



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių
tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Paulius Spūdys
Projekto autorius

Lekt. dr. Juozas Vaičiūnas
Vadovas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių
tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Paulius Spūdys
Projekto autorius

Lekt. dr. Juozas Vaičiūnas
Vadovas

Prof. dr. T. Ždankus
Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Paulius Spūdys

Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Pauliaus Spūdžio, baigiamasis projektas tema „Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistrantūros studijų programa “Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai”

T000M164 MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Temos pavadinimas (lietuvių k.)
Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą
Temos pavadinimas (anglų k.)
Study of Rain Water Harvesting from Vertical Surfaces Evaluating the Angle of the Facade Panel

Trumpas projekto aprašymas
Projekte tiriamos lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių surinkimo galimybės, įvertinant plokštumos posvyrio kampą. Nagrinėjamas surinkto vandens panaudojimas administracinės paskirties pastatui, siekiant sumažinti sunaudojamo geriamo vandens kiekį.
Projekto pristatymo data: <u>2019-01-09</u>

Studentas

Vardas pavardė	Paulius Spūdys
Kontaktai	+370 636 65 869
Parašas, data	

Magistro baigiamojo projekto vadovas

Moksl. laipsnis / pedagog. vardas	Lekt. dr.
Vardas pavardė	Juozas Vaičiūnas
Fakultetas	Statybos ir Architektūros
Kontaktai	+370 615 56 760
Parašas, data	

Spūdys, Paulius. Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalųjų paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą. Magistro studijų baigiamojo projekto vadovas dr. Juozas Vaičiūnas; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T).

Reikšminiai žodžiai: lietaus vanduo, surinkimas nuo fasadų, vandens tausojimas, antrinis panaudojimas, atsinaujinantys išteklių.

Kaunas, 2019. 62 p.

Santrauka

Magistriniu baigiamuoju projektu siekiama išsiaiškinti kaip vertikalios plokštumos posvyrio kampas įtakoja nuo fasadų surenkamo lietaus vandens kiekį. Nagrinėjamos galimybės kaip panaudoti surinktą vandenį geriamos kokybės vandens poreikio sumažinimui. Siekiant ištirti paviršiaus posvyrio kampo įtaką vandens surinkimo sistemos efektyvumui, suprojektuotas ir pagamintas bandymų stendas, skirtas laboratoriniams ir realių sąlygų bandymams atlikti.

Remiantis atliktų bandymų rezultatais apskaičiuojamas lietaus vandens surinkimo nuo fasadų sistemų efektyvumas esant skirtingiems posvyrio kampams. Suradus efektyviausią plokštumos posvyrio kampą, remiantis faktiniais duomenimis, apskaičiuoti galimo surinkti lietaus vandens kiekiai tiriamųjų metų laikotarpiu. Gauti rezultatai palyginti su daugiamečių meteorologinių stebėjimų duomenimis.

Lietaus vandens surinkimo ir panaudojimo sistema pritaikyta administracinės paskirties pastatui. Suprojektuota sistema, su kuria vidutiniškai galima padengti 61% pastato sunaudojamo geriamos kokybės vandens sąnaudų.

Spūdys, Paulius. Study of Rain Water Harvesting from Vertical Surfaces Evaluating the Angle of the Facade Panel. Master's Final Degree Project supervisor dr. Juozas Vaičiūnas; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): technological sciences, civil engineering (02T).

Keywords: rainwater, harvesting, building facades, sustainable water management, recycling, renewable resources.

Kaunas, 2019. 62 p.

Summary

The master's final project seeks to find out how the angle of the vertical surface affects the amount of rainwater collected from the building facades. The possibilities of using the collected rainwater in addition to reduce the need of using drinking water from cities water supply systems are considered. An experimental stand that was able to conduct experiments in controlled environment and under real conditions was constructed in order to accurately find out the impact of surface angle inclination on the efficiency of rainwater collecting systems

Based on the results of experiments the efficiency of rainwater collecting systems on different inclination angles has been found. When the most effective angle of the facade is discovered, based on the actual data collected from the experimental stand, the estimated amount of rainwater collected during the period of experiment is calculated. The results are compared with long-term meteorological observations.

The system for collecting and using rainwater is adapted for an administrative building. A system has been designed to cover an average of 61% of water qualified for drinking consumption by the building.

Turinys

Paveikslų sąrašas	9
Lentelių sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros analizė ir apžvalga	14
1.1. Lietaus lašų judėjimo analizė	14
1.2. Meteorologiniai duomenys	19
1.3. Architektūra.....	21
1.4. Literatūros analizės ir apžvalgos išvados	24
2. Tyrimo metodologija	25
2.1. Eksperimentinis stendas ir įranga.....	25
2.2. Eksperimentų eiga.....	29
2.2.1. Laboratorinis bandymas Nr. 1	30
2.2.2. Laboratorinis bandymas Nr. 2	34
2.2.3. Ilgalaikis bandymas realiomis sąlygomis	37
3. Praktinis pritaikymas.....	39
3.1. Vandens poreikių skaičiavimas.....	39
3.2. Lietaus vandens surinkimo galimybės	44
4. Įrangos parinkimas	49
5. Ekonominė dalis	51
Išvados	52
Literatūros sąrašas	53
Priedai.....	54

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Lietaus lašų (1mm) trajektorijos esant 10m/s vėjui. a-d - skirtingi pastatų dydžiai. (B. Blocken, J. Carmeliet, 2006) [1]	14
1.2 pav. Lietaus lašų pasiskirstymas ant skirtingų proporcijų fasadų, esančių prieš vėją. [1]	15
1.3 pav. (a) tiriamų pastatų geometrija. (b) pastatų nuotrauka. (c) teritorijos planas (A. Kubilay, D. Derome, B. Blocken, J. Carmeliet, 2015) [2].	16
1.4 pav. Lietaus rinktuvų išmatavimai (A. Kubilay, D. Derome, B. Blocken, J. Carmeliet, 2015) [2].	16
1.5 pav. (a) realiomis sąlygomis išmatuoti dydžiai (b) CFD rezultatai. (c) rezultatų palyginimas. (A. Kubilay, D. Derome, B. Blocken, J. Carmeliet, 2015) [2].	17
1.6 pav. Lašo judėjimo trajektorija susidūrimo su siena momentu (Blocken, Derome, Carmeliet, 2013) [3].	18
1.7 pav. Lašų nutekėjimo pobūdis (Blocken, Derome, Carmeliet, 2013) [4].	18
1.8 pav. Betono plokštės masės kitimas bandymo metu (Thijs Van den Brande, Bert Blocken, Staf Roels 2013) [5].	19
1.9 pav. Vidutinis metinis kritulių kiekis Lietuvoje, mm.	20
1.10 pav. Vidutinis kritulių kiekis Lietuvoje 1981–2010, 2016 ir 2017 m., mm. [6]	20
1.11 pav. Vandens gaudytuvai [7]	21
1.12 pav. „Rain facade“ veikimo schema [7]	22
1.13 pav. Pastato su lietaus surinkimo sistema vizualizacija [8]	22
1.14 pav. Fasadas su kirstai tempto metalo lakštais [9]	23
2.1 pav. Stendo rėmo brėžinys	25
2.2 pav. Stendo rėmo brėžinys	26
2.3 pav. Pagrindinio valdymo bloko principinė schema	27
2.4 pav. Kirstai tempto plieno lakšto akis	28
2.5 pav. Vandens purkšto tvirtinimo mazgas	29
2.6 pav. Vandens lašo kritimo kampas, pasiskirstymas plokštumoje	30
2.7 pav. Surinkto lietaus vandens masės kitimas skirtingų bandymų metu	32
2.8 pav. Bandomasis stendas su meteorologine stotele	34
2.9 pav. Meteorologinės stotelės pateikiami duomenys	35
2.10 pav. Surinkto lietaus vandens kiekio priklausomybė nuo kritulių kiekio mm.	36
2.11 pav. Stendas, paruoštas ilgalaikiam bandymui realiomis sąlygomis	37
3.1 pav. Vandens suvartojimo normos didžiausią vartojimo parą	43
3.2 pav. Vandens suvartojimo normos vidutinio vartojimo parą	43
3.3 pav. Situacijos schema	45

3.4 pav. 2018m. rugpjūčio mėnesio kritulių kiekis, mm	46
4.1 pav. Talpos su purvo atskyrikliu pjūvis.....	50
5.1 pav. Kainų palyginimas kai sistema įrengiama su lietaus surinkimu ir panaudojimu, ir įprastinė sistema.	51

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Tiriamosios plokštės duomenys	28
2.2 lentelė. Ištekiančio vandens kiekio skaičiavimas	31
2.3 lentelė. Nr. 1.1-1.4 bandymų suvestinė	33
2.4 lentelė. Nr. 1.5-1.6 bandymų suvestinė	33
2.5 lentelė. Nr. 2.1 bandymo suvestinė.....	35
2.6 lentelė. Nr. 2.2 bandymo suvestinė.....	35
2.7 lentelė. Nr. 2.3 bandymo suvestinė.....	36
3.1 lentelė. darbuotojo norminiai vandens suvartojimai	39
3.2 lentelė. Sanitariniai prietaisai	40
3.3 lentelė. Vandens ėmimo čiaupų debitai	40
3.4 lentelė. Mėnesinis vidutinis kritulių kiekis Kaune	44
3.5 lentelė Kritulių kiekis skirtingai orientuotoms plokštumoms Kaune	44
3.6 lentelė. Pagrindiniai pastato duomenys	45
3.7 lentelė. Surenkamo vandens kiekio suvestinė šiltuoju metų laikotarpiu	46
3.8 lentelė. Kritulių ir surinkto lietaus vandens kiekio suvestinė.....	47
3.9 lentelė. Kritulių kiekio ir surenkamo vandens kiekio suvestinė pagal 2018m. duomenis	48
3.10 lentelė. Kritulių kiekio ir surenkamo vandens kiekio suvestinė pagal statybinės klimatologijos normas	48

Įvadas

Magistro baigiamojo projekto aktualumas

Vykstant intensyviai gyvenviečių plėtrai vis dažniau susiduriama su geriamo vandentiekio ir nuotekų tinklų problema. Esamų tinklų infrastruktūra ne visada sugeba atlaikyti didėjančių gyvenviečių vandens poreikį, todėl tampa privaloma modernizuoti ir atnaujinti vandens tiekimo bei buitinių nuotekų vamzdynus. Šių tinklų atnaujinimas tiesiogiai įtakoja geriamo vandens kainą, todėl svarbu ieškoti būdų kaip sumažinti geriamo vandens suvartojimą buityje. Siekiant išspręsti šią problemą vis dažniau žvelgiama į alternatyvius vandens šaltinius, vienu iš jų gali tapti lietaus vanduo. Lietus yra neapmokestintas atsinaujinantis vandens šaltinis, todėl jo panaudojimas gali tapti puikiu sprendiniu, siekiant sumažinti suvartojamo vandens kaštus buityje.

Nuo horizontalių paviršių vanduo jau yra surinkinėjamas, tačiau tekėdamas tokiu paviršiumi vanduo yra užteršiamas susikaupusiais naftos produktais, dulkėmis, kitomis nuosėdomis ir reikalauja papildomo valymo. Siekiant išvengti valymo proceso ir su juo susijusių išlaidų svarbu surasti būdą kaip surinkti neužterštą lietaus vandenį. Vienas iš sprendimų yra lietaus surinkimas nuo vertikalinių paviršių, pastatų fasadų.

Panaudojus surinktą lietaus vandenį buitiniams reikmėms, kurios nereikalauja geriamos kokybės vandens, tausojami svarbūs vandens ištekliai, nuotekų ir tiekiamo vandens tinklų infrastruktūra. Taip pat, įrengus vandens surinkimo sistemas ant fasadų, šie yra apsaugomi nuo neigiamo drėgmės ir vandens poveikio, sumažinamas krūvis konstrukcijoms.

Magistro baigiamojo projekto tikslas

Baigiamojo projekto metu siekiama nustatyti kaip fasado plokštumos posvyrio kampas įtakoja galimo surinkti nuo paviršiaus lietaus vandens kiekį. Bandymais ir skaičiavimais įvertinti tokios sistemos efektyvumą, bei jos panaudojimo galimybes.

Magistro baigiamojo projekto uždaviniai

1. Išanalizuoti mokslinę literatūrą, straipsnius, kitus informacijos šaltinius.
2. Suprojektuoti ir pagaminti bandomąjį stendą.
3. Atlikti bandymus laboratorijoje ir ilgalaikį bandymą realiomis sąlygomis.
4. Įvertinti kaip plokštumos posvyrio kampas įtakoja surinkto vandens kiekį.
5. Remiantis rezultatais pritaikyti vandens surinkimo sistemą administracinės paskirties pastatui.

Magistro baigiamojo projekto tezės

1. Didinant fasadinės plokštumos posvyrio kampą vertikalės atžvilgiu surenkamo lietaus kiekis proporcingai didėja.
2. Pritaikius lietaus surinkimo sistemą galima sumažinti pastatuose suvartojamo geriamo vandens kiekį.

Magistro baigiamojo projekto mokslinis naujumas

Mokslinių darbų, apimančių nagrinėjamos problemos visumą nebuvo rasta. Daugybė mokslininkų tyrinėjo atskiras dedamąsias, lietaus lašų judėjimo trajektorijų priklausomybę nuo vėjo, lietaus poveikį pastato konstrukcijoms, išoriniams paviršiams ir pan. Tačiau nepavyko rasti darbų apimančių tyrimus nuo lietaus vandens surinkimo iki jo panaudojimo pastato vandens poreikiams patenkinti.

Magistro baigiamojo projekto praktinis pritaikomumas

Atlikus tyrimus siekiama nustatyti lietaus surinkimo sistemos efektyvumą. Remiantis juo galima prognozuoti planuojamo surinkti ir panaudoti buitiniams reikmėms vandens kiekį. Pritaikius šiuos sprendinius sumažinamas pastato geriamo vandens suvartojimas, tausojama vandens tiekimo infrastruktūra.

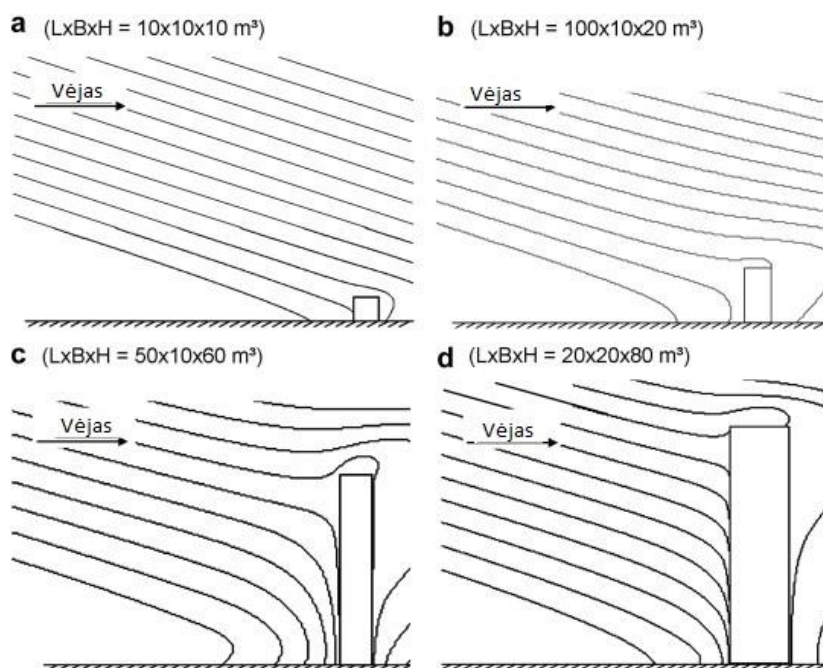
1. Literatūros analizė ir apžvalga

Mokslinėje literatūroje yra pateikiama nemažai straipsnių, susijusių su lietaus vandens tyrinėjimu. Pagrindiniai tiriamieji aspektai buvo lietaus vandens įtaka pastatų paviršiams, nutekėjimas, įgertis į juos. Taip pat randama tyrimų kaip vėjas įtakoja lašų pasiskirstymą pastato fasaduose. Tačiau mokslinių straipsnių, analizuojančių lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių ir jo panaudojimo galimybes šiuo metu nėra. Toliau pateikiami straipsniai ir literatūra, kuri gali padėti suvokti esminius lietaus lašų judėjimo principus ir juos pritaikyti šiame darbe.

1.1. Lietaus lašų judėjimo analizė

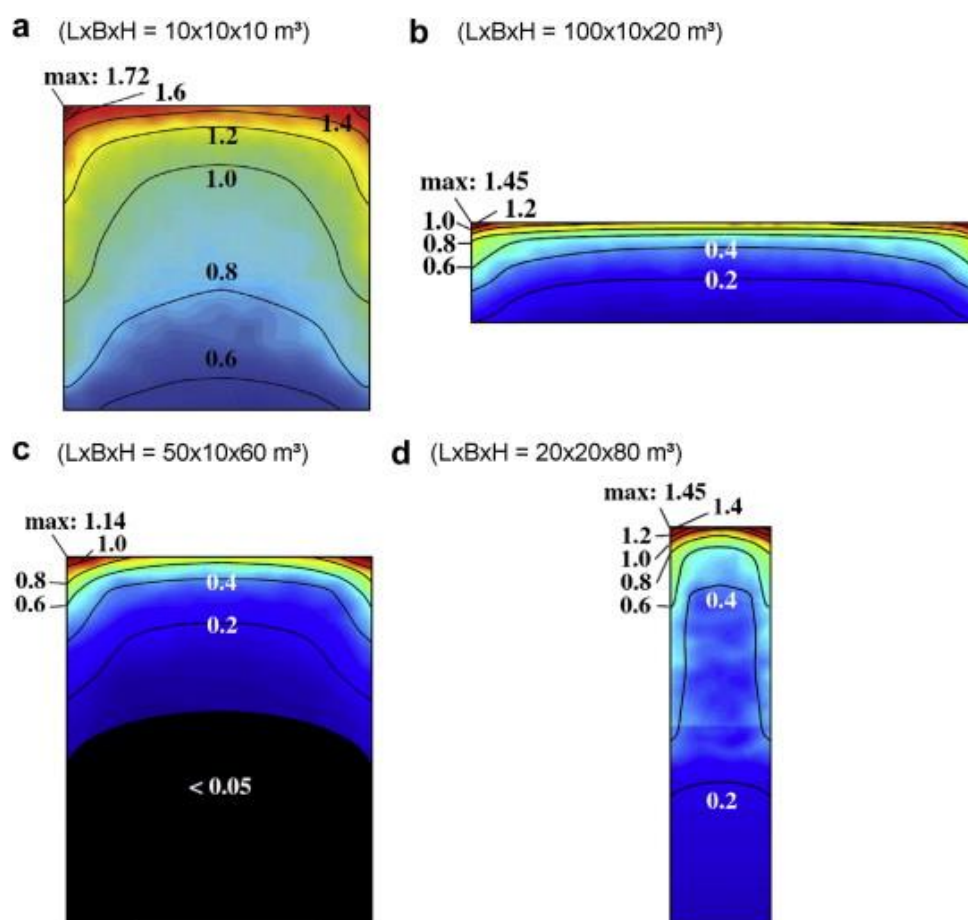
Lietaus lašai, veikiami gravitacijos jėgos krenta žemyn. Neveikiant aplinkos veiksniams jie kristų vertikaliai, tačiau dažniausiai lietus būna kartu su vėju. Kadangi lašai vidutiniškai yra 1-3 mm dydžio ir paslankūs erdvėje, vėjas jiems daro didelę įtaką. Nuo jo priklauso koku kampu ir greičiu lietaus lašai atsitreks į pastato fasadą. Kuo mažesni lietaus lašai, tuo labiau jie susilygina su vėjo kryptimi. Vėjo slėgio pasiskirstymą pastato paviršiuje aprašė mokslininkai B. Blocken, J. Carmeliet [1].

Siekiant ištirti į kurias pastato fasado dalis tenka daugiausiai vėjo nešamo lietaus lašų, mokslininkai modeliavo skirtingų proporcijų pastatus. Buvo nagrinėjami 4 skirtingų proporcijų pastatai ir vėjo slėgis į jų fasadus. 1.1 pav. pateikiamos vėjo (10 m/s) ir jo nešamų 1mm skersmens lietaus lašų trajektorijos susiduriant su skirtingų proporcijų pastatais.



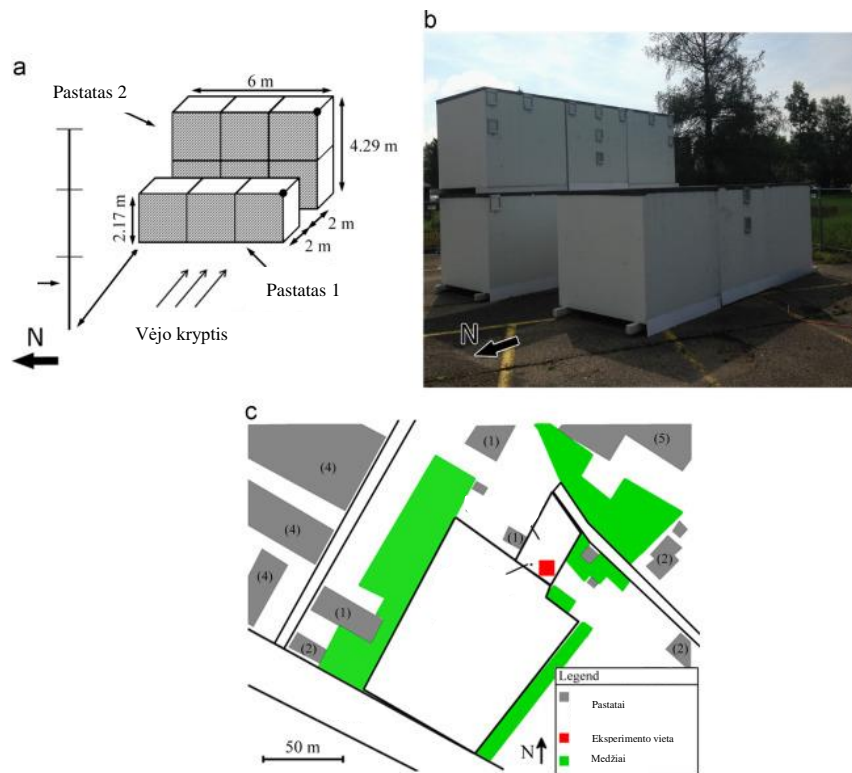
1.1 pav. Lietaus lašų (1mm) trajektorijos esant 10m/s vėjui. a-d - skirtingi pastatų dydžiai. (B. Blocken, J. Carmeliet, 2006) [1]

1.2 pav. pateikiami šio bandymo rezultatai, kuriais parodoma į kurias paviršiaus vietas patenka daugiausiai vėjo nešamo lietaus lašų prie anksčiau nurodytų sąlygų. Pastebima, kad žemesniuose pastatuose vėjas tolygiau pasiskirsto fasado plokštumoje, tačiau labiausiai veikia viršutinę dalį. Aukšti pastatai tampa didesne kliūtimi vėjo kelyje ir labiau iškreipia jo trajektoriją - kuo platesnis ir aukštesnis pastatas, tuo labiau veikiama fasado viršutinė dalis, vandens trenkimosi į apatinę pastato dalį tikimybė tampa labai maža dėl susidariusios turbulencijos. D variante, kuomet pastatas aukštas ir siauras, vėjas ant fasado pasiskirsto tolygiau, tačiau vis tiek išlieka tendencija, kad labiausiai veikiama viršutinė plokštumos dalis.



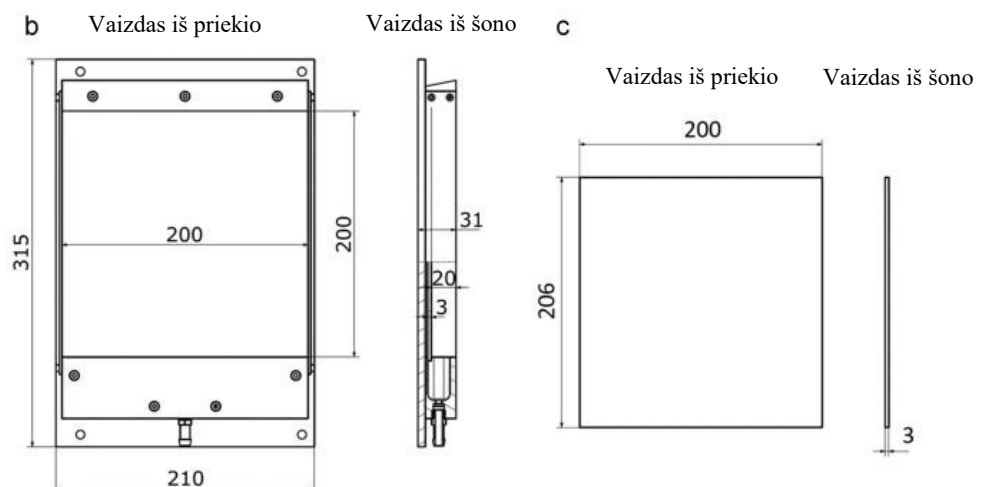
1.2 pav. Lietaus lašų pasiskirstymas ant skirtingų proporcijų fasadų, esančių prieš vėją. [1]

Naudojant simuliacijas nėra aišku kiek skaitiniai metodų rezultatai yra tikslūs, todėl Šveicarijoje mokslininkai atliko tyrimą [2], kurio tikslas buvo palyginti skaitiniais ir realiais bandymais gautus rezultatus. Patikrinus skaitinių metodų tikslumą, ateityje galima remtis šiais duomenimis ir juos pritaikyti nustatinėjant planuojamą surinkti vandens kiekį skirtingiems pastatams ar jų grupei.



