

**Rīgas Tehniskā universitāte
VIDES MODELĒŠANAS
CENTRS**

**Ziemeļu un Dienvidu sērskābā gudrona dīķu
pazemes ūdeņus piesārņojošo vielu masas
transporta matemātiskā modelēšana**

Gala atskaite

Pakalpojuma līgums Nr.22/12/15-I-RTU

starp personu apvienību “INTERGEO”

un

Rīgas Tehnisko universitāti

Rīga – marts, 2016

Ziemeļu un Dienvidu sērskābā gudrona dīķu pazemes ūdeņus piesārņojošo vielu masas transporta matemātiskā modelēšana

Gala atskaite ietver rezultātus, kuri darba 1. un 2. etapos iegūti ar pilnveidoto Inčukalna hidroģeoloģisko un vielu masas transporta modeļiem. Atskaitē ir 31 lpp. teksta, 79 att. un 8 pielikumi

Zin. vadītājs Dr.sc.ing. A.Spalviņš, VMC, marts 2016,.

Izpildītāji: J. Šlangens, I. Lāce, K. Krauklis, V. Škibelis, A. Mačāns, O. Aleksāns, I. Eglīte

Adrese:

Rīgas Tehniskā universitāte, Vides modelēšanas centrs

Daugavgrīvas ielā 2, Rīga, LV-1007, Latvija

Tālr.: +371 67089511, +371 67089518; Fax: +371 67089531

E-mail: emc@cs.rtu.lv

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

Zin. vadītājs un redaktors:

RTU, VMC direktors

_____A.Spalviņš

1. Priekšvārds	9
2. Piesārņojuma apjoma korekcija Gaujas horizontā D3gj2 2005. gadam	10
3. Piesārņojums Gaujas horizontā D3gj2 2015. gadā	12
4. Piesārņojuma kustības prognozēšana nulles sanācības scenārijam ar MODPATH un MT3D sistēmām	13
4.1. Ar sistēmu MODPATH iegūtās prognozes	13
4.2. Ar sistēmu MT3D iegūtās prognozes	13
5. Piesārņojuma ietekmes novērtējums uz Gaujas upi un Baltezera, Zaķumuižas un Rembergu ūdensgūtvēm	15
5.1. Gaujā ieplūstošo VAV ietekmes novērtējums	15
5.2. VAV noplūdes ietekme uz Gaujas upi	16
5.3. Gaujas piesārņojuma ietekme uz Baltezera, Zaķumuižas un Rembergu ūdensgūtvēm	16
6. Piesārņojuma kustības prognozēšana pilnās sanācības scenārijam	16.
7. Sanācības pasākumi pēc dīķu satura eskavēšanas	17
7.1. Ziemeļu dīķa sanācības pasākumi	17
7.1.1. Rievsienu izmantošanas un infiltrācijas plūsmas bloķēšanas ietekmes novērtēšana	17
7.1.2. Piesārņojuma izskalošana no horizonta Q	18
7.1.3. Piesārņotā pazemes ūdens sanācija	18
7.2. Dienvidu dīķa sanācības pasākumi	19
7.3. Rekomendācijas jaunu monitoringa urbumu izvietojumam	20
8. Reģionālā hidroģeoloģiskā modeļa pilnveidošana	20
8.1. Modeļa vertikālā shematizācija	21
8.2. Modeļa matemātiskais apraksts	22
8.3. Modeļa kalibrācija	24
9. Masas transporta modeļi MT3D un MODPATH	25
9.1. Modelis MT3D	25
9.2. Modelis MODPATH	26
10. Datormodelēšanas rezultātu izmantošana	26
11. Rezultāti un secinājumi	28
12. Literatūra	30

Attēli

1. Inčukalna gudrona dīķu piesārņojuma areāli

- 1.1. att. Ziemeļu dīķa VAV koncentrācijas [mg/l] 2005. gadā
- 1.2. att. Ziemeļu dīķa VAV koncentrācijas [mg/l] 2015.gadā
- 1.3. att. Dienvidu dīķa VAV koncentrācijas [mg/l] 2005. gadā
- 1.4. att. Dienvidu dīķa VAV koncentrācijas [mg/l] 2015.gadā
- 1.5. att. Novērotās un aprēķinātās VAV koncentrācijas urbumā Nr.51 laikā no 2005.g. līdz 2015.g.

2. Piesārņojuma kustības modelēšana nulles scenārijam

- 2.1. att. Ar MODPATH sistēmu prognozētā piesārņojuma kustība no Ziemeļu un Dienvidu dīķiem uz Gaujas upi (laika atskaite no dīķa eksistences sākuma; Ziemeļu dīķim- 1955.g. , Dienvidu dīķim- 1965.g.)
- 2.2. att. VAV masas izmaiņa Ziemeļu dīķa piesārņotajā areālā bez un ar VAV destrukcijas ievērošanas 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)
- 2.3. att. VAV masas izmaiņa Dienvidu dīķa piesārņotajā areālā bez un ar VAV destrukcijas ievērošanas 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)
- 2.4. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destrukcijas ievērošanas
- 2.5. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destrukcijas ievērošanas
- 2.6. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanu
- 2.7. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanu
- 2.8. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destrukcijas ievērošanas
- 2.9. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destrukcijas ievērošanas
- 2.10. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanu
- 2.11. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanu

2.12. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.70-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

2.13. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.20-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

2.14. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

2.15. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-8 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

2.16. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-7 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

2.17. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.30-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

2.18. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.40-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

2.19. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.50-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3. Piesārņojuma kustības modelēšana pilnās sanācijas scenārijam

3.1. att. VAV masas izmaiņa Ziemeļu dīķa piesārņotajā areālā bez un ar VAV destruktijas ievērošanas 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)

3.2. att. VAV masas izmaiņa Dienvidu dīķa piesārņotajā areālā bez un ar VAV destruktijas ievērošanas 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)

3.3. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas

3.4. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas

3.5. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destruktijas ievērošanu

3.6. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destruktijas ievērošanu

3.7. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas

3.8. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas

3.9. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destruktijas ievērošanu

3.10. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3g2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanu

3.11. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.70-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.12. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.20-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.13. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.14. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-8 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.15. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-7 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.16. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.30-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.17. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.40-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.18. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.50-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.19. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.51 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.20. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.57 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.21. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr. B22 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

3.22. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr. L3 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)

4. Inčukalna gudrona dīķu radītā piesārņojuma ietekme uz Rīgas ūdensgūtvēm

4.1. att. Piesārņojuma ceļš no Inčukalna pa Gaujas upi gar Rīgas pilsētas centrālajām ūdensgūtvēm

4.2. att. Ūdens līmeņi [m vjl] un izohronas [gadi] Q horizontā 1999.g. (vidēja ūdens ieguve)

4.3. att. Ūdens līmeņi [m vjl] un izohronas [gadi] Q horizontā 2006.g. (atbilst patreizējai ūdens ieguvei)

5. Sanācijas pasākumi pēc dīķu satura ekskavācijas

5.1. att. Ziemeļu dīķis ar pagarināto rievsienu. Pjezometrisko līmeņu sadalījums, ja infiltrācijas plūsma samazināta 1000reizes

5.2. att. Piesārņojuma izskalošana [%] horizontā Q Ziemeļu dīķim

5.3. att. Atsūknēšanas un infiltrācijas urbumi apakšhorizontā D3gj23; VAV koncentrāciju sadalījums pēc 108000 m³ piesārņotā ūdens atsūknēšanas

5.4. att. VAV masa [kg] , kura iegūta no D3gj23 apakšhorizonta, ja atsūknēti (2×108000)m³ pazemes ūdens 450 dienās (atsūknēšanas variants Nr. 1)

5.5. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfs 450 dienām urbumā Nr. 6 (atsūknēšanas variants Nr. 1)

5.6. att. Pjzometrisko līmeņu karte horizontam D3gj23 atsūknēšanas variantam 8×60 m³/dnn ar attīrītā ūdens infiltrāciju 5×96m³/dnn

5.7. att. Piesārņojuma izskalošana [%] horizontā Q Dienvidu dīķim

6. Inčukalna hidroģeoloģiskā modeļa pilnveidošana

6.1. att. Inčukalna reģionālā modeļa novietojums.

6.2. att. Galveno objektu, izmantoto urbumu un ģeoloģisko profilgriezumu izpētes datu izvietojums Inčukalna reģionālā modeļa apgabalā

6.3. att. Inčukalna modeļa bāzes karte un lokālie hidroģeoloģiskie modeļi

6.4. att. Vertikālais ģeoloģiskais griezum

6.5. att. Inčukalna modeļa reljefa izometrija 2005. gadā

6.6. att. Inčukalna modeļa reljefa izometrija 2016. gadā

6.7. att. Inčukalna modeļa reljefa izolīniju karte [m vjl]

6.8. att. Kvartāra horizonta Q ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]

6.9. att. Gaujas horizonta D3gj2 ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]

6.10. att. Gaujas horizonta D3gj1 ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]

6.11. att. Infiltrācijas plūsma [mm/gadā] caur aerācijas zonu aer

6.12. att. Plūsma [mm/gadā] caur sprotslāni gQ

6.13. att. Plūsma [mm/gadā] caur sprotslāni D3gj1z

6.14. att. Aerācijas zonas aer biezuma [m] izolīniju karte

6.15. att. Kvartāra horizonta Q biezuma [m] izolīniju karte

6.16. att. Kvartāra morēnas gQ biezuma [m] izolīniju karte

6.17. att. Gaujas horizonta D3gj2 biezuma [m] izolīniju karte

6.18. att. Gaujas horizonta sprotslāņa D3gj1z biezuma [m] izolīniju karte

6.19. att. Kvartāra horizonta Q caurplūdes [m²/dnn] izolīniju karte

6.20. att. Gaujas horizonta D3gj2 caurplūdes [m²/dnn] izolīniju karte

6.21. att. Aerācijas zonas aer vertikālo ūdens vadāmību kodola [m^2/dnn] izolīniju karte
(ūdens vadāmība=kodols $\times 10^{-4}$)

6.22. att. Kvartāra morēnas gQ vertikālo ūdens vadāmību kodola [m^2/dnn] izolīniju karte
(ūdens vadāmība=kodols $\times 10^{-4}$)

6.23. att. Gaujas horizonta sprosslāņa D3gj1z vertikālo ūdens vadāmību kodola [m^2/dnn]
(ūdens vadāmība=kodols $\times 10^{-4}$)

SATURS

Pielikumi

1. pielikums. Pazemes ūdens analīžu rezultāti Inčukalna gudrona dīķu apkārtnē 2015. gadā
2. pielikums. Inčukalna Ziemeļu dīķa spiedienūdens ķīmiskā sastāva salīdzinājums 2005.-2012. gados (51. urbums)
3. pielikums. Piesārņojuma izplatība D3gj2 horizontā Inčukalna Ziemeļu izgāztuves apkārtnē 2015. gadā
4. pielikums. Piesārņojuma izplatība D3gj2 horizontā Inčukalna Dienvidu izgāztuves apkārtnē 2015. gadā
5. pielikums. Piesārņojuma izplatība Q horizontā Inčukalna Ziemeļu izgāztuves apkārtnē 2015. gadā
6. pielikums. Piesārņojuma izplatība Q horizontā Inčukalna Dienvidu izgāztuves apkārtnē 2015. gadā
7. pielikums. Hidroģeoloģiskais griezum starp Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu un Dienvidu dīķiem
8. pielikums. Ģeoloģisko urbumu dati, kuri izmantoti atskaitē [6]

1. Priekšvārds

Gala atskaitē apkopoti datormodelēšanas rezultāti par virsmas aktīvo vielu (VAV) migrāciju Gaujas horizontā D3g2 uz Gaujas upi no Ziemeļu un Dienvidu sērskābā gudrona dīķiem un par sanācības pasākumiem, kurus var veikt pēc dīķu satura eskavācijas. Pētījums veikts Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centrā (VMC) atbilstoši līgumam Nr. 22/12/15-1-RTU starp RTU un personu apvienību INTERGEO.

Atbilstoši līguma darba uzdevumam, VMC izveidoja Ziemeļu un Dienvidu dīķu teritoriju hidroģeoloģisko modeli ar režģa plaknes soli 10 metri. Šis modelis īstenots uz 2005. gadā izveidotā reģionālā modeļa bāzes (režģa plaknes solis 100 metri), izmantojot Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa (LAMO) datus.

Darba veikšanai izmantotie modeļi izveidoti sistēmas GROUNDWATER VISTAS (GV) vidē [1], kurā tiek izmantotas programmatūras MODFLOW (hidroģeoloģiskā modeļa realizācija) [2], MODPATH [3] un MT3D [4] (piesārņojošo vielu kustības un masas transporta prognozēšanas modeļi).

Modelēšanas rezultātu grafisko materiālu sagatavošanai izmantota sistēma SURFER [5].

Pirmajā darba etapā tika modelēts piesārņojošo vielu transporta process nulles scenārijam, kas atbilst esošajai situācijai. Etapa atskaitē tika iesniegti rezultāti:

- galvenie dati par izmantotajiem modeļiem.
- piesārņojuma apjoma novērtējums;
- piesārņojuma migrācijas dinamikas apraksts Gaujas horizontā D3g2;
- piesārņojuma koncentrācijas Gaujas upē noplūdušajos pazemes ūdeņos;
- aprēķinātās Inčukalna gudrona dīķu piesārņojošo vielu koncentrācijas Gaujas upē kā virszemes ūdensobjektā;
- novērtējums par Gaujas upes piesārņojuma ietekmi uz Baltezera, Zaķumuižas un Remberģu ūdensgūtvēm;

Līguma pirmā etapa uzdevums paredzēja arī sulfātu migrācijas modelēšanu D3g2 horizontā. Tomēr tas netika īstenots, jo 2015 gadā novērotās maksimālās sulfātu koncentrācijas bija tikai 570 mg/l un 640 mg/l Ziemeļu un Dienvidu dīķu piesārņojuma areāliem. Tās nebūtiski pārsniedza pat dzeramajam ūdenim pieļaujamo 250 mg/l koncentrāciju. Atbilstoši MK noteikumiem Nr. 34. 1. un 2. pielikumam, sulfāti nav definēti kā bīstamas vielas un tām nav noteikti ūdens kvalitātes normatīvi pazemes ūdens stāvokļa novērtēšanai. Sulfātu piesārņojums darba teritorijā nerada būtisku kaitējumu cilvēkiem un videi un tāpēc tā migrācija D3g2 horizontā netika modelēta.

Otrajā darba etapā tika modelēti dīķu pilnās sanācības scenārijs un sanācības pasākumi, kurus var īstenot pēc gudrona dīķu satura eskavācijas:

- Ziemeļu dīķim modelēta rievsienu izmantošanas un infiltrācijas plūsmas bloķēšanas ietekme, piesārņojuma izskalošana no horizonta Q un piesārņoto pazemes ūdeņu sanācija;
- Dienvidu dīķim modelēta infiltrācijas plūsmas bloķēšanas ietekme un piesārņojuma izskalošana no horizonta Q;
- dotas rekomendācijas par papildus monitoringa urbumu izvietojumu;
- iesniegti dati par hidroģeoloģisko un vielu masas transporta modeļiem, kuri varētu būt vajadzīgi modelēšanas rezultātu pārbaudei;

2. Piesārņojuma apjoma korekcija Gaujas horizontam D3gj2 2005. gadam

Ziemeļu un Dienvidu dīķu apkārtnē 2004.-2005.gados tika veikti elektroizpētes darbi (piesārņojuma mineralizācijas areālu atrašana) un pazemes ūdens ķīmiskā sastāva noteikšana gruntsūdens horizontā Q un smilšakmens Gaujas spiedūdens horizontā D3gj2. Diemžēl, toreiz nebija izveidoti urbumi (kā 2015. gadā), kuri dotu iespēju noskaidrot piesārņojošo vielu (sulfātu un VAV) koncentrāciju vertikālo sadalījumu horizontā D3gj2. VMC speciālisti, izmantojot šo pētījumu datus [12, 13. 14], 2005. gadā ar matemātiskās modelēšanas metodēm ieguva prognozes par piesārņojuma migrācijas laiku uz Gaujas upi, novērtējumu par sulfātu un VAV apjomu 2005. gadā un rekomendēja Ziemeļu un Dienvidu dīķu satura likvidāciju kā neatliekamu pasākumu [7].

Sulfātu koncentrācijas abiem dīķu piesārņojuma areāliem 2015.gadā nepārsniedz 640 mg/l (skat. 1. pielikumu). Tas liecina par to nenozīmīgo lomu Inčukalna pazemes ūdeņu piesārņojumā. Tāpēc sulfātu piesārņojums nav analizēts.

Dati par 2005. gadā prognozēto VAV piesārņojuma apjomu pazemes ūdenī skatāmi 2.1. tabulā.

2.1. tabula

2005. gadā prognozētais VAV piesārņojums Gaujas horizontā D3gj2
Ziemeļu un Dienvidu dīķu areālos (dati no [7])

N.p.k.	Parametrs	Ziemeļu dīķis	Dienvidu dīķis
1.	Piesārņotais laukums [ha]	148	139
2.	Vidējais D3gj2 horizonta biezums piesārņotajā laukumā [m]	44.2	49.9
3.	Piesārņotais horizonta tilpums [m ³]	65.4×10^6	69.4×10^6
4.	Piesārņotā ūdens tilpums [m ³]	17.65×10^6	18.73×10^6
5.	Virsmas aktīvo vielu masa [kg]	1.06×10^5	1.31×10^5
6.	Vidējā virsmas aktīvo vielu koncentrācija [mg/l]	6.0	7.0

Jāatzīmē, ka 2.1. tabulas dati atspoguļo visnelabvēlīgākās prognozes VAV piesārņojuma apjomu aprēķinam: horizontā D3gj2 piesārņojums ir vienmērīgi sadalīts; piesārņoto areālu laukumi L_Z un L_D Ziemeļu un Dienvidu dīķiem ir lielāki par mineralizācijas areāliem, kuri ir doti atskaitēs [12, 13]. Minēto iemeslu dēļ bija jākorrigē 2005. gada prognozes.

Aprēķins 2005. gadā veikts šādā secībā:

- zinot nulles koncentrāciju kontūra izvietojumu, noteikts piesārņojuma areāla laukums L ;
- nosaka vidējo D3gj2 horizonta biezumu m_{vid} piesārņotajam areālam;
- aprēķina piesārņoto horizonta tilpumu $V_{hor}=L \cdot m_{vid}$, jo 2005. gadā nebija datu par nevienmērīgo vertikālo piesārņojuma koncentrāciju sadalījumu D3gj2 horizontā;
- aprēķina piesārņotā ūdens tilpumu $V=0.27V_{hor}$; 0.27 ir horizonta porainība;
- izmantojot piesārņojuma koncentrāciju sadalījumu areālos L , ar SURFER aprēķina vidējo VAV koncentrāciju C_{vid} areālā;
- aprēķina piesārņojuma masu horizontos $M [kg] = C_{vid} [kg/m^3] \times V [m^3]$.

Aprēķinā izmantotās koncentrāciju C_{vid} proporcijas apakšhorizontos D3gj21, D3gj22, D3gj23 un to vidējie biezumi m_{vid} piesārņojuma areālos skatāmi 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Piesārņojuma vidējo koncentrāciju proporcijas D3gj2 slāņa apakšhorizontos
un to biezumi 2005. gada aprēķinos

Parametrs	Apakšhorizonti		
	D3gj21	D3gj22	D3gj23
VAV proporcija	1.0	1.0	1.0
Vidējais slāņa biezums Ziemeļu dīķim [m]	17.10	17.10	10.0
Vidējais slāņa biezums Dienvidu dīķim [m]	19.95	19.95	10.0

Ja 2015. gadā ir konstatēts, ka apakšhorizontos D3gj21 un D3gj22 irniecīga VAV koncentrācija, tad šiem slāņiem 2.2. tabulā proporcija “1; 1; 1” ir jāizmaina uz “0; 0; 1”.Ja pieņem, ka visa piesārņojuma masa migrē uz Gaujas upi slānī D3gj23, kura biezums ir 10 metri (iespējams, ka šis biezums ir mazāks [15, 16]), tad šī korekcija Ziemeļu un Dienvidu dīķiem samazina piesārņojuma masu pazemes ūdenī 4.42 un 4.99 reizes.

Mazāka ietekme ir piesārņoto areālu laukumu L_Z un L_D korekcijai ($L_Z = 148 \text{ ha} \rightarrow 108 \text{ ha}$); ($L_D = 139 \text{ ha} \rightarrow 91 \text{ ha}$). Koriģētie laukumi atbilst atskaitēs [12, 13] dotajiem mineralizācijas areāliem, kuri atrasti ar elektroizpētes metodēm. Ziemeļu un Dienvidu dīķiem laukumu L_Z un L_D korekcija samazina piesārņojuma masu šiem dīķiem 1.37 un 1.53 reizes. Koriģēto laukumu L_Z un L_D izmantošana nemaina koncentrāciju C_{vid} Ziemeļu dīķim, bet palielina to 1.2 reizes Dienvidu dīķim, jo tā 2005. gada piesārņojuma areāla robežas zonā VAV koncentrācijas bija tuvas nullei. Tāpēc samazinātajā laukumā L_D pieauga C_{vid} (7.0→8.5).

Nav pamatota iemesla mainīt horizonta D3gj2 porainības vērtību 0.27, kura noteikta kalibrējot Inčukalna modeli 2005. gadā.

Koriģētā prognoze par VAV piesārņojumu 2005. gadā dota 2.3. tabulā.

2.3. tabula

Koriģētā prognoze par VAV piesārņojumu Gaujas horizontā D3gj2
Ziemeļu un Dienvidu dīķu areālos 2005. gadā

N.p.k.	Parametrs	Ziemeļu dīķis	Dienvidu dīķis
1.	Piesārņotais laukums [ha]	108	91
2.	Piesārņotā D3gj23 horizonta biezums [m]	10	10
3.	Piesārņotais horizonta tilpums [m^3]	10.8×10^6	9.1×10^6
4.	Piesārņotā ūdens tilpums [m^3]	2.92×10^6	2.46×10^6
5.	Virsmas aktīvo vielu masa [kg]	1.75×10^4	2.09×10^4
6.	Vidējā virsmas aktīvo vielu koncentrācija [mg/l]	6.0	8.5
7.	Piesārņojuma masas samazinājums [reizes]	6.06	6.27

Šīs tabulas pēdējā rindā dots VAV masas samazinājums (~6 reizes), ja koriģē 2005. gada aprēķina datus, ņemot vērā nevienmērīgo piesārņojuma koncentrācijas vertikālo sadalījumu (samazina masu ~4 reizes) un piesārņoto areālu laukumu izmēru samazināšanos (~1.5 reizes).

Koriģētie 2005. gada VAV dati iegūti pilnveidotajā modelī ar režģa soli 10 metri (2005. gadā solis 100 metri). Tāpēc 2.3. tabulā precīzāk novērtēti piesārņojuma areāla laukumi L_Z un L_D kā arī VAV koncentrācija C_{vid} .

3. Piesārņojums Gaujas horizontā 2015. gadā

No INTERGEO ir saņemti analīžu rezultāti par pazemes ūdens ķīmisko sastāvu novērošanas urbumos 2015. gadā (skat. 1., 7. pielikumu). Pirmo reizi ar datiem no jaunajiem urbumiem ir pierādīts, ka piesārņojums migrē uz Gaujas upi tikai horizonta D3gj2 apakšējā daļā (Inčukalna modelī apakšhorizontā D3gj23). Šis atklājums ļauj prognozēt, ka pazemes ūdeņos migrējošā piesārņojuma masa ir būtiski mazāka (~6 reizes) par 2005. gadā prognozēto (skat. 2. iedaļu). Diemžēl, VMC rīcībā nebija datu par piesārņojuma areālu (īpaši to frontes daļu) izmaiņu laikā no 2005. gada līdz 2015. gadam. Par šo areālu izmaiņām no 1997. gada līdz 2005. gadam varēja spriest, izmantojot elektroizpētes rezultātus 1997. un 2005. gados abiem dīķiem.

Datu analīze urbumos Nr.71-1 un Nr.57 dod aptuvenu novērtējumu attālumam (~300metri), par kuru Gaujas virzienā desmit gadus ir migrējusi Ziemeļu dīķa piesārņotā areāla fronte (skat. 3. pielikumu). Šobrīd nav drošu ziņu (īpaši Dienvidu dīķim) par piesārņoto areālu kustības virzienu un ātrumu (skat. 4. pielikumu).

Dati par prognozēto VAV piesārņojumu 2015. gadā horizontā D3gj2 ir apkopoti 3.1. tabulā.

3.1.tabula

Prognozētais VAV piesārņojums 2015. gadā Gaujas horizontā D3gj2

N.p.k.	Parametrs	Ziemeļu dīķis	Dienvidu dīķis
1.	Piesārņotais laukums [ha]	108	91
2.	Piesārņotā ūdens tilpums [m^3]	2.92×10^6	2.46×10^6
3.	Vidējā VAV koncentrācija [mg/l]	2.9	12.7
4.	VAV masa [kg]	0.84×10^4	3.05×10^4
5.	Izmaiņa pret 2005. gadu [reizes]	0.48	1.49

VAV koncentrāciju sadalījumā 2015. gadā ir izmantoti 2005. gadā noteiktie mineralizācijas areāli, jo 2015. gadā nav droši zināmas to formas izmaiņas pēdējo desmit gadu laikā (skat. 3. un 4. pielikumu). VAV koncentrāciju sadalījumi 2005.g. un 2015.gadā Ziemeļu un Dienvidu dīķiem skatāmi, attiecīgi, 1.1., 1.2., 1.3., 1.4. att..

Vidējās VAV koncentrācijas izmaiņas raksturs Ziemeļu un Dienvidu dīķiem ir atšķirīgs: Ziemeļu dīķim C_{vid} samazinās 0.48 reizes, bet Dienvidu dīķim pieaug 1.49 reizes. Izmaiņu raksturu varētu skaidrot ar atšķirīgiem VAV nokļūšanas apstākļiem pazemes ūdenī abos dīķos:

- Ziemeļu dīķis ir vismaz desmit gadus “vecāks” (eksistē 60 gadus) par Dienvidu dīķi; Ziemeļu dīķī piesārņojuma avotu veido gudrona un smilšu maisījums. Šo iemeslu dēļ varētu samazināties ūdens vadāmība dīķa pamatnē grunts poru piesārņojuma dēļ ar naftas produktiem;
- nav pazīmju, ka VAV izplūdes intensitāte no Dienvidu dīķa pēdējo desmit gadu laikā ir samazinājusies; iespējams, ka gudrona masas ekskavācijas darbu dēļ, izplūdes intensitāte ir pat pieaugusi.

Par noplūdes intensitātes samazināšanos no Ziemeļu dīķa liecina novērotās VAV koncentrāciju izmaiņas urbumā Nr.51 laikā no 2005. gada līdz 2015. gadam (skat 1.5. att. un 2.pielikumu). VAV koncentrācijas šajā urbumā samazinās straujāk, nekā to prognozē VAV destruktijas grafiks, ja $t_{05}=15$ gadi.

Prognoze par VAV koncentrācijas C_t izmaiņām laikā t , ja dots $t_{0.5}$, iegūtas ar formulu [19]:

$$C_t = C_0 / \exp (0.7t / t_{0.5}) \quad t_{0.5} = 0.7 t / \ln(C_0 / C_t) , \quad (3.1)$$

kur C_0 ir sākuma koncentrācija.

Ja VAV koncentrācijas samazināšanos urbumā Nr.51 būtu izsaukusi tikai destrukcija, tad pie $t_{0,5} \sim 9.5$ gadi 2015. gadā VAV masai Ziemeļu dīķa areālam būtu jāsamazinās ~ 64 reizes= 2^6 (6 pussabrukšanas cikli). Ja $t_{0,5} = 15$ gadi, tad samazinājums ir ~ 16 reizes= 2^4 , šķiet, ka $t_{0,5} = 15$ gadi dod ticamāku prognozi par VAV masas samazināšanos 60 gadu laikā.

Šobrīd reālā saite (VAV noplūdes intensitāte) starp gudrona dīķiem un pazemes ūdeni nav zināma, un tāpēc nulles varianta modelēšanai Ziemeļu un Dienvidu dīķos slānī D3gj23 kā sākuma koncentrācijas izmantotas 2015. gadā novērotās koncentrācijas (1.2. att. un 1.4. att.). Saiti ar dīķiem ievēro fiksējot Ziemeļu un Dienvidu dīķu laukumos VAV koncentrāciju, kura ir 1.2. att. un 1.4. att. sadalījumos.

4. Piesārņojuma kustības prognozēšana nulles scenārija gadījumam ar MODPATH un MT3D sistēmām

4.1. Ar sistēmu MODPATH iegūtās prognozes

Sistēma MODPATH prognozē ūdens daļiņu kustības trajektoriju telpā un laikā hidroģeoloģiskā modeļa vidē. Ar šīs sistēmas palīdzību Inčukalna modelī iegūti piesārņojuma areālu centrālās daļas kustības virzieni un ātrumi to ceļā uz Gaujas upi no Ziemeļu un Dienvidu dīķiem horizontā D3gj2 kā arī piesārņojuma migrācijas laika novērtējumus caur sprostslāni D3gj1z uz horizontu D2gj1. Ar MODPATH iegūtā prognoze par VAV kustību no Ziemeļu un Dienvidu dīķiem uz Gaujas upi skatāma 2.1. att. Šī prognoze būtiski neatšķiras no 2005. gada prognozēm [7]: Ziemeļu un Dienvidu dīķu VAV areāli sasniegs Gauju pēc ~ 25 un $\sim (70-80)$ gadiem. VAV piesārņojums var sasniegt D3gj1 horizontu (caur D3gj1z sprostslāni) pēc ~ 1000 gadiem (sākot no dīķu ierīkošanas laika), t.i., horizonta D3gj1 piesārņošanas varbūtība ar VAV ir maza.

4.2. Ar sistēmu MT3D iegūtās prognozes

Sistēma MT3D prognozē Ziemeļu un Dienvidu piesārņojuma areālu masas kustību telpā un laikā hidroģeoloģiskā modeļa vidē.

Par dīķu VAV areālu masas transportu nulles variantam iegūtas šādas prognozes:

- VAV masas izmaiņas 80 gadu laikā, ja nav un ir ievērota VAV destrukcija;
- VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā 2015. gadā un 2055. gadā ja nav ievērota VAV destrukcija;
- VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā 2055. gadā un 2095. gadā ja nav ievērota VAV destrukcija;
- VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā 2015. gadā un 2055. gadā ja ir ievērota VAV destrukcija;
- VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā 2055. gadā un 2095. gadā ja ir ievērota VAV destrukcija;
- VAV koncentrāciju hidrogrāfi virtuālos monitoringa urbumos bez VAV destrukcijas ievērošanas;
- VAV koncentrāciju hidrogrāfi virtuālos monitoringa urbumos ar VAV destrukcijas ievērošanu.

Visos ar sistēmu MT3D veiktajos skaitliskajos eksperimentos ir ievērota vielu advekcija un dispersija, VAV pussabrukšanas laiks $t_{0,5}=15$ gadi (rekomendēts grāmatā [19]).

Izmantota MOC (method of characteristics) metode, laika solis 73 dnn (0.2 gadi). Horizontālā dispersija $D_h=2$ metri; sānu dispersija $D_r=0.2$ metri; vertikālā dispersija $D_v=0.02$ metri. Šo dispersiju attiecība 1 : 0.1 : 0.01 atbilst [4] rekomendācijām.

Nav modelēta sorbcijas ietekme horizontā D3gj2, jo piesārņojuma areālu kustības ātrums v_R praktiski neatšķiras no pazemes ūdens kustības ātruma v_A (advekcija). Sorbcijas ietekmē R reizes samazinās piesārņojuma areāla kustības ātrums [19]:

$$v_R = v_A / R, \quad R = 1 + (\rho_b / \theta) k_D, \quad (4.1)$$

kur R , ρ_b , θ , k_D ir kustības ātruma palēninājums; porainās grunts blīvums [kg/m^3]; porainība; koncentrāciju sadalījuma koeficients gruntī un ūdenī [m^3/kg]. Inčukalna gadījumā: $\rho_b = 2.0$, $\theta = 0.27$, t.i., $R = 1 + 7.4 k_D$, ja $R \sim 1$, tad $k_D \sim 0$ (nav sorbcijas).

Difūzijai varētu būt ietekme horizontā Q, kurā VAV piesārņojuma areāli abiem dīķiem ir mazkustīgi, t.i., ir minimāla advekcijas ietekme [19].

No 2.2. att. un 2.3. att. grafikiem var secināt, ka nulles sanācijas variantam abiem dīķiem turpinās VAV masas palielināšanās D3gj2 horizontā, ja nav ievērota VAV destrukcija. Ziemeļu dīķa variantam piesārņojuma areāls sasniedz Gauju un tāpēc VAV masa sāk samazināties, jo notiek VAV ieplūšana upē. Arī Dienvidu dīķa areāla fronte ir sasniegusi Gauju (skat. 2.3. att. un 2.11. att.).

Ja tiek ievērota VAV destrukcija (2.2. att. un 2.3. att.), tad abu dīķu gadījumā notiek VAV masas samazināšanās.

No VAV masas izmaiņas grafikiem 2.2. att. un 3.3. att. var iegūt datus par VAV ieplūdes intensitāti horizontā D3gj2 no Ziemeļu un Dienvidu dīķiem, attiecīgi, $4000/30 = 133 \text{ kg/gadā}$ un $20000/36 = 555 \text{ kg/gadā}$. Šie dati izmantoti 10.1. tabulā sanācijas scenāriju vērtēšanai.

Pirmajos 15 gados pēc Gaujas upes sasniegšanas (~2040. gadā, t.i., pēc ~25 gadiem), Gaujas upē ieplūst tikai niecīga daļa no Ziemeļu areāla VAV masas (skat. VAV masas grafiku (2.2. att.), ja nav ievērota VAV destrukcija). Tas notiek tāpēc, ka Gauju pirmā sasniedz VAV areāla frontes daļa, kurā ir mazas VAV koncentrācijas (skat. 2.4. att. VAV koncentrāciju sadalījumu D3gj23 apakšhorizontā 2055. gadā). Salīdzinot ar 2015. gada VAV areālu, 2055. gadā areāla laukums šajā apakšhorizontā ir pieaudzis dispersijas ietekmē (arī areāla frontes daļā pie Gaujas), taču VAV koncentrācija dispersijas zonā ir zema. Šis apstāklis papildus samazina Gaujā ieplūdušo VAV masu.

Ja tiek ievērota VAV destrukcija, tad VAV areāla koncentrācijas D3gj2 horizontā 2055. gadā (skat. 2.6. att.) ir stipri zemākas nekā 2015. gadā (salīdzināt 2.4. att. un 2.6. att.).

Kā izmainās VAV koncentrācija laikā no 2055.g. līdz 2095.g., parādīts 2.5. att. un 2.7. att. variantiem bez un ar destrukciju. Ja ievērota VAV destrukcija, tad pie Gaujas upes maksimālās VAV koncentrācijas nepārsniedz 0.3 mg/l (skat. 2.7. att. un 2.14. att.-2.16. att.).

Par VAV koncentrāciju izmaiņām pēc 40 gadiem Dienvidu dīķa piesārņojuma areālā var spriest pēc 2.8. att. un 2.10. att. koncentrāciju sadalījuma, ja nav un ir ievērota VAV destrukcija. Ja ievērota VAV destrukcija, tad VAV koncentrācija ievērojami samazinās.

VAV koncentrāciju izmaiņas laikā no 2055.g. līdz 2095. g. skatāmas 2.9. att. un 2.11. att. variantiem bez un ar VAV destrukciju. Areāla fronte 2095. gadā ir sasniegusi Gaujas upi (2.9. att.).

Lai būtu iespējams reģistrēt VAV koncentrāciju izmaiņas laikā, MT3D sistēmā izveidotas virtuālu monitoringa urbumu kopas apakšhorizontos D3gj21, D3gj22, un D3gj23. Ziemeļu dīķa gadījumā izveidoti trīs virtuāli urbumi nr. 70, 20, 10. Monitoringa urbuma apakšindeksi -7; -8; -9; norāda uz to atrašanos apakšhorizontos D3gj21, D3gj22, D3gj23 (modeļa slāņi nr. 7, 8, 9; skat. 7.1. tabulu). Monitoringa urbumu izvietojums skatāms 2.4. att. - 2.7. att.

Dienvidu dīķa piesārņojuma areāla kustības novērošanai izveidoti monitoringa urbumi nr. 30-9, 40-9 un 50-9. Urbumu izvietojums skatāms 2.8. att.- 2.11. att.

Virtuālie monitoringa urbumi abiem dīķiem kalpo tikai modelēšanas vajadzībām un nav rekomendācija reālu monitoringa urbumu izveidošanai. Tuvākajiem 20 gadiem monitoringam var rekomendēt urbumus Nr. 51E, 57, 72-1, 71-1 un 70 Ziemeļu dīķim un urbumus Nr. B22, L1 un L3 Dienvidu dīķim.

Praktiski visiem hidrogrāfiem ir laika posmi, kuros notiek neregulāras koncentrāciju izmaiņas. Šī parādība skaidrojama ar MOC metodes rezultātu lokālu nestabilitāti. Par šādu apgabalu eksistenci

liecina koncentrāciju sadalījumi 2.4. att. – 2.11. att. Šādos apgabalos aprēķinātajām koncentrācijām ir haotisks raksturs.

Ziemeļu dīķa gadījumā urbumiem 70-9, 20-9, 10-9, 10-8, 10-7 hidrogrāfi skatāmi 2.12. att. - 2.16. att. Vienā attēlā ir divi hidrogrāfi, kuri atbilst variantiem bez un ar destruktijas ievērošanu. Variantam, kurā ievērota VAV destruktija, VAV koncentrācijas hidrogrāfiem ir būtiski zemākas.

Dienvidu dīķa gadījumā virtuālo urbumu Nr. 30-9, 40-9 un 50-9 hidrogrāfi skatāmi 2.17.att. – 2.19. att. Ja ievērota VAV destruktija, tad pēc 80 gadiem urbumos Nr. 40-9 un 50-9 VAV koncentrācijas nepārsniedz 0.4 mg/l (skat. 2.18. att. un 2.19. att).

5. Piesārņojuma ietekmes novērtējums uz Gaujas upi un Balteзера, Zaķumuižas un Rembergu ūdensgūtvēm

5.1. Gaujā ieplūstošā VAV ietekmes novērtējums

Prognozes, kuras iegūtas ar MT3D sistēmu, liecina, ka pirmajos 15 gados no Ziemeļu dīķa areāla Gaujas upē ieplūstošā VAV masa būs maza. No lokālo piesārņojuma areālu formas rakstura urbuma Nr.10 apkārtnē (skat. 2.4. att.) var secināt, ka VAV ieplūst Gaujā caur poligonu, kura robeža ir VAV nulles koncentrāciju izolīnija D3gj23 apakšhorizontā. Poligonam ir austrumu – rietumu virzienā izstiepta ovāla forma. Poligona laukums ir 6.6 ha. Caur šo poligonu Gaujas upē ieplūst 0.35 kg/dnn un 0.056 kg/dnn VAV masas variantiem, kuriem nav un ir ievērota VAV destruktija. Poligona pazemes ūdens plūsmu balance dota 5.1. tabulā.

5.1. tabula

Pazemes ūdens plūsmu [m^3/dnn] balance VAV ieplūdes poligonam zem Gaujas upes

Horizonta kods	Plūsmas [m^3/dnn]		
	Caur apakšu	Caur augšu	Caur sāniem
D3gj21	560	-950	390
D3gj22	210	-560	350
D3gj23	3	-210	207

VAV masa iekļūst poligonā caur apakšhorizonta D3gj23 sānu virsmu (plūsma 207 m^3/dnn). Vertikālā pazemes ūdens plūsmā VAV tiek aizvests līdz Gaujas upei caur apakšhorizonta D3gj21 augšas virsmu (plūsma 950 m^3/dnn). Vertikālās plūsmas pieaugums poligonā ir izskaidrojams ar nepiesārņoto ($C_{vid}=0$) sānu plūsmu (350 m^3/dnn un 390 m^3/dnn) ietekmi apakšhorizontos D3gj22 un D3gj21. Balances analīze liecina, ka poligonā VAV tiek atšķaidīts ~ 4.5 reizes (950/207). Tāpēc Gaujā ieplūstošajam VAV $C_{vid} \sim 0.36 \text{ mg/l} = (0.34\text{kg/dnn}/ 950 \text{ m}^3/\text{dnn})$ un $C_{vid} \sim 0.059 \text{ mg/l} = (0.056\text{kg/dnn}/950 \text{ m}^3/\text{dnn})$ atbilst variantiem bez un ar VAV destruktijas ievērošanu.

Ja ir spēkā pieņēmums par VAV vienmērīgo sadalījumu D3gj2 horizontā (kā 2005. gadā), tad VAV koncentrācijas samazināšanās VAV ieplūdes apgabalā nenotiek, jo apakšhorizontos D3gj21 un D3gj22 ir tāda pati VAV koncentrācija kā slānī D3gj23.

Laika gaitā ir sagaidāma VAV koncentrācijas pieaugšana (īpaši variantam bez VAV destruktijas ievērošanas). Urbuma Nr.10 hidrogrāfos (skat. 2.14. att., 2.15. att. un 2.16. att.) ir reģistrētas maksimālās VAV koncentrācijas C_{max} (3.0-1.5) mg/l un (0.5-0.3) mg/l, kuras atbilst variantiem bez un ar VAV destruktijas ievērošanu. VAV koncentrāciju sadalījums šajā poligonā nav viendabīgs (skat. 2.4. att.) un tāpēc C_{vid} ir būtiski mazāks par C_{max} .

Jāatzīmē, ka VAV ietekmes poligonu Gaujas upē varēja atrast un izpētīt tikai pilnveidotajā Inčukalna modelī ar režģa plaknes soli 10 metri.

5.2. VAV noplūdes ietekme uz Gaujas upi

Ja no Ziemeļu dīķa noplūdušās VAV ar koncentrāciju C_{vid} nokļūs Gaujas upē, notiks VAV atšķaidīšanās ar Gaujas ūdeni. Pēc atšķaidīšanās, VAV koncentrācija samazināsies līdz C_{Gauja} . Prognozi koncentrācijai C_{Gauja} dod izteiksme:

$$C_{Gauja} = C_{vid} (q_{inc} / q_{Gauja}), \quad (5.1)$$

kur q_{inc} un q_{Gauja} – ūdens plūsmas VAV ietekes poligonā ($950 \text{ m}^3/\text{dnn}$) un Gaujas upē. No atskaides [11] iegūstam $2430 \text{ tūkst. m}^3/\text{dnn}$ (pazemes pietece Gaujas upei līdz Inčukalna posmam). No grāmatas [18] datiem secinām, ka $2/3 - 3/4$ no upes pilnās plūsmas veido virszemes noteces ūdens. Tāpēc vidējā Gaujas upes plūsma $q_{Gauja} \sim 3.5 \times 2430 \sim 8500 \text{ tūkst. m}^3/\text{dnn}$. Pēc sajaukšanās ar Gaujas ūdeni, $C_{Gauja} \sim C_{vid} / 9000$, t.i., Ziemeļu dīķa VAV ietekme Gaujas upē tiks vājināta vismaz 9000 reižu. Upes mazūdens laikā samazinājums būs ~ 1700 reizes. Tiešajā VAV ieplūdes rajonā nav izslēgts kaitējums dabai, jo VAV sajaukšanas ar upes ūdeni nenotiek uzreiz. VAV ietekme uz dzīvīem organismiem ir noteikta LU Bioloģijas fakultātes eksperimentos.

5.3. Gaujas piesārņojuma ietekme uz Baltezera, Zaķumuižas un Rembergu ūdensgūtvēm.

Gaujas piesārņojuma ietekme uz galvenajām Rīgas pazemes ūdensgūtvēm tika novērtēta atskaitē [10]. Galvenais rezultāts ir šāds: piesārņotais Gaujas ūdens (arī Inčukalna gudrona dīķu dēļ) nevar nokļūt Baltezera un Rembergu sifona tipa ūdensgūtvēs (abas atrodas tuvu Gaujai), ja šīs ūdensgūtvēs darbojas nepilnas slodzes režīmā.

Piesārņojuma ceļš no Inčukalna pa Gaujas upi gar Rīgas centrālajām ūdensgūtvēm skatāms 3.1. att. Atskaitē [17] pierādīts, ka pie vidēja un maza ūdensgūtvju noslogojuma, sifona tipa Baltezera un Rembergu ūdensgūtvēs (skat. 4.2. un 4.3. att.) Gaujas ūdens pazemes plūsmas veidā nevar iekļūt. Par to liecina šo ūdensgūtvju izohronu rakstura analīze. Vidējas noslodzes gadījumā vēl notiek Gaujas ūdens kustība (pazemes ūdeņu veidā) uz Baltezera ūdensgūtvi. Tomēr 20 gadu izohrona atrodas tālu no Gaujas upes. Rembergu ūdensgūtvē Gaujas ūdens nevar nokļūt, jo starp to un upi nav izohronu (pazemes plūsma notiek tikai Gaujas virzienā). Pašreizējais ūdensgūtvju noslogojums ir tuvs 2006. gada stāvoklim, kuram atbilst 4.3. att. Tajā izohronu starp Gaujas upi un Baltezera ūdensgūtvi nav. Tas liecina par to, ka upes ūdens nevar nokļūt šajā ūdensgūtvē, jo pazemes ūdens plūsma vērsta uz Gaujas upi.

Zaķumuižas sifonā Gaujas ūdens nevar iekļūt pat tā pilnas noslodzes gadījumā (skat. 4.2. att. un 4.3. att.).

6. Piesārņojuma kustības modelēšana pilnas sanācijas scenārijam

Modelēšana veikta ar MT3D sistēmu. Kā modelēšanas sākuma koncentrācijas izmantoti 2015. gada VAV koncentrāciju sadalījumi Ziemeļu un Dienvidu dīķiem (1.2. att. un 1.4. att.). Modelēšanas rezultātu iegūšanas metodika un to grafiskā satura izkārtojums (3.1. att.-3.22. att.) ir analogisks nulles scenārija izmantotajam. Kā monitoringa urbumi VAV koncentrāciju hidrogrāfiem papildus izmantoti reāli urbumi Nr. 51, Nr. 57 un Nr. B22, Nr. L3 Ziemeļu un Dienvidu dīķiem (3.19. att. – 3.22. att.).

VAV masas izmaiņas Ziemeļu un Dienvidu dīķu piesārņojuma areālos skatāmas 3.1. att. un 3.2. att. Abiem dīķiem vērojama būtiska situācijas uzlabošanās, jo nenotiek VAV masas palielināšanās.

No VAV koncentrāciju sadalījuma (3.3. att. – 3.10. att.) var secināt, ka horizontā D3gj23 notiek “pašattīrīšanās” pazemes plūsmu ietekmes dēļ.

No VAV koncentrāciju hidrogrāfiem (3.11. att.-3.22. att.) var secināt, ka tie būtiski atšķiras no nulles scenārija, tikai abu dīķu apkārtnē, kur notikusi VAV koncentrācijas samazināšanās. Gaujas upes tuvumā abu sanācijas scenāriju hidrogrāfi praktiski neatšķīrās.

Sanācijas variantu salīdzināšanai (10.1. tabula) nosacīti pieņemts, ka kodola daļēja ekskavācija samazina to emisiju no dīķiem 10 reizes. Kodola emisijas samazinājums ir sākuma noteikums masas transporta modelēšanai, kura vērtība atkarīga no ekskavācijas apjoma Ziemeļu un Dienvidu dīķiem un piesārņojuma kodolu atlieku īpašībām.

7. Sanācijas pasākumi pēc dīķu satura aizvākšanas

Pēc gudrona dīķu satura (piesārņojuma kodola) pilnīgas vai daļējas aizvākšanas var īstenot šādus sanācijas pasākumus:

- samazināt piesārņojumu kodolu atlieku izšķīdināšanas intensitāti;
- veikt piesārņotā pazemes ūdens sanāciju horizontā D3g2.

Ziemeļu un Dienvidu dīķiem šie pasākumi atšķiras.

Modelēšanai izmanto MT3D sistēmu.

7.1. Ziemeļu dīķa sanācijas pasākumi

Ziemeļu dīķim tiek modelēta rievsienu izmantošanas un infiltrācijas bloķēšanas ietekme uz kodola atlieku izšķīšanas intensitāti, piesārņojuma izskalošana no horizonta Q un pazemes ūdeņu sanācija, ja atsūknē ar VAV piesārņoto ūdeni no horizonta D3g2.

7.1.1. Rievsienu izmantošanas un infiltrācijas plūsmas bloķēšanas ietekmes novērtēšana

Atskaitē [10] kā visefektīvākais rekomendēts “pagarinātās” rievsienu variants (5.1. att.). Veiksim šīs rievsienu ietekmes novērtēšanu ar sistēmas MT3D līdzekļiem. Aprēķināsim kodola šķīšanas intensitāti rievsienu izmantošanas variantiem attiecībā pret stāvokli, ja nav veikti sanācijas pasākumi (nav rievsienu, nav bloķēta infiltrācijas plūsma).

Šī skaitliskā eksperimenta rezultāti [%] skatāmi 7.1. tabulā. Par 100% ņemts variants bez sanācijas pasākumiem, ja piesārņojuma kodols atrodas apakšhorizontā Q1.

7.1. tabula

Dažādu sanācijas pasākumu ietekme uz kodola izšķīšanas intensitāti [%] Ziemeļu dīķim

Infiltrācijas plūsma [%]	100	20	5	1	0.1	100	20	5	1	0.1
Rievsienu	nav	nav	nav	nav	nav	ir	ir	ir	ir	ir
Šķīšanas intensitāte, ja infiltrācija samazināta arī ārpus dīķu laukuma [%]	100	41.22	30.74	28.57	26.34	85.24	33.33	24.18	23.81	22.30
Šķīšanas intensitāte, ja infiltrācija samazināta tikai dīķu laukumā [%]	100	45.05	34.11	31.43	29.00	-	-	-	-	-

Rezultāts ir negaidīts, jo rievsienu tikai ~1.2 reizes samazina kodola izšķīdināšanas intensitāti visiem infiltrācijas plūsmas bloķēšanas variantiem. Rievsienu pielietošanu noteiks tās ierīkošanas izmaksas. Analizēti četri infiltrācijas plūsmas samazināšanas varianti (20%, 5%, 1%, 0.1%) attiecībā pret nebloķētu plūsmu. Plūsmu samazinājumu [%] nosaka pretinfiltrācijas pārseguma veids, kura izvēle ir inženierģeoloģijas speciālistu uzdevums. Vēlams, lai infiltrāciju samazinošais pārsegums eksistētu arī ārpus dīķa laukuma (pārseguma mala novietota vismaz 20 metrus no dīķa). Tad vidēji par 10% samazinās kodola šķīšanas intensitāte. Variantu novērtējumi 7.1. tabulā nav atkarīgi no piesārņojuma kodola koncentrāciju sadalījuma, jo rezultātiem ir salīdzinošs raksturs.

Ja infiltrācija samazināta 100 reizes (variants 1%), tad bez rievsienu kodola šķīšanas intensitāte (emisija) samazinās 3.5 reizes (ar rievsienu $(3.5 \times 1.2 = 4.2)$ reizes).

Modelēšanas eksperimentā lietota “galīgo starpību” metode advekcijas režīmā, laika solis $\Delta t = 73$ dnn (0.2 gadi). Piesārņojuma kodolā dīķa laukumā apakšhorizontā Q1 fiksēta koncentrācija 100 mg/l. Aprēķināta izskalojuma piesārņojuma masa M [kg] divu gadu laikā un iegūta salīdzinošā kodola šķīšanas intensitāte [%] visiem 7.1. tabulā dotajiem sanācijas variantiem.

7.1.2. Piesārņojuma izskalošana no horizonta Q

Horizontā Q atrodas šķidrā piesārņojuma masa, kura caur morēnu gQ nonāk horizontā D3g2. Ir svarīgi noskaidrot, cik ilgā laikā pazemes ūdens plūsma izskalo piesārņojumu no horizonta Q, t.i., cik ātri notiek horizonta pašattīrīšanās.

Lai ar MT3D modelētu piesārņojuma izskalošanu no Q horizonta, visos tā apakšhorizontos Q1, Q2, Q3 tiek uzdoti sākuma koncentrāciju sadalījumi Ziemeļu dīķa laukumā. Skaitliskajā eksperimentā uzdota $C = 100$ mg/l visos mezglos, kuri pieder šim 3D-apgabalam. Ar “galīgo starpību” metodi advekcijas režīmā ($\Delta t = 73$ dnn) atrod piesārņojuma masu M_t , kura laika gaitā šķērso morēnu gQ (6. slānis). Tā kā ir zināma kopīgā piesārņojuma masa M_0 ($t = 0$), tad var iegūt piesārņojuma izskalojuma relatīvās [%] līknes (5.2. att.). Ziemeļu dīķim 12 gados tiek izskalojums 90% no tā sākuma piesārņojuma (ja neturpinās horizonta Q piesārņošana).

7.1.3. Piesārņotā pazemes ūdens sanācija

Skaitliskā eksperimenta veikšanai tiek izmantota atskaitē [10] rekomendētā sanācijas shēma horizontā D3g23 (5.3. att.): astoņi atsūkņēšanas un pieci infiltrācijas urbumi. Paredzēts izsūkņēt un attīrīt 108000 m^3 pazemes ūdens. Jau atskaitē [10] tika izteiktas šaubas par attīrītā ūdens infiltrācijas lietderību horizontā Q (mazs aerācijas zonas biezums (skat. 6.14. att.), kurš ir sezonāli mainīgs). Tāpēc skaitliskajā eksperimentā pieņemts, ka visu attīrīto ūdeni infiltrē piecos urbumos D3g23 horizontā un sanācijas pamata variantā 225 dienās jāattīra un jāinfiltrē $480 \text{ m}^3/\text{dnn}$ ($480 \times 225 = 108000$).

Eksperimentu veic ar “galīgo starpību” metodi advekcijas režīmā ($\Delta t = 5$ dnn). Modelēšanas rezultāti skatāmi 7.2. tabulā un 5.4. att.

7.2. tabula

VAV masa [kg] dažādiem atsūkņēšanas variantiem

Nr.	Atsūkņēšanas laiks [dienn]	Atsūkņēts 108000 m^3 VAV masa [kg]	Atsūkņēts $2 \times 108000 \text{ m}^3$ VAV masa [kg]	Atsūkņēšanas shēma urbumi $\times q$ [m^3/dnn]
1.	450	361.27	612.52	$8 \times 60 = 480$
2.	900	375.55	657.04	$8 \times 30 = 240$
3.	1800	406.94	721.07	$8 \times 15 = 120$
4.	225	287.44		$3 \times 160 = 480$
5.	225	343.12		$6 \times 80 = 480$

No 7.2. tabulas datiem var secināt, ka vislabākos rezultātus dod astoņu atsūknēšanas urbumu variants, ja tiek samazināta atsūknēšanas intensitāte (108000 m³ atsūknē 450 dnn un 900 dnn; varianti Nr. 2 un 3). Tad samazinās nepiesārņotā ūdens pietece atsūknēšanas urbumos no D3gj22 apakšhorizonta. Atsūknēšanas variantā Nr. 4 ar 3 urbumiem izmantoti urbumi nr. 3., 6., 8., bet variantā Nr. 5 lietoti urbumi nr. 3., 4., 6., 7., 8., 9. VAV koncentrāciju hidrogrāfs 450 dienām ar astoņiem atsūknēšanas urbumiem (variants Nr. 1) urbumā nr. 6 skatāms 5.5. att.

Pjezometrisko līmeņu karte atsūknēšanas režīmam 8×60 m³/dnn un infiltrācijai 5×96 m³/dnn skatāma 5.6. att.

Nav iespējams realizēt darba uzdevuma prasību par ūdens daļiņu treku (pathlines) vizualizāciju 5.6. att. kartē, jo šie treki ir ļoti īsi. Par to liecina formula treka garumam r viena urbuma tuvumā:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi \theta m}} = \sqrt{\frac{13500}{\pi 0.27 \times 44}} = 19 [\text{metri}], \quad (7.1)$$

kur $Q=13500 \text{ m}^3$ – viena urbuma atsūknētais ūdens tilpums 225 dienās; $\theta=0.27$ – porainība; 44 metri – horizonta D3gj2 vidējais biezums Ziemeļu dīķa areālam; $\pi = 3.14$.

Atsūknētā ūdens tilpums 108000 m³ ir tikai 3.7% no horizonta D3gj23 piesārņotā ūdens tilpuma $2.92 \times 10^6 \text{ m}^3$ (3.1. tabula). Atsūknēšanas pamatvariantā iegūts 361 kg VAV no apakšhorizontā D3gj23 uzkrātās VAV masas $0.84 \times 10^4 \text{ kg}$, t.i., 225 dienās atsūknēti 4.3% no VAV masas Ziemeļu dīķa areālā. Vidējā koncentrācija $C_{vid}=361 \text{ kg}/108000 \text{ m}^3 = 3.34 \text{ mg/l}$ pārsniedz $C_{vid}=2.9 \text{ mg/l}$ Ziemeļu dīķa areālam, jo urbumos VAV koncentrācija atsūknēšanas sākumā ir ~6mg/l (skat. 5.5. att.). Pēc 108000 un $2 \times 108000 \text{ m}^3$ ūdens atsūknēšanas VAV koncentrācija urbumos samazinās, attiecīgi, līdz 3 mg/l un ~2 mg/l (skat. 5.5. att.).

Pirmajās un nākošajās 225 dienās (variants Nr. 1) iegūti attiecīgi 361 kg un 251 kg VAV masas, t.i., sanācības efektivitāte laika gaitā samazinās, jo notiek nepiesārņotā ūdens pietece no apakšhorizonta D3gj22. Par to liecina iegūtās VAV masas pieaugums, ja atsūknēšanu veic ilgākā laikā (varianti Nr. 2 un Nr. 3). Atskaitē [10] parādīts, ka atsūknēšanas efektivitāte praktiski nemainās, ja horizontā D3gj2 pa vertikāli ir vienāda VAV koncentrācija.

