

**Pamatjonu koncentrācijas izmaiņas pazemes ūdeņos,  
attīstoties depresijas piltuvei Rīgas apkārtnē**  
*Changes of Major Ions Content in Groundwater  
the Development of Depression Cone in the Riga Area*

**Baiba Raga**

Latvijas Universitāte  
Geogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: [baiba.raga@lu.lv](mailto:baiba.raga@lu.lv)

**Andis Kalvāns**

Latvijas Universitāte  
Geogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: [andis.kalvans@lu.lv](mailto:andis.kalvans@lu.lv)

**Aija Dēliņa**

Latvijas Universitāte  
Geogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: [aija.delina@lu.lv](mailto:aija.delina@lu.lv)

Rakstā pētītas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā Rīgas reģionā. Pētījumā izmantoti dati no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra (LVĢMC) datubāzes aptuveni par 50 gadu ilgu periodu, iegūstot informāciju par galveno jonu koncentrāciju ( $\text{mg/l}$ ) un pazemes ūdens līmeņu izmaiņām (m). Pazemes ūdeņu plūsmu raksturošanai un izpētei izmantots arī hidrogeoloģiskais modelis. Pētījuma mērķis ir noteikt, kā mainījies pazemes ūdens ķīmiskais sastāvs depresijas piltuves attīstības laikā, novērtējot antropogēnā mehānisma ietekmi un ūdens avotus, kas papildinājuši ekspluatācijas horizontus. Rezultāti liecina, ka ievērojamākās sastāva izmaiņas notiek teritorijās, kur aktīvās apmaiņas zonas hidrogeoloģiskajā griezumā sastopami dažāda tipa ūdeņi, kuru savstarpējo sajaukšanos izraisa pazemes ūdens plūsmas vertikālās komponentes pastiprināšanās.

**Atslēgvārdi:** depresijas piltuve, Paipera diagramma, ūdens ķīmiskais sastāvs, ūdensiegube.

## Ievads

Pazemes ūdeņi ir nozīmīgs dzeramā ūdens resurss, tāpēc ir svarīgi tos efektīvi apsaimniekot, lai saglabātu kvalitātes prasībām atbilstošus dzeramā ūdens resursus. Neefektīva resursu apsaimniekošana var novest pie būtiskām pazemes ūdeņu kvalitātes un kvantitātes izmaiņām, līdz ar to ietekmējot citas dabas sistēmas vai pat izraisot ekoloģiskas problēmas.

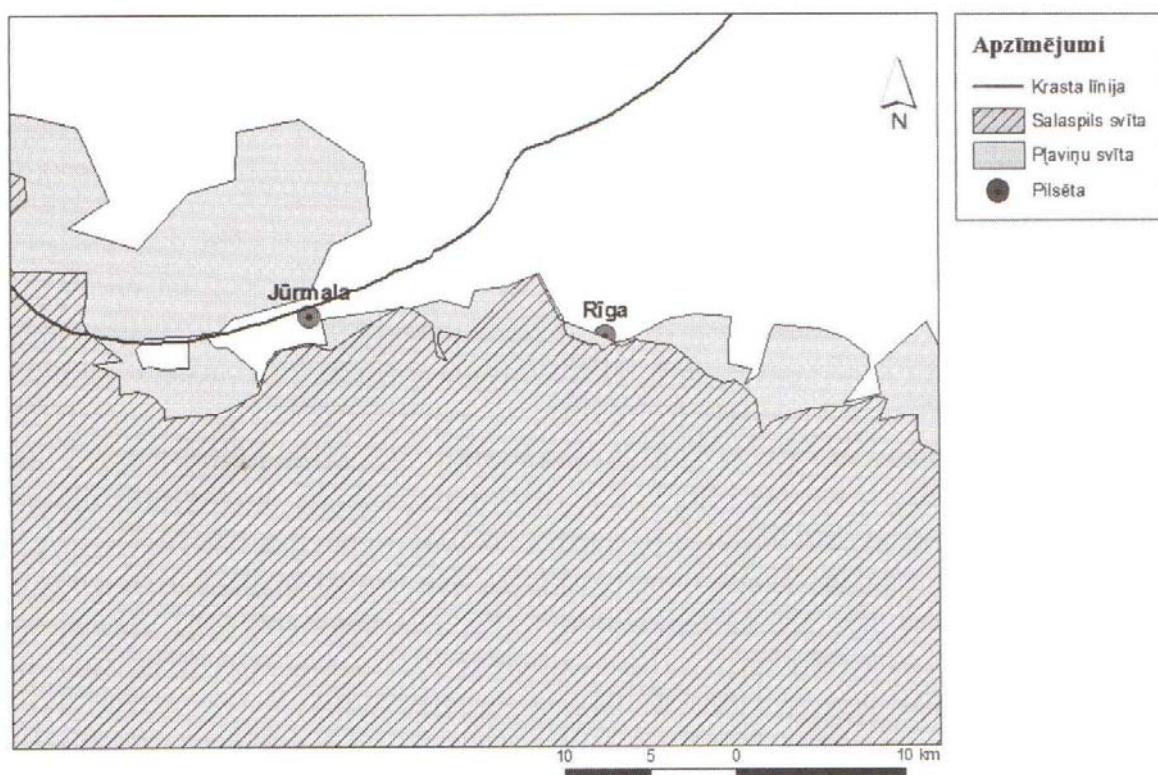
Ūdensapgādes vajadzībām Rīgas teritorijā 20. gs. 60. gadu pirmajā pusē sākās intensīva pazemes ūdeņu ieguve no aktīvās apmaiņas zonas, pamatā no augšdevona

Gaujas ūdens horizonta, kas ir daļa no Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksa, ko veido terigēnie nogulumi. Tā rezultātā pazeminājās pazemes ūdeņu līmenis ekspluatētajos ūdens horizontos, bet galvenokārt Gaujas ūdens horizontā, veidojot t. s. depresijas piltuvi, kas maksimālo izplatību un ūdens līmeņa pazeminājumu aptuveni par 17 m Gaujas horizonta piltuves centrā sasniedza 20. gs. 70. gadu vidū (Levina u. c., 1998). Pēc tam, kad tika pievērsta lielāka uzmanība ūdens resursu efektīvākai izmantošanai, kā arī samazinoties ūdens patēriņam 20. gs. 90. gadu sākumā un vidū, pazemes ūdens līmenis Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksā sāka atjaunoties, un mūsdienās tas ir praktiski nostabilizējies. Nelielas depresijas piltuves paliekas ir saglabājušās tikai atsevišķās vietās: Jūrmalā ar absolūtajām atzīmēm -2 līdz -3 m vjl., Jelgavā ap -1 m vjl. un Rīgā ar absolūtajām atzīmēm -2 līdz -3 m vjl. (Levina, Levins, 2006; Levina, Levins, 2005).

Pētījumā apskatīta teritorija aptuveni 80 km rādiusā ap Rīgu, kas ietver aptuvenās depresijas piltuves robežas tās maksimālās izplatības laikā. Tā kā Rīgas reģions pieder pie vislielākās urbanizētās teritorijas Latvijā ar aptuveni 900 000 iedzīvotāju, ir būtiski novērtēt tās dzeramā ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņu tendences Arukilas–Amatas ūdens kompleksā, kas radušās cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā.

## Geoloģiskie un hidrogeoloģiskie apstākļi

Pētījumā apskatītas pazemes ūdens sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā, kas Latvijas teritorijā aptver visus ūdens horizontus no gruntsūdeņiem līdz vidusdevona Narvas reģionālajam sprostslānim, Rīgas apkārtnē tie ir kvartāra, Pļaviņu–Amulas, Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksi (Levins u. c., 1998).



1. attēls. Augšdevona Salaspils un Pļaviņu svītas izplatība

Fig. 1. Distribution of Upper Devonian Salaspils and Pļaviņas formation

Šajā teritorijā kvartāra nogulumu segas biezums ir no 10 līdz 40 m, ko pārsvarā veido Baltijas ledus ezera un augšpleistocēna Latvijas svītas glaciolimniskie nogulumi – dažādgraudaina smilts un māls. Tāpat šajā teritorijā sastopami glacigēnie, aluviālie, eolie, marīnie un purva nogulumi (Jansons u. c., 1971; Juškevičs u. c., 1999), kuros pārsvarā ir bezspiediena pazemes ūdeņi (Jansons u. c., 1965).

Zemkvartāra virsmā atsedzas vidusdevona un augšdevona nogulumi. Augšdevona Daugavas, Salaspils un Pļaviņu svīta sastāv no karbonātiskiem iežiem. Izņēmums ir Salaspils svīta, kur sastopami arī ģipša nogulumi. Šo trīs svītu kopējais biezums izpētes teritorijā ir 15–50 m, to izplatība redzama 1. attēlā.

Daugavas un Salaspils horizontā pazemes ūdeņu statiskā līmeņa atzīmes ir ap 10 m vjl., atšķirība starp abiem horizontiem ir vien daži centimetri. Šajos horizontos dominē kalcija–sulfātu tipa pazemes ūdeņi (Jansons u. c., 1965). Zem Salaspils horizonta ieguļ Pļaviņu ūdens horizonts, kam izpētes teritorijā pjezometriskās virsmas atzīmes ir 2,2–2,8 m vjl. un kas pārsvarā satur kalcija–hidrogēnkarbonātu tipa ūdeņus (Jansons u. c., 1965).

