

**Rīgas Tehniskā universitāte  
VIDES MODELĒŠANAS  
CENTRS**

## **Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas/Koivas upju baseinu apgabalā**

*Pārskats*

*Iepirkuma līgums Nr. 62  
starp Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministriju  
un  
Rīgas Tehnisko universitāti*

**Rīga - Janvāris, 2013**

## **Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas/Koivas upju baseinu apgabalā**

Pārskats ietver rezultātus, kuri iegūti atbilstoši līguma tehniskajai specifikācijai par Gaujas/Koivas upju baseinu (Latvijas daļai) pazemes ūdens objektu kartēšanu.

Zin.vadītājs.A.Spalviņš, VMC, - janvāris, 2013.

*Adrese:*

Rīgas Tehniskā universitāte, Vides modelēšanas centrs  
Meža ielā 1/4, Rīga, LV-1007, Latvija  
Tālr.: +371 67089511, +371 67089518; Fax: +371 67089531  
E-mail: [emc@cs.rtu.lv](mailto:emc@cs.rtu.lv)  
URL: <http://www.emc.rtu.lv>

*Zin. vadītājs un redaktors:*  
RTU, VMC direktors  

---

A.Spalviņš

## SATURS

Ievads .....	2
1. Gaujas apgabala vispārīgs raksturojums .....	2
2. Ūdensobjektu raksturojums .....	3
2.1. Virszemes ūdensobjekti .....	3
2.2. Pazemes ūdensobjekti .....	4
3. Kartēšanas rezultātu apskats .....	7
3.1. Karšu satura raksturojums .....	7
3.2. Pazemes ūdens plūsmu bilance .....	7
3.3. Modelētās ūdensšķirtnes .....	13
4. Latvijas hidroģeoloģiskais modelis (LAMO) .....	16
5. Secinājumi .....	18
6. Izmantotā literatūra .....	19

## PIELIKUMI

1. Digitālais reljefs **relh** [m vjl]
2. Ūdens līmeņu sadalījums **Q2** horizontā [m vjl]
3. Ūdens līmeņu sadalījums pamatiežu horizontos [m vjl]
4. Ūdens līmeņu sadalījums **D3pl** horizontā [m vjl]
5. Ūdens līmeņu sadalījums **D3am** horizontā [m vjl]
6. Ūdens līmeņu sadalījums **D3gj2** horizontā [m vjl]
7. Ūdens līmeņu sadalījums **D3gj1** horizontā [m vjl]
8. Ūdens līmeņu sadalījums **D2ar** horizontā [m vjl]
9. Ūdens līmeņu sadalījums **D2pr** horizontā [m vjl]
10. Ģeoloģisko griezumu shēma
11. Ģeoloģiskais griezums 1-1'
12. Ģeoloģiskais griezums 2-2'
13. Ģeoloģiskais griezums A-A'
14. Ģeoloģiskais griezums B-B'
15. Infiltrācijas plūsmas sadalījums **Q2** horizontam [mm/gadā]
16. Infiltrācijas plūsmas sadalījums pamatiežu horizontam [mm/gadā]
17. Infiltrācijas plūsmas sadalījums **D3pl** horizontam [mm/gadā]
18. Infiltrācijas plūsmas sadalījums **D3am** horizontam [mm/gadā]
19. Infiltrācijas plūsmas sadalījums **D3gj2** horizontam [mm/gadā]
20. Infiltrācijas plūsmas sadalījums **D3gj1** horizontam [mm/gadā]
21. Infiltrācijas plūsmas sadalījums **D2ar** horizontam [mm/gadā]
22. Infiltrācijas plūsmas sadalījums **D2pr** horizontam [mm/gadā]
23. Pazemes ūdens plūsmas pamatiežu horizontā
24. Pazemes ūdens plūsmas **D2ar** horizontā

## IEVADS

Pazemes ūdensobjektu kartēšana Gaujas/Koivas upju baseina apgabalā (turpmāk – Gaujas apgabalā) veikta Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centrā (VMC), pamatojoties uz 2012. gada 14. decembra Līgumu Nr.62, kas noslēgts starp Latvijas Republikas Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministriju un RTU.

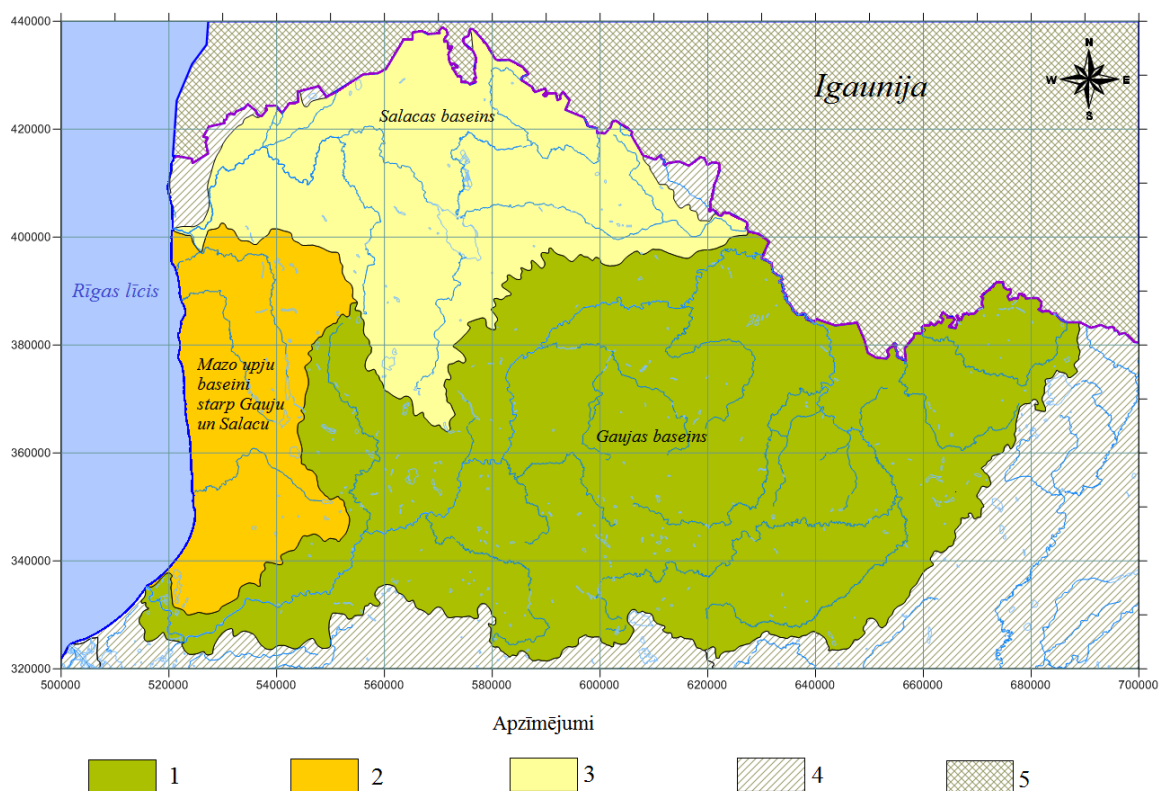
Sagatavotas digitālās kartes par apgabalā izplatītajiem pazemes ūdens horizontiem, kā arī iezīmēti šo horizontu papildināšanās, noplūdes un tranzīta apgabali. Sagatavota karšu leģenda latviešu un angļu valodā.

Līguma realizācijā izmantoti rezultāti, kuri iegūti RTU VMC, īstenojot Eiropas Reģionālās Attīstības Fonda (ERAF) līdzfinansēto projektu „Hidroģeoloģiskā modeļa izveidošana Latvijas pazemes ūdens krājumu apsaimniekošanai un vides atveseļošanai”.

Pazemes ūdens objektu kartes sagatavotas elektroniskā formā. Karšu kopijas papīra formā (A3 izmērs) ir apkopotas Pielikumā. Pārskata teksts ir publiski pieejams VMC tīmekļa vietnē [www.emc.rtu.lv](http://www.emc.rtu.lv).

## 1. GAUJAS APGABALA RAKSTUROJUMS

Gaujas apgabals aizņem 13051 km<sup>2</sup> jeb 20.2% no Latvijas teritorijas (1. att.). Gaujas apgabals robežojas ar Igaunijas Republiku. To veido Gaujas, Salacas un Rīgas jūras līcī ietekošo mazo upju sateces baseini.



1. Gaujas baseins. 2. Mazo upju baseini starp Gauju un Salacu. 3. Salacas baseins.
4. Citu upju baseini. 5. Igaunijas teritorija.

1. att. Gaujas apgabala kopskats

Tāpat kā lielākajā daļā Latvijas, Gaujas apgabalā dominē devona vecuma nogulumieži – dolomīts, kaļķakmens, smilšakmens, māls, ģipšakmens.

