

Geological Model of Latvia Developed at Riga Technical University (2010–2015)

Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa izveidošana Rīgas Tehniskajā universitātē (2010.–2015. g.)

Aivars Spalviņš

Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Kopsavilkums – Valsts pazemes ūdens resursu pārvaldībai tiek veidoti hidroģeoloģiskie modeļi (HM). Rīgas Tehniskā universitāte ir izstrādājusi divus Latvijas HM: REMO (Liela Rīga) laika posmā no 1993. līdz 1996. gadam un LAMO1 (HM pirmā versija) no 2010. līdz 2012. gadam. REMO ietvēra Latvijas centrālo daļu, tā plaknes režģa aproksimācijas solis bija 4000 m. LAMO1 darbojas visā Latvijas teritorijā ar plaknes soli 500 m. LAMO1 vispārīna hidroģeoloģiskos un ģeoloģiskos datus, kurus apkopojā Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. Lai uzlabotu HM rezultātu kvalitāti, laika posmā no 2012. līdz 2015. gadam notika LAMO1 papildināšana, kas īstenojās trīs secīgās versijās: LAMO2 (2013. g.), LAMO3 (2014. g.), LAMO4 (2015. g.). Šobrīd vispilnīgākā LAMO4 versija ir datu krātuve par ģeoloģisko slāņu ģeometriju un filtrācijas īpašībām, pazemes ūdens līmeņiem un plūsmām, pazemes un virszemes ūdens (upju, ezeru, jūras, atmosfēras nokrišņu) mijiedarbību. LAMO4 jau tiek izmantots kā rīks dabas procesu pētīšanai Latvijas pazemes ūdens sistēmā.

Atslēgas vārdi – Ģeoloģiskie griezumumi, hidrogrāfiskais tīkls, hidroģeoloģiskais modelis, pazemes ūdens līmeņi, pazemes ūdens plūsmu bilance.

I. IEVADS

Pasaules, tostarp Eiropas Savienības (ES), valstis pazemes ūdens resursu pārvaldībai veido hidroģeoloģiskos modeļus (HM), kuros ar datormodelēšanas līdzekļiem tiek iegūta plānošanai vajadzīgā informācija. ES valstis (arī Latvija) savu ūdens resursu apsaimniekošanai vadās no ES galvenās Ūdens Direktīvas [1], kura nosaka vienotus noteikumus ūdens resursu ilgtspējīgai izmantošanai.

Rīgas Tehniskā universitāte (RTU) ir izveidojusi divus Latvijas HM: REMO (Liela Rīga) [2] no 1993. līdz 1996. gadam un HM LAMO1 no 2010. līdz 2012. gadam. Laika posmā no 2013. līdz 2015. gadam LAMO1 tika būtiski papildināts ar nolūku palielināt tā rezultātu ticamību un kvalitāti. Abu HM autori ir RTU Vides modelēšanas centra (VMC) zinātnieki, tāpēc rakstā iekļauta izziņa par VMC vēsturi.

VMC izveidoja 1993. gadā uz 1960. gadā nodibinātās Elektromodelēšanas zinātniski pētnieciskās problēmu laboratorijas (EML) bāzes. Sākumā EML aktuālus ģeofizikas un hidroģeoloģijas uzdevumus risināja ar analogajām elektriskās modelēšanas metodēm un rīkiem. Vēlāk EML sāka attīstīt specializētās analogi cipariskās sistēmas un kļuva par vadošu centru bijušajā PSRS pazemes ūdens un naftas resursu

izmantošanas optimizācijā [3]. Visām EML izstrādātnēm bija ne tikai teorētisks, bet arī praktisks lietojums.

VMC izmanto EML pieredzi hidroģeoloģisko procesu modelēšanā un šobrīd strādā hidroinformātikas tematikā, t. i., hidroģeoloģijas un informātikas saskarsmē, izmantojot skaitlisko datormodelēšanu.

Laikā no 2010. līdz 2015. gadam ir īstenots visnozīmīgākais projekts EML un VMC 56 gadu ilgajā vēsturē – izveidots un pilnveidots Latvijas hidroģeoloģiskais modelis (LAMO). Šis modelis apkopo ģeoloģisko un hidroģeoloģisko informāciju, kura ir Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra (LVĢMC) rīcībā. LAMO digitālā formā dod datus par ģeoloģisko slāņu ģeometriju un filtrācijas īpašībām, pazemes ūdens līmeņiem un plūsmām, pazemes un virszemes ūdens (jūras, upju, ezeru, atmosfēras nokrišņu) mijiedarbību. LAMO veido bāzi lokālu modeļu izveidošanai un jau tiek izmantots kā līdzeklis dabas procesu pētīšanai Latvijas pazemes ūdens sistēmā. Publikācija apraksta LAMO veidošanas un attīstības procesu.

II. LAMO UN REMO SALĪDZINĀŠANA

LAMO un REMO izvietojums ir redzams 1. attēlā. Abi modeļi imitē hidroģeoloģiskos procesus tajā pazemes ūdens sistēmas daļā, kuru Latvija izmanto dzeramā ūdens iegūšanai.



1. att. LAMO un REMO izvietojums.

LAMO izmērs ir 475 km × 300 km. Šobrīd modeļa aktīvā daļa ietver Latvijas sauszemes teritoriju un Rīgas jūras līci līdz Roņu salai. Pagaidām modelī nedarbojas robežteritorijas ar kaimiņvalstīm. Šīs teritorijas var pievienot (aktivizēt), ja īsteno pārrobežu projektus un kaimiņvalstis nodrošina ģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos datus robežteritorijām.

REMO VMC izveidoja 1993.–1996. g. Valsts ģeoloģijas dienesta (VĢD) uzdevumā ar Dānijas un Grenlandes ģeoloģijas dienesta atbalstu [2]. REMO izmērs bija 168 km × 156 km. REMO ietvēra Latvijas centrālo daļu, Lietuvas ziemeļu pierobežu un ievērojamu Rīgas jūras līča daļu. Objektīvās grūtības ar vajadzīgo datu iegūšanu REMO Lietuvas pierobežai bija pamats prasībai, ka kaimiņvalstīm ir jānodrošina dati pierobežu teritoriju iekļaušanai LAMO aktīvajā daļā.

