

URBANIZACIJOS POVEIKIS LIŪČIŲ NUOTĖKIUI KLAIPĖDOS R. ESANČIO VĖŽIŲ UPELIO BASEINE

Linās KUNDROTAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el.paštas: linas.kundrotas@stud.vdu.lt

Santrauka

Darbe nagrinėjamas urbanizacijos poveikis liūčių metu susidarančio paviršinio vandens nuotėkiui. Tema aktuali dėl stebimų klimato kaitos padarinių, kurie iššaukia dažnėjančias bei intensyvėjančias liūtis. Tiriama teritorija yra Klaipėdos rajone, matavimai atlikti 2025 m. liepos ir rugpjūčio mėnesiais. Vėžių upelio baseinas urbanizuotas nevienodai, bendrai kietos dangos (pagal 2025 sausio mėn. LiDAR duomenis) sudaro 11,5 proc. teritorijos. Analizuojamoje teritorijoje išskirti 5 pabaseiniai, bendras baseino plotas – apie 8 km². Pasirinktuose stebėjimų taškuose buvo atliekami tėkmės greičio ir vandens lygio matavimai, siekiant nustatyti upelio vandens debitą. Papildomai buvo panaudoti Meteo.lt bei Geoportal.lt portaluose publikuojami duomenys. Surinkti duomenys apdoroti CloudCompare, ArcGIS Pro programine įranga. Pabaseiniams išskirti panaudotas ArcHydro plėtinys, nuotėkio kitimas vertinamas HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) modeliavimo programa. Grafinių duomenų publikavimui sudaryti „Excel“ grafikai. Pagal surinktus vandens lygio matavimų duomenis nustatyta, kad, priklausomai nuo iškritusių kritulių kiekio, didėja potvynio bangos greitis. Pikinis vandens lygis labai priklauso nuo gruntinio vandens lygio. Išanalizavus matavimų metu surinktus ir Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos publikuojamus kritulių duomenis, modeliavimo metu nustatyta, kad kintant kietų dangų plotams keičiasi ir paviršinio vandens priteka į griovį, taip pat kinta pikinės vandens lygių reikšmės.

Raktiniai rodžiai: kietos dangos, infiltracija, paviršinis vandens nuotėkis, pikinis vandens lygis.

Įvadas

Urbanizacija daro labai didelę įtaką nusistovėjusiam hidrologiniam režimui, natūralias dangas (dirvožemį, velėną ir kt.) vis dažniau pakeičia nelaidūs paviršiai, tokie kaip asfaltas, betonas, stogai. Dėl šių pokyčių reikšmingai padidėja paviršinio vandens kiekis liūčių metu, sumažėja infiltracija į gruntą, sutrumpėja nuotėkio susidarymo laikas ir padidėja vandens srautų intensyvumas (Poška, Punys, 1996). Tokie pokyčiai kelia riziką tiek urbanizuotų teritorijų infrastruktūrai, tiek natūralioms arba iš dalies natūralioms vandens ekosistemoms.

Didelio intensyvumo trumpalaikės liūtys, kurios pastaraisiais metais pasitaiko vis dažniau dėl klimato kaitos, tampa vienu svarbiausių iššūkių mėginant sukontroliuoti paviršinio vandens srautus miestuose ir tankiai užstatomuose priemiesčiuose. Pagal Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenis, 2025 m. vasaros sezono kritulių kiekis Lietuvoje vidutiniškai siekė 275,6 mm, o tai yra 20 proc. daugiau negu vasaros daugiamečių norma (229 mm). Drėgnumu ypač išsiskyrė liepos mėn. (iškrito net 168 proc. liepos kritulių normos), kuris buvo 3 drėgniausias liepos mėn. nuo 1961 m., įvairiose Lietuvos vietose fiksuoti stichiniai ir netgi katastrofiniai krituliai (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2025). Neįvertinus arba netinkamai vertinant susidarančio paviršinio vandens nuotėkio kiekius, didėja urbanizuotų teritorijų užtvindymo tikimybė, galimos avarinės situacijos, patiriami ekonominiai nuostoliai, daugėja su ekologija susijusių problemų. Savalaikis ir tikslus liūčių nuotėkio skaičiavimas įvertinant urbanizacijos plėtrą yra būtinas planuojant paviršinių nuotekų surinkimo sistemas, projektuojant infrastruktūrą bei vertinant urbanizacijos poveikį hidrologiniam režimui.

