

HEC-HMS modelių sistemos taikymo Jūros upės šiltojo laikotarpio poplūdžių modeliavimui vertinimas

Edvinas Stonevičius,

Simona Jonuškaitė

Vilniaus universitetas,

M. K. Čiurlionio g. 21,

LT-03101 Vilnius

El. paštas: edvinas.stonevicius@gf.vu.lt;

simona.jonuskaite@gf.vu.lt

Stonevičius E., Jonuškaitė S. HEC-HMS modelių sistemos taikymo Jūros upės šiltojo laikotarpio poplūdžių modeliavimui vertinimas. *Geografija*. 2012. T. 48(1). ISSN 1392-1096.

Pasitelkus hidrologinio modeliavimo sistemą HEC-HMS, tyrime modeliuoti šiltojo laikotarpio Jūros upės poplūdžiai. Tyrimo tikslas – įvertinti hidrologinio modeliavimo sistemos HEC-HMS tinkamumą Jūros upės poplūdžių vertinimui. Modeliuojant HEC-HMS sistema, pasirinkti tokie lietaus transformacijos į nuotėkį modeliai, kuriems reikia mažiausiai pradinių duomenų ir kurie kalibruojami mažiausiu parametų skaičiumi. Tyrimu siekiama įvertinti, ar turimos ir lengvai prieinamos hidrologinės ir meteorologinės informacijos užtenka, kad su pakankamu tikslumu būtų galima modeliuoti ir prognozuoti poplūdžius Jūros upėje ir kitose vidutinio dydžio Lietuvos upėse.

HEC-HMS modelių sistema kalibruota devyniems didžiausiems Jūros upės poplūdžiams, vykusiams nuo 1974 iki 2007 metų. Kalibruojant modelį konkrečioms poplūdžiams, gautos labai skirtingos kalibruojamų modelio parametų reikšmės. Tokių parametų reikšmių, kurios tiktų visų devynių poplūdžių modeliavimui, nepavyko rasti. Vieniems poplūdžiams sukalibruotas modelis netinka imituoti kitus poplūdžius. Dėl šios priežasties HEC-HMS sistemą būtų galima taikyti prognozuojant Jūros upės poplūdžius, jei būtų atlikti papildomi tyrimai, kurie pagal baseine esančias sąlygas leistų įvertinti būsimo poplūdžio modeliavimui tinkamas modelio parametų vertes.

Tyrime naudojamų modelių parametų vertės labiausiai siejasi su drėgmės atsargomis, todėl tikėtina, kad duomenys apie drėgmės atsargas baseine gerokai padidintų poplūdžių prognozavimo galimybę.

Raktažodžiai: poplūdžių modeliavimas, HEC-HMS, Jūros upė, prognozavimas

ĮVADAS

Lietuvos upėms būdingi pavasario potvyniai ir poplūdžiai. Potvynių tikimybę dažnai galima nuspėti daug anksčiau nei poplūdžių, todėl dideli poplūdžiai gali padaryti daugiau žalos negu panašaus dydžio potvyniai. Daugiausia per pastarąjį dešimtmetį nuostolių padarė 2005 m. rugpjūčio pradžios poplūdis. Jis buvo stebimas beveik visoje Lietuvos upėse. Klimato prognozės skelbia, kad gausūs krituliai, kurie sukelia poplūdžius, ateityje gali pasikartoti dažniau (Rimkus ir kt., 2009).

Manoma, kad gausių kritulių dažnis labiausiai padidės Vakarų Lietuvoje, palyginti su kitais šalies regionais.

Jūra – viena vandeningiausių Vakarų Lietuvos upių. Jos nuotėkis mažai sureguliuotas, todėl Jūra pasižymi tiek aukštais potvyniais, tiek ir aukštais poplūdžiais (Kilkus, 1998). Jūros upėje poplūdžiai maždaug kas antri metai būna aukštesni už pavasario potvynius, todėl ypač aktualu šiame baseine juos vertinti ir prognozuoti. Ankstesniuose tyrimuose modeliuojant Jūros nuotėkį hidrologiniu modeliu HBV-96 pastebėta, kad pavasario

potvynių modeliavimo rezultatai labai tikslūs (Jonuškaitė, 2010). Didžiausi nesutapimai tarp išmatuotų ir sumodeliuotų debitų gaunami šiltuoju laikotarpiu. Pavasariinių potvynių ir lietaus poplūdžių formavimosi veiksniai skirtingi, tad turi skirtis ir jų modeliavimo metodika.

Šiame tyrime, pasitelkus JAV Vandens išteklių institute sukurtą hidrologinio modeliavimo sistemą HEC-HMS, modeliuoti šiltojo laikotarpio Jūros upės poplūdžiai. HEC-HMS sistemos tinkamumas skirtingomis nuotėkio formavimosi sąlygomis, patogi naudotojo sąsaja bei nuolat kuriami ir tobulinami modelio papildymai daro HEC-HMS sistemą populiarią ir plačiai naudojamą visame pasaulyje (Hydrologic modeling..., 2011).

HEC-HMS sistemą sudaro modeliai, skirti imituoti skirtingas lietaus vandens transformacijos upės baseine ir upės vagoje dalis. Modelių sistema HEC-HMS sujungia 24 modelius. Derinant skirtingus nuotėkio transformacijos baseine ir upės vagoje komponentus, sistemą galima pritaikyti įvairaus sudėtingumo uždaviniams spręsti. Modeliai pasirenkami atsižvelgiant į analizuojamo baseino hidrografiją ir kompleksiskumą, analizuojamo laikotarpio trukmę, turimą duomenų kiekį ir keliamus tikslus.

HEC-HMS modelių sistemą galima taikyti modeliuojant atskirus poplūdžius arba nuolatinę nuotėkio baseine kaitą. Modeliuojant atskirus poplūdžius, dažniausiai gaunami gana tikslūs HEC-HMS modelių sistema apskaičiuoti poplūdžių parametrai (Pistocchi, Mazzoli, 2002). Modelių sistema taikyta sudarant ir trumpo laiko hidrologines prognozes (Markar ir kt., 2004). HEC-HMS tikslumą bandyta didinti naudojant radarų duomenis apie baseine iškritusius kritulius (Neary ir kt., 2004; Knebl ir kt., 2005). Kai kurie autoriai, prognozuodami nuotėkį, remiasi meteorologinių modelių duomenimis (Anderson ir kt., 2002). Tiriant nuolatinę nuotėkio kaitą, HEC-HMS modelių sistema taikyta rečiau, tačiau gauti modeliavimo rezultatai yra pakankamai tikslūs (Fleming, Neary, 2004).

