

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. 8

AIJA DĒLIŅA
KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅI LATVIJĀ

PROMOCIJAS DARBS

RĪGA 2006

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. 8

AIJA DĒLIŅA
KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅI LATVIJĀ

PROMOCIJAS DARBS

doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozares

lietišķās ģeoloģijas apakšnozarē

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

Promocijas darbs izstrādāts

Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļas Lietišķās ģeoloģijas katedrā no 2000. gada līdz 2006. gadam

Promocijas darba vadītājs:

Valdis Segliņš, asoc. profesors, Dr. geol. (Latvijas Universitāte)

Recenzenti:

Antanas Algirdas Klimas, profesors, Habil. Dr. geol. (Vilnius Hidrogeology Ltd.)

Māris Kļaviņš, profesors, Dr. habil. chem. (Latvijas Universitāte)

Aivars Spalviņš, vadošais pētnieks, Dr. sc. ing. (Rīgas Tehniskā universitāte)

Promocijas padomes sastāvs:

Vitālijs Zelčs, profesors, Dr. geol. – padomes priekšsēdētājs

Ervīns Lukševičs, asoc. profesors, Dr. geol. – padomes priekšsēdētāja vietnieks

Guntis Eberhards, emeritētais profesors, Dr. habil. geogr.

Laimdota Kalniņa, Dr. geogr.

Māris Kļaviņš, profesors, Dr. habil. chem.

Uldis Sedmalis, profesors, Dr. habil. chem.

Padomes sekretārs:

Ģirts Stinkulis, Dr. geol.

Promocijas darbs pieņemts aizstāvēšanai ar LU Ģeoloģijas promocijas padomes 2006. gada 21. decembra sēdes lēmumu nr. 01/2006.

Promocijas darba atklāta aizstāvēšana notiks LU Ģeoloģijas promocijas padomes sēdē 2007. gada 23. martā, Rīgā, Alberta ielā 10, Jāņa un Elfrīdas Rutku auditorijā (313. telpa).

Ar promocijas darbu ir iespējams iepazīties Latvijas Universitātes Zinātniskajā bibliotēkā Rīgā, Kalpaka bulvārī 4 un Latvijas Akadēmiskajā bibliotēkā Rīgā, Lielvārdes ielā 4.

Promocijas darba kopsavilkuma izdošanu ir finansējusi Latvijas Universitāte.

Atsauksmes sūtīt:

Dr. Ģirts Stinkulis, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļa, Raiņa bulvāris 19, LV-1586, Rīga.
Fakss: +371 733 2704, e-pasts: Girts.Stinkulis@lu.lv

© Aija Dēliņa

Latvijas Universitāte

www.lu.lv

SATURS

ANOTĀCIJA.....	5
ANNOTATION.....	5
LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN TERMINI.....	6
IEVADS.....	8
1. PAZEMES ŪDEŅU PĒTĪJUMU VĒSTURE LATVIJĀ.....	14
1.1. PAZEMES ŪDEŅU PĒTĪJUMU DETALITĀTE UN PĒTĪJUMU VIRZIENI.....	15
1.2. PAZEMES ŪDEŅU RESURSU IZPĒTE.....	23
2. MATERIĀLI UN METODES.....	28
2.1. MŪSDIENU UZSKATU PAR KVARTĀRA NOGULUMU SLĀŅKOPAS UZBŪVI UN KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅU VEIDOŠANĀS APSTĀKĻIEM IEPAZĪŠANA.....	29
2.2. KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKĀ SASTĀVA IZPĒTE.....	30
2.2.1. <i>Datu bāzes izveidošana un aktualizācija.....</i>	<i>31</i>
2.2.2. <i>Fizikāli ķīmisko parametru noteikšana lauka apstākļos in situ.....</i>	<i>33</i>
2.3. DATU APSTRĀDE UN ANALĪZE UN IEGŪTO REZULTĀTU IZVĒRTĒŠANA.....	38
2.3.1. <i>Datu grafiskā analīze.....</i>	<i>38</i>
2.3.2. <i>Datu matemātiski statistiskā apstrāde.....</i>	<i>39</i>
3. KVARTĀRA NOGULUMU SLĀŅKOPAS UZBŪVE UN HIDROĢEOLOĢISKIE APSTĀKĻI.....	40
3.1. MŪSDIENU ZEMES VIRSMAS, SUBKVARTĀRĀS VIRSAS UN KVARTĀRA NOGULUMU UZBŪVES ATTIECĪBAS.....	40
3.2. KVARTĀRA NOGULUMU SLĀŅKOPU VEIDOJOŠIE NOGULUMI.....	41
3.3. HIDROĢEOLOĢISKIE APSTĀKĻI.....	46
3.3.1. <i>Kvartārsegas pazemes ūdeņu resursi.....</i>	<i>47</i>
3.3.2. <i>Kvartāra ūdens horizontu hidroģeoloģiskais raksturojums.....</i>	<i>51</i>
3.4. KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅU DABISKĀ AIZSARGĀTĪBA.....	56
4. KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKAIS SASTĀVS.....	59
4.1. KVARTĀRA PAZEMES ŪDEŅU FIZIKĀLI ĶĪMISKO PARAMETRU MIKROIZMAIŅAS.....	59
4.1.1. <i>Temperatūra.....</i>	<i>60</i>
4.1.2. <i>Elektrovadītspēja.....</i>	<i>62</i>
4.1.3. <i>Ūdens vides reakcija.....</i>	<i>64</i>
4.1.4. <i>Oksidēšanās un reducēšanās potenciāls.....</i>	<i>65</i>
4.1.5. <i>Izšķīdušā skābekļa saturs.....</i>	<i>67</i>
4.1.6. <i>Fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu pētījumu galvenie rezultāti.....</i>	<i>69</i>
4.2. ĶĪMISKĀ SASTĀVA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS.....	70

4.2.1. Kuartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs.....	71
4.2.2. Kuartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs Latvijas zemienēs un augstienēs	87
4.2.3. Kuartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs dažādos nogulumos un dziļumā	95
4.3. CĪTI KVARTĀRA PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKĀ SASTĀVA KOMPONENTI	103
4.4. KVARTĀRA PAZEMES ŪDEŅU MAKROKOMPONENTU ĶĪMISKĀ SASTĀVA RAKSTURĪGĀKĀS IEZĪMES ...	105
5. DISKUSIJA UN INTERPRETĀCIJA	108
5.1. KVARTĀRA HIDROĢEOLOĢISKĀ GRIEZUMA SHEMATIZĀCIJA	110
5.2. TIPISKIE KVARTĀRA HIDROĢEOLOĢISKIE GRIEZUMI	112
5.3. LATVIJAS TERITORIJAS RAJONĒŠANA PĒC KVARTĀRA HIDROĢEOLOĢISKĀ GRIEZUMA	121
SECINĀJUMI	124
PATEICĪBAS	126
LITERATŪRAS SARAKSTS.....	127
PUBLICĒTĀ LITERATŪRA	127
NEPUBLICĒTĀ LITERATŪRA.....	135

ANOTĀCIJA

Darbā aplūkoti galvenie jautājumi, kas saistīti ar Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņiem. Apkopota informācija par pazemes ūdeņu izpētes vēsturi Latvijā. Sniegts īss pārskats par kvartārsegas pazemes ūdeņu resursiem, kā arī to dabisko aizsargātību no piesārņojuma. Analizēts kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs, tā mainība Latvijas dabas rajonos, dažāda dziļuma nogulumos un dažādu nogulumu veidotos ūdens horizontos, kā arī pētītas kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru izmaiņas dažādu faktoru ietekmē. Īsumā raksturoti kvartāra nogulumu segu veidojošie nogulumu, to filtrācijas īpašības. Piedāvāta Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu hidroģeoloģiskās rajonēšanas shēma pēc tipiskiem hidroģeoloģiskajiem griezumiem, atkarībā no gruntsūdens un starpslāņu ūdeņu izplatības griezumā.

Atslēgas vārdi: Gruntsūdeņi, starpslāņu pazemes ūdeņi, kvartārs, ķīmiskais sastāvs, Latvija.

ANNOTATION

The main issues related to the Quaternary groundwater in Latvia are discussed. Background information on historical investigations of groundwater in Latvia is summarised. The paper gives brief insight on Quaternary groundwater resources, as well as their intrinsic vulnerability. Macroscopic chemical composition of Quaternary groundwater is analysed, its variations in different nature districts of Latvia, in aquifers of various depth and aquifers made of different Quaternary sediments. Variations of physical chemical parameters of Quaternary groundwater are studied, depending on different factors. Brief description of Quaternary sediments and aquifers and their properties is given. The paper proposes hydrogeological division of Quaternary groundwater of Latvia by the typical hydrogeological cross-sections, depending on occurrence of unconfined and semi-confined and confined Quaternary aquifers.

Keywords: Unconfined groundwater, semi-confined and confined groundwater, Quaternary aquifers, chemical composition, Latvia.

LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN TERMINI

CFCs metode – hlorfluorogļūdeņražu (freonu) metode

ES – Eiropas Savienība

EVS – ūdens elektrovadītspēja

GEUS – Dānijas un Grenlandes ģeoloģijas dienests

GS – Golden Software

ĢIS – ģeogrāfiskās informācijas sistēmas

ICP-MS metode - induktīvi saistītas plazmas masspektrometrijas metode

LKS-92 – Latvijas koordinātu sistēma, 1992. gada

LR – Latvijas Republika

LU – Latvijas Universitāte

LVĢMA – Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra

LZP – Latvijas Zinātnes padome

MK – Ministru Kabinets

MS – Microsoft

REE – retzemju elementi

RTU – Rīgas Tehniskā universitāte

VĢD – Valsts ģeoloģijas dienests (bijušais, tagad LVĢMA struktūrvienība)

Pazemes ūdeņi - visi ūdeņi, kas atrodas zem mūsdienu zemes virsmas, dziļāk par aerācijas zonu un veido bezspiediena vai spiedienūdeņu slāņus.

Bezspiediena ūdeņi - tie pazemes ūdeņi, kuru spiediens ir vienāds ar atmosfēras spiedienu.

Spiedienūdeņi – ūdeņi, kuru spiediens ir lielāks par atmosfēras spiedienu.

Kvartārsegas pazemes ūdeņi (kvartāra nogulumu segas pazemes ūdeņi) – visi brīvie pazemes ūdeņi, kas atrodas kvartāra nogulumos.

Gruntsūdeņi - tie bezspiediena kvartārsegas pazemes ūdeņi, kas veido pirmo no zemes virsmas sezonāli pastāvīgo ūdens horizontu (maldu gruntsūdeņi, kas ir sezonāli nepastāvīgi un sastopami ierobežotā platībā, darbā netiek izskatīti).

Starpslāņu ūdeņi - tie kvartārsegas pazemes ūdeņi, kas veido ūdens horizontus vai slāņus starp mālaino nogulumu slāņiem. Starpslāņu ūdeņi, atkarībā no kvartāra (pleistocēna) nogulumu slāņkopas uzbūves, var būt gan spiedienūdeņi, gan arī

bezspiediena ūdeņi. Pie šiem ūdeņiem pieder gan iekšmorēnas, gan starpmorēnas, gan zemmorēnas ūdeņi, gan ūdeņi vidus un augšpleistocēna marīnajos nogulumos un glaciolimniskajos smilts nogulumos zem mālainu glaciolimnisko nogulumu slāņa.

Fizikāli ķīmiskie parametri – parametri, kas raksturo ūdeņu fizikāli ķīmiskās īpašības: ūdens vides reakcija (pH), oksidēšanās un reducēšanās potenciāls (Eh), elektrovadītspēja (EVS), temperatūra (t, °C), izšķīdušā skābekļa saturs (O₂).

Makrokomponenti – kalcijs, magnijs, nātrijs, kālijs, hidroģēnkarbonāti, sulfāti, hlorīdi

Mineralizācija – visu makrokomponentu koncentrācijas summa vienā ūdens paraugā, mg l⁻¹.

Ūdens horizonts – ūdens piesātinātu, telpiski izturētu nogulumu slānis, kurā norisinās pazemes ūdeņu plūsma.

Ūdens horizontu komplekss – vairāki, savstarpēji hidrauliski saistīti ūdens horizonti.

Ūdens slānis – ūdens piesātināti, ierobežotas izplatības nogulumi ar vāji izteiktu pazemes ūdeņu plūsmu.

IEVADS

Kvartāra nogulumu slāņkopā esošie pazemes ūdeņi Latvijā veido augšējos no zemes virsmas ūdens horizontus. Tradicionāli tos Latvijas hidroģeoloģiskajā griezumā izdala kā kvartāra pazemes ūdeņu kompleksu, kas izplatīts gandrīz visā valsts teritorijā un atrodas aktīvās ūdens apmaiņas zonā. Kompleksu veido gruntsūdens horizonts un starpmorēnu spiedienūdeņu horizonti (Dzilna 1970, Skrastina 1967, Levins u.c. 1998, MK noteikumi nr. 448. 2005). Kvartāra pazemes ūdeņus saturošās slāņkopas biezums ir no dažiem metriem līdz pāris simtiem metru, dažviet pat vairāk par 300 metriem, un to ierobežo divas izteiktas robežvirsmas – no augšas mūsdienu zemes virsma, bet apakšā subkvartārā virsa.

Atsevišķi ir jānodala kvartāra nogulumu slāņkopas augšējā daļa, kurā dominē ūdens nepiesātināti nogulumi, t.i., aerācijas zona. Šajā zonā esošie pazemes ūdeņi un tajos noritošie procesi krasi atšķiras no tiem, kas norisinās pārējā, ūdens piesātinātajā kvartāra nogulumu slāņkopas daļā. Tāpēc aerācijas zonas pazemes ūdeņi un ar tiem saistītie jautājumi nav izskatīti šajā darbā.

Pētījuma aktualitāte

Kvartārsegas pazemes ūdeņi ir izmantošanai visvieglāk pieejamie pazemes ūdeņi un atrodas visciešākajā mijiedarbībā ar citām vidēm – atmosfēru, virszemes ūdeņiem, biosfēru, ģeosfēru. Šie ūdeņi jau sen tiek plaši izmantoti saimniecībā (Adamyān, Kolokolov 1967, Bīmanis 1938, Dzilna, Staprens 1964, Dzilna 1968, Dzilna 1970, Levina 1997, Mihajlovskij u.c. 1959), bet Latvijā tie ir salīdzinoši maz pētīti, kam par iemeslu ir kā ievērojamu kvartāra pazemes ūdeņu resursu ierobežotā izplatība Latvijā, tā arī pēdējos piecdesmit – sešdesmit gados valdošais uzskats, ka kvartāra pazemes ūdeņi ir neperspektīvi un saimnieciski maz nozīmīgi. Pretēji tam, citās Baltijas reģiona valstīs kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu pētījumi ir plaši izvērsti un daudzveidīgi satura ziņā (Jodkazis 1980, Jodkazis 1994, Karro *et al.* 2006, Klimas 2003, Zuber *et al.* 2004, Roy *et al.* 2006, Astel *et al.* 2006, Stenemo *et al.* 2005). Kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumi Baltijas reģiona valstīs ietver pazemes ūdeņu iegulumu apstākļu, sastāva un resursu, pazemes ūdeņu aprites īpatnību un likumsakarību un to ietekmes uz sastāva un resursu veidošanos izzināšanu (Dzilna, Staprens 1967a, Dzilna, Staprens 1967b, Denisov 1967, Denisov u.c. 1967,

Tratsevskij 1967, Dzilna, 1970, Jodkazis 1980, Jodkazis 1994, Karro et al. 2006, Klimas 2003, Zuber *et al.* 2000, Corcho Alvarado *et al.* 2005).

Kvartārsegas pazemes ūdeņu savdabība ir gan tos saturošo nogulumu lielajā dažādībā, gan ūdeņu aktīvā mijiedarbībā ar citām vidēm un dziļākajiem pazemes ūdeņu horizontiem, kā rezultātā iespējamās ievērojamas hidroģeoloģisko apstākļu variācijas. Tāpēc kvartārsegas pazemes ūdeņu horizontus ir iespējams izmantot kā vienkāršotu pazemes hidrosfērā notiekošo procesu modeli. Savukārt, no praktiskās izmantošanas viedokļa, kvartārsegas pazemes ūdeņu priekšrocība ir to nelielais ieguluma dziļums un vieglā pieejamība. No otras puses, nelielais ieguluma dziļums un vieglā pieejamība ir arī paaugstināta riska faktori, kas samazina kvartārsegas pazemes ūdeņu dabisko aizsargātību.

Kvartārsegas pazemes ūdeņus autore ir uzsākusi pētīt jau pirms deviņiem gadiem, sākotnēji pamatstudiju laikā vairāk pievērosoties pazemes ūdeņu piesārņojuma apzināšanai atsevišķos iecirkņos, bet turpmākajās maģistratūras studijās padziļināti pētot pazemes ūdeņu, t.sk., kvartārsegas pazemes ūdeņu, dabisko aizsargātību. Ģeoloģijas doktorantūras studiju laikā tika veikts komplekss zinātnisks pētījums par Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņiem, to izplatību, dabisko ķīmisko sastāvu un hidroģeoloģiskās rajonēšanas iespējām.

Kvartārsegas pazemes ūdeņi Latvijā ir pētīti jau iepriekš, bet veiktie pētījumi nav bijuši sistemātiski. Tomēr šo pētījumu saturs atspoguļo, kā laikā saturiski un teritoriāli ir mainījusies interese par kvartāra nogulumu pazemes ūdeņiem – gan kā būtisku pazemes ūdeņu resursu, gan kā saistošu zinātnisko pētījumu objektu. Ja laika posmā no 1920. līdz 1960. gadam kvartārsegas pazemes ūdeņi tika bieži pētīti to saimnieciskās nozīmes dēļ, tad, pieaugot ūdensapgādes centralizācijai pagājušā gadsimta septiņdesmitajos un astoņdesmitajos gados, kvartārsegas pazemes ūdeņi tika uzskatīti par neperspektīviem, kas nevar nodrošināt nepieciešamos ūdens resursus, izņemot atsevišķus iecirkņus ar ievērojamiem kvartāra pazemes ūdeņu resursiem, piemēram, Baltezera, Daugavpils, Saldus un Kolkas apkārtnē. Tikai 20. gadsimta astoņdesmitajos gados atsākās plašāki kvartāra pazemes ūdeņu izpētes darbi, koncentrējoties uz ūdeņu sastāva izmaiņu un piesārņojuma pētījumiem. Sairstot padomju plānveida ekonomikā un pasliktinoties ekonomiskajiem apstākļiem, 20. gs. deviņdesmito gadu sākumā krasi sašaurinās visa veida hidroģeoloģiskie pētījumi, t.sk., kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumi. Ekonomiskās attīstības kāpums, ES un cita veida ārzemju finansējuma piesaistīšana 20. gs. deviņdesmito gadu otrā pusē sekmē kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumu atjaunošanos. Galvenokārt, tie ir šauri specifiski pazemes ūdeņu sastāva pētījumi, mazāk skarot resursu un dinamikas jautājumus. Šie pētījumi tiek veikti ar mūsdienīgu lauka pētījumu aparatūru, tiek izmantotas modernas un

labi aprīkotas laboratorijas iekārtas. Jāatzīmē, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva pētījumos Latvijā stabilu, lai arī patlaban ne pārāk nozīmīgu, vietu ieņem kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva un plūsmu matemātiskā modelēšana, izmantojot informāciju par konkrētās pētāmās teritorijas ģeoloģisko uzbūvi un hidroģeoloģiskajiem, nereti arī hidroģeoloģiskajiem apstākļiem. Šajā jomā pētījumus veic Valsts ģeoloģijas dienests (VĢD), tagad Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra (LVĢMA) (Grikēvičs 1994, Aņikējeva u.c. 1997, Buzajevs 1997, 2002), LU Fizikas un matemātikas fakultātes Vides un tehnoloģisko procesu matemātiskās modelēšanas laboratorija (Bethers u.c. 1998a, Bethers u.c. 1998b, Bethers, Sennikovs 2000) un RTU Vides modelēšanas centrs (Spalviņš u.c. 1996, Spalvins u.c. 2004, Spalvins u.c. 2005a, 2005b, 2005c u.c.) kā arī komerciāli uzņēmumi (Silgaile, Šņitko 2005, Silgaile 2005a, 2005b, 2005c u.c., Stiebriņš 2004, Bendoraitis u.c. 2004, Bendoraitis u.c. 2002).

Neskatoties uz iepriekš minēto, pēdējais plašākais publicētais apkopojums, kas sniedz aptverošu informāciju par kvartārsegas pazemes ūdeņiem, to resursiem, sastāvu un dinamiku ir I. Dzilnas pētījums par Latvijas pazemes ūdeņiem, bet galvenokārt, kvartāra pazemes ūdeņiem (Dzilna, 1970). Lai arī minētais darbs tika sagatavots, izmantojot gandrīz tikai 1:200000 mēroga ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās kartēšanas rezultātus, kā arī šos kartēšanas darbus pavadošo pētījumu datus (Dzilna 1967, Levins 1964, Dzēns-Litovskij u.c. 1965), tas savulaik bija ļoti nozīmīgs zinātnisks apkopojums, kam nav analoga veikuma Lietuvā un Igaunijā. Neapšaubāmi, ka I. Dzilnas pētījums ir saglabājis savu aktualitāti arī mūsdienās.

Autores piedāvātais pētījums ir pirmais mēģinājums apzināt kvartārsegas pazemes ūdeņu īpašības, parametrus un izmantošanas iespējas, balstoties uz hidroģeoloģijas mūsdienu teorētiskajām atziņām, gandrīz 40 gadu laikā uzkrāto ģeoloģisko fondu materiāliem un autores veiktajiem lauka un laboratorijas pētījumiem, izmantojot mūsdienu pētniecības iekārtas un datorprogrammu nodrošinājumu.

Pētījuma mērķis ir apzināt un raksturot Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņus, galveno vērību veltot to dabiskā ķīmiskā sastāva aspektiem.

Pētījuma galvenie uzdevumi ir:

- iepazīties un novērtēt agrākajos gados veiktos kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumus, pievēršot uzmanību pētījumu mērķiem un izmantotajām metodēm;

- apzināt mūsdienu hidroģeoloģisko pētījumu metodes un rezultātus citos pleistocēna apledošanas skartajos reģionos ar līdzīgu kvartāra nogulumu segas uzbūvi;
- raksturot Latvijas kvartāra nogulumu filtrācijas īpašības;
- izpētīt Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu dabisko ķīmisko sastāvu, analizēt ķīmiskā sastāva telpiskās variācijas;
- izziņāt Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu kompleksa hidroģeoloģisko apstākļu atšķirības telpiskā skatījumā.

Novitāte

- Pirmoreiz latviešu valodā sniegts izvērsts un pilnīgs Latvijas pazemes ūdeņu pētījumu pārskats un sagatavots to izvērtējums pēc realizācijas apstākļiem, nozīmīgākajiem rezultātiem un noderības mūsdienu skatījumā;
- Veikts oriģināls kvartārsegas pazemes ūdeņu kvalitātes pētījums, īpašu vērību veltot galvenajiem ūdens ķīmiskā sastāva raksturlielumiem: makrokomponentiem, pH un elektrovadītspējai, un strauji mainīgos kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmiskos parametrus (pH, EVS, Eh, O₂, t °C) nosakot *in situ*.
- Detalizēta metodika kvartāra pazemes ūdeņu pētījumu realizācijai *in situ*, kā arī konstatētas vairākas nozīmīgas sakarības starp pētāmo urbumu konstruktīvajiem parametriem: diametra, dziļuma un nepieciešamā sūknēšanas ilguma; šīs sakarības nosaka apstākļus kvalitatīvai pazemes ūdeņu parametru analīzei *in situ* un ūdens paraugu noņemšanai;
- Pirmoreiz veikta kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva vēsturisko datu un jauno, ar mūsdienu metodēm *in situ* apstākļos iegūto, datu salīdzinošā analīze, un tā apstiprina iespējas izmantot iepriekšējos gados veikto pētījumu rezultātus pārskata darbos;
- Izstrādāti kritēriji agrāko gadu un jaunāko pētījumu datu atlasei un izveidota datu bāze ar kvartāra pazemes ūdeņu raksturīgākajiem parametriem (makrokomponentiem, pH, EVS), kas ļāva realizēt kvalitatīvu Latvijas datu salīdzināšanu ar kaimiņvalstīm un apstiprina konstatētās likumsakarības kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāvā Latvijas teritorijā.

Praktiskā pielietojamība

- Precizētā kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumu *in situ* metodika ir izmantojama lietišķos pētījumos kvalitatīvu datu ieguvei;
- Veiktā Latvijas teritorijas rajonēšana pēc kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma īpatnībām norāda uz nepieciešamību ņemt vērā reģionālos apsvērumus pārskata darbos un pētījumos,
- Makrokomponentu ķīmiskā sastāva un pH un EVS vērtību detalizētā analīze norāda, ka iegūtos raksturīgos lielumus var izmantot kā patreizējā fona koncentrācijas daudzveidīgos lietišķas ievirzes pētījumos (ietekmes uz vidi novērtējumā, liela mēroga infrastruktūras objektu projektēšanā, ūdensapgādes stratēģisko jautājumu risināšanā u.c.), un ka ir nepieciešama ķīmiskā sastāva rādītāju detalizācija gadījumos, ja konstatējamas būtiskas atšķirības no raksturīgiem lielumiem;
- Iegūtie makrokomponentu ķīmiskā sastāva dati ļauj droši prognozēt decentralizētajā ūdensapgādē izmantojamo sekli iegulošo kvartāra pazemes ūdeņu kvalitāti reģionālā mērogā, un veiktā Latvijas rajonēšana pēc kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma ļauj spriest par kvartāra pazemes ūdeņu resursu nodrošinājumu reģionālā mērogā;
- Galvenie secinājumi ir izmantojami akadēmiskajā izglītībā tās augstākajos līmeņos un daļa no tiem jau ir iestrādāti maģistra līmeņa studijuursos „Latvijas hidroģeoloģiskie apstākļi” un „Ūdens resursi un tos ietekmējošie faktori”.

Aprobācija

Balstoties uz pētījuma rezultātiem ir sagatavotas divas zinātniskās publikācijas, par atsevišķām pētījuma sadaļām un darbu kopumā ir sniegti ziņojumi septiņās starptautiskās konferencēs un deviņās konferencēs Latvijā.

Šis darbs būtu jāuzskata par vienu no pirmajiem kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumiem pēdējo 30 gadu laikā, un pēc tā vajadzētu sekot daudziem citiem kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva veidošanās pētījumiem aerācijas zonā, kvartāra nogulumu filtrācijas īpašību pētījumiem, kvartārsegas pazemes ūdeņu modelēšanas pētījumiem, kā arī starpdisciplināriem pētījumiem, kas aplūkotu kvartārsegas pazemes ūdeņu mijiedarbības procesus ar citām dabas vidēm.

Pēc autores domām turpmāk nepieciešams papildus pētīt tos kvartārsegas pazemes ūdeņu jautājumus, kuri promocijas darbā nav pietiekoši atspoguļoti darba apjoma ierobežojumu dēļ. Par tādiem izceļami kvartārsegas pazemes ūdeņu resursu un ķīmiskā sastāva veidošanās pētījumi, detalizēti izzinot to mijiedarbību ar atmosfēras, virszemes un artēziskajiem ūdeņiem pēdējo atslodzes zonās. Nozīmīgu vietu šajos pētījumos varētu ieņemt matemātiskās modelēšanas metožu pielietošana.

1. PAZEMES ŪDEŅU PĒTĪJUMU VĒSTURE LATVIJĀ

Latvija ir bagāta ar pazemes ūdeņu resursiem, gan dzeramajiem ūdeņiem, gan minerālūdeņiem. Daudzviet ir novērojama pazemes ūdeņu izplūde zemes virspusē avotu veidā, un jau izsenis cilvēki avotu ūdeņus ir izmantojuši gan sadzīves, gan dziedniecības vajadzībām. Laika gaitā bija nepieciešams paplašināt zināšanas par izmantotajiem vai potenciāli izmantojamiem pazemes ūdeņiem, kas veicināja pazemes ūdeņu pētījumu attīstību. Minētie apstākļi noteica, ka pazemes ūdeņi Latvijā, t.sk., kvartārsegas pazemes ūdeņi, ir daudz pētīti (Dzilna 1970, Bichko u.c. 1979, Semjonovs 1995, Gosk, Levins 2006, Levins, Gosk 1998), bet pētījumu detalitāte un telpa laika gaitā ir ievērojami mainījusies.

Sistemātiski pazemes ūdeņu pētījumi ir aizsākušies 19. gs., lai gan rakstiskas liecības par pazemes ūdeņu avotiem ir saglabājušās arī no agrākiem gadsimtiem (Eckhoff 1795, Graff 1739). Sākotnēji tie ir empīriski novērojumi pazemes ūdeņu dabiskajās izplūdes vietās, bet vēlākos gados – augsti detalizēti pētījumi visā Latvijas teritorijā, aptverot visu hidroģeoloģisko griezumam no kvartāra ūdens kompleksa līdz vanda, pēc jaunākā ģeohronoloģiskā iedalījuma - ediakara (Gradstein et al. 2004), ūdens kompleksam. Līdz ar pazemes ūdeņu pētījumu attīstību, mainījās arī kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumu saturs, atkarībā no tehniskajām iespējām un valdošajiem uzskatiem par pazemes ūdeņiem, to resursiem un iespējamo izmantošanu.

18. un 19. gs. pazemes ūdeņu pētījumi Latvijā ir tieši un nepastarpināti salīdzināmi ar citviet Rietumeiropā veiktajiem. Bet 20. gs. sākumā pazemes ūdeņu pētījumi Latvijā, īpaši Baltezera apkārtnē, ir vieni no tā laika modernākajiem Eiropā, un Latvijā darbojas augsti kvalificēti pētnieki un speciālisti kā, piemēram, hidrologs Ā.Tīms (Thiem 1897), inženieris O.Smrekers (Rīgas ūdens 2000, Pāvels 1937). Pētījumu nosacījumi mainās 20. gs. vidū, pārveidojoties valstiskajai iekārtai Latvijā. Pētījumi paplašinās, kļūst aptveroši un detalizēti, tikai dažādu metožu pielietojums nereti atšķiras no citur pasaulē šajā laikā pieņemtā. Gadsimta nogalē, atgūstot valstisko neatkarību, ievērojami samazinās pazemes ūdeņu kā resursu pētījumu loks, un galvenā vērība tiek veltīta pazemes ūdeņos noritošo procesu pētījumiem. Mūsdienās par dažādo laikposmu pazemes ūdeņu pētījumiem Latvijā ir pieejami visai atšķirīgas kvalitātes un detalizācijas novērojumu un pētījumu apraksti, iegūto rezultātu dokumentācija, kartes, analīžu rezultāti, publikācijas un citi materiāli.

1.1. Pazemes ūdeņu pētījumu detalitāte un pētījumu virzieni

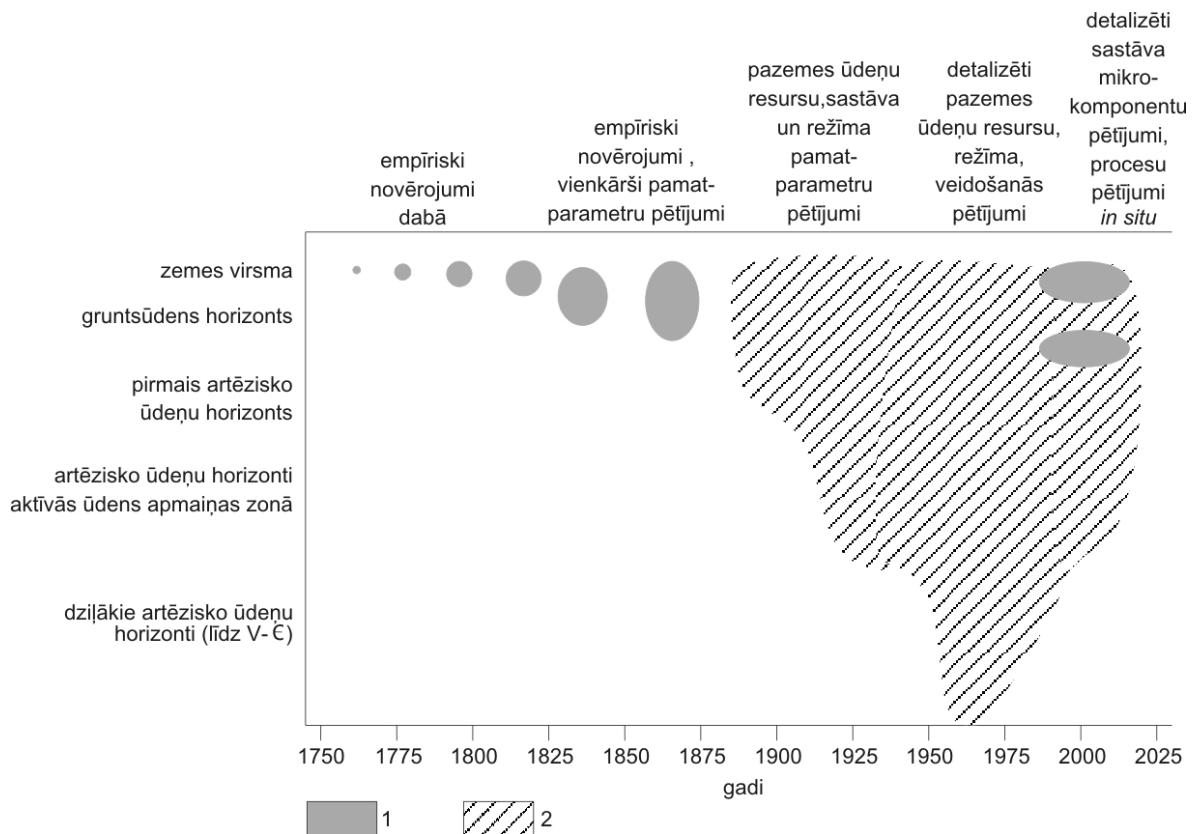
Kā jau tika minēts iepriekš, tīra un droša dzeramā ūdens nepieciešamība bija viens no galvenajiem faktoriem, kas sekmēja pazemes ūdeņu izpēti. Tomēr, pazemes ūdeņu pētījumu vēstures analīze no šāda aspekta nesniedz pietiekami pilnīgu ieskatu pazemes ūdeņu pētījumu attīstībā. Turklāt, pazemes ūdeņu pētījumu attīstība ir nesaraujami saistīta ar dabas vides pētījumu attīstību kopumā. Tāpēc, lai labāk raksturotu dažādās izmaiņas pazemes ūdeņu pētījumu telpiskajā piesaistē, detalitātē un virzienos, autore piedāvā pazemes ūdeņu pētījumu grupēšanu pēc minētajām pazīmēm.

Kopumā, lai arī visai nosacīti, pazemes ūdeņu pētījumos Latvijā var izdalīt piecus nozīmīgākos etapus (1.1. tab.), kas laikā ir nodalāmi pēc dažādās pētījumu detalitātes un telpiskās piesaistes (1.1. att.).

1.1. tabula. Pazemes ūdeņu pētījumu etapi Latvijā pēc pētījumu telpiskās piesaistes un detalitātes (Dēliņa, 2005b)

Etaps	Īss raksturojums
18. gs. beigas – 19. gs. sākums	Gadījuma rakstura punktveida novērojumi. Tiek aprakstītas pazemes ūdeņu izplūdes vietas zemes virsū (avoti) – avotu apkārtnē, ūdens daudzums, ūdens organoleptiskās īpašības.
19. gs.	Punktveida empīriski pētījumi. Tiek pētītas pazemes ūdeņu izplūdes vietas zemes virspusē un gruntsūdeņi. Papildus iepriekšējiem, tiek pētīti arī ūdens ķīmisko sastāvu noteicošie pamata parametri.
19. gs. beigas – 20. gs. vidus	Areāli pētījumi. Pētījumi tiek veikti vairākos ūdens horizontos, pārsniedzot 100 m dziļumu. Tiek pētīti pazemes ūdeņu resursi, režīms, sastāvs. Pētījumi, galvenokārt, tiek veikti ūdensapgādes un meliorācijas problēmu risināšanai, kā arī vietējo balneoloģisko resursu izpētei.
20. gs. vidus (pēc II Pasaules kara) – 20. gs. beigas	Areāli, visaptveroši pētījumi visā Latvijas teritorijā un visā platformsegas griezumā. Galvenie pētījumu mērķi ir zemes dziļu resursu izpēte (kartēšana), ūdensapgādes un meliorācijas problēmu risināšana. Tiek pētīti pazemes ūdeņu resursi, režīms, noskaidrotas hidroģeoloģiskās likumsakarības, reģionāli pētījumi. Liela loma ir kompleksās ģeoloģiskās kartēšanas darbiem mērogā 1:200 000 un 1:50 000. Ievērojami paplašinās pazemes ūdeņu īpašību un sastāva pētījumi (temperatūras režīms, radioaktīvo elementu saturs pazemes ūdeņos, mikrokomponentu saturs pazemes ūdeņos, pazemes ūdeņu gāzu sastāvs), tiek veikti pazemes ūdeņu atsevišķu parametru <i>in situ</i> mērījumi.
20. gs. beigas – 21. gs. sākums	Areāli un punktveida tematiski pētījumi. Plaši pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva izmaiņu (piesārņojuma) pētījumi. Dominē detalizēti, specifiski punktveida pētījumi, kuros plaši tiek pielietotas <i>in situ</i> mērījumu metodes, pazemes ūdeņos notiekošo procesu pētījumi. Latvijā pirmo reizi tiek pētīts pazemes ūdeņu vecums ar CFC (hlor- un fluorogļūdeņražu) metodi.

Nereti dažādu nozaru zinātnieki norāda, ka pasaules un zinātnes attīstība norisinās „pa spirāli” (Stradiņš 1980). Šo apgalvojumu nosacīti var attiecināt arī uz pazemes ūdeņu pētījumiem. Kā redzams šajā kopsavilkuma tabulā (1.1. tab.) un arī 1.1. attēlā, pazemes ūdeņu pētījumi, līdzīgi kā citu dabas vides komponentu pētījumi, ir aizsākušies ar gadījuma rakstura novērojumiem.



1.1. att. Pazemes ūdeņu pētījumu aptvertā telpa laika griezumā (autores interpretācija)

Vertikālais mērogs ir sagrozīts, lai detalizētāk atspoguļotu hidroģeoloģiskā griezuma augšējo daļu.
Apzīmējumi: 1 – punktveida pētījumi; 2 – areāli un punktveida pētījumi.

Arī pašlaik daļēji ir atsākušies punktveida pētījumi, bet jau citā kvalitātē (Levins 1998, Prols, Levins 2000, Austrums 2003, Levina, Levins 2005). Tie vairs nav gadījuma rakstura novērojumi, kas raksturīgi citam vēsturiskam etapam, bet gan specifiski pētījumi konkrētā vietā, kas izvēlēta kā piemērotākā konkrēto pētījumu veikšanai. Pakāpeniski tiek aizsākti specifiski areāli pētījumi par pazemes ūdeņu vecumu Latvijā (Gosk, Levins 2006), kas jau ir guvuši plašu pielietojumu pasaulē (Beyerle *et al.* 1999, Lehmann *et al.* 2003, Corcho Alvarado 2005, Bath *et al.* 2006), bet Latvijā tiek veikti pirmo reizi.

18. gadsimta beigas – 19. gadsimta beigas

Apskatāmais posms faktiski noslēdz iepriekšējos gadsimtos veiktos dažādos pazemes ūdeņu novērojumus, par kuru esamību un arī kvalitāti, kā arī novērojumu

ilglaicīgumu norāda dažādi tautas folkloras pieminekļi (Kursīte 1996), kā arī citas mutvārdu liecības. Pirmās rakstiskās ziņas par Latvijas pazemes ūdeņiem ir zināmas jau kopš 18. gadsimta beigām. Tie ir vācu dabas pētnieku novērojumi atsevišķās vietās, kur pazemes ūdeņiem ir zināmas kādas atšķirīgas, specifiskas īpašības, turklāt, pētītas, aprakstītas un zīmētas tiek tikai pazemes ūdeņu dabiskās izplūdes vietas zemes virspusē. Dabas pētnieku un vērotāju atsevišķie pētījumi tika veikti Bārbeles, Baldones un Ķemeru apkārtnes sēravotos (Eckhoff 1795, Graff 1739), un vācu valodā publicētie apraksti par tiem ietvēra ziņas par avotu apkārtni, pazemes ūdens izplūdes vietu un ūdens daudzumu, ūdens garšu, smaku un temperatūru.

Interese par dabiskajiem minerālūdeņiem un ārstnieciskajām dūņām, to īpašībām saglabājās arī turpmāk. Līdzīgi kā pirmie zināmie novērojumi 18. gadsimtā, arī 19. gadsimtā pētījumi vairāk raksturojami kā empīriski dabas novērojumi, kas ietver avotu vietas, to caurplūduma aprakstus un reizēm arī atsevišķu ūdens paraugu ķīmisko analīžu rezultātus. Vēl arvien pazemes ūdeņi tiek pētīti atsevišķās vietās, bet pieaug pētījumu detalitāte – aprakstus papildina mērījumi un vienkāršotas analīzes. Kā nozīmīgākie 19. gadsimta pētnieki, kas apzinājuši Latvijas pazemes ūdeņus, ir minami A. Gēbels (Goebel 1861), Fr. Gēbels (Goebel 1836a, b), D.H. Grindelis (Grindel 1819, 1820), K. Rugevičs (Rugevich 1891), K. Šīmans (Schiemann 1822), E. Sīzens (Seezen 1844, Seezen, Neese 1852).

Apskatītajam pētījumu posmam kopumā ir raksturīgi naturālistu novērojumi, galvenokārt, pazemes ūdeņu dabiskajās izplūdes vietās zemes virspusē. Avoti tiek izzināti, jo tie ir galvenās pazemes ūdeņu ieguves vietas, un avotu ūdeņi tiek izmantoti saimniecībā līdztekus virszemes ūdeņiem. Tomēr šajā laikā novērojumiem ir gadījuma raksturs, un tie ir vairāk saistīti ar savdabīgu dabas objektu vai parādību aprakstīšanu, nevis mērķtiecīgiem pazemes ūdeņu pētījumiem.

19. gadsimta beigas – 20. gadsimta vidus

Šo posmu iezīmē pieaugušās zināšanas par Latvijas dabas apstākļiem, zemes dzīlēm un pazemes ūdeņiem, un pētījumi tiek veikti ne tikai zemes virspusē, bet arī hidroģeoloģiskā griezuma augšējā daļā. Tā, jau 1911. gadā K. Kupfers (Kupffer 1911) publicē pirmo plašāko ziņojumu par Baltijas dabu, ģeoloģisko uzbūvi un pazemes ūdeņiem, kas ietvēra arī 6 kartes, kur viena no tām atspoguļoja informāciju par pazemes ūdeņiem. Šajā darbā K. Kupfers īsumā izklāsta pazemes ūdeņu saguluma apstākļus,

skaidro avotu veidošanos, nodala gruntsūdeņus un artēziskos ūdeņus. Zināšanas par pazemes ūdeņiem vairs nav tikai atsevišķu novērojumu punktu veidā, bet jau ir pieejama areāla informācija par gruntsūdens horizontu, kā arī punktveida informāciju par artēziskajiem ūdeņiem (Doss 1905, 1908, Rugevich 1891, Seezen, Neese 1852, Neander 1902). Zināšanu areālo izklāstu sekmēja kartogrāfijas attīstība, arvien precīzāku, detālāku karšu pieejamība, kā arī areālo pētījumu paplašināšanās.

Palielinoties iedzīvotāju skaitam un attīstoties pilsētām, arvien pieaug pieprasījums pēc tīra dzeramā ūdens. Vienlaicīgi, lielākajās pilsētās ir problemātiski nodrošināt iedzīvotājus ar tīru un drošu dzeramo ūdeni, jo tuvējās ūdenstece un ūdenstilpes kļūst piesārņotas un tās ir dažādu slimību perēkļi (Bīmanis 1938, Rīgas ūdens 2000). Tāpēc pilsētu pārvaldītāji sāk meklēt alternatīvus ūdensapgādes risinājumus, uzsākot areālus pazemes ūdeņu pētījumus ar mērķi noteikt to izmantošanas iespējas pilsētu, piemēram, Rīgas, Jelgavas un Liepājas, ūdens apgādē (Seezen, Neese 1852, Neander 1902, Salm 1893, Badche 1910, Thiem 1897).

Īpaši būtu izceļami gadsimtu mijā veiktie pazemes ūdeņu pētījumi Baltezera apkārtnē, kurus 1881. gadā uzsāka no Minhēnes uzaicinātais inženieris Ā. Tīms, un turpināja inženieris O. Smrekers no Manheimas. Tika veikti areāli pētījumi (pirmie gruntsūdens režīma pētījumi) nosakot gruntsūdeņu plūsmas, līmeņus, kvalitāti (Thiem 1897), vairāku gadu garumā tika novēroti gruntsūdens līmeņi un sastādītas līmeņu kartes, kas ļāva spriest par pieejamajiem pazemes ūdeņu resursiem Baltezera apkārtnē. Balstoties uz šiem pētījumiem 1903.-1904. gados izveidoja Baltezera ūdensgūtni, kura tai laikā bija viena no pašām modernākajām Eiropā un efektīvi darbojas vēl šodien (Rīgas ūdens 2000, Juhna 2005).

Nozīmīgs pavērsiens dabas izpētē, t.sk., pazemes ūdeņu izziņāšanā, bija 20. gadsimta 20.-30. gadi. Šajā laikā skolās popularizē dabas novērojumu veikšanu, gan skolas grāmatās, gan dažādos izdevumos vienkāršoti tiek stāstīts par pazemes ūdeņiem, to racionālu un drošu izmantošanu (Latvijas lauksaimniecības kamera 1937, Aipranks 1922), tādējādi veicinot pazemes ūdeņu novērojumus un pētījumus.

Gadsimta sākumā un pirmajā pusē pazemes ūdeņu pētījumi tiek veikti plašās teritorijās, un tos virza saimniecības attīstība – pilsētībūvniecība un zemju ielabošana, tajā skaitā meliorācija (Vītiņš 1926). Pētīts tiek kā pazemes ūdeņu režīms, resursi, tā arī kvalitāte. Pētījumu aprakstus papildina kartogrāfiskais materiāls: gruntsūdens līmeņu un plūsmu kartes, pētījumu teritorijas un novērojumu punktu izvietojuma kartes. Ievērojami pieaug pētījumu detalitāte, liela nozīme tiek pievērsta pētījumu korektai organizācijai, lai

iegūtie rezultāti būtu reprezentatīvi (Zariņš 1932, Bīmanis 1938, Latvijas Lauksaimniecības kamera 1937). Attīstoties urbšanas tehnikai, tiek ierīkots arvien vairāk dziļurbumu saldūdens un minerālūdens ieguvei, piemēram, Valmieras dziļurbums (dziļums 766 pēdas, t.i., ~230 m, ūdens spiediens 14 pēdas, t.i., ~4,2 m, debits 4000 spaiņi h⁻¹, t.i., ~48 m³ h⁻¹, ~13,3 l/s), Liepājā 1930. gados ierīkotais 134 m dziļais urbums Karostas kanālā, un 1936. gadā 200 m dziļais urbums Liepājas slimnīcas teritorijā (Cukermanis, Jansons 1948), kas sniedz ziņas par pazemes ūdeņiem ievērojamā dziļumā no zemes virsmas. Dziļurbumos tika veikti sūkņēšanas eksperimenti, nosakot pazemes ūdeņu dinamiskos parametrus, kā arī analizēts ūdeņu ķīmiskais un bakterioloģiskais sastāvs.

Minerālūdeņi un ārstnieciskās dūņas 19. gs. beigās un 20. gs. sākumā tika pētītas daudzviet Latvijā, bet kā nozīmīgākie ir atzīmējami dažādu speciālistu veiktie darbi Ķemeru un Baldonē (Rugevich 1891, Vītiņš 1940, Vītiņš 1941, Zāns 1940), kā arī LU ķīmijas profesora J. Kupča analītiskie pētījumi visā Latvijā 20. gadsimta divdesmitajos un trīsdesmitajos gados, izzinot pazemes ūdeņu, t.sk. minerālūdeņu un ārstniecisko dūņu ķīmisko sastāvu (Kupcis 1925, 1926, 1928, 1929a-d, 1934a, b, Kupcis, Ungure 1926, 1927).

20. gadsimta 20.-40. gados daudzi pazemes ūdeņu pētījumi tika veikti ar mērķi, noteikt to izmantošanas iespējas, apzināt gruntsūdeņus kā dzeramā ūdens resursus, starp kuriem izceļami raksti un publikācijas, kas veltītas ūdensapgādes tehniskajiem jautājumiem – kā iegūt pazemes ūdeņus, kādi ir piemērotākie aku veidi, kādus sūkņus izmantot, kā attīrīt iegūto ūdeni (Zariņš 1932, Bīmanis 1938, Cukermanis u.c. 1941). Vienlaicīgi šie darbi lasītājiem sniedza arī vispārīgu priekšstatu par pazemes ūdeņiem, to veidošanos, saguluma apstākļiem, papildināšanos un iespējamo piesārņošanu, ķīmisko sastāvu un fizikālajām īpašībām (Zariņš 1932, Bīmanis 1938, Latvijas Lauksaimniecības kamera 1937). Profesors E. Zariņš (1932) pētīja ne tikai ūdens izmantošanu, bet, galvenokārt, detalizēti aprakstīja tā laika analītiskās metodes dzeramā ūdens ķīmiskā sastāva un fizikālo īpašību noteikšanai, uzsverot reprezentatīvu paraugu noņemšanas nozīmīgumu un aprakstot kā korekti ņemami ūdens paraugi analizēm.

R. Pāvels (1937) raksta par Rīgas pilsētas ūdens apgādi, izskatot arī jautājumus par ūdens ieguvei no gruntsūdeņiem Baltezerā un Zaķumuižā. Aprakstus papildina ūdens ķīmiskā sastāva analīžu rezultāti un apraksti, kā arī urbumu sūkņēšanas eksperimentu rezultāti un iegūstamā ūdens daudzuma novērtējums. Tie satur arī ieteikumus Baltezera ūdensgūtnes tālākai izbūvei, paplašināšanai un ierosina ieviest gruntsūdeņu mākslīgo papildināšanu.

20. gadsimta vidus – 21. gadsimta sākums

Pēc Otrā Pasaules kara pazemes ūdeņu pētījumu virzību nosaka politiskie lēmumi, kas paredz visu iespējamo zemes dziļņu resursu, t.sk., pazemes ūdeņu apzināšanu. Līdz ar to, pazemes ūdeņu pētījumi kļūst plašāki, aptverošāki, tiek sastādītas pirmās hidroģeoloģiskās kartes (Zumner 1946). Šajā laikā areālie, visu Latvijas teritoriju aptverošie pētījumi jau sasniedz ievērojamu dziļumu, sniedzot informāciju par pazemes ūdeņiem daudzu simtu metru dziļumā. Ievērojami paplašinās arī ūdens ķīmiskā sastāva pētījumi – pazemes ūdeņos parasti tiek noteikti ne tikai makrokomponenti, bet arī mikrokomponenti, specifiskie savienojumi, gāzes.

Šajā laikā pētījumus turpina veikt J. Vītiņš (Vityn'sh 1947), K. Cukermanis un A. Jansons (Cukermanis u.c. 1941, Cukermanis 1947, Cukermanis, Jansons 1948), galvenokārt gan, nodarbojoties ar lietišķiem pētījumiem konkrētu pilsētu ūdensapgādes nodrošināšanai. Tiek uzsākta Latvijas teritorijas ģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā kartēšana, ko sākotnēji veic Ļeņingradas ģeoloģijas pārvaldes speciālisti (Kaliyants u.c. 1948, 1949, Izotova u.c. 1948, Kuz'mina u.c. 1949). Šajos darbos, galvenokārt, tiek pētīti kvartāra nogulumu pazemes ūdeņi. Pamatojoties uz kvartāra nogulumu dažādo ģenētisko tipu izplatību ģeoloģiskajā griezumā un plānā, tiek izdalīti vairāki ūdens horizonti, kuros tiek analizēts pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs, horizonta ūdens bagātība, pazemes ūdeņu līmeņi un izmantošanas iespējas.

Vēlākos gados (1957.-1992.) hidroģeoloģiskie pētījumi strauji attīstās – detalizēti tiek apzināta un pētīta visa Latvijas teritorija un visi ūdens horizonti no kvartāra ūdens kompleksa līdz pat kembrija – venda (tagad ediakara) ūdens kompleksam, iesaistot daudz hidroģeologu. Nozīmīgāko ieguldījumu ir devuši I. Dzilna, I. Rubens, G. Tracevskis, A. Freimanis, V. Driķis, J. Jankins, H. Bičko, A. Jansons, V. Tukāne, N. Levina, G. Levins, I. Semjonovs. Hidroģeoloģisko apstākļu izpēte ir daļa no kompleksās ģeoloģiskās kartēšanas darbiem, kas tiek veikti visai Latvijas teritorijai mērogā 1:200 000 laikā no 1957.-1976. gadiem (Frejmanis u.c. 1966, Gavrylova u.c. 1962, 1963, 1966, 1967, Kayak u.c. 1976, Myronov u.c. 1962, Podgurskij u.c. 1974, Sapega u.c. 1982, Straume u.c. 1970, Sulimov u.c. 1962, Tratsevskij u.c. 1964, 1965, 1967, Vetrennikov u.c. 1976, Yankin u.c. 1969, 1973, 1975), un daļai Latvijas teritorijas arī mērogā 1:50 000 laikā no 1963.-1992. gadam (Aleksans u.c. 1988, 1991, Driķis u.c. 1980, Gavrylova u.c. 1975, 1978, Ginters u.c. 1985, 1986, Murnieks u.c. 1979, Podgurskij u.c. 1985, Tratsevskij u.c. 1984, 1989, 1993, Ul'gis

u.c. 1981, 1983, Yanson u.c. 1965, 1967a, b, Yushkevich u.c. 1978). 1:200 000 mēroga valsts ģeoloģiskās kartēšanas mērķis bija visas Latvijas teritorijas ģeoloģiskās uzbūves un hidroģeoloģisko apstākļu, derīgo izrakteņu resursu karšu sastādīšana, kur kvartāra nogulumu pazemes ūdeņiem tika pievērsta salīdzinoši neliela uzmanība. Savukārt, liela daļa 1:50 000 mēroga kartēšanas bija melioratīvā kartēšana, kur pētījumu galvenais mērķis bija pietiekošu datu iegūšana meliorācijas pasākumu plānošanai un hidroģeoloģisko apstākļu izzināšanai. Tajā, galvenokārt, tika pētīti kvartāra nogulumu pazemes ūdeņi, to ieguluma dziļums, ķīmiskais sastāvs un plūsmu dinamiskie parametri.

Tomēr kopumā šajā laikā galvenā vērība tiek pievērsta artēzisko ūdeņu pētījumiem. Kvartāra nogulumu pazemes ūdeņi tiek pētīti tikai pastarpināti, saistībā ar to lomu artēzisko ūdeņu resursu papildināšanā, jo netika uzskatīti par perspektīviem tautsaimniecībā, vai arī saistībā ar meliorācijas jautājumu risināšanu. Izņēmums kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu pētījumos ir atsevišķi iecirkņi, piemēram, Baltezera apkārtnē, kur kvartāra nogulumu pazemes ūdeņi jau tiek nepārtraukti izmantoti, vai iecirkņi, kur nav pieejami labas kvalitātes dzeramie artēziskie pazemes ūdeņi – Kolka, Carnikava, vai kur artēzisko ūdeņu izmantošanu ūdensapgādē ir problemātiska citu iemeslu dēļ.

Neskatoties uz to, ka kvartāra pazemes ūdeņi nebija galvenais pētījumu objekts, dažādu kartēšanas darbu, derīgo izrakteņu meklēšanas darbu, detalizētu pazemes ūdeņu krājumu izpēti darbu gaitā ir uzkrāts bagātīgs faktiskais materiāls par kvartāra pazemes ūdeņiem, bet tas nav ticis plaši analizēts un sistematizēts, un glabājas pierakstu veidā dažādos pārskatos. Līdz 20. gs. sešdesmito gadu beigām uzkrāto materiālu ir analizējusi, izvērtējusi un apkopojusi I. Dzilna (1970), pētot Latvijas pazemes ūdeņus. Sagatavotais pārskata pētījums, izmantojot tolaik pieejamos kartēšanas materiālus, veido plašāko pārskatu par Latvijas pazemes ūdeņiem, to resursiem, sastāvu un dinamiku, bet, autore atšķirībā no citiem tā laika pētniekiem, lielu vērību veltīja kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu raksturojumam un izmantošanas iespēju novērtējumam. I. Dzilna izskata arī kvartārsegas pazemes ūdeņu hidroģeoloģiskās rajonēšanas jautājumus, izdalot divus hidroģeoloģiskā griezuma tipus un 26 hidroģeoloģiskos rajonus (Dzilna 1970, Dzilna u.c., 1970). Savukārt, pēc 1970. gada uzkrātais pētījumu un novērojumu materiāls par Latvijas kvartāra pazemes ūdeņiem nav apkopots un analizēts līdz pat šodienai.

Paralēli aptverošiem pazemes ūdeņu pētījumiem 1960.-1990. gados attīstās arī pazemes ūdeņu pētījumu metodes, tiek veikti plaši pazemes ūdeņu ķīmiskā, bakterioloģiskā sastāva, radioaktivitātes un termālie pētījumi (Bichko u.c. 1985, Grikevich 1986, Levins 1990, Margulis 1992). Jaunas tehnoloģijas un zināšanas ļauj ievērojamu daļu

pētījumu veikt lauka apstākļos *in situ*, t.sk., atsevišķas ķīmiskās analīzes, kas būtiski paaugstina zināšanas par pazemes ūdeņiem. No otras puses, šajā laikā turpinās iepriekšējā neveiksmīgā prakse - nereti netika ievērota korekta ūdens paraugu noņemšana un uzglabāšanas laiki – paraugi ilgstoši glabājās lauka bāzēs vai laboratorijās pirms tika sākta to analīze un tas ievērojami apgrūtinā šo pētījumu nekritisku izmantošanu mūsdienās, nepētot arhīvos pētījumu realizācijas apstākļus, metodes un konkrētos nosacījumus (Frejmanis u.c. 1966, Gavrylova u.c. 1962, 1963, 1966, 1967, Kayak u.c. 1976, Myronov u.c. 1962, Podgurskij u.c. 1974, Sapega u.c. 1982, Straume u.c. 1970, Sulimov u.c. 1962, Tratsevskij u.c. 1964, 1965, 1967, Vetrennikov u.c. 1976, Yankin u.c. 1969, 1973, 1975, Aleksans u.c. 1988, 1991, Drikis u.c. 1980, Gavrylova u.c. 1975, 1978, Ginters u.c. 1985, 1986, Murnieks u.c. 1979, Podgurskij u.c. 1985, Tratsevskij u.c. 1984, 1989, 1993, Ul'gis u.c. 1981, 1983, Yanson u.c. 1965, 1967, Yushkevich u.c. 1978).

20. gadsimta septiņdesmitajos gados tiek uzsākti pazemes ūdeņu piesārņojuma pētījumi. Viens no iemesliem, kas pievērta uzmanību pazemes ūdeņu piesārņojuma pētīšanas nepieciešamībai, bija esošās ūdensgūtnes Avotiņi slēgšana Daugavpilī septiņdesmitajos gados (Denisov 1972). Minētā ūdensgūtne tika slēgta, jo pazemes ūdeņi vairs neatbilda dzeramā ūdens normatīviem, ko izsauca kvartārsegas pazemes ūdeņu piesārņojums.

Pazemes ūdeņu piesārņojuma izpēte ir zināma atgriešanās pie punktveida pētījumiem, bet tagad tie ir ļoti detāli, īpaši attiecībā uz pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu, ar ko tie nozīmīgi atšķiras no 18.-19. gs. pētījumiem. Turklāt, pētījumi, galvenokārt, koncentrējas gruntsūdens un pirmajā artēzisko ūdeņu horizontā. Jaunie pētījumi ir ļoti specifiski, izteikti mērķorientēti, un tie tiek aprobēti daudzviet Latvijā. Te būtu atzīmējami I. Semjonova (Semjonovs 1995, 1997) pazemes ūdeņu piesārņošanas, dabiskās aizsargātības un pašattīrīšanās pētījumi.

Atsevišķi skatāmi pazemes ūdeņu aizsargātības pētījumi, kas pēdējā desmitgadē ir ļoti aktuāli pasaulē un īpaši Eiropā, saistībā ar Eiropas Savienības Ūdens struktūrdirektīvu (Foster 2004, Daly 2004), lai gan Latvijā tiem joprojām nav pievērsta nepieciešamā vērība (Delina 2004). Šajā pazemes ūdeņu pētījumu jomā plaši attīstās dažādas jaunas metodes, kas ietver, piemēram, satelītuizņemumu, aerofotouzņemumu un citu tālīzpētes materiālu izmantošanu (Werz, Hötzl 2004), neirālo tīklu metodi (Liesch, Hötzl 2004) vai specifisku parametru piemērošanas metodes (Leterme *et al.* 2004, Possen *et al.* 2004). Arvien lielāku nozīmi gūst detalizēta hidroģeoloģisko parametru, piemēram, filtrācijas īpašību, augsnes

segas biežuma, kartēšana 1:10 000 un lielākā mērogā, kā arī pazemes ūdeņu vecuma pētījumi, kas ļauj daudz precīzāk spriest par pazemes ūdeņu infiltrācijas ātrumu.