Lietuvoje atlikta nedaug tyrimų, analizuojančių urbanizacijos poveikį hidrologiniam režimui, ypač liūčių metu. Dauguma jų fragmentuoti – dažnai vykdyti konkrečiuose miestuose ar mažesniuose baseinuose. Pagrindinis hidrologų dėmesys krypta į klimato kaitos keliamas problemas, požeminio vandens išteklius, potvynių prognozavimą, ekologinius ir panašius klausimus siejamus su žmogaus daromu poveikiu aplinkai (Dumbrasukas, 2000; Rimeika, 1999). Pagrindiniai šių tyrimų iniciatoriai Lietuvoje yra aukštosios mokyklos – Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, VILNIUS TECH, Klaipėdos universitetas, mažiau, bet kartais prisideda tarpdisciplininiais tyrimais KTU, LSU, LSMU. Taip pat tyrimus yra atlikę ir valstybinės institucijos – Aplinkos ministerija, Aplinkos apsaugos agentūra (AAA), Lietuvos geologijos tarnyba (LGT), savivaldybės (dažniausiai per teritorijų planavimo ar infrastruktūros skyrius). Tarpdisciplininiai projektai su verslu, pavyzdžiui, „Smart ContRain“ (lietaus valdymas miestuose) ar „Green City“ dažnai vykdomi bendradarbiaujant universitetams su savivaldybėmis ir inžinerinėmis įmonėmis. 2012 m. E. Stonevičius ir S. Jonuškaitė HEC-HMS modeliavimo programą pritaikė Jūros upės šiltojo laikotarpio poplūdžių vertinimui. Lietuvoje HEC-HMS modeliavimo programa Snyder metodu atliktų tyrimų nėra arba nepavyko rasti, užsienyje šis metodas taikomas plačiau, vertinant kietų dangų poveikį nuotėkiui, tačiau publikuojamų mokslinių darbų taip pat nėra daug. Azijoje ir Afrikoje yra atlikta tyrimų naudojant Snyder metodą paviršinių srautų modeliavimui. Auganti urbanizacija keičia natūralų vandens apytakos ciklą ir daro tiesioginį poveikį upių baseinų hidrologiniai aplinkai (Miller, Hutchins, 2017).

Šiame darbe keliama hipotezė, kad didėjantis nelaidžių paviršių plotas Vėžių upelio baseine lems intensyvesnį liūčių nuotėkį, didesnius paviršinio nuotėkio debitus ir dažnesnius užtvindymus žemesnėse baseino teritorijose. Šiuo atveju susiduriama su problema, kad nepakankamai ištirta, kaip urbanizacijos procesai keičia liūčių nuotėkio režimą, ir trūksta duomenimis pagrįstų sprendimų, kurie leistų tiksliai planuoti nuotekų infrastruktūrą bei taikyti tinkamas vandens tėkmių valdymo priemones.

Tyrimo tikslas – nustatyti, kaip urbanizacijos plėtra Vėžių upelio baseine veikia liūčių nuotėkio susidarymą ir dinamiką.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Sudaryti baseino reljefo skaitmeninį modelį.
2. Atlikti vandens lygio bei tėkmės greičio matavimus.
3. Atlikti modeliavimą keičiant pirmines sąlygas.