Šio tyrimo tikslas – įvertinti hidrologinio modeliavimo sistemos HEC-HMS tinkamumą prognozuoti Jūros upės ties Tauragės vandens matavimo stotimi (VMS) poplūdžius. Modeliuojant HEC-HMS sistemą pasirinkti tokie lietaus transformacijos į nuotėkį atskirų dalių modeliai, kuriems reikia mažiausiai pradinio duomenų ir kurie kalibruojami minimaliu parametru skaičiumi. Tyrimu siekiama įvertinti, ar meteorologijos ir hidrologijos stotyse

išmatuotos informacijos užtenka, kad pakankamai tiksliai būtų galima modeliuoti ir prognozuoti Jūros ir kitų vidutinio dydžio Lietuvos upių poplūdžius. Turimų įvesties ir baseiną apibūdinančių duomenų kiekis yra vienas iš svarbiausių kriterijų pasirenkant tyrime naudojamus HEC-HMS sistemos modelius, todėl ir šiame darbe buvo paimti patys paprasčiausi modeliai, kuriems pakaktų Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos archyvuose sukauptų ir įvairiuose žinynuose pateiktų duomenų.

METODIKA IR NAUDOTI DUOMENYS

HEC-HMS modelių sistema poplūdžius galima tirti taikant vieno poplūdžio (angl. *single event*) metodą. Tai yra tikslinga, nes galima naudoti paprastesnius metodus vertinant vandens nuostolius dėl infiltracijos. Kita vertus, per trumpą, lietingą laikotarpį vandens nuostoliai dėl garavimo yra sąlyginai maži, todėl galima remtis vidutinėmis sezoninėmis garavimo reikšmėmis, o ne kiekvieną laiko žingsnį apskaičiuotomis garavimo vertėmis (Hydrologic Modeling..., 2010). Siekiant kaip galima labiau supaprastinti modeliavimo procesą ir sumažinti poplūdžių modeliavimui reikiamų duomenų kiekį, šiame darbe buvo remiamasi vieno poplūdžio modeliavimo metodu.

Modeliuojant vieno poplūdžio metodu, vertinamas poplūdį sukėlusius kritulių nuotėkis, todėl norint apskaičiuoti bendrą upės nuotėkį reikia žinoti, koks buvo upės nuotėkis prieš poplūdį. Darbe pradinis nuotėkis Jūros upėje buvo vertintas pagal Tauragės VMS duomenis (1 pav.).

Vieninteliai modelio įvesties duomenys, modeliuojant vieno poplūdžio metodu, yra krituliai ir garavimas. Šiame darbe krituliai vertinti pagal vienintelės tiriamame baseine esančios Laukuvos meteorologijos stoties (MS) duomenis (1 pav.). Meteorologijos stoties duomenys tik apytiksliai reprezentuoja viso baseino kritulius. Liūčių laikotarpiu reprezentatyvumas turėtų būti dar mažesnis, nes tos pačios liūtys intensyvumas virš MS ir įvairių upės baseino dalių gali būti skirtingas. Manoma, kad vertinant didelės teritorijos kritulius pagal stoties duomenis, gaunamos padidintos reikšmės (Čebotariovas, 1983). Pagal empirinius ryšius nustatyta, kad tokio dydžio baseino vidutinis kritulių kiekis apie 15 % mažesnis nei išmatuotas meteorologijos stotyje (Čebotariovas, 1983). Modeliuojant Jūros ties Taurage nuotėkį poplūdžių metu, buvo



1 pav. Jūros baseinas aukščiau Tauragės VMS
Fig. 1. The Jūra River catchment upstream Tauragė VMS

naudotas 15 % mažesnis kritulių kiekis nei išmatuotas Laukuvos MS.

Garavimas (*ET*) šiame darbe skaičiuotas pagal metinį garavimo pasiskirstymą ir per metus išgaruojantį vandens kiekį (1 lentelė). Garavimas apskaičiuotas remiantis XX a. vidurio duomenimis, tačiau vertinant nuotėkį vieno poplūdžio metodu labai tikslūs garavimo duomenys nėra būtini, pakanka žinoti daugiametes garavimo vertes (Hydrologic modeling..., 2001).

Suprantama, kad ne visi į baseiną iškritę krituliai formuoja nuotėkį, o tik efektyvūs krituliai. HEC-HMS modelių sistema jie apskaičiuojami taip: iš į baseiną iškritusių kritulių kiekio atimama į augalinę dangą ir žemės paviršių patekęs vandens kiekis. Visi minėti vandens nuostoliai įvertinami lietaus vandens nuostolių komponentėje. Vertinant vandens netektį Jūros baseine HEC-HMS modelių sistema, pasirinktas „pradinių ir nekintamų nuostolių“ (angl. *Initial and constant*) modelis. Šis modelis

1 lentelė. Metinis garavimo pasiskirstymas (%) bei apskaičiuotas vidutinis per mėnesį išgaruojančios drėgmės kiekis (mm) Jūros baseine (pagal Jablonskį ir Verzaitę, 1968)

Table 1. Seasonal distribution of evaporation (%) and calculated monthly evaporation (mm) in the Jūra River catchment (according to Jablonskis and Verzaitė, 1968)

	Mėnuo / Month												Metai Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Metinis garavimo pasiskirstymas % Seasonal distribution of evaporation, %	1,6	3,1	5,9	11,1	15,3	17,6	18,1	12,7	7,0	4,6	2,0	1,0	100
Mėnesio garavimas mm / Monthly evaporation, mm	8,4	16,3	31,0	58,3	80,3	92,4	95,0	66,7	36,8	24,2	10,5	5,3	525

pasirinktas, nes baseino sąlygos apibūdinamos mažiausiu parametru skaičiumi: pradiniais lietaus vandens nuostoliais Li (angl. *initial loss*); pastoviais drėgmės nuostoliais Lr (angl. *constant loss*) ir nelaidžių vandeniui paviršių baseino plote dalimi Im .