20. gs. beigās un 21. gs. sākumā, salīdzinot ar 20. gs. sešdesmitajiem – astoņdesmitajiem gadiem, ir samazinājies pazemes ūdeņu pētījumu skaits un izpētes darbu apjoms, bet svarīgas ir pētījumu kvalitatīvās izmaiņas – tiek ieviestas jaunas metodes, uzsverot *in situ* veikto pētījumu nozīmīgumu. Pašreiz pazemes ūdeņu pētījumos iezīmējas divas svarīgākās jomas – pazemes ūdeņu monitorings, kas ietver gan pazemes ūdeņu līmeņa režīma, gan kvalitātes novērojumus un pētījumus, un specifiski pazemes ūdeņu pētījumi. Monitoringa pētījumi kopumā paplašina zināšanas par pazemes ūdeņos notiekošiem lēniem un ilgstošiem procesiem dabisko un antropogēno faktoru ietekmes rezultātā, bet ir nepietiekami informatīvi par strauji noritošiem vai mikromēroga procesiem pazemes ūdeņos. Savukārt, specifiskie pētījumi pasaulē (Beyerle *et al.* 1999, Lehmann *et al.* 2003, Corcho Alvarado 2005, Bath *et al.* 2006) un tagad arī Latvijā ir veltīti pazemes ūdeņu vecuma pētījumiem ar CFC metodi (Gosk, Levins, 2006), mikrokomponentu satura noteikšanai pazemes ūdeņos ar induktīvi saistītas plazmas masspektrometrijas (ICP-MS) metodi (Levins, Gosk 2004) pēc kā daudz precīzāk var spriest par pazemes ūdeņos notiekošiem procesiem, to virzību un ātrumu, un procesus ietekmējošiem faktoriem.

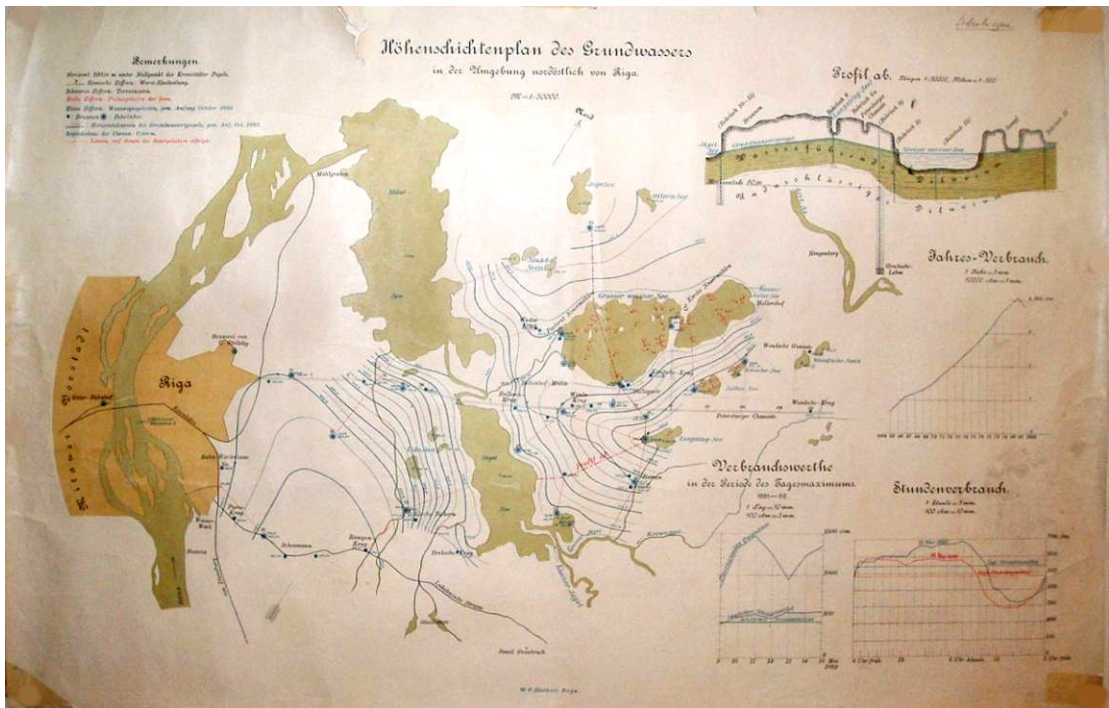
1.2. Pazemes ūdeņu resursu izpēte

Pazemes ūdeņu pētījumu attīstību ievērojami veicināja saimnieciska vajadzība pēc tīra un droša dzeramā ūdens, kā arī citās jomās (piemēram, ārstniecībā) izmantojamiem noteiktas kvalitātes pazemes ūdeņiem. No šāda viedokļa var izcelt vairākus nozīmīgus atskaites punktus (gadus), kas iezīmē būtiskas izmaiņas pazemes ūdeņu resursu izzināšanā. Laikposmus, kurus nosacīti ierobežo izdalītie atskaites punkti, raksturo pazemes ūdeņu resursu pētījumi ar atšķirīgiem mērķiem un uzdevumiem.

1817. gadā pirmo reizi mērķtiecīgi sāktas pētīt pazemes ūdeņu ārstnieciskās īpašības. Šajā gadā Rīgas apriņķa ārsts dr. Langenbeks Ķemeru sēravotu ūdeņus izmanto dziedniecībai, ārstējot 5 pacientus un veicot izmantoto minerālūdeņu sastāva pētījumus (Mihajlovskij u.c. 1959). Līdz 1817. gadam dominēja naturālistu veikti epizodiski novērojumi (Eckhoff 1795, Graff 1739), no kuriem neizrietēja kādi konkrēti secinājumi par Latvijas pazemes ūdeņiem, to resursiem.

Turpmākajos gados, no 1817. līdz 1880. gadam, paplašinās sērūdeņu pētījumi Ķemeros un līdzīgi analītiski pētījumi tiek veikti arī citās minerālūdeņu atradnēs Latvijā – Baldonē, Bārbelē, Skaistkalnē (Schiemann 1822, Seezen 1844, Grindel 1820, Goebel 1836b). Tiek pētīti devona nogulumu pazemes ūdeņi Rīgas ūdensapgādei (Goebel 1861, Glasenapp 1892, Seezen 1852), tomēr sistemātiski ūdeņu ķīmiskā sastāva pētījumi netiek veikti.

Nākamais būtiskais atskaites punkts pazemes ūdeņu resursu pētījumos ir 1881.-1882. gadi, kad vācu inženieris Ā. Tīms uzsāk mērķtiecīgus gruntsūdeņu pētījumus Baltezera apkārtnē Rīgas pilsētas ūdensapgādei. Tiek pētīts gan ūdeņu ķīmiskais sastāvs, tā piemērotība dzeramajam ūdenim, gan gruntsūdeņu režīms (Rīgas ūdens 2000). Tiek veikti režīma novērojumi un sastādītas gruntsūdeņu plūsmu kartes (1.2. att.). Šis laika posms ir izceļams kā sistemātisku pazemes ūdeņu pētījumu sākuma laiks un kvartārsegas pazemes ūdeņu mūsdienīgas izpētes sākums. Laikā no 1882. gada līdz 1904. gadam turpinājās gruntsūdeņu sastāva un režīma pētījumi Baltezerā un tā apkārtnē. Veikto pētījumu rezultāti parādīja, ka gruntsūdeņus var izmantot lielu pilsētu (Rīgas) ūdensapgādē.



1.2. att. Gruntsūdens līmeņi Baltezera apkārtnē 1882. gadā (karte no Rīgas ūdensapgādes muzeja arhīva, autores foto 2006)

1904. gads ir nozīmīgs atskaites punkts, jo ir uzsākta pazemes ūdeņu (gruntsūdeņu) intensīva izmantošana centralizētās ūdensapgādes vajadzībām ūdensgūtnē Baltezers, un

pieejamie gruntsūdens resursi Baltezerā ir tikuši detalizēti pētīti pirms ūdens ieguves uzsākšanas. Svarīgi, ka jau 1890.-1897. gados Rīgas rāte nolemj pārorientēt pilsētas ūdensapgādi no virszemes ūdeņiem uz pazemes ūdeņiem. Tam laikam tas ir pietiekoši radikāls lēmums, jo zināšanas par pazemes ūdeņiem, to daudzumu un režīmu pasaulē ir ļoti ierobežotas, un ir grūti pieņemt, ka “neredzamais ūdens” varēs ilgstoši nodrošināt pilsētai nepieciešamo ūdens daudzumu (Rīgas ūdens 2000).

Laika posmā no 1904. gada līdz 19. gs. četrdesmitajiem gadiem pakāpeniski pieauga pazemes ūdeņu resursu pētījumi, galvenokārt, apdzīvoto vietu ūdensapgādes vajadzībām, kā arī minerālūdeņu resursu pētījumi. Šajā laikā pētījumi ir vairāk fragmentēti, nenotiek plaši pētījumi visā valsts teritorijā, kas apskatītu pazemes ūdeņu resursu veidošanās likumsakarības. Tomēr ir daudz lietišķu pētījumu un liela vērība tiek veltīta visu cilvēku ieinteresēšanai zemes bagātību, t.sk., pazemes ūdeņu izzināšanā, dabas procesu novērošanā (Aipranks 1922).

Otrā Pasaules kara gados un arī pirmajos pēckara gados pazemes ūdeņu resursu pētījumi bija ierobežoti. Pēc kara, no 1947. gada līdz 1956. gadam PSRS Ģeoloģijas ministrijas 5. ģeoloģijas pārvaldes (Leningradas) speciālisti veica komplekso ģeoloģisko kartēšanu, kas ietvēra arī pazemes ūdeņu resursu apzināšanu (Kuz'mina u.c. 1949, Kaliyants u.c. 1948, 1949, Izotova u.c. 1948). Pārsvārā tā bija vienkāršota ģeoloģiskā kartēšana, neveicot detalizētus pētījumus, tāpēc šo kartēšanas darbu rezultāti vēlākos gados ir atzīti par nekvalitatīviem (Brangulis, Reuta 2001).

Kā nākamais nozīmīgais atskaites punkts pazemes ūdeņu resursu izpētē var tikt izcelts 1958. gads, kad tiek uzsākta Latvijas teritorijas kompleksā ģeoloģiskā kartēšana mērogā 1:200 000. Kartēšanas darbu ietvaros tika pētīti gan kvartāra pazemes ūdeņu resursi, gan pirmskvartāra nogulumu pazemes ūdeņu resursi, aptverot visu Latvijas teritoriju un sniedzot bagātīgu faktisko materiālu turpmākiem pazemes ūdeņu resursu pētījumiem. Laikposmā no 1958. gada līdz 1992. gadam, līdztekus kartēšanas darbiem visā valstī tiek veikti pazemes ūdeņu sastāva un režīma sistemātiski pētījumi ūdensapgādes vajadzībām (Brezhneva 1958, Kolokolov u.c. 1962, Prilukova 1982, Degle 1982), kā arī tiek pētīti minerālūdeņi (Krivcov u.c. 1987, Prols, prole 1989) un termālie ūdeņi (Grikevich 1986, Levins 1990). Šajā laikā ir ļoti daudz plašu lietišķu pētījumu pilsētu un lielāko apdzīvoto vietu centralizētas ūdensapgādes nodrošināšanai (Tolstov, Saksons 1976, Krutofala 1989). Nozīmīgu vietu ieņem valsts standartu izstrādāšana pazemes ūdeņu ieguves vietu izpētei, lauka pētījumu metodēm un ūdens kvalitātes kontrolei (VVST 17.1.3.03-77. 1977, VVST 2874-82. 1982, VVST 24902-81. 1983).

1991.-1992. gadā tiek veikts pēdējais detalizētais pētījums par apdzīvoto vietu ūdensapgādi – Daugavpils pilsētas jaunā ūdensgūtne „Ziemeļi”. Šajā darbā detalizēti pētīti pazemes ūdeņu resursi, ietverot urbumu ilgstošas atsūkņēšanu, hidroģeoloģisko parametru noteikšanu u.c. (Krutofala 1992). 1992. gadā noslēdzas arī kompleksās ģeoloģiskās kartēšanas darbi mērogā 1:50 000, lai gan detalizēti kartēti ir tikai apmēram 50% Latvijas teritorijas.

Mīnētais nenozīmē, ka pašlaik vairs nenotiek pazemes ūdeņu resursu pētījumi. Tomēr šodienas pētījumi vairāk balstās uz agrākajos laikos veiktajiem detalizētajiem pētījumiem. Mūsdienās iepriekšējā informācija par pazemes ūdeņu resursiem un kvalitāti tiek papildināta ar jaunu novērojumu datiem par dzeramo pazemes ūdeņu kvalitāti un kvantitāti (Levins u.c. 1996, Levina u.c. 1998, Dēliņa u.c. 2005), bet netiek veikti detalizēti pazemes ūdeņu atradņu meklēšanas un izpētes darbi. Ūdensapgādes pētījumi, galvenokārt, saistīti ar pazemes ūdeņu kvalitātes pētījumiem, ņemot vērā izmaiņas dzeramā ūdens kvalitātes prasībās (MK nr. 63. 1999, MK nr. 235. 2003, MK nr. 118. 2002, MK nr. 857. 2004) un analītiskajās metodēs.

Liela nozīme pazemes ūdeņu resursu pētījumos varētu būt pēdējos gados uzsāktajai pazemes ūdeņu vecuma noteikšanai (Gosk, Levins 2006), kas, iespējams, ļaus labāk izprast pazemes ūdeņu resursu veidošanās procesus.

Apkopojot pazemes ūdeņu pētījumu vēsturi Latvijā, kā nozīmīgākie aspekti dotā darba izstrādei var tikt atzīmēti:

- Kwartāra nogulumu pazemes ūdeņi kā galvenais pazemes ūdeņu pētījumu objekts bija 19. gadsimtā un 20. gadsimta sākumā, bet no mūsdienu viedokļa šo pētījumu detalitāte ir nepietiekama, šajā posmā pētījumi tika veikti, lai noteiktu ūdeņu izmantošanas iespējas ūdensapgādē, balneoloģijā, kā arī inženiertehniskiem mērķiem (pārsvārā, meliorācijai) un tiem ir tikai vēsturiska nozīme.
- Pazemes ūdeņi, t.sk., kvartāra nogulumu pazemes ūdeņi, detalizēti pētīti ir arī turpmāk, un ir uzkrāts bagātīgs faktiskais materiāls, kas ir ticis daļēji apkopts tikai 1970. gadā (Dzilna 1970).
- 20. gadsimta beigās veiktajos dažādajos kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumos, tie tika uzlūkoti tikai kā papildus komponents artēzisko ūdeņu izpētē. Biežāk kvartāra pazemes ūdeņi tika pētīti saistībā ar meliorācijas pasākumu plānošanu, jo tika uzskatīti par neperspektīvu un nedrošu ūdensapgādes avotu. Šajos

pētījumos iegūtie materiāli, galvenokārt, glabājas tikai pierakstu un pārskatu veidā, kas līdz šim nav tikuši apkopoti vai analizēti. Diemžēl, to pielietojums arī šobrīd ir ierobežots, jo pētījumu veikšanas apstākļi bieži vien nav precīzi fiksēti vai arī ir neatbilstoši šodienas prasībām.

- Pēdējo desmit gadu laikā veiktie kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva pētījumi pārsvarā tiek veikti piesārņojošo objektu iecirkņos, un tāpēc nav izmantojami šajā pētījumā, jo šī darba mērķis nav saistīts ar piesārņoto pazemes ūdeņu izpēti.
- Strauji mainīgo kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru noteikšana lauka apstākļos sniedz jaunas kvalitātes rezultātus, kas nevar tikt salīdzināti ar to mērījumu rezultātiem, kuri nav iegūti *in situ* apstākļos.

Minētais noteica, ka promocijas darbā ir izmantojami un savstarpēji salīdzināmi ir tikai pēdējos 5-8 gados veikto kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva pētījumu rezultāti. Šajā laikā pētījumi ir veikti pēc mūsdienu metodikas, nodrošinot strauji mainīgāko parametru noteikšanu *in situ* apstākļos.

2. MATERIĀLI UN METODEDES

Pētījumā izmantoto materiālu klāstu noteica darba mērķis – apzināt un raksturot Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņus. Tāpēc promocijas darba izstrādē tika veikta publicētās literatūras un npublicēto pārskatu un citu hidroģeoloģiskās izpētes materiālu par Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumiem analīze, izskatīti dati par kvartāra pazemes ūdeņu pētīšanas metodēm Latvijā un pasaulē, daudzi tūkstoši kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmisko analīžu rezultāti un paraugu noņemšanas protokoli, materiāli par kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvi, to veidojošiem nogulumiem un nogulumu filtrācijas īpašībām, kā arī materiāli par kvartārsegas pazemes ūdeņu izmantošanu, kopumā 138 publicētie un 118 npublicētie literatūras avoti.

Promocijas darba izstrāde tika veikta vairākos etapos, kas daļēji pārklājās. Galvenie darba izstrādes etapi ir:

- Pieejamās publicētās literatūras un npublicētās Latvijas ģeoloģiskā fonda un citu fondu un arhīvu informācijas apzināšana, analīze un apstrāde. Tā rezultātā tika sagatavots vēsturiskais apskats par kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumu attīstību Latvijā, kā arī iegūts priekšstats par būtiskākajiem kvartāra nogulumu slāņkopas ģeoloģiskās uzbūves un hidroģeoloģisko apstākļu aspektiem. Apkopta informācija par kvartāra ūdens horizontu filtrācijas parametriem un sastādīta kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikālo parametru un ķīmiskā sastāva makrokomponentu datu bāze, kā arī apzinātas ar kvartāra pazemes ūdeņu izpēti saistītās problēmas un izvirzīts pētījuma mērķis, uzdevumi un ieskicēts vispārīgs risināmo problēmu loks.
- Pētījuma satura, etalonteritoriju un izmantojamo metožu precizēšana.
- Kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva pētījumi, kas ietvēra ūdeņu fizikāli-ķīmisko parametru noteikšanu *in situ* urbumu atsūkņēšanas gaitā un pazemes ūdeņu paraugu noņemšanu laboratorijas analīzēm.
- Iegūtās lauka un kamerālo pētījumu informācijas apstrāde un analīze, rezultātu un secinājumu daļas izstrāde. Pamatojoties uz *in situ* veikto pētījumu rezultātiem tika aktualizēta un pilnveidota sastādītā datu bāze un sagatavots Latvija kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva raksturojums, veikta iegūto teorētisko rezultātu aprobācija un izvērtēts to praktiskais pielietojums.

Pētījuma izstrādes etapos tika izmantotas dažādas metodes, kuras var apvienot vairākās lielās grupās:

- publicētās literatūras un agrākajos gados veikto pētījumu pārskatu studijas, kas saistās ar dažādām tradicionālām kamerālā darba metodēm;
- kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva apzināšana un pētīšana, kas aptvēra virkni lauka pētījumu un laboratorijas metožu;
- iegūto datu apstrāde un analīze un rezultātu izvērtēšana, kuras gaitā kamerālos darbus papildināja arī papildus lauka pētījumi;
- iegūto rezultātu aprobēšana un secinājumu izstrāde.

2.1. Mūsdienu uzskatu par kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvi un kvartārsegas pazemes ūdeņu veidošanās apstākļiem iepazīšana

Mūsdienu uzskati par kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvi un kvartārsegas pazemes ūdeņu veidošanās apstākļiem tika iepazīti studējot literatūru. Literatūras studijas ietvēra pieejamo publicēto un nepublicēto izziņas materiālu apzināšanu un analīzi. Autore iepazīnās ar publicēto literatūru par Latvijas kvartāra nogulumiem un to pazemes ūdeņiem, kā arī nepublicētajiem Latvijas ģeoloģijas fonda materiāliem, LU ģeoloģijas muzeja materiāliem, Latvijas hidroģeologu privāto arhīvu materiāliem un dažādu specializēto uzņēmumu fondu materiāliem, kas saistās ar šī pētījuma tēmu. Tika iepazīta un izvērtēta arī Baltijas jūras valstu zinātnieku pieredze kvartāra pazemes ūdeņu pētījumos, piemēram, kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumu metodes, kvartāra ūdens horizontu ķīmiskais sastāvs (Giedraitene u.c. 2004, Jodkasis 1980, Juodkasis 1994, Klimas 2003, Karro u.c. 2006).

Balstoties uz literatūras avotos sniegto informāciju, tika sagatavots pārskats par pazemes ūdeņu pētījumu vēsturi Latvijā, analizējot pieejamo informāciju no diviem aspektiem: 1) pazemes ūdeņu pētījumu attīstība vēsturiskā skatījumā, 2) pazemes ūdeņu pētījumu telpas un izmantoto metožu izmaiņas, galvenie rezultāti un to izvērtēšana no mūsdienu viedokļa. Šāda pieeja ļāva izziņāt dažādos laikos veikto pētījumu metodes, to līdzības un atšķirības, kā arī izvērtēt autores darbam iespējami izmantojamus pētījumus.

Pārskata nodaļa par Latvijas kvartāra nogulumu slāņkopas ģeoloģisko uzbūvi un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem ir sagatavota, izmantojot publikācijas par agrāko gadu pētījumu rezultātiem. Šī darba sadaļa pamatā balstīta uz M 1:200 000 Latvijas kvartāra ģeoloģiskās kartes paskaidrojuma rakstos (Juškevičs, Mūrniece 1997, 1998, Juškevičs

1999, 2000, Juškevičs, Skrebels 2002, 2003, Meirons 2002, 2004, Misāns u.c. 2001) un Latvijas PSR ģeoloģisko karšu paskaidrojuma rakstā (Mejrons, Yushkevichs 1984) sniegto detalizēto informāciju par kvartāra nogulumu segas uzbūvi, kā arī O. Āboltiņa (1971, 1975, 1989), I. Danilāna (1973), Z. Meirona (1992), A. Dreimaņa, V. Zelča un A. Markota (Dreimanis, Zelčs 1995, Zelčs, Markots 2004) publikācijām.

Hidroģeoloģisko apstākļu raksturojumam, galvenokārt, izmantoti kompleksās ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās kartēšanas M 1:200 000 un 1:50 000 materiāli (Aleksans u.c. 1988, 1991, Drikis u.c. 1980, Frejmanis u.c. 1966, Gavrylova u.c. 1962, 1963, 1966, 1967, 1975, 1978, Ginters u.c. 1985, 1986, Yankin u.c. 1969, 1973, 1975, Yanson u.c. 1965, 1967, 1971, Yushkevich u.c. 1978, Kayak u.c. 1976, Lyarskij u.c. 1963, Myronov u.c. 1962, Murnieks u.c. 1979, Podgurskij u.c. 1974, 1985, Sapega u.c. 1982, Straume u.c. 1970, Sulimov u.c. 1962, Tratsevskij u.c. 1964, 1965, 1967, 1969, 1984, 1989, 1993, Ulgis u.c. 1981, 1983, Vetrennikov u.c. 1976), to apkopojums (Bichko u.c. 1979), kā arī pazemes ūdeņu pamatmonitoringa rezultāti (Jankins u.c. 1993, Levina 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, Levina, Levins 2003, 2005, Levina u.c. 1998, Levins 2004).

Pēdējo 20-30 gadu laikā veikto pētījumu materiālu par kvartāra nogulumu segas uzbūvi un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem analīze bija nepieciešama, jo mūsdienu uzskati par kvartāra nogulumu segas uzbūvi un, līdz ar to, arī hidroģeoloģiskajiem apstākļiem, ir atšķirīgi no agrāko gadu uzskatiem, kas piemēram, ietverti I. Dzilnas darbā (1970).

Nozīmīgu darba daļu veidoja dažādu publicētu materiālu par sekli iegulošo pazemes ūdeņu pētījumu metodēm apzināšana un analīze (Domenico, Schwartz 1990, Asaad *et al.* 2004, Afzal *et al.* 2000, Fetter 2001, Hart *et al.* 2000, Klimas 2003, Zwahlen 2003). Tas ļāva iepazīt jaunākās pazemes ūdeņu pētījumu metodes, kā arī izvēlēties pamata metodes un kritērijus Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva pētīšanai – kā lauka pētījumiem, tā arī citu autoru veikto pētījumu datu izvērtēšanai un atlasei, un visu pētījumā izmantoto datu apstrādei un analīzei.

2.2. Kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva izpēte

Ņemot vērā, ka pēdējais detalizētākais pārskats par kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu ir publicēts 1970. gadā (Dzilna 1970), ļoti aktuāla bija vēsturiskās, pēdējo vismaz 35 gadu laikā uzkrātās informācijas sistematizācija un izvērtēšana. Tas noteica arī vienu no pētījuma svarīgākajiem uzdevumiem, kas saistās ar Latvijas kvartārsegas

pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva un tā izmaiņu raksturojumu dažādos Latvijas dabas apvidos.

Šajā pētījumā kā pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs tiek interpretēts makrokomponentu (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) saturs pazemes ūdeņos un tos summāri raksturojošais parametrs – ūdens elektrovadītspēja (EVS), kā arī tādi ūdens vides rādītāji kā vides reakcija (pH) un pazemes ūdeņu oksidēšanās - reducēšanās potenciāls (Eh).

Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs ir ticis apzināts ilgā laika posmā, izmantojot visai atšķirīgas ūdeņu paraugošanas un analītiskās metodes (Kupcis 1925, Bīmanis 1938, Cukermanis, Jansons 1948, Levina 1999, 2000, 2001, Aleksans 1991, Gavrylova 1962, Gosk, Levins 2006). Tas nozīmē, ka nav pieļaujama mehāniska un nekritiska iepriekšējo pētījumu rezultātu izmantošana vai reinterpretācija, bet to var veikt, izvērtējot paraugošanas procesu un izmantoto analītisko metožu savietojamību. Tāpēc tika noteikti trīs galvenie uzdevumi pētījuma mērķa sasniegšanai: 1) esošo materiālu izvērtēšana un turpmākai analīzei kvalitātes ziņā piemērotu datu atlase, rādītāju izvēle, sākotnējās datu bāzes izveidošana; 2) kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli - ķīmisko parametru noteikšana lauka apstākļos, optimālā *in situ* veikto mērījumu ilguma noteikšana un pazemes ūdens paraugu noņemšana ķīmiskajām analīzēm; 3) datu bāzes aktualizācija, izmantojot jauniegūtos datus un sistematizēto datu analīze.

2.2.1. Datu bāzes izveidošana un aktualizācija

Lai izveidotu kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva datu bāzi, bija nepieciešams caurlūkot pieejamos publicētos un nepublicētos materiālus, kuru saraksts aptver vairākus simtus dokumentu. Pētījumam izmantojamo datu atlasīšanai tika izmantoti šādi kritēriji:

- paraugiem jābūt noņemtiem no kvartārsegas pazemes ūdeņiem;
- pētījumu vietām ir jāatrodas teritorijās, kurās pazemes ūdeņi nav piesārņoti, un par kritēriju tika izmantots nitrātu un hlorīdu saturs pazemes ūdeņos.

Datu bāzes sastādīšanai tika analizēti publicētie un nepublicētie darbi, kas izstrādāti laika posmā no 1998. līdz 2004. gadam. Pēc sākotnējās atlases turpmākai novērtēšanai un analīzei izveidota uz MS Excel bāzēta elektroniskā datu bāze, kurā tika apkopoti pazemes

ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva analīžu rezultāti. Datu bāzē par katru pētījuma punktu iekļauti šādi rādītāji:

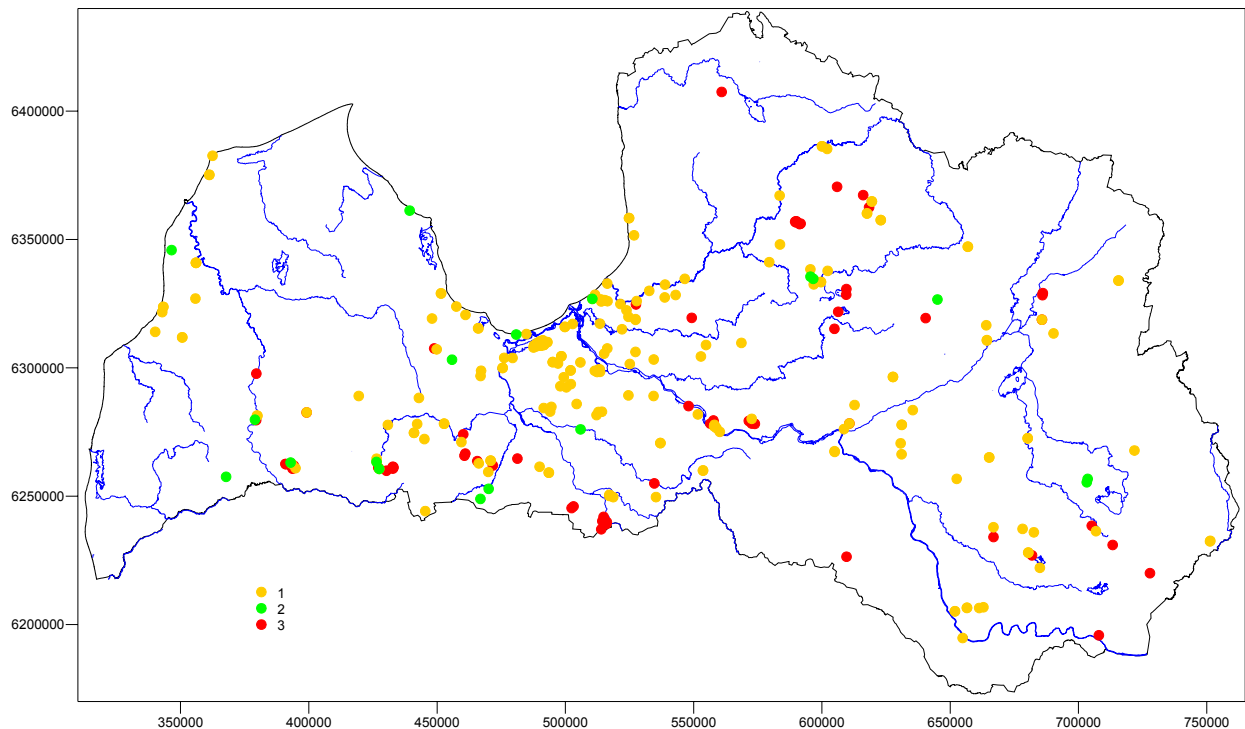
- 1) urbuma novietojums (urbuma koordinātas LKS-92 sistēmā, urbuma atrašanās vietas absolūtais augstums);
- 2) informācija par urbumu (urbuma identifikācijas numurs, urbuma filtra intervāls, urbumā atsegto, ūdens horizontu veidojošo nogulumu granulometriskais raksturojums, ūdens līmenis urbumā);
- 3) informācija par pazemes ūdeņu paraugu (parauga noņemšanas datums, makrokomponentu ķīmiskā sastāva analīžu rezultāti: ūdens fizikāli ķīmisko parametru (pH, elektrovadītspējas (EVS), oksidēšanās – reducēšanās potenciāla (Eh), temperatūras (t, °C)) vērtības un makrokomponentu Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- jonu saturs.
- 4) informācijas avots par katru paraugošanas punktu.

Datu bāzes saturisko pamatu veidoja laika posmā no 2001. līdz 2006. gadam autores veikto pētījumu dati, Valsts ģeoloģijas dienesta (VĢD), pēc reorganizācijas Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras (LVĢMA) struktūrvienības, un Dānijas un Grenlandes ģeoloģijas dienesta (GEUS) kopprojekta „Lauksaimniecības ietekme uz gruntsūdeņiem Latvijā” pētījumu dati (Gosk, Levins 2006), VĢD realizētā pazemes ūdeņu pamatmonitoringa dati (Levina, Levins 2003, 2005, Levins 2004) un citu pētījumu dati.

Datu bāzes sastādīšanas gaitā tika izstrādāti tajā iekļaujamo datu atlases kritēriji. Ņemot vērā to, ka visu neorganisko un organisko savienojumu stāvokli ikvienā ūdens horizontā raksturo vides reakcija (pH) un oksidēšanās-reducēšanās apstākļi (Eh), bet summāro neorganisko un organisko disociēto vielu saturu atspoguļo ūdens elektrovadītspēja (EVS) un visus šos parametrus ietekmē pētāmo pazemes ūdeņu temperatūra (Appelo, Postma 2005), kā atlases kritēriji tika izvēlēti visi minētie ūdens fizikāli ķīmiskie parametri. Tāpēc, ņemot vērā izvēlētos kritērijus, tika veikti fizikāli - ķīmisko parametru pētījumi *in situ*, un pēc to pabeigšanas nodrošināta datu bāzes aktualizācija, kas ietvēra jauniegūto datu ievadīšanu datu bāzē, to salīdzināšanu ar agrāk iegūto informāciju un datu bāzes korekciju.

Datu bāzes korekcija tika veikta, izvērtējot urbumu paraugošanas procedūru un tās dokumentāciju par atsūkņēšanas veidu un debitu un fizikāli ķīmisko parametru mērījumu rezultātiem lauka apstākļos. Tādējādi tika nodalīta turpmākiem pētījumiem izmantojamā daļa, t.i., tās pētījumu vietas (2.1. att.), kurām bija precīza un kvalitatīva dokumentācija par

veiktajiem pētījumiem, ieskaitot laboratorijas analīžu rezultātus. Tādējādi, iegūtā datu bāze satur tikai tos datus, kuru pētījumu realizācijas apstākļi ir zināmi un kuru kvalitāte ir vērtējama kā pietiekama realizētā pētījuma vajadzībām. Tas ļauj datu bāzi izmantot arī citām vajadzībām, piemēram, kvartāra pazemes ūdeņu dabiskā fona koncentrāciju noteikšanai, un ļauj to paplašināt ar datiem par mikrokomponentu saturu un citiem jauniem rādītājiem. Līdz ar to, ir sagatavots materiāls pētījumu izvēšanai, kā arī rezultātu praktiskai izmantošanai nākotnē.



2.1. att. Pētījumā izmantoto mērījumu vietu izvietojums

Koordinātu tīkls metros, LKS-92 koordinātu sistēmā.

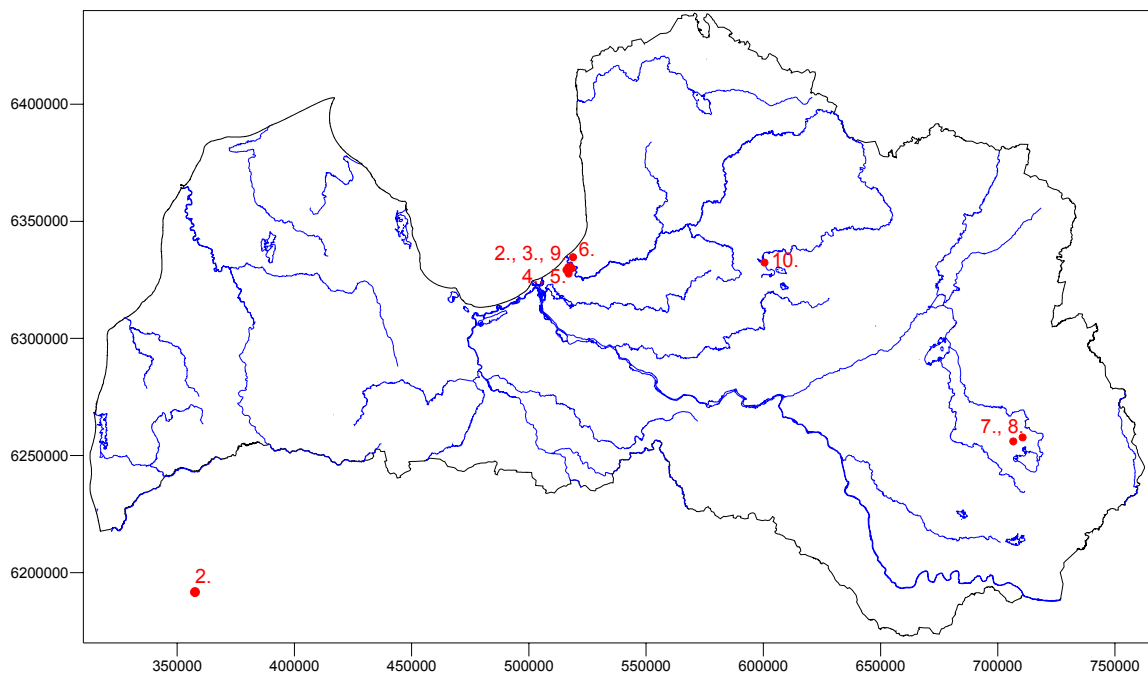
Apzīmējumi: 1 – paraugošanas punkti smilts nogulumu ūdens horizontos; 2 - paraugošanas punkti smilts un grants nogulumu ūdens horizontos; 3 - paraugošanas punkti morēnas nogulumu ūdens horizontos.

Konkrētā pētījuma vajadzībām autore izmantoja tikai to daļu no izveidotās datu bāzes (297 pētījumu vietas, to izvietojumu skat. 2.1. att.), kas attiecas uz kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmisko sastāvu un fizikālajām īpašībām. Pārējo datu analīze ir veicama ārpus šī darba ietvariem, padziļinot kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumus.

2.2.2. Fizikāli ķīmisko parametru noteikšana lauka apstākļos *in situ*

Lauka apstākļos tika noteikta kvartārsegas pazemes ūdeņu vides reakcija (pH), oksidēšanās un reducēšanās apstākļi (Eh), elektrovadītspēja (EVS) un temperatūra (t, °C),

kā arī atsevišķos gadījumos izšķīdušā skābekļa saturs (O_2) Tā kā šie parametri ļoti jūtīgi reaģē uz pētāmās vides izmaiņām, pētījumus bija nepieciešams veikt tikai un vienīgi lauka apstākļos *in situ*. Tas ļāva noteikt ūdens fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu likumsakarības veicot ilgstošu urbumu atsūkņēšanu, kā arī nodrošināt datu korelāciju par ūdens ķīmisko sastāvu, pēc iespējas aptverot visus Latvijas dabas rajonus. Tāpēc, kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu pētīšanai tika izvēlēti dažādi urbumi vairākos iecirkņos (2.2. att.).



2.2. att. Detalizēti pētīto urbumu izvietojums

Koordinātu tīkls metros, LKS-92 koordinātu sistēmā.

Apzīmējumi: sarkanie punkti – paraugotā urbuma atrašanās vieta, urbuma numurs.

Kā galvenais kritērijs pētījumu punktu izvēlē tika noteikta teritorijas kvartārģeoloģiskā uzbūve. Urbumiem bija jāatsedz dažādas ģenēzes smilts vai smilts un grants kvartāra nogulumu ar atšķirīgu segslāni (2.1. tab.), dažādos dziļumos (2.3. att.), lai vienlaicīgi varētu pētīt nogulumu sastāvu, zemsedzes un filtra dziļuma ietekmi uz ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņām laikā.

Papildus tika noteikts, ka pētījuma veikšanai var izmantot urbumus ar diametru 50-80 mm, lai nodrošinātu iegūto rezultātu savietojamību ar agrāk iegūtajiem datiem. Atzīmējams, ka šādos urbumos ir iespējams nodrošināt ātrāku un kvalitatīvāku urbumā esošā ūdens vairākkārtīgu (vismaz 5 reizes) apmaiņu (Hart et.al 2000). Pētījumam tika

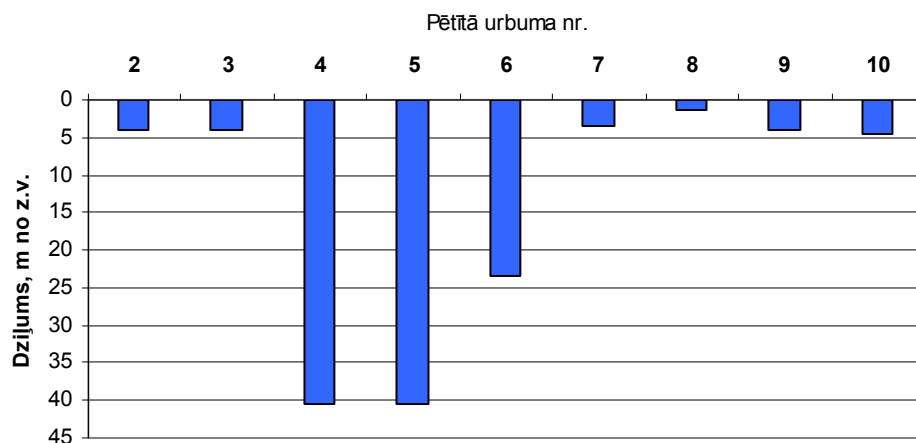
izvēlēti tikai tādi urbumi, par kuriem bija pieejama pilnīga to tehniskā dokumentācija – urbumā atsegto nogulumu apraksts, urbuma konstrukcija, filtra intervāls u.tml.

2.1. tabula. Detalizētiem pētījumiem izvēlēto urbumu raksturojums

Urbuma nr.	Gruntsūdens horizonta daļa	Horizontu veidojošie nogulumi, ģeoloģiskais indekss*	Segslānis
2., 3., 9.	Vidusdaļa	Smilts, mQ ₄ ^{lt} , lgQ ₃ ltv ^b	Zālājs, augsne
4., 5.	Apakšējā daļa	Smilts, lgQ ₃ ltv	Zālājs, augsne
6.	Apakšējā daļa	Smilts, lgQ ₃ ltv	Zālājs, augsne
7.	Augšējā daļa, tuvu gruntsūdens līmenim	Smilts-grants, fQ ₃ ltv	Nav
8.	Augšējā daļa, līdz ar gruntsūdens līmeni	Smilts-grants, fQ ₃ ltv	Nav
10.	Augšējā daļa	Smilts-grants lēcas, gQ ₃ ltv	Zālājs, augsne

* Ģeoloģiskais indekss sniegts saskaņā ar VĢD izstrādāto kvartāra nogulumu ģenētisko un ģeoloģisko klasifikāciju (Juškevičs, Mūrniece 1997): mQ₄^{lt} - Litorīnas jūras nogulumi, lgQ₃ltv^b – Baltijas ledus ezera nogulumi, lgQ₃ltv – glaciolimniskie nogulumi, fQ₃ltv – glaciofluviālie nogulumi, gQ₃ltv – glaciogēnie nogulumi.

Jāņem vērā, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu papildināšanos ietekmē dažādi faktori, t.sk., klimatiskie apstākļi. Tie nosaka kā gruntsūdens līmeņa svārstības (1,5-2,5 m gads⁻¹), tā arī nelielas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas (Levina 2000, 2001) dažādos gadalaikos. Tāpēc, lai minimizētu klimatisko faktoru ietekmi un iegūtie pētījumu rezultāti būtu objektīvi salīdzināmi, visi lauka darbi tika veikti vasarā.



2.3. att. Detalizēti pētīto urbumu dziļumi

Uzsākot pētījumus urbumos, tika noteikts urbuma dziļums un nomērīts pazemes ūdeņu līmenis, izmantojot elektrisko ūdens līmeņa mērītāju SEBA KLL. Atsevišķos gadījumos, kad izmantoti ekspluatācijas urbumi, no tiem tika demontētas visas pētījumam traucējošās iekārtas, t.sk. centrālās vai rokas sūkņi.

Visbiežāk ūdens pietece urbumos bija neliela (līdz $0,1 \text{ l s}^{-1}$), un tas ļāva izmantot iegremdējamo sūkņi *Whale SuperSub 88*, kura debits ir līdz $0,1 \text{ l s}^{-1}$. Tikai vienā pētītajā urbumā (nr. 6), kur ūdens pietece bija lielāka, tika izmantots iegremdējamais sūknis *Grundfoss MPI*, kura debits ir līdz $0,6 \text{ l s}^{-1}$. Iegremdējamie sūkņi tika izvēlēti tāpēc, lai netiktu pieļauta ūdens parauga aerācija un degazācija, t.i., lai būtu nodrošināta mērījumu reprezentativitāte.

Atsūknējot urbumus, vienmēr tiek novērotas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru (EVS, pH, Eh, temperatūras, un arī izšķīdušā skābekļa satura) svārstības (Appelo, Postma 2005). Šīs svārstības tika novērotas arī pētot kvartārsegas pazemes ūdeņus. Lai noteiktu minēto parametru vērtību stabilizācijas ilgumu, deviņos urbumos tika veiktas atsūknēšanas 1-3,5 stundu ilgā laika posmā ar nepārtrauktu fizikāli ķīmisko parametru vērtību mērījumiem *in situ*. Mērījumu intervāls bija 1-5 minūtes, bet atsevišķos gadījumos, kad parametru vērtību izmaiņas bija nenozīmīgas, intervāls tika palielināts līdz 5-10 minūtēm. Šo pētījumu gaitā iegūtie rezultāti ļāva secināt, ka reprezentatīvu paraugu iegūšanai optimālais atsūknēšanas ilgums ir vidēji 30 minūtes. Tas bija viens no svarīgākajiem kritērijiem datu izvērtēšanā un izmantošanā datu bāzes sastādīšanai. Šādas metodiskās pieejas nepieciešamību atzīmē arī Harts (Hart *et al.* 2000).

Fizikāli ķīmisko parametru (EVS, pH, Eh, temperatūras, izšķīdušā skābekļa satura) vērtību mērīšanai tika izmantoti atbilstoši elektrodi, kuru jūtīgās daļas izvietotas slēgta caurtekoša trauka apakšējā daļā, kur pieplūst svaigs ūdens no urbuma (2.4. att.). Minētie parametri noteikti, izmantojot WTW GmbH (Vācija) mikroprocesorus *MultiLineP4* un *pH/Cond315* ar atbilstošiem elektrodiem – pH noteikšanai WTW *Sentix41* elektrods (mērījumu diapazons -2,00 – 19,99 pH vienības, precizitāte $\pm 0,01$ pH), oksidēšanās-reducēšanās potenciāla (Eh) noteikšanai WTW *SenTixORP* elektrods (mērījumu diapazons -1999 - +1999 mV, precizitāte ± 1 mV), elektrovadītspējas (EVS) noteikšanai WTW *TetraCon325* elektrods (mērījumu diapazons $1 \mu\text{S cm}^{-1}$ – 500 mS cm^{-1} , precizitāte $\pm 1\%$ no rezultāta vērtības) un izšķīdušā skābekļa satura (O_2) noteikšanai WTW *CellOx325* elektrods (mērījumu diapazons 0,00-19,99 mg l^{-1} , precizitāte $\pm 0,5\%$ no rezultāta vērtības). Temperatūras nolasījumi pētījumā tika veikti pēc pH elektrodā iestrādātā elektriskā termometra.



2.4. att. Kwartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru noteikšana *in situ* caurteces traukā ar WTW mikroprocesoriem *MultiLineP4* un *pH/Cond315* ar atbilstošiem elektrodiem (autores foto, 2005)

Visi elektrodi, atbilstoši elektrodu un mikroprocesoru lietošanas instrukcijām, tika kalibrēti pirms mērījumu veikšanas. Nomērītās Eh vērtības pēc tam tika pārrēķinātas pēc vienādojuma (Garrels, Krajst 1968):

$$Eh(mV) = Eh_{nolasītoas}(mV) + 224 - 0,7t(^{\circ}C), \text{ kur:} \quad (1.)$$

Eh – oksidēšanās reducēšanās potenciāls,

t – temperatūra.

Pētījumu gaitā iegūtie rezultāti ir apkopoti tabulā, norādot fizikāli ķīmisko parametru vērtības detalizēti pētītajos urbumos. Tabulas dati tika papildināti ar informāciju par katru pētīto urbumu – dziļumu, diametru, izmantotā sūkņa marku un debītu, urbuma atrašanās vietu.

Analoģiska iepriekš aprakstītajai fizikāli ķīmisko parametru mērījumu metodika tika izmantota, noņemot kvartārsegas pazemes ūdeņu paraugus ķīmiskajām analīzēm. Paraugu noņemšana ietvēra urbumu atsūkņēšanu un kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru noteikšanu lauka apstākļos *in situ*, lai nodrošinātu ūdens parauga reprezentativitāti. Noņemtie ūdens paraugi tika pildīti plastmasas pudelēs, ievietoti aukstumkastē un tajā pašā vai nākamajā dienā nogādāti laboratorijā, kur tika veiktas to ķīmiskās analīzes. Kwartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskās analīzes veica SIA „Laane” laboratorija M. Lazņika vadībā. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^{-} un HCO_3^{-} joni tika noteikti ar titrimetrijas metodi, SO_4^{2-} joni – ar fotometrijas metodi un Na^{+} un K^{+} joni – ar liesmas fotometrijas metodi.

2.3. Datu apstrāde un analīze un iegūto rezultātu izvērtēšana

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmisko sastāvu raksturojošo datu apstrāde tika veikta, izmantojot datu grafiskās analīzes un matemātiskās statistikas metodes. Šīs metodes tika izvēlētas kā optimālākās pētījuma mērķa sasniegšanai.

2.3.1. Datu grafiskā analīze

Darbā tika izskatītas un pārbaudītas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva parametru dažādas empīriskās sakarības. Šo sakarību analīzei tika veikta datu grafiskā apstrāde ar *MS Excel*, *GS Grapher*, *GS Surfer* un *MapInfo* datorprogrammām. Datu grafiskā apstrāde aptvēra datu masīva analīzi laikā un pētījumu telpā, kā arī atsevišķu parametru vērtību sadalījumu un vairāku parametru īpatsvara analīzi:

- kvartāra pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu analīzei tika sastādīti parametru vērtību izmaiņu laikā grafiki (*MS Excel*). Katram parametram (t °C, EVS, pH, Eh, O₂) sastādītas atsevišķas līknes, bet, tā kā parametru vērtības visos pētītajos urbumos sasniedza ievērojamu amplitūdu (izņemot pH), pētītie urbumi tika grupēti vairākos vērtību diapazonos. Katram vērtību diapazonam sastādītas atsevišķas līknes, lai to solis būtu pietiekami mazs un varētu izsekot pētīto parametru mikroizmaiņām;
- makrokomponentu vērtību (mg-ekv l^{-1} vai ekv-%) sadalījums kvartārsegas pazemes ūdeņos tika analizēts, sastādot trijstūra (*GS Grapher*) un stabiņveida (*MS Excel*) diagrammas pēc dažādiem kritērijiem atlasītām datu kopām, kā arī visam datu masīvam. Kritēriji datu kopu atlasei bija: ūdens horizontu veidojošie nogulumu, ūdens horizonta ieguluma dziļums un pētījumu punktu ģeogrāfiskais novietojums;
- kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru datu grafiskā apstrāde tika veikta, sastādot minēto parametru vērtību sadalījuma histogrammas (*GS Grapher*) gan visam datu masīvam, gan datu kopām, kuras grupētas pēc ūdens horizonta ieguluma dziļuma un ūdens horizontu veidojošiem nogulumiem;
- kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva analīze dažādos Latvijas dabas rajonos tika veikta, izmantojot ĢIS programmatūru *MapInfo*, atainojot pazemes ūdeņu raksturīgāko parametru vērtības pētījumu

punktos Latvijas teritorijā. Šim nolūkam tika izveidotas vairākas vērtību grupas, balstoties uz iepriekš veikto parametru vērtību sadalījuma analīzi.

Pētījumā izmantotās datu grafiskās analīzes metodes tiek plaši izmantotas pazemes ūdeņu pētījumu datu analīzē un vizualizācijā citviet pasaulē (Drever 1997, Appelo, Postma 2006, Klimas 2003), un ļauj efektīvi apstrādāt lielu datu kopumu un analizēt sakarības starp dažādiem parametriem.

2.3.2. Datu matemātiski statistiskā apstrāde

Datu masīva matemātiskās apstrādes metode tika izvēlēta, lai pārbaudītu dažādu parametru netiešu saistību, kā arī pārbaudītu sakarību starp parametriem, kuru vērtības tiek noteiktas ar atšķirīgām metodēm, piemēram, ūdens elektrovadītspēja un mineralizācija.

Tāpēc tika veikta datu lineārā korelācija, kas ir pirmais kritērijs datu matemātiski statistiskajā apstrādē, jo liecina arī par iespējamām slēptajām sakarībām starp analizētajiem parametriem. Gadījumos, kad tiek iegūta augsta lineārā korelācija, tā norāda, ka starp analizētajiem parametriem pastāv nepakārtota lineāra atkarība (Goovaerts 1997).

Hidroķīmiskajos pētījumos dažādas sakarības starp parametriem (elektrovadītspēja, pH, Eh, skābekļa saturs, mineralizācija, atsevišķi joni) ir plaši pētītas un aprakstītas, bet šie pētījumi ir veikti laboratorijas apstākļos ūdeņiem ar salīdzinoši augstu izšķīdušo vielu koncentrāciju (Garrels, Krajst 1968). Šajā pētījumā korelācija tiek veikta fizikāli ķīmisko parametru datu kopai, kas iegūta lauka apstākļos *in situ*, kā arī laboratorijā noteiktam makrokomponentu saturam, un raksturo kvartārsegas pazemes ūdeņus ar zemu izšķīdušo vielu koncentrāciju. Līdz ar to, šo korelāciju noteikšana ir nozīmīga zemas mineralizācijas ūdeņu izpētē.

Lineārās korelācijas koeficienti tika aprēķināti, izmantojot noapaļošanas metodi (Leont'jev 1966). Katram no korelācijas koeficientiem tika aprēķināta arī korelācijas koeficienta kļūda un ticamības pakāpe. Korelācijas koeficienta ticamības pakāpe tika novērtēta pēc korelācijas koeficienta un tā vidējās kļūdas attiecības, un par ticamiem ir uzskatāmi tie korelācijas koeficienti, kuriem šī attiecība ir 4 un vairāk (Leont'jev 1966).

Korelācijas koeficienti tika aprēķināti nozīmīgākajiem pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu raksturojošajiem parametriem.

Datu korelatīvā analīze arī mūsdienu zinātniskos pētījumos ir bieži izmantota metode sakarību starp dažādiem parametriem raksturošanai (Astel *et al.* 2006, Krajnov, Shvets 1987), un ļauj iegūt dažādu parametru sakarību skaitlisku, salīdzināmu vērtējumu.

3. KVARTĀRA NOGULUMU SLĀŅKOPAS UZBŪVE UN HIDROĢEOLOĢISKIE APSTĀKĻI

Kvartāra nogulumu slāņkopa Latvijā sastāv no dažāda vecuma un ģenēzes pleistocēna un holocēna nogulumiem, kas veidojušies leduslaikmetos un starpleduslaikmetos. Šie nogulumi gandrīz visā Latvijas teritorijā pārsedz pirmskvartāra nogulumiežus, izņemot atsevišķas nelielas teritorijas, kur zemes virspusē atsedzas pirmskvartāra ieži (Mejrons, Yushkevichs 1984). Tādejādi, kvartāra nogulumu slāni norobežo divas virsmas:

- mūsdienu zemes virsma, kas veidojusies un pārveidojas vienlaikus ar kvartāra nogulumu uzkrāšanos vai noārdīšanos;
- subkvartārā jeb pamatiežu virsa, kuru veido pirmskvartāra terigēnie un karbonātiskie nogulumieži.

3.1. Mūsdienu zemes virsmas, subkvartārās virsas un kvartāra nogulumu uzbūves attiecības

Kvartāra nogulumu slāņkopas augšējo robežu, t.i., mūsdienu zemes virsmu, atspoguļo mūsdienu reljefs, kur līdzenas teritorijas mijas ar saposmotām teritorijām, un kura ir pakļauta dabiskām un mākslīgām izmaiņām, ko izsauc dažādi dabiski procesi un arī cilvēka saimnieciskā darbība. Tomēr, aplūkojot visu Latvijas teritoriju kopumā, šīs izmaiņas ir vērtējamas kā maznozīmīgas, un tāpat maz ietekmē kvartārsegas sākotnējā biezuma izmaiņas. Kvartārsegas augšējā robeža ir lēzeni un vidēji viļņota – plakanie līdzenumi, viļņotie līdzenumi un nolaidenumi aizņem 53% Latvijas teritorijas, bet 38% teritorijas atbilst vidēji augstu pauguru un vidēji dziļu upju ieleju reljefam, un tikai 9% Latvijas atbilst ļoti artikulētam reljefam. Mūsdienu zemes virsmas absolūtā augstuma atzīmes ir robežās no 0 m līdz 311,6 m, un mūsdienu reljefa maksimālā amplitūda ir 312 metri. Augstumā līdz 80 m v.j.l. atrodas 43,9% Latvijas teritorijas, bet līdz 120 m v.j.l. – 75,8% teritorijas, turklāt hipsometriski nedaudz zemāka ir Latvijas rietumu daļa (Zelčs, Markots 2004).

Kvartāra nogulumu slāņkopas pamatni veido subkvartārā jeb pamatiežu virsa, kas ir izveidojusies ilgstošu denudācijas procesu rezultātā, noārdoties pirmskvartāra laikā uzkrātajiem nogulumiem. Līdztekus kontinentālās denudācijas procesiem, kas

norisinājušies augšējā paleozojā un mezozojā, pamatiežu virsas saposmojumu ietekmē arī pleistocēna segledāju un tā kušanas ūdeņu erozijas procesi. Pamatiežu virsā iezīmējas lielpazeminājumi jeb zemumi (relatīvais dziļums 40-60 m, absolūtais augstums pārsvarā 0-40 m v.j.l.) un lielpacēlumi (absolūtais augstums pārsvarā 80-130 m v.j.l., relatīvais augstums 20-60 m), Lielpacēlumi veido mūsdienu augstieņu cokolus, bet zemumos atrodas ledāja zemienes. Sīkākas pamatiežu virsas reljefa formas ir kāples, palikšņi un ielejveida formas, kas atspoguļojas mūsdienu reljefā, turklāt ielejveida formas vietumis sakrīt ar mūsdienu hidrogrāfisko tīklu un citām ielejveida reljefa formām. Pamatiežu virsas absolūtā augstuma atzīmes ir robežās no -282 m līdz 169 m, un tāpat, pamatiežu virsas reljefa maksimālā amplitūda sasniedz 451 metru (Mejrons, Yushkevichs 1984). Pamatiežu virsā atsedzas paleozoja un mezozoja karbonātiskie un terigēnie ieži – dolomīti, dolomītmerģeļi, kaļķakmeņi, merģeļi, ģipši, dolomitizēti smilšakmeņi, smilšakmeņi, aleirolīti, māli.

Kvartāra nogulumu aizpilda tilpumu starp abām aprakstītajām virsām. Tā kā šo virsu absolūto augstumu maksimālā amplitūda ir ievērojama – līdz 311 m un 451 m, tad arī kvartāra nogulumu segas biezums ir ļoti mainīgs. Tā kā pamatiežu virsas paaugstinātās daļas pārsvarā sakrīt ar mūsdienu augstienēm, tad maksimāli iespējamo biezumu kvartārsegas nogulumu slāņkopa nerasniedz, un tās biezums svārstās no metru daļām līdz pat 312 m pamatiežu virsas ielejveida pazeminājumos (Zelčs, Markots 2004). Savukārt, plašākās teritorijās lielākais kvartāra nogulumu segas biezums ir augstienēs, it īpaši Vidzemes, Latgales un Augšzemes augstienēs (līdz 150-200 m), kā arī Alūksnes un Rietumkursas augstienēs (līdz 60-100 m). Pārējās augstienēs, kā arī zemienēs kvartārsegas biezums pārsvarā ir neliels un nepārsniedz 20-30 m. Tikai vietumis, pirmskvartāra virsas pazeminājumos un nelielos ledāja reljefa saposmotajos apvidos, kvartārsegas biezums pieaug līdz 40-70 m. Ļoti plāna kvartāra nogulumu sega (<10 m) raksturīga ledāja zemieņu apvidos: Pieventas līdzenumā, Vārmes nolaidenumā, Zemgales līdzenumā, Vidzemes piekrastē, Metsepoles līdzenumā, Burtņieka līdzenumā, Trapenes līdzenumā, Jersikas un Lubāna līdzenumā, kā arī atsevišķās Piejūras zemienes teritorijās – Irves, Tīreļu un Ropažu līdzenumā.

3.2. Kvartāra nogulumu slāņkopu veidojošie nogulumu

Mainīgais kvartārsegas nogulumu biezums nosaka arī atšķirīgu Latvijas teritorijas kvartārģeoloģisko uzbūvi – vienkāršāka tā ir zemieņu apvidos un ievērojami komplicētāka

un daudzslāņaināka – ledāja augstienēs (Aboltyn'sh 1989, Meyrons 1992, Dreimanis, Zelčs 1995). Kvartāra nogulumu slāņkopas ģeoloģiskās uzbūves raksturojums ir sniegts, atbilstoši Latvijas stratigrāfiskajai shēmai (3.1. tab.), kur katra izdalītā svīta ietver patstāvīga leduslaikmeta ledāja un tā kušanas ūdeņu nogulumus vai dažādas ģenēzes starpleduslaikmeta un pēclepuslaikmeta veidojumus (Meyrons 1992).

