

Rīgas Tehniskā universitāte

Lietišķās Matemātikas
institūts



Latvijas
vides
aizsardzības
fonds

Pazemes ūdens bilance Latvijā

*Latvijas vides aizsardzības fonda projekts
(reģistrācijas numurs: 1-08/67/2024)*

Hidroģeoloģiskā modelēšana

Projekta informatīvais pārskats par 2. etapu

Rīga – maijs, 2025

Pazemes ūdens balance Latvijā

Hidroģeoloģiskā modelēšana

Latvijas vides aizsardzības fonda projekta informatīvais pārskats par 2. etapu

Atskaitē aprakstīti modelēšanas eksperimenti ar reģionālo hidroģeoloģisko modeli LAMO4. Modelēšanas eksperimentu mērķis – iegūt datus par ūdens līmeņu izmaiņām pazemes ūdens horizontos veicot ūdens atsūkņēšanu 10 m^3 dnn un 100 m^3 dnn ikvienā Latvijas vietā. Atskaite ietver sevī modelēšanas soļu secības aprakstu, kā arī datu pirms un papildus apstrādes metodes.

Pārskatā kopā ir 10 lappuses, 5 attēli un 2 tabulas.

Autori: pētnieks Kaspars Krauklis
 vadošais pētnieks Inta Volodko
 vadošais pētnieks Irīna Eglīte

Adrese:

Rīgas Tehniskā universitāte, Lietišķās Matemātikas institūts

Zunda krastmala 10 , Rīga, LV-1048, Latvija

Tālr. +371 22023316

E-pasts: Irina.Eglite@rtu.lv

URL: <http://www.emc.rtu.lv/>

Saturs

1	Ievads.....	2
2	Dati modelēšanas eksperimentiem	3
3	Hidroģeoloģiskā modelēšana un rezultātu pēcspārde.....	6
4	Secinājumi	10

1 Ievads

Reģionālā hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 aktīvo šūnu skaits vienā ūdens horizontā ir 1.2 miljoni, kas būs patiesi kvartāra horizontam. Lai nodrošinātu nepieciešamos modelēšanas eksperimentus 1.2 miljoni urbumu gadījumā tikai kvartāra horizontā būtu nepieciešami 2.4 miljoni modelēšanas eksperimentu. Tā kā pazemes ūdeņi nav tikai kvartārs un LAMO4 ietver papildus vēl 11 aktīvus ūdens horizontus, nepieciešamo aprēķinu daudzums krietni pārsniedz fiziskās iespējas. Arī pašu neatkarīgo modelēšanas eksperimentu izmantojamība ir diskutabla. Pieņemot, ka tiek veikta atsūkšanās tikai vienam atsevišķam urbumam, situācija ar tuvumā esoša papildus urbuma ierīkošanu netiek apskatīta, kas patiesībā ir pamata jautājums pazemes ūdens ieguves urbumiem ar nosacīti nelielu debītu.

Hidroģeoloģiskās modelēšanas eksperimenti ir veicami atsevišķi katrā horizontā, taču ne visās vietās Latvijā. Nav nepieciešami aprēķini jau esošo lieljaudas urbumu tiešā tuvumā, upju un ezeru teritorijā. Lieljaudas urbumu tuvumā ir aizsargjoslu apgabali, savukārt, upē vai ezerā urbumi pazemes ūdens ieguvei netiek ierīkoti. Ņemot vērā hidroģeoloģiskā tīkla piesaistes apmērus modelī LAMO4, šo urbumu atsijāšana ievērojami samazinātu to urbumu skaitu, kam ir nepieciešams aprēķins.

Tā kā tehniski nav iespējams realizēt projekta etapa laikā vairāku desmitu miljonu eksperimentu, papildus nodrošinot iegūto rezultātu pēcapstrādi, kā arī ar modelēšanas eksperimentu vienam atsevišķam urbumam nav iespējams prognozēt tā ietekmi uz citiem jauniem pazemes ūdens ieguves urbumiem, tad iespējamais risinājums šeit būtu izveidot atsevišķas urbumu grupas vienlaicīgam ūdens līmeņu pazeminājuma aprēķinam. Šī pieeja nodrošina pāreju no pazemes ūdens izmaiņu aprēķina atsevišķam urbumam uz pazemes ūdens izmaiņu aprēķinu urbumu grupai. Pieeja gan nodrošina urbumu savstarpējās ietekmes faktora ņemšanu vērā, gan korelē ar uzdevuma risināšanu atbilstoši tehniskām iespējām.

