

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITAS LATVIENSIS

Nr. 8

AIJA DĒLIŅA

**KVARTĀRSEGAS PAZEMES ŪDEŅI LATVIJĀ
QUATERNARY GROUNDWATER IN LATVIA**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

RĪGA 2007

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. 8

Aija Dēliņa

Promocijas darba kopsavilkums

Kvartārsegas pazemes ūdeņi Latvijā

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, Dr. habil 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 sūfīt:

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, 2007

Latvijas Universitāte, www.lu.lv

ISBN 9984-802-39-6

Ievads

Kvartārsegas pazemes ūdeņi veido augšējos zemes virsas pazemes ūdeņu horizontus Latvijā. Šos pazemes ūdeņus saturošās slāņkopas biežums svārstās no dažiem līdz apmēram 200 metriem, bet apraktajās ielejās nedaudz pārsniedz 300 metrus. Atsevišķi ir jānodala kvartāra nogulumu slāņkopas augšējā daļa, kurā dominē ūdens nepiesātināti nogulumi, t. i., aerācijas zona. Šajā zonā pārsvarā izplatīti molekulāri saistītie un kapilārie pazemes ūdeņi, un tajos notiekošie procesi krasi atšķiras no tiem, kas norisinās ūdens piesātinātajā zonā, kur dominē brīvie pazemes ūdeņi. Šo procesu dinamiku nosaka pārvietošanās gravitācijas spēka vai pjezometriskā spiediena ietekmē. Tāpēc aerācijas zonā noritošie procesi ir apskatīti vispārīgi, tikai saistībā ar piesātinājuma zonas pazemes ūdeņu veidošanos.

Kvartāra pazemes ūdeņi jau sen tiek plaši izmantoti saimnieciskām vajadzībām, bet Latvijā tie ir salīdzinoši maz pētīti. To nosaka ievērojamu kvartāra pazemes ūdeņu resursu ierobežotā izplatība Latvijā un arī ilgi valdījušais uzskats, ka kvartāra pazemes ūdeņi nav perspektīvi un ir saimnieciski maz nozīmīgi. Pretēji šim uzskatam citās Baltijas reģiona valstīs kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu pētījumi ir plaši izvērsti un daudzveidīgi satura ziņā.

Kvartārsegas pazemes ūdeņus autore ir uzsākusi pētīt jau pirms deviņiem gadiem, sākotnēji vairāk pievēršoties pazemes ūdeņu piesārņojuma apzināšanai atsevišķos iecirkņos, bet maģistrantūras studijās padziļināti pētot kvartāra 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.

Darba aktualitāte

Kvartārsegas pazemes ūdeņu savdabība ir gan tos saturošo nogulumu lielā dažādība, gan šo ūdeņu aktīvā mijiedarbība ar citām vidēm un dziļākajiem pazemes ūdeņu horizontiem, kā rezultātā iespējama liela hidroģeoloģisko apstākļu daudzveidība. No tā izriet, ka 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. Tomēr jāuzsver, ka vienlaicīgi tie ir arī paaugstināta riska faktori, kas samazina kvartārsegas pazemes ūdeņu dabisko aizsargātību no virszemes izcelsmes piesārņojuma.

Veiktais pētījums ir pirmais mēģinājums ar mūsdienīgām metodēm apzināt kvartārsegas pazemes ūdeņu īpašības, parametrus un izmantošanas iespējas. Darbs izstrādāts, balstoties uz autores veiktajiem lauka un laboratorijas pētījumiem,

gandrīz 40 gadu laikā uzkrātajiem Latvijas ģeoloģisko fondu materiāliem un hidroģeoloģijas mūsdienu teorētiskajām atziņām.

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

Pētījuma galvenie uzdevumi:

- 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, *in situ* nosakot strauji mainīgos kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmiskos parametrus (pH, EVS, Eh, O₂, t °C).
- Izmantota detalizēta metodika kvartāra pazemes ūdeņu pētījumu realizācijai *in situ*, kā arī konstatētas vairākas nozīmīgas sakarības starp pētāmo urbumu konstruktīvajiem parametriem: diametru, dziļumu un nepieciešamo sūkņēšanas ilgumu; šīs sakarības nosaka apstākļus kvalitatīvai pazemes ūdeņu parametru analīzei *in situ* un ūdens paraugu ņemšanai.
- Pirmoreiz veikta kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva vēsturisko datu salīdzinošā analīze ar jaunajiem datiem, kas iegūti ar mūsdienu metodēm *in situ* apstākļos; 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, kas ļāva realizēt kvalitatīvu Latvijas datu salīdzināšanu ar kaimiņvalstīm un apstiprina konstatētās likumsakarības kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāvā Latvijas teritorijā.

Praktiskā izmantojamība

- 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 pašreizējā fona koncentrācijas daudzveidīgos lietišķas ievirzes pētījumos un ka ir nepieciešama ķīmiskā sastāva rādītāju detalizācija gadījumos, ja konstatētas 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 studiju kursos „Latvijas hidroģeoloģiskie apstākļi” un „Ūdens resursi un tos ietekmējošie faktori”.

Aprobācija

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

Promocijas darbā iegūtie rezultāti ļauj apzināt arī tālāko kvartārsegas ūdeņu pētījumu aspektus, kas promocijas darbā nav detāli atspoguļoti ierobežotā darba apjoma dēļ vai arī līdz šim nav pietiekami izstrādāti teorētisko atziņu dēļ. Kā tādi būtu izceļami kvartārsegas ūdeņu resursu un ķīmiskā sastāva veidošanās pētījumi, detalizēti izziņot to mijiedarbību ar atmosfēras, virszemes hidrosfēru un pirmskvartāra iežu artēziskajiem ūdeņiem to atslodzes zonās. Nozīmīgu vietu šajos

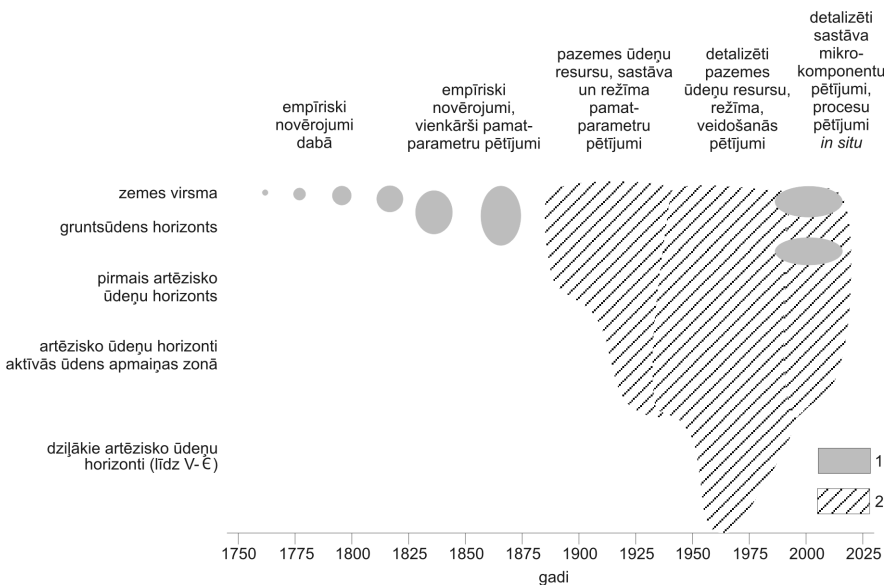
pētījumos varētu ieņemt datu statistiskās apstrādes un matemātiskās modelēšanas metožu pilnveidošana.

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

1. Pazemes ūdeņu pētījumu vēsture Latvijā

Latvija ir bagāta ar pazemes ūdeņu resursiem, un daudzās vietās ir novērojama pazemes ūdeņu izplūde zemes virspusē avotu veidā. Laika gaitā bija nepieciešams iegūt un paplašināt zināšanas par izmantotajiem vai potenciāli izmantojamiem pazemes ūdeņiem, kas veicināja pazemes ūdeņu pētījumu attīstību. Minētie apstākļi noteica, ka pazemes ūdeņi Latvijā ir daudz pētīti, bet pētījumu detalitāte un virzieni laika gaitā ir ievērojami mainījušies.

Kopumā, lai arī visai nosacīti, pazemes ūdeņu pētījumus Latvijā var sadalīt piecos nozīmīgākajos etapos (13), kas ir nodalāmi laikā pēc dažādās pētījumu detalitātes un telpiskās piesaistes (sk. 1. att.).



1. att. Pazemes ūdeņu pētījumu aptvertā telpa

Apzīmējumi: 1 – punktveida pētījumi; 2 – areāli un punktveida pētījumi.

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

- Kvartāra 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 laika posmā pētījumi tika veikti, lai noteiktu ūdeņu izmantošanas iespējas ūdensapgādē, balneoloģijā, kā arī inženiertehniskiem mērķiem (pārsvārā meliorācijai), un tiem ir izzinoša un vēsturiska nozīme.

- Pazemes ūdeņi, t. sk., kvartāra nogulumu pazemes ūdeņi, detalizēti pētīti arī turpmāk, un ir uzkrāts bagātīgs faktiskais materiāls, kas ticis daļēji apkopots tikai 1970. gadā I. Dzilnas publikācijā.
- 20. gadsimta beigās veikti dažādi kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumi, ietverot tos kā papildu komponentu artēzisko ūdeņu izpētē. Biežāk kvartāra 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 lietojums arī tagad ir ierobežots, jo pētījumu veikšanas apstākļi bieži vien nav precīzi fiksēti vai arī izmantotās metodes nav atbilstošas mūsdienu prasībām.
- Pēdējo desmit gadu laikā kvartārsegas 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 ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru noteikšana lauka apstākļos sniedz jaunas kvalitātes rezultātus, kuri nav salīdzināmi ar to mērījumu rezultātiem, kuri nav iegūti *in situ* apstākļos.

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

2. Materiāli un metodes

Pētījumā izmantoto materiālu klāstu noteica darba mērķis – apzināt un raksturot Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņus. Tāpēc promocijas darba izstrāde ietvēra publicētās literatūras un nepublicēto pētījumu pārskatu un citu hidroģeoloģiskās izpētes materiālu analīzi par Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu pētījumiem, kā arī kvartāra pazemes ūdeņu dažādu pētījumu metožu apzināšanu. Kopumā izmantots 141 publicēts un 119 nepublicēti literatūras avoti. Promocijas darba izstrādes galvenie etapi:

- Pieejamās publicētās literatūras un nepublicētās Latvijas ģeoloģiskā fonda un citu fondu un arhīvu informācijas apzināšana, analīze un apstrāde.
- 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 izveidotā datu bāze un sagatavots Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva raksturojums, veikta iegūto teorētisko rezultātu aprobācija un izvērtētas to praktiskā lietojuma iespējas.

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

- Publicētās literatūras un agrākajos gados veikto pētījumu pārskatu studijas, kas saistītas 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 iegūto rezultātu izvērtēšana, kuras gaitā kamerālos darbus papildināja arī atsevišķi lauka pētījumi.
- Iegūto rezultātu aprobēšana un secinājumu izstrāde.

