

Rīgas Tehniskā universitāte
VIDES MODELĒŠANAS
CENTRS

Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa hidroģeoloģiskais datormodelis

Aktualizētais atskaites melnraksts

*Zinātniskā pakalpojuma līgums
starp PS Inčukalns Eko” biedru AS BAO
un
Rīgas Tehnisko universitāti*

Rīga – novembris, 2020

Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa hidroģeoloģiskais datormodelis

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

Atskaitē ir 69 lpp. no tām 23 lpp. teksts, 39 lpp. attēli un 7 lpp. pielikumi

Zin. vadītājs Dr.sc.ing. A.Spalviņš, VMC, novembris, 2020,.

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

Adrese:

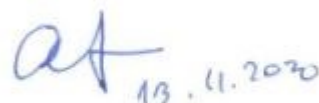
Rīgas Tehniskā universitāte, Vides modelēšanas centrs

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.Spalviņš

Saturs

1. Priekšvārds	6
2. Piesārņojuma sākuma koncentrācija un masa Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2.....	7
3. Piesārņojuma migrācijas prognoze nulles scenārijam	
3.1. Prognoze nulles scenārijam Kvartāra horizontā Q2	10
3.2. Prognoze nulles scenārijam Augšgaujas D3gj2 horizontā	12
4. Piesārņojuma migrācijas prognoze pēcsanācijas scenārijam	
4.1. Prognoze pēcsanācijas scenārijam Kvartāra horizontā Q2	14
4.2. Prognoze pēcsanācijas scenārijam Augšgaujas D3gj2 horizontā	15
5. Piesārņojuma areāla robežstāvokļi	17
6. Hidroģeoloģiskā modeļa un modelēšanas metodikas apraksts	18
7. Rezultāti un secinājumi	21
8. Izmantotie informācijas avoti	22
Attēli	23
Pielikumi	62

Attēli

1. Vispārīgie attēli

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

2. Sākotnējie SVAV koncentrāciju sadalījumi

- 2.1. att. Sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums horizontā D3gj21 [4]
- 2.2. att. Sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums horizontā Q2 [4]

3. Piesārņojuma migrācijas prognoze nulles scenārijam

3.1. att. Prognoze nulles scenārijam Kvartāra horizontā Q2, ja nav SVAV sabrukšanas

3.1.1. att. Piesārņojuma C_T -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa Kvartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); nulles scenārijs

3.1.2. att. Piesārņojuma C_T -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); nulles scenārijs

3.1.3. att. Piesārņojuma C_T -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); nulles scenārijs

3.1.4. att. Piesārņojuma C_T -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-170 gadi); nulles scenārijs

3.1.5 att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontos Q2 un D3gj2 M_{hor} un ieplūdei Gaujas upē M_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs

3.1.6. att. Piesārņojuma kopīgās plūsmas [kg/dnn] horizontos Q2 un D3gj2 I_{hor} un Gaujas upē I_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs

3.1.7. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. S10, S11, S41, S49 horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs;

3.1.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m^3] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 10_n, 20_n, 30_n, 40_n, 50_n horizontos D3gj2 ($n=7, 8, 9$ ir HM slāņa numurs apakšhorizontiem D3gj23, D3gj22, D3gj21), ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs;

3.1.9. att. Griezums A-B ar C_r -sadalījumu [g/m^3], pēc 170 gadiem, ja nav SVAV sabrukšanas: nulles scenārijs horizontā Q2

3.2. Prognoze nulles scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gj21

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

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

3.2.3. att. Piesārņojuma C_r -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 D3gj2 un sprostslnā D3gj1z M_{hor} un ieplūdei Gaujas upē M_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs

3.2.5. att. Piesārņojuma kopīgās plūsmas [kg/dnn] horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z I_{hor} un Gaujas upē I_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs

3.2.6. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z M_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; nulles scenārijs

3.2.7. att. Piesārņojuma kopīgās plūsmas [kg/dnn] horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z I_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; nulles scenārijs

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

3.2.9. att. Griezums A-B ar C_r -sadalījumu [g/m^3], pēc 170 gadiem, ja nav SVAV sabrukšanas: nulles scenārijs horizontā D3gj2

4. Piesārņojuma migrācijas prognoze pēcsanācijas scenārijam

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

4.1.1. att. Piesārņojuma $C_{0,r}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa Kvartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); pēc sanācijas

4.1.2. att. Piesārņojuma $C_{0,r}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); pēc sanācijas

4.1.3. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas $[g/m^3]$ izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); pēc sanācības

4.1.4. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas $[g/m^3]$ izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-165 gadi); pēc sanācības

4.1.5. att. Piesārņojuma kopīgās masas $[kg]$ izmaiņa horizontos Q2 un D3gj2 M_{hor} un ieplūdei Gaujas upē M_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības

4.1.6. att. Piesārņojuma kopīgās plūsmas $[kg/dnn]$ horizontos Q2 un D3gj2 I_{hor} un ieplūdei Gaujas upē I_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības

4.1.7. att. Piesārņojuma koncentrācijas $[g/m^3]$ hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. S10, S11, S41, S49 horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības

4.1.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas $[g/m^3]$ hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 10_n, 20_n, 30_n, 40_n, 50_n horizontos D3gj2 ($n=7, 8, 9$ ir HM slāņa numurs apakšhorizontiem D3gj23, D3gj22, D3gj21), ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības;

4.1.9. att. Piesārņojuma kopīgās masas $[kg]$ izmaiņa horizontā D3gj2 M_{hor} nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas

4.1.10. att. Piesārņojuma kopīgās masas $[kg]$ ieplūde Gaujas upē M_{upes} no horizonta D3gj2 nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas

4.2. Prognoze pēcsanācības scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gj21

4.2.1. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas $[g/m^3]$ izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-180 gadi); pēc sanācības

4.2.2. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas $[g/m^3]$ izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0,5}=30$ gadi (0-140 gadi); pēc sanācības

4.2.3. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas $[g/m^3]$ izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0,5}=15$ gadi (0-105 gadi); pēc sanācības

4.2.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas $[kg]$ izmaiņa horizontā D3gj21 un sprostslnā D3gj1z M_{hor} un ieplūde Gaujas upē M_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības

4.2.5. att. Piesārņojuma kopīgā plūsma $[kg/dnn]$ horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z I_{hor} un plūsma Gaujas upē I_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības

4.2.6. att. Piesārņojuma kopīgās masas $[kg]$ izmaiņa horizontā D3gj21 un sprostslnā D3gj1z M_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; pēc sanācības

4.2.7. att. Piesārņojuma kopīgās plūsmas $[kg/dnn]$ horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z I_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; pēc sanācības

4.2.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas $[g/m^3]$ hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontā D3gj21; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; pēc sanācības

4.2.9. att. Piesārņojuma kopīgās masas $[kg]$ izmaiņa horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z M_{hor} nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas

4.2.10. att. Piesārņojuma kopīgās masas $[kg]$ ieplūde Gaujas upē M_{upes} no horizonta D3gj2 nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas

5. Piesārņojuma areāla robežstāvokļi

5. att. Piesārņojuma areāli horizontam D3gj21 pēc 50 gadiem, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācijas un nulles scenārijam

6. Hidroģeoloģiskā modeļa un modelēšanas metodikas apraksts

6.1. att. Modelī izmantotā reljefa [m vjl] izolīniju karte [10]

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

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

6.4. att. Gaujas horizonta D3gj1 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte [10]

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

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

6.7. att. Griezums A-B ar pazemes ūdens līmeņu [m vjl] izolīnijām un infiltrācijas plūsmu [mm/gadā] sadalījumu

Pielikumi

1. pielikums. Gruntsūdens stāvokļa novērtējums Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtņē (2.3. tabula no [2])

2. pielikums. Pazemes ūdens stāvokļa Augšgaujas horizontā D3gj2 novērtējums Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtņē (2.4. tabula no [2])

3. pielikums. Augšgaujas ūdens horizonta D3gj21 urbumu tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu un Ziemeļu dīķa apkārtņē (1.2. att. no [2])

4. pielikums. Gruntsūdens monitoringa tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtņē (1.1. att. no [2])

5. pielikums. SVAV emisijas avota un pretinfiltrācijas pārseguma robežas [4]

6. pielikums. Hidroģeoloģiskais griezum Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtnei [14]

7. pielikums. SVAV koncentrāciju sadalījuma izolīnijas [g/m³] sprostslnā D3gj1z pēc 200 gadiem

Atskaitē bieži izmantotie saīsinājumi un mērvienības

Saīsinājumi

RTU	Rīgas Tehniskā universitāte
VMC	Vides modelēšanas centrs
HM	Hidroģeoloģiskais modelis
SVAV	Sintētiskās virsmas aktīvās vielas
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
δ	Ģeoloģiskā slāņa biezums
k	Ģeoloģiskā slāņa filtrācijas koeficients
φ, ψ	Aprēķināti, fiksēti pazemes ūdens līmeņi
q	Ūdens plūsma
I	Piesārņojuma plūsma
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, δ
metri virs jūras līmeņa (m vjl)	φ, ψ, z
m/dnn	k
m^3/dnn	q
kg/dnn	I
$\text{metrs}^2, (\text{m}^2)$	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 datormodelēšanas rezultāti par sintētisko virsmas aktīvo vielu (SVAV) migrāciju Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3g2 no Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa. Datormodelēšana veikta Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centrā (VMC), atbilstoši līgumam starp RTU un PS "INČUKALNS-EKO" biedru AS "BAO".

Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķim kā bīstamo atkritumu izgāztuvei tika noteikti sekojoši sanācijas darbu mērķi, kas 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 [1].

Datormodelēšanā imitēta tikai mobilākā un videi bīstamākā piesārņojuma ingredienta SVAV migrācija (SVAV koncentrācija pazemes ūdenī [2] pārsniedz MK noteikumus Nr.118 [3] tai noteikto robežlielumu $C_r = 0,2 \text{ g/m}^3$).

Pēc 2018. gada marta – 2020. gada marta monitoringa datiem, augstākā SVAV koncentrācija pazemes ūdeņos ir 186 mg/l (urbums B22). Tā 930 reizes pārsniedz robežlielumu 0,2 mg/l (sk. MK 118 10. pielikumu). Augstāka ŪSP vērtība un benzola koncentrācija pārsniedz atbilstošus robežlielumus attiecīgi 5 un 0,5 reizes. Iepriekšminētais apliecina augstāku SVAV bīstamību videi, salīdzinot ar pārējiem piesārņojuma ingredientiem. SVAV koncentrācija tālākajā no emisijas avota novērojumu urbumā L4-18 sasniedz 1,5 mg/l, 7 reizes pārsniedzot robežlielumu. ŪSP vērtība urbumā L4-18 ir 5 reizes zemāka par robežlielumu, benzola koncentrācija ir zem detekcijas robežas. Iepriekšminētais apliecina augstāku SVAV migrācijas spēju, salīdzinot ar pārējiem piesārņojuma ingredientiem. Līdz ar to būtiskā SVAV koncentrācija un migrācijas spēja dod reprezentatīvākos rezultātus par kopējo piesārņojuma izplatību.

Datormodelēšanas mērķis bija vides stāvokļa uzlabošanās novērtēšana Dienvidu dīķim veikto sanācijas darbu rezultātā, prognozēt esošo piesārņojuma areālu paplašināšanos un izkliedēšanos, kā arī piesārņojošo vielu noplūdes Gaujas upē diviem scenārijiem:

- nulles scenārijs - ja sanācijas darbi vispār netiktu veikti;
- pēcsanācijas scenārijs – ievērojot paveiktos vides sanācijas pasākumus – gudrona ekskavāciju un pretinfiltrācijas pārseguma ierīkošanu.

Abiem scenārijiem bija jāmodelē pazemes ūdens SVAV piesārņojuma areāla izmaiņas Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3g2 5-6 laika posmiem, t.sk. šādiem piesārņojuma areāla attīstības robežstāvokļiem:

1. sākotnējais SVAV piesārņojuma C_0 – sadalījums, kas migrē uz Gaujas upi kā laikā mainīgs $C_{0,t}$ - areāls (laiks $t_0=0$);
2. $C_{0,2}$ - areāls, kad tā SVAV masa samazināsies līdz 20% no sākotnējās; (laiks $t_{0,2}$);
3. C_r - areāls, kad tā teritorijā SVAV koncentrācija samazināsies līdz $C_r < 0,2 \text{ g/m}^3$; (laiks t_c).

Abiem scenārijiem sagatavoti grafiki, kas rāda kopējās pazemes ūdenī izšķīdušo SVAV masas izmaiņas laikā un SVAV koncentrācijas izmaiņas (hidrogrāfus) reālos un modelēšanā izmantotos (virtuālos) monitoringa urbumos.

Datormodelēšanā ņemti vērā sekojoši Dienvidu dīķim veiktie sanācijas darbi:

- dīķa teritorijā veikta gudrona eskavācija, lai novērstu 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;
- izveidots pretinfiltrācijas pārklājums, lai likvidētu atmosfēras nokrišņu, kas izskalo gudrona atliekas no grunts, nevēlamo ietekmi.

Atbilstoši darba uzdevumam [4], VMC izmantoja Inčukalna dīķu teritorijas hidroģeoloģisko modeli (HM), kas izveidots uz 2016. gada HM versijas bāzes, samazinot tā teritorijas laukumu un koriģējot modeļa ģeoloģisko slāņu filtrācijas īpašības (skat. 1.1. att. un 1.2. att. un 6. iedaļu).

Lai HM ticamāk imitētu telpisko SVAV migrāciju, Kvartāra un Augšgaujas horizonti Q2 un D3g2 sadalīti trīs ūdens apakšhorizontos (skat. 6. iedaļu).

Pazemes ūdenī izšķīdušā SVAV migrācija modelēta sistēmas Groundwater Vistas-7 (GV) vidē [5], kurā tiek izmantotas programmatūras MODFLOW (HM realizācija) [6], MT3D (SVAV masas transporta prognozēšana) [7] un MODPATH (ūdens daļiņu kustības modelēšana) [8].

Modelēšanas sākuma datu sagatavošanai un rezultātu grafiskai attēlošanai izmantota programmatūra SURFER [9].

Datormodelēšanā nav ņemta vērā Ziemeļu dīķa piesārņojuma areāla eksistence, jo tas nepārklājas ar Dienvidu dīķa areālu laikā un telpā [15].

Modelēts SVAV masas transports no Kvartāra horizonta Q2 (Dienvidu dīķa teritorija) caur morēnu gQ līdz Augšgaujas horizontam D3g2 un šajā horizontā līdz Gaujas upei. Modelēšanas eksperimentā piesārņojums šajā horizontā nākošos ~170 gadus migrē uz Gaujas upi.

Kvartāra horizonta Q2 modelēšanas scenārijiem visam masas transporta ceļam modelēšana veikta bez SVAV sabrukšanas, kad SVAV masa horizontā nemainās līdz piesārņojuma areāls sasniedz Gaujas upi. Augšgaujas horizonta D3g2 scenārijiem ir modelēta SVAV sabrukšana, kad piesārņojuma masa horizontā samazinās līdz tās ieplūdei upē.

Modelēšanas rezultāti pirmajiem 25 gadiem Kvartāra un Augšgaujas horizontiem Q2 un D3g2 parāda, kā Dienvidu dīķa apkārtnes hidroģeoloģiskie apstākļi nosaka telpiski mainīgo piesārņojuma plūsmu, kas no horizonta Q2 nonāk horizontā D3g2.

Programma GV tieši nerealizē dabā novēroto SVAV sedimentāciju, kad $C_{D3g21} \gg C_{D3g23}$. Tomēr HM vidē telpisko infiltrācijas plūsmu ietekmē notiek daļēja šī procesa imitācija.

2. Piesārņojuma sākuma koncentrācija un masa Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3g2

Laikā no 2018.g. līdz 2019.g. piesārņojuma SVAV koncentrācijas C_{SVAV} 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 laboratorijās noteiktajām [2].

Lai ievērotu visnelabvēlīgākos apstākļus, sākuma C_0 -sadalījumi pazemes ūdenī horizontiem D3g2 un Q2 (skat. 2.1. att. un 2.2. att.) iegūti, izmantojot Čehijas laboratorijas analīžu datus. Šo C_0 -sadalījumu kodolos $C_{SVAV} = 100 \text{ g/m}^3$. Nulles scenārijam dīķa laukumā fiksēta $C_f = 100 \text{ g/m}^3$ imitē SVAV emisijas avotu.

C_0 -sadaliĵumos piesārņotā areāla laukums L , piesārņojuma masa M_I vienu metru biezam ūdens slānim un vidējā SVAV koncentrācija C_{vid} aprēķināta, izmantojot programmu SURFER, attiecībā pret nulles robežu $C = 0.001 \text{ g/m}^3$. Šādi iegūtie dati par C_0 -sadaliĵumiem apkopoti 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Dati par sākuma C_0 -sadaliĵumiem

Horizonts	Laukums L [m ²]	SVAV masa M_I [kg]	Vidējā koncentrācija C_{vid} [g/m ³]
D3gj2	136.07×10^4	32423.0	23.83
Q2	12.89×10^4	5132.2	39.80

M_I – SVAV masa vienu metru biezā pazemes ūdens slānī; $C_{vid} = M_I / L$.

Sākuma C_0 -sadaliĵumi HM izmantoti Kwartāra horizonta Q2 slāņos Q21, Q22 un Q23 un Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gj21. Programma MT3D aprēķina: $M_{Q2} = 22613 \text{ kg}$; $M_{D3gj21} = 87542 \text{ kg}$.

Vides stāvokļa raksturošanai nepieciešams aprēķināt piesārņotās grunts un pazemes ūdens tilpumus V_g un V_p , kurus saista formula:

$$V_g = L \times \delta, \quad V_p = 0.27 \times V_g, \quad (2.1)$$

kur δ ir vidējais piesārņotā horizonta biezums: 0.27 ir porainība, kas izmantota HM arī 2016. gadā [10].

Horizontā ar biezumu δ :

$$M_{SVAV} = 0.27 \times M_I \times \delta. \quad (2.2)$$

Horizontam D3gj21 $\delta = 10 \text{ m}$; $M_I = 32423 \text{ kg}$. Tāpēc $M_{D3gj21} = 87542 \text{ kg}$, kas atbilst ar programmu MT3D iegūtajam rezultātam.

Horizonta Q2 nezināmo vidējo biezumu δ_{Q2} var aprēķināt, ja izmanto formulu (2.2):

$$\delta_{Q2} = M_{Q2} / (0.27 \times M_I) = 22613 / (0.27 \times 5132.2) = 16.32 \text{ m}.$$

Izmantojot formulas (2.1) un (2.2), var apstiprināt C_{vid} aprēķina pareizību 2.1. tabulā:

$$C_{vid} = M_{SVAV} / V_p = (0.27 \times M_I \times \delta) / (0.27 \times L \times \delta) = M_I / L.$$

Datus L un M_I par sākuma C_0 -sadaliĵumu var izmantot C_{vid} aprēķinam, t.i., šim nolūkam nav nepieciešami rezultāti M_{SVAV} un V_p .

Piesārņojuma parametru aprēķinam 2016.g. un 2020.g. izmantoti, attiecīgi, Latvijas dati par C_{SVAV} un sākuma C_0 -sadaliĵumi, kas iegūti no Čehijas datiem. Horizontā Q2 piesārņojuma areāla migrācijas modelēšana 2016. gadā nenotika.

Salīdzinošie dati par SVAV piesārņojumu 2016. gadā un 2020. gadā apkopoti 2.2. tabulā. Horizontā D3gj2 horizontā 2020. gadā piesārņotā areāla laukums L un vidējā koncentrācija C_{vid} palielinājušās: $L = 91.0 \text{ ha} \rightarrow 136.1 \text{ ha}$ un $C_{vid} = 12.40 \text{ g/m}^3 \rightarrow 23.83 \text{ g/m}^3$. Tāpēc M_{SVAV} šajā horizontā ir pieaugusi 2.87 reizes $M = 30.5 \times 10^3 \text{ kg} \rightarrow 87.5 \times 10^3 \text{ kg}$.

SVAV piesārņojums 2016.g. un 2020.g. Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2

Parametri piesārņotajā horizontā	Q2	D3gj2	
	2020.g.	2016.g.	2020.g.
Laukums L [ha]	12.9	91.0	136.1
Biezums δ [m]	16.3	10.0	10.0
Ūdens tilpums V_p [m ³]	0.57×10^6	2.46×10^6	3.67×10^6
Vidējā koncentrācija C_{vid} [g/m ³]	39.81	12.40	23.83
Masa M_{SVAV} [kg]	22.6×10^3	30.5×10^3	87.5×10^3
Masas pieaugums pret 2016. gadu [reizes]			2.87

Piesārņojuma sākuma koncentrācija C_0 laikā t samazinās līdz C_t , ja notiek piesārņojuma sabrukšana, kad tā mijiedarbības dēļ ar ģeoloģisko vidi, piesārņojuma masa samazinās [11]:

$$C_t = C_0 / \exp(0.69 t / t_{0.5}), \quad (2.3)$$

kur $t_{0.5}$ ir vielas pussabrukšanas laiks, kad $C_t / C_0 = 0.5$.

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

Ar programmu MT3D iegūtās koncentrācijas $C(x,y,z,t)$ un masas $M(t)$ aprēķinātas ar laika soli 0.2 gadi (73 dnn). Rezultāti tiek reģistrēti ar viena gada laika intervālu. Aprēķini veikti nulles scenārijam un horizontam Q2 pēcsanācijai laikam no šī brīža līdz 170 gadiem, bet horizontam D3gj2 pēc sanācijai, no šī brīža līdz 200 gadiem.

Informāciju par piesārņojuma masas $M(t)$ izmaiņām būtiski papildina SVAV plūsmas I_t dati:

$$I_t = (M_{t+1} - M_t) / 365 \text{ [kg/dnn]}, \quad t=0, 1, 2, \dots, 170/200 \text{ gadi} \quad (2.4)$$

kur M_t un M_{t+1} ir modelētās SVAV masas [kg] gada sākumā un beigās.

Ja $I_t > 0$ vai $I_t < 0$, tad masa M_t pieaug vai samazinās. Analizējot I_t grafikus SVAV masām horizontos un upē M_{hor} un M_{upes} , var precīzāk noteikt piesārņojuma procesa robežstāvokļus t_{upes} un t_m , kad laikā mainīgā C_t –areāla fronte un kodols sasniedz Gaujas upi (skat. 5. iedaļu) un kad nulles scenārijā C_t areāls kļūst stacionārs. Tad, pieaugot laikam t , piesārņojuma areāls nemainās.

Par masu M_{hor} un M_{upes} aprēķinu augsto precizitāti, izmantojot MT3D programmu, liecina plūsmu I_{hor} un I_{upes} grafiku simetrija un to summas nemainīgums laikā visiem skaitliskās modelēšanas variantiem.

Piesārņojuma migrācijas prognozēs visiem scenārijiem par 0 gadu uzskatāms 2020. gads, kad iegūti datormodelēšanas rezultāti.

3. Piesārņojuma migrācijas prognoze nulles scenārijam

3.1. Prognoze nulles scenārijam Kvartāra horizontā Q2

Piesārņojuma areāla migrācija bez SVAV sabrukšanas prognozēta laikā no 0 līdz 170 gadiem.

C_0 -sadaliņums (2.2. att.) dots horizontā Q23, Q22 un Q21 (HM 3., 4., un 5.slāņi). Nulles scenārijam vienlaicīgi ar C_0 -sadaliņumu, kas migrē uz Gaujas upi kā $C_{0,t}$ -areāls, šajos horizontos dīķa laukumā uzdod fiksētu koncentrāciju $C_f = 100 \text{ g/m}^3$ kā avotu SVAV emisijas imitēšanai laikā mainīgajam $C_{f,t}$ -areālam. Modelētais C_t -areāls ir $C_{0,t}$ -areāla un $C_{f,t}$ -areāla summa (skat. 5. iedaļu).

Modelēšanas rezultāts horizontā Q21 pirmajiem 25 gadiem skatāms 3.1.1. att. Jau pēc 10 gadiem notiek piesārņojuma areāla, kas ietver C_f avotu, stabilizācija. Pēc 25 gadiem caur morēnas gQ (HM 6. slānis) hidroģeoloģisko logu, kas atrodas ZR virzienā no dīķa [12, 13], horizontā D3gj2 ieplūst praktiski visa C_0 -sadaliņuma masa, kas atrodas loga apkārtnē.

Dīķa laukumā morēnas gQ nav [12, 13]. Šeit C_f avota plūsma sasniedz 7 kg/dnn (3.1.1. tabula).

Piesārņojums nokļūst horizontā D3gj2, kurā tas migrē uz Gaujas upi. Šī procesa pirmie 25 gadi horizontiem D3gj23 un D3gj21 skatāmi 3.1.2. att. un 3.1.3. att. Pēc ~15 gadiem horizontā D3gj23 notiek piesārņojuma areāla stabilizācija C_f apgabalā (3.1.2. att.). Nav dots rezultāts horizontā D3gj22, caur kuru notiek piesārņojuma kustība starp horizontu D3gj23 un D3gj21 areāliem. Par koncentrāciju sadaliņumu šajā horizontā var spriest pēc koncentrāciju hidrogrāfiem monitoringa urbumos (3.1.8. att.) un vertikālajā griezumā (3.1.9. att.).

Pēc 5 gadiem piesārņojums ir sasniedzis horizontu D3gj21. Pēc 25 gadiem šajā horizontā uz Ziemeļiem no dīķa sāk izveidoties piesārņojuma apgabals $C = 40 \text{ g/m}^3$ (skat. 3.1.3. att.).

Piesārņojuma C_t -areāls horizontā D3gj21 laikā no 0-170 gadiem skatāms 3.1.4. att. Laikā no 50-90 gadiem ir izveidojušies apgabali $C = 40 \text{ g/m}^3$ un $C = 30 \text{ g/m}^3$. Ja $t > 130$ gadi, ir izveidojies stacionārs apgabals $C = 20 \text{ g/m}^3$, kura fronte atrodas virtuālā monitoringa urbuma Nr. 40-9 apkaimē. Stacionārie apgabali izveidojas C_f avota darbības dēļ.

Ja $t < 25$ gadi, $C_{0,t}$ -areāla (skat. 4.1.2. att. un 4.1.3. att., 4.1. iedaļā par SVAV migrāciju pēc sanācības), ietekme uz C_t -areālu ir būtiska. Par to liecina C_t -areāla formas izmaiņa (skat. 3.1.2. att. un 3.1.3. att.). Laikā no $t > 50$ gadiem $C_{0,t}$ -areāla (4.1.4. att.) daļa samazinās, bet $C_{f,t}$ -areāla palielinās. To apstiprina 4.1.4. att. un 3.1.4. att. salīdzināšana. Ja $t > 170$ gadi, eksistē tikai stacionārais $C_{f,t}$ -areāls (skat. 3.1.4. att.).

Laikā no 0-170 gadiem piesārņojuma masa horizontos M_{hor} palielinās no $M_0 = 22.6 \times 10^3 \text{ kg}$ līdz $M_{hor} \sim 334.8 \times 10^3 \text{ kg}$, t.i., ~14.8 reizes (3.1.5. att.). Ja $t = 170$ gadi, piesārņojuma masa upē M_{upes} pieaug līdz $\sim 122 \times 10^3 \text{ kg}$, t.i., ~5.4 reizes pārsniedz $M_0 = 22.6 \times 10^3 \text{ kg}$

No plūsmu I_{hor} un I_{upes} grafikiem 3.1.6. att., kas, izmantojot formulu (2.4), iegūti no 3.1.5. att. grafikiem, var secināt, ka C_t -areāls sasniedz Gaujas upi pēc $t_{upes} = 100$ gadiem un C_f ka avota plūsma ir 7 kg/dnn . Kad $t > 100$ gadi, I_{hor} samazinās, jo piesārņojums no horizonta D3gj2 sāk ieplūst Gaujas upē. Laikā $t_m = 145$ gadi ir plūsmu $I_{hor} = -0.4 \text{ kg/dnn}$ minimums un $I_{upes} = 7.4 \text{ kg/dnn}$ maksimums, kad upē ieplūst $C_{0,t}$ areāla kodols. Tad pie upes $C_m = 10.7 \text{ g/m}^3$ (skat. 3.1.8. att. C hidrogrāfu urbumā Nr. 50-9).

Attiecība $C_f / C_m = 100 / 10.7 = 9.34$ raksturo C_t -areāla kodola koncentrācijas samazināšanos tā masai izkliedējoties dispersijas dēļ un atšķaidoties ar nepiesārņoto infiltrācijas plūsmu.

Ja $t \geq 170$ gadi, ir sasniegts C_t -areāla stacionārais stāvoklis, kad $I_{hor} = 0.2 \text{ kg/dnn}$ un $I_{upes} = 6.8 \text{ kg/dnn}$ (skat. 3.1.6. att.).

Grafiki I_{hor} un I_{upes} ir simetriski pret horizontāli $I = 3.5$ kg/dnn. Šo grafiku summa ir 7.0 kg/dnn, kas atbilst C_f -avota plūsmai. Skaitliskie dati par M_t un I_t izmaiņām apkopoti 3.1.1. tabulā.

3.1.1. tabula

Masas M_t [kg] un plūsmas I_t [kg/dnn] izmaiņas horizontos un Gaujas upē; ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs horizontā Q2

Atrašanās vieta	M_0 [kg]	M_{170} [kg]	M_{170}/M_0 [reizes]	I_0 [kg/dnn]	I_{145} [kg/dnn]	I_{170} [kg/dnn]
horizonti	22613	334849	14.81	7.0	-0.4	0.2
upe	-	122017	5.39	0.0	7.4	6.8

$t_{upes} = 100$ gadi un $t_m = 145$ gadi ir laiki, kad SVAV C_t - areāla fronte un kodols sasniedz Gaujas upi; laikā t_m ir plūsmu I_{hor} un I_{upes} minimums un maksimums; tabulas dati vizualizēti 3.1.5. att. un 3.1.6. att.

Attiecība $C_t / 0.2$ parāda, cik reizes piesārņojums stacionārajā areālā (3.1.4. att. $t=170$ gadi) horizontā D3gj21 pārsniedz robežvērtību 0.2 g/m³. Attiecība ir 220 reizes pie dīķa un 54 reizes pie upes (skat. 3.1.8. att. C hidrogrāfus urbemos Nr. 10-9, 50-9, kur $C_t=44$ g/m³ un 10.7 g/m³).

SVAV ieplūde ~ 7 kg/dnn Gaujas upē nevar ietekmēt upes ūdens kvalitāti, jo upes vidējais caurplūdums ir $\sim 10^6$ reizes lielāks par šo SVAV ieplūdi [16].

Reālo un virtuālo monitoringa urbumu Nr. S41, S49 un Nr. S10, S11 C-hidrogrāfi Kvartāra horizontā Q21 sasniedz $C \sim 0$ g/m³ jau pirmo 20 gadu laikā (skat. 3.1.7. att., 3.1.1. att.).

C-hidrogrāfi 3.1.8. att. virtuālajos monitoringa urbemos Nr. 10-n, 20-n, 30-n, 40-n, 50-n horizontā D3gj2 (n=7, 8, 9 ir HM slāņa numurs apakshorizontiem D3gj23, D3gj22, D3gj21) apstiprina, ka aprēķinātie C_t -sadalījumi daļēji imitē piesārņojuma sedimentācijas procesu, jo minimālās un maksimālās C_{SVAV} reģistrētas, attiecīgi, HM 7. un 9. slāņos. Tikai urbumā 10-n, kas atrodas dīķa tuvumā, $C_9 \sim C_8 > C_7$. Pārējos urbemos $C_9 > C_8 > C_7$.

Datormodelī sedimentācijas daļēju imitāciju nodrošina vertikālās infiltrācijas plūsmas (skat. 6.7. att.). Tās piesārņojumu pārvieto no horizontiem D3gj23 un D3gj22 uz dziļāko horizontu D3gj21, kā arī infiltrācijas nepiesārņotā plūsma samazina C_{SVAV} , īpaši horizontā D3gj23. Tikai upes krasta urbemos Nr. 50-n, atšķirības $C_9 > C_8 > C_7$ kļūst mazākas, jo tur ir negatīvā (atslodzes) plūsma Gaujas upē (skat. 6.7. att.).

Sedimentācijas procesa imitācijas rezultātu ilustrē C_t -sadalījums griezumā A-B, ja $t = 170$ gadi (3.1.9. att.). Griezuma līnija atbilst C_t - areāla viduslīnijai. Vertikālā virzienā C_{SVAV} samazinās infiltrācijas plūsmu ietekmē, bet virzienā uz upi, piesārņojuma masas izkļiedšanās dēļ. Pozitīvā infiltrācijas plūsma no horizonta D3gj21 arī sprostslnānī D3gj1z (HM 10. slānis) ienes SVAV masu M_{D3gj1z} . Par M_{D3gj1z} izveidošanos skaidrots 4.2. iedaļā.

Modelēšanas rezultāti prognozē, ka ja nav gudrona ekskavācijas, Augšgaujas horizontā D3gj2 pēc ~ 170 gadiem starp Dienvidu dīķi un Gaujas upi izveidosies stacionārs SVAV piesārņojuma areāls, kuram $M_{170} \sim 335 \times 10^3$ kg un $C_{SVAV} \sim 44$ g/m³ pie dīķa un ~ 10.7 g/m³ un pie upes. Piesārņotā horizonta D3gj2 pašattīršanās nav sagaidāma, ja no gudrona dīķa pazemes ūdenī notiek SVAV un citu kaitīgu vielu emisija.