Tyrimų objektas

Vėžių upelis teka Klaipėdos rajono vakarinėje dalyje, ilgis – 3,1 km, baseino plotas – 779 ha, yra dešinys Smeltalės upės intakas. Vėžių upelis yra bendros Klaipėdos rajono melioracijos sistemos dalis, taip pat yra kaip paviršinio vandens surinkimo sistemos dalis.

Vėžių upelio baseinas yra vienas iš sparčiausiai urbanizuojamų teritorijų Klaipėdos rajone, anksčiau teritorija naudota žemės ūkyje, miškų beveik nėra (apie 3 ha). Pagal 2025 m. sausio mėn. Geoportal.lt pateiktus (LiDAR) duomenis, kietos, nelaidžios dangos (stogai, kiemai, keliai) sudaro 89,65 ha ploto, t. y. apie 11,5 proc. viso tiriamo baseino ploto. Labiausiai užstatyta yra vakarinė centrinė ir šiaurinė teritorijos dalis. Pietrytinė teritorijos dalis yra beveik neužstatyta, šiuo metu vyrauja šienaujamos pievos. Toks teritorijos pasiskirstymas ir hidrotechnikos statinių (vandens pralaidų) pozicijos leidžia atlikti teritorijos tyrimą tiek užstatytos, tiek neužstatytos žemės paviršiaus atvejais.

Tyrimo objektas apima hidrologinius ir meteorologinius procesus, susijusius su trumpalaikiais kritulių įvykiais (liūtimis) – jų intensyvumą, trukmę, pasiskirstymą ir sukeltą paviršinį nuotėkį. Pagrindinis dėmesys skiriamas kritulių-nuotėkio sąryšio modeliavimui, siekiant nustatyti, kaip skirtingo urbanizacijos lygio teritorijos reaguoja į vienodus kritulių kiekius.

Tyrimų metodai

Siekiant nustatyti urbanizacijos plėtros poveikį liūčių nuotėkio susidarymui, naudojama keli metodai, kurių pasirinkimas priklauso nuo konkrečių gamtinių sąlygų, turimos informacijos ar galimybės gauti reikiamą informaciją tyrimui atlikti.

Kartografinė ir GIS analizė – naudojant geografinės informacinės sistemas (GIS), analizuojami žemės dangos pokyčiai tiriamame baseine. Naudojami ortofotografiniai žemėlapiai, CORINE žemės dangos duomenys ir topografiniai žemėlapiai leidžia įvertinti urbanizuotų teritorijų plėtros mastą ir nepralaidžių paviršių didėjimą.

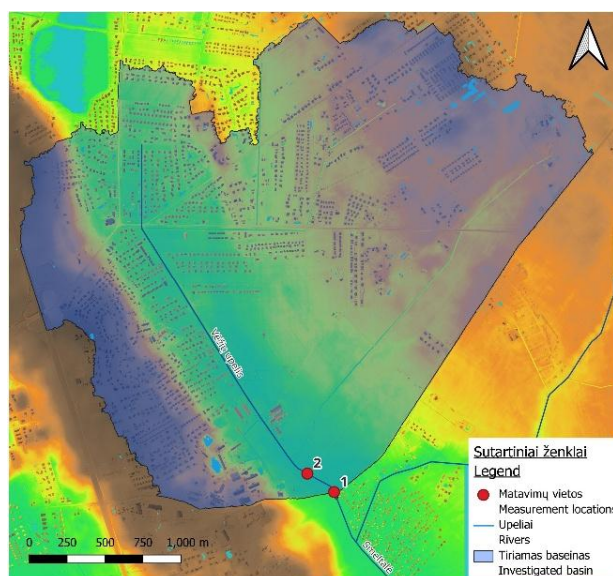
Meteorologinių ir hidrologinių duomenų analizė – nagrinėjami istoriniai kritulių (liūčių) ir nuotėkio duomenys, siekiant identifikuoti ryšius tarp kritulių intensyvumo ir paviršinio srauto formavimosi. Naudojami Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenys, stoties prie tiriamo baseino ar artimų panašių baseinų informacija.