REMO un LAMO1 (modeļa pirmā versija) galveno parametru salīdzinājumu dod I tabula:

- LAMO1 telpiskā režģa bloku skaits ir 950 (14.25/0.015) reizes lielāks nekā REMO; režģa plaknes solis LAMO1 ir astoņas reizes mazāks nekā REMO, t. i., LAMO1 nodrošina būtiski precīzāku ģeoloģiskās telpas īpašību ievērošanu modelī;
- LAMO1 darbojas licenzētas programmatūras vidē, bet REMO vajadzībām VMC izstrādāja oriģinālu programmatūru. REMO varēja sekmīgi lietot tikai VMC speciālisti, bet mēģinājums REMO izmantot VĢD nebija sekmīgs tieši oriģinālās programmatūras dēļ;

I TABULA
REMO UN LAMO1 GALVENO PARAMETRU SALĪDZINĀJUMS

Modelis	Gads	Aproximācija			Programmatūra
		Plaknes solis, m	Slāņu skaits	Režģa bloku skaits, ×10 ⁶	
REMO	1996	4000	9	0,015	Oriģinālā
LAMO1	2012	500	25	14,25	Licenzētā

Neskatoties uz REMO nepilnībām, VMC to sekmīgi izmantoja kā bāzi daudzu nozīmīgu hidroģeoloģisku problēmu risināšanai Latvijas centrālajai daļai [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. VMC oriģinālās metodes un rīki būtiski sekmēja reģionāla tipa HM veidošanu Krievijā [11] un Lietuvā [12].

III. LAMO1 IZVEIDOŠANA

LAMO1 izveidoja (2010.–2012. g.), īstenojot ES līdzfinansētu ERAF projektu "Hidroģeoloģiskā modeļa izveidošana Latvijas pazemes ūdens krājumu apsaimniekošanai un vides atveseļošanai".

LAMO1 tika īstenots, ievērojot VMC iespējas un LVĢMC intereses [13], t. i., modelis: apraksta vidējos ilggadīgos Latvijas hidroģeoloģiskos apstākļus; izmanto LVĢMC rīcībā esošos ģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos datus par aktīvo pazemes ūdens zonu visai Latvijas teritorijai; lieto HM slāņu vertikālo shematizāciju, kura atbilst LVĢMC pieņemtajai ģeoloģiskajai shēmai; ietver galvenos Latvijas hidrogrāfiskā tīkla elementus (upes, ezerus, jūru); izmanto režģa plaknes soli 500 metri.

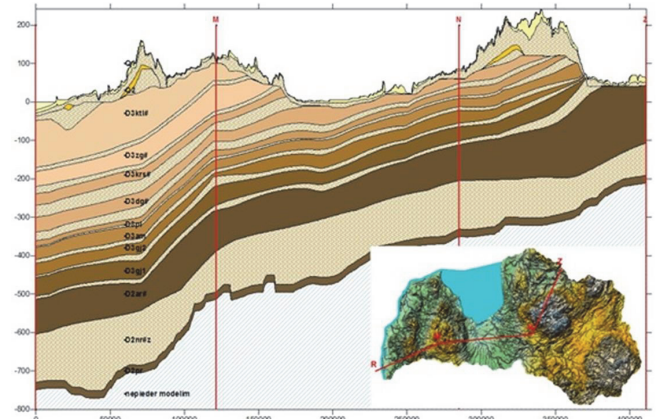
LAMO1 tika iekļautas 199 lielākās Latvijas upes un 67 ezeri. Nebija izveidoti upju iegrauzumi pamatiežos, un nebija izmantoti upju pazemes pieteču dati.

Modelī izmantota licenzēta programmatūra *Groundwater Vistas (GV)* [14]. GV tiek regulāri modernizēta (LAMO izmanto GV 6. versiju), tā ietver plašu specializēto programmu klāstu (*MODFLOW* [15], *MODPATH* [16], *MT3D* [17]), kuras pazemes ūdens procesu modelēšanai izmanto Eiropā un pasaulē.

HM izveidošanai VMC bija jā sagatavo šādas digitālās datnes: modeļa slāņu virsmu augstumi (*z* kartes); slāņu filtrācijas īpašības (*k* kartes); hidrogrāfiskā tīkla piesaistes datne; datne robežnoteikumiem modeļa virsmai.

Par VMC oriģinālajām metodēm un rīkiem, kuri tika izmantoti LAMO1 īstenošanai, informē raksts [18].

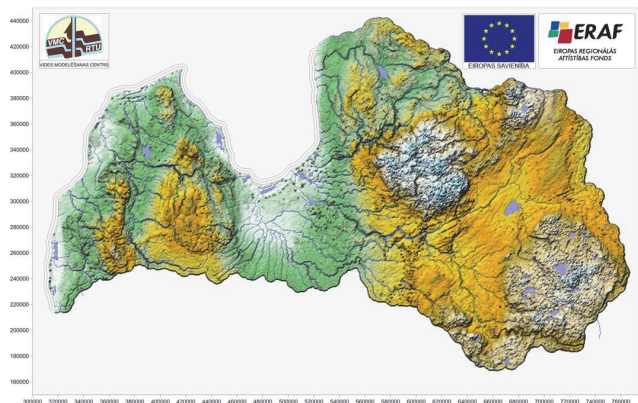
No 2. attēla var spriest, ka Latvijai ir ļoti komplicēta ģeoloģisko slāņu uzbūve, jo tikai daži slāņi eksistē visā valsts teritorijā.



2. att. Ģeoloģiskais griezum.

Šis apstākļi sarežģīja *z* karšu iegūšanu [19]. Tikai izmantojot oriģinālo VMC programmatūru ģeoloģisko datu interpolācijai [20], izdevās iegūt augstas kvalitātes *z* karšu kopumu. LAMO1 tika izmantotas vienkāršotas *k* kartes ar fiksētām ģeoloģisko slāņu filtrācijas koeficientu vērtībām.

Arī hidrogrāfiskā tīkla datne tika izveidota, izmantojot oriģinālu VMC programmatūru [21].



3. att. Digitālā reljefa virsma, kurā iekļauti upes un ezeri.