Kvartārsegas ūdeņu ķīmiskā sastāva izpēte

Ņemot vērā, ka jaunākais detalizētākais pārskats par kvartārsegas ūdeņu ķīmisko sastāvu ir publicēts 1970. gadā, ļoti aktuāla bija vēsturiskās, vismaz pēdējo 35 gadu laikā uzkrātās informācijas sistematizācija un izvērtēšana. Tas

noteica arī vienu no pētījuma svarīgākajiem uzdevumiem – Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva un tā izmaiņu raksturojumu dažādos Latvijas dabas apvidos. Šajā pētījumā pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs tiek analizēts pēc makrokomponentu (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) satura pazemes ūdeņos un tādiem ūdens vides rādītājiem kā ūdens elektrovadītspēja (EVS), vides reakcija (pH) un pazemes ūdeņu oksidēšanās reducēšanās potenciāls (Eh).

Pētījuma mērķa sasniegšanai noteikti trīs galvenie uzdevumi: 1) esošo materiālu izvērtēšana un turpmākai analīzei kvalitātes ziņā piemērotu datu atlase, sākotnējās datu bāzes izveidošana; 2) kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru noteikšana lauka apstākļos, optimālā *in situ* mērījumu ilguma noteikšana un pazemes ūdens paraugu ņemšana ķīmiskajām analīzēm; 3) datu bāzes aktualizācija, izmantojot jauniegūtos datus un sistematizēto datu analīzi.

Datu bāzes izveidošana un aktualizācija

Datu bāzes saturu veido 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, VĢD realizētā pazemes ūdeņu pamatmonitoringa dati un citu pētījumu dati.

Datu bāzes izveidošanas gaitā tika izstrādāti tajā iekļaujamo datu atlases kritēriji. Tika nodalīta turpmākiem pētījumiem izmantojamā daļa, t. i., tās novērojumu vietas, kurām bija precīza un kvalitatīva dokumentācija par veiktajiem darbiem, ieskaitot laboratorijas analīžu rezultātus. Konkrētā pētījuma vajadzībām autore izmantoja tikai to daļu no izveidotās datu bāzes (297 pētījumu vietas), kas attiecas uz kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu saturu un fizikālajām īpašībām.

Fizikāli ķīmisko parametru noteikšana *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 vides izmaiņām, pētījumus bija nepieciešams veikt tikai un vienīgi *in situ*. Tas ļāva noteikt ūdens fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņu likumsakarības, veicot ilgstošu urbumu atsūknēšanu, kā arī nodrošināt datu korelāciju par ūdens ķīmisko sastāvu, pēc iespējas aptverot visus Latvijas dabas rajonus. Kā galvenais kritērijs pētījumu punktu izvēlē tika noteikta

teritorijas kvartārģeoloģiskā uzbūve un hidroģeoloģiskie apstākļi. Urbumiem bija jāatsedz dažādas ģenēzes smilts vai smilts un grants kvartāra nogulumu ūdens horizonti ar atšķirīgu segslāni (augājs, bez augāja) dažādā dziļumā (2 – 40 m), lai vienlaicīgi varētu pētīt nogulumu sastāva, segslāņa un filtra dziļuma ietekmi uz ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņām laikā.

Fizikāli ķīmisko parametru (EVS, pH, Eh, temperatūras, izšķīdušā skābekļa satura) vērtību mērīšanai tika izmantoti atbilstoši elektrodi, kuru jutīgās daļas izvietotas slēgta caurtekoša trauka apakšējā daļā, kur pieplūst svaigs ūdens no urbuma. 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), Eh noteikšanai WTW *SenTixORP* elektrods (mērījumu diapazons -1999 – +1999 mV, precizitāte ± 1 mV), EVS noteikšanai WTW *TetraCon325* elektrods (mērījumu diapazons $1 \mu\text{S cm}^{-1}$ – 500 mS cm^{-1} , precizitāte $\pm 1\%$ no rezultāta vērtības) un O_2 noteikšanai WTW *CellOx325* elektrods (mērījumu diapazons $0,00$ – $19,99 \text{ mg l}^{-1}$, precizitāte $\pm 0,5\%$ no rezultāta vērtības). Visos elektrodos, izņemot *SenTixORP*, ir iestrādāts termometrs, bet temperatūras nolasījumi pētījumā tika veikti pēc pH elektroda. Visi elektrodi, atbilstoši elektrodu un mikroprocesoru lietošanas instrukcijām, tika kalibrēti pirms mērījumu veikšanas.

Analoģiska 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 *in situ*, lai nodrošinātu ūdens parauga reprezentativitāti. Noņemtie ūdens paraugi tika pildīti plastmasas pudelēs, ievietoti aukstumkastē un tajā pašā vai nākamajā dienā nogādāti laboratorijā ķīmisko analīžu veikšanai. Laboratorijā 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.

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.

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 pirmskvartāra ieži atsedzas zemes virspusē. Tādējādi kvartāra nogulumu slāni norobežo divas virsmas: mūsdienu zemes virsma, kas veidojusies un pārveidojas vienlaikus ar kvartāra nogulumu uzkrāšanos vai noārdīšanos, un subkvartārā jeb pamatiežu virsa, kuru veido pirmskvartāra terīgēnie un karbonātiskie nogulumieži. Mūsdienu zemes virsmas absolūtā augstuma atzīmes ir robežās no 0 m līdz 311,6 m, un mūsdienu reljefa maksimālā amplitūda ir 312 metri. Pamatiežu virsas absolūtā augstuma atzīmes ir robežās no -282 m līdz 169 m, un pamatiežu virsas reljefa maksimālā amplitūda sasniedz 451 metru.

Mainīgais kvartāra nogulumu segas biežums nosaka atšķirīgu Latvijas teritorijas kvartārģeoloģisko uzbūvi – vienkāršāku zemiņu apvidos un ievērojami complicētāku un daudzslāņaināku ledāju veidotajās augstienēs. Kvartāra nogulumu slāņkopas ģeoloģisko uzbūvi var raksturot kā leduslaikmetu ledāja un tā kušanas ūdeņu nogulumu un dažādas ģenēzes starpleduslaikmetu un pēcloduslaikmeta veidojumu miju. Kvartāra nogulumus veido dažādas ģenēzes un sastāva smilts nogulumī, aleirīti, māli, morēnas smilšmāls un mālsmilts, kā arī kūdra, sapropelis un saldūdens kaļķi.

Kvartāra nogulumu segas hidroģeoloģiskos apstākļus kopumā raksturo kā kvartārsegas pazemes ūdeņu resursi, kas ir atkarīgi no kvartārsegas ūdeņu ieguluma, barošanās (papildināšanās) un atslodzes apstākļiem, tā arī ūdens horizontus veidojošo nogulumu filtrācijas īpašības (7, 11).

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. No ūdensapgādes viedokļa nozīmīgākie kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu horizonti ir šādi: aluviālo nogulumu ūdens horizonts ($aQ_4 + aQ_3,ltv$), marīno, limnisko un Latvijas leduslaikmeta beigu posma Baltijas ledus ezera nogulumu ūdens horizonts ($mQ_4 + IQ_4 + IgQ_3,ltv^b$), Latvijas leduslaikmeta glaciolimnisko nogulumu ūdens horizonts (lgQ_3,ltv) un Latvijas leduslaikmeta glaciofluviālo nogulumu ūdens horizonts (fQ_3,ltv). Savukārt purvu nogulumos esošajiem pazemes ūdeņiem, kā arī atsevišķajām ūdens piesātinātajām lēcām un ieslēgumiem glaciģenajos nogulumos, kas veido sporādiski izplatītus pazemes ūdeņus, ir tikai pakārtota loma, jo šos

ūdeņus saturošajiem nogulumiem raksturīgas vājas filtrācijas īpašības. Glacigēno nogulumu sporādisko ūdens horizontu vājās filtrācijas īpašības nosaka to ļoti ierobežoto izmantošanu ūdensapgādē. Savukārt purvu nogulumu ūdeņi netiek izmantoti kā to slikto filtrācijas īpašību, tā arī neatbilstošās ūdens kvalitātes dēļ.

4. Kvartārsegas ūdeņu ķīmiskais sastāvs

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu svarīgāko ķīmiskā sastāva īpatnību un ķīmisko sastāvu ietekmējošo parametru izmaiņu analīze pamatota uz pētījumiem kvartārsegas hidroģeoloģiskā griezumā augšējā daļā un galvenokārt orientēta uz makrokomponentu un fizikāli ķīmisko parametru novērtējumu, kas pašlaik ir pilnīgāk nodrošināti ar mūsdienīgiem analītiskiem pētījumiem.

Kvartāra pazemes ūdeņu fizikāli ķīmisko parametru mikroizmaiņas

Pazemes ūdeņu raksturošanai tradicionāli tiek izmantoti ļoti daudzi un dažādi fizikāli ķīmiskie parametri. Tomēr no to kopējā klāsta var tikt nošķirti vairāki integrāli lielumi, kuri nozīmīgi raksturo pazemes ūdeņos noritošo procesu intensitāti: pH, Eh, temperatūra un elektrovadītspēja, kā arī izšķīdušā skābekļa saturs.

Minētie fizikāli ķīmiskie parametri pazemes ūdeņos mainās salīdzinoši plašās robežās un ir nodalāmi kā makroizmaiņas, kas līdzšinēji ir apzinātas. Tomēr ir zināms, ka katrā mērījumu punktā ir novērojamas arī minēto parametru izmaiņas daudz niecīgākā amplitūdā, 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 ņemšanas brīdi (10, 16).

Veiktajā pētījumā izveidotās pazemes ūdeņu svarīgāko fizikāli ķīmisko parametru izmaiņu līknes laikā norāda, ka šo parametru vērtību mikroizmaiņas atsūknētajā ūdenī pārsvarā ir maznozīmīgas un kvartārsegas ūdeņu pētīto fizikāli ķīmisko parametru vērtības vienā ūdens horizontā ir stabilas.

Gruntsūdens horizontā ir vērojama pazemes ūdeņu vertikālā noslāņošanās, kas ir vizuāli izteiktāka pēc izšķīdušā skābekļa koncentrācijas, kā arī pēc oksidēšanās reducēšanās potenciāla vērtībām. Pētījums norāda, ka kvartārsegas ūdeņu bagātināšanos ar skābekli būtiski ietekmē aerācijas zonas uzbūve, 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.

Kvartārsegas 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, jo tiek noteikts:

- minimālais laiks, kas nepieciešams, lai tehniski korekti veiktu pazemes ūdeņu pētījumus *in situ*,
- tradicionāli nosakāmo parametru mikrosvārstību robežas atsūknētājā ūdenī.

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

Ķīmiskā sastāva vispārīgs raksturojums

Latvijas kvartāra pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs pētīts, analizējot makrokomponentu saturu pazemes ūdeņos un fizikāli ķīmisko parametru (pH un EVS) vērtības. Pētījums balstās uz izveidotajā datu bāzē iekļauto datu analīzi.

Makrokomponentu saturs kvartāra pazemes ūdeņos

Kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva izpēte ietvēra agrāko pētījumu rezultātu izvērtējumu, balstoties uz mūsdienīgiem, pēdējos gados veiktiem pētījumiem, kurus papildināja autores iegūtie dati. Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmisko sastāvu raksturojošo datu analizē izmantota visa datu bāzē iekļauto datu kopa (297 pētījumu vietas), nešķirojot to pēc kādām pazīmēm.

