

Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 pielietošana vides problēmu risināšanai

Aivars Spalviņš, Kaspars Krauklis, Oļģerts Aleksāns, Inta Lāce, Jānis Šlangens,
Viesturs Šķībelis, Irina Eglīte, Antons Mačāns, Inta Tabaka, Lauris Goldbergs

Latvijas hidroģeoloģiskais modelis (LAMO4) ir Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centra (VMC) izstrādne. Modelis nodrošina elektronisku datu kopumu par pazemes ūdensobjektu ģeoloģisko uzbūvi, ūdens līmeņiem un plūsmām, mijiedarbību ar hidrogrāfisko tīklu (upes, ezeri) un atmosfēras nokrišņiem. Izmantojot LAMO4, var veikt pazemes ūdens resursu apzināšanu un novērtēt to aizsargātību pret piesārņojumu. Var aprēķināt piesārņojuma apjomu un kustību, kā arī modelēt piesārņoto vietu sanācijas pasākumus. LAMO4 ir reģionālo datu avots lokālu augstas detalizācijas hidroģeoloģisku modeļu izveidošanai.

Pazemes ūdens resursu apzināšanai nepieciešama ūdens plūsmu bilance. Ar LAMO4 iegūtā bilance parāda, kā pazemes ūdens resursus papildina atmosfēras nokrišņi un cik no papildinājuma nokļūst upēs, ezeros, eksploatācijas urbumos un šķērso Latvijas vai atsevišķu ūdensobjektu robežas.

Atklāta pazemes un virszemes ūdensobjektu robežu atšķirība. Noskaidroti tās iemesli. Būtu jāprecizē ūdensobjektu robežu definīcija.

Izstrādāta jauna metode pazemes ūdens plūsmu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu robežu noteikšanai. Izmantojot šo rezultātu, var iegūt jaunas zināšanas par procesiem pazemes ūdeņos.

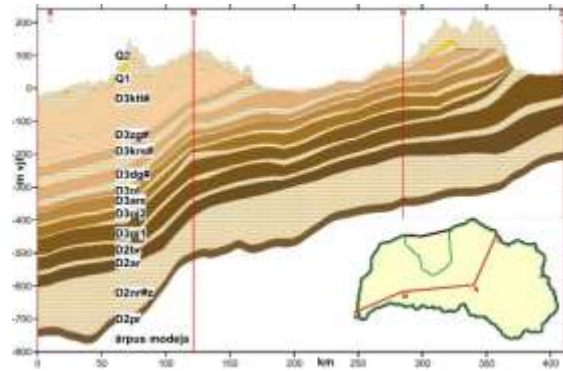
1. Hidroģeoloģiskā modeļa uzbūve

LAMO4 apraksta vidējos Latvijas hidroģeoloģiskos apstākļus. Tā laukums ir 142.5 tūkst.km² (1. att.). Modelī aktīvas ir Latvijas sauszemes un Rīgas jūras līča teritorijas (71.3 tūkst.km²). Teritorijas ar kaimiņvalstīm var izmantot pārrobežu projektu īstenošanai. Modelēti 27 ģeoloģiskie slāņi aktīvajā pazemes ūdens zonā (2. att.).

LAMO 4 veidots ar licenzētas programmatūras Groundwater Vistas (GV) rīku MODFLOW. Dažādu vielu pārvietošanos pazemes ūdenī var modelēt ar GV rīkiem MODPATH un MT3D.



1. att. Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa novietojums



2. att. Ģeoloģiskais griezum R-M-N-Z ar Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa slāņiem

Modelī ģeoloģiskā vide ir aproksimēta ar telpisku 3D režģi. To veido $h \times h \times m$ izmēra paralēlskaldņi (h - režģa plaknes solis 250m; m - mainīgs ģeoloģiskā slāņa biezums), kuru centri ir režģa mezgli. Režģa mezglu skaits ir 61.56×10^6 .

Modelī ir 14 ūdens horizonti un tos saista 13 sprosts slāņi. Ģeoloģisko slāņu uzbūvi nosaka to virsmas (z -kartes) un filtrācijas īpašības (k -kartes). Kartes izveidotas, izmantojot Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas Centra datus par ģeoloģiskajiem urbumiem. Informācija par modeļa digitālo reljefu, dati par nozīmīgākajām 469 upēm un 127 ezeriem iegūta no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras materiāliem.

