

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZĒMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

LIETIŠĶĀS ĢEOLOĢIJAS KATEDRA

**PAZEMES ŪDENS SASTĀVA IZMAIŅAS AKTĪVĀS ŪDENS
APMAIŅAS ZONĀ "LIELĀS RĪGAS" DEPRESIJAS PILTUVES
TERITORIJĀ**

MAĢISTRA DARBS

Autors: **Baiba Raga**
Stud. apl. br06007
Darba vadītājs: Dr. geol. Andis Kalvāns

RĪGA 2012

ANOTĀCIJA

Maģistra darbā pētītas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā Rīgas reģionā. Pētījumā izmantoti dati par pamatjonu koncentrāciju (mg/l) un pazemes ūdens līmeņu izmaiņām no „Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra” datubāzes. Iegūtā informācija aptver aptuveni 50 gadus ilgu laika periodu. Pazemes ūdeņu plūsmu raksturošanai un izpētei izmantots arī matemātiskais hidroģeoloģiskais modelis, kas izstrādāts projekta „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” ietvaros. Pētījuma mērķis ir noteikt kā mainījies pazemes ūdens ķīmiskais sastāvs depresijas piltuves attīstības laikā, novērtējot antropogēnā mehānisma ietekmi un ūdens avotus, kas papildina ekspluatācijas horizontus. Rezultāti liecina, ka ievērojamākās sastāva izmaiņas notiek teritorijās, kur aktīvās apmaiņas zonas hidroģeoloģiskajā griezumā sastopami dažāda tipa ūdeņi, kuru savstarpējo sajaukšanos izraisa pazemes ūdens plūsmas vertikālās komponentes pastiprināšanās.

Atslēgvārdi: depresijas piltuve, Paipera diagramma, pamatjoni, ūdens ķīmiskais sastāvs, ūdensieguve

ANNOTATION

In master thesis a groundwater chemical composition changes in depression cone in Riga region are analysed. In the study, long – term monitoring data about concentration of major ions (mg/l) and groundwater level from „Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre" database has been used to track groundwater chemical changes in aquifers of active water exchange zone. For characterization and study of groundwater flow hydrogeological 3D numerical model was used created within the project “„Establishment of interdisciplinary scientist group and modelling system for groundwater research”. The aim of the study is to define how the groundwater composition changes during the development of cone of depression, to establish the influence of anthropogenic factors and possible sources that supplement recharge the exploitation aquifers.

Significant changes of water chemical composition are 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, major ions, chemical composition of water, water extraction

SATURS

IEVADS	6
1. IEPRIEKŠĒJIE PĒTĪJUMI	8
2. PAZEMES ŪDEŅU RAKSTUROJUMS	13
2.1. Pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs	13
2.2. Pazemes ūdens plūsma.....	16
2.3. Vietas migrācija pazemes ūdeņos	19
3. PĒTĪJUMA TERITORIJAS RAKSTUROJUMS	21
3.1. Vispārīgs raksturojums	21
3.2. Teritorijas ģeoloģiskie apstākļi	21
3.3. Hidroģeoloģiskie apstākļi	26
3.4. Pazemes ūdeņu monitorings	29
4. MATERIĀLI UN METODES	31
4.1. Literatūras studijas	31
4.2. Kamerālie darbi.....	31
4.2.1. Pētījumā izmantotie dati.....	31
4.2.2. Datu statistiskās apstrādes metode	32
4.2.3. Grafiskās analīzes metode un ūdens tipa noteikšana	35
4.3.4. Pazemes ūdens līmeņu un plūsmu vizualizācija	37
4.2.5. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās	38
4.2.6. Kartogrāfiskā materiāla izveide	39
4.3. Depresijas piltuves iedalījums	40
5. PAZEMES ŪDENS ĶĪMISKĀ SASTĀVA IZMAIŅAS DEPRESIJAS PILTUVES TERITORIJĀ	43
5.1. Pētījuma teritorijas zonējums.....	43
5.2. Līmeņu un plūsmas izmaiņas 50 gadu periodā	44
5.3. Pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva izmaiņas	47
5.3.1. „Lielās Rīgas” centrālā zona.....	47
5.3.2. „Lielās Rīgas” vidus zona.....	54
5.3.3. „Lielās Rīgas” nomale jeb perifērija	64
6. DISKUSIJA	68
SECINĀJUMI	74
PATEICĪBAS	75
LITERATŪRAS SARAKSTS	76
PIELIKUMI	82

Darbā izmantotie apzīmējumi

LVĢMC – Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs

PUMA – projekts „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem”, līguma nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/06

REMO – Reģionālais modelis „Lielā Rīga” (Spalviņš u.c., 1996)

IEVADS

Latvijā pazemes ūdeņi ir viena no tās bagātībām, jo bez ūdens nav iedomājama cilvēku eksistence, kā arī tas ir nozīmīgs resurss saimnieciskajai un ekonomiskajai attīstībai. Daudzas urbanizētās teritorijas 20. gadsimtā saskārās ar dzeramā ūdens kvalitātes izmaiņām intensīvi un brīžiem neapdomāti ekspluatējot pazemes ūdeņus. Lai risinātu ar ūdensapgādi saistītās problēmas, attīstījās jauna nozare – ūdens apsaimniekošana. Tās galvenais uzdevums ir rūpēties par efektīvu un ilgtspējīgu ūdens resursu izmantošanu (Hildering, 2006). Neefektīva ūdens resursu izmantošana var ne tikai novest pie ievērojamām ūdens kvalitātes un kvantitātes izmaiņām, bet arī atstāt negatīvu ietekmi uz citām dabas sistēmām, un nopietnākos gadījumos pat izraisīt ekoloģiskas problēmas.

Arī Latvijas teritorijā ir novērojamas pārāk intensīvas pazemes ūdens ekspluatācijas sekas. Viens no piemēriem ir Rīgas apkārtnē. Sākot no 20. gs. 60-tajiem gadiem palielinoties iedzīvotāju skaitam, kā arī rūpniecības attīstībai un koncentrācijai Rīgā, bija galvenie problēmas cēloņi, jo sākās intensīva pazemes dzeramā ūdens ieguve no aktīvās apmaiņas zonas, pamatā no Gaujas ūdens horizonta, kas ir daļa no Arukilas-Amatas vidus un augšdevona vecuma terīgēno nogulumu veidotā pazemes ūdens horizontu kompleksa. Tā rezultātā notika pjezometriskā līmeņa pazemināšanās ekspluatētajā ūdens horizontu kompleksā un izveidojās pazemes ūdens līmeņa depresijas piltuve, kas savu maksimālo izplatību sasniedza 70-to gadu beigās, kad Gaujas ūdens horizontā pjezometriskais pazemes ūdens līmenis nokritās līdz -16,55 m zem jūras līmeņa (Levina un Levins, 2005).

Pētījumā tiek apskatīta teritorija aptuveni 50 km rādiusā ap Rīgu, kas ietver sevī aptuvenās depresijas piltuves robežas, tās maksimālās izplatības laikā 20. gadsimta 70-to gadu beigās. Tā kā Rīgas reģions pieder pie vislielākās urbanizētās teritorijas Latvijā ar aptuveni 700 000 iedzīvotājiem (Rīgas pašvaldības portāls, 2009), tā rezultātā ir būtiski novērtēt pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas tendences un ātrumus, kā arī antropogēnās darbības ietekmi uz šo procesu attīstību.

Maģistra darba **mērķis** ir noskaidrot pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas attīstoties depresijas piltuvei Rīgas apkārtnē.

Mērķa sasniegšanai ir izvirzīti darba uzdevumi:

- iepazīties ar iepriekšējiem pētījumiem;
- apkopot nepieciešamos datus par ūdens ķīmisko sastāvu un pazemes ūdens līmeņiem no LVGMC datu bāzes;
- veikt datu statistisko analīzi, lai izslēgtu kļūdainos mērījumus;
- veikt datu interpretāciju un analīzi;

- izmantot hidroģeoloģisko modeli, lai novērtētu hidroģeoloģisko apstākļu izmaiņas depresijas piltuves teritorijā dažādos laika posmos.

Maģistra darbs sastāv no 80 lappusēm, to papildina 41 attēli un 8 tabulas. Darbam pievienoti 4 pielikumi. Maģistra darba izstrādē izmantoti 36 publicētie, 19 nepublicētie avoti, kā arī 6 interneta resursi un 3 Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes ģeotelpisko datu WMS servisa resursi.

Pētījumā iegūtie pirmie rezultāti ir aprobēti mutiskajā ziņojumā Latvijas Universitātes 70. Zinātniskajā konferencē (Raga et.al., 2012a), kā arī stenda ziņojumā „European Geosciences Union General Assembly” starptautiskajā konferencē 2012. gadā (Raga et.al., 2012b). Tāpat par pētījumu ir iesniegta publikācija Latvijas Universitātes rakstu krājumam „Zemes un Vides zinātņu sērijai” ar nosaukumu „Pamatjonu koncentrācijas izmaiņas pazemes ūdeņos attīstoties depresijas piltuvei Rīgas apkārtnē.”

Maģistra darbs tiek izstrādāts ESF aktivitātes „Cilvēkresursu piesaiste zinātnei” projekta „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” projekta nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060 ietvaros.

1. IEPRIEKŠĒJIE PĒTĪJUMI

Ilgstoša un intensīva decentralizētās ūdensgūtnes urbumu izmantošana Rīgas ūdensapgādē izsauca Arukilas – Amatas ūdens kompleksa līmeņu pakāpenisku pazemināšanos un depresijas piltuves veidošanos visā Rīgas pilsētas teritorijā (Jankins u.c., 1993). Pirmās pazīmes par artēzisko ūdens līmeņu izmaiņām ekspluatācijas rezultātā Arukilas – Amatas ūdens kompleksa Gaujas ūdens horizontā tiek novērotas jau 20. gs. 60-to gadu sākumā, kad līmeņu pazeminājums ir vien tikai daži metri (Jevdajeva, 1960; Толстов и Левина, 1976). Bet jau 20. gadsimta 70-tajos gados ūdens līmeņu pazeminājums ir tik ievērojams, ka notiek starphorizontu pārtece, kas pasliktina ūdens kvalitāti (Levins, 1999). Laika posmā no 1960. līdz 1975. gadam tiek novērota ūdens līmeņa pazemināšanās visā Rīgas teritorijā 0,2 – 2,7 m/gadā. Tā rezultātā tiek arī novērotas režīma izmaiņas arī kvartāra nogulumu pazemes ūdeņos (Толстов и Левина, 1976). Tāpat šajā laika posmā depresijas piltuves izmēri palielinās, jo Arukilas – Amatas kompleksu ūdensapgādē intensīvi sāk izmantot arī Rīgas apkārtnē, un depresijas piltuves diametrs ievērojami paplašinās, un šo teritoriju sāk dēvēt par „Lielo Rīgu” (Semjonovs, 1997; Jankins u.c., 1993). Sākot no 20. gs. 70-to gadu otras puses sāk samazināt pazemes ūdens ieguves apjomus, jo paralēli sāk intensīvāk izmantot virszemes ūdeņus no Rīgas HES ūdenskrātuves. Savukārt sākot no 20. gadsimta 90-to gadu sākuma pazemes ūdens ieguves apjomi ievērojami samazinājās dēļ ekonomiskās darbības apsūkuma. Tā rezultātā ir konstatējama spiediena celšanās ūdens horizontos, kas liecina par depresijas piltuves samazināšanos (vērsumā), tomēr atsevišķi lokālie depresijas piltuves centri joprojām saglabājas (Levins, 1999; Levina, 2001). Katrā ikgadējā atskaitē par „Pazemes ūdeņu pamatmonitoringu”(Levina, 1996; Levina un Levins, 2006; Levina, 2002; Levina, 1997) kopš 90-tajiem tiek analizēta situācija Rīgas teritorijā, kur novērojams traucēts pazemes ūdeņu režīms. Šīs atskaites sagatavo LVĢMC, ar mērķi novērtēt pazemes ūdeņu kvantitātes un kvalitātes stāvokli, kā arī balstoties uz iegūtajiem datiem kontrolēt pazemes ūdeņu reģionālās izmaiņas un noteikt pazemes ūdeņu kvantitātes un kvalitātes izmaiņu likumsakarības (LVĢMC portāls, bez. dat.). Uzskatāmi ūdens līmeņa izmaiņas depresijas piltuves teritorijā var redzēt 1.1. tabulā, kur parādīts, ka Gaujas un Amatas ūdens horizontā gan centrālajā daļā, gan nomalē notiek līmeņu atjaunošanās. Savukārt „Lielupes” postenis ir ievērojams ar to, ka šeit novērojama divu ūdensgūtnu mijiedarbība (Rīgas un Jelgavas), kā rezultātā arī Gaujas ūdens horizontā līmeņa pazeminājums ir lielāks nekā tuvāk esošajā „Mārupes” stacijā.

Pazemes ūdeņu līmeņu atjaunošanās depresijas piltuves teritorijā (izstrādājusi autore pēc
Levina un Levins, 2006; Levina, 2002; Levina, 1997; Levina, 1996 datiem)

Urbuma nr.	Ūdens horizonts		Pazemes ūdeņu līmenis, absolūtajās atzīmēs, m			
		Min. gada līm., gads	1990.g.	1995.g.	2000.g.	2005.g.
Piltuves centrs - Imanta						
688	Q	6,31 1984	6,71	-	6,66	6,46
686	D ₃ <i>pl</i>	1,27 1973	2,69	-	3,66	4,6
685	D ₃ <i>am</i>	-9,16 1978	-6,48	-	-1,69	2,53
684	D ₃ <i>am</i>	-9,16 1978	-8,22	-	-1,88	1,33
683	D ₃ <i>gj</i>	-11,88 1978	-9,2	-6,44	-2,4	-0,56
682	D ₃ <i>gj</i>	-16,55 1978	-13,72	-	-4,07	-1,72
Piltuves nomale (8 km no centra) - Jugla						
1505	Q	0,45 1979	0,65	-	0,84	0,38
1501	D ₃ <i>gj</i>	-2,37 1979	-1,61	-	0,85	1,16
1503	D ₃ <i>gj</i>	-4,51 1979	-3,23	-0,55	0,19	0,75
1502	D ₃ <i>gj</i>	-4,56 1979	-2,75	-	0,46	1,34
1500	D ₂ <i>br</i>	-5,36 1979	-3,94	-	0,53	1,34
1504	D ₂ <i>br</i>	-5,45 1979	3,96	-	0,49	0,88
Piltuves nomale (28km no centra) - Lielupe						
689	D ₃ <i>gj</i>	-8,89 1991	-8,35	-4,49	0,92	3,58

Ūdens līmeņu izmaiņas ūdens ieguves rezultātā Rīgas reģionā izmainīja pazemes ūdeņu vertikālo apmaiņu. Arukilas – Amatas ūdens kompleksa līmeņu pazemināšanās rezultātā ir kritušies arī pārsedzošā Pļaviņu ūdens horizonta līmeņi (tab. 1.1.). Tā rezultātā pastiprinājās lejup orientētas plūsmas no Salaspils ūdens horizonta, kas izraisīja ūdens kvalitātes izmaiņas Gaujas un Amatas ūdens horizontos, jo pieauga sulfātu jonu koncentrācija. Šīs izmaiņas uzskatāmi ir novērojamas tikai „Imantas” postenī Rīgā, kur sulfātjonu koncentrācija Gaujas horizontā 1970. – 90.-to gadu laikā pastāvīgi pieaug ar ātrumu 7 – 8 mg/l. Tā rezultātā sulfātu saturs palielinājās no 100 līdz 230 mg/l. Par avotu tiek uzskatīts seklāk iegulošais Salaspils horizonts. Tāpat tiek norādīts, ka aplūkojot sulfātjonu koncentrācijas ilggadīgās tendences, tās var izmatot, kā pazemes ūdeņu bilances izmaiņu indikatoru (Levina un Levins, 2005; Jankins u.c., 1993). Arī Arsenjeva J. savā bakalaura darbā (2009) konstatē sulfātu jonu pieaugumu Arukilas – Amatas ūdens kompleksā, un kā izskaidrojumu tam min dabiskā līmeņa izmaiņas, kā rezultātā notiek ūdens infiltrācija no Salaspils horizonta.

Jau iepriekšējos pētījumos 20. gs. 60 - tajos un 70 – tajos gados ir novērotas paaugstinātas hlorīdjona koncentrācijas Pļaviņu ūdens horizontā joslā gar Daugavu, kā arī

Arukilas – Amatas ūdens kompleksa dziļākajā daļā (Толстов и Левина, 1976). Mērķtiecīga hlorīdu ūdeņu izplatības un veidošanās izpēte uzsākta tikai 1988. gadā, un tā tika turpināta, veicot pazemes ūdeņu krājumu pārvērtēšanu Rīgas ūdensapgādei 1992. – 1994. gadam. Šajā izpētes posmā tika noskaidrota un precizēta hlorīdu ūdeņu izcelsme konkrēti no ūdens horizontiem, kas atrodas palēninātās un stagnantās ūdens apmaiņas zonā (Aņikejeva u.c., 1997; Levins, 1999; Levina un Levins, 1995). Jankins u.c. (1993) min, ka Arukilas, Burtņieku un arī daļēji Gaujas ūdens horizonts ir pakļauts Pērnavas horizonta ūdens ietekmei. Šajā ūdens horizontā mineralizācija sasniedz 8,1 g/l (hlorīdu un sulfātu saturs attiecīgi ir 3760 un 980 mg/l), bet pjezometriskie līmeņi atrodas 30 – 40 m virs zemes virsmas. Ūdens pārtece notiek neskatoties uz to, ka Pērnavas horizontu no Arukilas – Amatas ūdens kompleksa atdala ūdeni mazcaurlaidīgi Narvas svītas nogulumi, un tas uzskatāmi novērojams Liepājas – Rīgas – Pleskavas lūzumu zonā (Jankins u.c., 1993)..

Savukārt veiktajos pētījumos 1993. gadā tika konstatēts anomāli augsts hēlija saturs (līdz $8,5 \cdot 10^{-2}$ ml/l), kas liecina par to kopīgo izcelsmes avotu dziļāk iegulošajos slāņos (Aņikejeva u.c., 1997). Rezultātā tika noskaidrots, ka tie ir kembrija ūdens horizonta sālsūdeņi, kas izplatīti Juglas ezera – Ķīšezeru joslā (Aņikejeva u.c., 1997; Levins, 1999). Visumā var izsekot korelāciju ar seismoizpētes noteiktajiem ziemeļaustrumu un ziemeļrietumu virzienu lūzumiem, taču pilnīgas atbilstības nav. Tas liecina, ka teritorijā atrodas lūzumi bez jūtamas vertikālās bloku nobīdes (Levina un Levins, 1995). Tiek uzskatīts, ka sālsūdeņu augšupejošais filtrācijas process var aktivizēties depresijas piltuves robežās, jo samazinās ūdens spiediens augšējos horizontos. Tieši Arukilas ūdens horizonts kalpo par labu indikatoru, jo iegul tieši virs Narvas reģionālā sprostsplāņa. Laika periodā no 1970. – 80-tiem gadiem, nevienā no ierīkotajiem dziļurbumiem netika konstatētas pazīmes, kas liecinātu par šo procesu. Savukārt laika periodā, kad samazinās pazemes ūdeņu ieguve, Juglas posteņa monitoringa dati uzrāda izmaiņas aktīvās apmaiņas zonas augšējā daļā (Levina un Levins, 2005). Šeit no monitoringa posteņa ierīkošanas 1978. gadā līdz vismaz 1997. gadam visu horizontu ūdens ķīmiskais sastāvs bija nemainīgs novērojumu kļūdu robežās. Bet pēdējos gados paaugstinās hlorīdu saturs Gaujas ūdens horizonta augšējā daļā no 26 līdz 91 mg/l. Vienlaikus ar hlorīdiem pieaug arī sulfātu, nātrija un kalcija saturs. Pēc pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva un līmeņu datu analīzes tika secināts, ka samazinoties pazemes ūdeņu ieguvei un atjaunojoties Gaujas ūdens horizonta līmenim, 1997. gadā vairs nenotika Gaujas horizonta atšķaidīšanās ar saldūdeņiem no kvartāra horizontiem (Levina un Levins, 2005).

Neskatoties uz to, ka „Lielās Rīgas” depresijas piltuve aptver arī Rīgas līča dienvidu daļu, sāļo jūras ūdeņu ieplūde Arukilas – Amatas ūdens kompleksā nav konstatēta. To izskaidro fakts, ka minēto horizontu klāj ūdensnecaurlaidīgu mālu slānis. Izņēmums ir daži

iecirknī Lielupes un Daugavas grīvu rajonos, kur minētais māla slānis ir erodēts, un atsevišķos urbemos vērojama paaugstināta ūdens mineralizācija un hlorīdu saturs, kas varētu būt saistīti ar jūras ūdens intrūziju (Jankins u.c., 1993).

1994. gadā veiktajos pētījumos ir norādīts, ka Gaujas ūdens horizontā piesārņojuma pazīmes nav konstatētas. Ievērojams artēzisko ūdeņu piesārņojums novērots tikai lokālā iecirknī Daugavas krastā pie Akmens tilta. Piesārņojums konstatēts Pļaviņu un Amatas ūdens horizontos. Anomāli augsto nātrija hlorīda koncentrāciju nosaka sāļo jūras ūdeņu infiltrācija no Daugavas augšējiem slāņiem. Šo procesu attīstību nosaka vāji caurlaidīgo morēnu un Salaspils svītas nogulumu trūkums Daugavas gultnē. Tieši šajā vietā, Daugavas krastā pie Akmens tilta, no Daugavas gultnes slāņiem infiltrējas piesārņojums un sāļie ūdeņi (Levina un Levins, 1994). Savukārt 1995. – 96. gadā Rīgas pazemes ūdeņu kvalitāti pētīja Latvijas un Dānijas ģeoloģijas dienestu kopprojekta „Pazemes ūdeņu potenciāls Rīgas ūdensapgādei” ietvaros. Tā rezultātā par potenciāli lielākā riska vietām, kur iespējams artēzisko ūdeņu piesārņojums, tika pieskaitīti Rīgas centrs, kur atrodas Gaujas ūdens horizonta depresijas piltuves centrs, kā arī „Getliņu” izgāztuves apkaime. Tāpat tika definēts, ka pirmajos pirmskvartāra ūdens horizontos, kā Pļaviņu un, retāk, Amatas, piesārņojums konstatēts tikai lokālos iecirkņos, t.sk. Rīgas centrā, kur notiek jūras ūdeņu infiltrācija caur Daugavas gultni (Levina, 1996).

Maģistra darba izpētes teritorijai iepriekš ir bijis izveidots reģionālais hidroģeoloģiskais modelis „REMO” (Spalviņš u.c., 1996). Tas izveidots laika posmā no 1993. līdz 1996. gadam, ar mērķi prognozēt pazemes ūdeņu resursu kvantitatīvās un kvalitatīvās izmaiņas, lai, balstoties uz šo modeli, nodrošinātu optimālu reģiona pazemes ūdeņu izmantošanas shēmu (Spalviņš un Nulle, 2011; Aņikejeva u.c., 1997). Modelis aptver 168 x 156 km lielu teritoriju, kā arī visu aktīvās ūdens apmaiņas zonu jeb 9 ūdens horizontus un tos atdalošos sprostsblāņus, iekļaujot Latvijas centrālo daļu, Lietuvas ziemeļu pierobežu un arī Rīgas līča daļu. (Aņikejeva u.c., 1997; Spalviņš u.c., 1996). Centru aptver 32 km plata bufera zona, kura nodrošina robežnosacījumus katrai REMO $z = 1, 2, \dots, 8$ sekcijai. Šo robežu kopa veido četras vertikālas skaldnes – REMO čaulu. Tā kā ir izveidota bufera zona, tā rada iespēju precīzāk aprēķināt pazemes ūdens līmeņu depresiju modeļa REMO centrālajā daļā. Modeļa skaitliskie aprēķini aptver to daudzhorizontu pazemes ūdens sistēmas aktīvo daļu, kas rada interesi kā dzeramā ūdens krātuve (Spalviņš u.c., 1996).

Visas REMO režģa kartes ir hidrauliski sabalansētas, jo tās ir vienotas daudzslāņu sistēmas sastāvdaļas. Ar REMO iegūtie rezultāti pietiekoši labi atbilst novērotajām vērtībām, jo to starpība nepārsniedz 2 metrus nozīmīgākajiem ūdens horizontiem, kurus izmanto ūdensapgādē. Vienīgi modeļa iegūtie rezultāti par 1980. gadu nav tik precīzi, konkrēti ir

novērojamas būtiskas atšķirības starp novērotajiem un modeļa aprēķinātajiem ūdens horizontu līmeņiem. Modelētie ūdens līmeņi vietām ir augstāki par novērotajiem, kā arī dažviet zemāki. Piemēram, monitoringa urbumā nr. 685 no posteņa „Imanta”, kura filtrs atrodas Amatas ūdens horizontā, modeļa rezultātā 1980. gadā ūdens līmenis ir -8,16 m v.j.l., savukārt novērotais ūdens līmenis ir -16,14 m v.j.l (Spalviņš u.c., 1996). Autori šo nesakritību skaidro ar nekvalitatīvu informāciju par ūdens patēriņu 1980. gadā, jo šajā laika posmā iespējams bija neregistrēta ekspluatācijas debitu esamība bijušajās PSRS militārajās bāzēs. Tāpat novērošanas urbumu skaits 1980. gadā ir mazāks kā 1985. g. attiecīgi 66 un 95 (Spalviņš u.c., 1996).

2. PAZEMES ŪDEŅU RAKSTUROJUMS

Pazemes ūdeņi ir posms kopējā ūdens aprites ciklā, tādejādi ir arī nozīmīgs vides elements. Šajā darba teorētiskajā daļā ir izklāstīti priekšstatī par pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva veidošanos un ūdens plūsmas dinamiku, pievēršot arī uzmanību cilvēku saimnieciskās darbības ietekmei uz šiem procesiem.

2.1. Pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs

Pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu aktīvās apmaiņas zonā lielā mērā nosaka un ietekmē dažādi faktori, kā atmosfēras nokrišņi, minerālu dēdēšana, sorbcijas un apmaiņas reakcijas (Kļaviņš un Cimdiņš, 2004, Carrillo-Rivera et.al. 2007). Tā kā atmosfēras nokrišņi gandrīz nesatur izšķīdinātus sāļus, tad galvenais minerālvielas piegādātājs ir ieži. Tāpēc dažādu iežu izplatība, ietekmē pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu, un ūdens ķīmisko sastāvu var izmantot, lai interpretētu tā izcelsmes avotus un plūsmas virzienu (Carrillo-Rivera et.al. 2007; Aņikejeva u.c. 1997). Pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu nosaka šādi faktori:

- nogulumu mineralogiskais sastāvs, galvenokārt, viegli šķīstošo sāļu saturs;
- infiltratīvā ūdeņu agresivitāte, pirmām kārtām augsnes izcelsmes ogļskābes un organisko skābju saturs;
- ūdens apmaiņas ātrums slānī, kas nosaka ūdens un iežu mijiedarbības ilgumu;
- dažādas ģenēzes un sastāva ūdeņu sajaukšanās;
- fizikālie procesi – paaugstinoties pazemes ūdens temperatūrai, samazinās gāzu daudzums ūdenī;
- bioloģiskie faktori – augsnē esošie mikroorganismi;
- fiziski – ģeogrāfiskie faktori - reljefs, klimatiskie apstākļi, piemēram, teritorijās ar lielu nokrišņu daudzumu un mazu iztvaikošanu, augsnes ūdeņu mineralizācijas pakāpe ir mazāka un pazemes ūdeņi ir mazāk mineralizēti (Михайлов, 1985, Аңикејева u.c. 1997).

Visizplatītākie no anjoniem ir sulfātjoni (SO_4^{2-}), hlorīdjoni (Cl^-), hidrogēnkarbonātu joni (HCO_3^-), bet no katjoniem kalcijs (Ca^{2+}), magnijs (Mg^{2+}), kālijs (K^+) un nātrijs (Na^+) joni, tabulā 2.1. ir apkopota informācija par šo jonu nozīmīgākajiem avotiem (Kļaviņš un Cimdiņš, 2004).

Pazemes ūdeņu jonu nozīmīgākie avoti (Kļaviņš un Cimdiņš, 2004)

Joni	Process
Na^+	NaCl šķīšana Plagioklāza dēdēšana Jūras ūdeņu ieplūde Antropogēnais piesārņojums
K^+	Biotīta dēdēšana Kālija laukšpata dēdēšana Biomases sadalīšanās
Mg^{2+}	Amfibola un piroksēna dēdēšana Biotīta dēdēšana Dolomīta dēdēšana
Ca^{2+}	Kalcīta dēdēšana Plagioklāza dēdēšana Dolomīta dēdēšana
HCO_3^-	Kalcīta un dolomīta dēdēšana Silikātu dēdēšana
SO_4^{2-}	Pirītu dēdēšana Ģipša dēdēšana Antropogēnais piesārņojums
Cl^-	NaCl šķīšana Antropogēnais piesārņojums

Līdz ar dabiskajiem faktoriem, kas kontrolē ūdens ķīmiskā sastāva veidošanos, jāpiemin arī antropogēnās darbības rezultātā radušās izmaiņas jeb konkrēti piesārņojums. Tieši urbanizētās teritorijās un lauksaimniecībā izmantotās zemēs piesārņojuma risks ir visaugstākais. Lielākie draudi ir tiem pazemes ūdeņiem, kas atrodas tuvu zemes virspusei. Galvenie pazemes ūdeņu piesārņojuma avoti ir:

- ūdenī šķīstošas vielas, piemēram, metāli, sāļi, dažādas organiskās vielas;
- pesticīdi;
- mikroorganismi;
- organiskās vielas no atkritumiem;
- naftas produkti un citas bīstamas vielas (Hill. 2010).

Pēc Ministru Kabineta noteikumu Nr.235 "Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma un kvalitātes prasības, monitoringa un kontroles kārtība" dzeramā ūdenī nedrīkst būt pārsniegtas šādas jonu koncentrācijas: $\text{Cl}^- > 250 \text{ mg/l}$, $\text{SO}_4^{2-} > 250 \text{ mg/l}$ un $\text{Na}^+ > 200 \text{ mg/l}$ (Dzeramā ūdens ..., 2003).

Pazemes ūdens sajaukšanās procesi

Viens no pazemes ūdens sastāvu ietekmējošiem procesiem ir dažādas ģenēzes un tipu ūdeņu sajaukšanās. Procesa izpausmes sistēmā ir novērojamas plūsmas virzienā, kad ūdens ar vienu ķīmisko sastāvu pāriet cita tipa ūdenī. Mehāniskā dispersija un difūzija rada sajaukšanās

zonu starp šiem atšķirīga sastāva ūdeņiem (Domenico and Schwartz, 1998). Tā kā sajaukšanās procesā izmainās sākuma komponentu/-tes koncentrācija, mainās arī vielas sastāvs un īpašības (Yamanaka et.al. 2005, Albareda, 2003).

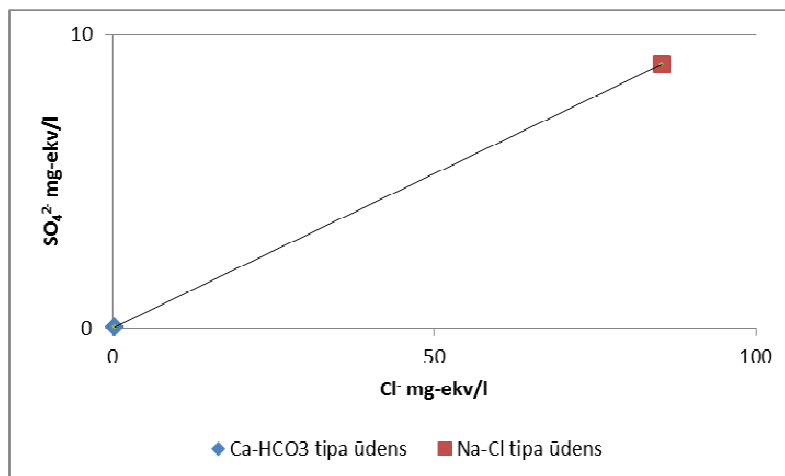
Pamatojoties uz šo procesu var konstatēt iespējamus avotus, kas nosaka pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas un nereti arī tipa izmaiņas. Jo katram ūdens tipam ir tikai to raksturojošā (dominējošā) komponente/-tes, kas sajaucoties mazinās, un paraugā palielinās citas sastāvdaļas koncentrācija. Tā rezultātā komponentu masas frakciju summa paraugā būs vienāda ar 1, skatīt 2.1 vienādojumu (Albarède, 2003; Yamanaka et.al., 2005).

$$f_{komp.I} + f_{komp.II} = 1 \quad (2.1)$$

kur,

f_{kompI} - komponentes masas frakcija.

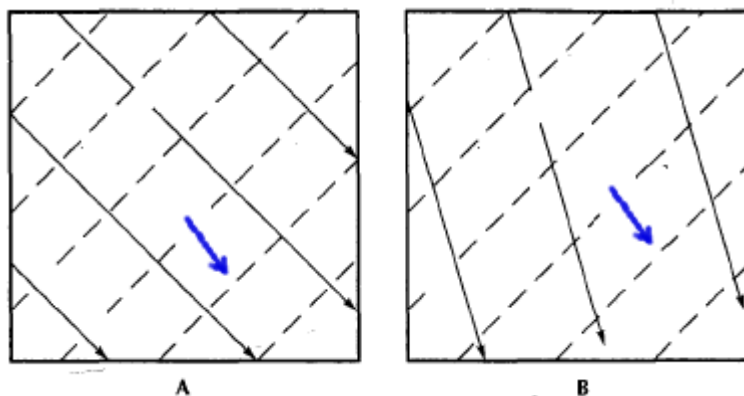
Balstoties uz šo sakarību var izveidot grafiku, kas attēlo lineāru sajaukšanos, un to, kā konkrētu komponentu koncentrācijas izmaiņas ietekmē ūdens tipa pāreju no viena otrā. 2.1. attēlā var redzēt kā mainās hlorīdiona un sulfātjona koncentrācija kalcija – hidroģēnkarbonātu tipa ūdenī, tiem sajaucoties ar Rīgas līča ūdeni. Sākuma un beigu koncentrācijas tika definētas izmantojot reālus novērojumus no vietām, kur sastopami izteikti šī tipa ūdeņi un koncentrācijas ilgākā laika posmā nebija mainījušās. Dati, kas raksturo kalcija – hidroģēnkarbonātu ūdeni ir ņemti no monitoringa posteņa „Piukas” Gaujas ūdens horizonta urbuma (LVĢMC, bez.dat.) Savukārt dati par jūras ūdeni no Rīgas līča ir ņemti no ģeoloģiskās kartēšanas atskaite, kas veikta Latvijas Republikas akvatoriālajā daļā (Kovalenko, 1987).



2.1.attēls. Lineāras sajaukšanās grafisks atainojums starp diviem ūdens tipiem pēc divām komponentēm (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez.dat.; Kovalenko, 1987).

2.2. Pazemes ūdens plūsma

Pazemes ūdens plūsma dabā ir sarežģītāka un nenotiek tikai vienā virzienā, kā tas tiek raksturots filtrācijas kolonas eksperimentā, kur apskatīta situācija izotropā vidē. Ūdens horizontos ar šādām īpašībām pazemes ūdens plūsmas virziens būs paralēls spiediena izmaiņām, kā rezultātā arī plūsmas būs perpendikulāra ekvipotenciāles līnijām (Fetter, 2001). Dabiskos apstākļos pazemes ūdens plūsma ir trīsdimensionāla, kur katrā virzienā plūsmas ātrumi var būt atšķirīgi. Tas nozīmē, ka ūdens plūsma var būt orientēta jebkurā virzienā ne tikai plānā, bet katrā plāna punktā tai var būt vertikālā komponente (Fitts, 2002; Zīverts, 2001). To lielā mērā nosaka iežu materiāla īpašības konkrēti porainība, plaisainība, kas principā arī nekad nav homogēna un izotropā. (Domenico and Schwartz, 1998, Fitts, 2002). Plūsmas atšķirības izotropā un anizotropā vidē var novērot 2.2. attēlā



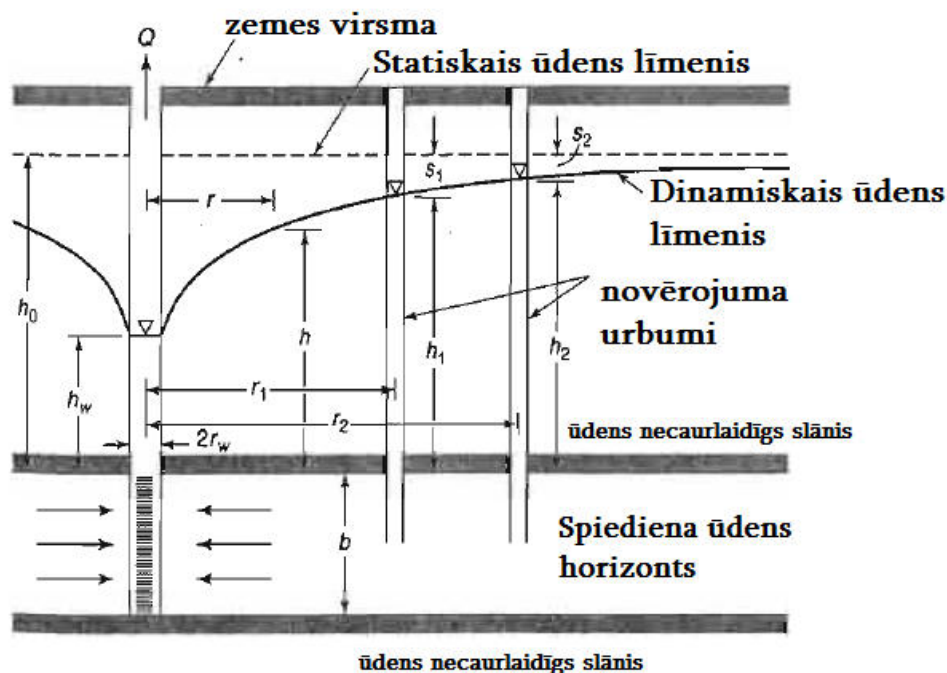
2.2.attēls. Saistība starp plūsmas līnijām, ekvipotenciāļu lauku un spiediena izmaiņām A – izotrops horizonts, B – anizotrops horizonts, kur → plūsmas līnija, — — — ekvipotenciāles līnija, → spiediena izmaiņas virziens (izstrādājusi autore pēc Fetter, 2001).

Izdala *stacionāru* un *nestacionāru* ūdens plūsmu. Stacionāra ūdens plūsma laikā nemainās, kā arī laikā nemainīgi ir tās robežnosacījumi. Kā dažus no robežnosacījumu piemēriem var minēt ūdens līmeni ūdenstilpēs, ūdens pieplūdes intensitāti gruntsūdens horizontam no aerācijas zonas, ūdens atsūkņēšanas intensitāti no urbumiem u.t.t. Savukārt nestacionāra pazemes ūdens plūsma laikā mainās, kā arī mainīgi ir tās robežnosacījumi (Zīverts, 2001).

