

Rīgas Tehniskā universitāte
VIDES MODELĒŠANAS
CENTRS

Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa hidroģeoloģiskais datormodelis

Gala atskaite

Pakalpojuma līgums Nr.03000-3.1.2.2-e/9

starp PS “Inčukalns Eko” biedru SIA “EKO OSTA”

un

Rīgas Tehnisko universitāti

Rīga – Aprīlis, 2020

Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa hidroģeoloģiskais datormodelis

Atskaitē apkopoti datormodelēšanas rezultāti par sintētisko virsmas aktīvo vielu (SVAV) migrāciju pazemes ūdenī no Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa. Zinātniskais pētījums veikts Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centrā, īstenojot darba uzdevumu, atbilstoši līgumam starp RTU un PS “Inčukalns Eko” biedru SIA “EKO OSTA”.

Atskaitē ir 68 lpp. no tām 22 lpp. teksts, 39 lpp. attēli un 7 lpp. pielikumi

Zin. vadītājs Dr.sc.ing. A.Spālviņš, VMC, Aprīlis 2020.,

Izpildītāji: I. Lāce, K. Krauklis, V. Škibelis, A. Mačāns, I. Eglīte

Adrese:

Rīgas Tehniskā universitāte, Vides modelēšanas centrs

Daugavgrīvas ielā 2, Rīga, LV-1083, Latvija

Tālr. +371 67089511; 26551154

E-mail: Aivars.Spalvins@rtu.lv

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

Zin. vadītājs un redaktors:

 A.Spālviņš

Saturs

1. Priekšvārds	6
2. Piesārņojuma sākuma koncentrācija un masa Kuartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2.....	8
3. Piesārņojuma migrācijas prognoze nulles sanācijas scenārijam	
3.1. Prognoze nulles scenārijam Kuartāra horizontā Q2	10
3.2. Prognoze nulles scenārijam Augšgaujas D3gj2 horizontā	11
4. Piesārņojuma migrācijas prognoze pēcsanācijas scenārijam	
4.1. Prognoze pēcsanācijas scenārijam Kuartāra horizontā Q2	11
4.2. Prognoze pēcsanācijas scenārijam Augšgaujas D3gj2 horizontā	13
5. Piesārņojuma koncentrācija pēcsanācijas scenārijam Kuartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2 pirmajos 2 un 30 gados	14
6. Piesārņotā pazemes ūdens sanācija	15
7. Hidroģeoloģiskā modeļa un modelēšanas metodikas apraksts	17
8. Rezultāti un secinājumi	20
9. Izmantotie informācijas avoti	21
Pielikumi	62

Attēli

1. Vispārīgie attēli

- 1.1.att. Hidroģeoloģiskā modeļa novietojums 2020.g.
- 1.2. att. Hidroģeoloģiskā modeļa laukuma izmaiņa 2020.g.

2. Sākotnējie SVAV koncentrāciju sadalījumi

- 2.1. att. Oriģinālais sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums D3gj21 horizontā [1]
- 2.2. att. Oriģinālais sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums Q2 horizontā [1]
- 2.3. att. Koriģētais sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums D3gj21 horizontā
- 2.4. att. Koriģētais sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums Q2 horizontā
- 2.5. att. SVAV koncentrāciju izmaiņas monitoringa urbemos Nr. 15 un Nr. 51E [1]

3. Piesārņojuma migrācijas prognoze nulles scenārijam

- 3.1. att. Prognoze nulles scenārijam Kuartāra horizontā Q2, ja nav SVAV sabrukšanas
- 3.1.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas $[g/m^3]$ izmaiņa Kuartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); nulles scenārijs
- 3.1.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas $[g/m^3]$ izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); nulles scenārijs

3.1.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-100 gadi); nulles scenārijs

3.1.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontos Q2 un D3gj2 un ieplūdei Gaujas upē, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs

3.1.5. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] horizontā D3gj2 un Gaujas upē no horizonta D3gj2; nulles scenārijs

3.1.6. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontos Q21 un D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs

3.2. Prognoze nulles scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gj21

3.2.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs

3.2.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana, $t_{0,5}=30$ gadi; nulles scenārijs

3.2.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana, $t_{0,5}=15$ gadi; nulles scenārijs

3.2.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21; nulles scenārijs

3.2.5. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21 nulles scenārijam un pēcsanācības scenārijam, ja nav SVAV sabrukšanas

3.2.6. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] ieplūde Gaujas upē no horizonta D3gj21 nulles scenārijam un pēcsanācības scenārijam, ja nav SVAV sabrukšanas

3.2.7. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] Gaujas upē no horizonta D3gj21 nulles scenārijam un pēcsanācības scenārijam, ja nav SVAV sabrukšanas

3.2.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontā D3gj21; nulles scenārijs

4. Piesārņojuma migrācijas prognoze pēcsanācības scenārijam

4.1. att. Prognoze pēcsanācības scenārijam Kvartāra horizontā Q2, ja nav SVAV sabrukšanas

4.1.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa Kvartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); pēc sanācības

4.1.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); pēc sanācības

4.1.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-100 gadi); pēc sanācības

4.1.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontos Q2 un D3gj2 un ieplūdei Gaujas upē, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības

4.1.5. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] Gaujas upē no horizonta D3gj2; pēc sanācības

4.1.6. att. Piesārņojuma masas izplūdes intensitāte [kg/dnn] un kopīgā masa [kg] horizontā Q2

4.1.7. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontos Q21 un D3gj23; pēc sanācijas

4.2. *Prognoze pēcsanācijas scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gj21*

4.2.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācijas

4.2.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0,5}=30$ gadi; pēc sanācijas

4.2.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0,5}=15$ gadi; pēc sanācijas

4.2.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21; pēc sanācijas

4.2.5. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] ieplūde Gaujas upē no horizonta D3gj21; pēc sanācijas

4.2.6. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] Gaujas upē no horizonta D3gj21; pēc sanācijas

4.2.7. att. Piesārņojuma kopīgās masas samazināšanās intensitāte [kg/dnn] horizontā D3gj21; pēc sanācijas

4.2.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontā D3gj21; pēc sanācijas

5. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos pēcsanācijas scenārijam pirmajos 2 un 30 gados

5.1. att. Monitoringa urbumu izvietojums Kwartāra horizontā Q2

5.2. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 1p, Nr. 2p, Nr. 3p un Nr. 34 Kwartāra horizontā Q2 pēcsanācijas scenārijam pirmajos 2 gados

5.3. att. Monitoringa urbumu izvietojums Augšgaujas horizontā D3gj2

5.4. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 71-1, Nr. 72-1 un Nr. 70-1 Augšgaujas horizontā D3gj2 pēcsanācijas scenārijam pirmajos 2 gados

5.5. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 1p, Nr. 2p, Nr. 3p un Nr. 34 Kwartāra horizontā Q2 pēcsanācijas scenārijam pirmajos 30 gados

5.6. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 71-1, Nr. 72-1, Nr. 70-1 Augšgaujas horizontā D3gj2 pēcsanācijas scenārijam pirmajos 30 gados

6. Piesārņotā pazemes ūdens sanācija

6. att. Pazemes ūdens attīrīšanas sistēmas izvietojuma plāns [10]

7. Hidroģeoloģiskā modeļa un modelēšanas metodikas apraksts

7.1. att. Modelī izmantotā reljefa [m vjl] izolīniju karte [8]

7.2. att. Kwartāra horizonta Q2 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte

7.3. att. Augšgaujas horizonta D3gj2 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte

7.4. att. Gaujas horizonta D3gj1 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte [8]

7.5. att. Kvartāra horizonta Q2 ūdens vadāmību [m²/dnn] karte

7.6 att. Augšgaujas horizonta D3gj2 ūdens vadāmību [m²/dnn] karte

Pielikumi

1. pielikums. Gruntsūdens stāvokļa novērtējums Augšgaujas horizontā D3gj2 Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa apkārtnē (2.7. tabula no [7])

2. pielikums. Pazemes ūdens stāvokļa novērtējums Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa apkārtnē (2.8. tabula no [7])

3. pielikums. SVAV koncentrāciju sadalījuma karte Augšgaujas ūdens horizonta apakšējā daļā D2gj21 Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu un Ziemeļu dīķa apkārtnē (2.2. att. no [7])

4. pielikums. Augšgaujas ūdens horizonta D3gj21 urbumu tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu un Ziemeļu dīķa apkārtnē (1.2. att. no [7])

5. pielikums. Gruntsūdens monitoringa tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa apkārtnē (1.3. att. no [7])

6. pielikums. Piesārņojuma diferenciācija Augšgaujas ūdens horizontā D3gj2 (2.2. att. no [10])

Atskaitē bieži izmantotie saīsinājumi un mērvienības

Saīsinājumi

RTU	Rīgas Tehniskā universitāte
VMC	Vides modelēšanas centrs
HM	Hidroģeoloģiskais modelis
MODFLOW.	Programmatūra hidroģeoloģiskā modeļa īstenošanai
MT3D	Programmatūra piesārņojuma procesu modelēšanai
MODPATH	Programmatūra ūdens daļiņu kustības modelēšanai
GV	Programmatūra Groundwater Vistas
x, y, z	Dekarta koordinātes 3D-telpā
m	Ģeoloģiskā slāņa biezums
k	Ģeoloģiskā slāņa filtrācijas koeficients
φ, ψ	Aprēķināti, fiksēti pazemes ūdens līmeņi
q	Ūdens plūsma
v	Infiltrācija ūdens horizontā
L	Laukums
V	Tilpums
M	Masa
C	Piesārņojošo vielu koncentrācija pazemes ūdenī
$t, t_{0.5}, t_{0.2}, t_C$	Laiks; laiki, kad piesārņojošās vielas masa, vielai sabrūkot, samazinās 2 reizes; masa samazinās 5 reizes; koncentrācija samazinās līdz $C < 0.2 \text{ g/m}^3$

Mērvienības

metrs (m),	x, y, m
metri virs jūras	φ, ψ, z
m/dnn	k
m^3/dnn	q
mm/gadā	v
$\text{metrs}^2, (\text{m}^2)$	L
$\text{metrs}^3, (\text{m}^3)$	V
kilograms (kg)	M
$\text{g/m}^3 = \text{mg/l}$	C
diennakts (dnn),	$t, t_{0.5}, t_{0.2}, t_C$

1. Priekšvārds

Atskaitē apkopoti veiktās datormodelēšanas rezultāti par SVAV migrāciju Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3g2 no Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa. Datormodelēšana veikta Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centrā (VMC), īstenojot darba uzdevumu [1], atbilstoši līgumam starp RTU un PS "Inčukalns Eko" biedru SIA "EKO OSTA".

Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķī sanācijas darbiem tika noteikti sekojoši mērķi, kas sanācijas darbu rezultātā ir sasniegti:

1. novērst turpmāku piesārņojošo vielu, īpaši sērskābā gudrona atkritumvielu emisiju no izgāztuves pazemes ūdeņos un turpmāku piesārņojuma izplatīšanos izgāztuvei piegulošās teritorijas gruntsūdeņos, virszemes ūdeņos (grāvjos), kā arī gruntī un augsnē;
2. uzlabot gruntsūdens, virszemes ūdens, kā arī augsnes un grunts kvalitāti bīstamo atkritumu izgāztuvei piegulošajā teritorijā līdz tādai pakāpei, ka netiek apdraudēta cilvēku veselība un vide, kā arī attiecīgo teritoriju iespējams izmantot noteiktai saimnieciskai darbībai atbilstīgi teritorijas attīstības plānam [14].

Veiktās Datormodelēšanas mērķis ir vides stāvokļa uzlabošanās novērtēšana veikto Ziemeļu gudrona dīķa sanācijas darbu rezultātā, tajā skaitā, veikto sanācijas darbu un to rezultātu apkopjoša uzskaitē, piesārņojuma ietekmes vizualizācija uz pazemes ūdeņu resursiem un Gaujas upi, kā arī SVAV migrācijas pazemes ūdeņos prognoze, esošo piesārņojuma areālu paplašināšanās un izkliešanās prognoze un piesārņojošo vielu noplūdes Gaujas upē prognoze diviem scenārijiem:

- nulles scenārijs - ja sanācijas darbi vispār netiktu veikti;
- pēcsanācijas scenārijs – ievērojot veiktos Ziemeļu dīķa sanācijas darbus.

Abiem scenārijiem norādītas pazemes ūdeņu SVAV piesārņojuma areāla izmaiņas Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3g2 5-6 laika posmiem, t.sk. šādiem piesārņojuma areāla attīstības robežposmiem:

- A. pašreizējais piesārņojuma areāls;
- B. piesārņojuma areāls, kad izšķīdušo SVAV masa samazināsies līdz 20% no sākotnējās;
- C. piesārņojuma areāls, kad visā tā teritorijā SVAV koncentrācija samazināsies līdz $0,2 \text{ g/m}^3$;
- D. stacionārais līdzsvara piesārņojuma areāls, kas izveidosies sakarā ar SVAV migrāciju no sarkofāga.

Abiem scenārijiem sagatavoti grafiki, kas rāda kopējās pazemes ūdeņos izšķīdušo SVAV masas izmaiņas laikā un SVAV koncentrācijas izmaiņas (hidrogrāfus).

Datormodelēšanas ietvaros ņemti vērā sekojoši Ziemeļu gudrona dīķī veiktie sanācijas darbi:

- Ziemeļu dīķa teritorijā smilts/gudrona maisījums izvests utilizācijai, savukārt piesārņotā grunts ekskavēta un novietota ar rievsienu ierobežotā laukumā. Rievsienu pārtrauc piesārņojošo vielu migrāciju Kvartāra horizontā Q2. Lai likvidētu atmosfēras nokrišņu nevēlamo ietekmi, izveidots pretinfiltrācijas pārklājums. Rievsienu un pārklājuma kopumu var nosacīti uzskatīt par sarkofāgu atlikušās piesārņotās grunts izolēšanai no apkārtējās vides;
- Augšgaujas horizontā D3g2 veikta pazemes ūdens sanācija 108 016 m^3 apmērā - piesārņotais ūdens izsūknēts no horizonta, attīrīts un novadīts atpakaļ horizontā.

Datormodelēšanas ietvaros ņemti vērā Ziemeļu gudrona dīķī veiktie sanācijas darbi. Sanācijas darbu ietvaros, lai minimizētu izgāztuves ietekmi uz apkārtējo vidi, neapdraudētu cilvēku veselību un būtu iespējams teritoriju atgriezt ekonomiskajā aprītē, izstrādātās un saskaņotās sanācijas programmas realizācijas rezultātā ir veikts pasākumu kopums:

- likvidēta Ziemeļu dīķa piesārņojuma atklātā avota tilpne ar kopējo tilpumu 7051 m³ (veikta piesārņojuma avota ekskavācija un utilizācija 7264,57 m³);
- izbūvēta rievsienu 461,77 m garumā, lai pārtrauktu piesārņojuma izskalošanos no izgāztuves;
- veikta pazemes ūdeņu sanācija, atsūknējot un attīrot piesārņoto ūdeni 110018 m³ (gan Augšgaujas horizonta, gan gruntsūdens);
- izveidots rekultivācijas segums un veikti teritorijas planēšanas darbi, nodrošinot teritorijas atgriešanu ekonomiskā aprītē (ekskavāciju vietu aizpildīšana ar dolomīta šķembām 8450m³, teritorijas pārsegšana ar dolomīta šķembām 26800m², teritorijas pārsegšana ar sanācijas pārklājumu 31325m²).

Datormodelēšanas ietvaros imitēta tikai mobilākā un videi bīstamākā piesārņojuma ingredienta SVAV migrācija

SVAV migrācija, jo, ņemot vērā sanācijas darbu ietvaros veiktā vides monitoringa rezultātus [7], pazemes ūdenī tikai SVAV koncentrācija pārsniedz 2002.gada 12.marta MK noteikumos Nr.118 "Noteikumi par virszemes un pazemes ūdeņu kvalitāti" noteikto robežlielumu.

Atbilstoši darba uzdevumam [1], VMC izmantoja Inčukalna dīķu teritorijas hidroģeoloģisko modeli (HM), kas izveidots uz HM 2016. gada versijas bāzes, samazinot tā teritorijas laukumu un koriģējot modeļa ģeoloģisko slāņu filtrācijas īpašības (skat. 1.1. att. un 1.2. att.).

Modelī ūdens horizonti Q2 un D3gj2 sadalīti trīs virtuālos ūdens horizontos. Atskaites tekstā reālajiem un virtuālajiem ūdens horizontiem izmantots vienkāršots nosaukums -horizonts.

Pazemes ūdenī izšķīdušā SVAV migrācija modelēta sistēmas Groundwater Vistas-7 (GV) vidē [2], kurā tiek izmantotas programmatūras MODFLOW (HM realizācija) [3] un MT3D (SVAV masas transporta prognozēšana) [4], un MODPATH (ūdens daļiņu kustības modelēšana) [5].

Modelēšanas sākuma datu sagatavošanai un rezultātu grafiskai attēlošanai izmantota programmatūra SURFER [6].

Pirmo reizi Inčukalna sērskābā gudrona dīķu izpētes laikā ir modelēts piesārņojuma masas transports 100 gados no Kvartāra horizonta Q2 (Ziemeļu dīķa teritorija) caur morēnu gQ līdz Augšgaujas horizontam D3gj2 un šajā horizontā līdz Gaujas upei. Noskaidrots, ka piesārņojums caur hidroģeoloģiskiem logiem morēnas slānī gQ sasniedz Augšgaujas horizontu D3gj2 jau pirmo 1-3 gadu laikā. Tāpēc modelēšanas eksperimentā piesārņojuma masa nākošos ~95 gadus Augšgaujas horizontā migrē uz Gaujas upi.

Kvartāra horizontam Q2 modelēšana visam masas transporta ceļam veikta bez SVAV sabrukšanas ietekmes novērtēšanas, jo piesārņojuma masas transporta laiks šajā horizontā ir daudzkārt mazāks par laiku Augšgaujas horizontā D3gj2, kurā modelēta SVAV sabrukšanas ietekme. Modelējošā programma GV nerealizē dabā novēroto SVAV sedimentāciju: D3gj23 → D3gj22 → D3gj21, tāpēc slānis D3gj23 izmantots SVAV masas transporta imitācijai slānī D3gj21.

Detalizēti modelēšanas rezultāti pirmajiem 20 gadiem Kvartāra un Augšgaujas horizontiem Q2 un D3gj2 izskaidro, kā Ziemeļu dīķa apkārtnes hidroģeoloģiskie apstākļi nosaka telpiski mainīgo piesārņojuma plūsmu caur morēnu gQ. Plūsma caur morēnu norisinās lielākoties caur hidroģeoloģiskajiem „logiem” (caurumiem morēnas slānī), kas nav atrasti „sarkofaga” teritorijā.

Modelēšanas rezultātiem par ūdenī izšķīdušās SVAV masas transportu ir kvalitatīvs raksturs, jo dati par reālo SVAV sākuma masu horizontos Q2 un D3gj2 ir neviennozīmīgi Latvijā un Čehijā noteikto C_{SVAV} atšķirību dēļ.

Nav informācijas par reālo SVAV emisijas intensitāti un tās samazināšanos laikā no piesārņotās grunts, kas atrodas horizontā Q2 Ziemeļu dīķa teritorijā (arī sarkofāgā). Tāpēc piesārņojuma emisija no grunts nav ņemta vērā. Ja būs pieejama informācija par emisijas procesu, tās ietekme tiks novērtēta turamākajos modelēšanas eksperimentos. Iespējams, ka pazemes ūdeņu pašattīrīšanās laiks būs lielāks par 70-90 gadiem, skaitot no datormodelēšanas veikšanas laika.

2. Piesārņojuma sākuma koncentrācija un masa Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2

Laikā no 2018.g. līdz 2019.g. piesārņojuma SVAV koncentrācijas pazemes ūdenī tika noteiktas vairākās laboratorijās Latvijā un arī Čehijas laboratorijā “ALS Czech Republic, s.r.o.”, kur noteiktās SVAV koncentrācijas bija būtiski lielākas par Latvijas laboratorijā noteiktajām [7].

Lai ievērotu visnelabvēlīgākos apstākļus, sākuma C -sadalījumi pazemes ūdenī horizontiem D3gj2 un Q2 (skat. 2.1. att. un 2.2. att.) iegūti, izmantojot Čehijas laboratorijas analīžu datus.

Oriģinālajiem sākuma C -sadalījumiem piemita viegli novēršami trūkumi, kas apgrūtināja to izmantošanu datormodelēšanā:

- nav definēta $C=0$ līnija, kas nepieciešama $C < 0.2 \text{ g/m}^3$ apgabala vizualizācijai;
- lielas punktveida C vērtības (urbumi Nr. 72-1 un Nr. 71-1, 2.1. att.; urbums Nr. 31, 2.2. att.), kas nav vēlamas datormodelēšanas sākuma datiem [4].

Kā sākuma dati modelēšanai izmantoti koriģēti C sadalījumi (skat.2.3. att. un 2.4. att.) ar šādiem uzlabojumiem:

- kā nosacīta $C=0$ robeža izmantota izolīnija $C=0.02 \text{ g/m}^3$;
- horizontos D3gj2 un Q2 ierobežotas maksimālās C vērtības: $C < 70 \text{ g/m}^3$ un $C < 170 \text{ g/m}^3$.

Oriģinālajos un koriģētajos C -sadalījumos piesārņotā areāla laukumus L un piesārņojuma masas M aprēķina, izmantojot SURFER [5] attiecībā pret $C = 0.05 \text{ g/m}^3$. Korekcija areāla laukumu neizmaina, bet nedaudz samazina piesārņojuma sākuma masu M (2% un 5% horizontiem D3gj2 un Q2). Dati par sākuma C -sadalījuma laukumu un masu apkopoti 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Oriģinālo un koriģēto sākuma koncentrāciju sadalījuma salīdzinājums

Horizonts	Laukums [ha]	Oriģinālā masa [kg]	Koriģētā masa [kg]	Masas samazinājums [%]
D3gj2	184.2	57.0×10^3	55.9×10^3	2
Q2	27.8	14.9×10^3	14.2×10^3	5

Attiecīgie koriģētie sākuma C -sadalījumi izmantoti horizonta Q2 slāņos Q21, Q22 un Q23 un horizonta D3gj2 apakšējā daļā D3gj21.

Nulles scenārija variantam kā fiksētas C_{const} avoti izmantoti šādi sākuma C -sadalījumi: horizontā Q2 ar rievsienu izolētajā laukumā (skat. 2.4. att.); horizontā D3gj21 apgalā $C > 30 \text{ g/m}^3$ līdz $y < 330600 \text{ m}$ (skat. 2.3. att.).

Piesārņojuma masas aprēķinam 2016.g. un 2020.g. izmantoti, attiecīgi, Latvijas un Čehijas laboratoriju dati par C_{SVAV}

Salīdzinošie dati par sākuma C -sadalījuma raksturlielumiem 2016. gadā un 2020. gadā apkopoti 2.2. tabulā. Horizontā D3gj2 piesārņotā areāla laukums L un vidējā koncentrācija C_{vid} palielinājušās: $L=108.0$ ha \rightarrow 184.2 ha un $C_{vid}=2.88$ g/m³ \rightarrow 11.25 g/m³. Tāpēc M_{SVAV} ir pieaugusi 6.65 reizes ($M=8.4\times 10^3$ kg \rightarrow 55.9×10^3 kg).

2.2. tabula

Prognozētais SVAV piesārņojums 2020.g. Kvartāra un Gaujas horizontos Q2 un D3gj2

Parametri piesārņotajā horizontā	Q2	D3gj2	
	2020.g.	2016.g.	2020.g.
Laukums L [ha]	27.8	108.0	184.2
Biezums [m]	7.9	10.0	10.0
Ūdens tilpums V_p [m ³]	0.59×10^6	2.92×10^6	4.97×10^6
Vidējā koncentrācija C_v [g/m ³]	24.8	2.88	11.25
Masa M_{SVAV} [kg]	14.2×10^3	8.4×10^3	55.9×10^3
Masas pieaugums pret 2016. gadu [reizes]			6.65

Kā jau iepriekš norādīts, sākuma C -sadalījumi pazemes ūdenī horizontiem D3gj2 un Q2 iegūti, izmantojot visnelabvēlīgākos apstākļus, tas ir, Čehijas laboratorijas analīžu datus, kur noteiktās SVAV koncentrācijas bija būtiski lielākas par Latvijas laboratorijā noteiktajām. Visticamāk, ka reālais M_{SVAV} pieaugums ir mazāks, jo Čehijas analīžu dati par $C_{SVAV}>100$ g/m³ vērtībām urbemos Nr. 3., Nr. 31. un Nr. 34. horizontā Q2 (1. pielikums) kā arī Nr. 71-1 un Nr. 72-1 horizontā D3gj2 (2. pielikums) ir pretrunīgi, tas ir, rezultāti ir daudz lielāki kā Latvijas laboratorijās noteikts.

Horizontā Q2 2016. gadā piesārņojuma areāla migrācijas modelēšana nenotika. Tāpēc 2.2. tabulā doti raksturlielumi L , C_{vid} un M 2020. gadam: $L=27.8$ ha, $C_{vid}=24.8$ g/m³ un $M_{SVAV}=14.2\times 10^3$ kg.

Augšminēto raksturlielumu aprēķinam un piesārņojuma migrācijas modelēšanai izmantota ģeoloģisko slāņu porainība 0.27, kas lietota arī 2016. gadā [8].

Darba uzdevumā [1] dota informācija par C_{SVAV} izmaiņām urbemos Nr.15 un Nr.51E (skat. 2.5. att.). Šos datus var lietot SVAV pussabrukšanas laika $t_{0.5}$ noteikšanai, izmantojot formulu [9]:

$$t_{0.5}=0.69 t / \ln(C_0/C_t), \quad (2.1)$$

kur t ir laiks gados; C_0/C_t piesārņojuma sākuma un beigu koncentrāciju C attiecība. Urbumu Nr. 15 un Nr. 51E dati dod: $t_{0.5} \sim 5$ gadi un $t_{0.5} \sim 19$ gadi. Šis novērtējums iegūts, pieņemot, ka SVAV koncentrācijas samazināšanos nosaka tikai sabrukšana, neievērojot vielas dispersiju un emisijas samazināšanos no piesārņotās grunts. Tāpēc $t_{0.5}$ jābūt lielākam par 5-19 gadiem. SVAV sabrukšanas procesa modelēšanai 2016. gadā izmantots $t_{0.5} = 15$ gadi [8].

Ja īstenībai atbilstu $t_{0.5} = 15$ gadi, tad Ziemeļu dīķa pastāvēšanas ~60 gadu laikā M_{SVAV} bija jāsamazinās $2^4=16$ reizes, kas nav noticis. Tāpēc modelēšanas eksperimentos 2020. gadā izmantota arī vērtība $t_{0.5} = 30$ gadi, kas ticamāk prognozē M_{SVAV} samazinājumu $2^2=4$ reizes.

Lai varētu salīdzinoši novērtēt SVAV sabrukšanas procesu ietekmi uz piesārņojuma areāla migrāciju Augšgaujas horizontā D3gj2, modelēts nelabvēlīgākais gadījums bez SVAV sabrukšanas un ja $t_{0.5} = 30$ gadi un 15 gadi.

3. Piesārņojuma migrācijas prognoze nulles sanācijas scenārijam

3.1. Prognoze nulles scenārijam Kvartāra horizontā Q2

Kvartāra horizontā Q2 piesārņojuma areāla migrācijas prognoze veikta variantam bez SVAV sabrukšanas.

Fiksēto sākuma C_{const} -sadalījums uzdots horizontos Q21, Q22 un Q23 laukumā, kuru aptver rievsienu (skat. 2.4. att.).

Modelēšanas rezultāts kā C-sadalījums ūdens horizontā Q21 pirmajiem 20 gadiem skatāms 3.1.1. att. Jau pēc ~8 gadiem notiek piesārņojuma areāla stabilizācija.

No horizonta Q21 piesārņojums caur hidroģeoloģisko logu morēnā gQ nokļūst horizontā D3gj23, kurā notiek piesārņojuma migrācija uz Gaujas upi. Šī procesa pirmie 20 gadi skatāmi 3.1.2. att. Jau pēc pirmajiem 4 gadiem, piesārņojums ir ieplūdis horizontā D3gj23, bet līdz 20 gadiem notikusi piesārņojuma areāla pakāpeniska palielināšanās. Areāla kodola forma liecina, ka piesārņojuma masa nonāk horizontā D3gj2 caur logu morēnā gQ, jo nav vērojama fiksētās $C \sim 170 \text{ g/m}^3$ laukuma ietekme. Hidroģeoloģiskajā logā $C_{Q2} > C_{D3gj2}$, jo $m_{Q2} < m_{D3gj2}$.

Piesārņojuma C-sadalījumus laikā no 0 līdz 100 gadiem ilustrē 3.1.3. att. Piesārņojuma areāla fronte sasniedz Gaujas upi pēc 60 gadiem.

Piesārņojuma kopīgās masas izmaiņas parādītas divu grafiku veidā 3.1.4. att. – kopīgā masa horizontos Q2 un D3gj2 un masa, kas no horizonta D3gj2 ieplūst Gaujas upē.

Pirmo 60 gadu laikā kopīgā masa horizontos Q2 un D3gj2 pieaug lineāri un sasniedz masas ieplūdes līdzsvara vērtību $\sim 90 \times 10^3 \text{ kg}$, ja $t \sim 75$ gadi.

Salīdzinot ar sākuma piesārņojuma masu $14.2 \times 10^3 \text{ kg}$, pēc 100 gadiem piesārņojuma kopīgā masa horizontos Q2 un D3gj2 pieaug 6 reizes. Piesārņojuma masa, kas ieplūst Gaujas upē, 100 gados sasniedz $\sim 30 \times 10^3 \text{ kg}$, kas ir 2.3 reizes vairāk, salīdzinot ar pēcsanācijas scenāriju (skat. 4.1.4. att.).

Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte I [kg/dnn] horizontā D3gj2 un Gaujas upē no horizonta D3gj2 skatāmi 4.1.5. att. Pie ~80 gadiem, kad notikusi šī procesa stabilizācija, ieplūdes intensitāte Gaujas upē $I=3 \text{ kg/dnn}$.

Piesārņojuma koncentrācijas hidrogrāfi virtuālajos monitoringa urbumos 10-7, 57-7, 51-7 un L-7 horizontā D3gj23 (HM – 7 . slānis) un urbumos 31-5, L-5 horizontā Q21 (HM 5. slānis) skatāmi 3.1.6. att.

Horizontā D3gj23 hidrogrāfs urbumā 51-7 pēc 25 gadiem sasniedz M_{SVAV} izplūdes procesa līdzsvaru $C \sim 17 \text{ g/m}^3$. Hidrogrāfi urbumiem 57-7 un 10-7 apliecina, ka piesārņojuma areāls sasniedz tos pēc ~40 un 60 gadiem. Šajos urbumos $C \sim 2 \text{ g/m}^3$ ir maksimālā vērtība, kas raksturo Gaujas upē ieplūstošā ūdens piesārņojumu.

Horizontā Q21 hidrogrāfs urbumā 31-5 jau pēc ~5 gadiem samazinās līdz $C \sim 0$. Urbumi L-5 un L-7 atrodas morēnas gQ hidroģeoloģiskā loga rajonā. Pirmo 1-7 gadu laikā hidrogrāfi šajā urbumā sasniedz maksimumus $C \sim 70 \text{ g/m}^3$ horizontā Q21 un $\sim 17 \text{ g/m}^3$ horizontā D3gj23. Šo koncentrāciju atšķirību nosaka minēto horizontu atšķirīgie biežumi ($m_{D3gj21} > m_{Q2}$) Ziemeļu diķa apgabalā. Pēc 20 gadiem, urbumos L-5 un L-7: $C \sim 10 \text{ g/m}^3$ un $C \sim 0$.

No hidrogrāfiem un C-sadalījumiem pirmajiem 20 gadiem (3.11. att. un 3.12. att.) var secināt, ka piesārņojuma izplūde horizontam Q2 galvenokārt notiek caur hidroģeoloģisko logu morēnā gQ. Maksimālās izplūdes vieta atrodas uz ziemeļiem no urbuma L-5.

Modelēšanas rezultāti 100 gadu laikam informē par iespējamo piesārņojuma areāla izveidošanās vēsturi horizontā D3gj2, ja netika veikta sanācija.

Rezultāti pirmajiem 20 gadiem parāda, ka ūdenī izšķīdušā piesārņojuma masa caur morēnu gQ intensīvi ieplūst horizontā D3gj2 tūlīt pēc Ziemeļu gudrona dīķa rašanās. Detalizētāks apraksts par ieplūdes intensitātes telpisko dabu dots 4.1. nodaļā.

