

Rīgas Tehniskā universitāte

VIDES MODELĒŠANAS

CENTRS

**Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa
LAMO4 pielietošana piesārņojuma
kustības prognozei un analīzei**

*Piesārņojuma koncentrācijas izmaiņu
aprēķins*

*Latvijas vides aizsardzības fonda projekts
(reģistrācijas numurs: 1-08/58/2022),*

kuru īsteno Rīgas Tehniskās universitātes

Vides modelēšanas centrs

Projekta informatīvais pārskats

Rīga – aprīlis, 2023

Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 pielietošana piesārņojuma kustības prognozei un analīzei

Piesārņojuma koncentrācijas izmaiņu aprēķins

Projekta informatīvais pārskats par 2. etapu

Atskaitē ir aprakstīta uz reljefa virsmas nonākušā ūdenī šķīstošā piesārņojuma kustības modelēšanas simulācija visai Latvijas teritorijai, un tālāka iegūto datu matemātiska apstrāde. Ar iegūtiem datiem izveidotas LAMO4 mezglu datu tabulas, kas satur informāciju ar laiku un piesārņojuma koncentrāciju kvartāra Q2 un pamatiežu slānī.

Pārskatā kopā ir 18 lappuses, 8 attēli un 3 tabulas.

Zin. vadītājs Dr.math. I. Eglīte, RTU VMC

Izpildītāji: Mg.sc.ing. I. Lāce, Mg.sc.ing. K. Krauklis

Adrese:

Rīgas Tehniskā universitāte, Vides modelēšanas centrs

Zunda krastmala 10 , Rīga, LV-1048, Latvija

Tālr. +371 22023316, +371 67089511

E-pasts: Irina.Eglite@rtu.lv

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

Saturs

1	Ievads.....	2
2	LAMO4 uzbūve.....	3
3	MT3D datu modelis.....	4
4	Modelēšanas eksperimentu gaita.....	6
5	Modelēšanas rezultāti	8
6	Modelēšanas rezultātu apstrāde	11
7	Rezultātu tabula	13
8	Secinājumi	15
9	Literatūras saraksts	16

1 Ievads

Latvijas reģionālais hidroģeoloģiskais modelis LAMO ar tā izstrādē iekļautiem LGIA, LVGMC un zinātniskā literatūrā iegūtiem datiem kopā ar modelēšanas rezultātā iegūto apraksta pazemes ūdens plūsmu, tās gada vidējās vērtības ikvienā valsts teritorijas daļā. Tā kā Groundwater Vistas [1] modelējošā vide satur apjomīgu modelēšanas līdzekļu kopu ne tikai ūdens plūsmas matemātiskam aprēķinam, bet arī tajā nonākušā piesārņojuma izplatības modelēšanai. Esošā projekta ietvaros tiek mēģināts atbildēt uz jautājumiem par piesārņojuma kustības virzienu, izplatības ātrumu un piesārņojuma koncentrācijas izmaiņām.

Otrā etapa ietvaros tiek noteikts:

1. piesārņojuma pirmā kontakta laiks ar kvartāra slāni, tieši vai dispersijas rezultātā;
2. piesārņojuma pirmā kontakta laiks ar pamatiežu (modeļa D3ktl) slāni, tieši vai dispersijas rezultātā;
3. ievērojamas piesārņojuma koncentrācijas sasniegšanas laiks kvartāra slānim, tieši vai dispersijas rezultātā;
4. ievērojamas piesārņojuma koncentrācijas sasniegšanas laiks pamatiežu slānim, tieši vai dispersijas rezultātā.

Ņemot vērā LAMO reģionālo dabu, reālais piesārņojuma kustības virziens un laiks var atšķirties. Tomēr, piesārņojumam nonākot virszemē, iegūtie modelēšanas rezultāti sniegtu sākotnējo prognozi par tā tālāko izplatību. Modelēšanas rezultāti tiek apkopoti ikvienai Latvijas vietai ik pēc 250 metriem. Modelēšanā netiek iekļautas vietas, kurās LAMO4 modelī atrodas jūra, upes vai ezeri, t.i. hidrogrāfiskais tīkls, ūdens kustība tajā netiek pētīta ar esošiem modelēšanas līdzekļiem.

Otrajā etapā veikta MT3D [2] simulācija. Tā tiek lietota piesārņojuma kustības koncentrāciju izmaiņu un piesārņojuma masas izmaiņu aprēķinam. Iegūtiem rezultātiem ar izstrādātās programmatūras palīdzību tika iegūti dati par laiku, kas ir nepieciešams, lai katrā atsevišķā LAMO modeļa šūnā kvartāra un pamatiežu slāņos tiktu sasniegta uzdotā piesārņojuma koncentrācija.

Kopumā, šajā etapā ietverti – MT3D modeļa izveide un simulācija, datu apkopošanai nepieciešamās pētnieciskās datorprogrammas izstrāde un pielietojums, un iegūto datu imports MS ACCESS datu bāzē.

2 LAMO4 uzbūve

Latvijas reģionālais hidroģeoloģiskais modelis LAMO, tā 4 versija ir vispilnīgākā datu krātuve par ģeoloģisko slāņu ģeometriju un filtrācijas īpašībām, pazemes ūdens līmeņiem un plūsmām, pazemes un virszemes ūdens (upju, ezeru, jūras) mijiedarbību. LAMO modelis apraksta gada vidējos Latvijas hidroģeoloģiskos apstākļus un modelē aktīvo pazemes dzeramā ūdens zonu. LAMO ietver 27 slāņus, no reljefa līdz D2pr slānim, skat. Tabula 2-1. Kopējais modeļa šūnu skaits $27 \times 1200 \times 1800 = 61.56$ miljoni šūnu, no kurām aktīvajā zonā ir aptuveni puse. Vairāk par LAMO mājaslapā http://www.emc.rtu.lv/lamo_lv.htm un modelim veltītās publikācijās [3] [4].

