

# Modelling of Contaminant Mass Transport in Groundwater Flow Polluted by Sulphuric Goudron Pools of Incukalns

## Inčukalna sērskābā gudrona dīķu piesārņotā pazemes ūdens kustības datormodelēšana.

Aivars Spalviņš<sup>1</sup>, Inta Lāce<sup>1</sup>, Kaspars Krauklis<sup>1</sup>, Tatjana Sorokina<sup>2</sup>, Henning Wallner<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Rīgas Tehniskā universitāte, <sup>2</sup>INTERGEO BALTIC Ltd.

**Kopsavilkums.** Inčukalna novadā Rīgas smērvielu rūpnīca divus grants karjerus no 1955. gada līdz 1970. gadam izmantoja kā izgāztuves šķidra gudrona (sērskābes un naftas produktu maisījums) glabāšanai. Šīs izgāztuves nosauktas par Ziemeļu un Dienvidu dīķiem. Ziemeļu dīķis ir aizbērts ar smiltīm, bet Dienvidu dīķī šobrīd atrodas šķidrums, pastveida un sacietējis gudrons. Jau 60 gadus abi dīķi piesārņoja pazemes ūdeņus, kuri virzās uz Gaujas upi. Ir uzsākta Dienvidu dīķa satura ekskavācija. Ir paredzēts aizvērt ar gudronu piesārņotās Ziemeļu dīķa smiltis. Lai optimizētu jau uzsāktos vides atveseļošanas darbus, Rīgas Tehniskās universitātes speciālisti firmas INTERGEO uzdevumā veica piesārņojuma, īpaši virsmas aktīvo vielu (VAV), masas transporta datormodelēšanu. Aprēķināts, ka Ziemeļu un Dienvidu dīķu VAV sasniegs Gaujas upi pēc aptuveni 25 un 80 gadiem, (skaitot no 2015. gada). Upe ieplūdušo VAV masa praktiski neietekmēs upes ūdens kvalitāti, jo upes ūdenim sajaucoties ar VAV, daudzkārt samazinās VAV koncentrācija upē. Novērtēta sanācības pasākumu, kuri jāveic pēc dīķu satura ekskavācijas, efektivitāte.

**Atslēgas vārdi:** hidroģeoloģiskais modelis, masas transporta modelēšana, virsmas aktīvās vielas..

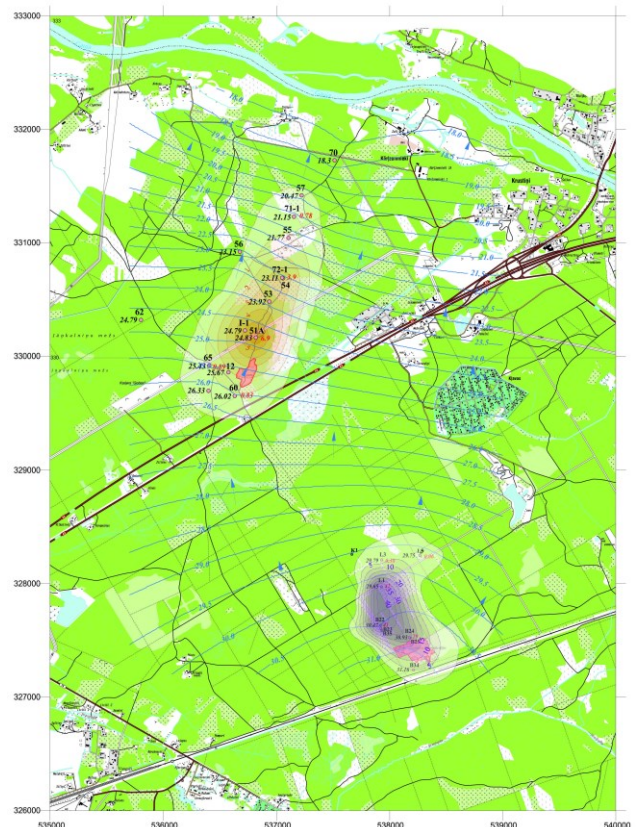
### I. IEVADS

Inčukalna pagastā eksistē vēsturisks pazemes ūdens piesārņojums, kura avots ir toksisko atkritumu izgāztuves divos grants karjeros. Tos laikā no 1955.g. līdz 1970.g. papildīja ar rūpniecības atkritumiem – sērskābo gudronu. Šī viela ir naftas produktu un sērskābes maisījums.. Tā izveidojās Ziemeļu (1955.g.) un Dienvidu (1965.g.) dīķu izgāztuves, kuras piesārņo pazemes ūdeni arī mūsdienās. Piesārņotais ūdens lielā dziļumā (~50 metri no zemes virsmas) smilšakmens slānī pārvietojas uz Gaujas upi. Piesārņojuma areāli skatāmi 1. att.

Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Vides modelēšanas centra (VMC) speciālisti ar datormodelēšanas līdzekļiem ir ieguvuši prognozi par piesārņojuma kustību no abiem dīķiem [1]. Prognoze ir skatāma 2. att., kur parādīti galvenie dīķu radītā piesārņojuma ceļi laikā no abu dīķu eksistences sākuma. No 2. att. var secināt, ka Ziemeļu un Dienvidu dīķu radītais piesārņojums sasniegs Gaujas upi, attiecīgi, 2035. g. un

2095.g. Ja par laika atskaites sākumu mūsdienās izvēlas 2015. gadu, tad tas notiks, attiecīgi pēc 20 un 80 gadiem.

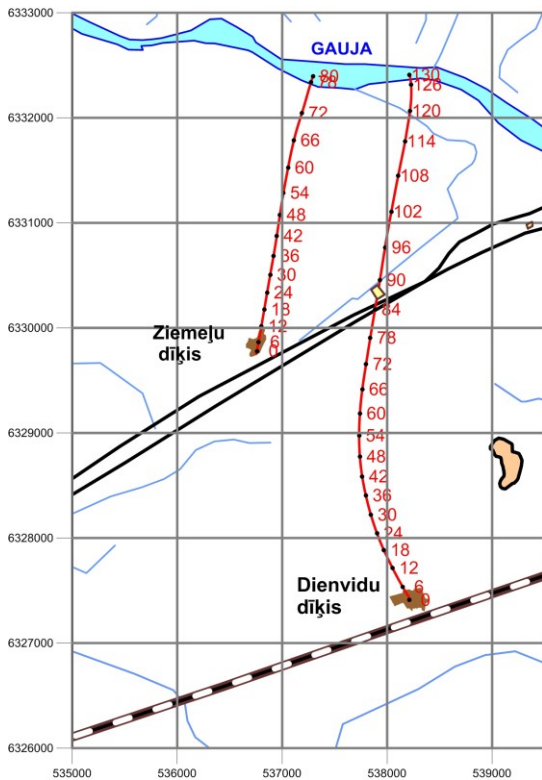
Šobrīd tiek īstenota abu gudrona dīķu sanācija. Tā šiem dīķiem ir atšķirīga, jo Ziemeļu dīķī gudrons ir sajaukts ar smiltīm, bet Dienvidu dīķī veido šķidrums, pastveida un sacietējis gudrons, kas piepilda smilšu karjeru. Tāpēc Dienvidu dīķim ir iespējama gudrona ekskavācija, bet Ziemeļu dīķī var aizvērt tikai daļu no smilšu un gudrona maisījuma. Arī hidroģeoloģiskie apstākļi, kuri izsauc pazemes ūdens piesārņojumu, ir abiem dīķiem atšķirīgi.