3.2. Prognoze nulles scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējai daļai D3gj21

Lai salīdzinoši novērtētu SVAV sabrukšanas ietekmi, Augšgaujas horizontam D3gj21 piesārņojuma areāla migrācijas prognoze veikta variantam bez SVAV sabrukšanas un tā sabrukšanai, ja $t_{0.5} = 30$ gadi un 15 gadi.

Fiksētais sākuma C_{const} -sadaliņums uzdots horizontā D3gj21 (skat.2.3. att.).

Piesārņojuma areāla C -sadaliņuma izmaiņa horizontā D3gj21 laikā līdz 100 gadiem skatāma 3.2.1. att. (nav SVAV sabrukšanas), 3.2.2. att. ($t_{0.5} = 30$ gadi) un 3.2.3. att. ($t_{0.5} = 15$ gadi).

Piesārņojuma kopīgās masas izmaiņa horizontā D3gj21 dažādiem SVAV sabrukšanas variantiem skatāma 3.2.4. att. Ja nav SVAV sabrukšanas, piesārņojuma masa jau pēc 30 gadiem pieaug ~1.6 reizes, salīdzinot ar sākuma masu. Ja $t_{0.5} = 30$ gadi, piesārņojuma masa praktiski neizmainās, bet variantam $t_{0.5} = 15$ gadi notiek masas samazināšanās ~1.6 reizes.

Kopīgās masas izmaiņu grafiku salīdzinājums 3.2.5. att. uzskatāmi apstiprina veikto Ziemeļu dīķa sanācijas darbu lietderīgumu. Ja notikusi sanācija, tad 100 gadu laikā pat variantam bez SVAV sabrukšanas praktiski visa piesārņojuma sākotnējā masa ir ieplūdusi Gaujas upē.

Kopīgās piesārņojuma masas ieplūde Gaujas upē nulles un pēcsanācijas variantiem (ja nav SVAV sabrukšanas) parādīta 3.2.6. att. Nulles scenārija variantam jau pēc 30 gadiem Gaujas upē ieplūstošā SVAV masa lineāri palielinās, bet pēc sanācijas praktiski visa piesārņojuma sākuma masa ir ieplūdusi upē.

Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] Gaujas upē nulles scenārijam un pēcsanācijas scenārijam (ja nav SVAV sabrukšanas) salīdzināta 3.2.7. att. Nulles scenārijam piesārņojuma ieplūde Gaujas upē pēc ~35 gadiem sasniedz $I \sim 5.5$ kg/dnn un pēc tam nemainās. Ja veikta sanācija, tad ieplūde upē sasniedz vērtību $I = 4$ kg/dnn un pēc tam samazinās līdz nulles vērtībai. Ja veikta sanācija, tad iespējama horizonta D3gj21 pašattīrīšanās jau 100 gadu laikā.

Piesārņojuma koncentrācijas hidrogrāfi virtuālajos monitoringa urbumos 10-9, 57-9 un 51-9 horizontā D3gj21 (HM 9. slānis) skatāmi 3.2.8. att.

Koncentrāciju izmaiņas hidrogrāfam urbumā 57-9 nosaka sākuma C -sadaliņums (2.3. att.). Urbums 51-9 atrodas C_{const} laukumā un tāpēc $C = 42$ g/m³ nemainās.

Hidrogrāfu raksturs urbumos 10-9 un 57-9 parāda, ka SVAV sabrukšana, var būtiski samazināt piesārņojuma koncentrāciju horizontā D3gj21 arī nulles scenārijam.

Modelēšanas rezultāti liecina, ka neveicot sanācijas pasākumus, piesārņojuma areāla masa horizontā D3gj2 būtiski palielinās. Tāpēc horizonta pašattīrīšanās, piesārņotajam ūdenim ieplūstot Gaujas upē un SVAV sabrukot, nav iespējama.

4. Piesārņojuma migrācijas prognoze pēcsanācijas scenārijam

4.1. Prognoze pēcsanācijas scenārijam Kvartāra horizontā Q2

Kvartāra horizontam Q2 pēcsanācijas scenārijam piesārņojuma areāla migrācija prognozēta variantam bez SVAV sabrukšanas.

Sākuma C-koncentrācija fiksēta visos horizontos Q21, Q22 un Q23 (skat. 2.4. att.). Izveidots sarkofāgs atlikušās piesārņotās grunts izolēšanai.

Modelēšanas rezultāti C-sadalījumam horizontā Q21 pirmajiem 20 gadiem skatāmi 4.1.1. att. No C-sadalījuma rakstura var secināt, ka 20 gadu laikā notiek intensīva pazemes ūdenī izšķīdušā piesārņojuma ieplūde horizontā D3gj2.

No horizonta Q21 piesārņojums caur hidroģeoloģisko logu sprostslnānī gQ nonāk horizontā D3gj23, kurā notiek piesārņojuma migrācija uz Gaujas upi. Šī procesa pirmie 20 gadi skatāmi 4.1.2. att.

Piesārņojuma C-sadalījumu horizontā D3gj2 laikā līdz 100 gadiem ilustrē 4.1.3. att. Piesārņojuma areāla fronte sasniedz Gaujas upi pēc 60 gadiem.

Kopīgā piesārņojuma masas grafiki horizontos Q2 un D3gj2 skatāmi 4.1.4. att. Var secināt, ka masa horizontos sāk samazināties pēc tam, kad piesārņojuma areāls sasniedz Gaujas upi. Par to liecina arī upē ieplūdušās kopīgās piesārņojuma masas izmaiņu grafiks. Piesārņojuma masa samazinās piecas reizes, ja $t_{0,2}=90$ gadi. Apgabals $C < 0.2 \text{ g/m}^3$ pie Gaujas upes izveidojas pēc $t_c = 100$ gadiem.

Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte Gaujas upē no horizontā D3gj2 skatāma 3.1.5. att. Intensitātes maksimums $I \sim 1.6 \text{ kg/dnn}$ novērojams, ja $t \sim 80$ gadi.

No C-sadalījuma pirmajiem 4 gadiem (4.1.1. att.) nevar spriest par laiku t_{gQ} , kad piesārņojums šķērso morēnu gQ un nokļūst Augšgaujas horizontā. Laika t_{gQ} novērtēšanai var izmantot izteiksmi [9]:

$$t_{gQ} = n m_{gQ}^2 / (k_{gQ} \times \Delta\varphi), \quad \Delta\varphi = (\varphi_{Q2} - \varphi_{D3gj2}), \quad (4.1.)$$

kur n – porainība; m_{gQ} un k_{gQ} – morēnas gQ biezums un filtrācijas koeficients; $\Delta\varphi$ – pazemes ūdens līmeņu starpība horizontos Q2 un D3gj2.

Aprēķinam izmantoti šādi lielumi: $n = 0.27$; $k_{gQ} = 1.7 \times 10^{-4} \text{ m/dnn}$, kas kalibrētajā HM atbilst Inčukalna apkaimes tipiskajām vērtībām $k_{gQ} = (1-2) \times 10^{-4} \text{ m/dnn}$. Tās noteiktas [12, 16. lpp.];

$$\Delta\varphi = 5.5 \text{ m} = 31.5 \text{ m vjl} - 26.0 \text{ m vjl} \quad (\text{skat. 7.2. att. un 7.3. att.}).$$

Morēnas biezums m_{gQ} Ziemeļu dīķim ir mainīgs. Modelī, atbilstoši datiem [13], sarkofāga laukumā DR un ZA daļās: $m_{gQ} = 2.0 \text{ m}$ un 3.4 m ; kalibrētajā HM hidroģeoloģiskajā logā $m_{gQ} = 0.6 \text{ m}$.

Pārskats par morēnas gQ šķērsošanas laiku t_{gQ} atkarībā no morēnas biezuma m_{gQ} dots 4.1. tabulā.

4.1. tabula

m_{gQ} [m]	0.6	2.0	3.4
t_{gQ} [gadi]	0.3	3.2	9.1

No tabulas datiem par laiku t_{gQ} var secināt, ka piesārņojuma masas pārteces intensitāte ir būtiski atšķirīga pat sarkofāga laukumā.

Aprēķinātais laiks t_{gQ} būs lielāks, ja reāli $k_{gQ} < 1.7 \times 10^{-4} \text{ m/dnn}$ (formula 4.1).

No piesārņojuma areāla rakstura 4.1.1. att. var secināt, ka piesārņojums nokļūst horizontā D3gj2 caur hidroģeoloģisko logu jau pēc 0.3 gadiem. Tāpēc pēc 20 gadiem caur šo logu izplūduši $\sim 93\%$ no sākuma $M_{Q2} = 14.2 \times 10^3 \text{ kg}$. Atlikusī masa $\sim 1000 \text{ kg}$ palikusi sarkofāgā (skat. 4.1.6. att.).

No C-sadalījuma pirmajiem 20 gadiem (4.12. att.) var secināt, ka piesārņojums horizontā D3gj2 nokļūst caur hidroģeoloģisko logu. Ja $t > 16$ gadiem, tad piesārņojuma areālā ir redzama noplūde no sarkofāga DR daļas, kur $m_{gQ} = 2.0 \text{ m}$.

Pēc 100 gadiem D3gj2 horizontā atrodas $\sim 1000 \text{ kg}$ SVAV, kas vēl nav ieplūdis Gaujas upē.

Piesārņojuma koncentrācijas hidrogrāfi virtuālajos monitoringa urbumos 10-7, 57-7 un L-7 horizontā D3gj21 (HM 7. slānī) un urbumos 31-5, Z-5 un L-5 horizontā Q21 (HM 5. slānī) skatāmi 4.1.7. att.

Horizontā Q21 monitoringa urbums Z-5 atrodas sarkofāga laukumā (2.4. att.). Šajā urbumā hidrogrāfs no sākuma vērtības $C = 170 \text{ g/m}^3 \sim 40$ gadu laikā samazinās līdz $C=0$. Šis fakts uzskatāmi raksturo piesārņojuma masas izplūdi no horizonta Q2. Hidrogrāfs urbumā 31-5 ~ 5 gadu laikā sasniedz $C=0$. Hidrogrāfs urbumā L-5, hidroģeoloģiskā loga apkārtnē pēc ~ 7 gadiem sasniedz maksimumu $C = 70 \text{ g/m}^3$ un pēc tam 20 gadu laikā samazinās līdz $C \sim 0$.

Horizontā D3gj23 monitoringa urbumā L-7 hidroģeoloģiskajā logā hidrogrāfs ~ 7 gadu laikā sasniedz maksimumu $C \sim 16 \text{ g/m}^3$ un pēc ~ 17 gadiem samazinās līdz $C \sim 0$. Koncentrāciju atšķirību urbumiem L-5 un L-7 nosaka horizontu D3gj2 un Q2 dažādi biežumi ($m_{D3gj2} > m_{Q2}$) Ziemeļu dīķa apkārtnē. Urbumā 51-7 hidrogrāfs 20 gadu laikā sasniedz maksimumu $C \sim 11 \text{ g/m}^3$ un nākošo 60 gadu laikā samazinās līdz $C \sim 0$ atzīmei. Hidrogrāfi urbumos 57-7 un 10-7 liecina, ka piesārņojuma areāla fronte tos sasniedz pēc 40 un 60 gadiem. Abi hidrogrāfi sasniedz maksimālo $C \sim 1.5 \text{ g/m}^3$ un, kad $t=100$ gadi, tie samazinās līdz $C \sim 0.2 \text{ g/m}^3$.

Modelēšanas rezultāti 100 gadu laikam informē par piesārņojuma areāla izveidošanās vēsturi horizontā D3gj2, ja piesārņojuma avots būtu likvidēts savlaicīgi.

4.2. Prognoze pēcsanācības scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gj21

Lai novērtētu SVAV sabrukšanas ietekmi Augšgaujas horizonta apakšējai daļai D3gj21 piesārņojuma areāla migrācija pēcsanācības scenārijam prognozēta variantam bez SVAV sabrukšanas un tā sabrukšanai, ja $t_{0.5} = 30$ gadi un 15 gadi.

Sākuma piesārņojuma koncentrācija dota horizontā D3gj21 (skat. 2.3. att.). Piesārņojuma areāla C-sadalījumi horizontā D3gj21 laikā līdz 100 gadiem dažādiem SVAV sabrukšanas variantiem skatāmi 4.2.1. att. (nav SVAV sabrukšanas), 4.2.2. att. ($t_{0.5} = 30$ gadi) un 4.2.3. att. ($t_{0.5} = 15$ gadi).

Dati par laikiem $t_{0.2}$ un t_C , kad $M_t = 0.2M_0$ un $C < 0.2 \text{ g/m}^3$ apkopoti 4.2. tabulā. No tabulas datiem var secināt, ka piesārņojuma kopīgās masas SVAV sabrukšanas process samazina laikus $t_{0.2}$ un t_C .

Piesārņojuma kopīgās masas samazināšanās horizontā D3gj21 dažādiem SVAV sabrukšanas variantiem skatāma 4.2.4. att.

4.2. tabula

Pārskats par laikiem $t_{0.2}$ un t_C , kad $M_t = 0.2M_0$ un $C < 0.2 \text{ g/m}^3$

N.p.k.	SVAV sabrukšanas variants	$t_{0.2}$ gads	t_C gads	Attēls
1.	Nav sabrukšanas	57	90	4.2.1. att.
2.	$t_{0.5} = 30$ gadi	40	80	4.2.2. att.
3.	$t_{0.5} = 15$ gadi	30	70	4.2.3. att.

Kopīgās piesārņojuma masas ieplūdi Gaujas upē dažādiem SVAV sabrukšanas variantiem ilustrē 4.2.5. att. grafiki. Ja notiek SVAV sabrukšana, piesārņojuma ieplūde upē būtiski samazinās. Ja $t_{0.5} = 30$ gadi, tad ieplūde samazinās ~ 4 reizes.

SVAV sabrukšana samazina piesārņojuma masas ieplūdes intensitāti [kg/dnn] Gaujas upē (skat. 4.2.6. att.). Ja nav SVAV sabrukšanas, tad ieplūdes intensitāte sasniedz maksimumu $I=4$ kg/dnn pēc ~35 gadiem.

Gaujas upes vidējais caurplūdums ir ~ 8500 tūkst.m³/dnn [8]. Pat pie maksimālās SVAV masas 4 kg/dnn ieplūdes, upes ūdenī $C_{SVAV} < 0.5$ mg/m³ $= 4/8500000$. Tāpēc SVAV masa, kas ieplūdis Gaujas upē, praktiski nevar ietekmēt Gaujas upes ūdens kvalitāti.

Piesārņojuma masas samazināšanās intensitātes grafiki horizonta D3gj21 parādīti 4.2.7. att. Ja nav SVAV sabrukšanas, intensitātes grafika formas horizontiem un Gaujas upei ir vienādas (4.2.6. att.).

Ja notiek SVAV sabrukšana, tad kopīgās masas samazināšanās intensitāte horizontā D3gj21 palielinās. Ja $t_{0,5} = 15$ gadi, tad Gaujas upe nav galvenais iemesls, kas ietekmē šo intensitāti horizontā D3gj21.

Piesārņojuma koncentrācijas hidrogrāfi dažādiem SVAV sabrukšanas variantiem horizontā D3gj21 (HM 9. slānis) reģistrēti virtuālajos monitoringa urbumos 10-9, 57-9 un 51-9. Hidrogrāfu kopums skatāms 4.2.8. att.

Monitoringa urbuma 10-9 hidrogrāfa grafiks parāda, ka piesārņojuma areāla fronte sasniegs Gaujas upi pēc ~ 20 gadiem. Ja nav SVAV sabrukšanas, tad pēc ~ 20 nākošiem gadiem upē ieplūdušā piesārņotā ūdens koncentrācija sasniegs maksimumu $C \sim 24$ g/m³. Pēc tam nākošo 50 gadu laikā koncentrācija samazināsies līdz $C < 0.2$ g/m³ ($t_c = 90$ gadi, 4.1. tabula, 4.2.1. att.).

Ja notiek SVAV sabrukšana, tad urbumā 10-9 piesārņojuma hidrogrāfu maksimumi samazinās. Tie parādās agrāk (pēc ~ 25 gadiem), salīdzinot ar SVAV nesabrukšanas gadījumu.

Monitoringa urbumā 57-9 hidrogrāfa formu nosaka sākuma C -sadalījums (2.3. att.). Ja nav SVAV sabrukšanas, tad $C_{max} \sim 59$ g/m³. Pēc 60 gadiem hidrogrāfa koncentrācija samazinās līdz $C \sim 0$. Urbumā 57-9 hidrogrāfu forma ir mazāk atkarīga no SVAV sabrukšanas, salīdzinot ar urbumu 10-9.

Monitoringa urbumā 51-9 hidrogrāfs praktiski nav atkarīgs no SVAV sabrukšanas, jo piesārņojuma areāla aizmugures daļa no urbuma attālinās ~ 20 gadu laikā (4.1.1. att., 4.1.2. att., 4.1.3. att.).

Modelēšanas rezultāti apstiprina veikto Ziemeļa dīķa sanācijas darbu lietderīgumu:

- Augšgaujas ūdens horizontā D3gj2 SVAV masa samazinās, piesārņotajam pazemes ūdenim ieplūstot Gaujas upē un arī SVAV sabrukšanas dēļ; prognozētais laiks, pēc kura horizontā $C < 0.2$ g/m³ ir 70-90 gadi, skaitot no datormodeļa izstrādes laika. Pretēji nulles scenārijam, kad prognozētais laiks, pēc kura horizontā $C < 0.2$ g/m³ ir stipri virs apskatāmā perioda jeb 100 gadiem.
- piesārņojuma masa, kas ieplūst Gaujas upē, praktiski nepasliktina upes ūdens kvalitāti, jo upes caurplūdums ir vismaz 10^6 reīzu lielāks par Gaujas upē ieplūstošās piesārņotās pazemes ūdens plūsmas intensitāti.

5. Piesārņojuma koncentrācija pēcsanācijas scenārijam Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2 pirmajos 2 un 30 gados

Aprēķinātās SVAV koncentrācijas monitoringa urbumos pēcsanācijas scenārijam pirmajiem 2 un 30 gadiem netieši raksturo sanācijas pasākumu sākuma efektivitāti. Tomēr šie rezultāti ir atkarīgi no sākuma C -sadalījuma ticamības horizontos Q2 un D3gj2.

Kvartāra horizontā Q2 aprēķināti C -hidrogrāfi urbumos Nr. 1p. Nr. 2p. Nr. 3p. un Nr. 34. Tie atrodas sarkofāga apkārtņē (5.1. att.). Šo urbumu C -hidrogrāfi pirmajiem 2 un 30 gadiem skatāmi 5.2. att. un 5.5. att.

Augšgaujas horizontā D3gj21 aprēķināti C-hidrogrāfi urbumos Nr.71-1, Nr. 72-1 un Nr. 70-1 (5.3. att.). Šo urbumu C-hidrogrāfi pirmajiem 2 un 30 gadiem skatāmi 5.4. att. un 5.6. att.

Datus par C-hidrogrāfiem urbumos Nr. 71-2, Nr. 72-2 un Nr. 70-2 horizontā D3gj22 nevar iegūt, jo šajā horizontā bija dots $C=0$ sākuma sadalījums (skat. 7. iedaļu).

6. Piesārņotā pazemes ūdens sanācija

Plānā [10] Ziemeļu dīķa teritorijā bija paredzēta piesārņotā ūdens izsūkņēšana un attīrīšana 108 000 m³ apjomā. Šo uzdevumu īstenoja PS "Inčukalns Eko".

Pazemes ūdens attīrīšanas sistēmas izvietojuma plāns ir skatāms 7. att. Atsūkņēšanai Augšgaujas D3gj2 ūdens horizontā izmantoti pieci urbumi 51E, 52E, 53E, 54E un 72-1. Urbumi 52E, 53E un 54E ierīkoti no jauna. Visi izsūkņēšanas urbumi pieslēgti pie atsevišķiem cauruļvadiem. Faktiskais debīts vienam izsūkņēšanas urbumam ir 0.7-0.8 l/sek [10]. Attīrītais pazemes ūdens tiek infiltrēts D3gj2 horizontā astoņos urbumos Ziemeļu dīķa apkārtnē, kuru novietojums skatāms 6. att.

Attīrīšanas procesā aptuveni 80% no attīrītā ūdens tiek infiltrēts, bet "koncentrāts", kura piesārņojuma pakāpe ir augsta, tiek aizvests autocisternās attīrīšanai citā vietā.

Dati par SVAV sanācijas procesu apkopoti 6.1. tabulā. Faktiski izsūkņēts $V_{izs}=110018\text{m}^3$ piesārņotā ūdens, no kura iegūts $M_{SVAV}=1028.9$ kg SVAV, bet infiltrēti $V_{inf}=87275$ m³ attīrītā ūdens.

SVAV koncentrāciju [g/m³] izsūkņētajā C_{izs} un infiltrētajā C_{inf} ūdenī vidēji trīs reizes mēnesī noteica SIA "AND Resources" laboratorija. Sanācijas laikā C_{izs} samazinājās no ~11g/m³ līdz ~7g/m³. Vidējā $C_{inf}=0.18\text{g/m}^3 < 0.2\text{g/m}^3$ (robežvērtība C_R [11]). Vidējā SVAV sanācijas efektivitāte $C_{izs} / C_{inf} \sim 58$ reizes. Koncentrācijas C_{izs} samazināšanās varēja notikt galvenokārt SVAV koncentrācijas samazināšanās rezultātā atsūkņēšanas urbumu ietekmes teritorijā.

Faktiski iegūtā M_{SVAV} ir lielāka par 1028.9 kg, jo Čehijas laboratorijā noteiktās C_{SVAV} ir lielākas par Latvijas laboratorijās iegūtajām.

No 2.2. tabulas datiem seko, ka vidējo C_{SVAV} attiecība 2020. gadā un 2016. gadā ir $11.25/2.88=3.9$. Tāpēc faktiski pazemes ūdens attīrīšanā iegūti $3.9 \times 1028.9 \text{ kg} = 4012.7 \text{ kg}$ un pazemes ūdens sanācijā attīrīti $4013/55900=0.072 \rightarrow 7.2\%$ no Augšgaujas horizonta $M_{SVAV}=55.9 \times 10^3 \text{ kg}$.

Dati par pazemes ūdens sanāciju Ziemeļu dīķa teritorijā 2020. gada janvārī apkopoti 6.2. tabulā. Sanācijas procesa efekts C_{izs} / C_{inf} ir augsts, īpaši SVAV gadījumam (62.1 reizes). Visām piesārņojošām vielām $C_{inf} < C_R$ (robežlielums MK noteikumos Nr. 118 [11]).

Ja ievēro 2020.g un 2016.g. C_{SVAV} attiecību 3.9 reizes, tad faktiski attīrīšanas sistēma infiltrētajā ūdenī nevarēja nodrošināt robežlielumu $C_R = 0.2 \text{ g/m}^3$. Tomēr attīrīšana bija pietiekami efektīva, lai horizontā novadāmajā ūdenī sasniegtu MK noteikumos Nr. 118 [11] noteikto SVAV masas samazinājumu vismaz 5 reizes (80%) [10].

Attīrītā pazemes ūdens infiltrēšana urbumos bija problemātiska. Lai nodrošinātu urbumu normālu darbību, bija nepieciešama to periodiska skalošana (reizi ceturksnī) [10].

Iespējams, ka būtu lietderīgi infiltrēšanai izmantot arī baseinus, kas izveidoti morēnas gQ hidroģeoloģisko logu apgabalos. Šādi baseini sekmīgi izmantoti pazemes ūdens krājumu papildināšanai Baltežera ūdensgūtvē.

SVAV koncentrācijas samazināšanās atsūkņēšanas urbumu ietekmes teritorijā samazina iegūto M_{SVAV} . Šo nevēlamo efektu var samazināt mainot izsūkņēšanas urbumu izvietojumu.

Dati par pazemes ūdens sanāciju Ziemeļu dīķim SVAV piesārņojumam Augšgaujas horizontā D3gĵ2 [15]

Gads, mēnesis	Izsūkņēts piesārņotais ūdens V_{izs} [m ³]	Infiltrēts attīrītais ūdens V_{inf} [m ³]	Sanācija in situ V_{inf} / V_{izs} [%]	Koncentrācija izsūkņētajā ūdenī C_{izs} [g/m ³]	Koncentrācija infiltrētajā ūdenī C_{inf} [g/m ³]	Sanācijas efekts C_{izs} / C_{inf} [reizes]	SVAV masa M_{SVAV}^{**} [kg]
2018.11.	0	0	-	-	-	-	0
2018.12.	1061	612	57.6	10.90	0.05	218.0	11.5
2019.01.	5474	3995	73.0	11.50	0.07	164.3	62.6
2019.02.	4327	3407	78.7	10.60	0.06	176.7	45.6
2019.03.	9052	7743	85.5	14.20	0.17	83.5	127.0
2019.04.	7084	5859	82.6	13.70	0.14	97.9	96.1
2019.05.	8148	6596	80.9	12.90	0.14	92.1	104.0
2019.06.	8356	6694	80.1	10.10	0.17	59.4	83.0
2019.07.	9024	7227	80.0	9.10	0.23	39.6	80.0
2019.08.	7796	6103	78.3	8.67	0.28	31.0	65.9
2019.09.	7568	6140	81.1	7.23	0.25	28.9	52.8
2019.10.	7938	6189	77.9	7.83	0.23	34.0	60.3
2019.11.	7604	5091	74.8	6.80	0.14	48.6	50.6
2019.12.	7402	5781	78.1	7.20	0.12	60.0	52.4
2020.01.	7010	5421	82.5	6.83	0.11	62.1	47.1
2020.02.	6500	4999	76.9	7.90	0.10	79.0	50.7
2020.03.	5674	4778	84.6	7.00	0.09	77.8	39.3
kopā	110018	87275	80.3*	9.2*	0.17*	61.1*	1028.9

* - vidējā aritmētiskā vērtība, neizmantojot pirmos trīs rezultātus (tehnoloģisko iekārtu regulēšanas laikā);

** - $M_{SVAV} = (C_{izs} - C_{inf}) \times V_{izs} \times 10^{-3}$; C_{izs} un C_{inf} – SVAV koncentrācijas vidējā aritmētiskā vērtība mēneša laikā.

Piesārņotā pazemes ūdens sanācija Ziemeļu dīķim 2020. gada janvārī

Piesārņojošās vielas koncentrācija C	ĶSP [g/m ³]	SVAV [g/m ³]	SO ₄ [g/m ³]	BTEX [mg/m ³]	NP [g/m ³]
Izsūkņētajā ūdenī C_{izs}	369.7	6.83	70.4	15.3	0.12
Infiltrētajā ūdenī C_{inf}	47.8	0.11	10.4	<1.0	0.02
C_{izs} / C_{inf} reizes	7.6	62.1	26.0	<15.3	6.0
Mērķlielums C_M	40	0.0		** 0.2-0.5	0.0
$0.5(C_M+C_R)=C_V$	170	0.1		2.6-30.3	0.5
Robežlielums C_R	300	0.2	250*	**5-60	1.0

* $C_R = 250 \text{ g/m}^3$ ir SO_4 (sulfāti) normatīvs dzeramajam ūdenim;

** $C_M = 0.2 \text{ mg/m}^3$ un $C_R = 5 \text{ mg/m}^3$ ir normatīvi Benzolam;

** $C_M = 0.5 \text{ mg/m}^3$ ir normatīvs Etilbenzolam, Toluolam un Ksilolam;

$C_M = 0.0 \text{ g/m}^3$ izmantots kā SVAV un NP (naftas produkti $C_{10}-C_{40}$) normatīvs.

Vērtības C_M , C_V un C_R ir MK noteikumu Nr. 118 [11] normatīvi pazemes ūdens kvalitātes novērtēšanai.

7. Hidroģeoloģiskā modeļa un modelēšanas metodikas apraksts

Pirmais hidroģeoloģiskais modelis (HM) Inčukalna sērskābā gudrona dīķu piesārņojuma procesu pētīšanai izveidots 1998. gadā. Laikā līdz 2020. gadam notika HM pilnveidošana. Pārskats par HM versijām (1998.g. līdz 2020.g.) skatāms 7.1. tabulā.

Pirmajai 1998.g. versijai modeļa izmērs bija $8 \text{ km} \times 12 \text{ km}$ un režģa plaknes aproksimācijas solis $h=100 \text{ m}$. Modelēšanai izmantoja Latvijas reģionālā modeļa REMO vidi.

Izveidojot otro versiju 2005. gadā, Kvartāra un Augšgaujas ūdens horizonti Q2 un D2g2 tika sadalīti trīs virtuālus apakšhorizontos. Šis uzlabojums būtiski palielināja piesārņojuma masu transporta modelēšanas ticamību.

Trešajā versijā (2016.g.) režģa plaknes solis $h=100 \text{ m} \rightarrow 10 \text{ m}$. Modelēšanai izmantoja programmatūras GV-6 vidi.

Šobrīd lietotajā versijā (2020.g.) izmantots samazināts modeļa izmērs $4.5 \text{ km} \times 7.0 \text{ km}$ (skat. 1.2. att.), jo jau 2016. gadā modelēšanai faktiski tika izmantots šāds HM laukums.

Pārskats par Inčukalna HM versijām (1998.g.-2020.g.)

Versijas Nr.p.k.	Izveidošanas gads	Apgabala izmērs[m×m]	Režģa plaknes solis [m]	3D-režģa bloku skaits	Modeļa vide*
1.	1998	8000×12000	100.0	0.1056×10^6	REMO
2.	2005	8000×12000	100.0	0.1056×10^6	REMO, GV-3
3.	2016	8000×12000	10.0	10.56×10^6	GV-6
4.	2020	4500×7000	10.0	3.46×10^6	GV-7

* *REMO* –Latvijas centrālās daļas reģionālais modelis; *GV-n* - Groundwater Vistas sistēmas *n*-tā versija.

HM vertikālā shematizācija skatāma 7.2. tabulā. Kopš 2005. gada HM shematizācija versijām Nr. 2, 3 un 4 nav izmainīta.

Modeļi veido 11 slāņi. Pirmais un vienpadsmitais slānis tiek lietoti pirmā veida robežnoteikumu (uzdoti ūdens līmeņi) fiksēšanai. Pirmajā slānī tiek uzdota zemes reljefa karte (7.1. att.), bet vienpadsmitajā – Gaujas horizonta D3gj1 pjezometrisko ūdens līmeņu sadalījums 2016. gada modelī (7.4. att.).

Kvartāra nogulumu slānis ir sadalīts piecos apakšslāņos aer, Q23, Q22, Q21, gQ. Slāņi aer un gQ ir sprosts slāņi. Slānis aer ir aerācijas zonas ekvivalents un tiek izmantots infiltrācijas plūsmas vadīšanai. Slānis Q23 eksistē tikai diķu apkārtnē (biezums 1.5m) un nodrošina precīzāku gudrona diķu ietekmes modelēšanu. Slāņu Q22 un Q23 biežumi ir vienādi.

Gaujas ūdens horizonta D3gj nogulumu tiek modelēti ar četriem slāņiem D3gj23, D3gj22, D3gj21, D3gj1z. Slānis D3gj1z ir sprosts slānis.

Augšgaujas horizonta D3gj2 apakšējās daļas D3gj21 biežums ir 10m. Šajā slānī tiek uzdoti piesārņojuma sākuma C sadalījumi. Slāņu D3gj22 un D3gj23 biežumi ir vienādi.

Piesārņojuma areāla migrācijas ātrumu un virzienu horizontos Q2 un D3gj2 nosaka šo slāņu pazemes ūdens līmeņu [m vjl] sadalījumi, kas parādīti 7.3. att. un 7.4. att. Šos sadalījumus aprēķina HM.

Pazemes ūdens kustību horizontos Q2 un D3gj2 nosaka arī šo slāņu ūdens vadāmība [m^2/dnn]. Tās kartes skatāmas 7.5. att. un 7.6. att.

HM darbības apraksts dots 2016. gada atskaitē [8]. Tas nav iekļauts šajā atskaitē.

Modeļa laukuma izmaiņa (8km×12km)→(4.5km×7.0km) gandrīz 3 reizes samazināja piesārņojuma masas transporta modelēšanai nepieciešamo laiku. Tā veikta, izmantojot programmatūru MT3D. Šīs programmatūras darbības apraksts dots atskaitē [8] un [2].

