

Development, Application and Upgrading of the Hydrogeological Model of Latvia *LAMO*

Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa *LAMO* izveidošana, izmantošana un pilnveidošana

Aivars Spalviņš¹, Kaspars Krauklis², Oļģerts Aleksāns³, Inta Lāce⁴
¹⁻⁴Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, Latvija

Kopsavilkums – Pasaules un Eiropas Savienības valstīs reģionāli hidroģeoloģiskie modeļi (HM) apkopo ģeoloģisko un ģeogrāfisko informāciju, kuru izmantojot, var aprēķināt sarežģītus telpiskus pazemes ūdens līmeņu un plūsmu sadalījumus, kā arī pazemes un virszemes (upju, ezeru) ūdensojektu mijiedarbību. Izmantojot reģionālos HM, var racionāli plānot valsts ūdens resursu ilgtspējīgu izmantošanu. Izmantojot lokālus detalizētus HM, kurus iegūst, papildinot reģionālā HM datus, var efektīvi veikt vides un dabas aizsardzības un atveseļošanas darbus. Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centra (VMC) zinātnieki 2011.–2015. gadā izveidoja Latvijas HM (*LAMO*) versijas: *LAMO1*→*LAMO2*→*LAMO3*→*LAMO4*. Versija *LAMO4*, kas dod nozīmīgus HM iespēju un rezultātu kvalitātes uzlabojumus, tika pārbaudīta laikā no 2016. gada līdz 2018. gadam, īstenojot pazemes ūdens procesu pētījumus (kas iespējami tikai reģionālā HM vidē) un risinot praktiskus uzdevumus, izmantojot lokālus HM. *LAMO4* dati, kas veido ģeotelpiskās informācijas kopu, ir brīvi pieejami RTU VMC tīmekļa vietnē. Šie unikālie dati jāievieto portāla “geolattija.lv” iedaļā “Hidroģeoloģiskie dati” kā valsts budžeta finansēts bezmaksas pakalpojums. Izmantojot *LAMO4* aprēķinātos datus par upju pazemes pietecēm, var izveidot Latvijas upju tīkla datormodeli upju piesārņošanas procesu pētīšanai. Ir iespējama *LAMO4* pilnveidošana – *LAMO4*→*LAMO5*→*LAMO6* –, kas ietver HM detalizācijas uzlabošanu un pazemes ūdens kvalitātes ievērošanu. RTU ir īstenojusi *LAMO* projektu, izmantojot Eiropas Reģionālā attīstības fonda (2011.–2012. g.) un valsts pētījumu programmas “EVIDEnT” (2014.–2018. g.) finansējumu.

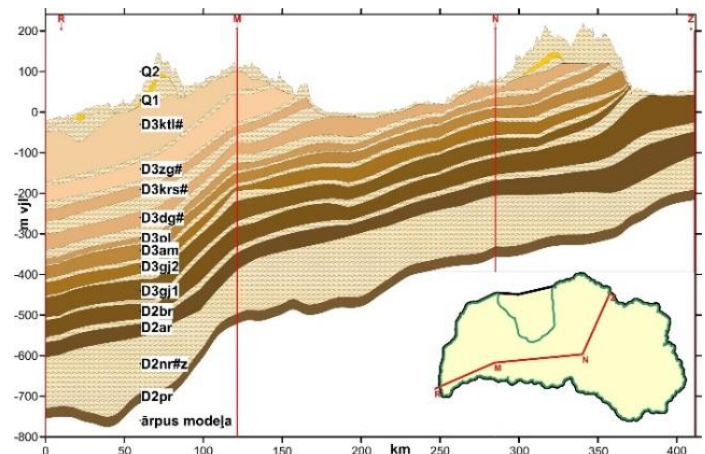
Atslēgas vārdi – Hidroģeoloģiskā modelēšana, hidroģeoloģisko datu brīva pieejamība, *LAMO*, reģionālais hidroģeoloģiskais modelis.

I. IEVADS

Latvijas hidroģeoloģiskais modelis (HM) *LAMO4* modelē vidējos Latvijas hidroģeoloģiskos apstākļus. Modeļa laukums ir 142,5 tūkst. km² (1. att.), un tā aktīvā daļa (71,3 tūkst. km²) ietver Latvijas sauszemes teritoriju un Rīgas jūras līci. Robežteritorijas ar kaimiņvalstīm var izmantot pārrobežu projektu īstenošanai. Pavisam modelēti 27 ģeoloģiskie slāņi aktīvajā pazemes ūdens zonā (2. att.). *LAMO4* ir veidots, izmantojot licenzētas programmatūras “Groundwater Vistas” (GV) [1] rīku “MODFLOW” [2]. Dažādu vielu kustību pazemes ūdenī var pētīt ar GV iekļautajām programmām “MODPATH” [3] un “MT3D” [4].



1. att. Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa *LAMO* novietojums.



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

Ģeoloģisko slāņu uzbūvi nosaka to virsmas (z kartes) un filtrācijas īpašības (k kartes). Kartes izveidotas, interpolējot Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra (LVĢMC) sniegto informāciju par ģeoloģiskajiem urbumiem un ģeoloģisko slāņu robežām. Dati par *LAMO4* izmantoto digitālo reljefu, virszemes ūdensobiektiem (upēm un ezeriem)

iegūti no Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras materiāliem.

Izmantojot iepriekš minētos ģeoloģiskos un ģeogrāfiskos datus, LAMO4 aprēķina pazemes ūdens līmeņus 3D modeļa režģa mezglos (φ kartes), pazemes ūdens plūsmas (q kartes) un pazemes ūdens pieteces upēs un ezeros, kas raksturo šo virszemes ūdens avotu mijiedarbību ar pazemes ūdensobjektiem (skat. A pielikumu).

Laikā no 2011. gada līdz 2015. gadam Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) zinātnieki izveidoja šobrīd izmantoto LAMO4 kā HM pilnveidošanas (LAMO1→ LAMO2→ LAMO3→ LAMO4) procesa rezultātu. LAMO projekta gaita ir iztirzāta rakstos [5] un [6]. Modeļa veidošanai izmantotās oriģinālās matemātiskās metodes ir izskaidrotas darbā [7]. LAMO attīstības koncepcija un mērķis, kurus kopīgi formulēja RTU un LVĢMC, ir iztirzāti rakstā [8], kurā norādīts: “Latvijā ir jāizveido reģionāls HM, kura izmantošana sekmētu Eiropas Savienības (ES) galvenās ūdens direktīvas [9] formulēto uzdevumu īstenošanu Latvijā”.

Visas minētās LAMO versijas, kas ir RTU intelektuālais īpašums, ir iesniegtas LVĢMC izmantošanai un aprobācijai.

Raksts sniedz informāciju par LAMO projekta finansēšanu un īstenošanu laikā no 2011. gada līdz 2018. gadam, kā arī par LAMO4 iespēju pārbaudi kā reģionālam HM un kā datu avotam lokālu HM izveidošanai un izmantošanai. Izklāstītas tālākās LAMO projekta attīstības iespējas.