Iegūtie dati un to grafiskā analīze parāda, ka Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņos dominē Ca-Mg-HCO₃ tipa ūdeņi, vietumis sastopami arī Ca-Mg-SO₄, bet tikai retos paraugos konstatēti Na-Cl tipa ūdeņi. Abi pēdējie ir raksturīgi anomāliju iecirkņiem. Iegūtie rezultāti apstiprina iepriekšējo gadu pētījumu rezultātus, bet ir svarīgi, ka šis apstiprinājums ir iegūts ar mūsdienīgiem, augstas precizitātes mērījumiem laboratorijā, ko papildina strauji mainīgo fizikāli ķīmisko parametru kontrole *in situ* (16). Līdz ar to ir svarīgi atzīmēt iepriekšējo pētījumu analītisko datu izmantošanas iespējamību pazemes ūdens ķīmiskā sastāva vispārīnātiem novērtējumiem makrokomponentu līmenī. Tomēr jāņem vērā, ka šis secinājums ir attiecināms tikai uz agrākajos gados veiktajiem augstas kvalitātes pētījumiem.

Kvartārsegas pazemes ūdeņu raksturīgākie fizikāli ķīmiskie parametri

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.

Iegūtie EVS un pH vērtību sadalījuma rezultāti dabiska ķīmiskā sastāva Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņos liecina, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu

elektrovadītspējas vērtības svārstās robežās no 30 līdz 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, bet dominējošās vērtības ir no 200 līdz 600 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ($\approx 60\%$ no visiem zināmajiem atbilstošas kvalitātes mērījumiem), bet pazemes ūdeņu pH vērtības mainās no 5,2 līdz 8,8 vienībām, un dominējošās vērtības ir 6,8 – 7,6 vienības ($\approx 60\%$ mērījumu), kas atbilst vāji skābiem, neitrāliem un vāji bāziskiem ūdeņiem (19).

Latvijas un tai piegulošo teritoriju kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva salīdzinājums

Datu apkopojums un novērtējums par Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāvu un īpašībām nebūtu pilnīgs, ja šos rezultātus nesalīdzinātu ar līdzīga satura pētījumiem blakusesošajos pleistocēna apledošanas reģionos. Salīdzinājums veikts par kvartāra pazemes ūdeņu īpašībām Lietuvas teritorijā, kur kvartārsegas pazemes ūdeņu kvalitāte tiek novērtēta pēc līdzīgas pētījumu metodikas. 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.

Šis salīdzinājums parāda ļoti augsto parametru un to sakarību līdzību – visos gadījumos dominē hidroģenkarbonātu un kalcija joni, un kā subdominante ir magnija joni. Nelielas atšķirības ir vērojamas sulfātu un hlorīdu un $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 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 šīs atšķirības ir maznozīmīgas un tikai apstiprina iepriekšēji apzināto kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva atkarību no horizontu veidojošo iežu ķīmiskā sastāva.

Minētais pastarpināti norāda, ka zināmās 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, ko apstiprina arī pH un EVS vērtības.

Igaunijā kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu mineralizācija ir ievērojami zemāka nekā Latvijā un Lietuvā un sasniedz tikai 0,2 – 0,35 g l^{-1} , kvarca smilts nogulumos pat 0,1 – 0,2 g l^{-1} . To nosaka Igaunijas kvartāra nogulumu segas mazākais biežums nekā Latvijā un Lietuvā, kā arī Igaunijas kvartāra pazemes ūdeņu papildināšanās pārsvarā ar atmosfēras nokrišņiem. Savukārt Latvijā un Lietuvā kvartārsegas pazemes ūdeņu mineralizācija ir 0,3 – 0,4 g l^{-1} dažādas ģenēzes smilts un smilts un grants nogulumos, bet morēnas nogulumos un mālainos nogulumos mineralizācija sasniedz 0,5 – 0,6 g l^{-1} , un kvartāra pazemes ūdeņi papildinās gan ar atmosfēras ūdeņiem un virszemes ūdeņiem, gan arī pārteces rezultātā ar ūdeņiem no dziļākajiem artēzisko ūdeņu horizontiem.

Iepriekš raksturotie pētījumi liecina, ka kopumā kvartārsegas pazemes ūdeņu mineralizācija pakāpeniski paaugstinās, palielinoties kvartārsegas nogulumu biežumam un mālaino daļiņu daudzumam nogulumos, t. i., palēninoties ūdens aprītei horizontā. Šādā gadījumā ūdens sastāvā pieaug visu makrokomponentu jonu īpatsvars, kas īpaši raksturīgs Lietuvas teritorijai, kur kvartārsegas nogulumu biežums ir vislielākais.

Kvartāra pazemes ūdeņu elektrovadītspējas un mineralizācijas vērtību korelācija

Literatūrā ir aprakstītas un aprēķinātas stipri mineralizēto ūdeņu EVS un mineralizācijas vērtību korelatīvās sakarības, 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, ir svarīgi noteikt šo ūdeņu EVS – mineralizācijas korelatīvo saistību.

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

Konstatētā kvartārsegas pazemes ūdeņu mineralizācijas un elektrovadītspējas rādītāju ciešā lineārā saistība norāda, ka elektrovadītspējas rādītāja izmantošana ir piemērota ūdens mineralizācijas raksturojumam un iegūtais korelācijas vienādojums ļauj aprēķināt to kvartārsegas ūdeņu mineralizāciju, kuriem raksturīgas zemas EVS vērtības (virs $50 \mu\text{S cm}^{-1}$), izmantojot *in situ* noteiktās elektrovadītspējas vērtības.

Kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs Latvijas zemienēs un augstienēs

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva analīze rādīja, ka tas ir relatīvi līdzīgs. Tomēr kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūve visā Latvijas teritorijā nav vienāda, 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 ķīmiskais sastāvs Latvijas dabas rajonos. Lai konstatētu un novērtētu pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva teritoriālās atšķirības, tika izveidotas kvartārsegas pazemes ūdeņu svarīgāko fizikāli ķīmisko parametru (pH un EVS) vērtību sadalījuma kartes un makrokomponentu satura karte (20), kā arī analizēts makrokomponentu sadalījums kvartāra pazemes ūdeņos reljefa lielformu robežās (sk. 1. tab.).

Makrokomponentu raksturīgākās vērtības kvartārsegas pazemes ūdeņos Latvijā

		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

Autores sagatavotais kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS vērtību kartogrāfiskais atspoguļojums un analīze norāda, ka kvartāra pazemes ūdeņu pH un EVS 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) novērota Austrumlatvijas zemienē, bet visaugstākā (8,74) – Piejūras zemienē. Dominējošās EVS vērtības (200–600 μS cm⁻¹) ir vienmērīgi izplatītas visā Latvijā, bet tās centrālajā daļā ir raksturīgas augstākas EVS vērtības (600–1000 μS cm⁻¹), kā arī vairāki punkti, kur EVS vērtības pārsniedz 1000 μS 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.

Makrokomponentu sadalījuma analīze kvartāra pazemes ūdeņos reljefa lielformu robežās (1. tab.) rāda, 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%.

Sniegtie dati, to analīze un izvērtējums rāda, ka makrokomponentu īpatsvars vai to procentuālās attiecības (1. tab.) nevar tikt izmantotas kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva vai īpašību rajonēšanai ne dabas rajonu, ne reljefa lielformu līmenī. Tāpēc vispārīgam kvartāra pazemes ūdeņu raksturojumam var izmantot makrokomponentu sastāva mediānas vērtības, kas noteiktas vidēji Latvijai.

Kvartārsegas pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskais sastāvs dažādos nogulumos un dziļumā

Literatūrā ir aprakstīti dažādi pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu ietekmējošie faktori, starp kuriem kā vieni no nozīmīgākajiem ir izcelti ūdens horizontu veidojošie nogulumi 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 minētos faktoros.

Makrokomponentu sastāva analīze pēc horizonta ieguluma dziļuma ļauj secināt, ka dažādos kvartārsegas hidroģeoloģiskā griezuma intervālos izteikti dominē hidrogēnkarbonātu kalcija tipa ūdeņi un atšķirīga ķīmiskā sastāva ūdeņu izplatība nav saistīta ar horizonta ieguluma dziļumu. Papildus veiktā analīze pastarpināti rāda, 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 promocijas darbā).

Arī makrokomponentu satura analīze pēc kvartāra ūdens horizontu veidojošiem nogulumiem rāda, ka neatkarīgi no horizontu veidojošiem nogulumiem pazemes ūdeņu sastāvā dominē hidrogēnkarbonātu un kalcija joni. Vairumā pētījumu vietu morēnnogulumu un smilts-grants nogulumu ūdens horizontos hidrogēnkarbonātu jonu īpatsvars ir nedaudz lielāks nekā smilts nogulumu horizontos, kuros biežāk konstatēti dažāda tipa ūdeņi. Veiktā datu analīze rāda, ka augstākas hlorīdjonu un nātrija un kālija jonu vērtības ir konstatētas tikai smilts nogulumu ūdens horizontos, ko, visticamāk, nosaka tas, ka paaugstināts hlorīdjonu saturs ir raksturīgs jūras piekrastē, un tur dominē smilts nogulumu ūdens horizonti, kur izvietotas arī vairākas pētījumu vietas.

Pazemes ūdeņu pētījumos tradicionāli ūdeņu ķīmiskā sastāva raksturošanai tiek izmantoti integrālie parametri: ūdeņu pH un elektrovadītspēja. Grafiskās analīzes rezultātā iegūtās raksturīgās EVS un pH vērtību apkopojums sniedz vispārīgu pārskatu par minētajām kvartārsegas ūdeņu vērtībām nogulumu sastāva grupu un pētīto dziļuma intervālu griezumā.

Apkopojot fizikāli ķīmisko parametru analīzes gaitā iegūtos rezultātus, var secināt, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu pH un EVS rādītāji ir maznozīmīgi atkarīgi no horizontu veidojošajiem nogulumiem seklaajos ūdens horizontos. Simetriskais pH un EVS vērtību sadalījums visās nogulumu grupās rāda, 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 (19).

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 to liecina pH un EVS vērtību analīze). Agrāko gadu pētījumu analīze rāda, 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 vērojams 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 vērojams gadījumos, kad konstatēta spiedienūdeņu augšupejoša filtrācija vai jūras ūdens pieplūde.

5. Diskusija un interpretācija

Pazemes ūdeņu dažādība gan šķērsgriezumā, gan plāna skatījumā ir labi zināma parādība, ko ietekmē gan ģeoloģiskās vides daudzveidība, gan citu pazemes ūdeņus ietekmējošo faktoru mainība, kas sarežģī un sadrumstalo, nereti pat apgrūtina pazemes ūdeņu izziņāšanu. Tāpēc, līdzīgi kā daudzās citās dabas un tehnisko zinātņu apakšnozarēs, arī pazemes ūdeņu izziņāšanā viens no būtiskiem jautājumiem ir šīs dažādības klasificēšana un grupēšana, izceļot nozīmīgākās neņemot vērā maznozīmīgākās atšķirības.

Detalizētā kvartāra pazemes ūdeņu makrokomponentu ķīmiskā sastāva analīze rādīja, ka pēc makrokomponentu vai pH un EVS vērtībām kvartāra pazemes ūdeņi Latvijā maz atšķiras, izņemot anomāliju iecirkņus. Tomēr gan I. Dzilna un V. Staprēns, gan N. Levina atzīmē kvartāra pazemes ūdeņu resursu atšķirības dažādās Latvijas teritorijās. Tāpēc būtu iespējama kvartāra pazemes ūdeņu klasificēšana pēc citiem hidroģeoloģiskajiem parametriem (12).

Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu sastāva pētījumu rezultātu analīze rāda, ka gruntsūdeņu vai visu kvartāra nogulumu pazemes ūdeņu ģeogrāfiskā zonēšana nav lietderīga (14). Pretēji tam kvartāra nogulumu slāņkopas atšķirīgā un sarežģītā uzbūve norāda uz iespējamām kvartāra hidroģeoloģiskā griezuma atšķirībām (3), kas varētu noteikt arī pazemes ūdeņu īpašību dažādību.

