

Investigation of Latvian Rivers in Lowland and Hilly Areas by Using the Hydrogeological Model of Latvia

Latvijas zemieņu un augstieņu upju īpašību pētīšana ar Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa palīdzību

Kaspars Krauklis¹, Aivars Spalviņš², Irīna Eglīte³
¹⁻³ Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Kopsavilkums – Upju sateces baseinu (SB) principu pazemes ūdensobjektu noteikšanai rekomendē Eiropas Savienības galvenā ūdens direktīva. Šis princips tiek lietots arī Latvijā. Izmantojot Latvijas hidroģeoloģisko modeli, RTU zinātnieki 2015. gadā konstatējuši, ka SB princips Iecavas upei nav lietojams, jo upe saņem pazemes ūdeni no apgabaliem, kuri atrodas tālu no tās SB areāla. Šis raksts informē par skaitlisko eksperimentu rezultātu zemieņu un augstieņu upju (Iecavas un Maltas) SB areāliem. Konstatēts, ka SB principu var izmantot tikai šo upju kvartāra slānī. Jo dziļāk atrodas ūdeni saturošais slānis, jo mazākā mērā tam var izmantot SB principu. Zemieņu un augstieņu upēm būtiski atšķirās pazemes ūdens plūsmu sadalījums pamatiežos, kuros Iecavas un Maltas upēm vertikālās plūsmas vērstas augšup un lejup, bet horizontālās plūsmas ieplūst un izplūst no SB areāla. Latvijā dzeramo ūdeni iegūst galvenokārt no pamatiežu ūdensgūtvēm, tāpēc pazemes ūdensobjektu robežas būs jākorģē, jo SB kritērijs pamatiežiem nav izmantojams

Atslēgas vārdi – Hidroģeoloģiskais modelis, MODPATH, pazemes ūdens plūsmu bilance, upes sateces baseins.

I. IEVADS

Pazemes ūdens resursu pārvaldībā pazemes ūdensobjektu robežu noteikšanai izmanto upju sateces baseinu principu (SB), t. i., uzskata, ka atmosfēras nokrišņi SB areālā ir vienīgais pazemes ūdens plūsmu avots visā SB tilpumā, kurā ietilpst arī dziļākie ūdens horizonti. Eiropas Savienības galvenā ūdens direktīva [1] iesaka upes SB izmantot kā kritēriju pazemes ūdensobjektu robežu noteikšanai. Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centra (VMC) speciālisti pārbaudīja, vai Iecavas upi baro nokrišņi tās SB areālā. Rezultāts bija negaidīts. Izrādījās, ka ievērojama daļa pazemes ūdens ceļo uz upi no augstienēm, kuras atrodas ļoti tālu no SB. Arī SB areālā pazemes ūdens daļiņu trajektorijas ir ļoti komplicētas. Tika konstatēts, ka ar SB areālu var noteikt ūdensobjekta robežas tikai kvartāra pazemes ūdens horizontā. Jāatzīmē, ka šo rezultātu varēja iegūt tikai Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa (LAMO) vidē. LAMO aptver valsts teritorijas pazemes ūdens aktīvo zonu, kura ir apmēģināta ar 27 ģeoloģiskajiem slāņiem (LAMO apraksts pārskatā [4]). Lokālos modeļos pētījumā [2], [3] iegūtos rezultātus iegūt nav iespējams.

Šajā rakstā ziņots par sarežģītākiem pētījumiem, kuru nolūks bija noskaidrot, vai SB princips ir spēkā zemieņu un augstieņu upju (Iecavas un Maltas) SB areālos.

Upju SB kritērija derīguma pārbaudi veicām ar divām metodēm: pazemes plūsmu bilances analīze un ar MODPATH eksperimentu [5].