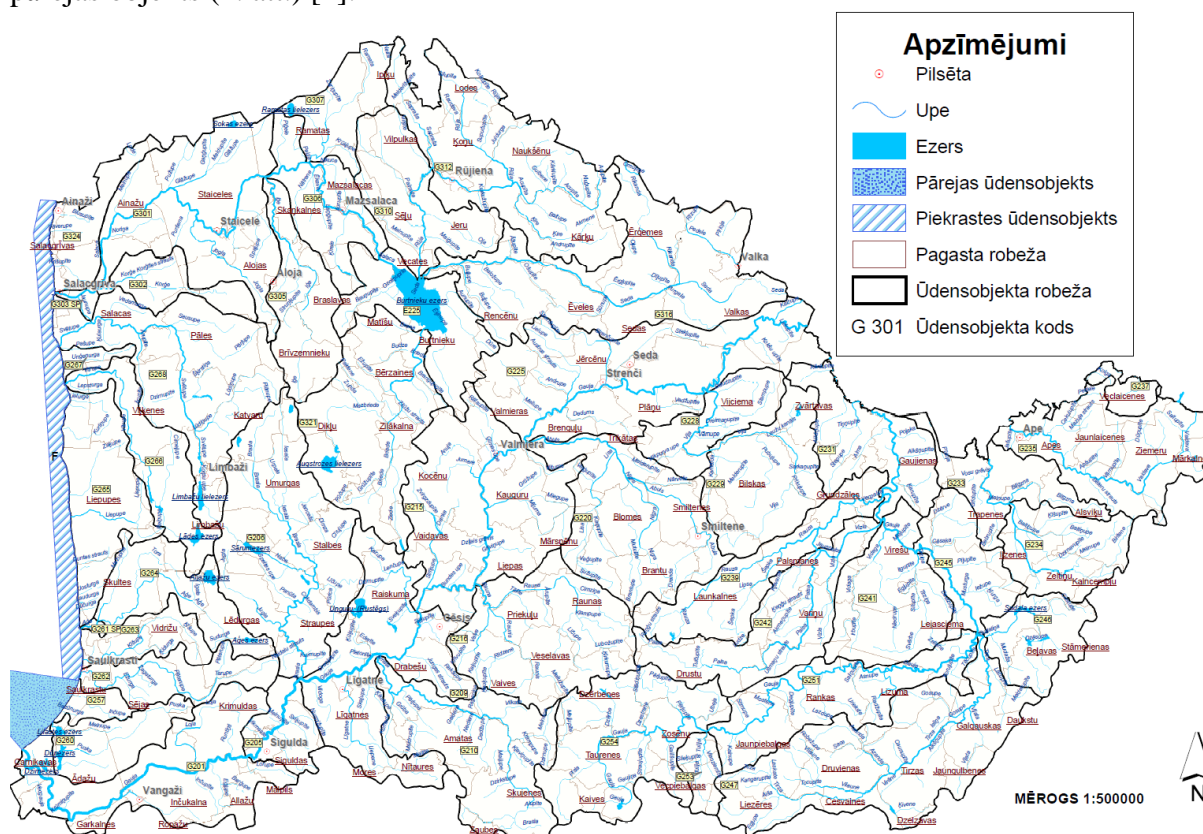
Gaujas apgabala ūdensobjektus pārstāv upes, ezeri un jūra kā hidrogrāfiskais tīkls (virszemes objekti) un pazemes ūdens objekti. Abu tipu ūdens objekti ir savstarpēji saistīti un veido vienotu sistēmu. Šīs sistēmas racionālu izmantošanu regulē upju baseina apsaimniekošanas plāns [1]. Šī plāna kvalitāti var būtiski uzlabot, ja ir izveidots Gaujas apgabala hidroģeoloģiskais modelis (HM). Apgabala modeli var izveidot ja tiek izmantoti rezultāti, kuri iegūti ar Latvijas reģionālo HM LAMO [6].

## 2. ŪDENS OBJEKTU RAKSTUROJUMS

### 2.1. Virszemes ūdensobjekti

Lai novērtētu ūdens resursu kvalitāti, un izlemtu, kā tos racionāli aizsargāt un apsaimniekot, ir izdalīti virszemes ūdens objekti – dabisko apstākļu un slodžu ziņā vienveidīgi upju, ezeru vai jūras piekrastes posmi. Vairākas pēc rakstura līdzīgas upes vai ezeri ietverti vienā ūdensobjektā. Ja nepieciešams, atsevišķi izdala lielus mākslīgus (cilvēka veidotus) ūdensobjektus, piemēram, dīķus, kanālus, un HES ūdenskrātuves.

Gaujas apgabalā ietilpst 46 upju ūdens objekti, 35 ezeru ūdens objekti, kā arī 1 piekrastes un 1 pārejas objekts (2. att.) [1].



2. att. Virszemes ūdens objektu robežas Gaujas apgabalā

Lai sagrupētu ezerus, upes, pārejas un piekrastes ūdeņus, kuros ir vienādi vai ļoti līdzīgi dabiskie apstākļi, virszemes ūdeņi ir iedalīti tipos. Gaujas apgabalā ir 5 upju un 7 ezeru tipi. Raksturīgākās ir vidēji lielas upes (48% no upju ūdensobjektiem), kā arī sekli dzidrūdens ezeri ar augstu ūdens cietību (46% no ezeru ūdensobjektiem).

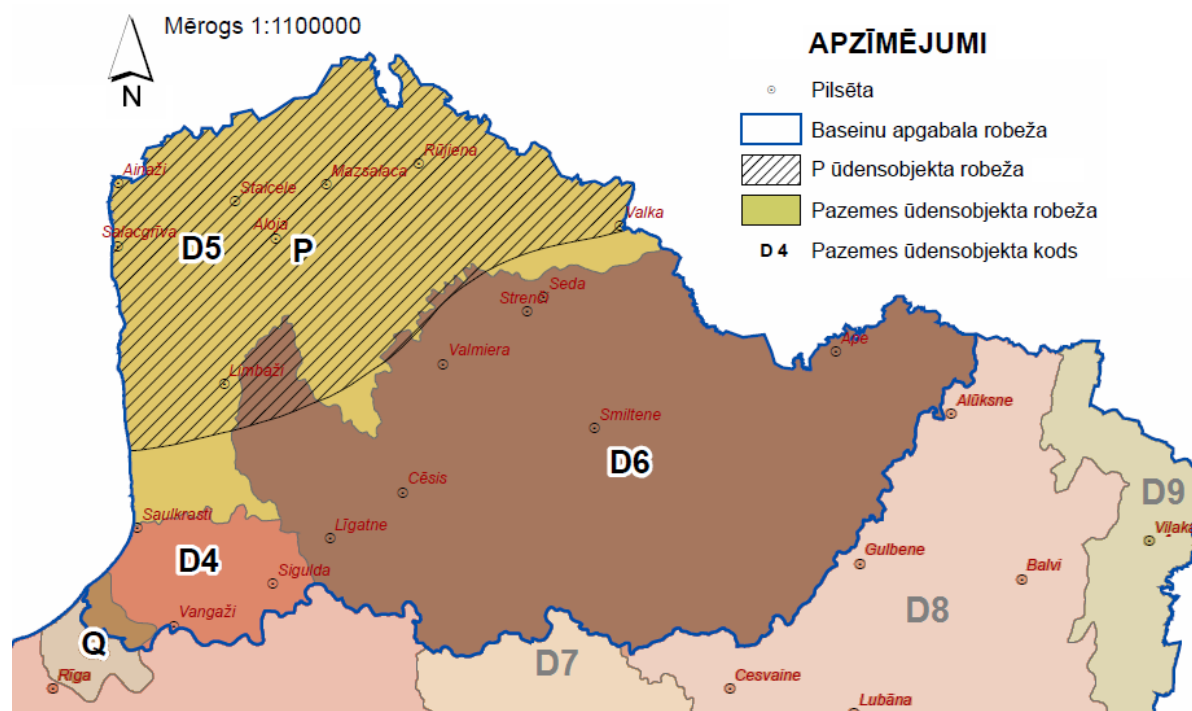
Reģionālajā HM LAMO hidrogrāfiskais tīkls (upes, ezeri, jūra) ir ietverts teritorijas digitālajā reljefā (1. karte). To izmanto kā robežnoteikumu HM. Pateicoties šim apstāklim, LAMO sniedz datus ne tikai par pazemes ūdens objektiem, bet arī par svarīgiem virszemes objektu parametriem (pazemes ūdeņu atslodze upēs un ezeros, upju piesaiste ģeoloģiskajiem slāņiem u.c.). Šos datus jau šobrīd var izmantot upju baseinu apgabalu apsaimniekošanas plānu pilnveidošanai. Gaujas apgabalā LAMO ņem vērā 48 upes, 10 ezerus un Rīgas jūras līci, kuri reģionālā mērogā apmierinoši pārstāv šī apgabala hidrogrāfisko tīklu.

## 2.2 Pazemes ūdens objekti

Latvijā pazemes ūdensobjekti noteikti kā pazemes ūdeņu sistēmas – artēziskā baseina atsevišķas daļas, kas ir nosacīti hidrauliski izolētas viena no otras. Pazemes ūdensobjektu robežas horizontāli noteiktas pēc pazemes ūdensšķirtnēm, bet vertikāli – pēc ūdeni vāji caurlaidīgiem slāņiem (sprostslāņiem). Ūdensobjekti ir daudzslāņaini: katrā no tiem ietilpst vairāki ūdens horizonti, kurus vienu no otra atdala sprostslāņi.

Aktīvā ūdens apmaiņas zona, kurā atrodas saldūdeņu horizonti, Gaujas apgabala ziemeļu daļā ir 115 – 180 m bieza, bet dienvidu un austrumu daļā tās biezums sasniedz 340 – 435 m. Dziļāk iegul palēninātas ūdens apmaiņas (sālūdeņu) un lēnas ūdens apmaiņas (sālsūdeņu) zona [1].

Gaujas apgabalā saldūdeņu horizonti nosacīti ir apvienoti 5 pazemes ūdensobjektos: Q, D4, D5, D6 un P (3. att.). Ūdensobjekti Q un D4 stiepjas pāri Gaujas baseina apgabala robežai – tie turpinās Daugavas baseina apgabala teritorijā.








3. att. Pazemes ūdens objektu robežas Gaujas apgabalā

Gaujas apgabalā pazemes ūdeņi barojas no nokrišņiem, kas izfiltrējas caur aerācijas zonu un pārtek no augstāk iegulošiem ūdens horizontiem uz zemākiem. Barošanās apjomi ir atkarīgi no konkrētā teritorijā izplatītākajiem nogulumiem un to filtrācijas īpašībām. Pazemes ūdeņi visā apgabala teritorijā ir salīdzinoši vāji aizsargāti no piesārņojuma.

Gaujas apgabala pazemes ūdens objektu hidroģeoloģiskā stratifikācija skatāma 1. tabulā.

1. tabula

Gaujas apgabala pazemes ūdens objektu hidroģeoloģiskā stratifikācija

Objekti	Ūdens horizontu komplekss	Centra ģeogrāfiskās koordinātes	Platība, km <sup>2</sup>	Apzīmējums 3. att.
Q	Gruntsūdens	X-517.108 Y-6329.937	101.925	
D4	D <sub>3</sub> pl-aml D2-3ar-am	X-536.574 Y-6335.946	897.424	
D5	D <sub>3</sub> pl-aml D2-3ar-am	X-560.801 Y-6398.556	4732.698	
D6	Gruntsūdens Starpmorēnu ūdeņi D <sub>3</sub> pl-aml D2-3ar-am	X-613.893 Y-6359.985	7409.360	
P	D1-2	X-560.517 Y-6401.249	4394.147	

Gaujas apgabala pazemes ūdens objektu kartēšanai ir izmantoti rezultāti, kuri iegūti ar LAMO. Tajā lietota detalizēta Latvijas aktīvās pazemes ūdens zonas stratifikācija, kura dota 2. tabulā. Tāpēc bija iespējams daudz precīzāk kartēt ūdens horizontu kompleksus, kuri iekļauti 1. tabulā.