3.1. tabula. Latvijas kvartāra sistēmas stratigrāfiskā shēma un tās korelācija ar Ziemeļeiropas shēmu (Meyrons 1992)

Sistēma	Nodaļa	Stāvs	Svīta:	
			Leduslaikmets (-), starpleduslaikmets (+)	
			Latvija	Ziemeļrietumeiropa
Kvartārs	Holocēns	Holocēns	Holocēns	Holocēns
	Pleistocēns	Augš-pleistocēns	Latvijas (-) Felicianovas (+)	Vislas (-) Ēmas (+)
		Vidus-pleistocēns	Kurzemes (-) Pulvernieku (+) Lētiņas (-) Židiņu (+)	Zāles (-) Holšteinas (+) Elsteres (-) Kromeras (+)
		Apakš-pleistocēns	Latgales (-)	Menapes (-)

Par senākajiem, visā Latvijā zināmajiem *Latgales svītas (lgQ_{1lg}, gQ_{1lg})* nogulumiem var uzskatīt slāņkopu, kura atsegta trīs urbumos pie Židiņu ciema Krāslavas rajonā (urb. Nr. 2., 43., 105.) ielejveida iegrauzuma gultnē no 103 līdz 145 m dziļumā (Meirons 2004). Slāņkopu veido glaciolimniskie nogulumi: nevienmērīgi, plankumaini sarkanbrūni vai zaļganpelēki aleirītiski un smilšaini māli ar zaļgani vai zilgani pelēka aleirīta un aleirītiskas smilts lēcveidīgiem ieslēgumiem un starpkārtām, kas vietām bagātināti ar sīkiem noapaļotiem kvarca olīšiem. To biežums iegrauzuma dziļākajās vietās pārsniedz 20 m. Atzīmējams, ka nogulumu minerālu sastāvā novērojamas kā kvartāra, tā devona iežiem raksturīgās īpatnības. Minētā slāņkopa acīm redzot sastāv no pārgulsnētiem devona smilšakmeņiem un māla, kas sajaukti ar kvartāra nogulumiem, bet tās veidošanās laiks un apstākļi ir neskaidri. Ap 0,5 m biezu smilšaina māla kārtu ar “daudziem magmatisko iežu laukakmeņiem” urbumā Nr. 2, kas uzguļ glaciolimniskajiem nogulumiem, I. Danilāns (1973) ir uzskatījis par Latgales leduslaikmeta morēnu (Juškevičs, Skrebels 2003, Mejrns, Yushkevichs 1984).

Ģeoloģiskajā griezumā augstāk iegulošie *Žīdiņu starpleduslaikmeta (IQ₂d)* nogulumi konstatēti tikai iepriekš minētajā ielejveida iegrauzumā pie Žīdiņu ciema Krāslavas rajonā. Tie sastāv no ļoti blīva dzeltenī un zaļgani pelēka sapropeļa vai sapropelīta, pelēka un zilganpelēka mālaina un smilšaina aleirīta ar augu un molusku čaulu atliekām. Sapropeļa biezums mainās no 20 līdz 29 m, bet kopējais nogulumu biezums sasniedz 54 m (Mejrons, Yushkevichs 1984, Juškevičs, Skrebels 2003). Starpleduslaikmeta nogulumi uzkrājušies ezera apstākļos, ar vairākiem sedimentācijas pārtraukumiem ļoti ilgā laika periodā, kas aptver vairākus aukstu un siltu klimatisko apstākļu ciklus (Kalniņa u.c., 1996).

Lētīžas leduslaikmeta (gQ₂ltž, fQ₂ltž, lgQ₂ltž) nogulumi izplatīti lielāko augstieņu pleistocēna nogulumu slāņkopas pamatā, kur tie veido gandrīz nepārtrauktu slāni, kas pārsedz dziļāk gulošos devona nogulumiežus, kā arī ir konstatēti ielejveida pirmskvartāra formās. Glacigēnos nogulumus veido sarkanbrūna, retāk pelēkbrūna, ļoti blīva un viendabīga morēnas mālsmilts un smilšmāls, bieži ar ievērojamu grants un sīku oļu piemaisījumu, morēnas biezums reti pārsniedz 15-20 m, izņemot ielejveida iegrauzumus, kur tas var sasniegt 30-50 m. Nereti glacigēnos nogulumos pārklāj pat 30 m biezi glaciofluviālie un glaciolimniskie nogulumi – dažādgraudaina smilts, dažādgraudaina smilts ar grants un oļu piemaisījumu vai starpkārtām, retāk aleirīti, aleirītiski māli un aleirītiska smilts (pēc Mejrons, Yushkevichs 1984). Nosacīti var uzskatīt, ka maksimālais Lētīžas glaciolimnisko un glaciofluviālo nogulumu biezums (154 m) konstatēts Jūrmalas ielejveida iegrauzumā (Mejrons, Yushkevichs 1984).

Par *Pulvernieku starpleduslaikmeta (m, IQ₂pl)* nogulumiem var uzskatīt starp Lētīžas un Kurzemes morēnas slāņiem iegulošos limniskos un marīnos nogulumus. Limniskie nogulumi ir konstatēti vairākos griezumos Rietumkursas augstienē un, iespējams, arī Latvijas dienvidaustrumos urbumā Daugavas pirmajā virspalu terasē pie Krāslavas un pie Adamovas un Vidzemes augstienē pie Kleķeriem. Nogulumu biezums ir 2-5 m, vietām līdz 8 m, un tos veido pelēki aleirīti un māli ar augu atliekām, kā arī pelēka smilts ar grants un oļu piejaukumu un sapropelīta un kūdras starpkārtām. Marīnie nogulumi izplatīti Baltijas jūras piekrastē starp Ovīšiem un Ziemupi, to biezums sasniedz 70 m un tos veido pelēki aleirītiski māli ar smilts un aleirīta starpkārtām, aleirīti un smilšaini aleirīti ar smilts un smilts un grants starpkārtām, kā arī smilts ar aleirīta starpkārtām slāņkopas augšējā daļā (pēc Mejrons, Yushkevichs 1984, Juškevičs, Mūrniece 1997, 1998, Juškevičs, Skrebels 2003, Meirons 2004).

Kurzemes leduslaikmeta (gQ_2kr , fQ_2kr , lgQ_2kr) nogulumi izplatīti Kurzemes rietumu un dienvidu daļās un augstienēs visā Latvijā. Tie veido plašus pacēlumus pauguraiņu pamatnē vai aizpilda atsevišķus ielejveida iegrauzumus un citus pazeminājumus devona iežu virsmā. Kopējais šo nogulumu biezums paugurainēs pārsvarā sasniedz 40-50 m. Kurzemes morēnai raksturīga brūna, pelēkbrūna, retumis arī sarkanbrūna krāsa un palielināts aleirīta saturs. Tā ir blīva, samērā viendabīga, bieži ar dažāda biezuma (pārsvarā līdz 5-10 m) smilts, grants vai aleirīta un māla starpkārtām vai ieslēgumiem. Morēnas biezums vidēji ir ap 15-20 m. Tas palielinās līdz 30-40 m Vidzemes un Alūksnes pauguraiņu augstākajos iecirkņos Vestienas, Vecpiebalgas un Veclaicenes apkārtnē, bet atsevišķos ielejveida iegrauzumos, piemēram, pie Cīravas un Aknīstes, sasniedz 80-100 m biezumu. Kurzemes morēnu bieži pārklāj līdz 10-30 m biezs glaciofluviālas smilts, grants vai 2-5 m biezs glaciolimnisku mālu vai aleirītu slānis. Ielejveida iegrauzumos Latvijas ziemeļu daļā glaciofluviālo nogulumu biezums sasniedz 100-150 m (pēc Mejrons, Yushkevichs 1984, Juškevičs 1999, 2000, Juškevičs, Mūrniece 1997, 1998, Juškevičs, Skrebels 2002, 2003, Meirons 2002, 2004).

Felicianovas starpleduslaikmetam (lQ_3fl , aQ_3fl) atbilstoši un organiskās atliekas saturoši nogulumi atrasti vairākos urbemos Latvijas dienvidaustrumos pie Subates, Ilūkstes, un Izvaltas un Latvijas rietumos pie Satiķiem. Starp tiem vispilnīgākais griezumus iegūts Subates urbemos (urb. Nr. 32.,36.,105.). Sporu un putekšņu spektru sastāvs un tā izmaiņas nogulumu uzkrāšanās laikā, kas ietver arī starpleduslaikmeta klimatisko optimumu, kā arī saguluma apstākļi, nerada īpašas šaubas par to uzkrāšanos Felicianovas starpleduslaikmetā. Limniskos un aluviālos nogulumus veido smilšaini un mālaini, retāk kaļķaini aleirīti, aleirītiski māli, smilts, granšaina smilts un grants ar oļiem, retāk sapropelis, saldūdens kaļķieži, kūdra. Visos nogulumos konstatētas augu atliekas un saldūdens molusku paliekas. Starpmorēnu slāņkopas biezums ir no 1-2 m līdz 28 m (pēc Mejrons, Yushkevichs 1984, Juškevičs, Skrebels 2003, Meirons 2004).

Latvijas leduslaikmeta (gQ_3ltv , fQ_3ltv , lgQ_3ltv , lgQ_3ltv^b , aQ_3ltv , vQ_3ltv) nogulumi aizņem ģeoloģiskā griezuma augšējo daļu. Tie izplatīti visā Latvijas teritorijā un kopā ar holocēna nogulumiem veido mūsdienu reljefa formas. Latvijas leduslaikmeta veidojumu biezums zemienēs un līdzenumos ir neliels un reti pārsniedz 15-20 m. Ievērojamās teritorijās tas ir pat mazāks par 10 m. Lielāko biezumu Latvijas leduslaikmeta nogulumi sasniedz augstienēs (40-60 m), pie tam to augstākajos un paugurainākajos masīvos sasniedzot pat 80 un vairāk metru. Latvijas leduslaikmeta morēnas sastāvs ir mainīgs. Pārsvarā sastopama sarkanbrūna vai brūna morēnas mālsmilts. No iepriekšējo

leduslaikmetu morēnām tā parasti atšķiras ar gaišāku toni, mazāku blīvumu un lielāku smilts un grants saturu īpaši paugurainajos iecirkņos. Bieži sastopamas arī dažāda sastāva starpkārtas un ieslēgumi. Vairums pētīto pauguraino masīvu, grēdu, kā arī vaļņveida reljefa formu sastāv no saraustītām un deformētām smilts, grants, aleirīta un morēnas slāņkopām, kuras pārklāj 1-5 m bieza smilšaina morēna. Liela nozīme teritorijas mūsdienu reljefa uzbūvē ir glaciofluviālajiem nogulumiem. Tie veido atsevišķus paugurus, paugurainus masīvus un grēdas augstienēs, īpaši to perifērijā un atsevišķas vaļņveida formas līdzenumos. To sastāvā dominē dažādgraudaina smilts, bieži ar grants un oļu piemaisījumu vai to starpkārtām. Nogulumu biezums pauguros sasniedz 30-40 m, bet līdzenumos parasti mainās 3-7 m robežās. Glaciolimniskie nogulumi izplatīti līdzenumos un to veidošanās cieši saistīta ar bijušajiem dažādiem sprostezeriem ledāja malas zonā. Augstienēs tie pārklāj tikai atsevišķas iepakas vai pauguru virsotnes. Tos veido māls vai smalkgraudaina smilts, nereti ar aleirīta un aleirītiskas smilts vai grants starpkārtām. Glaciolimnisko nogulumu biezums reti ir lielāks par 10-15 m, bet var sasniegt arī 50 m (pēc Mejrons, Yushkevichs 1984, Juškevičs 1999, 2000, Juškevičs, Mūrniece 1997, 1998, Juškevičs, Skrebels 2002, 2003, Meirons 2002, 2004).

Leduslaikmeta beigu posmā apmēram pirms 11,8 tūkst. gadiem, saplūstot kopā atsevišķiem ledāja malas sprostezeriem, izveidojās Baltijas ledus ezers, kura nogulumi uzguļ pārējiem Latvijas leduslaikmeta nogulumiem un ir izplatīti Baltijas jūras un Rīgas līča piekrastē. Baltijas ledus ezera dziļākajās vietās, kas tagad atrodas Rīgas līča akvatorijā, uzkrājusies līdz 10-15 m bieza mālu un aleirītu slāņkopa, bet seklūdēns zonā līča piekrastē – dažādgraudaina, pārsvarā smalkgraudaina smilts 8-10 m biezumā, vietām ar grants un oļu piemaisījumu (pēc Mejrons, Yushkevichs 1984, Juškevičs 1999, 2000, Juškevičs, Mūrniece 1997, 1998, Juškevičs, Skrebels 2002, Meirons 2002).

Baltijas ledus ezera un glaciolimnisko smilts nogulumu veidotajos līdzenumos nelielās platībās ir sastopami eolie nogulumi. Lielākos kāpu masīvus tie veido pie Strenčiem, Valkas, Daugavpils, Lejasciema, Usmas ezera, starp Siguldu un Kalncienu. Nogulumus veido labi šķirota smalkgraudaina smilts, to biezums kāpu masīvos ir no 4-6 m līdz 10-15 m, maksimāli sasniedzot 20-25 m, bet neattīstītās kāpās ir tikai 1-2 m (Mejrons, Yushkevichs 1984).

Lielāko upju un to pieteku ielejās ir izplatīti aluviālie nogulumi, kur tie veido virspalu terases. Nogulumi sastāv no aleirītiem, smalkgraudainas smilts, dažādgraudainas smilts un smilts-grants-oļu slāņiem, un to biezums ir no 2-4 m līdz 10 m (Mejrons, Yushkevichs 1984).

Holocēnā (aQ₄, bQ₄, lQ₄, mQ₄, vQ₄) izveidojušies ezeru, purvu, upju un vēja veidotie nogulumi, kas nelielās platībās pārklāj ledāja un tā kušanas ūdeņu veidojumus. Plašāk sastopami jaunāko Baltijas jūras stadiju nogulumi. Joldijas jūras (pirms 10,3-9,3 tūkst. g.) un Ancilus ezera (pirms 9,3-8,0 tūkst. g.) veidojumi izplatīti Rīgas līča akvatorijā un pie Ventspils. Tie sastāv no 8-11 m bieziem pelēkbrūniem viendabīgiem māliem ar hidrotroilīta ieslēgumiem, kas krasta tuvumā pāriet mālainā aleirītā un smiltī. Litorīnas jūras (pirms 8,0-4,0 tūkst. g.) nogulumi sastāv no smalkgraudainas un vidējgraudainas smilts, kuru līča un jūras gultnē nomaina aleirīti un zaļganpelēkas dūņas. To biezums reti pārsniedz 10 m, un tikai pie Kolkas to biezums ir 43 m. Litorīnas jūras maksimālās transgresijas krasta veidojumi atrodas ap 5 m v.j.l. Rīgas līča piekrastē, līdz 8 m v.j.l. pie Liepājas un ap 13-14 m v.j.l. Kurzemes ziemeļos. Pašreizējās (Pēclitorīnas vai Limnea stadijas) jūras nogulumi veido tikai pludmali, kā arī izklāj jūras un līča gultni, to biezums ir 3-5 m. Nogulumu sastāvā dominē dažādgraudaina smilts, jūras gultnē – aleirīti un dūņas (pēc Mejrons, Yushkevichs 1984, Juškevičs 1999, 2000, Juškevičs, Mūrniece 1997, 1998, Juškevičs, Skrebels 2002, 2003, Meirons 2002, 2004).

Jūras un līča piekrastē, kā arī glaciolimniskās smilts līdzenumos pie Daugavpils ir izplatīti eolie nogulumi. Tos veido labi šķirota smalkgraudaina un sīkgraudaina smilts līdz 10-20 m biežumā. Ezeru terasēs un gultnē, kā arī daudzu purvu pamatnē sastopami limniskie nogulumi no 0,5-1,0 m līdz 6-8 m biežumā, retumis sasniedzot 10-14 m biežumu. Tos veido sapropelis, saldūdens kaļķieži, dažādi graudaina smilts ar aleirītu un dūņainu mālu. Sapropēja biezums ezeros nereti sasniedz 5-10 m. Visu upju ielejās sastopami aluviālie nogulumi, kas veido palienes un pirmās virspalu terases, un to biezums ir no 0,5-1 m līdz 5-7 m, maksimāli līdz 10-15 m lielāko upju ietekās. Aluviālo nogulumu sastāvs ir ļoti dažāds, tos veido gan smilts-grants-olī, gan smalkgraudaina un aleirītiska smilts, aleirīts. Vecupēs sastopami arī dūņaini aleirīta nogulumi ar smilts un kūdras starpkārtām. Purvu nogulumi izplatīti visā Latvijā, lielākās platības aizņemot zemienēs. Tos veido dažāda sastāva un sadalīšanās pakāpes kūdra līdz 8 m biežumam (Mejrons, Yushkevichs 1984).

3.3. Hidroģeoloģiskie apstākļi

Kvartāra nogulumu segas hidroģeoloģiskos apstākļus kopumā raksturo gan kvartārsegas pazemes ūdeņu resursi, kas ir atkarīgi no kvartārsegas pazemes ūdeņu

ieguluma, barošanās (papildināšanās) un atslodzes apstākļiem, gan ūdens horizontus veidojošo nogulumu filtrācijas īpašības, kas detalizēti tiks apskatīti turpmākās nodaļās.

3.3.1. Kvartārsegas pazemes ūdeņu resursi

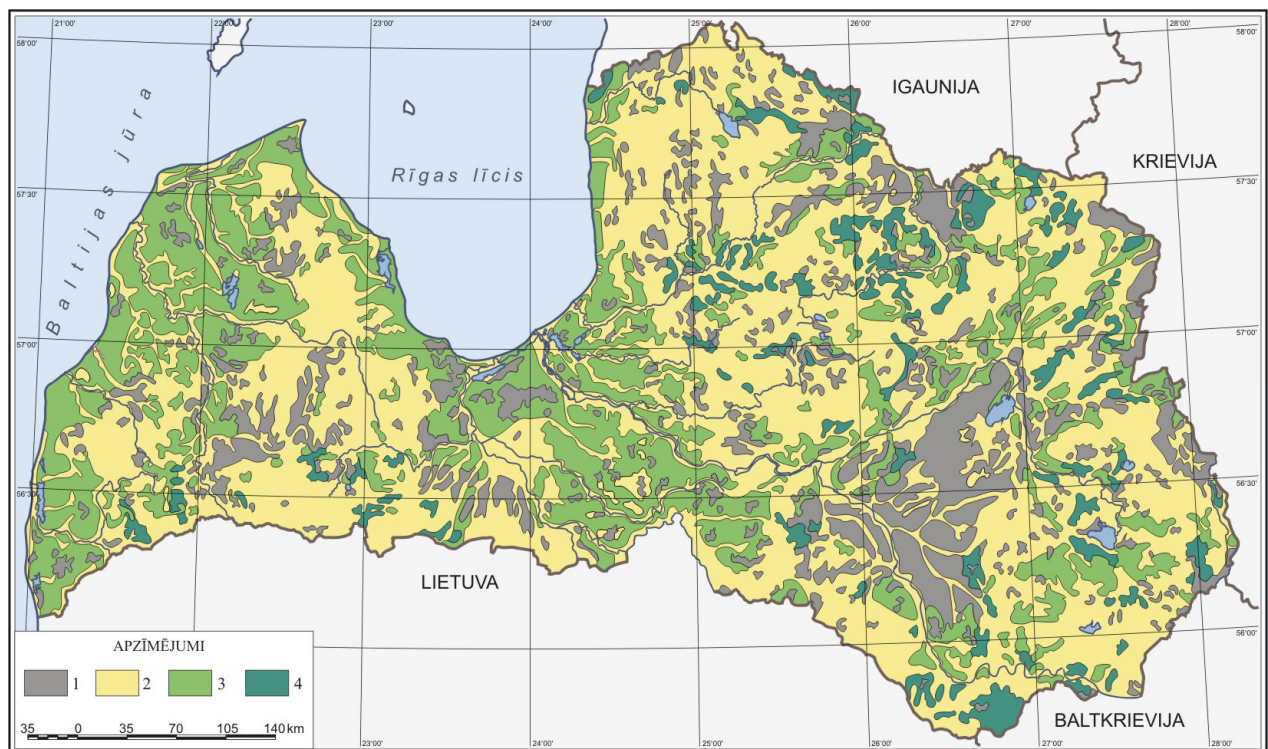
Kvartārsegas pazemes ūdeņu horizonti savstarpēji ir cieši saistīti un ūdens resursu papildināšanos un noplūdi atsevišķos horizontos ietekmē vieni un tie paši fizikāli ģeogrāfiskie un ģeoloģiskie faktori, tāpēc, ūdens resursu novērtējumam, kvartārsegas pazemes ūdeņi visbiežāk tiek apskatīti kā vienots kvartāra ūdens horizontu komplekss (Dzilna 1970, Krutofala 2003, Levins, Gosk 1998).

Kvartāra ūdens horizontu komplekss atrodas aktīvās ūdens apmaiņas zonā, un kvartāra pazemes ūdeņu dabisko resursu veidošanos un papildināšanos ietekmē fizikāli ģeogrāfisko faktoru kopums, kas ietver klimatiskos apstākļus, reljefu un tā uzbūvi, virszemes hidrogrāfisko tīklu, augāju, kā arī ģeoloģiskie faktori – kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūve un teritorijas tektoniskā struktūra (Jodkazis 1980, Dzilna 1970). Tiek uzskatīts, ka Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu dabisko resursu veidošanā galvenā loma ir klimatiskajiem apstākļiem un salīdzinoši vājajai teritorijas drenētībai (Levina, Levins 2005). Tāpēc kvartāra pazemes ūdeņu dabisko resursu veidošanās un papildināšanās noris, galvenokārt, atmosfēras nokrišņiem infiltrējoties kvartāra nogulumos un papildinot pazemes ūdeņus, kā arī pirmskvartāra nogulumu spiedienūdeņiem zemienēs atslogojoties kvartāra ūdens horizontos. Savukārt, kvartāra pazemes ūdeņu atslodze notiek, pazemes ūdeņiem noplūstot virszemes ūdens objektos (upēs, ezeros, jūrā), iztvaikojot un pārtekot dziļākajos artēzisko ūdeņu horizontos (Levina, Levins 2005).

Iepriekšējo gadu pazemes ūdeņu monitoringa pētījumos novērtēts (Levina 1996, 1997, 1999, 2002), ka infiltrācijas apjoms gruntsūdeņos vidēji ir 2-47% no atmosfēras nokrišņu gada daudzuma. Tomēr, gruntsūdeņu infiltratīvās barošanās apjoma sadalījums Latvijas teritorijā ir nevienmērīgs (3.1. att.).

Lielākajā daļā Latvijas teritorijas ir raksturīga vāja infiltratīvā barošanās, sasniedzot 0-15% no atmosfēras nokrišņu gada daudzuma (3.1. att.). Minētajiem apgabaliem ir raksturīga vāja drenētība un neliels aerācijas zonas biezums līdz 1-2 m (Prols, Dēliņa 1998), un to izplatība pārsvarā ir salīdzināma ar morēnnogulumu izplatības apgabaliem kvartāra nogulumu virsmā. Visvairāk šādu teritoriju ir Latvijas augstienēs un, izņemot upju ielejas, nav sastopamas Baltijas jūras piekrastes zemienēs.

Vāji drenētās teritorijās, kur izplatīti purvu nogulumi, kvartāra pazemes ūdeņu infiltratīvā barošanās pārsvarā nenotiek vai arī tā ir ļoti vāja, un infiltratīvās barošanās modulim ir negatīvas vērtības, t.i., notiek intensīva iztvaikošana no gruntsūdens virsmas sasniedzot līdz 35% no atmosfēras nokrišņu gada daudzuma (3.1. att.). Lielākās šādas platības ir konstatētas Austrumlatvijas zemienē, bet nelielos laukumos ir sastopamas visā Latvijā.



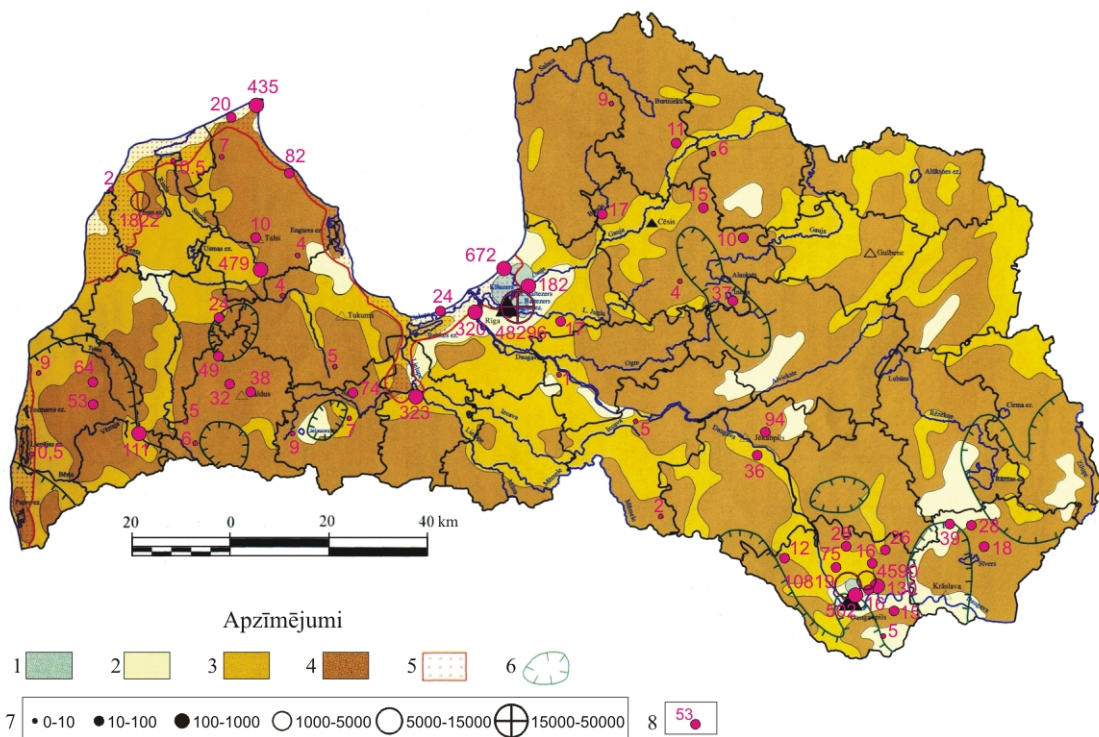
3.1. att. Gruntsūdeņu infiltratīvā barošanās (Dēliņa, Prols 1998)

Apzīmējumi: 1 – infiltratīvā barošanās nenotiek, gruntsūdeņi papildina virszemes ūdeņus, infiltratīvās barošanās apjoms no -35 līdz 0% no atmosfēras nokrišņiem, infiltratīvās barošanās modulis $<0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$; 2 – vāja infiltratīvā barošanās, infiltratīvās barošanās apjoms $0-15\%$ no atmosfēras nokrišņiem, infiltratīvās barošanās modulis $0-3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$; 3 – vidēja infiltratīvā barošanās, infiltratīvās barošanās apjoms $15-35\%$ no atmosfēras nokrišņiem, infiltratīvās barošanās modulis $3-7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$; 4 – ievērojama infiltratīvā barošanās, infiltratīvās barošanās apjoms $>35\%$ no atmosfēras nokrišņiem, infiltratīvās barošanās modulis $>7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Vidēji liela infiltratīvā barošanās, kas sastāda $15-35\%$ no atmosfēras nokrišņu gada daudzuma (infiltratīvās barošanās modulis $3-7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$), ir raksturīga tām Latvijas daļām, kur zemes virspusē iegul smilts nogulumi un teritorijas drenētība ir vāja un vidēja (Prols, Dēliņa 1998), t.i. Baltijas jūras un Rīgas līča piekrastē, Kursas un Viduslatvijas zemienēs, kā arī vietumis Austrumlatvijā. Savukārt, vietās, kur zemes virspusē izplatīti smilts un grants nogulumi un ir labi drenētības apstākļi, kvartāra pazemes ūdeņu infiltratīvā barošanās pārsniedz 35% no atmosfēras nokrišņu gada daudzuma, sasniedzot 47% . Tomēr, šo teritoriju izplatība ir ierobežota (3.1. att.), galvenokārt, nelielu laukumu veidā paugurainēs un paugurvaļņos.

Iepriekšēji minētais ļauj pieņemt, ka Latvijā kvartārsegas pazemes ūdeņu infiltratīvā barošanās vidēji ir 10-35% no atmosfēras nokrišņu gada daudzuma, un infiltratīvās barošanās moduļa vidējās vērtības ir no 2 līdz $7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Tātad, kvartāra pazemes ūdeņu resursi, kas veidojas atmosfēras nokrišņu infiltrācijas rezultātā, vidēji ir $9600\text{-}38400 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$, no kuriem lielākā daļa veido kvartārsegas pazemes ūdeņu potenciālos dabiskos resursus, bet neliela daļa atkal iztvaiko vai noplūst dziļākos ūdens horizontos (Krutofala 2003, Levina, Levins 2005).

Novērtēts (Jodkasis 1980, Krutofala 2003), ka potenciālie pazemes saldūdeņu resursi kvartāra ūdens kompleksā ir $93\,000 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$, t.i., 2% no visiem Latvijas potenciālajiem pazemes saldūdeņu resursiem, bet to sadalījums Latvijas teritorijā ir nevienmērīgs. Lai raksturotu kvartārsegas pazemes ūdeņu resursus un krājumus, N. Levina (Levins u.c.1998) ir analizējusi kvartāra ūdens horizontu biezumu un kvartāra ūdensgūtņu maksimālo ražīgumu ($\text{m}^3 \text{ dnn}^{-1}$), pēc analizētajiem parametriem izdalot četras kvartāra pazemes ūdeņu resursu grupas (3.2. att.).



3.2. att. Kvartārsegas pazemes ūdeņu resursi (autore, izmantojot Levins, Levina u.c. 1998 un statistikas datus)

Apzīmējumi: 1-4 – kvartāra pazemes ūdeņu resursu grupas: 1 – lieli, ūdensgūtņu maksimālais ražīgums $>1000 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$, 2 – vidēji, ūdensgūtņu maksimālais ražīgums $100\text{-}1000 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$, 3 – nelieli, ūdensgūtņu maksimālais ražīgums $10\text{-}100 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$, 4 – necīgi, ūdensgūtņu maksimālais ražīgums $<10 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$; 5 – sliktas kvalitātes gruntsūdeņu (augsta krāsainība, dzelzs, amonija saturs) izplatības apgabali; 6 – lielāko starpmorēnu ūdens horizontu izplatības apgabali, ūdensgūtņu maksimālais ražīgums līdz $1000 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$; 7 – ūdensgūtnēs iegūtā kvartāra ūdens daudzums, $\text{m}^3 \text{ dnn}^{-1}$ laikā no 2001. līdz 2005. gadam; 8 – kvartāra pazemes ūdeņu ūdensgūtne, tajā iegūtais pazemes ūdeņu daudzums, $\text{m}^3 \text{ dnn}^{-1}$.

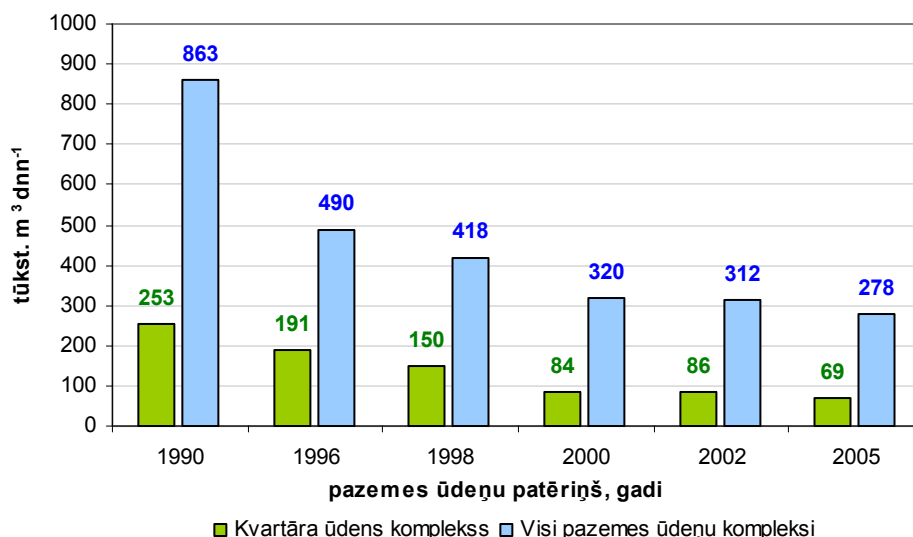
Tā, pēc N. Levinas un I. Levina (1998), lielākajā daļā Latvijas kvartāra pazemes ūdeņu resursi ir nelieli, jo tie, galvenokārt, ir saistīti ar ierobežotas izplatības un biezuma virsmorēnas, starpmorēnu un iekšmorēnas ūdens horizontiem. Vidēji lieli kvartāra pazemes ūdeņu resursi ir saistīti ar Baltijas ledus ezera un glaciolimnisko smilts un glaciofluviālo smilts un grants nogulumu izplatības apvidiem. Lielu kvartāra pazemes ūdeņu resursi ir zināmi tikai divos iecirkņos Latvijā – uz austrumiem, ziemeļaustrumiem no Rīgas un uz ziemeļiem no Daugavpils (3.2. att.), un abos iecirkņos kvartārsegas pazemes ūdeņi tiek intensīvi izmantoti centralizētajā ūdensapgādē – ūdensgūtnēs Baltezers, Baltezers I, Baltezers II, Remberģi un Zaķumuiža Rīgas tuvumā un ūdensgūtnēs Vingri un Ziemeļi pie Daugavpils.

Minētajās ūdensgūtnēs aprēķinātie kvartāra pazemes ūdeņu ekspluatācijas krājumi kopā ir $162110 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$, no kuriem 2005. gadā tika patērēti $62596 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$, t.i., 39% no aprēķinātajiem ekspluatācijas krājumiem (3.2. tab.). Jāatzīmē, ka Baltezers ūdensgūtnēs notiek arī kvartāra pazemes ūdeņu resursu mākslīga papildināšana, tādējādi ievērojami palielinot pieejamos pazemes ūdeņu ekspluatācijas krājumus.

3.2. tabula. Pazemes ūdeņu ekspluatācijas krājumi kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu atradnēs (pēc Levina, Gavena 2000, Agarkova 1972, Buzajevs 2001, Vides rādītāji... 2005)

Pazemes ūdeņu atradne (ūdens horizonts)	Aprēķinātie pazemes ūdeņu ekspluatācijas krājumi, $\text{m}^3 \text{ dnn}^{-1}$	Kvartārsegas ūdeņu patēriņš 2005. gadā, $\text{m}^3 \text{ dnn}^{-1}$	Ūdens patēriņš, % no pieejamajiem krājumiem
Baltezers, Baltezers I, Baltezers II (gruntsūdeņi un mākslīgi papildināti gruntsūdeņi)	98 082	24 360	25%
Remberģi (gruntsūdeņi)	11 781	5493	47%
Zaķumuiža (gruntsūdeņi)	19 178	18 383	96%
Vingri (gruntsūdeņi)	13 000	9770	75%
Ziemeļi (starpmorēnu spiedienūdeņi)	20 069	4590	23%
Kopā	162 110	62 596	39%

Pārējā Latvijas teritorijā kvartāra pazemes ūdeņu resursu patēriņš ir nevienmērīgs un neliels (3.2. att.), pārsvarā nepārsniedzot $100 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$. Nedaudz lielāks patēriņš ir Kolkā ($435 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$) un līdz 2005. gadam bija Jelgavas pilsētas centralizētajā ūdensgūtnē Ruļļukalns ($323 \text{ m}^3 \text{ dnn}^{-1}$). Kopumā, kvartāra pazemes ūdeņu patēriņš pēdējos piecpadsmit gados ir bijis 26-39% no kopējā pazemes saldūdeņu patēriņa (3.3. att.).



3.3. att. Kvartāra pazemes ūdeņu resursu izmantošana (autore, pēc Krutofala 2003 un Vides rādītāji ... 2005)

Tas liecina, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu izmantošanas īpatsvars kopējā pazemes ūdeņu izmantošanas bilancē ir salīdzinoši liels, bet to ir iespējams arī palielināt, ņemot vērā, ka lielākajās ūdensgūtnēs aprēķinātie kvartārsegas pazemes ūdeņu ekspluatācijas krājumi tiek izmantoti vidēji 40% apmērā (3.2. tab.).

Dažādie, iepriekšējos gados veiktie pazemes ūdeņu resursu, t.sk., kvartārsegas pazemes ūdeņu resursu, pētījumi (Krutofala 2003, Levina 2000, 2001, 2002, Levina, Levins 2005) rāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu potenciālie dabiskie resursi valstī ir vidēji lieli, bet to nevienmērīgais sadalījums apgrūtina šo ūdeņu plašu izmantošanu ūdensapgādē. Arī Rīgas un Daugavpils apkārtnē, kur ir ievērojami kvartārsegas pazemes ūdeņu resursi, kas tiek izmantoti centralizētajā ūdensapgādē, kopējais kvartārsegas pazemes ūdeņu patēriņš nepārsniedz vidēji 40% no pieejamiem kvartārsegas pazemes ūdeņu dabiskajiem un mākslīgi papildinātajiem resursiem. Tātad, ņemot vērā kvartārsegas pazemes ūdeņu potenciālos dabiskos resursus un to nelielo pašreizējo izmantošanu, var secināt, ka tie var būt nozīmīgs ūdensapgādes resurss nākotnē. Tomēr, līdztekus kvartārsegas pazemes ūdeņu daudzumam, svarīga ir šo ūdeņu dabiskā kvalitāte un aizsargātība no potenciālā virszemes piesārņojuma.

3.3.2. Kvartāra ūdens horizontu hidroģeoloģiskais raksturojums

Kvartāra nogulumu ūdens horizontus pārsvarā veido dažādas ģenēzes smilts un smilts – grants, retāk, arī oļu nogulumi ar dažādu aleirītiskas smilts, aleirīta vai māla

piejaukumu. Šie nogulumi veido gan biezas, plānā izturētas slāņkopas, gan nelielas starpkārtas, ieslēgumus un lēcas morēnas nogulumos. Lai raksturotu dažādo nogulumu filtrācijas īpašības, tika apzināti un analizēti 1:200 000 un 1:50 000 mēroga ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās kartēšanas darbu materiāli (Bichko u.c. 1979, Aleksans u.c. 1988, 1991, Drikis u.c. 1980, Frejmanis u.c. 1966, Gavrylova u.c. 1962, 1963, 1966, 1967, 1975, 1978, Ginters u.c. 1985, 1986, Yankin u.c. 1969, 1973, 1975, Yanson u.c. 1965, 1967, 1971, Yushkevich u.c. 1978, Kayak u.c. 1976, Lyarskij u.c. 1963, Myronov u.c. 1962, Murnieks u.c. 1979, Podgurskij u.c. 1974, 1985, Sapega u.c. 1982, Straume u.c. 1970, Sulimov u.c. 1962, Tratsevskij u.c. 1964, 1965, 1967, 1969, 1984, 1989, 1993, Ulgis u.c. 1981, 1983, Vetrennikov u.c. 1976), to apkopojums (Bichko u.c. 1979), kā arī pazemes ūdeņu pamatmonitoringa rezultāti (Jankins u.c. 1993, Levina 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, Levina, Levins 2003, 2005, Levina u.c. 1998, Levins 2004). Šajā nodaļā ir sniegts dažādo kvartāra nogulumu ūdens horizontu filtrācijas īpašību apkopojošs raksturojums, saglabājot vēsturiski pieņemto dalījumu ūdens horizontos pēc kvartāra nogulumu ģenēzes, līdzīga sastāva un īpašību nogulumus apvienojot vienā ūdens horizontā. Nozīmīgākie, no ūdensapgādes viedokļa, kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu horizonti ir: aluviālo nogulumu ūdens horizonts (aQ_4+aQ_3ltv), marīno, limnisko un Latvijas leduslaikmeta beigu posma Baltijas ledus ezera nogulumu ūdens horizonts ($mQ_4+ lQ_4+lgQ_3ltv^b$), Latvijas leduslaikmeta glaciolimnisko nogulumu ūdens horizonts (lgQ_3ltv) un Latvijas leduslaikmeta glaciofluviālo nogulumu ūdens horizonts (fQ_3ltv).

Aluviālo nogulumu ūdens horizonts (aQ_4+aQ_3ltv). To veido holocēna un pēdējā leduslaikmeta beigu posma aluviālie nogulumi: dažādi graudaina smilts ar aleirīta, māla un grants piejaukumu. Aluviālo nogulumu ūdens horizontu izplatība plānā ir ierobežota – tie stiepjas šauru joslu veidā gar ūdensteču krastiem, ievērojamāku platumu sasniedzot tikai lielāko, terasēto upju ielejās. Arī nogulumu biezums ir ļoti dažāds – no 0,2 m līdz 35 m un pat vairāk, bet pārsvarā šo nogulumu biezums svārstās robežās no 0,5 m līdz 4 m. Vairumā gadījumu šie nogulumi satur gruntsūdeņus, un to līmenis var būt 0,1-10 m dziļumā no zemes virsmas, bet vidēji tie iegul 0,2-3 m dziļumā. Nogulumu filtrācijas īpašības ir atkarīgas no aluviālo nogulumu sastāva. Smalkgraudainas smilts ar aleirītiskas smilts un aleirīta piejaukumu filtrācijas koeficients ir $0,1-5 \text{ m dnn}^{-1}$, vidēji $0,2-4 \text{ m dnn}^{-1}$, bet dažādgraudainā smiltī ar grants piejaukumu filtrācijas īpašības ir ievērojami labākas, pārsvarā $3-10 \text{ m dnn}^{-1}$, sasniedzot pat 53 m dnn^{-1} , un vidēji tās ir $4-18 \text{ m dnn}^{-1}$. Atšķirīgās filtrācijas īpašības arī nosaka lielo urbumu debitu dažādību. Urbumu debiti var būt robežās

no 0,001 līdz 17,2 $l\ s^{-1}$, ar īpatnējo debītu no 0,002 līdz 4,8 $l\ s^{-1}$ un ūdens līmeņa pazeminājumu urbumā 0,5-3,6 m. Pārsvārā urbumu debīts ir 1,5-3,7 $l\ s^{-1}$ un īpatnējais debīts 0,5-1,1 $l\ s^{-1}$. Rakto aku debīti ir mazāki, vidēji sasniedzot 0,01-0,7 $l\ s^{-1}$. Aluviālo nogulumu ūdens horizontā esošo avotu debīti ir no 0,02 $l\ s^{-1}$ līdz 2 $l\ s^{-1}$, pārsvārā sasniedzot 0,2-1,4 $l\ s^{-1}$.

Holocēna marīno, limnisko un pēdējā leduslaikmeta beigu posma Baltijas ledus ezera nogulumu pazemes ūdeņu horizonts (mQ_4+lgQ_3 ltv^b). To veido holocēna marīnie un limniskie nogulumi un Latvijas ledus laikmeta beigu posma Baltijas ledus ezera nogulumi – pārsvārā smalkgraudaina smilts ar aleirītiskas smilts piejaukumu, vietām arī ar organisko vielu piejaukumu. Vienīgi Baltijas ledus ezera nogulumu slāņkopas apakšējā daļā pārsvārā ir sastopama dažādgraudaina smilts. Šīs nogulumu slāņkopas biezums var būt ļoti dažāds: no 1-2 m līdz pat 40-58 m, bet pārsvārā tas ir 4-20 m. Šie nogulumi satur gruntsūdeņus, kas iegūļ 0,2-10 m dziļumā no zemes virsmas, bet pārsvārā gruntsūdens līmenis atrodas 0,4-6,5 m dziļumā. Nogulumu filtrācijas īpašības ir atkarīgas no nogulumu sastāva. Kopumā horizonta filtrācijas koeficienti ir robežās no 0,18 $m\ dnn^{-1}$ līdz 10 $m\ dnn^{-1}$, pārsvārā sasniedzot 2,5-6 $m\ dnn^{-1}$, bet dažādgraudainajos Baltijas ledus ezera nogulumos ūdens horizonta apakšējā daļā filtrācijas koeficienta vērtības ir 4-9 $m\ dnn^{-1}$. Ūdens horizonta caurplūdes koeficienta vērtības ir cieši saistītas ar tā biezumu un variē 15-182 $m^2\ dnn^{-1}$ robežās. Horizontā ierīkoto urbumu debīti ir ļoti dažādi – no 0,001 $l\ s^{-1}$ līdz 11,2 $l\ s^{-1}$, īpatnējie debīti 0,002-9,7 $l\ s^{-1}$, ūdens līmeņa pazeminājums urbumā 0,45-10,8 m. Tomēr pārsvārā urbumu debīti ir 0,8-4 $l\ s^{-1}$, īpatnējie debīti 0,4-2,6 $l\ s^{-1}$ un ūdens līmeņa pazeminājumi 1,0-5,8 m. Rakto aku debīti ir mazāki – no 0,003 $l\ s^{-1}$ līdz 0,4 $l\ s^{-1}$, pārsvārā 0,07-0,3 $l\ s^{-1}$. Horizontā esošo avotu debīti ir no 1 $l\ s^{-1}$ līdz 2,3 $l\ s^{-1}$.

Latvijas leduslaikmeta glaciolimnisko nogulumu pazemes ūdeņu horizonts (lgQ_3 ltv). To veido augšpleistocēna Latvijas svītas glaciolimniskie smilts nogulumi: smalkgraudaina un ļoti smalkgraudaina, arī aleirītiska smilts, kā arī vietumis dažādgraudaina smilts. Šo nogulumu biezums mainās no 0,2 m līdz 45 m, bet pārsvārā ir 5-15 m. Horizonts satur gruntsūdeņus, kuri iegūļ 0,1-25 m dziļumā, biežāk 0,5-6 m dziļumā no zemes virsmas. Horizonta filtrācijas koeficienti ir no 0,06 $m\ dnn^{-1}$ līdz 34 $m\ dnn^{-1}$, galvenokārt, 0,3-15 $m\ dnn^{-1}$, bet vidējās vērtības ir no 1 $m\ dnn^{-1}$ līdz 6 $m\ dnn^{-1}$. Horizontā ierīkoto urbumu debīti ir nelieli: no 0,05 $l\ s^{-1}$ līdz 2 $l\ s^{-1}$, un īpatnējie debīti 0,002-0,5 $l\ s^{-1}$.

Latvijas leduslaikmeta glaciofluviālo nogulumu pazemes ūdeņu horizonti (fQ_3 ltv). Tos veido augšpleistocēna Latvijas svītas glaciofluviālie nogulumi: dažādgraudaina smilts ar grants un oļu piejaukumu. Pazemes ūdeņu horizontu biezums var būt no 0,3 m līdz 65

m, bet pārsvarā tas ir 2-20 m. Glaciofluviālie nogulumi, galvenokārt, satur gruntsūdeņus, kas iegūti 0,5-27 m dziļumā, biežāk no 2 m līdz 10 m dziļumā. Vietumis glaciofluviālie nogulumi veido iekšmorēnu ūdens horizontus, un tad tie satur spiedienūdeņus, kuru spiediens virs horizonta virsas var sasniegt 5-40 m. Ūdens horizontiem raksturīgas labas filtrācijas īpašības, kas ievērojami atkarīgas no rupjgraudainā materiāla satura nogulumos. Filtrācijas koeficienta vērtības ir 0,5-66 m dnn⁻¹, pārsvarā sasniedzot 2-25 m dnn⁻¹. Urbumu debiti ir no 0,1 l s⁻¹ līdz 18 l s⁻¹, vidēji 0,5-7 l s⁻¹, un īpatnējie debiti ir no 0,05 l s⁻¹ līdz 2 l s⁻¹.

Mazāka nozīme ir starpmorēnu un iekšmorēnu horizontiem, kuru izplatība ir salīdzinoši neliela un ko veido dažādas ģenēzes ledāja kušanas ūdeņu, kā arī marīnie nogulumi: Latvijas leduslaikmeta glaciolimnisko nogulumu ūdens horizonts (lgQ₃ltv), Latvijas leduslaikmeta glaciofluviālo nogulumu ūdens horizonts (fQ₃ltv), viduspleistocēna glacioakvālo nogulumu ūdens horizonti (agQ₂kr+ltž), Pulvernieku starpleduslaikmeta marīno nogulumu ūdens horizonts (mQ₂pl), apakšpleistocēna leduslaikmeta glacioakvālo nogulumu ūdens horizonti (agQ₁lg).

Augšpleistocēna un viduspleistocēna glacioakvālo nogulumu pazemes ūdeņu horizonti (agQ₂kr+ltž). Tos veido glaciolimniskie un glaciofluviālie nogulumi starp Latvijas un Kurzemes, kā arī Kurzemes un Lētīžas leduslaikmetu glaciogēnajiem nogulumiem. Horizontus veido smalkgraudaina un dažādgraudaina smilts ar grants piejaukumu, un šo nogulumu biezums ir no 0,2 m līdz 125 m ielejveida iegrauzumos, bet biežāk tas ir 2-15 m. Horizonts pārsvarā satur spiedienūdeņus, ūdens spiediens ir no 2 līdz 130 m virs horizonta virsmas, vidēji 9-20 m virs horizonta virsmas. Atkarībā no zemes virsmas reljefa, horizonta ūdeņi iegūti līdz 47 m dziļumā zem zemes virsmas, galvenokārt, 2-5 m dziļumā, bet reljefa pazeminājumos ūdens līmenis var sasniegt arī 18 m augstumu virs zemes virsmas. Tā kā horizontus veido dažāda granulometriskā sastāva nogulumi, arī filtrācijas koeficienta vērtības plaši svārstās no 0,5 m dnn⁻¹ līdz 18 m dnn⁻¹, bet pārsvarā tās ir 3-10 m dnn⁻¹. Urbumu debiti ir no 0,5 l s⁻¹ līdz 5 l s⁻¹, īpatnējie debiti 0,03-0,7 l s⁻¹.

Viduspleistocēna Pulvernieku starpleduslaikmeta marīno nogulumu ūdens horizonts (mQ₂pl). To veido smalkgraudaina smilts ar aleirīta un grants piejaukumu, un horizonta biezums vidēji ir 2-30 m. Horizonts satur spiedienūdeņus, kas iegūti 1-8 m dziļumā no zemes virsmas, un spiediens var būt no 0,7 m līdz 70 m virs horizonta virsas. Horizonta filtrācijas koeficienta vērtības ir no 1 m dnn⁻¹ līdz 15 m dnn⁻¹, vidēji 1,4-5 m dnn⁻¹. Horizontā ierīkoto urbumu debiti ir 0,1-6,5 l s⁻¹, īpatnējie debiti 1,7 l s⁻¹.

Apakšpleistocēna leduslaikmeta glacioakvālo nogulumu ūdens horizonts (agQ₁lg).

To veido glaciolimniskie un glaciofluviālie nogulumi starp Lētīžas un Latgales morēnas nogulumiem. Horizontus veido smalkgraudaina un dažādgraudaina smilts ar grants piejaukumu, un šo nogulumu biezums ir no 0,5 m līdz 94 m ielejveida iegrauzumos, bet citviet tas ir 5-20 m. Horizonti satur spiedienūdeņus, kas ieguļ no 2 m virs zemes virsmas līdz 30 m zem zemes virsmas, ūdens spiediens ir no 20 līdz 145 m virs horizonta virsmas, biežāk 45-60 m virs horizonta virsmas. Tā kā horizontu veido dažāda granulometriskā sastāva nogulumi, arī filtrācijas koeficienta vērtības var būt no 0,1 m dnn⁻¹ līdz 62 m dnn⁻¹, bet pārsvarā tās ir no 1-5 m dnn⁻¹ līdz 7-20 m dnn⁻¹. Urbumu debiti ir 0,9-6 l s⁻¹, īpatnējie debiti 0,04-0,5 l s⁻¹.

Savukārt, purvu nogulumos esošajiem pazemes ūdeņiem, kā arī atsevišķajām ūdens piesātinātajām lēcām un ieslēgumiem glaciģēnajos nogulumos, kas veido sporādiski izplatītus pazemes ūdeņus, ir tikai pakārtota loma, jo šos ūdeņus saturošajiem nogulumiem ir raksturīgas vājas filtrācijas īpašības (3.3. tab.).

3.3. tabula. Maznozīmīgo kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu slāņu raksturojums (pēc Bichko u.c. 1979)

Horizontu raksturojošie parametri	Purvu nogulumu pazemes ūdeņi (bQ ₄)	Latvijas leduslaikmeta glaciģēno nogulumu sporādiskie pazemes ūdeņi (gQ ₃ ltv)	Viduspleistocēna leduslaikmetu glaciģēno nogulumu sporādiskie pazemes ūdeņi (gQ ₂ kr+ltž)	Apakšpleistocēna leduslaikmeta glaciģēno nogulumu sporādiskie pazemes ūdeņi (gQ ₁ lg)
Horizonta biezums, m	0,5-9 vid. 2-5	0,05-15 pārsv. 0,5-10	pārsv. 2-5	pārsv. 0,5-6
Gruntsūdens līmenis, m no z.v.	0,1-2 pārsvarā 0,2-0,5	no +2 m virs zemes līdz 29 m zem zemes vid. 2-8	no +5 m virs z.v. līdz 10 m no z.v.	0,5-60
Ūdens spiediens, m virs slāņa virsmas	0	0,5-29 vid. 1-5	2-45	2-82
Filtrācijas koeficients, m dnn ⁻¹	0,00002-0,8 domin. 0,007-0,1	0,002-11 galvenokārt 0,5-9	1-5	0,02-19
Urbumu debiti, l s ⁻¹	0,0003-0,3 vid. 0,0003-0,01	0,0001-3 pārsv. 0,2-3	0,02-1,8	0,03-1,4
Urbumu īpatnējie debiti, l s ⁻¹	0,00003-0,1 pārsv. 0,0001-0,01	0,003-0,3	0,005-0,3	vid. 0,02

Glacigēno nogulumu sporādisko ūdens horizontu ļoti vājās filtrācijas īpašības nosaka to ierobežoto izmantošanu ūdensapgādē. Savukārt, purvu nogulumu ūdeņi netiek izmantoti gan to slikto filtrācijas īpašību, gan neatbilstošās ūdens kvalitātes dēļ.

Kopumā, kvartārsegas nogulumu ūdens horizontu filtrācijas īpašības ir ļoti dažādas, bet nozīmīgāko ūdens horizontu filtrācijas īpašības un horizontu biezumi ir salīdzinoši lieli, nodrošinot salīdzinoši lielus urbumu debitus un vidēji lielus kvartārsegas pazemes ūdeņu dabiskos krājumus, tādejādi nosakot šo horizontu piemērotību kā ūdensapgādes avotiem.

Jāatzīmē, ka plašs materiālu klāsts ir pieejams par seklāk iegulošajiem kvartāra nogulumu ūdens horizontiem, bet par dziļāk iegulošajiem, vecākajiem vidus un apakšpleistocēna vecuma iežu veidotajiem ūdens horizontiem pieejamā informācija ir fragmentāra, jo iegūtie rezultāti balstās uz atsevišķu urbumu pētījumu datiem. Līdz ar to, dziļāko kvartāra nogulumu ūdens horizontu, kā arī kvartāra un pirmskvartāra pazemes ūdeņu mijiedarbības pētījumi būtu attīstāmi nākotnē. Tas ļautu iegūt pamatotāku informāciju par dziļāko kvartārsegas pazemes ūdeņu horizontu resursu un ķīmiskā sastāva veidošanos, kā arī spriest par ūdeņu izmantošanas iespējām.

3.4. Kvartārsegas pazemes ūdeņu dabiskā aizsargātība

Visus kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu horizontus pārsvarā papildina atmosfēras nokrišņi, bet svarīga loma ir arī virszemes ūdeņiem (Dzilna 1970). Cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā zemes virspusē un ģeoloģiskā griezuma augšējā daļā nonāk dažādas dabas videi svešas piesārņojošās vielas, kuras ar laiku, līdz ar atmosfēras nokrišņiem ieskalojas pazemes ūdeņos. Tāpēc ļoti aktuāli ir izziņāt kvartāra pazemes ūdeņu dabisko aizsargātību no iespējamā izkliedētā virszemes piesārņojuma. Tas nav vienkārši, jo pētāmi ir daudzi dabas apstākļu un potenciālā piesārņojuma aspekti.

Kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu dabisko aizsargātību nosaka virkne faktoru, kuri ir cieši saistīti ar kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvi un pazemes ūdeņu barošanās apstākļiem. Kā nozīmīgākie aizsargātības vērtējumā tiek izcelti: aerācijas zonas un pirmo pazemes ūdeņu horizontu veidojošo kvartāra nogulumu granulometriskais un minerālais sastāvs un filtrācijas īpašības, gruntsūdens ieguluma dziļums, nokrišņu un noteces daudzumi, kas kopā tiek atspoguļoti kā infiltratīvās barošanās apstākļi, ūdens horizontu drenētība un citi. Mūsdienās, vērtējot kvartāra pazemes ūdeņu dabisko aizsargātību netiek ņemta vērā kādu konkrētu piesārņojošo vielu mijiedarbība ar pazemes ūdeņiem, bet gan

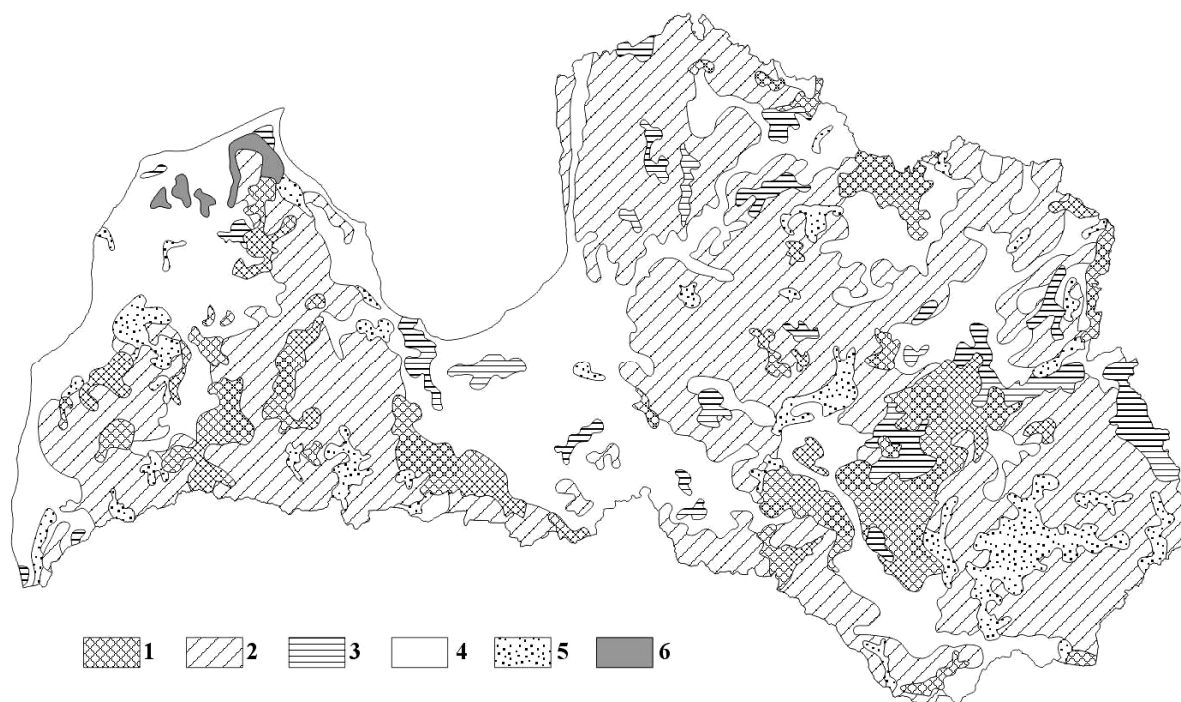
tiek izdalītas teritorijas, kurās piesārņojošās vielas no zemes virsmas var salīdzinoši lēnāk vai ātrāk sasniegt kvartārsegas pazemes ūdeņu horizontus (Vrba, Zaporozec 1994). Šāda pieeja ļauj tās teritorijas, kurās šī infiltrācija ir lēnāka uzskatīt par labāk aizsargātām. Noteikta priekšrocība līdzīgu novērtējumu realizācijā ir plašas iespējas minētos parametrus un uz tiem balstītus aprēķinus atspoguļot ne tikai griezumā, bet vizualizēt arī kartogrāfiski.

Izstrādājot kvartārsegas pazemes ūdeņu aizsargātības karti, tika izvēlētas piecas aizsargātības pakāpes, kuru raksturīgākie parametri ir atspoguļoti sekojošajā 3.4. tabulā.