2 Dati modelēšanas eksperimentiem

Modelēšanas eksperimentu ieejas dati ietver sevī urbumu kompleksus, kas tiek sagatavoti atsevišķas simulācijas vajadzībām izvēlētajā pazemes ūdens horizontā. Modelēšanā izmantotie urbumi nav reālie urbumi dabā, to ieviešana hidroģeoloģiskā modelī ar eksperimenta palīdzību ļauj matemātiski aprēķināt iespējamās hidroģeoloģiskās izmaiņas, ūdens līmeni urbuma horizontā, kāds tiktu iegūts, urbumu ekspluatējot ar uzdoto debitu.

Sākotnēji tiek iegūtas ikvienas modeļa šūnas koordinātes atsevišķam pazemes ūdens horizontam. Nākamajā solī no šūnu koordināšu kopas tiek atsijātas tās, kurām modelī LAMO4 ir piesaistītas upes, ezeri, jūra, kā arī ap industriālu urbumu esošas četru tuvāko šūnu koordinātes. Tā, 2.1. att. skatāms pazemes ūdens ieguves urbumu izvietojums, ņemot vērā iepriekšminētos ierobežojošos faktorus.



2.1. att. Kvartāra Q2 urbumu kopa pie Liepājas ezera

Pēc modelēšanai nederīgo urbumu atsijāšanas kvartāra Q2 horizontā paliek 926927 urbumi, skat. Tabula 2.1. Modelēšanas eksperimenti šeit būtu veicami 6.5 miljoniem urbumu, kas ir ne tikai tehniski neiespējami, bet arī nerada reālistisku

priekšstatu par atsūkņēšanas ietekmi pie iespējamās savstarpējas konkurences par ūdens resursu.

Tabula 2.1. Plānoto pazemes ūdens ieguves urbumu skaits

Pazemes ūdens horizonts	Urbumu skaits
<i>Q2</i>	926927
<i>Q1#</i>	150782
<i>D3ctl#</i>	80246
<i>D3zg#</i>	108925
<i>D3krs#</i>	134973
<i>D3dg#</i>	472005
<i>D3pl</i>	634889
<i>D3am</i>	667746
<i>D3gj2</i>	726727
<i>D3gj1</i>	787808
<i>D2brt</i>	917485
<i>D2ar</i>	917505
kopā	6526018

Nemot vērā apdzīvotības blīvumu Latvijā, hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 griezuma datus pēc dalījuma pa grupām (skat. 2.3. att.), kā arī tehniskās iespējas realizēt modelēšanas eksperimentus, visi ūdens ieguves urbumi tika sadalīti 23 grupās, tā, lai attālums starp urbumiem būtu virs 1000 metriem. Tā kā modeļa LAMO4 plaknes aproksimācijas režģis ir 250x250 m, tad tuvākie urbumi atrodas 1250 m attālumā pa vertikāli un horizontāli, un 1060 m pa diagonāli. Sadalījums pa grupām tika realizēts, tam speciāli izstrādājot algoritmu un to realizējošu datorprogrammu.

Urbumu sadalījums pa grupām ietver sevī noslogotākas un mazāk noslogotas grupas, skat. 2.2. att. Šo apstākli ir iespējams izmantot, lai noteiktu likumsakarības pazemes ūdens izmaiņām mainoties attālumam līdz tuvākajam urbumam urbumu grupā, un var tikt izmantota esošā projekta trešajā etapā.

Lai veiktu hidroģeoloģisko modelēšanu ikvienam aktīvam LAMO4 pazemes ūdens horizontam, ir nepieciešami $12 \times 23 \times 2 = 552$ eksperimenti, kur tiek iekļauti eksperimenti 12 pazemes ūdens horizontiem, 23 grupām un 2 dažādiem pazemes ūdens ieguves debitiem.

3 Hidroģeoloģiskā modelēšana un rezultātu apstrāde

Hidroģeoloģiskās modelēšanas mērķis ir noteikt pazemes ūdens līmeņa pazeminājumu, ko rada ūdens ieguve ar $10 \text{ m}^3 \text{ dnn}$ un $100 \text{ m}^3 \text{ dnn}$ debītu ikvienam urbumam Latvijas teritorijā. Lai noteiktu šīs izmaiņas, ir nepieciešams iegūt pazemes ūdens līmeņa vērtības sekojošiem gadījumiem:

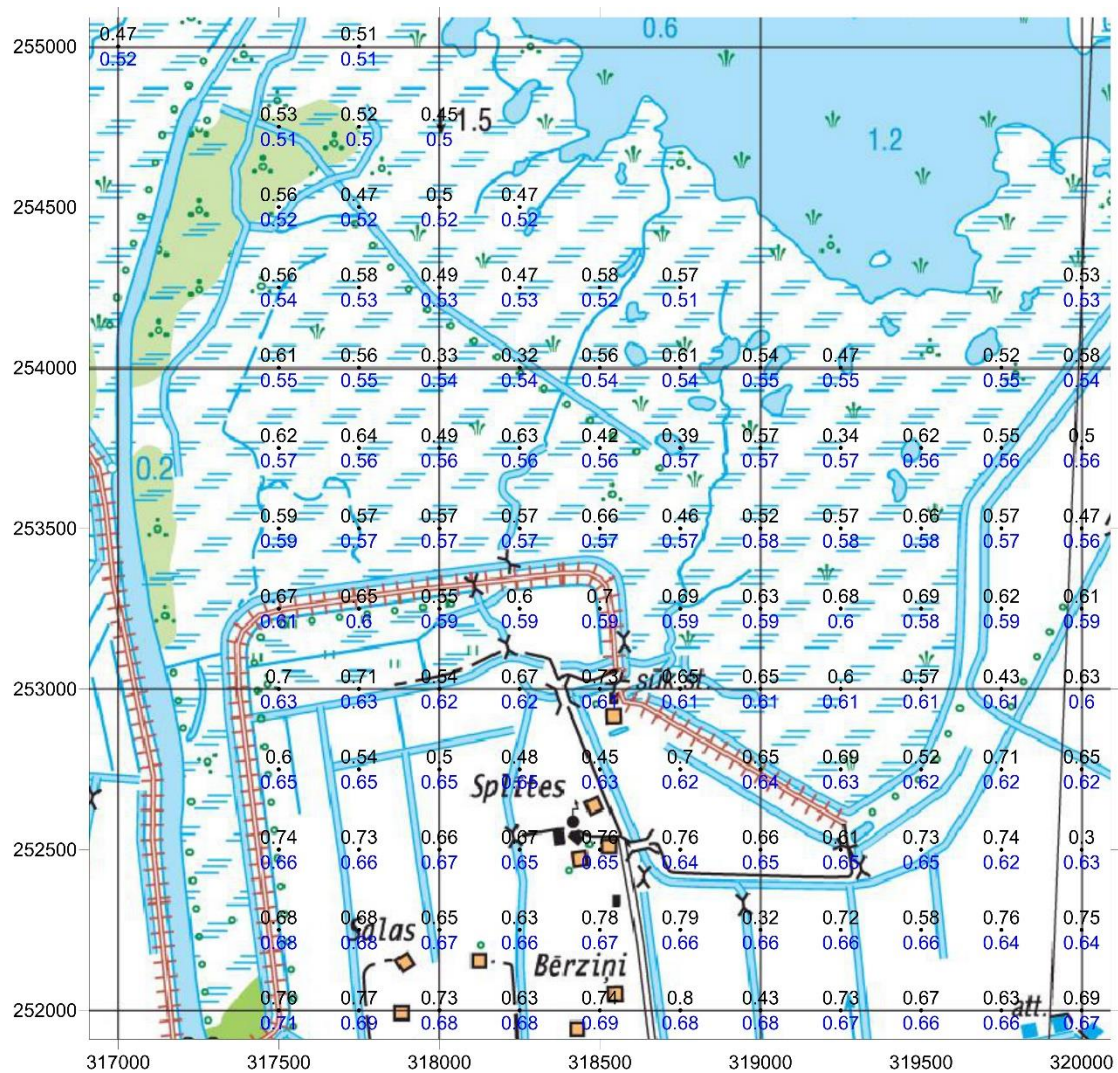
1. pazemes ūdens līmeņi i-tajā horizontā bez eksperimenta urbumiem,
2. pazemes ūdens līmeņi i-tajā horizontā ar eksperimenta urbumiem pie debīta $10 \text{ m}^3 \text{ dnn}$,
3. pazemes ūdens līmeņi i-tajā horizontā ar eksperimenta urbumiem pie debīta $100 \text{ m}^3 \text{ dnn}$.

