TARTU ÜLIKOOL

LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND

Ökoloogia ja Maateaduste Instituut

Geoloogia Osakond

Sven Marga

PINNAKATTE PAKSUSE KAARDISTAMINE JA KESK-DEVONI PÕHJAVEEKIHI VEEJUHTIVUSE MÄÄRAMINE ÜLENURME JA HAASLAVA VALLA PIIRKONNAS LÄHTUVALT TARBEPUURKAEVUDE ANDMETEST

Keskkonnatehnoloogia magistritöö

Juhendajad: PhD Andres Marandi

MSc Maile Polikarpus

SISUKORD

SISUKORD 2

SISSEJUHATUS 3

1. UURITAVA ALA GEOLOOGILINE KIRJELDUS 5

1.1 Aluspõhi 5

1.1.1 Aluspõhja reljeef ja struktuurid 7

1.2 Pinnakate 7

1.2.1 Pinnakatte paksus 9

2. MATERJAL JA METOODIKA 10

2.1 Puurkaevude andmed 10

2.1.1 Andmete saamiseks vajalike välitööde kirjeldus 12

2.2 Geoloogiline kaardistamine 13

2.3 Põhjaveekihi veejuhtivuse määramine puurkaevu erideebiti abil 13

2.3.1 Kesk-Devoni põhjaveekompleksi iseloomustus 15

2.4 Uurimustöös kasutatavad tarkvarad 16

3. TULEMUSED JA ARUTELU 17

3.1 Pinnakatte paksuse kaardistamine 17

3.2 Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivused 24

KOKKUVÕTE 28

SUMMARY 30

TÄNUAVALDUSED 32

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU 33

LISAD 35

SISSEJUHATUS

Vesi on üks olulisemaid loodusressursse, mida inimkond igapäevaselt eksisteerimiseks vajab. Tänu Eesti riigi geograafilisele asukohale ja geoloogilisele ehitusele on põhjavesi kergesti kättesaadav ja on meile olulisimaks joogi- ja olmeveeallikas. Seoses majanduse kiire arenguga suureneb loodusressursside vajadus, sealhulgas ka põhjaveevajadus.

Tartu linn on viimasel kümnendil laienenud oluliselt oma lähivaldade halduspiirkonda, mis varem olid asustatud hajusalt. Kuid nüüd on moodustunud neis piirkondades väikesed elamurajoonid. Krunditud maatükkidele on kerkinud eramud ja loodud nende ümber vajalik taristu. Veevarustus lahendatakse tüüpiliselt erakaevu rajamisega ühele majapidamisele või mitme kinnistu tarbeks, sest Tartu linna ühisveevärgiga liitumine on oluliselt kulukam.

Kui ajalooliselt on hajaasustatud piirkonnas rajatud enamasti salvkaeve põhjavee ülemistesse kihtidesse joogivee saamiseks, siis nüüd eelistatakse puurkaeve. Puurkaevud, mis avavad sügavamaid põhjaveekihte, on suure tootlikkusega ja konstantse veeandvusega võrreldes salvkaevudega. Lisaks on puurkaevud maapinnalt lähtuva reostuse eest paremini kaitstud. Piisava veeandvusega põhjaveekihi lasuvussügavus võib oluliselt varieeruda lokaalses piirkonnas, mistõttu puurkaevude sügavus paljuski varieerub. Õige puurkaevu sügavuse hindamine nõuab puurkaevude projekteerijatelt suurt kompetentsi. Tuleb arvesse võtta nii pinnakatte paksust kui aluspõhja kivimite levikut. Geoloogilise situatsiooni hindamine soovitud kohas, baseerub ümbruskonnas varasemalt puuritud kaevude geoloogilistel läbilõigetel ja üldgeoloogiliste andmete põhjal. Eelnevalt mainitud üldgeoloogiliste andmete usaldusväärsus pole kunagi 100 %, sest Eesti geoloogiline uurituse tase on piirkonniti väga erinev. Isegi Tartu kaardi lehe piires on geoloogilise kaardistatuse mõõtkava 1:50000 ehk üldistuse aste on üpriski suur (Põldvere jt, 2007). Nüüdisajal kui rahalised ressursid on piiratud ei ole mõeldav nö. proovi puurimine, et veenduda antud koha geoloogilises läbilõikes. Seega enne reaalse kaevu puurimist tuleb anda eelhinnang puurkaevu sügavusele, millest kujuneb puurkaevu rajamistööde hind tellijale. Tellijale on oluline, et rajatav puurkaev saaks tehtud kokkulepitud hinnaga. Juhul kui eelhinnanguline geoloogiline läbilõige ei vasta reaalsele situatsioonile, siis peavad osapooled saavutama omavahelise kokkuleppe. Et piirkonna olemasolevate geoloogiliste andmete usaldusväärsust suurendada, tuleb neid andmeid korrigeerida lähtudes uute puurkaevude andmetest.