Pradiniai lietaus vandens nuostoliai (Li) nusako, kokia vandens dalis bus prarandama liūtės pradžioje, ir apibūdina vandens netekimą dėl intercepcijos, reljefo užpildymo ir dirvožemio paviršinio sluoksnio prisotinimo. Pastovūs drėgmės nuostoliai (Lr) nusako maksimalų galimą kritulių vandens nuostolių kiekį dėl filtracijos į gilesnius dirvožemio sluoksnius.

Nelaidžių vandeniui dangų dalis baseine (Im) apibūdina baseino dalį, kurioje visas su krituliais į baseiną patekęs vanduo formuos nuotėkį. Nelaidžių vandeniui dangų dalis baseine (Im) labai priklauso nuo urbanizacijos lygio. Jūros ties Taurage baseine vyrauja kaimiškas kraštovaizdis, penktadalį baseino užima miškai, todėl šiame darbe buvo laikoma, kad nelaidžių dangų dalis baseine svarbaus poveikio upės nuotėkiui poplūdžių metu nedaro ($Im = 0\%$).

Vertinant poplūdžius „pradinių ir nekintamų nuostolių“ modeliu, garavimo duomenys nusako, kokių intensyvumu iš dirvožemio yra pašalinamas vanduo tais modelio laiko žingsniais, kuriais neiškrenta krituliai. Jei per modelio laiko žingsnį į baseiną iškrito krituliai, tai laikoma, kad garavimo tą laiko žingsnį nebuvo.

Neišgaravę ir į gruntą neįsifiltravę krituliai formuoja paviršinį nuotėkį. Efektyviųjų kritulių suformuoto nuotėkio transformacija, tekant šlaitais ir vandentėkmėmis, yra vertinama paviršinio nuotėkio HEC–HMS modelių sistemos komponentės. Vienas paprasčiausių ir mažiausiai įvesties duomenų reikalaujantis modelis, leidžiantis įvertinti kritulių transformaciją baseine, yra SCS (*Soil Conservation Service*) vienetinės hidrogramos modelis. SCS modeliu nuotėkio transformacija baseine apibūdinama tik vienu parametru – vėlavimo laiku Tv (angl. *lag time*) ir pasirenkama vienetinės hidrogramos forma. Vėlavimo laikas apibūdina laiko skirtumą tarp kritulių ir vienetinės hidrogramos pikų.

Nuotėkį upėje formuoja ne tik paviršinis, bet ir požeminis nuotėkis. Požeminio vandens įtaka modeliuojant trumpalaikio poplūdžio piką nėra žymi ir svarbi, tačiau ji pasireiškia poplūdžio slūgio metu (Cunderlic, Simonovic, 2004). HEC–HMS modelių sistema modeliuojant vieno poplūdžio metodu požeminis nuotėkis sutapatinamas su ba-

ziniu nuotėkiu. Šiame darbe bazinis nuotėkis vertintas „slūgio metodu“ (angl. *recession method*). Pasirinktas bazinio nuotėkio vertinimo metodas nėra pats paprasčiausias, tačiau visi trys reikiami parametrai: pradinis srauto debitas B_0 , slūgio konstanta R_c ir debito slenkstis T_d gali būti įvertinti pagal ankstesnių poplūdžių ir prieš modeliavimo laikotarpį išmatuotų debitų duomenis.

Slūgio konstanta parodo nuotėkio slūgimo greitį. Ji vertinama pagal vidutinį poplūdžio slūgio fazės debito pokytį per parą. Šiame darbe naudota slūgio konstantos R_c vertė lygi 0,8.

Debito slenkstis T_d – tai hidrogramos taškas, rodantis, kuriuo metu bazinis nuotėkis keičia paviršinį nuotėkį (Hydrologic modeling..., 2001). Kai yra pasiekiamas debito slenkstis, nuotėkis upėje mažėja atsižvelgiant į bazinio nuotėkio slūgio konstantą. Debito slenkstį galima įvertinti išanalizavus praeities poplūdžius tiriamoje upėje. Darbe naudotas 49 m³/s debito slenkstis.

Pradinis srauto debitas B_0 skaičiuojamas kiekvienam poplūdžiui atskirai. Jis įvertinamas pagal debito duomenis tiriamame skerspjuvyje prieš modeliavimo laikotarpio pradžią.

MODELIO KALIBRAVIMAS

Trijų naudotų modelių parametru pagal turimus duomenis tiksliai įvertinti neįmanoma. Du iš šių parametru apibūdina pradinis lietaus (Li) ir pastovius drėgmės (Lr) nuostolius baseine, o trečias nusako poplūdžio maksimumo vėlavimo laiką (Tv).

Pradiniai lietaus vandens nuostoliai (Li) apibūdina lietaus vandens nuostolius dėl intercepcijos, smulkių reljefo pažemėjimų užpildymo ir dirvožemio paviršinio sluoksnio prisotinimo. Norint tiksliai įvertinti pradinis lietaus vandens nuostolius (Li), reikėtų žinoti, koks vandens tūris sulaikomas reljefo pažemėjimuose. Šių pažemėjimų mastas dažniausiai yra labai mažas, todėl jie neatspindimi kartografinėje medžiagoje. Reljefų pažemėjimo poveikis nuotėkio formavimuisi priklauso nuo to, kokios sąlygos buvo prieš poplūdį sukėlusį lietų. Jei reljefo pažemėjimai jau prieš lietų buvo užpildyti vandeniu, tai jų akumuliacinė geba yra beveik artima nuliui. Priešinga situacija susidaro sausesniu laikotarpiu. Tokiomis sąlygomis reljefo pažemėjimai ne tik sukaupia vandenį, bet per juos vyksta ir vandens infiltracija į gruntą.

Vandens nuostolius, kurie susidaro dėl dirvožemio prisotinimo, įvertinti taip pat sunku, nes reikia duomenų apie tai, koks drėgmės kiekis buvo dirvožemyje prieš liūtį ir koks šio parametro pasiskirstymas baseine.

