

GIS metodais grįstas urbanizuotos teritorijos lokalių poplūdžių identifikavimas Kauno miesto atveju

Antanas Dumbrauskas

Aleksandro Stulginskio universitetas

Vykstanti klimato kaita nuolat kelia vis naujus iššūkius įvairių sričių tyrėjams. Pastarosios vasaros netikėti ir žaibiški poplūdžiai verčia koreguoti ir urbanistinėje hidrologijoje taikomus metodus. Kita vertus, spartėjanti ir intensyvjanti miestų plėtra vyksta neprisilaikant darnaus vystymosi principų, kas neišvengiamai sukelia netikėtas problemas, kurias išspręsti neatliekant mokslinių tyrimų bus vis sudėtingiau. Viena iš ypač paaštrėjusių problemų – dėl intensyvių ir gausių liūčių užtvindomi lokalūs atskirose miesto teritorijose esantys nedideli plotai ir padaroma atitinkama žala tiek gyventojų turtui tiek ir miesto infrastruktūrai. Norint žalą mažinti, pirmiausia reikia ją reikia identifikuoti, įvertinti jos išplitimo mastą miesto teritorijoje ir nustatyti priežastis. Ypatingai spartus pastarojo dešimtmečio nuotolinių tyrimų technologijų vystymasis leidžia operatyviai gauti daug ir tikslios erdvinės informacijos, kuria pasinaudojus, galima atlikti potencialiai apsemiamų teritorijų identifikavimą ir jų kiekybinių parametų nustatymą. Šio straipsnio tikslas – naudojant žinomas GIS technologijas ir nuotolinių tyrimų metodais gautą erdvinę informaciją, nustatyti Kauno miesto potencialiai rizikingus plotus dėl jų apšėmimo intensyvių liūčių metu, sudaryti jų skaitmeninį žemėlapi, kuriuo vadovaujantis būtų galima planuoti poplūdžių rizikos mažinimo priemonės, bei vadovautis kuriant miesto plėtros planus.

Poplūdžių rizikos vertinimas, nuotoliniai tyrimai

Įvadas

Išsamus ir visapusiškas potvynių rizikos vertinimas yra pagrindas integruotam daromos žalos mažinimo sistemos sukūrimui. Potvyniai yra viena iš stichinių nelaimių, kuri tarp kitų gamtinių reiškinių daromos žalos – uraganų, žemės drebėjimų, cunamių ir kt. pagal daromos žalos skalę skirtingose klimatinėse zonose ir šalyse užima skirtingą vietą. Statistikos portalo www.statista.com duomenimis, 2016 metais pasaulyje (tame tarpe ir Europoje) daugiausia žalos padarė hidrologinės kilmės (aukštas gruntinis vanduo, aukštas upių vandens lygis, žaibiškų liūčių sukelti potvyniai ir pan.), antroje vietoje Europoje lieka meteorologinės bei geofizinės kilmės stichinės nelaimės. Nesigilinant į statistikos detales, reikia pažymėti, kad potvynių problema Europos sąjungoje yra labai svarbi, o tam skiriamą dėmesį patvirtina 2007 metais priimta atitinkama (Europos parlamento..., 2007) potvynių direktyva, kurią visos ES šalys narės turėjo įgyvendinti iki 2013 metų. Pagal šį dokumentą Lietuvoje yra parengti potvynių rizikos žemėlapiai ir sudarytas rizikos mažinimo priemonių planas (<http://potvyniai.aplinka.lt/potvyniai/>). Tačiau šie žemėlapiai ir parengtas potvynių rizikos mažinimo priemonių planas neapima lokalių staigių ar kitaip vadinamų „žaibiškų“ liūčių sukeltų trumpalaikių potvynių urbanizuotose teritorijose. Hidrologinės kilmės potvyniai skirstomi į atskiras grupes. Pagal (Kreibich and Dimitrova, 2010) atliktus tyrimus Dunojaus ir Elbės upių slėniuose, išskirtos keturios hidrologinės kilmės potvynių grupės, kurias čia pateikiame eilės tvarka pagal didžiausią daromą žalą: 1- pylimų pralaužimas; 2 – aukštas vandens lygis upėje dėl upe atitekančio vandens; 3 - staigios liūtys, sukeliančios lokalius poplūdžius ir 4 - aukštas gruntinio vandens lygis. Be abejo kitoje vietovėje eiliškumas gali būti kitoks, kadangi tai susiję tiek su potvynių kilme, tiek ir su pačių objektų, patenkančių į potvynių zonas charakteristikomis.