Kvartāra sistēma Q pārstāvēta ar diviem ūdens horizontiem: Q2-gruntsūdens; Q1-starpmorēnu pazemes ūdens un diviem sprostsļāņiem: gQ2z-augšējā morēna; gQ1z-apakšējā morēna.

Komplekss D<sub>3</sub>pl-am ir pārstāvēts ar diviem ūdens horizontiem: D<sub>3</sub>dg#, D<sub>3</sub>pl un vienu sprostsļāni D<sub>3</sub>slpz.

Komplekss D2-3ar-am satur četrus ūdens horizontus: D<sub>3</sub>am, D<sub>3</sub>gj2, D<sub>3</sub>gj1, D<sub>2</sub>ar un četrus sprostsļāņus: D<sub>3</sub>amz, D<sub>3</sub>gj2z, D<sub>3</sub>gj1z, D<sub>2</sub>brtz.

Komplekss D1-2 modelī pārstāvēts ar reģionālo sprostsļāni D<sub>2</sub>nr# un ūdens horizontu D<sub>2</sub>pr, kurš izmantots kā robežnoteikums LAMO apakšējā daļā.

Atbilstoši 2. tabulas stratifikācijai, Gaujas apgabalam sagatavotas šādas digitālās kartes:












- ūdens līmeņu sadalījumi horizontiem (8 gab.); digitālā reljefa karte (nr. 1);
- ģeoloģiskie griezumī ar ūdens līmeņu izolīnijām (4 gab.);
- infiltrācijas plūsmas sadalījums ūdens horizontiem (8 gab.).

Minētās kartes dod principiāli jaunu informāciju Gaujas apgabala pazemes ūdens objektu aprakstam.

Ūdens līmeņu sadalījuma kartēs ir uzrādīta upju piesaiste horizontiem. Piemēram, Gaujas upes posmi ir piesaistīti dažādiem horizontiem (Q, D<sub>3</sub>pl, D<sub>3</sub>am, D<sub>3</sub>gj2, D<sub>3</sub>gj1, D<sub>2</sub>ar). Informācija par upju piesaisti būtiski precīzē hidroģeologu zināšanas par virszemes un pazemes ūdens objektu mijiedarbību un dod iespēju izveidot augstas kvalitātes upju baseinu apgabalu modeļus.

Kartes par infiltrācijas plūsmas sadalījumu Latvijai ir sagatavotas pirmo reizi. Tās ļauj ne tikai labāk izprast pazemes ūdens plūsmu telpisko raksturu, bet dod reālas iespējas piesārņojuma apdraudējumu pareizākai novērtēšanai.

LAMO stratigrāfija

HM plaknes Nr.		Slāņa nosaukums	Ģeoloģiskais kods	Modeļa kods	HM plaknes nosaukums	HM robežas kods	Komentāri
1.		Reljefs	relh	relh	Reljefs	HM robeža	robežnosacījums
2.		Aerācijas zona	aer	aer	Aerācijas zona	HM robeža	Formāls sprosts-lānis
3.		Bezspied. Q	Q4-3	Q2	Kvartārs Q2	Q2	
4.		Augš. morēna	gQ3	gQ2z	Augš. morēna	gQ2	
5.		Spiediena kvartārs vai Jura	Q1-3 J	Q1	Kvartārs Q1	Q1	Ietver J
6.		Apakšējā mor. vai Triass	gQ1-3 T	gQ1#z	Apakšējā morēna	gQ1	Ietver T
7.		Perma Karbons Šķerveles Ketleru	P2 C1 D3šk D3ktl	D3ktl#	Ketleru	D3ktl	
8.		Ketleru	D3ktl	D3ktlz	Ketleru z	D3ktlz	
9.		Žagares Svētes Tērvetes Mūru	D3žg D3sv D3tr D3mr	D3žg#	Žagares	D3mr	
10.		Akmenes	D3ak	D3akz	Akmenes	D3ak	
11.		Akmenes Kursas Jonišķu	D3ak D3krs D3jn	D3krs#	Kursas	D3jn	
12.		Elejas Amulas	D3el D3aml	D3el#z	Elejas	D3aml	
13.		Stipinu Katlešu Ogres Daugavas	D3stp D3ktl D3og D3dg	D3dg#	Daugavas	D3dg	D3pl-aml
14.		Daugavas Salaspils	D3dg D3slp	D3slp#z	Salaspils	D3slp	D3pl-aml
15.		Ļaviņu	D3pl	D3pl	Ļaviņu	D3pl	D3pl-aml
16.		Ļaviņu Amatas	D3pl D3am	D3am#z	Amatas z	D3amz	D3pl-aml
17.		Amatas	D3am	D3am	Amatas	D3am	D2-3ar_am
18.		Augšējā Gauja	D3gj2	D3gj2z	Augšējā Gauja z	D3gj2z	D2-3ar_am
19.		Augšējā Gauja	D3gj2	D3gj2	Augšējā Gauja	D3gj2	D2-3ar_am
20.		Apak. Gauja	D3gj1	D3gj1z	Apak. Gauja z	D2gj1z	D2-3ar_am
21.		Apak. Gauja	D3gj1	D3gj1	Apak. Gauja	D2gj1	D2-3ar_am
22.		Burtnieku	D2brt	D2brtz	Burtnieku z	D2brtz	D2-3ar_am
23.		Burtnieku Arikula Narvas	D2brt D2ar D2nr3	D2ar#	Arikula	D2ar	D2-3ar_am
24.		Narvas, Narvas	D2nr2, D2nr1	D2nr#z	Narvas z	HM robeža	D12
25.		Pēnavas	D2pm	D2pr	Pēnavas	HM robeža	D12 Robežnosacījums



-sprosts-lānis

#-apvienotais ūdens horizonts

#z-apvienotais sprosts-lānis



### 3. KARTĒŠANAS REZULTĀTU APSKATS

#### 3.1. Karšu satūra raksturojums

Ūdens līmeņu sadalījuma kartes (nr. 2, 3, ..., 9) sagatavotas horizontiem: Q2, kopējā karte pamatiežiem, horizontiem: D3pl, D3am, D3gj2, D3gj1, D2ar, D2pr; 1. kartē attēlots digitālais reljefs relh. Kartēs dotas ūdens līmeņu izolīnijas, upju tīkls, kurā parādīta upju piesaiste horizontiem; ūdens plūsmu virzieni; „teorētisko” un modelēto ūdensšķirtņu līnijas. Modelēto ūdensšķirtņu novietojums ir atšķirīgs dažādiem horizontiem (skat. 3.3. iedaļu).

Gaujas apgabalam raksturīga komplicēta ģeoloģiskā uzbūve. Šī iemesla dēļ upes to dažādos posmos var būt piesaistīta atšķirīgiem ūdens horizontiem. Pirmo reizi Latvijas apstākļiem šis fakts ir ņemts vērā modelī LAMO. Pirmo reizi ir parādīts, kā mainās reģionālo ūdensšķirtņu novietojums dažādos ūdens horizontos.

Ģeoloģisko griezumu kartēs (nr. 11, 12, 13, 14) parādīts pazemes ūdens līmeņu sadalījums izolīniju un krāsu skalas formās, ūdens plūsmu virzieni, upju un ezeru novietojums. Šajās kartēs ļoti uzskatāmi redzams pazemes ūdens barošanās, tranzīta un atslodzes procesu telpiskais raksturs. Infiltrācijas plūsmu sadalījuma kartes (nr. 15, 16, ..., 22) sagatavotas horizontiem: Q2, kopīgā karte pamatiežu horizontiem, D3pl, D3am, D3gj2, D3gj1, D2ar, D2pr. Kartēs ar krāsu skalas palīdzību atzīmēti pazemes ūdens barošanās, tranzīta un atslodzes apgabali. Šo apgabalu forma un laukumi atšķiras dažādiem ūdens horizontiem.

Pirmo reizi Latvijai parādīts ļoti komplicētais telpisko infiltrācijas plūsmu raksturs. Piemēram, Q2 horizontā (15. karte) pazemes ūdens barošanās un tranzīta apgabalos ir visai atšķirīgas infiltrācijas plūsmas vērtības. Infiltrācijas maksimumi atbilst paaugstinājumiem reljefā. Kartes parāda, kā dziļākajos horizontos ne tikai samazinās infiltrācijas plūsmas intensitāte, bet mainās pazemes ūdens barošanās un atslodzes apgabalu izvietojums.

Sagatavotas divas kartes, kurās attēlotas pazemes ūdens plūsmas pamatiežiem (nr. 23) un D2ar horizontiem (nr.24). Šīs kartes apvieno informāciju par infiltrācijas un horizontālajām plūsmām. Šeit uzskatāmā veidā parādīti pazemes ūdens barošanās, tranzīta un atslodzes apgabali.

Skaitliskā formā procesus telpiskai pazemes ūdens plūsmai apraksta bilances pārskati (3.2. iedaļa).