Dzīlāk ieguļ Arukilas–Amatas ūdens horizontu komplekss, kas ietver augšdevona Amatas un Gaujas svītas un vidusdevona Burtnieku un Arukilas svītas, kuras veido terigēnie nogulumi. Tie pārsvarā ir smilšakmeņi, māli, aleirolīti un aleirītiski māli, kuru kopējais biezums ir 220–250 m (Jansons u. c., 1965; Jansons u. c., 1971). Pazemes ūdeņu statiskais līmenis šajos četros ūdens horizontos ir 2–3,5 m vjl., un tie satur hidrogēnkarbonāta–kalcija tipa pazemes ūdeņus (Jansons u. c., 1965; Jansons u. c., 1971).

## Materiāli un metodes

Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs uztur datubāzes par pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva, fizikālo īpašību un līmeņa ilgtermiņa novērojumiem, kas tika izmantotas šī pētījuma īstenošanai. No datubāzes iegūta informācija par galveno jonu ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  kopā ar  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  un  $\text{NH}_4^+$ ) koncentrāciju ( $\text{mg/l}$ ) pazemes ūdeņos, ūdens pH, elektrovadītspēju ( $\mu\text{S/cm}$ ), kopējo cietību ( $\text{mg-ekv/l}$ ), kā arī par pazemes ūdens statisko līmeņu atzīmēm (m vjl.).

### Datu analīzes metodes

Laika gaitā ūdens ķīmiskā sastāva noteikšanas metodes ir mainījušās, iespējams, ir arī pieļautas nozīmīgas klūdas, tāpēc pirms turpmākās datu izmantošanas pētījumā tika veikta datu statistiskā analīze.

Datorprogrammas *MS Excel* vidē grafiskā veidā tika atspoguļots, kādas ir noteikta jona ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) no konkrēta monitoringa urbuma koncentrācijas izmaiņas novērojuma periodā. Izmantojot matemātisko regresiju, tika iegūta jona koncentrācijas izmaiņu tendence laikā. No tālākās analīzes tika izslēgtas vērtības, kas atrodas divu standartnoviržu attālumā no aprēķinātās tendences līknes. Tā rezultātā tika iegūta datu kopa, kuras ticamība ir 97%. Izmantojot šo metodi, tika izslēgti klūdaini mērījumi, kas traucētu tālākai pētījuma gaitai.

### Ūdens sastāva tipu noteikšana

Pēc galveno jonu ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) datu statistiskās apstrādes un pārrēķina uz mg-ekv/l procentuālo saturu paraugā, datorprogrammā *R*

tika izveidotas Paipera diagrammas, kas raksturo pazemes ūdens ķīmisko sastāvu konkrētā monitoringa urbūmā dažādos laika momentos.

Balstoties uz iegūtajām Paipera diagrammām, tika noteikti arī pazemes ūdens sastāva tipi, nosakot dominējošo katjonu un anjonu ūdens paraugā, kura relatīvā koncentrācija ir virs 50% (Domenico, Schwartz, 1980).

### **Pazemes ūdens līmeņa un plūsmu virzienu vizualizācija**

Pētījumā pazemes ūdens plūsmu raksturošanai tika izmantots Baltijas artēziskā baseina (turpmāk tekstā – BAB) hidrogeoloģiskais modelis, kas izveidots projektā „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem”, balstoties uz modelēšanas sistēmu *MOSYS* (Seņķikovs, 2011). Savukārt aprēķinu vizualizācija un analīze tika veikta programmatūrā *HiFiGeo* (PAIC, 2002). Izmantojot aprēķinātos pazemes ūdeņu līmeņus dažādiem ūdensieguvēs variantiem (Klints et al., 2012), programmatūrā *HiFiGeo* tika izgatavoti hidrogeoloģiskie griezumi, kas attēlo gan modelētos pazemes ūdens plūsmas virzienus, gan ūdens līmeņu izmaiņas. Modelējot pazemes ūdeņu plūsmas, izmantoti trīs ūdensieguvēs varianti: 1950. gads raksturo cilvēka darbības neizmainīto situāciju, 1980. gads – izmainītos hidrogeoloģiskos apstāklus intensīvas ūdens ieguves rezultātā, bet situācija 2000. gadā ataino pazemes ūdeņu līmeņu atjaunošanos.

Izmantojot programmatūru *Surfer 9*, tika izgatavota karte, kas atspoguļo faktiskās (pēc novērojumu datiem) ūdens līmeņa izmaiņas Gaujas horizontā starp diviem periodiem – 1949.–1951. un 1970.–1972. gadu. Datu interpolācija tika veikta, izmantojot kriginga metodi (Webster, Oliver, 2007). Balstoties uz šo karti, depresijas piltuves teritorija tika sadalīta trīs zonās: centrālā, vidus zona un nomale (perifērija).

### **Ūdens tilpuma un sajaukšanās novērtējums**

Lielākā pazemes ūdens ieguves vieta bija Gaujas ūdens horizonts, tāpēc, lai aptuveni noteiktu kopējo iegūtā ūdens apjoma attiecību pret dabiskajiem krājumiem laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam, tika veikti vienkārši aprēķini. Vispirms tika noteikts Gaujas svītas nogulumu kopējais tilpums depresijas piltuves centrālajā daļā, balstoties uz BAB hidrogeoloģiskā modeļa versiju V1. Pēc tam tika aprēķināta Gaujas svītas smilšakmeņu porainības (%) vidējā aritmētiskā vērtība. Nepieciešamie dati iegūti no ģeoloģiskās kartēšanas atskaitēm (Jansons u. c., 1965; Jansons u. c., 1971). Vienkāršu aprēķinu ceļā tika iegūta informācija par kopējo ūdens daudzumu ( $m^3$ ) depresijas piltuves centrālajā daļā. Savukārt, izmantojot datus par ūdens ieguvi no pazemes ūdeņu pamatmonitoringa atskaites (Levina, 1996), tika aprēķināts kopējais iegūtā pazemes ūdens daudzums un noteikta tā attiecība pret dabiskajiem krājumiem ( $m^3$ ).

Tā kā depresijas piltuves attīstības laikā ir notikusi starphorizontu pārtece, tika izveidotas sajaukšanās līknes, lai noteiktu iespējamos ūdens pieplūdes avotus, kas varēja izmainīt ūdens ķīmisko sastāvu. Uz vienas ass tika atliktas  $Cl^-$  jona koncentrācijas vērtības, kas ir dabisks traseris (Raidla et al., 2008; Charef et al., 2011), kā arī liecinātu par sajaukšanos ar dziļākajiem ūdens horizontiem. Savukārt uz otras ass tika atliktas  $SO_4^{2-}$  jona koncentrācijas vērtības, kas norādītu par iespējamo ūdens pārteci no Salaspils horizonta, kur notiek ġipšu šķīšana.

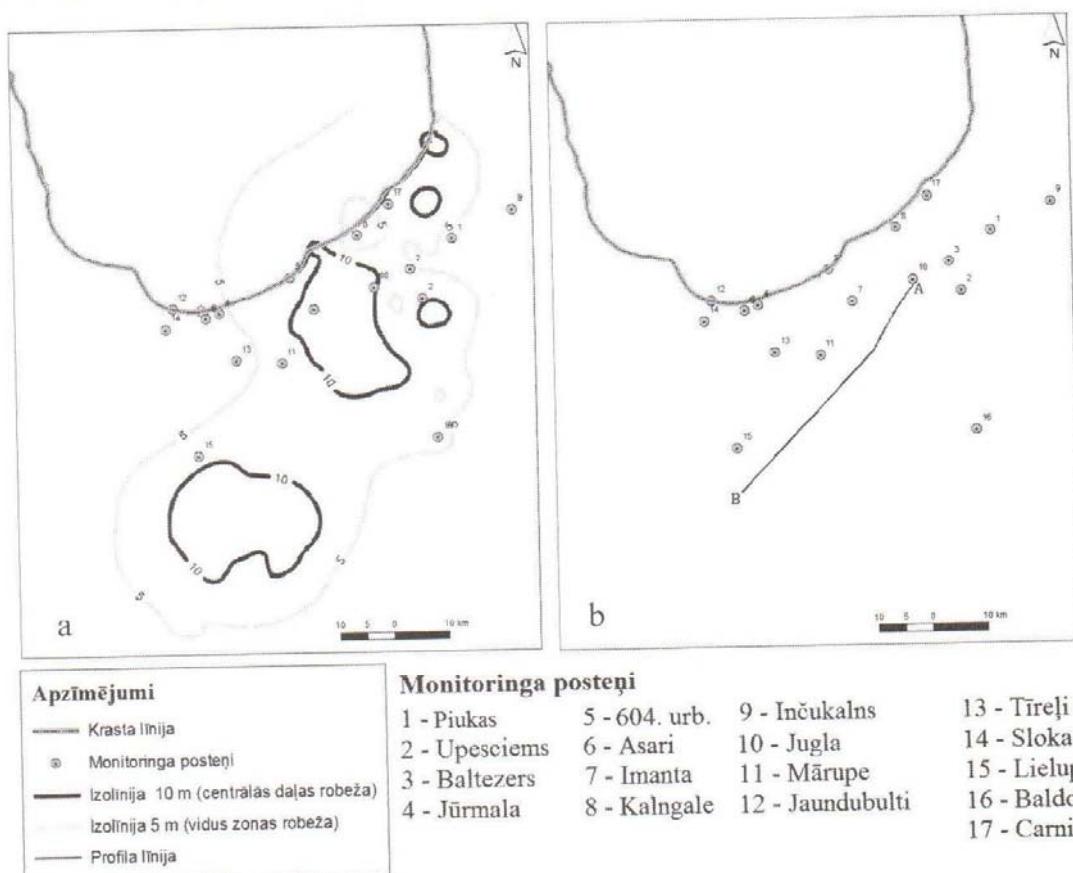
Par sākuma stāvokļiem katra monitoringa postenī tika ņemtas vidējās aritmētiskās vērtības gan no Arukilas, gan Salaspils horizonta datu kopas par visu novērojumu

periodu, savukārt beigu stāvokļa raksturošanai – 1. mērījums (vissenākais datubāzē pieejamais ieraksts) Gaujas horizontā attiecīgajā monitoringa posteņi.