Kopsavilkuma 10.1. tabulā izmantots sanācības variants Nr. 1 (var samazināt VAV masu par 4.3% (361 kg), ja 109000 m^3 atsūknē ar 8 urbumiem 225 dienās).

Skaitliskais eksperiments apstiprina iespēju veikt pazemes ūdens sanācību, taču tās pielietojumu noteiks šī pasākuma izmaksas un pieļaujamais īstenošanas laiks.

7.2. Dienvidu dīķa sanācības pasākumi

Dienvidu dīķa piesārņojuma kodola atliekas atrodas aerācijas zonā aer. Tāpēc tās nešķīdina pazemes ūdens horizontālā plūsmā [7]. Kodola atlieku izšķīdināšanas intensitāti var būtiski samazināt, ja samazina infiltrācijas plūsmu. Ja stāvokli kurā infiltrācija netiek bloķēta, uzskata par 100%, tad kodola izšķīšanas intensitāti [%] dod 7.3. tabula, kurā šķīšanas intensitāte ir proporcionāla infiltrācijas plūsmas samazinājumam.

7.3. tabula

Infiltrācijas ietekme uz Dienvidu dīķa kodola šķīšanas intensitāti

Infiltrācijas plūsma [%]	100	20	5	1	0.1
Šķīšanas intensitāte [%]	100	20	5	1	0.1

Tāpat kā Ziemeļu dīķim, infiltrācijas plūsmas samazināšana būtu jāveic arī Dienvidu dīķa ārpusē. Kopsavilkuma 10.1. tabulā izmantots infiltrācijas bloķēšanas variants (ja infiltrācijas plūsmu samazina 100 reizes (1%), tad dīķa piesārņojuma kodola emisija samazinās 100 reizes) Piesārņojuma izskalošanās relatīvās līknes horizontā Q (5.7. att.) iegūtas ar metodi, kura izmantota šādu līkņu aprēķinam Ziemeļu dīķim. No 5.7. att. grafikiem var secināt, ka Dienvidu dīķī 90% piesārņojuma masas izskalošana notiek 4 gados, ja ir 1% infiltrācijas plūsma. Piesārņojuma izskalošanas lielo ātrumu izskaidro pazemes plūsmu balance horizontā Q Dienvidu dīķa laukumā (skat. 7.4. tabulu).

7.4. tabula

Pazemes ūdens plūsmu [m^3/dnn] balance horizontā Q Dienvidu dīķa laukumā
(tikai 1% infiltrācijas plūsma)

Apakšhorizonta kods	Plūsmas [m^3/dnn]		
	caur augšu	caur apakšu	caur sāniem
Q1	13	-35	22
Q2	35	-92	57
Q3	92	-149	57
gQ	149	-149	0

Vertikālā plūsma Q pieaug no 13 m^3/dnn slāņa Q1 augšā līdz 149 m^3/dnn slāņa Q3 apakšā. Šo pieaugumu nodrošina horizontālās pazemes ūdens plūsmas (22.0, 57.0, 57.0), kuras nokļūst dīķa poligonā un tad sasniedz horizontu D3gj2 caur “hidroģeoloģisko” logu morēnā gQ. Vertikālās un horizontālās pazemes plūsmas horizontā Q ir ļoti intensīvas (salīdzinājumā ar Ziemeļu dīķi). Tāpēc piesārņojums no šī horizonta tiek ātri izskalots un horizontā Q rievsienu nav nepieciešams izmantot. Dienvidu dīķim ar infiltrācijas plūsmas bloķēšanu var būtiski samazināt piesārņojuma kodola atlieku izšķīdināšanu. Tomēr var turpināties piesārņojuma kustība caur horizontu Q gravitācijas spēka ietekmē. Kā skatāms 7.4. tabulā, notiek piesārņojuma atšķaidīšana ar horizonta Q horizontālajām pazemes plūsmām, t.i., nav sagaidāms, ka turpināsies būtiska horizonta D3gj2 piesārņošana pēc daļējas dīķa satura eskavācijas.

Nav lietderīgi veikt pazemes ūdeņu sanāciju horizontā D3gj2, jo 80 gadu laikā piesārņojuma areāla epicentrā VAV masa samazināsies VAV destruktijas dēļ. Kā var spriest no piesārņotā ūdens atsūkņēšanas skaitliskā eksperimenta Ziemeļu dīķim, sanācijas efektivitāti arī Dienvidu dīķim samazinās nepiesārņotā ūdens pietece no apakšhorizonta D3gj22.

7.3. Rekomendācijas jaunu monitoringa urbumu izvietojumam

Jauni monitoringa urbumi ir jāizveido horizontā D3gj2 (īpaši Dienvidu dīķim), lai novērotu turpmāko abu dīķu piesārņojuma areālu frontes kustības ātrumu un virzienu, kā arī pazemes ūdens ķīmisko sastāvu un tā izmaiņas.

Horizontā D3gj2 novērojumi jāveic vairākos dziļumos (kā urbumos Nr.71-1, 71-2, 71-3 Ziemeļu dīķim un Nr. B22, B23 Dienvidu dīķim). Lai precīzāk noteiktu to jauno urbumu novietojumu, kuri paredzēti piesārņojuma areāla frontes kustības novērošanai, būtu jāveic ģeofizikālie pētījumi to piesārņojumu areālu frontes daļā.

Horizontā Q jaunu monitoringa urbumu izveidošana nav nepieciešama.

8. Reģionālā hidroģeoloģiskā modeļa pilnveidošana

Inčukalna reģionālā modeļa novietojums dots 6.1. att. Modeļa pirmā versija (1998.g.) izmantoja VMC speciālistu izveidoto Latvijas reģionālā modeļa (REMO) vidi [6]. Modeļa otrā versija izveidota 2005. gadā [7]. Līguma darba uzdevuma prasībām atbilstošā trešā 2016. gada Inčukalna modeļa versija kā bāzi izmantoja 2005. gada modeli. Visu triju modeļu versiju ģeoloģiskā vide (ģeoloģisko slāņu virsmas, biezumi, filtrācijas koeficienti) ir izveidota izmantojot BALTEC ASSOCIATES INC un SIA GEO CONSULTANTS datus (skat 6.2. att.) [8, 9].

Visas Inčukalna hidroģeoloģiskā modeļa versijas darbojas no laika t neatkarīgā 3D-(x,y,z) vidē, t.i., imitē ilggadīgos vidējos hidroģeoloģiskos apstākļus Inčukalna apkārtnē.

Inčukalna reģionālā modeļa bāzes karte skatāma 6.3. att. Modeļa izmērs ir 8000metri×12000metri. Modeļa 1998. gada un 2005. versijām režģa plaknes solis bija 100 metri. Detalizētāku modelēšanas darbu veikšanai varēja lietot lokālos modeļus Ziemeļu un Dienvidu dīķiem. Šo modeļu versiju plaknes solis bija 20 metri. (2012. gadā Ziemeļu dīķa lokālajam modelim [10] lietoja soli 10 metri). Pilnveidotajai 2016. gada versijai visā reģionālā modeļa apgabalā lietots režģa plaknes solis 10 metri. Piesārņojošo vielu migrācijas modelēšanai bija paredzēts izmantot Ziemeļu un Dienvidu dīķu apvienoto modeli. Šajā modeļa apgabalā ir vislielākā ģeoloģisko datu ticamība, jo tie iegūti no ģeoloģiskās izpētes urbumiem (skat. 6.2. att. un 8. pielikumu).

Darba gaitā tika konstatēts, ka datora veiktspēja nodrošina modelēšanu visā Inčukalna reģionālā modeļa apgabalā. Tāpēc samazinātā izmēra (4500metri×7000metri) apvienotais Ziemeļu un Dienvidu dīķu modelis netika izmantots.

8.1. Modeļa vertikālā shematizācija

Modeļa vertikālā shematizācija ir vienāda 2005. gada un 2016. gada versijām un tā skatāma 8.1. tabulā. Modeļi veido 11 slāņi. Pirmais un vienpadsmitais slānis tiek lietoti pirmā veida robežnoteikumu (uzdoti ūdens līmeņi) fiksēšanai. Pirmajā slānī tiek uzdota zemes reljefa karte, bet vienpadsmitajā – Gaujas horizonta D3gj1 pjezometrisko ūdens līmeņu sadalījums 2005. gada modelī. Kvartāra nogulumu slānis ir sadalīts piecos apakšslāņos: aer, Q1, Q2, Q3, gQ, bet Gaujas D3gj nogulumi tiek modelēti ar četriem slāņiem D3gj21, D3gj22, D3gj23, D3gj1z. Slāņi aer, gQ un D3gj1z ir sprosts slāņi. Slānis aer ir aerācijas zonas ekvivalents un tiek izmantots infiltrācijas plūsmas (skat. 6.11. att.) vadīšanai. Ģeoloģiskais griezumš S-N, kurš šķērso abus dīķus, ir skatāms 6.4. att.

Slānis Q1 eksistē tikai dīķu apkārtnē (biezums 1.5 metri) un nodrošina precīzāku gudrona dīķu (īpaši Ziemeļu) ietekmes modelēšanu. Slāņu Q2 un Q3 biezumi ir vienādi. Horizonts D3gj23 2016. gada modelī tiek izmantots piesārņojuma sākuma koncentrāciju uzdošanai, jo noskaidrots, ka sulfātiem un VAV šeit ir maksimālā koncentrācija. Slāņa D3gj23 biezums ir 10 metri. Slāņiem D3gj21 un D3gj22 ir vienādi biezumi un šajos slāņos 2015. g. ir novērota niecīga piesārņojuma koncentrācija.

Pāreja no režģa soļa 100 metri uz soli 10 metri sekmēja precīzāku modeļa reljefa rel-virsmas kartes iegūšanu (salīdzināt izometriskās rel-virsmas 6.5. att. un 6.6. att.). Uzlabotajai 2016. g. modeļa versijai rel-virsmas izmantoti Latvijas Ģeotelpiskās aģentūras dati. Abu gudrona dīķu lokālajos apgabalos ir izmantotas precīzākas rel-kartes.

Inčukalna modeļa vertikālā shematizācija

Slāņa tips	Slāņa nosaukums	Ģeoloģiskais kods modelī	Modeļa sekcijas numurs un tips
	Reljefs	<i>relh</i>	1. (robežnoteikums) (skat. 6.7. att.)
	Kvartārs	<i>aer</i>	2. (z)
		<i>Q1</i>	3. (xy)
		<i>Q2</i>	4. (xy)
		<i>Q3</i>	5. (xy)
		<i>gQ</i>	6. (z)
	Otrā Gauja	<i>D_{3gj21}</i>	7. (xy)
		<i>D_{3gj22}</i>	8. (xy)
		<i>D_{3gj23}</i>	9. (xy)
	Pirmā Gauja	<i>D_{3gj1z}</i>	10. (z)
		<i>D_{3gj1}</i>	11. (robežnoteikums) (skat. 6.10. att.)

 sprostslānis

8.2. Modeļa matemātiskais apraksts

Modelī 3D-(x,y,z) ģeoloģiskā telpa ir aproksimēta ar 3D- galīgo starpību metodi, kura izveido 3D režģi no ($h \times h \times m$) izmēru blokiem (h -režģa plaknes solis, m -ģeoloģiskā slāņa mainīgs biezums). Inčukalna modeļa 2016. gada versijā $h=10$ metri un tā režģi veido vienpadsmit taisnstūra ($8000 \text{ metri} \times 12000 \text{ metri}$) xy -slāņi. Tāpēc modeļa režģis sastāv no $801 \times 12001 \times 11 \sim 10.58 \times 10^6$ blokiem (šūnām). Modeļa režģa mezglos iegūst pjezometriskā ūdens līmeņu vektora φ komponentes [metri vjl], kuru vērtības (skat. 6.8. att. un 6.9. att.) ir algebrisku vienādojumu sistēmas atrisinājums [11]:

$$A \varphi = \beta - G \psi, \quad A = A_{xy} + A_z, \quad (8.1)$$

kur A ir aproksimētās ģeoloģiskās vides vadāmību [$(\text{metri})^2/\text{dnn}$] matrica, kura sastāv no modeļa režģa bloku horizontālajām un vertikālajām vadāmībām A_{xy} un A_z ; ψ un β ir fiksēto pazemes ūdens līmeņu un plūsmu robežnoteikumi ($[\text{metri vjl}]$ un $[(\text{metri})^3/\text{dnn}]$); G ir matrica (daļa no A) ar vadāmībām, kuras savieno režģa mezglus, kuros φ ir jāatrod ar mezgliem, kuros ψ ir uzdots.

Inčukalna modelī ψ – noteikumi ir fiksēti kā $xy\psi$ kartes slāņos Nr. 1. un 11. (skat. 6.7. att. un 6.10. att.) un uz slāņu Nr. 5 un Nr. 9 perimetriem (skat. 6.8. att. un 6.9. att.). Plūsmas β noteikumi tiek izmantoti tikai eksperimentos, kuros notiek piesārņotā $D3gj23$ horizonta ūdens atsūkšanās un infiltrācija (skat. 7. nodaļu).

Elementus a_{xy} , a_z matricām A_{xy} , A_z vai (g_{xy} , g_z matricām G) aprēķina šādi [11]:

$$a_{xy} = k_i m_i, \quad a_z = h^2 k_i / m_i, \quad m_i = z_{i-1} - z_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad (8.2)$$

kur z_{i-1} , z_i ir i-tā slāņa augšas un apakšas virsmu augstumi [metri vjl]. Virsma z_0 atbilst pirmā slāņa virsmai ψ_{rel} ; p ir slāņu skaits (Inčukalna modelim $p=11$), k_i un m_i ir i-tā slāņa filtrācijas koeficientu un biezumu digitālās kartes. Slāņu z-virsmu kopums veido modeļa ģeometriju (stratigrāfiju). Slāņu biezumu m-kartes ir skatāmas 6.14. att. – 6.18. att. Slāņi Nr.1 un Nr. 11 kalpo ψ – robežnoteikumu uzdošanai. To biezumi ir $m_1=0.02$ metri un $m_{11}=3$ metri. Mazais biezums m_1 nekropļo modeļa ģeometriju, bet $m_{11}=3$ metri izvēlēts tāpēc, lai vertikālajā griezumā (6.4. att. būtu skatāma horizonta D3gj1 esamība zem sprostslāņa D3gj1z. Modeļa slāņa biezums neietekmē sistēmu (1), ja slāni izmanto ψ -robežnoteikuma uzdošanai

Modelī nav ievērota iespējamā filtrācijas koeficienta k anizotropija t.i., $k_x = k_y = k_z$.

Ūdens horizontiem un sprostslāņiem ir būtiska nozīme horizontālajai (a_{xy}) un vertikālajai (a_z) ūdens vadāmībām. Caurplūdes kartes $a_{xy} = km$ horizontiem Q un D3gj2 skatāmas 6.19. att. un 6.20. att., bet vertikālo vadāmību ($h^2 k/m$) kodolu kartes sprostslāņiem aer, gQ un D3gj1z ir dotas 6.21. att. - 6.23. att.

Vertikālās saites a_z visos sprostslāņos var kalibrēt, mainot to k -kartes, kurām Inčukalna modelī ir šāda forma:

$$k = k_{cal} 10^{-4}, \quad (8.3)$$

kur k_{cal} ir kalibrētais k -kartes kodols. Tāpēc arī a_z -kartes ir reizinājums:

$$a_z = a_{zcal} 10^{-4}, \quad a_{zcal} = 100 k_{cal} / m, \quad (8.4)$$

kur a_{zcal} ir kalibrētais a_z -kartes kodols. Kodolu a_{zcal} izolīniju sadalījums ir uzskatāmi vizualizējams un 6.21. att., 6.22. att. un 6.23. att. ir skatāmi sprostslāņu aer, gQ un D3gj1z vertikālo saišu kodolu izolīniju sadalījumi. Lai iegūtu reālās a_z vērtības, kodoli ir jāpareizina ar 10^{-4} .

Pazemes pieteces plūsmas q_{upes} upēm un grāvjiem apraksta vienādojums [11]:

$$q_{upes} = G_{upes} (\phi_{upes} - \psi_{upes}), \quad (8.5)$$

kur matrica G_{upes} (daļa no G) ietver ietver vadāmības g_{upes} [(metri)²/dnn], kuras piesaista virszemes ūdens objektu modelim; ϕ_{upes} ir pazemes ūdens līmenis modeļa piesaistes mezglā; ψ_{upes} upes (grāvju) līmeņa garenprofils; ψ_{upes} ir daļa no ψ -noteikumu kopas.

Inčukalna modelim piesaistes vadāmības g_{upes} aprēķinam lieto formulu:

$$g_{upes} = 100 k_{upes}, \quad (8.6)$$

kas ir a_z tipa vadāmības versija (formula (8.2), ja $h=10$, $m=1.0$; k_{upes} ir hidrauliskās saites koeficients [metri/dnn]. Upju piesaisti īsteno ar GV režīma RIVER palīdzību. Gaujas upei un citiem virszemes ūdens objektiem lietots attiecīgi, $k_{upes} = 0.04$ metri/dnn un 0.01 metri/dnn, t.i., nav veikta saišu vērtību meklēšana (kā LAMO [11]) atsevišķām upēm un novadgrāvjiem.

Gaujas upes piesaiste ir īstenota līdzīgi kā ezeram, jo upes laukums modelī ietver daudz piesaistes mezglu. Upes (grāvju) plūsmu var izmainīt ar parametru k_{upes} . Nav ievēroti upju un grāvju dziļumi.

Modeļa 2005. gada versijā hidrogrāfiskais tīkls (upes, grāvji) bija piesaistīts ar REMO izmantotās metodes palīdzību (caur aer slāni). Salīdzinot ar GV sistēmu, REMO metodei piemīt ļoti būtiski

trūkumi (nevar viegli mainīt hidrogrāfiskā tīkla piesaisti modelim, nevar aprēķināt upju un grāvju pazemes pieteces plūsmas u.c.).

Modeļa 2016. gada versijā ir izmantota GV sistēma hidrogrāfiskā tīkla GV piesaistei sistēma (formula 8.5). Izmantojot LAMO datus, Inčukalna reģionālajā modelī lietota Gaujas upes pazemes pieteces vērtība $\sim 26 \text{ tūkst.m}^3/\text{dnn}$. Šī vērtība iegūta no šādiem apsvērumiem: posmā Sigulda-jūra Gaujas pazemes pietece ir $173 \text{ tūkst.m}^3/\text{dnn}$ [11]. Šī upes posma garums ir 60 km, bet Gaujas garums Inčukalna modelī ir 9 km. Tāpēc aptuvenus pazemes pieteces novērtējums Gaujai modelī ir $25.9 = 9 \times 173 / 60$ [$\text{tūkst.m}^3/\text{dnn}$]. Krievupes un Straumes upju sateces apgabalu un citu mazo virszemes ūdensobjektu kopīgā pazemes plūsmu pietece modelī ir $\sim 14 \text{ tūkst.m}^3/\text{dnn}$. Tāpat kā LAMO, arī Inčukalna modelī Gaujas upe ir piesaistīta Q un D3gj2 horizontiem, bet mazās upes un novadgrāvji Q horizontam, t.i., formulā (8.5) kā φ_{upes} kalpo ūdens līmeņu sadalījumi φ_Q un φ_{D3gj2} (6.8. att. un 6.9. att.)

Infiltrācijas plūsmu q_{aer} caur aer zonu dod izteiksme:

$$q_{aer} = G_{aer} (\psi_{rel} - \varphi_{Q1}), \quad (8.7)$$

kur G_{aer} ir aer zonas vertikālo saišu matrica; ψ_{rel} , φ_{Q1} – fiksētais robežnoteikums 1. slānī (6.7. att.) un aprēķinātais ūdens līmeņu sadalījums horizontā Q1 (6.8. att.). Ar G_{aer} maiņu regulē plūsmu q_{aer} (skat. 6.11. att.).

Arī sprostsblāņu gQ un D3gj1z plūsmu q_{gQ} un q_{D3gj1z} aprēķinam izmanto formulu, kura ir identiska izteiksmei (8.7). Lai kalibrētu plūsmas q_{gQ} un q_{D3gj1z} , maina vertikālo vadāmību matricas a_z sprostsblāņiem gQ un D3gj1z.

8.3. Modeļa kalibrācija

Hidroģeoloģiskajam modelim ir jākalpo par vidi masas transporta modeļu (MODPATH un MT3D) darbībai. Ir noteikti Ziemeļu un Dienvidu dīķu piesārņojuma areālu forma, kustības virziens un ātrums. Tāpēc hidroģeoloģiskajam modelim jāimitē šo areālu dabā novērotā kustība kvartāra Q un Gaujas horizontā D3gj2. Šīs prasības izpildi nodrošina kalibrētais ūdens līmeņu sadalījums šajos horizontos (skat. 6.8. att. un 6.9. att.). Kā ūdens līmeņu kalibrācijas mērķi abu dīķu tuvumā kalpo vēsturiski monitoringa urbūmi Nr. 23a, 23c, un 91a, 91c horizontos Q un D3gj2. Šo urbūmu dati skatāmi 8.2. tabulā.

Modelēto ūdens līmeņu novirze no 8.2. tabulas datiem nepārsniedz ± 0.5 metrus.

Inčukalna modelis imitē ilggadīgus gada vidējos hidroģeoloģiskos apstākļus. Tāpēc horizontos Q un D3gj2 nav mēģināts realizēt 2015. gadā novērotos sezonāli mainīgos ūdens līmeņus Gaujas upes tuvumā. Gudrona ekskavācija no Dienvidu dīķa arī ir ietekmējusi ūdens līmeņus horizontos Q un D3gj2 (skat. 4. un 6. pielikumus)

8.2.tabula

Monitoringa urbūmu dati

Urbuma kods	Austrumu koord. [metri]	Ziemeļu koord. [metri]	Novērots [m vjl]	Slāņa numurs
91a	538331	6327372	34.0	4
91c	538331	6327372	31.3	8
23a	536545	6329871	32.2	4
23c	536545	6329871	25	8

Horizontā Q izmantota filtrācijas koeficienta vērtība $k=6$ m/dnn. Gaujas horizontā D3gj2 ir lietota mainīga k vērtība nolūkā panākt Ziemeļu dīķa piesārņojuma areāla kustības atbilstību dabā novērotajai. Horizontu Q un D3gj2 kalibrētās caurtes kartes skatāmas 6.19. att. un 6.20. att.

Plūsmas sprostslāņos aer, gQ, D3gj1z tika kalibrētas, mainot to vertikālo vadāmību matricu A_z elementus, to kodolu kalibrētais stāvoklis skatāms 6.21. att., 6.22. att., 6.23. att.

Pazemes pieteces plūsma Gaujas upei tika kalibrēta ņemot vērā modeļa LAMO datus (skat. 8.2. iedaļu).

Modelis ir ļoti jūtīgs pret filtrācijas koeficienta k_{D3gj1z} , porainības θ un lauka gradienta $grad \varphi_{D3gj2}$ izmaiņām. jo piesārņojuma kustības ātrumu v_A advekcijas dēļ horizontā D3gj2 nosaka formula:

$$v_A = k_{D3gj2} (grad \varphi_{D3gj2}) / \theta . \quad (8.8)$$

Jebkura parametra izmaiņa šajā izteiksmē ietekmē ne tikai v_A vērtību bet arī pazemes ūdens plūsmas virzienu. Parametra $grad \varphi_{D3gj2}$ izmaiņu izsauc ne tikai k_{D3gj2} , bet arī plūsmu q_{gQ} un q_{D3gj1z} izmaiņa sprostslāņos gQ un D3gj1z.

Salīdzinoši maza ietekme ir hidrogrāfiskā tīkla (upes, grāvji) piesaistes elementu G_{upes} izmaiņām.

9. Masas transporta modeļi MT3D un MODPATH

Modeļi MT3D un MODPATH ir savienoti ar sistēmu MODFLOW, kura realizē hidroģeoloģisko modeli (HM). Modelis MT3D nodrošina vielas masas pārnesei modelēšanu, bet MODPATH tiek izmantots ūdens plūsmas advekcijas procesa pētīšanai ar virtuālo ūdens daļiņu trasēšanas metodi.

9.1. Modelis MT3D

Piesārņojošās vielas masas pārnesei pazemes ūdens plūsmā laikā t var raksturot ar koncentrāciju $C(x,y,z,t)$ un $C_c(x,y,z,t)$ sadalījumiem, attiecīgi, ūdenī un gruntī (sorbētā formā). Lineārās sorbcijas gadījumā ($C_c = k_d C$, k_d – sorbcijas konstante) minētos sadalījumus MT3D atrod kā sekojoša vienādojuma [4]:

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial C}{\partial z}) \frac{\partial z}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} (v_x C) \frac{\partial x}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial y} (v_y C) \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} (v_z C) \frac{\partial z}{\partial t} + \theta^{-1} \beta_s C_s - \alpha (C + \theta^{-1} \rho_b C_s),$$

$$R = 1 + \theta^{-1} \rho_b k_d, \quad v_x = \theta^{-1} k_x \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v_y = \theta^{-1} k_y \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad v_z = \theta^{-1} k_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (9.1)$$

skaitlisko atrisinājumu izvēlēta aproksimācijas režģa mezglos. Vienādojums (9.1) ievēro šādus galvenos piesārņojuma masas transporta procesa elementus:

- nestacionāro raksturu – ar $\partial C / \partial t \neq 0$ pat tad, ja ūdens plūsma ir stacionāra ($\partial \varphi / \partial t = 0$, φ – pjezometriskā līmeņu funkcija, kuru dod HM);
- šķidrās masas pārnesei (advekciju) ūdens plūsmas kustības ātrumā (θ – porainība; v_x , v_y , v_z un k_x , k_y , k_z – plūsmas ātruma un hidroģeoloģiskās vides filtrācijas koeficienti Dekarta koordinātu asu virzienā);
- sorbciju – ar palēninājuma koeficientu R (ρ_b – porainās vides blīvums);
- destrukciju atbilstoši pirmās pakāpes reakcijai – ar tās ātruma konstanti α ; GV sistēma izmanto pussabrukšanas laiku $t_{0.5} = \alpha^{-1} \ln 2 \sim 0.7 \alpha^{-1}$;
- dispersiju – ar hidrodinamiskās dispersijas koeficientiem D_x , D_y , D_z ;
- šķidrās masas izvadi un ievadi vidē – ar avotu funkcijas $\theta^{-1} \beta_s C_s$ palīdzību (β_s , C_s – avota intensitāte un piesārņojuma koncentrācija);
- piesārņojuma koncentrācijas sākuma ($t=0$) sadalījumu $C_{in} = C(x,y,z,0)$.

No vienādojuma (9.1) var secināt, ka MT3D neņem vērā, ka šķidruma blīvums piesārņojuma dēļ var mainīties. Šī iemesla dēļ MT3D programma nespēj ievērot piesārņojuma masas noslēgšanās procesus. Inčukalna problēmas gadījumā tie novēroti sulfātiem un VAV, kuru blīvums ir lielāks nekā tīram ūdenim.

Turpmāk vienādojumu (9.1) un tā risināšanas procesu nosacīti sauksim par transporta modeli (TM). Lai varētu darbināt TM, ar HM palīdzību ir jāiegūst lielumi: φ , β_s , k_x , k_y , k_z . HM un TM aproksimācijas režģiem (x,y,z) telpā ir jābūt identiskiem. HM un TM darbību precīzi saskaņo GV sistēma. Masas transporta modelēšanai vajadzīgi dati: θ , ρ_b , k_d , C_s , C_{in} , D_x , D_y , D_z , α , piesārņojuma koncentrācijas novērošanas aku koordinātes un citi specifiski TM dati, kuri raksturo izvēlēto skaitlisko metodi. Vienādojuma (9.1) risināšanai iespējami metožu varianti: Finite difference (galīgās starpības), MOC (method of characteristics), MMOC, HMOC [4].

Inčukalna nulles sanācības variantu modelēšanai izmantota MOC metode, laika solis $\Delta t = 73$ dnn (0.2 gadi); $D_x = 2.0$ metri, $D_y = 0.2$ metri, $D_z = 0.02$ metri (attiecība 1:0.1:0.01 atbilstoši [4]); VAV pussabrukšanas laiks $t_{0.5} = 15$ gadi (5475 dnn); nav ņemta vērā sorbcija, jo VAV kustības ātrums $v_R \sim v_A$; (v_A – ūdens plūsmas ātrums advekcijas dēļ, skat (4.1) vienādojumu).

Par sākuma koncentrāciju C_{in} sadalījumu izmantoti 2015. gadā novērotie VAV sadalījumi Ziemeļu un Dienvidu dīķiem (1.2. att. un 1.4. att.). Lai modelētu dīķu kodolu ietekmi (VAV pietece no dīķiem), nulles sanācības scenārijā kā fiksētās koncentrācijas izmantots VAV sadalījums dīķu laukumā. Pilnās sanācības scenārijam izmantoti tikai sākuma VAV koncentrāciju sadalījumi (1.2. att. un 1.4. att.).

Sanācības procesu modelēšanai pēc dīķu satura eskavācijas izmantota “Finite difference” metode advekcijas režīmā, jo šī metode precīzi ievēro piesārņojuma masas pārneses bilanci.

9.2. Modelis MODPATH

Sistēmu MODPATH izmanto pazemes ūdens plūsmu ātruma un virziena noteikšanai laikā un telpā, t.i., tikai advekcijas procesa pētīšanai. Sistēma nedod datus par vielu koncentrāciju, sorbciju, destrukciju u.c. būtiskiem procesiem. Galvenā MODPATH priekšrocība ir darbības ātrums un rezultātu uzskatāmība. Inčukalna piesārņojuma areāliem ar MODPATH tika noteikti to migrācijas laiki un galvenās kustības trases (2.1. att.). MODPATH aproksimē pazemes ūdens plūsmas kustības vienādojumu [3]:

$$\partial(v_x)\partial x + \partial(v_y)\partial y + \partial(v_z)\partial z = \beta_s / \theta, \quad (9.2)$$

kur v_x , v_y , v_z – ūdens kustības ātruma komponentes x,y,z virzienos (kā 9.1)); β_s – plūsmas avotu intensitāte; θ – porainība. Katram HM blokam ($h \times h \times m$) MODFLOW ir aprēķinājusi plūsmas q_{x1} , q_{x2} , q_{y1} , q_{y2} , q_{z1} , q_{z2} caur sešām bloka skaldnēm. Šīs plūsmas [m^3/dnn] tiek izmantotas vienādojuma (9.2) aproksimācijai blokā ($h \times h \times m$):

$$\frac{q_{x2} - q_{x1}}{\theta h^2 m} + \frac{q_{y2} - q_{y1}}{\theta h^2 m} + \frac{q_{z2} - q_{z1}}{\theta h^2 m} = \frac{\beta_s}{\theta h^2 m}; \quad (9.3)$$

$$B_x + B_y + B_z = \beta_s / h^2 m;$$

$$B_x = \frac{q_{x2} - q_{x1}}{h^2 m} = \frac{v_{x2} - v_{x1}}{h(hm)}; \quad B_y = \frac{q_{y2} - q_{y1}}{h^2 m} = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{h(hm)}; \quad B_z = \frac{q_{z2} - q_{z1}}{h^2 m} = \frac{v_{z2} - v_{z1}}{m(hh)};$$

kur, atšķirībā no (9.1), izmantots atšķirīgs paņēmieni plūsmu ātruma v noteikšanai režģa bloka skaldnēs: $v = q / (S \theta)$ (q - plūsma [m^3/dnn] caur bloka skaldni; S skaldnes laukums [m^2]); $h^2 m$ – bloka tilpums [m^3].

Izmantojot aproksimēto izteiksmi (9.3), ar kvazi analītiskas metodes palīdzību, MODPATH aprēķina ūdens daļiņas trajektoriju HM vidē [3].

Sistēma MODPATH no MODFLOW saņem nepieciešamos HM datus (kā MT3D gadījumā).

10. Datormodelēšanas rezultātu izmantošana

Darba uzdevuma izpildei ir izmantoti moderni licenzēti modelēšanas rīki. Tomēr šis apstāklis negarantē, ka gala atskaitē publicētos rezultātus var izmantot kā absolūtu patiesību, kas atbilst dabā notiekošajiem procesiem. Visiem modelēšanas rezultātiem ir tikai salīdzinošs raksturs, tomēr tie ļauj pieņemt izšķirošus lēmumus par optimālākajiem sanācijas variantiem, ja ņem vērā plānotās darba izmaksas, darba realizācijas termiņus un citus saistošos noteikumus.

Modelēšanas rezultāti būtu patiesi, ja tādi būtu visi sākuma dati. Tomēr tikai daļa no sākuma datiem ir iegūti eksperimentāli (no mērījumiem dabā un pareizi interpretēti). Tāpēc pārējie modelēšanā izmantotie dati ir hipotētiski pieņēmumi ar lielāku vai mazāku ticamību.

Kopsavilkums par darba otrā etapa modelēšanas rezultātiem ir skatāms 10.1. tabulā. Šī tabula nevar kalpot kā vienīgais līdzeklis lēmumu pieņemšanai par vislabāko sanācijas variantu Ziemeļu un Dienvidu dīķiem. Galīgo izvēli būtiski ietekmē sanācijas pasākumu izmaksas, to īstenošanas laiks, vides pieļaujamā piesārņojuma normatīvi un citi saistoši noteikumi.

Analizēsim vielu masas transporta modelēšanai izmantotos datu avotus un to ietekmi uz 10.1. tabulā skatāmajiem rezultātiem.

- Sākuma koncentrāciju sadalījuma kvalitāti dīķu piesārņojuma areālos nosaka ne tikai ūdens paraugu ķīmisko analīžu ticamība, bet arī interpolācijas metode ar kuru iegūts sadalījums.
- Nav drošu eksperimentālu datu par piesārņotā slāņa biezumu (varbūt mainīgo) horizontā D3gj2 (modelī nosacīti izmantots biezums 10 metri). Tāpēc horizontam D3gj2 novērtējumi par VAV masu un pazemes ūdens sanācijas efektivitāti ar 108000 m³ ūdens atsūkņēšanu ir relatīvi.
- Prognozēm par dīķu piesārņojuma areālu kustības virzienu un ātrumu horizontā D3gj2 ir orientējošs raksturs, jo hidroģeoloģiskajā modelī nav ievēroti iespējamie anomālie hidroģeoloģiskie faktori (mainīga porainība, apraktās ielejas u.c.). Piemēram, modelī Ziemeļu dīķa areāla migrācija ir ļoti sarežģīta, jo 2095. gadā areāls novirzās uz rietumiem salīdzinot ar 2055. gada stāvokli.
- Nav izpētīts kā un cik ātri dīķu kodolu saturs nonāk horizontā D3gj2. Kā šis process ir izmainījies laika gaitā? Tāpēc nulles scenārija modelis ņem vērā tikai fiksēto koncentrāciju dīķa laukumos kā šī nezināmā procesa ekvivalentu. Tāpēc relatīvas ir piesārņojuma kodolu VAV emisijas intensitātes 133 kg/gadā un 555 kg/gadā no Ziemeļu un Dienvidu dīķiem.
- Nosacīti pieņemts, ka daļējai piesārņojuma kodola ekskavācijai būtu jāsamazina VAV emisija no abiem dīķiem vismaz 10 reizes. Šo parametru nevar iegūt ar modelēšanas metodi, jo sagaidāmais emisijas samazinājums ir jālieto kā sākuma noteikumi, kuru vērtība ir atkarīga no ekskavācijas apjoma Ziemeļu un Dienvidu dīķiem un to kodolu atlieku īpašībām.
- Pieņemts, ka abiem dīķiem infiltrācijas plūsma ir samazināta 100 reizes (1% plūsma). Šis noteikums ir būtisks Dienvidu dīķim, kuram kodola VAV emisijas samazinājums ir proporcionāls infiltrācijas plūsmas lielumam. Pretinfiltrācijas pārklājuma veida dažādiem infiltrācijas plūsmas samazinājuma nosaka inženierģeoloģijas speciālisti.
- Nav drošu datu par VAV destruktijas procesa ātrumu un iespējamo izmaiņu laikā. Tāpēc nosacīti tiek lietots pussabrukšanas laiks $t_{05}=15$ gadi. Tāpēc rezultāti, kuros ievērota VAV destruktija, ir relatīvi.

Minēto iemeslu dēļ modelēšanas rezultāti nevar absolūti patiesi parādīt norises dabā. Tomēr bez šo rezultātu analīzes nav iespējams pieņemt optimālus lēmumus par sanācijas darbu īstenošanu.

Kopsavilkums par modelēšanas rezultātiem Dienvidu un Ziemeļu sērskābā gudrona dīķu sanācijas variantiem

Scenārija Nr. un nosaukums	Dīķis	Darbības ar dīķa piesārņojumu	Kodolu ekskavācijas ietekme uz VAV plūsmu*	Ja infiltrāciju samazina 100 reizes (rekult.segums), tad VAV plūsma samazinās [reizes]	VAV plūsma no dīķiem horizontālā D3gj2 [kg/gadā]	VAV sanācija horizontālā D3gj2
1. Situācija bez sanācijas	Dienvidu Ziemeļu	Nenotiek sanācija Nenotiek sanācija	- -	- -	555 133	- -
2. Pilnīga abu dīķu sanācija	Dienvidu Ziemeļu	Pilnīga piesārņojuma eskavācija vai iekapsulēšana Pilnīga piesārņojuma ekskavācija vai iekapsulēšana	likvidēta likvidēta	- -	0 0	- -
3. Pilnīga abu dīķu sanācija un D3gj2 horizonta ūdens attīrīšana	Dienvidu Ziemeļu	Pilnīga piesārņojuma eskavācija vai iekapsulēšana Pilnīga piesārņojuma eskavācija vai iekapsulēšana	likvidēta likvidēta	- -	0 0	- samazina VAV masu par 4.3% (361 kg), ja 108000m ³ atsūknē ar 8 urbumiem 225 dienās
4. Ierobežotu apstākļu sanācija	Dienvidu Ziemeļu	Kodola ekskavācija Kodolu neekskavē	samazināta 10 reizes -	100 3.5	0.5 38	-
5. Daļēja abu dīķu sanācija	Dienvidu Ziemeļu	Kodola ekskavācija Kodola ekskavācija	samazināta 10 reizes samazināta 10 reizes	100 3.5	0.5 3.8	-
6. Daļēja abu dīķu sanācija un D3gj2 horizonta ūdens attīrīšana	Dienvidu Ziemeļu	Kodola ekskavācija Kodola ekskavācija	samazināta 10 reizes samazināta 10 reizes	100 3.5×1.2=4.2, ja lieto rievsienu	0.5 3.2	- samazina VAV masu par 4.3% (361 kg), ja 108000m ³ atsūknē ar 8 urbumiem 225 dienās

*autora pieņēmums

11. Rezultāti un secinājumi

1. Izmantojot 2015. gadā iegūtos datus par sulfātu un VAV koncentrāciju nevienmērīgo vertikālo sadalījumu, ir būtiski koriģētas 2005. gada prognozes par VAV masu D3gj2 horizontā. Samazinājums ir ~6 reizes: ~4 reizes vertikālā koncentrāciju sadalījuma ietekmes dēļ un ~1.5 reizes piesārņoto areālu laukumu samazināšanās dēļ. Koriģētā VAV masa Ziemeļu un Dienvidu dīķu areālos ir, attiecīgi, 1.75×10^4 kg un 2.09×10^4 kg.
2. Iegūtas prognozes par VAV masu un koncentrāciju abos gudrona dīķu areālos 2015. gadā. Attiecībā pret 2005. gadu, VAV masa Ziemeļu dīķa areālā ir samazinājusies 0.48 reizes bet Dienvidu dīķa areālā pieaugusi 1.49 reizes, t.i., VAV masa Ziemeļu un Dienvidu dīķim, attiecīgi, ir 0.84×10^4 kg un 3.05×10^4 kg. Šobrīd nav izsmēloša izskaidrojuma VAV izplūdes intensitātes atšķirībām Ziemeļu un Dienvidu dīķiem. Iespējams, ka paaugstinātu VAV izplūdi Dienvidu dīķim sekmējuši tā satura ekskavācijas darbi.
3. Ar MODPATH iegūtās prognozes par piesārņojuma areālu kustības trajektorijām un ātrumu būtiski neatšķiras no 2005. gadā iegūtajām prognozēm: Ziemeļu un Dienvidu dīķu VAV areālu frontes sasniegs Gaujas upi pēc ~25 gadiem un ~(70-80) gadiem. Vidējais kustības ātrums Ziemeļu un Dienvidu dīķu areāliem ir 36 m/gadā un 50 m/gadā. Iegūta prognoze horizonta D3gj1 piesārņošanas iespējamībai: caur D3gj1z sprostslāni VAV var iekļūt D3gj1 horizontā pēc ~1000 gadiem, t.i., Inčukalna gudrona VAV ietekme uz šo horizontu ir maz varbūtīga.
4. Ar sistēmu MT3D veikta piesārņojuma areāla kustības modelēšana nulles variantam (nav dīķu satura ekskavācijas) abiem dīķiem laika periodiem no 2015.g.-2055.g. un no 2055.g.-2095.g. Modelēšanas rezultāti parāda VAV masas pieaugšanu un apstiprina nepieciešamību aizvēkt abu dīķu saturu.
5. Ziemeļu dīķa VAV areāla fronte sasniegs Gaujas upi pēc ~25 gadiem (2040. g.). Pirmajos piecpadsmit gados pēc šī notikuma (līdz 2055. g.) nav sagaidāma augstas koncentrācijas VAV ieplūde Gaujas upē, jo areāla frontes daļā koncentrācija ir maza. Tikai tālākā nākotnē ~2075. gadā VAV koncentrācija var pieaugt, tomēr šo faktoru var samazināt VAV destrukcijas procesa esamība.
Pēc 40 gadiem (2055. gadā) Gaujā ieplūstoša maksimālā VAV koncentrācija būs 1.5 mg/l un 0.3 mg/l, ja nav un ir ievērota VAV destrukcija.
6. Pēc Inčukalna gudrona dīķu izraisītā piesārņojuma nokļūšanas Gaujas upē, tā koncentrācija posmā no Inčukalna līdz jūrai tiks samazināta vismaz 9000 reizes. Upes mazūdens laikā šis samazinājums būs 1700 reizes. Tomēr VAV piesārņojumam varētu būt lokāla rakstura kaitīga ietekme uz dzīvo dabu, jo VAV atšķaidīšanās ar Gaujas ūdeni nenotiks uzreiz. VAV ietekme uz dzīvjiem organismiem ir noteikta LU Bioloģijas fakultātes eksperimentos.
7. Apstiprināti 2012. gada secinājumi, ka piesārņotais Gaujas ūdens nevar iekļūt sifona tipa Baltezersa un Rembergu ūdensgūtvēs, ja tās nestrādā ar pilnu noslodzi (šobrīd ~0.5 noslodzes). Zaķumuižas sifonu Gaujas ūdens nevar sasniegt pat pilnas sifona noslodzes gadījumā.
8. Ar sistēmu MT3D veikta piesārņojuma areāla kustības modelēšana pilnas sanācības variantam abiem dīķiem laika periodiem no 2015.g.-2055.g. un no 2055.g. – 2095.g.
9. Abu gudrona dīķu piesārņojuma kodolu atlieku izšķīdināšanas intensitāti pazemes ūdens plūsmā var būtiski samazināt (Ziemeļu un Dienvidu dīķiem attiecīgi 3.5 un 100 reizes), ja

izmanto pretinfiltrācijas pārsegumu (bez rievienas), kura laukums ne tikai pārsedz eskavētos dīķus, bet tā ārējā mala atrodas vismaz 20 metrus no dīķa malas (tad izšķīšanas intensitāte samazinās ~1.1 reizes).

10. Ziemeļu dīķim rievienas izmantošana visiem infiltrācijas plūsmas bloķēšanas variantiem samazina kodola šķīšanas intensitāti ~1.2 reizes. Rievienas izmantošanas lietderību nosaka pieļaujamās izmaksas.

11. Ziemeļu dīķim ir iespējama piesārņotā pazemes ūdens sanācija. Var iegūt 4.3% (361 kg) no kopīgās VAV masas, ja ar astoņiem urbumiem izsūkņē 108000 m³ ūdens 225 dienās. Sanācijas efektivitāti samazina pazemes ūdens pietece no nepiesārņotās horizonta D3gj2 daļas. Šī pasākuma lietderību nosaka tā pieļaujamās izmaksas.

12. Ziemeļu un Dienvidu dīķiem no horizonta Q pašattīrīšanas procesā 90% piesārņojuma masas tiks izskaloti attiecīgi 12 un 4 gados pēc dīķu satura ekskavācijas.

13. Horizontā D3gj2 novērojumi jāveic vairākos dziļumos. Lai precīzāk noteiktu to jauno urbumu novietojumu (īpaši Dienvidu dīķim), kuri paredzēti piesārņojuma areāla frontes kustības novērošanai, būtu jāveic ģeofizikālā izpēte abu dīķu piesārņojumu areālu frontes daļā. Horizontā Q jauni monitoringa urbumi nav nepieciešami.

14. Izveidota uzlabota Inčukalna reģionālā modeļa versija. Modelim plaknes aproksimācijas solis samazināts no 100 metriem uz 10 metriem visā modeļa 8000metri×12000metri apgabalā. Modelēšanā izmantotā datora veiktspēja bija pietiekama, lai atteiktos no lokālo modeļu izmantošanas masas transporta aprēķiniem, t.i., tie tika īstenoti pilnā modeļa laukumā. Uzlabotā modeļa kalibrēšanai ir izmantoti Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 dati par Gaujas upes pazemes pieteci.

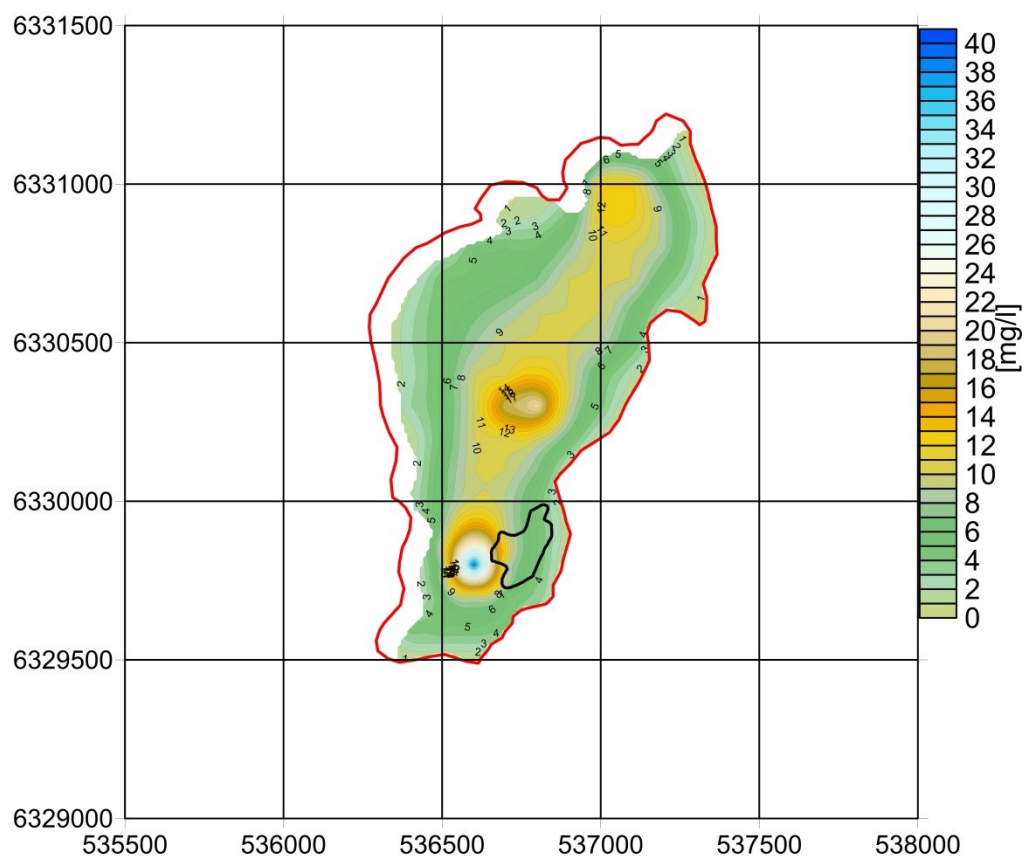
15. Ar modelēšanas metodēm iegūtos rezultātus nevar uzskatīt par absolūtu patiesību. Modelēšanas prognožu ticamība ir tieši atkarīga no sākuma datiem, kurus izmantoto prognožu iegūšanā ar modelēšanas rīkiem. Šī problēma Inčukalna gudrona dīķu gadījumam detalizēti analizēta atskaites 10. nodaļā, kurā dots kopsavilkums par masu transporta modelēšanas salīdzinošajiem rezultātiem dažādiem dīķu sanācijas variantiem un pasākumiem.

12 Literatūra

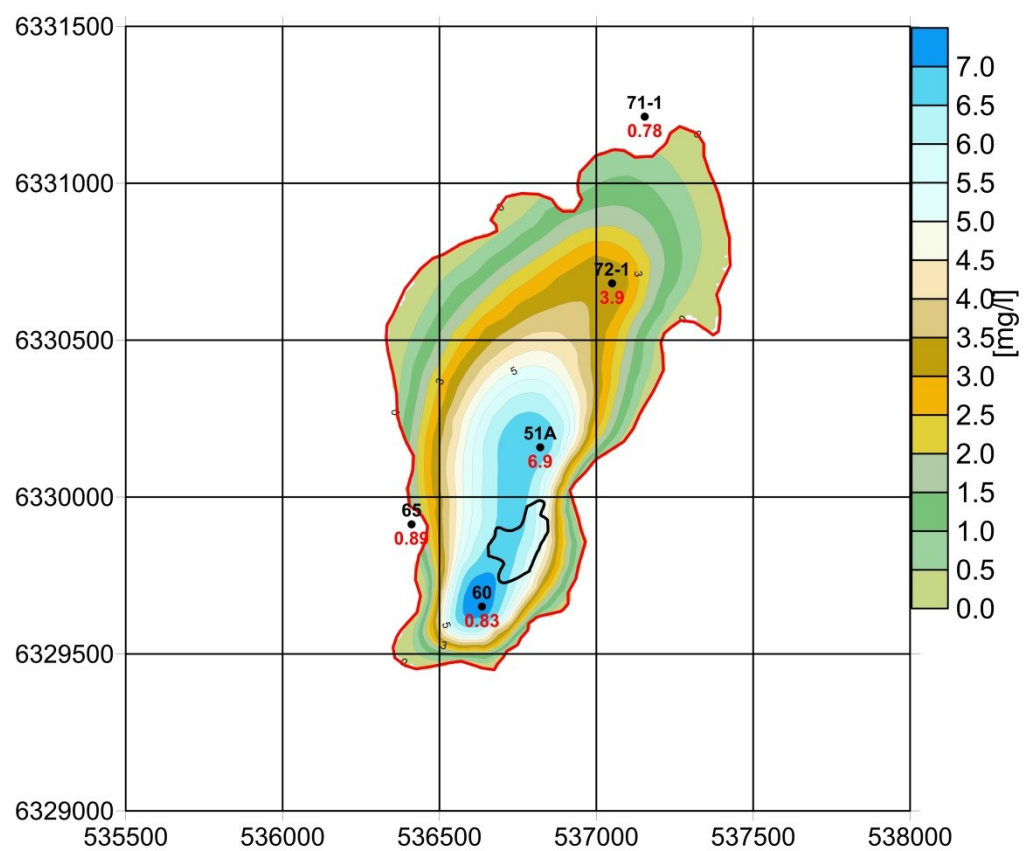
1. Environmental Simulations, Inc. *Groundwater Vistas. Version 6*, Guide to using, 2011
2. W. Harbaugh, *MODFLOW-2005, U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: the ground-water flow process*, chap 16, book 6, US Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, USGS, Reston, VA
3. Pollok D. 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
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. Rīgas Tehniskās universitātes atskaite par līgumdarba Nr. 116/3k izpildi. Piesārņojošo vielu bilances un transporta matemātisko modeļu izveide Inčukalna sērskābā gudrona atkritumu dīķu teritorijām., Rīga, 1998.g.
7. Atskaite „Piesārņoto vietu – Inčukalna gudrona dīķi un Olaines šķidro toksisko atkritumu izgāztuve, sanācijas projekta sagatavošana” Līgums Nr. VP461/195 starp Valsts SIA ‘Vides projekti’ un Rīgas Tehnisko universitāti, Rīga, Aprīlis, 2005, 39 lpp.
8. Inčukalna Ziemeļu izgāztuves hidrauliskais modelis. Baltec Associates, INC. atskaite, Rīga, 1995, 52 lpp.
9. Piemēroto vietu izvēle gudrona atkritumu iekapsulēšanai. SIA GEO CONSULTANTS atskaite par inženierģeoloģiskajiem pētījumiem Inčukalna apkaimē 1997.-1998. gados, Rīga, 1998. gada septembris, 34 lpp. ar tekstu un grafiskiem pielikumiem.
10. Ziemeļu sērskābā gudrona dīķa pazemes ūdeņus piesārņojošo vielu masas transporta matemātiskā modeļa izveide un priekšlikumu sagatavošana optimālas pazemes ūdeņu sanācijas sistēmas izveidei, atskaite līgumam starp SIA “Eiroprojekts” un RTU, 2012. gada, jūnijs, Rīga, 37 lpp. teksta un pielikumi
11. Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO pilnveidošanas starprezultāti, Pārskats līgumam 2014/15 starp LVĢMC un RTU, Rīga, 2015. g. novembris, vad. A. Spalviņš, teksts 30 lpp, pielikumi 53 lpp., http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVGMC_2015_teksts.pdf
http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVGMC_2015_pielikumi.pdf
12. Elektroizpētes darbi Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu izgāztuves rajonā Gaujas horizonta un gruntsūdeņu piesārņojuma kontūra noteikšanai, SIA SPEC-GEO-LAT atskaite, Rīga, 2005, 18 lpp.
13. Elektroizpētes darbi Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu izgāztuves rajonā Gaujas horizonta un gruntsūdeņu piesārņojuma kontūra noteikšanai, SIA SPEC-GEO-LAT atskaite, Rīga, 2005, 17 lpp.
14. Starpatskaite par piesārņojuma areāla izpēti 2004/2005 gadā, Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu un Dienvidu izgāztuves, SIA Vides Konsultāciju Birojs, Rīga, 2005, 14 lpp.
15. Incukalns waste pools, problem or asset? DGU Service report no 27, 1993, 32 pages, Latvian/Danish cooperation project
16. Incukalns investigation, groundwater contamination at the Southern waste pool site. DGU Service report no 25, 1994, 23 pages, Latvian/Danish cooperation project
17. Atskaite „Baltežera, Rembergu un Zaķumuižas ūdensgūtvju kompleksa optimizācija un piesārņojuma migrācijas kaitējuma prognozēšana ar skaitliskās modelēšanas līdzekļiem”, IZM-RTU projekts U-7115, Rīga, decembri, 2006, 28 lpp
18. Гидрогеология СССР., том XXXI, Латвийская ССР., I часть. изд. Недра, Москва, 1967, стр. 200
19. I. Semjonovs. Piesārņošanās un pašattīrīšanās procesi pazemes ūdeņos, Latvija, Rīga, Zinātne, 1995, 121. lpp