Pastovūs drėgmės nuostoliai (L_r) apytiksliai gali būti įvertinami pagal dirvožemio ir grunto granulimetrinę sudėtį, tačiau skaičiavimams reikia duomenų apie dirvožemio sluoksnio savybes visame baseine. Grunto infiltracinės savybės priklauso nuo jo drėgmės sąlygų prieš poplūdį.

Vidutinį vėlavimo laiką (T_v) apibūdinantį laiko skirtumą tarp liūtis didžiausio intensyvumo ir poplūdžio hidrogramos maksimumo galima apskaičiuoti pagal buvusių poplūdių duomenis, tačiau kiekvieno poplūdžio vėlavimo laikas (T_v) skiriasi. Jis priklauso nuo prieš poplūdį buvusio dirvos drėgnumo, požeminio vandens lygio, augalijos dangos būklės ir kitų sąlygų.

Didžiausi ir staigiausi poplūdžiai Lietuvoje siejami su intensyviais ir gausiais krituliais, o tokie krituliai dažniausiai iškrenta vasaros ir rudens mėnesiais (Kažys ir kt., 2009). Tikėtina, kad šiam metų laikui Jūros baseine yra būdingos „klimatinės“ arba globaliosios pradinių (L_i) ir pastovių (L_r)

drėgmės nuostolių bei vėlavimo laiko (T_v) vertės. Jei modelio parametų verčių variacija nėra didelė, tikėtina, kad naudojant kalibracijos metu nustatytas vertes modeliuodami poplūdžius gausime palyginus nedideles paklaidas. Jei parametų variacija yra didelė, tuomet vieno optimalaus parametų rinkinio vertinti visiems poplūdiams nėra.

Siekiant įvertinti, kokia yra modelio parametų variacija Jūros baseine, buvo atlikta modelio kalibracija devyniems ryškiausiems Jūros baseino poplūdiams, vykusiems nuo 1974 iki 2007 metų (2 lentelė). Modelio parametų rinkinių tinkamumas vertinti poplūdių nuotėkį tikrintas skaičiuojant koreliacijos koeficientą r tarp išmatuoto Tauragės HS ir sumodeliuoto HEC-HMS modeliu debito, bei vertinant nuotėkio suminį nuokrypį. Suminis nuokrypis d apskaičiuojamas iš vidutinio sumodeliuoto debito atimant vidutinį to paties laikotarpio išmatuotą debitą. Išmatuotas ir sumodeliuotas poplūdžiai yra panašiausi, kai suminis nuokrypis d artimas 0, o koreliacijos koeficientas r pasiekia didžiausias vertes.

Iš visų tirtų poplūdių 1978 m. rugpjūčio pab. – rugsėjo pr. poplūdį HEC-HMS modeliu atkartoti pavyko prasčiausiai (2 lentelė, 2a pav.).

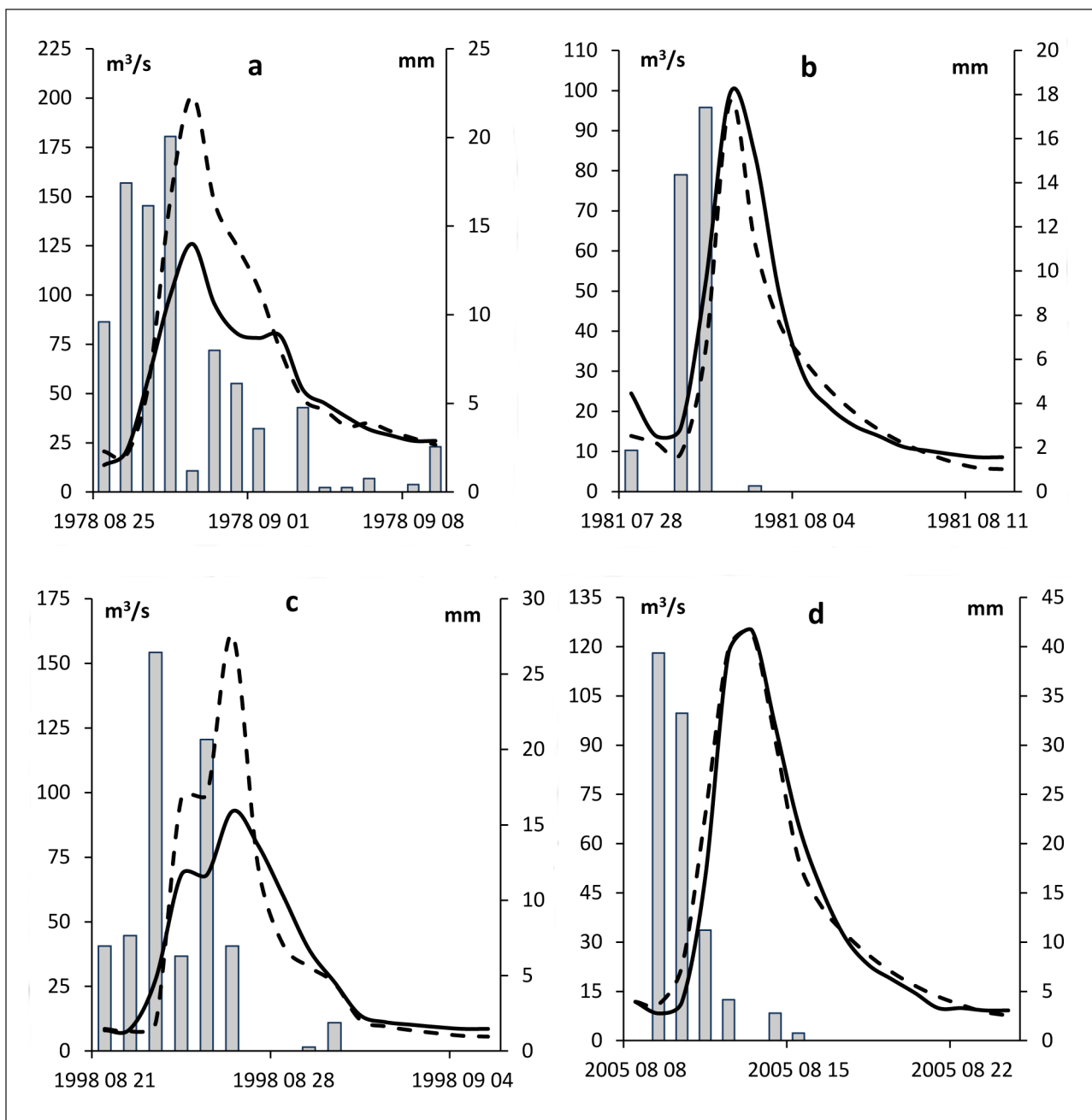
2 lentelė. Tinkamiausios modelio parametų vertės, išmatuoto ir sumodeliuoto nuotėkio charakteristikos bei pasiektos tikslo funkcijų vertės, nustatytos devyniems poplūdiams kalibracijos metu