## Rezultāti: pazemes ūdeņu sastāva izmaiņas

### Līmeņu un plūsmas virzienu izmaiņas 50 gadu periodā Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksā

Depresijas piltuve, kas attīstījusies Rīgā un 70–100 km rādiusā ap Rīgu, t. s. „Lielās Rīgas” teritorijā, iepriekšējos pārskatos (pētījumos) iedalīta divās zonās – depresijas centrālajā daļā un nomalē (Levina u. c., 1998). Šajā pētījumā „Lielās Rīgas” teritorija apskatīta, sadalot to trīs zonās, par pamatu ņemot iepriekšējo pētījumu rezultātus (Levina, 1997; Levina, 1998; Levina, Levins, 2005), kā arī karti, kur attēlotas pazemes ūdeņu līmeņu izmaiņas Gaujas ūdens horizontā starp 1949.–1951. gadu un 1970.–1972. gadu. To uzskatāmi var redzēt 2. a attēlā, kur atainotas centrālās, vidus un perifērijas zonas robežas. Centrālās zonas robeža noteikta pa izolīniju, kur līmeņa pazeminājums ir 10 m Gaujas ūdens horizontā. Savukārt viduszonas robeža noteikta pa izolīniju, ko raksturo 5 m ūdens līmeņa pazeminājums. Pazemes ūdens līmeņu izmaiņas un plūsmas virzieni tika apskatīti hidrogeoloģiskajā griezumā no Rīgas līdz Jelgavai (griezuma līniju sk. 2. b attēlā).

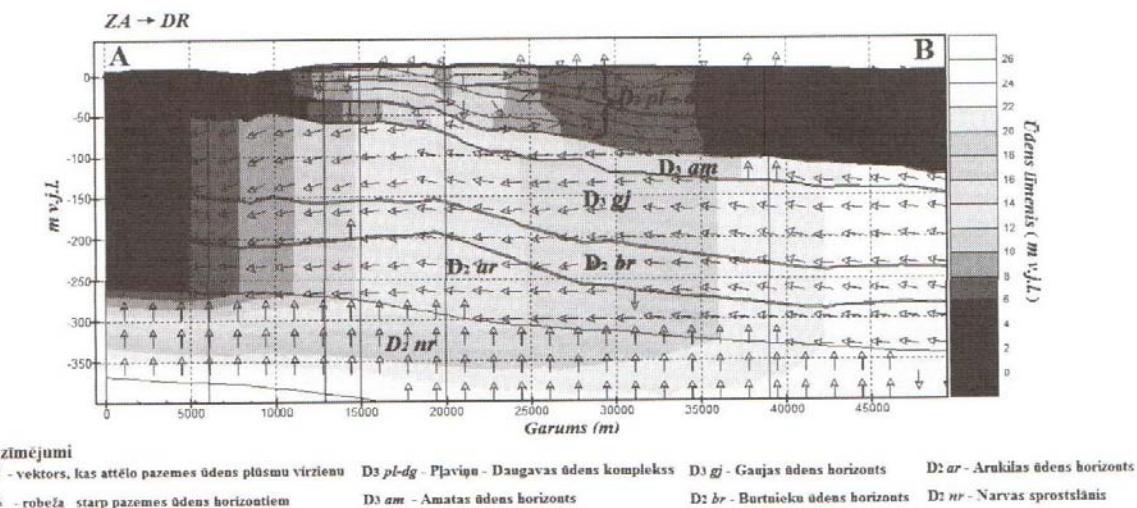


2. attēls. Pētījuma teritorija: a) depresijas piltuves zonu sadalījums;  
b) hidrogeoloģiskā griezuma līnija

Fig. 2. Territory of the study a) zoning of the depression cone;  
b) profile line of the hydrogeological cross-section

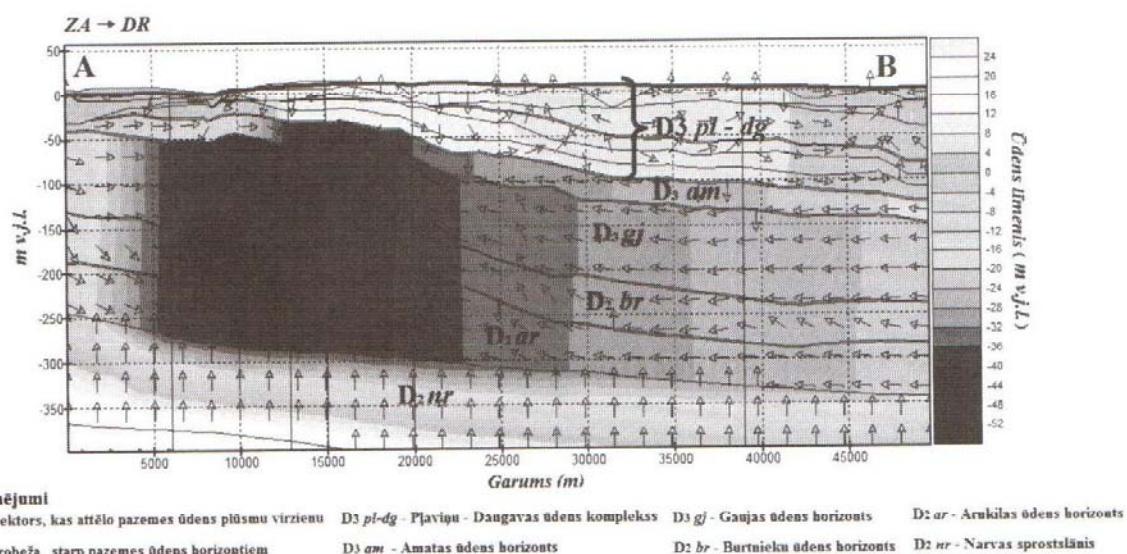
Pazemes ūdeņu plūsmas 3. attēlā raksturo cilvēka darbības rezultātā neizmaiņtos hidrogeoloģiskos apstākļus Arukilas–Amatas ūdens kompleksā 1950. gadā.

Aplūkojot spiedienu sadalījumu griezumā, var uzskatāmi redzēt, ka pazemes ūdeņu plūsmas ir orientētas virzienā no barošanās apgabaliem uz atslodzes vietu – Rīgas jūras līci. Tāpat skaidri nodalāmi Arukilas–Amatas un Pļaviņu–Amulas ūdens horizontu kompleksi, kam raksturīgi dažādi ūdens spiediena sadalījumi un plūsmas virzieni.



3. attēls. Modelētais pazemes ūdens plūsmas virziena un spiediena sadalījums hidrogeoloģiskajā griezumā A-B 1950. gadā

Fig. 3. *Groundwater flow directions and distribution of piezometric head in the cross-section A-B in the year 1950*



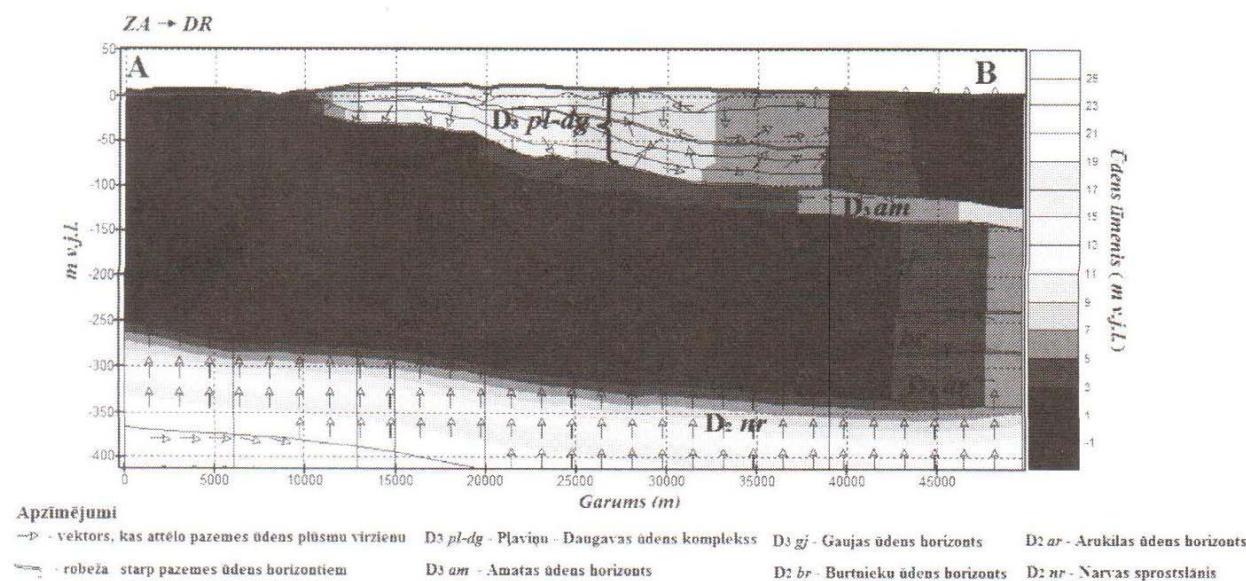
4. attēls. Modelētais pazemes ūdens plūsmas un spiediena sadalījums hidrogeoloģiskajā griezumā A-B 1980. gadā

Fig. 4. *Groundwater flow directions and distribution of piezometric head in the cross-section A-B in the year 1980*

1980. gadā skaidri iezīmējas hidrogeoloģisko apstākļu izmaiņas Arukilas–Amatas ūdens horizontā, jo būtiski ir pārorientējušies pazemes ūdeņu plūsmu virzieni un spiediena sadalījums. Plūsmas Arukilas–Amatas un Pļaviņu–Amulas ūdens kompleksā ir vērstas uz depresijas piltuves centru, kas atrodas Gaujas horizontā, tas

uzskatāmi redzams 4. attēlā. Maksimālais pazemes ūdens līmeņa pazeminājums – 17 m – Gaujas horizontā novērots 1978. gadā (LVĢMC bez dat.).