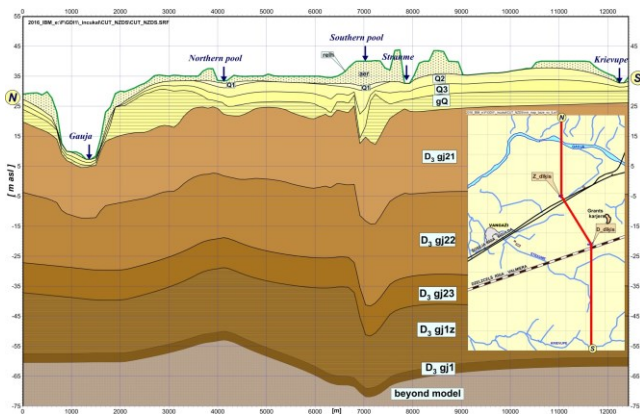
1.att. Ziemeļu un Dienvidu dīķu piesārņojuma areāli

Kaitējumu dabai var nodarīt pazemes ūdenī izšķīdušās virsmas aktīvās vielas (VAV), kuras ir ļoti toksiskas. To pieļaujamā koncentrācija rūpnieciskajam un dzeramajam ūdenim ir 0.3 mg/l un 0,03 mg/l.

VMC speciālisti 2016. gadā, īstenojot personu apvienības INTERGEO pasūtījumu, veica Ziemeļu un Dienvidu dīķu hidroģeoloģisko apstākļu datormodelēšanu. Pētījumā tika precizētas prognozes par VAV masas transportu pazemes ūdeņos un novērtēta sanācības pasākumu efektivitāte, kuri īstenojami pēc gudronu dīķu satura aizvākšanas.



2.att. Ar MODPATH sistēmu prognozētā piesārņojuma kustība no Ziemeļu un Dienvidu dīķiem uz Gaujas upi



3. att. Vertikālais griezumš caur Ziemeļu un Dienvidu dīķiem

Rakstā izmantoti pārskata [1] materiāli. Datormodelēšanai izmantots Inčukalna teritorijas hidroģeoloģiskais modelis (HM), kura apraksts dots pielikumā. HM darbojas licenzētas programmas Groundwater Vistas (GV) vidē [2]. GV sastāvā tiek izmantotas programmatūras MODFLOW (HM realizācija)

[3]; MODPATH [4] un MT3D [5] (piesārņojošo vielu kustības un masas transporta prognozēšanas modeļi).

Modelēšanas rezultātu grafisko materiālu sagatavošanai izmantota sistēma SURFER [6].

## II. VIRSMAS AKTĪVO VIELU MASAS NOVĒRTĒJUMS

VAV masas lielums abu gudrona dīķu areālos tika novērtēts 2005. gadā [7], lai pamatotu ES līdzekļu piešķiršanu gudrona dīķu sanācijai. Toreiz VAV masa tika aprēķināta pilnam smilšakmens slāņa D3gj2 piesārņotajam tilpumam. Šis aprēķins 2016. gadā bija būtiski jākorrigē, jo tika konstatēts, ka VAV piesārņo tikai šī slāņa apakšējo daļu. Inčukalna HM vertikālā shematizācija (skat. 1p. tabulu Pielikumā) parāda, ka slānis D3gj2 ir sadalīts trīs apakšslāņos D3gj21, D3gj22, D3gj23 (skat. 3. att.). Slānis D3gj23 ir 10 metrus biezs, bet slāņu D3gj21 un D3gj22 biežumi ir vienādi. Reālais slāņa D3gj2 piesārņotās daļas biežums nav zināms, tomēr nosacīti pieņemts, ka VAV atrodas tikai slānī D3gj23. Korrigētā prognoze VAV masai 2005. gadam skatāma 1. tabulā [1], kur VAV masa ir samazināta ~ 6 reizes salīdzinot ar sākotnējo prognozi 2005. gadā [7], jo VAV piesārņo tikai slāņa D3gj2 apakšējo daļu.

VAV masas aprēķinā un VAV masas transporta modelēšanā ar MODPATH un MT3D sistēmām visiem HM slāņiem ir izmantota efektīvās porainības vērtība 0.27.

### 1. TABULA

KORIGĒTĀ PROGNOZE PAR VAV PIESĀRŅOJUMU GAUJAS HORIZONTĀ D3GJ2ZIEMEĻU UN DIENVIDU DĪĶU AREĀLOS 2005. GADĀ

N.p.k.	Parametrs	Ziemeļu dīķis	Dienvidu dīķis
1.	Piesārņotais laukums [ha]	108	91
2.	Piesārņotā D3gj23 horizonta biežums [m]	10	10
3.	Piesārņotais horizonta tilpums [m <sup>3</sup> ]	10.8 × 10 <sup>6</sup>	9.1 × 10 <sup>6</sup>
4.	Piesārņotā ūdens tilpums [m <sup>3</sup> ]	2.92 × 10 <sup>6</sup>	2.46 × 10 <sup>6</sup>
5.	Virsmas aktīvo vielu masa [kg]	17.5 × 10 <sup>3</sup>	20.9 × 10 <sup>3</sup>
6.	Vidējā virsmas aktīvo vielu koncentrācija [mg/l]	6.0	8.5
7.	Piesārņojuma masas samazinājums [reizes]	6.06	6.27

Prognozētā VAV piesārņojuma dati 2015. gadā skatāmi 2. tabulā [1], kurā ņemts vērā kā 2015. gadā ir izmainījušās abu dīķu areālu vidējās VAV koncentrācijas: Ziemeļu (6.0 → 2.8) mg/l; Dienvidu (8.5 → 12.7) mg/l. Tāpēc notikusi VAV areālu masas izmaiņa, salīdzinot ar 2005. gadu.

### 2. TABULA

PROGNOZĒTAIS VAV PIESĀRŅOJUMS 2015. GADĀ GAUJAS HORIZONTĀ D3GJ2

N.p.k.	Parametrs	Ziemeļu dīķis	Dienvidu dīķis
1.	VAV masa 2005. g. [kg]	17.5 × 10 <sup>3</sup>	20.9 × 10 <sup>3</sup>
2.	Vidējā VAV koncentrācija [mg/l]	2.8	12.7
3.	VAV masa 2015. g. [kg]	8 × 10 <sup>3</sup>	30.5 × 10 <sup>3</sup>
4.	Izmaiņa pret 2005. gadu [reizes]	0.46	1.49

VAV masas samazināšanos Ziemeļu dīķa piesārņotajam areālam var izsaukt dīķa pamatnes grunts poru piesārņojums ar naftas produktiem, kā arī VAV ķīmiskā sabrukšana.

Iespējams, ka VAV noplūdes palielinājumu Dienvidu dīķim var saistīt ar gudrona ekskavācijas darbu ietekmi.

### III. AR SISTĒMU MODPATH IEGŪTĀS PROGNOZES

Sistēma MODPATH [4] prognozē ūdens daļiņu kustības trajektoriju telpā un laikā. Ar šīs sistēmas palīdzību iegūts 2. att. rezultāts par VAV kustību uz Gaujas upi. Ar MODPATH noskaidrots, ka VAV piesārņojums caur sprostslnāni D3gjz var sasniegt slāni D3gj1 pēc ~1000 gadiem, t.i., horizonta D3gj1 piesārņošanas iespēja ar VAV ir maza.

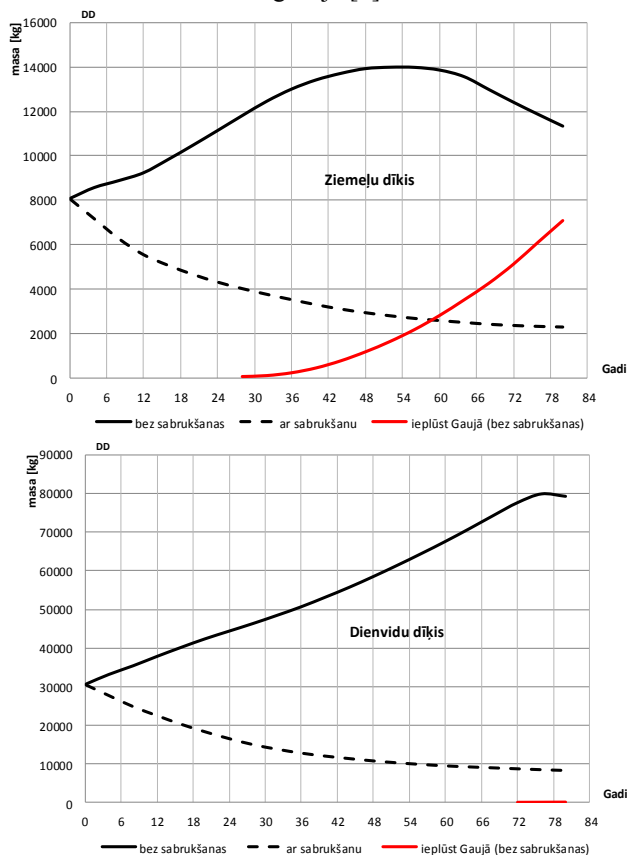
### IV. AR SISTĒMU MT3D IEGŪTĀS PROGNOZES PAR VAV MASAS IZMAIŅU LAIKĀ

Sistēma MT3D [5] aprēķina piesārņojošo vielu masu, tās kustību un arī piesārņojuma koncentrāciju laikā un telpā. Ziemeļu un Dienvidu dīķu piesārņotajiem areāliem aprēķināta VAV masa, ja nav un ir veikta dīķu satura ekskavācija un ja nenotiek un notiek VAV ķīmiskā sabrukšana (nelabvēlīgs un optimistisks variants).