Hidrogeoloģiskā modeļa vertikālā shematizācija

Slāņa Nr.	Slāņa nosaukums	Slāņa šifrs	Slāņa biezums [m]	Filtrācijas koeficients [m/dnn]	Piezīmes
1.	Reljefs	rel	0.02	10.0	ψ_{rel} - karte kā robežnoteikums
2.	Aerācijas zona kā sprosslānis	aer	0.2-16.8	10^{-3} - 2×10^{-6}	Izmanto modeļa kalibrēšanai
3.	Kvartāra smiltis	Q23	0.02-1.5	10.0	Gudrona dīķu novietojums
4.		Q22	0.02-6.2	10.0	Kvartāra ūdensteces kā robežnoteikumi
5.		Q21	0.02-6.2	10.0	
6.	Kvartāra morēna	gQ	0.2-18.2	1.7×10^{-4}	Izmanto modeļa kalibrēšanai
7.	Augšgaujas D3gj2 smilšakmens	D3gj23	1.5-31.1	1.0-8.0	Gaujas upe kā robežnoteikums
8.		D3gj22	1.5-31.1	1.0-8.0	
9.		D3gj21	10.0	1.0-8.0	SVAV piesārņojums
10.	Sprosslānis	D3gj1z	13.0-29.8	7×10^{-5}	Izmanto modeļa kalibrēšanai
11.	Horizonts D3gj1	D3gj1	0.02	10.0	Ψ_{D3gj1} -karte kā robežnoteikums

Piesārņojuma procesu modelēšanai programmatūrā MT3D izmantota metode "finite difference", kas nodrošina pareizu piesārņojuma masas aprēķinu. Lietots laika solis 73 dienas (0.2 gadi), kas dod pietiekami detalizētu piesārņojuma areāla kustības aprēķinu laikā. Metodei piemīt liela nekontrolējama skaitliskā dispersija. Šī īpašība apgrūtina detalizētu šī parametra ietekmes novērtēšanu. Ja tiek izmantots vadāmas dispersijas variants, tad krasi (~10 reizes) pieaug modelēšanai nepieciešamais laiks. Tāpēc šādi eksperimenti netika veikti

Augšgaujas horizontā D3gj2 sākuma C-sadalījums izmantots tikai tā apakšējā daļā D3gj21. Darba uzdevumā [1] ir informācija par to, ka arī horizontā D3gj22 varētu atrasties ~10% no kopīgās M_{SVAV} (skat. arī [1], 2. un 6. pielikumos) Lai šo apstākli ņemtu vērā, arī šajā horizontā būtu jāuzdod attiecīgs sākuma C-sadalījums, kurš nav zināms. Lai vienkāršotu modelēšanas procesu, dotais sākuma C-sadalījums (2.3. att.) izmantots tikai horizontā D3gj21. Horizontos D3gj22 un D3gj23 sākuma $C_{SVAV} = 0$. Kvartāra ūdens horizontos Q21, Q22 un Q23 izmantots dotais C-sadalījums (2.4. att.).

Programmatūra MODPATH izmantota piesārņojuma areāla kodola kustības virziena koriģēšanai Augšgaujas horizontā D3gj2, atbilstoši 3. pielikuma datiem par Ziemeļu dīķa piesārņojuma areālu.

Pazemes ūdens līmeņi horizontos Q2 un D3gj2 koriģēti, ievērojot datus par šo horizontu ūdens līmeņiem, kas skatāmi 4. un 5. pielikumos.

8. Rezultāti un secinājumi

Atskaitē apkopoti datormodelēšanas rezultāti par sintētisko virsmas aktīvo vielu (SVAV) migrāciju pazemes ūdens plūsmā no Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa. Zinātniskais pētījums veikts Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centrā, īstenojot darba uzdevumu, atbilstoši līguma starp RTU un PS "Inčukalns Eko" biedra SIA "EKO OSTA" nosacījumiem.

Izmantojot hidroģeoloģisko modeli, prognozēta piesārņojuma areāla migrācija pazemes ūdenī Kuartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2 100 gadu laikam diviem scenārijiem:

- nulles scenārijs - sanācija nav veikta;
- pēcsanācijas scenārijs - ievērojot jau īstenotos sanācijas pasākumus.

Lai minimizētu izgāztuves ietekmi uz apkārtējo vidi, neapdraudētu cilvēku veselību un būtu iespējams teritoriju atgriezt ekonomiskajā apritē, sanācijas darbu ietvaros ir veikts pasākumu kopums, tostarp Ziemeļu dīķa atklātā avota tilpnes likvidācija ar kopējo tilpumu 7051 m³ veikta piesārņojuma avota ekskavācija un utilizācija 7264,57 m³, izbūvēta rievsiens 461,77m, pārtraucot piesārņojošo vielu izskalošanos, veikta pazemes ūdens sanācija 110018 m³ apjomā, izveidots rekultivācijas segums un veikti teritorijas planēšanas darbi, izveidojot sanācijas pārklājumu 31325m² platībā.

Prognozēta piesārņojuma avota izolācijas (sarkofāga izveidošanas) ietekme Kuartāra horizontā Q2. Sarkofāga (rievsienas) izveidošana ir samazinājusi SVAV piesārņojuma kaitīgo ietekmi uz apkārtējo vidi:

- novērš piesārņojuma kustību horizontā Q2; par to liecina pazemes ūdens līmeņa sadalījums horizontā pirms un pēc rievsienas izveidošanas (skat. 5.8. att.);
- palielina piesārņojuma masas izplūdes laiku no horizonta Q2 līdz vismaz 50 gadiem.

Rievsiens novērš piesārņojuma masas izplūdi horizontā Q2 no sarkofāgā ievietotās piesārņotās grunts.

Prognozētais laiks, kad visā horizontā piesārņojuma koncentrācija samazināsies līdz $C < 0.2 \text{ g/m}^3$, ir 70-90 gadi, skaitot no datormodelēšanas veikšanas laika.

Prognozes Kuartāra horizontam Q2 100 gadu laikam informē par piesārņojuma areāla izveidošanās vēsturi Augšgaujas horizontā D3gj2 abu scenāriju gadījumos. Rezultāti abiem scenārijiem pirmajiem 20 gadiem informē par to, kā pazemes ūdenī izšķīdusī piesārņojuma masa caur hidroģeoloģiskajiem logiem morēnas slānī gQ nokļūst Augšgaujas horizontā D3gj2.

Piesārņojuma areāla migrācijas prognoze Augšgaujas horizontā D3gj2 apstiprina, ka tikai veicot sanācijas darbus, var notikt horizonta pašattīršanās, samazinoties SVAV masai. To nodrošina piesārņotā ūdens ieplūde Gaujas upē un arī SVAV sabrukšana pie nosacījuma, ka ir veikti sanācijas darbi.

Prognozētā piesārņojuma masas, kas ilgtermiņā jau ir noplūduši pazemes ūdeņos, ieplūde Gaujas upē nepasliktinās tās ūdens kvalitāti, jo upes caurplūdums ir vismaz 10⁶ reizes lielāks par piesārņojuma masas ieplūdes intensitāti.

Modelēšanas rezultāti sarkofāgam prognozē, ka pazemes ūdenī izšķīdusī piesārņojuma masa no sarkofāga caur morēnu gQ nokļūs Augšgaujas horizontā D3gj2 ~50 gadu laikā. Tomēr piesārņojuma masas nokļūšana tālāk Gaujas upē ir maz ticama.

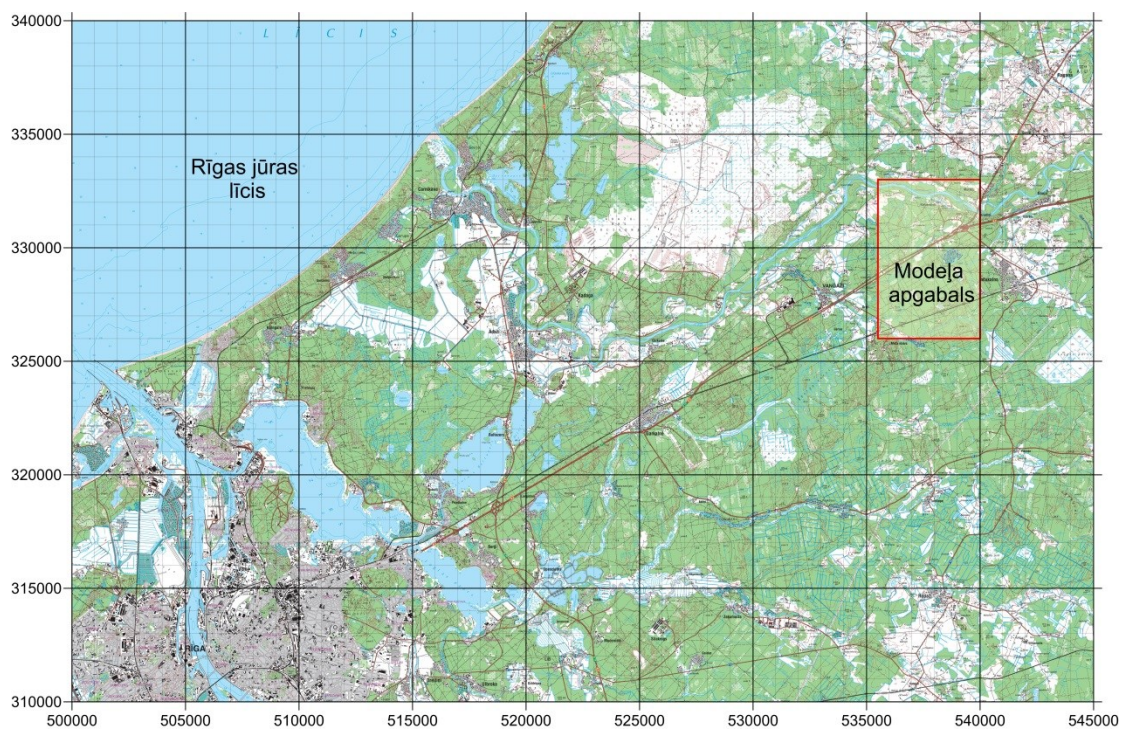
Īstenojot pazemes ūdens sanāciju, ir izveidota un pārbaudīta pazemes ūdens attīrīšanas sistēma. Attīrīti ~7.2% no SVAV masas Augšgaujas horizontā D3gj2. Piesārņotā pazemes ūdens attīrīšana bija pietiekami efektīva, lai horizontā novadāmajā ūdenī sasniegtu MK noteikumos Nr. 118 noteikto SVAV minimālo piesārņojuma samazinājumu vismaz 5 reizes (80%).

Ar modelēšanas metodēm iegūtie rezultāti nav uzskatāmi par absolūti ticamiem. Arī izmantotais hidroģeoloģiskais modelis nevar precīzi imitēt reālos pazemes ūdens procesus. Tomēr atskaitē apkopotie modelēšanas rezultāti ļauj novērtēt veikto sanācijas pasākumu sekas un plānot darbus, kurus varētu īstenot nākotnē.

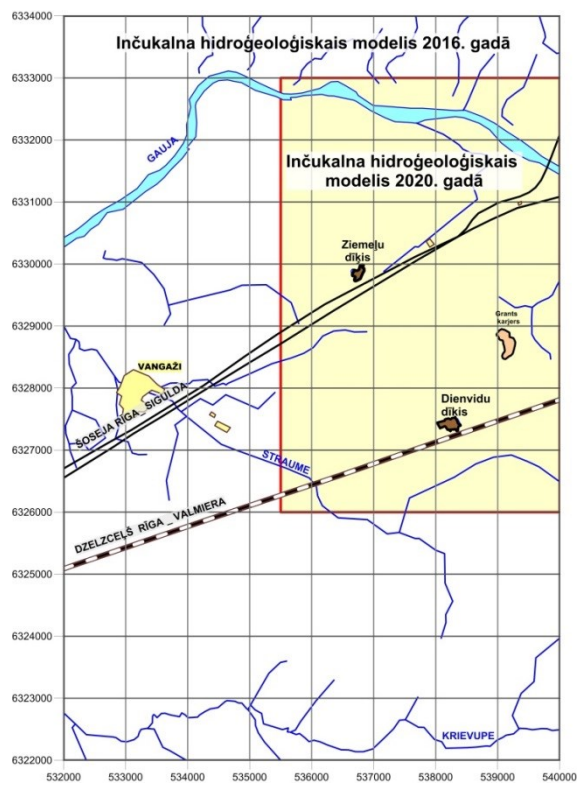
9. Izmantotie informācijas avoti

1. Darba uzdevums līgumam “Veikt modelēšanas darbus ar hidroģeoloģisko modeli Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķim”, starp RTU un PS “Inčukalns Eko” biedru SIA “EKO OSTA”, 2020, Rīga, 12 lpp
2. Environmental Simulations, Inc. *Groundwater Vistas. Version 7, Guide to using*, 2017
3. W. Harbaugh, *MODFLOW-2005, U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: the ground-water flow process*, chap 16, book 6, US Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, USGS, Reston, VA
4. Zheng C. (1999) 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
5. Golden Software, Inc., *SURFER-13 for Windows*, Users manual, Guide to Using, 2015
6. Pollok D. W. 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, U.S. Geological survey, September 1994
7. Atskaites ziņojums “Vides monitorings objektā “Vēsturiski piesārņotā vieta “Inčukalna gudrona dīķi”” SIA “Azurīts”, 2019. gada II pusgads, Rīga, 2019. novembris, decembris, 46 lpp. teksta, 74 lpp. pielikumi
8. Atskaite ”Ziemeļu un Dienvidu sērskābā gudrona dīķu pazemes ūdeņus piesārņojošo vielu masas transporta matemātiskā modelēšana”, Līgums Nr. 22/12/15-I-RTU starp personu apvienību “INTERGEO” un Rīgas Tehnisko universitāti, Rīga, Marts, 2016, 31 lpp. teksta, 79 att. un 8 pielikumi.
9. I. Semjonovs. Piesārņošanās un pašattīrīšanās procesi pazemes ūdeņos, Latvija, Rīga, Zinātne, 1995, 121. lpp.
10. Plāns pazemes ūdens sanācijai Ziemeļu dīķa teritorijā “Vēsturiski piesārņotās vietas “Inčukalna sērskābā gudrona dīķi” projektēšana un sanācijas darbi”, PS “Inčukalns Eko”, līgums Nr. VVD/CS/2018/10 /ERAF, Rīga, 2019, 24 lpp. teksta, 6 pielikumi.
11. Ministru kabineta 2002. gada 12. marta noteikumi Nr. 118 “Noteikumi par virszemes un pazemes ūdeņu kvalitāti” (aktuālā redakcija)

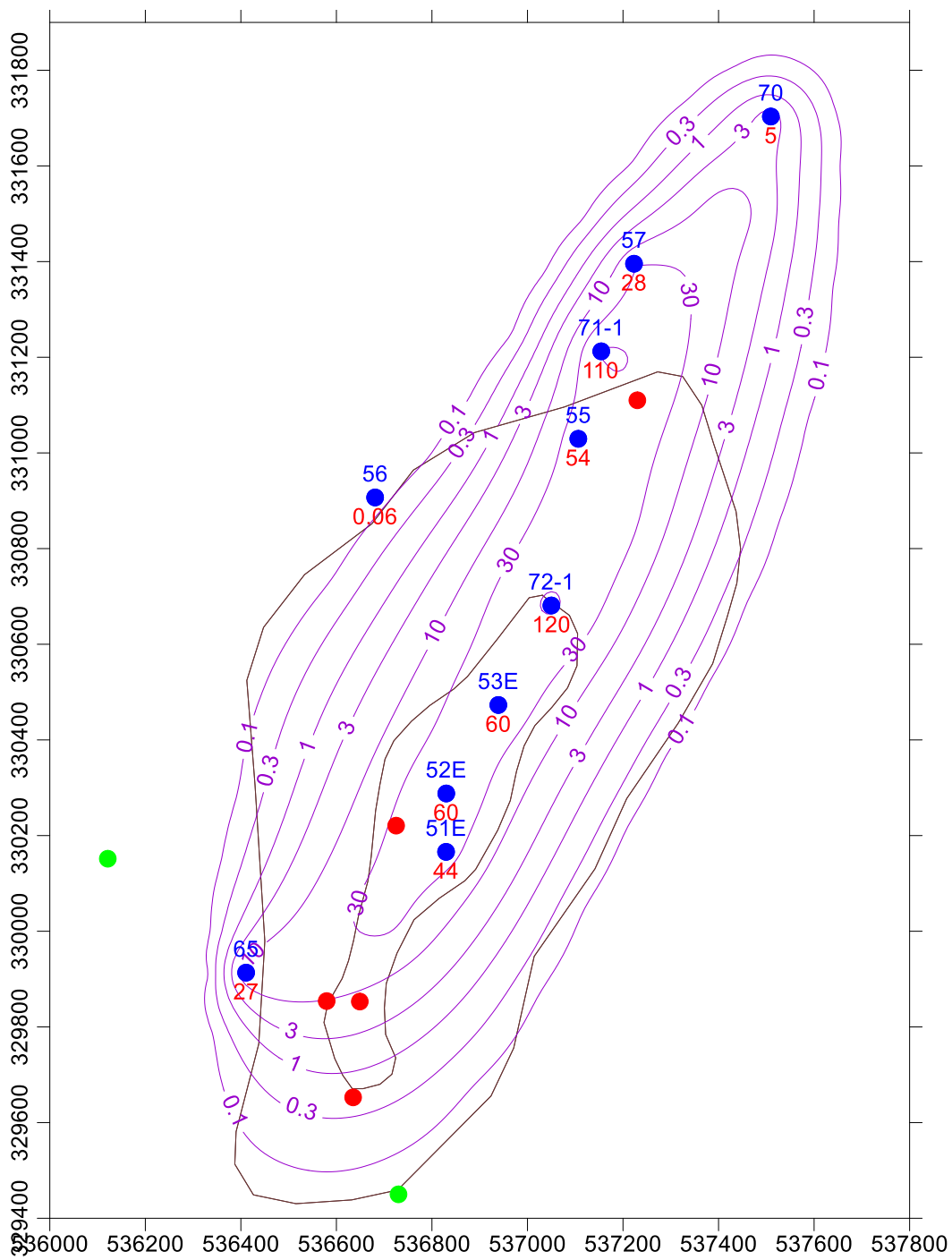
12. Piemēroto vietu izvēle gudrona atkritumu iekapsulēšanai, Atskaite par inženierģeoloģiskajiem pētījumiem Inčukalna apkaimē 1997.-98 gados, SIA GEO CONSULTANTS, Rīga, 1998. g. septembris, 68 lpp.
13. Starpatskaite par inženierģeoloģisko pētījumu veikšanu vispiemērotākās vietas izvēlei gudrona atkritumu iekapsulēšanai. SIA GEO CONSULTANTS, Rīga, 1998. g. janvāris, 6. grafiskais pielikums: Morēnas biežuma karte.
14. Sanācijas uzdevums "Inčukalna sērskābā gudrona dīķu sanācijas darbu turpināšanai un pabeigšanai". Valsts vides dienests Lielrīgas reģionālā vides pārvalde, Rīga, 2016. g. septembris.
15. Sanācijas darbu žurnāls. PS "Inčukalns Eko", Rīga, 2020. g. marts.



1.1.att. Hidroģeoloģiskā modeļa novietojums 2020.g.

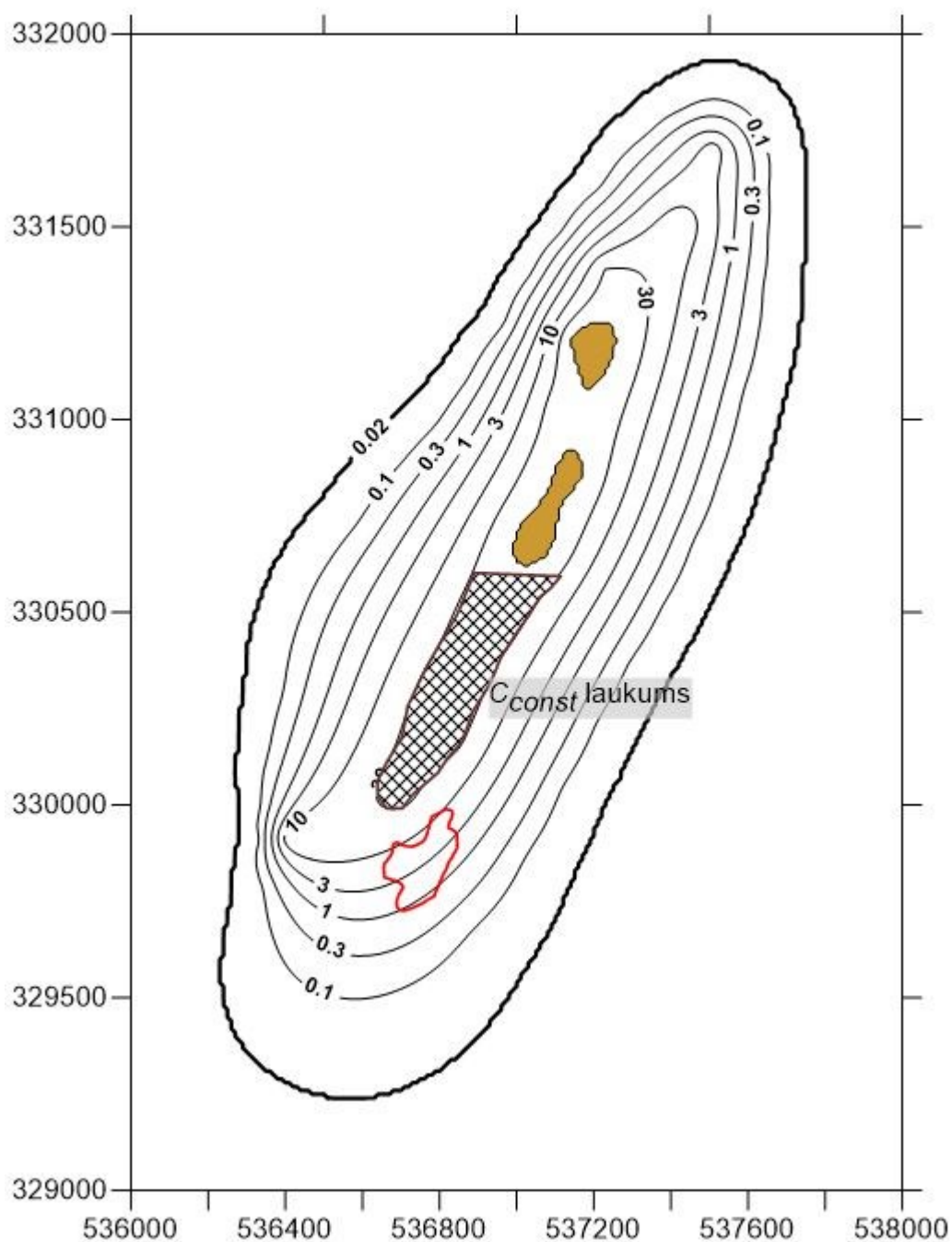


1.2. att. Hidroģeoloģiskā modeļa laukuma izmaiņa 2020.g.

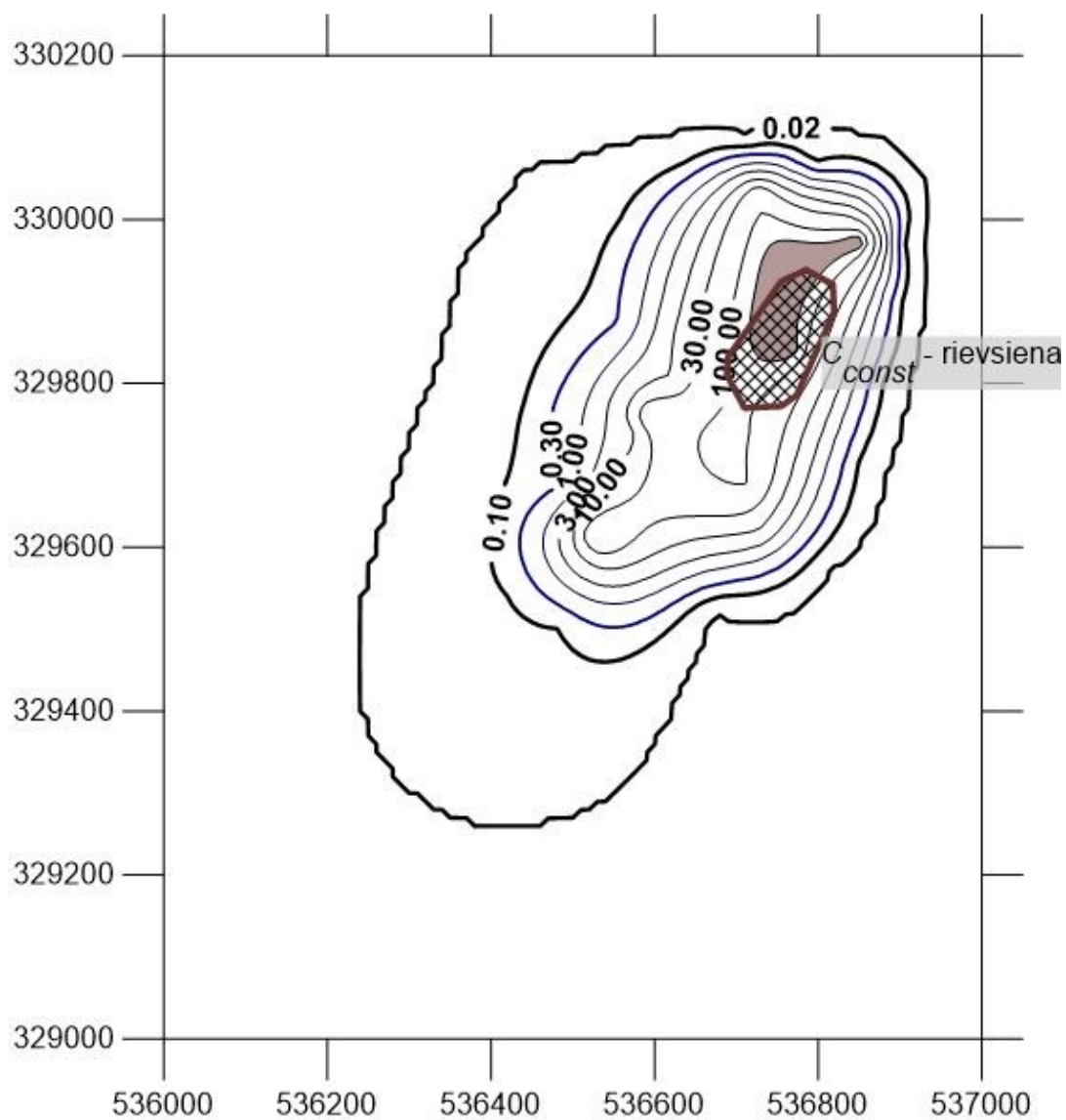


- 30 --- interpolētā SVAV koncentrācija, mg/l
- 44 2018.-2019. gada vidēja SVAV koncentrācija urbumā, mg/l
- piesārņojuma areāls un tā kodols pēc 2005. gada VEZ datiem
- iepriekšējo gadu urbums ar augstu SVAV koncentrāciju
- urbums bez piesārņojuma pazīmēm

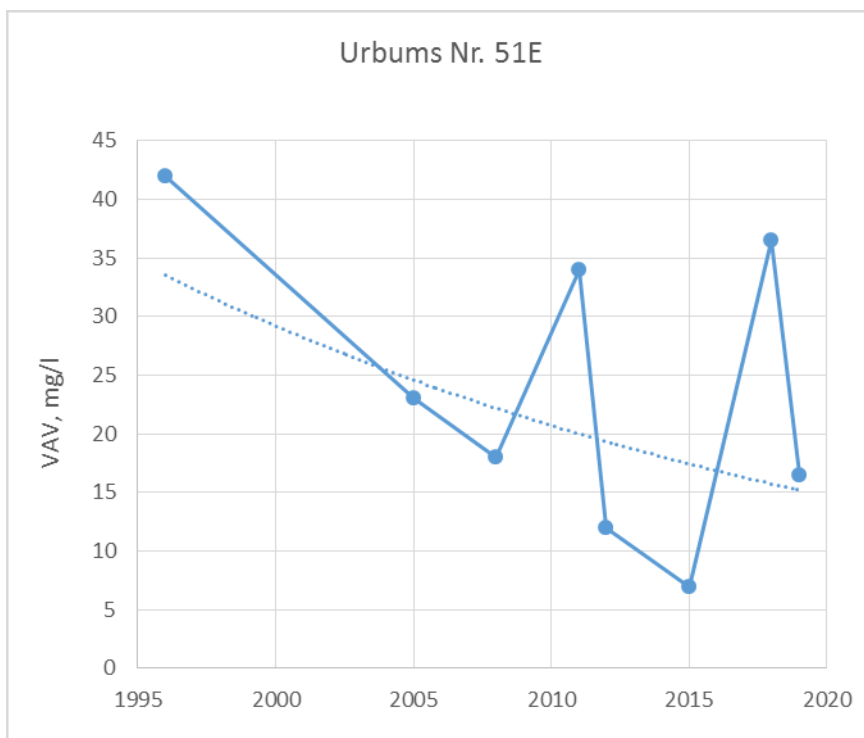
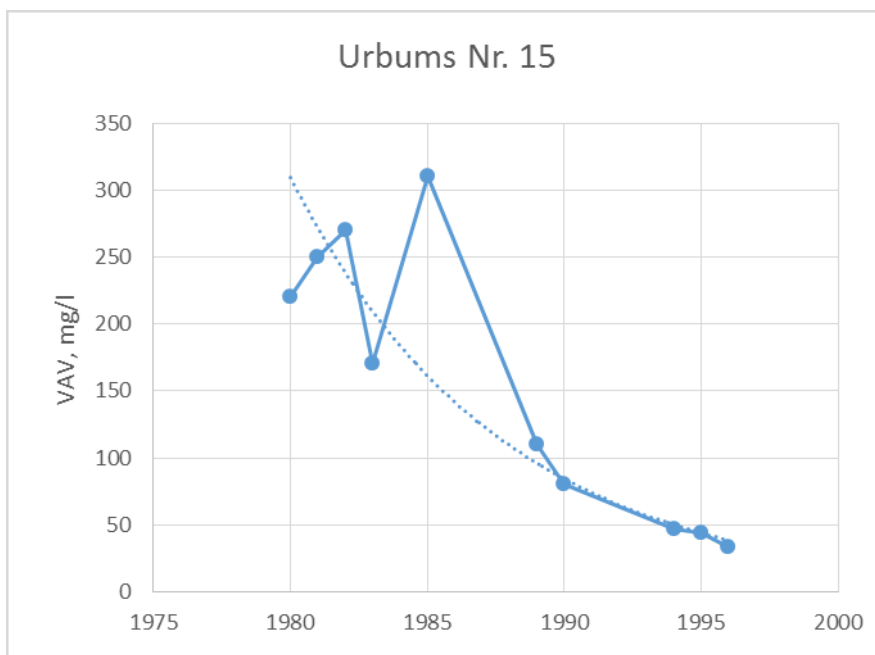
2.1. att. Oriģinālais sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums D3gj21 horizontā [1]



