and 20 years are used in the analysis, recommendations are provided for reconstruction of pipes in the problematic areas. The impact of additional stormwater from the foreseen district expansion to the existing storm sewer system is evaluated. Storm sewers capacity is also analyzed with the expected increase of rainfall intensity in Vilnius city.

The results of this thesis could be useful for Vilnius city municipality and companies who maintain storm sewer networks.

Structure: introduction, scientific literature review, the methodology of researches, results, conclusions, recommendations, references and annexes.

Thesis consists of 67 p. text without appendixes, 43 pictures, 9 tables, 44 bibliographical entries.

Keywords: hydraulic model, storm sewers, storm runoff, climate change, CivilStorm software

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vytautas Kairys, 20132946

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Vandens ūkio inžinerija, VImf-17

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2019 m. gegužės 20 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseino klimato kaitos kontekste vertinimas“ patvirtintas 2019 m. kovo 06 d. dekanų potvarkiu Nr. 71ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas docentas daktaras Mindaugas Rimeika.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Vytautas Kairys
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	9
ĮVADAS	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	11
1.1. Racionalusis skaičiavimo metodas	11
1.2. Nuotėkio koeficientas	12
1.3. Lietaus intensyvumas.....	14
1.4. Klimato kaitos įtaka lietaus intensyvumui	16
1.4. Lietaus parametrų matavimai.....	19
1.4.1. Kritulių matavimas.....	20
1.4.2. Debito matavimas.....	24
1.5. Priemonės lietaus kiekio reguliavimui.....	27
1.5.1. Lietaus debito reguliaciniai įrenginiai.....	28
1.5.2. Žali stogai.....	29
1.5.3. Lietaus sodai.....	30
1.5.4. Infiltraciniai įrenginiai.....	31
1.5.5. Vandeniui laidžios dangos	31
1.6 Literatūros apžvalgos išvados	31
2. TYRIMŲ METODIKA	33
2.1. Tyrimo objektas	33
2.2. Kritulių intensyvumo matavimai	35
2.3. Paviršinių nuotekų debitų matavimai	36
2.4. Hidraulinis modelis.....	38
3. REZULTATŲ APTARIMAS	44
3.1. Išmatuotų duomenų aptarimas	44
3.2. Hidraulinio modelio kalibravimas	49
3.3. Tinklo pralaidumo analizė	50
3.4. Plėtra mikrorajone.....	54
3.5. Klimato kaitos įtaka nagrinėjamam baseinui.....	60
IŠVADOS.....	63
REKOMENDACIJOS	64
NAUDOTA LITERATŪRA	65
PRIEDAI	68

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Lietaus intensyvumo kreivės Kauno mieste	14
2 pav. Prognozuojami liūčių intensyvumo pokyčiai	17
3 pav. Gausių kritulių kaita Vilniuje XXI amžiuje	18
4 pav. Labai lietingų laikotarpių, kai per 3 dienas iškrinta 50 mm ir daugiau kritulių ir pasikartojimo kaita Vilniuje XXI a.	18
5 pav. Lietuvos meteorologijos stočių tinklo žemėlapis	19
6 pav. Tretjakovo kritulmatis	21
7 pav. Pluviografo schema ir pluviograma	21
8 pav. Pluviografas su sūpuokliniu mechanizmu	22
9 pav. Optinių kritulių jutiklio, kai yra šviesos šaltinis ir signalo priimtuvas, schema	23
10 pav. Optinis kritulių jutiklis matuojantis šviesos išsklaidymą nuo skaidraus gaubto	23
11 pav. Principinė akustinio kritulmačio schema	24
12 pav. Venturi latako schema	25
13 pav. Slenkstis su stačiakampe išpjova.....	26
14 pav. Ultragarsiniu ir hidrostatiniu principu veikiantis debitomatis.....	27
15 pav. Ištėkio hidrografų palyginimas.....	28
16 pav. Paviršinių nuotekų debito reguliavimo įrenginių jungimo prie nuotakyno principinės schemos	28
17 pav. Tipinė žalio stogo detalė	29
18 pav. Principinė lietaus sodo schema	30
19 pav. Vandeniui laidžios dangos konstrukcija.....	31
20 pav. Matavimų įrangos vietų schema.....	33
21 pav. Pilaitės paviršinių nuotekų kolektoriaus surinkimo baseinas.....	34
22 pav. Betoninių vamzdžių katalogas <i>CivilStorm</i> programoje.....	39
23 pav. Pabaseinio parametrai <i>CivilStorm</i> programoje.....	40
24 pav. Pilaitės mikrorajono dirvožemio granuliometrinė sudėtis.....	40
25 pav. Lietaus intensyvumo grafikas <i>CivilStorm</i> progamoje	41
26 pav. Kritulmačiais išmatuoti lietaus įvykiai <i>CivilStorm</i> programoje pagal datas	42
27 pav. Debitomačiu išmatuoti debitai <i>CivilStorm</i> programoje.....	42
28 pav. Kritulių intensyvumo ir debito kitimo grafikas 2018-07-30	44
29 pav. Kritulių intensyvumo ir debito kitimo grafikas 2018-08-14	45
30 pav. 2018-07-30 vykusios liūtys metu iškritusių kritulių palyginimo grafikas.....	46
31 pav. 2018-08-14 vykusios liūtys metu iškritusių kritulių palyginimo grafikas.....	47
32 pav. 2018-08-14 liūtys intensyvumo palyginimo grafikas tarp 19 ir 20 valandos.....	47

33 pav. 2018-08-14 liūtės intensyvumo palyginimo grafikas tarp 20 ir 21 valandos.....	48
34 pav. Debitų kitimo kreivės naudojant skirtingų šaltinių kritulių duomenis	48
35 pav. Debito kitimo kreivė modelio kalibravimo metu Gilužio g. taške 2018-08-31	49
36 pav. Atkarpos MH-2 – MH-12 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 1 m	51
37 pav. Atkarpos MH-113 – MH-23 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 20 m	52
38 pav. Atkarpos MH-107 – MH-113 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 20 m	52
39 pav. Atkarpos MH-41 – MH-51 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 20 m	53
40 pav. Numatomos plėtros Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseine schema	54
41 pav. Skersinis Gilužio g. pjūvis	55
42 pav. Skersinis Karaliaučiaus g. pjūvis	56
43 pav. Atkarpos MH-60 – MH-52 profilis prieš ir po debito reguliavimo.....	59

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Nuotėkio koeficientai pagal dangas.....	13
2 lentelė. Nuotėkio koeficiento reikšmės taikomos JAV	13
3 lentelė. Gyvenviečių nuotakyno ištvėnimo retmuo p , metais.....	15
4 lentelė. Ribiniai nuotakyno ištvėnimo retmenys p , metais	16
5 lentelė. Magistralinių tinklų pasiskirstymas tiriamame baseine	35
6 lentelė. Plėtros teritorijų prijungimo prie esamo kolektoriaus įvertinimas	57
7 lentelė. Plėtros pajungimo būdų palyginimas	58
8 lentelė. Lietaus intensyvumas pagal klimato kaitą Vilniuje, kai koncentracijos trukmė 5 min.....	60
9 lentelė. Tvinstančių tinklų ruožai baseine, kai vertinama plėtra ir klimato kaita	62

IVADAS

Per pastarąjį amžių suaktyvėjusi pramoninė veikla stipriai prisidėjo prie anglies dioksido (CO_2) ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos ore padidėjimo. Tai savo ruožtu sukėlė didelio masto atmosferinius procesus, dėl kurių kinta ne tik temperatūra, bet ir kritulių kiekiai. Dėl šių pokyčių turi būti sukurtos valdymo strategijos ir planai, kurie yra ypač svarbūs siekiant sumažinti neigiamą įtaką gyvenamajai aplinkai (Mehdi et al., 2006). Keičiantis klimatui, keičiasi ir lietaus intensyvumas, todėl seni inžinerinių sistemų projektavimo standartai turi būti peržiūrėti įvertinant klimato pokyčius ir prireikus pakoreguoti. Dėl klimato kaitos taip pat gali atsirasti būtinybė rekonstruoti arba atnaujinti esamą civilinės inžinerijos infrastruktūrą (Mirhosseini et al., 2013).

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba (2013) paskelbė klimato kaitos prognozes Vilniaus miestui XXI a. Ataskaitoje prognozuojama, kad kritulių kiekis augs iki 2060–2070 m. Kritulių atvejų skaičius nesikeis, tačiau didės kritulių intensyvumas. Maksimalus per parą iškrentantis kritulių kiekis gali siekti 98 mm ir bus apie 15 % didesnis, nei buvo 1981–2010 m.

Akivaizdu, kad inžinerinėms sistemoms teks susitvarkyti su didesniais lietaus kiekiais. Siekiant išvengti neigiamo klimato kaitos poveikio miesto infrastruktūrai ir žmonių sveikatai, svarbu tinkamai pasiruošti ekstremalioms situacijoms ir pritaikyti miesto infrastruktūrą prie besikeičiančių hidrometeorologinių sąlygų (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2013). Siekiant įvertinti šių pokyčių įtaką lietaus nuotekų inžinerinėms sistemoms, tikslingiausia naudoti hidraulinius modelius.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseiną

Tyrimo objektas – Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseinas ir jo kolektorius

Tyrimo uždaviniai:

- Atlikti lietaus intensyvumo ir paviršinių nuotekų debito matavimus;
- Parengti hidraulinį modelį ir jį sukalibruoti pagal matavimų duomenis;
- Atlikti kolektoriaus hidraulinę analizę ir pateikti techniniams sprendiniams rekomendacijas;
- Įvertinti paviršinių nuotekų kolektoriaus situaciją esant padidėjusiam lietaus intensyvumui;
- Įvertinti, kaip pasikeis tinklo pralaidumas prijungus plėtroje numatytas teritorijas.

Tyrimo naujumas:

- Iki šiol Lietuvoje hidraulinis paviršinių nuotekų kolektoriaus modelis nebuvo kalibruotas pagal realius matavimų duomenis, atliktus paviršinių nuotekų kolektoriaus baseine;
- Pagal naujausią LST EN 752:2017 standarto redakciją (galioja nuo 2017-07-31) paviršinių nuotekų baseinai, didesni kaip 200 ha, turi būti projektuojami ir analizuojami tik su hidraulinio modeliavimo programomis. Šis reikalavimas įtrauktas ir į STR 2.07.01:2003 atnaujinimo projektą.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Racionalusis skaičiavimo metodas

Projektuojant nedidelius lietaus nuotekų baseinus, dažnai yra naudojami lietaus hidrografai, kurie sudaromi pagal daugiamečius lietaus stebėjimo duomenis. Tačiau projektuojant dažnai pakanka žinoti tik maksimalią jo vertę. Remiantis šia teorija, išvesta daugybė skaičiavimo metodų. Racionalusis metodas yra vienas iš jų, kuris buvo sukurtas amerikiečių inžinieriaus Emilio Kuichlingo (Kuichling, 1889). Šis būdas nesunkiai pritaikomas projektuojant nedidelius lietaus nuotekų baseinus (Thompson, 2006). Kadangi tai yra populiariausias skaičiavimo būdas visame pasaulyje, literatūros apžvalgoje bus apžvelgiamas būtent šis metodas.

Didžiojoje dalyje literatūros teigiama, kad tai fiziškai pagrįstas matematinis ryšys tarp pagrindinių parametru ir didžiausio debito. Šis metodas gali būti taikomas nepriklausomai nuo geografinės padėties ir klimato. Parametrai naudojami skaičiavimams nustatomi arba apskaičiuojami naudojant vietinę informaciją, standartines reikšmes ir inžinieriaus patirtį. Šio metodo trūkumas yra tai, kad neteisingai įvertinus naudojamus parametrus ar neatsižvelgiant į šio metodo taikymo prielaidas, gauti rezultatai gali stipriai skirtis nuo realybės (Debo, Reese, 2002).

Metodas remiasi šiuo dėsniu: lietaus nuotekų debitas iš kiekvieno skaičiuotino ploto įgyja maksimumo reikšmės tada, kai skaičiuotino lietaus ilgumas atitinka laiką, reikalingą vandens lašui, kad atitekėtų iš skaičiuojamojo ploto tolimiausios viršūnės iki skaičiuojamojo taško, o lietaus intensyvumas bus paimtas iš intensyvumo kreivės, pagal gautą lietaus ilgumą. Dėsniu formulė išreiškiama taip (STR 2.07.01:2003):

$$Q = I \cdot F \cdot C_{vid}, l/s \quad (1)$$

čia:

I – lietaus intensyvumas, l/(s·ha), apskaičiuojamas pagal (3) formulę;

F – skaičiuojamasis nuotėkio baseino plotas, ha;

C_{vid} – vidutinis svertinis nuotėkio koeficientas, apskaičiuojamas pagal (2) formulę.

Atsargumo priemonės, į kurias reikėtų atsižvelgti siekiant teisingai naudoti racionalųjį metodą (Debo, Reese, 2002):

1. Būtina turėti gerą topografinę nuotrauką, iš kurios būtų galima nustatyti nagrinėjamo lietaus nuotekų baseino ribas;
2. Lietaus tinklų eksploatacijos metu galimi žemės naudojimo paskirties pokyčiai, todėl privaloma į tai atsižvelgti nustatant nuotėkio koeficientą C;

3. Naudojant racionalųjį metodą, visam nuotėkio baseinui yra pritaikoma vidutinė nuotėkio koeficiento reikšmė C_{vid} . Jeigu skirtingos paskirties žemės plotų pasiskirstymas baseine turės įtakos hidrologinės analizės rezultatams, baseinas turi būti padalintas į mažesnius baseinus;
4. Būtina atsižvelgti ir įvertinti, ar nagrinėjamoje zonoje yra natūralaus vandens tekėjimo apribojimų, tokių kaip užtvankos, ir įvertinti jų įtaką projektiniams debitams;
5. Naudodamasis šiam metodui pritaikytomis lentelėmis, grafikais bei schemomis, projektuotojas turi priimti tinkamus inžinerinius sprendinius, o esant tam tikroms vietovės ypatybėms pateikti korekcijas.

Vienas iš didžiausių šio metodo trūkumų yra tai, kad naudojami parametrai gali būti skirtingai interpretuojami, jiems gali būti pritaikomi skirtingi tikslinimo būdai. Taigi nors racionaliojo metodo debito skaičiavimo formulė (1) yra paprasta, gauti rezultatai gali skirtis nuo jos taikymo būdo (Rossmiller, 1980). Nepaisant trūkumų, šis metodas sėkmingai naudojamas jau virš 100 metų ir yra populiariausias ir universaliausias lietaus debitų skaičiavimo būdas, taikomas inžinerinėje praktikoje iki šių dienų.

1.2. Nuotėkio koeficientas

Skaičiuojant lietaus nuotekų kiekį baseinuose, negalima priimti, kad visas baseino plote iškritęs lietus sudarys nuotėkį. Dėl dangų įvairovės baseine bei skirtingų dangų infiltracinių savybių priklauso koks lietaus debitas nutekės nuo nagrinėjamos dangos ir pasieks projektuojamą sistemą. Lietaus vandens, nutekėjusio į tinklus, kiekis bei kokybė priklauso nuo vietovės klimato ir geofizinių savybių, tokių kaip žemės paviršiaus danga, grunto savybės, paviršiaus nuolydis, ar prasidėjus lietai žemė buvo sausa ar šlapia (Park et al., 2009). Užstatytuose miestų kvartaluose ar pramoninėse zonose yra gausu vandeniui nelaidžių ar mažai laidžių dangų – asfaltas, betonas, šaligatviai, pastatų stogai ir pan., todėl šiose teritorijose iškritęs lietus susigeria labai mažai, o didžioji jo dalis tampa nuotėkiu. Neužstatytose teritorijose, kuriose yra daugiau žalių zonų, didžioji dalis iškritusio lietaus susigeria į gruntą. Susigėrusio lietaus kiekis priklauso nuo grunto rūšies – kai gruntus sudaro smėlis ar žvyras, vandens infiltracija bus kur kas geresnė, nei gruntuose, kuriuose vyrauja molis. Reikia nepamiršti, kad stiprios liūtys sudaro didesnius vandens kiekius, dėl kurių vanduo nespėja susigerti į gruntą, o esant silpnesniam lietai didžioji dalis spėja susigerti. Nuo dangų nutekėjęs lietaus debitas taip pat priklauso nuo paviršiaus nuolydžio.

Dėl šių priežasčių, kai skaičiuojamasis baseinas nėra vienalytis, būtina atskirti skirtingas dangas, nustatyti jų nuolydį ir plotus ir išvesti vidutinį nuotėkio koeficientą (Allen et al., 2005).

Vidutinis svertinis nuotėkio koeficientas C_{vid} apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C_{vid} = \frac{\sum C_i \cdot F_i}{F}, \quad (2)$$

kai: C_i – būdingų nuotėkio baseino paviršių nuotėkio koeficientai. Kai kurių paviršių nuotėkio koeficientų ribinės reikšmės nurodytos 1 ir 2 lentelėse;

F_i – tam tikromis paviršiaus savybėmis pasižyminti (jai priskiriamas nuotėkio koeficientas C_i) nuotėkio baseino dalis, ha;

F – skaičiuotinas nuotėkio baseino plotas, ha.

Nuotėkio koeficientas nustatymas racionaliajame metode yra jautriausias parametras, kurio tiksliam nustatymui reikalingas parametro išmanymas ir supratimas iš projektuotojo pusės (Debo et al., 2002). Tipinės nuotėkio koeficiento reikšmės, pateikiamos STR 2.07.01:2003, pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Nuotėkio koeficientai pagal dangas (STR 2.07.01:2003)

Paviršiaus tipas	Nuotėkio koeficientas C *
Asfaltas ir betonas	0,70–0,95
Akmenų grindinys	0,70–0,85
Stogai	0,75–0,95
Suplanuoti grunto paviršiai (žaliosios vejų): kai vejų pagrindas priesmėlis ir: nuolydis iki 2 procentų	0,05–0,10
nuolydis 2–7 procentai	0,10–0,15
nuolydis didesnis kaip 7 procentai	0,15–0,20
kai vejų pagrindas priemolis ir: nuolydis iki 2 procentų	0,13–0,17
nuolydis 2–7 procentai	0,18–0,22
nuolydis didesnis kaip 7 procentai	0,25–0,35

*Pastaba: Didesnės reikšmės atitinka didesnę nuotakyno ištvėnimo retmenį.

JAV siūloma paviršinio nuotėkio koeficiento reikšmės priimti pagal teritorijos naudojimo paskirtį. 2 lentelėje pateiktos reikšmės galioja, kai lietaus ištvėnimo tikimybė yra nuo 5 iki 10 metų.

2 lentelė. Nuotėkio koeficiento reikšmės taikomos JAV (Thompson, 2006)

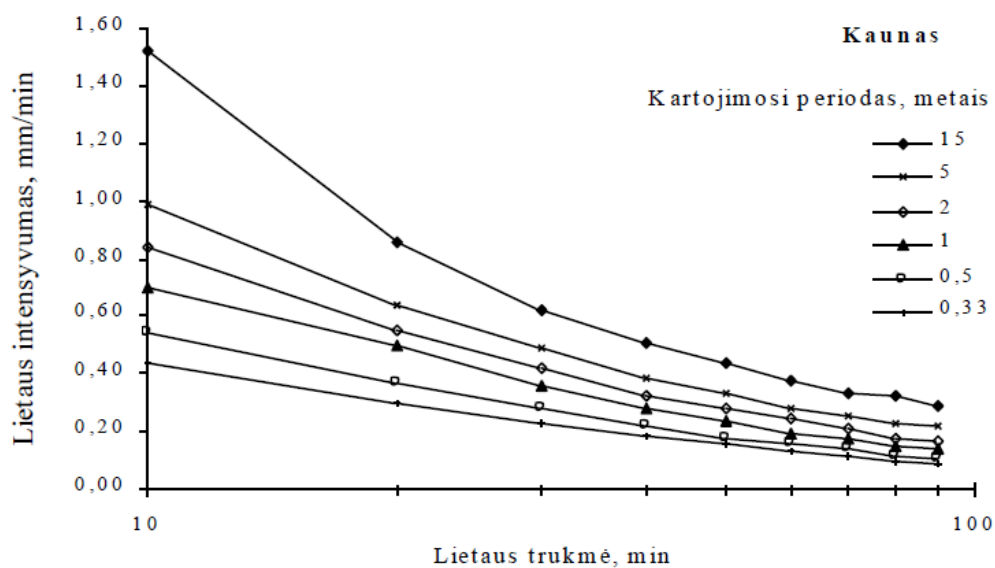
Teritorijos apibūdinimas	Nuotėkio koeficientas C
Komercinė zonos:	
Komercinė miesto dalis	0.70–0.95
Kvartalinė dalis	0.50–0.70
Gyvenamosios zonos:	
Individualūs namai	0.30–0.50
Pavieniai daugiabučiai	0.40–0.60
Daugiabučiai	0.60–0.75
Priemiesčiai	0.25–0.40
Gyvenamasis su žeme (20 arų ir daugiau)	0.30–0.45
Butai	0.50–0.70
Parkai, kapinės	0.10–0.25
Žaidimų aikštelės	0.20–0.40

Geležinkelio stotys	0.20–0.40
Neišvystytos teritorijos	0.10–0.30
Gatvės ir pėsčiųjų zonos	0.75–0.85
Stogai	0.75–0.95
Gatvės:	
Asfaltas	0.70–0.95
Betonas	0.80–0.95
Trinkelės	0.70–0.85
Vejos, kai gruntas smėlėtas	
Plokščias reljefas, kai nuolydis iki 2 %	0,05–0,10
Vidutinio statumo, kai nuolydis 2–7 %	0,10–0,15
Statu, kai nuolydis virš 7 %	0,15–0,20
Vejos, kai gruntas molingas	
Plokščias reljefas, kai nuolydis iki 2 %	0,13–0,17
Vidutinio statumo, kai nuolydis 2–7 %	0,18–0,22
Statu, kai nuolydis virš 7 %	0,25–0,35

Retesnėms, didesnio intensyvumo liūtims koeficiento reikšmės reikia koreguoti, nes sumažėjusi infiltracija bei kiti vandens nuostoliai padidina lietaus vandens nuotėkį.

1.3. Lietaus intensyvumas

Lietaus intensyvumas priklauso nuo vietos klimato sąlygų ir kritulių pasikartojimo dažnumo. Yra žinoma, kad lietaus intensyvumas priklauso nuo lietaus trukmės – kuo ilgiau trunka lietus, tuo mažesnis intensyvumas. Taip pat akivaizdu, kad rečiau pasitaikančios liūtys bus stipresnės už dažnai pasikartojančias liūtis. Šie trys parametrai (intensyvumas, trukmė, pasikartojimo dažnumas) yra glaudžiai susiję ir gali būti vaizduojami lietaus intensyvumo kreivėse (Thompson, 2006). Šios kreivės nėra universalios ir turi būti išvedamos skirtingoms teritorijoms, toks pavyzdys pateiktas 1 pav.



1 pav. Lietaus intensyvumo kreivės Kauno mieste (STR 2.07.01:2003)

Kritulių pasikartojimas ir kiekis yra nustatomas meteorologinėse stotyse, surinkti duomenys yra archyvuojami, ruošiami kritulių žemėlapiai. Remiantis ilgalaikiais meteorologiniais stebėjimo duomenimis, galima nustatyti stipriausias liūtis ir jų pasikartojimo dažnumą, sudaryti lietaus intensyvumo kreives. Lietaus intensyvumą yra gana sunku prognozuoti, o tiksliai nustatyti galima tik paties reiškinių metu. Šis dydis dažniausiai pateikiamas dviem būdais:

- Vandens sluoksniu (mm), prilyto per tam tikrą laiko vienetą (minutę, valandą, parą ir t.t.);
- Lietaus kiekis tenkantis plotui, per laiko vienetą – $l/(s \cdot ha)$.

Pirmasis variantas gaunamas tiesiogiai matuojant ir dažniausiai naudojamas meteorologų. Antrasis variantas yra išvestinis dydis iš pirmojo ir priimtinesnis projektuojant inžinerines sistemas. Lietaus intensyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$I = \frac{A}{T + B} + c, l/(s \cdot ha) \quad (3)$$

čia:

A, B ir c – lietaus parametrai, priklausantys nuo vietovės geografinių – klimatinių sąlygų ir nuotakyno ištvinimo retmens dydžio

T – lietaus trukmė, min.

Pagal Lietuvos meteorologinių stočių duomenis nustatytos parametru A, B ir c reikšmės gali būti randamos STR 2.07.01:2003 10 priede. Jeigu reglamente nėra pateikta nagrinėjamos teritorijos parametru, tai lietaus intensyvumas apskaičiuojamas interpoliavimo būdu, pagal artimiausių miestų duomenis.

Nuotakyno ištvinimo retmens reikšmė parenkama atsižvelgiant į lietaus ar mišriojo nuotakyno tiesimo sąlygas ir galimus stipresnių liūčių, nei buvo priimta apskaičiuoti, padarinius. Pavyzdžiui, projektuojant lietaus nuotakyną prie objektų, kurių užtvindymas sukeltų didelius nuostolius (pvz., požeminių geležinkelių, geležinkelio stočių, požeminių garažų, perėjų ir pan.), nuotakyno ištvinimo retmens reikšmę patartina imti ribinę. Rekomendacinės ištvinimo retmens vertės pateiktos 3 lentelėje, ribinės vertės pateiktos 4 lentelėje.

3 lentelė. Gyvenviečių nuotakyno ištvinimo retmuo p , metais (STR 2.07.01:2003)

Nuotakų tiesimo sąlygos		Nuotakyno ištvinimo retmuo p , metais
Vietinės reikšmės gatvės	Magistralinės gatvės	
Palankios ir vidutinės	Palankios	0,5–1
Nepalankios	Vidutinės	1–2
Ypač nepalankios	Nepalankios	2–5
-	Ypač nepalankios	3–10

Nuotakyno tiesimo sąlygos nustatomos pagal nagrinėjamo nuotėkio baseino plotą ir teritorijos reljefo ypatybes. Palankiomis lietaus nuotakyno įrengimo sąlygomis laikomos šios:

- Nuotėkio baseino plotas ne didesnis kaip 150 ha, paviršius plokščias, vidutinis paviršiaus nuolydis neviršija 0,005;
- Nuotakas tiesiamas šlaito viršuje, ne toliau kaip 400m nuo vandenskyros.

Vidutinėmis lietaus nuotakyno įrengimo sąlygomis laikomos šios:

- Baseino plotas didesnis kaip 150 ha, paviršius plokščias, vidutinis paviršiaus nuolydis didesnis nei 0,005;
- Nuotakas tiesiamas žemutinėje šlaito, kurio nuolaidumas ne didesnis kaip 0,02, dalyje, tačiau baseino plotas neviršija 150 ha.

Nepalankiomis nuotakyno įrengimo sąlygomis laikomos šios:

- Nuotakas tiesiamas žemutinėje šlaito dalyje, baseino plotas viršija 150 ha;
- Nuotakas tiesiamas stataus (vidutinis nuolydis virš 0,02) šlaito apačioje.

Ypač nepalankiomis nuotakyno įrengimo sąlygomis laikomos šios:

- Nuotakynu tekinamos nuotekos iš daubos.

