

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

**KEEMIATEHNIKA INSTITUUT
KESKKONNAKAITSE JA KEEMIATEHNOLOOGIA ÕPPETOOL**

**VEE KVALITEET ÜHISVEEVARUSTUSES KASUTATAVATES
PÕHJAVEEKIHTIDES TARTU REGIOONIS NING SELLEGA
KAASNEVATE PROBLEEMIDE ANALÜÜS**

Magistritöö

Kea KIIDJÄRV

Juhendaja: Marina Trapido, Ph.D., dotsent

Keemia- ja keskkonnakaitse tehnoloogia õppekava KAKM02/02

2009

Töö kaitsmisejärgsed märkused

1. Tabelis 15 toodud veepuhastusmeetod, mille käigus vett oksüdeeritakse osooniga, osutus vääraks informatsiooniks. Tegemist on toorvee kinnise aereerimisega.
2. Peatükis 4.1.3. on toodud loetelu võimalikest fluoriidieemaldusmeetoditest. Viide peatüki lõpus (lk 66) on kogu veetöötlusmeetodite loetelu kohta ühine.

Sisukord

LÜHENDITE LOETELU JA MÕISTED	6
Lühendid	6
Mõisted	6
SISSEJUHATUS	8
1. PÕHJAVESI EESTIS.....	10
1.1. Põhjaveekiht	10
1.1.1. Vesi pinnakattes.....	10
1.1.2. Aluspõhja vesi	11
1.2. Põhjavee keemiline koostis ja selle kujunemine	13
1.2.1. Põhjavee keemiline koostis	13
1.2.2. Sademete osa põhjavee koostise kujunemisel	14
1.2.3. Taimkatte osa põhjavee koostise kujunemisel.....	15
1.2.4. Mineraalide osa põhjavee koostise kujunemisel.....	15
1.2.5. Põhjavee keemilise koostise muutumine maapinna sügavuse suurenedes	17
1.2.6. Eesti põhjavee keemiline koostis ja selle tüübid.....	18
2. JOOGIVEES SISALDUVATE AINETE TERVISERISKIDEST	20
3. TARTU REGIOONI JOOGIVEEGA VARUSTAMISEL KASUTATAVAD PÕHJAVEEKIHID JA PÕHJAVEE KEEMILINE KOOSTIS	21
3.1. Kvaternaari (Q) veekiht.....	24
3.1.1. Levik.....	24
3.1.2. Kaevude sügavus	24
3.1.3. Veetarve ja tarbijate arv.....	25
3.1.4. Vee kvaliteet kvaternaari veekihis.....	26
3.2. Ülemdevoni ja keskdevoni (D ₃ ja D ₂) veekiht	28
3.2.1. Levik.....	28
3.2.2. Kaevude sügavus	29
3.2.3. Veetarve ja tarbijate arv.....	29
3.2.4. Vee kvaliteet ülemdevoni ja keskdevoni veekihis	31
3.3. Kesk-alamdevoni (D ₂₋₁) veekiht.....	40
3.3.1. Levik.....	40
3.3.2. Kaevude sügavus	40
3.3.3. Veetarve ja tarbijate arv.....	40
3.3.4. Vee kvaliteet kesk-alamdevoni veekihis	42
3.4. Kesk-alamdevoni-siluri (D ₂₋₁ -S) veekiht	46
3.4.1. Levik.....	46
3.4.2. Kaevude sügavus	47
3.4.3. Veetarve ja tarbijate arv.....	47
3.4.4. Vee kvaliteet kesk-alamdevoni-siluri veekihis	48
3.5. Siluri, siluri-ordoviitsiumi ja ordoviitsiumi (S, S-O, O) veekiht	51
3.5.1. Levik.....	51
3.5.2. Kaevude sügavus	52
3.5.3. Veetarve ja tarbijate arv.....	52
3.5.4. Vee kvaliteet siluri ja siluri-ordoviitsiumi veekihtides.....	54
3.6. Ordoviitsiumi-kambriumi (O-Cm) veekiht.....	58
3.6.1. Levik ja tähtsus	58
3.6.2. Kaevude sügavus	59
3.6.3. Veetarve ja tarbijate arv.....	59
3.6.4. Vee kvaliteet ordoviitsiumi-kambriumi veekihtides.....	59
3.7. Põhjavesi kui joogivesi Tartu regioonis.....	60
4. JOOGIVEE PUHASTAMISEL KASUTATAVAD VEETÖÖTLUSMEETODID, NENDE EFEKTIIVSUS, POSITIIVSED JA NEGATIIVSED KÜLJED	61
4.1. Teoria	62
4.1.1. Raua ja mangaani eemaldamine veest	62
4.1.2. Ammooniumi vähendamine ja eemaldamine joogiveest	64

4.1.3. Fluoriidi eemaldamine veest.....	64
4.1.4. Sulfaatide, kloriidide ja naatriumi eemaldamine veest.....	66
4.2. Praktika.....	66
4.2.1. Tartu regioonis kasutatavad veetötlusmeetodid ja nende efektiivsus	66
4.2.2. Kasutatavate puhastite head ja halvad küljed ning probleemide võimalikud lahendused	67
4.2.3. Tendentsid	72
KOKKUVÕTE.....	73
SUMMARY	75
KASUTATUD KIRJANDUS.....	76

LISA 1	79
---------------------	-----------

JOONISED

Joonis 1. Põhjaveekihtide ja veepidemete paiknemine.....	12
Joonis 2. Süsihappegaasi, vesinikkarbonaadi ja karbonaadi vahekord vees (%-des) sõltuvalt vee pH-st.....	17
Joonis 3. Põhjavee keemilise koostise muutus sügavuse suurenedes.....	18
Joonis 4. Eesti hüdrogeoloogiline läbilõige	19
Joonis 5. Suure fluoriidisisaldusega ala siluri–ordoviitsiumi veekihtides Lääne- ja Kesk-Eestis	19
Joonis 6. Tartu regioonis ühisveevarustuses kasutatavad põhjaveekihid pk-de arvu järgi	23
Joonis 7. Tartu regioonis ühisveevarustuses kasutatavad põhjaveekihid ööpäevase veetarbe järgi	23
Joonis 8. Kvaternaari veekihi põhjaveekogumid.....	24
Joonis 9. Devoni veekihtide põhjaveekogumid.....	28
Joonis 10. Võrumaa 63 keskdevoni pk mangaani sisaldused.....	39
Joonis 11. Siluri-ordoviitsiumi veekihtide põhjaveekogumid.....	52
Joonis 12. Ordoviitsiumi-kambriumi veekihtide põhjaveekogumid	58

TABELID

Tabel 1. Keemiliste komponentide allikad ja normaalsed kontsentratsioonid reostamata magevees	16
Tabel 2. Kvaternaari veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti	25
Tabel 3. Kvaternaari kaevude arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele	26
Tabel 4. Ülem- ja keskdevoni veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti	29
Tabel 5. Suuremad keskdevoni veekihist toituvad ühisveevärgid Tartu regioonis	30
Tabel 6. Keskdevoni pk-de arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele	32

Tabel 7. Kesk-alamdevoni veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti	41
Tabel 8. Suuremad kesk-alamdevoni veekihist toituvad ühisveevärgid Tartu regioonis	42
Tabel 9. Kesk-alamdevoni pk-de arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele	42
Tabel 10. Kesk-alamdevoni-siluri veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti	47
Tabel 11. Suuremad kesk-alamdevoni-siluri veekihist toituvad ühisveevärgid Tartu regioonis	48
Tabel 12. Kesk-alamdevoni-siluri kaevude arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele	49
Tabel 13. Siluri-ordoviitsiumi veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti	53
Tabel 14. Siluri-ordoviitsiumi pk-de arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele	54
Tabel 15. Tartu regioonis kasutatavad joogivee töötlusmeetodid	67
Tabel 16. Raua- ja mangaanieemaldusseadmed	67

Lühendite loetelu ja mõisted

Lühendid

kat nr – põhjavee kat nr

LPK – lubatud piirkontsentratsioon

pk - pk

PO – pöördosmoos

SoMm – sotsiaalministri määrus

üvv – ühisveevärk

Mõisted

Tagatud tarbevaru – haldus- või hüdrogeoloogilise piirkonna põhjaveevaru eeldatav hulk, millega tuleb arvestada piirkonna arengukavade koostamisel, vee erikasutuslubade andmisel ja ühest pk-st koosneva veehaarde projekteerimisel [Eesti kinnitatud põhjaveevarud, 2006]

Veevärk – ehitiste ja seadmete süsteem, mille kaudu toimub kinnistu või kinnistute veega varustamine ning mis teenindab alla 50 elanikku

Ühisveevärk – ehitiste ja seadmete süsteem, mille kaudu toimub kinnistute veega varustamine ning mis on vee-ettevõtja hallatav või teenindab vähemalt 50 elanikku [Ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni seadus]

Joogivee käitleja – ettevõtja, kelle tegevuseks on joogivee tootmine, varumine, töötlemine, pakendamine või muud toimingud, mille tulemusel joogivesi on kättesaadav tarbijale või teisele ettevõtjale, kes oma tegevuses peab kasutama joogivett tasu eest või tasuta. Joogivee käitlejaks ei loeta individuaalsest veevõtukohest vee võtjat, kes võtab vett keskmiselt vähem kui 10 m³ ööpäevas või vähem kui 50 inimese tarbeks, välja arvatud juhul, kui joogiveega varustamine on osa majandustegevusest või avalik-õiguslikust tegevusest [Veeseadus]

Indikaatornäitajad – vee organoleptilisi omadusi mõjutavad ja üldist reostust iseloomustavad näitajad ning radioloogilised näitajad [SoMm nr 82]

Keemilised näitajad – vees olevatest ainetest tingitud tervisehäirete ennetamiseks [Saava, 2008]

Tavakontroll – indikaatornäitajate uuring eesmärgiga saada teavet joogivee kvaliteedist ja joogivee töötlemise (eriti desinfektsiooni) tõhususest [SoMm nr 82];

Süvakontroll – mikrobioloogiliste, keemiliste ja indikaatornäitajate uuring eesmärgiga saada teavet joogivee vastavusest kõikidele SoMm nr 82 §-des 4, 5 ja 6 toodud kvaliteedinäitajatele [SoMm nr 82]

Põhjavee kvaliteedi klass – klassifitseeritud vastavalt SoMm nr 1 lisas 2 toodud vee kvaliteedinäitajate piirväärtuste järgi. I klassi põhjavesi on ilma töötlemata joogivee kvaliteedinõuetele vastav. II klassi põhjavesi vajab vee aereerimist raua ärastamiseks ja vee

filtreerimist. III klassi põhjavesi vajab vee eritöötlusmeetodeid, mis võimaldavad tagada kvaliteetse joogivee saamise kõikide näitajate osas, vajadusel desinfitseerimist.

Päevakivi – alumosilikaat tüüpvallemiga XY_4O_8 , kus X tähistab oktaedrillises positsioonis olevaid K-, Na-, Ca-, Ba-, Sr-katioone, Y aga tetraedrillises positsioonis olevaid Si- ja Al-katioone (SiO_2) [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Tseoliit – vett sisaldav alumosilikaat, moodustub setete diageneesil [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Vilgukivi – kihtsilikaat (Si_2O_5), Si-O tetraedrillised kihid seonduvad kuueliikmelisteks rõngasteks, kihtide vahel on K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} - ja Ba^{2+} -ioonidest ja osadest O-ioonidest moodustunud oktaedrilline kiht [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Serpentiin – roheline magneesiumirikas silikaatmineraal [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Pürokseen – tumedavärviline ahelsilikaat, tard- ja moondekivimite koostismineraal, $(Si_2O_6)^{4-}$ [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Amfibool – OH^- - rühmadega paardunud ahelaga lintsilikaat, $(Si_4O_{11})_2^{6-}$, (küünekivi) [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Oliivin – kollakasroheline magneesiumi- ja rauarikas singelsilikaatmineraal (SiO) [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Sideriit – hall kuni pruunikas mineraal, raudkarbonaat, Eesti leidub savides ehk aleurolitides ($FeCO_3$) [Kalm, 1999, Väär, 2006]

Sissejuhatus

Eesti keskkonnstrateegia aastani 2030 üks eesmärkidest on inimese tervisele ohutu joogivesi ning lisaks saaste vähendamisele peab joogivee ohutuse tagamiseks rakendama elanikkonna teavitamist.

Vastavalt SoM 31.07.2001. a määruse nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid” § 3 lg 1 loetakse joogivett tervislikuks ja puhtaks, kui see ei sisalda mikroorganisme, parasiite ega mis tahes aineid sellisel arvul ega sellises koguses, mis kujutab potentsiaalset ohtu inimeste tervisele ning kui mikrobioloogilised ja keemilised kvaliteedinäitajad ei ületa §-des 4 ja 5 esitatud piirsisaldusi. Joogivee organoleptilisi omadusi mõjutavad, üldist reostust iseloomustavad näitajad ja radioloogilised näitajad (edaspidi indikaatorid) ei tohi üldjuhul ületada määruse § 6 esitatud piirsisaldusi. Sama määruse § 13 lg 7 järgi on siiski kuni 01.01.2013 lubatud toota, varustada, töödelda ja üle anda joogivett, mille kvaliteedinäitajad ei vasta antud määruse § 6 toodud nõuetele raua, mangaani, vesinikioonide kontsentratsioonile, värvuse, lõhna, hägususe, elektrijuhtivuse, kloriidi ja sulfaadi osas, ning mida kasutab vähem kui 2000 inimest.

Viimase nõude täitmise nimel on möödunud aastatel palju jõupingutusi tehtud – paigaldatud on rida veetöötlusseadmeid, et tagada ka alla 2000 tarbijaga ühisveevärkides (edaspidi üvv) kõigile SoMm-ga nr 82 kehtestatud kvaliteedinõuetele vastav joogivesi hiljemalt aastaks 2013. Üle 2000 tarbijaga üvv-des pidi vesi vastama kõikidele joogivee kvaliteedinõuetele hiljemalt 31.12.2007. Tartu regioonis, mis hõlmab Jõgeva-, Viljandi-, Tartu-, Põlva-, Valga- ja Võrumaad, on üle 2000 tarbijaga üvv-des kvaliteedinõuetele vastav ja tervisele ohutu joogivesi tagatud. Samas on probleeme joogivee kvaliteediga paljudel väiksematel üvv-del, samuti ei suuda paigaldatud veepuhastusseadmed alati tagada soovitud tulemust, lisades vette omaltpoolt soovimatuid ühendeid, nt mangaani. Lisaks indikaatornäitajatele, mille osas Eesti riik on saanud Euroopa Liidu käest üleminekuaja (SoMm nr 82 § 13 lg 7), ei ole mitmetes alla 2000 tarbijaga üvv-des tagatud ka joogivee terviseohutus keemiliste kvaliteedinäitajate osas, sisaldades ülenormatiivset fluoriidi või nitraate. SoMm nr 82 jõustumise hetkel 2001. a sai Eesti üleminekuaja ka fluoriidide osas: fluoriidi piirsisalduse nõue jõustus 31.12.2003. Ometi on rida üvv-e, mille tarbijad tänaseni ülenormatiivse fluoriidisisaldusega vett tarbivad.

Just mittetoimivad veetöötlusseadmed ning ülenormatiivse fluoriidisisaldusega joogivesi ajendasid käesolevat tööd kirjutama. Töö üks eesmärkidest on teada saada, kui palju on Tartu regioonis üvv-e, kus nimetatud probleemid aktuaalsed, ning kui palju inimesi nendest probleemidest mõjutatud on.

Töö teine eesmärk on koostada ülevaatluk abimaterjal Tartu Tervisekaitsetalituse joogiveeinspektoritele. Seetõttu on käesolevasse töösse plaanis koondada teoreetiline alusmaterjal sellest, kuidas põhjavesi kujuneb ning mis seda mõjutavad (hüdrogeoloogia, geokeemia), lühülevaade joogivees sisalduvate ainete (mis Tartu regioonis kohati ülenormatiivsed) võimalikest terviseriskidest. Töö põhiosas on plaanis analüüsida Tartu

regiooni üvv-des kasutusel olevate pk-de vee kvaliteeti, koondades kokku Tartu Tervisekaitsetalitusel ja tema maakondlikel esindustel olemasolevad andmed: põhjaveeanalüüsid ning üldanded üvv-de kohta (toodetav joogiveemaht ööpäevas, tarbijate arv jne). Töö viimane osa annab ülevaate, milliste veetöötlusseadmetega saaks põhimõtteliselt Tartu regiooni põhjaveest probleemseid ühendeid eemaldada ning regioonis täna kasutatavatest veetöötlusseadmetest, nende probleemidest ja võimalikest lahendustest.

Uuritavaks piirkonnaks on valitud Tartu regioon ehk Jõgeva-, Viljandi-, Tartu-, Põlva-, Valga- ja Võrumaa, kuna see on käesoleva töö autori igapäevase tervisekaitse järelevalve töö piirkond ning seetõttu ka huviobjekt.

Lähtematerjalid pärinevad suures osas Tartu Tervisekaitsetalituse ja tema maakondlike esinduste joogivee andmebaasidest (JVESI, VIS), olemasolevate veetöötlusseadmete osas on informatsioon kogutud Tartu Tervisekaitsetalituse ja tema maakondlike esinduste aastaaruannetest ning otse tervisekaitseinspektoritelt, samuti veetöötlusseadmeid müüvatelt ettevõtetelt. Valdav osa andmetest, mis on töösse koondatud, on 31.12.2008. a seisuga ning töö valmimise hetkel võib üvv-des toimunud olla mõningaid muudatusi.

Täna käesoleva töö juhendajat Ph.D. Marina Trapidot, Tervisekaitseinspeksiooni loa eest kasutada tervisekaitse järelevalve töö andmeid, Tartu Tervisekaitselitust ja tema maakondlikke osakondi ning joogiveeinspektoreid andmete kogumisel osutatud abi eest, samuti AS Tartu Veevärk labori juhatajat hr Jüri Hallerit ning töökeskkonna spetsialisti ja hüdrogeoloogi hr Siim Väikmanni andmete ja heade nõuannete eest, ning OÜ Miridon müügijuhti hr Märt Klaassenit meeldiva koostöö eest.

1. Põhjavesi Eestis

Põhjavesi on maakoore kivimite ja setete poorides ning lõhedes olev vaba vesi, mis liigub raskusjõu või rõhu toimel, samuti kapillaarjõudude mõjul. Maapinna lähedane põhjavesi ehk esimese vettapidava kihi peale kogunev vesi on tavaliselt surveta ehk vabapinnaline põhjavesi. Vettapidavate kihtide vahele filtreerudes muutub aga vesi enamasti surveks ja kaevu rajamisel sellisesse põhjaveekihti tõuseb põhjavee tase kaevus tunduvalt kõrgemale vettandva pinnase ülemisest nivoost. [Heinsalu ja Vallner, 1995, Põhjaveekomisjon, 2004]

Põhjaveevaru kujuneb peamiselt läbi pinnase infiltreeruvate sademete arvel, kusjuures intensiivsem on see väikese filtratsioonitakistusega pinnasekihtides. Eestis on sademete infiltratsioon intensiivsem kõrgendikel ja enamliigestatud reljeefiga aladel. Ka keskmine sademete hulk on suhteliselt suurem kõrgustikel. Märkimisväärne faktor põhjavee looduslikul tootumisel on ka taimkattel: rohu- ja metsamaadelt on vee aurumine suurem kui põldudel, mistõttu põllumaad mõjutavad oluliselt põhjavee tootumist ja seal moodustunud põhjavee kvaliteeti. Sesoonselt on infiltratsioon intensiivsem kevadel, sügisvihmade ja talviste sulade ajal (külmunud pinnase sulamine ja lumesulamisveed). Hiliskevadel ja suvel ning külmal talvel on põhjavee tootumine hoolimata sademetest väike, kuna suveperioodil enamik sademetest aurub, talvel aga jääb lumena külmunud pinnasele. Põhjaveetaseme sesoonse kõikumise muutused ei ületa harilikult 2 m, kuid kõrgustikel ja karstialadel võib amplituud suurem olla. [Heinsalu ja Vallner, 1995, Põhjaveekomisjon, 2004]

Põhjavee kvantiteeti mõjutab ka selle väljavool madalamatel aladel, (kõrgendike nõlvad ja jõgede orud), seda eriti sademetevaesel ajal. Väljavool allikatesse, pinnaveekogudesse või merre toimub põhjaveetaseme alanemise arvel. Ilma põhjavee juurdevooluta jõed kuivavad või muutuvad suvel veevaeseks. Et kevad- ja sügisperioodil ülejääv vesi saaks kiiresti maasse valguda, peab põhjaveetaseme olema piisavalt sügaval ja maapind hea imamisvõimega. [Põhjaveekomisjon, 2004]

1.1. Põhjaveekihid

Veeseaduse § 2 punktis 5 on põhjaveekiht defineeritud kui vett sisaldav ja andev maapõue osa, Paul L. Younger'i põhjaveekihi definitsiooni järgi on oluline meeles pidada ka, et põhjaveekiht on pinnas, mis kannab edasi olulises koguses põhjavett. Kõige levinumad vettandvad kivimid on liivakad-kruusakad setted, poorsed liivakivid, karstunud ja lõhelised lubjakivid ning basaldid, ehkki viimased kolm võivad teatud tingimustel moodustada ka vettapidavaid kihte. Eestis basaltidest vettandvaid kihte ei ole, kuid need on levinud Islandil, Kolumbias, Havail, Sitsiilias, Kanaari saartel ning USA ja India mõningates piirkondades. [Heinsalu ja Vallner, 1995, Younger, 2007, veeseadus].

1.1.1. Vesi pinnakattes

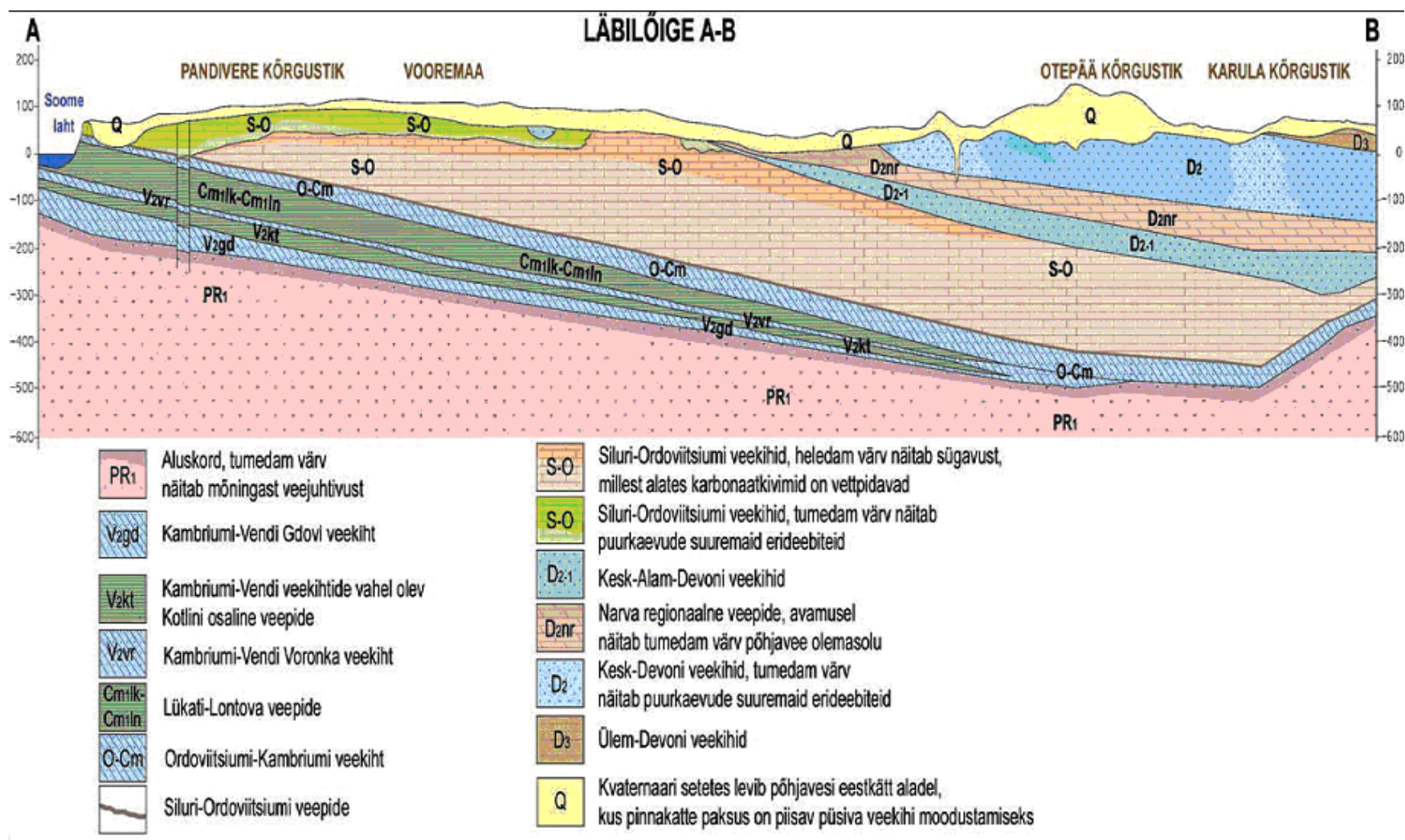
Eesti pinnakatte moodustavad suures osas kvaternaari ladestu erineva geneesi ja levikuga setted: soo-, tuule-, jõe-, mere-, jääjärve-, liustikujõe- ja liustikusetted. Enamik kasutatavast

kvaternaari (Q) veekihi põhjaveest saadakse liiva ja kruusa levikualadel. Pinnakattevesi kujuneb vahetult sademetest ning on seetõttu reostustundlik. Kvaternaari veekiht on kasutuses kogu Eestis, peamiselt maapiirkondades ja väikelinnades [Heinsalu ja Vallner, 1995, Põhjaveekomisjon, 2004].

1.1.2. Aluspõhja vesi

Eesti geoloogilise aluskorra ja pinnakatte vahel lasub aluspõhi, mis koosneb (ülevalt alla) Devoni, Siluri, Ordoviitsiumi, Kambriumi ja Vendi ladestu settekivimitest. Need settekivimid on nõrgalt kaldu põhjast lõunasse, nagu on näha joonisel 1 „Põhjaveekihtide ja veepidemete paiknemine”. Aluspõhjakihtide põhjavesi toitub ülalt läbi pinnakatte filtreeruvast veest. Seda protsessi soodustavad pinnakatte hea veejuhtivus, aluspõhja lõhed, tektoonilised rikkevööndid, eriti aga karbonaatkivimite karstumine [Heinsalu ja Vallner, 1995, Põhjaveekomisjon, 2004].

Ülemdevoni (D₃) veekihid moodustavad Eesti äärmises kaguosas levivad karstunud ja lõhelised dolomiidid ja dolomiidistunud lubjakivid. Karstilõhede tõttu jõuavad sulamis- ja vihmaveed kiiresti sügavamatesse aluspõhjakihtidesse. Vesi on väga reostustundlik. **Keskdevoni (D₂)** veekihid koosnevad valdavalt liivakividest ja aleuroliitidest, milles esineb ka savi ja dolomiidi läätsi. Veekihi paksus kasvab selle põhjapiirist kagu suunas kuni 250 meetrini Haanja kõrgustikul (vt joonis 1). Vesi liigub vettandvate kivimite poorides ja lõhedes, olles enamasti survealine. **Kesk-alamdevoni (D₂₋₁)** veekihid koosnevad nõrgalt tsementeerunud liivakividest, dolomiitidest ning aleuroliitidest, mille kogupaksus ulatub kuni 100 meetrini (vt joonis 1). Vesi liigub vettandvate kivimite poorides ja lõhedes, olles enamasti survealine, põhjustades madalamatel aladel isegi kaevude ülevoolu. **Siluri-ordoviitsiumi (S-O)** vettandva kihi moodustavad siluri ja ordoviitsiumi ladestute lubjakivid ja dolomiidid, milles esinevad ka savikad vahekihid. Karbonaatsete kivimite ülemine 30 m paksune osa on lõheline ja karstunud. Põhjavesi liigub kivimilõhedes ja karstiõõnsustes, seda suhteliselt kiiresti, seejuures ordoviitsiumi kihtide veejuhtivus on üldiselt väiksem kui siluri kihtidel. Kuna lõhelisus ja karstumus vähenevad kiiresti sügavuse suurenedes, väheneb samas suunas ka kihtide veeandvus, veekihi efektiivseks paksuseks loetakse kuni 100 m. Siluri-ordoviitsiumi vettandvate kihtide avamusalal toituvad põhjaveekihid õhukese pinnakatte korral sademeveest, mistõttu põhjavesi võib kergesti reostuda. **Ordoviitsiumi-kambriumi (O-Cm)** veekihid moodustavad liivakivid ja aleuroliidid, mille poorides ja ka lõhedes põhjavesi liigub. Jäädes siluri-ordoviitsiumi regionaalse veepideme alla (vt joonis 1), mis on mõne meetri paksune klindil kuni 200-350 m paksune Eesti lõunapiiril, on ordoviitsium- kambriumi põhjavesi maapinnalt lähtuva reostuse suhtes hästi kaitstud. Veekihi enda paksus ulatub 10 – 100 m (vt joonis 1). Veekihtide peamiseks toitumisalaks on Pandivere kõrgustik, kust läbi siluri-ordoviitsiumi regionaalse veepideme nõrgunud vesi valgub radiaalsuunas laiali. **Kambrium-vendi (Cm-V)** veekihid moodustavad Lontova, Voronka ja Gdovi kihistu liivakivid ja aleuroliidid. Kambrium-vendi põhjavesi liigub vettandvate kivimite poorides ja lõhedes, olles hästi kaitstud maapinnalt pärineva reostuse eest. Kui teised eelpool käsitletud põhjaveekihid toituvad infiltreeruvast sademeveest, karstiveest ja lasuvate aluspõhjakihtide



Joonis 1. Põhjaveekihtide ja veepidemete paiknemine [Põhjaveekomisjon, 2004]

infiltratsiooniveest, siis kambrium-vendi veekihtide põhjavee toitumisel on määrav osa hoopis mattunud orgude veel, mis on suures osas moodustunud jääajal Eestit katnud mandrijää sulamisveest, ning vee juurdevoolul Soome lahe põhjasetetest aladel, kus veetaseme survepind on allpool merepinda. **Alamproterosoikumi-arhaikumi (PR₁-AR)** veekiht on mõnekümne meetri paksune aluskorra pealmine osa, kus kristalsete moonde- ja tardkivimite lõhedes ja kivimite peal olevas murenemiskoorikus leidub vähesel määral soolast vett, levik on ebahühtlane. Seda vett ei kasutata. Aluskorra sügavam osa moodustab veepideme, mis praktiliselt üldse vett läbi ei lase [Heinsalu ja Vallner, 1995, Põhjaveekomisjon, 2004].

1.2. Põhjavee keemiline koostis ja selle kujunemine

Põhjavee koostis kujuneb ja muutub ajas, reageerides keskkonnaga, mida ta veeringes tsirkuleerides läbib: põhjaveereservuaari siseneb erineva päritoluga vesi ning kivimites olevad mineraalid lahustuvad vette või ka sadenevad veest [Appelo ja Postma, 1999].

1.2.1. Põhjavee keemiline koostis

Peamised **katioonid**, mille sisaldus enamikes põhjavetes on peaaegu alati rohkem kui 1 mg/l, on Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ja K^+ . Peamisteks Ca^{2+} ja Mg^{2+} allikateks on karbonaatsete mineraalide lahustumine, Na^+ ja K^+ satuvad põhjavette valdavalt silikaatide murenemisel. Peamisi **anioone** leidub samuti vees rohkem kui 1 mg/l ning tavaliselt on nendeks anioonideks bikarbonaatioon (HCO_3^-), SO_4^{2-} ja Cl^- . HCO_3^- -l on kaks looduslikku allikat: biogeenne: CO_2 (vabanenud orgaanilise aine lagunemisel ning taimejuurte hingamisel) lahustumine vette; ja mineraalne: karbonaatsete mineraalide lahustumine. SO_4^{2-} -d satuvad põhjavette sulfiidmineraalide (peamiselt püriidi (FeS_2)) või kipsi ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) murenemisel [Younger, 2007].

Cl^- on üks kõige vähem reageeriv lahustunud aine põhjavees, seetõttu on tal ka vähe looduslikke mineraalseid allikaid. Cl^- vabaneb põhjavee kokkupuutel evaporitide haliidi (NaCl) ja sülviniiga (KCl), samuti sodaliidiga ($\text{Na}_4(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}\text{Cl}$), kuid nimetatud mineraale ei leidu igal pool. Seega võib Cl^- kontsentratsioon põhjavees olla väga heaks indikaatoriks merevee sissetungile maismaa põhjaveekihtidesse või põhjavee reostumisele. Looduslikult Cl^- rikkad on tavaliselt ka jäänukveed ning sügavate põhjaveekihtide kõrge Cl^- sisaldus võib olla põhjustatud kunagisest evaporatsioonist pinnaselähedases keskkonnas, sügaval maapõues lasuvate evaporitide lahustumisest või lahustunud ainete kontsentreerumisest loodusliku membraanfiltratsiooni käigus. Viimane võib aset leida väga sügaval maapõues, kus loodusliku surve gradiendi tõttu voolab põhjavesi läbi aleuroliit-savikivimi, mille poorid on nii väikesed, et takistavad isegi lahustunud ainete migratsiooni ning selle tulemusena akumulereb hüperkontsentreerunud soolvesi aleuroliit-savikivi kihi peale [Younger, 2007].

Väga levinud anorgaaniline komponent peaaegu kõikides põhjavetes on ränioksiid (SiO_2). Tema kontsentratsioon põhjavees jääb tavaliselt vahemikku 1-20 mg/l. Kuigi kvarts on vees lahustumatu, vabanevad mitmete silikaatide murenemisel vette Ca^{2+} ja Mg^{2+} , ning

samaaegselt sadenevate savimineraalidega kaasneb SiO_2 sattumine lahusesse [Younger, 2007].