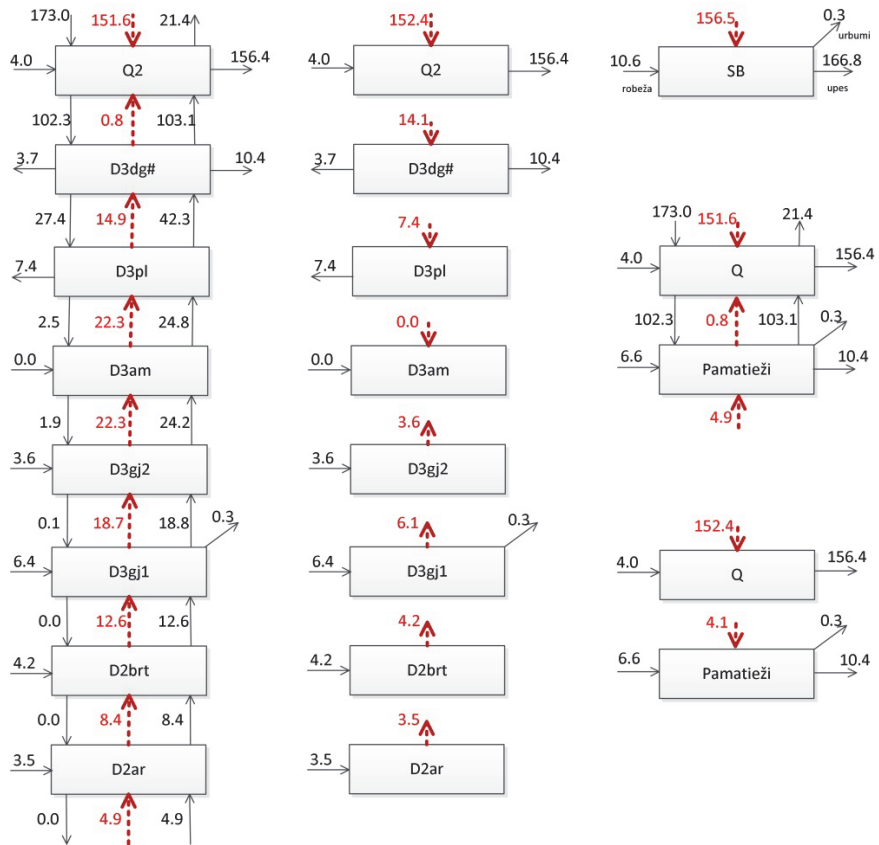
Eksperimenti tika īstenoti divos MODPATH darbības režīmos: pazemes ūdens daļiņa kustās straumes virzienā (*forward*) un pret straumi (*reverse*). *Forward* režīms parāda, uz kuriem aizplūst ūdens no SB areāla, *reverse* režīmā var atrast avotus, kuru ūdens nonāk SB areālā. Ūdens daļiņas tika ievietotas to modeļa šūnu centros, kuras atrodas SB areālā. Kā SB areāla robeža visos slāņos tika izmantota robeža Q2 horizontā. Robežas novietojumu noteica LAMO vidē ar *Surfer* [6] rīku *Watershead*.

II. PAZEMES ŪDENS PLŪSMU BILANCE

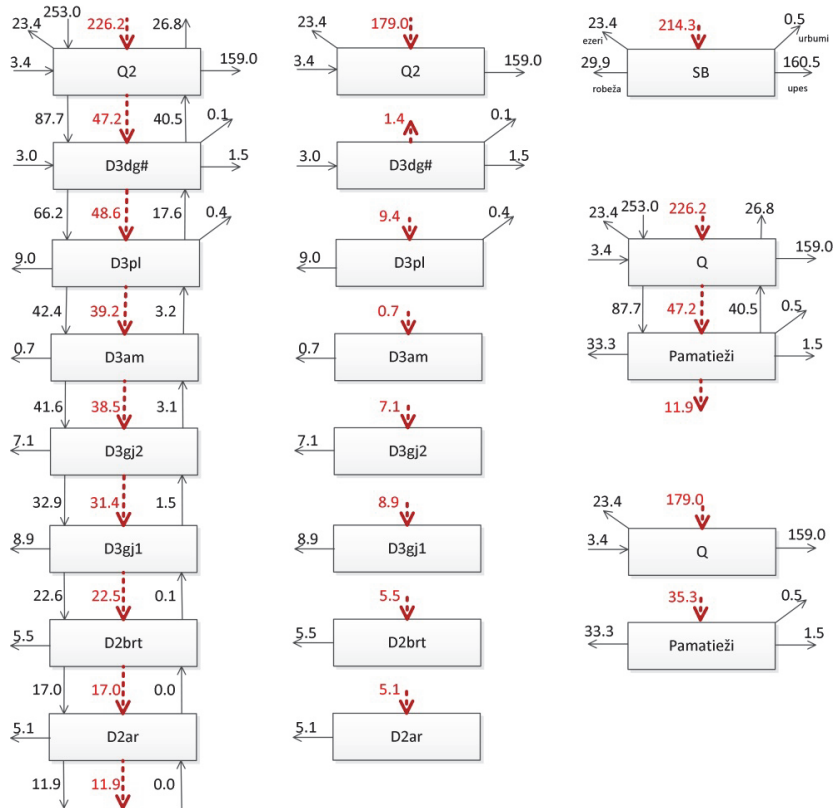
Pazemes ūdens plūsmu bilance iegūstama ar sistēmas *Groundwater Vistas* (GV) [7] rīku *Mass balance*. Bilance parāda, kā atmosfēras nokrišņi baro upes ezerus, ekspluatācijas urbumus un kāds pazemes ūdens daudzums šķērso SB areāla robežu.