4 lentelė. Ribiniai nuotakyno ištvvinimo retmenys p , metais (STR 2.07.01:2003)

Baseino pobūdis	Ribinis nuotakyno ištvvinimo retmuo p , metais, kai lietaus nuotakyno tiesimo sąlygos:			
	palankios	vidutinės	nepalankios	ypač nepalankios
Kvartalų teritorijos ir vidutinės reikšmės gatvės	10	10	25	50
Magistralinės gatvės	10	25	50	100

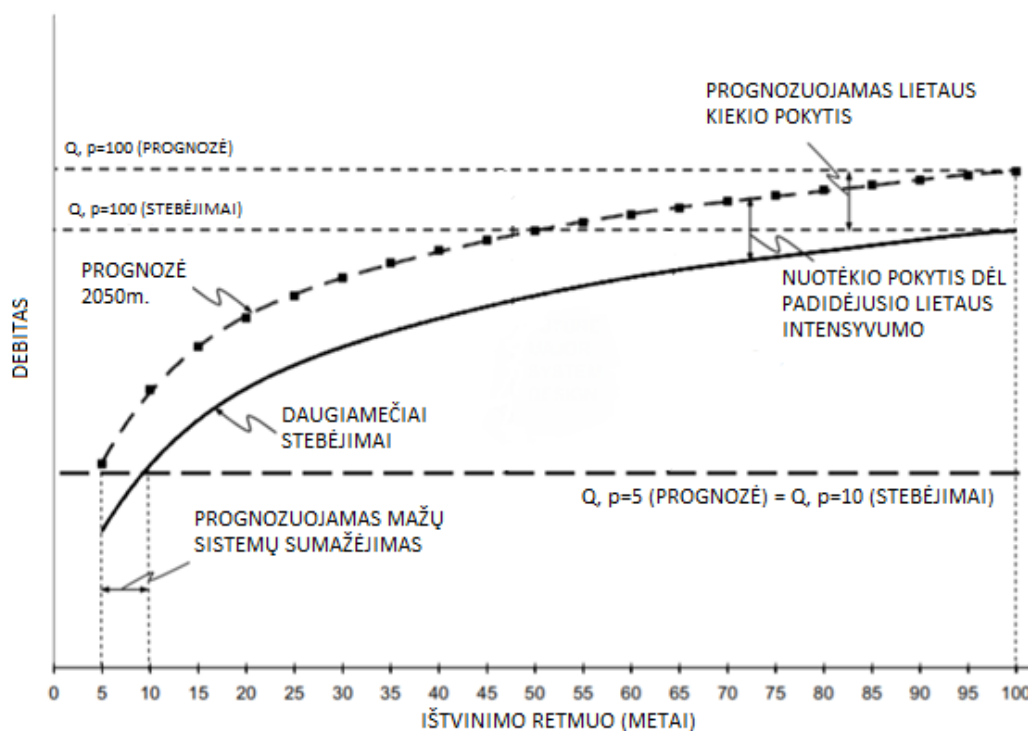
1.4. Klimato kaitos įtaka lietaus intensyvumui

Per pastarąjį amžių suaktyvėjusi pramoninė veikla stipriai prisidėjo prie anglies dioksido (CO_2) ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos ore padidėjimo. Tai savo ruožtu sukėlė didelio masto atmosferinius procesus, dėl kurių kinta ne tik temperatūra, bet ir kritulių kiekiai. Dėl šių pokyčių turi būti sukurtos valdymo strategijos ir planai, kurie yra ypač svarbūs siekiant sumažinti neigiamą įtaką gyvenamajai aplinkai (Mehdi et al., 2006).

Visos inžinerinės sistemos projektuojamos taip, kad būtų pajėgios suvaldyti tam tikro pasikartojimo lietaus reiškinį. Pavyzdžiui, mieste esanti paviršinių nuotekų sistema gali būti projektuojama su 5 metų ištvvinimo retmeniu, kas reiškia, kad ši sistema vieną kartą per 5 metus nebus pajėgi tinkamai nutekinti iškritusių kritulių. Keičiantis klimatui, keičiasi ir lietaus intensyvumas, todėl seni inžinerinių infrastruktūrų projektavimo standartai turi būti peržiūrėti įvertinant klimato pokyčius

ir esant poreikiui pakoreguoti. Dėl klimato kaitos taip pat gali atsirasti būtinybė rekonstruoti arba atnaujinti esamą civilinės inžinerijos infrastruktūrą (Mirhosseini et al., 2013).

Lietaus intensyvumo pokyčiams įvertinti yra naudojami įvairūs klimato kaitos modeliai. Kaip ir lietaus intensyvumo kreivės, prognozėms naudojami modeliai turi būti daromi konkrečiai teritorijai – tik taip galima užtikrinti tinkamus rezultatus. Vienas dažniausiai naudojamų modelių yra paremtas prielaida, kad CO₂ koncentracija ore 2050-aisiais metais bus dvigubai didesnė nei 2000 metais. Tokio modelio rezultatai rodo, kad lietaus intensyvumo reikšmė padidėja nuo 15 % iki 20 %. Pavyzdžiui, 2 pav. pateikta situacija, kai 2000 metais vykusį liūtį, kuri priskiriama kaip kartą per 10 metų pasikartojantis įvykis, bus klasifikuojama kaip kartą per 5 metus pasikartojantis įvykis 2050 (Mailhot, Duchesne, 2010). Tai reiškia, kad inžineriniai tinklai palaipsniui nebesugebės susitvarkyti su projektiniais debitytais, kas reikštų dažnesnius potvynius (Arisz, Burrell 2006). Dėl to atsiranda būtinybė peržiūrėti projektinius liūčių parametrus ir atlikti jų korekcijas.



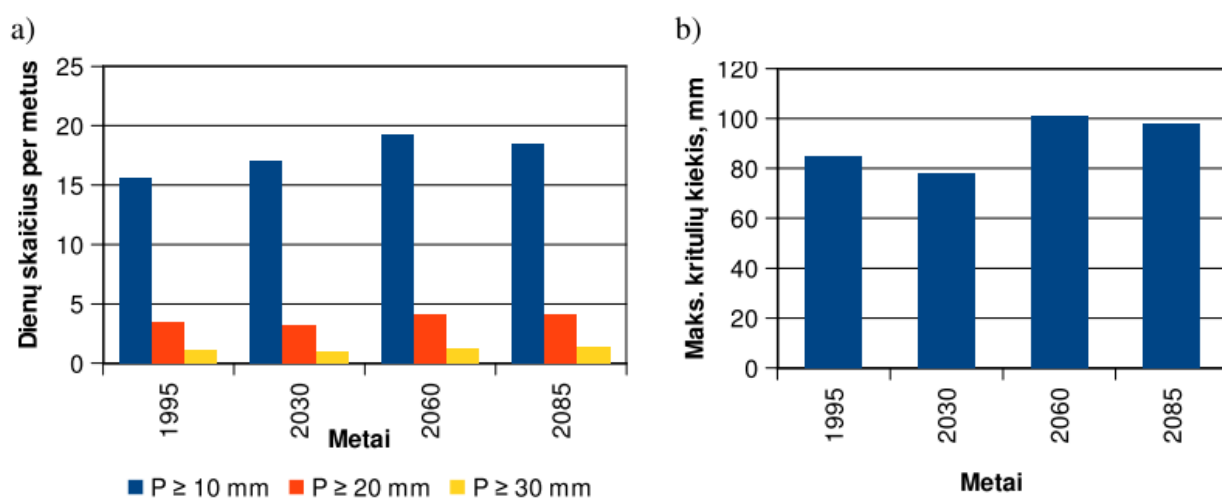
2 pav. Prognozuojami liūčių intensyvumo pokyčiai (Mailhot, Duchesne, 2010)

Kito JAV atlikto tyrimo (Dourte et al., 2015) metu buvo nustatyta, kad pietrytinėje šalies dalyje ekstremalių liūčių skaičius (ekstremali liūtis tyrime aprašoma kaip $>152,4$ mm/d) 1985–2014 laikotarpiu buvo 51 % didesnis nei 1955–1984 metų laikotarpiu. Tyrimo rezultatai taip pat rodo, kad silpnų liūčių skaičius sumažėjo iki 7 %.

Gausių kritulių pokyčius Lietuvoje aprašo Rimkus et al. (2009). Skelbiama, kad per XXI a. metinis kritulių kiekis didės iki 22 %, o gausių kritulių pasikartojimas Lietuvos teritorijoje taip pat augs. Vieną dieną truncančių gausių kritulių pasikartojimas daugiausia išaugs (>30 %) pajūryje ir

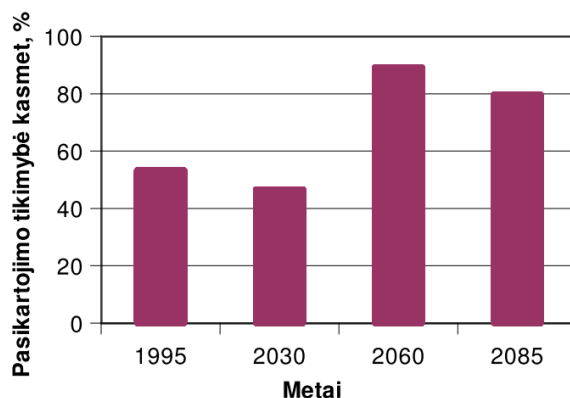
Žemaičių aukštumoje. A1B scenarijus numato, jog Vakarų Lietuvoje augs kartą per dešimt ar per šimtą metų pasitaikančių vienos bei trijų dienų ekstremalių kritulių reikšmės.

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba (2013) paskelbė klimato kaitos prognozes Vilniaus miestui XXI a. Gausių kritulių atvejų, kai per parą iškrenta daugiau kaip 10 mm kritulių, XXI a. daugės. Prognozuojama, kad iki 2060 m. tokių atvejų padaugės 4 dienomis (3 pav. a). Amžiaus pabaigoje tokių dienų vėl gali sumažėti (1 diena per metus), tačiau tokio intensyvumo krituliai vis tiek bus apie 18 % dažnesni nei 1981–2010 m. laikotarpiu. Dienų skaičius kai per parą iškrenta daugiau kaip 20, ar 30 mm kritulių XXI a. keisis nežymiai (3 pav. a). Prognozuojama, kad vidutinis maksimalus paros kritulių kiekis per parą XXI a. didės (3. pav. b). Tikėtina, kad amžiaus pabaigoje maksimalus paros kritulių kiekis gali siekti 98 mm ir bus apie 15 % didesnis, nei 1981–2010 m.



3 pav. Gausių kritulių kaita Vilniuje XXI amžiuje: a) dienų kai kritulių kiekis viršija 10, 20, 30 mm skaičius per metus; b) vidutinis maksimalaus kritulių kiekis per parą (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2013)

Ataskaitoje taip pat prognozuojama, kad lietingų laikotarpių, kai per 3 dienas iškrenta 50 mm ir daugiau kritulių, tikimybė XXI a. amžiuje išaugs apie 27 % ir tokių atvejų pasitaikys beveik kasmet (1981–2010 m. laikotarpiu pasitaikydavo vidutiniškai kas 2 metus) (4 pav.).



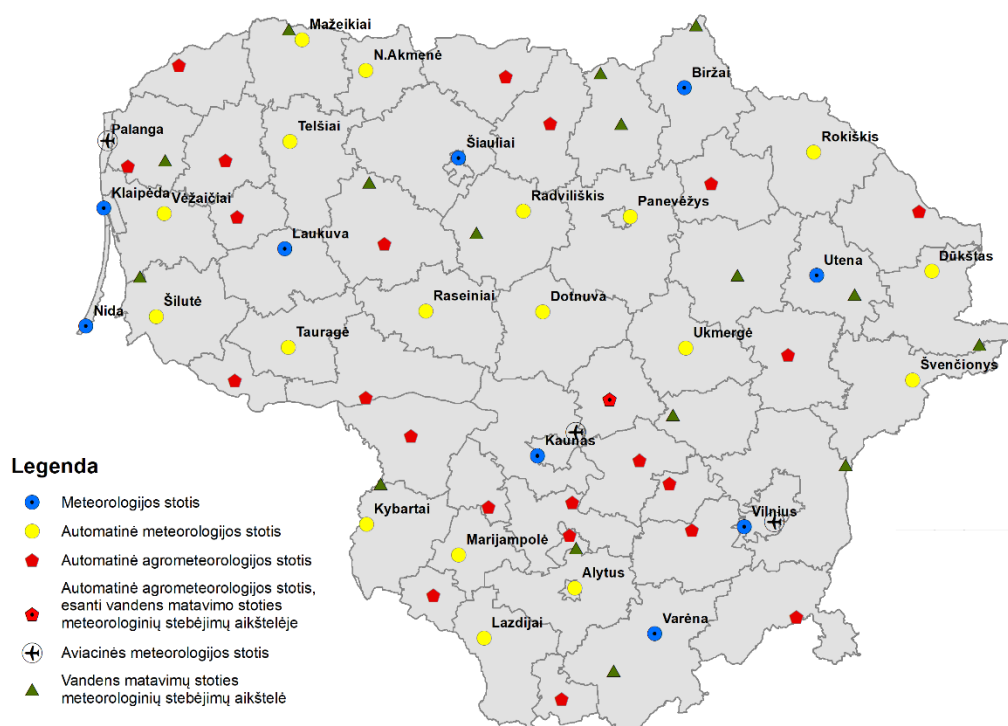
4 pav. Labai lietingų laikotarpių, kai per 3 dienas iškrinta 50 mm ir daugiau kritulių ir pasikartojimo kaita Vilniuje XXI a. (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2013)

Tampa akivaizdu, kad inžinerinėms sistemoms teks susitvarkyti su didesniais lietaus kiekiais. Siekiant išvengti neigiamo klimato kaitos poveikio miesto infrastruktūrai ir žmonių sveikatai svarbu tinkamai pasiruošti ekstremalioms situacijoms ir pritaikyti miesto infrastruktūrą prie besikeičiančių hidrometeorologinių sąlygų (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2013).

1.4. Lietaus parametrų matavimai

Teoriniai skaičiavimai niekada tiksliai neatitiks realybės, todėl siekiant optimizuoti sistemas ir tobulinti projektavimo būdus, reikia stebėti realybėje veikiančią sistemą. Lietaus intensyvumo ir paviršinių nuotekų kiekio tinkle matavimas yra labai svarbus siekiant optimizuoti ir geriau suprasti lietaus reiškinių. Tiksliai žinant, kada prasidėjo lietus ir kada jis baigėsi ir tuo pačiu matuojant paviršinių nuotekų debitą tinkluose, galima nustatyti koncentracijos trukmę ir laiką, kurį lietaus nuotekos užtrunka pratekėti visą baseiną (Church et al., 1999).

Lietuvoje pirmieji meteorologiniai instrumentiniai stebėjimai pradėti Vilniaus universiteto astronomijos observatorijoje 1770 m. Tuomet buvo pradėta matuoti oro temperatūra. Pirmosios meteorologijos stotys pradėtos steigti 1869–1897 m. Lietuvoje yra tik 5 meteorologijos stotys, kurios veikia ilgiau nei 100 metų – tai Vilniaus, Kauno, Klaipėdos, Panevėžio ir Nidos stotys. Krituliai pradėti matuoti 1871 m. Vilniaus miesto meteorologijos stotyje (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba 2019). Šiuo metu Lietuvoje yra 27 meteorologijos stotys ir 3 aviacinės meteorologijos stotys. Stebėjimų tinklo žemėlapis pateiktas 5 pav.



5 pav. Lietuvos meteorologijos stočių tinklo žemėlapis (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2019)

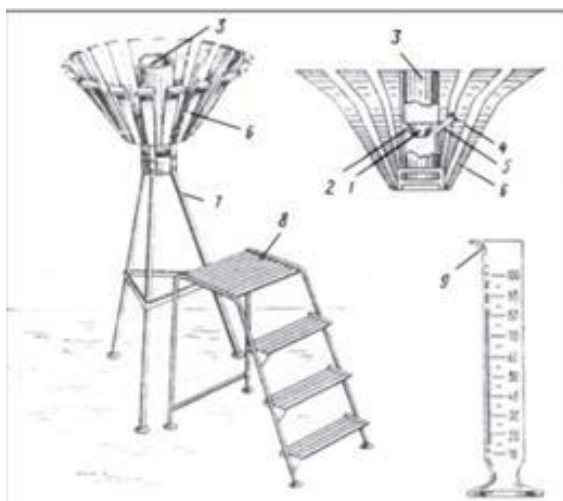
1.4.1. Kritulių matavimas

Kritulių matavimas – vienas iš pagrindinių matavimų atliekamų meteorologinėse stotyse. Meteorologijos stotyse kritulių kiekis matuojamas vandens sluoksnio, kuris susidarytų ant horizontalaus paviršiaus, jei krituliai niekur nesusigertų, nenutekėtų ir negaruotų, storio (mm). Matuojant kritulius, visada nustatomas ir kritulių tipas, iškritimo pradžios ir pabaigos laikas.

Krituliai yra pagrindinė priežastis, dėl kurių atsiranda nepageidaujamas nuotėkis. Krituliai dažniausiai būna labai nepastovūs erdvės ir laiko atžvilgiu. Tikslus kritulių trukmės bei intensyvumo nustatymas yra pagrindinė informacija, reikalinga analizuojant lietaus nuotėkį nuo teritorijos ir jo kitimą. Siekiant gauti teisingus ir reprezentatyvius duomenis, būtina atsižvelgti į kelis faktorius: kritulių matavimo prietaisas turi būti pastatytas teisingai, nustatyti tenkinami matavimo intervalai, duomenų turi būti surinkta tiek, kad būtų galima kokybiškai nusakyti vietovės sąlygas. Kritulių matavimo prietaisų sustatymo tankis taip pat veikia duomenų kokybę ir jų tikslumą (Church et al., 1999). Didžiausią įtaką duomenų netikslumui matuojant kritulius daro vėjas. Dėl šios priežasties kritulmačiai turi būti maksimaliai apsaugoti nuo vėjo įtakos, parenkant tokią vietą, kurioje nėra skersvėjų, taip pat kuo arčiau žemės paviršiaus, kadangi tolstant nuo jo, vėjo greičiai didėja. Svarbu tinkamai prižiūrėti ir reguliariai kalibruoti prietaisus, kad būtų gaunama patikima informacija (Smith, 1993).

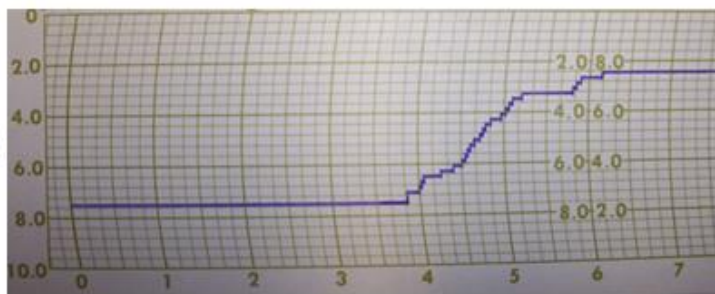
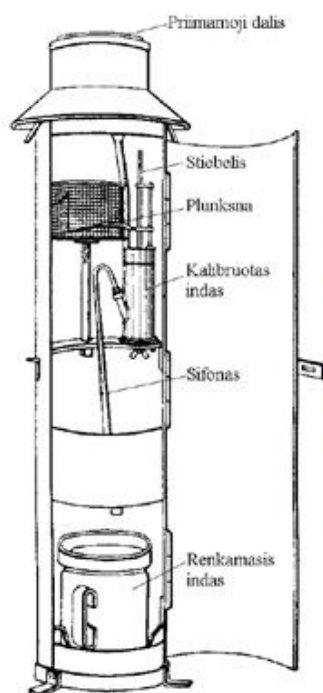
Pirmieji kritulių matavimai buvo atliekami neautomatinis prietaisais. Dažniausiai buvo matuojamas bendras kritulių kiekis, iškritęs per tam tikrą laikotarpį, pavyzdžiui, Meteorologijos stotyse, vykdančiose standartinę matavimų programą, kritulių kiekis buvo matuojamas kas 6 valandas. Šiam matavimui atlikti buvo naudojamas Tretjakovo kritulmatis (6 pav.), kuris sudarytas iš indo krituliams surinkti, priešvėjinės apsaugos ir matavimo stiklinės. Indas krituliams surinkti – tai cilindro formos metalinis kibiras, kurio aukštis 40 cm, o kritulių priėmimo plotas 200 cm². Kibiro talpa 3,8 l, indo viršus turi būti 1,5 – 2 m aukštyje. Aplink indą prie stovo pritvirtinama apsauga nuo vėjo, sudaryta iš 16 skardinių išpjovų išlenktais į išorę kraštais. Atliekant matavimą, skysti krituliai buvo išpilami į graduotą matavimo stiklinę, kurios gradacija atitinka 0,1 mm inde buvusio vandens sluoksnio storio. Kieti krituliai prieš matavimą būdavo ištirpinami nunešant matavimo indą į šildomą patalpą. Dėl matavimo indo sienelių suvilgymo atsirasdavo matavimo paklaidos, todėl įvesta pataisa, kuri yra + 0,2 mm skystiems krituliams ir + 0,1mm kietiems krituliams.

Sunkiai pasiekiamuose rajonuose kartais naudojami suminiai kritulmačiai, kurie leidžia įvertinti kritulių kiekį per žymiai ilgesnį laiką (savaitę, mėnesį, sezoną ir pan.). Dažniausiai šie prietaisai sudaryti iš cilindrinio 500 cm² skerspločio indo, kurio maksimali talpa 1500 mm. Vasarą į indą buvo įpilami keli lašai alyvos, siekiant sumažinti kritulių išgaravimą.



6 pav. Tretjakovo kritulmatis. 1 – *piltuvėlis*; 2 – *diafragma*; 3 – *indas krituliams*; 4 – *dangtelis*; 5 – *vamzdelis*; 6 – *vėjo apsauga*; 7 – *stovas*; 8 – *laipteliai*; 9 – *matavimo stiklinė* (Vikipedija, 2019)

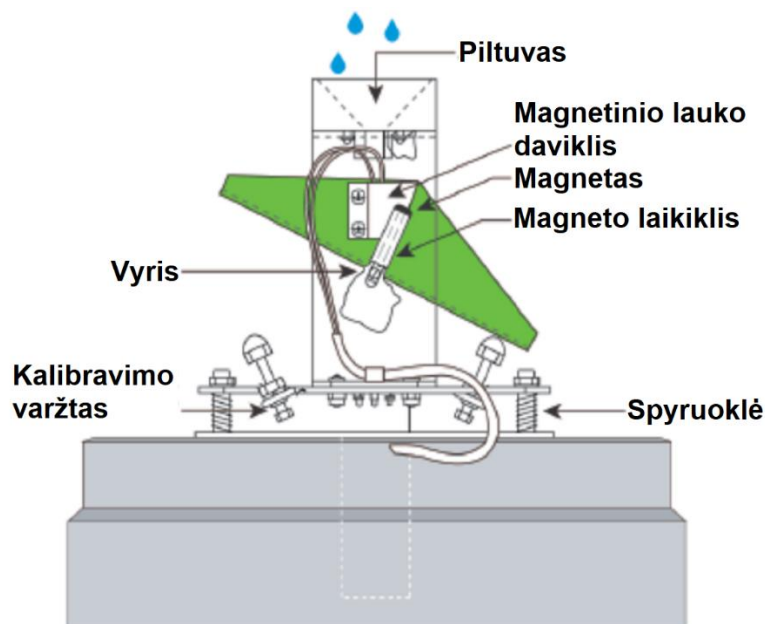
Vėliau krituliams matuoti atsirado pluviografas, skirtas nenutrūkstam lietaus reiškinių registravimui (7 pav.). Prietaisas brėždavo pluviogramą, iš kurios buvo galima nustatyti iškritusių kritulių kiekį, intensyvumą ir iškritimo laiką. Tačiau šiam prietaisui buvo reikalinga tam tikra priežiūra – reikėdavo užtikrinti, kad nepasibaigtų popierius, ant kurio brėžiama pluviograma, ar plunksnos rašalas. Taip pat registruotus duomenis reikdavo reguliariai surinkti.



7 pav. Pluviografo schema (dešinėje) ir pluviograma (kairėje) (Rimeika, 2017)

Šių dienų siekiamybė – kritulius matuoti distancinėse ir automatinėse meteorologijos stotyse, kurioms veikti būtų reikalinga tik minimali ir reta žmogaus priežiūra, o gautus duomenis būtų galima perduoti nuotoliniu būdu. Nenutrūkstamam lietaus pavidalo kritulių registravimui skirti prietaisai vadinami pluviografais. Dažniausiai naudojami pluviografai su sūpuokliniu mechanizmu (8 pav.).

Jų daviklis – į dvi vienodas dalis padalintas ir ant specialios ties viduriu įtaisytos ašies besisupantis lovelis. Pro kritulmačio angą patenkantys krituliai suteka į piltuvėlį, iš kurio patenka į vieną arba kitą besisupančio lovelio dalį (priklausomai nuo to, kuri jo pusė tuo metu yra pakilusi). Vienai lovelio daliai sukaupus tam tikrą kiekį kritulių (paprastai atitinkantį 0,2 mm kritulių sluoksnį) ir dėl to pasunkėjęs, ji nusileidžia žemyn, kartu išskeldama kitą lovelio pusę. Tuomet iš piltuvėlio tekantys krituliai kaupiasi jau kitoje lovelio dalyje ir viskas vėl kartojasi. Kiekvienas lovelio pasikreipimas loveliui kontaktuojant su kritulmačio korpusu arba magnetiniu davikliu generuoja elektros impulsus, taip fiksuojama matavimų informaciją duomenų kaupiklyje. Pagal lovelio supimosi intensyvumą galima nustatyti kritulių kiekį ir taip pat sužinoti jo intensyvumą. Dažniausiai šio tipo prietaisai matuoja tik skystų kritulių kiekį, tačiau, prijungus prie daviklio specialų pašildymą, jais galima matuoti ir kietus kritulius. Apsaugai nuo vėjo, visa konstrukcija uždengiama cilindro formos dangčiu su atvira anga viršuje. Prietaisas turėtų būti statomas atviroje erdvė, toliau nuo medžių, pastatų ar kitų objektų, kurie galėtų iškreipti lietaus matavimus. Šio tipo prietaisų duomenys gali būti paveikti vamzdžių bei kitos smulkios gyvūnijos (Nystuen et al. 1996).



8 pav. Pluviografas su sūpuokliniu mechanizmu (interpretuota autoriaus, remiantis šaltiniu: Sunjray infosystems, 2019)

Optiniai kritulių jutikliai veikia pagal siunčiamos šviesos šaltinio išsklaidymą. Gali būti dviejų konstrukcijų:

- Prietaisas kritulius fiksuoja tam tikroje, prietaiso regėjimo zonoje esančioje erdvėje. Susideda iš šviesos šaltinio, lęšio, signalo priimtovo ir signalo apdorojimo įrangos. Pagal išsklaidymo intensyvumą yra įvertinamas matuojamoje erdvėje esantis kritulių kiekis bei intensyvumas. Prietaiso pavyzdys pateiktas 9 pav.



9 pav. Optinių kritulių jutiklio, kai yra šviesos šaltinis ir signalo priimtuvas, schema (Optical Scientific Inc., 2019)

- Šviesos šaltinis yra paslėptas po stikliniu, skaidriu gaubtu. Ant gaubto patekę krituliai pradeda skaidyti prietaiso siunčiamą šviesos srautą, kuris yra užregistruojamas ir taip fiksuojamas kritulių faktas. Pagal išsklaidytos šviesos kiekį galima nustatyti kritulių kiekį bei intensyvumą. Tokio tipo prietaisai gali būti randami automobiliuose, kuriuose valytuvai įsijungia automatiškai prasidėjus lietu. Prietaiso pavyzdys pateiktas 10 pav.

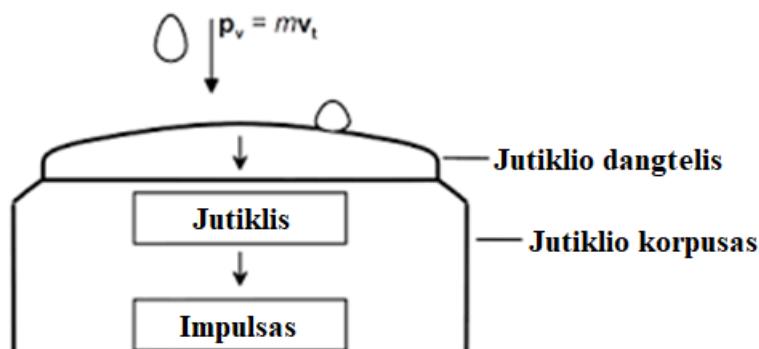


10 pav. Optinis kritulių jutiklis matuojantis šviesos išsklaidymą nuo skaidraus gaubto (Fondriest Staff, 2011)

Optiniai kritulmačiai gali ne tik fiksuoti kritulių kiekį bei intensyvumą, tačiau gali nustatyti ir fizikinę kritulių būseną. Tokiu būdu gaunama žymiai tikslesnė informacija apie kritulius. Šių prietaisų lęšiai dažnai būna šildomi elektra, kad būtų išvengta rasojoimo

Lietaus intensyvumas gali būti matuojamas ir akustiniais kritulmačiais, principinė šio prietaiso schema pateikta 11 pav. Šis prietaisas matuoja kiekvieną lašą, atsitrengusio į prietaisą, smūgį. Kiekvienas nukritęs lietaus lašas sukelia akustinį signalą, kuris yra paverčiamas elektros impulsu. Pagal impulsų dažnumą ir dydį, galima spręsti, kokio intensyvumo lietus fiksuojamas. Taip pat iš smūgio informacijos šis kritulmatis gali nustatyti lietaus lašų dydžius. Atlikti tyrimai parodė (van de Giesen et al., 2009: F903+), kad stiprių liūčių metu, lyginant su pliuviografu su sūpuokliniu mechanizmu, akustinis kritulmatis geriau išmatuoja lietaus intensyvumą. Tačiau esant silpniam

lietui, pluviografo su sūpuokliniu mechanizmu rezultatai buvo geresni, kadangi kai kurie krentantys lašai yra per maži, kad sukeltų aptinkamą signalą akustiniame kritulmatyje.