Aplūkojot modelēto situāciju 2000. gadā, desmit gadus pēc intensīvas ūdens ieguves samazināšanas, redzams, ka ūdens līmenis Gaujas horizontā ir atjaunojies. Savukārt novērotās ūdens līmeņu izmaiņas varētu būt saistītas ar pašreizējo ūdens ieguvi (sk. 5. attēlu). Līdz ar to ir novērojama pazemes ūdeņu plūsmu diferenciācija. Rīgas apkārtnē ir novērojamas pazemes ūdens plūsmas, kas ir orientētas uz depresijas piltuves centru, kā arī uz Rīgas jūras līci. Tāpat ir novērojama pazemes ūdens plūsmu sadalīšanās uz diviem lokāliem apgabaliem, kur ūdens ieguves dēļ ir pazemināts ūdens līmenis.



**5. attēls. Modelētais pazemes ūdens plūsmas un spiediena sadalījums hidrogeoloģiskajā griezumā A-B 2000. gadā**

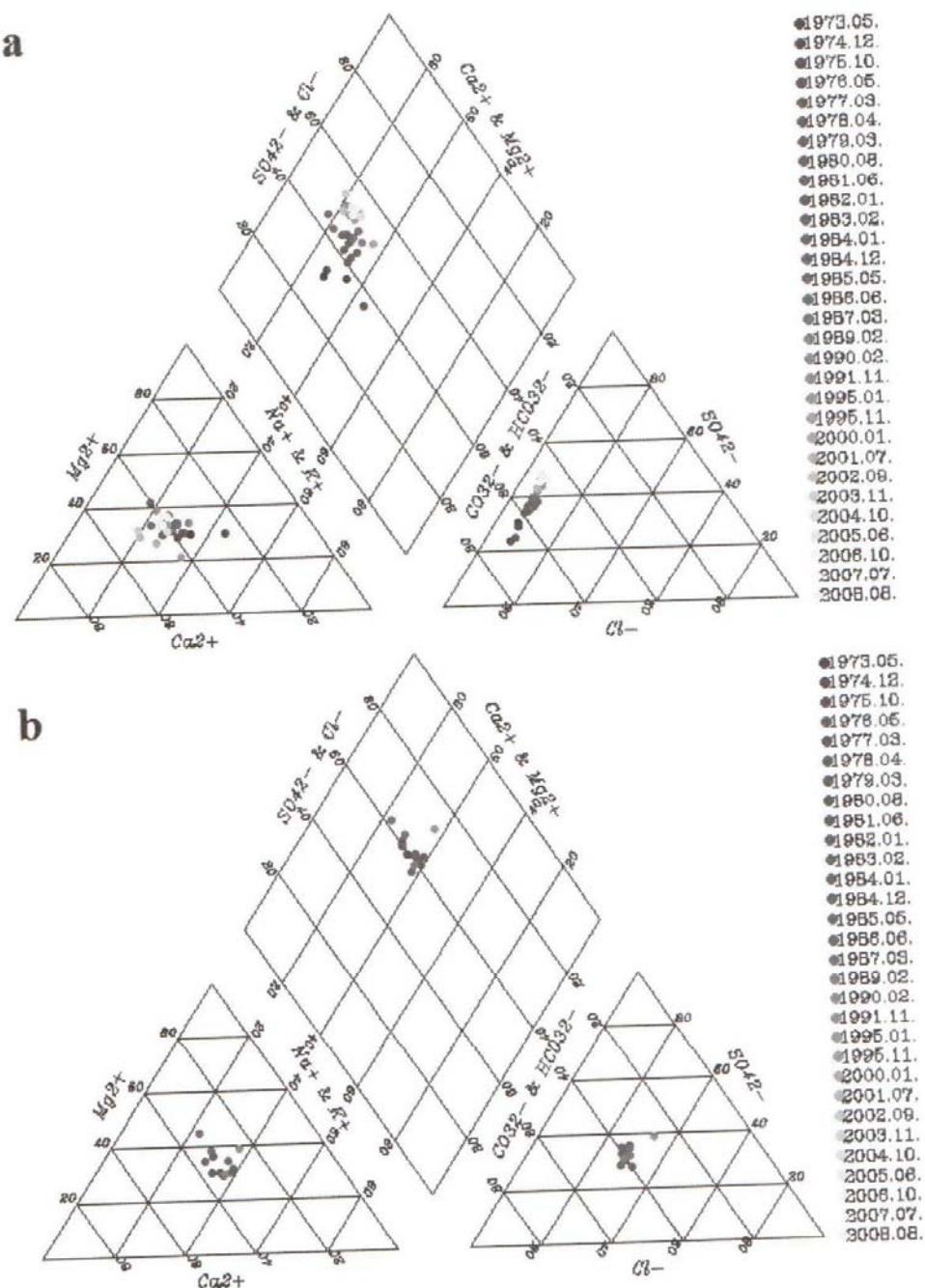
*Fig. 5. Groundwater flow directions and distribution of piezometric head in the cross-section A-B in the year 2000*

## Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas

### Centrālā daļa

Par Lielās Rīgas depresijas piltuves centru tiek uzskatīta daļa, kur pazemes ūdeņu līmeņa pazeminājums Gaujas ūdens horizontā ir vislielākais (< 10 m) un kur iegūtā ūdens daudzums laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam ir aptuveni 25% no kopējā apjoma jeb  $\frac{1}{4}$ . Šajā teritorijā pazemes ūdens sastāva izmaiņas tiek novērotas divās vietās – monitoringa postenī „Imanta” un 604. urbumu (sk. 2. a attēlu).

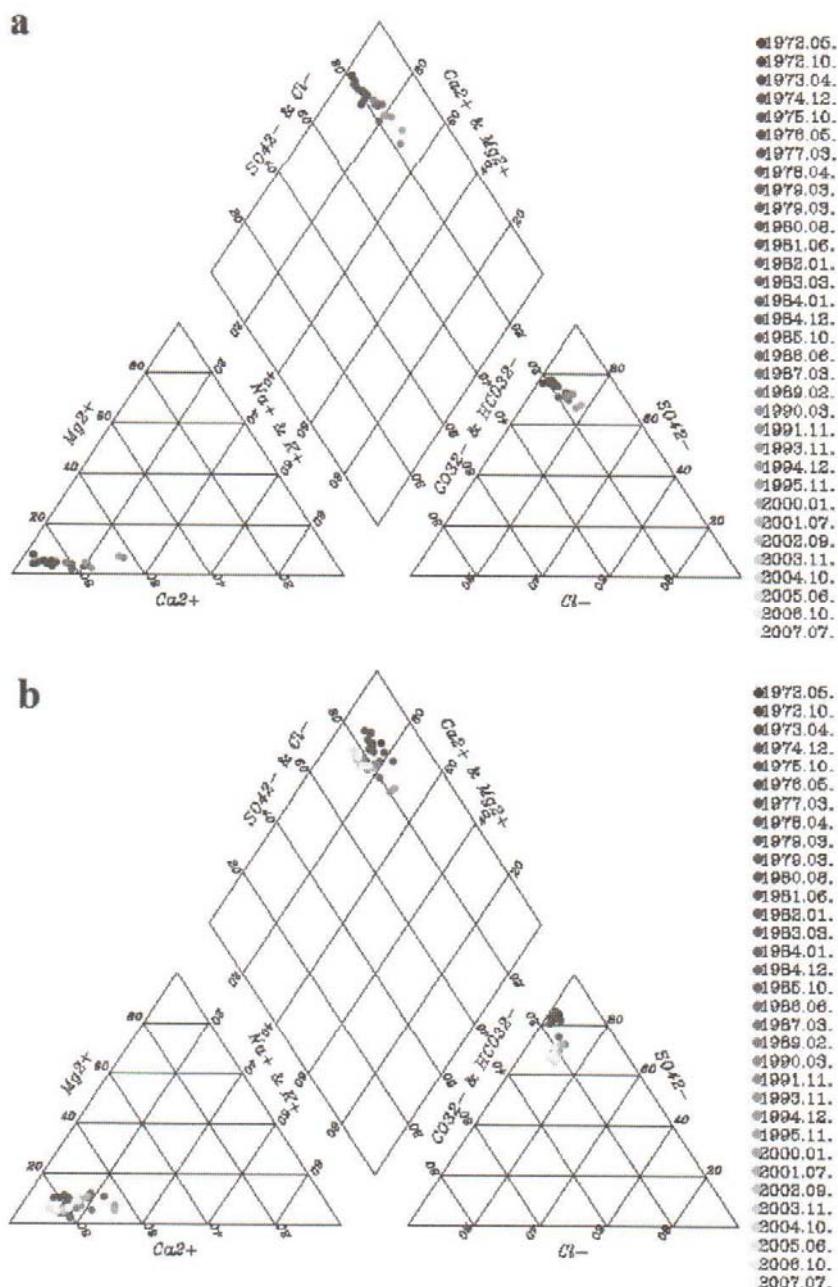
Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas ļoti ietekmē Salaspils svītas izplatība (sk. 1. attēlu). Monitoringa postenī „Imanta” ir novērojama sufātjonu koncentrācijas palielināšanās dziļāk esošajos horizontos. Savukārt 604. urbumā šī tendence nav novērojama, kaut gan pazemes ūdens līmeņa pazeminājums Gaujas horizontā ir pietiekami liels attiecībā pret statisko ūdens līmeni. Šīs sastāva atšķirības uzskatāmi var novērot Paipera diagrammās (sk. 6. attēlu).



6. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas: a) monitoringa postenis „Imanta,” 683. urbums, Gaujas ūdens horizonts; b) monitoringa urbums Nr. 604, Gaujas ūdens horizonts

Fig. 6. Changes of groundwater chemical composition a) monitoring post „Imanta”, well no. 683., Gauja aquifer; b) monitoring well no. 604., Gauja aquifer

Monitoringa posteņi „Imanta” ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas ir novērojamas vairākos horizontos. Salaspils ūdens horizontā pēdējo piecdesmit gadu laikā palielinās nātrijs un kālijs jonu īpatsvars, nedaudz pieauga arī hlorīdjonu īpatsvars (sk. 7. a attēlu). Dzīlāk ieguļ Pļaviņu ūdens horizonts, kura ūdeņos 20. gs. 70. gadu sākumā dominēja sulfātjoni, bet, sākot atjaunoties pazemes ūdens līmenim, pieauga hidrogēnkarbonātu jonu saturs, un tādējādi ūdens tips no izteikta kalcija–sulfāta tipa palēnām pāriet uz kalcija–hidrogēnkarbonāta tipa ūdeni (sk. 7. b attēlu).



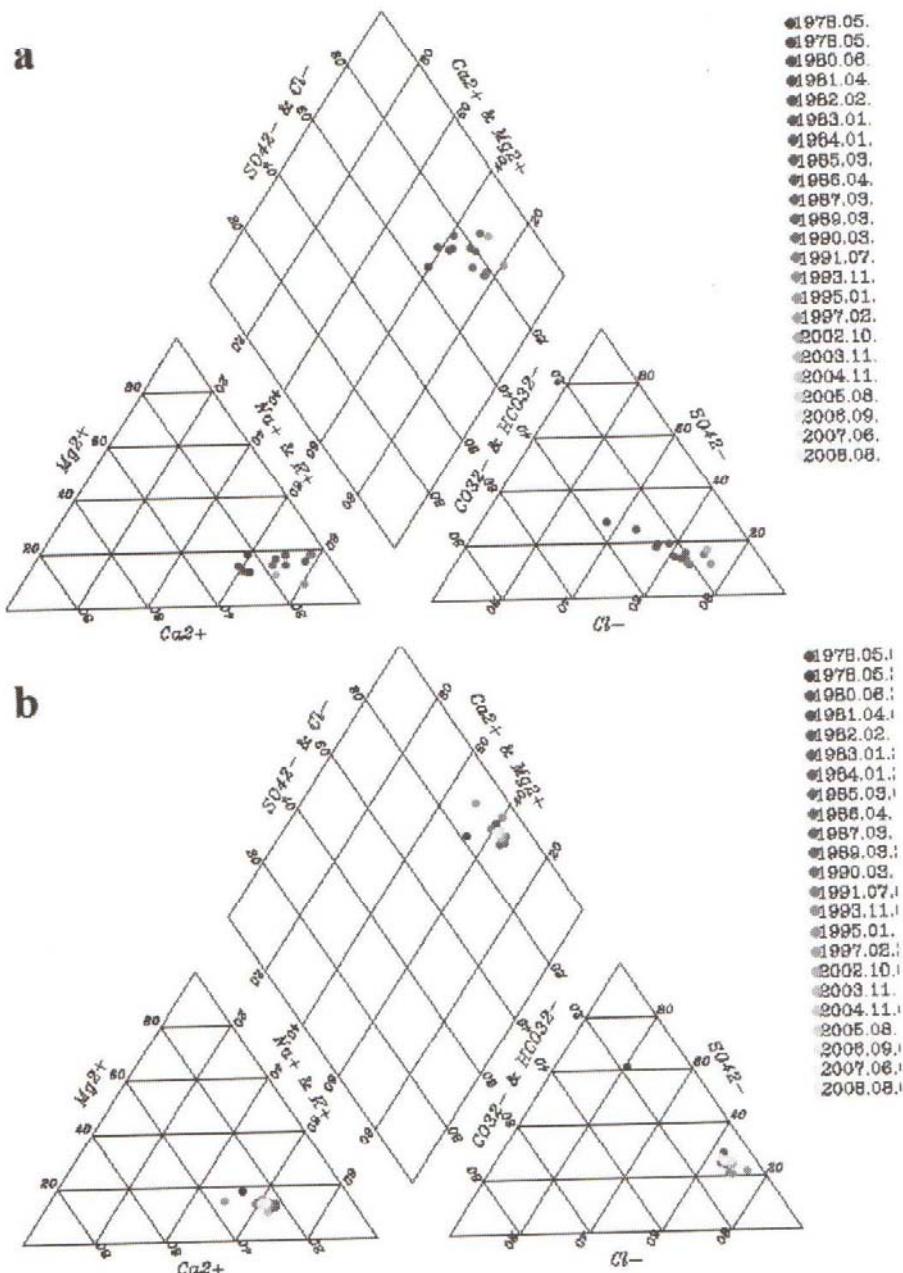
7. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas: a) monitoringa postenis „Imanta”, 687. urbums, Salaspils horizonts; b) monitoringa stacija „Imanta”, 686. urbums, Pļaviņu horizonts

*Fig. 7. Changes of groundwater chemical composition a) monitoring post „Imanta” well no.687, Salaspils aquifer; b) monitoring post „Imanta”, well no.686, Pļaviņas aquifer*

### Vidējā zona

Par depresijas piltuves vidējo zonu tiek uzskatīta teritorija, kur ūdens līmeņu pazeminājums Gaujas ūdens horizontā ir amplitūdā no 5 līdz 10 m (sk. 2. a attēlu). Monitoringa posteni „Jugla” var novērot ļoti izteiktu dzīlāko sāļudeņu intrūziju seklākajos ūdens horizontos pa lūzumzonām, ko depresijas piltuves attīstība šajā teritorijā tikai pastiprina (Levina, Levins, 2005). Gaujas ūdens horizontā periodā no 1978. līdz 2003. gadam palielinās  $\text{Cl}^-$  un  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  jonu relatīvā koncentrācija (sk. 8. attēlu). Sajaucoties ar hidrogēnkarbonātu un sulfātu pazemes ūdeņu tipiem, Gaujas horizontā veidojas pazemes ūdeņi ar augstu kalcija, magnija, nātrijs,

hidrogēnkarbonātu, sulfātu un hlorīdu koncentrāciju (Levina, Levins, 2005). Tieši Arukilas ūdens horizonts, kas iegūl saldūdens zonas apakšējā daļā un atrodas tieši virs Narvas reģionālā sprostslāņa, tiek uzskatīts par sālūdens avotu (Levina, Levins, 2005).



*8.attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa posteņi „Jugla”:*  
**a) 1502. urbums, Gaujas ūdens horizonts; b) 1504. urbums, Arukilas ūdens horizonts**  
*Fig. 8. Changes of groundwater chemical composition in monitoring post „Jugla“*  
*a) well no. 1502, Gauja aquifer; b) well no. 1504 Arukila aquifer*

Monitoringa posteņi „Mārupe” Amatas ūdens horizontā ir novērojama tendence palielināties  $\text{Ca}^{2+}$  un  $\text{SO}_4^{2-}$  jonu relatīvajai koncentrācijai. Tas liecina par Salaspils horizonta ūdens intrūziju, ko izraisījusi ūdens līmeņa pazemināšanās Gaujas horizontā, bet pašā horizontā būtiskas ķīmiskā sastāva izmaiņas nav novērojamas. Tas izskaidrojams ar urbuma slikto tehnisko stāvokli, jo, noņemot ūdens paraugu no dziļākiem horizontiem, notiek arī pietece no Salaspils ūdens horizonta.

Uz rietumiem no monitoringa posteņa „Mārupe” atrodas postenis „Tīreļi” (sk. 2. a attēlu). Šeit nav novērojamas izteiktas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā depresijas piltuves attīstības laikā. Līdzīga situācija ir novērojama monitoringa posteņi „Zaķumuiža”, kas atrodas Daugavas labajā krastā.

Monitoringa posteņi „Kalngale”, „Jūrmala” un „Carnikava” atrodas Rīgas jūras līča piekrastē (sk. 2. a attēlu). Kaut arī ūdens līmenis ir pazeminājies, kas varēja izraisīt jūras ūdens intrūziju, būtiskas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas nav konstatējamas.

Monitoringa posteņi „Baltezers” starp diviem urbumiem, kuru filtri ierīkoti Gaujas ūdens horizontā, ir novērojamas atšķirīgas ķīmiskā sastāva izmaiņas laikā. 7. urbumā, kur filtra intervāls atrodas dziļumā no -79 līdz -82 m vjl. (LVGMC bez dat.), pieaug  $\text{Ca}^{2+}$  un  $\text{SO}_4^{2-}$  jonu saturs. Savukārt 6. urbumā, kur filtrs atrodas aptuveni 30 m dziļāk, samazinās  $\text{Ca}^{2+}$  un  $\text{SO}_4^{2-}$  jonu relatīvā koncentrācija attiecībā pret pirmo šajā urbumā veikto mērījumu. Situāciju iespējams skaidrot tā, ka ūdens no Gaujas horizonta dziļākās daļas sajaucas ar ūdeni no pagulošajiem horizontiem.