Iecavas pazemes ūdens plūsmu bilance grafiskā formā skatāma 1. attēlā. Šeit attēloti trīs bilances detalizācijas pakāpes: 1) pilnā bilance, kurā dotas visas ar GV aprēķinātās plūsmas: vertikālā plūsma starp ūdens horizontiem, plūsma caur SB areāla robežu, upju un ezeru ūdens plūsmas; 2) lokālās bilances ūdens horizontiem; 3) lokālās bilances SB kopumā un tā kvartāram un pamatiežiem.

Ja plūsma caur horizonta robežu nav vienāda ar nulli, tad SB kritērijs nav izpildīts [8]. No 1. attēla var secināt, ka Q2 horizonta plūsma caur SB robežu 4,0 tūkst. m³ / dnn ir 2,6 % no infiltrācijas plūsmas (152,4 tūkst. m³ / dnn), t. i., ka Q slānī SB areāla robeža apmierinoši atbilst SB kritērijam. Nevienam no citiem pazemes ūdens horizontiem SB kritērijs nepiepildās. Slāņos D3dg# un D3pl ūdens izplūst no SB areāla galvenokārt Daugavas ietekmes dēļ. Pārējos Iecavas pamatiežu slāņos D3gj2, D3gj1, D2brt, D2ar ūdens SB areālā ieplūst.



1. att. Ūdens balance (tūkst. m³ / dnn) Iecavas SB.



2. att. Ūdens plūsmu balance (tūkst. m³/dnn) Maltas SB.

Visā SB areālā ir uz zemes virspusi vērsta rezultējošās vertikālās plūsmas starp ūdens slāņiem.

Maltas pazemes ūdens plūsmu bilance ir skatāma 2. attēlā. Maltas Q slānī plūsma caur SB robežu $3,4 \text{ tūkst. m}^3 / \text{dnn}$ ir 1,9 % no infiltrācijas plūsmas $179,0 \text{ tūkst. m}^3 / \text{dnn}$, t. i., SB kritērijs šim slānim izpildās apmierinoši. Atšķirībā no Iecavas Maltai ūdens izplūst no pamatiežu slāņa un visur ir uz leju vērsta starpslāņu plūsma. Nevienam Maltas SB pamatiežu horizontam SB kritērijs nav spēkā.

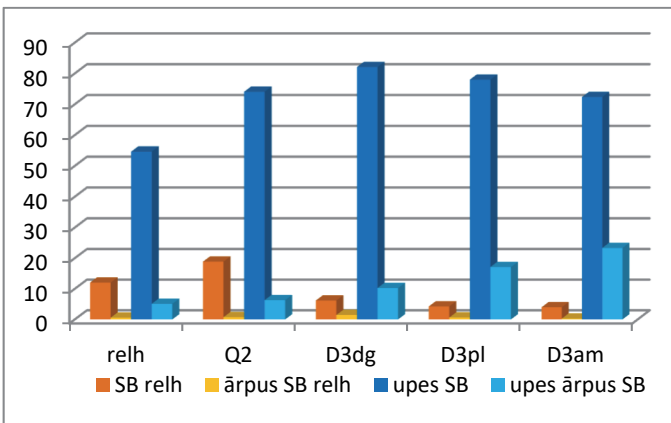
III. AR MODPATH IEGŪTO REZULTĀTU STATISTIKA

Abu pētāmo upju SB areālu šūnu centros ievieto pa vienai daļiņai: Iecavas un Maltas SB, attiecīgi 17 934 un 12 556 daļiņas. Eksperimentu veic *forward* un *reverse* režīmā slānim relh, Q2, D3dg#, D3pl, D3am.

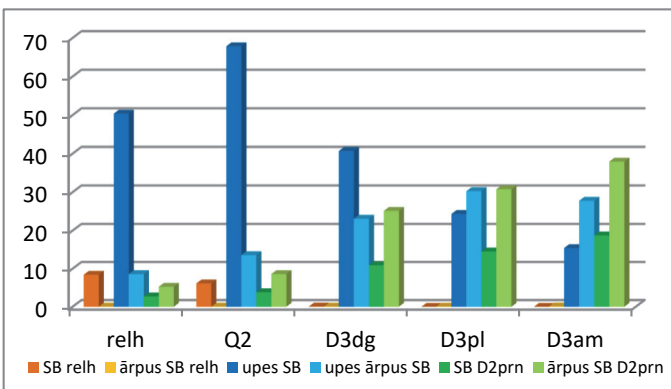
Forward režīmā noskaidro, cik daļiņu sasniedz relh slāni (nokrišņu avotu) ārpus SB un cik paliek SB; cik daļiņu nonāk upēs ārpus SB un cik paliek SB; cik daļiņu sasniedz D2prn slāni ārpus SB un cik paliek SB.