3.4. tabula. Kvartārsegas pazemes ūdeņu dabiskās aizsargātības kritēriji (Dēliņa, Prols 1998)

Aizsargātības pakāpe	Kvartāra nogulumu	Nogulumu filtrācijas koeficients, $m\ dnn^{-1}$	Gruntsūdens ieguluma dziļums, m	Infiltratīvā barošanās, $mm\ gadā^{-1}$	Drenāžas apstākļi
Ļoti augsta	Glaciolimniskie māli	$< n \times 10^{-6}$	1-2	24 – 34	Slikti
Augsta	Morēnas smilšmāls un mālsmilts	$n \times 10^{-2} - n \times 10^{-5}$	1-5	24 – 85	Vidēji
Vidēja	Kūdra	$n \times 10^{-1} - n \times 10^{-3}$	<1	-45 – -30	Ļoti slikti
Vāja	Smilts	$10 - n \times 10^{-2}$	2-5	38-200	Slikti – vidēji
Ļoti vāja	Smilts, grants oļi	>10	>5	180-340	Vidēji - labi

Aizsargātības karte tika sastādīta konkrētajām vajadzībā pārstrādājot un daļēji pārklājot vairākas esošās kartes, kuras nodrošināja informāciju par izvēlēto kritēriju teritoriālo sadalījumu. Par pamata karti kalpoja kvartāra nogulumu karte, kuras informācija tika koriģēta, izmantojot gruntsūdens ieguluma dziļuma, infiltratīvās barošanās un drenāžas apstākļu kartes. Rezultātā iegūtā kvartārsegas pazemes ūdeņu aizsargātības karte (3.4. att.) ļāva izdalīt teritorijas ar labākiem vai sliktākiem dabiskās aizsargātības rādītājiem.



3.4. att. Kvartārsegas pazemes ūdeņu dabiskās aizsargātības principiālā karte. Ģeneralizēta, izmantojot Dēliņas, Prola (1998) sagatavoto aizsargātības karti M 1:500 000 (Delina 2004).

Apzīmējumi: Aizsargātības pakāpe - 1 – ļoti augsta, 2 – augsta, 3 – vidēja, 4 – vāja, 5 – ļoti vāja. Citas zīmes - 6 – zemes virsmā atsedzas devona nogulumi

Sagatavotās kartes (Dēliņa, Prols 1998) oriģinālais mērogs (1:500 000) un autores sastādītā ģeneralizētā karte ļauj tās patreizēji izmantot tikai vispārīgiem plānošanas mērķiem (Dēliņa 2006c), kā, piemēram, izstrādājot Kuldīgas rajona teritorijas plānojumu (Prols 2000). Detalizētāks novērtējums pašlaik nav iespējams, jo vispirms ir padziļināti jāpēta tādi dabiskās aizsargātības novērtējuma aspekti, kā iežu filtrācijas īpašības, augsnes biežums un īpašības (organisko vielu saturs, māla saturs un mitrums) un pazemes ūdeņu papildināšanās apstākļi, kas plaši tiek pētīti visā pasaulē.

4. KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKAIS SASTĀVS

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu svarīgāko ķīmiskā sastāva īpatnību un ķīmisko sastāvu ietekmējošo parametru izmaiņu analīze pamatojas uz pētījumiem kvartārsegas hidroģeoloģiskā griezuma augšējā daļā. Kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva raksturojums veidots, balstoties uz veikto oriģinālo pētījumu, tāpat tika izmantoti Valsts ģeoloģijas dienesta (VĢD) un Dānijas un Grenlandes ģeoloģijas dienesta (GEUS) kopprojektā „Lauksaimniecības ietekme uz gruntsūdeņiem Latvijā” iegūtie dati (Gosk, Levins 2006), pazemes ūdeņu pamatmonitoringa 2002.-2004. gada novērojumi (Levina, Levins 2003, 2005, Levins 2004) un citu pētījumu rezultāti.

Kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva pētījumi pamatā orientējās uz makrokomponentu novērtējumu, kas patreiz ir pilnīgāk nodrošināts ar mūsdienīgiem analītiskiem pētījumiem. Mikrokomponentu pētījumiem līdzšinēji nav tikusi pievērsta pietiekoša uzmanība (Gosk, Levins 2006). Patreiz noslēgumam tuvojas starptautisks specializēts pētījums, kura rezultāti būs pieejami nākotnē. Pēc autores domām nav lietderīgi analizēt šos pētījumus vai apskatīt tos fragmentāri, jo tie nav pietiekoši izvērtēti, un līdz ar to šajā darbā kvartāra pazemes ūdeņu mikrokomponentu novērtējums skarts tikai vispārinātā formā. Atsevišķi atzīmējami vairāku, vēsturiski tradicionālu kvartāra pazemes ūdeņu īpašību pētījumi, kas mūsdienās tiek realizēti visai ierobežoti. Šīs īpašības ir ūdens krāsa, smarža, garša, gāzu saturs un citas īpašības, kas mūsdienās tiek pētītas nevis pazemes ūdeņiem *in situ*, bet ar visai atšķirīgiem paņēmieniem, atkarībā no to izmantošanas mērķiem. Šo īpašību analīze pārsniegtu dotā darba uzdevumus. Vienlaikus nepieciešams uzsvērt, ka iepriekš minēto un citu īpašību novērojumi un analītiskie pētījumi ir veicami un tie potenciāli var papildināt zināšanas par kvartāra pazemes ūdeņiem, it īpaši, ja to izvirza praktiskās vajadzības.

4.1. Kvartāra pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņas

Pazemes ūdeņu raksturošanai tradicionāli tiek izmantoti ļoti daudzi un dažādi fizikāli ķīmiskie parametri – temperatūra, elektrovadītspēja (EVS), vides reakcija (pH), oksidēšanās un reducēšanās potenciāls (Eh), mineralizācija, izšķīdušo un koloidālo ķīmisko savienojumu, jonu, atsevišķu elementu un gāzu koncentrācijas, dažādi integrālie

rādītāji, piemēram, ķīmiskais skābekļa patēriņš (KSP), bioloģiskais skābekļa patēriņš (BSP), kopējais organiskā oglekļa saturs (TOC), organiskā slāpekļa saturs (TKN), fenolu indekss, kā arī garša, smarža, caurspīdīgums, krāsainība (VVST 2874-82. 1982, VVST 24902-81. 1983). Visiem uzskaitītajiem parametriem ir noteikta loma pazemes ūdeņu īpašību raksturošanā, tomēr no to kopējā klāsta var tikt nošķirti atsevišķi parametri, kuri nozīmīgi raksturo pazemes ūdeņos noritošo procesu intensitāti, un no tiem varētu atzīmēt pazemes ūdeņu fizikāli ķīmiskos parametrus: pH, Eh, temperatūru un elektrovadītspēju, kā arī izšķīdušā skābekļa saturu (Appelo, Postma 2005).

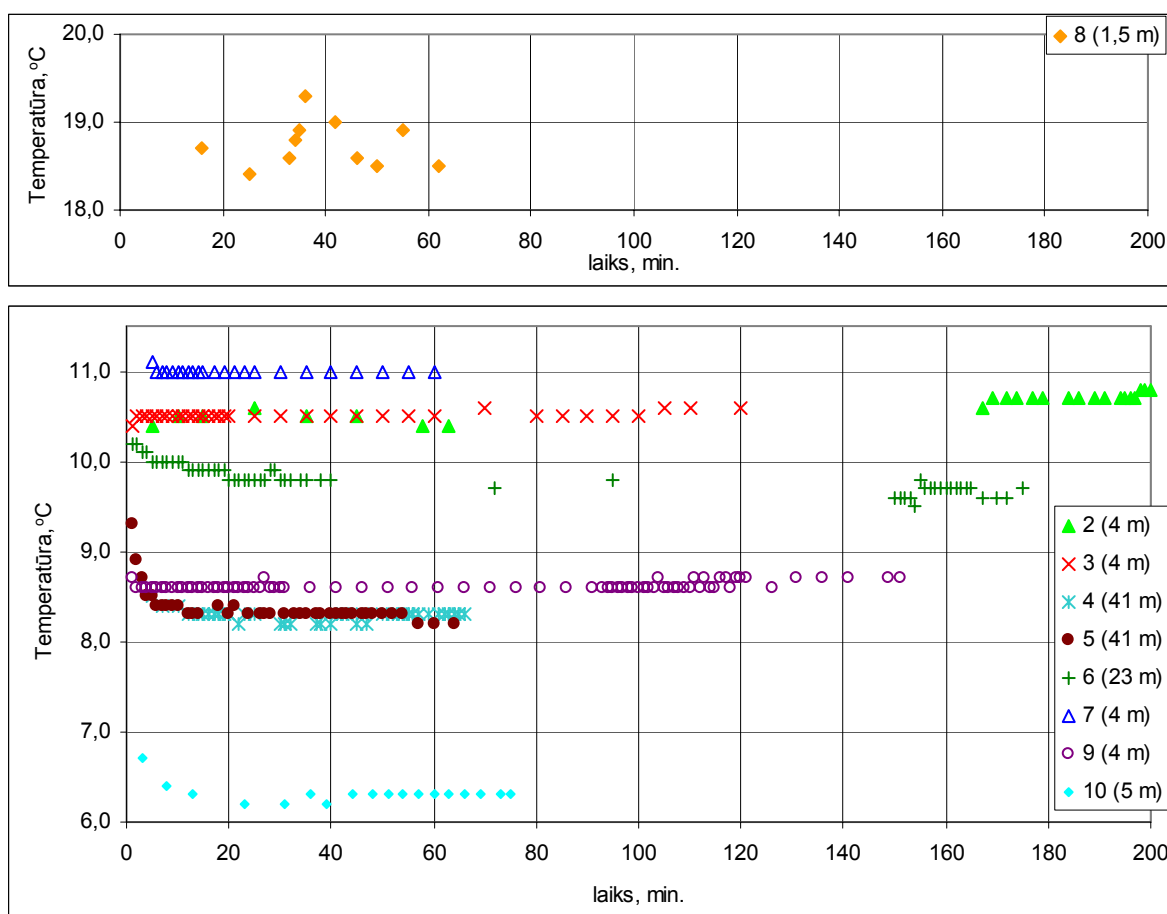
Minētie fizikāli ķīmiskie parametri pazemes ūdeņos mainās salīdzinoši plašās robežās, un šīs maiņas ir nodalāmas kā makroizmaiņas, kas līdzšinēji ir apzinātas (Levins 2004). Tās ir izmaiņas, kas apzinātas plašākā teritorijā vai novērtētas ar visai lielu novērojumu laika intervālu (nedēļas, mēneši). Tajā pašā laikā augstākas detalizācijas pētījumi līdzšinēji ir tikuši veikti tikai atsevišķu eksperimentu veidā, bieži vien piesārņotos pazemes ūdeņos, un gadījumu novērojumos, par kuriem nav saglabājušies pietiekoši pilnīgi dati. Tomēr ir zināms, ka katrā mērījumu punktā ir novērojamas arī minēto parametru izmaiņas daudz niecīgākā amplitūdā (Hart *et al.* 2000), un tās būtu nodalāmas kā mikroizmaiņas, kas dažkārt tiek interpretētas kā tehniskas kļūdas, mērinstrumentu nepilnības, atkāpes no procedūrām un tamlīdzīgi. Novērojumi liecina, ka šādas izmaiņas norāda uz nelielām atšķirībām urbumā pieplūstošajos ūdeņos, kā arī ļauj spriest par pazemes ūdeņu pieplūdi urbumā un attiecīgi izvēlēties reprezentatīvu paraugu noņemšanas brīdi (Appelo, Postma 2005, Hart, Tomlinson *et al.*, 2000). Kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu pētījuma rezultāti ir detalizēti izskatīti šīs apakšnodaļas tālākajās sadaļās.

4.1.1. Temperatūra

Vairumā pētīto urbumu gruntsūdeņu temperatūras režīms (4.1. att.) ir salīdzinoši līdzīgs, un gruntsūdeņu temperatūra svārstās 8-11 °C robežās. Ārkārtas vērtības tika konstatētas tikai vienā urbumā (nr. 8), sasniedzot 18,5-19,5 °C, un minimālās – urbumā nr. 10 (tikai 6-7 °C). Urbumā nr. 8, kur tika konstatēta paaugstināta gruntsūdens temperatūra, ir specifiski gruntsūdens horizonta ieguluma apstākļi. Šeit gruntsūdens līmenis atrodas 0,3 m dziļumā un zemes virspusē atsedzas horizontu veidojošie smilts-grants nogulumu (bez augsnes un zemsedzes). Savukārt, pazeminātā temperatūra

konstatēta teritorijā, kur urbums atsedz smilts starpslāni morēnogulumos un plašā teritorijā zemes virspusē ir pļavu augājs un augsne.

Visos pētītajos urbumos ir raksturīga strauja temperatūras stabilizācija 5-10 minūšu laikā pēc atsūknēšanas sākuma. Ilgstošas sūknēšanas laikā gruntsūdeņu temperatūra praktiski nemainās un svārstību amplitūda ir 0,1-0,2 °C. Svārstību amplitūda palielinās līdz 0,5 °C, ja mainās sūknēšanas debīts. Izņēmums ir ļoti sekli iegulošie gruntsūdeņi ar paaugstināto temperatūru – šajā gadījumā nav vērojama temperatūras stabilizācija, un ūdens temperatūra svārstās 1 °C amplitūdā (4.1. att.). To, visticamāk, nosaka ūdens nevienmērīgā pieplūde urbumā – gan no virsējiem slāņiem, gan no nedaudz dziļākiem. Turklāt, šādos gadījumos ūdens temperatūra ir ievērojami atkarīga no gaisa temperatūras (mērījumi 8. urbumā tika veikti vasarā, gaisa t +24 °C).



4.1. att. Temperatūras izmaiņas gruntsūdeņos sūknēšanas gaitā (autores dati, interpretācija).

Apzīmējumos ar skaitļiem norādīti pētīto urbumu numuri. Urbumu izvietojumu skat. 2.2. att.

Esošie pētījuma rezultāti rāda, ka gruntsūdeņu temperatūra ir maz mainīga un ka gruntsūdeņu temperatūras režīms ir atkarīgs ne tikai no horizonta ieguluma dziļuma, bet arī no aerācijas zonu un gruntsūdens horizontu veidojošiem nogulumiem. Teritorijā, kur aerācijas zonu veido smilts-grants nogulumi un nav zemesdzīves un augsnes, temperatūra ir daudz augstāka un nepastāvīgāka (4.1. att.). Savukārt, teritorijā, kur gruntsūdens iegul morēnas starpslāņos, kur aerācijas zonu veido ne tikai augsne, bet arī morēnas smilšmāls, temperatūra ir zemāka nekā teritorijās, kur aerācijas zonu veido labi filtrējoši, poraini nogulumi (4.1. att.).

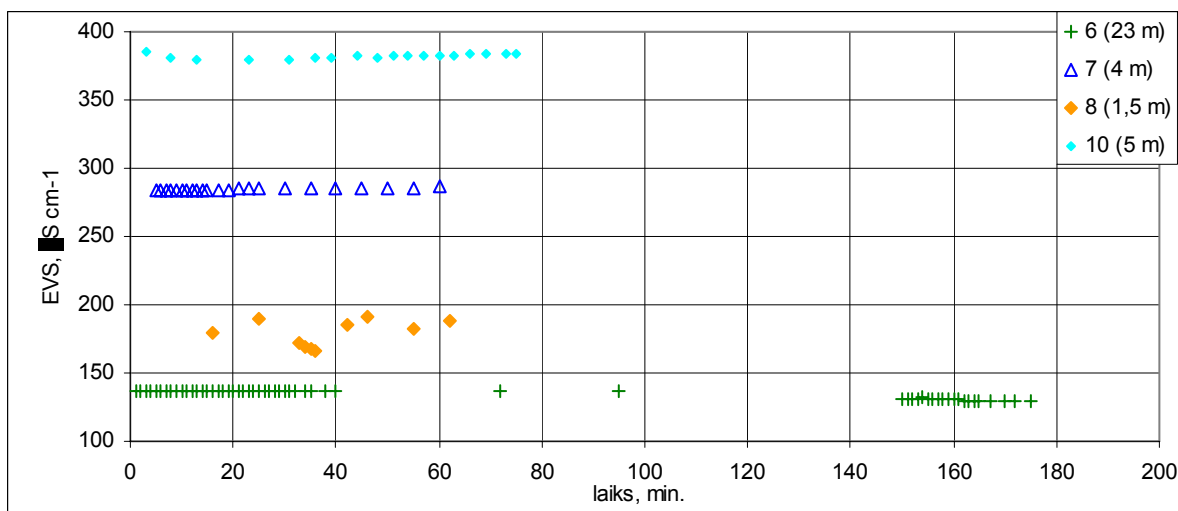
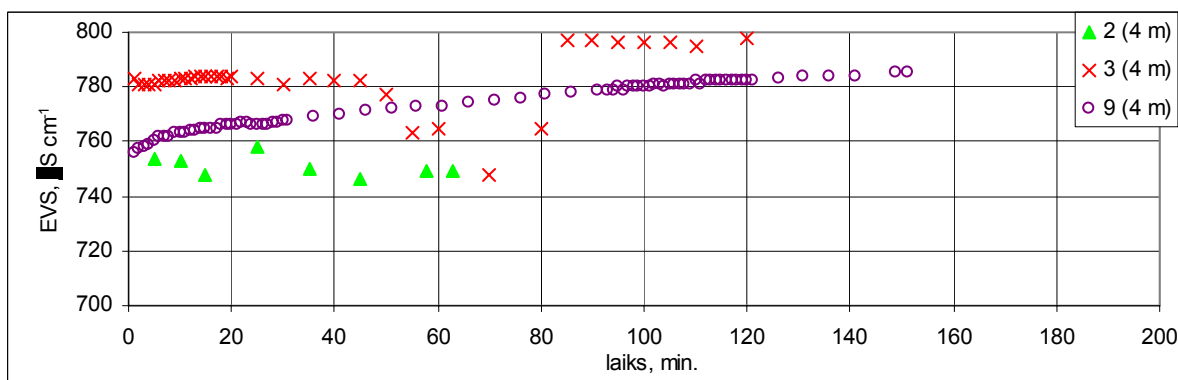
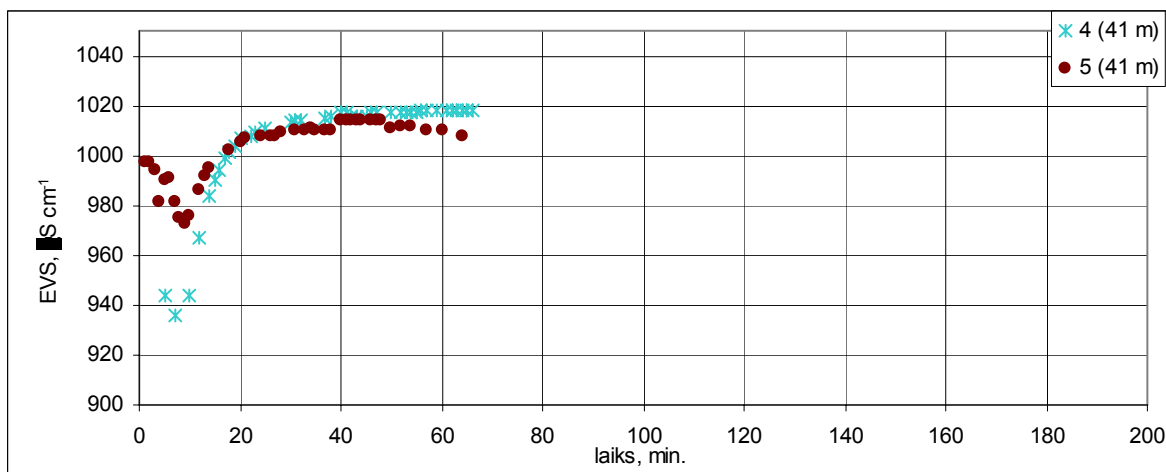
Tā kā gruntsūdeņu temperatūras stabilizācija iestājas ātri (5-10 min.) pēc urbuma atsūkņēšanas sākuma, tās izmantošana paraugošanas procedūras kontrolei ir ierobežota, jo tik īsā laikā reti ir iespējams sasniegt pilnīgu ūdens pieplūdi no slāņa (Hart et. al. 2000). Vienlaicīgi, šis parametrs jūtīgi reaģē uz sūkņēšanas debīta izmaiņām (4.1. att. 8. urb. 38.-43. minūtes, 6. urb. 152.-165. minūtes) un ir vienkārši nosakāms, tāpēc tas, kopā ar citiem parametriem ir izmantojams urbuma atsūkņēšanas gaitas kontrolei.

4.1.2. Elektrovadītspēja

Lai gan pētītajos ūdeņos elektrovadītspējas (EVS) vērtības mainās plašās robežās – no $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ līdz $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (4.2. att.), katrā mērījumu punktā EVS vērtības sūkņēšanas gaitā svārstās nelielā intervālā no $5-10 \mu\text{S cm}^{-1}$ līdz $50-100 \mu\text{S cm}^{-1}$ robežās, vai ne vairāk kā 10% no parametra dominējošās vērtības.

Mazāka EVS vērtību svārstību amplitūda (4.2. att.) ir gruntsūdeņiem ar zemāku elektrovadītspēju (6., 7., 10. urb.), savukārt maksimālā svārstību amplitūda konstatēta gruntsūdeņiem ar augstāko elektrovadītspēju (4., 5. urb.). Gruntsūdeņu elektrovadītspējas vērtības sūkņēšanas gaitā stabilizējas 10-30 minūšu laikā (4.2. att.), turklāt seklākajos urbumos stabilizācija iestājas ātrāk. Turpinot atsūkņēšanu, elektrovadītspējas vērtības nedaudz svārstās, bet šīs svārstības pārsvarā nepārsniedz $10 \mu\text{S/cm}$ un, galvenokārt, ir saistītas ar sūkņēšanas debīta izmaiņām.

Izņēmums ir ļoti sekli iegulošie gruntsūdeņi (8. urb.), kur kvartāra nogulumi atsedzas zemes virspusē. Te elektrovadītspējas vērtības svārstās līdz pat $40 \mu\text{S cm}^{-1}$ amplitūdā, un nav vērojama vērtību stabilizācija (4.2. att.).



4.2. att. Elektrovadītspējas izmaiņas pazemes ūdeņos sūkņēšanas gaitā (autores dati, interpretācija).

Apzīmējumos ar skaitļiem norādīti pētīto urbumu numuri. Urbumu izvietojumu skat. 2.2. att.

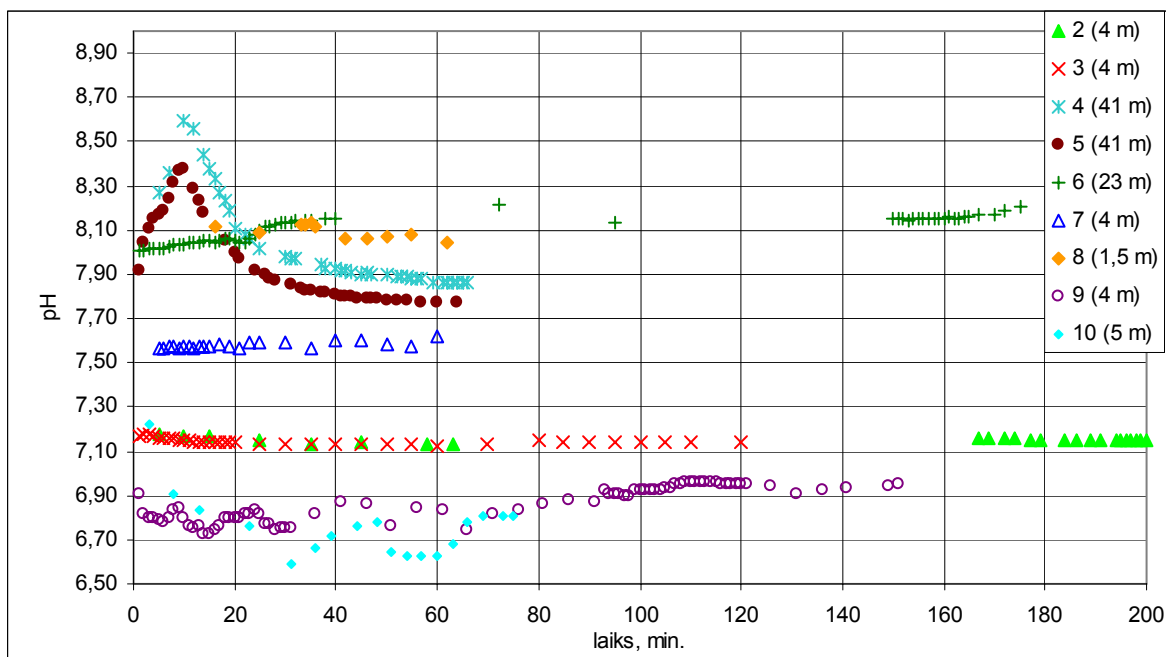
Veiktie pētījumi rāda, ka elektrovadītspējas vērtības vienota ūdens slāņa ietvaros ir maz mainīgas. Lielākas izmaiņas tika novērotas 4. un 5. urbumā, bet tās noteica urbuma lielākais dziļums. Sākotnēji, pirmās 10 minūtes, tika atsūkņēts urbumā stāvējušais ūdens, bet urbuma filtrs vēl nestrādāja. Tikai, kad bija sasniegts zināms ūdens līmeņa

pazeminājums urbumā, sāka strādāt urbuma filtrs un pieplūst ūdens no pētītā ūdens horizonta. Minētais arī izsauca krasās, lielās EVS vērtību izmaiņas atsūknēšanas sākumā.

Elektrovadītspējas vērtību stabilizācija urbumu sūknēšanas gaitā tiek sasniegta 10-25 minūšu laikā, un šajā periodā EVS vērtības var svārstīties pat $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ robežās. Savukārt pēc tam, kad urbumā ir nodrošināta pastāvīga pietece no pētāmā ūdens slāņa, vērtības ir stabilas un maksimālā svārstību amplitūda ir $5-10 \mu\text{S cm}^{-1}$. Lielāka svārstību amplitūda liecina par izmaiņām ūdens pieplūdē urbumā, ko izsauc sūknēšanas debīta izmaiņas. Turklāt, ūdeņiem ar zemākām EVS vērtībām svārstību amplitūda ir mazāka, nekā gruntsūdeņiem ar augstākām EVS vērtībām. Tas norāda, ka pazemes ūdeņiem ar augstākām EVS vērtībām par stabilu ūdeņu pieplūdi no pētāmā slāņa liecinās arī nedaudz mainīgas EVS vērtības $3-5 \mu\text{S cm}^{-1}$. Turklāt, ja ir nepieciešams detalizēti pētīt EVS vērtību svārstības pazemes ūdeņos ar ļoti zemām elektrovadītspējas vērtībām, tad mērījumus, iespējams, ir nepieciešams veikt ar citu elektrodu, kura precizitāte ir augstāka par $1 \mu\text{S cm}^{-1}$.

4.1.3. Ūdens vides reakcija

Pētītajos urbumos gruntsūdeņu pH vērtības ir noteiktas robežās no 6,30 līdz 8,20 vienībām, bet atsevišķā urbumā pH vērtību svārstību amplitūda ir noteikta 0,2-0,8 vienību robežās (4.3. att.). Sūknēšanas gaitā gruntsūdeņu pH vērtības stabilizējas 10-15 minūšu laikā, bet seklākos urbumos ar vienmērīgu ūdens pieteci stabilizācija var iestāties arī 5 minūšu laikā. Pēc pH vērtību stabilizācijas to amplitūda parasti nepārsniedz 0,05-0,1 vienību. Atsevišķos gadījumos nenotiek pilnīga stabilizācija, un pH vērtības svārstās no 0,10 līdz 0,20 vienību robežās. Iegūtie dati liecina, ka parametra stabilizāciju nedaudz ietekmē urbuma dziļums, it īpaši paraugojot dziļākos urbumus, kuros stabilizācija iestājas lēnāk. Arī ļoti seklajā urbumā (nr. 8), kur kvartāra nogulumi atsedzas zemes virspusē, pH vērtības sūknēšanas gaitā ir salīdzinoši stabilas, atšķirībā no temperatūras, EVS vai O_2 rādītājiem (skat. 4.1.1., 4.1.2. un 4.1.5. nodaļas).



4.3. att. Vides reakcijas (pH) izmaiņas pazemes ūdeņos sūkņēšanas gaitā (autores dati, interpretācija).

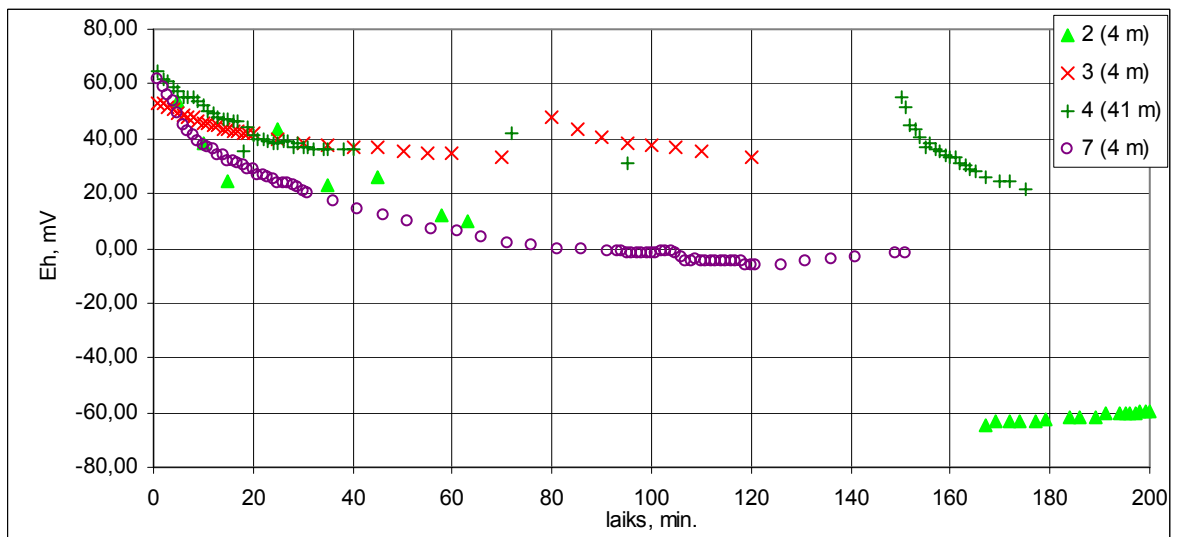
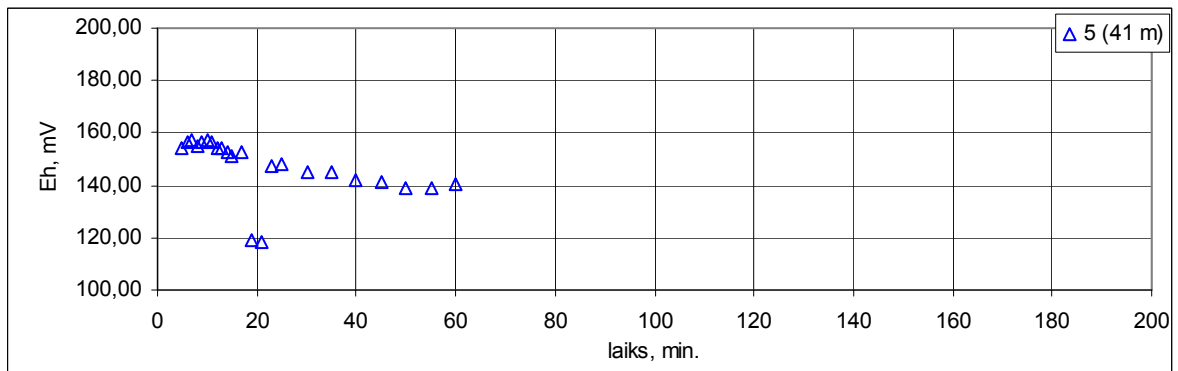
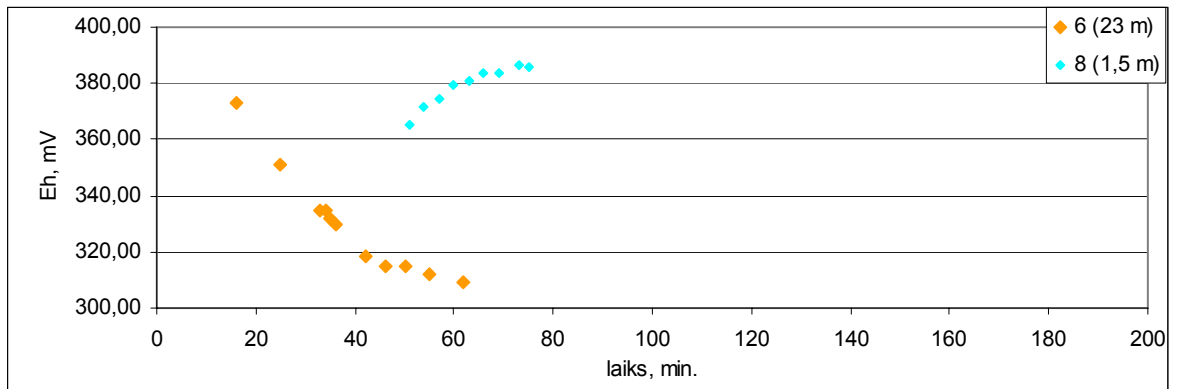
Apzīmējumos ar skaitļiem norādīti pētīto urbumu numuri. Urbumu izvietojumu skat. 2.2. att.

Gruntsūdeņu pH vērtības vienota ūdens slāņa ietvaros ir salīdzinoši stabilas, bet ļoti jūtīgas pret debīta izmaiņām sūkņēšanas gaitā, par ko liecina neviendabīgā līkne 9. un 10. urbumā, kur nebija iespējams nodrošināt pilnīgi nemainīgu sūkņēšanas debītu. Pētījums norāda, ka pH vērtību mērījumi urbumu sūkņēšanas gaitā ļauj precīzi izsekot korektai urbuma paraugošanas procedūrai, kas nepieciešama reprezentatīvu paraugu noņemšanai. Jāatzīmē, ka pH vērtību izmaiņu jūtīgums reaģējot uz sūkņēšanas debītu maiņu neatsaucas uz ūdeņu makrokomponentu sastāva izmaiņām, bet daudz lielāka nozīme tam ir mikrokomponentu sastāva izvērtējumā (Levins, Gosk 2004), kas nav šī pētījuma priekšmets.

4.1.4. Oksidēšanās un reducēšanās potenciāls

Pētītajos urbumos kvartārsegas pazemes ūdeņiem oksidēšanās un reducēšanās potenciāla (Eh) vērtības svārstās ievērojamās robežās: no -60 mV līdz 390 mV (4.4. att.), bet atsevišķos urbumos Eh vērtību svārstību amplitūda ir 20-40 mV. Pētītajam parametram ir raksturīga ļoti lēna stabilizācija, kas nav atkarīga no urbuma dziļuma. To, galvenokārt, ietekmē elektroda īpatnības (lēna reakcija uz vides maiņu) (Yan *et al.* 2000). Zināma

stabilizācija iestājas pēc 30-40 minūtēm, kurai seko ļoti lēnas Eh vērtību maiņas arī turpmākajā sūknēšanas gaitā, ar atsevišķiem gadījuma kāpumiem (4.4. att.).



4.4. att. Oksidēšanās un reducēšanās potenciāla izmaiņas pazemes ūdeņos sūknēšanas gaitā (autorens dati, interpretācija).

Apzīmējumos ar skaitļiem norādīti pētīto urbumu numuri. Urbumu izvietojumu skat. 2.2. att.

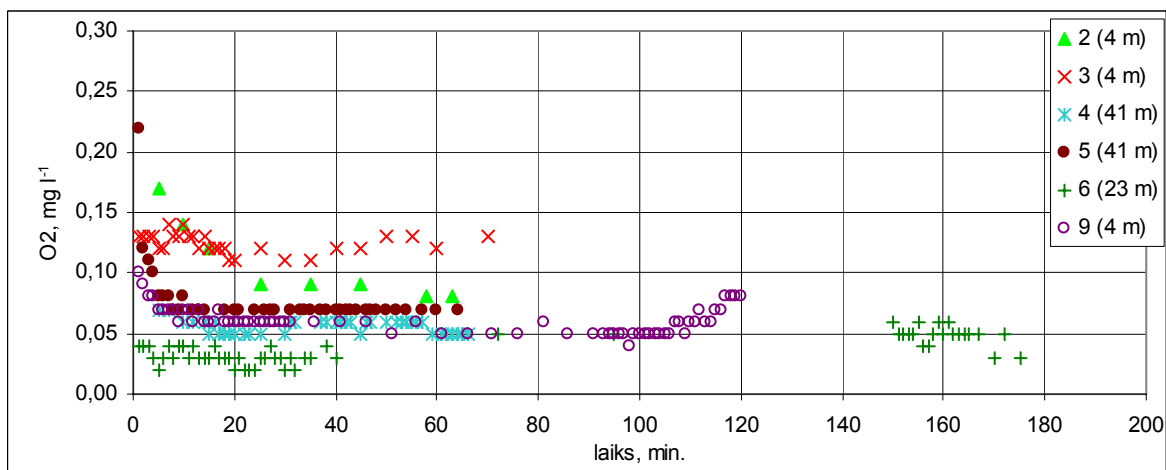
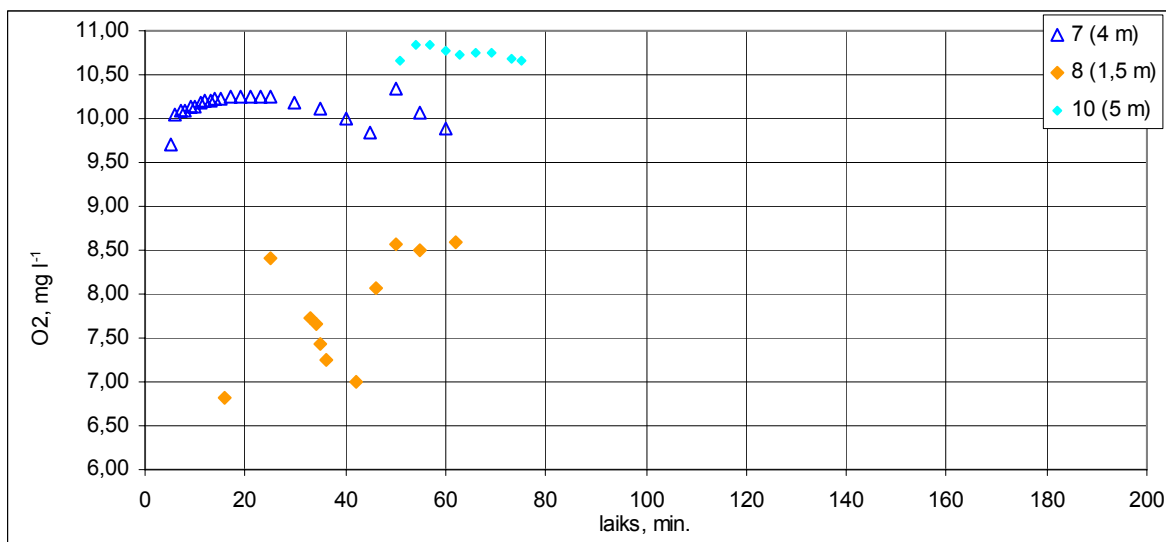
Pētījumā iegūto datu vizualizācija (4.4. att.) rāda, ka nav nozīmīgas atšķirības dažāda dziļuma urbumiem – gan Eh vērtību stabilizācija, gan Eh skaitliskās vērtības ir

tuvas kā sekliem, tā dziļiem urbumiem. Atšķirības Eh vērtībās konstatētas urbumos, kur gruntsūdens horizontu nesedz augājs un augsne (4.4. att., urbumi 6., 7.). Šādās teritorijās gruntsūdeņu, kas ieguļ 2-2,5 m dziļumā no zemes virsmas, oksidēšanās – reducēšanās potenciāls ir ievērojami augstāks – vidēji par 100 mV, kā gruntsūdens horizontos, kur kvartāra nogulumus sedz augsne un augājs, un sasniedz 140-150 mV (4.4. att., 7. urb.). Vēl seklāk iegulošu gruntsūdeņu oksidēšanās – reducēšanās potenciāls ir vēl augstāks – sasniedz 300-310 mV iecirkņos, kur gruntsūdens līmenis ir 0,5-1 m zem zemes virsmas un labi filtrējoši kvartāra nogulumi atsedzas zemes virspusē (4.4. att., urb. 6).

Ilgstošas sūknēšanas pētījumā iegūto mērījumu datu grafiskā analīze (4.4. att.) rāda, ka pazemes ūdeņu oksidēšanās – reducēšanās potenciāla vērtības ir stabilas, ar nelielu vērtību svārstību amplitūdu 5 mV robežās.

4.1.5. Izšķīdušā skābekļa saturs

Pēc pētījumā iegūtajiem izšķīdušā skābekļa satura kvartārsegas pazemes ūdeņos rezultātiem (4.5. att.) var nodalīt divas urbumu grupas – vienu ar augstu izšķīdušā skābekļa saturu (6,5-11 mg l^{-1}) un otru ar salīdzinoši zemu izšķīdušā skābekļa saturu (0,02-0,25 mg l^{-1}). Pirmās grupas urbumi atsedz gruntsūdens horizonta augšējo daļu teritorijās, kur labi filtrējoši smilts un grants nogulumi atsedzas zemes virspusē (tos nesedz augsne un zemsedze), pirmajā grupā ietilpst arī urbums, kas atsedz smilts-grants starpslāni morēnnogulumos (nr. 6., 7. un 10.). Otru grupu veido urbumi, kas atsedz gruntsūdens horizontu dažādā dziļumā, bet šajos iecirkņos virs kvartāra nogulumiem ir augsne un zemsedze. Atsevišķa urbuma sūknēšanas gaitā izšķīdušā skābekļa satura izmaiņu amplitūda ir 1-2 mg l^{-1} robežās pirmās grupas urbumos un 0,05-0,10 mg l^{-1} robežās otrās grupas urbumiem.



4.5. att. Izšķīdušā skābekļa saturs izmaiņas pazemes ūdeņos sūkņēšanas gaitā (autores dati, interpretācija).

Apzīmējumos ar skaitļiem norādīti pētīto urbumu numuri. Urbumu izvietojumu skat. 2.2. att.

Ilgstošās sūkņēšanas grafiki (4.5. att.) norāda, ka šis parametrs ļoti strauji reaģē uz sūkņēšanas debīta izmaiņām – piemēram, urbumā nr. 8, kas atsedz gruntsūdens horizonta augšējo daļu, samazinoties sūkņēšanas debitam, strauji pieaug izšķīdušā skābekļa saturs pazemes ūdeņos (4.5. att.). Līdzīga situācija ir vērojama arī 9. urbumā – sūkņēšanas 110 minūtē tika samazināts sūkņēšanas debīts un izšķīdušā skābekļa saturs paaugstinājās. Tas norāda par ūdens pieplūdes izmaiņām urbumā – ja sūkņējot ar maksimālo debitu ($0,2 \text{ l s}^{-1}$) dominē horizontālā pieplūde no slāņa, tad samazinoties sūkņēšanas debitam ($0,1 \text{ l s}^{-1}$), pastiprinās vertikālā plūsma, un urbumā pieplūst vairāk ūdens no seklākiem, ar skābekli bagātākiem slāņiem.

Nodrošinot konstantus sūknēšanas apstākļus (debits, sūkņa iegremdēšanas dziļums), izšķīdušā skābekļa satura vērtības stabilizējas pēc 10-15 minūtēm, un turpmāk svārstību amplitūda ir neliela – 0,02 mg l^{-1} (4.6. att. – urb. 2., 4., 5.).

Izšķīdušā skābekļa saturs gruntsūdeņos mainās plašās robežās un to būtiski ietekmē aerācijas zonas uzbūve. Tomēr, izņemot pašu augšējo gruntsūdens horizonta daļu, izšķīdušā skābekļa saturs gruntsūdeņos ir stabils, ar nelielu (0,02 mg l^{-1}) svārstību amplitūdu un raksturīgās vērtības koncentrējas 0,02-0,12 mg l^{-1} robežās. Urbumu sūknēšanas gaitā izšķīdušā skābekļa satura vērtības stabilizējas 10-15 minūšu laikā un jūtīgi reaģē uz sūknēšanas debita izmaiņām, kā rezultātā izšķīdušā skābekļa saturs pieaug (4.5. att.).

4.1.6. Fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu pētījumu galvenie rezultāti

Veiktā pētījuma ietvaros sastādītās pazemes ūdeņu svarīgāko fizikāli ķīmisko parametru izmaiņu līknes laikā norāda, ka šo parametru vērtību mikroizmaiņas atsūknētajā ūdenī no gruntsūdens horizonta pārsvarā ir maznozīmīgas, un kvartārsegas pazemes ūdeņu pētīto fizikāli ķīmisko parametru vērtības viena ūdens horizonta ietvaros ir stabilas.

Gruntsūdens horizontā ir vērojama pazemes ūdeņu vertikālā noslāņošanās, kas vislabāk ir konstatējama pēc izšķīdušā skābekļa satura mērījumiem, kā arī oksidēšanās – reducēšanās potenciāla mērījumiem (Dēliņa 2006b). Gruntsūdens horizonta augšējā daļā, kuras biezums ir 1-2 m, ūdeņi ir daudz bagātāki ar izšķīdušo skābekli, jo te notiek intensīvākā to papildināšanās ar infiltrācijas ūdeņiem. Dziļāk šie augšējie ūdeņi sajaucas ar gruntsūdens reģionālo plūsmu, un šeit noslāņošanās nav konstatējama. Šo secinājumu apstiprina arī citu autoru veiktie pētījumi (Appelo, Postma 2005).

Pētījums norāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu bagātināšanos ar skābekli būtiski ietekmē aerācijas zonas uzbūve un augsnes un augāja klātbūtne. Teritorijās, kur kvartāra nogulumi atsedzas zemes virspusē un tos veido labi filtrējoši nogulumi, pazemes ūdeņi ir ļoti bagāti ar skābekli, bet augsne un augājs līdz 10 reizēm samazina pazemes ūdeņu bagātināšanos ar skābekli (4.5. att.).

No veiktās analīzes izriet arī vairāki blakus secinājumi. Tā, reprezentatīvu paraugu noņemšanai maza diametra urbumi (50 mm) ar nelielas jaudas (0,2 $l\ s^{-1}$) iegremdējamo sūkni ir jāatsūknē 15-20 minūtes, nodrošinot vienmērīgu ūdens pieteci urbumā. Turklāt, ir jānodrošina vismaz divreizēja ūdens apmaiņa urbuma stobrā, lai parauga noņemšanai tiku izmantots urbumā svaigi ieplūdušais ūdens, bet nevis urbuma stobrā stāvējušais ūdens.

Urbuma atsūknēšanas debitam ir jābūt sabalansētam ar urbuma konstrukciju (diametru un dziļumu), lai relatīvi īsā laikā (5-10 min.) tiktu nodrošināta urbumā stāvējušā ūdens nomaiņa ar svaigu, no slāņa pieplūstošu ūdeni. Nav rekomendējamas atsūknēšanas debita krasas izmaiņas, jo tas apgrūtina atsūknētā ūdens daudzuma noteikšanu un ietekmē ūdens pieplūdes raksturu urbuma filtra daļai. Dziļākos urbumos (30-40 m), ievērojot minētos nosacījumus (sūknis, diametri, filtra konstrukcijas), ir nepieciešams ilgāks sūknēšanas laiks (līdz pat 30-40 minūtēm). Kwartāra pazemes ūdeņu horizontos ar atšķirīgu pazemes ūdeņu pieplūdi (lielāku vai mazāku) un cita dziļuma urbumos minētie minimālie sūknēšanas laiki var atšķirties.

Iepriekšēji raksturotie autores veiktie eksperimentālie pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru pētījumi un iegūtie rezultāti (4.1.1. – 4.1.5. nodaļas) ļāva izvēlēties kritērijus datu atlasei turpmākajam pētījumam un datu bāzes sastādīšanai.

Kwartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu pētījumi ļauj novērtēt dažādas ārējās ietekmes un nodalīt tās no dabiskām parametru vērtību mikrosvārstībām, t.i., novērtēt to amplitūdu, kā arī laiku, kas nepieciešams, lai tās varētu diagnosticēt jeb atpazīt. Metodiski tam ir divi svarīgi aspekti:

- tiek noteikts minimālais laiks, kas nepieciešams, lai tehniski korekti veiktu pazemes ūdeņu pētījumus *in situ*,
- tiek noteikts, kādas ir robežas tradicionāli nosakāmo parametru mikrosvārstībām atsūknētajā ūdenī.

Pirmais aspekts ļāva izvēlēties optimālo *in situ* mērījumu veikšanas laiku (ilgumu) turpmākiem pētījumiem. Savukārt, otrs norāda uz noteiktas precizitātes mērinstrumentu nepieciešamību pētījumu veikšanai, kā arī ļauj rūpīgāk un kritiskāk vērtēt iepriekšējos gados iegūtos datus.

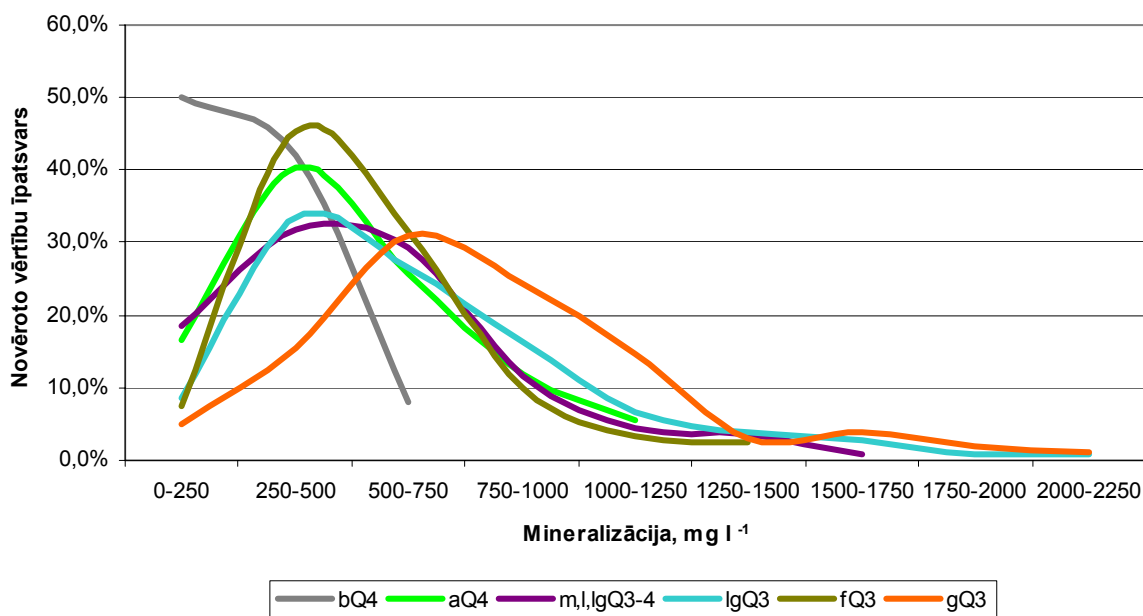
4.2. Ķīmiskā sastāva vispārīgs raksturojums

Kwartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs ar dažādu detalitāti Latvijā tiek pētīts vairāk kā simts gadus, un laika gaitā mainījās gan pētītie parametri, gan pētījumos izmantotās metodes un pētījumu precizitāte. Ja sākotnēji tika pētīti specifiski savienojumi un daži makrokomponenti, tad turpmākajos pētījumos pieauga nosakāmo makrokomponentu skaits, tika ieviesti jauni parametru kontroles paņēmieni, paaugstinājās organisko vielu un mikroelementu pētījumu un fizikālo īpašību noteikšanas precizitāte

(Stradiņš 1980). To ietekmēja pazemes ūdeņu pētījumu metožu attīstība pasaulē (Narasimhan 2005, Appelo, Postma 2005).

4.2.1. Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs

Latvijā agrāk veiktie pētījumi (Bīmanis 1938, Dzilna 1970, Bichko u.c. 1979, Levins u.c. 1998) norāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņiem, kas veidojas infiltrējoties atmosfēras nokrišņiem, ir raksturīga maza mineralizācija un salīdzinoši viendabīgs sastāvs. Izņēmums ir purvu nogulumu pazemes ūdeņi. Agrāko pētījumu rezultāti tika analizēti, izmantojot I. Dzilas (1970) materiālus, tos papildinot ar šī pētījuma datiem (4.6. att).



4.6. att. Dažādas ģenēzes kvartāra nogulumu gruntsūdeņu mineralizācijas pakāpe (autores interpretācija, izmantojot Dzilna 1970)

Apzīmējumi: bQ₄ – purva nogulumu ūdeņi, aQ₄ – aluviālo nogulumu ūdeņi, m, l, lgQ_{3,4} – marīno, limnisko un Baltijas ledus ezera nogulumu ūdeņi, lgQ₃ – glaciolimnisko nogulumu ūdeņi, fQ₃ – glaciofluviālo nogulumu ūdeņi, gQ₃ – morēnnogulumu ūdeņi.

4.6. attēls parāda, ka kvartāra nogulumu gruntsūdeņos dominējoša ir mineralizācija 0,3-0,6 g l⁻¹ robežās, un tā ir visai maz atkarīga no kvartāra nogulumu ģenētiskā tipa, izņemot purva nogulumu ūdeņus, kuru mineralizācija parasti nepārsniedz 100-150 mg l⁻¹. Jaunākie pētījumi (Levina 2000, 2001, 2002, Levins 2004, Levina, Levins 2005) apstiprina iepriekš minētās pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva likumsakarības, izņemot spiedienūdeņu atslodzes zonas un piesārņotās teritorijas, kurās pazemes ūdeņu sastāvs nozīmīgi atšķiras

un kuru vairākkārtīgos pētījumos (Levins 2004, Krugļik 1989) ir gūts apstiprinājums šo teritoriju pazemes ūdeņu savdabībai. Tādas teritorijas ir plānā ierobežoti atsevišķi anomāliju iecirkņi, piemēram, Gaujas lejtecē, kur notiek dziļo, stipri mineralizēto pazemes ūdeņu injekcija kvartāra pazemes ūdeņos (Krugļik 1989), vai jūras piekrastē, kur atsevišķos rajonos novērojama jūras ūdeņu intrūzija (Tolstovs 1994, Levina 2003), kā arī teritorijās, kur veidojas specifiski hidroģeoķīmiskie apstākļi – piemēram, Kolkā un Carnikavā, kur Litorīnas jūras nogulumos esošo organisko vielu sadalīšanās rezultātā kvartāra pazemes ūdeņos ir paaugstināts amonija un kopējās dzelzs saturs (Krugļik 1989, Dēliņa 2002). Zināmas un literatūrā daudzkārt aprakstītas ir pazemes ūdens sastāva anomālijas arī Ķemeru, Baldones un Sauriešu apkārtnē, kur kvartārsegas pazemes ūdeņos norisinās sulfīdu ūdeņu atslodze (Dzilna 1970, Levina u.c. 1998, Levins u.c. 1998, Levina, Levins 1999, 2003, 2004, Prols, Prole 1989).

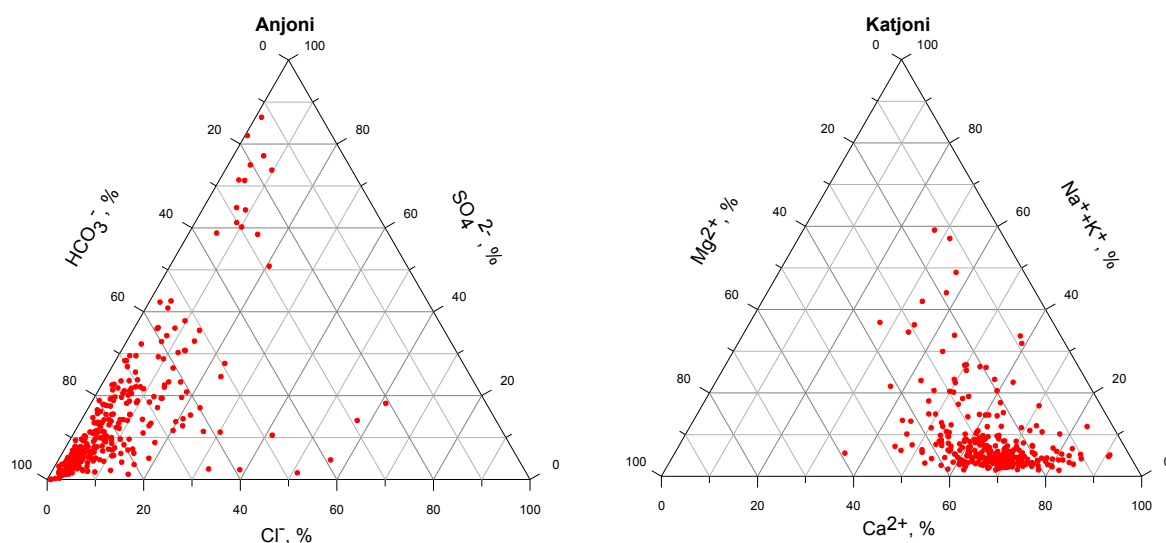
Pašreizējās zināšanas par kvartārsegas nogulumu pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmisko sastāvu, galvenokārt, balstās uz agrāk veikto pētījumu datiem, un ir nepieciešams to izvērtējums mūsdienīgā skatījumā, ņemot vērā pēdējos gados veikto pētījumu rezultātus, kuru atšķirība ir ķīmisko analīžu ļoti augstajā precizitātē, kā arī strauji mainīgo fizikāli ķīmisko parametru noteikšanā *in situ*.

4.2.1.1. Makrokomponentu saturs kvartāra pazemes ūdeņos

Agrāk veikto pētījumu rezultātu izvērtējums, balstoties uz mūsdienīgiem, pēdējos gados veiktiem pētījumiem, tika veikts analizējot kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmisko sastāvu raksturojošos datus. Iepriekšējie pētījumi rādīja, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāvs ir ļoti līdzīgs, un tāpēc tika pārbaudīts vai pēdējo gadu pētījumu dati šo sakarību apstiprinās. Pārbaude tika veikta visam datu bāzē iekļautajam datu kopai (297 pētījumu vietas), nešķirojot tos pēc kādām pazīmēm. Pārbaudei tika izmantota grafiskās analīzes metode.

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu satura sadalījuma grafiskajai analīzei tika sastādītas vienādmalu trijstūra diagrammas (4.7. att.), kas ir tradicionāls ūdeņu ķīmiskā sastāva atainošanas veids (Yansons u.c. 1965, 1967, 1971, Goovaerts 1997, Afzal, Ahmad *et al.* 2000) un ļauj atspoguļot dominējošās īpašības un raksturīgās vērtības vienlaicīgi vairākos ķīmiskā sastāva aspektos. Diagrammas ir sastādītas, izmantojot autores izveidotās datu bāzes datus. Tajā iekļautajām pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva makrokomponentu vērtībām (mg l^{-1}) tika aprēķinātas to ekvivalentu (mg -

ekv l^{-1}) un ekvivalentprocentu (ekv-%) vērtības pēc metodikas, kas aprakstīta vairākos darbos (Wang, Ma et al. 2001, Appelo, Postma 2005). Atsevišķās diagrammās ir atliktas anjonu (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) un katjonu (Ca^{2+} , Mg^{2+} un $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) vērtības ekv-%. Na un K jonu saturs tiek analizēts kā summa, jo līdz 1990. gadu vidum Na^+ un K^+ jonu saturs parasti tika noteikts kā starpība starp anjonu un katjonu summu (visi dati, kas iegūti laika posmā līdz 1993. gadam Ģeoloģijas pārvaldes Centrālajā laboratorijā), turklāt Na^+ un K^+ jonu summāra atainošana makrokomponentu analīzē ir tradicionāla pieeja pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva zinātniskos pētījumos (Appelo, Postma 2005).



4.7. att. Makrokomponentu saturs kvartāra nogulumu pazemes ūdeņos Latvijā, autores interpretācija

• - pētījumu punkti

Grafiki (4.7. att.) raksturo makrokomponentu sadalījumu Latvijas kvartāra nogulumu pazemes ūdeņos un norāda uz vispārīgām to sastāva likumsakarībām. Tā, no anjoniem pazemes ūdeņos izteikti dominē hidrogēnkarbonāti un tikai nedaudzos paraugos – sulfātjoni, bet vēl retāk – hlorīdjoni. No katjoniem dominē kalcija un magnija joni, un tikai nedaudzos paraugos ir paaugstināts nātrijs un kālija jonu saturs.

Iegūtie dati un to vizualizācija (4.7. att.) parāda, ka Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņos dominē Ca-Mg- HCO_3 , vietumis sastopami arī Ca-Mg- SO_4 , bet tikai retos paraugos konstatēti Na-Cl tipa ūdeņi. Abi pēdējie, kā jau minēts iepriekš, raksturīgi anomāliju iecirkņiem. Iegūtie rezultāti apstiprina iepriekšējo pētījumu rezultātus (Yansons u.c. 1965, 1967, 1971), tomēr ir svarīgi, ka šis apstiprinājums ir iegūts ar mūsdienīgiem, augstas precizitātes mērījumiem laboratorijā, ko papildina strauji mainīgo fizikāli ķīmisko parametru kontrole *in situ* (Levins 2004, Gosk, Levins 2006, Dēliņa 2004, 2006). Līdz ar

to, ir svarīgi atzīmēt agrāko pētījumu analītisko datu izmantošanas iespējamību pazemes ūdens ķīmiskā sastāva vispārīgā novērtējumā makrokomponentu līmenī. Tomēr jāņem vērā, ka šis secinājums ir attiecināms tikai uz agrākajos gados veiktajiem augstas kvalitātes pētījumiem.