Dėmesys miestuose liūčių sukeltiems potvyniams nuolat didėja, kadangi gyventojų procentas miestuose nuolat auga ir prognozuojama, kad 2050 metais juose gyvens du trečdaliai pasaulio gyventojų (Sørensen. Et al., 2016). Siekiant sumažinti ekspansiją į naujus žemės ūkiui

reikalingus plotus, miestai tampa tankiau apgyvendinti, o gerinant juose gyvenimo kokybę, sparčiai didėja nelaidžių dangų procentas (Perry, 2008) be to urbanizacijos procesai daugelių atveju neatitinka darnių miesto plėtros principų (Wong, 2012). Vykstant šiems procesams, tradiciniai inžineriniai sprendimai - kai buitinių nuotėkų tinklai naudojami ir paviršinėms lietaus nuotėkoms, tampa neefektyvūs. Klimato kaitos procesai sąlygoja tiek upių potvynių pradžios ir pabaigos datų pasikeitimus, tiek ir kritulių sezoniškumo pokyčius, kas savo ruožtu veda prie papildomų neapibrėžtumų taikant hidrologinių skaičiavimų standartus (Freni, 2010), nes tiek dėl pačių miestų plėtros, tiek dėl klimato kaitos, reikia naujų tyrimų, kurie leistų patikslinti ir adaptuoti galiojančius skaičiavimo standartus ir reglamentus (Redfern, et al., 2016). Visa tai skatina ieškoti naujų ir pažangių tyrimo metodų, leidžiančių operatyviai ir greitai įvertinti situaciją ir priimti sprendimus mažinančius daromą žalą. (Wicht and Osinska-Skotak, 2016, Albano et al., 2014).

2017 metų vasara aiškiai patvirtino šių problemų aktualumą ir Lietuvos didiesiems miestams, kai spaudoje bent porą mėnesių dėmesio centre buvo skęstantys atskiri tai vieno tai kito didmiesčio rajonai. Daugeliu atveju nebuvo sulaukta kvalifikuoto paaiškinimo, kodėl taip atsitinka, nei moksliniai tyrimai Lietuvoje šioje srityje beveik nebevystomi. Galima rasti keletą publikacijų apie liūčių intensyvumo bei skaičiuotino liūtys nustatymo metodikos kūrimą, bet tuo viskas ir baigiasi.

Šis tyrimas skirtas supaprastintam liūčių sukeltamam lokaliniam urbanizuotų teritorijų užliejimų rizikos įvertinimui mikro lygmenyje naudojant žinomas GIS technologijas (Albano et al., 2014; Maidment, 2002) ir nuotolinių tyrimų metodais, tokias kaip palydoviniai vaizdai ar lazerinis paviršiaus skenavimas, gautą informaciją.

Tyrimo rezultatas – sudarytas Kauno miesto potencialiai rizikingų plotų dėl jų apšėmimo intensyvių liūčių metu skaitmeninis žemėlapis, kuriuo vadovaujantis būtų galima planuoti poplūdžių rizikos mažinimo priemonės, bei vadovautis kuriant miesto plėtros planus. Tai leis pagrįsti tyrimų, derinant urbanistinės hidrologijos

ir nuotolinių tyrimų bei erdvinės analizės metodus urbanizuotose teritorijose būtinybę ir plėtote.