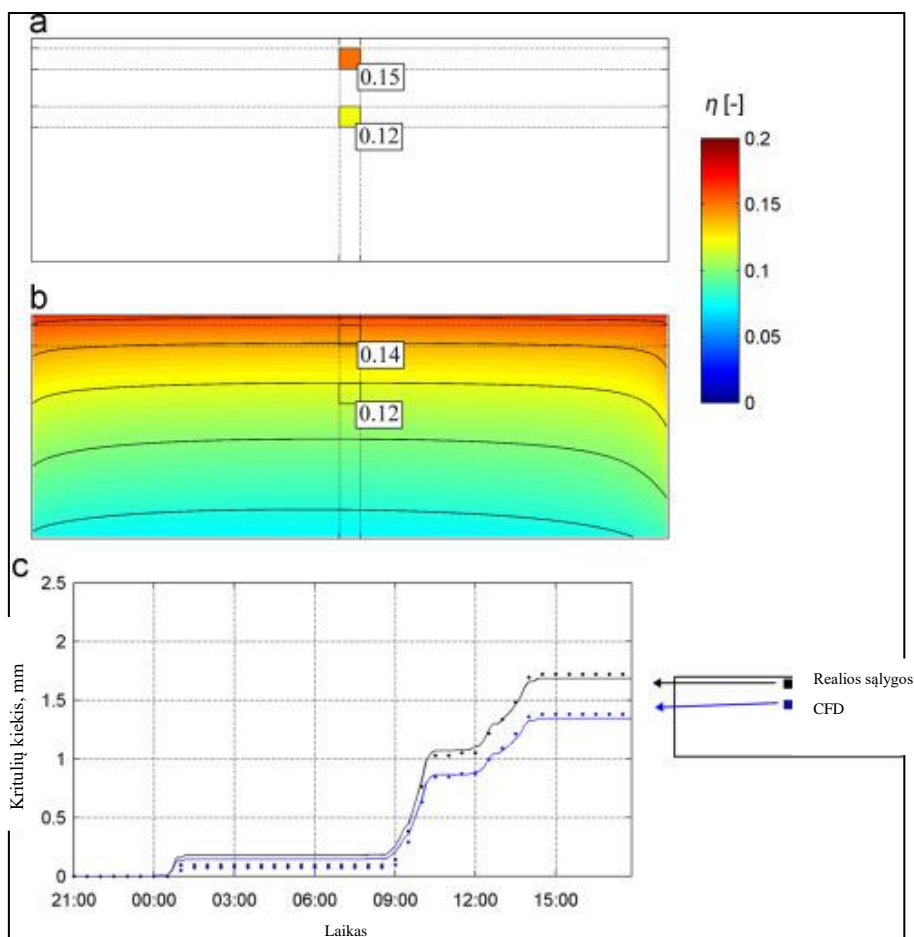
1.3 pav. (a) tiriamų pastatų geometrija. (b) pastatų nuotrauka. (c) teritorijos planas (A. Kubilay, D. Derome, B. Blocken, J. Carmeliet, 2015) [2].

1.3 pav. pateikiama pastatų schema ir jų orientacija pasaulio šalių atžvilgiu, pastatų matmenys ir atstumai, bei nuotrauka. Atliekant realius bandymus ir duomenų fiksavimą buvo matuojami ir kaupiami duomenys apie vėjo greitį, kryptį, oro temperatūrą ir kritulių kiekį. Visi šie duomenys buvo surenkami naudojant meteorologinę stotelę. Lietaus vandeniui surinkti, ant fasado buvo montuojamos specialios vandens gaudyklės, kurių matmenys yra 0,2 m x 0,2 m. Lietaus gaudyklėmis surinktas vanduo buvo nuvedamas į specialias talpas, kuriose matuojamas vandens lygis. 1.4 pav. pateikiamas schematiškas gaudyklių vaizdas iš priekio bei šono.



1.4 pav. Lietaus rinktuvų išmatavimai (A. Kubilay, D. Derome, B. Blocken, J. Carmeliet, 2015) [2].

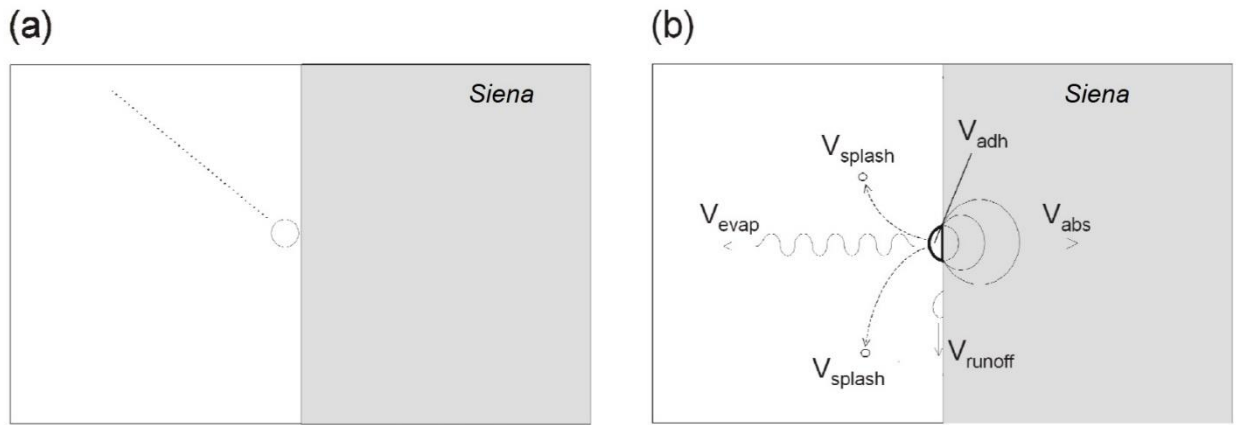
Vykdam bandymus realiomis sąlygomis, nuosekliai buvo modeliuojama tiriamoji aplinka ir pastatai, naudojant CFD programinę įrangą. Realaus bandymo metu meteorologine stotele gauti duomenys apie kritulių kiekį, vėjo kryptį ir greitį, buvo suvedami į modeliavimo programą. Skaičiavimai atlikti atviro kodo programa „OpenFOAM®“. Modeliuojant gauti rezultatai sulyginami su realių bandymų metu surinktu vandens kiekiu ir pateikiami 1.5 pav.



1.5 pav. (a) realiomis sąlygomis išmatuoti dydžiai (b) CFD rezultatai. (c) rezultatų palyginimas. (A. Kubilay, D. Derome, B. Blocken, J. Carmeliet, 2015) [2].

1.5 pav. a pateikiami realiomis sąlygomis atlikto bandymo metu išmatuoti dydžiai, 1.5 pav. b CFD skaitiniu metodu gauti duomenys, 1.5 pav. c esantis grafikas nurodo skirtumą tarp skaitinio ir praktinio bandymo rezultatų. Vidutinė apskaičiuota paklaida yra 6,9 %. Galima teigti, kad turint tikslus meteorologinius duomenis įmanoma gana tiksliai prognozuoti ant fasado patenkančio vėjo nešamo lietaus kiekį.

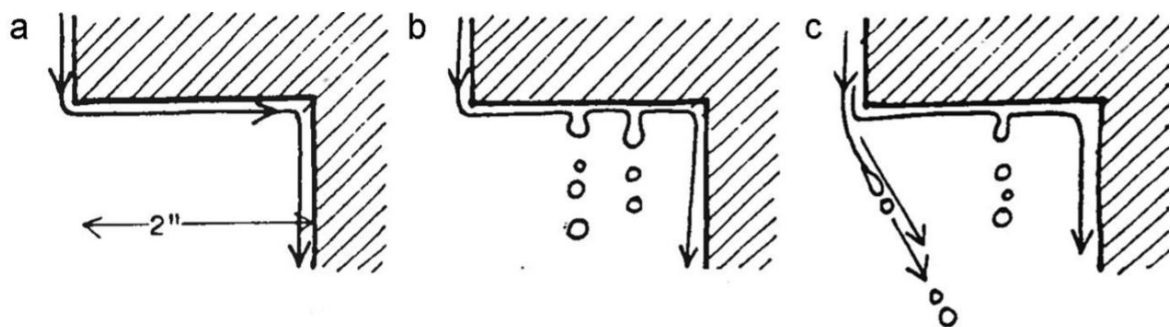
Vėjo veikiamo lietaus ir pastato fasado tarpusavio sąveiką aprašė mokslininkai B. Blocken, D. Derome, J. Carmeliet, pateikdami straipsnį apie lietaus vandens nutekėjimą pastato vertikaliuoju paviršiumi [3]. Tyrinėjant lašo susidūrimą su fasadu galima išskirti du momentus – lašo trajektoriją prieš susidūrimą (1.6 pav. a) ir susidūrimo momentu (1.6 pav. b).



1.6 pav. Lašo judėjimo trajektorija susidūrimo su siena momentu (Blocken, Derome, Carmeliet, 2013) [3].

Vėjo veikiamo lietaus intensyvumas yra bendras vandens kiekis, kuris patenka ant pastato paviršiaus. Patenkančio vandens kiekis priklauso nuo lašo dydžio, vėjo krypties, greičio ir kitų faktorių. Susidūrus su paviršiumi lašo dalis gali nutikšti, nubėgti paviršiumi, susigerti į medžiagą, prilipti prie sienos paviršiaus ir ten užsilaikyti arba išgaruoti.

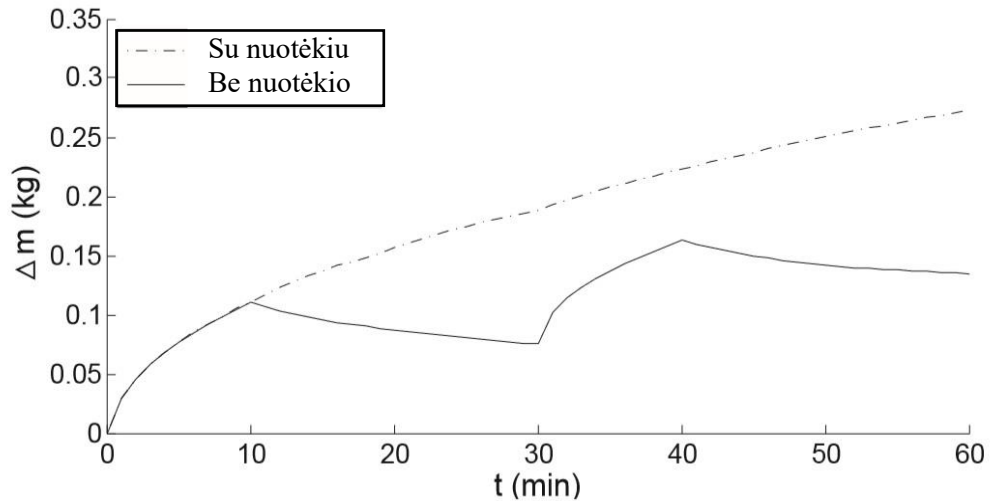
Kitame moksliniame straipsnyje [4] pateikiama tolimesnė analizė kaip paviršiumi nubėga vanduo (1.7 pav.)



1.7 pav. Lašų nutekėjimo pobūdis (Blocken, Derome, Carmeliet, 2013) [4].

1.7 paveiksle pateikiama iliustracija apie siena tekančio vandens prilipimą prie paviršiaus. A atveju, esant mažam tekėjimo srautui, susidariusi vandens plėvelė nesugeba įveikti paviršiaus įtempio ir lieka prikibusi prie paviršiaus. B atveju pateikiamas didesnio srauto tėkmės iliustracija, kuomet tekantis vanduo retkarčiais įveikia paviršiaus įtempius ir atitrūksta nuo horizontaliojo paviršiaus. C atveju, esant didesniam srautui, vandens plėvelės momentas yra pakankamai didelis, kad įveiktų paviršiaus įtempius prie krašto ir atitrūktų nuo paviršiaus, likusi plėvelės dalis praranda energijos kiekį ir lieka prilipusi prie paviršiaus.

Tolimesni tyrimai, parodantys kaip vanduo veikia konstrukcijas, buvo atlikti tų pačių mokslininkų [5]. Straipsnyje pateikiama informacija apie vandens įgertį į statybines medžiagas.

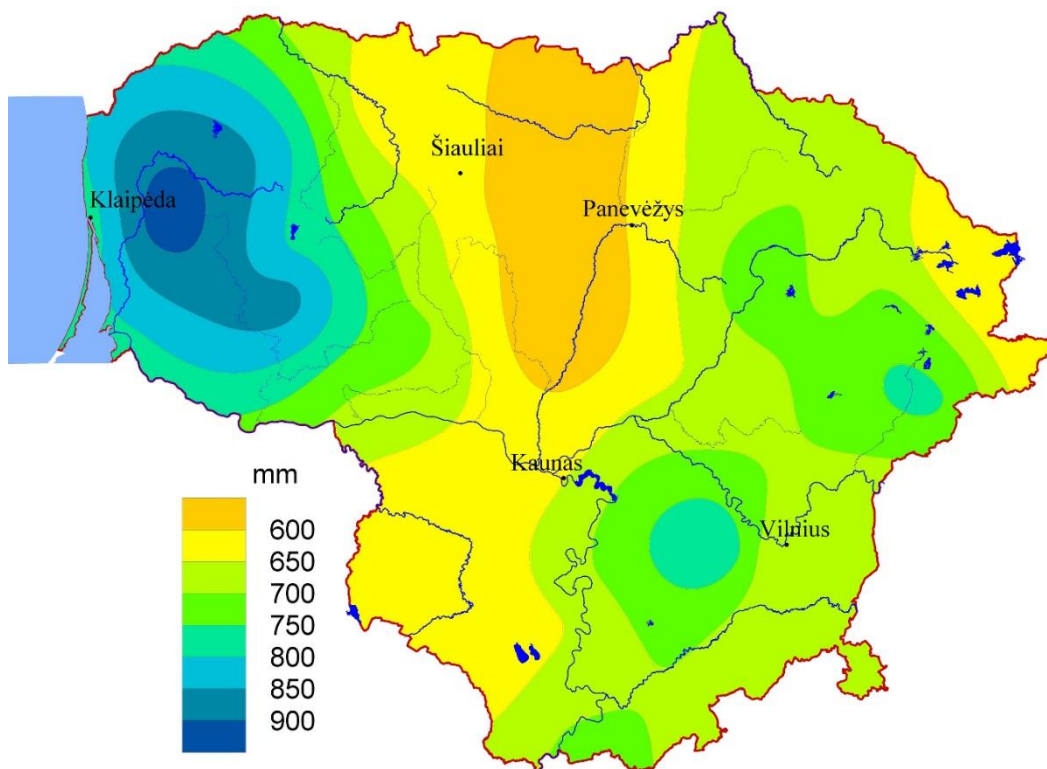


1.8 pav. Betono plokštės masės kitimas bandymo metu (Thijs Van den Brande, Bert Blocken, Staf Roels 2013) [5].

1.8 pav. pateikiamas grafikas kaip kinta betoninės plokštės masė imituojant du lietaus ciklus. Bandymo metu pastebėta, kad geros betono įgerties savybės lemia tai, kad paviršius greitai tampa drėgnas ir ant jo susiformuoja vandens plėvelė. Ši plėvelė pastoviai drėkina paviršių ir ženkliai įtakoja konstrukcijos svorį. Lyjant lietui tai turi mažai reikšmės, tačiau jam pasibaigus konstrukcija žymiai ilgiau išlieka drėgna. Džiūvimas prasideda tik visiškai nubėgus ar susigėrus vandeniui. Nevertinant susidariusio vandens sluoksnio paviršiaus džiūvimas prasidėtų iškart po lietaus pabaigos su nuotėkiu - 10 min, be nuotėkio - 40 min.

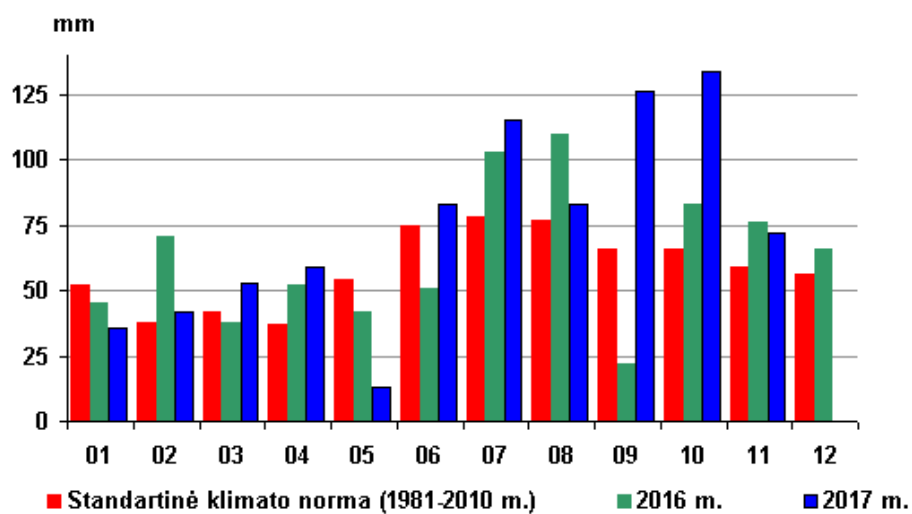
1.2. Meteorologiniai duomenys

Atliekant tyrimus, susijusius su krituliais, labai svarbu atlikti meteorologinių duomenų analizę, tam, kad būtų galima pagrįstai prognozuoti surenkamo lietaus kiekį. Remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenis atliekama planuojamos bandymų vietos kritulių analizė. Eksperimentinių bandymų planuojama vieta – Kauno miestas. 1.9 pav. pateikiamas vidutinis metinis kritulių kiekis milimetrais Lietuvoje [6].



1.9 pav. Vidutinis metinis kritulių kiekis Lietuvoje, mm.

1.10 pav. pateiktoje diagramoje matoma, kad Lietuvoje kritulių kiekis mažiausias yra žiemos ir pavasario sezonais, tačiau vasarą ir rudenį iškrenta daugiausiai kritulių – dėl gausaus trumpalaikio lietaus, vyraujančių škvallų, audrų kritulių kiekis siekia 125 mm. Tačiau stebėjimų duomenyse pastebima, kad spalio – lapkričio mėnesiais pasitaiko ekstremumų, kai per 12 val. iškrenta 50-65 mm kritulių.



1.10 pav. Vidutinis kritulių kiekis Lietuvoje 1981–2010, 2016 ir 2017 m., mm. [6]

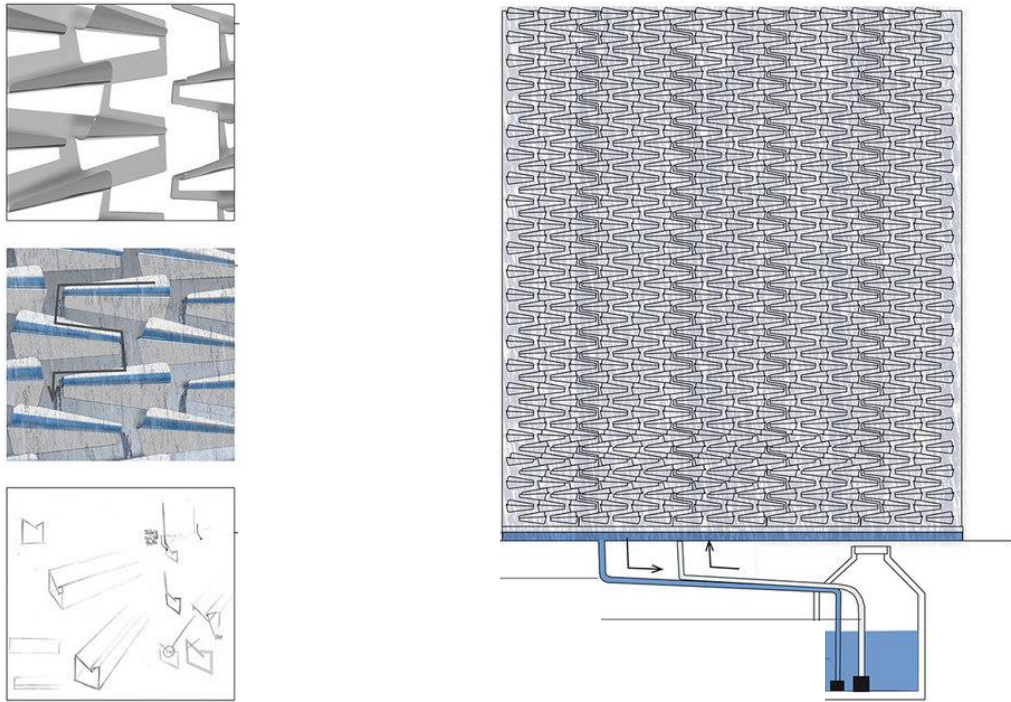
1.3. Architektūra

Nagrinėjant galimybę surinkti lietaus vandenį nuo fasadų labai svarbu atsižvelgti ne tik į konstrukcinę ir mokslinę pusę, tačiau būtina įvertinti ir architektūrinę dalį. Architektė Victoria Angelina Juliana Hammel pateikė idėjinį projektą [7], kuriuo siekiama sukurti žaismingą fasadą, kuris priverstų žmones susimąstyti apie vandens vartojimo pobūdžius bei įpročius. Idėjos perteikimui architektė pasirinko forma piltuvėlius primenančius vandens rinktuvus iš skaidrios medžiagos. Tokiais rinktuvais surinktas vanduo tekėdamas žemyn sukelia dideles emocijas ir puikiai perteikia architektės idėją (1.11 pav.)



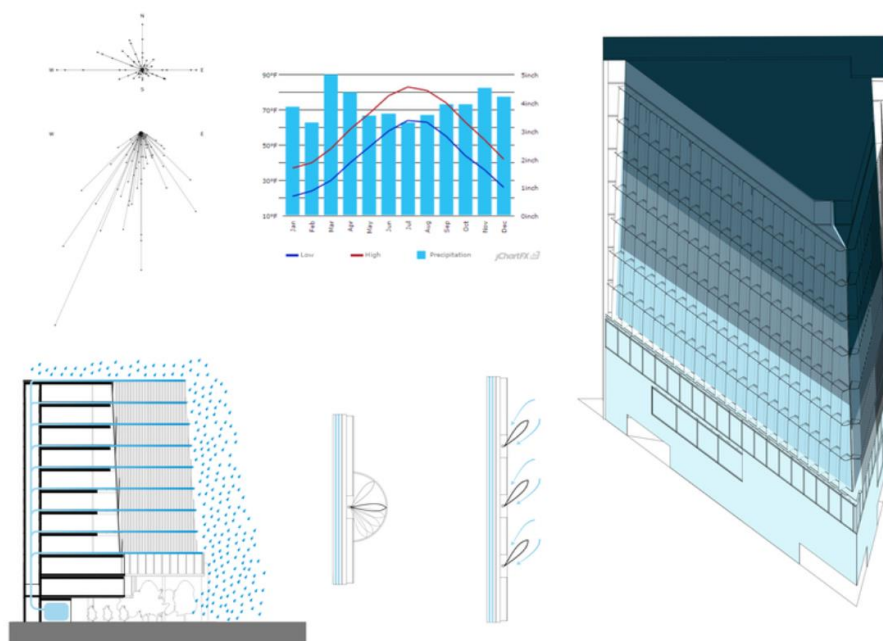
1.11 pav. Vandens gaudytuvai [7]

Tokios sistemos veikimo principas pagrįstas savitakiniu lietaus nubėgimu rinktuvais iš vieno į kitą, vis didėjančiu debitu. Prieš įtekant į rezervuarą vanduo yra išfiltruojamas ir ten kaupiamas. Atsiradus poreikiui, iš rezervuaro vanduo siurblių pagalba paskirstomas po pastatą. Surinktas kritulių vanduo gali būti naudojamas patalpų valymui, augalų laistymui, tualetų vandens bakelių pripildymui. Veikimo schema pateikiama 1.12 pav.



1.12 pav. „Rain facade“ veikimo schema [7]

Dar vienas atvejis pateikiamas architektūros studentų Nicholai Go, Leis Ho, Daejong Kim, Naniel Thompsom projekte. Tačiau tai irgi yra tik idėjos pristatymas, nepagrįstas bandymas ar tiksliais skaičiavimais. Šie architektai vandens surinkimui nuo vertikalių paviršių pasirinko dvigubo fasado konstrukciją su galimybe reguliuoti plokštumos kampą. Tokiu būdu lietaus vanduo patekęs pro pirmąjį sluoksnį, nutekinamas už jo esančia plokštuma į lietaus kaupimo talpas. Konstrukcija pateikiama 1.13 pav.



1.13 pav. Pastato su lietaus surinkimo sistema vizualizacija [8]

Atsižvelgiant į architektų kuriamus projektus, matoma, kad vandens surinkimo idėja nuo pastato fasadų yra aktuali problema, tačiau tai yra tik vizualizacijos lygio projektai, apskaičiuotų ir pagrįstų duomenų apie planuojamą surinkti vandens kiekį nepateikiama.

Žvelgiant į šiuolaikinę architektūrą buvo ieškoma fasadinės medžiagos, kurią būtų galima pritaikyti vandens surinkimui ir tuo pačiu tai būtų jau naudojama ir estetiškai patraukli medžiaga. Moderniojoje architektūroje tapo įprasta naudoti atviras erdves, pridengtas permatomais elementais. Dažnas pavyzdys – naudojami perforuoti, kirstai tempto metalo lakštai (1.14 pav.). Tokių sprendimų neretai pasitaiko ir Lietuvoje, tačiau tai naudojama tik kaip architektūrinis sprendinys.