Robežnoteikumu datnē modeļa ārējām virsmām vislielākā ietekme ir modeļa augšējās virsmas reljefa kartei, kurā iekļauti ezeri un upes kā zemes virsmas elementi (3. att.).

Šīs kartes izveidošanai izmantoti Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras dati.

Jau REMO tika konstatēts, ka, ja šo karti lieto kā robežnoteikumu, tad modelis pats izveido reālistisku infiltrācijas plūsmu. Šis apstāklis būtiski uzlabo HM rezultātu kvalitāti un ticamību [22]. Jau 2013. gada sākumā ar LAMO1 ieguva datus Igaunijas un Latvijas projektā par Gaujas–Koivas upju sateces baseinu [23]. Par pirmajiem ar LAMO1 iegūtajiem rezultātiem informēja raksts [24].

IV. LAMO PILNVEIDOŠANA

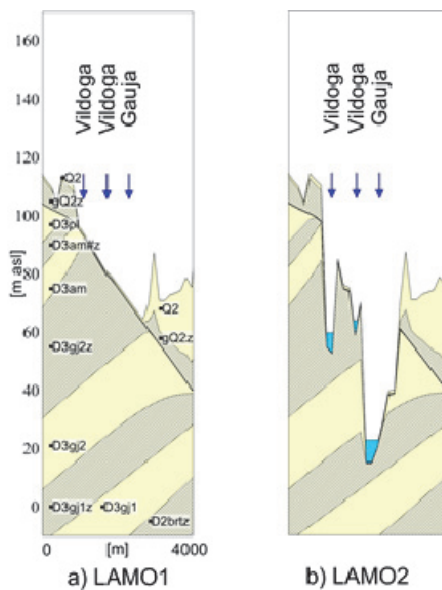
Jau 2013. gadā tika iegūta nākošā pilnveidotā LAMO2 versija. Šobrīd eksistē četras modeļa versijas un to galvenie dati apkopoti II tabulā.

II TABULA
LATVIJAS HIDROĢEOLÓĢISKĀ MODEĻA LAMO VERSIJAS

Versija	Gads	Aproximācijas režģis			Modeļa upes			Ezeri Skaitis
		Plaknes solis, m	Režģa plakņu skaitis	Režģa šūnu skaitis, $\times 10^6$	Skaitis	Ieleju iegraudumi	Izmantoti caurteces dati	
LAMO1	2012	500	25	14,25	199	Nav	Nē	67
LAMO2	2013	500	27	15,43	199	Ir	Nē	67
LAMO3	2014	500	27	15,43	469	Ir	Nē	127
LAMO4	2015	250	27	61,56	469	Ir	Jā	127

Versijai LAMO2 īstenoti divi būtiski uzlabojumi:

- izveidoti upju iegraudumi pamatiežos (4. att.);
- biežais D2ar ģeoloģiskais slānis sadalīts ūdens horizontos D2brt un D2ar, kurus atdala sprosts slānis D2arz (5. att.); modeļa slāņu skaits pieauga no 25 uz 27.



4. att. Gaujas un tās pieteces Vildogas ieleju iegraudumi: a) LAMO1 – tikai Kvartāra slānī; b) LAMO2 – arī pamatiežos.

Izmantojot LAMO2 datus, VMC sagatavoja un iesniedza LVĢMC pārskatus par visu četru Latvijas upju lielbaseinu

(Gaujas, Daugavas, Lielupes, Ventas) pazemes ūdensobjektu kartēšanu (6. att.) [25], [26], [27], [28]. Katrā pārskatā bija ietverti šādi dati:

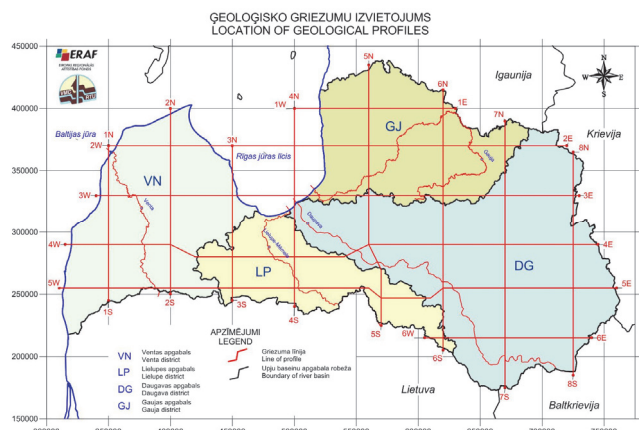
- rakstiskā daļa;
- ūdens līmeņu sadalījuma kartes ūdens horizontos;
- infiltrācijas plūsmu sadalījuma kartes sprosts slāņos;
- pazemes ūdens plūsmu bilances tabulu un grafiskā formā;
- ūdens līmeņu sadalījums vertikālajos griezumos, kuru shēma skatāma 6. attēlā;
- pielikums, kurš bija iekļauts visu upju lielbaseinu pārskatos. Tajā bija dota informācija par Latvijas teritoriju kopumā.

HM slāņa Nr.	*	Slāņa nosaukums	HM slāņa kods	Laukums, tūkst. km ²	m_{vid} , m
1		Reljefs	relh	71,29	0,02
2		Aerācijas zona	aer	71,29	0,02
3		Bezspiediena kvartārs	Q2	71,29	5,77
4		Augšējā morēna	gQ2z	71,29	22,20
5		Spiediena kvartārs	Q1#	7,4	6,13
6		Apakšējā morēna	gQ1#z	9,7	9,3
7		Ketleru	D3ktl#	5,32	61,46
8		Ketleru	D3ktlz	5,79	10,52
9		Zagares	D3zg#	7,43	42,65
10		Akmenes	D3akz	7,95	11,05
11		Kursas	D3krs#	9,34	22,34
12		Elejas	D3el#z	9,24	27,58
13		Daugavas	D3dg#	32,14	30,37
14		Salaspils	D3slp#z	35,78	12,67
15		Plavinu	D3pl	43,80	22,76
16		Amatas	D3am#z	45,14	8,97
17		Amatas	D3am	46,21	21,91
18		Upper Gauja	D3g1z2	48,80	11,62
19		Upper Gauja	D3g1z	50,92	26,34
20		Lower Gauja	D3g1z	53,11	13,17
21		Lower Gauja	D3g1l	56,13	31,55
22		Burtnieku	D2brtz	58,09	15,41
23		Burtnieku	D2brt	68,74	45,02
24		Arikula	D2arz	68,74	15,02
25		Arikula	D2ar	68,74	40,03
26		Narva	D2nr#z	71,29	116,67
27		Pernava	D2pr	71,29	25,00

