

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**NOKRIŠŅU ŪDENS ĶĪMISKĀ SASTĀVA IZMAIŅAS
EOLĀS SMILTS KĀPU MASĪVĀ, ROPAŽU NOVADĀ**

BAKALaura DARBS

Autors: **Jurģis Kociņš**
Studenta apliecības Nr.: jk09106
Darba vadītājs: Dr. ģeol. Andis Kalvāns

RĪGA 2012

ANOTĀCIJA

Tā kā gruntsūdens barojas galvenokārt no nokrišņiem ir svarīgi zināt kādu ietekmi uz gruntsūdeni atstāj nokrišņu ķīmiskais sastāvs. Pētījums tika veikts 2011. gada vasarā kāpu masīvā Tumšupes ciema apkārtnē, izveidojot 8 urbumus un iegūstot gruntsūdens paraugus no diviem dažādiem dziļumiem.

Bakalaura darbā ir pētītas un analizētas nokrišņu ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas, tam infiltrējoties kāpu masīvā.

Kā liecina iegūtie rezultāti, nokrišņu ūdenim infiltrējoties eolas smilts kāpu masīvā, pieaug K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} jonu koncentrācija, nedaudz Na^{2+} jonu koncentrācijas un konservatīvo Cl^- jonu koncentrācijas pieaugums liecina, ka aptuveni 60% nokrišņu ūdens iztvaiko.

Atslēgas vārdi: gruntsūdens ievākšanas metodes, gruntsūdens ķīmiskais sastāvs, infiltrācija, nokrišņu ķīmiskais sastāvs.

ANNOTATION

Since groundwater recharges mainly from precipitation it is important to know precipitation chemical impact on groundwater chemical composition. The study was conducted during summer 2011 by creating eight boreholes and taking groundwater samples from two different depths in sand dune massif near the village Tumšupe.

In this paper is presented chemical composition changes of precipitation water during infiltration in dune massif.

It is found that there is a concentration increase of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} ions, much smaller increase of Na^+ ion and Cl^- ion change in the groundwater shows, that 60% of precipitation water evaporates.

Key words: sampling, groundwater chemical composition, infiltration, precipitation chemical composition.

SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS.....	5
1. TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS	7
1.1. Hidroloģiskais cikls	7
1.2. Gruntsūdens ķīmiskais sastāvs un tā veidošanās.....	8
2. MATERIĀLI UN METODES.....	11
2.1. Fizioģeogrāfiskais un ģeoloģiskais pētījumu teritorijas apraksts.....	11
2.2. Lauka darbi	13
2.2.1. Urbšanas metodes.....	14
2.2.2 Gruntsūdens paraugu ievākšanas metodes	15
2.3. Gruntsūdens fizikāli ķīmiskie parametri.....	18
2.4. Nokrišņu ūdens ķīmiskais sastāvs	19
2.5. Vides hlorīda metode.....	20
2.6. Ūdens ķīmiskā sastāva analīzes un aprēķini	21
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	23
3.1. Vides hlorīda metodes aprēķini.....	24
3.2. Gruntsūdens ķīmiskais sastāvs	26
3.2.1. Sulfātu tipa gruntsūdeņi.....	28
3.3.2. Hidrogēnkarbonātu tipa gruntsūdeņi.....	31
2.4. Nokrišņu ūdens ķīmiskās izmaiņas	34
SECINĀJUMI.....	36
PATEICĪBAS	37
LITERATŪRAS SARAKSTS	38
PIELIKUMS	40

IEVADS

Bakalaura darbā “Nokrišņu ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas eolās smilts kāpu masīvā Ropažu novadā” ir pētītas un analizētas nokrišņu ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas, tam infiltrējoties eolas smilts kāpu masīvā Tumšupes ciema apkārtnē.

Latvija ir bagāta ar pazemes ūdeņiem un tā ir viena no nozīmīgākajām Latvijas dabas bagātībām. Lai saglabātu un aizsargātu bagātīgos pazemes ūdens resursus ir nepieciešams labi izprast pazemes ūdeņu veidošanās procesus. Šajā pētījumā ir analizētas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas infiltrācijas laikā nokrišņu ūdeņiem pakāpeniski pārveidojoties par pazemes ūdeņiem, kas ir intensīvu pētījumu objekts daudzviet pasaulē. Iegūtās zināšanas potenciāli var ļaut labāk izprast ūdens apriti dabā un ar to saistītos hidroģeoķīmiskos procesus.

Bakalaura **darba mērķis** ir noskaidrot, kā izmainās nokrišņu ūdens ķīmiskais sastāvs, infiltrējoties eolas smilts kāpās, analizējot gruntsūdens ķīmisko sastāvu un salīdzinot to ar nokrišņu ķīmisko sastāvu, un izvirzītie **uzdevumi**, lai sasniegtu mērķi ir

- 1) apkopot pieejamo literatūru un informāciju par izvēlēto tēmu,
- 2) lauka darba pētījumu vietas izvēle, pētāmās teritorijas ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās uzbūves apzināšana un urbumu ierīkošana,
- 3) reprezentatīvu gruntsūdens un grunts paraugu ievākšana, to sagatavošana ķīmiskā sastāva analīzēm,
- 4) aprēķinu veikšana un rezultātu interpretēšana ķīmisko izmaiņu noskaidrošanai.

Bakalaura darbā analizētie gruntsūdens paraugi tika iegūti dažādās vietās izveidotajos urbumos kāpu masīvā Ropažu līdzenumā, vidēji 3 kilometrus uz ziemeļaustrumiem no apdzīvotas vietas Tumšupe. Gruntsūdens paraugu ķīmiskais sastāvs tika noteikts Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes vides ķīmijas laboratorijā, to veica Konstantīns Viligurs, un noteiktais gruntsūdens ķīmiskais sastāvs tika salīdzināts ar nokrišņu ķīmisko sastāvu. Savukārt nokrišņu ūdens ķīmiskais sastāvs tika iegūts no valsts SIA Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra (turpmāk tekstā LVĢMC) meteoroloģiskās novērojumu stacijas Zosēnos.

Šis pētījums ir veikts ar Eiropas Sociālā fonda projekta līguma nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060 daļēju atbalstu. Bakalaura darba ietvaros ar šo pētījumu stenda referāta veidā esmu piedalījies 3. starptautiskajā studentu ģeoloģijas konferencē Ļvovā Ukrainā.

Bakalaura darba mērķa sasniegšanai tika izmantotas vairākas pētījumu metodes un šo darbu var iedalīt 3 daļās:

Pirmkārt, tika apkopota un analizēta pieejamā literatūra. Tika apzināta pētījuma teorētiskā daļa, tā rezultātā tika iegūtas zināšanas par gruntsūdens veidošanos, fizikāli-ķīmiskajiem parametriem un metodēm. Informācija pētījuma realizēšanai tika iegūta, pētot pieejamo literatūru bibliotēkās, internetā, konsultējoties ar pasniedzējiem un apmeklējot LVGMC.

Otrkārt, tika veikta zinātniski pētnieciskā darbība, kurā ietilpa lauku darbu veikšana, kurā tika izveidoti 8 urbumi, tika noteikti gruntsūdens fizikāli-ķīmiskie parametri uz vietas (turpmāk tekstā *in situ*), kā arī tika iegūti reprezentatīvi gruntsūdens paraugi ķīmiskajām analīzēm.

Treškārt, tika interpretēti iegūtie rezultāti un izdarīti secinājumi.

Bakalaura darbā iegūto datu analizēšanai tika izmantotas vairākas datorprogrammas. Datu grafiskai apstrādei tika izmantots *Microsoft Excel*, *Gw Chart*, karšu veidošanai un datu digitizēšanai tika izmantots *Arc GIS 9.2*.

Bakalaura darbs ir uzrakstīts uz 39 lapām. Darbā iekļauti 17 attēli, 4 tabulas, 12 pielikumi.

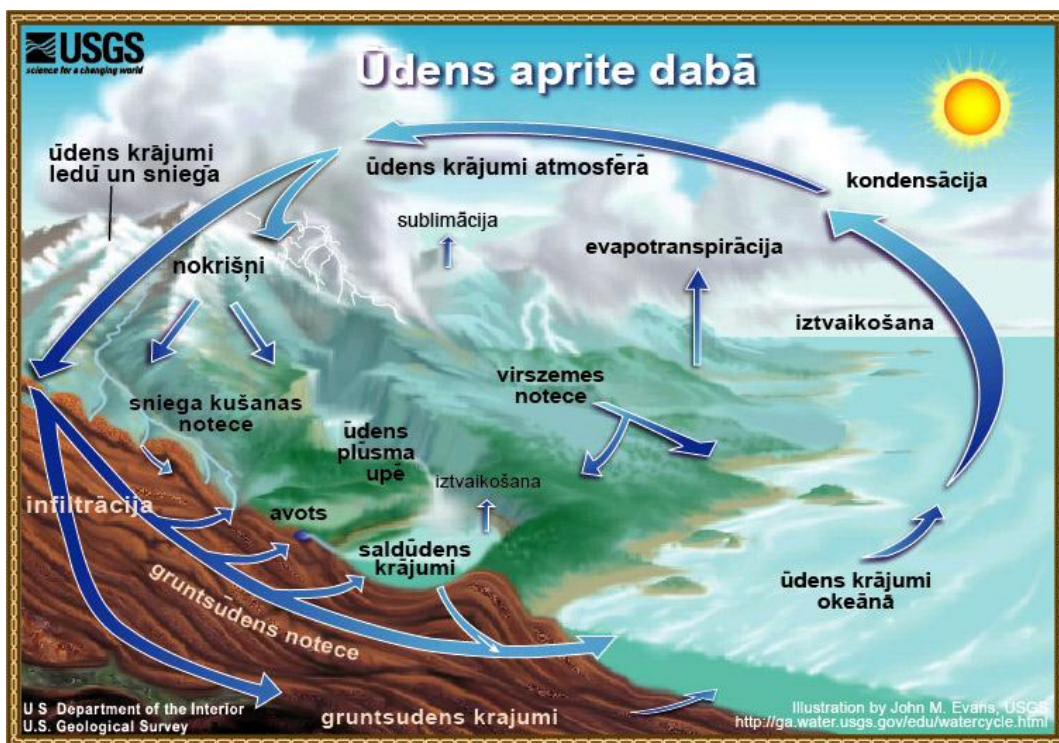
1. TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS

1.1. Hidroloģiskais cikls

Lai izprastu dabiskos pazemes ūdens veidošanās procesus, ir nepieciešams iepazīties ar hidroloģisko ciklu un izprast tā nozīmi, tādējādi apgūstot jaunas zināšanas, kuras var noderēt rezultātu interpretēšanā.

Hidroloģiskais cikls ir sarežģīta sistēma, kura raksturo ūdens apriti uz Zemes dažādu procesu rezultātā, tam pārejot dažādās fāzēs un nonākot dažādās vidēs (skat. 1.1. attēlu). Šo procesu laikā ūdens var atrasties šķidrā, gāzveida vai cietā agregātstāvoklī. Hidroģeoloģiskais cikls norisinās fizikālo spēku ietekmē, un šajā ciklā ietilpst iztvaikošana no ūdenstilpnēm un ūdenstecēm, ūdens tvaika transportēšana ar atmosfēras cirkulācijas palīdzību, nokrišņi, to infiltrācija gruntī un kondensācija sauszemē un virs okeāna, virszemes notecē, pazemes ūdeņu un upju ūdens plūsma atpakaļ okeānos (Bear, Cheng, 2010).

Pazemes ūdeņi veido daļu no globālā hidroloģiskā cikla. Pazemes ūdeņi apzīmē visu Zemes garozā, tās plaisās, porās un tukšumos esošo ūdeni, kurš pārvietojas pjezometriskā spiediena vai gravitācijas ietekmē, savukārt gruntsūdens ir pirmais ūdens horizonts no zemes virsmas, kurš atrodas virs pirmā sprostslāņa un tā virsmas spiediens ir vienāds ar atmosfēras spiedienu (Lauva, 2011; Zīverts, 2001).



1.1. attēls. Ūdens aprīte dabā (Evans, Perlman, 2012)

Gruntsūdens papildināšanās (barošanās) ir process, kurā nokrišņu vai virszemes noteces ūdens pārvietojas vertikālā virzienā lejup līdz gruntsūdens līmenim pa aerācijas zonu. Aerācijas zonā, kas ir nepilnīgi ar ūdeni piesātināts slānis starp gruntsūdens līmeni un zemes virsu, ūdens atrodas tvaika, plēvīšu, kapilārā, higroskopiskā, gravitācijas ūdens veidā un tajā brīvi iekļūst atmosfēras skābeklis, ogļskābā gāze un slāpeklis. Dabiskos apstākļos gruntsūdens atjaunojas no nokrišņiem, sniega kušanas, īpašos apstākļos arī no virszemes ūdeņiem (ezeriem un upēm), bet var būt arī cilvēka darbības rezultātā izveidota sistēma (Maldavs, 1964). Gruntsūdens veidošanās ir daudzveidīgs un sarežģīts process, un tā galvenais veidošanās avots ir nokrišņi.

Infiltrācija ir hidroģeoloģisks process, kura rezultātā pa porām, plaisām un tukšumiem nokrišņu vai virszemes ūdens nonāk nogulumos un iežos un tā norisinās gravitācijas un kapilāro spēku ietekmē. Gadījumā, ja nokrišņu ūdens daudzums pārsniedz to ūdens daudzumu, kuru var uzsūkt grunts, vai arī ja grunts ir sasalusi, vai vāji caurlaidīga, tad šis ūdens notek zemākās vietās pa virszemi un šo procesu sauc par virszemes noteci. Infiltrācija ir atkarīga no vairākām īpatnībām, kā reljefs, ģeoloģiskā struktūra, gaisa mitrums, veģetācija, iztvaikošana, nokrišņu intensitāte, gaisa un augsnes temperatūra, valdošie vēji (Maldavs, 1964).

Infiltrācijas apjoms Latvijas teritorijā ir nevienmērīgs, no nokrišņiem gruntsūdeņos vidēji infiltējas 2 – 47% ūdens, pārējo daļu sastāda virszemes notece un iztvaikošana. (Levins, u.c., 1998; Dēliņa, 2006). Augsts infiltrācijas apjoms raksturīgs teritorijām, kuru virszemē iegul smilts nogulumi un ir labi drenētības apstākļi (Dēliņa, 2006).

Svarīga pētījuma sastāvdaļa ir iztvaikošanas daudzuma aprēķināšana, jo iztvaikošana ir viens no nokrišņu ūdens ķīmiskās koncentrācijas ietekmējošajiem procesiem. Evapotranspirācijas procesā nokrišņu ūdens koncentrācija augsnē var pieaugt 3 reizes mērenajos klimata joslu reģionos un 10 reizes pustuksnešu Eiropas reģionos (Edmunds, Shand, 2008). Iztvaikojot lielākam ūdens daudzumam, pieaug jonu koncentrācija gruntsūdenī, toties lielāks nokrišņu daudzums var pazemināt gruntsūdens jonu koncentrāciju.