II. LAMO PROJEKTA DARBU FINANSĒŠANA

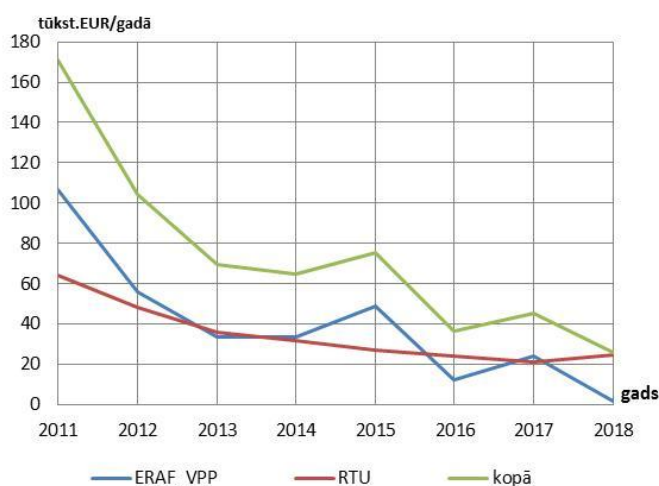
LAMO projekta darbu finansēšanu nodrošināja atklātos konkursos (Eiropas Reģionālais attīstības fonds (ERAF) un valsts pētījumu programma (VPP) “EVIDenT”) iegūtie līdzekļi un RTU Vides modelēšanas centra (VMC) zinātnes bāzes finansējums. Informācija par finansēšanas avotiem un to apjomiem skatāma I tabulā, kā arī 3. att. un 4. att. Visu finansējuma avotu intensitāte ir samazinājusies – 2018. g. tas veidoja tikai 26 151 EUR.

Kopīgie projekta izdevumi bija ~594 tūkst. EUR, no kuriem 47 % ir segusi RTU. Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija (VARAM) līdz šim LAMO projektu nav finansējusi. Ministrija atbalstīja RTU iniciatīvu par LAMO papildināšanu, īstenojot VPP “EVIDenT”. Šobrīd izmantojamais LAMO4 ir izveidots vides un dabas aizsardzības jomas vajadzībām. Bez VARAM mērķa finansējuma nav iespējams turpināt LAMO4 uzturēšanu, izmantošanu un papildināšanu, jo tikai ar RTU līdzekļiem to nevarēs nodrošināt.

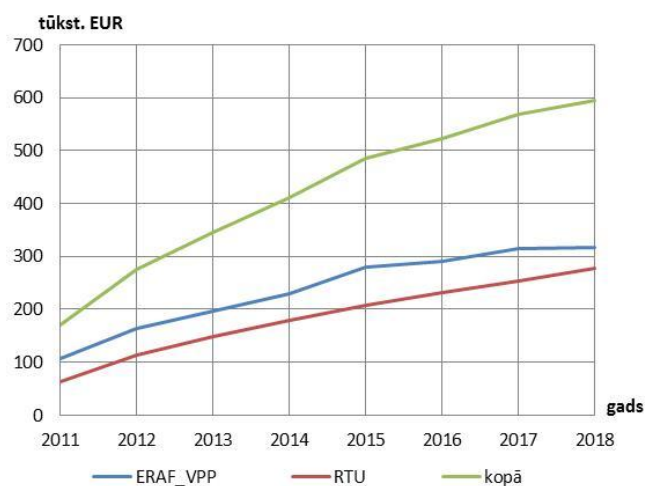
I TABULA

LAMO PROJEKTA FINANSĒŠANA (EUR) 2011.–2018. GADĀ

Finansēšanas veids	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Kopā
ERAF	106 796	55 945	33 819						196 560
VPP				33 593	48 629	12 028	24 159	1 591	120 000
RTU	64 088	48 486	35 858	31 483	26 917	24 354	21 372	24 560	277 118
Kopā	170 884	104 431	69 677	65 076	75 546	36 382	45 531	26 151	593 678



3. att. LAMO projekta finansēšanas avoti un intensitāte [tūkst. EUR/gadā].



4. att. LAMO projekta finansēšanas avotu apjoms.

III. LAMO PROJEKTA ĪSTENOŠANA UN REZULTĀTI

LAMO projekta īstenošanas intensīvākais posms bija no 2011. gada līdz 2015. gadam. Lai izveidotu versijas LAMO1→LAMO2→LAMO3→LAMO4, tika izmantoti ~82 % no visiem projekta finanšu līdzekļiem. Šo versiju galvenie raksturlielumi apkopoti II tabulā.

II TABULA

LATVIJAS HIDROĢEOLOĢISKĀ MODEĻA LAMO VERSIJU RAKSTURLIELUMI

Versija	Gads	Aproksimācijas režģis			Modeļa upes			Ezeri
		Plaknes solis [metrs]	Režģa plakņu skaits	Režģa šūnu skaits	Skaitis	Ieleju iegrauzumi	Izmantoti caurteces dati	
LAMO1	2012	500	25	14,25×10 ⁶	199	nav	nē	67
LAMO2	2013	500	27	15,43×10 ⁶	199	ir	nē	67
LAMO3	2014	500	27	15,43×10 ⁶	469	ir	nē	127
LAMO4	2015	250	27	61,72×10 ⁶	469	ir	jā	127

LAMO pirmā versija LAMO1 izveidota no 2011. gada līdz 2012. gadam, īstenojot ERAF līdzfinansētu projektu. Modeļa 3D režģa plaknes aproksimācijas solis bija 500 metru; ģeoloģisko slāņu skaits – 25; HM režģī bija 14,25×10⁶ šūnu; modelī aproksimētas 199 upes un 67 ezeri; vēl nebija izveidoti upju ieleju iegrauzumi pamatiežos.

Jau 2012. g. decembrī ar VARAM tika noslēgts līgums par LAMO1 izmantošanu Latvijas–Igaunijas pētījumā par Gaujas–Koivas upju baseina apgabalu [10], [11].

Pēc LAMO1 rezultātu kritiskas izvērtēšanas 2013. gadā izveidoja nākamo versiju LAMO2. Tās biežais apvienotais ūdens horizonts “D2ar#” tika aizvietots ar diviem ūdens horizontiem “D3brt” un “D2ar” un ar tos atdalošu sprostsplāni. Šī korekcija palielināja slāņu skaitu no 25 līdz 27 un būtiski uzlaboja HM precizitāti Latvijas ziemeļu daļā, kur atrodas arī Gaujas–Koivas upju baseins (2. att.). Tika izveidoti upju ieleju iegrauzumi pamatiežos. Izmantojot LAMO2 informāciju, VMC sagatavoja pārskatus par Gaujas, Daugavas, Lielupes un Ventas upju baseinu ūdensobjektiem un to mijiedarbību ar HM ietvertajām upēm un ezeriem [12]–[15]. Pārskatus LVĢMC izmantoja, lai sagatavotu šo upju baseinu apsaimniekošanas plānus 2016.–2021. gadam.

Pateicoties VARAM atbalstam, LAMO projekts tika iekļauts VPP “EVIDENT”, kuru RTU īstenoja laikā no 2014. gada līdz 2018. gadam. LAMO2 bija jāpilnveido, lai hidroģeoloģiskajā modelī precīzāk modelētu pazemes ūdensobjektu un hidrogrāfiskā tīkla (upju, ezeru) mijiedarbību. Šis mērķis tika sasniegts divos gados. Versiju LAMO3, kas papildināja LAMO2 hidrogrāfisko tīklu (upes 199→469, ezeri 67→127), izveidoja 2014. gadā. Uz LAMO3 bāzes 2015. gadā tika iegūta LAMO4 versija, kurai režģa plaknes aproksimācijas soli samazināja no 500 m līdz 250 m. Tas izraisīja HM šūnu skaita palielināšanos četras reizes. Upju piesaisti kalibrēja, ievērojot upju caurteces mērījumus [15]. Tika sastādīti upju un ezeru pazemes pieteču katalogi [16], [17].

Versijām LAMO3 un LAMO4, izmantojot urbumu atsūkņēšanas mērījumu datus, tika precizētas k kartes [18].