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 faktoros un zināmo kvartārsegas pazemes ūdeņu ieguluma dažādību, tika izvēlētas vairākas Latvijas kvartārsegas hidroģeoloģiskā griezuma shematizācijas pazīmes: ūdens slāņu izplatība un izturētība plānā un griezumā, pazemes ūdeņu plūsmas hidrauliskais raksturs. Šāda pieeja ļauj kvartāra hidroģeoloģiskā griezumā nodalīt vairākus slāņus (sk. 2. tab.).

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

Latvijas kvartāra hidroģeoloģiskā griezumā slāņi un to izdalīšanas pazīmes

Hidroģeoloģiskā griezumā slāņi		Izvietojums griezumā	Slāņa raksturīgās pazīmes	Slāņa biezums
I	Aerācijas zona	Starp gruntsūdens līmeni un zemes virsmu	Nogulumi ir daļēji piesātināti ar ūdeni, daļu poru aizpilda gaisa un ūdens tvaiks. Dominē vertikāla ūdens kustība (infiltrācija). Kapilārie ūdeņi.	Pārsvārā 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	Plānā un griezumā izturēti ūdens piesātināti nogulumu slāņi. Ieguļ tieši zem aerācijas zonas. Dominē horizontāla ūdens kustība. Bezspiediena ūdeņi.	Pārsvārā no 2–5 m līdz 15–20 m, vietām 30–40 m.
III	Starpslāņu ūdeņu horizonti	Starpslāņu, ieslēgumu un lēcū veidā starp ūdeni vāji caurlaidīgu nogulumu slāņiem	Plānā un griezumā neizturēti ūdens piesātināti nogulumu slāņi. Ieguļ starp ūdeni vāji caurlaidīgu nogulumu slāņiem. Dominē horizontāla ūdens kustība. Vāja spiediena un spiedienūdeņi.	Pārsvārā no 1–2 m līdz 5–10 m, maksimāli sasniedzot 15–60 m.

Tipiskie kvartāra hidroģeoloģiskie griezumumi

Latvijas kvartāra nogulumu slāņkopas ievērojamā neviendabība nosaka to, ka dažādās valsts teritorijās vienlaikus var būt sastopami gan visi izdalītie slāņi (2. tab.), gan tikai daži no tiem, bet atsevišķās teritorijās slāņi var savstarpēji pārklāties vai savienoties. Analizējot minēto slāņu klātbūtni katrā konkrētā kvartāra hidroģeoloģiskā griezumā, tika pārskatīti un izvērtēti vairāki simti griezumumu visā Latvijā. Aerācijas zona (I) dažādo hidroģeoloģisko griezumumu analīzē šajā darbā netika ņemta vērā, jo pašlaik nav pieejams pietiekami daudz pamatotu datu par aerācijas zonas uzbūves atšķirībām un šo atšķirību lomu hidroģeoloģisko apstākļu izmaiņās.

Kvartāra hidroģeoloģisko griezumumu analīzē 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. Sagrupējot analizētos griezumus pēc minētajiem kritērijiem, tika izdalīti seši dominējošie hidroģeoloģisko griezumumu tipi (19):

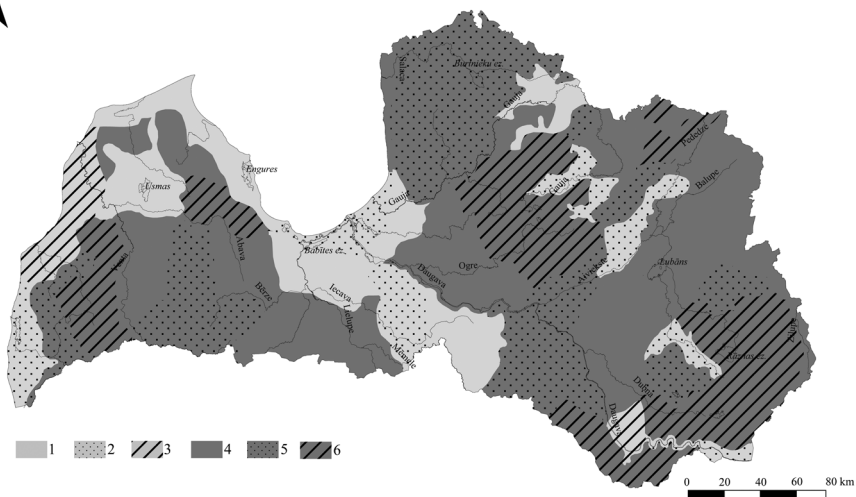
- 1) hidroģeoloģiskais griezumus teritorijām ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un ļoti reti starpslāņu ūdens horizontiem vai bez tiem,
- 2) hidroģeoloģiskais griezumus teritorijām ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un dažiem sporādiskiem starpslāņu ūdens horizontiem,
- 3) hidroģeoloģiskais griezumus teritorijām ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un daudziem sporādiski izplatītiem vai dažiem plānā izturētiem starpslāņu ūdens horizontiem,
- 4) hidroģeoloģiskais griezumus teritorijām ar sporādisku gruntsūdens horizontu un ļoti reti starpslāņu ūdens horizontiem,
- 5) hidroģeoloģiskais griezumus teritorijām ar sporādisku gruntsūdens horizontu un dažiem sporādiskiem starpslāņu ūdens horizontiem,
- 6) hidroģeoloģiskais griezumus teritorijām ar sporādisku gruntsūdens horizontu un daudziem sporādiski izplatītiem vai dažiem plānā izturētiem starpslāņu ūdens horizontiem.

Šie tipiskie kvartāra hidroģeoloģiskie griezumus raksturo pēc ģeoloģiskās uzbūves un hidroģeoloģiskiem apstākļiem atšķirīgas teritorijas, un to detalizēts raksturojums ir sniegts promocijas darba 5. 2. nodaļā.

Veicot kvartāra hidroģeoloģisko griezumus analīzi un grupēšanu, līdztekus šiem izdalītajiem tipiskajiem griezumus bija arī griezumus, kuri neietilpa nevienā no grupām vai veidoja atsevišķas, skaita ziņā nelielas griezumus grupas, un šos kvartāra hidroģeoloģiskos griezumus var nodalīt kā netipiskus. Teritorijas, kuru uzbūvi raksturo šie netipiskie griezumus, ir detalizējamas un pētāmas atsevišķi, jo te hidroģeoloģiskie apstākļi ievērojami atšķiras un pašlaik tās nav pietiekami pētītas.

Latvijas teritorijas rajonēšana pēc kvartāra hidroģeoloģiskā griezumus

Raksturīgo un tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumus telpiskā izvietojuma analīze norādīja, ka izdalītie kvartāra hidroģeoloģisko griezumus tipi dominē noteiktās teritorijās. Līdz ar to ir iespējama Latvijas teritorijas hidroģeoloģiskā rajonēšana pēc tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumus izplatības (19). Veicot tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumus ģeogrāfiskā izvietojuma analīzi, tika izvērtēti pieejamie hidroģeoloģiskie griezumus un noteikts dominējošais tipiskais griezumus katrā telpiskās detalizācijas vienībā. Nākamajā posmā tika veikta tipisko griezumus izvietojuma detalizācija, un tā ļāva atkārtoti precizēt teritorijas, kur izplatīts tas vai cits kvartāra hidroģeoloģisko griezumus tips. Šāda pieeja ļāva turpmāk veikt ģeneralizāciju un izveidot Latvijas kvartāra hidroģeoloģiskās rajonēšanas karti (sk. 2. att.).



2. att. Latvijas kvartārsegas nogulumu hidroģeoloģiskā rajonēšana

Apzīmējumi: 1 – teritorijas ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un ļoti retiem starpslāņu ūdens horizontiem vai bez tiem; 2 – teritorijas ar vienlaidus gruntsūdens horizontu un dažiem, sporādiskiem 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 retiem starpslāņu ūdens horizontiem; 5 – teritorijas ar sporādisku gruntsūdens horizontu un dažiem, sporādiskiem starpslāņu ūdens horizontiem; 6 – teritorijas ar sporādisku gruntsūdens horizontu un daudziem sporādiski izplatītiem vai dažiem plānā izturētiem starpslāņu ūdens horizontiem.

Veiktā Latvijas hidroģeoloģiskā rajonēšana norāda, ka lielākā daļa gruntsūdeņu vienlaidus izplatības teritoriju atrodas zemienēs, aizņemot 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 complicētāka kvartāra nogulumu sega, starpslāņu ūdens horizontu skaits ir lielāks, tie ir biežāki un telpiski izturētāki. Kopumā teritorijas, kurās dažādā pakāpē ir izplatīti starpslāņu ūdens horizonti, aizņem apmēram pusi Latvijas teritorijas.

Latvijas tipisko kvartāra hidroģeoloģisko griezumu telpiskā izvietojuma analīze un hidroģeoloģiskā rajonēšana rādīja, ka ir sastopamas arī kādas pārejas teritorijas, kur pārsvarā ir viens tipisks hidroģeoloģiskais griezums, tomēr vērojamas arī atsevišķas citu tipisku griezumu 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 griezumi, robežas un piederība griezumu tipam un to izplatības rajonam ir precizējami nākotnē, un tam, visticamāk, ir nepieciešams ieviest papildu kritērijus, piemēram, aerācijas zonas biezums, ūdens apmaiņas intensitāte vai teritorijas drenētība.

Secinājumi

1. Kvartāra nogulumu pazemes ūdeņi iegūļ 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, kuriem 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 nepārprotami rāda, ka kvartārsegas pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva veidošanās ir pakļauta vispārējām likumsakarībām, ko raksturo vides reakcija (pH) un oksidēšanās reducēšanās potenciāls (Eh). Tāpēc teritorijās ar līdzīgu kvartāra nogulumu slāņkopas uzbūvi un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva veidošanās procesi būs nevis unikāli, bet gan līdzīgi, un veidosies līdzīga sastāva pazemes ūdeņi. Tāpēc šādās teritorijās kvartāra pazemes ūdeņu pētījumos ir iespējams izmantot unificētu metodiku.
4. Tāda lauka apstākļos precīzi nosakāma ūdeņu elektrovadītspēja, kas ir integrāls parametrs. Šīs 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.