Pazemes ūdens pieplūde ekspluatācijas urbumam

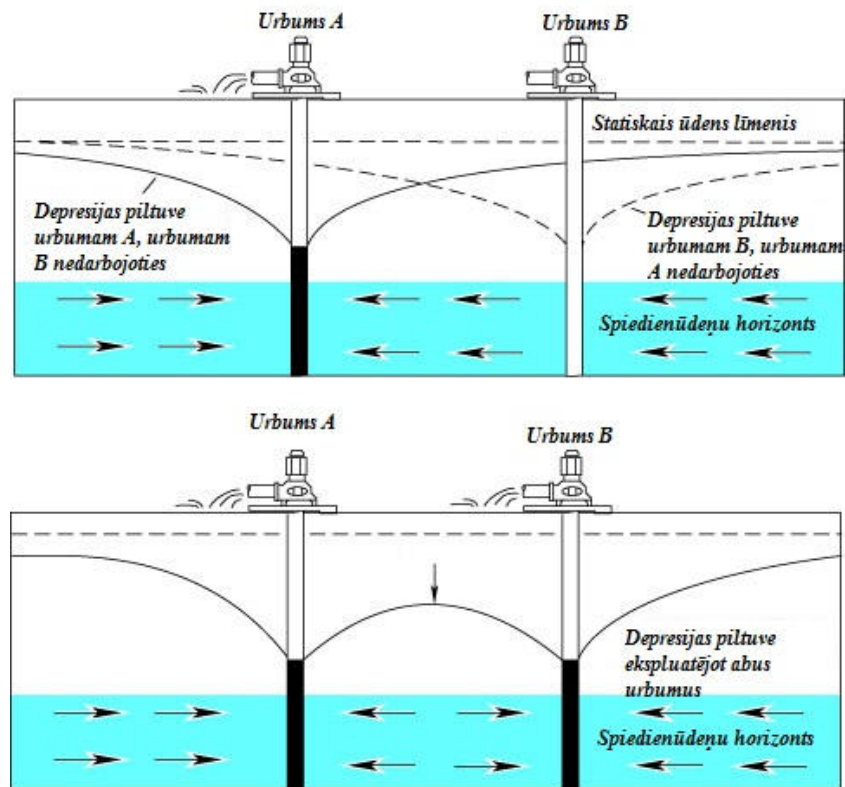
Ierīkojot aku (urbumu) un uzsākot tās ekspluatāciju, būtiski izmainās pazemes ūdens plūsmu virzieni. Atkarībā no ūdens horizonta veida pjezometriskā virsma ekspluatācijas laikā pazeminās. Tāpat ūdens līmeņa pazeminājums mainās atkarībā no attāluma līdz urbumam, (skatīt 2.3 attēlu), jo urbuma tuvumā ir lielākas līdzsvara izmaiņas starp ūdens papildināšanos un izplūdi, kas šajā gadījumā ir ūdens ieguve. Savukārt tālāk no ekspluatācijas urbuma šī

starpība mazinās līdz atkal tiek sasniegts līdzsvara stāvoklis starp šiem abiem lielumiem (Kasenow, 2001). Trīsdimensionālā skatījumā līmeņa izmaiņas atgādina konisku formu, tāpēc šo situāciju mēdz dēvēt par *depresijas piltuvi* (Zīverts, 2001; Todd and Mays, 2005).



2.3.attēls. **Radiāla pazemes ūdens pieplūde eksploatācijas urbumam:** h_x -ūdenslīmenis / spiediens, m v.j.l; b – horizonta biezums, m; S_x – ūdens līmeņa pazeminājums, m; r_x – attālums no urbuma, m; Q - debits (Todd and Mays, 2005).

Ierīkojot vienā pazemes ūdens horizontā vairākus eksploatācijas urbumus, tie savstarpēji mijiedarbojas un pārklājas to ietekmes rādiusi. Tā rezultātā kopējais ūdens līmeņa pazeminājums horizontā ir summa no līmeņa pazeminājuma katrā atsevišķā urbumā, kur ir atšķirīgi ūdens ieguves apjomi. Tāpēc ierīkojot jaunus eksploatācijas urbumus, aprēķinu ceļā izvēlas vietu, kur ietekme būtu visminimālākā (Fetter, 2001; Todd and Mays, 2005), skatīt 2.4.attēlu.



2.4.attēls. Depresijas piltuves attīstība darbojoties diviem ekspluatācijas urbumiem

(Buchanan and Buddemeier, [S.a.]

Pieņēmums par radiālo pieplūdi ekspluatācijas urbumam ir vispārināts, jo neraksturo dabisko situāciju pat viena urbuma ietvaros, nerunājot pat par vairāku savstarpēji ietekmējošu urbumu gadījumu, bet tik un tā šis nosacījums tiek pieņemts, lai veiktu matemātiskos aprēķinus (Zīverts, 2001).

Arī pazemes ūdens pieplūdi urbumam apskata, kā stacionāru un nestacionāru. Stacionāru pazemes ūdens plūsmu urbumam pieņem, ka tā pieplūst no ļoti liela attāluma (teorētiski no bezgalīgi plaša cilindriskā baseina), tāpēc caur visām cilindriskām virsmām, kas ar rādiusu r apvilktas ap urbumu, izplūdis vienāds caurplūdums Q (Zīverts, 2001). Lielākoties akas darbojas nestacionārā režīmā, ko nosaka tādi mainīgie kā meteoroloģiskie apstākļi, kā arī mainīgus apstākļus rada pati ūdens ieguve (Zīverts, 2001).

Lielākoties ūdensapgādes urbumi, rada ap sevi depresijas piltuvi. Tā rezultātā ir novērojami vairāki negatīvi aspekti, kā, piemēram, apkārtējā teritorijā samazinās avotu debiti. Izmainoties pazemes ūdens plūsmas virzieniem var notikt piesārņojuma vai jūras ūdens intrūzija ekspluatācijas vai citos horizontos. Tāpat izmainās spiediens ūdens horizontā ap urbumu vai aku, kas var izraisīt dažādas ģenēzes un tipa ūdeņu sajaukšanos, kā rezultātā ievērojami var mainīties ūdens kvalitāte (Custodio, 2002; Esteller and Andreu, 2005).

2.3. Vietas migrācija pazemes ūdeņos

Maģistra darba ietvaros tiek pētīta pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas analizējot iespējamo dažādu ūdens tipu sajaukšanos. Pārsvārā vietas migrāciju pazemes ūdeņos nosaka, galvenokārt, divi pamatprocesi – difūzija un advekcija (Fetter, 2001). *Difūzija* ir process, ar kura palīdzību ūdenī izšķīdušie joni un molekulas virzās no vietas ar augstāku koncentrāciju uz vietu ar zemāku. Savukārt *advekcija* ir process, ar kuru ūdens pārvieto tajā esošo vielu, bet notiekot vietas *dispersijai* plūsmas virzienā tās koncentrācija mazinās pieaugot izkliedes areālam (Domenico and Schwartz, 1998; Fetter, 2001).

Difūzija

Vielu difūziju ūdenī apraksta Fika likumi. Pirmais Fika likums apraksta vietas plūsmu stacionāros apstākļos, kur nemainīgas temperatūras apstākļos caur viena laukuma vienību difundējušās vietas masa laika vienībā ir proporcionāla koncentrāciju gradientam un difūzijas koeficientam. Difūzijas koeficientu mērvienība ir cm^2/s (Vērdušs un Dukulis, 2008; Fetter, 2001).

Jāņem vērā fakts, ka porainā vidē difūzija nenotiek tik ātri kā virszemes ūdeņos, jo joniem ir jāveic garāks ceļš ap iežu graudiem. Tāpat kustība notiek tikai pa savstarpēji saistītām porām, tāpēc lai noteiktu efektīvo difūzijas koeficientu (D^*), tiek izmantots 2.2 vienādojums (Fetter, 2001)

$$D^* = wD \quad (2.2)$$

kur,

w – empīrisks koeficients, kas tiek noteikts laboratorijas eksperimentos, parasti, tas ir robežās no 0,5 – 0,01.

D – difūzijas koeficients

Advekcija

Vielas advekcijas procesa ietekmē pārvietojas ar tādu pašu ātrumu un tādā pašā virzienā kā ūdens plūsma, tāpēc lielums var tikt noteikts izmantojot Darsī vienādojumu (2.3 vienādojums):

$$v_x = -\frac{K}{n_e} \frac{dh}{dl} \quad (2.3)$$

kur,

v_x – vidējais lineārais ātrums

K – filtrācijas koeficients

n_e - efektīvā porainība

$\frac{dh}{dl}$ - hidrauliskais gradients (Fetter, 2001).

Cita tipa ūdenim vai vielai pārvietojoties pa iežiem notiek tā atšķaidīšanās, sajaukšanās ar apkārtesošo ūdeni. Šis process tiek saukts par *dispersiju*, kas notiek paralēli ar advekciju (Ingebritsen and Sanford, 1998). Pārsvārā dispersija uz sāniem ir vājāka nekā plūsmas horizontālajā virzienā, lai gan pie maziem plūsmas ātrumiem šo abu virzienu dispersijas koeficienti ir līdzīgi (Tood, 2005; Fetter, 2001).

3. PĒTĪJUMA TERITORIJAS RAKSTUROJUMS

3.1. Vispārīgs raksturojums

Pētījumā apskatītā teritorija atrodas Latvijas centrālajā daļā un ietver galvaspilsētas teritoriju, kas atrodas galvenokārt Piejūras zemienes Rīgavas līdzenumā, tikai teritorijas austrumu un dienvidaustrumu daļa iestiepjas Viduslatvijas zemienes Ropažu līdzenumā. Reljefs pārsvarā ir plakans vai lēzeni viļņots smilšains līdzenums, kura relatīvais augstums ir 1 – 11 m virs jūras līmeņa. Izpētes teritoriju saposmo augstas kāpas, to grēdas un nelieli masīvi (Rīgas attīstības programma, 2005)

3.2. Teritorijas ģeoloģiskie apstākļi

Maģistra darbā tiek apskatītas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā, kas sevī ietver nogulumiežus līdz vidus devona Narvas svītai. Pētījuma teritorijā šajā zonā sastopami kvartāra vecuma nogulumi, augšdevona Franas stāva un apakšdevona Živetas stāva nogulumi, konkrētāk:

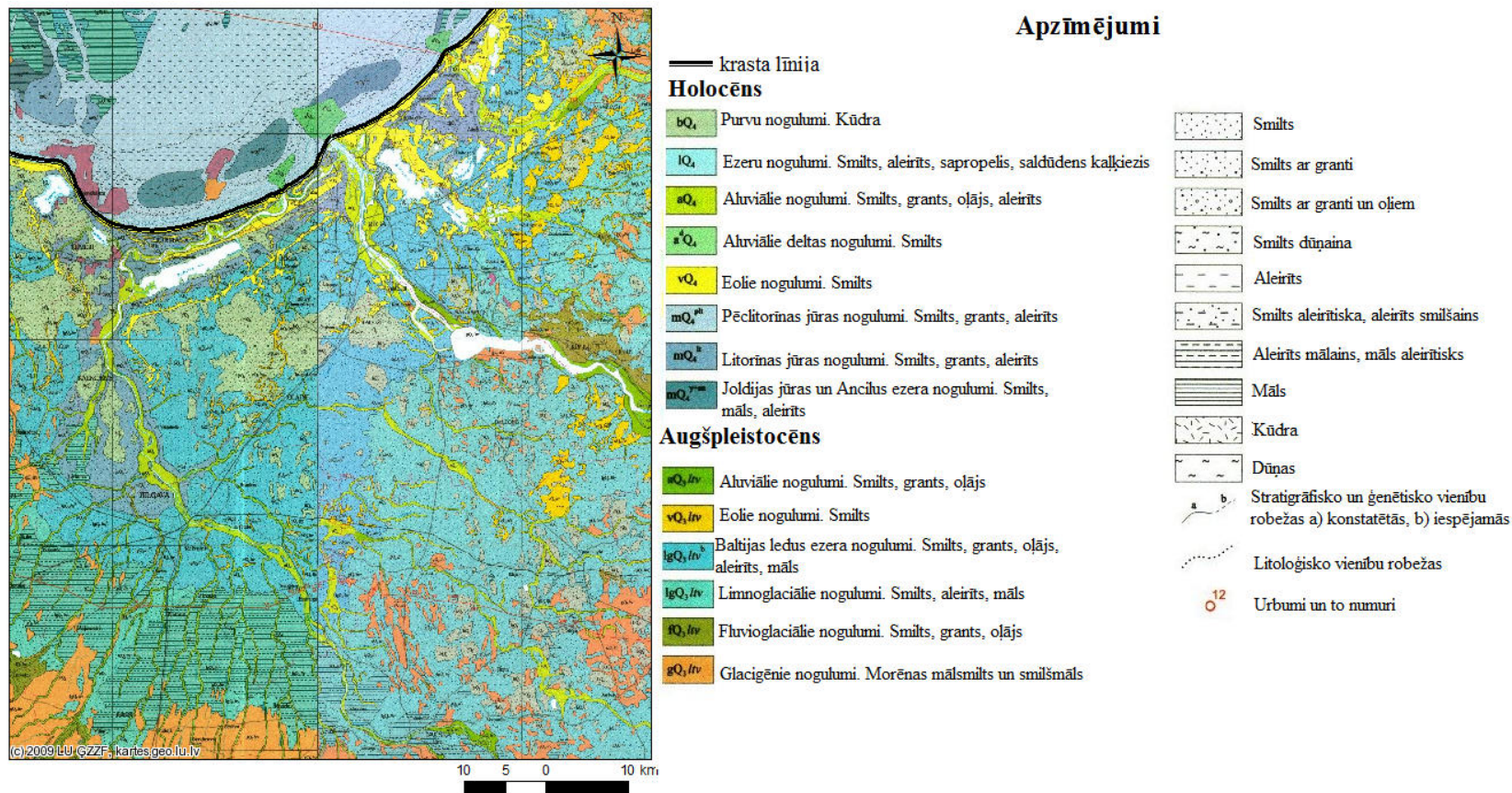
- Arukilas svīta,
- Burtnieku svīta,
- Gaujas svīta,
- Amatas svīta,
- Pļaviņu svīta,
- Salaspils svīta,
- Daugavas svīta,
- Katlešu svīta,
- Ogres svīta,

Kvartāra vecuma nogulumi izplatīti visā izpētes teritorijā un veido nepārtrauktu un nevienmērīga biezuma segu, kuru veido dažāda sastāva, ģenēzes un vecuma nogulumi. To biezums ir robežās no 10 līdz pat 40 m. Nogulumus pārsvarā veido Baltijas Ledus ezera, Litorīnas jūras un holocēna vecuma nogulumi (Янсонс и.д., 1965; Brangulis u.c., 2000)., skatīt 3.1. attēlu.

Izpētes teritorijā sastopamos glaciolimniskos nogulumus veido māls vai smalkgraudaina smiltis, kas nereti satur aleirīta un aleirītiskas smiltis starpkārtas. Nogulumu biezums ir neliels un tikai Rīgas līča gultnē un Rīgavas līdzenumā sasniedz 20 m (Янсонс и.д., 1965; Brangulis u.c., 2000).

Tāpat izpētes teritorijā izplatīti Baltijas ledus ezera nogulumi. Rīgas līča akvatorijā ir uzkrājušies māla un aleirīta nogulumi, bet pārējā izpētes teritorijā ir sastopama

dažādgraudaina, pārsvarā smalkgraudaina smilts, vietām ar grants un oļu piemaisījumu. Savukārt Litorīnas jūras nogulumi pārsvarā ir dažāda rupjuma smilts, māls, grants un oļi, un nogulumu biezums reti pārsniedz 5 – 6 metrus. Tāpat izpētes teritorijā sastopami ir arī eolie , aluviālie un purvu nogulumi (Brangulis u.c., 2000).



3.1. attēls. Kvartāra nogulumu ģeoloģiskā karte (Valsts Ģeoloģijas dienesta kvartāra karšu mozaīka mērogā 1:200 000)

Zemkvartāra virsmā izpētes teritorijā atsedzas augšdevona vecuma nogulumi. Uzskatāmi šo svītu izplatību visā teritorijā, skatīt attēlā 3.2.

Arukilas svītas ($D_2 ar$) un **Burnieku svītas** ($D_2 br$) veido smilšakmeņi, aleirītiski māli, aleirolīti un māli, kas izplatīti visā izpētes teritorijā. Kopējais svītu biezums ir robežās no 49 līdz pat 160 metriem Inčukalna apkārtnē (Brangulis u.c., 2000).

Gaujas svītas ($D_3 gj$) nogulumi ir izplatīti visā izpētes teritorijā. Tos veido pelēki, dzeltenpelēki smilšakmeņi ar aleirolīta un māla starpslāņiem. Vietām sastopami arī oolīti, kuru saturs smilšakmeņos svārstās no dažiem līdz pat 20 – 50 procentiem. Izpētes teritorijā smilšakmeņu cementācija ir vāja, retāk stipra. Pārsvarā sastopams māla, dzelzs – māla cements, retāk karbonātu, māla – karbonātu cements. Kopējais nogulumu biezums svārstās no 50 līdz aptuveni 100 m (Янсонс и.д., 1965).

Amatas svītu ($D_3 am$) pārsvarā veido pelēku, gaiši pelēku vāji cementētu smilšakmeņu un smilšainu aleirolītu slāņmija, kur sastopami arī plāni aleirolīta slāņi. Kopējais nogulumu biezums svārstās no 23 līdz aptuveni 45 m (Янсонс и.д., 1965).

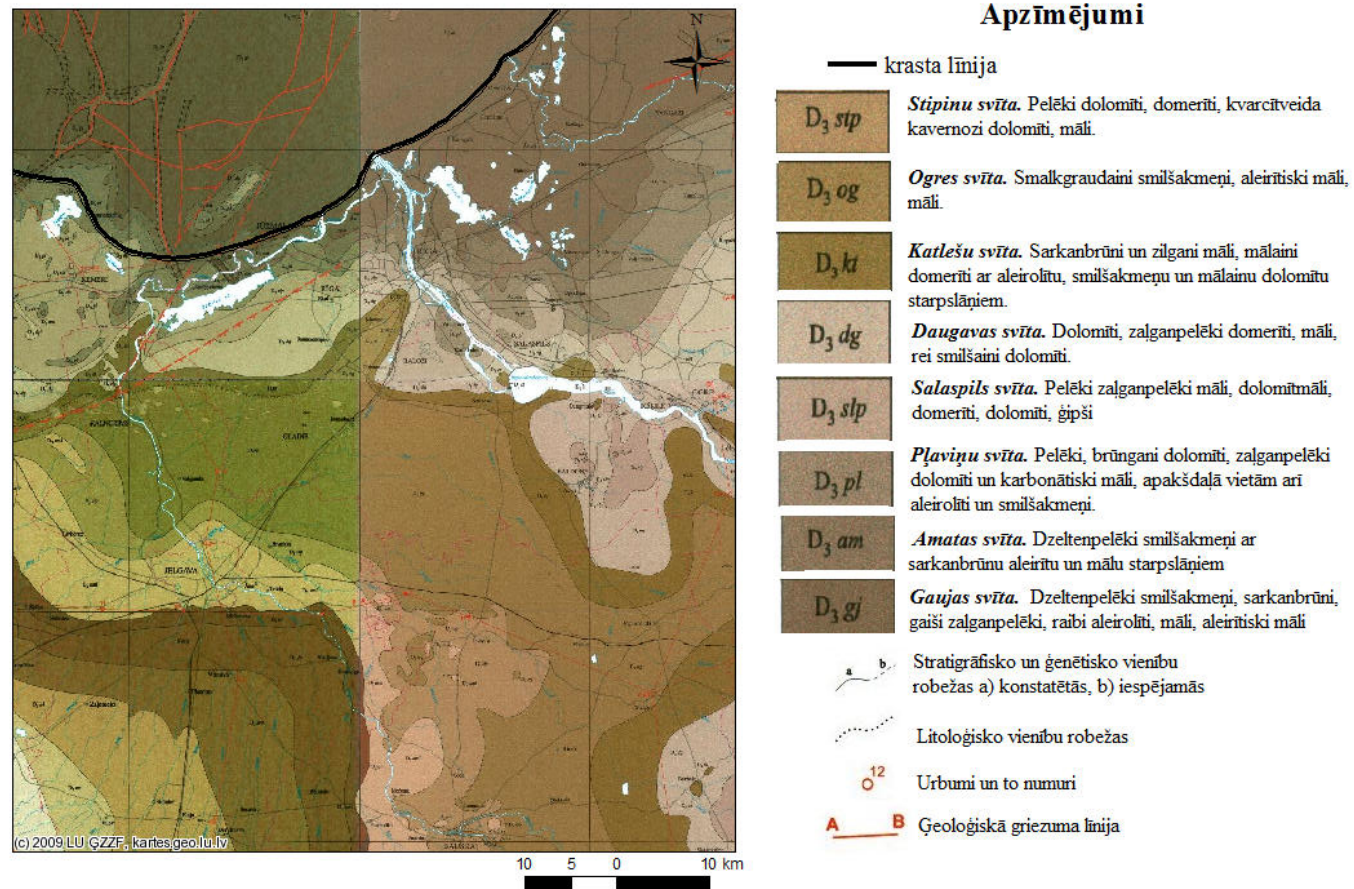
Pļaviņu svīta ($D_3 pl$) sastāv no karbonātiskiem nogulumiem – dolomīti ar domerītu, aleirolītu un māla starpkārtām. Nogulumu biezums izpētes teritorijā ir robežās no 12,4 līdz 17,6 m (Янсонс и.д., 1965; Brangulis u.c., 2000). Pļaviņu svītu iedala 4 pasvītās. Pirmo (apakšējo) pasvītu veido domerīti, māli, smilšakmeņi un dolomīti. Pārējās 3 pasvītas sastāv galvenokārt no dolomītiem, domerīti ir mazāk sastopami (Brangulis u.c., 2000).

Salaspils svīta ($D_3 slp$) izpētes teritorijā atsedzas nogulumus pārsvarā veido māli, merģeļi, dolomīti un ģipši, tāpat sastopami ģipšaini dolomīti, dolomītmerģeļi. Svītas vertikālā griezumā ir novērojams izteikts nogulumu ritmiskums – māls – merģelis – ģipšains dolomīts. Robežas starp ritmiem ir ļoti izteiktas. Teritorijas dienvidrietumu daļā Salaspils svītu veido māli un merģeļi, ģipsis nav konstatēts. Nogulumu kopējas biezums nepārsniedz 20 m (Янсонс и.д., 1965).

Daugavas svītā ($D_3 dg$) sastopami pelēki un zaļganpelēki dolomīti, domerīti un māli. Nogulumi izplatīti tikai uz dienvidiem no līnijas Rīga – Sigulda – Cēsis, un to kopējais biezums nepārsniedz 15 m. Teritorijas dienvidrietumu daļā to pārklāj Katlešu un Ogres svītas nogulumi. Parasti Daugavas svītu iedala trīs daļās. Apakšējo daļu veido dolomīti ar domerītu starpslāņiem, vidējo - domerītu, mālu un dolomītu slāņmija, bet augšējā dominē dolomīti (Янсонс и.д., 1965; Brangulis u.c., 2000).

Teritorijas dienvidaustrumu daļā izplatītas ir **Ogres** ($D_3 og$) un **Katlešu** ($D_3 kt$) svītas. Tās veido māli, aleirolīti, smilšakmeņi, mālaini dolomīti un domerīti. Katlešu svīta pārklāj izskaloto Daugvas iežu virsu. Ogres svītai ir raksturīga paaugstināta smilšainība, to veido smilšakmeņi, aleirolīti, domerīti, smilšaini māli un vietām ir sastopams arī ģipsis. Ogres svītā

ir sastopami smalkgraudaini smilšakmeņi ar māla un aleirītiska māla starpkārtām. Nogulumu kopējais biezums nepārsniedz 30 m. Zem šīs svītas ieguļ Katlešu svīta, kuru savukārt veido zilgani un sarkanbrūni māli, mālaini domerīti ar aleirolītu, mālaini dolomīti ar smilšakmens starpkārtām (Brangulis u.c., 2000).



3.2. attēls. Pirmskvartāra nogulumu ģeoloģiskā karte (Valsts Ģeoloģijas dienesta pirmskvartāra karšu mozaīka mērogā 1: 200 000) 3.3. Teritorijas hidroģeoloģiskie apstākļi

3.3. Hidroģeoloģiskie apstākļi

Pazemes ūdens horizonti kvartāra nogulumos ir saistīti ar dažādas ģenēzes irdeno iežu (smilts – grants) slāņiem. Pārsvarā tie ir gruntsūdens jeb bezspiediena ūdens horizonti. Atsevišķās vietās sastopami arī starpmorēnu spiedienūdeņi, kurus satur smilts un grants lēcas morēnā. Ūdens horizontu papildināšanās notiek atmosfēras nokrišņu infiltrācijas ceļā. Daļa gruntsūdeņu filtrējas dziļākos slāņos un papildina artēzisko ūdeņu resursus. Savukārt daļa gruntsūdeņu drenējas lokālās reljefa depresijās, upju un strautu ielejās, ezeros (Brangulis u.c., 2000; Янсонс и.д., 1965).

Maģistra darba izpētes teritorijā sastopamie artēziskie saldūdeņi saistīti ar augš- un vidus devona terīgēnajiem un karbonātskajiem nogulumiem. Rīgas reģionā aktīvās ūdens apmaiņas zonu veido liels skaits ūdens horizontu, kurus vienu no otra atdala dažāda biezuma ūdeņi vāji caurlaidīgi slāņi. Ūdens daudzums atsevišķos horizontos kā arī to kvalitāte parasti ir atšķirīgi. Hidrauliski savstarpēji saistītie ūdens horizonti parasti tiek apvienoti ūdens horizontu kompleksos, jo to ūdens resursi papildina viens otru. Izpētes teritorijā ir sastopami 3 ūdens horizontu kompleksi: Famenas ūdens horizontu komplekss, Pļaviņu – Daugavas ūdens horizontu komplekss un Arukilas – Amatas ūdens horizontu komplekss (Aņikejeva u.c., 1997).

Famena ūdens horizontu komplekss sastopams Rīgas reģiona dienvidrietumu daļā, kur tā biezums sasniedz 100 m., un ūdeņi satur, galvenokārt, dolomīti un smilšakmeņi (Aņikejeva u.c., 1997; Янсонс и.д., 1965).

Pļaviņu – Daugavas ūdens *horizontu komplekss* ietver tāda paša nosaukuma ūdens horizontus, kas izplatīti lielākajā Rīgas reģiona daļā. Vienu no otra tos atdala ūdeņi vāji caurlaidīgie Salaspils svītas nogulumi. Ūdens horizonta kompleksa biezums pieaug dienvidrietumu virzienā, sasniedzot 70 m. Šajā pazemes ūdeņu kompleksā ūdeņi satur plaisainie un kavernošie dolomīti, kaļķakmeņi. Tā vidusdaļu veido Salaspils nogulumu slāņkopa, kuras sastāvā ietilpst arī mālaini dolomīti ar ģipša starpslāņiem. Izpētes teritorijā statiskā ūdens līmeņa atzīmes ir no 2,2 līdz 5,8 m no zemes virsmas (Aņikejeva u.c., 1997; Янсонс и.д., 1965). Šī kompleksa horizontu biezums un filtrācijas īpašības ir aplūkotas 3.1. tabulā.

Pļaviņu – Daugavas ūdens kompleksu veidojošie horizonti (izstrādājusi autore pēc LVĢMC, bez.dat.; Янсонс и.д., 1965).

Ūdens horizonts	Ūdeni saturošo slāņu	
	Biezums, m	Filtrācijas koeficients, m/dnn
Daugavas D ₃ dg	10-20	10-60
Salaspils D ₃ slp	10-20	5-79
Pļaviņas D ₃ pl	10-20	5 -140

Arukilas – Amatas ūdens horizonta komplekss ir nozīmīgākais pazemes ūdeņu ieguves avots Latvijā un Rīgas apkārtnē. Šis komplekss ietver piecus ūdens horizontus, skatīt 3.2. tabulu. Kompleksa vidējais biezums 200 – 220 m, un 50 – 85% no tā griezuma veido ūdeni saturoši smilšakmeņi. Atsevišķu smilšakmeņu slāņu biezums mainās no 20 līdz 40 m.

Arukilas – Amatas ūdens kompleksu veidojošie horizonti (Aņikejeva u.c., 1997).

Ūdens horizonts	Ūdeni saturošo slāņu		Ūdeni vāji caurlaidīgo slāņu	
	Biezums, m	Filtrācijas koeficients, m/dnn	Biezums, m	Filtrācijas koeficients, m/dnn
Amatas D ₃ am	20 - 30	3 - 4	-	$1 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-4}$
Augšgaujas D ₃ gj ₂	30 - 40	12 - 22	15 – 20	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$
Apakšgaujas D ₃ gj ₁	30 - 40	5 -14	10 - 20	$3 \times 10^{-5} - 7 \times 10^{-5}$
Burtnieku D ₂ br	20 - 30	4 - 5	20 - 30	$1 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-4}$
Arukilas D ₂ ar	30	2 - 6	10 - 20	7×10^{-5}

Ar ūdeni visbagātākā ir kompleksa vidusdaļa – Gaujas ūdens horizonts. Šī horizonta lielāko daļu veido ūdeni labi caurlaidīgi smilšakmeņi ar augstu filtrācijas koeficientu. Gaujas horizonta ūdens caurplūdes koeficients (T) dažādos Rīgas reģiona iecirkņos mainās no 400 līdz 600 m²/dnn. Ziemeļaustrumos no Rīgas, kur Gaujas horizonta augšējā daļa ir erodēta, ūdens caurplūdes koeficients nedaudz samazinās (Aņikejeva u.c., 1997; Янсонс и.д., 1965).

Arukilas – Amatas kompleksa pazemes ūdeņu resursu papildināšanās notiek arī visā Rīgas reģionā ūdeņu savstarpējās pārteces rezultātā no blakus horizontiem (pārsvarā no augšējiem). Vislabākie lokālās infiltratīvās barošanās apstākļi ir izpētes reģiona ziemeļaustrumos, kur ūdens komplekss atsedzas zemkvartāra virsmā (Aņikejeva u.c., 1997).

Pazemes ūdeņu spiediena samazināšanās Arukilas – Amatas ūdens kompleksā ir novērojama virzienā uz dabisko atslodzes apgabalu – Rīgas līci. Lokāla pazemes ūdeņu

atslodze notiek arī Daugavas, Gaujas un Lielupes ielejās. Intensīvas ūdens ieguves rezultātā Rīgas reģionā stipri mainījusies dabiskā pazemes ūdeņu apmaiņa. Pirms ekspluatācijas uzsākšanas Pļaviņu - Daugavas ūdens horizontu kompleksa pjezometriskais līmenis bija par 5 līdz 10 m zemāks nekā Arukilas – Amatas kompleksā. Pazemes ūdeņu ekspluatācijas rezultātā izmainījās abu iepriekš minēto ūdens kompleksu līmeņu attiecība, un pazemes ūdeņu pārteces virziens mainījās no augšupejošas uz lejupejošu (Aņikejeva u.c., 1997; Янсонс и.д., 1965).

Artēzisko ūdeņu dabiskais sastāvs

„Lielās Rīgas” reģiona artēzisko ūdeņu ķīmiskais sastāvs, salīdzinājumā ar gruntsūdeņiem ir daudzveidīgāks. To nosaka devona nogulumu litoloģiskā sastāva diferenciācija un tektoniskie apstākļi (Aņikejeva u.c., 1997).

Visos aktīvās ūdens apmaiņas zonas horizontos pārsvarā sastopami hidroģēnkarbonātu - kalcija tipa ūdeņi ar sausni no 0,1 līdz 0,5 g/l. Šo ūdeņu kvalitātes rādītāji (izņemot dzelzs saturu un atsevišķos gadījumos arī cietību) nepārsniedz normatīvajos aktos noteiktos lielumus (Aņikejeva u.c., 1997; Янсонс и.д., 1965).

Pļaviņu – Daugavas ūdens kompleksā dienvidos un rietumos no Rīgas izplatīti sulfātu – kalcija tipa ūdeņi. Salaspils nogulumu, konkrēti, tajos esošais ģipsis, rada paaugstinātu sulfātu un kalcija koncentrāciju (Aņikejeva u.c., 1997). Sulfātu – kalcija tipa ūdeņi sastopami arī Arukilas – Amatas kompleksa augšējā un apakšējā daļā. Šī tipa ūdeņi izveidojušies starphorizontu pārteces rezultātā. Arukilas – Amatas kompleksa vidusdaļā (Gaujas ūdens horizonts) iepriekš minētā ūdeņu pārteces ietekme nav liela. Bet neskatoties uz to, Rīgas apkārtnē samērā plašos reģionos sastopami sulfātu tipa pazemes ūdeņi ar mineralizāciju līdz 0,9 g/l (Aņikejeva u.c., 1997).

Austrumos no Rīgas gar Daugavu līdz pat Lielvārdei Arukilas – Amatas kompleksā gan augšējā, gan apakšējā daļā ir sastopami hlorīdu – nātrija tipa ūdeņi (Aņikejeva u.c., 1997).

3.4. Pazemes ūdeņu monitorings

Maģistra darbā ietvertā pētījuma īstenošanai ir izmantoti pazemes ūdeņu monitoringa dati, kas ietver ilggadīgus regulārus, stacionārus pazemes ūdeņu novērojumus par ūdeņu līmeņu un kvalitātes izmaiņām.

Pazemes ūdeņu monitoringa vēsture Latvijā sākas pagājušā gadsimta beigās, novērojot pazemes ūdeņu režīmu saistībā ar pilsētas kanalizācijas tīkla projektēšanu 1881. gadā. Laika posmā no 1903. – 1904. gadam šādi novērojumi veikti Baltezera rajonā saistībā ar gruntsūdeņu ūdensgūtnes projektēšanu. 1930. – 1942. gadā jau tiek veikti detāli gruntsūdeņu režīma pētījumi. Šie novērojumi tika veikti ļoti rūpīgi un to rezultātā iegūtā informācija bija

ļoti noderīga veidojot „Lielās Rīgas” hidroģeoloģisko modeli (Jankins u.c., 1993; Pazemes ūdeņu monitorings, bez.dat.).

Pēckara gados pazemes ūdeņu režīma novērojumus veica dažādas organizācijas. Regulāri pazemes ūdeņu režīma novērojumi visā Latvijas teritorijā sākti 1959. gadā. Sākumā režīma novērojumi tika veikti tikai Rīgā un Jelgavā, kā arī Ķemeru un Baldones kūrortos. Bet saistībā ar jaunu ūdensgūtņu izveidi un Pļaviņu, Rīgas ūdenskrātuvju izveidi novērojumu urbumu skaits pieaug (Jankins u.c., 1993). 1976. gadā sākās otrās paaudzes stacionārā režīma novērojumu tīkla veidošana. Pjezometri tika ierīkoti visos aktīvās ūdens apmaiņas zonas horizontos, tādējādi paplašinot novērojumu tīklu. Galvenā vērība tika veltīta pazemes ūdeņu fona sastāva un tā izmaiņu izpētei. 1985. gadā šāda veida hidroķīmiskie pētījumi tika veikti 12 posteņu 357 urbumos (Pazemes ūdeņu monitorings, bez.dat.).

Pašlaik Latvijas Republikas teritorijā noteikti 16 pazemes ūdensobjekti, kuros veic pazemes ūdens monitoringu. Pašlaik Latvijas teritorijā ir 51 monitoringa postenis, no kuriem 19 atrodas izpētes teritorijā. Programmā iekļauti arī avoti, tādējādi pilnveidojot novērojumu sistēmu (LVĢMC portāls, bez. dat.)

4. MATERIĀLI UN METODES

Maģistra darba izstrāde tika sadalīta vairākos posmos. Vispirms tika apzināta un studēta zinātniskā literatūra par pētījuma tēmu. Tad apkopota informācija par iepriekšējiem pētījumiem un teritorijas ģeoloģiskajiem, hidroģeoloģiskajiem apstākļiem. Maģistra darbā tika izmantoti ilgtermiņa novērojuma dati no monitoringa urbumiem, kā arī iegūta nepieciešamā informācija no ekspluatācijas urbumiem. Pēc tam maģistra darba ietvaros tika veikta datu statistiskā analīze, to novērtēšana un apstrāde. Bet pētījuma beigās tiek veikta iegūto rezultātu analīze, uz kuriem balstīti izdarītie secinājumi.

4.1. Literatūras studijas

Lai iegūtu nepieciešamo informāciju par maģistra darbā pētāmo tēmu tika apzināta zinātniskā literatūra Latvijas Universitātes Zemes un vides zinātņu bibliotēkā, kā arī Latvijas Universitātes abonētās datubāzes, piemēram, *ScienceDirect*, *SpringerLink*. Pēc esošās informācijas tika atlasīta un izvērtēta noderīgākā, kas tika izmantota tālākai pētījuma realizēšanai.

Literatūras studiju laikā iegūtas zināšanas par pazemes ūdens ķīmiskā sastāva veidošanos, kā arī apskatot pazemes ūdeņu sastāva veidošanos ietekmējošos faktorus. Tāpat tika aplūkota pazemes ūdens pieplūde un dinamika viena un vairāku urbumu ietvaros, lai iepazītos ar depresijas piltuves rašanās mehānismu.

„Lielās Rīgas” depresijas piltuve un ūdens kvalitātes izmaiņas jau ir novērotas un pētītas iepriekšējos gados, tāpēc tika apzināta Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrā esošā informācija un atskaites Valsts Ģeoloģijas fondā, kā arī Arsenjevas J. (2009) bakalaurs darbs.

Maģistra darba izstrādē ir izmantots kartogrāfiskais materiāls, kas sniedz informāciju par ģeoloģiskajiem un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem izpētes teritorijā.

4.2. Kamerālie darbi

Maģistra darba izstrādē kamerālo darbu ietvaros tika veikta no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra datu bāzes atlasīto datu un informācijas analīze un apstrāde. Šie darbi iedalāmi vairākos secīgos posmos, sākot ar nepieciešamās informācijas iegūvi, to statistisko apstrādi, un beidzot ar datu interpretāciju.

4.2.1. Pētījumā izmantotie dati

Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs uztur datu bāzes par pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva, fizikālo īpašību un līmeņa ilgtermiņa novērojumiem, kas ir izmantotas maģistra darba īstenošanai. Pētījuma teritorijā ievērojamas hidrodinamisko apstākļu izmaiņas ūdens ieguves rezultātā ir sāktas novērot no 20.gs. 60 – to gadu sākuma. Novērojot depresijas

piltuves palielināšanos, papildus tika ierīkoti arī jauni monitoringa urbumi un datu apjoms palielinās. 1. pielikumā ir atspoguļota informācija, par maģistra darbā izmantotajiem monitoringa urbumiem, kuros veikti gan pazemes ūdens līmeņa, gan ķīmiskā sastāva ilgtermiņa novērojumi. Lai iegūtu precīzāku hidroģeoloģisko apstākļu raksturojumu, konkrēti pazemes ūdens līmeņu izmaiņas, papildus tika arī izmantota informācija par ierīkotajiem ekspluatācijas urbumiem attiecīgajā laika posmā. Nepieciešamo datu un informācijas ieguvei un to eksportam uz nepieciešamajiem failu formātiem no datu bāzes tika apgūta un pielietota *MySQL* sintakse.

No datu bāzes ir pieejami dati un informācija aptuveni par piecdesmit un vairāk gadu ilgu laika periodu. Maģistra darba īstenošanai izmantoti dati par šādiem parametriem un lielumiem: jonu koncentrācijas (mg/l): Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ kopā ar K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , kā arī pazemes ūdens līmeņu atzīmes (m v.j.l.).

Lai novērtētu Gaujas ūdens horizonta izmaiņas saistībā ar ūdens ieguves daudzumu, tika apkopota vispārīga informācija par ūdensieguvi no LVĢMC Valsts Ģeoloģijas fondos esošajām atskaitēm (Толстов и Левина, 1976; Levina 1996). Tā rezultātā tika iegūta informācija par ūdens patēriņu Rīgas reģionā laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam.