1.14 pav. Fasadas su kirstai tempto metalo lakštais [9]

1.4. Literatūros analizės ir apžvalgos išvados

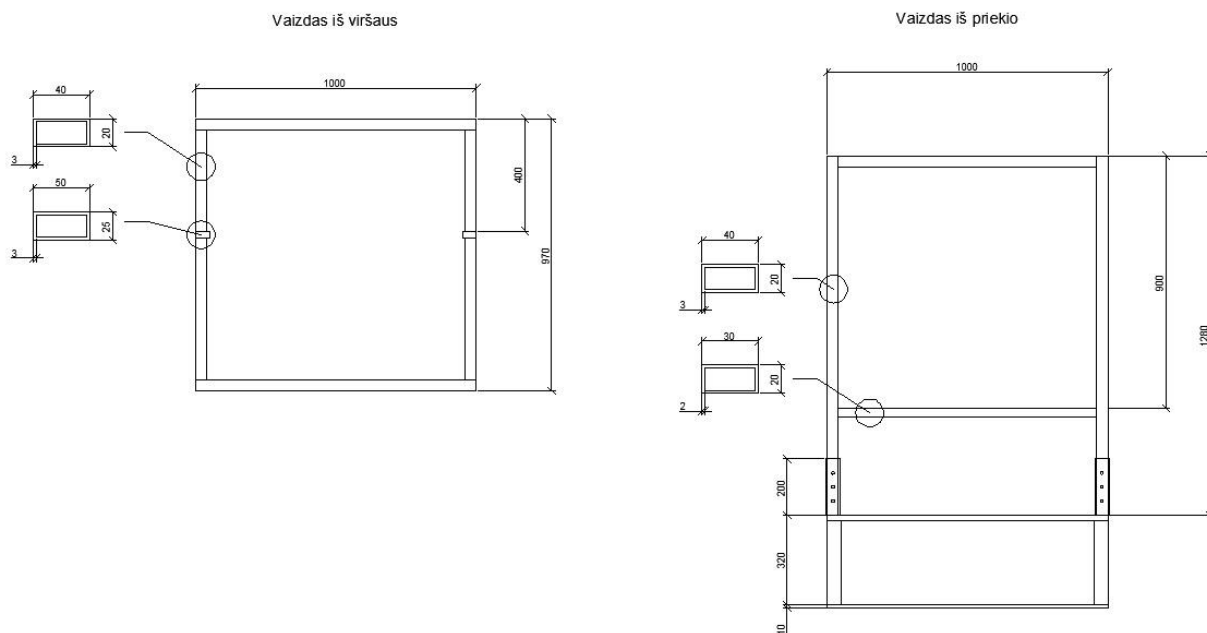
Atlikus literatūros analizę buvo rasta nemažai informacijos apie lietaus lašų judėjimo trajektorijų priklausomybę nuo vėjo krypties ir greičio, jų pasiskirstymą pastato fasado plokštumose. Taip pat plačiai išnagrinėta paviršiaus reakcija į vandens poveikį. Lietaus vanduo, kuris nenutyška nuo paviršiaus, o juo nubėga arba susigeria į jį, turi didelę įtaką plokštumai. Drėgname paviršiuje atsiranda rizika lietaus prasiskverbimui, šalčio įtakai, drėgnio druskos migracijai, spalvos kitimui ir pan. Taip pat įdrėkęs paviršius tampa žymiai sunkesnis ir sukuria didesnes apkrovas laikančioms konstrukcijoms.

Architektūrinių sprendinių apžvalga įrodė, kad vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių idėja jau yra kilusi ne vienam architektui, taip pat moderniosios architektūros pastatuose jau naudojamos fasadinės medžiagos, kurias galima pritaikyti lietaus vandens surinkimui nuo fasadų.

2. Tyrimo metodologija

2.1. Eksperimentinis stendas ir įranga

Bandymams atlikti ir duomenims rinkti pagal specialius poreikius suprojektuotas ir pagamintas tyrimų stendas. Jo pagrindinė paskirtis – matuoti surenkamo ir nutekėjusio paviršiumi vandens kiekį, bei šiuos duomenis kaupti. Bandymų stendas sudarytas iš dviejų pagrindinių dalių: mechaninės ir elektroninės.

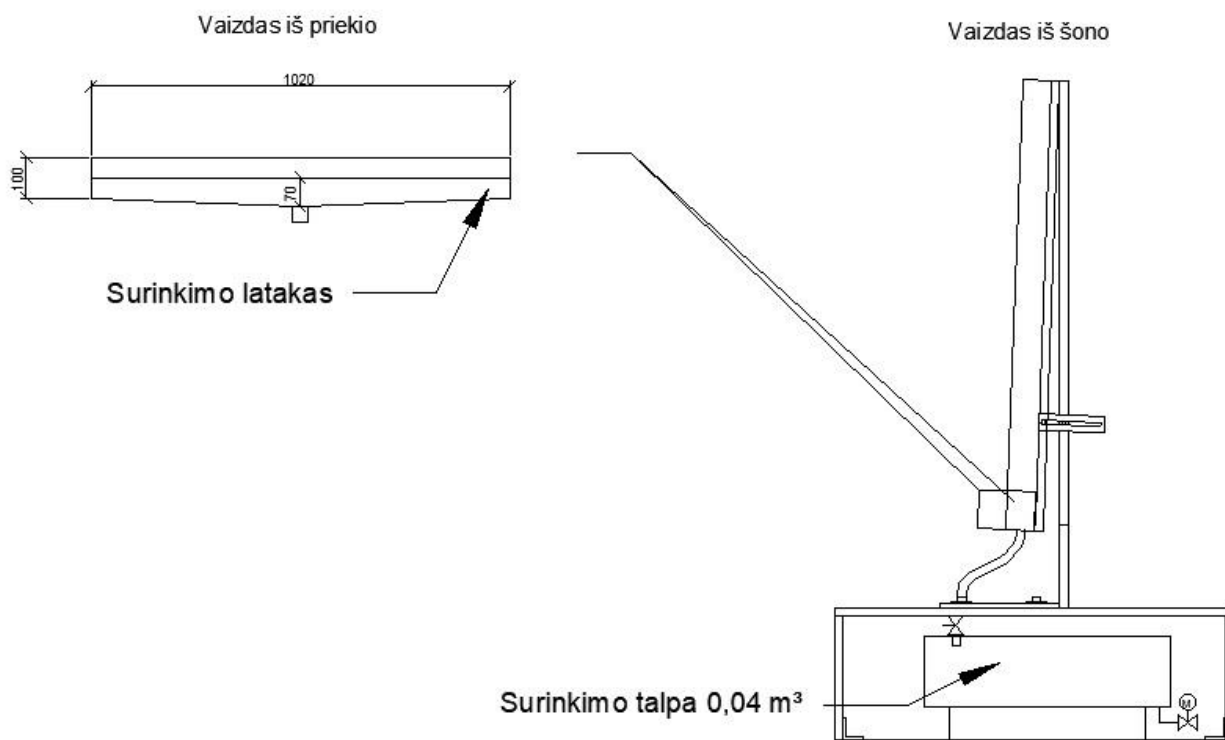


2.1 pav. Stendo rėmo brėžinys

Stendas susideda iš dviejų atskirų dalių, kurios tarpusavyje sujungiamos d10 varžtais su veržlėmis. Esant reikalui transportuoti ar sandėliuoti stendą, jos gali būti lengvai atskiriamos. Pagrindo rėmas suvirintas iš 40 mm x 20 mm stačiakampio skerspjūvio vamzdžių, prie jų vertikaliai privirintas 50mm x 25 mm vamzdis, į kurį įsimauna vertikalioji stendo dalis. Pagrindo išmatavimai 1 m x 0,97 m x 0,3 m (2.1 pav. vaizdas iš viršaus).

Pagrindo rėmas iš šonų ir viršaus yra pilnai uždengtas impregnuota ir dažyta orientuotų medžio drožlių plokštė, apsaugančia matavimo prietaisus nuo lietaus poveikio. Dėžė yra su nuimama dalimi, priėjimui prie įrangos. Apačia uždengta cemento drožlių plokštė, atsparia vandeniui ir atmosferos poveikiui. Visos jungtys yra užsandarintos hermetiku. Vertikalioji rėmo dalis taipogi suvirinta iš 40 mm x 20 mm stačiakampio skerspjūvio vamzdžių, išmatavimai 1 m x 1,28 m (2.1 pav. vaizdas iš priekio). Prie šio rėmo viršuje lankstais pritvirtinta lietaus surinkimo dėžė, imituojanti realų pastato fasadą. Surinkimo dėžė, kurios gylis 6 cm pagaminta iš cemento drožlių plokštės, padengta dažais,

tam kad eliminuoti vandens įgertį į paviršių. Kadangi vienas iš tyrimo dalies objektų yra ištirti surenkamo vandens kiekio kitimą nuo plokštumos posvyrio kampo, surinkimo dėžės kampas vertikalės atžvilgiu gali būti keičiamas lankstaus įtvirtinimo viršuje ir fiksavimo sistemos apačioje dėka. Kampas kitimas numatytas $0^\circ - 7,5^\circ$ ribose (2.2 pav.).

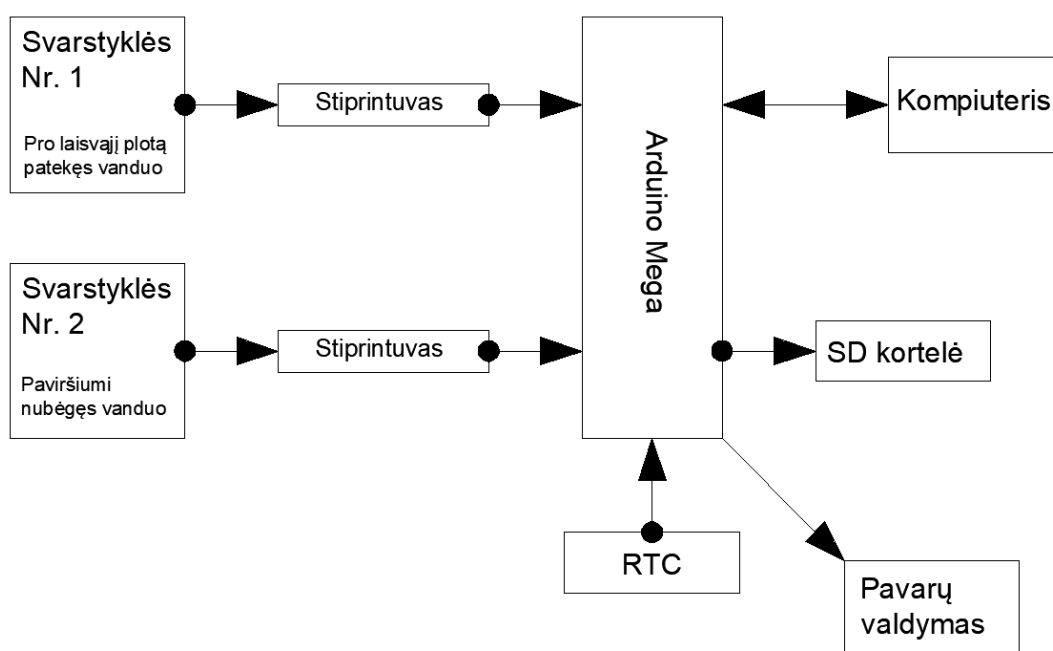


2.2 pav. Stendo rėmo brėžinys

Prie surinkimo dėžės tvirtinama tiriamoji plokštuma ir du lietaus surinkimo latakai (2.2 pav. vaizdas iš priekio). Surinkimo latakai pagaminti iš cinkuotos skardos lakštų, tarpusavyje sujungiamų cinkuotomis kniedėmis. Visos vidinės latakų jungčių siūlės padengiamos sandarinimo hermetiku. Latake yra suformuotas nuolydis į centrą, kuriame yra $d20$ išbėgimo anga. Vienas iš latakų skirtas surinkto vandens surinkimui ir nuvedimui į rezervuarą, kitas – nutiškusio nuo paviršiaus ir nepatekusio į surinkimo sistemą vandens nuvedimui į rezervuarą.

Pro tiriamos plokštumos laisvąjį plotą patekęs vanduo nubėga surinkimo dėžės paviršiumi į lataką, kuris $d20$ lanksčia žarna sujungtas su $0,04 \text{ m}^3$ tūrio talpa. Vanduo nutekėjęs tiriamą plokštumą yra nuvedamas į kitą lataką, kuris taipogi sujungtas su $0,04 \text{ m}^3$ tūrio talpa. Įbėgimo į talpą uždarymui sumontuoti $d15$ rutuliniai uždarymo ventiliai, išleidimui iš talpos – kampinis termostatinis ventilis, prie kurio montuojama elektromechaninė pavarą. Pavaros pagalba galima nuotoliniu būdu ištuštinti talpas.

Elektroninė stendo dalis susideda iš dviejų svarstyklių ir pagrindinio valdymo bloko. Šis blokas valdo visų prijungtų komponentų procesus, kaupia duomenis, USB jungtimi juos gali perduoti kompiuteriui. Valdymo blokui naudojamas atvirojo kodo mikrovaldiklis „Arduino“, su „Mega“ valdiklio versija, kurioje yra 16 MHz procesorius, 256 KB atminties bei 54 įvesties ir išvesties lizdai. Laboratorinių bandymu metu sistema užmaitinama ir duomenys tiesiai perduodami į kompiuterį per USB jungtį. Bandymų realiomis sąlygomis metu mikrovaldikliui įtampa paduodama iš elektros tinklo per įtampos keitiklį, analogiškai įtampa tiekama ventilių atidarymo pavaroms, o duomenys kaupiami atminties kortelėje.



2.3 pav. Pagrindinio valdymo bloko principinė schema

Surinkto ir nutekėjusio tiriamos plokštės paviršiumi vandens kiekio fiksavimui naudojamos dvi svarstyklės su išcentrinės apkrovos davikliais, kurie yra prijungiami į pagrindinį valdymo bloką. Prie bloko yra pajungta ir laiko sekimo plokštė, kuri fiksuoja svarstyklių duomenis sekundiniu intervalu.

Tam, kad sumažinti svarstyklėms tenkančias apkrovas ir turėti tikslesnius rezultatus suprogramuojamas periodinis talpų ištuštinimas. Sistema suprogramuota taip, kad artėjant prie maksimalaus talpų užpildymo atidarytų išleidimo ventilius ir per laboratorijoje nustatytą vandens išbėgimo iš talpų laiką jie nebūtų uždaromi. Praėjus nustatytam laikui, per kurį vanduo pasišalina iš talpų, ventiliai vėl uždaromi ir toliau kaupiamas vanduo.

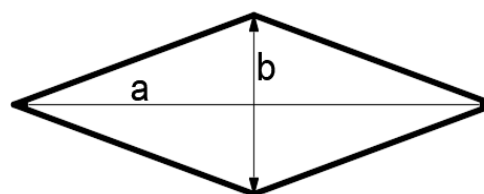
Pastovi apkrova svarstyklėms, susidariusi nuo surinkto vandens kiekio gali turėti įtakos tolimesnių duomenų tikslumui ir pačių svarstyklių paklaidai, siekiant to išvengti numatytas periodinis savaiminis talpų ištuštinimas. Jeigu svarstyklės tam tikrą laiko tarpą nefiksuoja didėjančios apkrovos, tai reiškia,

kad tuo metu nelyja ir nėra renkami duomenys, valdymo blokas automatiškai atidaro vandens išleidimo ventilius, vanduo pašalinamas iš talpų.

Yra tikimybė, kad esant ypatingai stipriam arba pastoviai intensyviai lietai gali nespėti atsidaryti išleidimo ventiliai (trukmė iki pilno atsidarymo – 3min.) arba ištekančio vandens kiekis bus didesnis, negu ištekančio. Siekiant išvengti įrangos elektroninės dalies užpylimo numatytas atsarginis savaiminis persipylimas. Talpų viršutinėse dalyse įmontuota papildoma vandens nuvedimo žarna, kuria perteklinis vanduo gali būti pašalinamas iš vandens surinkimo rezervuarų.

Tiriamas fasadinis elementas pasirinktas atsižvelgus į vyraujančias tendencijas moderniojoje architektūroje. Kirstai tempto plieno lakštai yra naudojami pastatų fasadams kaip elementas arba fasado visuma, taip pat gali būti naudojami techniniams aukštams uždengti. Naudojant tokias medžiagas galima integruoti lietaus surinkimo nuo fasadų sistemas nekeičiant pastato architektūrinės vizijos. Taip pat buvo atlikti tyrimai [10], kurių metu buvo siekiama išsiaiškinti kokios perforacijos ir tipo skarda geriausiai tinkama vandens surinkimui. Iš tyrimo pateiktų rezultatų matoma, kad kirstai tempto plieno lakštų efektyvumas 10% didesnis, lyginant su įvairios perforacijos skarda.

Tiriamo lakšto pagrindiniai duomenys pateikiami 2.1 lentelėje.



2.4 pav. Kirstai tempto plieno lakšto akis

2.1 lentelė. Tiriamosios plokštės duomenys

Skylės išmatavimai	Plokštės plotas, m ²	Skylių plotas, m ²	Skylių plotas, %
a=100 mm, b=34 mm	1	0,659	65,9

Lietaus lašų imitavimui laboratorinėmis sąlygomis naudojamas vandens purkštas su kintamu išpurškimo debitu bei srovės tipu. Vandens purkštas laikiklių pagalba primontuojamas prie reguliuojamo aukščio bei kampo trikojo laikiklio. Naudojant tokį fiksavimo būdą purkštas išlieka toje

pačioje pozicijoje viso bandymo metu, taip pat lengvai galima keisti lietaus kritimo į plokštumą kampą.

Vanduo tiekiamas iš centralizuoto miesto vandentiekio tinklo, prie purkšto prijungiamas d19 lanksčia žarna. Vandens purškimo galvos fiksavimo mazgas pateikiamas 2.5 pav.



2.5 pav. Vandens purkšto tvirtinimo mazgas

Bandymų realiomis sąlygomis metu labai svarbu fiksuoti ir kaupti tikslus faktinius kritulių kiekius, vėjo greitį ir jo kryptį laiko atžvilgiu. Tokių duomenų kaupimui netoli bandomojo stendo sumontuojama meteorologinė stotelė, fiksuojanti visus išvardintus parametrus. Naudojama Davis Vantage Pro 2 duomenų fiksavimo stotelė su išoriniu duomenų kaupikliu. Kadangi stendo plokštumoje surinkto lietaus vandens kiekį matuojanti įranga turi laiko fiksacijos funkciją, turint meteorologinės stotelės duomenis galima išvesti priklausomybę, parodančią kaip kinta surinkto vandens kiekis keičiantis kritulių kiekiui, vėjo greičiui ir kryptims.

2.2. Eksperimentų eiga

Siekiant ištirti surenkamo vandens kiekio galimybes laboratorinėmis ir realiomis sąlygomis bandymai suskirstyti į du etapus. Pirmoji dalis susideda iš laboratorinių bandymų ciklo nustatant efektyviausią tiriamos plokštumos posvyrio kampą ir duomenų kaupimo, bei sistemos automatinio valdymo stebėjimų. Antrajame etape realiomis sąlygomis stendas sumontuojamas ant pastato, esančio Studentų g. 54, Kaunas, stogo. Tiriant lietaus vandens surinkimo galimybes bus naudojamas efektyviausias posvyrio kampas, kuris randamas laboratoriniais bandymais. Ilgalaikių bandymu metu

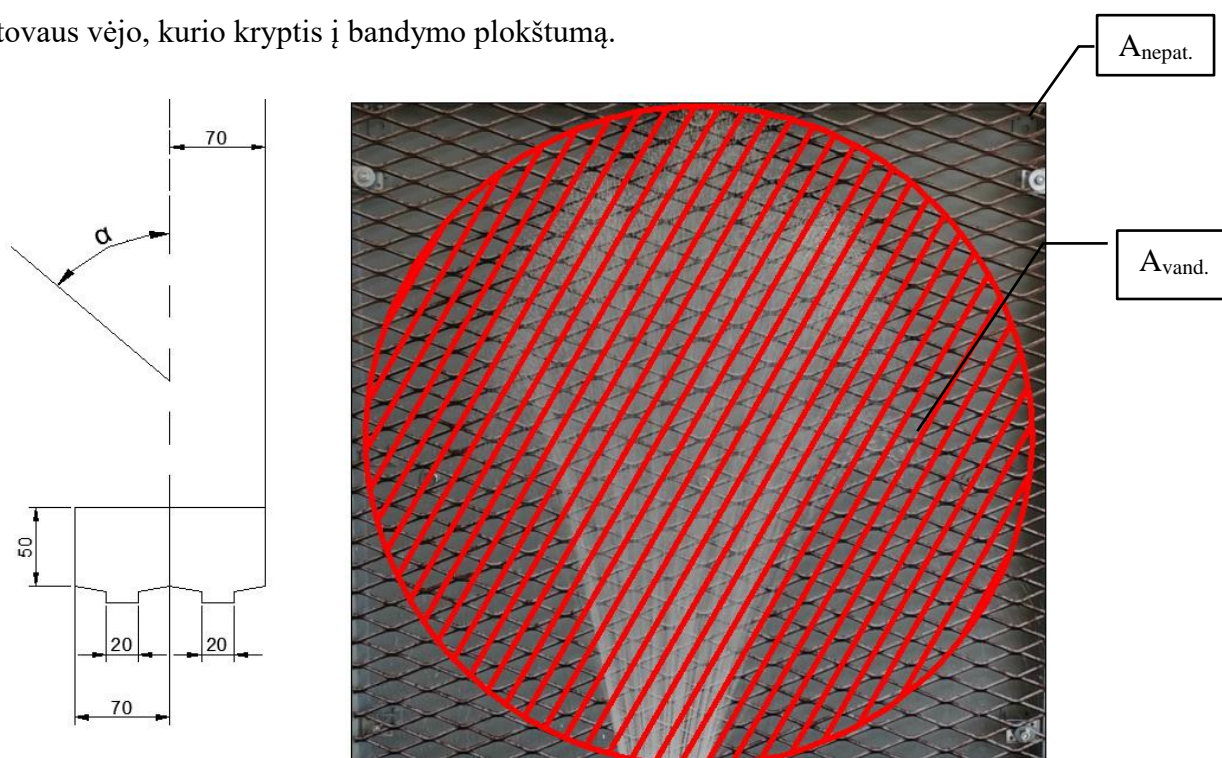
sistema renka ir kaupia duomenis, bei valdo išleidimo vožtuvus automatiškai, pagal anksčiau aprašytą algoritmą.

2.2.1. Laboratorinis bandymas Nr. 1

Laboratorinio bandymo Nr. 1 tikslas – plokštumos posvyrio kampo ir nuo jo kintančio surenkamo lietaus kiekio priklausomybė.

Bandymai buvo atliekami uždaroje patalpoje, neveikiamoje išorinių atmosferinių poveikių, tokių kaip vėjas, lietus. Patalpos temperatūra bandymu metu 20°C. Stendas pastatomas prie vandens surinkimo latako, įrengto patalpoje. Nuo jo 95 cm atstumu pastatomas ir sureguliuojamas vandens purkštas taip, kad vandens lašai į plokštumą atsitrenktų 50°-65° kampu (2.6 pav. α). Dėl didelės lašų sklaidos atsimušimo kampo diapazonas yra sąlyginai nemažas, tačiau daroma prielaida, kad tai didelės įtakos tyrimui neturės.

Siekiant išlaikyti vienodas sąlygas ir imituojamo lietaus intensyvumą, buvo nustatyta viena purkšto padėties pozicija, kurioje visas vandens kiekis patenka į tiriamą plokštumą. Atidaromas arba uždaromas tik vandens tiekimo ventilis, prie kurio prijungta vandens tiekimo žarna, tuo metu purkšto reguliuojamasis ventilis paliekamas fiksuotoje pozicijoje. Tokiu būdu imituojamas lietus prie pastovaus vėjo, kurio kryptis į bandymo plokštumą.



2.6 pav. Vandens lašo kritimo kampas, pasiskirstymas plokštumoje

Siekiant surinkti duomenis, kiek vandens patenka pro laisvąjį plokštės plotą, kiek juo nuteka ir nutyška, visas išpurkštas vanduo turi atsitrenkti į plokštumą (2.6 pav. $A_{vand.}$). Naudojant AutoCAD programinę įrangą iš nuotraukos apskaičiuojamas paviršiaus plotas, ant kurio patenka vandens lašai.

Žinoma, kad tiriamojo paviršiaus plotas yra 1 m^2 , programinės įrangos pagalba nustatyta, kad A_{vand} yra lygus $0,76 \text{ m}^2$, taigi plotas $A_{\text{nepat.}}$, ant kurio nepatenka vandens lašai yra lygus $0,24 \text{ m}^2$.

Iš pradžių atliekamas bandymas kiek vandens prateka pro purkštą per tam tikrą laiką. Vandens debitas nustatomas ir apskaičiuojamas purškiant vandenį į talpą ir matuojant jo masę. Bandymo metu vanduo buvo purškiamas 7,68 s. Tuomet talpa su vandeniu dedama ant svarstyklių ir užfiksuojami rodmenys, vėliau vanduo iš talpos išpilamas ir pasveriamas tuščia talpa. Iš vandens su talpa masės atėmus talpos masę gaunamas vandens kiekis (g), išpurkštas per bandymo laikotarpį. Duomenys pateikiami 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Ištekancio vandens kiekio skaičiavimas

Pavadinimas	Svoris	Mato vnt.
Talpa su vandeniu	1402	g
Talpa	532	g
Laikas	7,68	s
Vandens masė	870	g
Kiekis per laiką	113,28	g/s
Kiekis per laiką	0,113	l/s

Laboratorijoje buvo atliekami keturi bandymai su visiškai vertikaliu paviršiumi, kurių trukmė siekė nuo 1 min iki 3 min 30 s. Taip buvo išbandomas sistemos veikimas prie skirtingų vandens kiekių ir tikrinamas ryšys tarp visų atliktų bandymų. Pirmajame etape vanduo iš talpų buvo išleidžiamas rankiniu būdu, po kiekvieno bandymo talpų išleidimo ventiliai atidaromi, talpos ištuštinamos ir perkraunama sistema.

Įsitikinus, kad duomenų fiksavimas ir kaupimas vyksta tiksliai ir be nuokrypių toliau tirama plokštumos posvyrio kampo įtaka surenkamo vandens kiekiui bei prijungiamas automatinis vandens išleidimas. Tyrimų metu nustatytas laikas, per kurį uždarymo vožtuvo pavara pilnai atsidaro ir per kiek laiko vanduo išbėga iš talpos, šie duomenys įvesti į valdymo bloką ir toliau bandymai atliekami automatizuotai, tam kad įsitikinti, jog sistema ilgalaikio realių sąlygų bandymo metu veiks patikimai.