Table 2. The optimum values of model calibration parameters, observed and modeled discharges and values of objective functions for nine flash flood events

Laikotarpis Period	L_i (mm)	L_r (mm/h)	T_v (min)	B_0 (m ³ /s)	Q_{max} (m ³ /s)	Q_{mmax} (m ³ /s)	$\bar{Q}$ (m ³ /s)	$\bar{Q}_m$ (m ³ /s)	r	d (mm)
1974 07 06–20	13	0,10	2880 (S)	10,9	221	220	64,8	66,9	0,96	1
1978 08 18–25	22	0,29	1990 (S)	4,5	49,9	50	25,5	24,5	0,92	0
1978 08 26–09 06	14	0,10	1440 (D)	20,6	126	201	69,6	89,3	0,94	12
1980 08 21–30	31	0,18	1650 (D)	5,6	103	114	55,2	53,6	0,96	0
1981 07 29–08 11	15	0,20	1200 (D)	13,9	99,3	98	30,1	27,5	0,93	–2
1998 08 22–31	22	0,30	1440 (S)	8,6	92,8	161	37,2	41,8	0,89	4
2005 08 09–24	19	0,74	4200 (S)	11,8	125	125	46,4	44,9	0,99	1
2007 07 03–17	13	0,10	1800 (D)	20,1	228	224,5	84,1	81,7	0,95	–2
2007 07 30–08 11	13	0,35	1760 (D)	16,7	120	141	49,1	51,3	0,96	2

L_i – pradiniai lietaus vandens nuostoliai; L_r – pastovūs drėgmės nuostoliai; T_v – vėlavimo laikas; S – standartinė vienetinė hidrograma; D – Delmarva formos vienetinė hidrograma; B_0 – upės debitas modeliavimo pradžioje; Q_{max} – maksimalus išmatuotas debitas; Q_{mmax} – maksimalus sumodeliuotas debitas; $\bar{Q}$ – vidutinis išmatuotas debitas; $\bar{Q}_m$ – vidutinis sumodeliuotas debitas; r – koreliacijos koeficientas; d – vidutinis nuokrypis.

L_i – initial loss; L_r – constant loss rate; T_v – time lag; S – standard unit hydrograph; D – “Delmarva” unit hydrograph; B_0 – initial discharge; Q_{max} – observed peak discharge; Q_{mmax} – modeled peak discharge; $\bar{Q}$ – observed average discharge; $\bar{Q}_m$ – modeled average discharge; r – correlation coefficient; d – mean absolute deviation.



2 pav. Prieš poplūdžius ir poplūdžių metu Laukuvos MS išmatuoti krituliai (stulpeliai) bei Tauragės HS išmatuoti (ištininė linija) ir HEC-HMS modeliu apskaičiuoti (punktirinė linija) debitai

Fig. 2. Precipitation in Laukuva MS (bars), modeled with HEC-HMS (dashed line) and measured in Tauragė HS (solid line) discharges before and during the flash floods

Vidutinis sumodeliuotas debitas viršijo vidutinį išmatuotą 12 mm, o maksimalus sumodeliuoto poplūdžio debitas viršijo išmatuotą net 75 m³/s. Panašus skirtumas (68,2 m³/s) tarp maksimalaus modeliuoto ir išmatuoto poplūdžio debito nustatytas 1998 m. rugpjūčio 22–31 d. (2 lentelė, 2c pav.). Modeliuojant kitų septynių poplūdžių nuotėkį nustatyti daug mažesni maksimalaus poplūdžio

debitų ir vidutinio poplūdžių debitų skirtumai (2 lentelė, 2b, 2d pav.). Tikėtina, kad modelis tiksliau imituoja tuos poplūdžius, kuriuos sukelia lietūs, turintys vieną intensyvumo maksimumą (2b, 2d pav.), o ne su keliais intensyvumo maksimumais (2a, 2c pav.)

Visų trijų kalibracijai taikomų modelio parametrų kaita yra didelė (2 lentelė). Pradiniai lietaus

vandens nuostoliai (Li) kinta nuo 13 iki 31 mm. Dažniausiai pasitaikanti pradinių nuostolių (Li) vertė buvo 13 mm. Maži pradiniai lietaus nuostoliai būna tada, kai prieš poplūdį baseine būna daug drėgmės, o reljefo pažemėjimai bei dirvožemis yra užpildyti vandeniu. Tikėtina, kad 13 mm pradinių lietaus nuostolių (Li) vertė modelyje atspindi sąlygas, kurios būna Jūros baseine visiškai užsipildžius reljefo pažemėjimams ir dirvožemiui.

Pastovūs drėgmės nuostoliai (Lr) apibūdina filtraciją į gruntą, tačiau filtracijos intensyvumas priklauso nuo grunto drėgnumo bei požeminio vandens slūgsojimo horizonto gylio. Tikėtina, kad skirtingos grunto drėgmės sąlygos prieš poplūdžius lėmė didelę pastovių drėgmės nuostolių (Lr) variaciją. Pastovūs drėgmės nuostoliai kinta nuo 0,10 iki 0,74 mm/h (2 lentelė). 1981 m. poplūdžiui (1b pav.) modeliuoti buvo naudojama 0,20 mm/h pastovių nuostolių vertė, o 2005 m. poplūdžiui (1b pav.) – 0,74 mm/h, tačiau abiejų poplūdžių sumodeliuotas debitas buvo artimas išmatuotam.