1.2. Gruntsūdens ķīmiskais sastāvs un tā veidošanās

Gruntsūdens ķīmiskais sastāvs zināmā mērā ir atkarīgs no atmosfēras nokrišņu ķīmiskā sastāva. Latvijā kvartāra nogulumos parasti sastopami Ca-Mg-HCO₃ tipa ūdeņi un vietām Ca-Mg-SO₄ (Dēliņa, 2006). Gruntsūdenī visizplatītākās vielas ir Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ sulfāti, karbonāti un hlorīdi un tiem šķīstot ūdenī rodas Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻

joni (Maldavs, 1964). Gruntsūdens un pazemes ūdens ķīmisko veidošanos var attēlot ar vienādojumu (skat. 1.1. vienādojumu) (Drever, 2005).

$$\text{Sākotnējais nokrišņu ūdens} + \text{izšķīdušie minerāli un ieži} - \text{nogulsņējušies minerāli un ieži} = \text{gruntsūdens} \quad (1.1)$$

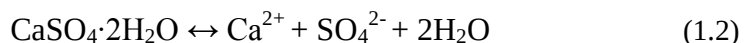
Ceļā līdz zemes virsmai nokrišņu ūdens ķīmiskais sastāvs mainās nonākot saskarsmē ar koku stumbriem, lapotnēm, augiem, kā arī daļa ūdens iztvaiko. Nokrišņu ūdenim iesūcoties augsnē izmainās tā ķīmiskais sastāvs, kā, piemēram, organisko vielu noārdīšanas procesos (oksidācija) tajā palielinās ogļskābās gāzes daudzums un samazinās skābekļa daudzums, kā arī izdalās slāpeklis, metāns un sērūdeņradis (Maldavs, 1964).

Ķīmiskie elementi ir nepārtrauktā apritē, tos uzņem un atdod augu saknes, pēc tam sadaloties augu atliekām, tie atkal nonāk augos, kā arī ķīmiskie elementi var tikt uzņemti no atmosfēras, caur augu atvārsnītēm (Tērauda, 2008). Grunts slāņos, kur iestiepjas augu saknes, vide ir skābāka. Augi paātrina iežu dēdēšanu vairāku iemeslu dēļ - caur saknēm tiek uzņemts Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , un tās palielina iežu un minerālu porainību, tādējādi palielinot grunts virsmu, kas tiek pakļauta dēdēšanas procesiem (Drever, 2005). Bāziskie katjoni ir nozīmīgākās augu barības vielas un nosaka ekosistēmas ilgtspējīgu pastāvēšanu (Piirainen, 2002).

Transpirācijas procesos ūdens tiek uzsūkts no grunts, pirms ūdens pilnībā ir piesātināts ar izšķīdušajām vielām. Tā rezultātā šis ūdens tiek aizstāts ar nepiesātinātu nokrišņu ūdeni un tādējādi var turpināties iežu dēdēšana un vielu šķīšana tajā (Drever, 2005).

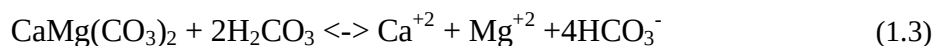
Ūdenim infiltrējoties dziļāk gruntī ķīmiskais sastāvs vairāku procesu ietekmē turpina mainīties, mijiedarbojoties ar gruntī esošajiem iežiem, un dabiskajos apstākļos izšķīdušajām gāzēm, tā rezultātā tas tiek bagātināts ar katjoniem un anjoniem iežu šķīšanas rezultātā, kā arī jāatzīmē tas, ka arī šajā procesā turpinās iztvaikošana pa grunts porām un plaisām (Zīverts, 2001).

Sulfātu joni gruntsūdenī parasti nonāk šķīstot iežiem, kas satur ģipsi (skat. 1.2. vienādojumu), vai pirīta, sērūdeņraža un sēra oksidēšanās procesā. Sulfātu joni gruntsūdenī var arī nonākt bioķīmiskās sadalīšanās procesu laikā. Anaerobos apstākļos sulfātu joni var tikt reducēti līdz sērūdeņradim baktēriju iedarbības rezultātā (Maldavs, 1964).



Hidrogēnkarbonātu un karbonātu joni gruntsūdenī nonāk iežu dēdēšanas rezultātā. Īpaši viegli dēdēšanai tiek pakļauti karbonātieži: kaļķakmeņi, dolomīti, mergēļi un citi karbonātieži (karbonātiežu šķīšanas ķīmiskās izteiksmes attēlotas 1.3. un 1.4. vienādojumā). HCO_3^-

daudzums gruntsūdenī palielinās pieaugot karbonātu dēdēšanas intensitātei, rezultātā izšķīst Ca^{2+} , Mg^{2+} joni, un šie karbonātiežu dēdēšanas procesi ir atkarīgi no CO_2 daudzuma, savukārt samazinoties CO_2 notiek atgriezeniska reakcija.



Nātrija un kālija joni gruntsūdenī sastopami ļoti bieži, jo šos jonus satur ūdenī labi šķīstoši minerāli. Taču kālija joni gruntsūdenī sastopami daudz mazāk par nātrija joniem, jo tos uzņem augi, kā arī tos adsorbē mālaino iežu un augsnes koloīdi (Maldavs, 1964). Kālija laukšpata, biotīta un muskovīta dēdēšana var būt kālija jonu avots gruntsūdenī. Paaugstināts kālija daudzums gruntsūdenī var norādīt arī uz lauksaimniecības ietekmi (Griffioen, 2001).

Nātrija joni gruntsūdenī var nonākt jūras intrūzijas procesā, tādā gadījumā starp hlorīda un nātrija jonu daudzumu ir novērojama korelācija, kas liecina par to, ka šie joni ir nākuši no viena avota (Silva-Filho et al., 2009). Nātrija joni gruntsūdenī nonāk arī no viegli šķīstošiem nātrija sāļiem, piemēram, silvinīta un halīta (Maldavs, 1964).

Hlorīda joni gruntsūdenī dabiskos apstākļos galvenokārt ir atmosfēras izcelsmes, tie gruntsūdenī nonāk kopā ar nokrišņu palīdzību. Citi to avoti var būt apatīta, akmeņsāls, citu hlorīda saturošu minerālu un iežu šķīšana, kā arī tie gruntsūdenī var nonākt cilvēka darbības rezultātā, piemēram, ar minerālmēsliem. Jūras un okeāna viļņošanas procesos veidojas ūdens šļakatas, iztvaiko daļa ūdens, kas sajaucas ar okeāna un jūras vidē esošajiem hlorīda joniem un tie nonāk kontaktā ar atmosfērā esošajiem putekļiem un gāzēm, kuri tur nonākuši dabisku procesu vai cilvēka darbības procesu rezultātā un tālāk tiek transportēti vēja ietekmē. Hlorīda daudzums atmosfērā atkarīgs no hlorīda izcelsmes vietas attāluma, atkārtotas iztvaikošanas un nokrišņu daudzuma (Seiler&Gat, 2007). Fizioloģiskos procesos no vides uzņemto hlorīdu atpakaļ izdala baktērijas, augi un dzīvnieki (Maldavs, 1964). Paaugstināts hlorīdu un nitrātu jonu daudzums gruntsūdenī var liecināt par gruntsūdens piesārņojumu.

2. MATERIĀLI UN METODES

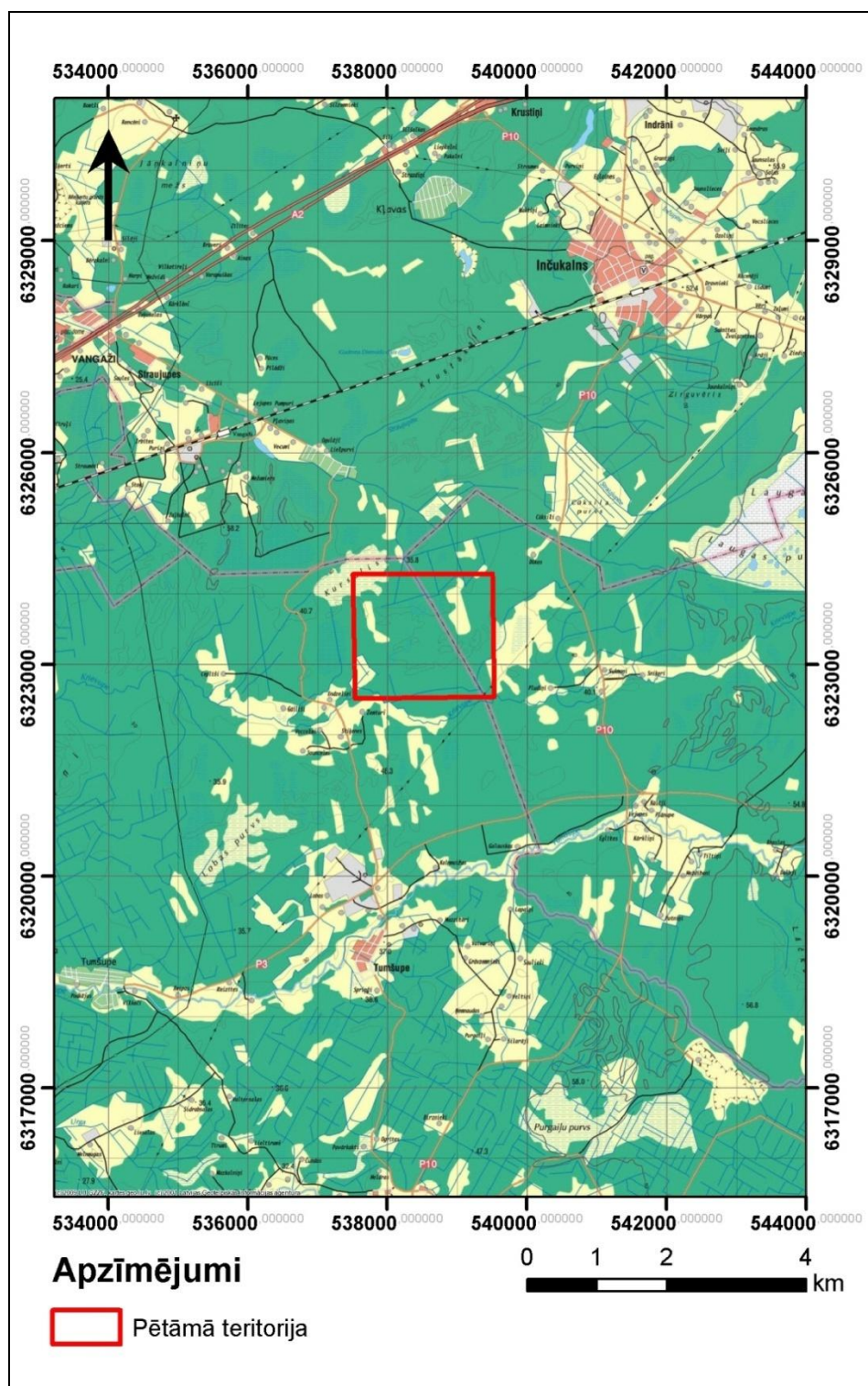
Kā kritēriji pētījumu vietas izvēlei bija tās atrašanās nomaļus no cilvēka saimnieciskās darbības centriem (ražotnēm, ceļiem, lauksaimniecības teritorijām), nogulumu vienkāršā struktūra, tie sastāv galvenokārt no eolajām smiltīm, kā arī izvēlēta pētījumu teritorija ir viegli sasniedzama, izmantojot autotransportu.

2.1. Fizioģeogrāfiskais un ģeoloģiskais pētījumu teritorijas apraksts

Pētījuma vieta atrodas Ropažu novadā, aptuveni 3 kilometrus uz ziemeļaustrumiem no apdzīvotas vietas Tumšupe (skat. attēlu 2.1), tā atrodas Latvijas zemienē, Ropažu līdzenumā (TOPO 50K Satelītkarte). Uz dienvidiem no pētījuma vietas atrodas Krievupe, tās tecēšanas virziens ir no austrumiem uz rietumiem. Pētījuma teritorijas kopējā platība ir 3,49 km².

Uz ziemeļaustrumiem no pētījuma teritorijas atrodas Kursuļu purvs, pētījuma teritorijā ir liels mežainums, dominē priežu sils un tajā ir izplatīta podzola augšņu grupa ar smilts cilmiezi. Vidējais kāpu masīva relatīvais augstums virs jūras līmeņa ir aptuveni 43 metri. Kāpu relatīvais augstums pētījuma teritorijā ir no 5 – 15 metriem, augstākās kāpas sasniedz pat 52,5 metrus virs jūras līmeņa (TOPO 10K PSRS).

Nokrišņu daudzums pētījumu teritorijā ir aptuveni 750 – 800 mm gadā. (Gada nokrišņu daudzums, 20011). Vidējā gaisa temperatūra jūlijā +17 °C, janvārī -5 °C, bezsala periods 150 dienas (Gaisa t° janvārī, 2011; Gaisa t° jūlijā, 2011, Bezsala periods, 2011).



2.1. att. **Pētījuma teritorija.** Topogrāfiskais pamats – Latvijas Republikas satelītkarte mērogā 1:50000 karšu lapas Nr. 4314 Vangaži, Nr. 4312 Ropaži (LR VZD 1994 – 1997).

Šajā teritorijā plaši izplatīti eolie nogulumi (vQ3ltv), Latvijas leduslaikmeta glaciolimniskie nogulumi (lgQ3ltv), galvenokārt smalkgraudaina un dažādgraudaina smilts, arī aleirītiska smilts un ziemeļu daļā izplatīti biogēnie nogulumi (bQ4) (LVGD Kvartārģeoloģija). Pleistocēnā šajā teritorijā izveidojās eolās kāpas, kuras sastāv no labi

šķīrotām smiltīm, tās pārklāj morēnu, kura darbojas kā gruntsūdens sprostslānis. Tā kā kāpas sastāv no smiltīm, tām ir raksturīgas labas infitrācijas un filtrācijas īpašības un var teikt, ka virszemes notece ir ļoti maza, liela daļa nokrišņu ūdens, kas nonāk līdz zemei turpat arī infitrējas. Kvartāra nogulumu sega šajā apvidū ir mainīga biezuma, 20 - 25 metru bieza (Brangulis u.c., 2000).

Pētījuma teritorijā gruntsūdens vidēji atrodas aptuveni 0,8 – 2,7 metrus no zemes virsmas, tikai vietās, kur ir reljefa pacēlumi, gruntsūdens līmenis ir relatīvi dziļāks un attiecīgi seklāks vietās, kuras ir pārpurvotas.

2.2. Lauka darbi

Lauka darbi tika veikti 2011. gada vasarā ar daļēju ESF projekta, un šajos lauka darbos kopā ar Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes mācībspēkiem – A. Dēliņu, A. Kalvānu, K. Popovu un studentiem I. Retiķi, B. Ragu tika apsekota pētījumu teritorija, un izveidoti astoņi urbumi. No sešiem urbumiem tika iegūti gruntsūdens paraugi ķīmiskajām analīzēm. Urbumu atrašanās vietas tika noteiktas ar GPS mērierīci *Thales ProMark 3*, precizitāte atklātā laukā ar datu pēcapstrādi 0.5 cm, bet tā kā pētījumu teritorijā ir liels mežainums precizitāte noteiktajām urbumu koordinātām ir mazāka.

Urbumu ierīkošanas vietas tika izvēlētas pēc šādiem kritērijiem:

- 1) Gruntsūdens līmenim ir jāatrodas pēc iespējas dziļāk eolajos nogulumos, vismaz viena metra dziļumā, lai mazinātu iespējamību, ka gruntsūdens paraugi tiek iegūti no vietas, kur notiek gruntsūdens atslodze;
- 2) jābūt skaidri redzamam, ka urbumā ir lokāls gruntsūdens avots, t.i. ūdens, kas no nokrišņiem ir infitrējies gruntsūdeņos apmēram tajā pašā vietā, kur tiek veikti pētījumi, tajos pašos nogulumos, un ir pēc iespējas mazāku attālumu ceļojis zem zemes. Šāda vieta ir raksturīga pauguriem, kuri atrodas nedaudz augstāk par apkārtējo zemes līmeni;
- 3) urbumā jābūt labai gruntsūdens pietecei, lai iegūtu pēc iespējas reprezentatīvāku ūdens paraugu;
- 4) nogulumiem ir jābūt maksimāli vienkāršai struktūrai.