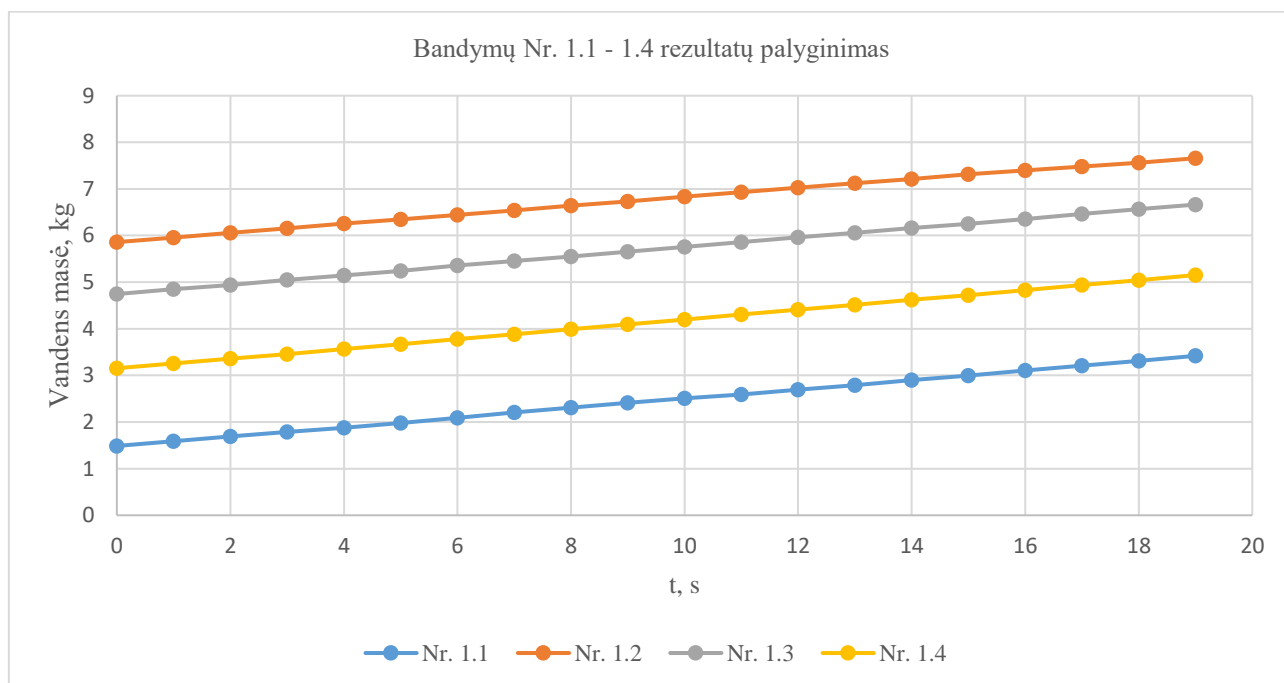
Atliekami bandymai nustačius plokštumą $2,5^\circ$, vėliau $7,5^\circ$ kampu. Visų tyrimų metu imituojamo vėjo nešamo lietaus debitas, kritimo kampas ir kitos sąlygos išlieka tokios pačios. Laboratorinių bandymu metu duomenys buvo fiksuojami sekundės intervalu, perkeliama į kompiuterį ir išsaugomi Microsoft Excel formatu. Gauti duomenys panaudoti sistemos efektyvumui apskaičiuoti ir įvertinti.

Rezultatai

Eksperimentinių bandymų metu stendo pagalba buvo gauti duomenys apie surinkto ir nutekėjusio paviršiumi vandens masę, apskaičiuotas į bandymo plotą purkštas vandens kiekis litrais per sekundę. Atliekama surinktų duomenų analizė, kurios tikslas apskaičiuoti surinkto vandens, nutekėjusio paviršiumi ir nuo jo nutiškusio vandens kiekį (kg), kuomet žinoma kiek vandens buvo išpurkšta ant plokštumos. Remiantis šiais duomenimis apskaičiuojamas vandens surinkimo sistemos efektyvumas, išreikštas procentais (%).

Duomenys buvo renkami kiekvieną sekundę nuo tiekiamo vandens ventilio atidarymo iki jo uždarymo, tačiau dėl oro burbulų žarnoje vandens tiekimas į purkštą nebuvo stabilus, bandymo pabaigoje uždarant vandens tiekimo ventilių vandens srovė mažėja kol išbėga žarnoje esantis vanduo. Šie veiksniai įtakoja vandens tiekimo stabilumą ant bandomosios plokštumos, todėl iš kiekvieno bandymo surinktų duomenų nevertinamas momentas iki kol vanduo buvo tiekiamas stabiliai. Kiekvienam eksperimentui nevertinamų duomenų eilučių skaičius parenkamas individualiai.

Susisteminius pirmųjų keturių bandymų su vertikaliu paviršiumi duomenis, matome, kad duomenų kitimas yra nuoseklus ir visų keturių bandymų metu surenkamo vandens kiekis tolygiai didėjo (2.7 pav.) Todėl daroma išvada, kad bandomasis stendas funkcionuoja tinkamai ir surinktų duomenų patikimumas yra didelis.



2.7 pav. Surinkto lietaus vandens masės kitimas skirtingų bandymų metu

Kadangi yra žinomas ant plokštumos krentančio vandens kiekis, galima nustatyti kiek vandens nuo jos atšoko ir nutiško, nepatekdamas nei į surenkamo vandens, nei į paviršiumi nubėgusio vandens talpą.

Visi gauti duomenys buvo analizuojami kiekvienam bandymui kaip visuma, lyginant juos su periodiniais 10 s intervalais. Intervalai buvo parenkami bandymo pradžioje, nusistovėjus vandens tėkmei, atsitiktiniu būdu bandymo eigoje, bei bandymo pabaigoje, prieš vandens tiekimo ventilio uždarymą. Tokiu būdu patvirtinama, kad gautos reikšmės yra nuoseklios viso eksperimento metu. 2.3 lentelėje pateikiama pirmųjų keturių bandymų metu surinktų duomenų suvestinė. Pateikiamos vidutinės surinkto, nutekėjusio ir nutiškusio vandens reikšmės. Skirtumas tarp surinkto vandens didžiausios ir mažiausios reikšmių vos 4,02 %.

2.3 lentelė. Nr. 1.1-1.4 bandymų suvestinė

Pavadinimas	Vidutinė reikšmė	Mato vnt.
Bandymo trukmė:	156,25	s
Surinkto vandens kiekis:	67,23	%
Nutekėjusio vandens kiekis:	21,86	%
Viso išpurkšto vandens kiekis:	100,00	%
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	89,09	%
Atšokusio vandens kiekis:	10,91	%

Siekiant išsiaiškinti posvyrio kampo įtaką surenkamo vandens kiekiui, minėtais metodais analizuojami informacija surinkta atliekant bandymus, kuomet plokštumos posvyrio kampas yra 2,5° ir 7,5°. Gautos reikšmės pateikiamos 2.4 lentelėje ir palyginamos tarpusavyje.

2.4 lentelė. Nr. 1.5-1.6 bandymų suvestinė

Pavadinimas	Reikšmė	Mato vnt.
Posvyrio kampas 2,5°		
Bandymo trukmė:	168	s
Surinkto vandens kiekis:	71,58	%
Nutekėjusio vandens kiekis:	20,88	%
Viso išpurkšto vandens kiekis:	100	%
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	92,44	%
Atšokusio vandens kiekis:	7,54	%
Posvyrio kampas 7,5°		
Bandymo trukmė:	147	s
Surinkto vandens kiekis:	79,72	%
Nutekėjusio vandens kiekis:	14,98	%
Viso išpurkšto vandens kiekis:	100	%
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	94,70	%
Atšokusio vandens kiekis:	5,30	%

Atsižvelgiant į gautus rezultatus matoma, kad didėjant fasadinės plokštės posvyrio kampui didėja ir surenkamo vandens kiekis, kuomet nutekančio paviršiumi ir nuo jo nutyškančio vandens kiekiai

proporcingai mažėja. Todėl galima daryti išvadą, kad posvyrio kampas turi akivaizdžią įtaką surenkamam vandeniui ir didinant jį galima padidinti nuo fasado surenkamo lietaus vandens kiekį.

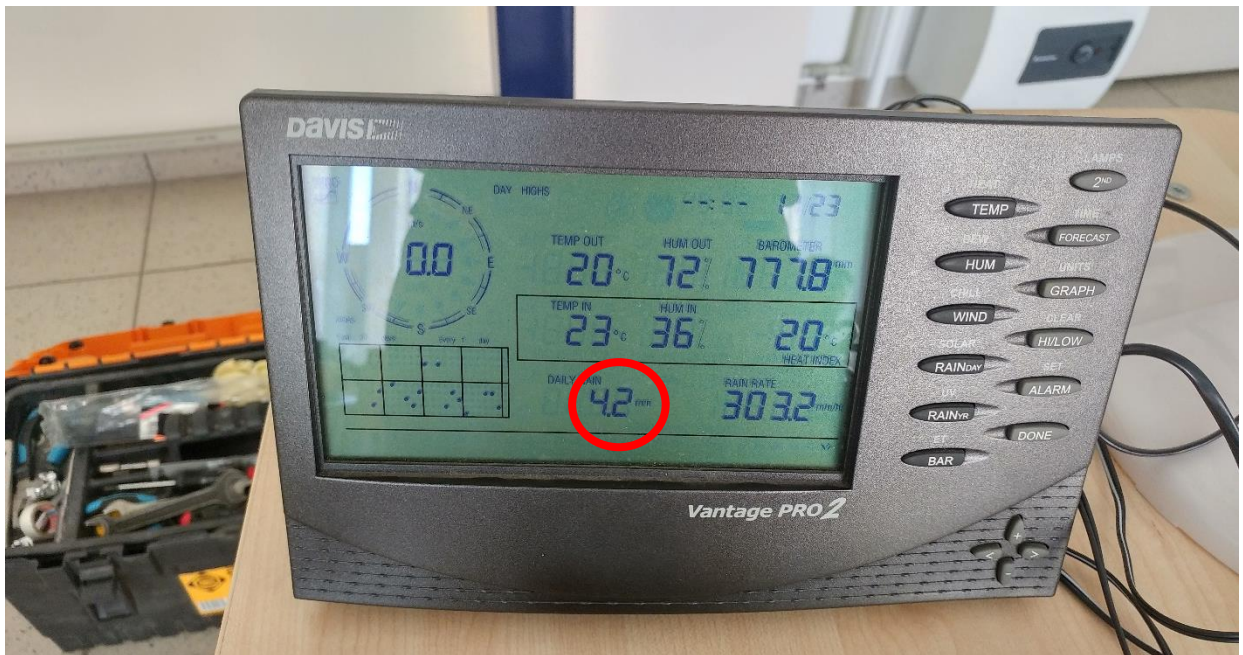
2.2.2. Laboratorinis bandymas Nr. 2

Laboratorinio bandymo Nr. 2 metu siekiama imituoti realias sąlygas ir ištirti galimo surinkti vandens kiekio priklausomybę nuo kritulių kiekio. Remiantis Laboratorinio bandymo Nr. 1 rezultatais, pateiktais 2.4 lentelėje nustatyta, kad efektyviausiai lietaus vanduo būtų surenkamas, kuomet plokštumos posvyrio kampas yra $7,5^\circ$. Tiriant priklausomybę nuo kritulių kiekio, bandymo eiga išlieka tokia pati kaip ir bandymo Nr. 1, tačiau vandens purkštas nustatomas taip, kad imituojamas lietus kristų ant viso tiriamos plokštumos ploto (2.8 pav.).



2.8 pav. Bandomasis standas su meteorologine stotele

Kritulių kritimo zonoje sumontuojamas meteorologinės stotelės duomenų rinktuvas, ant kurio patenka toks pats vandens kiekis kaip ir ant bandomojo stendo. Prieš bandymą stotelės monitorius įjungiamas ir nustatoma atvaizdavimo funkcija „Daily rain“, ši reikšmė yra per bandymo laikotarpį iškritusio vandens kiekis milimetrais (2.9.).



2.9 pav. Meteorologinės stotelės pateikiami duomenys

Kiekvieno bandymo pabaigoje pateikti duomenys užsirašomi kartu su bandymo numeriu. Tuomet stotelė išjungžiama ir vėl įjungžiama, taip atstatomi pradiniai duomenys ir sekančio bandymo metu duomenų fiksavimas pradedamas nuo nulio reikšmės. Bandymo metu pro tiriamos plokštės laisvą plotą patekusio ir paviršiumi nutekėjusio vandens masė fiksuojama svarstyklėmis, kurių duomenys išsaugomi Microsoft Excel darbinėje aplinkoje.

Rezultatai

Nurodytomis sąlygomis atlikti 3 bandymai, kurių metu gauti duomenys analizuojami tokiu pačiu principu kaip laboratoriniame bandyme Nr.1, tačiau papildomai vertinama surinkto vandens kiekio priklausomybė nuo užfiksuoto kritulių kiekio milimetrais. Gauti rezultatai susistemunami ir pateikiami žemiau.

2.5 lentelė. Nr. 2.1 bandymo suvestinė

Pavadinimas	Vidutinė reikšmė	Mato vnt.
Meteorologinės stotelės duomenys	12,8	mm
Surinkto vandens kiekis:	4,83	l
Nutekėjusio vandens kiekis:	3,99	l
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	8,81	l
Surinkto vandens kiekis:	37,70	%
Nutekėjusio vandens kiekis:	31,16	%
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	68,86	%

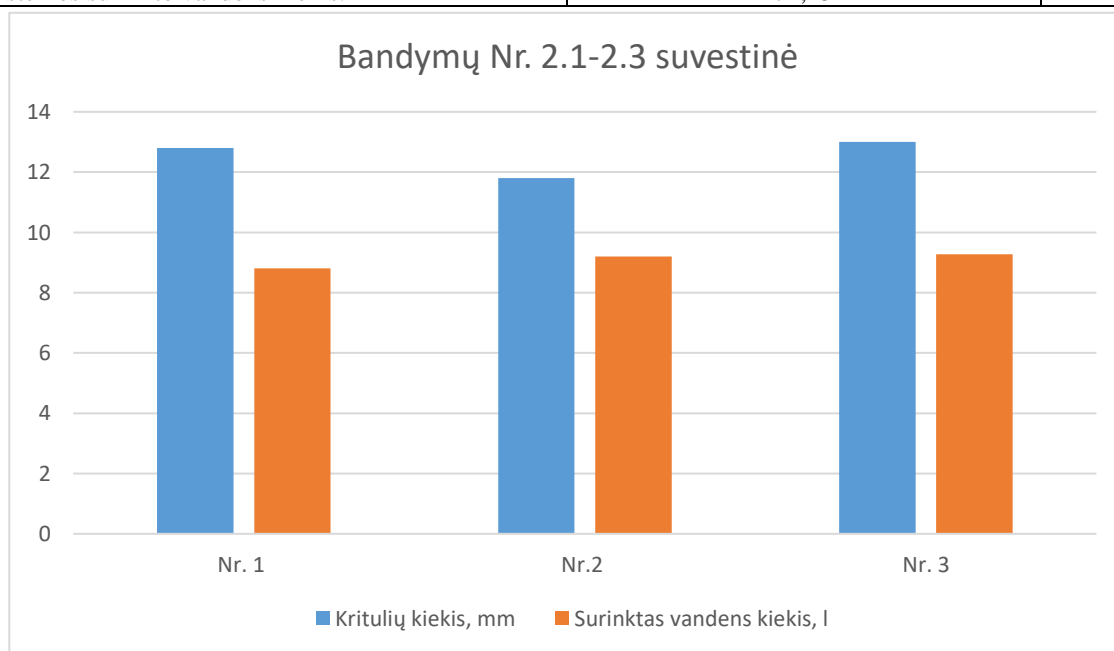
2.6 lentelė. Nr. 2.2 bandymo suvestinė

Pavadinimas	Vidutinė reikšmė	Mato vnt.
Meteorologinės stotelės duomenys	11,8	mm
Surinkto vandens kiekis:	5,12	l
Nutekėjusio vandens kiekis:	4,09	l

Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	9,20	1
Surinkto vandens kiekis:	43,37	%
Nutekėjusio vandens kiekis:	34,63	%
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	78,00	%

2.7 lentelė. Nr. 2.3 bandymo suvestinė

Pavadinimas	Vidutinė reikšmė	Mato vnt.
Meteorologinės stotelės duomenys	13,0	mm
Surinkto vandens kiekis:	5,05	l
Nutekėjusio vandens kiekis:	4,22	l
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	9,27	l
Surinkto vandens kiekis:	38,81	%
Nutekėjusio vandens kiekis:	32,44	%
Viso sistemos surinkto vandens kiekis:	71,25	%



2.10 pav. Surinkto lietaus vandens kiekio priklausomybė nuo kritulių kiekio mm.

2.10 pav. Grafiškai atvaizduojama surinkto lietaus vandens kiekio priklausomybė nuo kritulių kiekio milimetrais. Galutiniuose rezultatuose pastebimas skirtumas, kuomet antro bandymo metu efektyvumas išauga, lyginant su kitais bandymais. Tokį skirtumą įtakoja netolygus vandens tiekimas, atsiradęs dėl slėgio kritimo vandentiekio sistemoje (galimai įjungtas kitas vandenį naudojantis prietaisas sistemoje). Slėgio kritimo metu vanduo netolygiai pasiskirsto ir ant bandomojo stendo jo papuola daugiau, negu ant meteorologinės stotelės. Tokiu momentu stotelė užfiksuoja mažesnę kritulių kiekį, negu jis yra iš tikrųjų, todėl išauga sistemos efektyvumas. Vidutinis sistemos efektyvumas, kuomet surenkamas pro laisvąjį tiriamos plokštumos plotą patekęs vanduo yra 39,96%, kai papildomai surenkamas ir plokštumos paviršiumi nubėgęs vanduo bendras sistemos efektyvumas siekia 72,70%.

2.2.3. Ilgalaikis bandymas realiomis sąlygomis

Laboratorinių bandymu metu patikrinus ir įvertinus, kad stendas ir jo elektrinė dalis veikia tinkamai ir gali automatizuotai rinkti duomenis ilgą laiko tarpą, stendas buvo sumontuotas ant realaus pastato stogo. Atsižvelgiant į meteorologinių duomenų analizę tiriamoji plokštuma pastatyta orientuotai į pietvakarius, vyraujančio vėjo kryptimi. Vandens išleidimo, persipylimo žarnos nuvestos link vandens surinkimo įlajos stoge. Elektros energija skirta užmaitinti įranga tiekama laidu, įmautu į apsauginį šarvą, prijungtu prie elektros tinklo.

Kadangi bandymas realiomis sąlygomis bus ilgalaikis, gali pasitaikyti stiprių vėjo gūsių ar netgi audrų, todėl imtasi papildomų įtvirtinimo priemonių. Stendo stabilumui ir saugumui užtikrinti prie viršutinės dalies pritvirtinami 0,8 mm cinkuoti lynai, kurie įtempiami ir pritvirtinami prie blokelių, padėtų ant stogo dangos. Tokiu būdu viršutinė stendo dalis įtempinama iš keturių pusių ir neturi galimybės judėti. Pagrindas stovi stabiliai dėl savo didelio lietimosi su paviršiumi ploto ir svorio.



2.11 pav. Stendas, paruoštas ilgalaikiam bandymui realiomis sąlygomis

Ilgalaikis bandymas realiomis sąlygomis buvo atliekamas rugsėjo - lapkričio mėnesiais, kuomet pagal standartinę klimato normą kritulių kiekis turėtų būti 55-65mm per mėnesį. Tačiau bandymu metu kritulių kiekis buvo mažesnis už klimato normas. Rugsėjo mėnesį Kauno mieste iškrito 55,3 mm kritulių, kuomet iš jų 25,5 mm iškrito vienos liūtis metu per 20min. Likusią mėnesio dalį krituliai buvo nežymūs ir siekė tik 29,8 mm. Spalio mėnesį iškrito 36,7 mm kritulių, o lapkritį, bandymo laikotarpiu – 23,2 mm. Esant tokiam kritulių kiekiui nepavyko gauti reikšmingų duomenų dėl lietaus krypties, skirtingos negu stendo orientacija ir atsiradusių sistemos sutrikimų.

3. Praktinis pritaikymas

Atlikus laboratorinius bandymus, surinkus duomenis ir juos apdorojus, gautos reikšmės kiek gali būti surenkama lietaus vandens nuo pastato fasado prie tam tikro lietaus vandens debito į paviršių. Norint įvertinti tokios sistemos naudingumą ir tinkamumą naudoti privalu atlikti išsamesnius skaičiavimus. Turi būti įvertinamas galimas kritulių kiekis tiriamame rajone, apskaičiuojama koks vandens kiekis planuojamas surinkti. Būtina parinkti tinkamo dydžio lietaus rinktuvą, įvertinus vandens poreikius pastate, ant kurio bus įrengiama tokia sistema. Svarbų vaidmenį atlieka lietaus vandens surinkimo sistemos orientacija pasaulio šalių atžvilgiu. Taip pat apskaičiuojami sistemos įrengimo kaštai bei planuojamas atsiperkamumas.

3.1. Vandens poreikių skaičiavimas

Pagal pastato funkcinę grupę atliekami vandens poreikių skaičiavimai ir nustatomos vandens suvartojimo normos. Statinys, kuriam siekiama pritaikyti vandens surinkimo sistema priklauso administracinių pastatų funkcinę grupei. Remiantis STR 2.07.01:2003 3 priedo nurodymais pastatui skaičiuojamos vandens suvartojimo normos. Pagal RSN 26-90 „Vandens vartojimo normos“ 6 lentelę nustatyti norminiai 1 darbuotojo vandens suvartojimai surašomi į 3.1 lentelę. Skaičiavimai atliekami geriamojo vandens ėmimo čiaupams, bei unitazams, kuriems planuojamas naudoti surinktas lietaus vanduo. Atlikus detalius skaičiavimus jie patikrinami lyginant su abstrakčiu paskaičiavimu.

3.1 lentelė. darbuotojo norminiai vandens suvartojimai

Žymėjimas	Reikšmė	Mato vnt	Apibrėžimas
$q_{p.vid}^{sum}$	12	l/d	Suminė suvartojimo norma vidutinio vartojimo parą
$q_{p.vid}^{\dot{s}}$	7	l/d	Šalto vandens suvartojimo norma vidutinio vartojimo parą
$q_{p.vid}^k$	5	l/d	Karšto vandens suvartojimo norma vidutinio vartojimo parą
$q_{p.max}^{sum}$	16	l/d	Suminė suvartojimo norma didžiausio vartojimo parą
$q_{p.max}^{\dot{s}}$	9	l/d	Šalto vandens suvartojimo norma didžiausio vartojimo parą
$q_{p.max}^k$	7	l/d	Karšto vandens suvartojimo norma didžiausio vartojimo parą
$q_{h.max}^{sum}$	4	l/h	Suminė suvartojimo norma vidutinio vartojimo valandą
$q_{h.max}^{\dot{s}}$	2	l/h	Šalto vandens suvartojimo norma vidutinio vartojimo valandą
$q_{h.max}^k$	2	l/h	Karšto vandens suvartojimo norma vidutinio vartojimo valandą

Norint apskaičiuoti sekundinius, vidutinius ir maksimalų valandinį debitus turime žinoti čiaupų skaičių numatytai įrangai. Tam reikia žinoti planuojamą naudoti sanitarinę įrangą, kuri vienam

aukštui šiuo atveju yra: 6 praustuvas, 6 plautuvės, 6 klozetai. Sanitarinė įranga kartotinė visuose aukštuose. Čiaupų ir sanitarinių prietaisų skaičius pateikiamas 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Sanitariniai prietaisai

Eil. nr.	Prietaiso pavadinimas	Prietaisų skaičius pastate	N ^š	N ^k	N ^{sum}	U	
Reikalingas geriamas vanduo							
1	Plautuvė	6	6	6	12	15	
2	Praustuvas	6	6	6	12		
VISO:			12	12	24		
Nereikalingas geriamas vanduo							
3	Klozetas	6	6	-	6		
VISO:			6	-	6		

Žymėjimų paaiškinimai:

N^š – šalto vandens čiaupai

N^k – karšto vandens čiaupai

N^{sum} – suminis vandens čiaupų skaičius

U – darbuotojų skaičius

Pagal STR 2.07.01:2003 3 priedo 3.2 lentelę parenkami sanitarinių prietaisų ir vandens ėmimo čiaupų debitai, kurie surašomi į 3.3 lentelę.

3.3 lentelė. Vandens ėmimo čiaupų debitai

Sanitarinis prietaisas, vandens ėmimo čiaupas	Sekundinis vandens debitas, l/s			Valandinis vandens debitas, l/s			San. prietaiso nuotekų debitas, l/s, q_{pt}^{sum}
	q_{pt}^{sum}	$q_{pt}^{š}$	q_{pt}^k	$q_{h,pt}^{sum}$	$q_{h,pt}^{š}$	$q_{h,pt}^k$	
1	2	3	4	5	6	7	8
Geriamo vandens ėmimo čiaupai							
2. Praustuvas su maišomuoju čiaupu	0,12	0,09	0,09	60	40	40	0,15
4. Plautuvė (taip pat laboratorinė) su maišomuoju čiaupu	0,12	0,09	0,09	80	60	60	0,6
Negeriamo vandens ėmimo čiaupai							
15. Išpuodis su plovimo bakeliu	0,1	0,1	-	83	83	-	1,6

Atliekami didžiausiojo šaltojo, karštojo vandens arba suminiai sekundės debitai [STR 2.07.01:2003 3 priedo 2 formulė]:

$$q_{max} = 5 \cdot q_{pt} \cdot \alpha, \text{ l/s} \quad (3.1)$$

čia:

q_{pt} – duotajam pastatui būdingo čiaupo norminis debitas ($q_{pt}^{sum}, q_{pt}^{\checkmark}, q_{pt}^k$);

α - koeficientas, nustatomas pagal suminį prijungtų prie ruožo (kurio debitas nustatomas) vandens ėmimo čiaupų skaičių N ir jų veikimo duotajame pastate tikimybę P ; koeficiento α reikšmės parenkamos iš STR 2.07.01:2003 3-ios ir 4-os lentelių.

Kadangi visas pastatas vienodos paskirties, vandens ėmimo čiaupų veikimo tikimybės P ($P^{sum}, P^{\checkmark}, P^k$), skaičiuojamos pagal STR 2.07.01:2003 3 priedo 3 formulę:

$$P = \frac{q_{h,max} \cdot U}{3600 \cdot q_{pt} \cdot N} \quad (3.2)$$

čia: U – vartotojų skaičius pastate, N – suminis vandens ėmimo čiaupų skaičius pastate, $q_{h,max}$ – prietaiso suvartojimo norma per valandą.