4.2.2. Datu statistiskās apstrādes metode

No LVĢMC datu bāzes ir pieejamas garas datu rindas par pazemes ūdens ķīmisko sastāvu sākot no 20.gs. 60-tajiem. Tā kā laika periods ir garš, tad iespējams starp datiem ir mērījumi, kas ir kļūdaini. Tāpēc tika veikta datu statistiskā analīze, lai izslēgtu kļūdainos mērījumus un iegūtu statistiski ticamu datu kopu. Pētījumā tika izmantota regresijas analīzes metode, kura nosaka pēc kādas likumsakarības mainās rezultatīvā pazīme x , ja izmainās faktoriālās pazīmes y vērtības (Liepa, 1979).

Katram no galvenajiem joniem (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-), katrā no izmantotajiem monitoringa urbumiem, MS Excel vidē tika izveidota līkne, kas attēlo jona koncentrācijas izmaiņas laikā konkrētā monitoringa urbumā. Izmantojot regresijas analīzi tika iegūta līkne, kas matemātiski apraksta jona koncentrācijas izmaiņas laikā. MS Excel vidē veicot darbību - *Add trendline*, tika izvēlēta funkcija, kas vislabāk raksturo izmaiņas, kā arī matemātisks vienādojums, kas to apraksta. Gadījumos kad datu izkliede bija liela vai pārāk mazs datu apjoms, kas liecinātu par izteiktām parametra izmaiņām novērojumu periodā, piemeklēt atbilstošo funkciju starp parametriem bija grūti. Tāpēc par kritēriju kalpoja determinācijas koeficients R^2 , kas raksturo parametru savstarpējo ciešumu. Tāpēc balstoties uz to tika piemeklēta atbilstošākā funkcija. Vienādojumā x vietā, tika ievietota informācija par novērojuma datumu, iegūstot datu kopu, kas pilnībā raksturo regresijas līkni. Tad tika aprēķināta starpība no esošās (datu bāzes iegūtās) un aprēķinātās datu kopas un iegūtajām

vērtībām noteikta standartnovirze. Tika atlasīti dati, kas atrodas divu standartnoviržu attālumā no regresijas līknes. Tā rezultātā tika iegūta datu kopa, kuras ticamība ir 97% (Liepa, 1974).

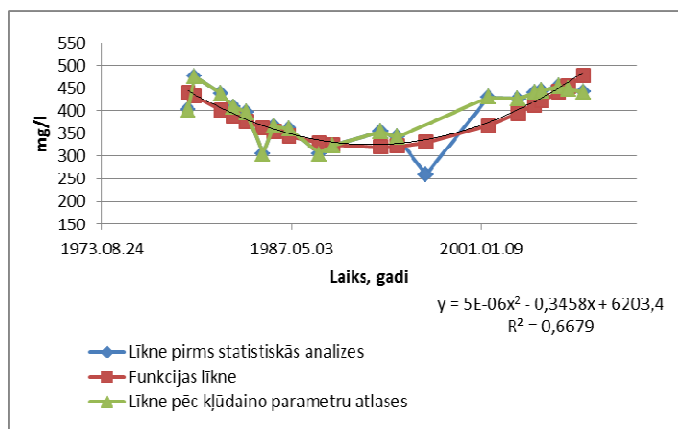
Piemērs. 1599. urbums, filtrs ierīkots Salaspils ūdens horizontā. (LVĢMC, bez.dat.). Aprēķini un to gaita ir attēlota tabulā 4.1., kur redzams datu kopas statistiskais novērtējums.

4.1. tabula

Datu statistiskā analīze hidroģēnkarbonāta jonam no Salaspils ūdens horizonta urbuma nr. 1599 (izstrādājusi autore)

HCO ₃ ⁻ (mg/l) (LVĢMC, bez.dat.)	Datums	Pēc vienādojuma (5E- 06*x^2- 0,3458*x+6203,4) aprēķinātā vērtība	Starpība no esošās un aprēķinātās vērtības	Datu ticamības novērtējums 2 standartnoviržu attālumā no regresijas līknes
402,6	1979.11.02	440,23	-37,63	402,6
475,8	1980.04.24	431,77	44,03	475,8
439,2	1982.03.11	401,44	37,76	439,2
408,7	1983.02.02	388,63	20,07	408,7
396,5	1984.01.23	376,00	20,50	396,5
305	1985.04.03	362,23	-57,23	305
366	1986.01.16	354,20	11,80	366
359,9	1987.02.27	344,28	15,62	359,9
305	1989.05.04	329,74	-24,74	305
323,3	1990.04.03	325,57	-2,27	323,3
354	1993.09.30	320,06	33,94	354
342	1994.12.12	321,99	20,01	342
260	1997.01.09	329,94	-69,94	329,9371454
430	2001.07.11	367,23	62,77	430
427	2003.09.04	394,73	32,27	427
440	2004.11.10	412,57	27,43	440
445	2005.06.02	421,64	23,36	445
454	2006.08.22	442,94	11,06	454
448	2007.04.14	454,97	-6,97	448
442	2008.05.28	477,31	-35,31	442
Standartnovirze			34,96	

4.4. attēlā ir attēlots grafiks visai datu kopai par hidroģēnkarbonāta jona statistisko novērtēšanu no 1599. monitoringa urbuma. Pēc tā redzams, ka, iespējams, kļūdaini ir 1997.01.09 noteiktais mērījums, tāpēc tas no tālākas analīzes tas tika izslēgts.



4.4.attēls. Hidrogēnkarbonāta jona izmaiņas laikā 1599. urbumā Salaspils ūdens horizontā un tā statistiskā analīze (izstrādājusi autore)

Pēc galveno jonu (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-) datu statistiskās apstrādes tika veikts to pārrēķins uz mg-ekv/l saturu paraugā. Aprēķins uz mg-ekv/l tika veikts pielietojot formulu:

$$C_{\text{mg-ekv/l}} = C_{\text{mg/l}} \times \text{jona vērtība} / \text{jona lādiņš.} \quad (4.1)$$

kur:

$C_{\text{mg-ekv/l}}$ - jona koncentrācija mg-ekv/l;

$C_{\text{mg/l}}$ - jona koncentrācija mg/l (Brezonik and Arnold, 2011).

Piemērs.

458.urbums, Ca^{2+} koncentrācija 106,2 mg/l. Mērījums veikts 1990.03.21. (LVĢMC, bez.dat.).

$$Ca_{\text{mg-ekv/l}} = 106,2 \times (2/40.08) = 5,30$$

Iegūstot šīs vērtības, esošie dati vēlreiz tika novērtēti izmantojot jonu bilanci, skatīt 4.2 vienādojumu, kur izmanto pārrēķinātās jonu vērtības uz mg-ekv/l (Greenberg et.al., 2005).

$$\text{Jonu balance} = 100\% \frac{\sum \text{katjoni} - \sum \text{anjoni}}{\sum \text{katjoni} + \sum \text{anjoni}} \quad (4.2)$$

Jonu bilancei ideālā variantā būtu jābūt 0, ja gan katjonu, gan anjonu summa ir vienāda, bet lielākajā gadījumā ir novērojama nobīde, kas rodas summējoties kopā jonu noteikšanas kļūdām, gan arī dažos gadījumos neņemot vērā tādus makrokomponentus, kā dzelzi, CO_3^{2-} u.c. (Greenberg et.al., 2005). 4.2. tabulā ir atspoguļoti kritēriji, pēc kuriem esošos datus pieņem par ticamiem. Tā kā esošajos datos anjonu summa ir augstāka par 10.0 mg-ekv/l, tad par ticamiem tika uzskatīti dati, kur jonu bilances starpība nepārsniedz 5%.

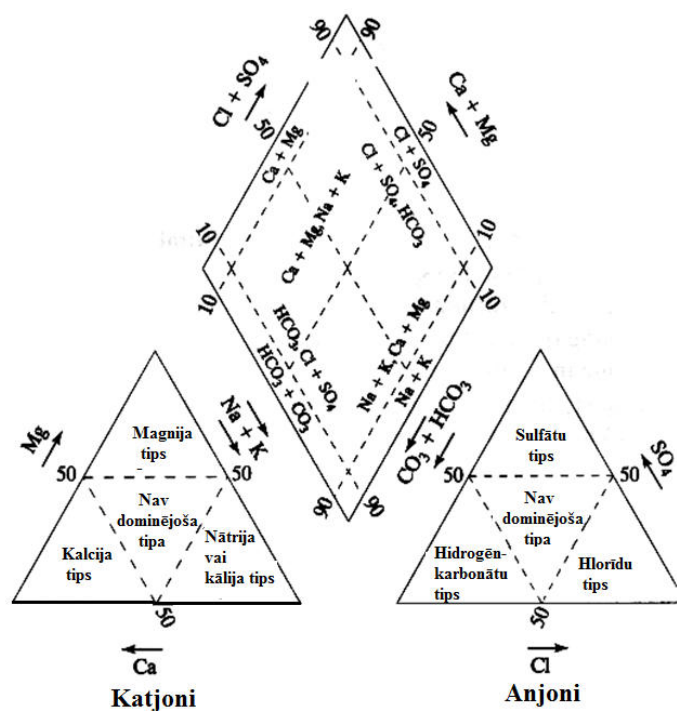
Datu akceptēšanas kritēriji pēc jonu bilances(Greenberg et.al., 2005)

Anjonu summa mg-ekv/l	Pieļaujamā starpība %
0 – 3.0	± 0.2
3.0 – 10.0	± 2
10.0 – 800	± 2 – 5

4.2.3. Grafiskās analīzes metode un ūdens tipa noteikšana

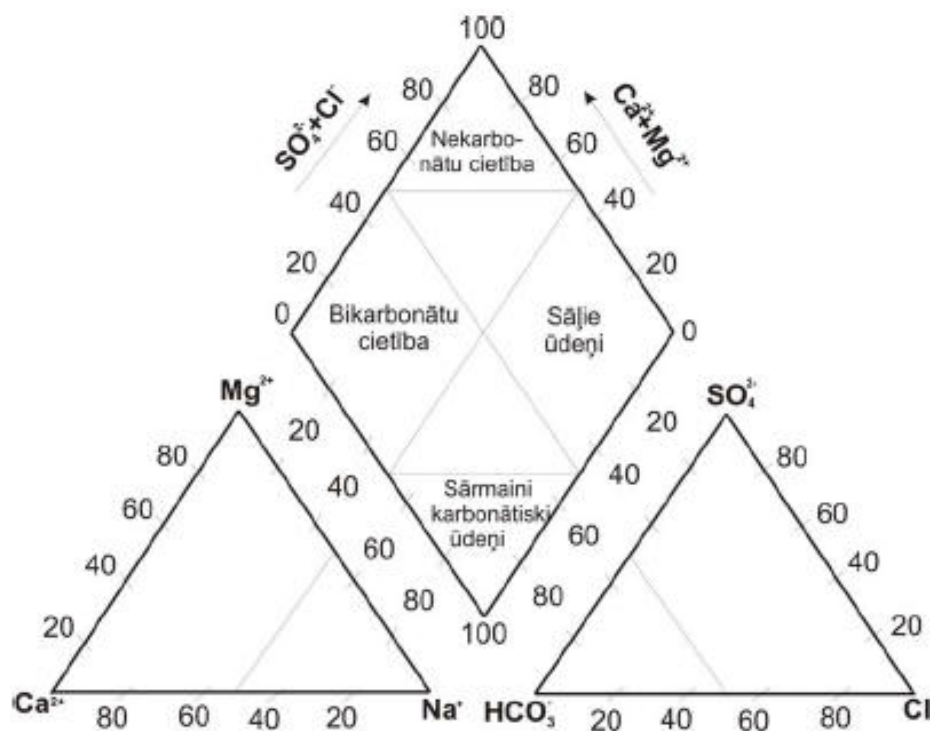
Izmantojot brīvā koda statistikas programmu „R”, versija 2.7.2, tika izveidotas Paipera diagrammas, kas ir viena no populārākajām pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva grafiskās analīzes metodēm. Ar šīs diagrammas palīdzību darbā tiek raksturotas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas konkrētā monitoringa urbumā novērojumu periodā. Apzīmējot ar atšķirīgu krāsu veikto mērījumu, uzskatāmi var novērot ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas laikā. Lai veiktu nepieciešamās darbības, „R” vidē tika izmantotas spraudņi *hydrogeo*, kas nepieciešams Paipera diagrammas izveidei, kā arī *sp*, ar kura palīdzību var piešķirt, katram mērījumam citu krāsu skalā no zila līdz dzeltenai. Paipera diagrammas šajā programmā, tika veidotas izmantojot komandu rindas (Kuhnert and Vanables, 2005).

Paipera diagrammas tika izmantotas, lai noteikti pazemes ūdens sastāva tipu pēc ūdens paraugā dominējošā katjona un anjona, kura relatīvā koncentrācija paraugā ir virs 50%, skatīt 4.5. attēlu (Domenico and Schwartz, 1980; Kehew, 2001).



4.5.attēls Ūdens klasifikācija pēc Paipera diagrammas (Kehew, 2001).

Pēc augšējās rombveida diagrammas arī var veikt pazemes ūdens klasifikāciju. Ja ūdens parauga dati projicējas diagrammas augšējā stūrī, tad paraugam raksturīga nekarbonātu cietība – augsts kalcija, magnija, hlorīdu un sulfātjonu saturs. Ja dati projicējas rombveida diagrammas labajā stūrī, tad tie ir sāļie ūdeņi ar augstu nātrija, kālija, hlorīdu un sulfātjonu saturu. Diagrammas apakšējā stūrī atrodas ūdeņi ar augstu nātrija, kālija, hidroģēnkarbonātu un karbonātu saturu, bet datiem, kas projicējas diagrammas kreisajā stūrī ir raksturīga hidroģēnkarbonātu cietība, jo tajos ir augstas kalcija, magnija un hidroģēnkarbonātu koncentrācijas. (LU Bioloģijas institūts, 2007) To uzskatāmi var redzēt 4.6. attēlā.



4.6. attēls. Pazemes ūdeņu īpašību un sastāva attēlojums Paipera diagrammā (Kokorīte, 2007)

4.3.4. Pazemes ūdens līmeņu un plūsmu vizualizācija

Pētījumā pazemes ūdeņu plūsmu raksturošanai tika izmantots Baltijas artēziskā baseina (BAB) hidroģeoloģiskais modelis, kas izveidots „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” projekta ietvaros, balstoties uz izstrādāto modelēšanas sistēmu MOSYS (Seņņikovs, 2011; Virbulis et.al., 2012). Savukārt aprēķinu vizualizācija un analīze tika veikta programmatūrā HiFiGeo (PAIC, 2002). Izmantojot aprēķinātos pazemes ūdeņu līmeņus situācijām, kas iegūtas balstoties uz ūdens ieguves datiem (Klints et.al., 2012), HiFiGeo tika izgatavots hidroģeoloģiskais griezum, kas attēlo gan pazemes ūdens plūsmas, gan ūdens līmeņu izmaiņas.

Projekta PUMA ietvaros, balstoties uz ūdens ieguves datiem, ir aprēķināti pazemes ūdens līmeņi trīs dažādiem laika periodiem visā Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskā modeļa teritorijā (Klints et.al., 2012).

1950. gads - raksturo cilvēka darbības rezultātā neizmainīto situāciju. Ir minimāla ūdens ieguve un gandrīz nemanāmas izmaiņas pazemes ūdens aprites ciklā.

1980. gads – raksturo izmainītos hidroģeoloģiskos apstākļus, kas radušies intensīvi ekspluatējot pazemes ūdens resursus.

2000. gads - ataino pazemes ūdens plūsmas un līmeņu atjaunošanos, kad ir sabalansēta ūdens ieguve, un tā rezultātā minimāla ietekme.

4.2.5. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās

Lai analizētu dažādu ūdens tipu sajaukšanos starphorizontu pārteces rezultātā, tika konstruētas ūdens sajaukšanās līknes, definējot iespējamo dažādu sākotnējo ūdens tipu sastāvu un novērojot vai šo tipu sajaukšanās rezultātā iespējams iegūt novēroto ūdens sastāvu. Šim mērķim tika analizēta divu komponentu Cl^- un SO_4^{2-} koncentrāciju izmaiņas laika gaitā. Hlorīdjonu koncentrācija tiek izmantota, jo ūdens paraugos tas ir labs traseris (Raidla et.al., 2008; Charef et.al., 2011). Tāpat, izmantojot šī jona koncentrāciju ir iespējamas noteikt aptuvenu dziļāko ūdens horizonta intrūzijas apjomu un īpatsvaru (Montety et.al., 2008), jo izpētes teritorijā vietām ir novērojamas šī procesa izpausmes. Salaspils ūdens horizontā ir paaugstināta sulfātjonu koncentrācija, bet hlorīdjonu īpatsvars ir salīdzinoši mazāks salīdzinājumā ar ūdens sastāvu Arukilas ūdens horizontā, tāpēc par otru raksturojošo komponenti tika izvēlēts šis jons. Grafiskā uz x ass tiek atliktas hlorīdjonu (Cl^-) vērtības, savukārt uz y ass sulfātu (SO_4^{2-}) vērtības, kas izteiktas mg-ekv/l.

Grafiks, kas raksturo sajaukšanās procesu, tiek veidots atsevišķi katram monitoringa postenim. Tiek noteiktas hlorīdu un sulfātu jonu vidējās vērtības, kas raksturo gan Arukilas, gan Salaspils ūdens horizontu, jo datu izkliede nav liela, kā rezultātā iegūtās vērtības ir reprezentatīvas. Monitoringa postenī „Imanta”, novērojot hlorīdjonu koncentrācijas palielināšanos Salaspils ūdens horizontā, vidējās vērtības aprēķināšanai tika izmantots laika periods no 1972. līdz 1979. gadam. Šajā periodā nav novērojama būtiska hlorīdjonu koncentrācijas palielināšanās. Tā rezultātā precīzi tiek raksturota situācija tikai konkrētā novērojuma vietā. Savukārt par sajaukšanās līknes beigu punktu tiek ņemtas hlorīdu un sulfātu vērtības no pirmā ieraksta (vissenākā) par Gaujas ūdens horizonta ķīmisko sastāvu.

Zinot hlorīdu un sulfātu jonu koncentrācijas divos dažādos ūdens horizontos var izveidot lineāru sajaukšanās līkni (Yamanaka et.al., 2005) un attēlot to grafiski, iekļaujot arī mērījumus no ūdens horizontiem, kur novērojamas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas un tā rezultātā spriest par konkrētiem avotiem un novērtēt to īpatsvaru

Grafiku izveide tika veikta datorprogrammas MS Excel vidē. Ja monitoringa postenī bija pieejama informācija gan par Salaspils, gan kādu no Arukilas – Amatas ūdens kompleksa apakšējās daļas horizontu, tad viena grafika ietvaros tika attēlotas divas sajaukšanās līknes.

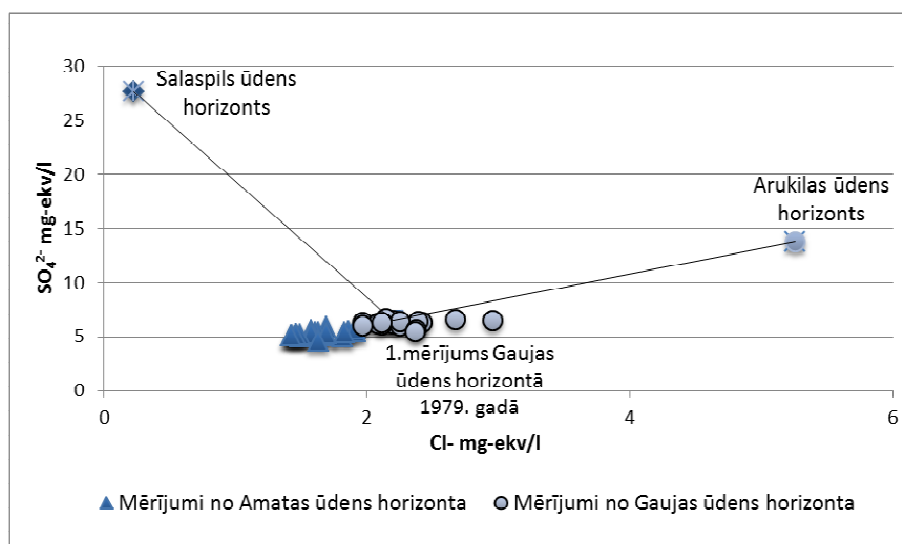
Piemērs:

Monitoringa postenis „Tīreļi”, Gaujas ūdens horizontā hlorīdu un sulfātu vērtības no 1979. gada 25. oktobra un vidējās vērtības no Salaspils un Arukilas ūdens horizonta atspoguļota 4.3. tabulā.

Hlorīdu un sulfātu jonu vērtības no monitoringa posteņa „Tīreļi” (autore pēc LVĢMC, bez.dat.)

	SO ₄ ²⁻ mg-ekv/l	Cl ⁻ mg-ekv/l
Gaujas ūdens horizonts (1979.10.25)	6,45	2,2
Salaspils ūdens horizonts	27,6	0,23
Arukilas ūdens horizonts	13,8	5,25

Esošā informācija tiek attēlota grafikā, kur arī atspoguļoti ticamie hlorīdu un sulfātu jonu koncentrācijas dati no monitoringa urbuma nr.1595. Pēc grafika var novērot Arukilas un Gaujas horizontu ūdeņu sajaukšanās procesu, skatī 4.6. attēlu



4.6. attēls. **Dažādu ūdens tipu sajaukšanās monitoringa postenī „Tīreļi”** — - sajaukšanās līkne starp Salaspils vai Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni (izstrādājusi autore pēc LVĢMC , bez. dat.)

4.2.6. Kartogrāfiskā materiāla izveide

Maģistra darba izstrādes gaitā plaši tika izmantotas kartogrāfiskās metodes kā arī grafiskās, lai labāk atspoguļotu informāciju un rezultātus. Kartogrāfiskais materiāls tika sagatavots izmantojot ArcGIS 9.3 programmatūru, par kartogrāfisko pamatni izmantojot Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes WMS sistēmā pieejamās kartes.

Lai attēlotu iepriekšējos pētījumos iegūtos rezultātus – zonas ar paaugstinātu hlorīdjonu koncentrāciju Arukilas – Amatas ūdens kompleksā, tika veikta šo poligonu digitizācija, kas veikta programmatūras ArcGIS 9.3 vidē. Izmantojot datorprogrammu Surfer 9, tika izveidotas kartes, kas attēlo pazemes ūdens līmeņu sadalījumu dažādos laika periodos. Karšu

sastādīšanai izmantoti LVĢMC datu bāzes dati par pazemes ūdens līmeņiem no monitoringa urbumiem, gan līmeņu novērojumi jaunu ekspluatācijas urbumu ierīkošanas laikā, skatīt pielikumu 2. un 3.

Datu interpolācija tika veikta izmantojot *kriging* metodi. Tās pamatā ir princips, ka attālums vai virziens starp novērojumu punktiem atstāj iespaidu uz datu telpisko korelāciju. Aprēķini tiek veikti, pielietojot vidējā svērtā metodi (Webster and Oliver, 2007).

Izveidojot divas dažādas kartes, kas ataino pazemes ūdens līmeni Gaujas horizontā iepriekš minētajos periodos, programmatūras *Surfer 9* vidē tika veikta darbība *Grid* → *Math*. Ar tās palīdzību tika atņemta jaunākā situācija (1978. – 1981.) no vecākās (1949. – 1951.g.). Šīs darbības pamatā ir matemātiska funkcija $C = f(A;B)$, kur C – jaunais, aprēķinu ceļā iegūtais fails, bet A un B ir ievades faili. Rezultātā iegūstot karti, kas atspoguļo pazemes ūdens līmeņu izmaiņas šajā laika periodā.

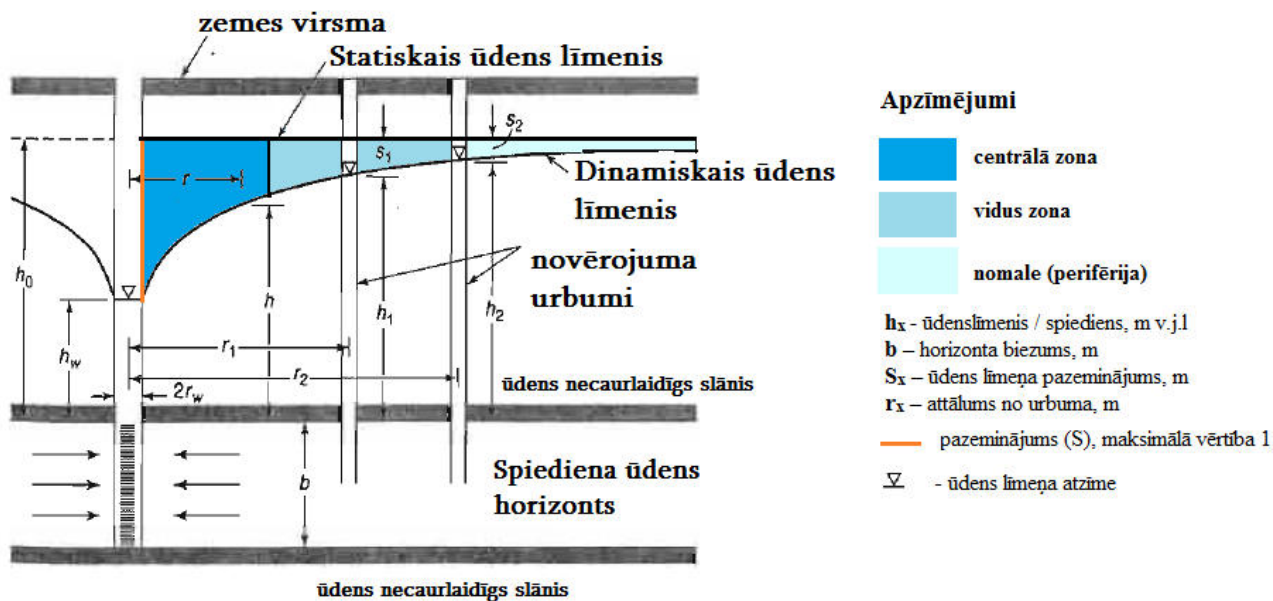
4.3. Depresijas piltuves iedalījums

Iepriekšējos pētījumos depresijas piltuves teritorija tiek aplūkota tikai divās daļās – centrs un nomale (Levina u.c., 1998). Konkrēti izdalīšanas kritēriji nav minēti, bet kā var noprast, tad noteicošie faktori ir ūdens līmeņa pazeminājums. Monitoringa posteņos, kas iepriekšējos pētījumos un pārskatos raksturo situāciju tā sauktajā depresijas piltuves nomalē, ir novērojams, ka 20.gs. 70 - tajos gados ir vairāku metru pazeminājums visā Arukilas – Amatas ūdens kompleksā, kas izmainīja pazemes ūdens plūsmu orientāciju un iespējams radīja labvēlīgus apstākļus, lai notiktu dažādu ūdens tipu sajaukšanās.

Pēc esošajām Gaujas ūdens horizonta hidroizopjēzu shēmām, kas attēlo pazemes ūdens līmeņa izmaiņas Gaujas ūdens horizontā traucēta režīma apstākļos Rīgas apkārtnē (Levina N., Levins I. 2005; Levina, 2001; Semjonovs, 1997) var novērot zināmas līdzības ar ūdens līmeņa izmaiņām, kādas rodas ap vienu ekspluatācijas urbumu. Tāpēc maģistra darba ietvaros tika nolemts veikt „Lielās Rīgas” teritorijas zonējumu balstoties uz shematisku attēlu, kas raksturo ūdens līmeņa izmaiņas, skatīt 4.7. attēlu. No monitoringa posteņa „Imanta” pieejamie dati par pazemes ūdens līmeņiem vislabāk raksturo depresijas piltuves centrālo daļu, jo postenis atrodas tuvu depresijas piltuves ģeometriskajam centram, kā arī ir pieejami ilgtermiņa novērojumu dati par pazemes ūdens līmeņa izmaiņām aktīvās ūdens apmaiņas zonā sākot no 1972. gada.

Aplūkojot shematisku depresijas piltuves attēlojumu ap vienu urbumu, skatīt 4.7 attēlu, var uzskatāmi redzēt, ka vistuvāk ūdens ieguves punktam ūdens līmeņa pazeminājums ir vislielākais, kas nosaka arī augstas hidrauliskā gradienta vērtības šajā vietā. Tālāk tas samazinās, bet tik un tā ir novērojama vairāku metru atšķirība salīdzinājumā ar statisko ūdens

līmeni. Savukārt vistālāk no ūdensgūtvies vietas pazemes ūdens līmeņa pazeminājums ir niecīgs.



4.7. attēls. Depresijas piltuves shematiskais attēlojums un iedalījums zonās (izstrādājusi autore izmantojot Todd and Mays, 2005).

Pētījuma teritorija maģistra darba ietvaros tiek iedalīta balstoties uz šiem principiem, ka centrālajā daļā ūdens līmeņa pazeminājums ir vislielākais. Tad seko vidus zona, kas ir kā pārejas zona starp centrālo zonu un perifēriju. Savukārt perifērijas daļā ir novērojamas nebūtiskas pazemes ūdens līmeņa izmaiņas ekspluatācijas ūdens horizontā. Balstoties uz shematisko depresijas piltuves attēlojumu un pieņemot maksimālās vērtības kā 1, var izdalīt šādus zonēšanas kritērijus, skatīt 4.4. tabulu. Tiek pieņemts, ka 1 raksturo maksimālo pazeminājumu, bet 0,33 daļas no šī pazeminājuma ir centrālās zonas ārējā robeža. Savukārt vidus zonas robežas ir hidroizopjēzas, kas atbilst 0,33 un 0,14 daļām no maksimālā ūdens līmeņa pazeminājuma. Bet depresijas piltuves nomale tiek raksturota kā teritorija, kur ūdens līmeņa atzīmes ir zemākas par 0,14 daļu no maksimālā ūdens līmeņa pazeminājuma.

4.4.tabula

Depresijas piltuves zonēšanas kritēriji (izstrādājusi autore).

Zona	Daļa no maksimālā ūdens līmeņa pazeminājuma	Ūdens līmeņa pazeminājums, m
Centrālā	1 – 0,33	22 – 7,3
Vidus	0,33 – 0,14	7,3 – 3,1
Nomale (perifērija)	< 0,14	<3,1

Maksimālais ūdens līmeņa pazeminājums tiek noteikts no monitoringa posteņa „Imanta” 683. urbuma, kura filtrs ierīkots Gaujas ūdens horizontā. Vislielākais ūdens līmeņa pazeminājums ir novērojams 1978. gadā, kad konstatēts 22,2 m (LVGMC, bez. dat.).

Gaujas ūdens horizonts apskatīts, jo vislielākā dzeramā ūdens ieguve bija no šī horizonta, kā rezultātā novērojams arī būtisks ūdens līmeņu pazeminājums (Semjonovs, 1997). Izmantojot datorprogrammu Surfer 9, tika izgatavota karte, kas atspoguļo faktiskās Gaujas ūdens horizonta līmeņu izmaiņas starp diviem periodiem 1949. – 1951. un 1978. – 1980. gadu. Pirmajā periodā (1949. – 1951.g.) dzeramā ūdens ieguve no artēziskajiem ūdens horizontiem bija minimāla, tāpēc Gaujas ūdens horizonta līmenis atbilst tuvu dabiskajiem, cilvēku darbības rezultātā neizmainītajiem apstākļiem. Savukārt jau pēc aptuveni 30 gadiem intensīvas ūdens ieguves rezultātā, Gaujas ūdens horizontā pazemes ūdens līmeņi bija pazeminājušies ievērojami, sasniedzot atzīmi –16,5 m v.j.l. (LVGMC, bez.dat.) Tā rezultātā traucēta pazemes ūdens režīma apstākļi ir novērojami plašā teritorijā ap Rīgu.

Rezultātā tika iegūta karte, kas raksturo Gaujas ūdens horizonta depresijas piltuves attiecību pret praktiski netraucēto stāvokli šajā ūdens horizontā. Pēc šīs kartes tika noteikts, ka maksimālais Gaujas ūdens horizonta līmeņa pazeminājums ir 22 m, kas ir starpība no šiem diviem stāvokļiem. Šis rezultāts arī tika pieņemts, kā maksimālā vērtība, pēc kuras tika veikti nepieciešamie aprēķini.

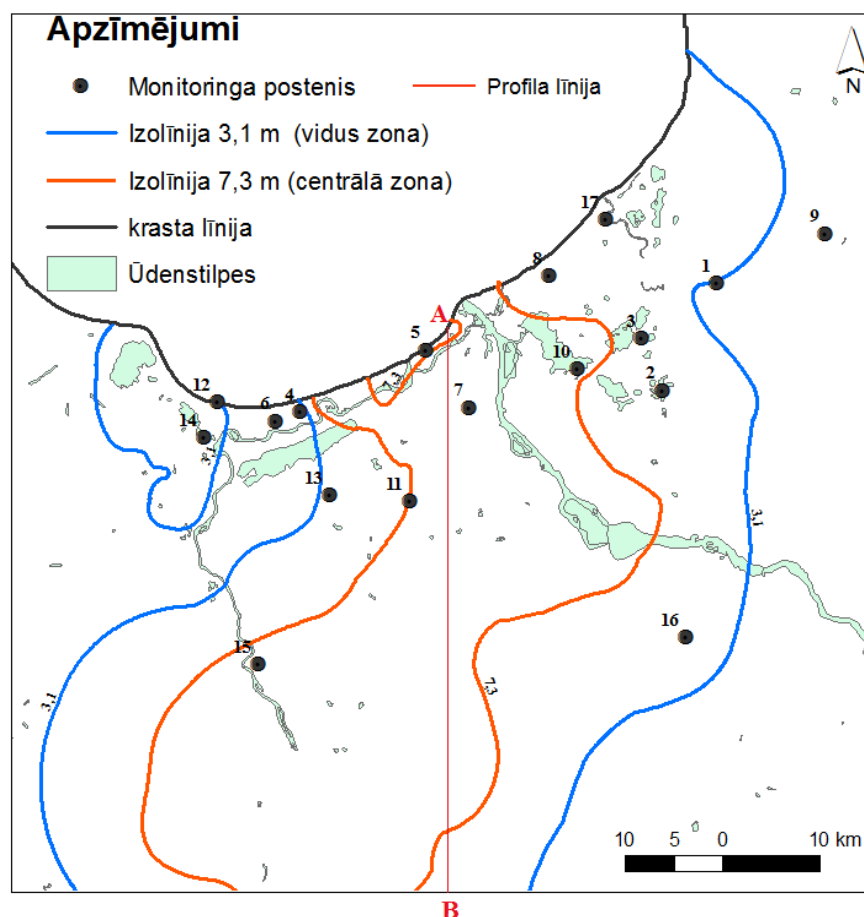
5. PAZEMES ŪDENS ĶĪMISKĀ SASTĀVA IZMAIŅAS DEPRESIJAS PILTUVES TERITORIJĀ

Šajā nodaļā izklāstīti iegūtie rezultāti par pazemes ūdens plūsmu virzieniem attīstoties depresijas piltuvei. Tāpat analizēti un apkopoti rezultāti par pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņām „Lielās Rīgas” teritorijā.

5.1. Pētījuma teritorijas zonējums

Depresijas piltuvi, kas attīstījusies Rīgas teritorijā, un kuru dēvē par „Lielā Rīga”, iepriekšējos pārskaļos (pētījumos) iedala divās zonās – depresijas centrālā daļa un nomale (Levina u.c., 1998). Maģistra darba ietvaros pētījuma teritorija tika sadalīta zonās jeb daļās, kas tiek balstīta uz pazemes ūdens līmeņa pazeminājumu ekspluatācijas horizontā. Balstoties uz izstrādātajiem kritērijiem (4.4 nodaļā), pētījuma teritorija tiek sadalīta trīs zonās un turpmākā pētījuma gaitā tiek aplūkota pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas katrā no tām saistībā ar ūdens līmeņa izmaiņām. Šis iedalījums tika veikts Gaujas ūdens horizontam, laika periodā, kad novērojams vislielākais ūdens līmeņa pazeminājums un depresijas piltuve sasniedza savu maksimālo izplatību.

Tā kā maksimālais novērotais Gaujas ūdens horizonta līmeņa pazeminājums ir 22 m (skatīt 4.4. nodaļu), tad veicot aprēķinus centrālās zonas robežas raksturo izolīnija ar atzīmēm 22 un 7,3 m. Vidus zonas robežas ir izolīnijas ar atzīmēm 7 m un 3,1 m, bet perifērijas daļā iekļaujas teritorija, kur pazemes ūdens līmeņa pazeminājums ir mazāks par 3,1 m. Attēlā 5.1. var redzēt izpētes teritorijas iedalījumu kā arī darbā izmantoto monitoringa posteņu novietojumu.



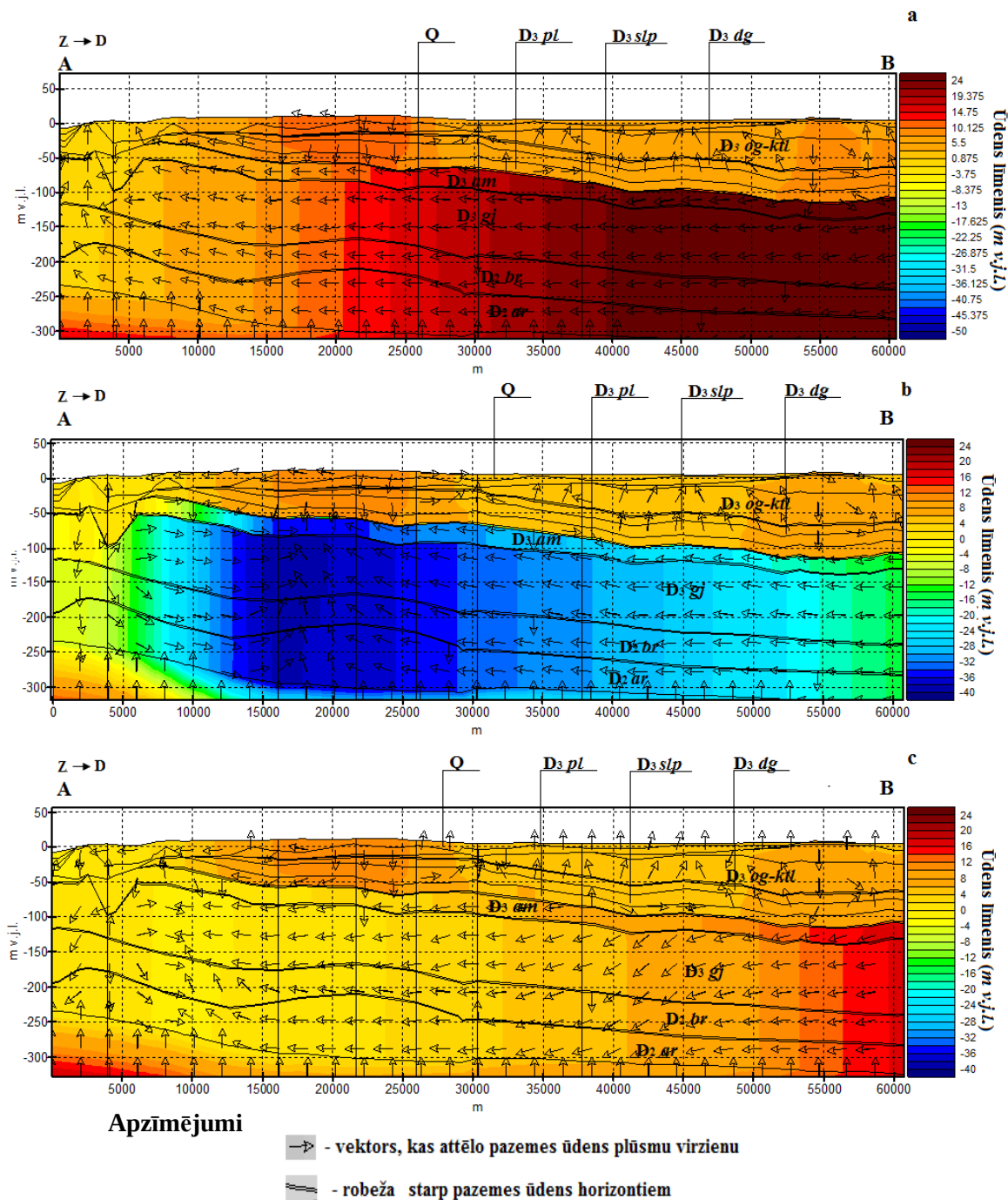
5.1. attēls. Darbā izmatotais Lielās Rīgas depresijas piltuves iedalījums zonās un monitoringa staciju atrašanās punkti.. 1 – Piukas, 2 – Upesciems, 3 – Baltezers, 4 – Jaundubulti, 5 – Buļļupe, 6 – Asari, 7 – Imanta, 8 – Kalngale, 9 – Inčukalns, 10 – Jugla, 11 – Mārupe, 12 – Kauguri, 13 – Tīreļi, 14 – Sloka, 15 – Lielupe, 16 – Baldone, 17 – Carnikava (sastādījusi autore)

5.2. Līmeņu un plūsmas izmaiņas 50 gadu periodā

Hidrodinamisko apstākļu izmaiņas izpētes teritorijā tiek raksturotas izmantojot hidroģeoloģisko modeli, kas izveidots PUMa projekta ietvaros (Virbulis et.al., 2012), un balstoties uz aprēķinātajiem ūdens ieguves scenārijiem (Klints et.al., 2012) izveidots hidroģeoloģiskais griezumš, kas orientēts tā, lai raksturotu gan depresijas piltuvi, skatīt 5.1. attēlu. Šajā griezumā tiek raksturotas pazemes ūdens spiediena un plūsmas izmaiņas trīs laika momentos: 1950., 1980. un 2000. gads.