3.2. Prognoze nulles scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējai daļai D3gj21

Lai salīdzinoši novērtētu SVAV sabrukšanas ietekmi Augšgaujas horizonta apakšējai daļai D3gj21, piesārņojuma areāla migrācijas prognoze veikta laikā no 0-170 gadiem bez SVAV sabrukšanas un ar sabrukšanu, ja $t_{0.5} = 30$ gadi un $t_{0.5} = 15$ gadi.

Sākuma C_0 -sadalījums (2.1. att.) izmantots horizontā D3gj21 (HM 9. slānis). Fiksētā sākuma koncentrācija $C_f = 100 \text{ g/m}^3$, kā SVAV emisijas avots uzdota horizontā D3gj23 Dienvidu dīķa laukumā. Šāds C_f avota novietojums nodrošina SVAV sedimentācijas procesa daļēju imitēšanu visos trīs Augšgaujas horizonta D3gj2 slāņos.

Laikā mainīgie C_t -areāli horizontā D3gj21 laikā no 0 līdz 170 gadiem skatāmi 3.2.1. att. (nav SVAV sabrukšanas) un ar sabrukšanu 3.2.2. att. ($t_{0.5} = 30$ gadi) un 3.2.3. att. ($t_{0.5} = 15$ gadi).

Nulles scenārijam C_t -areāls ir laikā mainīgo $C_{0,t}$ un $C_{f,t}$ areālu summa. $C_{0,t}$ -areāls skatāms 4.2. iedaļā par SVAV migrāciju horizontā D3gj21 pēc sanācības (skat. arī 5.att.).

Par $C_{0,t}$ izmaiņu laikā, ja nav SVAV sabrukšanas, liecina 4.2.1. att. Ja $t < 90$ gadiem, $C_{0,t}$ ietekme uz piesārņojuma C_t -areālu horizontā D3gj21 ir būtiska. Par to liecina 4.2.1. att. un 3.2.1. att. salīdzināšana. Pēc $t > 180$ gadiem izveidojas stacionārs piesārņojuma apgabals, kurā nav sākuma C_0 - sadalījuma ietekmes (skat. 4.2.1. att.).

Piesārņojuma kopīgās masas M_{hor} , izmaiņa horizontā D3gj2 un sprostslnānī D3gj1z kā arī Gaujas upē M_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas, skatāma 3.2.4. att. Kopīgā masa M_{hor} ģeoloģiskajos slāņos pēc ~100 gadiem sasniedz maksimumu $\sim 248 \times 10^3$ kg un samazinās līdz 222.4×10^3 kg. Pēc 170 gadiem upē ieplūdīs $M_{upes} \sim 148 \times 10^3$ kg.

Noskaidrots, ka pēc 170 gadiem, ja nav SVAV sabrukšanas, sprostslnānī D3gj1z (HM 10. slānis), atrodas $M_{D3gj1z} = 14 \times 10^3$ kg SVAV. Par M_{D3gj1z} izveidošanos skaidrots 4.2. iedaļā.

No plūsmu I_{hor} un I_{upes} grafikiem 2.4.5. att. var secināt, ka C_t -areāls sasniedz Gaujas upi pēc $t_{upes} = 70$ gadiem un, ka C_f avota plūsma ir 4.5 kg/dnn. Kad $t_m = 120$ gadi, plūsma I_{upes} sasniedz maksimumu ~ 6.6 kg/dnn un plūsma I_{hor} ir minimāla -2.1 kg/dnn. Plūsmas I_{upes} maksimums rodas $C_{0,t}$ -areāla dēļ, kad tā kodols ieplūst upē. Kad $t > 170$ gadiem, plūsma I_{upes} samazinās līdz stacionārai vērtībai 4.5 kg/dnn.

Pie upes $C_m = 9.0 \text{ g/m}^3$ (skat. 3.2.8. att. C hidrogrāfu urbūmā Nr. 50-9.). Attiecība $C_f / C_m = 100/9.0 = 11.11$ raksturo C_t -areāla kodola koncentrācijas samazināšanos tā masas izkliedēšanās un atšķaidīšanās dēļ.

Grafiki I_{hor} un I_{upes} ir simetriski pret horizontāli $I = 2.25$ kg/dnn. Grafiku summa ir 4.5 kg/dnn, kas atbilst C_f avota plūsmai. Skaitliskie dati par M_t un I_t , apkopoti 3.2.1. tabulā.

No 3.2.1. tabulas datiem var secināt, ka C_0 -sadalījuma un C_f avota ietekmes nav tik atšķirīgas kā horizonta Q2 gadījumā (3.1. iedaļa), jo horizontiem un upei attiecība M_{170} / M_0 ir 2.5 un 1.7. Tas ir tāpēc, ka C_0 -sadalījumam horizontā D3gj21 ir daudz lielāka masa nekā horizontā Q2 (87542 kg > 22613 kg). Arī C_f avota plūsma horizontā Q2 ir lielāka nekā horizontā D3gj23 (7.0 kg/dnn > 4.5 kg/dnn)

Attiecība $C_t / 0.2$ parāda, cik reizes piesārņojums horizontā D3gj21 (skat. 3.2.1. att. $t = 170$ gadi) pārsniedz robežvērtību 0.2 g/m^3 . Attiecība ir ~ 210 reizes pie dīķa un 40 reizes pie upes (skat. 3.2.8. att. hidrogrāfus urbūmos Nr. 10-9 un 50-9, kur $C_t = 42 \text{ g/m}^3$ un 8.0 g/m^3).

SVAV ieplūde ~ 4.5 kg/dnn Gaujas upē nevar ietekmēt upes ūdens kvalitāti, jo upes vidējais caurplūdums ir $\sim 10^6$ reizes lielāks par šo SVAV ieplūdi [16].

Masas M_t [kg] un plūsmas I_t [kg/dnn] izmaiņas horizontos un Gaujas upē; ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs horizontā D3gj2

Atrašanās vieta	M_0 [kg]	M_{170} [kg]	M_{170}/M_0 [reizes]	I_0 [kg/dnn]	I_{120} [kg/dnn]	I_{170} [kg/dnn]
horizonti	87542	222442	2.54	4.5	-2.1	0.0
upe	-	147982	1.69	0.0	6.6	4.5

$t_{upes} = 70$ gadi un $t_m = 120$ gadi ir laiki, kad SVAV C_t - areāla fronte un kodols sasniedz Gaujas upi; laikā t_m ir plūsmu I_{hor} un I_{upes} minimums un maksimums; tabulas dati vizualizēti 3.2.4. att. un 3.2.5. att.

Virtuālo monitoringa urbumu C - hidrogrāfi variantiem bez un ar SVAV sabrukšanu doti tikai horizontam D3gj21 (3.2.8. att.), jo tajā ir nulles scenārija C_t - sadalījumu maksimālās vērtības.

Ja $t_{0.5}=30$ gadi (3.2.2. att.), stacionārie apgabali $C = 40; 30; 20; 10$ g/m³ izveidojas pēc 50 gadiem, bet apgabali $C = 5$ un 1 g/m³ pēc 90 gadiem. Ja $t > 130$ gadi, pie Gaujas upes $C \sim 0.5$ g/m³ (skat. 3.2.8. att. C hidrogrāfu urbumā Nr. 50-9).

Ja $t_{0.5}=15$ gadi (3.2.3. att.), tad C_t - areāls kļūst stacionārs, ja $t > 130$ gadi un nesasniedz Gaujas upi.

No C - hidrogrāfu kopas horizontā D3gj21 (3.2.8. att.) var secināt, ka SVAV sabrukšana būtiski samazina C_{SVAV} . Jo lielāks attālums no dīķa, jo vairāk samazinās C_{SVAV} .

Salīdzinošie dati par M_t un I_t izmaiņām apkopoti 3.2.2. tabulā, ja notiek un nenotiek SVAV sabrukšana.

Ja notiek SVAV sabrukšana ($t_{0.5}=30$ gadi un $t_{0.5}=15$ gadi), tad kopīgā masa M_{hor} un tās plūsmas I_{hor} (3.2.6. att. un 3.2.7. att.) samazinās. Attiecīgi: $M_{hor} = 87.5 \times 10^3$ kg \rightarrow 63.4×10^3 kg un $M_{hor} = 87.5 \times 10^3$ kg \rightarrow 36×10^3 kg. Negatīvās plūsmas I_{120} ($t_m = 120$ gadi), attiecīgi, samazinās: 2.1 kg/dnn \rightarrow 0.3 kg/dnn un 2.1 kg/dnn \rightarrow 0 kg/dnn, ja $t_{0.5}=30$ un $t_{0.5}=15$ gadi.

Masas M_t [kg] un plūsmas I_t [kg/dnn] izmaiņas horizontos dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; nulles scenārijs horizontā D3gj2

SVAV sabrukšanas gadījums	M_0 [kg]	M_{170} [kg]	M_{170}/M_0 [reizes]	I_0 [kg/dnn]	I_{120} [kg/dnn]	I_{170} [kg/dnn]
nav sabrukšanas	87542	222442	2.54	4.5	-2.1	0.0
$t_{0.5}=30$ gadi	87542	63361	0.72	-1.0	-0.3	0.0
$t_{0.5}=15$ gadi	87542	35962	0.41	-6.0	0.0	0.0

tabulas dati vizualizēti 3.2.6. att. un 3.2.7. att.

Ja notiek SVAV sabrukšana, tad Gaujas upe praktiski neietekmē C_t areāla izveidošanos.

Par to, ka horizontā D3gj2 ir daļēji imitēts sedimentācijas process, informē vertikālais griezumā A-B, kas skatāms 3.2.9. att. Giezumā minimālās un maksimālās C_{SVAV} ir, attiecīgi, horizontos D3gj23 un D3gj21. Šāds stāvoklis atbilst C_{SVAV} sedimentācijai, kas novērota reālos monitoringa urbumos (skat. 2. un 6. pielikumus).

Ja nav gudrona ekskavācijas, modelēšanas rezultāti prognozē, ka Augšgaujas horizontā D3gj2 pēc ~170 gadiem starp Dienvidu dīķi un Gaujas upi izveidotos stacionārs SVAV piesārņojuma areāls, kuram $M_{170} = 222 \times 10^3$ kg. Areāla viduslīnijai $C_{SVAV} \sim 42$ g/m³ pie dīķa un ~ 8.0 g/m³ un pie upes. Horizonta D3gj2 pašattīrīšanās nav sagaidāma, ja no gudrona dīķa notiek SVAV emisija pazemes ūdenī.

Ja notiktu SVAV sabrukšana ($t_{0.5}=30$ gadi), tad stacionārajam SVAV areālam $M_{170} = 63 \times 10^3$ kg; un upes krastā $C_{SVAV} \sim 0.5$ g/m³. Šobrīd nav aktuālu datu par SVAV sabrukšanas ātrumu un tāpēc šie rezultāti tikai informē, ka SVAV sabrukšana varētu būtiski samazināt M_{SVAV} un C_{SVAV} , bet nevarētu novērst stacionārā SVAV areāla izveidošanos, no kura piesārņojums ieplūst Gaujas upē.

Gadījums, kad $t_{0.5}=15$ gadi, ir maz ticams. Tad piesārņojuma areāls nemaz nenasniedz upi.

4. Piesārņojuma migrācijas prognoze pēcsanācijas scenārijam

4.1. Prognoze pēcsanācijas scenārijam Kvartāra horizontā Q2

Piesārņojuma areāla migrācija prognozēta variantam bez SVAV sabrukšanas laikā no 0-170 gadiem.

Sākuma C_0 –sadaliņums (2.2. att.) dots horizontos Q21, Q22 un Q23 Modelēts pretinfiltrācijas pārsegums (skat. 5. pielikumu), kas infiltrācijas plūsmu aerācijas zonā aer (HM 2. slānis) samazina 100 reizes (kā sarkofāgam Ziemeļu dīķim [15]).

Modelēšanas rezultāti $C_{0,t}$ - areālam horizontā Q21 pirmajiem 25 gadiem skatāmi 4.1.1. att. No areāla rakstura var secināt, ka tad notiek intensīva pazemes ūdenī izšķīdušā piesārņojuma ieplūde horizontā D3gj2 dīķa laukumā, kurā nav morēnas. Jau pēc 10 gadiem šeit $C \sim 0$ g/m³.

No horizonta Q21 piesārņojums nonāk horizontos D3gj23 un D3gj21. Šī procesa pirmie 25 gadi skatāmi 4.1.2. att. un 4.1.3. att.

Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāli horizontā D3gj21 laikā 0-165 gadiem skatāmi 4.1.4. att.

Piesārņojuma masa samazinās piecas reizes, kad $t_{0.2}=143$ gadi. Pēc $t_c = 165$ gadi pie Gaujas upes izveidojas apgabals $C < 0.2$ g/m³.

Par piesārņojuma kopīgās masas M_{hor} izmaiņām horizontos Q2 un D3gj2 kā arī par ieplūdi Gaujas upē M_{upes} informē 4.1.5. att.

Sākuma masa $M_0 = 22.6 \times 10^3$ kg $C_{0,t}$ -areālam sāk samazināties, kad piesārņojuma areāls sasniedz Gaujas upi. Pēc 170 gadiem kopīgā SVAV masa upē sasniedz stacionāro vērtību 21.9×10^3 kg, t.i., tad gandrīz visa C_0 –sadaliņuma masa ir ieplūdusi upē. Upē nav nonākuši $\sim 0.7 \times 10^3$ kg, kas atrodas horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z.

No plūsmu I_{upes} un I_{hor} grafikiem 4.1.6. att. var secināt, ka laikā $t_{upes} = 100$ gadi $C_{0,t}$ – areāls sasniedz Gaujas upi un laikā $t_m = 130$ gadi plūsmas I_{upes} un I_{hor} sasniedz maksimālās vērtības 2 kg/dnn un -2 kg/dnn. Pie upes $C_m = 2.7$ g/m³ (skat. 4.1.8. att. C hidrogrāfu urbumā Nr. 50-9).

Attiecība $100/2.7=37.04$ raksturo $C_{0,t}$ -areāla kodola koncentrācijas samazināšanos tā masas izkliedēšanās un atšķaidīšanās dēļ.

Grafiki I_{upes} un I_{hor} ir simetriski pret horizontāli $I = 0$ kg/dnn. Grafiku summa ir nulle, jo nav C_f avota. Skaitliskie dati par M_t un I_t izmaiņām apkopoti 4.1.1. tabulā.

Masa M_t horizontā D3gj2 $C_{0,t}$ -areālā sāk samazināties pēc laika $t_{upes} = 70$ gadi, kad SVAV piesārņojums sāk ieplūst Gaujas upē. SVAV ieplūdes maksimums ~ 2 kg/dnn kad $t_m = 130$ gadi Gaujas upē, kad $t_m = 130$ gadi.

SVAV plūsmas impulss ar amplitūdu 2 kg/dnn nevar ietekmēt upes ūdens kvalitāti, jo upes vidējais caurplūdums ir $\sim 10^6$ reizes lielāks par šo SVAV ieplūdi [16].

4.1.1. tabula

Masas M_t [kg] un plūsmas I_t [kg/dnn] izmaiņas horizontos un Gaujas upē; ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācijas horizontā Q2

Atrašanās vieta	M_0 [kg]	M_{170} [kg]	M_{170}/M_0 [reizes]	I_0 [kg/dnn]	I_{130} [kg/dnn]	I_{170} [kg/dnn]
horizonti	22613	751	0.033	0.0	-2.0	0.0
upe	-	21862	0.967	0.0	2.0	0.0

$t_{upes} = 100$ gadi un $t_m = 130$ gadi ir laiki, kad SVAV $C_{0,t}$ - areāla fronte un kodols sasniedz Gaujas upi; laikā t_m ir pūsmu I_{hor} un I_{upes} minimums un maksimums; tabulas dati vizualizēti 4.1.5. att. un 4.1.6. att.

C –hidrogrāfi monitoringa urbemos (4.1.7. att.) horizontā Q21 parāda, ka jau 20 gadu laikā no horizonta Q2 izplūdusi praktiski visa C_0 –sadalījuma masa M_0 . Tas atbilst $C_{0,t}$ - areāla izmaiņai 4.1.1. att.

C –hidrogrāfi horizontam D3gj23, D3gj22 un D3gj21 (HM 7., 8. un 9. slānis) ir skatāmi 4.1.8. att. Tie liecina par sedimentācijas procesa daļēju imitāciju, jo koncentrācijas $C_9 > C_8 > C_7$. Urbemos Nr. 50-9, 50-8, 50-7 atšķirības starp C maksimumiem samazinās. Šajos urbemos Gaujas upes krastā C –hidrogrāfu maksimums atbilst laikam $t_m = 130$ gadi, kad upē ieplūst laikā mainīgā $C_{0,t}$ –areāla kodols.

Par sanācijas nepieciešamību, ja nav SVAV sabrukšanas, liecina kopīgas masas M_{hor} un M_{upes} izmaiņu salīdzinājums nulles scenārijam un pēc sanācijas (4.1.9. att. un 4.1.10. att.).

Ja nav gudrona eskavācijas, tad 170 gadu laikā SVAV masa ģeoloģiskajos slāņos pieaug ~ 14.8 reizes, salīdzinot ar sākuma masu $M_0 = 22.6 \times 10^3$ kg. Ieplūde Gaujas upē būtu ~ 5.4 reizes lielāka, salīdzinot ar sanācijas gadījumu (4.1.10. att.).

Modelēšanas rezultāti 0-170 gadu laikam informē par piesārņojuma areāla izveidošanās vēsturi horizontā D3gj2. Pēc datormodelēšanas prognozēm, ~ 165 gadu laikā varētu notiktu Augšgaujas horizonta D3gj2 pašattīrīšanās (4.1.4. att.).

4.2. Prognoze pēcsanācijas scenārijam Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gj21

Lai novērtētu SVAV sabrukšanas ietekmi Augšgaujas horizonta apakšējai daļai D3gj21, piesārņojuma areāla migrācija pēcsanācijas scenārijam prognozēta laikam 0-200 gadi bez SVAV sabrukšanas un ar sabrukšanu, ja $t_{0.5} = 30$ gadi un $t_{0.5} = 15$ gadi.

Modelēta pretinfiltrācijas pārklājuma (skat. 6. pielikumu) ietekme, kas samazina infiltrācijas plūsmu dīķa teritorijā aerācijas zonā aer (HM 2. slānis) 100 reizes (kā sarkofāgam Ziemeļu dīķim [15]).

Piesārņojuma $C_{0,t}$ - areāli horizontā D3gj21 dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem skatāmi 4.2.1. att. (nav SVAV sabrukšanas), un ar sabrukšanu, 4.2.2. att. ($t_{0,5} = 30$ gadi) un 4.2.3. att. ($t_{0,5} = 15$ gadi). Piesārņojuma areāliem identificēti robežstāvokļi $t_{0,2}$ un t_c .

Dati par robežstāvokļiem apkopoti 4.2.1. tabulā.

4.2.1. tabula

Robežstāvokļu laiku $t_{0,2}$ un t_c [gados] atkarība no SVAV sabrukšanas gadījuma

Varianta Nr.	SVAV sabrukšanas gadījums	$t_{0,2}$ $M_t = 0.2 M_0$	t_c $C_t < 0.2 \text{ g/m}^3$	Attēla Nr.
4.2.1.	nav sabrukšanas	137	180	4.2.1.
4.2.2.	$t_{0,5} = 30$ gadi	70	140	4.2.2.
4.2.3.	$t_{0,5} = 15$ gadi	35	105	4.2.3.

Ja notiek SVAV sabrukšana ($t_{0,5} = 30$ un $t_{0,5} = 15$ gadi), tad laiku $t_{0,2}$ Gaujas upē neietekmē, jo $C_{0,t}$ - areāls vēl upi nav sasniedzis (4.2.2. att. un 4.2.3. att.).

Laiku t_c nosaka SVAV sabrukšana un piesārņojuma ieplūde Gaujas upē. Ja nav un ir SVAV sabrukšana, attiecīgi, $t_c = t_{0,2} + 43$ un $t_c = t_{0,2} + 70$ (skat. 4.2.1. att., 4.2.2. att. un 4.2.3. att.).

Piesārņojuma kopīgās masas M_{hor} izmaiņu HM slāņos un Gaujas upē M_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas, parāda 4.2.4. att. C_0 - sadalījumam $M_0 = 87542$ kg un $M_{200} = 9673$ kg. Pēc 200 gadiem Gaujas upē ieplūduši 77870 kg SVAV.

Pozitīvas infiltrācijas dēļ (skat. vertikālo plūsmu caur slāni D3gj1z 6.7. att.). Sprostslānī D3gj1z (HM 10. slānis) atrodas $M_{200} = 9672$ kg. Sprostslānī nav iespējama SVAV horizontālā pārvietošanās. Šeit C_t - areāla formu nosaka tikai laikā mainīgais $C_{0,t}$ - areāls horizontā D3gj21. Faktiski M_{200} ir iekapsulēta sprotslānī un var migrēt tikai uz horizontu D3gj1 (skat. 7. pielikumu).

Nav ticams, ka laikā $t \sim 200$ gadi iespējama horizonta D3gj1 piesārņošana, jo $C_{D3gj1z} < 1.6 \text{ g/m}^3$ (skat. 7. pielikumu).

Plūsmu I_{hor} un I_{upes} grafiki skatāmi 4.2.5. att. $C_{0,t}$ - areāla fronte un kodols sasniedz upi pēc $t_{upes} = 70$ gadi un $t_m = 115$ gadi kad $I_{upes} = 6 \text{ kg/dnn}$ pie upes $C_m = 14.2 \text{ g/m}^3$ (skat. 4.2.8. att. C hidrogrāfam urbūmā Nr. 51-9).

Attiecība $100/14.2 = 7.04$ raksturo $C_{0,t}$ - areāla kodola koncentrācijas samazināšanos tā masas izkliedēšanās un atšķaidīšanās dēļ.

Grafiki I_{hor} un I_{upes} ir simetriski pret horizontāli $I = 0$. Grafiku summa ir nulle, jo nav C_f avota. Skaitliskie dati par M_t un I_t izmaiņām apkopoti 4.2.2. tabulā

Masa M_t horizontā D3gj2 $C_{0,t}$ - areālā sāk samazināties pēc laika $t_{upes} = 70$ gadi, kad SVAV piesārņojums sāk ieplūst Gaujas upē.

SVAV ieplūdes impulsa maksimums $\sim 6 \text{ kg/dnn}$, kad $t_m = 115$ gadi Gaujas upē nevar ietekmēt upes ūdens kvalitāti, jo upes vidējais caurplūdums ir $\sim 10^6$ reizes lielāks par šo SVAV ieplūdi [16].

4.2.2. tabula

Masas M_t [kg] un plūsmas I_t [kg/dnn] izmaiņas horizontos un Gaujas upē; ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācijas horizontā D3gj2

Atrašanās vieta	M_0 [kg]	M_{200} [kg]	M_{200}/M_0 [reizes]	I_0 [kg/dnn]	I_{115} [kg/dnn]	I_{200} [kg/dnn]
horizonti	87542	9672	0.11	0.0	-6.0	0.0
upe	-	77870	0.89	0.0	6.0	0.0

$t_{upes} = 70$ gadi un $t_m = 115$ gadi ir laiki, kad SVAV $C_{0,t}$ - areāla fronte un kodols sasniedz Gaujas upi; laikā t_m ir plūsmu I_{hor} un I_{upes} minimums un maksimums; tabulas dati vizualizēti 4.2.4. att. un 4.2.5. att.

Par M_{hor} izmaiņām dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem informē 4.2.6. att. No M_{hor} un I_{hor} grafikiem 4.2.6. att. un 4.2.7. att. var secināt, ka Gaujas upe praktiski neietekmē iespējamo pašattīrīšanos horizontā D3gj2, ja ir SVAV sabrukšana. Tad pēc ~115 gadiem, $M_{hor} \rightarrow 0$. Skaitliskie dati par M_t un I_t izmaiņām apkopoti 4.2.3. tabulā.

4.2.3. tabula

Masas M_t [kg] un plūsmas I_t [kg/dnn] izmaiņas horizontos dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; pēc sanācijas horizontā D3gj2

SVAV sabrukšanas gadījums	M_0 [kg]	M_{200} [kg]	M_{200}/M_0	I_0 [kg/dnn]	I_{115} [kg/dnn]	I_{200} [kg/dnn]
nav sabrukšanas	87542	9672	0.11	0.0	-6.0	0.0
$t_{0.5}=30$ gadi	87542	0.0	0.0	-5.3	-0.7	0.0
$t_{0.5}=15$ gadi	87542	0.0	0.0	-10,0	-0.01	0.0

tabulas dati vizualizēti 4.2.6. att. un 4.2.7. att.

C-hidrogrāfi (4.2.8. att.) doti horizontam D3gj21. Izmantoti divi reāli monitoringa urbumi Nr. L1 un L4-18 un trīs virtuāli urbumi Nr. 31-9, 41-9 un 51-9.

Visos monitoringa urbumos C - hidrogrāfu vērtība būtiski samazinās, ja notiek SVAV sabrukšana. Jo tuvāk Gaujas upei, jo lielāka ir sabrukšanas ietekme.

Grafikos 4.2.9. att. un 4.2.10. att. salīdzinātas M_{hor} un M_{upes} izmaiņas horizontā D3gj2 nulles scenārijam un pēc sanācijas, ja nav SVAV sabrukšanas. Izmaiņu salīdzinājums parāda, ka gudrona eskavācija bija obligāta, lai notiktu horizonta D3gj2 pašattīrīšanās.

Ja veikta sanācija, tad visnelabvēlīgākajā gadījumā (nav SVAV sabrukšanas) horizonta D3gj2 pašattīrīšanās varētu notikt 180 gadu laikā. Ja $t_{0.5} = 30$ gadi, tad $t_c = 140$ gadi. Šobrīd nav aktuālas informācijas par SVAV sabrukšanas ātrumu. Tāpēc izmaiņa $t_c = 180$ gadi \rightarrow 140 gadi tikai informē, ka SVAV sabrukšana varētu samazināt horizonta D3gj2 pašattīrīšanās laiku.

Nulles scenārijā piesārņojums pēc 180 gadiem var sasniegt Gauju ar SVAV maksimālo koncentrāciju ~ 8 g/m³ (skat. koncentrāciju hidrogrāfus 3.2.8. att.). Pēc sanācijas scenārijā analogā termiņā SVAV koncentrācija, kas var sasniegt Gauju, būs zem noteiktā robežlieluma 0,2 g/m³ (skat. koncentrāciju hidrogrāfus 4.2.8. att.).

5. Piesārņojuma areāla robežstāvokļi

Piesārņojuma koncentrācijas C_t –areāla robežstāvokļiem atbilst šādi laikā mainīgi apstākļi pazemes ūdenī izšķīdušā SVAV migrācijas ceļā no Dienvidu dīķa līdz Gaujas upei:

1. sākuma C_0 -sadaliņums ar masu M_0 ($t_0 = 0$); C_0 -sadaliņums migrē uz Gaujas upi kā laikā mainīgs $C_{0,t}$ - areāls; nulles scenārijam vienlaicīgi ar C_0 -sadaliņumu HM uzdod fiksētu koncentrāciju C_f dīķa laukumā kā avotu SVAV emisijas imitēšanai laikā mainīgajam $C_{f,t}$ – areālam; C_t - areāls ir $C_{0,t}$ – areāla un $C_{f,t}$ – areāla summa;
2. C_t – areāla fronte sasniedz Gaujas upi, kad tajā sāk ieplūst SVAV ($t = t_{upes}$);
3. C_t – areāla kodols sasniedz Gaujas upi, kad tās krastā ir maksimālā koncentrācija C_m ($t = t_m$);
4. $C_{0,t}$ – areālam pēc sanācības, kad $M_t = 0.2 M_0$ ($t = t_{0.2}$);
5. $C_{0,t}$ – areālam pēc sanācības, kad $C_t < 0.2 \text{ g/m}^3$ ($t = t_c$).

Grafisks skaidrojums par C_t , $C_{0,t}$, $C_{f,t}$ skatāms 5. att., kur horizontā D3gj21 parādīti C_{50} , $C_{0,50}$ un $C_{f,50}$ – areāli pēc 50 gadiem.

Skaitliskie dati par C_t -areāla robežstāvokļiem ir apkopoti 5.1. un 5.2. tabulās.

No 5.1. tabulas datiem par laiku t_{upes} var secināt, ka, to nosaka $C_{0,t}$ – areāls, jo tas vienmēr ir tuvāk Gaujas upei kā $C_{f,t}$ -areāls (skat. 5. att.).

Variantiem 3.1. un 4.1. laiks t_{upes} ir lielāks, jo laikā $t = 0$ horizontā D3gj21 nav SVAV piesārņojuma (skat. 3.1.4. att. un 4.1.4. att.). Variantiem 3.2. un 4.2. ir doti sākuma C_0 sadaliņumi (skat. 3.2.1. att. un 4.2.1. att.), kas izveidojies 30-40 gadu laikā līdz 2020. gadam.

Nulles scenārijam laiks t_m ir lielāks, jo $C_{f,t}$ – areāls palielina piesārņojuma koncentrāciju C_t – areāla kodolā (skat. 5. att.). Horizontiem Q2 un D3gj2, attiecīgi, $145 > 130$ gadi un $120 > 115$ gadi.

Attiecība $100/C_m$ raksturo C –areāla kodola koncentrācijas samazināšanos tā masai izkliedējoties dispersijas dēļ un atšķaidoties ar nepiesārņoto infiltrācijas plūsmu.

5.1. tabula

Prognoze sanācības scenārijiem par raksturīgo robežstāvokļu laiku t [gados], ja nav SVAV sabrukšanas

Varianta Nr.	t_{upes}	t_m	$t_{0.2}$ $M_t = 0.2 M_0$	t_c $C_t < 0.2 \text{ g/m}^3$	$100/ C_m$ [reizes]	Attēlu Nr.
3.1.	100	145	-	-	9.34	3.1.8.
3.2.	70	120	-	-	11.11	3.2.8.
4.1.	100	130	143	165	37.03	4.1.8., 4.1.4.
4.2.	70	115	137	180	7.04	4.2.8., 4.2.1.

3.1. un 3.2. - nulles scenārijs horizontiem Q2 un D3gj2;

4.1. un 4.2. – pēc sanācības horizontiem Q2 un D3gj2;

Robežstāvokļu laiku $t_{0.2}$ un t_c [gados] atkarība no SVAV sabrukšanas gadījuma

Variantas Nr.	SVAV sabrukšanas gadījums	$t_{0.2}$ $M_t = 0.2 M_0$	t_c $C_t < 0.2 \text{ g/m}^3$	Attēla Nr.
4.1.	nav sabrukšanas	143	165	4.1.4.
4.2.1.	nav sabrukšanas	137	180	4.2.1.
4.2.2.	$t_{0.5} = 30$ gadi	70	140	4.2.2.
4.2.3.	$t_{0.5} = 15$ gadi	35	105	4.2.3.

4.1. un 4.2. – pēc sanācijas horizontiem Q2 un D3g2;

Dati par robežstāvokļiem $t_{0.2}$ un t_c pēc sanācijas apkopoti 5.2. tabulā. Laikus $t_{0.2}$ un t_c būtiski samazina SVAV sabrukšana. Diemžēl, šobrīd nav aktuālas informācijas par reālo SVAV sabrukšanas ātrumu. Tāpēc Augšgaujās horizontam D3g2 pašattīrīšanās laika novērtējumam jāizmanto $t_c = 180$ gadi.

6. 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 6.1. tabulā.

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

Izveidojot otro versiju 2005. gadā, Kvartāra un Augšgaujās 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 4.5km×7.0km (skat. 1.2. att.). Jau 2016. gadā modelēšanai faktiski tika izmantots šāds HM laukums.

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

Versijas Nr.p.k.	Gads	Apgabala izmērs[m×m]	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 6.2. tabulā. Kopš 2005. gada HM shematizācija versijām Nr. 2, 3 un 4 nav izmainīta.

6.2. tabula

Hidroģeoloģiskā 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 sprosts slānis	aer	0.2-16.8	$10^{-3}-2 \times 10^{-6}$	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 smilšakmens D3gj2	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.	Sprosts slānis	D3gj1z	13.0-29.8	7×10^{-5}	Izmanto modeļa kalibrēšanai
11.	Horizonts D3gj1	D3gj1	0.02	10.0	Ψ_{D3gj1} -karte kā robežnoteikums

Modeli veido 11 slāņi. Pirmais un vienpadsmitais slānis tiek lietoti pirmā veida robežnoteikumu (uzdoti ūdens līmeņi) fiksēšanai. Pirmajā slānī tiek uzdota zemes reljefa karte (6.1. att.), bet vienpadsmitajā – Gaujas horizonta D3gj1 pjezometrisko ūdens līmeņu sadalījums 2016. gada modelī (6.4. 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 dīķu apkārtnē (biezums 1.5m) un nodrošina precīzāku gudrona dīķu ietekmes modelēšanu. Slāņu Q22 un Q23 biezumi 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 biezums ir 10m. Šajā slānī tiek uzdoti piesārņojuma sākuma C_0 - sadalījumi. Slāņu D3gj22 un D3gj23 biezumi ir vienādi.