Publikāciju saraksts

1. **Dēliņa, A.** Pazemes ūdeņu aizsargātības kartēšana Latvijā. *No: Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne*: LU 58. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : Latvijas Universitāte, 2000, 35.–36. lpp.
2. **Delina, A., Prols, J., Seglins, V.** Groundwater contamination caused by Liepaja landfill, Lavia. *In: Satkunas, J., Virbickiene, I.* (eds.). *Soil and groundwater pollution: expanding possibilities for Nordic-Baltic co-operation*. NordSoil Conference materials, Geological Survey of Lithuania, Vilnius, 2000, 13-15 April, p. 21–22.
3. **Dēliņa, A.** Latvijas kvartārsegas shematisks hidroģeoloģiskais griezumus un tā rajonēšanas pazīmes. *No: Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne*: LU 59. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : Latvijas Universitāte, 2001, 36.–38. lpp.
4. **Delina, A.** Quaternary groundwater vulnerability map of Latvia, scale 1:500.000. *In: Seglins, V.* (ed.). *High resolution geological mapping (scale 1:50000) and processing of geological maps: new opportunities and requirements*. 20-23.08.2001., Priekuli, Latvia: Abstracts. Riga, 2001, p. 24–25.
5. **Delina, A., Prols, J., Seglins, V.** Environmental management plan for Riga city landfill at Getlini site. *In: Possibilities or co-operation between the Nordic and the Baltic countries in solving soil and groundwater problems - R&D projects and business opportunities*: NordSoil's 2nd Nordic-Baltic conference, Tallinn, Estonia, 24-27 October 2001: Conference materials. Tallinn, 2001, p. 37–38.
6. **Dēliņa, A.** Kvartāra ūdeņi Carnikavas apkārtnē. *No: Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne*: LU 60. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : Latvijas Universitāte, 2002, 34.–35. lpp.
7. **Delina, A.** Late Glacial deposits at Baltezers site. A point of view from permeability. *In: Internatinal Quaternary field workshop and conference "Late Glacial and Holocene coastal zones and shorelines in the Western Lithuania and Latvia"*. Abstracts. Klaipēda : Klaipēdos Universitetas, 2002, p. 19–22.
8. **Dēliņa, A.** Dati un datu sagatavošana modeļa izveidei Carnikavā. *No: Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne*: LU 61. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : Latvijas Universitāte, 2003, 138.–139. lpp.
9. **Delina, A.** Groundwater vulnerability mapping in Latvia – different approaches. *In: Witkowski, A. J.* et al. (ed.). *Groundwater vulnerability assessment and mapping*. Abstracts. Sosnowiec : University of Silesia, 2004, p. 44–45.
10. **Dēliņa, A.** Pazemes ūdeņu parametru maiņas un to robežas. *No: Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne*: LU 62. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : Latvijas Universitāte, 2004, 129.–130. lpp.
11. **Delina, A., Seglins, V., Prols, J.** *Impact of groundwater artificial recharge on flow system and groundwater quality at Baltezers wellfields*. XXXIII IAH & 7o ALHSUD congress "Groundwater flow understanding from local to regional scales". Abstracts. Zacatecas, Mexico, 2004, 53 p.
12. **Dēliņa, A.** Latvijas kvartārsegas ūdeņu reģionālās atšķirības. *No: Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne*: LU 63. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : Latvijas Universitāte, 2005, 114.–116. lpp.

13. **Dēliņa, A.** Pazemes ūdeņu pētījumu vēsture Latvijā. *No: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*: LU 63. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : Latvijas Universitāte, 2005, 116.–117. lpp.
14. **Dēliņa, A.** Gruntsūdeņu zonalitāte un tās piemērošana Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu rajonēšanai. *No: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*: LU 64. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : LU Akadēmiskais apgāds, 2006, 154.–155. lpp.
15. **Dēliņa, A.** Latvijas kvartārsegas nogulumu pazemes ūdeņi un to aizsargātība. *Zinātnes Vēstnesis*, 16 (329), 2006, 2.–4. lpp.
16. **Dēliņa, A.** Latvijas kvartārsegas pazemes ūdeņu fizikāli ķīmiskie parametri un to izmaiņas. *No: Segliņš, V.* (red.). *Lietišķo ģeoloģisko pētījumu lauku metodes un instrumenti*. Lauku semināra materiāli. Rīga : Latvijas Universitāte, 2006, 9.–13. lpp.
17. **Dēliņa, A.** Kvartāra pazemes ūdeņi Latvijā. *No: Gaile, Z., Lapiņš, D.* (red.). *Ražas svētki "Vecauce-2006"*: Jaunie zinātnieki lauksaimniecības attīstībai. Svētku programma un referātu kopsavilkumi. Vecauce : Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2006, 36. lpp.
18. **Dēliņa, A., Ābolts, J.** Valsts galveno autoceļu uzturēšana ziemas apstākļos un tās ietekme uz gruntsūdeņiem Latvijā. *No: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*: LU 64. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga : LU Akadēmiskais apgāds, 2006, 155.–157. lpp.
19. **Delina, A.** Quaternary groundwater in Latvia: summary of studies. *In: Luksevics, E., Kalnina, L., Stinkulis, G.* (eds.). *The Baltic Sea Geology: the Ninth Marine Geological Conference: Extended abstracts*. Rīga : University of Latvia, 2006, p. 122–124.
20. **Delina, A., Seglins, V.** Mapping of Quaternary groundwater in Latvia—a review of different approaches. *Baltica*, Vol. 19 (2), 2006, p. 12-20.
21. **Teirumnieks, E., Prols, J., Dēliņa, A.** Sadzīves atkritumu poligona „Getliņi” pazemes ūdeņu, virszemes ūdeņu un infiltrāta monitorings. *No: Vide. Tehnoloģija. Resursi*: 5. starptautiskās zinātniski praktiskās konferences materiāli. Rēzekne, 2005, 207.–213. lpp.

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

Nr. 8

Aija Dēliņa

Summary of Doctoral Thesis

Quaternary Groundwater in Latvia

In Partial Fulfilment of the Requirements
of the Doctor Degree in Geology
Subdiscipline of Applied Geology

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

The doctoral thesis was carried out:

Chair of Applied Geology, Department of Geology, University of Latvia

Supervisor: Valdis Segliņš, Associate Professor, Dr. geol. (University of Latvia)

Reviewers:

Antanas Algirdas Klimas, Professor, Habil. Dr. geol. (Vilnius Hydrogeology Ltd.)

Māris Kļaviņš, Professor, Dr. habil. chem. (University of Latvia)

Aivars Spalviņš, senior researcher, Dr. sc. ing. (Riga Technical University)

Doctoral Committee:

Vitālijs Zelčs, Professor, Dr. geol. – chairman

Ervīns Lukševičs, Associate Professor, Dr. geol. – deputy chairman

Guntis Eberhards, Professor Emeritus, Dr. habil. geog.

Laimdota Kalniņa, Dr. geog.

Māris Kļaviņš, professors, Dr. habil. chem.

Uldis Sedmalis, professors, Dr. habil. chem.

Secretary: Ģirts Stinkulis, Dr. geol.

This thesis is accepted for the commencement of the degree of Doctor of Geology (in Applied Geology) on December 21, 2006 by the Doctoral Committee of Geology, University of Latvia.

The thesis will be defended in a public session of the Doctoral Committee of Geology at the University of Latvia, on March 23, 2007 at 14:00 in Alberta Street 10, Jāņa un Elfrīdas Rutku auditorium (Room 313).

The thesis is available at the Scientific Library of the University of Latvia Kalpaka Blvd. 4, Rīga, and Academic Library of Latvia, Lielvārdes Street 4, Rīga.

The publication of this summary of doctoral thesis is granted by the University of Latvia.

Address for submitting of comments:

Dr. Ģirts Stinkulis, Department of Geology, University of Latvia, Raiņa bulvāris 19, LV-1586, Rīga. Fax: +371 733 2704, e-mail: Girts.Stinkulis@lu.lv

© Aija Dēliņa, 2007

Latvijas Universitāte, www.lu.lv

Introduction

Quaternary groundwater forms the upper aquifers of the Earth's surface in Latvia. The thickness of the Quaternary deposits where this groundwater occurs varies from a few to about 200 meters, reaching 300 m and even more in the buried valleys.

Quaternary groundwater has been long and widely used for household needs, but there have been relatively little investigations of Quaternary groundwater in Latvia. The main reasons might be the limited distribution of significant Quaternary groundwater resources in Latvia as well as the long held idea that Quaternary groundwater is not a perspective resource and has low economic value. On the contrary, there are wide spread and various studies of Quaternary groundwater in other Baltic states.

Studies of Quaternary groundwater were started by the author nine years ago, initially focusing on point-source contamination of shallow groundwater and the natural vulnerability of groundwater during her master studies. Integrative research on Quaternary groundwater in Latvia was carried out during the doctoral studies, including investigations of distribution, natural composition and hydrogeological division of Quaternary groundwater.

Topics of the study

The peculiarity of the Quaternary groundwater in Latvia is based on both the great variability of deposits containing groundwater, and the active interaction of this water with other media and deeper lying confined aquifers, resulting in a great variety of hydrogeological conditions. Therefore Quaternary aquifers might be used as a simplified model of processes occurring in the underground hydrosphere. But the shallow occurrence and the ease of access of the Quaternary groundwater is an advantage for exploitation needs. Simultaneously these are risk factors that increase the natural vulnerability of Quaternary groundwater from surface contamination.

This thesis is the first attempt to study the properties, parameters and usage potential of the Quaternary groundwater resources with modern methods. This thesis has been prepared based on the field and laboratory work of the author, data and materials from the Geological Fund of Latvia that have been collected there during the last 40 years and the applications of modern theoretical ideas in hydrogeology.

The aim of the study is to study and to characterise Quaternary groundwater in Latvia mainly focusing on the natural composition of that groundwater.

The main tasks of the study are:

- To get acquainted with and to assess earlier studies of Quaternary groundwater focusing on the aims of those studies and the investigation methods used;
- To study modern methods of hydrogeological investigations and to get acquainted with the results of latest studies in other regions of Pleistocene glaciations with a similar structure of Quaternary cover;
- To characterise the hydraulic conductivity of Quaternary deposits in Latvia;
- To assess the natural composition of major ions of Quaternary groundwater in Latvia and to analyse the spatial variations of the natural composition of groundwater;
- To assess the spatial differences of hydrogeological conditions of Quaternary groundwater in Latvia.

Novelty

- For the first time, in the Latvian language, there will be presented a review of Quaternary groundwater investigations in Latvia, providing an assessment of earlier investigations by the study conditions, main results and applicability today;
- Original study of the natural quality of Quaternary groundwater is carried out, focusing on characteristic parameters of groundwater composition: major ions, pH and conductivity (EC); and providing *in situ* analysis of quickly changing physical-chemical parameters of groundwater (pH, EC, ORP, DO, temperature);
- The detailed methodology for *in situ* investigations of Quaternary groundwater is provided, as well as relations between pumping time and well completion were identified; these findings determine the conditions for appropriate analysis of physical-chemical parameters of groundwater *in situ* and groundwater sampling;
- The first comparative analysis of historical data and present data, obtained with modern *in situ* methods, on natural composition of major ions in Quaternary groundwater was carried out. This analysis verifies that the data from earlier investigations might be included in the general, overview studies;
- Criteria for the sorting and selection of earlier and current data were developed, and data base with the characteristic parameters of Quaternary groundwater natural composition was created. The data base facilitated the qualitative comparison of the data on Quaternary

groundwater in Latvia and in neighbouring countries, as well as confirms relations found in the natural composition of Quaternary groundwater in Latvia.

Applicability

- Specified a methodology for the *in situ* investigation of Quaternary groundwater that could be used in applied studies in order to obtain representative data;
- Outlined hydrogeological regions in Latvia shows that regional features should be taken into account in general, overall studies;
- The detailed analysis of major ions and pH and EC values of the Quaternary groundwater show that representative values obtained could be used as current background values in different applied studies and that detailed study of natural composition of groundwater is necessary when significant deviation from background values is observed;
- The data obtained regarding the major ions in Quaternary groundwater might serve as a solid base in the forecast of the natural quality of Quaternary groundwater regionally, used for decentralised water supply, and the outline of hydrogeological districts provides general information on Quaternary groundwater resources availability regionally;
- The main conclusions are usable in the development of higher levels of academic education and have already been partially integrated in the MSc. level courses “Hydrogeological conditions of Latvia” and “Water resources and factors that influence them”.