2.2.1. Urbšanas metodes

Atkarībā no urbšanas mērķiem un pētāmās teritorijas ģeoloģiskajiem apstākļiem tika sagatavots atbilstošs ekipējums lauka darbu veikšanai. Lai veiktu urbšanu zem gruntsūdens līmeņa eolajos nogulumos un ievāktu gruntsūdens paraugus, tika sagatavots urbšanas komplekts, kura sastāvā bija cilpurbis ($\varnothing=90$ mm), cilpurbis ($\varnothing=70$ mm), dubļu kauss, vairāki urbšanas stieņi, mērlente, apvalkcaurules un divi apvalkcauruļu saspiedēji, tērauda urbuma pamatne, domkrats, kā arī monitoringa un filtra caurules. Papildus tika paņemta piecu litru pudele ar ūdeni efektīvākai dubļu kausa lietošanai un lauka grāmata pierakstu veikšanai. Ekipējuma svars ir diezgan liels, un urbšana dziļāk ar katru metru paliek grūtāka, tāpēc urbšanas darbi veicami diviem cilvēkiem.

Urbšana tika iesākta ar cilpurbi ($\varnothing=90$ mm), un tika urbts līdz dziļumam, kur grunts bija piesātināta ar ūdeni. Urbšana ar ūdeni piesātinātā gruntī veicama ievietojot urbumā apvalkcaurules, kuras nodrošina to, ka urbums neaizplūst un tādējādi ir iespējams urbt plūstošā gruntī un padziļināt urbumu, jo noteiktā dziļumā smilts nogulumi ir piesātināti ar gruntsūdeni un tos izcelt no urbuma ar cilpurbi nav iespējams (Bamberg, 1993).

Ir svarīgi atcerēties, ka apvalkcaurulēm vītne ir pret pulksteņrādītāja virzienu, jo bieži vien tas ir iemesls apvalkcauruļu nogrimšanai urbumā, jo tās atskrūvēs, kad tiek skrūvētas uz pretējo pusi. Pirms apvalkcauruļu savienošanas ir rūpīgi jāiztīra to savienojumu vietas, kurās var būt nokļuvusi augsne un smiltis. Vēlams arī apvalkcaurules ieeļļot, pētījuma laikā apvalkcauruļu savienojumu vietu ieeļļošanai tika izmantota vazelīneļļa, lai cauruļu saskrūvēšanas un atskrūvēšanas process būtu vieglāks un tās neķīlētos.

Pēc apvalkcauruļu ievietošanas urbumam tika uzstādīta tērauda pamatne (skat. 2.2. attēlu), kas nodrošina atbalsta punktu domkratam un nepieļauj smilšu, augsnes iebiršanu urbumā pēc apvalkcauruļu izcelšanas. Pēc apvalkcauruļu izņemšanas cilpurbis tika samainīts pret mazāku, jo apvalkcauruļu diametrs ir mazāks par cilpurbjas galvas diametru, ar kuru tika iesākts urbums. Urbšana norisinājās līdz brīdim, kad dziļāk ar cilpurbi ($\varnothing=70$ mm) vairs nebija iespējams urbt, jo ceļot to ārā, no tā izplūda visi ieži, tāpēc tas tika nomainīts pret dubļu kausu.

Dubļu kauss darbojas pēc principa, kad to laižot lejup urbumā atveras vārsts un tajā ieplūst ieži un gruntsūdens, kuri atrodas apvalkcaurulē un zem tās, aizpildot dubļu kausa cauruli un ceļot dubļu kausu augšup, vārsts aizveras, tādējādi iežus un gruntsūdeni var izcelt no urbuma (Bamberg, 1993). Dubļu kausa izmantošana nodrošina to, ka ieži, kas atrodas zem

apvalkcaurules, ieplūst dubļu kausā un tādējādi apvalkcaurules iegrimst dziļāk un urbumu var padziļināt zem gruntsūdens līmeņa.



2.2. attēls. **Urbuma ierīkošana** (Autora fotogrāfija, 29.06.2011)

Ja urbumā lēni pieplūst gruntsūdens, tad dubļu kausa izmantošana var būt apgrūtināša, tāpēc ieteicams ūdeni liet apvalkcaurulēs, tādējādi urbuma apakšā esošie nogulumi ātrāk pāriet plūstošā stāvoklī un vieglāk nonāk dubļu kausā.

Kad tika sasniegts vajadzīgais urbuma dziļums, kas tika nomērīts apvalkcaurulēs ievietojot mērlenti, apvalkcaurulēs tika ievietotas monitoringa urbuma caurules, kurām apakšā pieskrūvēta filtra caurule. Filtra caurulei ir nelieli caurumi, kuri nodrošina to, ka tajā ieplūst gruntsūdens. Pēc filtra cauruļu ievietošanas apvalkcaurules tika izceltas no urbuma.

Kā tika novērots pētījuma laikā, ceļot augšup apvalkcaurules, bieži vien tām līdzī cēlās tajās ievietotās monitoringa caurules. Tam par iemeslu varētu būt nepietiekami ar dubļu kausu izsmelts urbums. Šī problēma tika atrisināta ar paņēmieni, kad viens cilvēks ar domkrata palīdzību cēla apvalkcaurules, bet otrs cilvēks ar savu svaru spieda uz filtra caurulēm, lai tās neceltos augšā kopā ar apvalkcaurulēm. Ļoti labi strādāja metode, kad augšējai monitoringa caurulei uzlika vāciņu un tā, ar citas monitoringa caurules palīdzību, tika sist atpakaļ urbumā.

Kad tika izceltas apvalkcaurules, tika sākta gruntsūdens paraugu ievākšana.

2.2.2 Gruntsūdens paraugu ievākšanas metodes

Lai lauka apstākļos iegūtu reprezentatīvus ūdens paraugus ķīmisko elementu analīzēm, ir nepieciešams atbilstošs ekipējums, iepriekšēja rīcības plāna izstrāde, zināšanas par gruntsūdens paraugu ievākšanas metodēm un pētāmo teritoriju. Sākumā ir jāveic kamerālie darbi, jā sagatavo un jāizpēta pieejamās pētījumu teritorijas kartes.

Gruntsūdens paraugu ievākšanai tika sagatavota mērlente, ūdens caurteces trauks, pH-metrs, šļirce un membrānas filtri, iegremdējamais centrālās sūkņa *Whale SuperSub 88* ar debītu līdz 0.1 l/s, ar slāpekļskābi izmazgātas plastmasas pudeles un etiķetes, 12V akumulatori sūknim, destilēts ūdens un aukstuma ūdens paraugu transportēšanai uz laboratoriju. Vispirms tika izplānots, cik daudz paraugi būs nepieciešami un kāds trauku tilpums ir nepieciešams, lai laboratorijā varētu veikt vajadzīgās ķīmiskās analīzes. Pētījumā izmantotās pudeles iepriekš vismaz diennakti tika turētas 10% slāpekļskābē un pēc tam tika trīs reizes skalotas ar destilētu ūdeni. Laboratorijas apstākļos trauki tiek izmazgāti un turēti skābē, lai izvairītos no iepriekšējo paraugu uz virsmas adsorbētu elementu nokļūšanu jaunajā paraugā (Brassington, 2007).

Pirms atsūkņēšanas sākšanas urbumā tika nomērīts statistiskais ūdens līmenis un urbuma dziļums ar mērlenti, kuras galā ir pievienots speciāls metāla konuss, kuram saskaroties ar ūdens virsmu, ir dzirdams plunkšķis (Sundaram, 2009).

Pēc statistiskā ūdens līmeņa nomērīšanas, urbumā tika ievietots sūknis un pēc atsūkņēšanas uzsākšanas caurplūdes traukā tika fiksēti ūdens fizikālie ķīmiskie parametri, tādi kā temperatūra, ūdens reakcija (pH), elektrovadītspēja, kopējā mineralizācija (TDS), izšķīdušā skābekļa (O_2) izmaiņas (skat. 2.3. attēlu).

Atsūkņēšana tika veikta līdz brīdim, kad visi mērāmie ūdens fizikālie parametri bija nostabilizējušies. Sekošana šai gruntsūdens paraugu ievākšanas metodikai ļauj izvairīties no kļūdām, kuras var rasties uz lauka ievācot paraugus, kā arī palielināt ķīmisko analīžu reprezentativitāti. Ir svarīgi, lai urbumā būtu laba ūdens pietece, tādējādi var iegūt reprezentatīvāku ūdens paraugu (Brassington, 2007).



2.3. attēls. Ūdens fizikāli-ķīmisko parametru noteikšana (Autora fotogrāfija, 29.06.2011)

Pirms parauga ievācšanas traukā gan pudele, gan tās vāciņš tika izskalots ar paraugojamo gruntsūdeni. Parauga pudeles tika marķētas ar etiķetēm, uz kurām tika uzrakstīts gruntsūdens horizonts, ievākšanas datums un unikāls parauga numurs.

Lai laboratorijā veiktu katjonu elementu analīzes, ievācot paraugu, to ir nepieciešams sākotnēji filtrēt, lai izvairītos no lielāku savienojumu un piemaisījumu nokļūšanas paraugā. Ir pieņemts ūdens paraugus ķīmiskā sastāva noteikšanai filtrēt caur membrānas filtru ar acs izmēru 0.45 μm. Filtrēšana tika veikta ar šļirci, kura pirms filtrēšanas trīs reizes tika izskalota ar paraugu. Šļirces galā tika pievienots membrānas filtrs ar acs izmēru 1.0 μm un tam klāt tika pievienots membrānas filtrs ar acs izmēru 0.45 μm. Membrānas filtrs ar acs izmēru 1.0 μm tiek izmantots, lai nepieļautu ātru 0.45 μm filtra aizsērēšanu ar lielākām daļiņām un piemaisījumiem. Filtrēšana tiek veikta uzreiz pēc parauga paņemšanas, un ir jāparūpējas par to, lai filtrēšanas laikā gruntsūdens paraugos nenonāktu putekļi, iežu daļiņas vai cits piesārņojums, kas varētu izmainīt tā ķīmisko sastāvu. Filtrēšana norisinās lēni, un pārmērīgi spiesta šļirce var sabojāt membrānas filtrus un izmainīt parauga īpašības (Sundaram, 2009).

Pēc parauga filtrēšanas tas tiek konservēts ar slāpekļskābi, lai izvairītos no ūdenī esošo jonu adsorbcijas uz parauga trauka virsmas un komplekso savienojumu izgulsnēšanās, jo kontaktā ar skābekli gruntsūdens paraugā notiek ķīmiskās reakcijas, piemēram, metāli veido oksīdus un hidroksīdus. Ir pieņemts uz 50 ml ūdens izmantot 1 ml 65% koncentrētu slāpekļskābi (HNO₃) (Brassington, 2007). Slāpekļskābe var tikt pievienota arī laboratorijā, kā tas tika darīts šajā pētījumā.

Papildus ūdens paraugam uz lauka tika sagatavots arī viens destilētā ūdens paraugs, kas ir ļoti svarīgi, jo pēc šī parauga ir iespējams noteikt iespējamo parauga piesārņošanas apjomu lauka apstākļos, piemēram, filtrēšanas laikā, kā arī pudelītes un konservanta tīrību (šajā gadījumā analītiski tīru slāpekļskābi). Tādējādi ar šo destilētā ūdens paraugu ir iespējams koriģēt sistemātiskās kļūdas, kuras var rasties lauka apstākļos (Brassington, 2007).

Transportējot ūdens paraugus uz laboratoriju tie tika ievietoti aukstumkastē, kopā ar ledus maisiem, lai nodrošinātu temperatūru zemāku par 4 °C, nodrošinot to, lai ūdens paraugi nebūtu tiešā saskarē ar ledus maisiem. Ja laboratorijā uzreiz netiek veiktas ķīmiskās analīzes, paraugi jāuzglabā ledusskapī un laboratorijā paraugi ir jānogādā laicīgi (Brassington, 2007, Sundaram, 2009).

Neatbilstības jebkurā no paraugu ievākšanas soļiem var negatīvi ietekmēt ķīmisko analīžu iznākumu, tāpēc ir svarīgi pedantiski sekot izstrādātajai paraugu ievākšanas metodikai.

2.3. Gruntsūdens fizikāli ķīmiskie parametri

Fizikāli-ķīmiskie parametri ļoti jūtīgi reaģē uz apkārtējo vidi un tās izmaiņām, tāpēc tie tika noteikti lauka apstākļos *in situ* (Dēliņa, 2006). Gruntsūdens fizikāli ķīmiskie parametri lauka apstākļos tika noteikti caurteces traukā, tekošā ūdens plūsmā, izmantojot mikroprocesoru WTW 3420. Fizikāli ķīmisko parametru nolasījumi no displeja tika veikti ar 1 – 5 minūšu intervālu. Vidēji pēc 20 minūšu ilgas urbuma atsūkņēšanas fizikāli-ķīmiskie parametri nostabilizējās un varēja veikt reprezentatīvu nolasījumu. pH noteikšanai tika izmantots elektrods *SenTix 940* un *Sentix 940-3* (mērījumu diapazons 0 – 14 pH vienības, precizitāte ± 0.004 pH) (*SenTix 940*, *Sentix 940-3*, 2009). Oksidēšanās-reducēšanās potenciāla (Eh) noteikšanai tika izmantots elektrods *Sentix Orp 900* (mērījumu diapazons -1250 - +1250 mV, precizitāte ± 0.2 mV). Izšķīdušā skābekļa daudzuma (O_2) noteikšanai elektrods *FDO 925* (mērījumu diapazons 0 – 20 mg/l, precizitāte $\pm 0.1\%$ no nolasītās vērtības) (*FDO 925*, 2010). Elektrovadītspējas (EVS) un kopējās mineralizācijas (TDS) noteikšanai tika izmantots elektrods *TetraCon 925* (mērījumu diapazons $1\mu S/cm$ – $2 S/cm$, precizitāte $\pm 0.5\%$ no noteiktās vērtības) (*TetraCon 925*, 2010). Pēc pH elektroda tika veikti temperatūras mērījumi (precizitāte $\pm 0.1^\circ C$).

Gruntsūdens pH mērījums ir būtisks, jo tas sniedz gruntsūdens skābuma un bāziskuma rādītājus, pH skaitlis raksturo H^+ jonu koncentrāciju šķīdumā un tas ir atkarīgs no gruntsūdens temperatūras. pH skaitlis raksturo neorganisko un organisko savienojumu stāvokli ūdenī (Dēliņa, 2006). Lielāks pH skaitlis par 7 vienībām norāda uz sārmainu vidi, savukārt mazāks par 7 vienībām uz skābu vidi. Gruntī un augsnē dažādo vielu šķīdību ietekmē tas, kāds ir gruntsūdens pH. pH vērtības seklos smilts nogulumos Latvijā variē no 6,0-8,8 un pazeminās līdz ar horizonta dziļumu (Dēliņa, 2006). pH-metrus ik pa laikam ir nepieciešams kalibrēt ar speciāliem buferšķīdumiem, parasti to veic pirms lauka darbiem (Sundaram, 2009).

Elektrovadītspēja ir netiešs un noderīgs mērījums, pēc kura var spriest par gruntsūdens sāļumu, izšķīdušo sāļu daudzumu (Hayashi, 2004). To lielākoties ietekmē Na^+ un Cl^- jonu daudzums gruntsūdenī. Zema elektrovadītspēja norāda, ka ūdenī ir maz izšķīdušo sāļu un piemaisījumu. Latvijā, līdz desmit metriem seklos smilts nogulumos pazemes ūdeņiem raksturīgas vērtības no $600-1000 \mu S/cm^{-1}$ (Dēliņa, 2006).