Monitoringa posteņi „Jaundubulti” var novērot, ka Gaujas, Burtnieku un Arukilas ūdens horizontā ir sastopami viena tipa ūdeņi. Visos horizontos ir novērojama augstāka sulfātjonus relatīvā koncentrācija, kā avots, iespējams, ir Salaspils horizonts, jo vertikālā griezumā ir novērojama  $\text{SO}_4^{2-}$  koncentrācijas samazināšanās.

### **Perifērija (nomale)**

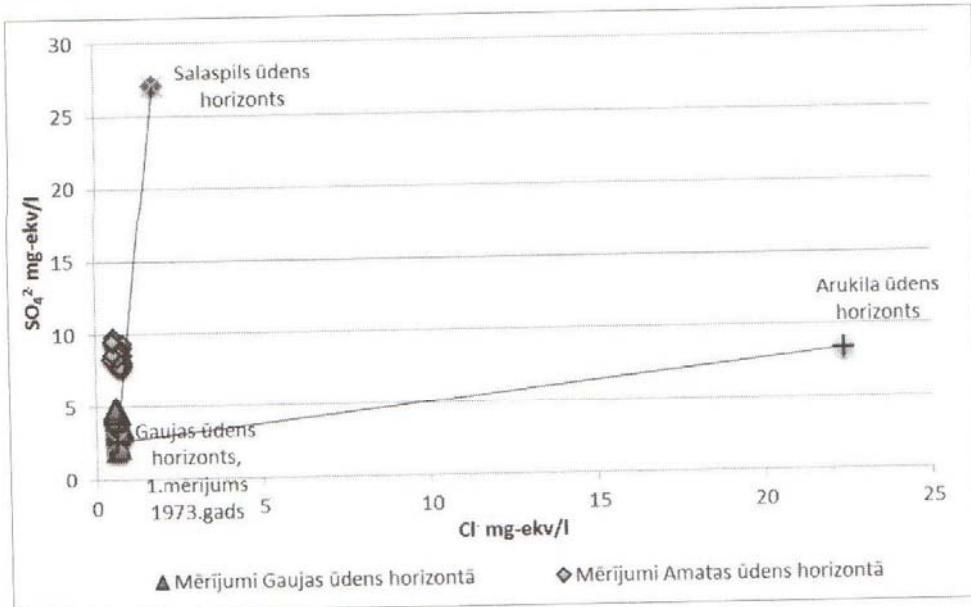
Par depresijas piltuves perifēriju tiek definēta teritorija, kur pazemes ūdeņu līmeņu izmaiņas ilgtermiņā ir ļoti minimālas. Šajā teritorijā būtiskas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas nav konstatētas. Gaujas horizontā ir pārsvarā viens ūdens tips: kalcija – hidrogēnkarbonāta. Ir atsevišķi izņēmumi, piemēram, monitoringa posteņis „Sloka”, kur sastopams kalcija–sulfātu tipa ūdens. Tas izskaidrojams ar ūdens horizonta papildināšanos no Salaspils horizonta, kur ir arī kalcija–sulfātu ūdens tips.

## **Diskusija: antropogēnā ietekme uz ūdens sastāva izmaiņām – tās mehānisms**

Pazemes ūdens resursu intensīva izmantošana un ar to saistītās izmaiņas hidrodinamiskajā sistēmā ir izplatītas daudzās urbanizētās teritorijās visā pasaulei, tās izraisa virkni dažādu problēmu, sākot ar ūdens kvalitātes problēmām līdz pat ēku deformācijai grunts sēšanās rezultātā (Bell, 1999).

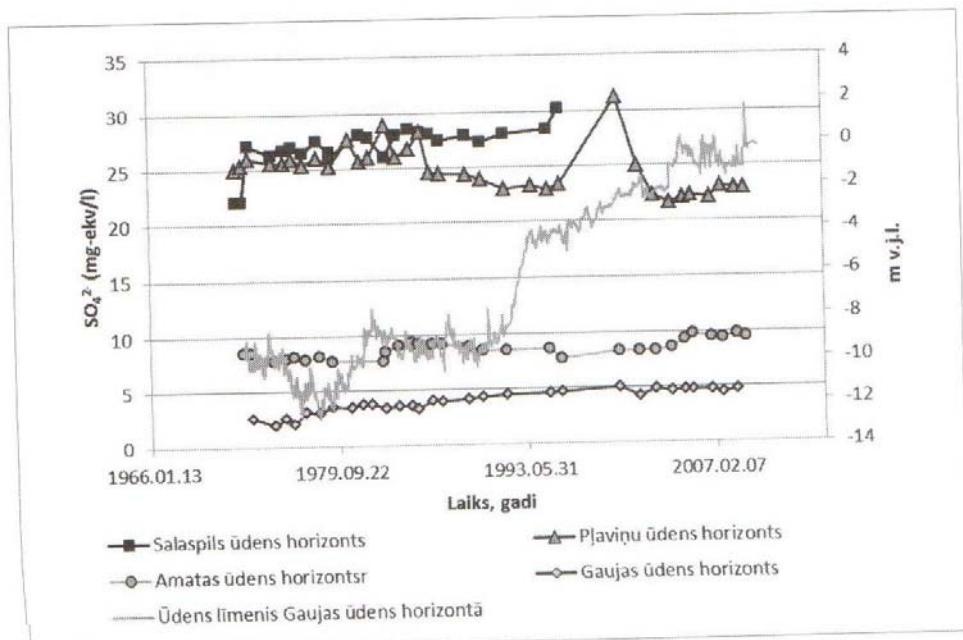
„Lielās Rīgas” gadījumā ir novērojamas būtiskas pazemes ūdens līmeņa svārstības un pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksā. Veicot monitoringa novērojumu datu analīzi, var secināt, ka pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas notikušas, sajaucoties dažādas ģenēzes un tipa ūdeņiem. Laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam depresijas piltuves centrālajā daļā iegūtais ūdens daudzums ir salīdzināms ar  $\frac{1}{4}$  no Gaujas ūdens horizonta dabiskajiem krājumiem šajā daļā. Dabisko krājumu atjaunošanās horizontā notika, tiem papildinoties ar dabiskajiem resursiem, kā arī t. s. piesaistāmajiem resursiem, kas radās horizonta ekspluatācijas rezultātā, un šajā gadījumā notika pazemes ūdeņu pārtece no seklāk un dziļāk iegūlošiem ūdens horizontiem.

Apskatot pazemes ūdens ķīmisko sastāvu piltuves centrālajā daļā ilgākā laika posmā, ir novērojamas secīgas jonu koncentrāciju izmaiņas, kas liecina par dažādu tipu ūdeņu sajaukšanos. To uzskatāmi ataino arī konstruētās līknes (sk. 9. attēlu). Pēc tām var redzēt, ka notikusi kalcija–sulfātu tipa ūdens infiltrācija dzilākajos horizontos. Bet, kā jau iepriekš minēts, tas novērojams tikai teritorijā, kur izplatīta Salaspils svīta.



9. attēls. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās monitoringa postenī „Imanta”  
 (— – sajaukšanās līkne starp Salaspils un Gaujas horizonta ūdeni,  
 - - - – sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni)

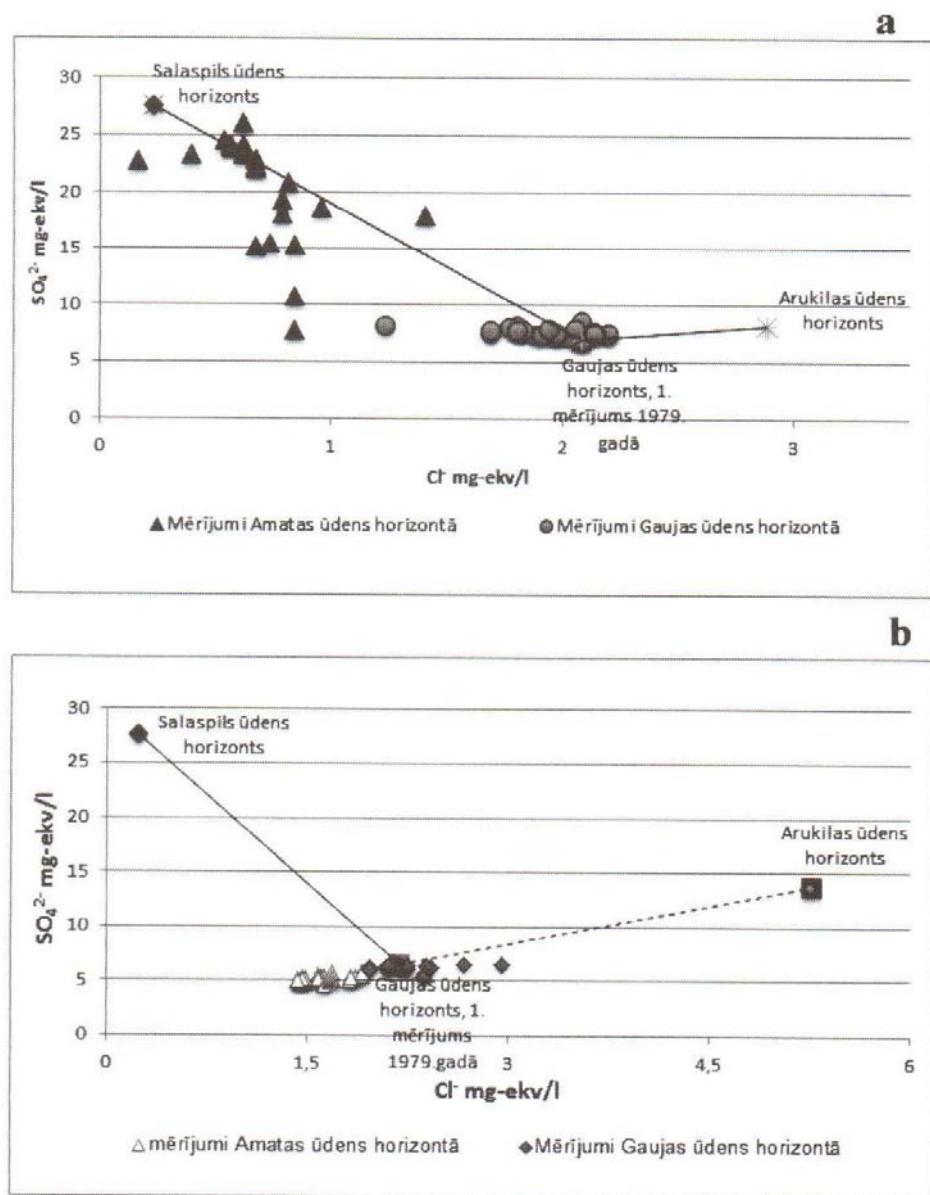
Fig. 9. Mixing of water of different types in monitoring station „Imanta”  
 (— - mixing line of water from Salaspils and Gauja aquifer,  
 - - - - mixing line of water from Arukila and Gauja aquifer)