11 pav. Principinė akustinio kritulmačio schema (interpretuota autoriaus, remiantis šaltiniu: De Jong 2010)

1.4.2. Debito matavimas

Siekiant gauti patikimus, realaus laiko ir techniškai tvarkingus duomenis apie lietaus infrastruktūrą, svarbu ne tik matuoti kritulių kiekį, tačiau ir lietaus debitą tekančių sistemose. Surinkti tokius duomenis dėl unikalių lietaus reiškinių savybių gali būti labai sudėtinga. Kiekviena liūtis turi unikalų trukmę, kritulių kiekį ir intensyvumą, dėl kurių skiriasi bendras surinkto lietaus kiekis vamzdynuose. Turint teisingus duomenis ir nuolatos juos papildant, galima lengviau suvokti vietovei būdingas liūtis ir tobulinti esamą infrastruktūrą (Church et al., 1999).

Problemos, su kuriomis susiduriama matuojant lietaus nuotekų debitus, yra įvairios. Visų pirma, lietaus debito svyravimai sistemoje paprastai būna labai dideli, dėl to taip pat kinta ir tėkmės režimas vamzdynuose (slėginis, neslėginis), vadinasi, tėkmės greitis taip pat yra nepastovus. Debito matavimo įrangos sumontavimas nedideliame latakė ar vamzdyje taip pat gali iškreipti matavimo duomenis. Kai kuriai debito matavimo įrangai būtinas minimalus vandens lygis sistemoje, kad būtų galima gauti patikimus duomenis. Lietaus nuvedimo sistemoje ne lietaus metu tekančio vandens kiekis būna labai mažas arba jo išvis nebūna, dėl to išauga klaidų tikimybė. Galiausiai, įranga ir prietaisai reikalingi tiksliai debito matavimui paprastai yra brangūs. Matuojamų duomenų kokybei taip pat įtakos gali turėti:

- Vietos, kurioje matuojamas lietaus debitas, svarba baseino atžvilgiu;
- Debito matavimo dažnumas, trukmė;
- Metodus, kuriuo matuojamas debitas.

Renkantis tinkamiausią ir geriausius rezultatus duodančią debito matavimo vietą sistemoje, reikėtų atkreipti atsakytį į šiuos klausimus (Church et al., 1999):

- Ar išmatuotas debitas apibūdins tiriamąją vietovę?
- Kaip yra pasiskirstę greičiai matavimo vietoje?
- Ar vieta yra lengvai prieinama?

- Ar įmanoma įrengti matavimo įrangą?
- Ar gali pasitaikyti stambių nešmenų?
- Ar vieta saugi nuo vagysčių?

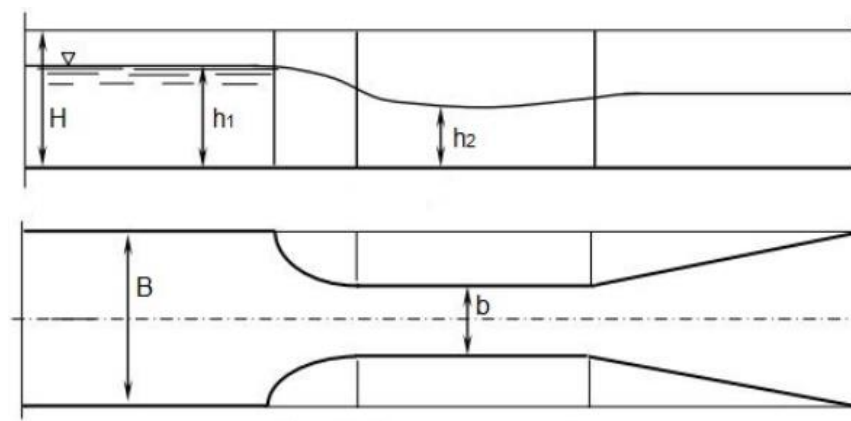
Didžiausias iššūkis matuojant lietaus nuotekų debitą yra tai, kad vanduo vamzdžiu ne visada teka pilnu pripildymu, nors standartinėje situacijoje visada pageidautina matuoti debitą pilno užpildymo vamzdyje. Sudaryti sąlygas, kad vanduo tekėtų pilnu užpildymu, gali būti ekonomiškai nenaudinga. Debito matavimo prietaisų ir būdų yra įvairių, prieš pasirenkant vieną iš jų reiktų žinoti:

- Koks tekėjimo režimas vyrauja?
- Matuojamo debito ribos;
- Vamzdžio/latakų geometrija.

Pagrindiniai debito matavimo būdai:

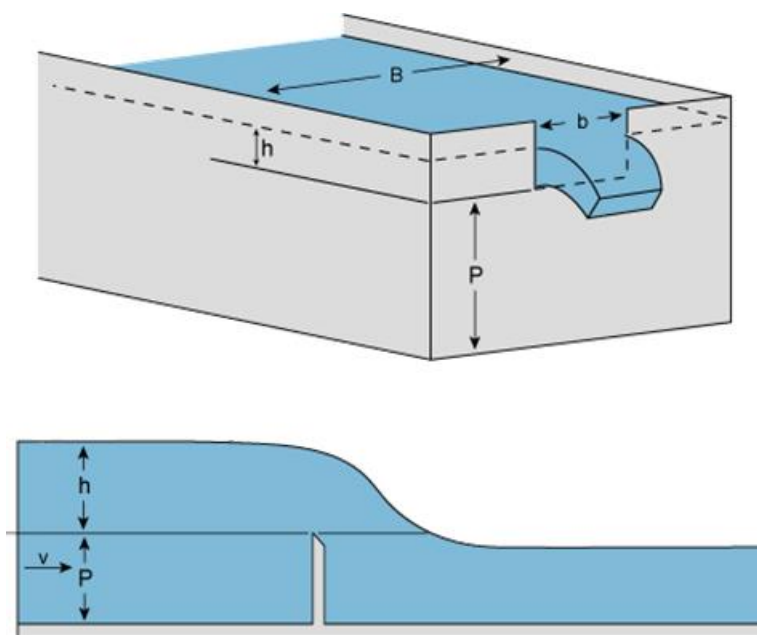
- Latakais;
- Slenksčiais;
- Hidrostatiniai matuokliai;
- Ultragarsiniai prietaisai.

Latakai – tai tėkmę apribojančios konstrukcijos, kuriose kontroliuojami hidrauliniai parametrai, pavyzdžiui, patvankos lygis, kuris yra tiesiogiai susijęs su debitu (Kilpatrick *et al.*, 1986). Veikimo principas pagrįstas tuo, kad vandens srautas dėl latakų konstrukcinių savybių, tokių kaip sienelių susiaurėjimas ar padidintas nuolydis, pagreitėja, dėl to pasikeičia vandens lygis prieš kliūtį. Kadangi latakų geometrija yra žinoma, išmatavus vandens lygį prieš kliūtį galima apskaičiuoti latakų tekantį debitą. Vandens lygis dažniausiai matuojamas ultragarsiniu lygio davikliu. Pagrindinė problema matuojant lietaus debitą latakais – norint išmatuoti didelius lietaus kiekius latakų konstrukcija tampa labai ilga, kas reikalauja nemažų investicijų. Dažniausiai praktikoje sutinkami latakai debitams matuoti: Venturi latakas (12 pav.), Paršalio latakas.



12 pav. Venturi latakų schema: H – latakų aukštis, h_1 – vandens lygis prieš susiaurėjimą, h_2 – vandens lygis sąsiauryje, B – latakų plotis, b – sąsiaurio plotis (Vikipedija, 2016)

Slenksčių veikimo principas panašus į latakų – debitas matuojamas pagal susidariusią patvanką. Skirtumas tas, kad slenksčiai statomi skersai vandens tekėjimo krypties, taip sudarydami kliūtį srautui, kuris persilieja per viršų. Tam, kad būtų galima išmatuoti persiliejusį vandens debitą tiksliau, slenksčio viduryje išpjaunama trikampio, trapecijos ar stačiakampio formos skylė. Kadangi skylės matmenys yra žinomi, pagal juos galima apskaičiuoti persiliejusio vandens debitą. Slenkstis dažniausiai būna pagamintas iš plonos medžiagos, pavyzdžiui, nerūdijančio plieno. Debito matavimo būdas naudojant slenksčius yra pigus ir paprastas, tačiau lietaus nuotekų sistemoje taikomas ribotai, kadangi yra mažai tinkamas dideliems debitų svyravimams. Taip pat, kadangi srautas aptvenkiamas skersai, prieš slenkstį padidėja skendinčių medžiagų nusėdimo tikimybė (Church et al., 1999). Slenksčio su stačiakampe išpjova schema pateikta 13 pav.

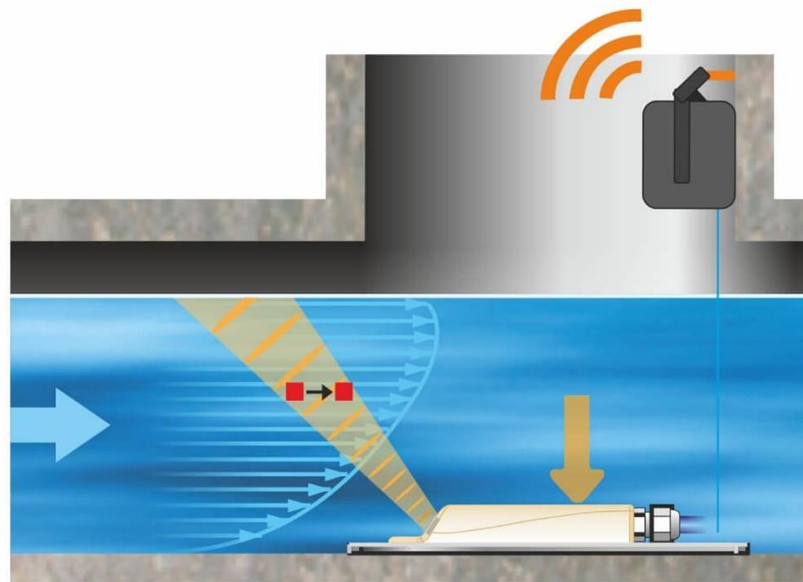


13 pav. Slenkstis su stačiakampe išpjova. B – kanalo plotis, b – išpjovos plotis, h – persipilančio vandens aukštis, P – kanalo gylis iki išpjovos, v – greitis

Hidrostatiniai matuokliai matuoja hidrostatinį slėgį ir pagal jį įvertina vandens lygį vamzdyje ar kanale. Žinant vamzdžio ar kanalo geometriją, taip pat ir jo nuolydį, pagal vandens lygį galima išskaičiuoti vandens tekėjimo greitį. Tai yra pagrindinė šio prietaiso problema, kadangi greitis yra išskaičiuojamas pagal įvedamus parametrus, o ne nustatomas tiesiogiai matuojant. Dėl to gali atsirasti matavimų paklaidos.

Ultragarsinių prietaisų veikimo principas yra paremtas ploto-greičio principu. Įranga matuoja vandens aukštį vamzdyje ar latake, taip pat ir vandens greitį. Iš šių dviejų parametrų, žinant kanalo ar vamzdžio geometriją, galima apskaičiuoti lietaus debitą. Pagrindinis sensoriaus elementas yra pritvirtinamas vamzdžio ar kanalo apačioje, iš jo yra skleidžiamas ultragarsinis signalas. Signalas yra siunčiamas kampu prieš vandens tėkmę, todėl atsimuša nuo skendinčių medžiagų bei oro burbuliukų esančių nuotekose, taip nustatomas jų tekėjimo greitis. Signalas taip pat atsimuša nuo vandens lygio

paviršiaus, taip nustatomas vamzdžio pripildymas. Greičiai visame vamzdžio ar kanalo skerspjūvyje gali skirtis, todėl iš gauto tėkmės greičio profilio yra išvedama vidutinė tekėjimo greičio reikšmė. Paprastai tiksliems duomenims gauti vieno sensoriaus gali nepakakti. Esant labai mažam vamzdžio pripildymui, pavyzdžiui, kai sensorius yra pilnai neapsemtas arba apsemtas tik keliais centimetrais, didėja matavimų paklaidos. Siekiant sumažinti šias paklaidas, dažniausiai įdiegiami bent du sensoriai, pavyzdžiui, vienas sensorius tvirtinamas vamzdžio ar kanalo viršuje, kiek toliau nei sensorius dugne, tokiu būdu tiksliau nustatomas vandens lygis. Priklausomai nuo skersmens ar formos, skiriasi ir sensorių skaičius. Dažnu atveju į prietaisas komplektuojamas su hidrostatiniu lygio davikliu (14 pav.), taip dar labiau sumažinamas paklaidos dydis. Nepaisant to, netikslumai matuojant debitus šiais prietaisais gali kisti nuo 2 iki 20 % (Harmel *et al.*, 2006). Didelės paklaidos dažniausiai atsiranda dėl neteisingo įrangos įrengimo. Sensorių surinkti duomenys yra kaupiami duomenų kaupiklyje, juos taip pat galima perduoti ir nuotoliniu būdu.



14 pav. Ultragarsiniu ir hidrostatiniu principu veikiantis debitomatis (Nivus, 2019)

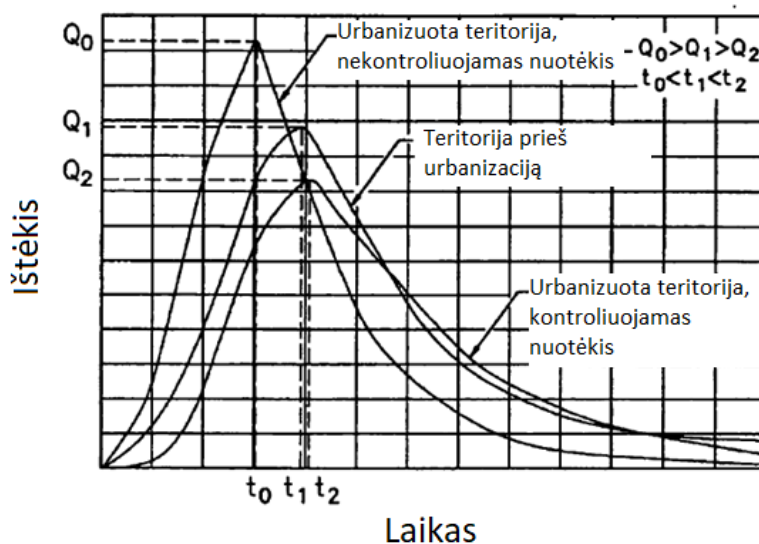
Tiek hidrostatinio, tiek ultragarsinio matavimo metodo privalumai yra tai, kad šią įrangą nesudėtinga įdiegti, o svarbiausia, kad tai galima padaryti nenutraukiant sistemos veikimo. Abu prietaisai gali būti lengvai perkeltami, kas duoda papildomo lankstumo lietaus nuotekų debito monitoringui. Taip pat, prietaisais užfiksuoti duomenys gali būti perduodami nuotoliniu būdu.

1.5. Priemonės lietaus kiekio reguliavimui

Tradiciniai lietaus tinklų sistemos sprendiniai suteikia galimybę greitai surinkti iškritusį lietų ir nuvesti jį į tinkamą vietą. Tačiau susiduriama su problema, kad urbanizuojant naujas teritorijas, natūralios vandeniui laidžios dangos yra pakeičiamos nelaidžiomis. Tokie veiksmai padidina lietaus vandens nuotėkį nuo teritorijos, nes sumažinama natūrali kritulių infiltracija į gruntą. Taip pat, nauji

paviršiai dažniausiai yra lygesni, todėl vanduo nubėga greičiau, prarandamos akumuliacinės savybės (US department ..., 2009). Ištekio hidrografų palyginamoji schema pateikta 15 pav.

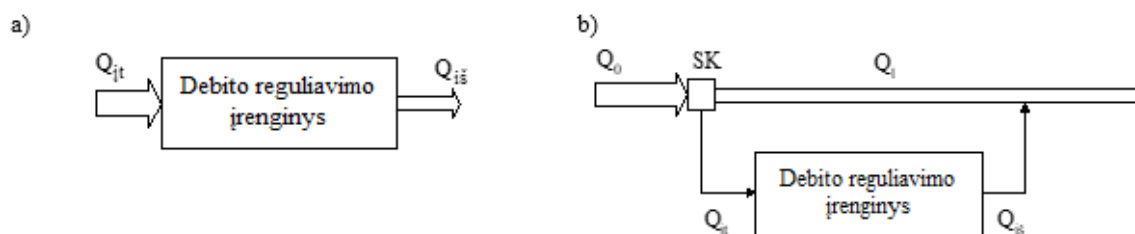
Dėl šių priežasčių, lietaus nuvedimo sistemoje padidėja maksimalūs lietaus nuotekų debitai, susidaro didesni tekėjimo greičiai, padidėja tarša esanti nuotekose (Debo *et al.*, 2002). Todėl pradėta ieškoti priemonių, kaip sumažinti naujai urbanizuojamų teritorijų įtaką lietaus kiekių padidėjimams.



15 pav. Ištekio hidrografų palyginimas (US department ..., 2009)

1.5.1. Lietaus debito reguliaciniai įrenginiai

Lietaus reguliaciniai įrenginiai skirti kontroliuoti išleidžiamų lietaus nuotekų kiekį į tinklą. Veikimo principas pagrįstas laikinu lietaus kiekio sulaikymu ir kontroliuotu jo išleidimu į tinklus. Tokiu būdu gali būti sumažinamas lietaus kolektoriaus skersmuo arba sumažinama tikimybė, kad kolektorius bus patvenktas. Debito reguliavimo įrenginys gali būti montuojamas ant trasos (16 pav. a), tokiu atveju visas lietaus tūris patenka į rezervuarą, o išleidžiamas mažesnio skersmens vamzdžiu. Kai rezervuaras yra šalia tinklo (16 pav. b), atsiranda srauto paskirstymo kamera, kuri dalį debito nukreipia į rezervuarą, o likusią praleidžia tolyn. Iš rezervuaro sukauptas kiekis yra šalinamas mažesnio diametro vamzdžiu.



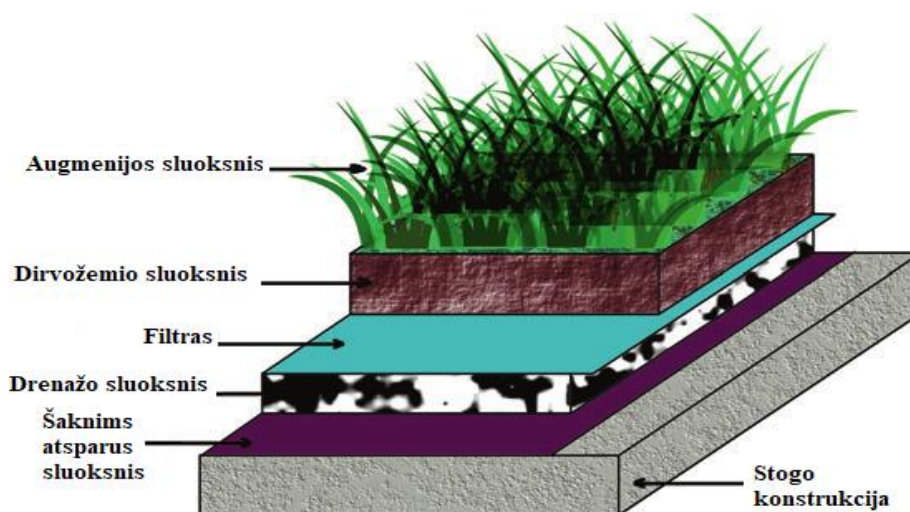
16 pav. Paviršinių nuotekų debito reguliavimo įrenginių jungimo prie nuotakyno principinės schemos; SK – paskirstymo kamera (STR 2.07.01:2003)

Reguliavimo įrenginio tūris apskaičiuojamas kaip per skaičiuotino intensyvumo lietu įtekančių ir ištekančių paviršinių (lietaus) nuotekų kiekio skirtumas. Optimalus debito reguliavimo

įrenginio dydis ir nutekamojo vamzdžio skersmuo parenkamas ekonominiais skaičiavimais. Akumuliacinės talpos gali būti tiek antžeminės – tai kūdros ir tvenkiniai, tiek požeminiai – statomi iš specialių vandeniui nelaidžių medžiagų. Dėl nemažo užimamo ploto, ypač stipriai urbanizuotose teritorijose, surasti tinkamą vietą šioms įrenginiams yra sunku, todėl šis sprendinys ne visada tinkamas ir lengvai pritaikomas.

1.5.2. Žali stogai

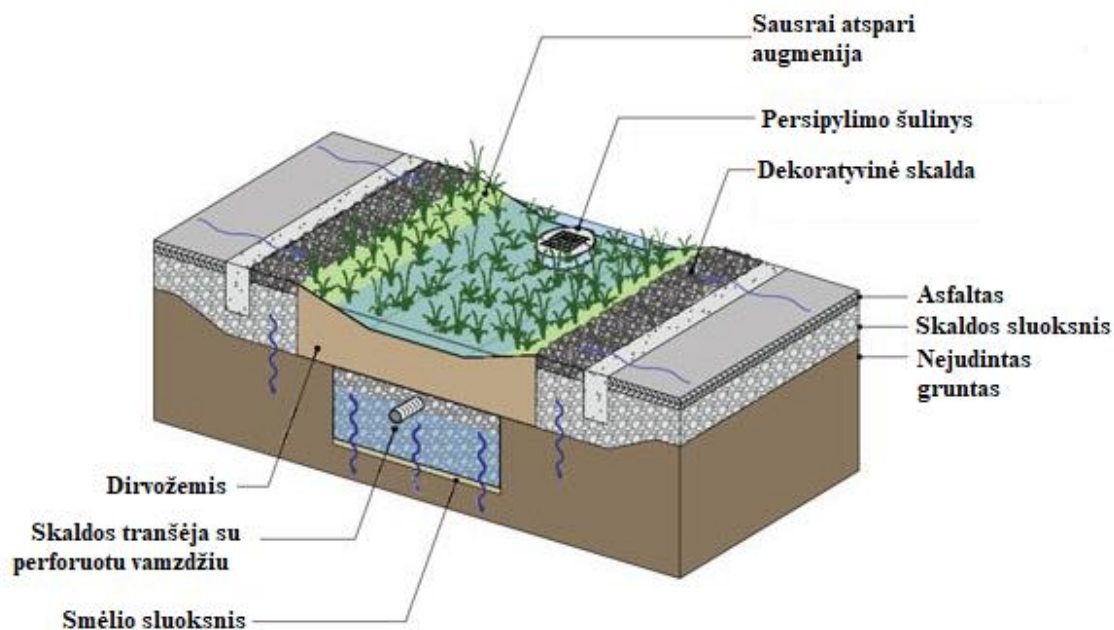
Lietaus nuotekų debitą išleidžiamą į tinklą, akumuliuoti galima ne tik talpose. Vienas iš būdų yra ant pastatų stogų įrengti mažesnę nei 15cm storio augalinį sluoksnį. Toks inžinerinis sprendimas ne tik akumuliuoja lietaus vandenį, bet ir sumažino jo kiekį, kadangi dalis jo lieka augaliniame sluoksnyje (Schroll *et al.*, 2011). Lee *et al.* (2013) tyrimų metu nustatyta, kad žalio stogo nuotėkio koeficientas svyruoja nuo 0,44 iki 0,52, kuomet įprastos konstrukcijos stogo nuotėkio koeficientas yra apie 0,9. Tačiau akumuliuojamas lietaus kiekis nėra begalinis – kuomet dirvožemis pasiekia maksimalų drėgnumą, nuotėkio koeficientas palaipsniui kyla. Maksimalus drėgnumas pasiekiamas maždaug per 6 minutes, o nuotėkio koeficientas pasiekia 0,9 praėjus 12 minučių nuo lietaus pradžios. Akumuliuojamo lietaus kiekis priklauso nuo liūt看 intensyvumo – kuo intensyvesnė liūt看, tuo prastesnės žalio stogo akumuliacijos savybės. Nustatyta, kad žalio stogo vandens sulaikymo efektyvumas didžiausias, kai lietaus intensyvumas yra mažesnis nei 20 mm/h (Lee *et al.*, 2013). Kiti tyrimai, atlikti Jarrett *et al.* (2006), nurodo, kad žalio stogo įrengimas gali sulaikyti nuo 45 % iki 55 % metinio lietaus kiekio. Akivaizdu, kad žalias stogas yra puikus integruotas sprendinys mažinant maksimalius lietaus debitus. Tačiau šis turi ir savų minusų – dėl augalinio sluoksnio ir jo savybės kaupti vandenį, stipriai išauga stogo apkrova statinio konstrukcijoms, todėl reikalingos didesnės investicijos pastato konstrukcinei daliai. Taip pat, reikėtų atsižvelgti į vietovės, kurioje norima įrengti žalią stogą, sezoniškumą, kadangi sausuoju periodu augalinis sluoksnis gali stipriai išdžiūti, todėl gali reikėti įrengti laistymo sistemą. Tipinė žalio stogo konstrukcija pateikta 17 pav.



17 pav. Tipinė žalio stogo detalė (interpretuota autoriaus, remiantis šaltiniu: Arenas *et al.*, 2018)

1.5.3. Lietaus sodai

Augalų savybę akumuliuoti lietaus vandenį galima pritaikyti ne tik ant stogų. Nedidelį augmenijos plotą taip pat galima įrengti šalia namo arba mašinų stovėjimo aikštelėje, tai vadinama lietaus sodais. Tokia sistema ne tik akumuliuoja lietaus vandenį, tačiau ir sulaiko teršalus, esančius paviršinėse nuotekose. Principinė schema šios sistemos schema pateikta 18 pav. Tokiai sistemai įrengti reikia žemės ploto, kuris yra žemiau nei paviršius, nuo kurio surenkamos paviršinės nuotekos. Sistema susideda iš augalinio sluoksnio, dirvožemio, filtracinių medžiagų (žvyras, skalda), persipylimo angos, valymo angos ir drenažinio vamzdžio.



18 pav. Principinė lietaus sodo schema (interpretuota autoriaus, remiantis šaltiniu: Delfos et. al., 2017)

Lietaus vanduo patekęs į lietaus sodą lėtai filtruojasi per gruntą ir patenka į drenažinį vamzdį, o juo į lietaus tinklus. Tokiu būdu yra uždeliamas lietaus išleidimas. Šios sistemos akumuliacinės savybės yra kur kas didesnės nei žalio stogo, nes pasiekti maksimalų dirvožemio drėgnumą užtrunka daugiau laiko. Paviršinių nuotekų kiekis, kuris nebesusigeria į gruntą, patenka į persipylimo šulinį.

Davisas (2008) atliko tyrimą, kurio pagrindinis tikslas buvo nustatyti lietaus nuotėkio sumažinimą, taip pat nustatyti maksimalius debitus ir jų uždelimo trukmę. Tyrimo objektas – 2 lietaus sodai, kurie įrengti 0,24 ha automobilių stovėjimo aikštelėje. Tyrimas truko 2 metus, o jo metu buvo užfiksuoti 49 lietaus atvejai. Rezultatai rodo, kad 18 % visų lietaus atvejų, lietaus sodai sugėrė visas paviršines nuotekas, o į lietaus tinklus vanduo buvo išleistas po kelių valandų, mažu debitu. Vidutinių ir stiprių liūčių metu, kiekis išleistas į lietaus tinklus buvo 2 ir daugiau kartų mažesnis.

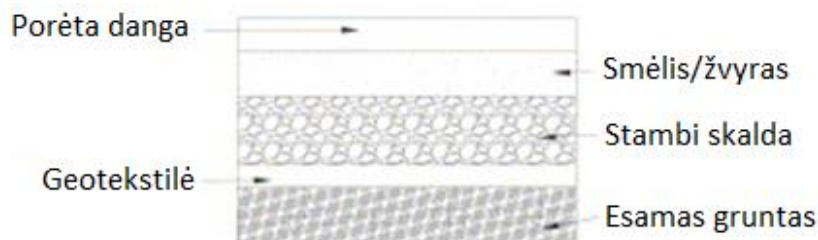
Šią sistemą nesudėtinga įrengti, tai nereikalauja didelių investicijų, be to, šis sprendinys puikiai įsilieja į aplinką, o įtaka paviršinių nuotekų kiekio mažinimui akivaizdi.