Hidrologinis modeliavimas – taikomas skaitmeninis modelis (HEC-HMS), leidžiantis simuliuoti kritulių-nuotėkio procesą įvairiomis urbanizacijos sąlygomis. Modelis kalibruotas ir validuotas pagal realius duomenis.

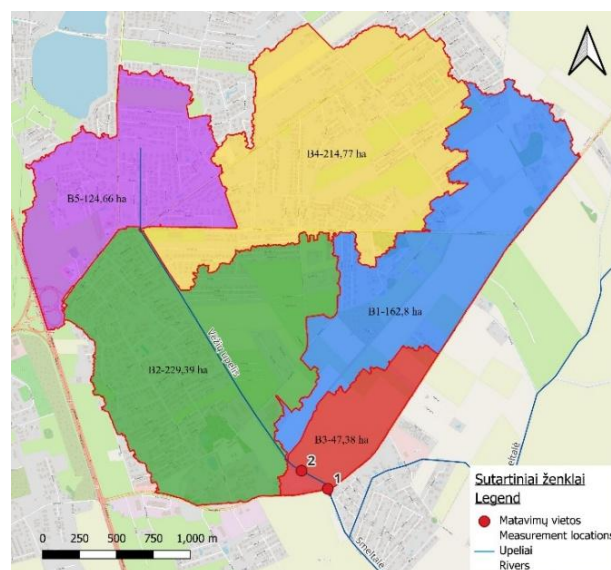
Scenarijų analizė – atliekami keli modeliavimo scenarijai, atspindintys skirtingas žemės dangos būkles (pvz., iki urbanizacijos, dabartinė padėtis ir prognozuojama plėtra), siekiant nustatyti, kaip urbanizacija veikia nuotėkio dydžius ir trukmę liūčių metu.

Šiame darbe naudojama skaitmeninio reljefo analizė taikant D8 metodą (Tarboton et al., 1991). Visų pirma, sudaromas skaitmeninis reljefo modelis (žr. 1 pav.).

Iš LiDAR duomenų su CloudCompare programa laikantis aprašytais metodais (CloudCompare, Version 2.6.1, user manual) sukuriamas SRM ir taikant ArcHydro Tools erdvinės analizės įrankių paketą išskiriami pabaseiniai. Tai pirmas etapas, siekiant nustatyti tikslias baseino ribas ir vandens tekėjimo kryptis. Atsižvelgiant į paviršinio vandens tekėjimo kryptis, numatyti charakteringi matavimo taškai, kuriuose gauta informacija panaudota siekiant įgyvendinti tiriamojo darbo tikslus. Pirmas tyrimo taškas yra žemiausioje baseino vietoje įrengta gelžbetoninė vandens pratekėjimo pralaida, kurios skersmuo – 1,2 m. Antras matavimo taškas parinktas apie 200 m aukščiau esanti, taip pat gelžbetoninė 1,2 m skersmens pralaida. Matavimams parinktos vietos skiriasi teritorijos, nuo kurios surenkamas vanduo, plotu. Į matavo tašką Nr. 2 suteka vanduo nuo 6 proc. mažesnės teritorijos nei į tašką Nr. 1. Teritorija, nuo kurios vanduo suteka tik į matavimo tašką Nr. 1, yra neurbanizuota (kietų dangų nėra), todėl galima įvertinti, kaip nuotėkis baseine formuodavosi, kai urbanizacija dar nebuvo prasidėjusi arba buvo minimali. Neurbanizuota baseino dalis savo charakteristikomis (reljefas, miškingumas, geologinė sandara) yra artima visam baseinui (žr. 2 pav.).



1 pav. Reljefo modelis.
Fig. 1. Relief model.