* — sprosts slānis

m_{vid} — vidējais biežums

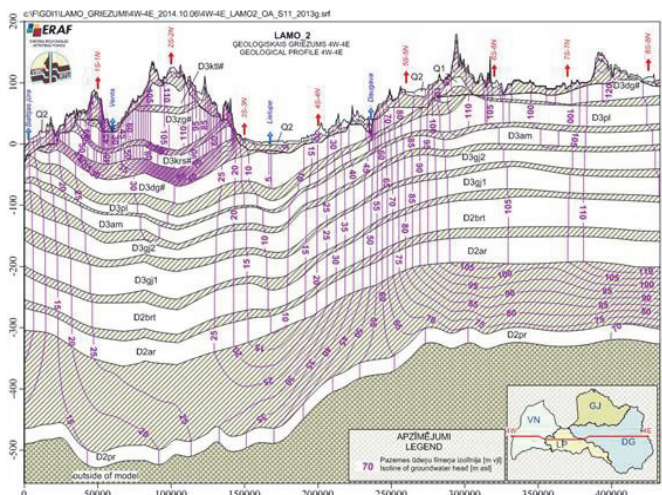
5. att. LAMO2 vertikālā shematizācija.



6. att. Latvijas upju lielbaseinu un reģionālo ģeoloģisko griezumņu izvietojums.

Lai iegūtu vertikālo griezumu attēlus (arī pa upju viduslīnijām), VMC izveidoja speciālus programmatūras rīkus [29], [30], kuri nodrošināja pareizu ūdens līmeņu izolīniju vertikālo orientāciju ūdens horizontos (7. att.).

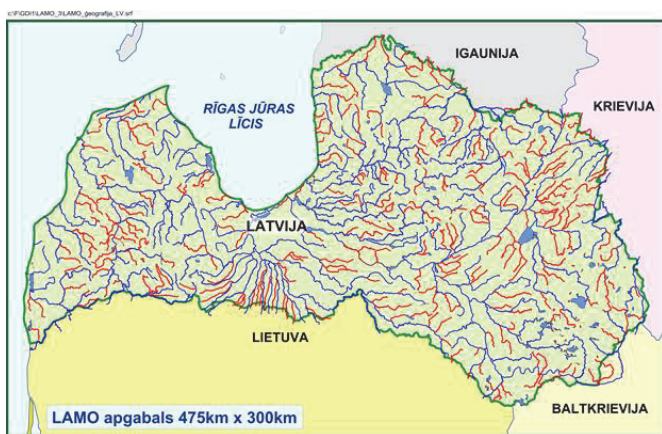
Pilnveidotās HM versijas LAMO3 un LAMO4 ir izstrādātas ar Valsts Pētījumu programmas *EVIDENT* atbalstu. VMC šajā programmā īsteno uzdevumu “pilnveidot laba ūdens stāvokļa ilgtspējīgai attīstībai nepieciešamo Latvijas hidroģeoloģisko modeli ar datiem un funkcijām, kas apraksta pazemes ūdeņu mijiedarbību ar hidrogrāfisko tīklu (upes, ezeri)”.



7. att. Ģeoloģiskais griezum 4W-4E LAMO2 versijā.

Pilnveidojumu būtība apskatīta rakstā [31]:

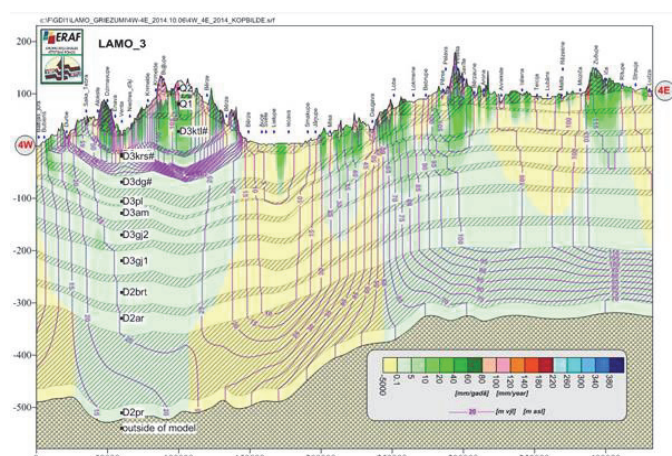
- jāpalielina hidrogrāfiskā tīkla blīvums, lai precīzāk modelētu upju un ezeru mijiedarbību ar pazemes ūdensobjektiem;
- lai novērstu HM upju un ezeru saskaršanos blīvajā hidrogrāfiskajā tīklā, režģa plaknes solis jāsamazina no 500 uz 250 metriem;
- upju piesaiste HM jāveic, izmantojot datus par upju caurteces mērījumiem;
- jāuzlabo k kartes pamatiežu ūdens horizontiem.



8. att. LAMO2 un LAMO3 hidrogrāfiskie tīkli; LAMO2 – zilā krāsā; LAMO3 jaunie elementi – sarkanā krāsā.

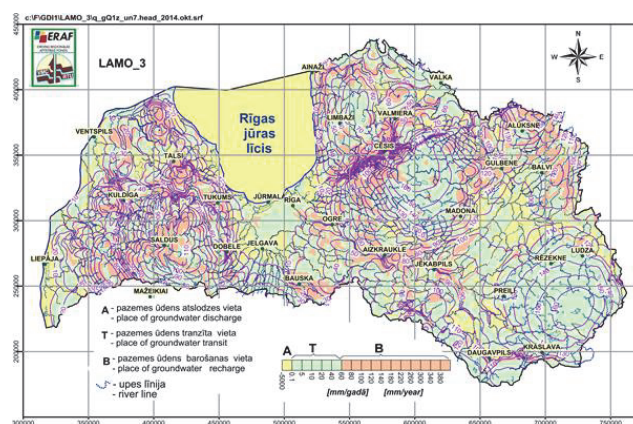
Trešā (LAMO3) modeļa versija tika izveidota 2014. gadā, kad būtiski tika palielināts hidrogrāfiskā tīkla blīvums (8. att., 2. tab.). Šis apstāklis jūtami ietekmēja modeļa rezultātus, īpaši pazemes ūdens plūsmu bilances [31], [32]. Pārskatā par LAMO3 [33], kuru VMC iesniedza LVĢMC, ģeoloģisko griezumu kartes izveidotas ne tikai ūdens līmeņu, bet arī infiltrācijas plūsmām (9. att.). Ūdens horizontu kartēs vienlaicīgi dots ūdens līmeņu sadalījums un robusta infiltrācijas plūsmu karte (10. att.).