Piesārņojuma areāla migrācijas ātrumu un virzienu horizontos Q2 un D3gj2 nosaka šo slāņu pazemes ūdens līmeņu [m vjl] sadalījumi, kas parādīti 6.3. att. un 6.4. att. Šos sadalījumus aprēķina HM.

Pazemes ūdens kustību horizontos Q2 un D3gj2 nosaka arī šo slāņu ūdens vadāmība [m^2/dnn]. Tās kartes skatāmas 6.5. att. un 6.6. att.

Sedimentācijas daļēju imitāciju HM vidē nodrošina vertikālās infiltrācijas plūsmas, kas parādītas griezumā A-B (6.7. att.). Griezums ir C_t - areāla viduslīnija, ja $t = 170$ gadi.

HM darbības apraksts dots 2016. gada atskaitē [10]. Tas nav iekļauts šajā atskaitē.

Modeļa laukuma izmaiņa ($8km \times 12km$) \rightarrow ($4.5km \times 7.0km$) gandrīz 3 reizes samazināja piesārņojuma masas transporta modelēšanai nepieciešamo laiku. Tā veikta, izmantojot programmatūru MT3D. Šīs programmatūras darbības dots atskaitē [10] un aprakstā [7].

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. Aprēķina rezultāti par SVAV koncentrāciju $C(x,y,z,t)$ un masu $M(t)$ tiek reģistrēti ar viena gada laika intervālu.

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.

Nav modelēta SVAV sorbcijas ietekme, jo nav aktuālu datu par pazemes ūdens plūsmas q un C_t -areāla kustības ātrumu atšķirību. Sorbcijas ietekmē C_t - areāli migrē lēnāk [7, 11], kas SVAV piesārņojumam Inčukalna sērskābā gudrona dīķiem nav novērots.

Augšgaujas horizontā D3gj2 sākuma C_0 -sadalījums (2.1. att.) izmantots tā apakšējā daļā D3gj21 un nulles scenārija C_f avots dots horizontā D3gj23 Dienvidu dīķa laukumā. Horizontos D3gj22 un D3gj23 sākuma $C_{SVAV} = 0$. Kvartāra ūdens horizontos Q21, Q22 un Q23 izmantots sākuma C_0 -sadalījums (2.2. att.). Nulles scenārijam šajos horizontos fiksētā C_f apgabals ir Dienvidu dīķa laukumā.

Scenārijiem 3.1., 3.2. un 4.1. ir īstenota daļēja piesārņojuma sedimentācijas procesa imitācija, kad minimālā un maksimālā C_{SVAV} ir horizontos D3gj23 un D3gj21. (skat. 3.1.9. att. un 3.2.9. att. ar C_0 -sadalījumiem griezumā A-B). Sedimentācijas imitāciju HM vidē nodrošina SVAV vertikālās infiltrācijas plūsmas iedarbība (6.7. att.).

Pazemes ūdens līmeņi horizontos D3gj2 un Q2 koriģēti, ievērojot datus par šo horizontu ūdens līmeņiem, kas skatāmi 3. un 4. pielikumos.

Programmatūra MODPATH izmantota piesārņojuma C_t - areāla viduslīnijas novietojuma iegūšanai horizontā D3gj2 (griezums A-B 3.1.9. att. un 3.2.9. att.).

7. Rezultāti un secinājumi

Atskaitē apkopoti datormodelēšanas rezultāti par sintētisko virsmas aktīvo vielu (SVAV) migrāciju pazemes ūdens plūsmā no Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa. Zinātniskais pētījums veikts Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centrā, īstenojot līgumu starp RTU un PS “INČUKALNA-EKO” biedru AS “BAO”.

Izmantojot hidroģeoloģisko modeli, prognozēta piesārņojuma areāla migrācija pazemes ūdenī Kvartāra un Augšgaujas horizontos Q2 un D3gj2 līdz 170-200 gadiem diviem scenārijiem:

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

Kvartāra horizontam Q2 abos modelēšanas scenārijos modelēšana veikta bez SVAV sabrukšanas ievērošanas.

Augšgaujas horizontam D3gj2 abos modelēšanas scenārijos modelēšana veikta bez SVAV sabrukšanas ievērošanas un ar SVAV sabrukšanu, ja $t_{0.5} = 30$ gadi un $t_{0.5} = 15$ gadi.

Par modelēšanas rezultātu uzskatāms visnelabvēlīgākais modelēšanas variants, kad nav SVAV sabrukšanas. Šobrīd nav reālu datu par SVAV sabrukšanas ātrumu. Iegūtie rezultāti ar SVAV sabrukšanu tikai informē, ka SVAV sabrukšana varētu Augšgaujas horizontā D3gj2 būtiski samazināt piesārņojuma pašattīršanās laiku pēc gudrona ekskavācijas.

Ja nebūtu eskavēts gudrons (nulles scenārijs), tad Augšgaujas horizonta D3gj2 pašattīršanās nav sagaidāma.

Prognozētais laiks, kad pēcsanācijas scenārijam visā Augšgaujas horizontā D3gj2 piesārņojuma koncentrācija samazināsies līdz $C < 0.2 \text{ g/m}^3$, ir 180 gadi, skaitot no datormodelēšanas veikšanas laika.

Prognozes Kvartāra horizontam Q2 informē par piesārņojuma areāla izveidošanās vēsturi Augšgaujas horizontā D3gj2 abu scenāriju gadījumos.

HM vidē īstenota SVAV sedimentācijas procesa daļēja imitācija, kad minimālās un maksimālās C_{SVAV} ir Augšgaujas horizonta augšējā un apakšējā daļās D3gj23 un D3gj21.

SVAV ieplūde Gaujas upē neietekmēs tās ūdens kvalitāti, jo maksimālā impulsa tipa ieplūde $I_{upes} \sim 6 \text{ kg/dnn}$, ja $t_m = 115$ gadi ir $\sim 10^6$ reizes mazāka par upes vidējo caurplūdumu.

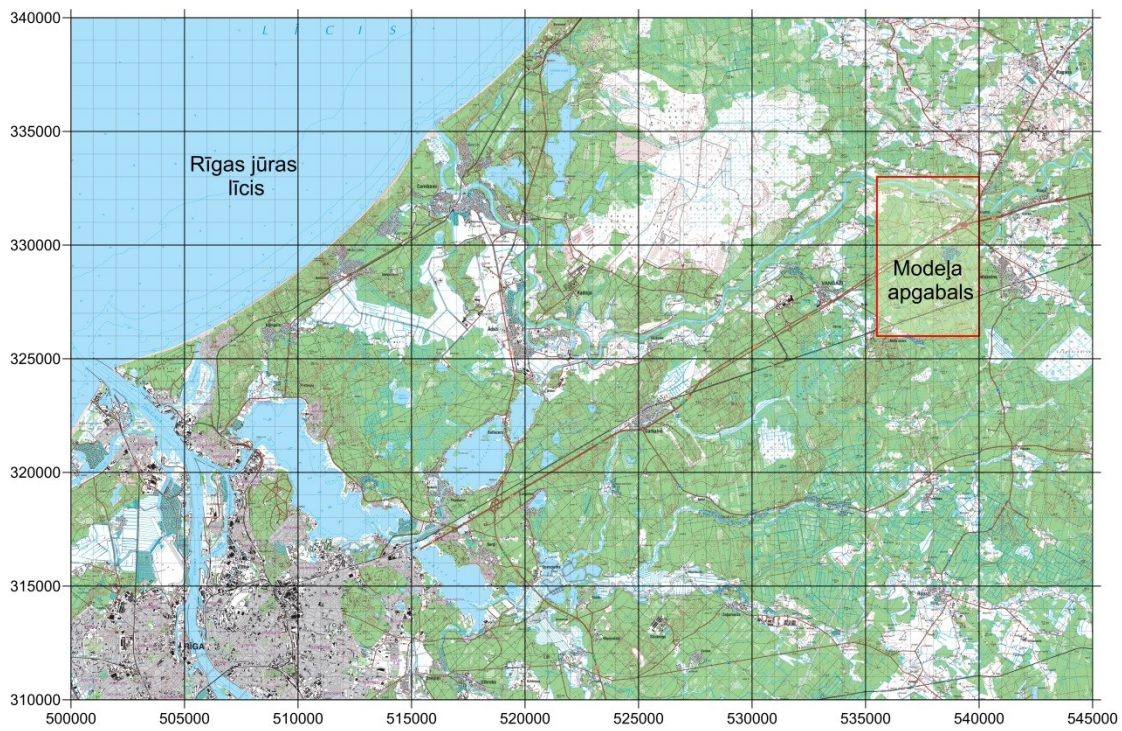
Piesārņojuma areāla migrācijas prognoze Augšgaujas horizontā D3gj2 apstiprina, ka tikai veicot sanācijas darbus, var notikt horizonta pašattīršanās, samazinoties SVAV masai. To nodrošina piesārņotā ūdens ieplūde Gaujas upē un arī SVAV sabrukšana.

Modelēšanas rezultāti ir prognozējoša rakstura un var nesakrist ar reālo situāciju dabā, tomēr atskaitē apkopotie rezultāti ļauj novērtēt veikto sanācijas pasākumu sekas un plānot darbus, kurus varētu īstenot nākotnē.

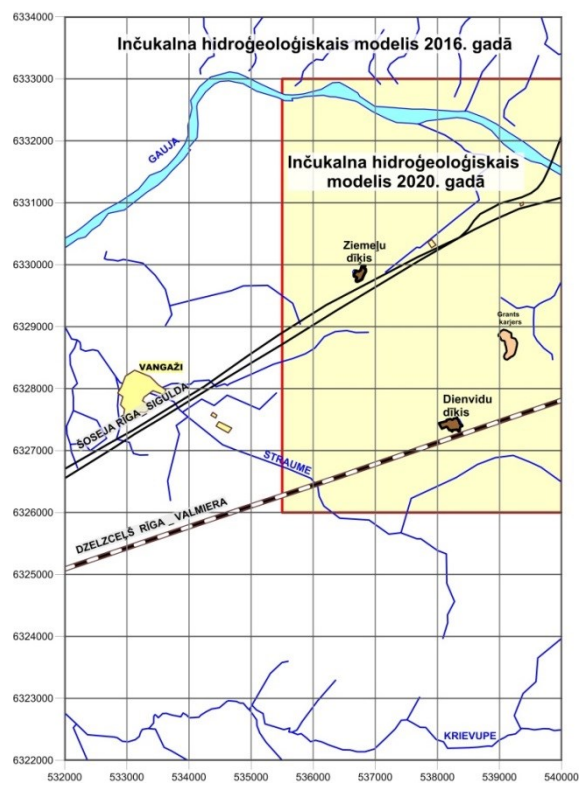
8. Izmantotie informācijas avoti

1. Sanācijas uzdevums "Inčukalna sērskābā gudrona dīķu sanācijas darbu turpināšanai un pabeigšanai". Valsts vides dienests, Lielrīgas reģionālā vides pārvalde, Rīga, 2016. g. septembris.
2. 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
3. Ministru kabineta 2002. gada 12. marta noteikumi Nr. 118 "Noteikumi par virszemes un pazemes ūdeņu kvalitāti" (aktuālā redakcija)
4. Darba uzdevums līgumam "Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa hidroģeoloģiskais datormodelis", starp RTU un PS "Inčukalns Eko" biedru SIA "EKO OSTA"., 2020, Rīga, 5 lpp
5. Environmental Simulations, Inc. *Groundwater Vistas. Version 7*, Guide to using, 2017

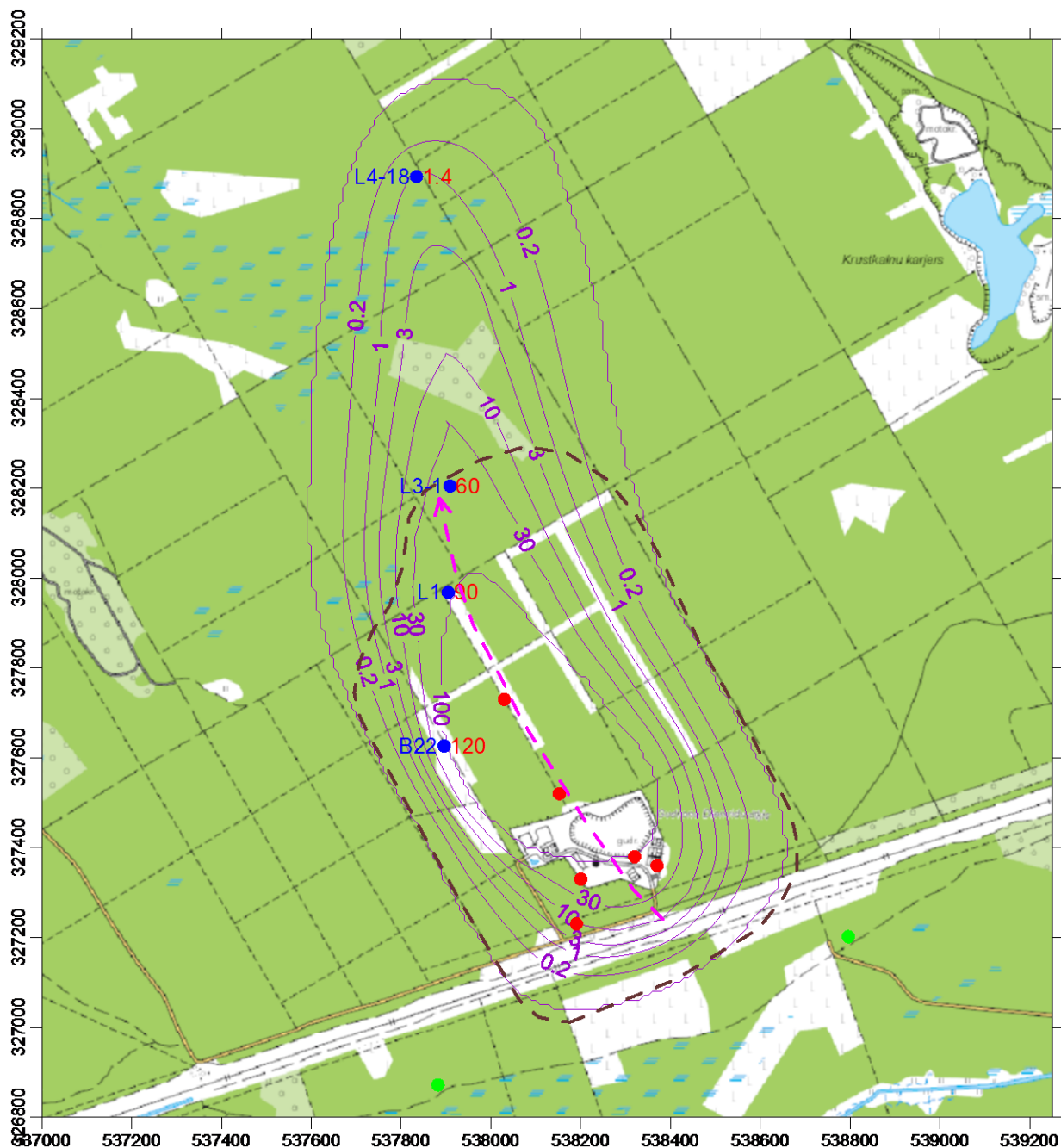
6. W. Harbaugh, *MODFLOW-2005, U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: the ground-water flow process*, chap 16, book 6, US Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, USGS, Reston, VA
7. Zheng C. (1999) MT3D99 A modular three dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. USEPA report, USEPA, Washington, DC
8. 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
9. Golden Software, Inc., *SURFER-13 for Windows*, Users manual, Guide to Using, 2015
10. 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.
11. I. Semjonovs. Piesārņošanās un pašattīrīšanās procesi pazemes ūdeņos, Latvija, Rīga, Zinātne, 1995, 121. lpp.
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 biezuma karte.
14. "Vēsturiski piesārņotās vietas "Inčukalna sērskābā gudrona dīķi" sērskābā gudrona/grunts maisījuma sanācijas darbu pētniecisko darbu veikšana un priekšlikumu izstrāde tehniski-metodiskajiem risinājumiem", Rīga, PA "INTERGEO", 2016. gads
15. Gala atskaite "Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa hidroģeoloģiskais datormodelis", Līgums Nr. 03000-3.1.2.2-e/9starp PS "Inčukalns Eko" biedru SIA "EKO OSTA" un Rīgas Tehnisko universitāti, Rīga, Aprīlis, 2020, 68 lpp., 7 lpp. pielikumi
16. Enciklopēdija "Latvijas daba", Rīga, izd. "Latvijas enciklopēdija", 2. sējums, 1995, 96. lpp.



1.1.att. Hidroģeoloģiskā modeļa novietojums 2020.g.

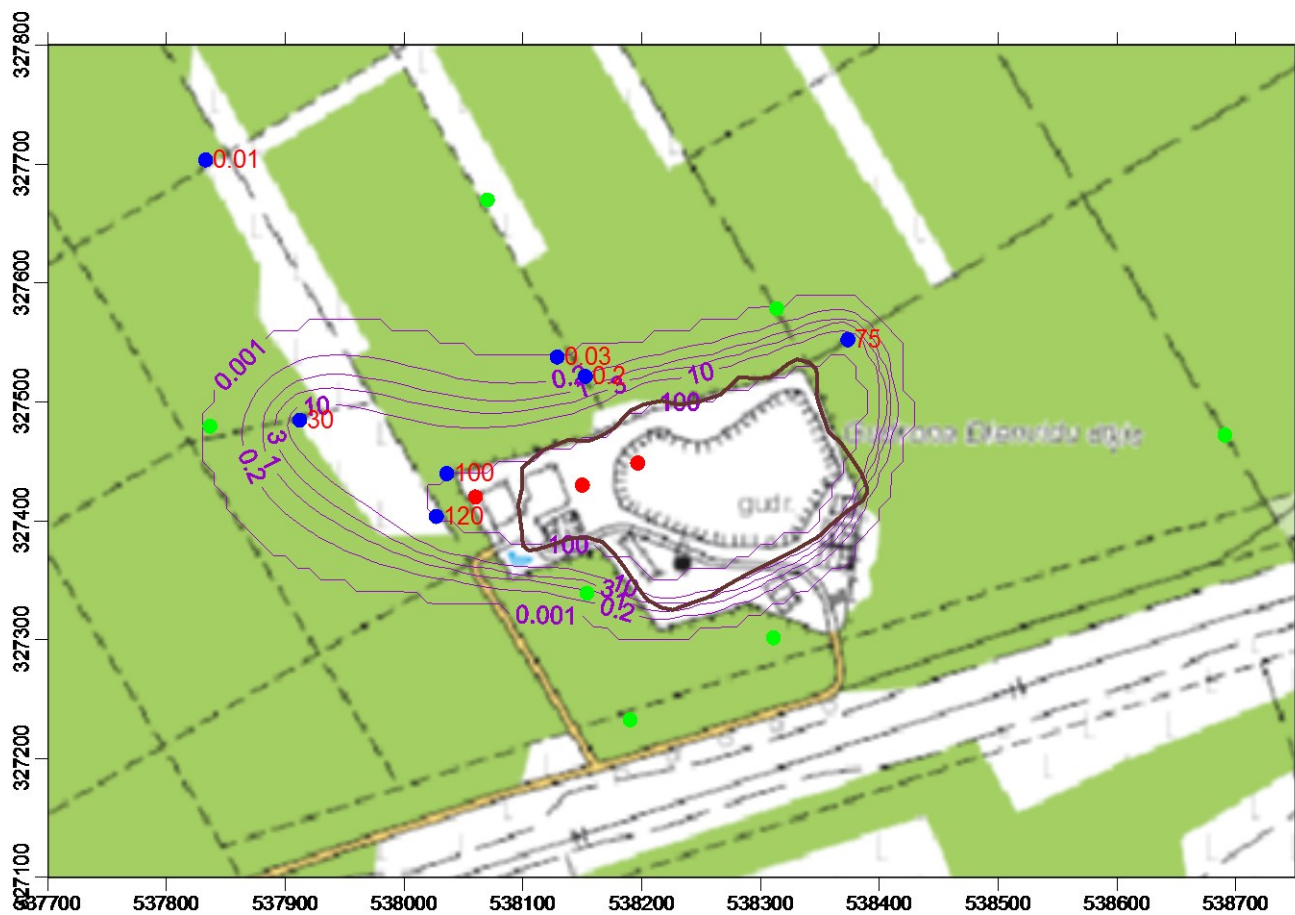


1.2. att. Hidroģeoloģiskā modeļa izmaiņa 2020.g.



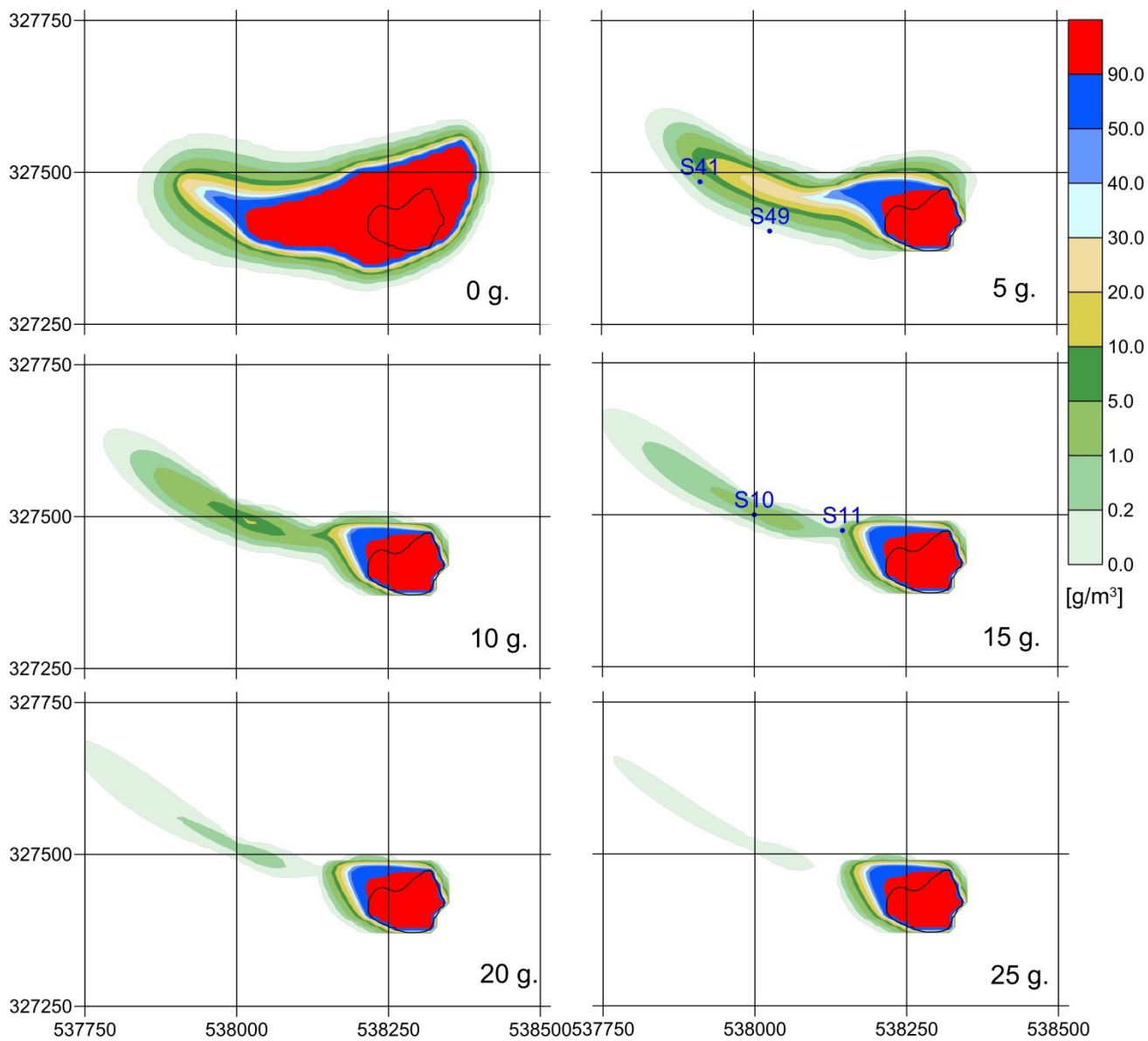
- 30 --- interpolētā SVAV koncentrācija, mg/l
(IncDienD3gj21_SVAV.grd)
- 90 2018.-2020. gada vidēja SVAV koncentrācija monitoringa urbumā, mg/l
- iepriekšējo gadu urbums ar augstu SVAV koncentrāciju
- iepriekšējo gadu urbums bez piesārņojuma pazīmēm
- piesārņojuma areāla ārējā robeža pēc 1977.-97. gada VEZ datiem
- > piesārņojuma areāla vidusis pēc 1977.-97. gada VEZ datiem

2.1. att. Sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums horizontā D3gj21 [4]

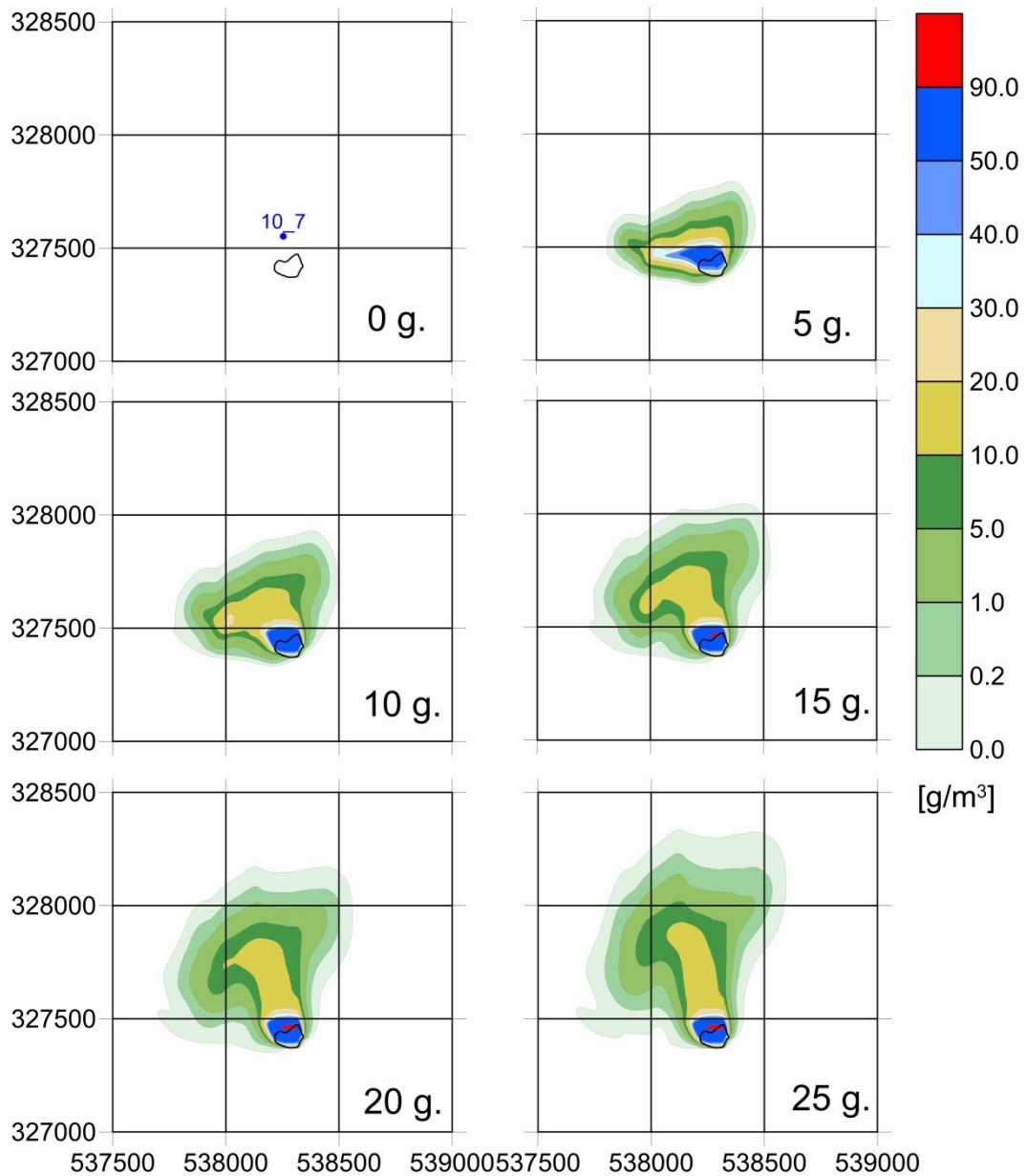


- 30 --- interpolētā VAV koncentrācija, mg/l (IncDienQ_SVAV.grd)
- 100 2018.-2020. gada vidēja SVAV koncentrācija monitoringa urbumā, mg/l
- iepriekšējo gadu urbums ar augstu SVAV koncentrāciju
- iepriekšējo gadu urbums bez izteiktām piesārņojuma pazīmēm
- atkritumu slāņa robeža

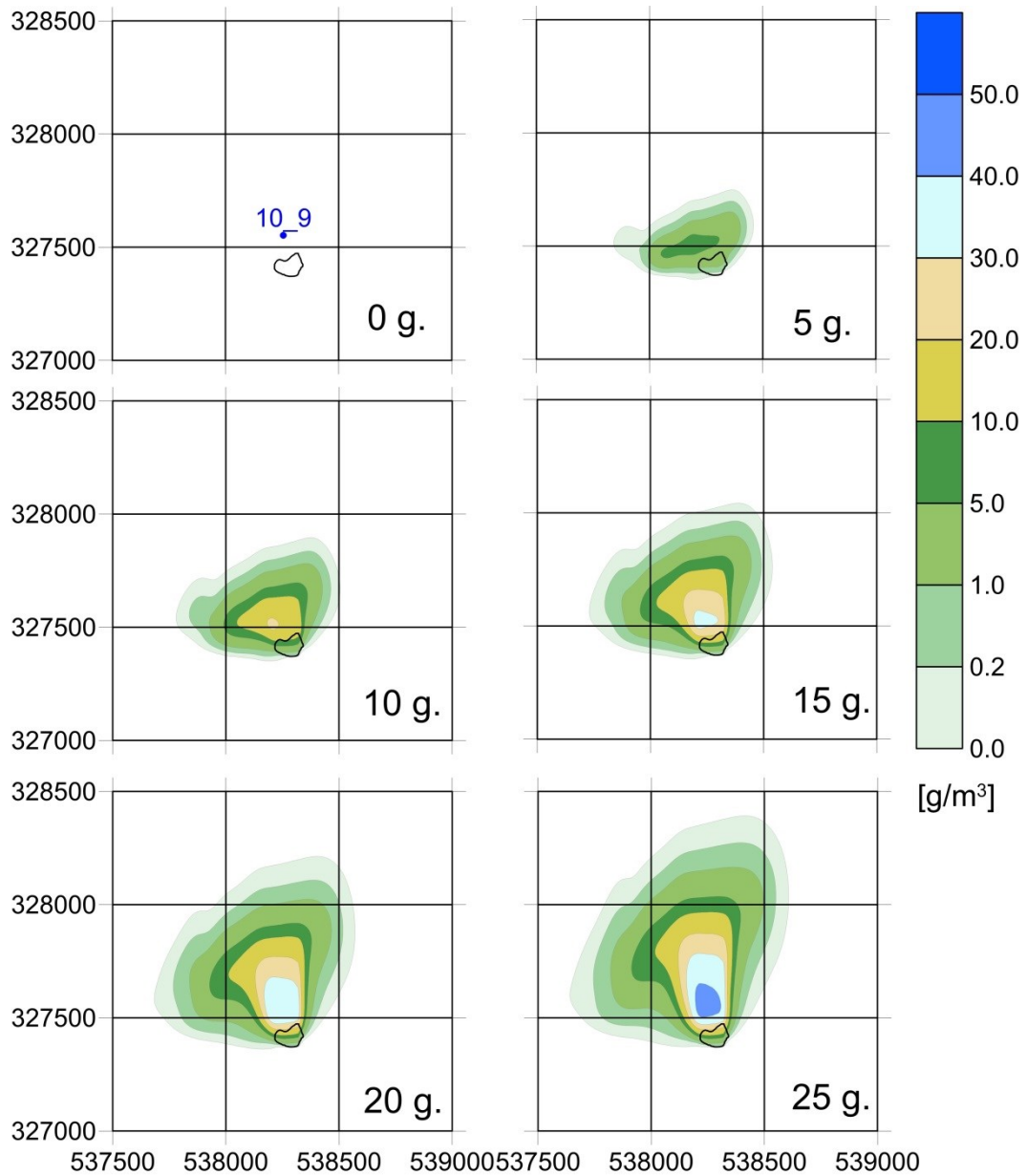
2.2. att. Sākotnējais SVAV koncentrācijas sadalījums horizontā Q2 [4]