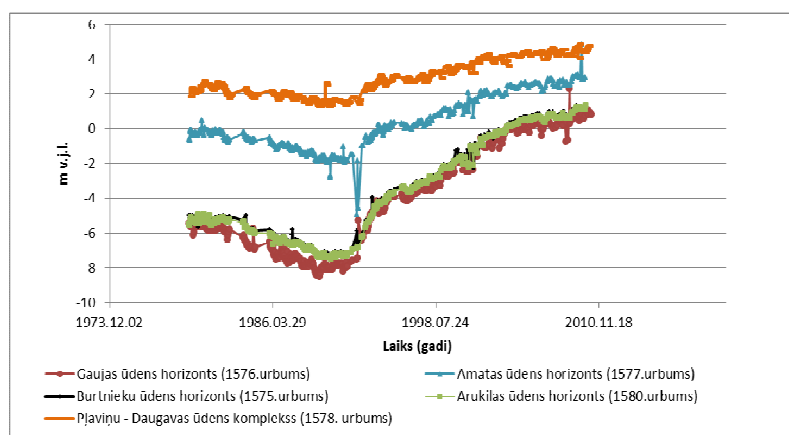
Attēlotie hidrodinamiskie apstākļi: pazemes ūdens spiediens un plūsmas virzieni 1950. gadā tiek pieņemts, ka raksturo netraucēta režīma pazemes ūdens apstākļus, jo dzeramā ūdens ieguves apjomi no Gaujas ūdens horizonta ir ļoti minimāli (Klints et.al., 2012). Šajā laika posmā ūdens līmeņa atzīmes Arukilas - Amatas ūdens horizontā ir robežās no 1 līdz 13 m v.j.l. (LVĢMC, bez. dat.) Arī modelētajā situācijā ūdens līmeņa atzīmes ir tuvas novērojumu datiem, atšķirība ir mērāma 1 – 2 m robežās. Hidroģeoloģiskajā griezumā skaidri izdalās divi savstarpēji hidrauliski nesaistīti ūdens kompleksi – Arukilas – Amatas un Pļaviņu –

Daugavas, uz to uzskatāmi norāda ūdens spiediena atšķirības, skatīt 5.2.a attēlu. Pazemes ūdens plūsmas visos ūdens horizontos ir vērstas no barošanās apgabala, kas atrodas dienvidos, uz atslodzes vietu Rīgas līcī.



5.2. attēls. Modelētās pazemes ūdens plūsmas un spiediena sadalījums hidroģeoloģiskajā griezumā A-B (skatīt 5.1. attēlu) a) 1950. gads, b) 1980. gads, c) 2000. gads (izstrādājusi autore) Q – Kvartārs, $D_3\ og-ktl$ – Katlešu – Ogres ūdens horizonts, $D_3\ dg$ – Daugavas ūdens horizonts, $D_3\ slp$ – Salaspils ūdens horizonts, $D_3\ pl$ – Pļaviņu ūdens horizonts, $D_3\ am$ – Amatas ūdens horizonts, $D_3\ gj$ – Gaujas ūdens horizonts, $D_2\ br$ – Burtnieku ūdens horizonts, $D_2\ ar$ – Arukilas ūdens horizonts.

1980. gadā šajā pašā griezumā var novērot, ka hidro dinamiskie apstākļi ir būtiski izmainījušies, skatīt 5.2.b attēlu. To, galvenokārt, nosaka ievērojamās ūdens spiediena izmaiņas Gaujas ūdens horizontā. Ūdens plūsmas no paguļošajiem un pārsedzošajiem ūdens horizontiem ir vērstas uz depresijas piltuves centrālo daļu. Modeļa rezultāti uzrāda ievērojami lielāku minimālo Gaujas ūdens horizonta līmeņa atzīmi (ap -40 m v.j.l.), nekā novērots dabā – 16,5 m v.j.l. 1978. gadā (LVĢMC, bez.dat.). Tā rezultātā parādās plašāka depresijas piltuves izplatība un ievērojamas ūdens līmeņa izmaiņas ir novērojamas visā Arukilas – Amatas ūdens kompleksā. Tāpēc nebūtu korekti balstīties tikai uz šo informāciju, lai raksturotu pazemes ūdens plūsmu virzienu. Tāpēc, var novērtēt, ka situācija šajā laika posmā bija līdzīga, bet piltuves izplatība mazāka. Rezultātā skaidri izdalās, ka intensīva dzeramā ūdens ieguve no Gaujas ūdens horizonta izraisīja līmeņa izmaiņas visā Arukilas – Amatas ūdens kompleksā. Šo pieņēmumu arī apstiprina 5.3. attēls, kur atainotas ilgtermiņa ūdens horizontu līmeņa izmaiņas monitoringa postenī „Mārupe”. Tāpat esošās hidro dinamiskās izmaiņas radīja radiāli orientētu ūdens pieplūdi depresijas piltuves centram. Savukārt virsējais ūdens horizonts, kā Pļaviņu un Salaspils izmainījies ir tikai ūdens plūsmu orientācija virs depresijas piltuves centra.



5.3.attēls. Pazemes ūdens līmeņu svārstības monitoringa postenī „Mārupe” (izstrādājis autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Arī modelī REMO (Spalviņš u.c., 1996), kurā ir pētītas pazemes ūdens līmeņu izmaiņas Rīgas reģionā, ir novērotas nesakritības ar modelēšanas ceļā iegūtām vērtībām un dabā novērotajām. Tas tiek skaidrots ar nepietiekamu datu apjomu tieši par 1980. gada periodu (Spalviņš u.c., 1996). Tā rezultātā REMO modelī tiek iegūti augstāki ūdens līmeņi, nekā novērotie. Lielākā nesakritība, kas mērāma ap 8 m, ir novērojama monitoringa urbumā nr. 543. (Spalviņš u.c., 1996). Savukārt aprēķinātā pazemes ūdens līmeņu situācija Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskajam modelim uz 1980. gadu uzrāda lielākus minimālos ūdens līmeņus aktīvajā ūdens apmaiņas zonā, kas ir ap -40 m v.j.l. Tas izskaidrojams ar

nepietiekamo modeļa detalizāciju, kas sevī ietver arī iežu parametrus, piemēram, filtrācijas koeficientu.

Situācija 2000. gadā raksturo ūdens līmeņu atjaunošanos 10 gadus pēc intensīvas Gaujas ūdens horizonta ekspluatācijas. Kā redzams attēlā 5.2.c. tad ūdens līmeņi ir gandrīz atjaunojušies līdz netraucēta režīma atzīmēm, un lokāli ūdens spiediena pazeminājumi ir izskaidrojami ar pašreizējo dzeramā ūdens ieguvi. Tā rezultātā Gaujas ūdens horizontā ir novērojama plūsmu virzienu diferenciācija, kas ir vērsta gan uz dabisko atslodzes vietu – Rīgas līci, gan uz ūdensgūtvēm. Pēc novērojumiem Gaujas ūdens horizontā ūdens līmeņa atzīmes depresijas piltuves centrālajā daļā ir robežās no -2,5 līdz -1 m v.j.l., bet tālāk no centrālās daļas no -0,5 līdz pat 8 m v.j.l. (LVĢMC, bez.dat.), kas būtiski neatšķiras no Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskajā modelī aprēķinātā scenārija 2000. gadam.

5.3. Pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva izmaiņas

Maģistra darba ietvaros, izmantojot monitoringa datus par pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu, tika analizētas ūdens horizontu ķīmiskā sastāva izmaiņas iepriekš definētajās depresijas piltuves zonās – centrālā, vidus un perifērijā (nomale).

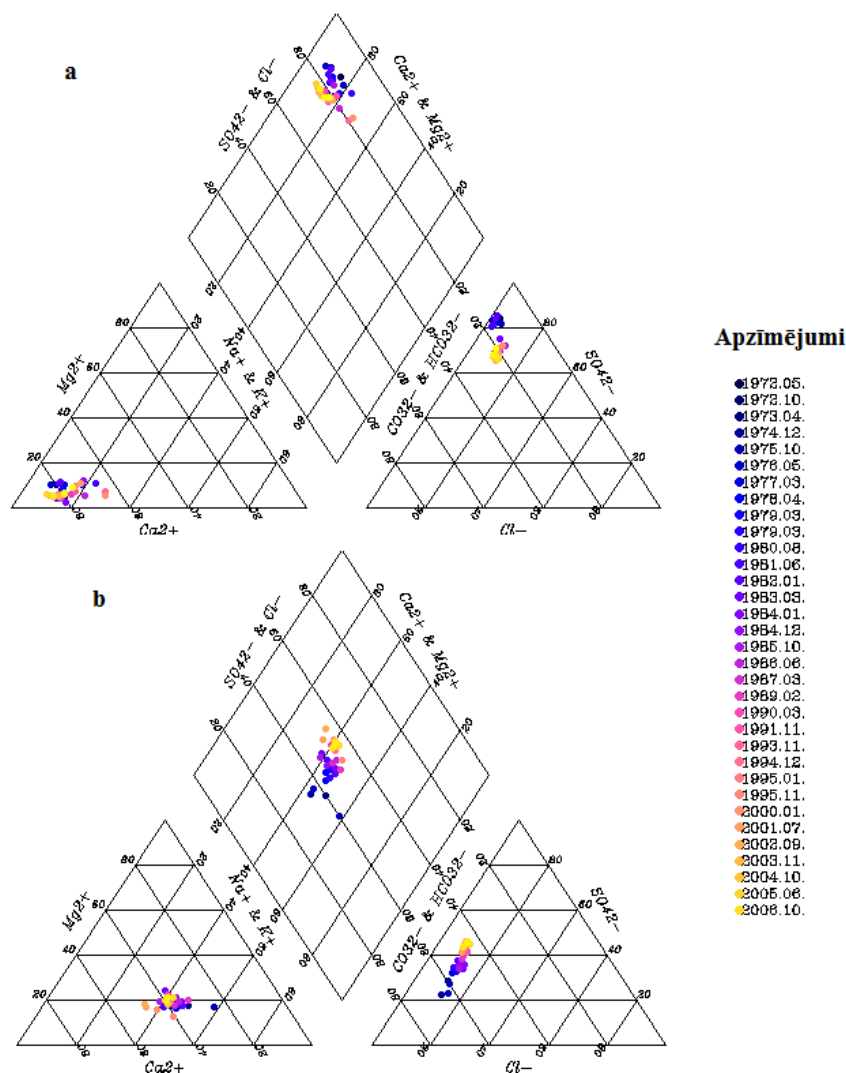
5.3.1. „Lielās Rīgas” centrālā zona

Par „Lielās Rīgas” depresijas piltuves centru tiek uzskatīta daļa, kur pazemes ūdeņu līmeņa pazeminājums attiecībā pret netraucēto stāvokli Gaujas ūdens horizontā ir vislielākais. Šajā teritorijā ietilpst četri monitoringa posteņi „Imanta”, „Jugla”, „Mārupe” un „Lielupe”, skatīt 5.1. attēlu. Postenī „Mārupe” ir konstatēts slikts urbumu tehniskais stāvoklis, kā rezultātā notiek ūdens pietece no citiem horizontiem, tā rezultātā iegūtie dati neatspoguļo reālo situāciju (Semjonovs, 1997). Tāpēc tālākai analīzei dati no šīs novērojumu vietas netiek izmantoti.

Savstarpēji salīdzinot pārējos posteņu datus, ir jāņem vērā Salaspils svītas izplatība, jo izpētes teritorijas rietumos, ziemeļrietumos tā nav sastopama. Līdz ar to depresijas piltuves centrālajā zonā ir novērojamas divas atšķirīgas tendences – monitoringa postenī „Imanta” Arukilas – Amatas ūdens kompleksa augšējos horizontos ir novērojama sulfāta jona relatīvās koncentrācijas palielināšanās. Savukārt, izmainoties hidrodinamiskajiem apstākļiem aktīvajā ūdens apmaiņas zona monitoringa postenī „Jugla” ir novērojams, ka pastiprinās saldūdens intrūzija no augstāk esošajiem ūdens horizontiem (Levina, Levins, 2005).

Aplūkojot situāciju monitoringa postenī „Imanta”, ir skaidri novērojams, ka attīstoties depresijas piltuvei ir notikusi ekspluatācijas horizonta papildināšanās ar pārsedzošā Pļaviņu – Daugavas kompleksa ūdeņiem. Tā kā Salaspils ūdens horizontā ir atšķirīgs ūdens tips: kalcija – sulfātu ar paaugstinātu sulfātu jonu koncentrāciju, ko nosaka ģipšu šķīšana, tad Imantas

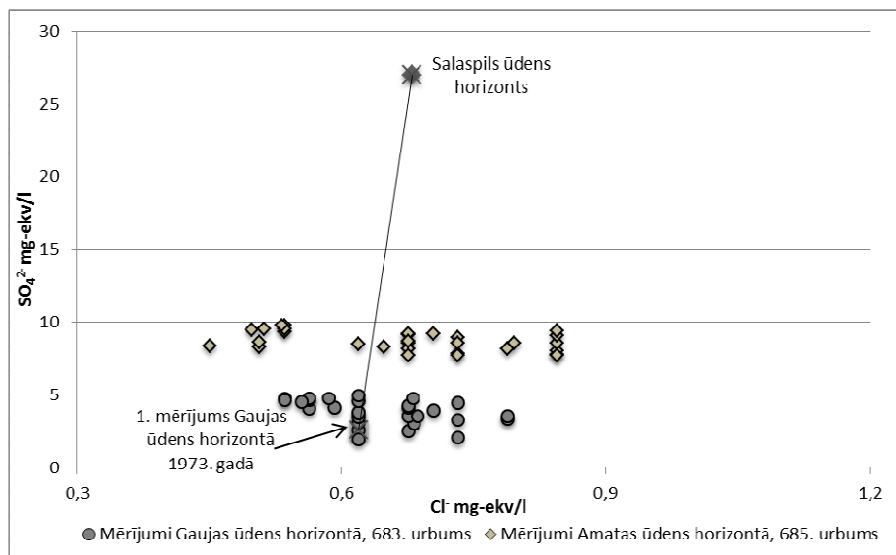
postenī šo jonu var uzskatīt kā dabisku traseri, ar kura palīdzību novērot starphorizontu pārteces attīstību. Tā kā Salaspils un Pļaviņu ūdens horizonti ir hidroliiski saistīti, tad sulfātu jonu koncentrācijas pieaugums pagulošajā Pļaviņu ūdens horizontā ir novērojams bez izteiktas laika nobīdes. Savukārt augšējās Arukilas – Amatas ūdens kompleksa horizontos sulfātu jonu pieaugums konstatējams ar vairāku gadu nobīdi, to uzskatāmi var redzēt 5.4. attēlā un pielikumā nr. 4.



5.4. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Imanta” a) Pļaviņu ūdens horizonts 686. urbums urbums?; b) Gaujas ūdens horizonts 683. urbums (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez.dat.).

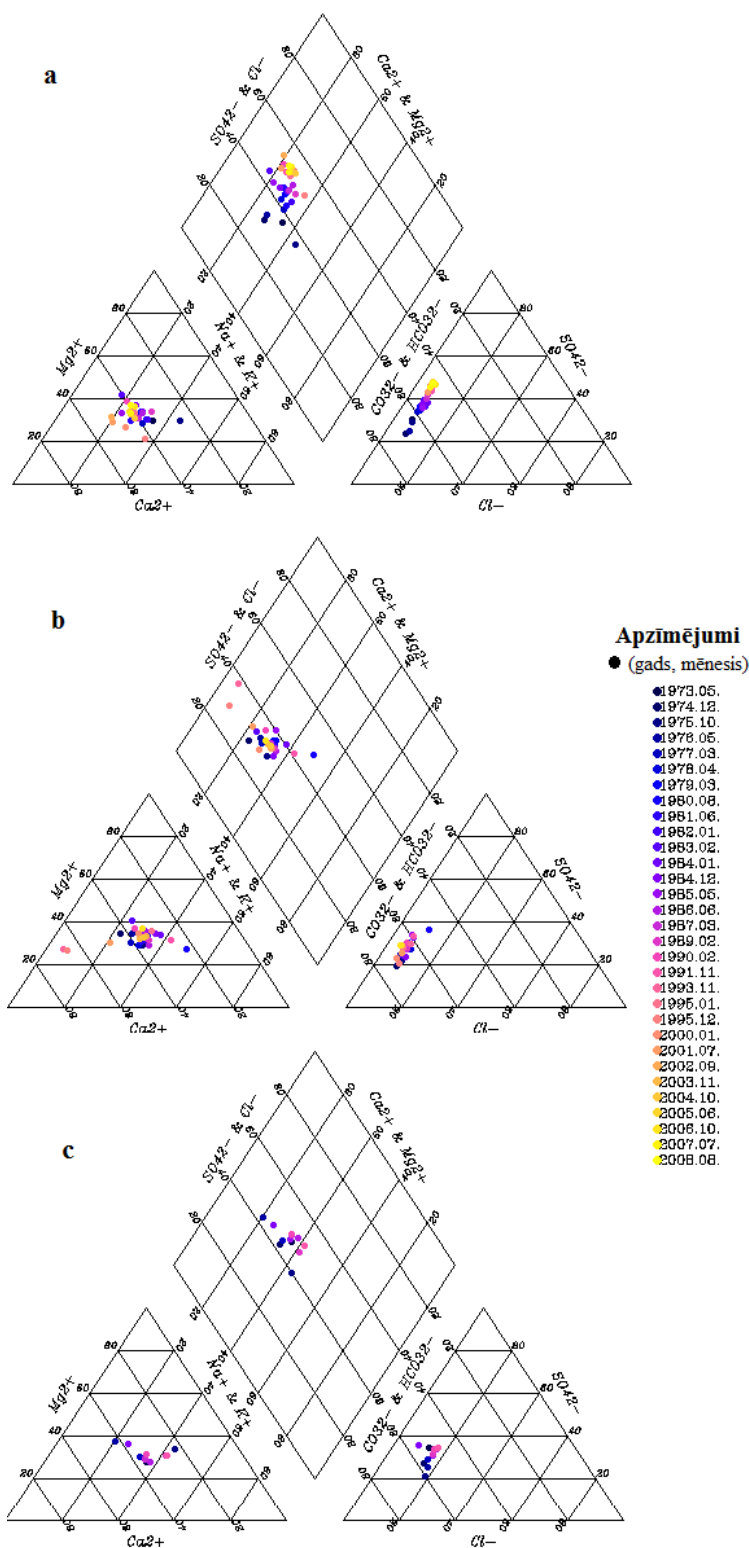
Tam par iemeslu ir teritorijas ģeoloģiskie apstākļi, jo Pļaviņu svītas apakšējā daļā atrodas dažus metrus biezs dolomītmergēļa slānis, savukārt Gaujas svītas augšdaļu veido aptuveni 7 metrus biezs mālainis aleirolīta slānis (LVĢMC, bez.dat.). Šie nogulumi ir ūdens mazcaurlaidīgi, tā rezultātā vielas izplatīšanās, šajā gadījumā arī ūdens resursu papildināšanās notiek lēnāk. Tā rezultātā arī pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Gaujas ūdens horizontā parādās pēc ilgāka laika posma salīdzinājumā ar Pļaviņu ūdens horizontu. Kā novērojams pēc

sajaukšanās līknes, skatīt 5.5. attēlu, tad sulfātu koncentrācija Gaujas ūdens horizontā ir neliela, bet neskatoties uz to ir novērojams, ka notikusi šo divu atšķirīgo ūdens tipu sajaukšanās. Tāpat pēc grafika redzams, ka vertikālā virzienā uz leju jeb dziļākos ūdens horizontos sulfāta koncentrācija mazinās.



5.5. attēls. Dažādu ūdens horizontu ūdens sastāva izmaiņu salīdzinājums monitoringa postenī „Imanta” — - sajaukšanās līknes starp Salaspils vai Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez.dat.).

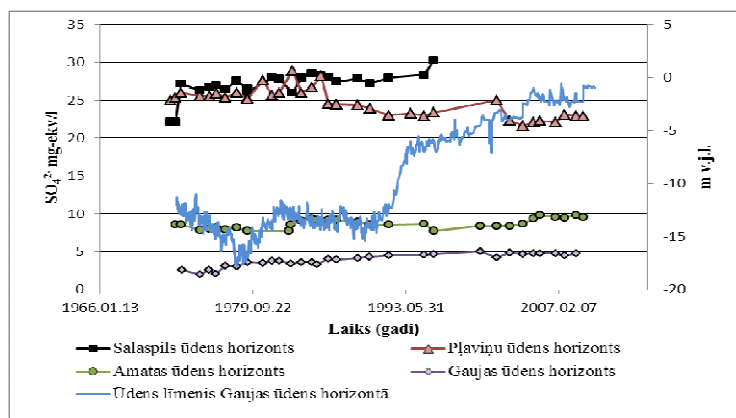
Ļoti labi Gaujas ūdens horizonta ķīmiskā sastāva izmaiņas centrālajā zonā ir novērojamas aplūkojot 5.6. attēlu. Tajā ir atspoguļotas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Gaujas ūdens horizontā trīs dažādos dziļumos. Ir novērojams, ka lielāks sulfātu koncentrācijas pieaugums ir novērojamas urbumā nr. 683, kura filtrs atrodas seklāk salīdzinājumā ar pārējiem diviem urbumiem, konkrēti no -58,4 līdz -78,9 m v.j.l. (LVĢMC, bez. dat.). 682. urbumā, kur filtra intervāls atrodas aptuveni 10 metrus dziļāk par 683. urbumu, sulfātu koncentrācija ir zemāka. To nosaka kalcija – sulfātu tipa ūdens atšķaidīšanās ar Gaujas horizonta ūdeni.



5.6. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Imanta” a) Gaujas ūdens horizonts 683. urbums, filtra intervāls no -58,4 līdz -78,9 m v.j.l. ; b) Gaujas ūdens horizonts 682. urbums filtra intervāls no -90,8 līdz -104,1 m v.j.l.; c) Gaujas ūdens horizonts 681. urbums f. filtra intervāls no -128,8 līdz -142,4 m v.j.l.; (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat).

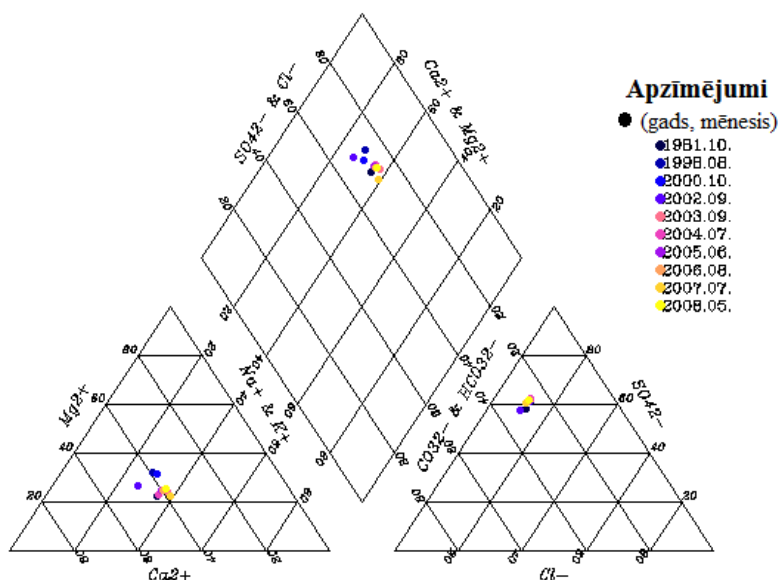
Tāpat, aplūkojot pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Pļaviņu ūdens horizontā, ir novērojams, ka sulfātu koncentrācija mazinās, sākot paaugstināties Gaujas ūdens horizonta

līmenim. Tas parādīts 5.7. attēlā: Gaujas ūdens horizonta pjezometriskajam līmenim paaugstinoties, starphorizontu pārtece no Salaspils ūdens horizonta uz Pļaviņu ūdens horizontu mazinās uz ko norāda sulfātjona koncentrācijas samazināšanās. Savukārt Amatas un Gaujas ūdens horizontā ir novērojama lēna tendence paaugstināties sulfātjona koncentrācijai.



5.7. attēls. Sulfātjona koncentrācijas un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņas monitoringa stacijā „Imanta” (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.).

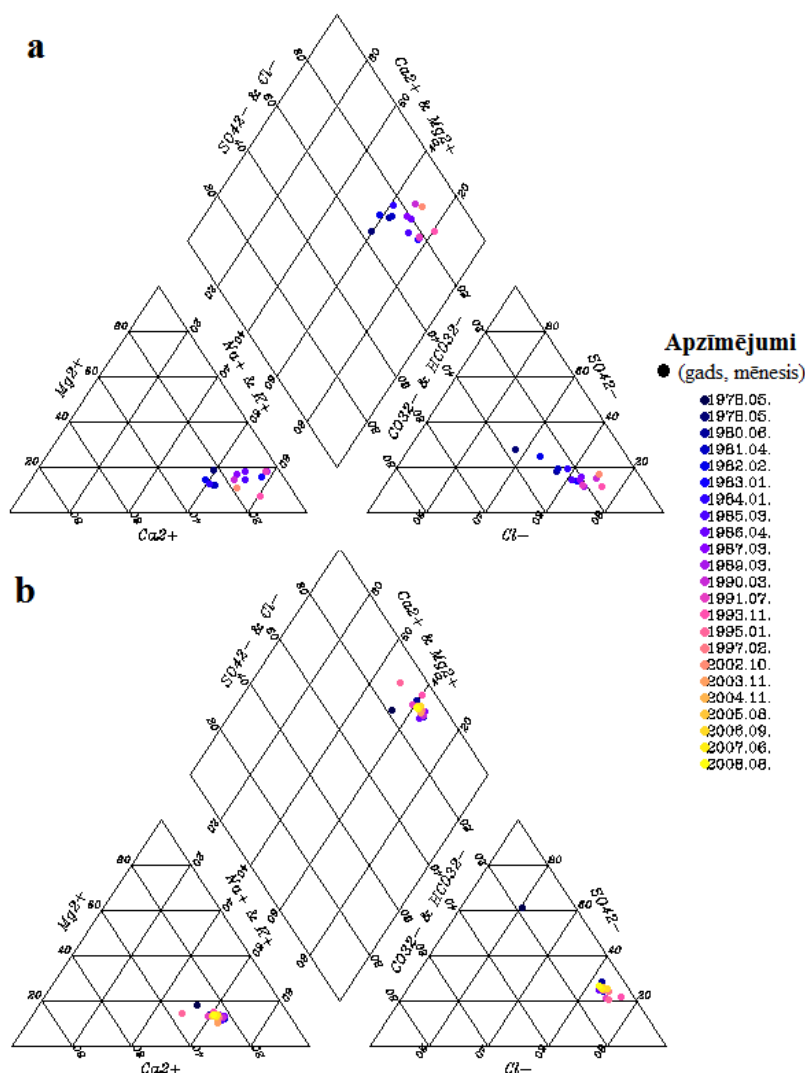
Monitoringa postenī „Lielupe” ilgtermiņa novērojumi tiek veikti Gaujas ūdens horizontā sākot no 1981. gada. Paipera diagrammā (5.8. att.) var redzēt, ka ūdens tips šajā izpētes vietā ir kalcija – sulfātu, kam raksturīga nekarbonātu cietība.



5.8. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Lielupe” Gaujas ūdens horizontā (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez.dat.).

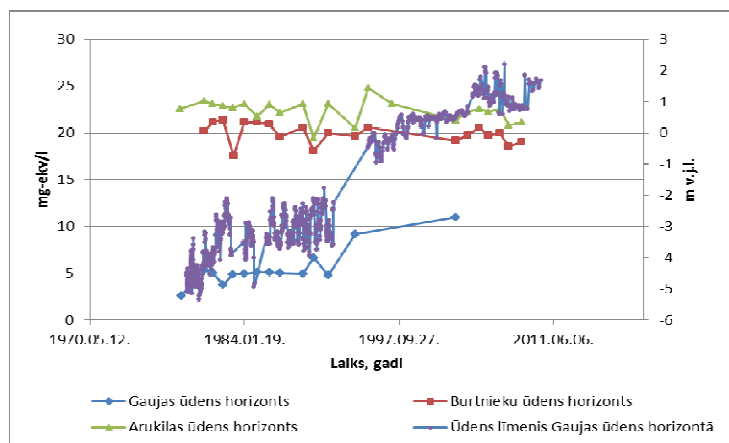
Monitoringa postenī „Jugla” ir novērojams, ka laika posmā no 20.gs. 70-to gadu beigām līdz 20.gs. 90-tajo gadu sākumam Gaujas ūdens horizontā ir palielinājusies hlorīdjonu koncentrācija. Ja savstarpēji salīdzina ūdens sastāvu 20.gs. 90-tajos gados ar ūdens ķīmisko

sastāvu Arukilas ūdens horizontā, tad ir novērojams, ka to sastāvi ir ļoti līdzīgi un apliecina jau iepriekšējos pētījumos konstatētos procesus – dziļāko horizontu ūdens intrūziju (Levins, Levina, 2005), skatīt 5.9. attēlu



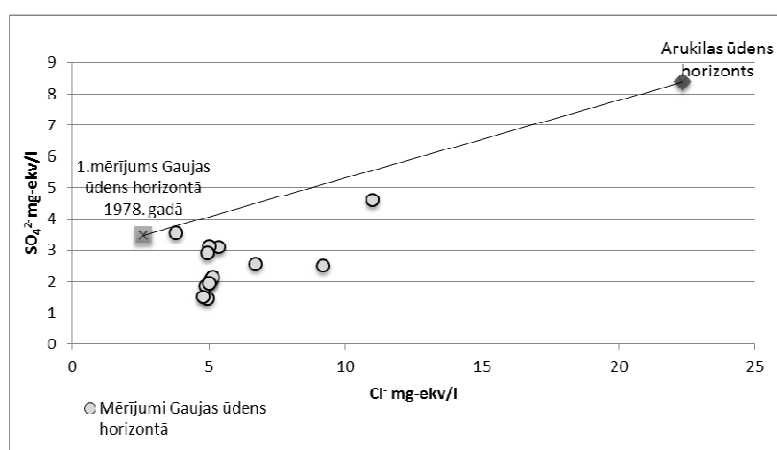
5.9. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Jugla” a) Gaujas ūdens horizonts; b) Arukilas ūdens horizonts (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez.dat.).

Ja aplūko hlorīdjonu koncentrācijas izmaiņas saistībā ar ūdens līmeņa svārstībām Gaujas horizontā, tad ir novērojams pretējs process kā monitoringa postenī „Imanta”, kur galvenās ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas notika, jo cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā tika pazemināts ūdens līmenis. Šajā izpētes punktā tieši paaugstinoties ūdens līmenim Gaujas ūdens horizontā proporcionāli pieaug hlorīdjonu koncentrācija. Šī procesa izpausmes uzskatāmi ir redzamas 5.10. attēlā.



5.10. attēls. Hlorīdjonu koncentrācijas un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņas monitoringa stacijā „Jugla” (izstrādājusi autore, izmantojot LVGMC, bez. dat.).

Aplūkojot grafiku, kas attēlo sajaukšanās procesu starp Gaujas un Arukilas ūdens horizontu (skatīt 5.11. attēlu), tad redzams, ka Gaujas ūdens horizontā ir konstatēta paaugstināta hlorīdjonu koncentrācija. Bet tā nav tik augsta salīdzinājumā ar dziļāk esošajiem Burtņieku un Arukilas ūdens horizontiem, un lielākajā daļā no paraugiem tā ir ap 5 mg-ekv/l, un tikai daži mērījumi atrodas tuvāk sajaukšanās līknei. Tāpat ir novērojams, ka salīdzinājumā ar pirmo mērījumu Gaujas ūdens horizontā samazinās arī sulfātjonu koncentrācija, skatīt 5.11. attēlu. Tas norāda uz to, ka depresijas piltuves attīstības laikā Gaujas ūdens horizonts ir papildinājies no virsējiem ūdens horizontiem, kuru ūdens tips ir kalcija – hidroģēnkarbonātu. Datu apjoms, kas raksturo jaunākos mērījumus, konkrēti sākot no 20.gs. 90-tajiem gadiem ir visai neliels, tāpēc novērtēt ūdens intrūzijas procesa attīstību, kas ir norādīta iepriekšējos pētījumos ir visai sarežģīti.



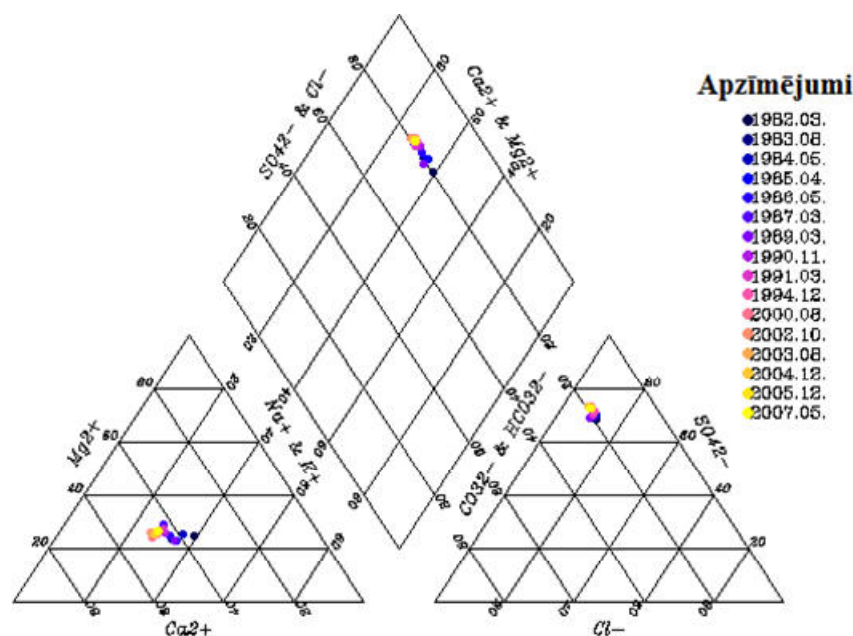
5.11. attēls. Dažādu ūdens horizontu ūdens sastāva izmaiņu salīdzinājums monitoringa postenī „Jugla” — - sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni (izstrādājusi autore, izmantojot LVGMC, bez. dat.).

5.3.2. „Lielās Rīgas” vidus zona

Par „Lielās Rīgas” vidējo zonu tiek uzskatīta teritorija, kur pazemes ūdens līmeņa pazeminājums Gaujas ūdens horizontā 1978. -1980. gadā ir robežās no 7,3 līdz 3,1 m, skatīt attēlu 5.1. Šajā daļā ietilpst lielākā daļa no monitoringa posteņiem – „Upesciems”, „Tīreļi”, „Baldone”, „Buļļupe”, „Baltezers”, „Carnikava”, „Kalngale”, „Jaundubulti” un Sloka”.

Posteņi „Sloka” un „Kauguri” atrodas salīdzinoši tālu no depresijas piltuves centrālās daļas, bet saistībā ar ūdens ieguvu Jūrmalas pilsētas vajadzībām, šajā vietā ir izveidojies lokāls ūdens līmeņa pazeminājums. Tā rezultātā šī daļa iekļaujas vidus zonā.

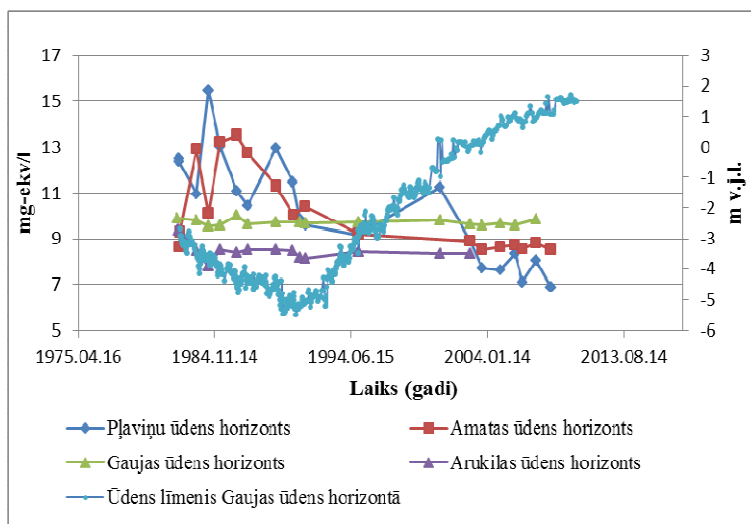
Šajos posteņos ilgtermiņa novērojumi tiek veikti tikai Arukilas – Amatas ūdens kompleksā, skatīt 4. pielikumu. Pēc esošajiem datiem var redzēt, ka pavisam nedaudz palielinās sulfātjonu relatīvā koncentrācija. Tā kā ūdens paraugos nav novērojams paaugstināts hlorīdjonu saturs, iespējamā Gaujas ūdens horizonta papildināšanās no Rīgas līča šajā teritorijā tiek izslēgta, skatīt 5.12. attēlu.



5.12 attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa posteņī „Sloka” Gaujas ūdens horizontā (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.).