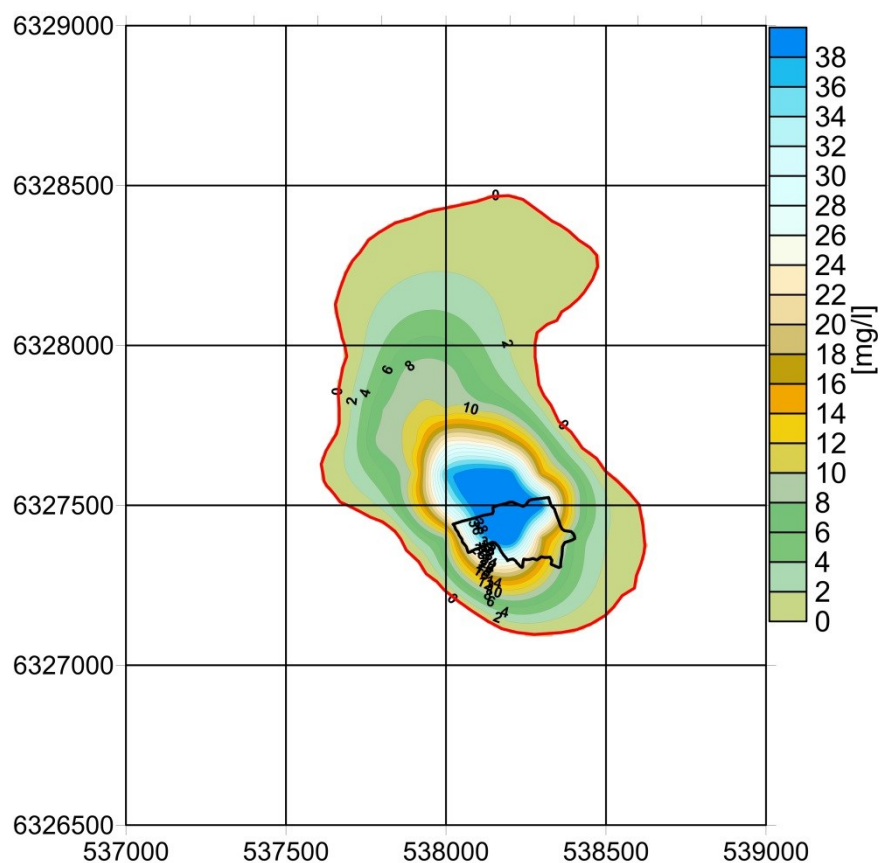
ATTĒLI



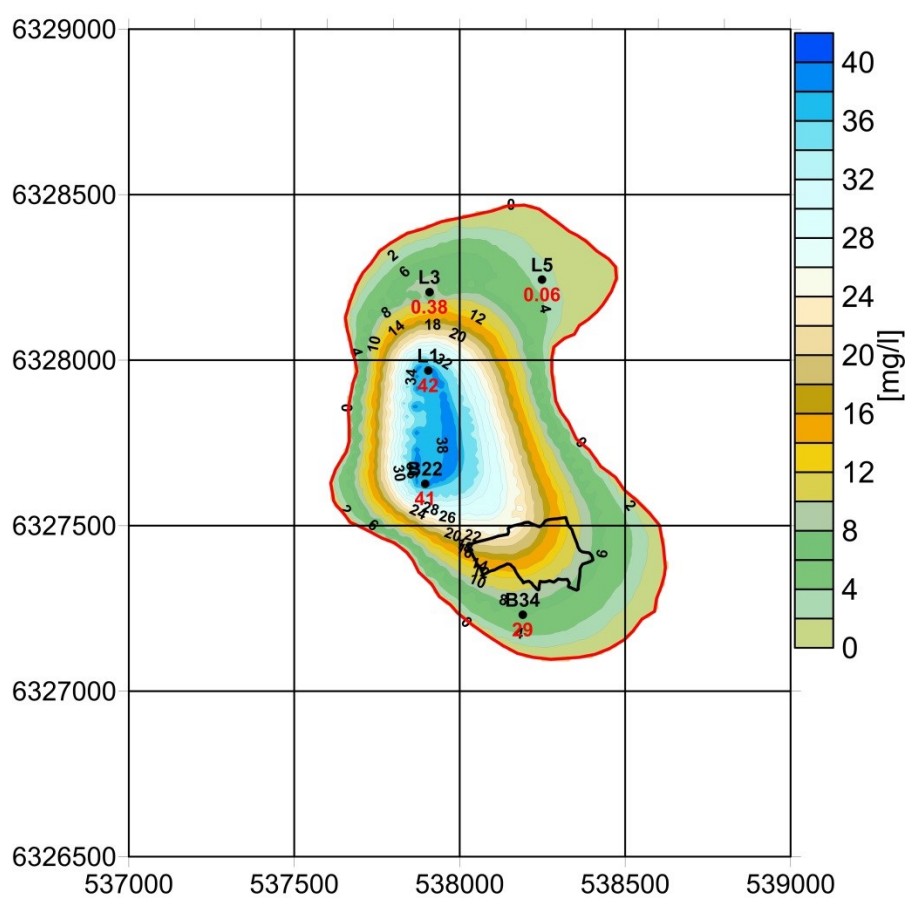
1.1.att. Ziemeļu dīķa VAV koncentrācijas 2005. gadā



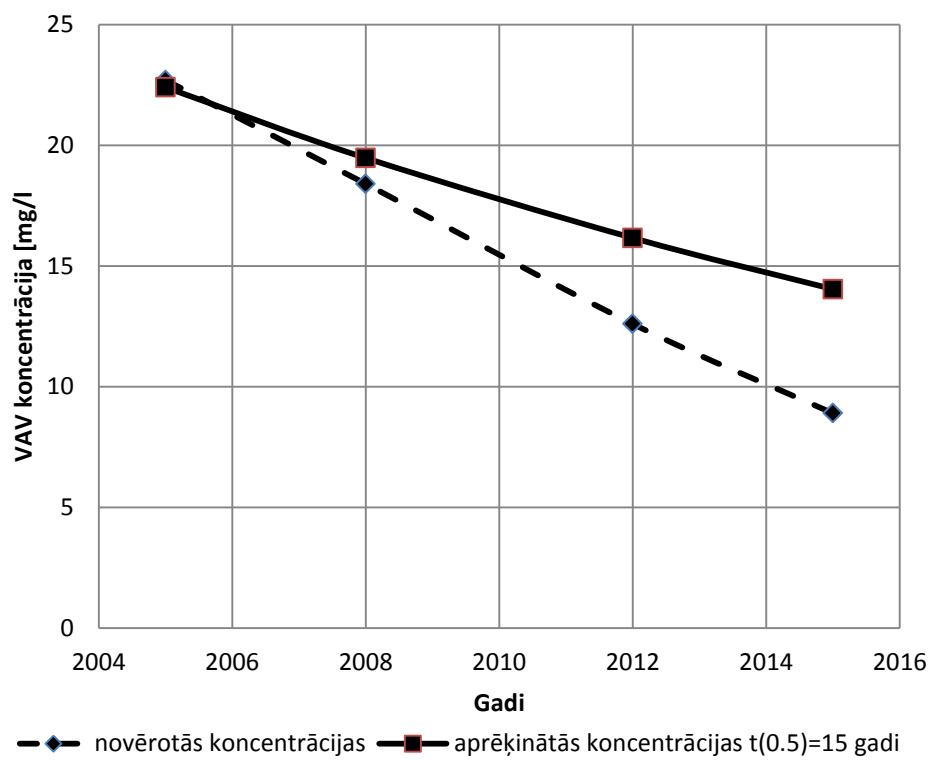
1.2.att. Ziemeļu dīķa VAV koncentrācijas 2015.gadā



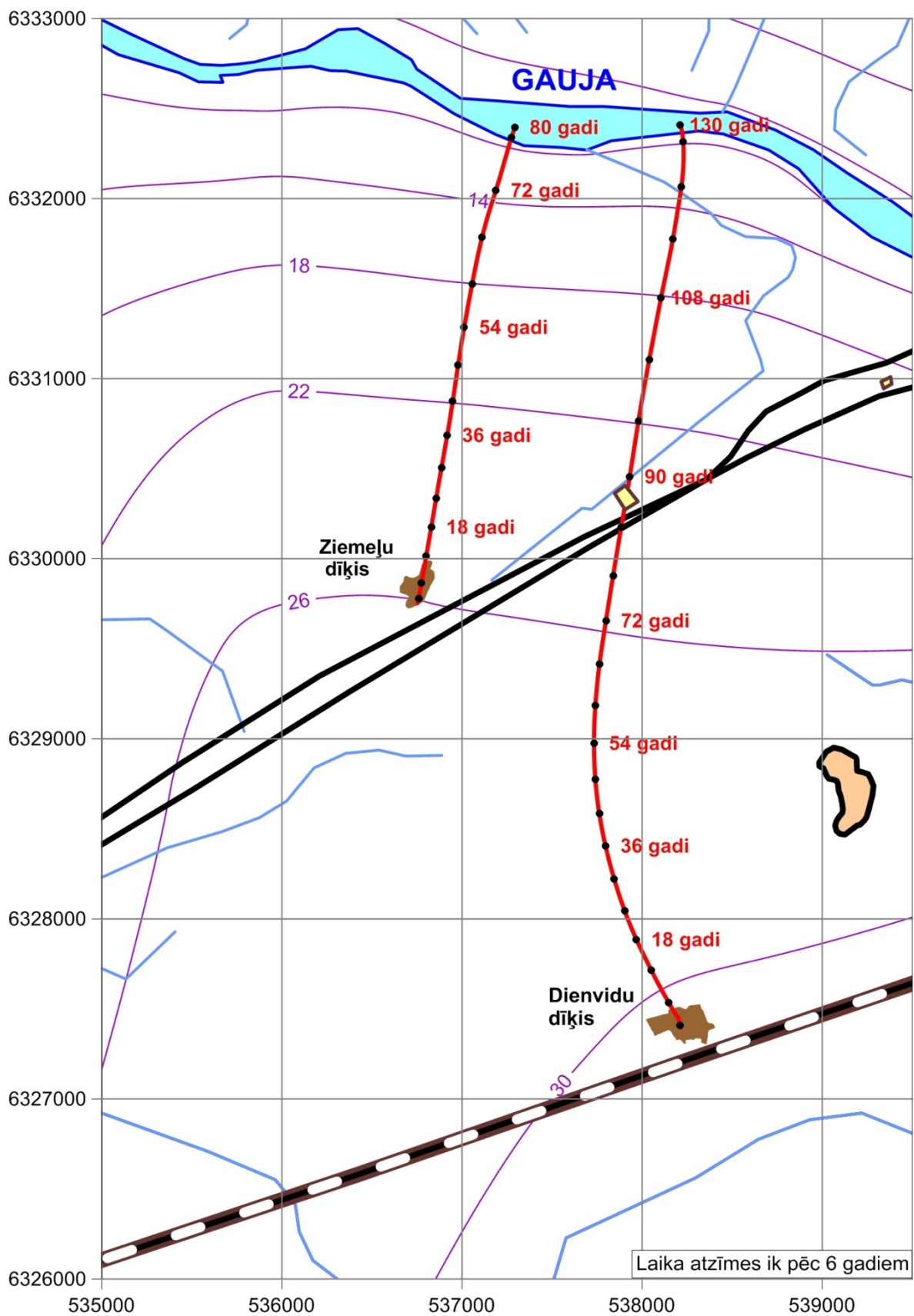
1.3. att.. Dienvidu dīķa VAV koncentrācijas 2005. gadā



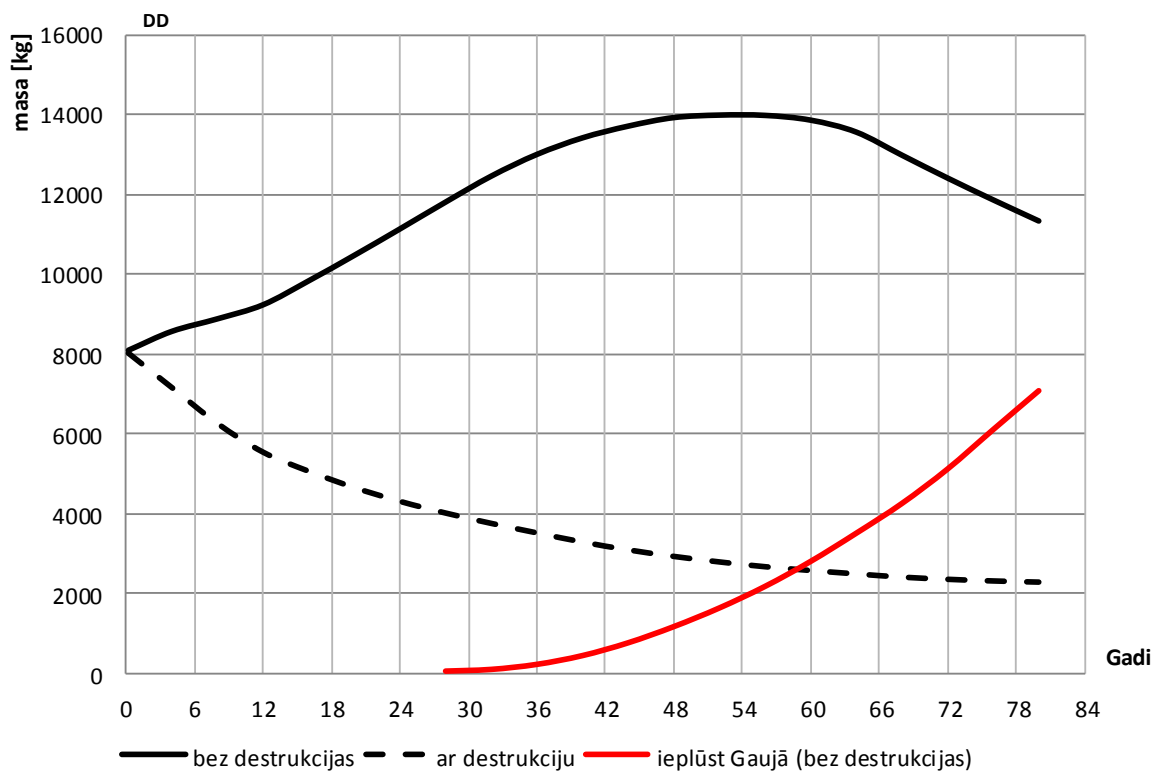
1.4. att.. Dienvidu dīķa VAV koncentrācijas 2015. gadā



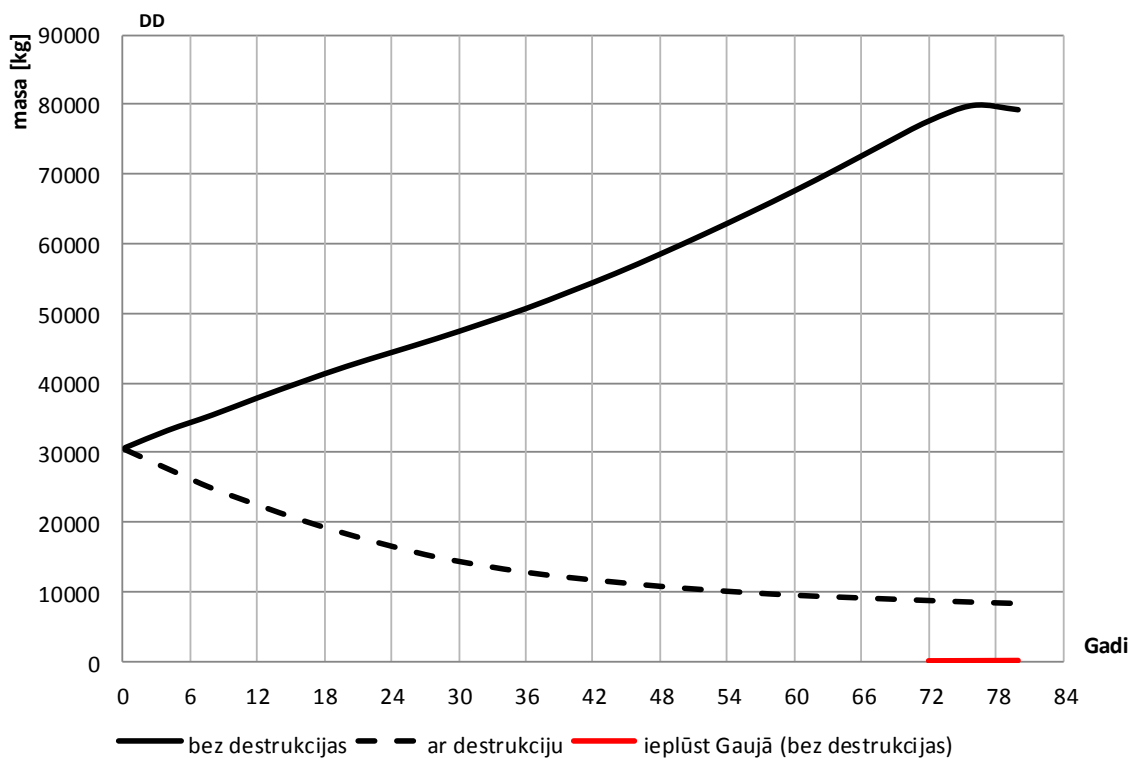
1.5. att.. Novērotās un aprēķinātās VAV koncentrācijas urbumā Nr.51 laikā no 2005.g. līdz 2015.g.



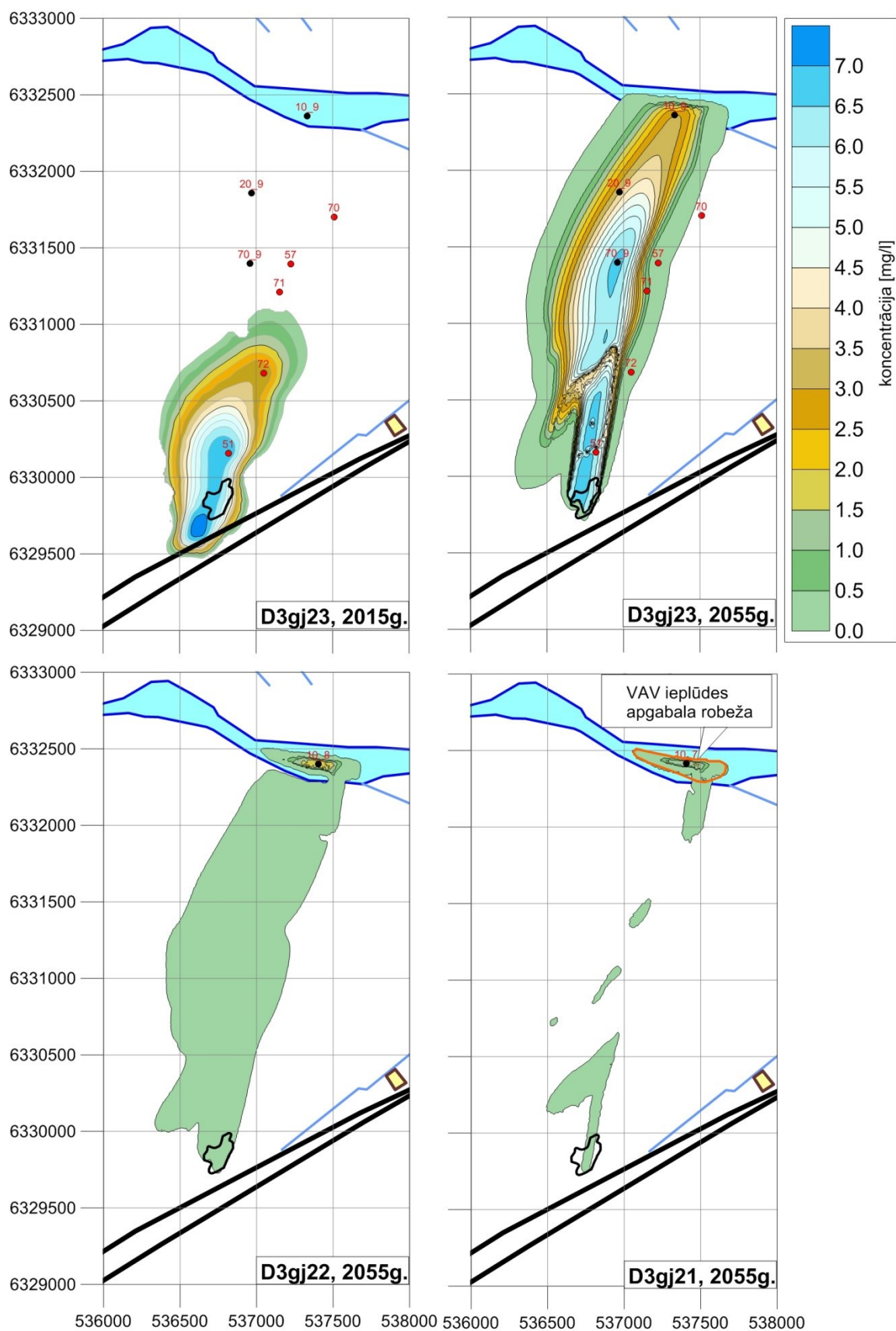
2.1. att. Ar MODPATH sistēmu prognozētā piesārņojuma kustība no Ziemeļu un Dienvidu izgāztuves uz Gaujas upi (laika atskaite no dīķu eksistences sākuma; Ziemeļu dīķim -1955.g., Dienvidu dīķim – 1965.g.)



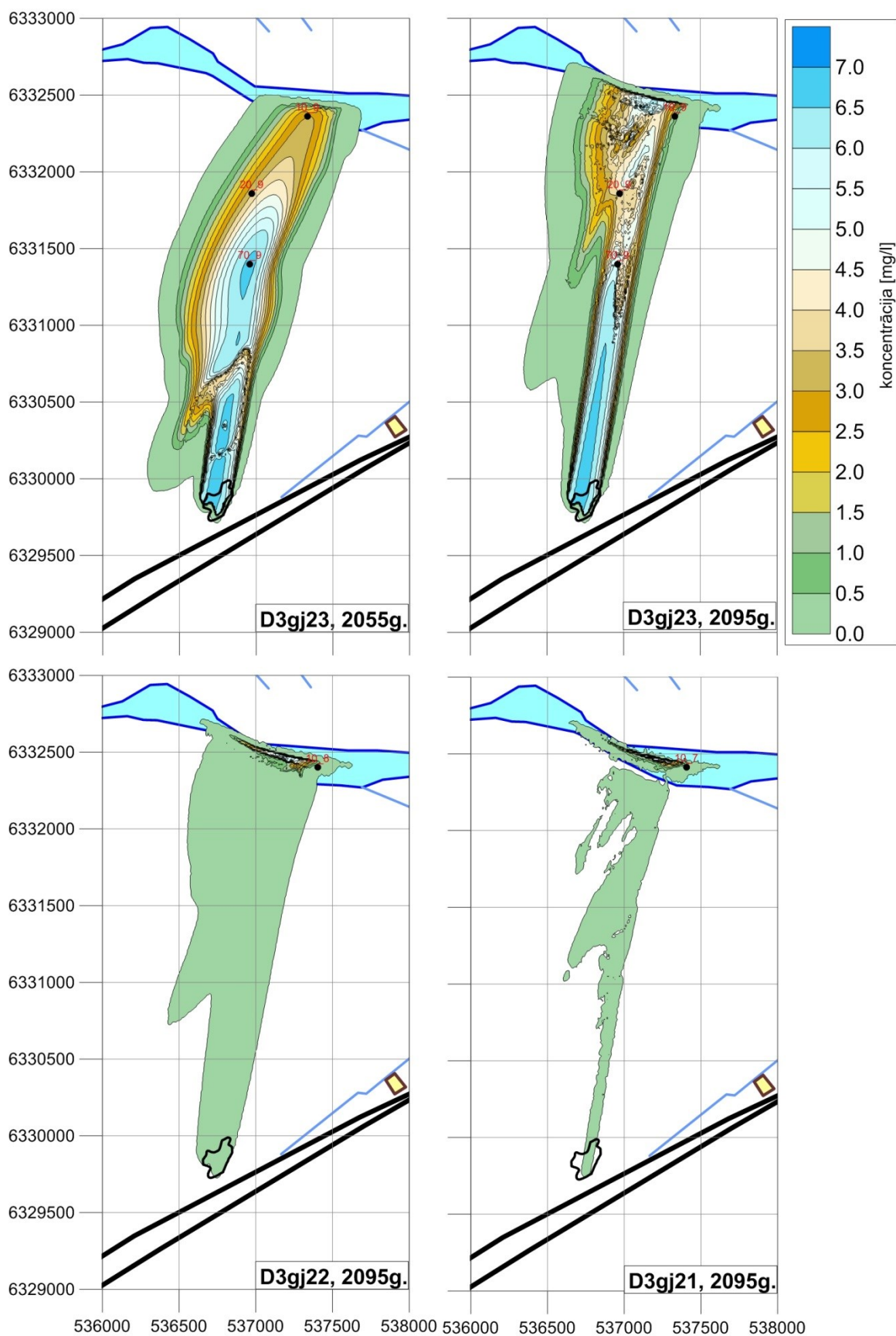
2.2. att. VAV masas izmaiņa Ziemeļu dīķa piesārņotajā areālā (nulles variantam) bez un ar destrukcijas ievērošanu 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)



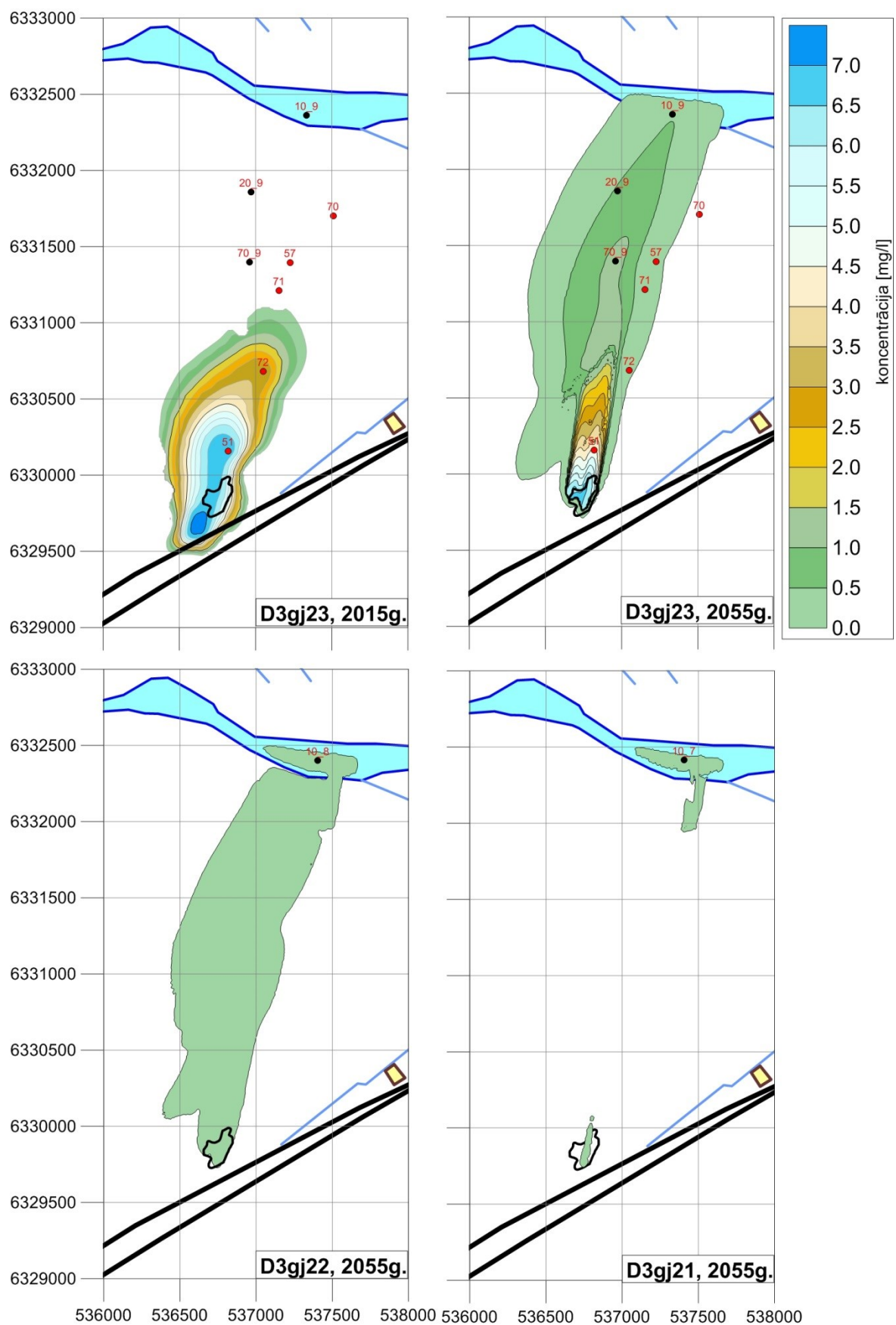
2.3. att. VAV masas izmaiņa Dienvidu dīķa piesārņotajā areālā (nulles variantam) bez un ar destrukcijas ievērošanu 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)



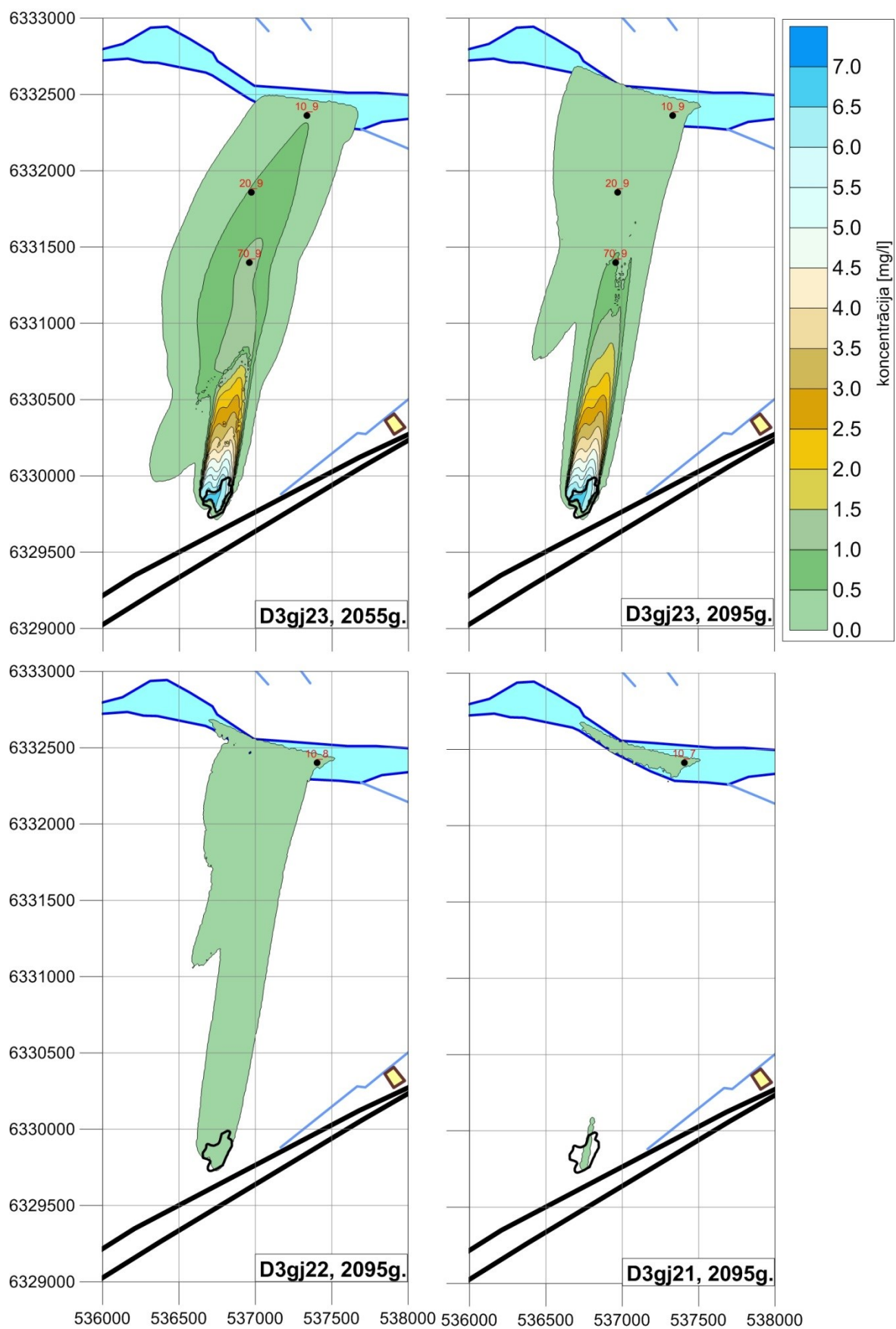
2.4. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas



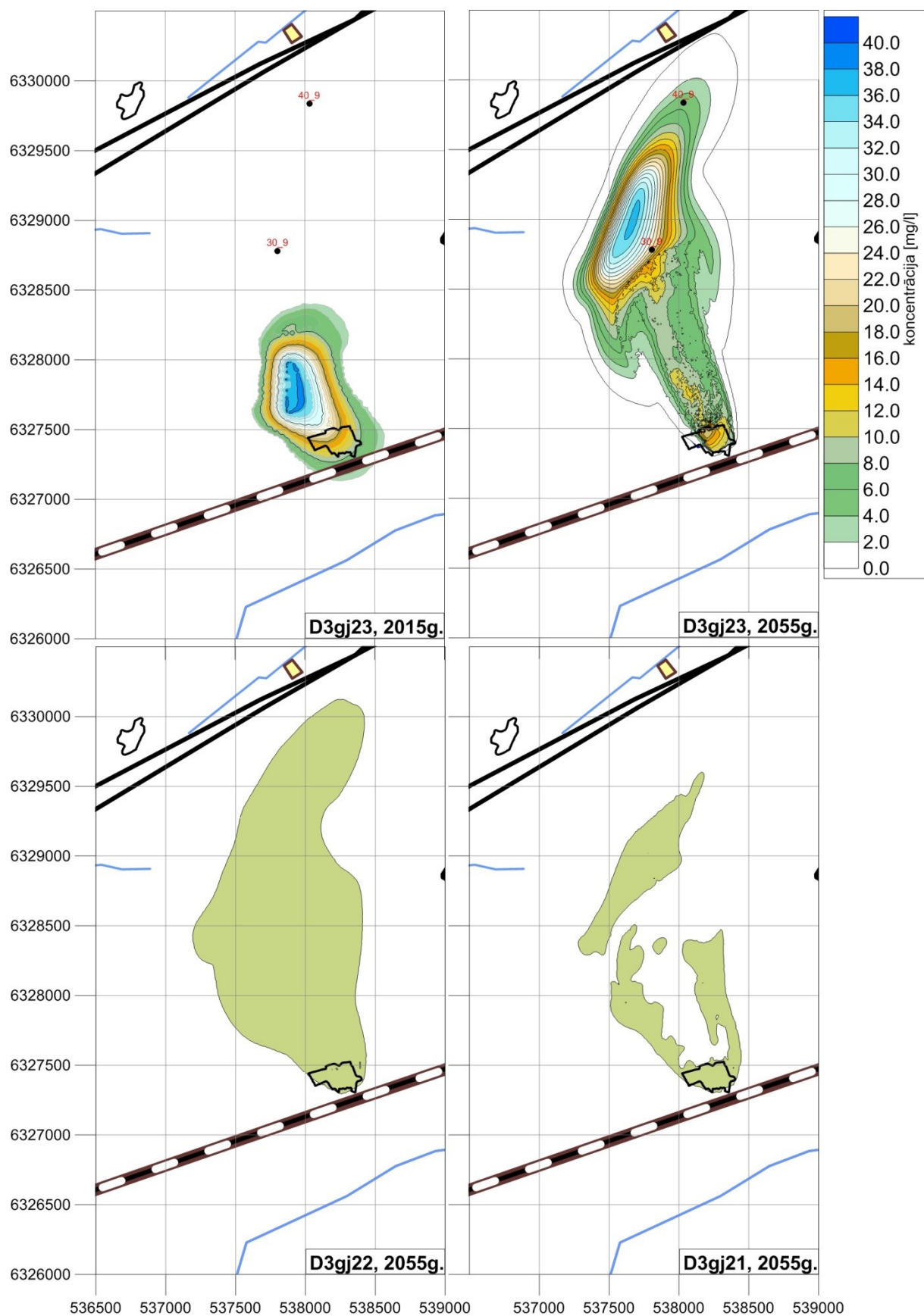
2.5. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas



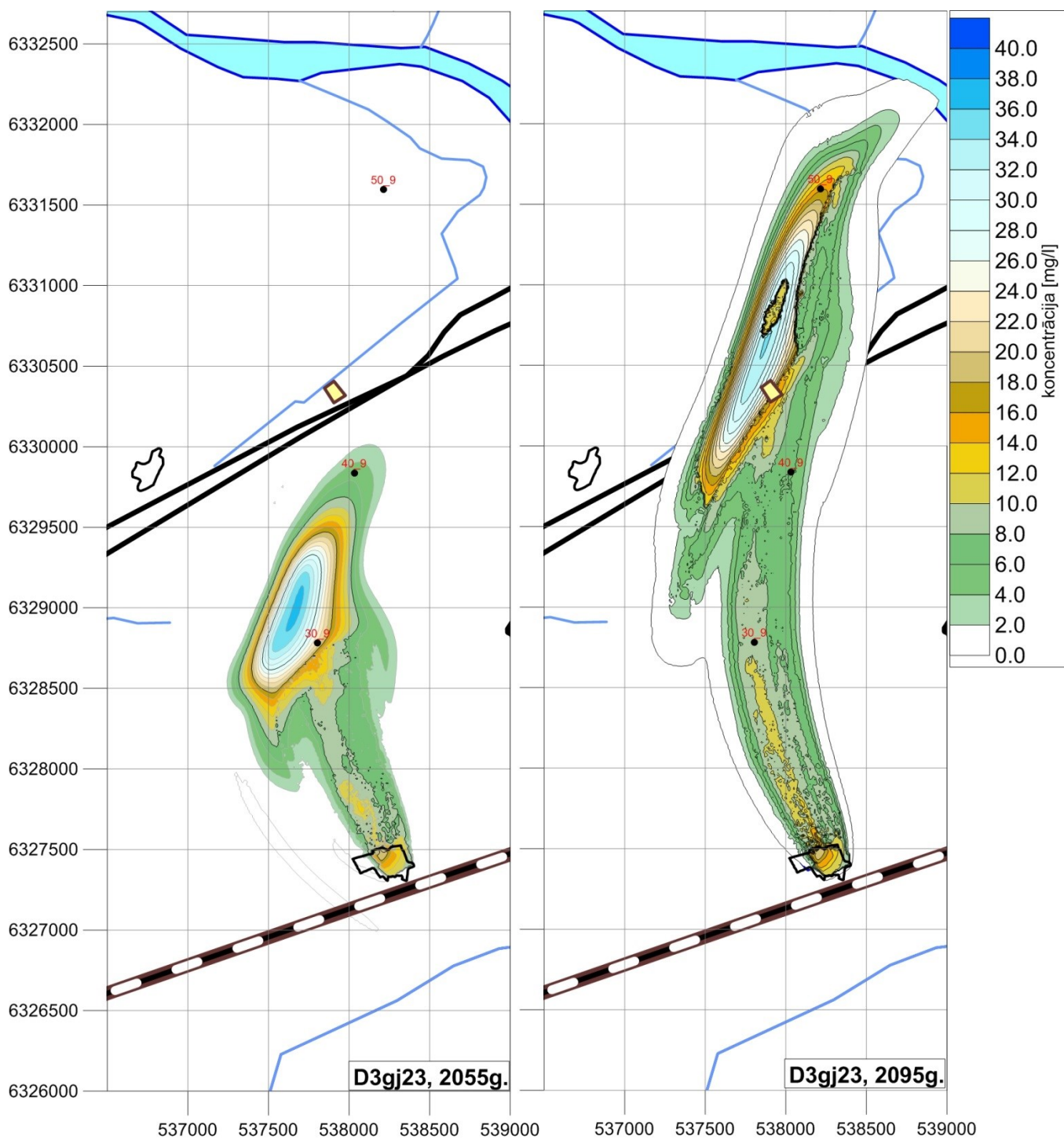
2.6. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim
2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destruktijas ievērošanu



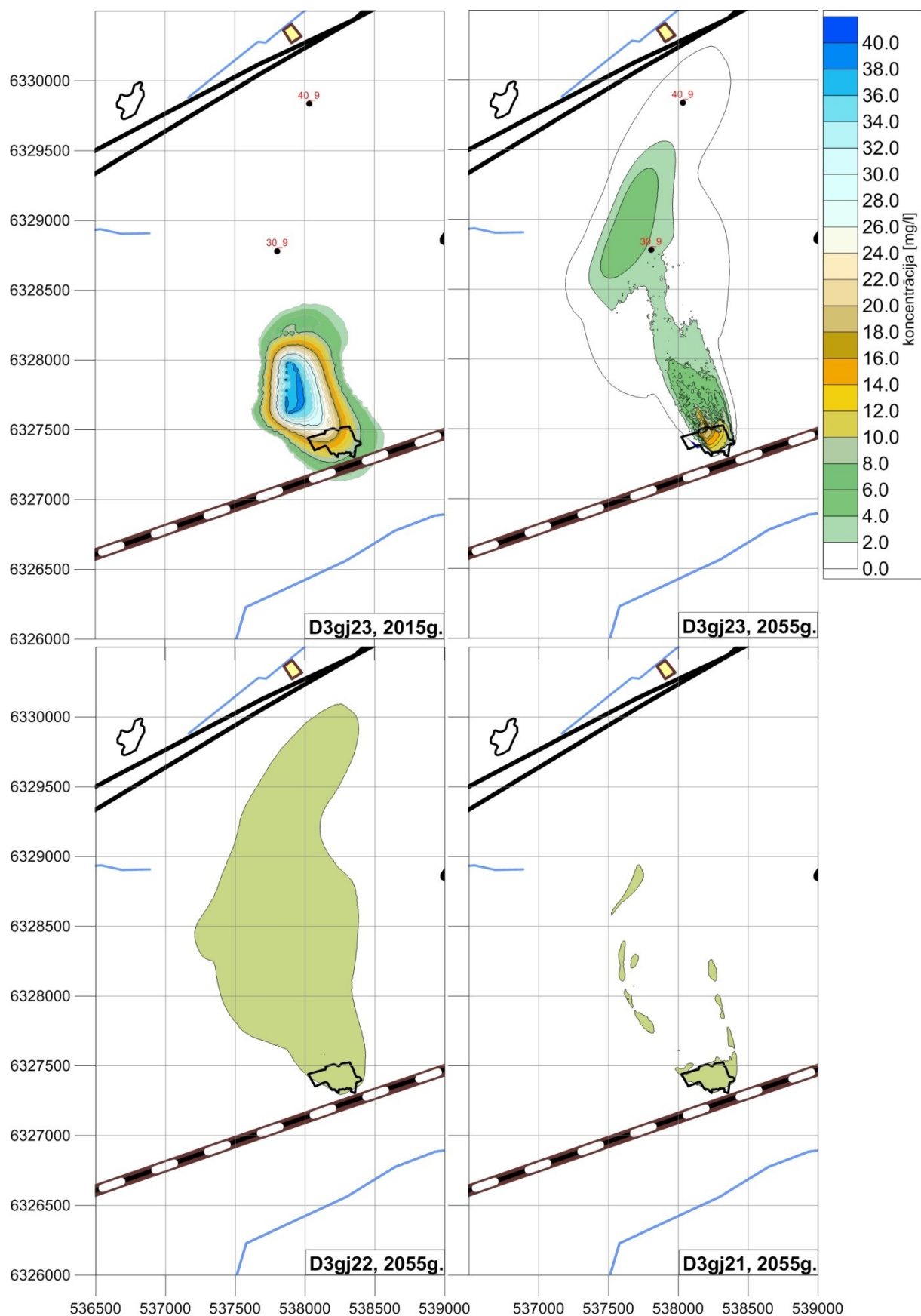
2.7. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim
2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destruktijas ievērošanu



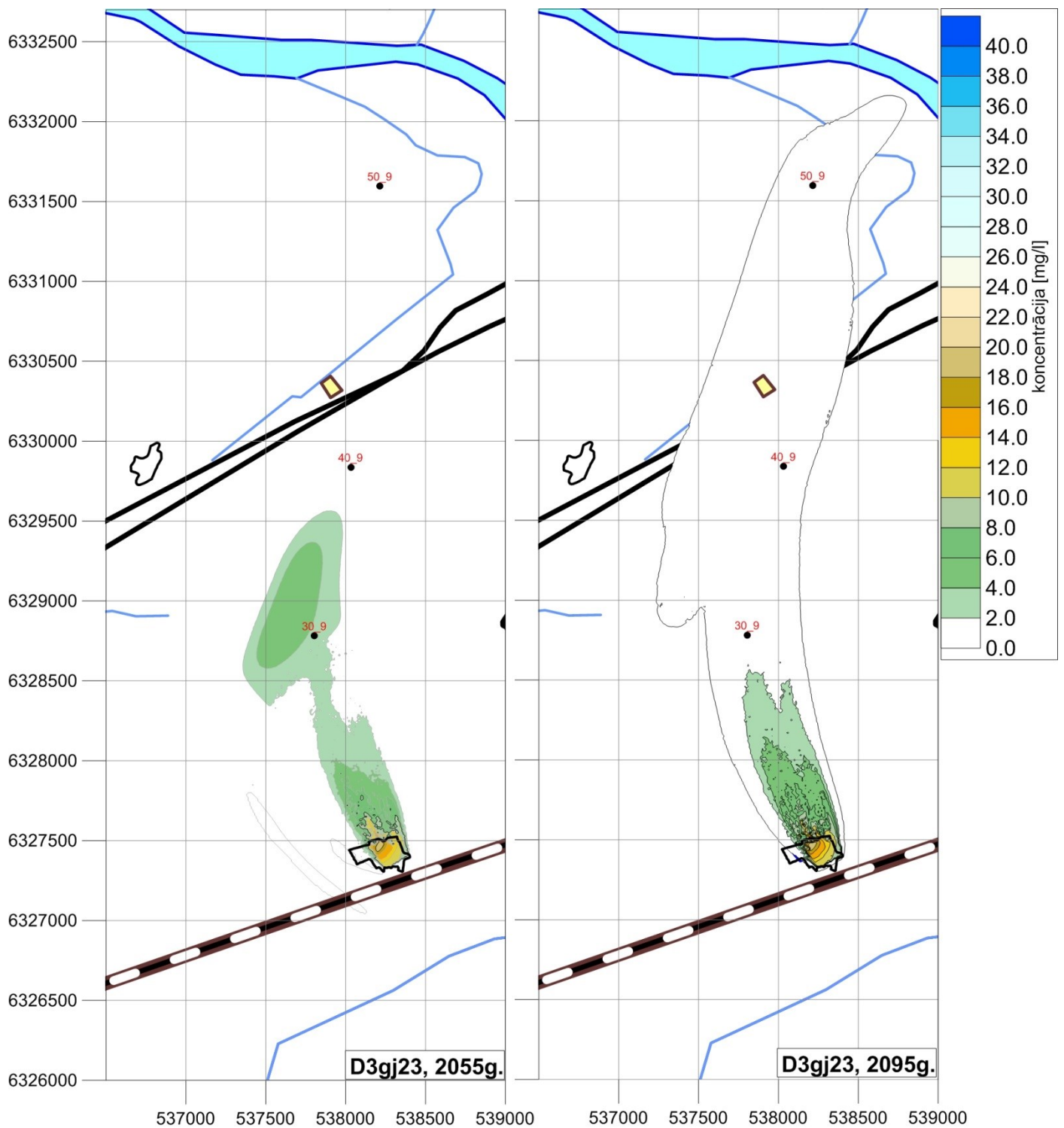
2.8. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas



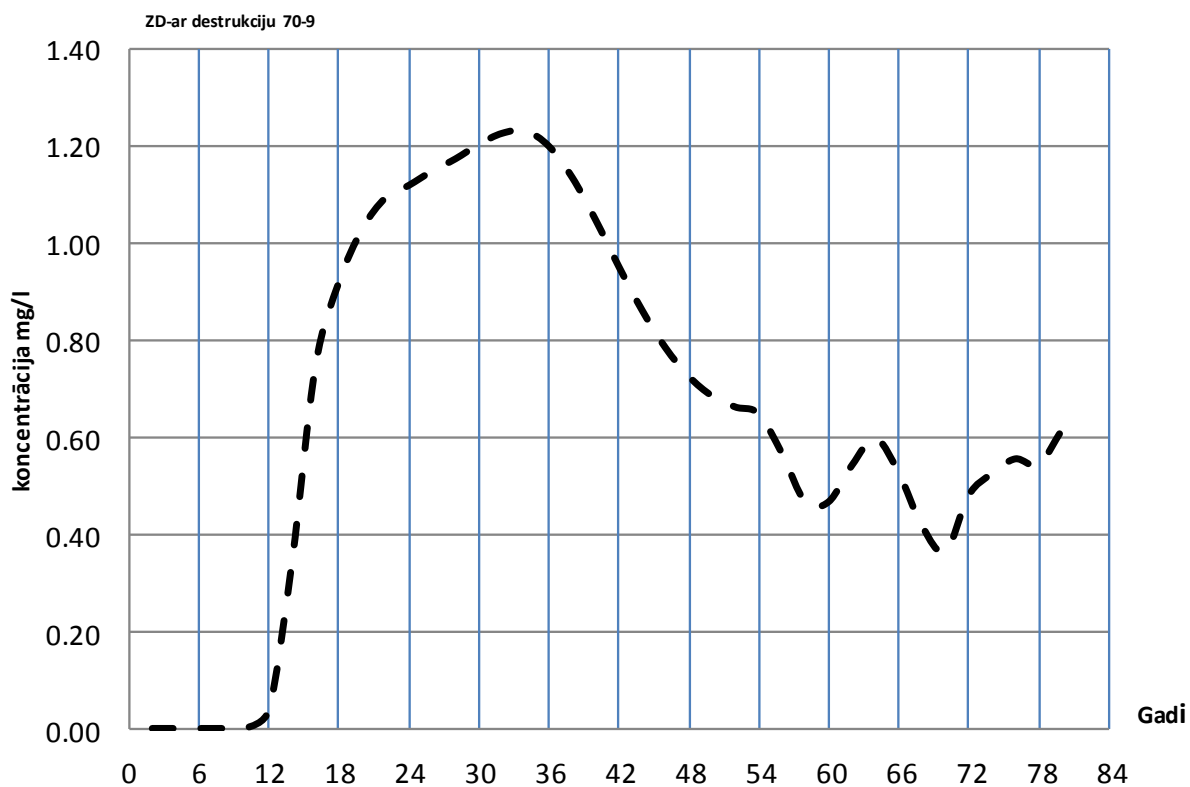
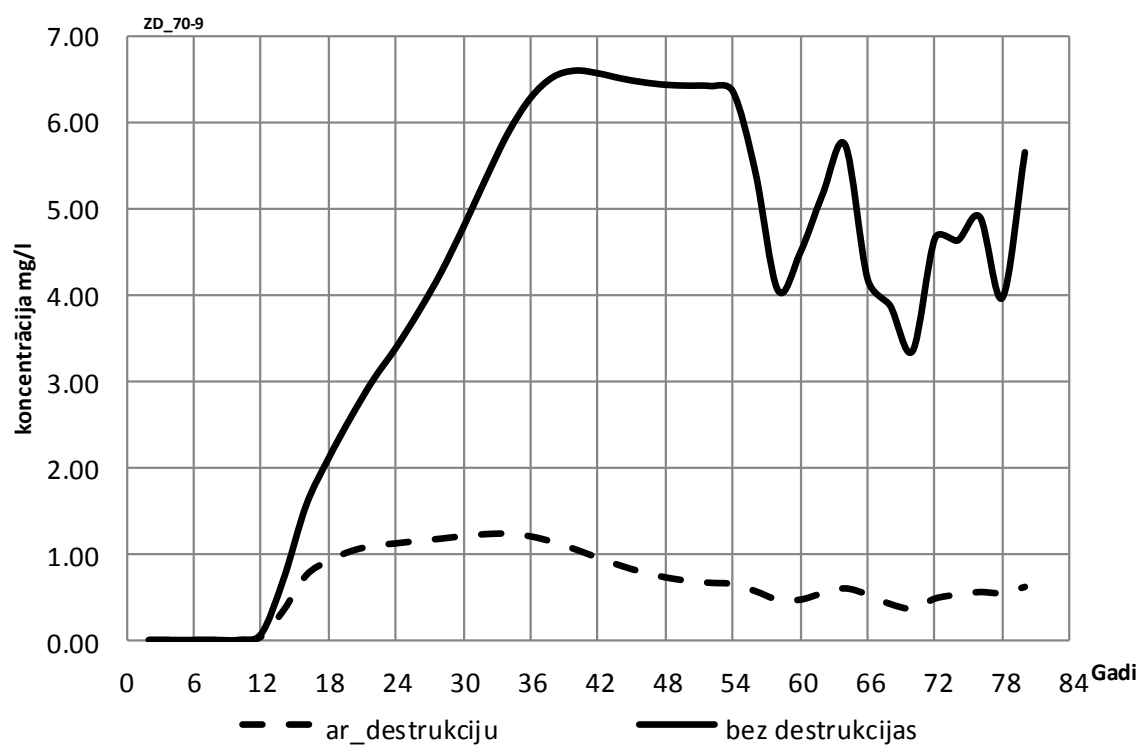
2.9. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas



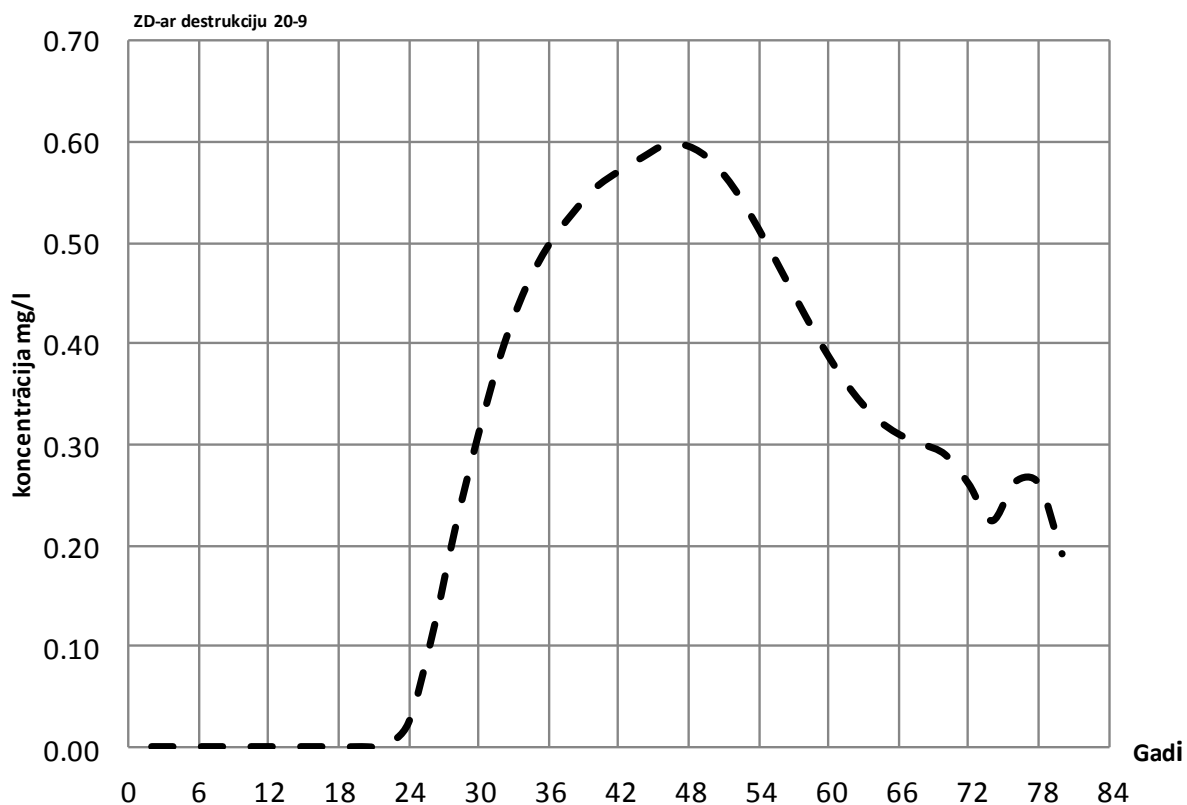
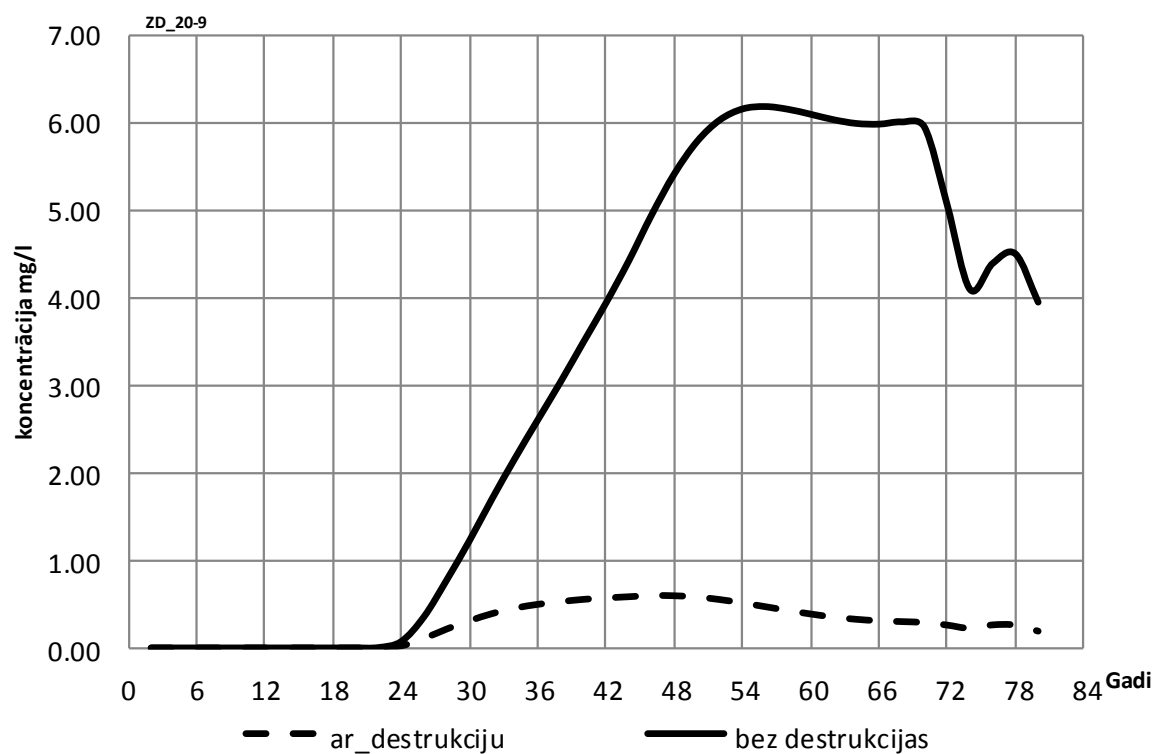
2.10. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destruktijas ievērošanu