Bieži vien seklos gruntsūdeņos vidējais izšķīdušā skābekļa daudzums ir aptuveni $8mg/l^{-1}$, kas ir tuvs piesātinājumam attiecībā pret atmosfēru, bet tas zināmā mērā ir atkarīgs arī no ģeoloģiskajiem faktoriem. Palielinoties dziļumam izšķīdušā skābekļa daudzums

samazinās, jo tas tiek patērēts neorganiskās reakcijās un mikrobioloģiskos procesos (Edmunds, Shand, 2008). Kā arī izšķīdušā skābekļa daudzums ir atkarīgs no aerācijas zonas uzbūves. Izšķīdušā skābekļa daudzums ir lielāks vietās, kur virs nogulumiem nav augsnes slāņa, veģetācija var pazemināt izšķīdušā skābekļa daudzumu 10 reizes (Dēliņa, 2006). Samazinoties gruntsūdenī izšķīdušajam skābeklim, gruntsūdenī var norisināties nitrātu pāreja nitrītos un sulfātu pāreja sulfīdos (Sundaram, 2009). Kā arī skābeklis piedalās dzelzs (II) savienojumu oksidēšanā.

Svarīgs gruntsūdens fizikālais mērījums ir tā temperatūra, jo tā tieši ietekmē daudzus fizikālos un ķīmiskos mērījumus. Parasti gruntsūdens temperatūra ir aptuveni 1 – 2 °C grādus augstāka par vidējo gada temperatūru, to ietekmē antropogēnā darbība, dziļums no virszemes līdz gruntsūdenim, iežu siltumvadītspēja (Sundaram, 2009). Tomēr sekli iegulošiem gruntsūdeņiem ir raksturīgas arī sezonālas svārstības.

2.4. Nokrišņu ūdens ķīmiskais sastāvs

Veicot nokrišņu ķīmiskā sastāva izmaiņu aprēķinus, vislielākā kļūda rodas no tā, ka LVĢMC Zosēnu meteoroloģiskā novērojumu stacija (MNS) atrodas aptuveni 70 kilometrus no pētījuma vietas un nokrišņu patiesais daudzums pētījuma teritorijā noteikti ir mazāks, ņemot vērā, ka Zosēni atrodas Vidzemes augstienē, kur nokrišņu ir vairāk un tas nosaka mazāku izšķīdušo vielu saturu nokrišņos. Toties nokrišņu daudzuma nesakritība neietekmē vides metodes aprēķināto procentuālo infiltrācijas daudzumu.

Zosēni atrodas tālāk no jūras un lieliem rūpniecības centriem, kas ir nozīmīgi minerālvielu avoti nokrišņu ūdenī, tādējādi Tumšupes apkārtnē nokrišņos varētu būt lielāka SO_4^{2-} jonu koncentrācija, ņemot vērā to, ka Tumšupe atrodas tuvāk Rīgai un nedaudz lielāka arī Cl^- jonu koncentrācija, jo jūra atrodas tuvāk. Kā alternatīva Zosēnu meteoroloģiskajai stacijai bija izvēlēta Skrīveru meteoroloģiskā stacija, taču šajā stacijā nokrišņu ķīmiskā sastāva dati nebija pieejami. Visjaunākie pieejamie nokrišņu dati bija 2007. gada, un tie arī tika izmantoti šajā pētījumā.

Nokrišņu ķīmiskie dati bija pieejami pa mēnešiem, tāpēc tika aprēķinātas gada vidējās nokrišņu jonu koncentrācijas un kopējais nokrišņu daudzums. Nokrišņu vērtības pa mēnešiem skat. 1. pielikumā.

2.1. tabula

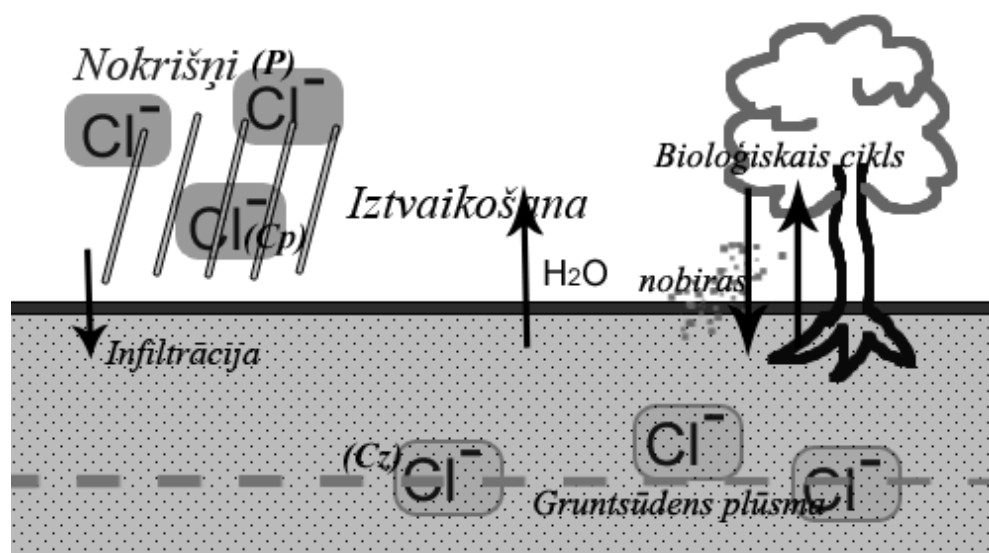
Nokrišņu jonu vidējās gada koncentrācijas Zosēnu MNS 2007. gadā (izstrādājis autors, izmantojot Dubakova, 2008)

Joni	Ca ²⁺	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻
Mērvienības	μg/l	mg/l	μg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Vidēji	0,30	0,28	0,11	0,08	0,30	0,26

Pēc 2.1. tabulas var secināt, ka nokrišņu ūdenī ir ļoti mazas Ca²⁺, K⁺ jonu koncentrācijas un ļoti maz šo jonu nokrišņu veidā nonāk līdz zemei, taču salīdzinoši lielāka ir Cl⁻, Na⁺, SO₄²⁻ un Mg²⁺ jonu koncentrācija. Pēc hlorīda jonu gada vidējās nokrišņu koncentrācijas vērtības aprēķināšanas ar vides hlorīda metodi, ir iespējams noskaidrot, cik daudz nokrišņu ūdens ir iztvaikojis.

2.5. Vides hlorīda metode

Lai aprēķinātu nokrišņu iztvaikošanas un gruntsūdenī nonākušo ūdens daudzumu šajā pētījumā tika pielietota vides hlorīda metode (Seiler&Gat, 2007). Salīdzinot ar citām gruntsūdens atjaunošanās daudzuma noteikšanas metodēm, šī metode ir lēta un vienkārši īstenojama.



2.4. attēls. Vides hlorīda metodes modelis (Izstrādājis autors, 2012)

Zinot vidējo hlorīda jonu koncentrāciju nokrišņos un hlorīda jonu koncentrāciju gruntsūdenī ir iespējams aprēķināt cik liela daļa no visa nokrišņu daudzuma iztvaikojusi un tādējādi aprēķināt cik daudz nokrišņu ūdens nonācis gruntsūdenī, pieņemot to, ka, iztvaikojot nokrišņu ūdenim, hlorīda jonu koncentrācija gruntsūdenī palielinās un pētījuma teritorijā nav citu hlorīda jonu avotu gruntsūdenī (skat. 2.4. attēlu). Šīs metodes pielietošana ir svarīga šajā pētījumā, lai būtu iespējams precīzi noteikt citu jonu koncentrāciju izmaiņas infiltrējoties nokrišņu ūdenim.

Nokrišņu iztvaikošanas daudzuma aprēķināšanai tika izmantots vienādojums (skat. 2.1. vienādojumu) (de Silva, 2004).

$$R_e = \frac{C_p}{C_z} \cdot P \quad (2.1)$$

R_e = Gruntsūdens barošanās daudzums mm/gadā; C_z = Vidējā hlora koncentrācija gruntsūdenī mg/l; P = nokrišņi mm/gadā; C_p = Vidējā hlora koncentrācija nokrišņos mg/l.

2.6. Ūdens ķīmiskā sastāva analīzes un aprēķini

Katjonu ķīmisko analīzi gruntsūdens paraugiem veica dabaszinātņu laboranti Konstantīns Viligurs Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes vides ķīmijas laboratorijā, un Oļegs Grigorjevs veica anjonu ķīmisko analīzi Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultātē, ESF finansētā projekta ietvaros, projekta līguma nr.2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060.

Anjoni tika noteikti ar atomabsorbcijas spektrometrijas metodi, izmantojot PerkinElmer instrumentu AAnalyst 200. Hlorīda jonu koncentrācija paraugos tika noteikta ar argentometrisku metodi, sulfātu joni tika noteikti ar turbidimetrijas metodi, izmantojot Jenway 7300 Spektrophotometer. Tā kā hlorīdu jonu saturs gruntsūdenī pētījumu teritorijā ir zems, hlorīdu jonu noteikšanas gaitā iespējama kļūda, tāpēc koncentrācijas laboratorijā tika koriģētas ar empīrisku sakarību (Grigorjevs un Kalvāns, 2012).

Sastādot anjonu un katjonu bilanci (skat. 2.2. vienādojumu), ir iespējams pārliicināties par laboratorijā veikto ķīmisko analīžu precizitāti. Anjonu un katjonu bilances aprēķinus izsaka procentos, un tie balstās uz to, ka ūdens ir neitrāli lādēts un tādējādi katjonu summai vajadzētu sakrist ar anjonu summu. Ja anjonu un katjonu bilances aprēķini ir virs 5%, tad tas norāda uz laboratorijas kļūdu un iegūtos rezultātus nevajadzētu izmantot (Sundaram, 2009).

$$\text{Jonu balance} = (\sum \text{Katjoni} - \sum \text{Anjoni}) / (\sum \text{Katjoni} + \sum \text{Anjoni}) / 100 \quad (2.2)$$

Lai iegūtu uzskatāmus un interpretējamus rezultātus, tika veikti vairāki matemātiski aprēķini un izveidoti grafiki. Lai aprēķinātu gruntsūdens un nokrišņu ķīmiskās koncentrācijas izmaiņas tika

1) aprēķināts cik daudz joni gada laikā nonāk uz 1 m² zemes laukuma:

- a. Pēc Zosēnu meteoroloģiskās stacijas nokrišņu datiem tika aprēķināts, cik daudz nokrišņu nolīst uz 1 m² zemes laukuma mēneša laikā.
- b. Tālāk tika aprēķināta attiecīgā jonu masa, cik daudz miligrami no nokrišņiem nonāk uz 1 m² laukuma katrā mēnesī.
- c. Iegūtās mēneša vērtības tika sasummētas kopā, lai iegūtu gada laikā uz 1 m² laukuma nonākušo attiecīgā jonu masu.

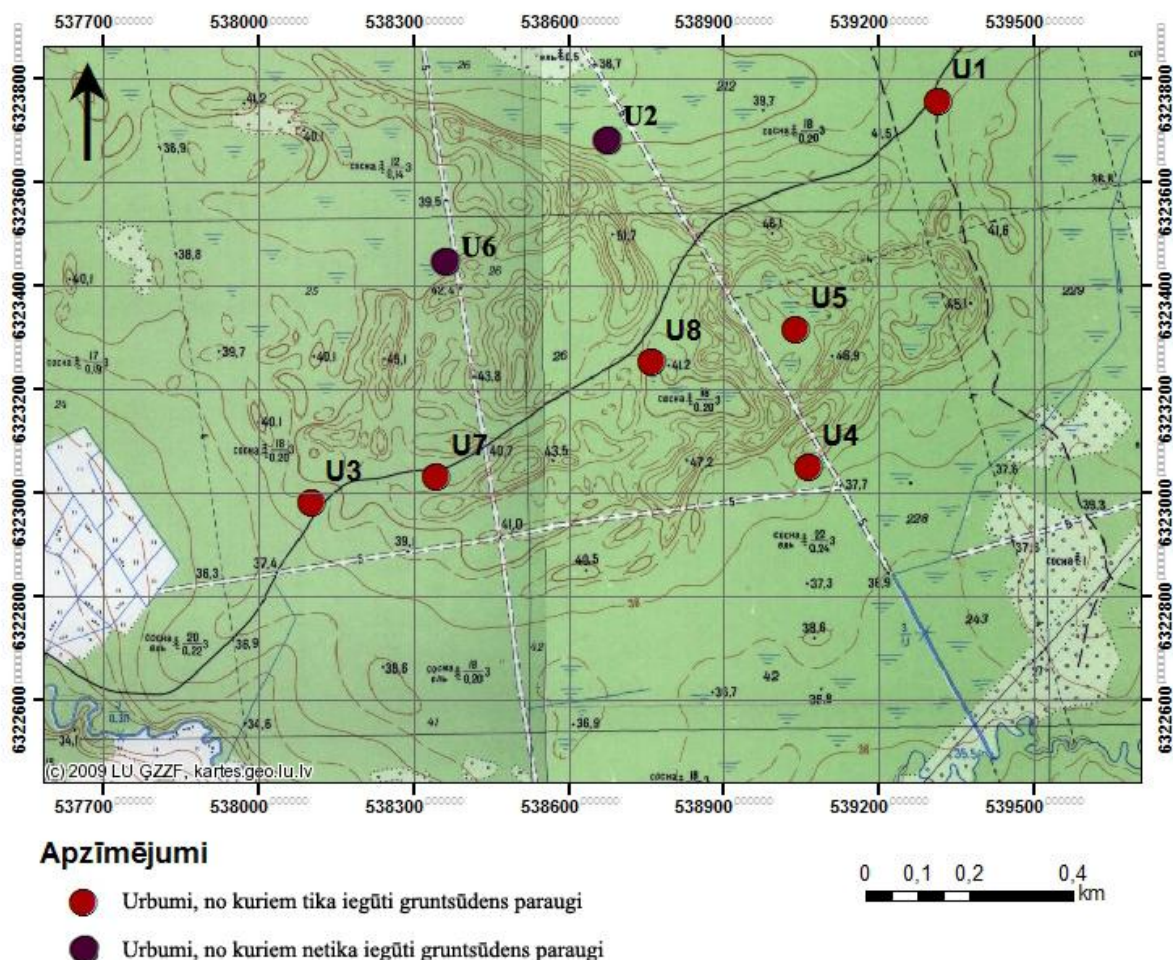
2) Īstā nokrišņu koncentrācija tika aprēķināta dalot iegūto uz 1 m² nonākušo jonu masu ar vides hlorīda metodē aprēķināto nokrišņu ūdens infiltrācijas daudzumu.

3) Atņemot gruntsūdens jonu koncentrāciju, no aprēķinātās īstās nokrišņu jonu koncentrācijas tiek iegūtas attiecīgo jonu nokrišņu ūdens koncentrācijas izmaiņas.

Šie aprēķini dod iespēju izrēķināt katra izšķīdušā jona koncentrācijas izmaiņas, kuras notikušas infiltrējoties nokrišņiem.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Šajā nodaļā apskatīti un analizēti izveidotajos urbumos iegūto gruntsūdens ķīmisko analīžu rezultāti (skat. 10. pielikumu), kā arī veikta to interpretācija. Urbumu atrašanās vietas parādītas 3.1. attēlā.



3.1. attēls. Pētījumu teritorijā veiktie urbumi. Topogrāfiskais pamats – Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000 karšu lapas C-52-23-3-4-1, C-52-23-3-4-2.

Urbums U1 tika izveidots kāpu masīva dienvidaustrumu nogāzes apakšdaļā, Latvijas ģeodēziskās koordinātu sistēmas (turpmāk tekstā LKS-92) koordinātas 539314.38, 6323755.47, absolūtais urbuma augstums 43,64 m vjl., gruntsūdens līmenis 40,54 m vjl., urbuma dziļums 5,5 m (skat. 2. pielikumu).

Urbums U2 tika izveidots kāpu masīva dienvidu nogāzes lejasdaļā, LKS-92 koordinātas 538645.23, 6323720.18, absolūtais urbuma augstums 38,39 m vjl., gruntsūdens līmenis 37,5 m vjl., urbuma dziļums 4 m. Šajā urbumā bija nepietiekama ūdens pietece, tāpēc gruntsūdens paraugi netika iegūti (skat. 3. pielikumu).