1.5.4. Infiltraciniai įrenginiai

Kuomet vietovėje vyrauja vandeniui laidūs gruntai, surinktas paviršines nuotekas nuo teritorijos galima infiltruoti į gruntą. Tam atlikti galima naudoti anksčiau aprašytus lietaus sodus, tvenkinius ar specialias požemines talpas. Požeminės talpos dažniausiai surenkamos iš plastikinių elementų, kurie apgaubiami geotekstilės sluoksniu. Talpose sulaikytas lietaus vanduo po truputį infiltruojamas į gruntą. Infiltracinių įrenginių privalumas, kad juos naudojant su paviršinėmis nuotekomis yra susitvarkoma teritorijoje ir jo neišleidžiama į miesto tinklus. Taip pat infiltruojant vandenį į gruntą atstatomi požeminio vandens ištekliai.

1.5.5. Vandeniui laidžios dangos

Dar vienas būdas sumažinti paviršinių nuotekų kiekį nuo teritorijos yra naudoti vandeniui laidžias dangas. Dangos paviršius ruošiamos iš specialios porėtos medžiagos, pavyzdžiui, porėto betono. Porėtumas išgaunamas maišant cementą su specialiomis priemaišomis (Scholz, Grabowiecki, 2007). Didelis vandens laidumas išgaunamas naudojant tam tikrą konstrukciją, jos schema pavaizduota 19 pav. Po dangos paviršiumi įrengiamas smėlio sluoksnis, o po smėliu įrengiamas stambios skaldos sluoksnis. Dugne klojama geotekstilė, kuri apsaugo skaldos sluoksnį nuo smulkesnių dalelių patekimo iš natūralaus dirvožemio. Tokia konstrukcija pagerina paviršinių nuotekų infiltracija į gruntą. Skaldos sluoksnis veikia kaip akumuliacinė talpa, iš kurios lietaus vanduo infiltruojasi į natūralų gruntą.



19 pav. Vandeniui laidžios dangos konstrukcija (Scholz, Grabowiecki, 2007)

Naujojo Hampšyro valstijoje 4 metus buvo stebimas vandeniui laidus betonas įrengtas automobilių stovėjimo aikštelėje. Tyrimų rezultatai parodė, kad šios dangos įrengimas sumažino lietaus iki debitus 90 % (Roseen *et al.*, 2012). Tinkamai neprižiūrimos dangos poros gali užsikimšti, tuomet stipriai sumažėja vandens laidumo savybės.

1.6 Literatūros apžvalgos išvados

Apžvelgtuose mokslinės literatūros šaltiniuose aptariami pagrindiniai lietaus parametrai naudojami paviršinių nuotekų tinklų projektavime. Dažniausiai projektavime naudojamas racionalusis skaičiavimo metodas dėl savo paprastumo ir pakankamo tikslumo. Aptariamas kritulių intensyvumo didėjimas dėl klimato kaitos. Mokslininkai sutaria, kad keičiantis klimatui, susidursime su didėjančiu lietaus kiekiu visame pasaulyje.

Apžvelgti pagrindiniai lietaus parametrų matavimo būdai bei istorija. Šiuolaikiniai prietaisai leidžia tiksliau ir lengviau matuoti kritulių intensyvumą bei paviršinių nuotekų debitą tinkluose. Labai svarbu, kad technologijos leidžia perduoti matuojamą informaciją nuotoliniu būdu ir realiu laiku. Tai ne tik taupo žmogiškus išteklius, bet ir suteikia galimybę lengviau apdoroti informaciją.

Pagrindinė problema urbanizuotose teritorijose – didėjantis nelaidžių dangų plotas ir dėl to susidarantis papildomas lietaus nuotėkis. Dabartinė praktika skatina mažinti susidariusį nuotėkį nuo naujai vystomų teritorijų įrengiant sprendinius, kurie mažina momentinį ištekį arba infiltruoja kritulius į gruntą.

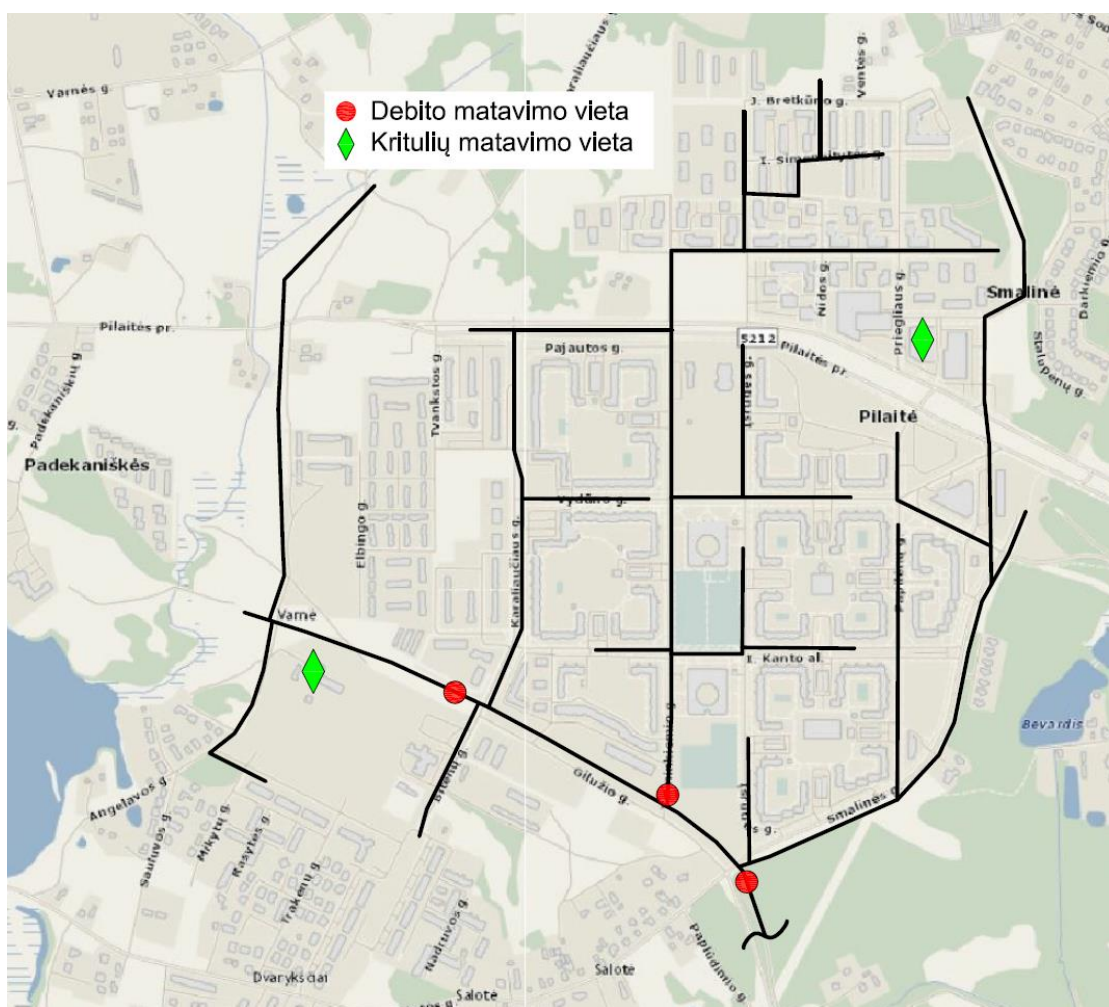
Klimato kaitos įtaka iškritusių kritulių kiekiui pastebima visame pasaulyje. Lietuvos mokslininkai teigia, kad per XXI a. metinis kritulių kiekis didės iki 22 %, o gausių kritulių pasikartojimas Lietuvos teritorijoje taip pat augs. Pagal Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos atliktą klimato kaitos prognozę Vilniaus miestui XXI a. gausių kritulių atvejų, kai per parą iškrenta daugiau kaip 10 mm kritulių, XXI a. daugės. Tikėtina, kad amžiaus pabaigoje vidutinis maksimalus paros kritulių kiekis gali siekti 98 mm ir bus apie 15 % didesnis, nei 1981–2010 m.

Akivaizdu, kad keičiantis sąlygoms būtina išanalizuoti jų poveikį esamoms paviršinių nuotekų inžinerinėms sistemoms ir tinkamai tam pasiruošti.

2. TYRIMŲ METODIKA

Analizei pasirinktas Vilniaus miesto, Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseinas (21 pav.). Šis baseinas pasirinktas dėl Pilaitės mikrorajono savybių – sąlyginai tai yra naujas ir sparčiai besiplečiantis rajonas su numatoma didele plėtra. Hidraulinio modelio pagalba įvertinama esama paviršinių nuotekų kolektoriaus būklė – vertinamas tinklų pralaidumas, hidraulinė atsarga, plėtos galimybės bei klimato kaitos įtaka.

Magistriniame darbe taip pat atliekami dviejų tipų matavimai: kritulių intensyvumo matavimai Pilaitės mikrorajone ir paviršinių nuotekų debitų matavimai nagrinėjamo baseino kolektoriuje. Matavimo vietų schema pateikta 20 pav. Surinkti duomenys naudojami hidraulinio modelio kalibravimui.



20 pav. Matavimų įrangos vietų schema (parengta autoriaus)

2.1. Tyrimo objektas

Tyrimui pasirinktas Pilaitės paviršinių nuotekų surinkimo baseinas. Paviršinės nuotekos surenkamos nuo 195 ha ploto, iš kurio nelaidžių dangų plotas siekia 74 ha. Baseinas pavaizduotas 21 pav. Įvertinant galimą plėtrą Pilaitės mikrorajone baseino plotas gali padidėti iki ~242 ha, o kietų

[illegible]

5 lentelė. Magistralinių tinklų pasiskirstymas tiriamame baseine (parengta autoriaus)

Vamzdyno skersmuo / išmatavimai	Ilgis, km	Procentinė dalis nuo bendro ilgio, %
400 mm	1,88	12
500 mm	1,03	7
600 mm	1,9	13
800 mm	1,3	9
1000 mm	1,56	10
1200 mm	1,02	7
1400 mm	0,2	1
1600 mm	1,6	11
1800x2000 mm	4,7	31
$\Sigma=$	15,19	100

2.2. Kritulių intensyvumo matavimai

Kritulių intensyvumo matavimo tikslas – žinoti kiek kritulių iškrito tiriamajame rajone, tiriamuoju laikotarpiu. Tyrime yra numatyta kalibruoti sukurta hidraulinį modelį, todėl artimiausių hidrometeorologinių stočių duomenys apie lietaus atvejus gali būti netikslūs ir netinkami kalibravimui. Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (LHMT) meteorologijos stoties ir Vilniaus universiteto (VU) meteorologijos stoties kritulių duomenys naudojami palyginimams su išmatuotomis reikšmėmis Pilaitės mikrorajone. Šis palyginimas daromas tam, kad būtų galima išsiaiškinti, ar hidraulinio modelio kalibravimą galima atlikti naudojant artimiausios hidrometeorologinės stoties duomenis.

Kritulių matavimas atliktas su automatiniais kritulmačiais su besisupančiu loveliu. Naudoti 2 skirtingų gamintojų kritulmačiai: *Delta* „OHM HD2013“ ir *MadgeTech* „Rain101A“, kurių lovelių tūriai atitinkamai 0,1 mm ir 0,254 mm kritulių. Parinktos dvi vietos prietaisams statyti: antro kėlimo siurblynės stogas, pietvakarinėje mikrorajono dalyje ir prekybos centro *Pupa* stogas šiaurės rytuose (20 pav.). Vietos parinktos taip, kad iš gautų duomenų būtų galima suprasti lietaus debesų judėjimo kryptį ir spręsti, ar lietus buvo visame rajone ir kaip pasiskirstė lietaus intensyvumas. Surinkti duomenys kaupiami duomenų kaupikliuose, kaupimui pasirinktas 1 minutės intervalas. Duomenų kaupiklių programavimui ir duomenų iškėlimui buvo naudojama *Radwin Lite* programinė įranga. Kritulių duomenys buvo kaupiami nuo 2018-07-19 iki 2018-10-12, matavimo vietos eksperimento laikotarpiu nekito. Detali kritulmačių įrengimo eiga:

- Kritulmačio pastatymo vieta parenkama tokia, kad aplink jį nebūtų objektų, galinčių trukdyti lietaus patekti į piltuvėlį. Taip pat reikia vengti vietų, kuriose gali susidaryti skersvėjai;
- Suradus tinkamą pastatymo vietą, kritulmatis turi būti pastatytas taip, kad nebūtų pakrypęs. Tam naudojamas konstrukcijoje integruotas arba rankinis gulsčiukas;

- Jeigu kritulmatis yra pasviręs, jo padėtis yra išlyginama naudojant reguliuojamo aukščio kojeles arba pakišant fanieros lenteles po žemiausia esančia kojele;
- Įsitikinti, kad kritulmatis stovi stabiliai. Įvertinti, ar dėl vėjo gūsių, kritulmatis nebus apverstas. Kadangi kilo abejonių dėl *MadgeTech „Rain101A“* kritulmačio stabilumo, jis buvo papildomai pritvirtintas prie medienos plokštės;
- Prie kritulmačio prijungiamas duomenų kaupiklis, papildomai apsaugai nuo drėgmės jis yra įdedamas į plastikinį sandarų indelį ir prispaudžiamas sunkiu daiktu (tyrimo metu buvo naudojamos plytos), kad nebūtų nupūstas vėjo;
- Duomenų kaupiklis yra prijungiamas prie kompiuterio ir suprogramuojamas naudojant *Radwin Lite* programą. Programavimo metu yra nurodomas duomenų nuskaitymo intervalas, kuris parenkamas lygus 1 min. Taip pat programuojant reikia nurodyti kritulmačio lovelio tūrį. Tyrimams naudojami kritulmačiai su 0,1 mm ir 0,254 mm tūrio loveliais. Nurodžius vertes nustatoma duomenų nuskaitymo pradžia, padaromas patikrinimas, jeigu problemų nerasta kaupiklis atjungiamas nuo kompiuterio;
- Dėl limituotos vietos duomenų kaupiklyje, ne rečiau kaip kas 14 kalendorinių dienų, reikia atvažiuoti į prietaiso pastatymo vietą ir surinkti sukauptus duomenis. Surinkimo procedūra panaši kaip ir programavimo – duomenų kaupiklis prijungiamas prie kompiuterio ir naudojant *Radwin Lite* programą atsisiunčiami sukaupti duomenys. Sėkmingai surinkus duomenis duomenų kaupiklis turi būti iš naujo užprogramuojamas pagal anksčiau aprašytą tvarką;
- Kiekvieną kartą atvažiavus susirinkti duomenų būtina patikrinti ar kritulmatis nepakrypo, taip pat išvalyti šiukšles nuo piltuvėlio filtro;

2.3. Paviršinių nuotekų debitų matavimai

Paviršinių nuotekų debitas buvo matuojamas ultragarsiniu debitomačiu su hidrostatiniu davikliu *Hydreka „MainFlo“*, prietaiso veikimas pagrįstas ploto-greičio principu. Prietaisas buvo tvirtinamas prie vamzdyno dugno, duomenis kaupiantis ir skaičiavimus atliekantis kompiuteris buvo kabinamas ant šulinio lipynių. Prietaiso kompiuteris programuojamas su *MainFloGUI* programine įranga. Pasirinktas paviršinių nuotekų debito matavimo intervalas atitinka kritulių matavimo intervalą – 1 min. Tiriamuoju laikotarpiu, kuris truko nuo 2018-07-19 iki 2018-10-12, prietaisas buvo įrengtas 3-ose vietose (20 pav.):

- Stačiakampio skerspjūvio 1,8x2,0 m vamzdžio dugne ties Gilužio ir Smalinės g. sankryža nuo 2018-07-19 iki 2018-08-21, t.y. 33 paras. Vieta parinkta siekiant nustatyti suminį paviršinių nuotekų debitą ištekančią iš Pilaitės mikrorajono;

- Stačiakampio skerspjūvio 1,8x2,0 m vamzdžio dugne Gilužio g. nuo 2018-08-21 iki 2018-09-19, t.y. 29 paras. Vieta parinkta siekiant nustatyti paviršinių nuotekų debitą iš naujai įrengtų rajono teritorijų;
- 1600 mm skersmens vamzdžio dugne ties Gilužio ir Tolminkiemio g. sankryža nuo 2018-10-02 iki 2018-10-12, t.y. 10 parų. Vieta parinkta siekiant nustatyti paviršinių nuotekų debitą atitekančią iš didžiausio šoninio kolektoriaus;

Detali ultragarsinio nuotekų debito matavimo prietaiso įrengimo eiga:

- Prietaisas susideda iš: kompiuterio, hidrostatinio lygio daviklio ir greičio daviklio. Pastarieji davikliai yra pritvirtinti vienas prie kito ir sudaro vieną elementą. Duomenų kaupiklis yra integruotas į prietaiso kompiuterį;
- Daviklių elementas turi būti montuojamas tiriamojo vamzdžio dugne, o kompiuteris – kaip įmanoma arčiau žemės paviršiaus, kad būtų lengviau nusiimti duomenis;
- Nusileidus į paviršinių nuotekų kolektorių apžiūrinamas vamzdžio dugnas, įvertinama ar yra nuosėdų, koks tekančio nuotekų srauto gylis, išmatuojami vamzdžio vidiniai matmenys;
- Parenkama tinkama vieta davikliui pritvirtinti: kai vamzdis yra apvalus, o nuosėdų nėra, daviklį galima tvirtinti per vamzdžio vidurį. Jeigu nuosėdų yra – tvirtinti taip, kad jis būtų virš nuosėdų. Kai vamzdis yra stačiakampio formos, o nuosėdų nėra, daviklį galima tvirtinti bet kur ant vamzdžio dugno, jeigu nuosėdų yra – tvirtinti prie vamzdžio šono taip, kad jis būtų virš nuosėdų;
- Parinkus tinkamą vietą vamzdžio dugne išgręžiamos skylės, elementas pritvirtinamas taip, kad greičio daviklio priekis žiūrėtų į atitekančią paviršinių nuotekų srautą;
- Sumontavus daviklį, pritvirtinamas jo laidas. Tam į betoną įgręžiami varžtai, prie jų su nailoniniais dirželiais priveržiamas laidas. Laidas turi būti priveržtas taip, kad sudarytas pasipriešinimas tekančiam paviršinių nuotekų srautui būtų kuo mažesnis. Laidas neturi būti laisvas. Kur yra galimybė, laidas priveržiamas prie lipynių ar išsikišusios armatūros;
- Laidas iš daviklio prijungiamas prie prietaiso kompiuterio. Prie šio kompiuterio taip pat specialiu laidu prisijungiama su nešiojamu kompiuteriu, suprogramuojamas greičio ir hidrostatinio lygio daviklis;
- Programavimas vyksta per *MainFloGUI* programą, joje nurodomi vidiniai vamzdžio išmatavimai, nurodomas duomenų matavimo intervalas, kuris lygus 1 min. Jeigu vamzdyje buvo nuosėdų, įvedamas nuosėdų sluoksnio aukštis;

- Nustačius pagrindines reikšmes informacija siunčiama į prietaiso kompiuterį. Patikrinama, kokį vandens lygį fiksuoja prietaisas, reikšmė sulyginama su išmatuotu srauto gyliu. Jeigu reikšmės sutampa, nešiojamas kompiuteris atjungiamas nuo prietaiso, pradedamas duomenų kaupimo etapas;
- Prietaiso kompiuteris specialaus laikiklio pagalba pakabinamas ant šulinio lipynių;
- Sukauptus duomenis reikia surinkti ne rečiau kaip kas 20 kalendorinių dienų. Surinkimo procedūra panaši kaip ir programavimo – prietaiso kompiuteris prijungiamas prie nešiojamo kompiuterio ir naudojant *MainFloGUI* programą atsisiunčiami sukaupiti duomenys. Sėkmingai surinkus duomenis prietaiso kompiuteris turi būti iš naujo užprogramuojamas pagal anksčiau aprašytą tvarką;
- Kiekvieną kartą atvažiavus susirinkti duomenų būtina patikrinti ar daviklis vamzdžio dugne neužneštas nuosėdomis ar kitais stambiais nešmenimis, kurie gali trukdyti tinkamai matuoti tekančio srauto greitį.

2.4. Hidraulinis modelis

Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseino analizei naudojamas hidraulinis modelis parengtas su *Bentley CivilStorm* programa. Pradinė informacija apie tinklus, kuri reikalinga prieš sudarant hidraulinį modelį:

- Vamzdynų ir šulinių padėtis rajone;
- Žemės paviršiaus altitudė ties šuliniais;
- Vamzdynų skersmuo, medžiaga, įgilinimas ir nuolydis.

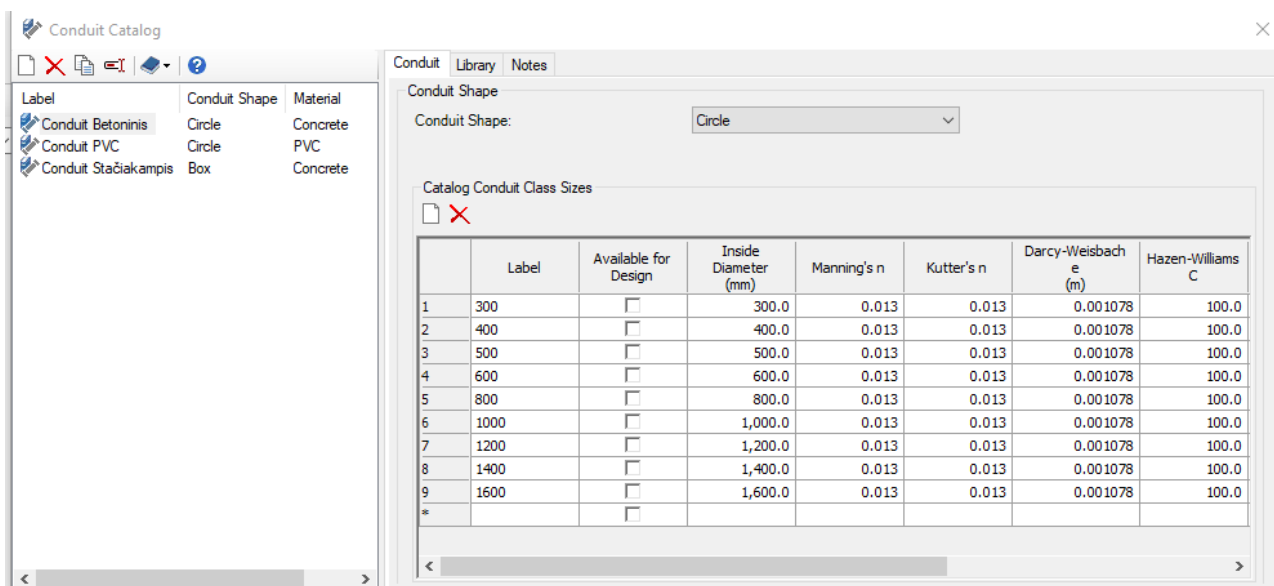
Visi reikalinga informacija buvo surinkta iš Vilniaus miesto savivaldybės Žemės duomenų skyriaus archyvo ir Vilniaus rajono savivaldybės Statybos skyriaus archyvo šulinių kortelių. Vamzdynų ir šulinių padėčiai nustatyti taip pat naudojami Vilniaus miesto savivaldybės interaktyvūs žemėlapiai *maps.vilnius.lt*, kuriuose vaizduojami inžineriniai tinklai.

Hidraulinis modelis kuriamas LKS-94 koordinatėse. Į *CivilStorm* programą yra įkeliamas georeferencinio pagrindo kadastro žemėlapis, koordinuotas LKS-94 koordinatės sistemoje, Šiame žemėlapyje vaizduojami pastatų bei gatvių kontūrai, jis atsisiunčiamas iš *Geoportal.lt* tinklapio. Paviršinių nuotekų tinklai Pilaitės mikrorajone pateikti 1 brėžinyje. Hidraulinis modelis susideda iš šių elementų:

- vamzdžiai (*Conduit*);
- šuliniai (*Manhole*);
- nuotėkio baseinas (*Catchment*);
- išleistuvai (*Outfall*).

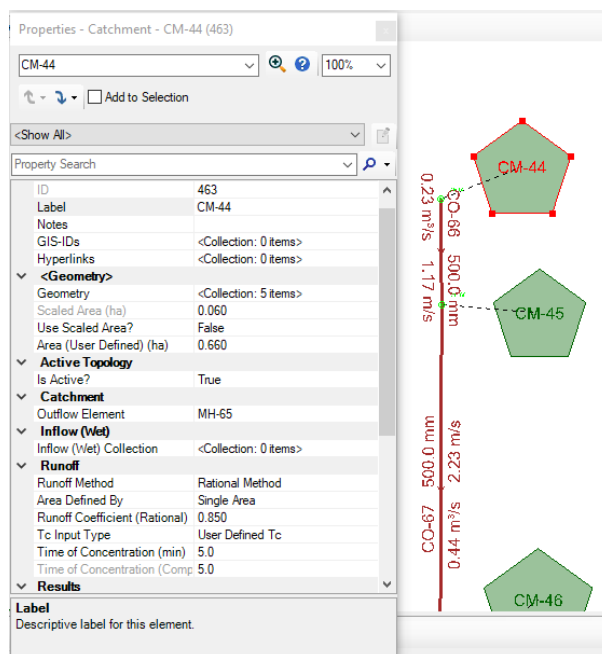
Hidrauliniame modelyje yra sukuriami 3 katalogai, iš kurių bus modeliuojamas kolektoriaus vamzdynas, priskyrus medžiagą parenkami ir kiti hidrauliniai koeficientai (22 pav.):

- Apvalūs PVC medžiagos vamzdynai, nuo 315 iki 630 mm skersmens;
- Apvalūs betoniniai vamzdynai, nuo 300 iki 1600 mm skersmens;
- Stačiakampio formos skerspjuvio vamzdynai, naudojamas dydis 1800x2000 mm.



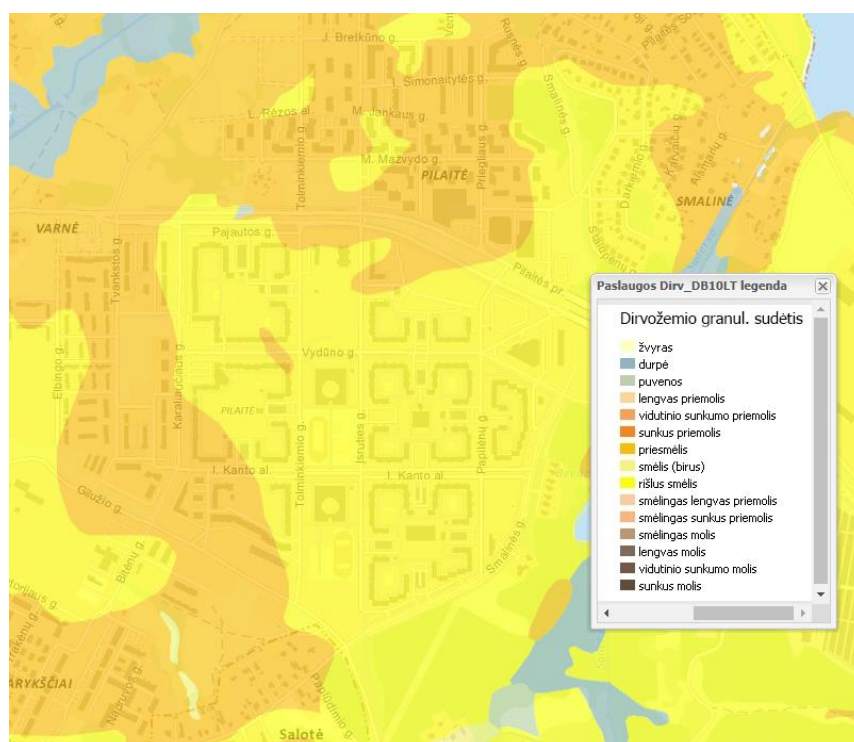
22 pav. Betoninių vamzdžių katalogas *CivilStorm* programoje (parengta autoriaus)

Naudojant vamzdinių katalogus į modelį subraižomas vamzdynas ir šulinių pozicijos. Modeliuojami tik tie paviršinių nuotekų kolektoriaus šuliniai, kuriuose vamzdynas keitė kryptį arba skersmenį, taip pat šuliniai į kuriuos pasijungdavo 400 mm skersmens arba didesnis vamzdis. Ruožuose be pokyčių šuliniai buvo modeliuojami kas 200 metrų. Mažiausias atstumas tarp nagrinėjamų šulinių – 14 m, o didžiausias – 200 m. Subraižytiems elementams suteikiamos savybės bei suvedama informacija. Vamzdynams suvedama vamzdžio pradžios ir pabaigos altitudė, automatiškai suskaičiuojamas nuolydis. Vamzdyno medžiagos, formos ir skersmens informacija programa naudoja iš sukurtų katalogų. Ilgio nurodyti nereikia, nes braižoma LKS-94 koordinatų sistemoje masteliu 1:1, todėl programa automatiškai apskaičiuoja vamzdyno ilgį. Šuliniai aprašomi nurodant jų dangčio ir dugno altitudes. Paskutinis tinklo elementas modeliuojamas kaip išleistuvas, jam įvedamos žemės paviršiaus bei vamzdžio dugno altitudės. Kitas žingsnis hidraulinio modelio kūrime sukurti nuotėkio pabaseinius ir priskirti juos konkretiems šuliniams. Šio elemento pavyzdys su suvesta informacija pateiktas 23 pav. Į sukurtą elementą suvedamas pabaseinio plotas, iš kurio paviršinės nuotekos tekės į pasirinktą šulinį, taip pat nurodoma nuotėkio koeficiento reikšmė ir koncentracijos trukmė.