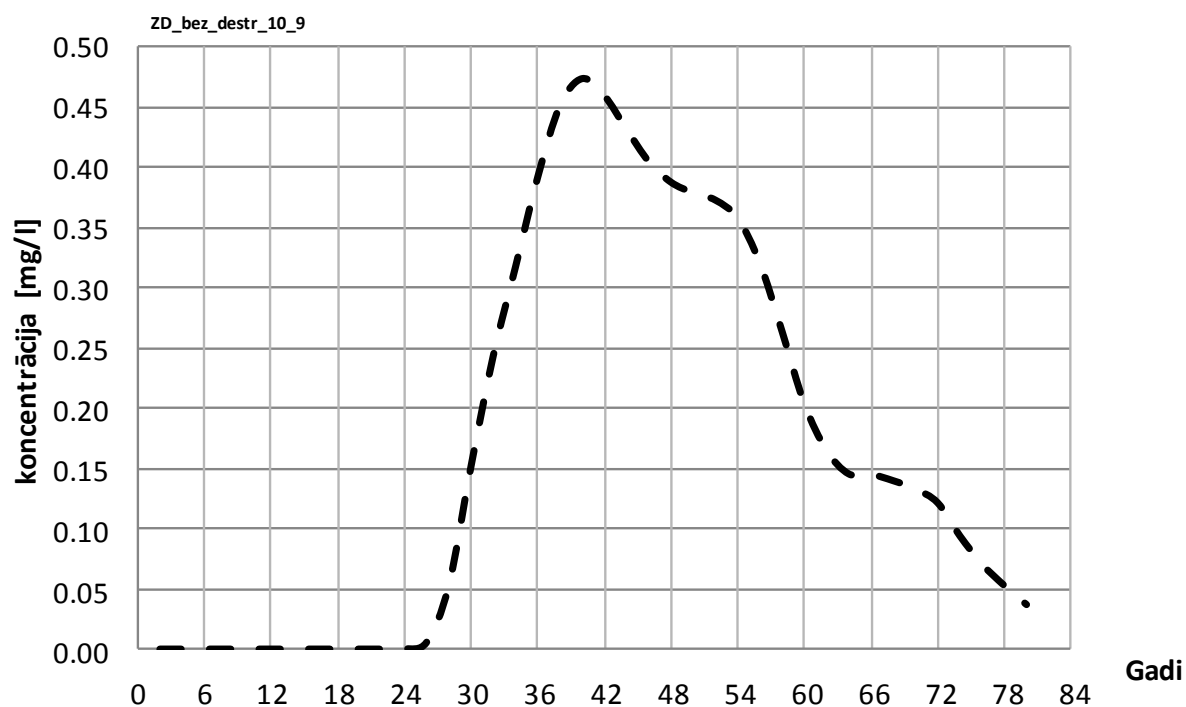
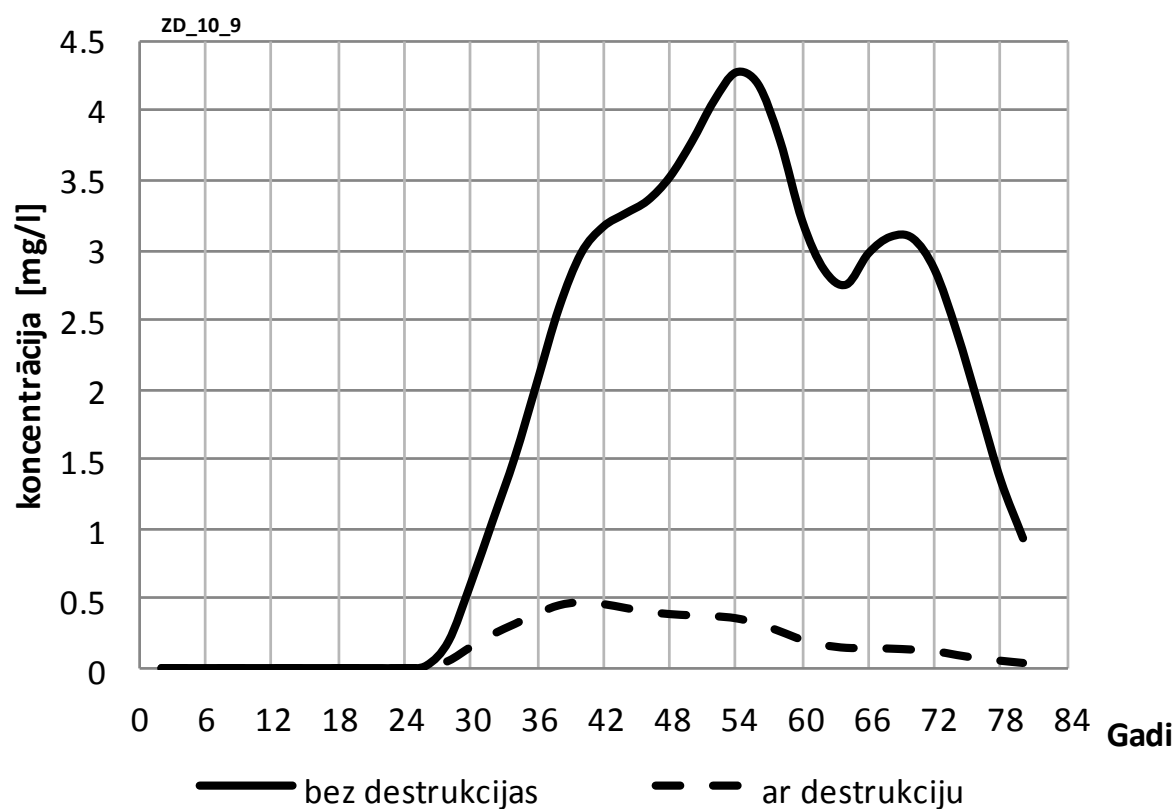
2.11. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanu



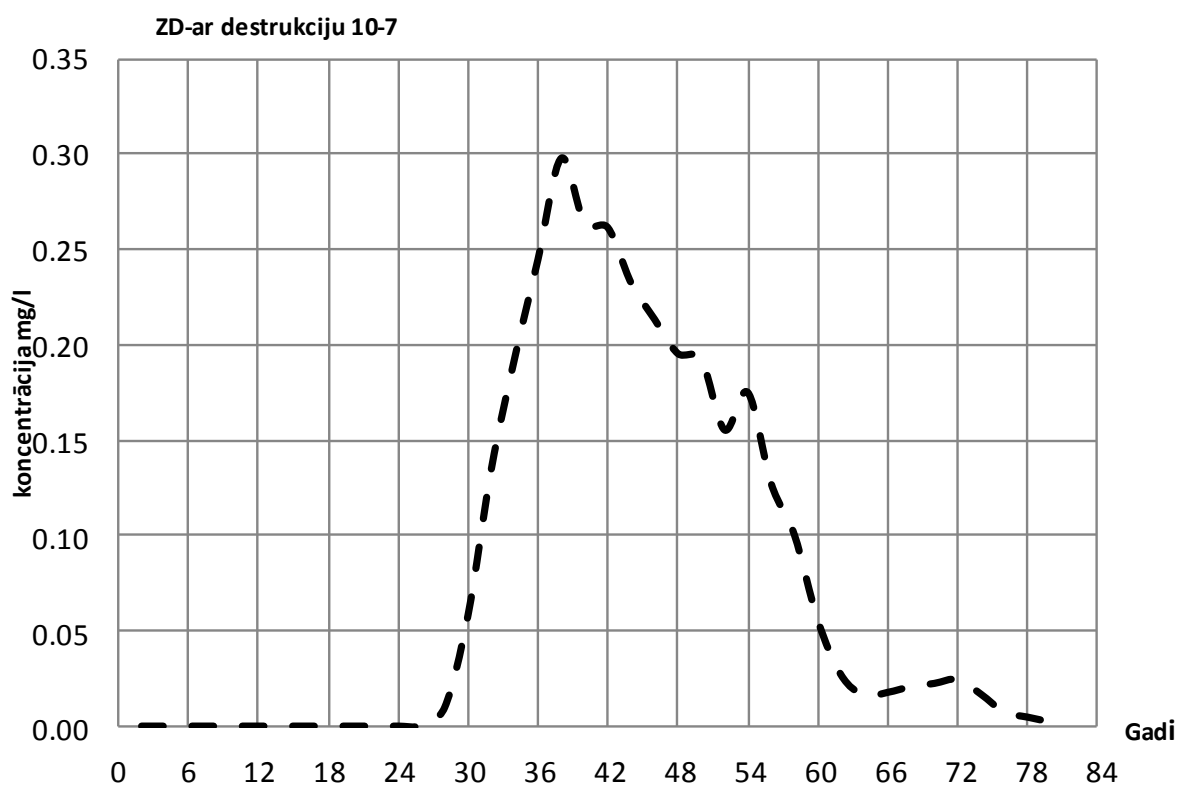
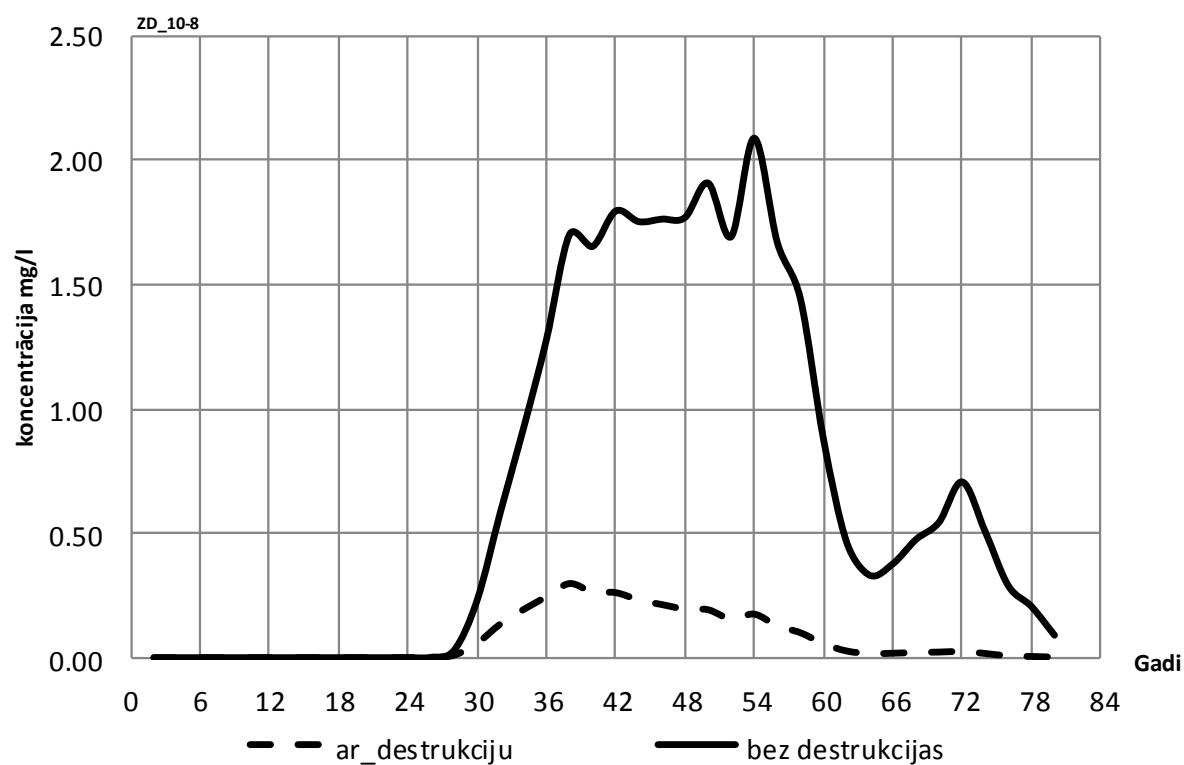
2.12. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.70-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



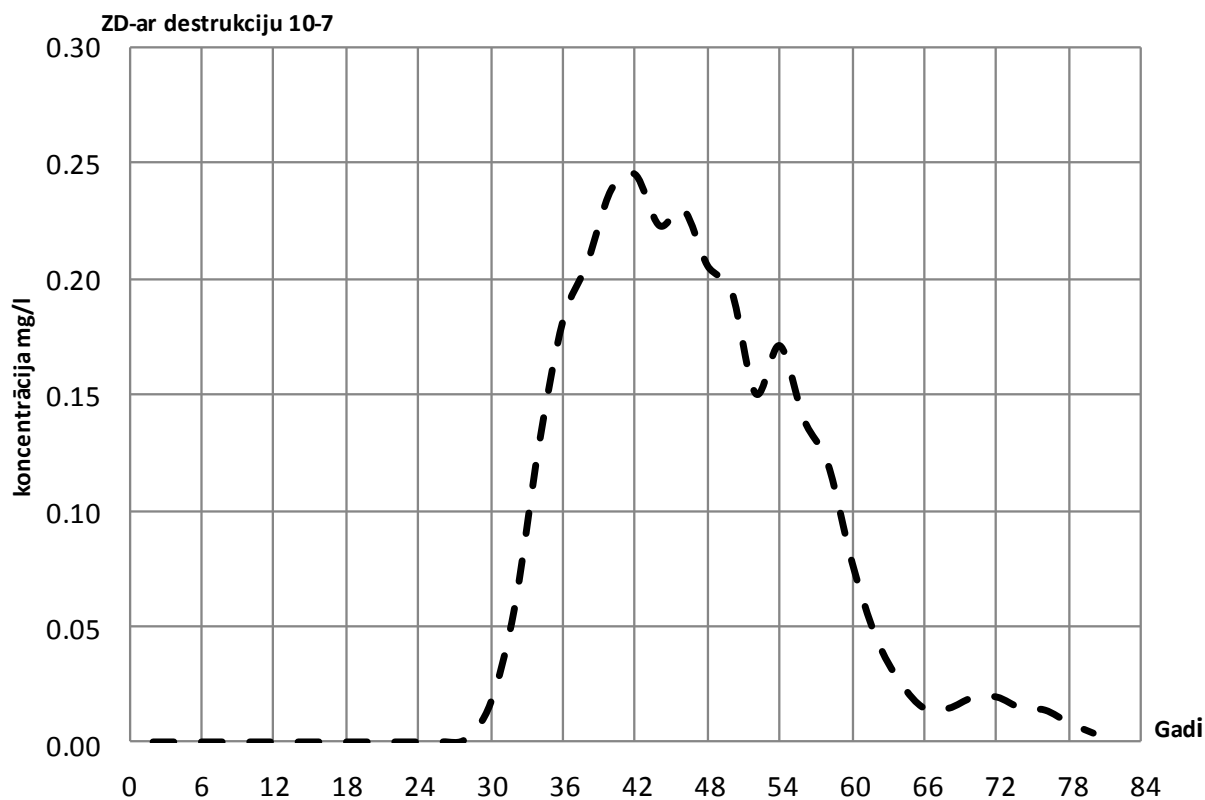
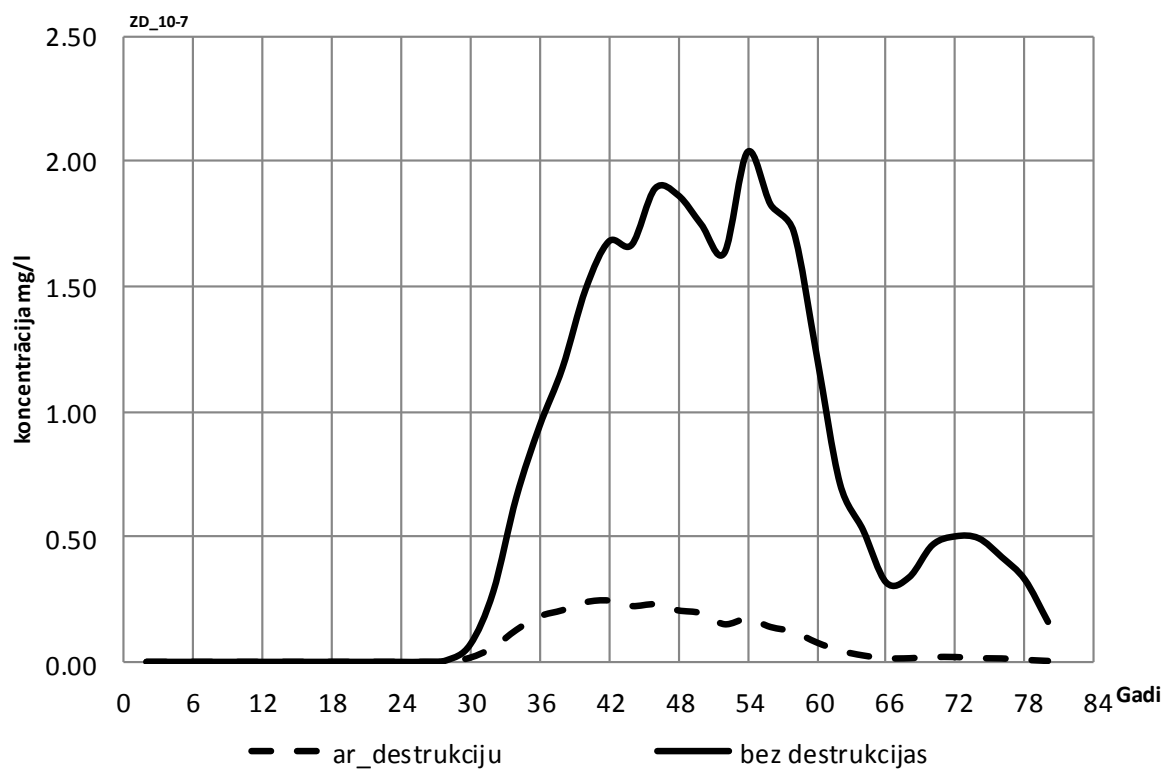
2.13. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.20-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



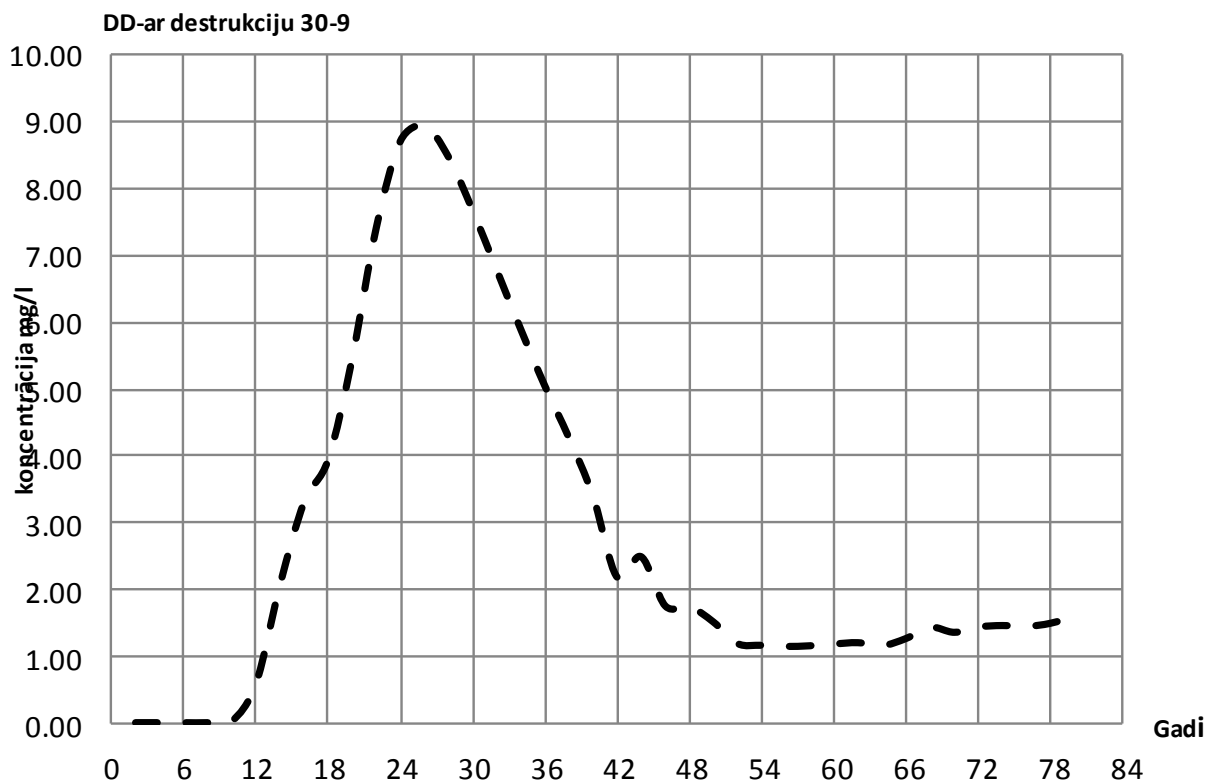
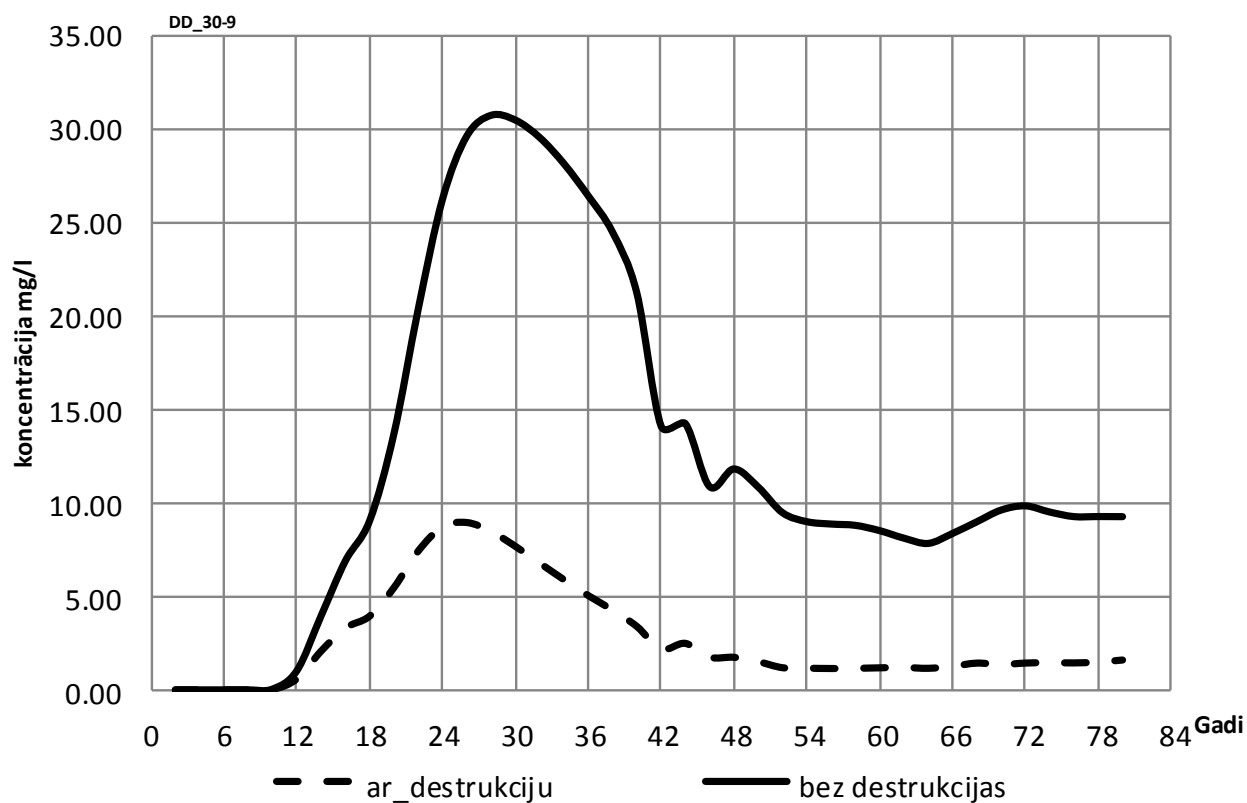
2.14. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



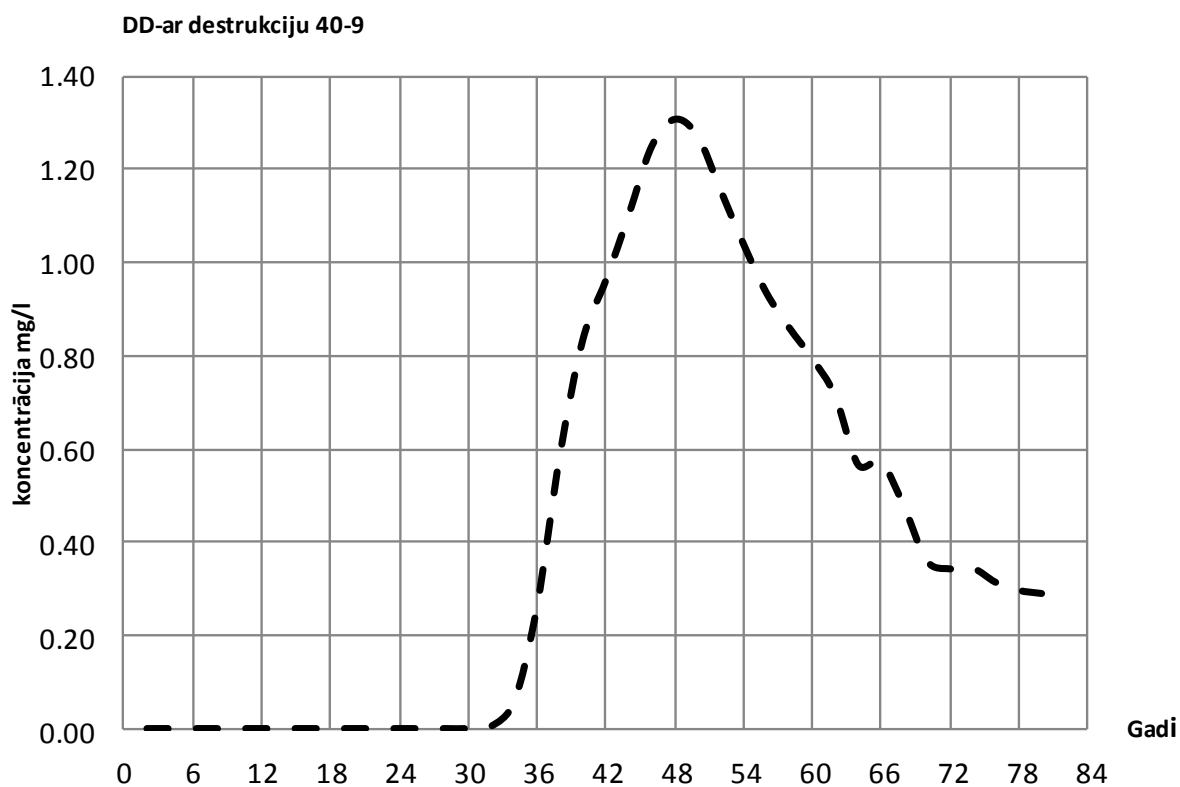
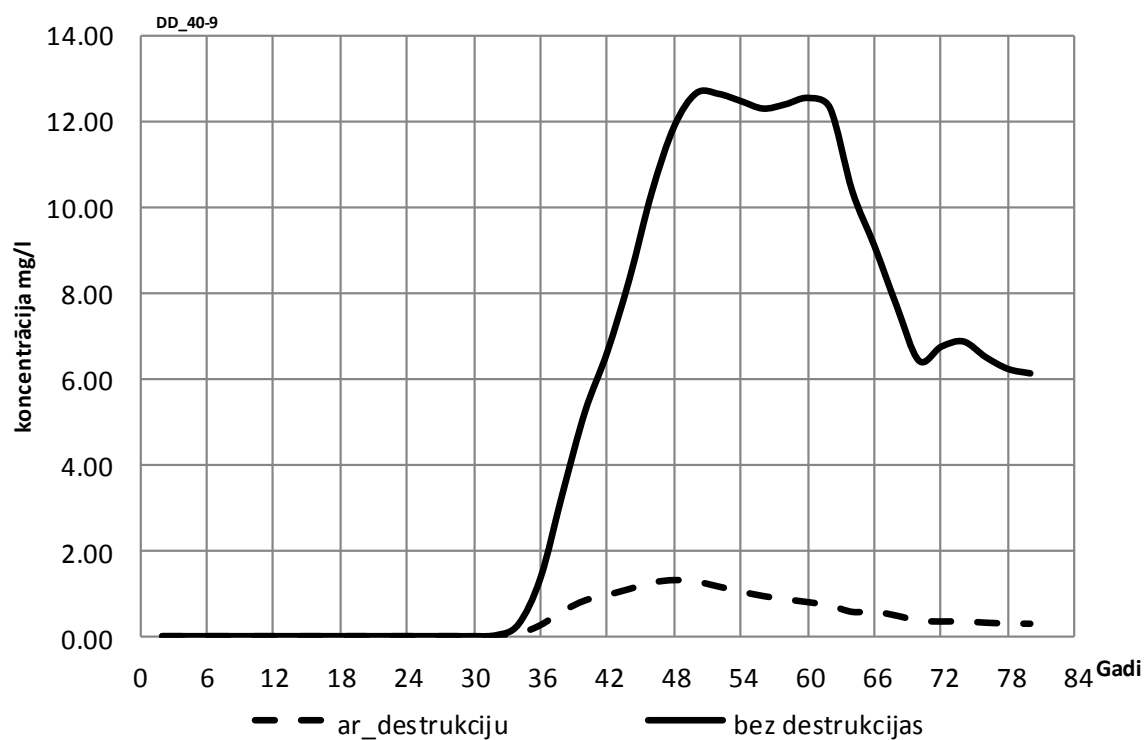
2.15. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-8 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



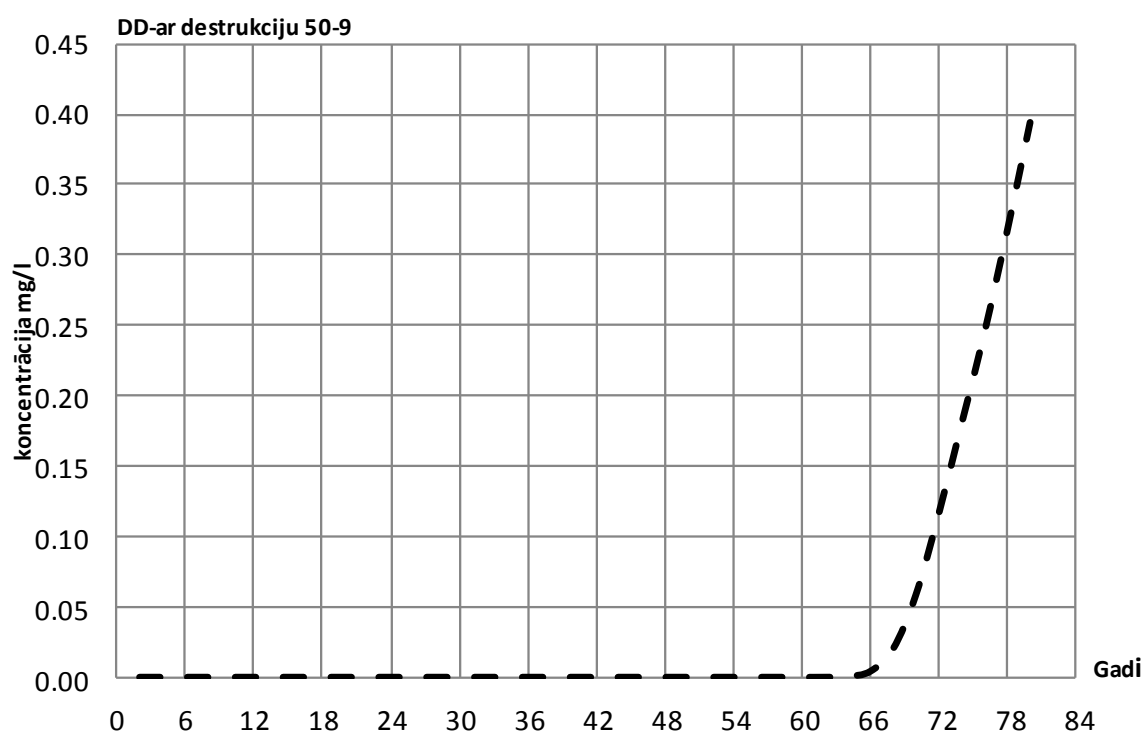
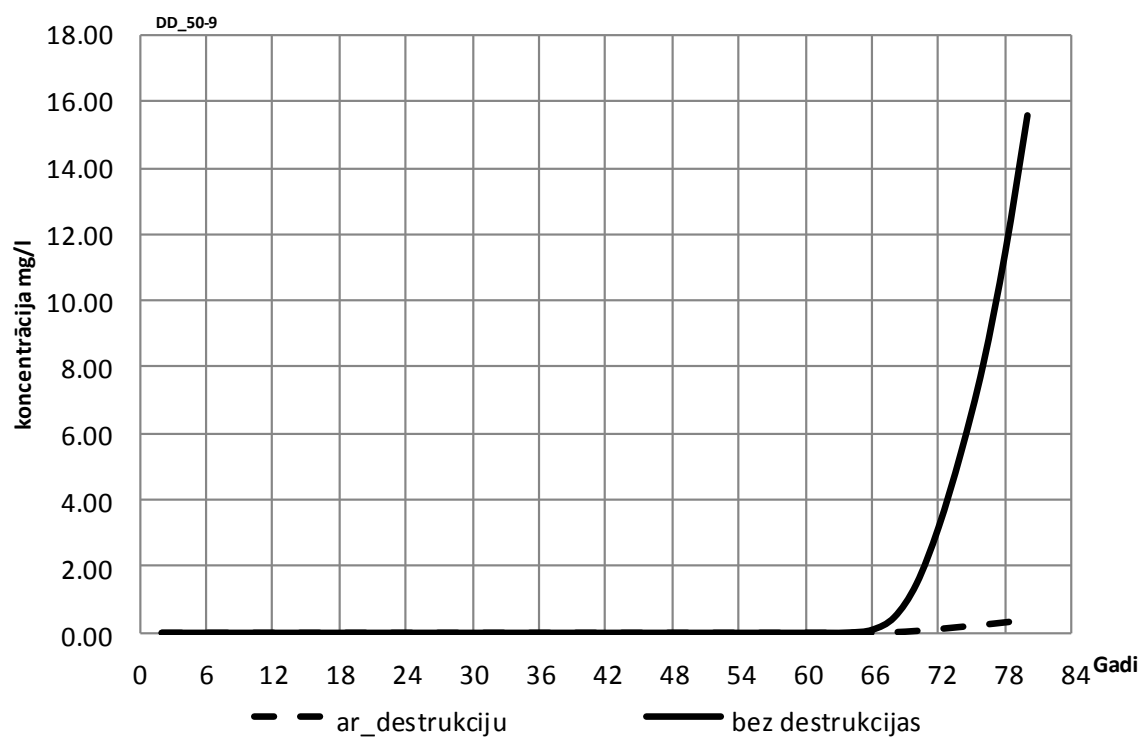
2.16. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-7 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



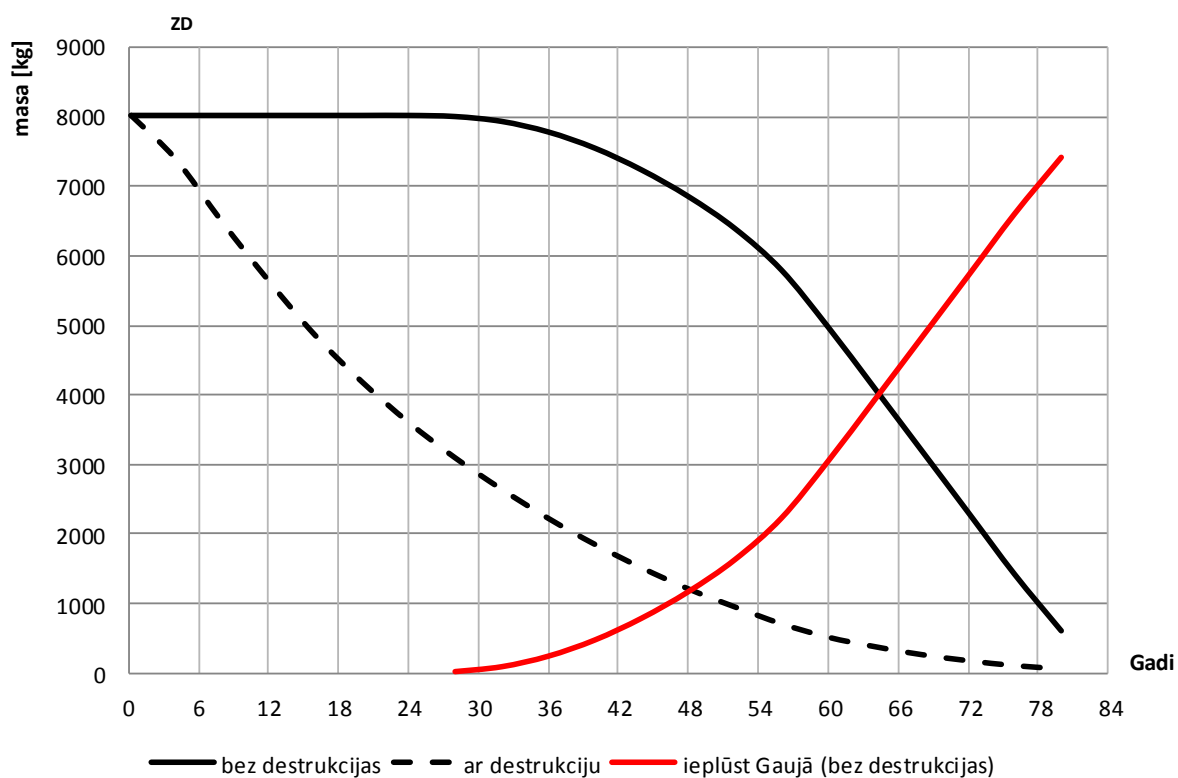
2.17. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.30-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



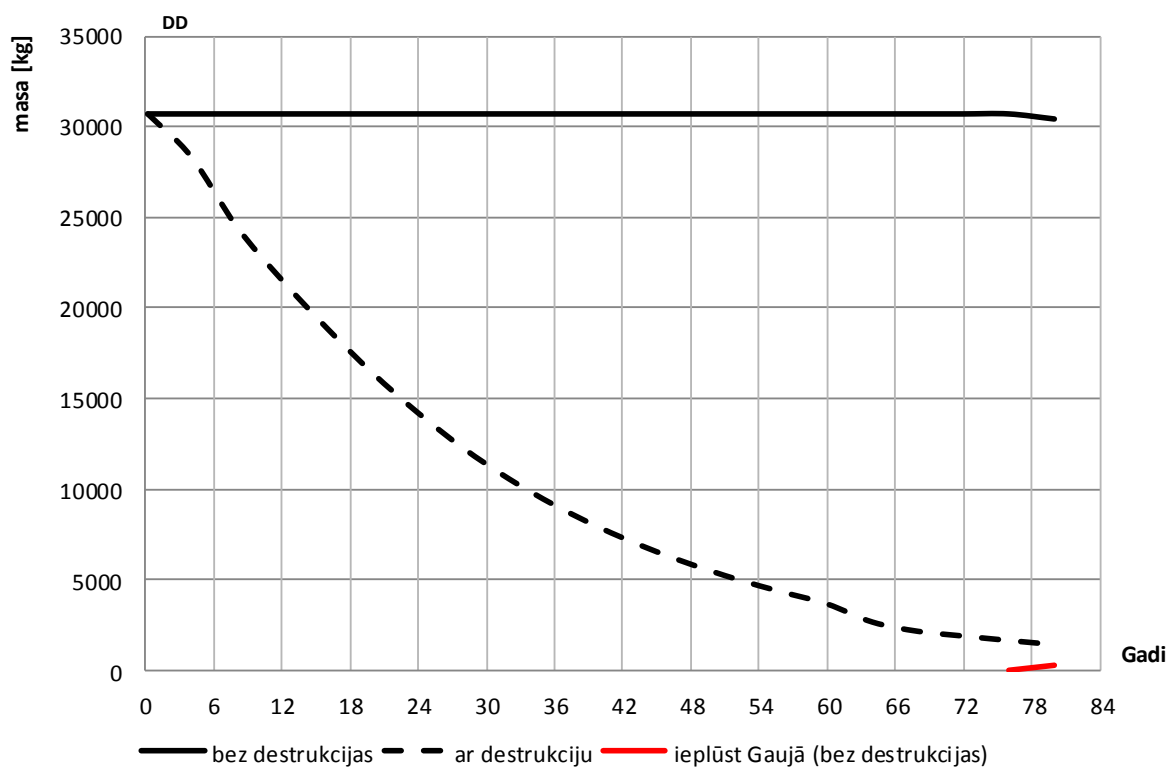
2.18. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.40-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destruktijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



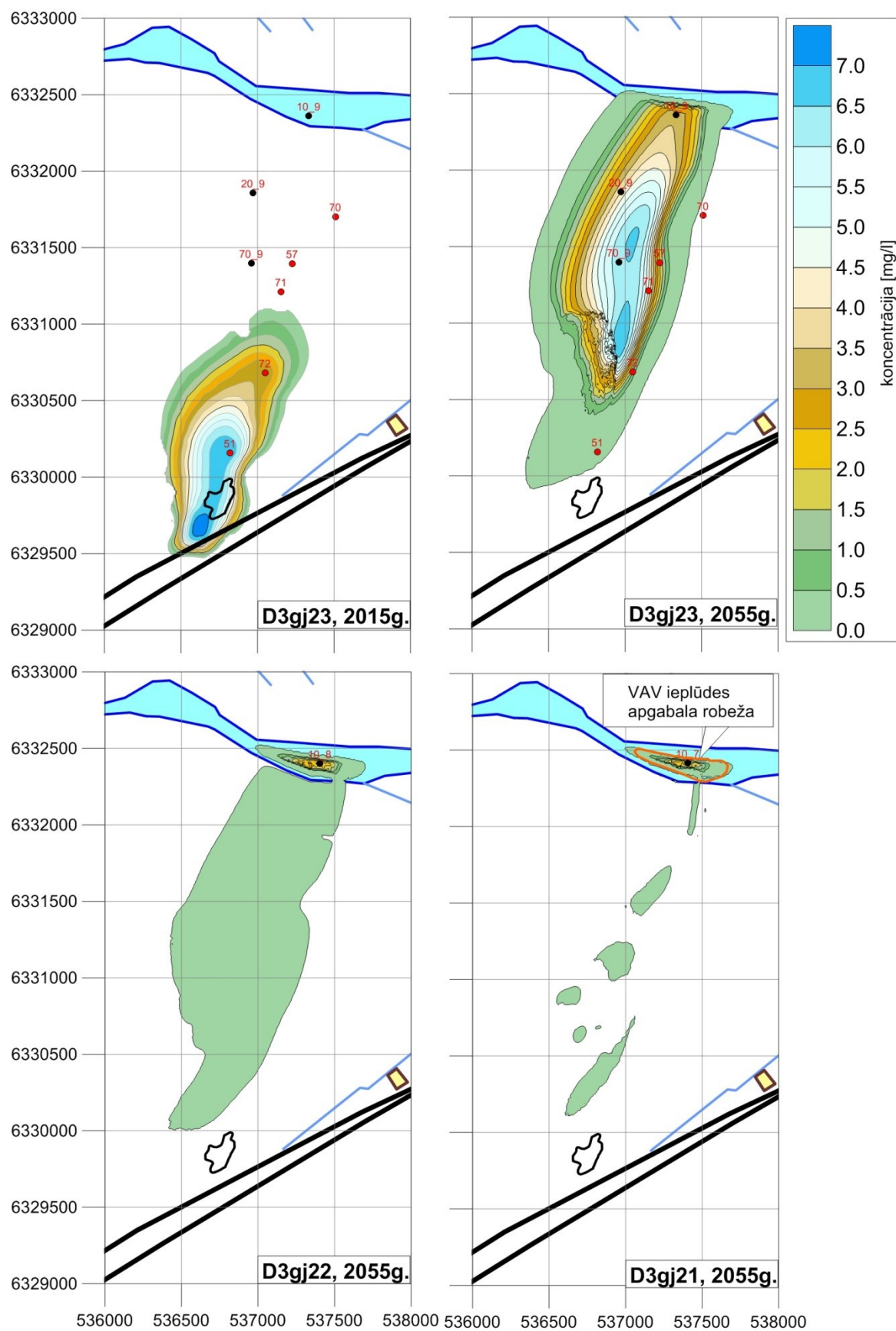
2.19. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.50-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



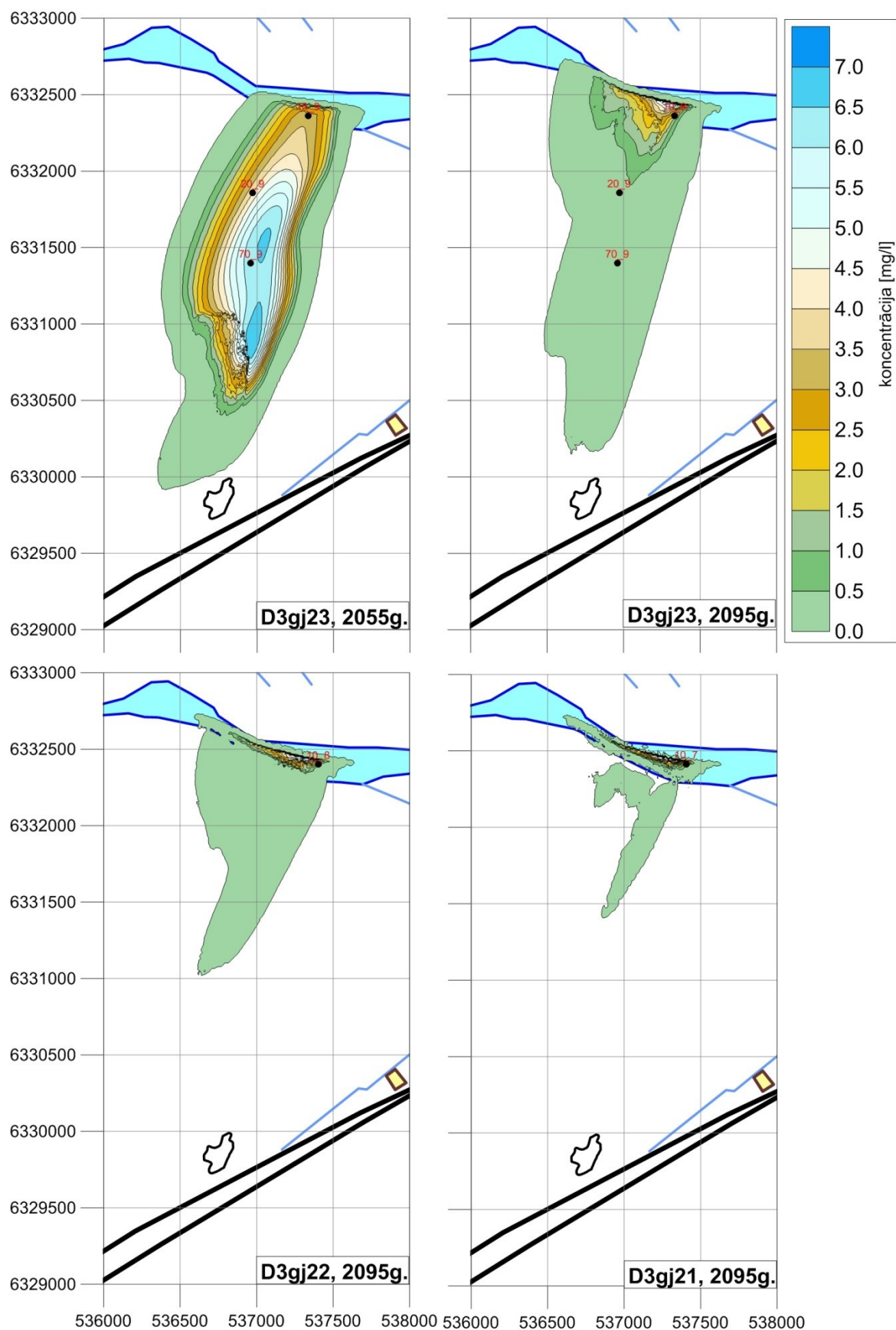
3.1.. att. VAV masas izmaiņa Ziemeļu dīķa piesārņotajā areālā (pilnās sanācības variantam) bez un ar destrukcijas ievērošanu 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)



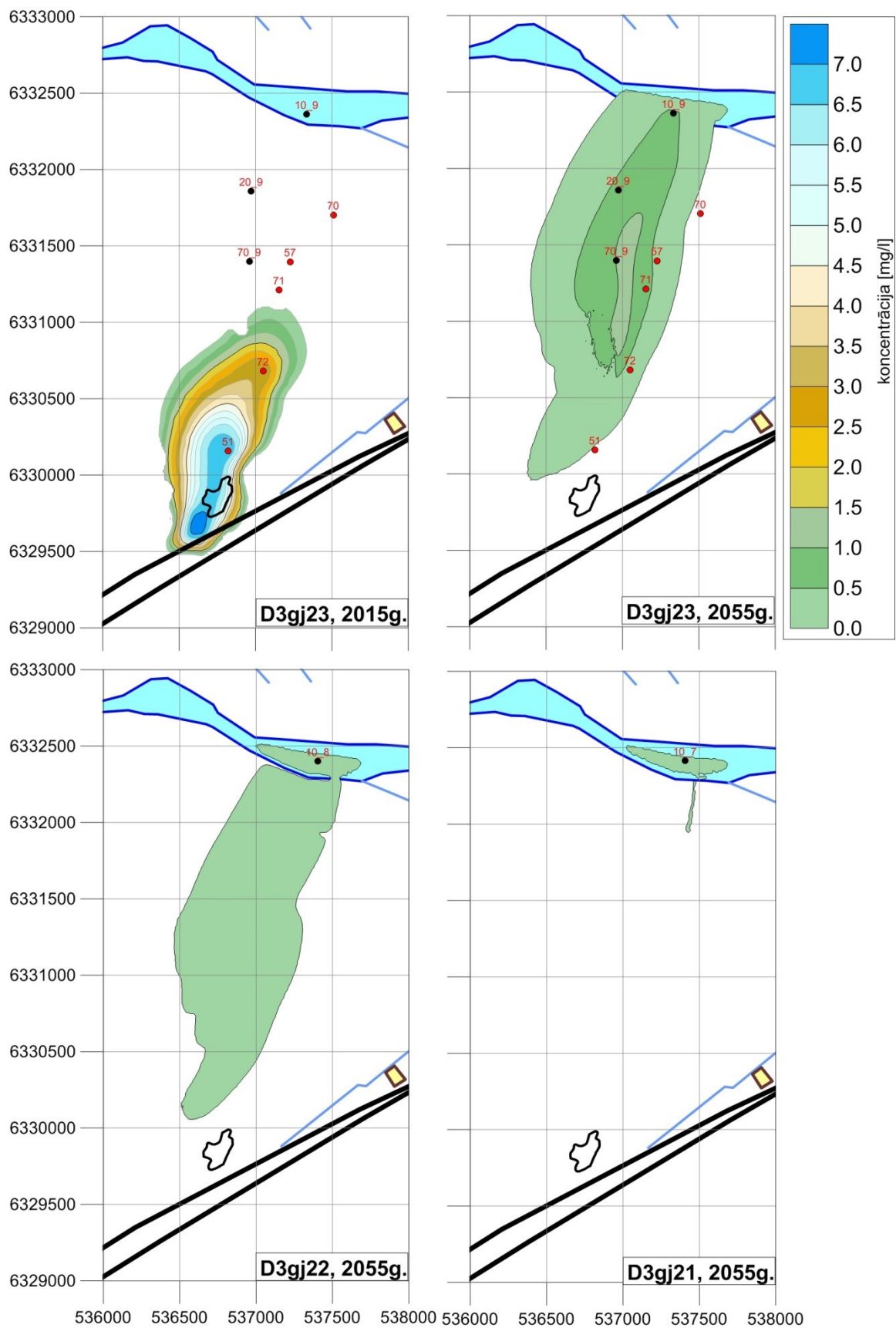
3.2. att. VAV masas izmaiņa Dienvidu dīķa piesārņotajā areālā (pilnās sanācības variantam) bez un ar destrukcijas ievērošanu 80 gadu laikā (laika atskaite no 2015. gada)



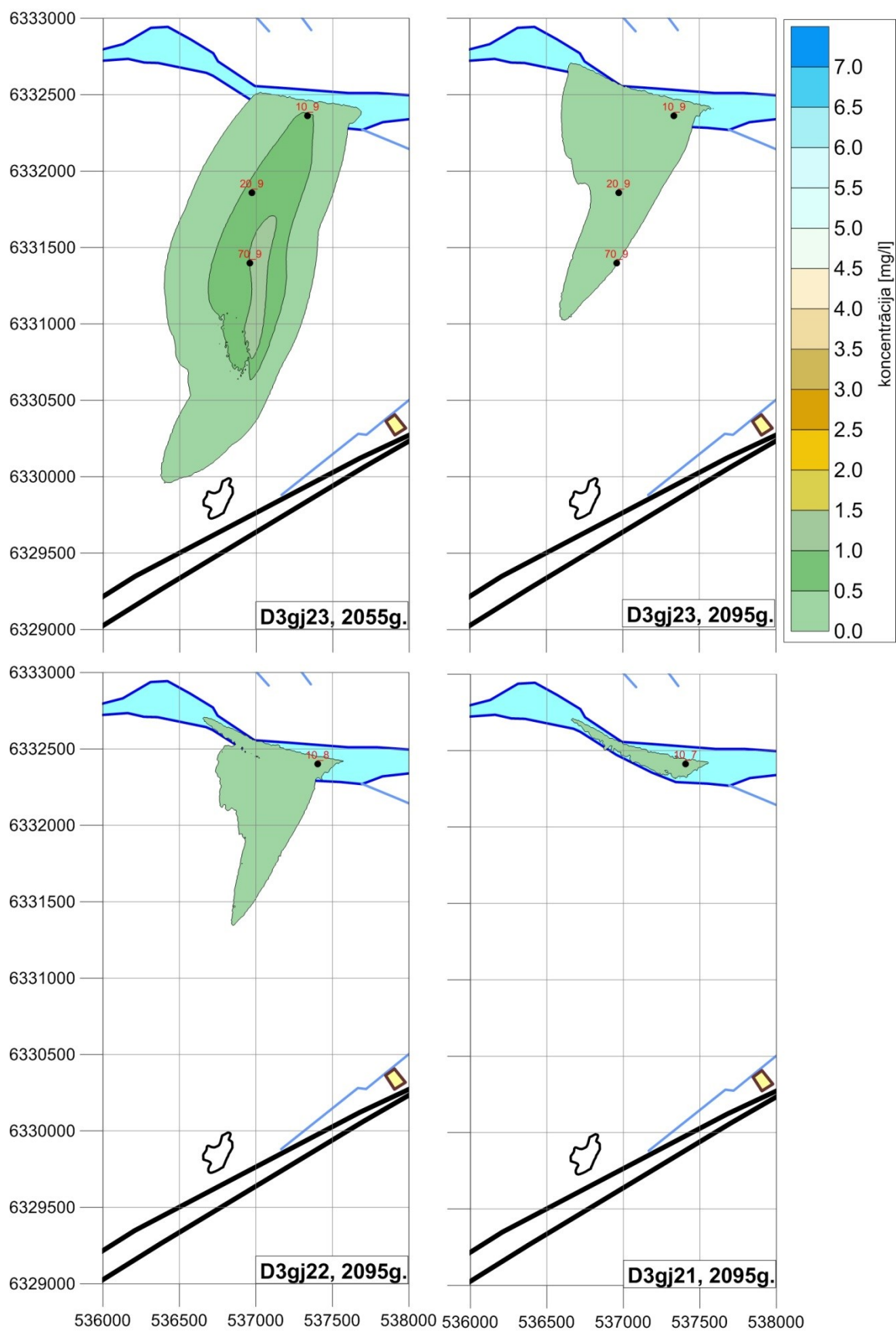
3.3. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destrukcijas ievērošanas



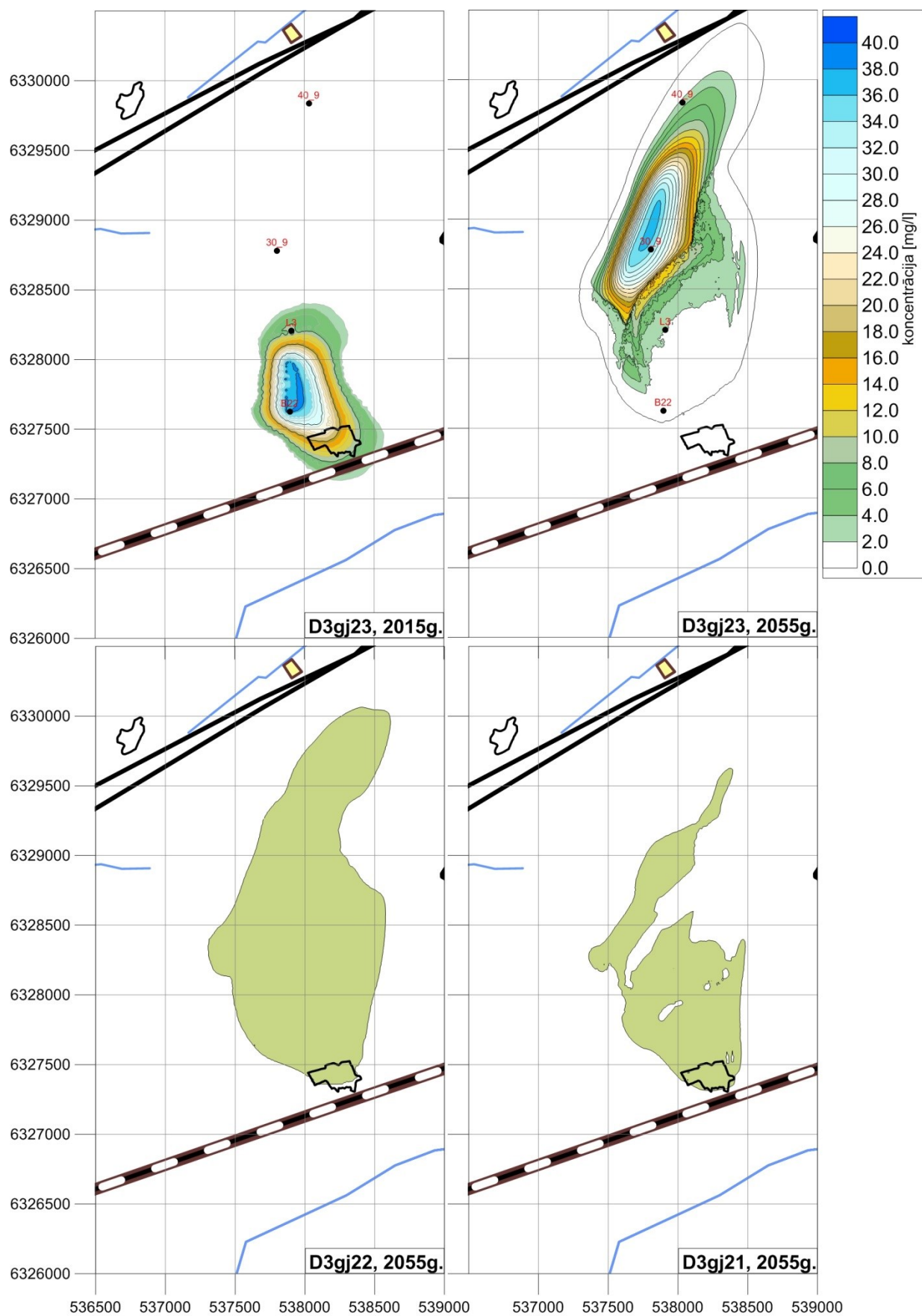
3.4. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas



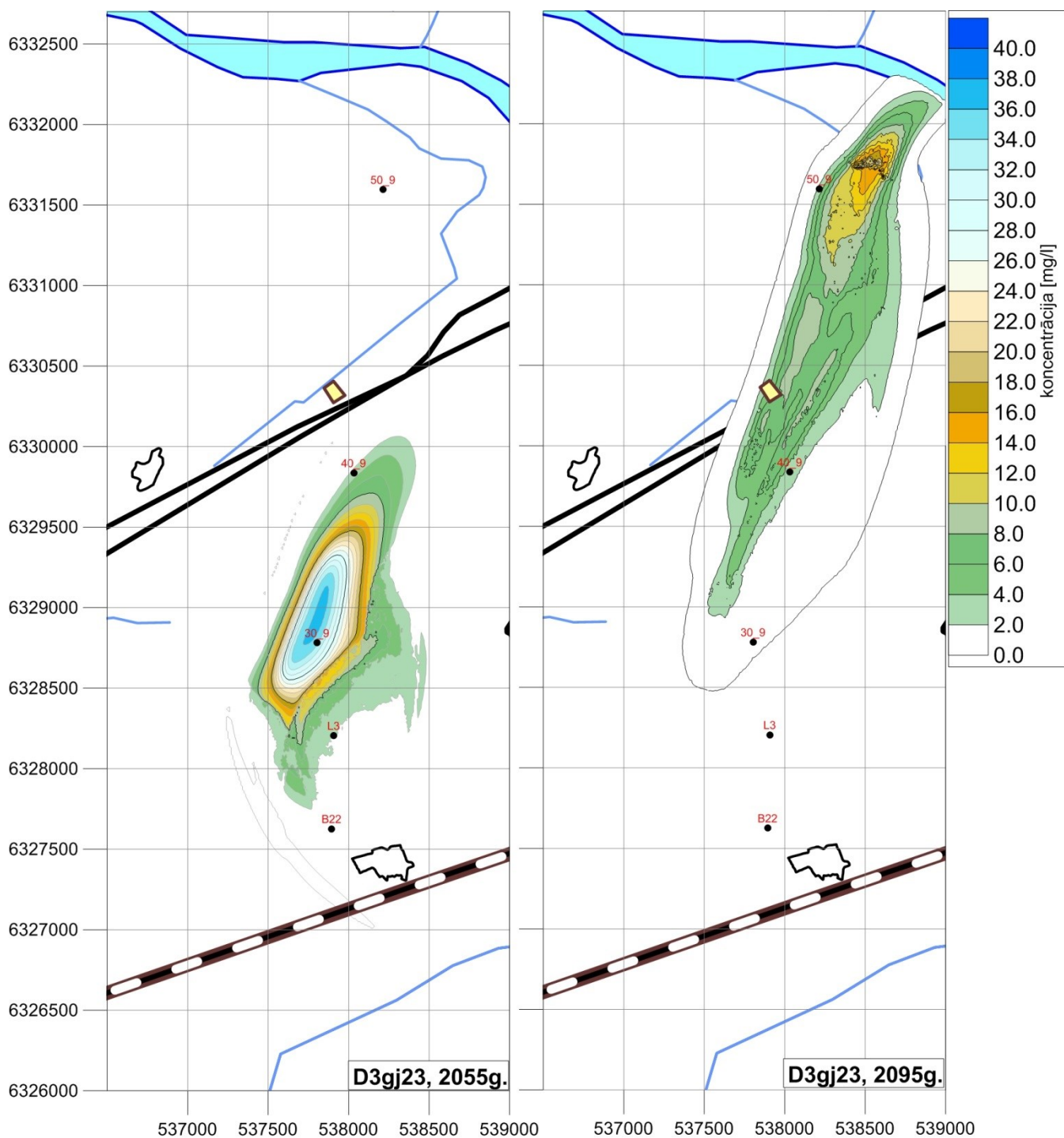
3.5. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanas



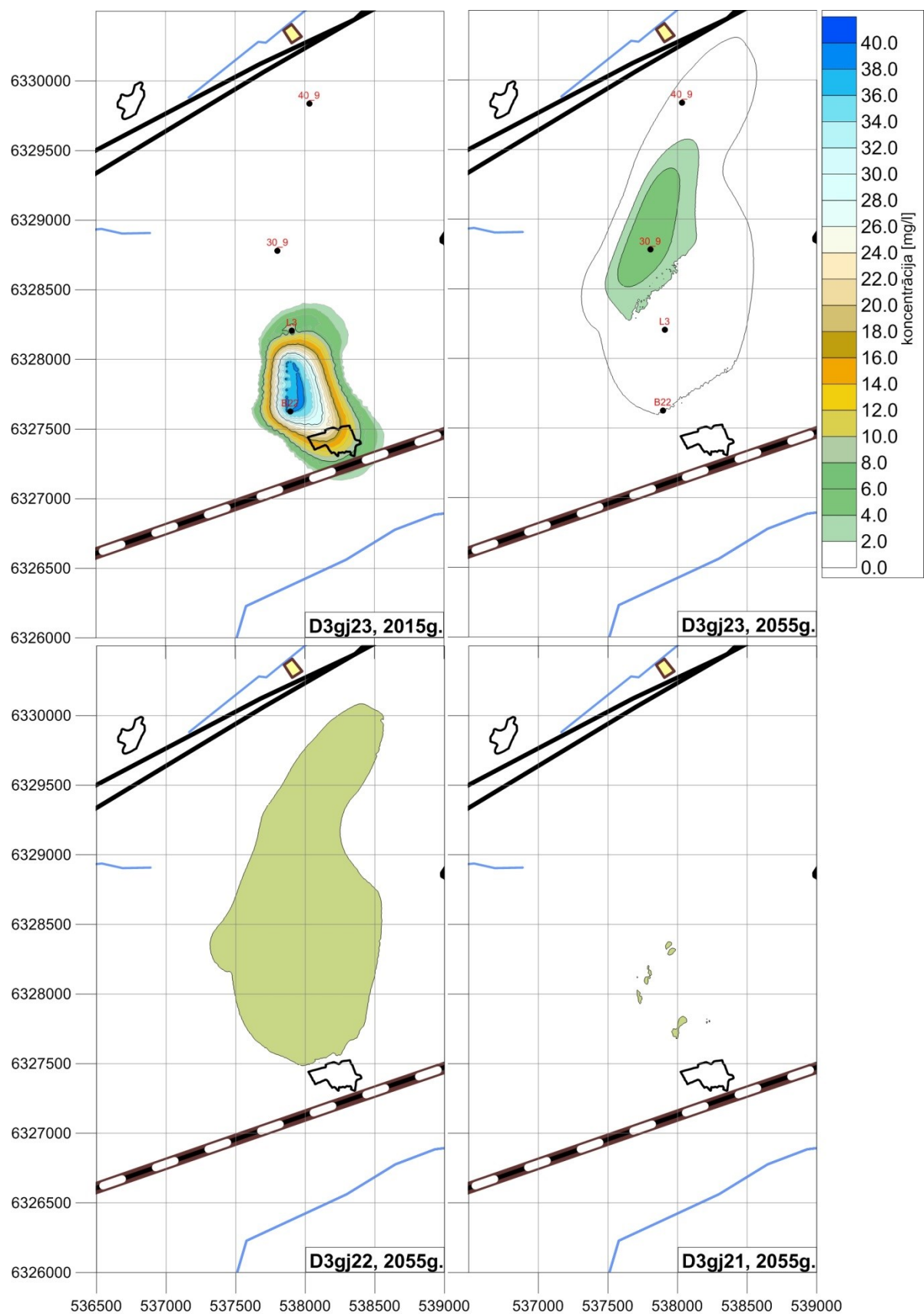
3.6. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destruktijas ievērošanas



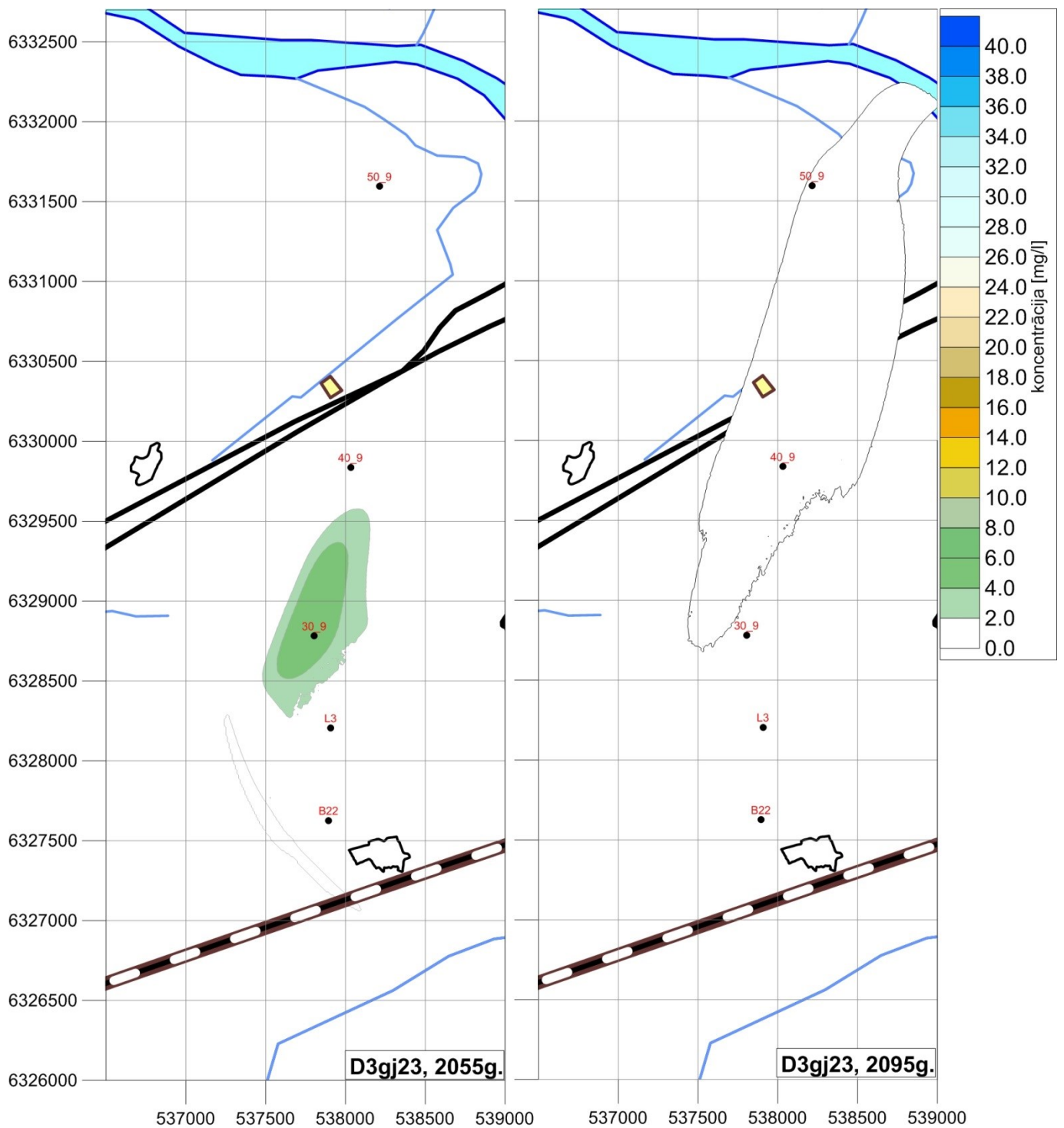
3.7. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas



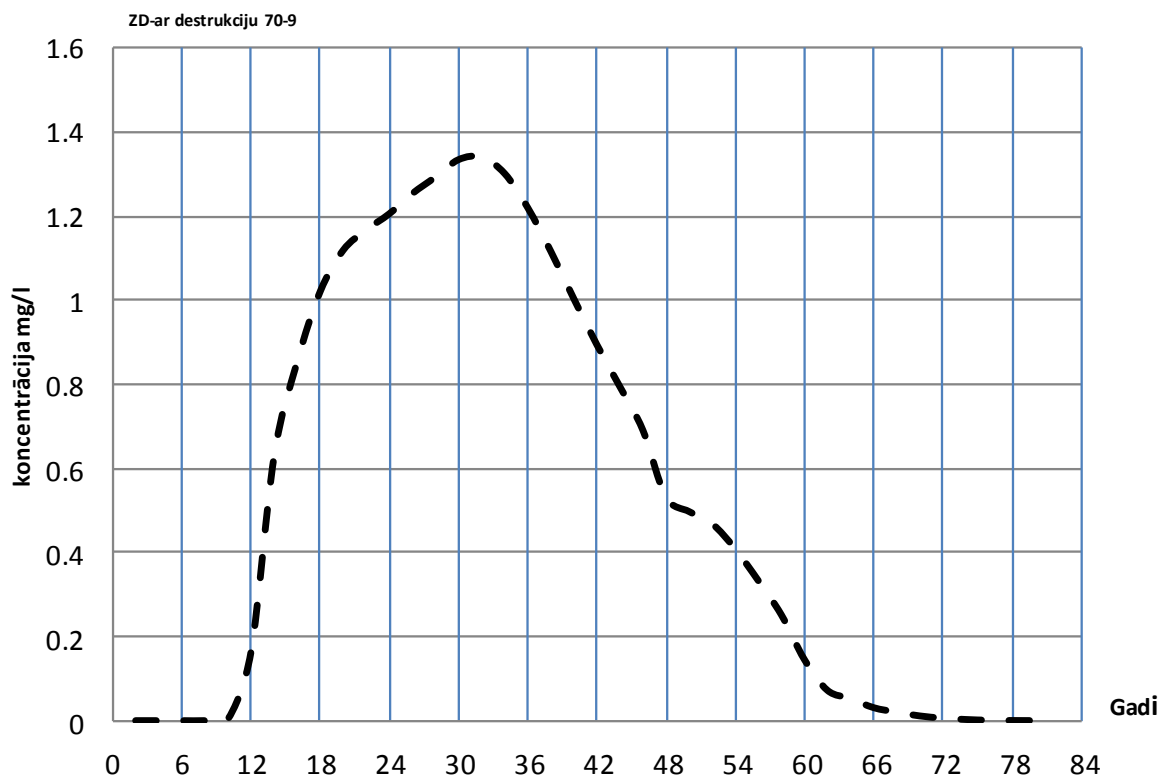
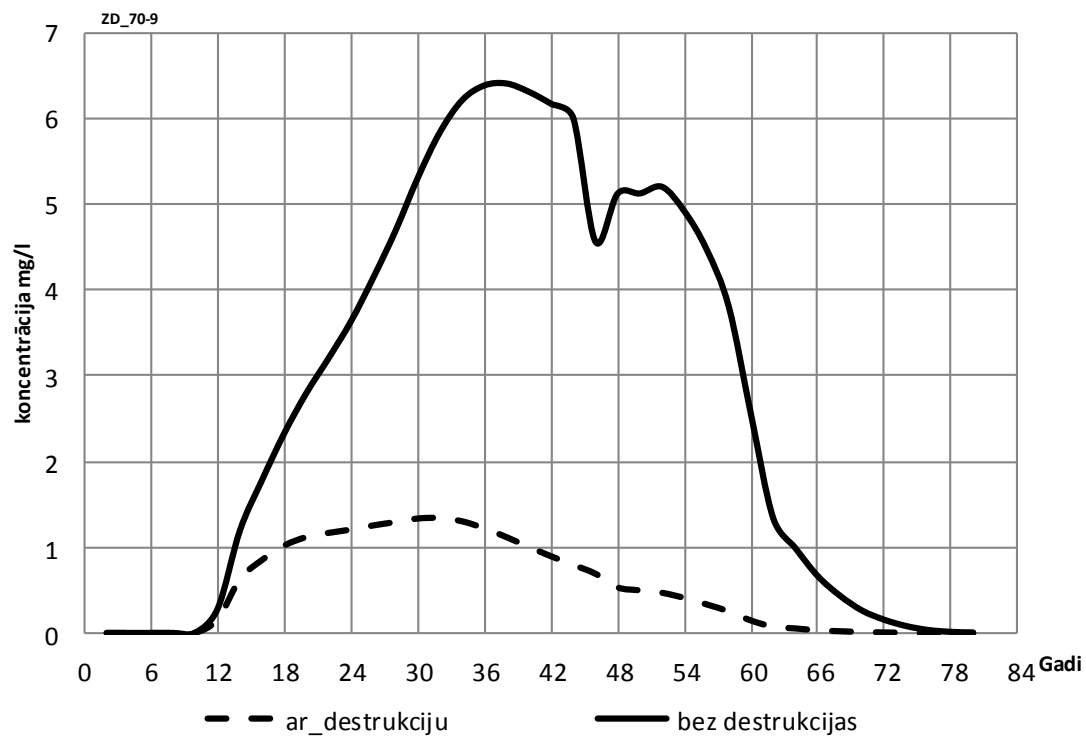
3.8. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā bez VAV destruktijas ievērošanas



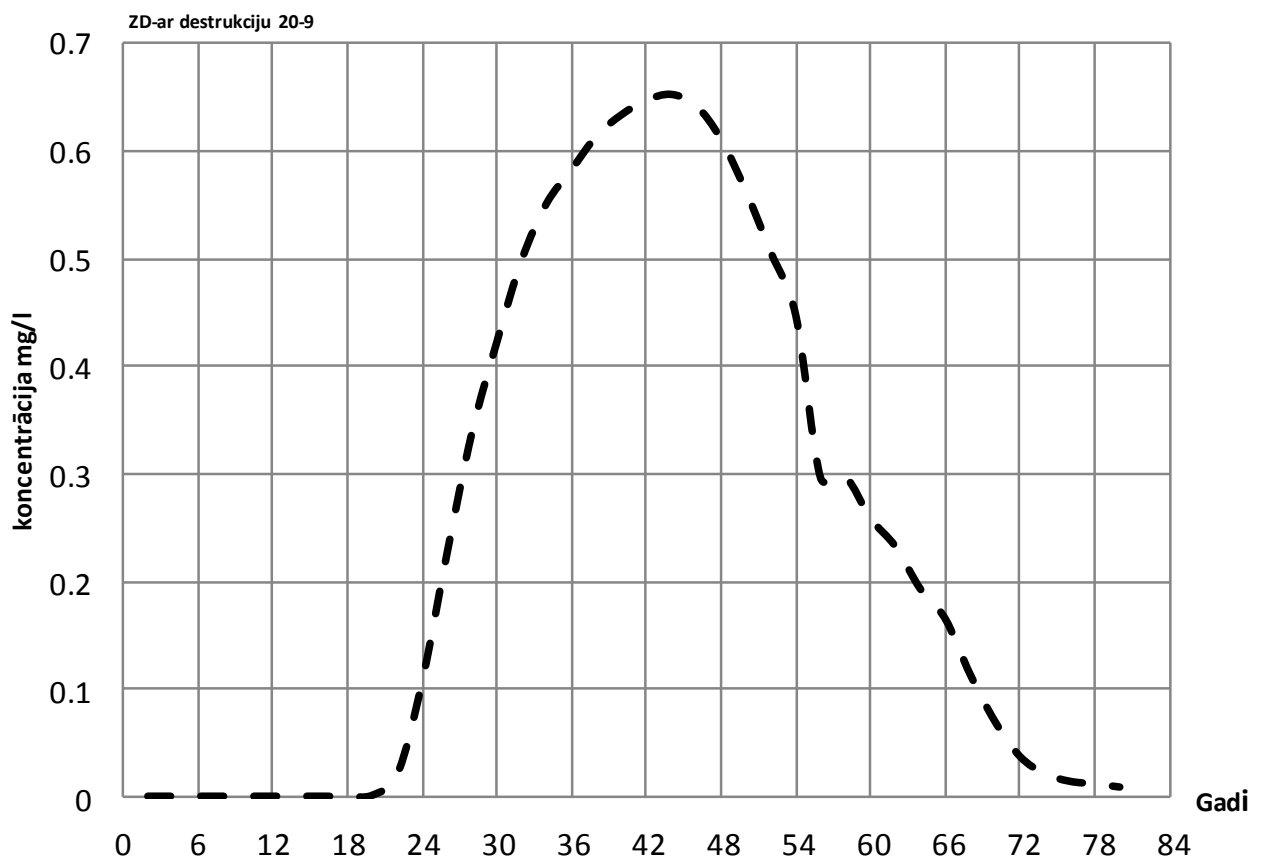
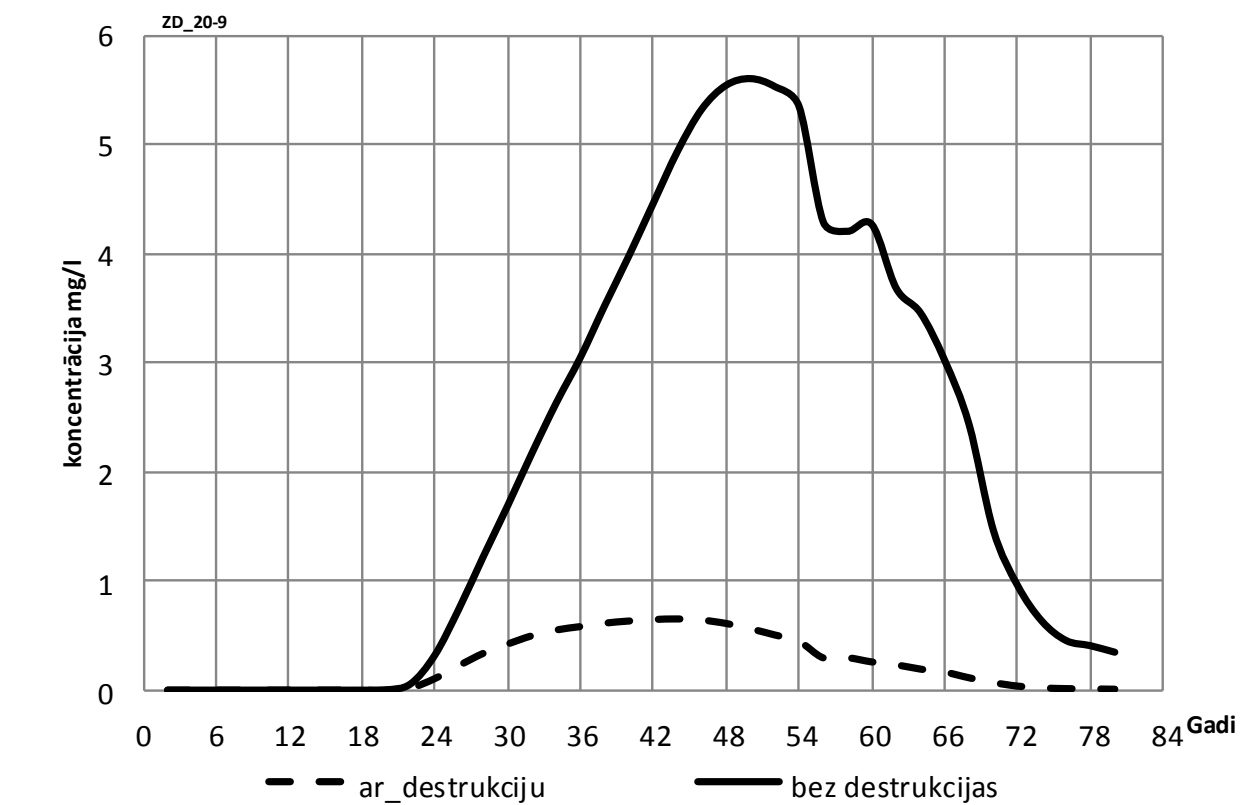
3.9. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2015.gadā un 2055. gadā ar VAV destruktijas ievērošanas



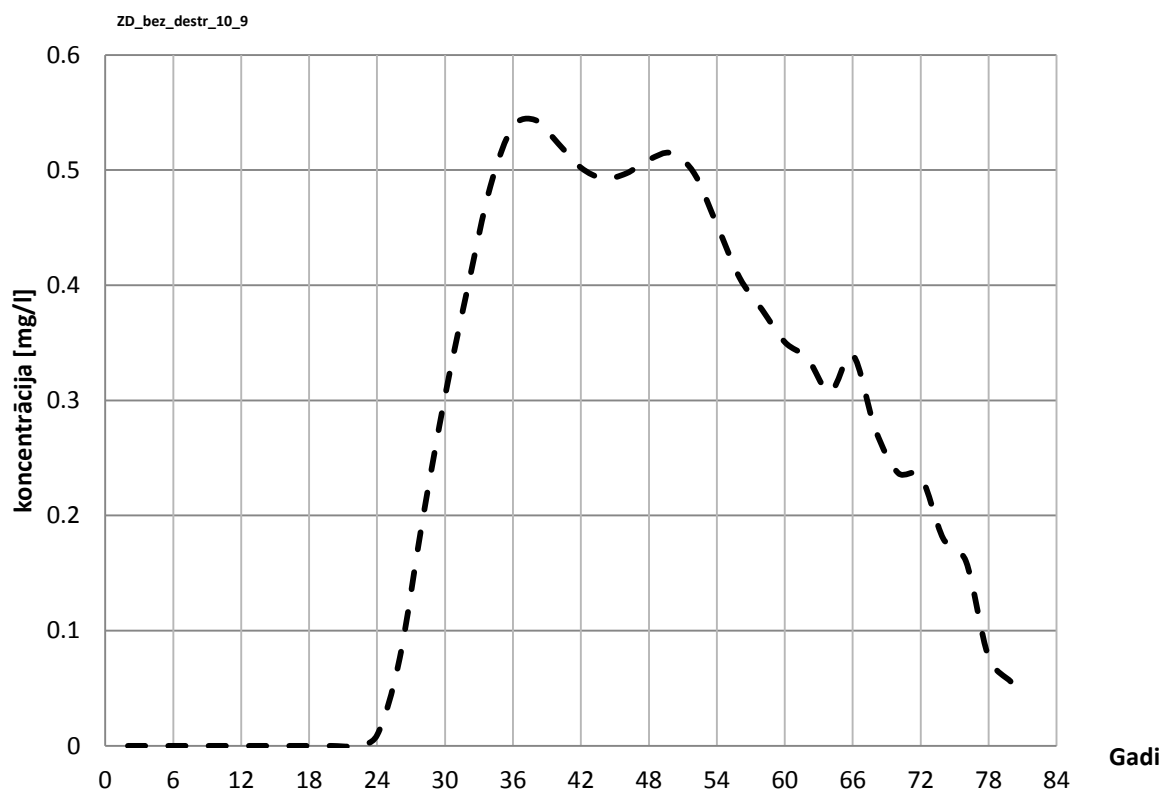
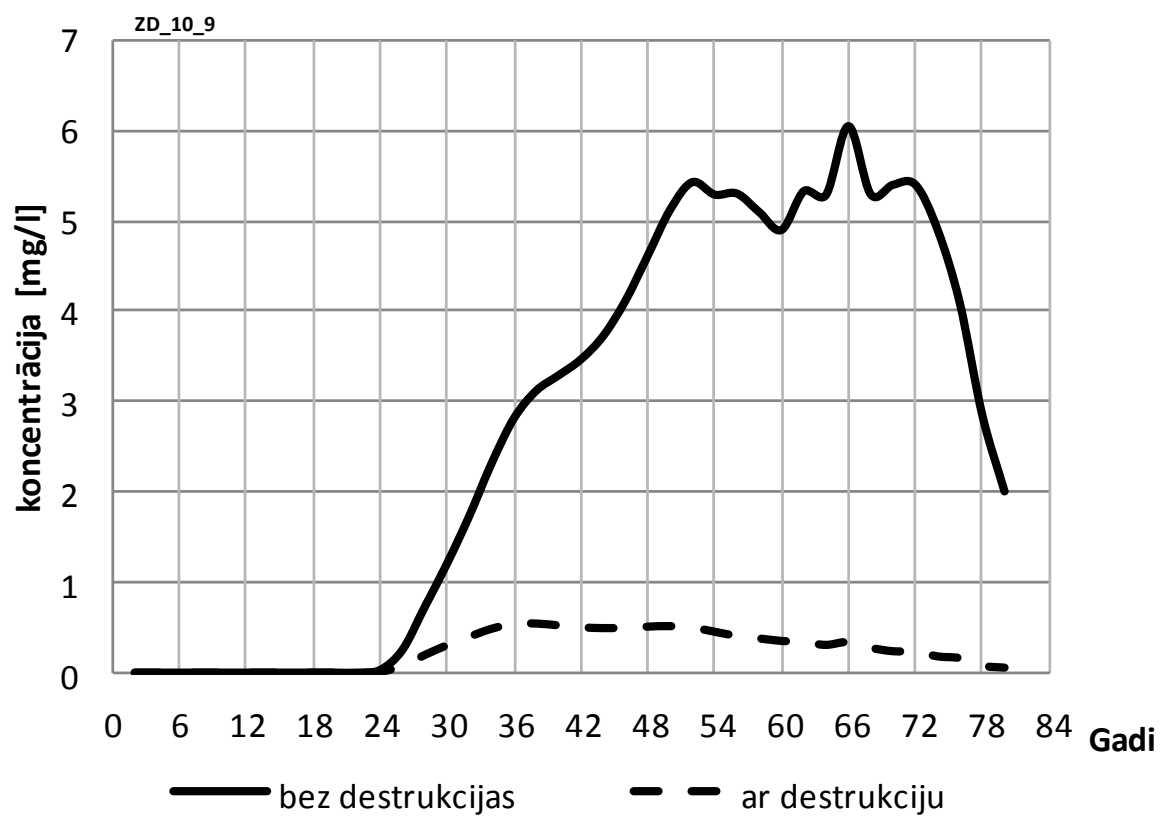
3.10. att. VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Dienvidu dīķim 2055.gadā un 2095. gadā ar VAV destrukcijas ievērošanas



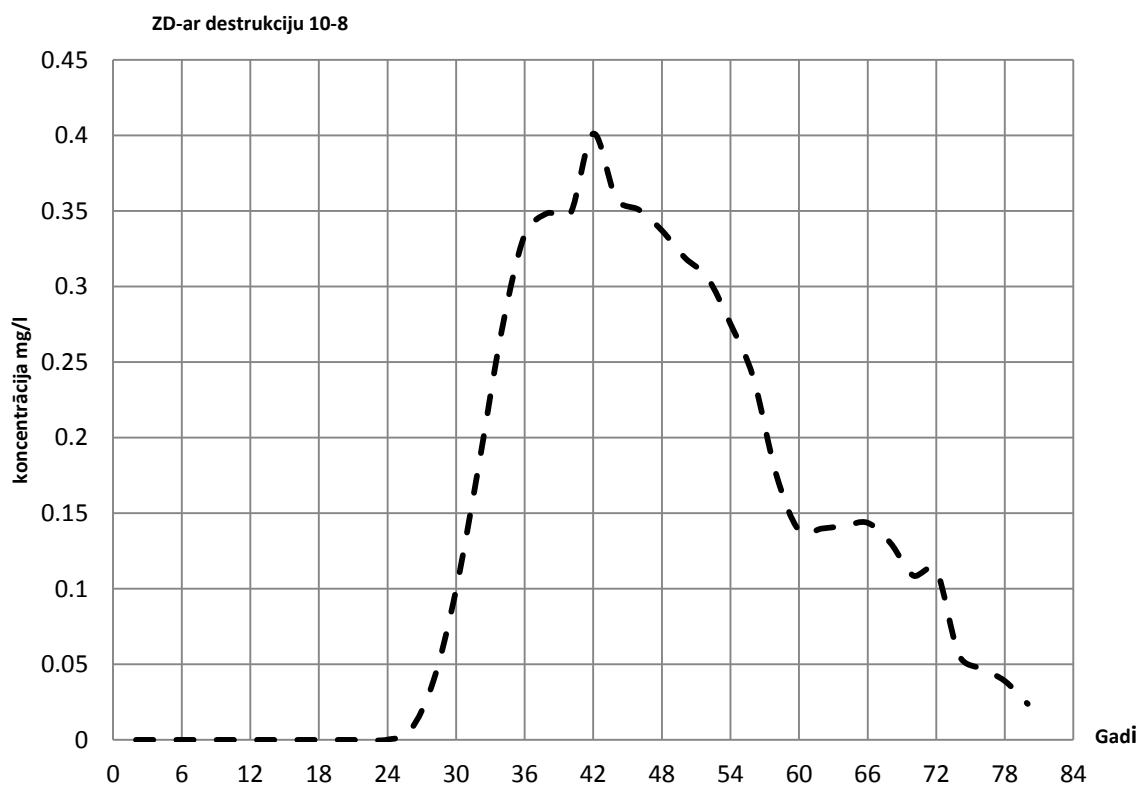
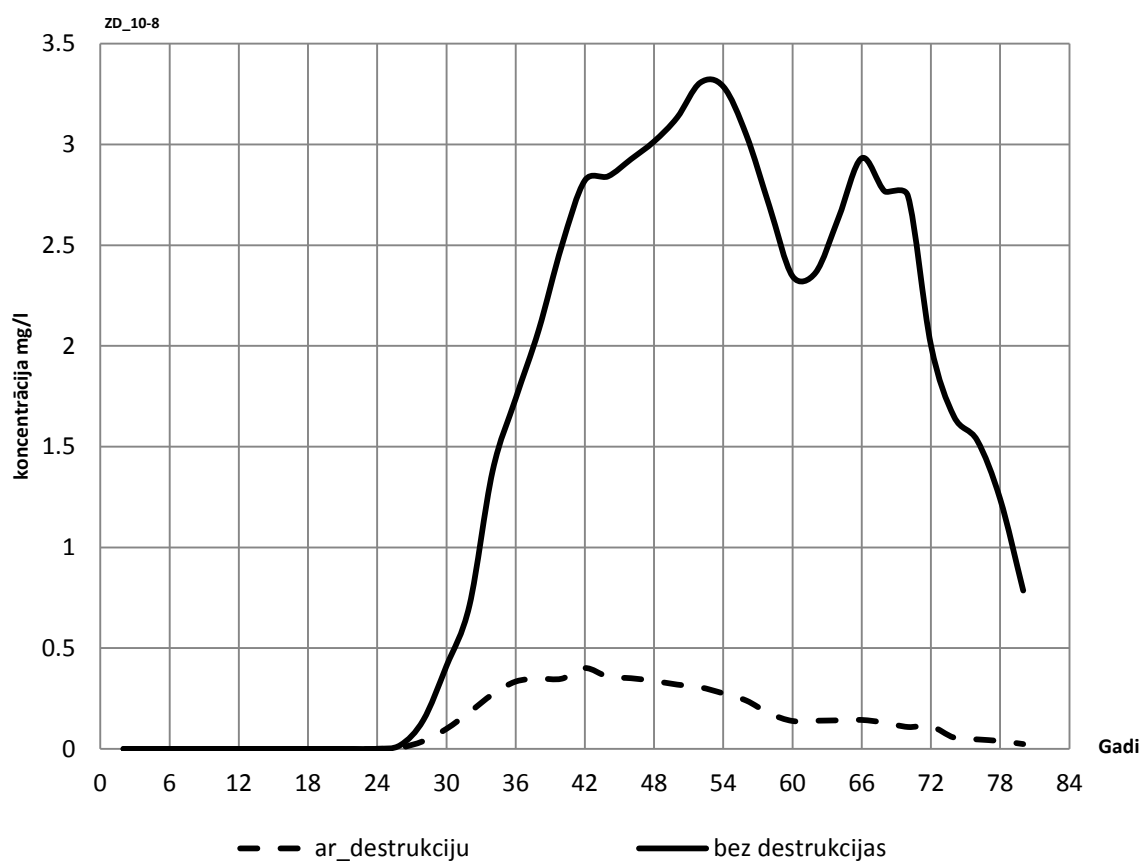
3.11. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.70-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



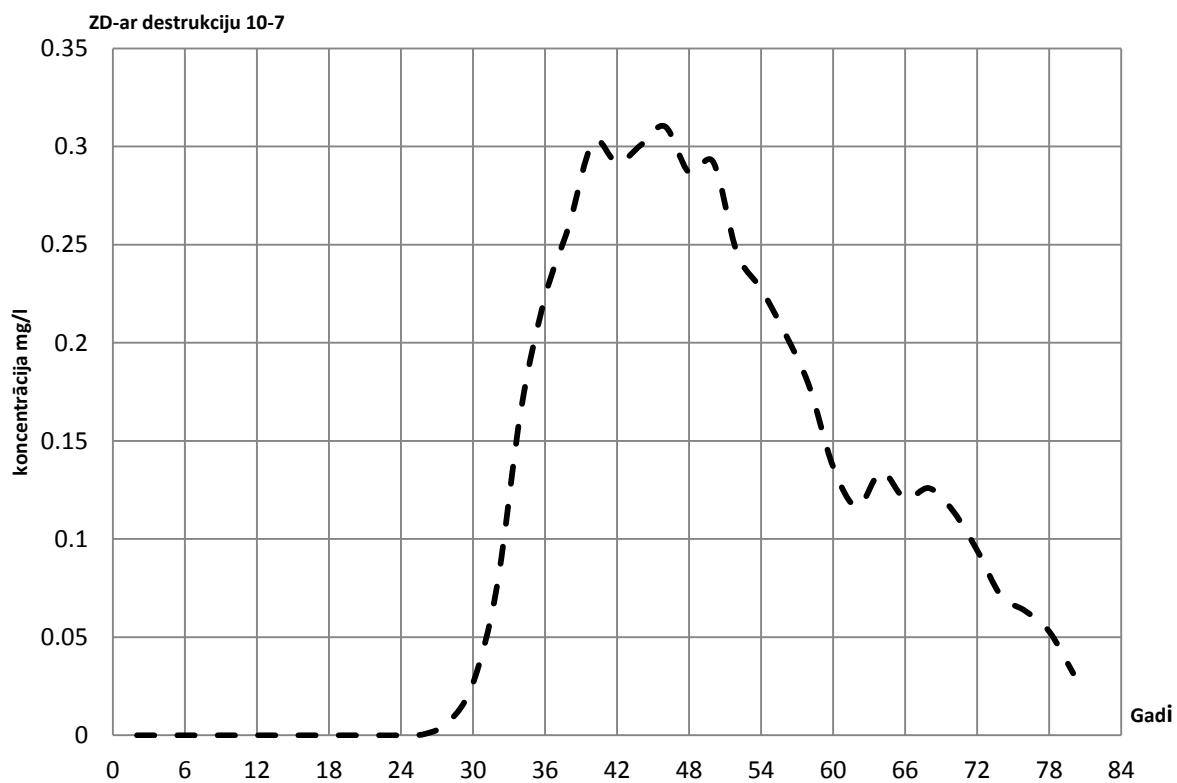
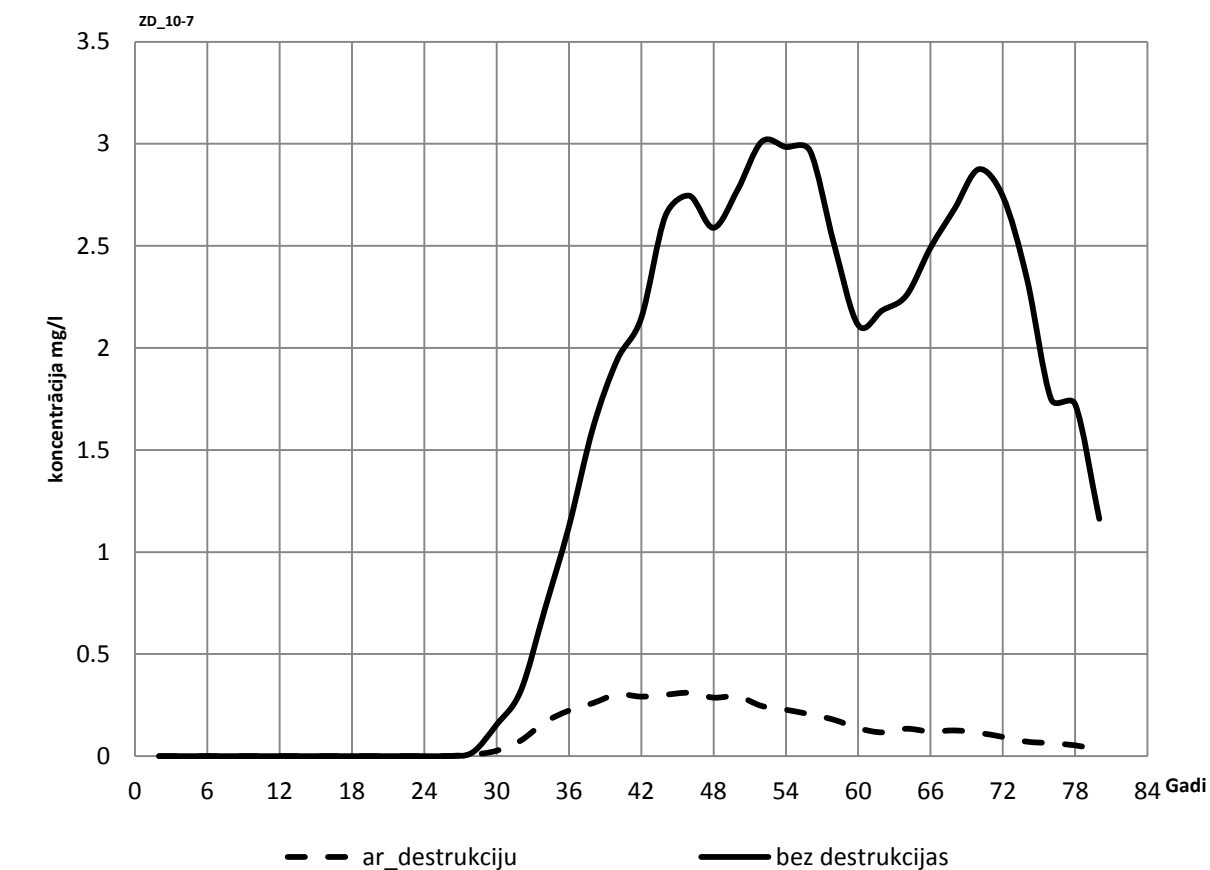
3.12. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.20-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



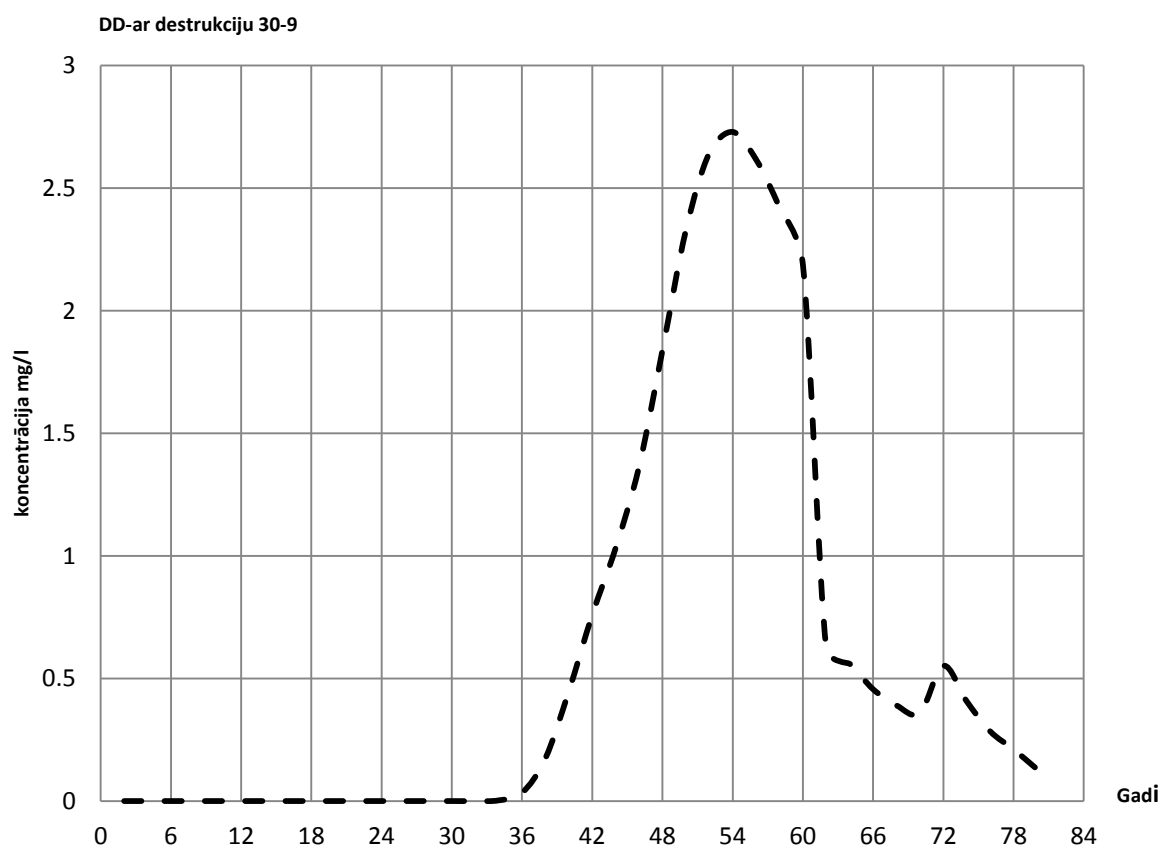
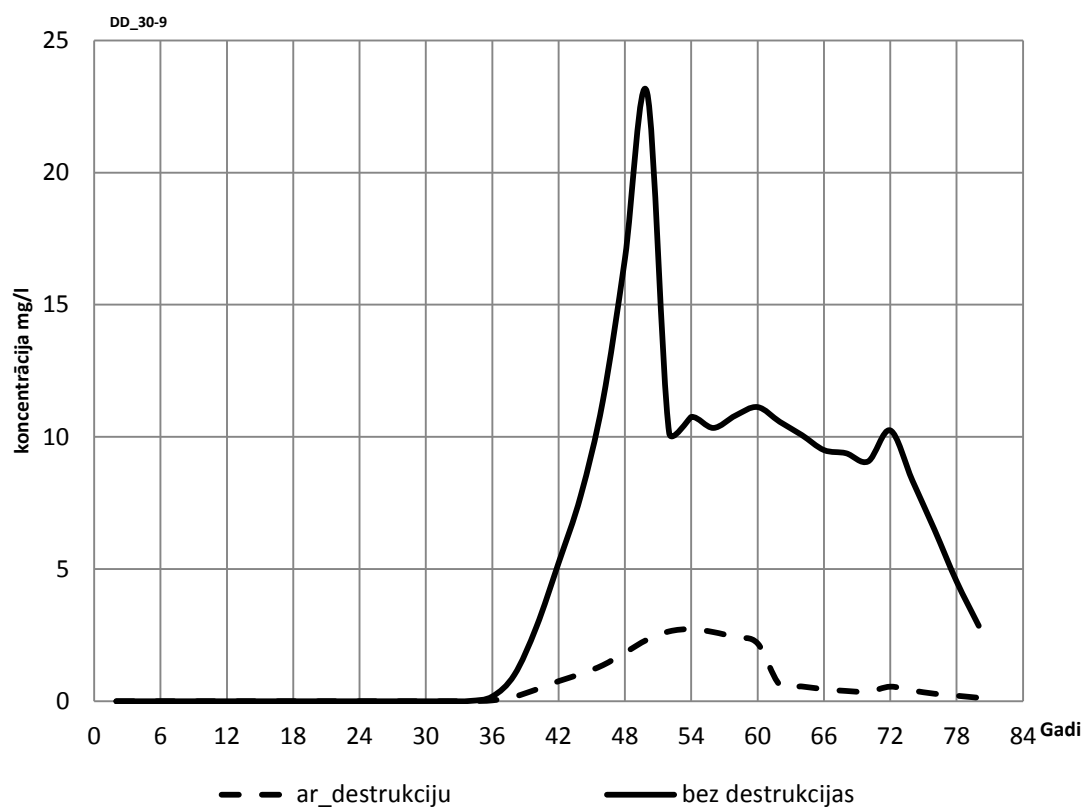
3.13. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



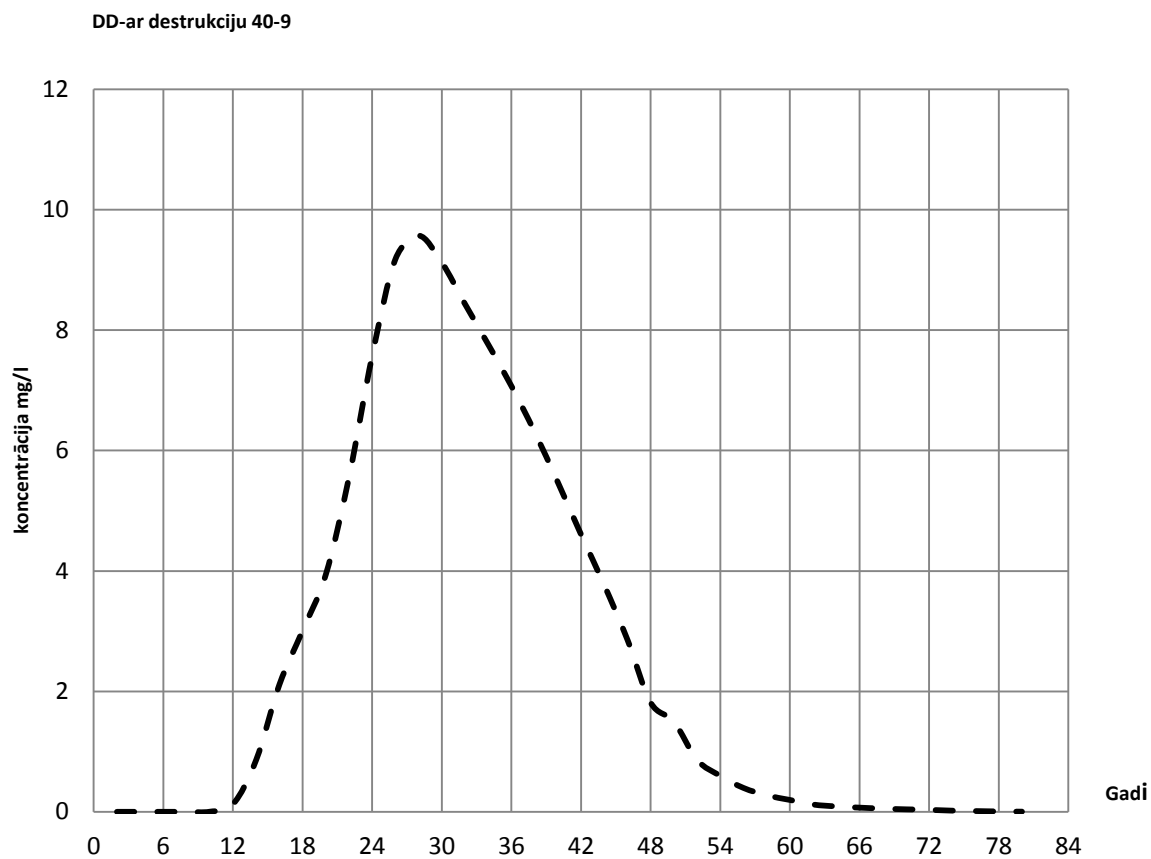
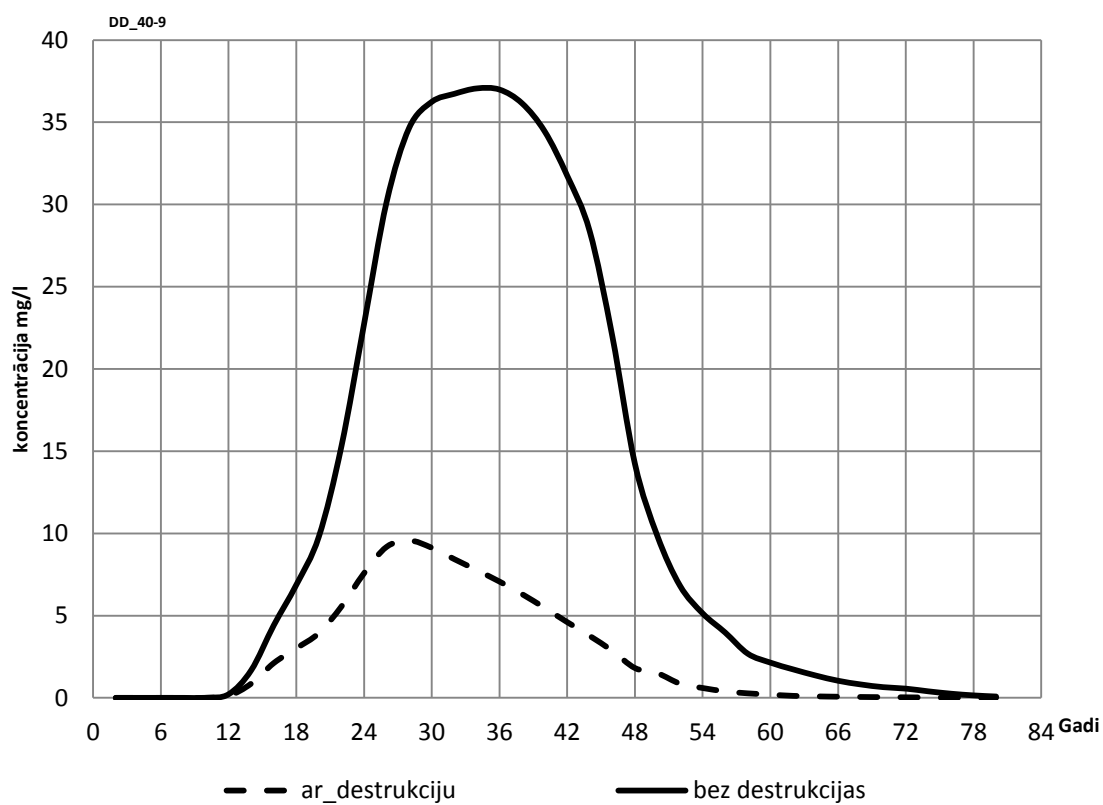
3.14. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-9 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



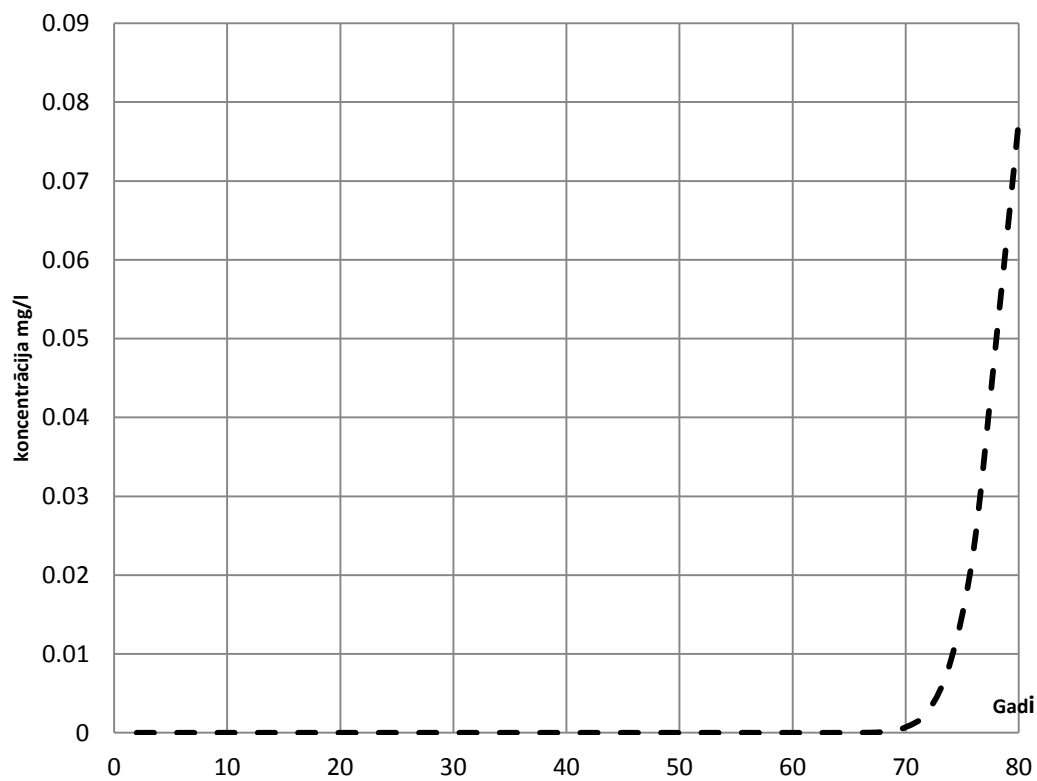
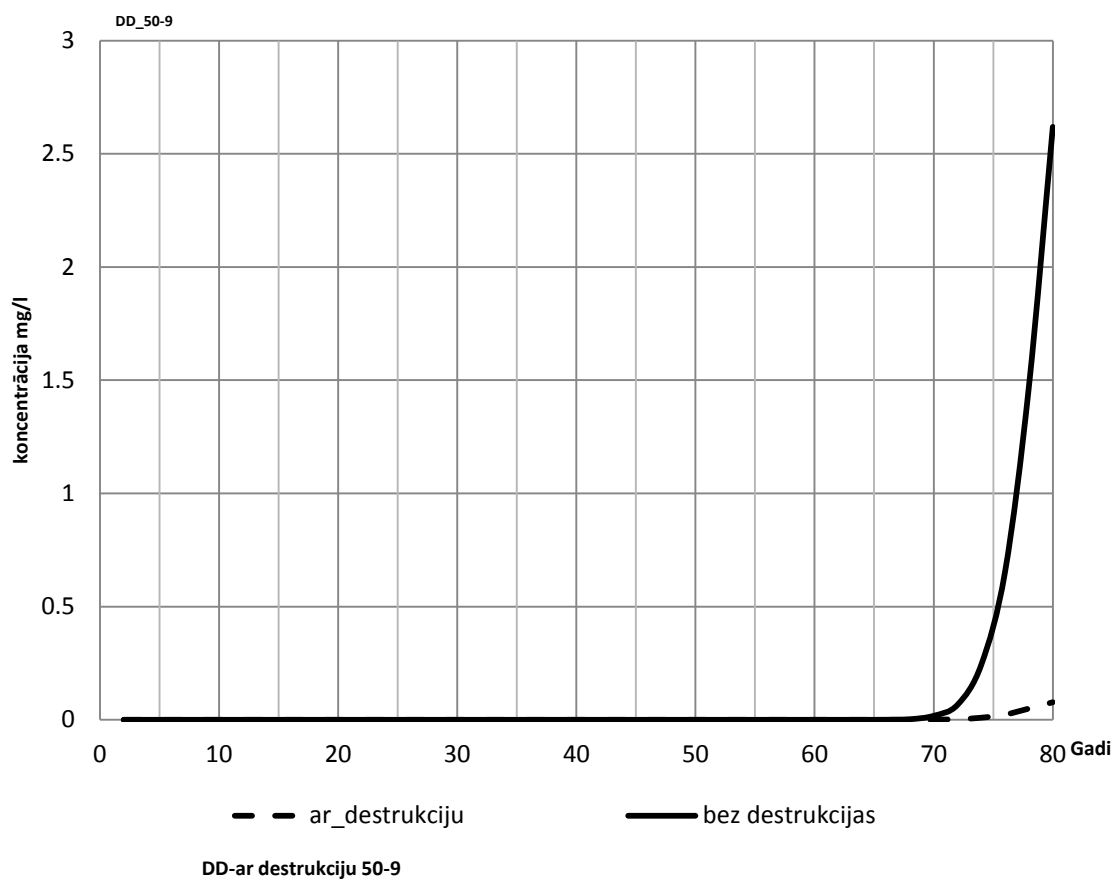
3.15. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.10-7 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