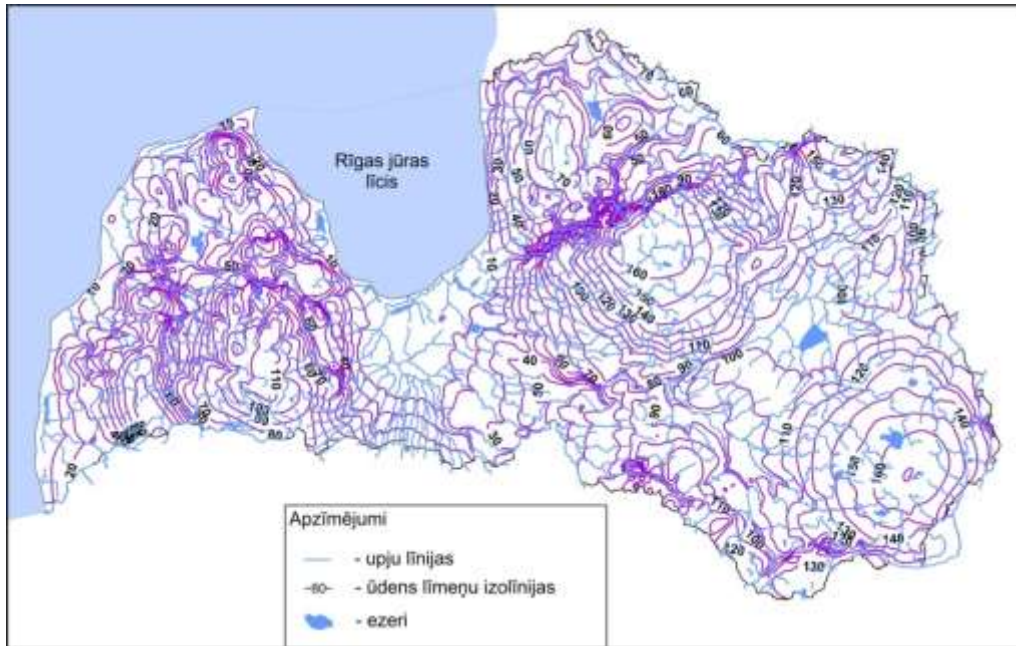
Modelis aprēķina pazemes ūdens līmeņus 3D režģa mezglos (φ -kartes), pazemes ūdens plūsmas (q -kartes) un atslodzes (pazemes pieteces) upēs un ezeros.

Par RTU VMC izveidotajām modeļa versijām LAMO1, LAMO2, LAMO3 un LAMO4 informē raksts [1].