23 pav. Pabaseinio parametrai *CivilStorm* programoje (parengta autoriaus)

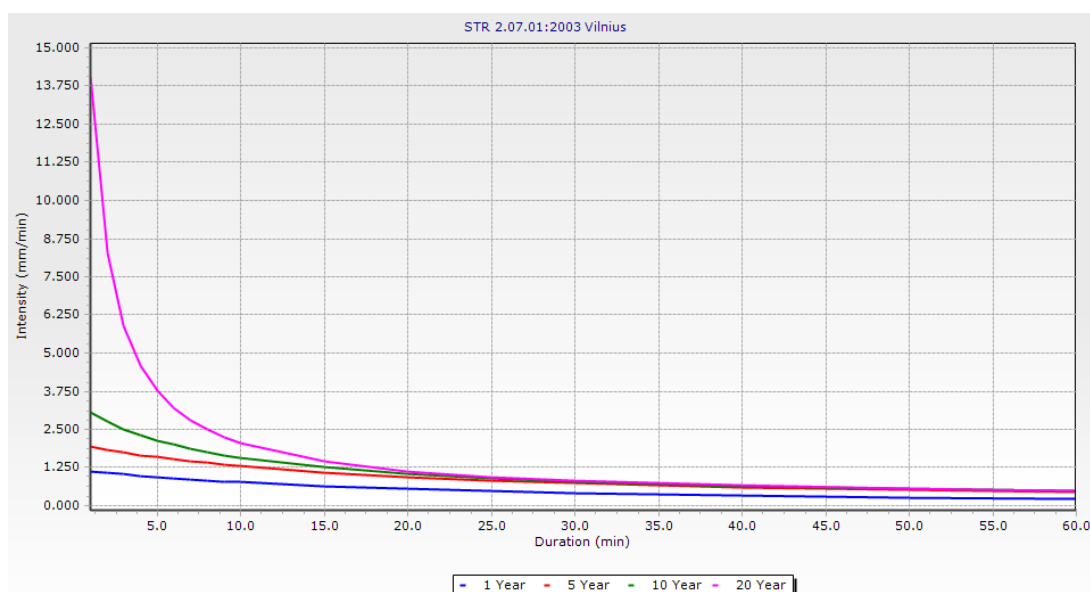
Nelaidūs paviršiai buvo skirstomi į 3 tipus: pastatų stogai, keliai ir šaligatviai. Pastatų stogams naudojamas nuotėkio koeficientas $C = 0,95$ (1 lentelė). Priimta, kad kelių paviršius yra iš asfalto arba betono, todėl naudojamas nuotėkio koeficientas $C = 0,95$ (1 lentelė). Taip pat priimta, kad šaligatviai yra iš trinkelų, jų nuotėkio koeficientas $C = 0,85$ (2 lentelė). Žalios vejos nuotėkio koeficientas C priimtas lygus 0,1 (1 lentelė), nes vyraujantys gruntai Pilaitės mikrorajone – rišlus smėlis ir priesmėlis (24 pav.). Gatvių, šaligatvių ir žalių zonų plotams nustatyti naudota 2018 m. ortofotografinė nuotrauka, pastatų stogų plotai imti iš georeferencinio pagrindo kadastro žemėlapiu.



24 pav. Pilaitės mikrorajono dirvožemio granulimetrinė sudėtis (Geoportal, 2019)

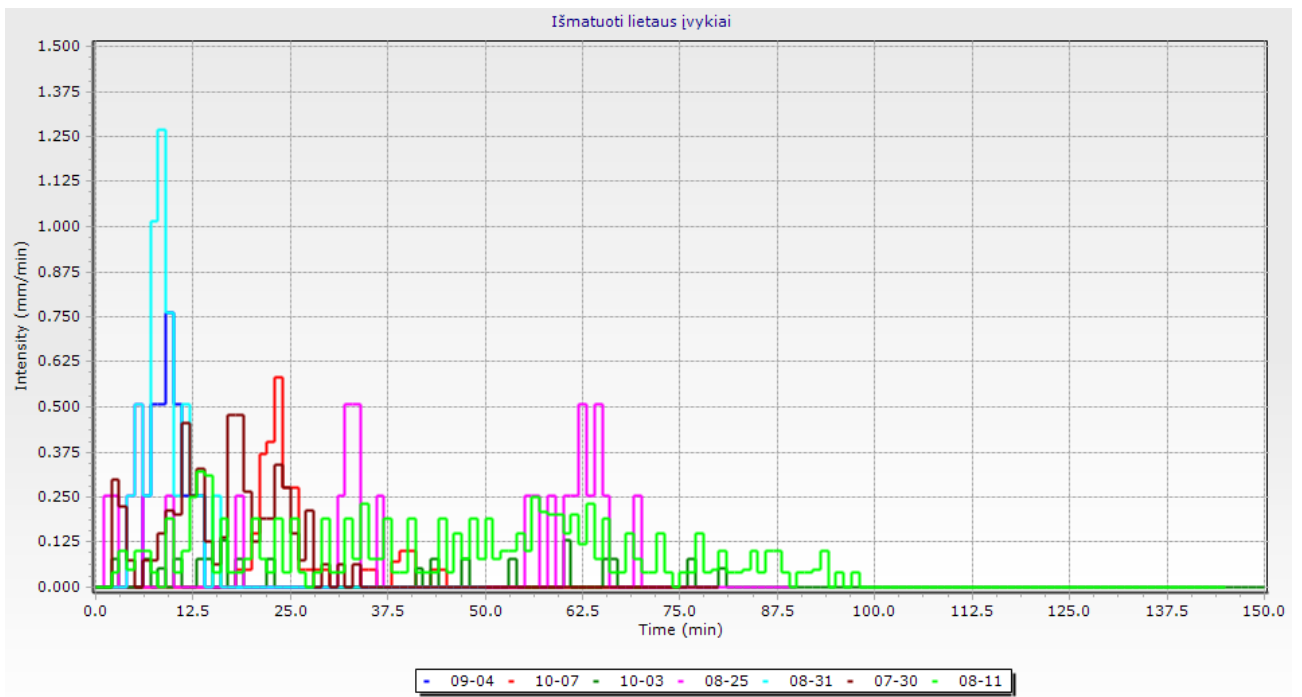
Abu informacijos šaltiniai atsisiųsti iš *Geoportal.lt* tinklapio. Dangų plotai buvo nustatyti *AutoCAD* programa apibrėžiant minėtų dangų kontūrus. Nuo žalių dangų susidaręs nuotėkis buvo vertinamas tik aplink nelaidžius paviršius. Teritorijos, kurios galėtų būti traktuojamos kaip žalia veja, tačiau kuriose neįrengta paviršinių nuotekų surinkimo sistema, pavyzdžiui, vidiniai daugiabučių kiemai ar neurbanizuoti žemės plotai, nebuvo įtraukiamos į plotų skaičiavimus. Pagal 1.2 skyrelyje pateiktą 2 formulę ir skirtingų dangų plotų santykį nustatytas kiekvieno pabaseinio nuotėkio koeficientas. Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseinas buvo susmulkintas į 100 pabaseinių, kurių plotai svyruoja nuo 0,1 ha iki 3,7 ha.

Sukūrus visus hidraulinio modelio elementus reikia aprašyti lietaus įvykius, kurie bus naudojami analizei. Tyrime modeliuojamos situacijos, kai liūtis pasikartojimo periodas yra 1, 5, 10 ir 20 metų. Pagal STR 2.07.01:2003 10 priede pateiktus lietaus intensyvumo parametrus skirtingoms Lietuvos teritorijoms, apskaičiuojami kritulių intensyvumai Vilniaus mieste, kai lietaus trukmė yra nuo 5 iki 60 min. Į programą suvedamos apskaičiuotos mm/min vertės, gautos kreivės pateiktos 25 pav. Turint šias kreives galima pradėti darbą su hidrauliniu modeliu.



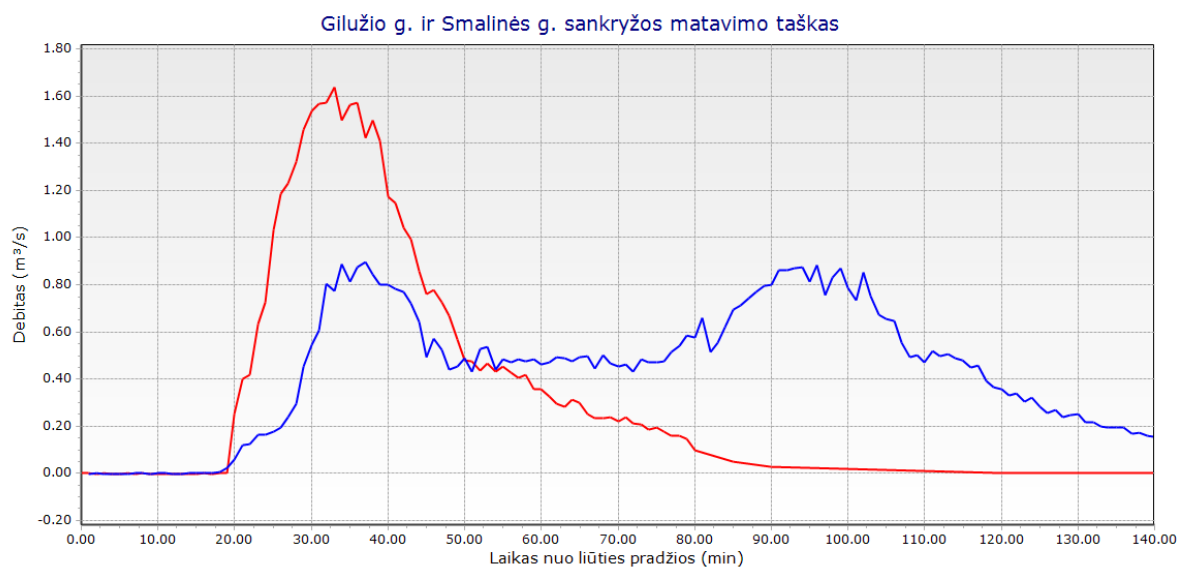
25 pav. Lietaus intensyvumo grafikas *CivilStorm* progamoje (parengta autoriaus)

Šiame darbe, siekiant tiksliau atkartoti realią situaciją, hidraulinis modelis taip pat yra kalibruojamas. Tam yra naudojami išmatuoti kritulių ir debitų duomenys. Kalibravimo metu, vietoj liūčių apskaičiuotų pagal STR 2.07.01:2003 10 priede pateiktą metodiką, naudojamos kritulmačiais užfiksuotos liūtys. Suvedus į programą iškritusių kritulių kiekį kas 1 minutę, gaunami lietaus atvejų grafikai (26 pav.). Kiekvienas lietaus atvejis progamoje pavadinamas pagal datą, kada jis įvyko.



26 pav. Kritulmačiais išmatuoti lietaus įvykiai *CivilStorm* programoje pagal datas (parengta autoriaus)

Tuomet hidrauliniame modelyje vamzdžiams, kuriuose buvo matuojamas debitas, sukuriami debito per laiko pokytį grafikai ir suvedamos paviršinių nuotekų debitų vertės, kurios buvo išmatuotos debitomačiu (27 pav.).



27 pav. Debitomačiu išmatuoti debitai *CivilStorm* programoje (parengta autoriaus)

Atlikus šiuos veiksmus, pasirenkamas sukurtas realios liūtys scenarijus, hidraulinis modelis tuomet patikrinamas nuo klaidų ir pradedama analizė. 27 pav. pateiktas grafikas naudojamas hidraulinio modelio kalibravimui. Grafikuose lyginamas išmatuotas debitas ir hidrauliniame modelyje susidarantis debitas. Jeigu hidrauliniame modelyje susidaro mažesnis debitas nei išmatuotas, tuomet į modelį reikia prijungti papildomų teritorijų ir perskaičiuoti nuotėkio koeficientus. Papildomų teritorijų prijungimas atliekamas remiantis ortofotografine nuotrauka –

atidžiai peržiūrima, kurios kietos dangos galėjo būti neįdėtos į hidraulinį modelį, taip pat pagal reljefą įvertinama, į kurią pusę teka susidaręs perteklinis nuotėkis nuo žalios vejų. Atlikus pakeitimus vėl atliekama simuliacija, stebima kaip keičiasi debitas. Jeigu maksimali paviršinių nuotekų debito reikšmė hidrauliniame modelyje nesutampa su išmatuota reikšme, toliau ieškoma teritorijų, kurios galėjo būti neįvestos į hidraulinį modelį.

Kalibruojant modelį ne visada pakanka keisti prijungtų teritorijų plotus, taip pat reikia įvertinti ir kritulių pasiskirstymą tiriamajame rajone, nes tai turi įtakos susidarantiui nuotėkiui. Tiriamajame darbe krituliai buvo matuojami 2 taškuose – tai leidžia rajoną padalyti į skirtingo lietaus intensyvumo zonas. Kai abiejų kritulmačių duomenys rodydavo panašias reikšmes, hidrauliniame modelyje liūčiai aprašyti buvo naudojamas abiejų prietaisų vidurkis. Kai užfiksuotas kritulių kiekis stipriai skirdavosi, pavyzdžiui, kaip liūtis metu pavaizduotoje 28 pav., duomenys buvo apdorojami pritaikant 4 formulę:

$$I = I_1 \cdot k_1 + I_2 \cdot k_2, \text{ mm/min} \quad (4)$$

kai: I_1 – pirmu kritulmačiu užfiksuotas kritulių kiekis iškritęs per 1 min, mm/min;

k_1 – koeficientas, nusakantis procentinę rajono dalį, kurioje iškrito pirmu kritulmačiu užfiksuotas lietaus intensyvumas;

I_2 – antru kritulmačiu užfiksuotas kritulių kiekis iškritęs per 1 min, mm/min;

k_2 – koeficientas, nusakantis procentinę rajono dalį, kurioje iškrito antru kritulmačiu užfiksuotas lietaus intensyvumas;

Koeficientų k_1 ir k_2 suma visais atvejais turi būti lygi 1. Pavyzdžiui, aprašant 28 pav. pavaizduotą liūtį buvo priimta, kad ant siurblynės stovėjusio kritulmačio išmatuotas intensyvumas pritaikytas 25 % baseino ploto, o ant PC „Pupa“ stovėjusio kritulmačio – 75 %. Toks pasiskirstymas priimtas, dėl kietų dangų ir tinklų pasiskirstymo skirtingose rajono pusėse.

Kalibravimas atliktas kiekvienam debito matavimo taškui. Pirmiausiai buvo sukalibruoti pagrindinio kolektoriaus atšakų taškai, t.y. Gilužio g. matavimo taškas, sukalibruotas remiantis 2 lietaus įvykiais, ir Tolminkiemio ir Gilužio g. sankryžoje esantis matavimo taškas, sukalibruotas remiantis 1 lietaus įvykiu. Pastarajam kalibruoti panaudota 1 liūtis, kadangi tiriamuoju laikotarpiu užfiksuotas tik vienas kalibravimui tinkamas lietaus atvejis. Sukalibravus atšakas buvo tikrinamas Gilužio g. ir Smalinės g. matavimo taške susidarantis debitas hidrauliniame modelyje. Tai buvo daroma simuliuojant 3 skirtingas, tiriamuoju laikotarpiu užfiksuotas liūtis. Jeigu debitas hidrauliniame modelyje skiriasi nuo išmatuoto debito, papildomos teritorijos buvo pridedamos prie kitų, nekalibruotų atšakų.

Sukalibravus hidraulinį modelį buvo analizuojama esama Pilaitės mikrorajono situacija. Modeliuojamos situacijos, kai liūtis pasikartojimo retmuo yra 1, 5, 10 ir 20 metų, o lietaus koncentracijos trukmė modeliuojamuose pabaseiniuose buvo lygi 5 minutėms visais atvejais.

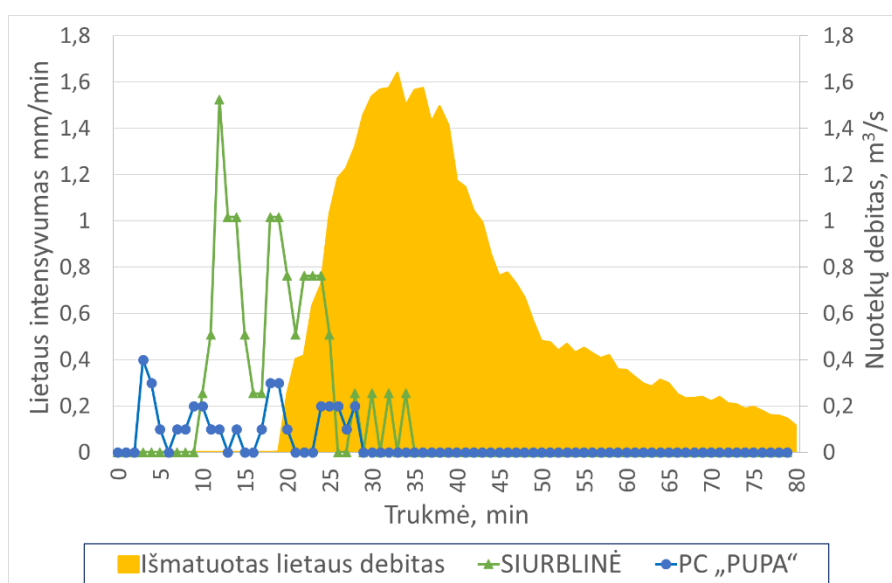
3. REZULTATŲ APTARIMAS

Nagrinėjami bendri išmatuotų kritulių ir debito grafikai. Išmatuoti kritulių duomenys Pilaitės mikrorajone lyginami su kitais Vilniaus miesto meteorologijos stočių duomenimis. Aptariama hidraulinio modelio kalibravimo eiga ir jos rezultatai.

Įvertinamas Pilaitės paviršinių nuotekų baseino tinklo pralaidumas. Siekiant išspręsti esamo tinklo problemas, siūlomi tinklų rekonstrukcijos variantai, kai lietaus pasikartojimo periodas yra 1, 5, 10 ir 20 metų. Taip pat įvertinama dėl klimato kaitos stiprėjančių liūčių įtaka šio mikrorajono inžineriniams tinklams. Be to, pagal numatomą plėtrą Pilaitės mikrorajone, prie esamo tinklo prijungiamos papildomos teritorijos, tikrinamas tinklo hidraulinis pralaidumas ir rekomendacijos rekonstrukcijai.

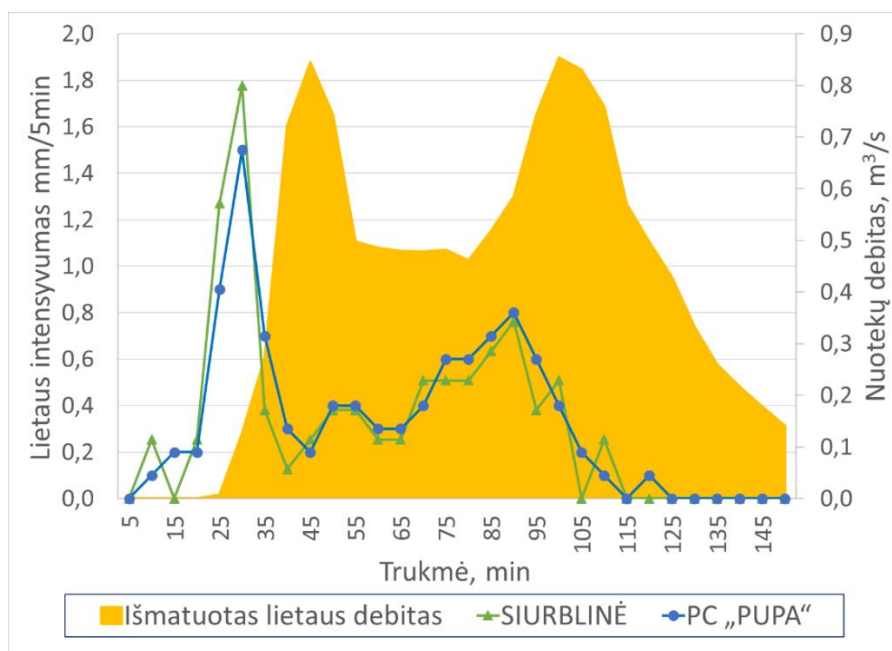
3.1. Išmatuotų duomenų aptarimas

Eksperimento metu (nuo 2018 m. liepos 19 iki 2018 m. spalio 12) buvo užfiksuota 15 lietaus atvejų. Kritulių intensyvumo ir debito kitimo grafikai pateikti 3 priede. Didžiausią liūtį užfiksavo kritulmatis, esantis ant antrosios kėlimo siurblynės. Ši liūtis pagal STR 2.07.01:2003 gali būti klasifikuojama kaip kartą per metus pasikartojanti liūtis Vilniaus mieste. Šios liūties kritulių intensyvumo ir debito kitimo grafikas pateiktas 28 pav. Liūtis truko apie 30 minučių, taip pat iš užfiksuotų reikšmių galime pastebėti, kad lietaus intensyvumas rajone skyrėsi – vakarinėje mikrorajono dalyje iškrito 12,4 mm kritulių, o rytinėje dalyje iškrito vos 3,4 mm kritulių. Žinoti lietaus intensyvumo pasiskirstymą mikrorajone kalibruojant hidraulinį modelį yra ypač svarbu. Laiko tarpas tarp užfiksuotos maksimalios kritulių ir debito vertės yra 21 minutė. Šis pavyzdys puikiai iliustruoja trumpos ir intensyvios liūties situaciją.



28 pav. Kritulių intensyvumo ir debito kitimo grafikas 2018-07-30 (parengta autoriaus)

Situacija, kai lietus tęsiasi ilgai, o jo metu taip pat kinta ir kritulių intensyvumas, pateikta 29 pav. Ši liūtis truko 2 valandas, lietaus intensyvumas rajone praktiškai sutampa – vakarinėje mikrorajono dalyje iškrito 9,7 mm kritulių, o rytinėje dalyje iškrito 10 mm kritulių. Laiko tarpas tarp užfiksuotos maksimalios kritulių ir debito vertės yra 20 minučių. Matome, kad lietaus intensyvumas tarp 85 ir 95 minutės yra maždaug 2 kartus mažesnis, nei intensyvumas tarp 20 ir 35 minutės, tačiau lietaus kolektoriumi tekėjo toks pat debitas.

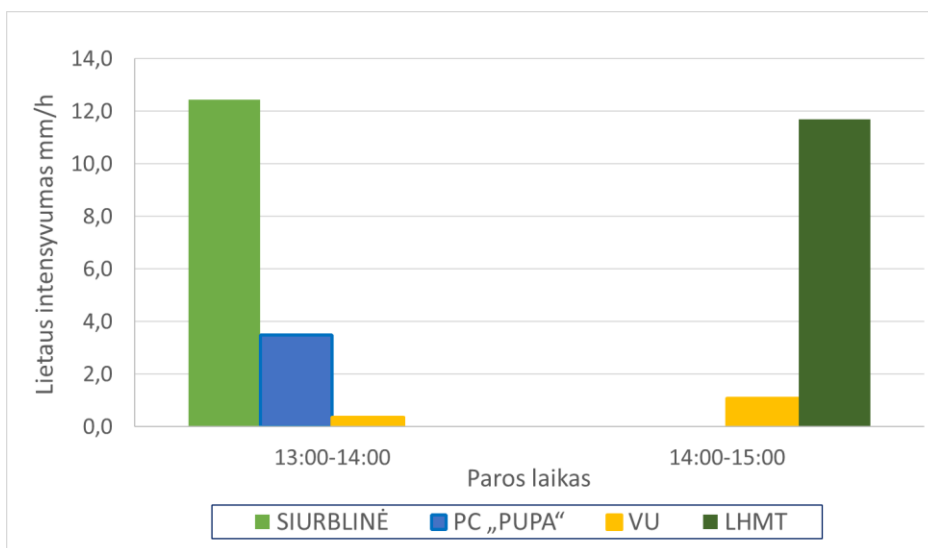


29 pav. Kritulių intensyvumo ir debito kitimo grafikas 2018-08-14 (parengta autoriaus)

Eksperimento metu paviršinių nuotekų debitomačio vieta buvo keičiama, išmatuoti debitai trijose kolektoriaus vietose. Smalinės ir Gilužio g. sankryžos matavimo taške buvo užfiksuoti 6 lietaus atvejai. Didžiausias užfiksuotas debitas šiame taške siekė $1,64 \text{ m}^3/\text{s}$, vamzdis tuo metu buvo pripildytas 60 cm, o paviršinių nuotekų tekėjimo greitis siekė $1,37 \text{ m/s}$. Gilužio g. taške matavimo laikotarpiu užfiksuoti 4 lietaus atvejai. Didžiausias užfiksuotas debitas šioje atkarpoje buvo $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$, paviršinių nuotekų lygis vamzdyje siekė 46 cm, tačiau greitis buvo vos $0,39 \text{ m/s}$. Tolminkiemio ir Gilužio g. sankryžos matavimo taške užfiksuoti 5 lietaus atvejai. Didžiausias užfiksuotas debitas $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, vamzdis buvo pripildytas 20 cm, o greitis siekė $2,0 \text{ m/s}$.