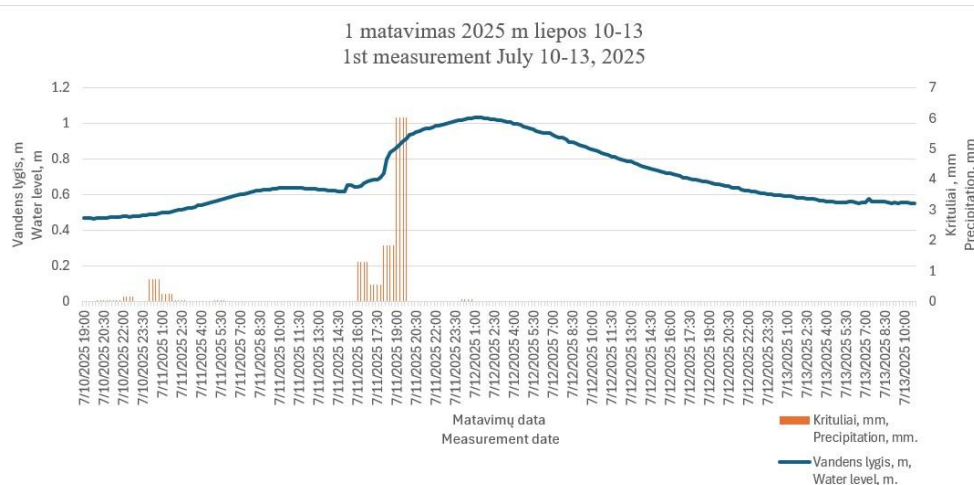


2 pav. Teritorijos suskirstymas į pabaseinius.
Fig. 2. Division of the territory into sub-basins.

Tyrimui atlikti panaudoti slėgio sensoriai, kurie matuoja atmosferinio slėgio pokytį. Buvo naudojami 3 sensoriai – du po vandeniu ir vienas virš vandens. Skaičiuojant vandens lygio pokytį pagal atmosferos slėgį, yra būtina atlikti matavimus ore tam, kad būtų galima eliminuoti atmosferos slėgio pokyčio įtaką vandens lygio matavimams. Matavimų pradžia buvo parenkama pagal meteorologines prognozes, siekiant fiksuoti vandens lygį prieš liūtį pradžią, liūtis metu ir pasibaigus liūčiui. Matavimai buvo atliekami 15 min. intervalais. Tėkmės greitis matuotas hidrometriniu suktuku, esant skirtingiems vandens lygiams matavimo taške Nr. 1.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Pagrindinis darbo tikslas yra įvertinti urbanizacijos įtaką liūčių nuotėkiui išskirtoje teritorijoje. Analizuojant sudarytą reljefo modelį teritorija buvo suskirstyta į pabaseinius, pagal vandens tekėjimo kryptis. Iš viso išskirti 5 pabaseiniai (žr. 2 pav.). Išanalizavus Geoportal.lt publikuojamus LiDAR duomenis kietosios, nelaidžios dangos (stogai, kiemai, keliai) sudaro apie 11,5 proc. bendro baseino ploto. Atskiruose pabaseiniuose šis procentas kinta nuo 16 proc. (5 pabaseinis) iki 0 proc. (3 pabaseinis). Pagal reljefo modelį parinkus matavimo taškus atlikti natūriniai tyrimai. 2025 m. birželio–rugpjūčio mėn. atlikus vandens lygio dinamikos matavimus bei panaudojus Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos fiksuojamus kritulių duomenis, sudaryti upelio vandens lygio hidrografai ir nustatyta priklausomybė nuo kritulių kiekio (žr. 3 pav.) Liūtis arba stiprus lietus per matavimų periodą pasikartojo 3 kartus.



3 pav. Vandens lygio svyravimų priklausomybė nuo kritulių kiekio.
Fig. 3. Dependence of water level fluctuations on precipitation.