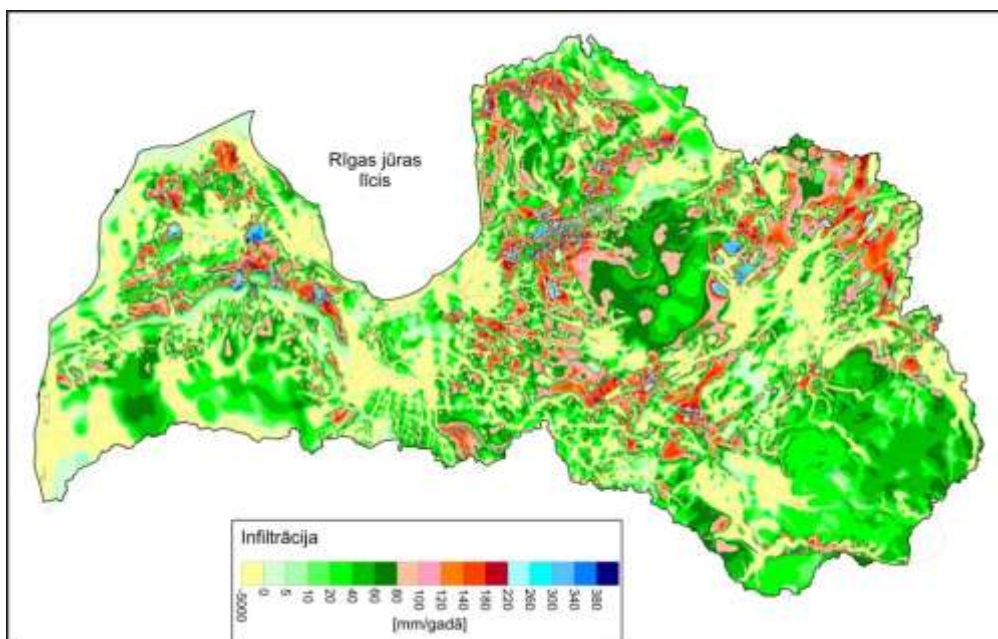
2. Hidroģeoloģiskā modeļa rezultāti

Iegūti inovatīvi un savstarpēji papildinoši rezultāti (skat. kā piemērus 3. att., 4. att., 5. att., 1. tabula): pazemes ūdens līmeņu sadalījumi (φ -kartes); pazemes vertikālo plūsmu (infiltrācijas) sadalījumi (q_z -kartes); modelī iekļauto upju un ezeru pazemes ūdens pieteces; pazemes ūdens plūsmu bilances aprēķini.

Pazemes ūdens līmeņu sadalījumi (φ -kartes) raksturo ūdens horizontus. No 3. att. redzams, ka pazemes ūdens līmeņu raksturu nosaka zemes virsmas reljefs un hidrogrāfiskais tīkls. Maksimālie φ – līmeņi ir augstienēs, izolīniju forma mainās upju dēļ. Dziļākos horizontos reljefa un virszemes ūdensobjektu ietekme samazinās. Izmantojot φ -kartes, var novērtēt ūdens līmeņu izmaiņu ietekmi uz vides kvalitāti un noteikt horizontālo ūdens plūsmu q_{xy} virzienu.

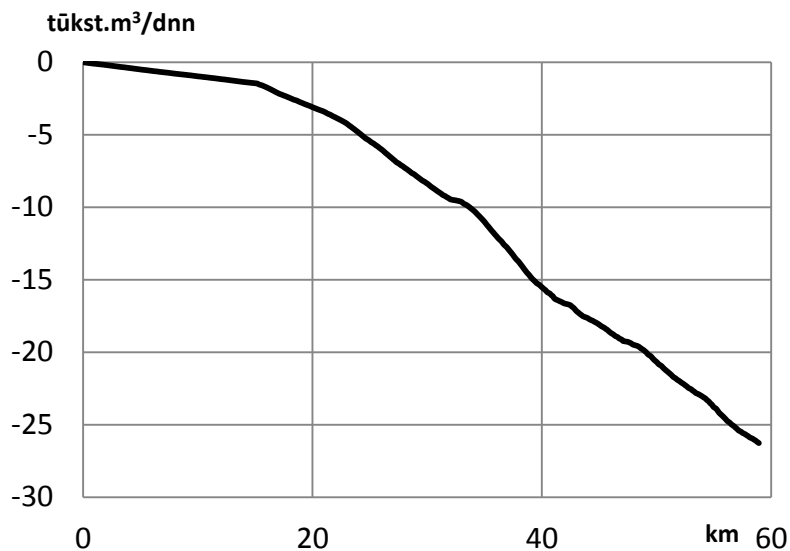


3. att. Pazemes ūdens līmeņu [m vjl] izolīnijas zemkvartāra virsmai



4. att. Infiltrācijas plūsma [mm/gadā] zemkvartāra virsmai

Vertikālo (infiltrācijas) pazemes ūdens plūsmu sadalījums (q_z -kartes) raksturo sprostslāņus. Pozitīvās plūsmas papildina horizontu ūdens krājumus, bet negatīvās plūsmas ir atslodze zemiņēs, upēs un ezeros. Kā redzams 4. att., pozitīvo plūsmu maksimumi ir augstienēs. Visaugstākā infiltrācijas intensitāte ir aerācijas zonā caur kuru atmosfēras nokrišņi papildina pazemes ūdens krājumus. Arī šeit q_z -karti izveido modelis, izmantojot digitālo reljefu kā fiksētu ūdens līmeņu avotu.