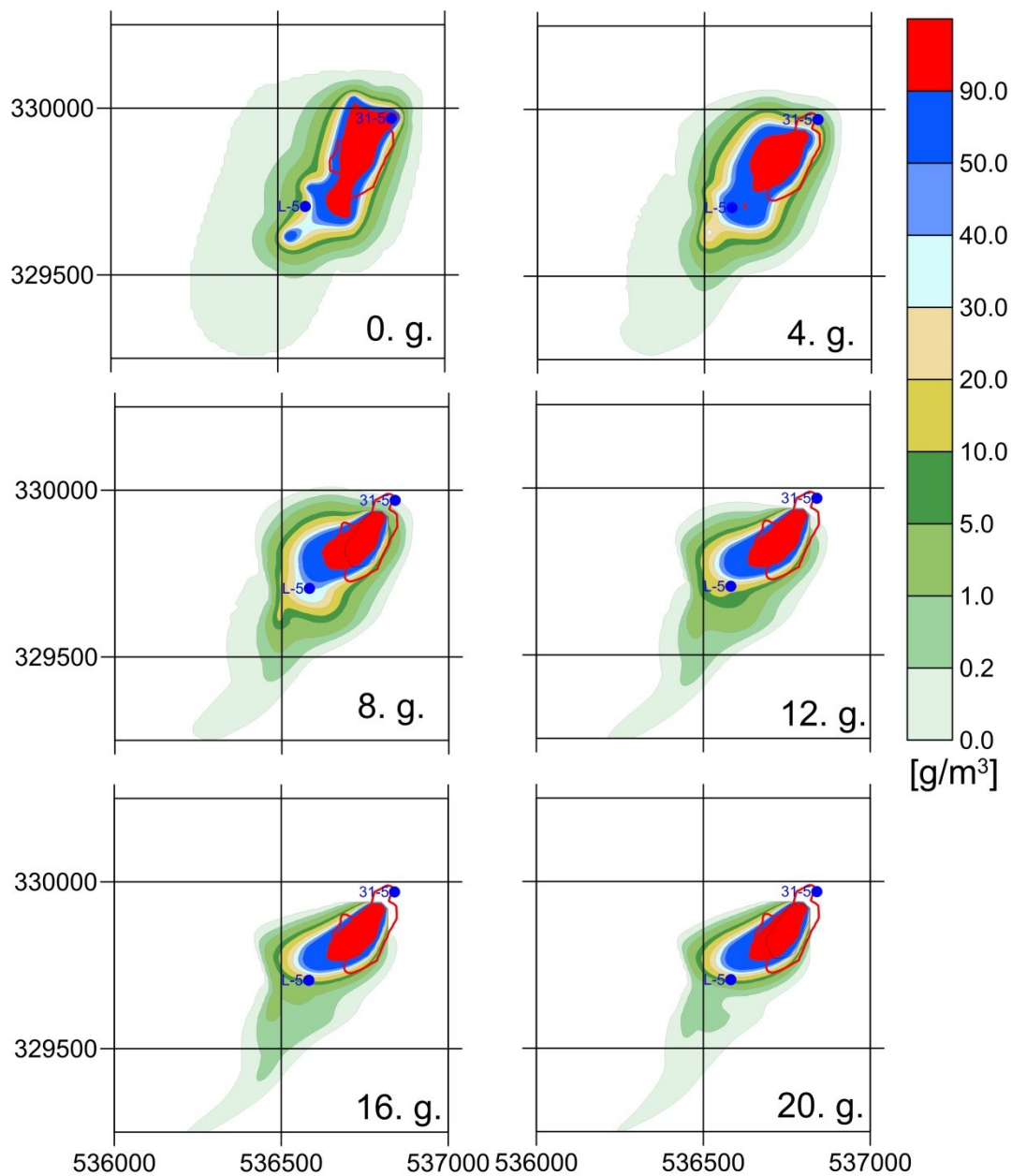
2.3. att. Koriģētais sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums D3gj21 horizontā; ietonēts $C=70$ g/m^3 apgabals



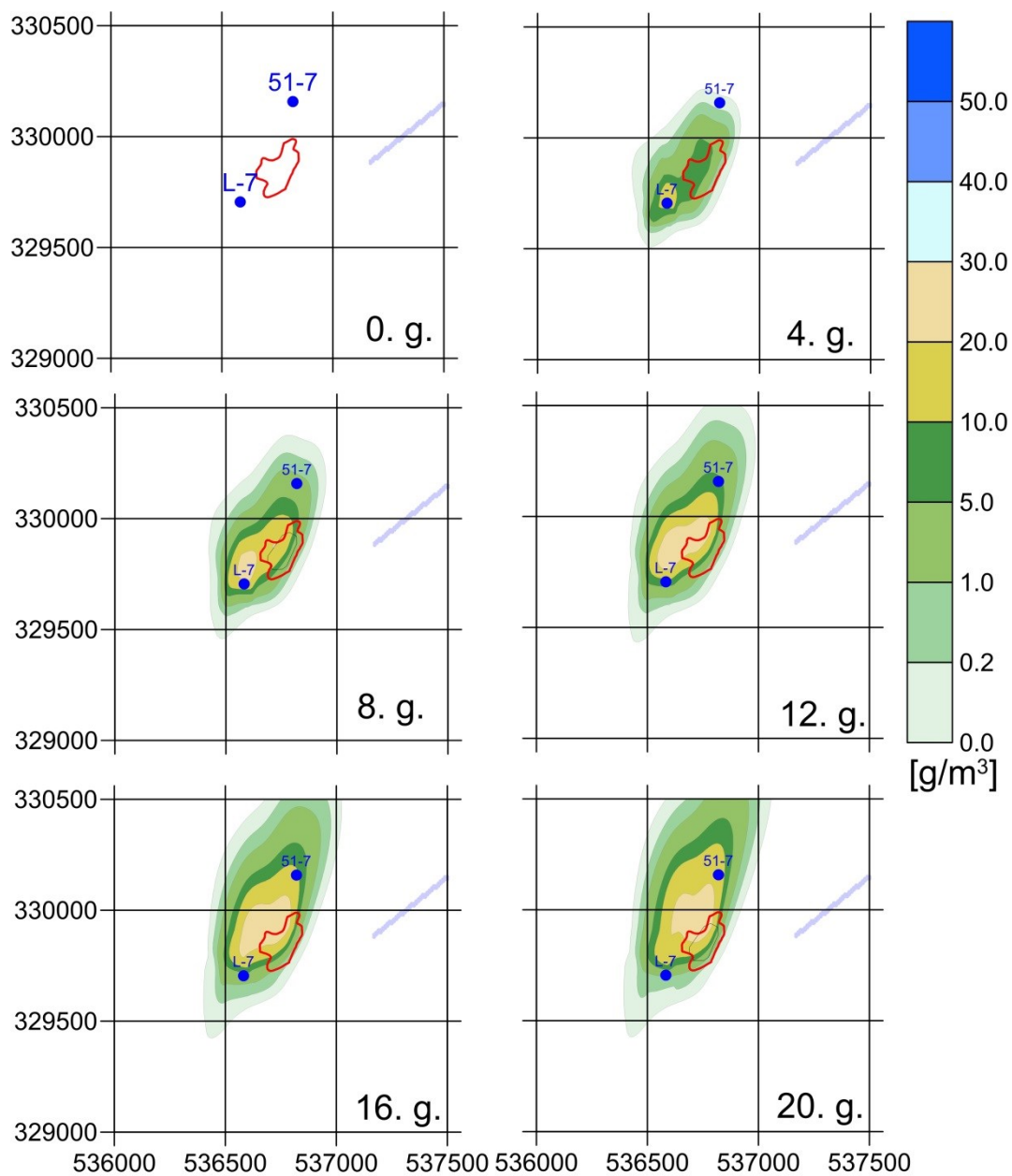
2.4. att. Koriģētais sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums Q2 horizontā; ietonēts $C=170 \text{ g/m}^3$ apgabals



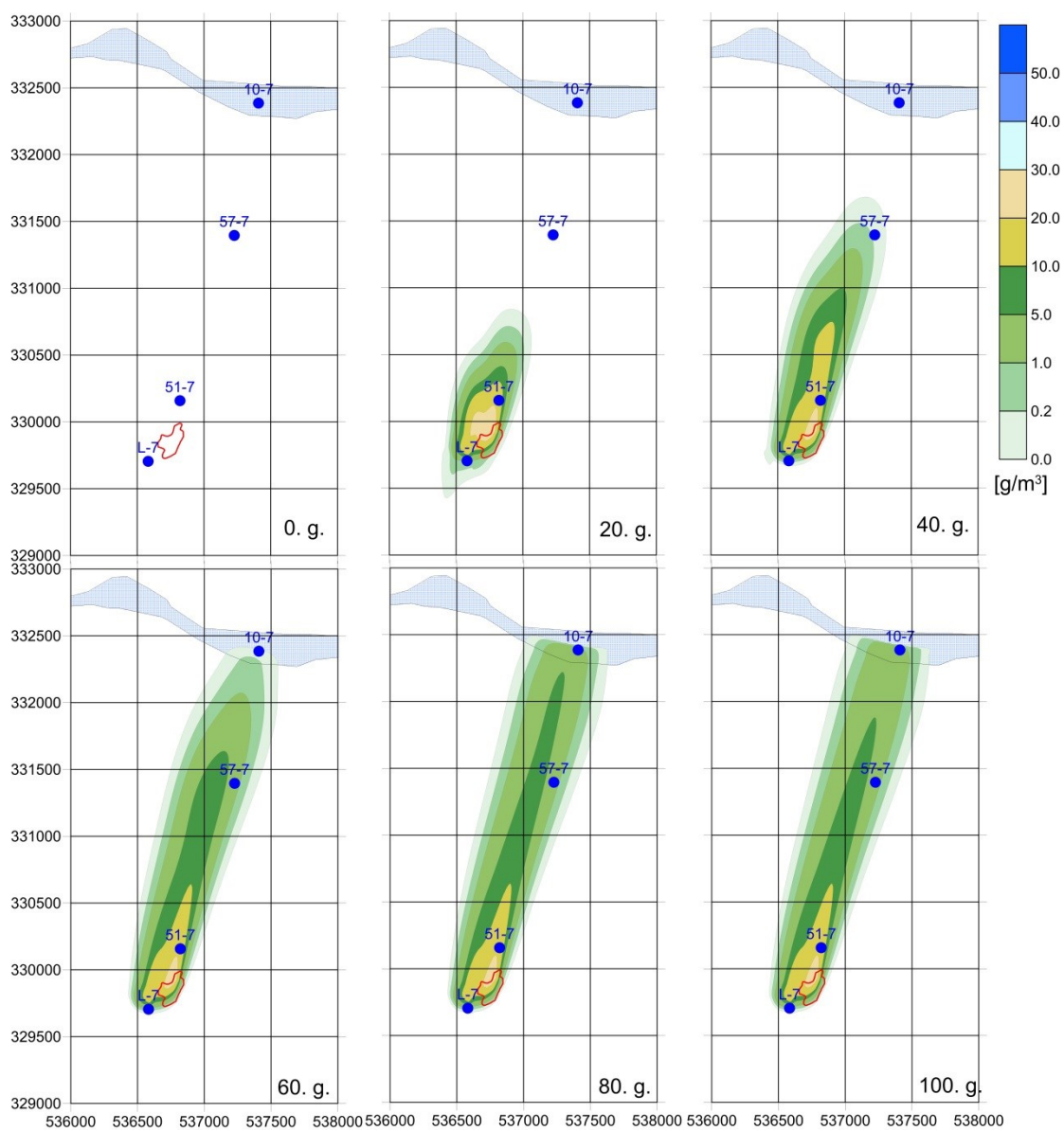
2.5. att. SVAV koncentrāciju izmaiņas monitoringa urbumos Nr. 15 un Nr. 51E [1]



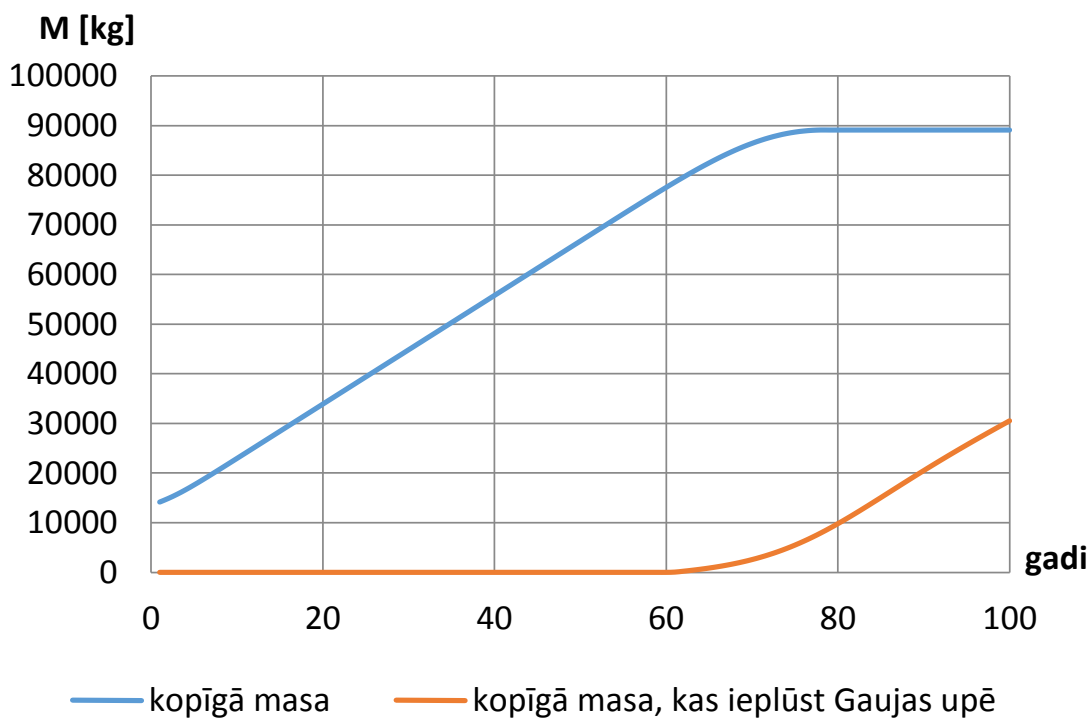
3.1.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m³] izmaiņa Kvartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); nulles scenārijs



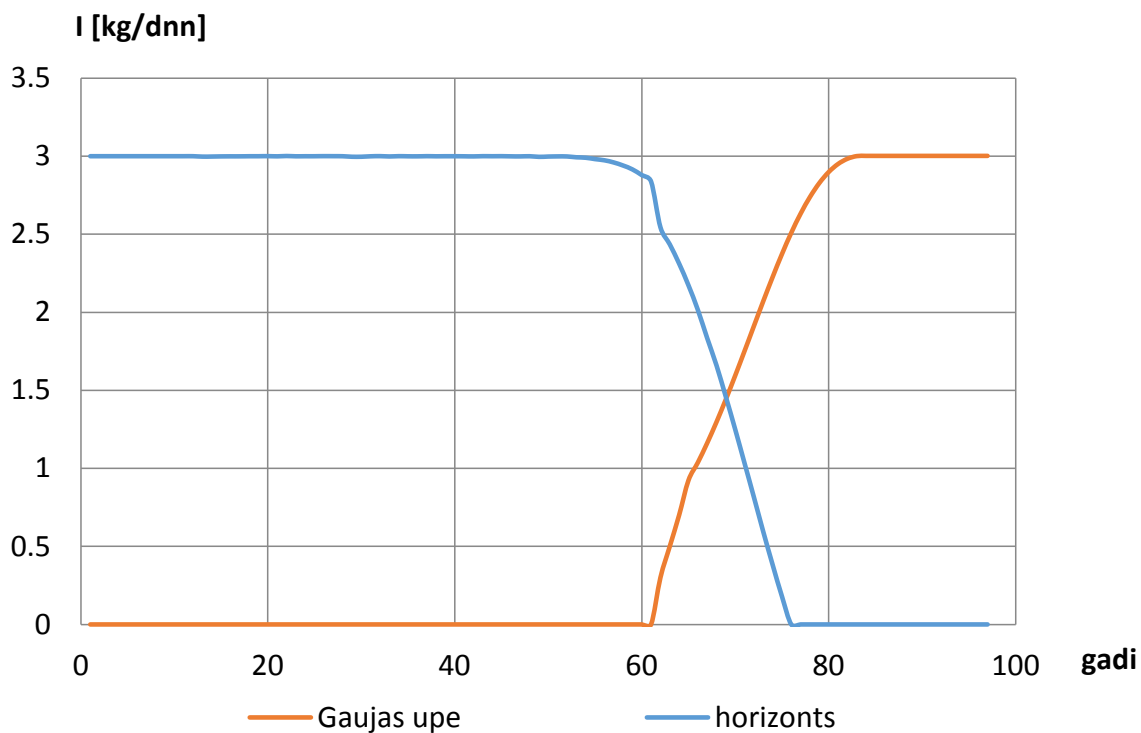
3.1.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas $[\text{g/m}^3]$ izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); nulles scenārijs



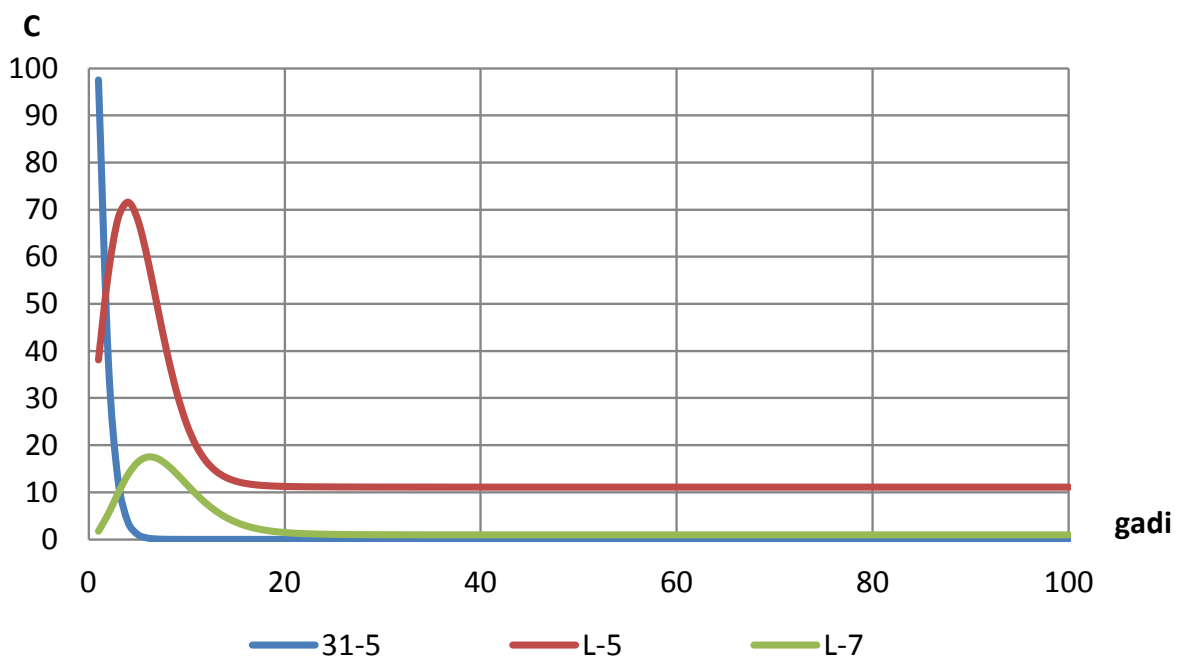
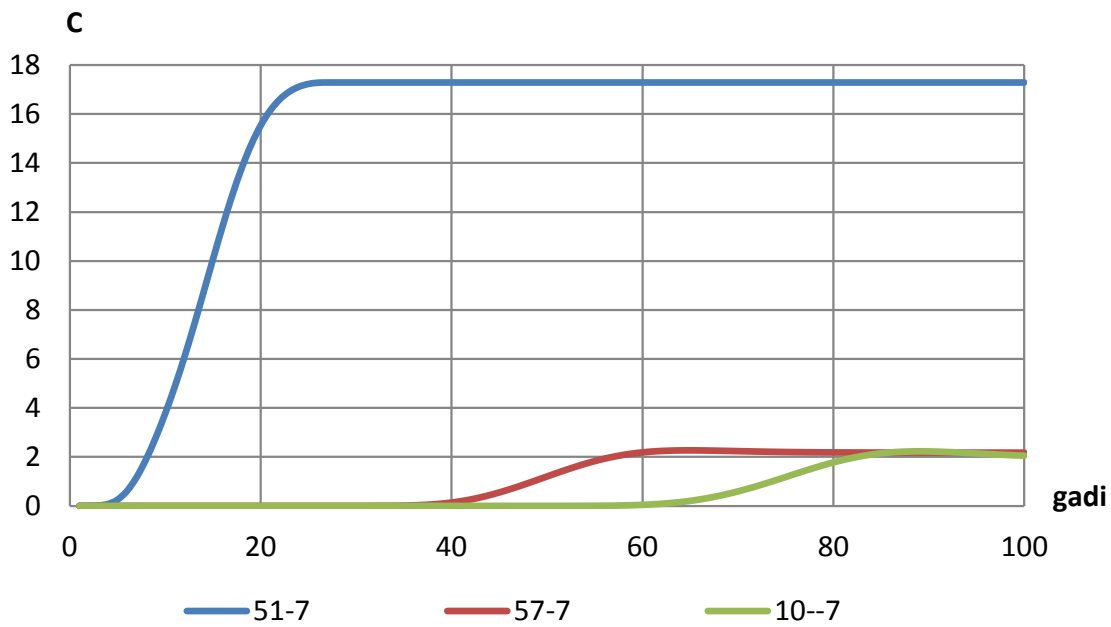
3.1.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m³] izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-100 gadi); nulles scenārijs



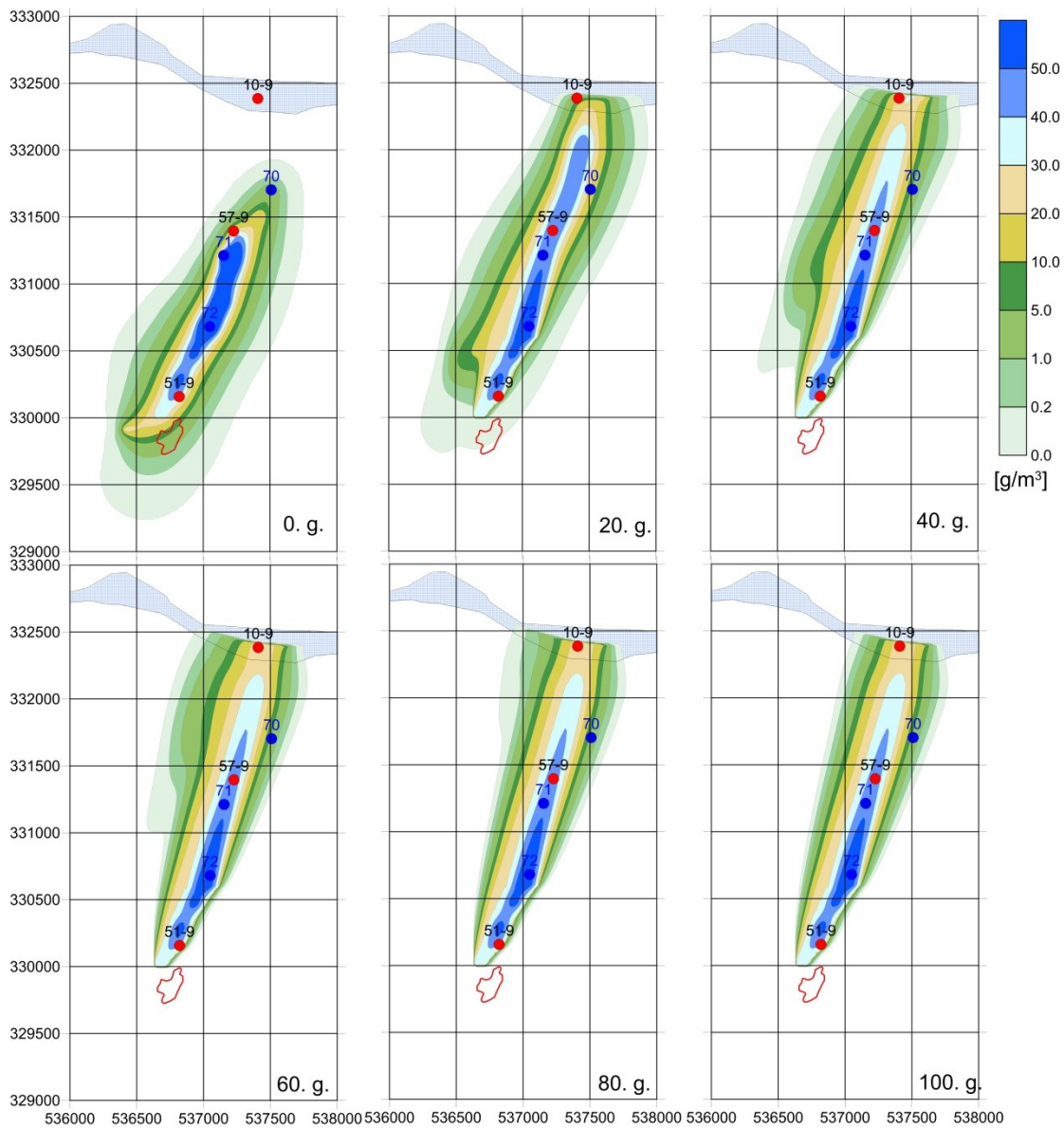
3.1.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontos Q2 un D3gj2 un ieplūdei Gaujas upē, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



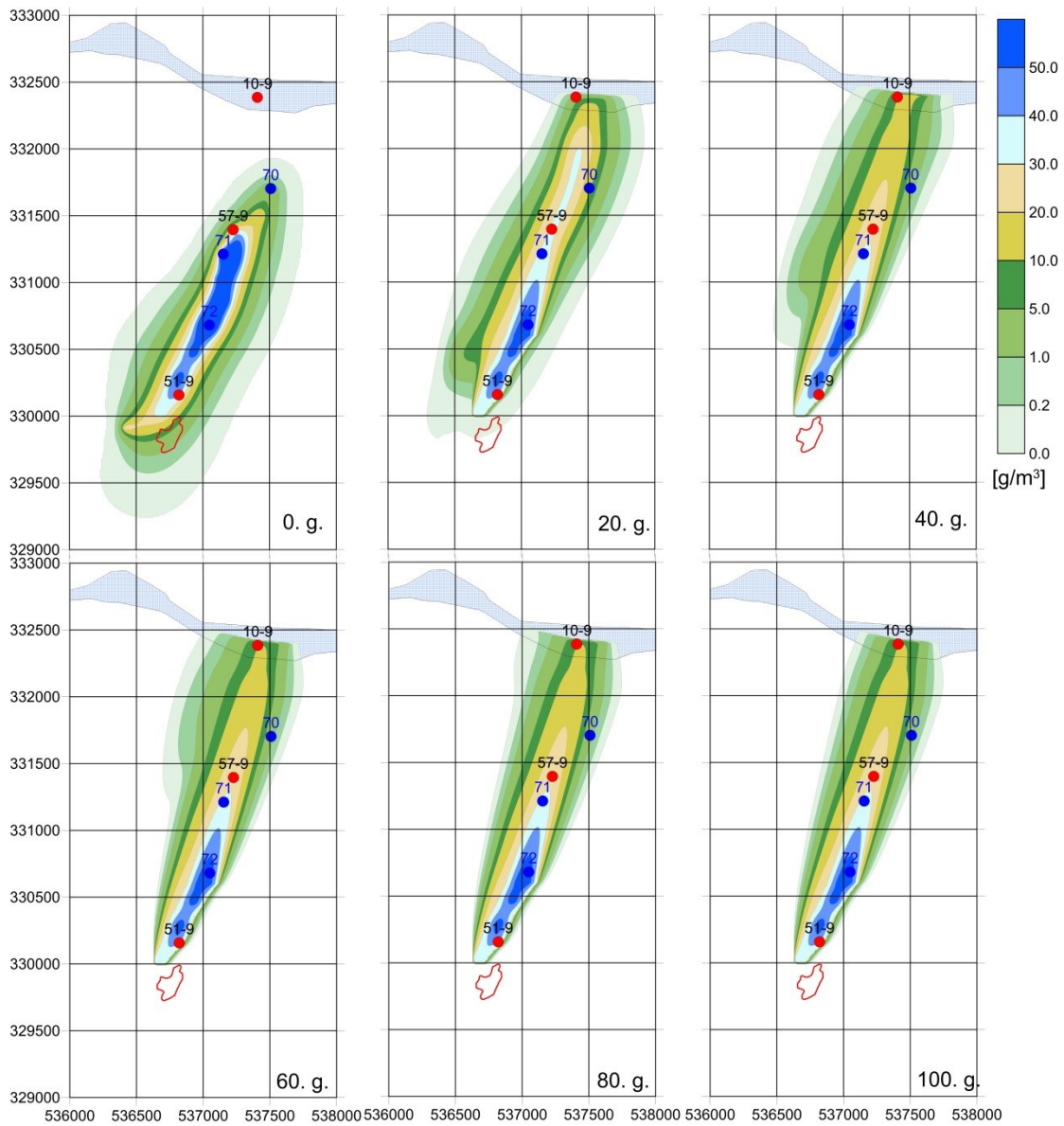
3.1.5. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] horizontā D3gj2 un Gaujas upē no horizonta D3gj2; nulles scenārijs



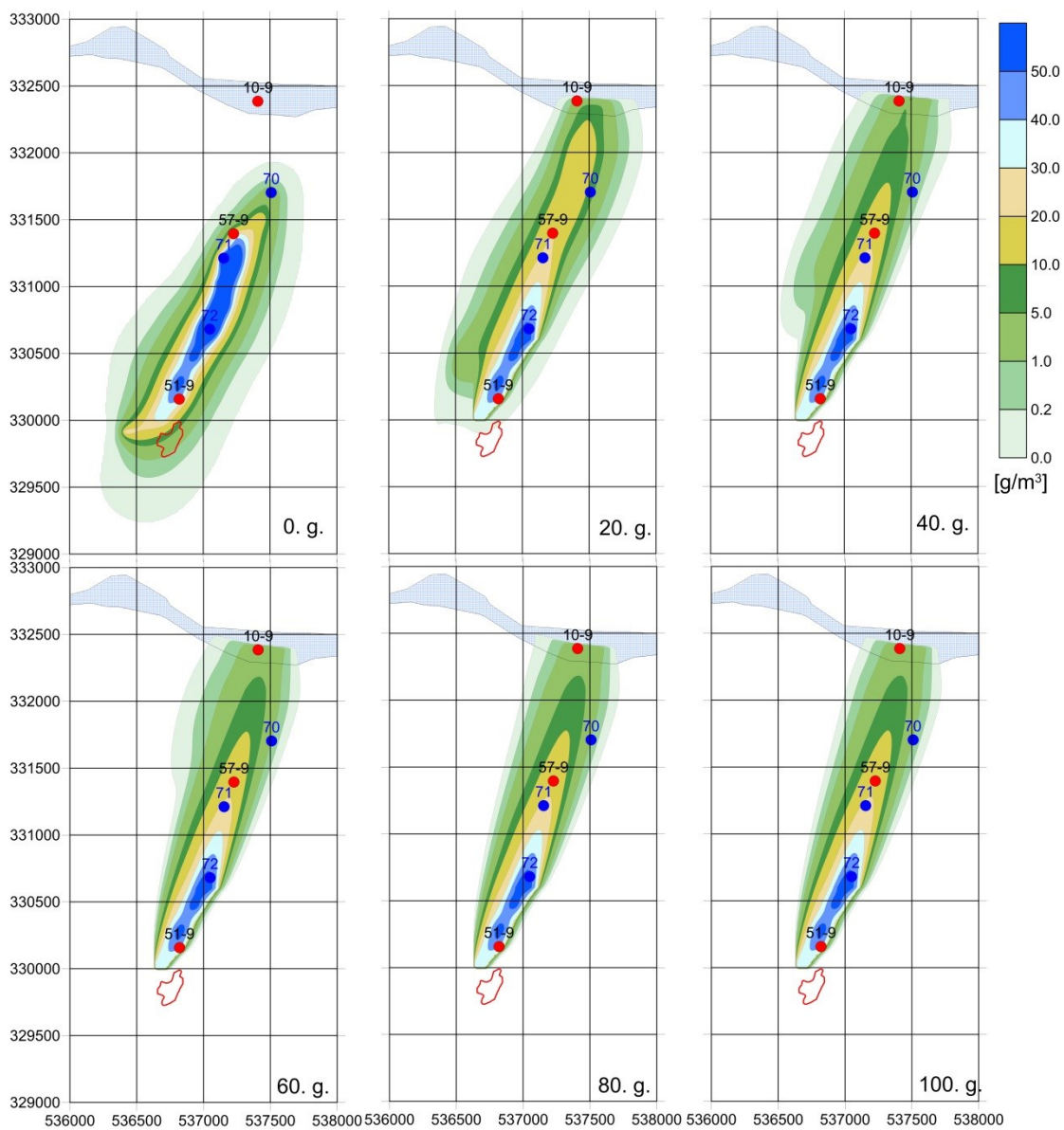
3.1.6. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontos Q21 un D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