Iecavai *forward* režīmā (3. att.) neviena daļiņa nenonāk D2prn slānī; galvenokārt daļiņas nonāk upēs.

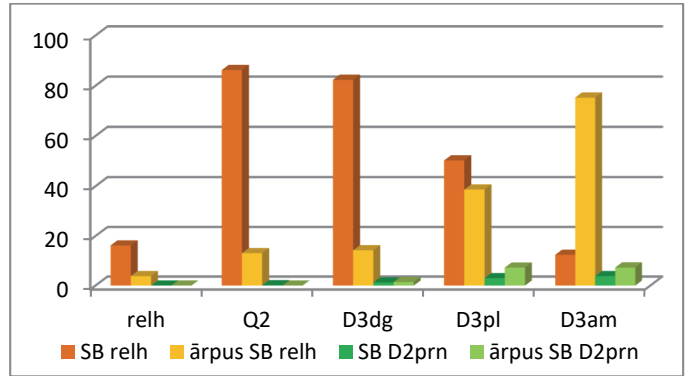
Malta (4. att.) ļoti daudzas daļiņas no dziļākajiem slāņiem sasniedz D2prn slāni; gandrīz visas daļiņas no relh, Q2 un D3dg# nonāk upēs.



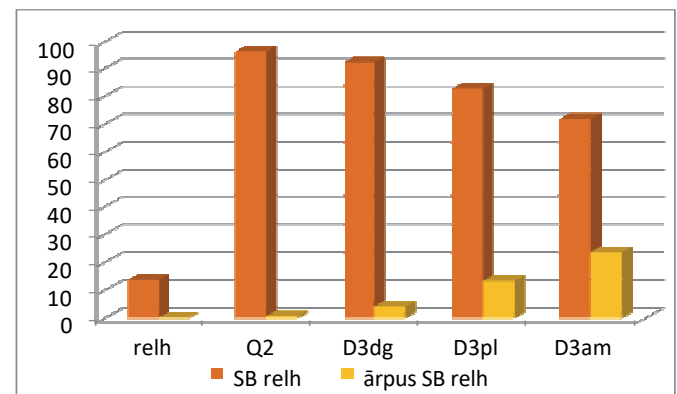
3. att. Iecavas SB daļiņu kustības galapunktu sadalījums procentos *forward* režīmā.



4. att. Maltas SB daļiņu kustības galapunktu sadalījums procentos *forward* režīmā.



5. att. Iecavas SB daļiņu kustības galapunktu sadalījums procentos *reverse* režīmā.



6. att. Maltas SB daļiņu kustības galapunktu sadalījums procentos *reverse* režīmā.

Reverse režīmā tiek aprēķināts, no kurienes SB areālā nonāk pazemes ūdens. Iecavas (5. att.) daļiņas nāk no relh (atmosfēras nokrišņi) un D2prn slāņa.

Malta (6. att.) daļiņas nāk tikai no relh slāņa. Reversā režīmā (īpaši relh slānī) daudzas daļiņas nekustas, t. i., pārstāv to daļiņu kopu, kura darbojas *forward* režīmā.