5. att. Ziemeļsusējas upes kumulatīvās pazemes pieteces grafiks; horizontālās ass (upes viduslīnijas) sākums ir upes izteka

1. tabula. Balance [tūkst.m³/dnn] upju baseinu apgabaliem un Latvijai

Apgabala nosaukums	nokrišņi	upes	ezeri	robeža	urbumi	Laukums [tūkst.km ²]
Gaujas	3691	-3471	-86	-116	-18	13.00
Daugavas	6247	-5171	-553	-432	-91	27.06
Lielupes	1100	-1114	-30	64	-20	8.86
Ventas	3183	-2630	-156	-371	-26	15.63
Latvija	14221	-12386	-825	-855	-155	64.55

Ģeoloģisko slāņu φ un q_z - kartes skatāmas pārskatā [2].

Modelis aprēķina upju un ezeru pazemes pieteces (gruntsūdens atslodzes), kas ir negatīvas (5. att.), jo tās izplūst no zemes dziļēm un atbilst to ūdens krājumu samazinājumam. Pieteces raksturo pazemes un virszemes ūdensobjektu mijiedarbību. Pieteču dati ir noderīgi lokālo modeļu būvei un provizoriskiem novērtējumiem par kaitējumu videi dažādu avāriju dēļ.

Ūdens balance dod pārskatu par pazemes ūdens atslodzi upēs, ezeros, caur robežu un urbemos. Šo atslodžu summa ir vienāda ar atmosfēras nokrišņu papildinājumu pazemes ūdeņiem. Balances aprēķinu veic, izmantojot GV speciālos rīkus. No 1. tabulas redzams, ka Latvijā diennaktī pazemē ieplūst 14221 tūkst.m³ ūdens, kas ir 80 mm/gadā, t.i., 11.4% no atmosfēras nokrišņiem (700 mm/gadā). Upēs, ezeros un caur robežu aizplūst 85%, 6% un 6% no infiltrētā ūdens. Modelēta tikai centralizēto

ūdensgūtvju ražība. Upes plūsma ir tās pazemes pieteces ietekā, ezeru plūsma ir pazemes pietece visam ezera laukumam.

No 1. tabulas bilancēm var secināt, ka hidroģeoloģiskie apstākļi upju baseinu apgabaliem ir atšķirīgi. Bilances var aprēķināt arī ūdens horizontiem vai to daļām.

Balstoties uz LAMO aprēķiniem, 2013. gadā sagatavoti Latvijas upju baseinu apgabalu pārskati [3, 4, 5, 6]. Sagatavoti LAMO4 iekļauto upju un ezeru pazemes pieteces katalogi [7, 8]. Sagatavots Daugavas upju baseina apgabala pārskata makets. Pēc papildināšanas tas varētu kalpot kā prototips pārējo apgabalu pārskatiem.