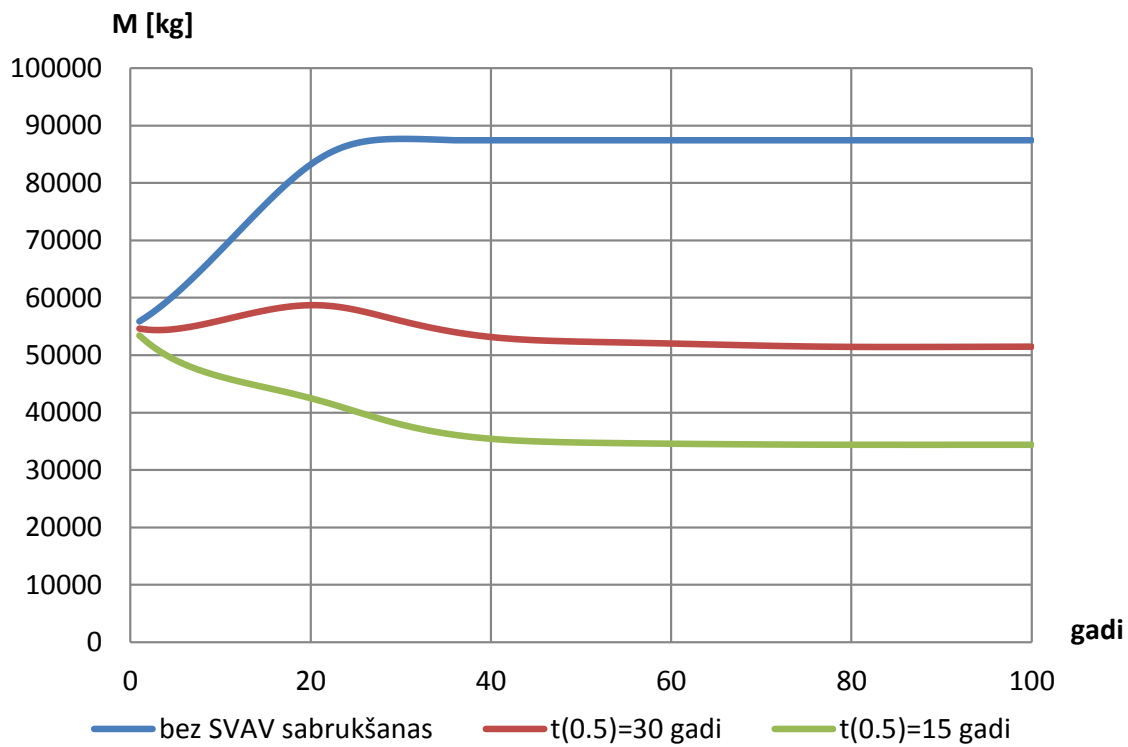
3.2.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m³] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



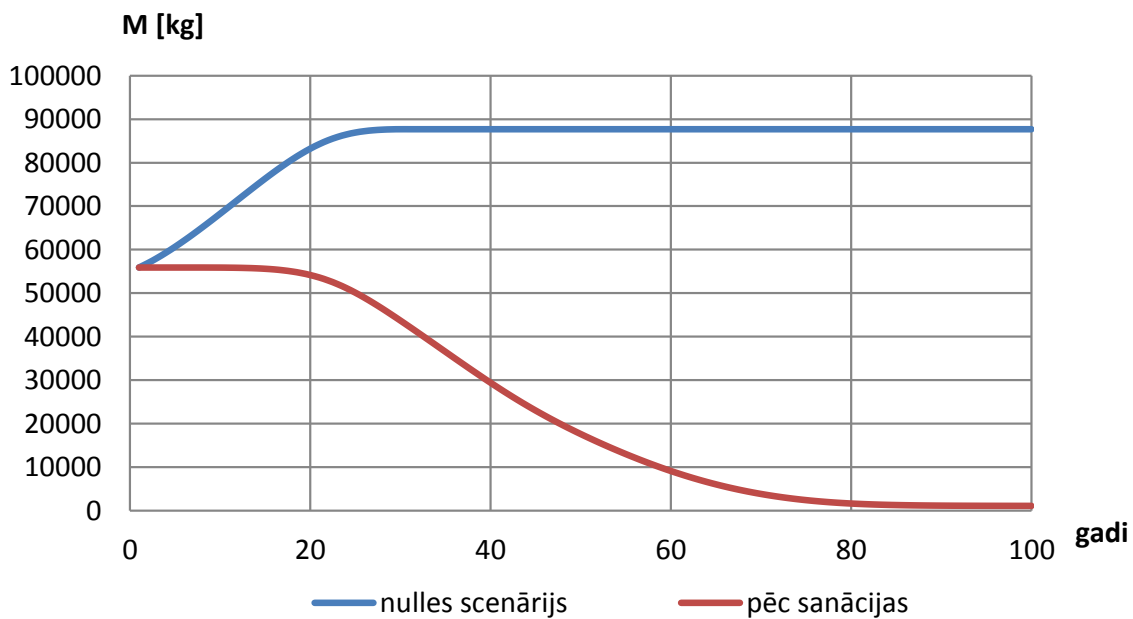
3.2.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana, $t_{0,5} = 30$ gadi; nulles scenārijs



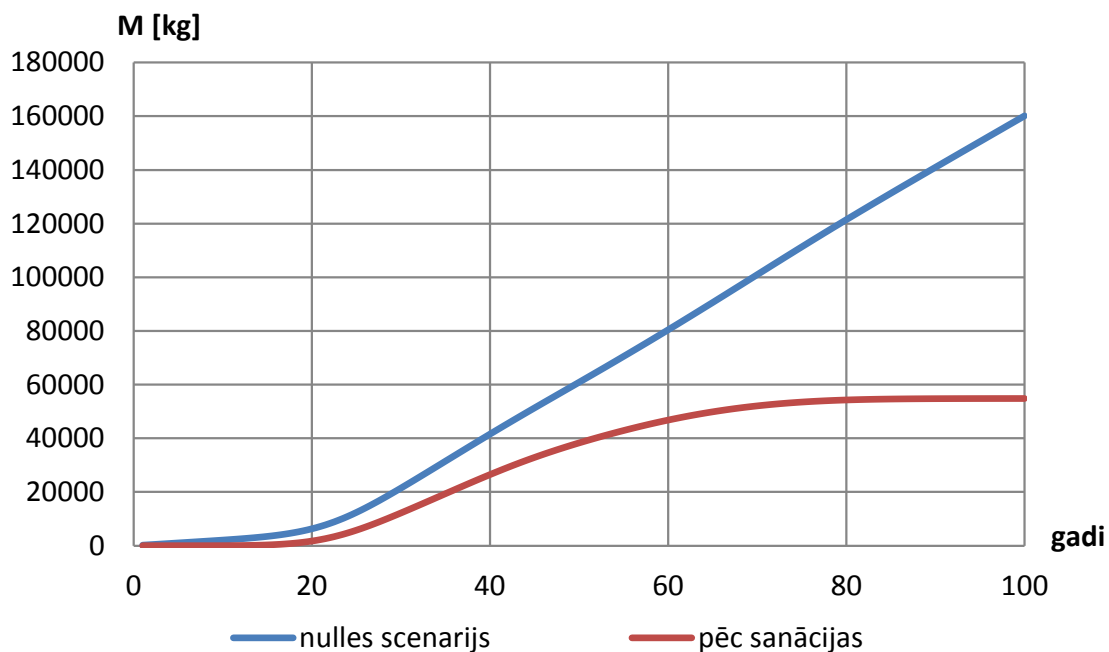
3.2.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas $[\text{g/m}^3]$ izmaiņa horizontā D3g21, ja ir SVAV sabrukšana, $t_{0.5} = 15$ gadi; nulles scenārijs



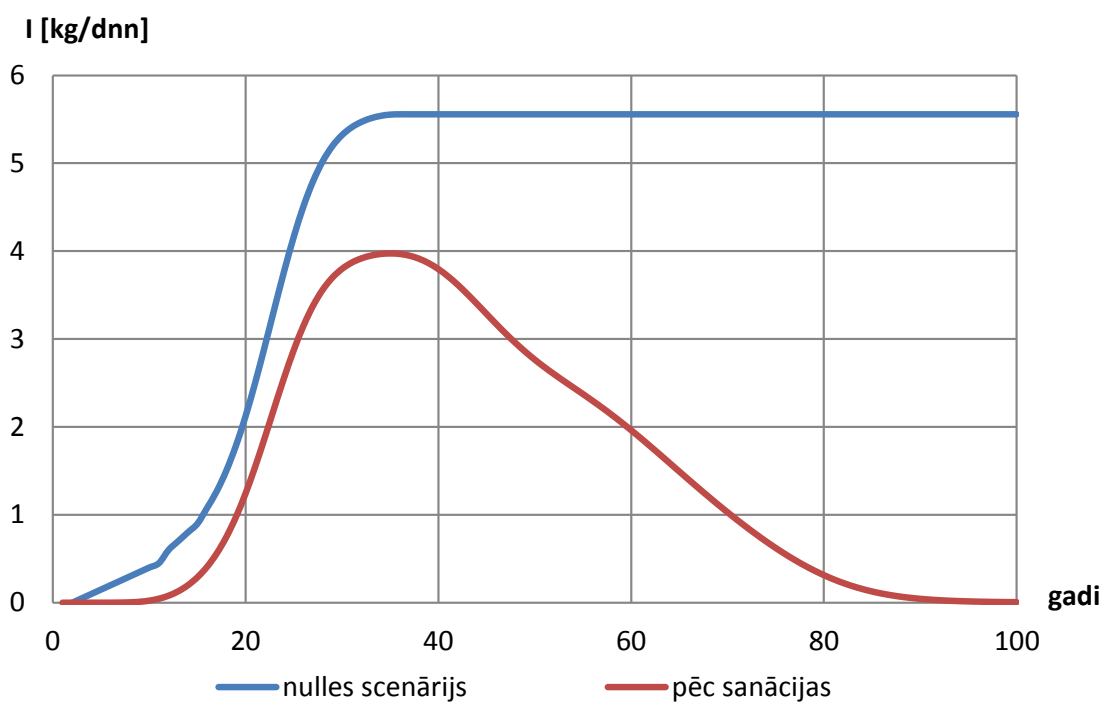
3.2.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21; nulles scenārijs



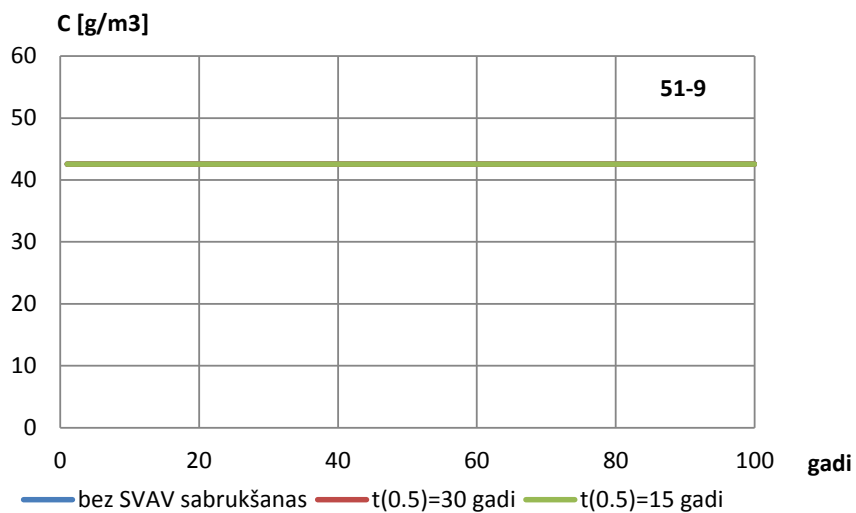
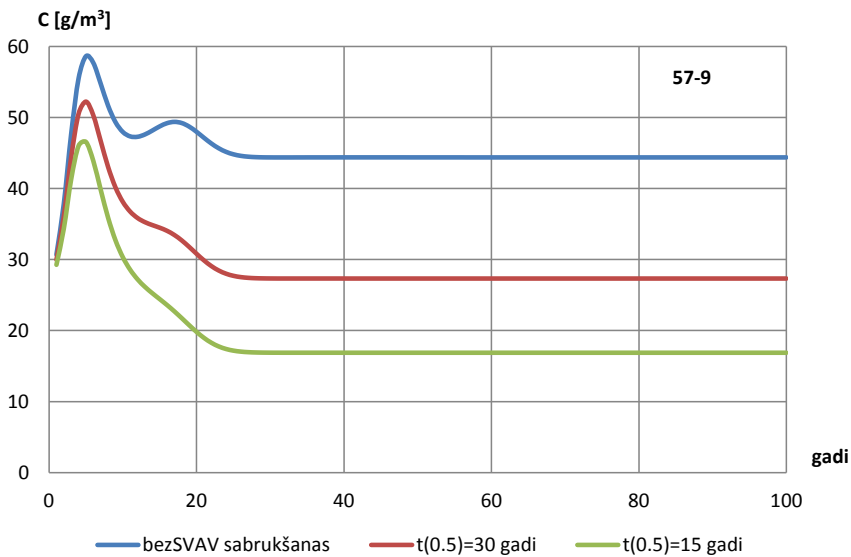
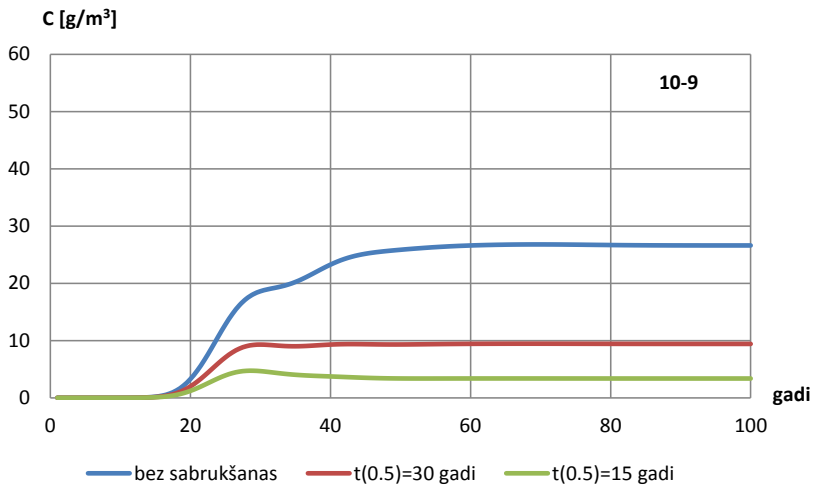
3.2.5. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21 nulles scenārijam un pēc sanācijas scenārijam, ja nav SVAV sabrukšanas



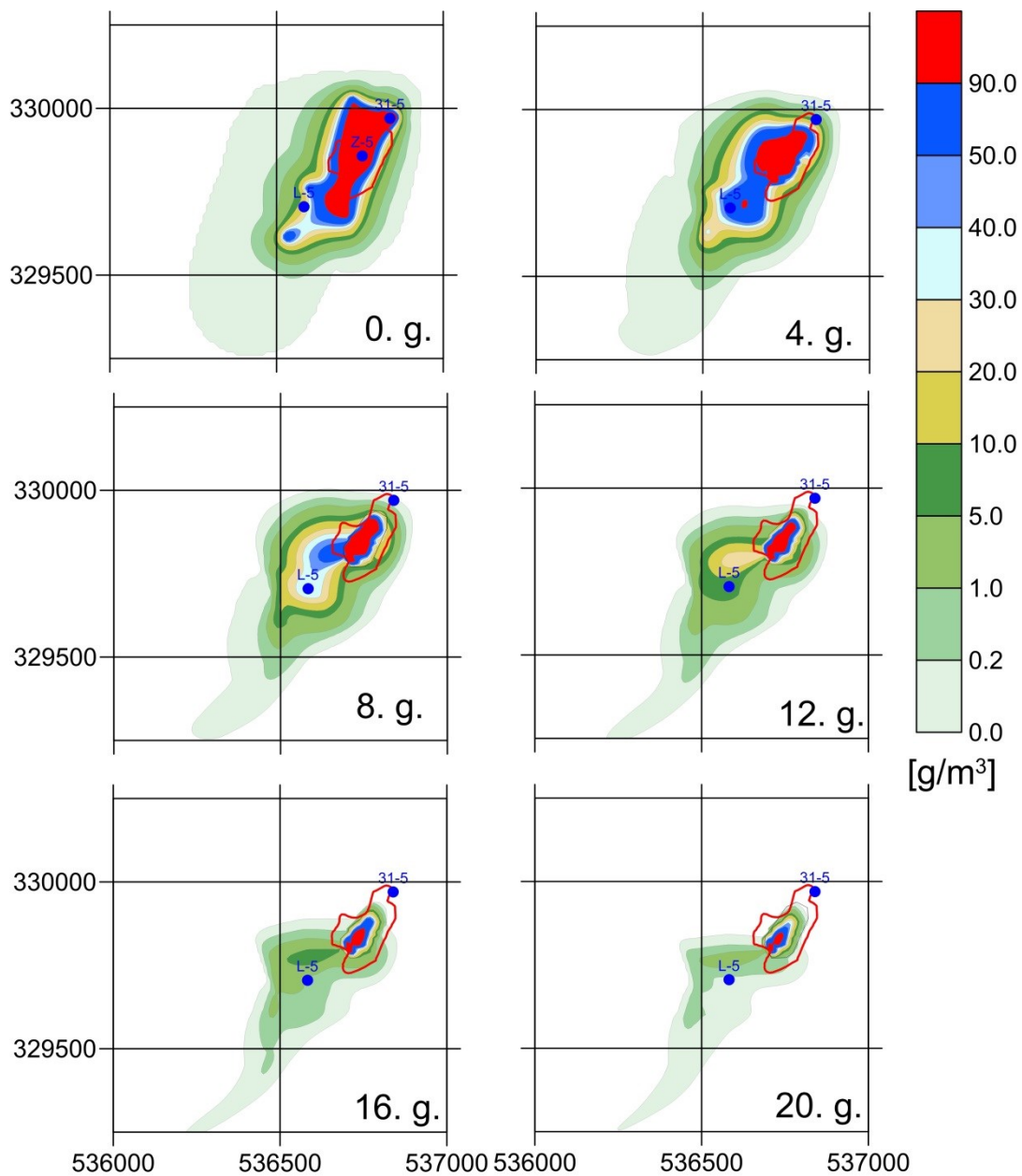
3.2.6. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] ieplūde Gaujas upē no horizonta D3gj21 nulles scenārijam un pēcsanācijas scenārijam, ja nav SVAV sabrukšanas



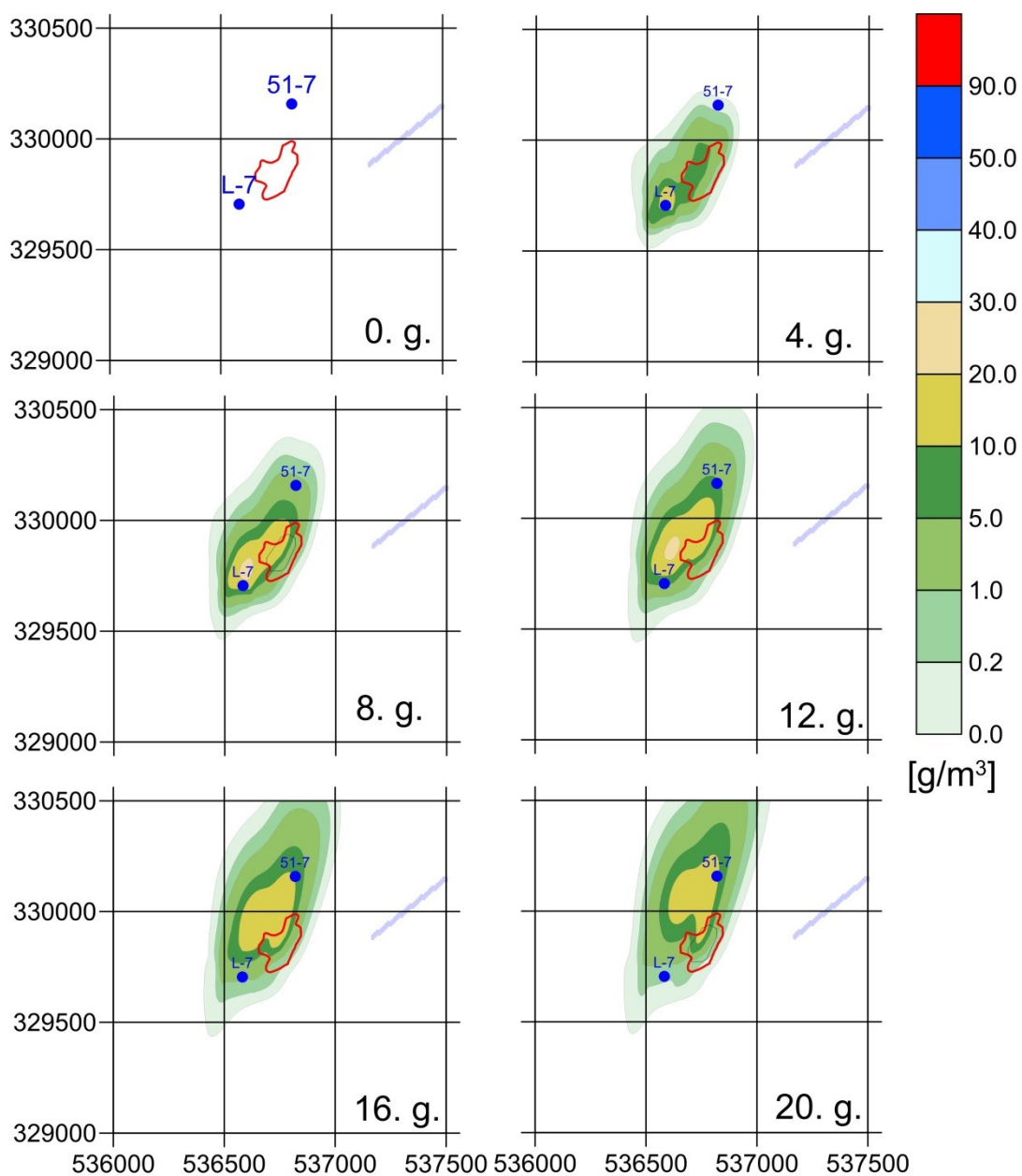
3.2.7. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] Gaujas upē no horizonta D3gj21 nulles scenārijam un pēcsanācijas scenārijam, ja nav SVAV sabrukšanas



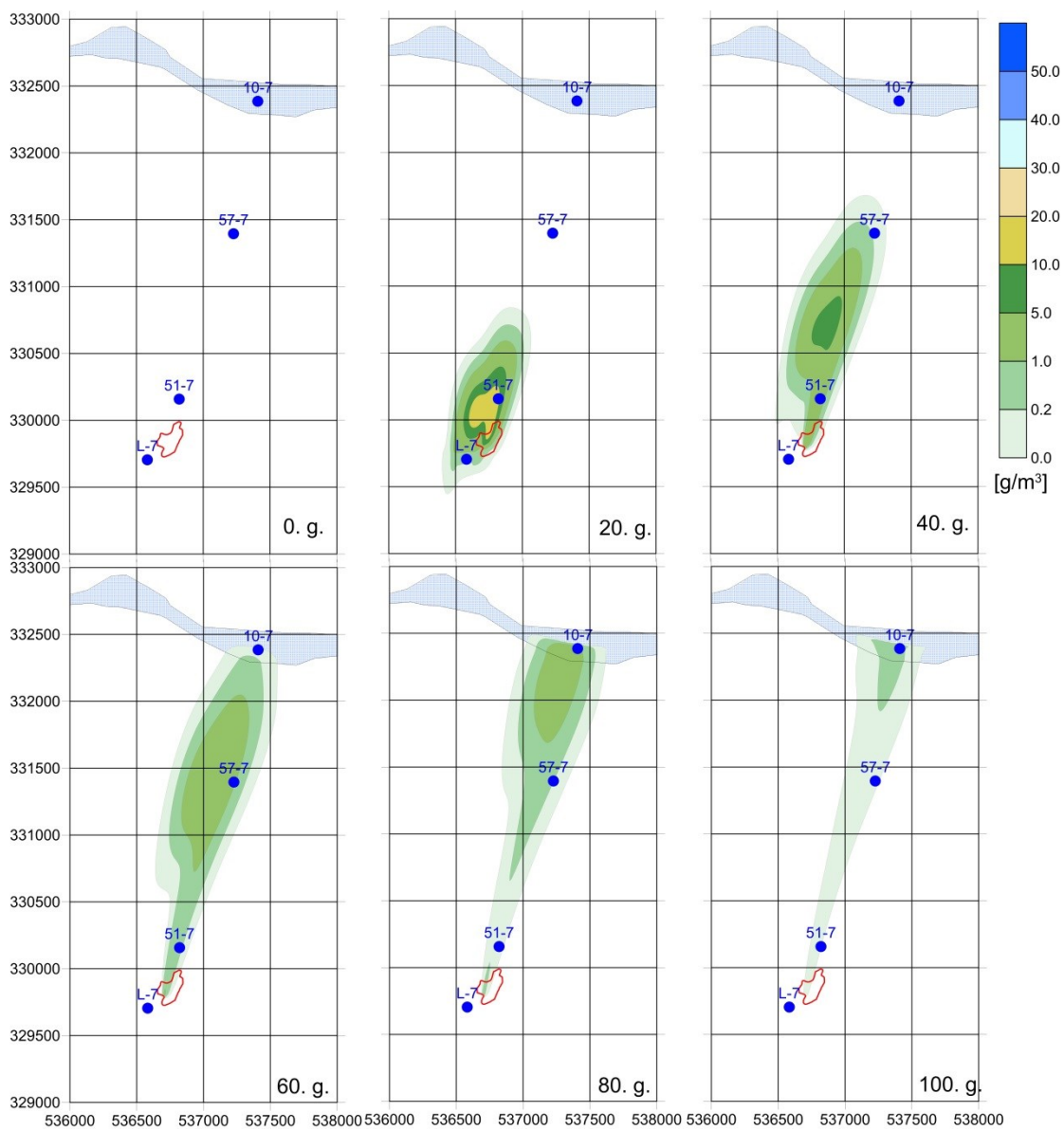
3.2.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontā D3gj21; nulles scenārijs



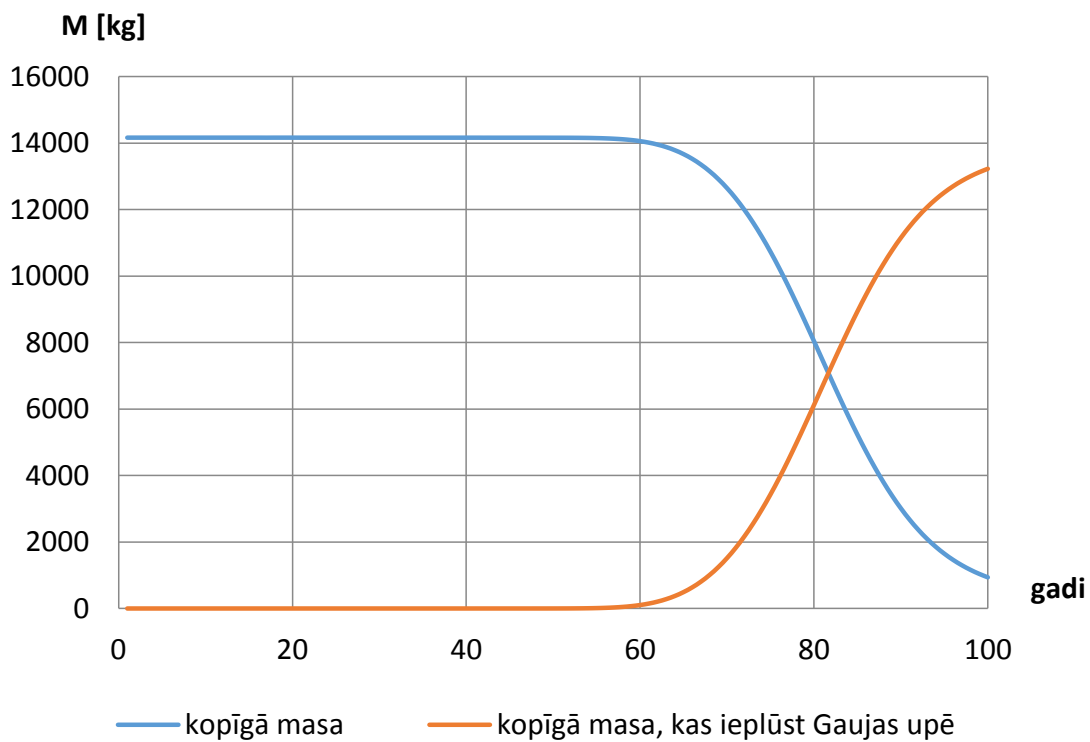
4.1.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas $[\text{g/m}^3]$ izmaiņa Kvartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); pēc sanācības



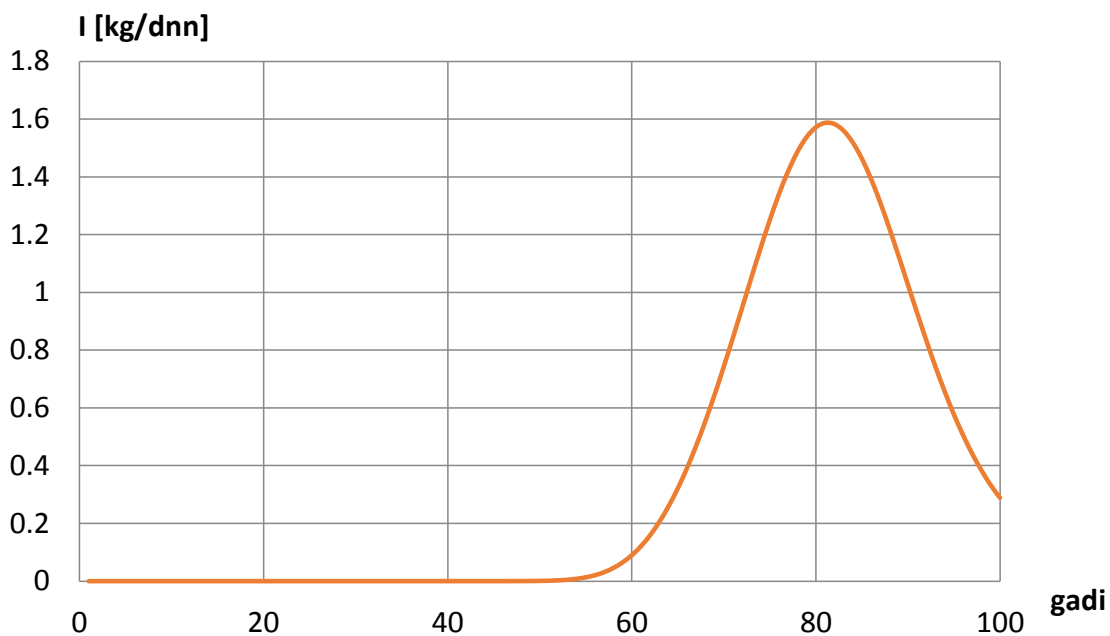
4.1.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas $[\text{g/m}^3]$ izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-20 gadi); pēc sanācības