Mažiausias vėlavimo laikas (Tv) – 1200 min. – buvo naudojamas modeliuojant 1981 m. poplūdį (2b pav., 2 lentelė), o didžiausias – 4200 min. – skaičiuojant 2005 m. poplūdžio debitus (2d pav., 2 lentelė). Modeliuojant 1981 ir 2005 m. poplūdžius buvo naudojama skirtinga vienetinės hidrogramos forma: 1981 m. – *Delmarva*, o 2005 metais – standartinė. Modeliuojant visus tiriamus devynis poplūdžius, keturis kartus geriausi modeliavimo rezultatai buvo gaunami naudojant standartinę vienetinės hidrogramos formą, o penkis kartus geresni rezultatai gauti naudojant *Delmarva* formos vienetinę hidrogramą. Tikėtina, kad poplūdžiui modeliuoti tinkamiausia hidrogramos forma priklauso nuo prieš poplūdį esančių baseino sąlygų bei kritulių, sukėlusių potvynį, intensyvumo kaitos.

Didelė visų modelio kalibravimui naudojamų parametrų kaita modeliuojant skirtingus poplūdžius rodo, kad pastovių arba „globalių“ parametrų derinių, kurie tikėtų modeliuojant visus Jūros upės poplūdžius, nėra.

MODELIO JAUTRUMO ANALIZĖ

Modeliuojant 1981 ir 2005 m. poplūdžius (2b, 2d pav.) buvo naudojamos labai skirtingos pastovių drėgmės nuostolių (Lr) ir vėlavimo laiko (Tv) vertės. 1981 m. poplūdis modeliuotas su bene vie-

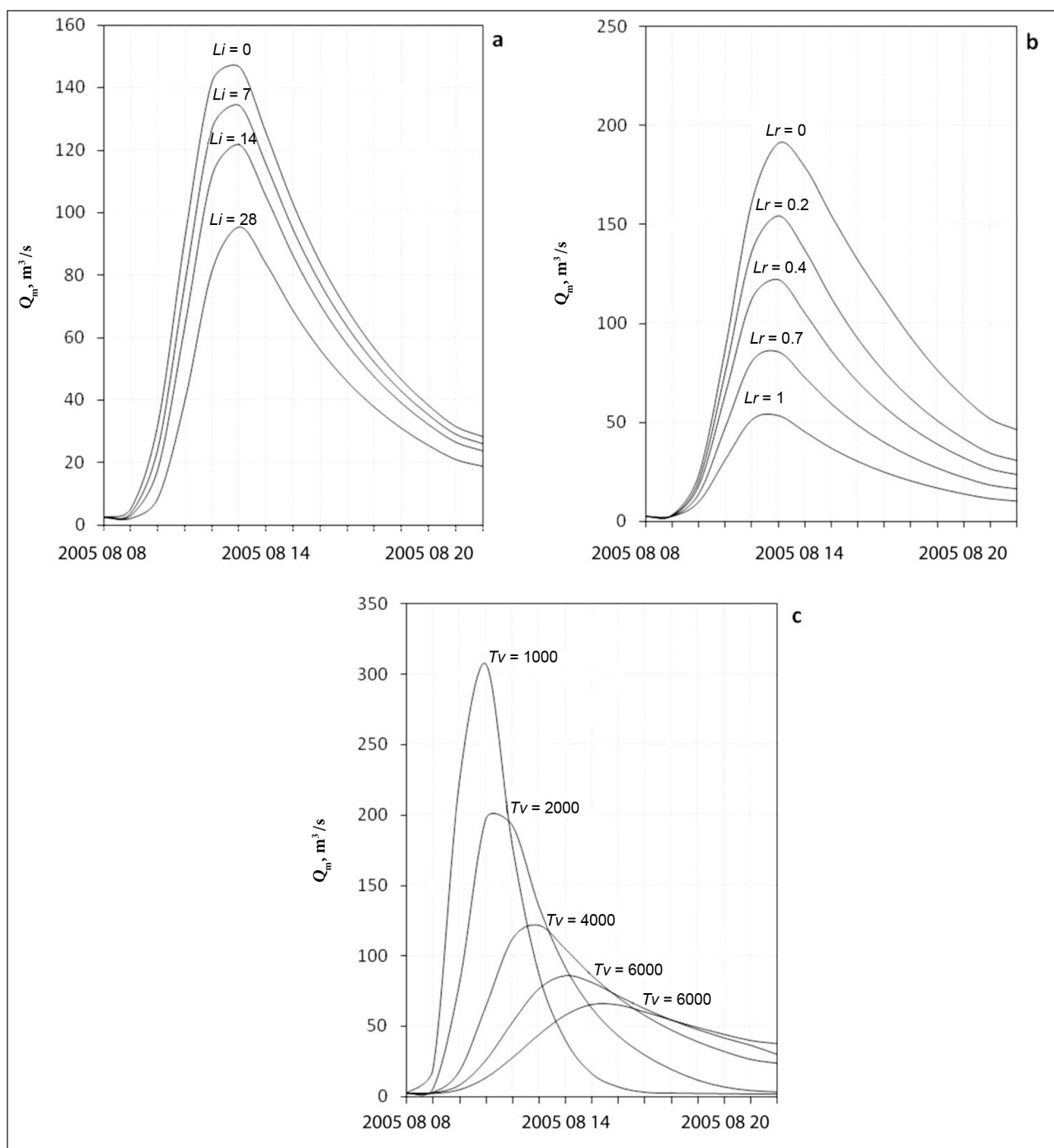
na iš mažiausių pastovių drėgmės nuostolio (Lr) verčių – 20 mm/h ir trumpiausiu poplūdžio maksimumo vėlavimo laiku (Tv) – 1200 min., o 2005 m. poplūdis modeliuotas naudojant didžiausią pastovių drėgmės nuostolių (Lr) vertę – 74 mm/h ir ilgiausią vėlavimo laiką (Tv) – 4200 min. Su šiais skirtingais modelio parametrų deriniais abiejų poplūdžių atveju gauti tikslūs modeliavimo rezultatai.