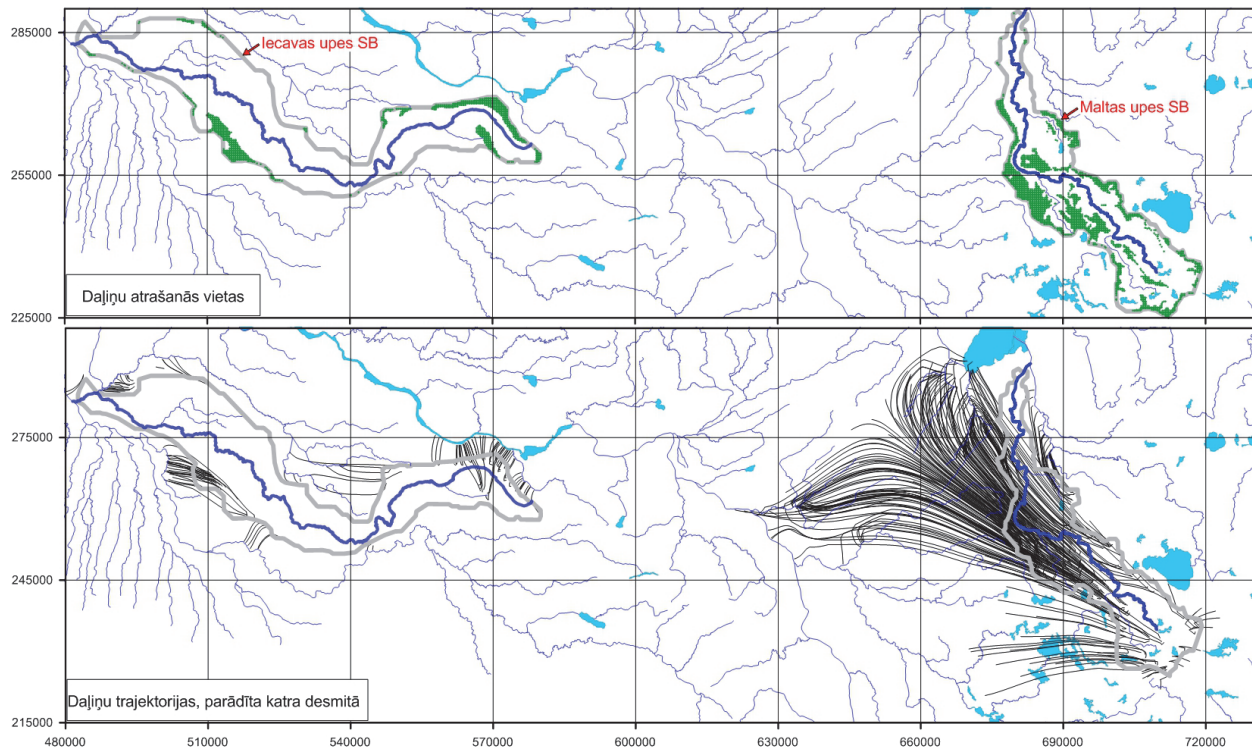
Atšķirības abu upju statistikas raksturā galvenokārt izsauc tas apstākļi, ka Iecavai un Maltai ir pretēji vertikālo ūdens plūsmu virzieni, attiecīgi augšup un lejup.

IV. DAĻIŅU KUSTĪBAS TRAJEKTORIJAS

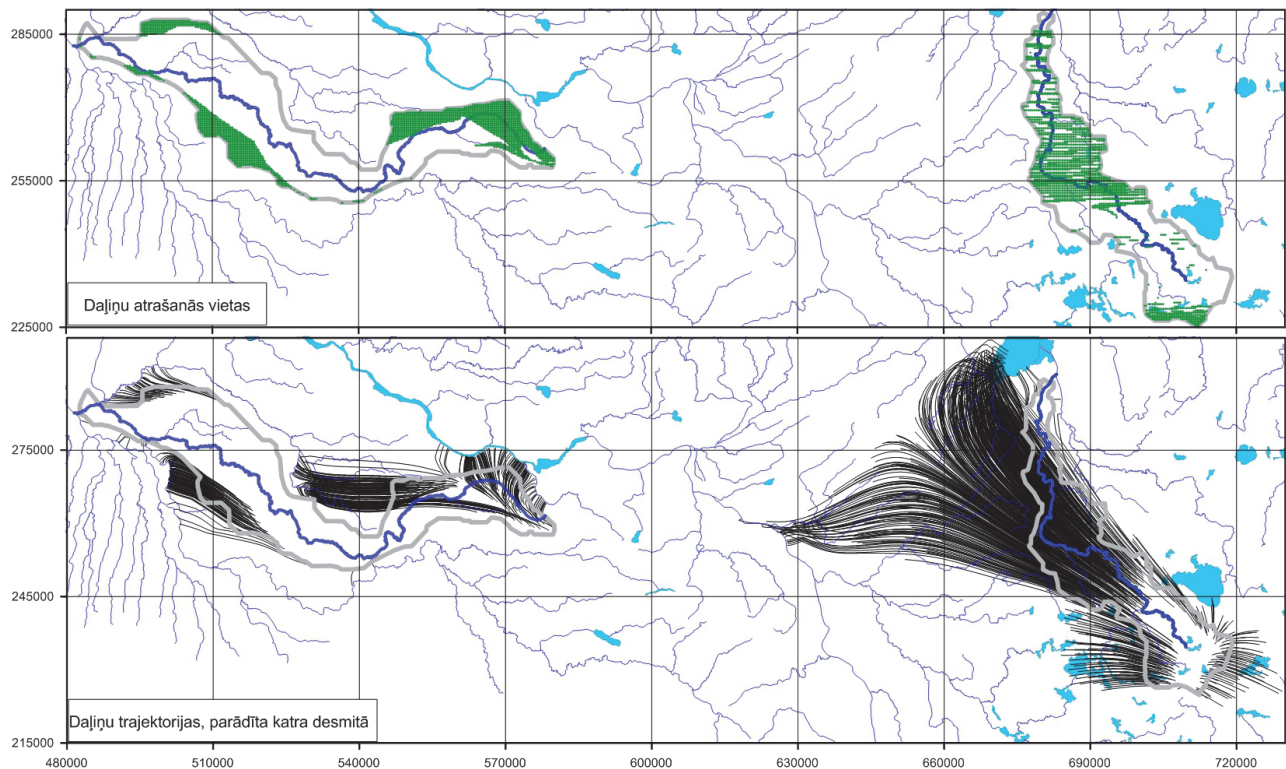
To ūdens daļiņu kustības trajektoriju kopaina, kuras pamet SB areālu režīmā *forward*, ja ūdens daļiņas startē no Q2 un D3am slāņa, skatāma 7. attēlā un 8. attēlā.