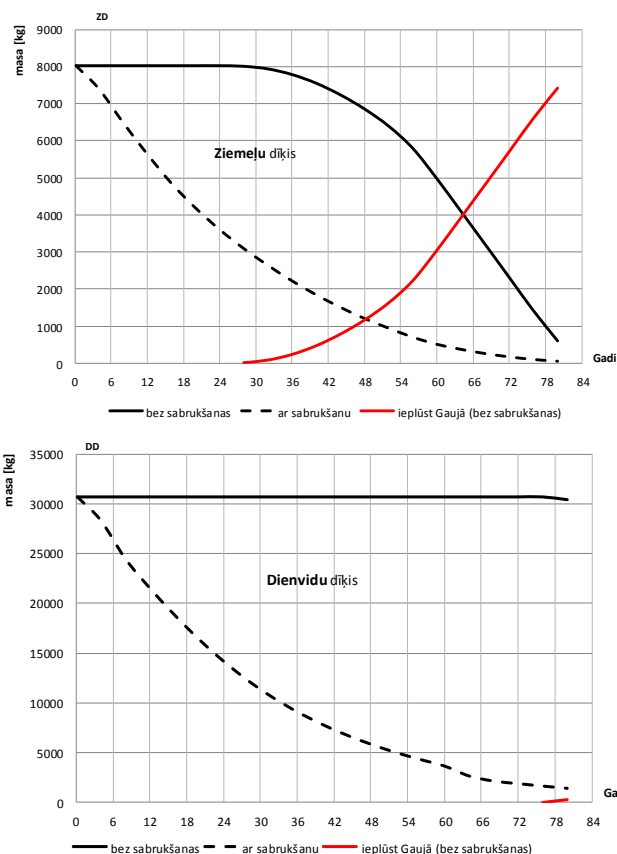
Ja notiek VAV ķīmiskā sabrukšana, tad VAV koncentrācijas  $c_t$  izmaiņu laikā  $t$  dod formula [8]:

$$c_t = c_0 / \exp(0.7 / t_{0.5}), \quad (1)$$

kur  $c_0$  ir VAV sākuma koncentrācija,  $t_{0.5}$  ir VAV ķīmiskās sabrukšanas konstante, kas vienāda ar laiku, kurā  $c_0$  samazinās divas reizes. Datormodelēšanai izmantots  $t_{0.5} = 15$  gadi, kuras vērtība rekomendēta monogrāfijā [8].



4. att. Ar MT3D sistēmu prognozētā VAV masas izmaiņa Ziemeļu un Dienvidu dīķu apkārtņē piesārņotajā areālā bez un ar VAV ķīmiskās sabrukšanas ievērošanu, ja nav veikta dīķu sanācija



5. att. Ar MT3D sistēmu prognozētā VAV masas izmaiņa Ziemeļu un Dienvidu dīķu apkārtņē piesārņotajā areālā bez un ar VAV ķīmiskās sabrukšanas ievērošanu (ja veikta pilnīga abu dīķu sanācija)

Šobrīd nav eksperimentālu datu, kuri dotu iespēju noteikt reālo  $t_{0.5}$  vērtību (iespējams, ka tā mainās laikā VAV novecošanās procesa ietekmē). Tomēr, īpaši Ziemeļu dīķa VAV areālam, arī  $t_{0.5} = 15$  gadi dod vērtīgu prognozi par VAV ķīmiskās sabrukšanas būtisko ietekmi vismaz 80 gadu ilgam laikam.

Ar MT3D sistēmu aprēķinātā VAV masas izmaiņas grafiki abiem dīķiem ir skatāmi 4. att. (nav gudrona ekskavācijas) un 5. att. (ir notikusi dīķu satura ekskavācija).

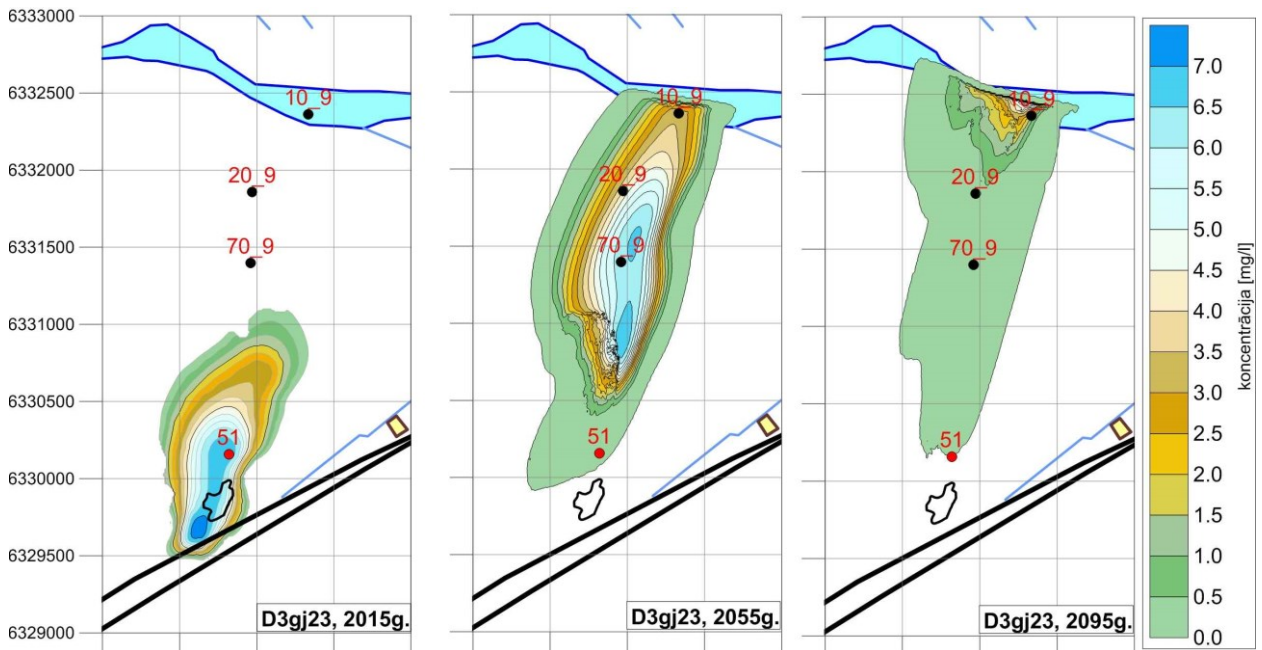
Vislielākā praktiskā nozīme ir Ziemeļu dīķa VAV areāla kustības pētīšanai, jo tas jau pēc 20-25 gadiem sasniegs Gaujas upi, bet no Dienvidu dīķa VAV sāks ieplūst upē tikai pēc 75-80 gadiem (skat 4. att. šim dīķim).