Modelio parametrai gali veikti modelio rezultatus viena kryptimi arba priešingomis kryptimis. Pirmuoju atveju jų poveikis modelio rezultatams didėja, o antruoju – vieno parametro poveikis modelio rezultatams atsveria kito parametro poveikį. Siekiant nustatyti modelio parametrų poveikį modelio rezultatams, buvo atlikta modelio rezultatų jautrumo analizė. Atliekant jautrumo analizę atitinkamam parametrai, jo dydis keistas pasirinktame intervale, kurio ribos artimos modeliuojant tiriamus devynis poplūdžius nustatytoms parametro didžiausioms ir mažiausioms vertėms (2 lentelė), o kitų parametrų dydis tuo metu nekeistas. Jautrumo analizė atlikta pradiniais lietaus drėgmės nuostoliams (Li) (3a pav.), pastoviams drėgmės nuostoliams (Lr) (3b pav.) bei poplūdžio maksimumo vėlavimo laikui (Tv) (3c pav.).

Jautrumo analizė atlikta remiantis 2005 m. rugpjūčio 8–22 d. poplūdžio duomenimis. Šio poplūdžio maksimalus debitas buvo didžiausias per visą tiriamąjį laikotarpį ir siekė net 125 m³/s, o per tiriamąsias dienas į Jūros baseiną iškrito net 91,6 mm kritulių.

Pradiniai lietaus vandens nuostoliai (Li) lemia poplūdžio maksimalaus debito dydį, tačiau poplūdžio maksimumo laikas nuo jo nepriklauso (3a pav.). Keičiant pradinių drėgmės nuostolių reikšmę nuo 0 iki 28 mm, maksimalus poplūdžio debitas skiriasi net 53 m³/s. Tačiau, kaip jau buvo minėta, 0 mm pradiniai lietaus nuostoliai yra labiau teorinė vertė, o modeliuojant devynis poplūdžius Jūros baseine minimali naudota lietaus nuostolių vertė (Li) buvo 13 mm (2 lentelė). Modeliuojant 2005 m. poplūdį, pradiniais lietaus nuostoliams kintant nuo 13 mm iki 31 mm, maksimalus apskaičiuotas debitas sumažėjo apie 25 m³/s.

Pastoviams drėgmės nuostoliams keičiantis nuo 0 iki 1 mm/h, sumodeliuotas maksimalus upės debitas skyrėsi 139 m³/s. Kintant pastoviams drėgmės



3 pav. Modeliuojamo debito (Q_m) priklausomybė nuo pradinių lietaus vandens nuostolių (L_i , mm) (a), pastovių drėgmės nuostolių (L_r , mm/h) (b) ir vėlavimo laiko (T_v , min) (c)

Fig. 3. The effect of initial loss (L_i , mm) (a), constant loss rate (L_r , mm/h) (b) and time lag (T_v , min) (c) on the modeled discharge (Q_m)

nuostoliams (L_r) nuo mažiausios devynių poplūdžių tyrime naudotos 10 mm/h vertės iki didžiausios – 74 mm/h, 2005 m. apskaičiuotas didžiausias poplūdžio debitas sumažėja apie 65 m^3/s . Didėjant pastovių drėgmės nuostolių (L_r) vertei, šiek tiek ankstėja poplūdžio maksimumo laikas (3b pav.).

Natūralu, kad poplūdžio maksimumo laikas labiau priklauso nuo trečiojo jautrumo analizėje tiriamo parametro – vėlavimo laiko (T_v) (3c pav.). Pasikeitus vėlavimo laiko (T_v) vertei nuo 1200 min. iki 4200 min., 2005 m. poplūdžio maksimalus debitas sumažėja beveik 180 m^3/s .

Modelio rezultatų jautrumas lietaus vandens (Li) ir pastoviems drėgmės nuostoliams (Lr) yra mažesnis nei jautrumas vėlavimo laikui (Tv), tačiau vėlavimo laikas labiausiai iš visų parametru veikia poplūdžio maksimumą, todėl jo vertė dažniausiai parenkama tokia, kad modeliuojamas poplūdžio maksimalus debitas tuo pačiu metu būtų kaip ir išmatuotas. Lietaus vandens (Li) ir pastovūs drėgmės (Lr) nuostoliai naudojami kompensuoti modeliuojamo poplūdžio debitų neatitikimus, atsirandančius dėl pasirinkto potvynio maksimalaus vėlavimo laiko (Tv). Nežinant tikslų lietaus vandens (Li) ir pastovių drėgmės (Lr) nuostolių verčių, modeliuojant konkrečius poplūdžius gali būti naudojami keli šių parametru deriniai, kurių poveikis poplūdžio nuotėkiui bus vienodas. Pavyzdžiui, didesnius nei turėtų būti konkretaus poplūdžio pradinius lietaus nuostolius (Li) modelyje gali kompensuoti mažesnė pastovių drėgmės nuostolių (Lr) vertė. Vienas kitą kompensuojančius modelio parametru derinius galima surasti kalibruojant modelį konkrečiam, jau įvykusiam, poplūdžiui. Tačiau, norint prognozuoti poplūdžius, reikia žinoti tikrąsias modelio parametru reikšmes poplūdžiui, kuris dar neįvyko.

APIBENDRINIMAS

Modeliuojant poplūdžius Jūros upėje, galima rinkti tokius HEC-HMS sistemos modelius, kuriems pakanka Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos archyvuose sukauptų ir įvairiuose žinynuose pateiktų duomenų. Jūros poplūdių formavimasis vertintas naudojant tris HEC-HMS sistemos modelius. Kritulių nuostoliai apskaičiuoti „pradinių ir nekintamų vandens nuostolių“ (angl. *Initial and constant*) modeliu. Efektyvių kritulių transformacija į nuotėkį tiriamame skerspjūvyje apskaičiuota SCS (*Soil Conservation Service*) vienetinės hidrogramos modeliu, o požeminis nuotėkis vertintas „slūgio metodo“ (angl. *recession method*) modeliu.