Urbums U3 tika izveidots kāpu masīva rietumu nogāzes apakšdaļā, LKS-92 koordinātas 538102.84, 6322979.44, absolūtais urbuma augstums 38,93 m vjl., gruntsūdens līmenis 37,68 m vjl., urbuma dziļums 4,3 m (skat. 4. pielikumu).

Urbums U4 tika izveidots kāpu masīva ziemeļu daļā, LKS-92 koordinātas 539064.15, 6323048.55, absolūtais urbuma augstums 39,1 m vjl., gruntsūdens līmenis 36,8 m vjl., urbuma dziļums 3,3 m vjl. Paraugi šajā urbumā netika paņemti (skat. 5. pielikumu).

Urbums U5 tika izveidots kāpu masīva virsotnē LKS-92 koordinātās 539040.69, 6323316.15, absolūtais urbuma augstums 41,48 m vjl., gruntsūdens līmenis 38,32 m vjl., urbuma dziļums 3,16 m (skat. 6. pielikumu).

Urbums U6 tika izveidots kāpu masīva dienvidrietumu nogāzē, LKS-92 koordinātas 538372.64, 6323502.82, absolūtais urbuma augstums 40,04 m vjl., gruntsūdens līmenis 38,72 m vjl. Gruntsūdens paraugi netika iegūti ļoti sliktās pieteces dēļ (skat. 7. pielikumu).

Urbums U7 tika izveidots kāpu masīva rietumu nogāzes daļā, LKS-92 koordinātas 538345.38, 6323029.89, absolūtais urbuma augstums 40,88 m vjl., gruntsūdens līmenis 38,31 m vjl., urbuma dziļums 3,8 m (skat. 8. pielikumu).

Urbums U8 tika izveidots kāpu masīva starppauguru ieplakā, LKS-92 koordinātas 538760.86, 6323252.01, absolūtais urbuma augstums 39,22 m vjl., gruntsūdens līmenis 38,22 m vjl., urbuma dziļums 4 m (skat. 9. pielikumu).

3.1. Vides hlorīda metodes aprēķini

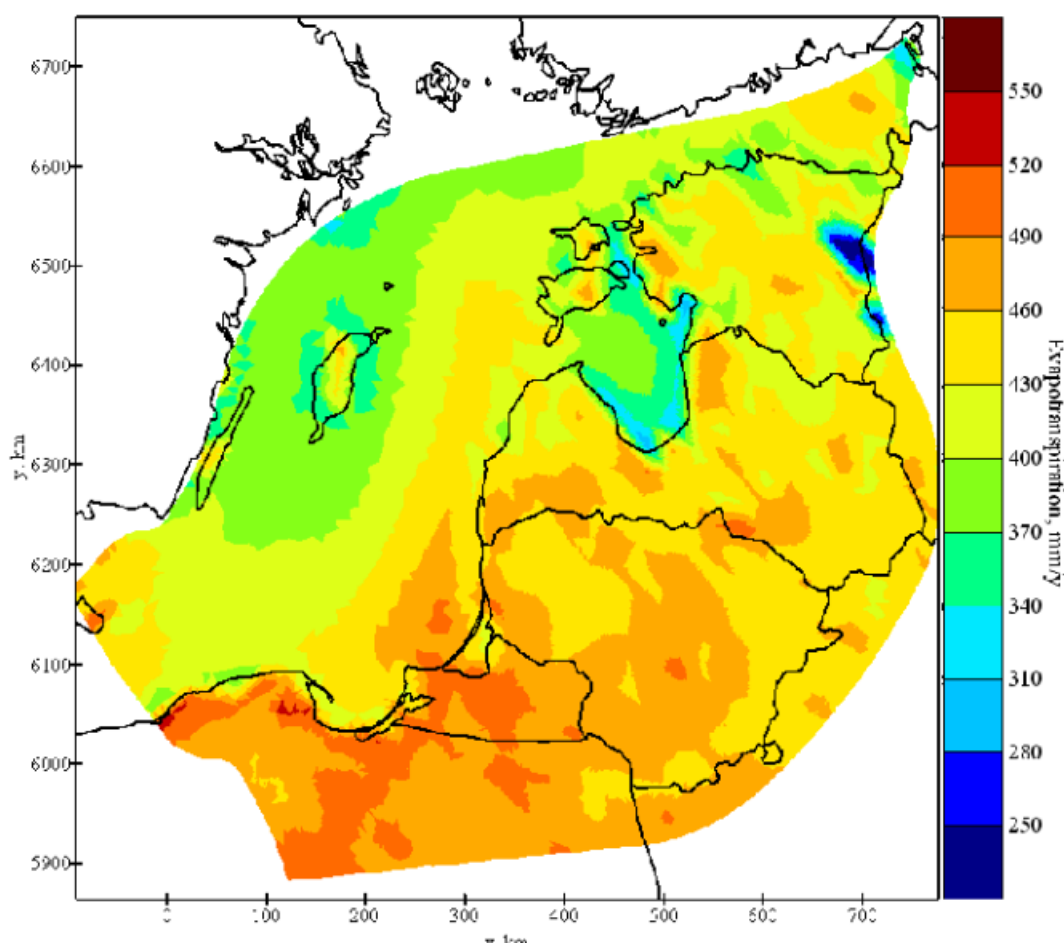
Pēc 2.5. nodaļā aprakstītās vides hlorīda metodes tika veikti aprēķini, lai noskaidrotu iztvaikojošā gruntsūdens daudzumu. Hlorīda jonu koncentrācija nokrišņos tika izdalīta ar hlorīda jonu koncentrāciju gruntsūdenī un pareizināta ar kopējo nokrišņu daudzumu. Salīdzinot nokrišņu ūdenī esošo hlorīda jonu daudzumu ar gruntsūdenī esošo, var secināt, ka gruntsūdenī pētījumu teritorijā ir vairāk kā 2 reizes lielāka hlorīda jonu koncentrācija.

Zinot cik daudz nokrišņu gruntsūdenī infiltrējas no nokrišņiem, ir iespējams aprēķināt iztvaikošanas un virszemes noteces ūdens daudzumu. Iegūtie rezultāti ir redzami 3.1. tabulā.

Iztvaikošanas un infiltrācijas aprēķinu rezultāti (Izstrādājis autors, 2012)

Mērvienības	l/m^2	%
Nokrišņi	782,9	100
Infiltrācija	326,4	42
Iztvaikošana un virszemes notece	456,5	58

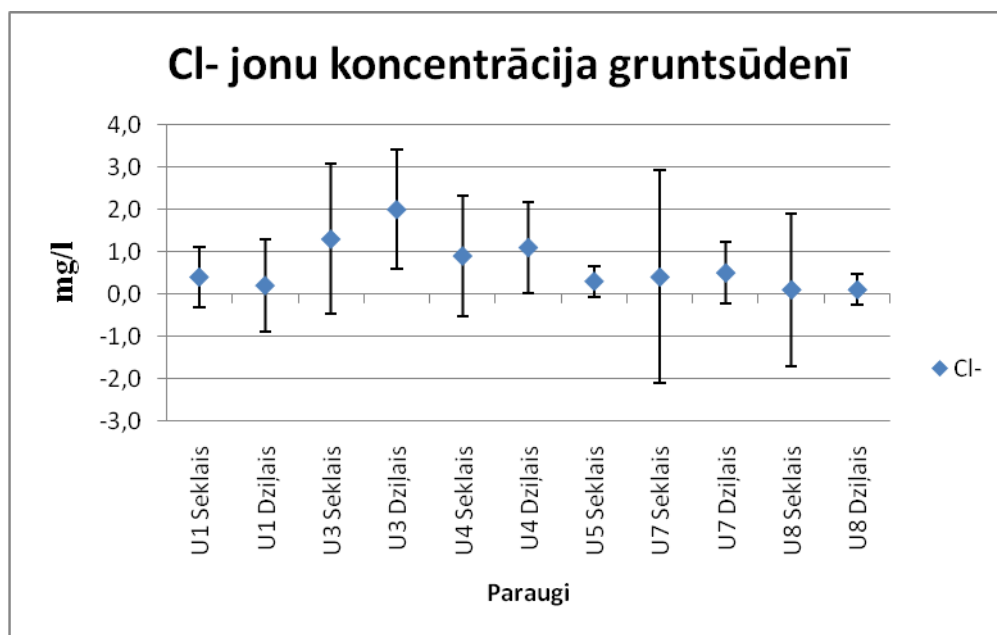
Pēc 3.1. tabulā iegūtajiem aprēķiniem var secināt, ka gruntsūdenī no visiem nokrišņiem gada laikā infiltrējas aptuveni 42% nokrišņu ūdens, savukārt iztvaiko un pa virszemi notek 58% nokrišņu ūdens.



3.2. attēls. *Baltijas artēziskā baseina hidroloģiskā modeļa versija V1: attīstība otrajā projekta gadā* (Seņņikovs, 2011)

3.2. attēlā, pēc Baltijas artēziskā baseina hidroloģiskā modeļa, ir redzams cik daudz ūdens gada laikā iztvaiko no zemes virsmas (Seņņikovs, 2011). Pēc 3.2. attēla var aptuveni

noteikt, ka pētījumu teritorijā gada laikā iztvaiko ap 430 l/m^2 un šis daudzums ir tuvu 456 l/m^2 , kas aprēķināts ar vides hlorīda metodes palīdzību šajā pētījumā.

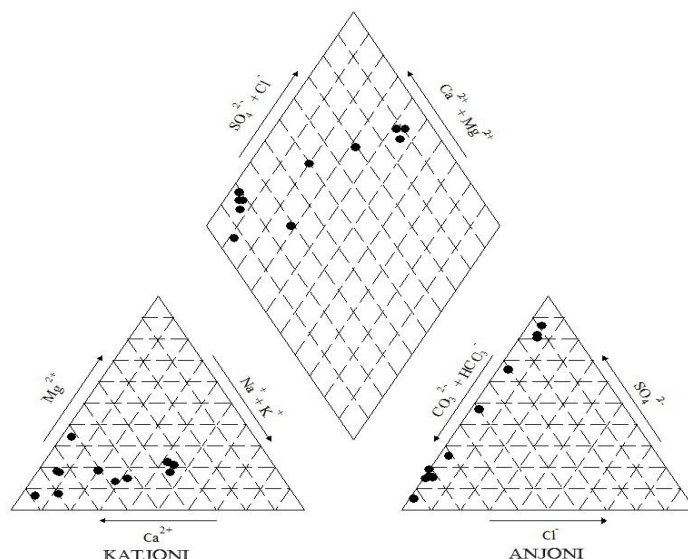


3.3. attēls. Cl⁻ jonu koncentrācija gruntsūdenī (Izstrādājis autors, 2012)

Hlorīda jonu saturs pētījumu teritorijas gruntsūdenī ir neliels, maksimālā koncentrācija $2,0 \text{ mg/l}$, minimālā $0,1 \text{ mg/l}$, vidējā $0,66 \text{ mg/l}$. Tā kā šo hlorīdu jonu koncentrācijas ir mazas un drošības intervāls ir salīdzinoši liels (skat. 3.3. attēlu), vides hlorīda metodes aprēķinos pastāv zināma kļūda, bet analizējot šo grafiku, tomēr var secināt, ka aprēķinātā vidējā hlorīda koncentrācija gruntsūdenī varētu būt ticama.

3.2. Gruntsūdens ķīmiskais sastāvs

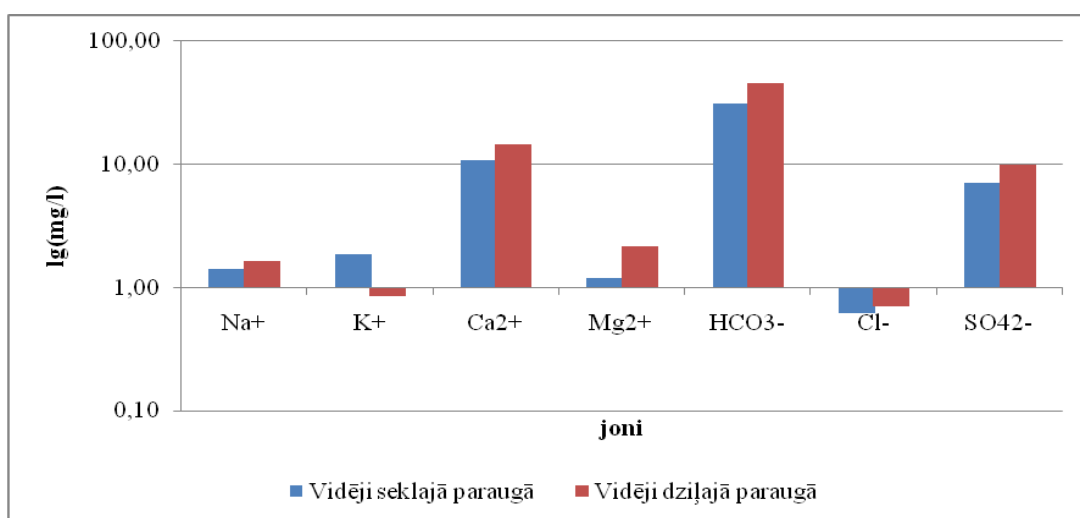
Datorprogrammā *Gw Chart* tika ievadītas laboratorijā analizētās gruntsūdens ķīmiskās koncentrācijas (skat. 10. pielikumā) un tika izveidota Paipera diagramma (skat. 3.4. attēlu), lai vizuāli uzskatāmi varētu spriest par gruntsūdens ķīmisko sastāvu. Pēc 3.4. attēla var labi izdalīt divus dažādus gruntsūdens tipus ar attiecīgi SO_4^{2-} vai HCO_3^- dominanci starp anjoniem.



3.4. attēls. Gruntsūdens ķīmiskā sastāva atainojums Paipera diagrammā (Izstrādājis autors, 2012)

Katjonu trijstūrī redzams, ka gruntsūdenī dominē kalcija tipa ūdeņi, savukārt anjonu trijstūrī redzams, ka dominē divi dažāda veida ķīmiskā sastāva gruntsūdeņi, viens no tiem hidroģēnkarbonātu ūdens un otrs sulfātu tipa ūdens. Var secināt, ka pētījumu teritorijā izplatīts hidroģēnkarbonātu kalcija ūdens un sulfātu kalcija ūdens.

Gruntsūdens visos urbumos, izņemot urbumā U5, tika iegūts no diviem dažādiem dziļumiem. Pirmais paraugs tika paņemts aptuveni gruntsūdens līmenī (seklais paraugs) un otrais paraugs pašā urbuma apakšā (dziļais paraugs). Tas dod iespēju salīdzināt gruntsūdens ķīmisko koncentrāciju izmaiņas līdz ar dziļuma pieaugšanu. Iegūto gruntsūdens paraugu jonu relatīvās ķīmiskās atšķirības starp seklajiem un dziļajiem paraugiem redzamas 3.5. attēlā.



3.5. attēls. Jonu relatīvās atšķirības starp seklāk un dziļāk esošo gruntsūdeņu koncentrācijām (Izstrādājis autors, 2012)

Lai vizuāli labāk interpretētu dziļāk un seklāk esošās gruntsūdens ķīmisko elementu koncentrācijas, tika izveidots grafiks ar logaritmisko skalu (skat. 3.5. attēlu), no šī grafika var secināt, ka gruntsūdenī dominē Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} joni. Tikpat labi var izšķirt, ka hlorīda joni gruntsūdenī ir salīdzinoši vismazāk un K^+ jonu daudzums līdz ar dziļumu samazinās.