No 2016. gada līdz 2018. gadam tika novērtēti LAMO4 rezultāti un darbība. Tika veikti oriģināli pētījumi par Latvijas pazemes ūdens sistēmu (skat. V. iedaļu un A pielikumu), un, izmantojot LAMO4 sakņotus lokālos HM, tika atrisināti praktiski uzdevumi vides un dabas aizsardzībai un atvaseļošanai. Tika izveidotas speciālas LAMO4 datu apstrādes programmatūras, kuras automatizē vertikālo griezumu izveidošanu [19] un pazemes ūdens plūsmu bilances pārskatu sastādīšanu.

III TABULA

RTU VMC LAMO PROJEKTA REZULTĀTU PUBLICITĀTE 2011.–2018. GADĀ

Raksti RTU un LU žurnālos	SCOPUS raksti ārzemēs	Ziņojumi konferencēs RTU un LU	Ziņojumi konferencēs ārzemēs
26	18	27	16
LU – Latvijas Universitāte			

LAMO projekta publicitāti raksturo III tabula, kurā redzams, ka ir publicēti 44 raksti (no tiem 18 *Scopus* un *Web of Science* līmeņa konferenču rakstos un žurnālos), kā arī sniegti ziņojumi 43 konferencēs (no tām 16 ārzemēs).

Par LAMO versiju datu izmantošanu līgumpētījumu īstenošanai informē B pielikuma IB tabula.

IV. RTU VMC SNIEGTIE PAKALPOJUMI, KURI IZMANTO LAMO4 INFORMĀCIJU

RTU VMC tīmekļa vietnē kā pakalpojums ir brīvi pieejami šādi LAMO4 dati:

- ģeoloģisko slāņu stratigrāfija (z kartes) un filtrācijas īpašības (k kartes);
- pazemes ūdens līmeņu sadalījumi ūdens horizontiem (φ kartes) un plūsmas sprostsplānos (q kartes);
- dati par pazemes un virszemes ūdens objektu (upju, ezeru) mijiedarbību pazemes ūdens bilanču pārskatu veidā;
- pārskati par Gaujas, Daugavas, Lielupes un Ventas upju baseinu apgabalu ūdensobjektu kartēšanu [12]–[15];
- upju un ezeru pazemes pieteču katalogi [16], [17];
- publikāciju kopsavilkumi un teksti par LAMO projekta īstenošanas gaitu un rezultātiem.

VMC par samaksu veic šādus aprēķinus:

- pazemes ūdensgūtvju ražība, aizsargjoslu novietojums, piesārņošanas risks;
- piesārņojuma apjoms ūdenī un gruntī, tā kustības virziens un ātrums, vides atvaseļošanas scenāriji;
- ietekmes uz vidi novērtējums minerālu ieguves karjeriem, pazemes būvēm, ūdensgūtvēm un citiem objektiem.

Iespējami speciālie maksas pakalpojumi:

- vertikālo griezumu veidošana, kas ietver ģeoloģisko stratigrāfiju, pazemes ūdens līmeņu un infiltrācijas plūsmu sadalījumus, kā arī ūdens daļiņu traserus programmai “MODPATH”;
- pazemes ūdens plūsmu bilances pārskatu sastādīšana;
- speciālistu apmācīšana un konsultēšana par hidroģeoloģiskās modelēšanas izmantošanu.

V. SKAITLISKIE EKSPERIMENTI DABAS PROCESU PĒTNIECĪBĀ

Īstenoti skaitliskie eksperimenti, kuru realizācija bija iespējama, izmantojot LAMO4 kā reģionālu HM:

- upju sateces apgabala (SA) principa pielietojamības pārbaude;
- pazemes ūdens plūsmu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu robežu noteikšana.

A. Upju sateces apgabala principa pielietojamība

Galvenā ūdens direktīva [9] pazemes ūdens objektu izplatības noteikšanai iesaka izmantot upju SA robežas, kuru novietojums vienmēr ir atkarīgs no zemes virsmas reljefa. Tas nodrošina atmosfēras nokrišņu virszemes noteces nonākšanu upē vai ezerā. Minētā direktīva paredz, ka arī pazemes ūdenim ir spēkā apgalvojums “atmosfēras nokrišņi SA ir arī upes pazemes pieteces avots”.

Izmantojot programmu “MODPATH” ūdens daļiņu trasēšanai [3], SA principa pielietojamība pazemes ūdenim tika pārbaudīta Iecavas upei. Rezultāti bija negaidīti, jo izrādījās, ka daudzi pazemes pieteces avoti kā atmosfēras nokrišņi atrodas Vidzemes un Latgales augstienēs un ūdens daļiņu trajektorijas sasniedz dziļus ūdens horizontus, pirms nonāk upē (4a. att.). Tikai kvartāra pazemes ūdens horizontā Iecavas upei varēja piemērot SA principu, bet dziļākos horizontos tas nebija izmantojams [20]. Eksperimenti, kas tika veikti Iecavai un Maltai kā zemieņu un augstieņu upēm, parādīja [21], ka upes SA un pazemes ūdensobjektu robežu atšķirības iemesls ir zemes virsmas reljefa un hidrogrāfiskā tīkla ietekmes samazināšanās dziļākos ūdens horizontos. Diemžēl Latvijā šis apstāklis vēl nav ņemts vērā un pārskatos [12]–[15] SA robežas izmantotas arī dziļākajiem ūdens horizontiem.

B. Pazemes ūdens 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 barošanās 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. Diemžēl šī nepilnīgā metode ir izmantota arī pārskatos [12]–[15].

Drošāka metode ūdens horizontu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu atrašanai [22] izmanto rezultējošo vertikālo un horizontālo pazemes ūdens plūsmu ātrumu attiecību σ un izveido funkciju $r = c \cdot \sigma$ (c – empīriskā konstante). Šo plūsmu ātrumus automātiski 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. Plūsmu q_z lielā atšķirība un HM režģa aproksimācijas soļa lielums praktiski neietekmē jaunās metodes rezultātu.

Attiecībā pret robežu $r = 0$, vērojama pozitīvo un negatīvo pazemes ūdens plūsmu simetrija (skat. 5a. att., kur $r = 180 \sigma$),

jo atslodzes apgabalā var identificēt arī “negatīvā” tranzīta zonu ($-1 < r < 0$) un “atslodzes” daļu ($r < -1$).

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

VI. LAMO PROJEKTA TĀLĀKĀ ATTĪSTĪBA

LAMO4 ir pierādījis savu efektivitāti gan kā reģionāls HM, gan kā datu avots lokālu HM izveidošanai.

Nākamie uzdevumi ir LAMO4 iespēju izmantošana un tā rezultātu pieejamības nodrošināšana. Lai šos uzdevumus īstenotu, ir nepieciešams mērķa finansējums, kuru varētu dot VARAM.

Neviena privāta vai valsts institūcija, izņemot RTU, nevar nodrošināt vides un dabas aizsardzības jomu ar informāciju, kura iegūta ar LAMO4. Izpildot ES direktīvas “INSPIRE” prasības [23] par telpiskās informācijas infrastruktūru, LAMO4 rezultāti kā ģeotelpiskās informācijas kopa ir jāievieto portāla “geolatvija.lv” iedaļā “Hidroģeoloģiskie dati”.

Izmantojot LAMO4 datus un jaunās zināšanas par SA un ūdens plūsmu barošanās, tranzīta un atslodzes apgabaliem, ir jā sagatavo pārskati par visiem četriem Latvijas upju baseinu apgabaliem. Pārskati tiks veidoti, par prototipiem izmantojot pārskatus [12]–[15].

Izmantojot LAMO4 aprēķinātās upju pazemes pieteces, RTU var izveidot Latvijas upju tīkla datormodeli, kuru būs iespējams lietot upju piesārņošanas procesu pētīšanai. Tad notiks arī būtiska upju pazemes pieteces kataloga [16] papildināšana.