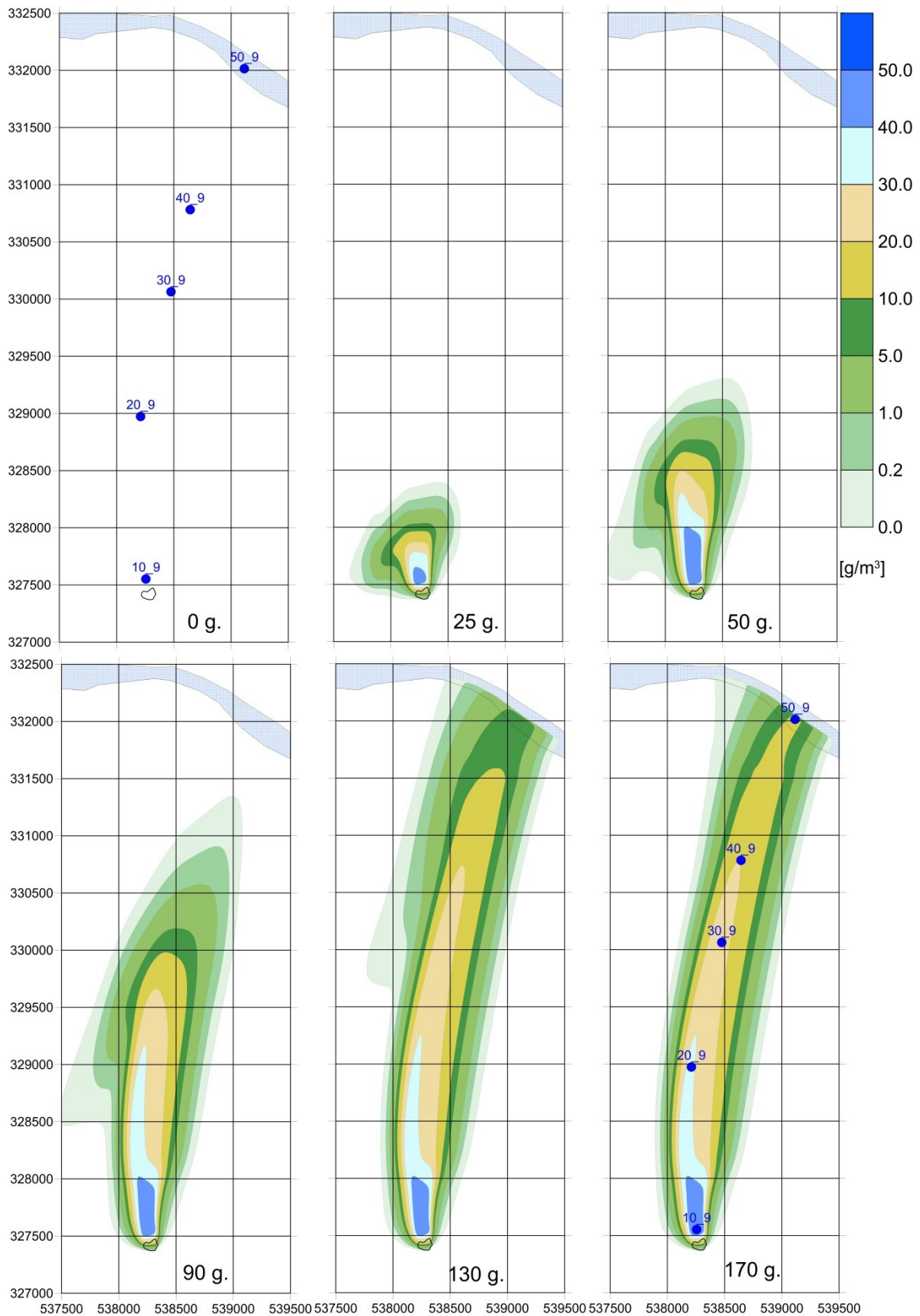
3.1.1. att. Piesārņojuma C_r -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa Kvartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); nulles scenārijs



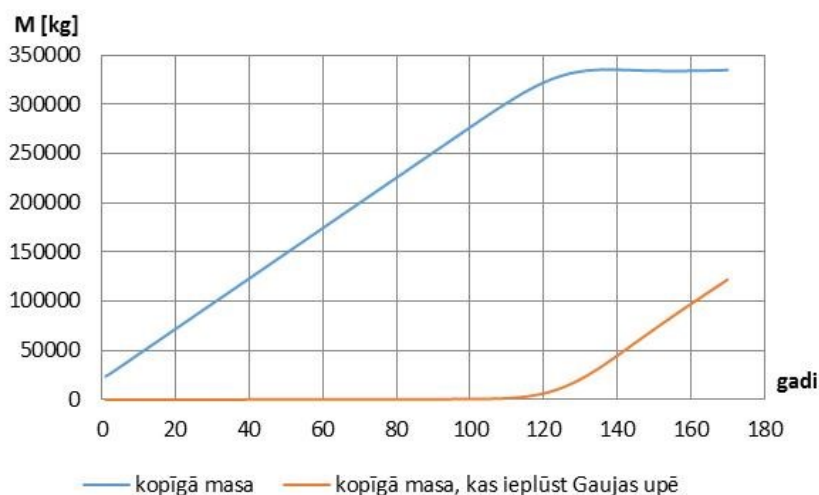
3.1.2. att. Piesārņojuma C_T -areāla koncentrācijas $[\text{g/m}^3]$ izmaiņa horizontālā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); nulles scenārijs



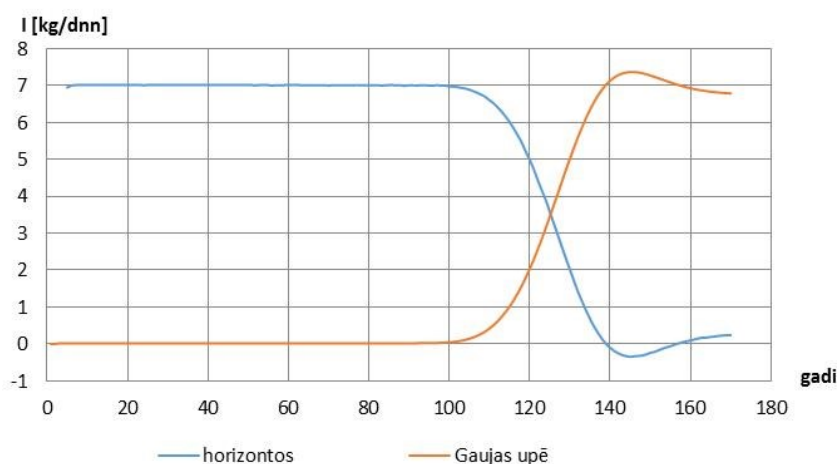
3.1.3. att. Piesārņojuma C_T -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); nulles scenārijs



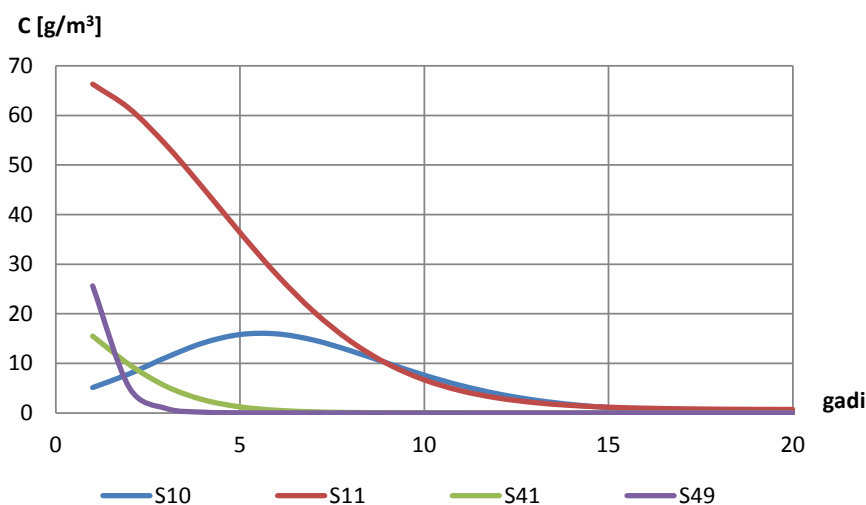
3.1.4. att. Piesārņojuma C_1 -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-170 gadi); nulles scenārijs



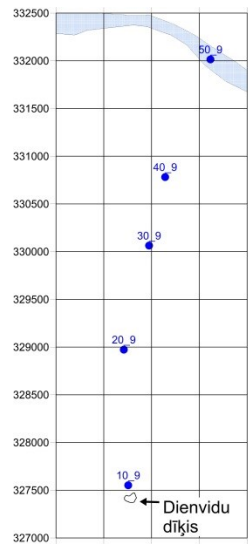
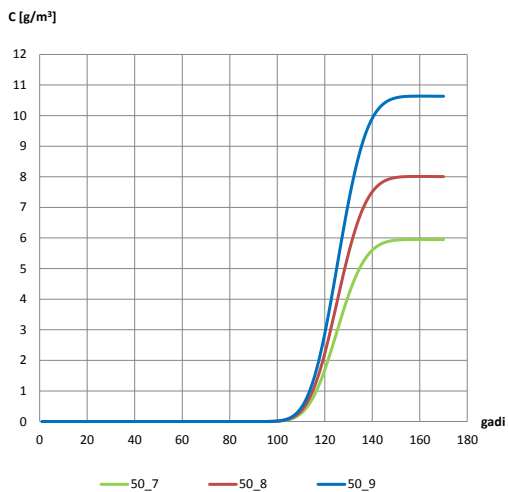
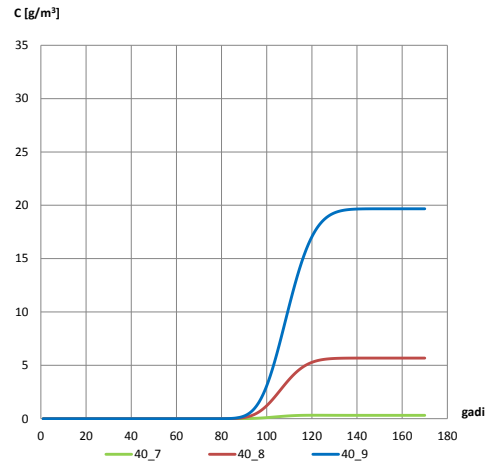
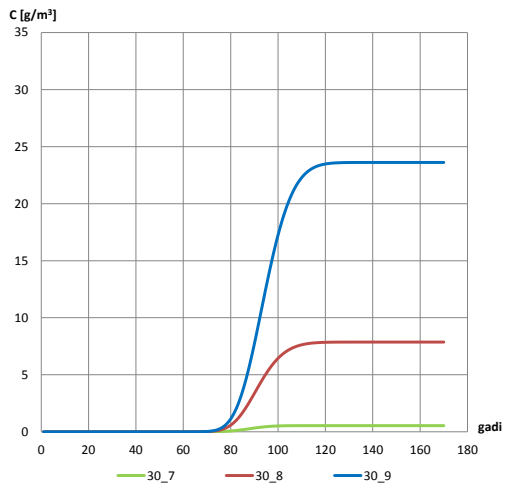
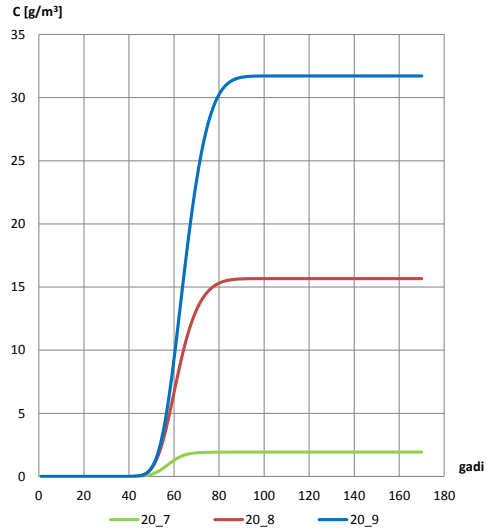
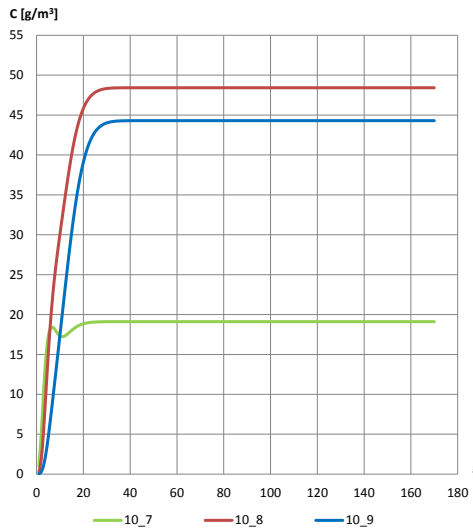
3.1.5 att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontos Q2 un D3gj2 M_{hor} un ieplūdei Gaujas upē M_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



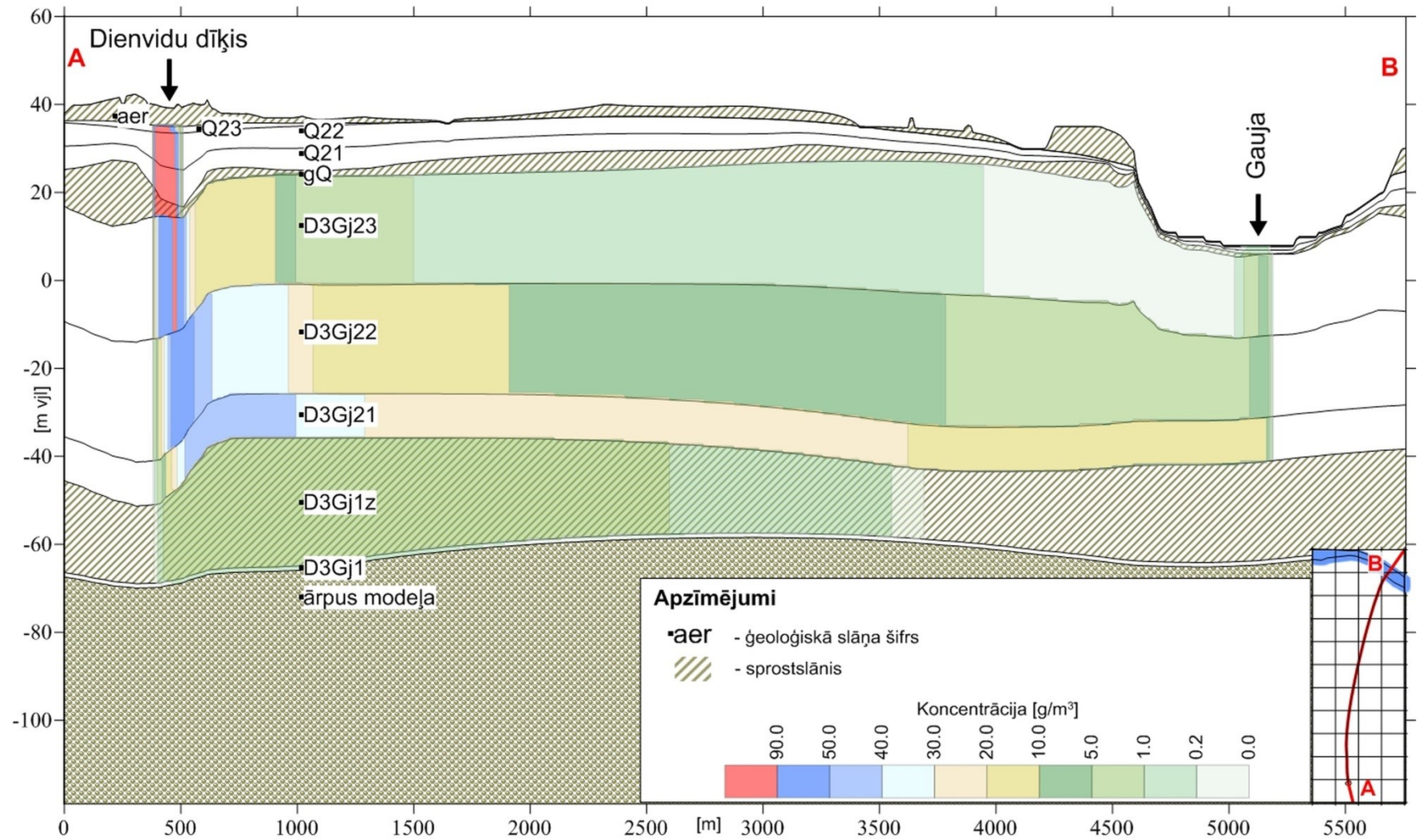
3.1.6. att. Piesārņojuma plūsma [kg/dnn] horizontos Q2 un D3gj2 I_{hor} un Gaujas upē I_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



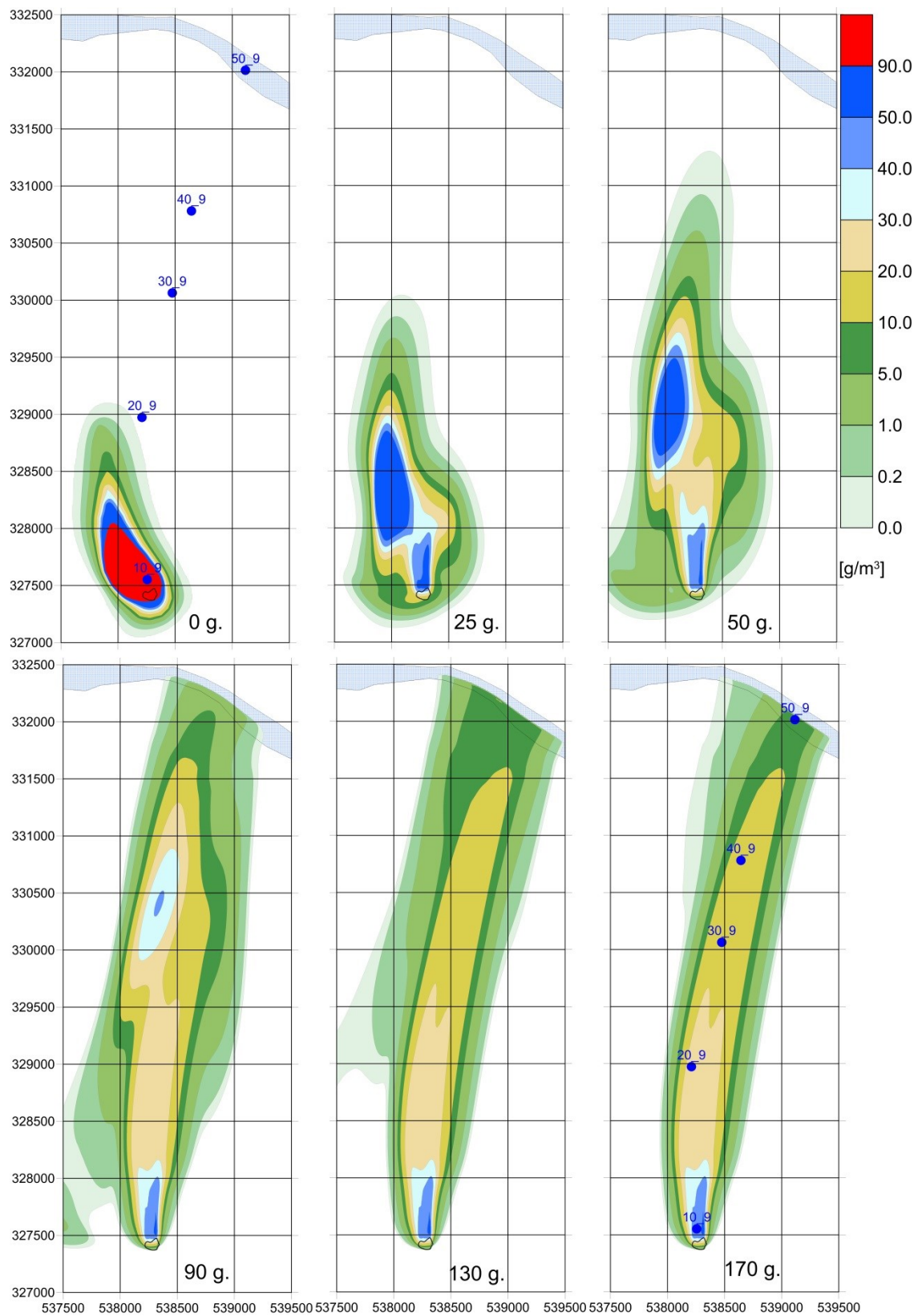
3.1.7. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbemos Nr. S10, S11, S41, S49 horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs;



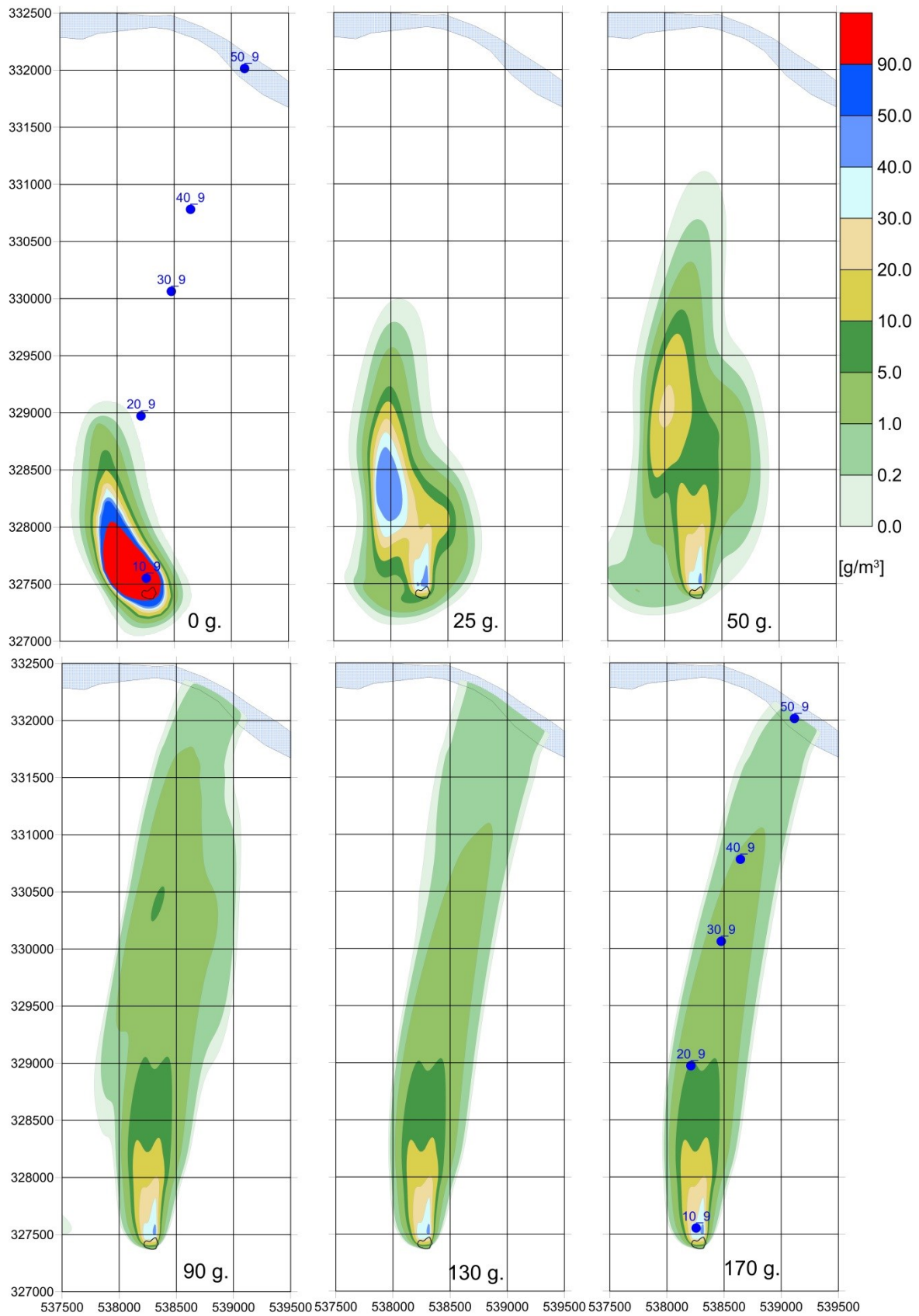
3.1.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas $[g/m^3]$ hidrogrāfi monitoringa urbemos Nr. 10_n, 20_n, 30_n, 40_n, 50_n horizontos D3gj2 (n=7, 8, 9 ir HM slāņa numurs apakšhorizontiem D3gj23, D3gj22, D3gj21), ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



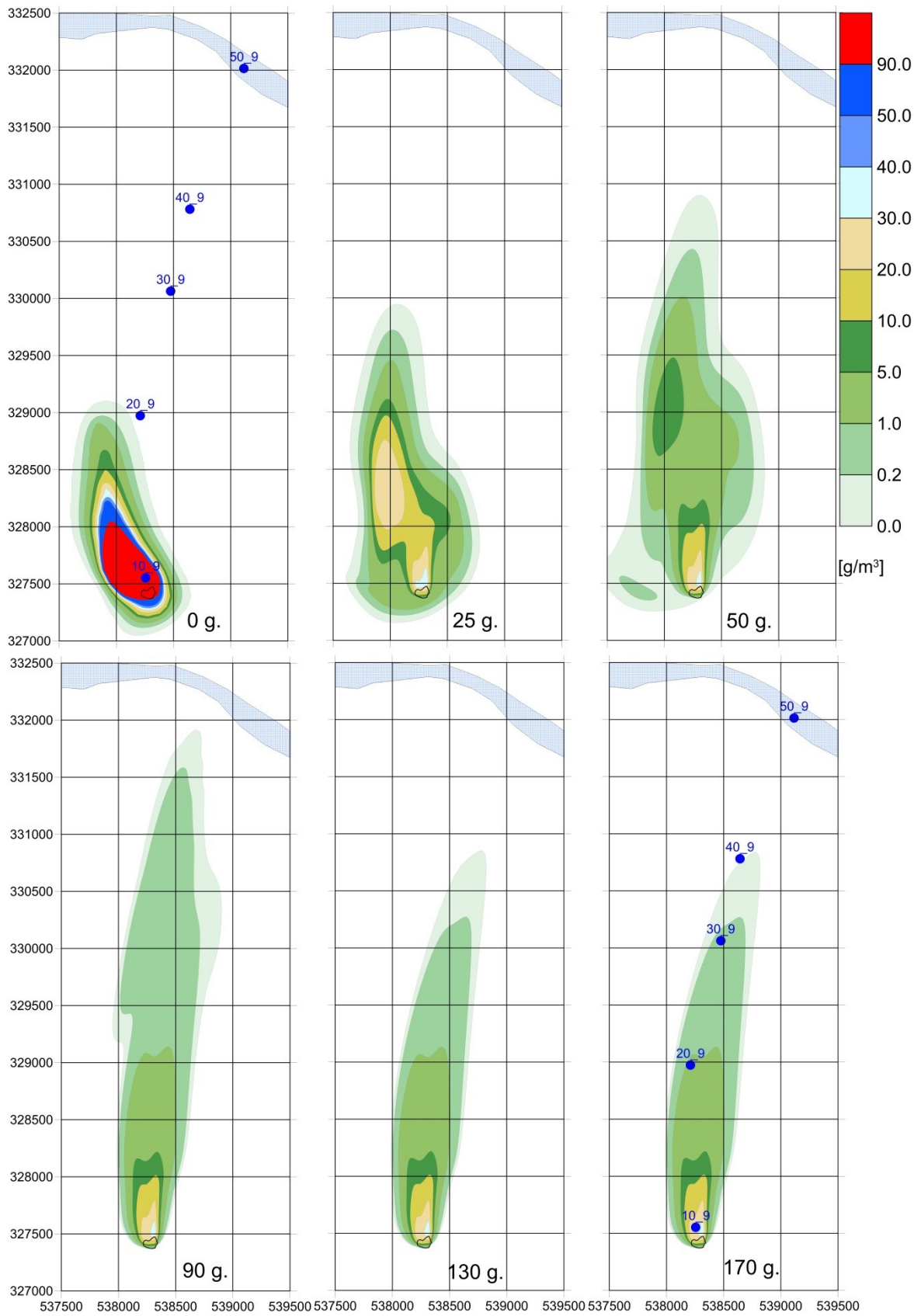
3.1.9. att. Griezums A-B ar C_t - sadalījumu [g/m³], pēc 170 gadiem, ja nav SVAV sabrukšanas: nulles scenārijs horizontā Q2



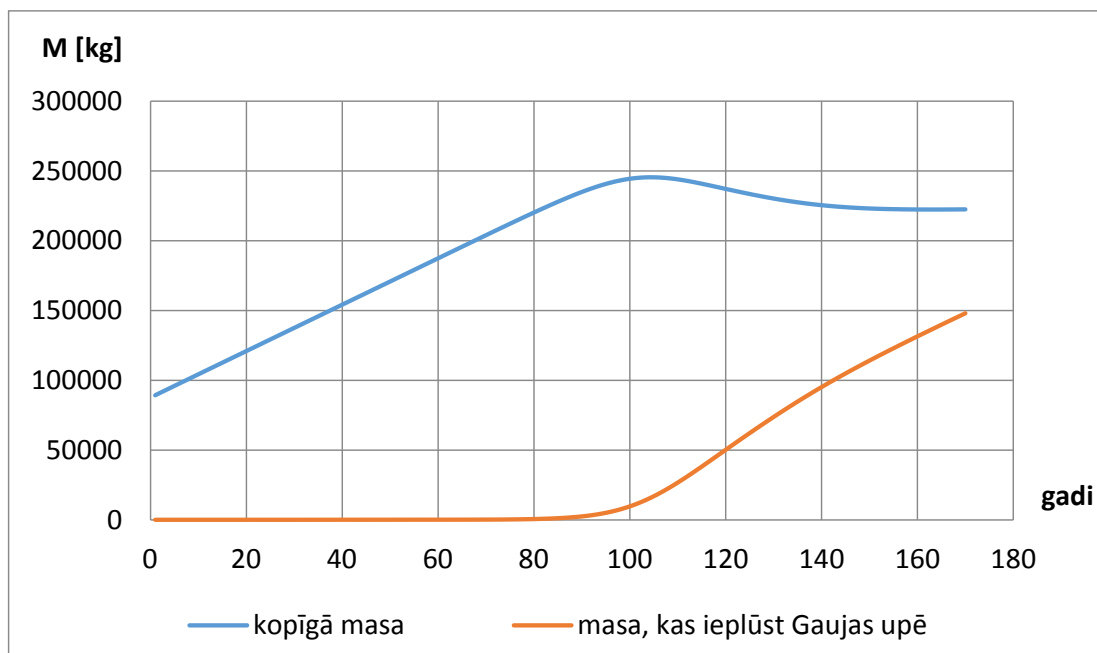
3.2.1. att. Piesārņojuma C_1 -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



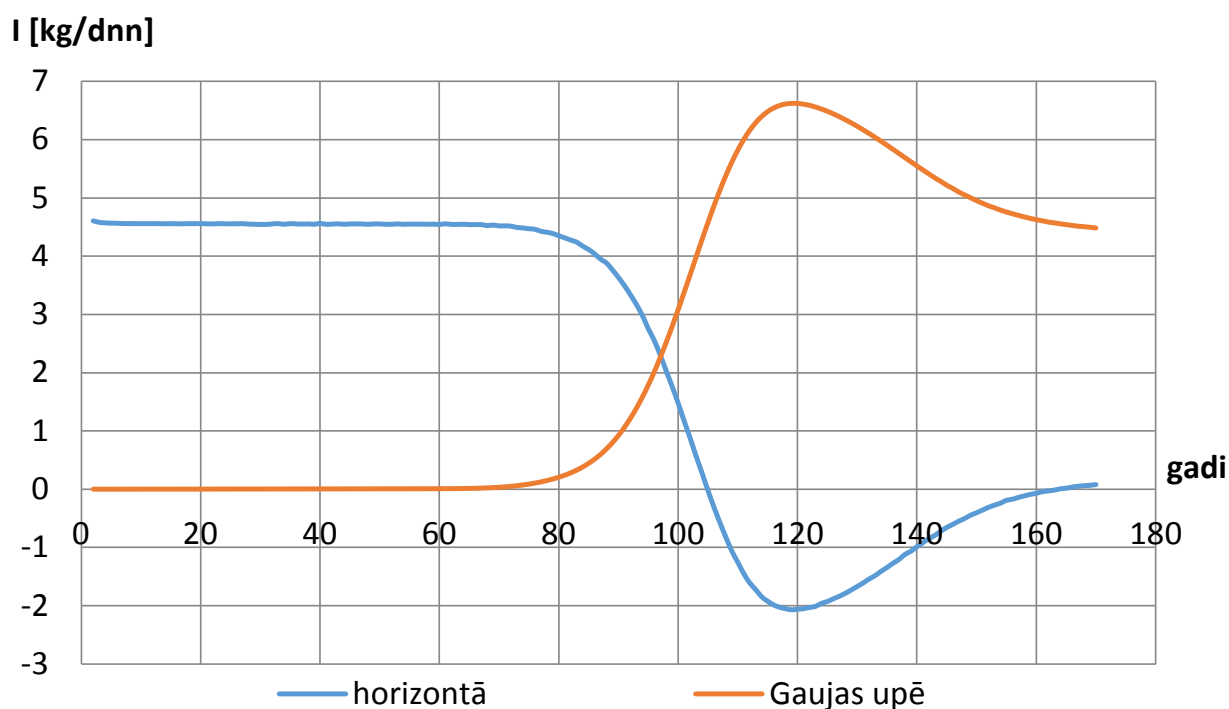
3.2.2. att. Piesārņojuma C_7 -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana, $t_{0.5} = 30$ gadi; nulles scenārijs