Tabula 2-1. LAMO4 vertikālā stratigrāfija

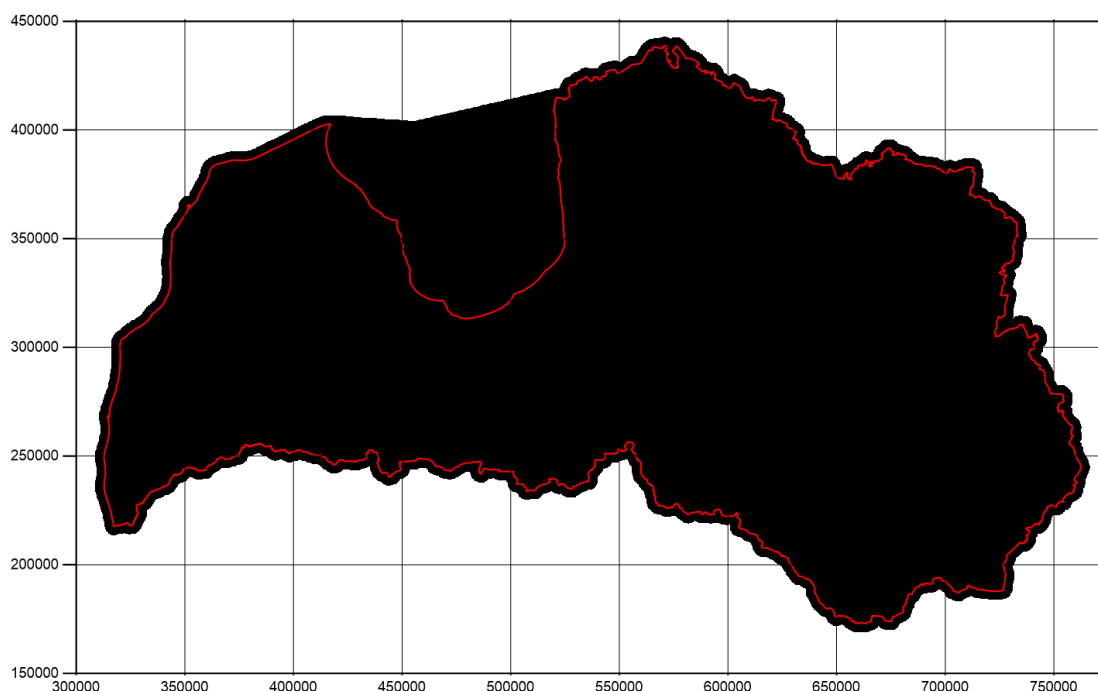
HM slāņa Nr.	*	Slāņa nosaukums	HM slāņa kods	Laukums, tūkst. km ²	m_{vid} , m
1		Reljefs	relh	71,29	0,02
2		Aerācijas zona	aer	71,29	0,02
3		Bezspiediena kvartārs	Q2	71,29	5,77
4		Augšējā morēna	gQ2z	71,29	22,20
5		Spiediena kvartārs	Q1#	7,4	6,13
6		Apakšējā morēna	gQ1#z	9,7	9,3
7		Ketleru	D3ktl#	5,32	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	D3gj2z	48,80	11,62
19		Upper Gauja	D3gj2	50,92	26,34
20		Lower Gauja	D3gj1z	53,11	13,17
21		Lower Gauja	D3gj1	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

3 MT3D datu modelis

Piesārņojuma kustības modelēšanai ir nepieciešama datu kopa – piesārņojuma koncentrācijas skaitliskas vai procentuālas vērtības atsevišķās modeļa šūnās vai veselās virsmās. Tāpat, piesārņojumu ir iespējams uzdot kā sākotnējo, t.i., tādu, kas laika gaitā izskalojas un pazūd no piesārņojuma vietas, vai arī kā konstanto, t.i., tādu, kas atrodas izvēlētajā vietā, nepazūd, nepārtraukti kalpojot par piesārņojuma avotu apkārtējai videi. Papildus būtu iespējams piešķirt piesārņojumam ķīmisko reakciju iespējamību, kur laika gaitā sākotnējā piesārņojošā viela ķīmiski sadalās, atstājot dabā nekaitīgus ķīmiskus savienojumus.

Ņemot vērā to, ka tika plānota piesārņojuma kustības modelēšana kādam nenoteiktam uz zemes izlijušam ūdenī šķīstošam piesārņojumam, kura daudzums un ķīmiskais saturs nav zināms, modelēšanas eksperimenta vajadzībām tika pieņemti sekojoši lēmumi attiecībā uz piesārņojošo vielu MT3D modelī:

1. Vielas koncentrācija tiek uzdota un mērīta procentuāli, piešķirot piesārņojuma avotam koncentrāciju 100% apmērā.
2. Piesārņojums tiek izvietots konstantas koncentrācijas veidā reljefa slānī visai Latvijas teritorijai modelī, ieskaitot hidrogrāfiskā tīkla objektos (jūra, upes un ezeri), skat. 3.1. att.
3. Piesārņojums ķīmiski nesadalās.



3.1. att. Konstants piesārņojums visā LAMO aktīvā zonā, reljefa slānis

Iespējams, ka no iekļautajiem punktiem diskutabla būtu piesārņojuma izvietošana uz hirogrāfiskā tīkla. Tā kā piesārņojums šajās šūnās praktiski momentāni tiek pārtverts ar hidrogrāfiskā tīkla piesaistes robežnoteikumiem, tad praktiskas nozīmes tam nav. Ņemot vērā projekta izpildes pirmā etapa pieredzi tika pieņemts lēmums izņemt no galarezultāta datus par piesārņojuma kustību hidrogrāfiskā tīklā pēc modelēšanas simulācijas veikšanas ar atsevišķas šim etapam izstrādātas datorprogrammas starpniecību. Pretējā gadījumā vajadzētu vēl vienu datorprogrammu vai Excel vides VBA skriptu.