10. attēls. Sulfātjona koncentrācijas un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņas monitoringa stacijā „Imanta”, depresijas piltuves centrālā daļa

Fig. 10. Changes of sulphate ion concentration and piezometric level of Gauja aquifer in monitoring post „Imanta”, central part of depression cone

Depresijas piltuves centrālajā daļā ir bijusi intensīvāka Salaspils horizonta ūdens intrūzija dzīlākajos ūdens horizontos. Bet, kā redzams 10. attēlā, izmaiņas Amatas un Gaujas ūdens horizontā notiek ar ievērojamu laika nobīdi attiecībā pret ūdens līmeņa izmaiņām. Tā iemesls var būt mazcaurlaidīgo iežu slāni, kas atdala pazemes ūdens horizontus (LVGMC bez dat.). Savukārt pēc sulfātjona koncentrācijas izmaiņām Pļaviņu horizontā var novērot, ka, 20. gs. 80. gadu sākumā Gaujas horizontā ūdens līmenim atjaunojoties par 4 m, lejup orientēto plūsmu intensitāte mazinās.

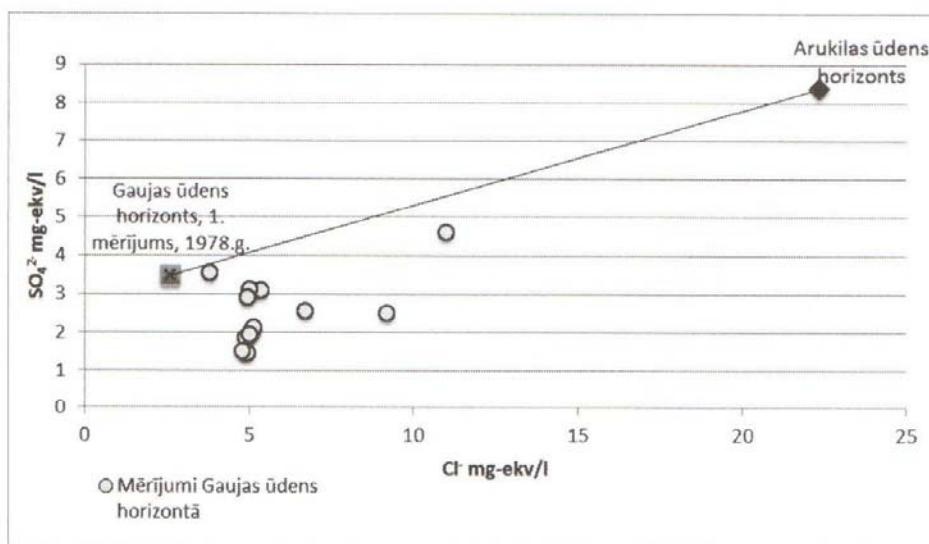


11. attēls. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās: a) monitoringa postenis „Mārupe”;  
b) monitoringa postenis „Tīreļi”  
(— – sajaukšanās līkne starp Salaspils un Gaujas horizonta ūdeni;  
--- – sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni)

Fig. 11. Mixing of water of different types a) monitoring post „Mārupe”;  
b) monitorin station „Tīreļi”  
(— - mixing curve of water from Salaspils un Gaujas aquifer,  
--- - mixing line of water from Arukila un Gaujas aquifer)

Depresijas piltuves vidējā zonā, monitoringa postenī „Mārupe” Amatas horizontā, ir novērojama laba korelācija starp sulfātjonus un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņām, ko raksturo determinācijas koeficients, kura vērtība ir 0,75. Iepriekšējos pētījumos šīs izmaiņas skaidrotas ar nekvalitatīvi ierīkotu monitoringa urbumu (Semjonovs, 1997). Šis apgalvojums varētu būt patiess, jo dzīlākajā Gaujas horizontā sulfātjona koncentrācijas pieaugums nav novērojams. Arī apskatot sajaukšanās līknes starp Arukilas, Gaujas un Salaspils horizonta ūdeni monitoringa postenī „Mārupe” un „Tīreļi”, kur hidrogeoloģiskie apstākļi ir līdzīgi (sk. 11. attēlu), var novērot, ka „Tīreļos” pazemes ūdens ķīmiskais sastāvs Amatas horizontā mainījies, sajaucoties ar kalcija–hidrogēnkarbonāta tipa ūdeni. Par iespējamo avotu tiek uzskatīts Pļaviņu horizonts.

Iepriekšējos pētījumos monitoringa postenī „Jugla” ir konstatēta Arukilas horizonta ūdens intrūzija Gaujas horizontā (Levina, Levins, 2006). To arī labi ataino izveidotā sajaukšanās līkne, starp Gaujas un Arukilas horizonta ūdeni (sk. 12. attēlu).



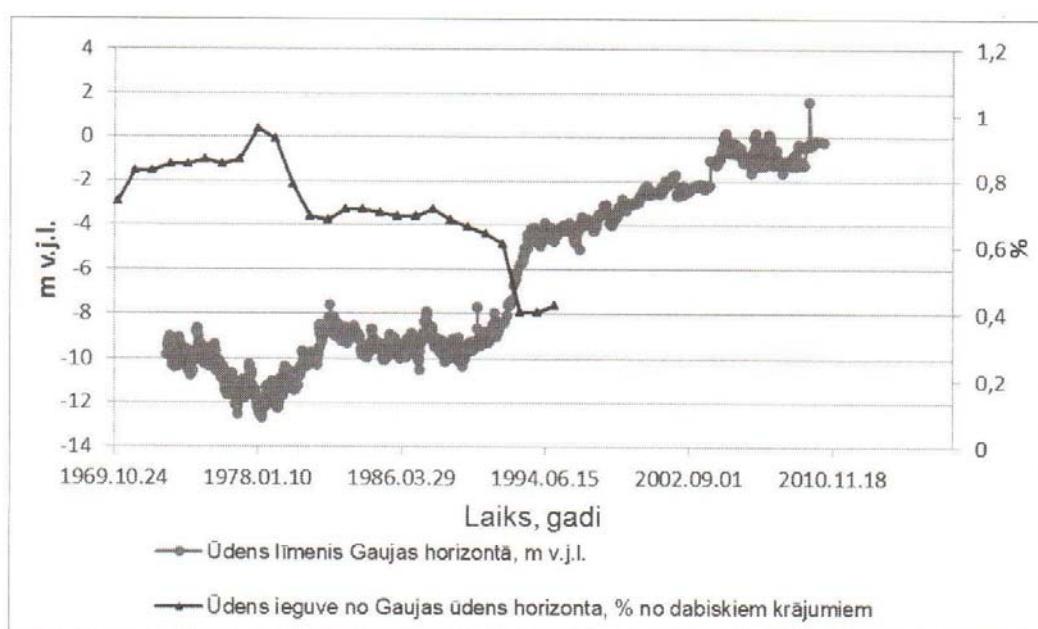
12. attēls. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās monitoringa postenī „Jugla”  
— – sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni)

Fig. 12. Mixing of water of different types in monitoring post „Jugla”  
— - mixing line of water from Arukilas un Gaujas aquifer)

Ūdens pārtece no citiem horizontiem ir izskaidrojama ar ekspluatētā horizonta vajadzību pēc papildu resursiem. To piemin arī Custodio (2002), norādot, ka ekspluatācijas periodā papildināšanās process ir vēl lielāks nekā dabiskajos, cilvēka darbības neizmainītajos hidrogeoloģiskajos apstākļos. Pēc sajaukšanās līknēm var redzēt, ka lielāka dažādu ūdens tipu sajaukšanās ir raksturīga vienā ūdens kompleksā, jo reģionālā ūdens plūsma ekspluatācijas horizontā sajaucas ar hidrauliski ciešāk saistītiem horizontiem (Esteller et al., 2010). Depresijas piltuves teritorijā nav novērojama papildu barošanās no Rīgas jūras līča, kā tas ir raksturīgs daudzās urbanizētās teritorijās, kas atrodas pie jūrām, okeāniem. Šis process ir novērojams tikai aktīvās ūdens apmaiņas zonas augšējos ūdens horizontos, kur jūras ūdens intrūzija notiek caur Daugavas gultni (Levins u. c., 1998). Tam par iemeslu ir fakts, ka Rīgas reģionam salīdzinājumā ar Liepāju ir labāki hidrogeoloģiskie

apstākļi. Rīgā un tās apkārtnē Arukilas–Amatas ūdens kompleksu Rīgas jūras līcī pārsedz ūdensnecaurlaidīgs mālu un aleirītu slānis (Semjonovs, 1997).