On veel hulgaliselt ioone, mille sisaldus jääb enamikes vetes vahemikku 0,01 – 1 mg /l, kuid mille kontsentratsioon võib mõnikord olla ka tunduvalt suurem, nii et lokaalselt võib neid pidada põhjavee peamisteks ioonideks. Sellesse kategooriasse kuuluvad Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_3^- , NH_4^+ , HS^- , F^- ja B^{3+} . Kõik nimetatud ioonid on veekasutuse seisukohast ka problemaatilised (sellest tuleb juttu peatükis 2) [Younger, 2007].

Enamik reostamata põhjavetest sisaldavad vähesel määral orgaanilisi komponente (nt humiini- ja fulvoained), mis satuvad sinna taimse materjali lagunemisel. Kogu orgaanilise süsiniku sisaldus (TOC) on enamikes põhjavetes alla 5 mg/l, kuid nt soistel aladel võib orgaanilise aine sisaldus põhjavees ulatuda ka üle 10 mg/l. Üldiselt domineerib orgaanilises hüdrogeokeemias siiski antropogeense päritoluga orgaaniliste reoainete uurimine [Younger, 2007].

1.2.2. Sademete osa põhjavee koostise kujunemisel

Vihm ja lumi sisaldavad lisaks veele ka ioone, mille vesi on saanud liikudes läbi atmosfääri. Need on samad ioonid, mis esinevad pinna- ja põhjavees: Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , NO_3^- jt. Na^+ , K^+ , Cl^- , osaliselt ka SO_4^- satuvad atmosfääri peamiselt merelt õhku paisatavate veepiiskadega. Eriti intensiivne on mere aerosoolide levik tormide ajal. Näiteks oli Cl^- sisaldus sademetes 2005. aastal tunduvalt suurem kui 2006. aastal, mis iseloomustab hästi 2005. aasta jaanuaritormi tugevat mõju sademete keemilisele koostisele. Rannikult kaugemale sisemaale liikudes väheneb otseselt merest pärinevate ioonide kontsentratsioon sademetes. Tööstuspiirkondades võib oluline osa Cl^- emissioonidest pärineda ka plastikjäätmete põletamisest, terasetööstuse jahutusvee aurustumisest, kui jahutuseks kasutatakse soolast vett. Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- satuvad atmosfääri tavaliselt koos tolmu. Suurem osa SO_4^- , NO_3^- on aga atmosfääri paisatud tööstusheitmetega (tehaste suits ja muud gaasilised ning tahked heitmed). Lämmastikühendid satuvad atmosfääri ka põllumajandustootmise kõrvalproduktidena ning NO_3^- moodustub veel atmosfääri alumistes kihtides õhulämmastiku ja osooni ühinemisel [Appelo ja Postma, 1999, Põhjaveekomisjon, 2004].

Riikliku keskkonnaseire andmetel oli 2006. aastal sademevee keskmine koostis seirejaamades järgmine: Ca^{2+} sisaldus 0,5–2,1 mg/l (maksimum 6,2 mg/l), Mg^{2+} sisaldus 0,06–0,71 mg/l, K^+ sisaldus 0,2–0,6 mg/l, nitraatse lämmastiku sisaldus keskmiselt 0,47 mg/l, SO_4^- sisaldus keskmiselt 0,65 mg/l (Lõuna-Eestis 0,29–0,51 mg/l), Cl^- sisaldus 2004. a seireandmetel 0,4–2,1 mg/l. Enamiku ioonide kontsentratsioon sademetes näitab võrreldes varasemate aastatega vähenemistendentsi, suurenenud on mõnel pool vaid NO_3^- sisaldus. Sademetes sisalduvate ioonide koguhulk on sesoonse iseloomuga ning tugevalt seotud sademete hulga [KKM ITK, 2008].

Maapinnalähedase põhjavee loodusliku koostise kujunemisel on just sademete keemilisel koostisel kõige olulisem roll. Ligikaudu kaks kolmandikku sademetes sisalduvatest

mineraalainetest jõuab põhjavette, kusjuures infiltreeruva vee mineraalainete sisaldus suureneb vee osalise aurumise tõttu keskmiselt neli korda [Põhjaveekomisjon, 2004].

1.2.3. Taimkatte osa põhjavee koostise kujunemisel

Taimkattel on märkimisväärne faktor põhjavee looduslikul toitumisel. Kuna rohu- ja metsamaadelt on vee aurumine võrreldes põldudega suurem, on metsa- ja rohumaadel infiltreeruva vee mineraalainete kontsentratsioon kõrgem. Veega küllastunud tsoonis see erinevus siiski suuremalt jaolt järsult kaob.

Elementide kontsentratsiooni vees mõjutab tugevalt ka taimestiku selektiivne ionide kasutamine ja talletamine biomassi. Enamik toiteelemente liiguvadki tegelikult läbi aineringe pinnases ja biomassis ning pinnasest läbi filtreeruv vesi kannab endaga kaasa vaid väikese osa elementidest. Väiksem tähtsus bioloogilises ringes on magneesiumil ja väävlil. Samas adsorbeerib taimestik õhust gaase, nt SO_2 , NH_3 ja NO_2 , mida taimed osaliselt kasutavad ise, ülejääk aga uhutakse vihmaveega ära [Appelo ja Postma, 1999].

Taime eluea lõppedes hakkab orgaaniline aine lagunema, mis on sisuliselt toiteelementide taimestikku talletamise pöördprotsess. Orgaanilise aine lagunemine ehk oksüdatsioon toimub nii pinnases kui ka põhjaveekihtides, kus esineb fossiilset orgaanilist ainet nagu turvas, pruunsüsi jne. Protsessi käigus vabaneb CO_2 , mis mõjutab vee pH-d, samuti vabanevad teised orgaanilise aine poolt seotud elemendid, nt P, K, N, S jne. Orgaanilise aine lagunemine põhjavees võib vallandada terve rea olulisi reaktsioone: redutseeruvad rauaoksiidid, sulfaadid ja nitraadid, võib moodustuda CH_4 , produtseeritav CO_2 võib aga oluliselt mõjutada karbonaatseid mineraale puudutavaid reaktsioone [Appelo ja Postma, 1999].

1.2.4. Mineraalide osa põhjavee koostise kujunemisel

Lisaks sademete keemilise koostise ja bioloogiliste protsesside mõjule peseb läbi aeratsioonivöö infiltreeruv sademevesi pinnasest välja ka sinna eelnevatest perioodidest akumulunud soolad (vee aurumisel vees olevad mineraalid sadenevad pinnasesse) ning lahustab mineraale pinnasest, saavutades nii antud piirkonna maapinnalähedasele põhjaveele iseloomuliku keemilise koostise: Eestis on Na^+ , Cl^- ja SO_4^{2-} sisaldus maapinnalähedases põhjavees tavaliselt vahemikus 2–20 mg/l. Sügavamates veekihtides, kus veevahetus on aeglasem, suureneb nende komponentide sisaldus tunduvalt. Seega, pinnase- ja põhjavee keemiline koostis sõltub kivimitüübist, läbi mille vesi voolab. Näiteks aluselised kivimid on oliviinide- ja pürokseeniderikkad ning sellisel juhul on domineeriv katioon pinnases ja põhjavees Mg^{2+} . Lubjastes pinnastes on pinnasevee peamiseks katiooniks Ca^{2+} ning kui pinna- ja põhjavees on Ca^{2+} ja Mg^{2+} kontsentratsioon ligikaudu võrdne, pärinevad nad tõenäoliselt dolomiidist ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) [Põhjaveekomisjon, 2004, Appelo ja Postma, 1999].

Mineraalide saadavus kivimites ja lahustumise kiirus

Karbonaatide, silikaatide ($-(\text{SiO}_4)^{4-}$) ja evaporiitide (haliit NaCl , kips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, anhüdriit CaSO_4) murenemisel ja lahustumisel vabanevad erinevad keemilised elemendid ja ionid.

Mõned mineraalid, nagu karbonaadid ja evaporiidid, lahustuvad kiiresti ja muudavad vee koostist märkimisväärselt juba pinnases, samal ajal näiteks silikaadid lahustuvad aeglaselt ja nende mõju põhjavee keemiale on vähemmärgatav. Ca^{2+} , HCO_3^- , SiO_2 , K^+ ja F^- -ioonide puhul on mineraali lahustuvus looduslikus vees tavaliselt ionide maksimaalse kontsentratsiooni ülemisel piiril, see tähendab, et antud looduslikel tingimustel need mineraalid rohkem lahustuda ei saa. Paekivi ja mergel toodavad Ca-Mg- HCO_3 -tüüpi vett, samas moonde- ja vulkaanilistes kivimites (kilt, liivakivi, graniit jt) leiduv põhjavesi sisaldab lisaks veel märkimisväärses koguses Na^+ , K^+ ja Cl^- . Tabelis 1 on toodud erinevate keemiliste komponentide allikad ja nende kontsentratsioonide vahemikud, mis on omased reostamata mageveele [Appelo ja Postma, 1999].

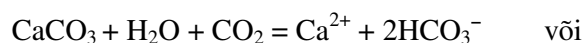
Tabel 1. Keemiliste komponentide allikad ja normaalsed kontsentratsioonid reostamata magevees [Appelo ja Postma, 1999]

Komponent	Kontsentratsioon, mmol/l	Kontsentratsioon, mg/l	Allikas
Na^+	0,1–2	2,3–45,9	Päevakivi, kivisool, tseoliit, atmosfäär
Mg^{2+}	0,05–2	1,2–48,6	Dolomiit, serpentiin, pürokseen, amfibool, oliviin, vilgukivi
Ca^{2+}	0,05–5	2–200,4	Karbonaat, kips, päevakivi, pürokseen, amfibool
Cl^-	0,05–2	1,8–70,9	Kivisool, atmosfäär
HCO_3^-	0–5	0–305	Karbonaadid, orgaaniline materjal
SO_4^{2-}	0,01–5	0,9–480,2	Atmosfäär, kips, sulfiidid
NO_3^-	0,001–0,2	0,06–12,4	Atmosfäär, orgaaniline materjal
Fe^{2+}	0–0,5	0–27,9	Silikaadid, sideriit, hüdrosiidid, sulfiidid

Karbonaadid

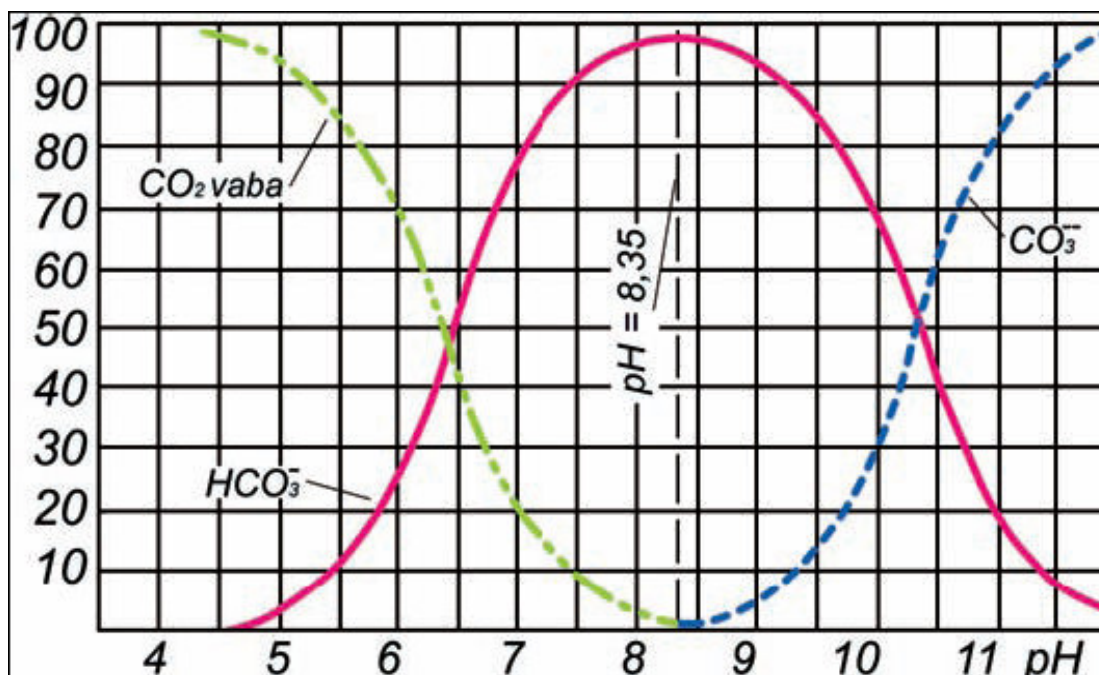
Meie pinnases on kivimites olevatest mineraalidest ainsateks looduslikult lahustuvateks ühenditeks karbonaadid, millest olulisemad on kaltsiit (trigonaalne CaCO_3) ja dolomiit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Kaltsiit ja dolomiit rikastavad vett Ca^{2+} , Mg^{2+} ja HCO_3^- -ga. Karbonaatide sisaldus põhjavees sõltub vees lahustunud vaba süsihappegaasi hulgast, seepärast on Eesti maapinnalähedane põhjavesi kõikjal (va rabad ja suured liivaalad) sarnase keemilise koostise ja mineraalsusega, olenemata sellest, kas vesi liigub karbonaatkivimites, kruusas, moreenis või liivakivi lõhedes (ka liivakivis on inertsete osakeste ümber tsementeerivaks aineks karbonaatne materjal). Peamine CO_2 allikas pinnases on taimejuurte hingamine ja orgaanilise aine oksüdatsioon [Põhjaveekomisjon, 2004, Appelo ja Postma, 1999].

Kaltsium- ja magneesiumkarbonaatide lahustumisprotsess vees kulgeb järgmiselt:





Nagu toodud reaktsioonivõrranditest näha, saab protsess toimuda vaid lahustunud vaba CO_2 olemasolul. Lisaks vabale CO_2 ja HCO_3^- -le võib põhjavees esineda ka CO_3^{2-} , mille olemasolu ja kontsentratsioon vees sõltub vee pH-st (vt joonis 2) [Põhjaveekomisjon, 2004].



Joonis 2. Süsihappegaasi, vesinikkarbonaadi ja karbonaadi vahekord vees (%-des) sõltuvalt vee pH-st [Manahan, 2005]

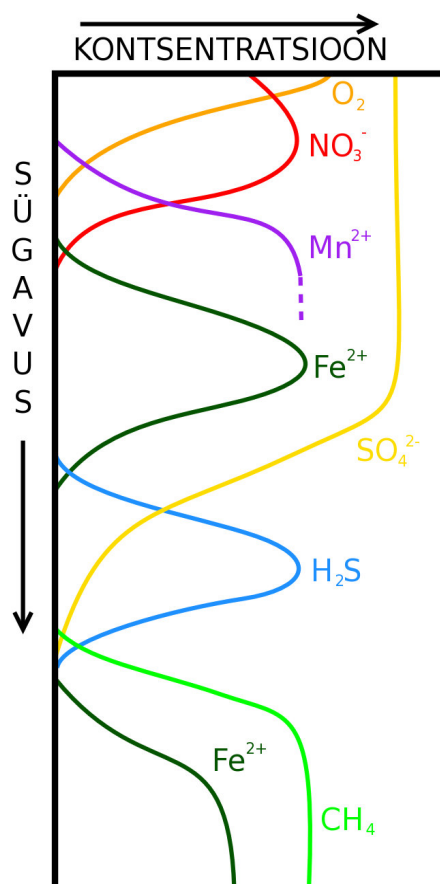
Peale pH-le mõjutab CO_2 lahustuvust vette CO_2 rõhk pinnases. Kuna CO_2 tekib pinnases orgaanilise aine lagunemisel ja taimestiku juurte hingamisel, määrab pinnase CO_2 rõhu suures osas maakasutus ja bioloogiline produktiivsus. Suvel difundeerub CO_2 pinnases allapoole pinnase- ja põhjavee taseme suunas, kuid vegetatsiooniperioodi välisel ajal võib toimuda ka vastupidine protsess. Erinevate uuringute andmetel jääb pinnase CO_2 rõhk vahemikku $10^{-2,5}$ kuni $10^{-1,5}$ atm. CO_2 produktsiooni pinnases suurendab ka temperatuuri tõus, ehkki bioloogiline produktiivsus sõltub suuresti vee kättesaadavusest ja pinnase tingimustest [Appelo ja Postma, 1999].

1.2.5. Põhjavee keemilise koostise muutumine maapinna sügavuse suurenedes

Põhjavee lõplik keemiline koostis sõltub veekihi lasumissügavusest. Vee keemilise koostise muutuseid sügavamale pinnasesse infiltreerudes iseloomustab hästi joonis 3.

Maapinna lähedal on vesi hapnikurikas, mistõttu vees võib leida NO_3^- ja SO_4^{2-} . Sügavuse suurenedes muutub vesi järjest hapnikuvaesemaks, kuni vaba hapnik veest kaob ning mikroorganismid hakkavad tarvitama NO_3^- ja SO_4^{2-} -ioonide hapnikku. Vaba hapniku kadudes ilmuvad vette lahustunud Mn^{2+} ja Fe^{2+} , hiljem H_2S ; NO_3^- redutseerub NH_4^+ -ks. SO_4^{2-} kadumisega hakkavad lagunema ka karbonaadid, mille tulemusena ilmub vette metaan (CH_4).

Sügavates veekihtides, kus veevahetus aeglane, on kohati säilinud merelise tekkega põhjavesi, mis on suure Na^+ ja Cl^- sisaldusega, samuti võib muude mikrokomponentide sisaldus olla suurem joogivees lubatud piirsisaldustest. Kiire veevahetusega põhjaveekihtides, kus on aeroobsed tingimused, on vee on mikroelementide sisaldus üldjuhul väike [Põhjaveekomisjon, 2004].



Joonis 3. Põhjavee keemilise koostise muutus sügavuse suurenedes
[Põhjaveekomisjon, 2004]

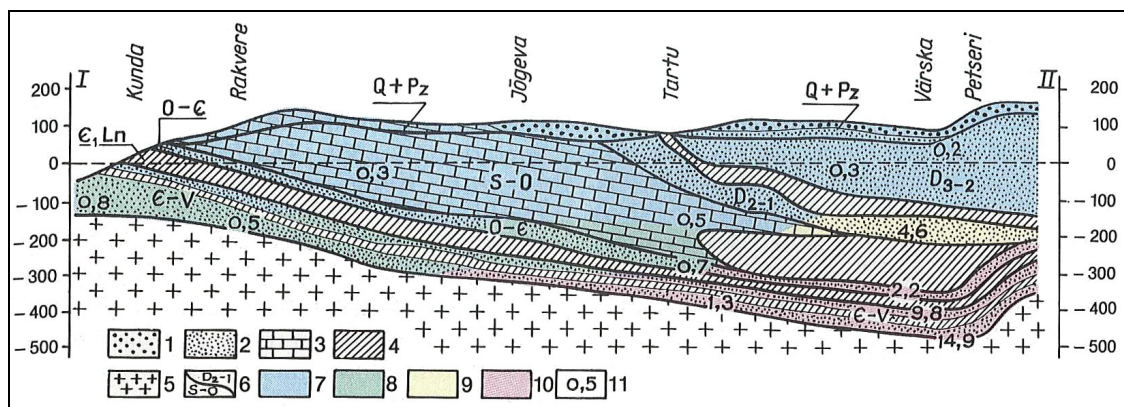
1.2.6. Eesti põhjavee keemiline koostis ja selle tüübid

Vee keemilise koostise tüüpi tähistatakse makrokomponentide loeteluga nende sisalduse kahanemise järjestuses (anioonid enne katioone), kusjuures arvesse ei võeta neid ioone, mille osa on väiksem kui 20%-ekvivalenti [Heinsalu ja Vallner, 1995].

Kuni 200–250 m sügavuseni maapinnast levib Eestis looduslikult peamiselt $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ -tüüpi põhjavesi (vt joonis 4), mille mineraalsus ehk lahustunud soolade hulk on enamasti 0,3 – 0,4 g/l. Väga väikese mineraalsusega (alla 0,1 g/l) on soosetete vesi, mida seevastu iseloomustab rohke humiinhapete sisaldus (pH tavaliselt 4,3...5,7, kollakas värvus, iseloomulik maitse). Rannikualadel mõne kilomeetri kauguseni merest leidub ka taganenud rannikumere mõjul kujunenud $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Ca}$ - või paiguti soolakat $\text{SO}_4\text{-Cl-Na-Mg}$ -tüüpi vett mineraalsusega kuni 3 g/l. Devoni liivakivide ja osaliselt ka kvaternaari setete vesi sisaldab sageli rohkelt kahevalentset rauda (Fe(II)) ning mõnikord ka mangaani (Mn^{2+}) [Heinsalu ja Vallner, 1995].

Kihtide sügavuse suurenedes põhjavee mineraalsus kasvab: Lõuna-Eesti ordoviitsium-kambriumi ja kambrium-vendi 410–780 m sügavustes kivimites esineb ravitoimeline Cl-Na - ja Cl-Na-Ca -tüüpi vesi, mille mineraalsus on 2–17 g/l ning sisaldab paiguti märkimisväärses

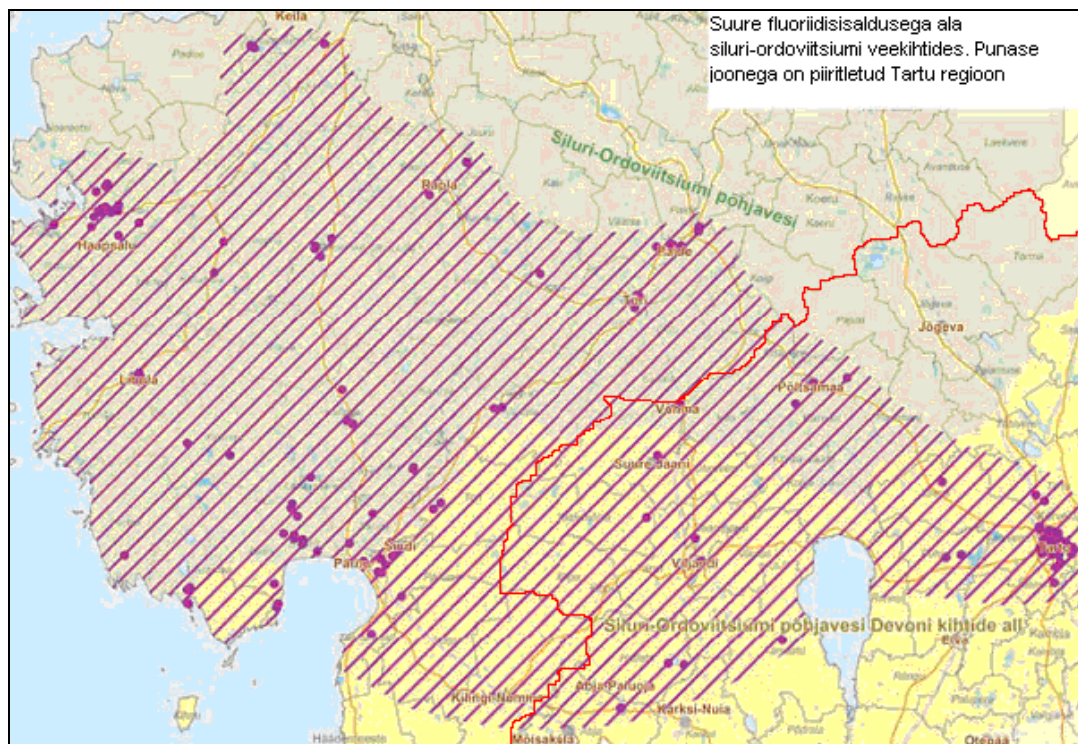
koguses broomi (Br^-). Kõrgenenud mineraalsusega (kuni 21,7 g/l) ja kohati Br^- -rikas on kristalse aluskorra vesi ning soolakas vesi mineraalsusega 1–4 g/l levib ka kesk- ja alamdevoni kivimites Lõuna-Eestis. [Heinsalu ja Vallner, 1995]



Joonis 4. Eesti hüdrogeoloogiline läbilõige

1 – liiv, kruus, moreen; 2 – liivakivi, aleuroliit; 3 – lubjakivi ja dolomiit; 4 – suhteliselt vettpidav kiht (savi, mergel, tihe lõhedeta lubjakivi ja dolomiit); 5 – aluskord; 6 – veeladestiku indeks ja eraldusjoon; 7 – mage valdavalt $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ -tüüpi vesi; 8 – mage $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Ca}$ -tüüpi vesi; 9 – mage $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ - ja soolakas $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na}$ -tüüpi vesi; 10 – soolakas ja soolane Cl-Na-Ca -tüüpi vesi; 11 – vee mineraalsus (g/l).

[Heinsalu ja Vallner, 1995]



Joonis 5. Suure fluoriidisisaldusega ala siluri-ordoviitsiumi veekihtides Lääne- ja Kesk-Eestis. [Põhjaveekomisjon, 2004, modifitseeritud]

Põhjavesi on Eestis üldiselt joodivaene, kuid siluri-ordoviitsiumi veekihtide vesi sisaldab mõnikord suures koguses fluoriidi (F^-), seda peamiselt Lääne- ja Kesk-Eestis (vt joonis 5), kus üle 100 m sügavustest pk-des võib F^- sisaldus ulatuda 4–7 mg/l. Madalates pk-des (sügavusega alla 30 m) jääb F^- kontsentratsioon valdavalt <1,5 mg/l. Põhjavesi, milles on looduslikult kõrge Ca^{2+} sisaldus, sisaldab tavaliselt vähem F^- , kui põhjavesi, mille Ca^{2+} kontsentratsioon on madal. [Heinsalu ja Vallner, 1995, Põhjaveekomisjon, 2004, Appelo ja Postma, 1999].

Kambriumi–vendi veekihtide põhjavesi ei vasta suuremalt jaolt joogivee nõuetele ka radioloogiliste näitajate poolest, sest selle efektiivdoos on üle 0,1 mSv, kusjuures üle 90% ülemäärasest oodatavast efektiivdoosist annavad vees lahustunud loodusliku raadiumi isotoobid ^{226}Ra ja ^{228}Ra . Põhjavee radionukliidide sisaldus (Bq/l) pärineb aluskorra kivimitest (graniit, gneiss jt). [Põhjaveekomisjon, 2004]

2. Joogivees sisalduvate ainete terviseriskidest

Raua piirsisaldus joogivees on 0,2 mg/l, looduslikus vees võib raua sisaldus olla aga isegi kuni 50 mg/l. Joogivette lisandub rauda ka joogiveetorustikust. Raud on inimorganismile vajalik element, kuid liigselt sisaldusel organismis ka väga kahjulik ajule ja närvisüsteemile. Siiski tulenevad sellised tervisehädad organismi raua omastamise häiretest ning ülenormatiivse rauasisaldusega joogivee tarvitamine tervisele ohtlik ei ole, sest tavaliselt organism seda liigselt ei omanda. Range piirsisaldus joogivees on tingitud organoleptilistest ja elukvaliteedi aspektidest [Saava, 2008].

Mangaan on üks enim levinud metall maakoos, sageli esineb koos rauaga. On samuti inimorganismile vajalik element ning peamiselt saadakse seda toiduga. Tervisehäireid tekitab nii mangaani puudus, kui liig organismis. Liigselt tarbimisel on mangaan neurotoksiiline: värisemine, taaruv kõnnak, emotsionaalne labiilsus, kerge ärritatus jpm. Tervisel põhinev LPK on 0,4 mg/l, kuid kuna mangaan mõjutab ka tugevalt vee organoleptikat, siis piirsisaldus joogivees on 0,05 mg/l [Saava, 2008].

Ammoonium, nitritid ja nitraadid joogivees

Looduslikus vees on ammooniumi ja nitraate reeglina vähe. Eesti tingimustes on nitraatide looduslik tase vees kuni 3 mg/l, tabelis 1 toodud rahvusvaheliste andmete järgi kuni 12 mg/l. Vee kloreerimisel moodustuvad lämmastikühenditest nitritid, mis on toksilised, sest oksüdeerivad hemoglobiini methemoglobiiniks põhjustades imikute methemoglobineemiat. Nitraadid võivad aga põhjustada sünnidefektide sagenemist, vererõhu tõusu, vähki, struumat jm, seda peamiselt läbi nitritite, kuna seedetraktis redutseeruvad nitraadid nitrititeks. Ammoonium on aga hea indikaator näitamaks vee reostumist – nii on võimalik varakult vältida nitritite- ja nitraatiderikka vee tarbimist. Ammooniumi ja nitriti piirsisaldus joogivees on 0,5 mg/l, nitraatide piirsisaldus 50 mg/l [Saava, 2008].

Trihalometaane (THM) looduslikus vees tavaliselt ei ole. Nad tekivad looduslikest orgaanilistest ainetest (humiin- ja fulvohapetest) vee kloorimise kõrvalproduktina. Üksikute moodustuvate ainete hulk oleneb temperatuurist, pH-st, kloori ja broomi ionide kontsentratsioonist. Tavatingimustes tekib vee kloorimisel kõige rohkem (ca 95%) kloroformi. Peamine ekspositsioon THM-dele on seedetrakti kaudu vee joomisel, kuid ka naha kaudu (pesemisel, vannis käimisel, basseinis ujumisel, dušši võtmisel (naha + õhu kaudu). Kõiki ekspositsiooni teid tuleb arvestada. Loomkatsetel on tuvastatud, et kloroform võib põhjustada maksa- ja neerukasvajaid, epidemioloogilistes inimuuringutes on täheldatud põievähi riski tõusu ja enneaegse sünnituse riski tõusu. THM-d on tõenäolised inimkantserogeenid (genotoksiline toime ilma ohutu lävikontsentratsioonita) [Saava, 2008].

Fluoriidi piirsisaldus joogivees on 1,5 mg/l. Fluoriid on vajalik mikroelement, mis osaleb luude ja hammaste mineralisatsioonis ning aitab ära hoida hambakaariest. Ülenormatiivse fluoriidisaldusega joogivee pideval tarbimisel hakkab avalduma fluori toksiline toime. Tuntuimad fluoriidide poolt tekitatavad tervisehädad on hamba- ja skeletifluuroos (viimasest areneb lõpuks osteoporoos). Kuid liigne fluoriidi tarbimine põhjustab ka neuroloogilisi probleeme, tekitades ajukoes sarnaseid kahjustusi Alzheimeri tõve poolt põhjustatud patoloogiliste muutustega, samuti depressiooni, lihaste kärbumist, väheneb immuunsus, toimuvad muutused maksa, neerude, seedetrakti, ekskretsiooniorganite, kesknärvisüsteemi funktsionaalsetes mehhanismides jne [Meenakshi, 2006, Saava, 2008].

Naatrium ei ole tervele inimesele toksiline, selle liig eritatakse uriiniga. Samas aga tõstab väga suurte naatriumikoguste väljutamine organismist vererõhku ning liigsed naatriumikogused soodustavad organismist kaltsiumi väljutamist uriiniga [Pitsi].

Sulfaatide tavalisel esinemisel joogivees ei ole terviseriski, kuid võib põhjustada torustikke korrosiooni, annab veele mõrkja maitse ning väga suure sisalduse korral võib põhjustada kõhulahtisust, dehüdratatsiooni ning seedetrakti ärritusnähte [Saava, 2008].

Membranfiltratsiooniga saadud **deioniseeritud vesi** on väga agressiivne ja leostab torustikust ja seadmetest kahjulikke aineid vette. Vesi on halva maitsega ning põhjustab otseseid tervisehäireid: mõjub halvasti soolestiku limaskestale, vee ainevahetusele ja mineraalide tasakaalule organismis, põhjustab kaltsiumi, magneesiumi jt mikroelementide vaegust. Samuti väheneb kaltsiumi, magneesiumi ja teiste ainete sisaldus toidus. Paralleelselt suureneb vees toksiliste ainete sisaldus, mis leostuvad materjalidest kergemini deioniseeritud vette. Ca- ja Mg-vaese vee antitoksiline kaitsevõime on väiksem (vähendavad ainete imendumist soolest verre). Seetõttu on vajalik joogiveele kareduse alammäära kehtestamine [Saava, 2008].

3. Tartu regiooni joogiveega varustamisel kasutatavad põhjaveekihid ja põhjavee keemiline koostis

Järgnev Tartu regiooni (ühis)veevärkides kasutatavate põhjaveekihtide analüüs on koostatud Tervisekaitseinspeksiooni (TKI) järelevalveobjektide põhjal, kuna nende osas on muuhulgas

valdavalt olemas ka usaldusväärsed andmed põhja- ja joogivee kvaliteedi kohta. Veekihtide vee kvaliteedi hindamisel on käesoleva töö autor lähtunud SoM 31.07.2001.a määrusest nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid” ning paralleelseid võrdlusi on toodud ka SoM 02.01.2003.a määrusega nr 1 „Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded”.

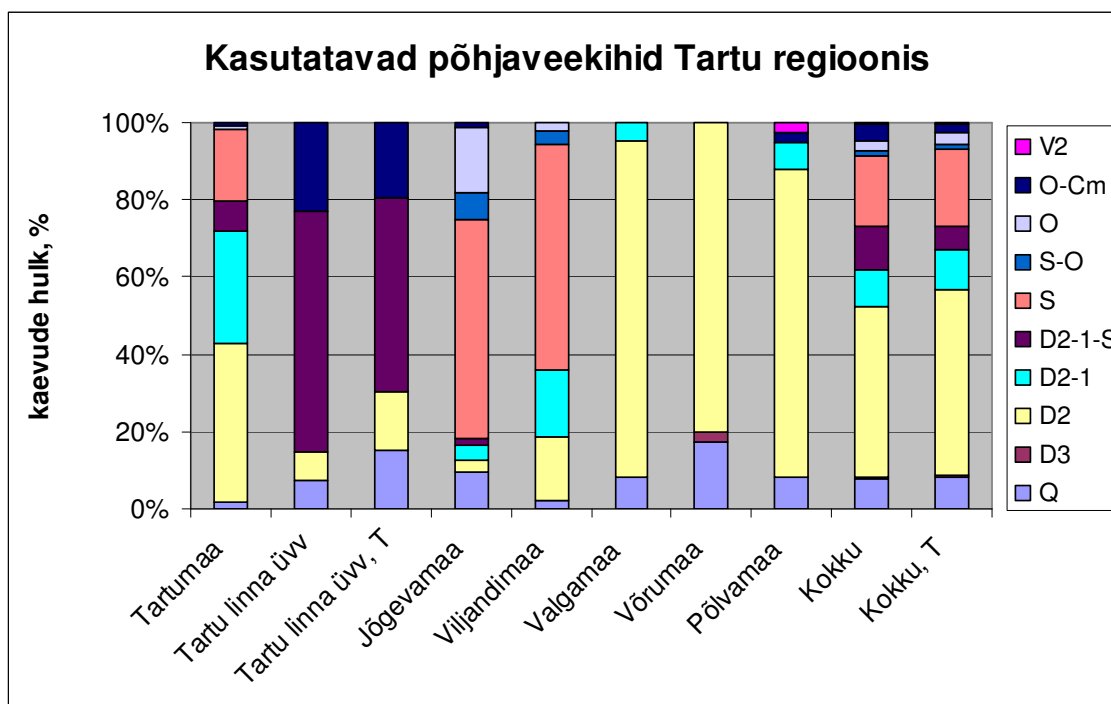
Tartu regioonis oli 31.12.2008. a seisuga järelevalveobjektidena arvel 606 puur- ja salvkaevu, mis teenindavad 433 (ühis)veevärki (edaspidi tekstis ühisveevärk – üvv ja veevärk – vv). 45 pk on hetkel reservis, 11 pk kasutatakse aeg-ajalt, seega aktiivses pidevas kasutuses on 550 kaevu.