4 Modelēšanas eksperimentu gaita

Pirmie mēģinājumi darbināt MT3D modeli LAMO vidē izrādījās neveiksmīgi. Diemžēl, modeļa sadalīšana vairākos apakšmodeļos, mēģinājumi konstantās koncentrācijas vietā izmantot sākotnējo, tāpat, piesārņojuma apgabala samazināšana līdz dažām šūnām modelī, mēģinājumi piesārņojumu ievietot slānī, kas ir zemāk par reljefu (kvartārā vai aerācijas zonā) – visi šie mēģinājumi cieta neveiksmi, modelējošā vide izbeidza simulāciju pirms vēl tā bija uzsākusi aprēķinu. Tika atklāts, ka MT3D modelējošā programma atsāk simulācijas pie mazāka slāņu skaita modelī. LAMO4 gadījumā pirmā strādājošā versija parādījās, kur LAMO modeļa 27 slāņu vietā tika atstāti augšējie 17 slāņi, vienlaicīgi fiksējot ūdens līmeņus robežnoteikumu veidā 17 slānim (D3am) no pilnās 27 slāņu LAMO versijas. Ņemot vērā to, ka modelēšanas simulācijā pamatiežu virsma atrodas 7 slānī (D3ctl), tad situācijā, kur piesārņojums izplatās no augšas, no 1 slāņa (relh) līdz 17 slānim un, iespējams, dziļāk, tad piesārņojuma koncentrācijas izmaiņas 3 un 7 slānī abās modeļa versijās būtu identiskas. Dati par piesārņojuma kustību slāņos 18-27 netiek apskatīti esošā projekta ietvaros, tāpat arī piesārņojuma nogrimšanas līdz dziļākiem slāņiem ar tālāku pārvietošanos augšpus – līdz kvartāra un pamatiežu slāņiem pie pieejamām skaitļošanas jaudām un laika limita, nav realizējamas. Ņemot vērā to, ka izmantotā skaitļošanas darbstacija modelēšanas aprēķinu veikšanai patērēja 1 gada piesārņojuma kustības modelēšanai līdz pat 2 dienām, tad pilns cikls, kad piesārņojums nogrimst un atgriežas augšpus, var ilgt arī 30000 gadu.

Piesārņojuma modelēšanas rezultātu apstrādei ir nepieciešams rezultātu – piesārņojuma koncentrācijas virsmu eksports 3 (Q2) un 7 (D3ctl) slānim ar uzdotu laika intervālu. Sākotnēji, mēģinājums saglabāt modelēšanas datus par katru simulācijas dienu izrādījās nerealizējams datortehnikas resursu ierobežojumu dēļ. Līdz ar to tika saglabāti:

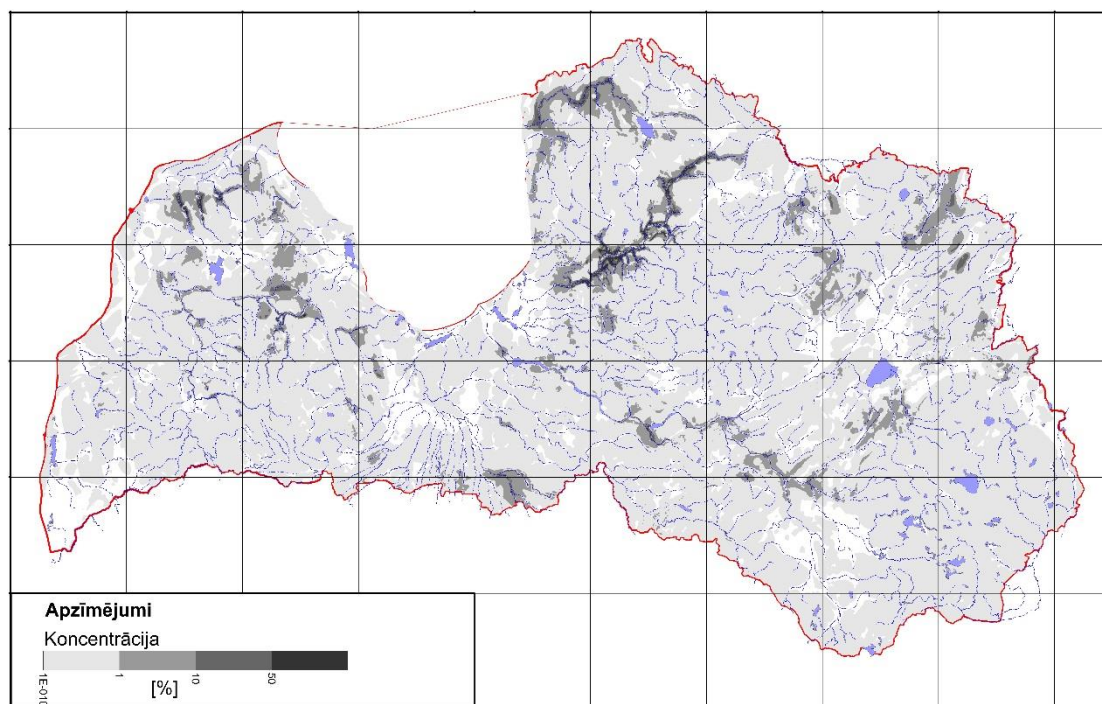
1. Dati par koncentrāciju katrai dienai pirmos trīs mēnešus.
2. Dati par koncentrāciju katrai nedēļai pirmos trīs gadus.
3. Dati par koncentrāciju katram mēnesim pirmos 15 gadus.