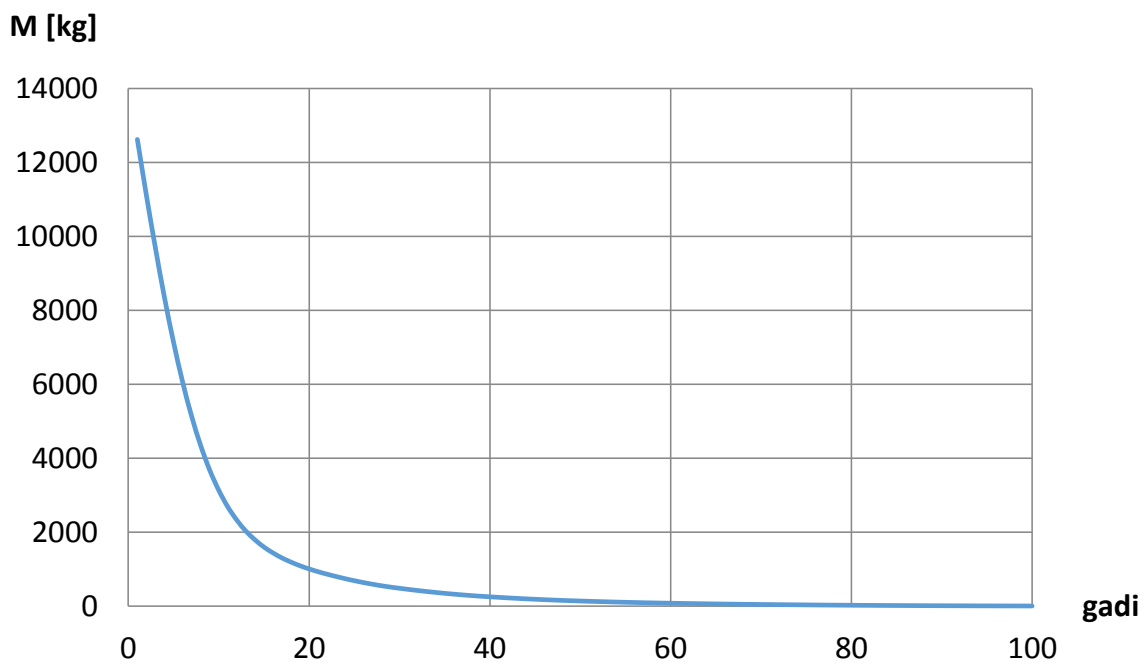
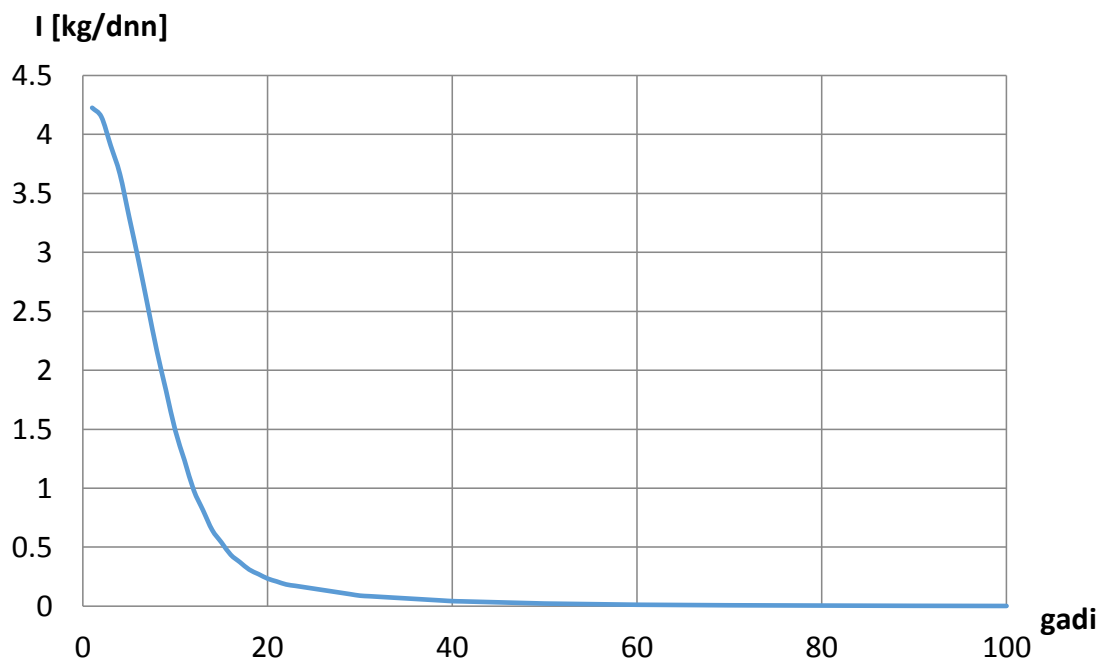
4.1.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-100 gadi); pēc sanācības



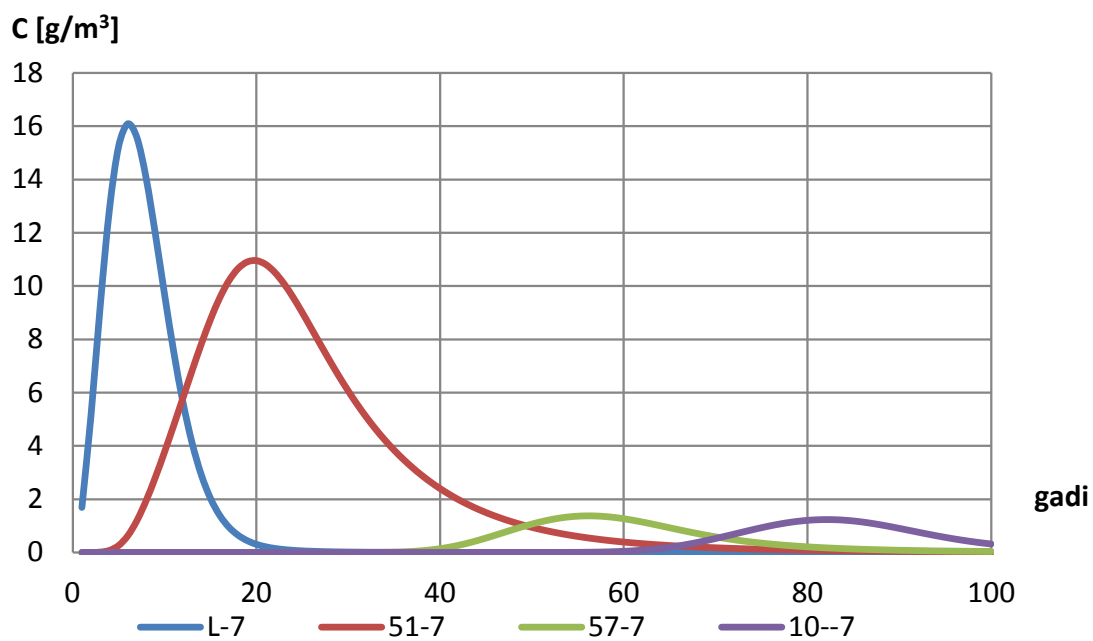
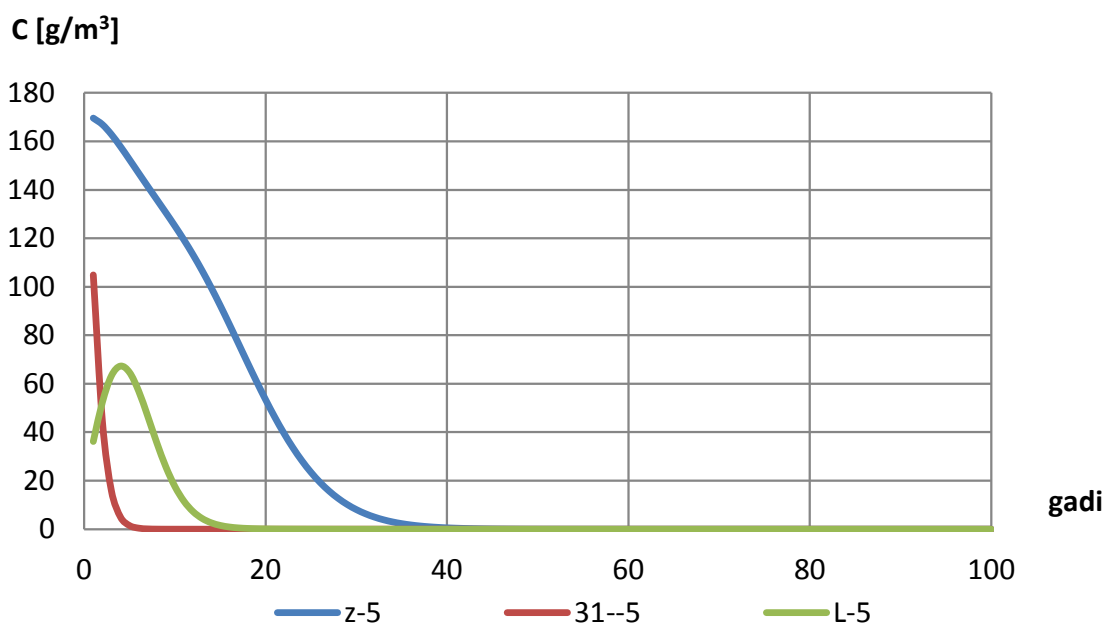
4.1.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontos Q2 un D3gj2 un ieplūdei Gaujas upē, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības



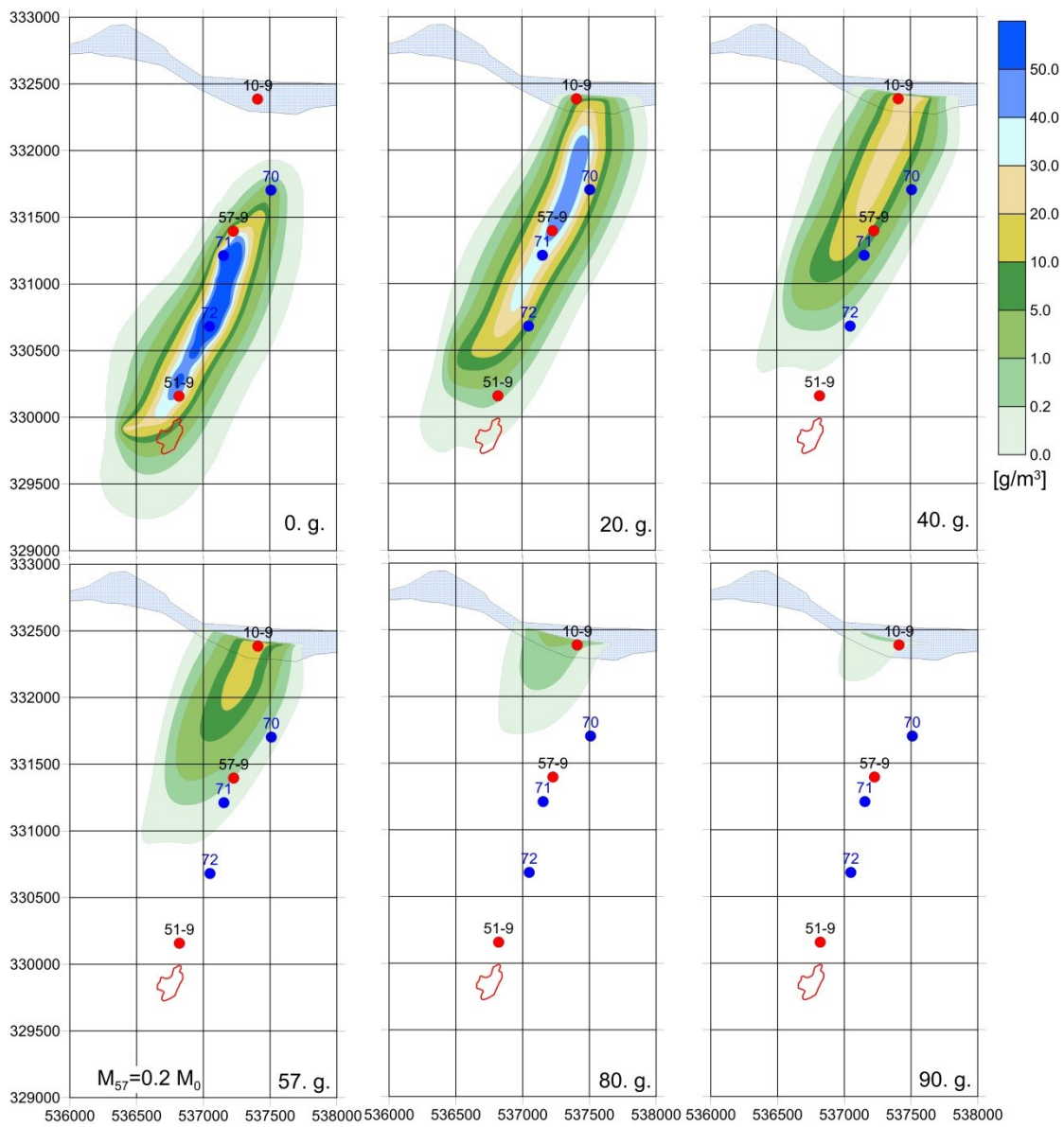
4.1.5. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] Gaujas upē no horizonta D3gj2; pēc sanācības



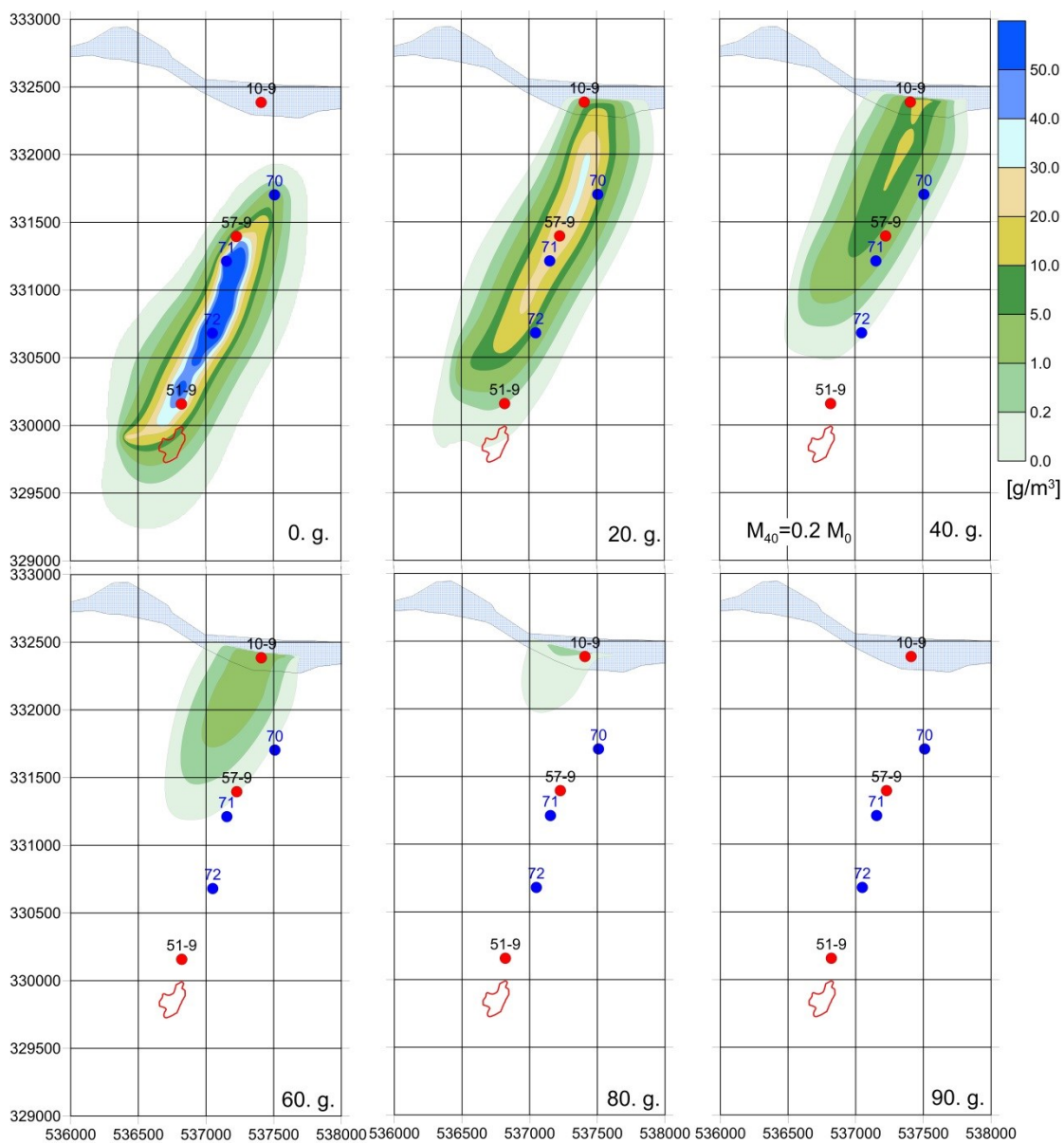
4.1.6. att. Piesārņojuma masas izplūdes intensitāte [kg/dnn] un kopīgā masa [kg] horizontā Q2



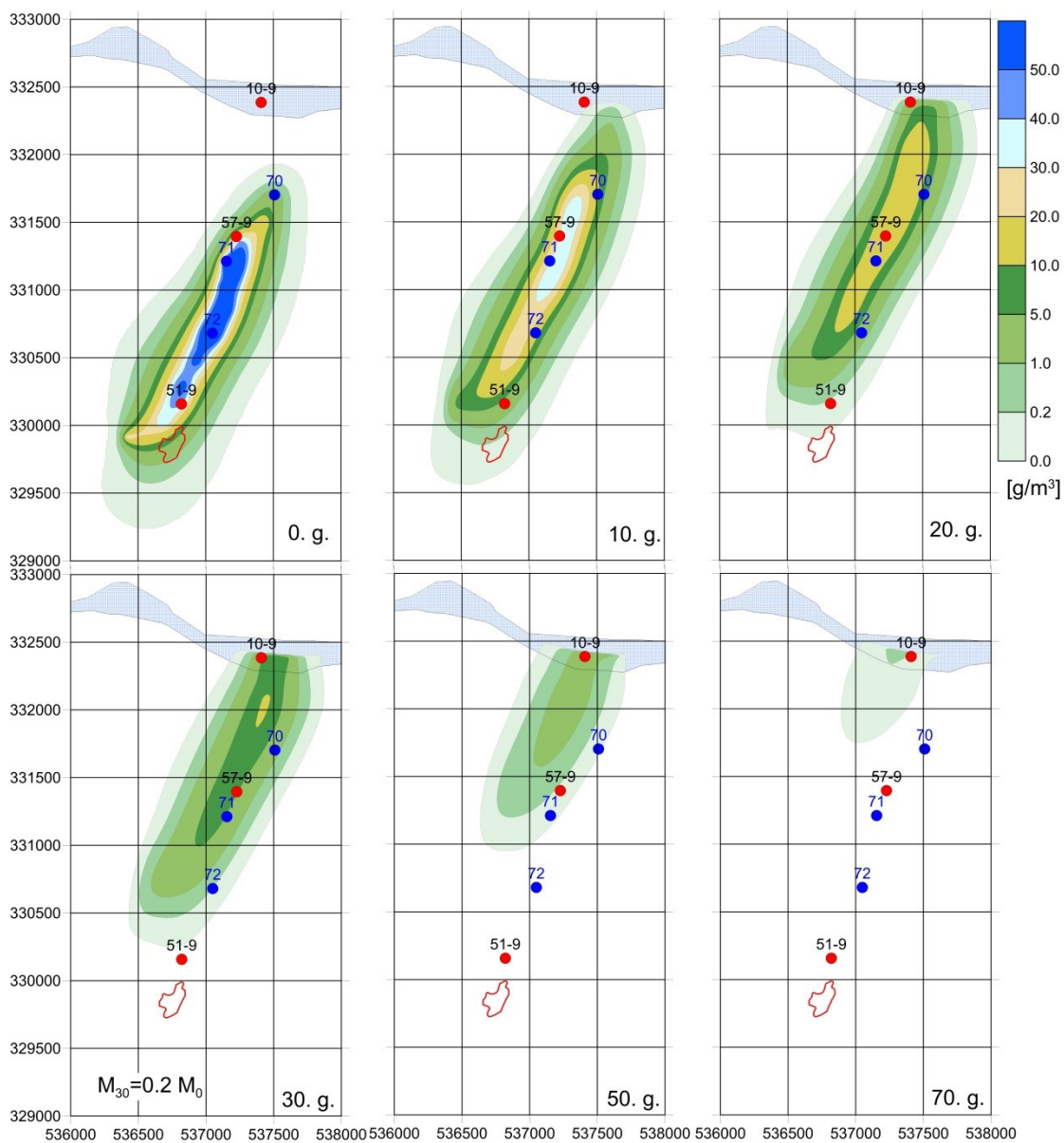
4.1.7. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontos Q21 un D3gj23; pēc sanācijas



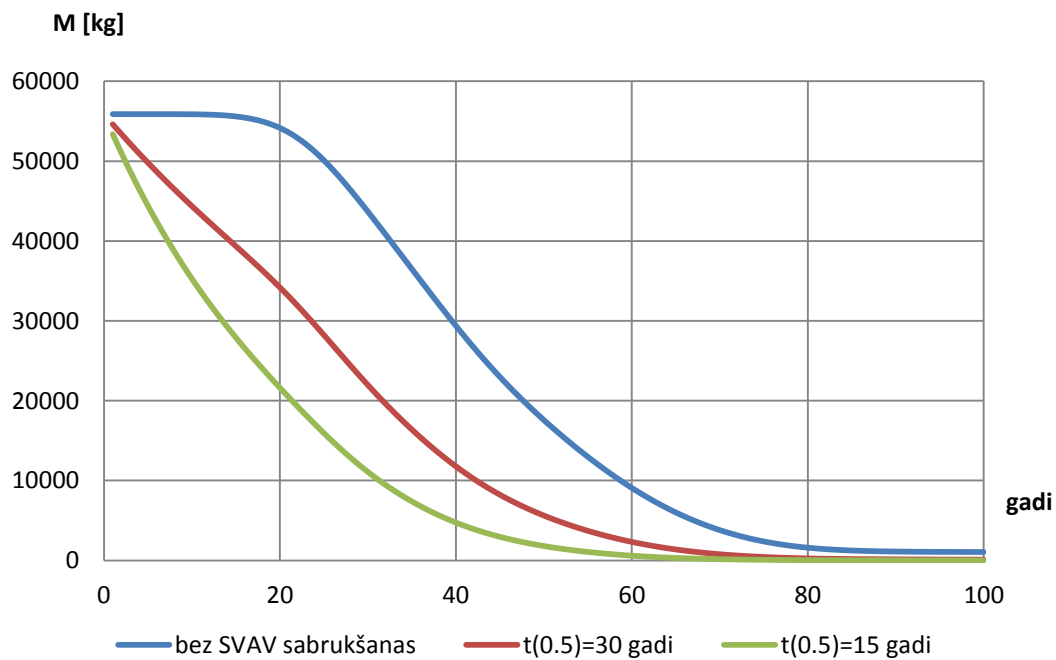
4.2.1. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības



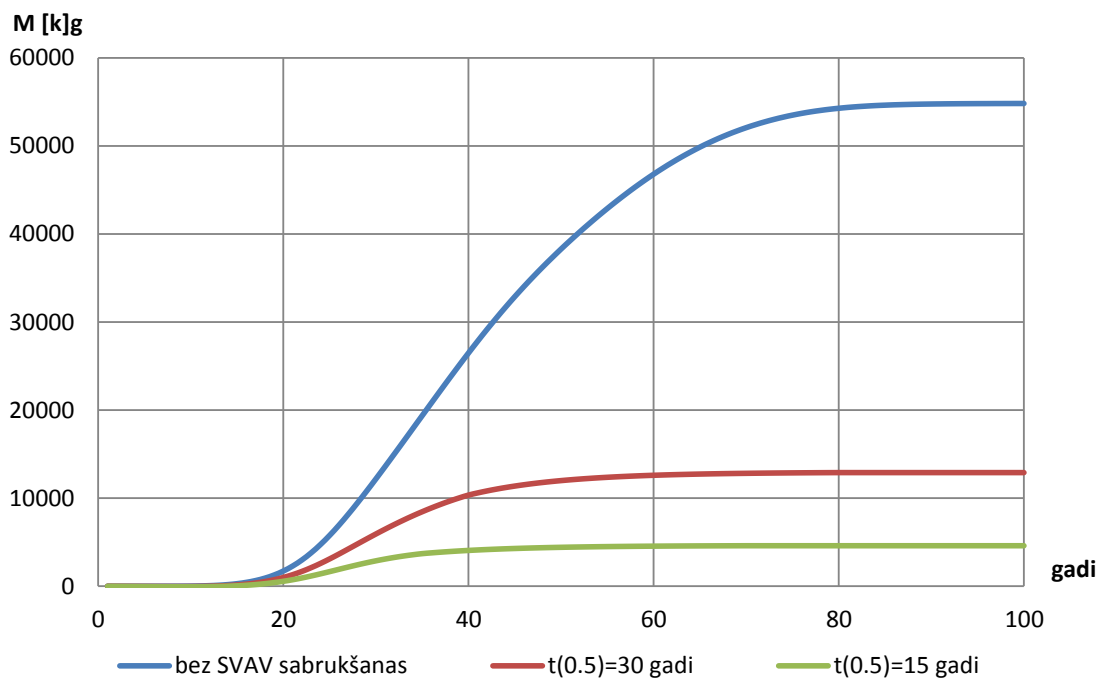
4.2.2. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0,5} = 30$ gadi; pēc sanācības



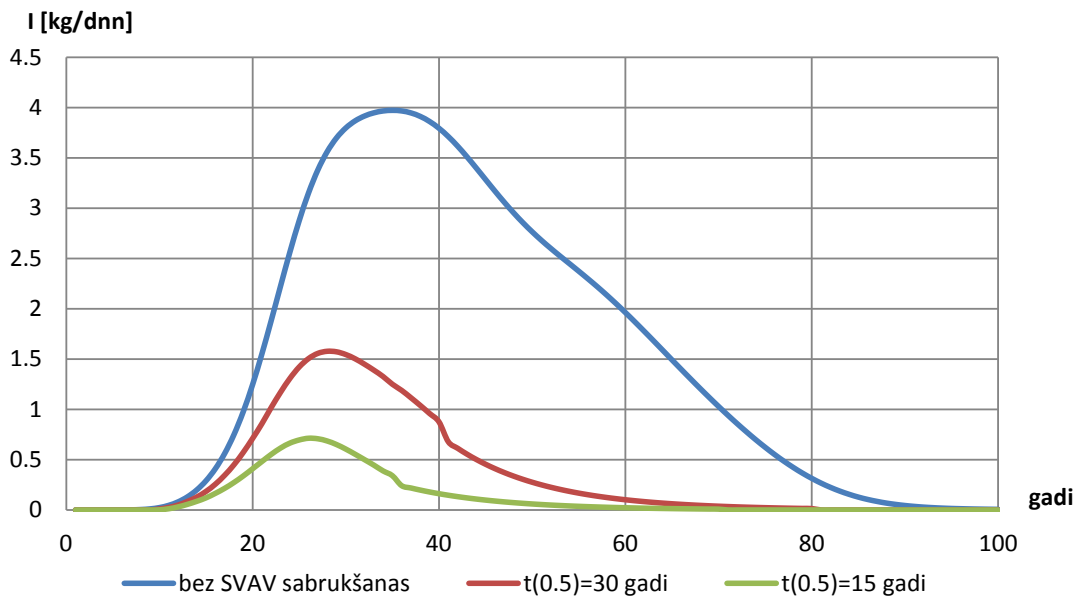
4.2.3. att. Piesārņojuma areāla koncentrācijas $[\text{g/m}^3]$ izmaiņa horizontālā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0.5} = 15$ gadi; pēc sanācības



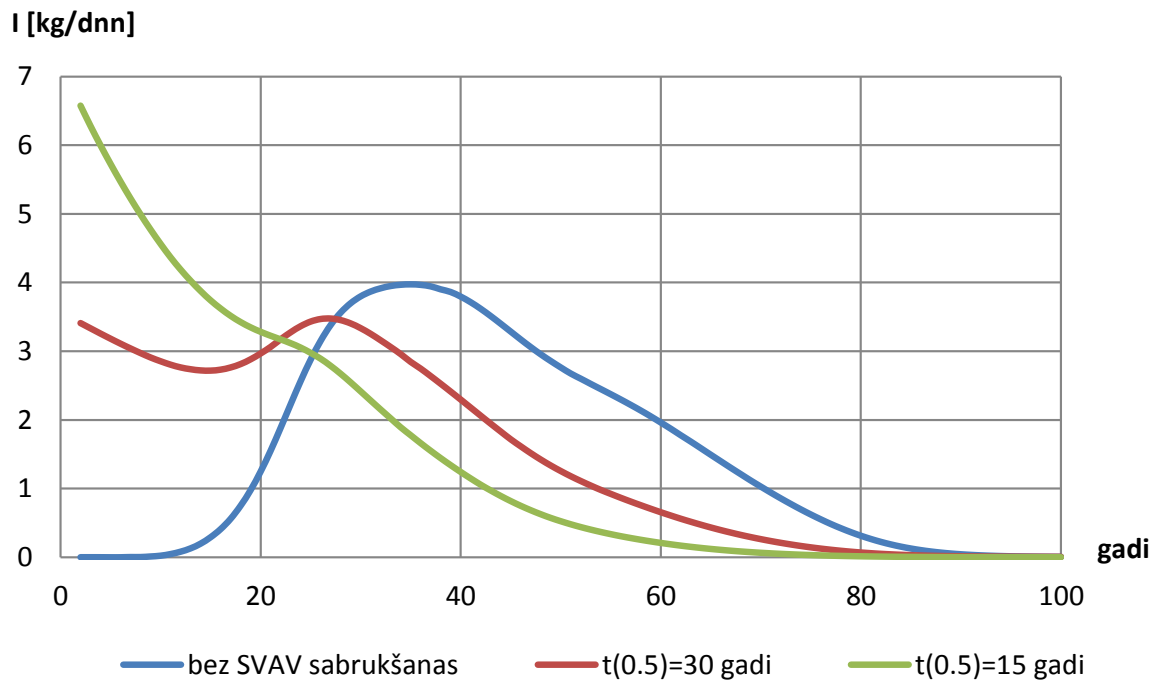
4.2.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21; pēc sanācības



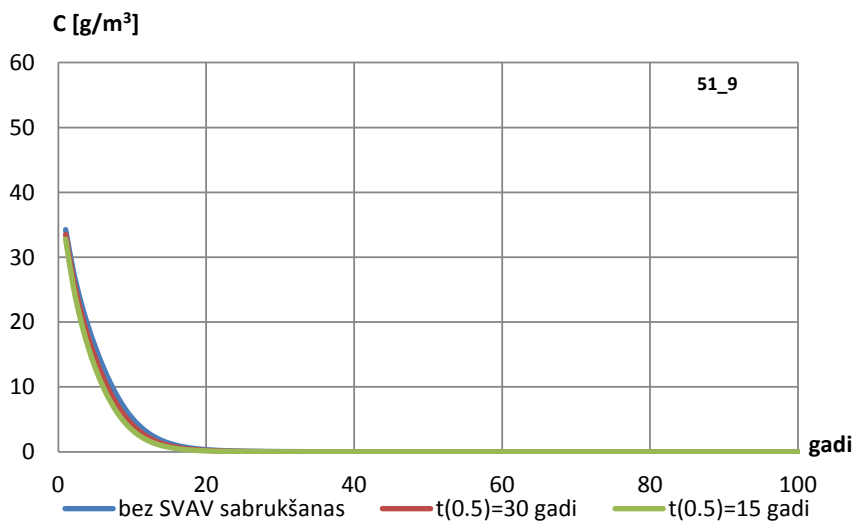
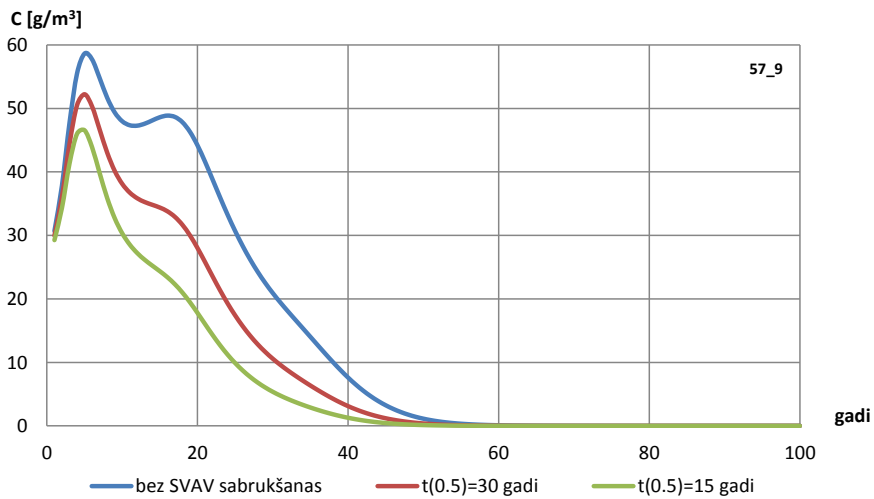
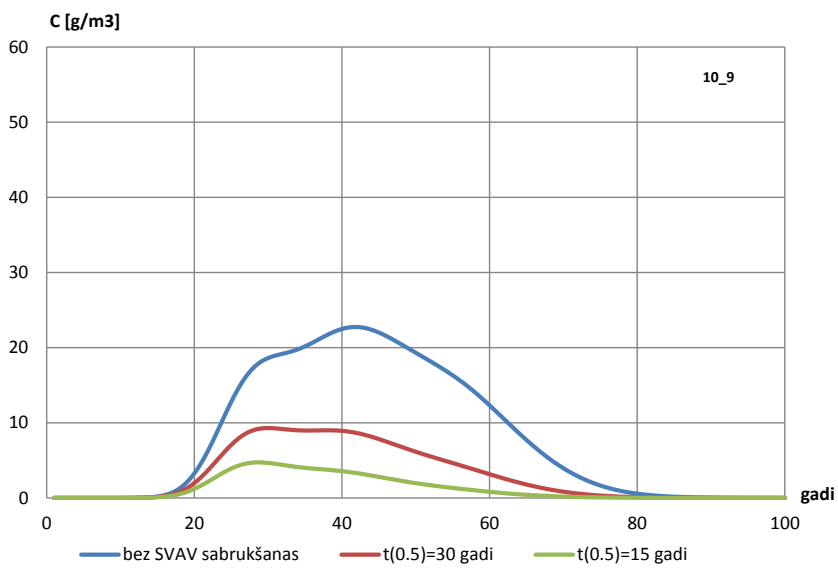
4.2.5. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] ieplūde Gaujas upē no horizonta D3gj21; pēc sanācības