Šos datus ir nepieciešams iegūt ikvienam urbumam ikvienā LAMO4 pazemes ūdens horizontā. Starpība starp 1. un 2. punkta, kā arī starpība starp 1. un 3. punkta datiem būs attiecīgi ūdens līmeņa pazeminājums, ko rada ūdens ieguve ar $10 \text{ m}^3 \text{ dnn}$ un $100 \text{ m}^3 \text{ dnn}$ debītu. Nepieciešamo datu ieguve notiek izmantojot modeļa LAMO4 modelējošās vides Groundwater Vistas ūdens līmeņa virsmu eksportu, faila nosaukumā iekodējot horizonta numuru un urbumu grupas numuru manuāli. Virsmas tiek eksportētas no Surfer *.grd formāta uz teksta XYZ *.dat formātu, izmantojot GoldenSoftware Scriptor skriptu kopā ar *.bat vadības failu. Visu modelēšanas eksperimentu faili tiek nolasīti izmantojot speciāli šim nolūkam izstrādātu Intel Visual Fortran programmu, kas izveido, apkopo, aprēķina pazemes ūdens līmeņa pazeminājuma datus uzdotam pazemes ūdens horizontam. Ņemot vērā to, ka aprēķinātie pazemes ūdens līmeņi skaitliski nesniedz pietiekamu informāciju par izvēlēta urbuma ierīkošanas iespējamību, tad papildus iegūtiem datiem tiek saglabāti dati par attiecīgā ūdens horizonta slāņa virsmas augšas un apakšas augstumu. Tabulas fragmenta piemērs skatāms Tabula 3.1. Pirmās divas kolonnas ir urbuma koordinātes, trešā kolonna pazemes ūdens horizonta kārtas numurs modelī LAMO4, ceturtā kolonna – pazemes ūdens līmenis bez urbuma darbināšanas, piektā un sestā kolonnā ir pazemes ūdens līmeņa pazeminājums pie sūkņēšanas debīta $10 \text{ m}^3 \text{ dnn}$ un $100 \text{ m}^3 \text{ dnn}$, septītā kolonnā ir informācija par modelēšanas eksperimenta grupas numuru, savukārt, pēdējās divas kolonnas ir ar pazemes ūdens horizonta virsmas augšas un apakšas vērtībām m vjl.

Tabula 3.1. Modelēšanas eksperimentu apkopojums D3ktl# horizontam

A	B	C	D	E	F	G	H	I
x [m]	y [m]	Horizonta nr.	Ūdens līmenis netraucētā stāvoklī (netr.st.) [m vjl]	Ūdens līmeņa izmaiņas pret netr.st. pie debita 10 m ³ dnn, [m]	Ūdens līmeņa izmaiņas pret netr.st. pie debita 100 m ³ dnn, [m]	Urbumu grupas nr.	Horizonta virsmas augša [m vjl]	Horizonta virsmas apakša [m vjl]
317500	217750	7	4.14	0.12	1.09	23	-200.4	-212.4
317250	218000	7	3.96	0.12	1.11	22	-199.9	-211.8
317500	218000	7	4.23	0.12	1.15	21	-199.8	-211.8
317750	218000	7	4.51	0.14	1.17	20	-199.8	-211.8
318000	218000	7	4.79	0.13	1.19	19	-199.7	-211.7
318250	218000	7	5.07	0.14	1.24	18	-199.7	-211.7
318500	218000	7	5.37	0.15	1.28	23	-199.7	-211.7
318750	218000	7	5.67	0.15	1.31	22	-199.6	-211.7
317250	218250	7	4.04	0.14	1.17	18	-199.3	-211.2
317500	218250	7	4.32	0.14	1.19	17	-199.2	-211.2
317750	218250	7	4.6	0.14	1.23	16	-199.2	-211.2
318000	218250	7	4.88	0.15	1.25	15	-199.2	-211.1
318250	218250	7	5.17	0.15	1.28	14	-199.1	-211.1
318500	218250	7	5.46	0.15	1.34	21	-199.1	-211.1
318750	218250	7	5.77	0.17	1.4	20	-199.1	-211.1

Projekta etapa realizācijas gaitā tika secināts, ka pateicoties urbumu novietojumam eksperimentu grupā, blakus esošo urbumu (attālums 250 m) nav saskaņoti. Ņemot vērā to, ka modelēšanas eksperimenti ar grupām 1-9 var sniegt pārāk optimistiskus rezultātus, savukārt, eksperimenti ar grupām 10-23 var vairāk pazemināt pazemes ūdens līmeni dēļ aktīvas urbumu savstarpējās mijiedarbības, papildus tika veikta iegūto rezultātu izlīdzināšana, aproksimācija. Tika izstrādāts un ar datorprogrammu realizēts sekojošs algoritms – pie pazemes ūdens līmeņa pazeminājuma izvēlētajā urbumā tika pieskaitīti visu urbumu pazemes ūdens līmeņa pazeminājumi, kas atrodas līdz 1000 m attālumam no izvēlētajā urbuma (ieskaitot). Pazemes ūdens līmeņa izmaiņu summa tika izdalīta ar kopējo urbumu skaitu 1000 m rādiusā, tādējādi iegūstot vidējo vērtību. Šī pieeja nodrošina to, ka aprēķinos tiek izmantoti dati no dažādām urbumu grupām, kur katrai grupai var būt ne vairāk kā viens urbums. Pieeja izlīdzina rezultātu grupās blakusesošiem urbumiem. Iegūtie rezultāti skat. 3.1. att. Katram urbumam šeit ir piekārtoti divi skaitļi – melnā krāsā ir modelēšanas eksperimentos iegūtās vērtības, bet zilā krāsā – izlīdzinātās, filtrētās vērtības.