7 (1,2% kaevudest) aktiivses kasutuses oleva kaevuga ekspluateeritava põhjaveekihi kohta andmed puuduvad ning neid edaspidi antud töös ei käsitleta. Teised Tartu regioonis kasutatavad põhjaveekihid on toodud maakondade lõikes joonisel 6. Antud joonis iseloomustab erinevates maakondades ekspluateeritavaid põhjaveekihte protsentuaalselt kaevude hulga järgi ning ei arvesta nendest kaevudest välja pumbatavate vee mahtudega. Eraldi on välja toodud Tartu linna üvv-s kasutatavad pk-d ja veekihid, kuna pk-de arv Tartu linna üvv-s on võrreldav Tartu regiooni üksikute maakondade üvv-de kaevude arvuga. Tartumaa kaevude hulgas Tartu linna üvv kaevudega arvestatud ei ole.

Et Tartu linna üvv pk-dest ligikaudu pooled on reservis (ca 40%) või vaid aeg-ajalt kasutuses (ca 12%), on joonisel 6 esitatud Tartu linna üvv andmed kahes erinevas tulbas: esimesel on näha kõigi arvel olevate pk-de jaotus põhjaveekihtide kaupa, teises tulbas aga on arvestatud vaid reaalset kasutuses olevate kaevude arvuga. Paralleelsetest andmetest on selgelt näha, et 7 kvaternaari ja 7 keskdevoni veekihi pk-de osakaal realses veekasutuses on poole suurem, kui esimese tulba järgi arvata võiks. Samas ei mõjuta see oluliselt regiooni keskmisi näitajaid (vt joonis 6 tulbad „kokku”, kus on arvestatud kõiki 606 arvel olevat pk, ja „kokku, T”, kus on kaevude baasarvuks võetud 550).

Kaevudest välja pumbatavate vee mahtude järgi jagunevad ekspluateeritavad põhjaveekihid protsentuaalselt Tartu linnas ja regiooni maakondades aga teisiti, võrreldes pk-de arvulise jaotusega (joonis 7). Ainuke maakond, kus pk-de ja ööpäevase veetarbe protsentuaalne jaotus on sarnane, on Valgamaa. Suhteliselt hästi on võrreldavad ka Tartu- ja Võrumaa vastavad graafikud.

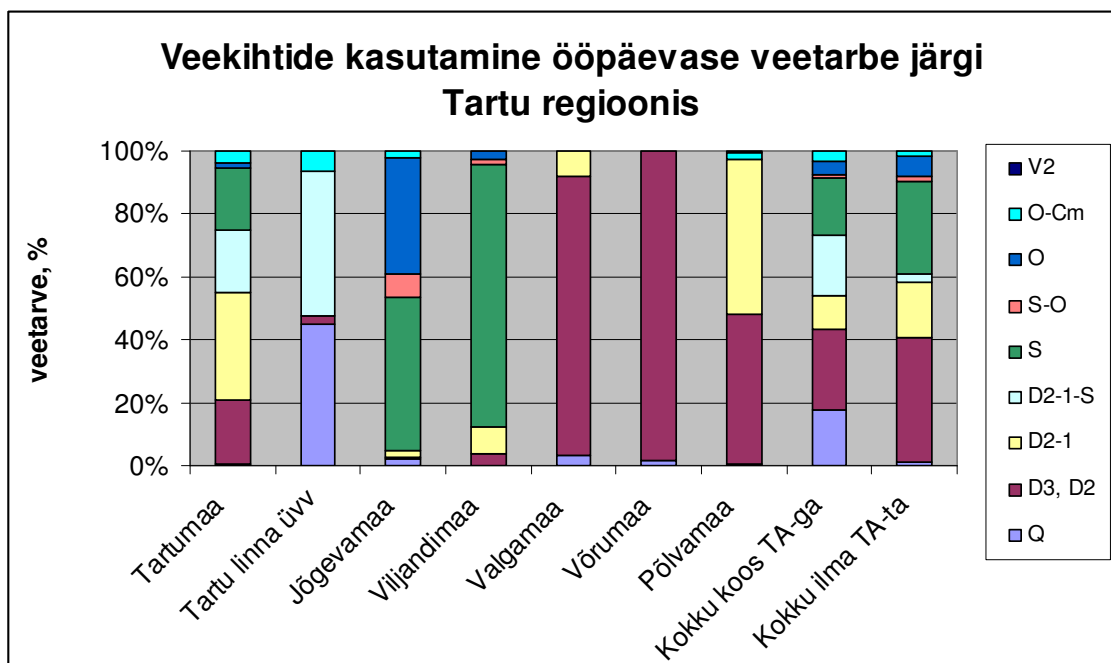
Kui üldine tendents on, et madalatest kvaternaari kaevudest, mida arvuliselt on maakondades (va Tartu linna üvv kaevud) kokku ca 7,8%, on veetarbimine küllaltki väike – ca 1,3 % kogu ööpäevasest veetarbimisest, siis Tartu linna üvv-s on olukord vastupidine. Nimelt kasutab Tartu linna üvv 7 kvaternaari veekihi pk (ca 15% kõigist selle üvv igapäevases kasutuses olevatest pk-dest), mille ööpäevane tootmismahd viimase kolme aasta jooksul (2006–2008) on AS Tartu Veevärk andmetel kogu üvv tootmismahust moodustanud 43–47% (joonis 7). Kõik 7 kvaternaari pk toituvad Meltsiveski põhjaveekogumist.



Joonis 6. Tartu regioonis ühisveevarustuses kasutatavad põhjaveekihid pk-de arvu järgi

Koostanud K.Kiidjärv

*T – tegutsevad



Joonis 7. Tartu regioonis ühisveevarustuses kasutatavad põhjaveekihid ööpäevase veetarbe järgi

Koostanud K.Kiidjärv

*TA – Tartu linna ühisveevärk

3.1. Kvaternaari (Q) veekiht

3.1.1. Levik

Nagu joonise 6 viimaselt tulbalt näha, toituvad ligikaudu 8,3% järelevalve all olevatest tegutsevatest kaevudest **kvaternaari (Q)** veekihist. Olulisemad kvaternaari põhjaveekogumid Tartu regioonis on toodud joonisel 8. Kõik joonisel toodud kvaternaari ühendatud põhjaveekogumid ning Meltsiveski põhjaveekogum leiavad (ühis)veevärkides suuremal või vähemal määral kasutamist.

Kvaternaari veekompleks toitub peamiselt sademeteveest, suurvee ajal ka pinnaveest. Põhjavee tase ja vee keemilise koostise muutused sõltuvad otseselt meteoroloogilistest tingimustest, reljeefist ja vettandvate setete litoloogiast. Vesi on enamasti surveta [Hiiob ja Karro, 2001].



Joonis 8. Kvaternaari veekihi põhjaveekogumid [Põhjaveekomisjon, 2004, modifitseeritud]

3.1.2. Kaevude sügavus

Lõuna-Eesti pinnakattele on omane suur muutlikkus – erineva geneesiga (soo-, mere-, jääjärve-, liustikujõe- jt) setete paksus varieerub suurtes piirides, ulatudes mõnest meetrist kuni 80–90 meetrini, mattunud ürgorgudes kuni 200 meetrini [Savitski jt, 1995; tsiteeritud Hiiob ja Karro, 2001 järgi]. Veepideme aga moodustavad nt Kagu-Eestis jääjärvelised viirsavid ja peeneteralised liivsavid paksusega 2–50 m [Perens&Vallner, 1997; tsiteeritud Hiiob ja Karro, 2001 järgi].

23 Tartu regiooni järelevalve all olevatest kvaternaari veekihi kaevudest on salvkaevud sügavusega 4–20 m ning 23 on pk-d sügavusega 16–105 m. Tartu Meltsiveski veehaarde pk-d on sügavusega 20–42 m, levides Raadi-Maarjamõisa kruusa-liivaga täidetud ürgorus, kus vettandva kihi paksus on ca 30 m [Tartu linna ÜVKA, 2007]. Põlvamaa kvaternaari veekihi ühisveevarustuses kasutatavad kaevud on kõik salvkaevud sügavusega 5–20 m.

3.1.3. Veetarve ja tarbijate arv

Keskkonnaministri poolt on põhjavee tagatud tarbevaru (vt ptk lühendite loetelu ja mõisted) kinnitatud järgmistele kvaternaari põhjaveekogumitele:

1. Meltsiveski: 12000 m³/d, kasutusaeg kuni 2018 (KKM 06.04.2006. a käskkiri nr 403), soovitatav tarbevaru Tartu linna ÜVKA järgi on 6000 m³/d.
2. Otepää: 225 m³/d, kasutusaeg kuni 2019 (KKM 06.04.2006. a käskkiri nr 405).

Kvaternaari veekihi kaevudest tegeliku kasutatava vee hulga ja tarbijate arvu kohta on ülevaade toodud tabelis 2. Tarbijate arvu ei ole peaaegu kunagi võimalik päris täpselt määratleda, kuna valdavalt on lepingud veeteenuse tarbimiseks sõlmitud nõ majapidamisega ning majapidamises elavate inimeste arvu vastu ei tunta erilist huvi. Veelgi keerulisem on tarbijate arvu veekihtide kaupa hinnata (ühis)veevärkides, mis kasutavad paralleelselt mitme erineva veekihi kaeve. Käesolevas töös ei keskenduta ka erineva iseloomuga ettevõtetele, millede veetarve erineb oluliselt inimeste majapidamiste veetarbest. Seega on tabelis esitatud arvud hinnangulised ning ei pretendeeri absoluutsele tõe. Tarbijate arv kui parameeter on välja toodud, et oleks võimalik ligikaudu hinnata, kui palju inimesi millise kvaliteediga joogivett tarbib ja võrrelda olukorda Tartu regiooni maakondades.

Tabel 2. Kvaternaari veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti

	Kaevude arv	Tootmismahd, m ³ /d	Hinnanguline teenindatavate elanike arv
Jõgevamaa	7	90	1260
Põlvamaa	6	30	370
Tartumaa	2	25	545*
Tartu linna üvv	7	6400	44 000
Valgamaa	7	102	518
Viljandimaa	2	3	40
Võrumaa	15	51	342

*sh Lähte kool 500 tarbijaga

Vee erikasutusloa (nr L.VV.TM-169600, kehtib alates 01.01.2008 kuni 31.12.2012, muudetud 03.09.2008) järgi on AS-l Tartu Veevärk Meltsiveski põhjaveekogumist (7 pk, 15% üvv toitvates kaevudest) lubatud veevõtt kuni 9000 m³/d. Tegelik veetarve on aga ca 6400 m³/d, mis moodustab ligikaudu 45% kogu Tartu linna üvv ööpäevasest veetarbest (vt joonis 7). Meltsiveski veehaarde vett tarbivate inimeste arvu ei ole võimalik täpselt määratleda, kuna vesi seguneb teiste Tartu linna ühisveevärki toitvate pk-de veega. Tabelis 2 on toodud, et

kvaternaari veekihi vett Tartu linna üvv-s tarbivad ca 44 000 inimest, mis on leitud arvutuslikult. Nimelt on AS Tartu Veevõrk andmetel tarbijate koguarv Tartu linna üvv-s 98178 ning keskmine ööpäevane veetarve kogu üvv-s 2007. a ja 2008. a andmete põhjal ca 14400 m³/d, mille põhjal saab leida, et ühe inimese kohta on ööpäevane veetarve Tartu linna üvv-s ca 145 l. Viimase põhjal ongi tarbijate ligikaudsed arvud veekihtide kaupa Tartu linna üvv-s arvatud.

Võrumaal on küll arvuliselt suhteliselt palju kvaternaari veekihist toituvaid kaeve (ca 17% järelevalve all olevatest kaevudest), kuid need on valdavalt majutusteenust osutavate ettevõtete salvkaevud ning nende tootmismahd on 2–5 m³/d kaevu kohta. Meltsiveski veehaarde tähtsusega Tartu linnale ei saa kõrvutada küll ühtegi teist piirkonda Tartu regioonis, kuid suhteliselt oluline on kvaternaari veekiht ka Jõgeva- ja Valgamaa ühisveevarustuses: vastavalt 10 ja 8% järelevalve all olevatest kaevudest ning veetarve on ca 90–100 m³/d (vt tabel 2 veerg „tootmismahd” ja „hinnanguline teenindavate elanike arv”). Sarnaselt Võrumaaga kuuluvad 7 Valgamaa kvaternaari veekihi puur- ja salvkaevudest 6 majutusasutustele. Jõgevamaal on see veekiht aga oluline 2 kooli (Torma ja Maarja põhikoolid) veega varustamisel ning kvaternaari veekihist toitub ka Elistvere suursöögi pk – seetõttu on kvaternaari veekihi vee tarbijate arv suhteliselt suur, tarbitava vee kogus aga suhteliselt väike (ca 71 l/d inimese kohta). Põlvamaa järelevalveobjektist, mis kasutavad salvkaeve, on 4 haridusasutused, 1 majutusasutus ning 1 toidukäitleja. Vähemtähis on kvaternaari veekiht Viljandimaa ühisveevarustuses.

Kokku tarbib kvaternaari veekihi vett Tartu regioonis (va Tartu linna üvv tarbijad) otseselt või kaudselt hinnanguliselt 3100 inimest, ehkki suurem osa neist ei ole püsitarbijad, kuna valdavalt teenindavad kvaternaari veekihi kaevud majutusasutusi (Võru- ja Valgamaa), lasteasutusi (koolid, lasteaiad) ja toidukäitlejaid. Nt Jõgevamaa 1260 kvaternaari vee tarbijast ligikaudu 500, s.o. ca 40%, moodustavad Elistvere suursöögi poolt toodetava toidu tarbijad haridusasutustes.

3.1.4. Vee kvaliteet kvaternaari veekihis

Kvaternaari veekihi vesi on valdavalt mage HCO₃-Ca-Mg-tüüpi, mineraalsusega 0,2–0,3 g/l (vt joonis 4). Enamikes Jõgeva-, Põlva- ja Valgamaa kvaternaari veekihist toituvate kaevude vees on kõrgeenenud raua- ning mõnel pool ka mangaanisisaldus (vt tabel 3).

Tabel 3. Kvaternaari kaevude arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele

Q	Jõgevamaa		Põlvamaa		Tartumaa*		Valgamaa		Viljandimaa		Võrumaa	
	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok
Fe (üld)	2	5	3	3	6	2	3	4	2	0	11	4
Mn	6	1	3	3	7	1	4	3	2	0	12	3
NH ₄	6	1	5	1	8	0	6	1	2	0	14	1
oksüdeeritavus	7	0	5	1	8	0	4	AP	2	0	15	0

ok – vesi vastab kvaliteedinõuetele; nok – vesi ei vasta kvaliteedinõuetele; AP – andmed puuduvad; * - sh Tartu linna üvv kaevud

Tabelis 3 on esitatud iga maakonna kohta kaevude arv, mille vesi vastab ja mille vesi ei vasta nõuetele iga konkreetse kvaliteedinäitaja puhul, kusjuures on kaeve, mille mõne näitaja kohta andmed puuduvad. Seetõttu nõuetele vastavate ja mittevastavate kaevude arv kokku erinevate kvaliteedinäitajate puhul ei pruugi antud tabelis olla konstantne. Välja on toodud vaid need kvaliteedinäitajad, mille puhul esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest.

Raua sisaldus nõuetele mittevastavates kaevudes on valdavalt 800–4000 µg/l (piirsisaldus 200 µg/l). Nõuetele vastavad kaevud võib tinglikult jagada kahte rühma: kaevud, milles raua sisaldus on < 20–100 µg/l (17 kaevu) ning kaevud, milles raua sisaldus on 100–200 µg/l (10 kaevu, sh 8 neist Võrumaa salvkaevud). Mangaani sisaldus ei vasta nõuetele 11 kaevus (5 neist salvkaevud), jäädes valdavalt vahemikku 60–200 µg/l (piirsisaldus 50 µg/l). Kaks eripärast kaevu asub Põlvamaal Põlva vallas Rosma külas: Rosma Johannese kooli ja lasteaia „Täheke” 10 ja 5 m sügavuste salvkaevude vesi sisaldab mangaani 700–1400 µg/l (vt mangaani terviserisk ptk 2). Nõuetele vastavates kaevudes on mangaani sisaldus valdavalt vahemikus 10–40 µg/l.

Maarja Põhikooli (Jõgevamaa) ja Nuustaku Pubi-Külalistemaja (Valgamaa) pk-des ning Rosma Johannese Kooli (Põlvamaa) ja Haanjamehe talu (Võrumaa) salvkaevudes leidub rauale ja mangaanile lisaks ka ülenormatiivset ammooniumi sisaldusega 0,6–1,2 mg/l (piirsisaldus 0,5 mg/l), mis võib olla nii looduslikku päritolu kui ka veekihi reostuse näitaja.

Vaadeldavast 46 kvaternaari veekihi kaevust 18-s (so ca 40%) ei vasta vesi SoM 31.07.2001.a määrusega nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid” kehtestatud nõuetele indikaatornäitajate raua, mangaani, ammooniumi ja/või oksüdeeritavuse osas. Nitraat-, sulfaat- kloriid-, naatrium- ja fluoriidioonide sisaldused vaadeldavate kaevude vees vastavad nõuetele.

Kvaternaari veekihi suurim probleem seisneb selles, et see on kergesti reostatav, eriti karstiala piirkondades. Potentsiaalseid reostusallikaid on mitmeid, nt on Tartu linna ÜVK arendamise kavas (2007) välja toodud Tartu Meltsiveski veehaaret ohustavate faktoritena:

- kogumissüsteemidega ühendamata majapidamised;
- maakasutus linnades;
- lekked reostatud aladelt;
- suured punktreostusallikad (sealhulgas jääkreostus).

Nõukogude ajal ohustas põhjavett maapiirkondades suures osas maakasutus, tänapäeval on selle ohuteguri osakaal vähenenud ning potentsiaalseteks reostusallikateks on tavaliselt reovee kogumiskaevud, nõukogude ajal mahajäetud ja nõ maasse kasvanud väetisehoidlad jm punktreostusallikad. Tartu linna ÜVK arendamise kavas (2007) on välja toodud, et Meltsiveski veehaaret ohustavad muuhulgas Raadi järve reostus (naftasaadused jm ohtlikud ained).

Tartu linna Meltsiveski veehaarde pk iseloomustab suhteliselt kõrge nitraatioonide sisaldus: 25–40 mg/l (piirsisaldus 50 mg/l). See on ka põhjuseks, miks Meltsiveski veehaardest võetakse ööpäevas vett tunduvalt vähem (alla 7000 m³), kui veekihi tarbevaru võimaldab –

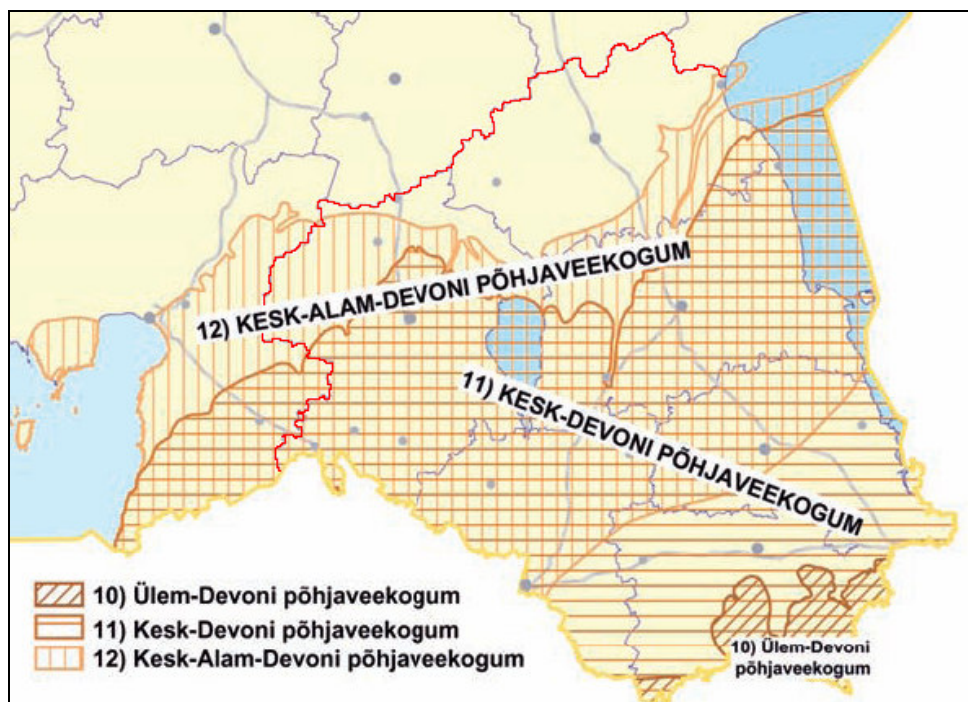
vee liikumise suurenemisel tõuseb lämmastikuühendite tase vees. Samas kutsub veevõtu vähendamine või katkestamine Meltsiveski veehaardest esile põhja- ja pinnasevee tasemete tõusu Tartu kesklinnas ning tekib üleujutuse oht Emajõe mõlemal kaldal. [Tartu linna ÜVKA, 2007]. Meltsiveski veehaarde pk-de vett iseloomustab ka suhteliselt kõrge sulfaat- ja kloriidioonide sisaldus, vastavalt 30–70 mg/l ja 27–60 mg/l. Raua, mangaani ja fluoriidi sisaldused Meltsiveski veehaarde vees vastavad kehtivatele nõuetele ja jäävad vahemikesse 30–70 µg/l (raud), 30–40 µg/l (mangaan) ja 0,2–0,3 mg/l (fluoriid).

3.2. Ülemdevoni ja keskdevoni (D_3 ja D_2) veekihtid

Kuna ühisveevarustuses ülemdevoni veekihist toituvaid pk on ainult 2 ning nende vesi ei erine oluliselt keskdevoni veekihi pk-dest, käsitleb käesoleva töö autor neid veekihte koos.

3.2.1. Levik

Devoni veekihtide põhjaveekogumid Tartu regioonis on toodud joonisel 9. Ka jooniselt on näha, et **ülem-devoni (D_3)** põhjaveekogumi levikuala on Eestis üsna väike, levides vaid Võrumaa kaguosas ligi 500 km² suurusel alal. Olenevalt reljeefist võib vesi olla nii vabapinnaline kui survealine, kusjuures survetase jääb maapinnalt valdavalt 3–8 m sügavusele [Hiio ja Karro, 2001]. 2 järelevalve all olevat tegutsevat pk toitub ülemdevoni veekihist, mis moodustab ligikaudu 0,4% kõigist regiooni ühisveevärkide puuraevudest (vt joonis 6).



Joonis 9. Devoni veekihtide põhjaveekogumid [Põhjaveekomisjon, 2004, modifitseeritud]. Punase joonega on tähistatud Tartu regiooni piir.

Keskdevoni (D₂) veekihiid levivad Tartu regioonis peamiselt Valga-, Põlva- ja Võrumaal, olles seal kõige tähtsamaks veekihiuks ühisveevarustuse seisukohalt (vt joonis 9) – keskdevoni veekihiist toituvad seal vastavalt 87, 80 ja 80% tervisekaitsetalituse järelevalve all olevatest pk-dest. Veekompleksi põhjapiiriks Tartu regioonis on ligikaudu Kõpu-Mustvee mõtteline joon. Tähtis on keskdevoni veekiht ka Tartumaal – kui Tartu linna üvv mitte arvestada, toitub keskdevoni veekihiist ca 41% Tartumaa pk-dest. Tartu linna üvv pk-de hulgas moodustavad keskdevoni veekihi pk-d ca 15%, Viljandimaa pk-de hulgas ca 16%. Kokku toitub Tartu regioonis ca 48% järelevalve all olevatest pk-dest keskdevoni veekihiist (joonis 6). Keskdevoni veekihi vesi on enamasti survevõrgu.

3.2.2. Kaevude sügavus

Karstunud ja lõhelisest dolomiidist ning dolomiidistunud lubjakivist koosneva **ülemdevoni** veekihi kogupaksus on 17–25 m ning seda katab 40–80 m paksune pinnakate [Hiio ja Karro, 2001]. Tervisekaitsetalituse järelevalve alla olevad Võrumaa ülemdevoni veekihiist toituvad kaevud on 60 ja 70 m sügavused. Karstilõhede tõttu tungivad lumesulamis- ja vihmaveed kiiresti aluspõhjakihtidesse, mistõttu ülemdevoni veekompleksi vesi on väga reostustundlik [Heinsalu ja Vallner, 1995].

Keskdevoni veekiht koosneb valdavalt valgetest, kollakatest või punakaspruunidest liivakividest ja aleuroliitidest savi vahekihtide ning –läätsedega. Veekihi paksus kasvab selle põhjapiirist kagu suunas kuni 250 meetrini Haanja kõrgustikul (vt joonis Joonis 1). Keskdevoni veekompleks paljandub kohati sügavamates jõeorgudes, valdavalt aga katavad seda kvaternaarisettid paksusega 5–80 m [Heinsalu ja Vallner, 1995; Hiio ja Karro, 2001]. Tervisekaitse järelevalve all olevad Jõgevamaa keskdevoni veekihi puurkaevud on sügavusega 70–100 m, Viljandimaal 45–195 m, Tartumaal 35–160 m, Tartu linnas 65–85 m, Valgamaal 50–223 m, Võrumaal 25–235 m ja Põlvamaal 50–300 m.

3.2.3. Veetarve ja tarbijate arv

Ülem- ja keskdevoni veekihtide pk-dest tegelikult kasutatava vee hulga ja tarbijate arvu kohta on ülevaade toodud tabelis 4.

Tabel 4. Ülem- ja keskdevoni veekihtide vett tarvitavad kaevud maakonniti

	Kaevude arv	Tootmismahd, m ³ /d	Hinnanguline teenindatavate tarbijate arv
Jõgevamaa	2	10	125
Põlvamaa	59	1905	14923
Tartumaa	42	769	5403
Tartu linna üvv	7	355	2430
Valgamaa	72	2995	20267
Viljandimaa	14	202	1983
Võrumaa	71	3721	21041

Valga- ja Võrumaal on keskdevoni veekihi pk-d kõige tähtsamad veeallikad – nende vett tarbivad kummaski maakonnas ligikaudu 20 000 inimest (vt tabel 4), ehk vastavalt 91,5 ja 98% nimetatud maakondade tarbijaskonnast. Ka ööpäevast veetarvet vaadates on näha, et antud veekihi osatähtsus ühisveevarustuses on väga suur – kogu joogivee tootmismahust Valga- ja Võrumaal moodustab keskdevoni veekihist välja pumbatav veekogus vastavalt 89,4 ja 98,7% (vt joonis 7).

Samuti on keskdevoni veekiht oluline joogivee seisukohast Põlvamaal, kus keskdevoni veekihi pk-de vett tarbivad ca 15 000 inimest (tabel 4), ehk ligikaudu 67% ühisveevarustuse veetarbijatest. Tabelis 4 näidatud 59 pk moodustavad Põlvamaa üvv pk-dest ca 80%, ühisveevarustuse üldisest vee ööpäevasest tootmismahust moodustab keskdevoni veekiht aga ca 47% (vt joonis 7). Suur erinevus pk-de arvu, tarbijate arvu ja vee ööpäevase tarbimise protsentuaalses osakaalus Põlvamaal on ilmselt tingitud asjaolust, et enamus keskdevoni pk teenindab väikeasulaid, kus ei ole ka suuremaid tööstus- ja tootmisettevõtteid, mis oluliselt tõstaksid vee keskmist tootmismahutu.

Ühe inimese kohta on veetarve keskdevoni veekihis Põlvamaal ligikaudu 128 l/d. Samas on Valgamaal vastav näitaja 148 l/d inimese kohta ja Võrumaal 177 l/d inimese kohta, Tartu linna üvv-s aga nt 146 l/d. Võrumaa keskmine ööpäevane veetarve inimese kohta on seetõttu teistest maakondadest tunduvalt suurem, et keskdevoni veekihi vett kasutab oma tootmisprotsessis teiste hulgas AS Võru Juust (ca 1000 m³/d), kuid otseseid joogiveetarbijaid selles veevargis on vaid 20 – tööstusettevõtte töötajad (vt tabel 5).

Tabel 5. Suuremad keskdevoni veekihist toituvad ühisveevärgid Tartu regioonis

üvv nimetus	veekäitleja	Veetarve m ³ /d	tarbijate arv	Puur- kaevude arv	Veetarve l/(d·in)
Võru linna üvv	Võru Vesi AS	1300	10000	5	130
Valga linna üvv, Paju vh*	Valga Vesi AS	1200	9600	5	125
Põlva linna üvv	Põlva Vesi AS	450**	4350**	3	103
Võru juustutööstuse vv	Võru Juust AS	1000	20	6	-
Tartu linna üvv	Tartu Veevärk AS	355	2430	7	146
Räpina linna üvv	Revekor AS	150	1150	1	130
Otepää linna üvv, Mäe vh*	Otepää Veevärk AS	422	2160	2	195

* vh - veehaare

** Põlva linna üvv ööpäevane veetarve on 600 m³, kuid ca 0,25 % sellest saadakse keskdevoni pk-st, tarbijate arv üvv-s kokku on ligikaudu 5800

Suurimad ühisveevärgid (veetarve >1000 m³/d või tarbijaid >1000), kes kasutavad keskdevoni veekihi põhjaveemaardlate vett, on toodud tabelis 5. Kaks konkurentsituult suurimat keskdevoni veekihi vett tarvitavat ühisveevärki Tartu regioonis on Võru linna üvv (1300 m³/d, 10 000 tarbijat) ning Valga linna ühisveevärk (Paju veehaare) (1200 m³/d, 9 600 tarbijat). Vastavalt vee erikasutuslubadele võib AS Võru Vesi (luba nr L.VV.VÕ-25702,

kehtib kuni 31.12.2009) Võru linnas keskdevoni veekihist kvartalis vett ammutada kuni 172 500 m³, ehk ca 1920 m³/d. Valga linna Paju veehaardest võis 2008. a ööpäevas vett võtta 2050 m³/d (luba nr L.VV.VA-56437, kehtib kuni 30.06.2011).

AS-l Tartu Veevärk on vee erikasutusloa (nr L.VV.TM-169600, kehtib kuni 31.12.2012) järgi keskdevoni Anne veehaardest (7 pk, 15% üvv toitvates kaevudest) lubatud veevõtt kuni 2000 m³/d (nagu ka tagatud tarbevaru). Tegelik veetarve on aga ca 355 m³/d, mis moodustab keskmiselt 2,5% kogu Tartu linna üvv ööpäevasest veetarbest (vt joonis 7).

Tartu linna üvv arvestamata, tarbib Tartumaal keskdevoni veekihi vett ca 25% ühisveevärgi veeteenust kasutavatest elanikest. Sama näitaja kesk-alamdevoni veekihis Tartumaal on 28%, kesk-alamdevoni-siluri veekihis ca 27%, siluri veekihis 17% – nii ühtlast elanikkonna jaotumist ühisveevarustuses veekihtide kaupa ei esine üheski teises Tartu regiooni maakonnas. Vee tootmismahu osakaal võrreldes teiste kasutatavate veekihtidega on Tartumaal ca 20% (joonis 7), ühisveevarustuse pk-dest toituvad sellest veekihist aga peaaegu 41% pk-dest (joonis 6). Suur erinevus tootmismahu ja pk-de osakaalu vahel on tingitud sellest, et antud veekihi vett kasutavad mitmed väga väikesed asulad, 3 kooli, kelle veetarve on suhteliselt väike (40–112 m³/d tarbija kohta), 5 hoolekandeteenuseid osutavat asutust (Uderna, Nõo, Kastre, Aarikese ja Kodijärve hooldekodud), kelle tarbijaskond reeglina on suhteliselt väike ning ühe inimese kohta on veetarve 85–133 m³/d. Samuti on käsitletavate pk-de hulgas 4 reservpk, millest igapäevast veevõttu ei toimu. Ühe inimese kohta on veetarve Tartumaal keskmiselt 142 m³/d.

Nagu jooniselt 9 näha, levib keskdevoni veekiht ulatuslikult ka Viljandimaal, kus ühisveevarustuses kasutatavaid keskdevoni pk on ca 16% (vt joonis 6), kuid valdavalt on tegemist väga väikeste (ühis)veevärgidega, sh on 4 lasteasutuse, 1 hooldekodu ja 2 majutustevõtte veevärgid, kus veetarve on < 5 m³/d. Sellest tulenevalt on veekihi tähtsus Viljandimaal tervisekaitsetalituse järelevalve all olevate ühisveevarustuste jaoks siiski väike – tootmismahd moodustab vaevu 4% maakonna ühisveevarustuse kogu veetarbest. Ühe inimese kohta on veetarve keskmiselt 102 m³/d.

Jõgevamaal on keskdevoni veekihi osatähtsus väga väike – veekiht levib vaid Mustvee-Puurmani mõttelisest joonest lõunapool (joonis 9). Antud veekihi vett tarbivad Jõgevamaal 2 majutusasutust, mille püsitarbijaskonna moodustavad vaid majutusteenuse osutajate pereliikmed. Hinnanguline veetarbijate arv on aga arvestatud majutuskohdade arvu järgi (vt tabel 4).