Šādu apjomīgu modelēšanas uzdevumu MT3D risināšanas modulis spēja atrisināt līdz 15.5 gadiem jeb 5640 dienām. Par šo laika periodu tika saglabāti 387 koncentrācijas virsmu faili kvartāra (Q2) un pamatiežu (D3ctl) slāņiem, kopā $387 \times 2 = 774$ faili, jeb 40.8 GB teksta failu datu.

Trešā etapa ietvaros tiks salīdzinātas pirmā etapa traseru datu rezultāti ar esošajiem piesārņojuma koncentrācijas datiem no otrā etapa. Gadījumā, ja būs novērojama jūtama nesakritība, otrais etaps tiks pārrēķināts atkārtoti, veicot MT3D simulāciju uz pilna, 27 slāņu LAMO4 modeļa. Uz esošā etapa izstrādes beigām ir atrasts risinājums, kā šādu simulāciju veikt, līdz ar to simulācija būs tehniski iespējama.

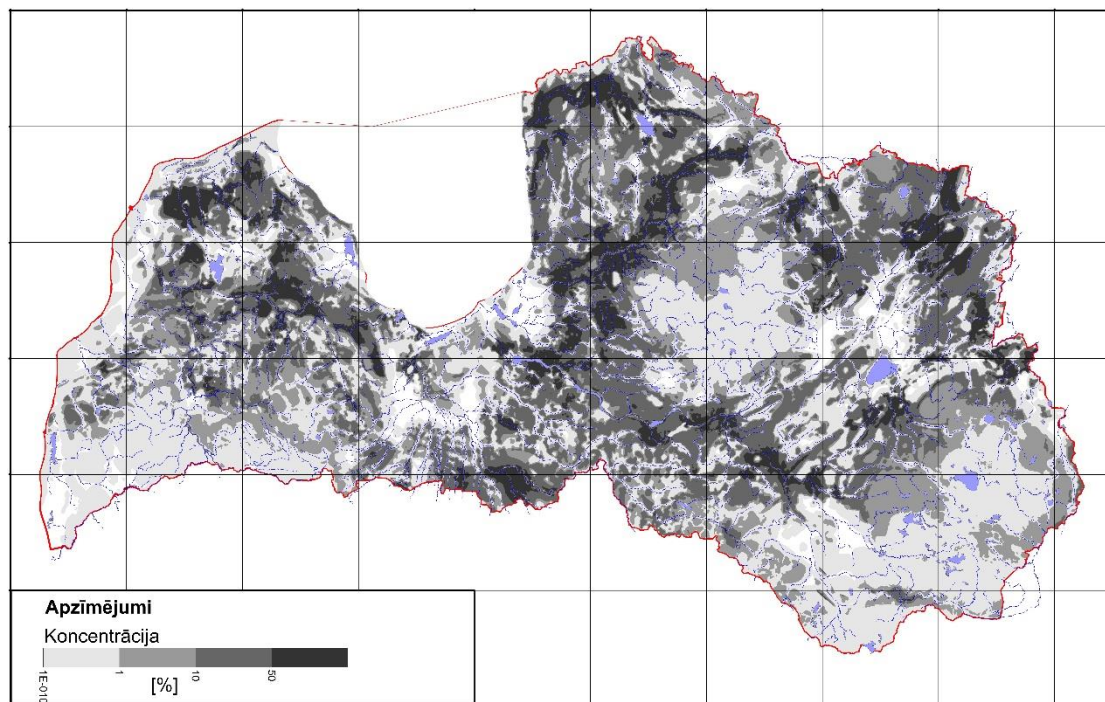
5 Modelēšanas rezultāti

Pamata modelēšanas rezultāti ir piesārņojuma koncentrāciju kartes katrai izvēlētai dienai kvartāra (Q2) un pamatiežu (D3ctl) slānim. Lai novērtētu kopējās piesārņojuma kustības tendences, tiks apskatītas dažas no piesārņojuma kartēm.