Maltas gadījumam īpaši garas daļiņu trajektorijas ir Q2 un D3am slāņiem, t. i., no SB areāla izplūstošais ūdens sasniedz rajonus, kuri atrodas tālu no Maltas SB areāla.

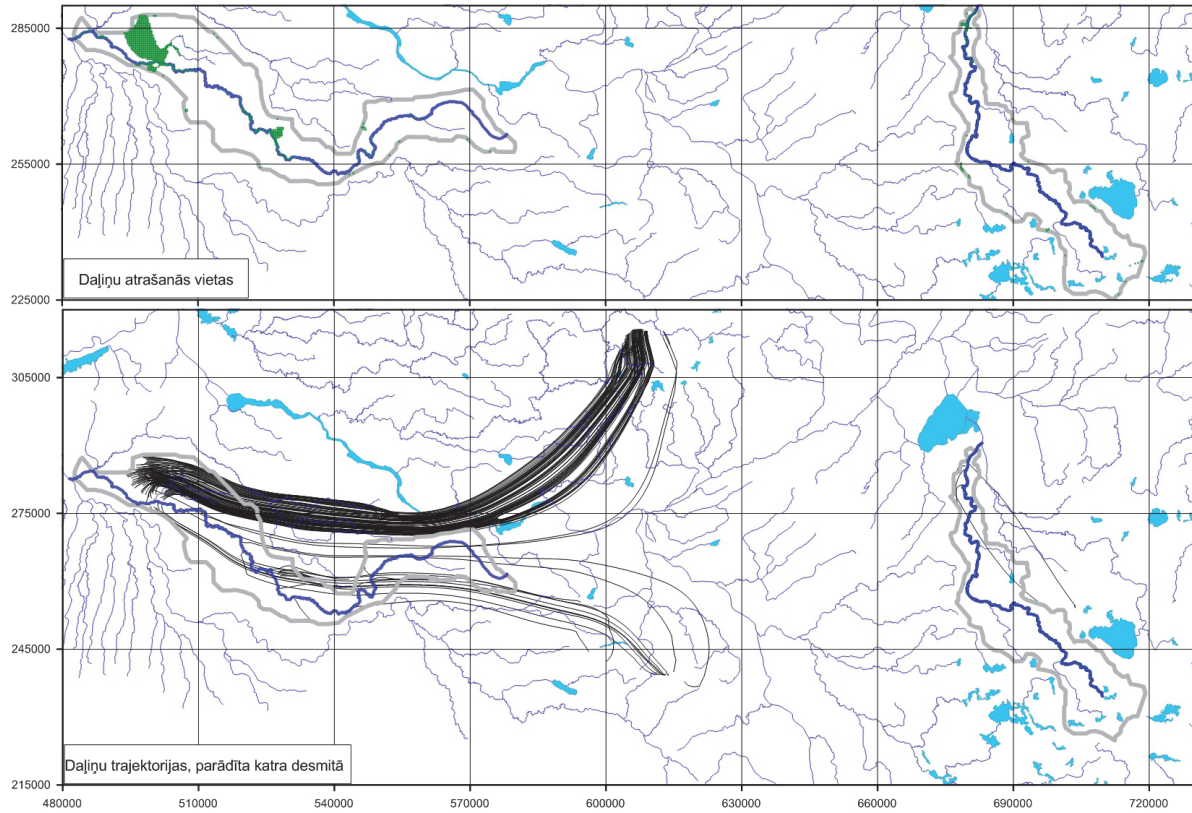
Daļiņu kustības trajektorijas, kuras ieplūst SB areālā režīmā *reverse* no SB ārpuses, ir skatāmas 9. attēlā un 10. attēlā. Iecava saņem ūdeni arī no Vidzemes un Latgales augstienēm (apstiprina pētījumu [2]), bet Maltas SB pazemes ūdens plūst no lokālas augstienes, kuras atrodas tuvu Maltas SB. Abām upēm to daļiņu skaits, kuras pamet (7. att.) vai ienāk (9. att.) Q2 slānī, ir neliels (salīdzinot ar kopējo daļiņu skaitu), un tāpēc šajā slānī praktiski ir spēkā SB kritērijs, t. i., apstiprinās novērtējums, kuru dod pazemes plūsmu bilances analīze Q slānim.