3.2.4. Vee kvaliteet ülemdevoni ja keskdevoni veekihis

Eesti territooriumil on **ülemdevoni** veekompleksi vesi mage, HCO₃-Ca-Mg-tüüpi, mineraalainete sisaldusega vahemikus 0,2–0,6 g/l [Perens&Vallner, 1997, Karise, 1997 tsiteeritud Hiiob ja Karro, 2001 järgi]. Joonise 6 järgi on ülemdevoni veekompleksi vesi valdavalt siiski mineraalsusega 0,2–0,3 g/l. Tervisekaitsetalituse järelevalve all olevate ülemdevoni pk-de vesi on raua- ja mangaanirikas: raua sisaldas ühes kaevus peaaegu 700

µg/l, teises ca 3500 µg/l, mangaani sisaldus vastavalt 56 ja 42 µg/l. Ammooniumi sisaldus antud kaevudes on 0,2–0,3 mg/l.

Keskdevoni veekihtide vesi on Lõuna-Eestis enamasti reostamata ning surveiline. Sarnaselt kvaternaari ja ülemdevoni veekihtide veele on ka keskdevoni veekompleksi vesi valdavalt mage, mineraalainete sisaldusega 0,3–0,5 g/l (vt joonis 4). Vesi on peamiselt HCO₃-Ca-Mg-tüüpi, Valgast põhjapool võib esineda ka HCO₃-Mg-Ca-tüüpi vett [Hiiob ja Karro, 2001]. Veekompleksile on iseloomulik suur kahevalentse raua sisaldus ning sageli sisaldab vesi suures koguses kahevalentset mangaani (vt tabel 6).

Tabelis 6 on esitatud iga maakonna kohta nende keskdevoni pk-de arv, mille vesi vastab ja mille vesi ei vasta nõuetele iga konkreetse kvaliteedinäitaja puhul. Sealjuures on pk, mille mõne veekvaliteedi näitaja kohta andmed puuduvad. Seetõttu nõuetele vastavate ja mittevastavate kaevude arv kokku ei pruugi antud tabelis erinevate kvaliteedinäitajate puhul olla konstantne, nagu ka tabelis 3. Vaadeldavaid pk, mille kohta on olemas esinduslikud veekvaliteedi andmed, on kokku 255 (267-st olemasolevast pk-st). Välja on toodud vaid need kvaliteedinäitajad, mille puhul esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest. Tabelis 6 Võrumaa kohta esitatud andmete hulgas on ka ülalmainitud ülemdevoni 2 pk andmed.

Tabel 6. Keskdevoni pk-de arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele

D3, D2	Jõgevamaa		Põlvamaa		Tartumaa*		Valgamaa		Viljandimaa		Võrumaa	
	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok
Fe (üld)	0	2	15	39	15	30	7	60	1	13	19	52
Mn	2	0	21	29	27	16	23	45	10	4	26	46
NH₄	2	0	56	1	45	1	64	6	12	2	66	AP

ok – vesi vastab kvaliteedinõuetele; nok – vesi ei vasta kvaliteedinõuetele; AP – andmed puuduvad; * - sh Tartu linna üvv kaevud

Tabelist 6 on näha, et keskdevoni pk-dest, mille veekvaliteedi kohta on olemas esinduslikud andmed, ei vasta raua sisalduse osas joogivee nõuetele ligi 78%, mangaani sisalduse osas 56%. 10 pk-s, ehk ca 4% kaevudest, esineb ka ülenormatiivset ammooniumi.

Tartu linna üvv-s kasutatava keskdevoni veekihi Anne veehaarde pk-d (7 tk) võib vee kvaliteedi järgi tinglikult jagada kaheks: kaevud, milles vesi vastab joogivee kvaliteedinõuetele: raua sisaldus on valdavalt 40–60 µg/l ning mangaani sisaldus 18–50 µg/l, ning kaevud, milles raua sisaldus jääb vahemikku 60–820 µg/l (piirsisaldus 200 µg/l) ja mangaani sisaldus 45–115 µg/l (piirsisaldus 50 µg/l).

Tartu maakonna ühisveevarustuses kasutatavatest keskdevoni veekihi pk-dest vastavad kõigile joogivee kvaliteedinõuetele 8 pk. 5 pk vesi, mille raua sisaldus jääb vahemikku <20–100 µg/l, sisaldab ammooniumi <0,05 mg/l. Nende 3 pk vesi, mille raua sisaldus on 100–200 µg/l, sisaldab ammooniumi 0,07–0,2 mg/l. Mangaani sisaldus on alla 35 µg/l, fluoriidi valdav sisaldus on 0,1–0,2 mg/l.

Nõuetele mittevastava veega pk on Tartu maakonna ühisveevarustuses kasutusel 34. Raua sisalduse osas võib need pk-d jagada järgmiselt:

- 1) kaevud, mille vee üldraua sisaldus on valdavalt vahemikus 300–1000 µg/l (11 pk ehk 34%; SoM 02.01.2003. a määrus nr 1 lisa 2 järgi põhjavee II kvaliteediklass) ning mangaani sisaldus 67% juhtudest 55–170 µg/l, 33% jääb mangaani piirnormidesse;
- 2) kaevud, mille vee üldraua sisaldus jääb vahemikku 1100–3600 µg/l (21 pk ehk 66%; SoM 02.01.2003. a määrus nr 1 lisa 2 järgi põhjavee III kvaliteediklass), kusjuures mangaani sisalduse osas ei vasta nõuetele 9 pk vesi, ehk ca 43% kaevudest (valdav sisaldus 70–150 µg/l).

Mangaani sisalduse järgi saab Tartumaa nõuetele mittevastavad keskdevoni pk-d jagada järgmistesse rühmadesse (%-d on arvutatud olemasolevate andmete järgi):

- 1) kaevud, mille vee raua sisaldus ei vasta joogivee kvaliteedinõuetele, kuid mille mangaani sisaldus vastab nõuetele ning jääb vahemikku 10–50 µg/l – selliseid pk on 16 ehk ca 53%;
- 2) kaevud, mille vee mangaani sisaldus on valdavalt 55–100 µg/l (6 pk ehk 20%);
- 3) kaevud, mille vee mangaani sisaldus on valdavalt 90 – 170 µg/l (8 pk ehk 27%).

Ammooniumi sisaldus Tartumaa nõuetele mittevastavates keskdevoni pk-des on 47% juhtudest vahemikus 0,05–0,1 mg/l, 28% juhtudest vahemikus 0,11–0,3 mg/l. On ka kaks pk, milles ammoniumi enda sisaldus ei vasta nõuetele, muutudes vahemikus 0,5–0,7 mg/l. Need on Kodijärve Hooldekodu (raua sisaldus 2900 µg/l) ja Luke asula (raua sisaldus ca 3000 µg/l, mangaani sisaldus 80–90 µg/l) ühisveevärgid. Ammooniumi ülenormatiivne sisaldus on ilmselt looduslik ning ei ole tingitud reostusest. Teised lämmastikühendid on olnud väga madalal tasemel.

Fluoriidi valdav sisaldus vaadeldavates pk-des on valdavalt vahemikus 0,1–0,2 mg /l või alla selle (ca 84% pk-des), üksikutes kaevudes võib leida fluoriidi sisaldusega 0,3–0,6 mg/l (Nõo vallas Luke ja Tamsa, Mäksa vallas Mäksa ja Võõpste, Luunja vallas Kavastu ning Kambja vallas Kodijärve hooldekodu ühisveevärgide pk-des).

Viljandimaa 14 ühisveevarustuses kasutatavast keskdevoni veekihi pk-st vastab joogivee kvaliteedinõuetele vaid 1 – Paistu küla pk. Ülejäänud pk-des on kõrgeenenud rauasisaldus. Valdav üldraua sisaldus on 600–2000 µg/l, kusjuures mitmetes puuraevudes raua sisaldus muutub väga suurtes piirides, nt 600-st 5000-ni. Sellisel põhjavee koostise muutumisel võib olla mitmeid põhjuseid: 1) tihti puudub otse pk-l proovivõtukraan, mistõttu nõ põhjavee proovid võetakse tegelikult pärast hüdrofoori, mis aga mõjutab omakorda veekvaliteeti, 2) käesoleva töö autori praktiline kogemus näitab ka, et proovid võetakse sageli tehniliselt valesti, 3) on pk, mille manteltoru on nii amortiseerunud, et kaevu jooksevad mitme erineva veekihi veed ning sõltuvalt veetarbe kõikumistest võib siis ka pk-s oleva vee koostis suurtes piirides muutuda.

Mangaani sisaldus on valdavalt 20–40 µg/l, kuid on ka 5 pk milles mangaani sisaldus jääb vahemikku 45–140 µg/l (piirsisaldus 50 µg/l), kusjuures ülenormatiivne mangaan esineb pk-des koos ülenormatiivse rauaga.

Ammooniumi valdav sisaldus keskdevoni pk-des on võrreldes Tartumaaga kõrgem ning kõigub suuremates piirides: 0,05–0,3 mg/l ning 4 pk-s (Abja vallas Kamara küla ja Pajumäe talu, Tarvastu vallas Kärstna küla ja Karksi vallas Tuhalaane külas Kopra talu külalistemaja (ühis)veevärkide pk-des) muutub ammooniumi sisaldus isegi 0,05-st kuni 0,62 mg/l. Sealjuures püsib teiste lämmastikühendite sisaldus stabiilselt madalal, mistõttu on alust arvata, et kohatine ülenormatiivne ammooniumi sisaldus nendes 4 kaevus ei ole seotud püsireostusallikatega. Pigem on tegemist sesoonsete ammooniumiühendite infiltreerumisega põhjavette.

Fluoriidi sisaldus Viljandimaa kõne alla olevates 14 keskdevoni pk-s jääb pooltel juhtudest vahemikku 0,1–0,2 mg/l ja pooltel juhtudest vahemikku 0,2–0,6 mg/l. On ka üks pk, milles fluoriidi sisaldus muutub piirides 1,1–1,5 mg/l (piirsisaldus 1,5 mg/l).

Põlvamaal 59 keskdevoni pk-st vastab kõikidele joogivee kvaliteedinõuetele 11 pk ehk ligikaudu 19% (Põlva, Räpina, Kanepi, Laheda ja Valgjärve valdades), 1 pk vee koostise kohta aga andmed puuduvad. Pk, mille vesi vastab nõuetele, iseloomustab raua sisaldus <20 kuni 190 µg/l, mangaani sisaldus <10 kuni 12 µg/l, 3 pk-s ka kuni 45 µg/l. Ammooniumi sisaldus on 0,05 mg/l või alla selle, nitraatide valdav sisaldus <1 mg/l, fluoriidide sisaldus 0,1–0,3 mg/l. Vaadeldava 11 pk hulgas on üks erandlik pk – Sika küla pk (kat nr 30018) Põlva vallas, milles nitraatide sisaldus on ca 36 mg/l. Ka sulfaatide ja kloriidide sisaldus Sika küla pk-s on kõrgem kui Põlvamaa keskdevoni pk-des keskmiselt: sulfaatide sisaldus on 30 mg/l ja kloriidide sisaldus 15–20 mg/l.

47 Põlvamaa pk, milles esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, võib raua sisalduse järgi jagada järgmistesse rühmadesse:

- 1) raua sisaldus on alla 200 µg/l, kuid mangaani sisaldus ületab joogivee piirsisaldust (3 pk);
- 2) raua sisaldus muutub 100–700 µg/l (4 pk), sh 2 pk-s on mangaan alla joogivee piirsisalduse;
- 3) raua sisaldus on 200–1000 µg/l (21 pk ehk ca 45% joogivee nõuetele mittevastavatest kaevudest), sh esineb 71% kaevudest koos rauaga ka ülenormatiivne mangaan;
- 4) raua sisaldus 1100–2500 µg/l koos ülenormatiivse mangaaniga (7 pk ehk ca 15% kaevudest);
- 5) raua sisaldus > 2500 µg/l koos ülenormatiivse mangaaniga (8 pk ehk ca 17% kaevudest), kusjuures 7 pk vees on raua valdav sisaldus 2500–6000 µg/l, ühes kaevus aga 7500–8900 µg/l (SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi on põhjavee III kvaliteediklassi raua piirväärtus 10 000 µg/l).

Pk-d, mille vesi sisaldab ülenormatiivset rauda, sisaldavad vähemalt 66% juhtudest ka ülenormatiivset mangaani, 7 pk mangaani sisalduse kohta usaldusväärsed andmed puuduvad. Mangaani sisalduse kohta olemasolevate andmete põhjal saab kõne all olevad 47 pk jagada järgmistesse rühmadesse:

- 1) mangaani sisaldus on < 50 µg/l (9 pk ehk 20% kaevudest);

- 2) mangaani sisaldus on 50–100 µg/l (5 pk ehk ca 11% kaevudest; SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi liigitatakse need kaevud II põhjaveeklassi);
- 3) mangaani sisaldus 100–200 µg/l (18 pk ehk ca 38% kaevudest; SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi liigitatakse need kaevud III põhjaveeklassi);
- 4) mangaani sisaldus muutub piirides 100–600 µg/l (2 pk) või 200–760 µg/l (6 pk), moodustades 47 vaadeldavast pk-st 17%. Need pk-d ületavad SoM 02.01.2003. a määrusega nr 1 kehtestatud III põhjavee kvaliteediklassi piirväärtuse ning neid ei tohiks üldjuhul valida joogiveeallikaks.

Ammooniumi sisaldus on kõne all olevas 47 pk-s valdavalt 0,05–0,2 mg/l (39 pk-s ehk 82% kaevudest), 13% juhtudest on ammoniumi sisaldus 0,2– 0,5 mg/l. Vana-Koiola kooli pk Laheda vallas sisaldab aga ammoniumi 0,7–0,9 mg/l (piirsisaldus 0,5 mg/l), kusjuures puuduvad andmed nitraatide sisalduse kohta antud pk vees. Vana-Koiola kooli pk vee ülenormatiivse ammoniumi sisalduse põhjused on ebaselged.

Nitraatide sisaldus jääb valdavalt vahemikku 0,05–0,3 mg/l, üksikutes pk-des on nitraatide sisaldus 1–2,5 mg/l. Teiste seas paistab erandlikuna silma Saatse küla pk Värskas vallas (kat nr 11187), mille vesi sisaldab nitraate 30–36 mg/l, sealjuures on ammoniumi sisaldus kaevus 0,05–0,1 mg/l.

Ka sulfaatide sisaldus 40–45 mg/l, kloriidide sisaldus 43–66 mg/l ning naatriumi sisaldus 20–25 mg/l eristavad Saatse küla pk Värskas vallas Põlvamaa teistest keskdevoni veekihist toituvatest pk-dest, mis valdavalt sisaldavad sulfaate ja kloriide 1–8 mg/l ning naatriumi 2–10 mg/l. Toodud keskmistest soolasema veega pk leidub ka Mikitamäe vallas Mikitamäe keskuses, Räpina vallas Ristipalo ja Ruusa külades, Veriora vallas Veriora keskuses ning Värskas alevikus. Sulfaatide ja kloriidide sisaldus neis on valdavalt 20–30 mg/l, naatriumi sisaldus 10–20 mg/l. Värskas aleviku pk-s (kat nr 11203) on aga sulfaate 35–80 mg/l, Mikitamäe keskuse pk-s (kat nr 10994) sulfaate 180–230 mg/l, kloriide 145–245 mg/l, naatriumi 30–55 mg/l, Ristipalo küla pk-s (kat nr 10999) kloriide 30–35 mg/l, Ruusa küla pk-s (kat nr 10958) naatriumi 40–45 mg/l.

Fluoriidi sisaldus jääb Põlvamaa keskdevoni kaevudes valdavalt vahemikku 0,1–0,5 mg/l, kuid leidub ka kaeve, kus vastav näitaja on ka 0,7 mg/l (Mikitamäe kooli pk Mikitamäe vallas).

Valgamaa keskdevoni 72 ühisveevarustust teenindavast pk-st vastavad joogivee kvaliteedinõuetele vaid 3 ehk ca 4%, 2 pk vee kvaliteedi kohta andmed puuduvad. Seega olemasolevate andmete põhjal on joogivee kvaliteedinõuetele mittevastava veega pk 67 ehk 93% Valgamaa ühisveevarustuse keskdevoni pk-dest.

Need Valgamaa 67 pk, mille vees esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, võib raua sisalduse järgi jagada järgmistesse rühmadesse:

- 1) raua sisaldus on alla 200 µg/l, mangaani sisaldus ületab joogivees lubatud piirsisaldust, jäädes vahemikku 110–400 µg/l (3 pk);

- 2) pk-d, mille veest eraldatakse rauda, kuid põhjavee rauasisalduse kohta usaldusväärsed andmed puuduvad (3 pk, neist 2 vesi sisaldab mangaani <20 µg/l, 1 pk vesi aga 540 µg/l mangaani);
- 3) raua sisaldus 200–1000 µg/l (15 pk ehk ca 22% joogivee nõuetele mittevastavatest kaevudest), sh esineb 47% kaevudest koos rauaga ka ülenormatiivne mangaan sisaldusega 60–290 µg/l;
- 4) raua sisaldus 1100–2500 µg/l (25 pk ehk ca 37% joogivee nõuetele mittevastavatest kaevudest), kusjuures 44% neist kaevudest sisaldab mangaani valdavalt 40–50 µg/l, 56% kaevudest sisaldavad mangaani valdavalt vahemikus 60–100 µg/l, aga ka kuni 330 µg/l;
- 5) raua sisaldus muutub piirides 700–5000 µg/l (21 pk ehk ca 31% joogivee nõuetele mittevastavatest Valgamaa ühisveevarustuse pk-dest), sh 91% juhtudest esineb koos ülenormatiivse rauaga vees ka ülenormatiivne mangaani sisaldus vahemikus 50–825 µg/l.

Valgamaa 67 keskdevoni pk-st, mille vees esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, sisaldab ülenormatiivset mangaani ca 69%. Sealjuures pk-d, mille vesi sisaldab ülenormatiivset rauda, sisaldavad vähemalt 70% juhtudest ka ülenormatiivset mangaani. 1 pk mangaani sisalduse kohta usaldusväärsed andmed puuduvad. Mangaani sisalduse kohta olemasolevate andmete põhjal saab kõne all olevad ülejäänud 66 pk jagada järgmistesse rühmadesse:

- 1) mangaani sisaldus on <50 µg/l (20 pk ehk 30% kaevudest);
- 2) mangaani sisaldus on 50–100 µg/l (19 pk ehk ca 29% kaevudest; SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi liigitatakse need kaevud II põhjaveeklassi);
- 3) mangaani sisaldus 100–200 µg/l (11 pk ehk ca 17% kaevudest; SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi liigitatakse need kaevud III põhjaveeklassi);
- 4) mangaani sisaldus muutub piirides 10–100 µg/l (7 pk ehk ca 11% kaevudest).
- 5) mangaani sisaldus >200 µg/l (9 pk ehk ca 14% kaevudest). Need pk-d ületavad SoM 02.01.2003. a määrusega nr 1 kehtestatud III põhjavee kvaliteediklassi piirväärtuse ning neid ei tohiks üldjuhul valida joogiveeallikaks.

Ammooniumi sisaldus Valgamaa ühisveevarustuses kasutusel olevas 72 keskdevoni pk-s on valdavalt vahemikus 0,05–0,2 mg/l (68% kaevudest). 19% kaevude vesi sisaldab ammooniumi 0,2–0,5 mg/l. Tõrva linna Vanamõisa elamukvartali pk-s, kat nr 8708, muutub ammooniumi sisaldus piirides 0,05–0,34 mg/l. Ülenormatiivse ammooniumi sisaldusega pk on kokku 6 (8%). Neist 3 asuvad Puka vallas: Puka aleviku pk (kat nr 12459, ammooniumi sisaldus 0,5–0,6 mg/l), Puka mööblitsehhi pk (kat nr 12199, ammooniumi sisaldus 0,54–0,65 mg/l) ja Komsa küla pk (kat nr 12069, ammooniumi sisaldus 1,35–1,5 mg/l). 2 esimese pk ammooniumi sisaldus muutub väikestes piirides ning ületab joogivee piirsaldust vähe, mistõttu see võib olla piirkonna looduslik omapära. 2 ülenormatiivse ammooniumi sisaldusega pk asuvad Tõlliste vallas: Sooru küla pk (kat nr 24290), ammooniumi sisaldus 0,45–0,9 mg/l) ja Paju pansionaadi pk Paju külas (kat nr 11636, ammooniumi sisaldus 1,6–2,3 mg/l). Viimane ülenormatiivse ammooniumi sisaldusega pk asub Otepää vallas Arula külas ning teenindab Kalevi Madsa puhkeküla (kat nr 12073, ammooniumi sisaldus 0,5–0,9 mg/l).

Kõigi toodud 6 pk nitraatide sisaldus on alla 1,5 mg/l, mis on ka arusaadav, sest kaevud on 120–200 m sügavad, va Paju pansionaadi pk, mis on 60 m sügavune. Kuna keskdevoni liivakivid ja aleuroliidid savi vahekihtidega ei lase ammooniumil, kui värske reostuse indikaatoril, nii sügavatesse põhjaveekihtidesse valguda, on ülenormatiivne ammoonium ilmselt tekkinud kunagise põllumajandusest ja loomapidamisest tulenenud reostuse (sõnnik, lämmastikväetised) infiltreerumisel läbi paksu savika pinnasekihi ning nn vanast reostusest ehk nitraatidest on mikroorganismide toimetel saanud taas ammooniumioon, mis sügaval maapõues hapniku puudumise tõttu nitrititeks ja nitraatideks enam oksüdeeruda ei saa (vt joonis 3).

Nitraatide sisaldus Valgamaa ühisveevarustuste 72 keskdevoni pk-s jääb 86% juhtudest alla 1,5 mg/l. 2 pk-s on nitraatide sisaldus 5–6 mg/l, 1 pk-s 17–18 mg/l ning teiste keskdevoni kaevude seas paistab silma Marja talu külalistemaja pk Kirikuküla külas Helme vallas (katastri nr 16781), mille vesi sisaldab nitraate 30 mg/l (joogivee piirsisaldus 50 mg/l), ammooniumi sisaldus on <0,05 mg/l. Kaev on 55 m sügav. 6 pk nitraatide sisalduse kohta usaldusväärsed andmed puuduvad.

Sulfaatide ja kloriidide sisaldus jääb Valgamaa keskdevoni pk-des valdavalt vahemikku 1–10 mg/l (vastavalt 83% ja 85% pk-dest). Ca 10% pk-dest (7 tk) jääb sulfaatide sisaldus vahemikku 20–35 mg/l (5 kaevu) või 40–80 mg/l (2 kaevu: Valga lihatööstuse ja Pikasilla tankla pk-d katastri numbritega 8508 ja 14393) ja kloriidide sisaldus 12–25 (6 kaevu) või 26–37 mg/l (Tsirguliina aleviku pk, kat nr-ga 9986). 4 pk vee sulfaatide ja kloriidide sisalduse kohta andmed puuduvad. Naatriumi sisaldus jääb kõne alla olevates pk-des vahemikku 3–10 mg/l, 19 pk vee naatriumi sisalduse kohta andmed puuduvad.

Fluoriidide sisaldus Valgamaa keskdevoni pk-des on suhteliselt madal, jäädes vahemikku 0,1–0,2 mg/l.

Võrumaa 69 keskdevoni pk-st vastab kõikidele joogivee kvaliteedinõuetele 9 pk ehk ligikaudu 13% (Haanja, Lasva, Rõuge, Urvaste valdades ja 1 pk Võru linnas). 1 neist pk-dest on reservis. Ülejäänud 5 reservis seisva pk vee koostise kohta andmed puuduvad. On veel 4 pk (Võru, Antsla ja Urvaste vallas), mille vesi olemasolevate andmete järgi vastab joogivee nõuetele, kuid pk-de vett puhastatakse rauaeemaldusfiltritega. Jääb arusaamatuks, kas veeproovid raua ja mangaani analüüsiks antud pk-de põhjaveest on ikka võetud pk-st või pärast veepuhastusfiltreid.

Haanja ja Urvaste valla ning Võru joogivee nõuetele vastavaid pk iseloomustab raua sisaldus 160–200 µg/l, mangaani sisaldus 25 kuni 45 µg/l. Lasva ja Rõuge valla joogivee kvaliteedinõuetele vastavates pk-des on raua sisaldus 25–35 µg/l, Rõuge aleviku reservkaevus 200 µg/l, mangaani sisaldus on <10 µg/l. Ammooniumi sisaldus on kõigis 9 joogivee nõuetele vastavas pk-s 0,05 mg/l või alla selle, nitraatide valdav sisaldus <1 mg/l. Kolmes pk-s leidub nitraate 10–20 mg/l. Fluoriidide sisaldus antud pk-des on 0,1–0,3 mg/l (valdavalt 0,2 mg/l). Sulfaate leidub vaadeldavates pk-des 1–4 mg/l, kusjuures nendes kolmes pk-s, mille vee nitraatide sisaldus on keskmisest kõrgem, on ka sulfaatide sisaldus ülejäänud 6 pk vee

vastavast näitajast kõrgem, jäädes vahemikku 13–27 mg/l. Kloriidide sisaldus jääb valdavalt vahemikku 1–8 mg/l, naatriumi sisaldus 3–8 mg/l.

Olemasolevate andmete põhjal ei vasta 74% Võrumaa ühisveevarustuses kasutusel olevates pk-dest (51 tk) mingil põhjusel joogivee kvaliteedi nõuetele. Probleemaatilised kvaliteedinäitajad on raud ja mangaan.

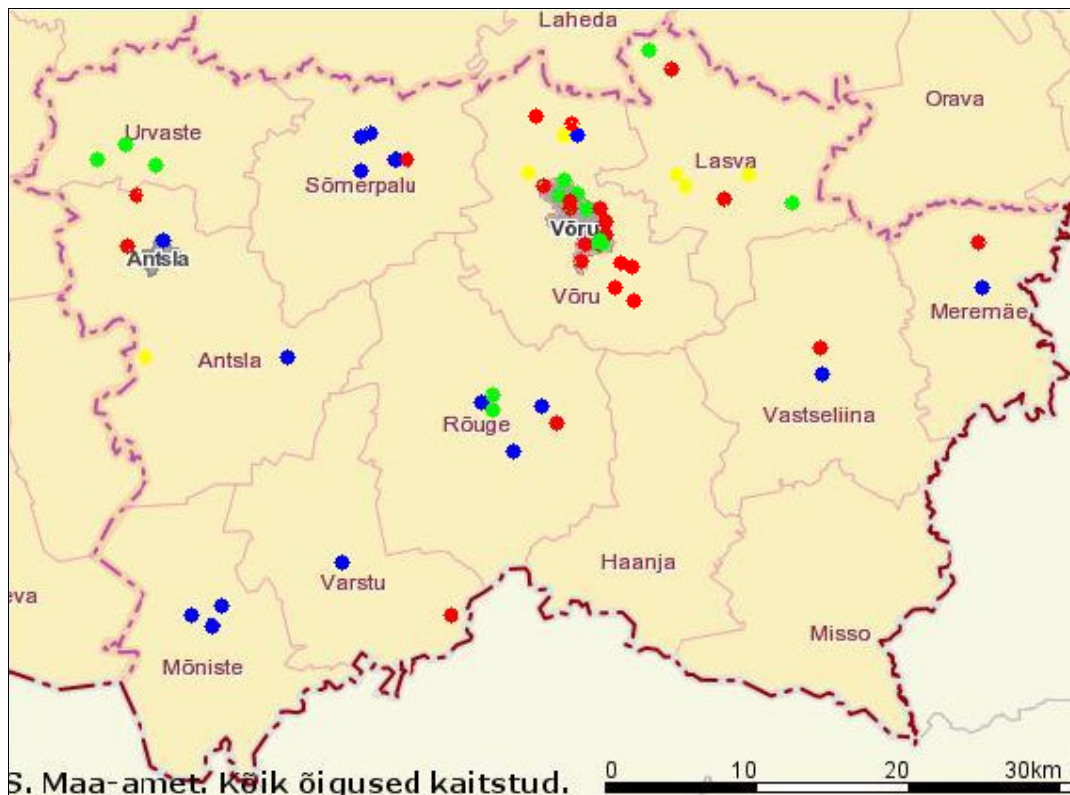
Need Võrumaa 51 pk, mille vees esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, võib raua sisalduse järgi jagada järgmistesse rühmadesse:

- 1) rauda sisaldus 200–1000 µg/l (11 pk ehk ca 22% nõuetele mittevastavatest kaevudest), mangaani sisaldus > 50 µg/l 63% juhtudes;
- 2) rauda sisaldus 1100 –2500 µg/l, mangaani sisaldus >50 µg/l (18 pk ehk ca 35% vaadeldavast 51 kaevust);
- 3) rauda sisaldus 2600–5300 µg/l, mangaani sisaldus >50 µg/l 95% juhtudest (19 pk ehk ca 37% nõuetele mittevastavatest kaevudest);
- 4) rauda sisaldus > 7000 µg/l (2 pk ehk 4% nõuetele mittevastavatest kaevudest). Üks neist on Obinitsa küla pk Meremäe vallas (kat nr 10623): rauda sisaldus ca 7400 µg/l, mangaani sisaldus 165 µg/l. Teine kaev teenindab Haabsaare küla elamuid Antsla vallas (kat nr 10856): rauda sisaldus ca 9300 µg/l, mangaani sisaldus ca 335 µg/l.
- 5) 1 pk vee rauda sisalduse kohta usaldusväärased andmed puuduvad.

Mangaani sisalduse järgi saab kõne all olevad 51 pk, mille vees esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, jagada järgmiselt:

- 1) mangaani sisaldus 18–30 µg/l (5 pk Võru linnas, ca 10% nõuetele mittevastavatest kaevudest);
- 2) mangaani sisaldus 5–100 µg/l (17 pk ehk ca 33% nõuetele mittevastavatest kaevudest) – peamiselt Sõmerpalu, Mõniste, Rõuge, Antsla valla piirkond;
- 3) mangaani sisaldus 100–200 µg/l (22 pk ehk ca 43% nõuetele mittevastavatest kaevudest) – peamiselt Võru linna ja valla piirkond, ka Lasva ja Antsla valla piirkond;
- 4) mangaani sisaldus >200 µg/l (6 pk ehk ca 12% nõuetele mittevastavatest pk-dest) – Lasva valla piirkond (3 pk mangaani sisaldusega 340–500 µg/l), Võru vald (2 pk mangaani sisaldusega 310 µg/l), Antsla vald (1 pk mangaani sisaldusega 340 µg/l).
- 5) 1 pk vee mangaani sisalduse kohta usaldusväärased andmed puuduvad.

Joonis 10 on illustratiivne, mistõttu ei ole lisatud pk-de täpseid koordinaate ega katastri numbraid. Joonise eesmärk on näidata, kui kaootiliselt üle Võrumaa paiknevad erineva mangaani sisaldusega pk-d. Ka lähestikku asetsevate sama sügavusega pk-de mangaani sisaldus ei pruugi olla sarnane. Näiteks Võru linna territooriumil on tervisekaitsetalituse järelevalve all 13 pk, millest 6 kuuluvad AS-le Võru Juust. Need 6 pk asuvad kõik ühe aadressiga AS Võru Juust territooriumil (Võru linn, Pikk 23): 3 pk-s sügavustega 145, 230 ja 235 m on mangaani sisaldus 25–30 µg/l, 3 pk-s sügavustega 145, 145 ja 230 m on mangaani sisaldus aga 140–180 µg/l.



Joonis 10. Võrumaa 63 keskdevoni pk mangaani sisaldused. Koostanud K.Kiidjärv.
 [Aluskaart: Maa-ameti kaardiserver] Roheline – Mn 18–30 µg/l; sinine – Mn 50–100 µg/l;
 punane – Mn 100–200 µg/l; kollane – Mn >200 µg/l.

Võru linna ühisveevärgi 5 pk-st 2 sisaldavad rauda 400–500 µg/l ja mangaani 18–30 µg/l; 3 pk raua sisaldusega 1900–2300 µg/l sisaldavad mangaani 130–220 µg/l. Allika, Põllu ja Veski tänava pk-de puhul paistab silma, et mangaani sisaldus on ülenormatiivne nendes kaevudes, mille sügavus jääb vahemikku 100–140 m ja joogiveele nõuetekohase mangaani sisaldusega põhjavett saab pk-dest sügavusega 225–230 m. Kuid nagu eespool toodud, ei saa AS Võru Juust pk-de puhul Pikal tänaval välja tuua sama seost. Lisaks nimetatutele on Võru linnas järelevalve alla veel 2 keskdevoni pk: Võru linn lõunaosas Männiku tänaval asuv Kubija hotelli pk, milles vesi vastab nii raua kui mangaani osas joogivee kvaliteedinõuetele (kaevu sügavus 112 m), ning Kuperjanovi Üksikjalaväe pataljoni territooriumil (samuti Võru linna lõunaosas) paiknev pk raua sisaldusega ca 3000 µg/l ja mangaani sisaldusega 120 µg/l (sügavus 93 m).

Ammooniumi sisaldus Võrumaa ühisveevarustuses kasutusel olevates pk-des on valdavalt <0,05–0,2 mg/l (75%), 25% pk-des jääb ammoniumi sisaldus vahemikku 0,2–0,5 mg/l. Nitraatide sisaldus on kõigis kaevudes alla 1,5 mg/l.

Sulfaatide sisaldus Võrumaa keskdevoni pk-des on üle poolte juhtudest 1–10 mg/l, ca 35% juhtudest 10–20 mg/l ning vaid 4% pk-des on sulfaatide sisaldus 25–50 mg/l. 5 pk sulfaatide sisalduse kohta usaldusväärsed andmed puuduvad. Ka kloriidide sisaldus on valdavalt (95%

kaevudes) 1–10 mg/l, ülejäänud kaevudes leidub kloriide 10–35 mg/l. Nii sulfaatide kui kloriidide mainitud 4 ja 5% hulka kuulub Parksepa aleviku pk Võru vallas (kat nr 10780). Naatriumi sisalduse poolest on Võrumaa keskdevoni pk-d samuti suhteliselt vaesed: põhjavees laiab naatriumi vaid 1–7 mg/l.