LAMO3 bija starposms LAMO attīstībā, kurā pēc upju un ezeru skaita palielināšanas tika iegūti precīzāki dati par virszemes un pazemes ūdens objektu mijiedarbību un uzlabotas k kartes pamatiežu ūdens horizontiem [33].



9. att. Ģeoloģiskais griezum 4W-4E LAMO3 versijā.

Šobrīd pēdējā LAMO4 versija izveidota 2015. gadā pēc režģa plaknes soļa samazināšanas no 500 uz 250 metriem un upju pazemes pietecū kalibrācijas, ievērojot caurteces mērījumus upēs [34], [37]. Metodika upju piesaistei LAMO4 ir izklāstīta rakstā [34] un pārskatā [36]. Upju piesaistes lāgošanai izmantoti monogrāfijas [37] materiāli par Latvijas upju pazemes pietecū plūsmām un no upju caurteces mērījumiem. Dati par Latvijas pazemes ūdens plūsmu bilanci četriem lielbaseiniem, Latvijai kopumā, kvartāra un pamatiežu sistēmām ir skatāmi III tabulā [36].



10. att. Plūsmu un ūdens līmeņu sadalījums pamatiežu preQ horizontā.

Tabulas pirmā kolonna atbilst atmosfēras nokrišņu daudzuma daļai, kura nonāk pazemes ūdenī. Nākošās četras kolonnas rāda, kā atmosfēras nokrišņi “baro” upes, ezerus, kā ūdens plūst caur baseina (valsts) robežu un kā pazemes ūdeni izmanto centralizētajai ūdens apgādei.

Salīdzinot ar LAMO2, LAMO4 versijai ir aptuveni dubultojušās aprēķinātās atmosfēras nokrišņu, upju un ezeru plūsmas. Plūsmas caur robežu praktiski sakrīt abām versijām.

Ar LAMO4 iegūtie plūsmu bilanču dati atbilst vidējiem ilggadīgiem Latvijas apstākļiem un būtiski koriģē monogrāfijā [37] dotos upju pazemes pieteces plūsmu novērtējumus, kuri tika izmantoti LAMO1 un LAMO2 versijām.

III TABULA

LAMO4 PAZEMES ŪDENS PLŪSMU BILANCE (TŪKST. M³ / DNN)
LIELBASEINIEM, KVARTĀRA UN PAMATIEŽU SISTĒMĀI

Apgabala nosaukums	$q_{\text{toprezl pietece}}$	$q_{\text{rivers upes}}$	$q_{\text{lakes ezeri}}$	$q_{\text{border robeža}}$	$q_{\text{wells urbumi}}$	Laukums, km ²
1. Lielbaseini						
Gauja	3691	-3471	-86	-116	-18	13 004,0
Daugava	6247	-5171	-553	-432	-91	27 063,6
Lielupe	1100	-1114	-30	64	-20	8857,2
Venta	3183	-2630	-156	-371	-26	15 629,9
Latvija	14 221	-12 386	-825	-855	-155	64 554,7
2. Kvartāra sistēma						
Gauja	1977	-1853	-80	-37	-7	13 004,0
Daugava	4922	-4538	-369	34	-49	27 063,6
Lielupe	977	-955	-29	7	0	8857,2
Venta	2062	-1764	-126	-172	0	15 629,9
Latvija	9938	-9110	-604	-168	-56	64 554,7
3. Pamatiežu sistēma						
Gauja	1714	-1618	-6	-79	-11	13 004,0
Daugava	1325	-633	-184	-466	-42	27 063,6
Lielupe	123	-159	-1	57	-20	8857,2
Venta	1121	-866	-30	-199	-26	15 629,9
Latvija	4283	-3276	-221	-687	-99	64 554,7

Versijā LAMO1 un LAMO2 tika izmantotas vienkāršotas k kartes, bet LAMO3 un LAMO4 lietotas daudz ticamākas k kartes, kuras izveidotas, izmantojot urbumu atsūkņēšanas datus [33], [35], [36], [38].

V. LAMO4 KĀ RĪKS DABAS PROCESU PĒTĪŠANAI LATVIJAS PAZEMES ŪDENS SISTĒMĀ

Reģionālie HM šobrīd pasaulē tiek izmantoti kā rīks ģeokīmisko procesu pētīšanai pazemes ūdens sistēmās. Izcilus rezultātus sasnieguši Lietuviešu kolēģi [39], [40], kuriem VMC zinātnieki sniedza atbalstu reģionāla HM izveidošanā Lietuvas dienvidaustrumu daļai [12]. Šis HM pēc savām īpašībām un iespējām ir tuvs LAMO1 (izmantota GV sistēma, režģa plaknes solis 500 m).

Skaitliskie eksperimenti darbā [39] bija īstenoti HM MODFLOW vidē ar MODPATH sistēmas ūdens daļiņu trasēšanas metodi [16]. Analizējot ūdens daļiņu kustību, var iegūt datus par pazemes ūdens vecumu, izcelšanās vietu, ģeoloģiskajiem slāņiem, caur kuriem migrējis pazemes ūdens. Šo faktu kopums dod iespēju izskaidrot ģeokīmiskos procesus un arī novērtēt pazemes ūdens piesārņošanas riska faktorus.