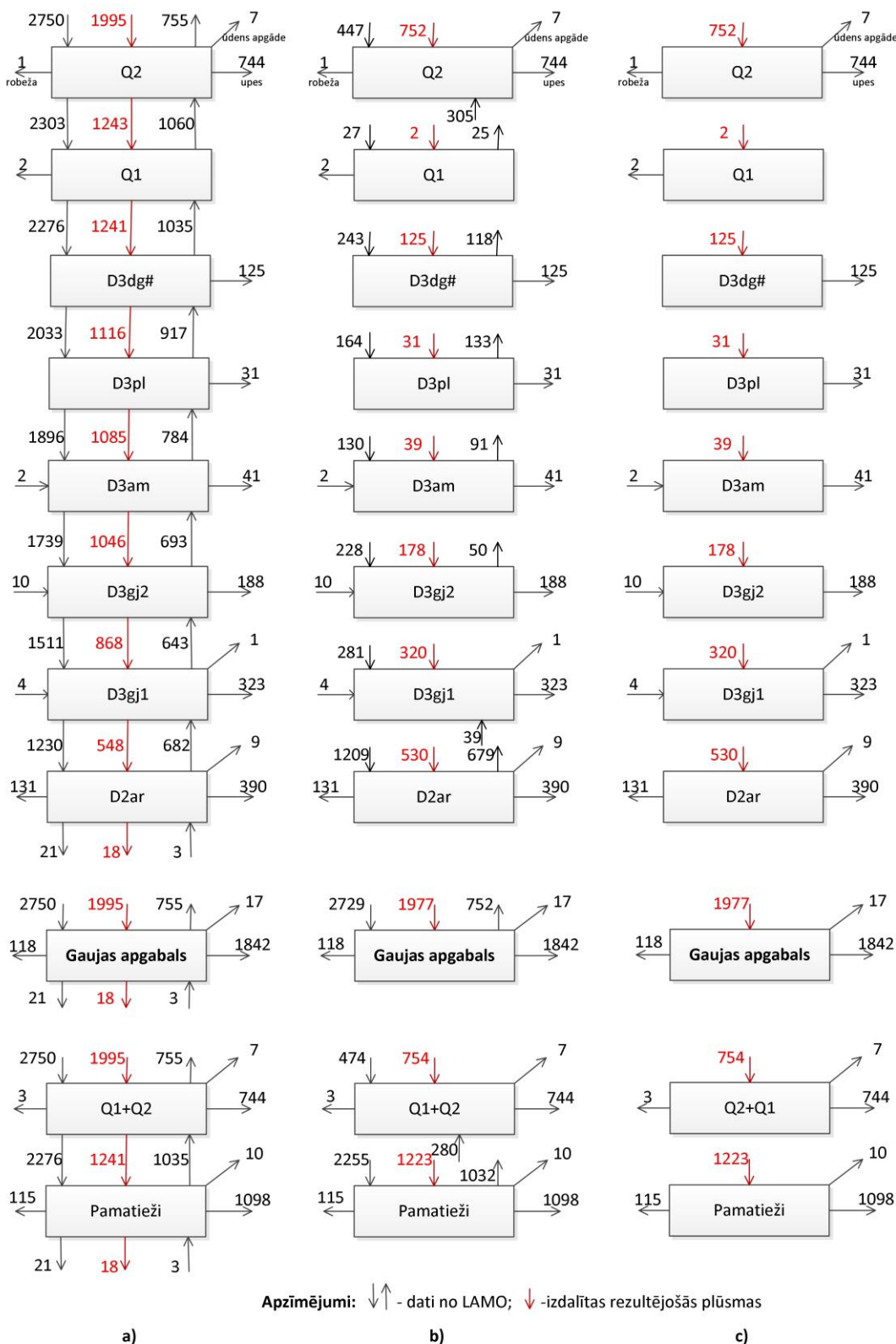
#### 3.2. Pazemes ūdens plūsmu bilance

Pirmo reizi Latvijai ar LAMO iegūti provizorisks dati par pazemes aktīvās ūdens apmaiņas zonas bilances elementu sadalījumu.

Pazemes ūdens bilance Gaujas apgabalam apkopota 3. tabulā. Tabula dod informāciju par pazemes plūsmu intensitāti horizontos, atslodzi upēs, caur horizontu robežām, ūdens apgādes apjomu. Par pazemes ūdens barošanās, tranzīta un atslodzes apgabalu izvietojumu ļauj spriest infiltrācijas plūsmu sadalījuma kartes horizontiem (skat. kartes nr. 15, 16, ..., 22).

Uzskatāmāku informāciju par pazemes ūdens kustības telpisko raksturu sniedz pazemes ūdens bilances shēma. Šajā shēmā (4. att.) dots grafiskais skaidrojums par 3. tabulas iegūšanas etapiem a), b), c):

- no LAMO datiem tiek izdalītas rezultējošās plūsmas horizontu augšējās un apakšējās virsmās (2., 3., 5., 6., 7. kolonas tabulā);
- izslēgtas pazemes ūdens vertikālā tranzīta plūsmas, izveidota 4. kolona tabulā;
- iegūtas horizontu lokālās bilances.



- a) izdalītas rezultējošās plūsmas horizontu augšējās un apakšējās virsmās (2., 3., 5, 6, 7 kolonnas tabulai);  
 b) izslēgtas vertikālās pazemes ūdens tranzīta plūsmas, izveidota 4. kolonna tabulā;  
 c) horizontu lokālā ūdens balance.

4. att. Pazemes ūdens [tūkst. m<sup>3</sup>/dienn] bilances shēma Gaujas apgabalā.  
 a), b), c) bilances veidošanas secīgie etapi (grafiskais skaidrojums 3. tabulai).

3. tabula

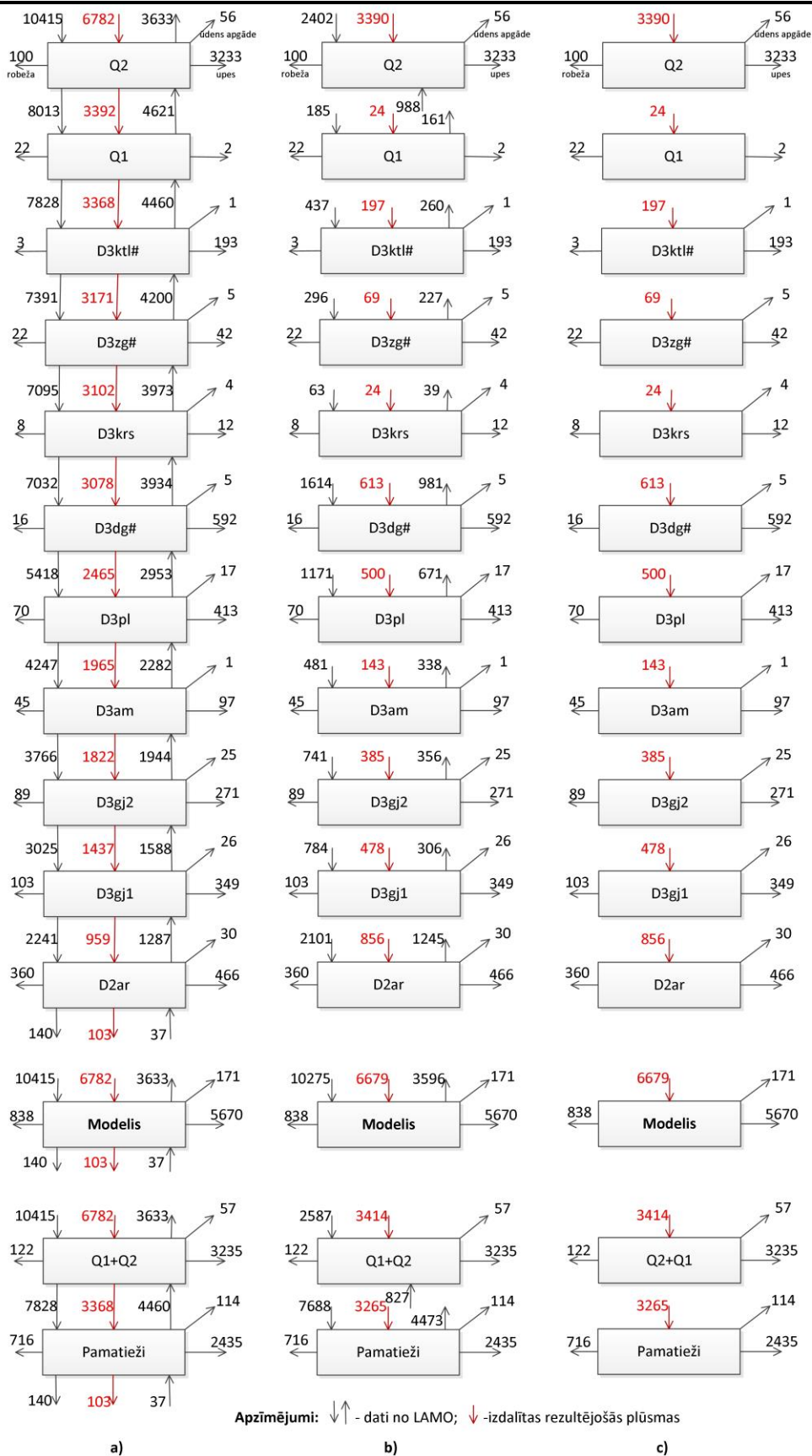
Ar LAMO iegūtā pazemes ūdens bilance Gaujas apgabalam (provizoriskie dati)

Ūdeni nesošais horizonts	Ūdens plūsmas elementu sadalījums pa horizontiem [tūkst. m <sup>3</sup> /dienn]						
	Caur slāņa virsmu	Caur slāņa pamatni	Pieplūde (2+3)	Atslodze upēs	Caur slāņa robežu	Ūdens apgādam	Bilance (4+5+6+7)
1	2	3	4	5	6	7	8
Q2	1995	-1243	752	-744	-1	-7	0
Q1	1243	-1241	2	0	-2	0	0
D3dg	1241	-1116	125	-125	0	0	0
D3pl	1116	-1085	31	-31	0	0	0
D3am	1085	-1046	39	-41	2	0	0
D3gj2	1046	-868	178	-188	10	0	0
D3gj1	868	-548	320	-323	4	-1	0
D2ar	548	-18	530	-390	-131	-9	0
Apg.kopā	1995	-18	1977	-1842	-118	-17	0
Q1+Q2	1995	-1241	754	-744	-3	-7	0
Pamatieži	1241	-18	1223	-1098	-115	-10	0

4. tabula

Ar LAMO iegūtā pazemes ūdens bilance Latvijas teritorijai (provizoriskie dati)

Ūdeni nesošais horizonts	Ūdens plūsmas elementu sadalījums pa horizontiem [tūkst.m <sup>3</sup> /dienn]						
	Caur slāņa virsmu	Caur slāņa pamatni	Pieplūde (2+3)	Atslodze upēs	Caur slāņa robežu	Ūdens apgādei	Bilance (4+5+6+7)
1	2	3	4	5	6	7	8
Q2	6782	-3392	3390	-3233	-100	-57	0
Q1	3392	-3368	24	-2	-22	0	0
D3ctl	3368	-3171	197	-193	-3	-1	0
D3zg	3171	-3102	69	-42	-22	-5	0
D3krs	3102	-3078	24	-12	-8	-4	0
D3dg	3078	-2465	613	-592	-16	-5	0
D3pl	2465	-1965	500	-413	-70	-17	0
D3am	1965	-1822	143	-97	-45	-1	0
D3gj2	1822	-1437	385	-271	-89	-25	0
D3gj1	1437	-959	478	-349	-103	-26	0
D2ar	959	-107	856	-466	-360	-30	0
Modelis	6782	-103	6679	-5670	-838	-171	0
Q1+Q2	6782	-3368	3414	-3235	-122	-57	0
Pamatieži	3368	-103	3265	-2435	-716	-114	0



- a) izdalītas rezultējošās plūsmas horizontu augšējās un apakšējās virsmās (2., 3., 5, 6, 7 kolonnas tabulai);
- b) izslēgtas vertikālās pazemes ūdens tranzīta plūsmas, izveidota 4. kolonna tabulai;
- c) horizontu lokālā ūdens bilance.