Fluoriidi sisalduse järgi saab Võrumaa 51 keskdevoni pk, mille vees esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, jagada järgmiselt:

- 1) 0,15 mg/l – 2 pk (4% kaevudest);
- 2) 0,2 mg/l – 25 pk (49% kaevudest);
- 3) 0,3 mg/l – 14 pk (27% kaevudest);
- 4) 0,4 – 0,5 mg/l – 10 pk (20% kaevudest).

3.3. Kesk-alamdevoni (D_{2-1}) veekiht

3.3.1. Levik

Kesk-alamdevoni (D_{2-1}) veekihtide levikuala on samuti toodud joonisel 9, millelt on näha, et kesk-alamdevoni veekihtide põhjapiiriks Tartu regioonis on ligikaudu Kootsi küla – Mustvee linna joon, lõunapiiriks ligikaudu Kaagjärve – Meeksi joon. Ehkki kesk-alamdevoni veekihi põhjaserv ulatub ka Jõgevamaa kaguossa, on seal antud veekihi osatähtsus ühisveearustuses väike (4% pk-dest). Tähtsam on kesk-alamdevoni veekiht Tartumaa ühisveearustuses, kus sellest veekihist toituvad ca 29% tervisekaitsetalituse järelevalve all olevatest pk-dest. Viljandimaa pk-de hulgas moodustavad kesk-alamdevoni veekihi pk-d ca 17% (joonis 6). Kuigi veekiht levib ka suuremas osas Valgamaal ning Põlvamaal, jääb see veekiht valdavalt ca 260–320 m sügavusele keskdevoni veekihi alla, mistõttu praktikas leiab keskdevoni veekiht palju suuremat kasutust. Kogu regioonis toituvad kesk-alamdevoni veekihi kaevudest ca 10% ühisveearustuses kasutatavatest tegutsevatest pk-dest.

3.3.2. Kaevude sügavus

Regionaalse Narva veepideme all lasuvad kesk-alamdevoni vettandvad veekihid, mis on moodustunud nõrgalt tsementeerunud liivakividest, dolomiitidest ning aleuroliitidest ning mille kogupaksus ulatub kuni 100 meetrini. Lasumissügavus on Lõuna-Eestis aga rohkem kui 200 m allapoole merepinda (vt joonis 1). Vesi on enamasti survealine, põhjustades madalamatel aladel isegi kaevude ülevoolu [Heinsalu, Ü., Vallner, L., 1995; Hiiob ja Karro, 2001]. Tervisekaitse järelevalve all olevad Jõgevamaa kesk-alamdevoni veekihi pk-d on sügavusega 65–100 m, Viljandimaal 50–220 m, Tartumaal 80–220 m, Valgamaal 100–320 m ja Põlvamaal 270–300 m.

3.3.3. Veetarve ja tarbijate arv

Ehkki Tartumaal on ühisveearustuses kasutusel 30 pk (neist 5 on reservkaevud) ja Põlvamaal ainult 5 pk, on nendest pk-dest ööpäevas toodetav summaarne joogiveemaht võrdne. Kesk-alamdevoni veekihtide pk-dest kasutatava vee hulga ja tarbijate arvu kohta on ülevaade toodud tabelis 7.

Tabel 7. Kesk-alamdevoni veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti

	Kaevude arv	Tootmismahut, m³/d	Hinnanguline teenindatavate tarbijate arv
Jõgevamaa	3	70	560
Põlvamaa	5	1300	2030
Tartumaa	30	1300	6145
Valgamaa	4	255	1354
Viljandimaa	15	440	3561

Kokku kasutab Tartumaal kesk-alamdevoni veekihi vett 22 erineva asula ühisveevarustust ning teenindatavaid elanikke on veidi üle 6000, so ca 28% kogu Tartumaa ühisveevärkide vee tarbijaskonnast. Ööpäevas toodetava joogivee maht (1300 m³) moodustab ca 34% kogu Tartumaa ööpäevasest joogivee tootmismahust (vt joonis 7). Ööpäevas toodetava joogivee mahu ja tarbijate protsentuaalse osakaalu erinevus on tingitud kahest tootmisettevõttest (AS Salvest, OÜ Põltsamaa Meierei Juustutööstus Rannus), kes kasutavad tootmises palju vett, kuid otsesid joogivee tarbijaid (ettevõtte töötajaid) on sealjuures suhteliselt vähe.

Viljandimaal moodustab kesk-alamdevoni pk-de hulk ligikaudu 17% ühisveevarustuses kasutusel olevatest pk-dest (vt joonis 6). Samas on joogivee tootmismahu osakaal vaid 8% ning inimeste osakaal ca 10% kogu Viljandimaa ühisveevarustuse kaudu vett tarbivast elanikkonnast.

Põlvamaa 5 pk (ca 7% Põlvamaa ühisveevärke toitvatest kaevudest, vt joonis 6) toodavad ööpäevas sama palju vett, kui Tartumaa 25 töös olevat kesk-alamdevoni pk (vt tabel 7), moodustades peaaegu 50% kogu Põlvamaa ühisveevarustuse kaudu toodetavast ööpäevasest joogivee mahust. Samas tarbib selle veekihi vett ca 31% Põlvamaa ühisveevarustuste veetarbijatest (vt joonis 7). Suur erinevus pk-de arvu, tarbijate arvu ja vee ööpäevase tarbimise protsentuaalses osakaalus Põlvamaal on tingitud asjaolust, et üks nimetatud veekihi veetarbija on OÜ Põlva Piim Tootmine (2 pk), mille ööpäevane veetarve on 1100 m³, mis moodustab 85% kõigi Põlvamaa kesk-alamdevoni veekihtide ööpäevasest tootmismahust. Inimeste arvu osakaalu mõjutab aga tugevasti Põlva linna üvv tarbijaskond – ühest kesk-alamdevoni veekihi pk-st saavad vee ca 25% Põlva linna üvv tarbijatest, ehk ca 1450 inimest.

Ühe inimese kohta on veetarve kesk-alamdevoni veekihis Põlvamaal ligikaudu 640 l/d. Samas on Tartumaal vastav näitaja 212 l/d inimese kohta, Valgamaal 188 l/d inimese kohta ning Viljandi- ja Jõgevamaal ca 125 l/d inimese kohta. Kui Põlva- ja Tartumaal on ühe inimese kohta ööpäevas toodetav joogivee maht väga suur toiduainetööstuste tõttu, siis Valgamaal on sama näitaja suhteliselt kõrge Tõrva linna Riiska elamurajooni ja Kaarlimäe piirkonna ühisveevärkide tõttu.

Suurimad ühisveevärgid (veetarve >1000 m³/d või tarbijaid >980), kes kasutavad kesk-alamdevoni veekihi põhjaveemaardlate vett, on toodud tabelis 8. Konkurentsilt suurim veetarbija on Põlva Piim Tootmise veevärk, tarbijate hulga poolest on kesk-alamdevoni

veekihi vesi aga oluline Põlva linna, Ülenurme aleviku, Tõrva linna Riiska elamurajooni ja Abja-Paluoja linna ühisveevärgide joogiveetarbijatele.

Tabel 8. Suuremad kesk-alamdevoni veekihist toituvad ühisveevärgid Tartu regioonis

üvv nimetus	veekäitleja	Veetarve m ³ /d	tarbijate arv	Veetarve l/(d·in)
Põlva Piim Tootmise vv	Põlva Piim Tootmine OÜ	1100	180	-
Põlva linna üvv	Põlva Vesi AS	150**	1450**	103
Ülenurme üvv	Olme OÜ	150	1100	136
Tõrva linna Riiska elamurajooni üvv	Tõrva Linnahoolduse Asutus	150	980	153
Abja-Paluoja linna üvv	Abja Elamu OÜ	95	995	95

* Põlva linna üvv ööpäevane veetarve on 600 m³, kuid ca 0,75% sellest saadakse 2 keskdevoni pk-st, tarbijate arv üvv-s kokku on ligikaudu 5800

3.3.4. Vee kvaliteet kesk-alamdevoni veekihis

Kesk-alamdevoni veekihtide vesi on Lõuna-Eestis enamasti mage, mineraalainete sisaldusega 0,3–0,5 g/l (vt joonis 4). Vesi on avamusalal peamiselt HCO₃-Ca-Mg-tüüpi, avamusest lõuna pool asendub HCO₃-Mg-Ca-tüüpi ja HCO₃-Na-Mg-tüüpi veega [Hiiob ja Karro, 2001]. Nagu jooniselt 4 näha, esineb kesk-alamdevoni veekompleksi avamusalast lõuna pool ka magedat HCO₃-SO₄-Na- ja soolakat SO₄-Cl-Ca-Na-tüüpi vett mineraalsusega 1–5 g/l. Veekompleksile on iseloomulik suur kahevalentse raua sisaldus, mõnel pool võib aga vesi sisaldada ülenormatiivset fluoriidi (vt tabel 9).

Tabel 9. Kesk-alamdevoni pk-de arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele

D2-1	Jõgevamaa		Põlvamaa		Tartumaa		Valgamaa		Viljandimaa	
	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok
Fe (üld)	0	3	0	5	10	20	1	2	3	12
Mn	2	1	2	1	27	3	3	AP	15	0
NH₄	3	0	5	0	29	1	4	0	13	2
SO₄	3	0	2	3	30	0	4	0	15	0
F	3	0	5	0	25	5	4	0	12	3

ok – vesi vastab kvaliteedinõuetele; nok – vesi ei vasta kvaliteedinõuetele;

AP – andmed puuduvad

Tabelis 9 on esitatud iga maakonna kohta nende kesk-alamdevoni pk-de arv, mille vesi vastab ja mille vesi ei vasta nõuetele iga konkreetse kvaliteedinäitaja puhul. Sealjuures on pk, mille mõne veekvaliteedi näitaja kohta andmed puuduvad. Seetõttu nõuetele vastavate ja mittevastavate kaevude arv kokku ei pruugi antud tabelis erinevate kvaliteedinäitajate puhul olla konstantne, nagu ka tabelis 3 ja 7. Vaadeldavaid pk, mille kohta on olemas enam-vähem

esinduslikud veekvaliteedi andmed, on kokku 57. Välja on toodud vaid need kvaliteedinäitajad, mille puhul esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest.

Tabelist 9 on näha, et kesk-alamdevoni pk-dest, mille veekvaliteedi kohta on olemas esinduslikud andmed, ei vasta raua sisalduse osas joogivee nõuetele ca 75%. Mangaani osas esineb kõrvalekaldeid tunduvalt vähem, võrreldes keskdevoni veekihiga – ülenormatiivset mangaani sisaldavad ca 11% kaevude veed (mangaani andmed on olemas 54 pk kohta 57-st). Fluoriidi osas ei vasta nõuetele kokku 8 pk vesi ehk 18% ühisveevarustuses kasutatavatest kesk-alamdevoni pk-dest. Tavatu näitajana ületab Põlvamaal 3 pk-s joogivee piinormi sulfaatide sisaldus, ilmselt on tegemist pk-dega, mis ammutavad maapõuest soolakat $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na}$ -tüüpi vett nagu eespool nimetatud.

Tartumaa 30 ühisveevarustuses kasutatavast 30 kesk-alamdevoni pk-st 5 on reservkaevud, kuid kõigi kohta on olemas esinduslikud põhjavee kvaliteedi andmed. 30% neist kaevudest (9) on joogivee kvaliteedinõuetele vastava põhjaveega, kusjuures mangaani sisaldus neis pk-des jääb valdavalt alla 10 µg/l, ammooniumi sisaldus on 0,1–0,2 mg/l, nitraatide sisaldus jääb alla 1,5 mg/l. Sulfaatide ja kloriidide sisaldus on valdavalt 3–10 mg/l, kuid üksikutes kaevudes esineb ka kloriidide sisaldust 23–25 mg/l (Reola üvv pk Ülenurme vallas, kat nr 7013, sügavus 170 m) ja 43–45 mg/l (Luunja lastelaagri pk Luunja valla Kabina külas, kat nr 741, sügavus 153 m). Naatriumi sisaldus on valdavalt vahemikus 3–20 mg/l, kolmes pk-s (sh Reola ja Luunja lastelaagri pk-d) on naatriumi sisaldus 22–44 mg/l. Pk-d, mille naatriumi sisaldus on 19 mg/l või rohkem (kokku 4 pk), sisaldavad ka võrreldes teiste pk-dega rohkem fluoriidi – 1,1–1,5 mg/l. Magedama veega pk-des (5) on fluoriidi sisaldus 0,15–0,7 mg/l.

Need Tartumaa 21 pk (70%), mille vees esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, võib raua sisalduse järgi jagada järgmistesse rühmadesse:

- 1) raud on <200 µg/l, piirsisaldust ületavad fluoriidi (3 pk-s) või mangaani (1 pk-s) sisaldus;
- 2) raua sisaldus vees on 200–1000 µg/l (10 pk ehk ca 48% nõuetele mittevastavatest kaevudest), mangaani sisaldus < 50 µg/l;
- 3) raua sisaldus vees 1800–2500 µg/l (4 pk ehk 19% nõuetele mittevastavatest kaevudest), mangaani sisaldus >50 µg/l 2 pk-s;
- 4) raua sisaldus 3500–3700 µg/l (3 pk ehk ca 14% kaevudest), mangaani sisaldus on <50 µg/l.

Mangaani sisaldus vaadeldavas 21 nõuetele mittevastavas Tartumaa kesk-alamdevoni pk-s jääb 57% juhtudest alla 10 µg/l (12 kaevu) ning 6 pk-s (29%) muutub mangaani sisaldus 10–50 µg/l. Vaid kolmes pk-s esineb ülenormatiivne mangaani sisaldus: Meeri kooli pk-s Nõo vallas (kat nr 6797) 44–54 µg/l, Nõo Hariduse tn pk-s (kat nr 6891) 52–68 µg/l ja Ülenurme aleviku keskuse pk-s (kat nr 6912) ca 77 µg/l. Sealjuures Nõo Hariduse tn pk-s on raua sisaldus <200 µg/l.

Ammooniumi sisaldus jääb kõne all olevates 21 pk-s valdavalt vahemikku 0,05–0,3 mg/l. Vaid Rõngu Nooruse tn pk-s (kat nr 6855) on ammooniumi sisaldus 1 mg/l. Ülenormatiivse ammooniumi sisalduse põhjust on raske hinnata, potentsiaalseid reostusallikaid kaevu lähedal

ei asu, kuid kuna pk on rajatud 1966. a, võib probleem olla amortiseerunud manteltorus, mille kaudu pindmised veekihid kaevu tungivad. Nitraatide sisaldus on kõigis kaevudes alla 1,5 mg/l.

Sulfaatide sisaldus on valdavalt 1–15 mg/l või alla 1 mg/l (17 pk ehk ca 81%). 3 pk-s jääb sulfaatide sisaldus vahemikku 16–30 mg/l. Erandlikuna Tartumaal sisaldab Võnnu aleviku keskuse pk sulfaate 55–57 mg/l, kloriidide sisaldus kaevus on 225 mg/l ja naatriumi sisaldus 99 mg/l. Samas sisaldavad teised kesk-alamdevoni pk-d kloriide valdavalt 1–10 mg/l (13 pk ehk 62%), 5 pk-s (24%) on kloriidide sisaldus 13–20 mg/l ning 2 pk-s (9,5%) vahemikus 35–40 mg/l. Ka naatriumi sisaldus on valdavalt 1–10 mg/l (10 pk-s ehk 48%), kuid 3 pk-s on naatriumi sisaldus 13–20 mg/l ning 7 pk-s (33%) ka 20–45 mg/l.

Fluoriidi sisalduse järgi saab Tartumaa 21 kesk-alamdevoni pk, mille vees esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, jagada järgmiselt:

- 1) 0,1–1,1 mg/l – 15 pk (71% kaevudest);
- 2) 1,2–1,5 mg/l – 1 pk: Lohkva Aiandi tee pk Luunja vallas, kat nr 16360;
- 3) 1, –1,7 mg/l – 4 pk: AS Salvesti pk Põllu 2, Tartu linn (kat nr 1318); Rämsi küla pk Puhja vallas (kat nr 7047); Tõrvandi aleviku III pk Ülenurme vallas (kat nr 6911); Tartu lennujaama pk Ülenurme vallas (kat nr 7187); SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi liigitatakse need kaevud II põhjaveeklassi;
- 4) 2,5–2,6 mg/l – 1 pk: Ulila küla pk Puhja vallas, kat nr 7040; SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi liigitatakse see kaev III põhjaveeklassi.

Pk-des, mille vesi sisaldab fluoriidi > 1,2 mg/l, on teiste sama veekihi kaevudega võrreldes ka reeglina kõrgem naatriumi (22–45 mg/l), osades ka kloriidi sisaldus (35–40 mg/l).

Jõgevamaal on kesk-alamdevoni pk ühisveevarustuses kasutusel 3, neist kaks on Pala vallas, üks Saare vallas. Kõigis kolmes pk-s sisaldab põhjavesi ülenormatiivset rauda, Pala asula pk (kat nr 12142) ka ülenormatiivset mangaani (90 µg/l). Vesi on kõigis kolmes kaevus mage, fluoriidide sisaldus on 0,2–0,8 mg/l.

Põlvamaal on kesk-alamdevoni pk ühisveevarustuses kasutusel vaid 5, kuid nagu tabelist 8 näha, ekspluateeritakse neid pk väga suurel määral. 3 pk asuvad Põlva linnas, 2 Krootuse asulas Kõlleste vallas. Kesk-alamdevoni veekihi vee koostis on kahes asulas väga erinev:

Põlva linna 3 pk-s on raua sisaldus 900–1400 µg/l, mangaani sisaldus 49 µg/l. Ammooniumi sisaldus on Põlva linna üvv Piiri tn pk-s nr 2 (kat nr 8574) 0,05–0,2 mg/l, Põlva Piim Tootmise Jaama tn 20 pk-des nr 2 ja 3 (katastri numbrid vastavalt 11050, 19444) aga 0,02–0,35 mg/l. Nitraatide sisaldus kõigis kolmes kaevus on <1,5 mg/l. Sulfaatide sisaldus Põlva linna üvv pk-s nr 2 ja Põlva Piim Tootmise pk-s nr 2 on 295–305 mg/l, kusjuures sulfaatide piirsisaldus joogivees on 250 mg/l. Põlva Piim Tootmise pk-s nr 3 ulatub sulfaatide sisaldus aga 360 mg/l, mis SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi ületab III põhjaveeklassi piirväärtuse (350 mg/l). Kloriidide sisaldus kõigis kolmes kaevus on 130–140 mg/l ning naatriumi sisaldus 80–90 mg/l, fluoriidide sisaldus jääb vahemikku 0,9–1,1 mg/l.

Krootuse asula kaks pk (katastri numbrid 11127 ja 11130) on Põlva linna kesk-alamdevoni veekompleksi 3 pk-ga võrreldes tunduvalt väiksema mineraalide sisaldusega. Raua sisaldus jääb vahemikku 250–700 µg/l, mangaani sisaldus Krootuse kaupluse (11130) pk-s on 10 µg/l, Krootuse keskuse pk-s aga 220–540 µg/l. Ammooniumi sisaldus kaevudes jääb vahemikku 0,05–0,12 mg/l, nitritite sisaldus <1,5 mg/l, sulfaatide ja kloriidide sisaldus 1–5 mg/l, naatriumi sisaldus 3,5–10 mg/l. Fluoriidide sisaldus on samuti Põlva linna kesk-alamdevoni veekihi kaevudest madalam, jäädes vahemikku 0,1–0,4 mg/l.

Valgamaa 2 kesk-alamdevoni pk asuvad Tõrva linnas, kolmas Otepää vallas Kääriku puhke- ja spordikeskuses (kat nr 12081) ning neljas Helme vallas Linna külas (kat nr 12256). Linna küla jääb Tõrva linnast ca 5 km kaugusele, Kääriku puhke- ja spordikeskusest linnulennult ca 30 km kaugusele. Ometi on Linna küla ja Kääriku puhke- ja spordikeskuse pk-de veed omavahel sarnasema koostisega ning erinevad mitmete mineraalide sisalduse poolest suurel määral Tõrva linna 2 kesk-alamdevoni pk veest.

Nimelt sisaldavad Tõrva linna kaks pk sügavusega 260 ja 275 m rauda vastavalt 500–600 ja 170 µg/l ning mangaani vastavalt 30 ja alla 10 µg/l. Ammooniumi sisaldus mõlemas pk-s jääb vahemikku 0,05–0,16 mg/l, nitritite sisaldus <1,5 mg/l. Sügavam pk, mille vesi sisaldab vähem rauda, sisaldab aga rohkem sulfaate – 63 mg/l, samas teise pk sulfaatide sisaldus jääb vahemikku 35–40 mg/l. Kloriidide ja naatriumi sisaldus on mõlemas kaevus 50–55 mg/l, fluoriidi sisaldus aga 1,1–1,4 mg/l.

Seevastu Linna küla 100 m sügavuse pk vees on raua sisaldus 1000–3000 µg/l, mangaani sisaldus 20–30 µg/l. Kääriku puhke- ja spordikeskuse 320 m sügavuse pk vee raua ja mangaani sisalduse kohta usaldusväärsed andmed puuduvad, joogiveeanalüüsid on tehtud pärast rauaeemaldussaadmeid. Teiste vee koostisosade suhtes on nimetatud kaks kaevu aga väga sarnase veega: ammooniumi sisaldus 0,3–0,4 mg/l, nitriteid on vees <1,5 mg/l, sulfaate samuti <1,5 mg/l, kloriidide sisaldus vees on 2–10 mg/l, naatriumi sisaldus 4–11 mg/l, fluoriidide sisaldus 0,1–0,2 mg/l (märksa fluorivaesemad kui Tõrva linna kesk-alamdevoni pk-de veed).

Viljandimaal on kesk-alamdevoni pk 15. Nende sügavus varieerub 50 kuni 220 meetrini ning ka vee kvaliteet on piirkonniti erinev. Vaid kahes kaevus vastab vesi kõigile joogivee kvaliteedinõuetele – Soe küla ja Kõpu aleviku pk-des.

12 pk-s ei vasta kvaliteedinõuetele raua sisaldus, jäädes valdavalt vahemikku 200–1000 µg/l (9 pk-s ehk 69% juhtudest) ning 3 pk-s muutub raua sisaldus vahemikus 600–2300 µg/l. Mangaani sisaldus jääb kõigis 15 pk-s valdavalt vahemikku 20–40 µg/l.

Ammooniumi sisaldus kaevudes on valdavalt vahemikus 0,05–0,3 mg/l (73% kaevudest), samas muutub selle sisaldus kahes pk-s 0,1–0,4 mg/l ning ühes pk-s 0,26–0,53 mg/l (piirsisaldus 0,5 mg/l). Ühes pk-s ületab ammooniumi sisaldus pidevalt joogivee piirsisaldust – see on Abja-Paluoja linna teenindav töökoja ehk Põlde küla pk kat nr-ga 7073, milles ammooniumi sisaldus muutub piirides 0,6–1,0 mg/l. Nitraatide sisaldus jääb kaevudes valdavalt alla 0,44 mg/l, vaid Kõpu alevikus muutub see piirides 3,5–22 mg/l.

Sulfaatide sisaldus on 13 kaevus 3–10 mg/l, erandlikuna sisaldab taas Kõpu aleviku pk sulfaate teistest rohkem, s.o 45–55 mg/l. 15. pk, mida peaks eraldi välja tooma, on Saarepeedi vallas Karula küla ja Hoolekandeteenused Karula kodu üvv teenindav pk kat nr-ga 21962, mis rajati 2006. aastal. Rajamise hetkel vastas pk vesi kõigile joogivee kvaliteedinõuetele, kuid aja jooksul on kaevus pidevalt suurenenud sulfaatide, kloriidide ja fluoriidide sisaldus. Sulfaatide sisaldus nimetatud pk-s on kasvanud 3-lt 20-le mg/l, kloriidide sisaldus 4-lt 13-le mg/l, fluoriidide sisaldus aga 0,7-lt 1,7-le mg/l. Teiste pk-de kloriidide sisaldus on valdavalt vahemikus 2–12 mg/l ning Kõpu aleviku pk-s 18–21 mg/l. Naatriumi sisaldus jääb 11 pk-s vahemikku 1–15 mg/l, 4 pk-s vahemikku 20–35 mg/l.

Fluoriidide sisalduse järgi saab Viljandimaa ühisveevarustuses kasutatavad kesk-alamdevoni veekihi pk-d jagada järgmiselt:

- 1) 0,1–1,1 mg/l – 9 pk;
- 2) 1,2–1,5 mg/l – 3 pk;
- 3) 1,6–1,8 mg/l – 2 pk: Öisu aleviku pk Halliste vallas ja Väikemõisa Väikelastekodu Peetrimõisa külas Saarepeedi vallas (kokku 260 tarbijat);
- 4) 0,7–1,7 mg/l – 1 pk (Saarepeedi vallas Karula küla ja Hoolekandeteenused Karula kodu üvv teenindav pk, kokku 225 tarbijat).

3.4. Kesk-alamdevoni-siluri (D_{2-1} -S) veekiht

3.4.1. Levik

Kesk-alamdevoni-siluri veekompleks levib Lõuna-Eestis, tema põhjapoolseks levikupiiriks Tartu regioonis on samuti Kootsi küla – Mustvee linna ühendav joon nagu kesk-alamdevoni veekihil. Valdav osa antud veekompleksist lasub Narva veepideme ja keskdevoni veekompleksi all ning on seetõttu reostuse eest looduslikult hästi kaitstud [Savitskaja, 2000]. Piiri kesk-alamdevoni ja kesk-alamdevoni-siluri veekomplekside vahele ei saagi tegelikult päris selgelt tõmmata. Devoni ja siluri ladestu kivimid on omavahel hüdrauliliselt seotud ning tihti avavad pk-d samaaegselt mõlema ladestu kivimeid. Nii võib ühe pk veekihi kohta leida erinevatest allikatest erinevat informatsiooni. Käesoleva töö koostamisel kasutas töö autor pk-de poolt avatavate veekihtide andmete täpsustamiseks nii Eesti Geoloogiakeskuse OÜ andmebaasi „Põhjavesi-Puurkaev” kui ka Keskkonnaministeeriumi Keskkonnalubade infosüsteemi keskkonnalubade andmebaase KLIS ja KLIS2, ning kohati on erinevates andmebaasides ühe ja sama pk kohta märgitud veekihiks D_{2-1} ja D_{2-1} -S. Kui vaadata keskkonnaministri käskkirjadega kinnitatud põhjaveevarusid selgub, et kesk-alamdevoni veekihile tarbevaru üheski maakonnas kinnitatud ei ole, ning eespool räägitud Tõrva linna, Tõrva Kaarlimäe, Põlva linnas Piiri ja Ährioru põhjaveemaardlatele kinnitatud tarbevaru juures on veekihi geoloogiliseks indeksiks märgitud D_{2-1} -S.

Joonise 6 viimase tulba järgi toituvad ligikaudu 5,8% järelevalve all olevatest tegutsevatest pk-dest kesk-alamdevoni-siluri veekihist. Koos reservkaevudega arvestades on sellest veekihist toituvaid pk Tartu regioonis 11,2% (joonise 6 eelviimane tulp). Sama joonise 2. ja 3.

tulbalt on näha, et valdav osa antud veekihist toituvaid pk ammutavad vett Tartu linna üvv tarbeks. 8 pk asuvad ka Tartu maakonnas – arvuliselt ei ole see märkimisväärne, kuid nagu edaspidi juttu tuleb, eksploateeritakse neid pk üsna suurel määral. Kokkuvõttes võib öelda, et kesk-alamdevoni-siluri veekompleks on Lõuna-Eesti linnade üks tähtsamaid veevarustusallikaid. Kui lugeda kokku kesk-alamdevoni veekihi juures kirjeldatud linnade põhjaveemaardlad, millele keskkonnaministri käskkirjadega on kinnitatud tarbevarud geoloogilise indeksiga D₂₋₁-S ja käesolevas peatükis kirjeldatud linnade põhjaveemaardlad, saame öelda, et kesk-alamdevoni-siluri veekompleksi kasutavad järgmised Lõuna-Eesti linnad: Tartu, Elva, Põlva ja Tõrva.

3.4.2. Kaevude sügavus

67 Tartu maakonnas tervisekaitsetalituse järelevalve all olevat kesk-alamdevoni-siluri veekompleksi pk on sügavusega 102–250 m, ainus Jõgevamaa pk on 80 m sügavune. Tartu linna 15 Anne-Ihaste veehaarde pärnu-siluri veekihi (D2pr-S) pk on sügavusega 125–220 m, Riia veehaarde pärnu-siluri veekihi 2 pk on sügavusega 160 ja 188 m, Ropka veehaarde pärnu-siluri veekihi 10 pk sügavusega 123–160 m, Tartu veehaarde pärnu-siluri veekihi 27 pk sügavusega 140–250 m, Vorbuse veehaarde pärnu-siluri veekihi 2 pk sügavusega 115 ja 2 pk sügavusega 210 m. 8 Tartu maakonda jäävat kesk-alamdevoni-siluri veekihi pk on sügavusega 102–205 m.

3.4.3. Veetarve ja tarbijate arv

Kesk-alamdevoni-siluri veekihi kaevudest tegeliku kasutatava vee hulga ja tarbijate arvu kohta on ülevaade toodud tabelis 10. Tabelis esitatud arvud on hinnangulised ning ei pretendeeri absoluutsele tõele.

Tabel 10. Kesk-alamdevoni-siluri veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti

	Kaevude arv	Tootmismaht, m ³ /d	Hinnanguline teenindatavate elanike arv
Jõgevamaa	1	2	95
Tartumaa	8	741	6018
Tartu linna üvv	59*	6532	45000

*sh 27 pk on reservis ning 9 töötab aeg-ajalt

Vee erikasutusloa (nr L.VV.TM-169600, kehtib alates 01.01.2008 kuni 31.12.2012, muudetud 03.09.2008) järgi on AS-l Tartu Veevõrk kesk-alamdevoni-siluri põhjaveekihist lubatud veevõtt kokku kuni 16400 m³/d. Tegelik veetarve on aga ca 6500 m³/d (vt tabel 10), mis moodustab ligikaudu 46% kogu **Tartu linna üvv** ööpäevasest veetarbest (vt joonis 7). Märkimisväärne on asjaolu, et 23 aktiivselt kasutusel oleva kesk-alamdevoni-siluri põhjaveekihist toituva pk-ga (ca 50% pk-dest, vt joonis 6) toodetakse ööpäevas ligikaudu sama palju vett, kui Meltsiveski kvaternaari veekihi 7 pk-ga (ca 15% pk-dest). Tartu linnas kesk-alamdevoni-siluri põhjaveekihist vett tarbivate inimeste arvu ei ole võimalik täpselt

määratleda, kuna vesi seguneb teiste Tartu linna ühisveevärki toitvate pk-de veega. Tabelis 10 toodud veekihi vett tarbivate inimeste arv (45 000) on leitud arvutuslikult.

OÜ aqua & waste services võib vee erikasutusloa nr L.VV.TM-165097 (kehtib 15.11.2007 kuni 15.11.2012) alusel **Elva linna üvv** Jaani tn 9 pk-st (kat nr 6881) ööpäevas vett ammutada kuni 319 m³ ja Puistee tn 13 pk-st (kat nr 6882) kuni 400 m³ (vt tabel 10). Tegelikult on peamiselt kasutuses Puistee tn pk ning reaalne veetarve Elva linna üvv-s on 300 m³/d. Elva linna üvv vett tarbib ca 2800 inimest.

Lisaks Tartu linna ja Elva linna üvv-dele kasutab Tartumaal kesk-alamdevoni-siluri veekihi vett veel 6 erineva asula ühisveevarustust ning teenindatavaid elanikke on veidi üle 3200. Koos Elva linna veetarbijatega on kesk-alamdevoni-siluri veekihi vee tarbijaid kokku ca 6000 (vt tabel 10), s.o ca 27% kogu Tartumaa ühisveevärgide vee tarbijaskonnast. Ööpäevas toodetava joogivee maht (740 m³) moodustab ca 20% kogu Tartumaa ööpäevasest joogivee tootmismahust (vt joonis 7).

Ühe inimese kohta on veetarve kesk-alamdevoni-siluri veekihis Tartumaal ligikaudu 123 l/d. Tartu linna üvv-s on vastav näitaja 145 l/d inimese kohta, Jõgevamaa ainsas kesk-alamdevoni-siluri veekihist toituvast Kudina küla ühisveevärgis on vastav näitaja aga kõigest 21 l/d inimese kohta.

Suuremad ühisveevärgid (veetarve >1000 m³/d või tarbijaid >1000), kes kasutavad kesk-alamdevoni-siluri veekihi põhjaveemaardlate vett, on toodud tabelis 11. Lisaks juba nimetatud Tartu linna ja Elva linna üvv-dele on kesk-alamdevoni-siluri veekihi vesi väga oluline ka Tõrvandi ja Puhja asulate ühisveevärgide joogiveetarbijatele.