Approbation

Three scientific publications have been prepared based on the results of the study, separate parts of the thesis and the whole study has been presented in seven international conferences and nine conferences in Latvia.

The results of the study give insight on the issues for the further study of Quaternary groundwater in Latvia. These issues have not been presented in detail in this thesis because of its limited amount or due to insufficient theoretical background. The issues that could be studied are the origin of Quaternary groundwater resources and its composition, especially trace elements, focusing on its interaction with the atmosphere, surface waters and confined groundwater. Specific attention could be paid to the improvement of the statistical analysis of data and to methods of numerical modelling.

The study was financially supported by the Latvian Science Council grant No.01.0293 (2001–2003) Quaternary groundwater in Latvia, grant No. 01.0293 (2004) Regional differences of Quaternary groundwater in Latvia, grant No. 05.1505 (2005-2007) Conditions of effective porosity and grain size distribution on the deposits in aeration zone, and by the European Social Fund (ESF) project No. 2004/0001/VPD1/ESF/PIAA/04/NP/3.2.3.1/0001/0063 (LU ESS2004/3) “Support for the doctoral study programs and post-doctoral studies”.

1. History of groundwater investigations in Latvia

Latvia is rich in groundwater resources and there are number of sites, where groundwater discharges as springs. Historically knowledge on utilised or potential resources of groundwater has had to be obtained or broadened and that promoted the development of groundwater investigations. This is why there have been a great number of groundwater investigations undertaken in Latvia, but the details and scope of these investigations have significantly changed with the passing of time.

Groundwater investigations in Latvia, in general, although only relatively, can be divided into the five most important stages (Dēliņa 2005b) that are delineated on the following timeline by the differences in details of investigations and their spatial distribution (Fig. 1).

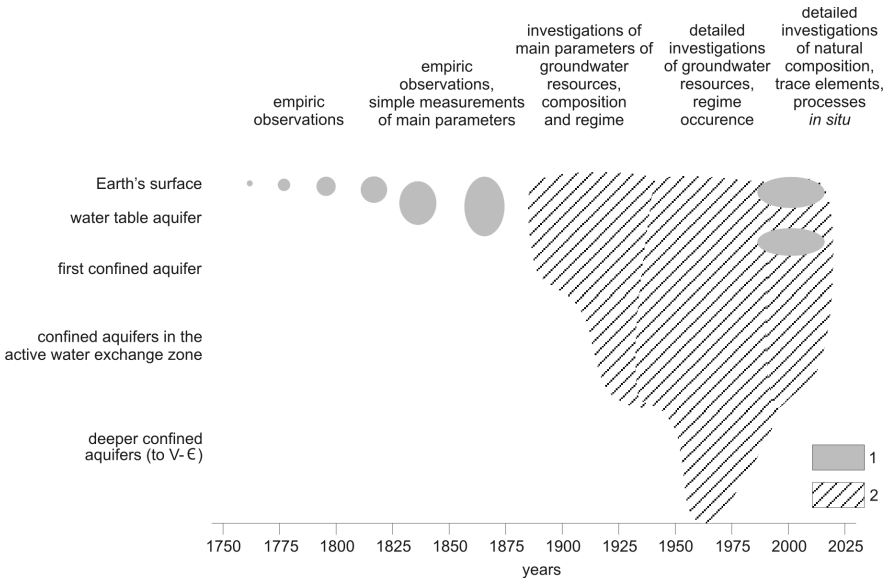


Fig. 1. Spatial distribution of the groundwater investigations in Latvia

Legend: 1 – point source investigations; 2 – aerial and point source investigations.

Summary of historical analysis of groundwater investigations in Latvia highlighted the main aspects for the study:

- Quaternary groundwater was the main study object in 19th century and the beginning of 20th century, but details of these investigations are not sufficient today. The main tasks of the investigations were related to water supply and balneology as well as land drainage, but there is just historical value of the results;

- Detailed investigations of groundwater, including Quaternary ones, continued later as well, and abundant data was collected. Part of this data was summarised and analysed by I. Dzilna publication in 1970;
- Different investigations of Quaternary groundwater at the end of 20th century were mainly carried out as supplementary to confined aquifers studies. Other studies of Quaternary groundwater were bound to land drainage aspects, but there were very few studies of water supply issues, because Quaternary groundwater was regarded as an unsafe and unfeasible source of water. The data obtained in the above mentioned studies were mainly kept as field notes and unpublished reports that have not to date been summarised or analysed. However, the data has limited use today as the conditions of some investigations were not properly documented or the methods used do not meet current requirements;
- Investigations of Quaternary groundwater in the last decade have mainly focused on groundwater contamination, and these results are not appropriate for use in this thesis;
- The results of the quickly changing physical-chemical parameters of Quaternary groundwater determined in the field applying *in situ* methods provides new qualitative data that cannot be directly compared with the data obtained *ex situ*.

Therefore in this particular study only data on the natural composition of Quaternary groundwater obtained within last 5-8 years could be used and analysed. The selected data was obtained in investigations, where modern methodologies were used, providing representative data and *in situ* determination of the quickly changing physical-chemical parameters.

2. Materials and methods

The materials used in the study corresponded to the study aim – to study and characterise Quaternary groundwater in Latvia. Therefore the thesis included the analysis of published and unpublished materials on hydrogeological investigations in Latvia and the study of groundwater investigation methods, in total 141 published and 119 unpublished references were used. The main stages of the study were:

- Study and analysis of published literature and unpublished information available in the Geological Fund of Latvia and funds and archives of different companies and organisations;
- Definition of study topics, areas and methods to be used;
- Investigation of the natural chemical composition of Quaternary groundwater including *in situ* measurements of physical-chemical parameters and sampling of groundwater for laboratory analysis;
- Processing and analysis of field data and results of previous investigations and the compilation of a data base. Updating and improvement of the data base in accordance with the results of *in situ* measurements of physical-chemical parameters. Characterisation of the composition of Quaternary groundwater, approbation of the results obtained and assessment of their applicability.

There were a number of methods used in the study and the main groups of methods were:

- Study of the published and unpublished materials involving different methods of cameral studies;
- Study of the composition of Quaternary groundwater including a number of field investigation methods and laboratory methods;
- Processing and analysis of obtained data, assessment of the results mainly comprised of cameral studies, but were supplemented by several field studies;
- Approbation of the results obtained and elaboration of the conclusions.

Investigations of the composition of Quaternary groundwater

The latest detailed publication on the composition of Quaternary groundwater was in 1970, therefore the processing, analysis and summarising of the historical data gathered during the last 35 years was of great importance in the study. One of the main tasks was to characterise the natural chemical composition of the

major ions in Quaternary groundwater, their changes and variations spatially and regionally. The analysis of the composition was based on the concentration of the major ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) and values of physical-chemical parameters: conductivity (EC), pH and oxidation-reduction potential (ORP).

Three primary tasks were set out to complete the study: 1) analysis of existing data, selection of representative data, compilation of the initial data base; 2) measurements of physical-chemical parameters of Quaternary groundwater *in situ*, determination of the optimal length for *in situ* measurements, groundwater sampling; 3) updating of the data base and analysis of the data.

Compilation and updating of the data base

The data base includes results from groundwater studies in 2001-2006 carried out by the author, data from the joint project between State Geological Survey (VGD) and Danish and Greenland Geological Survey (GEUS) "Agricultural influence on groundwater in Latvia", data of the state groundwater monitoring and data from other investigations.

Criteria for data selection to be included in the data base were elaborated. Data with complete documentation of study site, investigations carried out and laboratory methods applied were selected. Only representative data was used in the study, 297 investigation sites in total, providing information on major ions and physical-chemical parameters of Quaternary groundwater.

***In situ* measurements of physical-chemical parameters**

Physical-chemical properties of Quaternary groundwater (pH, ORP, EC and temperature as well as dissolved oxygen (DO)) were measured in the field. These are sensitive parameters with quickly changing values reflecting variations of environmental conditions, therefore they could only be measured *in situ*. The results of field measurements of physical-chemical parameters during long-term pumping tests showed regularity of micro-scale changes of the parameter values and allowed the performance of data correlation on the groundwater composition data for the whole of Latvia. Several sites for investigation were selected based on the structure of the Quaternary deposits and hydrogeological conditions. Test wells had to be installed in the sand or sand and gravel aquifers of different origin with variable land cover (with or without vegetation) at various depths (2-40 m) so that the influence of deposit type, land cover and well depth on micro-scale changes of the parameters could be studied.

Physical-chemical parameters (EC, pH, ORP, temperature, DO) were measured in the flow cell with relevant electrodes. WTW (Germany) microprocessors *MultiLineP4* and *pH/Cond315* with appropriate electrodes – WTW *Sentix41* electrode for pH (range -2,00 – 19,99 units, accuracy $\pm 0,01$ pH), WTW *SenTixORP* electrode for ORP (range -1999 - +1999 mV, accuracy ± 1 mV), WTW *TetraCon325* electrode for EC (range $1 \mu\text{S cm}^{-1}$ – 500 mS cm^{-1} , accuracy $\pm 1\%$ of the result) and WTW *CellOx325* electrode for DO (range 0,00-19,99 mg l^{-1} , accuracy $\pm 0,5\%$ of the result). Temperature measurements were made with the pH electrode, with its integrated temperature sensor. All electrodes were calibrated before the measurements in accordance with the manuals.

The same methodology for measurements of physical-chemical parameters was applied during groundwater sampling for chemical analysis. The wells were purged and the physical-chemical parameters were measured *in situ* before sampling in order to ensure representative samples. Water samples were filled in the plastic bottles and transported in a cool box to the laboratory. Titration was applied for the analysis of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and HCO_3^- ions, photometry for SO_4^{2-} ions and flame photometry for Na^+ and K^+ ions.

Data processing and analysis and evaluation of the results

Graphical analysis and statistical methods were used in processing and analysis of the data on the composition of the major ions of Quaternary groundwater.

3. Geological structure and hydrogeological conditions of the Quaternary deposits

Glacial and interglacial Pleistocene and Holocene deposits of different age's and origin form the Quaternary cover in Latvia that is distributed above pre-Quaternary sediments almost everywhere except in small areas, where pre-Quaternary sediments outcrop. The Quaternary deposits are bounded within the two surfaces: modern land surface that has formed and changes at the same time as Quaternary deposits are formed or destroyed, and the sub-Quaternary surface formed of terrigenous and carbonate sediments. Land surface elevation changes from 0 m to 311.6 m, and the maximum amplitude of the modern relief is 312 meters. Elevation of sub-Quaternary surface changes from -282 m to 169 m, and maximal amplitude is 451 meters.

The thickness of the Quaternary cover varies a lot and is bound to different geological structure – more simple in the lowlands and more complicated and multi-layered in the glacial highlands. The characteristic structure of the Quaternary cover is the interbedding of moraine, glacio-fluvial and lacustrine deposits with interglacial and post-glacial deposits of different origin. Quaternary deposits are represented by various grained sand, silt, clay, till loam and sandy loam, as well as peat, gyttia and freshwater limestone.

Hydrogeological conditions of the Quaternary aquifers depend on the occurrence, recharge and discharge of the aquifers and the hydraulic properties of the deposits forming the aquifer (Delina 2002, Delina *et al.* 2004).