Modeliuojant poplūdžius Jūros upėje, pasirinktais modeliais pagal turimus duomenis negalima apskaičiuoti tik trijų parametru. Du iš šių parametru apibūdina pradinius lietaus (Li) ir pastovius drėgmės (Lr) nuostolius baseine, o trečiasis nusako poplūdžio maksimumo vėlavimo laiką (Tv). Atliekant modelio kalibraciją su devyniais praeityje įvykusiais poplūdžiais, nustatyta, kad optimalios skirtingų poplūdių modeliavimui visų trijų mo-

delio parametru vertės labai skiriasi, todėl nustatyti konkrečių šių parametru verčių, kurios tikėtų visiems Jūros upės poplūdiams, negalima. Modelio rezultatų jautrumas trijų nežinomų parametru vertėms parodė, kad visi parametrai veikia maksimalų poplūdžio debitą, o du parametrai (pastovūs drėgmės nuostoliai ir vėlavimo laikas) veikia maksimalaus poplūdžio debito laiką. Dėl panašaus parametru poveikio modelių rezultatams gali būti keli modelio parametru deriniai, su kuriais konkretaus poplūdžio modeliavimo rezultatai bus labai panašūs. Nors modelio rezultatai gaunami panašūs, tačiau modelis imituoja skirtingų savybių upių baseinus, kurie esant kitokiems įvesties duomenims gali duoti skirtingus rezultatus.

Norint prognozuoti poplūdžius, reikia žinoti parametru vertes prieš poplūdį, o kol kas, pagal turimus duomenis, tyrime naudotų modelių parametru vertės gali būti nustatytos tik praeityje įvykusiems poplūdiams.

HEC-HMS sistemą būtų galima taikyti prognozuojant Jūros poplūdžius, jeigu būtų atlikti papildomi tyrimai, kurie leistų pagal prieš poplūdį baseine esančias sąlygas įvertinti būsimo poplūdžio modeliavimui tinkamas modelio parametru vertes. Šiame tyrime naudojamų modelių parametru vertės labiausiai susiję su drėgmės atsargomis, todėl tikėtina, kad duomenys apie drėgmės atsargas baseine ir tikslios kritulių prognozės gerokai padidintų poplūdių prognozavimo galimybę.

Gauta 2011 11 25

Priimta 2012 03 22

LITERATŪRA

1. Anderson M. L., Chen Z. Q., Kavvas M. L., Feldman A. 2002. Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff. *Journal of Hydrologic Engineering*. 7(4): 312–318.
2. Cunderlik J. M., Simonovic S. P. 2004. *Calibration, verification, and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model, CFCAS project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions*. Projekto ataskaita IV.
3. Čebotariovas A. 1983. *Bendroji hidrologija*. „Mokslas“, Vilnius.
4. Fleming M., Neary V. 2004. Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System. *Journal of Hydrologic Engineering*. 9(3): 175–183.

5. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. 2001. *User's Manual, Version 2.1*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
6. Jablonskis J., Verzaitė R. 1968. Sumarinis garavimas Lietuvos ir Kaliningrado srities upių baseinuose. *Hidrometeorologiniai straipsniai*. 1: 267–282.
7. Kažys J., Rimkus E., Bukantis A. 2009. Gausūs krituliai Lietuvoje 1961–2008 metais. *Geografija*. 45(1): 44–53.
8. Kilkus K. 1998. *Lietuvos vandenų geografija*. Vilnius: Apyaušrio leidykla.
9. Knebl M. R., Yang Z.-L., Hutchison K., Maidment D. R. 2005. Regional Scale Flood Modeling Using NEXRAD Rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: A Case Study for the San Antonio River Basin Summer 2002 Storm Event. *Journal of Environmental Management*. 75(4): 325–336.
10. Kriaučiūnienė J., Meilutytė-Barauskienė D., Rimkus E., Kažys J., Vincevičius A. 2008. Climate change impact on hydrological processes in Lithuanian Nemunas river basin. *Baltica*. 21(1–2): 51–61. Vilnius. ISSN 0067-3064.
11. Jonuškaitė S. 2010. *Jūros upės nuotėkio skaičiavimai taikant HBV modelį*. Kursinis darbas. Vilnius.
12. Markar M. S., Clark S. Q., Yaowu M., Jing Z. 2004. Evaluation of Hydrologic and Hydraulic Models for Real-Time Flood Forecasting Use in the Yangtze River Catchment, *8th National Conference on Hydraulics in Water Engineering*, The Institution of Engineers, Gold Coast, Australia, July 13–16.
13. Neary V. S., Habib E., Fleming M. 2004. Hydrologic Modeling with NEXRAD Precipitation in Middle Tennessee. *Journal of Hydrologic Engineering*. 9(5): 339–349.
14. Pistocchi A., Mazzoli P. 2002. Use of HEC-RAS and HEC-HMS with ArcView for Hydrologic Risk Management. *Proceedings of the International Environmental Modelling Software Society, iEMSs*, Manno, Switzerland.
15. Rimkus E., Kažys J., Bukantis A. 2009. Gausių kritulių Lietuvoje prognozė XXI amžiuje pagal regioninį CCLM modelį. *Geografija*. 45(2): 122–130.

Edvinas Stonevičius, Simona Jonuškaitė

THE ANALYSIS OF CAPABILITIES OF THE HEC-RAS MODEL TO SIMULATE THE FLASH FLOODS IN THE JŪRA RIVER

Summary

This paper contains an analysis of capability of HEC-HMS modeling system for simulation and forecast of flash floods in the Jūra River. The set of HEC-HMS system models which requires the minimum input data and is calibrated with smallest number of parameters was used. The study aims to assess whether the existing and readily available hydrological and meteorological data is sufficient to simulate and predict flash floods in the Jūra and similar Lithuanian rivers.

The HEC-HMS modeling system was calibrated for nine major flash floods of the Jūra River. The optimal sets of calibration parameters were very different for all floods. One set of parameters which would be acceptable for all flash floods was not found. Therefore, the HEC-HMS modeling system in the analyzed setup and with at present available data can be used to simulate the past flash floods, but is not capable of forecasting. More data about the state of the river basin before the rainfall event is needed for forecasting of flash floods in the Jūra River. It is likely that the availability of data on soil moisture could increase the forecasting potential of HEC-HMS modeling system.

Key words: modeling of flash floods, HEC-HMS, the Jūra River, forecasting