RTU ir zināšanas un prasmes LAMO projekta tālākai attīstībai: LAMO4 → LAMO5 → LAMO6. Versijā LAMO5 tiks uzlabota HM detalizācija (250 m režģa solis samazināts līdz 125 m, palielināts upju un ezeru skaits), bet versijā LAMO6 tiks ņemta vērā pazemes ūdens kvalitāte.

VII. SECINĀJUMI

Īstenojot LAMO projektu no 2011. gada līdz 2018. gadam, RTU zinātnieki ir izveidojuši un aprobējuši šobrīd izmantojamo Latvijas hidroģeoloģisko modeli LAMO4.

LAMO projekta rezultāti ir pieejami RTU VMC tīmekļa vietnē. Tie kā ģeotelpisko datu kopa ir jāiekļauj portāla “geolatvija.lv” iedaļā “Hidroģeoloģiskie dati”.

Izmantojot LAMO4 datus par upju pazemes pietecēm, var izveidot Latvijas upju tīkla datormodeli upju piesārņošanas procesu pētniecībai.

Uz LAMO4 bāzes RTU VMC var izveidot LAMO5 versiju, kas detalizētu HM (režģa solis samazināts no 250 m līdz 125 m, papildināts upju un ezeru tīkls), un LAMO6, kas ņemtu vērā pazemes ūdens kvalitāti.

Tālākā LAMO projekta attīstība, kas ietver LAMO4 uzturēšanu, izmantošanu un papildināšanu, ir iespējama tikai ar valsts mērķa finansējumu, kas būtu jānodrošina VARAM.

RTU īstenoja LAMO projektu, izmantojot ERAF (2011.–2012. g.) un VPP “EVIDenT” (2014.–2018. g.) finansējumu.

A PIELIKUMS

Pazemes ūdens līmeņu sadalījumi (φ kartes) raksturo ūdens horizontus. Pazemes ūdens līmeņu sadalījuma raksturo (1a. att.) nosaka zemes virsmas reljefs un hidrogrāfiskais tīkls. Maksimālie φ līmeņi ir augstienēs, un izolīniju forma mainās upju ietekmes dēļ. Dziļākos horizontos reljefa un hidrogrāfiskā tīkla ietekme samazinās. Izmantojot φ kartes, var novērtēt ūdens līmeņu izmaiņu ietekmi uz vides kvalitāti un noteikt horizontālo ūdens plūsmu q_{xy} virzienu.

Vertikālo (infiltrācijas) pazemes ūdens plūsmu sadalījums (q_z kartes) raksturo sprostslāņus. Pozitīvās plūsmas papildina horizontu ūdens krājumus, bet negatīvās plūsmas ir atslodze (ūdens krājumi samazinās) zemienēs, upēs un ezeros. Kā redzams 2a. attēlā, pozitīvo plūsmu maksimumi ir augstienēs. Visaugstākā infiltrācijas intensitāte ir aerācijas zonā, caur kuru atmosfēras nokrišņi papildina pazemes ūdens krājumus. Arī šeit hidrogeoloģiskais modelis izveido q_z karti, izmantojot digitālo reljefu kā fiksētu ūdens līmeņu avotu.

Informatīvi ir vertikālie griezumumi, kas plaši izmantoti pārskatos [12]–[15]. Mūsdienīgu griezumumu versiju, kas sagatavota automātiski, var redzēt 3a. attēlā, kur atveidots ne tikai pazemes ūdens līmeņu, bet arī infiltrācijas plūsmu sadalījums.

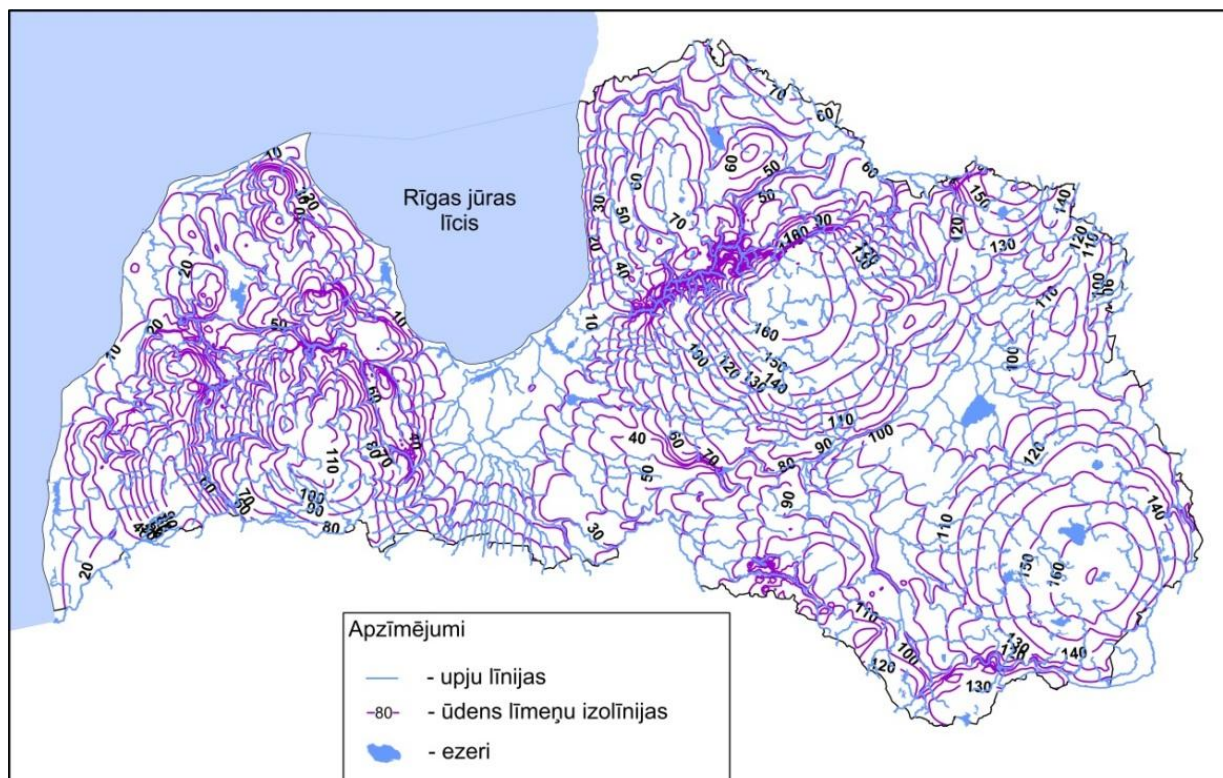
Iecavas upei veiktais skaitliskais eksperiments pierādīja, ka SA principu nevar pielietot dziļākajiem ūdens horizontiem. Par to uzskatāmi liecina 4a. attēls, kurā redzams, ka Iecavas upi baro nokrišņi, kuru izcelsme nav SA teritorijā.

Nozīmīgs dabas procesu pētniecības rezultāts ir jaunas metodes izveidošana pazemes ūdens atslodzes, tranzīta un barošanās apgabalu robežu noteikšanai. Metodes efektivitāti var aplūkot 5a. attēlā, kur šie apgabali ūdens horizontā "D2ar" ir parādīti ar krāsu skalas palīdzību. Šos apgabalus ar tradicionālo metodi šajā horizontā nevarēja atrast.