Quaternary aquifers are mainly made of sand and sand-gravel deposits of different origin with admixture of silty sand, silt or clay. The deposits form thick, spatially distributed layers as well as thin, small interbeddings and lenses. Quaternary aquifers formed of alluvial (aQ_4+aQ_3 ,ltv), marine, lake and lacustrine ($mQ_4+lQ_4+lQ_3$,ltv^b, lgQ_3 ,ltv) and glacio-fluvial deposits (fQ_3 ,ltv) are the most important for the water supply needs. Groundwater, bound to bog deposits and separate water saturated lenses in the glacial till deposits, have minor importance due to their poor hydraulic conductivity.

4. The natural composition of Quaternary groundwater

Analysis of the peculiarities of the natural chemical composition and of the variations of the parameters having impact on the composition of Quaternary groundwater in Latvia is based on the study of the major ions and physical-chemical parameters in the upper part of hydrogeological section, where currently more representative data is available.

Micro-scale variations of physical-chemical parameters

A number of physical-chemical parameters are used to characterise groundwater properties. There are several integral parameters that provide the most important information on groundwater properties: pH, ORP, temperature and EC, as well as DO.

The range of these parameters in the natural groundwater is rather wide and are characterised as macro-scale variations already known and studied. However, variations of a smaller range could be observed in a single measurement site, and these might be described as micro-scale variations that sometimes are explained as equipment errors, inconsistencies in the study conditions and other. The study shows that these variations points to negligible changes in the purged water, provides information on water flow conditions to the well and allows the selection of the appropriate sampling time (Dēliņa 2004, 2006c).

Physical-chemical parameter variation charts, elaborated within the study, shows that micro-scale variations are negligible, and mostly the parameter values within one aquifer are relatively stable.

Vertical zoning is observed in the water table aquifer, the most significantly presented by the DO and ORP values. The study shows that groundwater recharge with air greatly depend on composition of aeration zone, topsoil and land cover. High DO content is observed at sites with high permeable deposits in the aeration zone without any land cover, but topsoil and land cover decreases DO values up to 10 times.

The study of micro-scale variations lets to assess different external impacts and separate them from the naturally caused micro-scale variations, i.e., to estimate amplitude of the variations and time required to identify them. There are two methodologically important issues:

- Minimal time required for representative *in situ* investigations of Quaternary groundwater is determined;
- Amplitude of micro-scale variations of the most common physical-chemical properties in the purged water is detected.

Based on the results of this study optimal period of the *in situ* measurements was detected for the further studies. The results provide information on the necessary accuracy of the equipment, as well as more precise criteria for selection of earlier data.

General description of the composition of groundwater

The composition of Quaternary groundwater in Latvia is studied analysing content of the major ions and pH and EC values of the carefully selected data aggregated in the data base (297 sites).

The major ions in the Quaternary groundwater

The data obtained and their graphic analysis shows that Ca-Mg-HCO₃ type fresh groundwater dominate in Latvia, in separate areas Ca-Mg-SO₄ type groundwater is found and rarely also Na-Cl type groundwater. The results of the study confirm results of earlier studies, but it should be emphasised that current results are obtained by modern, very accurate laboratory analysis and by *in situ* measurements of pH and EC values (Dēliņa 2006c). Therefore qualitative analytical data of earlier studies might be used for general characterisation of the composition of the major ions in Quaternary groundwater in Latvia.

Main physical-chemical parameters of Quaternary groundwater

Ranges of pH and EC values in Quaternary groundwater were analysed. The results of the analysis shows that conductivity values of Quaternary groundwater in Latvia varies from 30 to 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, but the prevailing values are from 200 to 600 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (~60% of all data base records), but pH values of groundwater varies from 5.2 to 8.8, with prevailing values 6.8-7.6 (~60%) that corresponds to slightly acid, neutral and slightly alkaline groundwater (Delina 2006).

Comparison of the major ions composition of Quaternary groundwater in Latvia and adjacent areas

Summary and assessment of data of the composition of Quaternary groundwater in Latvia would have been incomplete without comparison with the data of similar quality from adjacent areas of Pleistocene glaciation. Data from Lithuania is compared as the methodology of investigations is similar there. Data on the major ion composition, pH and EC values in sand and sand-gravel aquifers and in till loam aquifers in Latvia and Lithuania were analysed and compared.

The comparison showed a high correspondence in the parameter values– in all cases bicarbonate and calcium ions dominate with subdominant magnesium ions. There are minor differences in the concentration of sulphate and chloride

and $\text{Na}^+\text{+K}^+$ ions: slightly higher equivalent values are recorded in groundwater in Lithuania. But these are negligible differences that confirm the already known relation between natural composition of groundwater and chemical composition of the deposits in aquifer.

Indirectly this shows that the known similarities in the geological structure of Quaternary deposits in Latvia and Lithuania results in a similar natural composition of Quaternary groundwater, its mineralization, dominating ions and their proportions, as well as pH and EC values.

Mineralization of Quaternary groundwater in Estonia is significantly lower than in Latvia and Lithuania, reaching 0.2-0.35 g l⁻¹. The main reasons are a thinner Quaternary cover and higher rain water recharge. Mineralization of the Quaternary groundwater in Latvia and Lithuania is 0.3-0.4 g l⁻¹ in sand and gravel aquifers and up to 0.5-0.6 g l⁻¹ in glacial aquifers.

Mineralization of the Quaternary groundwater increases with the increase of thickness of the Quaternary cover and amount of clayey particles in the deposits resulting in a lower water exchange in the aquifer. In that event the concentration of all the major ions increases and this is especially characteristic in Lithuania, where the Quaternary cover is the thickest.

Correlation of conductivity and mineralization values of the Quaternary groundwater

Correlations between EC and mineralization of saline waters are well studied, but there is limited data on fresh groundwater. There is very high correlation calculated between mineralization and EC values of the study data: $r = +0.986 \pm 0.00161$, correlation equation $y=0.91x$, i.e., mineralization = 0.91 EC.

This high correlation shows that EC values might be successfully used as an indicator in the characterisation of mineralization of fresh groundwater.

Natural composition of the Quaternary groundwater in lowlands and highlands

Analysis of the composition of the major ions showed that Quaternary groundwater in Latvia is rather similar. The variations in the geological structure of the Quaternary cover result in different hydrogeological conditions that might result in the variable composition of groundwater. Based on physical-geographical regions outlined in Latvia, the composition of groundwater was analysed for each region. Maps showing distribution of pH and EC values as well as average composition of the major ions were compiled (Delina, Seglins 2006), and the differences of these parameters were analysed between the regions and lowlands and highlands (Table 1).

The analysis and mapping of pH and EC values of the Quaternary groundwater shows that no regularities or trends could be identified in the distribution of pH and EC values in relation to the particular regions or the relief megaforms. The mean values of the major ions in highlands and lowlands differ from the mean values of the whole Latvia by 5-10%.

Table 1

Mean values of the major ions of Quaternary groundwater in Latvia

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Sum of major ions
	mg-eq l ⁻¹							
Latvia (297)*	4.59	0.40	0.24	3.70	1.50	0.20	0.05	10.67
Highlands (83)*	4.92	0.31	0.20	3.90	1.50	0.18	0.04	11.04
Lowlands (214)*	4.18	0.44	0.28	3.65	1.50	0.21	0.05	10.31
Highlands/Latvia	107%	79%	81%	105%	100%	89%	83%	103%
Lowlands/Latvia	91%	111%	115%	99%	100%	107%	106%	97%

* In brackets number of analysed sites

The data analysis and assessment of the results proves that the composition of the major ions or their percentile distribution is not suitable for hydrogeological districting. The mean values for Latvia might be used for general characterisation of major ions of Quaternary groundwater.

Natural composition of the Quaternary groundwater in different aquifers and various depth

A number of factors influencing the composition of groundwater are detailed in the publications and text books, and some of the most important are the deposits forming aquifers and the depth of the aquifer. Analysis the of major ions, pH and EC values was carried out for the data from data base, sorted by the aquifer type (sand, gravel, glaciogene till) and depth (0-10 m, 11-20 m, >20 m).

Bicarbonate calcium type groundwater dominates at all depths and all analysed aquifer types, and a different composition of the major ions is not related to the aquifer depth or composition. Only in sand aquifers are higher values of sodium and potassium ions observed, because these ions increase if sea water intrusions occur and sand aquifers are widespread in the coastal areas.

Analysis of pH and EC values for the selected aquifer types and depth intervals provides general overview of these specific aspects of groundwater properties. There is no relation between the aquifer type and EC, pH values in shallow aquifers. Symmetrical distribution of pH and EC values for all the aquifer

types shows that the same factors influence the composition of the groundwater, but the deposits forming the aquifer vary the intensity of the influence (Delina 2006).

Although the composition of Quaternary groundwater does not depend either on the deposits forming the aquifer or aquifer depth, there should be factors that cause slight differences in natural composition. Earlier investigations showed that the most likely reason is the recharge conditions of the aquifer and the water exchange rate in the aquifer. Lowest EC values are found in the aquifers that recharge only with rainwater or bog waters, but the highest EC values are in the areas with recharge from the confined aquifers or sea water intrusion.

5. Discussion and interpretation

Spatial differences in groundwater are a well known feature that depends on the variations of the geological structure and changes of factors influencing groundwater occurrence and composition. These differences complicate, sometimes even burden groundwater studies. Therefore classification and schematization is one of the main issues in hydrogeology, emphasising significant features and rejecting insignificant differences.

Detailed analysis of the composition of Quaternary groundwater showed that there are no significant differences. However, in earlier studies I. Dzilna and V. Staprēns, as well as N. Levina have noticed differences of the Quaternary groundwater resources in various regions of the Latvia. Therefore hydrogeological regions might be outlined based on other criteria rather than natural composition (Dēliņa 2005a).

Analysis of the composition of Quaternary groundwater proved that historically applied geographic zoning of shallow groundwater is not applicable (Dēliņa 2006a). But the variable and complex geological structure could indicate differences in hydrogeological conditions as well (Dēliņa 2001).

Schematization of hydrogeological section

The quantity and quality of Quaternary groundwater is mainly determined by the hydrogeological and flow conditions that depend on the geological structure of the Quaternary cover: nature of deposits, their hydraulic conductivity and interbedding. Several schematization criteria were selected: the distribution of aquifers and their spatial continuity, hydraulic conditions of the groundwater flow. A few layers are outlined in the hydrogeological section (Table 2).

Table 2

Schematic layers of hydrogeological section

Layer		Location in the section	Main features of the layer	Layer thickness
I	Aeration zone	Between land surface and water table	Unsaturated deposits, vertical groundwater flow prevails (infiltration).	Mainly 2–5 m, in bogs 0–1 m, on well drained areas 5–10 m, sometimes > 10 m.

Layer		Location in the section	Main features of the layer	Layer thickness
II	Water table aquifer	Upper part of the section, between water table and aquitard	Spatially continuous water saturated deposits. Horizontal groundwater flow prevails. Unconfined groundwater.	Mainly from 2–5 m to 15–20 m, sometimes 30–40 m.
III	Interglacial aquifers	Interbeddings, lenses of sand and gravel between low permeable glaciogene till loam deposits	Sporadic water saturated layers between low permeable layers, horizontal groundwater flow prevails. Semi-confined and confined groundwater.	Mainly from 1–2 m to 5–10 m, maximally 15–60 m.

Every layer has specific features with slightly different dynamic and chemical processes.

Typical Quaternary hydrogeological sections

Great variability in geological structure of the Quaternary deposits determines that there are regions with all the layers or just some. Several hundred hydrogeological sections were studied, analysing the presence of the layers (Table 2) in every particular hydrogeological section. The presence of an aeration zone (I) was not taken into account because there is lack of relevant data on differences of aeration zone structure and their impact on hydrogeological conditions.