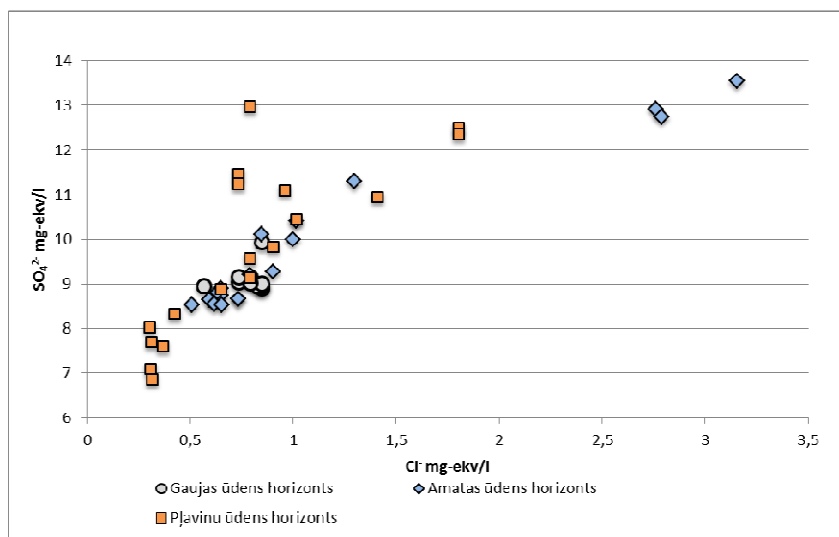
Tā rezultātā par iespējamo Gaujas ūdens horizonta barošanās (papildināšanās) avotu tiek uzskatīts Pļaviņu - Daugavas ūdens komplekss. Šādu pieņēmumu var izdarīt balstoties uz sulfātjonu klātbūtni un tā koncentrācijas samazināšanos dziļākajos ūdens horizontos, skatīt 5.13. attēlu. Pēc ūdens līmeņa izmaiņām Gaujas ūdens horizontā, maksimālais pazeminājums ir novērojams 20. gs. 80- to gadu vidū. Šajā laika periodā ir konstatējama paaugstināta sulfātjonu koncentrācija gan Pļaviņu, gan Amatas ūdens horizontā. Sākot atjaunoties Gaujas ūdens horizonta līmenim, starphorizontu pārtece nav novērojama. Grafikā uzskatāmi parādās,

ka jaunākos mērījumos Amatas ūdens horizontā sulfātjona koncentrācijas ir zemākas nekā Gaujas ūdens horizontā, kas iegul dziļāk. Tāda pati tendence ir novērojama arī Pļaviņu ūdens horizontā. To iespējams izskaidrot ar aktīvāku reģionālo ūdens plūsmu Pļaviņu ūdens horizontā, ko nosaka salīdzinoši augstās filtrācijas īpašības plaisainiem dolomītiem. Tā kā Amatas ūdens horizonts ir hidrauliski saistīts ar Pļaviņu ūdens horizontu, tad aktīvāka ūdens apmaiņa notiek arī šajā horizontā, bet ne tik strauji kā Pļaviņu ūdens horizontā. To var novērot arī 5.13. attēlā



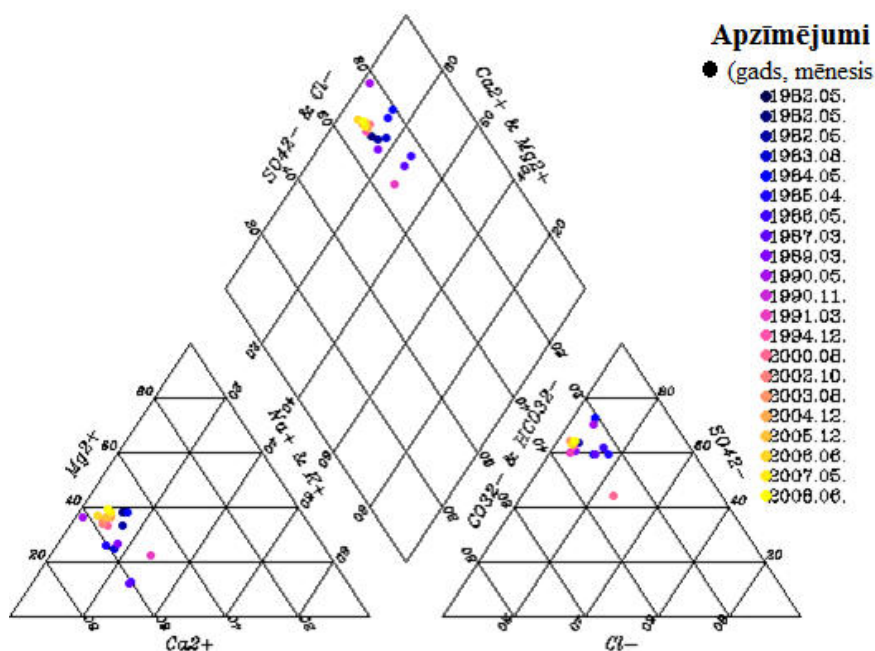
5.13. attēls. Sulfātjonu koncentrācijas un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņas monitoringa stacijā „Sloka” (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat)

Arī pēc grafika, kas raksturo ūdens horizontu savstarpējo sajaukšanos, var redzēt, ka sulfātjonu koncentrācija Pļaviņu un Amatas ūdens horizontā ir augstāka, skatīt 5.14. attēlu. Par šo jonu avotu var uzskatīt Salaspils ūdens horizontu. Tā kā paaugstinātas sulfātjonu vērtības ir novērojamas tikai dažos ūdens paraugos, tas norāda uz to, ka ūdens pārteci no Salaspils ūdens horizonta aktivizēja Gaujas ūdens horizonta līmeņa pazemināšanās. Amatas un arī Pļaviņu ūdens horizontā dažos ūdens paraugos ir novērojama paaugstināta hlorīdjona koncentrācija. Tā kā šādu paraugu īpatsvars ir visai neliels, tad iespējams tas liecina par kādu piesārņojumu, kas radies cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā.



5.14. attēls. Dažādu ūdens horizontu ūdens sastāva izmaiņu salīdzinājums monitoringa postenī „Sloka” (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Ja aplūko Amatas horizonta ūdens ķīmisko sastāvu, tad izteiktas tendences ūdens ķīmiskajam sastāvam virzīties uz nātrija – hlorīda tipa ūdeni nav novērojamas (5.15. attēls), un ir tikai daži ūdens paraugi, kas atšķiras no pārējās datu kopas, un tie arī 5.14. attēlā ir novērojami vistālāk no pārējās kopas.

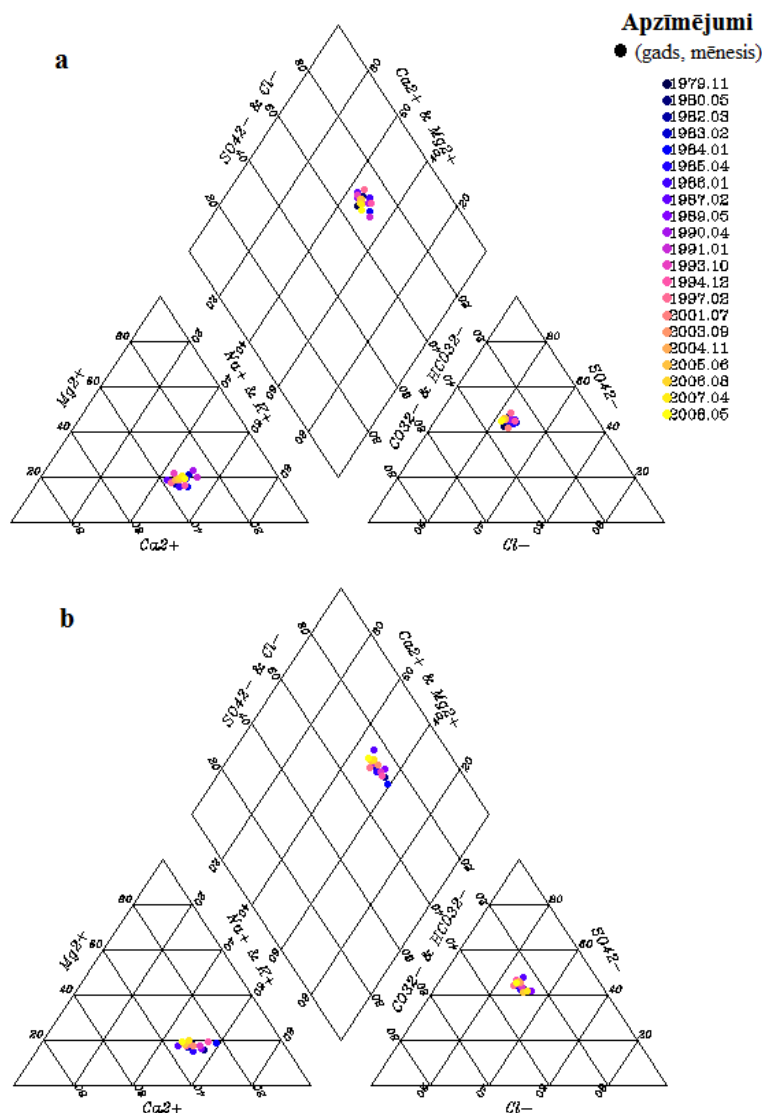


5.15. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Sloka” Amatas ūdens horizontā (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Monitoringa postenī „Buļļupe” ilgtermiņa pazemes ūdens kvalitātes novērojumi tiek veikti Gaujas un Burtnieku ūdens horizontā, būtiskas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas saistībā ar traucētu pazemes ūdens režīmu nav novērojamas. Burtnieku ūdens horizontā ir sastopams

izteikts nātrijs – hlorīdu tipa ūdens. Arī Gaujas ūdens horizontā ir novērojams tāda paša sastāva ūdens, bet hlorīdjonu relatīvās koncentrācija ir zemāka.

Savukārt monitoringa postenī „Tīreļi” ir novērojams, ka Gaujas ūdens horizonta līmeņa pazeminājums nebija tik liels, lai notiktu ūdens resursu papildināšanās no Salaspils ūdens horizonta. To apliecina ilgtermiņa novērojumi, kuri atspoguļoti 5.16. attēlā.

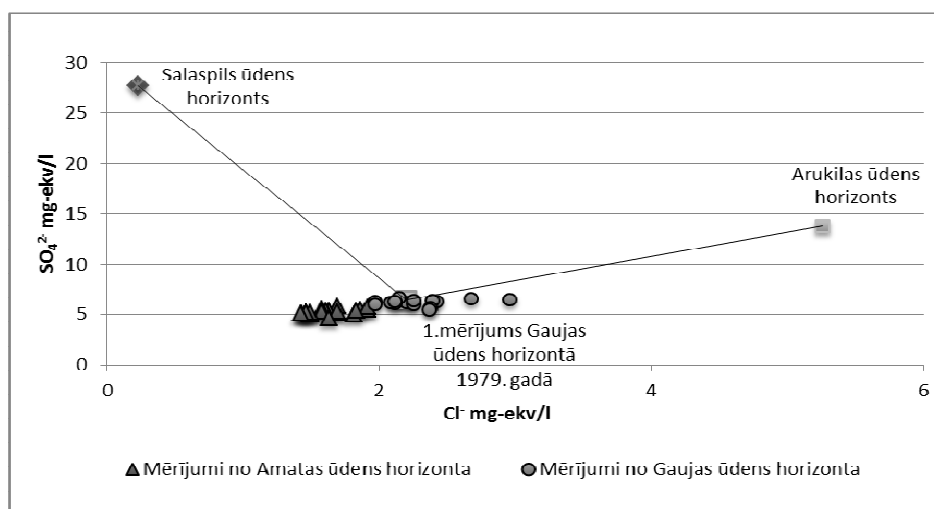


5.16. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Tīreļi” a)

Amatas ūdens horizonts; b) Gaujas ūdens horizonts (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

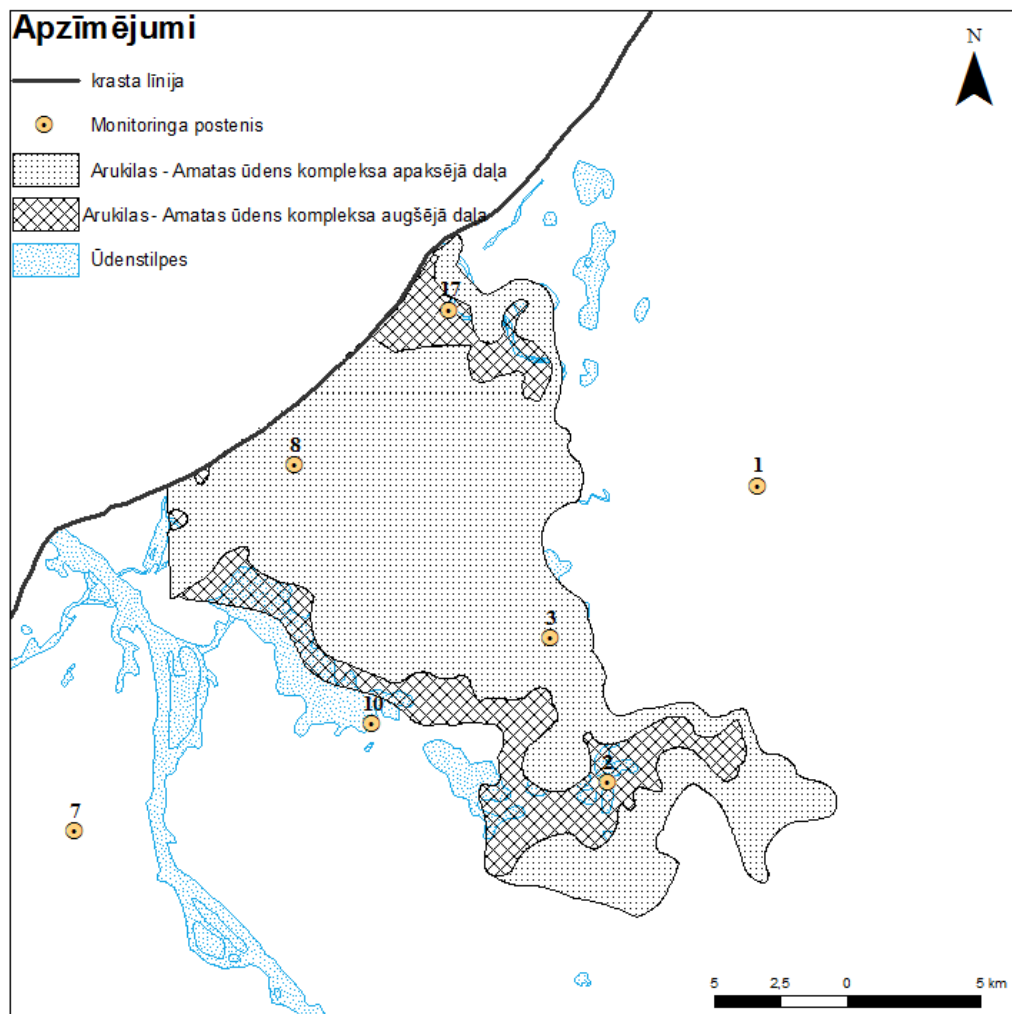
Arī, aplūkojot sajaukšanās līknes starp trīs dažādiem ūdens horizontiem, ir novērojams, ka Gaujas ūdens horizontā depresijas piltuves attīstības laikā papildināšanās notika no pārsedzošā Amatas ūdens horizonta, skatīt 5.17. attēlu. Tikai pāris mērījumos ir konstatētas paaugstinātas hlorīdjonu vērtības, kas liecinātu par ūdens intrūziju no Arukilas ūdens horizonta. Tāpat pēc 5.17. attēla ir novērojama tendence mērījumiem no Amatas un Gaujas ūdens horizonta virzīties uz ūdens tipu ar salīdzinoši zemām sulfātjona un hlorīdiona

vērtībām. Tas liecina par to, ka pastāv vēl kāds trešais ūdens avots., kā rezultātā tiek pieļauta doma, ka Amatas ūdens horizonts aktīvāk apmainās ar augstāk esošo Pļaviņu ūdens horizontu, kur sastopams kalcija – hidroģēnkarbonātu tipa ūdens.



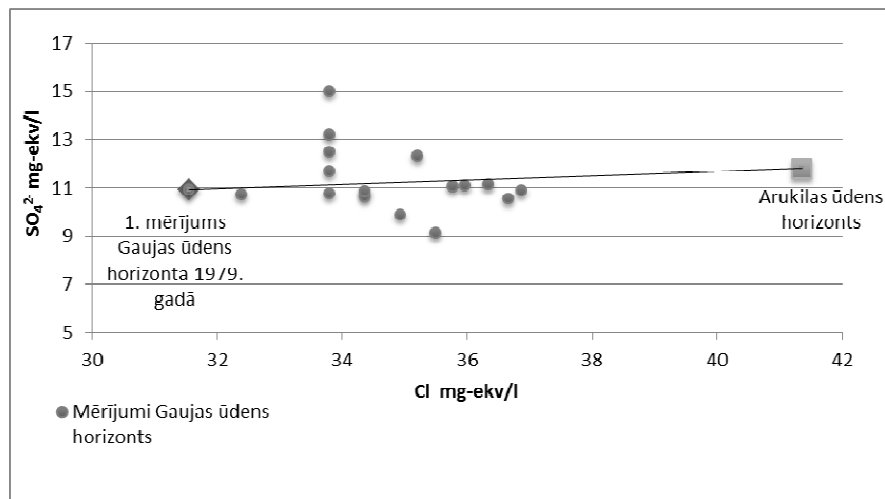
5.17. attēls. Dažādu ūdens horizontu ūdens sastāva izmaiņu salīdzinājums monitoringa postenī „Tīreļi” — - sajaukšanās līkne starp Salaspils/Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Savukārt Daugavas labajā krastā atrodas monitoringa posteņi „Kalgale”, „Carnikava”, „Upesciems” un „Baltezers”. Šajā izpētes teritorijā jau iepriekšējos pētījumos ir konstatēts paaugstināts hlorīdjonu saturs Arukilas – Amatas ūdens kompleksā (Aņikejeva u.c., 1997; Levins, 1999; Levina un Levins, 1995). Attēlā 5.18. ir redzams monitoringu posteņu novietojums saistībā ar iepriekšējos pētījumos definētajām teritorijām. Posteņos „Upesciems” un „Carnikava” pēc kartes var secināt, ka Amatas un Gaujas ūdens horizontos ir novērojamas paaugstinātas hlorīdjonu koncentrācijas. Ja aplūko ilgtermiņa novērojumus no šīm monitoringa vietām, tad izteiktas izmaiņu tendences nav konstatējamas saistībā ar depresijas piltuves attīstību Gaujas ūdens horizontā, skatīt 4. pielikumu. Tas liecina par to, ka šis process noris neatkarīgi un to nav ietekmējusi depresijas piltuves attīstība 20.gs. otrajā pusē.



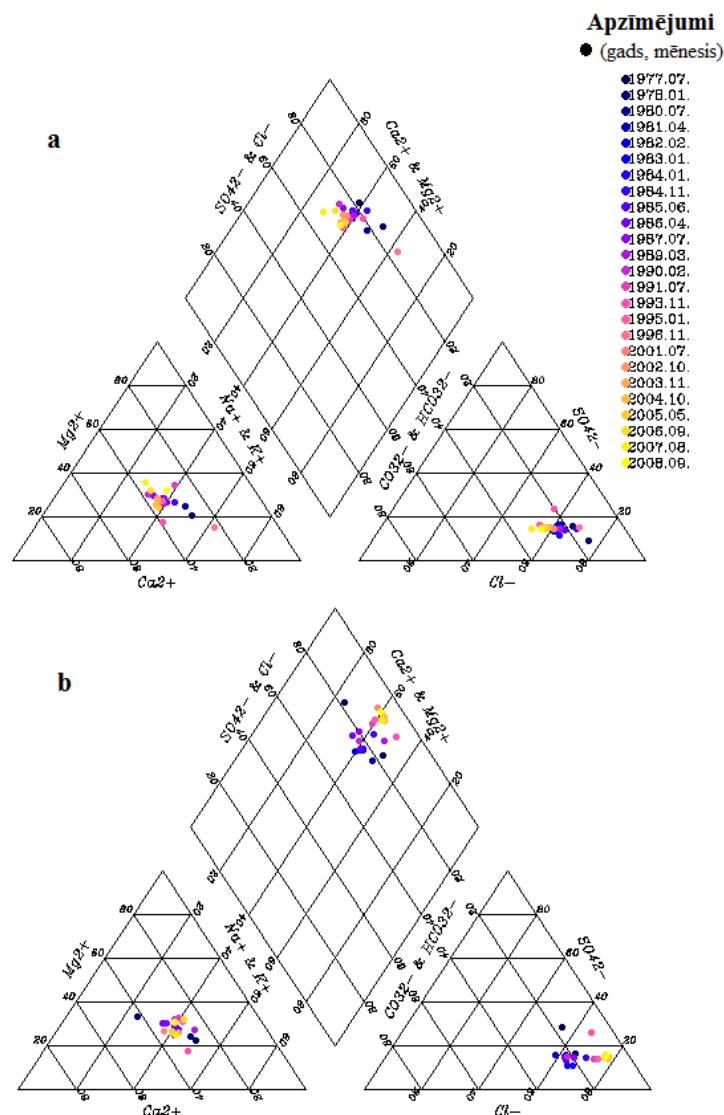
5.18. attēls. **Apgabali Arukilas – Amatas ūdens kompleksā, kur NaCl ūdeņu mineralizācija pārsniedz 1 g/l** 1 – Piukas, 2 – Upesciems, 3 – Baltezers, 8 – Kalngale, 10 – Jugla, 7 – Imanta, 17 – Carnikava (izgatavojusi autore pēc Levina, Levins, 1995)

Arī pēc grafika, kas attēlo Gaujas ūdens horizonta sajaukšanos ar Arukilas ūdens horizontu, redzams ka Gaujas ūdens horizonta ķīmiskais sastāvs ir mainījies sajaucoties ar nātrija – hlorīdu tipa ūdeni, skatīt 5.19. attēlu. Vielas migrācijas rezultātā hlorīdjona koncentrācija Gaujas ūdens horizontā ir mazāka, bet tik un tā ir salīdzinoši augsta.



5.19. attēls. Dažādu ūdens horizontu ūdens sastāva izmaiņu salīdzinājums monitoringa postenī „Upesciems” — - sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

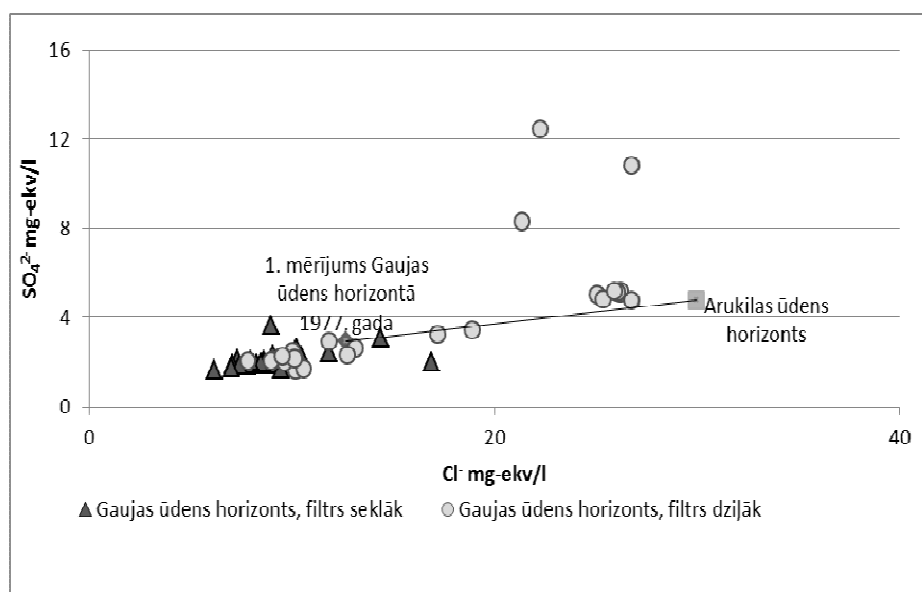
Tāpat divi monitoringa posteņi „Kalgale” un „Baltezers” atrodas teritorijā, kur ir konstatētas paaugstinātas hlorīdiona vērtības Arukilas un Burtnieku ūdens horizontos. Monitoringa postenī „Baltezers”, ir novērojamas Gaujas ūdens horizontā ķīmiskā sastāva izmaiņas. Ja aplūko šo izmaiņu tendences, tad ir konstatējams, ka notiek Gaujas ūdens horizontu sajaukšanās ar nātrija – hlorīdu tipa ūdeni, par kura avotu tiek uzskatīts Arukilas ūdens horizonts. Tā kā ir pieejama informācija par Gaujas ūdens horizonta ķīmiskā sastāva izmaiņām divos dažādos dziļumos: 7. urbuma filtra intervāls atrodas dziļumā no -79 līdz -82 m v.j.l. (LVĢMC, bez dat.), savukārt 6. urbumā aptuveni par 30 m dziļāk, tad konstatējam pilnīgi pretējas ūdens sastāva izmaiņu tendences novērojumu periodā. To uzskatāmi var redzēt attēlā 5.20., kas atspoguļo ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Gaujas ūdens horizontā.



5.20. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Baltezers”

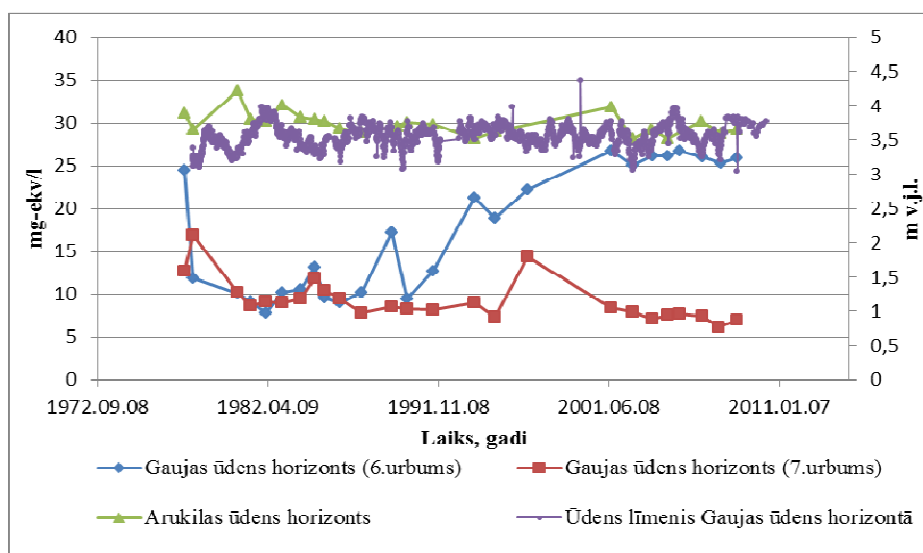
Gaujas ūdens horizontā. a) 7. urbums, filtra intervāls no -79 līdz -82 m v.j.l.; b) 6. urbums, filtra intervāls no -109 līdz -114 m v.j.l.; (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Pēc grafika, kas attēlo sajaukšanās procesus monitoringa postenī „Baltezers” apstiprinās iepriekš izteiktais pieņēmums, ka Gaujas ūdens horizonta dziļāka daļa ir iespējams sajaukusies ar Arukilas ūdens horizontu, skatīt 5.21. attēlu. Aplūkojot kopā ar Paipera diagrammu, kas attēlo ūdens ķīmiskā sastāva tendences, tad tuvāk Arukilas ūdens sastāvam ir jaunākie novērojumi, kas liecina, ka traucēta pazemes ūdens režīma apstākļi diez vai būtu varējušas aktivizēt šo procesu.



5.21. attēls. Dažādu ūdens horizontu ūdens sastāva izmaiņu salīdzinājums monitoringa postenī „Baltezers” — - sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

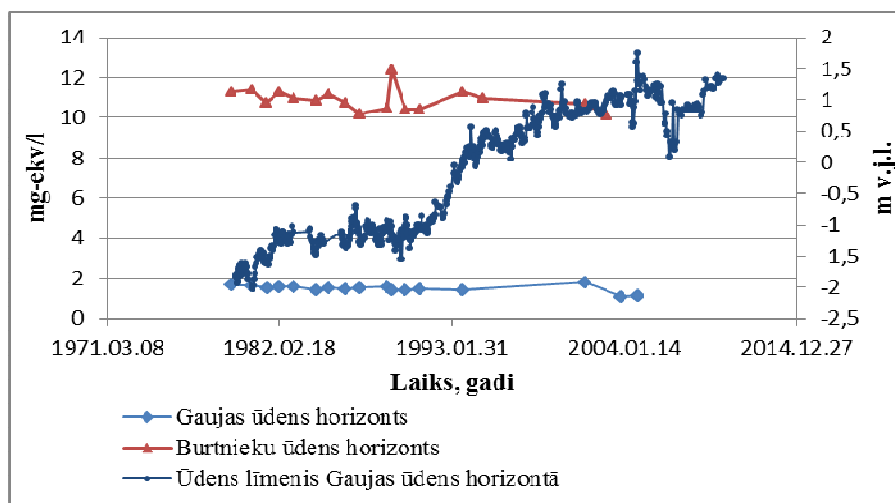
Arī apskatot ilgtermiņa pazemes ūdens līmeņa svārstības Gaujas ūdens horizontā, tās ir visai nelielas vidēji 0,5 – 1 metra amplitūdā (LVĢMC, bez. dat.). Tas norāda uz to, ka Gaujas ūdens horizonta ķīmiskā sastāva izmaiņas aktivizējuši citi faktori. 5.22. attēlā redzams, ka hlorīdjonu koncentrācija sāk palielināties no 20. gadsimta 90-to gadu sākuma.



5.22. attēls. Hlorīdjonu koncentrācijas un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņas monitoringa stacijā „Baltezers” (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

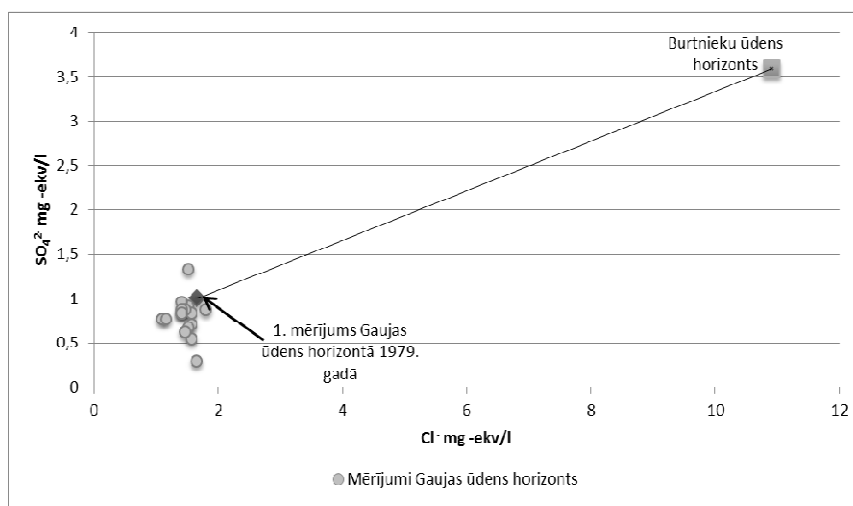
Monitoringa postenī „Kalngale” neskatoties uz Gaujas ūdens horizonta līmeņa pazeminājumu nav notikusi dziļāko ūdens horizontu intrūzija Arukilas – Amatas ūdens kompleksa augšējā daļā. To uzskatāmi var redzēt 5.23. attēlā. Iespējams, ka ūdens līmeņa

pazemināšanās izraisīja resursu papildus barošanos no virsējiem ūdens horizontiem, tomēr to ķīmiskais sastāvs būtiski neatšķiras no Gaujas ūdens horizonta, tāpēc to klātbūtni apskatot tikai pamatjonu koncentrācijas izmaiņas ir grūti identificēt.



5.23. attēls. Hlorīdjonu koncentrācijas un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņas monitoringa stacijā „Kalngale” (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Arī pēc grafika, kas attēlo sajaukšanās līkni, ir redzams, ka pat viena ūdens kompleksa ietvaros nav notikusi ūdens savstarpēja sajaukšanās, skatīt 5.24. attēlu. Tas liecina par to, ka Gaujas ūdens horizontam ir labāka hidrauliskā saistība ar augstāk esošajiem ūdens horizontiem, un depresijas piltuves attīstības laikā bija pietiekama resursu papildināšanās, kas nepastiprināja ūdens intrūziju no dziļākajiem horizontiem.

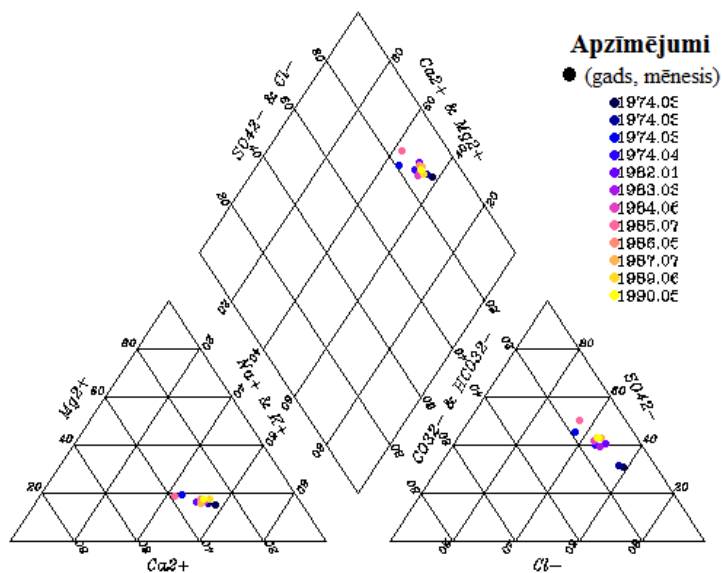


5.24. attēls. Dažādu ūdens horizontu ūdens sastāva izmaiņu salīdzinājums monitoringa postenī „Kalngale” — - sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

5.3.3. „Lielās Rīgas” nomale jeb perifērija

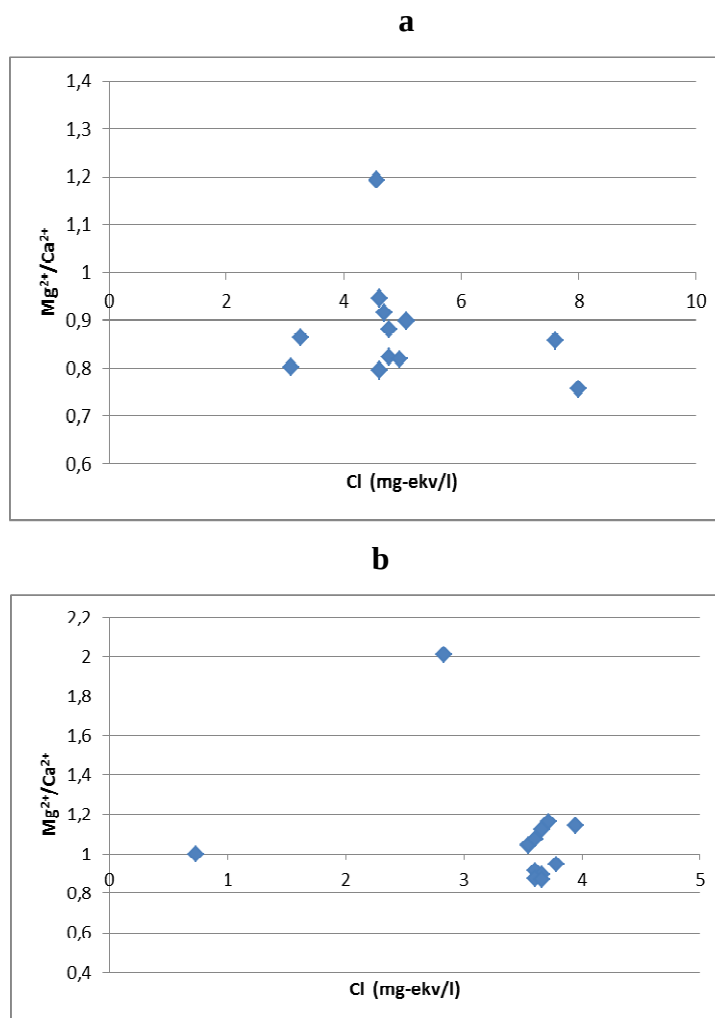
Pēc maģistra darbā izstrādātajiem kritērijiem „Lielās Rīgas” nomalē ietilpst četri monitoringa posteņi – „Asari”, „Jaundubulti”, „Piukas” un „Inčukalns”. Gan postenis „Asari”, gan „Jaundubulti” atrodas starp diviem lokāliem Gaujas ūdens horizonta līmeņa pazeminājuma centriem – Rīgā un Jūrmalā. Tā kā šie lokālie ūdens līmeņa pazeminājumi Gaujas ūdens horizontā savstarpēji nav mijiedarbojušies, tad šī vieta iekļaujas teritorijā, kur pazeminājums nepārsniedz 3,1 m.

Monitoringa postenī „Asari” tikai divos agrākos paraugos ir novērojama augstākas hlorīdjonu koncentrācijas Gaujas ūdens horizontā, bet visā novērojuma laikā no 20.gs. 70-tajiem gadiem līdz 20.gs. 90-tajiem būtiskas ūdens ķīmiskā izmaiņas nav novērojamas, skatīt 5.25. attēlu. Salīdzinājumā ar monitoringa posteni „Jaundubulti” Gaujas ūdens horizonta ķīmiskais sastāvs ir ļoti līdzīgs.



5.25. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Gaujas ūdens horizontā, monitoringa postenī „Asari” (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

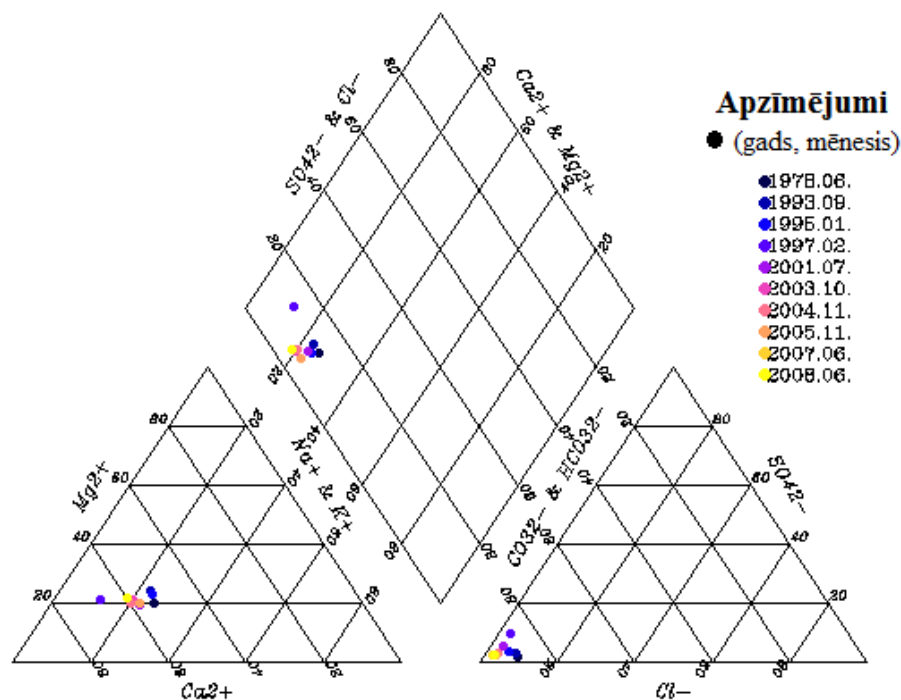
Paaugstinātā hlorīdjonu koncentrācija, kā arī posteņa ģeogrāfiskais novietojums liecina par iespējamu jūras ūdens intrūziju. Izmantojot jonu Mg^{2+}/Ca^{2+} attiecību, var spriest par jūras ūdens ietekmi, jo saldūdenī šo jonu attiecība ir zem 1, un paaugstinātas vērtības liecina par sāļūdens klātbūtni (Pulido-Leboeuf et.al., 2003). Monitoringa postenī „Asari” gandrīz visos paraugos no Gaujas ūdens horizonta ir novērojama vērtība zem 1 (Pulido-Leboeuf et.al., 2003; Mondal et.al., 2010), kas liecina par to, ka jūras ūdens intrūzija šajā novērojumā punktā nenotiek. To uzskatāmi var redzēt 5.26. attēlā. Savukārt postenī „Jaundubulti” daļā ūdens paraugos ir novērojama attiecība virs viens, kas liecina par to, ka šajā izpētes punktā jūras ūdens intrūzijas process ir izteiktāks.