Skaičiuojamos P reikšmės praustuvams ir plautuvėms:

$$P^{\checkmark}, P^k = \frac{q_{h,max}^{\checkmark} \cdot U}{3600 \cdot q_{pt}^{\checkmark} \cdot N^{\checkmark}} = \frac{2 \cdot 15}{3600 \cdot 0,09 \cdot 12} = 0,0077$$

$$P^{sum} = \frac{q_{h,max}^{sum} \cdot U}{3600 \cdot q_{pt}^{sum} \cdot N^{sum}} = \frac{4 \cdot 15}{3600 \cdot 0,12 \cdot 24} = 0,0058$$

Klozetams:

$$P^{\checkmark} = \frac{q_{h,max}^{\checkmark} \cdot U}{3600 \cdot q_{pt}^{\checkmark} \cdot N^{\checkmark}} = \frac{2 \cdot 15}{3600 \cdot 0,1 \cdot 6} = 0,014$$

Vandens čiaupų veikimo tikimybės rodiklis sudauginamas su čiaupų skaičiumi pastate ir iš STR 2.07.01:2003 3 priedo 3.3 lentelės parenkamos α reikšmės.

Praustuvams ir plautuvėms:

$$P^k N^k, P^{\checkmark} N^{\checkmark} = 0,0077 \cdot 12 = 0,092, \text{ taigi } \alpha^k = 0,333$$

$$P^{sum} N^{sum} = 0,0058 \cdot 24 = 0,139, \text{ taigi } \alpha^{sum} = 0,389$$

Pagal (4.1) formulę skaičiuojame sekundinius vandens debitus:

$$q^{\checkmark}, q^k = 5 \cdot q_{pt}^k \cdot \alpha^k = 5 \cdot 0,09 \cdot 0,333 = 0,150, \text{ l/s}$$

$$q^{sum} = 5 \cdot q_{pt}^{sum} \cdot \alpha^{sum} = 5 \cdot 0,12 \cdot 0,389 = 0,233, \text{ l/s}$$

Klozetams:

$$P^{\checkmark} N^{\checkmark} = 0,014 \cdot 6 = 0,084, \text{ taigi } \alpha^{\checkmark} = 0,323$$

$$q^{\checkmark} = 5 \cdot q_{pt}^{\checkmark} \cdot \alpha^{\checkmark} = 5 \cdot 0,1 \cdot 0,323 = 0,161, \text{ l/s}$$

Didžiausieji šaltojo, karštojo vandens arba suminiai valandiniai debitai apskaičiuojami pagal STR 2.07.01:2003 3 priedo 5 formulę:

$$q_h = 0,005 \cdot q_{h,pt} \cdot \alpha_h, \text{ l/h} \quad (3.3)$$

čia: $q_{h,pt}$ - vandens ėmimo čiaupo valandos debitas l/h,

α_h - koeficientas, nustatomas pagal suminį prijungtų prie ruožo (kurio debitas nustatomas) vandens ėmimo čiaupų skaičių N ir jų veikimo duotajame pastate tikimybę P ; koeficiento α reikšmės parenkamos iš STR 2.07.01:2003 3-ios ir 4-os lentelių.

Pirmiausia surandame P_h reikšmę, naudodami STR 2.07.01:2003 3 priedo 6 formulę:

$$P_h = \frac{3600 \cdot P \cdot q_{pt}}{q_{h,pt}} \quad (3.4)$$

Pagal šią formulę skaičiuojame P reikšmes.

$$P_h^{sum} = \frac{3600 \cdot P^{sum} \cdot q_{pt}^{sum}}{q_{h,pt}^{sum}} = \frac{3600 \cdot 0,0058 \cdot 0,12}{80} = 0,031$$

Vandens čiaupų veikimo tikimybės rodiklis sudauginamas su čiaupų skaičiumi pastate ir iš STR 2.07.01:2003 3 priedo 3.3 lentelės parenkamos α reikšmės.

Praustuvams ir plautuvėms:

$$P^s N^s, P^k N^k = 0,042 \cdot 12 = 0,50, \text{ taigi } \alpha_h^k = 0,678$$

$$P^{sum} N^{sum} = 0,031 \cdot 24 = 0,75, \text{ taigi } \alpha_h^{sum} = 0,842$$

Pagal (4.3) formulę apskaičiuojami valandiniai vandens debitai:

$$q_h^s, q_h^k = 0,005 \cdot q_{h,pt}^k \cdot \alpha_h^k = 0,005 \cdot 60 \cdot 0,678 = 0,203, \text{ l/h}$$

$$q_h^{sum} = 0,005 \cdot q_{h,pt}^{sum} \cdot \alpha_h^{sum} = 0,005 \cdot 80 \cdot 0,842 = 0,337, \text{ l/h}$$

Klozetams:

$$P^s N^s = 0,06 \cdot 6 = 0,36, \text{ taigi } \alpha_h^s = 0,580$$

$$q_h^s = 0,005 \cdot q_{h,pt}^s \cdot \alpha_h^s = 0,005 \cdot 83 \cdot 0,580 = 0,241, \text{ l/h,}$$

Vidutinis per valandą sunaudojamo vandens kiekis apskaičiuojamas pagal STR 2.07.01:2003 3 priedo 7 formulę:

$$q_{vid} = \frac{\sum q_{max i} \cdot U_i}{1000 \cdot T}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.5)$$

čia: T - vartojimo periodas valandomis, q_{max} – didžiausia paros vartojimo norma.

Kadangi pastatas yra administracinės paskirties – vartojimo periodas 9 val.

Bendras vidutinis vandens suvartojimas pastate:

$$q_{vid}^s = \frac{\sum q_{max i}^s \cdot U_i}{1000 \cdot T} = \frac{9 \cdot 15}{1000 \cdot 9} = 0,015, \text{ m}^3/\text{h}$$

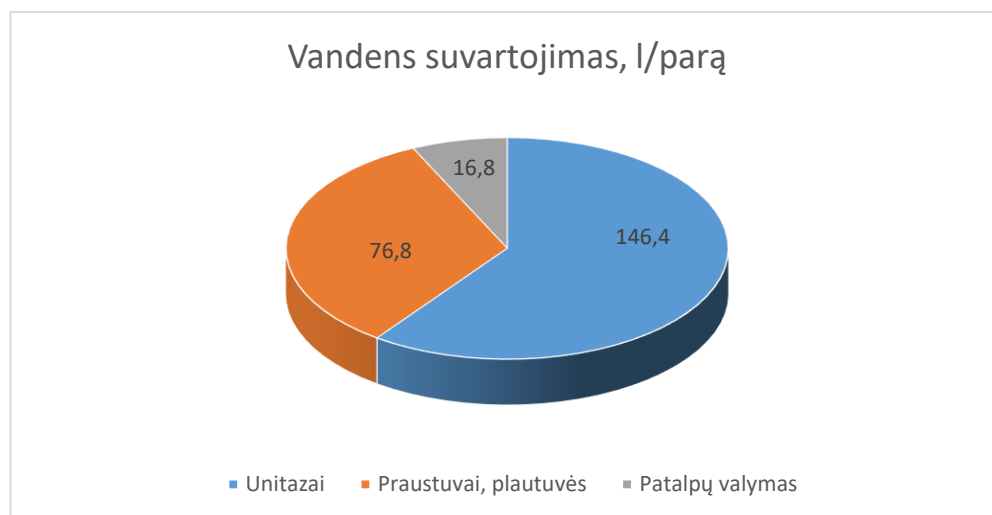
$$q_{vid}^k = \frac{\sum q_{max i}^k \cdot U_i}{1000 \cdot T} = \frac{7 \cdot 15}{1000 \cdot 9} = 0,012, \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_{vid}^{sum} = \frac{\sum q_{max i}^{sum} \cdot U_i}{1000 \cdot T} = \frac{16 \cdot 15}{1000 \cdot 9} = 0,026, \text{ m}^3/\text{h}$$

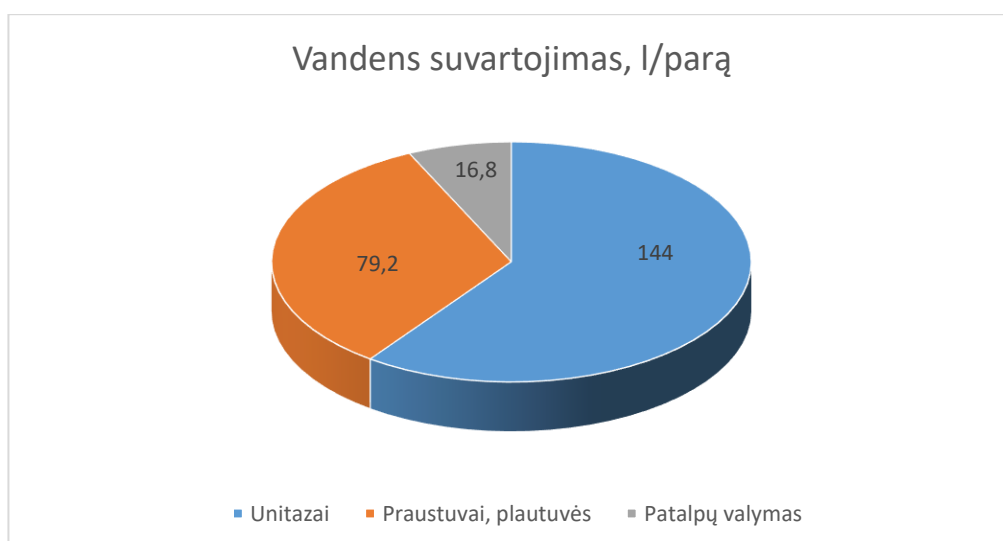
Atlikus detalius skaičiavimus gautos vandens suvartojimo reikšmės – geriamojo vandens vidutinis valandinis poreikis – 0,026 m³/h.

Remiantis JAV Vandens ir drėkinimo ministerijos atlikta analize [11] administracinės paskirties pastatuose išpuodžių vandens nuleidimui sunaudojama 61%, o patalpų valymui skiriama 7% viso pastato suvartojimo vandens. Naudojant šiuos duomenis atliekami bendrieji skaičiavimai palyginimui su anksčiau atliktu detaliu vandens poreikių skaičiavimu.

Pagal RSN 26-90 „Vandens vartojimo normos“ 6 lentelėje pateikiamus duomenis 1 žmogus administracinės funkcinės grupės pastate didžiausią vartojimo parą sunaudoja 16 l vandens. Vidutinio naudojimo parą atitinkamai 12 l vandens. Daroma prielaida, kad nagrinėjamame pastate dirbs 15 žmonių, kurių darbo savaitę sudaro 5 darbo dienos, viena pamaina trunka 8 valandas, neįskaitant pietų pertraukos. Taigi ši žmonių grupė didžiausio vartojimo parą sunaudoja 240 l vandens, vidutinio naudojimo parą – 180 l.



3.1 pav. Vandens suvartojimo normos didžiausią vartojimo parą



3.2 pav. Vandens suvartojimo normos vidutinio vartojimo parą

Kadangi sanitarinių prietaisų, tokių kaip unitazas vandens kokybei ypatingi higieniniai reikalavimai netaikomi, šiems prietaisams gali būti naudojamas ne geriamos kokybės vanduo. Taigi naudodami nuo fasadų surinktą lietaus vandenį galime pakeisti net iki 61% pastato vandens poreikių. Nagrinėjamo pastato mėnesinis maksimalus vandens poreikis 5,04 m³ geriamos kokybės vandens, iš kurio net 3,02 m³ gali būti pakeičiamas ne geriamos kokybės vandeniu. Vidutinio vartojimo parą vandens poreikis yra 3,78 m³, iš kurio net 2,27 m³ gali būti pakeistas lietaus vandeniu

3.2. Lietaus vandens surinkimo galimybės

Siekiant apskaičiuoti ir prognozuoti surenkamą lietaus vandens kiekį nuo fasado skaičiavimai bus atliekami remiantis klimatologinėmis normomis ir palyginami su faktiniais kritulių duomenimis Kauno mieste. Skaičiavimų metu daroma prielaida, kad lietus krenta į žemės paviršius, nevertinama vėjo įtaka lietaus lašų trajektorijai.

Daugybę metų buvo renkami, sisteminami ir aprašomi meteorologiniai duomenys, kurie turi įtakos statinių konstrukcijų, fasadinių medžiagų skaičiavimui ir projektavimui. Remiantis galiojančiose Respublikinėse normose RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“ pateikiamais ilgamečių stebėjimų duomenimis skaičiuojamas planuojamas surinkti kritulių kiekis. RSN 156-94 6.1 lentelėje pateikiami 22 stočių atskirų mėnesių, sezonų vidutinių kritulių kiekių klimatinė norma. 3.4 lentelėje nurodoma vidutinė kritulių norma Kauno mieste. Šiltuoju metų sezonu (balandis – lapkritis) Kauno miesto klimatinė kritulių norma nurodoma 425 mm, tuo tarpu šaltuoju (gruodis – kovas) – 205 mm. Atliekant skaičiavimus vertinamas šiltasis metų laikotarpis, kuomet krituliai yra skystos fazės.

3.4 lentelė. Mėnesinis vidutinis kritulių kiekis Kaune

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Kritulių kiekis, mm	39	31	35	42	55	69	80	78	56	45	53	47

Statybinėje klimatologijoje [12] 6.5 lentelėje taip pat pateikiamas vidutinis kritulių kiekis skirtingai orientuotoms sienoms šiltuoju metų laikotarpiu (3.5 lentelė). Matoma, kad daugiausiai kritulių patenka ant į vakarus orientuoto fasado, todėl tikslinga vandens surinkimo sistemą įrengti ant šios plokštumos.

3.5 lentelė Kritulių kiekis skirtingai orientuotoms plokštumoms Kaune

Sienos orientacija	Š	ŠR	R	PR	P	PV	V	ŠV
Kritulių kiekis, mm	154	111	98	112	164	230	259	219

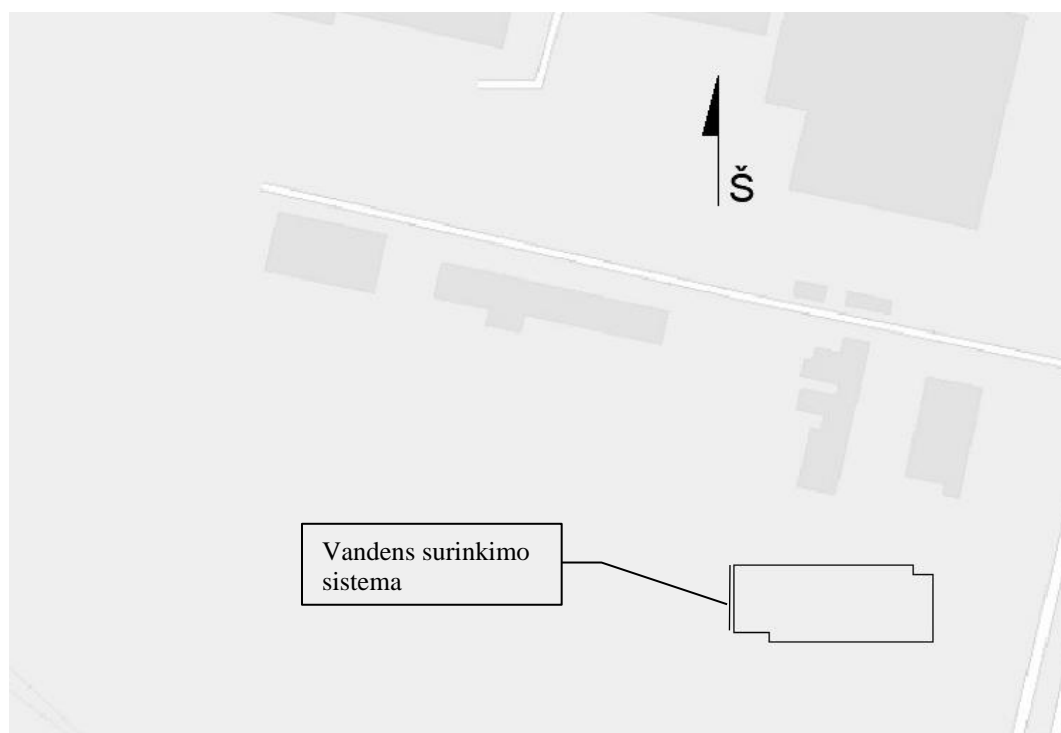
Lietaus vandens surinkimo sistemą planuojama naudoti administracinio pastato daliniam buitinio vandens poreikio patenkinimui. Administraciniame pastate vanduo daugiausia naudojamas praustuvams, plautuvėms, klozetams, o ne maisto gamybos, prausimosi reikmėms. Todėl didelė dalis

sunaudojamo vandens gali būti pakeista negeriamos kokybės vandeniu. Bendrieji pastato duomenys, kuriam planuojama pritaikyti lietaus vandens surinkimo sistemą pateikiami 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Pagrindiniai pastato duomenys

Pavadinimas	Reikšmė	Mato vnt.
1	2	3
Bendras plotas	890	m ²
Aukštis	8,89	m
Aukštų skaičius	2	vnt.
Fasadų plotas	841,2	m ²
Suminis vandens poreikis, max	5,04	m ³ /mėn
Negeriamo vandens poreikis, max	3,02	m ³ /mėn
Suminis vandens poreikis, vid	3,78	m ³ /mėn
Negeriamo vandens poreikis, vid	2,27	m ³ /mėn

Situacijos scheme (3.3 pav.) matoma, kad vakarinė ir pietvakarinė pastato pusė nėra užstatyta kitais pastatais, todėl lietaus lašai be kliūčių kelyje patenka ant vakarinės fasado plokštumos, kur planuojama įrengti lietaus surinkimo sistema.



3.3 pav. Situacijos schema

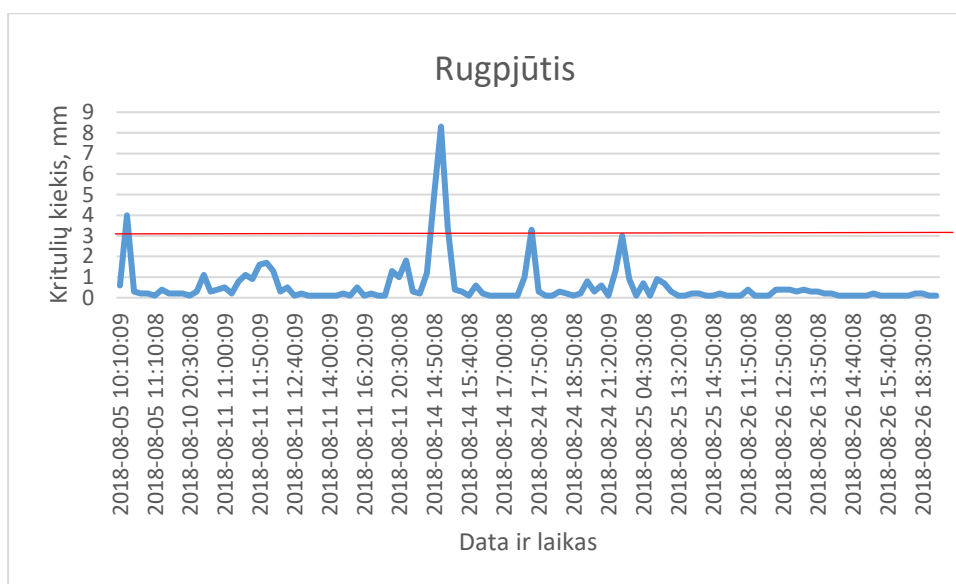
Vakarinės pastato sienos ilgis 12,1 m, o aukštis kaip ir viso pastato – 8,89 m, taigi šios sienos plotas lygus 107,6 m². Pagal Statybinės klimatologijos [12] duomenis, Kauno mieste ant į vakarus orientuotos sienos į metus vidutiniškai iškrenta 259 mm skystos fazės kritulių. Taigi šiltuoju metų laikotarpiu ant 1m² tokios plokštumos iškrenta 259 l lietaus vandens. Remiantis laboratorinių

bandymu metu gautais rezultatais apskaičiuojama kiek lietaus vandens šiltuoju metų sezonu surinktų fasadas prie efektyviausio posvyrio kampo. Priimama, kad visa vakarinė siena yra padengta lietaus vandenį surenkančiais fasadiniais elementais. Rezultatai pateikiami 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Surenkamo vandens kiekio suvestinė šiltuoju metų laikotarpiu

Pavadinimas	Efektyvumas, %	Reikšmė, l
1	2	3
Kai surenkamas tik pro laisvąjį plotą patekęs vanduo		
Bendras iškritęs kritulių kiekis	-	27868
Surinktas kritulių kiekis, kai kampas 7,5 ^o	39,96	11136
Kai surenkamas nubėgęs ir pro laisvąjį plotą patekęs vanduo		
Bendras iškritęs kritulių kiekis	-	27868
Surinktas kritulių kiekis, kai kampas 7,5 ^o	72,70	20260

Norint apskaičiuoti faktinį kritulių kiekį ir lietaus vandens surinkimo galimybes išanalizuojama iš Kauno meteorologijos stoties gauta šiltojo metų sezono kritulių informacija. Gautose duomenyse buvo pateikiami faktiniai duomenys apie kritulių kiekį 0,1 mm tikslumu 10 min intervalu. Ši informacija susistemintai pateikiama 1 priede.



3.4 pav. 2018m. rugpjūčio mėnesio kritulių kiekis, mm

3.4 pav. pateikiama rugpjūčio mėnesio kritulių kiekio diagrama. Šį mėnesį iškritęs kritulių kiekis yra 66,2 mm, tačiau pastebimi 4 ryškesni valandos trukmės pikai, per kuriuos iškrenta apie 30% visų mėnesio kritulių. Piku nustatomas laiko tarpas, per kurį iškrenta virš 3 mm kritulių. Išanalizavus duomenis [1 priedas] pastebima, kad ši tendencija išlieka visu šiltuoju metų laikotarpiu. Todėl parinkinėjant lietaus vandens laikymo talpą reikia atsižvelgti į šiuos momentus, kuomet per trumpą laiko tarpą gali būti surenkamas didelis vandens kiekis. 3.8 lentelėje pateikiama kritulių ir surinkto vandens kiekio suvestinė nagrinėjamam pastatui, įvertinus laboratorinių bandymu metu gautą

sistemos efektyvumo reikšmę. Siekiant kuo efektyviau išnaudoti lietaus vandenį ir kompensuoti laikotarpį, kuomet iškrenta mažai arba visai neiškrenta kritulių, vandens rezervuaras turėtų būti 1,5 karto didesnės talpos, negu vidutinis mėnesio suvartojamo vandens poreikis nagrinėjamam pastatui.

3.8 lentelė. Kritulių ir surinkto lietaus vandens kiekio suvestinė

Mėnesis	2018m. kritulių kiekis, mm	Pikinių momentų skaičius, vnt	Per pikus iškritęs kritulių kiekis, mm	Galimas surinkti vandens kiekis, l	Galimas surinkti vandens kiekis liūtis metu, l
Balandis	64,80	1	5,10	5068,99	398,95
Gegužė	18,10	2	7,90	1415,88	617,98
Birželis	57,60	4	18,50	4505,77	1447,17
Liepa	137,50	10	50,40	10755,97	3942,55
Rugpjūtis	66,20	5	23,90	5178,51	1869,58
Rugsėjis	55,30	4	33,60	4325,85	2628,37
Spalis	36,70	0	0,00	2870,86	0,00
Lapkritis	23,20	0	0,00	1814,82	0,00
Viso:	459,40	26	139,40	35936,66	10904,59

3.8 lentelėje pateikiami duomenys, jeigu visas iškritęs kritulių kiekis patektų ant vakarinės plokštumos, neveikiamas vėjo. Tačiau šiltuoju metų laikotarpiu vyrauja įvairių krypčių vėjai, kurie gali pakeisti lašų kritimo trajektoriją, todėl apskaičiuojama priklausomybė tarp iškritusio kritulių kiekio ant žemės paviršiaus ir į vakarinę pastato plokštumą.

Faktinis nagrinėjamo šiltojo metų laikotarpio kritulių kiekis yra labai artimas vidutinei kritulių normai Kauno mieste (3.8 lentelė), todėl palyginamos vertės, kuomet skaičiavimai atlikti pagal Statybinės klimatologijos [12] duomenis (3.7 lentelė), su skaičiavimais pagal faktinius kritulių kiekius. Pastebima, kad ant vakarinės nagrinėjamo pastato fasado plokštumos šių metų šiltuoju laikotarpiu iškrito 44% mažiau kritulių, negu ant žemės paviršiaus. Tokią prielaidą pagrindžia normų palyginimas, kuomet vidutinė kritulių norma šiltuoju metų laikotarpiu Kauno mieste yra 452 mm, o ant į vakarus orientuotos plokštumos tuo pačiu laikotarpiu iškrenta 259 mm. Remiantis šiais duomenimis ant vertikalios plokštumos patenka 43% mažiau kritulių, negu ant žemės paviršiaus.

3.9 lentelėje. Pateikiamas nagrinėjamo šiltojo metų laikotarpio kritulių kiekis ir galimo surinkti lietaus vandens kiekis nuo vakarinio pastato fasado, įvertinant 44% kritulių sumažėjimą į šią plokštumą, bei vidutinis pastato vandens, kurį galima pakeisti lietaus vandeniu, poreikis. Galimo surinkti vandens kiekis apskaičiuojamas pagal žemiau pateiktą formulę:

$$Q = q \cdot A \cdot 0.56 \cdot 0.001 \quad (3.6)$$

čia: Q – surenkamas vandens kiekis, m^3 ;

q – kritulių kiekis, mm;

A – surinkimo sistemos plotas, m^2 .

3.9 lentelė. Kritulių kiekio ir surenkamo vandens kiekio suvestinė pagal 2018m. duomenis

Mėnesis	2018m. kritulių kiekis, mm	Galimas surinkti vandens kiekis, m ³	Vidutinis lietaus vandens poreikis, m ³	Tenkina/Netenkina
Balandis	64,80	2,84	2,27	Tenkina
Gegužė	18,10	0,79	2,27	Netenkina
Birželis	57,60	2,52	2,27	Tenkina
Liepa	137,50	6,02	2,27	Tenkina
Rugpjūtis	66,20	2,90	2,27	Tenkina
Rugsėjis	55,30	2,42	2,27	Tenkina
Spalis	36,70	1,61	2,27	Netenkina
Lapkritis	23,20	1,02	2,27	Netenkina

Žvelgdami į gautus rezultatus pastebime, kad vidutinis negeriamo vandens poreikis nagrinėjamam pastatui galėtų būti padengiamas surinktu lietaus vandeniu nuo pastato vakarinio fasado. Gegužės, spalio ir lapkričio mėnesiais kritulių kiekis buvo žymiai mažesnis, negu mėnesio kritulių norma, todėl surenkamo vandens nepakaktų, jo trūkumą tektų kompensuoti iš centralizuoto vandentiekio tinklo. Kitais šiltojo metų laikotarpio mėnesiais vandens poreikis būtų patenkinamas.