3. Pazemes un virszemes ūdensobjektu robežu atšķirība

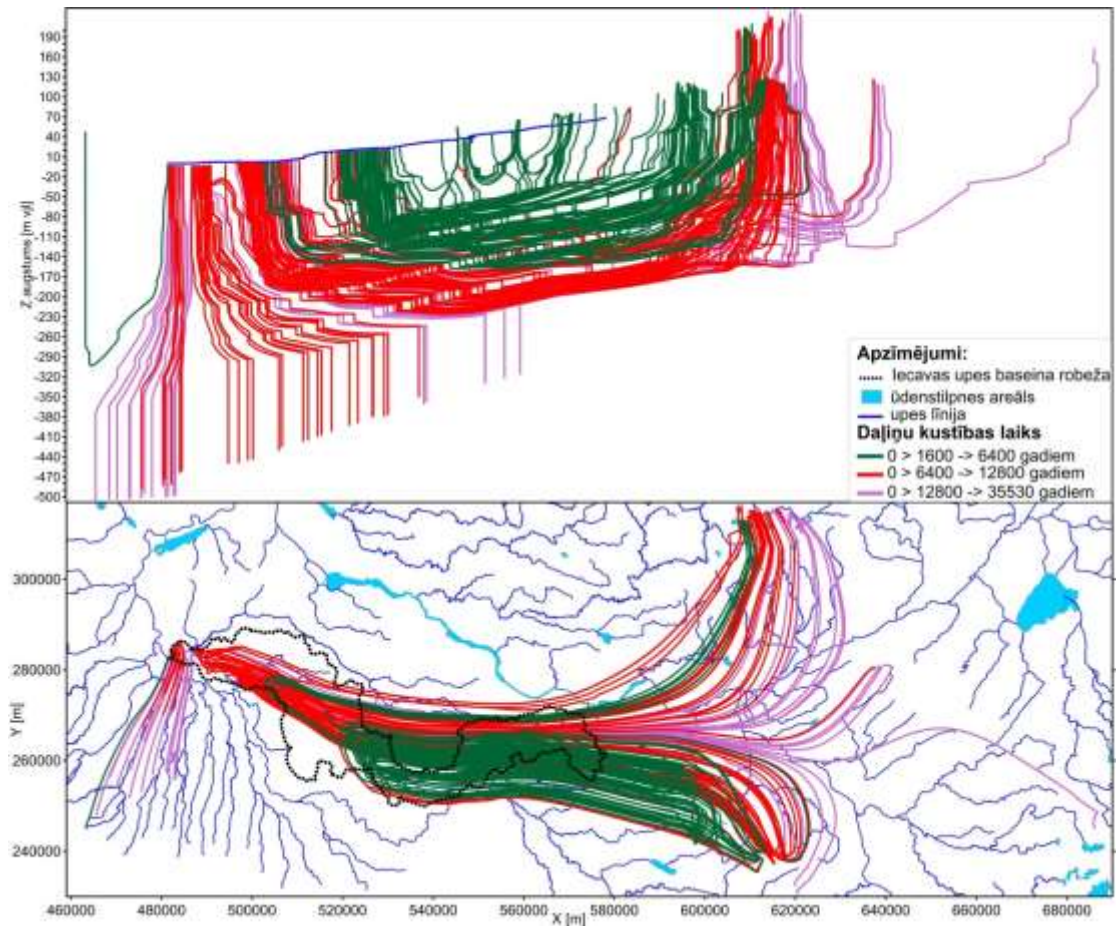
Eksperimenti dabas procesu pētīšanā LAMO4 vidē veikti ar MODPATH programmu, kura aprēķina virtuālu ūdens daļiņu kustības trajektorijas telpā un laikā. Var izmantot divus kustības virzienus: pazemes ūdens plūsmas virzienā vai arī pretēji plūsmai. Reverso režīmu izmanto ūdens barošanās apgabalu atrašanai.

Izmantojot reverso režīmu, tika meklēti Iecavas upes pazemes pieteces avoti (atmosfēras nokrišņi vai citi pieteces avoti). Kā daļiņu sākuma pozīcija izvēlēti režģa mezgli, kuros upe piesaistīta modelim (kopā 1024). Ja daļiņa sasniedza avotu, tās kustība apstājās un ceļā pavadītais laiks atbilda tās vecumam. Daļiņas apstājās LAMO4 pirmajā slānī, ja avots ir atmosfēras nokrišņi. Neliels daļiņu skaits (43 no 1027) tika apturētas modeļa 27. slānī (Pērnavas horizontā).

Eksperimenta nolūks bija apstiprināt upju sateces apgabalu (SA) principa pareizību, t.i., “atmosfēras nokrišņi SA ir upes pazemes pieteces avots”. Rezultāts bija negaidīts (6. att.), jo daudzi pazemes pieteces avoti atradās Vidzemes un Latgales augstienēs. Daļiņu trajektorijas sasniedza dziļus ūdens horizontus, pirms sasniedza SA. Iecavas upei tikai kvartāra ūdens horizontā varēja piemērot SA principu, jo te upes un horizonta SA robežas praktiski sakrita [9].

Sarežģītāki pētījumi veikti Iecavai un Maltai kā zemieņu un augstieņu upēm [10]. Pētāmo upju SA mezglos ievietoja pa vienai daļiņai: Iecavas un Maltas upēm, attiecīgi 17934 un 12556 daļiņas. Lai noskaidrotu, uz kuriem no šo upju SA aizplūst pazemes ūdens un kādi avoti nodrošina apgabalu pazemes pieteci, aprēķinus veicām *forward* un *reverse* režīmos.

Eksperiments parādīja, ka jo dziļāk atrodas ūdens horizonts, jo mazākā mērā tam var izmantot SA principu, kurš Latvijā ir lietots upju baseinu apgabalu un to apakšbaseinu robežu noteikšanai. Šo robežu definīcija būtu jāpārskata.