Gruntsūdeņi pēc ķīmiskā sastāva tika iedalīti divās grupās, vadoties pēc tajos izšķīdušā HCO_3^- daudzuma. Pirmajā grupā (sulfātu tipa gruntsūdeņi) tika izdalīti tie urbumi, kuros gruntsūdenī bija mazāks izšķīdušā HCO_3^- daudzums, vidēji 2,96 mg/l, urbumi U1, U5, U8. Otrajā grupā (hidrogēnkarbonātu tipa gruntsūdeņi) tika izdalīti urbumi U7, U4, U3, vidēji 69,85 mg/l HCO_3^- .

3.2.1. Sulfātu tipa gruntsūdeņi

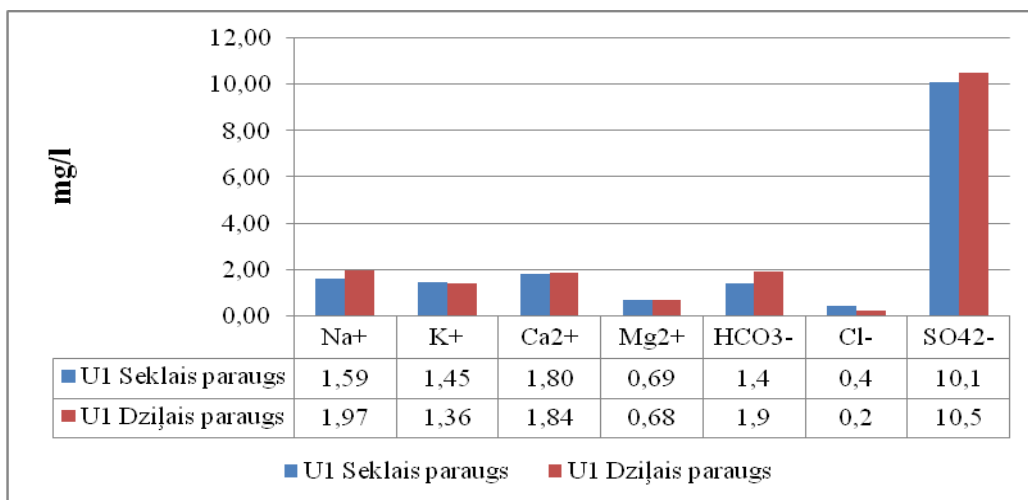
3.2. tabula

Fizikāli-ķīmiskie parametri urbumiem U1,U5,U8 (Izstrādājis autors, 2012)

	Eh, mV	pH	EVS, $\mu\text{S}/\text{cm}$	O_2 , mg/l	t, $^{\circ}\text{C}$	TDS, ppm	Gruntsūdens paraugu dziļuma starpība, m
U1 seklais	382,1	5,72	33,22	10,64	6,9	netika dokumentēts	2,30
U1 dziļais	311,5	5,79	172,7*	9,23	6,9	netika dokumentēts	
U5 seklais	321,8	5,36	22	10,18	7	22	2,90
U8 dziļais	324,1	5,73	23,5	6,57	9,5	23	
U8 seklais	302,2	5,85	36,1	1,74	8,4	36	

Vides reakcija (pH) šiem trim urbumiem ir samērā zema, šajos urbumos gruntsūdenī pastāv skāba vide (skat. 3.2. tabulu). Ar zvaigznīti tabulā apzīmēta Urbuma U1 dziļajā gruntsūdens paraugā noteiktā elektrovadītspēja, kas nav ticama. Elektrovadītspējas ticamība tika pārbaudīta ar vienādojumu parauga mineralizācija = 0,91 EVS (Dēliņa, 2006). Urumā U8 ir novērojams daudz mazāks izšķīdušā skābekļa daudzums. U1 un U8 urbumos novērojama izšķīdušā skābekļa samazināšanās līdz ar gruntsūdens dziļumu, taču U8 urbuma dziļajā gruntsūdens paraugā izšķīdušā skābekļa daudzums, salīdzinot ar seklo paraugu krītas daudz straujāk.

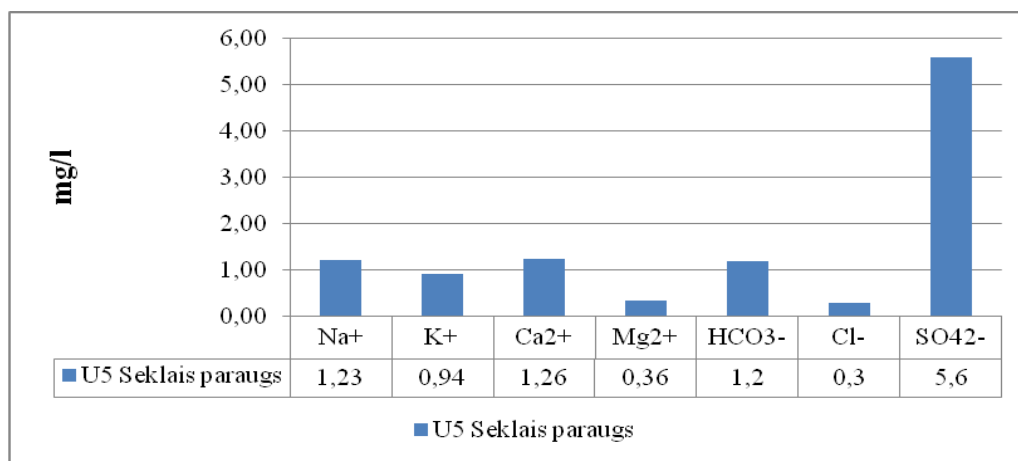
Urbums U1



3.6. attēls. Urbuma U1 gruntsūdens ķīmiskais sastāvs (Izstrādājis autors, 2012)

Šajā urbumā dziļāk ievāktajos gruntsūdens paraugos novērojams pavisam neliels Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻ jonu koncentrāciju pieaugums, bet samazinās K⁺, Cl⁻ jonu koncentrācija (skat. 3.6. attēlu). Pēc SO₄²⁻ jonu pārsvara var secināt, ka gruntsūdenī dominē sulfātu-kalcija-nātrijs ūdens. Aprēķinātā jonu bilance -1,75% sekļajam paraugam, -2,58% dziļajam paraugam. Var skaidri redzēt, ka šis gruntsūdens papildinās tikai no nokrišņiem, anomālija ir lielais SO₄²⁻ jonu daudzums.

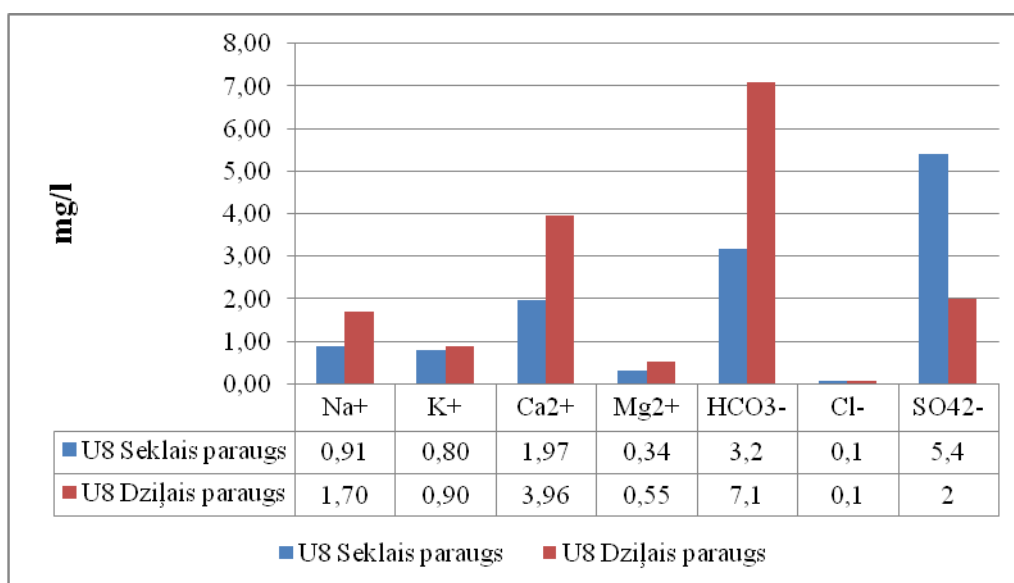
Urbums U5



3.7. attēls. Urbuma U5 gruntsūdens ķīmiskais sastāvs (Izstrādājis autors, 2012)

Šajā urbumā tika iegūts tikai viens izmantojams gruntsūdens paraugs ķīmiskajām analizēm. Kā var secināt pēc SO_4^{2-} jonu koncentrācijas, tas ir sulfātu kalcija nātrija gruntsūdens (skat. 3.7. attēlu). Šim gruntsūdens ķīmiskajam sastāvam raksturīga vismazākā HCO_3^- jonu koncentrācija, salīdzinot ar pārējiem gruntsūdens ķīmiskajiem sastāviem, tas arī liecina par mazu dēdēšanas intensitāti, arī Na^+ un Ca^{2+} jonu koncentrācijas ir zemas. Aprēķinātā jonu balance ir -8,24%, iespējams, kļūda radusies Cl^- jonu neprecīzās koncentrācijas dēļ, jo tai noteikti vajadzētu būt lielākai nekā tā ir vidēji nokrišnos.

Urbums U8



3.8. attēls. Urbuma U8 gruntsūdens ķīmiskais sastāvs (Izstrādājis autors, 2012)

Analizējot U8 urbuma gruntsūdens ķīmisko sastāvu (skat. 3.8. attēlu), jāņem vērā faktors, ka SO_4^{2-} jonu koncentrācija dziļāk esošajā gruntsūdenī, iespējams, netika noteikta precīzi, jo tās precīzai noteikšanai traucēja organika, kas ietekmēja galarezultātu, kā arī hlorīda jonu vērtības ir neticami zemas, tas izskaidro arī šī gruntsūdens jonu balances rezultātu, tā dziļajam paraugam ir -35,90%, taču sekļajam paraugam -5,41%. Ņemot vērā, ka citos urbumos līdz ar dziļumu lielākoties pieaug SO_4^{2-} jonu koncentrācija, ļoti iespējams, ka arī šajā urbumā dziļāk esošajā gruntsūdenī SO_4^{2-} jonu koncentrācijai vajadzētu būt lielākai, balstoties uz pārējo urbumu iegūtajiem datiem un interpretāciju, bet, iespējams, to var izskaidrot ar reducējošu apstākļu pastāvēšanu gruntsūdenī, jo SO_4^{2-} var reducēties par H_2S .

Sakarība novērojama starp Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- jonu pieaugumu dziļāk esošajā gruntsūdenī, ko varētu izskaidrot ar to, ka gruntsūdens ir kontaktā ar limnoglaciālajām smiltīm.

3.3.2. Hidrogēnkarbonātu tipa gruntsūdeņi

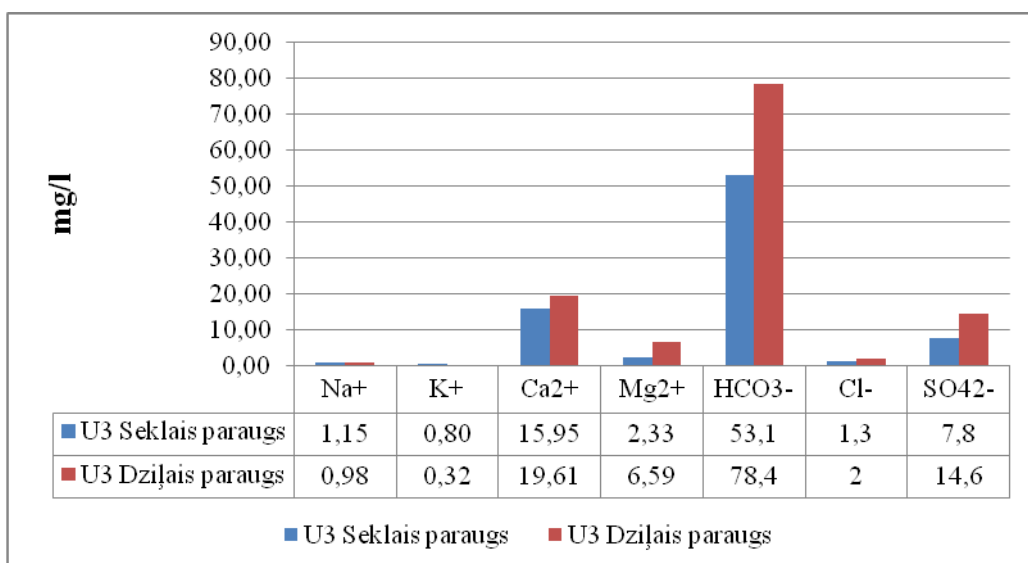
3.3. tabula

Fizikāli-ķīmiskie parametri urbumiem U3,U4,U7 (Izstrādājis autors, 2012)

Paraugi / mērvienības	Eh, mV	pH	EVS, $\mu\text{S}/\text{cm}$	O_2 , mg/l	t, °C	TDS, ppm	Gruntsūdens paraugu dziļuma starpība, m
U3 Seklais	250	7,1	107,1	2,75	8,8	108	2,77
U3 Dziļais	254,9	6,57	154	0,96	7,2	154	
U4 Seklais	127,4	8,4	161,6	2,61	9,2	162	1,78
U4 Dziļais	16,7	7,42	240	0,66	7,5	240	
U7 Seklais	316,1	8,53	126,9	6,1	8,5	netika dokumentēts	1,13
U7 Dziļais	302,4	6	22,1	5,68	9	netika dokumentēts	

Otrās gruntsūdens grupas vides reakcijas (pH) ir krietni vien lielākas un samazinās līdz ar dziļumu (skat. 3.3. tabulu), ir novērojami daudz bāziskāki gruntsūdeņi, salīdzinot ar pirmo gruntsūdens grupu. Kā lielu atšķirību var minēt arī nelielo izšķīdušā skābekļa daudzumu, pat sekļajos paņemtajos paraugos izšķīdušais skābeklis ir salīdzinoši maz. Urbums U4 atrodas vairāk kāpu masīva perifērajā daļā, turklāt U4 urbuma apakšā tika konstatēta mālsmilts (skat. 5. pielikumu) un aleirītiska smilts ar organikas piejaukumu, kā arī urbšanas laikā no urbuma izdalījās puvušu olu smaka. Visticamāk to var skaidrot ar organisko vielu sadalīšanos baktēriju ietekmē un tā rezultātā tiek atbrīvoti sēra savienojumi, tāpēc rodas specifiska smaka. Vēl jāmin tas, ka U4 urbuma dziļāk ievāktajā gruntsūdens paraugā SO_4^{2-} koncentrācija sasniedz 18,8 mg/l, kas ir vislielākā no visiem analizētajiem paraugiem (skat. 3.10. attēlu).