5. att. Pazemes ūdens [tūkst. m<sup>3</sup>/dienn] bilances shēma Latvijas teritorijai.  
a), b), c) bilances veidošanas secīgie etapi (grafiskais skaidrojums 4. tabulai).

No a) etapa shēmas redzams, ka visos horizontos to augšējās un apakšējās virsmās eksistē barojošās un atslodzes plūsmas. To lielumi nav atspoguļoti 3. tabulā, kurā fiksētas tikai rezultējošās barojošās plūsmas (2., 3. kolonas) un plūsmas caur horizontu robežām, atslodze upēs un ūdens apgāde (5, 6, 7 kolonas).

Piemēram, Q2 horizontam tā augšējā virsmā eksistē barojošā 2710 un atslodzes plūsma -755. To summa dod rezultējošo plūsmu 1995 tūkst.m<sup>3</sup>/dienn. Šī horizonta apakšējā virsmā ir atslodzes plūsma -2303 un barojošā plūsma 1060, kuru summa ir -1243 tūkst.m<sup>3</sup>/dienn.

Nākošajā b) etapā tiek izslēgtas vertikālā pazemes ūdens tranzīta plūsmas. To panāk, veicot plūsmu summēšanu horizontam tā augšējā un apakšējā virsmās. Q2 horizontam tiek saskaitītas plūsmas 2750 un -2303, kas dod 447 tūkst.m<sup>3</sup>/dienn tā augšējā virsmā. Plūsmu -755 un 1060 saskaitīšana dod 305 tūkst.m<sup>3</sup>/dienn apakšējai virsmai. Minēto plūsmu summu dod rezultātu 752=1995-1243, t.i., rezultējošā plūsma Q2 augšai ir 752 tūkst.m<sup>3</sup>/dienn.

Noslēdzošajā c) etapā vairs nerāda tās plūsmas, kuras ir izmantotas lokālās rezultējošās plūsmas aprēķinam. Tā tiek iegūta horizontu lokālā ūdens bilance. Q2 horizontam tā ir barojošā plūsma 752 tūkst.m<sup>3</sup>/dienn un atslodzes; -744 (upēs), -1 (caur robežu), -7 (ūdens apgāde).

Etaps b) dod papildus informāciju par telpisko pazemes ūdens kustību. Piemēram, Q2 un D2ar horizontiem ir barojošās plūsmas 305 un 39 caur to apakšējo virsmu. Šādas plūsmas varētu izsaukt upju ietekme Q2 un D3gj1 horizontos. Citos horizontos šāda parādība nav novērojama.

Vertikālo pazemes ūdens tranzīta plūsmu izslēgšana ļauj iegūt lokālās horizontu bilances. Tās raksturo pazemes ūdens procesu intensitāti katram horizontam. Gaujas apgabalā vislielākā intensitāte [tūkst.m<sup>3</sup>/dienn] ir Q2, D3gj1 un D2ar horizontos (752; 320; 530). Vidēji intensīvi darbojas D3dg, D3gj2 horizonti (125; 178), bet intensitāte ir niecīga horizontos Q1, D3pl, D3am (2; 31; 39). 3. tabula dod bilances datus [tūkst.m<sup>3</sup>/dienn] arī par visu Gaujas baseinu (1977), Kvartāra un pamatiežu sistēmām (754 un 1223).

Arī a) –tipa bilances shēmai ir svarīga loma pazemes ūdens plūsmu telpiskā rakstura izprašanai. Šī shēma rāda, ka ģeoloģiskajā vidē vienlaicīgi darbojas pazemes ūdens resursu papildināšanas un atslodzes procesi. Tos nodrošina vertikālās tranzīta plūsmas. Ja bilances shēmā ievēro tikai rezultējošo plūsmu (2. un 3. kolonas 3. tabulā), tad rodas maldīgs priekšstats, ka dabā eksistē tikai pazemes ūdens papildināšanas process, kura intensitāte samazinās dziļajiem horizontiem (skat. kartes nr. 15, 16, ..., 22).

Lai būtu iespējams salīdzināt pazemes ūdens plūsmu bilanci Gaujas apgabalā ar bilanci visai Latvijai, šajā pārskata iedaļā ir ietverta 4. tabula un 5. att. (4. tabulas grafiskais skaidrojums).

Salīdzināsim šādus parametrus:

- vidējā infiltrācijas plūsma  $q_{inf\ vid}$  horizontā [mm/gadā];
- atslodze upēs no infiltrētā ūdens daudzuma  $q_{upes\ rel}$  [%];
- plūsmu attiecība horizontos Gaujas apgabalā un Latvijā  $B$  [%];
- novirze attiecībai  $B$  no vidējās vērtības  $N$  (reizes).

Vidējo infiltrācijas plūsmu  $q_{inf\ vid}$  [mm/gadā] aprēķina pēc formulas:

$$q_{inf\ vid}=0.365 q_{hor} / L_{hor},$$

kur  $q_{hor}$  ir plūsma [tūkst.m<sup>3</sup>/dienn no 3. vai 4. tabulām;  $L_{hor}$  horizonta laukums [tūkst.km<sup>2</sup>]; Gaujas apgabalā un Latvijai  $L_{hor}=13.0$  un  $64.5$  t.i.,  $13/64.5=0.2$ . Ja šo formulu lieto horizontiem (D3dg, D3pl, D3am, D3gj2, D3gj1), kuriem laukums ir mazāks par upju apgabala laukumu, tad ir jālieto reāli eksistējošais horizonta laukums šajā apgabalā.

Atslodzes upēs  $q_{upes\ rel}$  [%] aprēķina pēc formulas:

$$q_{upes\ relat}=100 q_{upes} / q_{hor} ,$$

kur  $q_{upes}$  un  $q_{hor}$  ir plūsmas [tūkst.m<sup>3</sup>/dienn] lokālajā ūdens bilancē.  
Parametru  $B$  dod formula:

$$B=100 q_{horG} / q_{horL},$$

kur plūsmas  $q_{horG}$  un  $q_{horL}$  ņemtas no horizontu lokālajās bilancēs Gaujas apgabalam un Latvijai.  
Novirzi  $N$  no parametra  $B$  vidējās vērtības aprēķina kā attiecību:

$$N=B/20,$$

kur skaitlis 20 atbilst Gaujas apgabala un Latvijas teritoriju attiecībai [%].

Gaujas apgabala un Latvijas bilanču salīdzinājuma parametru vērtības apkopotas 5. tabulā.

5. tabula

Plūsmu bilances salīdzinājums Gaujas apgabalam un Latvijai

Objekts	Infiltrācija [mm/gadā]		Atslodze upēs [%]		$B$ [%]		$N$ [reizes]	
	Gaujas apg.	Latvijā	Gaujas apg.	Latvijā	Gaujas apg.	Gaujas apg.	Gaujas apg.	Gaujas apg.
Kopā	56.0	34.8	93	85	30		1.5	
Q2	56.0	34.8	98	95	22		1.1	
Pamatieži	34.8	19.1	90	74	37		1.9	
D2ar	15.4	5.4	74	54	62		3.1	
D2pr	0.5	0.6	-	-	17		0.8	

No 5. tabulas datiem var secināt, ka Gaujas apgabalā pazemes ūdens papildināšana notiek intensīvāk nekā Latvijā kopumā (56.0>34.8); pamatiežu ūdens krājums arī tiek papildināts labāk (34.8>19.1). Gaujas apgabalā ir ievērojami lielāka infiltrācija D2ar horizontam (15.4>5.4). Šo atšķirību izsauc D2ar horizonta tuvums zemes virskārtai Gaujas apgabalā. Gaujas apgabalā upēs aizplūst vairāk pazemes ūdens nekā vidēji Latvijā (93>85). Īpaši intensīva ir upju atslodze D2ar horizontā (74>54).

Par Gaujas apgabala pazemes ūdens plūsmu ievērojamo aktivitāti liecina arī parametri  $B$  un  $N$ . Parametrs  $N$  ņem vērā, ka Gaujas apgabals aizņem 20% no Latvijas teritorijas, t.i.,  $N$  raksturo novirzi no vidējā vērtējuma. Gaujas apgabalā kopumā pazemes plūsmu procesi ir  $N = 1.5$  reizes aktīvāki, bet D2ar horizontam  $N = 3.1$ . Gaujas apgabalā atrodas  $B = 62\%$  no visiem Latvijas D2ar horizonta resursiem.

Dati par pazemes ūdens plūsmu bilancēm var stipri izmainīties, ja nākotnē tiks precizēta saite starp virszemes ūdeni (upes, ezeri) un pazemes ūdeni. Tas varētu īpaši ietekmēt bilanci Gaujas apgabalā, kurā upju atslodze pamatiežos ir īpaši intensīva (5. tabula).

Pazemes ūdens plūsmu bilanci Gaujas apgabalā ietekmē ūdensšķirtņu novietojuma izmaiņas robežas apgabalā ar Daugavas upju baseinu (skat. 3.3. iedaļu). Šis apstāklis ievērojami sarežģī bilances iegūšanas metodiku:

- katram ūdens horizontam ir jāizmanto individuāls plūsmas aprēķina poligons; tā robežai ir jāsakrīt ar „reālo” ūdensšķirtni;
- nevar izmantot mērīšanas režīmu „visu horizontu plūsmas kopā”, jo katram horizontam ir atšķirīgs plūsmas aprēķina poligons.

Gaujas apgabala bilance (3. tabula) ir iegūta ar vienkāršotu metodiku, kura izmanto pamatiežu horizonta (D3dg) poligonu visiem horizontiem.