6. att. Ūdens daļiņu kustības trajektoriju projekcijas (sānskats, virsskats)

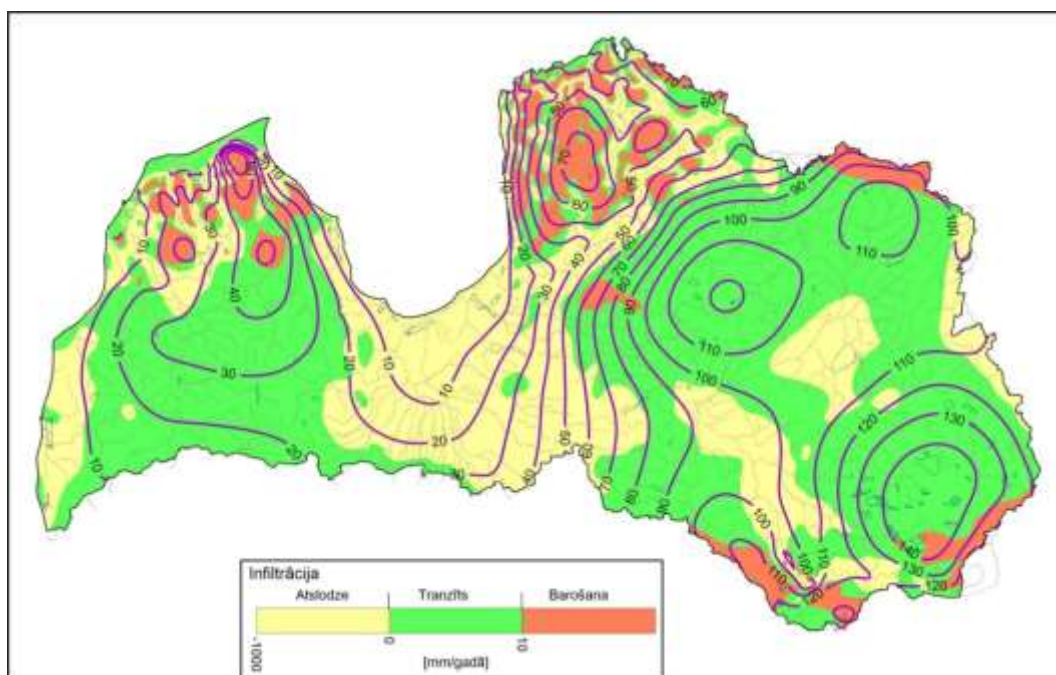
Upes SA un pazemes ūdensobjektu robežu atšķirības iemesls ir zemes virsmas reljefa un hidrogrāfiskā tīkla ietekmes samazināšanās dziļākajos ūdens horizontos.

4. Pazemes ūdeņu horizontu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabali

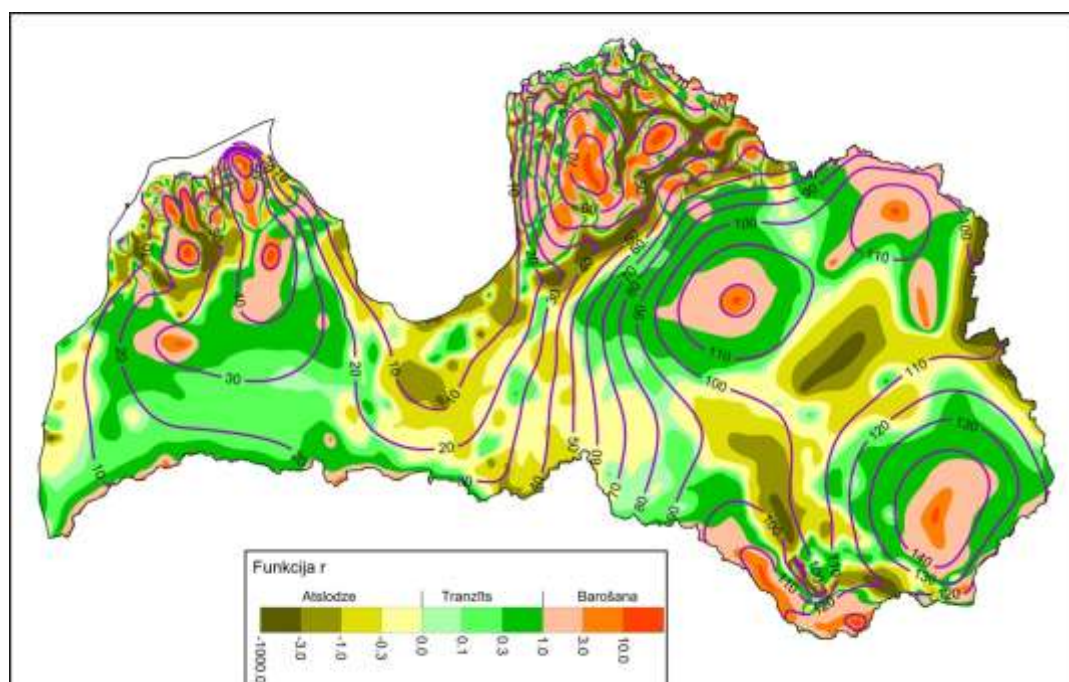
Pazemes ūdens plūsmu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu izvietojumu ietekmē zemes virsmas reljefs un hidrogrāfiskais tīkls (upes, ezeri, jūra).