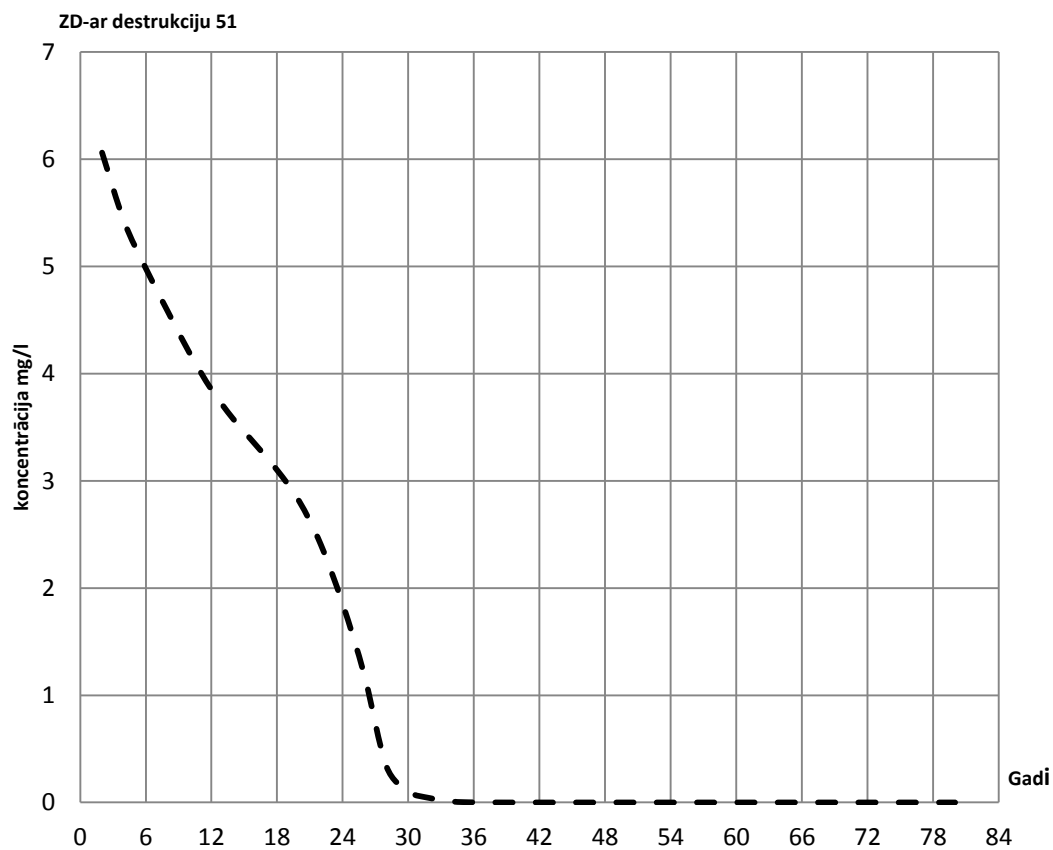
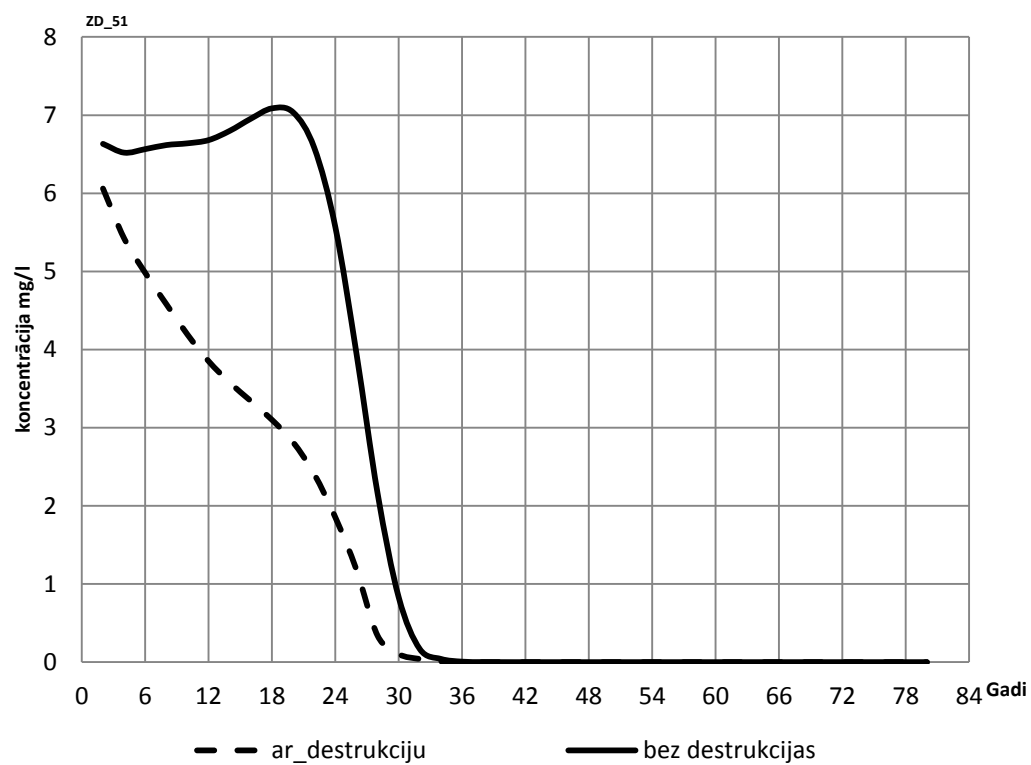
3.16. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.30-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



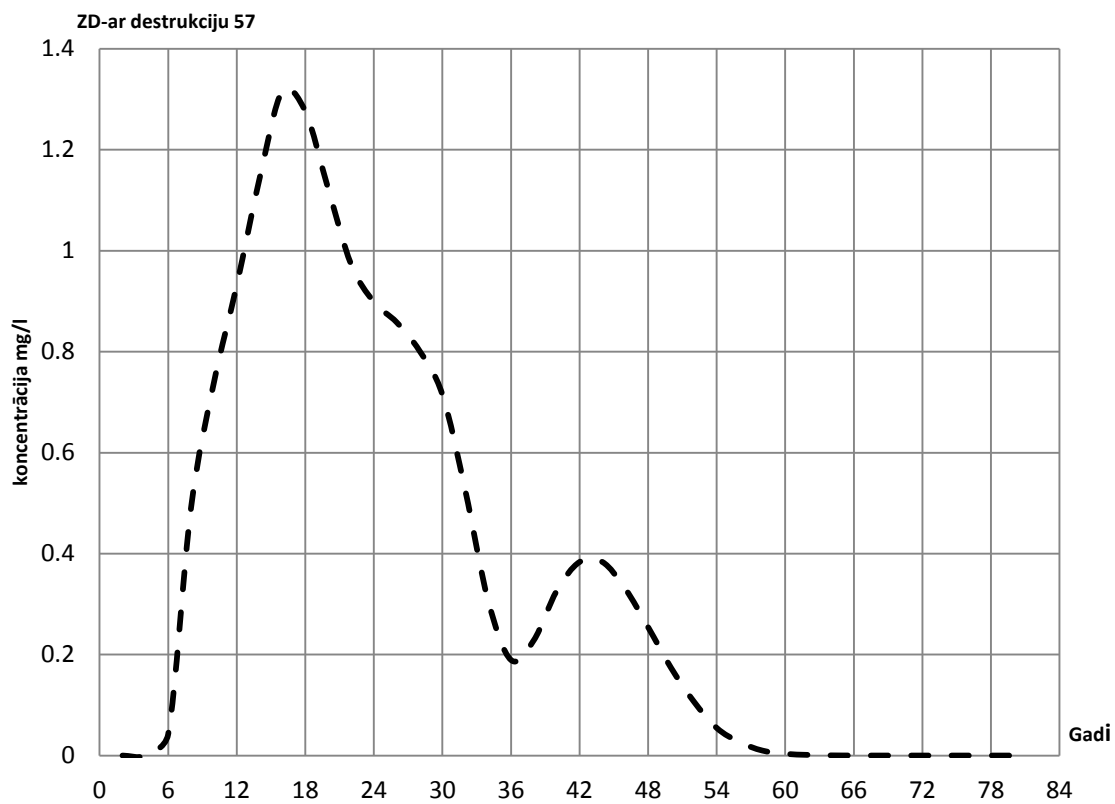
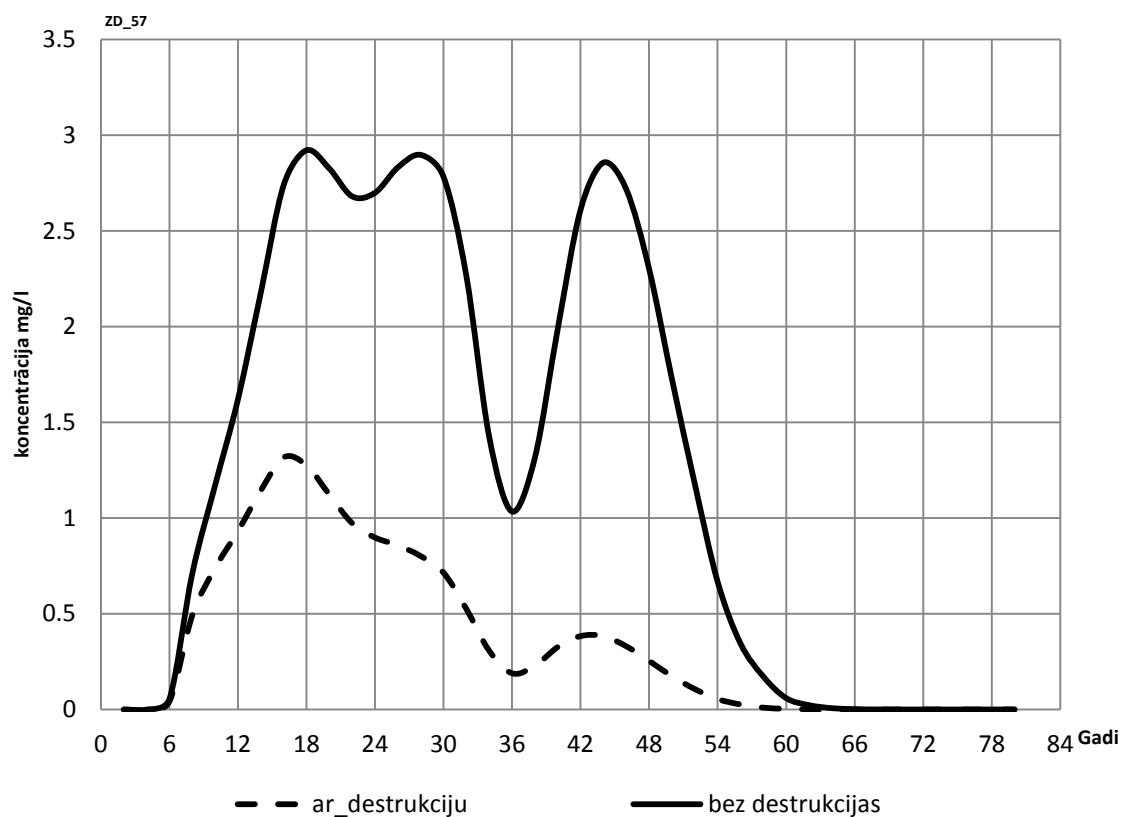
3.17. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.40-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



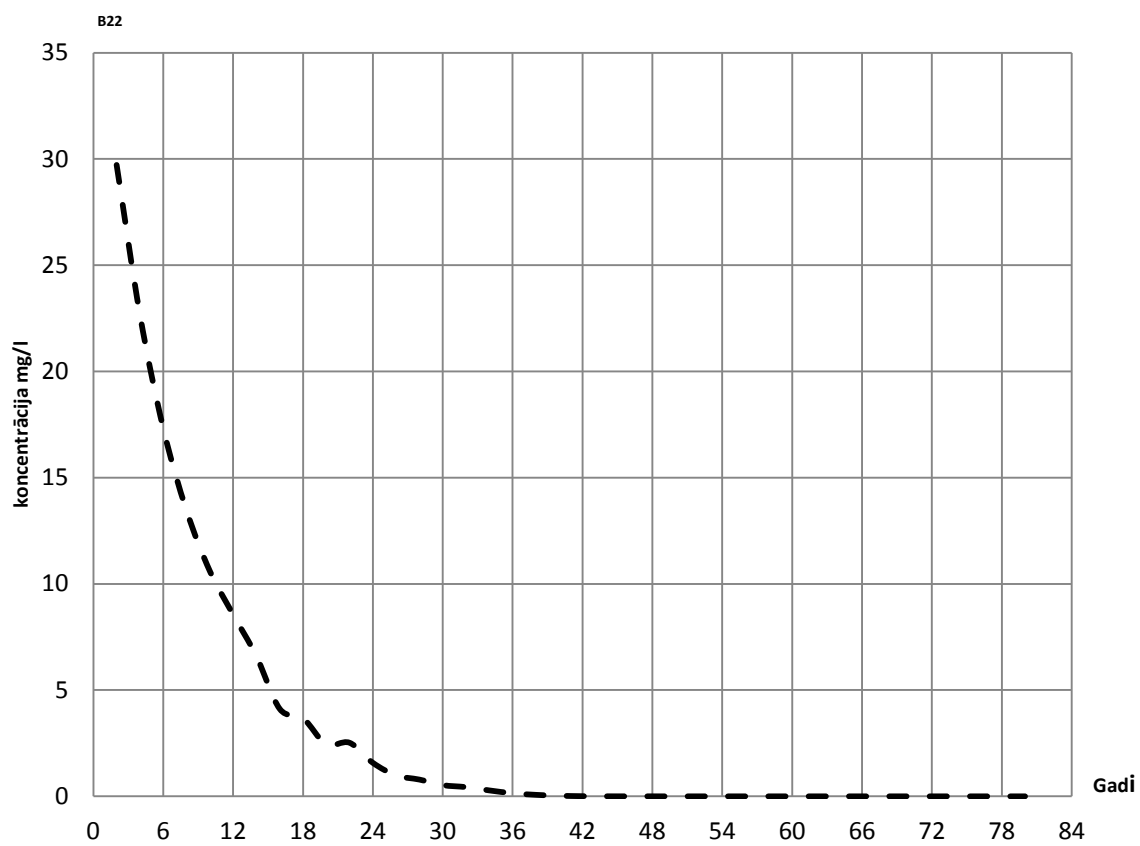
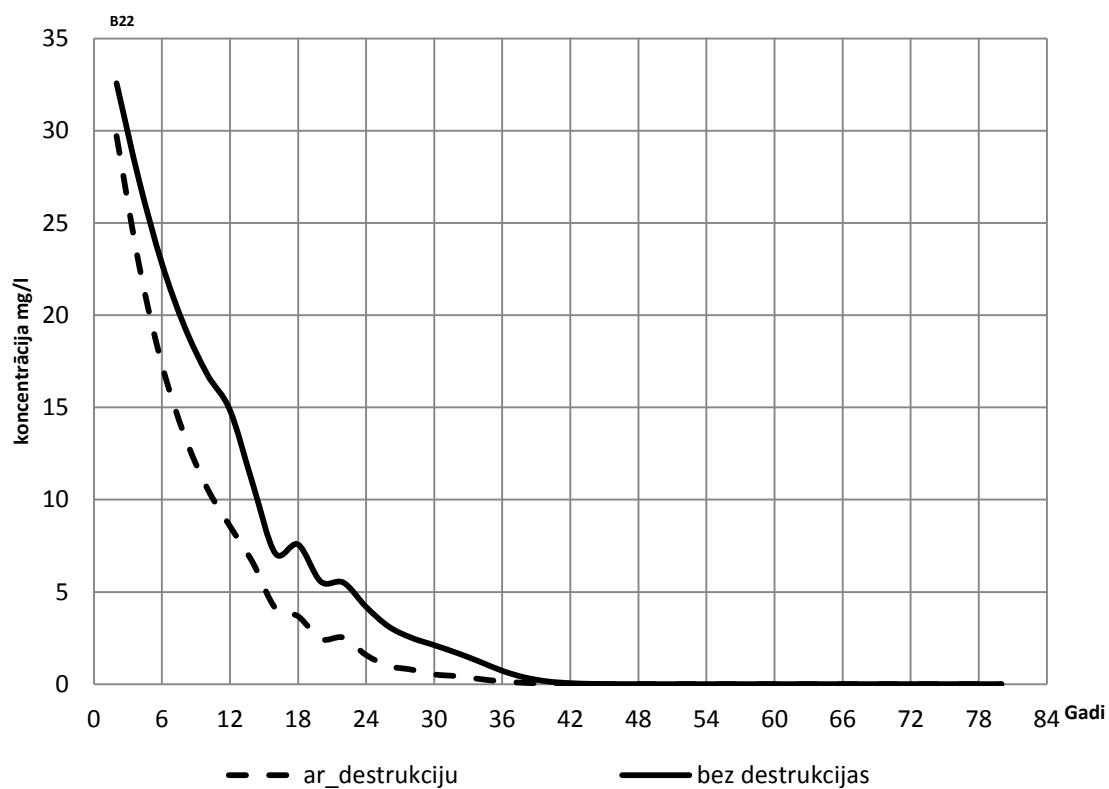
3.18. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.50-9 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



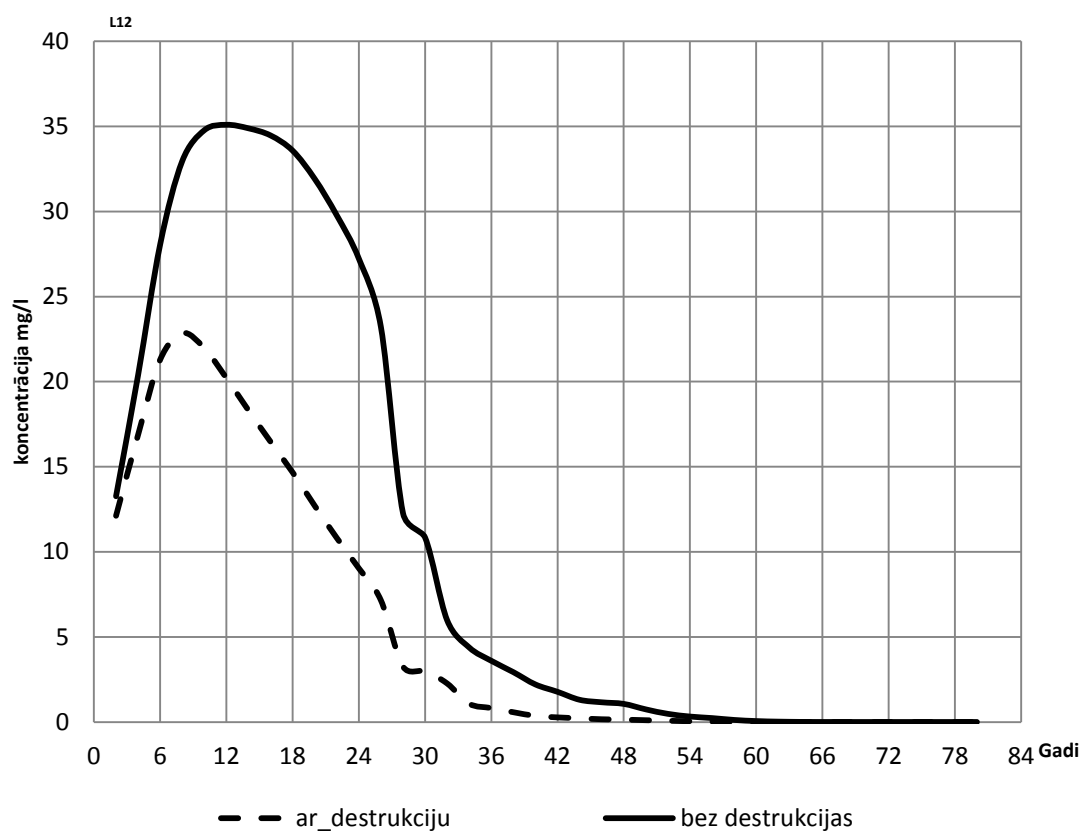
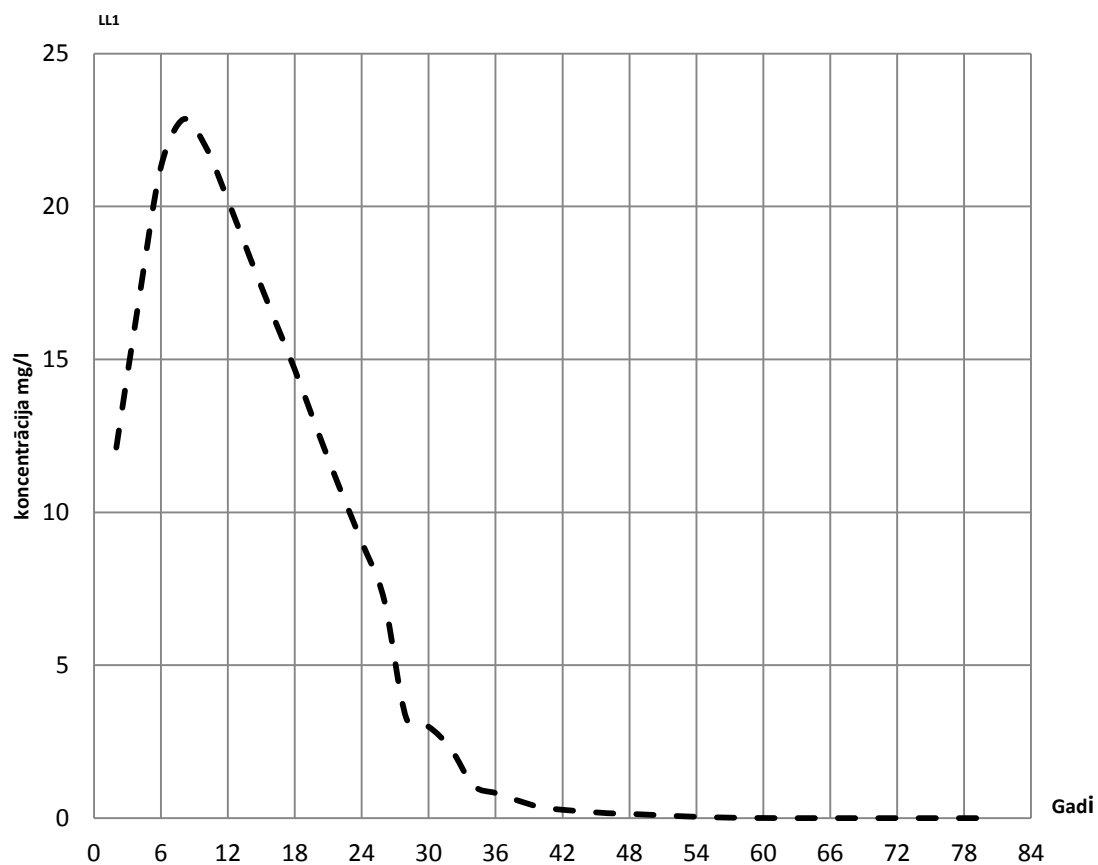
3.19. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.51 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



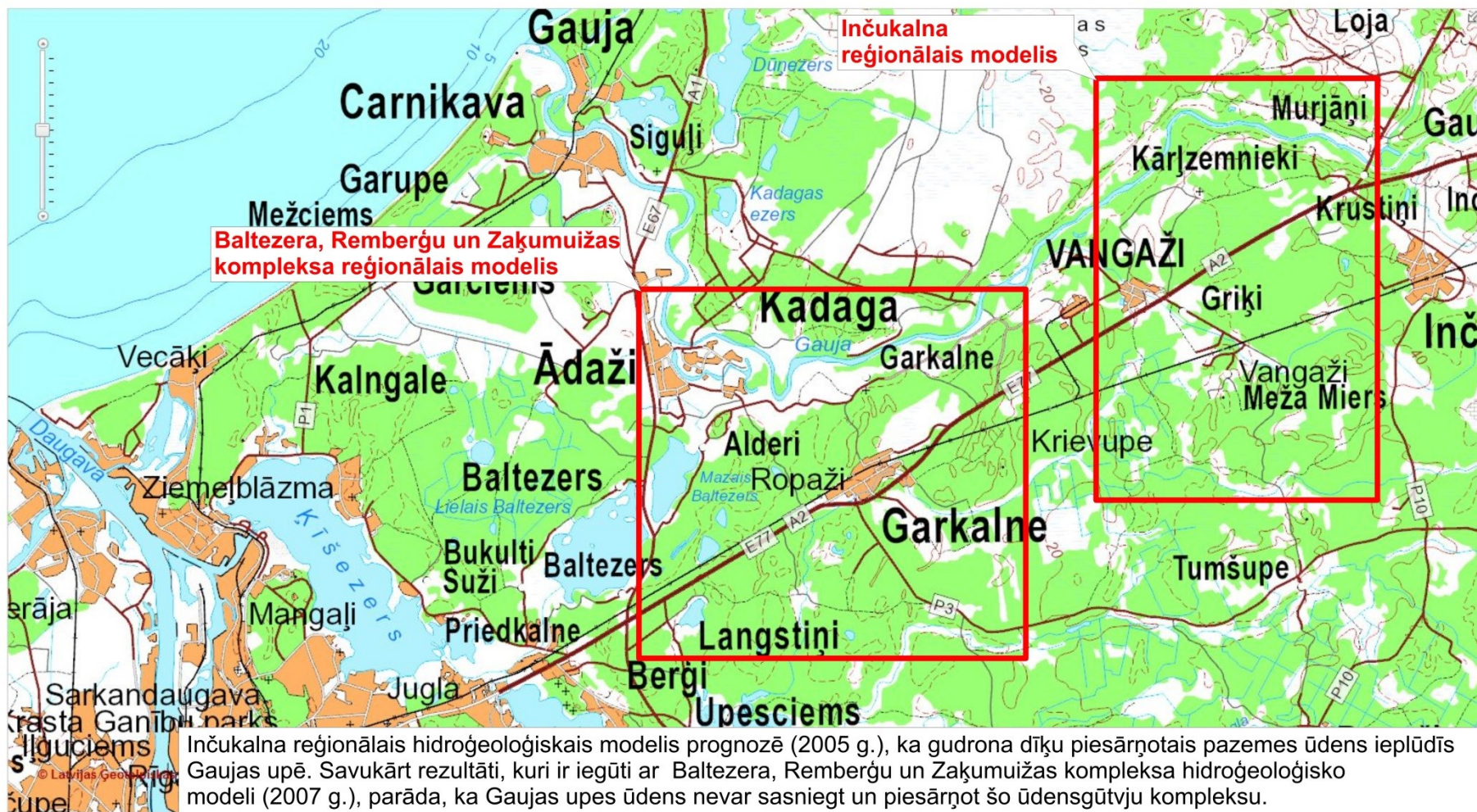
3.20. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.57 Ziemeļu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



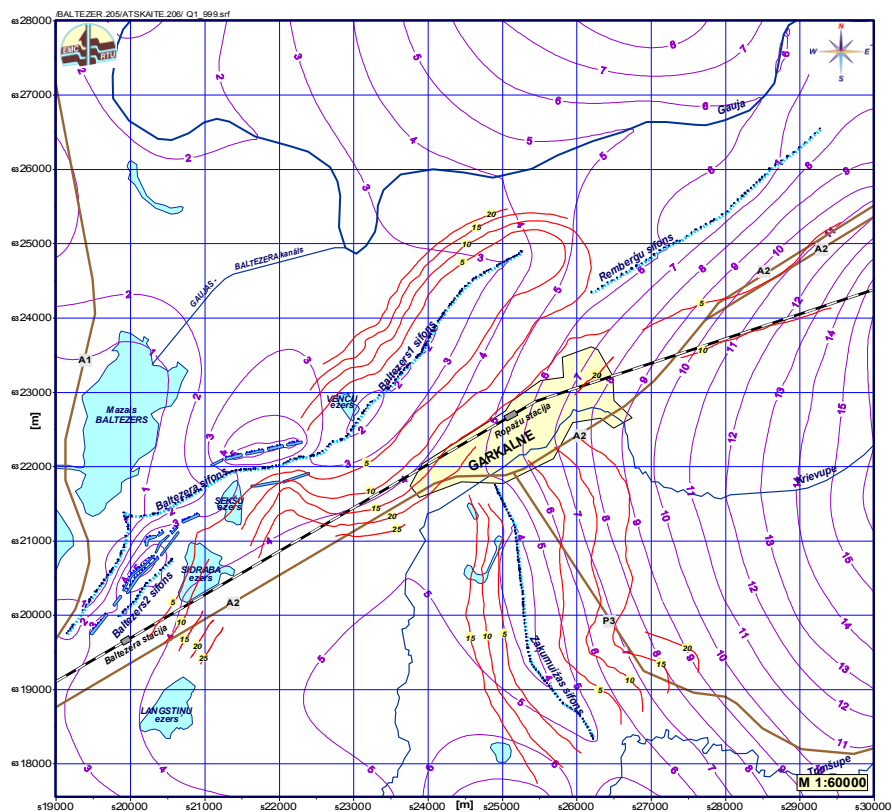
3.21. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.B22 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



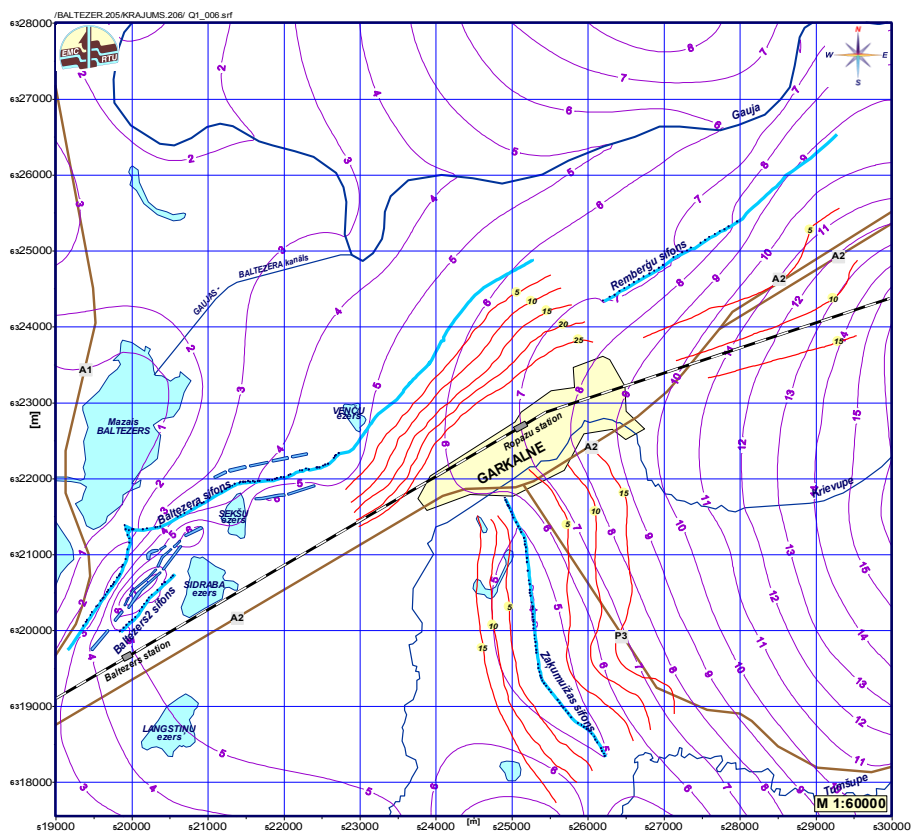
3.22. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumā Nr.L3 Dienvidu dīķim bez un ar VAV destrukcijas ievērošanu (laika atskaite no 2015. gada)



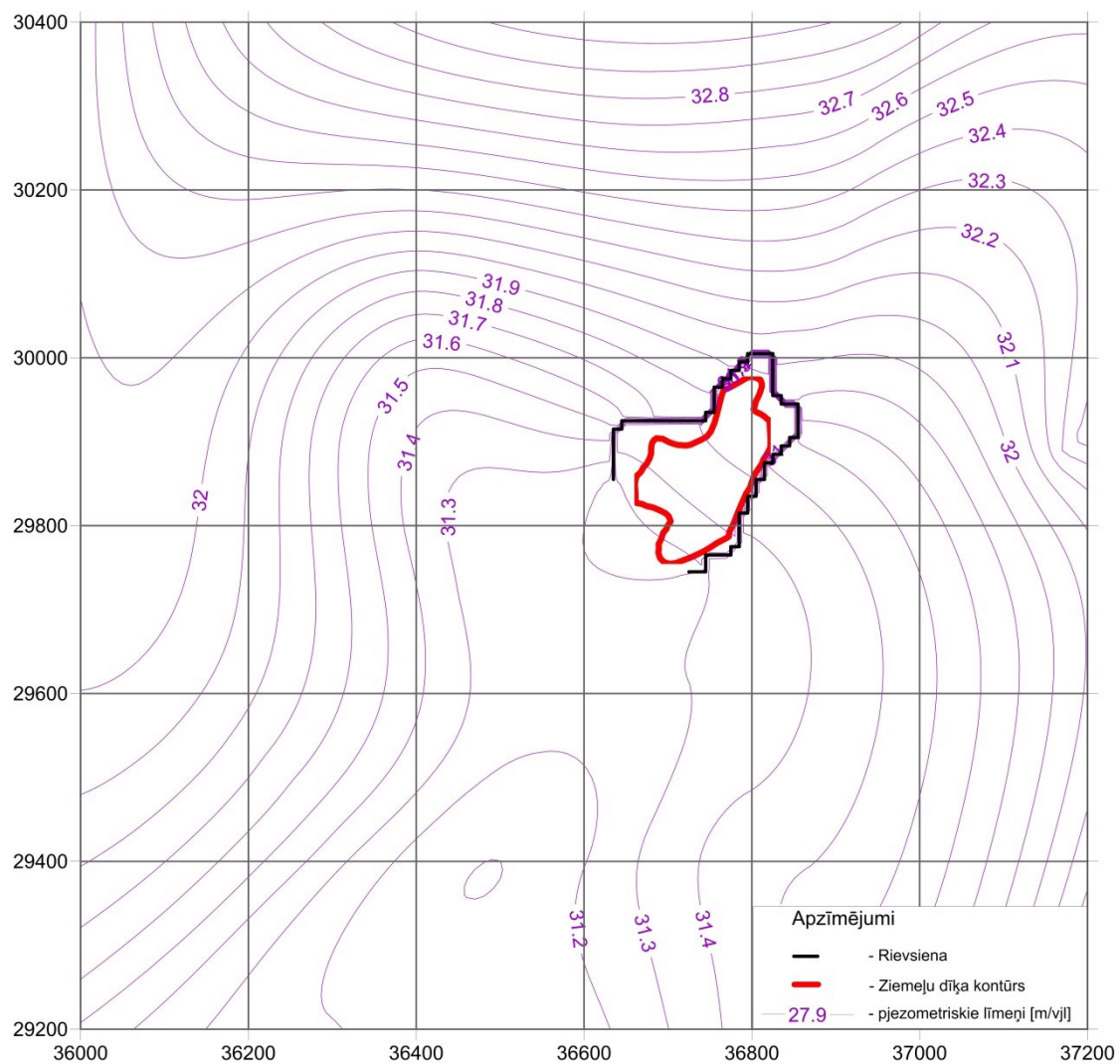
4.1. att. Piesārņojuma ceļš no Inčukalna pa Gaujas upi gar Rīgas pilsētas centrālajām ūdensgūtvēm



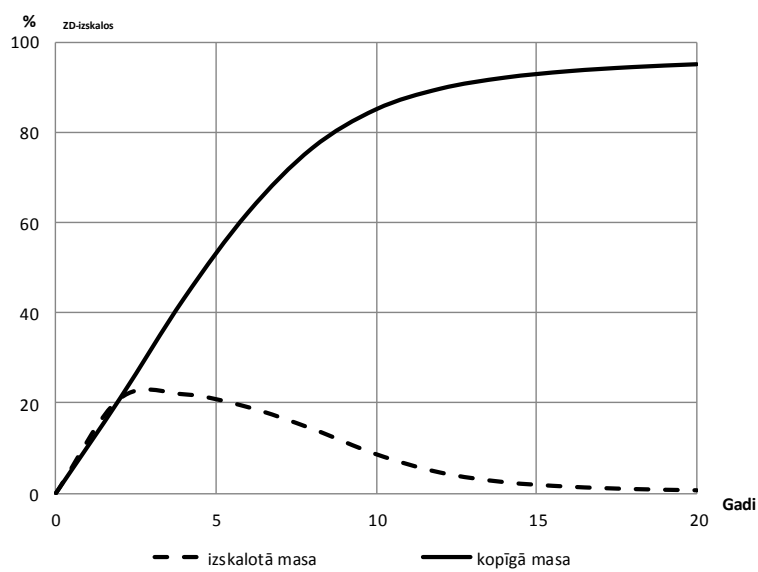
4.2. att. Ūdens līmeņi [m vjl] un izohronas [gadi] Q horizontā 1999.g. (vidēja ūdens ieguve)



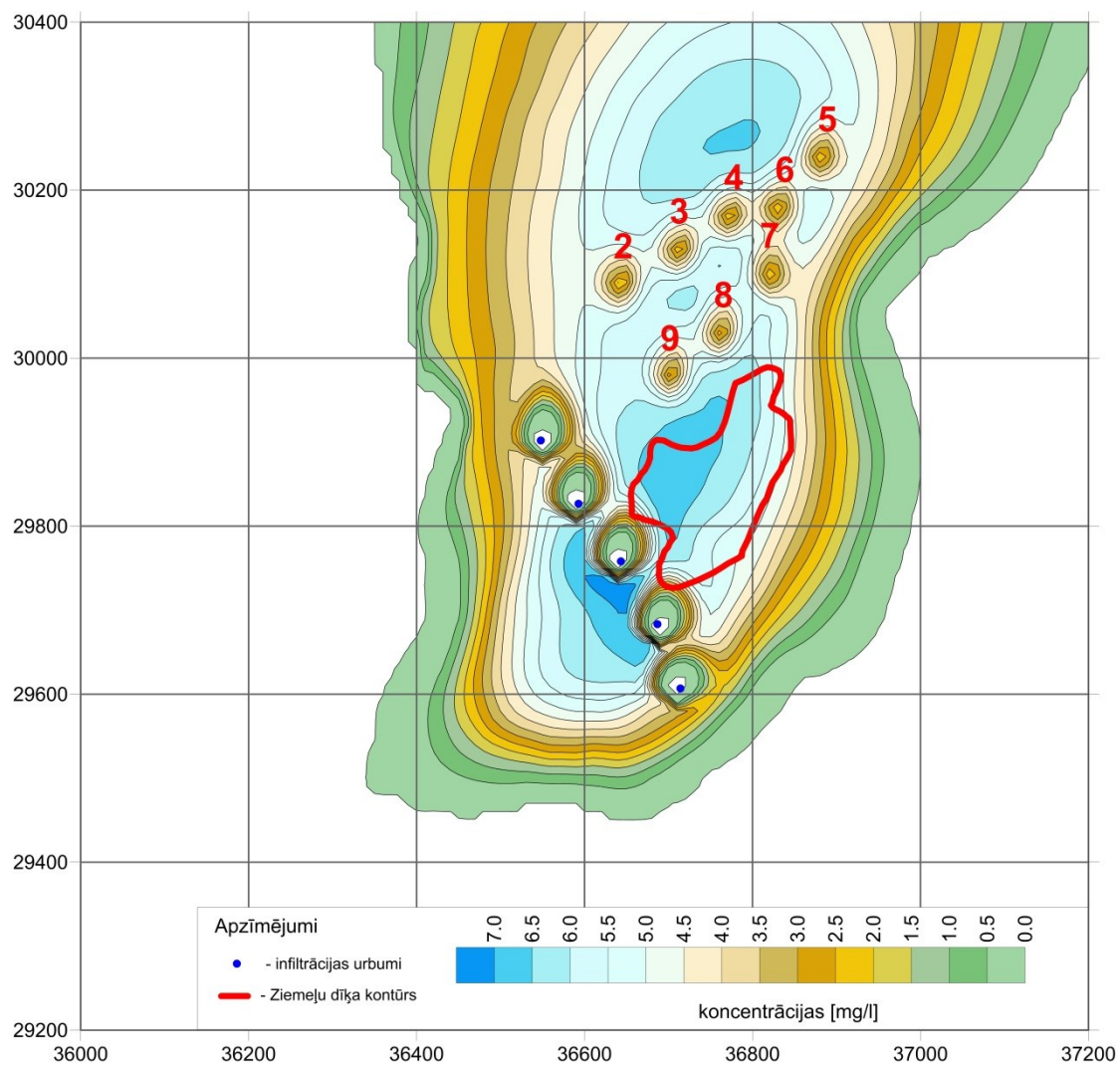
43. att. Ūdens līmeņi [m vjl] un izohronas [gadi] Q horizontā 2006.g. (atbilst patreizējai ūdens ieguvei)



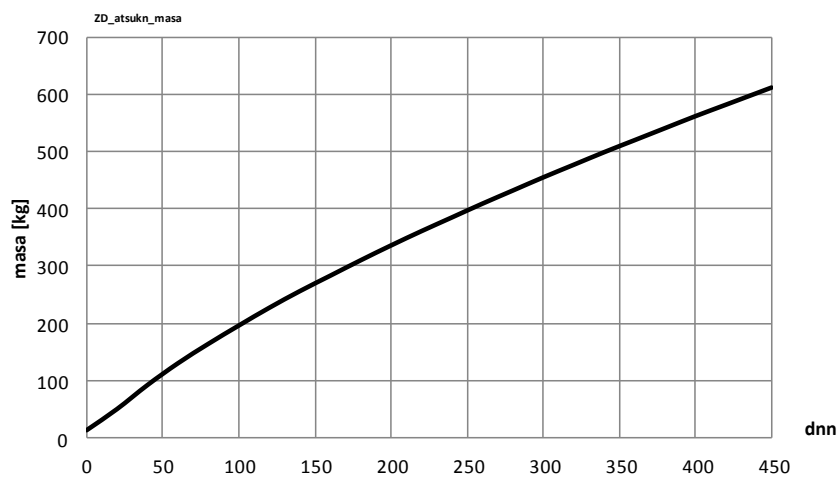
5.1. att. Ziemeļu dīķis ar pagarināto rievsienu .Pjezometrisko līmeņu sadalījums, ja inflācijas plūsma samazināta 1000 reizes



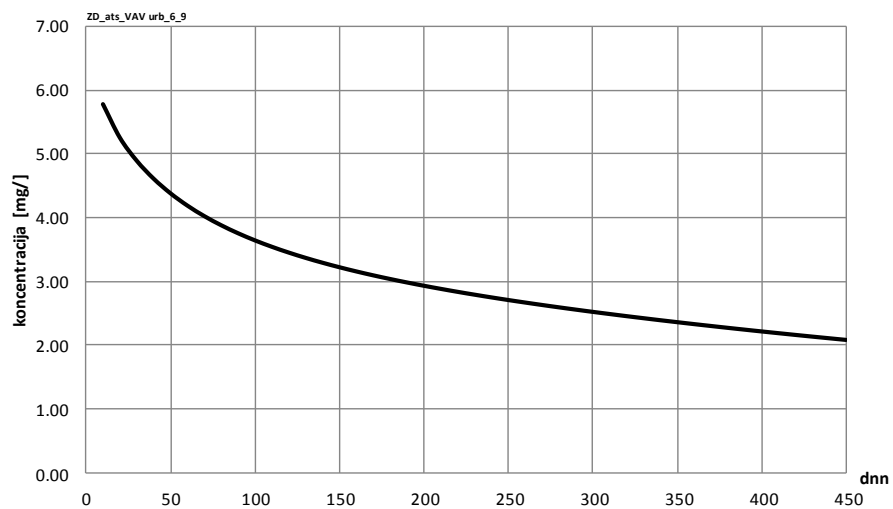
5.2. att. Piesārņojuma izskalošana[%] horizontā Q Ziemeļu dīķim



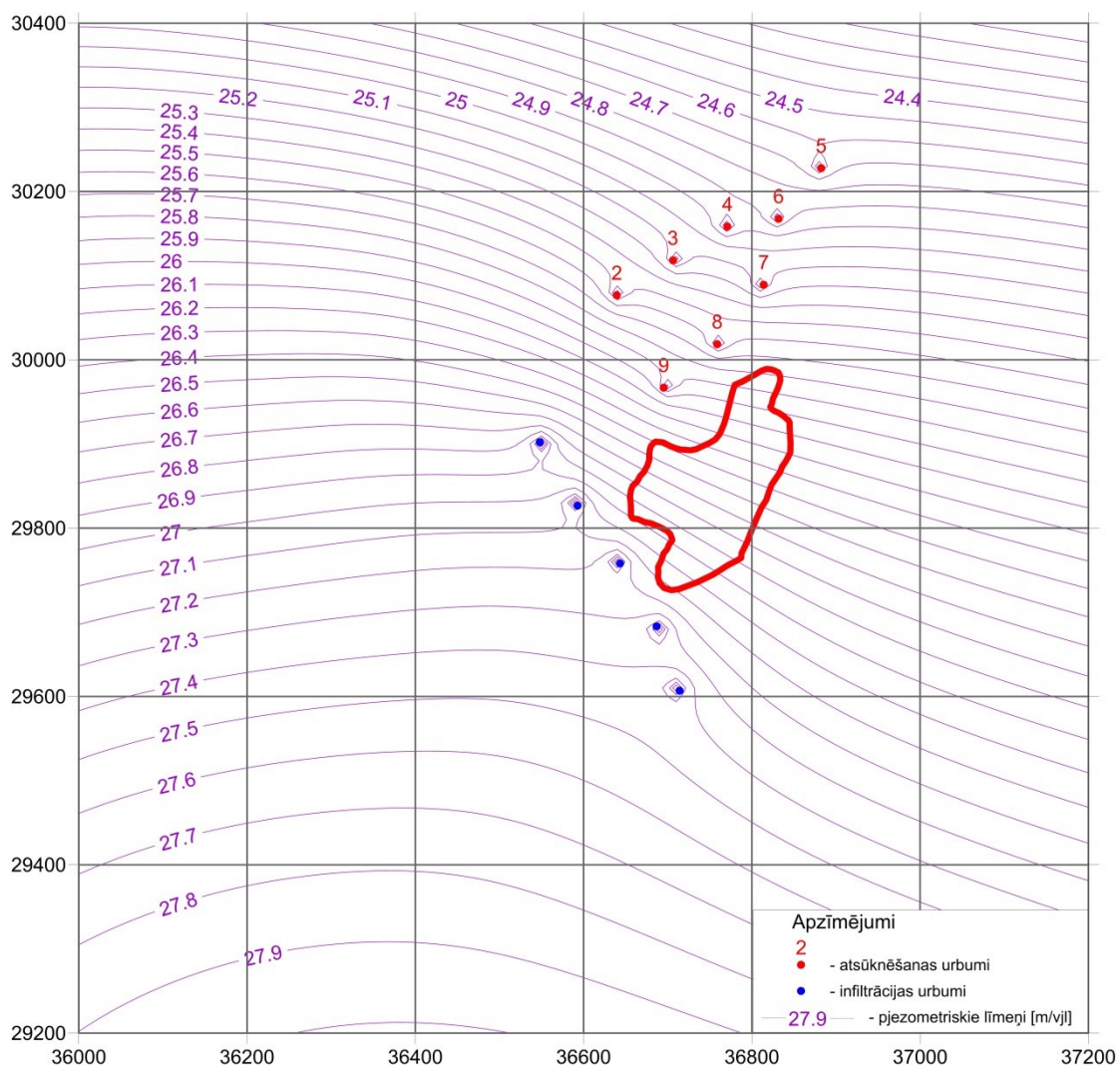
5.3. att. Atsūkņēšanas un infiltrācijas urbumi apakšhorizontā D3gj23; VAV koncentrāciju sadalījums pēc 108000 m³ piesārņotā ūdens atsūkņēšanas



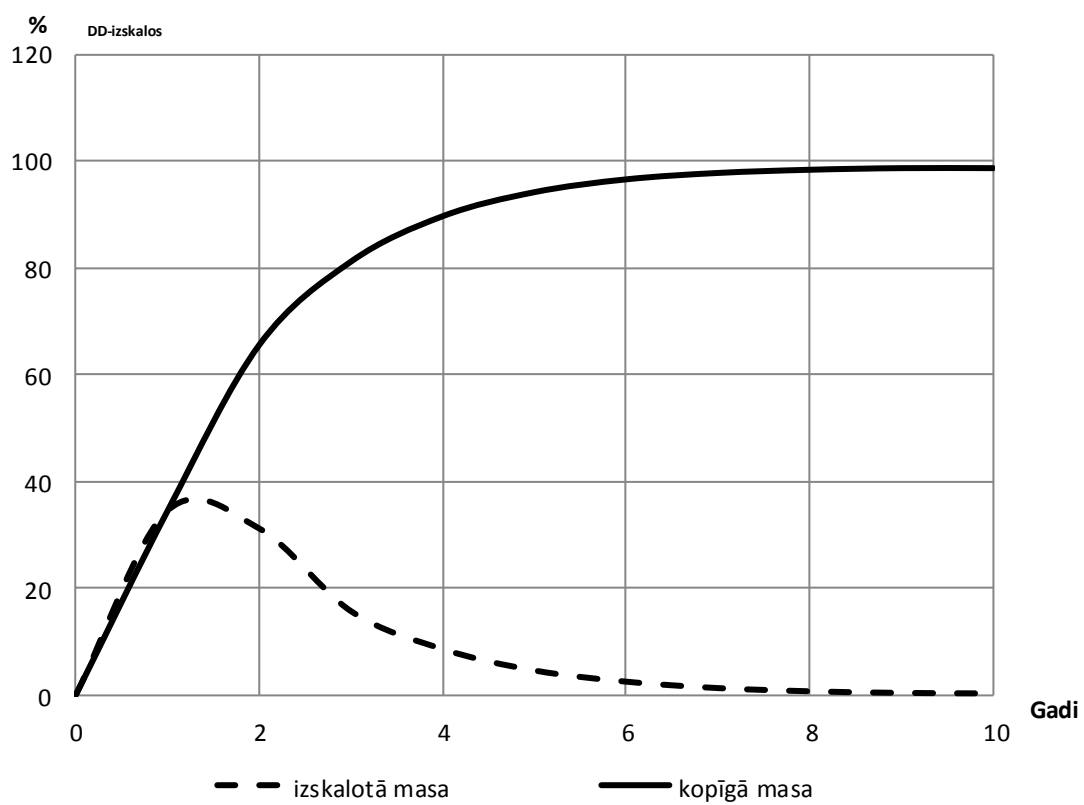
5.4. att. VAV masa [kg], kura iegūta no D3gj23 apakšhorizonta, ja atsūkņēti (2×108000)m³ pazemes ūdens 450 dienās (variants Nr. 1)



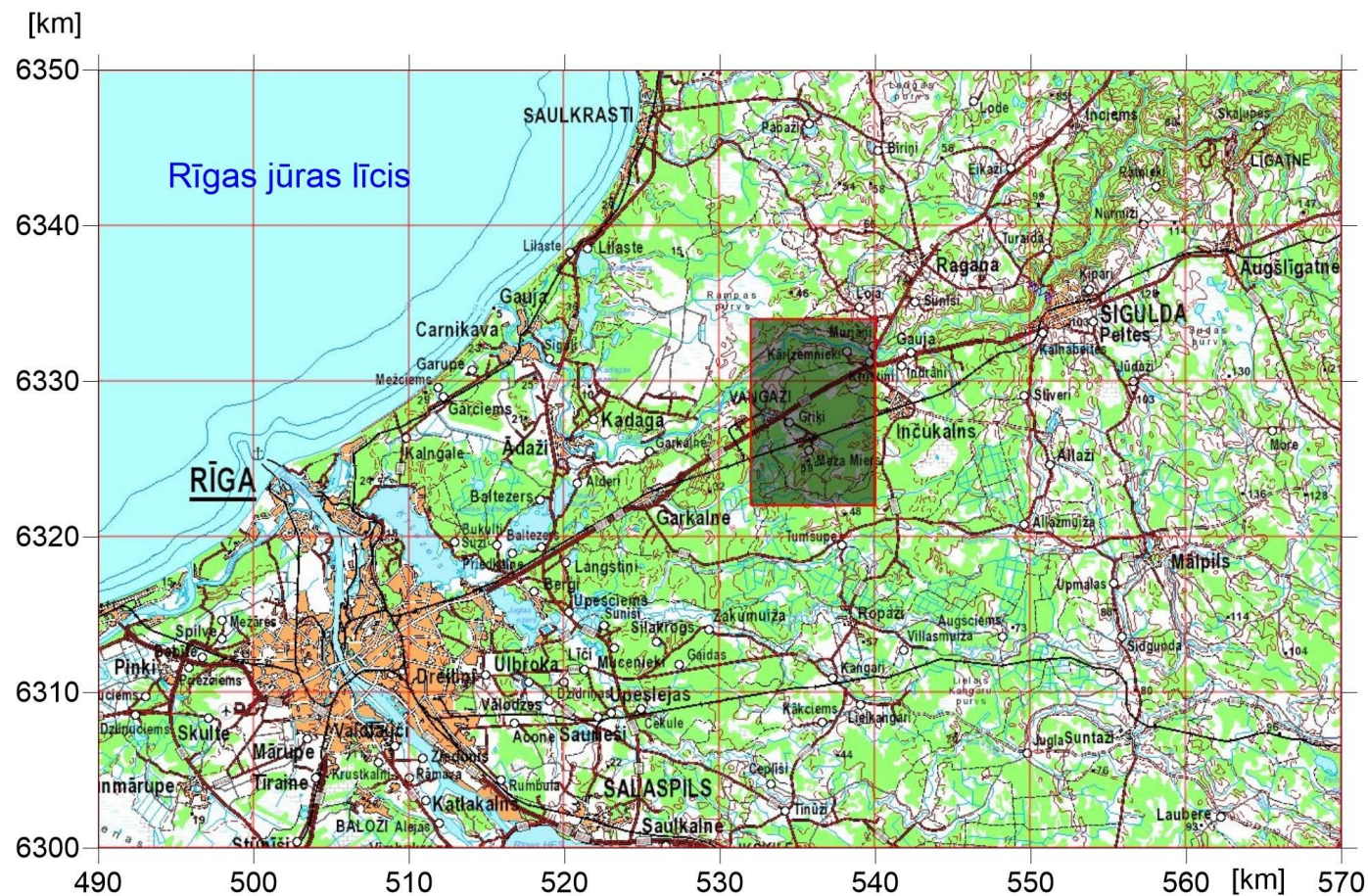
5.5. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfs 450 dienām urbumā Nr. 6