5.26. attēls. $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ un Cl^- savstarpējā attiecība Gaujas ūdens horizontā a) monitoringa postenis „Asari”; b) monitoringa postenis „Jaundubulti” (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Aplūkojot, kā mainās pazemes ūdens ķīmiskais sastāvs vertikālā griezumā monitoringa postenī „Jaundubulti”, tad redzams, ka kvartāra ūdens horizontā ir paaugstināts hlorīdjonu saturs, bet dziļāk Pļaviņu ūdens horizontā ir kalcija – hidroģēnkarbonāta tipa ūdens, bez izteiktām jūras ūdens intrūzijas pazīmēm. Savukārt Gaujas ūdens horizontā ir novērojams līdzīgs sastāvs, kā kvartāra ūdens horizontā, tādejādi liecinot par iespējamu jūras ūdens intrūziju (skatīt 5.27. attēlu). Tā kā Pļaviņu ūdens horizontā nav novērojamas līdzīgas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas, tad tiek izslēgta iespēja, ka Gaujas ūdens horizonts papildinās no kvartāra ūdens horizontiem.

Salīdzinoši tālu no „Lielās Rīgas” depresijas piltuves centra atrodas monitoringa posteņi „Inčukalns” un „Piukas”. Abās novērojumu vietās pēdējo 35 gadu laikā pazemes ūdens ķīmiskais sastāvs aktīvās apmaiņas zonā nav būtiski mainījies, un Gaujas horizontā raksturīgi kalcijs – hidroģēnkarbonātu tipa ūdeņi, skatīt 5.28. attēlu un 4. pielikumu. Tā kā abi posteņi atrodas vistālāk, tad arī Gaujas horizonta ūdens līmeņa pazeminājums ir tik ļoti minimāls, ka var uzskatīt, ka šeit depresijas piltuves ietekme un tā rezultātā traucēta pazemes ūdens režīma apstākļi ir bijuši ļoti vāji izteikti.



5.28. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Gaujas ūdens horizontā, monitoringa postenī „Piukas” (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

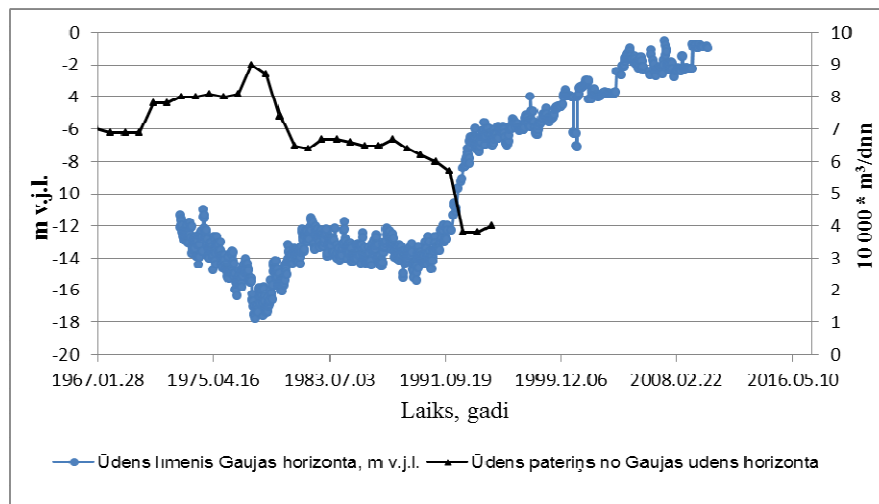
6. DISKUSIJA

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

„Lielās Rīgas” gadījumā ir konstatēta pazemes ūdens līmeņa pazemināšanās, kas izraisīja starphorizontu pārteci un dažādu ūdens tipu sajaukšanos, kā rezultātā ir novērotas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Arukilas – Amatas ūdens horizontu kompleksā. Ūdens ieguves rezultātā Gaujas ūdens horizontā būtiski tika izmainīta attiecība starp ūdens resursu papildināšanos un atslodzi. Tas radīja traucēta pazemes ūdens režīma apstākļus un ekspluatētā horizonta vajadzību pēc papildus resursiem. Kā norāda arī Custodio E. (2000), ka ūdens ieguves periodā papildināšanās process ir lielāks nekā dabiskajos (cilvēka darbības rezultātā) neizmainītajos hidrodinamiskajos apstākļos, līdz ar to ir sagaidāmas ūdens kvalitātes izmaiņas.

Ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas

Tā kā vislielākais ūdens līmeņa pazeminājums Gaujas ūdens horizontā saistībā ar dzeramā ūdens ieguvi ir novērojams 20. gadsimta 70-ajos gados, tad tieši šajā laika periodā ir notikusi dažādu ūdens tipu sajaukšanās, uz ko uzskatāmi norāda sulfātjona koncentrācijas izmaiņas Pļaviņu ūdens horizontā depresijas piltuves centrālajā daļā. Spriest par starphorizonta pārteces aizsākumu, lai precīzi raksturotu pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas attīstoties depresijas piltuvei, ir problemātiski, jo nav pieejama informācija ūdens ķīmisko sastāvu agrāk par 20. gs. 70-tajiem gadiem. Bet balstoties uz ūdens līmeņa izmaiņām un datiem, kas raksturo ūdens spiediena sadalījumu pirms intensīvas ūdens ieguves, var izdarīt pieņēmumus par situācijas attīstības sākumu. Jo jau 20. gadsimta 70-to gadu beigās paralēli sākas virszemes ūdens izmantošana pilsētas ūdensapgādē, kā arī redzams 6.1. attēla tad ūdens patēriņš no Gaujas ūdens horizonta nepārprotami ietekmē šī paša ūdens horizonta līmeni. Tā rezultātā pazemes ūdens spiediena atšķirības starp horizontiem mazinājās, līdz ar to arī procesa izpausmes, uz ko norāda hidroģēnkarbonāta jona koncentrācijas palielināšanās Pļaviņu ūdens horizontā, depresijas piltuves centrālajā daļā. Pēc tā var spriest, ka ūdens pārtece no Salaspils ūdens horizonta iespējams pastiprinājās ūdens līmenim Gaujas ūdens horizontā pazeminoties zem $-10 \text{ m} \pm 2 \text{ v.j.l}$ atzīmes. Tāpēc arī „Lielās Rīgas” vidus un perifērijas zonā nav novērojama ūdens intrūzija no Salaspils ūdens horizonta, piemēram monitoringa postenī „Tīreļi”.



6.1. attēls. Ūdens patēriņa un līmeņa izmaiņas Gaujas ūdens horizontā monitoringa postenī „Imanta” (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat., Толстов и Левина, 1976; Levina 1996)

Iespējams, ja pazemes ūdens ekspluatācijas laikā Gaujas ūdens horizonta līmenis nenokristos zemāk par -10 ± 2 m v.j.l., tad sulfātjona koncentrācijas pieaugums netiktu novērots. To var izsecināt arī pēc esošajiem datiem, jo, notiekot ūdens infiltrācijai no Salaspils ūdens horizonta, sulfātjonu koncentrācija Gaujas ūdens horizontā ir visai neliela, jo notiek kalcija – sulfāta ūdens tipa atšķaidīšanās gan ar Amatas, gan Gaujas ūdens horizontu.

Tā rezultātā Gaujas ūdens horizonta resursi papildinātos no horizonta reģionālās plūsmas sajaucoties ar hidrauliski saistītiem ūdens horizontiem. Uz šādu procesu norāda arī Esteller ar līdzautoriem (2010) pētījumā par ūdens sastāva izmaiņām Mehiko apkārtnē. Izpētes teritorijā šī procesa izpausme ir konstatējama „Lielās Rīgas” vidus zonā. Monitoringa postenī „Tīreļi” ir novērojams, ka Gaujas ūdens horizonts papildinās no Amatas ūdens horizonta, kā arī neliela ūdens pieplūde konstatējama no dziļāk esošajiem Burtnieku un Arukilas ūdens horizontiem. Par šo ūdens klātbūtni liecina hlorīdjona koncentrācijas palielināšanās 20. gadsimta 80-tajos gados, ko ilustrē saukšanās līkne 5.17. attēlā.

Depresijas piltuves centrālajā daļā Arukilas – Amatas ūdens kompleksa augšējos ūdens horizontos sulfātjonu koncentrācijas pieaugums ir novērojams arī jaunākos mērījumos. Tas norāda uz to, ka kaut gan intrūzija no Salaspils horizonta 20.gadsimta 70-to gadu beigās mazinājās, Gaujas horizonta ūdens līmenis vēl joprojām bija pazemināts un resursu papildināšanās notika no Amatas ūdens horizonta, kur novērojamas augstākas ūdens līmeņa atzīmes salīdzinājumā ar Gaujas ūdens horizontu. Tāpat Amatas ūdens horizontā ir novērojamas augstākas sulfātjonu koncentrācijas nekā pagulošajā Gaujas ūdens horizontā. Abos ūdens horizontos ir konstatējama lēna sulfātjonu palielināšanās tendence, kas ir arī redzama 5.5. attēlā. Savukārt depresijas piltuves maksimālās izplatības laikā Gaujas ūdens horizontā ir novērojamas zemākas sulfātjona vērtības nekā jaunākos mērījumos. Tam par

īemeslu varētu būt fakts, ka ūdens horizonta ekspluatācijas laikā palielinās arī ūdens plūsmas ātrums ap ūdensgūtvē vietu. Tas rada labvēlīgus apstākļus, lai ātrāk savstarpēji sajauktos dažāda tipa ūdeņi, kā rezultātā kalcija – sulfāta tipa ūdens vairāk atšķaidījās ar pašu Gaujas horizonta ūdeni.

Depresijas piltuves attīstības ietekme uz iesālūdens intrūziju Arukilas – Amatas ūdens horizontā

Iepriekšējos pētījumos ir konstatētas paaugstināts sāļums izpētes teritorijas austrumu daļā, kā arī veicot vertikālās elektriskās zondēšanas darbus ir izdalītas apgabali, kur nātrijs – hlorīda tipa ūdeņu mineralizācija pārsniedz 1 g/l (Aņikejeva u.c., 1997; Levins, 1999; Levina un Levins, 1995). Tā kā šīs teritorijas atrodas gan depresijas piltuves centrālajā zonā, gan vidus, tad ir monitoringa posteņi, kur traucēta pazemes ūdens režīma apstākļi bija par īemeslu, lai notiktu ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas. Konkrēti šīs vietas ir monitoringa posteņi „Jugla” un „Kalgale”. Iepriekšējos pārskatos (Levina un Levins, 2005) ir minēts, ka ūdens līmeņa pazeminājums Gaujas horizontā izraisīja papildināšanos no kvartāra ūdens horizontiem, kā rezultātā ūdens nav tik sāļš. Analizējot datus, tāda pati situācija ir novērojama arī monitoringa postenī „Kalgale”. Šeit salīdzinājumā ar posteni „Jugla” ūdens līmeņa fluktuācijas ir mazākas, bet tik un tā ir novērojams, ka ūdens tips Gaujas ūdens horizontā būtiski atšķirtas no paguloša Burtņieku ūdens horizonta, kur sastopams izteikts nātrijs – hlorīdu tipa ūdens, skatīt 4. pielikumu. Savukārt monitoringa posteņos „Upesciems”, „Baltezers” un „Carnikava” traucēta pazemes ūdens režīma apstākļi neietekmēja ūdens ķīmiska sastāva izmaiņas. Jo Gaujas ūdens horizonta līmeņa svārstības ir visai nelielas, kas neizraisīja papildus barošanos no kvartāra ūdens horizontiem. Tā rezultātā ir novērojams, ka sāļūdens intrūzija ir dabisks process. Līdz ar to pēdējo 50 gadu laikā būtiskas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas nav novērojamas. Savukārt monitoringa postenī „Baltezers” Gaujas ūdens horizonta dziļākajā daļā ir novērojama hlorīdjonu koncentrācijas palielināšanās, neskatoties uz to, ka jau ūdens tips ir nātrijs – hlorīda. Attēlā 5.21. ir redzams, ka izpētes vietā ir konstatējama augšupejoša ūdens plūsma no Arukilas ūdens horizonta. Bet tā kā Gaujas ūdens horizontā līmeņa svārstības netiek novērotas. Analizējot izmaiņu tendenci ir konstatējams, ka hlorīdjonu koncentrācijas pieaugums saistāms ar laika periodu, kad beidzās intensīva ūdens ieguve no Gaujas ūdens horizonta 20.gs. 90-tajos gados. Rezultātā var izdarīt pieņēmumu, ka pastāvot līmeņa pazeminājumam Gaujas ūdens horizontā, reģionālā plūsma šī paša ūdens horizonta ietvaros ir bijusi ātrāka salīdzinājumā ar netraucēta pazemes ūdens režīma apstākļiem, ko izraisīja vajadzība pēc papildus ūdens resursiem. Tāpēc izpētes vietā 20. gs. 80-tajos gados ievāktajos

paraugos hlorīdijona koncentrācija ir mazāka, jo notika intensīvāka atšķaidīšanās reģionālo plūsmu salīdzinājumā ar mūsdienām.

Jūras ūdens intrūzija

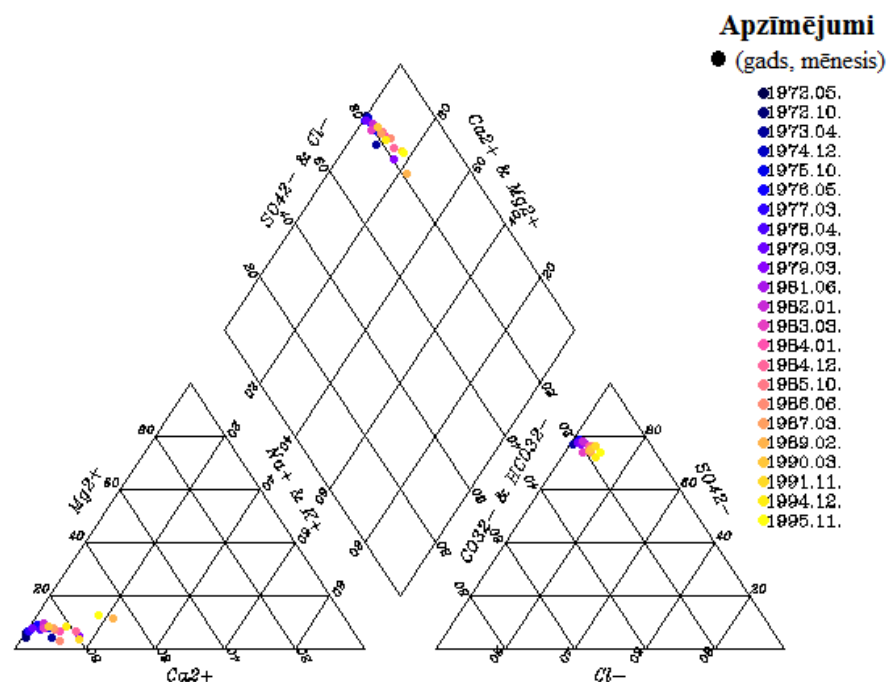
Iepriekšējos pārskatos un pētījumos tiek minēts, ka nav novērojama Gaujas ūdens horizonta papildināšanās no Rīgas līča depresijas piltuves attīstības laikā. Norādot, ka jūras ūdens intrūzija notiek caur Daugavas gultni, un ir novērojama aktīvās ūdens apmaiņas zonas augšējos horizontos (Levins u.c., 1998). Tam par iemeslu ir fakts, ka Rīgas reģionam salīdzinājumā ar Liepāju ir labāki hidroģeoloģiskie apstākļi. Jo Rīgā un tās apkārtnē Arukilas – Amatas ūdens kompleksu Rīgas līča teritorijā pārsedz ūdensnecaur laidīgi mālu un aleirītu slānis, tomēr vietām tas ir erodēts (Semjonovs, 1997; Jankins u.c., 1993) paverot ceļu iespējamai jūras ūdens intrūzijai. Dažos monitoringa postešos ir aizdomas par jūras ūdens intrūziju, konkrēti „Jaundultos”. Uz to norāda Mg^{2+}/Ca^{2+} attiecība, kas dažos paraugos vērtība pārsniedz 1, tādejādi norādot uz iespējamu jūras ūdens intrūziju (Pulido-Leboeuf et.al., 2003). Kā arī šie mērījumi atbilst laika posmam, kad novērojama depresijas piltuve Gaujas ūdens horizonta. Tāpēc pieļaujams, ka iespējams šajā vietā depresijas maksimālās izplatības laikā ir notikusi jūras ūdens intrūzija, bet, spriežot pēc hlorīdjonu koncentrācijas, ūdens apjoms, kas ieplūda no jūras ir bijis visai neliels. Dotajā monitoringa urbumā (nr. 458.) ir veikti salīdzinoši maz novērojumi, tāpēc ir problemātiski precīzāk interpretēt ķīmiskā sastāva izmaiņas saistībā ar depresijas piltuves attīstību.

Tā kā arī Arukilas – Amatas ūdens kompleksā izpētes teritorijā ir sastopami arī iesāļa tipa ūdens, tad ir grūti nošķirt avotus, kas rada paaugstinātas hlorīdijona koncentrācijas izpētes teritorijā. Tāpēc, lai precizētu iespējamus avotus, lietderīgi būtu turpmākos pētījumos izmantot mikroelementus, kas precīzāk norādītu uz konkrēta ūdens avotu. Pagaidām informācija par mikroelementu saturu Rīgas līcī ir pieejama no veiktās kartēšanas atskaites 20. gadsimta 80-tajos gados, kur analizēti paraugi no Gaujas ūdens horizonta, kas atrodas Latvijas Republikas akvatoriālajā daļā (Kovalenko, 1987). Mikroelementu saturs pazemes ūdeņos Latvijas teritorijā ir pētīts divu projektu ietvaros: „*Agricultural Influence on Groundwater in Latvia*” (Gosk et al., 2006) un „Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” (PUMa; Retiķe et.al., 2012). Iespējams, iegūtie dati ir izmantojami, lai novērtētu vai Gaujas ūdens horizonts ir papildinājies no dziļāk esošajiem horizontiem. Vai arī notikusi ierobežota jūras ūdens intrūzija no Rīgas līča.

Antropogēnas izcelsmes savienojumi pazemes ūdeņos

Vēl viena no izpētes teritorijā novērojamajām ķīmiskā sastāva izmaiņām ir sasaistāma ar piesārņojumu cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā. Iepriekšējos pārskatos ir minētas

potenciālās vietas, kur notiek virszemes piesārņojuma infiltrācija artēziskajos ūdens horizontos, tomēr tiek norādīts, ka ievērojams artēzisko ūdens horizontu piesārņojums nav konstatējams (Levina un Levins, 1994). Analizējot datus, tika novērots, ka Salaspils horizontā monitoringa postenī „Imanta”, laika gaitā palielinās nātrija (Na^+) un hlora (Cl^-) jonu relatīvās koncentrācijas, skatīt 6.2. attēlu Konkrēti hlorīdiona koncentrācija no 1972. līdz 1995. gadam pieaug no 22 līdz 156 mg/l (LVĢMC, bez.dat.).



6.2. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Salaspils ūdens horizontā monitoringa postenī „Imanta” (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez. dat.)

Tā kā dziļāk esošajos horizontos šādas izmaiņas nav novērojamas, tad tiek pieņemts, ka šo jonu avots varētu būt no sāls, ko izmanto ielu kaisīšanai, vai arī radies no citiem procesiem cilvēka saimnieciskās darbības rezultātā, 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 biezums smilts slānis (LVĢMC, bez. dat.). Pēc A. Dēliņas un J. Prola 1998. gadā izstrādātajiem kritērijiem (Dēliņa, 2007), smiltij dabiskās aizsargātības pakāpe ir vāja, savukārt morēnas smilšmālam augsta. Ņemot vērā kvartāra nogulumu biezumu un dabiskās aizsargātības kritērijus, Salaspils horizonta ūdens kvalitāti nevajadzētu ietekmēt piesārņojumam. Tomēr novērojumi liecina par pretējo un pastāv iespēja, ka notiek tieša pazemes ūdeņu papildināšanās ar virszemes ūdeņiem.

Pazemes ūdens balance depresijas piltuves centrālajā daļā

Izmantojot datus par pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņām depresijas piltuves teritorijā, ir iespējams novērtēt arī ūdens bilanci traucēta pazemes ūdens režīma apstākļos. Tas ir konkrēti spriest par ūdens daudzumu kāds nāca no pārsedzošajiem un paguļošajiem ūdens

horizontiem depresijas piltuves attīstības laikā Gaujas ūdens horizontā. Zinot dažādu ūdens tipu, kas savstarpēji sajaucas, ķīmisko sastāvu, kā arī ūdens sastāvu kas iegūts sajaucoties šiem tipiem, iespējams aprēķināt sajaukšanās proporciju. Savukārt, zinot ūdens ieguves apjomus, var novērtēt kāda bija ūdens bilance dotajā horizontā, ko var izmantoto pieņemu verifikācijai.

Ir novērtēts, ka no depresijas piltuves centrālās daļas Gaujas ūdens horizonta laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam iegūti aptuveni 25% no kopējā horizontā esošā ūdens daudzuma (Raga et.al., 2012b). Šo pētījuma virzienu var attīstīt tālāk, jo lai precīzi definētu kāda ūdens tipa īpatsvaru Gaujas ūdens horizontā būtu nepieciešama detālāka informācija par pazemes ūdens sastāvu, jo tā labāk un precīzāk būtu iespējams novērtēt avotu. Iepazīstoties ar citiem pētījumiem, kur definēta kāda ūdens horizonta ķīmiskā sastāva attīstību un noskaidroti iespējamie avoti, tad izmantoti dati par mikroelementu saturu, kā arī par stabilajiem izotopiem. No mikroelementiem kā labs dabiskais traseris tiek minēts stroncijs (Sr) (Yamanaka et.al., 2005), savukārt no stabilajiem izotopiem pārsvarā tiek izmantotas $\delta^{18}\text{O}$ ‰ vērtības (Raidla et.al., 2009).

SECINĀJUMI

Maģistra darba izstrādē, apkopojot un izanalizējot iegūtos rezultātus, var izdarīt šādus secinājumus:

- Gaujas ūdens horizonta papildināšanās depresijas piltuves attīstības laikā notiek gan no Pļaviņu – Daugavas, gan no Arukilas – Amatas ūdens kompleksa horizontiem.
- Ūdens pārtece no Salaspils ūdens horizonta notika, līmeņa atzīmei Gaujas ūdens horizontā ievērojami pazeminoties zem -10 ± 2 m v.j.l. Par to liecina sulfāta koncentrācijas samazināšanās Pļaviņu ūdens horizontā, kad Gaujas ūdens horizonta līmenis sasniedza šādu atzīmi monitoringa postenī „Imanta”.
- Depresijas piltuves centrālajā daļā Gaujas ūdens horizontā ekspluatācijas laikā notika intensīvāka ūdens apmaiņa, kas radīja labvēlīgus apstākļus, lai kalcija – sulfāta tipa ūdens, kas infitrējās no Salaspils ūdens horizonta, ātrāk sajauktos ar Gaujas ūdens horizontu. Samazinot ekspluatācijas apjomus mazinājās arī ūdens plūsmas ātrumi un procesa attīstības gaita. Par to liecina novērojumi no monitoringa posteņa „Imanta”.
- Depresijas piltuves attīstības laikā Gaujas ūdens horizontā, iespējams notikusi jūras ūdens intrūzija Rīgas līča piekrastes teritorijā. Par to liecina Gaujas ūdens horizonta ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Jaundubulti” un „Jūrmala”
- Daugavas labajā krastā iepriekšējos pētījumos izdalītajos Arukilas – Amatas ūdens kompleksā ar paaugstinātu NaCl mineralizāciju virs 1 g/l ir novērojams, ka teritorijās, kur Gaujas ūdens horizonta līmenis ir pazeminājies depresijas piltuves attīstības laikā, papildināšanās ir notikusi no augstāk esošajiem ūdens horizontiem.

PATEICĪBAS

Darba autore izsaka pateicību par sniegtajām konsultācijām pētījuma veikšanā darba vadītājam Dr. geol. Andim Kalvānam, kā arī Dr.geol., doc. Aijai Dēliņai par noderīgu padomu sniegšanu un darba tekstuālās daļas rediģēšanu. Tāpat autore izsaka pateicību savai darba kolēģei un vides zinātnes 2. kursa maģistrantūras studentei Ingai Retiķei par savstarpējo sadarbību rezultātu apspriešanā un sagatavošanā zinātniskajās konferencēs. Autore izsaka pateicību kursa biedrei un kolēģei Eleonorai Pērkonei par padomu sniegšanu maģistra darba tehniskajā noformēšanā. Lielu paldies autore izsaka Ilzei Birzniecei par maģistra darba valodas un interpunkcijas labojumiem.

Šī pētījuma veikšanai ir saņemts finansiāls un materiāls atbalsts no Eiropas Sociālā fonda projekta aktivitātes „Cilvēkresursu piesaiste zinātnei” projekta „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveides pazemes ūdeņu pētījumiem” Projekta Nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra

- Albarède F. 2003. *Geochemistry. An Introduction*. United Kingdom of the University Press, Cambridge. 248 p.
- Bell F.G. 1999. Geological hazards : their assessment, avoidance and mitigation. E & FN Spon, London. 648 p.
- Brezonik P.L., Arnold W.A. 2011. *Water chemistry. An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems*. Oxford University press, New York. 752 p.
- Charef, A., Ayed L., Azzouzi R. 2011. Impact of natural and human processes on the hydrochemical evolution of overex-ploited coastal groundwater: Case study of the Mornag aquifer refill (South-East Tunis, Tunisia). *Chemie Erde – Geochemistry*. In print
- Custodio E. 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology Journal* 10. 254.-277.p.
- Dēliņa A. 2007. Kwartārsegas 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., Andreu J.M. 2005. Anthropic effect on hydrochemical characteristics of the Valle de Toluca aquifer (central Mexico). *Hydrogeology Journal* 13. 378 -390. p.
- Esteller M.V., Rodriguiz R., Cardona A., Padilla-Sanohez L. 2010. Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico. *Enviromental monitoring and assesment*. Published online: 14 October 2011
- Fetter C.W. 2001. *Applied hydrogeoloy. Fourth Edition*. Prentice Hall, New Jersey. 598 p.
- Gosk, E., Levins, I., Jorgensen, L.F. 2006. Agricultural Influence on Groundwater in Latvia. Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelse rapport 2006/85. Geological Survey of Denmark and Greenland, Copenhagen, 95 p.
- Greenberg A., Clescerl L.S., Eaton D.A. (eds.) 2005. *Standartmethods for examination of water & wastewater*. American Public Health Association
- Hildering A. 2006. *International law, sustainable development and water managment*. Eburon Academic Publishers, Amsterdam. 242 p.
- Hill M.K. 2010. *Uderstanding Environmental pollution. Third edition*. United Kingdom of the University Press, Cambridge. 585 p.

- Ingebritsen S. E., Sanford W. E. 1998. *Groundwater in geologic processes*. Cambridge University press, Cambridge. 341 p.
- Kasenow M. 2001. *Applied Ground-Water Hydrology and Well Hydraulics*. Water Resources Publication, Denver. 835 p.
- 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.
- Kehew, A.E. 2001. *Applied Chemical Hydrogeology*, Prentice Hall, Inc. 368 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.
- Kuhnert P., Vanables B. 2005. *An Introduction to R: Software for Statistical Modelling & Computing. Course Materials and Exercises*. CSIRO, Australia. 364 p.
- Levins I., Levina N., Gavena I. 1998. *Latvijas pazemes ūdeņu resursi*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 24 lpp.
- Liepa I. 1974. *Biometrija*. Zvaigzne, Rīga. 335 lpp.
- Mondal N. C., Singh V. P., Singh V. S. Saxena V. K. 2010. Determining the interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions chemistry. *Journal of Hydrology*. 388, 100-111. p.
- Montety V., Radakovitch O., Vallet – Coulomb C., Blavoux B., Hrmite D., Valles V. 2008. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in a confined coastal aquifer: Case of the Rhone delta (Southern France). *Applied Geochemistry* nr. 23. 2337-2349. p.
- Михайлов В.Н., Добровольский, А.Д., Добролюбов С.А. 2005. *Гидрология*. Москва, Высшая школа, 136-163 с.
- Pulido – Leboeuf P., Pulido – Bosch A., Calvache M. L., Vallejos A., Andreu J. M. 2003. Strontium, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ and $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ ratios as tracers for the evolution of seawater into coastal aquifers: the example of Castell de Ferro aquifer (SE Spain). *C.R. Geoscience* 335. 1039 – 1048. p.
- Raga B., Kalvāns A., Dēliņa A., Pērkone E., Retiķe I. 2012a. Evolution of groundwater composition in the depression cone of the Riga region. Groundwater in Sedimentary Basins Abstract book, Riga. 48 p.
- Raga B., Kalvāns A., Dēliņa A., Pērkone E., Retiķe I. 2012b. Evolution of groundwater composition in the depression cone of Riga region. EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts 2012, vol 14.

- Raidla V., Kirsimāe K., Vaikmāe R., Jõelet 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.
- Retiķe I., Kalvāns A., Dēliņa A., Babre A., Raga B., Pērkone E. 2012. Trace elements in groundwater in Latvia: existing data and first new results. Groundwater in Sedimentary Basins Abstract book. Rīga. 48 p.
- Semjonovs I. 1997. *Pazemes ūdeņu aizsardzība Latvijā*. Gandrs. Rīga. 463 lpp.
- Seņņikovs, J. 2011. Baltijas artēziskā baseina matemātiskais modelis. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcijas apakšsekcija "Baltijas artēziskā baseina pazemes ūdeņi."* Referātu tēzes. Rīga, Latvijas Universitāte, 7.-9.
- Spalviņš A., Janbickis R., Šlangens J., Gosk E., Lāce I., Atruškievičs J., Vīksne Z., Levina N., Tolstovs J. 1996. *Hidroģeoloģiskais modelis „Lielā Rīga”*. Karšu atlants. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga. 102 lpp.
- Spalviņš A., Nulle U. 2011. Latvijas hidroģeoloģiskais modelis pazemes dzeramā ūdens krājumu pārvaldīšanai un atveseļošanai. *Scientific Journal of Riga Technical University vol.50*.
- Vērduņš G., Dukulis I. 2008. *Materiālu mācība: mācību līdzeklis*. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Spēkratu institūts, Jelgava. 229 lpp.
- Virbulis J. Bethers U., Saks T., Sennikovs J.; Timuhins A. 2012. Hydrogeological model of the Baltic Artesian Basin. *Hydrogeology Journal*. In Print
- Yamanaka M., Nakano T., Tase N. 2005. Hydrogeochemical evolution of confined groundwater in northeastern Osaka Basin, Japan: estimation of confined groundwater flux based on a cation exchange mass balance method. *Applied Geochemistry nr.20* 295 – 316. p.

Nepublicētā literatūra

- Aņikejeva R., Levins I., Levina N. 1997. Pazemes ūdeņu krājumi Rīgas centralizētai ūdensapgādei. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. VGF nr. 11758. 89 lpp.
- Arsenjeva J. 2009. Pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs Arukilas – Amatas ūdens horizontu kompleksā Rīgas apkārtnē. Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte.
- Brangulis A.J., Juškevičs V., Kondratjeva S., Gavena I., Pomeranceva R. 2000. Latvijas Ģeoloģiskā karte. Mērogs 1: 200 000. 43. lapa – Rīga, 53. Lapa – Ainaži. Paskaidrojuma teksts un kartes. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 61. lpp.

- Jankins J., Levina N., Levins I., Prols J., Straume J. 1993. Pazemes ūdeņu monitorings Latvijā. Latvijas Republikas finansu ministrijas valsts uzņēmums „Latvijas ģeoloģija”. VGF nr. 14674. 69 lpp.
- Juškevičs V., Mūrnieks A., Misāns J. 1999. Latvijas ģeoloģiskā karte, mērogs 1:200000, 42 . lapa – Jūrmala. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 52 lpp.
- Kokorīte I. 2007. Latvijas virszemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs un to ietekmējošie faktori. Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Rīga. 107 lpp.
- Kovalenko Fr. 1987. Pārskats par 1:200 000 mēroga eksperimentālo ģeoloģisko kartēšanu lapu O-34-XXX (Tukums) un O-35-XXV (Rīga) akvatoriālajā daļā. Jūras kartēšanas grupa, 1984.-1987.g. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga. 696 lpp. VGD inv. nr. 10543
- Levina N. 1996. Pazemes ūdeņu monitorings, 1995.g. (informatīvs pārskats). Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. VGF nr. 11374. 31 lpp.
- Levina N. 1997. Pazemes ūdeņu monitorings 1996.g. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. VGF nr. 11563. 46 lpp.
- Levina N. 2001. Valsts pazemes ūdeņu monitorings, 2000.gads. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. VGF nr. 12429. 327 lpp.
- Levina N., Levins I. 2005. Pazemes ūdeņu pamatmonitorings 2004.gads. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga. VGF nr. 14844. 345 lpp.
- Levina N., Levins I. 2006. Pazemes ūdeņu pamatmonitorings, 2005.gads. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga. VGF nr. 15629. 335 lpp.
- Levina N., Levins I., Gaile R., Cīrulis A. 1998. Pazemes ūdeņu monitorings 1997.gads. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. VGF nr. 11760. 55 lpp.
- 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. VGF nr. 12074. 30 lpp.
- PAIC. 2002. HiFiGeo v.3.5 for Windows 95/98/2000/NT/XP. Lietotāja rokasgrāmata, 67.
- Толстов Я. Б., Левина Н. Н. 1976. Изучение режима, баланса подземных вод в Латвийской ССР на 1959 – 1975. г. Управление Геологии и охраны недр, Рига. VGF nr. 9484. 763 с.
- Яевдаяева М. 1961. Гидрогеологической ежегодник Латвийской гидрогеологической станции за 1960 г. Управление Геологии и охраны недр, Рига. VGF nr. 3017. 331 с.
- Янсонс А.К., Бендруп Л.П., Пуркина Л. Г., Царькова М. А., Биргер А. А., Штейман И. П., Самушенков М. К. 1965. Отчет о результатах комплексной геолого – гидрогеологической съемки масштаба 1:50 000 на территории листов О-35-97-В и

O-35-109-A. (Даугавская геологосъемочная партия) 1963 – 1965 годы.
Государственный геологический комитет СССР, Рига. VGD nr. 5767. 1151 с.

Kartogrāfiskie materiāli

LVGD Kvartargeologija. *Valsts Ģeoloģijas dienesta kvartāra karšu mozaīka mērogā 1: 200 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 20.03.2012. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

LVGD Pirmskvartāra. *Valsts Ģeoloģijas dienesta pirmskvartāra karšu mozaīka mērogā 1: 200 000*. LU ĢZZF WMS Sk. 20.03.2012. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

Elektroniskie resursi

Latvijas Universitātes aģentūra „LU Bioloģijas institūts” 2007. *Daugavas ekoloģiskā stāvokļa novērtējums*. Sk.02.04.2012. Pieejams www.knl.lv/raksti_data/422/DAUGAVA_ATSKAITE.doc. Atsauce tekstā (LU Bioloģijas institūts, 2007)

Rīgas pašvaldības portāls 2009. *Rīga skaitļos*. Sk. 10.02.2012. Pieejams http://www.riga.lv/LV/Channels/About_Riga/Riga_in_numbers/default.htm Atsauce tekstā (Rīgas pašvaldības portāls, 2009)

Rīgas attīstības programma 2005. *Rīgas attīstības programma 2006. – 2012. gadam*. Sk. 15.04. 2012. Pieejams http://www.rdpad.lv/uploads/rpap/Rigas_attistibas_programma_2006.-2012.g.pdf Atsauce tekstā (Rīgas attīstības programma, 2005)

Pazemes ūdeņu valsts monitorings bez. dat. *Pazemes ūdeņu monitorings*. Sk. 07.05.2012. Pieejams <http://mapx.map.vgd.gov.lv/g3inflv/monitoring/mpu.htm> Atsauce tekstā (Pazemes ūdeņu monitorings, bez. dat.)

LVĢMC portāls bez.dat. *2.ūdens. Ūdeņu stāvokļa monitoringa programma*. Sk. 05.05.2012. Pieejams http://www.lvgma.gov.lv/vmp2005/udens_udenu%20stavokla%20monitorings_VMP.pdf Atsauce tekstā (LVĢMC portāls, bez. dat.)

Buchanan R. and Buddemeier R. W. [S.a.]. Well construction and ground-water production Sk. 23.03.2012. Pieejams http://www.kgs.ku.edu/Publications/Bulletins/ED10/06_wells.html Atsauce tekstā (Buchanan and Buddemeier, [S.a.]

LVĢMC [Bez dat.] DB “Urbumi” (Latvijas urbumu datu bāze) Sk. 03.03.2010. Pieejams <http://mapx.map.vgd.gov.lv/geo3/vgf/vgf.html>. Atsauce tekstā (LVĢMC, bez. dat.).

Normatīvie akti

Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma un kvalitātes prasības, monitoringa un kontroles kārtība. Latvijas Republikas Ministru Kabineta noteikumi Nr. 235. Pieņemti 29.04.2003. Atsauce tekstā (Dzeramā ūdens ..., 2003).

PIELIKUMI

Pielikums 1.

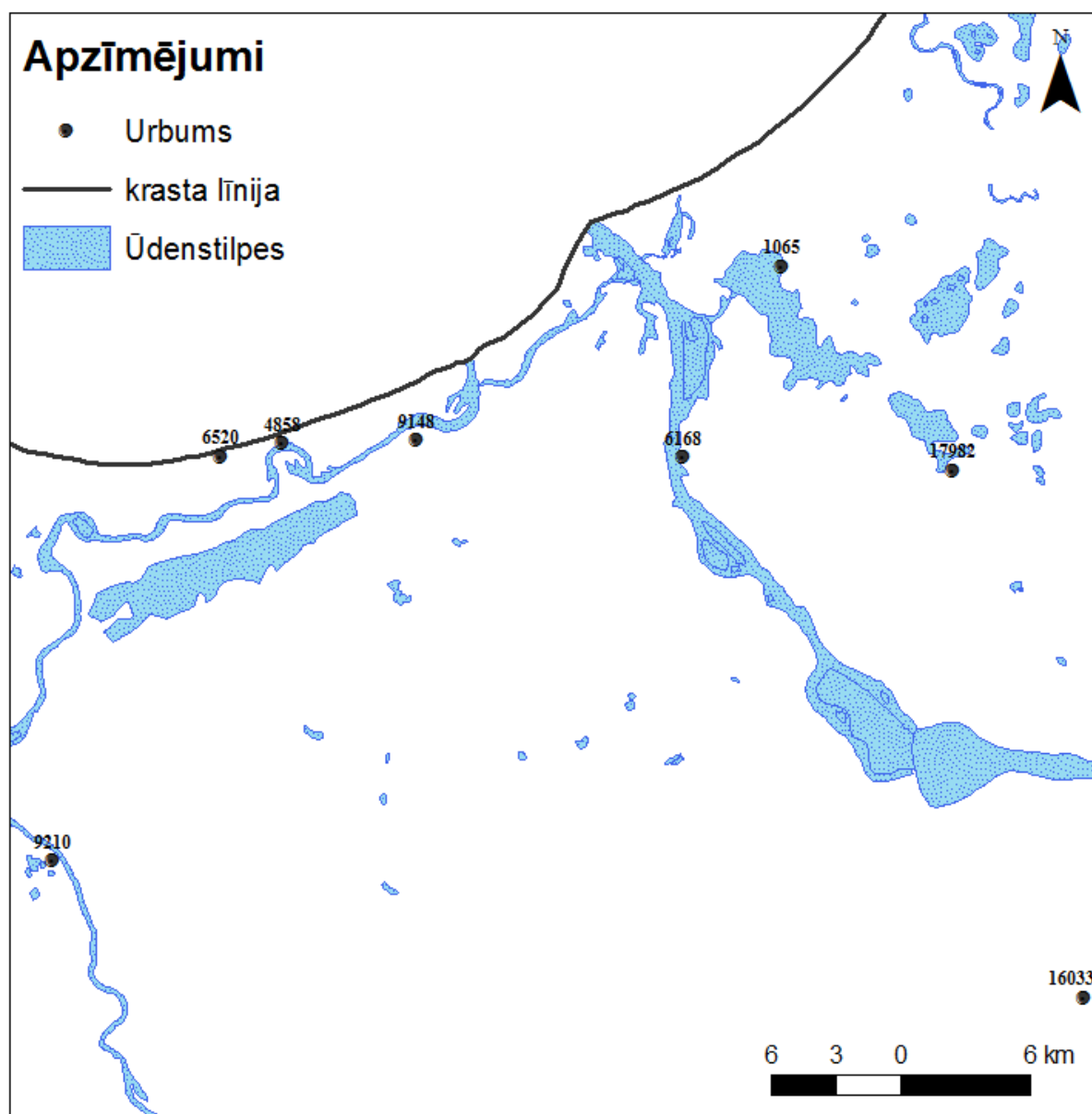
Novērojumu periods maģistra darbā izmantotajiem monitoringa urbumiem (izstrādājusi autore, izmantojot LVĢMC, bez.dat.)