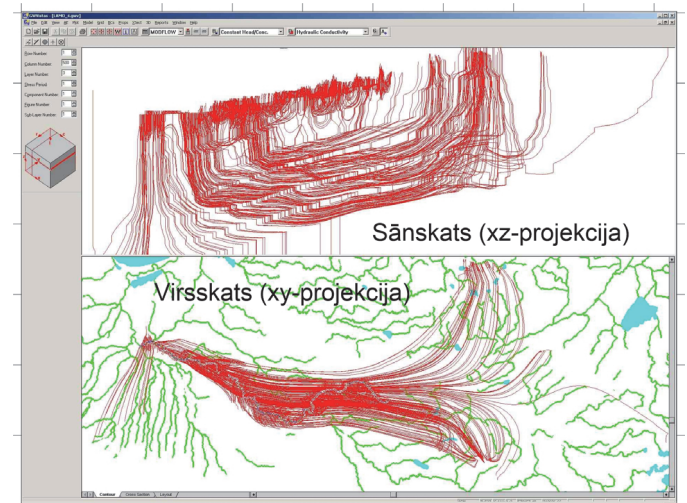
Disertācijā [40] ģeokīmisko procesu pētīšanai izmantota ne tikai MODPATH, bet arī MT3D sistēma, kura dod datus par

pazemes ūdenī izšķīdušo vielu koncentrācijas maiņu laikā un telpā.

VMC 2015. gadā ar LAMO4, izmantojot MODPATH, veica skaitlisku eksperimentu, lai noskaidrotu, no kurienes Iecavas upe saņem pazemes ūdeni [41]. Iecavas upei ūdens daļiņas tika ievietotas ar upi saistīto HM režģa šūnu centros (1027 daļiņas).

Eksperimenta nolūks bija apstiprināt upju sateces apgabalu principa pareizību, t. i., “upes pazemes ūdens pieteces avots ir atmosfēras nokrišņi šajā apgabalā”. Iecavas upe ir tipiska līdzenuma upe ar vienkāršu piesaisti ģeoloģiskajai videi. Tomēr ar MODFLOW iegūtais rezultāts (11. att.) bija negaidīts šādu iemeslu dēļ:

- ūdens daļiņu xy un xz projekcijas veido šķietami haotisku ainu;
- daudzu daļiņu avoti kā atmosfēras nokrišņi atrodas ļoti tālu (Vidzemes un Latgales augstiene) no Iecavas upes sateces apgabala;
- no daļiņu trajektoriju xz projekciju rakstura var secināt, ka tās uz Iecavas upi pārvietojas praktiski visos Latvijas aktīvās pazemes ūdens zonas ģeoloģiskajos slāņos, kuri eksistē zem upes.



11. att. Traseru (1027) trajektoriju sānskats un virsskats (GV grafika).

Rakstā [41] veikta vispusīga šī skaitliskā eksperimenta rezultātu analīze, no kuras seko, ka Iecavas upei sateces apgabala princips ir apmierinoši izpildīts tikai ar upi saistītajā kvartāra smilšu horizontā Q. Pazemes ūdens reģionālo plūsmu darbības dēļ šo principu nevar attiecināt uz dziļākiem ūdens horizontiem.

Šiem secinājumiem ir tālejošas sekas, jo Direktīva [1] par pazemes ūdens objektu plānošanas pamatu izmanto sateces apgabalu principu, t. i., pārskatos [26], [27], [28], [29] izmantotais sateces apgabalu zonējums var būt kļūdainis, ja to attiecina uz ģeoloģiskajiem pamatiežiem (D3g2, D3g1, u. tml.), kurus Latvijā izmanto centralizētajai ūdens apgādei.

Rakstā [42] aprakstīts sarežģītāks pētījums, kura nolūks bija noskaidrot pazemes pieteces raksturu zemienes (Iecava) un augstienes (Malta) upju sateces apgabalam.

Latvijas Universitātes zinātnieki 2015. gadā sekmīgi izmantoja LAMO4, lai pētītu atmosfēras nokrišņu stabilo izotopu migrāciju pazemes ūdenī [43].

Pagaidām VMC nepēta ģeokīmiskos procesus, bet LAMO4 noteikti tiks izmantots arī šādiem nolūkiem. Šajos pētījumos izšķiroša nozīme būs MT3D sistēmas izmantošanai.

Jāatzīmē, ka negaidītu un principiāli svarīgu rezultātu par upju sateces apgabalu bija iespējams iegūt tikai liela reģionāla HM vidē (kā LAMO4).

VI. SECINĀJUMI

Istenojot VPP *EVIDENT* uzdevumu, ir izveidota LAMO4 versija, kurā izmantota precīzāka ģeoloģiskās telpas aproksimācija (režģa solis samazināts no 500 uz 250 metriem). Ticamākas pazemes ūdeņu un hidrogrāfiskā tīkla (upes, ezeri) mijiedarbības modelēšanai ir izmantoti upju caurteces mērījumu dati.