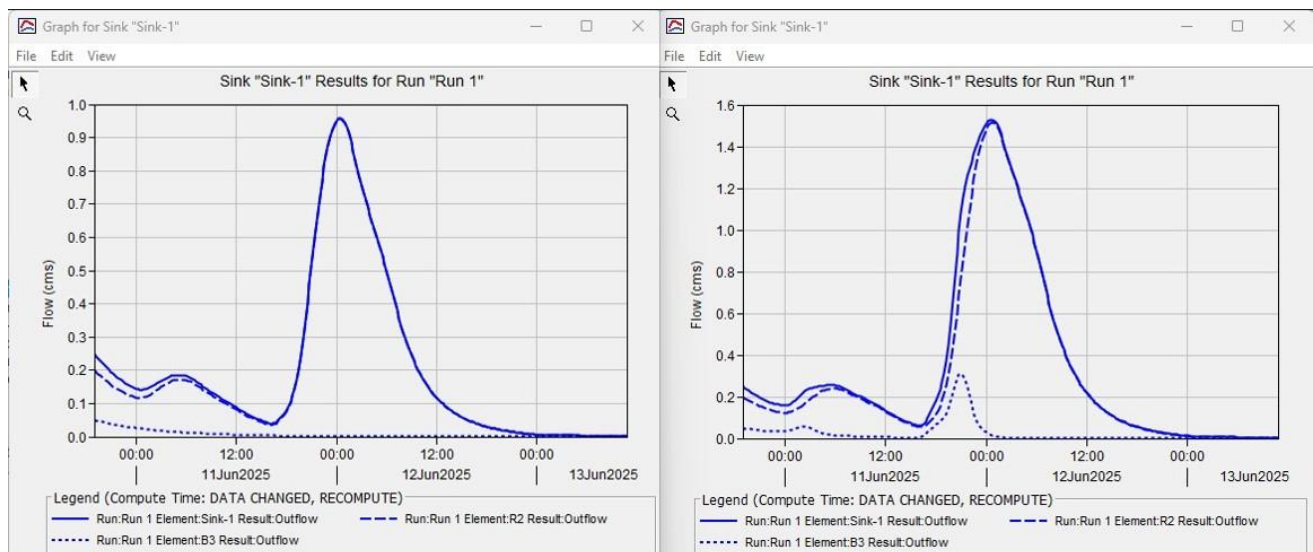
Pagal matavimų metu surinktus duomenis nustatyta, kad 1 matavimo metu iškrito 24,1 mm, pikinis vandens lygis pralaidoje pasiektas po 6.30 val.; 2 matavimo metu iškrito 11,6 mm, pikinis vandens lygis pralaidoje pasiektas po 9.30 val.; 3 matavimo metu iškrito 9,7 mm, pikinis vandens lygis pralaidoje po 13.30 val.

Vertinant gruntų prisotinimą vandeniu nustatyta, kad 1 matavimo metu prieš liūtį vandens lygis griovyje 0,45 m, iškritus 24,1 mm kritulių vandens lygis maksimaliai pakilo iki 1,031 m; 2 matavimo metu prieš liūtį vandens lygis griovyje 0,6 m, iškritus 11,6 mm vandens lygis maksimaliai pakilo iki 1,082 m; 3 matavimo metu prieš liūtį vandens lygis griovyje 0,65 m, iškritus 9,7 mm vandens lygis maksimaliai pakilo iki 0,937 m.

Matavimus atlikus taške Nr. 2 (apie 200 m prieš srovę esančioje pralaidoje) gauti rezultatai buvo beveik identiški kaip ir taške Nr. 1, nors baseino plotas, nuo kurio surenkamas vanduo į matavimo tašką Nr. 2, buvo mažesnis apie 6 proc.