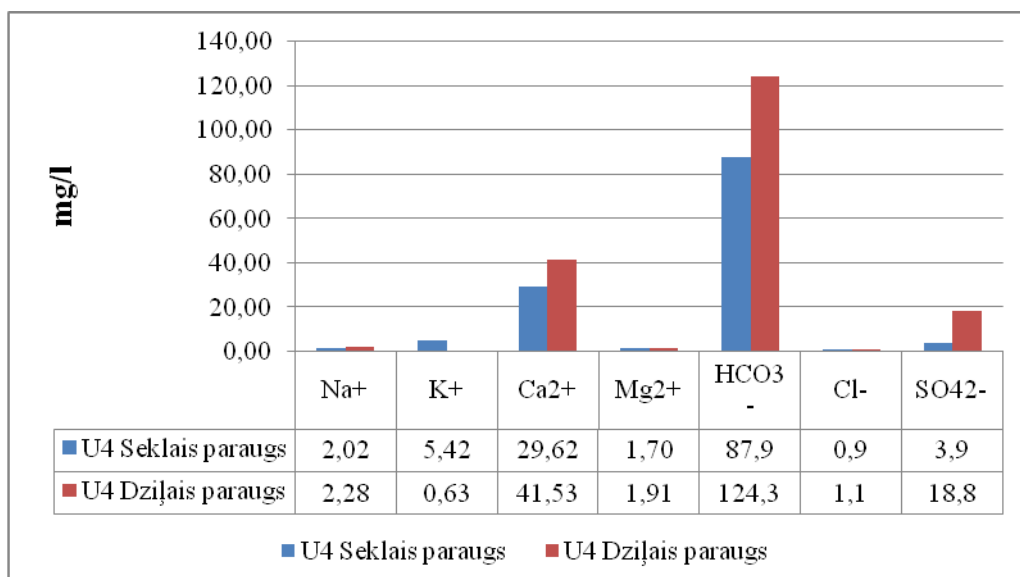
Urbums U3



3.9. attēls. Urbuma U3 gruntsūdens ķīmiskais sastāvs (Izstrādājis autors, 2012)

Analizējot U3 urbuma gruntsūdens ķīmisko sastāvu (skat. 3.9. attēlu), var secināt, ka gruntsūdens lielākoties satur hidroģēnkarbonātu kalcija ūdeni. Jonu bilance sekļajam paraugam 0,33%, dziļajam 2,01%. Šis ir vienīgais urbums, kurā Na⁺ joni samazinās līdz ar dziļumu, tāpat samazinās K⁺ joni.

Urbums U4

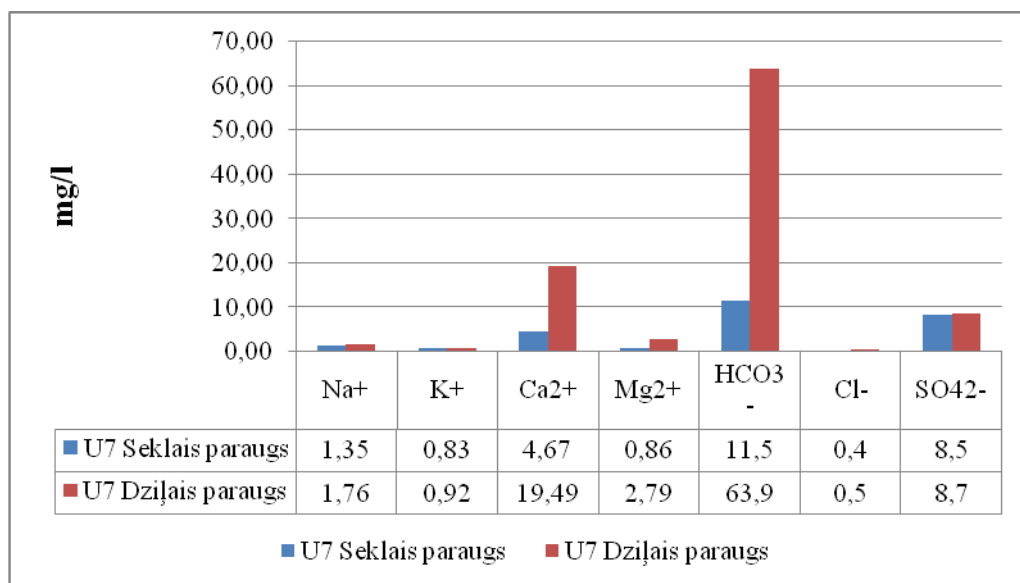


3.10. attēls. Urbuma U4 gruntsūdens ķīmiskais sastāvs (Izstrādājis autors, 2012)

Apskatot 3.10. attēlu, var secināt, ka tas ir hidroģēnkarbonātu kalcija gruntsūdens, tāpat kā U3 gruntsūdens. Arī šajā urbumā, līdzīgi kā U3 un U1 iegūtajos gruntsūdens paraugos

(skat. 3.9. un 3.6. attēlu) līdz ar dziļuma palielināšanos pieaug Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} jonu koncentrācija un samazinās K^+ jonu koncentrācija. K^+ jonu koncentrācija samazinās par 4,79 mg/l, kas salīdzinoši ar citiem urbumiem ir daudz, iespējams, ka tā ir laboratorijas kļūda, jo seklā parauga aprēķinātā jonu balance ir -8,88%, dziļajam paraugam 2,27%. Līdz ar dziļuma palielināšanos pieaug arī Na^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- jonu koncentrācija.

Urbums U7

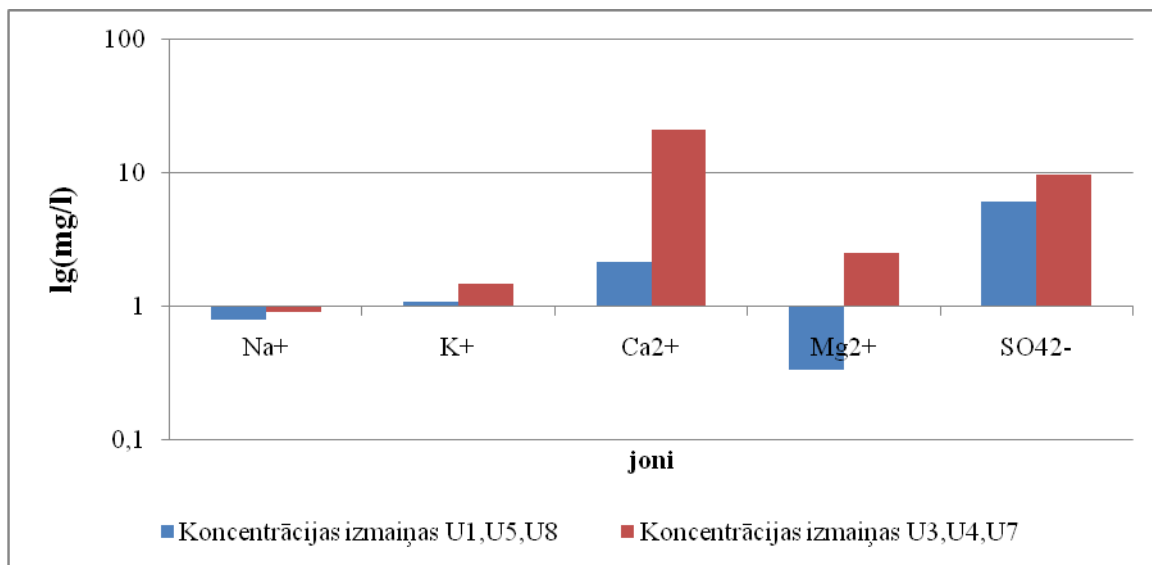


3.11. attēls. Urbuma U7 gruntsūdens ķīmiskais sastāvs (Izstrādājis autors, 2012)

Interpretējot U7 gruntsūdens ķīmisko sastāvu (skat. 3.11. attēlu), var skaidri redzēt, ka līdzīgi kā U3, U4 gruntsūdens ķīmiskajiem sastāviem, šajā urbumā iegūtie gruntsūdens paraugi arī atbilst hidroģēnkarbonātu kalcija gruntsūdenim. Līdz ar dziļuma palielināšanos ļoti izteikti pieaug HCO_3^- , Ca^{2+} un ne tik ļoti Na^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} jonu koncentrācijas. Šis ir vienīgais no urbumiem, kurā gruntsūdenī līdz ar dziļuma pieaugumu pieaug pilnīgi visas noteikto jonu koncentrācijas. Aprēķinātā jonu balance -1,12% seklajam paraugam, -2,51% dziļajam paraugam.

2.4. Nokrišņu ūdens ķīmiskās izmaiņas

Salīdzinot nokrišņu ūdens koncentrāciju izmaiņas abu gruntsūdens grupu starpā (skat. 3.12. attēlu), var secināt, ka U3, U4, U7 urbumā nokrišņi daudz vairāk bagātinās ar Ca^{2+} , Mg^{2+} un nedaudz vairāk ar K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} joniem (Gruntsūdens grupu un nokrišņu izmaiņu koncentrācijas skat. 11. un 12. pielikumā).



3.12. attēls. **Pirmās un otrās grupas nokrišņu ūdens jonu koncentrāciju izmaiņu salīdzinājums** (Izstrādājis autors, 2012)

Var secināt, ka pirmā gruntsūdens grupa barojas tikai no nokrišņiem un nenotiek intensīva iežu dēdēšana, savukārt otrās grupas gruntsūdenī ir redzamas ķīmiskās izmaiņas iežu dēdēšanas rezultātā, likumsakarīgi ar salīdzinoši augsto HCO_3^- koncentrāciju tajā. SO_4^{2-} jonu izcelsme gruntsūdenī noteikti nav no SO_4^{2-} iežu dēdēšanas, jo ne pētījumu teritorijā, ne pētījumu teritorijas apkārtnē nav SO_4^{2-} izcelsmes ieži. SO_4^{2-} koncentrācija pirmās grupas gruntsūdenī ir 6,72 mg/l, otrās grupas gruntsūdenī 10,38 mg/l, skaidrojums SO_4^{2-} jonu izcelsmei varētu būt tāds, ka SO_4^{2-} pētījuma teritorijā ir sastopams atmosfēras putekļu veidā, kas ar nokrišņu palīdzību nonāk gruntsūdenī.

Zināms, ka eolās smiltis sastāv no kvarca un tām ir neliels laukšpatu piejaukums, tāpēc var secināt, ka Na^+ gruntsūdenī nonācis sadēdot laukšpatiem, ko satur eolās smiltis, to var pamatot arī ar aprēķinu veikšanu, jo ja pieņemtu, ka Na^+ gruntsūdenī nonāk tikai nokrišņu rezultātā, iztvaikošana sastādītu 80% no nolijušā nokrišņu daudzuma, kas būtu pretrunā ar izmantoto vides hlorīda metodi un modelēto evapotranspirāciju (Seņņikovs, 2011). Taču nevar

teikt, ka atlikušie 20% Na^+ jonu gruntsūdenī būtu nonākuši tikai sadēdot iežiem, jo to koncentrāciju vēl noteikti ietekmē veģetācija.

Ca^{2+} pieaugumu var izskaidrot ar ūdens nonākšanu saskarē ar kalcītu vai dolomītu, ūdenim infiltrējoties caur limnoglaciālajām smiltīm. Dēdot dolomītam, kas atrodas limnoglaciālo nogulumu sastāvā varētu būt pieaugusi Mg^{2+} jonu koncentrācija un to, ka šķīst dolomīti vai kaļķakmeņi liecina augstais hidroģēnkarbonātu daudzums. Jāsaka, ka gruntsūdens ķīmisko sastāvu ietekmi atstāj nokrišņu ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas, tam tekot gar koku stumbriem, koku vainagiem, infiltrējoties augsnē un cauri dzīvajai un nedzīvajai zemsedzei, kas veido vienotu sistēmu, kurā norisinās visaktīvākie ģeoķīmiskie procesi (Tērauda, 2008).

SECINĀJUMI

1) Apskatot hidroloģisko ciklu kopumā, var secināt, ka hidroloģiskajos procesos dažādās vidēs ūdens nonāk saskarsmē ar atšķirīgiem savienojumiem, kas, mijiedarbojoties ar ūdeni, izmaina tā ķīmisko sastāvu. Šis ūdens ķīmiskās izmaiņas sniedz informāciju par gruntsūdens veidošanās laikā notiekošajiem procesiem, kā arī pēc šīm izmaiņām ir iespējams spriest par ūdens horizontā esošajiem iežiem vai, piemēram, piesārņojuma nokļūšanu ūdenī.

2) Tika izšķirti divi gruntsūdens tipi vienā horizontā, viens no tiem labi parāda gruntsūdens barošanos tikai no nokrišņiem, kurā norisinās minimāla iežu dēdēšana, bet otrs gruntsūdens tips norāda uz karbonātiežu dēdēšanu, kas izmaina gruntsūdens ķīmisko sastāvu, salīdzinoši daudz pieaugot HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} jonu koncentrācijām.

3) Pēc vides hlorīda metodes aprēķiniem var diezgan precīzi aprēķināt gruntsūdens barošanās apjomu, ja vienīgais hlorīda jonu avots gruntsūdenī ir nokrišņi.

4) Lielākoties visu jonu koncentrācija gruntsūdenī pieaug līdz ar gruntsūdens dziļumu, izņēmums ir K^+ joni, iespējams, ka koncentrācijas samazinājumu līdz ar gruntsūdens dziļumu var skaidrot ar K^+ jonu aktīvu izmantošanu bioloģiskos procesos.

5) Lai precīzi noteiktu nokrišņu ķīmiskās izmaiņas, papildus būtu jāpēta augsnē notiekošie ķīmiskie procesi, kā arī jāpēta līdzīgas teritorijas un jāizmanto vairāk datu kopsakarību atrašanai.

6) SO_4^{2-} jona avots pētījuma teritorijā nav iežu dēdēšanas, iespējams, tā ir skaidrojama ar organisko vielu sadalīšanos aktīvos bioloģiskos procesos, vai arī sēru saturošu aerosolu izgulsnēšanos no atmosfēras.

PATEICĪBAS

Autors izsaka lielu pateicību darba vadītājam, Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu ģeoloģijas doktoram Andim Kalvānam par palīdzību un padomiem bakalaura darba izstrādē. Vēlos izteikt pateicību iežu pētījumu laboratorijas zinātniskajam asistentam Konrādam Popovam par izbrīvēto laiku un atsaucību.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra:

- Bamberg, K. 1993. *Ģeoloģija un hidroģeoloģija*. Rīga, Zvaigzne. 302.–303.
- Bear, J., Cheng, A. H. -D. 2010. *Modeling groundwater flow and contaminant transport*. Springer, Dordrecht. p. 2–3.
- Brassington, R. 2007. *Field Hydrogeology*. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd.
- Chapelle, F.H. 2005. Geochemistry of groundwater in: Drever, J.I., *Surface and groundwater, weathering and soils*. Amsterdam, Elsevier. 425–450.
- de Silva, R.P., 2004. Spatial variability of groundwater recharge - I. Is it really variable? *Journal of Spatial Hydrology*. 4(1), 1–18.
- Dēliņa, A. 2006. Kvartārsēgas pazemes ūdeņi Latvijā. Promocijas darbs. Rīga, Latvijas Universitāte.
- Edmunds, W.M., Shand P. 2008. *Natural groundwater quality*. Malden [etc], Blackwell publishing. p. 8–11.
- Grigorjevs, O., Kalvāns A. 2012. The sensibility analysis of Cl^- and SO_4^{2-} titration in groundwater samples. *The 70th scientific conference of the University of Latvia session of geology*. Abstract book. Riga, Faculty of Geography and Earth Sciences, 47–48.
- Griffioen, J. 2001. Potassium adsorption ratios as an indicator for the fate of agricultural potassium in groundwater. *Journal of Hydrology*. 254(1-4), 244–254.
- Hayashi, M., 2004. Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. *Environmental Monitoring and Assessment*. 96, 119–128.
- Maldavs, Z. 1964. *Pazemes ūdens*. Rīga, Latvijas Valsts izdevniecība. 15.–26.;78.–90.
- Levins, I., Levina, N., Gavena, I. 1998. *Latvijas pazemes ūdeņu resursi*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 9.lpp.
- Piirainen S., Finer L. and Starr M., 2002. Deposition and leaching of sulphate and base cations in a mixed boreal forests in Eastern Finland. *Water Air Soil Pollut*. 131, 185–204.
- Silva-Filho, E.V., Barcellos R.G.S., Emblanch, C., Sella, S.M., Daniel, M., Simler, R., Wasserman, J.C., Blavoux B. 2009. Groundwater chemical characterization of a Rio de Janeiro coastal aquifer, SE – Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 27(1), 100–108.
- Seiler, K.-P., Gat J.R. 2007. *Groundwater recharge from run-off, infiltration and percolation*. Springer, Dordrecht. 114–118.
- Sundaram, B., Feitz, A.J., de Caritat, P., Plazinska, A., Brodie, R., Coram, J., Ransley, T., 2009. *Groundwater Sampling and Analysis – A Field Guide*. [S.l.], Australian Government.
- Tērauda, E. 2008. Ķīmisko vielu plūsmas Latvijas priežu mežu ekosistēmās. Promocijas darbs. Rīga, Latvijas Universitāte. 37.lpp.
- Zīverts, A. 2001. *Pazemes ūdeņu hidroģeoloģija*. LLU, Vides un ūdenssaimniecības katedra. 8. lpp.