Urbuma nr.	Novērotais ūdens horizonts	Novērojuma periods pazemes ūdens līmeņa izmaiņām, gads.mēn.dat.	Novērojuma periods pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņām, gads.mēn.dat.
1	Gauja	1979.10.01 - 1982.10.29	1978.06.14 - 2009.04.29
2	Arukila	1979.09.22 - 1984.03.27	1978.06.16 - 1997.02.14
3	Gauja	1979.09.22 - 1984.12.25	1978.06.16 - 2008.06.11
5	Arukila	1978.01.05 - 2010.04.26	1977.07.24 - 2008.09.03
6	Gauja	1978.01.05 - 2010.04.26	1977.07.26 - 2008.09.03
7	Gauja	1978.01.05 - 2010.04.26	1977.07.27 - 2008.09.03
8	Arukila	1980.01.04 - 1995.06.14	1979.05.04 - 2007.09.27
9	Gauja	1979.07.24 - 1995.01.24	1978.01.01 - 2007.09.27
10	Burtnieki	1979.07.24 - 2005.12.27	1979.05.25 - 2008.06.12
458	Gauja	1968.02.08 - 2009.10.14	1969.02.12 - 1990.03.21
619	Arukila	1999.01.09 - 2007.10.30	1974.03.16 - 1990.05.15
621	Gauja	1999.01.23 - 2006.12.14	1974.02.01 - 1990.03.20
681	Gauja	1972.12.07 -1995.05.15	1973. 05.19–1993.11.10
682	Gauja	1972.11.23 -2010.04.26	1973.05.06- 2006.10.04
683	Gauja	1972.11.02 - 2010.04.26	1973.05.15 - 2008.08.19
685	Amata	1972.11.02 - 2010.04.26	1972.05.19 - 2009.03.31
686	Pļaviņas	1972.11.02 - 2010.04.26	1972.05.19 - 2009.03.31
687	Salaspils	1972.11.02 - 1998.08.26	1972.05.19 -1995.11.27
693	Pļaviņas	1972.09.16 -2010.04.27	1973.03.15- 2009.05.11
695	Kvartārs	1972.09.28 – 2008.01.17.	1973.03.15 –1990.05.15.
1481	Burtnieki	1979.05.04 - 2010.04.26	1979.01.16 - 2002.11.27
1482	Gauja	1979.05.04 - 2010.04.26	1979.01.18 - 2004.11.12
1485	Arukila	1979.05.04 - 2010.04.26	1980.12.20 - 2007.05.16
1486	Burtnieki	1979.05.04 - 2010.04.26	1980.12.20 - 2008.04.18
1500	Burtnieki	1979.01.02 - 2010.04.26	1978.01.26 - 2008.08.08
1502	Gauja	1979.01.02 - 2010.04.26	1978.07.05 - 2002.10.02
1504	Amata	1979.01.02 - 2010.04.26	1978.05.03 - 2008.08.08
1507	Arukila	1982.04.05 - 2010.04.27	1981.10.19 - 2008.05.15
1508	Burtnieki	1982.04.05 - 2010.04.27	1980.03.26 - 2008.05.14
1510	Gauja	1982.04.05 - 2003.12.30	1981.03.27 - 1991.02.05
1511	Amata	1982.04.05 - 2010.04.27	1980.03.24 - 2008.05.14
1575	Burtnieki	1972.12.12 - 2010.04.27	1979.05.16 - 2003.09.11
1576	Gauja	1972.12.12 - 2010.04.27	1979.05.16 - 2008.04.24
1577	Amata	1972.12.12 - 2010.04.27	1979.05.17 - 2008.04.24
1580	Arukila	1972.12.12 - 2010.04.27	1979.05.17 - 2007.05.30
1581	Arukila	1983.01.13 - 2002.04.09	1982.05.05 - 1994.12.24

Urbuma nr.	Novērotais ūdens horizonts	Novērojuma periods pazemes ūdens līmeņa izmaiņām, gads.mēn.dat.	Novērojuma periods pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņām, gads.mēn.dat.
1582	Burtnieki	1983.01.13 - 2006.12.14	1982.05.05 - 1994.12.24
1583	Gauja	1983.01.13 - 2006.12.14	1982.05.05 - 2000.09.27
1589	Arukila	1983.01.12 - 2010.04.27	1982.02.22 - 2003.12.16
1590	Gauja	1983.01.12 – 2010.04.27	1982.03.04-2008.05.13
1593	Arukila	1980.02.20 - 2003.05.23	1979.10.22 - 2001.07.11
1594	Burtnieki	1980.02.06 - 2010.04.27	1979.10.24 - 2008.05.28
1595	Gauja	1980.02.06 - 2010.04.27	1979.10.25 - 2002.08.26
1597	Amata	1980.02.06 - 2010.04.27	1979.11.01 - 2008.05.28
1599	Salaspils	1980.02.06 - 2010.04.27	1979.11.02 - 2008.05.28
1605	Amata	1983.01.13. – 2010.04.27	1982.05.12. – 2008.06.26
1606	Pļaviņas	1983.01.07 – 2010.04.27	1982.04.29. – 2008.06.26

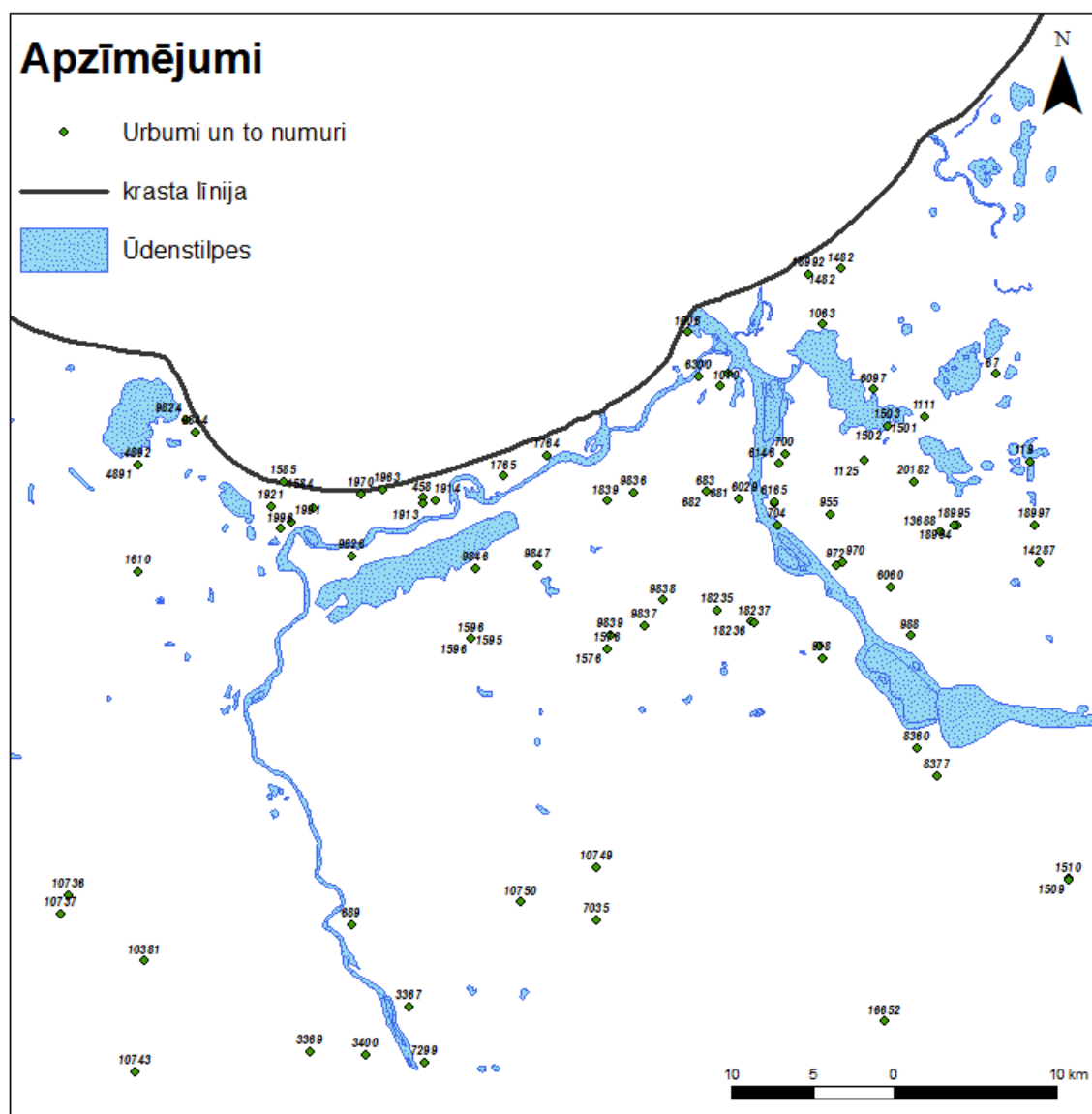
Pielikums 2.

Faktu materiālu karte Gaujas ūdens horizonta hidroizopjēzu kartei 1949. – 1951. gadam



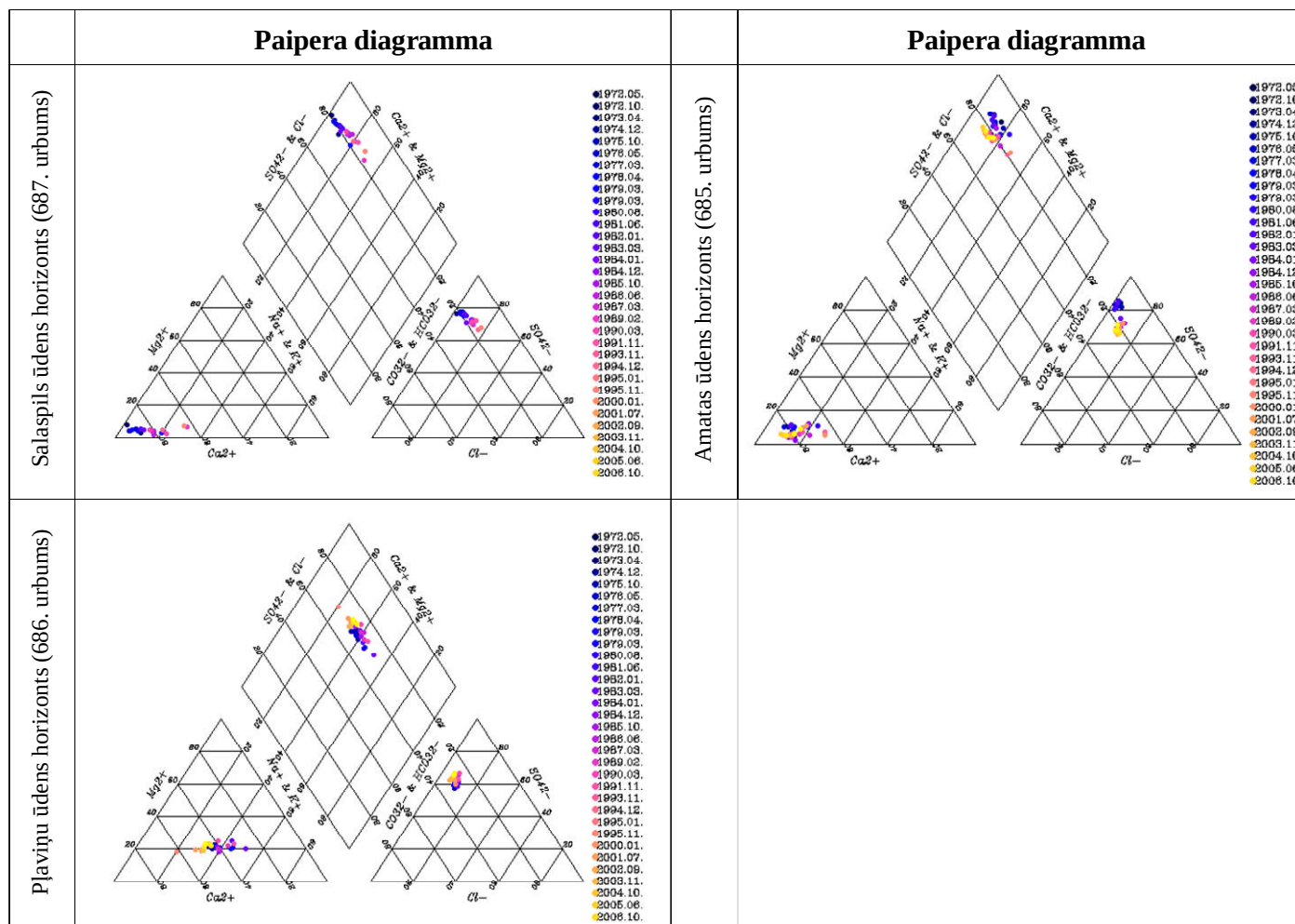
Pielikums 3.

Faktu materiālu karte Gaujas ūdens horizonta hidroizopjēzu kartei 1978. – 1981. gadam

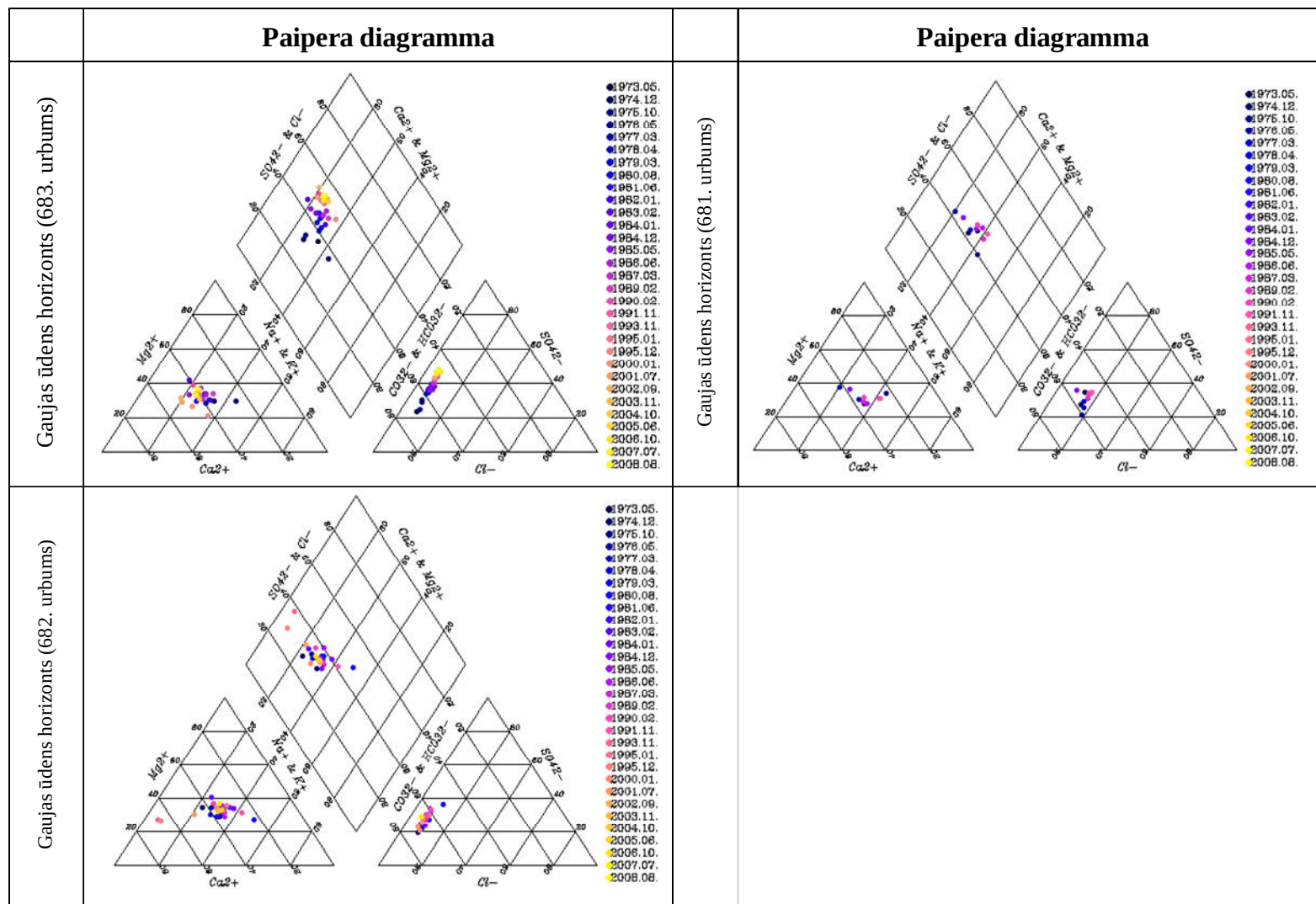


Pielikums 4. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa posteņos „Lielā Rīga” teritorijā

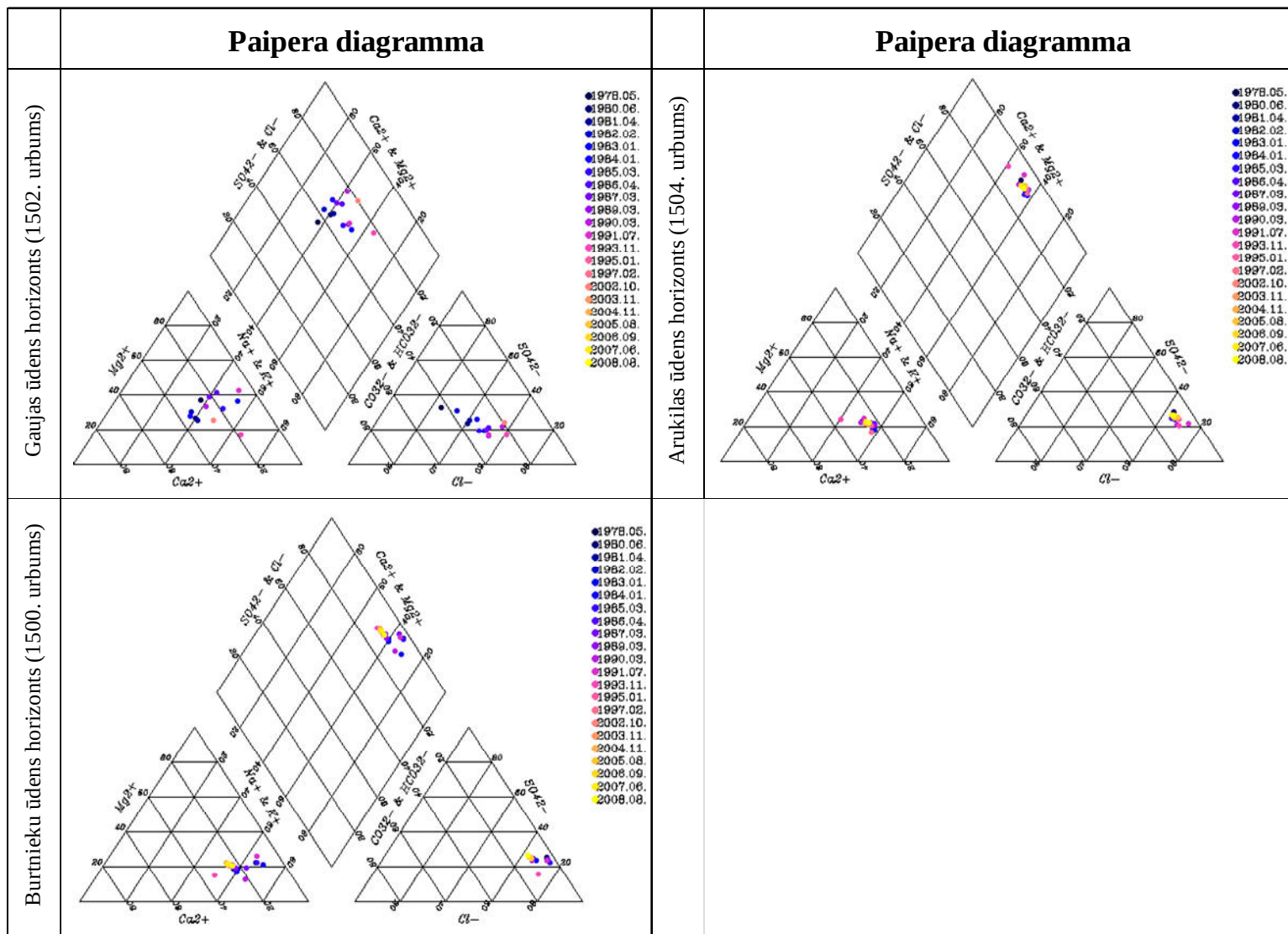
Monitoringa postenis „Imanta”



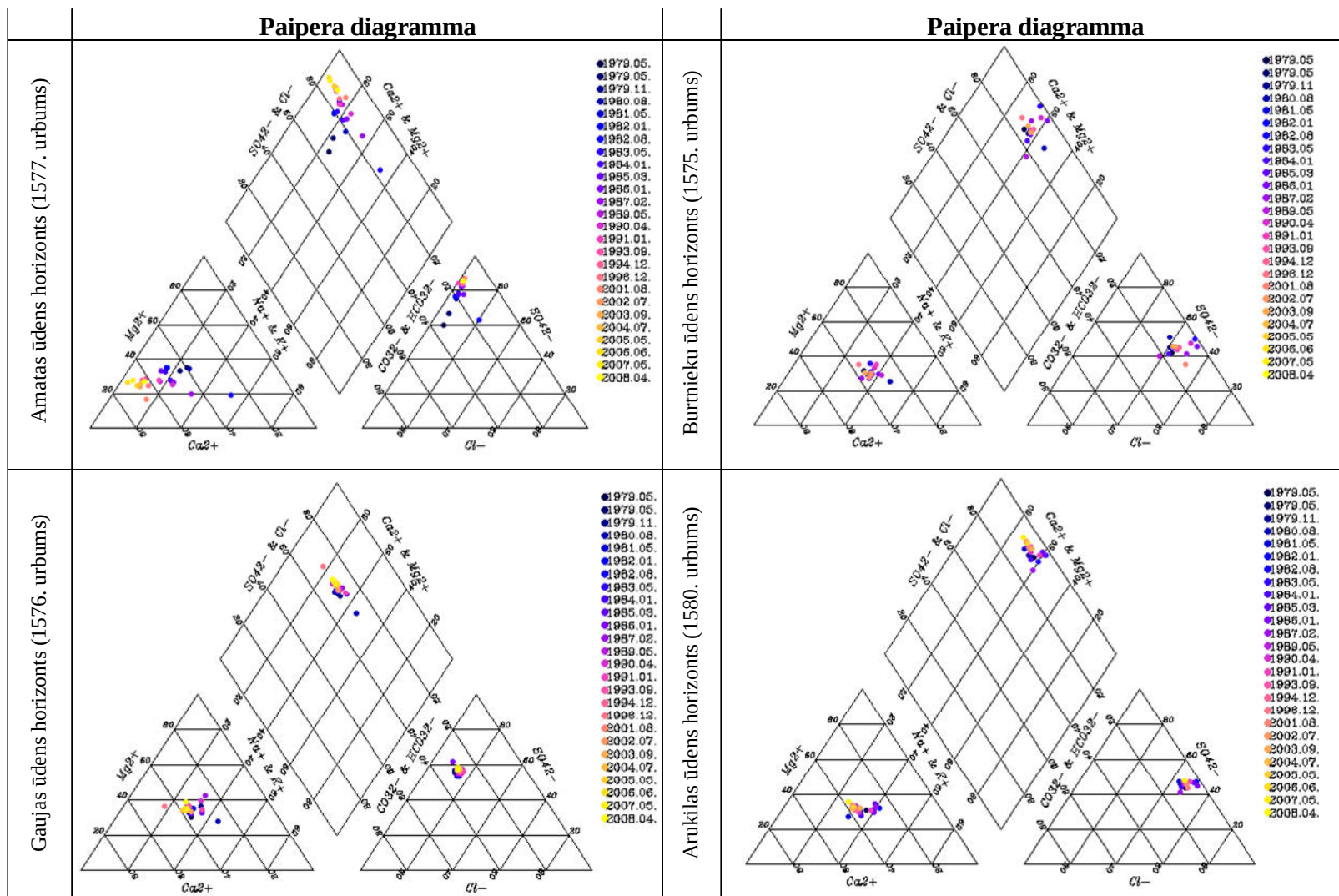
Monitoringa postenis „Imanta”

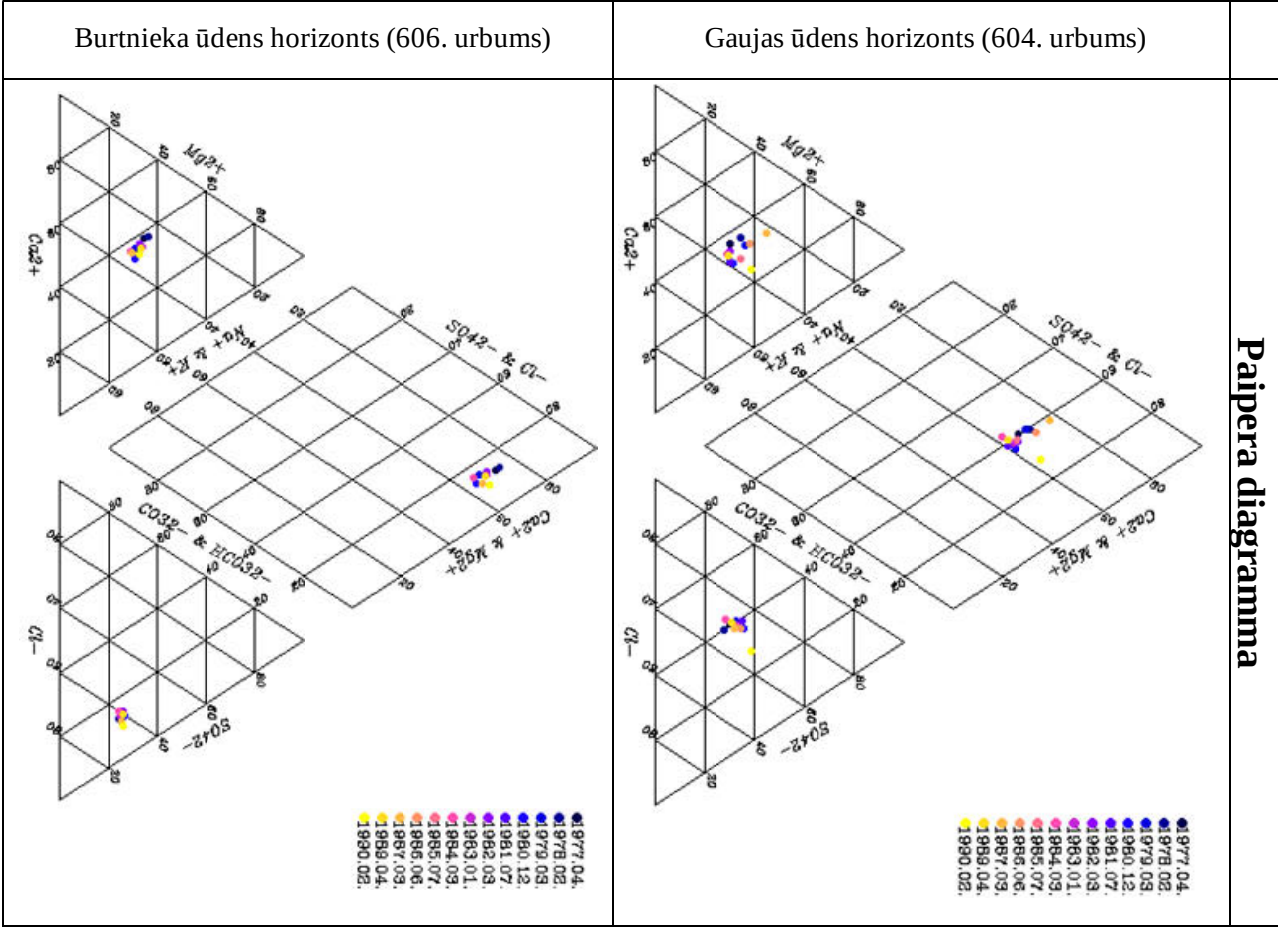


Monitoringa postenis „Jugla”

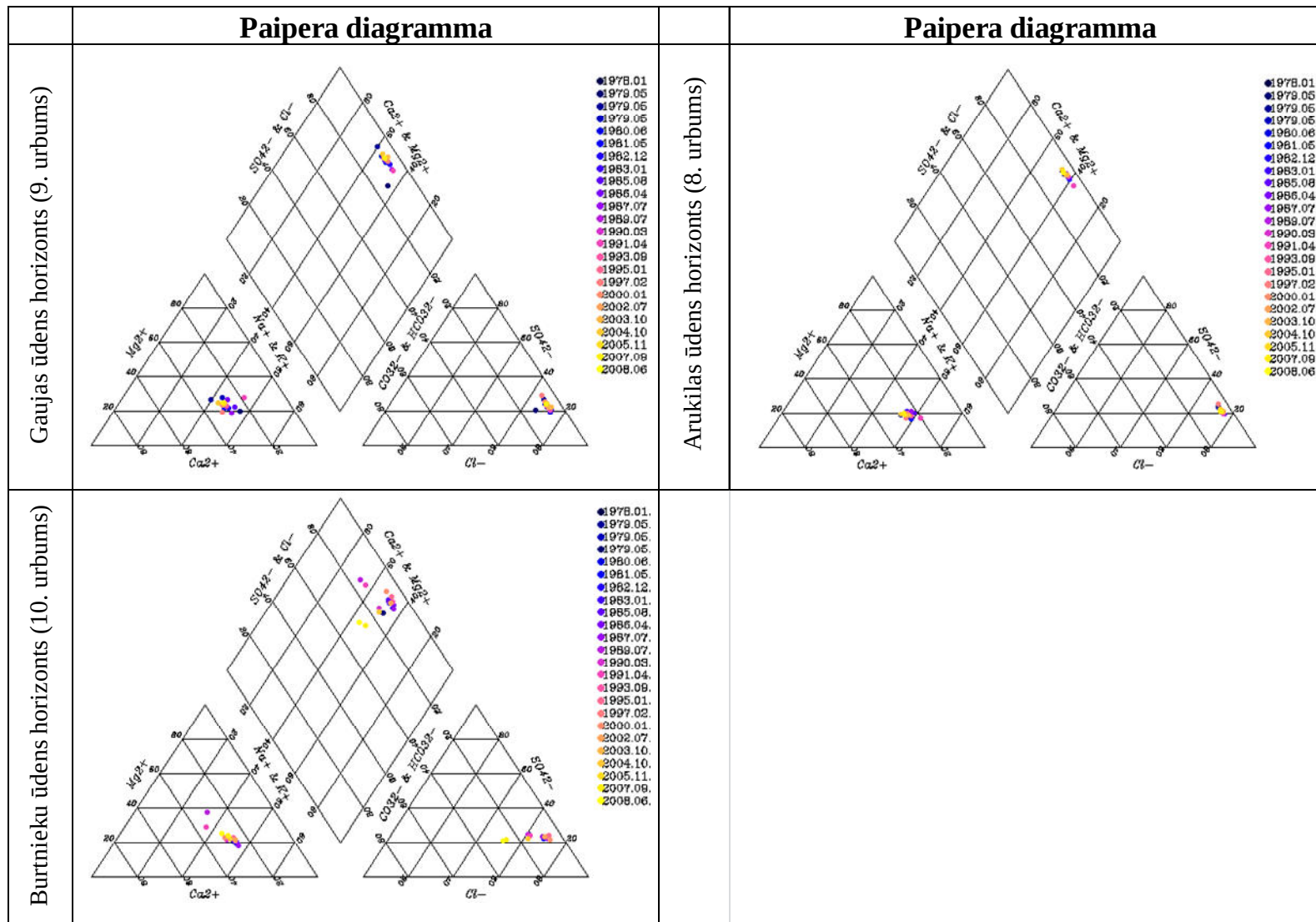


Monitoringa postenis „Mārupe”

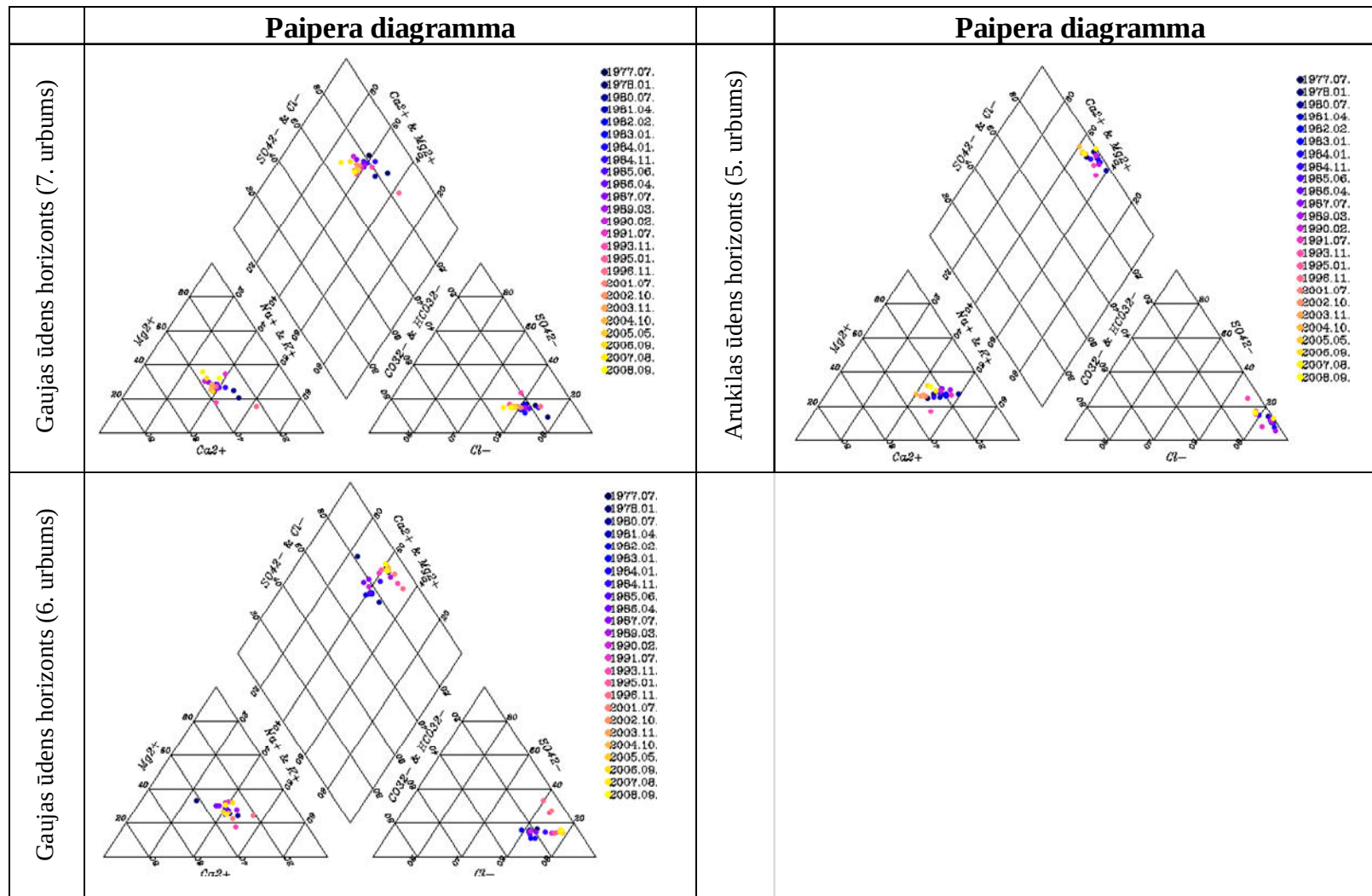


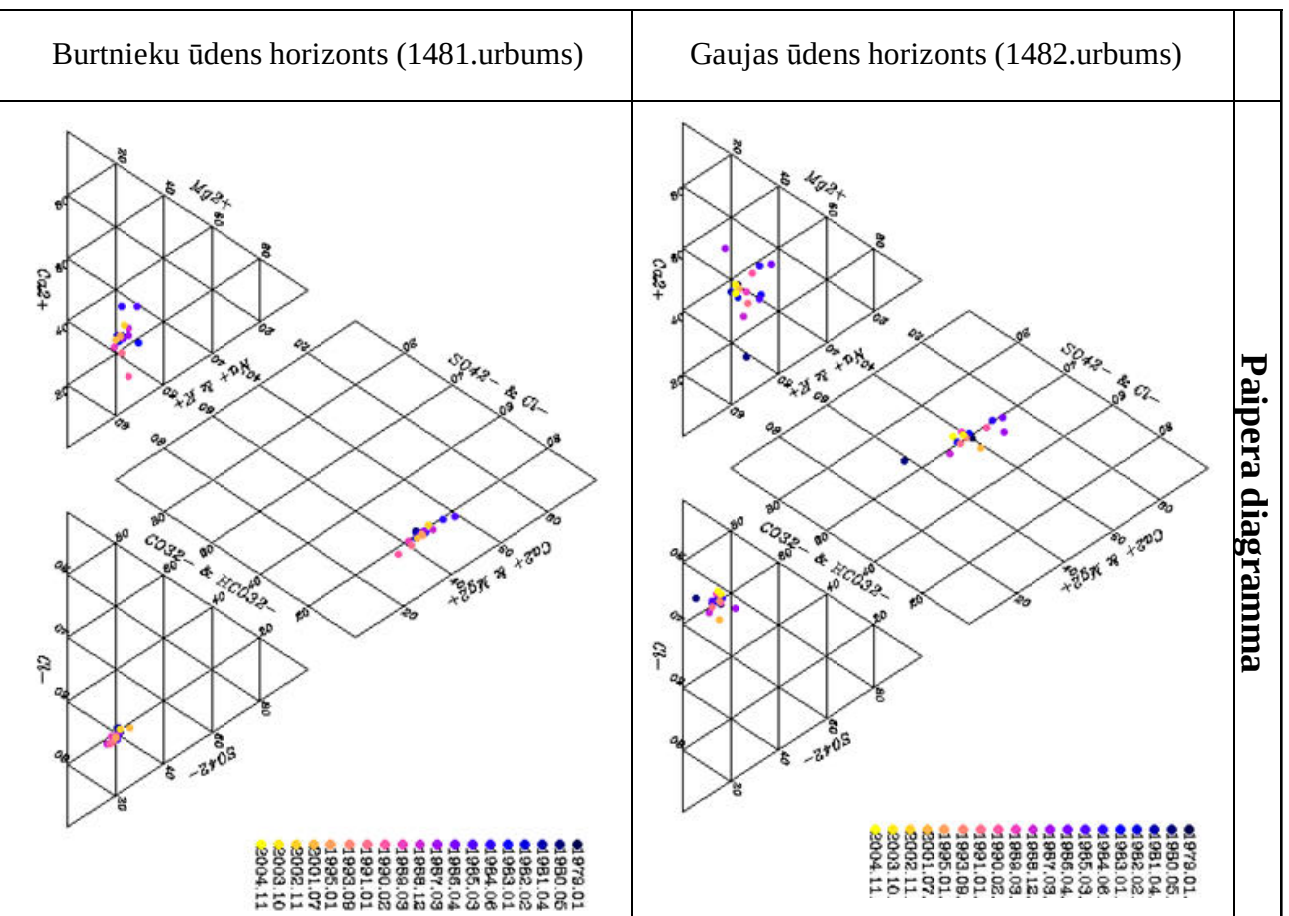


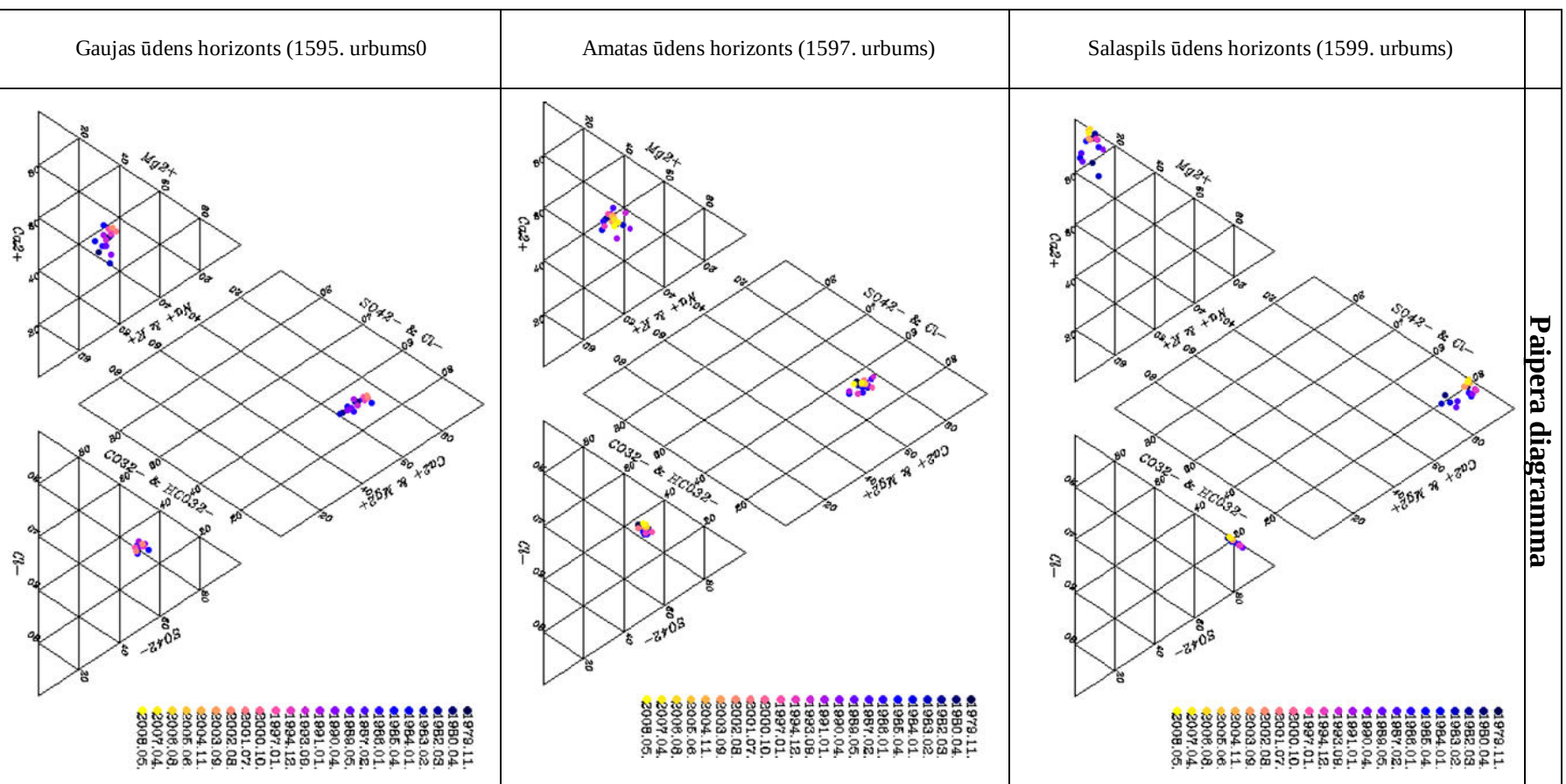
Monitoringa postenis „Upesciems”