Palyginimui 3.10 lentelėje pateikiamas ilgalaikio stebėjimo duomenimis paremtas [12] vidutinis kritulių kiekis kiekvienam mėnesiui ir galimas surinkti lietaus vandens kiekis nuo nagrinėjamo pastato vakarinio fasado, apskaičiuojamas pagal 3.6 formulę. Matoma, kad vidutiniškai tik 2 mėnesius per šiltąjį metų laikotarpį iškrentančio lietaus nepakaktų padengti 61% pastato buitinio vandens suvartojimo. Tačiau tikėtina, kad šis trūkumas būtų padengtas iš ankstesnių mėnesių surinkto ir nepanaudoto lietaus vandens kiekio.

3.10 lentelė. Kritulių kiekio ir surenkamo vandens kiekio suvestinė pagal statybinės klimatologijos normas

Mėnesis	Vidutinis kritulių kiekis, mm	Galimas surinkti vandens kiekis, m ³	Vidutinis lietaus vandens poreikis, m ³	Tenkina/Netenkina
Balandis	42,00	1,84	2,27	Netenkina
Gegužė	55,00	2,41	2,27	Tenkina
Birželis	69,00	3,02	2,27	Tenkina
Liepa	80,00	3,50	2,27	Tenkina
Rugpjūtis	74,00	3,24	2,27	Tenkina
Rugsėjis	57,00	2,50	2,27	Tenkina
Spalis	48,00	2,10	2,27	Netenkina
Lapkritis	56,00	2,45	2,27	Tenkina

4. Įrangos parinkimas

Siekiant efektyviai naudoti nuo fasadų surinktą lietaus vandenį reikalinga teisingai suprojektuoti šio vandens paskirstymo sistemą ir vandens talpyklas. Lietaus vanduo pastate planuojamas naudoti tik unitazų vandens poreikiui patenkinti, todėl projektuojama šakotinė vandens tiekimo sistema į šiuos prietaisus.

Siekiant išvengti palankios terpės bakterijoms kauptis susidarymo, surinktas lietaus vanduo turi būti saugomas talpoje, kurios neveikia tiesioginiai saulės spinduliai ir aplinkos temperatūra. Atsižvelgiant į tai numatoma požeminė vandens saugojimo talpa. Dėl tolygios grunto temperatūros žiemos ir vasaros laikotarpiu (5°C), vandens temperatūra taip pat išlieka žemesnė, negu bakterijų plitimui ir dauginimuisi palanki aplinka, kuri susidaro nuo 20°C iki 45°C [13].

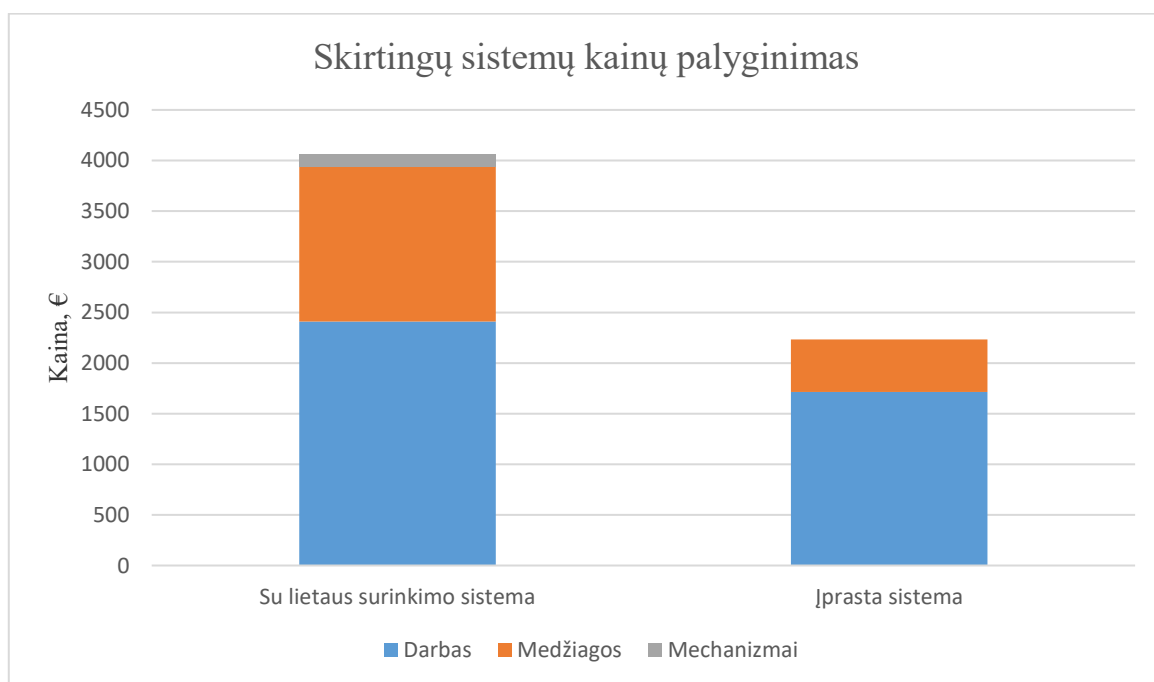
Atsižvelgiant į anksčiau minėtą kritulių nepastovumą ir vyraujančią tendenciją, kuomet apie 30% mėnesio kritulių normos gali iškristi per kelis stipraus lietaus momentus, tačiau kitu periodu kritulių gali visai nebūti, parenkamas vandens talpos dydis. Vandens surinkimo talpoje turi tilpti 1,5 karto daugiau vandens, negu vidutinė pastato suvartojamo vandens reikšmė. Reikiamas talpyklos tūris gaunamas 3,4m³, tačiau rinkoje esančių talpų dydžio kitimo žingsnis yra 1m³, todėl tenka parinkti didesnę talpą, kurios tūris yra 4m³. Nagrinėjame pastate numatoma naudoti vienos kameros vibruoto betono vandens saugyklą su hidroizoliacija, skirta montuoti grunte. Naudojant betoninę talpą, jungiamajame šulinyje suformuojamas smėlio, purvo ir kitų kietųjų dalelių atskyriklis.

Pro fasadinio elemento laisvąjį plotą patekęs ir paviršiumi nubėgęs vanduo surenkamas atskiruose latakuose, kurių plotis atitinka fasado plokštumą. Vanduo surenkamas apatinėje fasado dalyje, 10 cm aukščiau žemės paviršiaus, tam, kad į sistemą su nuo žemės atšokusiais lietaus lašais nepatektų purvas. Surinktas lietaus vanduo prieš įtekėdamas į saugojimo talpą prateka pro metalinį tinklelį, skirtą surinkti į sistemą patekusius lapus ar šiukšles. Tuomet nuo fasadų surinktas vanduo patenka į šulinį, kuriame gravitacijos veikiamos sunkesnės už vandenį dalelės nusėda šulinio dugne, o švarus vanduo jungiamuoju vamzdžiu subėga į talpyklą (4.1 pav.). Siekiant išvengti nuosėdų patekimo į sistemą įmontuojamas lygio daviklis, kuris garsiniu signalu informuos, kuomet nuosėdas reikia išvalyti.

5. Ekonominė dalis

Projektuojant sistemas ar parinkinėjant inžinerinius sprendinius svarbu atsižvelgti ir į ekonominę dalį, tam, kad būtų parinktas ekonomiškai naudingas sprendinys. Ekonominės naudos palyginimui suprojektuojamos dvi vandens tiekimo sistemos nagrinėjamam pastatui, viena iš jų su lietaus vandens surinkimo latakais ir antrinio panaudojimo sistema. Antruoju atveju sanitariniams prietaisams vandens tiekimas užtikrinamas iš miesto vandentiekio tinklų. Abejais atvejais konstrukciniai sprendimai ir fasadinės plokštumos įrengimo kaina nevertinama. Projektuojamų sistemų brėžiniai pateikiami grafinėje dalyje, skaičiavimai atlikti naudojant SES 2003 programinę įrangą, sąmatos pateikiamos 3 ir 4 prieduose.

Atlikti sistemų įrengimo kaštų skaičiavimai parodė, kad nagrinėjamam pastatui įrengti vandens tiekimo sistemą, kurioje lietaus vanduo būtų naudojamas unitazams, kainuoja 186 % brangiau, lyginant su įprasta vandens tiekimo ir paskirstymo sistema. Bendros įrengimo kainos sudedamosios dalys ir jų pasiskirstymas pateikiamas 5.1 pav. Pritaikius lietaus vandens surinkimo ir paskirstymo sistemą per metus vidutiniškai būtų panaudojama 18,16 m³ lietaus vandens. Šiuo metu geriamo vandens kaina, tiekiamo iš centralizuotų miesto tinklų organizacijoms yra 0,81 €/m³, taigi per metus vidutiniškai būtų sutaupoma 14,70 €. Akivaizdu, kad pritaikant lietaus surinkimo sistemą vienam pastatui, yra ekonominiu atžvilgiu neatsiperkantis ir rizikingas sprendinys, tačiau taikant šį sprendinį kompleksiskai, ekonominė nauda, tikėtina, būtų didesnė. Kuomet lietaus surinkimo sistema nuo vertikalių plokštumų būtų pritaikoma rajoniniu mastu, sumažėtų investicijos į vandens tiekimo bei nuotekų šalinimo vamzdynų infrastruktūrą.



5.1 pav. Kainų palyginimas kai sistema įrengiama su lietaus surinkimu ir panaudojimu, ir įprastinė sistema.

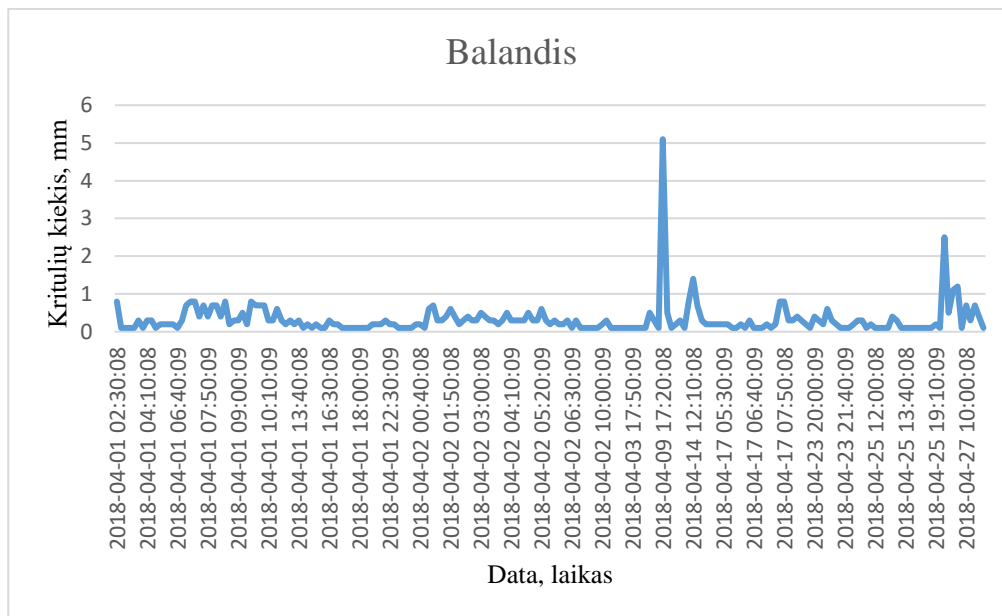
Išvados

1. Magistriniam baigiamajam darbui suprojektuotas ir pagamintas bandymų stendas, galintis fiksuoti ir kaupti duomenis apie fasadinės plokštės efektyvumą lietaus surinkimo sistemos pritaikymui.
2. Laboratoriniais bandymais įrodyta, kad didinant vertikalią plokštumos posvyrio kampą proporcingai didėja surenkamo lietaus vandens kiekis. Padidinus plokštumos posvyrio kampą iki $7,5^\circ$ lietaus surinkimo sistemos efektyvumas padidėja 5,61%, lyginant su vertikalia plokštuma.
3. Lietaus vandens surinkimo sistema nuo pastato fasado, kurio posvyrio kampas yra $7,5^\circ$ gali surinkti 72,70% ant plokštumos patekusio vandens, kai iškritęs kritulių kiekis 12,53 mm.
4. Atlikus meteorologinių duomenų analizę nustatyta, kad per mėnesį vidutiniškai tris kartus iškrenta lietūs, kurių metu iškrenta 30% visų mėnesio kritulių.
5. Skaičiavimais nustatyta, kad ant vakarinės fasado plokštumos patenka vidutiniškai 44% mažiau kritulių, negu ant horizontalaus paviršiaus.
6. Lyginant su tradicine šakotine vandens tiekimo sistema, lietaus vandens surinkimo ir paskirstymo sistema kainuoja 186% brangiau ir yra ekonomiškai neatsiperkanti. Tačiau sistema gali būti naudojama kompleksiskai kaip viena iš darnios statybos sudedamųjų dalių.
7. Laboratorinio bandymo Nr. 1 metu gauti rezultatai buvo pristatyti tarptautinėje mokslo konferencijoje „Advanced Construction 2018“, kuri vyko 2018 m. rugsėjo 20 dieną, Kaune. Taip pat parašytas mokslinis straipsnis „Potencial of harvesting rainwater from vertical surfaces“.

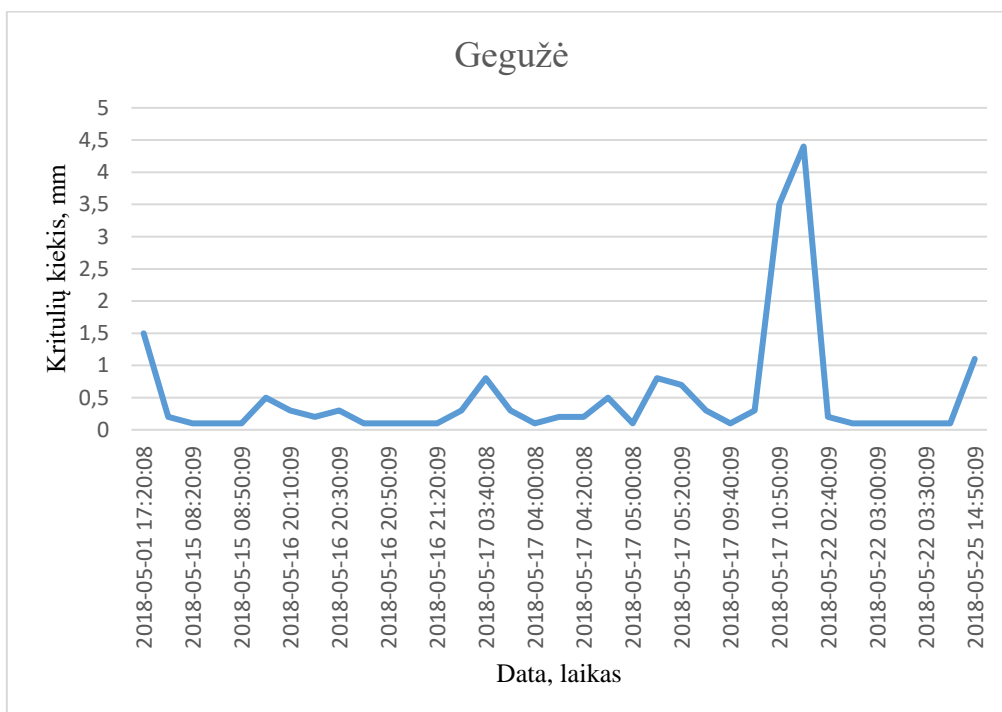
Literatūros sąrašas

1. Bert Blocken, Jan Carmeliet, The influence of the wind-blocking effect by a building on its wind-driven rain exposure, In Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 94, Issue 2, 2006;
2. A. Kubilay, D. Derome, B. Blocken, J. Carmeliet, Wind-driven rain on two parallel wide buildings: Field measurements and CFD simulations, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 146, 2015;
3. B. Blocken, D. Derome, J. Carmeliet, Rainwater runoff from building facades: A review, In Building and Environment, Volume 60, 2013, Pages 339-361;
4. B. Blocken, J. Carmeliet, A review of wind-driven rain research in building science, 2004, Pages 1079-1130;
5. Thijs Van den Brande, Bert Blocken, Staf Roels, Rain water runoff from porous building facades: implementation and application of a first-order runoff model coupled to a HAM model, 2013, Pages 1-31;
6. Prieiga per: <http://www.meteo.lt/lt/krituliai> [žiūrėta 2018-05-07];
7. Prieiga per: <http://www.victoria-hammel.com/rain-facade> [žiūrėta 2018-05-10];
8. Prieiga per: <http://leisho.com/innovationlab/> [žiūrėta 2018-05-10];
9. Prieiga per: <http://agentus.lt/portfolio/mcdonalds-restoranas/> [žiūrėta 2018-10-17];
10. G. Šinkūnaitė „Pastatui tiekiamo vandens poreikių mažinimo galimybės pritaikant lietaus vandenį“, Kaunas, 2017;
11. Prieiga per: <https://bit.ly/2UztxC9> [žiūrėta 2018-11-27].
12. LIETUVOS RESPUBLIKOS STATYBOS IR URBANISTIKOS MINISTERIJA. RSN 156-94. *Statybinė klimatologija*. Vilnius, 1995.
13. World Health Organization. Legionella and the prevention of legionellosis. Geneva: World Health Organization; 2007;
prieiga per: http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/legionella.pdf [žiūrėta 2018-09-27]
14. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. STR 2.07.01:2003 „Vandentiekis ir nuotekų šalintuvas. Pastato inžinerinės sistemos. Lauko inžineriniai tinklai“: 2003 m. liepos 21 d. Nr. 390. [žiūrėta 2018-07-29]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.EFD8078E42A8/yqWNgmVDCv>

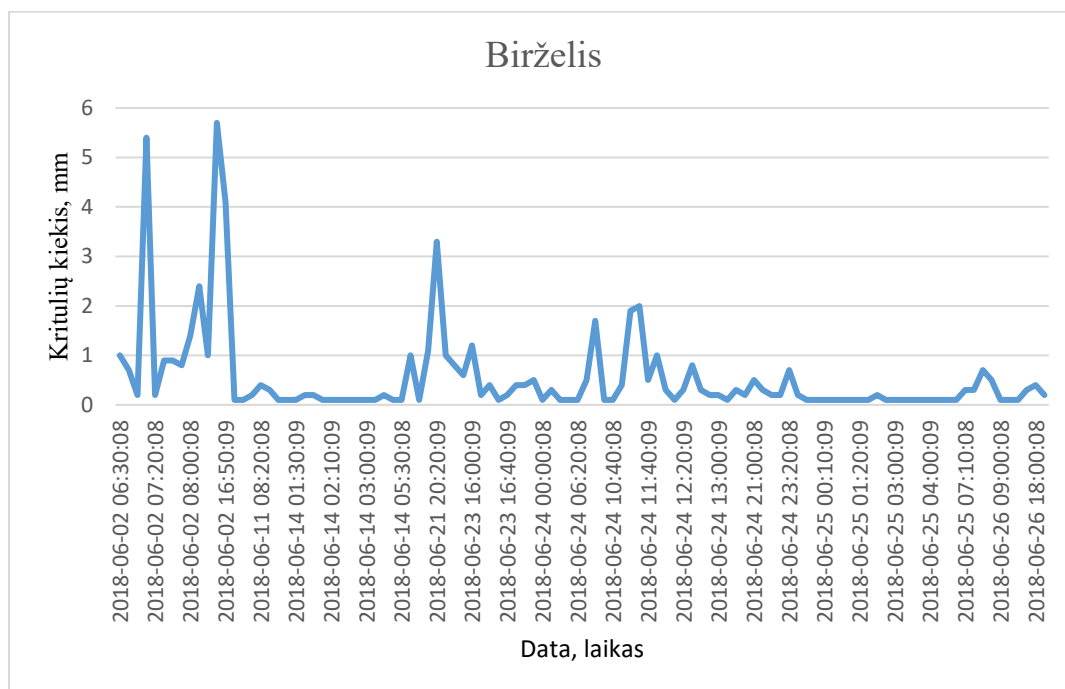
2018 meteorologinių duomenų suvestinė



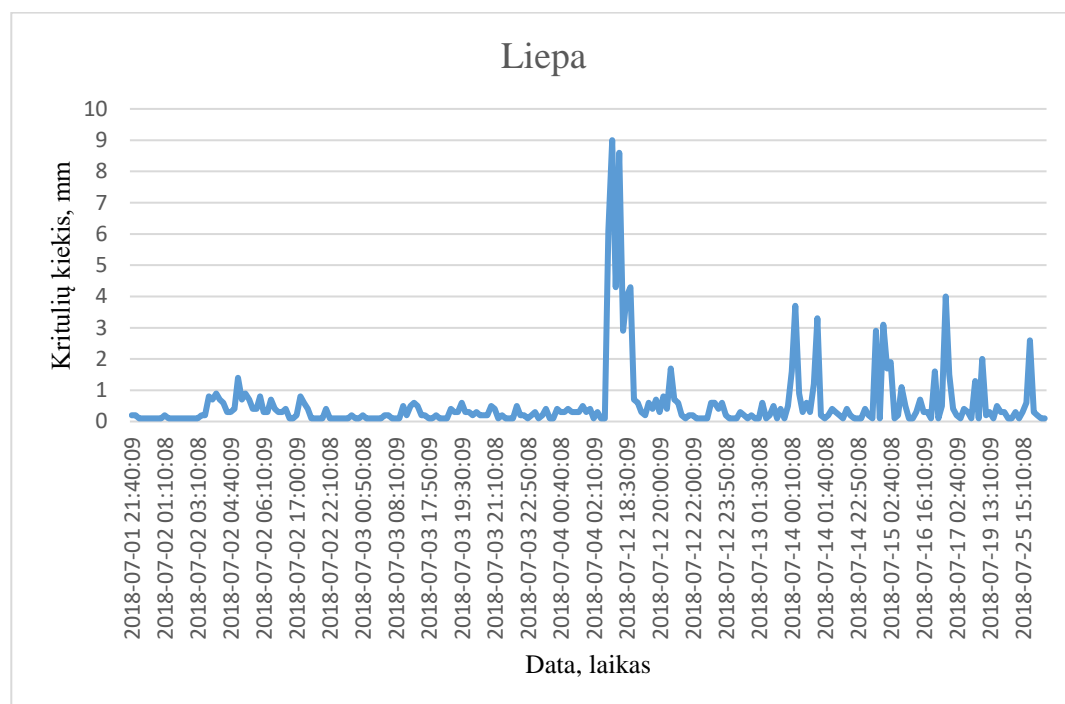
1.1 pav. Balandžio mėnesio kritulių kiekio suvestinė



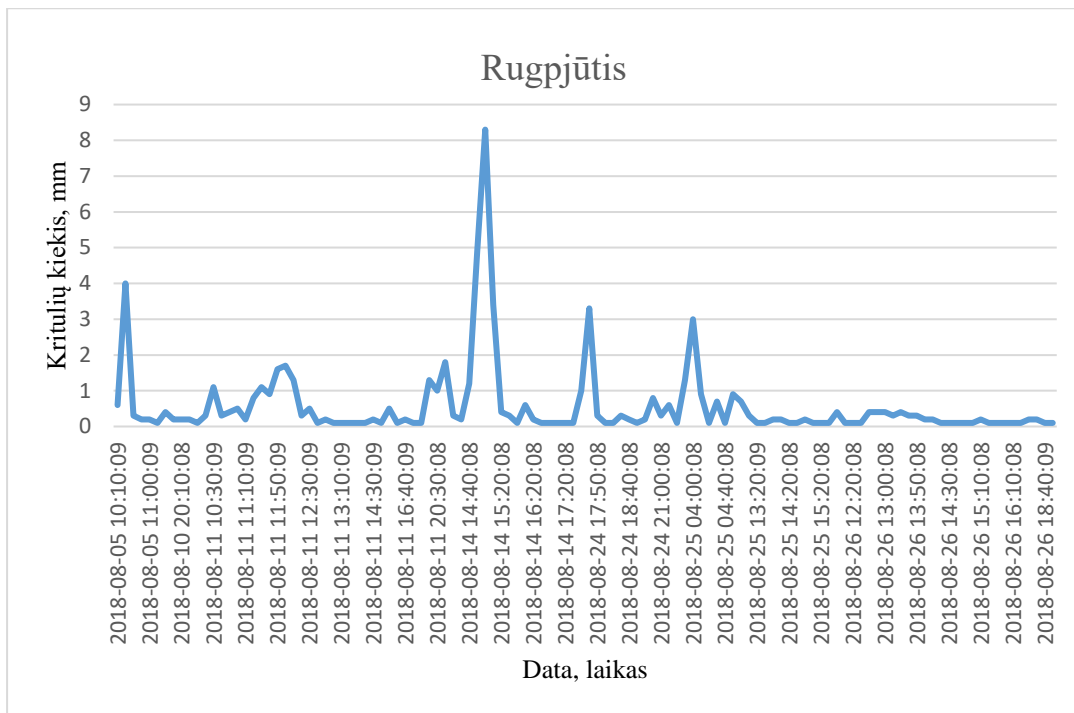
1.2 pav. Gegužės mėnesio kritulių kiekio suvestinė