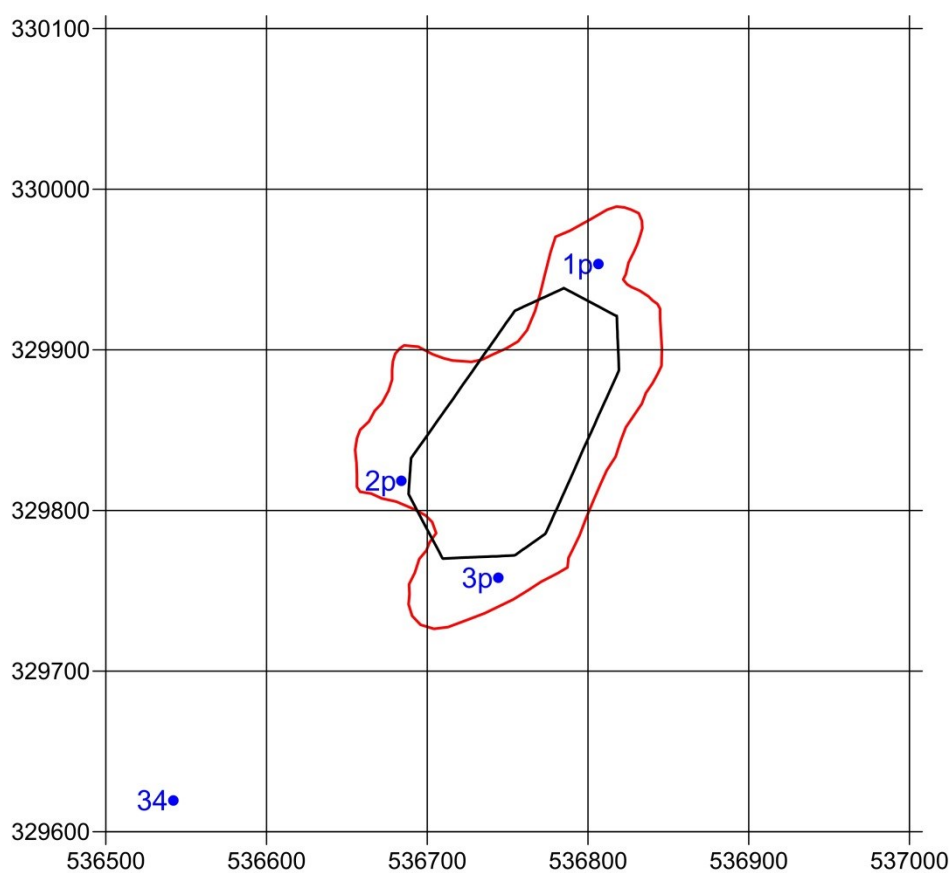
4.2.6. att. Piesārņojuma masas ieplūdes intensitāte [kg/dnn] Gaujas upē no horizonta D3gĵ21; pēc sanācības



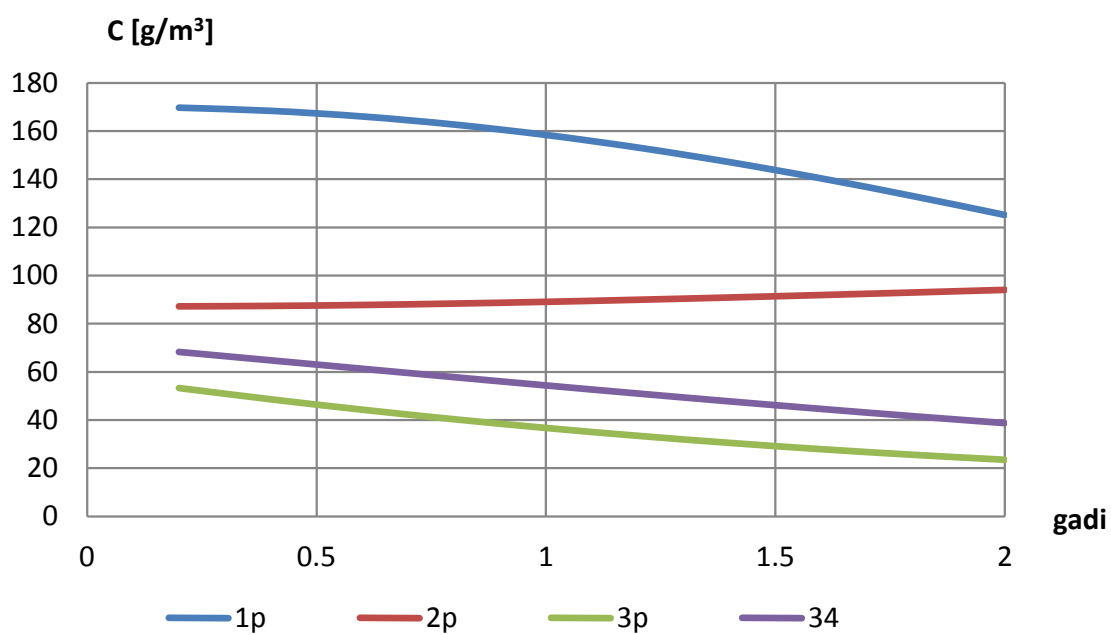
4.2.7. att. Piesārņojuma kopīgās masas samazināšanās intensitāte [kg/dnn] horizontā D3gĵ21; pēc sanācības



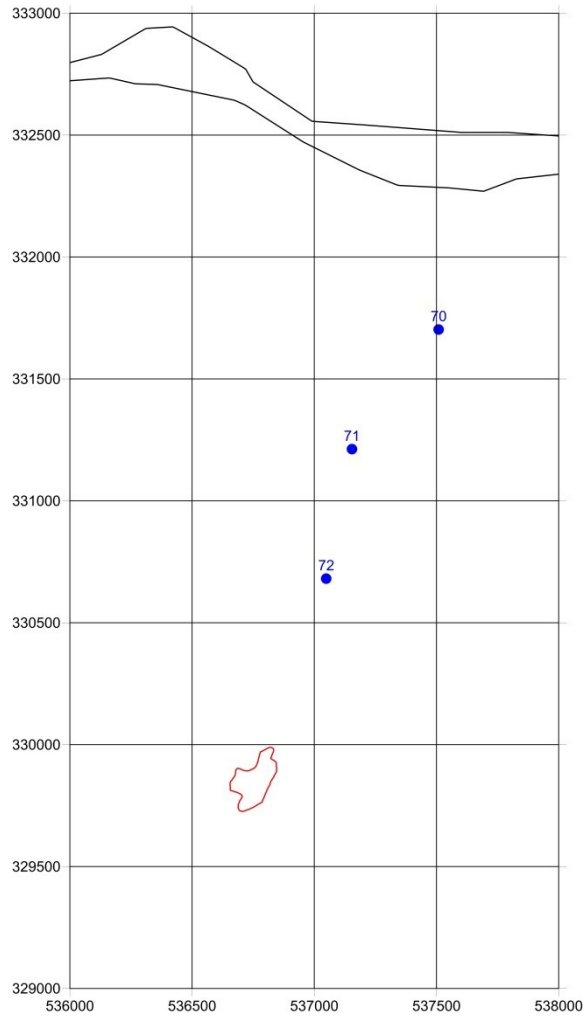
4.2.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbemos horizontā D3g21; pēc sanācības



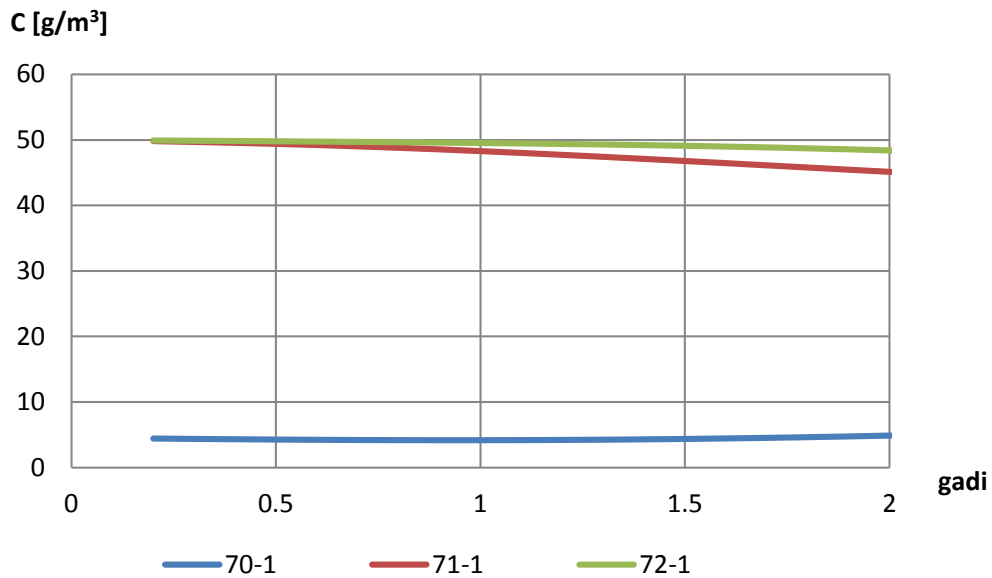
5.1. att. Monitoringa urbumu izvietojums Kvartāra horizontā Q2



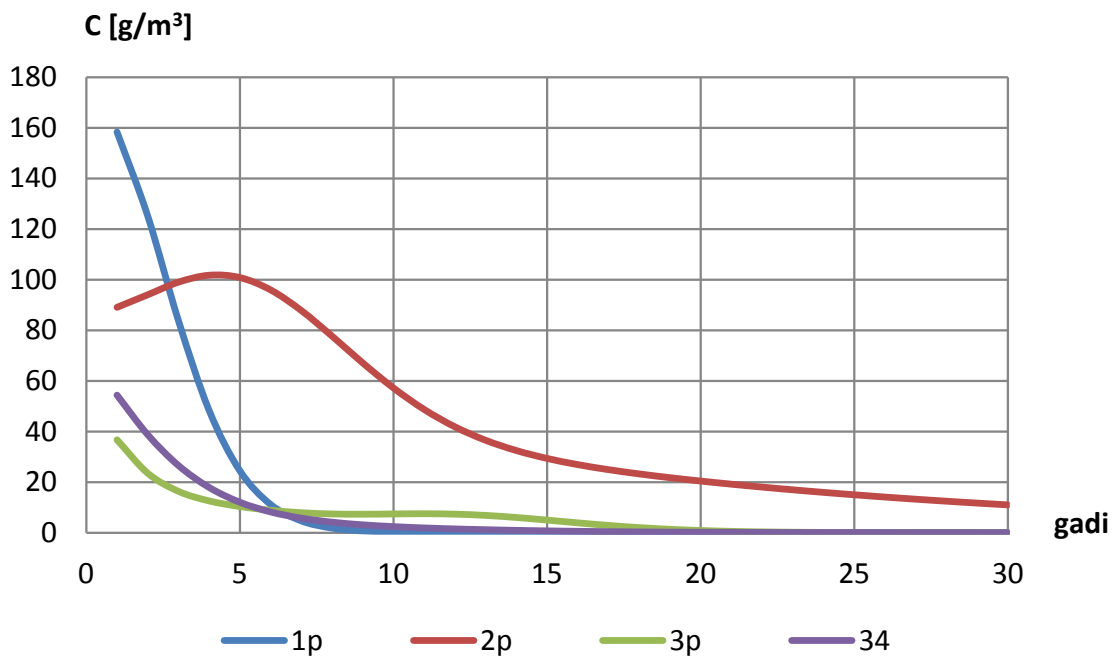
5.2. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 1p, 2p, 3p, 34 Kvartāra horizontā Q2 pēsanācijas scenārijam pirmajos 2 gados



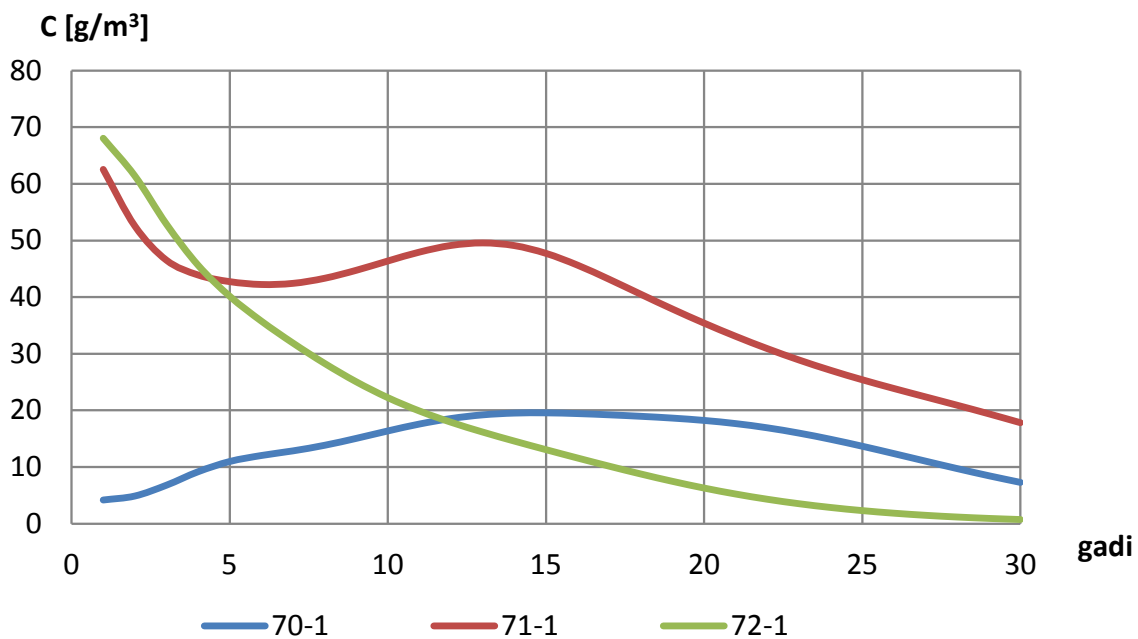
5.3. att. Monitoringa urbumu izvietojums Augšgaujas horizontā D3gj2



5.4. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 71-1, Nr. 72-1, Nr 70-1 Augšgaujas horizontā D3gj2 pēcsanācības scenārijam pirmajos 2 gados



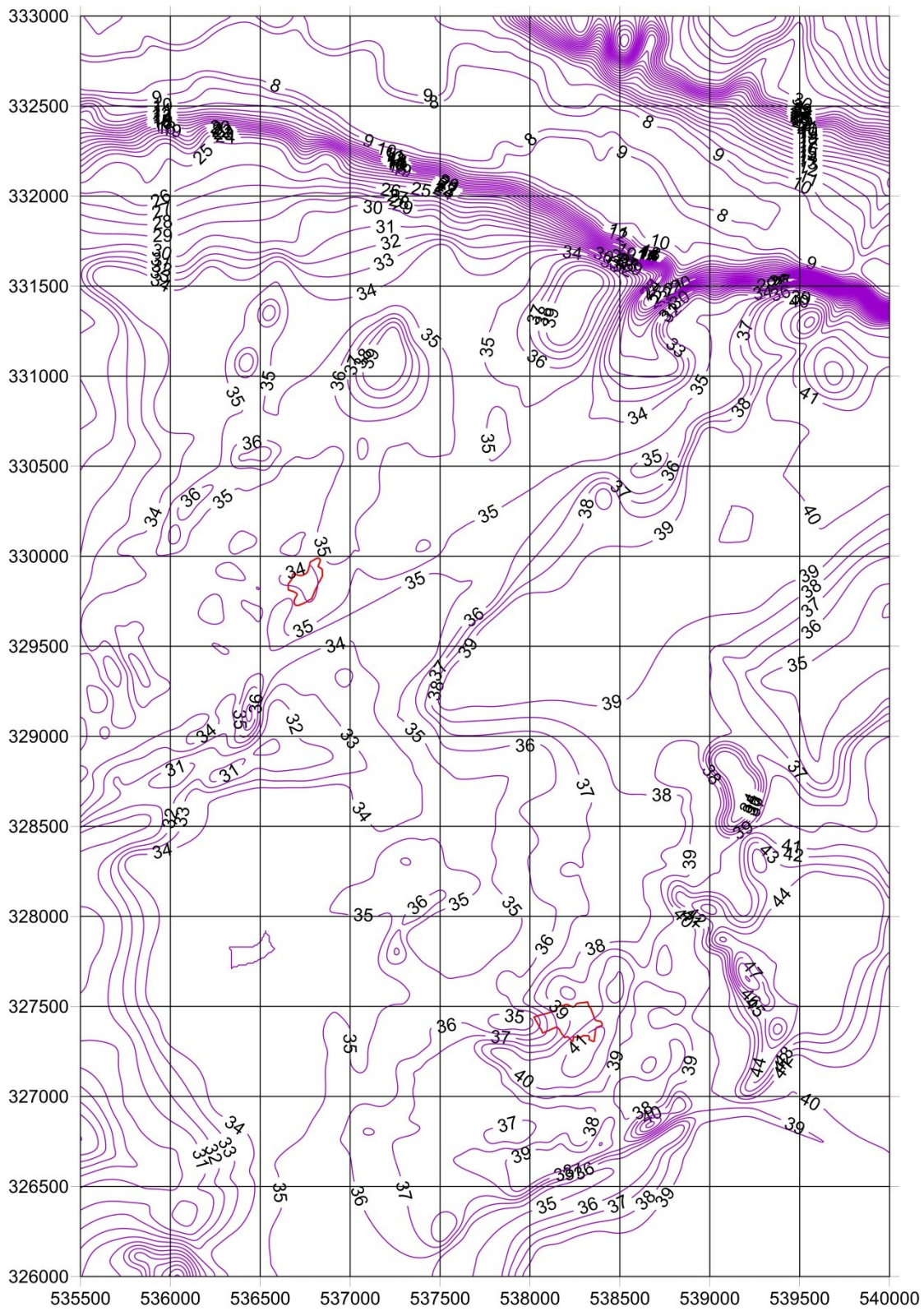
5.5. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 1p, 2p, 3p, 34 Kvartāra horizontā Q2 pēsanācijas scenārijam pirmajos 30 gados



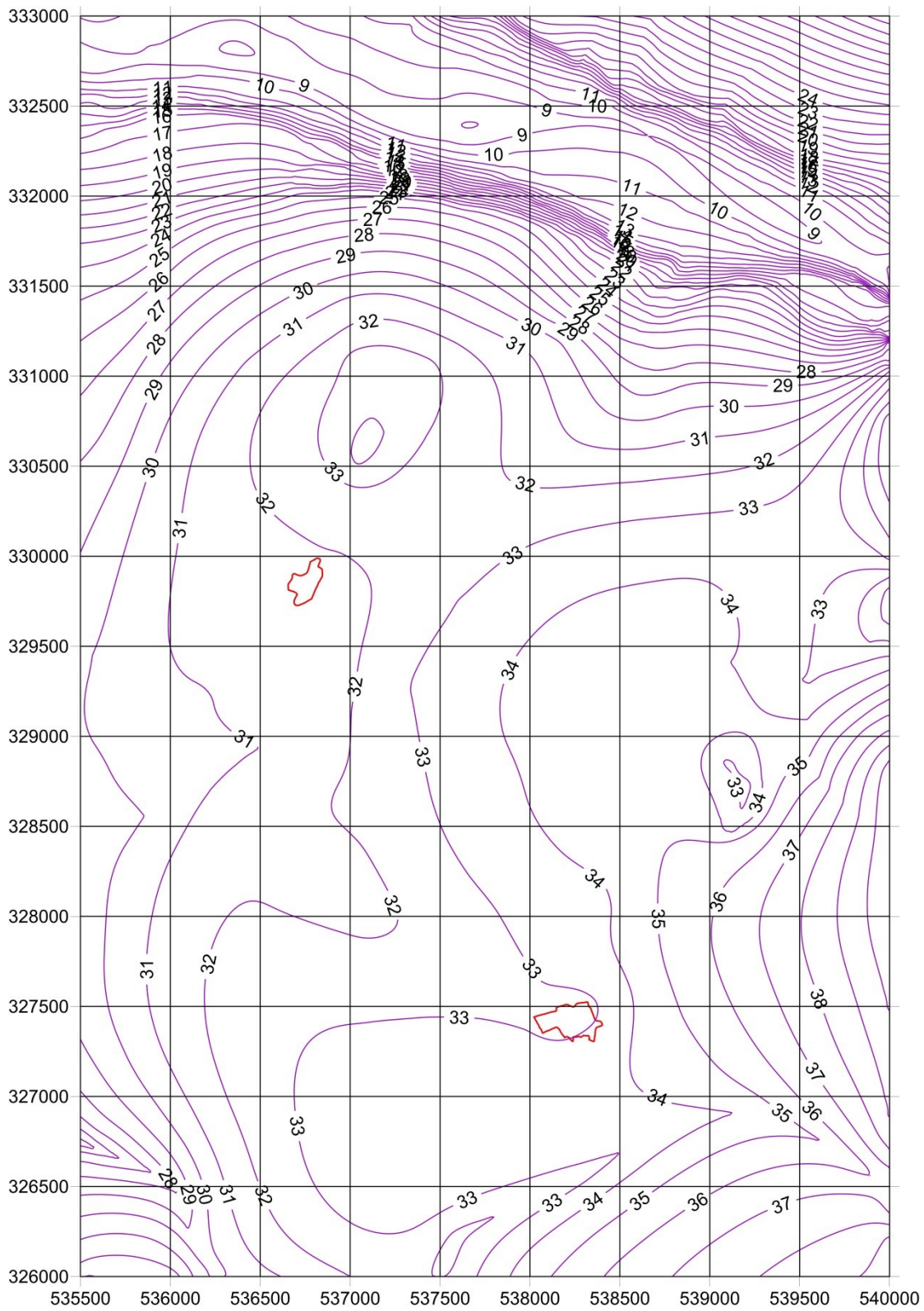
5.6. att. SVAV piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 71-1, Nr. 72-1, Nr 70-1 Augšgaujas horizontā D3g_j2 pēsanācijas scenārijam pirmajos 30 gados



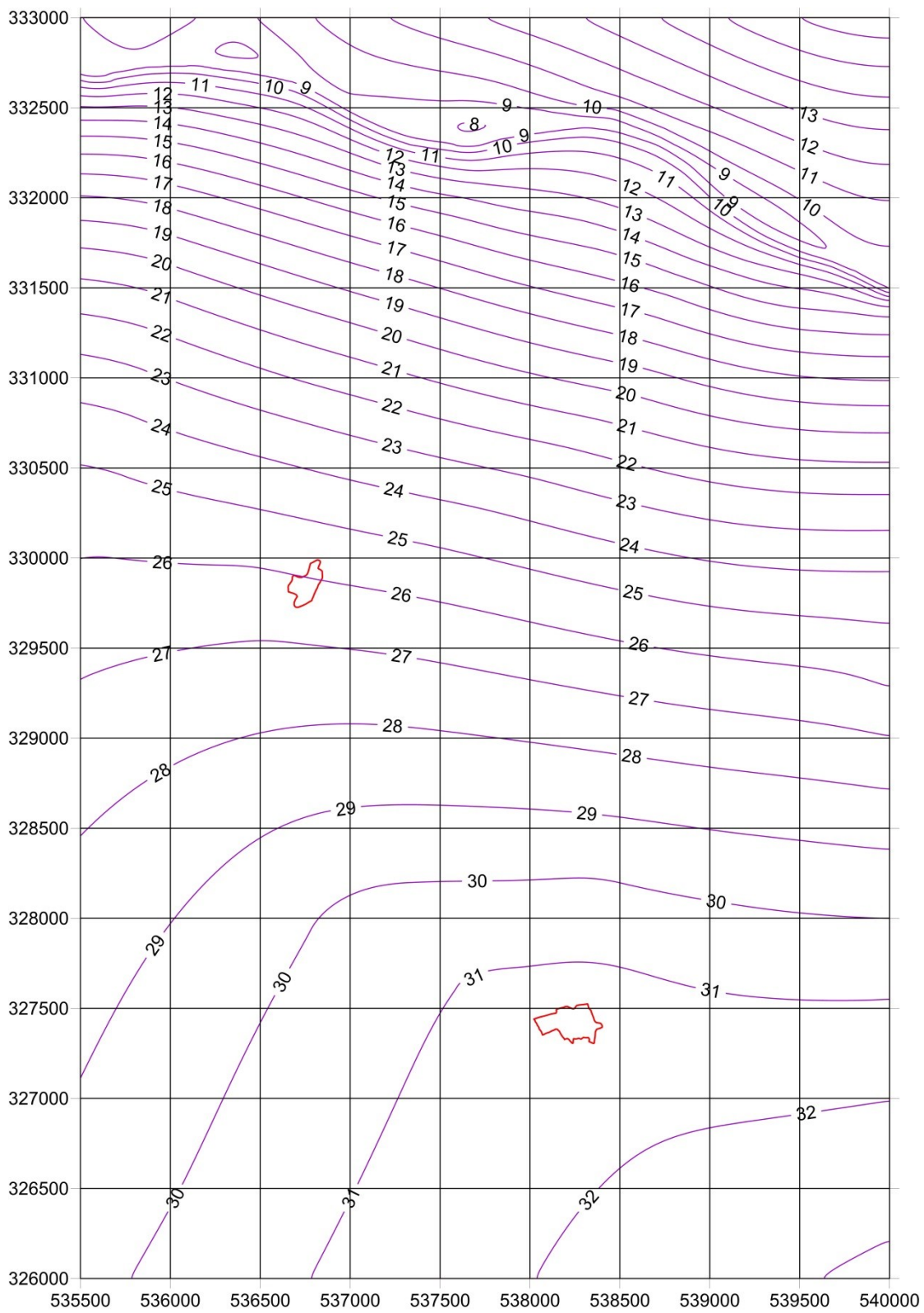
6. att. Pazemes ūdens attīrīšanas sistēmas izvietojuma plāns [10]



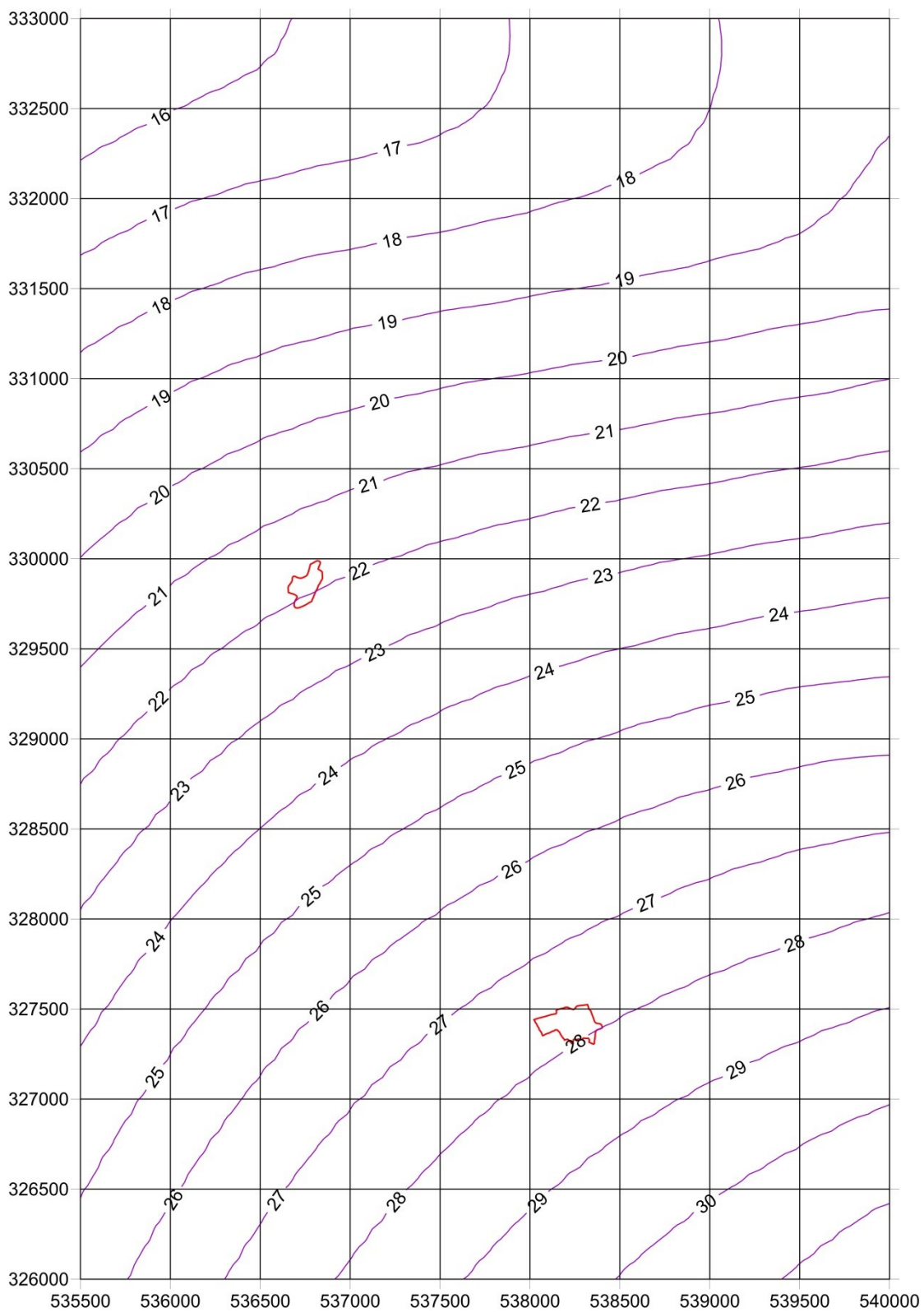
7.1. att. Modelī izmantotā reljefa [m vjl] izolīniju karte [8]



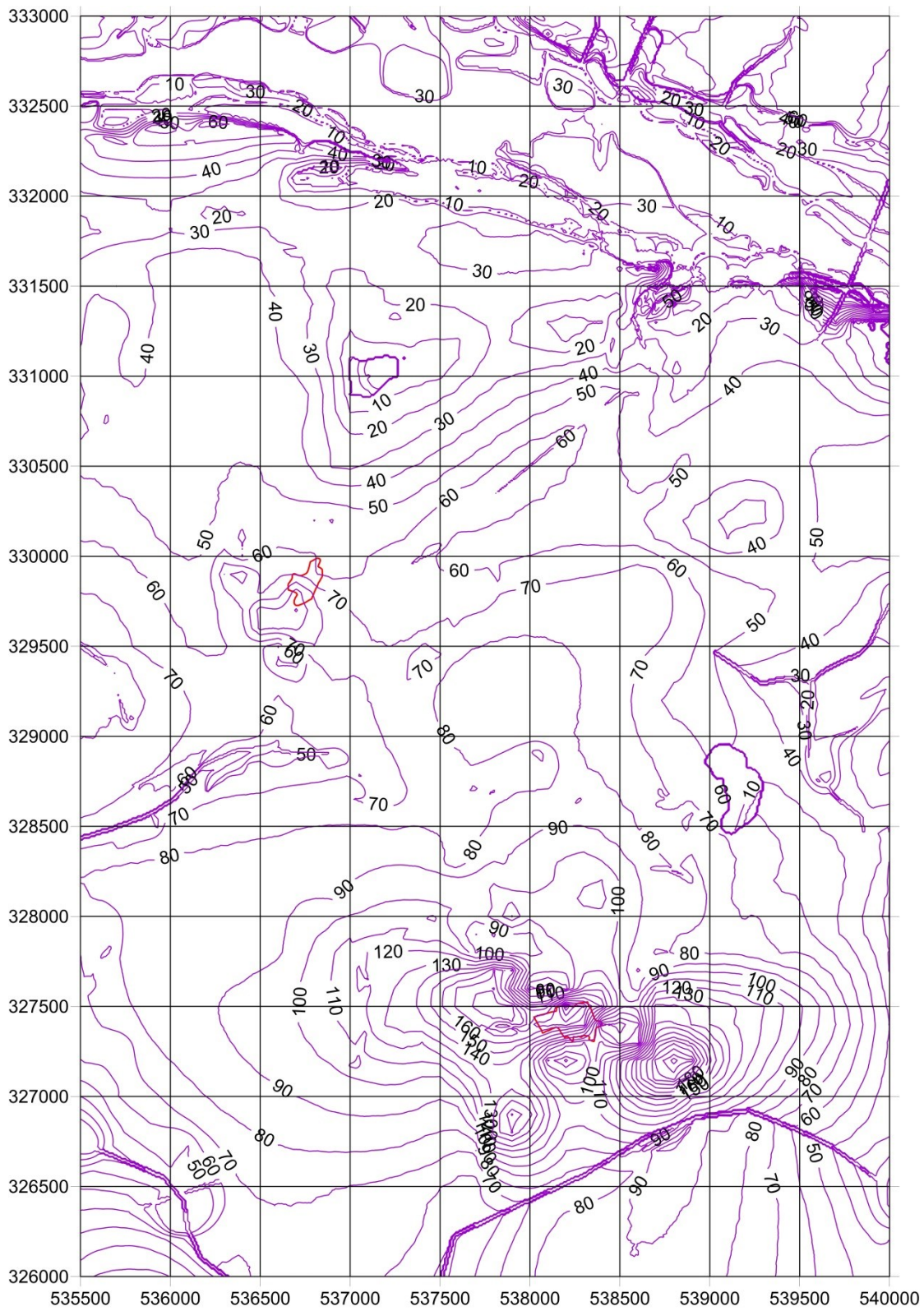
7.2. att. Kvartāra horizonta Q2 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte



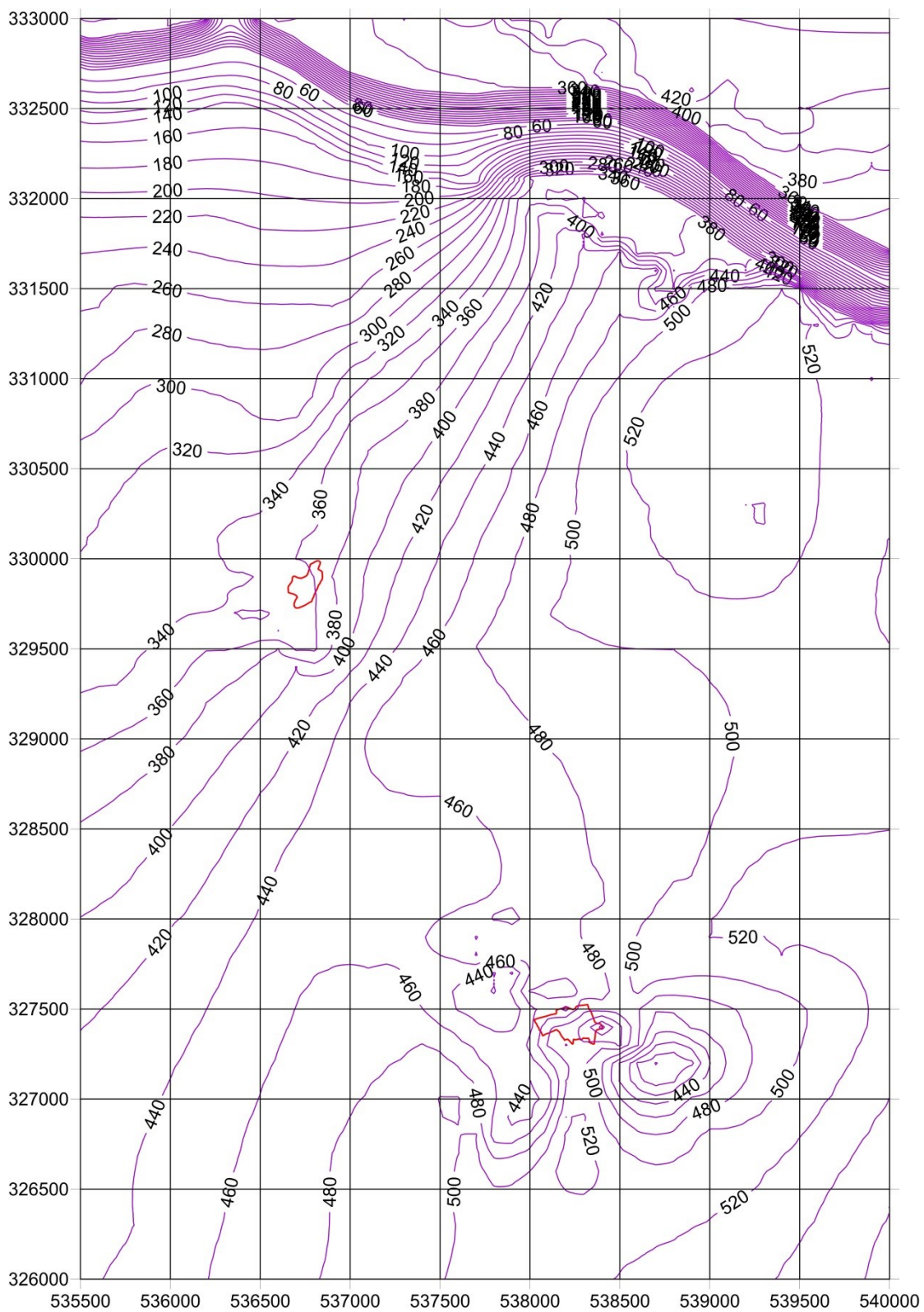
7.3. att. Augšgaujas horizonta D3gj2 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte



7.4. att. Gaujas horizonta D3gj1 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte [8]



7.5. att. Kvartāra horizonta Q2 ūdens vadāmību [m^2/dnn] karte



7.6 att. Augšgaujas horizonta D3g2 ūdens vadāmību [m^2/dnn] karte

Gruntsūdens stāvokļa novērtējums Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu diķa apkārtnē

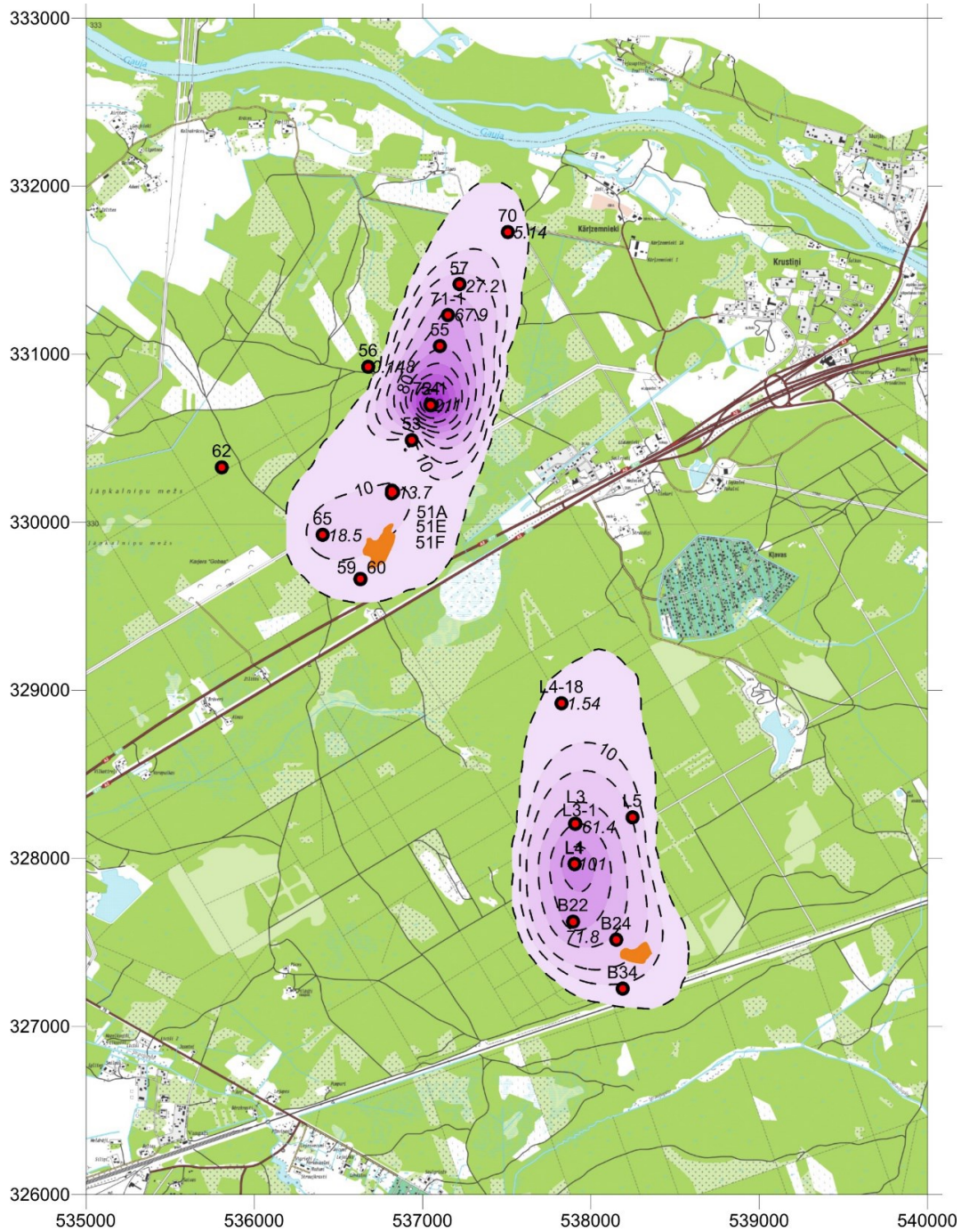
Parametrs	Mērvienība	Mērķlielums pazemes ūdenim [2]	Mērķlieluma un robežlieluma vidējā aritmētiskā vērtība [2]	Robežlielumi pazemes ūdeni stāvokļa novērtēšanai [2]	3				31				32				34				35				38				IG6			
					03.2018.	10.2018.	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019
EVS (20°C)	μS/cm	-	-	-	44,6	63,0	45	113	162	175	131	164	54,7	63,0	51	41	80,5	87,0	62	94,8	29,3	19,0	16	38	176	213	146	182	470	430	422	701
pH		-	-	-	5,56	6,37	5,70	5,91	3,72	5,4	3,59	3,38	6,06	5,70	5,86	6,02	4,36	4,85	3,83	3,93	5,48	4,72	3,69	4,87	7,32	7,38	6,53	6,14	6,59	6,96	6,16	6,46
Sausne	mg/l	-	-	-	30,8	38,1	36	77	33,7	99,7	84	102	24,1	44,4	38	29	36,1	45,4	45	58	24,3	20,2	15	24	95,3	148	123	115	264	268	343	449
Ca ²⁺	mg/l	-	-	-	4,6	6,4	6,5	16,9	5,1	17,7	15,1	22,6	6,6	8,6	7,1	5,0	5,5	8,5	7,7	11,9	3,2	2,8	2,6	4,3	10,7	26,9	27,2	25,2	39,4	44,7	58,1	86,8
Mg ²⁺	mg/l	-	-	-	1,6	2,2	2,3	2,9	2,4	8,4	6,9	6,2	1,8	2,3	1,9	1,7	1,9	2,6	2,4	3,6	1,0	0,9	0,8	1,5	1,6	6,4	6,7	7,5	9,4	11,7	15,2	18,4
Na ⁺	mg/l	-	-	-	3,8	3,9	3,0	3,8	2,5	6,0	4,7	4,5	1,9	2,5	2,6	2,1	2,5	2,6	2,4	2,9	2,4	1,0	1,1	0,9	22,1	18,2	6,3	5,9	44,3	34,5	37,1	39,2
K ⁺	mg/l	-	-	-	0,9	0,8	0,90	1,1	1,0	1,1	0,8	1,0	1,3	1,4	1,2	1,0	1,2	1,3	1,1	1,1	1,5	0,5	0,40	0,8	1,2	1,3	1,2	0,70	1,4	2,0	4,5	12,7
HCO ₃ ⁻	mg/l	-	-	-	23,2	31,5	29,6	10,6	19,7	95,4	<0,5	<0,5	22,0	27,5	23,2	17,3	10,0	24,1	10,2	<0,5	14,0	4,1	3,9	<0,5	37,2	1,1	93,1	70,2	125	97,1	105	216
SO ₄ ²⁻	mg/l	-	-	-	4,6	4,2	4,3	33,6	8,5	8,7	24,2	70,3	6,5	9,0	8,4	6,90	12,3	8,0	15,8	29,6	4,6	4,9	4,7	16,4	4,26	3,9	3,0	7,11	8,6	13,8	60,1	54,7
Cl ⁻	mg/l	-	-	-	2,1	2,3	2,5	13,1	2,5	2,6	38,9	11,6	2,5	3,6	3,2	2,2	4,8	7,1	8,3	13,9	2,5	3,1	2,9	2,5	31,5	30,2	25,1	27,2	82,2	95,1	96,4	104
SVAV (anjonu)	mg/l	-	-	0,2	80,3	37,8	74,8	214	285	37,9	221	407	<0,02	0,022	0,696	0,142	212	37,9	58,4	165	0,108	0,149	<0,02	0,140	0,032	0,090	<0,02	0,105	11,0	6,30	10,5	7,19
KSP	mg/l	40	170	300	59,6	5,26	279	858	132	42,2	127	674	<0,5	1,01	<5,0	8	103	7,72	464	498	2,94	0,75	7,0	22	1,48	0,88	<5	11	45,2	46,8	105	87
Benzols	μg/l	0,2	2,6	5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,36	0,67	0,45	0,40	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,72	<0,2	0,48	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Toluols	μg/l	0,5	25,25	50	<0,5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	3,18	1,91	1,94	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	2,7	<1,0	1,65	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Etilbenzols	μg/l	0,5	30,25	60	<0,1	0,14	0,11	0,17	0,42	0,60	0,38	0,39	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,14	0,37	0,14	0,19	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ksiloli	μg/l	0,5	30,25	60	<0,3	0,62	0,47	0,73	1,77	2,61	1,73	1,64	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,56	1,61	0,63	0,81	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
BTEX (summa)	μg/l	-	-	-	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	4,64	7,06	4,47	4,37	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	1,7	5,4	<1,6	3,13	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6
Nafta C ₁₀ – C ₄₀	μg/l	-	-	1000	<50	119	110	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Pazemes ūdens stāvokļa novērtējums Augšgaujas ūdens horizontā *D_{3g}*, Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa apkārtnē

Parametrs	Mērvienība	Mērķliehums pazemes ūdenim [2]	Mērķliehuma un robežliehuma vidējā aritmētiskā vērtība [2]	Robežliehumi pazemes ūdenim stāvokļa novērtēšanai [2]	70				71-1				71-2				71-3				72-1				72-2				72-3			
					03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019
EVS (20°C)	μS/cm	-	-	-	339	345	263	438	1112	1059	712	1102	156	153	115	167	260	242	181	701	2286	2250	1935	2200	605	614	484	730	212	220	174	264
pH		-	-	-	7,85	7,75	7,49	8,84	6,93	6,77	6,74	6,95	7,21	6,94	6,96	7,40	7,9	7,63	7,62	6,79	6,28	6,42	6,31	6,53	6,96	6,76	6,65	7,01	7,83	7,84	7,68	8,17
Sausne	mg/l	-	-	-	240	227	156	268	830	744	709	795	118	105	95	23,3	163	155	145	40,5	1747	1350	1079	1380	396	427	403	459	141	151	146	159
Ca ²⁺	mg/l	-	-	-	64,8	62,3	40,6	72,1	206	180	174	182	26,9	25,2	22,7	6,4	43,1	39,7	38,1	8,1	350	335	271	360	80,2	88,2	87,4	92,4	32,2	35,4	34,7	38,9
Mg ²⁺	mg/l	-	-	-	8,98	9,9	8,2	9,1	32,9	30,6	29,2	24,2	5,7	6,0	6,2	1,9	9,17	9,0	8,3	3,1	101	40,1	32,5	36,5	32,3	35,5	32,7	34,1	9,2	8,7	8,4	7,8
Na ⁺	mg/l	-	-	-	4,38	4,8	4,1	5,6	5,52	5,8	4,9	6,9	1,59	1,7	1,5	0,80	3,72	3,2	3,0	0,90	16,4	16,4	13,3	14,0	8,1	8,3	7,5	22,1	4,2	4,6	4,3	6,1
K ⁺	mg/l	-	-	-	1,4	1,9	1,5	1,7	2,35	2,4	2,0	0,80	1,17	1,1	0,9	66,6	0,81	0,8	0,90	143	4,9	4,9	4,1	2,6	1,9	2,1	1,8	1,6	1,8	2,0	1,7	1,5
HCO ₃ ⁻	mg/l	-	-	-	172	209	145	166	302	234	228	257	51,3	82,2	78,1	20,8	160	150	145	12,1	274	360	292	295	223	320	315	305	116	130	134	130
SO ₄ ²⁻	mg/l	-	-	-	50,0	22,3	15,6	7,3	377	350	336	397	46,2	19,2	17,1	7,5	11,4	10,5	9,4	6,5	1010	660	535	760	94,2	67,5	64,7	70,5	20,5	15,3	16,1	20,8
Cl ⁻	mg/l	-	-	-	5,5	6,2	5,1	8,7	2,4	9,5	9,1	10,6	1,5	1,6	1,9	100	4,3	4,3	4,5	151	6,4	17,5	16,1	17,0	41,8	30,8	28,8	60,2	6,4	6,8	5,7	9,8
SVAV (anjonu)	mg/l	-	-	0,2	5,51	7,02	3,26	5,14	118	117	137	67,9	8,69	5,61	5,78	19	0,033	0,108	<0,02	<0,02	165	75,8	133	211	6,04	31,1	9,91	6,40	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
KSP	mg/l	40	170	300	8,97	17,7	58,6	88	111	133	588	524	5,23	5,94	33,0	35	1,0	0,78	<5,0	13	220	337	6,6	1030	22,2	31,4	126	118	1,23	1,01	<5,0	19
Benzols	μg/l	0,2	2,6	5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,64	0,9	0,77	0,52	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Toluols	μg/l	0,5	25,25	50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Etilbenzols	μg/l	0,5	30,25	60	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	0,18	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ksiloli	μg/l	0,5	30,25	60	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,53	0,79	0,64	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
BTEX (summa)	μg/l	-	-	-	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	1,87	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6
Nafta C ₁₀ -C ₄₀	μg/l	-	-	1000	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

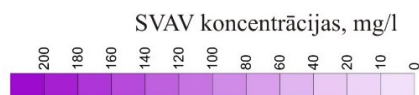
Pazemes ūdeņu stāvokļa novērtējums Augšgaujas ūdens horizontā D_{3g1} Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu diķa apkārtņē

Parametrs	Mērvienība	Mērķlielums pazemes ūdeņiem [2]	Mērķlieluma un robežlieluma vidējā aritmētiskā vērtība [2]	Robežlielumi pazemes ūdeņu stāvokļa novērtēšanai [2]	51E				56				57			
					03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019
EVS (20°C)	μS/cm	-	-	-	1521	1470	859	1098	245	238	181	252	914	897	736	1132
pH		-	-	-	5,31	5,52	6,60	6,65	7,7	7,78	7,54	8,15	7,59	7,30	7,12	8,14
Sausne	mg/l	-	-	-	1237	1150	917	590	180	173	159	146	684	689	705	765
Ca ²⁺	mg/l	-	-	-	259	268	201	163	42,3	41,9	39,7	38,9	168	165	167	184
Mg ²⁺	mg/l	-	-	-	26,4	29,5	22,1	10,5	8,5	9,0	8,7	8,9	26,2	25,2	26,1	28,0
Na ⁺	mg/l	-	-	-	23,1	25,1	23,4	23	2,6	3,1	2,9	2,5	4,05	4,7	5,4	5,7
K ⁺	mg/l	-	-	-	29,1	20,1	18,0	5,2	2,1	2,2	1,7	1,2	2,36	2,5	3,0	2,3
HCO ₃ ⁻	mg/l	-	-	-	13,4	12,1	45,9	41,5	123	126	120	147	248	229	235	280
SO ₄ ²⁻	mg/l	-	-	-	760	784	541	386	45,8	35,3	32,7	8,2	304	330	338	352
Cl ⁻	mg/l	-	-	-	52,6	48,7	36,5	41,2	4,4	4,5	4,1	4,9	2,5	8,1	7,8	9,2
SVAV (anjonu)	mg/l	-	-	0,2	44,4	29,1	19,4	13,7	<0,02	0,073	<0,02	0,148	29,5	14,1	42,1	27,2
KSP	mg/l	40	170	300	37,0	39,5	140	149	1,9	1,59	5,0	14	51,2	32,9	388	370
Benzols	μg/l	0,2	2,6	5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Toluols	μg/l	0,5	25,25	50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Etilbenzols	μg/l	0,5	30,25	60	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ksiloli	μg/l	0,5	30,25	60	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
BTEX (summa)	μg/l	-	-	-	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6
Nafta C ₁₀ – C ₄₀	μg/l	-	-	1000	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

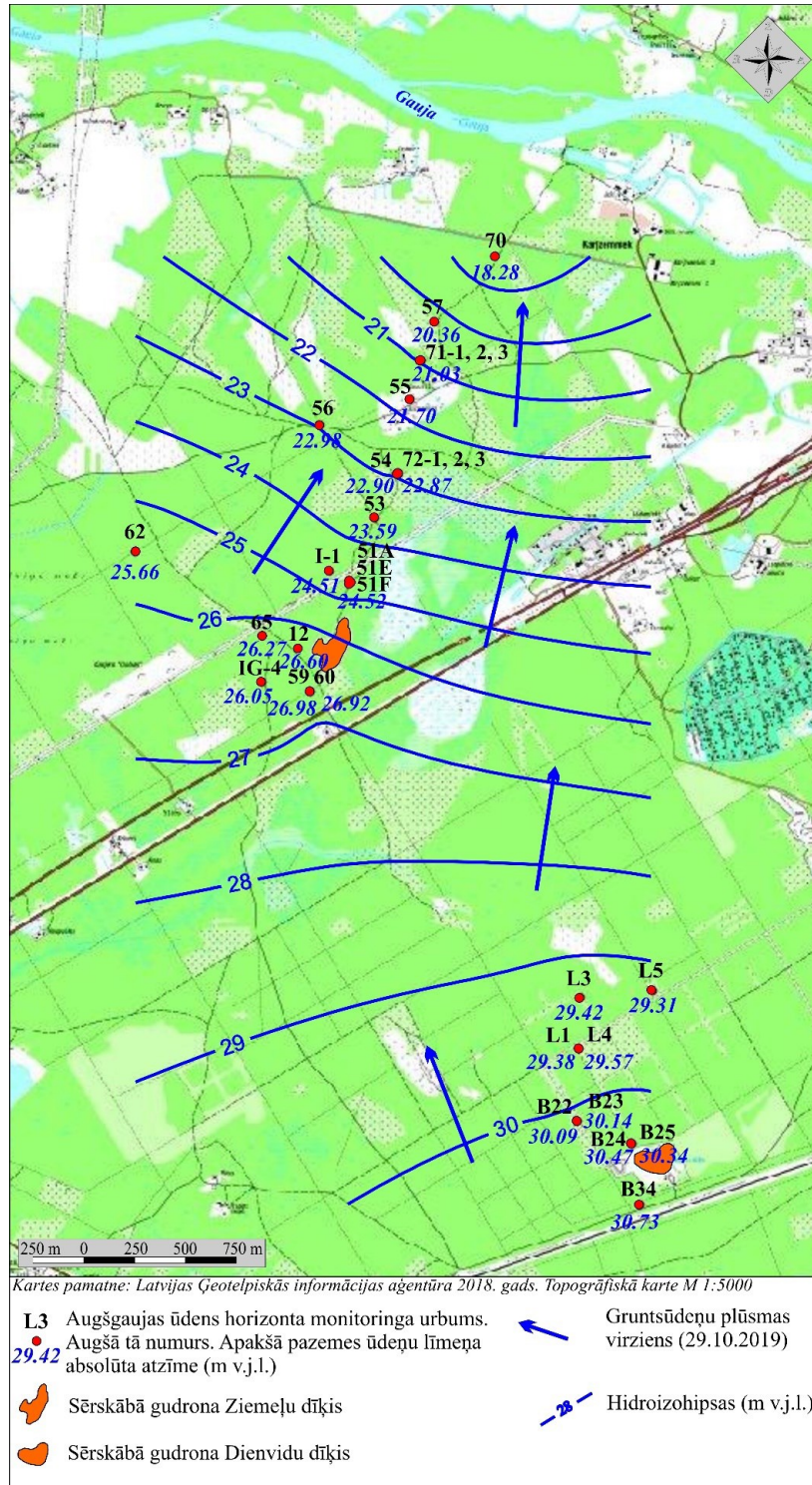


Apzīmējumi:

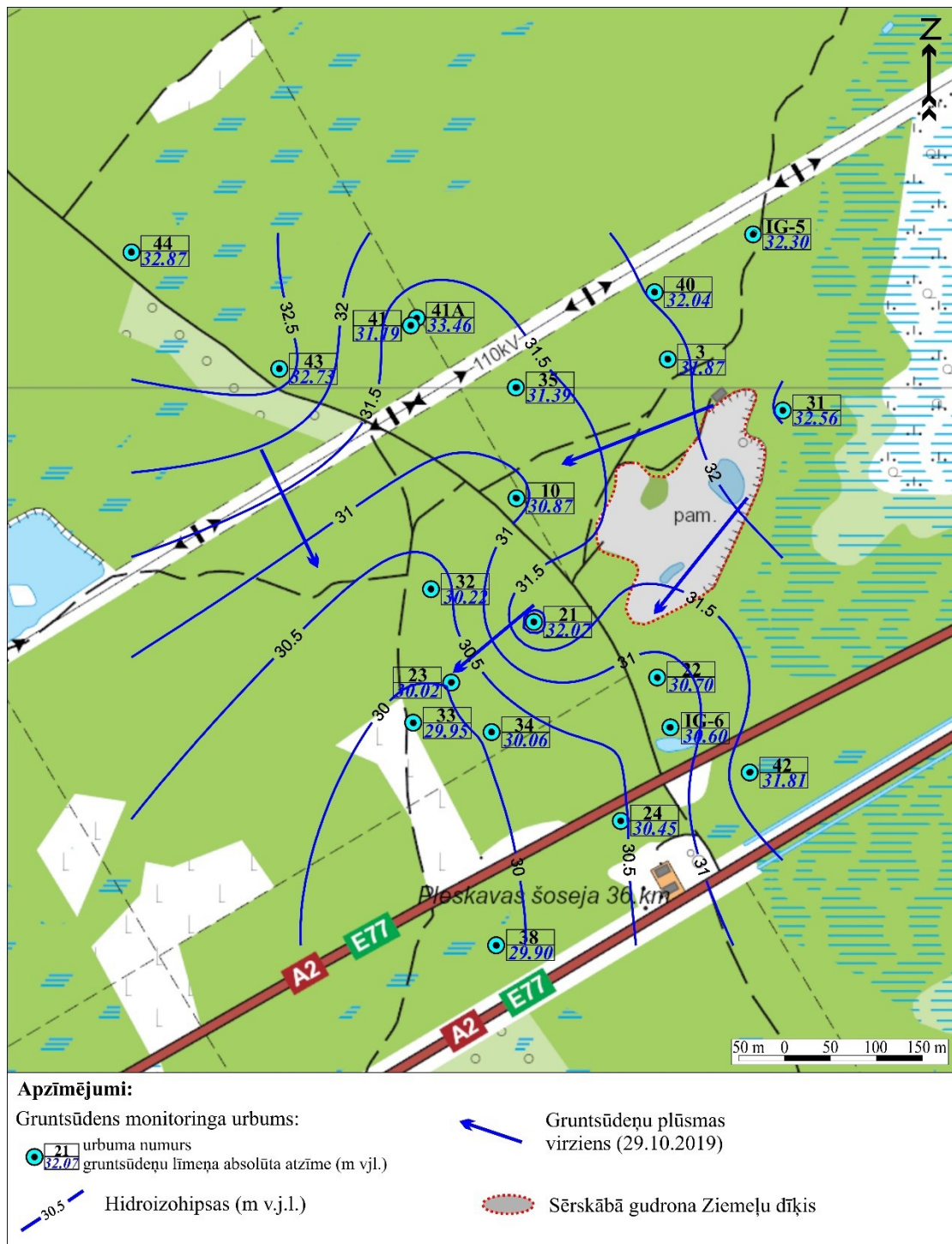
- B22 Pazemes ūdens monitoringa urbums:
- 71.8 urbuma numurs un SVAV koncentrācija, mg/l
- Sērskābā gudrona dīķis



SVAV koncentrāciju sadalījuma karte Augšgaujas ūdens horizonta apakšējā daļā D2g21 Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu un Ziemeļu dīķa apkārtnē (2.2. att. no [7])

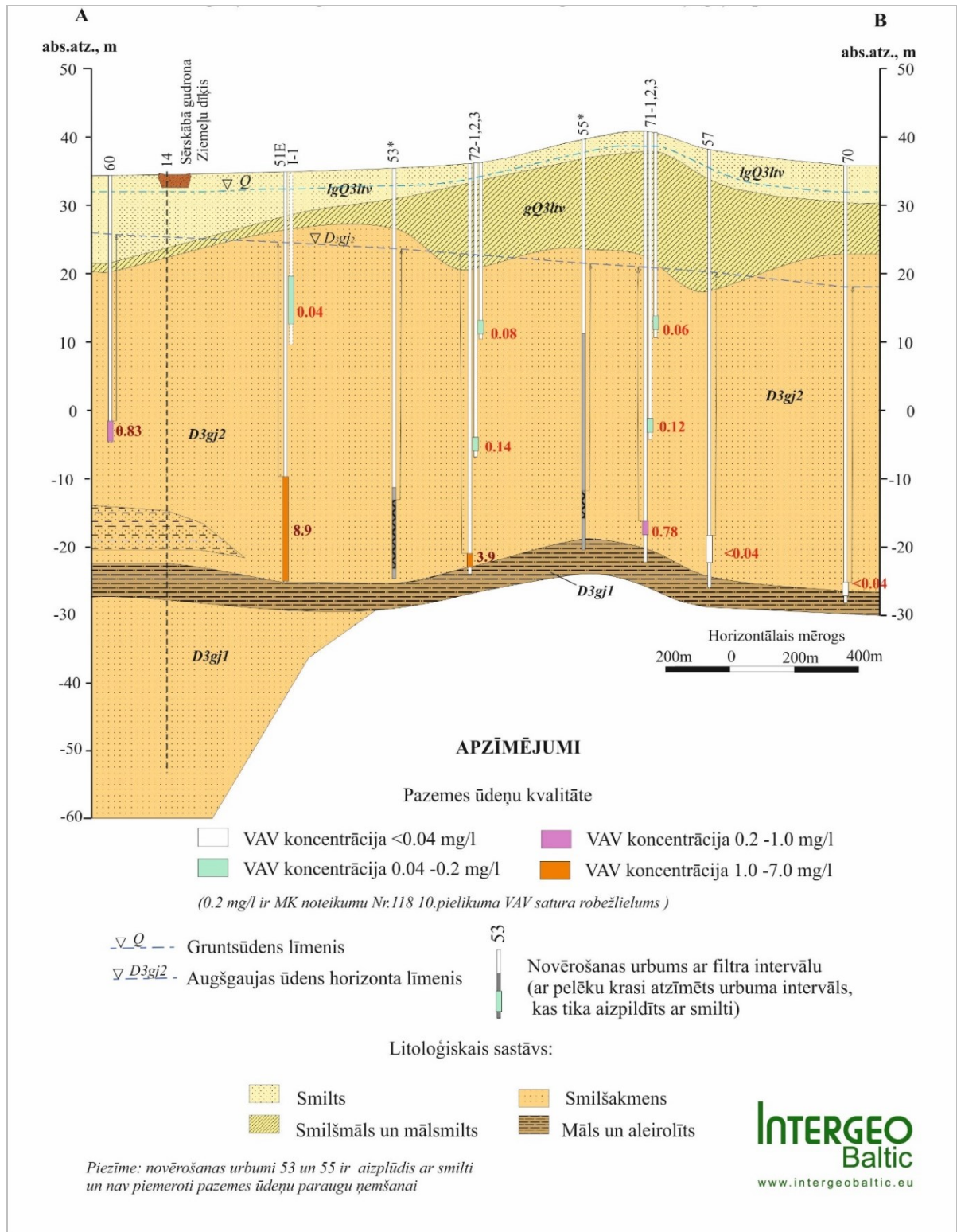


Augšgaujas ūdens horizonta D3gj21 urbumu tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu un Ziemeļu dīķa apkārtnē (1.2. att. no [7])



Gruntsūdens monitoringa tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa apkārtnē (1.3. att. no [7])

6. pielikums



Piesārņojuma diferenciacija Augšgaujās ūdens horizontā D3gj2 (2.2. att. no [10])