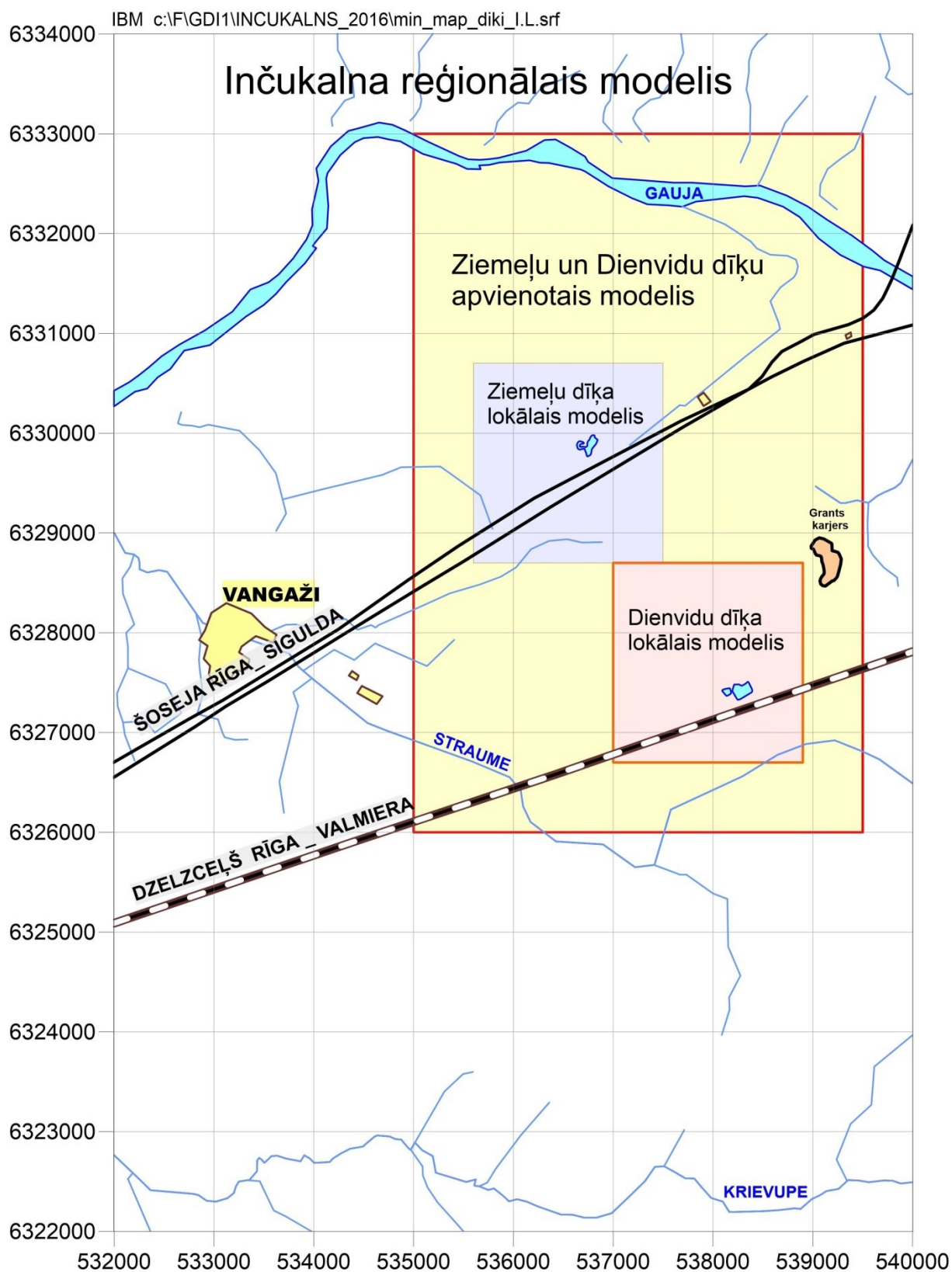
5.6. att. Pjzometrisko līmeņu karte horizontam D3gj23 atsūkņēšanas variantam $8 \times 60 \text{ m}^3/\text{dnn}$ ar attīrītā ūdens infiltrāciju $5 \times 96 \text{ m}^3/\text{dnn}$



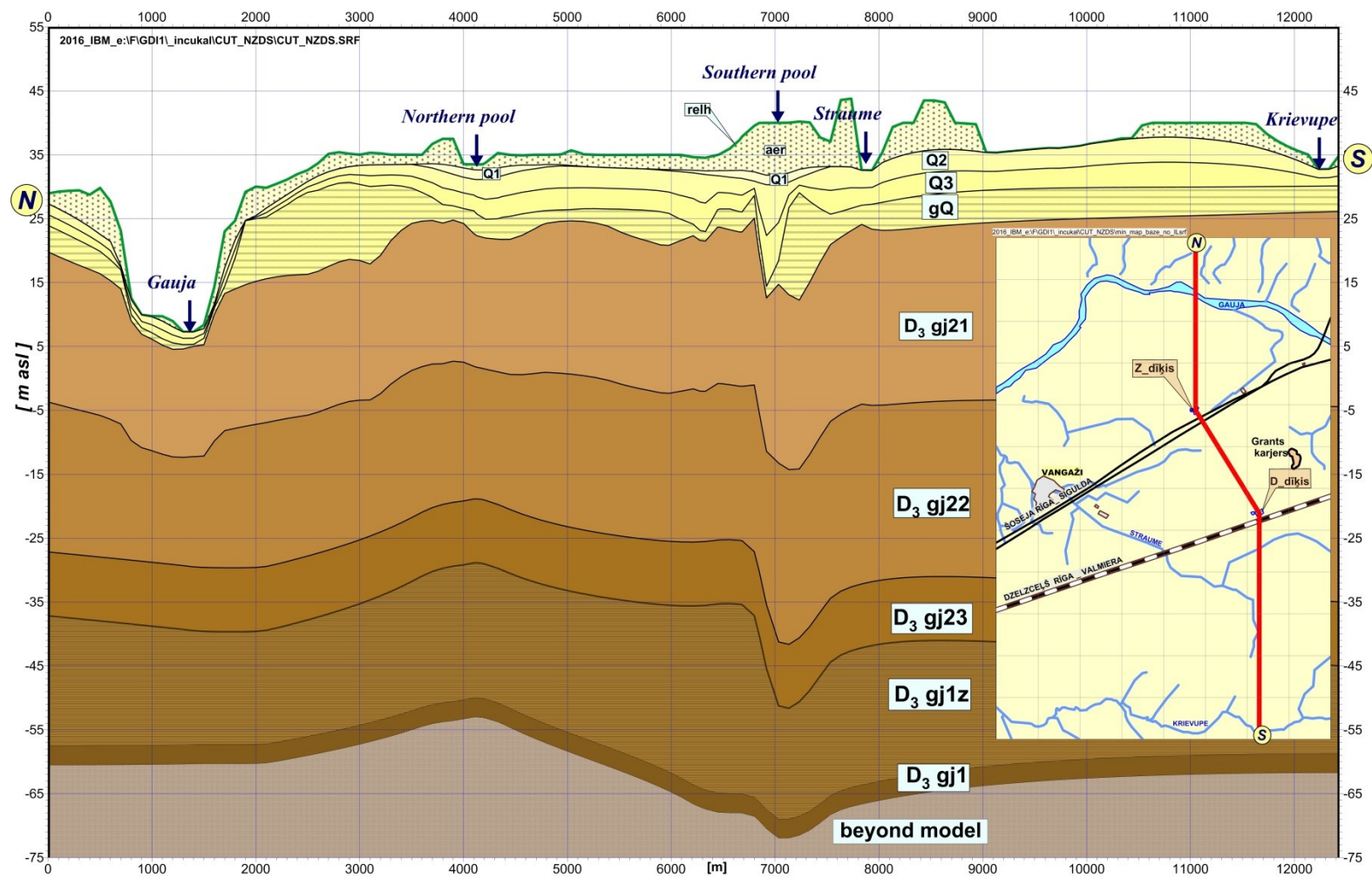
5.7. att. Piesārņojuma izskalošana[%] horizontā Q Dienvidu dīķim



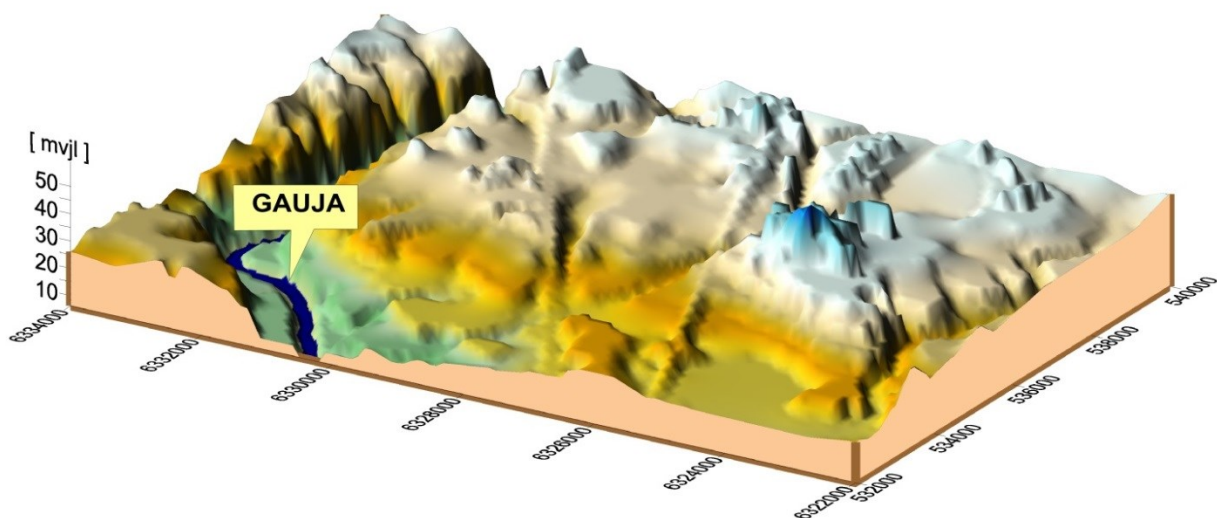
6.1. att. Inčukalna reģionālā modeļa novietojums.



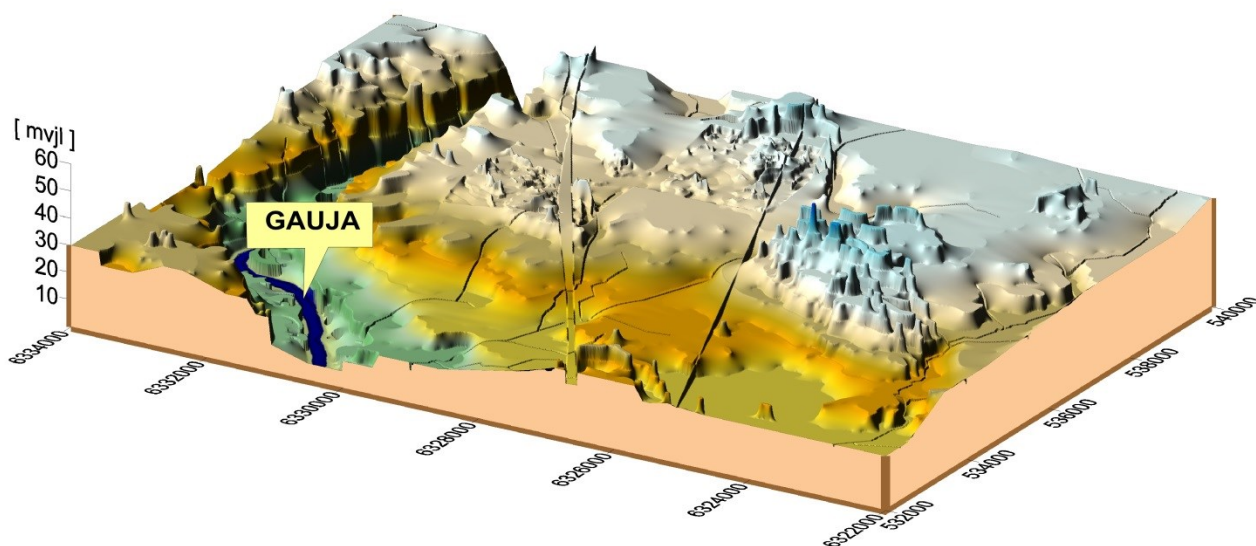
6.3. att. Inčukalna modeļa bāzes karte un lokālie hidroģeoloģiskie modeļi



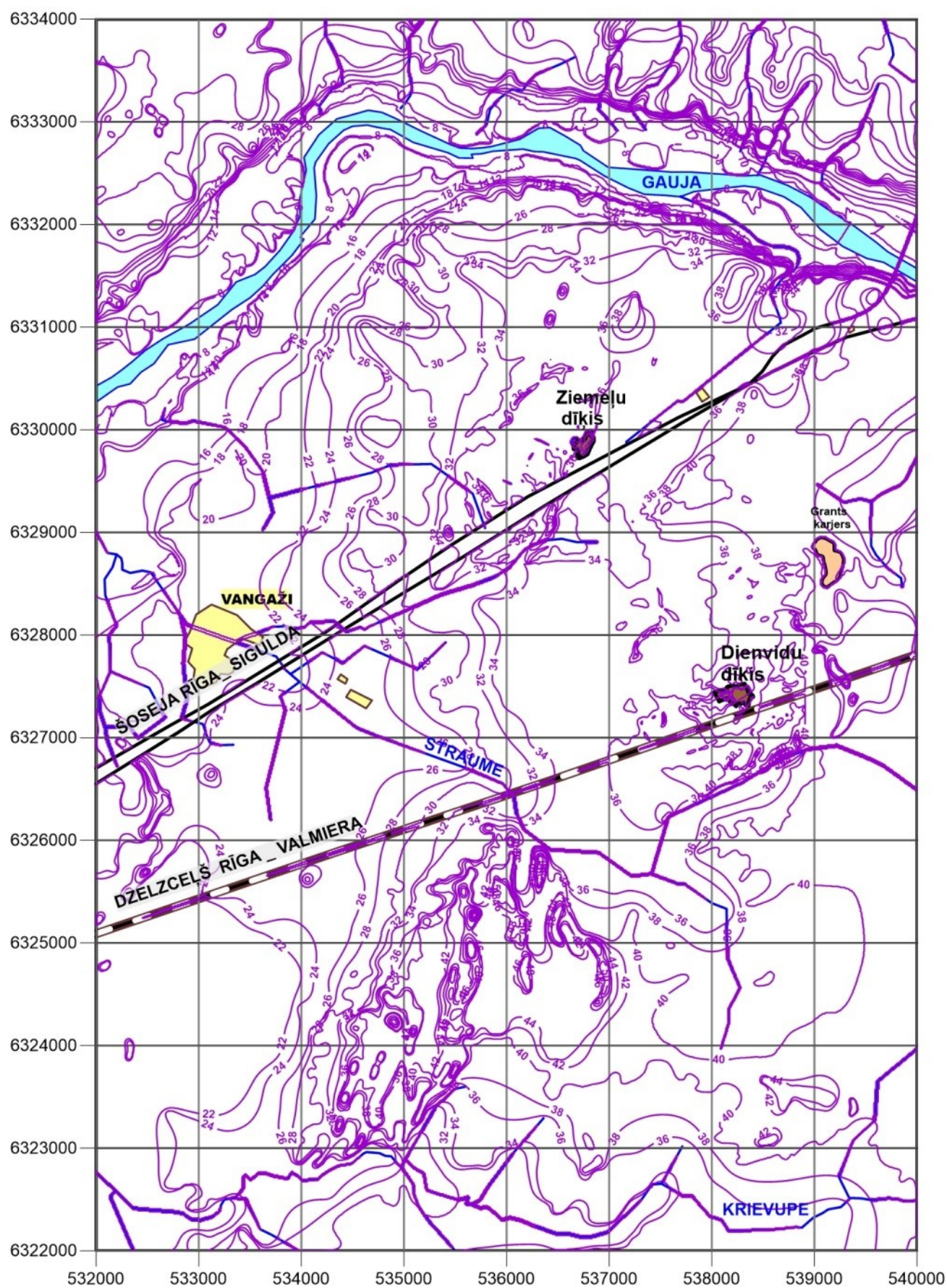
6.4. att. Vertikālais ģeoloģiskais griezumums



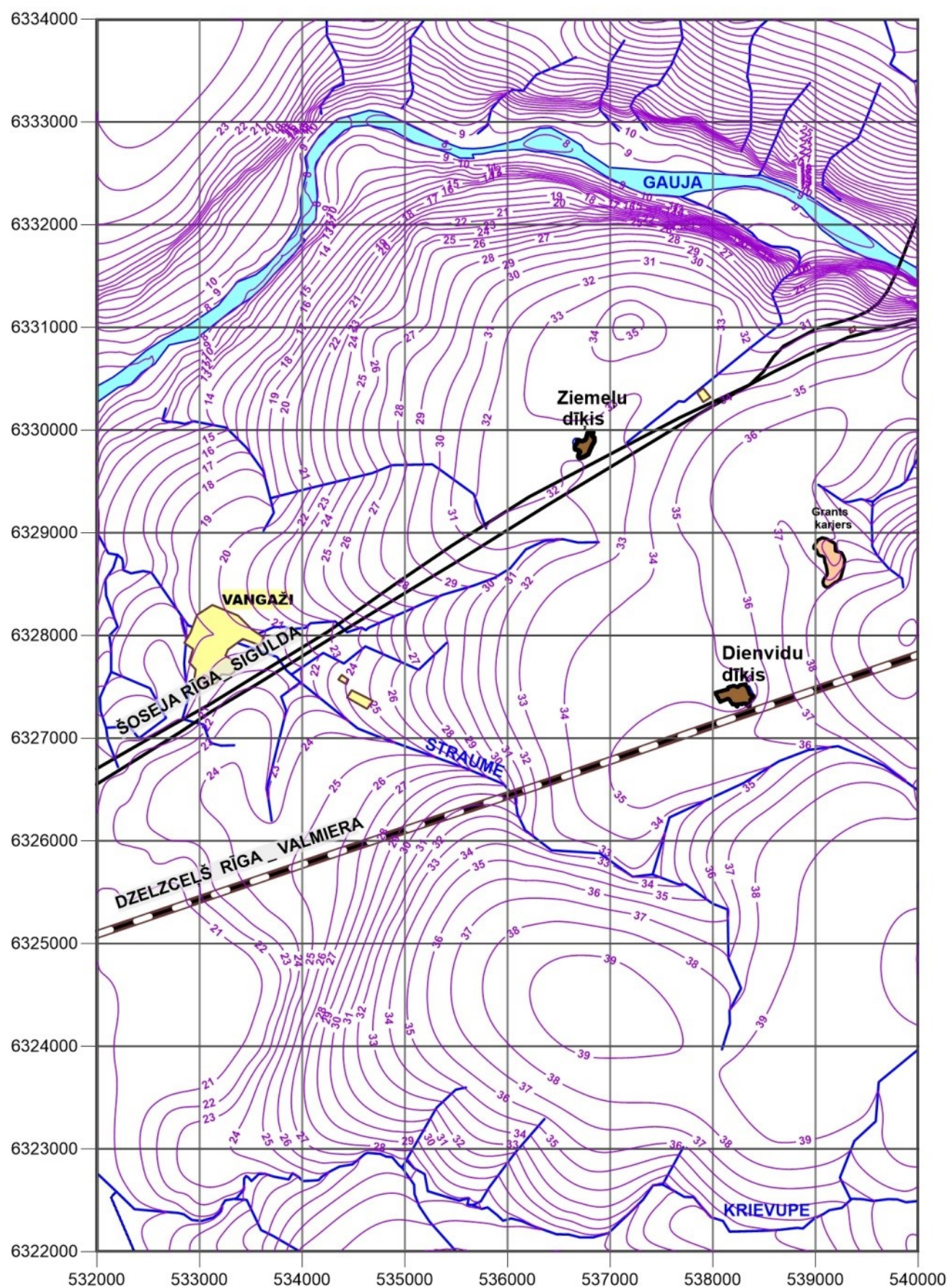
6.5. att. Inčukalna modeļa reljefa izometrija 2005. gadā



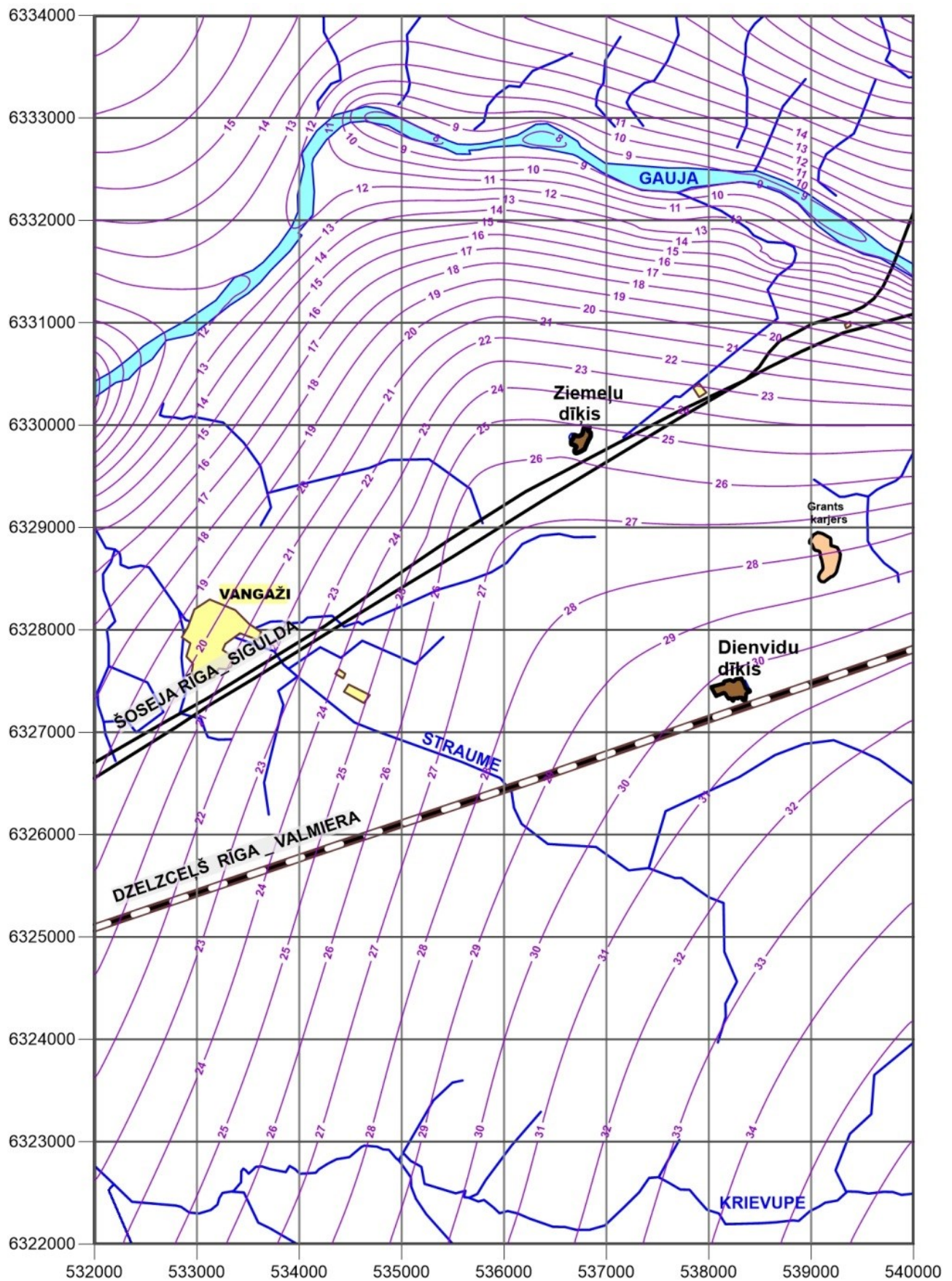
6.6. att. Inčukalna modeļa reljefa izometrija 2016. gadā



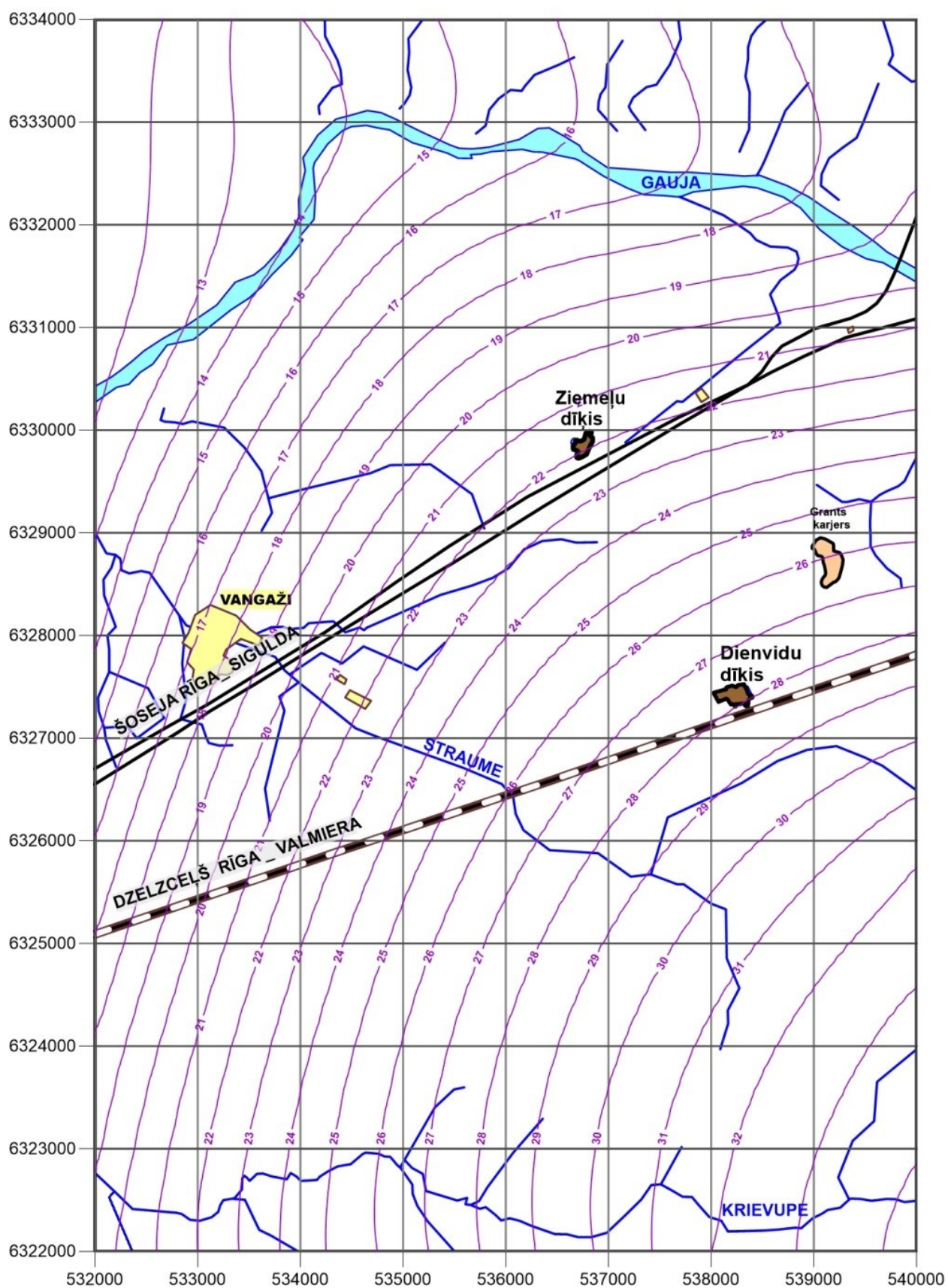
6.7. att. Inčukalna modeļa reljefa izolīniju karte [m vjl]



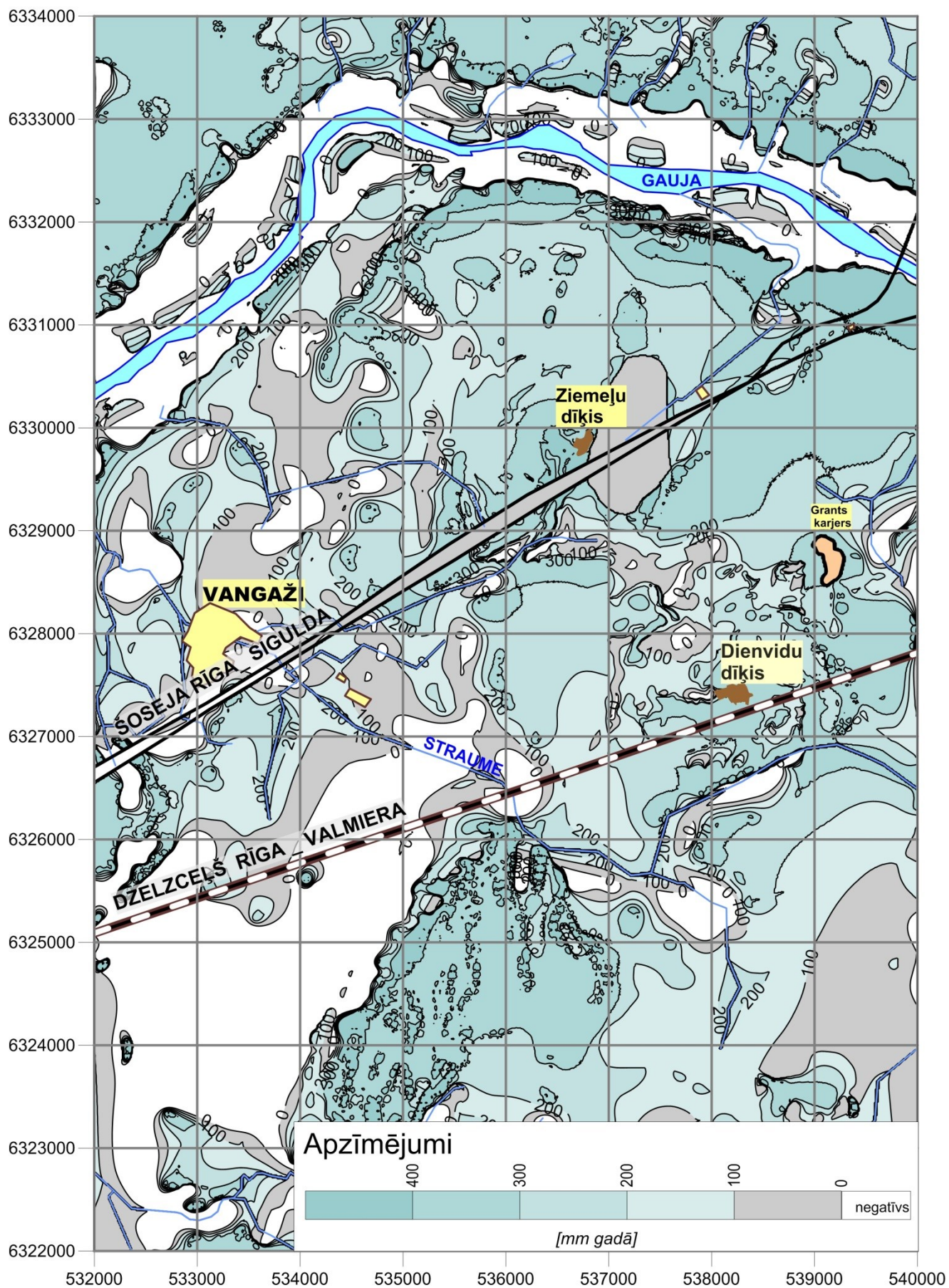
6.8. att. Kvartāra horizonta Q ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]



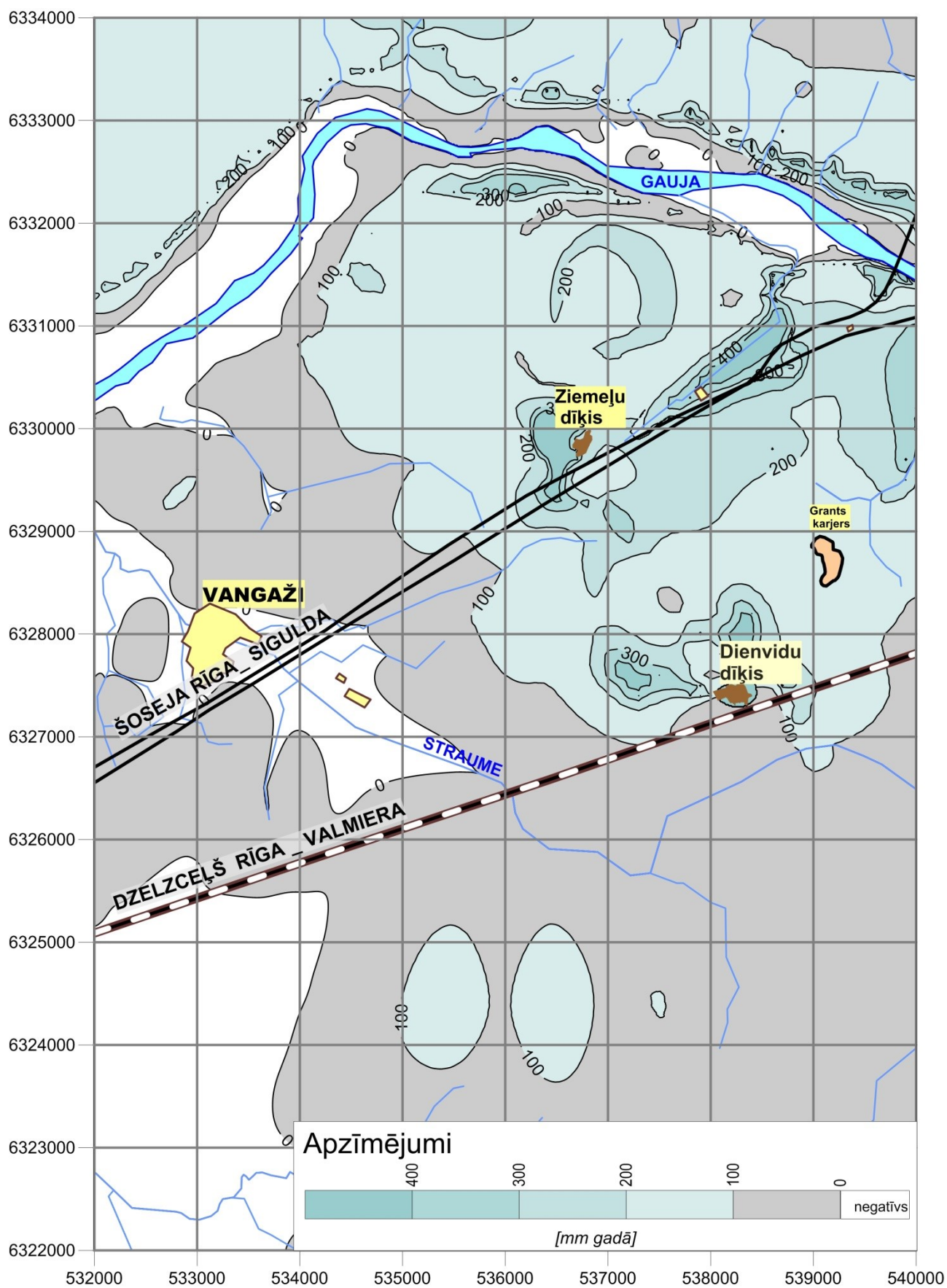
6.9. att. Gaujas horizonta D3g2 ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]



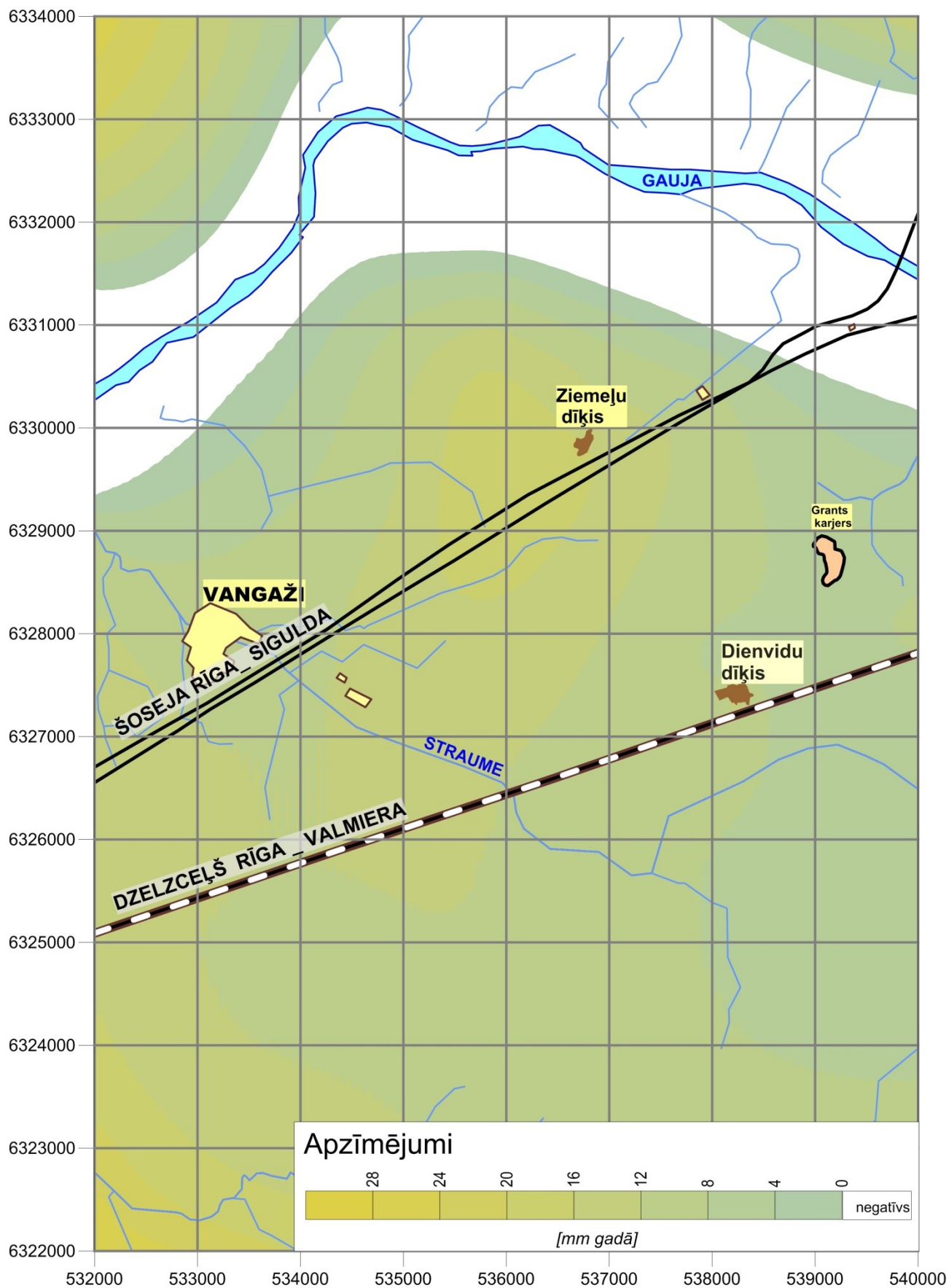
6.10. att. Gaujas horizonta D3gj1 ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]



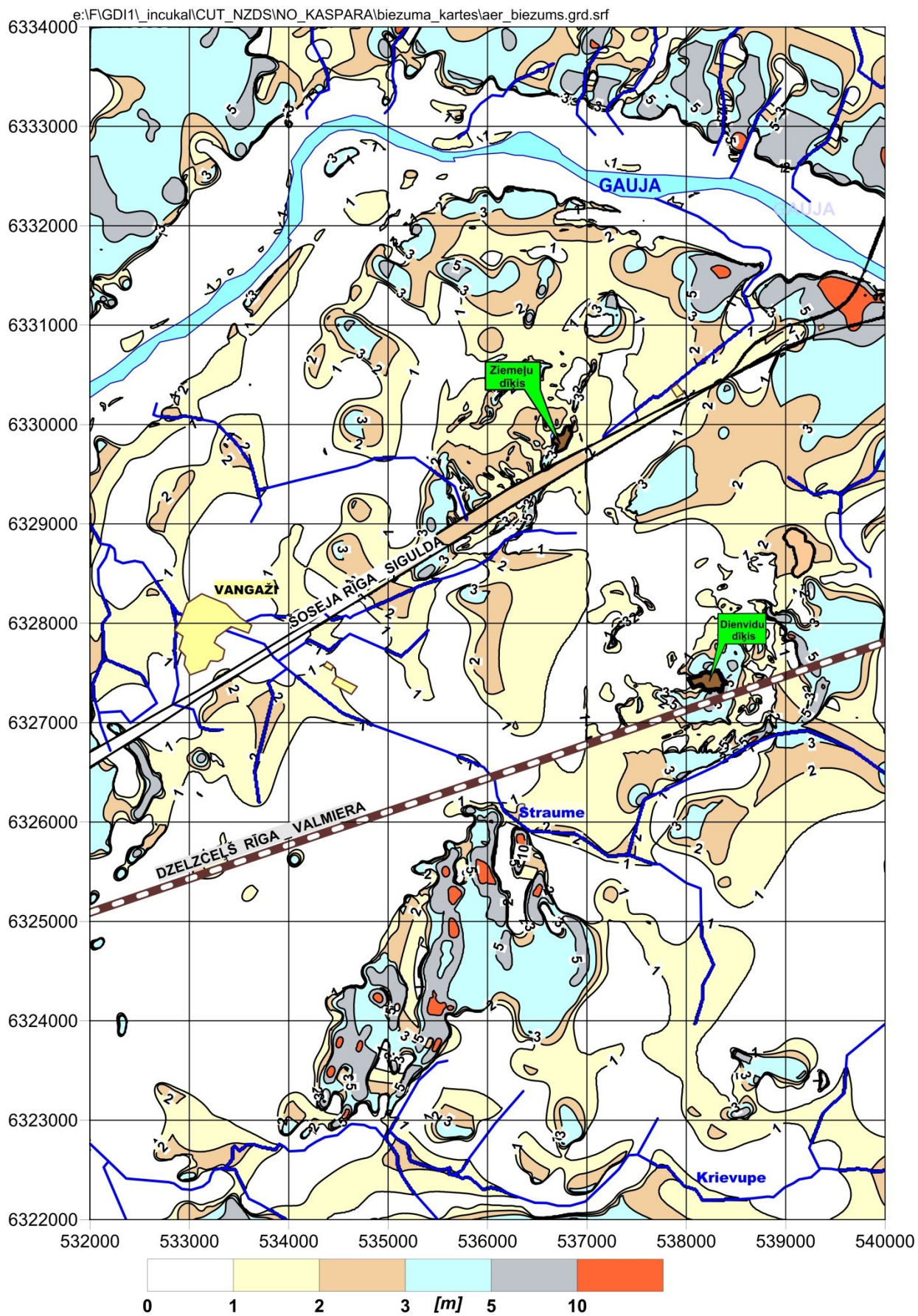
6.11. att. Infiltrācijas plūsma [mm/gadā] caur aerācijas zonu aer



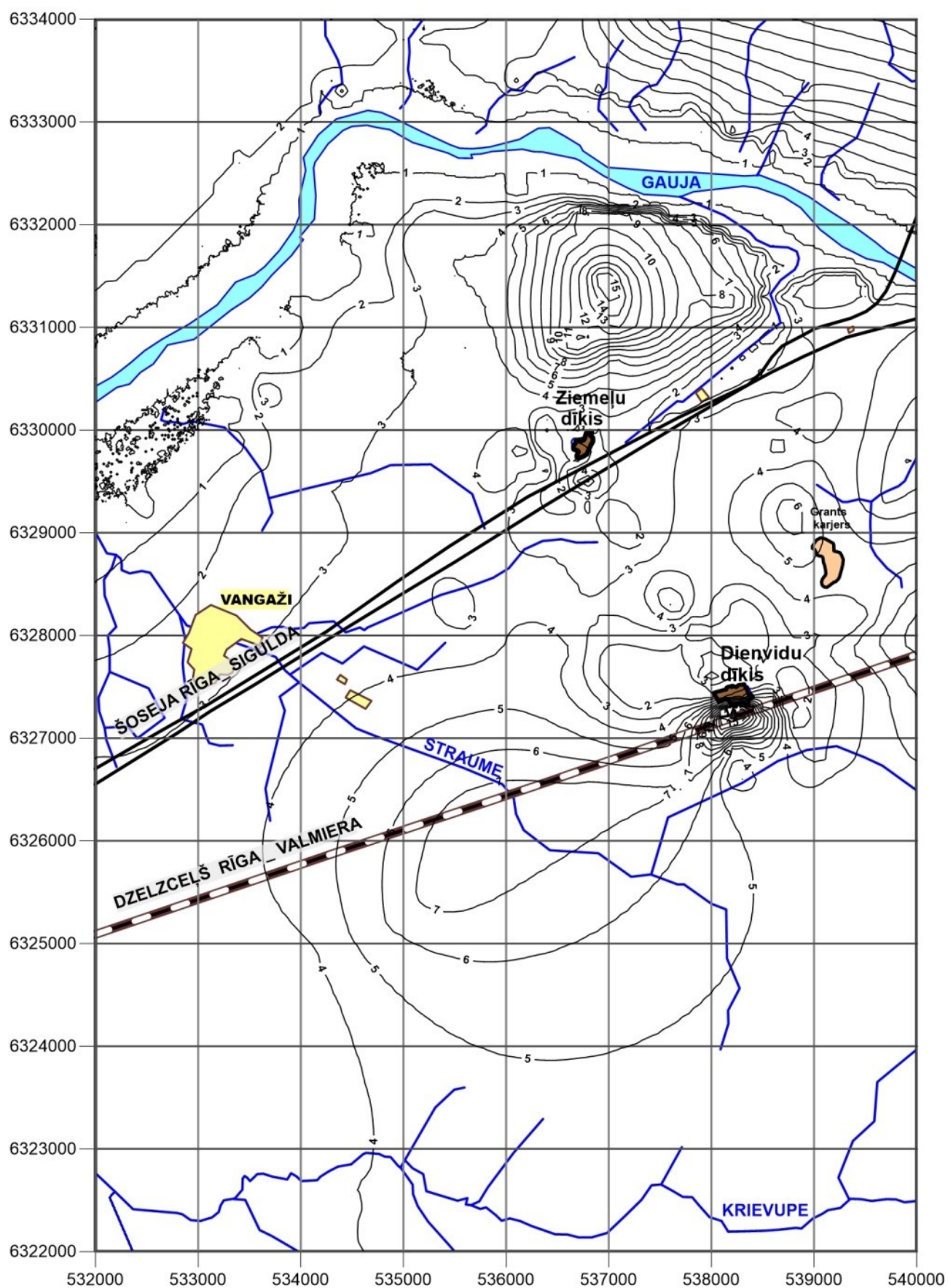
6.12. att. Plūsma [mm/gadā] caur sprotslāni gQ



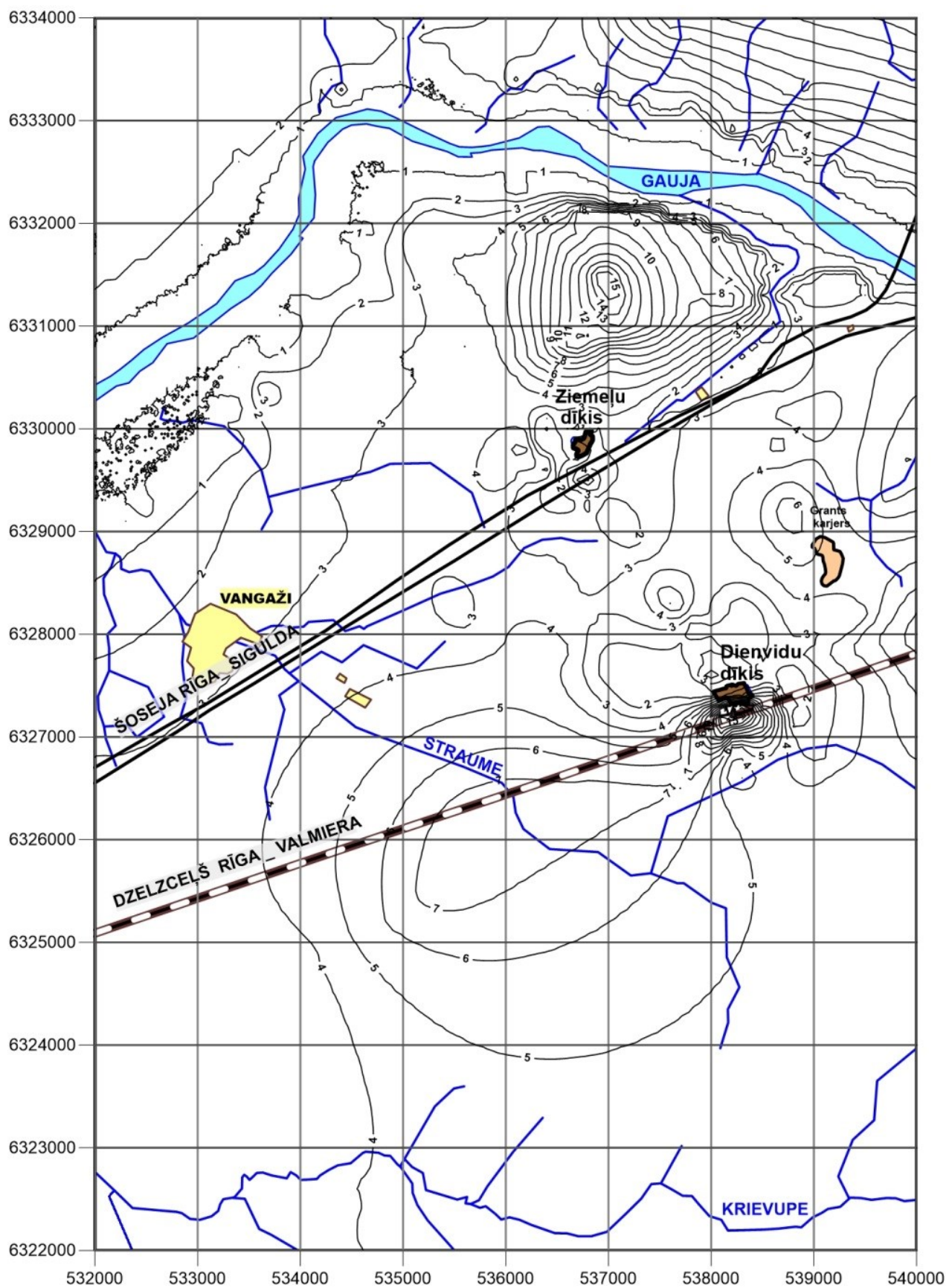
6.13. att. Plūsma [mm/gadā] caur sprostslāni D3gjlz



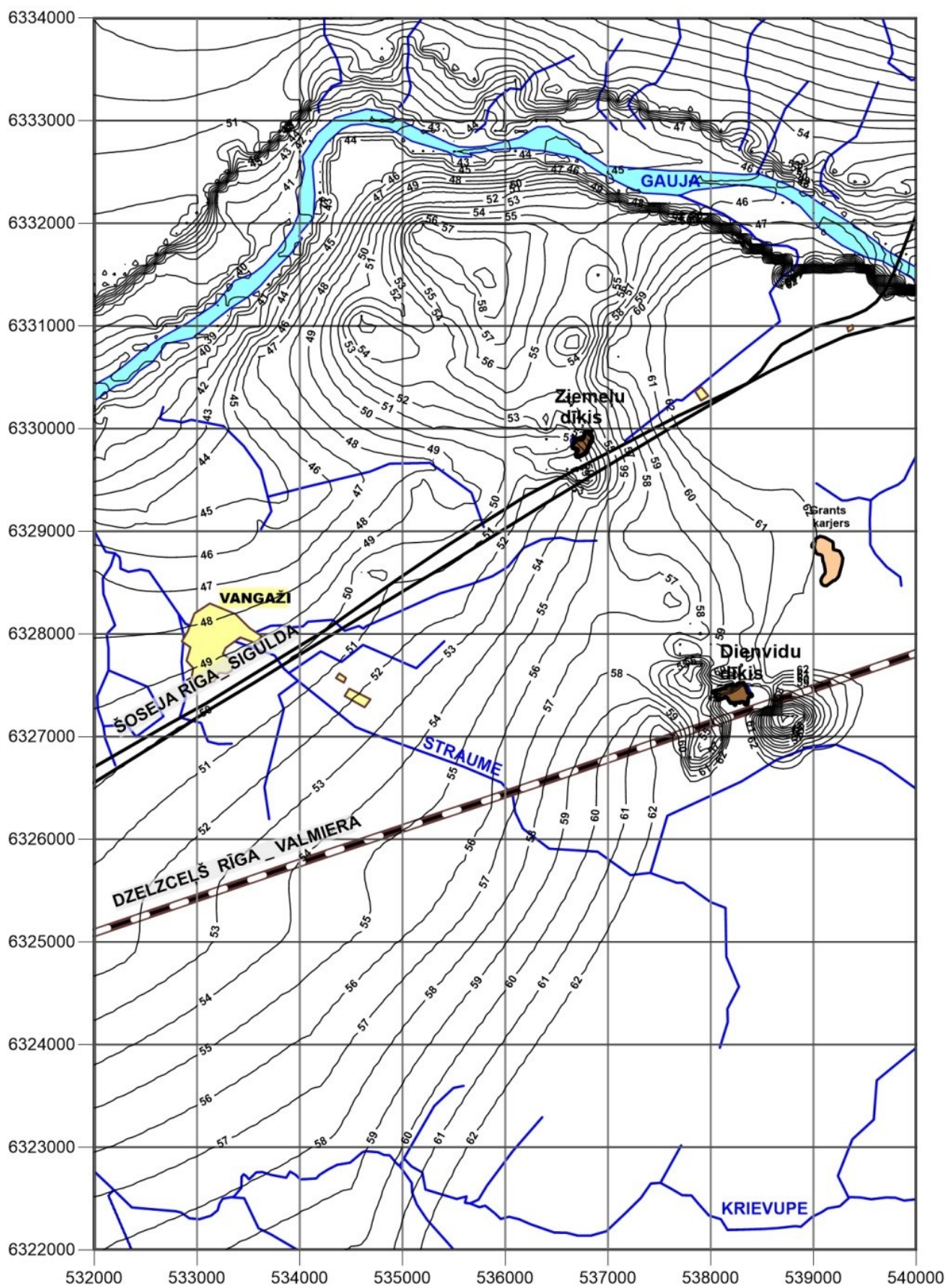
6.14. Aerācijas zonas aer biezuma [m] izolīniju karte



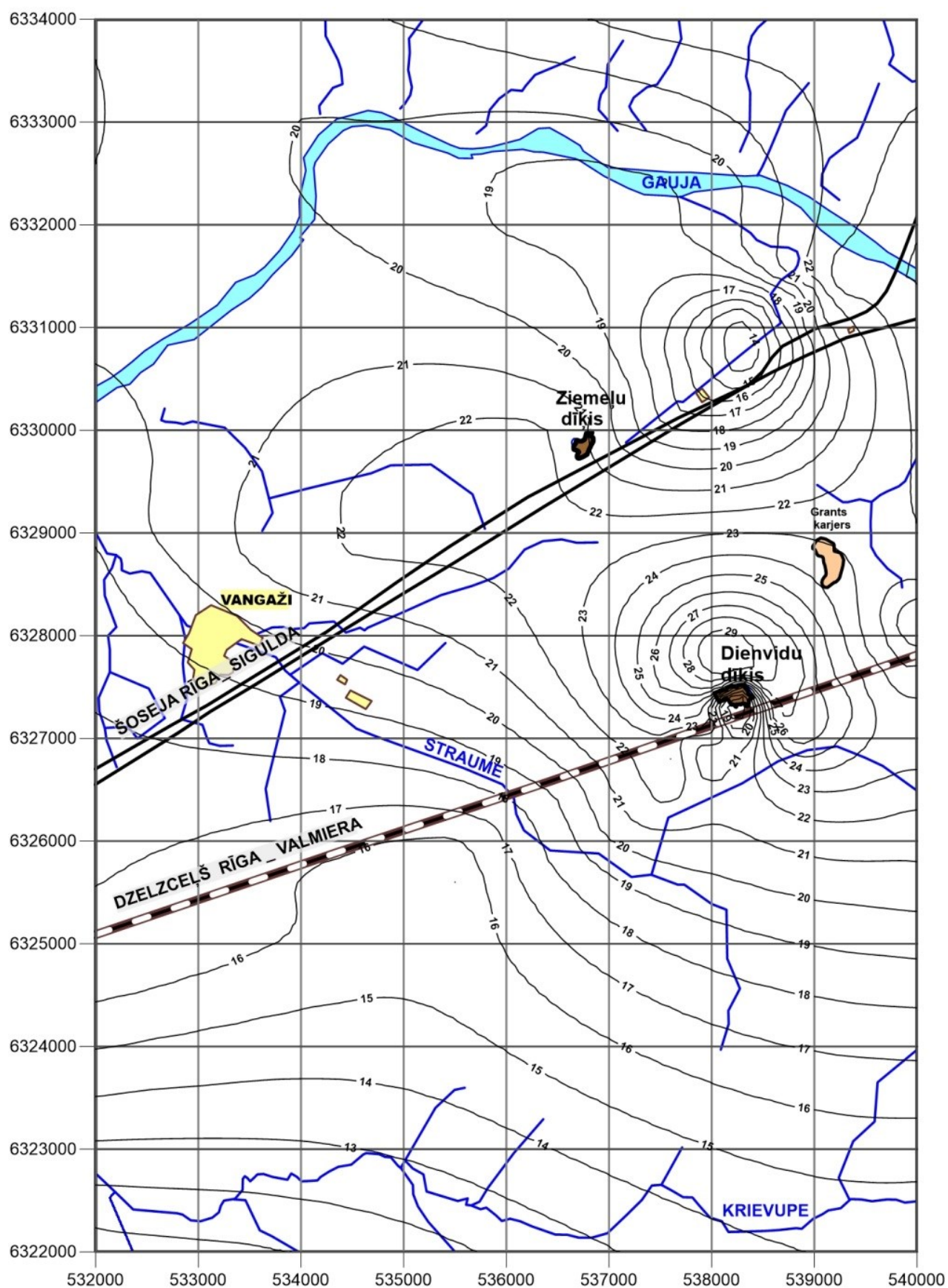
6.15. att. Kvartāra horizonta Q biezuma [m] izolīniju karte