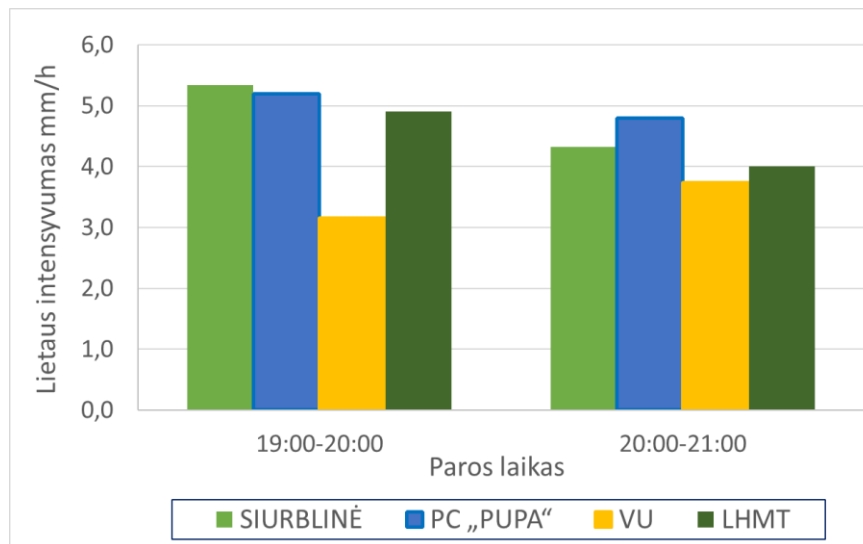
Siekiant išsiaiškinti, ar hidraulinio modelio kalibravimo darbus būtų galima atlikti naudojant artimiausios hidrometeorologinės stoties duomenis, atliktas palyginimas su kitomis Vilniaus miesto meteorologinėmis stotimis. Buvo lyginamos 5 didžiausios tiriamuoju laikotarpiu užfiksuotos liūtyų Pilaitės mikrorajone ir tos pačios dienos kritulių informaciją gauta iš LHMT ir Vilniaus universiteto (VU) meteorologinių stočių. Stočių schema pateikta 4 priede. Vilniaus miesto Lietuvos hidrometeorologijos stotis yra Vilniaus miesto pakraštyje, Trakų Vokėje. Krituliai matuojami kritulmačiu su besisupančiu loveliu, duomenys fiksuojami kas 5 minutes, o archyvuojami kas valandą

(mm/h). VU meteorologijos stotis yra arčiau miesto centro, M. K. Čiurlionio gatvėje. Čia krituliai yra matuojami kritulmačiu, kuris registruoja sukaupytų kritulių svorio pokytį, duomenys šioje stotyje fiksuojami ir kaupiami kas minutę (mm/min). Abi stotys atitinkamai nutolusios nuo Pilaitės mikrorajono 9,3 km ir 5,6 km. Analizėje lyginama kritulių suma, iškritusi per vieną valandą. 30 pav. pateikta 2018 m. liepos 30 d. užfiksuota liūtis Pilaitės mikrorajone ir kitose meteorologinėse stotyse. Tai buvo didžiausia liūtis užfiksuota per tiriamąjį laikotarpį, kurios intensyvumas skyrėsi ne tik Vilniaus mieste, bet ir pačiame mikrorajone. Liūtis prasidėjo tarp 13 ir 14 valandos, šiuo laikotarpiu skirtingose Pilaitės mikrorajono dalyse kritulmačiai užfiksavo 12,4 mm ir 3,5 mm iškritusių kritulių. Tą pačią valandą kritulius užfiksavo ir VU meteorologijos stotis, tačiau čia jų iškrito tik 0,4 mm. Tarp 14 ir 15 valandos, Pilaitės mikrorajone kritulių nebuvo užfiksuota, miesto centrinėje dalyje registruota tik 1,1 mm kritulių, o Trakų Vokėje iškrito 11,7 mm kritulių. Iš šių duomenų galima matyti, kad gausūs krituliai iškrito tik vakarinėje miesto dalyje.



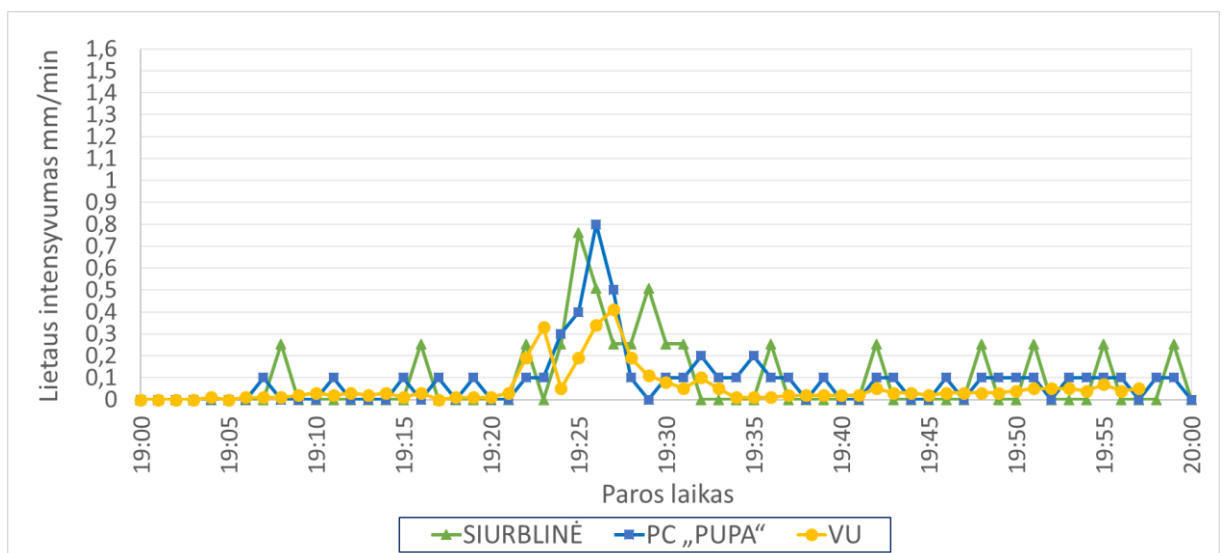
30 pav. 2018-07-30 vykusios liūtis metu iškritusių kritulių palyginimo grafikas (parengta autoriaus)

Kiek kitokia situacija buvo 2018 m. rugpjūčio 14 d., kai visi prietaisai užfiksavo panašaus stiprumo liūtis (31 pav.). Lietus tęsėsi 2 valandas, kritulius fiksavo visi 4 prietaisai. Tarp 19 ir 20 valandos Pilaitėje prietaisai užfiksavo iškritus 5,2 mm ir 5,3 mm kritulių, mieste centre užfiksuota 3,2 mm kritulių, o Trakų Vokėje 4,9 mm kritulių. Sekančią valandą Pilaitėje registruota 4,8 mm ir 4,3 mm kritulių, VU meteorologijos stotyje 3,7 mm kritulių, o LHMT stotyje – 4 mm kritulių. Matome, kad skirtumai yra nedideli, ypač mažas skirtumas yra tarp Pilaitės mikrorajone pastatytų kritulmačių, todėl kalibruojant modelį galima išsivesti abiejų prietaisų užfiksuotą kritulių intensyvumo vidurkį ir naudoti simuliacijose. Iš 5 lyginamųjų liūčių šis atvejis yra vienintelis, kai iškritęs kritulių visuose taškuose yra panašus. Kiti palyginimų grafikai pateikti 5 priede.



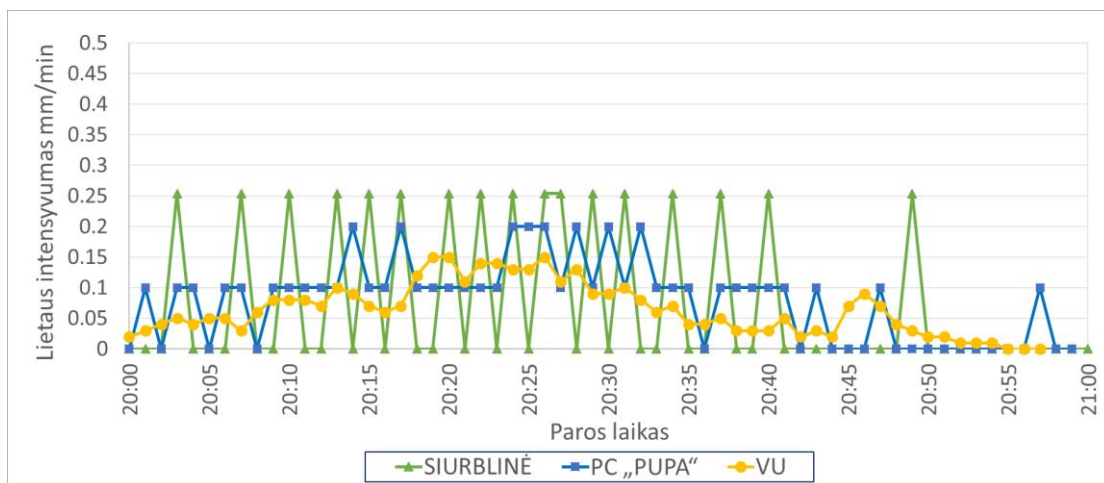
31 pav. 2018-08-14 vykusios liūties metu iškritusių kritulių palyginimo grafikas (parengta autoriaus)

Analizuojant lietaus intensyvumą pateiktą mm/h lyginti galima tik bendrąjį baseino nuotėkį. Tyrimui yra svarbios maksimalios paviršinių nuotekų debitų vertės, todėl siekiant išsiaiškinti, ar kitos meteorologinės stoties kritulių duomenis būtų galima naudoti hidraulinio modelio kalibravimui reikia dažnesnio matavimo dažnumo. LHMT meteorologinė stotis duomenis pateikti gali tik kas valandą, todėl jie negali būti naudojami šiam tikslui. VU stotis, tuo tarpu, kritulių duomenis pateikia mm/min dažnumu, todėl duomenų dažnumas būtų tinkamas kalibravimui. 32 pav. pateikiamas 2018 m. rugpjūčio 14 d. vykusios liūties tarp 19 ir 20 valandos intensyvumo kitimo grafikas. Iš grafiko matyti, kad didžiausias intensyvumas tiek Pilaitės mikrorajone, tiek miesto centre buvo tarp 19:20 ir 19:35 – tiriamajame baseine užfiksuota 3,1 mm ir 3,3 mm, ties VU stotimi 2,13 mm iškritusių kritulių.



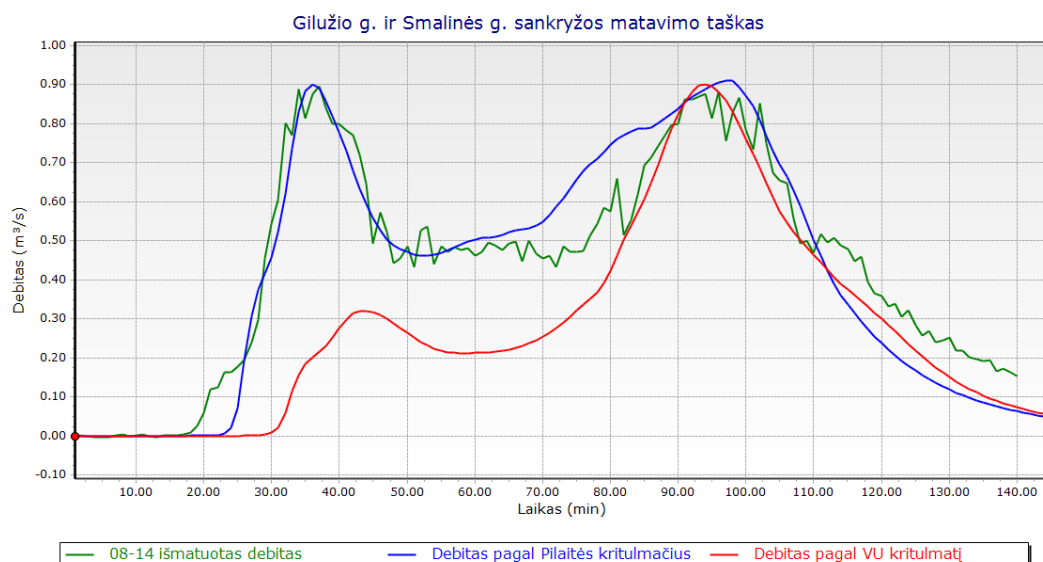
32 pav. 2018-08-14 liūties intensyvumo palyginimo grafikas tarp 19 ir 20 valandos (parengta autoriaus)

33 pav. pateikiamas tos pačios liūties tarp intensyvumo kitimo grafikas 20 ir 21 valandos. Iš grafiko matyti, kad lietus lijo labai panašiu intensyvumu tiek Pilaitėje, tiek miesto centre. Per valandą tiriamajame baseine užfiksuota 4,5 mm, o ties VU stotimi 3,7 mm iškritusių kritulių.



33 pav. 2018-08-14 liūtės intensyvumo palyginimo grafikas tarp 20 ir 21 valandos (parengta autoriaus)

Šios liūtės kritulių intensyvumo vertės buvo suvestos į hidraulinį modelį siekiant išsiaiškinti, kaip skiriasi debitai galutiniame taške, gauti rezultatai pateikti 34 pav. grafike. Analizė atlikta sukalibruotame hidrauliniam modelyje.



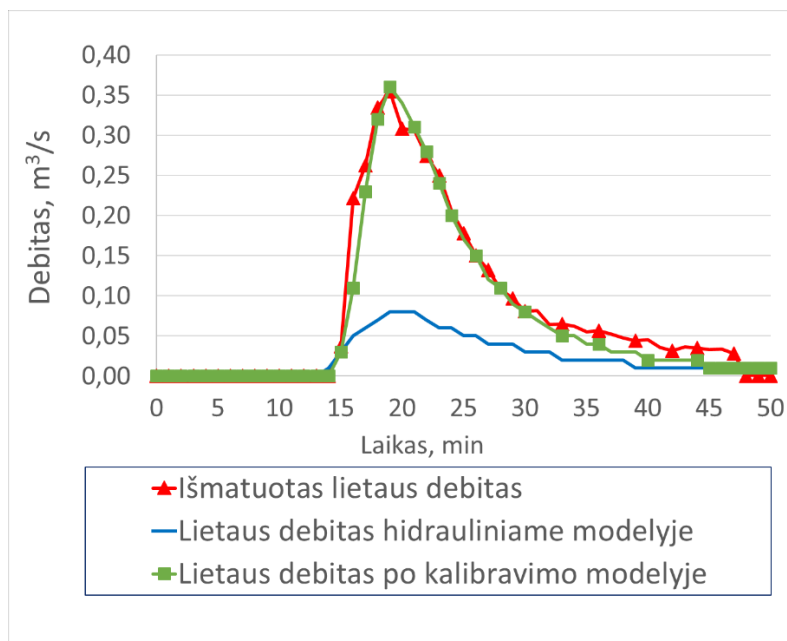
34 pav. Debitų kitimo kreivės naudojant skirtingų šaltinių kritulių duomenis (parengta autoriaus)

Iš pateikto grafiko matome, kad susidaręs debitas, naudojant VU meteorologijos stotyje užfiksuotus kritulius, nevisiškai atitinka išmatuotą debitą, o taip pat ir debitą pagal Pilaitės kritulmačius. Pirmąją valandą lietus ties VU prasidėjo kiek vėliau nei Pilaitėje, todėl matome, kad maksimali debito vertė hidrauliniam modelyje taip pat susidaro vėliau. Iškritęs kritulių kiekis Pilaitėje buvo apie 50 % didesnis nei iškritęs miesto centre, todėl ir debitas susidaręs mažesnis. Su VU registruotais krituliais maksimalus debitas – $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$, su Pilaitėje užfiksuotais krituliais – $0,90 \text{ m}^3/\text{s}$, t.y. 3 kartus didesnis. Antrąją valandą matome, kad maksimalios debitų vertės sutampa, taip yra dėl to, kad registruotų kritulių skirtumas nėra didelis, be to visu laikotarpiu lietus lyja labai panašiu intensyvumu. Apibendrinant galima teigti, kad siekiant sudaryti tikslių hidraulinį modelį, jo

kalibravimui galima naudoti tik tiriamojoje teritorijoje registruotus kritulių duomenis, kadangi lietus yra labai nepastovus erdvėje ir laike.

3.2. Hidraulinio modelio kalibravimas

Hidraulinio modelio kalibravimo metu prie paviršinių nuotekų baseino pridėta apie 12 ha teritorijos. Maždaug 6,5 ha teritorijos sudarė rajono vietos, kurios ortofotografijoje buvo matomos kaip vystomos teritorijos, todėl į pradinį modelį nebuvo įtrauktos. Likęs plotas pridėtas nuo šaligatvių ir žaliosios vejų. Kalibruojant modelį pastebėta, kad norint gauti realią situaciją, neužtenka tik pridėti papildomų teritorijų. Itin svarbu nustatyti kritulių pasiskirstymą mikrorajone ir teisingai apsirašyti lietaus įvykį. Kai lietaus intensyvumo skirtumas tarp matavimo taškų yra didelis, baseiną galima padalinti pagal intensyvumo pasiskirstymą į kelias zonas. Pavyzdžiui, 28 pav. pateiktas lietaus įvykis, kurio intensyvumas mikrorajone yra nevienodas, todėl pagal vamzdinių ir kietų dangų pasiskirstymą mikrorajone, buvo priimta prielaida, kad stipresnė liūtis vyko tik 25 % rajono ploto. Taip pat, atliekant kalibravimą pastebėta, kad modelyje sudėtinga atkartoti situaciją, kuomet liūtis metu iškrenta mažiau nei 2 mm/h kritulių. Tam daugiausia įtakos turi lietaus trukmė ir nuotėkio susidarymo ypatumai dėl dangų (Tran et al., 2008). Ilgas, tačiau neintensyvus lietus nesudaro daug nuotėkio, nes didžioji jo dalis infiltruojasi į gruntą. Analizuojant mažo intensyvumo liūtis ir bandant gauti panašų debitą paviršinių nuotekų kolektoriuje svarbu žinoti grunto drėgmės lygį prieš prasidedant lietaus. 35 pav. pateiktas Gilužio g. matavimo taško kalibravimo grafikas. Iš grafiko matyti, kad prieš kalibravimą tiriamajame taške debitas buvo 0,08 m³/s, pridėjus papildomas teritorijas modelyje debitas išaugo iki 0,35 m³/s ir taip pat sutampa su išmatuota debito kitimo linija. Kitų taškų kalibravimo grafikai pateikti 6 priede.



35 pav. Debito kitimo kreivė modelio kalibravimo metu Gilužio g. taške 2018-08-31 (parengta autoriaus)

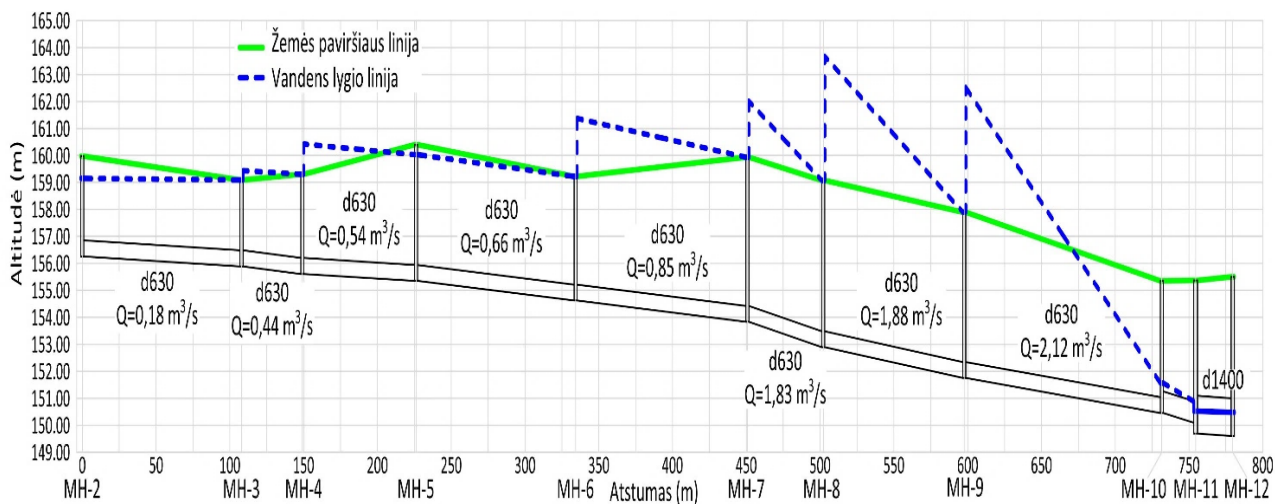
3.3. Tinklo pralaidumo analizė

Atlikus esamą Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų kolektoriaus analizę gauti tvinstantys vamzdynų ruožai:

- Vienerių metų lietaus pasikartojimo atveju patvinsusių ruožų ilgis 1,3 km, t.y. 8,7 % viso vamzdyno ilgio. Tvinstančių tinklų schema pateikta 7 priede;
- Penkerių metų lietaus pasikartojimo atveju patvinsusių ruožų ilgis 1,4 km, t.y. 9,3 % viso vamzdyno ilgio. Tvinstančių tinklų schema pateikta 8 priede;
- Dešimties metų lietaus pasikartojimo atveju patvinsusių ruožų ilgis 1,6 km, t.y. 10,6 % viso vamzdyno ilgio. Tvinstančių tinklų schema pateikta 9 priede;
- Dvidešimties metų lietaus pasikartojimo atveju patvinsusių ruožų ilgis 3,8 km, t.y. 25,3 % viso vamzdyno ilgio. Tvinstančių tinklų schema pateikta 10 priede.

Iš rezultatų matome, kad ryškaus skirtumo nėra, kai liūtis pasikartojimo retmuo yra vieneri ar dešimt metų – vos 0,3 km. Tai rodo, kad esant skirtingo intensyvumo liūtimis, probleminės vietos išlieka tos pačios. Nustatyta, kad ši vieta yra šiaurinė Pilaitės mikrorajono dalis, dar vadinama Naująja Pilaite. Teritorija užima apie 31 ha plotą, iš kurio 16 ha sudaro kietos dangos. Teritorijoje yra apie 2,2 km magistralinių vamzdynų, vadinasi liūtis atveju, kuri pasikartoja viena kartą metuose, tvinsta 59 % teritorijoje esančių magistralinių vamzdynų. Analizuojant vienerių ir penkerių metų pasikartojimo liūtis, tvinstantys ruožai užfiksuoti tik šioje teritorijoje. Esant liūčiams, pasikartojančiai vieną kartą per dešimt metų, visame kolektoriuje yra tik viena tvinstanti atkarpa, kuri yra ne Naujosios Pilaitės teritorijoje, jos ilgis 126 m. Dvidešimties metų lietaus pasikartojimo atveju tvinti pradeda daugiau kolektoriaus atšakų. Iš 3,8 km patvinsusių vamzdynų maždaug 1,9 km yra ne Naujosios Pilaitės teritorijoje, t.y. 50 % visų tvinstančių tinklų. Taigi, rezultatai rodo, kad šiaurinė mikrorajono dalis turi daugiausiai problemų. Pagrindinė priežastis – mažo skersmens vamzdynai, kurių pralaidumas yra nepakankamas susidariusiam paviršinių nuotekų kiekiui. Iš šios teritorijos paviršinės nuotekos teka per 630 mm skersmens vamzdį, kuris paklotas 1 % nuolydžiu. Toks vamzdis, kai paviršinės nuotekos teka jį pilnai užpildžiusios, yra pajėgus praleisti apie 0,7 m³/s srautą (Rimeika, 2006). Modeliuojant situaciją su 1 m pasikartojimo liūtimi, Naujosios Pilaitės teritorijoje susidarantis nuotėkis siekia apie 2,1 m³/s, t.y. 3 kartus viršija esamo vamzdžio pajėgumą. Šios probleminės atkarpos profilis pateiktas 36 pav. Atkarpos ilgis 780 m, iš jos 732 m sudaro 630 mm skersmens vamzdis, kuris atkarpos gale išplatėja į 800 mm, o šis po 23 m pereina į 1400 mm skersmens vamzdį. Taškas MH-2 yra I. Simonaitytės ir J. Bretkūno g. sankryžoje, o taškas MH-12 yra Įsruties g. ir Pilaitės pr. sankryžoje. Iš pateikto profilio matoma, kad 630 mm skersmens vamzdis yra per mažas susidariusiam nuotėkiui iš teritorijos, nes vandens lygio linija yra virš žemės paviršiaus ir nukrenta tik vamzdžiui išplatėjus į 800 mm. Šią išvadą taip pat patvirtina ir tai, kad toliau esančio 1400 mm

skersmens vamzdžio užpildymas yra 61 %, vadinasi, kolektorius yra pajėgus priimti papildomą vandens kiekį. Taške MH-7 prie vaizduojamos atkarpos prisijungia 630 mm skersmens atšaka, kuria teka nuotėkis, susidaręs nuo 6,8 ha kietų dangų, todėl nuo šio taško matome padidėjusį debitą. Kadangi vamzdynas nuo MH-7 taško nėra pajėgus praleisti susidariusį paviršinių nuotekų debitą, susidaro patvanka ne tik tolimesniuose vamzdynuose, bet ir atkarpose prieš šį tašką. Pavaizduotame profilyje maždaug 490 m vamzdyno yra patvinę, tai sudaro 63 % visos vaizduojamos atkarpos.

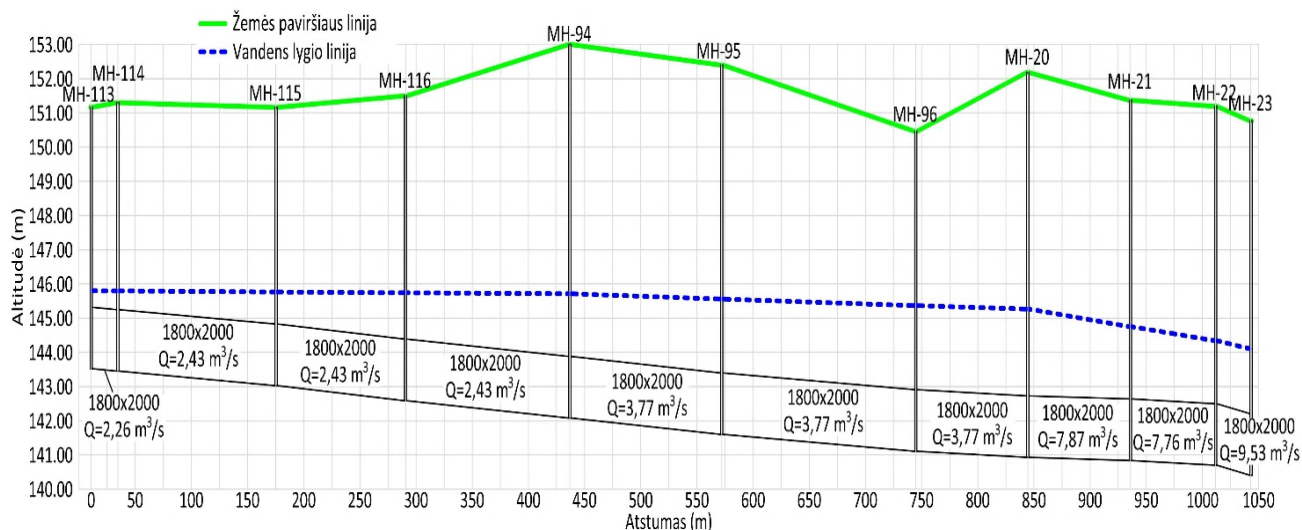


36 pav. Atkarpos MH-2 – MH-12 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 1 m (parengta autoriaus)

Svarbu paminėti, kad Naujosios Pilaitės teritorija dar nėra baigta vystyti, todėl reiktų atsižvelgti į esamą tinklo situaciją ir riboti išleidžiamų paviršinių nuotekų kiekį iš naujai urbanizuotų teritorijų.

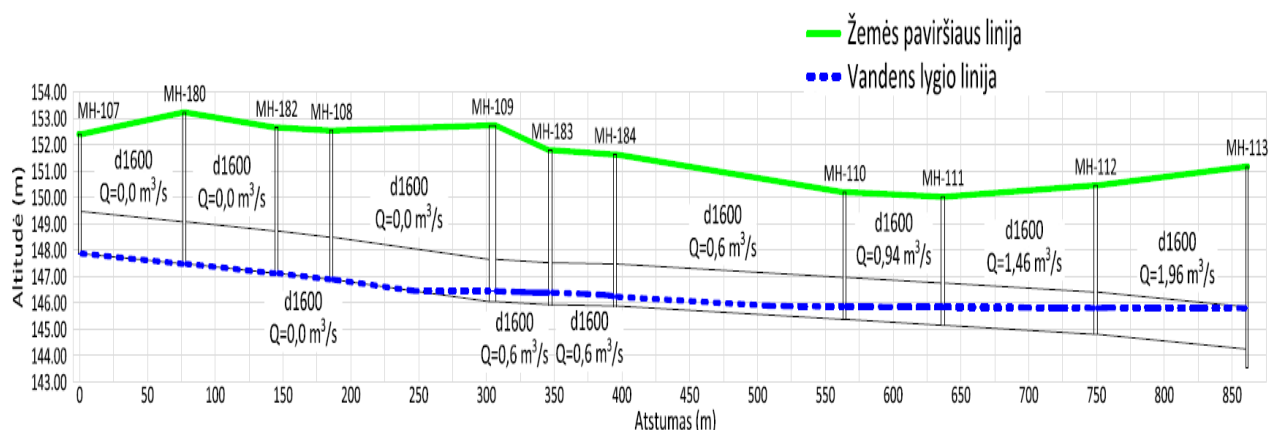
Kalbant apie kitas Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų kolektoriaus atkarpas, matome, kad esami vamzdynai puikiai susitvarko su susidariusiu nuotėkiu. Ryškesni potvyniai mikrorajone matomi tik tada, kai modeliuojama situacija su liūtimi, pasikartojančia vieną kartą per 20 metų. 37 pav. pateiktas pagrindinio kolektoriaus profilis, esantis Gilužio g., kai lietaus pasikartojimo periodas yra 20 metų. Taškas MH-113 yra Gilužio ir Angelavos g. sankryžoje, čia į pagrindinį kolektorių pasijungia 1600 mm skersmens vamzdis. Šiuo metu didelio nuotėkio iš šios atšakos nėra, kadangi ji skirta perspektyviniam mikrorajono užstatymui. Taškas MH-94 yra Gilužio ir Karaliaučiaus g. sankryžoje, jame į kolektorių pasijungia 1000 mm skersmens vamzdis. Taškas MH-20 yra Gilužio ir Tolminkiemio g. sankryžoje, kur į pagrindinį kolektorių pasijungia 1600 mm skersmens vamzdis. Taškas MH-22 yra Gilužio ir Smalinės g. sankryžoje, čia pasijungia 1000 mm skersmens vamzdis. Visuose anksčiau paminėtuose taškuose matomas debito padidėjimas. Iš profilyje pateiktos vandens lygio linijos matome, kad pagrindinio kolektoriaus šuliniuose vandens lygis yra pakilęs virš vamzdžio nuo 0,5 iki 2,5 m, tačiau iki žemės paviršiaus nepakyla ir teritorijų netvindo. Didelis tinklo pralaidumas susidaro dėl didelių vamzdyno nuolydžių. Pagal STR 2.07.01:2003, minimalus nuolydis, kuriuo gali būti klojamas 1,8x2,0 m vamzdis yra 0,006 %.