Tradicionāli par barošanas apgabaliem uzskata augstienes, jo tajās vienlaicīgi eksistē infiltrācijas plūsmas q_z un pazemes φ - līmeņu maksimumi. Barošanās un tranzīta apgabalos $q_z > 0$; atslodzes apgabalā $q_z < 0$ un tā robežu veido $q_z = 0$ līnija. Tomēr tā ne vienmēr var atrast visus barošanās apgabalus, ja to plūsmas q_z ir būtiski atšķirīgas.

Neveiksmīgs barošanās apgabalu meklēšanas gadījums skatāms 7. att. Horizonta D2ar (LAMO 25. slānis) ziemeļu un dziļajā vidus daļā ir atšķirīga infiltrācijas intensitāte. Ja izmantojot infiltrācijas karti, kā barošanās apgabala pazīmi lieto $q_z > 10$ mm/gadā, tad barošanās apgabali zem Vidzemes un Latgales augstienēm netiek atrasti.



7. att. Atslodzes, tranzīta un barošanas apgabali D2ar horizontam pēc tradicionālās metodes; parādītas φ – kartes izolīnijas [m vjl]



8. att. Atslodzes, tranzīta un barošanas apgabali D2ar horizontam (LAMO 25. slānim) ar detalizētu funkcijas r attēlojumu; parādītas horizonta φ – kartes izolīnijas [m vjl]

RTU VMC zinātnieki ir izstrādājuši drošāku metodi ūdens horizontu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu atrašanai [11]. Aprēķina rezultējošo vertikālo un horizontālo pazemes ūdens plūsmu ātrumu attiecību σ un izveido funkciju $r=c \sigma$ (c - empīriskā konstante). Pazemes plūsmu ātrumus aprēķina GV sistēma.

Apgabala veidu nosaka funkcijas r vērtības: $r \geq 1$ – barošana; $1 > r > 0$ – tranzīts; $r < 0$ – atslodze. Robežu $r = 1$ un $r = -1$ novietojumu nosaka empīriskās konstantes (c) izvēle. Jaunās metodes rezultāts horizontam D2ar skatāms 8. att.(c=250), kurā ar krāsu skalas palīdzību parādīta funkcijas r izmaiņu sarežģītība barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalos. Plūsmu q_z lielā atšķirība horizontā D2ar praktiski neietekmē jaunās metodes rezultātu.

Attiecībā pret robežu $r = 0$, vērojama pozitīvo un negatīvo pazemes ūdens plūsmu simetrija, jo atslodzes apgabalā var identificēt “negatīvā” tranzīta zonu ($-1 < r < 0$) un “atslodzes” daļu ($r < -1$). Atslodzes apgabalu robežas 7. att. un 8. att. atšķiras, jo rezultējošās vertikālās plūsmas ātrums ir proporcionāls horizontu ieejas un izejas plūsmu starpībai. Ne vienmēr barošanās apgabali atrodas φ - līmeņu maksimumos.

Barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu likumsakarību pētīšana, izmantojot funkciju r , dod jaunas zināšanas par procesiem pazemes ūdeņos.

5. Darbi, kuri būtu īstenojami LAMO4 papildināšanai, uzturēšanai un rezultātu izmantošanai

Lai pilnīgāk raksturotu pazemes ūdens resursus, LAMO4 vajadzētu papildināt ar datiem par pazemes ūdens kvalitāti. Ja tas netiks izdarīts, LAMO4 neinformēs par šo resursu atbilstību dzeramā ūdens prasībām.