Several similarities in the distribution of the water table aquifer and the interglacial aquifers were found during the analysis of sections, and the sections were grouped based on the two main criteria: spatial distribution of the water table aquifer and number and spatial distribution of the interglacial aquifers. Six dominating types of the hydrogeological sections were outlined (Delina 2006):

- 1) areas with continuous distribution of the water table aquifer and very few or no interglacial aquifers or interglacial water saturated layers,
- 2) areas with continuous distribution of the water table aquifer and few interglacial water saturated layers or semi-confined aquifers,
- 3) areas with continuous distribution of the water table aquifer and a lot of interglacial water saturated layers or interglacial semi-confined, confined aquifers,
- 4) areas with sporadic distribution of the water table aquifer and very few or no interglacial aquifers or interglacial water saturated layers,

- 5) areas with sporadic distribution of the water table aquifer and few interglacial water saturated layers or interglacial semi-confined aquifers,
- 6) areas with sporadic distribution of the water table aquifer and a lot of interglacial water saturated layers or interglacial semi-confined, confined aquifers.

Typical hydrogeological sections of the Quaternary deposits characterise regions with distinctive geological structure and hydrogeological conditions. Besides there were untypical sections that did not corresponded to any of the types or formed small separate groups. Separate study should be carried out on these areas, because the hydrogeological conditions might significantly differ, but currently there is lack of information.

Hydrogeological zoning of Latvia by hydrogeological sections

Analysis of spatial distribution of the typical Quaternary hydrogeological sections showed that there are consequences in this distribution. The hydrogeological zoning of Latvia could be made based on the distribution of typical hydrogeological sections (Delina 2006). The dominating section type was determined for each spatial unit and mapped (Fig. 2).

The hydrogeological zoning of Latvia showed that most of the areas with continuous distribution of the water table aquifer are located in lowlands taking up to one third of Latvia. There is sporadic distribution of the water table aquifer in the rest of Latvia. Most of the interglacial aquifers are bound to highlands, and the number and thickness of those aquifers as well as their spatial distribution increases in highlands, where there is thicker and more complicated geological structure. The areas with the interglacial aquifers take up to one half of the Latvia.

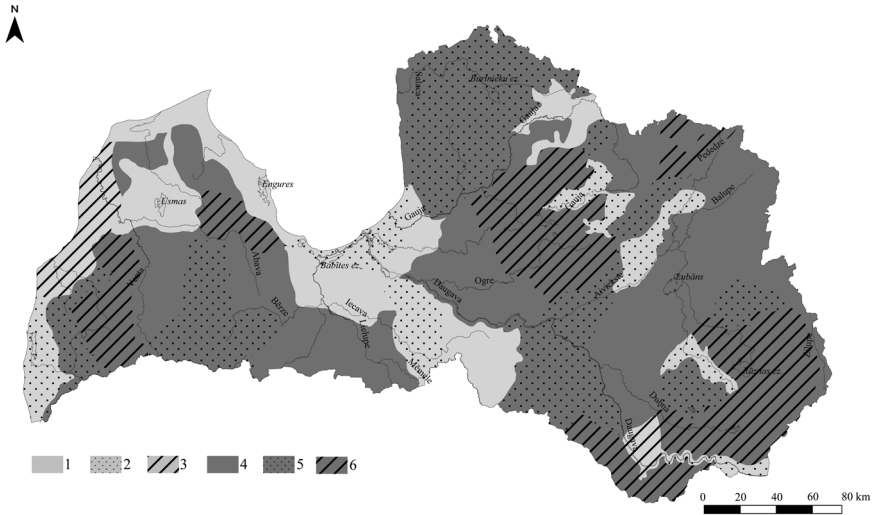


Fig. 2. Hydrogeological districts of Latvia

Legend: 1 – areas with continuous water table aquifer and no or very rare interglacial aquifers, 2 – areas with continuous water table aquifer and few interglacial aquifers, 3 – areas with continuous water table aquifer and many sporadic or few continuous interglacial aquifers, 4 – areas with sporadic water table aquifer and no or very rare interglacial aquifers, 5 – areas with sporadic water table aquifer and few interglacial aquifers, 6 – areas with sporadic water table aquifer and many sporadic or few continuous interglacial aquifers.

The analysis of spatial distribution of the typical hydrogeological sections and hydrogeological zoning showed that there are transition areas, where one typical section dominates, but features of another section is present as well. These areas are, e.g., eastern part of Ropaži Plain, sides of Metsepole Plain, bottom of Saldus, Veclaicene, Mežole Hilllands. The typical hydrogeological sections of these areas should be specified in future, including additional criteria like the water exchange intensity, thickness of aeration zone or drainage conditions of the area.

Conclusions

1. The Quaternary groundwater in Latvia lies close to the Earth's surface and it is intensively recharged with rain water and surface water compared to the deeper pre-Quaternary aquifers. There are active chemical processes going on, their difference depend on variable environmental conditions (pH, ORP), infiltration intensity and water exchange rate; as well as the recharge from the bog aquifers (increases content of organic matter), sea water intrusion (saline groundwater) and recharge from the confined aquifers (sulphates from areas with increased sulphate content in the Devonian aquifers).
2. The interaction of waters of different origin and composition causes variations in the natural composition of Quaternary groundwater. The interaction differs from place to place, but the study of the physical-chemical parameters shows that a distinctive layer could be characterised in the upper 1-2 m of the water table aquifer, based on the differences in pH, ORP, EC, DO and temperature values.
3. The analysis of the studied physical-chemical parameters shows that the composition of the Quaternary groundwater forms depending on regular features characterised by pH and ORP values. The natural composition formation processes are similar for the areas with the similar geological structure of the Quaternary deposits. A unified methodology of groundwater studies could be applied there.
4. The high accuracy conductivity values measured in the field could be used to calculate groundwater mineralization. The correlation equation $y=0.91x$ provides accurate and representative calculations of the groundwater mineralization based on *in situ* measurements. The correlation equation is calculated based on the field and laboratory data of fresh groundwater.
5. Six typical Quaternary hydrogeological sections could be detailed based on the spatial distribution of the water table aquifer and the interglacial aquifers. The best correlation with the other zoning schemes is obtained for the areas, where interglacial deposits are distributed.

Publications

1. Dēliņa, A. 2000. Groundwater vulnerability mapping in Latvia. In.: Geography, geology, environmental science: LU 58th Scientific Conference. Abstracts. Rīga, Latvijas Universitāte, - 35.-36. pp. In Latvian.
2. Delina, A., Prols, J., Seglins, V. 2000. Groundwater contamination caused by Liepaja landfill, Lavia. In: Satkunas, J., Virbickiene, I. (eds.). Soil and groundwater pollution: expanding possibilities for Nordic-Baltic co-operation. NordSoil Conference, Vilnius, Lithuania, 13-15 April, 2000: Conference materials. Geological Survey of Lithuania, Vilnius, pp. 21-22.
3. Dēliņa, A., 2001. Schematic Quaternary hydrogeological section of Latvia and its zoning. In.: Geography, geology, environmental science: LU 59th Scientific Conference. Abstracts. Rīga, Latvijas Universitāte, - 36.-38. pp. In Latvian
4. Delina, A. 2001. Quaternary groundwater vulnerability map of Latvia, scale 1:500.000. In: Seglins V. (ed.). High resolution geological mapping (scale 1:50000) and processing of geological maps: new opportunities and requirements, 20-23.08.2001, Priekuli, Latvia: Abstracts. Riga, 24.-25.pp.
5. Delina, A., Prols, J., Seglins, V. 2001. Environmental management plan for Riga city landfill at Getlini site. In: Possibilities or co-operation between the Nordic and the Baltic countries in solving soil and groundwater problems - R&D projects and business opportunities: NordSoil's 2nd Nordic-Baltic conference, Tallinn, Estonia, 24-27 October 2001: Conference materials. Tallinn, pp.37-38.
6. Dēliņa, A., 2002. Quaternary groundwater in Carnikava area. In.: Geography, geology, environmental science: LU 60th Scientific Conference. Abstracts. Rīga, Latvijas Universitāte, - 34.-35. pp. In Latvian
7. Delina, A., 2002. Late Glacial deposits at Baltezers site. A point of view from permeability. In.: International Quaternary field workshop and conference "Late Glacial and Holocene coastal zones and shorelines in the Western Lithuania and Latvia". Abstracts. Klaipedos Universitetas, Klaipėda, pp. 19-22.
8. Dēliņa, A., 2003. Data and data processing for numerical model in Carnikava site. In.: Geography, geology, environmental science: LU 61th Scientific Conference. Abstracts. Rīga, LU, - 138.-139. pp. In Latvian
9. 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.
10. Dēliņa, A., 2004. Changes and range of groundwater parameters. In.: Geography, geology, environmental science: LU 62th Scientific Conference. Abstracts. Latvijas Universitāte, Rīga, 129.-130. pp. In Latvian
11. Delina, A., Seglins, V., Prols, J. 2004. Impact of groundwater artificial recharge on flow system and groundwater quality at Baltezers wellfields. XXXIII IAH & 7o ALHSUD congress "Groundwater flow understanding from local to regional scales". Abstracts. Zacatecas, Mexico - 53. p.

12. Dēliņa, A., 2005a. Regional differences of Quaternary groundwater in Latvia. In.: Geography, geology, environmental science: LU 63th Scientific Conference. Abstracts. Latvijas Universitāte, Rīga, 114.-116. pp. In Latvian
13. Dēliņa, A., 2005b. History of groundwater studies in Latvia. In.: Geography, geology, environmental science: LU 63th Scientific Conference. Abstracts. Latvijas Universitāte, Rīga, 116.-117. pp. In Latvian
14. Dēliņa, A., 2006a. Zoning of shallow groundwater and its application for hydrogeological division of Latvia. In.: Geography, geology, environmental science: LU 64th Scientific Conference. Abstracts. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 154.-155. pp. In Latvian
15. Dēliņa, A., 2006b. Quaternary groundwater in Latvia and its vulnerability. *Zinātnes Vēstnesis*, 16 (329), - 2., 4. pp. In Latvian
16. Dēliņa, A., 2006c. Physical-chemical parameters of Quaternary groundwater and their variations. In.: Segliņš, V. (red.). Field methods and equipment of applied geological investigations. Proceedings of workshop. Latvijas Universitāte, Rīga, 9.-13. pp. In Latvian
17. Dēliņa A. 2006d. Quaternary groundwater in Latvia. In.: Gaile, Z., Lapiņš, D. (red.). Harvest holiday "Vecauce-2006": Young scientists for agriculture development. Program and abstracts. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Vecauce, 36. pp. In Latvian
18. Dēliņa, A., Ābolts, J. 2006. Winter maintenance of main roads and its impact on shallow groundwater in Latvia. In.: Geography, geology, environmental science: LU 64th Scientific Conference. Abstracts. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 155.-157.pp In Latvian
19. 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: Extended abstracts. University of Latvia, Rīga, pp. 122-124.
20. Delina, A., Seglins, V., 2006. Mapping of Quaternary groundwater in Latvia—a review of different approaches. *Baltica*, Vol. 19 (2), 12-20.
21. Teirumnieks, E., Prols, J., Dēliņa, A., 2005. Groundwater, surface water and leachate monitoring at solid household waste landfill "Getlini". In.: Environment. Technology. Resources. 5th International Applied Scientific Conference. Proceedings. Rēzekne, 207-213. pp. In Latvian