Tabel 11. Suuremad kesk-alamdevoni-siluri veekihist toituvad ühisveevärgid Tartu regioonis

üvv nimetus	veekäitleja	m3/d	tarbijate arv	pk	l/(d·in)
Tartu linna üvv	Tartu Veevärk AS	6532	45000	26*	145
Elva linna üvv	aqua & waste services OÜ	300	2800	2	107
Tõrvandi üvv	Olme OÜ	120	1500	1	80
Puhja asula üvv	Sangla Turvas AS	87	1100	1	79

* pk-d, mis on igapäevaselt aktiivses kasutuses

3.4.4. Vee kvaliteet kesk-alamdevoni-siluri veekihis

Vastupidiselt keskdevoni veekompleksi põhjaveele, mille tüüp on valdavalt ühtlane, eristatakse kesk-alamdevoni-siluri veekompleksis mitut veetüüpi. Peamiselt on põhjavesi HCO₃-Ca-Mg- või HCO₃-Mg-Ca- või HCO₃-Mg-Na-Ca- või HCO₃-Na-Mg-Ca- või HCO₃-Mg-Ca-Na-tüüpi, mineraalsusega 0,35–0,60 g/l. Tartust kagus (Võnnus) levib suure Cl⁻ - ja Na⁺-sisaldusega HCO₃-Cl-Na-Ca-Mg- ja Cl-HCO₃-Na-Mg-Ca-tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,6–0,9 g/l. Sarnase koostisega vett leidub ka Pärnu Reiu veehaardes, avaldub

tõenäoliselt merevee tänapäevane mõju. Võnnu suure Cl^- ja Na^+ sisaldusega põhjavesi on aga kujunenud iidse merevee mõjul. $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$ -tüüpi põhjavesi levib ka Valga-, Põlva- ja Võrumaal ning Põlvas esineb sulfaatiderikast $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na-Mg}$ -tüüpi põhjavett mineraalsusega 0,95 g/l. Põlvast kagusuunas suureneb sulfaatide, kloriidide ja naatriumi sisaldus ning mineraalsus kuni 4,6 g/l (vt joonis 4). Suur sulfaatide sisaldus pärineb tõenäoliselt Narva lademe kipsist [Savitskaja, 2000]. Põlva linna 3 sulfaatiderikast pk on käesolevas töös käsitletud aga kesk-alamdevoni veekihi pk-dena ehk eelmises peatükis. Veekompleksile on iseloomulik suhteliselt kõrge kahevalentse raua sisaldus (valdavalt vahemikus 200–500 µg/l), mõnel pool võib aga vesi sisaldada ülenormatiivset fluoriidi (vt tabel 12).

Tabel 12. Kesk-alamdevoni-siluri kaevude arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele

D2-1-S	Jõgevamaa		Tartumaa*	
	ok	nok	ok	nok
Fe (üld)	0	1	17	23
Mn	0	1	38	2
F	1	0	34	6

ok – vesi vastab kvaliteedinõuetele; nok – vesi ei vasta kvaliteedinõuetele

* - sh Tartu linna üvv kaevud

Tabelis 12 on esitatud Jõgeva- ja Tartumaa ühisveevarustuses kasutatavate pk-de arv, mille vesi vastab ja mille vesi ei vasta nõuetele iga konkreetse kvaliteedinäitaja puhul. Välja on toodud vaid need kvaliteedinäitajad, mille puhul esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest.

Vaadeldavast 41 kesk-alamdevoni-siluri veekihi kaevust (sh Tartu linna üvv-s 9 aeg-ajalt kasutusel olevat pk) 31-s (s.o ca 76%) ei vasta vesi SoM 31.07.2001. a määrusega nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid” kehtestatud nõuetele indikaatornäitajate raua, mangaani ja/või fluoriidi osas.

Raua sisaldus joogivee kvaliteedinõuetele vastavas 10 pk-s jääb vahemikku 100–220 µg/l. Need 31 pk, mille vesi ei vasta ühe või mitme kvaliteedinäitaja osas joogivee kvaliteedinõuetele, saab raua sisalduse osas jagada järgmiselt:

- 1) raua sisaldus 100–220 µg/l – 5 pk (koos nõuetele vastavate pk-dega moodustavad sellise raua sisaldusega kaevud ca 37% kõigist antud veekihi pk-dest);
- 2) raua sisaldus 200–500 µg/l – 23 pk (74% nõuetele mittevastavatest kaevudest, 56% kõigist antud veekihi kaevudest);
- 3) raua sisaldus 900–2320 µg/l – 3 pk: Meeri küla pk Nõo vallas (kat nr 6788), Vara asula kaupluse pk Vara vallas (kat nr 7136), Kudina küla pk Palamuse vallas Jõgevamaal (kat nr 11699). Kõik kolm nimetatud pk on võrreldes teiste kesk-alamdevoni-siluri veekihi kaevudega suhteliselt madalad – Meeri küla pk on 102 m, Vara asula kaupluse pk 120 m ja Kudina küla pk 80 m sügavune.

Mangaani sisaldus järelevalve alla olevates kesk-alamdevoni-siluri veekihi purukaevudes on valdavalt vahemikus 15–40 µg/l. Vaid kolmes pk-s ületab mangaani sisaldus joogiveele kehtestatud piirsisaldust: Meeri küla pk-s Nõo vallas on mangaani sisaldus 58–73 µg/l, Kudina küla pk-s Palamuse vallas Jõgevamaal muutub mangaani sisaldus vahemikus 60–90 µg/l ja Tartu linna üvv Anne veehaarde pk-s Anne 124/7-3 (kat nr 1294, sügavus 128 m) on mangaani sisaldus 70–85 µg/l.

Ammooniumi-, nitraat-, sulfaat- kloriid-, naatriumioonide sisaldused vaadeldavate kaevude vees vastavad nõuetele. Ammooniumi sisaldus jääb kõigis 41 vaadeldavas pk-s vahemikku 0,1–0,3 mg/l. Nitraatide sisaldus on 32 pk-s 0,1 mg/l või alla selle, 9 pk-s 0,1–0,3 mg/l.

Sulfaatide valdav sisaldus on 2–10 mg/l (78% kaevudest), 5 pk-s muutub see vahemikus 6–15 mg/l, 3 pk-s 16–28 mg/l ning erandlikult suure sulfaatide sisaldusega on Võnnu tehnokeskuse ehk lehtla pk (kat nr 7350, sügavus 205 m): 70–75 mg/l, selle põhjustest oli juttu eespool. Soolade sisaldus Võnnu lehtla pk-s on sarnane Võnnu keskuse pk-ga (kat nr 7347, D₂₋₁ veekiht, 130 m sügavune), mis on hetkel reservis: kloriidide sisaldus on 222 mg/l, naatriumi sisaldus 97–98 mg/l.

Kloriidide sisaldus ülejäänud 40 pk-s jääb valdavalt vahemikku 3–10 (24 kaevu) või 7–20 mg/l (10 kaevu), kokku ca 83% kesk-alamdevoni-siluri veekihi pk-s. 4 pk-s jääb kloriidide sisaldus vahemikku 20–45 mg/l. Neist 3 on Tartu linna üvv Anne–Ihaste veehaarde pk-d, 4. Tõrvandi aleviku II pk kat nr-ga 22037. Anne veehaarde pk-s kat nr-ga 1291 muutub kloriidide sisaldus vahemikus 50–65 mg/l ning Anne veehaarde pk-s kat nr-ga 1288 vahemikus 75–105 mg/l.

Naatriumi sisalduse järgi saab vaadeldavad kesk-alamdevoni-siluri pk-d jagada nelja gruppi:

- 1) naatriumi sisaldus 2–15 mg/l – 10 pk (24% kaevudest), sh Elva linna Jaani tn pk, Meeri küla ja Kudina küla pk-d;
- 2) naatriumi sisaldus 15–25 mg/l – 12 pk (29% kaevudest), sh Vara kaupluse pk, Elva Puiestee tn pk ja mitmed Tartu linna üvv toitvad pk-d;
- 3) naatriumi sisaldus 20–40 mg/l – 16 pk (39% kaevudest), sh Tõrvandi aleviku II ja Puhja aleviku pk-d ning Vorbuse-väike üvv pk (kat nr-ga 7145);
- 4) naatriumi sisaldus 55–75 mg/l (Anne veehaarde pk-d katastri numbritega 1291 ja 1288) või ligikaudu 100 mg/l (Võnnu lehtla pk).

Fluoriidide osas võime ühisveevarustuses kasutatavad kesk-alamdevoni-siluri veekihi pk-d jagada järgmiselt:

- 1) 0,1–1,0 mg/l – 19 pk (ca 46% kaevudest);
- 2) 1,0–1,5 mg/l – 16 pk (ca 39% kaevudest);
- 3) pk-d, mille fluoriidi sisaldus jääb kohati alla joogivee piirsisalduse, kohati aga ületab seda, muutudes vahemikus 1,3–1,6 mg/l – 2 pk (Tartu veehaarde pk kat nr-ga 1256 ja Anne veehaarde pk kat nr-ga 1288);

- 4) fluoriidide sisaldus ületab joogivee piirsaldust, jäädes vahemikku 1,6–2 mg/l – 4 pk: Vorbus-väike üvv pk (140 m sügavune), Tõrvandi aleviku II pk (200 m sügavune), Tartu veehaarde 2 pk katastri numbritega 1236 ja 1273 (mõlemad sügavusega 180 m).

Kokku ületab fluoriidi sisaldus joogivee piirsaldust (1,5 mg/l) 6 kesk-alamdevoni-siluri veekihi pk-s (ca 15%). Oluline on siinkohal märkida, et Tartu linna üvv-s suunatakse erinevate veehaarete põhjaveed kokku kahte veepuhastisse ning tarbijani jõuab seguvesi, mille fluoriidi sisaldus jääb joogivee piirsaldusest allapoole. Tõrvandi alevikus aga tarbib töötlemata põhjavett fluoriidi sisaldusega 1,6–2 mg/l igapäevase joogiveena ca 1500 inimest. Kõrge fluoriidisaldusega piirkonnad on toodud joonisel 5.

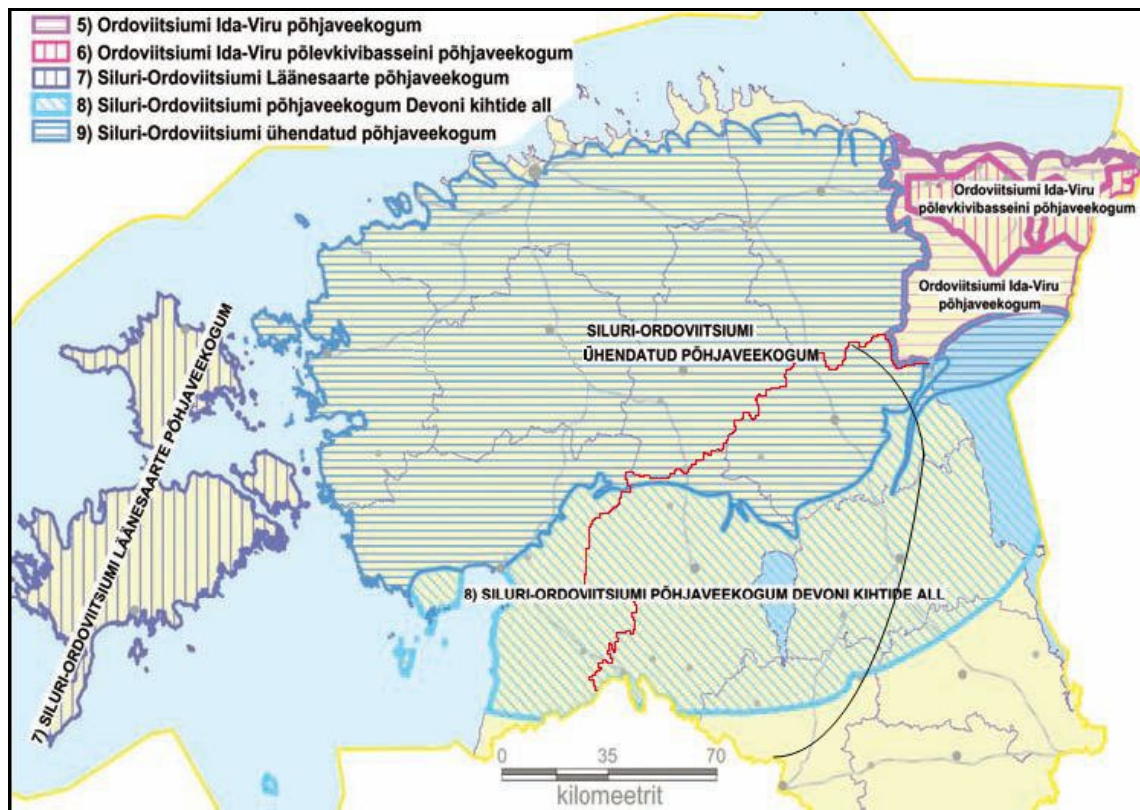
Enamasti paistab silma tendents, et kõrgema fluoriidisaldusega põhjavesi sisaldab kloriide 10–40 mg/l ning naatriumi >20 mg/l.

3.5. Siluri, siluri-ordoviitsiumi ja ordoviitsiumi (S, S-O, O) veekihid

3.5.1. Levik

Siluri-ordoviitsiumi (S-O) ja ordoviitsiumi (O) veekihid levivad Tartu regioonis ligikaudu Tõrva-Võnnu joonest põhja pool (vt joonis 11). Siluri veekompleks piirneb aga idast ligikaudu Hummuli–Otepää–Tartu–Torma–Laekvere joonega (vt joonisel 11 must joon). Nagu jooniselt 11 näha, lasub enamik Viljandi- ja Tartumaa, ning Valga- ja Põlvamaa põhjaossa ulatuvatest siluri-ordoviitsiumi veekihtidest devoni kihtide all. Samuti jääb devoni kihtide alla Jõgevamaa kaguosa siluri-ordoviitsiumi põhjaveekompleks. Suuremat osa Jõgevamaa siluri ja siluri-ordoviitsiumi põhjaveekihtidest katab aga vaid kvaternaari setete õhuke kiht (liiv, kruus, moreen, vt joonis 4), mistõttu põhjavesi võib kergesti reostuda.

Ühisveevarustuse seisukohast on siluri, siluri-ordoviitsiumi ja ordoviitsiumi veekihid väga olulised Jõgeva- ja Viljandimaal, samuti kasutatakse antud veekihte suhteliselt intensiivselt Tartumaal. Ligikaudu 81% Jõgevamaa ja 64% Viljandimaa ühisveevarustuses kasutatavatest pk-dest toituvad siluri või siluri-ordoviitsiumi või ordoviitsiumi veekihtidest, Tartumaal on vastav näitaja ligikaudu 19%. Joonisel 6 on siluri (S), siluri-ordoviitsiumi (S-O) ja ordoviitsiumi (O) veekihtide (edaspidi siluri-ordoviitsiumi) pk-de osatähtsus esitatud eraldi, käesolevas peatükis käsitleb töö autor neid aga koos, kuna ordoviitsiumi ladestu levikualal, mis suures osas kattub siluri ladestu levikualaga (vt joonis 11), moodustavad siluri ja ordoviitsiumi ladestu veekihid ühtse karbonaatse veekompleksi [Savitskaja, 2000]. Pk-de veekihtide määratluse juures on aluseks võetud Eesti Geoloogiakeskus OÜ andmebaasist „Põhjavesi-Puurkaev” ja keskkonnaministeeriumi keskkonnalubade infosüsteemi keskkonnalubade andmebaasidest KLIS ja KLIS2 pärinevad andmed. Kogu regioonis toituvad siluri-ordoviitsiumi veekompleksi kaevudest ca 24% ühisveevarustuses kasutatavatest tegutsevatest pk-dest.



Joonis 11. Siluri-ordoviitsiumi veekihtide põhjaveekogumid [Põhjaveekomisjon, 2004, modifitseeritud]. Punase joonega on tähistatud Tartu regiooni piir. Musta joonega on märgitud ligikaudne siluri veekompleksi idapoolne piir Tartu regioonis.

3.5.2. Kaevude sügavus

Siluri-ordoviitsiumi vettandva kihi moodustavad siluri ja ordoviitsiumi ladestute lubjakivid ja dolomiidid savikate vahekihtidega, kogupaksusega kuni 250 m. Karbonaatsete kivimite ülemine 30 m paksune osa on lõheline ja karstunud ning põhjavesi liigubki peamiselt kivimilõhedes ja karstiõõnsustes. Kuna lõhelisus ja karstumus vähenevad kiiresti sügavuse suurenedes, väheneb samas suunas ka kihtide veeandvus: ligikaudu poole kogu puurauku tungivast veest annab ülemine 25 m paksune sügavusvahemik, ülejäänud – järgnev 50–75 m paksune vahemik. Seega loetakse veekihi efektiivseks paksuseks kuni 100 m. Vesi on enamasti survealine ning mitmel pool esineb ülevooluga pk [Heinsalu ja Vallner, 1995]. Tervisekaitse järelevalve all olevad Jõgevamaa siluri, siluri-ordoviitsiumi ja ordoviitsiumi veekihtide pk-d on sügavusega 22–210 m, Viljandimaal 55–285 m, Tartumaal 60–245 m.

3.5.3. Veetarve ja tarbijate arv

Kõne all olevate veekihtide pk-dest kasutatava vee hulga ja tarbijate arvu kohta on ülevaade toodud tabelis 13.

Tabel 13. Siluri-ordoviitsiumi veekihtide vett tarbivad kaevud maakonniti

	Kaevude arv	Tootmismahd, m³/d	Hinnanguline teenindatavate tarbijate arv
Jõgevamaa, S, S-O, O	58	3435	19195
Tartumaa, S, O	20	815	3835
Viljandimaa, S, S-O, O	55	4550	31130

Kokku kasutab Jõgevamaal siluri-ordoviitsiumi veekihtide vett 48 erinevat veevärki 37 asulas ning teenindatavaid elanikke on ca 19200, so ligikaudu 88% kogu Jõgevamaa ühisveevärgide vee tarbijaskonnast. Ööpäevas toodetava joogivee maht (3435 m³) moodustab ca 94% kogu Jõgevamaa ööpäevasest joogivee tootmismahust (vt joonis 7). Asjaolu, et 37 asulas on 48 erinevat veevärki, on tingitud osalt asulate topograafiast ja geograafiast (nt Laiuse, Kuremaa ja Puurmani alevikud), osalt külates hajali paiknevatest objektidest (nt Kalana küla, Saduküla), Põltsamaa linnas asub aga kaks suurettevõtet, millel on linna üvv-st eraldi veevargid – AS Põltsamaa Felix ja PÜ E-Piim Põltsamaa Meierei.

Viljandimaal kasutavad siluri-ordoviitsiumi veekihtide vett 44 erinevat veevärki 38 asulas, teenindatavaid elanikke on ca 31100 ehk 85% ühisveevärgide vee tarbijaskonnast. Ööpäevas toodetava joogivee maht (4550 m³) moodustab ca 88% kogu Viljandimaa ööpäevasest joogivee tootmismahust (vt joonis 7).

Tartumaa 20 pk (19,4% Tartumaa ühisveevärke toitvatest kaevudest, vt joonis 6) teenindavad ca 17,5% Tartumaa ühisveevärgide vee tarbijaskonnast (Tartu linna üvv arvestamata). Ööpäevas toodetava joogivee maht (815 m³) moodustab ca 21,5% kogu Tartumaa ööpäevasest joogivee tootmismahust (vt joonis 7). Erinevus tarbijaskonna ja ööpäevase toodetava joogiveemahu osakaalus on tingitud asjaolust, et siluri veekihi vett tarbivad asulate üvv-de hulgas ka AS A.LeCoq'i õlle- ja karastusjookide tehas Tartus (4 joogivee villimisliini) ning mahlade villimise tehas Reolas Ülenurme vallas (2 villimisliini). Mõlemal tehasel on oma pk-d.

Ühe inimese kohta on veetarve siluri ja siluri-ordoviitsiumi veekihtidest Jõgevamaal ligikaudu 179 l/d, Viljandimaal 146 l/d, Tartumaal 213 l/d. Tartumaa antud näitaja teevad suureks just AS A.LeCoq'i tehased, kus veetarve on suur, tarbijaskond aga väike – vaid asutuse töötajad.

Suurim üvv, kes kasutab siluri-ordoviitsiumi põhjaveemaardlate vett, on **Viljandi linna ja Viiratsi aleviku üvv**. Nimetatud üvv 7 pk-ga toodetakse ööpäevas 2410 m³ joogivett ning tarbijaid on üvv-s ca 20330. Ühe inimese kohta on veetarve Viljandi linna ja Viiratsi aleviku üvv-s 119 l/d. Suuruselt järgmine on **Jõgeva linna üvv** oma 4 ordoviitsiumi ja ühe siluri pk-ga. Ööpäevane veetarve Jõgeva linna üvv-s on ca 890 m³, joogivee tarbijaid on ca 4500. Tarbijate hulga poolest on lisaks eelnimetatud üvv-dele siluri-ordoviitsiumi veekihtide vesi oluline ka Karksi-Nuia linna (1450 tarbijat) ja Põltsamaa linna (3500) üvv-de joogiveetarbijatele.

3.5.4. Vee kvaliteet siluri ja siluri-ordoviitsiumi veekihtides

Siluri-ordoviitsiumi veekihtide vesi on Tartu regioonis enamasti mage, mineraalainete sisaldusega 0,3–0,7 g/l, peamiselt $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ -tüüpi, Viljandimaal ka $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Ca}$ -tüüpi (vt joonis 4) [Savitskaja, 200]. Kohati sisaldab siluri-ordoviitsiumi põhjaveekompleksi vesi rohkelt kahevalentset rauda, mitmel pool sisaldab aga vesi suures koguses fluoriidi (vt tabel 14).

Tabelis 14 on esitatud kõigi kolme maakonna kohta nende siluri-ordoviitsiumi pk-de arv, mille vesi vastab ja mille vesi ei vasta nõuetele iga konkreetse kvaliteedinäitaja puhul. Sealjuures on pk, mille mõne veekvaliteedi näitaja kohta andmed puuduvad. Seetõttu nõuetele vastavate ja mittevastavate kaevude arv kokku ei pruugi antud tabelis erinevate kvaliteedinäitajate puhul olla konstantne. Vaadeldavaid pk, mille kohta on olemas esinduslikud veekvaliteedi andmed, on kokku 134. Välja on toodud vaid need kvaliteedinäitajad, mille puhul esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest.

Tabel 14. Siluri-ordoviitsiumi pk-de arv, milles vesi vastab ja milles vesi ei vasta kehtivatele joogivee kvaliteedinõuetele

S, S-O, O	Jõgevamaa		Tartumaa*		Viljandimaa	
	ok	nok	ok	nok	ok	nok
Fe (üld)	28	30	12	8	25	31
Mn	56	2	20	0	51	5
NH₄	51	7	19	1	55	1
NO₃	55	1	20	0	56	0
SO₄	58	0	20	0	55	1
F	54	4	12	8	39	17

ok – vesi vastab kvaliteedinõuetele; nok – vesi ei vasta kvaliteedinõuetele

*v.a. Tartu linna üvv

Tabelist 14 on näha, et siluri-ordoviitsiumi pk-dest, mille veekvaliteedi kohta on olemas esinduslikud andmed, ei vasta raua sisalduse osas joogivee nõuetele ca 51,5%. Mangaani osas esineb kõrvalekaldeid vähe – ülenormatiivset mangaani sisaldavad ca 5,2% kaevude veed. Fluoriidi osas ei vasta nõuetele kokku 29 pk vesi ehk 22% ühisveevarustuses kasutatavatest siluri ja siluri-ordoviitsiumi pk-dest. Ülenormatiivset ammooniumi esineb pidevalt või sesoonselt ca 7% pk-des.

Jõgevamaa 58 ühisveevarustuses kasutatavast siluri ja siluri-ordoviitsiumi pk-st 22-s vastab põhjavesi joogivee kvaliteedinõuetele, s.o ca 38% kaevudes. Raua sisaldus neis kaevudes jääb valdavalt alla 120 µg/l, ammooniumi sisaldus on valdavalt 0,05 mg/l. Samas sisaldab põhjavesi sageli nitraate üle 3 mg/l, mida loetakse nitraatide loodusliku fooni maksimumpiiriks. Pk-d, mille põhjavesi sisaldab nitraate vahemikus 20–30 mg/l, asuvad kõik kunagise intensiivse põllumajandusega piirkondades ning vahetult põldude lähedal, nt Kärde, Vaimastvere, Adavere elamute pk-d. Jõgeva linna üvv 4 ordoviitsiumi pk nitraatide sisaldus jääb alla 1,5 mg/l.

36 pk, milles vesi millegi poolest ei vasta joogivee kvaliteedinõuetele, saab raua sisalduse järgi jagada järgmiselt:

- 1) <200 µg/l – 7 pk;
- 2) 200–1000 µg/l – 17 pk, sealjuures valdav sisaldus on 200–600 µg/l;
- 3) 1000–3000 µg/l – 12 pk, ehk 33% nõuetele mittevastavatest pk-dest ja 21% kõigist Jõgevamaa siluri-ordoviitsiumi pk-dest.

Mangaani sisaldus jääb valdavalt vahemikku 10–30 µg/l, vaid kahes pk-s leidub mangaani 50–70 µg/l.

Ammooniumi valdav sisaldus 36 joogivee kvaliteedinõuetele mittevastavas pk-s on 0,05–0,2 mg/l. Ülenormatiivset ammooniumi sisaldavad järgmised pk-d:

- 1) Kaarepere kooli pk – 0,45–0,6 mg/l, ammooniumi sisaldus muutub sesoonselt;
- 2) Palamuse gümnaasiumi pk – 0,53–0,57 mg/l – tegemist on loodusliku fooniga;
- 3) Saduküla küla pk – 0,5–0,8 mg/l – põhjaveest reostavad nii aeg-ajalt lekkivad kanalisatsioonitorustikud kui ka intensiivne põllumajandus – pk-l puudub sanitaarkaitsetsoon ning see asub põllu peal, kuhu kevadeti veetakse sõnnikut;
- 4) Adavere õunaia pk – 0,08–0,8 mg/l, ammooniumi sisaldus muutub sesoonselt, põhjavesi on väga reostustundlik;
- 5) Kuremaa sepikoja pk – 0,6–0,7 mg/l, ülenormatiivse ammooniumi põhjused ei ole päris selged;
- 6) Laiuse õpetajate pk – 0,5–0,8 mg/l, ammooniumi sisaldus muutub sesoonselt ning tavaliselt on üle normi kevadel lumesulamise perioodil ja vahetult selle järgselt;
- 7) Torma pargi pk – 0,3–0,6 mg/l, ammooniumi sisaldus muutub sesoonselt.

Nitraatide sisaldus 36 joogivee kvaliteedinõuetele mittevastavas pk-s on valdavalt alla 1,5 mg/l. Kõrgem on nitraatide sisaldus Saduküla küla ja Adavere õunaia pk-des, muutudes Sadukülas vahemikus 4–27 mg/l ning Adaveres 30–40 mg/l. On ka üks pk, kus nitraatide sisaldus on kohati üle normi – see on Puhu-Risti pk (kat nr 8597), mille vett kasutab toidukäitleja Puhu Kaubandus OÜ. Nitraatide sisaldus muutub seal piirides 28–59 mg/l.

Sulfaatide sisaldus Jõgevamaa siluri-ordoviitsiumi pk-des muutub vahemikus 20–80 mg/l, valdavalt jääb aga vahemikku 30–70 mg/l, ordoviitsiumi sügavamates kaevudes 35–45 mg/l. Kloriidide sisaldus muutub vahemikus 10–50 mg/l, valdav sisaldus on 20–30 mg/l. Naatriumi sisaldus on üle poolte juhtudest vahemikus 4–10 mg/l, soolakama veega kaevudes on aga 20–30 mg/l, ordoviitsiumi sügavamates kaevudes ka kuni 40 mg/l ning erandliku pk-na sisaldab Põltsamaa vallas Adavere-Aru pk naatriumi 75–90 mg/l.

Fluoriidi sisaldus jääb vaadeldavas 58 pk-s valdavalt vahemikku 0,1–0,6 mg/l. 16 pk-s on fluoriidide sisaldus 0,7–1,3 mg/l. Ülenormatiivset fluoriidi sisaldavad 3 ordoviitsiumi pk 2,5–4,8 mg/l (Adavere-Aru, Voore asula pk kat nr-ga 15569 ja Werol Tehased AS pk Painkülas). Torma pargi pk (kat nr 11772) kohta on aga vastuolulisi andmeid: tervisekaitselise järelevalve ja veekäitleja enesekontrolli käigus võetud joogivee analüüsides on fluoriid jäänud vahemikku

0,5–1,4 mg/l, erinevate teadusuuringute käigus võetud analüüsides on aga fluoriidi sisaldus antud kaevus üle normi – ca 2,1–2,5 mg/l [Indermitte jt, 2005; KKM ITK, 2008].

Viljandimaa ühisveevarustuses kasutatavatest siluri-ordoviitsiumi kaevudest 15 vastab põhjavesi joogivee kvaliteedinõuetele, s.o ca 27% kaevudest. Nendes kaevudes on fluoriidi sisaldus valdavalt 0,9–1,5 mg/l ning naatriumi sisaldus >10 mg/l (valdavalt 25–35 mg/l). 7 nimetatud pk-dest toidavad Viljandi linna ja Viiratsi aleviku üvv-i.

Raua sisalduse osas ei vasta Viljandimaa siluri-ordoviitsiumi kaevudest nõuetele 31 ehk ca 56% kaevudest. Neis 31 kaevus jääb raua sisaldus 65% juhtudest valdavalt vahemikku 300–600 µg/l, kuid on ka pk (ca 19%), milles valdav raua sisaldus jääb vahemikku 1000–2000 µg/l ning 16% kaevudes muutub raua sisaldus väga suurtes piirides: 160–2300 µg/l. Viimati nimetatud kaevud avavad ilmselt mitut veekihti, mille raua sisaldus antud piirkonnas on erinev ning raua sisaldus pk vees muutub sõltuvalt veetarbe muutustest veevärgis: kui veetarve on mingis ajahetkes madal, pumbatakse kaevust välja suurema tõenäosusega madalama veekihi vett, veetarbe suurenedes hakkavad nõ töötama ka pk sügavamad veekihid.

Mangaani valdavad sisaldused Viljandimaa siluri-ordoviitsiumi kaevudes jäävad vahemikesse 10–20 või 20–40 µg/l. Vaid 5 pk-s ületab mangaani sisaldus joogivee piirsisaldust (50 µg/l). 3 neist asuvad Kõo vallas Kirivere (20–56 µg/l) ja Pilistvere külades (20–120 µg/l), üks Savikoti külas Pärsti vallas (53–85 µg/l) ja üks Reegoldi külas Suure-Jaani vallas (85–140 µg/l). Pilistvere pk-dest muutub lisaks mangaanile ka raud suurtes piirides: 2000–7700 µg/l.

Ammooniumi sisaldus kaevudes on valdavalt vahemikus 0,05–0,2 mg/l (91% kaevudest), kolmes pk-s muutub selle sisaldus 0,05–0,5 mg/l (ülnimetatud 3 Kõo valla pk-s). Abja-Paluoja linna pk-s kat nr-ga 7095 (sügavus 260 m) muutub ammooniumi sisaldus piirides 0,1–0,5 mg/l, kusjuures ammooniumi sisaldus Abja-Paluoja linna keskdevoni pk-s kat nr-ga 7073 (sügavus 170 m) on 0,6–1 mg/l (vt keskdevoni pk-de juures). Tere AS Viljandi Tootmisosakonna pk-s (kat nr 7230) Viljandis Raua nt 6 ületab ammoonium aeg-ajalt ka piirsisaldust (0,5 mg/l), muutudes vahemikus 0,4–0,7 mg/l. Nitraatide sisaldus jääb kaevudes valdavalt alla 1,5 mg/l.

Sulfaatide sisaldus on 34 pk-s (ca 62% kaevudest) 3–15 mg/l. 14 pk-s on vastava kvaliteedinäitaja sisaldus 15–30 mg/l (25% kaevudest), kusjuures kloriidide sisaldus antud kaevudes on valdavalt 10–20 mg/l. 6 pk-s (ca 11% kaevudest) on sulfaatide sisaldus 30–80 mg/l ning kloriidide sisaldus neis valdavalt vahemikus 15–40 mg/l. Erandlikult suure sulfaatide sisaldusega on Mustla aleviku pk (kat nr-ga 7067): 145–255 mg/l (joogivee piirsisaldus on 250 mg/l), selles kaevus on ka võrdlemisi suur kloriidide ja naatriumi sisaldus ning vesi sisaldab ülenormatiivset fluoriidi 1,7–2,7 mg/l.

Kloriidide sisaldus, mis sageli korreleerub sulfaatide sisaldusega vees, on 35 pk-s (64% kaevudes) sisaldusega 3–10 mg/l, 11 pk-s sisaldusega 10–20 mg/l ning 9 pk-s esineb kloriide vahemikus 25–60 mg/l.

Naatriumi sisaldus jääb 28 pk-s vahemikku 1–20 mg/l, 13 pk-s vahemikku 15–38 mg/l ning 12 pk-s vahemikku 40–90 mg/l. Pk-de vesi naatriumi sisaldusega üle 15 mg/l sisaldab reeglina fluoriidi üle 0,9 mg/l. Kloriidide ja naatriumi omavaheline korrelatsioon nii selgepiirilise ei ole.

Fluoriidide sisalduse järgi saab Viljandimaa ühisveevarustuses kasutatavad siluri-ordoviitsiumi veekihi pk-d jagada järgmiselt:

- 1) 0,1–0,9 mg/l – 18 pk;
- 2) 0,9–1,5 mg/l – 20 pk;
- 3) 1,3–2,5 mg/l – 3 pk: üks neist on Võhma linna üvv vana pk (kat nr-ga 6046), teine Holstre küla pk Paistu vallas (kat nr-ga 6422), kolmas on Võhma linna Pargi tn pk (kat nr-ga 15980).
- 4) 1,5–3,1 mg/l – 14 pk ehk 25,5% vaadeldavatest kaevudest.

Seega ei vasta fluoriidide sisaldus joogivee kvaliteedinõuetele kokku ca 31% siluri-ordoviitsiumi pk-s. Kõrge fluoriidi sisaldusega piirkonnad on toodud joonisel 5.

Tartumaa 20 ühisveevarustuses kasutatavast siluri ja ordoviitsiumi pk-st 25% (5) on joogivee kvaliteedinõuetele vastava põhjaveega, kusjuures mangaani sisaldus neis pk-des jääb valdavalt alla 10 µg/l, ammooniumi sisaldus on 0,1–0,2 mg/l.

Raua sisalduse osas ei vasta joogivee kvaliteedinõuetele 8 pk ehk 40% kõigist vaadeldavatest kaevudest. 6 pk-s jääb raua sisaldus vahemikku 200–1000 µg/l, 2 pk-s vahemikku 1100–2100 µg/l. Mangaani sisaldus Tartumaa siluri veekihi pk-des on valdavalt alla 10 µg/l, vaid Haage asula pk nr 1 kat nr-ga 7195 sisaldab mangaani kuni 45 µg/l.

Ammooniumi sisaldus 15 pk-s, milles esineb kõrvalekaldeid joogivee kvaliteedinõuetest, on valdavalt vahemikus 0,05–0,4 mg/l. Vasula küla pk-s (kat nr 7176) muutub ammooniumi sisaldus 0,3–1,1 mg/l (piirsisaldus 0,5 mg/l).