3.1. att. Pazemes ūdens līmeņa izmaiņu izlīdzināšana D3ktl# horizontā Liepājas ezera apkaimē, eksperimentu kopa ar 100 m³ dnn debitu

Ūdens līmeņa pazeminājumi un citi iepriekš Tabula 3.1 aprakstītie dati importēti MS ACCESS datubāzē, atvēlot katram atsevišķam pazemes ūdens horizontam vienu tabulu, kopā 12 tabulas. Izveidotā datubāze tiks izmantota nākamajos etapos reģionālo karšu izstrādē (3. etaps) un interaktīvas vides WEB grafiska interfeisa izstrādē rezultātu publicēšanai (4. etaps).

File	Home	Create	External Data	Database Tools	Fields	Table	Tell me what you want to do...									
View	Paste	Cut	Filter	Ascending	Selection	New	Totals	Replace	Calibri	11						
Clipboard	Copy	Format Painter	Remove Sort	Descending	Advanced	Save	Spelling	Go To	B	I	U					
Sort & Filter			Toggle Filter	Refresh All	Delete	More	Find	Select	Text Formatting							

Search...	ID	x	y	slanis	head_netr	izm_head_1	izm_head_1	grupas_nr	sl_top	sl_bot	Click to Add
Tables	1	317500	217750	7	4.14	0.12	1.09	23	-200.4	-212.4	
Urbumu_kopa_03_Q2	2	317250	218000	7	3.96	0.12	1.11	22	-199.9	-211.8	
Urbumu_kopa_05_Q1	3	317500	218000	7	4.23	0.12	1.15	21	-199.8	-211.8	
Urbumu_kopa_07_D3kkt	4	317750	218000	7	4.51	0.14	1.17	20	-199.8	-211.8	
Urbumu_kopa_09_D3zg	5	318000	218000	7	4.79	0.13	1.19	19	-199.7	-211.7	
Urbumu_kopa_11_D3krs	6	318250	218000	7	5.07	0.14	1.24	18	-199.7	-211.7	
Urbumu_kopa_13_D3dg	7	318500	218000	7	5.37	0.15	1.28	23	-199.7	-211.7	
Urbumu_kopa_15_D3pl	8	318750	218000	7	5.67	0.15	1.31	22	-199.6	-211.7	
Urbumu_kopa_17_D3am	9	317250	218250	7	4.04	0.14	1.17	18	-199.3	-211.2	
Urbumu_kopa_19_D3gj2	10	317500	218250	7	4.32	0.14	1.19	17	-199.2	-211.2	
Urbumu_kopa_21_D3gj1	11	317750	218250	7	4.6	0.14	1.23	16	-199.2	-211.2	
Urbumu_kopa_23_D2brt	12	318000	218250	7	4.88	0.15	1.25	15	-199.2	-211.1	
Urbumu_kopa_25_D2ar	13	318250	218250	7	5.17	0.15	1.28	14	-199.1	-211.1	
	14	318500	218250	7	5.46	0.15	1.34	21	-199.1	-211.1	
	15	318750	218250	7	5.77	0.17	1.4	20	-199.1	-211.1	
	16	319000	218250	7	6.08	0.15	1.44	19	-199	-211.1	

3.2. att. Modelēšanas rezultāti apvienoti MS ACCESS datu bāzē

4 Secinājumi

Projekta otrā etapā “Hidroģeoloģiskā modelēšana” atbilstoši darba uzdevumam realizēti sekojoši punkti:

1. Urbumu kopas izveide.
2. Modelēšanas scenārija izveide.
3. Rezultātu novērtējums atkārtotai modelēšanas veikšanai pie mainītiem ieejas parametriem.
4. Modelēšanas rezultātu iegūšana.
5. Datu eksports uz MS Access datubāze ar datiem par katra atsevišķa urbuma debitu, ūdens līmeņa pazeminājumu i-tajā pamatiežu ūdens horizontā, ūdens līmeņa pazeminājumu kvartārā; kopā 6526018 ierakstu.
6. Atskaite publicēta mājaslapā http://www.emc.rtu.lv/LVAF_2024.htm