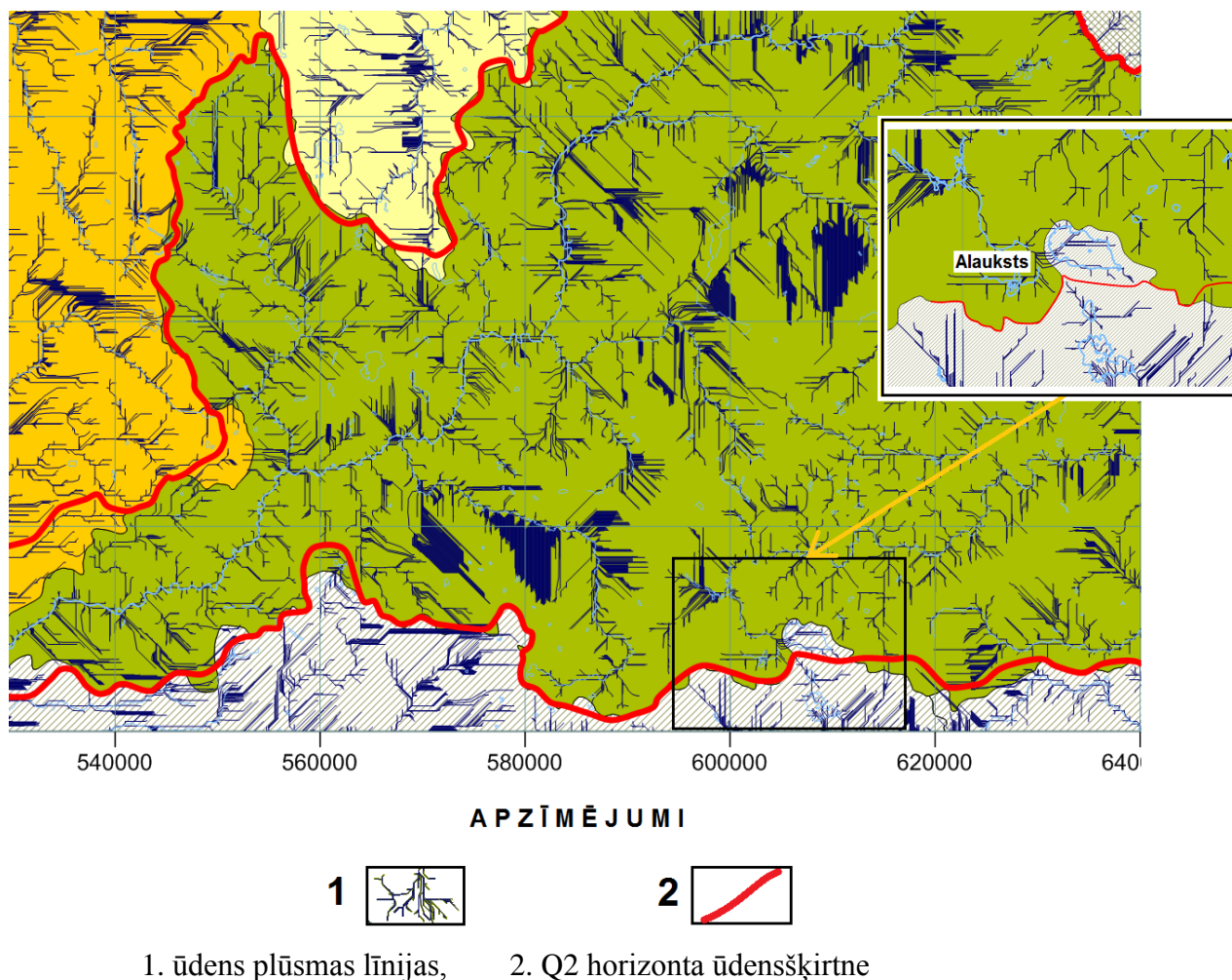
Izmantojot LAMO rezultātus, ir iegūti provizoriskie dati par Gaujas apgabala un Latvijas pazemes ūdens bilanci. Līdz šim, tikai grāmatā [5] ir dota aptuvena informācija par Latvijas ūdens bilanci. Šie dati tika izmantoti LAMO kalibrēšanai [6].

### 3.3. Modelētās ūdensšķirtnes

Viens no kartēšanas uzdevumiem bija izpētīt Gaujas apgabala ūdensšķirtņu novietojuma izmaiņas pazemes ūdens horizontiem. Šim nolūkam tika izmantotas divas programmas: Blue Marble Geographics datu apstrādes programma Global Mapper un Golden Software programma SURFER. Global Mapper ir piemērojama ūdensšķirtņu automātiskai atrašanai pazemes ūdens līmeņu sadalījuma nelīdzenām virsmām, t.i., pirmajam no zemes virsmas iegulošajam Q2 horizontam. SURFER labi darbojas arī ar lēzenām virsmām, kas raksturīgas dziļākajiem horizontiem. Minēto labi ilustrē 5. att. un 6. att., kā arī vertikālie griezumumi (kartes nr.11, 12, 13, 14).

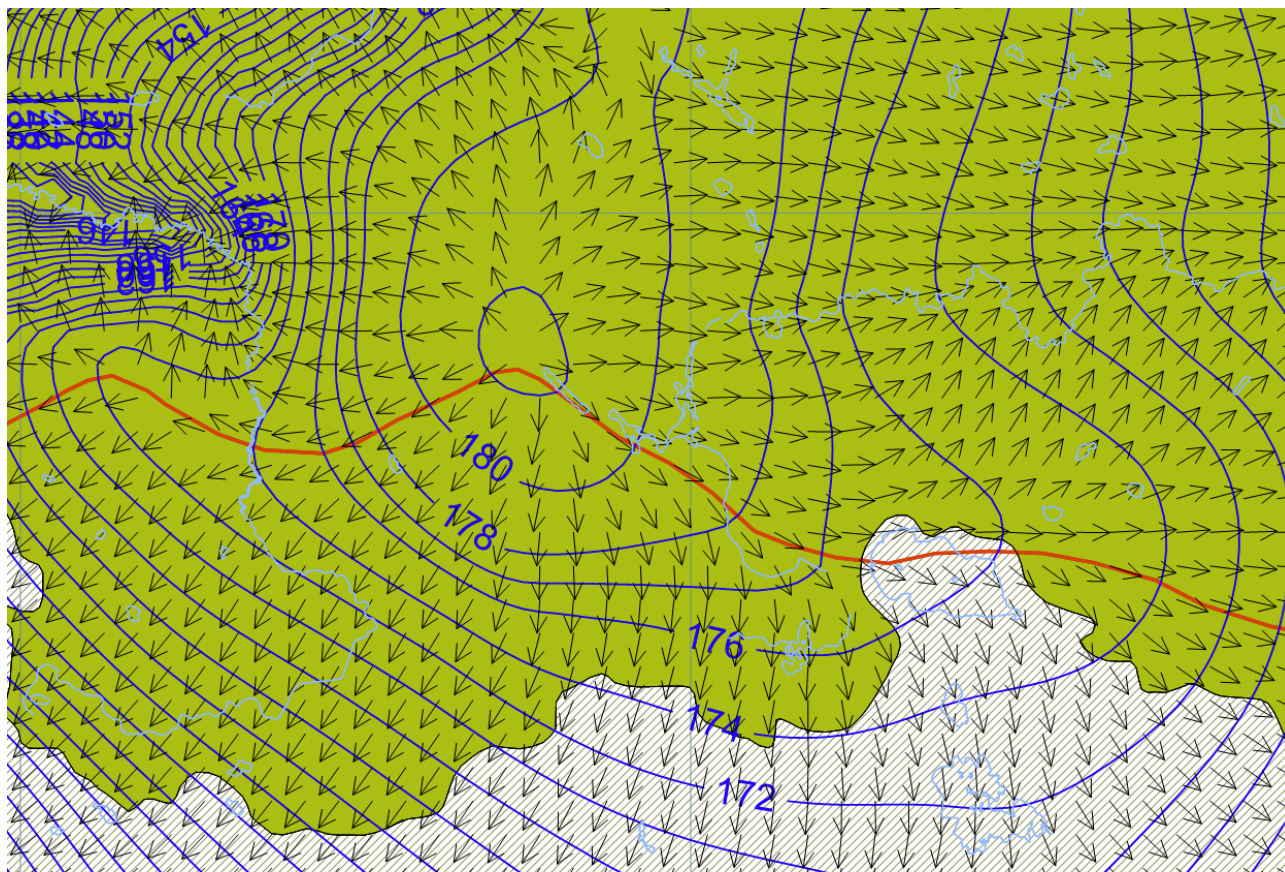
Izmantojot pazemes ūdens līmeņa izolīniju kartes (kartes nr. 2, 3, ..., 8), Gaujas apgabalā tika atrasts ūdensšķirtņu novietojums septiņiem horizontiem: Q2, D3dg, D3pl, D3am, D3gj2, D3gj1 un D2ar. Modelēto ūdensšķirtņu izvietojuma kopskats dots 8. att.

Vispirms ūdensšķirtņu novietojuma atrašanai tika izmantota Global Mapper sistēma. Tā relatīvi sekmīgi darbojās tikai Q2 horizontā un iegūtais rezultāts redzams 6. att. Tomēr ūdensšķirtnes novietojums arī Q2 horizontam tika atrasts ar SURFER, jo Global Mapper deva kļūdainu rezultātu Gaujas lejesteces rajonā ūdensšķirtnei ar mazo upju apgabalu (6. att.). Kvartāra Q2 horizontā „teorētisko” un modelēto ūdensšķirtņu novietojumi maz atšķiras (2. karte, 8. att.).

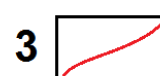


6. att. Ar Global Mapper iegūtais ūdensšķirtnes novietojums Gaujas apgabala Q2 horizontam

Jau pamatiežiem, kuri sākas ar Daugavas D3dg# horizontu, modelētās ūdensšķirtnes novietojums būtiski atšķiras no ūdensšķirtnes Gaujas apgabala reljefā (7. att., 8. att., 3. karte). Vislielākās novirzes vieta redzama 7. att., kurā vienlaicīgi ir skaidrots princips ūdensšķirtnes novietojuma meklēšanai ar SURFER palīdzību. Novietojums jāmeklē speciālistam, kurš manuāli koriģē ūdensšķirtnes stāvokli, lai caur to nevarētu plūst ūdens (ūdensšķirtnes līnijai ir jābūt ortogonālai pret ūdens līmeņa izolīnijām, plūsmas virziena bultiņas atvieglo šī noteikuma izpildīšanu).