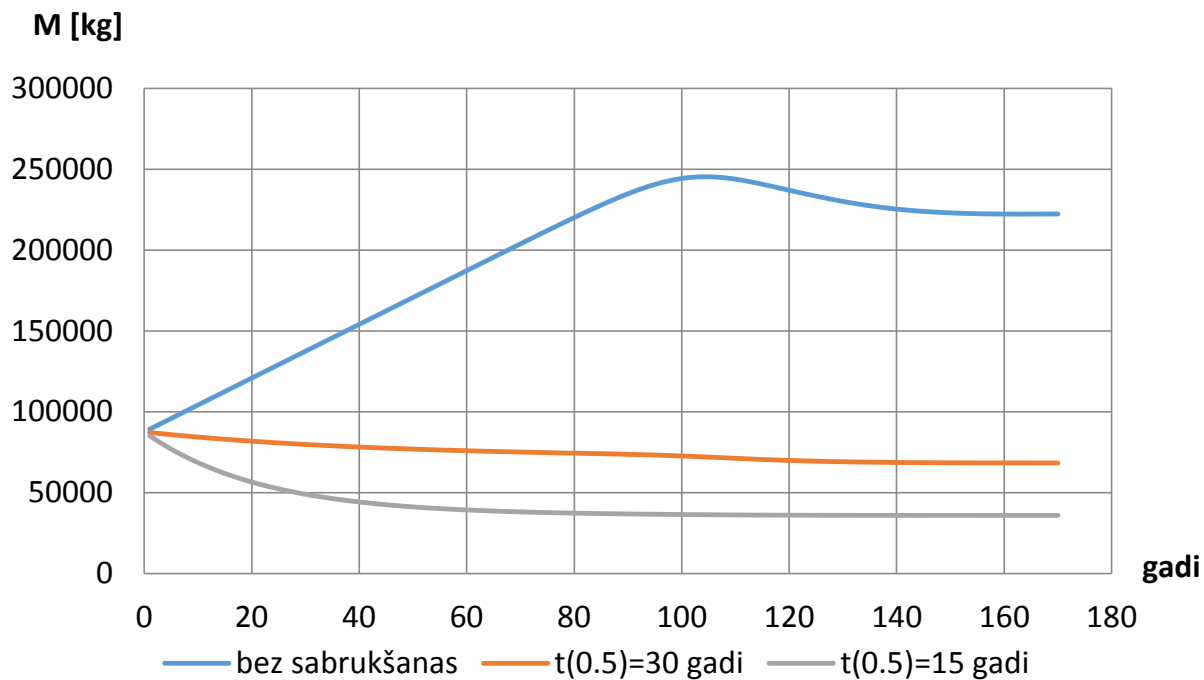
3.2.3. att. Piesārņojuma C_1 -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana, $t_{0.5} = 15$ gadi; nulles scenārijs



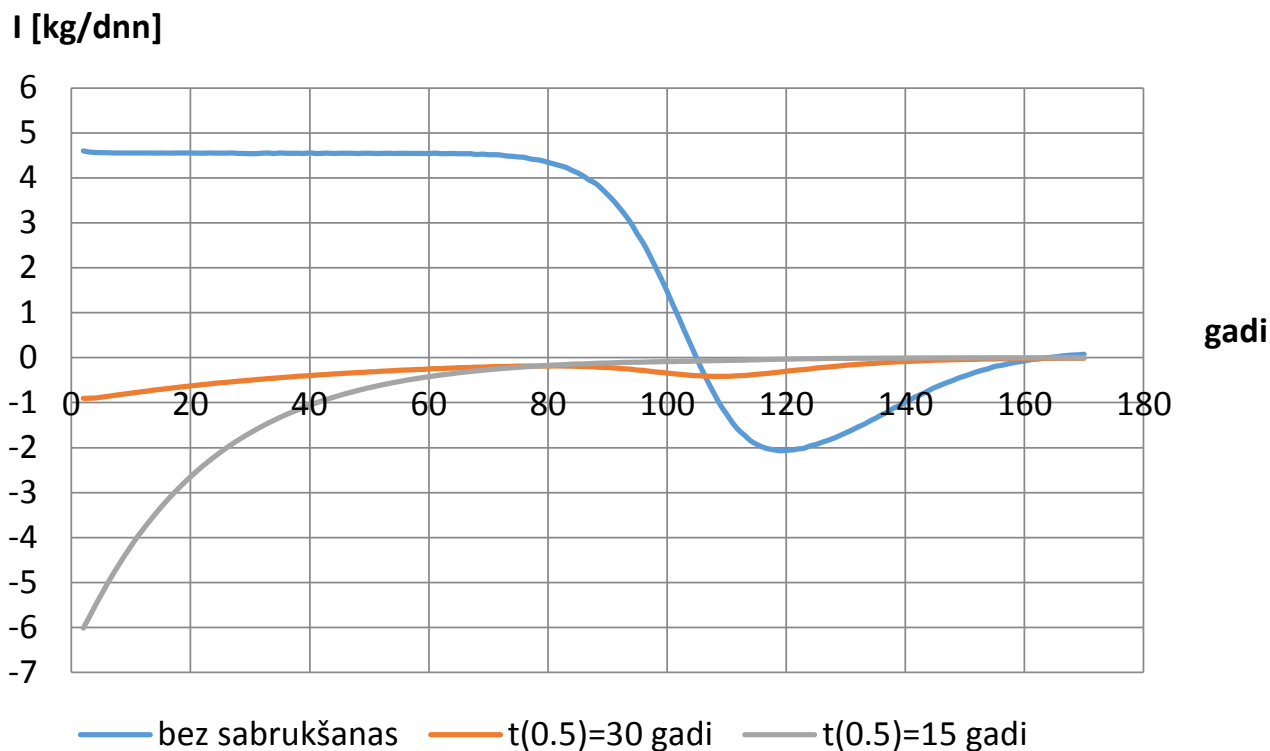
3.2.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3g2 un sprosslānī D3g1z M_{hor} un ieplūdei Gaujas upē M_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



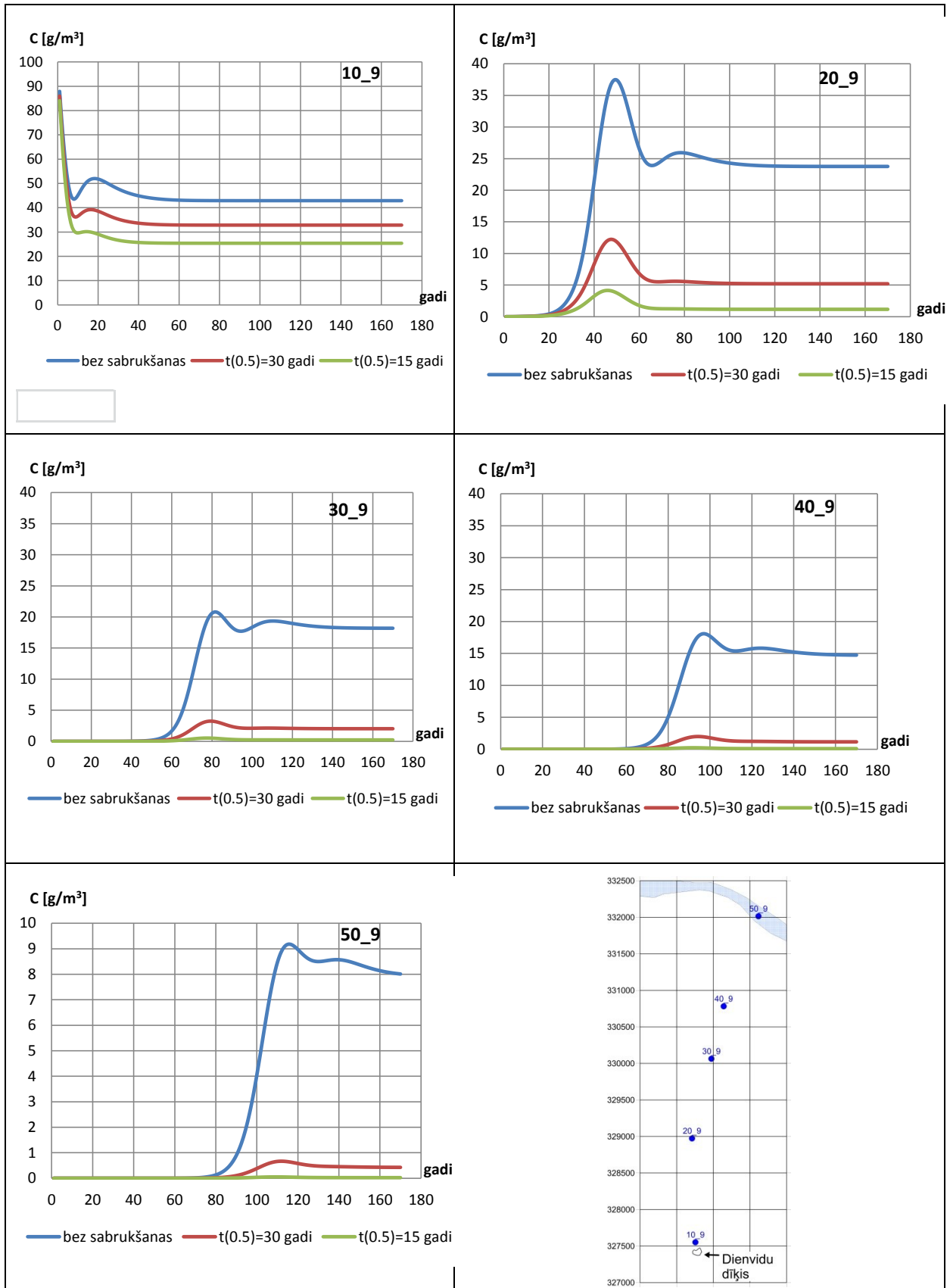
3.2.5. att. Piesārņojuma kopīgā plūsma [kg/dnn] horizontā D3g2 un sprosslānī D3g1z I_{hor} un Gaujas upē I_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; nulles scenārijs



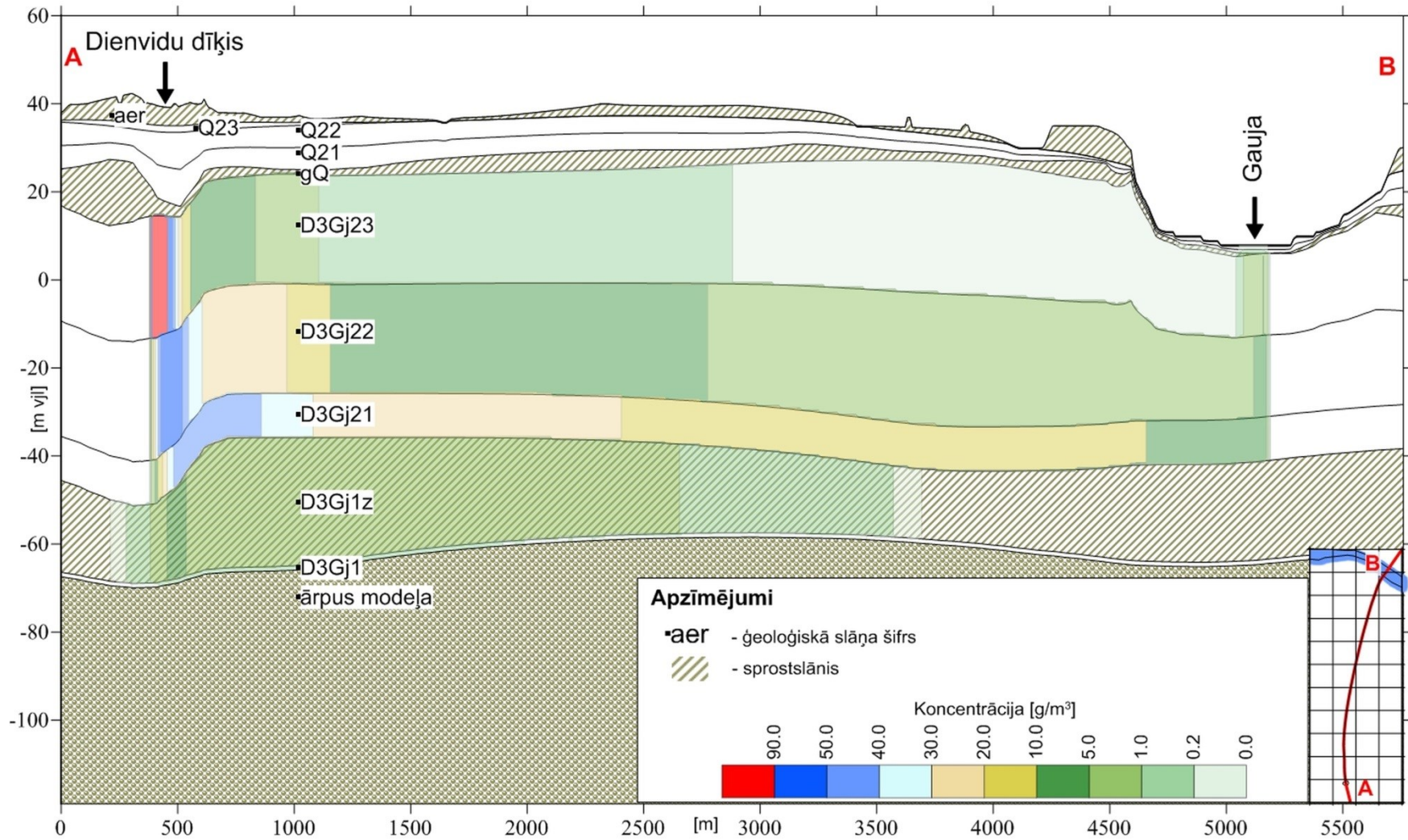
3.2.6. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z M_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; nulles scenārijs



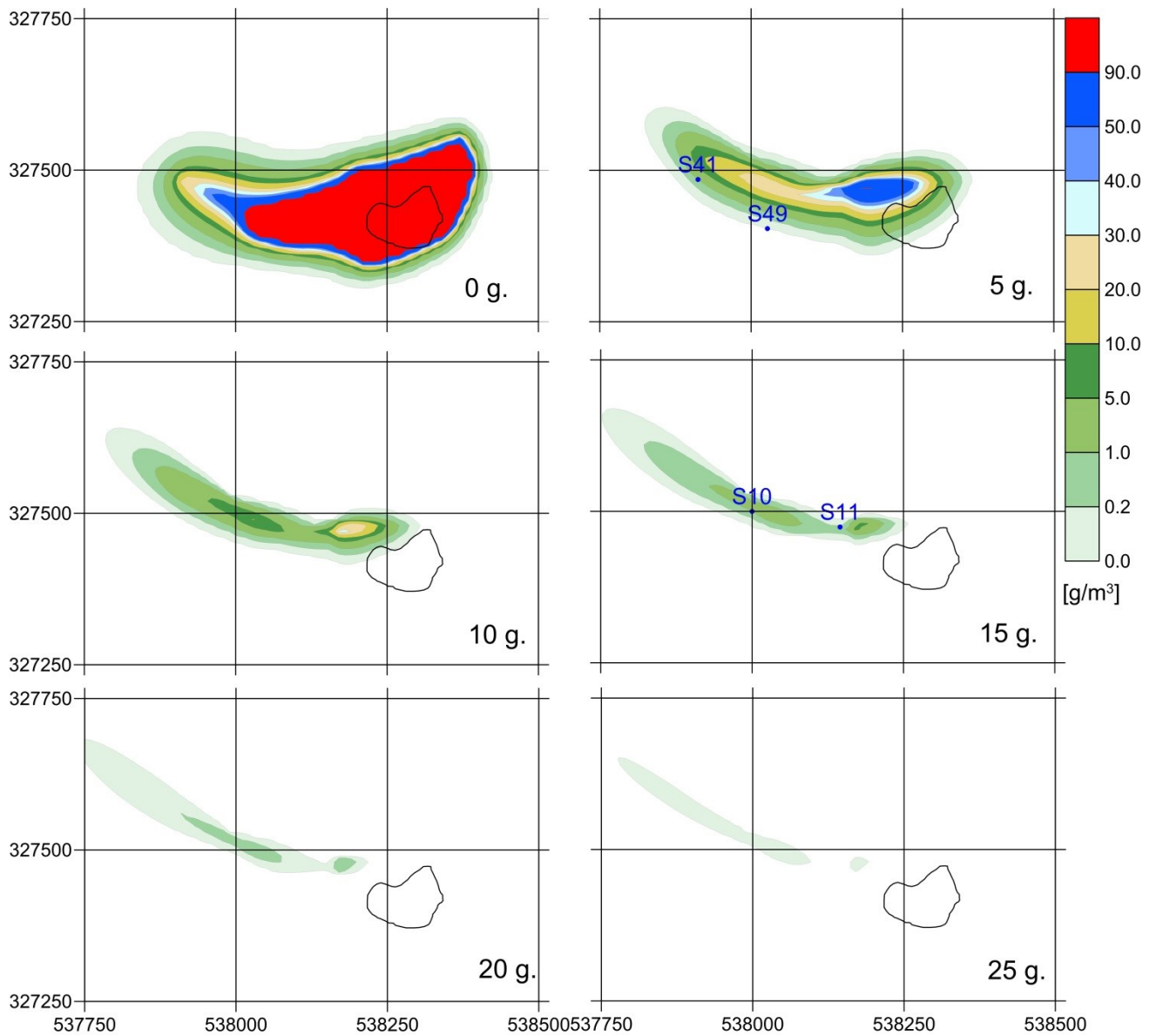
3.2.7. att. Piesārņojuma kopīgās plūsmas [kg/dnn] horizontā D3gj2 un sprostslnā D3gj1z I_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; nulles scenārijs



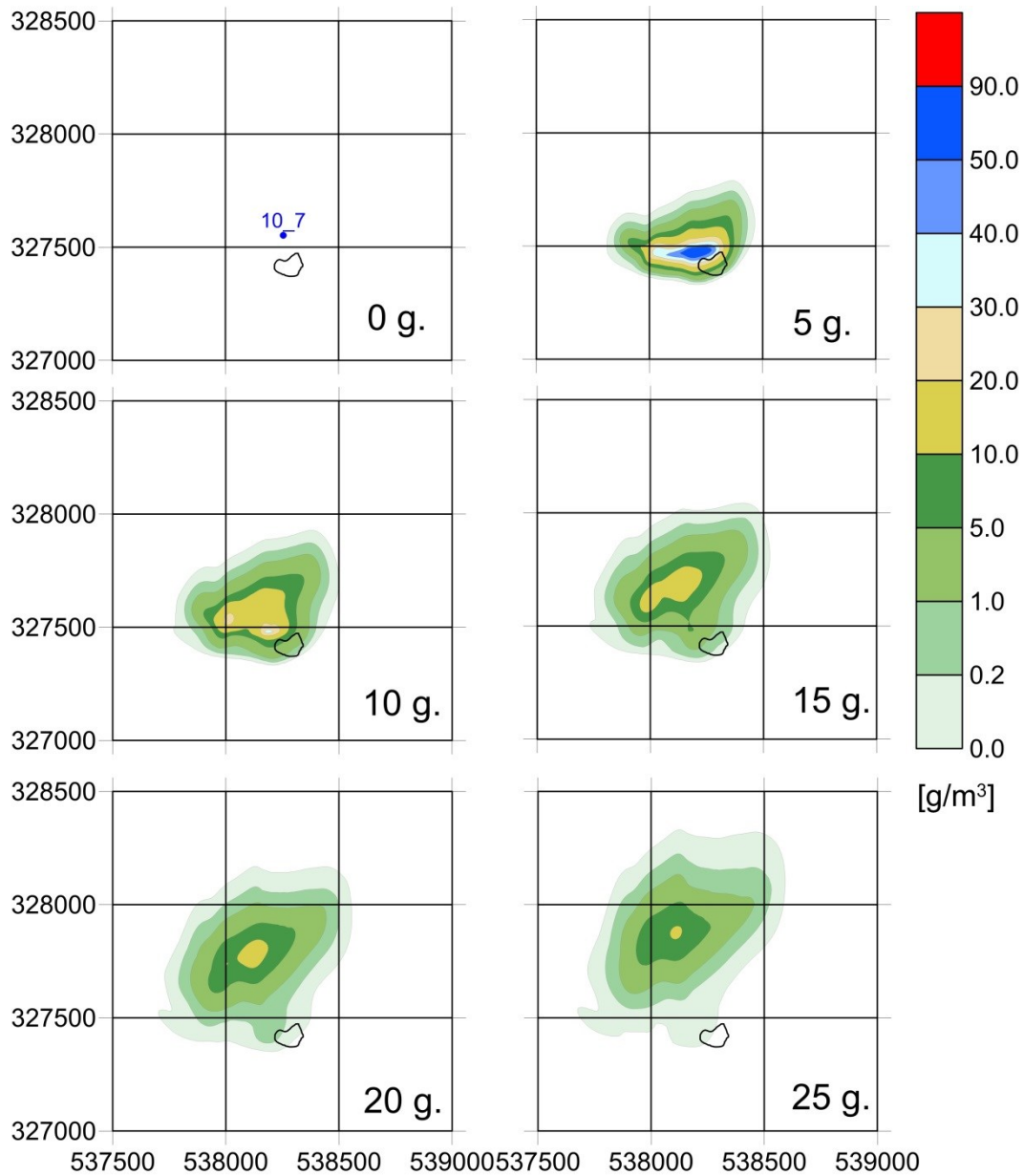
3.2.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos horizontā D3gj21; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; nulles scenārijs



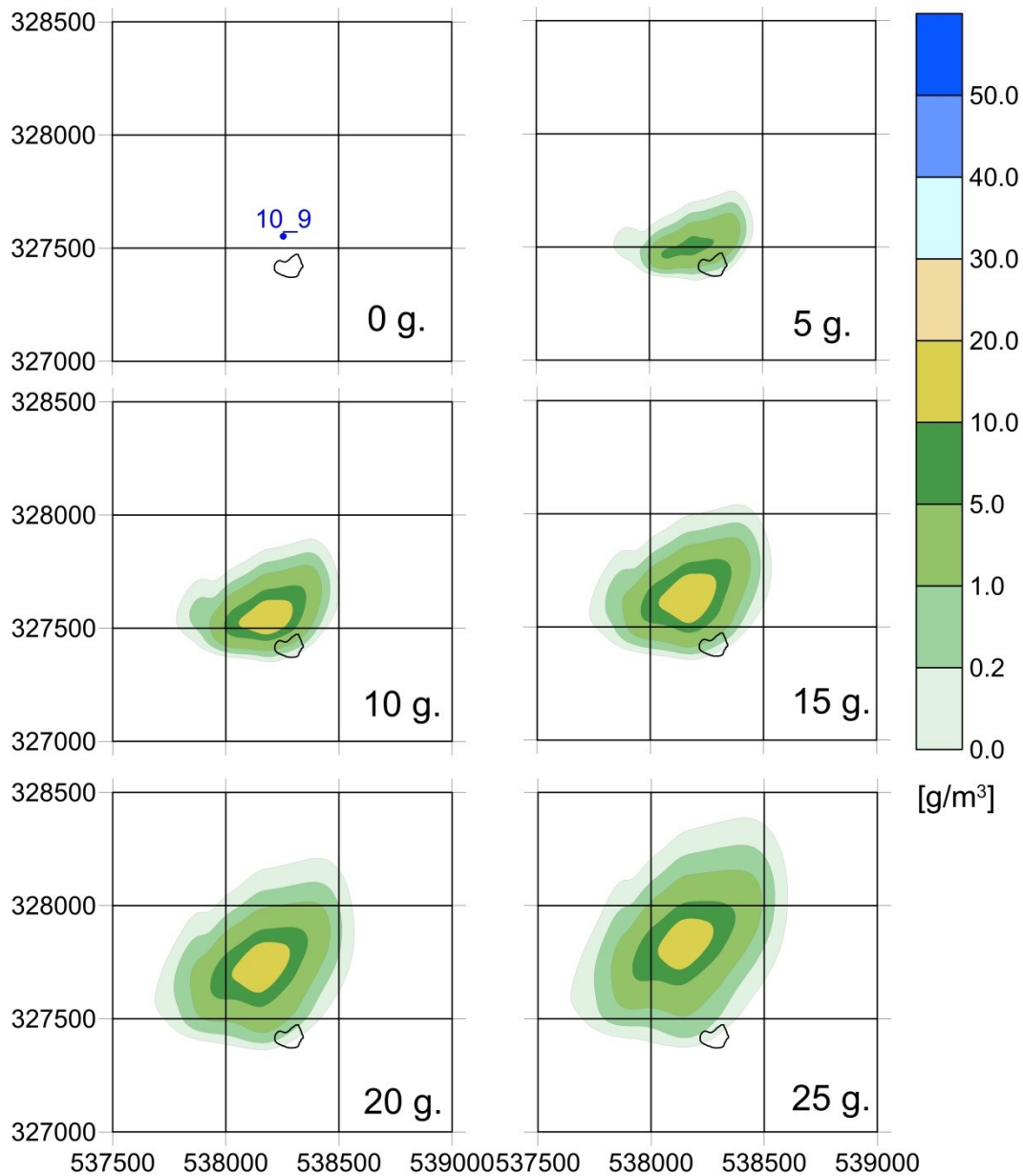
3.2.9. att. Griezums A-B ar C_t -sadalījumu [g/m³], pēc 170 gadiem, ja nav SVAV sabrukšanas: nulles scenārijs horizontā D3gj2



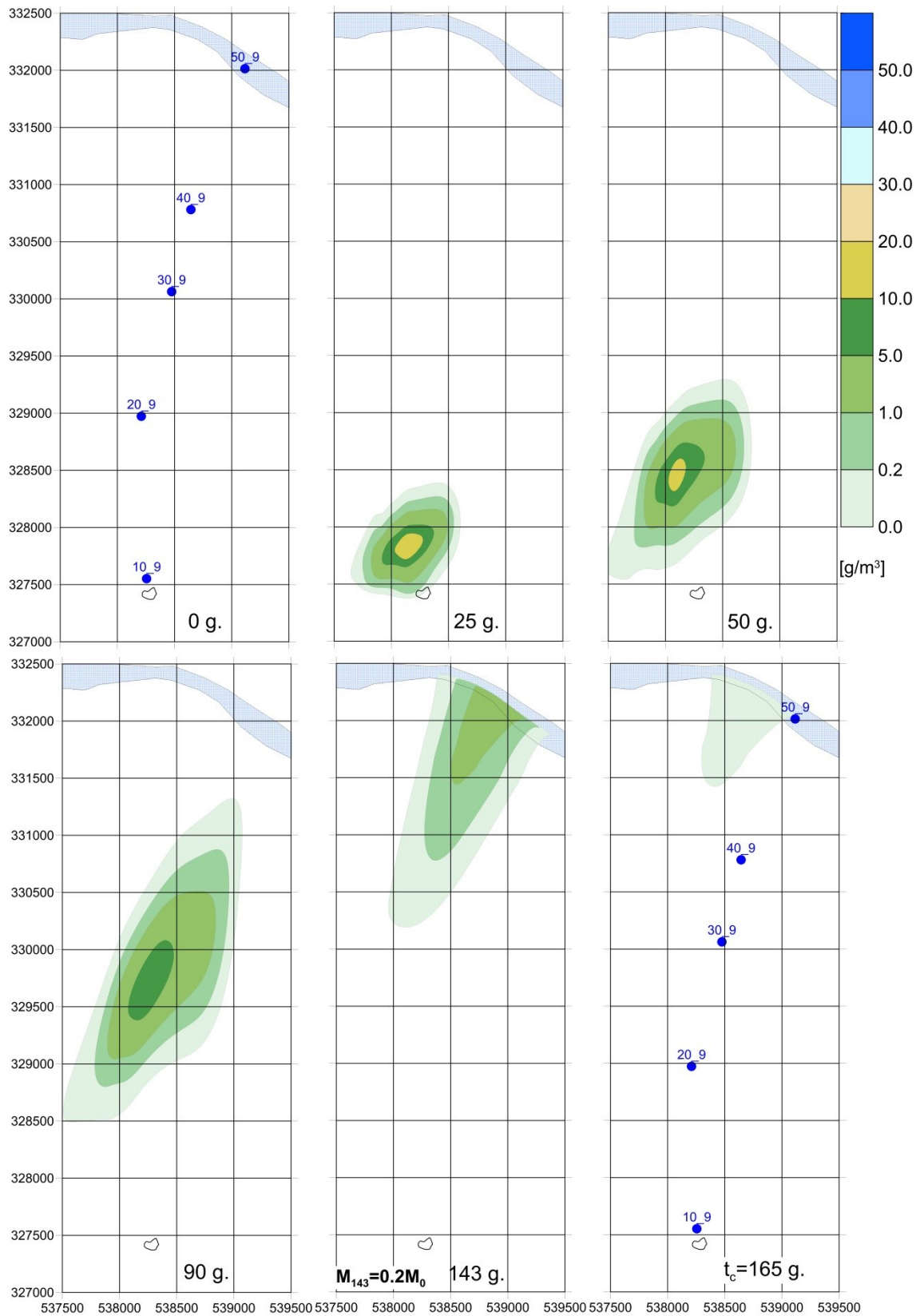
4.1.1. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa Kvartāra horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); pēc sanācības



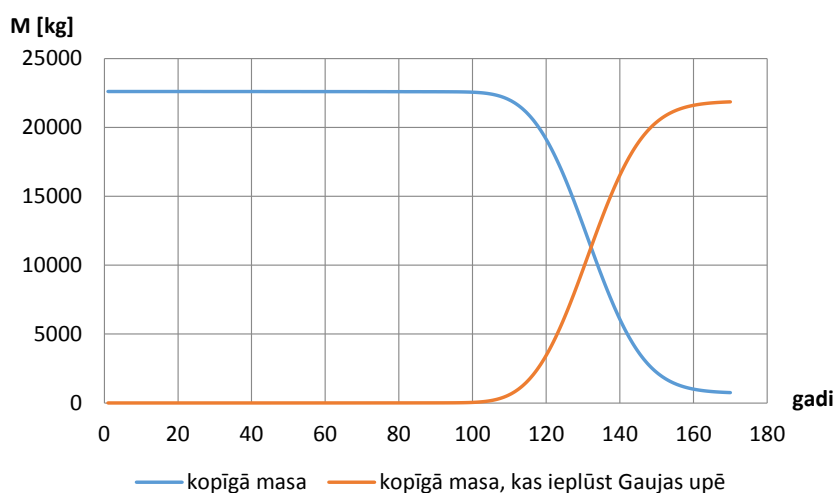
4.1.2. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontālā D3gj23, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); pēc sanācības



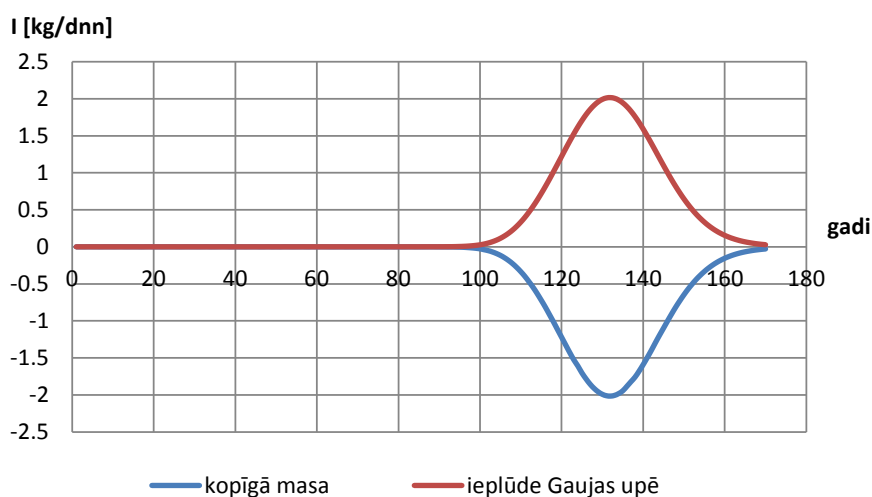
4.1.3. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-25 gadi); pēc sanācības



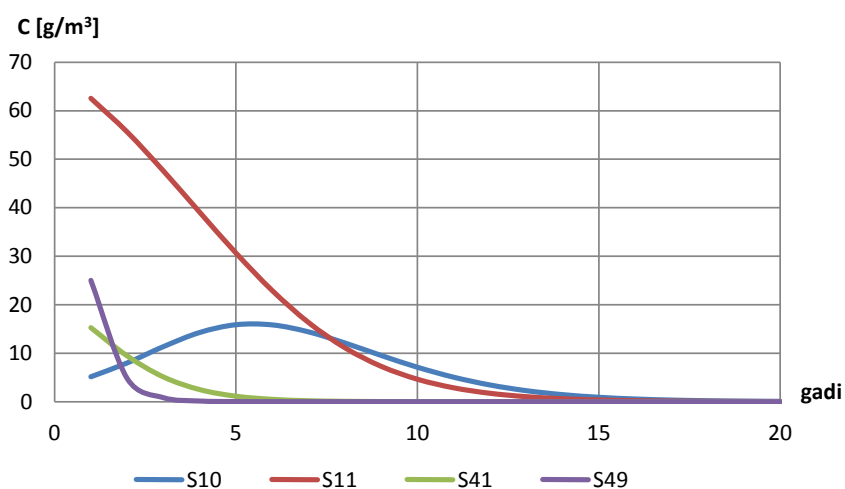
4.1.4. att. Piesārņojuma $C_{0,r}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-165 gadi); pēc sanācības