Ja nenotiek dīķu satura ekskavācija un nav VAV ķīmiskās sabrukšanas, tad VAV masa Ziemeļu un Dienvidu dīķu areāliem pieaug 1.75 un 2.66 reizes, salīdzinot ar 2015. gada stāvokli (skat. 4. att.).

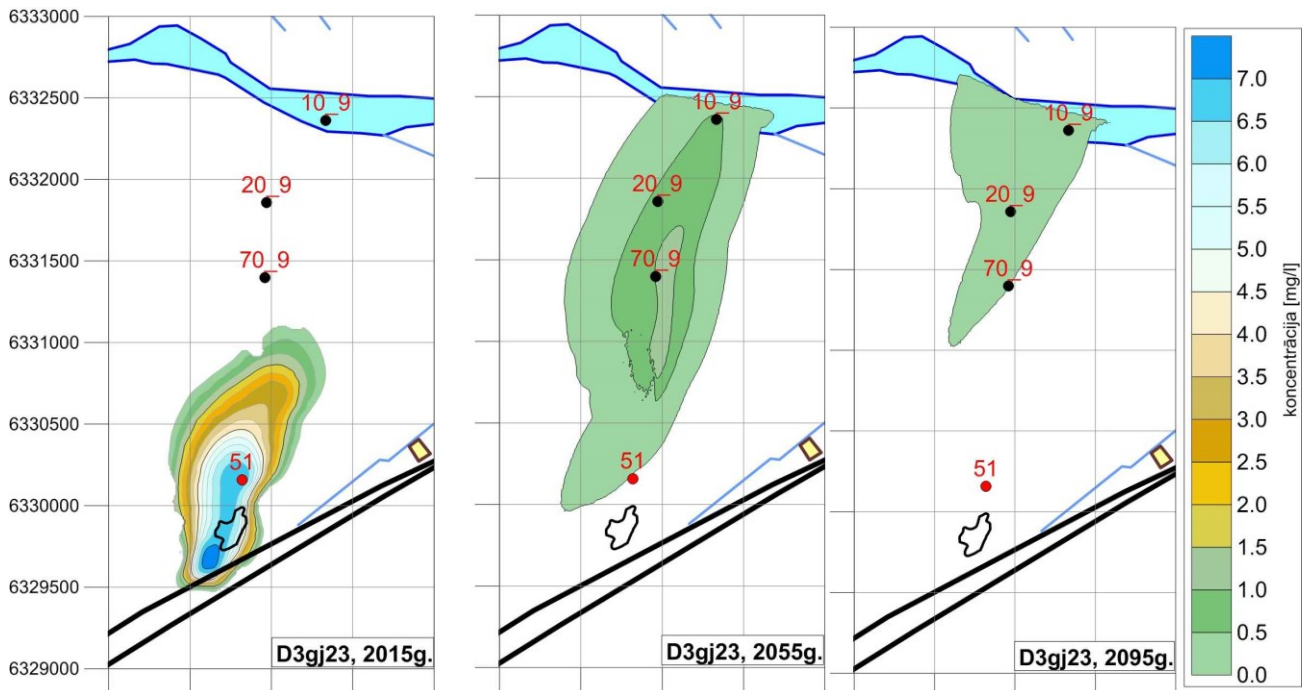
Ja dīķu saturs ir aizvākts (5. att.), VAV masa sāk samazināties ar to brīdi, kad VAV areāls sasniedz upi. Ja notiek VAV ķīmiskā sabrukšana, tad variantā ar eskavētiem dīķiem, pēc 80 gadiem ģeoloģiskā vidē praktiski nav VAV piesārņojuma. Ja dīķi nav eskavēti, tad pēc 80 gadiem pazemes ūdenī saglabājas VAV (attiecīgi ~2000kg un ~10000kg Ziemeļu un Dienvidu dīķu areāliem. Tāpēc dīķu satura ekskavācija ne tikai aptur to teritorijas piesārņošanu bet arī sekmē pašattīršanās procesu dabā.



## Galveni atstāj neizmantotu



6. att. Ar MT3D sistēmu iegūtais VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim bez VAV ķīmiskās sabrukšanas ievērošanas, ja veikta pilnīga dīķa sanācija



7. att. Ar MT3D sistēmu iegūtais VAV areāla koncentrāciju sadalījums D3gj2 horizontā Ziemeļu dīķim ar VAV ķīmiskās sabrukšanas ievērošanas, ja veikta pilnīga dīķa sanācija

Gaujas upē ieplūdušās VAV masas grafiks 5. att. Ziemeļu dīķim liecina par to, ka laika gaitā palielinās VAV masas ieplūdes ātrums. Ja laiku no 24 gada līdz 84 gadam sadala trīs 20 gadu garos posmos, tad to laikā Gaujas upē ieplūst attiecīgi; 660kg; 2800kg un 4000kg VAV masas, ja nav VAV ķīmiskās sabrukšanas. Šeit nosacīti pieņemts, ka pēc 24 gadiem (attiecībā pret 2015. gadu) Ziemeļu dīķa areāla fronte sasniedz upi.

VAV ietekes nevienmērību izsauc Ziemeļu dīķa VAV areāla raksturs, jo tā perifērijā, arī frontes daļā, VAV koncentrācija ir daudz mazāka nekā areāla kodolā. Šī apstākļa ietekme uz areāla kustību ir aplūkota nākošajā iedaļā.

#### V. AR SISTĒMU MT3D IEGŪTĀS PROGNOZES PAR ZIEMEĻU DĪĶA VAV AREĀLU KUSTĪBU

Rakstā analizēti tikai Ziemeļu dīķa VAV areāla kustības modelēšanas rezultāti, jo šis areāls Gaujas upi sasniegs jau tuvā nākotnē. Modelēšanas dati par Dienvidu dīķa VAV areālu atrodami pārskatā [1].

Ar sistēmu MT3D aprēķinātie VAV areāla stāvokļi 2015.g., 2055.g., un 2095.g. skatāmi 6. att. un 7.att. attiecīgi nelabvēlīgam un optimistiskam VAV uzvedības rakstura gadījumiem (nav un ir VAV ķīmiskā sabrukšana). Šie attēli dod papildus skaidrojumu upē ieplūdušās VAV masas izmaiņai:

- laika gaitā VAV dispersijas ietekmē pieaug areāla laukums un VAV koncentrācija areāla perifērijā ir mazāka nekā areāla kodolā (salīdzināt 2015.g. un 2055.g. areālus 6. att.);
- ja notiek VAV ķīmiskā sabrukšana, tad samazinās VAV koncentrācija tā areālā (salīdzināt 2055.g. areālus 6.att. un 7.att.).

Dispersijas dēļ areāla frontes daļā ir relatīvi neliela VAV koncentrācija un 2055. gadā VAV kodols nebūs sasniedzis Gaujas upi (6. att.). Tāpēc pēc 40 gadiem tikai ~600kg no 8000kg VAV masas būs nokļuvuši Gaujas upē (skat. 5. att. grafiku VAV masai upē). Optimistiskajā variantā (ir VAV sabrukšana) pēc 40 gadiem D3gj2 slānī būs palikuši ~2000kg VAV, t.i., VAV masa ķīmiskās sabrukšanas ietekmē samazinās vismaz divas reizes, bet Gaujā ieplūdušā VAV daudzums būs niecīgs. Pēc 80 gadiem (2095.g.) Gaujā būs nokļuvis VAV areāla kodols (6. att.) un ja nav VAV sabrukšanas, tad D3gj2 slānī būs palikuši 540kg VAV (skat 5. att.). Ja notiek VAV sabrukšana, tad D3gj2 slānī praktiski nebūs VAV piesārņojuma.

Ja nenotiek VAV sabrukšana, tad pēc Ziemeļu dīķa satūra eskavācijas, tā piesārņojums horizontā D3gj2 būs izzudis pēc ~(100-120) gadiem.