Lai sistematizētu LAMO4 rezultātus, vajadzētu izstrādāt Latvijas upju baseinu apgabalu pārskatus. Ja šis pasākums netiks īstenots, arī turpmāk būs jāizmanto novecojuši 2013. gada pārskati.

Jānodrošina LAMO4 uzturēšana. Ja tas nenotiks, šo modeli nevarēs izmantot vides problēmu risināšanai.

Nepieciešams izstrādāt programmatūras modelēšanas rezultātu apstrādes automatizēšanai (vertikālo griezumu veidošana, pazemes ūdens bilanču sastādīšana, u.c.). Ja tas nenotiks, modelēšanas rezultātus varēs izmantot tikai augstas kvalifikācijas speciālisti.

Literatūras saraksts

- [1] A.Spālviņš, Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa izveidošana Rīgas tehniskajā universitātē (2010-2015), Rīgas tehniskās universitātes zinātniskais žurnāls Datormodelēšana un robežproblēmas, RTU Press, Rīga, 2016, 55. sēj., 5-11 lpp. http://www.emc.rtu.lv/issues/2016/Spalvins_zin_darbiba.pdf

- [2] 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., http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVGMC_2015_teksts.pdf
http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVGMC_2015_pielikumi.pdf
- [3] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas upju baseinu apgabalā, Rīga, Latvija, Rīgas Tehniskā universitāte, 12 lpp. 49 kartes 6 tabulas, http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGMC/Gaujas_parskats_2013.pdf, 2013
- [4] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Daugavas upju baseinu apgabalā, Rīga, Latvija, Rīgas Tehniskā universitāte, 12 lpp. 52 kartes 7 tabulas, http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGMC/Daugavas_parskats_2013.pdf, 2013
- [5] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Lielupes upju baseinu apgabalā, Rīga, Latvija, Rīgas Tehniskā universitāte, 12 lpp. 55 kartes 7 tabulas, http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGMC/Lielupe_parskats_2013.pdf, 2013
- [6] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Ventas upju baseinu apgabalā, Rīga, Latvija, Rīgas Tehniskā universitāte, 12 lpp. 57 kartes 7 tabulas, http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGMC/Venta_parskats_2013.pdf, 2013
- [7] J. Šlangens, I. Lāce, LAMO4 upju pazemes ūdens pieteces plūsmu katalogs, Rīga, 2016, 2 sējumi, 150.lpp.
http://www.emc.rtu.lv/VPP/Upju_saraksts_katalogam_1.pdf,
un http://www.emc.rtu.lv/VPP/Upju_saraksts_katalogam_2.pdf
- [8] J. Šlangens, I. Lāce, LAMO4 ezeru pazemes ūdens pieteces plūsmu katalogs, Rīga, 2016, 40 lpp http://www.emc.rtu.lv/VPP/EZERU_PLUSMAS.pdf
- [9] A. Spalviņš, K. Krauklis, Latvijas hidroģeoloģiskais modelis LAMO4 kā rīks dabas procesa pētīšanai. Iecavas upes pazemes pieteces avoti. Zinātnisko rakstu krājums. Lietišķi ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti. Atbildīgais redaktors V. Segliņš. Rīga: Latvijas universitāte, 2016, 6-11 lpp.
http://www.emc.rtu.lv/issues/2016/LU_raksts_LAMO4.pdf
- [10] K. Krauklis, A. Spalviņš, I. Eglīte, “Latvijas zemieņu un augstieņu upju īpašību pētīšana ar Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa palīdzību,” Datormodelēšana un robežproblēmas, RTU Press, Rīga, 2016, 55. sēj. 28–33 lpp,
http://www.emc.rtu.lv/issues/2016/Krauklis_upes.pdf
- [11] A. Spalviņš, K. Krauklis, I.Lāce, Pazemes ūdens plūsmu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu robežu noteikšana, Rīgas tehniskās universitātes zinātniskais žurnāls Datormodelēšana un robežproblēmas, RTU Press, Rīga, 2017, 57. sēj. 12-16 lpp. http://www.emc.rtu.lv/issues/2017/02_VMC_56_2017_Spalvins.pdf