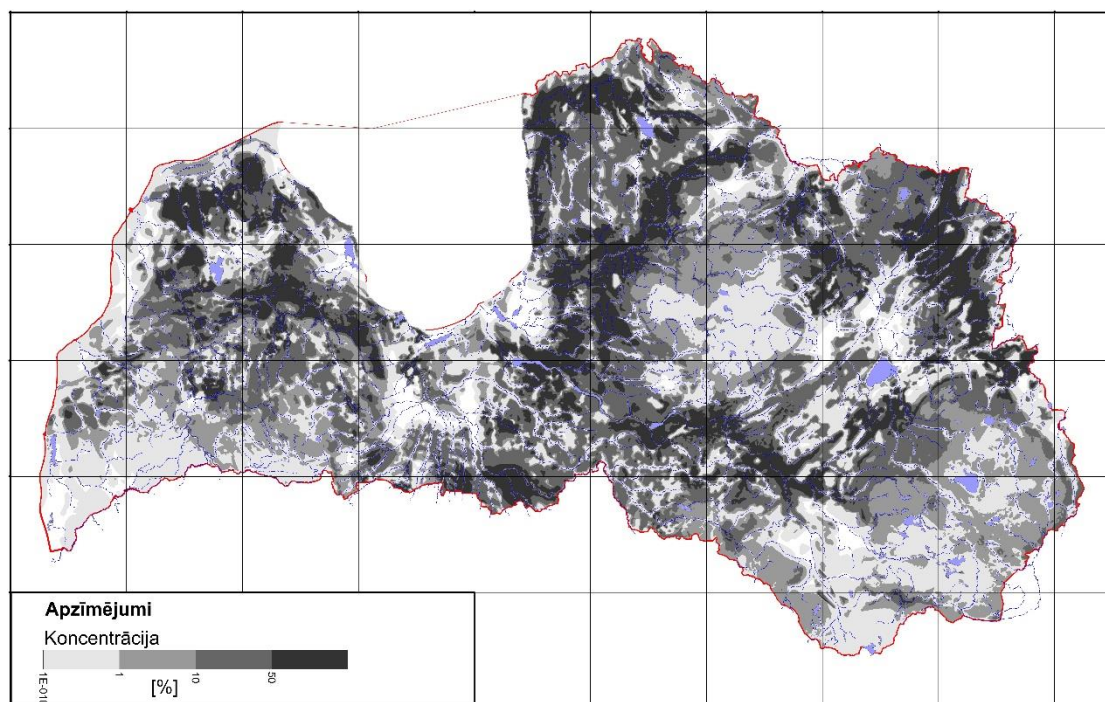


5.1. att. Piesārņojuma koncentrācija pamatiežos procentuāli, aprēķins pēc 1 gada

Apskatot kartes 5.2. att. un 5.3. att. var secināt, ka pamatiežu ūdens tīrību ievērojami ietekmē kvartāra Q1 apgabalu esamība. Praktiski visi redzamie apgabali Latvijas teritorijā, kur ir modelēšanas eksperimentos piesārņojuma koncentrācijas apmērs ir mazāks par 1% ir vietās, kur eksistē Q1 slānis, kas būtu uzskatāmas par drošākām dzeramā ūdens ieguves ziņā. Savukārt, redzamās piesārņotās teritorijas 5.1. att. parāda tos nedaudzus apgabalus, kur pamatiežu pazemes ūdens aizsargātība uzskatāma par vāju. Visas trīs kartes kopumā indicē pamatiežu pazemes ūdens piesārņojuma potenciāli drošas un potenciāli nedrošas vietas Latvijā.

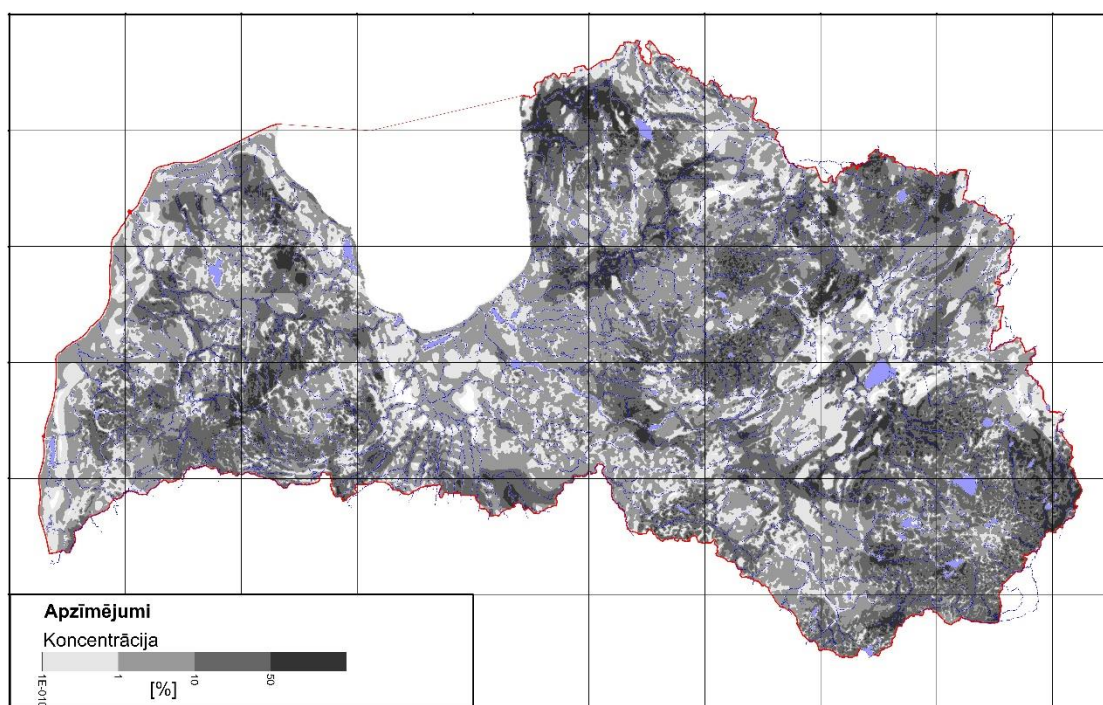


5.2. att. Piesārņojuma koncentrācija pamatiežos procentuāli, aprēķins pēc 10 gadiem