#### VI. VAV KONCENTRĀCIJU HIDROGRĀFI VIRTUĀLAJOS MONITORINGA URBUMOS

Sistēmā MT3D var izveidot virtuālus monitoringa urbumus VAV koncentrāciju izmaiņu novērošanai laikā un telpā. Ziemeļu dīķim tika izmantoti četri monitoringa urbumi

D3gj23 apakšhorizontā (HM slānis Nr.9). Šo urbumu novietojums skatāms 6. att.:

- urbums Nr.51 ir reāli eksistējošs urbums D3gj23 slānī un tas atradās VAV areālā 2015. gadā;
- Urbums Nr.70-9 atradīsies VAV areāla kodola rajonā pēc ~40 gadiem, taču to ātri sasniegs areāla frontes daļa;
- urbumu Nr.20-9 pēc ~50 gadiem šķērsos areāla kodols;
- urbums Nr.20-10 atrodas Gaujas upes krastā un tajā tiks reģistrēta VAV koncentrācija upē ieplūstošajā pazemes ūdenī.

Urbumu novietojums izvēlēts tā, lai tie reģistrētu VAV koncentrāciju maksimumu VAV areāla kodolā.

VAV koncentrāciju hidrogrāfi virtuālajiem monitoringa urbumiem ir skatāmi 8. att. Šeit doti hidrogrāfi abiem VAV uzvedības variantiem (nav un ir VAV ķīmiskā sabrukšana). Ja notiek VAV sabrukšana, tad notiek ne tikai VAV koncentrāciju vērtību samazināšanās, bet arī ātrāk parādās šo koncentrāciju maksimumi (skat raustītās līnijas grafikos 8. att.).

#### VII. VAV KONCENTRĀCIJA GAUJAS UPĒ

Ziemeļu dīķa piesārņotais pazemes ūdens nokļūs Gaujas upē. VAV vidējo koncentrāciju  $c_{vav}$  upē laika posmam  $t$  var novērtēt ar attiecību:

$$c_{vav} = m_{vav} / V_{Gauja} , \quad (2)$$

kur  $m_{vav}$  – upē ieplūdušā VAV masa [kg] laikā  $t$ ,  $V_{Gauja}$  – Gaujas upes ūdens tilpums [ $m^3$ ], kurš aiztecējis gar Inčukalnu laikā  $t$ . Masu  $m_{vav}$  dod 5. att. grafiks upē ieplūdušajām VAV. Nosacīti par laika atskaites sākumu pieņemsim 24-to gadu (skaitīt no 2015. gada). Ūdens tilpumu  $V_{Gauja}$  laikā  $t$  dod izteiksme:

$$V_{Gauja} = t v_{Gauja} 365 , \quad (3)$$

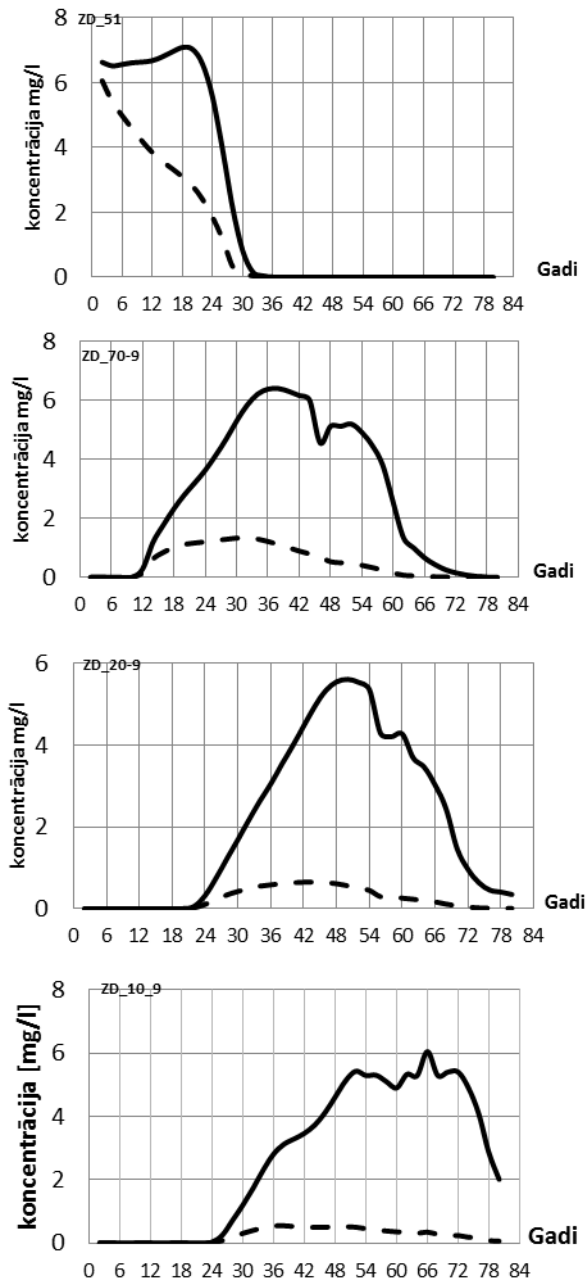
kur  $t$  ir laika posma garums gados,  $v_{Gauja}$  ir upes caurtece [ $m^3/dnn$ ]. Novērtēsim  $c_{vav}$  trīs 20 gadu laika periodiem:  $t_1$ -no 24. līdz 44. gadam;  $t_2$  – no 44. līdz 64. gadam,  $t_3$  – no 64. līdz 84. gadam. Ja  $t=20$  gadi;  $v_{Gauja} = 8500000 m^3/dnn$  [9, 14], tad  $V_{Gauja} = 62.1 \times 10^9 [m^3]$ . Ja nav VAV ķīmiskās sabrukšanas,  $c_{vav}$  aprēķina rezultāts ir skatāms 3. tabulā.

3. TABULA

VAV KONCENTRĀCIJA GAUJAS UPĒ, JA NAV VAV ĶĪMISKĀS SABRUKŠANAS

Periods*	$m_{vav}$ [kg]	$V_{Gauja}$ [ $m^3$ ]	$c_{vav}$ [ng/l]
$t_1$	660	$62.1 \times 10^9$	11.1
$t_2$	2800	$62.1 \times 10^9$	46.6
$t_3$	4000	$62.1 \times 10^9$	66.6

\*  $t_1 = t_2 = t_3 = 20$  gadi



8. att. VAV koncentrāciju hidrogrāfi monitoringa urbumos Nr.51, Nr.70-9, Nr.20-9, nr.10-9 Ziemeļu dīķim bez un ar ķīmiskās sabrukšanas ievērošanu, ja veikta pilnīga dīķa satura eskavācija

No šīs tabulas var secināt, ka laikā  $c_{vav}$  pieaug, taču tās vērtība tikai nanogrami uz litru. Ja upes mazūdens periodā  $v_{Gauja} = 1400000 \text{ m}^3/\text{dnn}$  [9], tad  $c_{vav}$  pieaug sešas reizes.

VAV ieplūde Gaujas upē ar Ziemeļu dīķa piesārņoto pazemes ūdeni praktiski neietekmē upes ūdens kvalitāti, pat tajā gadījumā, ja nenotiek VAV ķīmiskā sabrukšana.

Šāds rezultāts ir sekas tam apstāklim, ka pazemes ūdens daudzums un tā ietekes ātrums upē ir daudzkārt mazāks nekā vidējā Gaujas upes caurtece ( $\sim 100 \text{ m}^3/\text{sec}$ ).

VAV areāla saskarsmes vietā ar upi ir iespējams lokāls kaitējums dzīvībai dabai, jo VAV sajaukšanās ar upes ūdeni nenotiek uzreiz.

### VIII. SANĀCIJAS PASĀKUMI ESKAVĒTO DĪĶU TERITORIJĀM

Dīķu satura eskavācija nevar pilnīgi likvidēt gudrona paliekas to pamatnēs, īpaši Ziemeļu dīķim, kurā ir jānorok visvairāk piesārņotā smilšu-gudrona maisījuma daļa. Arī Dienvidu dīķī var palikt ar gudronu piesārņotas smiltis. Šo iemeslu dēļ dīķu areālos ir jāīsteno tādi sanācijas pasākumi, kuri pēc iespējas labāk novērstu gudrona atlieku izšķīdināšanu ar pazemes ūdens plūsmām kvartāra smilšu slānī. Ir divi atšķirīgi pazemes ūdens plūsmu tipi:

- atmosfēras nokrišņu radītā vertikālā infiltrācijas plūsmas aerācijas zonā;
- horizontālā plūsmas smilšu slānī.