LAMO4 pārbaude un koriģēšana notika 2016. gadā, bet 2017. gadā VPP *EVIDENT* iegūtā zinātība tiks izmantota, lai LAMO4 varētu izmantot Latvijā aktuālu hidroģeoloģisku problēmu risināšanā.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Eiropas Padomes direktīva 98/83EK (1998. gada 3. novembris) par dzeramā ūdens kvalitāti. (in Latvian).
- [2] A. Spalviņš, R. Janbickis, J. Šlangens, E. Gosk, I. Lāce, J. Atruškievičs, Z. Viksne, N. Levina, and J. Tolstovs, "Hidroģeoloģiskais modelis „Lielā Rīga”. Karšu atlants," *Skatīšanās tehnika un robežproblēmas*, issue 37, 102 p., 1996.
- [3] A. Spalviņš, "Elektromodelēšanas zinātniski pētnieciskās laboratorijas vēsture (1960–2004)," *Computer Science. Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 21, issue 46, pp. 191–199, 2004. (in Latvian)
- [4] A. Spalvins, E. Gosk, E. Grikevich, and J. Tolstov, Eds., "Modelling new well fields for providing Riga with drinking water," *Boundary Field Problems and Computers*, issue 38, 40 p. 1996.
- [5] A. Spalvins, "Mass Transport Modelling in Groundwater Studies. Achievements of Latvian Scientists," in *Environmental Contamination and Remediation Practices at Former and Present Military Bases*, vol. 48 (NATO Science. Series 2: Environmental Security). F. Fonnun, B. Paukstys, B. A. Zeeb and K. J. Reimer Eds. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 123–142. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5304-1_11
- [6] A. Spalvins, I. Semjonovs, E. Gosk, J. Gobins, and O. Aleksans, "Development of a Mathematical Model for Contamination Migration in the Area of the Sulphur-Tar Sludge Waste Pools in Incukalns, Latvia," in *Proceedings of XXIX International Association of Hydrogeologists Congress on "Hydrogeology and Land Use Management"*, 6–10 September 1999, Bratislava, Slovak Republic, pp. 253–258, 1999.
- [7] A. Spalvins, J. Slangens, R. Janbickis, and I. Lāce, "Hydrogeological model of the Baltezers, Rembergi and Zakumuiza water supply complex, Latvia," in *International Interdisciplinary Conference on Predictions for Hydrology, Ecology and Water Resources Management: Using Data and Models to Benefit Society, HydroPredict 2008*, 15–18 September 2008, Prague, Czech Republic, pp. 1–9.
- [8] A. Spalvins, J. Slangens, and I. Lāce, "Modelling of groundwater regime changes that may be caused by building of transportation tunnel in Riga," *Computer Science. Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 5, issue 50, pp. 7–17, 2008. ISSN 1407-7493.
- [9] A. Spalvins, J. Slangens, and I. Lāce, "Modelling of remedy process for the hazardous liquid waste deposit area at the Jelgava town, Latvia," *Proceedings of HydroEco 2009 2nd International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology*, 20–23 April 2009, Vienna, Austria, 10 pages CD.
- [10] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lāce, and K. Krauklis, "Hydrogeological model of water supply system for the prospective factory of Coca-Cola company, Latvia," *Computer Science. Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 5, issue 51, pp. 21–28, 2009. ISSN 1407-7493.
- [11] A. Spalvins, J. Slangens, R. Janbickis, I. Lāce, L. Loukiantchikova, and E. Gosk, "The Noginsk District (Russia) Case as an Illustration of Novel Simulation Technologies Developed for Creating Hydrogeological Models," in *Proceedings of the 10th International Conference on System-Modelling-Control*, Zakopane, Poland, May 21–25, 2001. Lodz, 2001, vol. 2, pp. 225–230.
- [12] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lāce, A. Stuopis, and A. Domasevicius, "Creating of regional hydrogeological model for south-east of Lithuania," *Computer Science. Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 5, issue 51, pp. 13–20, 2009. ISSN 1407-7493.
- [13] A. Spalvins and U. Nulle, "Latvijas hidroģeoloģiskais modelis pazemes dzeramā ūdens krājumu pārvaldīšanai un atvaseļošanai," *Computer Science. Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 5, issue 53, pp. 7–13, 2011.
- [14] Environmental Simulations, Inc. Groundwater Vistas. Version 6, Guide to using, 2011.
- [15] W. Harbaugh, "MODFLOW-2005, U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: the ground-water flow process," ch. 16, book 6, US Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, USGS, Reston, VA.
- [16] 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.
- [17] C. Zheng, "MT3D99 A modular three dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems," USEPA report, USEPA, Washington, DC, 1999.
- [18] A. Spalvins, J. Slangens, K. Krauklis, and I. Lāce, "Methods and tools to be applied for creating of regional hydrogeological model of Latvia," in *25th European Conference on Modelling and Simulation*, June 7–10, 2011, Krakow, Poland, pp. 132–141. ISBN: 978-0-9564944-2-9. <https://doi.org/10.7148/2011-0135-0141>
- [19] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lāce, K. Krauklis, O. Aleksans, and N. Levina, "Methods and software tools used to designate geometry for regional hydrogeological model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, issue 54, pp. 13–19, 2012. ISSN 1407-7493.
- [20] A. Spalvins and J. Slangens, "Reliable data interpolation method for a hydrogeological model conductivity matrix," Sixth International Conference on "Calibration and Reliability in Groundwater Modeling. Credibility in Modelling." vol. 2, pp. 9–13, September 2007, Copenhagen, Denmark, pp. 137–142, 2007.
- [21] K. Krauklis and J. Slangens, "Special software used for implementing elements of hydrographical network into hydrogeological model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 53, pp. 24–28, 2014. ISSN 1407-7493. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2014.004>
- [22] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lāce, and K. Krauklis, "Arrangement of boundary conditions for hydrogeological model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, issue 54, pp. 20–24, 2012. ISSN 1407-7493.
- [23] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas/Koivas upju baseinu apgabalā. Pārskats iepirkuma līgumam Nr. 62 starp Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministriju un Rīgas Tehnisko universitāti, Rīga, Janvāris, 2013, 19 lpp., 25 kartes. [Online]. Available: www.emc.rtu.lv.
- [24] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lāce, K. Krauklis, V. Skibelis, O. Aleksans, and N. Levina, "Hydrogeological model of Latvia, first results," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, issue 54, pp. 4–12, 2012. ISSN 1407-7493.
- [25] A. Spalviņš, J. Šlangens, I. Lāce, K. Krauklis, and O. Aleksāns, "Survey of the first results provided by hydrogeological model of Latvia," in *9-th International Conference Environmental Engineering*, 22–23 May, 2014, Vilnius, Lithuania, Selected Papers, Vilnius Gediminas Technical University Press Technika, 2014, ISBN 978-609-457-690-4 CD, ISSN 2029-7092 online.
- [26] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas upju baseina apgabalā, Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 2013, 12 lpp. 49 kartes, 6 tabulas (in Latvian) [Online]. Available: <http://www.emc.rtu.lv/>
- [27] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Daugavas upju baseina apgabalā, Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 2013, 12 lpp. 52 kartes, 7 tabulas (in Latvian) [Online]. Available: <http://www.emc.rtu.lv/>
- [28] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Lielupe upju baseina apgabalā, Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 2013, 12 lpp. 55 kartes, 7 tabulas (in Latvian) [Online]. Available: <http://www.emc.rtu.lv/>