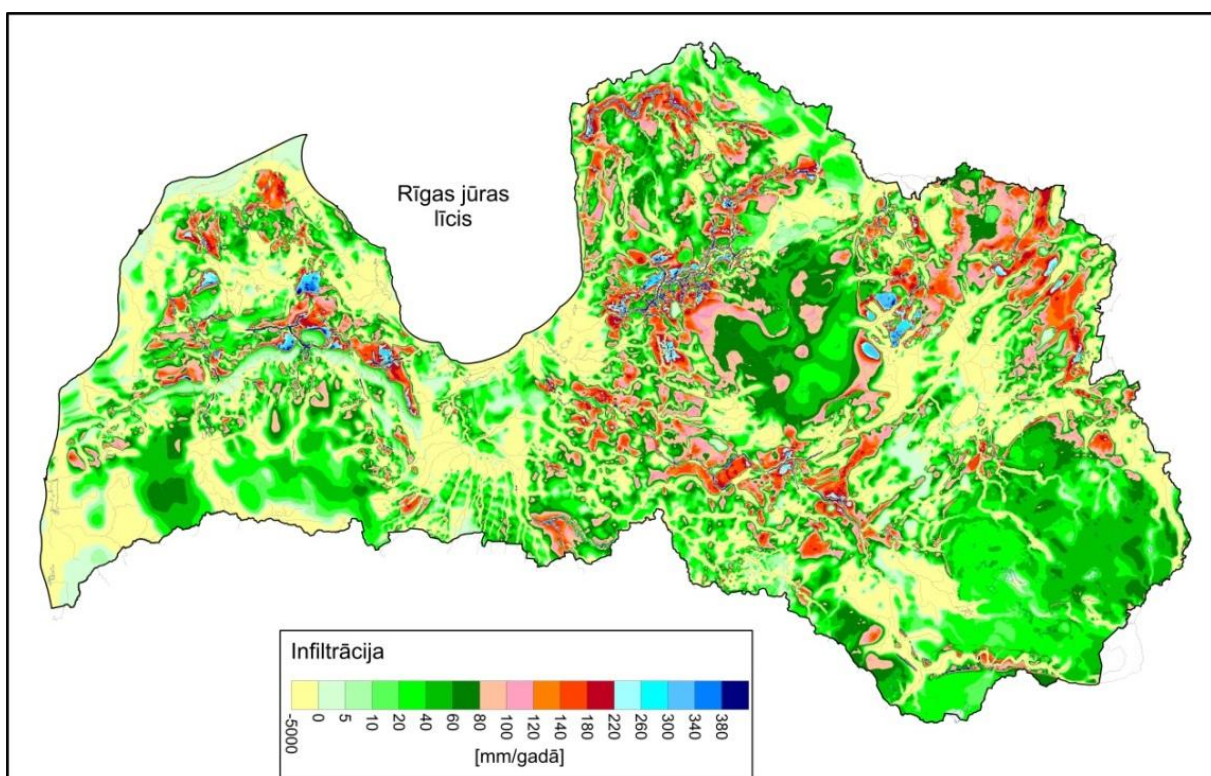
Modelis aprēķina upju un ezeru pazemes pietece (gruntsūdens atslodzes), kas ir negatīvas (6a. att.), jo tās izplūst no zemes dziļēm un atbilst to ūdens krājumu samazinājumam. Pietece raksturo pazemes un virszemes ūdensobjektu mijiedarbību. Pieteču dati ir noderīgi lokālo modeļu būvei un provizoriskiem novērtējumiem par kaitējumu videi dažādu avāriju dēļ.

Ūdens bilance dod pārskatu par pazemes ūdens atslodzi upēs, ezeros, caur modelētās teritorijas ārējo robežu un urbemos. Šo atslodžu summa ir vienāda ar atmosfēras nokrišņu papildinājumu pazemes ūdeņiem. Bilances aprēķinu veic, izmantojot GV speciālos rīkus. IA tabulā redzams, ka Latvijā diennaktī pazemē ieplūst 14 221 tūkst. m^3 ūdens, kas ir 80 mm/gadā, t. i., 11,4 % no atmosfēras nokrišņiem (700 mm/gadā). Upēs aizplūst 85 % no infiltrētā ūdens. Relatīvi mazāk – 6 % un 6 % – aizplūst ezeros un caur modelētās teritorijas ārējo robežu. Upes plūsma ir tās pazemes pietece ietekā; ezeru plūsma ir pazemes pietece visam ezera laukumam.

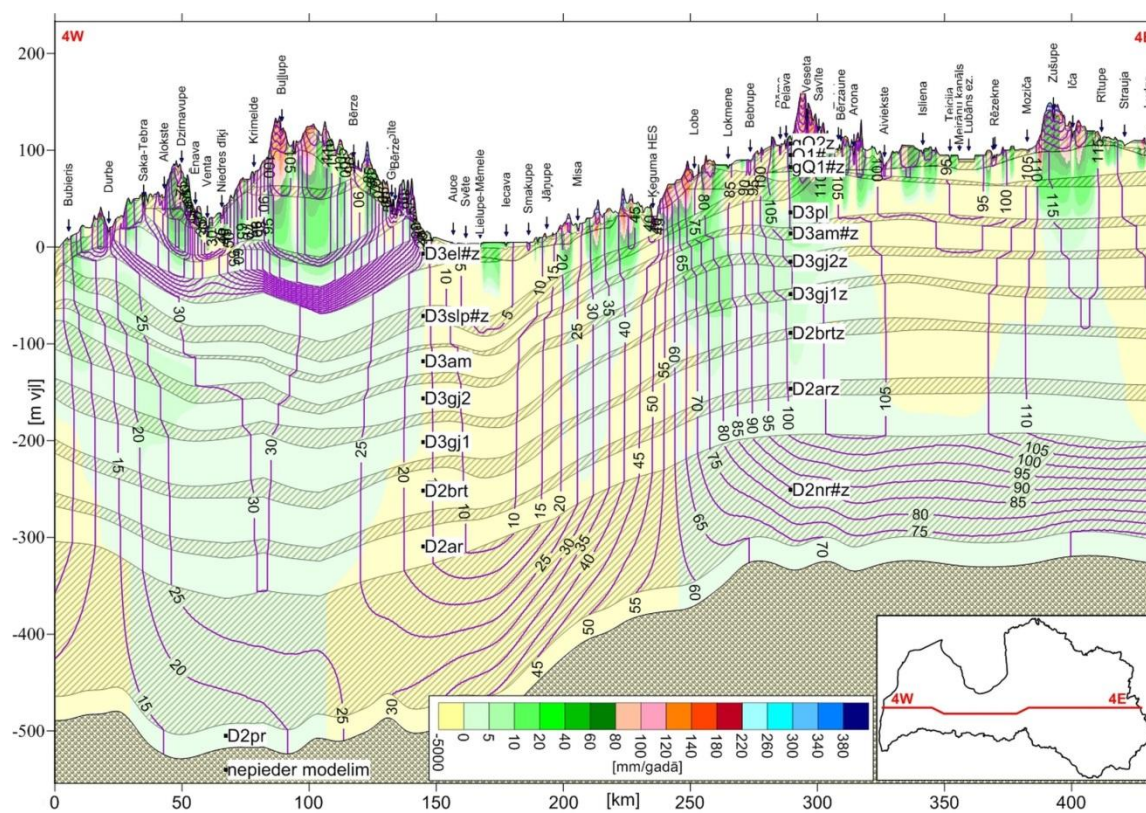
No IA tabulas datiem var secināt, ka upju baseinu apgabalu hidrogeoloģiskie apstākļi ir atšķirīgi. Bilances var aprēķināt arī ūdens horizontiem vai to daļām.