Nagrinėjami atveju, vamzdino nuolydis kinta nuo 0,02 % iki 0,04 %, paskutiniame ruože tarp MH-22 ir MH-23 taškų nuolydis yra 0,09 %. Nuo paviršinių nuotekų ištvvinimo virš žemės paviršiaus taip pat apsaugo didelis įgilinimas iki vamzdžio viršaus, kuris pavaizduotame ruože svyruoja nuo 6,0 iki 9,0 m.



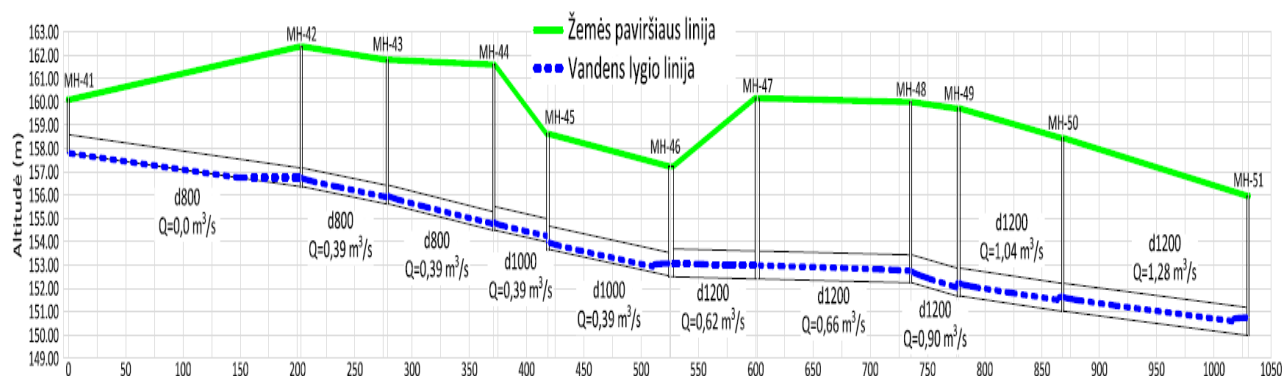
37 pav. Atkarpos MH-113 – MH-23 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 20 m (parengta autoriaus)

Vakarinėje dalyje mikrorajono dalyje ir Smalinės g. esantys šoniniai kolektoriai taip pat puikiai susitvarko su nuotėkiu, kuris susidaro lyjant 20 metų pasikartojimo periodo liūčiai. Vakarinėje dalyje numatyta d1600 šoninis kolektorius, jo profilis pateiktas 38 pav. Iš profilio matome, kad pirmuose 300 m vamzdino neteka joks debitas. Atkarpoje nuo 300 m iki 650 m vamzdynas yra užpildytas tik apie 30 %. Atkarpoje nuo 650 m iki 850 m matome didesnę vamzdino pripildymą, tačiau jis atsiradęs dėl to, kad pagrindinis kolektorius Giluzio gatvėje yra nežymiai patvenktas ir sunkiau priima šoninio kolektoriaus debitą.



38 pav. Atkarpos MH-107 – MH-113 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 20 m (parengta autoriaus)

Smalinės g. šoninis kolektorius taip pat nėra patvenktas (39pav.), atkarpa iki 550 m yra pripildyta maždaug trečdaliu, o likęs vamzdžio ilgis pripildytas apie 50%.



39 pav. Atkarpos MH-41 – MH-51 profilis kai lietaus pasikartojimo retmuo 20 m (parengta autoriaus)

Abu šoninių kolektorių pavyzdžiai rodo, kad net ir esant 20 metų pasikartojimo liūčiams, vamzdinių hidraulinis pralaidumas nėra pilnai išnaudojamas. Esant galimybei, naujai vystomos teritorijos turėtų būti prijungiamos būtent prie šių atšakų – taip bus užtikrinta mažiausia neigiama įtaka visam kolektoriaus darbui.

Siekiant išvengti tvinstančių ruožų baseine galima rekonstruoti esamus tinklus ir taip padidinant jų pralaidumą. Eksperimento metu buvo nagrinėjami scenarijai, kai liūties pasikartojimo periodas yra 1, 5 ir 10 metų.

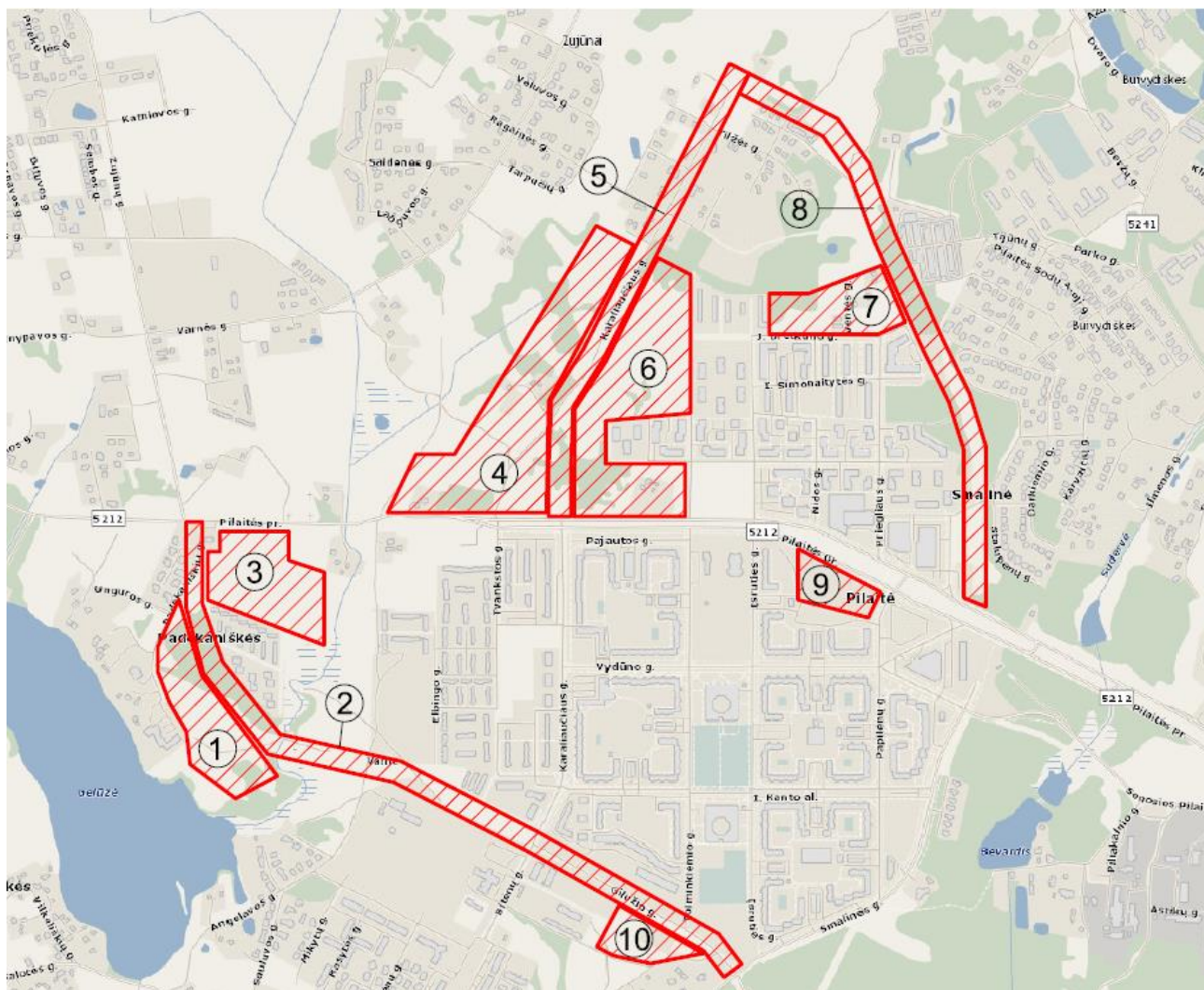
Kai lyja lietus, kurio pasikartojimo periodas yra vieneri metai, kad būtų išvengta tinklo patvinimo, reikia rekonstruoti 304 m vamzdino. 281 m ruože 630 mm skersmens vamzdį pakeisti 1000 mm skersmens vamzdžiu ir 23 m atkarpoje 800 mm skersmens vamzdį į 1000 mm. Rekonstruojamų tinklų schema pateikta 11 priede.

Kai lyja lietus, kurio pasikartojimo periodas yra penkeri metai, kad būtų išvengta tinklo patvinimo, reikia rekonstruoti 604 m vamzdino. 91 m vamzdino keisti iš 500 mm į 630 mm skersmenį, 209 m vamzdžio iš 630 mm į 800 mm skersmenį, 147 m vamzdžio iš 630 mm į 1000 mm skersmenį, 134 m vamzdžio iš 630 mm į 1200 mm skersmenį ir 23 m atkarpą iš 800 mm į 1200 mm skersmens vamzdį. Rekonstruojamų tinklų schema pateikta 12 priede.

Kai lyja lietus, kurio pasikartojimo periodas yra dešimt metų, kad būtų išvengta tinklo patvinimo, reikia rekonstruoti 955 m vamzdino. 126 m vamzdino keisti iš 400 mm į 500 mm skersmenį, 91 m vamzdino keisti iš 500 mm į 800 mm skersmenį, 242 m vamzdžio iš 630 mm į 800 mm skersmenį, 192 m vamzdžio iš 630 mm į 1000 mm skersmenį, 281 m vamzdžio iš 630 mm į 1200 mm skersmenį ir 23 m atkarpą iš 800 mm į 1200 mm skersmens vamzdį. Rekonstruojamų tinklų schema pateikta 13 priede.

3.4. Plėtra mikrorajone

Pagal Vilniaus miesto bendrąjį planą (Vilniaus miesto savivaldybė 2019b) Pilaitės mikrorajone numatomos dvi plėtros kryptys – šiaurinėje ir vakarinėje dalyse. Maksimalus numatomų teritorijų kietų dangų plotas taip pat nurodytas bendrajame plane. Taip pat skaičiuojant nelaidžių dangų plotus teritorijose buvo remiamasi detaliesiais planais arba projektiniais pasiūlymais, kurie viešinami visuomenei. Ši informacija yra tikslesnė, tačiau analizės metu buvo parengta tik kelioms teritorijoms. Hidrauliniam modelyje nagrinėjama situacija prijungiant dešimt plėtroje numatytų skirtingos paskirties teritorijų, kurių bendras plotas siekia 51 ha, iš jo ~26 ha sudaro kietos dangos. Schema pateikta 40 pav. Ši plėtra numatoma iki 2030 m (Andrijauskas, 2018).

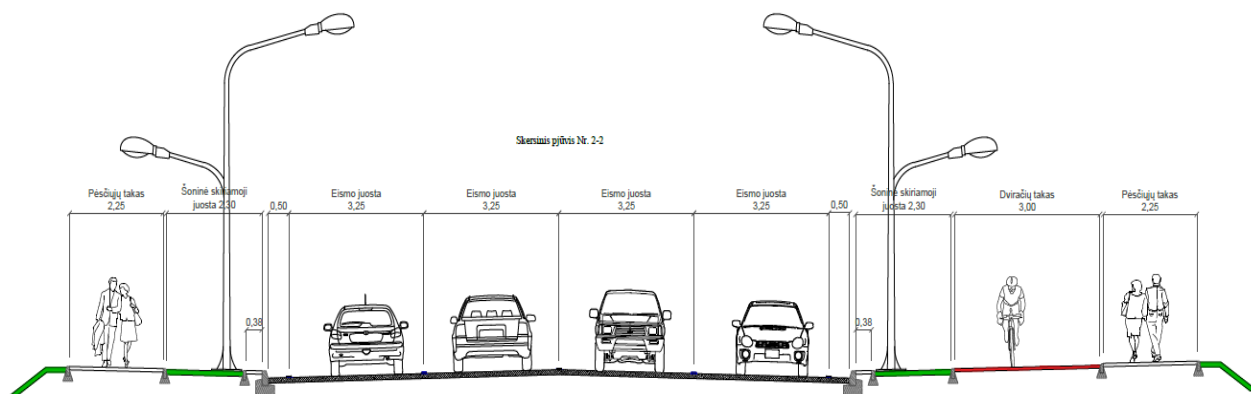


40 pav. Numatomos plėtros Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų baseine schema (parengta autoriaus)

1 numeriu pažymėtoje teritorijoje numatoma mažo užstatymo intensyvumo zona. Teritorijos plotas apie 6,2 ha, sąlyginis didžiausias nelaidžių dangų kiekis 40 %, t.y. 2,48 ha. Nuotėkio koeficientas iš teritorijos priimamas 0,90, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 10 min.

2 numeriu pažymėta numatoma naujos Gilužio g. statyba tarp Smalinės ir Čekoniškių g. Gatvės ilgis apie 1,8 km, kategorija B2, šalia jos numatomi pėsčiųjų ir dviračių takai. 2019 m. kovo

mėnesį projekte „Gilužio gatvės atkarpos nuo Pilaitės pr. iki ir ties žemės sklypu (kadastro Nr. 01010/0167:2136) statybos projektas“ visuomenei pristatyti gatvės dalies projektiniai pasiūlymai. Projekte yra paruoštas skersinis gatvės pjūvis, jis pateiktas 41 pav. Gatvės plotis 26,1 m, priimama, kad visas gatvės ilgis bus tokios pat konstrukcijos kaip pateikta. Bendras kietų dangų plotas 3,87 ha, žalios vejos plotas 0,83 ha. Apskaičiuotas nuotėkio koeficientas 0,82, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 10 min.

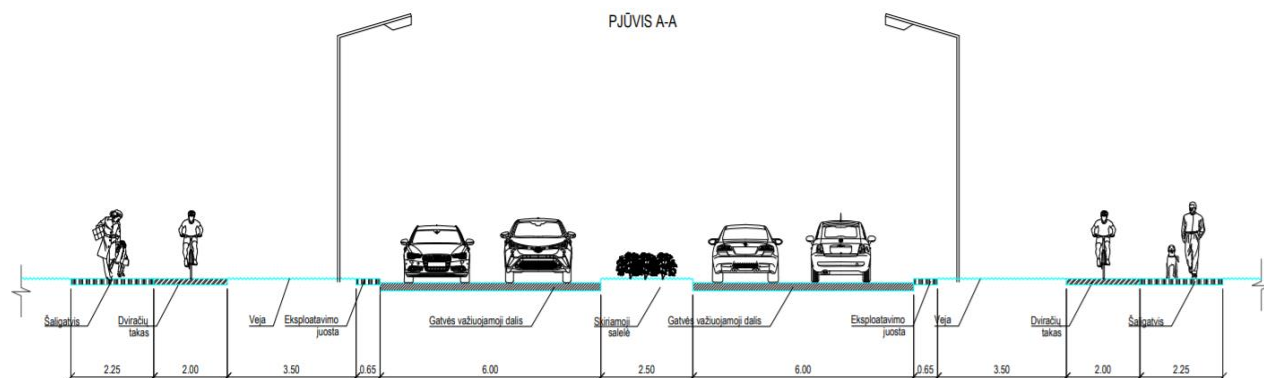


41 pav. Skersinis Gilužio g. pjūvis (Gilužio gatvės atkarpos nuo Pilaitės pr. iki ir ties žemės sklypu (kadastro Nr. 01010/0167:2136) statybos projektas)

3 numeriu pažymėtoje teritorijoje yra numatyta statyti prekybos paskirties pastatą ir gyvenamosios paskirties pastatus. Remiantis detaliuoju planu, parengtu teritorijai, jos plotas apie 5,5 ha, iš jų kietų dangų – apie 3 ha. Nuotėkio koeficientas iš teritorijos priimamas 0,90, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 10 min.

4 numeriu pažymėtoje teritorijoje numatoma vidutinio užstatymo intensyvumo zona. Teritorijos plotas apie 10 ha, sąlyginis didžiausias nelaidžių dangų kiekis 40 %, t.y. 4 ha. Nuotėkio koeficientas iš teritorijos priimamas 0,90, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 10 min.

5 numeriu pažymėta numatoma naujos Karaliaučiaus g. statyba tarp Smalinės g. ir Pilaitės prospekto. Gatvės ilgis apie 1,1 km, kategorija C1, šalia jos numatomi pėsčiųjų ir dviračių takai. 2018 m. liepos mėnesį projekte „Karaliaučiaus gatvės atkarpos nuo Pilaitės pr. iki L. Rėzos al. su Karaliaučiaus g./Pilaitės pr. ir Karaliaučiaus g./L. Rėzos al. Sankryžomis, statybos projektas“ visuomenei pristatyti gatvės dalies projektiniai pasiūlymai. Projekte yra paruoštas skersinis gatvės pjūvis, jis pateiktas 42 pav. Gatvės plotis yra 31,3 m, priimama, kad visas gatvės ilgis bus tokios pat konstrukcijos, gaunamas bendras kietų dangų plotas 2,4 ha, žalios vejos plotas 1,05 ha. Apskaičiuotas nuotėkio koeficientas 0,73, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 10 min.



42 pav. Skersinis Karaliaučiaus g. pjūvis (Karaliaučiaus gatvės atkarpos nuo Pilaitės pr. iki L. Rėzos al. su Karaliaučiaus g./Pilaitės pr. ir Karaliaučiaus g./L. Rėzos al. Sankryžomis, statybos projektas)

6 numeriu pažymėtoje teritorijoje numatoma vidutinio užstatymo intensyvumo zona. Teritorijos plotas apie 9 ha, sąlyginis didžiausias nelaidžių dangų kiekis 40 %, t.y. 3,6 ha. Nuotėkio koeficientas iš teritorijos priimamas 0,90, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 10 min.

7 numeriu pažymėtoje teritorijoje numatoma mažo užstatymo intensyvumo zona. Teritorijos plotas apie 3 ha, sąlyginis didžiausias nelaidžių dangų kiekis 40 %, t.y. 1,2 ha. Nuotėkio koeficientas iš teritorijos priimamas 0,90, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 5 min.

8 numeriu pažymėta numatoma naujos Smalinės g. statyba tarp Karaliaučiaus g. ir Pilaitės prospekto ir . Gatvės ilgis apie 1,6 km, kategorija C2, šalia jos numatomi pėsčiųjų ir dviračių takai. Tyrimo metu visuomenei nebuvo paskelti šios gatvės projektiniai pasiūlymai, todėl priimta, kad jos konstrukcija bus tokia pati, kaip Karaliaučiaus gatvės statybos projekto, minimo 5 teritorijoje. Gatvės plotis yra 31,3 m, bendras kietų dangų plotas 3,49 ha, žalios vejų plotas 1,52 ha. Apskaičiuotas nuotėkio koeficientas 0,73, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 5 min.

9 numeriu pažymėtoje teritorijoje numatoma miesto dalies (rajonų) centro zona. Teritorijos plotas apie 2 ha, sąlyginis didžiausias nelaidžių dangų kiekis 50 %, t.y. 1 ha. Nuotėkio koeficientas iš teritorijos priimamas 0,90, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 5 min.

10 numeriu pažymėtoje teritorijoje numatoma intensyvaus užstatymo zona. Teritorijos plotas apie 2,5 ha, sąlyginis didžiausias nelaidžių dangų kiekis 40 %, t.y. 1 ha. Nuotėkio koeficientas iš teritorijos priimamas 0,90, numatoma lietaus koncentracijos trukmė 5 min.

Siekiant įvertinti didžiausią vamzdyno pralaidumą ir pajungimo galimybes, nuo planuojamos teritorijos pabaigos iki esamo vamzdyno vietos yra analizuojami esamo žemės paviršiaus profilis. Reljefo profilis modeliuojamas remiantis Nacionalinės žemės tarnybos 2017 m. LR apskričių centrų (LiDAR_DR) duomenimis. Priimama, kad vidutinis naujai projektuojamo kolektoriaus nuolydis yra pakankamas, kai jis yra didesnis nei 0,004 m/m. Šis nuolydis priimtas todėl, kad kolektoriumi vadinamas 300 mm skersmens arba didesnis vamzdis, vadinasi minimalus vamzdžio nuolydis gali būti 0,004 m/m (STR 2.07.01:2003).

Vakarinę mikrorajono plėtos dalį (1, 2 ir 3 teritorijos) planuojama pajungti į Gilužio gatvėje esantį kolektorių, MH-120 šulinį (žr. 1 brėžinį). Esamo žemės paviršiaus profilis ir profilio brėžimo vieta pateikti 14 priede. Žemės paviršius tolimiausiame nagrinėjamų prijungiamų teritorijų taške 158,7 m, atkarpos ilgis iki prijungimo šulinio ~700 m, vamzdžio altitudė prijungimo taške yra 143,63 m. Siekiant užtikrinti, kad naujai vystomos teritorijos prisijungtų prie lietaus nuotekų tinklų, vamzdžio apačios altitudė tolimiausiame taške priimama 4 metrais giliau nei žemės paviršius, t.y 154,7 m. Priimama, kad perspektyvinis vamzdis į esamą kolektorių bus prijungtas su 3 metrų kritimu, taigi jo altitudė 146,63 m, gaunamas vidutinis vamzdžio nuolydis atkarpoje 0,011 m/m. Rezultatai rodo, kad plėtroje numatytą vakarinę Pilaitės rajono dalį įmanoma prijungti prie esamo kolektoriaus ir taip pat užtikrinti pakankamą naujai projektuojamo kolektoriaus pralaidumą. 2 numeriu pažymėtos planuojamos gatvės dalis patenka virš esamo kolektoriaus, todėl tik 0,8 km atkarpa (2,1 ha) pajungiama į MH-120 šulinį. Likęs gatvės ruožas dalinamas į 5 dalis po 200 m (0,52 ha), kurios palaipsniui prijungiamos prie esamo kolektoriaus šulinių.

Tokiu pat principu įvertinama ir kitos plėtos teritorijos. Skaičiavimo rezultatai pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Plėtos teritorijų prijungimo prie esamo kolektoriaus įvertinimas (parengta autoriaus)

Teritorijų numeriai	Prijungi mo taškas	Žemės paviršius tolimiausiame taške	Vamzdžio apačios altitudė prijungimo taške	Atkarpos ilgis	Naujai projektuojamo vamzdžio apačios altitudė tolimiausiame taške	Kritimas prijungi mo šulinyje	Naujai projektuojamo vamzdžio apačios altitudė prijungimo taške	Vidutinis naujai projektuojamo kolektoriaus nuolydis
4,5,6	MH-85	164,4 m	149,41 m	1150 m	160,4 m	1 m	150,41 m	0,009 m/m
4,5,6	MH-182	164,4 m	147,12 m	1450 m	160,4 m	1 m	148,12 m	0,008 m/m
7	MH-2	-	-	-	-	-	-	-
8	MH-41	167,5 m	157,79 m	450 m	163,5 m	1 m	158,79 m	0,010 m/m
9	MH-60	-	-	-	-	-	-	-
10	MH-96	-	-	-	-	-	-	-

7, 9 ir 10 teritorijoms pajungimo galimybė prie esamų vamzdinių nevertinta, kadangi jos yra sąlyginai nedidelės ir yra prie pat kolektoriaus. 4, 5 ir 6 teritorijoms prijungti galimi du variantai – į atšaką Karaliaučiaus gatvėje, šulinys MH-85 arba į atšaką vakarinėje rajono dalyje, šulinys MH-182. Abiejų variantų profiliai atitinkamai pateikti 15 ir 16 prieduose. Geresnis pajungimo variantas nustatomas analizuojant hidraulinį modelį.

8 numeriu pažymėtos teritorijos esamo žemės paviršiaus profilis pateiktas 17 priede. Matome, kad taškas 300 m nuo atkarpos pradžios yra aukščiausia vieta, todėl nuspręsta, kad 0,3 km gatvės atkarpa (0,94 ha) bus prijungiama kaip ir 4, 5 ir 6 teritorijos – į MH-85 arba MH-182 šulinį. Likęs

gatvės ruožas dalinamas į 5 dalis po 260 m (0,81 ha), kurios palaipsniui prijungiamos prie esamo kolektoriaus šulinių Smalinės gatvėje.

Plėtos teritorijos su aprašytais parametrais suvedamos į hidraulinį modelį, atliekama analizė, kai lietaus pasikartojimo periodas yra 1, 5, 10 ir 20 metų. Siekiant nustatyti optimalesnį 4, 5 ir 6 plėtos teritorijų pajungimo tašką, lyginami patvinusių vamzdinių ilgiai. Rezultatai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Plėtos pajungimo būdų palyginimas (parengta autoriaus)

Lietaus pasikartojimo periodas	Tvinstančių tinklų ilgis, kai plėtra pajungiama į MH-85 šulinį	Tvinstančių tinklų ilgis, kai plėtra pajungiama į MH-182 šulinį	Tvinstančių tinklų ilgis be plėtos
1 metai	1,3 km	1,3 km	1,3 km
5 metai	1,9 km	1,4 km	1,4 km
10 metų	3,1 km	1,9 km	1,6 km
20 metų	7,8 km	4,9 km	3,8 km

Kai lietaus pasikartojimo periodas yra vieneri metai, patvinusių ruožų ilgis baseine visais atvejais yra 1,3 km. Tai reiškia, kad plėtra neigiamos įtakos paviršinių nuotekų kolektoriaus pralaidumui neturėtų. Tvinstančių ruožų schema atitinka 7 priede pateiktą schemą

Penkerių metų lietaus pasikartojimo atveju patvinusių ruožų ilgis, priklausomai nuo pajungimo būdo, skiriasi. Plėtos teritorijas prijungus į MH-182 šulinį, tvinsta 1,4 km tinklų, t.y. lygiai tiek pat, kaip ir situacijoje prieš plėtrą, schema pateikta 18 priede. Jeigu dalis plėtos būtų pajungta į MH-85 šulinį, tvintų 1,9 km tinklų, t.y., 0,5 km daugiau. Šios situacijos schema su tvinstančiais vamzdinių ruožais pateikta 19 priede.