- [29] Pazemes ūdensobjektu kartēšana Ventas upju baseina apgabalā, Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 2013, 12 lpp. 57 kartes, 7 tabulas (in Latvian) [Online]. Available: <http://www.emc.rtu.lv/>.
- [30] A. Spalviņš, J. Šlangens, O. Aleksāns, I. Lāce, and K. Krauklis, "Geological profiles as efficient means for expounding results provided by hydrogeological model of Latvia," in *14th Geo Conference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining (SGEM)*, Bulgaria, Albena, 17–26 June, 2014, pp. 401–408. ISBN 978-619-7105-08-7, ISSN 1314-2704. <https://doi.org/10.5593/sgem2014B12>
- [31] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lace, K. Krauklis, and O. Aleksans, "Efficient Methods Used to Create Hydrogeological Model of Latvia," *International Review on Modelling and Simulations*, vol. 6, no. 5, pp. 1718–1726, October 2013. ISSN 1974-9821.
- [32] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lace, O. Aleksans, and K. Krauklis, "Hydrogeological Model of Latvia after increasing density of its hydrographical network," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, issue 55, pp. 12–24, 2014. ISSN 1407-7493. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2014.003>
- [33] Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO pilnveidošana, Pārskats līgumam 2014/15 starp LVĢMC un RTU, Rīga, 2014. g. novembris, vad. A. Spalviņš, teksts 10 lpp, attēli 14 lpp., tabulas 12. (in Latvian)
- [34] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lace, O. Aleksans, K. Krauklis, V. Skibelis, and I. Eglite, "The Novel Updates of the Hydrogeological Model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 54, pp. 23–34, 2015. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2015.005>
- [35] A. Spalvins, I. Lace, and K. Krauklis, "Improved Methods for Obtaining Permeability Maps of Aquifers for Hydrogeological Model of Latvia," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 54, pp. 35–42, 2015. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2015.006>
- [36] Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO pilnveidošanas starprezultāti, Pārskats līgumam 2014/15 starp LVĢMC 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_LVĢMC_2015_teksts.pdf
http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVĢMC_2015_pielikumi.pdf
- [37] I. Dzilna, "Resources, composition and dynamics of groundwater for the middle part of the Baltic area," *Zinātne*, pp. 197, 1970. (in Russian).
- [38] A. Spalvins, J. Slangens, I. Lace, O. Aleksans and K. Krauklis, "Improvement of hydrogeological models: a case study," *International Review on Modelling and Simulations*, vol. 8, no. 2, pp. 266–276, April 2015. <https://doi.org/10.15866/iremos.v8i2.5868>
- [39] R. Mokrik, V. Juodkazis, A. Stuopis, and J. Mazeika, "Isotope geochemistry and modelling of the multi-aquifer system in the eastern part of Lithuania," *Hydrogeology Journal*, vol. 22, issue 4, pp. 925–941, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1120-6>
- [40] A. Stuopis, "Formation and modelling assessment peculiarities of the quaternary aquifer system groundwater resources in the southeastern part of Lithuania," Summary of doctoral dissertation, Physical Sciences, geology (05 P) Vilnius, 2014, pp. 58.
- [41] 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>
- [42] K. Krauklis, A. Spalviņš, and I. Eglīte, "Latvijas zemieņu un augstieņu upju īpašību pētīšana ar Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa palīdzību," *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, vol. 55, pp. 28–33, 2016. <https://doi.org/10.7250/bfpcs.2016.0074>
- [43] A. Kalvans, A. Babre, K. Popovs, A. Timuhins, and A. Spalvins, "Validating the regional hydrogeological models with stable isotope data in precipitation," in *EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vienna, Austria, 17–22 April, 2016, pp. 12047.



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 modeling of groundwater flows and migration of contaminants.
E-mail: aivars.spalvins@rtu.lv

Geological Model of Latvia Developed at Riga Technical University (2010–2015)

Aivars Spalviņš

Riga Technical University, Latvia

Hydrogeological models (HM) are developed in order to gain information that is needed for managing the protection and sustainable consumption of groundwater resources. The researchers of Riga Technical University (RTU) have developed two regional scales of HM of Latvia: in 1993–1996, REMO (Large Riga) and, in 2010–2012, LAMO1 (the first HM version). REMO covered the central part of Latvia and its plane approximation step was 4000 meters. LAMO1 encloses the ground territory of Latvia, the Gulf of Riga, and border areas with neighbouring countries (Estonia, Lithuania, Russian Federation, Belorussia). The HM plane step is 500 metres. Presently, the neighbouring areas of HM are not active. In the case of a transboundary projects the neighbouring country must provide hydrogeological data necessary to activate its neighbouring area. LAMO1 generalizes geological and hydrogeological data that have been accumulated by the Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre (LEGMC). LAMO runs into the environment of licensed software Groundwater Vistas that is being used worldwide for modelling groundwater processes. In 2012–2015, LAMO1 was considerably updated, in order to improve the quality of results provided by HM. The LAMO2 version (2013) accounted for deep river valleys cutting the primary strata; the thick Devonian D2ar aquifer was replaced by the two aquifers and the aquitard that separated them; due to this innovation, the number of the HM planes increased from 25 to 27. In 2014, the LAMO3 version was obtained by increasing the density of the HM hydrogeological network (number of rivers and lakes, increased, accordingly, from 199 to 469 and from 67 to 127). For the current LAMO4 version, the plane step was reduced from 500 to 250 meters; the groundwater inflow for rivers was calibrated by accounting for information obtained from measurements of river flows. For LAMO1 and LAMO2, the permeability of primary aquifers (k-maps) was modelled by using a constant permeability value for an aquifer. In LAMO3 and LAMO4, more realistic k-maps were obtained by accounting for pumping data of wells.

Presently, the latest LAMO4 version is being used by LEGMC and RTU specialists as the source of information on the geometry and permeability of geological strata, on distributions of groundwater heads and flows, on interaction between groundwater and surface water bodies (sea, lakes, rivers, precipitation). LAMO4 has been used by RTU researchers as a tool for investigating nature processes of the groundwater system of Latvia. The first results were quite unexpected, because it was found that the river watershed basin concept could not be used for the deepest strata of the basin.

The research on LAMO3 and LAMO4 is supported by the Latvian state research program EVIDEnT.

Keywords – hydrogeological model, hydrographical network, groundwater heads, groundwater flow balance, geological section.