Töö eesmärgiks on viimasel kümnendil Ülenurme ja Haaslava valla haldusalas rajatud puurkaevude andmete põhjal kaardistada pinnakatte paksust sh. ürgorgude asendeid korrigeerida. Lisaks hinnata piirkonnas olulise Kesk-Devoni põhjaveekompleksi veejuhtivust puurkaevude pumpamisandmete põhjal. Seostada leitud väärtusi ürgorgude leviku, puurkaevude sügavuse ja töötava osa pikkusega.

1. UURITAVA ALA GEOLOOGILINE KIRJELDUS

Uuritava piirkonna geoloogiline kirjeldus baseerub "Eesti geoloogilise baaskaardi Tartu kaardilehe seletuskirjal" (Põldvere, jt 2007) kui ei ole väidetud teisiti.

Maastikulise liigestatuse alusel jääb Tartu kaardilehe ala Ugandi lavamaale ja Otepää kõrgustiku põhjaossa. Ugandi lavamaad iseloomustab lainjas moreentasandik, millesse on lõikunud sügavad ürgorud. Lavamaal on maapinna absoluutne kõrgus valdvalt 45-65 m, orgudes jääb see vahemikku 30-35 m. Otepää kõrgustiku põhjaosa iseloomustab künklik moreen ning fluvio- ja limnomõhnade reljeef, kus maapinna suhtelised kõrgused võivad ulatuda 20-30 meetrini. Otepää kõrgustiku põhjaosas ulatub maapinna absoluutne kõrgus 160-165 meetrini (Arold, 2005).

1.1 Aluspõhi

Geostruktuurselt liigestuselt jääb Tartu kaardilehe ala Ida-Euroopa platvormi loodeossa, Vene lava loodepiirile Fennoskandia kilbile. Aluspõhjas eristuvad selgelt kaks eriilmelist struktuurset korrust: alumine- tard ja moondekivimeist koosnev kurrutatud kristalne aluskord ja ülemine – eelmisel monoklinaalselt lasuv settekivimite pealiskord (Rõõmusoks, 1983).

Tartu kaardilehe piires on kõige nooremad aluspõhja kivimid moodustnud Devoni ajastul. Antud piirkonnas esindatud Devoni ladestu settekivimite vanus jääb vahemikku ~ 375 - 407 miljonit aastat. Noorimad on Kesk-Devoni ladestu Burtnieki ja vanimad Alam-Devoni ladestu Rezekne kihistu settekivimid (Kleesment, jt 2006).

Järgnevalt kirjeldatakse Tartu kaardilehe piires Devoni ladestu kihistute settekivimeid ja nende paksusi.

Alam-Devoni ladestikus on välja eraldatud Mehikoorma kihistu (*D_1mh*), mida varasemalt nimetati Rezekne kihistuks, koosneb aleuriidirikkast domeriidist. Kohati esineb kihistu läbilõikes sinikashalle savi vahekihte. Kihistu alumine osa koosneb kollaka alatooniga valkjashallist liivakivist, mis on peeneteraline ning horisontaalkihilisusega. Kaardilehe piires vaid Tartu puuraugus avatud kihistu paksuseks on 11,4 m.

Kesk-Devoni ladestikus on välja eraldatud kuus kihistut: Pärnu, Vadja, Leivu, Kernave, Aruküla ning Burtnieki.