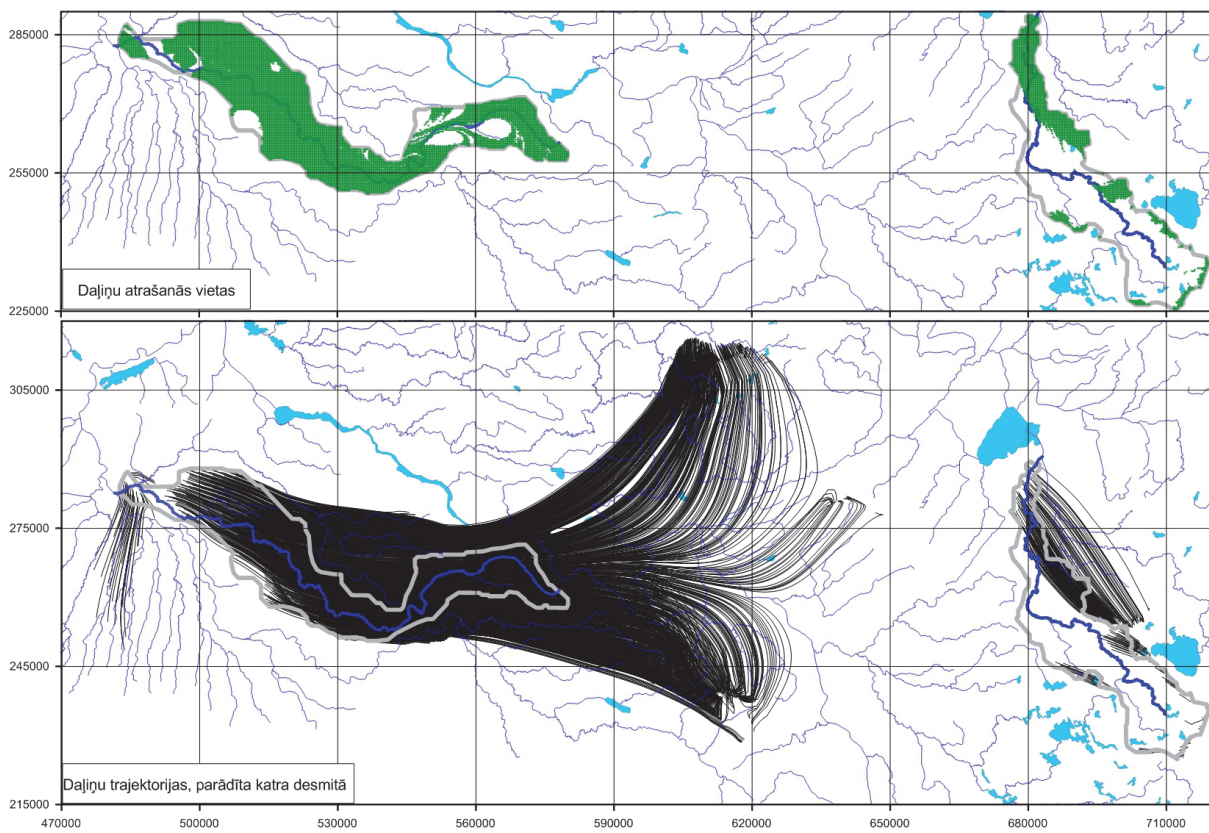
7. att. Daļiņu novietojums un trajektorijas, kas iziet ārpus SB, startējot Q2 slānī, *forward* režīms.



8. att. Daļiņu novietojums un trajektorijas, kas iziet ārpus SB, startējot D3am slānī, *forward* režīms.



9. att. Daiļu novietojums un trajektorijas, kas nāk no ārpuses SB, startējot Q2 slānī, *reverse* režīms.



10. att. Daiļu novietojums un trajektorijas, kas nāk no ārpuses SB, startējot D3am slānī, *reverse* režīms.