Matavimo taške Nr. 1 buvo atlikti tėkmės greičio matavimai. Siekiant tiksliau įvertinti tėkmės greitį, buvo atlikta 10 tėkmės greičio matavimų esant skirtingiems vandens lygiams. Pagal matavimų metu surinktus duomenis (tėkmės greitis ir debitas) sudaryta debitų kreivė, pagal kurią galima paskaičiuoti debitą prie skirtingų išmatuotų vandens lygių.

Surinkus duomenis apie urbanizacijos lygį, kritulius, vandens lygio pokyčius ir tėkmės greitį atliktas paviršinio nuotėkio modeliavimas HEC-HMS modeliavimo programa. Atlikus kalibravimą (pikinio vandens lygio ir bangos judėjimo greičio paklaida lyginant su matavimais – 7 proc.) galima keisti pirminius parametrus (lietaus kiekį, kietų dangų plotus ir pan.) ir gauti prognozuojamą rezultatą. Toliau pateikiamas pirmo matavimo, atlikto 2025 m. liepos mėn. 10–13 d. scenarijus, kai liūtis metu iškrito maksimalus 24,1 mm/val. vandens kiekis, bendras kietų dangų kiekis baseine sudaro 11,5 proc. 4 paveiksle pateiktas vandens lygio kitimo grafikas pagal realius duomenis, 5 paveiksle modeliuojamas scenarijus, kai liūtis duomenys nekinta, o kietų dangų kiekis baseino ribose padidėja nuo 11,5 iki 20 proc.



4 pav. Vandens lygio kitimo grafikas (kietos dangos kairėje - 11.5%, kietos dangos dešinėje - 20%).

Fig. 4. Water level change graph (hard pavement on the left - 11.5%, hard pavement on the right - 20%).

4 paveiksle ištisinė linija rodo vandens lygį matavimo taške Nr. 1, punktyrinė linija rodo vandens lygį matavimo taške Nr. 2, taškinė linija rodo nuotėkį nuo 3 pabaseinio (pirminiais duomenimis kietos dangos 0 proc.).

Anksčiau atliktų tyrimų rezultatai panašūs, kaip ir šio tyrimo – didėjant kietų dangų plotams didėja paviršinių nuotekų srantai. Irane atlikto tyrimo metu nustatyta, kad nuotėkio debitas gali padidėti iki 40 proc. (Gholami, Saravi, 2010). Kenijoje, skaičiuojant kaip paviršiniai vandens srantai kito nuo 2000 iki 2022 m., vertinant kietų dangų didėjimą, gauti panašūs rezultatai. Nelaidžių paviršių plotui padidėjus nuo 2,88 iki 22,21 proc. nuotėkis padidėjo 84,75 proc. (Ongaga et al., 2024). Mokslinių straipsnių, kuriuose tyrimams atlikti taikytas Snyder metodas, nėra daug. Viešai prieinamoje literatūroje daugiausia lyginami tyrimų metodai, aprašomi privalumai ar trūkumai, tačiau atskirų objektų tyrimų duomenys, rezultatai ir išvados neviešinamos.

Išvados

1. Priklausomai nuo iškritusių kritulių kiekio didėja potvynio bangos greitis – iškritus 24,1 mm, pikinis vandens lygis pralaidoje pasiektas po 6.30 val., iškritus 11,6 mm, pikinis vandens lygis pralaidoje pasiektas po 9.30 val, iškritus 9,7 mm, pikinis vandens lygis pralaidoje po 13.30 val.

2. Pikinis vandens lygis labai priklauso nuo gruntinio vandens lygio. 1 matavimo metu prieš liūtį vandens lygis griovyje 0,45 m, iškritus 24,1 mm kritulių vandens lygis maksimaliai pakilo iki 1,031 m; 2 matavimo metu prieš liūtį vandens lygis griovyje 0,6 m, iškritus 11,6 mm vandens lygis maksimaliai pakilo iki 1,082 m.