Metodika

Tyrimų objektas – Kauno miesto teritorija pagal dabartinės administracinės ribas (1 pav.), pateikiamas Georeferencinio pagrindo kadastro (toliau – GRPK) erdviųjų duomenų rinkinyje, 2017 m. versija.

Tyrimui panaudoti duomenys: Lietuvos Respublikos apskričių centrų skaitmeniniai erdviniai žemės paviršiaus lazerinio skenavimo taškų duomenys SEŽP, ir GRPK plotų sluoksnis paviršių laidumui įvertinti.

Tyrime numatyta nustatyti lokalias reljefo įdubas ir jų geometrines bei hidrologines charakteristikas: įdubos tūrį, vidutinį gylį, įdubos plotą, įdubos prietakos baseiną, prietakos baseino laidumo vandeniui indeksą, į įdubos plotą patenkančių gatvių ilgį ir pastatų skaičių, įdubos prietakos baseino reljefo formos indeksą.

Šioms charakteristikoms nustatyti naudojamas skaitmeninis reljefo modelis, sudarytas pagal prieš tai minėtus SEŽP duomenis.

Naudota programinė įranga ArcGIS 10.6, ArcGIS plėtiniai ArcHydro (Maidment D.R., 2002) ir LassTools (<https://rapidlasso.com>).

Darbo eiga tokia:

- Naudojant LasTools įrankius pradiniai SEŽP taškai filtruojami pašalinant atsitiktines klaidas ir to verčiami į ArcGIS priimtina formatą;

- Su ArcGIS taškų masyvai perkeliama į vieningą duomenų bazę ir generuojamas pasirinkto dydžio (1 m) gardelės dydžio skaitmeninis reljefo modelis (SRM).

Toliau darbas vykdomas su ArcHydro paketu:

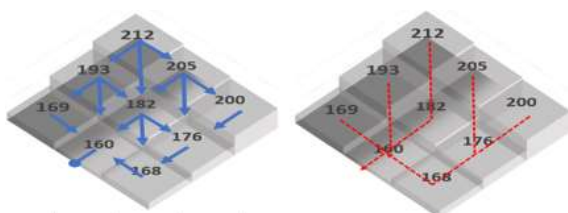
- Sugeneruotas SRM agreguojamas iki 5 m gardelės dydžio ir kuriamas hidrologiškai korektiškas paviršius;

- Surandamos vandentakos ir išskiriami prietakos baseinai;

- Surandamos įdubos ir jų lokaliniai bei globaliniai prietakos baseinai, kartu nustatant prieš tai aptartas įdubų geometrines charakteristikas;

- Atmetamos mažesnio nei 1 ha ploto įdubos ir generuojamas galutinis įdubų sluoksnis.

ArcHydro principinė algoritmo schema yra tokia, kad analizuojant reljefo gardelių aukščius, ieškoma išteklėjimo iš gardelės kryptis kartu nustatant aukščio skirtumo tarp gardelių santykinę reikšmę, pagal kurią ir pasirenkama tėkmės kryptis (1 pav. mėlyna spalva). Sujungus vektorius, gauname ištisines vandentakų linijas (1 pav. raudona spalva). Kuomet šalia esančios gardelių kryptys yra 180 laipsnių priešingos, tarp šių gardelių yra takoskyra arba įdubos centras, pagal ką vėliau išskiriamos prietakos baseino ribos (Maidment, 2002).