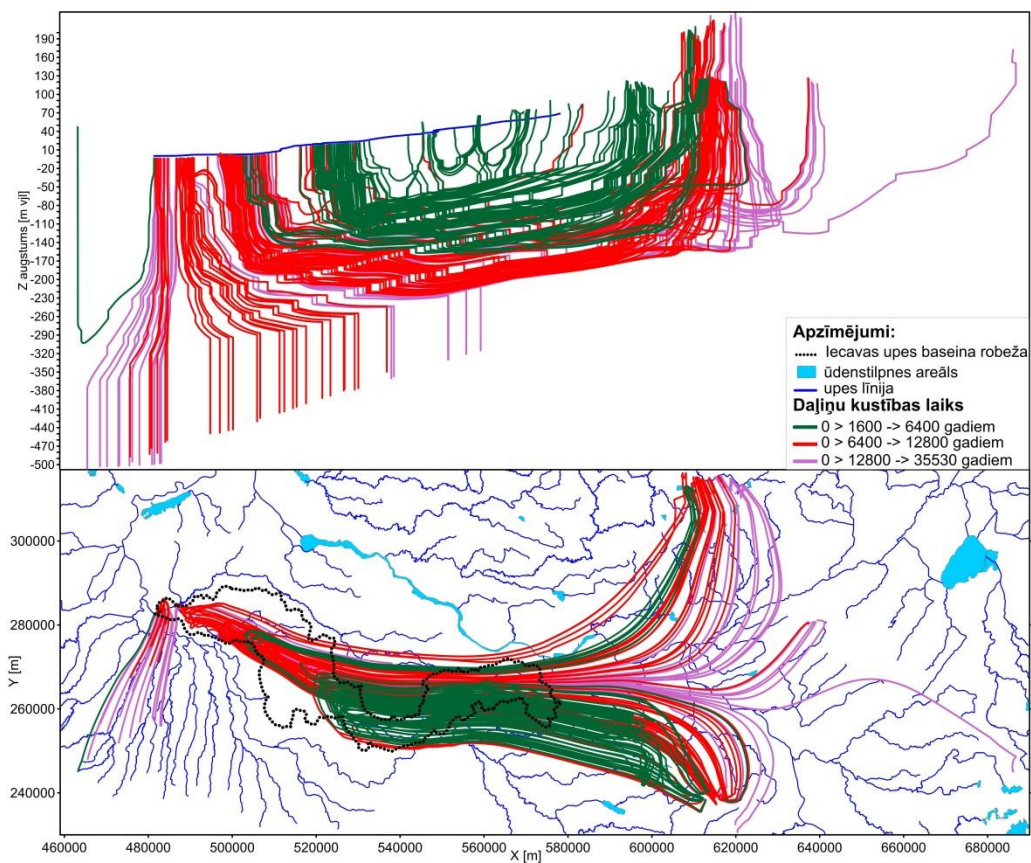
1a. att. Pazemes ūdens līmeņu [m virs jūras līmeņa] izolīnijas zemkvartāra ūdens horizontiem.



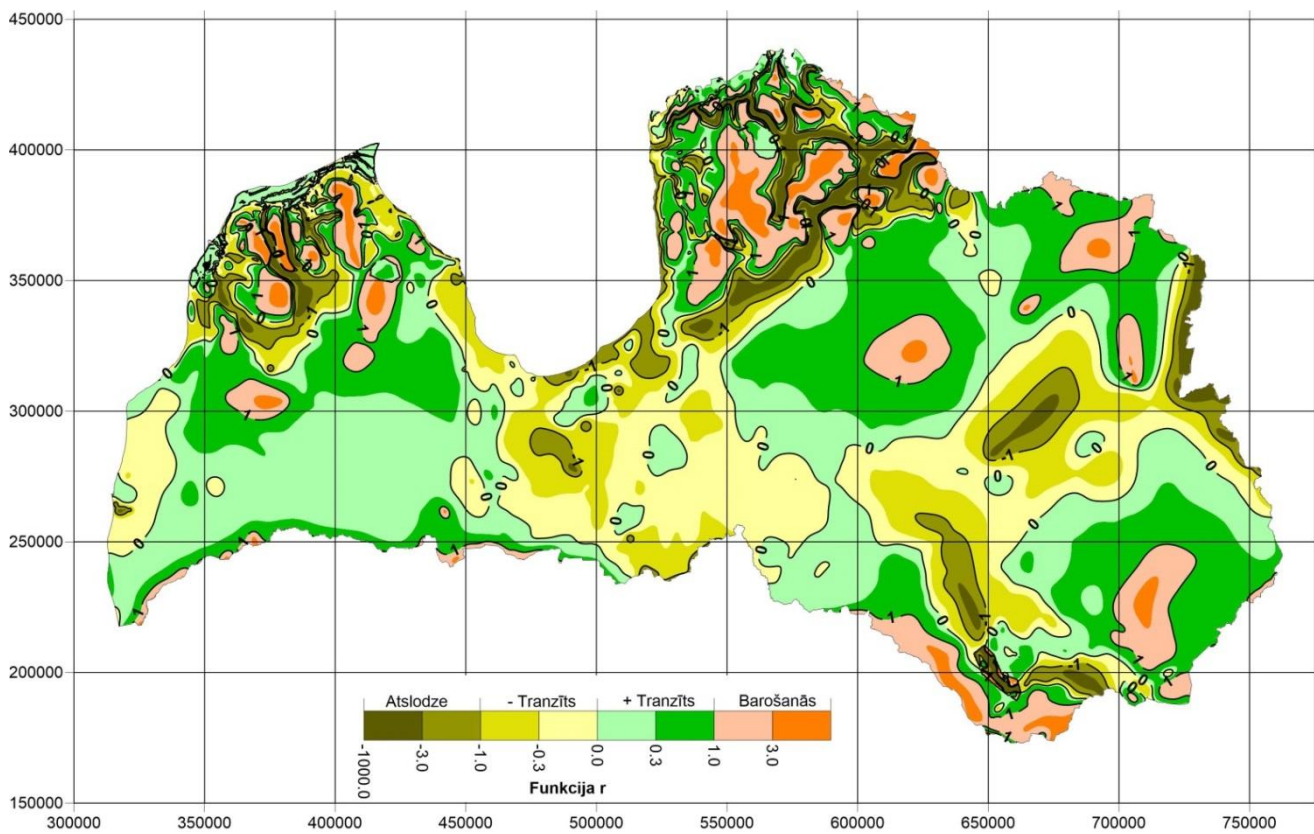
2a. att. Infiltrācijas plūsma [mm/gadā] zemkvartāra virsmai.



3a. att. Vertikālais griezum "4W-4E", kas parāda ģeoloģisko stratigrāfiju, ūdens līmeņu un infiltrācijas plūsmu sadalījumus.



4a. att. Iecavas upes pazemes barošanās avoti, kurus uzrāda ūdens kustības daļiņu trajektoriju projekcijas (augšējais attēls – sānskats; apakšējais attēls – virsskats).

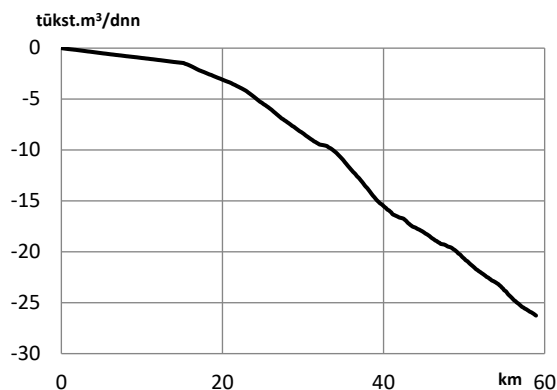


5a. att. Atslodzes, tranzīta un barošanās apgabali horizontam "D2ar" ar detalizētu funkcijas $r = 180\sigma$ attēlojumu, izmantojot krāsu skalu.

IA TABULA

UPJU BASEINU APGABALU UN LATVIJAS BILANCE [TŪKST. M³/DNN]

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



6a. att. Ziemeļsusējas upes kumulatīvās pazemes pieteces grafiks (horizontālās ass (upes viduslīnijas) sākums ir upes izteka).