3. Didėjant urbanizuotų teritorijų plotams didėja potvynio bangos pikinis lygis. Iškritus 24,1 mm/val. kritulių kiekiui, kai urbanizacijos lygis 11,5 proc., pikinis vandens lygis pasiekė 0,95 m. Padidinus urbanizuotų teritorijų plotą iki 20 proc. potvynio bangos pikinis vandens lygis gali pasiekti 1,5 m.

Literatūra

1. CloudCompare Development Team. (2015). *CloudCompare version 2.6.1: User manual*. <https://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>
2. Dumbrasukas, A. (2000). Liūčių struktūros analizės ir paviršinio nuotėkio formavimosi skaitmeninis eksperimentas. *Lietuvos žemės ūkio universiteto ir Lietuvos vandens ūkio instituto mokslo darbai*, 22(2), 12–34.
3. Gholami, V., & Saravi, M. M. (2010). Effects of impervious surfaces and urban development on runoff generation and flood hazard in the Hajighoshan watershed. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(1), 1–12.
4. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. (2025). 2025 m. vasaros apžvalga. <https://www.meteo.lt/2025-m-vasaros-apzvalga/>
5. Miller, J. D., & Hutchins, M. (2017). The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology*, 12, 345–362.
6. Ongaga, C. O., Makokha, M., Obiero, K., Kipkemai, I., & Dianga, J. (2024). Urbanization and hydrological dynamics: A 22-year assessment of impervious surface changes and runoff in an urban watershed. *Frontiers in Water*, 6, Article 1455763. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1455763>
7. Poška, A., & Punys, P. (1996). *Inžinerinė hidrologija*. Technologija.
8. Rimeika, M. (1999). Lietaus intensyvumo, trukmės ir pasikartojimo dėsningumai Lietuvoje. *Aplinkos inžinerija*, 7(3).
9. Stonevičius, E., & Jonuškaitė, S. (2012). HEC-HMS modelių sistemos taikymo Jūros upės šiltojo laikotarpio poplūdžių modeliavimui vertinimas. *Geografija*, 48(1). <https://doi.org/10.6001/geografija.v48i1.2326>
10. Tarboton, D. G., Bras, R. L., & Rodriguez-Iturbe, I. (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes*, 5(1), 81–100. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050107>

THE IMPACT OF URBANIZATION ON STORMWATER RUNOFF IN THE VĖŽIŲ STREAM CATCHMENT, KLAIPĖDA DISTRICT

Abstract

This thesis examines the impact of urbanization on surface water runoff generated during heavy rainfall events. The relevance of the topic is driven by the observed effects of climate change, which lead to increasingly frequent and intense heavy rainfall. The investigated area is located in Klaipėda District, where field measurements were conducted in July and August 2025. The Vėžiai stream catchment is unevenly urbanized; overall, impervious surfaces account for 11.5% of the territory, according to LiDAR data from January 2025. Within the analyzed area, five sub-catchments were delineated, and the total catchment area is approximately 8 km². At selected monitoring points, flow velocity and water level measurements were performed in order to determine stream discharge. In addition, data published on the Meteo.lt and Geoportal.lt portals were used. The collected data were processed using CloudCompare and ArcGIS Pro software. Sub-catchments were delineated using the ArcHydro extension, while changes in runoff were evaluated using the HEC-HMS (Hydrologic Modeling System). Graphical visualization of the data was prepared using Microsoft Excel. Based on the collected water level measurements, it was determined that the velocity of the flood wave increases with increasing precipitation amounts. Peak water levels strongly depend on the degree of soil water saturation. Flow velocity measurements indicate that channel condition as well as the water level at the receiving channel have a significant influence on flow velocity. Analysis of precipitation data collected during the measurements and published by the Lithuanian Hydrometeorological Service shows that, under changing extents of impervious surfaces, surface runoff inflow to the channel also changes, along with variations in peak water level values.

Keywords: impervious surfaces, infiltration, surface water runoff, peak water level .