- Pärnu kihistu (*D_2pr*) jaguneb Tamme (*D_2prTm*) ja Tori (*D_2prT*) kihistikuks. Tamme kihistik koosneb helehallist liivakivist, mis on kohati tsementeerunud dolomiitse tsemendiga. Tori kihistik koosneb roosakashallist liivakivist, mis on peeneteraline, ebaselge kihilisusega ning savikate katkendlike pindadega. Mineraalselt koostiselt on mõlemad kihistiku puhul tegemist subarkoosiga, kus kvartsi sisaldus on 84-87%, päevakivide sisaldus 14-15%. Pärnu kihistiku paksus on 15,6-49,1 m.

- Vadja kihistu (*D_2lv-vd*) koosneb halli domeriidi, tumehalli savi ja kollakashalli dolomiidi vahelduvatest kihtidest, milles domineerib savi ja domeriit. Massiivse tekstuuriga dolomiidikihtide paksus on 0,1 kuni 0,9 m. Kihistu paksus on 21,0-22,9 m.

- Leivu kihistu (*D_2lv-vd*) ülemine osa moodustab peenekihiline kompleks, kus domineerib aleuriidikas savi, mis sisaldab aleuroliidi ja liivakivi vahekihte. Ülejäänud läbilõikes domineerib punakaspruun ja hall domeriit, milles esineb helehall massiivse dolomiidi ja tumehalli savi vahekihte. Kihistu paksus jääb vahemikku 10,7-12,2 m. Nii Leivu kui Vadja kihistud avanevad väikesel alal mattunud Tartu orus.

- Kernave kihistu (*D_2kr*) koosneb vahelduvatest, valdavalt punakaspruuni, vähem sinakashalli värvi domeriitidest, savidest, aleuroliitidest ja liivakivist. Kihistu paksus ulatub kuni 49 meetrini. Kihistu avaneb Pangodi, Tatra ning Tartu mattunud orgudes.

- Aruküla kihistu (*D_2ar*) koosneb peamiselt keskmiselt või nõrgalt tsementeerunud peeneteralisest liivakivist, mille punakaspruunid, kohati kollakas- või roosakashallid, kuni 8 m paksused kompleksid vahelduvad õhukeste savi, aleuroliidi ja domeriidi vahekihtidega. Kihistule iseloomuliku punakaspruuni või kollaka tooni annavad pigmenteerivate rauaoksiidide ja nende mineraalide kihid. Mineraloogiliselt domineerivad Aruküla kihistu liivakivides kvarts (60-90 %), päevakivid ning vilgumineraalid (Kleesment & Mark-Kurik 1997). Aruküla kihistu paksus ulatub vaadeldavas piirkonnas kuni 98 meetrini. Kihistu paljandub Tartu linna piires Emajõe oru veergudel ning samuti ka Haaslava vallas Age oja orus.

- Burtnieki kihistu (*D_2br*) koosneb enamasti roosakaskollakast, kohati helehallist, nõrgalt tsementeerunud, peeneteralisest kvartsliivakivist ning kohati savikihte

sisaldavast, sinaka või rohekashallikast aleuroliidist. Savikihte esineb rohkem kihistu keskel ja ülemises osas ning nende paksus jääb vahemikku 0,1-1 m. Mineraloogiliselt on Burtnieki kihistu liivakivid sarnased Aruküla omadele sisaldades rohkelt kvartsi (70-90%), päevakive ning vilgumineraale (õhukesed kihi sisaldavad isegi 20-30%) (Kleesment & Mark-Kurik 1997). Esineb nii horisontaal- kui ka kallakkihilisi tekstuure. Kihistu paksus jääb antud piirkonnas 1,5-28,7 meetrini. Kihistu avamusala jääb Tartu kaardilehe lõunaossa.