1 pav. ArcHydro algoritmo veikimo schema.
Fig. 1. Simplified scheme of ArcHydro algorithm

Šiuo atveju naudojame „hidrologiškai korektišką“ paviršių, t.y. kai lokalias įdubas „užlyginamos“. Tą patį algoritmą taikome ir įdubų ribų bei jų lokalių prietakos baseinų suradimui, tik čia grįžtame prie originalaus reljefo modelio. Nustačius įdubų skaičių, jų lokaciją ir geometrines charakteristikas (plotą, tūrį, vidutinį gylį), vertiname kiekvienos įdubos riziką, pagal įvairių veiksnių užliejimo pavojingumui įtaką, naudodami tokią lygtį:

$$R = \frac{K_1 \cdot w_1 + K_2 \cdot w_2 + K_3 \cdot w_3 + K_4 \cdot w_4 + K_5 \cdot w_5 + K_6 \cdot w_6}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6}$$

čia R – rizikos indeksas vieneto dalimis; rizikos vertinimui naudoti normalizuoti kintamieji: K_1 – įdubos ploto santykis su lokaliu įdubos prietakos plotu; K_2 – globalinis prietakos baseino plotas; K_3 – paviršiaus laidumo balas; K_4 – į įdubos plotą patenkančių pastatų skaičius; K_5 – į įdubos plotą patenkančių gatvių ilgis; K_6 – įdubos vietos reljefo formos indeksas; $w_1 \dots w_6$ – svertai.

Visi į lygtį įtraukti kintamieji normalizuoti perskaičiuojant jų reikšmes vieneto dalimis nuo maksimumo. Svertų reikšmės nustatytos su teigiamais ir neigiamais ženklais, pvz. didesnis paviršiaus laidumas mažina užtvindymo riziką, o į plotą patenkančių pastatų skaičius didina ir panašiai.

Rezultatai ir diskusija

Vertindami gatvių ir kitos infrastruktūros užtvindymo riziką vadovavomės tokiu principu: kas atsitiktų jei, prietakos baseine ir įdubų plotuose įrengta nuotakyno sistema, turinti veikti gerai ir garantuoti paviršinio vandens nutekėjimą, liūtis metu ši sistema sutriktų (užsikimštu dalis įrenginių arba jie būtų sugadinti). Antra prielaida – liūtis nevienodumą erdvėje ir laike nevertiname, kadangi čia paviršinio nuotėkio nemodeliuojame.

Vertinant sukurto skaitmeninio reljefo modelio (toliau SRM) (2 pav.) kokybę, reikia pažymėti, kad kai kuriose vietose nepavyko pasiekti reikiamo tikslumo medžiais apaugusiose vietose arba pastatų užimtuose plotuose. Pastaruosiuose aukščiau buvo interpoliuoti pagal pastato kontūro liniją nustatytus aukščius. Kaip ir minėta, buvo sugeneruoti du SRM: pirmas 1 m gardelės dydžio, o kitas 5 m gardelės dydžio kuriam taip pat atliktas uždaru įdubų panaikinimas, siekiant tenkinti ArcHydro metodo reikalavimus.



2 pav. Kauno miesto skaitmeninis reljefo modelis
Fig. 2. Digital terrain model of Kaunas city

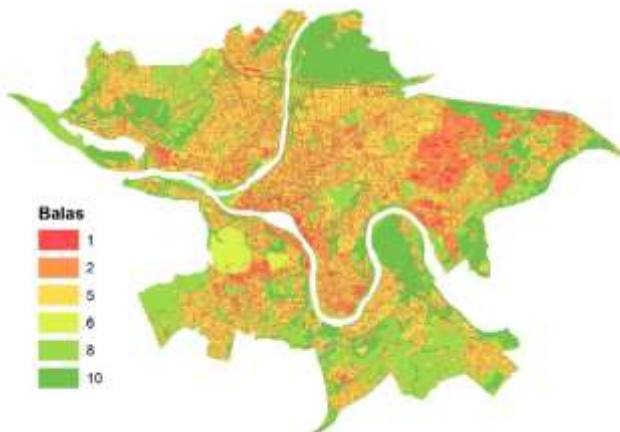
Tiek SRM generavimas tiek ir globalių bei lokalių prietakos baseinų bei įdubų ir jų geometrinių parametru nustatymas reikalauja daug kompiuterinio laiko. Atskirų etapų skaičiavimai truko net iki dešimties parų, kai naudojamas 8 branduolių procesorius. Prietakos baseinus išskyrėme į globalius (pagal 5 m SRM) kartu nustatant ir vandentakų linijas ir lokalius (pagal 1 m gardelės SRM), kurie nustato vandens pritekėjimo plotą į konkrečią įdubą (3 pav.). Globaliame prietakos baseine gali būti ne viena lokali įduba. Aukščiau pagal tėkmę esančiai prisipildžius, vandens perteklius keliauja į žemiau esančią, nors pastaroji jau taip pat gali būti prisipildžiusi visai arba dalinai iš lokalaus prietakos ploto. Tai įvertinta parametru K_1 .