APZĪMĒJUMI



1. ūdens līmeņa izolīnija [m vjl] 2. ūdens plūsmas virzieni, 3. modelētā ūdensšķirtne

7. att. Ar SURFER iegūtais ūdensšķirtnes novietojums Gaujas apgabala pamatiežu horizontiem (D3dg)

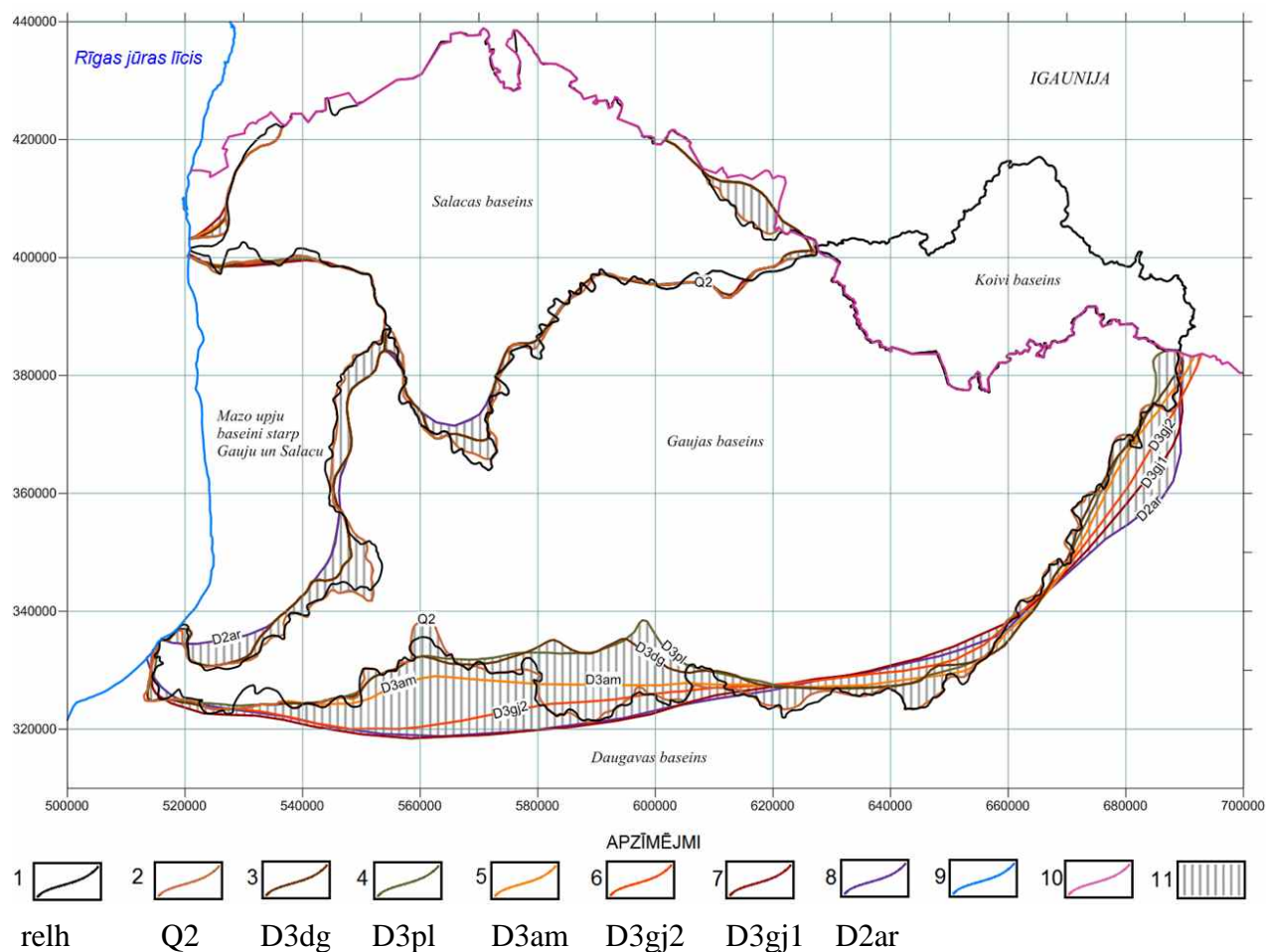
No 8. att. un kartēm nr. 3, 4, ..., 8 redzams, ka vislielākās ūdensšķirtņu novietojuma izmaiņas notiek rajonā starp Gaujas un Daugavas upju apgabaliem. Vidzemes augstienē apdzīvoto vietu Ērgļi un Madona rajonā ūdensšķirtne dažādiem horizontiem var būt nobīdīta dienvidu-ziemeļu virzienā līdz pat 15-20 kilometriem. Ievērojamas, līdz pat 10 kilometriem lielas ūdensšķirtņu nobīdes dažādiem horizontiem vērojamas Alūksnes augstienes rajonā.

Virzienā uz Gaujas apgabala ziemeļiem ūdensšķirtņu novietojuma izmaiņas nav tik izteiktas, Tas ir tāpēc, ka lielākā daļa no pamatiežu horizontiem šeit beidz eksistēt. Tikai D2ar horizonts ir visā Gaujas apgabalā. Tāpēc D2ar ūdensšķirtne vairākās vietās ir nobīdīta pret Q2 horizonta



ūdensšķirtni. Viena no šādām vietām ir Valkas pilsētas tuvumā, bet otra ir ūdensšķirtne ar Rīgas jūras līča mazo upju baseinu Ainažu tuvumā (skat 8. att., 3. karte).

Pašlaik Gaujas baseina robeža ir novilkta tā, ka Alauksta ezers atrodas Daugavas apgabalā. Tomēr modelētie ūdensšķirtnes novietojumi norāda, ka Alauksta ezers būtu iekļaujams Gaujas apgabalā. Lai gan D3dg, D3pl ūdensšķirtnes šķērso Alaukstu tā ziemeļu daļā (skat 8. att. 3., 4. kartes), tomēr Q2 un dziļāko horizontu D3am, D3gj2, D3gj1 un D2ar ūdensšķirtnes iekļauj Alaukstu Gaujas apgabalā. Šie horizonti ir galvenie pazemes ūdens apmaiņas bilancē, (skat. 3.2. iedaļu). Informācija par modelēto ūdensšķirtnu novietojumu liek apšaubīt Alauksta ezera piederību Daugavas upju apgabalam.



1- virszemes ūdensšķirtne relh; 2-8 horizontu ūdensšķirtnes; 9 - jūras krasts; 10 – Latvijas robeža; 11- ūdensšķirtnu novietojuma izmaiņas zona

8. att. Gaujas apgabala modelēto ūdensšķirtnu novietojuma kopskats

LAMO aptver tikai Latvijas teritoriju. Tāpēc ar šo modeli nevar pareizi atrast ūdensšķirtnes, kas atrodas Latvijas un Igaunijas robežas zonā. Provizoriski iegūtie dati liek domāt, ka reālās ūdensšķirtnes nesakrīt ar Valsts robežu.

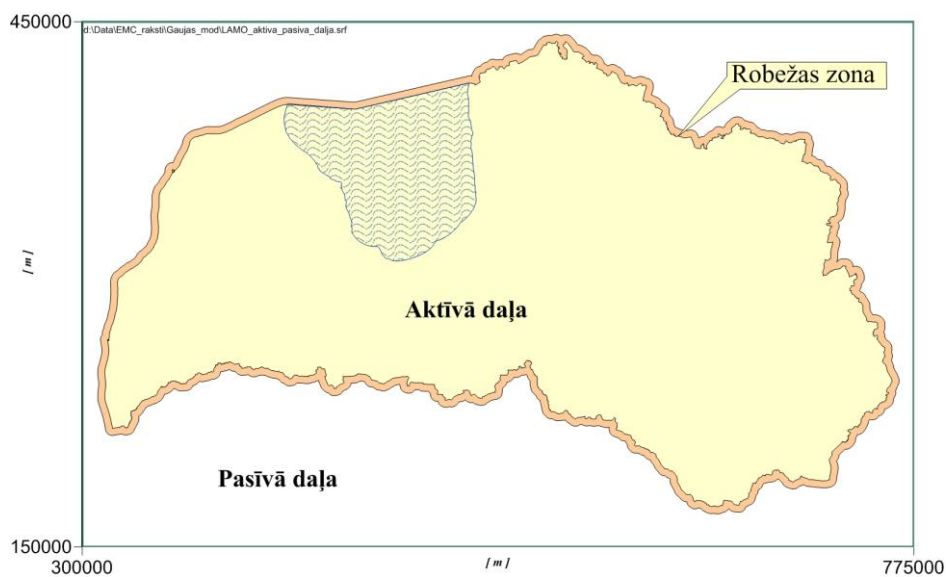
Pētījums par upju apgabalu ūdensšķirtnu reālo novietojumu Latvijai ir veikts pirmo reizi. Ar LAMO iegūtie rezultāti papildina hidroģeologu zināšanas par ūdensšķirtnu novietojumu dziļākajos horizontos un dod iespēju precīzāk veikt pazemes ūdens bilances aprēķinus (skat. 3.2. iedaļu).

#### 4. LATVIJAS HIDROĢEOLOĢISKAIS MODELIS (LAMO)

Latvijas hidroģeoloģiskais modelis LAMO izveidots laika posmā no 2010.-2012.g. Rīgas Tehniskās universitātes Vides modelēšanas centrā (VMC). LAMO tika izveidots īstenojot Eiropas Reģionālā Attīstības fonda (ERAF) līdzfinansētu projektu „Hidroģeoloģiskā modeļa izveidošana Latvijas pazemes ūdens krājumu apsaimniekošanai un vides atveseļošanai”. LAMO ietver 475km×300km laukumu (skat. 9. att.) aktīvajai pazemes ūdens zonai.