Lai samazinātu vertikālās plūsmas ietekmi, abu dīķu areāli ir jāpārklāj ar ūdensnecaurlaidīgu pretinfiltrācijas pārsegumu. Šis pārsegums praktiski novērš gudrona atlieku izšķīdināšanu Dienvidu dīķim, jo tas atrodas aerācijas zonā, kurā nav horizontālās pazemes plūsmas [1]. Ziemeļu dīķa gudrona atliekas šķērso horizontālā plūsmas un tāpēc pretinfiltrācijas pārklājums tikai  $\sim 3.5$  reizes samazinās gudrona izšķīdināšanas intensitāti [1]. Var vājināt horizontālās plūsmas ietekmi ar sprostsienas ierīkošanu.

Ziemeļu dīķim vēlams veikt pazemes ūdens attīrīšanu.

### IX. SECINĀJUMI

Inčukalna gudrona dīķu izraisītais piesārņojums pazemes ūdens plūsmā virzās uz Gaujas upi. Šis process notiek jau 60 gadus un abu dīķu piesārņojuma areālu kustību ar mūsdienu tehnoloģijām nevar apturēt.

Īpaši lielu kaitējumu videi rada toksiskās virsmas aktīvās vielas (VAV). Firmas INTERGEO uzdevumā RTU VMC speciālisti veica VAV masas transporta modelēšanu pazemes ūdens plūsmā. Iegūti rezultāti, kurus var izmantot Inčukalna piesārņotās ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās vides atveseļošanas darbos:

- jāpabeidz abu gudrona dīķu satura eskavācija, jo tad tiks apturēta pazemes ūdens piesārņošana un samazināsies laiks, kurā var notikt pazemes ūdeņu un ģeoloģiskās vides pašattīršanās;
- vides pašattīršanās notiek VAV ķīmiskās sabrukšanas dēļ un arī tāpēc, ka piesārņotais pazemes ūdens nonāks Gaujas upē;
- novērtēta VAV masa 2015. gadā abu dīķu piesārņojuma areāliem; attiecīgi 8000kg un 30500kg, Ziemeļu un Dienvidu dīķim.
- aprēķināts, ka VAV areāli sasniegs Gaujas upi (skaitot no 2015. gada) pēc 20-25 un 75-80 gadiem, attiecīgi Ziemeļu un Dienvidu dīķim;
- veikta abu dīķu VAV areālu kustības modelēšana nākošajiem 80 gadiem (sākot no 2015.g.); konstatēts, ka, ja nav VAV ķīmiskās sabrukšanas, tad Ziemeļu dīķa areāla VAV masas ieplūde Gaujas upē notiek sekojoši: 660kg – (2039-2059)g.; 2400kg – (2059-2079)g.; 4000kg – (2079-2099)g.; pēc 2099. gada VAV areāla masa būs 540kg; VAV ieplūde ir nevienmērīga, tāpēc ka VAV koncentrācija areāla perifērijā (arī frontes

daļā) ir mazāka par VAV koncentrāciju areāla kodolā;

- ja VAV pussabrukšanas laiks ir 15 gadi, tad pēc 80 gadiem abu dīķu VAV areāli ir pārstājuši eksistēt; t.i., ir notikusi ģeoloģiskās vides pašattīrīšanās;
- aprēķināta VAV koncentrācija Gaujas upē, kuru varētu izsaukt Ziemeļu dīķa areāla ieplūde (ja nav VAV sabrukšanas) : 11ng/l- (2039-2059)g.; 47ng/l – (2059-2079)g. ; 67ng/l – (2079-2099)g., t.i., Ziemeļu dīķa VAV areāla masas ieplūde upē neietekmē upes ūdens kvalitāti. Tikai VAV areāla ietekmes apkārtņē iespējams kaitējums dabai, jo VAV ar upes ūdeni nesajaucas uzreiz.
- lai samazinātu gudrona atlieku radīto piesārņojumu, pēc abu dīķu satura ekskavācijas tie jāpārklāj ar pretinfiltrācijas segumu; Dienvidu dīķa gudrona atlikums atrodas aerācijas zonā un tāpēc pārklājums praktiski aptur gudrona nonākšanu pazemes ūdenī; Ziemeļu dīķim pārklājums samazina gudrona šķīšanu ~3.5 reizes, jo gudrona atlikumu apskalo horizontālā pazemes ūdens plūsma, kuras ietekmes samazināšanai var izmantot sprotsienu; vēlams veikt ar VAV piesārņotā pazemes ūdens attīrīšanu.

Var secināt, ka modelēšanas rezultāti bagātina zināšanas par Inčukalna gudrona dīķu problēmas optimālām risināšanas iespējām. Būtisks ir atzinums, ka aptuveni 80-100 gadu laikā var notikt pazemes ūdens un ģeoloģiskās vides pašattīrīšanās. Piesārņojums, kas nokļūš Gaujas upē nevar ietekmēt tās ūdens kvalitāti, jo upes caurteces ietekme ir daudzkārt lielāka, nekā upē ieplūdušajam piesārņojumam.

Inčukalna HM Gaujas upes pazemes pieteces kalibrāšanai ir izmantoti Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO4 dati. LAMO4 veidots ar Latvijas valsts pētījumu programmas EVIDENT atbalstu.

#### PIELIKUMS. INČUKALNA TERITORIJAS HIDROĢEOLOĢISKAIS MODELIS

Inčukalna HM novietojums skatāms 1p. att. Modeļa pirmā versija (1998.g.) izmantoja VMC speciālistu izveidoto Latvijas reģionālā HM REMO vidi [10]. Modeļa 2. versija izveidota 2005. gadā [7]. Trešā 2016. gada HM versija kā bāzi izmantoja 2005. gada modeli. Visas trīs HM versijas imitē ilggadīgos vidējos hidroģeoloģiskos apstākļus Inčukalna apkārtņē. 2016. gada HM darbojas licenzētas programmatūras GV vidē [2].

Inčukalna HM ietver 8000m×12000m laukumu. HM bāzes karte ar lokālajiem HM skatāma 2p. att. Modeļu 1998.g. un 2005.g. versijām režģa plaknes solis bija 100 metri, bet Ziemeļu un Dienvidu dīķu lokālajiem HM plaknes solis bija 20metri. 2012. gadā Ziemeļu dīķa lokālajam HM lietoja soli 10 metri [13]. VAV kustības modelēšanai 2016. gadā bija paredzēts izmantot apvienoto Ziemeļu un Dienvidu dīķu modeli ar soli 10 metri un izmēru 4500m×7000m. Šim apgabalam modelī izmantoti pārskatu [11, 12] dati, kuri iegūti no pētniecības urbumiem. Tāpēc šai HM daļai ir augsta ģeoloģiskās informācijas ticamība. Darba gaitā tika konstatēts,

ka datora veikspēja nodrošina modelēšanu visā HM apgabalā ar režģa soli 10 metri. Tāpēc samazinātā izmēra apvienotais HM netika izmantots.

HM vertikālā shematizācija ir vienota 2005.g. un 2016.g. modeļa versijām un tā skatāma 1p. tabulā. Modeļi veido 11 slāņi. Pirmais un vienpadsmitais slānis tiek lietoti pirmā veida robežnoteikumu (uzdoti ūdens līmeņi) fiksēšanai. Pirmajā slānī relh tiek uzdots zemes reljefa karte, bet vienpadsmitajā – Gaujas horizonta D3gj1 pjezometrisko līmeņu sadalījums. 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 sprotslāņi. Slānis aer ir aerācijas zonas ekvivalents un tiek izmantots infiltrācijas plūsmas vadīšanai. Ģeoloģiskais griezum S-N, kurš šķērso abus dīķus ir skatāms 3. att.