Viens no lūzuma punktiem depresijas piltuves attīstībai ir 20. gs. 70. gadi. Tā kā ievērojami kritās ūdens līmenis un bija vajadzība pēc lielākiem dzeramā ūdens resursiem, tika samazināta ūdens ieguve no Gaujas horizonta, paralēli palielinot virszemes ūdeņu īpatsvaru ūdensapgādē (Levins, 1999). Iespējams, līdz šim periodam arī notika ūdens pārtece no citiem horizontiem. Savukārt otrs lūzuma punkts ir 20. gs. 90. gadu sākums, kad samazinās pazemes ūdens patēriņš industriālām vajadzībām. 13. attēlā uzskatāmi var redzēt, ka centrālajā daļā ūdens ieguves ietekme uz pjezometriskā līmeņa svārstībām Gaujas horizontā ir tieša un bez izteiktas laika nobīdes.



13. attēls. Ūdens ieguves un ūdens līmeņa izmaiņas Gaujas ūdens horizontā monitoringa posteņā „Imanta”

Fig. 13. Water extraction and groundwater level changes in Gauja aquifer in monitoring station „Imanta”

Vēl viena no depresijas piltuves teritorijā sastopamajām problēmām ir pazemes ūdens piesārņojums antropogēnās darbības rezultātā. Salaspils horizontā monitoringa posteņā „Imanta” laika gaitā secīgi palielinās  $\text{Na}^+$  un  $\text{Cl}^-$  jonu relatīvā koncentrācija (sk. 7. a attēlu). Tā kā dziļākajos horizontos šādas izmaiņas nav novērojamas, tiek pieņemts, ka šo jonu avots varētu būt sāls, ko izmanto ielu kaisīšanai, vai arī radies no citiem cilvēka saimnieciskās darbības izraisītiem procesiem, kas var paaugstināt hlorīdu koncentrāciju (Kegabu et al., 2011; Esteller et al., 2010). Virs Salaspils svītas uzguļ smilšmāls, kura biezums ir ~ 4 m, bet virs tā atrodas aptuveni 10 m biezs smilts slānis (LVĢMC bez dat.). Pēc A. Dēliņas un J. Prola 1998 gadā izstrādātajiem kritējiem (Dēliņa, 2007), smiltīj dabiskās aizsargātības pakāpe ir vāja, savukārt morēnas smilšmālam – augsta. Nemot vērā kvartāra nogulumu biezumu un dabiskās aizsargātības kritērijus, Salaspils horizonta ūdens kvalitāti piesārņojumam nevajadzētu ietekmēt. Tomēr novērojumi liecina par pretējo, tāpēc pastāv iespēja, ka notiek tieša pazemes ūdeņu papildināšanās ar virszemes ūdeņiem.

## Secinājumi

- Ūdens ieguves izmaiņas bez būtiskas laika nobīdes ietekmē pazemes ūdens līmeņa pazemināšanos un atjaunošanos.
- Gaujas ūdens horizonts centrālajā daļā galvenokārt papildinās no pārsedzošajiem ūdens horizontiem, bet vidus zonā – no dziļāk esošajiem Arukilas un Burtnieku ūdens horizonta.
- Savstarpēji hidrauliski nošķirtos ūdens horizontu kompleksos, kā Arukilas–Amatas un Pļaviņu–Amulas, ķīmiskā sastāva izmaiņas depresijas piltuves centrālajā daļā parādās ar laika nobīdi.
- Hidrauliski saistītos pazemes ūdens horizontos ūdens līmeņa pazemināšanas dēļ ķīmiskā sastāva izmaiņas notiek ar maznozīmīgu laika nobīdi.

## Pateicības

Pētījums veikts ar projekta Nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060 „Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļa sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” finansiālo atbalstu.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Bell, F. G. 1999. *Geological hazards: their assessment, avoidance and mitigation*. E & FN Spon, London. 648 p.
- Charef, A., Ayed, L., Azzouzi, R. 2011. *Impact of natural and human processes on the hydrochemical evolution of overexploited coastal groundwater: Case study of the Mornag aquifer refill (South-East Tunis, Tunisia)*. Chemie Erde - Geochemistry.
- Custodio, E. 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology Journal*, 10, 254–277.
- Dēliņa, A. 2007. *Kvartārsegas pazemes ūdeņi Latvijā*. Rīga, Latvijas Universitāte. 52 lpp.
- Domenico, P. A., Schwartz, F. W. 1998. *Physical and chemical hydrogeology*. Second edition. John Wiley & Sons, New York. 502 p.
- Esteller, M. V., Rodriguez, R., Cardona, A., Padilla-Sanochez, L. 2010. Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico. *Environmental monitoring and assessment*. Published online: 14 October 2011.
- Jansons, A., Bendrupe, L., Turkina, L. 1965. *Pārskats par 1:50 000 mēroga kompleksu ģeoloģisko un hidrogeoloģisko kartēšanu, lapas O-35-97-V un O-35-109-A (Daugavas kartēšanas grupa)*, 1963.–65. g. Geoloģijas pārvalde, Rīga. 1151 lpp.
- Jansons, A., Bendrupe, L., Turkina, L. 1971. *Pārskats par hidrogeoloģisko kartēšanu 1:50 000 mērogā Jūrmalas pilsētas ūdensapgādei, lapas 0-34-107-G, 0-34-119-B un 0-34-120-A,B*, 1967.–1971. g. Geoloģijas pārvalde, Rīga. 812 lpp.
- Juškevičs, V., Mūrnieks, A., Misāns, J. 1999. *Latvijas ģeoloģiskā karte, mērogs 1:200000, 42. lapa – Jūrmala*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 52 lpp.
- Kegabu, M., Shimada, J., Delinom, R., Tsujimura, M., Taniguchi, M. 2011. Groundwater flow system under a rapidly urbanizing coastal city as determined by hydrogeochemistry. *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 40, 226–239 p.
- Klints, I., Virbulis, J., Dēliņa, A. 2012. *Influence of water abstraction on groundwater flow in the BAB*. Groundwater in Sedimentary Basins Abstract book. Riga. 48 p.

12. Levina, N. 1996. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1995. g.* Informatīvs pārskats. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 31 lpp.
13. Levina, N. 1997. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1996. g.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 46 lpp.
14. Levina, N., Levins, I., Gaile, R., Cīrulis, A. 1998. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1997. gads.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 55 lpp.
15. Levina, N., Levins, I. 2005. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings, 2004. gads.* Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga. 345 lpp.
16. Levina, N., Levins, I. 2006. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings, 2005. gads.* Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga. 335 lpp.
17. Levina, N., Levins, I., Gaile, R., Cīrulis, A. 1998. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1997. gads.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 55 lpp.
18. Levins, I. 1990. *Latvijas hidroķīmiskā karte 1:500 000 mērogā. Materiāli tēmai „Baltijas republiku hidrogeoķīmiskās un inženiergeoloģiskās kartes sastādīšana 1:500 000 mērogā.”* Latvijas ģeoloģija, Rīga. 95 lpp.
19. Levins, I. 1999. *Nacionālā plānojuma sadaļas „Pazemes ūdeņu bilance un kvalitāte” II etaps (Latvijas dzeramo pazemes ūdeņu karte. Pazemes ūdeņu aizsargātības karte).* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 30 lpp.
20. Levins, I., Levina, N., Gavena, I. 1998. *Latvijas pazemes ūdeņu resursi.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 24 lpp.
21. LVĢMC [Bez dat.] DB „hmetlimeni” (Latvijas urbumu datubāze) Sk. 15.02.2012.
22. PAIC. 2002. *HiFiGeo v.3.5 for Windows 95/98/2000/NT/XP.* Lietotāja rokasgrāmata, 67.
23. Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Jõeleht, A., Karro, E., Marandi, A., Savitskaja, L. 2009. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian–Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology* 258. 219–231 p.
24. Semjonovs, I. 1997. *Pazemes ūdeņu aizsardzība Latvijā.* Gandrs. Rīga. 463 lpp.
25. Seņķikovs, J. 2011. Baltijas artēziskā baseina matemātiskais modelis. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference. Geoloģijas sekcijas apakšsekcija „Baltijas artēziskā baseina pazemes ūdeņi.” Referātu tēzes.* Rīga, Latvijas Universitāte, 7.–9. lpp.
26. Webster, R., Oliver, M. A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists.* Second Edition. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 315 p.

## Summary

This study analyses the groundwater chemical composition changes in the depression cone in the Riga region. In the study, long-term monitoring data from „Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre” database has been used to track groundwater chemical changes in aquifers of active water exchange zone, to establish the influence of anthropogenic factor and possible sources that supplement the exploitation aquifers. Changes in groundwater flow in the area of the depression cone were studied using a hydrogeological model. Significant changes in water chemical composition in areas, where lowering of piezometric surface was sufficient to cause stronger downward flow from upper aquifers and in hydrogeological cross-section of active water exchange zone different types of water are determined.

**Keywords:** depression cone, Piper diagram, chemical composition of water, water extraction.