Nitraatide sisaldus on pea kõigis Tartumaa siluri veekihi kaevudes alla 1,5 mg/l. Erandiks on Ülenurme aleviku kooli pk kat nr-ga 19024, kus nitraatide sisaldus ulatub ca 35 mg/l. Tegemist on ilmselt vana reostusega, sest ammoonium antud pk-s on alla 0,05 mg/l.

Sulfaatide sisaldus vaadeldavates pk-des on valdavalt 3–15 mg/l (15 pk-s ehk ca 75% kõikidest kaevudest). 3 pk-s jääb sulfaatide sisaldus vahemikku 16–35 mg/l, 2 pk-s vahemikku 40–55 mg/l. Suurema sulfaatide sisaldusega pk-de põhjavesi sisaldab reeglina ka rohkem kloriide: see tendents paistab selgelt välja Sojamaa, Vasula, Äksi ja Ülenurme aleviku kooli pk-des.

Kloriide valdav sisaldus jääb vahemikku 3–10 mg/l (12 pk ehk 60%), 5 pk-s on kloriidide sisaldus 10–30 mg/l ning 3 pk-s vahemikus 25–80 mg/l.

Naatriumi sisaldus 6 pk-s on 1–10 mg/l, 7 pk-s 10–25 mg/l ning 7 pk-s 25–65 mg/l. Viimati nimetatud 7 pk-st 6 sisaldab vesi lisaks suhteliselt kõrgele naatriumile ka fluoriidi > 2 mg/l

Fluoriidi sisalduse järgi saab Tartumaa 19 siluri pk jagada järgmiselt:

- 1) 0,3–1,2 mg/l – 6 pk;

- 2) 1,1–1,5 mg/l – 6 pk;
- 3) 1,7–3,4 mg/l – 8 pk, s.o ca 40% kaevudest. SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi liigitatakse need kaevud III põhjaveeklassi. Ülenormatiivse fluoriidiga siluri põhjaveekihi pk-d asuvad Ülenurme, Tartu, Tähtvere ja Laeva valdades (vt joonis 5).

3.6. Ordoviitsiumi-kambriumi (O-Cm) veekihid

3.6.1. Levik ja tähtsus

Ordoviitsiumi-kambriumi (O-Cm) veekihid levivad Tartu regioonis ligikaudu Laanemetsa-Varstu-Krabi joonest põhjapool, kuid kuna Tartu piirist lõuna poole muutub põhjavesi Cl-Na-tüübiks ning on mineraalsusega üle 1 g/l, siis SoM 31.07.2001. a määruse nr 82 mõistes seda tavalise joogiveena ei kasutata [Savitskaja, 2000]. KKM 10.05.2004. a määrusega nr 47 „Põhjaveekogumite veeklassid, põhjaveekogumite veeklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning veeklasside määramise kord” on ordoviitsium-kambriumi põhjaveekogumiks kinnitatud see osa veekompleksist, mis piirneb lõunast ligikaudu Praaga–Nõo–Paistu–Kõpu–Tahkuranna joonega (vt joonis 12). Jooniselt 12 on näha, et ordoviitsium-kambriumi põhjaveekihid lasuvad Tartu regioonis eelpool käsitletud veekihtide all ning on maapinnalt lähtuva reostuse suhtes hästi kaitstud.



Joonis 12. Ordoviitsiumi-kambriumi veekihtide põhjaveekogumid

[Põhjaveekomisjon, 2004, modifitseeritud]. Punase joonega on tähistatud Tartu regiooni piir.

Ühisveevarustuse seisukohast on ordoviitsiumi-kambriumi veekiht Tartu regioonis oluline peamiselt Tartu linna üvv-le. Üks kaev asub ka Jõgevamaal ja üks paikneb küll Tartu linnas, kuid ei ole ühendatud Tartu linna üvv-i. Kaks kaevu asuvad Põlvamaal Värskas, kuid kuna sealne vesi on kasutusel mineraalveena (mineraalsus ca 2,2 g/l), siis käesolevas töös neid ei

käsitleta. Samal põhjusel ei vaadelda töös kambrium-vendi pk, ehkki joonistel 6 ja 7 on nende osatähtsus Põlvamaal ja regioonis illustratiivses mõttes näidatud.

Tartu linna üvv-s pk-dest ca 23,2% (arvuliselt 22) toituvad ordoviitsium-kambriumi põhjaveest, kuid paljud pk-d on reservis, mistõttu igapäevases kasutuses olevate pk-des osakaal on 19,6% (arvuliselt 9).

Kogu regioonis toituvad ordoviitsium-kambriumi veekompleksi kaevudest ca 2% ühisveevarustuses joogiveena kasutatavatest tegutsevatest pk-dest.

3.6.2. Kaevude sügavus

Ordoviitsiumi–kambriumi vettandva kihi moodustavad liivakivid ja aleuroliidid, mis jäävad siluri-ordoviitsiumi regionaalse veepideme alla, lasumissügavusega Eesti lõunapiiril kuni 200–350 m allpool merepinda (vt joonis 1 ja 4). Veekihi enda paksus ulatub 10–100 m [Heinsalu ja Vallner, 1995].

Tervisekaitse järelevalve all olevad ordoviitsiumi–kambriumi veekihtide pk-d on Jõgevamaal sügavusega 334 m, Tartumaal 395–437 m.

3.6.3. Veetarve ja tarbijate arv

Tartu linna üvv-s kasutusel olevate ordoviitsiumi–kambriumi pk-dega toodetakse ööpäevas joogivett ca 950 m³, mis moodustab ca 6,7% ööpäevasest kogu tootmismahust. Hinnanguliselt tarbib seda vett ca 6700 inimest.

Tartu linnas kasutab ordoviitsiumi–kambriumi veekihi vett oma tootmisprotsessis AS A.LeCoq (Tähtvere 56/62, klubi pk), veekulu ööpäevas ca 150 m³.

Jõgevamaal tarbib ordoviitsiumi–kambriumi veekihi vett Võisiku Hooldekodu pk (kat nr-ga 11851) Põltsamaa vallas. Joogivee tootmismahut on ca 70 m³/d, hinnanguline teenindatavate tarbijate arv on 580, s.o ca 119 l/(d·in).

3.6.4. Vee kvaliteet ordoviitsiumi-kambriumi veekihtides

Ordoviitsiumi-kambriumi veekihtide vesi on Tartu regioonis kinnitatud põhjaveekogumi osas enamasti mage, mineraalainete sisaldusega 0,5–0,7 g/l, peamiselt Cl-HCO₃-Na-Ca-tüüpi (vt joonis 4). Vaatluse alla olevad 10 pk Tartu regioonist jäävad kõik keskkonnaministri poolt kinnitatud põhjaveekogumi alale.

Tartu linna üvv toitvatest 8 ordoviitsiumi-kambriumi pk-dest 3 kuuluvad Tartu veehaardesse, 5 Anne veehaardesse. Raua sisaldus kaevudes jääb valdavalt vahemikku 60–270 µg/l, kolmes kaevus ulatub raua sisaldus kohati kuni 500 µg/l. Mangaani sisaldus jääb vahemikku 15–25 µg/l. Ammooniumi sisaldus on valdavalt 0,15 mg/l, nitraatide sisaldus alla 0,1 mg/l. Sulfaatide sisaldus muutub valdavalt piirides 10–20 mg/l. Cl-HCO₃-Na-Ca-tüüpi veele kohaselt sisaldab kõigi pk-de vesi võrreldes antud töös varem käsitletud veekihtide ja pk-dega rohkelt kloriide ja naatriumi: kloriidide valdav sisaldus on 345–390 mg/l, naatriumi sisaldus muutub aga piirides 170–240 mg/l. SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi loetakse

põhjavekkloriidide sisaldusega 250–350 mg/l ja/või naatriumi sisaldusega 200–350 mg/l III põhjavekklassi ning põhjavett, mille näitajate piirväärtused ületavad III kvaliteediklassi näitajate piirväärtusi, ei tohi üldjuhul valida joogiveeallikaks. Tartu linna üvv-i puhul ei ole aga ohtu, et tarbijani jõudev joogivesi oleks ülemäära soolane, kuna erinevate veekihtide pk-de põhjaveed segunevad enne rauaeemaldusseadmeid.

Fluoriidide sisaldus ordoviitsiumi-kambriumi pk-des on võrreldes kesk-alamdevoni-siluri ja siluri-ordoviitsiumi põhjaveekihtidega madalam, olles valdavalt 0,8 mg/l. paaris pk-s võib fluoriidi sisaldus ulatuda kuni 1,2 mg/l.

AS-i A.LeCoq klubi pk Tartu linnas Tähtvere 56/62 ammutab samuti vett ordoviitsiumi-kambriumi veekihist, kuid vesi on hoopis teistsuguse koostisega. Raua sisaldus selles pk-s on ca 450 µg/l, mangaani sisaldus alla 20 µg/l, ammoniumi sisaldus ca 0,2 mg/l. Kloriide sisaldab antud kaevu põhjavesi vaid ca 7,5 mg/l ning naatriumi ca 40 mg/l. Seevastu on fluoriidi sisaldus kaevus üle normi – 2 mg/l. Ilmselt tuleneb suur erinevus Tartu linna üvv-s kasutatavate ordoviitsiumi-kambriumi pk-de vee koostisest AS A.LeCoq klubi pk konstruktsiooni erinevustest, mille kohta käesoleva töö autoril aga täpsed andmed puuduvad. Tõenäoliselt on AS A.LeCoq klubi pk-l pikk avatud intervall, mis võimaldab ka teiste veekihtide vetel kaevu tungida.

Jõgevamaa ainus ühisveevarustuses kasutusel olev ordoviitsiumi-kambriumi pk Võisiku külas Põltsamaa vallas vastab pea kõigi kvaliteedinäitajate osas I põhjavekklassi ja joogivee kvaliteedinõuetele. Raua sisaldus muutub piirides 50–170 µg/l, mangaani sisaldus on alla 10 µg/l, ammoniumi sisaldus on 0,1 mg/l ja nitraate on vees alla 1,5 mg/l. Pk vesi sisaldab võrreldes Tartu linna ordoviitsiumi-kambriumi pk-dega suhteliselt palju sulfaate – 35–42 mg/l. Kloriidide sisaldus on 45–50 mg/l, naatriumi sisaldus 90–110 mg/l. Ka Võisiku küla pk vesi sisaldab ülenormatiivset fluoriidi – 1,9–2,8 mg/l. Viimase järgi kuulub antud pk vesi SoM 02.01.2003. a määruse nr 1 järgi III põhjavekklassi. Erinevus Tartu linna sama veekihi pk-de veest on ilmselt tingitud asjaolust, et pk asub Tartu linnast linnulennul ca 50 km loodesuunas, mistõttu vesi on väiksema soolsusega. Tõenäoliselt mõjutavad aga vee kvaliteeti ka rohkem ordoviitsiumi ladestu kivimid, mis Põltsamaa valla piirkonnas on fluoriidirikkad.

3.7. Põhjavesi kui joogivesi Tartu regioonis

Nagu eeltoodust näha, ei vasta väga paljude Tartu regiooni ühisveevarustuses kasutatavate pk-de vesi SoM 31.07.2001. a määrusega nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid” kehtestatud joogivee kvaliteedinõuetele. Lisas 1 toodud tabelis on esitatud kogu Tartu regiooni üvv-de vee kvaliteedi kohta kokkuvõtvad andmed.

Tabelist selgub, et ligi 20,4% üvv-des ei vaja pk-st ammutatav põhjavesi töötlemist ning sobib tarvitamiseks joogiveena. Hinnanguline veetarbijate hulk nendes 20,4% üvv-des on aga vaid ca 11,3% kogu Tartu regiooni ühisveevarustuse veetarbijatest. Siia hulka kuuluvad teiste hulgas kaks Tartu regiooni üle 2000 tarbijaga üvv-st: Jõgeva linna üvv (4500 tarbijat) ja

Põltsamaa linna üvv (3500 tarbijat). Põltsamaa linna üvv 5 pk-st ühele on siiski paigaldatud ka rauaeemaldusfiltrid, kuid enamik selle üvv veetarbijatest saavad vee teistest pk-dest.

Üvv-e, mida toitvad põhjaveed sisaldavad ülenormatiivseid indikaatornäitajaid (raud, mangaan, ammonium, sulfaat, kloriid, naatrium, oksüdeeritavus) ning mille vett ei puhastata, on kokku ca 31,4% (tarbijaid 8%).

Ülenormatiivsete indikaatornäitajatega üvv-e, mille põhjavett töödeldakse enne tarbijale edastamist, on ligikaudu 40%, kusjuures tarbijaid on nendes üvv-des pisut üle 77%. Tarbijate osakaal on seetõttu väga suur, et siia hulka kuuluvad regiooni 9-st üle 2000 tarbijaga üvv-dest 7: Tartu linna üvv (98178 tarbijat), Viljandi linna ja Viiratsi aleviku üvv (21068 tarbijat), Võru linna üvv (10000 tarbijat), Valga linna üvv (9600 tarbijat), Põlva linna üvv (5800 tarbijat), Elva linna üvv (2800 tarbijat) ja Otepää linna üvv (2250 tarbijat).

Üvv-e, mis ammutavad vett ülenormatiivse fluoriidiga põhjaveest ning mille vett ei puhastata, on Tartu regioonis kokku 6,8% (s.o 83% üvv-dest, kus esineb ülenormatiivne fluoriid) tarbijaskond moodustab 2,8% tarbijate koguhulgast. Tarbijate hulk on võrdlemisi väike, kuna enamik fluoriidirikkaid pk toidab just väiksemaid asulaid, kuhu puhastusseadmete paigaldamine on siiani liiga kulukas olnud, samuti kuuluvad siia hulka 2 toidukäitlemisettevõtet, kus püsitarbijate arv on väike või puudub üldse. Ühes veevärgis kasutatakse alternatiivina villitud joogivett (61 tarbijat), ühes tagatakse villitud joogivesi vaid lasteasutuses.

Ülenormatiivse fluoriidiga üvv, kus vett kas osaliselt (joogivee osa) või täielikult puhastatakse või vett lahjendatakse, on vaid 6 ehk 1,4% ning puhast vett seeläbi saavad 1716 inimest ehk 0,7% kogu tarbijaskonnast regioonis.

4. Joogivee puhastamisel kasutatavad veetöötlusmeetodid, nende efektiivsus, positiivsed ja negatiivsed küljed

Käesoleva peatüki eesmärk on grupeerida Tartu regioonis kasutuselolevad joogivee töötlusseadmed nende tööpõhimõtte järgi ning analüüsida veepuhastite sobivust Tartu regiooni põhjavee töötlemiseks, puhastite positiivseid ja negatiivseid külgi. Andmed kasutatavate veepuhastite ja nende sihipärase toimimise/mittetoimimise kohta on saadud Tartu Tervisekaitsetalitusest ja tema maakondlikest esindustest joogivee käitlejate inspekteerimise aktidest ning Tervisekaitseinspeksiooni JVESI maakondlikest andmebaasidest. Samuti on töös kasutatud vestlusest joogivee töötlusseadmeid müüva OÜ Miridoni müügijuhi hr Märt Klaasseniga kogutud andmeid ning 02.12.2008. a Võrus toimunud Tartu Tervisekaitsetalituse joogi- ja suplusvee teabepäeva ettekannete materjale.

4.1. Teooria

4.1.1. Raua ja mangaani eemaldamine veest

Nagu eelmises peatükis toodust näha, on Tartu regioonis kõige levinumaks probleemiks ülenormatiivse raua sisaldus põhjavees. Põlva-, Valga- ja Võrumaal esineb kesk- ja kesk-alamdevoni veekihtides koos rauaga sageli ka kõrge mangaani sisaldus. Nii raud kui mangaan on põhjavees redutseerivate keskkonna tingimuste tõttu lahustunud kahevalentsel kujul (vt joonis 3). Mõlema elemendi veest eemaldamine põhineb vee keskkonna oksüdeerimisel, mille tulemusena raua ja mangaani oksüdatsiooniasendite kasvab ja vees moodustuvad lahustumatud Fe(III)- ja Mn(IV)-ühendid, mida saab seejärel mehaanilise filtreerimisega veest eemaldada. Nii raua kui ka mangaani oksüdatsioon sõltub vee pH-st: kõrgema pH juures on oksüdatsioon kiirem ja efektiivsem. Kui Fe(II) oksüdeerimine Fe(III)-ks kulgeb üldiselt üsna hõlpsalt ainult vee kokkupuutel hapnikuga, siis Mn(II) oksüdeerimine vees lahustumatuks Mn(IV)-ks on keerukam protsess. Viimane vajab tahke MnO₂ olemasolu, kuna see toimib katalüsaatorina – Mn(II) adsorbeerub MnO₂ pinnale ning alles seal algab Mn(II) aeglane oksüdatsioon Mn(IV)-ks. Kui vesi sisaldab redutseerivate omadustega orgaanilisi kelaate moodustavaid ligande (humiinainete ja aminohapete funktsionaalsed rühmad), võivad need hoida Fe(II) lahustunud vormis ning sellisel juhul on ka raua välja sadestamine veest keerukam. Seetõttu kasutatakse oksüdeerijatena sageli kloori ja kaaliumpermanganaati (KMnO₄) [Manahan, 2005].

KMnO₄ on Mn(VII)-ühend, mille lahustuvus vees 20 °C juures on 6,4 g 100 ml vees, samas on MnCl₂ (Mn(II)) lahustuvus vees 8 °C juures 151 g 100 ml vees. KMnO₄ toimel oksüdeeruvad Mn(II)-ühendid Mn(IV)-ks [Перлеман, 1964].

Kloor on efektiivne orgaaniliste ühendite lagundaja ning teeb seega võimalikuks Fe(II) oksüdatsiooni [Manahan, 2005]. Samas on kloori kasutamisel oht kloororgaaniliste ühendite (nt trihalometaanide) tekkeks vees, mis on joogivee seisukohast omakorda problemaatilised.

Oksüdeerimise asemel kasutatakse raua ja mangaani eraldamiseks ka lubjaga töötlemise meetodit: suure karbonaatide sisaldusega vees saab FeCO₃ ja MnCO₃ otse sadestada, tõstes vee pH üle 8,5 lisades vette lupja või naatriumkarbonaati. Selline sadestamisviis on aga märksa vähem kasutatav kui oksüdeerimine [Manahan, 2005].

Tartu regioonis on kasutusel järgmise tööpõhimõttega raua- ja mangaanieraldusseadmed:

1. Oksüdatsioon õhuhapnikuga:

- 1) kinnine aeratsioon (rõhu all) + mehaaniline filtreerimine (peamiselt kvartslüüv (SiO₂) või CaCO₃, harvem aktiivsüsi):
 - aeratsioon eraldi reaktoris,
 - aeratsioon suruõhuga filtermaterjali kohal (üks mahuti),
- 2) lahtine aeratsioon rõhuvabas mahutis + mehaaniline filtreerimine rõhu all.

2. KMnO_4 -ga regenereeritavad filtrid, kus oksüdatsioon toimub tööstuslikult toodetud filtermaterjali peal. Nt laialt kasutatav Manganese Greensand filtermaterjal koosneb tseoliit- või kvartsliaivast, mis on kaetud erinevate lisanditega (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O , MgO). Katalüütilised omadused annab filterliivale ilmselt MnO_2 , mida toote pakendil aga märgitud ei ole.
3. Oksüdatsioon NaOCl -ga kontaktmahutis + mehaaniline filtreerimine.
4. Küllastunud NaCl lahusega regenereeritav Na-kationiitfilter, mis seob veest Fe^{+2} -ioone ning annab vette Na^+ -ioone. Fe(III) see filter ei seo. Tööpõhimõte on sama, mis veepehmendusfiltril, kuid raua eemaldamiseks mõeldud Na-kationiidi filtermaterjal on jämedama fraktsiooniga ning rauaeemaldamise puhul on NaCl kulu filtri regenereerimisel reeglina suurem.

Näiteid kasutatavatest filtermaterjalidest:

Hydrolit-Mn: mangaani eraldamiseks veest, raua sisaldus peab olema alla 0,05 mg/l, pH üle 6,5. Toote tutvustuses on öeldud, et tegemist on poorilise struktuuriga leeliselise teraga, mis kaetud $\text{MnO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (mangaanoksiidhüdraadi) kihiga. Regenereerimine: tagasipesu puhta veega.

Nevtraco: raua eraldamiseks veest. Koostis: ca 98% CaCO_3 , 0,6% MgO , 0,5% SiO_2 . Terad on kareda pinna ja teravate servadega, poorilise struktuuriga. Regenereerimine: tagasipesu puhta veega.

Magno-Dol: agressiivse CO_2 neutraliseerimine, happeliste vete neutraliseerimine, rauaeemaldus (max 2 mg/l), mangaanieemaldus (max 0,5 mg/l). Koostis: 41,02% CaO , 26,9% MgO , 0,52% Fe_2O_3 ja Al_2O_3 , 0,17% SiO_2 , 32,47% aurustusjääk. Teravate servadega poorilise struktuuriga dolomiidipõhine materjal.

BIRM – Fe ja Mn eemaldamiseks. Materjal kujutab endast tahket katalüsaatorit, mille pinnal toimub lahustunud hapniku ja rauaühendite reaktsioon. Kui Birmi kasutatakse raua eemaldamiseks, ei tohi toorvesi sisaldada õli ega vesiniksulfiidi, orgaaniliste ainete sisaldus ei tohi ületada 4-5 ppm, pH peaks olema vahemikus 6,8–8,5. Kui vee loomulik lahustunud hapniku sisaldus on madal, võib enne Birm-filtrit vett aereerida. Regenereerimine: tagasipesu puhta veega. Kui Birmi kasutatakse mangaani eraldamiseks, peaks vee pH olema 8,0–9,0 parima tulemuse saavutamiseks. Vee eelnev kloorimine vähendab oluliselt Birmi aktiivsust ning kõrge klooriühendite sisaldus võib täielikult hävitada Birmi katalüütilise kattekihi. [1]

Aqua-juraperle: raua ja/või mangaani eraldamiseks, CO_2 eemaldamiseks, pehme, destilleeritud ja pöördosmoosi filtrit läbinud vee remineralisatsiooniks. Koostis: 99,1% CaCO_3 , 0,34% SiO_2 ja Al_2O_3 . Mikrokristallilise struktuuriga graanulid. Ei ole tundlik kloori suhtes. [2]

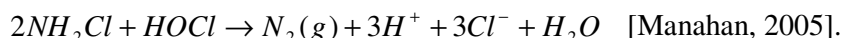
4.1.2. Ammooniumi vähendamine ja eemaldamine joogiveest

Ammooniumi vähendamiseks vees võib vett aereerida, kuid see ei lahenda tegelikult probleemi, sest ammoonium oksüdeeritakse läbi nitriti nitraadiks ning sellist vett juues võib seedetraktis ikkagi tekkida kantserogeenne nitrit. Lisaks on oht, et liigse aereerimise tulemusena tõuseb nitraatide sisaldus joogivees üle joogivees lubatud piirsisalduse.

Ammooniumi saab veest eraldada tõstes lubjaga vee pH ca 11-ni, mille tulemusena moodustub ammoniaak, mis puhutakse veest õhuga välja. Protsessi suurimad puudused on katlakivi teke, jäätumine (ammoniaagi aurustumisel süsteem jahtub) ja õhusaaste [Manahan, 2005].

Veel on ammooniumi võimalik veest eraldada *Clinoptilolite* ga, loodusliku tseoliidiga, mis on mikropoorne ränidioksiidi ja alumiiniumoksiidi tetraheeder. Materjal on tugevalt selektiivne ammooniumioonide suhtes ning ioonvahetuse käigus asendatakse ammooniumioon Na^+ -ga. Ioonvaheti regenereeritakse naatriumi- või kaltsiumisoolade vesilahustega [Manahan, 2005]. Nt pakub AS Schöttli Keskkonnatehnika sellist tseoliitfiltrit tootenimetusega Crystal Right.

Ammooniumi saab veest eraldada ka vett kloreerides, mille käigus toimub keemiline denitrifikatsioon ja gaasiline lämmastik lendub:



4.1.3. Fluoriidi eemaldamine veest

Fluoriidi eemaldamiseks veest on välja töötatud mitmeid meetodeid, mis baseeruvad järgmistel põhimõtetel:

1. Adsorptsioon – levinumad adsorbendid on aktiveeritud alumiiniumoksiid ja aktiivsüsi. Katsetatud on ka palju teisi materjale: lantaan-kitosaan, sünteetiline *Mg/Al-hydrotalcite*, lateriit, aktiveeritud lendtuhk, trikaltsiumfosfaat, riisi ja kohvi kestad, aktiveeritud saepuru, lateriit jne. Aktiveeritud alumiiniumoksiidi efektiivsust mõjutab tugevalt vee karedus ja fluoriidi kontsentratsiooni pinnakoormus adsorbendile, samas ei vähenda kloriid aktiveeritud alumiiniumoksiidi defluoreerimise kapatsiteeti, nagu mitmete teiste materjalide puhul. Aktiveeritud alumiiniumoksiid käitub kui anioniit, mida saab aktiveerida kloriidioonidega, kui adsorbenti regenereeritakse HCl-ga. Alumiiniumoksiidi saab aktiveerida ka OH^- -dega, kui adsorbenti regenereeritakse NaOH-ga. Protsess on pH-tundlik, töötades efektiivselt vaid pH vahemikus 5–6. Protsessi iseloomustab kõrge selektiivsus, kuid väike adsorptsiooni kapatsiteet. Vajalik on eelnev töötlus pH alandamiseks, adsorbendi fluoriidieemalduse efektiivsus väheneb pärast iga regenereerimist. Teised vees lahustunud soolad (*total dissolved salts*) võivad kõrge kontsentratsiooni korral alumiiniumoksiidi kergesti desaktiveerida. Otsesed fluoriidi konkurendid siin protsessis on sulfaat-, fosfaat- ja karbonaatioonid. Aktiivsöepulbriga on saavutatud häid fluoriidieemaldamise tulemusi. Ka see adsorbent nõuab vee eeltöötlust,

sest aktiivsüsi seob hästi fluoriidi ainult pH tasemel 3 või alla selle. Just pH reguleerimise tõttu on selle materjali kasutamine väga kallis ning ei leia praktikas kasutamist.

2. Ioonvahetus – tugevalt aluselise anioniitvaiguga, mis sisaldab kvaternaarse ammooniumi funktsionaalseid rühmi ja kloriidioone. Fluoriidioonid vahetavad välja vaigu kloriidioonid. Regeneereimine toimub küllastunud NaCl lahusega. Ioonvahetus toimub fluoriidioonide tugevama elektronegatiivsuse tõttu. Protsessi efektiivsus on 90–95%, kusjuures efektiivseks fluoriidi eemaldamiseks peab fluoriidi kontsentratsioon olema alla 10 mg/l. Veele jäävad töötlemise käigus alles tema esialgne värv ja lõhn. Protsessi efektiivsust vähendavad teiste ionide (sulfaadid, karbonaadid, fosfaadid) olemasolu vees ja alkaliteet. Vaigu regeneereimine on problemaatiline, sest tekib fluoriidirikas vesi, mida peab omakorda töötleva enne lõplikku kõrvaldamist. Meetod on ka kallis vaigu hinna tõttu, eeltöötluse tõttu (pH tõstmine), regeneereimise ja jäätmete ladestamise tõttu. Töödeldud vee pH on väga madal ning sisaldab suures koguses kloriide.
3. Koagulatsioon-sadestamine – levinumad koagulandid on lubi ja maarjas (kaalium- või naatriumalumiinium-sulfaat). Lubja lisamisel tekib lahustumatu CaF_2 sade ning vee pH tõuseb 11–12-ni. Kuna lubi jätab vette jääkfluoriidi 8 mg/l, siis teise astmena lisatakse vette maarjas. Kõigepealt tekib maarjase amfoteersete omaduste tõttu vees lahustumatu $\text{Al}(\text{OH})_3$. Seejärel reageerib maarjas vees olevate fluoriidioonidega. Tulemuseks on 18–33% fluoriidi sidumine sademesse, 67–82% fluoriididest muundub aga tagasi fluoriidiooniks ning tekib vees lahustuv alumiinium-fluoriid-kompleksioon, mis on aga toksiline ühend. Samas kasvab vees sulfaatide sisaldus (isegi üle 400 mg/l), mis võib inimestel põhjustada kõhulahtisust, ning jääkalumiiniumi sisaldus töödeldud vees ületab 0,2 mg/l, mis võib põhjustada dementsust jt tõsiseid haiguseid. Selliselt töödeldud vee maitse on tarbijatele vastuvõetamatu. Tallinna Tehnikaülikooli keemiainstituudis on tehtud katseid eemaldada veest fluoriidi Eestis rauaeemaldus-filtermaterjalina tuntud Aqua Juraperlega, mis oma keemilise koostise poolest on samuti lubi, kuid katsetel selgus, et antud materjal ei sobi vee defluoreerimiseks.
4. Membraanlahutusprotsessid – fluoriidi eemaldamiseks veest saab kasutada nanofiltreid või pöördosmoosi membraane. Pöördosmoos (edaspidi PO) on füüsikaline protsess, mille käigus vesi surutakse rõhu all läbi poolläbilaskva membraani. Tegemist on loodusliku osmoosi pöördprotsessiga: rõhku rakendatakse sellel membraanipoolel, kus vees sisalduvad ained protsessi tulemusena kontsentreeruvad, kusjuures rakendatav rõhk peab ületama loodusliku osmootse rõhu. PO membraan peab vees lahustunud ioone kinni vastavalt nende suurusele ja elektrilisele laengule. Sobiv membraan valitakse vastavalt hinnale, regeneereimisele, lahutusvõimele, toorvee karakteristikutele ja vajalikule eeltöötlusele (nt Eestis on aktuaalsed raua, mangaani ja kareduse eelnev eemaldamine). Protsessi efektiivsuse määravad toorvee karakteristikud, rõhk, temperatuur, regulaarne jälgimine, hooldus jne. Nanofiltratsioon on võrreldes PO-ga suhteliselt madala rõhuga protsess, mis eemaldab veest suuremaid lahustunud osakesi kui PO-ga võimalik. Membraanprotsesside efektiivsus fluoriidi eemaldamisel on kuni 98%. Membraanprotsess

on seega väga efektiivne ning võimaldab veest eemaldada ka hõljuvaineid, anorgaanilisi saasteaineid, orgaanilisi mikrosasteaineid, pestitsiide, samuti mikroorganisme. Protsessis ei kasutata kemikaale, membraani eluiga on suhteliselt pikk, protsess töötab laias pH vahemikus ning teised ioonid vees ei tekita häireid fluoriidi eemaldamises. Protsessi suurim miinus on asjaolu, et membraaniga eemaldatakse veest kõik, sh inimese organismile olulise tähtsusega ioonid. Seetõttu peab pärast membraanlahutusprotsessi vett remineraliseerima. Protsess on võrreldes varem käsitletutega suhteliselt kallis.

5. Elektrodialüüs – fluoriid eemaldatakse veestioonvahetusmembraanidega, protsessi liikumapanev jõud on elektriline potentsiaalide vahe, mis tekib alalisvoolu rakendamisel seadme elektrodidele. Protsessi efektiivsus sõltub rakendatavast pingelaengust, voolutihedusest, konkreetse membraani takistusest ja pindalast.

[Meenakshi, 2006; Veressinina jt, 2001; Zeni jt, 2005]

4.1.4. Sulfaatide, kloriidide ja naatriumi eemaldamine veest

Sulfaat-, kloriid- ja naatriumioone on veest võimalik samuti eemaldada membraantehnoloogia abil ehk sarnaselt fluoriidi eemaldamisega. Praktikas nimetatud ülenormatiivseid ioone veest Tartu regioonis ei eemaldata. Tartu linna üvv-i O-Cm pk-de põhjavesi, milles Cl^- ja Na^+ sisaldus on üle normi, segatakse enne veepuhastusjaama (rauaeemaldus) teiste pk-de veega ning üvv-s vastab vesi joogivee kvaliteedinõuetele.

4.2. Praktika

4.2.1. Tartu regioonis kasutatavad veetöötlusmeetodid ja nende efektiivsus

Üvv, kus vett puhastatakse enne tarbijale edastamist, on kokku 177 (vt lisa 1), s.o 52% nendest üvv-dest, kus veetöötlus on vajalik. Kui vaadelda eraldi üvv, kus ülenormatiivsed on indikaatornäitajad, siis veepuhastitega kaetus vajalikest on ca 56%, keemiliste ühendite (fluoriid, nitraat) osas on vastav näitaja vaid 17%, st et 83% ülenormatiivseid keemilisi ühendeid sisaldavate üvv-de vett ei töödelda ning sellist vett ei tohiks joogiveena tarbida. Tarbijaid nendes 83% üvv-s on 6781 ehk 2,8% kogu Tartu regiooni tarbijaskonnast.

Tabelis 15 on esitatud kokkuvõte Tartu regioonis kasutatavatest veetöötlusmeetoditest, samas on välja toodud, kui palju veepuhastusseadmeid töötavad sihipäraselt ning paralleelselt on esitatud ka inimeste arv, kes tarbivad sellist joogivett, mida küll töödeldakse, kuid veetöötlus ei ole efektiivne või halvendab vee kvaliteeti. Joogiveepuhasteid, mis ei toimi sihipäraselt, on kokku 60 ehk 34% kõikidest puhastitest. Tarbijaid on sellistes üvv-des kokku ligikaudu 9900.

Tabelis esitatust on selgelt näha, et raua eemaldamisel veest on tõhusad meetodid aeratsioon, osoneerimine või oksüdatsioon NaOCl -ga, millele järgneb mehaaniline filtreerimine. Katse eraldada veest raua vaid mehaanilise filtriga ei ole kuigi efektiivne, kuna põhjavees on raud peamiselt Fe(II) kujul, mis on vees lahustuv ega sadene filtripinnale.