Slānis Q1 eksistē tikai dīķu apkārtņē (biezums 1.5 metrs) un nodrošina precīzāku gudrona dīķu (īpaši Ziemeļu) ietekmes modelēšanu. Slāņu Q1 un Q2 biežumi ir vienādi.

Smilšu slāņa Q sadalījums trīs apakšslāņos nodrošina precīzāku datu iegūšanu par tiem sanācijas pasākumiem, kuri būs jāveic dīķiem pēc to satura ekskavācijas.

Arī smilšakmens ūdens horizonts D3gj2 ir sadalīts trīs apakšhorizontos, lai varētu ievērot piesārņojumu kustības telpisko raksturu un to nevienmērīgo koncentrāciju sadalījumu slānī. Apakšējais slānis D3gj23 2016. gada modelī tiek izmantots VAV koncentrācijas uzdošanai, jo 2015. gadā noskaidrots, ka VAV šeit ir maksimālā koncentrācija, slāņa D3gj23 biežums ir 10 metri. Slāņiem D3gj21 un D3gj22 ir vienādi biežumi un šajos slāņos VAV koncentrācija ir niecīga.

Par pazemes ūdens plūsmu ātrumu un virzienu ūdens horizontos var spriest no to pazemes ūdens līmeņu kartēm. Inčukalna gadījumā pazemes ūdens piesārņošana notiek kvartāra smilšu slānī Q un smilšakmens slānī D3gj2. Šo slāņu ūdenslīmeņu izolīniju kartes ir skatāmas 3p. att. un 4p. att. Šīs kartes parāda, ka pazemes ūdens plūsmu raksturs Q un D3gj2 slāņos ir atšķirīgs un tāpēc piesārņojuma kustības procesi šajos slāņos ir dažādi:

- Q slānī abu dīķu apkārtņē ir niecīgs pazemes ūdens plūsmas gradients un tāpēc šeit piesārņojums pārvietojas lēni, tā kustības virziens nesakrīt ar kustības virzienu D3gj2 slānī;
- D3gj2 slānī piesārņojums no abiem dīķiem virzās uz Gaujas upi. Piesārņojums šajā slānī nonāk no Q slāņa, kur atrodas gudrona dīķi;
- hidroģeoloģiskie apstākļi Ziemeļu un Dienvidu dīķos ir atšķirīgi: Ziemeļu dīķis atrodas Q1 slānī un tāpēc tā saturu izšķīdina horizontālā plūsma slānī un nokrišņu (infiltrācijas) plūsma; Dienvidu dīķis atrodas aer zonā un te gudronu izšķīdina nokrišņu plūsma.

HM vidē darbojas GV modeļi MODPATH un MT3D, kuri tika izmantoti VAV kustības prognozēšanai pazemes ūdens plūsmā. MODPATH izmanto ūdens plūsmas kustības pētīšanai ar virtuālo ūdens daļiņu trasēšanas metodi (skat. 2. att.) Modelis MT3D nodrošina vielu masas pārnesei modelēšanu (VAV masas un koncentrācijas izmaiņa laikā un



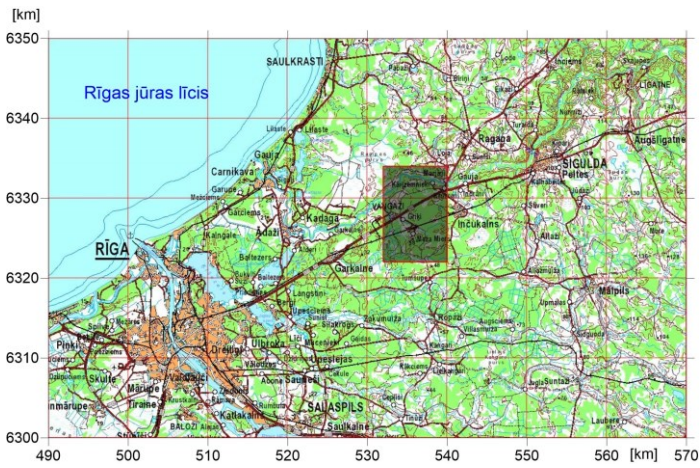
telpā). Parasti vispirms darbinā MODPATH, lai iegūtu datus MT3D vadības parametru pareizai izvēlei.

Detalizētāku informāciju par Inčukalna HM var atrast pārskatā [1].

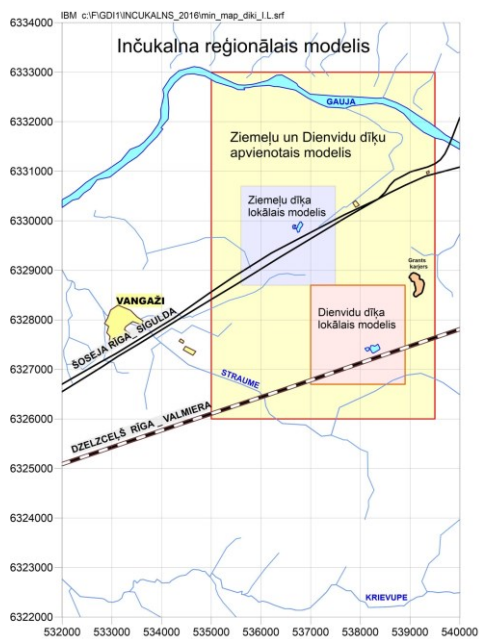
1P.TABULA

INČUKALNA MODEĻA VERTIKĀLĀ SHEMATIZĀCIJA

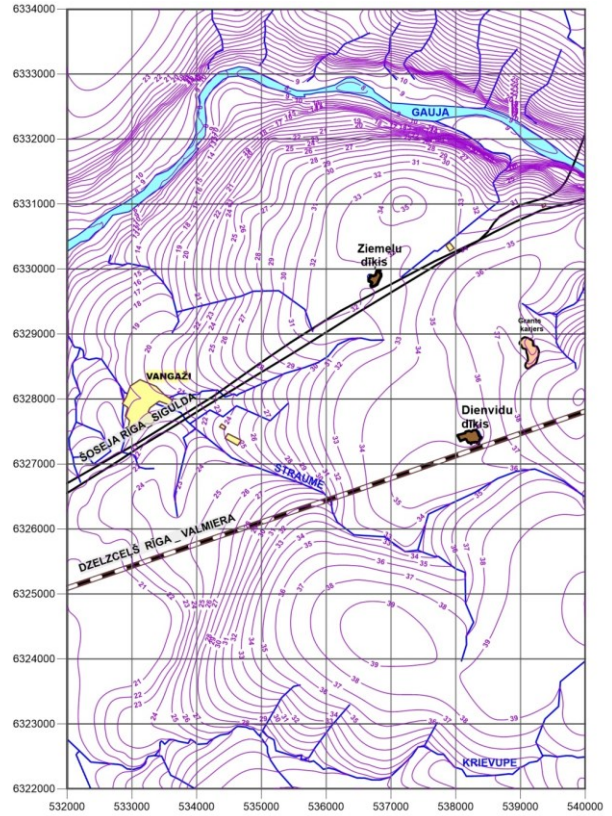
Slāņa	Slāņa	Ģeoloģiskais kods	Modeļa sekcijas numurs un
	Reljefs	<i>relh</i>	1. (robežnoteikums)
	Kvartārs	<i>aer</i>	2. (z)
		<i>Q1</i>	3. (xy)
		<i>Q2</i>	4. (xy)
		<i>Q3</i>	5. (xy)
		<i>gQ</i>	6. (z)
	Otrā Gauja	<i>D<sub>3</sub>gj21</i>	7. (xy)
		<i>D<sub>3</sub>gj22</i>	8. (xy)
		<i>D<sub>3</sub>gj23</i>	9. (xy)
	Pirmā Gauja	<i>D<sub>3</sub>gjz</i>	10. (z)
		<i>D<sub>3</sub>gj1</i>	11. (robežnoteikums)
	sprostslānis		