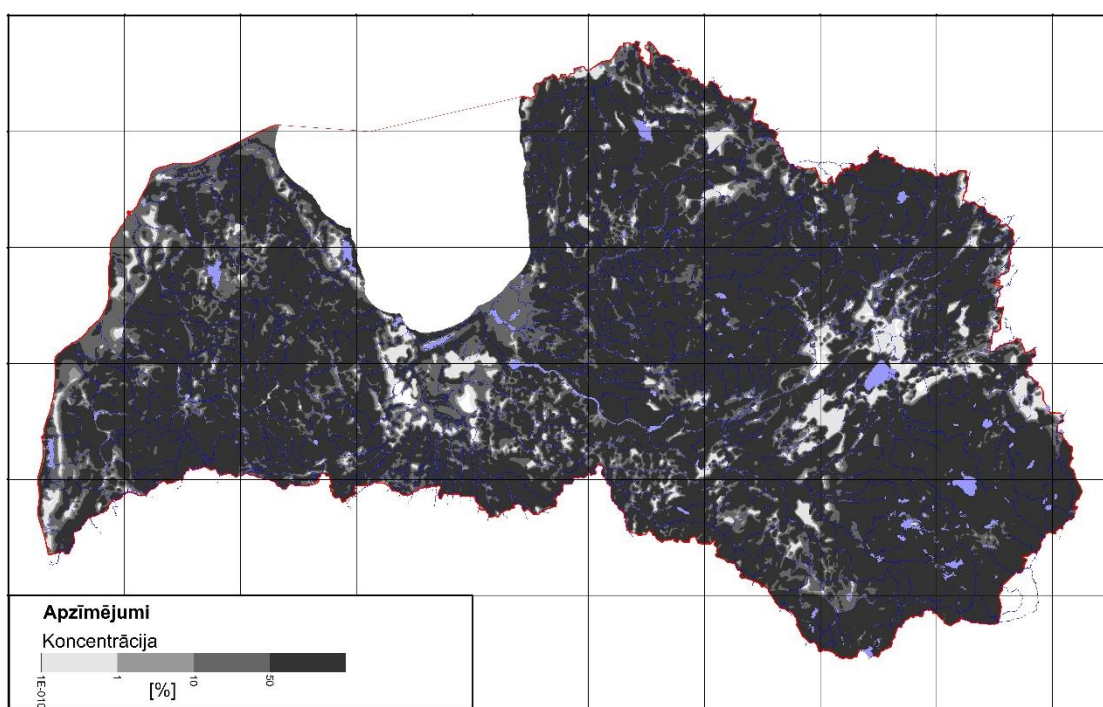


5.3. att. Piesārņojuma koncentrācija pamatiežos procentuāli, aprēķins pēc 15 gadiem

Līdzīgi ir ar piesārņojuma kustību kvartāra slānī (Q2). Atbilstoši piesārņojuma koncentrācijai kvartārā pēc viena (5.4. att.) un pēc 10 gadiem (5.5. att.), var secināt, ka pamatā Latvijas teritorijā kvartāra pazemes ūdeņi ir vāji aizsargāti.



5.4. att. Piesārņojuma koncentrācija kvartārā procentuāli, aprēķins pēc 1 gada



5.5. att. Piesārņojuma koncentrācija kvartārā procentuāli, aprēķins pēc 10 gadiem

6 Modelēšanas rezultātu apstrāde

Kopējo apstrādājamo datu apjomu sastāda piesārņojuma koncentrācijas kartes kvartāra un pamatiežu slāņiem izvēlētajā laikā – katrai dienai modelēšanas simulācijas 90 dienās, katrai nedēļai modelēšanas simulācijas 3 gados un katrām 30 dienām modelēšanas simulācijas 15.5 gados. Šāda sadalījuma iemesls ir lielais saglabāto datu apjoms. Gadījumā, ja modelī saglabā datus ar simulācijas rezultātiem par 1 atsevišķu dienu, tajā iekļaujas bināri dati par aptuveni 200 MB, līdz ar to pirmās 90 dienu rezultējošais piesārņojuma datu fails satur aptuveni 18 GB datu, kuru elementārai apskatei ir vajadzīgs dators ar ievērojamu operatīvās atmiņas daudzumu. Pārejot uz XYZ teksta formāta failiem (774 gab.), kas satur tikai piesārņojuma koncentrācijas virsmas par interesējošiem diviem slāņiem, kopumā pārsniedz 40 GB. Failu eksports no modelējošās sistēmas noris manuāli, savukārt, pāreja no datu binārā formāta uz teksta XYZ – ar skripta palīdzību.

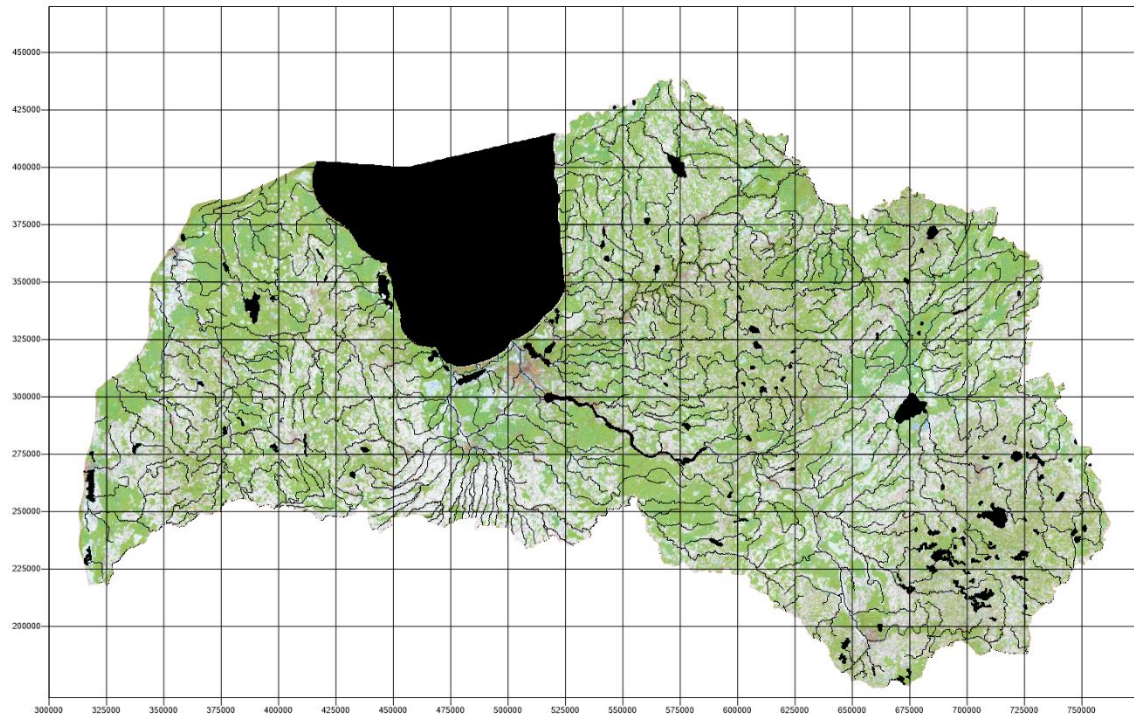
Uzdevuma izpildei datu apstrādē ir jāpanāk sekojošu datu izdalīšana:

1. Laiks, kad piesārņojuma koncentrācijas vērtība pirmo reizi pārsniedz 0% katrā šūnā kvartāra (Q2) un pamatiežu (D3ctl) slāņos.
2. Laiks, kad piesārņojuma koncentrācijas vērtība pirmo reizi pārsniedz 1% katrā šūnā kvartāra un pamatiežu slāņos.
3. Laiks un maksimālās piesārņojuma koncentrācijas vērtība visā simulācijas periodā katrai šūnai kvartāra un pamatiežu slāņos.