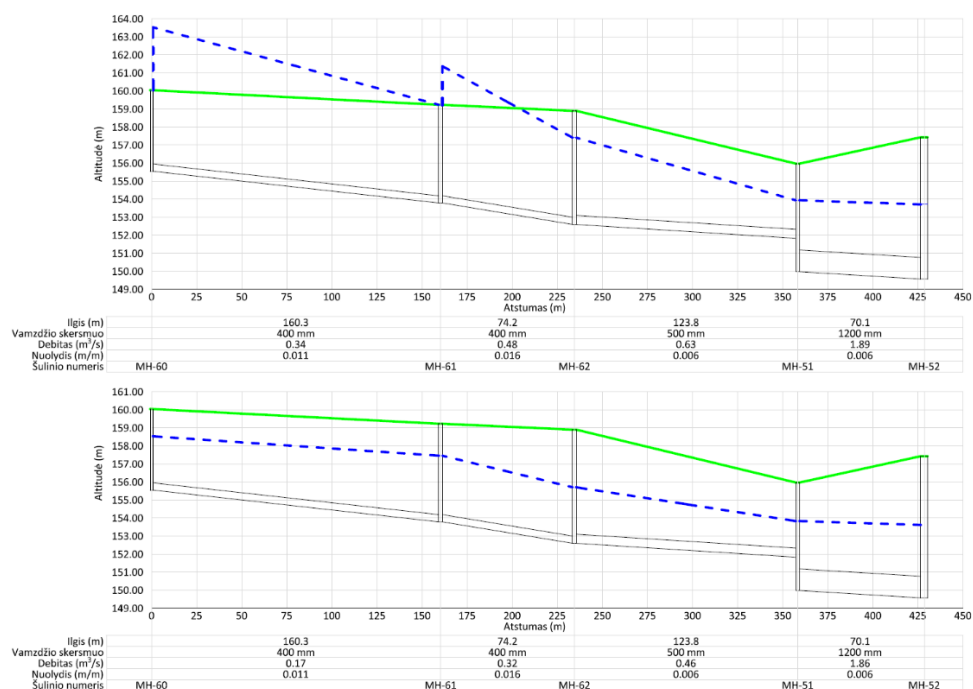
Dešimties metų lietaus pasikartojimo atveju patvinusių ruožų ilgiai taip pat skiriasi. Jungiant 4, 5 ir 6 teritorijų plėtrą į MH-182 šulinį tvinsta 1,9 km tinklų, t.y. 0,3 km daugiau nei prieš plėtrą, schema pateikta 20 priede. Kitu pajungimo būdu tinkle susidaro 3,1 km patvinusių ruožų. Tai yra 1,5 km daugiau nei situacijoje prieš plėtrą, ir taip pat 1,2 km daugiau, nei kitu pajungimo būdu. Tvinstančių tinklų schema pateikta 21 priede.

Kai lietaus pasikartojimo periodas yra dvidešimt metų, plėtos teritorijas jungiant į MH-182 tvinsta 4,9 km tinklų, t.y. 1,1 km daugiau nei prieš plėtrą, schema pateikta 22 priede. Plėtrą jungiant į Karaliaučiaus g. esantį MH-85 šulinį, tinkle tvinsta 7,8 km tinklų, t.y. 2,9 km daugiau nei kitu būdu ir 4 km daugiau nei situacijoje prieš pajungiant plėtrą. Tvinstančių tinklų schema pateikta 23 priede.

Akivaizdu, kad šiaurinės plėtos teritorijas optimaliau jungti į vakarinėje rajono dalyje esantį perspektyvinį vamzdį. Viena iš tai sąlygojančių priežasčių yra ta, kad Karaliaučiaus gatvėje esanti kolektoriaus atšaka jau yra apkrauta, o turimas hidraulinis rezervas nepakankamas. Tuo tarpu

vakarinė kolektoriaus atšaka yra visiškai neapkrauta. Kita priežastis yra atšakų diametrų skirtumai. Karaliaučiaus gatvėje paklotas tinklas yra 1000 mm skersmens, o vakarinėje atšakoje – 1600 mm skersmens. Tai ne tik užtikrina didesnę pralaidumą, tačiau ir akumuliuoja didesnę paviršinių nuotekų kiekį tinkle iki jam išsiliejant ant žemės paviršiaus. Paskutinė priežastis yra maksimalaus nuotėkio keliavimo vamzdžiu skirtumas. Nuo MH-85 taško iki pagrindinio kolektoriaus Gilužio gatvėje yra 770 m vamzdžio, tuo tarpu nuo MH-182 iki to paties taško yra 1300 m vamzdžio. Be to, paviršinės nuotekos 1000 mm vamzdžiu teka greičiau, nei 1600 mm skersmens vamzdžiu. Vadinasi, didžiausias nuotėkis, susidaręs nuo 4, 5 ir 6 plėtros teritorijų, pagrindinį kolektorių pasieks vėliau. Šis momentas nesutampa su kitų kolektoriaus atšakų maksimaliais debitais, todėl ruožai netvinsta. Minėta situacija puikiai matosi 23 priede pateiktoje scheme, kai kolektoriaus atšakos, ir pats kolektorius, tvinsta dėl tuo pačiu metu atitekančių maksimalių debitų. Taigi, plėtroje numatytas teritorijas optimaliau jungti į MH-182 šulinį, šis būdas taip pat naudojamas tolimesnėje analizėje vertinant klimato kaitos įtaką mikrorajono baseinui. Tiesa, šis būdas yra brangesnis, kadangi reikės pakloti apie 300 m daugiau vamzdžio.

Situacijoje, kai lietaus pasikartojimo periodas yra dešimt metų, vertinant rajono plėtrą patvinsusių ruožų ilgis padidėjo 0,3 km. Šis skirtumas yra dėl 7 ir 9 numeriu pažymėtų teritorijų – jas prijungus, viršijamas tinklo pralaidumas. Siekiant to išvengti, tinklus būtų galima rekonstruoti, tačiau optimaliausias būdas būtų įrengti debito reguliavimo talpas vystant minėtas teritorijas. Tokio inžinerinio sprendinio pritaikymas 9 numerio teritorijai ir jo rezultatas pateiktas 43 pav. Iš teritorijos susidaro 0,32 m³/s paviršinių nuotekų srautas, kuris yra per didelis esamiems tinklams. Pritaikius debito reguliavimo principą ir jį sumažinus iki 0,15 m³/s gaunamas tenkinamas rezultatas.



43 pav. Atkarpos MH-60 – MH-52 profilis prieš ir po debito reguliavimo (parengta autoriaus)

Priešingu atveju, reikėtų rekonstruoti 234 metrus 400 mm skersmens vamzdžio į 500 mm skersmens vamzdį. Akivaizdu, kad toks sprendimas būtų brangesnis, o taip pat kiltų sunkumų vykdant rekonstrukcijos darbus judrioje rajono gatvėje. Dar geresnis sprendimas būtų vietoj debito reguliavimo talpų įrengti infiltracines talpas. Visame Pilaitės mikrorajone vyrauja smėlingi gruntai, vadinasi, toks techninis sprendinys yra įmanomas. Tokiu būdu, naujai vystomose teritorijose susidaręs paviršinis nuotėkis būtų tvarkomas vietoje, o esama paviršinių nuotekų infrastruktūra nebūtų papildomai apkrauta.

Analizuojant tinklą su perspektyvinėmis teritorijomis ir dvidešimties metų tikimybės lietaus atveju, patvinsta 1,1 km daugiau tinklų nei prieš plėtrą. Taip yra dėl to, kad pagrindinis kolektorius, esantis Gilužio g., yra labiau apkrautas, todėl priima mažiau debito iš šoninių atšakų ir dėl ko jos tvinsta.

Rekonstruojamų tinklų schemas, kai šiaurinės plėtros teritorijos jungiamos į MH-182 šulinį nerengiamos, nes kai lietaus pasikartojimo periodas yra 1 ir 5 metai, tinka tie patys pasiūlymai, kaip ir esamos situacijos gerinimui. Kai lietaus pasikartojimo periodas yra 10 metų, lyginant su esama situacija, patvinsta kelios naujos atkarpos, tačiau potvynių išvengti galima įrengiant akumuliacinį arba infiltracinį įrenginį naujai vystomose 7 ir 9 numeriu pažymėtose teritorijose.

Pagal gerąją projektavimo praktiką, taip pat pagal Vilniaus miesto paviršinių nuotekų tinklus eksploatuojančios įmonės UAB „Grinda“ reikalavimu Vilniaus mieste, paviršinių nuotekų tinklai bendruoju atveju projektuojami kai liūtis pasikartojimo periodas yra 5 metai. Taigi galima teigti, kad numatyta Pilaitės mikrorajono plėtra neigiamos įtakos baseino kolektoriui neturės, nes tvinstančių tinklų ilgis esant tokiam lietaus intensyvumui sutampa.

3.5. Klimato kaitos įtaka nagrinėjamam baseinui

Siekiant įvertinti klimato kaitos įtaką lietaus intensyvumui ir jo įtaką Pilaitės mikrorajonui, buvo remiamasi Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos parengta prognoze, kad Vilniaus mieste lietaus intensyvumas padidės 15 %. Lietaus intensyvumo vertės, kurios naudojamos nuotėkiui iš pabaseinių skaičiuoti, pateiktos 8 lentelėje. Klimato kaitos įtaka buvo vertinama esamai situacijai ir situacijai, kai rajone bus įvykdyta plėtra.

8 lentelė. Lietaus intensyvumas pagal klimato kaitą Vilniuje, kai koncentracijos trukmė 5 min (parengta autoriaus)

Lietaus pasikartojimo periodas, m	Intensyvumas pagal STR 2.07.01:2003, l/s·ha	Intensyvumas įvertinus klimato kaitą, l/s·ha
1	156,5	180,0
5	264,4	304,1
10	356,9	410,5
20	629,3	723,6

Su naujai gautais intensyvumais atlikta esama Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų kolektoriaus analizė, gauti tvinstantys vamzdynų ruožai:

- Vienerių metų lietaus pasikartojimo atveju patvinusių ruožų ilgis 1,3 km, t.y. 8,7 % viso vamzdyno ilgio;
- Penkerių metų lietaus pasikartojimo atveju patvinusių ruožų ilgis 1,4 km, t.y. 9,3 % viso vamzdyno ilgio;
- Dešimties metų lietaus pasikartojimo atveju patvinusių ruožų ilgis 1,6 km, t.y. 10,6 % viso vamzdyno ilgio;
- Dvidešimties metų lietaus pasikartojimo atveju patvinusių ruožų ilgis 4,9 km, t.y. 32,7 % viso vamzdyno ilgio.

Lyginant gautus rezultatus su tvinstančiais ruožais nevertinant klimato kaitos, pastebimi kai kurie panašumai. Kai lietaus pasikartojimo periodas yra 1, 5 ar 10 metų, tvinstančių ruožų ilgiai ir vietos sutampa. Skirtumas pastebimas tik analizuojant paviršinių nuotekų kolektorių, kai simuliuojama kartą per 20 metų vykstanti liūtis, šios situacijos schema pateikta 24 priede. Dėl klimato kaitos padidėjusio lietaus intensyvumo papildomai tvinsta 1,1 km tinklo, t.y. visas ilgis padidėja 29 %. Lyginant rekonstruojamų tinklų ilgius kai lietaus intensyvumas yra pagal STR 2.07.01:2003 ir įvertinus klimato kaitą gauti tokie rezultatai:

- Kai lyja lietus, kurio pasikartojimo periodas yra vieneri metai, kad būtų išvengta tinklo patvinimo galimi tie patys rekonstrukcijos sprendiniai;
- Kai lyja lietus, kurio pasikartojimo periodas yra penkeri metai, kad būtų išvengta tinklo patvinimo galimi tie patys rekonstrukcijos sprendiniai;
- Kai lyja lietus, kurio pasikartojimo periodas yra dešimt metų, rekonstruojamų tinklų ilgis siekiant išvengti patvinimo yra tas pats – 955 m, tačiau kai kuriuose ruožuose neužtenka vamzdyno pralaidumo, todėl reikalingi kitokie rekonstrukcijos sprendiniai. Siūloma 126 m vamzdyno keisti iš 400 mm į 500 mm skersmenį, 91 m vamzdyno keisti iš 500 mm į 800 mm skersmenį, 434 m vamzdžio iš 630 mm į 1000 mm skersmenį, 281 m vamzdžio iš 630 mm į 1400 mm skersmenį ir 23 m atkarpą iš 800 mm į 1400 mm skersmens vamzdį. Šie pasiūlymai vizualiai pateikti 25 priede.

Siekiant įvertinti ateities situaciją Pilaitės mikrorajone, vertinama situacija, kai baseine bus įgyvendinta visa numatyta plėtra, o kritulių intensyvumas padidėjęs dėl klimato kaitos. Sudaroma 9 lentelė, kurioje palyginami plėtros ir plėtros su pagausėjusiais krituliais dėl klimato kaitos scenarijai.

9 lentelė. Tvinstančių tinklų ruožai baseine, kai vertinama plėtra ir klimato kaita (parengta autoriaus)

Lietaus pasikartojimo periodas	Tvinstančių tinklų ilgis baseine su plėtra	Tvinstančių tinklų ilgis baseine įvertinus plėtrą ir klimato kaitą
1 metai	1,3 km	1,3 km
5 metai	1,4 km	1,6 km
10 metų	1,9 km	2,8 km
20 metų	4,9 km	6,6 km

Kai lietaus pasikartojimo periodas yra vieneri metai, patvinsusių ruožų ilgis baseine abiem atvejais yra 1,3 km. Tai reiškia, kad net vertinant plėtrą didesnis lietaus intensyvumas neigiamos įtakos paviršinių nuotekų kolektoriaus pralaidumui neturėtų. Tvinstančių ruožų schema neruošiama, nes sutampa su 7 priede pateikta schema.

Penkerių metų lietaus pasikartojimo atveju patvinsusių ruožų ilgis, situacija kiek kitokia – baseine tvinsta 1,6 km tinklų, t.y. 0,2 km daugiau nei situacijoje nevertinant padidėjusio intensyvumo. Šios situacijos schema su tvinstančiais vamzdyno ruožais pateikta 26 priede. Šis ruožas atsiranda dėl 7 numeriu pažymėtos plėtros teritorijos. Kaip ir buvo minėta ankstesniame skyrelyje, racionaliausias sprendimas siekiant išvengti esamų tinklų tvindymo yra debito reguliavimo talpos įrengimas. Iš teritorijos išleidžiant 0,15 m³/s minėtas ruožas netvinsta, o bendras tvinstančių tinklų ilgis tampa 1,4 km, t.y. toks pat kaip vertinant plėtra be kritulių intensyvumo padidėjimo.

Dešimties metų lietaus pasikartojimo atveju patvinsusių ruožų ilgis baseine siekia 2,8 km, t.y. 0,9 km daugiau nei situacijoje nevertinant padidėjusio intensyvumo. Šios situacijos schema su tvinstančiais vamzdyno ruožais pateikta 27 priede. Matome, kad atsiranda daugiau pavienių patvinsusių ruožų. Taip yra dėl to, kad plėtros teritorijose susidaręs nuotėkis papildomai apkrauna šoninius kolektorius ir jų pralaidumas tampa nepakankamas priimti visą lietaus debitą iš mažesnių atšakų. Įrengus akumuliacinį arba infiltracinį įrenginį naujai vystomose 7 ir 9 numeriu pažymėtose teritorijose tinka tie patys tinklų rekonstrukcijos sprendimai kaip ir esamos situacijos su klimato kaita atveju.

Kai lietaus pasikartojimo periodas yra dvidešimt metų, tvinsta 6,6 km tinklų, t.y. 2,3 km daugiau nei situacijoje nevertinant kritulių pagausėjimo. Tvinstančių tinklų schema pateikta 28 priede. Matome, kad tvinsta didžioji dalis baseino – tiek pagrindinio, tiek šoninių kolektorių pralaidumas yra nepakankamas šiai situacijai.

Remiantis gerąja projektavimo praktika, taip pat pagal UAB „Grinda“ reikalavimus, paviršinių nuotekų tinklai projektuojami kai liūtis pasikartojimo retmuo yra 5 metai. Taigi galima teigti, kad didėjantis kritulių intensyvumas Pilaitės mikrorajono baseinui neigiamos įtakos neturės tiek esamai situacijai, tiek ir įvertinus planuojamą plėtrą, nes tvinstančių tinklų ilgis išlieka toks pat.

IŠVADOS

1. Tyrimo laikotarpiu didžiausia užfiksuota liūtis pagal STR 2.07.01:2003 gali būti klasifikuojama kaip kartą per metus pasikartojanti liūtis Vilniaus mieste. Jos metu vamzdynuose buvo užfiksuotas $1,64 \text{ m}^3/\text{s}$ debitas. Palyginus išmatuotus kritulių duomenis su kitomis Vilniaus miesto meteorologinėmis stotimis nustatyta, kad informacija skiriasi. Tiriant konkrečios teritorijos paviršinių nuotekų kolektorių būtina remtis tiriamojoje teritorijoje išmatuotais duomenimis, kadangi krituliai yra nepastovūs erdvėje ir laike. Rekomenduojama kritulius tiriamojoje teritorijoje matuoti bent dvejose vietose, tai padeda nustatyti kritulių intensyvumo pasiskirstymą.
2. Hidraulinio modelio kalibravimo metu prie paviršinių nuotekų baseino papildomai prijungta apie 12 ha teritorijos. Atlikus kalibravimą modelyje gaunami ir realybėje išmatuoti maksimalūs paviršinių nuotekų debitai sutampa. Siekiant modelio tikslumo, taškų kalibravimui turi būti panaudotos bent dvi skirtingos liūtys.
3. Atlikus esamos situacijos analizę nustatyta, kad pagrindinė probleminė vieta yra šiaurinė mikrorajono dalis. Kai lietaus pasikartojimo periodas yra 10 metų, šioje zonoje tvinsta 98% visų baseino tinklų. Kitų taškų potvyniai pastebimi tik esant 20 metų pasikartojimo liūčiams. Tai yra labai geras rodiklis, kadangi pagal STR 2.07.01:2003 reikalavimus magistralinės gatvės gyvenvietėse, kai sąlygos yra ypač nepalankios, gali būti projektuojamos pasirenkant lietaus pasikartojimo periodą tarp 3 ir 10 m. Rekonstruojamų tinklų ilgiai siekiant išvengti potvynių baseine:
 - Vienerių metų lietaus pasikartojimo periodo atveju – apie 304 m vamzdyno;
 - Penkerių – apie 604 m vamzdyno;
 - Dešimties – apie 955 m vamzdyno.
4. Esamo kolektoriaus pralaidumas prijungus mikrorajono plėtroje numatytas teritorijas yra pakankamas ir esamos situacijos nekeičia. Naujai vystomose teritorijose įrengus akumuliacinį arba infiltracinį įrenginį galima išvengti naujai atsiradusių pavienių tvinstančių ruožų.
5. Pagal turimas kritulių intensyvumo didėjimo prognozes Vilniaus mieste liūtys stiprės 15 %. Toks lietaus intensyvumo pokytis esamos Pilaitės mikrorajono paviršinių nuotekų kolektoriaus situacijos nepakeis. Įvertinus mikrorajono plėtrą ir dėl klimato kaitos padidėjusį kritulių intensyvumą nustatyta, kad esama Pilaitės paviršinių nuotekų kolektoriaus situacija taip pat nesikeis.

REKOMENDACIJOS

- Norint užtikrinti pakankamą hidraulinį esamo tinklo pralaidumą šiaurinėje mikrorajono dalyje, rekomenduojama rekonstruoti esamą tinklą. Siūlomas rekonstrukcijos variantas, kuris išspręstų tinklų potvynius prie penkerių metų lietaus pasikartojimo periodo, tokiu atveju reikėtų rekonstruoti 604 m vamzdyno:

- 91 m vamzdyno keisti iš 500 mm į 630 mm skersmenį;
- 209 m vamzdžio iš 630 mm į 800 mm skersmenį;
- 147 m vamzdžio iš 630 mm į 1000 mm skersmenį;
- 134 m vamzdžio iš 630 mm į 1200 mm skersmenį;
- 23 m atkarpą iš 800 mm į 1200 mm skersmens vamzdį.

- Atlikus hidraulinę analizę nustatyta, kad vykdant plėtrą Pilaitės mikrorajono pakraščiuose, naujai vystomas teritorijas rekomenduojama pajungti į Gilužio g. esantį 1800x2000 mm kolektorių, vakarinėje rajono dalyje esantį į 1600 mm skersmens kolektorių ir į Smalinės g. esantį 800 mm skersmens kolektorių. Jungiant teritorijas į šiuos vamzdynus esama situacija nesikeičia.

- Vykdant plėtrą Pilaitės mikrorajono centre, naujos teritorijos prie esamų tinklų turėtų būti pajungiamos įrengiant akumuliacinius arba infiltracinius įrenginius. Reguluojant išleidžiamą paviršinių nuotėkio kiekį iš šių teritorijų galima išvengti esamos situacijos pabloginimo.

NAUDOTA LITERATŪRA

1. A. R. Jarrett, A. R., W. F. W. F. Hunt, ir R. D. R. D. Berghage. 2006. „Annual and Individual-Storm Green Roof Stormwater Response Models“. P. 1 *2006 Portland, Oregon, July 9-12, 2006*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
2. Arenas, Jorge P. ir Francesco Asdrubali. 2018. „Eco-Materials with Noise Reduction Properties“. P. 1–26 *Handbook of Ecomaterials*. Cham: Springer International Publishing.
3. Arisz, Hans ir Brian Burrell. 2006. „Urban Drainage Infrastructure Planning and Design Considering Climate Change“. P. 1–9 *2006 IEEE EIC Climate Change Conference*. Ottawa, ON, Canada: IEEE.
4. Church, Peter E., Gregory E. Granato, ir David W. Owens. 1999. *Basic Requirements for Collecting, Documenting, and Reporting Precipitation and Stormwater-Flow Measurements*. Northborough, Massachusetts.
5. Davis, Allen P. 2008. „Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts“. *Journal of Hydrologic Engineering* 13(2):90–95.
6. Davis, Allen P. ir Richard H. McCuen. 2005. *Stormwater management for smart growth*. New York City: Springer.
7. Debo, Thomas N. ir Andrew J. Reese. 2002. „Second Edition Municipal Stormwater Management Library of Congress Cataloging-in-Publication Data“. 3.
8. Delfos Jeroen, Barensen Lot, Overtoom Irene, Bandinu Giacomo. 2017. „Showcase for a sustainable water infrastructure“. Delft University of Technology.
9. Donatas Andrijauskas. 2018. Vilniaus bendrasis planas: kaip keisis Pilaitė? Prieiga per internetą: <https://madeinvilnius.lt/naujienos/mikrorajonu-naujienos/pilaite/vilniaus-bendrasis-planas-kaip-keisis-pilaite/>.
10. Dourte, Daniel R., Clyde W. Fraisse, ir Wendy-Lin Bartels. 2015. „Exploring changes in rainfall intensity and seasonal variability in the Southeastern U.S.: Stakeholder engagement, observations, and adaptation“. *Climate Risk Management* 7:11–19.
11. Fondriest Staff. 2011. „Environmental Monitor. Optical Rain Gauge“. Prieiga per internetą: <https://www.fondriest.com/news/fondriest-now-offers-hydreon-optical-rain-gauge.html>.
12. van de Giesen, Nick, C. Degen, ir R. Hut. 2009. „Affordable Acoustic Disdrometer: Design, Calibration, Tests“. *AGU Fall Meeting Abstracts* (December).
13. De Jong, Stijn. 2010. *Low cost disdrometer Improved design and testing in an urban environment*.
14. Kilpatrick, Frederick A. ir William R. Kaehrle. 1986. „STORM-SEWER FLOW MEASUREMENT AND RECORDING SYSTEM.“ *Transportation Research Record* 1–9.
15. Kuichling, Emil. 1889. *The relation between the rainfall and the discharge of sewers in*

- populous districts*. New York: American Society of Civil Engineers.
16. Lee, J. Y., H. J. Moon, T. I. Kim, H. W. Kim, ir M. Y. Han. 2013. „Quantitative analysis on the urban flood mitigation effect by the extensive green roof system“. *Environmental Pollution* 181:257–61.
 17. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. 2013. *Klimato kaitos prognozės Vilniaus miestui XXI a., remiantis A1B scenarijumi 2013 m.* Vilnius.
 18. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. 2019. „Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos internetinis puslapis“. Prieiga per internetą: <http://www.meteo.lt/lt/>.
 19. Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija. 2019. „Lietuvos erdvinės informacijos portalas. Žemėlapių peržiūros programa“. Prieiga per internetą: <https://www.geoportal.lt/map/#>
 20. Mailhot, Alain ir Sophie Duchesne. 2010. „Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change“. *Journal of Water Resources Planning and Management* 136(2):201–8.
 21. Mehdi, B., Mrena, C., and Douglas, A. 2006. *Adapting to climate change: An introduction for Canadian Municipalities*. Ottawa.
 22. Mirhosseini, Golbahar, Puneet Srivastava, ir Lydia Stefanova. 2013. „The impact of climate change on rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves in Alabama“. *Regional Environmental Change* 13(S1):25–33.
 23. Nivus. 2019. „NivuFlow Mobile 750“. Prieiga per internetą: <https://www.nivus.com/en/products/flow-measurement/polluted-media/flowmeter/nivuflow-mobile-750/>
 24. Nystuen, Jeffrey A., John R. Proni, Peter G. Black, John C. Wilkerson, Jeffrey A. Nystuen, John R. Proni, Peter G. Black, ir John C. Wilkerson. 1996. „A Comparison of Automatic Rain Gauges“. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 13(1):62–73.
 25. Optical Scientific Inc. s.a. „OSi - ORG-815-DS™ - Optical Rain Gauge“. Prieiga per internetą: <https://www.environmental-expert.com/products/osi-model-org-815-ds-optical-rain-gauge-8586>
 26. Park, Mi-Hyun, Xavier Swamikannu, ir Michael K. Stenstrom. 2009. „Accuracy and precision of the volume–concentration method for urban stormwater modeling“. *Water Research* 43(11):2773–86.
 27. R. D. Harmel, R. D., R. J. R. J. Cooper, R. M. R. M. Slade, R. L. R. L. Haney, ir J. G. J. G. Arnold. 2006. „CUMULATIVE UNCERTAINTY IN MEASURED STREAMFLOW AND WATER QUALITY DATA FOR SMALL WATERSHEDS“. *Transactions of the ASABE* 49(3):689–701.
 28. Rimeika, Mindaugas. 2006. *Nuotakyno projektavimas*. Vilnius: Technika.

29. Rimeika, Mindaugas. 2017. *Kritulių rūšys ir matavimas*. Vilnius.
30. Rimkus, Egidijus, Justas Kazys, ir Arūnas Bukantis. 2009. „Gausių kritulių Lietuvoje prognozė XXI amžiui pagal regioninį CCLM modelį“. *Geografija*, 45(2) 122-130.
31. Roseen, Robert M., Thomas P. Ballesterio, James J. Houle, Joshua F. Briggs, ir Kristopher M. Houle. 2012. „Water Quality and Hydrologic Performance of a Porous Asphalt Pavement as a Storm-Water Treatment Strategy in a Cold Climate“. *Journal of Environmental Engineering* 138(1):81–89.
32. Rossmiller, R. L. 1980. „The rational formula revised“. *Proc. of Inter. Symp. on Urban Storm Runoff* (University of Kentucky, Lexington).
33. Scholz, Miklas ir Piotr Grabowiecki. 2007. „Review of permeable pavement systems“. *Building and Environment* 42(11):3830–36.
34. Schroll, Erin, John Lambrinos, Tim Righetti, ir David Sandrock. 2011. „The role of vegetation in regulating stormwater runoff from green roofs in a winter rainfall climate“. *Ecological Engineering* 37(4):595–600.
35. Smith, J. A. 1993. *Handbook of hydrology*. New York: University of Texas.
36. STR 2.07.01:2003. 2003. *Vandentiekis ir nuotekų šalintuvas. Pastato inžinerinės sistemos. Lauko inžineriniai tinklai*. Vilnius.
37. Sunjray infosystems. 2019. „Tipping Bucket Rain Gauge“. Prieiga per internetą: <http://sunjray.com/product/jdz05-1a-stainless-steel-tipping-bucket-rain-gauge/>
38. Thompson, David B. 2006. *The Rational Method*. Texas.
39. Tran, D. H., A. W. M. Ng, K. J. Mcmanus, ir S. Burn. 2008. „Prediction models for serviceability deterioration of stormwater pipes“. *Structure and Infrastructure Engineering* 4(4):287–95.
40. US department of Transportation. 2009. *Urban drainage design manual*. Washington, D.C.
41. Vikipedija. 2016. „Venturi latakas – Vikipedija“. Prieiga per internetą: https://lt.wikipedia.org/wiki/Venturi_latakas
42. Vikipedija. (n.d.) „Kritulių matavimai“. Prieiga per internetą: https://lt.wikipedia.org/wiki/Kritulių_matavimai.
43. Vilniaus miesto savivaldybė. 2019a. Vilniaus miesto interaktyvūs žemėlapiai. Prieiga per internetą: <https://maps.vilnius.lt/>.
44. Vilniaus miesto savivaldybė. 2019b. Vilniaus miesto savivaldybės internetinis puslapis. Prieiga per internetą: <https://vilnius.lt/lt/>.