9. att. LAMO novietojums

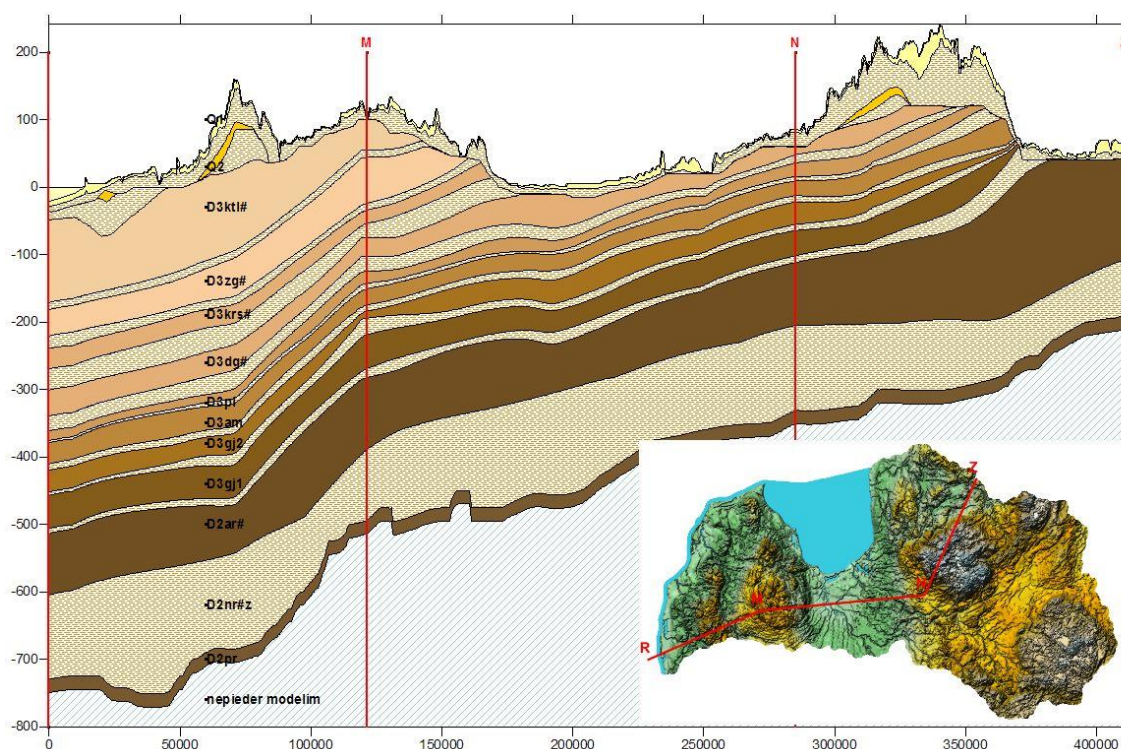


10. att. LAMO aktīvā un pasīvā daļa

Modeļa plaknes režģa aproksimācijas solis ir 500m. LAMO ir realizēts komerciālās programmatūras „Groundwater Vistas” vidē. Modelis būs daļa no Latvijas Vienotās vides informācijas sistēmas, kuru uztur Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs (LVĢMC). LAMO apkopo LVĢMC rīcībā esošo ģeoloģisko un hidroģeoloģisko informāciju.

LAMO sastāv no aktīvās un pasīvās daļas. Aktīvā daļa ietver Latvijas sauszemes teritoriju un Rīgas jūras līci (skat. 10. att.). Aktīvo daļu apjož 4km plata robežas zona, kuru izmanto modeļa robežnoteikumu realizācijai. Pasīvajā daļā ietilpst Latvijas kaimiņvalstu teritorijas. Ja nepieciešams realizēt pārrobežu projektu, (piemēram, Gaujas-Koivas upju baseinam), tad kaimiņvalsts (Igaunijas) modeļa daļu var aktivizēt. LAMO aptver 25 horizontus (skat. 2. tabulu), kuri veido Latvijas pazemes ūdens aktīvo zonu.

Izšķiroša loma LAMO sekmīgai darbībai ir digitālā reljefa kartes izmantošanai kā modeļa robežnoteikumam [2, 3]. Reljefa karte ar tajā iestrādātiem hidrogrāfiskā tīkla elementiem (upes, ezeri, jūra) tika izveidota izmantojot Latvijas Ģeotelpiskās Informācijas Aģentūras materiālus [4]. Visai darba ietilpīga bija karšu izveidošana, kuras nosaka LAMO ģeometriju, kura ir ļoti komplicēta (skat. 11. att.).



11. att. Ģeoloģiskais profils (iegūts no LAMO datiem)

Modeli kalibrējot, tika ņemti vērā ne tikai ūdens līmeņu mērījumi Latvijas valsts monitoringa urbemos, bet arī dati par ūdens plūsmu bilanci Latvijai [5]. Kā galvenais plūsmu kalibrēšanas mērķis tika izmantots aptuvenais upju noteces vērtējums ( $\sim 6000$  tūkst.m<sup>3</sup>/dienn).

Par pirmajiem LAMO rezultātiem vēsta publikācija [6]. Dati par LAMO (ģeometrija, ūdens līmeņu kartes, infiltrācijas plūsmu kartes) ir publiski pieejami VMC tīmekļa vietnē [www.emc.rtu.lv](http://www.emc.rtu.lv).

Šobrīd ar LAMO palīdzību pirmo reizi var iegūt nepretrunīgus datus par Latvijas hidroģeoloģiskajiem procesiem reģionālā mērogā. Kā pirmais praktiskais LAMO rezultātu izmantošanas piemērs ir Gaujas-Koivas upju baseina apgabala pazemes ūdens objektu kartēšana Latvijas daļai. Ja Igaunijas kolēģi dos datus par Koivas upes baseinu, tad LAMO aktīvā daļa tiks paplašināta nolūkā aptvert visu šo upju baseinu apgabalu.

Izmantojot LAMO rezultātus, var būtiski uzlabot upju baseinu apgabalu apraksta kvalitāti ne tikai to pazemes ūdens objektu daļā, bet arī precizēt to saites ar virszemes ūdeņiem. Piemēram, ir iespējams iegūt modelī ietvertu upju atslodzes plūsmu lielumus katrai upei, t.i., dot tās ūdens resursu novērtējumu. Šī uzdevuma risināšanai tiks īstenota LAMO iespēju paplašināšana ar VMC un LVĢMC speciālistu apvienotajiem spēkiem.

## 5. SECINĀJUMI

Datu kartēšanas darbu Gaujas apgabalam RTU Vides modelēšanas centrs (VMC) izmantoja ar nolūku parādīt, ka jau šobrīd var izveidot kvalitatīvus upju apgabalu modeļus, ja pielieto mūsdienīgus informācijas tehnoloģijas līdzekļus.

Kā pamats kartēšanai kalpoja jaunie rezultāti, kurus VMC ir ieguvis ar Latvijas hidroģeoloģisko modeli LAMO (skat. 4. iedaļu).

VMC ir jau informējis Latvijas Republikas Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministriju par nepieciešamību finansēt pētniecību LAMO tālākai attīstībai 2013.g.-2015.g. periodā ar VMC un Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas Centra piedalīšanos.

Kartēšanas materiāla novitāti apliecina šādi fakti.

Ūdens līmeņu kartes:

- sagatavotas astoņiem ūdens horizontiem, bet ne tikai trīs horizontu kompleksi, kuri tikai ļoti aptuveni apraksta telpisko pazemes ūdens plūsmu;
- pirmo reizi parādīta upju posmu piesaiste horizontiem;
- parādīts modelēto ūdensšķirtņu novietojums;
- dota digitālā reljefa karte kā robežnosacījums LAMO.

Vertikālo griezumu kartēs ar ūdens līmeņu izolīniju un krāsu skalas palīdzību ir panākts uzskatāms telpisko pazemes ūdens plūsmu demonstrējums. Paredzēts jau tuvākajā laikā būtiski pilnveidot VMC programmatūru vēl kvalitatīvāku vertikālo griezumu karšu iegūšanai.

Infiltrācijas plūsmas kartes:

- šāda tipa kartes Latvijai iegūtas pirmo reizi;
- kartes dod detalizētu informāciju par pazemes ūdens barošanos, tranzītu un atslodzes apgabaliem; šie apgabali ir atšķirīgi dažādiem horizontiem;
- dati par infiltrāciju ir pamats pareizākām pazemes ūdens piesārņojuma prognozēm.

Pazemes ūdens plūsmu bilances Gaujas apgabalam un Latvijai:

- šādas detalizētas bilances sagatavotas pirmo reizi;
- bilances dod novērtējumu pazemes ūdens resursu apjomam (ne kvalitātei);

Pazemes ūdensšķirtņu novietojuma atrašana:

- Latvijai šāds pētījums veikts pirmo reizi;
- pazemes ūdensšķirtņu mainīgais novietojums sarežģī pazemes ūdens bilances iegūšanas metodiku.

LAMO pilnveidošanas galvenie uzdevumi laikā no 2013.g.-2015.g.:

- precizēt saites starp virszemes un pazemes ūdens objektiem; šajā nolūkā ir jāizmanto mērījumu dati upju kontrolpostēnos (vēsturiskie un mūsdienu);
- noteikt katras upes pazemes ūdens pieteci;
- pazemes ūdens resursu kvalitātes (mineralizācijas) ievērošana, lai varētu pareizāk noteikt dzeršanai derīgo pazemes ūdens resursu apjomu;
- dažādo pazemes un virszemes ūdens objektu piesārņošanas scenāriju novērtēšana.

Pēc LAMO pilnveidošanas Latvijā būs izveidota datorizēta ūdens resursu pārvaldības sistēma, kura aptvers virszemes un pazemes ūdens objektus kā saistītus hidroloģiskā cikla elementus.

Latvijas Vienotās Vides informācijas sistēmā šāds modelis nodrošinās datus ne tikai par pazemes, bet arī par virszemes ūdens resursiem.

## 6. IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. LVĢMC, 2009. *Gaujas upju baseinu apgabala apsaimniekošanas plāns 2010.- 2015. gadam*. Rīga: Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs.
2. Spalvins, A.; J. Slangens; O. Aleksans; K. Krauklis; and I. Lace. 2012. „Regional hydrogeological model of Latvia for management of its groundwater resources”, In 5-th International scientific conference Applied information and communication technologies, 24.-26. april 2012, Jelgava, Latvia, p. 135-155 (CD) (ISBN (78-9984-48-065-7)2).
3. Spalvins, A.; J. Slangens; K. Krauklis; and I. Lace. 2011. “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, p. 132-141, (ISBN: 978-0-9564944-2-9)
4. Spalvins, A.; J. Slangens; K. Krauklis; I. Lace; and V. Skibelis. 2011. "Creating of initial data maps for regional hydrogeological model of Latvia" / Scientific Journal of Riga Technical University in series "Computer Science". Boundary Field Problems and Computer Simulation, vol. 5, 50-th issue. Riga: RTU, p. 14-22
5. И. Дзилна. (1970) Ресурсы, состав и динамика подземных вод средней Прибалтики, изд. Зинатне, Рига, стр. 179
6. Spalvins, A.; J. Slangens; I. Lace; K. Krauklis; V. Skibelis; O. Aleksans; and N. Levina. 2012. "Hydrogeological model of Latvia, first results" / Scientific Journal of Riga Technical University Boundary Field Problems and Computer Simulation, 51-th issue, Riga, RTU, p. 4-13, ISSN 1407 – 7493