3 pav. Įdubų globalūs prietakos baseinai ir vandentakos (miesto teritorijos fragmentas apimantis vieną prietakos baseiną)

Fig. 3. Catchments of depressions and waterways (the fragment of one catchment)

Vertinant galimą užtvindymo riziką bene svarbiausias rodiklis yra žemės paviršiaus dangos tipas, nulemiantis lietaus vandens galimybes prasiskusti į gruntą. Tam pagal GRPK plotų sluoksnį išskyrėme 6 dangos grupes ir įvertinome balais (4 pav.).



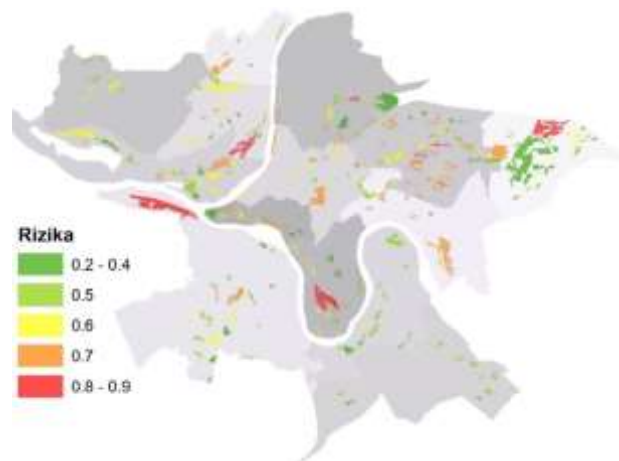
4 pav. Teritorijos laidumo balas (didesnis balas reiškia didesnę laidumą).
Fig. 4. Spatial distribution of paved/unpaved areas (higher number – less paved areas)

Reikia pasakyti, kad šis sluoksnis ateityje turėtų būti detalizuotas vienaukštės statybos kvartaluose, mat plotas šioje zonoje dalinamas tik į dvi kategorijas – užimamą pastato ir likusį sklypo dalis, kurioje paprastai dar yra veja, trinkelėmis grįšta ar kitokia danga, sodas, asfaltas ir kt. Tai

leistų detaliau įvertinti dangų laidumo vandeniui pasiskirstymą.

Pasinaudojant prieš tai sukurtais GIS sluoksniais, atlikome likusių rizikos vertinimui reikalingų parametru skaičiavimus, tam pasitelkdami standartinius ArcGIS erdvinės analizės įrankius: perdengdami įdubų plotus su pastatų ir gatvių sluoksniais, suradome koks maksimalus gatvės ilgis gali būti apsemtas ir kiek pastatų patenka į šią zoną. Abu rodikliai labai svarbūs vertinat potencialią žalą, nes gatvių užtvindymas sutrikdo eismą, o patenkantys į zoną pastatai leidžia įvertinti potencialią žalą gyventojų turtui (jei tai gyvenamieji vienaukščiai ar daugiabučiai pastatai) arba valstybinėms ir privačioms įmonėms ar įstaigoms. Vertinome ir dar vieną rodiklį, kuris, mūsų manymu, taip pat svarbus. Pagal SRM buvo išskirtos reljefo formos (Jeness, 2018). Pirmiausia generuotas topografinis indeksas, o pagal jo klasifikavimo rezultatus gautos reljefo grupių sluoksnis, pagal kurį vertinta, jog įdubos, esančios šlaituose kels mažiau rūpesčių tuo atžvilgiu, kad čia su mažesnėmis išlaidomis galima nuvesti paviršinį vandenį, nei iš didelių santykinai lygių plotų.