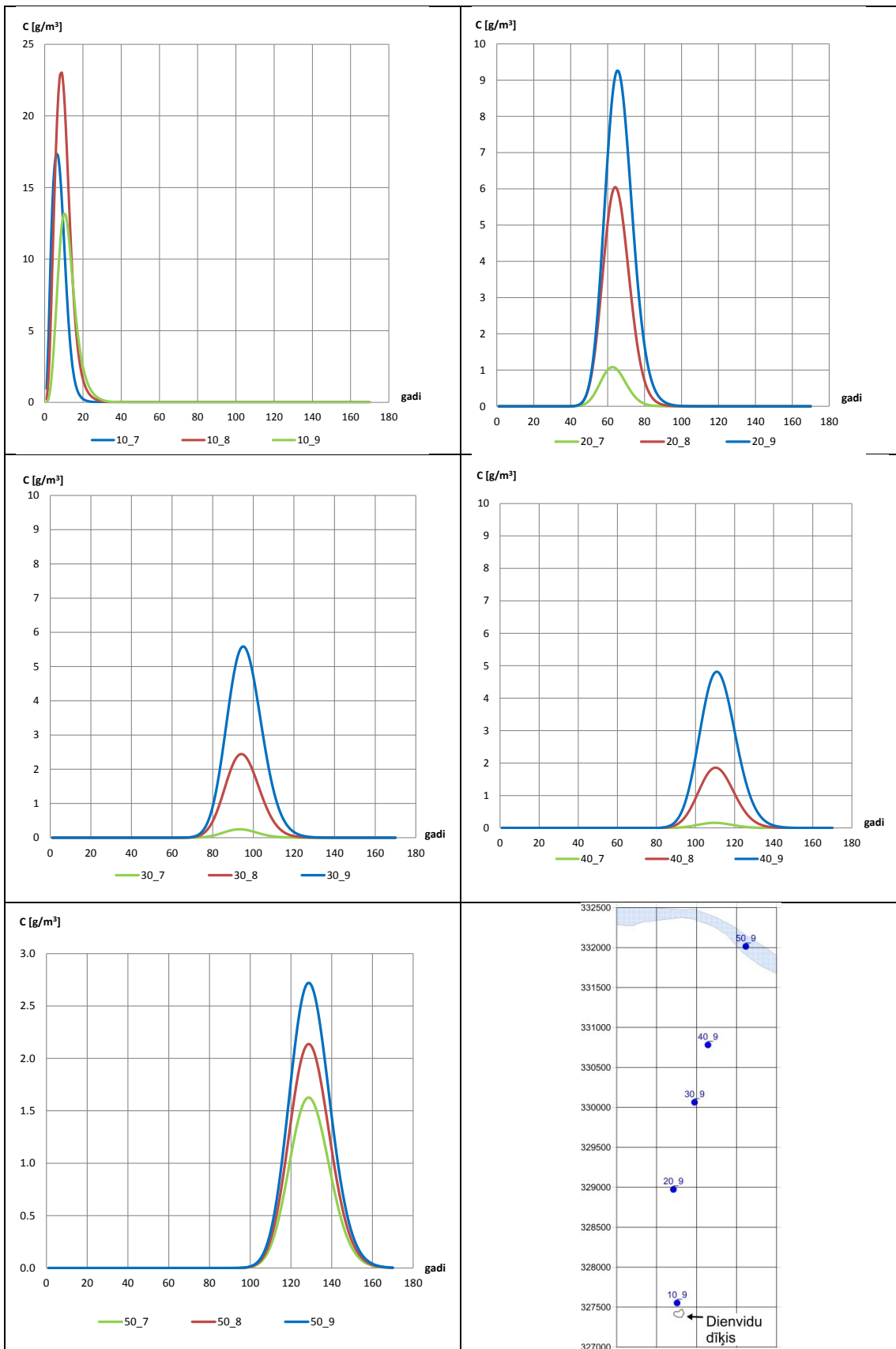
4.1.5. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontos Q2 un D3gļ2 M_{hor} un ieplūdei Gaujas upē M_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības



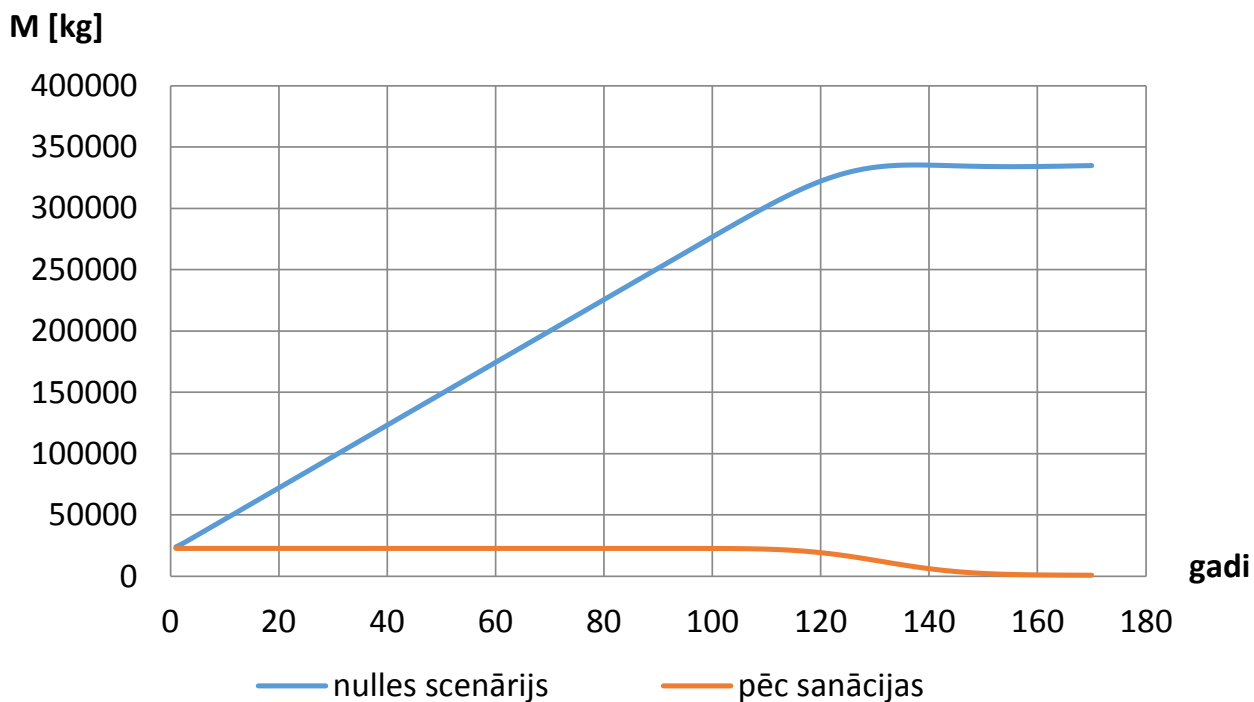
4.1.6. att. Piesārņojuma kopīgās plūsmas [kg/dnn] horizontos Q2 un D3gļ2 I_{hor} un ieplūde Gaujas upē I_{upes} , ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības



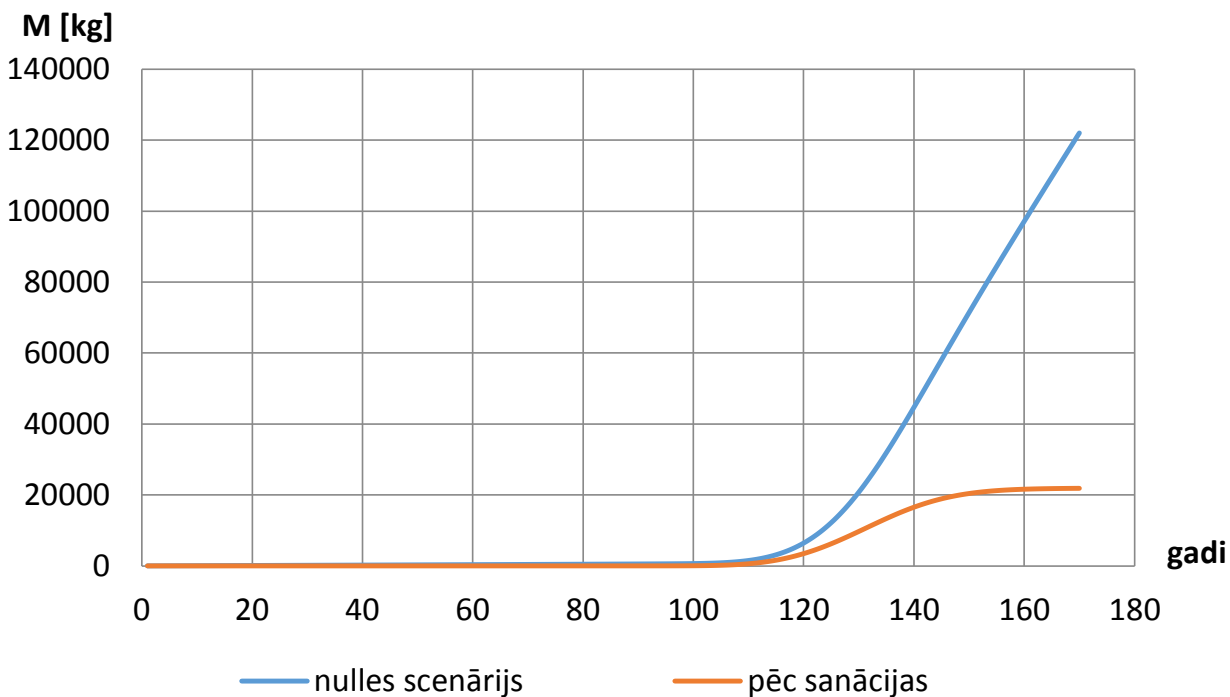
4.1.7. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. S10, S11, S41, S49 horizontā Q21, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības



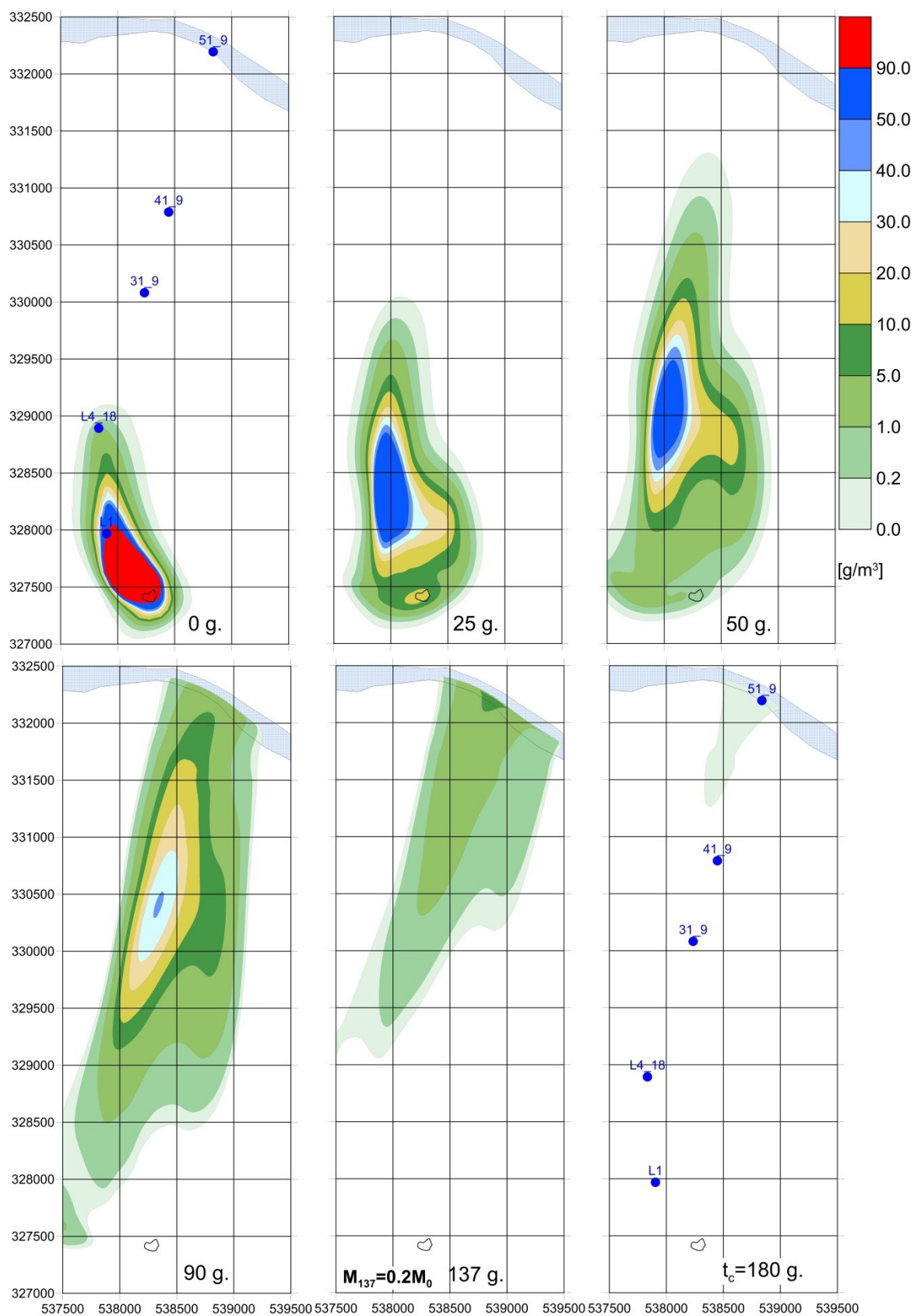
4.1.8. att.. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr. 10_n, 20_n, 30_n, 40_n, 50_n horizontos D3gj2 (n=7, 8, 9 ir HM slāņa numurs apakšhorizontiem D3gj23, D3gj22, D3gj21), ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības;



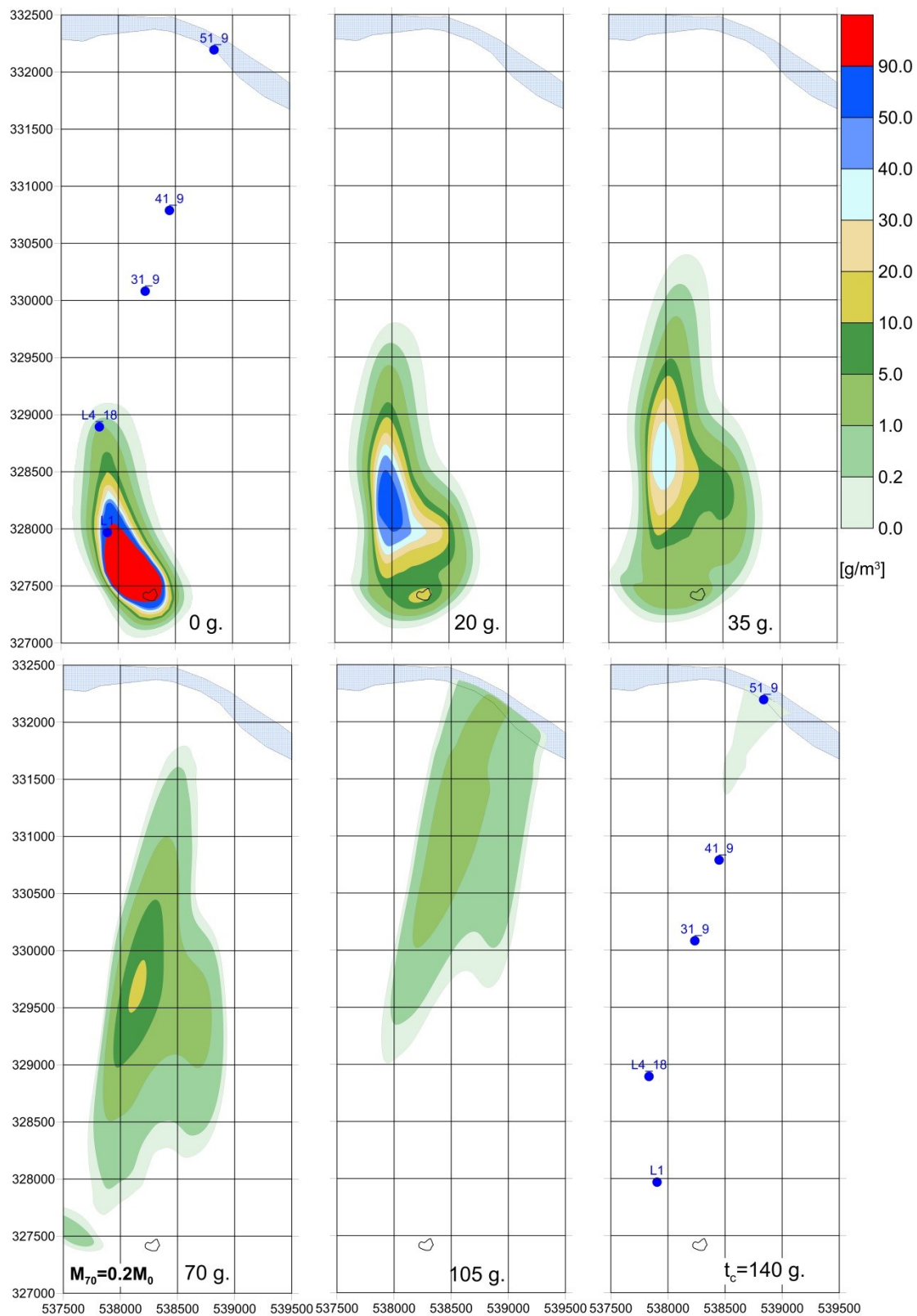
4.1.9. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj2 M_{hor} nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas



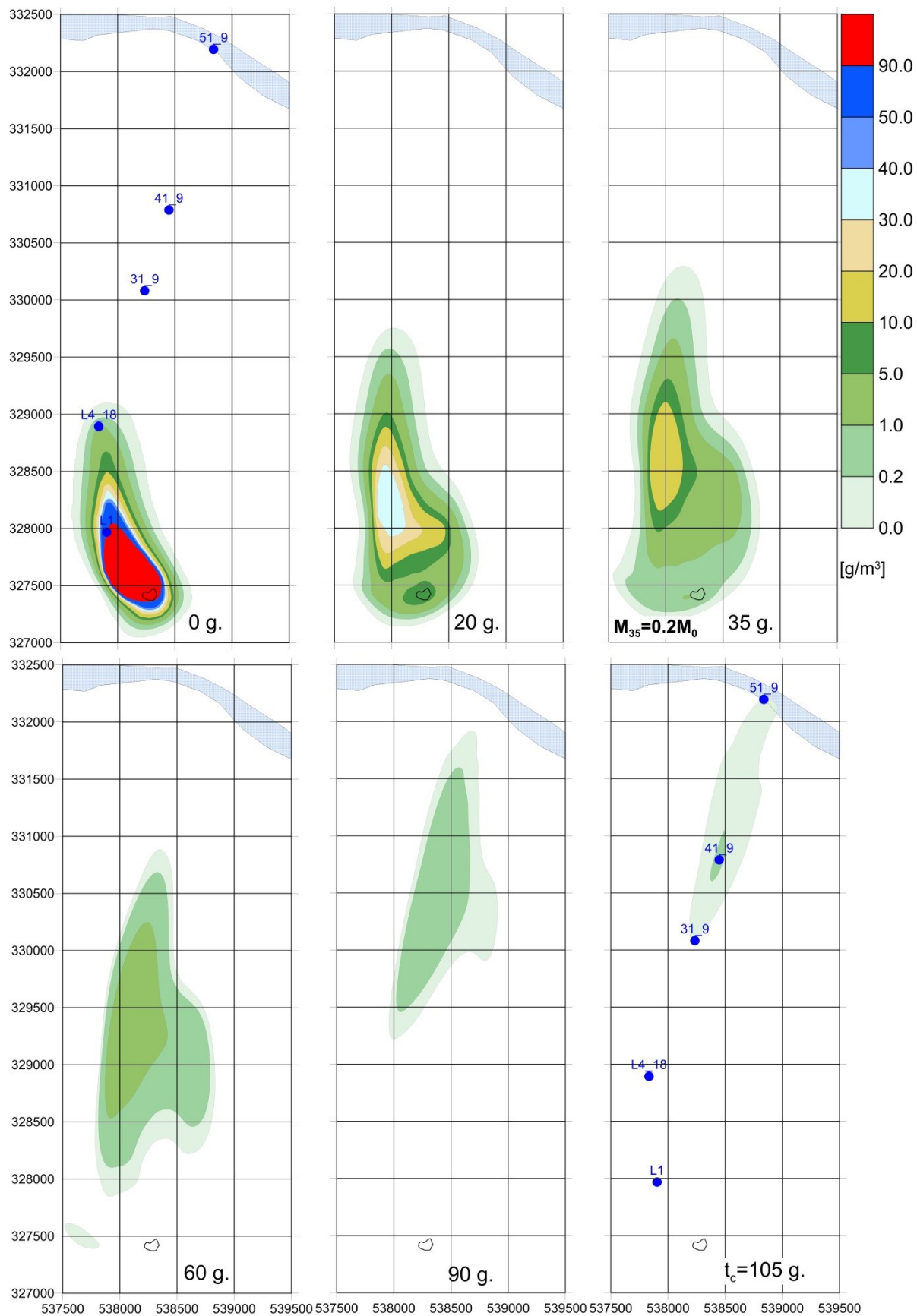
4.1.10. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] ieplūde Gaujas upē M_{upes} no horizonta D3gj2 nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas



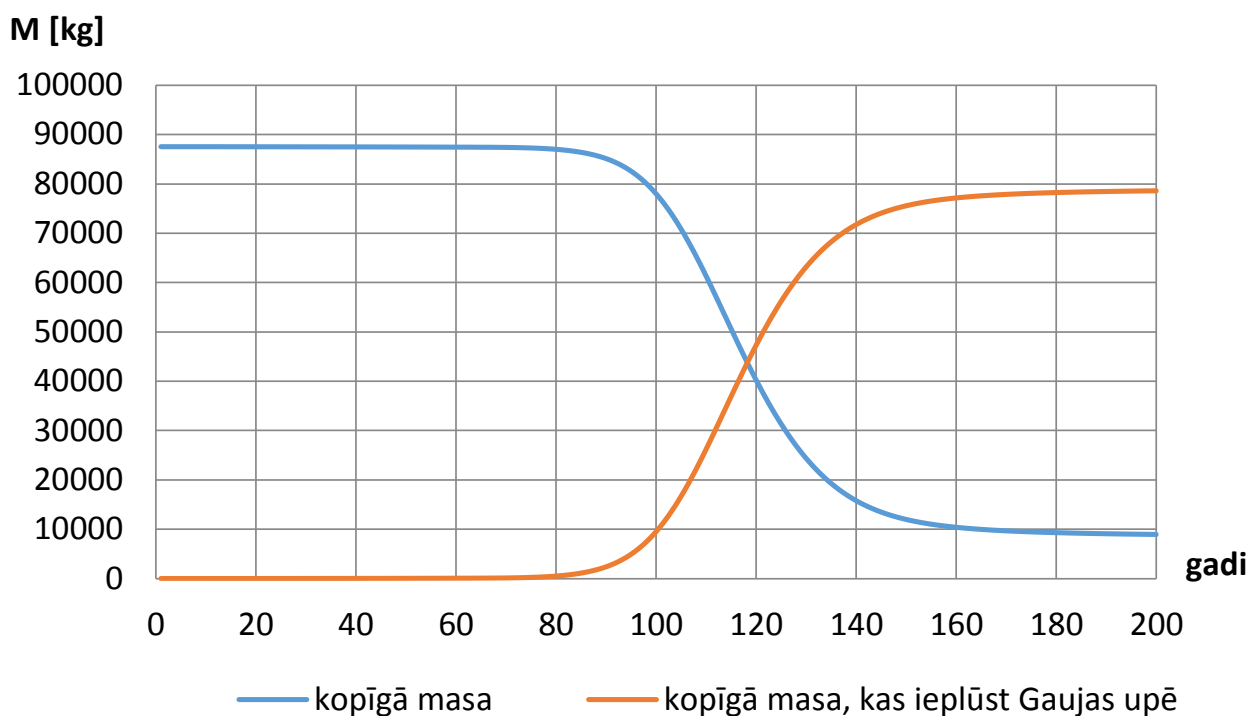
4.2.1. att. Piesārņojuma $C_{0,r}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja nav SVAV sabrukšanas (0-180 gadi); pēc sanācības



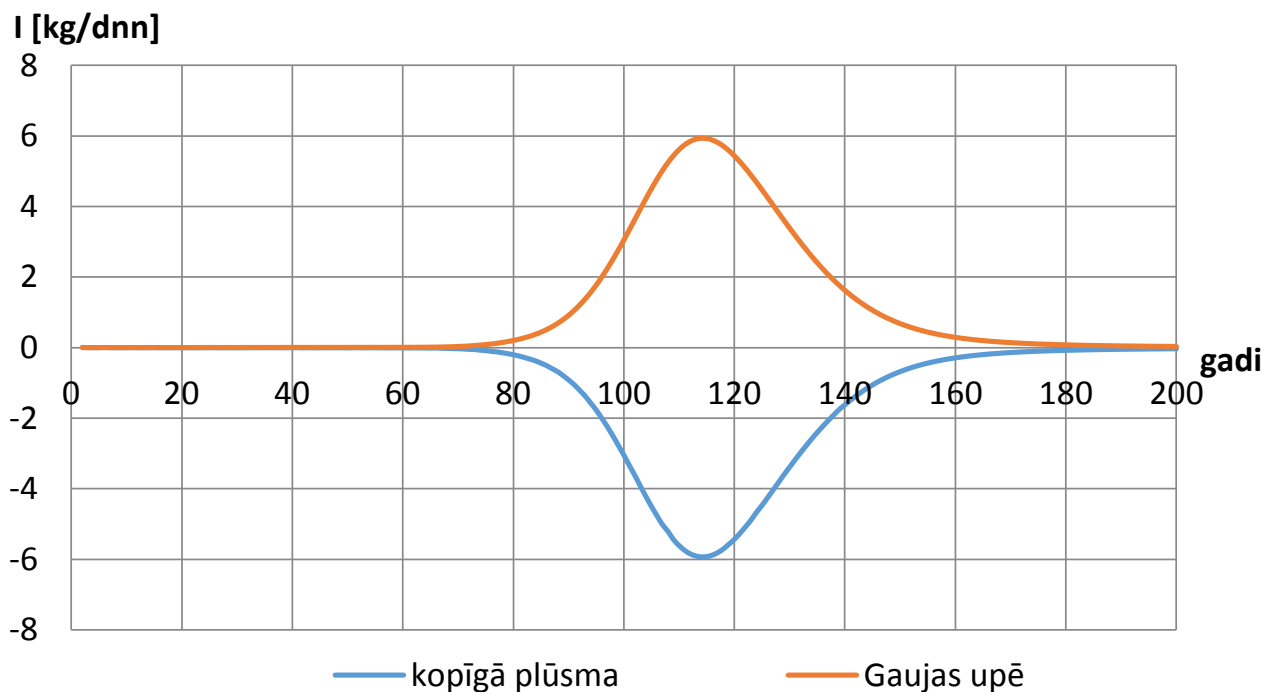
4.2.2. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas [g/m^3] izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0,5}=30$ gadi (0-140 gadi); pēc sanācības



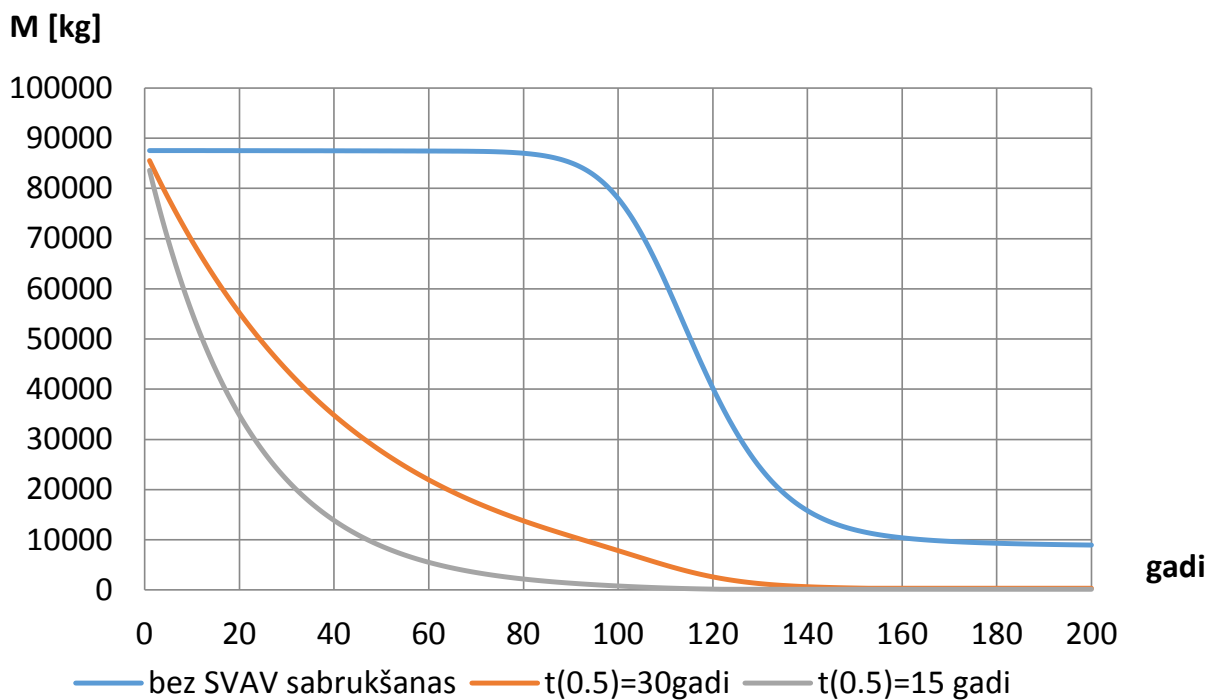
4.2.3. att. Piesārņojuma $C_{0,t}$ -areāla koncentrācijas $[\text{g/m}^3]$ izmaiņa horizontā D3gj21, ja ir SVAV sabrukšana $t_{0.5} = 15$ gadi (0-105 gadi); pēc sanācības



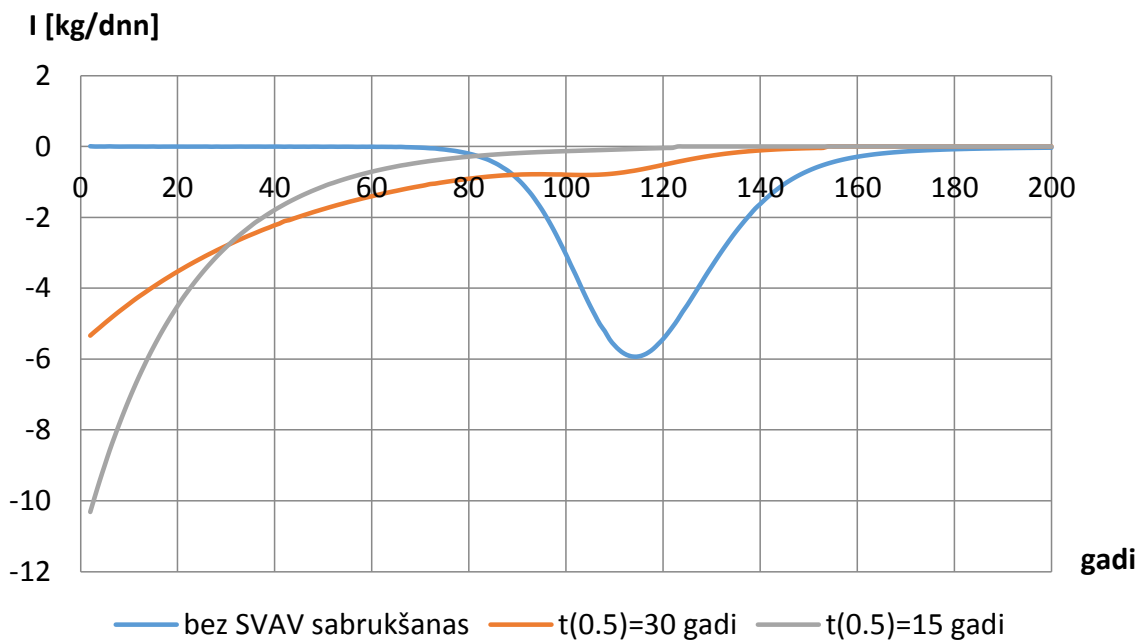
4.2.4. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21 un sprotslānī D3gj1z M_{hor} un ieplūde Gaujas upē M_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības



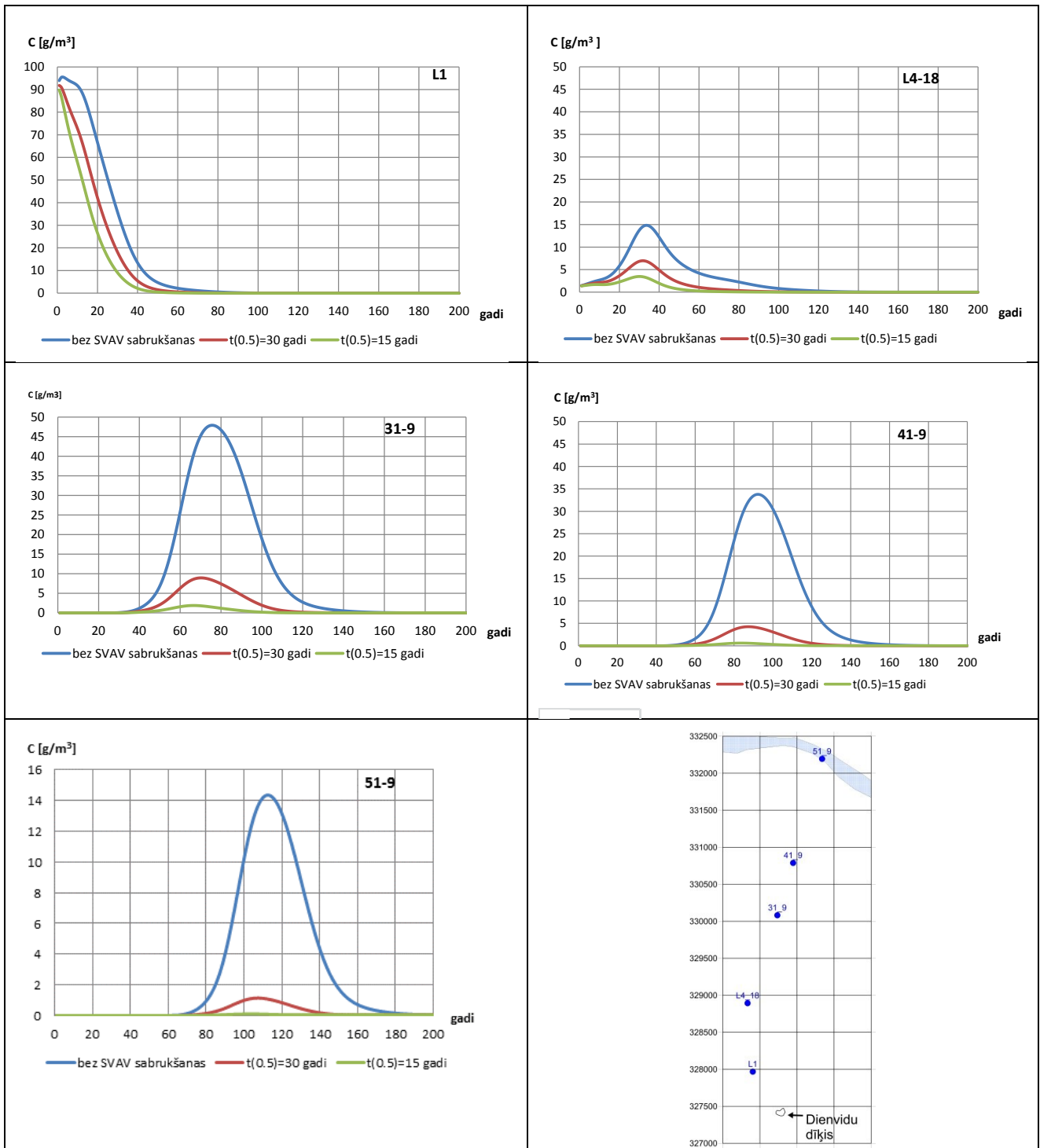
4.2.5. att. Piesārņojuma kopīgā plūsma [kg/dnn] horizontā D3gj2 un sprotslānī D3gj1z I_{hor} un plūsma Gaujas upē I_{upes} ; ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības



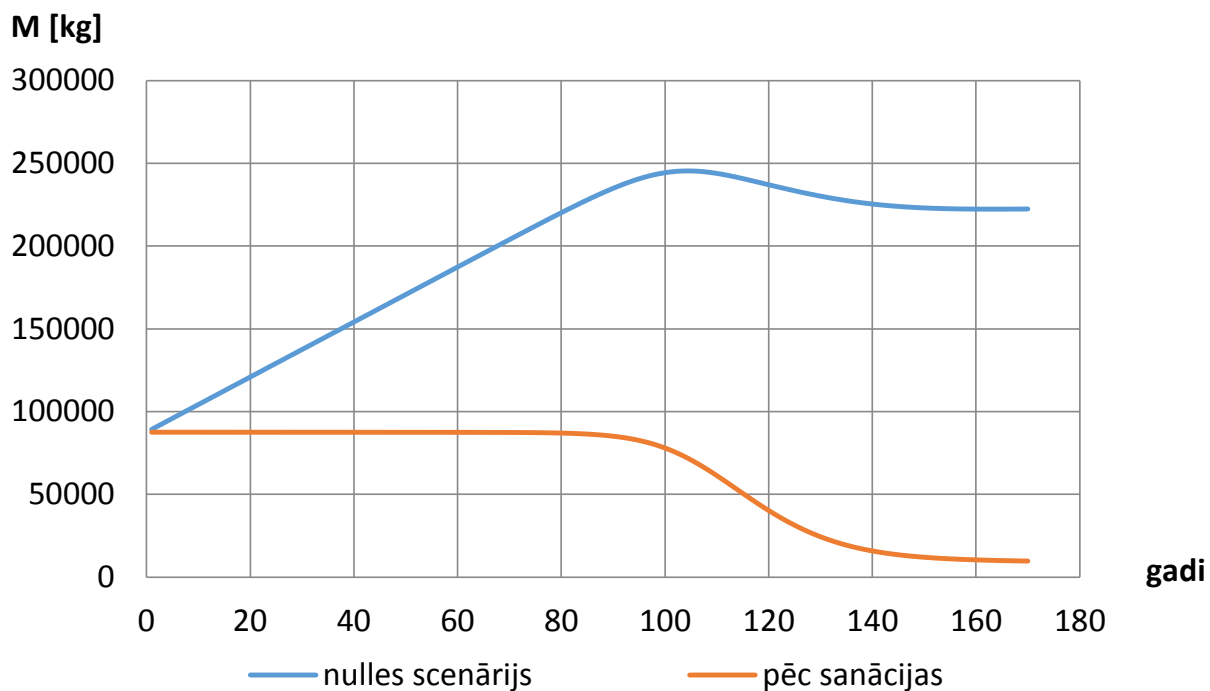
4.2.6. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj21 un sprostslnī D3gj1z M_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; pēc sanācības



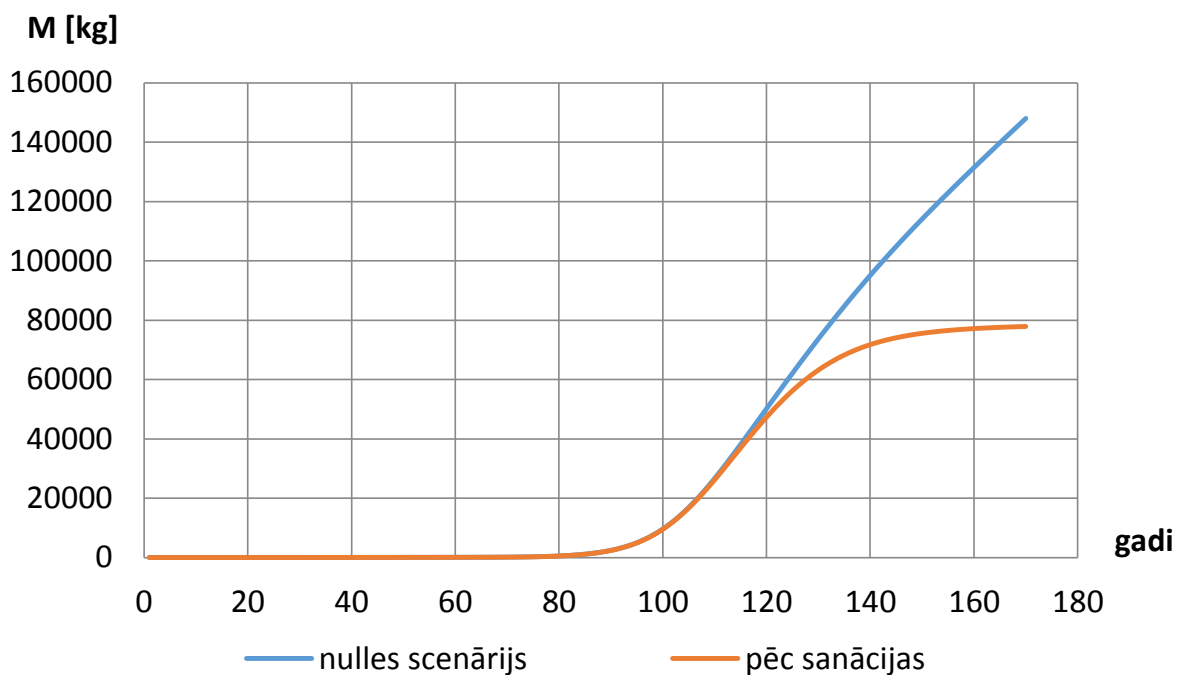
4.2.7. att. Piesārņojuma plūsmas [kg/dnn] horizontā D3gj2 un sprostslnī D3gj1z I_{hor} ; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; pēc sanācības



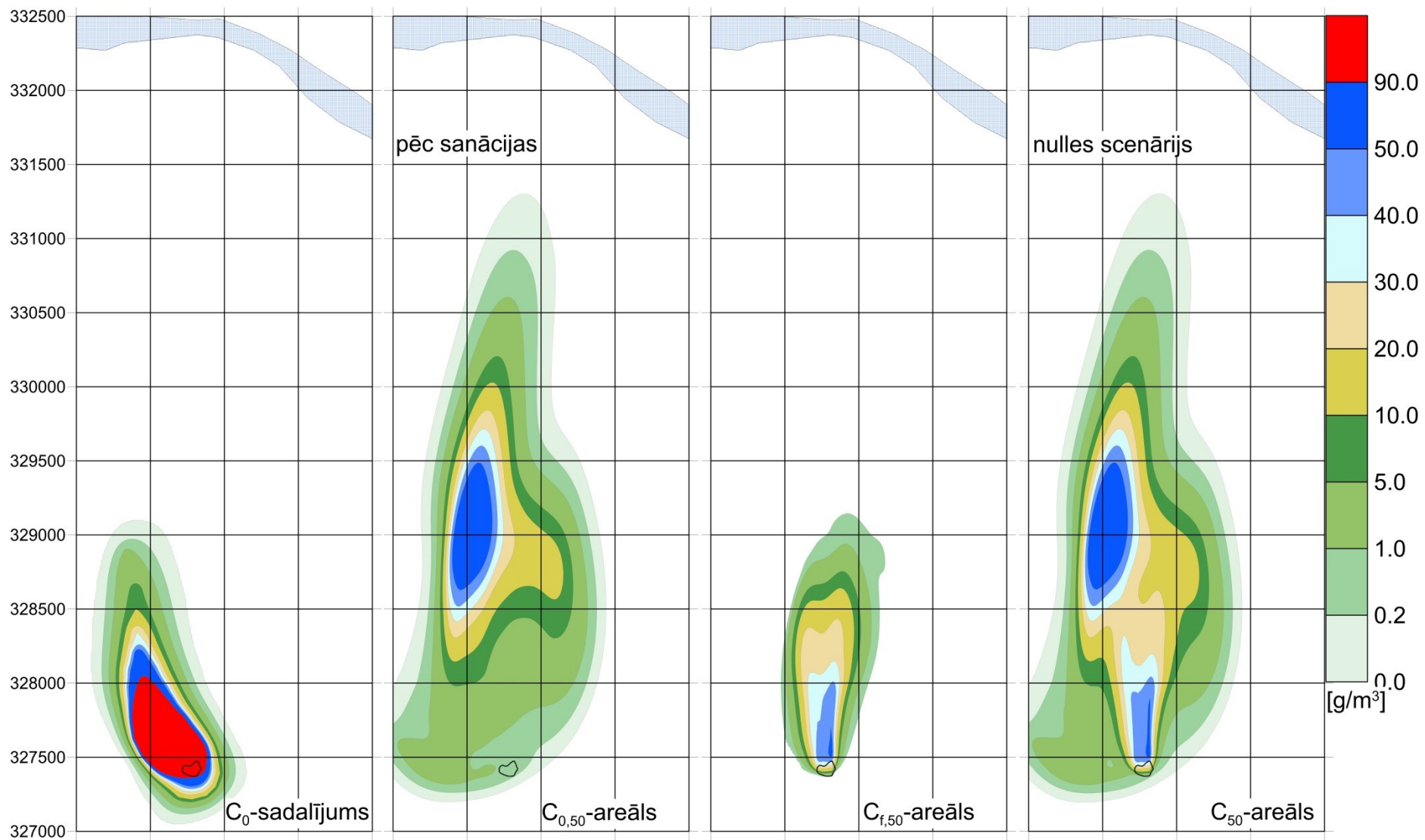
4.2.8. att. Piesārņojuma koncentrācijas [g/m³] hidrogrāfi monitoringa urbemos horizontā D3gj21; dažādiem SVAV sabrukšanas gadījumiem; pēc sanācības



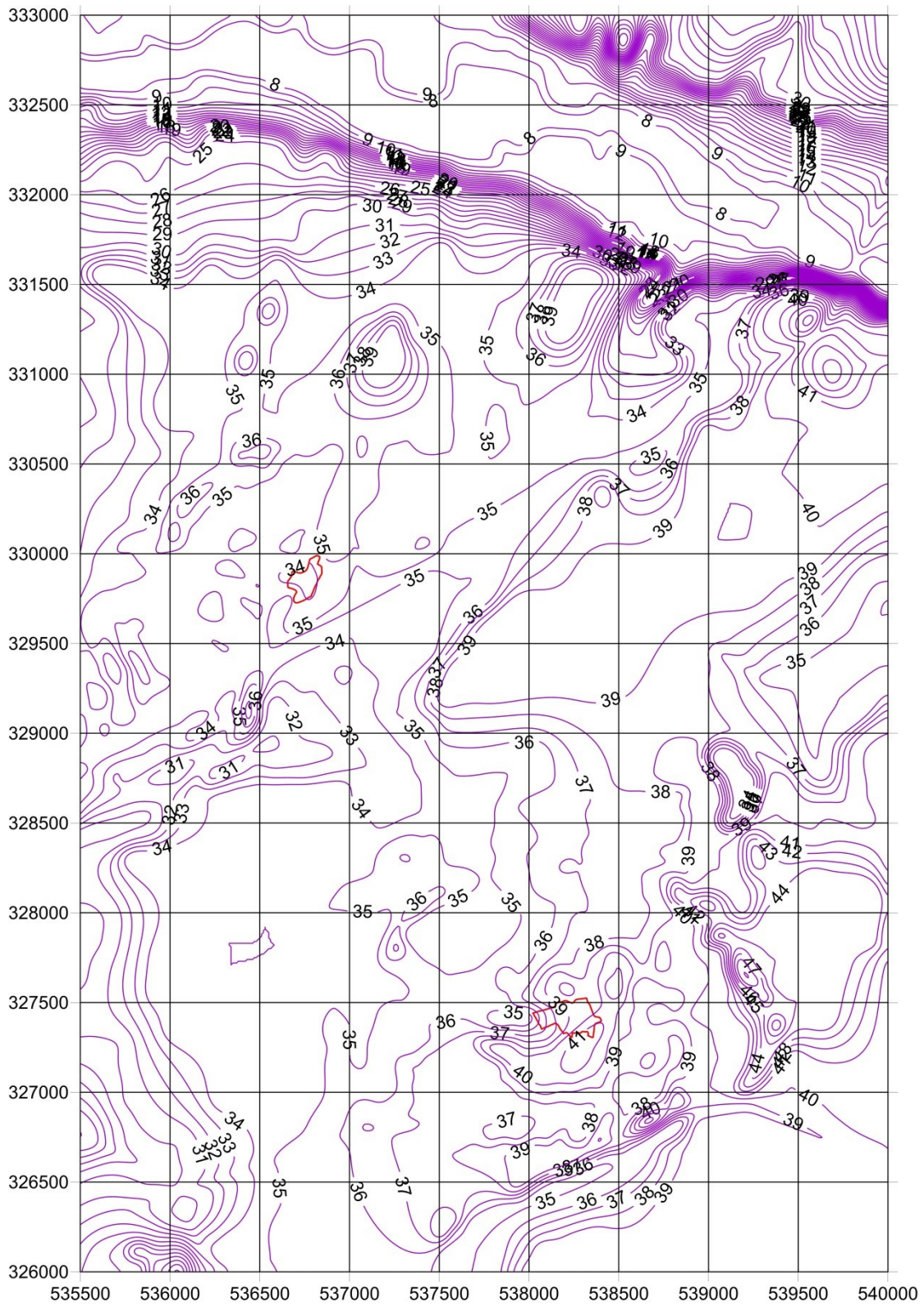
4.2.9. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] izmaiņa horizontā D3gj2 un sprostslnī D3gj1z M_{hor} nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas



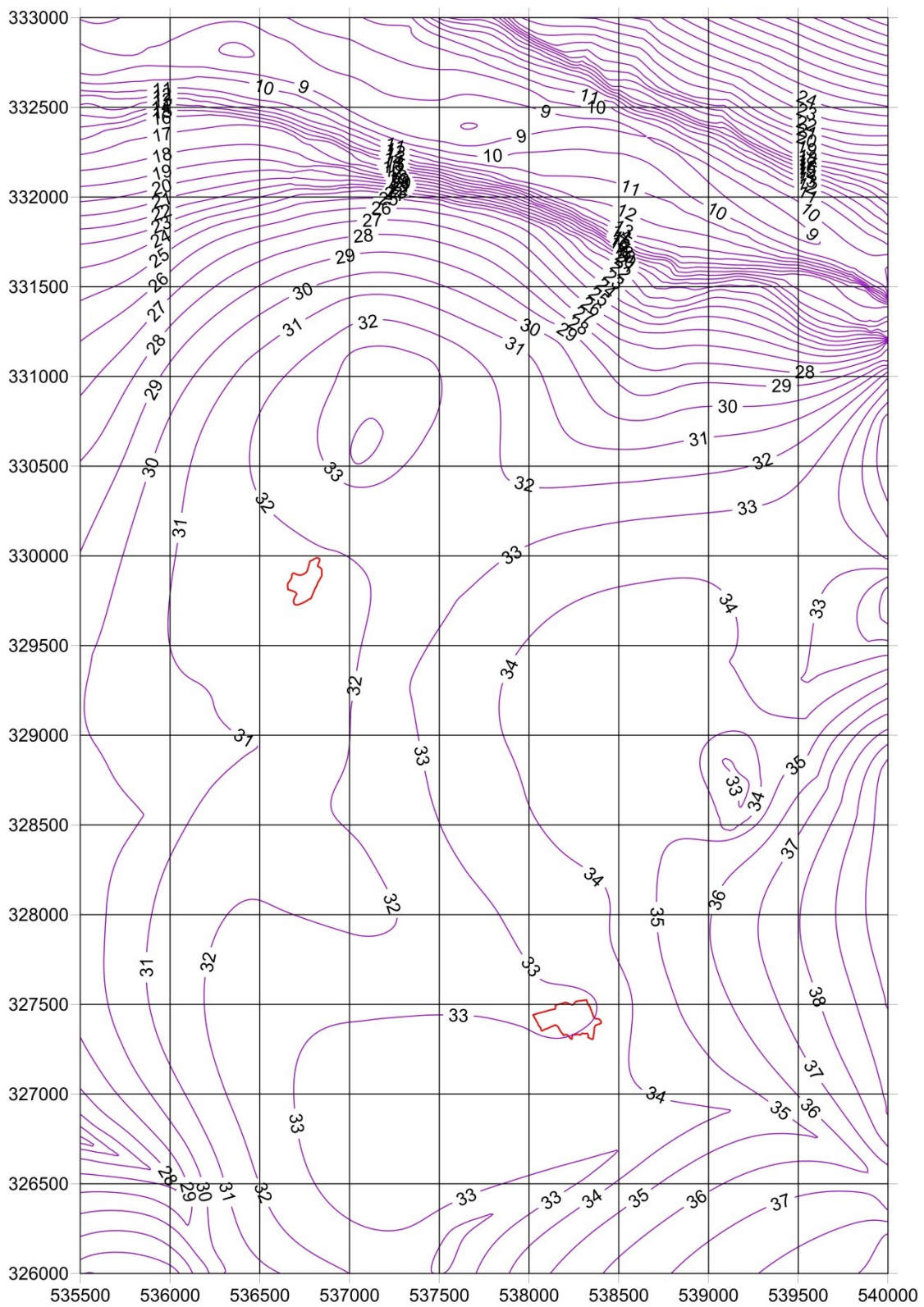
4.2.10. att. Piesārņojuma kopīgās masas [kg] ieplūde Gaujas upē M_{upes} no horizonta D3gj2 nulles scenārijam un pēc sanācības, ja nav SVAV sabrukšanas



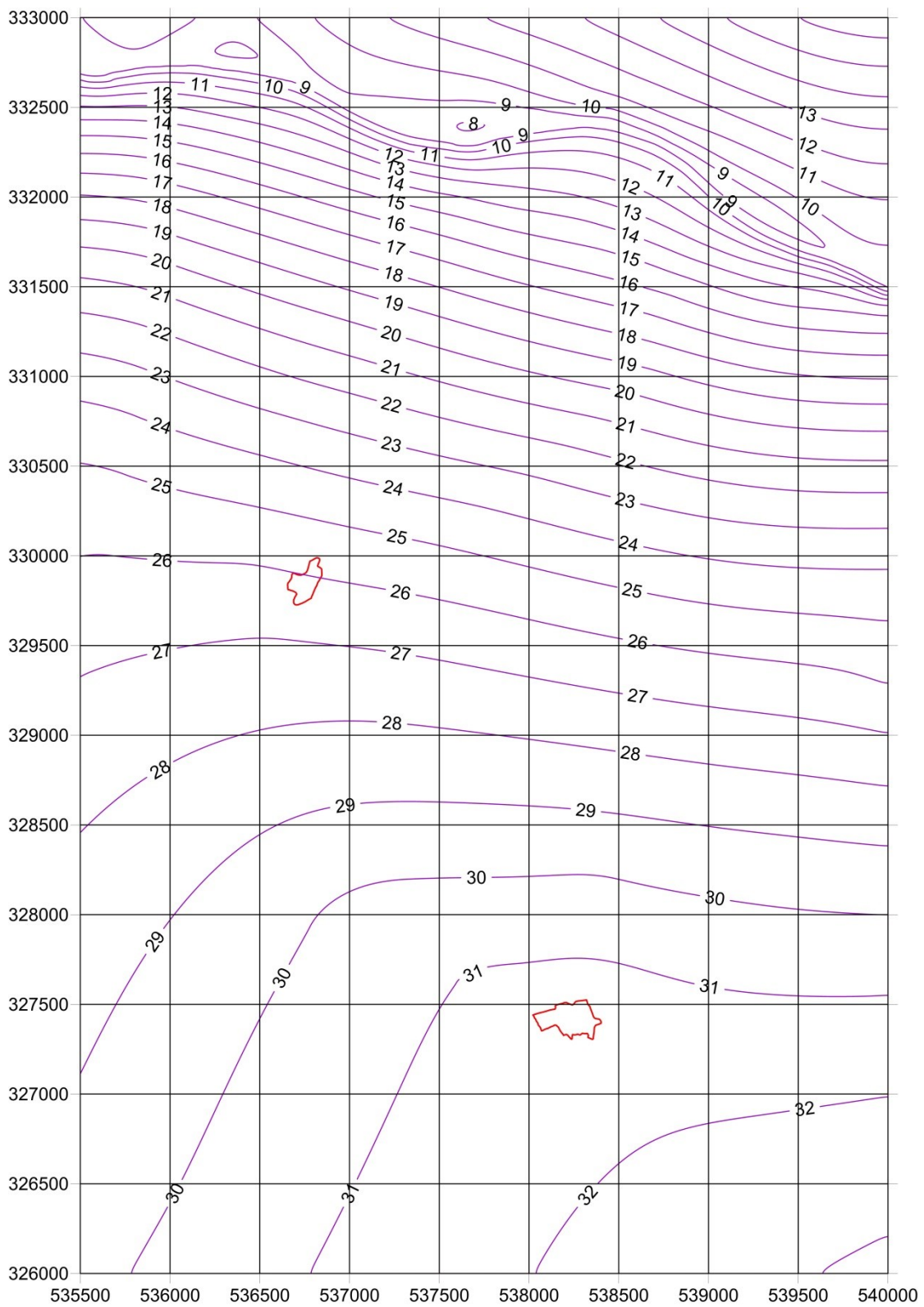
5. att. Piesārņojuma areāli horizontam D3gj21 pēc 50 gadiem, ja nav SVAV sabrukšanas; pēc sanācības un nulles scenārijam



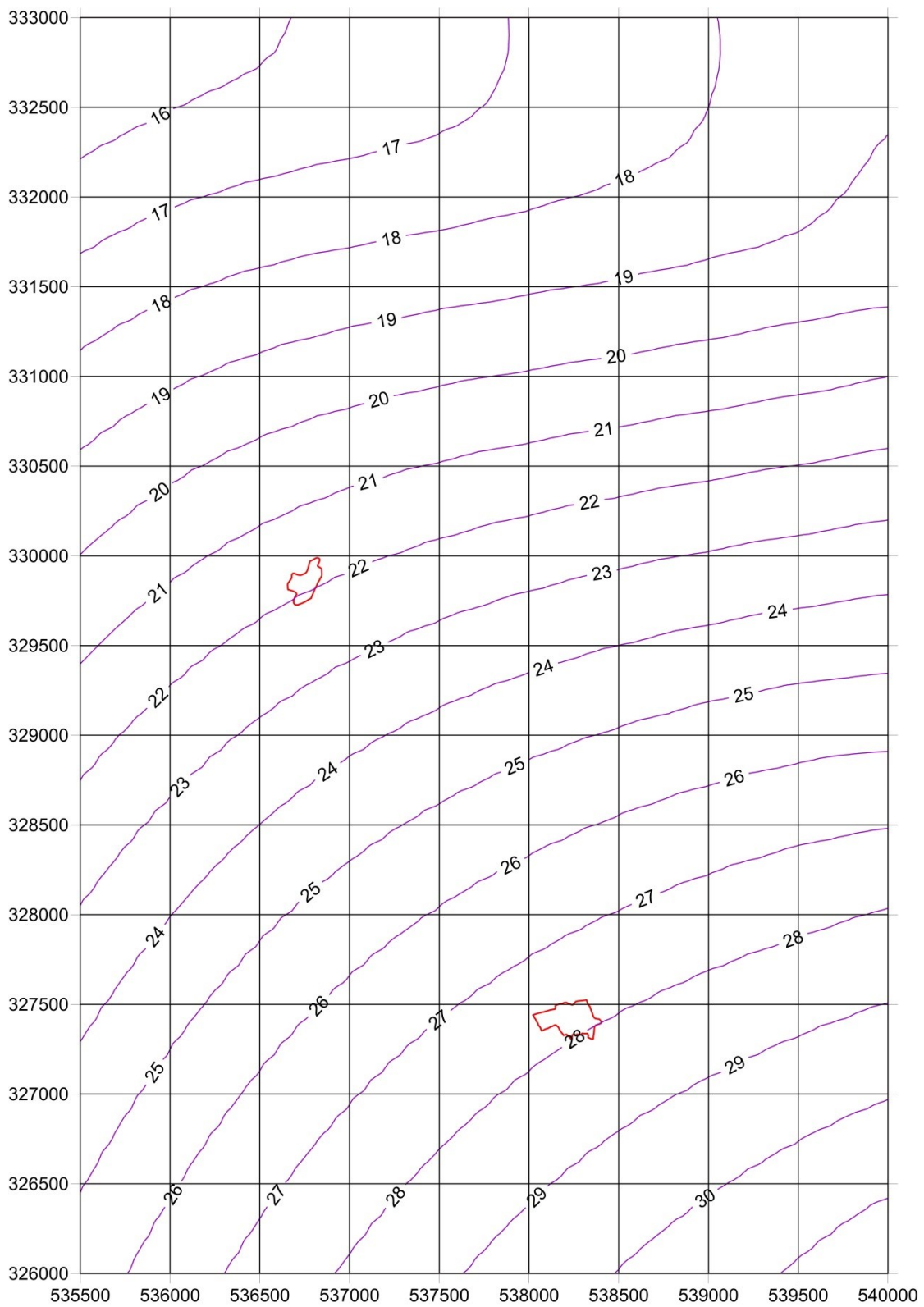
6.1. att. Modelī izmantotā reljefa [m vjl] izolīniju karte [8]



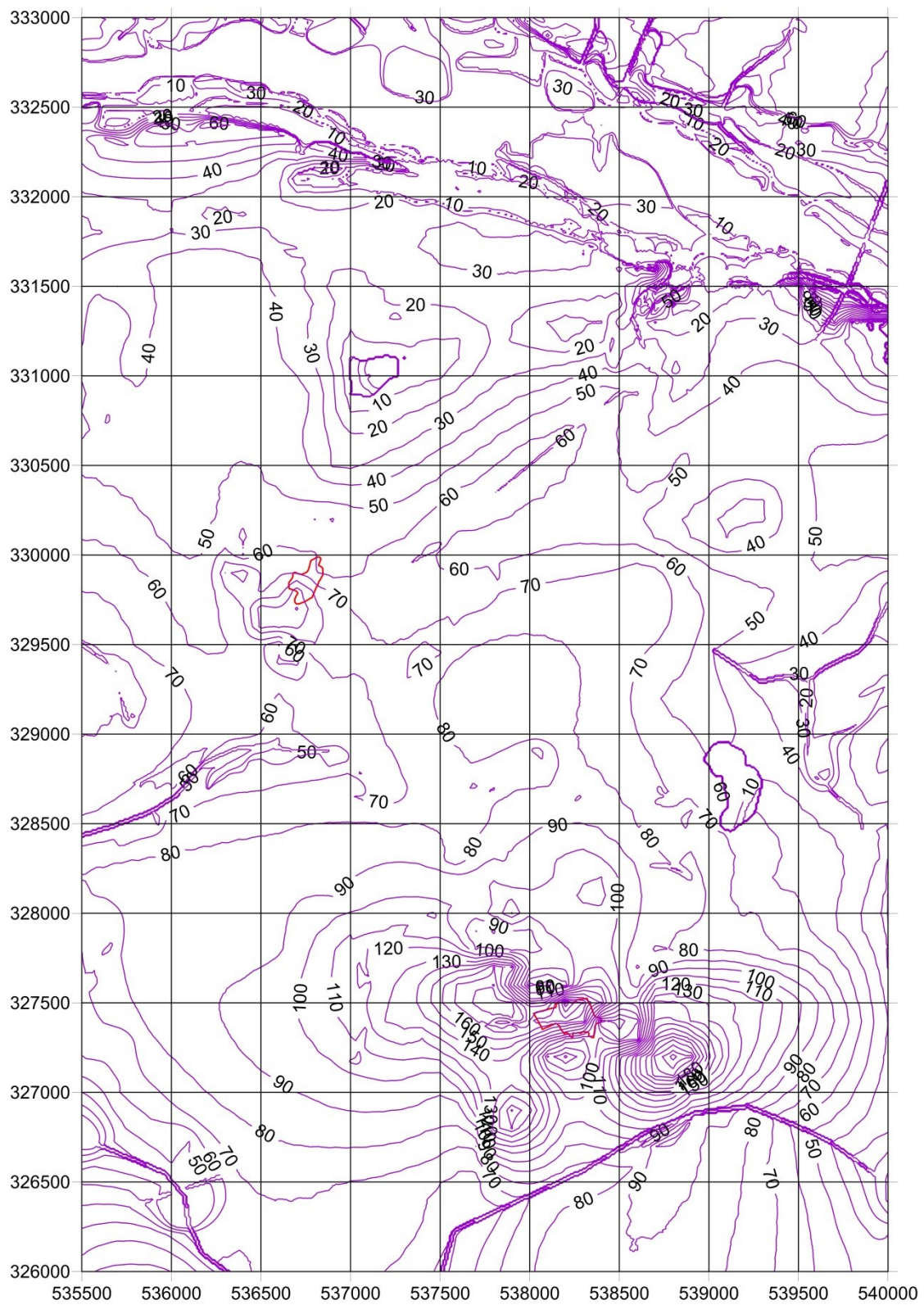
6.2. att. Kvartāra horizonta Q2 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte



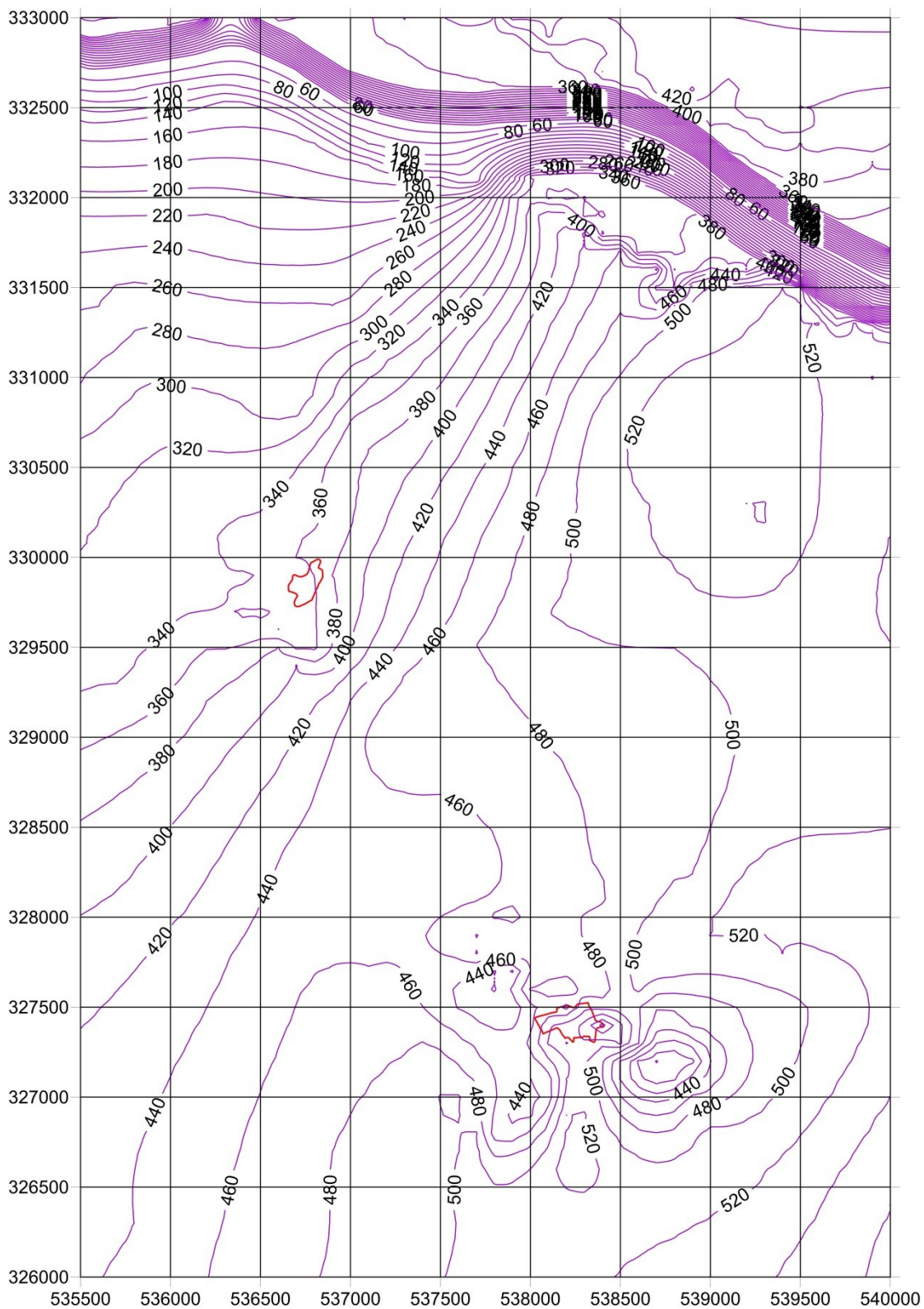
6.3. att. Augšgaujas horizonta D3gj2 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte



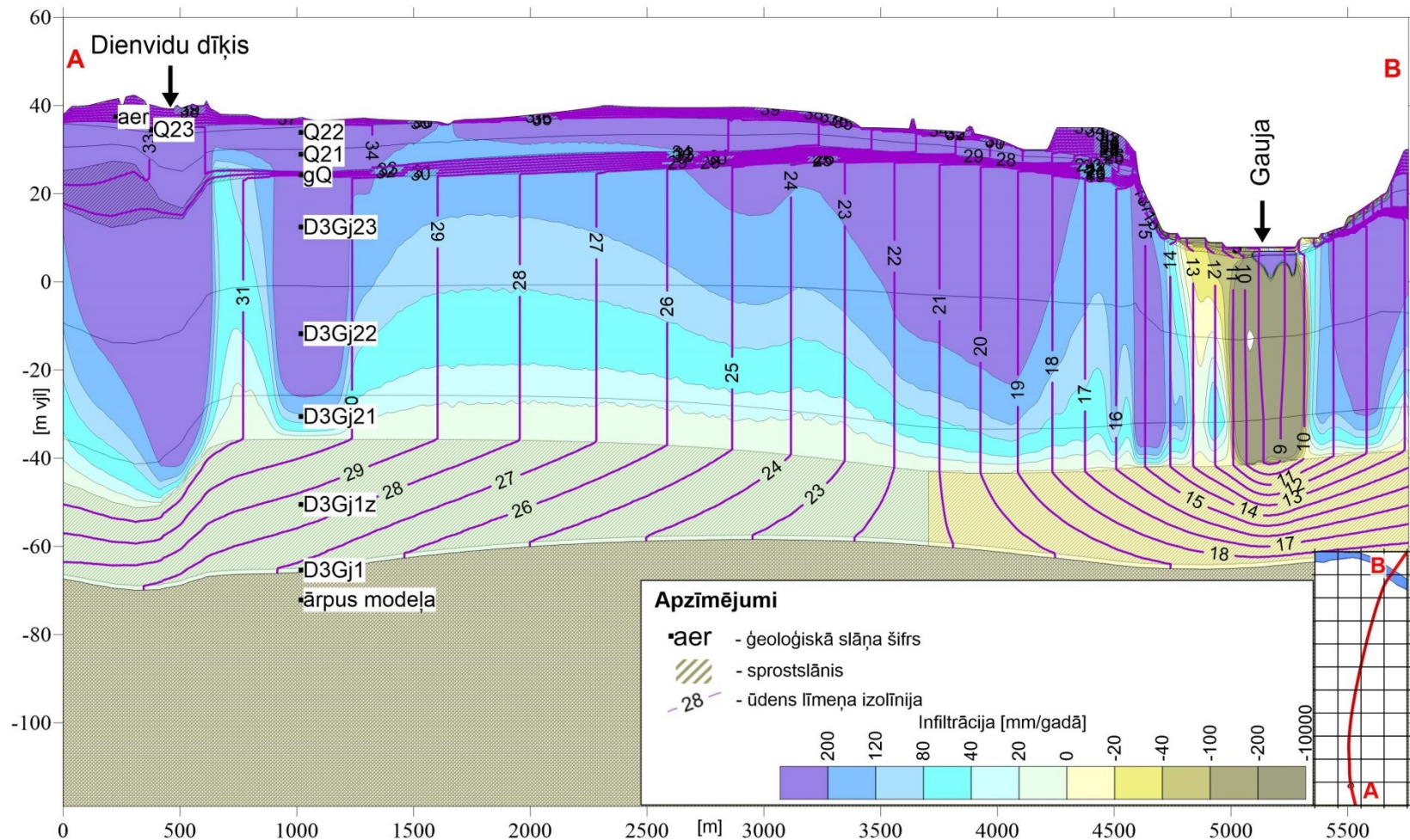
6.4. att. Gaujas horizonta D3gj1 pazemes ūdens līmeņa [m vjl] izolīniju karte [8]



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



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



6.7. att. Griezums A-B ar pazemes ūdens līmeņu [m vjl] izolīnijām un infiltrācijas plūsmu [mm/gadā] sadalījumu

Gruntsūdens stāvokļa novērtējums Dienvidu dīķa apkārtnē

Parametrs	Mērvienība	Mērlielums pazemes ūdeņiem [2]	Mērlielums a un robežlielums a vidējais aritmētiskais vērtība [2]	Robežlielumi pazemes ūdeņu stāvokļa novērtēšanai [2]	1				S41				S49				PL4				PL6				B26				IG3				
					03.2018	11.2018	04.2019	08.2019	03.2018	11.2018	04.2019	11.2019	03.2018	11.2018	04.2019	11.2019	03.2018	11.2018	04.2019	11.2019	03.2018	11.2018	04.2019	11.2019	03.2018	11.2018	04.2019	11.2019	03.2018	11.2018	04.2019	11.2019	
EV5 (20°C)	µS/cm	-	-	-	75,3	83,5	61,0	80,1	241	334	400	366	305	420	259	214	680	553	557	875	114	111	91,0	119	245	157	108	212	1359	1161	1102	1062	
pH	-	-	-	-	8,52	9,37	8,25	9,0	8,01	8,38	8,02	8,19	5,47	6,39	5,80	6,84	7,77	7,72	7,00	7,49	8,37	9,05	8,19	8,88	7,83	7,68	6,92	8,44	6,09	6,52	6,36	6,74	
Saušne	mg/l	-	-	-	48,6	59,0	52,7	46	146	216	313	206	102	275	172	153	461	401	377	512	79,2	79,6	75,8	72	176	88,9	102	137	1040	745	686	690	
Ca ²⁺	mg/l	-	-	-	11,4	13,7	12,5	10,2	40,2	59,8	89,1	54,7	13,1	65,1	30,4	28,4	121	100	96,5	129	19,9	19,2	18,7	20,7	38,1	26,7	23,0	35,3	192	135	119	117	
Mg ²⁺	mg/l	-	-	-	2,8	3,4	3,0	2,1	7,4	10,9	14,8	11,8	5,3	11,7	10,2	8,6	17,0	16,1	16,5	23,5	3,7	3,5	3,2	2,1	9,5	6,8	5,1	3,4	60,6	56,2	49,5	51,6	
Na ⁺	mg/l	-	-	-	1,5	1,7	1,5	2,9	1,5	2,5	3,0	3,3	9,5	9,5	9,0	6,4	7,5	7,2	7,4	8,9	1,4	1,6	1,4	1,4	3,1	2,9	2,3	4,8	18,1	14,7	11,2	10,8	
K ⁺	mg/l	-	-	-	0,8	0,9	0,8	1,3	1,3	1,6	1,9	1,9	3,3	3,3	3,2	2,2	3,6	3,2	3,3	3,5	0,7	0,8	0,9	1,0	2,4	2,3	1,1	2,5	5,6	5,8	5,2	4,1	
HCO ₃ ⁻	mg/l	-	-	-	35,1	42,1	38,3	38,3	135	216	322	190	12,0	225	49,5	35,1	265	267	236	298	57,1	57,2	54,2	55,4	76,5	53,5	46,0	88,8	94,0	91,5	80,5	85,3	
SO ₄ ²⁻	mg/l	-	-	-	5,2	6,2	6,0	3,2	13,7	11,9	17,7	12,9	41,6	35,4	66,7	65,1	136	100	102	150	18,1	19,0	18,1	12,6	68,6	44,6	38,4	35,8	615	457	402	423	
Cl ⁻	mg/l	-	-	-	5,9	7,1	6,8	4,1	4,5	5,2	7,5	14,3	16,1	16,2	18,4	16,5	13,5	12,6	11,8	19,3	1,5	1,7	2,1	2,9	3,1	3,0	3,4	2,9	18,2	22,6	20,3	21,7	
SVAV (anionu)	mg/l	-	-	0,2	<0,02	<0,02	0,028	<0,02	30,8	9,78	136	29,2	135	23,4	177	176	57,8	74,9	75,4	42,4	0,026	0,037	<0,02	<0,02	0,602	0,126	0,077	0,217	5,16	125	153	117	
KSP	mg/l	40	170	300	1,42	<0,5	<5,0	13,0	16,0	14,2	317	162	121	178	88,6	726	42,4	7,66	480	482	0,97	1,88	<0,5	14,0	3,64	1,66	69,0	18,0	288	133	118	780	
Benzols	µg/l	0,2	2,6	5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,1	2,71	1,93	1,39	1,18	0,41	0,82	2,39	0,75	<0,2	<0,2	0,64	0,72	<0,2	<0,2	0,55	1,32	1,43	0,78	0,93	
Toluols	µg/l	0,5	25,25	50	<0,5	<0,5	<0,5	5,05	2,95	15,5	5,85	57,1	81,5	90,1	72,4	1,75	1,1	3,30	3,53	5,5	0,51	<0,5	0,88	5,69	<0,5	<0,5	0,91	72,3	46,6	44,9	39,2		
Etilbenzols	µg/l	0,5	30,25	60	<0,1	<0,1	<0,1	0,42	0,77	2,08	0,45	2,39	1,66	1,24	1,07	1,48	1,94	1,92	2,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,2	3,92	2,83	139
Ksiloli	µg/l	0,5	30,25	60	<0,3	<0,3	<0,3	1,63	2,04	5,35	1,19	11,4	14,92	12,4	8,10	2,03	2,3	2,63	3,19	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	22,7	20,95	15,0	14,5
BTEX (summa)	µg/l	-	-	-	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	7,10	5,76	22,9	7,49	72,0	101	106	83,0	6,44	5,75	8,67	11,2	6,25	<1,1	<1,1	1,52	6,41	<1,1	<1,1	1,46	100	72,9	63,5	57,4	
Nafta C ₁₀ -C ₂₀	µg/l	-	-	1000	<50	<50	<50	<200	<50	<50	71,5	<50	221	237	316	126	233	97,6	60,5	<50	<50	60,0	<50	<50	<50	79,5	300	1790	<50	66,0	<50	<50	
Trihloroetilēns ¹	µg/l	-	-	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	39,0	37,9	73,9	46,5	78,0	89,0	102	56,4	98,3	99,2	140	126	0,15	2,99	0,15	<0,1	0,94	1,95	0,56	<0,1	237	275	178	139	
Tetrahlorgl eklijs	µg/l	-	-	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,53	1,70	1,01	2,57	79,8	53,6	60,8	29,6	0,24	0,42	1,13	0,88	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,15	0,27	<0,1	2,87	2,20	0,44	1,32	

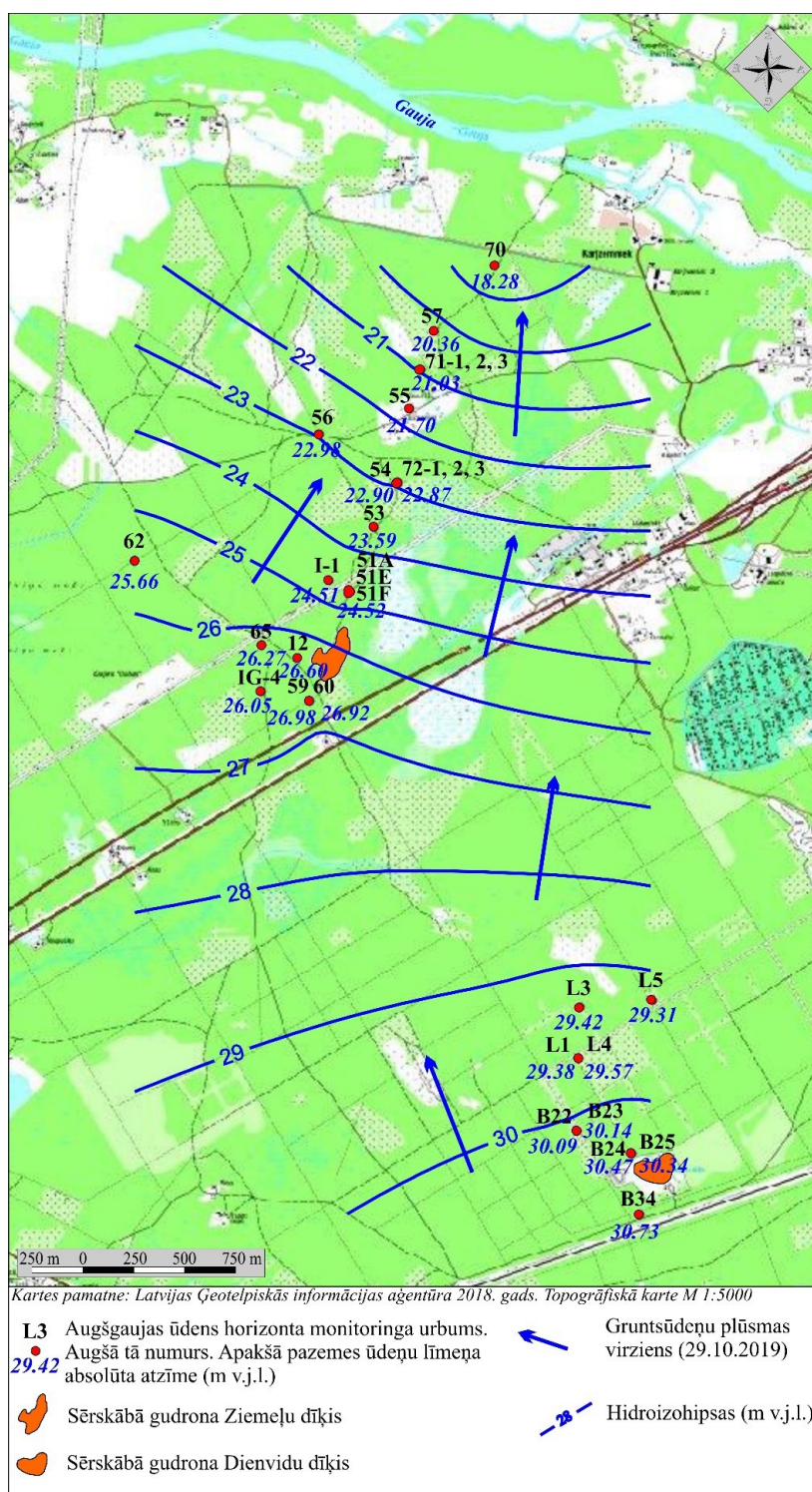
Gruntsūdens stāvokļa novērtējums Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtnē (2.3. tabula no [2])

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

Parametrs	Mērvienība	Mērķlielums pazemes ūdeņiem [2]	Mērķlieluma un robežlieluma vidējais aritmētiskais vērtība [2]	Robežlielumi pazemes ūdeņu stāvokļa novērtēšanai [2]	B23				B22				L3			L1				L1-2		L3-1		L4-18		
					03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	03.2018	11.2018	04.2019	11.2019	03.2018	10.2018	04.2019	11.2019	04.2019	11.2019	04.2019	11.2019	04.2019	11.2019
EVS (20°C)	µS/cm	-	-	-	777	778	604	80,1	2079	2030	1523	1988	1693	1785	1300	1804	2250	3500	2600	2380	111	183	3780	1895	168	285
pH		-	-	-	6,48	6,33	6,10	6,83	6,16	6,12	6,00	6,75	6,6	6,42	6,20	6,25	5,91	5,82	5,70	5,93	8,00	7,90	5,70	5,85	8,30	6,30
Sauzne	mg/l	-	-	-	606	637	480	562	1750	1700	1370	1380	1190	1240	989	1192	1850	2360	1955	1780	72,7	102	2175	1430	110	194
Ca ²⁺	mg/l	-	-	-	121	133	97,5	119	375	353	290	303	283	295	243	290	396	512	420	375	15,3	27,1	554	370	24,4	42,3
Mg ²⁺	mg/l	-	-	-	32,1	35,3	24,8	29,3	51,2	60,3	41,8	44,2	58,6	60,1	42,7	45,4	56,2	84,3	61,2	58,4	4,1	4,9	41,4	40,7	8,3	8,8
Na ⁺	mg/l	-	-	-	12,9	14,0	7,8	10,9	33,6	35,0	27,7	30,7	11,1	10,9	10,8	11,2	56,0	84,1	64,1	60,1	4,9	1,9	52,1	35,2	4,5	4,1
K ⁺	mg/l	-	-	-	2,38	2,5	1,9	2,1	15,4	14,9	12,6	11,8	2,47	2,4	2,9	3,1	9,22	13,8	12,1	9,2	0,90	0,8	7,1	6,8	1,3	1,2
HCO ₃ ⁻	mg/l	-	-	-	134	245	120	129	233	155	140	165	534	574	443	480	166	144	180	204	64,1	83,4	165	144	111	60,3
SO ₄ ²⁻	mg/l	-	-	-	318	269	254	280	1020	1100	836	820	476	473	405	508	1100	1490	1150	1100	7,4	17,7	1210	930	4,5	83,8
Cl ⁻	mg/l	-	-	-	7,9	8,2	7,1	24,1	15,6	18,5	14,1	42,5	5,8	13,5	7,1	27,1	30,6	59,9	46,8	42,2	3,9	2,4	105	68,8	5,2	10,9
SVAV (anjonu)	mg/l	-	-	0,2	40,8	18,7	74,2	42,4	186	35,2	144	71,8	52,0	28,0	65,9	42,4	91,1	37,9	123	101	0,354	0,591	110	61,4	1,20	1,54
KSP	mg/l	40	170	300	71,0	95,2	396	377	198	208	1160	998	87,2	76,1	543	522	223	264	1270	1210	<-0,5	23	1380	1450	36,8	55
Benzols	µg/l	0,2	2,6	5	0,49	0,61	0,45	0,52	0,84	1,01	0,80	0,92	0,41	0,48	0,42	0,43	0,94	1,0	0,87	1,03	<-0,2	<-0,2	0,96	1,03	<-0,2	<-0,2
Toluols	µg/l	0,5	25,25	50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	6,06	3,36	1,42	<50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,09	4,43	4,84	4,62	<0,5	<0,5	12,0	10,8	<0,5	<0,5
Etilbenzols	µg/l	0,5	30,25	60	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	2,91	2,95	2,74	3,24	0,43	0,45	0,44	0,54	1,73	1,86	2,01	2,35	<0,1	<0,1	0,74	0,84	<0,1	<0,1
Ksiloli	µg/l	0,5	30,25	60	0,72	1,0	0,71	1,13	4,64	4,88	3,79	4,76	0,61	0,72	0,61	0,87	2,84	3,17	2,91	3,92	<0,3	<0,3	1,94	2,34	<0,3	<0,3
BTEX (summa)	µg/l	-	-	-	1,21	1,61	1,16	1,65	14,4	12,2	8,75	8,92	1,45	1,65	1,47	1,84	9,60	10,5	10,6	11,9	<1,1	<1,1	15,6	15,0	<1,1	<1,1
Nafta C ₁₀ - C ₂₀	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
Trihlorētilēns ¹	µg/l	-	-	-	77,6	97,4	85,2	62,9	190	234	226	157	47,2	74,9	110	67,1	129	176	270	192	1,87	3,51	74,9	65,6	0,32	<0,1
Tetrahlōrogleklis	µg/l	-	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,22	0,13	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Pazemes ūdens stāvokļa Augšgaujas horizontā D3g₂ novērtējums Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtnē (2.4. tabula no [2])

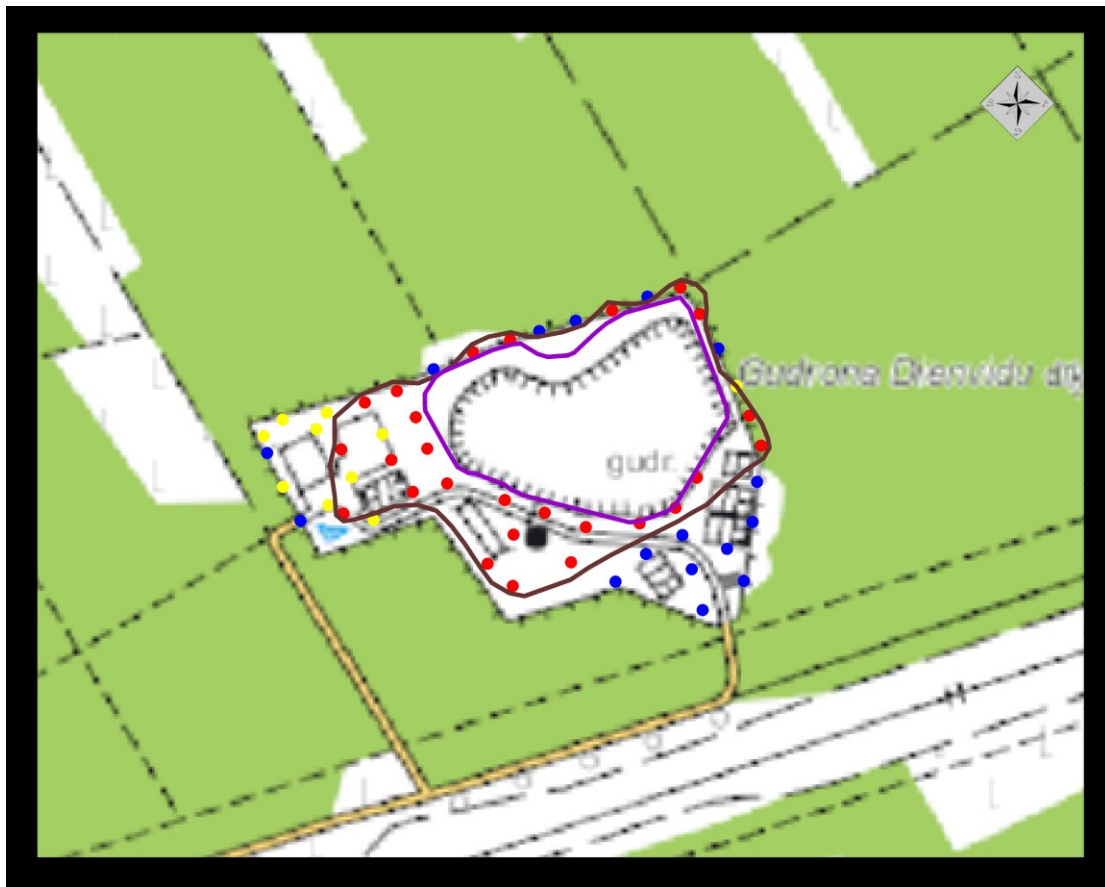
3. pielikums



Augšgaujās ūdens horizonta D3gj21 urbumu tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu un Ziemeļu dīķa apkārtnē (1.2. att. no [2])

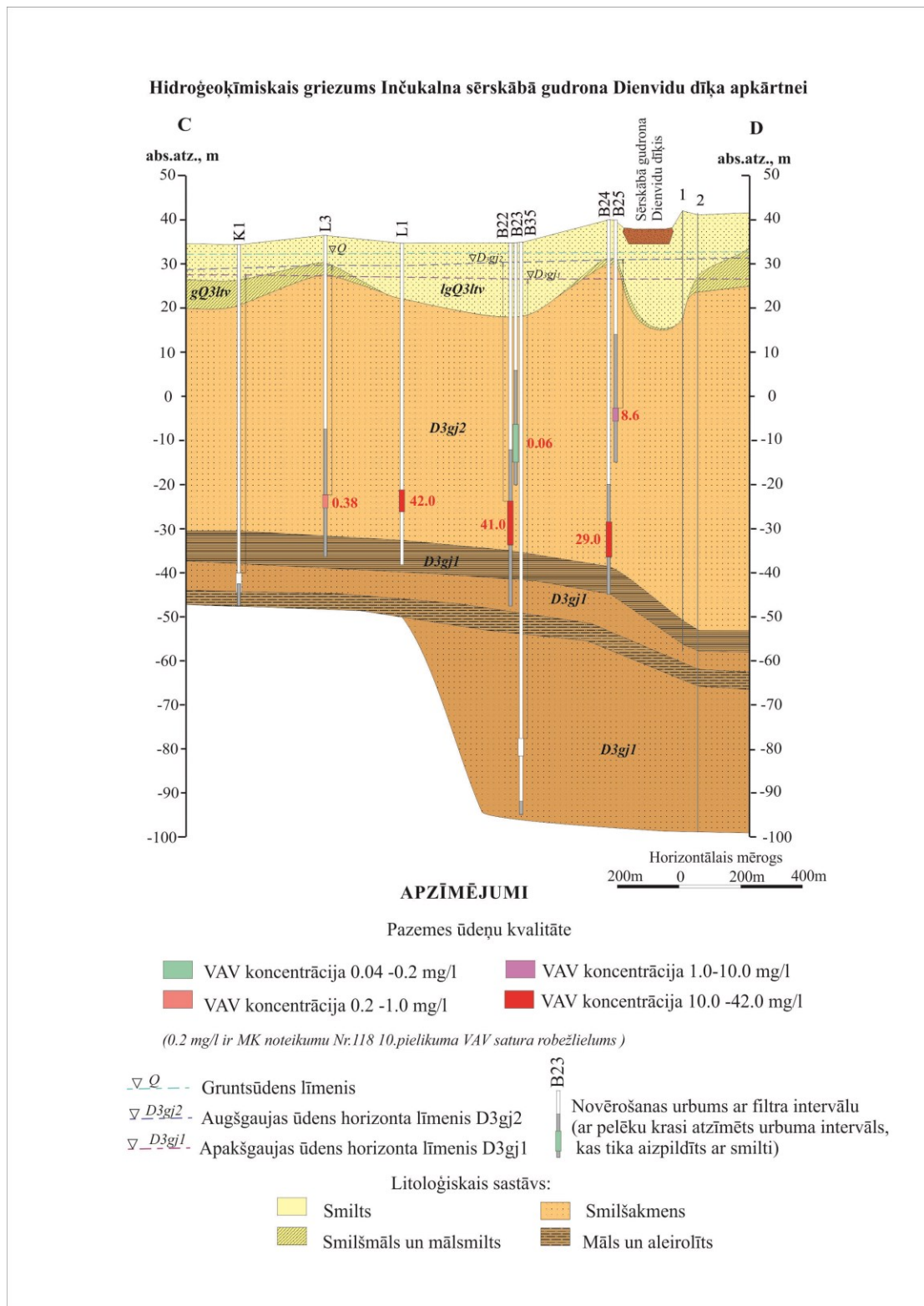


. Gruntsūdens monitoringa tīkls un plūsmas virziens Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtnē (1.1. att. no [2])



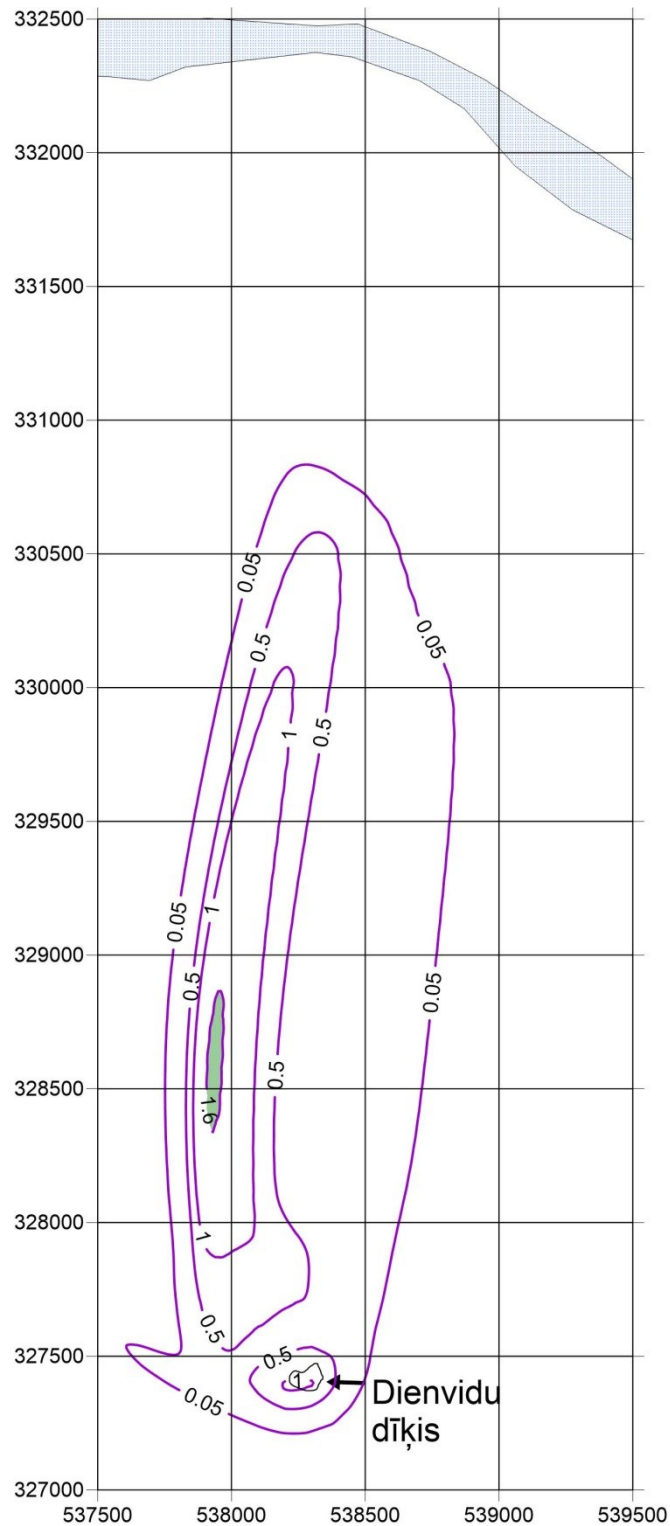
- projektētā pretinfiltrācijas pārseguma robeža
(IncDienviduParsegumaRobeza.dxf)
 - atkritumu (gudrona un smilts – gudrona) slāņa robeža
(IncDienviduAtkritumuKonturs.blm)
2020. gada aprīļa SIA “Azurīts” izpētes urbumi:
- ar gudrona un smilts – gudrona slāni
 - bez izteiktā smilts piesārņojuma
 - bez gudrona un smilts – gudrona slāni, bet ar izteikto smilts piesārņojumu

SVAV emisijas avota un pretinfiltrācijas pārseguma robežas [4]



Hidroģeoloģiskais griezumš Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu dīķa apkārtnē [14]

7. pielikums.



SVAV koncentrāciju sadalījuma izolīnijas [g/m^3] sprostslānī D3gjlz pēc sanācijas Augšgaujas horizontā.

SVAV masa sprostslānī $M_{D3gjlz} = 9672 \text{ kg}$. Piesārņotais laukums 293.5 ha ir izveidojies laikā līdz 50 gadiem, kad Augšgaujas horizonta apakšējā daļā D3gjlz1 piesārņojuma areāla kodolā koncentrācija $C > 40 \text{ g}/\text{m}^3$ (4.2.1. att.).