1.1.1 **Aluspõhja reljeef ja struktuurid**

Antud piirkond asub Kesk-Devoni platool, mida liigestavad aluspõhja lõikuvad mattunud ürgorud. Ürgorud markeerivad Kvaternaari ajastu eelseid jõgedevõrke. Aluspõhja pealispinna kivimid on allunud pikaajalisele denutatsioonile ja erosioonile, mille tulemusena on kujunenud alangud ja sügavad orud. Kaardilehe lõuna-edelaossa ulatub platoo kõrgem osa ehk Otepää kõrgustik. Tasasel platool jääb aluspõhja pealispinna absoluutne kõrgus enamasti vahemikku 40-80 m. Suurimas, Tartu-Kambja-Vooreküla suunalises ürgorus, jääb aluspõhjakivimite pealispind Ülenurme-Aardlapalu piirkonnas -86 m absoluutsele kõrgusele. Edela-kirdesuunaline Tatra ürgorg ühineb eelmisega Reolasoo piirkonnas. Kaardilehe loodeosas on piiritletud edela-kirdesuunaline mattunud ürgorg, mis ühineb põhja pool tsentraalse Tartut põhja-lõunasuunaliselt läbiva oruga. Lisaks on teada Vooremäe mõhnastiku piirkonnas kaks kuni 50 m sügavust ürgorgu, mille pindalalist levikut pole õnnestunud kaardistada.

1.2 **Pinnakate**

Pinnakatte moodustavad antud piirkonnas Kvaternaari ladestu setted. Kvaternaari ladestu jaguneb omakorda Holotseeni ja Pleistotseeni ladestikuks. Järgnevalt kirjeldatakse lähemalt Kvaternaari ladestu setteid ja nende paksusi.

Kesk-Pleistotseeni setetest on alal esindatud glatsiogeensed, limnoglatsiaalsed ja glatsiofluvioaalsed setted. Need setted esinevad sügavates aluspõhjalistes ürgorgudes ja Otepää kõrgustikul alal. Glatsiogeensed setted (gII), mille paksus sügavates maetud orgudes

võib ulatuda kuni 100 meetrini, on esindatud Ugandi kihistu pruuni tiheda saviliivmoreeniga. Jämepurdne materjal koosneb veerandi ulatuses rabakivigraniidi veeristest. Otepää kõrgustiku põhjaosas on Kesk-Pleistotseeni vanuselised saviliivmoreenid halli värvi ja domineerib karbonaatne veeris. Limnoglatsiaalsed setteid (lgII) on täheldatud Otepää kõrgustiku põhjaosas, kus Ugandi kihistu ülipeene- ja peeneteralistest liivad ning kohati viirkihilised liivsavid moodustavad kuni 30 m paksuse kompleksi. Kesk-Pleistotseeni ladestiku Ugandi kihistu glatsiofluviaalseid setteid (fII), mis koosnevad eri- ja jämedateralistest ning kruusakatest liivadest ja millede paksus ulatub 15 meetrini, on teada nii Otepää kõrgustikul kui ka mattunud orgudes.

Ülem-Pleistotseeni setted jagunevad omakorda Alam-Järva ja Ülem-Järva alamkihistute setteteks. Alam-Järva alamkihistusse kuuluvad glatsiaalsed setted, mis on esindatud hallikas- ja violetjaspruunide saviliiv- ja liivsavimoreenidega mattunud orus Tartust lõuna pool, Otepää kõrgustiku piires ja ka Vana-Kuuste ümbruses. Moreenikihi paksuseks on mõõdetud 1,1-27,3 meetrit. Aardlapalu ja Köstrimägede piirkonnas on teada Alam-Järva alamkihistusse kuuluvate eriteraliste liivade, kruusa ja veeriste (glatsiofluviaalsete setted) esinemine. Settekihi paksuseks on mõõdetud 11,0-16,0 m. Ülem-Järva alamkihistusse kuuluvad viimase jäätumise ajal kujunenud liustiku- ja liustikusulamisvete setted. Nende paksus varieerub kahest meetrist tasandikel kuni 80 meetrini Otepää kõrgustikul. Mattunud ürgorgudes võib nende paksus küündida 60-110 meetrini. Alamkihistu on esindatud glatsiaalsete, glatsiofluviaalsete ja limnoglatsiaalsete setetega, mille hulgas valdab lainjat moreentasandikku või künklikku moreenmaastikku kujundav punakaspruun moreen.