Remiantis sudarytu įdubų charakteristikų sluoksniais atlikome rizikos indekso skaičiavimus pagal aukščiau pateiktą formulę ir suklasifikavę sukūrėme galutinį potencialiai keliančių grėsmę dėl galimo užtvindymo plotų žemėlapij išskirdami į penkias klases (5 pav.). Kaip ir reikėjo tikėtis, rizikingiausios įdubos išsidėstė daugiausia lygiose vietose, su tankiausiu užstatymu, nors yra ir išimčių. Pagal tokias parinktas svėrtų reikšmes, į rizikingiausių grupę papuola ir Marvelės gatvė, kuri traktuojama, kaip viena didžiulė įduba, kadangi ją nuo Nemuno riboja pylimas. Tą nulėmė itin didelis gyvenamųjų namų skaičius, nors laidumo indeksas čia geras, turime didelį prietakos plotą nuo aukštų šlaitų.



5 pav. Įdubų pasiskirstymas pagal rizikos indeksą
Fig. 5. Depressions spatial distribution by risk index

Didžiausia sukurto žemėlapijo vertė ta, kad juo, galima pasinaudoti planuojant miesto plėtrą, parenkant potencialaus užtvindymo mažinimo priemones, apie kurių įvairovę dėl teksto ribotos apimties čia nediskutuosime.

Negalime įvertinti, ar visos iš čia nustatytų 234 įdubų tikrai yra keliančios realų pavojų, nes tą patikrinti galėtume, jei gatvių užtvindymai būtų registruojami ir kaupiami atitinkami duomenis apie tokius įvykius. Tačiau

palyginę keletą atvejų, aprašytų spaudoje su pateiktomis nuotraukomis ir datomis, radome, jog nustatytos įdubų vietos gana tikslios. Ypač dažnai užtvindoma įduba Taikos prospekto ir Birželio 23 gatvių sankryžoje, dėl savo nedidelio tūrio tačiau didelio K_1 rodiklio.

Išvados

1. Sukurtas lokalinių užtvindymų žemėlapis gali būti naudojamas darnesniai urbanistinės plėtros užtikrinimui ir užtvindymo rizikos mažinimo planui sudaryti kaip preliminarus rizikos vertinimo dokumentas, tačiau toliau vystant šią temą būtinas paviršinio nuotėkio modeliavimas.

2. Nustatytos vandentakos, įdubos ir prietakos baseinų ribos leis įvertinti egzistuojančio nuotakyno tinklo išdėstymo racionalumą ir, esant poreikiui, atlikti reikiamas korekcijas.