Viennozīmīgi ir nosakāms piesārņojuma nonākšanas laiks izvēlētajā slānī, savukārt, kritērijs “ievērojama koncentrācija” mainās no vienas uz otru. Līdz ar to vienas konstantas koncentrācijas vērtības vietā tiek izmantotas divas – 1% un maksimālā sasniegtā. Šie dati ļauj labāk saprast piesārņojuma koncentrācijas izmaiņu dinamiku no piesārņojuma parādīšanās brīža modeļa slānī.

Modelēšanas rezultātu apkopošanai un papildināšanai tika izstrādāts automatizācijas līdzeklis Fortran (Intel Visual Fortran) programmēšanas valodā sastādīta datorprogramma. Visi tālāk aprakstītie rezultāti iegūti, izmantojot šo automatizāciju. Datorprogramma realizē augstāk minēto datu izdalīšanu secīgi, pa saglabātām dienām caurskatot Q2 un D3ctl slāņiem saglabātos datus. Ņemot vērā to, ka eksportētā XYZ failā nav paredzēti dati par slāņa numuru un modelēšanas dienas numuru, tad šī, nepieciešamā informācija tiek iekodēta faila nosaukumā. Līdz ar to,

datorprogrammai informācija par slāņa numuru un modelēšanas dienu tiek iesūtīta ar faila nosaukumu, kas tālāk tiek dekodēts. Pēc visu failu caurskatīšanas, pirms saglabāt rezultējošo datu tabulu, tiek atsijātas tās šūnas, kuru sākuma atrašanās koordinātes sakrīt ar upju, ezeru vai jūras modeļa piesaistes koordinātēm (6.1. att.).



6.1. att. Atsijātās modeļa šūnas, melno punktu kopa uz kartes

7 Rezultātu tabula

Izstrādātā datorprogramma izvada teksta failu ar atbilstoši uzdevumam atrastiem datiem, skat. Tabula 7-1. Apskatot pirmo tabulas ierakstu, redzams, ka jau 1 dienas laikā piesārņojums šajā šūnā sasniedz kvartāra slāni un arī pamatiežu slāni. Savukārt, piesārņojuma koncentrācija, kas pārsniedz 1%, kvartāra slānī tiek sasniegta 238 dienā, savukārt, pamatiežu slānī šāda piesārņojuma koncentrācija netiek sasniegta arī 15.5 gadu laikā. Novērtējot maksimālo piesārņojuma koncentrāciju apskatāmā šūnā pēc 15.5 gadiem, tad kvartāra slānī tā sasniedz 94%, bet pamatiežu slānī tā sasniedz 0.000008%.

Tabula 7-1. Daži ieraksti ar modelēšanas rezultātiem no rezultējošā datu faila

x	y	sākd3	sākd7	ievd3	ievd7	maxk3	maxkd3	maxk7	maxkd7
662500	173000	1	1	238	0	9.41E+01	5640	7.85E-06	5640
663250	173000	1	0	112	0	9.57E+01	5640	0.00E+00	0
658500	173250	1	1	371	0	9.04E+01	5640	2.49E-02	5640
658750	173250	1	1	756	0	7.78E+01	5640	8.66E-03	5640
659000	173250	1	1	511	0	9.06E+01	5640	1.65E-02	5640
659250	173250	1	1	350	0	9.67E+01	5640	2.14E-02	5640
659500	173250	1	1	287	0	9.68E+01	5640	8.46E-03	5640
659750	173250	1	1	203	0	9.68E+01	5640	4.51E-03	5640

Esošā etapā iegūtie piesārņojuma koncentrācijas izmaiņu dati ar Excel VBA skripta palīdzību tika apvienoti ar pirmajā etapā iegūtajiem traseru datiem un importēti MS ACCESS datubāzē (skat. Tabula 7-2.), kas ir lejupielādējama no failu servera, adrese pievienota atskaiti pavadošajā vēstulē. Tabulas lauku apraksts dots 7.1. att. Ņemot vērā to, ka lietotāja interaktīvas WEB saskarnes izveide ir paredzēta šī projekta ceturtā etapā, esošā izstrāde pagaidām ir tikai ACCESS datu bāzes formā bez papildus lietotāja saskarnes ērtai atsevišķa ieraksta apskatei. WEB saskarnes izstrādes laikā ikviens atsevišķs ieraksts ar programmatūras līdzekļiem tiks transformēts par tabulu, kā tas tika darīts VMC izpildītā LVAF projekta laikā 2021 gadā [5].