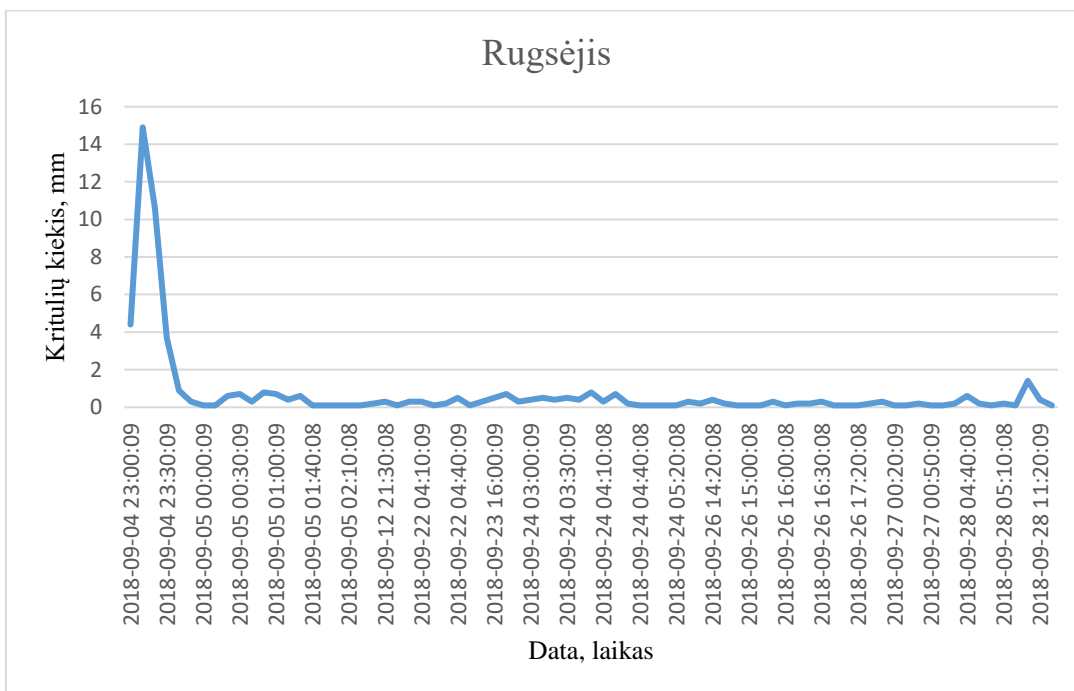
1.3 pav. Birželio mėnesio kritulių kiekio suvestinė



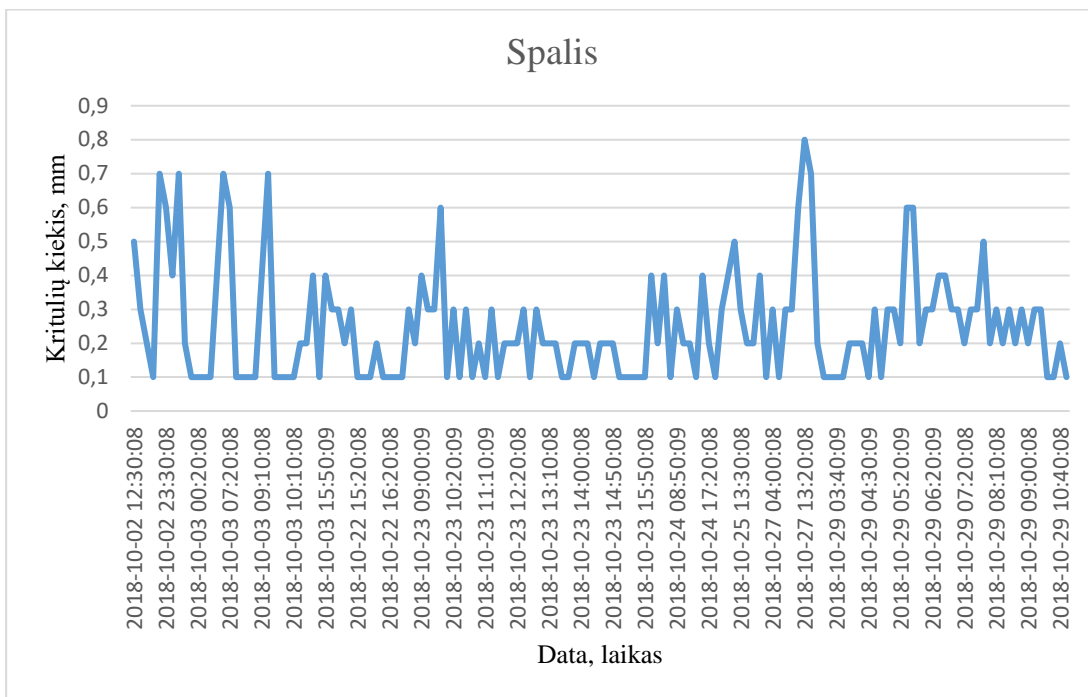
1.4 pav. Liepos mėnesio kritulių kiekio suvestinė



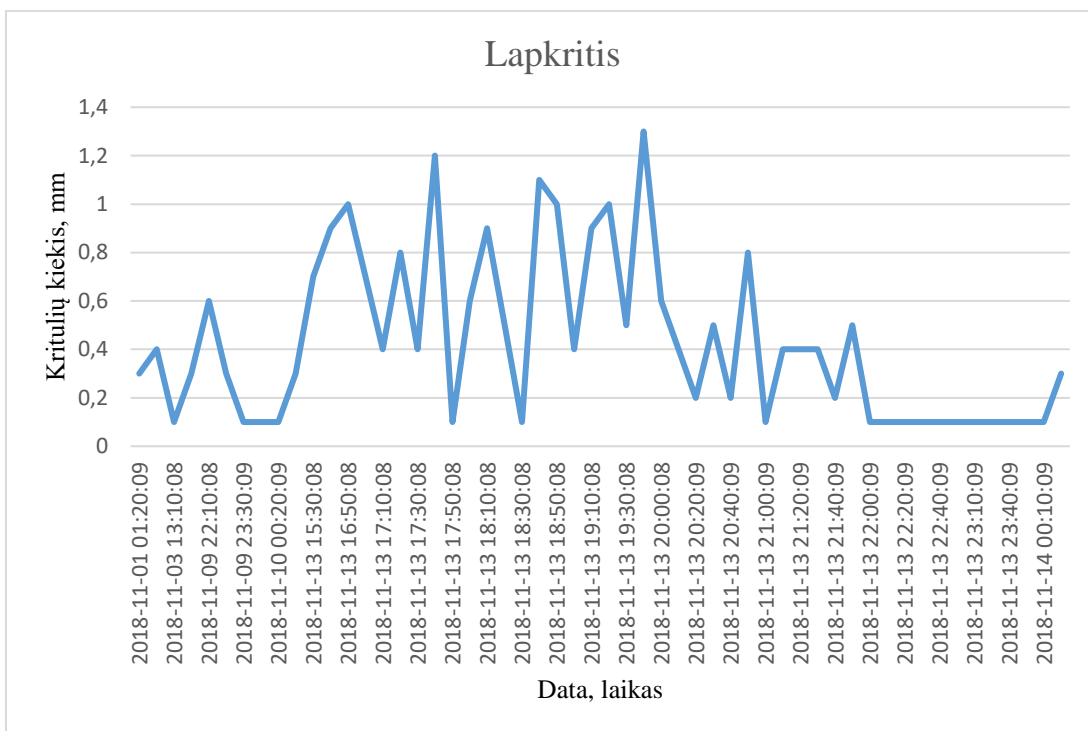
1.5 pav. Rugpjūčio mėnesio kritulių kiekio suvestinė



1.6 pav. Rugsėjo mėnesio kritulių kiekio suvestinė



1.7 pav. Spalio mėnesio kritulių kiekio suvestinė



1.8 pav. Lapkričio mėnesio kritulių kiekio suvestinė

Hidroforo su siurbliu duomenys



PERFORMANCE

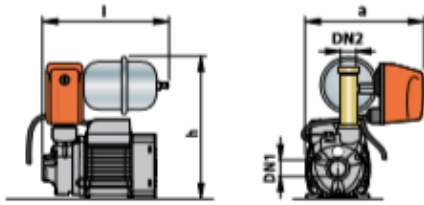
MODEL	POWER (P ₂)		FLOW RATE (1)	FLOW RATE (2)
	kW	HP	litres/min	bar
HYDROFRESH 05 VT				
PKm 60 – 05 VT	0.37	0.50	32	1.4 ÷ 2.8
JSWm1 CX – 05 VT	0.37	0.50	50	1.2 ÷ 2.6
JSWm1 BX – 05 VT	0.48	0.65	50	1.4 ÷ 2.8
JSWm1 AX – 05 VT	0.55	0.75	55	1.8 ÷ 3.2
HYDROFRESH 24 SF				
PKm 60 – 24 SF	0.37	0.50	32	1.4 ÷ 2.8
PKm 65 – 24 SF	0.50	0.70	40	1.5 ÷ 3.0
JSWm 1CX – 24 SF	0.37	0.50	50	1.2 ÷ 2.6
JSWm 1BX – 24 SF	0.48	0.65	50	1.4 ÷ 2.8
JSWm 1AX – 24 SF	0.55	0.75	55	1.8 ÷ 3.2
JSWm 2CX – 24 SF	0.75	1	70	2.0 ÷ 3.5
JSWm 2BX – 24 SF	0.90	1.25	70	2.4 ÷ 3.8
JSWm 2AX – 24 SF	1.1	1.5	70	2.8 ÷ 4.0
HYDROFRESH 24 CL				
PKm 60 – 24 CL	0.37	0.50	32	1.4 ÷ 2.8
PKm 65 – 24 CL	0.50	0.70	40	1.5 ÷ 3.0
CPm 158 – 24 CL	0.75	1	90	2.4 ÷ 3.8
CPm 170 – 24 CL	1.1	1.5	120	2.2 ÷ 3.5
JSWm 1BX – 24 CL	0.48	0.65	50	1.4 ÷ 2.8
JSWm 1AX – 24 CL	0.55	0.75	55	1.8 ÷ 3.2
JSWm 2CX – 24 CL	0.75	1	70	2.0 ÷ 3.5
JSWm 2BX – 24 CL	0.90	1.25	70	2.4 ÷ 3.8
JSWm 2AX – 24 CL	1.1	1.5	70	2.8 ÷ 4.0
JCRm 1B – 24 CL	0.48	0.65	50	1.4 ÷ 2.8
JCRm 1A – 24 CL	0.55	0.75	55	1.8 ÷ 3.2
JCRm 2C – 24 CL	0.75	1	70	1.9 ÷ 3.4
JCRm 2A – 24 CL	1.1	1.5	70	2.7 ÷ 4.0
HYDROFRESH 60 CL				
JSWm 2CX – 60 CL	0.75	1	70	2.0 ÷ 3.5
JSWm 2BX – 60 CL	0.90	1.25	70	2.4 ÷ 3.8
JSWm 2AX – 60 CL	1.1	1.5	70	2.8 ÷ 4.0

COMPONENTS:

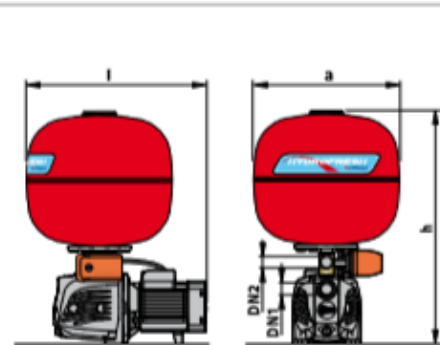
- Single-phase pump
- Tank
- Pressure switch PSG-1
- Pressure gauge (for 24SF, 24CL and 60CL)
- Hose (for 24CL and 60CL)
- Brass connector
- 1.5 m power cable with Schuko plug

- (1) Maximum flow rate at the minimum recommended pressure switch pressure
 (2) Recommended pressure range

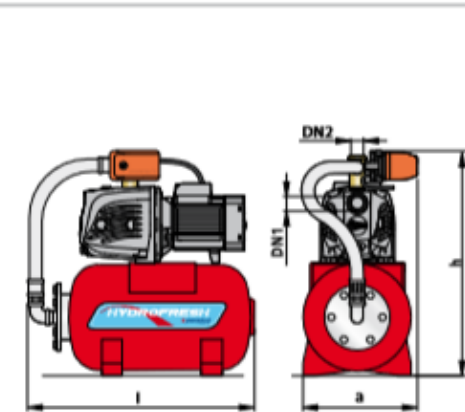
DIMENSIONS AND WEIGHT



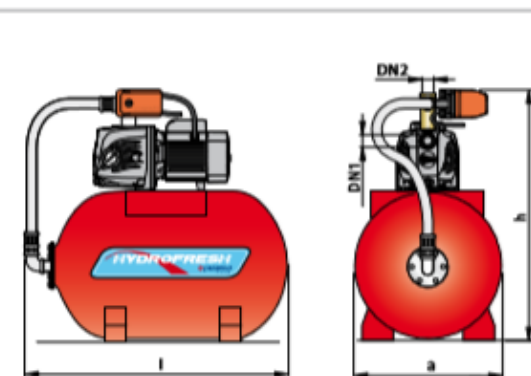
MODEL	PORTS		DIMENSIONS mm			WEIGHT
	DN1	DN2	l	a	h	kg
PKm 60 - 05 VT	1"	1"	210	230	245	6.8
JSWm1 CX - 05 VT	1"	1"	430	220	260	11.4
JSWm1 BX - 05 VT	1"	1"	430	220	260	11.5
JSWm1 AX - 05 VT	1"	1"	430	220	260	12.1



MODEL	PORTS		DIMENSIONS mm			WEIGHT
	DN1	DN2	l	a	h	kg
PKm 60 - 24 SF	1"	1"	350	350	560	12.7
PKm 65 - 24 SF	1"	1"	370	350	570	14.5
JSWm1 CX - 24 SF	1"	1"	394	350	590	17.3
JSWm1 BX - 24 SF	1"	1"	394	350	590	17.4
JSWm1 AX - 24 SF	1"	1"	394	350	590	18.0
JSWm 2CX - 24 SF	1"	1"	430	350	610	20.4
JSWm 2BX - 24 SF	1"	1"	430	350	610	21.3
JSWm 2AX - 24 SF	1"	1"	430	350	610	21.6



MODEL	PORTS		DIMENSIONS mm			WEIGHT
	DN1	DN2	l	a	h	kg
PKm 60 - 24 CL	1"	1"	550	255	500	12.7
PKm 65 - 24 CL	1"	1"	550	255	510	14.5
CPm 158 - 24 CL	1"	1"	550	255	600	19.5
CPm 170 - 24 CL	1 1/4"	1"	550	255	620	25.3
JSWm 1BX - 24 CL	1"	1"	550	255	520	17.4
JSWm 1AX - 24 CL	1"	1"	550	255	520	18.0
JSWm 2CX - 24 CL	1"	1"	550	255	530	20.4
JSWm 2BX - 24 CL	1"	1"	550	255	530	21.3
JSWm 2AX - 24 CL	1"	1"	550	255	530	21.6
JCRm 1B - 24 CL	1"	1"	550	255	560	14.7
JCRm 1A - 24 CL	1"	1"	550	255	560	15.3
JCRm 2C - 24 CL	1"	1"	550	255	570	17.8
JCRm 2A - 24 CL	1"	1"	550	255	570	19.0



MODEL	PORTS		DIMENSIONS mm			WEIGHT
	DN1	DN2	l	a	h	kg
JSWm 2CX - 60 CL	1"	1"	730	340	675	28.1
JSWm 2BX - 60 CL	1"	1"	730	340	675	29.0
JSWm 2AX - 60 CL	1"	1"	730	340	675	29.3

Vandentiekio sistemos su lietaus vandens panaudojimu lokalinė sąmata

Lokalinė sąmata Nr. S001

2018 m. gruodžio mėn.

Vandentiekis ir nuotekos (1 variantas)

Iš viso:

4 904,94 €

Eil. Nr.	Pavadinimas	Kodas	Mato vnt	Kaina	Kiekis	Suma	Darbas	Medžiagos	Mechanizmai
1	Vidaus vandentiekio vamzdinių tiesimas iš polietileninių vamzdžių, kurių skersmuo iki 50 mm (gaminant ruošinius objekte)	N16-114	m	6,109	143	873,54	803,66	69,88	
2	Vamzdžiai plastikiniai PPR d20	PRN16-114	m	1,220	38	46,36		46,36	
3	Vamzdžiai plastikiniai PPR d20 stab.	PRN16-114	m	2,720	42	114,24		114,24	
4	Vamzdžiai plastikiniai PPR d25	PRN16-114	m	1,940	46,5	90,21		90,21	
5	Vamzdžiai plastikiniai PPR d25 stab.	PRN16-114	m	3,730	7	26,11		26,11	
6	Vamzdžiai plastikiniai PPR d32	PRN16-114	m	3,130	5	15,65		15,65	
7	Vamzdžiai plastikiniai PPR d32 stab.	PRN16-114	m	5,380	4,5	24,21		24,21	
8	Fasoninių dalių montavimas	kalk	kompl	28,500	1	28,50	28,50		
9	Fasoninės dalys	kalk	kompl	57,000	1	57,00		57,00	
10	Vid. vandent.sist.vamzd., kurių D iki 400mm, hydr.išbandymas	N16-118	100m	70,245	1,43	100,45	100,21	0,24	
11	Vamzdinių diam. iki 32 mm izoliavimas garui nelaidžiais porėtos gumos kevalais	N26-262	100m	127,858	1,43	182,84	177,18	5,66	
12	Kevalai vamzdžiams izoliuoti porėtos gumos 22x10	PRN26-262	m	0,420	80	33,60		33,60	
13	Kevalai vamzdžiams izoliuoti porėtos gumos 28x10	PRN26-262	m	0,450	53,5	24,08		24,08	
14	Kevalai vamzdžiams izoliuoti porėtos gumos 35x10	PRN26-262	m	0,470	9,5	4,47		4,47	
15	110 mm skersmens plastikinių vamzdžių kanalizacijos vamzdžio montavimas	N16-138-3	m	4,029	11,5	46,34	34,25	11,85	0,23
16	PVC vamzdis d110	PRN16-138-1	m	6,130	11,5	70,50		70,50	
17	Fasoninių dalių montavimas	kalk	kompl	44,000	1	44,00	44,00		
18	Fasoninės dalys	kalk	kompl	88,000	1	88,00		88,00	
19	Vamzdžių, kurių D 100mm, prijungimas prie veikiančių kanalizac.tinklų	N16-169	vnt	35,973	1	35,97	35,74	0,23	
20	Movinių ventilių, čiaupų, vožtuvų, kurių D iki 50mm, prijung.	N16-61	vnt	2,544	1	2,54	2,49	0,05	
21	Automatinis papildymo vožtuvas d25	PRN16-61	vnt	33,440	1	33,44		33,44	

22	Hidroforo su siurbliu montavimas	N18-62	vnt	27,735	1	27,74	25,87	1,86	
23	Hidroforas su siurbliu	PRN18-62	vnt	127,270	1	127,27		127,27	
24	Paviršinio vandens surinkimo kanalų įrengimas	N23-201	100m	432,760	0,252	109,06	73,03	36,03	
25	Latakas 2x12,6	PRN23-201	kompl	76,910	0,252	19,38		19,38	
26	II grupės grunto kasimas 0.25m3 kaušo talpos ekskavatoriais, suverčiant į sankasą	N1-25	1000 m3	1615,935	0,0065	10,50	0,37		10,14
27	Tranšėjų ir duobių užpylimas iš sankasos 55kw(75aj) galingumo buldozeriu, perstumiant II grupės gruntą iki 5m atstumu	N1-134	1000 m3	245,960	0,003	0,74			0,74
28	Betonas	PRN6-10	prvnt	72,820	1	72,82		72,82	
29	Armatūra	PRN6-10	prvnt	640,590	0,1	64,06		64,06	
30	Vandens talpa 4 m3	PRN24-365	vnt	363,640	1	363,64		363,64	
31	Liuko pastatymas	N23-137	vnt	9,853	1	9,85	9,05	0,80	
32	Ketiniai liukai	PRN23-137	vnt	0,290	1	0,29		0,29	
Iš viso						2747,38	1334,36	1401,92	11,10
Pagalbinių medžiagų vertė									
Papildomų mechanizmų vertė									
Papildomas darbo uždarbis						40,03	3%		
Iš viso						2787,41	1374,39	1401,92	11,10
Soc. draudimas						426,06	31%		
Statinio statybos išlaidos						3213,47	1800,45	1401,92	11,10
Statybvietės išlaidos						128,54	4%	4%	4%
Iš viso tiesioginės išlaidos						3342,01	1872,47	1457,99	11,55
Pridėtinės išlaidos						371,08	27%		
Pelnas						167,10	5%	5%	5%
Iš viso su netiesioginėmis išlaidomis						3953,67	2410,65	1530,89	12,12
Įrengimai									
Iš viso						3953,67	2410,65	1530,89	12,12
Transportas									100,00

Vandentiekio sistemos lokalinė sąmata

Lokalinė sąmata Nr. S002

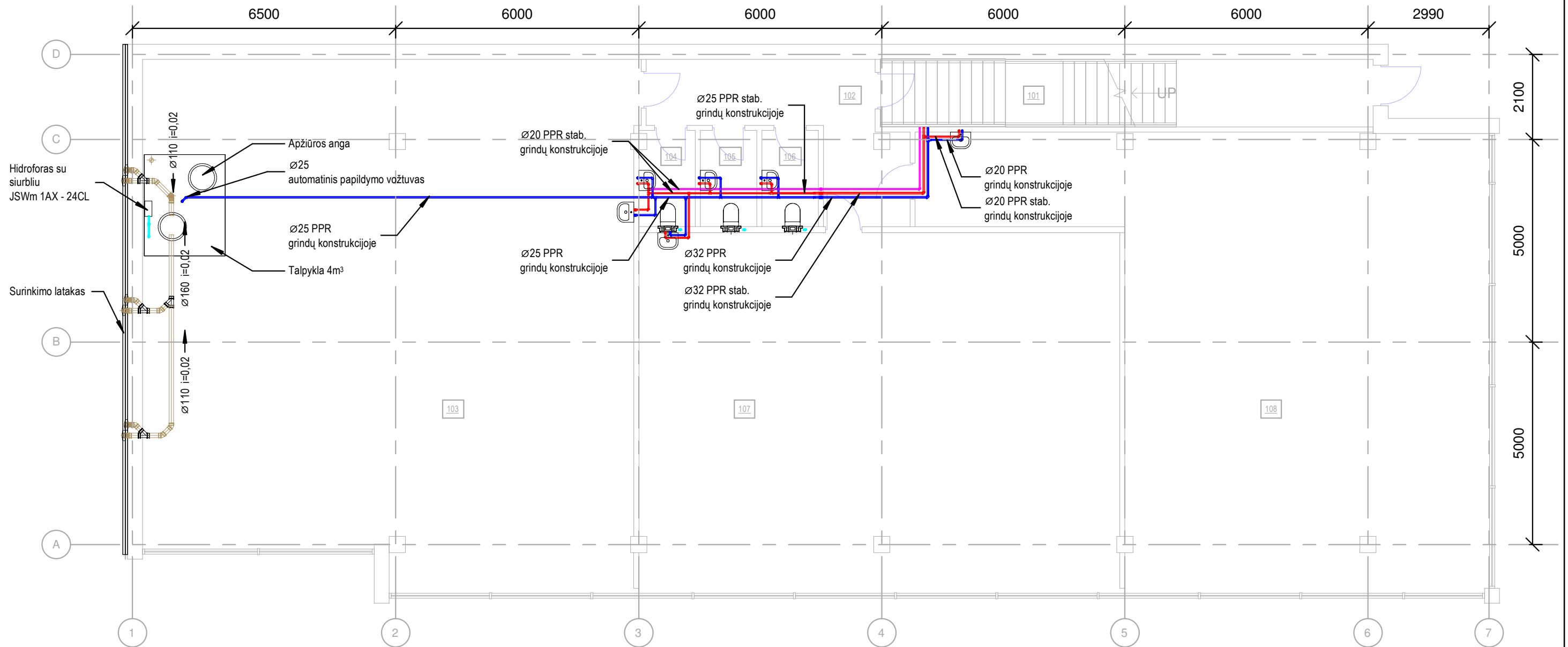
2018 m. gruodžio mėn.