B PIELIKUMS

IB TABULA

LĪGUMPĒTĪJUMI 2012.–2018. GADĀ, KURUS IZMANTOTI LAMO PROJEKTA REZULTĀTI

Nr. p. k.	Gads	Pētījumu raksturs	Pasūtītājs
1.*	2012	Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas/Koivas upju baseina apgabalā	VARAM
2.*	2013	Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas, Daugavas, Lielupes un Ventas upju baseinu apgabalā	LVĢMC
3.	2013	Hidrogeoloģiskā modelēšana objektam "Perspektīvā dolomītu atradne "Sienāži"" Rīgas rajona Ropažu novadā	SIA "Zemes Puse"
4.*	2014	LAMO3 starprezultāti	LVĢMC
5.	2014	Dolomīta atradnes "Ielejas Luteri" iespējamās ietekmes uz Tosmares ezeru hidrogeoloģiskie aprēķini	SIA "Zemes Puse"
6.	2014	Hidrogeoloģiskās izpētes rezultāti objektā "Dolomītu atradne "Arēni-Kalnagrāviši"" Rīgas rajona Ropažu novadā	SIA "Geo & Service"
7.*	2015	LAMO4 starprezultāti	LVĢMC
8.	2015	Pazemes ūdeņu krājumu aprēķins un aizsargjoslu noteikšana pazemes ūdeņu ūdensgūtnēi "Aeroc"	SIA "Aeroc"
9.	2015	Pazemes ūdeņu krājumu aprēķins un aizsargjoslu noteikšana pazemes ūdeņu atradnes ūdensgūtnēi Gaujaslīču ielā 21, Cēsis	SIA "Totas"

10.	2015	Plānotā daudzstāvu dzīvojamu māju kompleksa būvlaukuma Slokas ielā 51, Jūrmalā, hidrogeoloģisko apstākļu izpēte un analīze	SIA "SZK un Partneri"
11.	2015	Hidrogeoloģiskās izpētes rezultāti objektā "Atradne "Saikava""	SIA "DSG Karjeri"
12.	2015	Ar naftas produktiem piesārņotās grunts un gruntsūdens areāla izpēte naftas muliņa Nr. 1 krasta zonā Dzintaru ielā 90, Ventspilī	AS "Ventbunkers"
13.	2015	Pazemes ūdeņu hidrogeoloģiskā izpēte Valmieras pilsētas ūdensgūtnēi "Grīši"	SIA "Valmieras ūdens"
14.	2015	Pazemes ūdeņu hidrogeoloģiskā izpēte pazemes ūdeņu atradnei "Pļaviņu DM" Rīgas ielā 44, Pļaviņās	SIA "Pļaviņu DM"
15.*	2016	Inčukalna gudrona diķu sanācības optimizēšana	Personu apvienība "INTERGEO"
16.*	2016	Būvbedres modelis Kauguros, Jūrmalā	AS "VentEko"
17.	2016	Perspektīvās dolomīta atradnes "Ielejas Luteri" ietekmes uz Eiropas nozīmes aizsargājamo dabas teritoriju ("NATURA 2000") hidrogeoloģiskais novērtējums	SIA "Vidrūpe"
18.	2016	Pazemes ūdeņu hidrogeoloģiskā izpēte pazemes ūdeņu atradnei "Kuldīga" (ūdens ieguves vieta: Lapeģļu iela 7, Kuldīga, LV-3301)	SIA "Kuldīgas ūdens"
19.	2016	Pazemes ūdeņu hidrogeoloģiskā izpēte pazemes ūdeņu atradnei "Kuldīga" (ūdens ieguves vieta: Avotu iela 17, Lielvārde, LV-5071)	SIA "Lielvārdes Remte"
20.*	2017	Rīgas ūdens apgādes modelis	SIA "Aqua-Brambis"
21.*	2017	Ķemeru un Laugas purvu modeļi	Biedrība "Baltijas Krasti"
22.*	2017	Ekspertu apmācības lokālu hidrogeoloģisko un transporta modeļu veidošanā	LVĢMC
23.	2017	Hidrogeoloģiskais novērtējums ogļūdeņražu ieguvei komerciālos nolūkos Kuldīgas novada Gudenieku pagasta teritorijā	SIA "Baltic Oil Management"
24.	2017	Pazemes ūdeņu hidrogeoloģiskā izpēte pazemes ūdens atradnei "Tukuma piens"	AS "Tukuma Piens"
25.	2017	Dolomīta un smilts atradnes "Āriņi" pazemes ūdens līmeņa pazemināšanas hidrogeoloģiskās modelēšanas rezultāti	SIA "Zemes Puse"
26.	2017	Dolomīta un smilts atradnes "Granāti" pazemes ūdens līmeņa pazemināšanas hidrogeoloģiskās modelēšanas rezultāti	SIA "Zemes Puse"
27.*	2018	Gruntsūdens izmaiņu modelēšana dolomīta atradnei "Kadiķu pļava"	SIA "Īpašumi EG"
28.*	2018	Būvbedres modelis Rīgā, Tērbatas ielā 74	AS "VentEko"
29.	2018	Nekustamā īpašuma "Dzirmavnieki" teritorijas hidrogeoloģiskā izpēte	SIA "Eco Agro V"

30.	2018	Pazemes ūdeņu hidrogeoloģiskā izpēte pazemes ūdeņu atradnei "Spīdola" Dravnieku ielā 9A, Lielvārdē	SIA "Lielvārdes Remte"
31.	2018	Hidrogeoloģisko ietekmju novērtējums un dabiskā hidromelioratīvā režīma atjaunošana "LIFE+ AQPOM" projektā "Mazā ērgļa aizsardzības nodrošināšana Latvijā"	SIA "Myzone"
32.	2018	Dabas lieguma "Lielupes palienes plavas" zālāju hidroloģiskā izpēte	Latvijas Dabas fonds
33.	2018	Dabas lieguma "Randu plavas" hidroloģiskā izpēte	Dabas aizsardzības pārvalde
34.	2018	Pētījuma teritorijas MMS "Akmeņdziras" vispārīgs raksturojums, hidroloģisko un hidrogeoloģisko apstākļu raksturojums, lauka darbu apkopojums par meliorācijas grāvju apsekošanu	AS "Latvijas valsts meži"