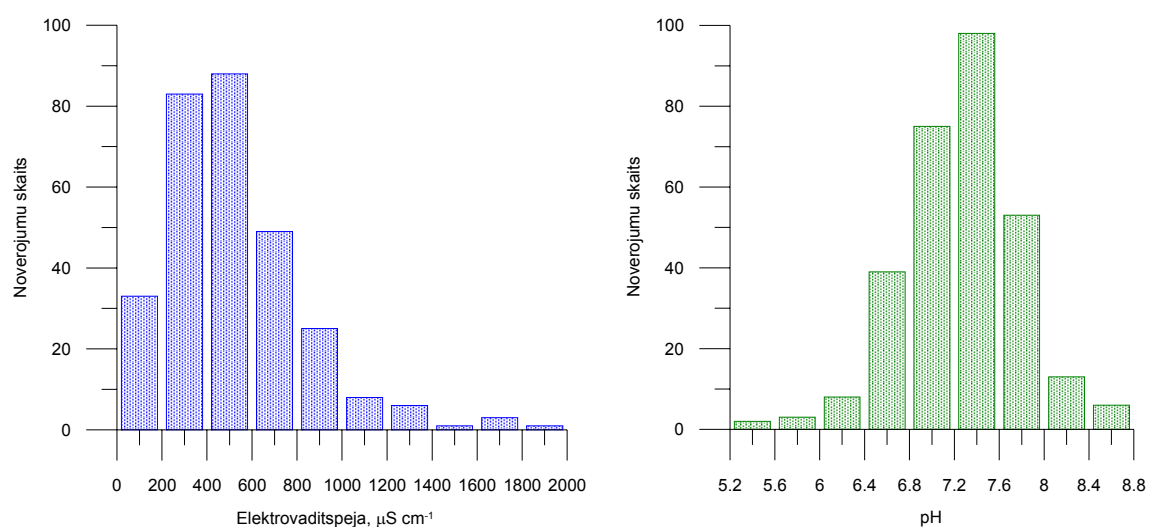
4.2.1.2. Kvartārsegas pazemes ūdeņu raksturīgākie fizikāli ķīmiskie parametri

Elementu un jonu stāvokli jebkurā ūdens vidē, kā atzīmē R.M. Garrels un Č.M. Kraists (Garrels, Krajst 1968) un C.A.J. Appelo un D. Postma (Appelo, Postma 2005), raksturo vides reakcija (pH) un oksidēšanās un reducēšanās apstākļi (Eh), bet disociēto neorganisko un organisko vielu saturu parāda ūdens elektrovadītspēja (EVS). Jāatzīmē, ka agrākajos pētījumos pārsvarā tika noteikta pazemes ūdeņu mineralizācija, nevis elektrovadītspēja (Aleksans u.c. 1991, Bichko u.c. 1979), tāpēc agrākos gados veikto pētījumu dati par kvartārsegas pazemes ūdeņu EVS vērtībām ir ierobežoti. Tomēr, ūdens elektrovadītspēja salīdzinot ar ūdens mineralizāciju (it īpaši, ja noteikts ir tikai makrokomponentu sastāvs), precīzāk raksturo izšķīdušo neorganisko un organisko vielu summāro saturu ūdenī (Garrels, Krajst 1968).

Agrāk veiktie pētījumi liecina, ka kvartāra pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību diapazons ir salīdzinoši plašs, bet dominējošās vērtības raksturo kvartārsegas pazemes ūdeņus kā tuvus neitrāliem (pH no 6 līdz 8), ar vidēji lielām elektrovadītspējas vērtībām no $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ līdz $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$, izņemot purva nogulumu ūdeņus, kuriem dabiski raksturīgas zemas pH un EVS vērtības (Prols, Prole 1989). Turklāt, šajos ūdeņos organisko vielu saturs nereti ir salīdzināms vai ir pat lielāks kā neorganisko vielu daudzums, ko nosaka no kūdras izskalošanās fulvoskābes, humīnskābes un citas organiskās vielas (Prols, Prole 1989). Ņemot vērā purva nogulumu ūdeņu izteiktās īpatnības un nogulumu vājo ūdens atdevi (Aleksans u.c. 1991, 1988), kas tos būtiski atšķir no citiem kvartāra nogulumu pazemes ūdeņiem, purva nogulumu ūdeņi šajā darbā nav analizēti.

Minētie agrāko gadu pētījumu pH dati vairumā gadījumu ir iegūti, nosakot šos fizikāli ķīmiskos parametrus jau paņemtā ūdens paraugā laboratorijā, mainītos vides apstākļos. Savukārt, pēdējos desmit gados veiktie kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko īpašību pētījumi (Gosk, Levins 2006,) no agrāko gadu pētījumiem būtiski atšķiras ar to, ka mūsdienīgajos pētījumos minētie parametri pārsvarā tiek noteikti *in situ*, nepastarpināti parauga noņemšanas brīdī, izmantojot augstas precizitātes mēraparatūru.

Lai novērtētu raksturīgākās fizikāli ķīmisko parametru vērtības, tika analizēts pH un EVS vērtību diapazons kvartārsegas pazemes ūdeņos, izmantojot autores un citu pētnieku pēdējos desmit gados veikto pētījumu datus. Promocijas darba pētījumam tika atlasīti tikai tie jaunāko pētījumu dati, kas iegūti, nosakot kvartāra pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru vērtības nepastarpināti lauka apstākļos *in situ*. Kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību diapazona izvērtēšanai tika veikta datu grafiskā analīze, sastādot fizikāli ķīmisko parametru vērtību sadalījuma histogrammas (4.8. att.) pēc datu bāzē iekļauto analītisko pētījumu rezultātiem.



4.8. att. Kvartāra pazemes ūdeņu svarīgāko fizikāli ķīmisko parametru vērtību histogrammas

Mērījumu punktu skaits 297. Pēc autores, Gosk, Levins 2006 un Levins 2004, Levina, Levins 2005 datiem.

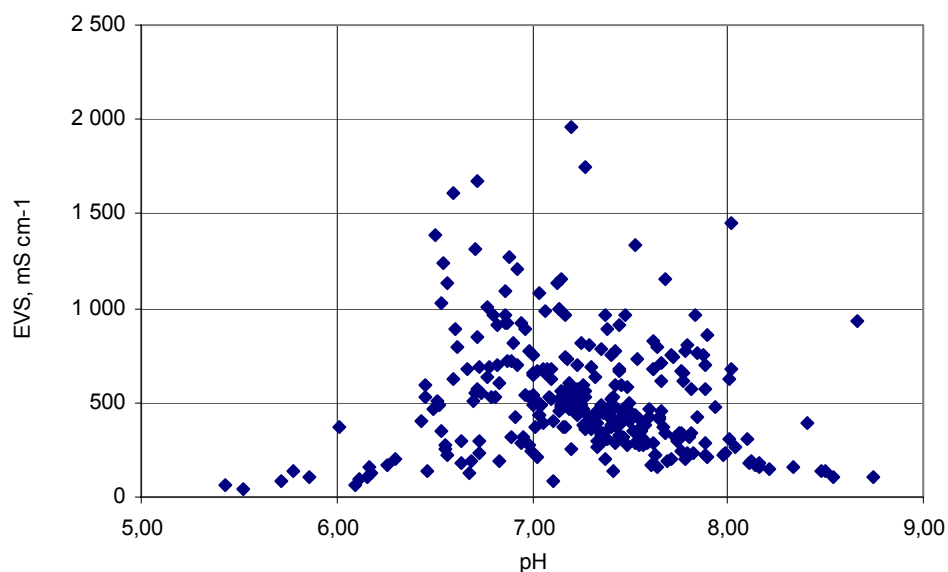
EVS vērtību sadalījuma grafiskai attēlošanai izvēlēts solis $200 \mu\text{S cm}^{-1}$ un pH vērtību sadalījumam – solis 0,4 vienības, kas ļauj pietiekami detalizēti analizēt vērtību sadalījumu un, vienlaikus, pārlietu nesadrumstalo rezultātus to interpretācijai. Uz vertikālās ass tika atlikts punktu skaits, kuros ir novērotas konkrētajam parametra diapazonam atbilstošās vērtības. Iegūtie EVS un pH vērtību sadalījuma rezultāti (4.8. attēls) dabiska ķīmiskā sastāva Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņos liecina, ka:

- kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas vērtības svārstās robežās no 30 līdz $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$,
- dominējošās vērtības ir no 200 līdz $600 \mu\text{S cm}^{-1}$ (~60% no visiem zināmajiem atbilstošas kvalitātes mērījumiem),

- salīdzinoši daudz punktos EVS vērtības konstatētas no 600 līdz 800 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (~17%), bet 8% novērojumu punktu EVS vērtības ir 800-1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$,
- atsevišķos novērojumu punktos ir konstatētas paaugstinātas EVS vērtības, kas sasniedz 1000-2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, bet šādu vietu īpatsvars nepārsniedz 5% no kopējā novērojumu punktu skaita un ir interpretējams kā ūdeņu ķīmiskā sastāva lokālas anomālijas,
- neliela daļa kvartārsegas pazemes ūdeņu (~10% visu mērījumu) ir ar ļoti zemu EVS, kas nepārsniedz 200 $\mu\text{S cm}^{-1}$, kas var tikt skaidrots ar novērojumu punktu izvietojumu pazemes ūdeņu intensīvas papildināšanās vietās ar plānu augsnes segu,
- pazemes ūdeņu pH vērtības mainās no 5,2 līdz 8,8 vienībām, bet dominējošās vērtības ir 6,8-7,6 vienības (~60% mērījumu), kas atbilst vāji skābiem, neitrāliem un vāji bāziskiem ūdeņiem,
- nedaudz pazeminātas pH vērtības (6,4-6,8) un nedaudz paaugstinātas pH vērtības (7,6-8,0) ir konstatētas salīdzinoši daudzās novērojumu vietās – attiecīgi apmēram 13% un 18% novērojumu,
- dažās novērojumu vietās fiksētas zemas pH vērtības (5,2-6,4), bet to īpatsvars nepārsniedz 3-4%, bet paaugstinātas pH vērtības (8,0-8,8) konstatētas apmēram 6% novērojumu punktu, kas liecina par lokālām kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva atšķirībām.

Ūdeņos notiekošos procesus un to dažādību ir pieņemts raksturot, izmantojot ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru attiecības (Garrels, Krajst 1968, Drever 1997), piemēram, pH un EVS, pH un Eh, Eh un izšķīdušā skābekļa saturs, un izmantojot dažādus korelācijas koeficientus un grafiskās metodes (Goovaerts 1997).

Lai pārbaudītu kvartārsegas pazemes ūdeņu vides reakcijas (pH) un elektrovadītspējas savstarpējo saistību, tika izvērtēti visi datu bāzē iekļautie mērījumi, neveicot to iepriekšēju grupēšanu pēc kādas papildus pazīmes. Veiktie aprēķini un to vizualizācija (4.9. att.) norāda, ka starp abiem šiem parametriem nav savstarpējas saistības.

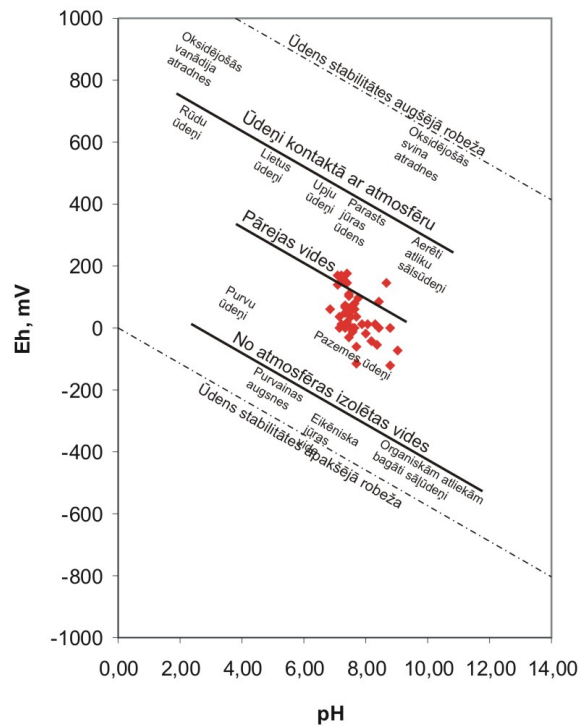


4.9. att. Kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību savstarpējā saistība.

Mērījumu punktu skaits 297. Pēc autore, Gosk, Levins 2006 un Levins 2004, Levina, Levins 2005 datiem.

Grafikā (4.9. att.) redzams, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu raksturīgākās pH vērtības koncentrējas no 7,0 līdz 7,8 vienībām, bet vairums vērtību konstatētas robežās no 6,0-8,2 vienībām. Savukārt, EVS vērtības koncentrējas no 200-600 $\mu\text{S cm}^{-1}$ un vairums vērtību ir konstatētas robežās no 100 līdz 1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Tādējādi ir konstatējama viena skaitļu kopa, kurai ir vērojama dispersija. Tas norāda, ka abi pētītie parametri nav tieši saistīti, bet ir novērojama parametru mijiedarbība, ko nosaka ūdenī izšķīdušās ogļskābās gāzes un hidroģēnkarbonātu jonu daudzums (Krajnov, Shvets 1987).

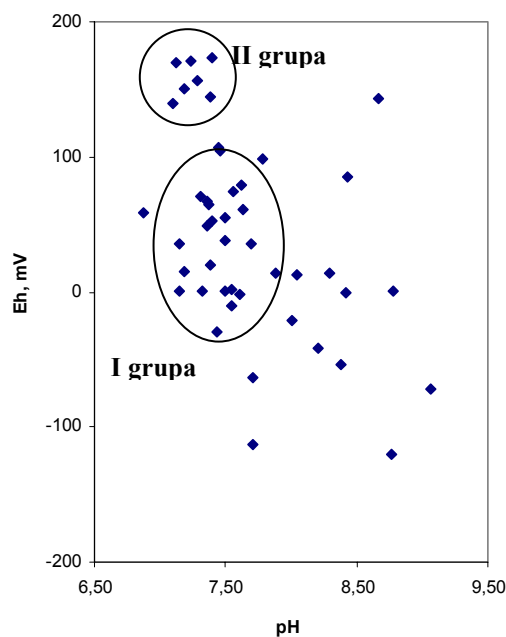
Dabas ūdeņu pH-Eh parametru saistība ir zināma un ir ļoti detalizēti pētīta. Tās apkopojosu analīzi ir veicis R.M. Garrels un Č.M. Kraists (Garrels, Kraist 1968), un šī analīze rāda dažādām ūdens vidēm raksturīgās pH un Eh vērtības (4.10. att.). Analizējot Latvijā veikto autore novērojumu rezultātu vietu šajā saistību sistēmā (4.10. att., sārtie punkti), redzams, ka kvartārsegas pazemes ūdeņi pēc to īpašībām atbilst pārejas tipa videi, kurai raksturīga daļēja sasaiste ar atmosfēru.



4.10. att. Latvijas kvartāsegas pazemes ūdeņu novietojums dabas vides ūdeņu pH-Eh diagrammā. Pēc Garrels, Krajst 1968 un pazemes ūdens monitoringa datiem Latvijā (Levina, Levins 2005).

- pētījumu punkti.

Latvijas kvartāsegas pazemes ūdeņu novērojumu punkti pH-Eh diagrammā ir izvietoti salīdzinoši kompakti, ar nelielu izkliedi pie augstākām pH un zemākām Eh vērtībām. Tas norāda uz varbūtēju vairāku procesu ietekmi uz pH un Eh vērtībām un to savstarpējo saistību, kas būtu pētāma nākotnē. Tāpēc papildus tika veikta detalizēta Latvijas kvartāsegas pazemes ūdeņu pH-Eh saistības analīze, lai noteiktu vai to ietekmē vieni un tie paši procesi. Analīzē tika izmantoti datu bāzē iekļautie mērījumu dati, un tika sastādīts detalizēts pH-Eh vērtību grafiks (4.11. att.).



4.11. att. Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu pH-Eh vērtību diagramma.

Detalizētāka Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu pH-Eh saistības analīze (4.11. att.) norāda, ka raksturīgākās pH vērtības ir 6,8-7,8 vienību robežās, bet vairums vērtību iekļaujas 6,7-8,5 pH vienību diapazonā. Kvartārsegas pazemes ūdeņu Eh raksturīgākās vērtības ir no -10 līdz 90 mV robežās, bet vairums vērtību ir no -50 līdz 180 mV. Konstatējama ievērojama datu dispersija, kurā var tikt izdalīta dominējošā datu grupa ar pH vērtībām 6,8-7,8 vienības un Eh vērtībām -10 līdz 90 mV. Otra mazāk izteikta grupa konstatējama ar pH vērtībām 6,8-7,5 un Eh vērtībām 130-180 mV. Tas norāda, ka pH un Eh ir viens no otra neatkarīgi integrāli parametri, kas viens otru papildina, nodrošinot iespēju kvartāra pazemes ūdeņos novērtēt dažādu procesu virzību.

4.2.1.3. Latvijas un piegulošo teritoriju kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva salīdzinājums

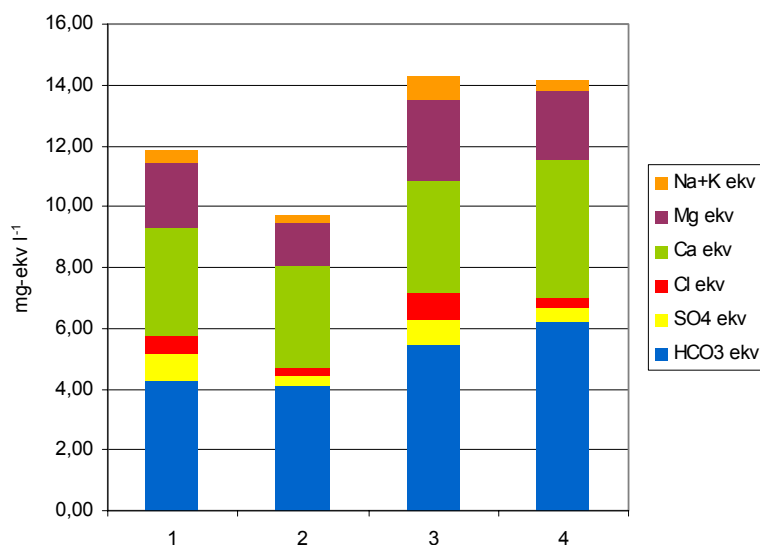
Veiktais datu apkopojums un novērtējums par Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāvu un īpašībām nebūtu pilnīgs, ja šo rezultātus nesalīdzinātu ar līdzīga satura pētījumiem blakusesošajos pleistocēna apledojuuma reģionos. Salīdzinājums tika veikts par kvartāra pazemes ūdeņu īpašībām Lietuvas teritorijā, kur kvartārsegas pazemes ūdeņu kvalitāte tiek novērtēta pēc līdzīgas pētījumu metodikas (Giedraitiene u.c. 2004). Pagaidām nav iespējams veikt kvalitatīvu salīdzinājumu, izmantojot datus par Baltkrieviju un Latvijai piegulošās Krievijas teritoriju, kas līdzšinēji tiek iegūti pēc atšķirīgas metodikas. Dati par Igaunijas kvartārsegas pazemes ūdeņiem ir pieejami (Andresmaa 2001, Karro u.c. 2006),

taču pazemes ūdeņu sastāvu būtiski ietekmē kā kvartāra nogulumu biežums, tā arī tās minerālais sastāvs, kas raksturojas ar ļoti augstu karbonātu saturu un tie nav nepastarpināti salīdzināmi ar Latvijā veikto mērījumu rezultātiem (Prols u.c. 2005).

Tika pieņemts, ka Latvijas un Lietuvas kvartārsegas pazemes ūdeņiem ir jābūt līdzīgiem gan pēc sastāva, gan raksturīgākajiem fizikāli ķīmiskajiem parametriem (pH un EVS), jo abās salīdzināmās teritorijās ir līdzīgi hidroģeoloģiskie apstākļi un kvartāra nogulumu (Jodkazis 1980). Lai šo pieņēmumu pārbaudītu, tika veikta kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu (mg-ekv l^{-1}) un fizikāli ķīmisko parametru (pH un EVS) vērtību analīze. Tika analizēti dati par kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmisko sastāvu dažādas ģenēzes smilts un smilts un grants nogulumu un morēnas nogulumu ūdens horizontos Latvijā un Lietuvā. Šāds kvartārsegas pazemes ūdeņu horizontu dalījums tika izvēlēts, jo iepriekšējo pētījumu un autorens pētījumu datu analīze (4.6. att.) norādīja uz nelielām ūdens mineralizācijas atšķirībām minētajos ūdens horizontos.

Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu satura un pH un EVS vērtības Latvijas kvartāra nogulumu ūdens horizontiem tika iegūtas, aprēķinot mediānas vērtību (mg l^{-1}) no visiem datu bāzē iekļautajiem novērojumu punktiem, kas iepriekš tika sagrupēti smilts nogulumu (smilts, smilts un grants nogulumu) un morēnas nogulumu grupās. No iegūtajām mediānas vērtībām tika aprēķinātas makrokomponentu ekvivalentvērtības (mg-ekv l^{-1}). Atbilstošie dati par Lietuvas ūdens horizontiem tika iegūti, izmantojot Lietuvas pazemes ūdeņu monitoringa pārskatā sniegtās makrokomponentu mediānas vērtības (Giedraitene u.c. 2004), kurām tika aprēķinātas ekvivalentvērtības (mg-ekv l^{-1}). Ievērojot aprakstīto metodiku, tika aprēķinātas arī pH un EVS mediānas vērtības.

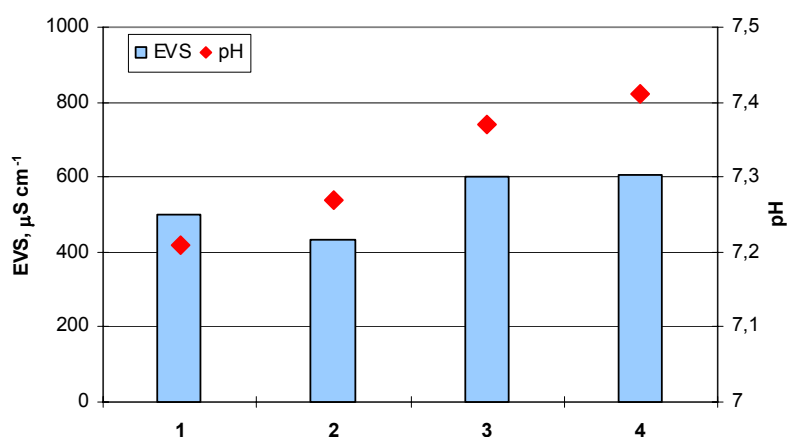
Veiktais salīdzinājums (4.12. att.) parāda ļoti augsto parametru līdzību un līdzīgas atkarības – visos gadījumos dominē hidrogēnkarbonātu un kalcija joni, un kā subdominante ir magnija joni. Nelielas atšķirības ir vērojamas sulfātu un hlorīdu un $Na^{+}+K^{+}$ jonu daudzumos, kas izpaužas kā nedaudz augstākas ekvivalentvērtības Lietuvas kvartārsegas pazemes ūdeņos. Nedaudz augstāko sulfātu saturu Lietuvas kvartārsegas pazemes ūdeņos nosaka kvartāra nogulumu sastāva atšķirības, jo tajos ir vairāk materiāla, kas nācis no sulfātus saturošiem pamatiežiem. Tomēr, minētās atšķirības ir maznozīmīgas un tikai apstiprina iepriekšēji apzināto kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva atkarību no horizontu veidojošo iežu ķīmiskā sastāva (Kurshs, Lavrinovich 1963).



4.12. att. Makrokomponentu saturs kvartāra smilts, smilts-grants nogulumu un morēnnogulumu pazemes ūdeņos Latvijā un Lietuvā, pēc autores un Giedraitene u.c. (2004) datiem.

Apzīmējumi: 1 – smilts un smilts un grants nogulumu ūdens horizonti Lietuvā; 2 – smilts un smilts un grants nogulumu ūdens horizonti Latvijā; 3 – morēnas nogulumu ūdens horizonti Lietuvā; 4 – morēnas nogulumu ūdens horizonti Latvijā.

Minētais pastarpināti norāda, ka vispārzināmās līdzības Latvijas un Lietuvas kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvē un nogulumu sastāvā nosaka arī augsto līdzību kvartārsegas pazemes ūdeņu kopējā mineralizācijā un dominējošā ķīmisko elementu sastāvā un proporcijās. Ja tas ir patiesi, tad ļoti tuvām atkarībām vajadzētu tikt konstatētām arī vērtējot vides reakciju (pH) un ūdeņu elektrovadītspēju.



4.13. att. EVS un pH vērtības kvartāra smilts, smilts-grants nogulumu un morēnnogulumu pazemes ūdeņos Latvijā un Lietuvā, pēc autores un Giedraitene u.c. (2004) datiem.

Apzīmējumi: 1 – smilts un smilts un grants nogulumu ūdens horizonti Lietuvā; 2 – smilts un smilts un grants nogulumu ūdens horizonti Latvijā; 3 – morēnas nogulumu ūdens horizonti Lietuvā; 4 – morēnas nogulumu ūdens horizonti Latvijā.

Sastādītais grafiks (4.13. att.) rāda, ka vides reakcijas vērtības Latvijas un Lietuvas kvartārsegas pazemes ūdeņiem ir tuvas, svārstību amplitūda ir 0,2 vienību robežās, kas ir maznozīmīga, ņemot vērā kvartārsegas pazemes ūdeņu pH vērtību svārstību amplitūdu (4.8. att.). Latvijā ir raksturīgas nedaudz augstākas pH vērtības, nekā Lietuvā, kas netieši norāda uz iepriekš atzīmētajām kvartāra nogulumu un pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva nelielajām atšķirībām. Kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas vērtību salīdzinājums rāda, ka vērtību svārstību amplitūda ir līdz $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ starp līdzīgu nogulumu ūdens horizontiem Latvijā un Lietuvā, un tā ir maznozīmīga, ņemot vērā kvartārsegas pazemes ūdeņu EVS vērtību kopējo izkliedi (4.8. att.). Ūdeņu EVS vērtības līdzīga sastāva kvartāra nogulumos Lietuvā ir nedaudz augstākas nekā Latvijā (4.13. att.) un šī sakarība ir atbilstoša iepriekš aprakstītajai atkarībai makrokomponentu sastāva analīzē (4.12. att.).

Kvartāra nogulumos esošo pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu raksturojošo pamata parametru vērtību Latvijā (Gosk, Levins 2006, Levina 2005) un Lietuvā (Giedraitiene u.c. 2004) veiktais salīdzinājums un analīze norāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs ir ļoti līdzīgs (4.12., 4.13. att.) – dominē maz mineralizēti (elektrovadītspējas vērtības nepārsniedz $800\text{-}900 \mu\text{S cm}^{-1}$) gandrīz neitrāli kalcija vai kalcija – magnija hidroģēnkarbonātu tipa pazemes ūdeņi.

Igaunijā kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu mineralizācija ir ievērojami zemāka kā Latvijā un Lietuvā un sasniedz tikai $0,2\text{-}0,35 \text{ g l}^{-1}$, kvarca smilts nogulumos pat $0,1\text{-}0,2 \text{ g l}^{-1}$ (Karro u.c. 2006, Kyarize 1970). To nosaka kvartāra nogulumu segas Igaunijā mazākais biezums nekā Latvijā un Lietuvā, kā arī kvartāra pazemes ūdeņu Igaunijā papildināšanās pārsvarā ar atmosfēras nokrišņiem un tikai ļoti retos gadījumos ar virszemes ūdeņiem. Savukārt, Latvijā un Lietuvā kvartārsegas pazemes ūdeņu mineralizācija ir $0,3\text{-}0,4 \text{ g l}^{-1}$ dažādas ģenēzes smilts un smilts un grants nogulumos, bet morēnas nogulumos un mālajos nogulumos mineralizācija sasniedz $0,5\text{-}0,6 \text{ g l}^{-1}$, un kvartāra pazemes ūdeņi papildinās gan ar atmosfēras, gan virszemes ūdeņiem, kā arī pārteces rezultātā ar ūdeņiem no dziļākajiem artēzisko ūdeņu horizontiem (Dzilna 1970, Jodkasis 1980).

Visi iepriekš minētie pētījumi liecina, ka kopumā kvartārsegas pazemes ūdeņu mineralizācija pakāpeniski paaugstinās, palielinoties kvartāra nogulumu slāņkopas biezumam un mālaino daļiņu daudzumam nogulumos, t.i., palēninoties ūdens apritei horizontā. Šajā gadījumā ūdens sastāvā pieaug visu makrokomponentu jonu īpatsvars, kas raksturīgs Lietuvas teritorijai, kur kvartāra nogulumu biezums ir vislielākais.

Apkopojot makrokomponentu satūra Latvijas kvartāra nogulumu pazemes ūdeņos analīzes rezultātus, tie norāda, ka iepriekšējo pētījumu (Dzilna 1970, Bichko u.c. 1979, Aleksans u.c. 1988, 1991) un jaunāko pētījumu (autores, Gosk, Levins 2006, Levina 2005, 2003, 2002) gaitā iegūtie rezultāti ir līdzīgi, un turpmāki kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu sastāva vispārīga novērtējuma pētījumi nav lietderīgi. Tie būtu plānojami un realizējami tikai kādu ļoti konkrētu mērķu sasniegšanai.

4.2.1.4. Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva datu matemātiskā apstrāde

Līdzšinēji darbā tika izskatītas un pārbaudītas dažādas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva parametru empīriskās sakarības. Savukārt, datu bāzē iekļauto datu matemātiskā apstrāde ļauj pārbaudīt dažādu parametru netiešu saistību, kā arī izsekot sakarības starp parametriem, kuru vērtības tiek noteiktas ar atšķirīgām metodēm, piemēram, ūdens elektrovadītspēja un mineralizācija.

Tāpēc, dotā pētījuma ietvaros, tika veikta kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva datu lineārā korelācija, kas ir pirmais kritērijs datu matemātiskajā apstrādē, jo liecina arī par iespējamām slēptajām sakarībām starp analizētajiem parametriem. Gadījumos, kad tiek iegūta augsta lineārā korelācija, tā norāda, ka starp analizētajiem parametriem pastāv nepakārtota lineāra atkarība (Leont'ev 1966).

Hidroķīmiskajos pētījumos dažādas sakarības starp parametriem (elektrovadītspēja, pH, Eh, skābekļa saturs, mineralizācija, atsevišķi joni) ir plaši pētītas un aprakstītas, tomēr šie pētījumi ir veikti laboratorijas apstākļos ūdeņiem ar salīdzinoši augstu izšķīdušo vielu koncentrāciju (Garrels, Krajst 1968). Promocijas darbā korelācija tiek veikta datu kopai, kas raksturo pazemes ūdeņus ar zemu izšķīdušo vielu koncentrāciju un strauji mainīgie pazemes ūdeņu fizikāli ķīmiskie parametri ir noteikti *in situ* lauka apstākļos. Līdz ar to, šo korelāciju noteikšana ir nozīmīga zemas mineralizācijas pazemes ūdeņu pētījumiem.

Korelācijas koeficienti, to kļūda un ticamības pakāpe tika aprēķināti nozīmīgākajiem pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu raksturojošajiem parametriem (makrokomponentiem, kopējās dzelzs saturam ($Fe_{kop.}$), pH, EVS, Eh, O_2), saskaņā ar šajā darbā izmantoto metodiku. Aprēķinos tika izmantoti autores sastādītās datu bāzes, veikto kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru pētījumu un kvartārsegas pazemes ūdeņu kopējās dzelzs satūra pētījumu (Dēliņa 2002) novērojumu punktu dati.

Tika aprēķināti 14 korelācijas koeficienti starp dažādiem makrokomponentu ķīmiskā sastāva parametriem, korelācijas koeficientu kļūdas un ticamības pakāpes (4.1.

tabula). Minētie parametri un šādi to pāri tika izvēlēti, lai pilnīgāk raksturotu Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva īpatnības, kā arī ļautu iegūtās korelācijas izmantot lietišķos pētījumos nākotnē.

4.1. tabula. Kvartārsegas pazemes ūdeņu parametru aprēķinātie lineārās korelācijas koeficienti (autores dati, interpretācija)

Sakarība	Aprēķinā izmantotais mērījumu punktu skaits, n	Korelācijas koeficients, r	Korelācijas koeficienta kļūda, m _r	Korelācijas koeficienta ticamības pakāpe
EVS/mineralizācija	297	+0,986	± 0,00161	613
pH/EVS	297	-0,096	± 0,0575	1,7
pH/Eh	46	-0,462	± 0,11601	4,0
O ₂ /Eh	28	+0,25	± 0,17715	1,4
pH/Fe	104	-0,595	± 0,06333	9,4
O ₂ /Fe	105	-0,062	± 0,09722	0,6
Ca/EVS	297	+0,898	± 0,01119	80
Mg/EVS	297	+0,851	± 0,016	53
Na+K/EVS	297	+0,545	± 0,04078	13
Na/EVS	297	+0,51	± 0,04293	12
K/EVS	297	+0,33	± 0,05172	6,4
HCO ₃ /EVS	297	+0,701	± 0,02955	24
SO ₄ /EVS	297	+0,641	± 0,03418	19
Cl/EVS	297	+0,534	± 0,04145	12

Iegūtie korelācijas koeficienti rāda (4.1. tab.), ka starp kvartāra pazemes ūdeņu EVS vērtībām un makrokomponentu saturu visos gadījumos pastāv pozitīva lineārā korelācija, kas ir likumsakarīgi, jo elektrovadītspējas vērtības, galvenokārt, nosaka makrokomponentu jonu saturs. Tāpat likumsakarīgi, ka augstāki korelācijas koeficienti ir iegūti starp elektrovadītspējas un dominējošo makrokomponentu (Ca, Mg, HCO₃ jonu) vērtībām.

Veiktā datu analīze parāda, ka starp kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtībām nepastāv lineāra korelatīva sakarība (4.1. tabula). Tas norāda, ka, līdzīgi kā citos dabas ūdeņos (Garrels, Krajst 1968), arī kvartārsegas pazemes ūdeņos Latvijā jonu un savienojumu migrācija norisinās neatkarīgi no pH vērtībām. Tomēr, neitrālā vidē, kā tas ir Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņos, samazinās dzelzs un atsevišķu citu metālu

migrētspēja, un nav novērojamas izteiktas EVS vērtību izmaiņas līdz ar vides reakcijas izmaiņām.

Korelācijas koeficients starp pH un Eh ir vidēji augsts un negatīvs, kas norāda, ka starp šiem abiem parametriem pastāv pietiekami liela apgriezti lineāra korelācija (4.1. tab.), t.i., pieaugot vides pH samazinās kvartārsegas pazemes ūdeņu Eh. Oksidēšanās reducēšanās potenciāla vērtības dabas ūdeņos lielā mērā nosaka elementi ar mainīgu valenci (Fe, Mn, S), kuru migrētspēja pieaug, samazinoties ūdens pH vērtībām (Garrels, Krajst 1968), piemēram, dzelzs jonu koncentrācijas pazemes ūdeņos palielinās samazinoties pH (Garrels, Krajst 1968, Appelo, Postma 2005). Ņemot vērā, ka izšķīdušā skābekļa saturs kvartārsegas pazemes ūdeņos ir neliels, tad iegūtā negatīvā korelācija starp kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un Eh vērtībām ir likumsakarīga.

Korelācijas koeficients starp O_2 un Eh ir neliels, bet pozitīvs (4.1. tabula), ko, iespējams, nosaka zemais skābekļa saturs kvartārsegas pazemes ūdeņos, kā arī nelielais aprēķinā izmantotais punktu skaits (28). Līdz ar to, izteiktu korelāciju šajā gadījumā arī nevarēja iegūt.

Starp kvartāra pazemes ūdeņu pH vērtībām un $Fe_{kop.}$ saturu ir iegūta salīdzinoši augsta negatīva korelācija, kas apstiprina literatūrā (Garrels, Krajst, 1968, Krajnov, Shvets 1985) norādīto, ka pieaugot pH vērtībām samazinās dzelzs jonu migrētspēja un daļa dzelzs jonu izkrīt nogulsnēs trīsvērtīgās dzelzs savienojumos, un pretēji – paaugstinoties pH vērtībām, vidē nonāk divvērtīgās dzelzs joni, nosakot, piemēram, anomāli augstās dzelzs koncentrācijas purvu ūdeņos.

Pazemes ūdeņu mineralizācijas un elektrovadītspējas korelācijas koeficients ir ļoti liels un ar augstu ticamības pakāpi (4.1. tab.), un tāpēc šo parametru lineārā sakarība ir izskatīta plašāk.

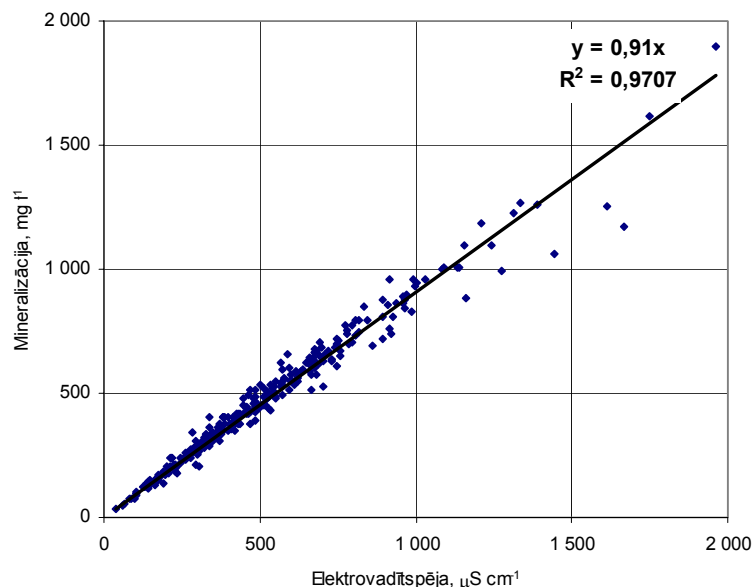
Elektrovadītspēja – mineralizācija

Pazemes ūdeņos izšķīdušo organisko un neorganisko vielu saturs nosaka ūdens elektrovadītspēju un mineralizāciju (Domenico, Schwartz 1990). Mineralizācija tiek aprēķināta, summējot analizēto komponentu saturu (Krajnov, Shvets 1992), un tādejādi ir atkarīga no tā, cik daudz komponentu konkrētajā paraugā ir noteikti, un kādas ir makrokomponentu un mikrokomponentu savstarpējās attiecības. Piemēram, ja ir zemas makrokomponentu vērtības, tad citi savienojumi daudz vairāk ietekmē mineralizācijas vērtību, bet ja makrokomponentu vērtības ir ļoti augstas, tad pārējo komponentu vērtības

klūst maznozīmīgas. Savukārt, elektrovadītspēja ir integrāls rādītājs, kas rāda visu ūdenī disociēto ķīmisko savienojumu un elementu saturu (Krajnov, Shvets 1992).

Literatūrā (Garrels, Krajst 1968) ir aprakstītas un aprēķinātas stipri mineralizēto ūdeņu EVS un mineralizācijas vērtību korelatīvās sakarības, piemēram, vidēja sāļuma jūras ūdeņiem EVS – mineralizācijas korelācijas koeficients ir 0,65. Savukārt, maz mineralizētu (ar zemām EVS vērtībām) pazemes ūdeņu korelatīvās sakarības ir apskatītas ierobežoti. Tāpēc, pētot kvartāra nogulumu pazemes ūdeņus, kuriem pārsvarā ir zemas EVS vērtības (4.2.1.2. nodaļa), ir svarīgi noteikt šo ūdeņu EVS – mineralizācijas korelatīvo saistību.

Autores veiktie aprēķini rāda, ka starp kvartārsegas pazemes ūdeņu mineralizāciju un elektrovadītspēju ir konstatēta ļoti augsta korelācija $r = +0,986 \pm 0,00161$, ticamības pakāpe 163 (4.1. tabula), kas ļāva sastādīt korelācijas grafiku un aprēķināt korelācijas vienādojumu $y=0,91x$, t.i. mineralizācija = 0,91 EVS (4.15. att.).



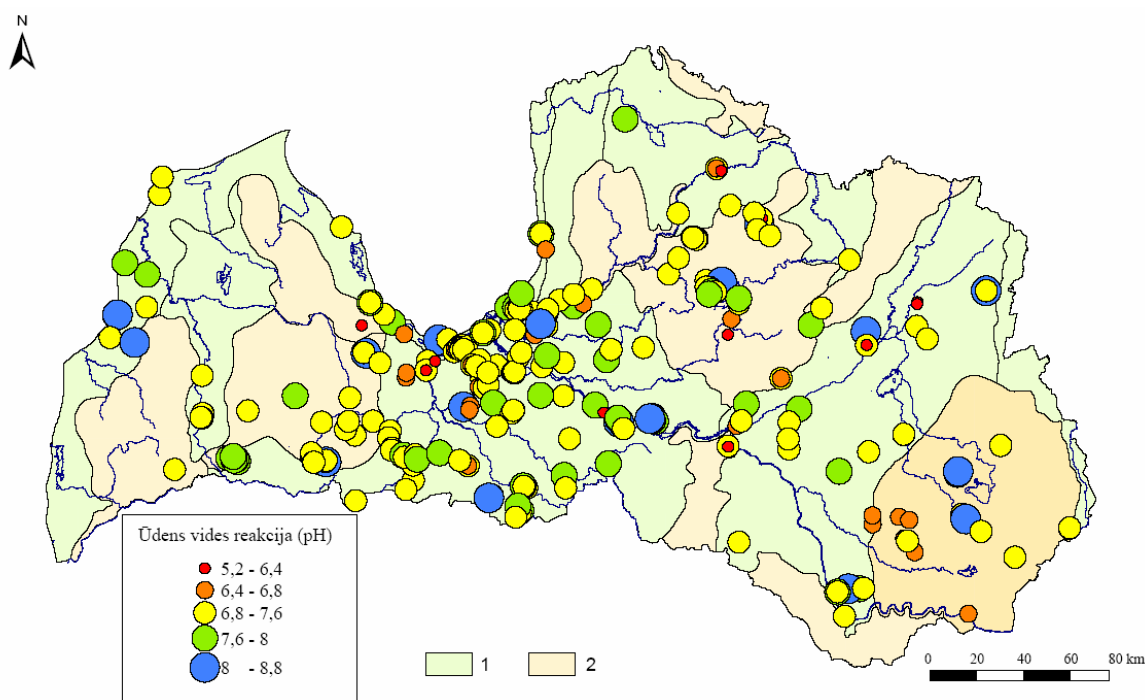
4.15. att. Kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas un mineralizācijas korelācijas līkne
Novērojumu punktu skaits 297, punktu izvietojums parādīts 2.1. att. Autores interpretācija.

Konstatētā kvartārsegas pazemes ūdeņu mineralizācijas un elektrovadītspējas rādītāju ciešā lineārā saistība (4.14. att.) norāda, ka elektrovadītspējas rādītāja izmantošana ir piemērota ūdens mineralizācijas raksturojumam un iegūtais korelācijas vienādojums ļauj aprēķināt kvartārsegas pazemes ūdeņu, kuriem raksturīgas zemas EVS vērtības (virs 50 μS cm⁻¹), mineralizāciju, izmantojot *in situ* noteiktās elektrovadītspējas vērtības. Norādīto robežu 50 μS cm⁻¹ noteica pētījumā izmantotā EVS elektroda TetraCon 325 tehniskie parametri.

4.2.2. Kwartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs Latvijas zemienēs un augstienēs

Iepriekšējā sadaļā tika apskatīts Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs. Tomēr kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūve visā Latvijas teritorijā nav vienāda (Meyrons, Yushkevichs 1984), nosakot arī atšķirīgus hidroģeoloģiskos apstākļus. Tāpēc var pieņemt, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs atšķirsies dažādās valsts teritorijās. Balstoties uz Latvijas teritorijas fiziski ģeogrāfisko rajonēšanu, tika vērtēts un analizēts kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs Latvijas dabas rajonos.

Analīzei tika izmantoti autores sastādītās datu bāzes dati un Latvijas teritorijas dabas rajonēšana. Lai konstatētu un novērtētu šo parametru vērtību teritoriālās atšķirības tika sastādītas kvartārsegas pazemes ūdeņu svarīgāko fizikāli ķīmisko parametru (pH un EVS) vērtību sadalījuma kartes (4.16., 4.17. att.). Karšu leģendas (pH un EVS vērtību solis leģendā) tika izstrādātas ņemot vērā iepriekšēji veikto kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību analīzi Latvijai (4.8. att.).



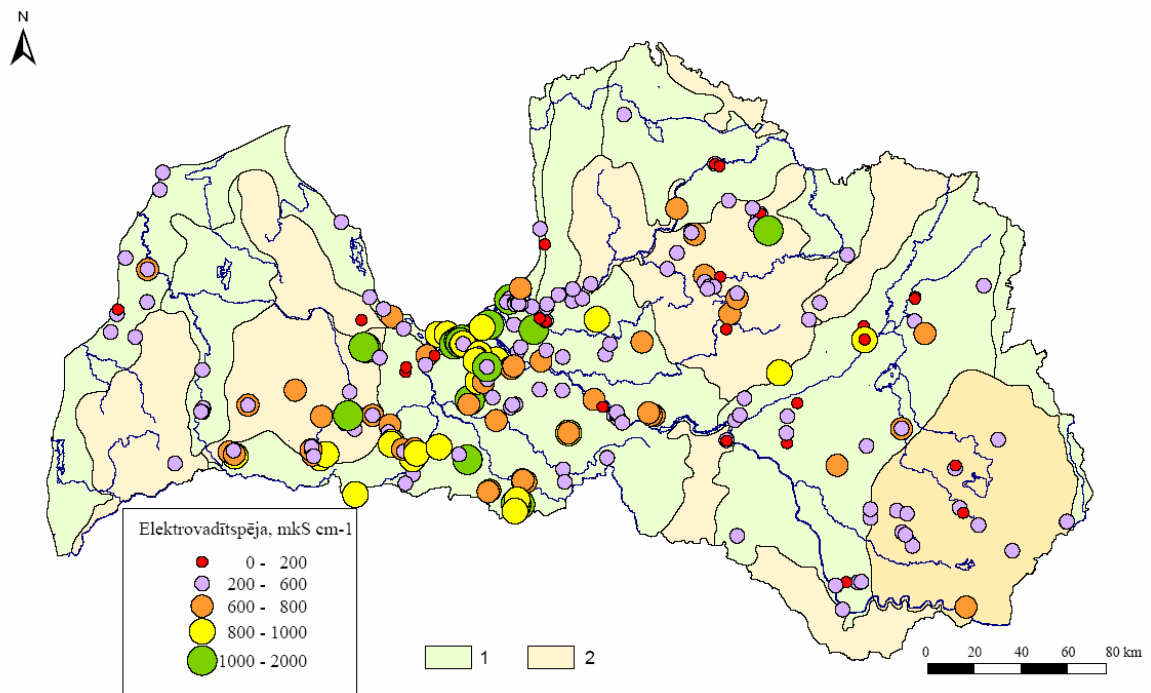
4.16. att. Kwartārsegas pazemes ūdeņu vides reakcija (pH).

Apzīmējumi: 1 – zemienes, 2 – augstienes. Autores interpretācija, novērojumu skaits 297.

Veiktā pētījuma rezultātā iegūtā (4.16. att.) un tai sekojošā karte (4.17. att.) atspoguļo kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību sadalījumu Latvijā dabas rajonu

līmenī. Autores sagatavotais kvartārsegas pazemes ūdeņu pH vērtību kartogrāfiskais atspoguļojums (4.16. att.) un analīze norāda, ka kvartāra pazemes ūdeņu pH vērtību sadalījumā nav vērojamas kādas noteiktas tendences vai saistība ar konkrētiem dabas rajoniem, kā arī saistība ar reljefa lielformām – zemienēm un augstienēm kopumā. Latvijas teritorijā vienlīdzīgi ir izplatīti punkti gan ar dominējošām pH vērtībām (6,8-7,6), gan ar pakārtotajām pH vērtībām (6,4-6,8 un 7,6-8,0). Viszemākā pH vērtība (5,43) ir novērota Austrumlatvijas zemienē, bet visaugstākā (8,74) – Piejūras zemienē. Konstatētās minimālās un maksimālās vērtības, pēc mūsu domām, ir saistītas ar vietējiem specifiskiem apstākļiem, kas būtu detalizējami nākotnē.

Kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu elektrovadītspējas (EVS) vērtību sadalījums un tā kartogrāfisks atspoguļojums (4.17. att.) norāda uz ūdeņu EVS vērtību sadalījumu Latvijā kopumā un arī katra dabas rajona ietvaros.



4.17. att. Kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspēja.

Apzīmējumi: 1 – zemienes, 2 – augstienes. Autores interpretācija, novērojumu vietu skaits 297.

Kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas vērtību teritoriālā analīze norāda, ka dominējošās EVS vērtības ($200-600 \mu\text{S cm}^{-1}$) ir vienmērīgi izplatītas visā Latvijā, bet Latvijas centrālajā daļā ir raksturīgas augstākas EVS vērtības ($600-1000 \mu\text{S cm}^{-1}$), kā arī vairāki punkti, kur EVS vērtības pārsniedz $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Ūdeņi ar zemām EVS vērtībām vienlīdz bieži ir konstatēti visā Latvijas teritorijā, lai gan vērojama zināma tendence, ka zemās EVS vērtības ir nedaudz biežāk konstatētas Austrumlatvijā. Kopumā, šajā darbā

analizētajos datos, zemākā konstatētā EVS vērtība Latvijā ir $39 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Tālavas zemienes dienvidaustrumu daļā), bet augstākā ir $1960 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Piejūras zemienes vidusdaļā, pie Lielupes). Matemātiski aprēķini ļauj noteikt arī EVS vidējās un mediānas vērtības, kas kvartārsegas pazemes ūdeņiem Latvijā attiecīgi ir $523 \mu\text{S cm}^{-1}$ un $466 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Atzīmējams, ka Kurzemes daļā raksturīgas viendabīgākas kvartāra pazemes ūdeņu EVS vērtības, savukārt Latgalē un Vidzemē uz dominējošo $200\text{-}600 \mu\text{S cm}^{-1}$ EVS vērtību fona var tikt izdalītas gan zemākas, gan augstākas vērtības, kas kopumā nosaka mozaīkveida EVS vērtību sadalījumu šajās teritorijās. Centrālajā Latvijas daļā (Zemgalē un Rīgas apkārtnē), kā jau tika minēts, ir novērots visnevienmērīgākais EVS vērtību sadalījums, turklāt šeit, līdztekus visā Latvijā dominējošām $200\text{-}600 \mu\text{S cm}^{-1}$ diapazona vērtībām, vienlīdz plaši ir pārstāvēti novērojumu punkti, kuros konstatētas augstākas vērtības: $600\text{-}800 \mu\text{S cm}^{-1}$ un $800\text{-}1000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Šajā teritorijā konstatēta arī lielākā daļa paaugstināto EVS vērtību $1000\text{-}2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ diapazonā.

Apskatot kvartārsegas pazemes ūdeņu EVS vērtību sadalījumu kā dabas rajonu, tā arī zemieņu un augstieņu ietvaros, jāatzīmē, ka tajā nav konstatējamas kādas noteiktas likumsakarības. EVS vērtību sadalījumu nosaka horizonta barošanās apstākļi konkrētajā teritorijā, uz ko savulaik norādīja arī I. Dzilna (1970). Piemēram, vietās, kur horizonts barojas tikai ar atmosfēras nokrišņiem EVS vērtības nepārsniedz $200\text{-}400 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Levina, Levins 2005), savukārt, vietās, kur norisinās spiedienūdeņus atslodze, EVS var sasniegt $1500\text{-}2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Levina, Levins 2005, Krivcov u.c. 1987). Tas ļauj secināt, ka Latvijā kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas dabiskās vērtības ir $30\text{-}2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ robežās, dominējošās vērtības ir $200\text{-}600 \mu\text{S cm}^{-1}$ diapazonā, bet vidējā EVS vērtība kvartārsegas pazemes ūdeņiem Latvijā ir $470 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Kopumā kvartārsegas pazemes ūdeņu EVS vērtības visā Latvijā ir relatīvi līdzīgas, tāpēc šī parametra novērojumi ir efektīvi izmantojami gan dabisko, gan antropogēno faktoru izraisītu anomāliju un noviržu fiksēšanai un pētīšanai. Ūdeņu elektrovadītspēja ir integrāls rādītājs, kas jūtīgi reaģē uz antropogēnām ietekmēm (Teirumnieks u.c. 2005, Dēliņa, Liepiņš 2005), jo EVS vērtības pieaugumu, ko nosaka dabiskie vai antropogēnie apstākļi, raksturo atšķirīgi parametri. Piemēram, dabiskie faktori (spiedienūdeņu atslodze, jūras ūdeņu intrūzija u.c.) saistās, galvenokārt, ar sulfātu vai hlorīdu jonu pieaugumu (Krivcov u.c 1987, Prols, Prole 1989, Kruglik 1989). Antropogēnā piesārņojuma gadījumā pazemes ūdeņos ļoti krasi pieaug sārmainības (hidrogēnkarbonāciju, organisko skābju), hlorīdu saturs (Rapti-Caputo, Vacarro 2006, Dēliņa, Liepiņš 2005). Mūsu veiktie pētījumi apliecina, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas vērtību kā vidi raksturojoša

parametra turpmāki detalizēti reģionāli pētījumi ir nepieciešami laboratorijā noteikto makrokomponentu satura analīžu rezultātu kontrolei, kā arī reprezentatīva ūdens parauga noņemšanas kontrolei (Hart *et al.* 2000). Papildus pētījumi ir veicami, ja tiek novērotas vērtības, atšķirīgas no dominējošām EVS vērtībām, piemēram, konstatējot vērtības augstākas par $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Paralēli EVS vērtību noteikšanai kvartāra pazemes ūdeņos, šādos gadījumos ir jāveic detāla makrokomponentu analīze, lai noskaidrotu faktorus, kas nosaka ūdens mineralizācijas pieaugumu.

Lai noteiktu kvartārsegas pazemes ūdeņu dominējošo ķīmisko sastāvu attiecībā uz makrokomponentiem, svarīgi ir ņemt vērā visai nozīmīgās kvartārsegas biežuma, uzbūves un sastāva atšķirības, kas integrēti ir iestrādātas Latvijas teritorijas iedalījumā dabas rajonos. Tas ļautu arī pārbaudīt iespējamās atšķirības starp dažādiem dabas rajoniem, kā arī to grupām. Tādēļ autore veica pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva novērtējumu dabas rajonu ietvaros.

Datu bāzē apkopotie dati par kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu saturu tika sagrupēti pa dabas rajoniem, tos vērtējot pēc pētījuma vietas ģeogrāfiskā novietojuma. Šāda pieeja ļāva katrai no izdalītām grupām aprēķināt makrokomponentu satura (mg l^{-1}) mediānas vērtības, kas tika izvēlētas kā vairāk informatīvas un mazāk ietekmētas no ekstremālām vērtībām. Nākošajā datu apstrādes posmā tika aprēķinātas makrokomponentu ekvivalentu masas vērtības (mg-ekv l^{-1}) un ekvivalentu procentuālais sadalījums (ekv-\%) kā patiesāk atspoguļojošas pazemes ūdeņu sastāva kompozīciju (Appelo, Postma 2005). Aprēķinu rezultāti tika apvienoti datu tabulā (4.2. tabula).

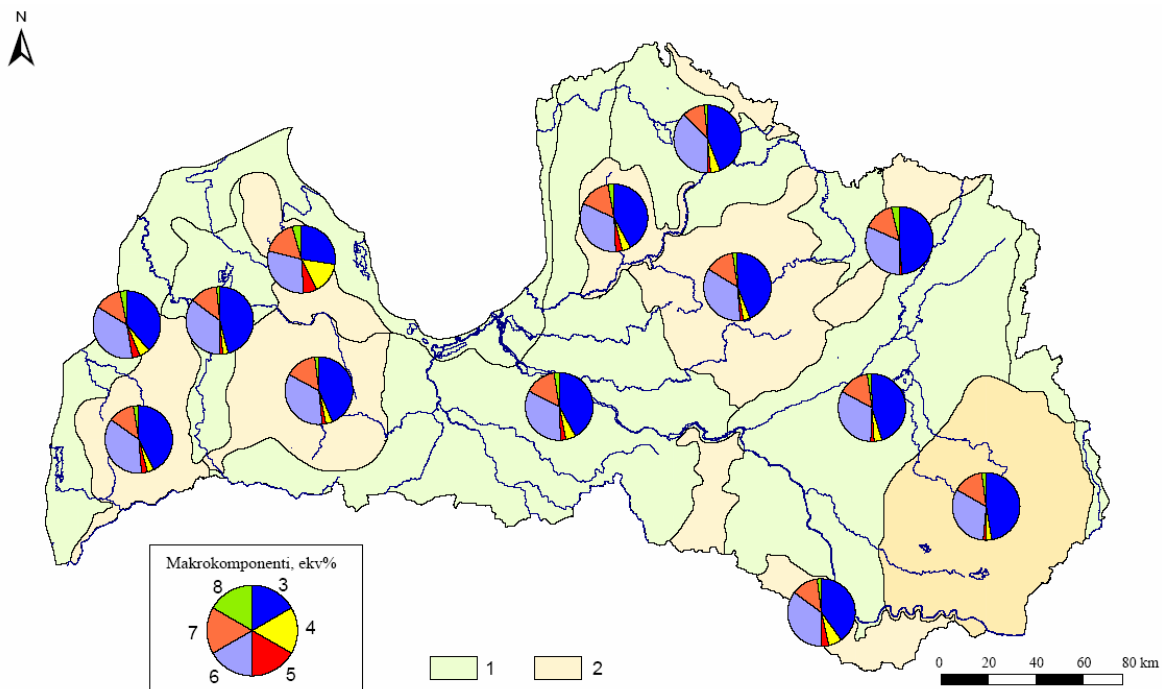
4.2. tabula. Kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu raksturīgākās (mediānas) vērtības Latvijas dabas rajonos

Dabas rajons	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Makrokomponentu summa
	mg-ekv l ⁻¹							
Piejūras zemiene	3,77	0,46	0,35	3,83	1,25	0,24	0,05	9,95
Kursas zemiene	5,57	0,25	0,20	4,45	1,42	0,13	0,03	12,06
Rietumkursas augstiene	3,36	0,25	0,23	2,85	1,00	0,17	0,03	7,89
Ziemeļkursas augstiene	1,33	0,73	0,31	1,45	0,80	0,17	0,05	4,83
Austrumkursas augstiene	6,11	0,46	0,26	4,85	2,13	0,23	0,04	14,08

Dabas rajons	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Makrokomponentu summa
	mg-ekv l ⁻¹							
Viduslatvijas zemiene	5,25	0,63	0,34	4,35	2,00	0,25	0,07	12,88
Idumejas augstiene	5,66	0,54	0,44	4,43	2,04	0,33	0,05	13,49
Tālavas zemiene	3,40	0,36	0,11	2,93	0,83	0,10	0,03	7,76
Vidzemes augstiene	4,14	0,30	0,15	3,30	1,33	0,17	0,04	9,44
Alūksnes augstiene	5,00	0,02	0,12	3,25	1,50	0,33	0,05	10,28
Austrumlatvijas zemiene	3,44	0,31	0,13	2,68	1,17	0,14	0,04	7,91
Augšzemes augstiene	2,70	0,43	0,25	2,35	0,87	0,10	0,04	6,74
Latgales augstiene	4,22	0,26	0,16	2,93	1,38	0,16	0,03	9,13

Kvartāra pazemes ūdeņu atsevišķo makrokomponentu ekvivalentvērtības dažādos dabas rajonos var atšķirties pat 4-5 reizes (piemēram, HCO₃⁻ vērtības Ziemeļkursas augstienē ir 1,33 mg-ekv l⁻¹, bet Austrumkursas augstienē ir 6,11 mg-ekv l⁻¹, un hlorīdu vērtības Tālavas zemienē ir 0,11 mg-ekv l⁻¹, bet Idumejas augstienē 0,44 mg-ekv l⁻¹), bet visu makrokomponentu summu atšķirības starp dabas rajoniem nepārsniedz 2-3 reizes (4.2. tab.).

Latvijas dabas rajoniem raksturīgo makrokomponentu vērtību aprēķinu un analīzes rezultātu vizualizācijai, izmantojot ĢIS programmatūru MapInfo Professional, tika sagatavota karte (4.18. att.), kas ataino katra dabas rajona kvartārsegas pazemes ūdeņu raksturīgo (mediānas) ķīmisko sastāvu pēc makrokomponentu ekvivalentu procentuālā sadalījuma. Sagatavotā karte (4.18. att.) uzskatāmi norāda, ka kvartāra pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs makrokomponentu līmenī Latvijas teritorijā ir salīdzinoši viendabīgs visos izdalītos dabas rajonos – kvartārsegas pazemes ūdeņos dominē hidrogēnkarbonātu kalcija tipa ūdeņi (4.2.1.1. nodaļa, 4.7. att.). Konstatējamās arī nelielas atšķirības, un tās izpaužas kā sulfātu un hlorīdu jonu daudzumu variācijas (4.2. tabula).



4.18. att. Kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu dominējošais ķīmiskais sastāvs Latvijas dabas rajonos.

Apzīmējumi: 1 – zemiennes; 2 – augstienes; 3-8 - makrokomponentu procentuālais saturs: 3 – HCO_3^- ; 4 – SO_4^{2-} ; 5 – Cl^- ; 6 – Ca^{2+} ; 7 – Mg^{2+} ; 8 - $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Autores interpretācija.