Vandentiekis (2 variantas)

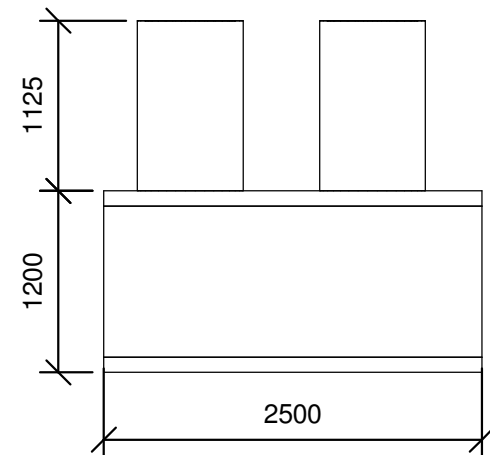
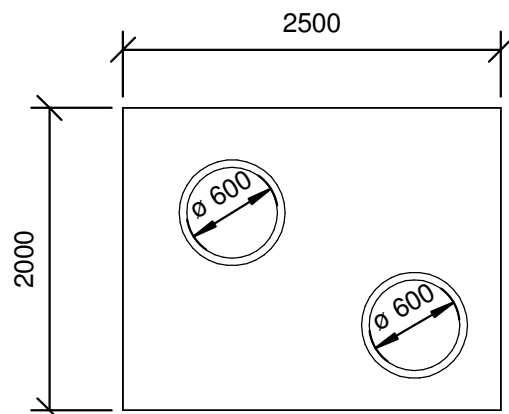
Iš viso: 2232,89 EUR

Eil. Nr.	Pavadinimas	Kodas	Mato vnt	Kaina	Kiekis	Suma	Darbas	Medžiagos	Mechanizmai
1	Vidaus vandentekio vamzdynų tiesimas iš polietilenui vamzdžių, kurių skersmuo iki 50 mm (gaminant ruošinius objekte)	N16-114	m	6,109	102,5	626,14	576,05	50,09	
2	Vamzdžiai plastikiniai PPR d20	PRN16-114	m	1,220	39	47,58		47,58	
3	Vamzdžiai plastikiniai PPR d20 stab.	PRN16-114	m	2,720	31,5	85,68		85,68	
4	Vamzdžiai plastikiniai PPR d25	PRN16-114	m	1,940	11	21,34		21,34	
5	Vamzdžiai plastikiniai PPR d25 stab.	PRN16-114	m	3,730	11,5	42,90		42,90	
6	Vamzdžiai plastikiniai PPR d32	PRN16-114	m	3,130	5	15,65		15,65	
7	Vamzdžiai plastikiniai PPR d32 stab.	PRN16-114	m	5,380	4,5	24,21		24,21	
8	Fasoninių dalių montavimas	kalk	kompl	28,000	1	28,00	28,00		
9	Fasoninės dalys	kalk	kompl	56,000	1	56,00		56,00	
10	Vid. vandent.sist.vamzd., kurių D iki 400mm, hidr.išbandymas	N16-118	100m	70,245	1,025	72,00	71,83	0,17	
11	Vamzdynų diam. iki 32 mm izoliavimas garui nelaidžiais porėtos gumos kevalais	N26-262	100m	127,858	1,025	131,05	127,00	4,06	
12	Kevalai vamzdžiams izoliuoti porėtos gumos 22x10	PRN26-262	m	0,420	70,5	29,61		29,61	
13	Kevalai vamzdžiams izoliuoti porėtos gumos 28x10	PRN26-262	m	0,450	22,5	10,13		10,13	
14	Kevalai vamzdžiams izoliuoti porėtos gumos 35x10	PRN26-262	m	0,470	9,5	4,47		4,47	
	Iš viso					1194,75	802,88	391,87	
	Pagalbinių medžiagų vertė								
	Papildomų mechanizmų vertė								
	Papildomas darbo uždarbis					24,09	3%		
	Iš viso					1218,83	826,97	391,87	
	Soc. draudimas					256,36	31%		
	Statinio statybos išlaidos					1475,19	1083,33	391,87	
	Statybvietsės išlaidos					59,01	4%	4%	4%
	Iš viso tiesioginės išlaidos					1534,20	1126,66	407,54	
	Pridėtinės išlaidos					223,28	27%		
	Pelnas					87,87	5%	5%	5%
	Iš viso su netiesioginėmis išlaidomis					1845,36	1417,44	427,92	
	Įrengimai								
	Bendra vertė be PVM					1845,36	1417,44	427,92	
	PVM					387,53	21%	21%	21%
	Bendra vertė su PVM					2232,89	1715,10	517,78	

1 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100



Lietaus vandens surinkimo talpa M 1:50



Pastaba: brėžiniai paruošti naudojantis Autodesk Revit 2018 programa

PIRMO AUKŠTO PATALPŲ EKSPLIKACIJA

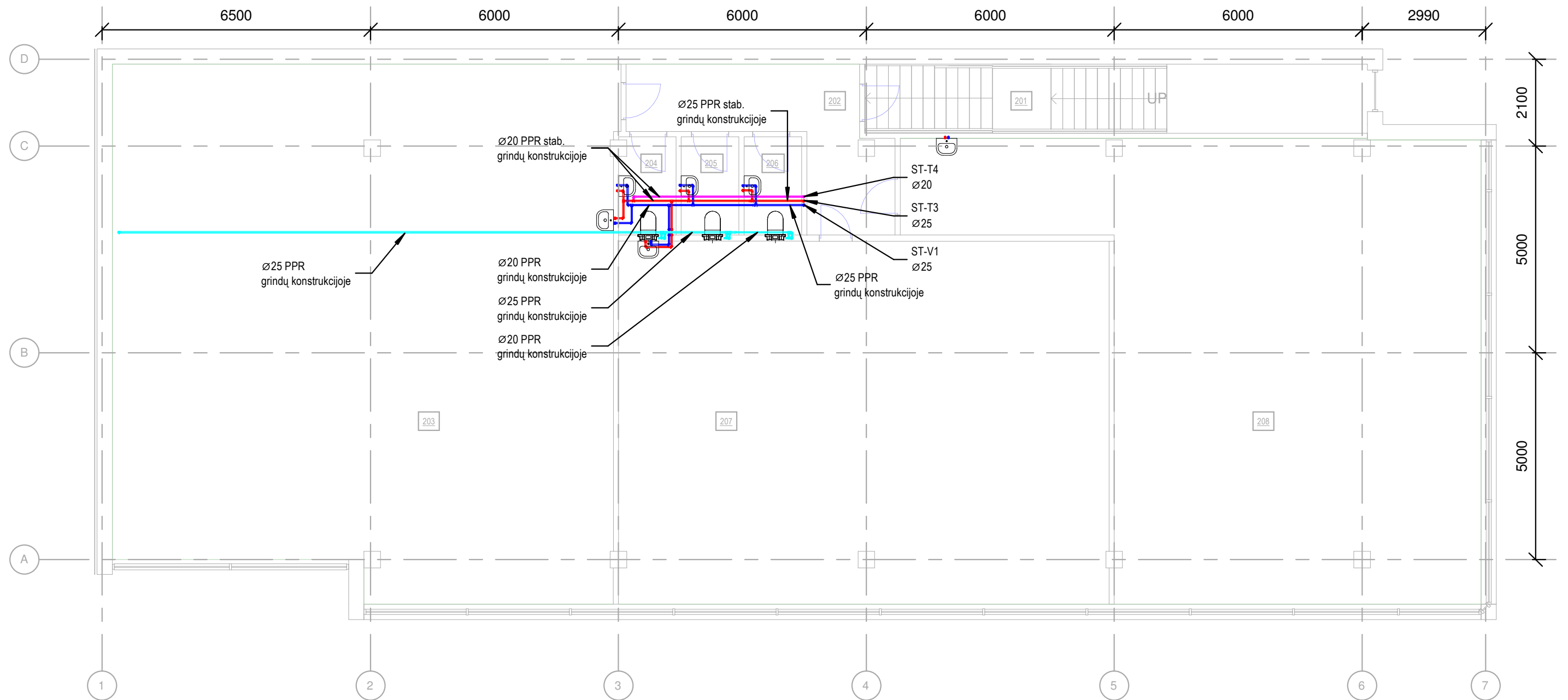
Nr.	PATALPOS PAVADINIMAS	Plotas, m ²
101	Laiptinė	3,49
102	Koridorius	14,55
103	Biurų patalpa	154,02
104	San. mazgas	3,22
105	San. mazgas	3,13
106	San. mazgas	3,22
107	Biurų patalpa	104,80
108	Biurų patalpa	108,43

Sutartiniai žymėjimai:

- Izoliuotas šalto vandentiekio vamzdis V1
- Izoliuotas karšto vandentiekio vamzdis T3
- Izoliuotas cirkuliacinio vandentiekio vamzdis T4
- Lietaus nuotekų vamzdis FL1
- Tiekiamas lietaus vanduo VL1

Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
SEM-7	Studentas	P. Spūdys		Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.	
	Vadovas	J. Vaičiūnas			
	Konsult.				
	Konsult.				
	Konsult.				
Etapas	Pastatų energinių sistemų katedra Studentų g. 48, 51367 Kaunas			1 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100; Lietaus vandens surinkimo talpa M 1:50	
TP				2019-TP-PESK -VN	Laida O
				Lapas	Lapų
				1	4

2 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100



Sutartiniai žymėjimai:

- Izoliuotas šalto vandentiekio vamzdis V1
- Izoliuotas karšto vandentiekio vamzdis T3
- Izoliuotas cirkuliacinio vandentiekio vamzdis T4
- Tiekiamas lietaus vanduo VL1

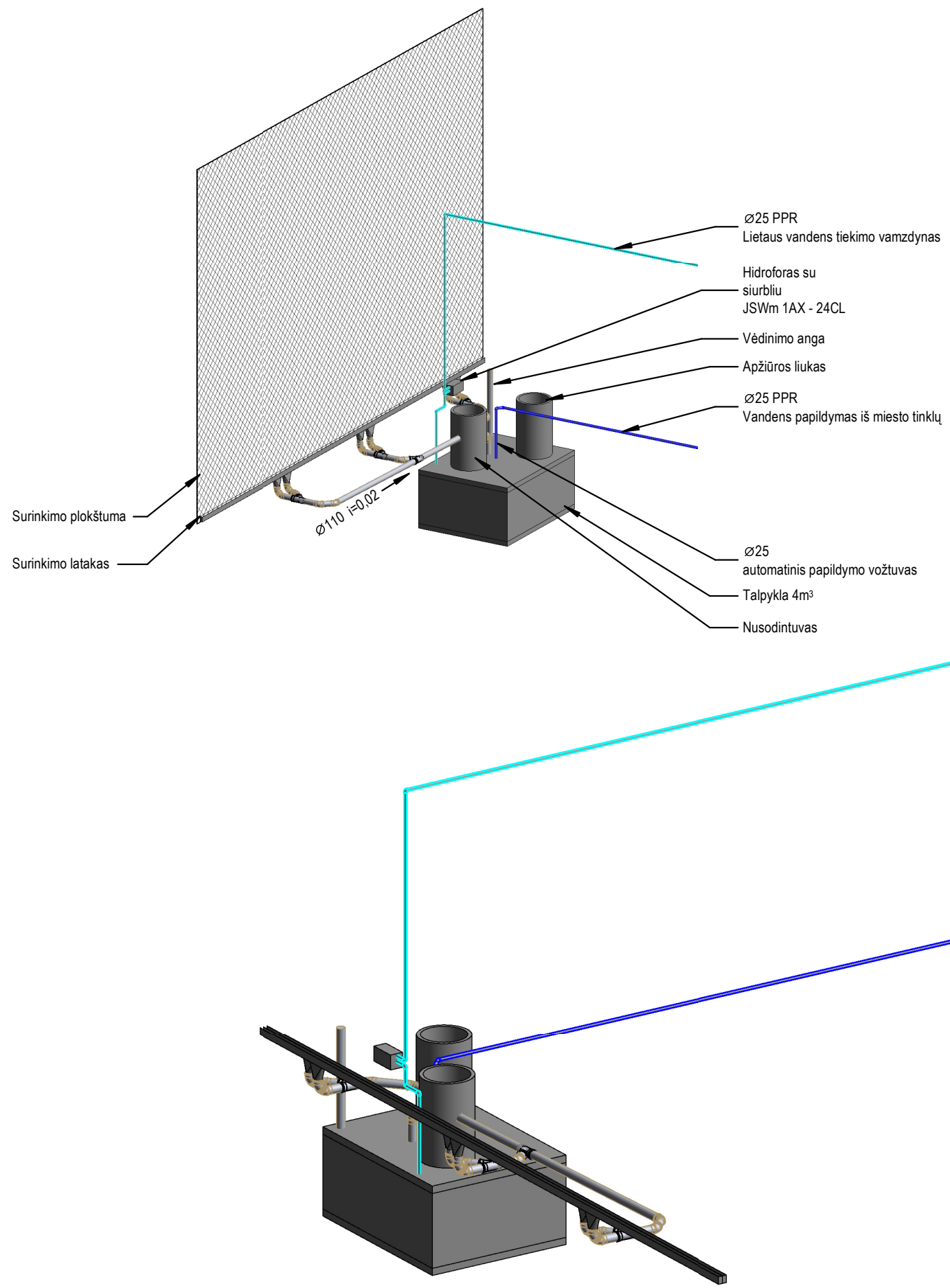
ANTRO AUKŠTO PATALPŲ EKSLPIKACIJA

Nr.	PATALPOS PAVADINIMAS	Plotas, m ²
201	Laiptinė	3,49
202	Koridorius	14,55
203	Biurų patalpa	154,02
204	San. mazgas	3,22
205	San. mazgas	3,13
206	San. mazgas	3,22
207	Biurų patalpa	104,80
208	Biurų patalpa	108,43

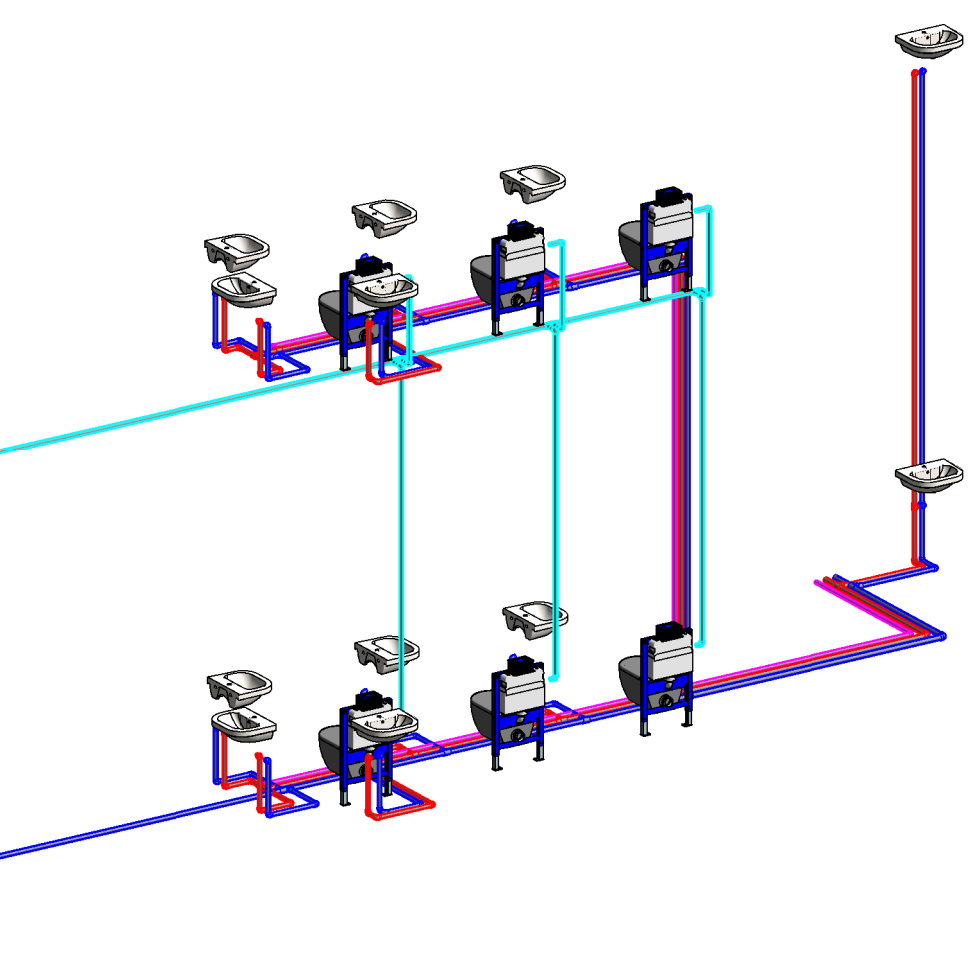
Pastaba: brėžiniai paruošti naudojantis Autodesk Revit 2018 programa

Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas			Magistro baigiamasis projektas		
SEM-7	Studentas	P. Spūdys		Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.		
	Vadovas	J. Vaičiūnas				
	Konsult.					
	Konsult.					
	Konsult.			2 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100;		
	Konsult.			2019-TP-PESK -VN		
Etapas	Pastatų energinių sistemų katedra Studentų g. 48, 51367 Kaunas			Lapas	Lapų	
TP					2	4

Lietaus vandens surinkimo ir laikymo sistemos schema



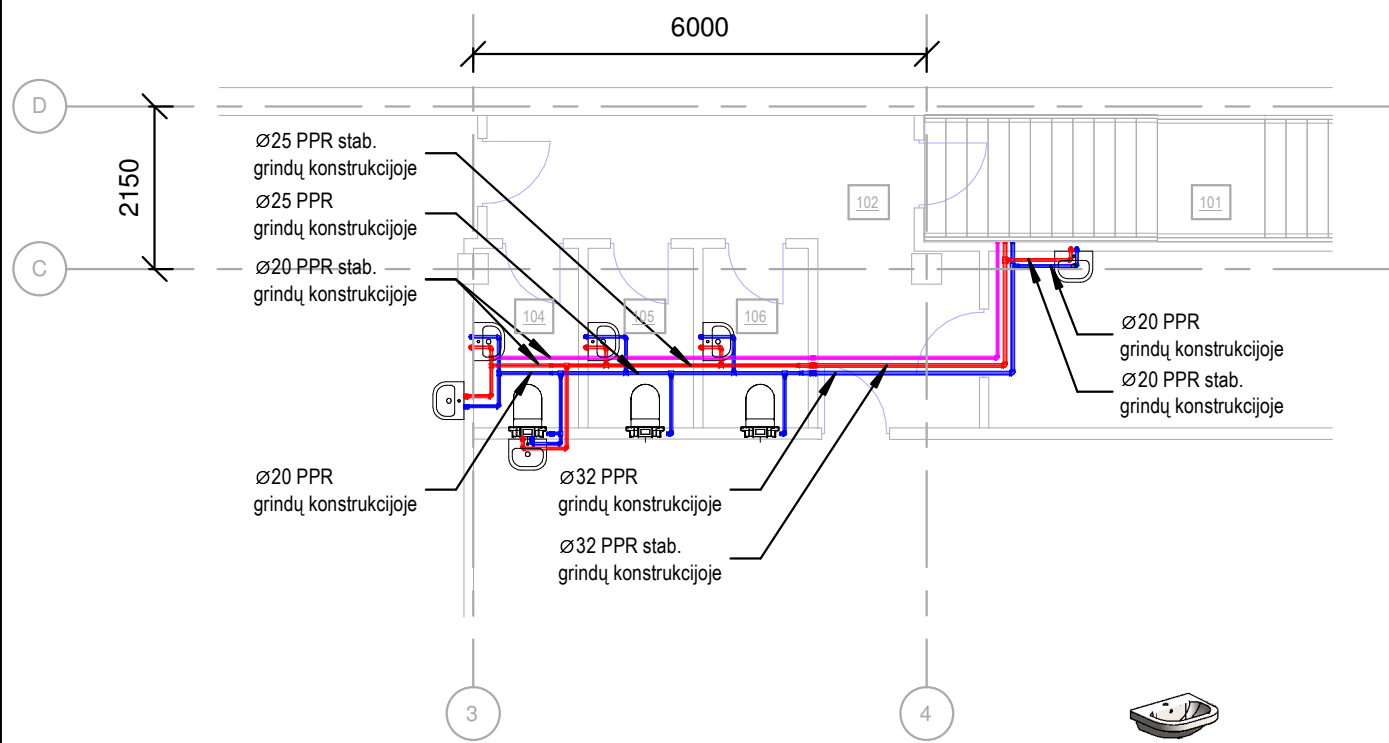
Vandentiekio sistemos su lietaus vandens panaudojimu schema



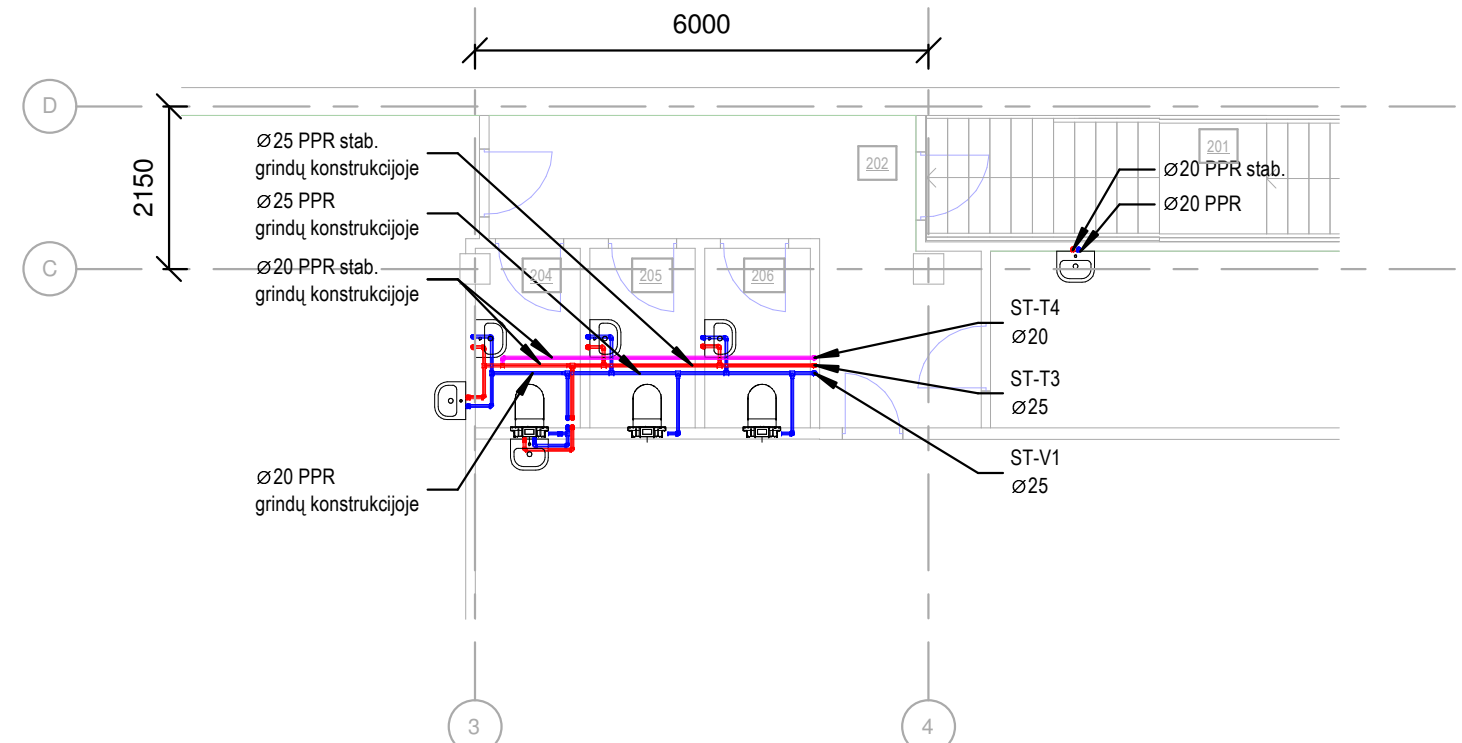
Pastaba: brėžiniai paruošti naudojantis Autodesk Revit 2018 programa

Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
SEM-7	Studentas	P. Spūdys		Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.	
	Vadovas	J. Vaičiūnas			
	Konsult.				
	Konsult.				
	Konsult.			Lietaus vandens surinkimo ir laikymo sistemos schema; Vandentiekio sistemos su lietaus vandens panaudojimu schema	Laida
	Konsult.				O
	Konsult.				
Etapas	Pastatų energinių sistemų katedra Studentų g. 48, 51367 Kaunas			2019-TP-PESK -VN	Lapas
TP					Lapų
					3
					4

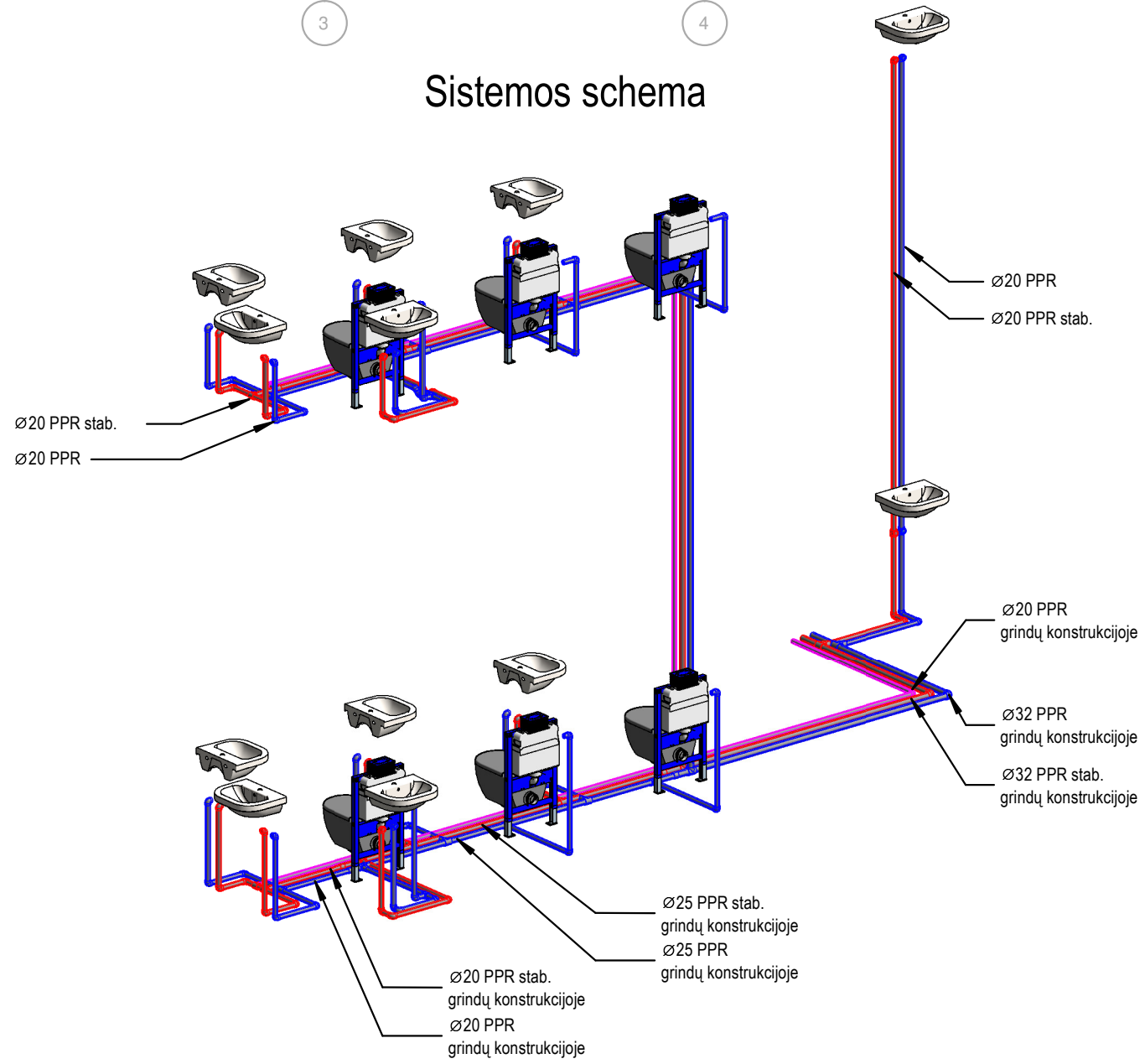
1 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100



2 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100



Sistemos schema



PIRMO/ANTRO AUKŠTO PATALPŲ EKSLPIKACIJA

Nr.	PATALPOS PAVADINIMAS	Plotas, m ²
101/201	Laiptinė	3,49
102/202	Koridorius	14,55
103/203	Biurų patalpa	154,02
104/204	San. mazgas	3,22
105/205	San. mazgas	3,13
106/206	San. mazgas	3,22
107/207	Biurų patalpa	104,80
108/208	Biurų patalpa	108,43

Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas				Magistro baigiamasis projektas		
SEM-7	Studentas	P. Spūdys			Lietaus vandens surinkimo nuo vertikalių paviršių galimybių tyrimas, įvertinant plokštumos posvyrio kampą.		
	Vadovas	J. Vaičiūnas					
	Konsult.						
	Konsult.						
	Konsult.						
Etapas	Pastatų energinių sistemų katedra Studentų g. 48, 51367 Kaunas				1 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100; 2 aukšto planas su vandentiekio sistema M 1:100; Sistemos schema		Laida
TP							Lapas
					2019-TP-PESK -VN		Lapų
							4
							4