Kartogrāfiskie materiāli:

- LVGD Kvartargeoloģija) Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000. LU ĢZZF WMS. Sk. 15.03.2012. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>
- Atsauce teksta (LVGD Kvartargeoloģija).
- TOPO 10K PSRS Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000. LU ĢZZF WMS. Sk. 15.03.2012. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>
- Atsauce tekstā (TOPO 10K PSRS).

TOPO 50K Satelītkarte VZD Satelītkaršu mozaīka mērogā 1:50 000. LU ĢZZF WMS. Sk. 15.03.2012. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>
Atsauce tekstā (TOPO 50K).
Turlajs, J. (red.) 2009. *Latvijas ģeogrāfijas atlants*. Karšu izdevniecība, Jāņa sēta, Rīga. 13. lpp.

Nepublicētie materiāli:

Dubakova, I. 2008. *Zosēni, atmosfēras nokrišņu kvalitāte, vispārējā ķīmija un smagie metāli (NIM, NIMsm)*. Rīga, LVĢMC. Inventāra Nr.1446.
FDO[®] 925. 2010. Weilheim, WTW GmbH. Lietotāja rokasgrāmata. 31.
Lauva, D. 2011. Gruntsūdens līmeņu svārstības klimata mainības ietekmē: Maģistra darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte. 7. lpp.
TetraCon[®] 925. 2009. Weilheim, WTW GmbH. Lietotāja rokasgrāmata. 15.
SenTix[®] 940, SenTix[®] 940-3. 2009. Weilheim, WTW GmbH. Lietotāja rokasgrāmata. 12. lpp.

Elektroniskie resursi:

Seņņikovs, J. 2011. *Baltijas artēziskā baseina hidroloģiskā modeļa versija V1: attīstība otrajā projekta gadā*, LU. Sk.15.03.12. Pieejams http://www.puma.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/puma/V1prezentacija/V1_Sen_nikovsJ.pdf

Atsauce tekstā (Seņņikovs, 2011).

Atsauce uz attēliem:

Evans, J.M., Perlman H., *Water cycle*. U.S. Geological Survey. Sk. 10.05.12 Pieejams <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclelatvianhi.html>

Atsauce tekstā (Evans, Perlman, 2012).

PIELIKUMS

1. pielikums. Zosēnu MNS nokrišņu ķīmiskais sastāvs 2007. gadā.

Zosēnu MNS nokrišņu ķīmiskais sastāvs 2007. gadā								
Datums	Ca ²⁺	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Nokrišņi
Mērvienības	μg/l	mg/l	μg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mm
janvāris	0,33	0,87	0,21	0,15	0,75	0,28	0,22	118,7
februāris	0,24	0,3	0,31	0,09	0,39	0,19	0,14	23,4
marts	0,14	0,55	0,2	0,05	0,42	0,35	0,23	27,7
aprīlis	0,97	0,23	0,05	0,22	0,94	0,19	0,13	33,5
maijs	0,56	0,12	0,15	0,09	0,17	0,32	0,51	82,3
jūnijs	0,58	0,1	0,12	0,11	0,25	0,18	0,21	77,6
jūlijs	0,17	0,12	0,06	0,06	0,08	0,16	0,19	109,1
augusts	0,21	0,27	0,05	0,02	0,14	0,17	0,27	100,8
septembris	0,13	0,24	0,04	0,04	0,15	0,18	0,22	46,6
oktobris	0,12	0,18	0,05	0,02	0,09	0,32	0,3	65,4
novembris	0,04	0,19	0,04	0,02	0,07	0,3	0,2	61,7
decembris	0,14	0,15	0,06	0,04	0,12	0,34	0,51	36,1
Vidējais	0,30	0,28	0,11	0,08	0,30	0,25	0,26	-
Kopā	-	-	-	-	-	-	-	782,9

2. pielikums. Urbuma U1 apraksts.

U1	
X (E), m	539314.38
Y (N), m	6323755.47
Z, m vjl.	43,64
GŪL, m vjl.	40,54
Novietojums reljefā	Kāpu masīva dienvidaustrumu nogāzes apakšdaļa
Ierīkošanas datums	29.06.2011
Atbildīgais	I. Retiķe

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums. m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,05	0,05	Nedzīvā zemsedze
	0,05	0,5	0,45	Augsne (podzola). Smilts ar organisko vielu piejaukumu, augšdaļā tumši pelēka, dziļāk gaiši pelēka. Sīkgraudaina, labi šķirota.
vQ3ltv	0,5	0,8	0,3	Smilts, smalkgraudaina, sarkanbrūna.
vQ3ltv	0,8	1,7	0,9	Smilts, smalkgraudaina, gaiši sarkanbrūna.
vQ3ltv	1,7	2,35	0,65	Smilts, smalkgraudaina, labi šķirota, dzeltena.
vQ3ltv	2,35	2,7	0,35	Smilts, smalkgraudaina dzeltena, ūdens piesātināta.
lgQ3ltv	2,7	5,5	2,8	Smilts, vidējgraudaina, sarkanbrūna

3. pielikums. Urbuma U2 apraksts.

U2	
X (E), m	538645.23
Y (N), m	6323720.18
Z, m vjl.	38,39
GŪL, m vjl.	37,5
Novietojums reljefā	Kāpu masīva dienvidu nogāzes lejasdaļā
Ierīkošanas datums	30.06.2011
Atbildīgais	B. Raga

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums . m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,05	0,05	Nedzīvā zemsedze.
	0,05	0,5	0,45	Augsne, nesadalījušās augu atliekas, no 0,5m ūdens piesātināta, pelēka.
vQ3ltv	0,5	0,62	0,12	Smilts, smalkgraudaina, tumši brūna.
vQ3ltv	0,62	1,13	0,51	Smilts, smalkgraudaina, gaiši brūna.
vQ3ltv	1,13	3,5	2,37	Smilts, smalkgraudaina, pelēcīgi brūna.

4. pielikums. Urbuma U3 apraksts.

U3	
X (E), m	538102.84
Y (N), m	6322979.44
Z, m vjl.	38,93
GŪL, m vjl.	37,68
Novietojums reljefā	Kāpu masīva R nogāzes apakšdaļa
Ierīkošanas datums	30.06.2011
Atbildīgais	A. Dēliņa

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums. m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,2	0,2	Augsne. Smilts sīkgraudaina, labi šķirota, ar organisko vielu piejaukumu, tumši pelēki – pelēka.
	0,2	0,35	0,15	Augsne, ieskalošanas horizonts (ne pārāk izteikts). Smilts sīkgraudaina, labi šķirota. Rūsganbrūna.
vQ3ltv	0,35	0,7	0,35	Smilts sīkgraudaina, labi šķirota, dzeltenbrūna.
lgQ3ltv	0,7	1,9	1,2	Smilts dažādgraudaina, mālaina ar rupjgraudainas smilts un grants piejaukumu, dzeltenbrūna. Mālaināku slāņu (~0,05-0,1 m) un smilšaino slāņu mija. No 1,5 m ūdens piesātināta.
lgQ3ltv	1,9	3,0	1,1	Smilts dažādgraudaina un rupjgraudaina, pelēkbrūna (dzeltenpelēka). 2,3 m dziļumā māla slānītis.
lgQ3ltv	3,0	4,5	1,5	Smilts vidēji graudaina ar grants piejaukumu (nelielu), pelēkbrūna.
lgQ3ltv	4,5	4,6	0.1+	Grants oļu slānis.

5. pielikums. Urbuma U4 apraksts.

U4	
X (E), m	539064.15
Y (N), m	6323048.55
Z, m vjl.	39,1
GŪL, m vjl.	40,52
Novietojums reljefā	Kāpu masīva ziemeļu daļā
Ierīkošanas datums	30.06.2011
Atbildīgais	B. Raga

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums. m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,05	0,05	Nedzīvā zemsedze.
	0,05	0,2	0,15	Augsne. Smilšaina, augšdaļā pelēka.
vQ3ltv	0,2	1,65	1,45	Smilts, smalkgraudaina dzeltenbrūna.
vQ3ltv	1,65	2,35	0,7	Smilts, smalkgraudaina, pelēka.
gQ3ltv	2,35	2,5	0,15	Mālsmilts, aleirītiska ar organiku, tumši pelēka.

6. pielikums. Urbuma U5 apraksts.

U5	
X (E), m	539040.69
Y (N), m	6323316.15
Z, m vjl.	41,48
GŪL, m vjl.	40,52
Novietojums reljefā	Kāpu masīva virsohnē
Ierīkošanas datums	29.06.2011
Atbildīgais	I. Retiķe

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums. m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,05	0,05	Nedzīvā zemsedze.
	0,05	0,3	0,25	Augsne. Smilts ar organisko vielu piejaukumu. Gaiši pelēka.
vQ3ltv	0,25	0,65	0,4	Smilts. Vidējgraudaina, labi šķirota, dzeltenbrūna.
lgQ3ltv	0,65	0,96	0,31	Smilts. Vidējgraudaina sarkanbrūna, no 0,9m ūdens piesātināta.
lgQ3ltv	0,96	3,5	2,54	Smilts. Vidējgraudaina, pelēkbrūna.

7. pielikums. Urbuma U6 apraksts.

U6	
X (E), m	538372.64
Y (N), m	6323502.82
Z, m vjl.	40,04
GŪL, m vjl.	38,72
Novietojums reljefā	Kāpu masīva dienvidrietumu nogāzē
Ierīkošanas datums	30.06.2011
Atbildīgais	B. Raga

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums. m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,05	0,05	Nedzīvā zemsedze
	0,05	0,2	0,15	Augsne, smilšaina
vQ3ltv	0,2	2	1,8	Smilts. Smalkgraudaina smilts, gaiši dzeltena ar nelieliem brūniem starpslāņiem.
vQ3ltv	2	3,5	1,5	Smilts, smalkgraudaina, gaiši dzeltena.

8. pielikums. Urbuma U7 apraksts.

U7	
X (E), m	538345.38
Y (N), m	6323029.89
Z, m vjl.	40,88
GŪL, m vjl.	38,31
Novietojums reljefā	Kāpu masīva R nogāzes apakšdaļa
Ierīkošanas datums	29.06.2011
Atbildīgais	A. Dēliņa

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums. m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,05	0,05	Nedzīvā zemsedze
	0,05	0,3	0,25	Augsne (podzola), izskalošanas horizonts. Smilts ar organisko vielu piejaukumu, augšdaļā tumši pelēka - melna, dziļāk gaiši pelēka. Sīkgraudaina, labi šķirota.
	0,3	0,5	0,2	Augsne, ieskalošanas horizonts. Smilts sīkgraudaina, labi šķirota. Tumši rūsganbrūna, blīva.
vQ3ltv	0,5	3,5	3	Smilts, sīkgraudaina, labi šķirota, dzeltenbrūna, no 2,5 m ūdens piesātināta.
lgQ3ltv	3,5	4	0,5	Smilts dažādgraudaina, pārsvarā vidēji graudaina ar grants graudiem. Dzeltenbrūna.
lgQ3ltv	4	4,9	0,9	Smilts, sīkgraudaina, dzeltenbrūna.
lgQ3ltv	4,9	4,95	0,05	Smilts aleirītiska, dzeltenbrūna.
gQ3ltv	4,95	5	>0.05	Morēnas mālsmilts, augšdaļā izskalota, brūna, ar granti un oļiem (dolomīta, magmatiskie).

9. pielikums. Urbuma U8 apraksts.

U8	
X (E), m	538760.86
Y (N), m	6323252.01
Z, m vjl.	39,22
GŪL, m vjl.	38,22
Novietojums reljefā	Starppauguru ieplaka, pārpurvota
Ierīkošanas datums	30.06.2011
Atbildīgais	A. Dēliņa

Ģeoloģiskais indekss	Slānis, m no z.v.		Slāņa biezums. m	Slāņa ģeoloģiskais apraksts
	no	līdz		
	0	0,3	0,3	Augsne. Smilts sīkgraudaina, labi šķirota, ar kūdras un organisko vielu piejaukumu, pelēki melna – pelēka.
	0,3	0,6	0,3	Augsne, ieskalosšanas horizonts. Smilts sīkgraudaina, labi šķirota. Tumši rūsganbrūna līdz rūsganbrūnai, blīva.
vQ3ltv	0,6	1,5	1,1	Smilts, sīkgraudaina, labi šķirota, dzeltenbrūna, no 1,0 m ūdens piesātināta.
vQ3ltv	1,5	2,5	1	Smilts dažādgraudaina (vidēji un rupjgraudaina) ar granti un reti oļiem, dzeltenbrūna.
vQ3ltv	2,5	3,0	0,5	Smilts sīkgraudaina, labi šķirota, dzeltenbrūna, daudz vizlas.
lgQ3ltv	3,0	4,2	1,2	Smilts vidēji un rupjgraudaina, ar granti, dzeltenbrūna.
lgQ3ltv	4,2	5,7	>1.5	Smilts dažādgraudaina ar granti, pelēkbrūna, vietām sīkgraudainas smilts starpkārtas (~0,1 m)

10. pielikums. Gruntsūdens ķīmiskās koncentrācijas.

Urbums	Na⁺	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	HCO₃⁻	Cl⁻	SO₄²⁻
U1 Seklais paraugs	1,59	1,45	1,80	0,69	1,4	0,4	10,1
U1 Dziļais paraugs	1,97	1,36	1,84	0,68	1,9	0,2	10,5
U3 Seklais paraugs	1,15	0,80	15,95	2,33	53,1	1,3	7,8
U3 Dziļais paraugs	0,98	0,32	19,61	6,59	78,4	2	14,6
U4 Seklais paraugs	2,02	5,42	29,62	1,70	87,9	0,9	3,9
U4 Dziļais paraugs	2,28	0,63	41,53	1,91	124,3	1,1	18,8
U5 Seklais paraugs	1,23	0,94	1,26	0,36	1,2	0,3	5,6
U7 Seklais paraugs	1,35	0,83	4,67	0,86	11,5	0,4	8,5
U7 Dziļais paraugs	1,76	0,92	19,49	2,79	63,9	0,5	8,7
U8 Seklais paraugs	0,91	0,80	1,97	0,34	3,2	0,1	5,4
U8 Dziļais paraugs	1,70	0,90	3,96	0,55	7,1	0,1	2

11. pielikums. Pirmās gruntsūdens grupas (U1, U5, U8) vidējais ķīmiskais sastāvs, aprēķinātā nokrišņu ūdens koncentrācija un tās izmaiņas.

Pirmā gruntsūdens grupa	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Nokrišņu ūdens koncentrācija	0,67	0,24	0,72	0,18	0,63
	mg/l				
Vidēji gruntsūdens paraugos	1,48	1,09	2,17	0,52	6,72
Koncentrāciju izmaiņas	+ 0,81	+ 1,09	+ 2,17	+ 0,34	+ 6,09

12. pielikums. Otrās gruntsūdens grupas (U3, U4, U7) vidējais ķīmiskais sastāvs, aprēķinātā nokrišņu ūdens koncentrācija un tās izmaiņas.

Otrā gruntsūdens grupa	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Nokrišņu ūdens koncentrācija	0,67	0,24	0,72	0,18	0,63
	mg/l				
Gruntsūdens koncentrācija	1,59	1,49	21,81	2,70	10,38
Koncentrāciju izmaiņas	+ 0,92	+ 1,49	+ 21,81	+ 2,52	+ 9,75