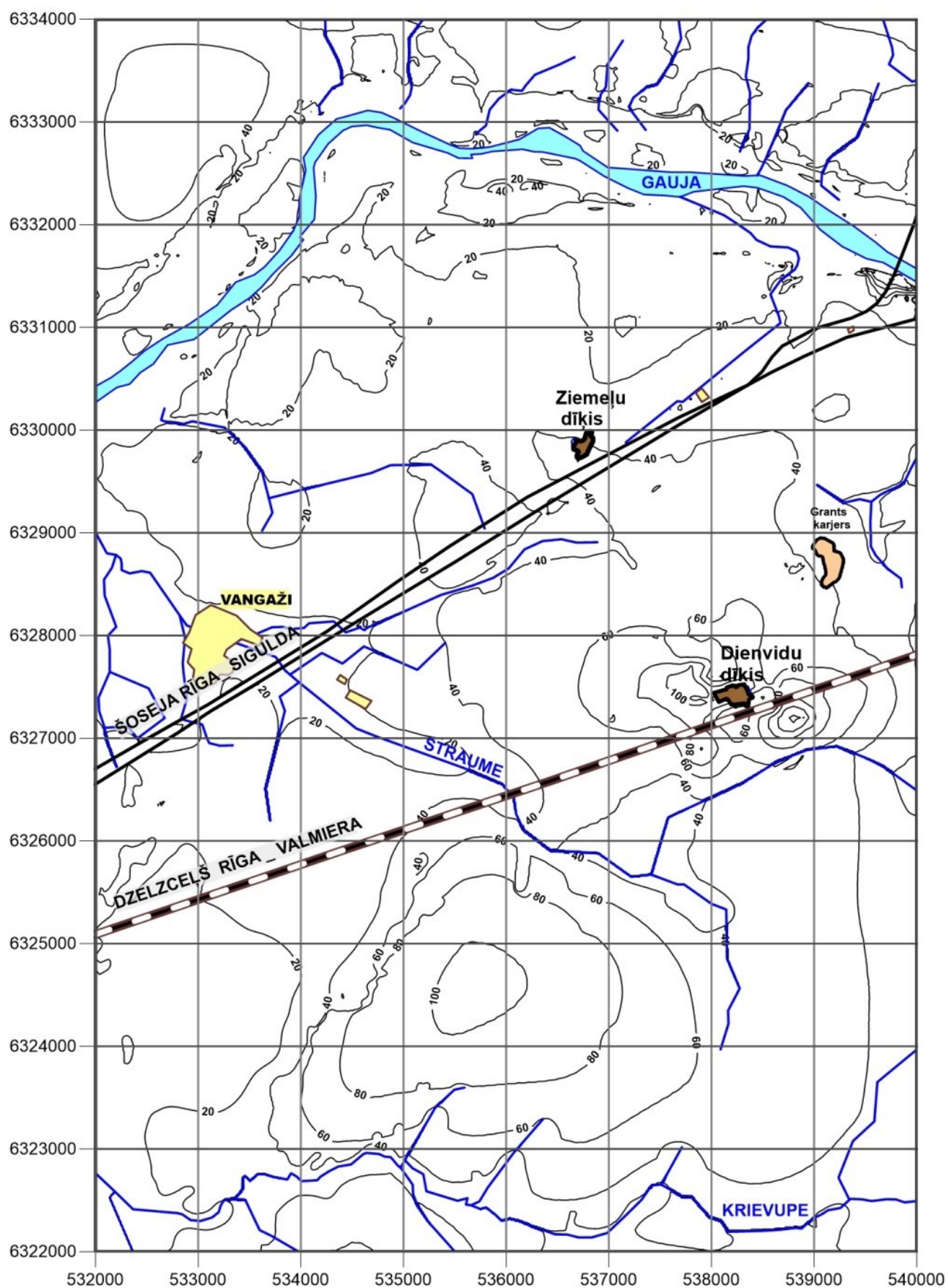
6.16. Kvartāra morēnas gQ biezuma [m] izolīniju karte



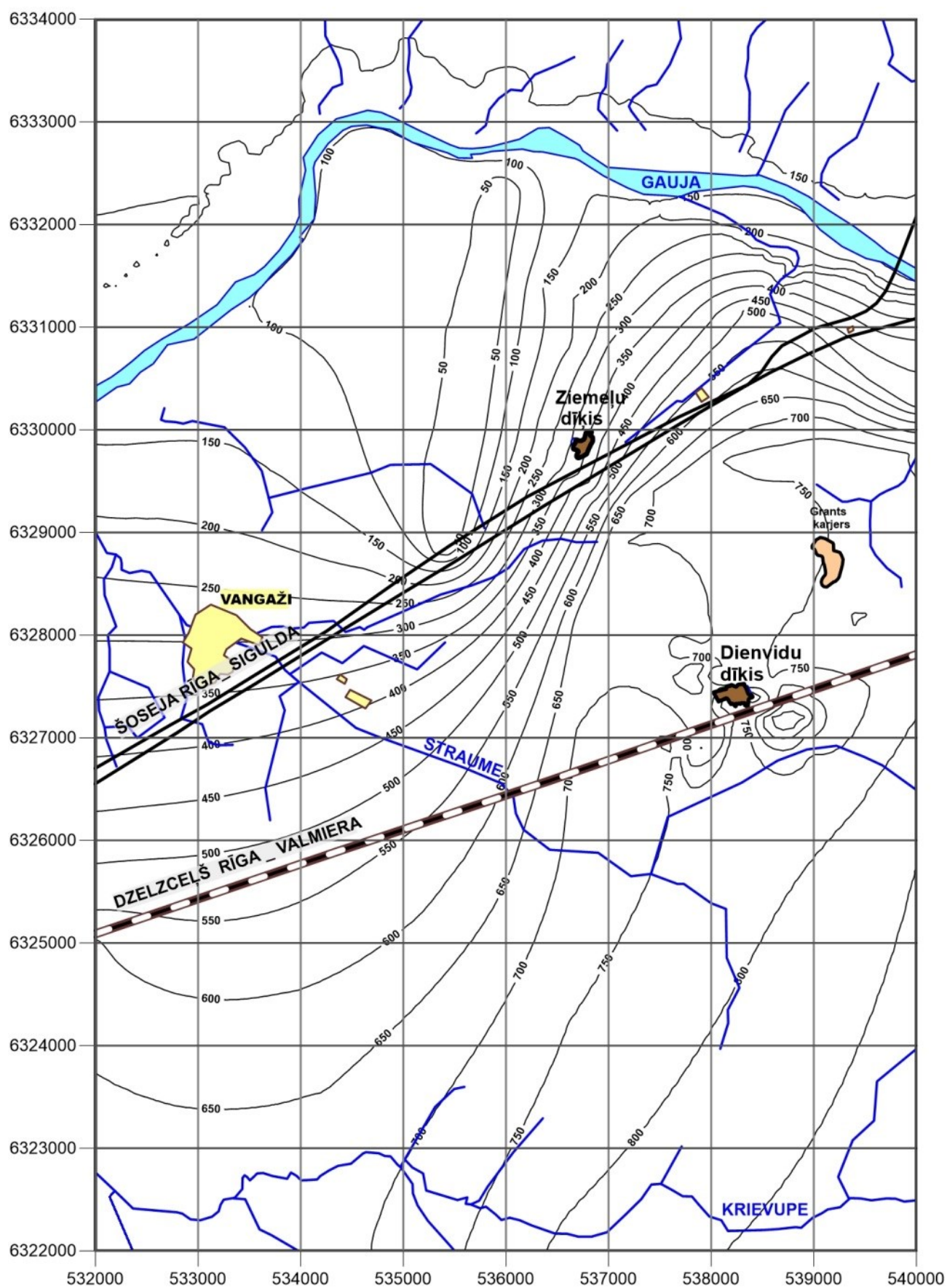
6.17. att. Gaujas horizonta D3g2 biezuma [m] izolīniju karte



6.18. att. Gaujas horizonta sprostslnāna D3gjlz biezuma [m] izolīniju karte



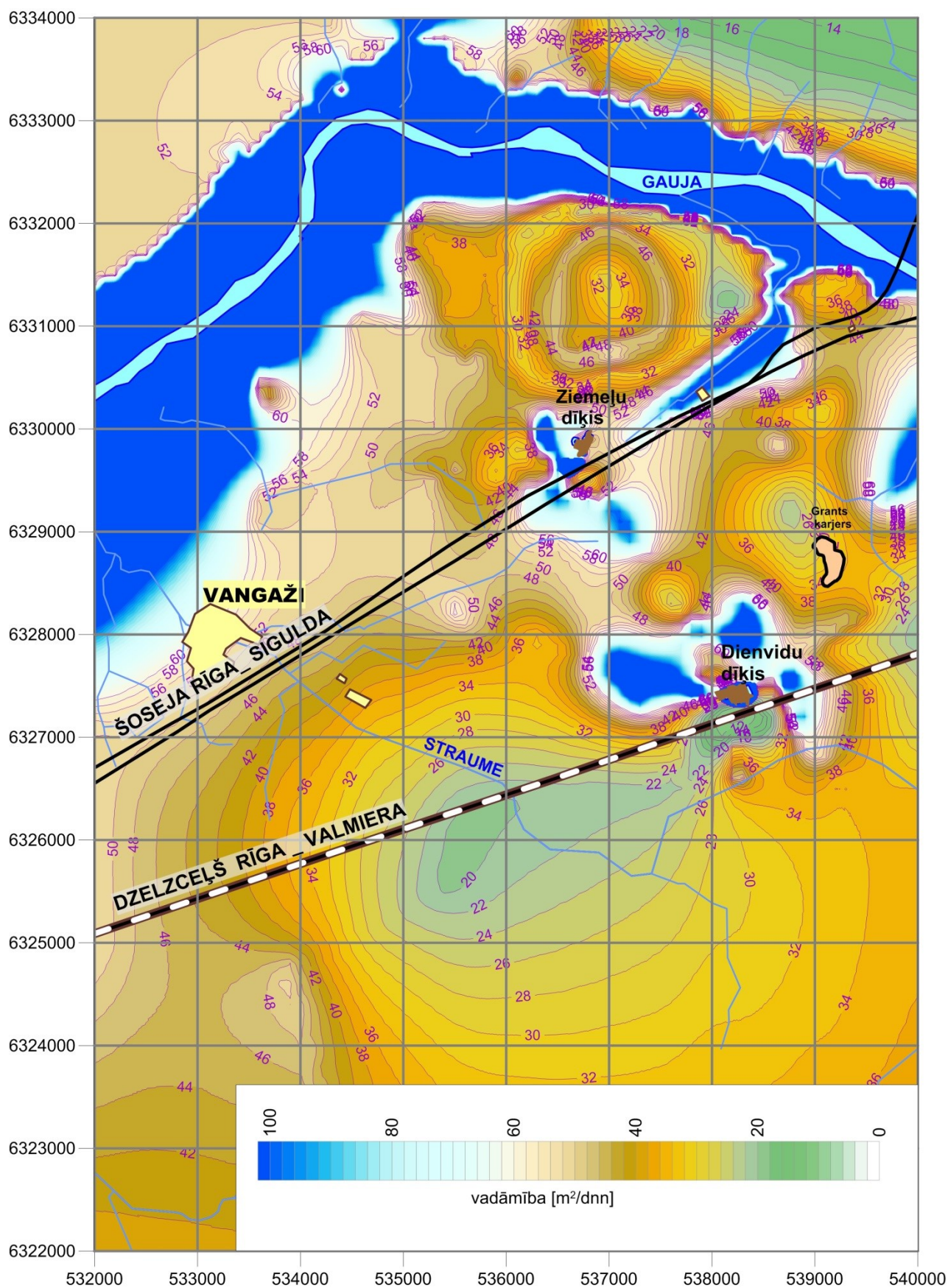
6.19. att. Kvartāra horizonta Q caurplūdes [m^2/dnn] izolīniju karte



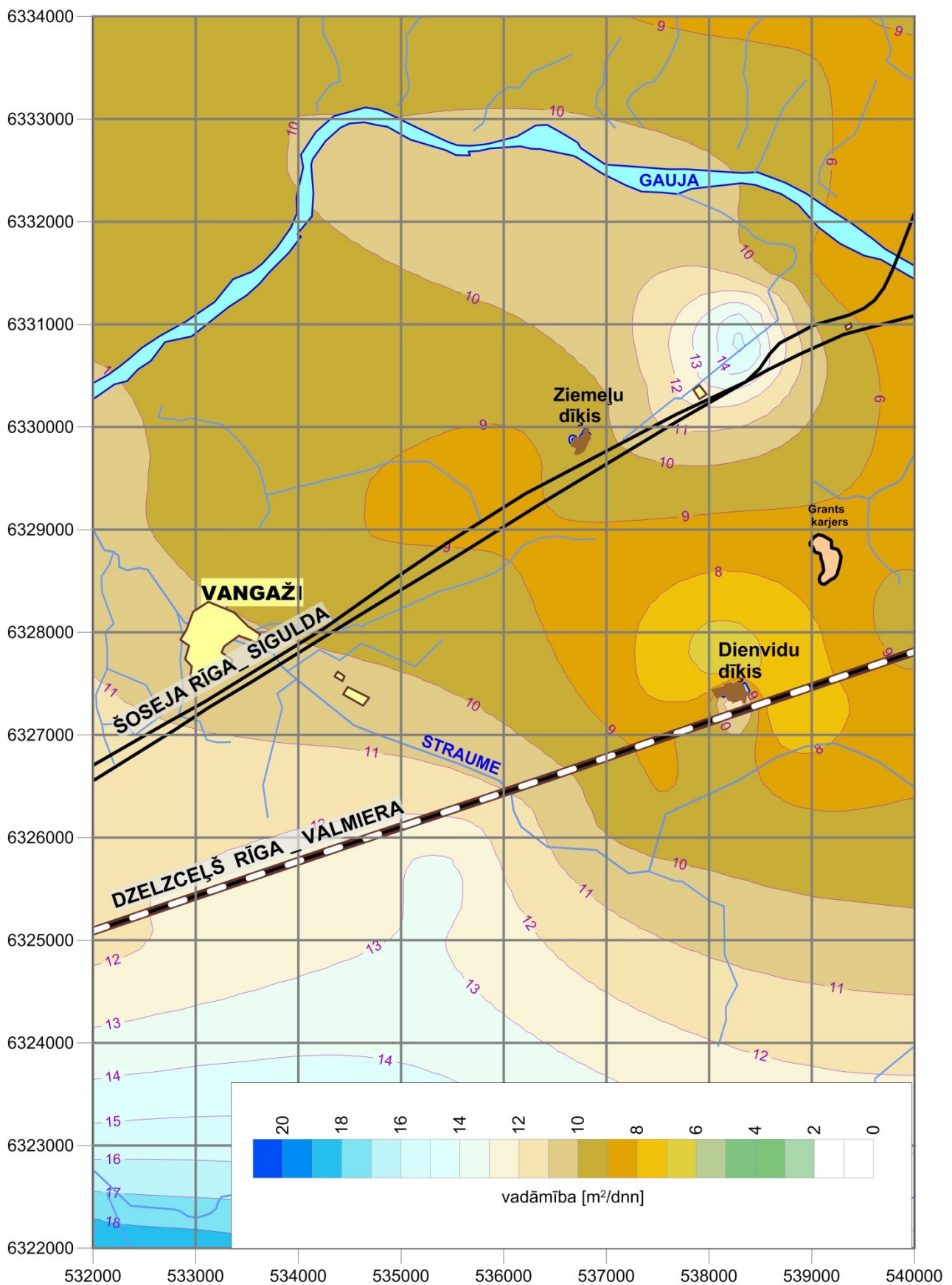
6.20. att. Gaujas horizonta D3g12 caurplūdes [m^2/dnn] izolīniju karte



6.21. att. Aerācijas zonas aer vertikālo ūdens vadāmību kodola [m²/dnn] izolīnu karte
(ūdens vadāmība=kodols×10⁻⁴)



6.22. att.Kvartāra morēnas gQ vertikālo ūdens vadāmību kodolu [m^2/dnn] izolīniju karte
(ūdens vadāmība=kodols $\times 10^{-4}$)



6.23. att. Gaujas horizonta sprostslnāna D3gjlz vertikālo ūdens vadāmību kodolu [m²/dnn] izolīniju karte (ūdens vadāmība=kodols $\times 10^{-4}$)

1. pielikums

Pazemes ūdens analīžu rezultāti Inčukalna gudrona dīķu apkārtnē

Nr.p.k.	Urbumu nr.	Lab.reģ. Nr.	Benzols	Toluols	Etilbenzols	m, p ksiloli	o-ksilols	BTEX, sumr	NPI	ĶSP	Sulfāti	Fenolu indekss	SVAV	AOX	EOX	DOC	Trihloro metāns	Tetrahlor ometāns	Trihloreit ēns	Tetrahlor etēns	pH	EVS	Eh	t
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l																
Ziemeļu dīķis																								
Kvartāra gruntsūdens horizonts Q																								
1	24	14igb	<0,5	<1	<1	<1	<1	<1	<0,02	36.9	0.30	<0,003	<0,04								7.26	458	-102	7.8
2	31	22igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	320	8.9	0.012	1.9								3.65	144	197	8.9
3	33	1igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	23.4	8.3	<0,003	<0,04								6.91	65	126	8.5
4	23	2igb	<0,5	<1	<1	<1	1	1±0,2	0.02	26.1	3.1	<0,003	<0,04								6.30	30	90	8.2
5	34	3igb	<0,5	<1	<1	2	<1	2±0,4	0.03	210	5.8	0.008	3.4								4.72	57	204	7.9
6	32	4igb	<0,5	<1	<1	2	1	3±0,6	0.02	28.9	9.2	<0,003	0.05								5.9	113	166	7.1
7	35	36igb	<0,5	<1	2	1	2	1±0,2	0.04	202	4.7	0.006	0.69	<0,01	<0,05	82.8	<0,30	<0,10	<0,10	<0,2	5.03	32.0	155	8.7
8	40	33igb	<0,5	<1	<1	<1	1	1±0,2	0.04	42.7	2.7	0.003	<0,04								5.62	25.3	83	9.0
9	42	13igb	<0,5	<1	<1	<1	1	1±0,2	0.03	58.1	8.8	<0,003	<0,04								7.33	1210	-114	7.6
Augšgaujas ūdens horizonts D3g12																								
1	10	37igb	<0,5	<1	<1	1	1	1±0,2	0.03	179	4.2	0.005	0.14	<0,01	<0,05	78.8	<0,30	<0,10	<0,10	<0,2	5.63	26.1	25	8.9
2	1-1	32igb	<0,5	<1	<1	<1	<1	<1	<0,02	30.2	14.1	<0,003	0.04								7.35	223	251	8.2
3	51A	31igb	<0,5	<1	1	<1	1	2±0,4	0.03	206	41.1	0.009	6.9	0.020	<0,050	76.2	<0,30	0.52	0.44	<0,2	5.27	1180	-2	8.2
4	60	12igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	1090	570	0.007	0.83	<0,01	<0,05	15.5	<0,30	<0,10	<0,10	<0,2	6.13	1967	-99	7.1
5	56	34igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	32.1	24.7	<0,003	<0,04								7.92	250	-157	8.2
6	57	27igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	18.9	15.2	<0,003	<0,04								7.54	644	-37	8.1
7	65	35igb	<0,5	<1	1	<1	1	1±0,2	0.02	68.4	7.4	0.005	0.89								6.67	121	15	8.1
8	70	26igb	<0,5	<1	<1	<1	1	1±0,2	<0,02	26.4	8.6	<0,003	<0,04								8.14	261	-136	7.9
9	71-1	28igb	<0,5	<1	<1	<1	<1	<1	<0,02	89.9	72.1	0.006	0.78								6.79	1232	-33	7.9
10	71-2	29igb	<0,5	<1	<1	1	1	2±0,4	0.03	40.9	12.1	0.003	0.12								7.77	209	85	8.1
11	71-3	30igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	36.1	14.2	<0,003	0.06								8.44	261	-187	7.8
12	72-1	23igb	<0,5	<1	<1	2	1	3±0,6	0.03	864	525	0.015	3.9								6.32	1846	-99	8.1
13	72-2	24igb	<0,5	<1	<1	<1	<1	<1	<0,02	73.7	52.1	0.007	0.14								7.38	572	-117	8.3
14	72-3	25igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	39.7	14.6	<0,003	0.08								8.47	201	-72	8.0

Dienvidu dīķis																								
Kvartāra gruntsūdens horizonts Q																								
1	B26	5igb	<0,5	<1	<1	2	<1	2±0,4	0.02	30.2	6.4	<0,003	0.48								7.96	180	121	8.4
2	PL-4	6igb	<0,5	<1	<1	<1	1	1±0,2	0.05	125	52.9	0.007	0.22								7.66	361	-110	6.9
3	PL-5	7igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	0.04	26.3	6.8	<0,003	<0,04								9.07	66.7	-51	7.1
4	PL-6	8igb	<0,5	<1	<1	3	<1	3±0,6	0.06	24.7	5.8	<0,003	0.07								8.45	93.1	7	6.6
5	S49	9igb	12	67	1	2	6	88±18	0.12	349	74.4	0.008	0.61	<0,01	<0,05	132	<0,30	<0,10	<0,10	<0,20	5.72	311	-42	8.1
6	L2	10igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	0.02	26.8	3.2	<0,003	<0,04								3.20	34.1	33	7.3
7	S41	11igb	<0,5	<1	<1	<1	1	1±0,2	0.03	29.4	12.7	0.005	0.11								4.35	203	4	7.2
8	IG-1	38igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	29.1	5.9	<0,003	<0,04								7.74	93.5	-30	8.5
9	IG-2	39igb	<0,5	<1	1	<1	1	1±0,2	0.02	36.1	7.1	<0,003	<0,04								8.65	125	23	9.1
10	IG-3	40igb	2	58	3	10	3	76±15	0,16±0,03	1090	490	0.012	4.9	0.027	<0,05	390	<0,30	0.18	0.24	<0,2	6.12	2040	-12	8.7
Augšgaujas ūdens horizonts D3g12																								
1	L5	15igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	24.1	6.7	<0,003	0.06								8.75	130	9	7.5
2	L3	16igb	<0,5	<1	<1	3	2	5±1	0.08	419	370	0.007	0.38								6.63	1815	-23	7.2
3	L1	17igb	<0,5	4	<1	12	5	21±4	0,10±0,02	980	590	0.024	42	0.025	<0,05	372	<0,3	0.22	0.17	<0,2	5.97	2170	-9	7.2
4	B22	18igb	<0,5	6	<1	14	9	29±6	0,09±0,02	870	640	0.021	41	0.020	<0,05	356	<0,3	0.12	0.14	<0,2	6.18	2320	-33	7.4
5	B23	19igb	<0,5	<1	<1	1	<1	1±0,2	<0,02	335	220	0.003	0.06								6.58	858	9	6.8
6	B24	20igb	<0,5	18	1	6	5	30±6	0,08±0,02	588	540	0.017	29	0.022	<0,050	253	<0,30	0.14	0.12	<0,2	3.03	2570	142	7.8
7	B25	21igb	<0,5	8	1	8	2	19±3	0.04	438	385	0.012	8.6								6.37	1358	-55	7.4
Mērķlielums*																								
Mērķlielums*		0.2	0.5	0.5	0.5			-	40			0.5	-											
Robežlielums*																								
Robežlielums*		5	50	60	60			1	300			50	0.2											
Robežlielums**																								
Robežlielums**										250								10	>6,5	2500				

* - MK noteikumu Nr.118 10.pielikums "Ūdens kvalitātes normatīvi pazemes ūdeņu stāvokļa novērtēšanai un prasības pazemes ūdeņu attīrīšanai piesārņotajās vietās"

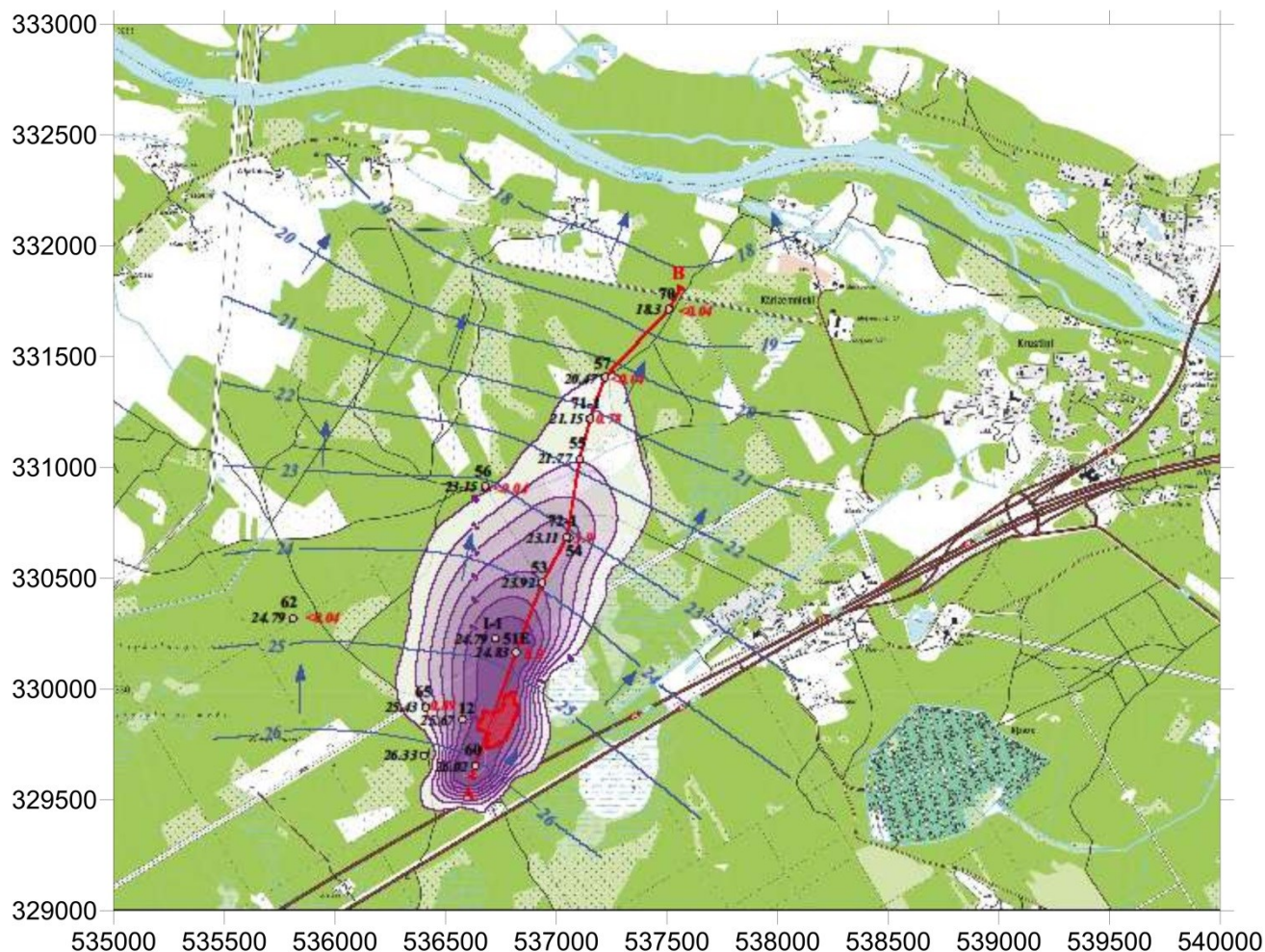
** - MK noteikumu Nr.118 9.pielikums "Kvalitātes normatīvi pazemes ūdeņiem, kurus izmanto dzeramā ūdens ieguvei"

8. tabula. Inčukalna Ziemeļu dīķa spiedienūdens ķīmiskā sastāva salīdzinājums 2005.- 2012. gados (51. urbums)

Nr. p.k.	Apkopoti izpētes veicēji dažādos gados	Datums	Radītāji								
			KSP, (mgO ₂ /l)	BSP ₅ , (mg/l)	Sausnas saturs, (mg/l)	Sulfāti, (mg/l)	Anjonās virsmas aktīvās vielas, (mg/l)	N _{kop.}	P _{kop.}	Vides reakcija, (pH)	Eletrovad- ītspēja, (μS/cm)
1.	Vides konsultācijas Birojs	01. 2005.	557	24.4	2528	1042	22.7	-	<0,00 5	5.23	2100
2.		05. 2011.	331	3.85	1370	652	44.0			5.13	1202
3.	SIA „Eiropprojekts	11.2008.	279	1.90	1140	744	18.4	-		5,68	
4.	SIA „Eko Osta”*	10.08.2011.	320			720	24.0	-		5	
5.	SIA „Totas” *	18.01.2012.	309	2.1			10.4	2.7	0.068	4.89	
		18.01.2012.	369	2.4			12.6	2.9	0.09	4.69	
		19.01.2012.	350	2.6			11.8	3.0	0.098	4.76	
Robežlielums:			300		1000	250	80%	50	-	>6,5 un <9,5	2500

* SIA “Skonto Būve” dati

Piesārņojuma izplatība D3g12 horizontā Inčukalna Ziemeļu izgāztuves apkārtnē 2015. gadā

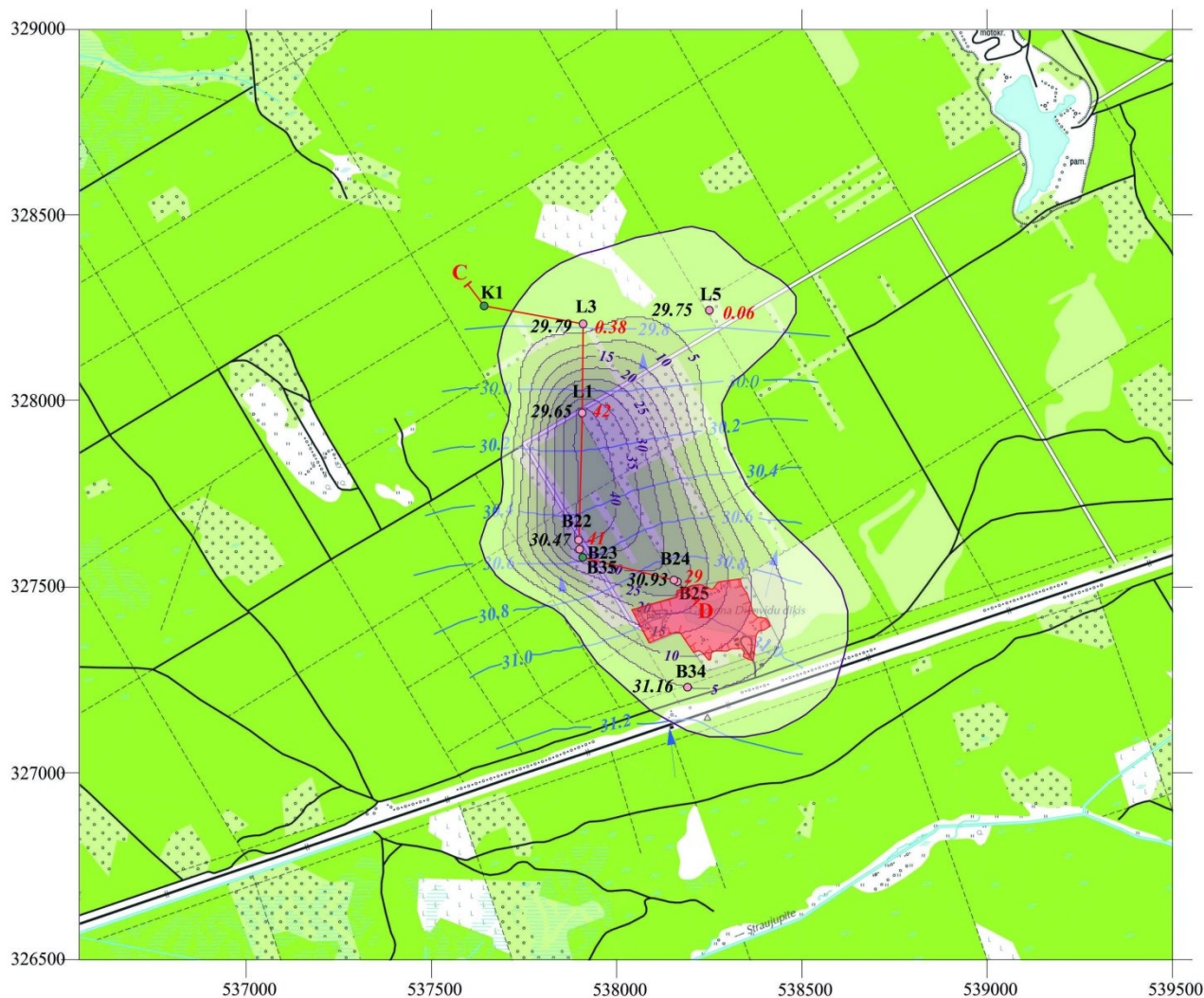


APZĪMĒJUMI

- 51A**
24.79 ○ 6.9 Novērošanas urbums uz D3g12 horizontu un tā numurs.
Pa kreisi - pazemes ūdens līmeņa absolūtā atzīme, m v.j.l.;
pa labi - VAV koncentrācija, mg/l (12.12.2015.g.)
-  25 Augšgaujas ūdens horizonta hidroizohipsa (12.12.2015.g.)
Bultiņa norāda pazemes ūdens plūsmas virzienu
-  3 Augšgaujas ūdens horizonta VAV koncentrācijas izolinija (12.12.2015.g.), mg/l
-  Sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa izgāztuve
- A** — **B** Hidroģeokīmiskā griezumā linija

Piesārņojuma izplatība D3gj2 horizontā Inčukalna Dienvidu izgāztuves apkārtnē 2015. gadā

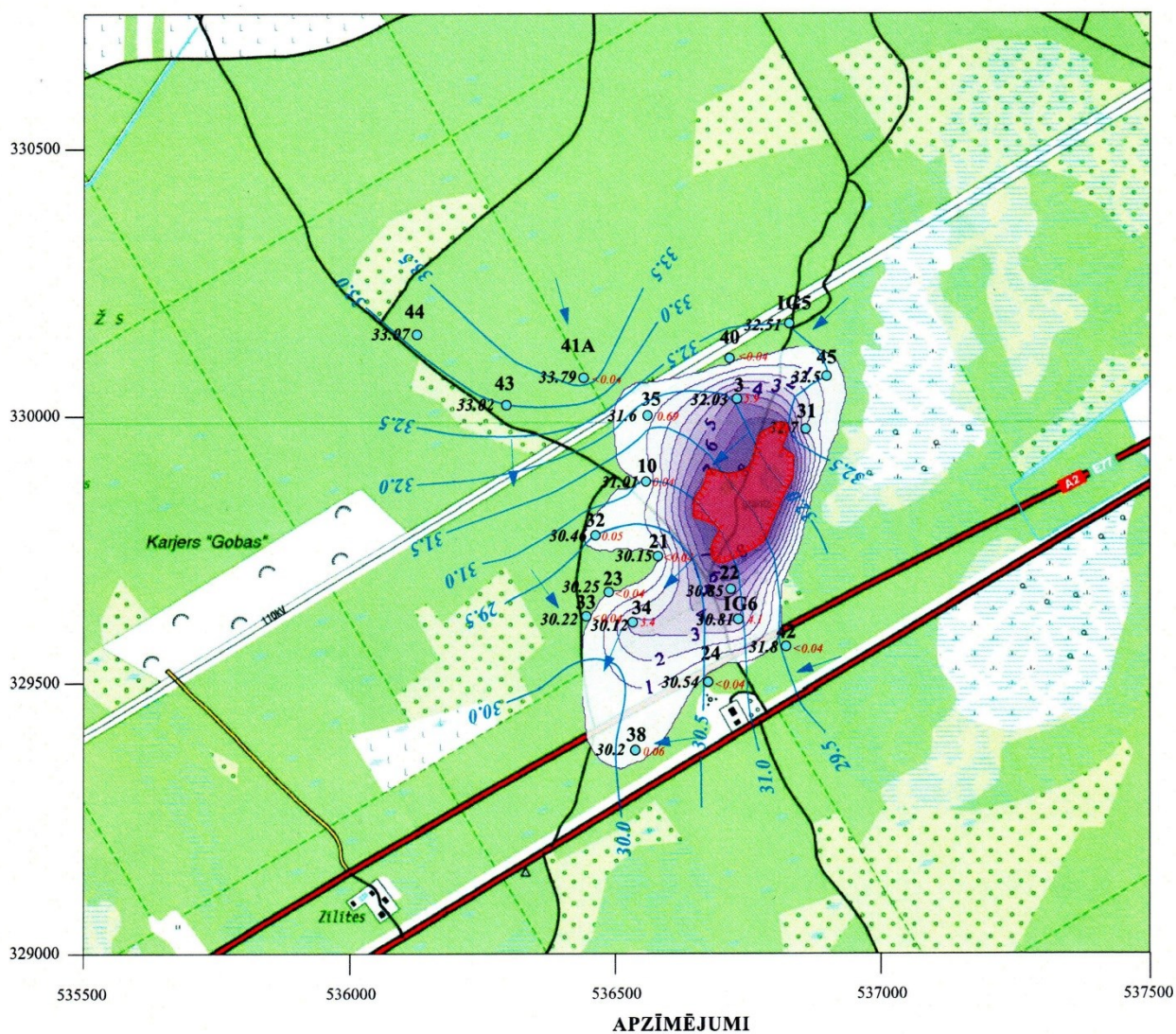
Piesārņojuma izplatība Augšgaujas (D3gj2) ūdens horizontā Inčukalna Dienvidu izgāztuves apkārtnē



APZĪMĒJUMI

- L1**
29.65 • 42 Novērošanas urbums uz D3gj2 horizonta apakšējo daļu un tā numurs.
Pa kreisi - pazemes ūdens līmeņa absolūtā atzīme, m v.j.l.;
pa labi - VAV koncentrācija, mg/l (12.12.2015.g.)
- B23**
Novērošanas urbums uz D3gj2 horizonta augšējo daļu un tā numurs.
- K1**
Novērošanas urbums uz D3gj1 horizontu un tā numurs.
- Augšgaujas ūdens horizonta hidroizohipsa (12.12.2015.g.)
Bultiņa norāda pazemes ūdens plūsmas virzienu
- Augšgaujas ūdens horizonta VAV koncentrācijas izolinija (12.12.2015.g.), mg/l
- Sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa izgāztuve
- C** — **D** Hidrogeokīmiskā griezumā līnija

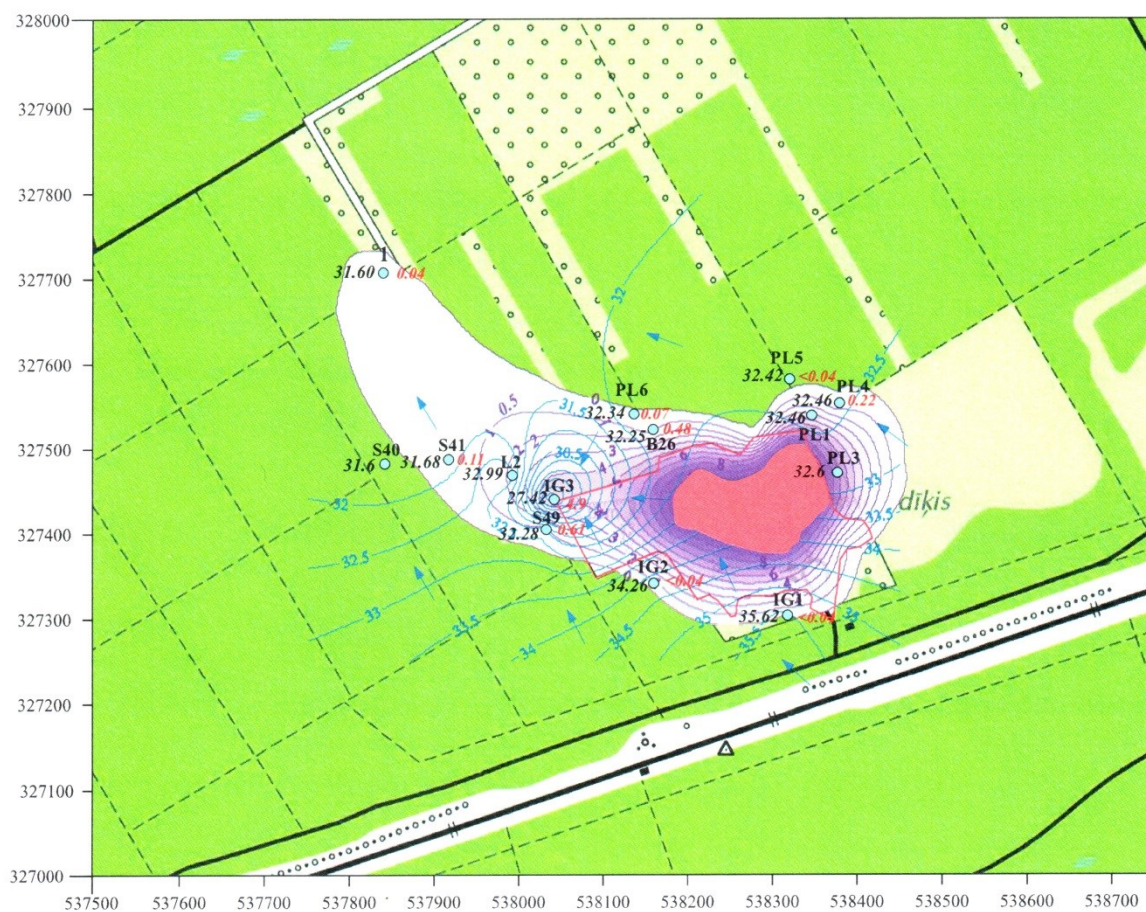
Piesārņojuma izplatība Q horizontā Inčukalna Ziemeļu izgāztuves apkārtnē 2015.gadā



- 24**
30.54 0.04
Novērošanas urbums uz gruntsūdens horizontu Q un tā numurs.
Pa kreisi - pazemes ūdens līmeņa absolūtā atzīme, m v.j.l.;
pa labi - VAV koncentrācija, mg/l (12.12.2015.g.)
- 31**
Gruntsūdensūdens Q horizonta hidroizohipsa (12.12.2015.g.)
Bultiņa norāda pazemes ūdens plūsmas virzienu
- 5**
Gruntsūdens horizonta VAV koncentrācijas izolīnija (12.12.2015.g.), mg/l
- Sērskābā gudrona Ziemeļu dīķa izgāztuve**

Piesārņojuma izplatība Q horizontā Inčukalna Dienvidu izgāztuves apkārtnē 2015. gadā

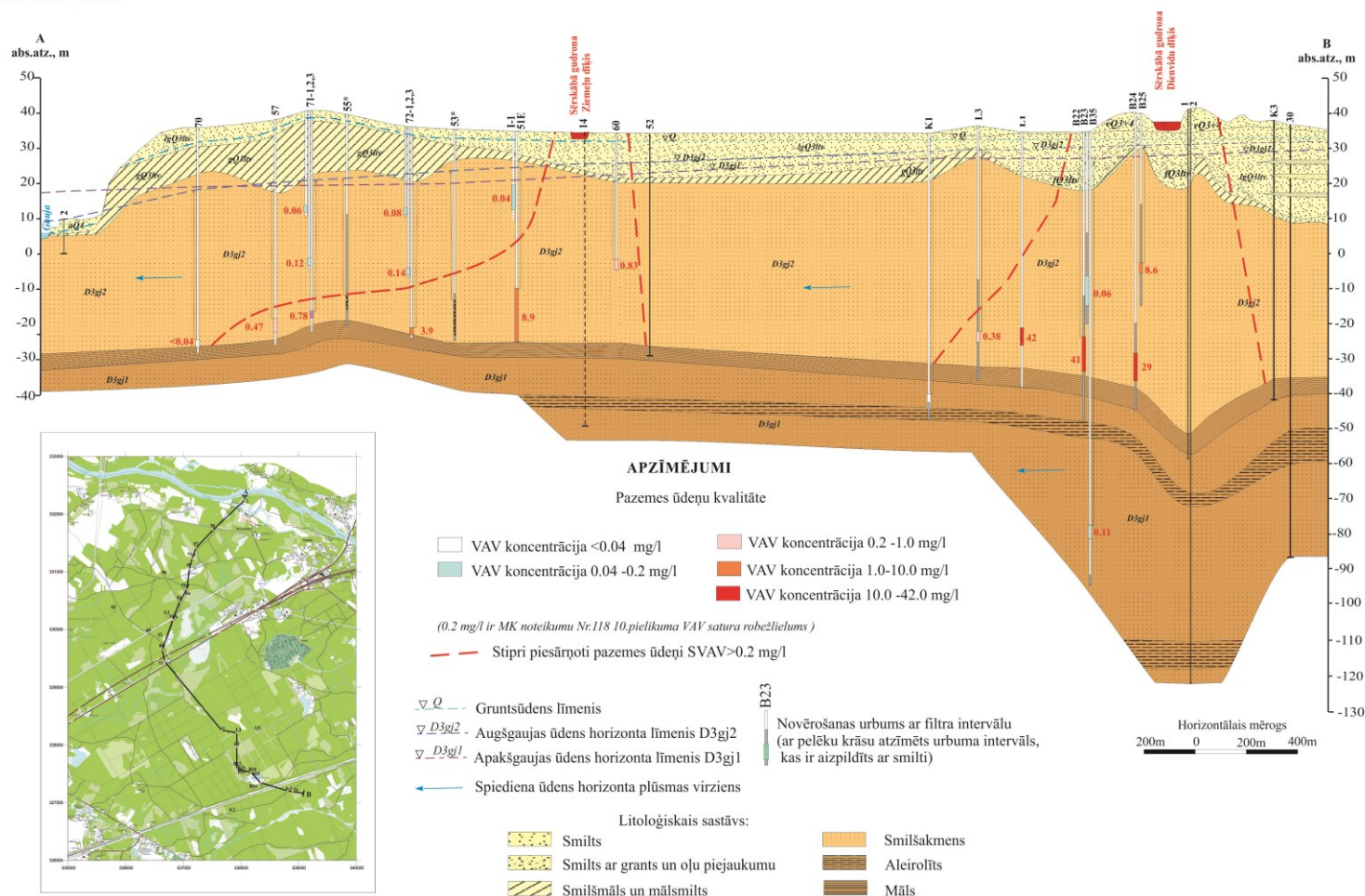
Piesārņojuma izplatība gruntsūdens (Q) horizontā Inčukalna Dienvidu izgāztuve apkārtnē



APZĪMĒJUMI

- IG3**
27.42 4.9
Novērošanas urbums uz gruntsūdens horizontu Q un tā numurs.
Pa kreisi - pazemes ūdens līmeņa absolūtā atzīme, m v.j.l.;
pa labi - VAV koncentrācija, mg/l (12.12.2015.g.)
- Gruntsūdensūdens Q horizonta hidroizohipsa (12.12.2015.g.)
Bultiņa norāda pazemes ūdens plūsmas virzienu
- Gruntsūdens horizonta VAV koncentrācijas izolīnija (12.12.2015.g.), mg/l
- Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu dīķis

Hidrogeoloģiskais griezumstarp Inčukalna sērskābā gudrona Ziemeļu un Dienvidu dīķiem



Ģeoloģisko urbumu dati, kuri izmantoti atskaitē [6]

Izmantotie urbumu dati

N. p. k.	Ģeoloģiskie slāņi un to griezumā	Urbuma x koord. [m]	Urbuma y koord. [m]	Slāņa virsmas augstums [m vjl]	Urbuma Nr.	Komentāri
1	reljefs					sk. 1.attēla
						augstuma
						atzīmes un
						izolīnijas
2	gq A B	35382.3	30560.9	24.5		A
		35707.4	30639.7	26.5		
		35958.9	30703.2	28.0		x G H
		36273.8	30779.4	29.0		
		36565.9	30853.0	29.0		
		36717.1	30891.1	29.2	3*	
		36926.6	30945.7	32.5		
		37068.9	30981.3	36.2	2	x I J
		37386.4	31061.3	34.5		
		37808.0	31159.1	31.0		
		38214.4	31255.6	32.0		
		38477.3	31317.8	28.5		
		38589.1	31343.2	24.8	25	
		38693.2	31367.4	27.0		
		39029.0	31284.0	27.3	103	x K L
		39387.9	31536.3	27.5		B
	gq C D	35412.8	29529.7	23.0		C
		35913.2	29565.2	26.5		
		36197.6	29586.8	27.0		x G H
		36442.8	29605.9	25.5	34	
		36487.2	29658.0	22.0	38	
		36577.4	29748.1	22.5	32	
		36612.9	29776.1	26.0	31	
		36624.4	29819.2	24.7	27	
		36643.4	29844.6	23.5	26	
		36733.6	29890.4	26.0	29	x I J
		36850.4	29953.9	27.4	21	
		37148.9	29980.5	27.5		
		38244.9	30108.8	30.0		
		38570.0	30141.8	31.1	104	x K L
		38878.6	30174.8	33.0		
		39086.9	30193.9	34.5		
		39395.5	30229.5	34.3		D
	gq E F	35439.4	28225.4	21.0		E
		36271.3	27924.4	25.2		
		36579.9	27808.8	25.2	53	
		37049.8	27632.3	22.0		
		37220.0	27566.3	21.5	54	x G H
		37427.0	27554.8	20.0		
		37613.7	27552.3	17.0	52	
		37856.3	27467.2	16.0	69	
		38121.7	27445.6	16.8	77	
		38206.8	27483.7	10.0	83	x I J
		38275.4	27483.7	15.9	84	
		38363.0	27530.7	18.9	86	
		38472.2	27592.9	26.0		
		38589.1	27667.9	29.2	87	
		38771.9	27777.1	30.0		x K L
		39450.1	28203.8	35.0		F
	gq G H	37755.9	26521.1	30.0		G
		37687.4	26658.2	29.0	99	
		37471.4	27071.0	26.0		
		37293.7	27407.5	21.0		
		37220.0	27566.3	21.5	54	x E F
		37115.9	27749.1	21.5		
		36919.0	28080.6	25.0		
		36456.7	28856.6	25.5		
		36358.9	29024.2	25.5	48	
		36301.8	29124.6	25.3	47	

		36221.8	29482.7	26.7		
		36216.7	29508.1	27.0		x C D
		36155.7	29792.6	27.5		
		36126.5	29939.9	27.7		
		36082.1	30153.3	28.6	6	
		35958.9	30703.2	28.0		x A B
		35778.5	31509.6	27.0		H
	gq I J	38269.0	26523.6	27.5		I
		38242.3	26914.8	25.6	101	
		38228.4	27106.5	28.0		
		38220.8	27227.2	31.5	96	
		38178.8	27383.4	18.8	80	
		38206.8	27483.7	10.0	83	
		38145.8	27582.8	33.1	72	
		38064.5	27716.1	24.6	65	
		37979.4	27860.9	27.9	58	
		37919.8	27971.4	21.9	56	
		37810.5	28093.3	24.0	52	
		37654.3	28268.6	26.2	49	
		37236.5	28913.7	26.5		
		36985.0	29321.4	26.0	46	
		36771.7	29475.1	24.5	41	
		36714.5	29529.7	24.0	40	
		36639.6	29650.3	21.5	36	
		36708.2	29830.7	22.5	28	
		36738.7	29895.4	26.0	29	x C D
		36738.7	30032.6	26.6	16	
		36743.7	30101.2	27.0	9	
		36833.9	30210.4	27.1	7	
		36959.6	30473.3	31.0	5	
		37082.8	30719.7	32.7	4	
		37066.3	30981.3	36.2	2	x A B
		36978.7	31427.1	31.1	1	
		36954.6	31531.2	30.5		J
	gq K L	39146.6	26529.9	29.7		K
		38983.4	26841.7	27.5		
		38879.3	27047.5	22.5		
		38821.5	27161.1	10.0	102	
		38745.3	27363.1	21.0	98	
		38698.3	27478.6	21.0	95	
		38740.2	27634.8	26.0		
		38771.9	27777.1	30.0		x E F
		38904.0	28342.2	30.0	51	
		38780.8	29223.6	31.3	105	
		38636.0	29835.8	29.0		
		38567.5	30141.8	31.1	104	x C D
		38731.3	30560.9	29.5		
		38878.6	30935.6	30.0		
		39029.0	31284.0	27.3	103	x A B
		39117.4	31542.6	27.0		L
3	D3am A B	35382.3	30560.9	21.5		A
		35707.4	30639.7	23.5		
		35958.9	30703.2	24.0		x G H
		36273.8	30779.4	22.5		
		36565.9	30853.0	18.0		
		36717.1	30891.1	16.8	3	
		36926.6	30945.7	21.0		
		37068.9	30981.3	23.0	2	x I J
		37386.4	31061.3	23.1		
		37808.0	31159.1	23.3		
		38214.4	31255.6	23.5		
		38477.3	31317.8	23.3		
		38589.1	31343.2	23.0		
		38693.2	31367.4	23.0		
		39029.0	31284.0	22.9	103	x K L
		39387.9	31536.3	23.0		B
	D3am C D	35412.8	29529.7	20.5		C
		35913.2	29565.2	21.5		
		36197.6	29586.8	23.5		x G H
		36442.8	29605.9	21.0	34	
		36487.2	29658.0	21.0	38	
		36577.4	29748.1	21.5	32	

		36612.9	29776.1	22.0	31	
		36624.4	29819.2	23.7	27	
		36643.4	29844.6	21.5	26	
		36733.6	29890.4	22.0	29	x I J
		36850.4	29953.9	24.2	21	
		37148.9	29980.5	25.0		
		38244.9	30108.8	26.5		
		38570.0	30141.8	27.0	104	x K L
		38878.6	30174.8	28.5		
		39086.9	30193.9	29.5		
		39395.5	30229.5	31.0		D
	D3am E F	35439.4	28225.4	18.7		E
		36271.3	27924.4	20.5		
		36579.9	27808.8	21.0	53	
		37049.8	27632.3	21.0		
		37220.0	27566.3	20.5	54	x G H
		37427.0	27554.8	19.0		
		37613.7	27552.3	16.0	52	
		37856.3	27467.2	15.0	69	
		38121.7	27445.6	15.5	77	
		38206.8	27483.7	9.0	83	x I J
		38275.4	27483.7	12.9	84	
		38363.0	27530.7	17.5	86	
		38472.2	27592.9	24.0		
		38589.1	27667.9	26.8	87	
		38771.9	27777.1	27.5		x K L
		39450.1	28203.8	31.5		F
	D3am G H	37755.9	26521.1	23.0		G
		37687.4	26658.2	22.5	99	
		37471.4	27071.0	22.0		
		37293.7	27407.5	20.0		
		37220.0	27566.3	20.5	54	x E F
		37115.9	27749.1	20.5		
		36919.0	28080.6	22.0		
		36456.7	28856.6	22.5		
		36358.9	29024.2	23.0	48	
		36301.8	29124.6	23.2	47	
		36221.8	29482.7	24.5		
		36216.7	29508.1	23.5		x C D
		36155.7	29792.6	22.0		
		36126.5	29939.9	23.2		
		36082.1	30153.3	25.2	6	
		35958.9	30703.2	24.0		x A B
		35778.5	31509.6	23.0		H
	D3am I J	38269.0	26523.6	25.0		I
		38242.3	26914.8	21.0	101	
		38228.4	27106.5	15.0		
		38220.8	27227.2	12.5	96	
		38178.8	27383.4	15.7	80	
		38206.8	27483.7	9.0	83	
		38145.8	27582.8	26.7	72	
		38064.5	27716.1	21.6		
		37979.4	27860.9	24.3	58	
		37919.8	27971.4	20.6	56	
		37810.5	28093.3	22.5	52	
		37654.3	28268.6	19.7	49	
		37236.5	28913.7	25.0		
		36985.0	29321.4	24.5	46	
		36771.7	29475.1	17.5	41	
		36714.5	29529.7	18.0	40	
		36639.6	29650.3	20.0	36	
		36708.2	29830.7	20.5	28	
		36738.7	29895.4	22.0	29	x C D
		36738.7	30032.6	25.6	16	
		36743.7	30101.2	25.0	9	
		36833.9	30210.4	24.0	7	
		36959.6	30473.3	26.7	5	
		37082.8	30719.7	26.5	4	
		37066.3	30981.3	23.0	2	x A B
		36978.7	31427.1	14.8	1	
		36954.6	31531.2	14.5		J
	D3am K L	39146.6	26529.9	25.3		K

		38983.4	26841.7	25.0		
		38879.3	27047.5	20.0		
		38821.5	27161.1	9.0	102	
		38745.3	27363.1	18.0	98	
		38698.3	27478.6	20.0	95	
		38740.2	27634.8	25.0		
		38771.9	27777.1	27.5		x E F
		38904.0	28342.2	26.0	51	
		38780.8	29223.6	24.5	105	
		38636.0	29835.8	26.5		
		38567.5	30141.8	27.0	104	x C D
		38731.3	30560.9	27.5		
		38878.6	30935.6	27.0		
		39029.0	31284.0	22.9	103	x A B
		39117.4	31542.6	22.5		L
4	D3gj2z					4)=3)-'m D3am'
5	D3gj2					5)=4)-'m D3gj2z'
6	D3gj1z	34822.0	32330.0	-37.7	2a**	
		38329.0	30833.0	-44.0	4a	
		38014.0	27768.0	-35.0	64	
		38331.0	27372.0	-52.5	91	
		38798.0	27233.0	-36.9	102	
		34112.0	28927.0	-31.0	8a	
		39029.0	31284.0	-35.0	103	
		40182.0	28064.0	-35.0	13a	
		35458.0	25605.0	-39.6	15a	
		36545.0	29871.0	-27.0	23	
		38207.0	27484.0	-40.0	83	
		38221.0	27227.0	-50.5	96	
		37906.0	26872.0	-43.7	100	
		38589.0	27668.0	-37.0	87	
7	D3gj1	38014.0	27768.0	-65.0	64	
		38331.0	27372.0	-69.0	91	
		38798.0	27233.0	-63.9	102	
		39029.0	31284.0	-61.8	103	
		40182.0	28064.0	-55.0	13a	
		35458.0	25605.0	-54.6	15a	
		36545.0	29871.0	-49.0	23	
8	D2brtz	39029.0	31284.0	-93.3	103	
		38014.0	27768.0	-100.0	64	
		38331.0	27372.0	-106.0	91	
		35458.0	25605.0	-93.6	15a	
		36545.0	29871.0	-85.0	23	
9	D2ar	39029.0	31284.0	-114.8	103	
		38014.0	27768.0	-120.0	64	
		38331.0	27372.0	-126.0	91	
		36545.0	29871.0	-105.0	23	

*) SIA GEO CONSULTANTS dati; **) BALTEC ASSOCIATES, SIA dati