Tabula 7-2. Pirmā un otrā projekta etapa apvienotās tabulas ACCESS datubāzē

x tālrunis	y tālrunis	ceļojanas la	dzīšanas slā	ierka slāna	ierka vieta	x galapunkts	y galapunkts	laiks sasnie	x sasniedzot	y sasniedzot	laiks sasnie	piesārņojun	piesārņojun	piesārņojun	piesārņojun	piesārņojun	piesārņojun
662500	173000	0	3	1 nav	662749	173139	0	0	0	0	0	1	1	238	0	94.085899	0.0000078522
663250	173000	0	3	1 nav	663486	172922	1	0	0	0	0	1	0	112	0	95.709473	0
658500	173250	0	3	1 nav	658500	173250	0	0	0	0	0	1	1	371	0	90.352386	0.024939138
658750	173250	0	3	1 nav	658750	173250	0	0	0	0	0	1	1	756	0	77.834229	0.088663897
659000	173250	0	3	1 nav	659000	173250	0	0	0	0	0	1	1	511	0	90.589897	0.016535902
659250	173250	0	3	1 nav	659250	173250	0	0	0	0	0	1	1	350	0	96.665863	0.021357985
659500	173250	0	3	1 nav	659500	173250	0	0	0	0	0	1	1	287	0	96.770581	0.008456765
659750	173250	0	3	1 nav	659750	173250	0	0	0	0	0	1	1	203	0	96.758072	0.004508637
660000	173250	0	3	1 nav	660000	173250	0	0	0	0	0	1	1	203	0	96.629173	0.001045672
660250	173250	0	3	1 nav	660250	173250	0	0	0	0	0	1	1	217	0	96.499474	0.004451775
660750	173250	0	3	1 nav	660750	173250	0	0	0	0	0	1	1	266	0	97.14415	0.000407635

Piesārņojums		
Field Name	Data Type	
x sākuma	Number	šūnas x koordināte
y sākuma	Number	šūnas y koordināte
ceļošanas laiks	Number	kopējais trasera ceļošanas laiks dienās
dziļākais slānis	Number	trasera dziļākais sasniegtais slānis
mērķa slāņa nr	Number	slānis, kurā trasē beidz eksistēt
mērķa vieta	Short Text	ežera, upes nosaukums, kur trasē beidza savu eksistenci
x galapunkts	Number	trasera beigu punkta x koordināte
y galapunkts	Number	trasera beigu punkta y koordināte
laiks sasniegtot Q2	Number	trasē nepieciešamais laiks dienās, lai sasniegtu kvartāra slāni
x sasniegtot pamatiežus	Number	trasera x koordināte sasniegtot pamatiežus
y sasniegtot pamatiežus	Number	trasera y koordināte sasniegtot pamatiežus
laiks sasniegtot pamatiežus	Number	trasera laiks dienās sasniegtot pamatiežus
piesārņojuma koncentrācijas diena kvartārā virs 0%	Number	dienu skaits, kas nepieciešams, lai piesārņojums sasniegtu Q2 slāni
piesārņojuma koncentrācijas diena pamatiežos virs 0%	Number	dienu skaits, kas nepieciešams, lai piesārņojums sasniegtu D3ktl slāni
piesārņojuma koncentrācijas diena Q2 virs 1%	Number	dienu skaits ievērojamas piesārņojuma koncentrācijas sasniegšanai Q2 slāni
piesārņojuma koncentrācijas diena D3ktl virs 1%	Number	dienu skaits ievērojamas piesārņojuma koncentrācijas sasniegšanai D3ktl slāni
piesārņojuma koncentrācija Q2 pēc 15 gadiem	Number	piesārņojuma koncentrācijas %, kas tiek sasniegti kvartāra slāni, nepārtraukti piesārņojot zemes virsmu
piesārņojuma koncentrācija D3ktl pēc 15 gadiem	Number	piesārņojuma koncentrācijas %, kas tiek sasniegti pamatiežus, nepārtraukti piesārņojot zemes virsmu

7.1. att. Apvienoto tabulu kolonnu virsraksti un to skaidrojums

8 Secinājumi

Projekta otrā etapā “Piesārņojuma koncentrācijas izmaiņu aprēķins” atbilstoši darba uzdevumam realizēti sekojoši punkti:

1. Aprēķināts piesārņojuma pirmā kontakta laiks ar kvartāra slāni, tieši vai dispersijas rezultātā.
2. Aprēķināts piesārņojuma pirmā kontakta laiks ar pamatiežu slāni, tieši vai dispersijas rezultātā.
3. Aprēķināts ievērojamas piesārņojuma koncentrācijas sasniegšanas laiks kvartāra slānim, tieši vai dispersijas rezultātā;
4. Aprēķināts ievērojamas piesārņojuma koncentrācijas sasniegšanas laiks pamatiežu slānim, tieši vai dispersijas rezultātā.
5. Vairāk kā 1. milj. tabulu apkopojums MS ACCESS datubāzē. Iepriekšējā etapā izstrādātās tabulas papildinātas to ar punktos 1.-4. minēto informāciju. Datu bāzē viens ieraksts atbilst datiem par ūdenī šķīstošā piesārņojuma kustību vienai LAMO modeļa režģa šūnai.

9 Literatūras saraksts

- [1] Groundwater Modeling Software, ESI Software, 2022. [Tiešsaiste]. Pieejams: https://www.groundwatermodels.com/ESI_Software.php.
- [2] Bedekar, Vivek, Morway, E.D., Langevin, C.D., and Tonkin, Matt, MT3D-USGS version 1: Groundwater Solute Transport Simulator for MODFLOW, U.S. Geological Survey release, 2016.
- [3] Spalviņš, A., Krauklis, K., Lāce, I., Mačāns, A., Šķibelis, V., Eglīte, I., Goldbergs, L., Aleksāns, O., Tabaka, I., Šlangens, J. Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 lietošana vides problēmu risināšanai. No: *Latvijas ekosistēmu dinamika klimata ietekmē*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 2018. 81.-87.lpp. ISBN 978-9934-18-381-2.
- [4] Spalviņš, A., Krauklis, K., Lāce, I., Aleksāns, O. Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO izveidošana, izmantošana un pilnveidošana. *Boundary Field Problems and Computer Simulation*, 2018, Vol. 57, 5.-14.lpp. ISSN 2255-9124. e-ISSN 2255-9132. Pieejams: doi:10.7250/bfpcs.2018.001.
- [5] Vides Modelēšanas centrs, Projekts “Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 pilnveidošana un tā rezultātu publiskošana”, [Tiešsaiste]. Pieejams: http://www.emc.rtu.lv/LVAF_2021.htm.