3. Kuriant Kauno m. SRM pagal SEŽP duomenis, reikalingi išsamesni galimų klaidų eliminavimo mechanizmai.

Literatūra

- ALBANO, R., SOLE, A., ADAMOWSKI, J., and MANCUSI, L. A. (2014) GIS-based model to estimate flood consequences and the degree of accessibility and operability of strategic emergency response structures in urban areas. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2847–2865. (doi:10.5194/nhess-14-2847-2014).
- EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2007/60/EB 2007 M. SPALIO 23 D. DĖL POTVYNIŲ RIZIKOS ĮVERTINIMO IR VALDYMO. (2007) (<http://data.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj>).
- FRENI G, LA LOGGIA G, NOTARO V. (2010) Uncertainty in urban flood damage assessment due to urban drainage modelling and depth-damage curve estimation. *Water Sci Technol.* 2010;61(12):2979-93. doi: 10.2166/wst.2010.177.
- JENNESS, J., MAJKA, D., BEIER, P., (2011). Corridor Designer Evaluation Tools: Extension for ArcGIS. Jenness Enterprises, Flagstaff, AZ, USA, (Available at: <http://www.jennessent.com/arcgis/corridor.htm>. Last accessed January 2018).
- KREIBICH H & DIMITROVA B. (2010) Assessment of damages caused by different flood types. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 133, © 2010 WIT Press. www.witpress.com, ISSN 1743-3541 (on-line).
- MAIDMENT D.R. (2002) ArcHydro. GIS For Water Resources. ESRI 380 New York St., Redlands, CA 92373-8100, USA. ISBN 1-58948-034-1. 2002. P.
- NUMBER OF NATURAL DISASTERS IN 2016, BY CONTINENT AND TYPE. (Available at: <https://www.statista.com/statistics/269653/natural-disasters-on-the-continent-by-nature-of-the-disaster/> Last accessed January 2018)
- PERRY T., NAWAZ R. (2008) An investigation into the extent and impacts of hard surfacing of domestic gardens in an area of Leeds, United Kingdom. *Landscape and Urban Planning* 86 (2008) p. 1–13.
- REDFERN, T.W, MACDONALD, N., THOMAS R. KJELDSEN, T.R., JAMES D. MILLER, J.D., NICK REYNARD, N. (2016) Current understanding of hydrological processes on common urban surfaces. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* Vol: 40(5), 2016. page(s): 699-713.
- SÖRENSEN J., PERSSON A., STERNUDD C., ASPEGREN H, NILSSON, J., NORDSTRÖM J, JÖNSSON K., MOTTAGHI M., BECKER P., PILESJÖ P., LARSSON R., BERNDTSSON R., & MOBINI S. (2016) Re-thinking urban flood management – time for a regime shift. *Water*. 2016. Vol: 8(8), 15 p., N 332., (doi:10.3390/w8080332).
- WICHT, M. AND OSINSKA-SKOTAK, K. (2016) Identifying urban areas prone to flash floods using GIS – preliminary results, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/hess-2016-518>.
- WONG, C.I., SHARP, J.M., HAUWERT, N., LANDRUM, J., WHITE, K.M. (2012) Impact of Urban Development on Physical and Chemical Hydrogeology. *Elements*; 8 (6): 2012. P. 429–434., (doi: <https://doi.org/10.2113/gselements.8.6.429>).

Antanas Dumbrasuskas

GIS based of the flash flood risk estimation in urban areas. Kaunas city case study

Summary

The climate change is continually creating new challenges for researchers from various fields because it affects rainfall pattern and consequently the runoff and river flow over the world. The unpredictable flash floods of the last summer make it necessary to adapt the methods used in urban hydrology. On the other hand, intensifying urban development takes place without respecting the principles of sustainable development, which inevitably leads to unexpected problems, which cannot be solved without research. Flash floods causing inundation of relatively small urban areas localizing the damage to both the population's assets and the city's infrastructure. To reduce the damage, it is first necessary to identify it, assess the extent of its and distribution in the city's territory and reveal the causes. The new achievements of remote sensing technologies in the last decade enables the rapid and timely acquisition of spatial information that can be used to identify potentially inundated areas and estimate their geometric parameters. The aim of this article is to determine potentially inundated areas by screening of local depressions using conventional GIS technologies and LIDAR data and develop a digital map for decision makers to maintain the sounder urban planning process.

Flash floods, remote sensing, urban drainage

Gauta 2018 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2018 m. balandžio mėn.

Antanas DUMBRAUSKAS. Aleksandro Stulginskio universiteto Vandens ūkio ir žemėtvarkos fakulteto Vandens išteklių inžinerijos instituto technikos mokslų daktaras, docentas. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel. (8 37) 75 23 37, el. paštas: antanas.dumbrasuskas@asu.lt.