Alūksnes augstienē kvartāra pazemes ūdeņos ir vismazākais hlorīdjonu (2,4 ekv-%) un sulfātjonu (0,3 ekv-%) īpatsvars un vislielākais HCO_3^- jonu īpatsvars (97,3 ekv-%). Savukārt, atšķirīgs sastāvs konstatēts Ziemeļkursas augstienē, kur konstatēts lielākais hlorīdjonu (13,1 ekv-%) un sulfātjonu (30,8 ekv-%) īpatsvars. Augstais sulfātjonu un hlorīdjonu īpatsvars Ziemeļkursas augstienē attiecīgi nosaka, ka te ir vismazākais hidroģēnkarbonātu īpatsvars (56,1 ekv-%). Novērotas arī vairākas atšķirības katjonu sadalījumā:

- Ziemeļkursas augstienē ir vislielākais Mg^{2+} jonu (32,4 ekv-%) un $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ jonu (8,8 ekv-%) īpatsvars un mazākais Ca^{2+} jonu īpatsvars (58,8 ekv-%),
- Tālavas zemienē ir visaugstākais Ca^{2+} jonu īpatsvars (75,3 ekv-%) un viszemākais Mg^{2+} jonu īpatsvars (21,5 ekv-%),
- Kursas zemienē ir viszemākais $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ jonu īpatsvars (2,8 ekv-%).

Mīnētās atšķirības nosaka, galvenokārt, kvartāra ūdens horizonta barošanās apstākļi, mazākā mērā noteces gradients (Levins 2004).

Ziemeļkursas augstienes kvartāra pazemes ūdeņi būtu saucami par netipiskiem, jo jāatzīst, ka paraugu ņemšanas vietas koncentrētas, galvenokārt, dabas rajona dienvidaustrumos (2.1. att.), kur ūdens sastāvu, visticamāk, ietekmē sulfātus saturošo

spiedienūdeņu atslodze un purva nogulumu ūdeņi. Tāpēc autore atturas noteikt kādu konkrētu likumsakarību, un uzskata, ka šajā teritorijā nākotnē noteikti veicami papildus pētījumi.

Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu procentuālā īpatsvara analīze liecina, ka visos dabas rajonos ūdeņu ķīmiskais sastāvs ir salīdzinoši viendabīgs, t.i., dominē HCO_3^- un Ca^{2+} joni (4.2. tab., 4.2.1.1. nodaļa). Līdz ar to, makrokomponentu procentuālā sadalījuma un dominējošo jonu atšķirības no 4.2. tabulā norādītajām, raksturīgajām liecinās par netipiska sastāva pazemes ūdeņiem, kuru ķīmiskā sastāva atšķirības var būt izraisījuši dabiski vai antropogēni faktori. Šādos gadījumos ir nepieciešami papildus pētījumi šo izmaiņu noteikšanai un detalizēšanai.

Iepriekš veiktā datu analīze norāda, ka nav nozīmīgas atšķirības kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskajā sastāvā starp atsevišķiem dabas rajoniem. Tāpēc tika pārbaudīts, kāda ir sakarība starp kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu sastāvu un reljefa lielformām. Šim nolūkam izmantoti iepriekš veiktās datu analīzes rezultāti, tos tālāk grupējot pēc novietojuma reljefa lielformās (analīzē iegūtās skaitliskās vērtības skat. 4.3. tabulā), un analizējot raksturīgāko vērtību sadalījumu tajās.

4.3. tabula. Makrokomponentu raksturīgākās vērtības kvartārsegas pazemes ūdeņos Latvijā

	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Makrokomponentu summa
	mg-ekv l^{-1}							
Latvija (297)*	4,59	0,40	0,24	3,70	1,50	0,20	0,05	10,67
Augstienes (83)*	4,92	0,31	0,20	3,90	1,50	0,18	0,04	11,04
Zemienes (214)*	4,18	0,44	0,28	3,65	1,50	0,21	0,05	10,31
Augstienes/Latvija	107%	79%	81%	105%	100%	89%	83%	103%
Zemienes/Latvija	91%	111%	115%	99%	100%	107%	106%	97%

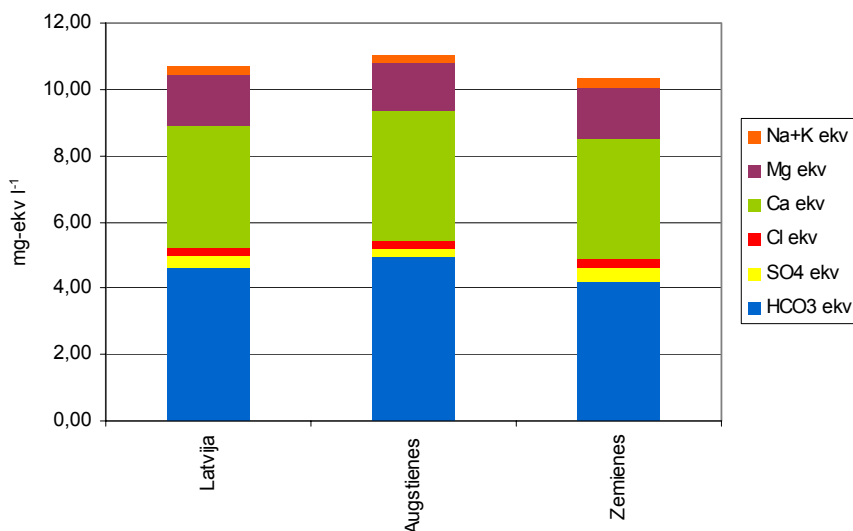
* iekavās norādīts analizēto punktu skaits

Tabulas dati norāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ekvivalentu raksturīgās vērtības individuālu jonu līmenī ir līdzīgas, un gan zemienēs, gan augstienēs tās no mediānas vērtībām Latvijai kopumā atšķiras par 5-10%. Augstienēm raksturīgas nedaudz lielākas kā vidēji Latvijā HCO_3^- un Ca^{2+} jonu ekvivalentu vērtības, bet zemienēm SO_4^{2-} , Cl^- un $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ jonu ekvivalentu vērtības. Summārā makrokomponentu ekvivalentu vērtība augstienēs ir 11,04 mg-ekv l^{-1} , kas ir par 0,37 mg-ekv l^{-1} vairāk nekā

vidēji Latvijā ($10,67 \text{ mg-ekv } l^{-1}$) un par $0,73 \text{ mg-ekv } l^{-1}$ vairāk nekā zemienēs ($10,31 \text{ mg-ekv } l^{-1}$).

Tātad, salīdzinot kvartāra pazemes ūdeņu raksturīgās makrokomponentu vērtības augstienēs un zemienēs, augstienēs var novērot nedaudz augstākas vērtības nekā zemienēs. Šī sakarība saglabājas arī attiecībā pret makrokomponentu mediānas vērtībām visai Latvijai, kas apstiprina ūdens apmaiņas ātruma noteicošo lomu ķīmiskā sastāva veidošanā (Klimas 2003). Augstienēs pazemes ūdeņu makrokomponentu ekvivalentvērtību summa ir nedaudz augstāka par Latvijas raksturīgo vērtību summu, bet zemienēs tā ir nedaudz zemāka. Tomēr šīs atšķirības ir nelielas un nepārsniedz 3% no parametru vērtībām, un tāpēc ir uzskatāmas par maznozīmīgām, jo šīs atšķirības nepārsniedz vērtību svārstības starp atsevišķiem dabas apvidiem.

Arī iepriekš aprakstīto rezultātu vizualizācija (4.19. att.) uzskatāmi rāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva atšķirības makrokomponentu līmenī starp augstienēm un zemienēm ir maznozīmīgas, un tātad nav konstatējama tieša sakarība starp kvartārsegas uzbūvi reljefa lielformās un pazemes ūdeņu makrokomponentu saturu.



4.19. att. Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu mediānas vērtību sadalījums augstienēs un zemienēs. Autores interpretācija.

Sniegtie dati, to analīze un izvērtējums norāda, ka makrokomponentu īpatsvars vai to procentuālās attiecības (4.18., 4.19. att.) nevar tikt izmantotas kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva vai īpašību rajonēšanai ne dabas rajonu, ne reljefa lielformu līmenī. Tāpēc vispārīgā kvartāra pazemes ūdeņu raksturojumam var izmantot makrokomponentu sastāva mediānas vērtības visai Latvijai.

4.2.3. Kwartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs dažādos nogulumos un dziļumā

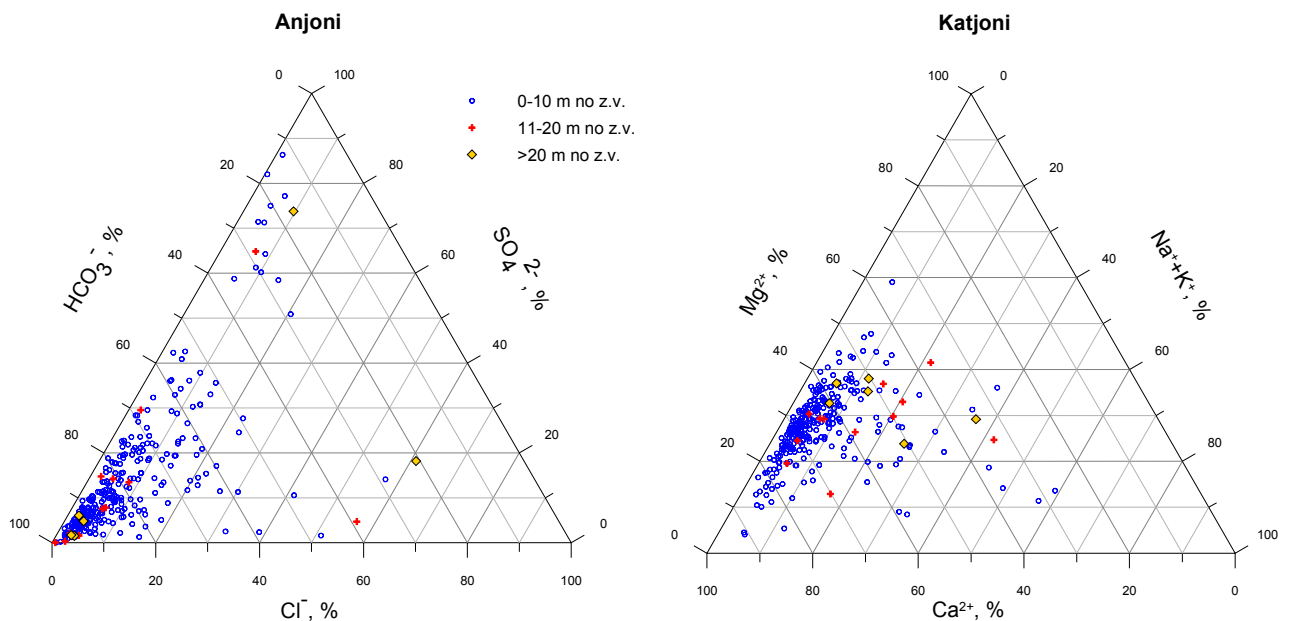
Literatūrā ir aprakstīti pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu ietekmējošie faktori (Garrels, Krajst 1968, Krajnov, Shvets 1992), starp kuriem kā vieni no nozīmīgākajiem ir izcelti ūdens horizontu veidojošie nogulumi (Dzilna 1970, Kurshs, Lavrinovich 1963) un horizonta ieguluma dziļums. Lai pārbaudītu kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva atkarību no horizonta ieguluma dziļuma un horizontu veidojošiem nogulumiem, tika analizētas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtības un makrokomponentu saturs, ņemot vērā horizontu veidojošo nogulumu sastāvu un horizonta ieguluma dziļumu. Šim nolūkam tika veiktas divas atsevišķas datu grafiskās analīzes, iepriekšēji minētās datu bāzes datus sagrupējot pēc filtra intervāla ieguluma dziļuma un pēc horizontu veidojošiem nogulumiem.

Pēc horizontu veidojošiem nogulumiem dati tika sagrupēti trīs, pēc sastāva atšķirīgās nogulumu grupās: smilts, smilts un grants un morēnas nogulumi, un tika analizēts tām atbilstošo pazemes ūdeņu sastāvs. Minētās nogulumu grupas tika izvēlētas ņemot vērā, ka tieši smilts un smilts un grants nogulumi ir dominējošie kvartāra ūdens horizontus veidojošie nogulumi, bet morēnas nogulumu slāņkopa nereti tiek izmantota kā lokāls ūdens horizonts, un ievērojams daudzums datu bāzē iekļauto novērošanas punktu atsedz tieši morēnas nogulumu ūdens horizontu un to pētījumu dati ir pieejami.

Tika izvēlēti trīs dziļuma intervāli: līdz 10 m dziļumam, 11-20 m dziļumā un vairāk par 20 m dziļumā, un datu bāzē ietvertie paraugošanas punkti tika sagrupēti pēc filtra intervāla izvietojuma dziļuma zem zemes virsmas. Horizontu paraugošanas dziļumu grupas tika izvēlētas balstoties uz Latvijas apstākļiem raksturīgiem pazemes ūdeņu izmantošanas dziļumiem dažādos kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūves apstākļos.

Kwartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību atkarības no horizontu veidojošiem nogulumiem un horizonta dziļuma pārbaudei tika izmantota datu grafiskā analīze, kas ir pietiekami jūtīga šāda veida novērtējumam un ir balstīta uz datu bāzē iekļauto datu matemātiskiem aprēķiniem (ekvivalentvērtību un ekvivalentprocentu aprēķins, detalizēts izklāsts sniegts iepriekš 4.2.1.1. nodaļā). Grafiskajai analīzei tika sastādītas atbilstošas kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu vērtību sadalījuma diagrammas (4.20. un 4.21. att.), kā arī pH un EVS vērtību sadalījuma histogrammas (4.22.

– 4.24. att.). Pieņemot, ka minētās atkarības ir patiesas arī Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņiem, datu grafiskajā analizē vajadzētu varēt izdalīt vairākas datu grupas.



4.20. att. Makrokomponentu sadalījums kvartārsegas pazemes ūdeņos dažādos dziļumos.

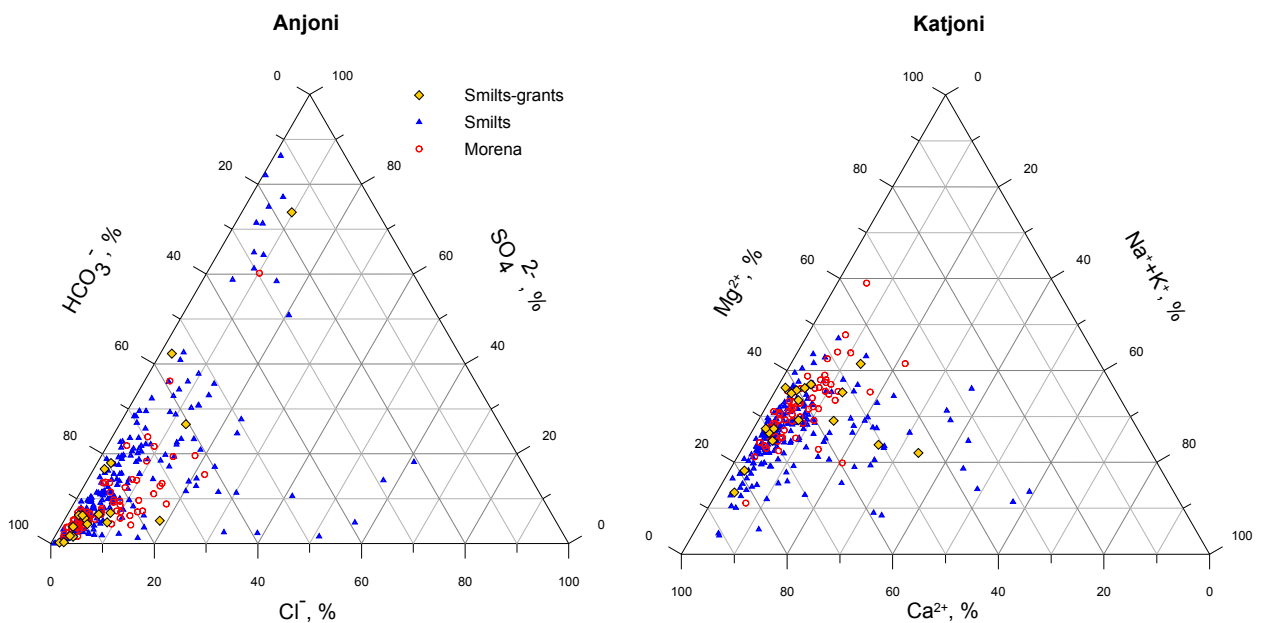
Autores interpretācija, novērojumu punktu skaits ir 297.

Šajā diagrammā (4.20. att.) atainots makrokomponentu procentuālais sadalījums kvartārsegas pazemes ūdeņos pēc horizonta ieguluma dziļuma. Konstatējams, ka dominējošais pētījumu dziļums nepārsniedz 10 m, nedaudz gadījumos pētītie slāņi ir izvietoti 11-20 m dziļumā un tikai dažviet vēl dziļāk – dziļākais pētītais urbums (70-77 m no z.v.) ir pazemes ūdeņu pamatmonitoringa tīkla Asaru postenī, urbums nr. 414 (Levina, Levins 2005). Visās dziļuma grupās (4.20. att.) starp makrokomponentiem dominē hidroģenkarbonātu un kalcija joni. Atsevišķos paraugos pārsvarā ir sulfātu vai hlorīdu joni. Sulfātjoni dominē 13 pētījumu vietās, no kurām 11 ir sekļajos ūdens horizontos (0-10 m no z.v.), un pa vienai vidēji dziļajos un dziļajos (4.20. att.) ūdens horizontos. Hlorīdjoni dominē 4 pētījumu vietās, no kurām 2 ir sekļajos, un pa vienai vidēji dziļajos un dziļajos ūdens horizontos (4.20. att.). Katjonu procentuālajā sadalījumā izteikti dominē kalcija joni, un tikai sekļajos ūdens horizontos vienā pētījumu vietā dominē magnija joni un divās vietās nātrija + kālija joni (4.20. att.). Atšķirīgo ūdens ķīmisko sastāvu, visticamāk, nosaka spiedienūdeņu augšupejošā filtrācija – paaugstināts sulfātu saturs – vai jūras ūdeņu intrūzija – paaugstināts hlorīdu saturs (Levins u.c. 1998).

Veiktā analīze ļauj secināt, ka dažādos kvartārsegas griezuma intervālos izteikti dominē hidroģenkarbonātu-kalcija tipa ūdeņi, un atšķirīga ķīmiskā sastāva ūdeņu izplatība

nav saistīta ar horizonta ieguluma dziļumu. Tātad, pieņēmums, ka horizonta dziļums ietekmē ūdeņu makrokomponentu saturu ir nepatiess attiecībā uz Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņiem. Papildus, veiktā analīze pastarpināti norāda, ka ūdens apmaiņa visā kvartāra nogulumu griezumā ir pietiekami intensīva, un dažādos dziļumos neveidojas atšķirīga sastāva ūdeņi. Izņēmums ir 1-2 m biezs slānis gruntsūdens horizonta augšdaļā, kurā veidojas pēc sastāva krasi atšķirīgi ūdeņi (4.1. nodaļa).

Otra pārbaudītā pieņēmuma daļa attiecas uz kvartārsegu veidojošo nogulumu sastāva un makrokomponentu procentuālā sadalījuma atkarību. Šim nolūkam tika izveidotas diagrammas (4.21. att.), kurās atainots makrokomponentu procentuālais sadalījums kvartārsegas pazemes ūdeņos pēc horizontu veidojošajiem nogulumiem. Šo diagrammu (4.21. att.) konstruēšana tika veikta līdzīgi iepriekšēji apskatītajām (4.7., 4.21. att.) un balstās uz tiem datiem, kas iekļauti datu bāzē.



4.21. att. Makrokomponentu sadalījums kvartārsegas pazemes ūdeņos dažādu nogulumu ūdens horizontos.

Autores interpretācija, novērojumu punktu skaits ir 297.

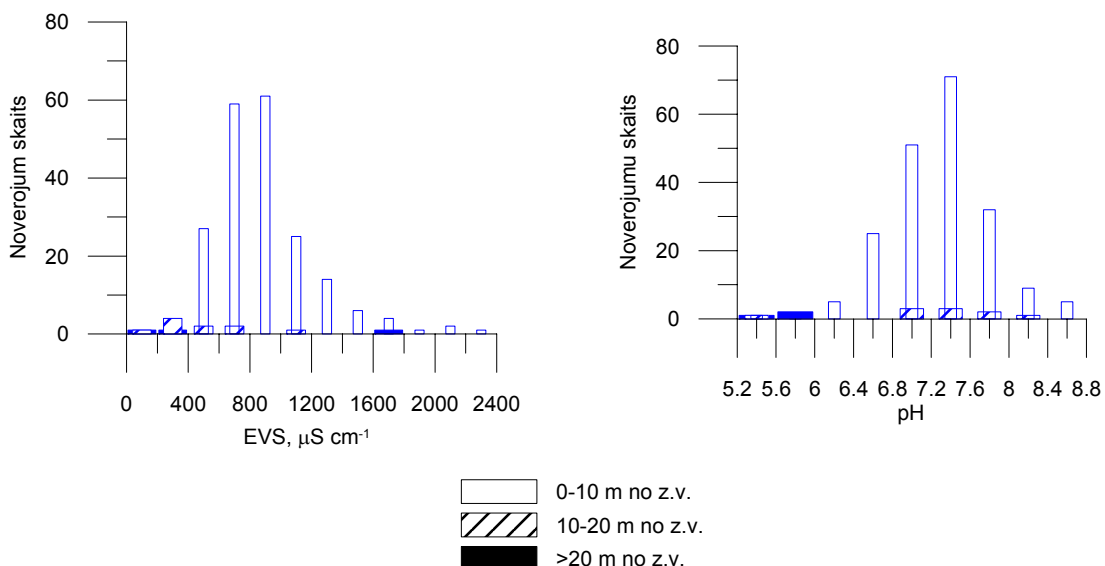
Diagrammās (4.21. attēls) redzams, ka, neatkarīgi no horizontu veidojošiem nogulumiem, pazemes ūdeņu sastāvā dominē hidroģēnkarbonātu un kalcija joni. Vairumā pētījumu vietu morēnnogulumu un smilts-grants nogulumu ūdens horizontos hidroģēnkarbonātu jonu īpatsvars ir nedaudz lielāks nekā smilts nogulumu horizontos, kuros vērtību izkliede ir raksturīgāka. Sulfātjonu dominance ir konstatēta tikai dažos paraugos (14 pētījumu vietās), kas noņemti kā smilts (12 pētījumu vietās), tā smilts-grants

(1) un morēnnogulumu (1) ūdens horizontos (4.21. att.). Veiktā datu analīze norāda, ka augstākas hlorīdjonu (4 pētījumu vietās) un nātrija un kālija jonu (2 pētījumu vietās) vērtības ir konstatētas tikai smilts nogulumu ūdens horizontos (4.21. att.), ko, visticamāk, nosaka tas, ka paaugstināts hlorīdjonu saturs ir raksturīgs jūras piekrastē, un tur dominē smilts nogulumu ūdens horizonti (Mejrons, Yushkevichs 1984).

Tādejādi, veiktā datu analīze un tās vizualizācija (4.20. un 4.21. att.) norāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu sastāvs vietās, kur norisinās aktīva horizontu papildināšanās, nav atkarīgs ne no horizontu ieguluma dziļuma, ne no horizontu veidojošiem iežiem.

Diezgan bieži ūdeņu ķīmiskā sastāva raksturošanai tiek izmantoti integrālie parametri: ūdeņu pH un elektrovadītspēja (Klimas 2003). Tāpēc iepriekš analizētais pieņēmums par ūdeņu ķīmiskā sastāva atkarību no kvartārsegas nogulumu ūdens horizonta ieguluma dziļuma un horizontu veidojošiem iežiem tika pārbaudīts, izmantojot šos jutīgos fizikāli ķīmiskos parametrus. Turklāt, šāda analīze ļautu novērtēt ne tikai kādas noteiktas šo parametru vērtības, bet arī spriest par ķīmisko procesu intensitāti un virzību kvartārsegas pazemes ūdeņos.

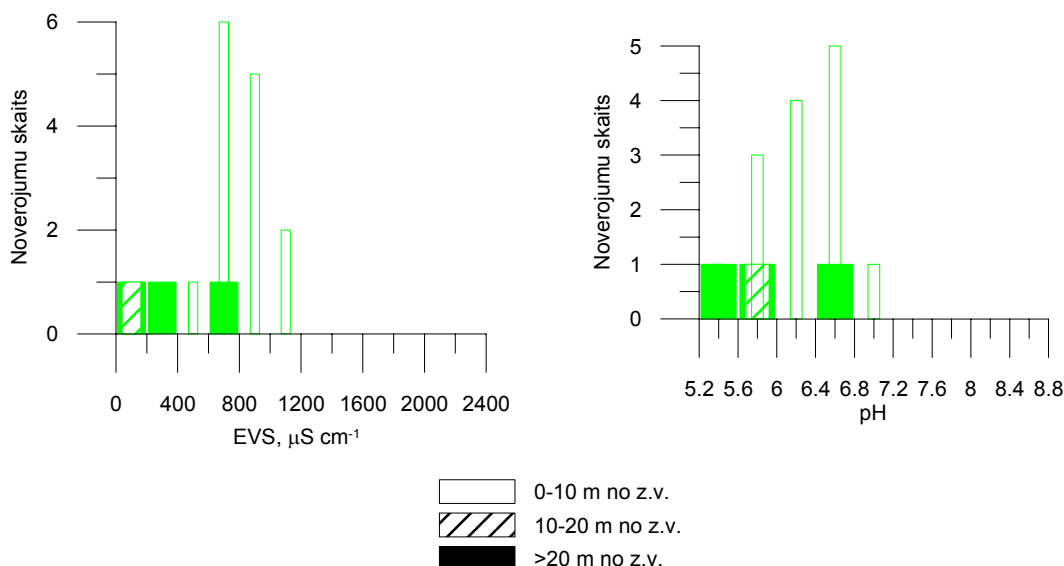
Pieņemtās tēzes pārbaudei tika veikta iepriekš sagraupēto datu (pēc filtra intervālu dziļumiem un horizontu veidojošiem nogulumiem) grafiskā analīze. Grafiskā analīze ietvēra histogrammu sastādīšanu (4.22.-4.24. att.) un tai sekojošu rezultātu izvērtējumu. Histogrammu solis ($200 \mu\text{S cm}^{-1}$ EVS histogrammām un 0,4 vienības pH histogrammām) tika izvēlēts tāds pats, kā analizējot EVS un pH vērtību sadalījumu visos kvartāra nogulumos visos dziļumos (4.7. att.). Šāda pieeja ļāva katrai nogulumu grupai sastādīt atsevišķu histogrammu sistēmu, kas ietvēra atsevišķas histogrammas izdalītajām slāņu dziļumu apakšgrupām. Gadījumā, ja ūdeņu fizikāli-ķīmiskie parametri ir atkarīgi no horizontu ieguluma dziļuma vai horizontu veidojošiem nogulumiem, būtu jāveidojas atšķirīgām vērtību sadalījuma grupām.



4.22. att. Kvartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas un pH vērtību sadalījums smilts nogulumos dažādos dziļuma intervālos.

Autores interpretācija, novērojumu skaits 213, punktu izvietojums parādīts 2.1. att.

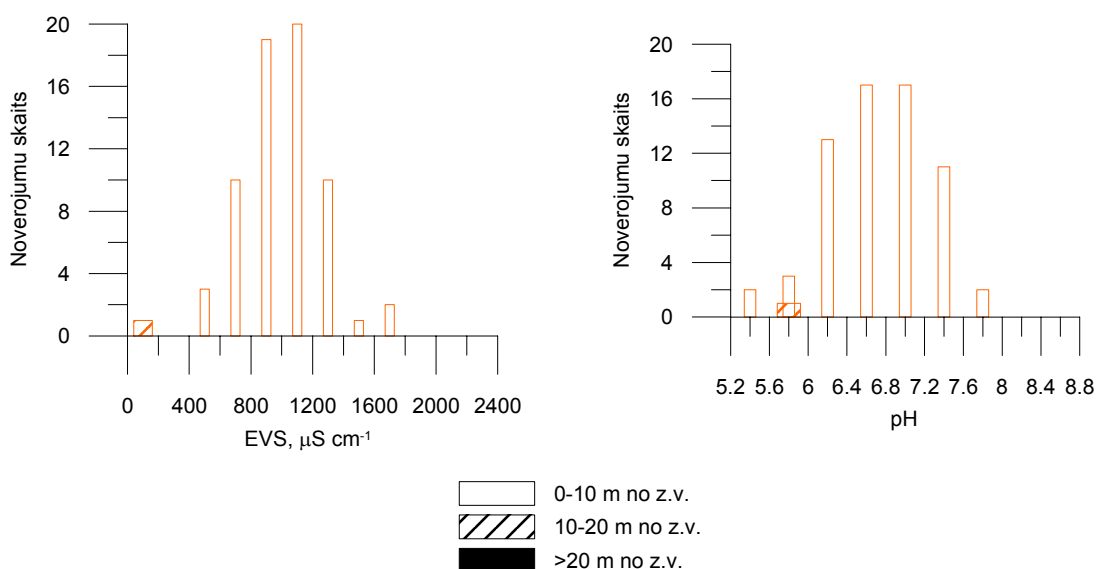
Iegūtie grafiki (4.22. att.) norāda, ka seklākajos smilts nogulumu pazemes ūdeņu horizontos (0-10 m dziļumā no zemes virsmas) ir raksturīgs diezgan simetrisks, normālam līdzīgs vērtību sadalījums, kur EVS vērtības ir no 400 līdz 2400 $\mu\text{S cm}^{-1}$, dominējošās vērtības ir 600-1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, un pH vērtības ir 6-8,8 vienības ar dominējošām vērtībām 6,8-7,6 vienības. Vidēji dziļajos ūdens horizontos (10-20 m no z.v.) EVS vērtību diapazons ir 40-1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ar dominējošām vērtībām 200-800 $\mu\text{S cm}^{-1}$, un pH vērtību diapazons ir 6,8-8,4 vienības, ar dominējošām vērtībām 6,8-7,6 vienību robežās, bet abiem parametriem konstatētā vērtību dominance ir maz izteikta. Dziļākajos ūdens horizontos (>20 m no z.v.) EVS vērtībām ir nodalāmi divi diapazoni: 40-400 $\mu\text{S cm}^{-1}$ un 1600-1800 $\mu\text{S cm}^{-1}$, un nav izteiktas dominances. Minēto horizontu ūdeņu pH vērtības ir 5,2-6,0 vienību robežās, un arī šajā gadījumā ir bez izteiktas dominances (4.22. att.).



4.23. att. Kwartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas un pH vērtību sadalījums smilts-grants nogulumos dažādos dziļuma intervālos.

Autores interpretācija, novērojumu skaits 18, izvietojums parādīts 2.1. att.

Iegūtie grafiki (4.23. att.) norāda, ka smilts un grants nogulumu seklajos ūdens horizontos (0-10 m no z.v.) EVS un pH vērtību sadalījums ir pakāpeniski augošs vai dilstošs. EVS vērtības ir 400-1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ar dominējošām vērtībām 600-1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Ūdeņu pH vērtības ir 5,6-7,2 vienības, bez izteiktas dominantes. Vidēji dziļajos un dziļajos ūdens horizontos EVS vērtības ir attiecīgi 30-200 $\mu\text{S cm}^{-1}$ un 30-800 $\mu\text{S cm}^{-1}$ bez izteiktām dominantēm, un pH vērtības attiecīgi ir 5,6-6,0 un 5,2-6,8 vienības, arī bez dominējošām vērtībām.



4.24. att. Kwartārsegas pazemes ūdeņu elektrovadītspējas un pH vērtību sadalījums morēnnogulumos dažādos dziļuma intervālos.

Autores interpretācija, novērojumu skaits 66, izvietojums parādīts 2.1. att.

Grafiki (4.24. att.) norāda, ka morēnas nogulumu seklajos ūdens horizontos (0-10 m no z.v.) EVS un pH vērtībām ir raksturīgs normālam līdzīgs sadalījums. EVS vērtību diapazons ir 400-1800 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ar dominanti 800-1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$, un pH vērtību diapazons ir 5,2-8,0 vienības, ar vāji izteiktu dominanti 6,4-7,2 vienības. Vidēji dziļajos morēnas nogulumu ūdens horizontos ir tikai viens pētījumu punkts, kurā EVS vērtība ir 40-200 $\mu\text{S cm}^{-1}$ diapazonā un pH vērtība 5,6-6,0 vienību diapazonā.

Grafiskās analīzes rezultātā iegūtās raksturīgās EVS un pH vērtības ir apkopotas sekojošā tabulā (4.4. tab.), un tā sniedz vispārīnātu pārskatu par minētajām kvartārsegas pazemes ūdeņu vērtībām nogulumu sastāva grupu un pētīto dziļuma intervālu griezumā.

4.4. tabula. Raksturīgās pazemes ūdeņu EVS un pH vērtības dažādos kvartāra nogulumos

Nogulumi	Paraugošanas dziļuma intervāls, m no z.v.	Raksturīgās vērtības	
		EVS, $\mu\text{S cm}^{-1}$	pH
Smilts nogulumi	0-10	600-1000	6,8-7,6
	11-20	200-400	6,8-7,6
	>20	40-400	5,6-6,0
Smilts-grants nogulumi	0-10	600-1000	6,0-6,8
	11-20	40-200	5,6-6,0
	>20	40-400	5,2-6,0
Morēnnogulumi	0-10	800-1200	6,4-7,2
	11-20	40-200	5,6-6,0

Sniegtā datu analīze rāda, ka seklajos ūdens horizontos (0-10 m no z.v.) gan smilts, gan smilts un grants nogulumu horizontos ūdeņu elektrovadītspējas dominējošās vērtības ir līdzīgas: no 600 līdz 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, bet morēnas nogulumos raksturīgas nedaudz augstākas EVS vērtības (800-1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Vidēji dziļajos (11-20 m no z.v.) un dziļajos (>20 m no z.v.) ūdens horizontos neatkarīgi no nogulumu veida konstatētas zemas EVS vērtības: no 40 līdz 400 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Savukārt, maksimālās EVS vērtības (2000-2400 $\mu\text{S cm}^{-1}$) raksturīgas seklajiem smilts nogulumu ūdens horizontiem. Smilts un grants nogulumu ūdens horizontos EVS vērtības nepārsniedz 1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$, bet morēnas nogulumu sporādiskajos ūdens horizontos ir līdz 1800 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Apskatot pH vērtību sadalījumu, atzīmējams, ka smilts nogulumu seklajos un vidēji dziļajos ūdens horizontos ir augstākās dominējošās pH vērtības (6,8-7,6 vienības), bet

dziļākajos horizontos tās ir ievērojami zemākas (5,6-6,0 vienības). Arī smilts un grants un morēnas nogulumu ūdens horizontos ir vērojama līdzīga tendence – pH vērtības pazeminās pieaugot horizonta dziļumam. Turklāt, smilts nogulumos katrā dziļumu intervālā raksturīgas nedaudz augstākas pH vērtības nekā citu nogulumu horizontos tajos pašos dziļumos (4.4. tab.). Plašākais pH vērtību diapazons ir raksturīgs smilts nogulumiem – sekļajos ūdens horizontos pH vērtības ir 6,0-8,8 vienības. Līdzīgi, arī morēnnogulumu seklo horizontu ūdeņu pH vērtības variē no 5,2 līdz 8,0 vienībām. Savukārt, smilts un grants nogulumu seklo horizontu ūdeņiem ir viendabīgākās pH vērtības: no 5,6 līdz 7,2 vienības.

Kvartāra pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru datu grafiskā analīze (4.22.-4.24. att.) rāda, ka smilts nogulumu sekļajos ūdens horizontos (0-10 m) ir normāls EVS un pH vērtību sadalījums un neveidojas atsevišķi nodalītas vērtību grupas. Arī smilts un grants un morēnas nogulumu sekļajos ūdens horizontos ir normāls pH un EVS vērtību sadalījums, lai gan smilts un grants nogulumu gadījumā tas ir ļoti akcentēts. Minētais norāda, ka sekļajos ūdens horizontos, neatkarīgi no tos veidojošajiem nogulumiem norit vieni un tie paši procesi, atšķiras tikai to intensitāte, par ko liecina vērtību sadalījuma raksturīgo skaitlisko vērtību atšķirības (4.4. tab.). Tomēr tās nav tik nozīmīgas, lai varētu tikt izmantotas par drošu pazīmi horizontu grupēšanai.

Vidēji dziļajos (11-20 m) un dziļajos (>20 m) ūdens horizontos ir mazāks pētījumu vietu skaits, kas ietekmē šīs analīzes rezultātus. Patreizēji pieejamie rezultāti norāda, ka ir konstatējamas atšķirības kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtībās dažādu nogulumu ūdens horizontos. Tomēr pētījumu vietu skaits ir nepietiekams un vērtību izkliede pārāk liela, lai autore darbā uzņemtos sniegt kādus konkrētus secinājumus par šiem dziļumu intervāliem.

Apkopojot grafiskās analīzes (4.22.-4.24. att.) gaitā iegūtos rezultātus, var secināt, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS rādītāji ir maznozīmīgi atkarīgi no horizontu veidojošajiem nogulumiem sekļajos ūdens horizontos. Simetriskais pH un EVS vērtību sadalījums visās nogulumu grupās parāda, ka visos gadījumos šo parametru vērtības ietekmē līdzīgi faktori. Savukārt, horizontu veidojošie nogulumi nosaka šo faktoru ietekmes intensitāti, kas izpaužas pH un EVS skaitlisko vērtību maznozīmīgās atšķirībās.

Dziļākajos ūdens horizontos nav konstatējama kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību atkarība no horizontu veidojošiem nogulumiem vai horizonta ieguluma

dziļuma. Tā kā pētījumam bija pieejams ierobežots datu kopums par dziļākajiem (11-20 m un vairāk kā 20 m) ūdens horizontiem, tāpēc šī pieņēmuma daļa būtu pārbaudāma nākotnē, jo patreizējie dati norāda uz ievērojamu vērtību izkliedi un iespējamo pH un EVS vērtību atkarību no horizonta ieguluma dziļuma un to veidojošiem iežiem. Analizētā datu kopa ir relatīvi neliela, un tāpēc, pēc autores domām, nākotnē nepieciešams turpināt šo analīzi, būtiski palielinot analizējamo datu kopu.

Tādējādi, veiktā datu analīze norāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu saturs nav atkarīgs ne no horizontu ieguluma dziļuma, ne no horizontu veidojošiem nogulumiem, kas nosaka līdzīgas pH un EVS vērtības pētītajos ūdeņos.

Tomēr, ja kvartāra pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu dabiskos apstākļos neietekmē ne horizontu veidojošie nogulumi, ne horizonta ieguluma dziļums, ir jābūt faktoriem, kas nosaka, kaut arī nelielas, bet esošas ūdens ķīmiskā sastāva atšķirības (par ko liecina pH un EVS vērtību analīze). Agrāko gadu pētījumu (Aleksans u.c. 1988, 1991, Prols, Prole 1989, Kruglik 1989, Levina 1999, 2000, 2001) analīze norāda, ka, visticamāk, galvenais ūdens ķīmiskā sastāva variācijas noteicošais faktors ir horizonta barošanās apstākļi un ūdens apmaiņas ātrums. Būtiski pazeminātas ūdens EVS vērtības un zems makrokomponentu saturs novērojams tajos gadījumos, kad horizonts barojas tikai ar atmosfēras nokrišņiem un (vai) ar purvu nogulumu ūdeņiem, savukārt būtiski paaugstinātas ūdens EVS vērtības un augsts makrokomponentu saturs novērots gadījumos, kad konstatēta spiedienūdeņu augšupejoša filtrācija vai jūras ūdens pieplūde.

4.3. Citi kvartāra pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva komponenti

Bez makrokomponentiem pazemes ūdeņos ir sastopami virkne savienojumu, kuru koncentrācijas ir salīdzinoši zemas, bet kuri arī ietekmē pazemes ūdeņu īpašības (Krajnov, Shvets 1992, Appelo, Postma 2005). Dažādi autori šos savienojumus gan apvieno vienā grupā kā mikrokomponentus, gan vairākās grupās, izdalot mezo- un mikrokomponentus.

Jau pagājušā gadsimta sākumā dzeramajos pazemes ūdeņos tika analizēti dažādi slāpekļa savienojumi (NH_4 , NO_2 , NO_3), metāli (Fe, Mn), ūdenī izšķīdušās gāzes (CO_2 , H_2S) un organisko vielu saturs (piemēram, Bīmanis 1938). Laika gaitā Latvijas pazemes ūdeņos pētīto ķīmisko savienojumu skaits pieauga, galvenokārt, palielinoties analizēto metālu skaitam (Aleksans u.c. 1988, 1991, Drikis u.c. 1980, Frejmanis u.c. 1966, Gavrylova u.c. 1962, 1963, 1966, 1967, 1975, 1978, Ginters u.c. 1985, 1986, Yankin u.c.

1969, 1973, 1975, Yanson u.c. 1965, 1967, 1971, Yushkevich u.c. 1978, Kayak u.c. 1976, Lyarskij u.c. 1963, Myronov u.c. 1962, Murnieks u.c. 1979, Podgurskij u.c. 1974, 1985, Sapega u.c. 1982, Straume u.c. 1970, Sulimov u.c. 1962, Tratsevskij u.c. 1964, 1965, 1967, 1969, 1984, 1989, 1993, Ulgis u.c. 1981, 1983, Vetrennikov u.c. 1976). Šie savienojumi absolūtajās vērtībās mainās plašās robežās un var nozīmīgi ietekmēt pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu. Tomēr promocijas darba mērķis nebija šo komponentu izpēte Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņos, un šajā darbā tie detalizēti netiek analizēti.

Apskatot Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu mikrokomponentu sastāvu jāatzīmē, ka līdz šim detalizēti tas ir maz pētīts. Pašlaik (2002-2006), sadarbojoties LVĢMA un GEUS speciālistiem – hidroģeologiem, tiek realizēts pētījums „Lauksaimniecības ietekme uz gruntsūdeņiem Latvijā” (Gosk, Levins 2006.). Projekta ietvaros tiek veiktas pazemes ūdeņu mikrokomponentu sastāva augstas precizitātes analīzes. Šajā pētījumā tika analizēti 22 mikrokomponenti (Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, F, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, Sr, U, V, Y, Zn, Zr) un retzemju elementi (REE), izmantojot induktīvi saistītas plazmas masspektrometrijas (ICP-MS) metodi. Projekta galīgie rezultāti pagaidām nav publicēti, bet nākotnē tie noteikti sniegs nozīmīgu informāciju par mikrokomponentu saturu Latvijas kvartārsegas nogulumu pazemes ūdeņos. Pirmais starptautiskais ziņojums par veiktajiem mikrokomponentu un zīmju elementu pētījumiem Latvijas kvartāra nogulumu pazemes ūdeņos tika sniegts 2004. gadā (Levins, Gosk 2004), un tā nozīmīgākie secinājumi par kvartārsegas pazemes ūdeņu mikrokomponentu sastāvu ir sekojoši:

- Br, Cr, F, P koncentrācijas ir līdzīgas dažādos kvartāra ūdens horizontos ar plašu pH-Eh vērtību diapazonu,
- U, Zn, Mn, Co un REE koncentrācijas ir ievērojami atkarīgas no pH-Eh vērtību diapazona,
- mikrokomponentu un zīmju elementu koncentrācijas ir ievērojami atšķirīgas dažādos pazemes ūdeņu horizontos, un tāpēc tie daudz labāk var tikt izmantoti pazemes ūdeņu veidošanās pētījumiem.

Pēc autores domām, atsevišķi būtu jāskata dzelzs savienojumu saturs kvartārsegas pazemes ūdeņos, jo paaugstinātas dzelzs savienojumu koncentrācijas pazemes ūdeņos Latvijā ir tipiska problēma, ar kuru saskaras vairums ūdensapgādes uzņēmumu un ūdens patērētāju, kuri izmanto pirmskvartāra nogulumu pazemes ūdeņu horizontus. Svarīgi atzīmēt, ka Latvijas artēziskajos ūdeņos, kas, galvenokārt, tiek izmantoti ūdensapgādē, ūdens atdzelžošana nav komplicēta, jo ūdeņi satur Fe^{2+} . Atšķirīga situācija vērojama

kvartārsegas pazemes ūdeņos, kur līdztekus paaugstinātajam skābekļa saturam nereti novērojamas arī augstas organisko vielu koncentrācijas (Levins, Dēliņa u.c. 2002). Šajā gadījumā kā Fe^{2+} , tā arī Fe^{3+} veido kompleksus organiskos savienojumus, galvenokārt, ar fulvoskābēm, kuru sašķelšana un attiecīgi, arī attīrīšana ir tehnoloģiski problemātiska, t.i., ir nepieciešami speciāli filtri, kas aiztur dzelzs organisko savienojumu kompleksus.

Kvartārsegas pazemes ūdeņos kopējās dzelzs saturs parasti ir zems, un tikai nedaudz pārsniedz dzeramajā ūdenī pieļaujamo koncentrāciju $0,2 \text{ mg l}^{-1}$ (MK nr. 235, 2002). I. Dzilna (1970) savā pētījumā norāda, ka kopējās dzelzs saturs gruntsūdeņos vidēji ir $0,1-2 \text{ mg l}^{-1}$, un maksimāli var sasniegt 15 mg l^{-1} , bet starpmorēnu ūdeņos vidēji $0,2-4 \text{ mg l}^{-1}$, maksimāli sasniedzot 10 mg l^{-1} , un arī turpmākie pazemes ūdeņu pētījumi šos datus apstiprina (Levins, Gosk 1998.). Vienlaicīgi, iepriekšējie pētījumi norāda uz atsevišķām teritorijām, kur veidojas specifiski hidroģeoloģiskie apstākļi, kā rezultātā ievērojami paaugstinās arī kopējās dzelzs saturs, piemēram, Carnikavas apkārtnē atsevišķos novērojumu punktos kopējās dzelzs saturs sasniedz pat $20-30 \text{ mg l}^{-1}$ (Dēliņa 2002).

4.4. Kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva raksturīgākās iezīmes

Promocijas darbā iegūtie un apkopotie pētījumu rezultāti ļauj izvirzīt šādus galvenos secinājumus par Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu.

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņos izteikti dominē Ca- HCO_3 vai retāk, Ca-Mg- HCO_3 , tipa ūdeņi, kuru mineralizācija nepārsniedz $0,2-0,6 \text{ g l}^{-1}$ (elektrovadītspēja $200-600 \mu\text{S cm}^{-1}$) un vides reakcija ir $6,8-7,6$, bet oksidēšanās – reducēšanās potenciāls no -10 mV līdz 90 mV . Tas liecina par ūdeņu relatīvi nelielo piesātinājumu ar izšķīdušo skābekli (dominējoši robežās līdz $0,15 \text{ mg l}^{-1}$).

Specifiskos hidroģeoloģiskajos apstākļos, galvenokārt, vietās, kur ir zināma artēzisko ūdeņu atslodze, ir sastopami Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 vai retāk, Ca-Mg- SO_4 tipa ūdeņi. Šajā gadījumā strauji pieaug ūdens mineralizācija, sasniedzot $1-1,5 \text{ g l}^{-1}$ (ūdens elektrovadītspēja $1000-1600 \mu\text{S cm}^{-1}$), vides reakcija ir $6,5-7,2$ vienības, bet oksidēšanās – reducēšanās potenciāls ir no -70 mV līdz -30 mV un izšķīdušā skābekļa (O_2) saturs ir $0,01-0,02 \text{ mg l}^{-1}$.

Baltijas jūras un Rīgas līča piekrastē, pārsvarā līdz dažu simtu metru attālumā no krasta līnijas, sastopami arī Na-Cl vai jaukta tipa ūdeņi, ko nosaka jūras ūdeņu pieplūde

kvartāra ūdens horizontos. Arī šajos gadījumos strauji pieaug ūdens mineralizācija, sasniedzot 2 g l^{-1} (ūdens elektrovadītspēja līdz $1960 \mu\text{S cm}^{-1}$), vides reakcija ir 7,4-7,8 vienības, bet oksidēšanās – reducēšanās potenciāls no -30mV līdz 20 mV un izšķīdušā skābekļa saturs ir $0,01-0,1 \text{ mg l}^{-1}$.

Ievērojami augstāka mineralizācija, pat līdz 10 g l^{-1} ir konstatēta vietās, kur notiek dziļo, stipri mineralizēto kembrija – venda horizonta ūdeņu injekcija kvartāra pazemes ūdeņos. Šādas teritorijas ar anomāli augstu hlorīdu saturu ir zināmas, piemēram, Gaujas upes grīvā un pie Upesgrīvas (Levina, Levins 2005).

Dažādā ķīmiskā sastāva kvartārsegas pazemes ūdeņu tipu secība pēc katra tipa ūdeņu daudzuma ir: $\text{Ca-HCO}_3 > \text{Ca-Mg-HCO}_3 \gg \text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4 > \text{Ca-Mg-SO}_4 \gg \text{Na-Cl}$ (ar nelielām variācijām jūras piekrastē). Norādītā secība neattiecas uz purvu nogulumu vai piesārņotu teritoriju kvartārsegas pazemes ūdeņiem.

Autores iegūtie rezultāti par kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu sastāvu pārsvarā apstiprina iepriekšējo pētījumu rezultātus (Dzilna 1970, Dzilna 1968, Bichko u.c. 1979), bet iegūta papildus informācija, veicot atsevišķu fizikāli ķīmisko parametru detalizētu novērtējumu *in situ* (pH, EVS, Eh, O_2).

Agrākajos gados iegūtie analītiskie dati par kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu sastāvu ir izmantojami vispārīnātam pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva novērtējumam, bet ne konkrētu ūdens kvalitātes problēmu risināšanai, kam nepieciešama vides reakcijas un oksidēšanās-reducēšanās apstākļu analīze, piemēram, dažādās valences dzelzs savienojumu analīze.

Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs ir līdzīgi mainīgs visā Latvijas teritorijā, un nav novērojamas nozīmīgas makrokomponentu vai pH un EVS vērtību atšķirības dabas apvidu vai zemieņu un augstieņu līmenī. Pētījumā netika konstatēta arī kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu satura atkarība no horizonta ieguluma dziļuma (līdzīgos horizontu barošanās apstākļos) vai horizontu veidojošiem nogulumiem. Tādejādi, veiktais pētījums norāda, ka makrokomponentu īpatsvara vai to procentuālo attiecību variācijas nevar tikt izmantotas kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva vai īpašību rajonēšanai ne dabas apvidu, ne reljefa lielformu līmenī, kā arī atkarībā no horizontus veidojošo nogulumu ģenēzes vai ieguluma dziļuma. Tāpēc vispārīgam kvartārsegas pazemes ūdeņu raksturojumam turpmākajos pētījumos var izmantot šo ūdeņu makrokomponentu sastāva mediānas vērtības visai Latvijas teritorijai.

Latvijas un Lietuvas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva salīdzinošā analīze norāda, ka vispārzināmās līdzības Latvijas un Lietuvas

kvartārsegas uzbūvē un nogulumu sastāvā (Jodkazis 1980) nosaka arī augsto līdzību kvartārsegas pazemes ūdeņu kopējā mineralizācijā un dominējošo ķīmisko elementu sastāvā un proporcijās.

Pētījuma gaitā veiktie pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mērījumi un iegūto rezultātu analīze ļāva arī gūt lietišķus secinājumus par kvartāra pazemes ūdeņu izpēti un lauka apstākļos iegūto rezultātu pielietojamību:

1. Veiktie pētījumi parādīja, ka urbumā atsūknētā ūdens fizikāli-ķīmisko parametru vērtības ir atkarīgas no paraugošanas ilguma. Tika konstatēts, ka šie parametri stabilizējas apmēram 30 minūtēs, kas uzskatāms par seklo maza diametra urbumu (50-80 mm) optimālo atsūknēšanas laiku.
2. Ūdens elektrovadītspēja ir integrāls parametrs, kas, salīdzinot ar ūdens mineralizāciju (it īpaši ja noteikts ir tikai makrokomponentu sastāvs), ir efektīvi nosakāms lauka apstākļos un precīzāk raksturo disociēto ķīmisko elementu un savienojumu saturu ūdenī. Iegūtais korelācijas vienādojums $y=0,91x$ ļauj aprēķināt ūdens mineralizāciju no *in situ* nomērītajām EVS vērtībām.

5. DISKUSIJA UN INTERPRETĀCIJA

Pazemes ūdeņu dažādība gan šķērsgriezumā, gan plāna skatījumā ir labi zināma parādība. Šo dažādību ietekmē gan ģeoloģiskās vides daudzveidība, gan citu, pazemes ūdeņu ietekmējošo faktoru mainība (Garrels, Krajst 1968, Denisov u.c. 1967, Appleo, Postma 2005). Minētā dažādība sarežģī un sadrumstalo, nereti pat apgrūtina, pazemes ūdeņu izzināšanu. Tāpēc, līdzīgi kā daudzās citās dabas un tehnisko zinātņu apakšnozarēs, arī pazemes ūdeņu izzināšanā viens no būtiskiem jautājumiem ir šīs dažādības klasificēšana un grupēšana, izceļot nozīmīgākās un neņemot vērā maznozīmīgākās atšķirības.

Detalizētā kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva analīze norādīja, ka pēc makrokomponentu vai pH un EVS vērtībām kvartāra pazemes ūdeņi Latvijā maz atšķiras, izņemot anomāliju iecirkņus, piemēram, purvus, vietas, kur notiek jūras ūdeņu intrūzija vai dziļo sālsūdeņi injekcija, un sulfātiem bagāto artēzisko ūdeņu atslodze kvartāra ūdens horizontos. Tomēr, gan I. Dzilna (1970) un V. Starpēns (Dzilna, Staprens 1967b), gan N. Levina (Levina 1997, Levins u.c. 1998) atzīmē kvartāra pazemes ūdeņu resursu atšķirības dažādās Latvijas teritorijās. Tāpēc var spriest, ka, neskatoties uz ķīmiskā sastāva relatīvo līdzību, būtu iespējama kvartāra pazemes ūdeņu klasificēšana pēc citiem hidroģeoloģiskajiem parametriem, nevis ūdeņu ķīmiskā sastāva (Dēliņa 2005a). Kā viena no šādas klasificēšanas iespējām ir dažādo ģeoloģiskās uzbūves un hidroģeoloģisko apstākļu raksturlielumu vienkāršošana un shematizācija, ar tai sekojošu teritorijas rajonēšanu gan plānā, gan griezumā (Dēliņa 2001). Viens no rajonēšanas piemēriem ir pazemes ūdeņu zonalitāte – gan ģeogrāfiskā zonalitāte, gan hidroģeoloģiskā griezuma hidrodinamiskā un hidroķīmiskā zonalitāte.

Pazemes ūdeņu ģeogrāfiskā zonalitāte, galvenokārt, tiek izmantota sekli iegulošo pazemes ūdeņu, t.i., gruntsūdeņu, rajonēšanai, jo pieaugot ūdens horizontu ieguluma dziļumam samazinās ģeogrāfisko faktoru ietekme uz pazemes ūdeņiem (Skrastina 1967). Pagājušā gadsimta divdesmitajos, trīsdesmitajos, kā arī vēlākos gados veiktā gruntsūdeņu zonēšana ietver rajonu ar zonāliem un azonāliem gruntsūdeņiem izdalīšanu, atkarībā no teritorijas ģeoloģiskās uzbūves un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem, gruntsūdeņu ieguluma dziļuma un režīma. Latvijas teritorija dažādu zinātnieku sastādītajās gruntsūdeņu zonalitātes kartēs atbilst azonālo ūdeņu rajonam (Lange 1947).

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva pētījumu rezultātu analīze (Dēliņa 2006a) norāda, ka gruntsūdeņu vai visu kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu ģeogrāfiskā zonēšana nav lietderīga. To nosaka tas, ka visa Latvija atrodas mērenā klimata joslas jaukto mežu dabas zonā, kur dominē pārejas tipa klimats no okeāniskā uz kontinentālo. Līdz ar to, Latvijā pārsvarā ir novērojamas nelielas klimata un dabas vides atšķirības (Pastors 1987), kā arī maznozīmīgās ģeogrāfiskās atšķirības starp dažādām Latvijas teritorijām (Dēliņa 2006a). Pretēji tam, kvartāra nogulumu slāņkopas atšķirīgā un sarežģītā uzbūve – dažāda biezuma, vecuma un ģenēzes nogulumi un to dažāda salikums (3. nod.), norāda uz iespējamām kvartāra hidroģeoloģiskā griezumā atšķirībām, kas varētu noteikt arī pazemes ūdeņu īpašību dažādību.

Tradicionāli kvartārsegas pazemes ūdeņus Latvijā gan griezumā, gan plānā raksturo pēc ūdeņus ietverošajiem nogulumiem – piemēram, purvu, aluviālo, Baltijas ledus ezera, glaciofluviālo, glaciolimnisko u.c. nogulumu pazemes ūdeņi (Dzilna 1970, Bichko u.c. 1979). Tomēr, tā kā minēto nogulumu klātbūtne un biežums dažādos griezumos Latvijā ir ļoti mainīgs, tad kvartārsegas pazemes ūdeņu raksturojums pēc ietverošajiem nogulumiem nesniedz pilnīgu informāciju par Latvijas hidroģeoloģiskajiem apstākļiem, nereti apgrūtinot kvartāra pazemes ūdeņu pētījumus un nepamatoti sarežģītot teritorijas hidroģeoloģiskos apstākļus. Tāpēc būtu lietderīgi rast citu risinājumu Latvijas kvartāra nogulumu hidroģeoloģisko apstākļu raksturošanai.

Kā viens no iespējamiem risinājumiem ir kvartāra nogulumu hidroģeoloģiskā rajonēšana. Rajonēšanas jautājumus jau 1970. gados izstrādāja I. Dzilna un citi (Dzilna u.c., 1970), nodalot divu tipu hidroģeoloģiskos apgabalus. Pirmā tipa apgabalos dominē gruntsūdens horizonts, un tie ir, galvenokārt, saistīti ar zemienēm, bet otrā apgabalos rajonos dominē starpslāņu ūdens horizonti, un tie, galvenokārt, ir saistīti ar augstienēm. Katrs no apgabaliem, ņemot vērā tā laika zināšanas par kvartārsegas ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko uzbūvi, tika sadalīti sīkākos hidroģeoloģiskajos rajonos, kopā izdalot 26 rajonus. Šī rajonēšana tika izveidota balstoties uz kvartārsegas uzbūvi un tās galvenais mērķis bija kvartārsegas pazemes ūdeņu tautsaimnieciskās izmantošanas nodrošināšana.

Kopš pagājušā gadsimta septiņdesmitajiem gadiem mūsu zināšanas par Latvijas kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvi, ģeomorfoloģiskajiem un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem ir ievērojami palielinājušās (Aleksans u.c. 1988, 1991, Driķis u.c. 1980, Gavrylova u.c. 1975, 1978, Ginters u.c. 1985, 1986, Murnieks u.c. 1979, Podgurskij u.c. 1985, Tratsevskij u.c. 1984, 1989, 1993, Ul'gis u.c. 1981, 1983, Yanson u.c. 1965, 1967a, b, Yushkevich u.c. 1978) un tas ļauj iepriekš aprakstīto rajonēšanu pārskatīt. Turklāt, kā

jau minēts, iepriekšējās rajonēšanas (Dzilna u.c. 1970) mērķis bija kvartārsegas pazemes ūdeņu tautsaimnieciskās izmantošanas aspekti, kas pēc sava satura nevar tikt uzskatīts par piemērotu kritēriju kvartārsegas pazemes ūdeņu raksturošanai telpā. Tāpēc nākamajās sadaļās tiks apskatītas kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma shematizācijas un rajonēšanas problēmas.

5.1. Kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma shematizācija

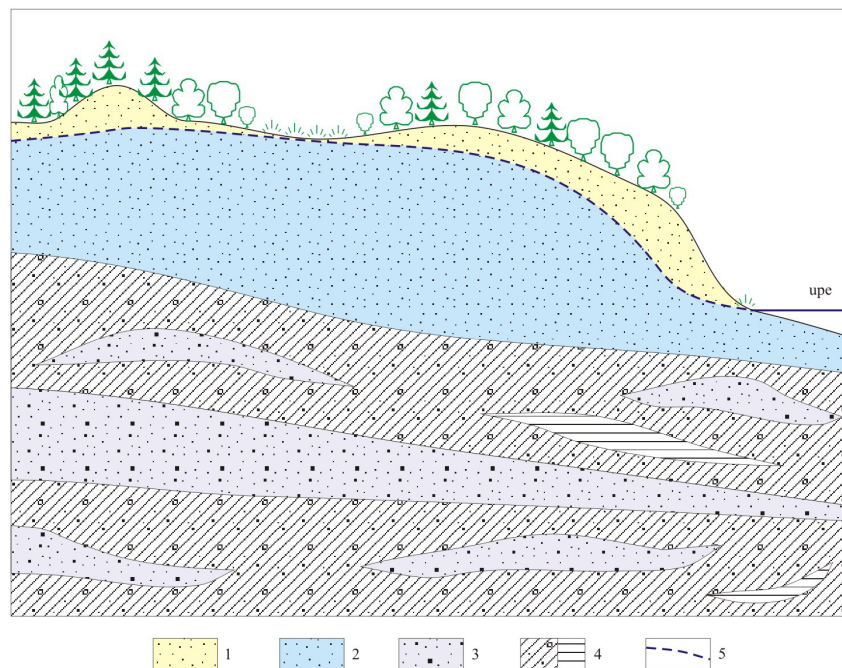
Kvartārsegas pazemes ūdeņu kvantitatīvos un kvalitatīvos raksturlielumus nosaka tādi būtiski faktori kā pazemes ūdeņu ieguluma un plūsmas apstākļi, kurus, savukārt, nozīmīgi ietekmē kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūve: nogulumu sastāvs un saguluma apstākļi. Analizējot šos faktorus un zināmo kvartārsegas pazemes ūdeņu ieguluma dažādību, tika izvēlētas vairākas Latvijas kvartārsegas hidroģeoloģiskā griezuma shematizācijas pazīmes. Par tādām pēc I. Dzilnas (1970) tika noteiktas sekojošas: ūdens slāņu izplatība un izturētība plānā un griezumā, pazemes ūdeņu plūsmas hidrauliskais raksturs. Šādā pieeja ļauj kvartāra hidroģeoloģiskā griezumā nodalīt vairākus slāņus (5.1. tab.).