V. SECINĀJUMI

Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO vidē ir veikts skaitliski eksperiments tipiskām zemienes (Iecava) un augstienes (Malta) upēm. Eksperimentu mērķis bija pārbaudīt, vai šīm upēm piemērojams sateces apgabala kritērijs, t. i., vai visu pazemes ūdens plūsmu SB areāla tilpumā nodrošina atmosfēras nokrišņi. Konstatēts, ka šo principu nosacīti var lietot tikai kvartāra Q2 slānim, bet nevienam pamatiežu slānim šo kritēriju lietot nevar. Šī iemesla dēļ būs jākorģē pazemes ūdensojektu robežas Latvijas ūdens resursu izmantošanas plānos. Pētījumu finansēja Valsts Pētījumu programma EVIDEnT.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Eiropas Padomes direktīva 98/83EK (1998. gada 3. novembris) par dzeramā ūdens kvalitāti. (in Latvian)
- [2] K. Krauklis, A. Spalvins, and J. Slangens, "The Hydrogeological Model of Latvia LAMO4 as a Tool for Investigating the Processes of Nature. Sources of Groundwater Inflow for the Iecava River," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 54, pp. 43–50, 2015. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2015.007>
- [3] A. Spalviņš and K. Krauklis, "Latvijas hidroģeoloģiskais modelis LAMO4 kā rīks dabas procesu pētīšanai. Iecavas upes pazemes pietecēs avoti," *Latvijas Universitātes 74. zinātniskajā konferencē, Zemes un vides zinātņu nozares sekcija, apakšsekcija "Lietišķā ģeoloģija", Zinātnisko rakstu krājums*. Rīgā, 5. Februārī 2016. (in Latvian)
- [4] Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO pilnveidošanas starprezultāti, Pārskats līgumam 2014/15 starp LVGMC un RTU, Rīga, 2015. g. novembris, vad. A. Spalviņš, teksts 30 lpp, pielikumi 53 lpp. (in Latvian) [Online]. Available: http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVGMC_2015_teksts.pdf http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVGMC_2015_pielikumi.pdf
- [5] D. W. Pollok, "User's Guide for MODPATH/MODPATH-Plot, Version3. A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the US Geological Survey finite-difference groundwater flow model," September 1994.

- [6] Golden Software, Inc., "SURFER-13 for Windows, Users manual, Guide to Using," 2015.
- [7] Environmental Simulations, Inc., "Groundwater Vistas. Version 6, Guide to using," 2011.
- [8] De Barry and A. Paul, *Watersheds: processes assessment and management*. Willey and Sons Inc. Hoboken, New Jersey, 2004, 700 p.



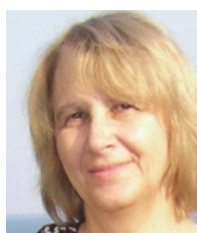
Kaspars Krauklis received the Master's Degree in Computer Systems from Riga Technical University in 2007 and the Certificate in Teaching of Engineering Sciences from the Institute of Humanities of RTU in 2005. Presently he is a Researcher with the Environment Modelling Centre and a Lecturer at the Department of Engineering Mathematics, RTU.

E-mail: Kaspars.Krauklis@gmail.com



Aivars Spalviņš was born in Latvia. In 1963 he graduated from Riga Polytechnical Institute (Riga Technical University since 1990) as a Computer Engineer. He is Head of the Environment Modelling Centre of RTU. His research interests include computer modelling of groundwater flows and migration of contaminants.

E-mail: Aivars.Spalvins@rtu.lv



Irīna Eglīte received the Master's degree in Mathematics from the University of Latvia and the Master's degree in Applied Computer Science from Riga Technical University. She is a PhD student with RTU, a Researcher at the Environment Modelling Centre and a Lecturer with the Department of Engineering Mathematics, RTU.

E-mail: Irina.Eglite@rtu.lv

Investigation of Latvian Rivers in Lowland and Hilly Areas by Using the Hydrogeological Model of Latvia

Kaspars Krauklis¹, Aivars Spalviņš², Irīna Eglīte³

¹⁻³ *Riga Technical University, Latvia*

The Water Framework Directive of European Union recommends applying the river drainage basin principle for defining the boundaries of groundwater bodies. This principle has been used in Latvia for establishing boundaries for the main water bodies of the country. By using the hydrogeological model of Latvia (LAMO), scientists of Riga Technical University tested the applicability of the principle for lowland (Iecava) and hilly (Malta) river drainage basins. The groundwater mass balances of basins were examined and the MODPATH particle tracking was applied. It was discovered that only for the Quaternary system, the principle can be used, because there the groundwater flow through the basin border was relatively small. The principle does not hold for the primary strata. In Latvia, drinking water is mostly provided by the primary strata. For this reason, the boundaries of the main groundwater bodies should be revised.

The research was supported by the Latvian State Research Program EVIDEnT.

Keywords – hydrogeological model, river drainage basin, balance of groundwater flows, MODPATH