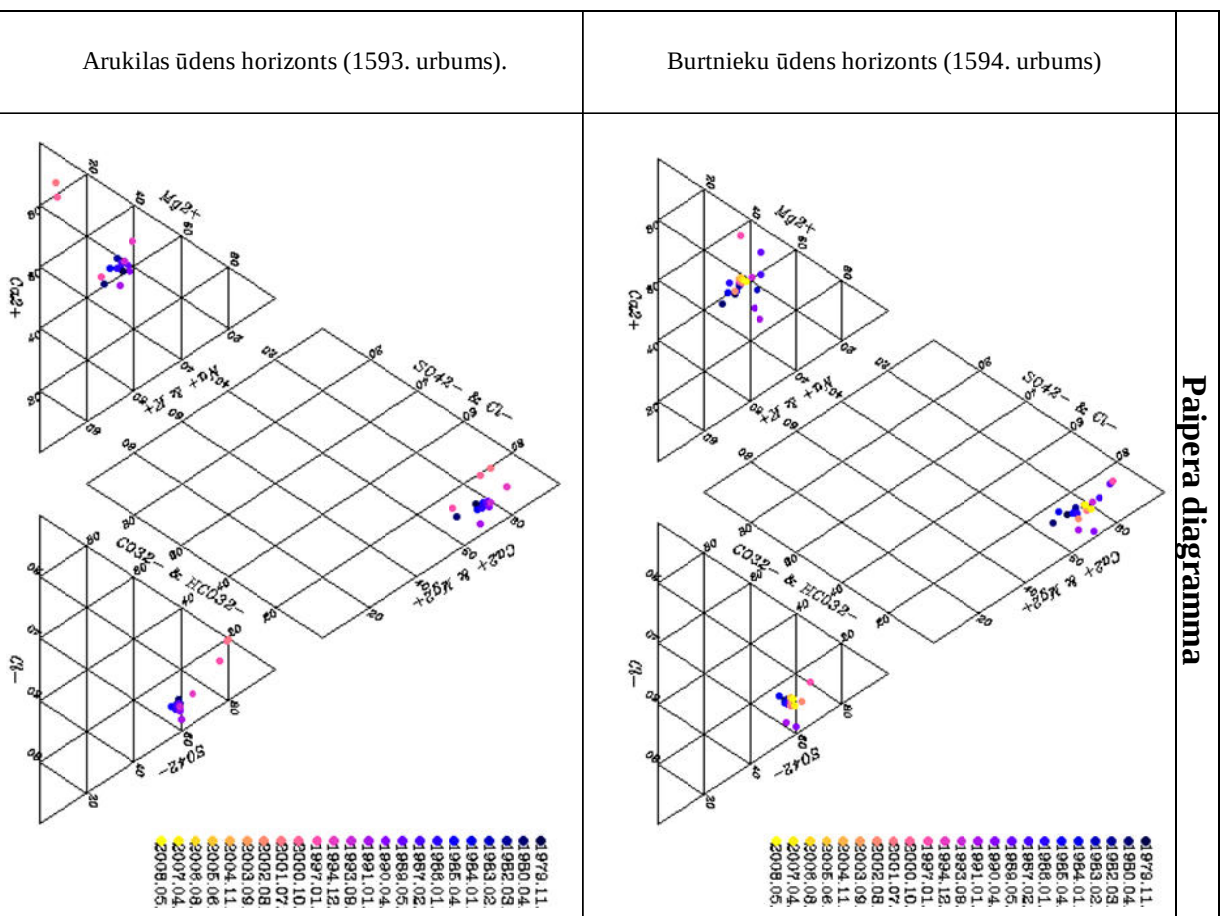


Monitoringa postenis „Baltezers”

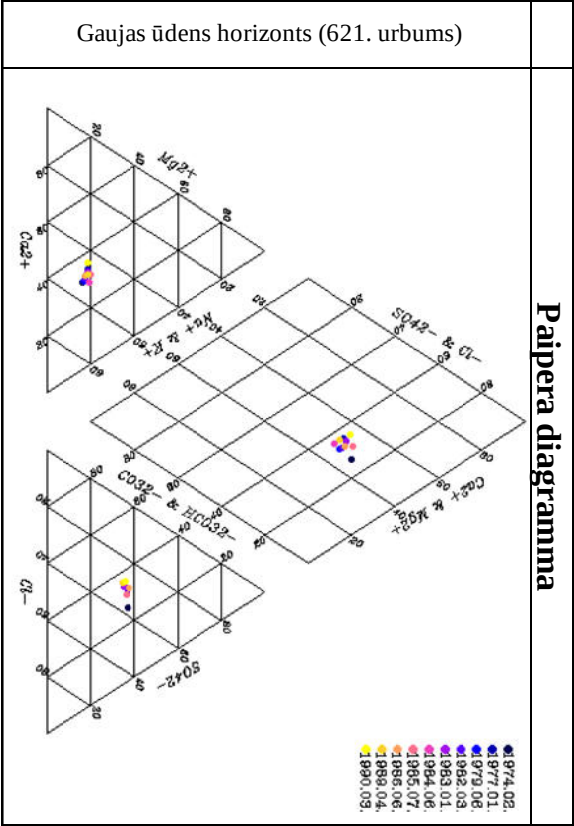




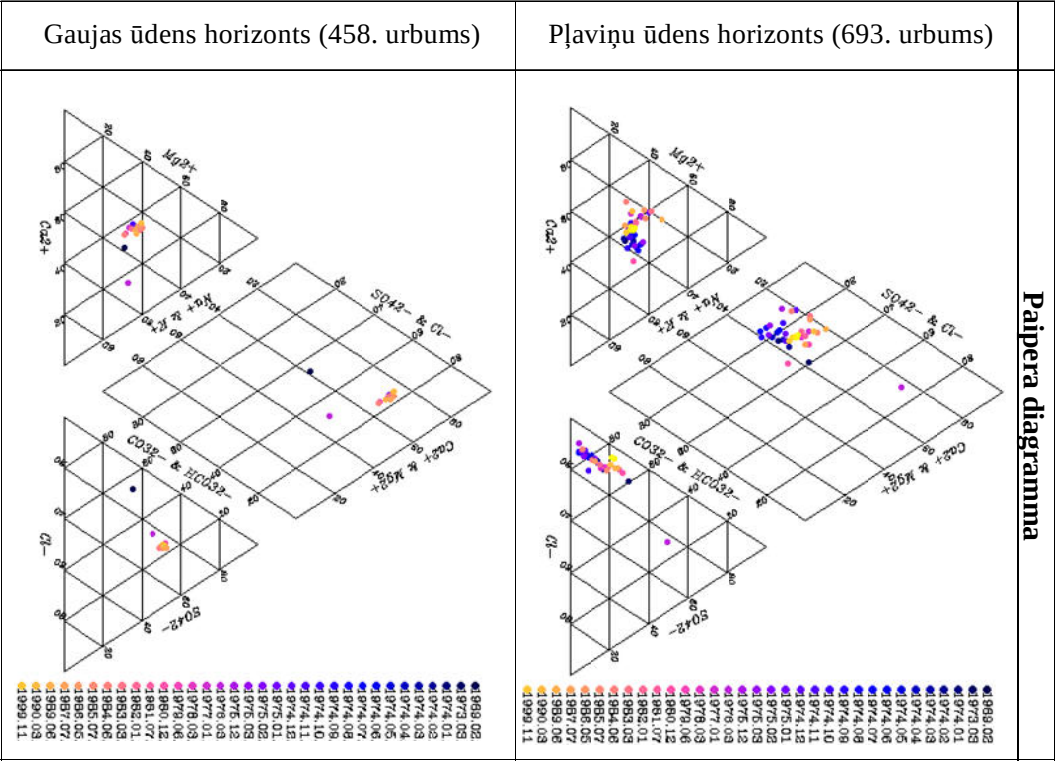


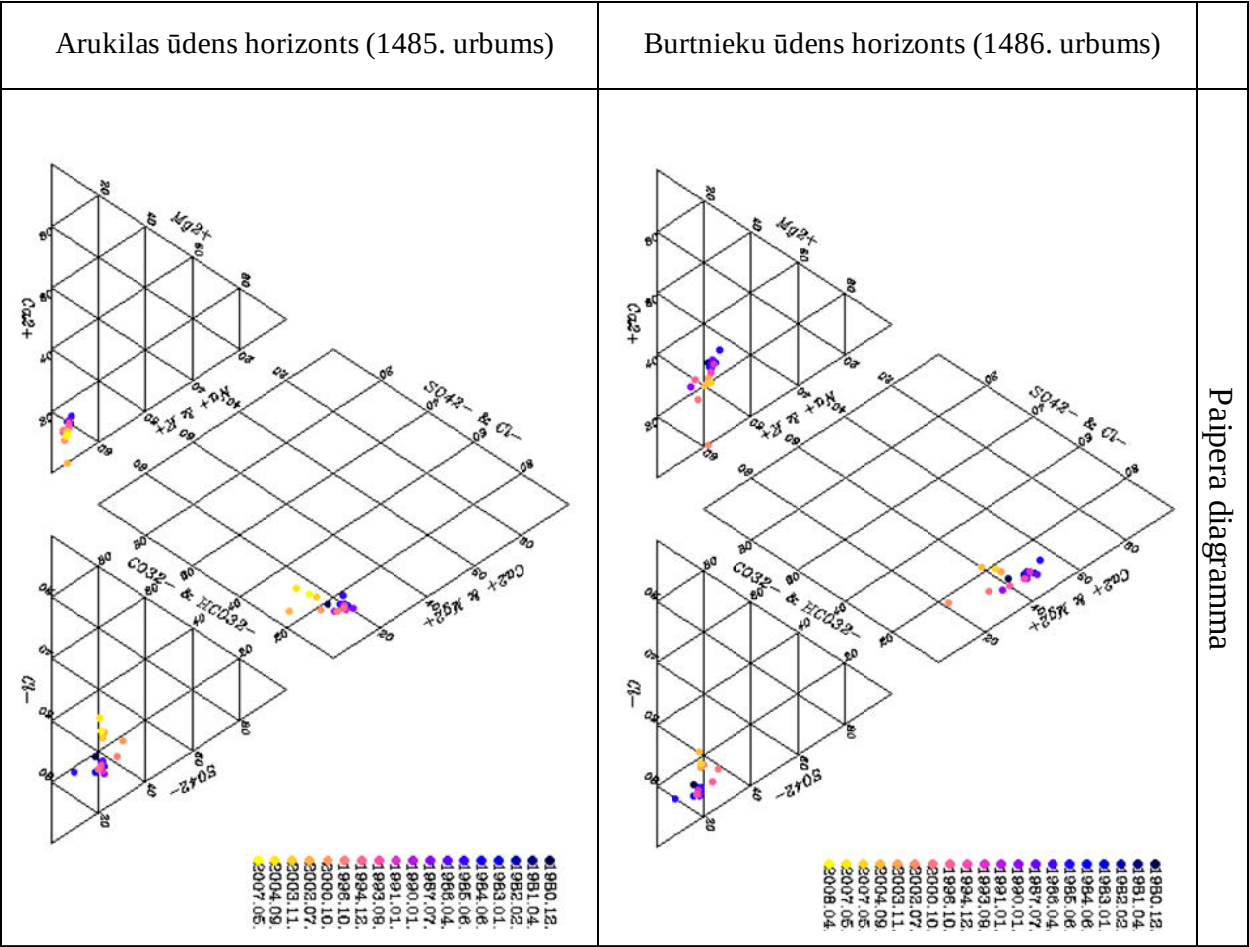


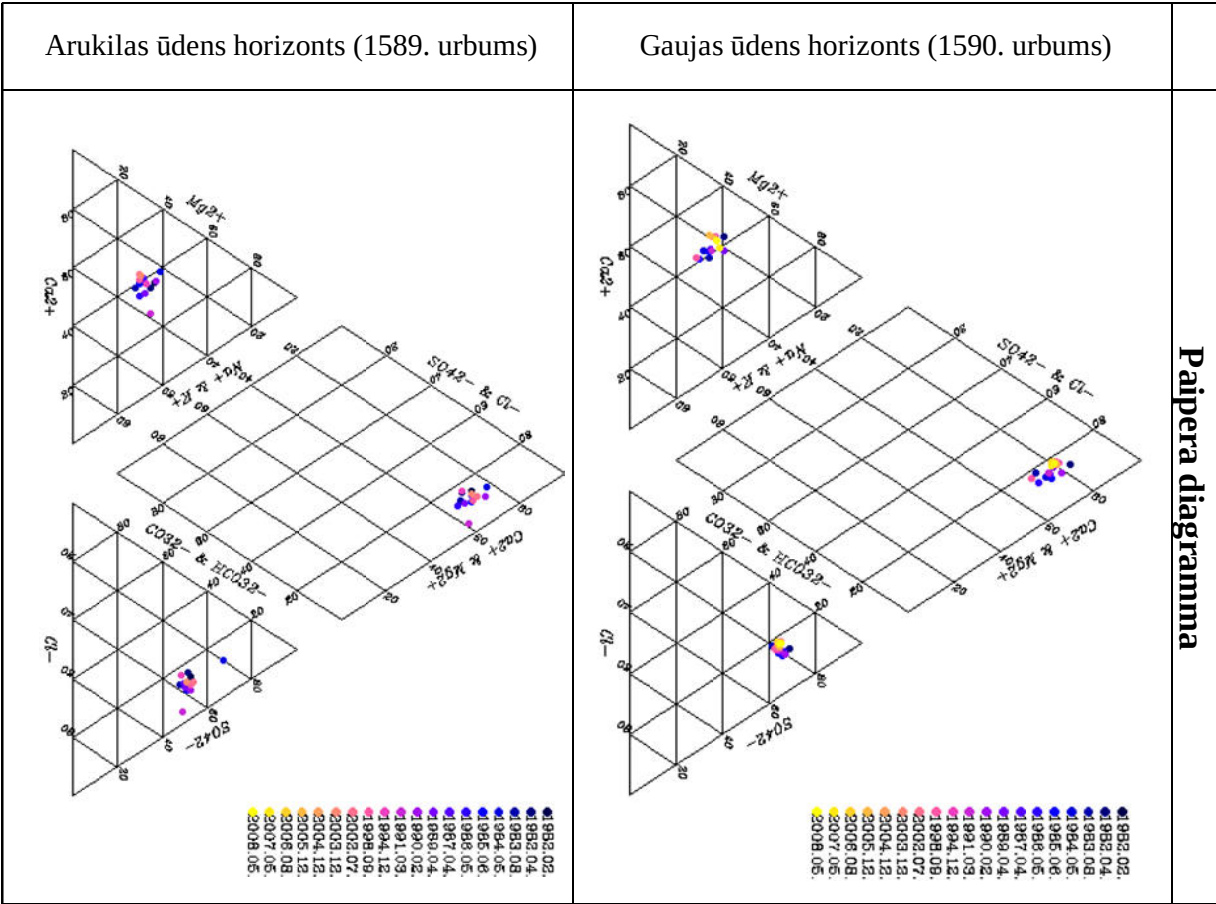
Monitoringa postenis „Bulduri”



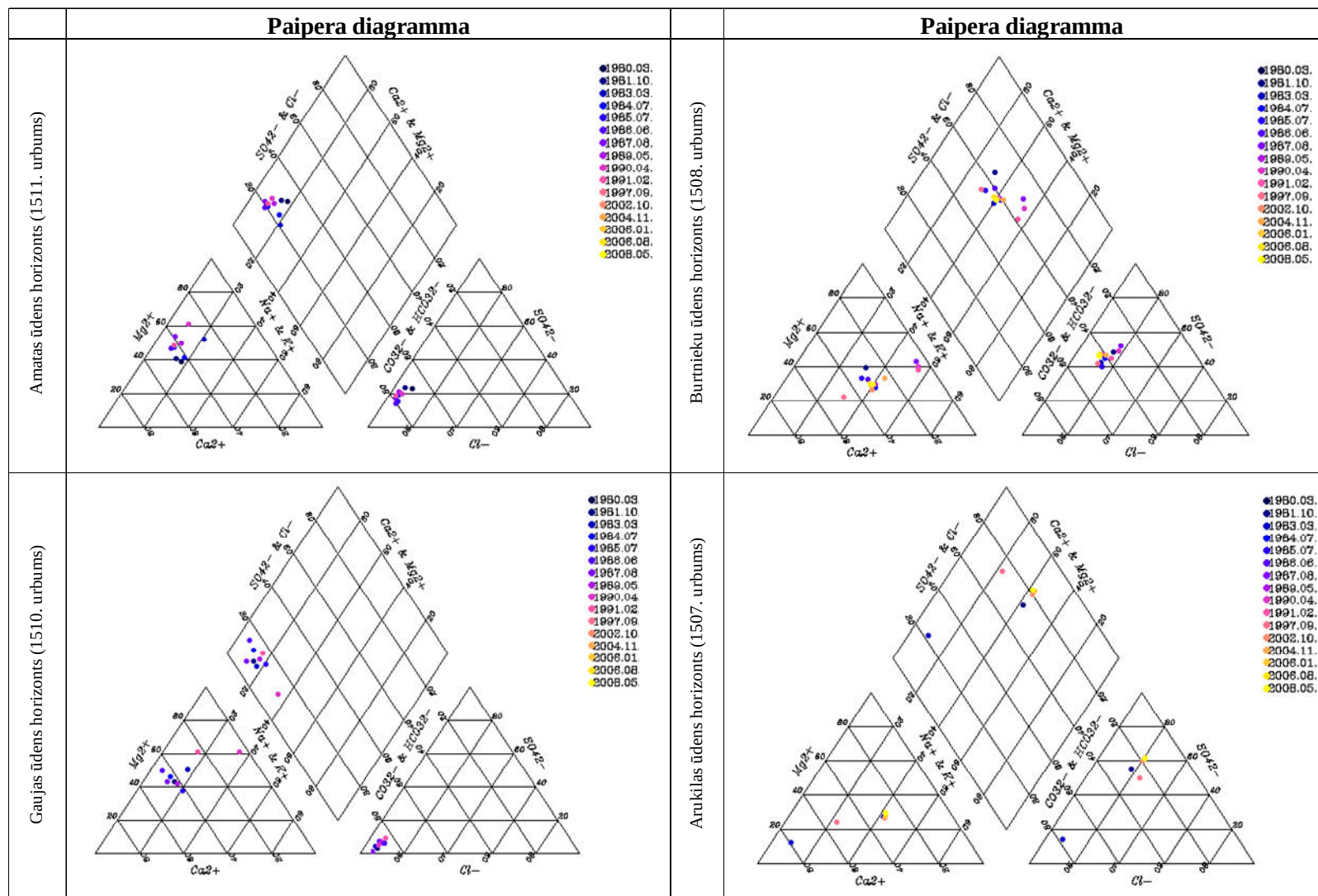
Monitoringa postenis „Jaundubulti”

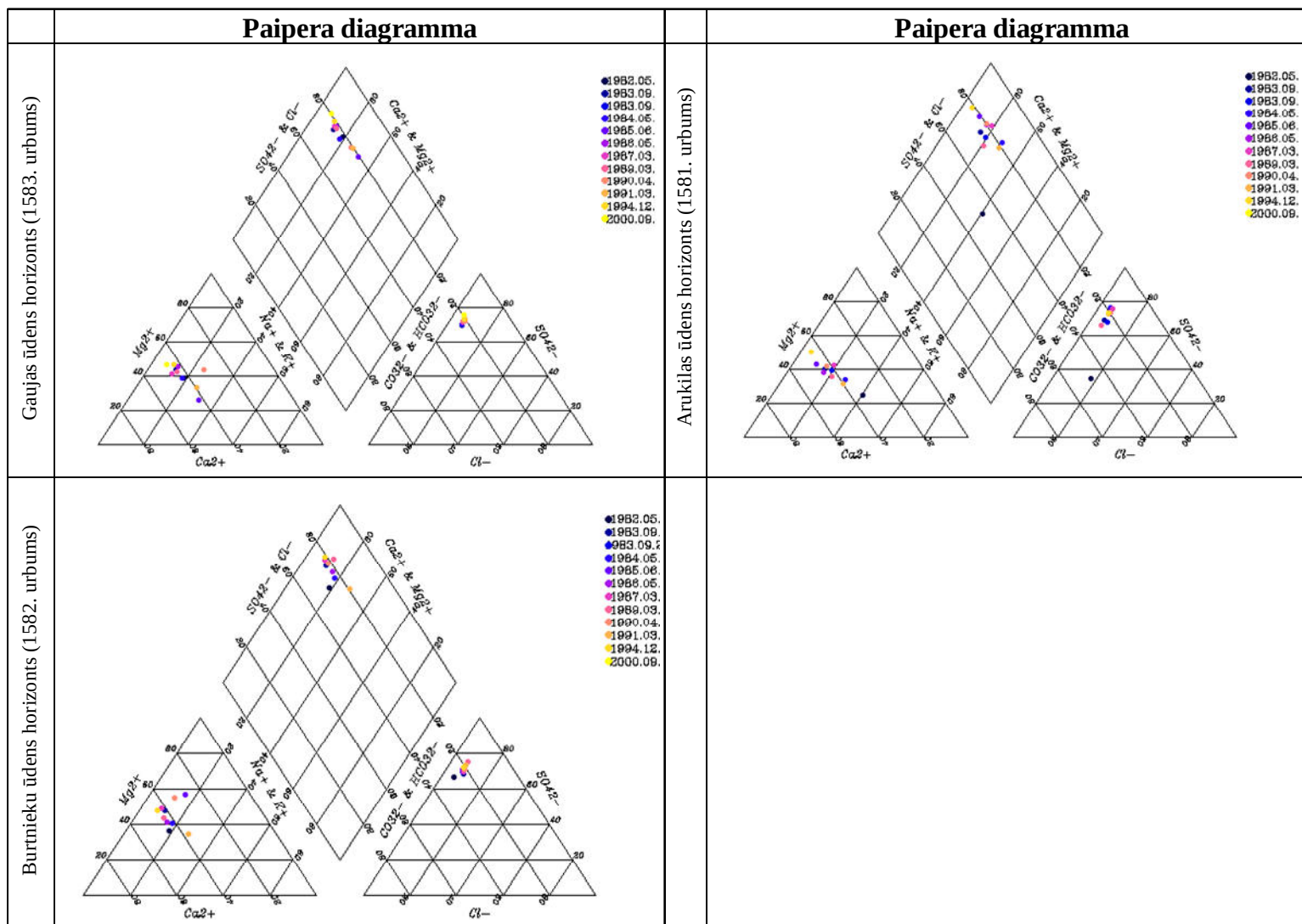


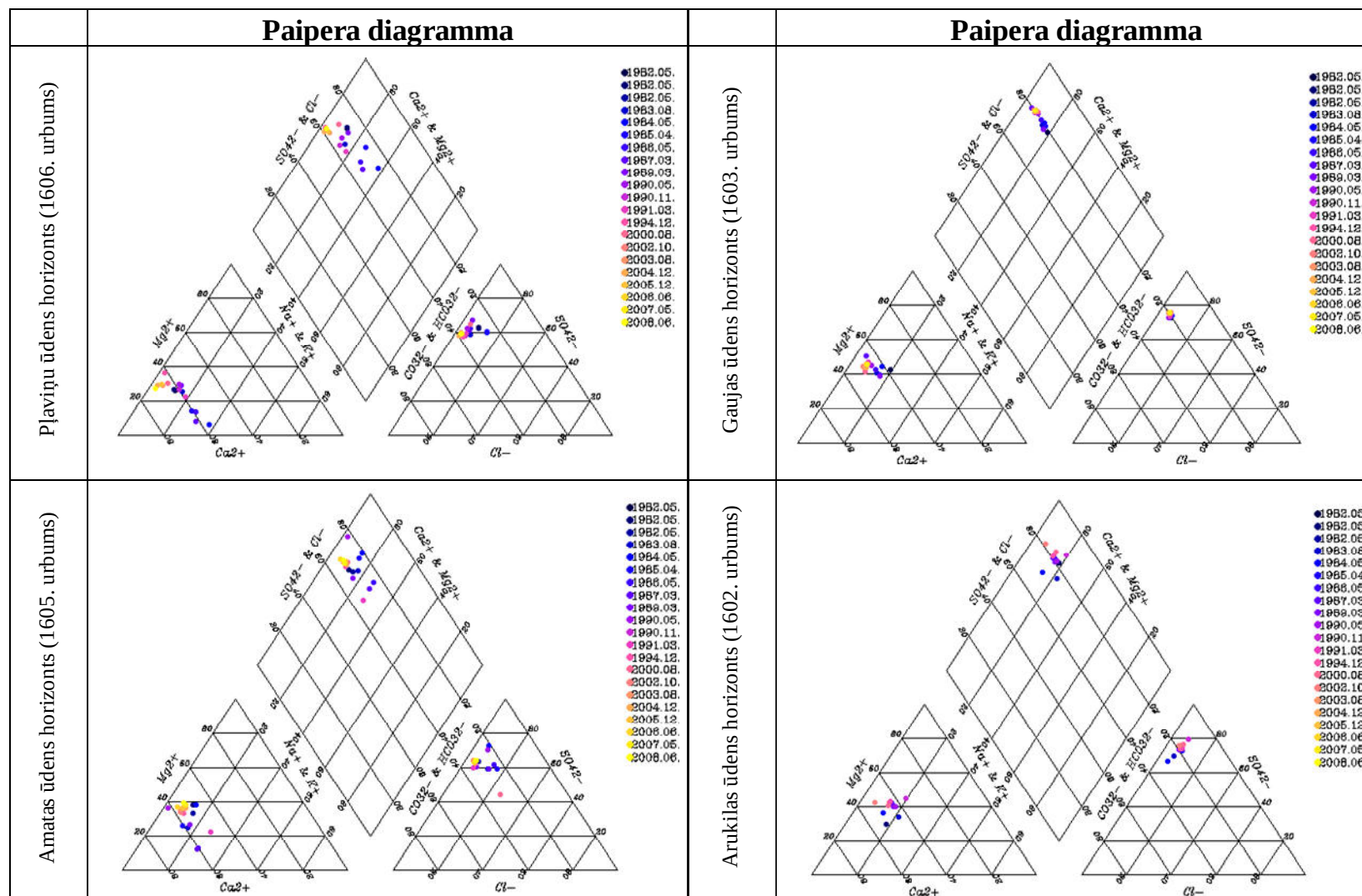


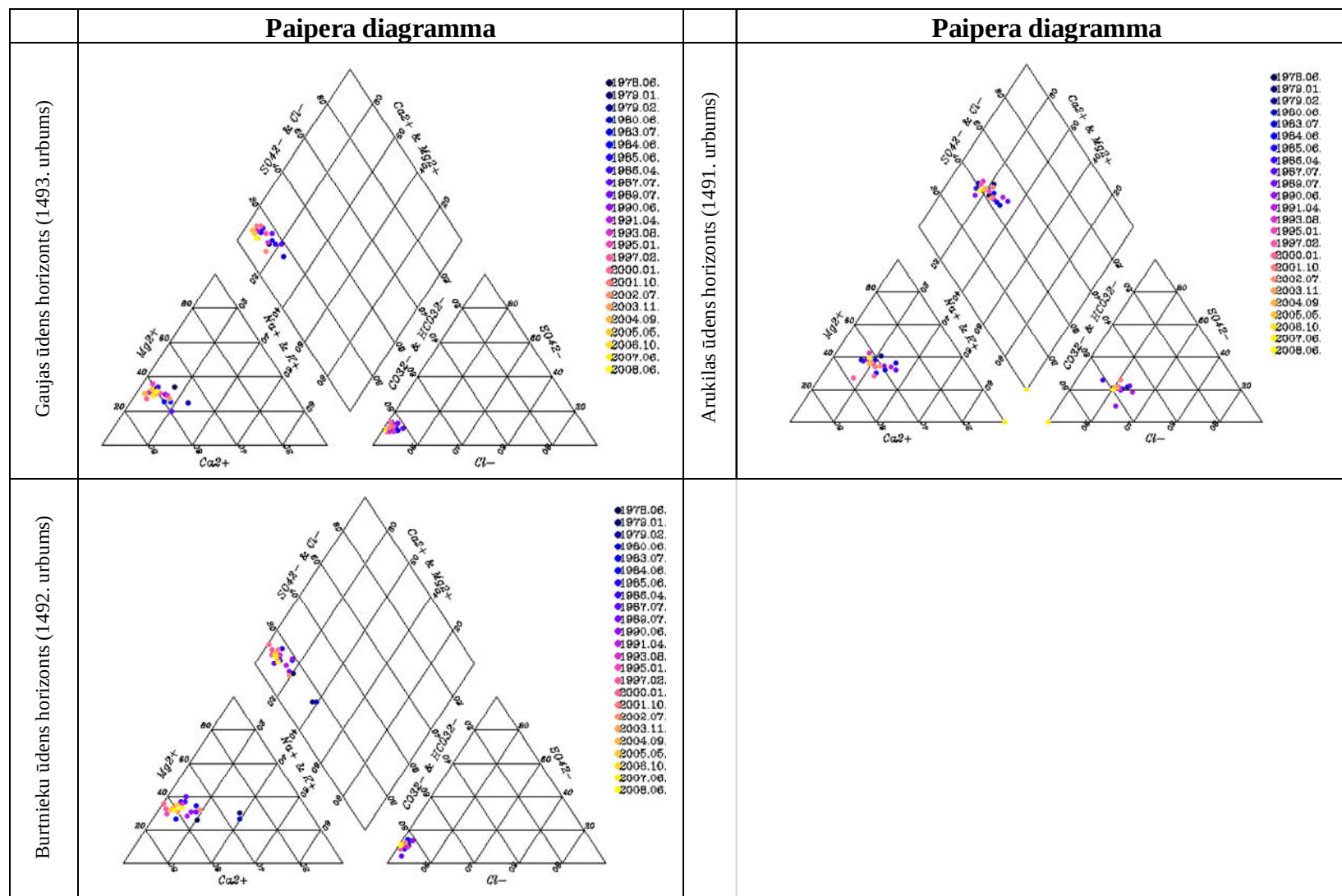


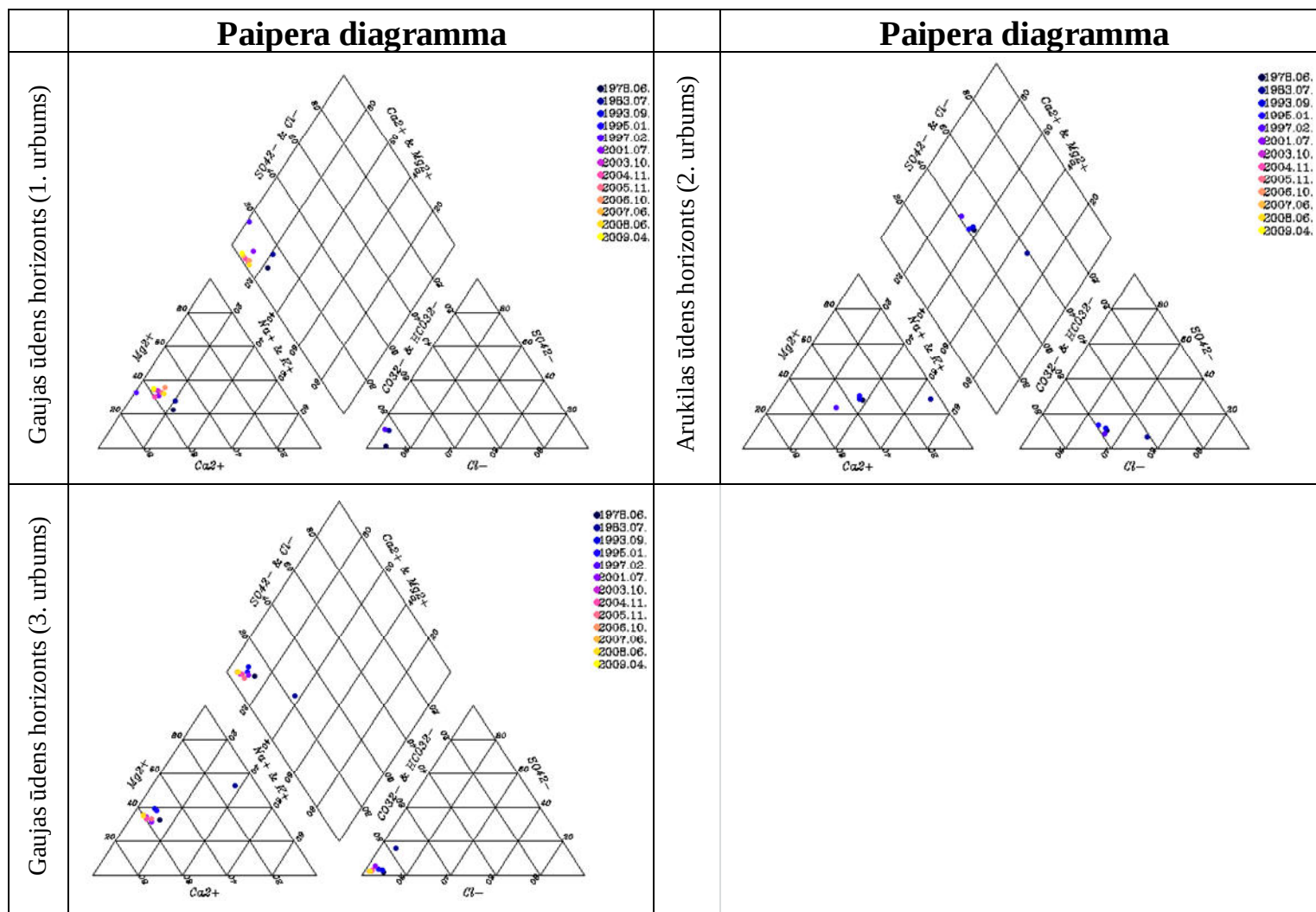
Monitoringa postenis „Baldone”











Maģistra darbs „Pazemes ūdens sastāva izmaiņas aktīvās ūdens apmaiņas zonā "Lielās Rīgas" depresijas piltuves teritorijā” izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Baiba Raga

paraksts

datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: Dr. geol. Andis Kalvāns

paraksts

datums

Recenzents:

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede

paraksts

datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Maģistra darbs aizstāvēts ģeoloģijas bakalaura gala pārbaudījumu komisijas sēdē

.....
gads, datums, mēnesis

protokola nr.

vērtējums

Sekretārs

paraksts

datums