5.1. tabula. Latvijas kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma slāņi un to izdalīšanas pazīmes

Hidroģeoloģiskā griezuma slānis		Izvietojums griezumā	Slāņa raksturīgās pazīmes	Slāņa biezums
I	Aerācijas zona	Izvietota starp gruntsūdens līmeni un zemes virsmu	Nogulumi ir daļēji piesātināti ar ūdeni, daļu poru aizpilda gaiss un ūdens tvaiks. Dominē vertikāla ūdens kustība (infiltrācija). Kapilārie ūdeņi.	Pārsvarā 2-5 m, purvos 0-1 m, labi drenētās teritorijās 5-10 m, vietām vairāk par 10 m.
II	Gruntsūdeņu horizonts	Starp gruntsūdens līmeni un dziļāk iegulošu ūdeni vāji caurlaidīgu nogulumu slāni (sprostslāni)	Plānā un griezumā izturēti ūdens piesātināti nogulumu slāņi. Ieguļ tieši zem aerācijas zonas. Dominē horizontāla ūdens kustība. Bezspiediena ūdeņi.	Pārsvarā no 2-5 m līdz 15-20 m, vietām 30-40 m.
III	Starpslāņu ūdeņu horizonti	Starpslāņu, ieslēgumu un lēcu veidā starp ūdeni vāji caurlaidīgu nogulumu slāņiem	Plānā un griezumā neizturēti ūdens piesātināti nogulumu slāņi. Ieguļ starp ūdeni vāji caurlaidīgu nogulumu slāņiem (sprostslāņiem). Dominē horizontāla ūdens kustība. Vāja spiediena un spiedienūdeņi.	Pārsvarā no 1-2 m līdz 5-10 m, maksimāli sasniedzot 15-60 m.

Katram no izdalītajiem slāņiem ir atšķirīgas iezīmes, un tajos noritošie hidrodinamiskie un hidroķīmiskie procesi nedaudz atšķiras.

Tā, caur aerācijas zonu (I slāni) notiek kvartārsegas pazemes ūdeņu papildināšanās. Šajā zonā nogulumi nav pilnīgi piesātināti ar ūdeni, daļu poru pilda gaiss un ūdens tvaiks, un daļu – dažādi pazemes ūdeņu veidi (higroskopiskais, plēvīšu, poru, kapilārais un gravitācijas), zonā dominē vertikālā ūdens kustība (Fetter 2001). Zona ietver arī kapilārās pacelšanās joslu, kurā norit intensīvi hidroķīmiskie procesi, ietekmējot kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva veidošanos. Šī ir zona, kurā norisinās atmosfēras ūdeņu (lietus, sniega kušanas ūdeņi) un virszemes ūdeņu un pazemes ūdeņu sajaukšanās, mijiedarbība (5.1. att.). Turklāt, ņemot vērā Latvijas klimatiskos apstākļus, šai mijiedarbībai ir sezonāls raksturs. Ziemā, aerācijas zonas ūdeņiem sasalstot, mijiedarbība gandrīz nenotiek, bet siltajā sezonā, atsākas ar mainīgu intensitāti, atkarībā no atmosfēras un virszemes ūdeņu pieplūdes daudzuma (Domenico, Schwartz 1990).



5.1. att. Kvartāra hidroģeoloģiskā griezumā slāņu shematisks izvietojums (autore)

Apzīmējumi: 1 – aerācijas (I) zona, 2 – gruntsūdeņu (II) horizonts, 3 – starpslāņu ūdeņu (III) horizonti, 4 – sprosts slāņi: morēnas smilšmāls un māls, 5 – gruntsūdens līmenis.

II slānis, t.i., gruntsūdens horizonts, aptver plānā un griezumā izturētus ūdens piesātinātu nogulumu slāņus, kurus nepārsedz vāji filtrējošu nogulumu slāņi. Šajā slānī izplatīti bezspiediena pazemes ūdeņi, kuri papildinās (barojas), galvenokārt, ar atmosfēras nokrišņiem caur aerācijas zonu. Gruntsūdeņu horizonta augšējās daļas ūdeņi ir cieši saistīti ar aerācijas zonā esošajiem kapilārajiem ūdeņiem, šajā daļā arī norit intensīvi

hidroķīmiskie procesi, kuru intensitāte līdz ar dziļumu samazinās. Gruntsūdeņu horizontā notiek pazemes ūdeņu un virszemes ūdeņu mijiedarbība, gan gruntsūdeņiem papildinoties ar virszemes ūdeņiem, gan arī pretēji (Dzilna 1970, Levina, Levins 2005).

III slānis reģionāli veido sprostsplāni, bet lokālos iecirkņos tas satur ūdens piesātinātu nogulumu starpsplāņus un lēcas. Visbiežāk tie ir dažāda vecuma ledāju kušanas ūdeņu nogulumu (glaciofluviālie un glaciolimniskie) morēnas slāņkopā vai starp dažāda vecuma morēnu nogulumiem. Dažāda vecuma nogulumu ūdens horizonti netiek atsevišķi nodalīti, jo pazemes ūdeņiem tajos ir līdzīgas īpašības – vājš vai vidējs spiediens, palēnināta ūdens apmaiņa un mazāk intensīvi hidroķīmiskie procesi salīdzinājumā ar gruntsūdeņiem, ierobežotāki resursi, to barošanās ar atmosfēras nokrišņiem notiek caur gruntsūdens horizontu, kā arī, šīs zonas ūdeņi papildinās ar pirmskvartāra nogulumu pazemes ūdeņiem no dziļākajiem artēzisko ūdeņu horizontiem.

Ņemot vērā kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma shematizāciju, ir iespējams izdalīt teritorijas ar līdzīgas uzbūves griezumiem.

5.2. Tipiskie kvartāra hidroģeoloģiskie griezumi

Katrā konkrētā kvartāra hidroģeoloģiskajā griezumā Latvijā katrs no izdalītajiem slāņiem (5.1. nodaļa) var būt vai var nebūt pārstāvēts, un katrs no tiem raksturo kvartāra nogulumu slāņkopas griezuma daļas ar atšķirīgiem hidroģeoloģiskiem apstākļiem. Tādēļ, ņemot vērā Latvijas kvartāra nogulumu slāņkopas ievērojamo neviendabību (Mejrons, Yushkevichs 1984), dažādās valsts teritorijās vienlaikus var būt sastopamas gan visi šie slāņi, gan tikai daži no tiem, bet atsevišķās teritorijās slāņi var savstarpēji pārklāties vai savienoties.

Ņemot vērā iepriekšēji aprakstīto slāņu klātbūtni katrā konkrētā kvartāra hidroģeoloģiskā griezumā, tika izvērtēti un analizēti vairāki simti griezumu visā Latvijā. Jāatzīmē, ka aerācijas zona (I) dažādo hidroģeoloģisko griezumu analizē šajā darbā netika ņemta vērā, jo pašlaik nav pieejami pietiekami daudz pamatoti dati par aerācijas zonas uzbūves atšķirībām un šo atšķirību lomu hidroģeoloģisko apstākļu izmaiņās. Analizētie kvartāra griezumi raksturoja ievērojamo hidroģeoloģisko apstākļu dažādību un augsto mainību Latvijā (3.3. nodaļa). Turklāt, griezumu izvietojums nebija vienmērīgs, piemēram, Rīgas un Daugavpils apkārtnē bija pieejami ļoti daudzi detalizēti hidroģeoloģiskie griezumi, bet daudzviet citur Latvijā – tikai atsevišķi griezumi plašākai teritorijai. Tomēr,

tie pietiekoši pilnīgi ļāva raksturot pētīto teritoriju kopumā un ļauj uz tiem balstīt noteiktus secinājumus.

Neskatoties uz analizēto griezumumu lielo dažādību un nevienmērīgo izvietojumu, tika konstatētas vairākas līdzīgas iezīmes gruntsūdens horizonta un starpslāņu ūdens horizontu izplatībā griezumos. Izvērtējot šīs līdzīgās iezīmes, analizētie griezumumi tika grupēti pēc diviem kritērijiem – gruntsūdens horizonta izturētības plānā un iekšmorēnas un starpmorēnu ūdens horizontu daudzuma un izturētības griezumā (5.2. tab.).

5.2. tabula. Kvartāra hidroģeoloģisko griezumumu grupēšanas kritēriji

Kritērijs	Pēc kritērija izdalīto grupu raksturojums
Gruntsūdens horizonta izplatība	Vienlaidus izplatīts gruntsūdens horizonts. Gruntsūdeņi saistīti ar plānā izturētām, biežām (vidēji 10-20 m) smilts, smilts – grants, aleirītiskas smilts slāņkopām.
	Sporādiski izplatītu gruntsūdeņu horizonts. Gruntsūdeņi sastopami plānā ierobežotos, salīdzinoši plānos (vidēji 1-3 m) smilts, smilts-grants, aleirītiskas smilts slāņos, kas uzguļ vāji caurlaidīgiem nogulumiem vai arī gruntsūdeņi ir saistīti ar smilts un aleirīta lēcām morēnnogulumu augšējā daļā.
Starpslāņu ūdens horizontu izplatība	Starpslāņu ūdens horizontu izplatība ir ļoti ierobežota, sastopamas retas, plānā neizturētas, 5-10 m biezas ūdens piesātinātas lēcas un starpslāņi morēnnogulumos.
	Starpslāņu ūdens horizonti ir izplatīti vietumis, pārsvarā tie ir vairāki, plānā vāji izturēti 5-15 m biezi starpslāņi morēnnogulumos.
	Daudzi starpslāņu ūdens horizonti, 15-25 m biežumā, gan izturēti, gan neizturēti plānā.

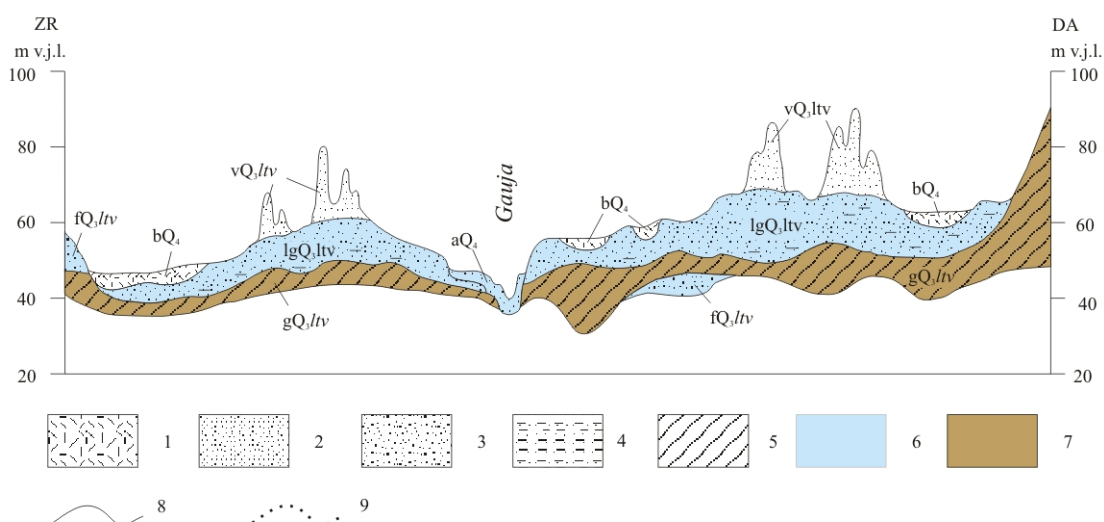
Hidroģeoloģisko griezumumu grupēšanas kritēriji tika izvēlēti tā, lai pēc izveidotiem hidroģeoloģiskajiem griezumumiem būtu iespējams nodalīt teritorijas ar līdzīgiem hidroģeoloģiskajiem apstākļiem. Tā piemēram, tur, kur ir vienlaidus gruntsūdens horizonts, kvartārsegas pazemes ūdeņu barošanās norisinās visā horizonta izplatības laukumā, ar gruntsūdens horizontu ir saistīti lielākie kvartārsegas pazemes ūdeņu resursi (3.3. nodaļa). Savukārt, piemēram, vietās, kur ir daudzi, biezi starpslāņu ūdens horizonti, kvartārsegas pazemes ūdeņu barošanās norit izkliedēti, ūdeņiem filtrējoties no seklākiem smilts slāņiem uz dziļākiem.

Sagrupējot analizētos griezumumus pēc 5.2. tabulā norādītajiem kritērijiem, tika izdalīti seši dominējošie hidroģeoloģisko griezumumu tipi:

- 1) hidroģeoloģiskais griezums teritorijām ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un ļoti reti starpslāņu ūdens horizontiem vai bez tiem,
- 2) hidroģeoloģiskais griezums teritorijām ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un dažiem, sporādiskiem starpslāņu ūdens horizontiem,

- 3) hidroģeoloģiskais griezumā teritorijām ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un daudziem sporādiski izplatītiem vai dažiem plānā izturētiem starpslāņu ūdens horizontiem,
- 4) hidroģeoloģiskais griezumā teritorijām ar sporādisku gruntsūdens horizontu un ļoti retiem starpslāņu ūdens horizontiem,
- 5) hidroģeoloģiskais griezumā teritorijām ar sporādisku gruntsūdens horizontu un dažiem, sporādiskiem starpslāņu ūdens horizontiem,
- 6) hidroģeoloģiskais griezumā teritorijām ar sporādisku gruntsūdens horizontu un daudziem sporādiski izplatītiem vai dažiem plānā izturētiem starpslāņu ūdens horizontiem.

Šie tipiskie kvartāra hidroģeoloģiskie griezumā raksturo pēc ģeoloģiskās uzbūves un hidroģeoloģiskiem apstākļiem atšķirīgas teritorijas, un tie ir atainoti 5.2.-5.7. attēlos, izmantojot V. Juškeviča (Juškevičs 1999, 2000, Juškevičs, Mūrniece 1997, 1998, Juškevičs, Skrebels 2002, 2003) un Z. Meirona (2002, 2004) sastādītās dabas apvidu kvartārģeoloģiskās uzbūves shēmas.

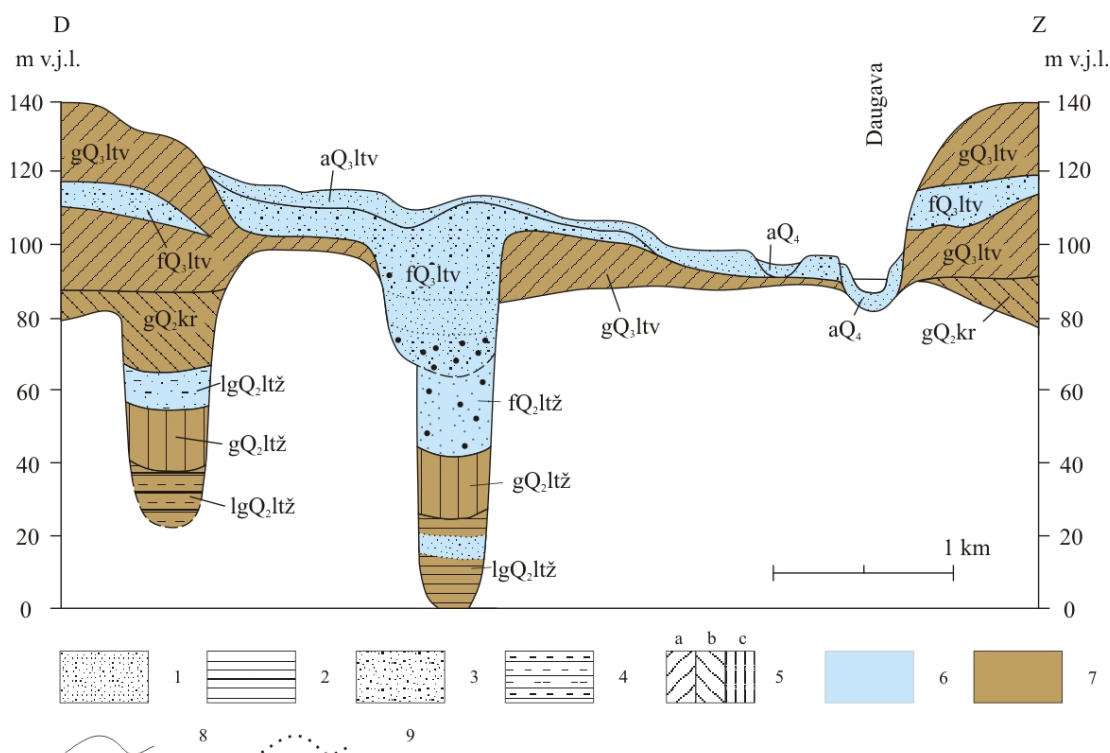


5.2. att. Shematiska hidroģeoloģiskā griezumā teritorijai ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un ļoti retiem starpslāņu ūdens horizontiem piemērs. Izmantots V. Juškeviča (Juškevičs, Skrebels 2002) sastādītais Sedas līdzenuma ģeoloģiskais griezumā.

Apzīmējumi: 1 - kūdra; 2 - smilts; 3 - smilts ar granti un oļiem; 4 - aleirītiska smilts, smilšains aleirīts; 5 - Latvijas svītas morēnas smilšmāls un mālsmilts; 6 - ūdens horizonts; 7 - sprostsļānis; 8 - stratigrāfisko un ģenētisko vienību robežas; 9 - litoloģisko vienību robežas.

Teritorijas, kurām ir raksturīgs 5.2. attēlā parādītais shematiskais hidroģeoloģiskais griezumā – vienlaidus gruntsūdens horizonts ar reti, maznozīmīgiem starpslāņu ūdens horizontiem, vairumā gadījumu ir saistītas ar līdzenumiem, piemēram, Sedas, Rīgavas, Irves līdzenumu u.c. Vairumā gadījumu šīm teritorijām ir raksturīga vienkārša ģeoloģiskā

uzbūve (5.2. att.) un hidroģeoloģiskie apstākļi. Šāda tipa hidroģeoloģiskais griezumums raksturīgs teritorijām, kur pamatiežus pārsedz viendabīgs pēdējā apledojuuma morēnas slānis 5-15 m biezumā ar retām, nelielām smilts un grants nogulumu lēcām un ieslēgumiem un kur virs morēnas nogulumiem uzguļ 3-20 m, maksimāli 35-40 m biezi ledāja kušanas ūdeņu veidoti glaciolimniski, retāk glaciofluviāli, kā arī Litorīnas jūras un aluviālie nogulumi.

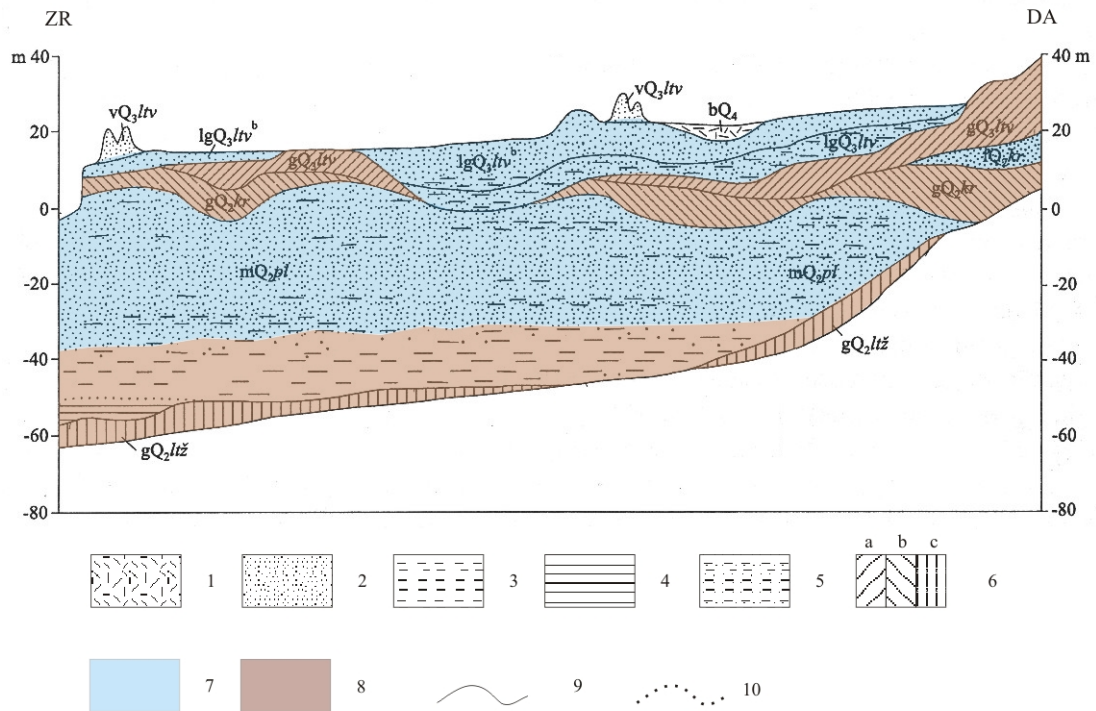


5.3. att. Shematiska hidroģeoloģiskā griezumā teritorijai ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un dažiem, sporādiskiem starpslāņu ūdens horizontiem piemērs. Izmantots V. Juškeviča (Juškevičs, Skrebels 2003) sastādītais Daugavas ielejas pie Ēlernes ģeoloģiskais griezumums.

Apzīmējumi: 1 - smilts; 2 - māls; 3 - smilts ar granti un oļiem; 4 - mālains aleirīts, aleirītisks māls; 5 - morēnas smilšmāls un mālsmilts: a) Latvijas svīta, b) Kurzemes svīta, c) Lēfīzas svīta; 6 - ūdens horizonts; 7 - sprosslānis; 8 - stratigrāfisko un ģenētisko vienību robežas; 9 - litoloģisko vienību robežas.

Kvartārsegas hidroģeoloģiskais griezumums, kurā dominē vienlaidus gruntsūdens horizonts ar dažiem, plānā neizturētiem starpslāņu ūdens horizontiem (5.3. att.), vairumā gadījumu ir raksturīgs līdzenumiem, piemēram, Bārtavas, Meirānu līdzenumam, Upmales paugurlīdzenumam un upju ielejām, piemēram, Augšdaugavas pazeminājumā un Augšgaujas pazeminājumā. Šāda tipa hidroģeoloģiskais griezumums raksturīgs teritorijām, kur pamatiežus pārsedz neviendabīgs pēdējā apledojuuma morēnas slānis 5-15 m, reti 20 m biezumā ar atsevišķām, plānā neizturētām smilts, grants un māla nogulumu lēcām un ieslēgumiem. Zem Latvijas leduslaikmeta morēnas nereti pamatiežu virsmas pazeminājumos griezumā ir sastopami Kurzemes apledojuuma glaciģenie, glaciolimniskie

un glaciofluciālie nogulumi. Savukārt, virs Latvijas leduslaikmeta morēnnogulumiem uzguļ salīdzinoši plāna 2-10 m, maksimāli 20 m biezi ledāja kušanas ūdeņu veidoti glaciolimniski, retāk glaciofluviāli, kā arī Litorīnas jūras un aluviālie nogulumi. Šādas teritorijas ir izplatītas nevienmērīgi, salīdzinoši nelielās platībās gan jūras piekrastē, gan atsevišķās zemienēs, gan pazeminājumos augstienēs.

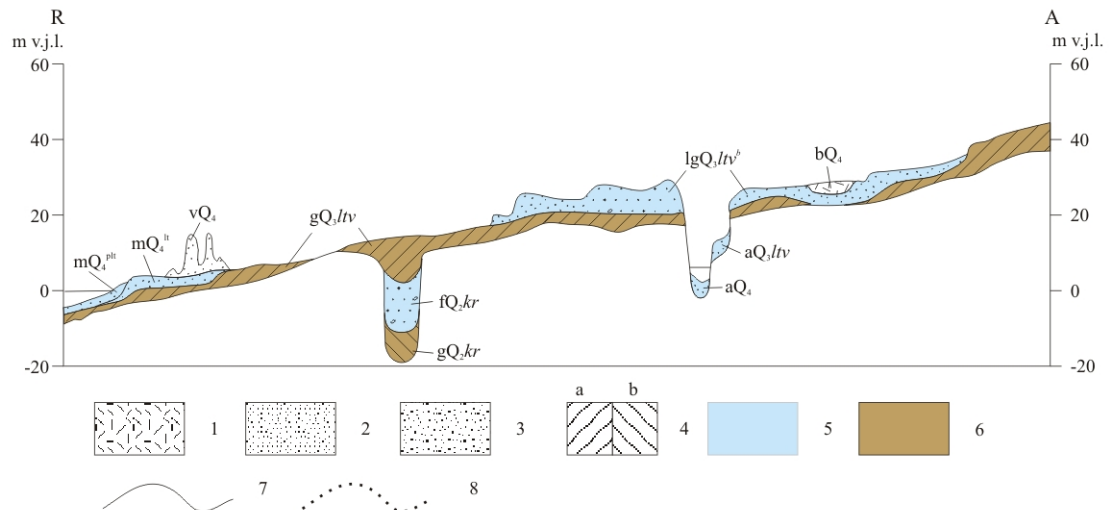


5.4. att. Schematic hidroģeoloģiskā griezumā teritorijai ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un dažiem izteiktiem vai daudziem starpslāņu ūdens horizontiem piemērs. Izmantots V. Juškeviča (Juškevičs, Mūrniece 1998) sastādītais Piemāres līdzenuma ģeoloģiskais griezum.

Apzīmējumi: 1 - kūdra; 2 - smilts; 3 - aleirīts; 4 - māls; 5 - aleirītiska smilts, smilšains aleirīts; 6 - morēnas smilšmāls un mālsmilts: a) Latvijas svīta, b) Kurzemes svīta, c) Lētīžas svīta; 7 - ūdens horizonts; 8 - sprostsālānis; 9 - stratigrāfisko un ģenētisko vienību robežas; 10 - litoloģisko vienību robežas.

Teritorijas, kurām ir raksturīgs vienlaidus gruntsūdens horizonts ar izteiktiem starpslāņu ūdens horizontiem (5.4. att.), ir zināmas tikai līdzenumos Baltijas jūras un Rīgas līča piekrastē (Piemāres līdzenums, Ventavas līdzenums) un Daugavas ielejā pie Daugavpils. Jūras piekrastē ģeoloģiskā uzbūve un hidroģeoloģiskie apstākļi ir salīdzinoši vienkāršāki, te virs pamatiežiem iegūļ 5-8 m plāns Lētīžas leduslaikmeta morēnnogulumu slānis, ko pārsedz 40-55 m bieza Pulvernieku laikposma marīno nogulumu slāņkopa (māls, aleirīts, smilts). Virs Pulvernieku starpmorēnu horizonta iegūļ 5-15 m biezs Kurzemes apledoja un 5-8 m biezs Latvijas apledoja glaciģeno nogulumu sānis. Šajos slāņos ir ļoti maz smilts, grants nogulumu ieslēģumu, bet virs morēnām uzguļ 5-20 m biezs Baltijas ledus ezera un Litorīnas jūras smilts nogulumu slānis. Savukārt, Daugavpils apkārtnē

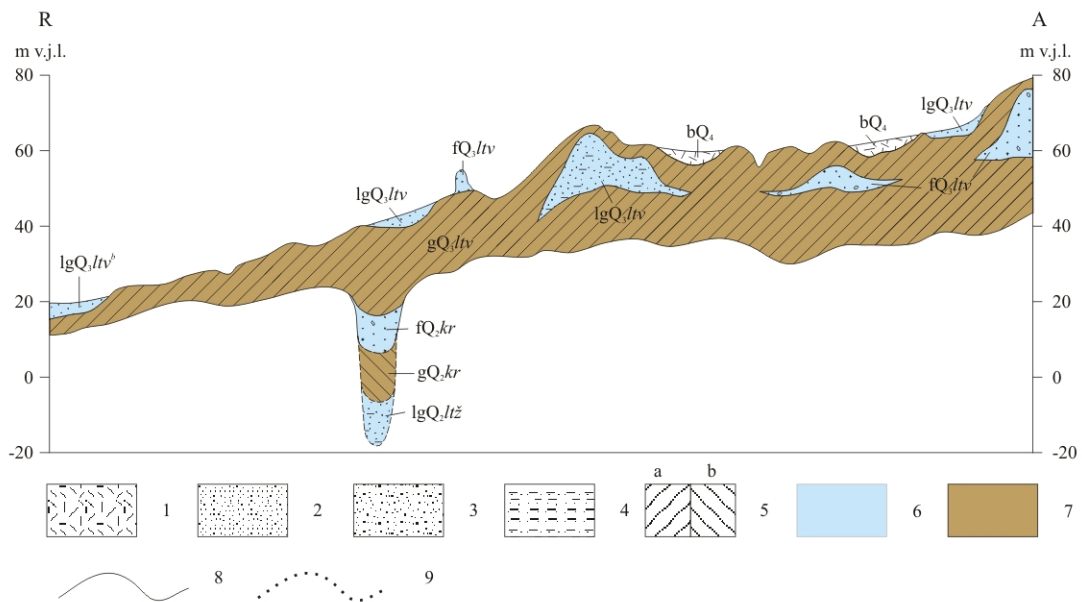
Daugavas ielejā un uz ziemeļiem no tās hidroģeoloģiskais griezumš ir ievērojami sarežģītāks. Arī šeit gruntsūdens horizontu veido pēdējā apledojuuma glaciolimniski, retāk glaciofluviāli nogulumu 15-30 m biezumā. Savukārt, dziļākos starpmorēnu un iekšmorēnu horizontus veido iepriekšējo apledojuuma glaciofluviālie un glaciolimniskie smilts, grants nogulumu, gan 15-25 m, maksimāli 60-65 m biezu slāņu, gan 10-20 m biezu lēcu veidā. Teritorijas, kam raksturīgs šāda tipa hidroģeoloģiskais griezumš ir izplatītas tikai atsevišķās vietās Latvijā.



5.5. att. Shematiska hidroģeoloģiskā griezumš teritorijai ar sporādisku gruntsūdens horizontu un ļoti reti starpslāņu ūdens horizontiem piemērs. Izmantots V. Juškeviča (2000) sastādītais Vidzemes piekrastes ziemeļdaļas ģeoloģiskais griezumš.

Apzīmējumi: 1 - kūdra; 2 - smilts; 3 - smilts ar granti un oļiem; 4 - morēnas smilšmāls un mālsmilts: a) Latvijas svīta, b) Kurzemes svīta; 5 - ūdens horizonts; 6 – sprostslnānis; 7 - stratigrāfisko un ģenētisko vienību robežas; 8 - litoloģisko vienību robežas.

Kvartārsegas hidroģeoloģiskais griezumš, kurā nav izteikts gruntsūdens horizonts un arī starpslāņu ūdens horizonti ir ļoti reti (5.5. att.), vairumā gadījumu ir raksturīgs līdzenumiem, kur zemes virspusē iegūl pēdējā leduslaikmeta glaciģenie nogulumu, piemēram, Rindas, Pieventas, Trapenes līdzenumam un Vidzemes piekrastes ziemeļdaļas līdzenumam. Šāda tipa hidroģeoloģiskais griezumš raksturīgs teritorijām ar vienkāršu kvartārsegas uzbūvi, kur pamatiežus pārsedz plāns, neviendabīgs pēdējā apledojuuma morēnas slānis 3-5 m, maksimāli 10 m biezumā ar nelielām, atsevišķām, plānā neizturētām smilts, grants un māla nogulumu lēcām un ieslģgumiem. Virs Latvijas leduslaikmeta morēnnogulumiem uzgūl plānā neizturēti plāni glaciolimniskas un glaciofluviālas smilts slāņi 4-6 m biezumā, kā arī glaciolimnisko mālu slāņi 3-5 m biezumā. Šādas teritorijas aizņem salīdzinoši lielas platības pārsvarā zemienēs.

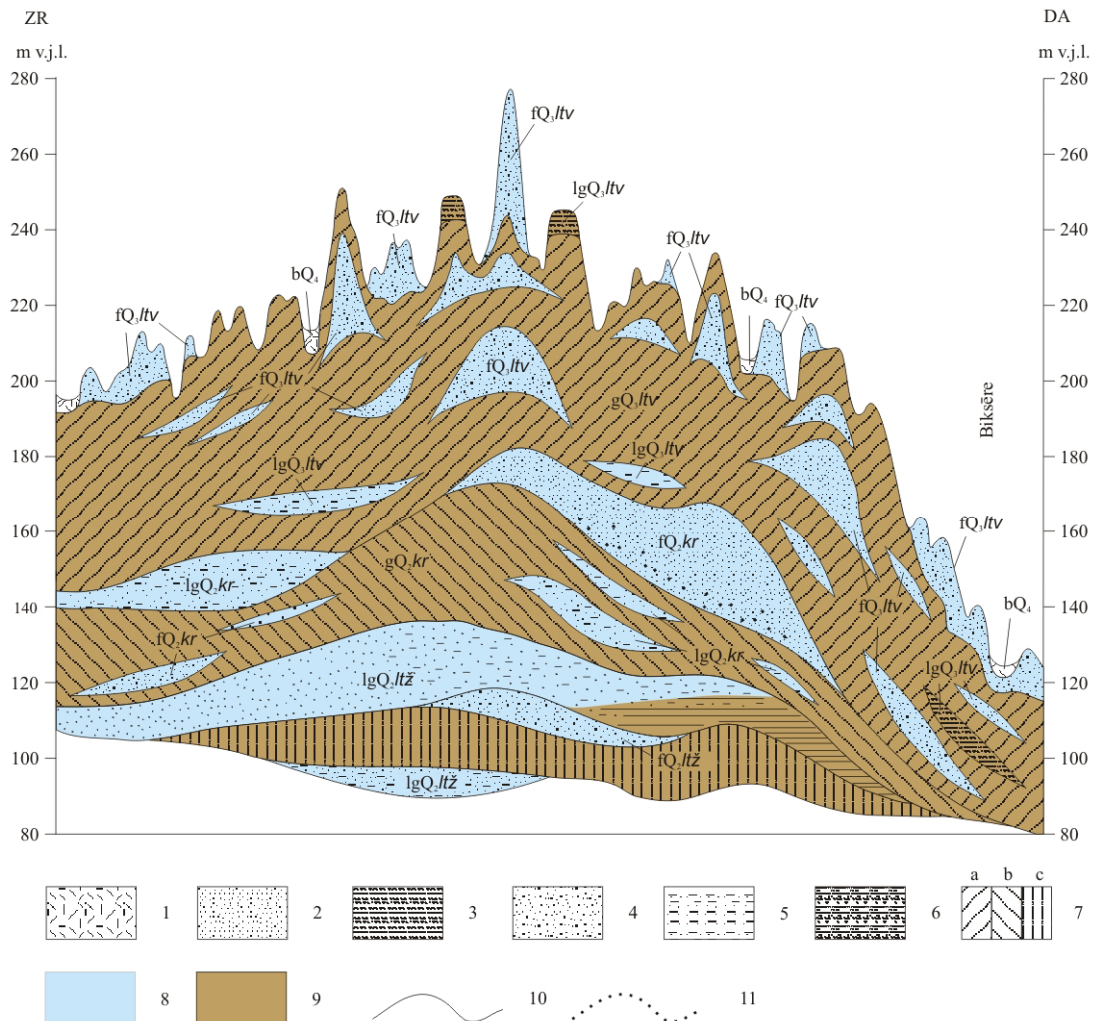


5.6. att. Shematiska hidroģeoloģiskā griezumā teritorijai ar sporādisku gruntsūdens horizontu un dažiem starpslāņu ūdens horizontiem piemērs. Izmantots V. Juškeviča (2000) sastādītais Metsepoles līdzenuma ģeoloģiskais griezumš.

Apzīmējumi: 1 - kūdra; 2 - smilts; 3 - smilts ar granti un oļiem; 4 - aleirītiska smilts, smilšains aleirīts; 5 - morēnas smilšmāls un mālsmilts: a) Latvijas svīta, b) Kurzemes svīta; 6 - ūdens horizonts; 7 - sprosts slānis; 8 - stratigrāfisko un ģenētisko vienību robežas; 9 - litoloģisko vienību robežas.

Kvartārsegas hidroģeoloģiskais griezumš, kurā nav izteikts gruntsūdens horizonts un ir daži starpslāņu ūdens horizonti (5.6. att.), ir raksturīgs paugurlīdzenumiem, paugurvaļņiem un zemākajām paugurainēm, piemēram, Augstrozes paugurvalnim, Aronas paugurlīdzenumam, Vadakstes līdzenumam, Ērgemes paugurainei u.c. Šāda tipa hidroģeoloģiskais griezumš raksturīgs teritorijām, kur kvartārsegas uzbūve ir salīdzinoši sarežģīta un kvartārsegas biezums sasniedz 50-70 m, vietām pat 80-90 m. Šajās teritorijās ir sastopami kā pēdējā (Latvijas) leduslaikmeta, tā arī iepriekšējo, gan Kurzemes, gan Lētīžas, leduslaikmetu nogulumi. Griezuma augšējā daļā iegūl neviendabīgs Latvijas leduslaikmeta glaciģēno nogulumu slānis, tā biezums no 10-15 m līdz 25-35 m, ar dažām, plānā neizturētām smilts, grants un māla nogulumu lēcām un ieslēģumiem 5-10 m biezumā. Virs Latvijas leduslaikmeta morēnnogulumiem uzģuļ plānā neizturēti plāni glaciolimniskas un glaciofluviālas smilts un smilts-grants slāņi 4-8 m biezumā, kā arī glaciolimnisko mālu slāņi 10-15 m biezumā. Zem Latvijas leduslaikmeta nogulumiem daudzviet iegūl Kurzemes apledoģuma glaciģēnie (10-20 m, retāk līdz 30 m bieži) un glacioakvālie (smilts un grants, biezums 5-10 m) nogulumi. Savukārt, pamatieģu virsmas pazemināģumos nereti iegūl Lētīžas apledoģuma glacioakvālie smilts-grants nogulumi 4-8 m biezumā. Šādas teritorijas aizģnem salīdzinoģi lielas platģbas Latvijas ziemeļdaģā, kā arī zemākajās augģstienēs un augģstāģo augģstieģu nogāģēs.

Kvartārsegas hidroģeoloģiskais griezumā, kurā nav izteikts gruntsūdens horizonts un ir daudzi starpslāņu ūdens horizonti (5.7. att.), ir raksturīgs lielākajām paugurainēm, piemēram, Vestienas, Piebalgas, Ilūkstes, Bandavas paugurainei u.c.



5.7. att. Shematiska hidroģeoloģiskā griezumā teritorijai ar sporādisku gruntsūdens horizontu un daudziem izteiktiem starpslāņu ūdens horizontiem piemērs. Izmantots V. Juškeviča (Juškevičs, Skrebels 2002) sastādītais Vestienas pauguraines austrumu daļas ģeoloģiskais griezumā.

Apzīmējumi: 1 - kūdra; 2 - smilts; 3 - māls; 4 - smilts ar granti un oļiem; 5 - aleirītiska smilts, smilšains aleirīts; 6 - mālais aleirīts, aleirītisks māls; 7 - morēnas smilšmāls un mālsmilts: a) Latvijas svīta, b) Kurzemes svīta, c) Lētīžas svīta; 8 - ūdens horizonts; 9 – sprosslānis; 10 - stratigrāfisko un ģenētisko vienību robežas; 11 - litoloģisko vienību robežas.

Šāda tipa hidroģeoloģiskais griezumā raksturīgs teritorijām, kur kvartārsegas uzbūve ir sarežģīta un kvartārsegas biezums ir no 50-80 m līdz 100-130 m. Šajās teritorijās ir sastopami kā pēdējā (Latvijas) leduslaikmeta, tā arī iepriekšējo, gan Kurzemes, gan Lētīžas, leduslaikmetu nogulumu. Griezuma augšējā daļā iegūl biezs, ļoti nevienmērīgs Latvijas leduslaikmeta glaciģēno nogulumu slānis, tā biezums no 20 m līdz 60 m, ar daudzām, gan plānā neizturētām, gan izturētām smilts, grants un māla nogulumu lēcām un

ieslēgumiem no 5-10 m līdz 20-25 m biezumā. Virs Latvijas leduslaikmeta morēnogulumiem uzguļ plānā neizturēti plāni glaciolimniskas un glaciofluviālas smilts un smilts-grants nogulumi 5-15 m biezumā, kā arī glaciolimnisko mālu slāņi 8-10 m biezumā. Zem Latvijas leduslaikmeta nogulumiem iegūļ Kurzemes apledošanas nogulumi. Daudzviet Kurzemes leduslaikmeta glacioakvālie smilts-grants nogulumi veido no 10-20 m līdz 40-45 m biezu, plānā izturētu starpmorēnu horizontu. Dziļāk iegūļ salīdzinoši plāns, no 5-10 m līdz 20 m, Kurzemes leduslaikmeta glaciģeno nogulumu slānis ar atsevišķām smilts-grants nogulumu lēcām un starpslāņiem, kurš ne vienmēr ir pilnīgi izturēts plānā. Starp Kurzemes un Lētīžas apledošanas glaciģenajiem nogulumiem iegūļ Lētīžas glacioakvālo smilts-grants, kā arī aleirīta un māla slāņi 10-20 m biezumā. Lētīžas leduslaikmeta glaciģenie nogulumi ir izplatīti nevienmērīgāk, un to biezums ir 5-20 m, un zem tiem atsevišķās vietās pamatiežu virsmas pazeminājumos iegūļ 5-10 m biezi smilts-grants glacioakvālie nogulumi. Šādas teritorijas aizņem noslēgtas platības Latvijas augstākajās augstienēs.

Tomēr, veicot kvartāra hidroģeoloģisko griezumņu analīzi un grupēšanu, līdztekus šiem izdalītajiem tipiskajiem griezumņiem, bija arī griezumņi, kuri neietilpa nevienā no grupām, vai veidoja atsevišķas, skaita ziņā nelielas griezumņu grupas. Šos kvartāra hidroģeoloģiskos griezumņus var nodalīt kā netipiskus, un tie saistās ar teritorijām, kur piemēram:

- kvartāra nogulumi nav izplatīti un zemes virspusē atsedzas pirmskvartāra nogulumu ūdens horizonti,
- izveidojušās apraktās ielejveida iegrauzumu formas pirmskvartāta iežos, pildītas ar labi filtrējošiem kvartāra nogulumiem, kuros esošie pazemes ūdeņi ir hidrauliski saistīti ar pirmskvartāra nogulumu pazemes ūdeņiem,
- ir izplatīti lieli purvu masīvi (piemēram, starp Rīgu, Jelgavu un Jūrmalu, Teiču purvs, purvi pie Lubāna ezera u.c.).

Teritorijas, kuru uzbūvi raksturo netipiskie kvartāra hidroģeoloģiskie griezumņi ir detalizējamas un pētāmas atsevišķi, jo te hidroģeoloģiskie apstākļi ievērojami atšķiras no teritorijām, kur dominē tipveida griezumņi, un patreizēji šīs netipiskās teritorijas ir nepietiekami pētītas.

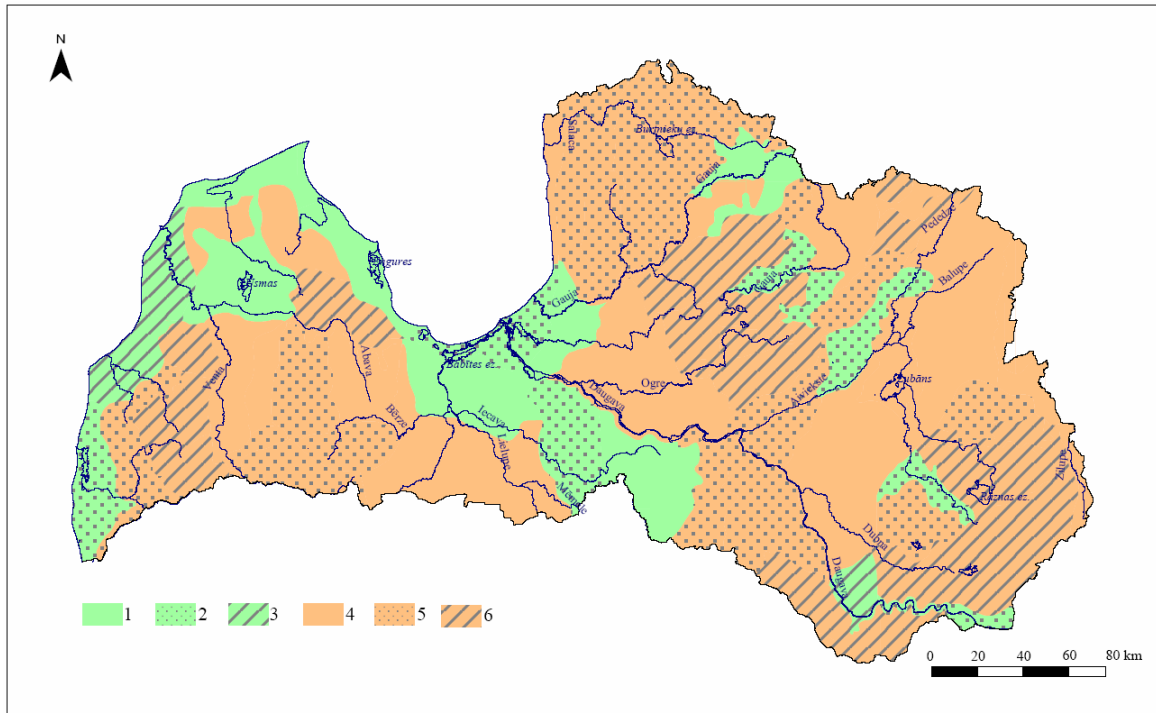
5.3. Latvijas teritorijas rajonēšana pēc kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma

Raksturīgo un tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumu telpiskā izvietojuma analīze norādīja, ka izdalītie kvartāra hidroģeoloģisko griezumu tipi dominē noteiktās teritorijās. Līdz ar to, ir iespējama Latvijas teritorijas hidroģeoloģiskā rajonēšana pēc tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumu izplatības.

Analizējot konkrētu hidroģeoloģisko griezumu piederību kādam no izdalītajiem griezumu tipiem tika konstatēts, ka viena tipa griezumi dominē noteiktā teritorijā, kuras robežas ir salīdzināmas ar fiziski ģeogrāfiskās rajonēšanas vienību, t.i., dabas apvidu, robežām. Tas ļauj pētījuma vajadzībām par kvartāra hidroģeoloģiskās rajonēšanas detalizācijas vienību nosacīti pieņemt dabas apvidu.

Veicot raksturīgo jeb tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumu ģeogrāfiskā izvietojuma analīzi, katras telpiskās detalizācijas vienības ietvaros tika izvērtēti pieejamie hidroģeoloģiskie griezumi un noteikts dominējošais tipiskais griezums katrā vienībā atsevišķi. Nākošajā posmā tika veikta tipisko griezumu izvietojuma detalizācija un tā ļāva atkārtoti precizēt teritorijas, kur izplatīts tas vai cits kvartāra hidroģeoloģisko griezumu tips. Šāda pieeja ļāva turpmāk veikt ģeneralizāciju un sastādīt Latvijas kvartāra hidroģeoloģiskās rajonēšanas karti (5.8. att.), kurā tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumu teritorijas ir atspoguļotas ar atbilstošas krāsas un rastra zīmējumu (apzīmējumi 5.8. att.).

Veiktā Latvijas hidroģeoloģiskā rajonēšana (5.8. att.) norāda, ka lielākā daļa gruntsūdeņu vienlaidus izplatības teritoriju atrodas zemienēs, no 0 m līdz 60-70 m augstumam virs jūras līmeņa, un tās aizņem apmēram trešo daļu Latvijas. Pārējā Latvijas teritorijā gruntsūdens horizonta izplatība ir sporādiska. Vairums starpslāņu ūdens horizontu izplatības apvidu ir saistīti ar augstienēm, turklāt, tajās augstienēs, kur ir biežāka un stratigrāfiski komplicētāka kvartāra nogulumu sega, starpslāņu ūdens horizontu skaits ir lielāks, tie ir biežāki un telpiski izturētāki. Izņēmums ir starpslāņu ūdens horizontu sadalījums Piejūras zemienes Baltijas jūras piekrastes daļā (Piemares un Ventavas līdzenumi), kur arī ir sastopami telpiski izturēti starpslāņu ūdens horizonti (5.8. att.). Šī teritorija raksturojas ar visbiežāko pleistocēna nogulumu segu Latvijas zemienēs un aizņem Baltijas subkvartārās virsas depresiju, kas noteica pastiprinātu nogulumu uzkrāšanos pleistocēnā. Kopumā, teritorijas, kurās dažādā pakāpē ir izplatīti starpslāņu ūdens horizonti, aizņem apmēram pusi Latvijas teritorijas.



5.8. att. Latvijas kvartārsegas nogulumu hidroģeoloģiskā rajonēšana (autore)

Apzīmējumi: 1 - teritorijas ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un ļoti reti starpslāņu ūdens horizontiem vai bez tiem, 2 - teritorijas ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un dažiem, sporādiski starpslāņu ūdens horizontiem, 3 - teritorijas ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un daudziem sporādiski izplatītiem vai dažiem plānā izturētiem starpslāņu ūdens horizontiem, 4 - teritorijas ar sporādisku gruntsūdens horizontu un ļoti reti starpslāņu ūdens horizontiem, 5 - teritorijas ar sporādisku gruntsūdens horizontu un dažiem, sporādiski starpslāņu ūdens horizontiem, 6 - teritorijas ar sporādisku gruntsūdens horizontu un daudziem sporādiski izplatītiem vai dažiem plānā izturētiem starpslāņu ūdens horizontiem.

Jāatzīmē, ka kartē 5.8. attēlā nav parādītas teritorijas, kurās pārsvarā ir viens kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma tips, bet parādās arī cita tipa iezīmes. Visbiežāk šādi pārejas apvidi ir izdalāmi kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma tipiem ar sporādisku gruntsūdens horizontu ar mainīgu starpslāņu ūdens horizontu skaitu (5.5. un 5.6. att.). Telpiski minētās teritorijas ir nodalāmas kā pārejas joslas starp līdzenumiem un paugurvaļņiem, nolaidenumiem un paugurainēm.

Iepriekšēji veiktā kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma analīze un hidroģeoloģiskās rajonēšanas rezultāti liecina, ka, neskatoties uz kvartāra nogulumu slāņkopas visai mainīgo uzbūvi, Latvijas kvartāra hidroģeoloģiskajā griezumā ir iespējams nodalīt sešus tipiskus hidroģeoloģiskos griezumus (5.2. nodaļa) un ir iespējams atspoguļot to izvietojumu ģeogrāfiskajā telpā.

Latvijas tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumu telpiskā izvietojuma analīze un hidroģeoloģiskā rajonēšana norādīja, ka ir sastopamas arī kādas pārejas teritorijas, kur

pārsvarā ir viens tipisks hidroģeoloģiskais griezumš, tomēr novērojamas arī atsevišķas cita tipiska griezumš pazīmes. Šādas pārejas teritorijas, ir piemēram, Ropažu līdzenuma austrumu malā, Metsepoles līdzenuma malās, Saldus, Veclaicenes, Mežoles pauguraiņu pakājē u.c. Šo teritoriju raksturīgie kvartāra hidroģeoloģiskie griezumš, robežas un piederība griezumš tipam un to izplatības rajonam ir precizējami nākotnē, un tam, visticamāk, ir nepieciešams ieviest papildus kritērijus, piemēram, aerācijas zonas biezuma, ūdens apmaiņas intensitātes vai teritorijas drenētības kritērijus.

Latvijas teritorijas kvartārsegas pazemes ūdeņu rajonēšana pēc tipisko hidroģeoloģisko griezumš telpiskā izvietojuma norāda, ka tā atšķiras no citiem plaši izplatītiem Latvijas rajonēšanas (fīzikāli ģeogrāfiskās, ainavģeogrāfiskās, ģeomorfoloģiskās) rezultātiem. Lielāka sakritība ir novērojama pēc starpmorēnu un iekšmorēnas ūdens horizontu izplatības īpatnībām, kur ir lielāka sasaiste ar citu Latvijas teritorijas rajonēšanu ietvaros izdalītajām teritorijām.

SECINĀJUMI

1. Kwartāra nogulumu pazemes ūdeņi ieņū zemes garozas augšējā daļā un tāpēc tie, salīdzinot ar citos, dziļāk iegulošajos pirmskvartāra iežos, esošajiem pazemes ūdeņiem, visaktīvāk barojas ar atmosfēras nokrišņiem un nereti arī ar virszemes ūdeņiem. Tāpēc kvartāra pazemes ūdeņos ļoti aktīvi norisinās ūdens ķīmiskā sastāva veidošanās procesi, kuru daudzveidību nosaka atšķirīgie vides apstākļi (pH, Eh), infiltrācijas intensitāte un ūdens apmaiņas ātrums, kā arī ūdeņu pārtece no purva ūdens horizontiem (augsts organisko vielu saturs), jūras piekrastes zonas (sāļie ūdeņi) un dziļāk sagulošajiem ūdens horizontiem (ūdeņi, kam raksturīga palielināta mineralizācija).
2. Minēto dažāda sastāva un ģenēzes ūdeņu mijiedarbība nosaka kvartāra pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva dažādību. Šī mijiedarbība ir atšķirīga konkrētās teritorijās, un veikto pētījumu rezultātu analīze un apstrāde ļauj secināt, ka vērojama kvartārsegas pazemes ūdeņu noslāņošanās gruntsūdeņu horizonta augšējā, 1-2 m biezā daļā par ko liecina fizikāli ķīmisko parametru atšķirības ūdeni saturošajos dažādas ģenēzes kvartāra nogulumos.
3. Pētīto fizikāli ķīmisko parametru analīze viennozīmīgi norāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva veidošanās ir pakļauta vispārējām likumsakarībām, ko raksturo vides reakcija (pH) un oksidēšanās reducēšanās potenciāls (Eh). Tāpēc teritorijā ar līdzīgu kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvi un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva veidošanās procesi nebūs unikāli, bet gan līdzīgi, un veidosies līdzīga sastāva pazemes ūdeņi. Tāpēc šādās teritorijās kvartāra pazemes ūdeņu pētījumos ir iespējams izmantot unificētu metodiku.
4. Lauka apstākļos precīzi nosakāmās ūdeņu elektrovadītspējas, kas ir integrāls parametrs, vērtības ir izmantojamas ūdens mineralizācijas aprēķiniem. Iegūtais korelācijas vienādojums $y = 0,91 x$ ar augstu ticamību ļauj aprēķināt ūdens mineralizāciju no *in situ* nomērītajām elektrovadītspējas vērtībām. Svarīgi atzīmēt, ka korelācijas vienādojums ir iegūts, matemātiski apstrādājot *in situ* apstākļos nevis laboratorijā iegūtus datus par maz mineralizētiem kvartārsegas pazemes ūdeņiem.

5. Latvijas kvartāra hidroģeoloģiskajā griezumā var izdalīt sešus tipveida griezumus, atkarībā no gruntsūdens horizonta un starpslāņu ūdens horizontu izplatības. Vietās, kur izplatīti starpslāņu ūdens horizonti, kvartāra hidroģeoloģiskās rajonēšanas shēma vislabāk korelējas ar citām Latvijas rajonēšanas shēmām, piemēram, fiziski ģeogrāfiskās rajonēšanas shēmu.

PATEICĪBAS

Promocijas darbs ir izstrādāts ar LZP granta Nr.01.0293 Latvijas kvartārsegas ūdeņi (2001-2003), LZP granta Nr.01.0293 Latvijas kvartārsegas ūdeņu reģionālās atšķirības (2004), LZP granta Nr. 05.1505 Efektīvās porainības un granulometriskā sastāva atkarības nogulumos aerācijas zonā (2005-2007) un Eiropas Sociālā fonda (ESF) finansētā projekta nr. 2004/0001/VPD1/ESF/PIAA/04/NP/3.2.3.1/0001/0063 (LU ESS2004/3) “Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” atbalstu.

Autore izsaka pateicību darba zinātniskajam vadītājam Dr. ģeol. Valdim Segliņam par lielo atbalstu darba izstrādē. Paldies J. Prolam un I. Levinam par sniegtajām konsultācijām darba izstrādes gaitā. Liels paldies E. Goskam un I. Levinam par iespēju izmantot GEUS un VGD kopprojektā „Lauksaimniecības ietekme uz gruntsūdeņiem Latvijā” iegūtos ķīmisko analīžu rezultātus. Paldies SIA Geo Consultants par sniegto tehnisko atbalstu un atļauju izmantot arhīva materiālus darba izstrādei. Paldies arī visiem citiem, kas sniedza atbalstu dažādos darba izstrādes posmos.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra

1. Aboltyn'sh, O. 1971. *Formirovanie dolini reki Gauya*. Zinatne, Riga, 105 pp. (krievu val.).
2. Aboltyn'sh, O. 1975. Glyatsiodinamicheskie osobennosti formirovaniya vozvyshennostej Latvii. V kn.: Danilans, I. (red.), *Voprosy chetvertichnoj geologii*, vyp. 8. Zinatne, Riga, pp. 5-23. (krievu val.).
3. Aboltyn'sh, O. 1989. *Glyatsiostruktura i lednikovyj morfogenez*. Zinatne, Riga, 284 pp. (krievu val.).
4. Adamyan, K., Kolokolov, L., 1967. Waters of Quaternary sediments. Vody chetvertichnykh otlozhenij. V kn.: Dzents-Litovskij, A. (red.). *Gidrogeologiya SSSR, tom XXXI – Latvijskaya SSR, I chast'*. Nedra, Moskva, pp. 38-51. (krievu val.).
5. Afzal, S., Ahmad, I., Younas, M., Zahid, M.D., Khan, M.H.A., Ijaz, A., Ali, K., 2000. Study of water quality of Hudiara drain, India-Pakistan. *Environment International*, 26(1-2), pp. 87-96.
6. Aipranks A. 1922. *Ģeogrāfija pamata skolām*. A.Raņķa grāmatu tirgotavas apgādība, Rīga, 320 lpp.
7. Andresmaa, E., 2001. Groundwater management and protection in Estonia. In: *Workshop on the protection of groundwaters used as a source of drinking water supply*. Budapest, pp. 3-4.
8. Appelo, C.A.J., Postma, D., 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2nd edition. A.A.Balkema Publishers, Leiden, 649 p.
9. Asaad, F.A., La Moreaux, Ph.E.Sr., Hughes, T.H. (eds.), 2004. *Field methods for geologists and hydrogeologists*. Springer, Berlin, 377 p.
10. Astel, A., Biziuk, M., Przyjazny, A., Namiesnik, J., 2006. Chemometrics in monitoring spatial and temporal variations in drinking water quality. *Water Research*, 40(8), pp. 1706-1716.
11. Badche, A., 1910. Das Riga'sche Grundwasserwerk. In: *Rig. Ind.-Ztg.* XXXVI. Riga. S. 164-166.
12. Bath, A., Richards, H., Metcalfe, R., McCartney, R., Degnan, P., Littleboy, A., 2006. Geochemical indicators of deep groundwater movements at Sellafield, UK. *Journal of Geochemical Exploration*, 90(1-2), pp. 24-44.
13. Bethers, U., Jekabsons, N., Sennikovs, J., 1998a. An approach for representation of 3D geological structures and modelling of groundwater flows. In: Abstract, XXIII General Assembly of European Geophysical Society, Nice, April 20-24, 1998, *Annales Geophysicae*, Supplement II to Vol. 16.
14. Bethers, U., Jekabsons, N., Sennikovs, J., 1998b. Object-oriented approach for coupling data assimilation, calculation and visualisation for groundwater flows. In: Proceedings ICHE'98. Cottbus, 1998. Abstract in *Advances in Hydro - Science and Engineering*, Vol. III, The University of Mississippi, p. 285.