Tabel 15. Tartu regioonis kasutatavad joogivee töötlusmeetodid

Joogiveepuhastid	Üvv-de arv	Üvv-de arv, kus puhastid toimivad	Tarbijate arv üvv-des, kus puhastid ei toimi
aeratsioon + mehaaniline filtreerimine (Fe, Mn)	83	80	780
O ₃ + mehaaniline filtreerimine (Fe, Mn)	1	1	-
KMnO ₄ -ga regenereeritav filter (Fe, Mn)	61	10	8369
KMnO ₄ -ga regenereeritav filter + vee pehmenuus (Fe, Mn)	2	1	125
NaOCl-ga oksüdatsioon + mehaaniline filter (Fe)	6	6	-
NaCl regenereerimine kationiitfilter (Fe)	3	3	-
Aeratsioon + filterliiv Fe eemaldamiseks + katalüütiline filtermaterjal Mn eraldamiseks; regenereerimine: puhta veega tagasipesu	3	3	-
mehaaniline filter ilma oksüdatsioonita	1	0	170
Puhasti tööpõhimõtte kohta andmed puuduvad (Fe)	10	6	418
aeratsioon (NH ₄ ⁺ oksüdeerimiseks)	1	1	
PO + lahjendus (F)	5	5	tööstus
lahjenduspk (F)	1	1	
KOKKU	177	117	9862

Väga populaarsed raua- ja mangaanieemaldusfiltrid (ca 35% tabelis 15 toodust) baseeruvad vee töötlemisel spetsiaalse liivaga, mille oksüdatiivseid omadusi taastatakse KMnO₄ lahusega. Paraku ligikaudu 83% nendest filtritest ei toimi kas üldse või töötavad ebastabiilselt ning praktika näitab, et raua ja/või mangaani eemaldamise asemel mangaani sisaldus töödeldud vees kasvab mitmeid kordi, samuti on raua eemaldamise efektiivsus ebastabiilne.

PO-seadmed on üldiselt efektiivsed, kuid aeg-ajalt esineb ka nende töös tõrkeid, mis on peamiselt seotud voolukatkestustega ning asjatundmatu hooldusega (nt fluoriidi anduri kalibreerimine).

4.2.2. Kasutatavate puhastite head ja halvad küljed ning probleemide võimalikud lahendused

Praktikas on esile kerkinud mitmeid probleeme joogiveepuhastussüsteemide ekspluateerimisel, mille põhjuste välja selgitamise osas on töö autor saanud informatsiooni nii joogiveekäitlejatelt kui ka veepuhasteid müüvatelt ettevõtetelt. Kokkuvõtte raua- ja mangaanieemaldusseadmete headest külgedest ja probleemidest on esitatud tabelis 16.

Tabel 16. Raua- ja mangaanieemaldusseadmed

Puhastusmeetod	Head küljed	Probleemid
1. Oksüdatsioon õhuhapnikuga + mehaaniline filtreerimine: 1.1. kinnine	<ul style="list-style-type: none"> - Odav soetada ja ekspluateerida (Miridon OÜ) - Lihtne ekspluateerida ja hooldada (Miridon OÜ) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ebapiisava kontaktaja puhul ei ole Fe ja Mn oksüdatsioon lõplik - Üleliigset lahustunud õhuhapnikku on keeruline veest eemaldada - Teised vees lahustunud gaasid ei

(surveline) aeratsioon	<ul style="list-style-type: none"> - Kemikaalivaba 	<p>pruugi veest eralduda</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ei ole efektiivne meetod, kui rauasisaldus toorvees on üle 2,0 mg/l
1.2. lahtine aeratsioon	<ul style="list-style-type: none"> - Õige ülesehituse korral on võimalik puhastada väga suure rauasisaldusega vett - Süsteem suudab eemaldada ka mangaani (0,1–0,2 mg/l) ja väävelvesinikku - Kemikaalivaba 	<ul style="list-style-type: none"> - Kulukas soetada ja ekspluateerida (automaatika tõttu) (optimaalse tootlikkusega 0,5 m³/h seadme hind koos paigaldusega on ca 130 000 EEK) - Keeruline hooldus (automaatika tõttu)
2. KMnO ₄ -ga regeneereeritavad filtrid	<ul style="list-style-type: none"> - Odav soetusmaksumus (optimaalse tootlikkusega 0,5 m³/h seadme hind koos paigaldusega on ca 20000–22000 EEK) - Väikesed püsikulud - Seadme väikesed mõõdud - Lihtne ekspluateerida 	<ul style="list-style-type: none"> - Aladimensioneeritud seadmed ei anna soovitud tulemust - Ei ole efektiivne meetod, kui rauasisaldus toorvees on üle 2,0 mg/l - Ebahütlase veetarvitamise puhul ei suuda garanteerida stabiilset veekvaliteeti - Ebapiisav tagasipesu jätab kaaliumpermanganaadilahuse jäägid filtermaterjalisse - Suur tagasipesuveehulk - Suur survevang
3. Oksüdatsioon NaOCl-ga + mehaaniline filtreerimine	<ul style="list-style-type: none"> - Väike soetusmaksumus - Lihtne rajada - Vähe hoolduspunkte - Lihtne ja odav ekspluateerida - Töödeldud vesi on steriilne - Väike survevang - Väike tagasipesuvee hulk - Pikk amortisatsiooniperiood 	<ul style="list-style-type: none"> - Ei ole efektiivne meetod, kui rauasisaldus toorvees on üle 2,0 mg/l - Aladimensioneeritud filtrid ei anna soovitud tulemust - Ebahütlase veetarvitamise puhul ei suuda garanteerida stabiilset veekvaliteeti - Jääkkloori sisaldus töödeldud vees, vaja regulaarselt jälgida - Trihalometaanide tekke oht
4. NaCl lahusega regeneereeritav Na-kationiitfilter	<ul style="list-style-type: none"> - Samaaegselt raua eemaldamisega väheneb vee karedus - Lihtne ekspluateerida 	<ul style="list-style-type: none"> - Suur naatriumi sisaldus töödeldud vees, veele jääb soolane maitse - Seade ei oska toota jääkkaredusega vett ning tekib oht liiga mineraalidevaese vee tootmiseks, mis võib olla tervisele ohtlik - Ei ole 100% efektiivne meetod raua eemaldamiseks, kui rauasisaldus toorvees on üle 2,0 mg/l - veest eemaldatakse vaid Fe⁺² - ei eemalda veest mangaani

KMnO₄-ga regenereeritavaid filtreid on veepuhasteid müüvate ettevõtete sõnul väidetavalt lihtne ekspluateerida. Samas näitab tervisekaitse järelevalve praktika, et puhastid ei toimi kas üldse või töötavad ebastabiilselt ning raua ja/või mangaani eemaldamise asemel mangaani sisaldus töödeldud vees kasvab mitmeid kordi. Näiteks on teada üvv-e, kus põhjavee looduslik mangaanisaldus on alla 20 µg/l ning pärast veetöötlust on mangaani sisaldus tarbija juures 900 µg/l. Juba looduslikult ülenormatiivse mangaanisaldusega põhjavee töötlemisel KMnO₄-ga regenereeritavate filtritega on tarbija juures tuvastatud joogivees mangaani sisaldusi isegi kuni 2120 µg/l. Raua sisaldus enamikel juhtudel väheneb, mõnikord aga nt 1200 µg/l-lt kuni 600 µg/l-ni ja 8000 µg/l-lt kuni 6500 µg/l-ni. Esineb ka raua sisalduse suurenemist vees 800 µg/l-lt 1200 µg/l-ni. Viimast esineb siiski harvem. Oluline on regulaarselt jälgida töödeldud vee raua ja mangaani sisaldust, praktikas aga ei analüüsita joogivett üvv-s ööpäevase veetoodanguga alla 100 m³ sagedamini kui kord aastas, mida antud seadmete puhul ei saa pidada piisavaks.

Tabelis 16 on mh toodud, et antud veepuhastusmeetod ei ole efektiivne, kui rauasisaldus toorvees on üle 2,0 mg/l. Samas on vähemalt 10 KMnO₄-ga regenereeritavat veetöötlusseadet Tartu regioonis paigaldatud pk-dele, milles põhjavee looduslik rauasisaldus on üle 2,0 mg/l: Torma Põhikooli ja Äksi motelli pk-d Jõgevamaal, Pühajärve küla Kannistiku piirkonna pk, Helme Sanatoorse Internaatkooli pk, Komsu küla pk, Puka aleviku pk, Puka tootmistsehh ja Puka aleviku pk, Hargla Põhikooli pk, Paju Pansionaadi pk Valgamaal. Ükski nimetatud joogiveepuhastitest ei toimi sihipäraselt.

Kui vaadelda tabelis 16 KMnO₄-ga regenereeritavate filtrite kohta toodud probleeme, on seda tüüpi seadmete tööd häirivaid faktoreid päris mitmeid ning muuhulgas on väga tähtis seadme õige reguleerimine (õige KMnO₄ doseerimine, piisav tagasipesuveehulk, piisav tagasipesude arv jne), seadme töö pidev jälgimine ning vajaduse korral korduv reguleerimine, mistõttu ei pea käesoleva töö autor õigeks väidet, et antud tüüpi veetöötlusseadmeid on lihtne ekspluateerida.

Käesoleva töö autor on seisukohal, et nendes 52 üvv-s (s.o. 83% 63-st), kus KMnO₄-ga regenereeritavaid veetöötlusseadmeid ei ole siiani sihipäraselt tööle suudetud panna, tuleks olemasolevad veetöötlusseadmed asjatundjate poolt üle vaadata ning muuta veetöötlusmeetodit: a) kasutades olemasolevaid tehnilisi seadmeid (nt mahutid) või b) vahetades välja olemasolevad seadmed, kui neid ei ole võimalik ümber ehitada sobiva veetöötlusmeetodi jaoks.

Rauaeemaldusfiltrites, milles oksüdatsioon toimub **NaOCl-ga**, jääb veepuhastusprotsessi käigus vette jääkkloor, mille piirsisaldus on SoM 31.07.2001. a määrusega nr 82 normeeritud. Samuti on oht trihalometaanide tekkeks (vt ptk 2 terviseriskid). Kuna põhjavesi tavaliselt ei sisalda suures koguses orgaanilist ainet, siis pk-de puhul ei ole trihalometaanide teke kuigi aktuaalne probleem. Küll võib see osutuda oluliseks salvkaevude veest raua eemaldamisel. Seetõttu on väga oluline vee töötlemisel NaOCl-ga Fe(II) oksüdeerimise või vee

desinfitseerimise eesmärgil jälgida töödeldud vees jääkkloori ja trihalometaanide sisaldust, et tuvastada terviseohtlike ainete võimalikku liigset esinemist vees. OÜ Miridoni müügijuhi hr Märt Klaasseni sõnul tuleb NaOCl-ga regenereeritavate seadmete puhul alati teha pilootprojekt, et välja selgitada, kas antud puhastusmeetod üldse sobib konkreetsele veele.

NaCl lahusega regenereeritavate rauaeemaldusfiltrite puhul on oluline jälgida töödeldud vee naatriumi jt mineraalide (Ca^{+2} , Mg^{+}) sisaldust, kuna paralleelselt raua eemaldamisega veest toimub vee pehmemdamine. Tavaline on, et naatriumi sisaldus kasvab nt 1–5 mg/l-lt üle 100 mg/l-ni, nt Piigaste pansionaadi üvv-s Põlvamaal (vt naatriumi terviserisk ptk 2).

Õhuhapnikuga oksüdeerimisel on üheks oluliseks märksõnaks töödeldava vee piisav kontaktaeg hapnikuga, et raua ja mangaani oksüdatsioon saaks lõpuni kulgeda. Kui vesi sisaldab suures koguses orgaanilist ainet, võivad Fe(II) ja Mn(II) olla seotud erinevatesse kompleksühenditesse, ning sellisel juhul ei pruugi vee oksüdeerimine õhuhapnikuga olla tõhus raua ja mangaani lahustumatule kujule viimisel. Sügavate veekihtide põhjavee puhul Tartu regioonis ei ole see aga märkimisväärne probleem, sest põhjavee orgaaniliste ainete sisaldus on reeglina suhteliselt madal. Samas on salvkaevude veed kohati väga kõrge oksüdeeritavusega (isegi üle 10 mgO_2/l), mis võib olla seotud kaevu reostumisega või piirkonna loodusliku eripäraga. Nt kui kaev asub soisel alal või suurte soomassiivide vahetus läheduses, võib vesi sisaldada suurel hulgal humiinaid, millega raud ja mangaan kompleksühendeid moodustavad. Ehkki oksüdatsioon õhuhapnikuga on kallim kui kemikaalidega, on aeratsiooniga veepuhastussüsteemid põhjaveest raua eemaldamiseks sobivaimad, kuna puhastusprotsessis ei kasutata kemikaale ning töödeldud vesi ei sisalda mingeid terviseohtlikke kõrvalprodukte. Mangaani sisaldusega üle 2,0 mg/l tuleks lisaks lahtisele õhuhapnikuga oksüdeerimisele kasutada katalüütilisi filtermaterjale (töödeldud MnO_2 -ga), et ka mangaani sisaldus töödeldud vees vastaks joogivee kvaliteedinõuetele.

Mitmete seadmete puhul on oluline märksõna **ebaühtlane veetarvitamine**, mille puhul seadmed ei suuda garanteerida stabiilselt joogivee kvaliteedi nõuetele vastava vee tootmist. Selliste seadmete puhul oleks vajalik veetarbe kõikumisi ühtlustavat veemahutit, mis tõstab aga veetöötlusjaama rajamise maksumust ning tellijad (joogiveekäitlejad, kohalikud omavalitsused) reeglina loobuvad sellest, kui veepuhasteid müüvad ettevõtted need hinnapakkumistesse lisanud on. Samas on kõne all olevate veemahutite puhul oht, et vee pikemaajalisel seismisel mahutis võivad vees kasvama hakata mikroorganismid. Seega tuleks selliste joogiveepuhastussüsteemide puhul kindlasti regulaarselt (soovitavalt mitte harvem kui kord kvartalis) jälgida mikrobioloogia kolooniate arvu 22 °C juures veemahutist väljuvas vees või tarbija juures. SoM 31.07.2001. a määruse nr 82 järgi kuulub kolooniate arv 22 °C aga süvakontrolli näitajate hulka (vt lühendite loetelu ja mõisted).

Oluline roll kõigi veetöötlusseadmete töös on ka **elektrikatkestused**, mis rikuvad ära seadmete elektroonilise seadistuse. Seega tuleb kõiki veepuhastusseadmeid ja nende tööd regulaarselt jälgida, seadmeid hooldada ning vajadusel ümber seadistada, et tagada stabiilset joogivee kvaliteeti üvv-s. Ükski seade ei ole hooldusvaba ning „lihtne hooldus” võib olla

lihtne vaid konkreetse veetöötlusseadme asjatundjale, mitte aga igale joogiveekäitlejale või eraisikule.

Ülenormatiivse **ammooniumi** eemaldamiseks veetöötlusseadmeid Tartu regioonis pole. Ammooniumi ja nitraatide puhul peab käesoleva töö autor siiski esmatähtsaks nende ainete päritolu välja selgitamist ning reostuskollete likvideerimist.

Fluoriidide veest eemaldamise meetodite juures teooria osas on välja toodud kõigi meetodite puudused ning siinkohal neid ei korrata. Tartu regioonis kasutatakse fluoriidi sisalduse alandamiseks üvv-i vees **lahjenduspuurkaeve**, mis toituvad mõnest teisest põhjaveekihi. Tartu linna üvv-s on pidevalt või aeg-ajalt töötavaid pk kokku 57. Pk-de vesi, mis sisaldab kas ülenormatiivset fluoriidi, naatriumi või kloriidi, segatakse teiste pk-de veega ning suunatakse rauaeemaldusseadmetesse (lahtise aeratsiooniga). Tulemuseks on kõigile kvaliteedinõuetele vastav joogivesi. Spetsiaalne lahjenduspuurkaev rajati Võhma linna üvv-i jaoks: põhipuurkaev toitub ordoviitsiumi veekihi ja sisaldab F^- 1,3–1,7 mg/l, lahjenduspuurkaev rajati 2008. a, see on 40 m sügavune ja toitub siluri veekihi.

PO-seadmed teevad vee tehisklikuks, kuid kui piirkonnas puudub võimalus rajada lahjenduspuurkaevu teise veehorisonti (seal kas ei ole piisavalt vett või sisaldavad ka teised veehorisondid ülenormatiivset fluoriidi), on see õigel käsitsemisel teooria osas kirjeldatud fluoriidieemaldusmeetoditest kõige ohutum: kui PO-seade sisaldab endas ka remineralisatsiooni astet, on tulemuseks kindlate mineraalainete sisaldusega vesi, mis ei sisaldada õigete mineraalide kasutamise korral ohtlikke ühendeid. Kuna PO-seadmed ise ja nende eksploatatsioon on kallid (energiakulukas, vajab eeltöötlust, sest raua-, mangaanirikast ja karedat vett membraanile suunata ei tohi), ei töödelda tavaliselt kogu vett PO-seadmega. Osa vett suunatakse pärast rauaeemaldusset otse teise astme mahutisse, osa läbi PO-seadme. Teise astme mahutis vesi seguneb ning alles seejärel suunatakse joogiveetrassi. Kuna osade pk-de vees ei ole fluoriidi sisaldus konstantne, on oluline regulaarselt (vähemalt kord kvartalis) jälgida teise astme mahutist väljuva vee fluoriidisaldust, et kõrvalekallete esinemise korral kiirelt kogu veetöötlusprotsessi vastavalt vajadusele reguleerida. PO-seadmed on väga tundlikud elektrikatkestuste suhtes, mistõttu on soovitatav varugeneraatori olemasolu. Üks kitsaskoht on ka PO-seadme fluoriidielektroodid, mida tuleb aeg-ajalt kalibreerida.

Ühe probleemina veetöötlusseadmete hinnapakumiste tegemisel veetöötlusseadmeid müüvate ettevõtete poolt ning valikul tellija (joogiveekäitleja, kohalik omavalitsus, eraisik) poolt näeb käesoleva töö autor ka asjaolu, et tellija toob hinnapakumise küsimisel esile ainult organoleptilisi probleeme valmistavad kvaliteedinäitajad joogivees, samuti vee karedus, mille osas soovitakse lahendust. Samas ei pöörata tähelepanu teistele ülenormatiivsetele kvaliteedinäitajatele (nt NH_4^+ , F^- , SO_4^- jt), mille sisalduse üle tellija ise ei kurda. Hinnapakkujatele esitatakse vaid laboratoorne joogivee raua- ja kareduse analüüs või teevad hinnapakkujad selle ise, ning teiste vee koostisosade kohta puudub hinnapakkujal informatsioon ja huvi. Tellija saab ettevõttelt pakumise sellele, mida küsib või oskab küsida.

4.2.3. Tendentsid

Kui vaadelda viimase 6 aasta jooksul üvv-des toimunut, võib öelda, et Tartu regiooni üvv-des, kus tarbijaid on üle 2000, on tehtud suuri jõupingutusi, et üvv-i suunatav vesi vastaks kõigile joogivee kvaliteedinõuetele: renoveeritud, rajatud ja täiustatud on veepuhastussüsteeme, renoveeritakse järk-järgult joogiveetorustikke jne. Viimase 2 aasta jooksul on elavnema hakanud ka väiksemate üvv-de korrastamine – nii renoveeritavate pk-pumplate kui ka paigaldatavate veepuhastusseadmete näol. 2007.–2008. a said Jõgevamaal puhta joogivee ca 2020 uut tarbijat, 2008. a jooksul Viljandimaal ligikaudu 2400 ja Tartumaal ca 700 tarbijat. Aastal 2009 peaks puhta joogivee saama veel mitmete üvv-de veetarbijad Tartu regioonis: Tartumaal Nõo aleviku üvv ja Märja üvv 1700 elanikku; lahenema peaks Ulila, Vorbuse-suur, Kärkna, Kungla ja Laeva asulate üvv-de fluoriidiprobleem Tartumaal (kokku ca 1000 inimest) ning Tääksi põhikooli, Oskari Lihatööstuse ja Väikemõisa lastekodu üvv-de fluoriidiprobleem Viljandimaal (kokku ca 240 inimest). Täpsema ülevaate 2009. a tehtud töödest saab Tartu Tervisekaitsetalituse ja tema osakondade aastaaruannetest 2010. a alguses.

Üldine tendents on, et suuremate linnade ümberkaudsed üvv-d liituvad linnade üvv-dega, kus joogivee kvaliteedinõuetele vastav vesi on tagatud, ning veetöötlusseadmeid seni kasutusel olnud pk-de veele ei paigaldata. Nii on endale kvaliteetse joogivee saanud mitmed Tartu, Viljandi ja Põlva linna vahetus läheduses paiknevad asulad.

Ilmselt ootab mitmeid üvv-e ees sihipäraselt mitte toimivate raua- ja/või mangaani-eemaldusseadmete väljavahetamine, kuna vee kvaliteeti halvendavad veetöötlusseadmed (mangaani sisalduse suurenemine töödeldud vees võrreldes põhjaveega) ei ole tervisekaitselisest aspektist aktsepteeritavad ning vastavalt SoM 31.07.2001. a määruse nr 82 § 1 lg 4 ka lubatud.

Kokkuvõte

Töö esimesse peatükki on koondatud teoreetiline alusmaterjal sellest, kuidas põhjavesi kujuneb ning mis seda mõjutavad. Teises peatükis on toodud lühiülevaade mõningate joogivees sisalduvate ainete võimalikest terviseriskidest.

Töö kolmas peatükk on ühisveevarustuses kasutatavate põhjaveekihtide veekvaliteedi analüüs joogivee kvaliteedinõuete seisukohast. Analüüs on koostatud Tartu Tervisekaitsetalitusest saadud andmete põhjal. Uuritavaks piirkonnaks töös on Tartu regioon, mis koosneb 6 maakonnast. Võttes aluseks Eesti aluspõhja geoloogia, hõlmab Tartu regioon kõiki Eestis joogiveeallikana kasutatavaid põhjaveekihte, mida on kokku 7: kvaternaari, ülemdevoni, keskdevoni, kesk-alamdevoni, siluri-ordoviitsiumi, ordoviitsiumi-kambriumi ja kambrium-vendi veekihid. Töös on vaatluse all 550 pidevas aktiivses kasutuses olevat puur- ja salvkaevu.

Töö neljas peatükk annab ülevaate teoreetilistest veetöötlusmeetoditest, millega saab Tartu regiooni põhjaveest probleemseid ühendeid eemaldada, ning regioonis täna kasutatavatest veetöötlusseadmetest, nende probleemidest ja võimalikest lahendustest.

Enamikele Tartu regiooni põhjaveekihtidele on iseloomulik suur kahevalentse raua sisaldus, sageli sisaldab pk-de vesi suures koguses kahevalentset mangaani, kohati ka ülenormatiivset ammoniumi. Kokku vajab indikaatornäitajate osas töötlemist 72% üvv-de vesi. Ca 8% üvv-de vesi sisaldab ülenormatiivset fluoriidi, need üvv-d vajavad esmajärjekorras veetöötluste juurutamist, et viia vesi vastavusse Euroopa Liidu joogivee direktiivi ja SoM 31.07.2001. a määruse nr 82 nõuetega.

Tööst selgub, et 83% üvv-des, mis vajavad veetöötlust fluoriidi osas, veetöötlusseadmed puuduvad. Ülejäänud üvv-des, millele on kas paigaldatud PO-seadmed või kus kasutatakse lahenduspuurkaeve, jõuab tarbijateni joogivee nõuetele vastava fluoriidi sisaldusega vesi.

56% üvv-des, mille vesi sisaldab ülemäära rauda ja/või mangaani, on varustatud veetöötlusseadmetega. Samas, enam kui kolmandik neist ei tööta sihipäraselt.

Tartu regioonis kasutatavate veepuhastite analüüsil selgus, et raua eemaldamisel veest on tõhusad meetodid aeratsioon, osoneerimine või oksüdatsioon NaOCl-ga, millele järgneb mehaaniline filtreerimine. Rauaeemaldusfiltrites, milles oksüdatsioon toimub NaOCl-ga, jääb veepuhastusprotsessi käigus vette jääkkloor, samuti on oht trihalometaanide tekkeks. NaCl lahusega regenereeritavate rauaeemaldusfiltrite puhul on oluline jälgida töödeldud vee naatriumi jt mineraalide sisaldust, kuna paralleelselt raua eemaldamisega veest toimub vee pehmemdamine.

Tähelepanuväärne on asjaolu, et 83% KMnO_4 lahusega regenereeritavatest raua- ja mangaanieemaldusseadmetest ei toimi sihipäraselt: praktika näitab, et raua ja/või mangaani eemaldamise asemel mangaani sisaldus töödeldud vees võib mitmeid kordi kasvada, samuti on raua eemaldamise efektiivsus ebastabiilne.

Ülenormatiivse ammooniumi eemaldamiseks veetöötlusseadmeid Tartu regioonis pole. Ammooniumi ja nitraatide puhul on esmatähtis nende ainete päritolu välja selgitamist ning reostuskollete likvideerimine.

Töö viimases peatükis on välja toodud ka lähituleviku tendentsid ning soovitusel olemasolevate probleemide lahendamiseks.

Summary

Title of work: Water quality in aquifers used by the public water supplies in the Tartu region and analysis of the resulting problems

The work deals with the public drinking water supplies in the Tartu region (South Estonia). The objectives include an inventory of the existing water supply systems, the used groundwater levels and an analysis of how many people are affected, so that health protection inspectors can be provided with guidance for their daily work.

The first chapter introduces the theoretical basis of the water life-cycle, i.e. the processes of rain water becoming groundwater. The second chapter describes the health risks of the relevant compounds found in the water. The third chapter comprises the results of the water analysis of the 550 wells in the region in relation to the used water levels. Finally, the fourth chapter deals with the methods of water treatment, existing treatment systems and their issues.

The groundwater used in the 6 counties of the Tartu region comes from Quaternary, Devon, Silurian-Ordovician, Ordovician-Cambrian and Cambrian-Vendian water levels. The water quality of a given water level may vary from well to well. Most public water supplies (72%) contain excessive amounts of iron or manganese. These compounds only have limited impact on human health. However, 8% of the water systems contain too much fluoride. These water supplies urgently require treatment as mandated by the European water directive.

Currently, 83% of the public water supplies requiring treatment for fluoride are not yet equipped with filters. Those systems which have already installed reverse osmosis filters produce drinking water with safe levels of fluoride.

About 56% of water systems containing high levels of iron or manganese are already equipped with filters. More than one third of the treatment systems produce water that fails to fulfil the drinking water requirements. One of the most remarkable findings is that 83% of the water treatment systems employing KMnO_4 to regenerate the filter fail to reach the intended target. These systems do not work reliably. In fact, they may even add additional manganese to the output water.

The work concludes with a recommendation to address these issues in the following order:

1. Install fluoride filters where necessary.
2. Replace unreliable KMnO_4 -based filters.
3. Ensure proper treatment of water supply systems whose iron or manganese contents exceed the limits.

Kasutatud kirjandus

Appelo, C.A.J., Postma, D., Geochemistry, groundwater and pollution. Rotterdam, A.A.Balkema, 1999. 535 lk.

Eesti Geoloogiakeskus OÜ andmebaas „Põhjavesi-Puurkaev”
http://www.egk.ee/egk/?r=r8&ra=r8_2_4_2

Eesti keskkonnstrateegia aastani 2030. <https://www.riigiteataja.ee/ert/get-attachment.jsp?id=12793882> (02.10.2008)

Eesti kinnitatud põhjaveevarud. Keskkonnaministri 06.04.2006.a käskkirjad nr 397 (Jõgevamaa), 398 (Võrumaa), 401 (Põlvamaa), 403 (Tartumaa), 405 (Valgamaa), 406 (Viljandimaa).
<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=167596/Eesti+kinnitatud+pohjavee+varud.pdf>

Heinsalu, Ü., Vallner, L. 1995. Põhjavesi ja allikad. Raukas, A (koostaja). Eesti Loodus. Tallinn, Valgus, lk 302 - 315.

Hiiob, B., Karro, E., „Võrumaa hüdrogeoloogiline ehitus ning põhjavee keemiline koostis kvaternaari, ülemdevoni ja keskdevoni veekompleksides”. XXIV Eesti Loodusuurijate päev, toimetanud Taimi Paal. Tartu, Sulemees, 2001. Lk 39 – 50.

Indermitte, E., Saava, A., Saag, M., Russak, S., „Joogivee fluorisisaldus Eestis, selle tähtsus hambakaariese ja fluoroosi levimuses ning ennetuses”. Tartu Ülikooli kirjastus, Tartu, 2005.

Kalm, V., Kirs, J., Kirsimäe, K., Kurvits, T., Mineraalid ja kivimid. TÜ Geoloogia instituut, Tartu, 1999.

Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus. Eesti keskkonnaseire 2004-2006. Tallinn, 2008. http://www.keskkonnainfo.ee/publications/373_PDF.pdf (10.10.2008)

Keskkonnaministeeriumi Keskkonnalubade infosüsteemi <http://klis.envir.ee/klis>
keskkonnalubade andmebaasid KLIS ja KLIS2

Keskkonnaministri 10.05.2004. a määrus nr 47 „Põhjaveekogumite veeklassid, põhjaveekogumite veeklassidele vastavad kvaliteedinäitajate väärtused ning veeklasside määramise kord” <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=755483> (02.10.2008)

Klaassen, M., „MIRIDON OÜ. Veetöötlusseadmed alates 1997. aastast”. Ettekanne Tartu Tervisekaitsetalituse joogi- ja suplusvee teabepäeval 02.12.2008 Võrus.

Maa-ameti kaardiserver <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis> (11.07.2009)

Manahan, S.E. Environmental Chemistry (eighth ed.). CRC Press LLC, 2005. 783 lk.

Meenakshi, Maheshwari, R.C. Fluoride in drinking water anti ts removal. Journal of Hazardous Materials B137 (2006) 456 – 463. www.elsevier.com/locate/jhazmat (26.02.2007)

- Pitsi, T., „Kuidas toituda tervislikult?” Ettekanne.
www.37kk.tln.edu.ee/materjal/toitumine.ppt (10.08.2009)
- Põhjaveekomisjon. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Tallinn, 2004.
http://www.maves.ee/Projektid/2004/PV_raamat.pdf (02.10.2008)
- Saava, A., Indermitte, E., „Joogivee infopäev Tartus 18.03.2008”, ettekanne Tartu Tervisekaitsetalituse joogivee infopäeval 18.03.2008 Tartus
- Savitskaja, L. Põhjavesi kui joogivesi. Keskkonnatehnika 2000, 4, 6 – 10
- Sotsiaalministri 02.01.2003. a määrus nr 1 „Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded”
<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=237268> (18.11.2008)
- Sotsiaalministri 31.07.2001. a määrus nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimetodid” <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=13129094> (01.02.2009)
- Zeni, M., Riveros, R., Melo, K., Primieri, R., Lorenzini, S. Study on fluoride reduction in artesian well—water from electrodialysis process. Desalination 185 (2005) 241–244
www.elsevier.com/locate/desal (26.02.2007)
- Tartu linna ÜVKA: Tartu linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava 2007–2020, kinnitatud Tartu Linnavolikogu poolt 14.09.2006. a määrusega nr 36
<http://info.raad.tartu.ee/webaktid.nsf/web/viited/VOLM2006091400036> (27.01.2009)
- Tartu Veevärk AS Vee erikasutusluba nr L.VV.TM-169600, kehtib alates 01.01.2008 kuni 31.12.2012, muudetud 03.09.2008 http://klis.envir.ee/klis/per/view_doc?doc_id=169600 (01.02.2009)
- Veeseadus. Redaktsiooni jõustumise kuupäev 01.01.2008.a
<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=12895223> (08.10.2008)
- Veressinina, J., Trapido, M., Ahelik, V., Munter, R., „Fluoride in drinking water: the problem and its possible solutions”. Proceedings of Estonian Academy of Sciences, 2001, 50, 2, 81–88
- Väär, E., Kleis, R., Silvet, J., Võõrsõnade leksikon. 7. trükk. Tallinn, Valgus, 2006.
- Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus. Redaktsiooni jõustumise kuupäev 24.07.2009
<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=13203137> (09.08.2009)
- Younger, P.L., Groundwater in the Environment: an introduction. Blackwell Publishing, 2007. 318 lk
- Перлеман, В.И. (koostaja), Краткий справочник химика. Москва-Ленинград, Химия, 1964

Informatsioon vee kvaliteedi kohta

TKI aastaaruanded: Põlvamaa osakond 2006, 2007; Valgamaa osakond 2007, 2008; Võrumaa osakond 2007; Jõgevamaa osakond 2008; Viljandimaa osakond 2008

JVESI 4-8 andmebaasid (TKI) seisuga 31.12.2008

VIS (TKI andmebaas)

Tartu Veevärk AS joogi- ja põhjavee analüüside aruanded Tartu Tervisekaitsetalitusele 2007–2008

Kasutatud internetiaadressid

[1] <http://www.clackcorp.com/water.htm> (08.08.2009)

[2] <http://www.aqua-technik.es/water.htm> (08.08.2009)

LISA 1

Joogivee kvaliteet Tartu regiooni üvv-des

Maakond	üvv, milles vesi vastab joogivee nõuetele ilma puhastamata		üvv, milles vesi ei vasta joogivee nõuetele indikaatorite osas				üvv, milles vesi ei vasta joogivee nõuetele keemiliste näitajate osas			
	ei puhastata	hinnanguline tarbijate arv	ei puhastata	hinnanguline tarbijate arv	puhastatakse	hinnanguline tarbijate arv	ei puhastata	hinnanguline tarbijate arv	puhastatakse, lahjendatakse	hinnanguline tarbijate arv
Tartumaa*	21	5342	38	6665	14	6459	12	3530	1	0
Tartu linna üvv	0	0	0	0	1	98178	0	0	0	0
Jõgevamaa	18	13236	20	3233	19	3967	4	1319	1	58
Viljandimaa	11	3457	20	3349	26	26495	13	1932	4	1658
Valgamaa	6	634	25	1781	42	19724	0	0	0	0
Võrumaa	20	1796	8	1091	42	18496	0	0	0	0
Põlvamaa	11	2740	23	3193	27	11540	0	0	0	0
KOKKU	87	27205	134	19312	171	184859	29	6781	6	1716
% kõigist**	20,37	11,34	31,38	8,05	40,05	77,07	6,79	2,83	1,41	0,72

* v.a Tartu linna üvv

** üvv-de koguarvuks antud tabelis on 427 (osade üvv-de kohta usaldusväärsed andmed puuduvad), tarbijate koguarvuks ca 240000.