* – līgumpētījumus veica RTU VMC.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Environmental Simulations, Inc. Groundwater Vistas. Version 6, Guide to using, 2011.
- [2] W. Harbaugh, "MODFLOW-2005, U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: The Ground-Water Flow Process," *US Geological Survey Techniques and Methods 6-A16*, chap. 16, book 6. Virginia: U.S. Geological Survey, Reston USGS, 2005. <https://doi.org/10.3133/tm6a16>
- [3] D. W. Pollok, *User's Guide for MODPATH/MODPATH-Plot, Version 3: A Particle Tracking Post-Processing Package for MODFLOW, the US Geological Survey Finite-Difference Groundwater Flow Model*, Virginia: U.S. Geological survey, Sep. 1994. <https://doi.org/10.3133/ofr94464>
- [4] C. Zheng and P. P. Wang, "MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide." Contract Report SERDP-99-1. Vicksburg, Mississippi: U.S. Army Engineer Research and Development Center. 1999. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a373474.pdf>
- [5] A. Spalviņš et al., "The Novel Updates of the Hydrogeological Model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 54, pp. 23-34, Dec. 2015. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2015.005>
- [6] A. Spalviņš, "Latvijas hidrogeoloģiskā modeļa izveidošana Rīgas Tehniskajā universitātē (2010–2015)," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 55, pp. 5–11, Dec. 2016. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2016.001>
- [7] A. Spalviņš, J. Šlangens, I. Lāce, K. Krauklis and O. Aleksāns, "Efficient Methods Used to Create Hydrogeological Model of Latvia," *International Review on Modelling and Simulations (IREMOS)*, vol. 6, no. 5, pp. 1718–1726, Oct. 2013
- [8] A. Spalviņš and U. Nulle, "Latvijas hidrogeoloģiskais modelis pazemes dzeramā ūdens krājumu pārvaldīšanai un atveseļošanai," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 50, pp. 7–13, Dec. 2011. [Online]. Available: [file:///C:/Users/Eglite/Downloads/pub12651%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Eglite/Downloads/pub12651%20(2).pdf)
- [9] Eiropas Padomes direktīva 98/83EK (1998. gada 3. novembris) par dzeramā ūdens kvalitāti. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/ALL/?uri=CELEX%3A31998L0083>
- [10] Rīgas Tehniskā universitāte, "Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas upju baseina apgabalā," 2013. [Online]. Available: http://www.emc.rtu.lv/ERAF/Disks_VARAM_200213/Atskaite_lig_62.pdf
- [11] A. Spalviņš et al., "Mapping for Gauja River Basin District by Using Results Provided by Hydrogeological Model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 52, pp. 13–18, Dec. 2013. [Online]. Available: <https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/17795/fulltext>
- [12] Rīgas Tehniskā universitāte, "Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas upju baseina apgabalā," 2013. [Online]. Available: http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGM/Gaujas_parskats_2013.pdf
- [13] Rīgas Tehniskā universitāte, "Pazemes ūdensobjektu kartēšana Daugavas upju baseina apgabalā," 2013. [Online]. Available: http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGM/Daugavas_parskats_2013.pdf
- [14] Rīgas Tehniskā universitāte, "Pazemes ūdensobjektu kartēšana Lielupe upju baseina apgabalā," 2013. [Online]. Available: http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGM/Lielupe_parskats_2013.pdf
- [15] Rīgas Tehniskā universitāte, "Pazemes ūdensobjektu kartēšana Ventas upju baseina apgabalā," 2013. [Online]. Available: http://www.emc.rtu.lv/ERAF/LVGM/Venta_parskats_2013.pdf
- [16] J. Šlangens and I. Lāce, "LAMO4 upju pazemes ūdens pieteces plūsmu katalogs," 2016. [Online]. Available: 1. sej. http://www.emc.rtu.lv/VPP/Upju_saraksts_katalogam_1.pdf, 2. sej. http://www.emc.rtu.lv/VPP/Upju_saraksts_katalogam_2.pdf
- [17] J. Šlangens and I. Lāce, "LAMO4 ezeru pazemes ūdens pieteces plūsmu katalogs," 2016. [Online]. Available: http://www.emc.rtu.lv/VPP/EZERU_PLUSMAS.pdf
- [18] A. Spalviņš, I. Lāce and K. Krauklis, "Improved Methods for Obtaining Permeability Maps of Aquifers for Hydrogeological Model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 54, p. 35–42, Dec. 2015. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2015.006>
- [19] A. Spalviņš, K. Krauklis, I. Lāce and I. Eglīte, "Creation of hydrogeological data profiles for groundwater systems," in *18th Int. Multidisciplinary Sc. Geoconf. SGEM 2018 Proc. Water Resources. Forest, Marine and ocean Ecosystems*, vol. 18, no. 3.1, pp. 171–177. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/3.1/s12.023>
- [20] K. Krauklis, A. Spalviņš and J. Šlangens, "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, Dec. 2015. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2015.007>
- [21] K. Krauklis, A. Spalviņš and I. Lāce, "Latvijas zemieņu un augstieņu upju īpašību pētīšana ar Latvijas hidrogeoloģiskā modeļa palīdzību," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 55, pp. 28–33, Dec. 2016. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2016.004>
- [22] A. Spalviņš, K. Krauklis and I. Lāce, "The new method for finding borders of groundwater recharge, transit and discharge areas," in *18th Int. Multidisciplinary Sc. Geoconf. SGEM 2018 Proc. Water Resources. Forest, Marine and ocean Ecosystems*, vol. 18, no. 3.1, pp. 751–758. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/3.1/s12.098>
- [23] *Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva 2007/2/EK ar ko izveido Telpiskās informācijas infrastruktūru Eiropas Kopienā (INSPIRE)*, [Online]. Available: <https://www.vzd.gov.lv/lv/normativie-akti/eiropas-savienibas-saistosie-dokumenti/inspire-direktiva/>



Aivars Spalviņš was born in Latvia. In 1963, he graduated from Riga Polytechnical Institute (since 1990 – Riga Technical University (RTU)) as a Computer Engineer. He is the 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
<https://orcid.org/0000-0002-3156-5528>



Kaspars Krauklis received the Master's degree in computer systems from Riga Technical University (RTU) in 2007 and the Certificate in Teaching of Engineering Sciences from the Institute of Humanities of RTU in 2005. He is a Researcher with the Environment Modelling Centre of RTU.

E-mail: kaspars.krauklis@rtu.lv
<https://orcid.org/0000-0002-0138-649X>



Oļģerts Aleksāns was born in Latvia. In 1979, he graduated from Vilnius State University as a Hydrogeologist and Engineering Geologist. In 2011, he received the Doctor's degree in geology. Since 2011, he is a Researcher at the Environment Modelling Centre of Riga Technical University.

E-mail: olgers.aleksans@rtu.lv



Inta Lāce was born in Latvia. In 1971, she graduated from Riga Polytechnical Institute (since 1990 – Riga Technical University (RTU)) as a Computer Engineer. In 1995, she received the Master's degree in applied computer science. Since 1991, she is a Researcher with the Environment Modelling Centre of the Faculty of Computer Science and Information Technology of RTU.

E-mail: intalace@rtu.lv

<http://orcid.org/0000-0002-1988-2424>

Development, application and upgrading of the hydrogeological model of Latvia LAMO

Aivars Spalviņš, Kaspars Krauklis, Oļģerts Aleksāns, Inta Lāce

Riga Technical University, Riga, Latvia

Regional hydrogeological models (HM) are founded on geological and geographical information of a country. By processing this information, HM can provide complex spatial distributions of groundwater heads and flows, data on groundwater discharge into rivers and lakes as their joining with groundwater bodies. Appliance of the regional HM considerably improves the quality of the country's sustainable water management, because HM provides consolidated knowledge on the interaction between surface water and groundwater and on their accessible resources. For solving practical problems of environmental protection and recovery, local HM are applied. They are created by completing the data of regional HM by more detailed information. In 2011–2015, scientists of Environment Modelling Centre (EMC) of Riga Technical University (RTU) developed four successive versions of the regional HM of Latvia: LAMO1→LAMO2→LAMO3→LAMO4. The current version LAMO4 has been tested and approbated in 2016–2018, by carrying out the research on nature processes on regional scale and also by using local HM. Presently, the information regarding the development and appliance of LAMO4 is available at the RTU EMC web site. In the near future, this information, as the set of geospatial data, will be inserted in the section “Hydrogeological data” of the portal “geolatvija.lv”. By using information provided by LAMO4 on the groundwater discharge in rivers, it will be possible to develop a computer model for the research of pollution processes in the river network of Latvia. In the future, the development of LAMO4→LAMO5→LAMO6 will considerably improve the credibility and quality of the data provided by modelling. For the next version LAMO5, the model set of lakes and rivers will be increased and the plane approximation step of 125 meters will be used (LAMO4 has the step of 250 meters). The version LAMO6 is the expansion of LAMO5 by adding information on groundwater quality and by providing advanced open data options. The research on LAMO development was supported by the European Regional Development Fund (2011–2012) and by the Latvian State Research Program “EVIDENT” (2014–2018).

Keywords – Hydrogeological modelling, LAMO, open hydrogeological data, regional hydrogeological model.