15. Bethers, U., Sennikovs, J., 2000. Calibration of sub-regional groundwater filtration model in vicinity of hydropower plant. In: Abstracts, XXV General Assembly of European Geophysical Society, Nice, April 25-29, 2000, *Geophysical Research Abstracts*, Vol.2.
16. Beyerle, U., Aeschbach-Hertig, W., Hofer, M., Imboden, D. M., Baur, H., Kipfer, R., 1999. Infiltration of river water to a shallow aquifer investigated with $3\text{H}/3\text{He}$, noble gases and CFCs. *Journal of Hydrology*, 220(3-4), pp. 169-185.
17. Bīmanis, M., 1938. *Ūdens apgāde*. Latvijas Universitāte, Rīga, 768 lpp.
18. Brangulis, A.J., Reuta, A. (red.), 2001. *Latvijas ģeoloģisko karšu katalogs*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 66 lpp.
19. Corcho Alvarado, J.A., Purtschert, R., Hinsby, K., Troldborg, L., Hofer, M., Kipfer, R., Aeschbach-Hertig, W., Arno-Synal, H., 2005. ^{36}Cl in modern groundwater dated by a multi-tracer approach ($3\text{H}/3\text{He}$, SF_6 , CFC-12 and 85Kr): a case study in quaternary sand aquifers in the Odense Pilot River Basin, Denmark. *Applied Geochemistry*, 20(3), pp. 599-609.
20. Cukermanis, K., 1947. Latvijas PSR kūrvietas, to minerālūdeņi un dziedniecības dūņas. Grām.: *Zinātņu akadēmijas vēstis Nr.*, LPSR ZA, Rīga, 127. – 142. lpp.
21. Cukermanis, K., Vjacirs, A.P., Zariņš, A., 1941. *Norādījumi aku būvētājiem*. Latvju grāmata, Rīga, 43 lpp.
22. Daly, D., 2004. Vulnerability mapping and the EU Water Framework directive (WFD). In: Witkowski, A.J. et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. University of Silesia, Sosnowiec, pp. 14.
23. Danilans, I. 1973. *Четвертичные отложения Латвии*. Zinatne, Riga, 312 p. (krievu val.).
24. Delina, A., 2004. Groundwater vulnerability mapping in Latvia – different approaches. In: Witkowski, A.J. et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. University of Silesia, Sosnowiec, pp. 44-45.
25. Delina, A., 2006. Quaternary groundwater in Latvia: summary of studies. In: Luksevics, E., Kalnina, L., Stinkulis, G. (eds.). *The Baltic Sea Geology: the Ninth Marine Geological Conference, August 27 - September 3, 2006, Jūrmala, Latvia: extended abstracts*. University of Latvia, Riga, pp. 122-124.
26. Delina, A., Seglins, V., 2006. Mapping of Quaternary groundwater in Latvia—a review of different approaches. *Baltica*, Vol. 19 (2), 12-20.
27. Dēliņa, A., 2001. Latvijas kvartārsegas shematisks hidroģeoloģiskais griezum un tā rajonēšanas pazīmes. Grām.: *Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne: LU 59. zinātniskās konferences referātu tēzes*. Rīga, Latvijas Universitāte, - 36.-38. lpp.
28. Dēliņa, A., 2002. Kvartāra ūdeņi Carnikavas apkārtnē. Grām.: *Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne: LU 60. zinātniskās konferences referātu tēzes*. Rīga, Latvijas Universitāte, - 34.-35. lpp.
29. Dēliņa, A., 2004. Pazemes ūdeņu parametru maiņas un to robežas. Grām.: *Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. LU 62. zinātniskās konferences referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, 129.-130. lpp.

30. Dēliņa, A., 2005a. Latvijas kvartārsegas ūdeņu reģionālās atšķirības. Grām.: *Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 63. zinātniskās konferences referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, 114.-116. lpp.
31. Dēliņa, A., 2005b. Pazemes ūdeņu pētījumu vēsture Latvijā. Grām.: *Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: LU 63. zinātniskās konferences referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, 116.-117. lpp.
32. Dēliņa, A., 2006a. Gruntsūdeņu zonalitāte un tās piemērošana Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu rajonēšanai. Grām.: *Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: LU 64. zinātniskās konferences referātu tēzes*. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 154.-155. lpp.
33. Dēliņa, A., 2006b. Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmiskie parametri un to izmaiņas. Grām.: Segliņš, V. (red.). *Lietišķo ģeoloģisko pētījumu lauku metodes un instrumenti*. Lauku seminārs, Cēsu rajona Taurenas pagasta Lodesmuiža, 2006. gada 13. septembris. Latvijas Universitāte, Rīga, 9.-13. lpp.
34. Dēliņa, A., 2006c. Latvijas kvartārsegas nogulumu pazemes ūdeņi un to aizsargātība. *Zinātnes Vēstnesis*, 16 (329), - 2., 4. lpp.
35. Denisov, P., 1967. Rezhim podzemnykh vod. V kn.: Dzēns-Litovskij A.I. (red.). *Gidrogeologiya SSSR, tom XXXI, Latvijskaya SSR, I chast'*. Nedra, Moskva, pp. 103-113 (krievu val.).
36. Denisov, P., Skrastina, A., Lavrinovich, M., 1967. Formirovanie podzemnykh vod. V kn.: Dzēns-Litovskij A.I. (red.). *Gidrogeologiya SSSR, tom XXXI, Latvijskaya SSR, I chast'*. Nedra, Moskva, pp. 129-136 (krievu val.).
37. Domenico, P.A., Schwartz, F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York, 824 p.
38. Doss, B., 1905. Über einen artesischen Naturbrunnen bei Schlock in Livland. In: *Korrespbl. Riga* 48. S. 109-119.
39. Doss, B., 1908. Über die geologischen Aufschlüsse einiger Tiefbohrungen in Widau. Mit Lageplan 1:40000. In: *Korrespbl. Riga* 51. S. 73-91.
40. Dreimanis, A., Zelčs, V. 1995. Pleistocene stratigraphy of Latvia. In: Ehlers, J., Kozarski, S., Gibbard, P. (eds.), *Glacial deposits in North-East Europe*. Balkema, Rotterdam / Brookfield, pp. 105-113.
41. Drever, J.I., 1997. *The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments*. 3rd ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 436 p.
42. Dzilna, I., 1970. *Resursy, sostav i dinamika podzemnykh vod Srednej Pribaltiki*. Nauka, Riga, 186 p. (krievu val.).
43. Dzilna, I., Staprens, V., 1967a. Podzemnij stok. V kn.: Dzēns-Litovskij A.I. (red.). *Gidrogeologiya SSSR, tom XXXI, Latvijskaya SSR, I chast'*. Nedra, Moskva, pp. 113-120 (krievu val.).
44. Dzilna, I., Staprens, V., 1967b. Estestvennie resursy presnykh podzemnykh vod. V kn.: Dzēns-Litovskij A.I. (red.). *Gidrogeologiya SSSR, tom XXXI, Latvijskaya SSR, I chast'*. Nedra, Moskva, pp. 121-129 (krievu val.).

45. Dzilna, I.L., Zembakha, R.P., Konshin, G.I., Savvaitov, A.S., Oshinya, Ya.P., Lyustika, E.A., 1970. Hidrogeologicheskaya kharakteristika chetvertichnogo pokrova na territorii Latvijsskoj SSR. V kn.: Afansev, B.L. u.c. (red.). *Materiali VI konferencii geologov Pribaltiki i Belorussii*. VNIIMGG, Latvijsskoe nauchno-tehnicheskoe gornoe obshestvo, Riga, pp. 147-149. (krievu val.).
46. Eckhoff, J.H., 1795. Beschreibung des Baldohnschen und Barberschen Mineralwassers. Mitau. 23 S.
47. Fetter, C.W., 2001. *Applied hydrogeology* (4th ed.). Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 598 p.
48. Foster, S., 2004. The aquifer pollution vulnerability concept – applications, benefits & constraints. In: Witkowski, A.J. et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. University of Silesia, Sosnowiec, pp. 13.
49. Garrels, R.M., Krajst, Ch.L., 1968. *Rastvory, mineraly, ravnovesiya*. Mir, Moskva, 368 p. (krievu val.).
50. Giedraitiene, J., Arustiene, J., Radiene, R., 2004. *Groundwater Monitoring in Lithuania 2003: Bulletin*. LGT, Vilnius, 86 p.
51. Glasenapp, M. von, 1892. Über die chemische Zusammensetzung einiger Tiefbrunnenwasser Rigas. Nach Untersuchungen von J.Goldstein und J.Starik mitgeteilt. In: *Rig. Ind.-Ztg.* XVIII. S. 195-198.
52. Goebel, A., 1861. Über eine Reise zur Untersuchung der geologisch-chemischen Verhältnisse der Quellen Liv- und Kurlands. In: *Sitzber.* Dorpat, I. S. 101-125.
53. Goebel, Fr., 1836a. Das Eisenwasser zu Dondangen bei Talsen in Curland. In: *Inl.* I. Nr. 28. S. 471-472.
54. Goebel, Fr., 1836b. Das kalte salinische Schwefelwasser zu Kemmern in der Nähe von Riga und Mitau. In: *Inl.* I., Nr. 30. S. 505-507.
55. Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resource Evaluation*. Oxford University Press, New York, 467 p.
56. Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., Bleeker W., Lourens L.J. 2004. A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*. 27(2), pp. 83-100.
57. Graff, B.T., 1739. Unterthänigster und ausführlicher Bericht von dem Barberschen Heil-Brunnen wie Selbiger Sr. Hoch-Fürstlichen Durchlauchten dem Herzoge von Curland Johann Ernst in tiefster Submission insinuiert worden.
58. Grindel, D.H., 1819. Vorläufige Untersuchung einer Schwefelquelle bei Schlock in Livland. *Ann. d. Chemie*, II (3), S. 83-88.
59. Grindel, D.H., 1820. Über die Schwefelquelle bei Kl. Jungferhoff, 8 Werst von Riga. Scherer's nord. *Ann. d. Chemie*, III, H.2, S. 194-201.
60. Hart, B.F., Tomlinson, R.B., Chaseling, J., 2000. Using the stabilization plateau to Estimate optimum well purge volume. *Groundwater monitoring & remediation*, XX(3), pp. 113-121.
61. Jodkazis, V.I., 1980. *Formirovanie i osvoenie ekspluatatsionnykh resursov podzemnykh vod Pribaltiki*. Mokslas, Vil'nyus, 176 p. (krievu val.).

62. Juodkazis, V., 1994. Groundwater quality and its monitoring in the Baltic States. *GeoJournal*, 33 (1), pp. 63-70.
63. Kalniņa, L. Juškevičs, V., Segliņš, V., 1996. Pleistocene stratigraphy at the Zidini site, Southeastern Latvia. In: *PACT 50*, Rixensart, pp. 31-40.
64. Karro, E., Indermitte, E., Saava, A., Haamer, K., Marandi, A., 2006. Fluoride occurrence in publicly supplied drinking water in Estonia. *Environmental Geology*, 50(3), pp. 389-396.
65. Klimas, A.A., 2003. *Geriamojo vandens hidrogeochemija*. Vilniaus universiteto leidykla, Vilniaus, 139 pp. (lietuviešu val.).
66. Krajnov, S.R., Shvets, V.M., 1987. *Geohimiya podzemnykh vod khozyajstvenno-pit'evogo naznacheniya*. Nedra, Moskva, 237 p. (krievu val.).
67. Krajnov, S.R., Shvets, V.M., 1992. *Gidrogeohimiya*. Nedra, Moskva, 463 p. (krievu val.).
68. Kupcis, J. 1929a. Über die Entstehung des Schwefelwasserstoffes in den Schwefelquellen von Kemmern (Lettland).
69. Kupcis, J. 1929b. Die Salzwässer Lettlands.
70. Kupcis, J. 1929c. Par Valmieras sālsūdeni.
71. Kupcis, J. 1929d. Kādi mineralūdeņi un dūņas ir mums Latvijā?
72. Kupcis, J. 1934a. Pētījumi par Kaņiera ezera dūņām. *LU Raksti. Ķīmijas fakultātes sērija II*(11).
73. Kupcis, J. 1934b. Liepājas dabiskie dziedināšanas līdzekļi. - Liepāja
74. Kupcis, J., 1925. Siguldas un apkārtnes minerālūdeņi. *Latvijas Farmaceitu žurnāls*, 3, 86. lpp.
75. Kupcis, J., 1926. Sērūdeņraža cēlonis Ķemeru sēravotos un dažu vēl neapraktītu sēravotu ķīmiskais sastāvs. *Latvijas Farmaceitu žurnāls*, 4, 207. lpp.
76. Kupcis, J., 1928. Die biochemischen Vorgänge im Scwefel und Moorbade Kemmern.
77. Kupcis, J., Ungure, Z. 1926. Kaņierezera dūņas.
78. Kupcis, J., Ungure, Z. 1927. Ķemeru dūņas.
79. Kupffer, K.R. 1911. Baltische Landescunde. In: Verein Mit Mehreren Mitarbeitern Herausgegeben von K.R. Kupffer. Verlag Von G.Löffler, Riga, 69 S.
80. Kurshs, V.M., Lavrinovich, M.G., 1963. O sodержanii oblomkov karbonatnykh porod v chetvertichnykh otlozheniyah Latvii i nekotorykh osobennostyah solevogo sostava gruntovykh vod. V kn.: *Voprosi chetvertichnoj geologii*, II. Institut geologii, Riga, pp. 97-106. (krievu val.).
81. Kursīte, J. 1996. *Latviešu folklorā mītu spoguļi*. Zinātne, Rīga, 431 lpp.
82. Kyarize, V.Yu., 1970. O zakonomernostyakh formirovaniya khimicheskogo sostava vod chetvertichnykh otlozhenij yuzhnoj Estonii. Institut geologii AN Estonskoj SSR. V kn.: Afansev, B.L. u.c. (red.). *Materiali VI konferencii geologov Pribaltiki i Belorussii*. VNIIMGG, Latvijiskoe nauchno-tehnicheskoe gornoe obshestvo, Riga, pp. 149-150. (krievu val.).

83. Lange, O.K., 1947. O rajonirovanii gruntovykh vod. Ocherki po regional'noij gidrogeologii SSSR. Mat-li k poznaniyu geologicheskogo strojeniya SSSR. V kn.: *MOIP, nov. serija*, 8 (12), pp. 21-28.
84. Latvijas lauksaimniecības kamera, 1937. *Ūdens piegāde lauku saimniecībās*. LLK, Jelgava, 115 lpp.
85. Lehmann, B. E., Love, A., Purtschert, R., Collon, P., Loosli, H. H., Kutschera, W., Beyerle, U., Aeschbach-Hertig, W., Kipfer, R., Frappe, S. K. et al., 2003. A comparison of groundwater dating with ⁸¹Kr, ³⁶Cl and ⁴He in four wells of the Great Artesian Basin, Australia. *Earth and Planetary Science Letters*, 211(3-4), pp. 237-250.
86. Leont'ev, N.L., 1966. *Tekhnika statisticheskikh vychislenij*. Lesnaya promyshlennost', Moskva, 250 p. (krievu val.).
87. Leterme, B., Roundevell, M.D.A., Pinte, D., Piñeros-Garcet, J.D., Vanclooster, M. 2004. Development of an integrated methodology for the assessment of groundwater contamination by pesticides at the catchment scale. In: Witkowski, A.J. et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. University of Silesia, Sosnowiec, pp. 83-84.
88. Levina, N., 1997. Pazemes ūdens krājumi un to izmantošana. Grām.: Semjonovs, I. (red.). *Pazemes ūdeņu aizsardzība Latvijā*. Gandrs, Rīga, 324.-349. lpp.
89. Levins, I., Gosk, E. 1998. *Groundwater in Latvia. Resources, Protection and Monitoring*. – Copenhagen: GEUS, - 87 p.
90. Levins, I., Gosk, E., 2004. Trace elements in groundwater as indicators of groundwater origin and antropogenic impact. In: *Groundwater flow and understanding from local to regional scales. XXXIII IAH and 7o ALHSUD Congress*. ALHSUD, Zacatecas, pp. 70.
91. Levins, I., Levina, N., Gavena I., 1998. *Latvijas pazemes ūdeņu resursi*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 24 lpp.
92. Liesch, T., Hötzl, H. (2004). Assessment of ground water risk using neural networks. In: Witkowski, A.J. et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. University of Silesia, Sosnowiec, pp. 85-88.
93. Meyrons, Z., Yushkevichs, V., 1984. Chetvertichnye otlozheniya. Grām.: Misāns, J. (red.). *Latvijas PSR ģeoloģija. Paskaidrojums Latvijas PSR ģeoloģiskajām kartēm* (mērogs 1:500 000). Zinātne, Rīga, 89.-122. lpp. (krievu val.).
94. Meyrons, Z., 1992. Stratigraficheskaya skhema plejstotsenovykh otlozhenij Latvii. V kn.: Vejnbergs, I., Danilans, I., Sorokin, V., Ulsts, R. (red.), *Paleogeografiya i stratigrafiya fanerozoja Latvii i Baltijskogo morya*, pp 84-98. (krievu val.).
95. Ministru kabineta 1999. gada 23. februāra noteikumi Nr. 63 „Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma prasības”.
96. Ministru kabineta 2002. gada 12. marta noteikumi Nr. 118 „Noteikumi par virszemes un pazemes ūdeņu kvalitāti”.
97. Ministru kabineta 2003. gada 29. aprīļa noteikumi Nr. 235 „Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma un kvalitātes prasības, monitoringa un kontroles kārtība”.
98. Ministru kabineta 2005. gada 21. jūnija noteikumi Nr. 448 "Noteikumi par valsts nozīmes derīgo izrakteņu atradnēm un to izmantošanas kārtību, valsts nozīmes derīgo izrakteņu

- izmantošanas kārtību, kā arī zemes dziļu izmantošanas atļauju vai licenču izsniegšanas konkursa vai izsoles kārtību".
99. Ministru kabineta 2004. gada 19. oktobra noteikumi Nr. 857 "Noteikumi par pazemes ūdens resursu apzināšanas kārtību un kvalitātes kritērijiem".
 100. Narasimhan, T.N., 2005. Hydrogeology in North America: past and future. *Journal of Hydrogeology*, 13(1), pp. 7-24.
 101. Neander, E., 1902. Über die Zusammensetzung des Wassers der artesischen Brunnen Riga's. In: *Korrespbl. Riga XLV.*, Riga, S. 50.
 102. Pāvels, R., 1937. *Par Rīgas pilsētas ūdens apgādi*. Rīgas pilsētas darbinieku biedrības izdevums, Rīga, 45 lpp.
 103. Posen, P., Reid, B., Lovett, A., Hiscock, K., Evers, S., Ward, R., 2004. Incorporating spatial pesticide catabolic activity in a GIS assessment of groundwater vulnerability to pesticide contamination. In: Witkowski, A.J. et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. University of Silesia, Sosnowiec, pp. 106-107.
 104. Prols, J., 2000. *Pazemes ūdeņu aizsardzība: nozares pārskats rajona plānojuma izstrādāšanai*. Jumava, Rīga, 41 lpp.
 105. Roy, S. Van, Vanbroekhoven, K., Dejonghe, W., Diels, L., 2006. Immobilization of heavy metals in the saturated zone by sorption and in situ bioprecipitation processes. *Hydrometallurgy*, 83(1-4), pp. 195-203.
 106. Rugevich, K., 1891. Opredelenie okrugov okhrany Kemerskikh, Baldonskikh I Druskeninskikh istochnikov mineral'nykh vod. *Gornij zhurnal* 2. (krievu val.).
 107. Salm, R., 1893. Zur Frage der Wasserversorgung Riga's. Referat, mitgeteilt in der Discussion über den gleichbetitelten Vortrag von Prof. M. Glassenapp am 2. März 1893. In: *Riga. Ind.-Ztg.*, XIX., Riga, S. 61-66, S. 76-78.
 108. Schiemann, K.Ch., 1822. Die Schwefelwasserstoffgas haltenden Quellen zu Barbern und Baldohn in Kurland, vorzüglich wegen ihres Gehalts an Schwefelwasserstoffgas nochmals untersucht in den Jahren 1816 und 1817. In: *Jahresverhandlungen der Kurländischen Gesellschaft für Literatur und Kunst*, Bd. 2, Mitau, S. 75.
 109. Seezen, E.L. 1844. Analyse des Schwefelwassers Baldohn. In: *Das Innland*, Nr. 9., S. 129.
 110. Seezen, E.L., Neese, N. 1852. Chemische Analyse des Wassers aus der Düna und aus einem der in Riga befindlichen artesischen Brunnen. Jubil.-Gabe des Natforsch. ver. Riga an die kaiserl. In: *Univ. Dorpat, 2. 50 jährigen Jubelfeste* am 12. December 1852. 4o, Gedr. bei W.F. Häcker, Riga, S. 10-27.
 111. Semjonovs, I. 1995. *Piesārņošanas un pašattīršanās procesi pazemes ūdeņos Latvijā*. Zinātne, Rīga, 121 lpp.
 112. Semjonovs, I., (red.), 1997. *Pazemes ūdeņu aizsardzība Latvijā*. Rakstu krājums. Gandrs, Rīga, 463 lpp.
 113. Skrastina, A.I. 1967. Hidrogeologicheskaja stratifikacija Latvii. V kn.: Dzents-Litovskij A.I. (red.). *Gidrogeologiya SSSR, tom XXXI, Latvijaskaya SSR, I chast'*. Nedra, Moskva, pp. 38. (krievu val.).

114. Spalvins A., Slangens J., Janbickis R., Lace I., Juhna T. 2005c. The hydrogeological model of the Baltezers, Rembergi and Zakumuiza water supply complex. In: *Scientific Proceedings of Riga Technical University in series "Computer Science"*, vol. 25, - Riga, pp. 108-121.
115. Spalvins, A., Slangens, J., Janbickis, R., Lace, I. 2004. Interpolation for Creating Hydrogeological Models. In: Sikdar, S.K., Glavic, P., Jain, R. (Eds.). *Technological Choices for Sustainability*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 387-394.
116. Spalvins, A., Slangens, J., Janbickis, R., Lace, I., Juhna, T. 2005b. Hydrogeological model for simulation of contaminant migration for the area of the 3rd and 10th infiltration pools of the Baltezers waterworks, Latvia. In: *Scientific Proceedings of Riga Technical University in series "Computer Science"*, vol. 25, - Riga, pp. 122-133.
117. Spalvins, A., Slangens, J., Janbickis, R., Lace, I., Skibelis, V., Eglite, I., Macans, A. 2005a. Improved hydrogeological model for evaluating contaminant migration in groundwater polluted by sulphur - sludge pools at Incukalns, Latvia. In: *Scientific Proceedings of Riga Technical University in series "Computer Science"*, vol. 25, - Riga, pp. 134-147.
118. Spalviņš, A. Janbickis, R., Šlangens, J., Gosk, E., Lāce, I., Atruškovičs, J., Vīksne, Z., Levina, N., Tolstovs, J. 1996. Hidroģeoloģiskais modelis "Lielā Rīga". Karšu atlants. In: *Skaitļošanas tehnika un robežproblēmas. 37. laidiens*. RTU, VĢD, GEUS, Rīga – Kopenhāgena, 102 lpp.
119. Stenemo, F., Jørgensen, P.R., Jarvis, N., 2005. Linking a one-dimensional pesticide fate model to a three-dimensional groundwater model to simulate pollution risks of shallow and deep groundwater underlying fractured till. *Journal of Contaminant Hydrology*, 79(1-2), pp. 89-106.
120. Stradiņš, J., 1980. *Lielā zinātnes pasaule un mēs*. Zinātne, Rīga, 287 lpp.
121. Teirumnieks, E., Prols, J., Dēliņa, A., 2005. Sadzīves atkritumu poligona „Getliņi” pazemes ūdeņu, virszemes ūdeņu un infiltrāta monitorings. Grām.: *Vide. Tehnoloģija. Resursi. 5. starptautiskās zinātniski praktiskās konferences materiāli*. Rēzekne, 207-213. lpp.
122. Thiem, A. 1897. Zur Reform des Rigaschen Wasserwerks. Verhandlungen, Projekte und Gutachten im Auftrage der Verwaltung des Rigaschen Gas- und Wasserwerks. Riga.
123. Tratsevskij, G., 1967. Gidrodinamicheskaya i gidrokhimicheskaya zonal'nost'. V kn.: Dzents-Litovskij A.I. (red.). *Gidrogeologiya SSSR, tom XXXI, Latvijkaya SSR, I chast'*. Nedra, Moskva, pp. 98-103 (krievu val.).
124. *Vides rādītāji Latvijā 2005. gadā*. Centrālais statistikas birojs, Rīga, 2006, 80 lpp.
125. Vītiņš, J. 1926. *Pētījumi par Latvijas māliem*. Par mālu un mālaino zemju ūdens caurlaidību. Rīga, 89 lpp.
126. Vītiņš, J. 1940. Baldones sēravotu aizsargājamais apvidus. Grām.: *Zemes bagātību pētīšanas institūta raksti*. I. - Rīga
127. Vītiņš, J. 1941. Vispārīga rakstura pētījumi. Ķemeru sēravotu aizsargājamais apvidus. 1. daļa. Grām.: *Zemes bagātību pētīšanas institūta raksti*. III (1). Rīga
128. Vrba, J., Zaporozec, A. (ed.), 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. In: *International Contributions to Hydrogeology*, Vol. 16., Heise, Hannover, 131 p.

129. VVST 17.1.3.03-77. 1977. Okhrana prirody. Gidrosfera. Pravila vybora i otsenka kachestva istochnikov centralizovannogo khozyajstvenno-pitevogo vodosnabzheniya. Gosudarstvennij komitet SSSR po standartam. Izdatel'stvo standartov, Moskva, 12 p. (krievu val.).
130. VVST 24902-81. pereizdaniye 1983. Voda khozyajstvenno-pitevogo naznachenija. Obshchie trebovaniya k polevym metodam analiza. Gosudarstvennij komitet SSSR po standartam. Izdatel'stvo standartov, Moskva, 3 p. (krievu val.).
131. VVST 2874-82. 1982. Voda pitevaya. Gigienicheskie trebovaniya k kontrolyu za kachestvom. Gosudarstvennij komitet SSSR po standartam. Izdatel'stvo standartov, Moskva, 7 p. (krievu val.).
132. Wang, Y., Ma, T., Luo, Z., 2001. Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on a regional scale: a case study in the Liulin karst system, northwestern China. *Journal of Hydrology*, 246(1-4), pp. 223-234.
133. Werz, H., Hötzl, H. (2004). Groundwater-vulnerability and hazard mapping in semi-arid regions using remote sensing data. In: Witkowski, A.J. et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. University of Silesia, Sosnowiec, pp. 143-145.
134. Zāns, V. 1940. Baldones apkārtnes ģeoloģiskā uzbūve. Grām.: *Zemes bagātību pētīšanas institūta raksti*, I. – Rīga
135. Zariņš, E. 1932. *Dzeramais ūdens, tā izmeklēšana un novērtēšana*. Rīga.
136. Zelčs, V., Markots, A. 2004. Deglaciation history of Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology*. Elsevier B.V., pp. 225-243.
137. Zuber, A., Weise, S. M., Motyka, J., Osenbrück K., Rózanski, K., 2004. Age and flow pattern of groundwater in a Jurassic limestone aquifer and related Tertiary sands derived from combined isotope, noble gas and chemical data. *Journal of Hydrology*, 286(1-4), pp. 87-112.
138. Zuber, A., Weise, S. M., Osenbrück, K., Pajnowska, H., Grabczak, J., 2000. Age and recharge pattern of water in the Oligocene of the Mazovian basin (Poland) as indicated by environmental tracers. *Journal of Hydrology*, 233(1-4), pp. 174-188.
139. Zwahlen, Fr. (ed.), 2003. *Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers*. EU Publications Office, Gare, Luxemburg, 315 p.

Nepublicētā literatūra

1. Agarkova, G., 1972. *Ocenka ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod metodom medelirovaniya (tsentralizovannij vodozabor "Vingri")*. VNIMORGEО, Riga, 68 p. (krievu val.). LĢF nr. 09160.
2. Aleksans, O., Ginters, G., Vilcans, J. u.c. 1988. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj gidrogeologicheskoy i inzhenerno-geologicheskoy s"emki so s"emkoj chetvertichnykh otlozhenij m-ba 1:50 000 dlya cel'ej meliorativnogo stroitelstva v predelov listov O-35-90-A,B,V,G, O-35-91-A,B,V,G i O-35-92-A,V (Aluksne)*. Upravlenie geologii LSSR, Riga, 828 p. (krievu val.). LĢF nr. 10580.

3. Aleksans, O., Ginters, G., Yushkevich, V. u.c. 1991. *Rezultaty kompleksnoj gidrogeologicheskoj i inženerno-geologicheskoj s"emki so s"emkojchetvertichnykh otlozhenij m-ba 1:50 000 dlya cel'ej melioracii v predelov listov O-35-127-A,B,V,G, O-35-128-A,B,V,G, O-35-129-A,V (Rezekne)*. Otchet gidromeliorativnogo otrjada, 1988-1991 g.g. Upravlenie geologii LSSR, Riga, 693 p. (krievu val.). LĢF nr. 10840.
4. Aņikejeva, R., Levins, I., Levina, N. 1997. *Pazemes ūdeņu krājumi Rīgas centralizētai ūdensapgādei*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 89 lpp., LĢF nr. 11758.
5. Austrums, E., 2003. *Pazemes ūdeņu piesārņojuma pakāpes un tendenču novērtējums Inčukalna sērskābā gudrona Dienvidu izgāztuvē (II, III etaps)*. Vides konsultāciju birojs, Rīga, 92 lpp. LĢF nr. 14323.
6. Bendoraitis, A., Bērziņš, M., Dēliņa, A. u.c. 2004. *Teteles ūdensgūtne. Pazemes ūdeņu krājumu un ķīmiskās aizsargjoslas noteikšana. Atradnes pase*. UAB Vilniaus Hidrogeologija, Viļņa un SIA Geo Consultants, Rīga. 115 lpp., LĢF nr. 14510
7. Bendoraitis, A., Dēliņa, A., Gregorauskas, M., Juškevičs, V., Prols, J., Segliņš, V., 2002. *Ludzas pilsētas ūdensapgāde. Centralizētās ūdensapgādes urbumu aizsargjoslu noteikšana*. SIA Geo Consultants, Rīga, 28 lpp.
8. Bichko, G., Tratsevskaya, I., Tukane, V., 1985. *Sostavlenie svodnykh gidrogeologicheskikh i inženerno-geologicheskikh kart masshtaba 1:1500000 i kart gidrogeologicheskogo rajonirovaniya po usloviyam sel'skogo vodosnabzheniya i melioratsii*. Latvijas geologija, Rīga, 483 pp. (krievu val.). LĢF nr. 10243.
9. Bichko, G., Tratsevskij, G., Brivule, Z., u.c. 1979. *Otchet po teme "Sostavlenie svodnykh gidrogeologicheskikh kart territorii Latvijas SSR v masshtabe 1:500 000, 1974-1979 g.g."*. Upravlenie geologii Latvijas SSR, Riga. 561 p. (krievu val.). LĢF nr. 09643.
10. Brezhneva, T., 1958. *Kadastr skvazhin na podzemnie vody Latvijas SSR (reestr skazhin, karta skvazhin)*. Upravlenie geologii, Riga, 9961 p. (krievu val.). LĢF nr. 01206.
11. Buzajevs, V. 1997. *Pazemes ūdeņu ekspluatācijas krājumu novērtēšana Ventspils ūdensapgādei (ar matemātiskās modelēšanas metodi)*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 56 lpp., LĢF nr. 11688.
12. Buzajevs, V. 2002. *Ventspils pilsētas ūdensgūtnes "Ogsils" ūdensieguves shēmas optimizācija*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 16 lpp., LĢF nr. 12764.
13. Buzajevs, V., 2001. *Daugavpils pazemes ūdens atradnes "Ziemeļi" bakterioloģiskās un ķīmiskās aizsargjoslas aprēķināšana*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 47 lpp. LĢF nr. 12540.
14. Cukermanis, K., Jansons, A. 1948. *Pārskats par hidroģeoloģiskajiem pētījumiem Liepājas pilsētā un apkārtnē, sakarā ar pilsētas centrālās ūdensapgādes problēmu*. LPSR ZA Ģeoloģijas un ģeogrāfijas institūts (GGI), Rīga, 298 lpp. LĢF Nr. 00098.
15. Degle I., 1982. *Otchet o razvedke podzemnykh vod dlya vodosnabzheniya nas.p. Irbe*. Upravlenie geologii, Riga, 98 p. (krievu val.). LĢF nr. 09929.
16. Dēliņa, A., Juškevičs, V., Levins, G., Prols, J., 2005. *Ūdensapgādes avotu tehniskā izpēte un pazemes ūdeņu ekspluatācijas krājumu izvērtēšana. Pazemes ūdeņu atradnes "Vainode" pase*. Geo Consultants, Rīga, 68 lpp. LĢF nr. 14863.
17. Dēliņa, A., Liepiņš, M. 2005. *Sadzīves atkritumu poligona Getliņi 2004.-2005. gada pārskats*. Geo Consultants, Rīga, 33 lpp.

18. Dēliņa, A., Prols, J. 1998. *Latvijas pazemes ūdeņu aizsargātības karte*. Karte un paskaidrojuma raksts. SIA Geo Consultants, Rīga, 34 lpp.
19. Deņisov, P., 1972. *Zaklyuchenie o vodozabore g. Daugavpils*. Upravlenie geologii, Riga, 8 p. (krievu val.). LĢF nr. 09119.
20. Drikis, V., Sluka, Ya., Pronikova, L. u.c. 1980. *Otchet o rezul'tatakh gidrogeologicheskoy i inženerno-geologicheskoy s'emki so s'emkoj chetvertichnykh otlozhenij masshtaba 1:50 000 dlya cel'ej meliorativnogo stroitelstva v Bauskom rajone 1977-1980 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 446 p. (krievu val.). LĢF nr. 9698.
21. Dzēns-Litovskij, A., Skrastina, A., Denisov, P., 1965. *Gidrogeologija SSSR. Tom XXXI. Latvijskaja SSR*. Upravlenie geologii, Riga, 483 pp. (krievu val.). LĢF nr. 05490.
22. Dzilna, I., Staprens, V. 1964. *Otsenka resursov presnykh podzemnykh vod na territorii Latvijskoj SSR*. Institut geologii AN LSSR, Riga. 107 p. (krievu val.). LĢF. nr. 03999.
23. Dzilna, V. 1968. *Gidrogeologicheskaya karta SSSR – usloviya vodosnabzheniya naseleniya – Latvijskaya SSR*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 639 p. (krievu val.). LĢF. nr. 07938.
24. Frejmanis, A., Mejrons, Z., Khvedchenya, O. u.c. 1966. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s'emki masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-34-XXX v 1964-1966 g.g. (Kurzemskaya GSP)*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 1983 p. (krievu val.). LĢF nr. 6447.
25. Gavrylova, A., Birgere, L., Straume, Ya. u.c. 1966. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s'emke masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-34-XXXV za 1964-1966 g.g. (Yuzhno-Latvijskaya GSP)*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 1006 p. (krievu val.). LĢF nr. 6473.
26. Gavrylova, A., Birgere, L., Straume, Ya. u.c. 1967. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s'emke masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-34-XXXVI za 1964-1966 g.g. (Yuzhno-Latvijskaya GSP)*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 925 p. (krievu val.). LĢF nr. 7152.
27. Gavrylova, A., Byrger, L., Straume Ya. u.c. 1963. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s'emki masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-34-XXXIV (Primorskaya GSP) 1961-1963 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 615 p. (krievu val.). LĢF nr. 3667
28. Gavrylova, A., Feldmane, L., Straume Ya. u.c. 1962. *Geologicheskoje strojenie i gidrogeologicheskie usloviya territorii lista O-35-XXV. Otchet o rabotakh Ogrskoj GSP za 1959-1960 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 1908 p. (krievu val.). LĢF nr. 3104.
29. Gavrylova, A., Ginters, G. u.c. 1975. *Otchet o gruppovoj geologicheskoy s'emke masshtaba 1:50 000 (g. Ekabpils) 1976-1978 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 618 p. (krievu val.). LĢF nr. 9596.
30. Gavrylova, A., Ginters, G. u.c. 1978. *Otchet o gruppovoj opytno-proizvodstvennoj kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s'emke masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-34-129-A,B,V,G, O-34-130-A,B,V,G (severnaya polovina) 1973-1975 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 600 p. (krievu val.). LĢF nr. 9429
31. Ginters, G., Aleksans, O., Vilcans, J. u.c. 1985. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj gidrogeologicheskoy i inženerno-geologicheskoy s'emki so s'emkoj chetvertichnykh otlozhenij m-ba 1:50 000 dlya cel'ej meliorativnogo stroitelstva v predelov listov O-35-101-A,B,V,G*

(*Yaunpiebalga*) 1982-1985 g.g.. Upravlenie geologii LSSR, Riga, 704 p. (krievu val.). LĢF nr. 10225.

32. Ginters, G., Aleksans, O., Vilcans, J. u.c. 1986. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj gidrogeologicheskoy i inženerno-geologicheskoy s"emki so s"emkoj chetvertichnyh otlozhenij m-ba 1:50 000 dlya cel'ej meliorativnogo stroitelstva v predelov listov O-35-102-A,B,V,G (Gulbene)*. Upravlenie geologii LSSR, Riga, 813 p. (krievu val.). LĢF nr. 10335.
33. Gosk E., Levins I. 2006. *Agricultural influence on groundwater in Latvia*. SGSL, GEUS, Riga, Copenhagen, 72 p.
34. Grikevich, E., 1986. *Otsenka prognoznykh resursov termal'nykh vod Pribaltiki (tema No. 53), za gg. 1984-1986*. Sojuzmorinzheologiya, Riga, 211 p. (krievu val.). LĢF nr. 10408.
35. Grikēvičs, E. 1994. *Devona un kvartāra ūdensnesošo horizontu hidrauliskās mijiedarbības modelēšana racionālai Rīgas ūdensapgādes jautājumu risināšanai*. Jūras inženierģeolģija, Rīga, 110 lpp. LĢF nr. 11159.
36. Izotova, E.M., Mikheev, D.G., Rodinova, A.O., Chapyshev, V.M., 1948. *Geologicheskoe stroenie, gidrogeologicheskie usloviya i pochvy central'noj chasti Latvijskoj SSR. Uezdy: Rizhskij, Ogreskij i Jelgavskij. Severno-zapadnoj chasti lista O-35-XXV-XXVI-XXXI-XXXII masshtaba 1:200 000*. 5-oe geologicheskoe upravlenie, Leningrad, 249 pp. (krievu val.). LĢF Nr. 00073.
37. Jankins, J., Levina, N., Levins, I., Prols, J., Straume, J. 1993. *Pazemes ūdeņu monitorings Latvijā*. R/a Latvijas ģeolģija, Rīga. 69 lpp. LĢF nr. 14674.
38. Juhna V. 2005. *Pētījumi par Rīgas pazemes ūdensgūtvju attīstību. Promocijas darbs*. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, 142 lpp.
39. Juškevičs, V., 1999. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Kuršs, V. (red.). *Latvijas ģeolģiskā karte, M 1:200 000, 42. lapa – Jūrmala. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeolģijas dienests, Rīga, 52 lpp.
40. Juškevičs, V., 2000. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Kuršs, V. (red.). *Latvijas ģeolģiskā karte, M 1:200 000, 43.-53. lapa – Rīga – Ainaži. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeolģijas dienests, Rīga, 68 lpp.
41. Juškevičs, V., Mūrniece, S., 1997. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Kuršs, V. (red.). *Latvijas ģeolģiskā karte, M 1:200 000, 31. lapa – Liepāja. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeolģijas dienests, Rīga, 49 lpp.
42. Juškevičs, V., Mūrniece, S., 1998. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Kuršs, V. (red.). *Latvijas ģeolģiskā karte, M 1:200 000, 41. lapa – Ventpils. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeolģijas dienests, Rīga, 48 lpp.
43. Juškevičs, V., Skrebels, J., 2002. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Brangulis, A., J. (red.). *Latvijas ģeolģiskā karte, M 1:200 000, 44.-45.-54. lapa – Alūksne – Viļaka – Valka. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeolģijas dienests, Rīga, 64 lpp.
44. Juškevičs, V., Skrebels, J., 2003. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Brangulis, A., J. (red.). *Latvijas ģeolģiskā karte, M 1:200 000, 24.-34. lapa – Daugavpils – Jēkabpils. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeolģijas dienests, Rīga, 67 lpp.
45. Kaliyants, S.Kh., Nedrigajlova, I.S., Byl'tsova, Z.A., Gubanova, N.Ya., 1948. *Geologicheskoe stroenie, gidrogeologicheskie usloviya i pochvy central'noj chasti Latvijskoj SSR. Uezdy:*

Tukumskij, Rizhskij I Elgavskij. Severno-vostochnaya chast' lista O-34-XXIX-XXX-XXXV-XXXVI masshtaba 1:200 000. 5-oe geologicheskoe upravlenie, Leningrad, 235 pp. (krievu val.). LĢF Nr. 00056.

46. Kaliyants, S.Kh., Nedrigajlova, I.S., Sokolov, N.N., Solunina, N.A., 1949. *Geologicheskoe stroenie, gidrogeologicheskie usloviya i pochvy central'noj chasti Kurlyandskogo poluoostrova Latvijskoj SSR. Uezdy: Tukumskij, Talsinskij, Kuldigskij. Severno-zapadnaya chast' lista O-34-XXIX-XXX-XXXV-XXXVI masshtaba 1:200 000. 5-oe geologicheskoe upravlenie, Leningrad, 306 pp. (krievu val.). LĢF Nr. 00116.*
47. Kayak, K., Kayak, H., Kivisilla, J. u.c. 1976. *Otchet Yuzhno-Estonskogo otryada o kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoj s'emke masshtaba 1:200 000 yuzhnoj chasti territorii lista O-35-XXII (v okrestnostyakh Aluksne, Misso, Kachanogo) za 1974-1975 g.g. Upravlenie geologii ESSR, Tallin. 467 p. (krievu val.). LĢF nr. 9433.*
48. Kolokolov, L., Ozolin'sh, V., Shmel'kov, A., 1962. *Otchet o gidrogeologicheskoj razvedke istochnikov vodosnabzheniya g. Daugavpils s podschetom ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod (na 01.01.1962). Upravlenie geologii, Riga, 339 p. (krievu val.). LĢF nr. 03111.*
49. Kuz'mina, O.M., Shumanskaya, G.G., Kurochkina, Z.I., Smirnova, Z.A., 1949. *Geologicheskoe stroenie, gidrogeologicheskie usloviya i pochvy yugo-zapadnoj chasti Latvijskoj SSR i severno-zapadnoj chasti Litovskoj SSR masshtaba 1:200 000. 5-oe geologicheskoe upravlenie, Leningrad, 343 pp. (krievu val.). LĢF Nr. 00117.*
50. Krivcov, A., Prols, Ya., Grikevich, E., 1987. *Otchet o rezul'tatakh poiskov mineral'nykh vod dlya rybovodstva v okrestnosti Ragatsiems za gg. 1985-1987. Kemerskaya gidrogeologicheskaya gruppa. Latvijskaya geologiya, Riga, 318 p. (krievu val.). LĢF nr. 10511.*
51. Kruglik, S., 1989. *Rezul'taty posikov presnykh podzemnykh vod v okrestnosti Carnikava. Latvijskaya geologiya, Riga, 186 p. (krievu val.). LĢF nr. 10649.*
52. Krutofala T. 2003. *Pazemes ūdeņu krājumu bilance par 1998.-2002. gadu. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, - 182 lpp. LĢF nr. 14134.*
53. Krutofala T., 1989. *Rezul'taty detal'noj razvedki podzemnykh vod dlya vodosnabzheniya g. Bauska. Latvijskaya geologiya, Riga, 201 p. (krievu val.). LĢF. nr. 10682.*
54. Krutofala T., 1992. *Rezul'taty detal'noj razvedki podzemnykh vod dlya vodosnabzheniya g. Daugavpils. Latvijskaya geologiya, Riga, 577 p. (krievu val.). LĢF. nr. 10918.*
55. Levina N. 2000. *Pazemes ūdeņu monitorings 1999.gads. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 325 lpp. LĢF nr. 12075.*
56. Levina N. 2001. *Valsts pazemes ūdeņu monitorings, 2000.gads. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 327 lpp. LĢF nr. 12429.*
57. Levina, N. 1996. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1995.g. (informatīvs pārskats). Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 31 lpp. LĢF nr. 11374.*
58. Levina, N. 1997. *Pazemes ūdeņu monitorings 1996.g. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 46 lpp. LĢF nr. 11563.*
59. Levina, N. 1999. *Pazemes ūdeņu monitorings 1998.gads. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 45 lpp. LĢF nr. 11978.*

60. Levina, N. 2002. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings 2001.gads*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 336 lpp. LĢF nr. 12961.
61. Levina, N., Gavena, I., 2000. *Rīgas centralizētai ūdensapgādei izmantoto pazemes dzeramā ūdens atradņu aizsargjoslu noteikšana un derīgo izraķeņu atradņu pases sastādīšana (Baltezers, Remberģi, Zaķumuiža, Katlakalns)*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 516 lpp. LĢF nr. 12281.
62. Levina, N., Gavena, I., Gaile, R., Aņikejeva, R., 1998. *Latvijas mazpilsētu ūdensapgādes avotu izpēte un krājumu akcepts. Ainaži, Aizkraukle, Cēsis, Gardene, Gulbene, Jaunjelgava, Jēkabpils, Kandava, Krāslava, Limbaži, Madona, Pļaviņas, Roja, Saulkrasti, Sigulda, Talsi*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 713 lpp. LĢF nr. 11742.
63. Levina, N., Levins, I. 2003. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings 2002.gads*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 343 lpp. LĢF nr. 13448.
64. Levina, N., Levins, I. 2005. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings 2004.gads*. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga. 345 lpp. LĢF nr. 14844.
65. Levina, N., Levins, I., Gaile, R., Cīrulis, A. 1998. *Pazemes ūdeņu monitorings 1997.gads*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 55 lpp. LĢF nr. 11760.
66. Levins G., Grikēvičs, E., Krutofala, T., Levins, I., 1996. *Ūdensgūtnes "Zaķumuiža" devona pazemes ūdeņu krājumi*. Urbšanas centrs, Rīga, 102. lpp. LĢF nr. 11480.
67. Levins, G., 1964. *Special'nie gidrogeologičeskie karty i karta zony aeracii Latvijskoj SSR*. Upravlenie geologii, Riga, 86 pp. (krievu val.). LĢF nr. 04148.
68. Levins, I. 1998. *Ūdens pašattīrīšanās izpēte ūdensgūtnē Baltezers II 1998.gadā*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 21 lpp. LĢF nr. 11870.
69. Levins, I. 2004. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings 2003.gads*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 341 lpp. LĢF nr. 14380.
70. Levins, I., 1990. *Gidrohimičeskaya karta Latvii masshtaba 1:500 000. Materialy dlya temy "Sostavlenie gidrohimičeskoj in inženerno-geologičeskoj karty Baltijskikh respublik masshtaba 1:500 000"*. Latvijas geologija, Riga, 95 p. (krievu val.). LĢF nr. 10860.
71. Levins, I., Dēliņa, A., Prols, J., Segliņš, V., 2002. *Pazemes ūdeņu krājumu dinamika ūdensgūtnē Baltezers*. Geo Cosnultants, Rīga, 49 lpp.
72. Lyarskij, V., Myronov, G., Frejmanis, A. u.c. 1963. *Otchet o kompleksnoj geologo-gidrogeologičeskoj s'emke masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-35-XXXII (Ekabpilskaya GSP) 1961-1963 g.g*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 579 p. (krievu val.). LĢF nr. 3695.
73. Margulis, L., 1992. *Geotermal'nij proekt Baltii. Latvijskaya chast'*. VNIMORGEO, Riga, 10 p. (krievu val.). LĢF nr. 11125.
74. Meirons, Z., 2002. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Brangulis, A., J. (red.). *Latvijas ģeoloģiskā karte, M 1:200 000, 33. lapa – Ogre. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 52 lpp.
75. Meirons, Z., 2004. Kvartāra nogulumi. Grām.: Āboltiņš, O., Brangulis, A., J. (red.). *Latvijas ģeoloģiskā karte, M 1:200 000, 25.-35. lapa – Indra – Rēzekne. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 55 lpp.

76. Mihajlovskij, P., Jakobson, G., Indan, A., Springis, E., Linde, E., 1959. *Otchet ob izyskaniyakh Kemerskogo mestororzhdeniya serovodorodnykh vod*. Tom I. Upravlenie geologii i okhrany nedr pri SM Latvijskoj SSR, Institut geologii i poleznykh iskopaemykh AN Latvijskoj SSR, Riga, 521 pp. (krievu val.). LĢF nr. 2109.
77. Misāns, J., Mūrnieks, A., Strautnieks, I., 2001. *Latvijas ģeoloģiskā karte, M 1:200 000, 32. lapa – Jelgava. Paskaidrojuma teksts*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 45 lpp.
78. Murnieks, A., Murnietse, S., Rubens, I., Venska, V. 1979. *Otchet o geologo-gidrogeologicheskoj i inženerno-geologicheskoj s"emke masshtaba 1:50 000 v rajone nas. p. Engure za 1975-1979 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 428 p. (krievu val.). LĢF nr. 9625.
79. Myronov, G., Vatsle, V., Vasileva, V., Karpitskij, V. u.c. 1962. *Geologicheskoe strojenie i gidrogeologicheskie usloviya lista O-35-XXVI. Otchet Vidzemskoj kompleksnoj GSP po rabotam 1959-1960 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 1713 p. (krievu val.). LĢF nr. 3109.
80. Pastors, A.A., 1987. *Rajonirovanie malykh rek Latvijskoj SSR*. Latvijskoe respublikanskoe upravlenie po gidrometeorologii I kontrolyu prirodnoj sredy, Riga, 217 pp. (krievu val.).
81. Podgurskij, V., Bendrupe, L., Spudas, G. 1974. *Otchet o rezul'tatakh geologo-gidrogeologicheskoj s"emki masshtaba 1:200 000 lista O-35-XXXIII (Prejli) za 1969-1974 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 584 p. (krievu val.). LĢF nr. 9304.
82. Podgurskij, V., Mejrons, Z., Arkharova, T. u.c. 1985. *Otchet o gruppovoj geologicheskoj s"emke masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-34-91-G, O-34-92-A,B,V,G, O-34-103-B,G, O-34-104-A,B,V,G (Ventspils)*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 612 p. (krievu val.). LĢF nr. 10279.
83. Prilukova, T., 1982. *Gosudarstvennij vodnij kadastr. Chast' 2-ya – Podzemie vody. Seriya 2-ya – Ezhegodnie dannie* "Izuchenie rezhima i balansa i vedenie kadastra podzemnykh vod Latvii (gg. 1981-1982)." Upravlenie geologii, Riga, 313 p. (krievu val.). LĢF nr. 09895.
84. Prols, J., Levins, I., 2000. *Piesārņojošo vielu migrācija gruntsūdeņos. Piesārņojošo vielu migrācijas parametru pētījumi Olaines šķidro toksisko atkritumu dīķu apkaimē*. Geo Consultants, Rīga, 26 lpp. GC nr. R/OL-3a.
85. Prols, J., Dēliņa, A., 1997. *Latvijas pazemes ūdeņu aizsargātības karte (pārskata ziņojums)*. Geo-Konsultants, Rīga, 25 lpp. LĢF nr. 11722.
86. Prols, J., Juškevičs, V., Skrebels J., Lazņiks, M., Levins, I. u.c. 2005. *Results of investigations of surface water and groundwater contamination and biogas amount composition at the Raama landfill, Paarnu, Estonia*. Final report in 5 volumes. Geo Consultants, Riga, 134 p.
87. Prols, Ya., Prole, A., 1989. *Rezul'taty detal'noj razvedki serovodorodnykh mineral'nykh vod na uchastke Jaunkemeri Kemerskogo kurorta za gg. 1986-1989*. Latvijskaya geologiya, Riga, 535 p. (krievu val.). LĢF nr. 10652.
88. Rīgas ūdens, 2000. *Rīgas ūdensvads. Anno 1620*. Rīgas ūdens, Rīga, 79 lpp.
89. Sapega, Yu., Andrushenko, N., Kopitkov, V., Khodasevich, A. 1982. *Otchet o gidrogeologicheskoj i inženerno-geologichskoj s"emke masshtaba 1:200 000 na territorii listov N-35-IV (Braslava) i N-35-X (Glubokoe) za 1979-1982 g.g.* Upravlenie geologii BSSR, Minsk. 807 p. (krievu val.). LĢF nr. 10037.
90. Silgaile, E. 2005a. *Pārskats par hidroģeoloģiskās izpētes darbiem Ādažos*. SIA VentEko, Rīga, 79 lpp. LĢF nr. 14905.

91. Silgaile, E. 2005b. *Pārskats par hidroģeoloģiskās izpētes darbiem Baložos*. SIA VentEko, Rīga, 76 lpp. LĢF nr. 14866.
92. Silgaile, E. 2005c. *Pārskats par hidroģeoloģiskās izpētes darbiem Dundagā*. SIA VentEko, Rīga, 70 lpp. LĢF nr. 14904.
93. Silgaile, E., Šņitko, P., 2005. *Pārskats par hidroģeoloģiskās izpētes darbiem Carnikavā*. SIA VentEko, Rīga, 155 lpp. LĢF nr. 14909.
94. Stiebrīņš, O. 2004. *Pārskats par gruntsūdens novērošanas sistēmas izveidi SIA "Neste Latvija" rekonstruējamās automātiskās DUS teritorijā Brīvības gatvē 386, Rīgā*. SIA VentEko, Rīga, 20 lpp., LĢF nr. 14874.
95. Straume, Ya., Gavryilova, A., Birger, L. u.c. 1970. *Otchet o rezultatah gidrogeologicheskoy i inženerno-geologicheskoy s"emki masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-34-XXVIII za 1967-1970 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 916 p. (krievu val.). LĢF nr. 8990.
96. Sulimov, E., Stroev, V., Yansons, A. u.c. 1962. *Otchet o rezul'tatah kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s"emki masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-35-XXVII (Madonskaya geologo-s"emochnaya partiya) 1960-1962 g.g.* Upravlenije geologii LSSR, Riga. 471 p. (krievu val.). LĢF nr. 3110.
97. Tolstov, Ya., Saksons, I., 1976. *Otchet o razvedochnykh rabotakh dlya razshireniya vodosnabzheniya g. Liepaya*. Upravlenie geologii, Riga, 45 p. (krievu val.). LĢF nr. 09501.
98. Tolstovs, J., 1994. *Materiālu sagatavošana Liepājas pilsētas ūdensapgādes modelēšanai*. Latvijas ģeoloģija, Rīga, 55 lpp. LĢF nr. 11261.
99. Tratsevskij, G., Anikeeva, R., Murnieks, A. u.c. 1984. *Otchet o rezul'tatakh gruppovoj geologicheskoy s"emke masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-34-127-A,B,V,G i O-34-139-A,V (Liepaya)*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 671 p. (krievu val.). LĢF nr. 10180.
100. Tratsevskij, G., Mejrons, Z., Kunda, Z. u.c. 1993. *Rezul'tati geologicheskoy s"emki masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-34-81-V,G, O-34-82-V, O-34-93-A,B,V,G, O-34-94-A,B,V,G, O-34-95-V, O-34-105-A,B, O-34-106-A,B (Talsi, Kolka) za 1986-1993 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 897 p. (krievu val.). LĢF nr. 11035.
101. Tratsevskij, G., Yushkevich V., Lyarskaya, L. u.c. 1969. *Otchet o kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy i inženerno-geologicheskoy s"emke masshtaba 1:200 000 na territorii listov O-34-XXII, XXIII, XXIV (Severo-Latvijskayja GSP) 1967-1969 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 583 p. (krievu val.). LĢF nr. 8555.
102. Tratsevskij, G., Yushkevich V., Polivko, Yu. u.c. 1964. *Otchčet o kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s"emke masshtaba 1:200 000 na territorii yuzhnoj polovyni lista O-35-XXI (Severo-Latvijskaya GSP) 1962-1964 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 555 p. (krievu val.). LĢF nr. 4154.
103. Tratsevskij, G., Yushkevich V., Polivko, Yu. u.c. 1965. *Otchet o kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy s"emke masshtaba 1:200 000 na territorii yuzhnoj polovyni lista O-35-XX (Severo-Latvijskaya GSP) 1962-1964 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 927 p. (krievu val.). LĢF nr. 5870.
104. Tratsevskij, G., Yushkevichč V., Polivko, Yu., Bichko, A. 1967. *Otchet o kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoy i inženerno-geologicheskoy s"jemke masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-35-XIX*. Upravlenie geologii LSSR, Riga. 756 p. (krievu val.). LĢF nr. 7142.

105. Tratsevskij, G., Zazimko, A., Murnieks, A. u.c. 1989. *Geologicheskoe stroenie, gidrogeologicheskie usloviya i poleznye iskopaemye ploshchadi Pavilosta. Otchet Zapadnoj partii o gidrogeologicheskoj s"emke s inzhenerno-geologicheskoj s"emkoj chetvertichnyh otlozhenij masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-34-115-A,B,V,G i O-34-116-A,B,V,G, provedennoj v 1985-1989 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 1004 p. (krievu val.). LGF nr. 10686.
106. Ul'gis, M., Ginters, G., Aleksans, O. 1983. *Otchet o kompleksnoj gidrogeologicheskoj i inzhenerno-geologicheskoj s"emke so s"emkoj chetvertichnykh otlozhenij masshtaba 1:50 000 dlya cel'ej meliorativnogo stroitel'stva v predelakh listov O-35-139-A,B,V,G (Aglona) za 1980-1983 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga, 474 p. (krievu val.). LGF nr. 10035.
107. Ul'gis, M., Ginters, G., Aleksans, O. u.c. 1981. *Otchet o kompleksnoj gidrogeologicheskoj i inzhenerno-geologicheskoj s"emke so s"emkoj chetvertichnykh otlozhenij m-ba 1:50 000 dlya cel'ej meliorativnogo stroitel'stva na Vidzemskoj vozvishennosti.* Upravlenie geologii LSSR, Riga, 513 p. (krievu val.). LGF nr. 9811.
108. Vetrennikov, V., Bendrupe L. u.c. 1976. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoj i inzhenerno-geologicheskoj s"emki masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-35-XXXI, 1974-1976 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 824 p. (krievu val.). LGF nr. 9469.
109. Vityn'sh, Ya., 1947. *Obzor gidrogeologicheskikh uslovij Latvijsskoj SSR.* Institut geologii i geografii Latvijsskoj SSR, Riga, 45 p. (krievu val.).
110. Yankin, Yu., Khvedchenya, O., Mejrons, Z. 1969. *Otchet o geologo-gidrogeologicheskoj i inzhenerno-geologicheskoj s"emke masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-34-XXIX v 1966-1969 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 461 p. (krievu val.). LGF nr. 8556.
111. Yankin, Yu., Mejrons, Z., Murnieks, A., Arkharova, T. 1973. *Otchet o geologo-gidrogeologicheskoj i inzhenerno-geologicheskoj s"emke masshtaba 1:200 000 na territorii lista O-35-XXXIV (Rezekne) za 1968-1973 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 722 p. (krievu val.). LGF nr. 9227.
112. Yankin, Yu., Murnieks, A., Murnietse, S. u.c. 1975. *Otchet o doizuchenii territorii lista O-35-XXVIII (Balvy) s celyu podgotovki k izdaniyu geologicheskikh kart masshtaba 1:200 000.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 528 p. (krievu val.). LGF nr. 9388.
113. Yanson, A., Bendrupe, L., Turkina, L. u.c. 1965. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoj s"emki masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-35-97-V, O-35-109-A, Daugavskaya GSP, 1963-1965 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 1151 p. (krievu val.). LGF nr. 5767.
114. Yanson, A., Bendrupe, L., Turkina, L. u.c. 1967. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj geologo-gidrogeologicheskoj s"emki masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-35-97-G, O-35-109-B, Gau'skaya GSP, 1965-1967 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 895 p. (krievu val.). LGF nr. 7340.
115. Yanson, A., Bendrupe, L., Turkina, L., Straume, Ya. u.c. 1971. *Otchet o rezul'tatakh gidrogeologicheskoj s"emki masshtaba 1:50 000 na territorii listov O-34-107-G, O-34-119-B, O-34-120-A,B dlya vodosnabzheniya g. Yurmala za 1967-1971 g.g.* Upravlenie geologii LSSR, Riga. 812 p. (krievu val.). LGF nr. 9050

116. Yushkevich, V., Vykhot', L. u.c. 1978. *Otchet o rezul'tatakh kompleksnoj gidrogeologicheskoj i inženerno-geologičeskoj s''emki masshtaba 1:50 000 v okrestnosti g. Daugavpils.* Upravlenie geologii LSSR, Riga, 625 p. (krievu val.). LĢF nr. 9588.
117. Zummer, M.Kh., 1946. *Poyasnitel'naya zapiska k svodnoj gidrogeologicheskoj karte SSSR m-ba 1:500 000 list O-34-G (Zap. chast' Latvijskoj SSR).* Specgeofond Lengeo, Leningrad, 153 p. (krievu val.). LĢF nr. 00008.
118. Zummer, M.Kh., 1947. *Poyasnitel'naya zapiska k svodnoj gidrogeologicheskoj karte SSSR m-ba 1:500 000 list O-35-V (Vost. chast' Latvijskoj SSR).* Specgeofond Lengeo, Leningrad, 239 p. (krievu val.). LĢF nr. 00028.



ISSN

ISBN