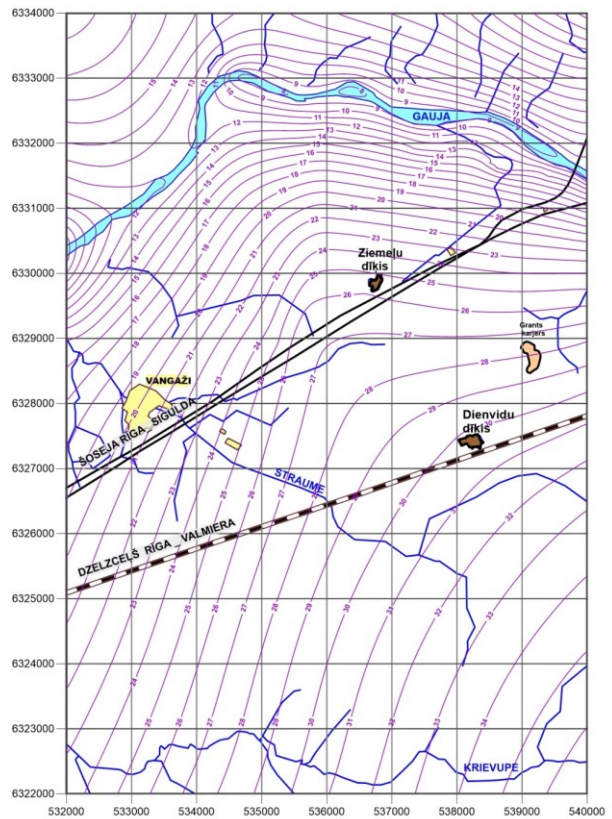
1p. att. Inčukalna modeļa novietojums



2p. att. Inčukalna modeļa bāzes karte un lokālie hidroģeoloģiskie modeļi



3p. Kvartāra horizonta Q ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]



4p. att. Gaujas horizonta D3gj2 ūdens līmeņu izolīniju karte [m vjl]



## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Spalviņš A., Ziemeļu un Dienvidu sērskābā gudrona dīķu pazemes ūdeņus piesārņojošo vielu masas transporta matemātiskā modelēšana, Pārskats pakalpojumu līgumam ar personu apvienību "INTERGEO", Rīga, marts, 2016, 31. lpp. teksta, 79 att., 8 pielikumi
- [2] *Environmental Simulations, Inc.* Groundwater Vistas. Version 6, Guide to using, 2011
- [3] Harbaugh W., MODFLOW-2005, U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: the ground-water flow process, chap 16, book 6, US Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, USGS, Reston, VA
- [4] 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
- [5] 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
- [6] *Golden Software, Inc., SURFER-12 for Windows*, Users manual, Guide to Using, 2015
- [7] Spalviņš A., Piesārņoto vietu – Inčukalna gudrona dīķi un Olaines šķidro toksisko atkritumu izgāztuve, sanācijas projekta sagatavošana, Atskaite līgumam Nr. VP461/195 starp Valsts SIA "Vides projekti" un Rīgas Tehnisko universitāti, Rīga, Aprīlis, 2005, 39 lpp.
- [8] I.Semjonovs., *Piesārņošanās un pašattīršanās procesi pazemes ūdeņos*, Latvija, Rīga, Zinātne, 1995, 121. lpp
- [9] *Гидрогеология СССР., том XXXI, Латвийская ССР.*, I часть. изд. Недра, Москва, 1967, стр. 200
- [10] Spalviņš A., Rīgas Tehniskās universitātes atskaite par līgumdarbu Nr. 116/3k izpildi. Piesārņojošo vielu bilances un transporta matemātisko modeļu izveide Inčukalna sērskābā gudrona atkritumu dīķu teritorijām., Rīga, 1998.g.
- [11] Inčukalna Ziemeļu izgāztuves hidrauliskais modelis. Baltec Associates, INC. atskaite, Rīga, 1995, 52 lpp.
- [12] Piemēroto vietu izvēle gudrona atkritumu iekapsulēšanai., SIA GEO CONSULTANTS atskaite par inženierģeolģiskajiem pētījumiem Inčukalna apkaimē 1997.-1998. gados, Rīga, 1998. gada septembris, 34 lpp. ar tekstu un grafiskiem pielikumiem.
- [13] Spalviņš A., 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 "Eiropoprojekts" un RTU, 2012. gada, jūnijs, Rīga, 37 lpp. teksta un pielikumi.
- [14] Spalviņš A., Latvijas hidroģeolģiskā modeļa LAMO pilnveidošanas starprezultāti, Pārskats līgumam 2014/15 starp LVGMC 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_teksts.pdf)  
[http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK\\_LVGMC\\_2015\\_pielikumi.pdf](http://www.emc.rtu.lv/VPP/ATSK_LVGMC_2015_pielikumi.pdf)

**Aivars Spalvins.** is the head of the Environment Modelling Centre of RTU. His research interests include computer modelling of groundwater flows and migration of contaminants.  
E-mail: [Aivars.Spalvins@rtu.lv](mailto:Aivars.Spalvins@rtu.lv)

**Inta Lace** is the researcher with the Environment Modelling Centre, Faculty of Computer Science and Information Technology, RTU.  
E-mail: [intalace@yahoo.com](mailto:intalace@yahoo.com)

**Kaspars Krauklis** is the researcher with the Environment Modeling Centre of Riga Technical University.  
E-mail: [kasparskrauklis@gmail.com](mailto:kasparskrauklis@gmail.com)

**Tatjana Sorokina** is the hydrogeologist of the INTERGEO BALTIC Ltd., Latvia.  
E-mail: [tatiana.sorokina@intergeo.com](mailto:tatiana.sorokina@intergeo.com)

**Henning Wallner** is the Chairman of INTERGEO Environmental Technology, Austria.  
E-mail: [henning.wallner@intergeo.com](mailto:henning.wallner@intergeo.com)

**Aivars Spalvins<sup>1</sup>, Inta Lace<sup>1</sup>, Kaspars Krauklis<sup>1</sup>, Tatjana Sorokina<sup>2</sup>, Henning Wallner<sup>2</sup>,**  
<sup>1</sup>-Rīga Technical university, Latvia, <sup>2</sup>-INTERGEO BALTIC Ltd.

#### **Modelling of Contaminant Mass Transport in Groundwater Flow Polluted by Sulphuric Goudron Pools of Incukalns**

Keyword: hydrogeological model, modelling of contaminant mass transport, surface active substance

At the Incukalns district, two abandoned gravel pits from 1955 to 1970 were used as the dump sites for storing liquid sulphuric goudron (mixture of sulphuric acid and oil products). The dump sites were named as the Northern and Southern pools. The Northern pool was filled by sand. Presently, the Southern pool contains goudron as a liquid, a paste and a stone. During sixty years, the pools are polluting groundwater that moves towards the Gauja river. Excavation of the goudron body of the Southern pool continues. The contaminated sand of the Northern pool will be taken away. In order to optimize the ongoing process of environmental recovery of the place, specialists of Riga Technical university carried out computer based modelling of mass transport of contaminants (especially surface active substances (SAS)) by the groundwater flow. The research was done as the task drawn up by the company INTERGEO. It was found out that the SAS plumes of the Northern and Southern pools will reach the river, after 25 and 80 years (since 2015), accordingly. The SAS mass of the plumes was evaluated, respectively, 8000kg and 30000kg, for the Northern and Southern pool in 2015. The rate of the SAS inflow from the Northern pool plume into the Gauja river was estimated during 2039-2099 if no SAS destruction took place: 660kg – (2039-2054); 2800kg – (2059-2079); 4000kg – (2079-2099). After 2119, the mass of zona SAS plume will be 540kg. The unevenness of the SAS inflow rate is due to the small SAS concentration for the exterior part of the plume than for its central part. This fact was also confirmed by hydrographs for the SAS concentration of the virtual monitoring wells. It was found out that the SAS inflow into the Gauja river will have no real influence (even without SAS destruction) on the quality of water of the river, because its flow is much more stronger than of the contaminated groundwater flow from the Northern pool.