Glatsiaalsed setted ($gIIIjr_3$) on esindatud viimase jäätumisaja moreeniga, mis levib kogu Tartu kaardilehe piires. Moreen lasub erineva paksusega kihina vanematel setetel ja settekivimitel ning moodustab kohati katteid Ülem-Järva alamkihistiku glatsiofluviaalsete ja limnoglatsiaalsetele setetele. Moreenist setted esinvad lainjatel tasandikel, moodustavad künkaid, küngastikke ja liustiku servamoodustistes põikmoreene. Lainjal moreentasandikul on glatsiaalsete setete paksus vahemikus 2-10 meetrit, moreenküngastel ja põikmoreenides valdavalt 20-50 meetrit. Ülem-Järva alamkihistu moreen on punakas pruun, saviliiv ja liivsavikoostisega ja 5-20% -lise jämepurru sisaldusega. Moreeni savikus sõltub suures osas terrigeensete aluspõhjaliste kivimite koostisest. Jämepurrus domineerib karbonaatne veeris vähem esineb kristalliinsetest kivimitest koosnevaid munakaid rahne.

Glatsiofluviaalsed setted ($fIIIjr_3$) on esindatud erineva terajämedusega liivadega ja mõnikord veeriselise kruusaga, moodustades mõhnastikke, oose ja glatsiofluviaalseid deltasid. Neid setteteid leidub ka mattunud orgudes. Liustikujõeliste setete koostis ja lõimis on vägagi varieeruv. Need setted kuhjusid liustiku lõhedesse ja ette mandrijäätumise Otepää staadiumil. Glatsiofluviaalsed settes lasuvad viimase jäätumise moreenidel või vahetult aluspõhja kivimitel. Enamasti avanevad nad maapinnal postiivsete pinnavormidena. Setete paksus kõigub suurtes piirides ja on suurim Vooremäel (~ 70 m).
Jääjärvelised ehk limnoglatsiaalsed setted ($lgIIIjr_3$) on lainja tasandiku piires esindatud valdavalt peeneteraliste, kohati savikate liivadega, mõningal määral ka aleuriitide ja viirkihitatud savidega, moodustades õhukesi 1-3 m paksusi sette katteid. Limnoglatsiaalsetes mõhnastikudes (Paluküla-Lootvina) võib setete paksus ulatuda 20-30 meetrini.

Holotseeni setted on esindatud järve-, jõe- ja soosetetega, mille moodustavavad erineva terajämedusega liivad, aleuriit, turvas, järvelubi ja sapropeel.

- Järvesetted levivad kaasaegsete järvede põhjasetetena, soostunud nõgudes ja orgudes soosetete all. Esindatud on nad liivade, sapropeeli ja järvelubjaga. Järvesetted hakkasid kujunema pärast Balti jääpaisjärve taandumist. Järvelubja paksus jääb vahemikku 1-2,5 meetrit. Sapropeeli paksus varieeruv uuritava ala järvedes mõnest meetrist kuni 10 meertini.
- Soosetted, mis moodustavad sootasandikke, esinevad jõgedeorgudes ning moreenküngaste vahelistes lohkudes ja järvenõgudes. Soosetteist domineerib madalsooturvas ning turbakihi lamamiks on valdavalt jääjärvesetted.
- Jõesetted on esindatud erineva terasuurusega liivade, aleuriitide ja vähesel määral kruusakate setetega. Kohati sisaldavad jõesetted orgaanika vahekihte. Levivad need setted Tartu kaardilehe piires Emajõe, Porijõe, Tatra, Mõra ja Luutsna jõe orgudes. Jõeorgude lammidel on alluviaalsed setted kaetud enamasti soosetetega.

1.2.1 **Pinnakatte paksus**

Eelneva peatüki pinnakatte kirjeldusest lähtuvalt esinevad Tartu kaardilehe piires väga erineva terajämedusega ja kihipaksuga pudedad Kvaternaari setted. Suurimad pinnakatte paksuse väärtused on aluspõhja lõikunud ürgorgudes. Põhja-lõunasuunalises orus, Tartust lõunapool, on mõõdetud Kvaternaari setete paksuseks isegi 116-118 meetrit. Kaardistatud ala

kirde-edelasuunalises orus, nimetatud ka Raadi-Ropkamõisa ürgorg, jäävad pinnakatte paksuse suuremad väärtused vahemikku 60-80 meetrit. Positiivsetes pinnavormides (Paluküla-Lootvina ja Vooremäe mõhnastikel), mis on tekkinud liustiku kuhjaval liikumisel, võib pinnakatte setete paksus küündida 40-50 meetrini. Kesk-Devoni platootasandikul on pinnakatte valdavaks paksuseks keskmis 5 -15 m.

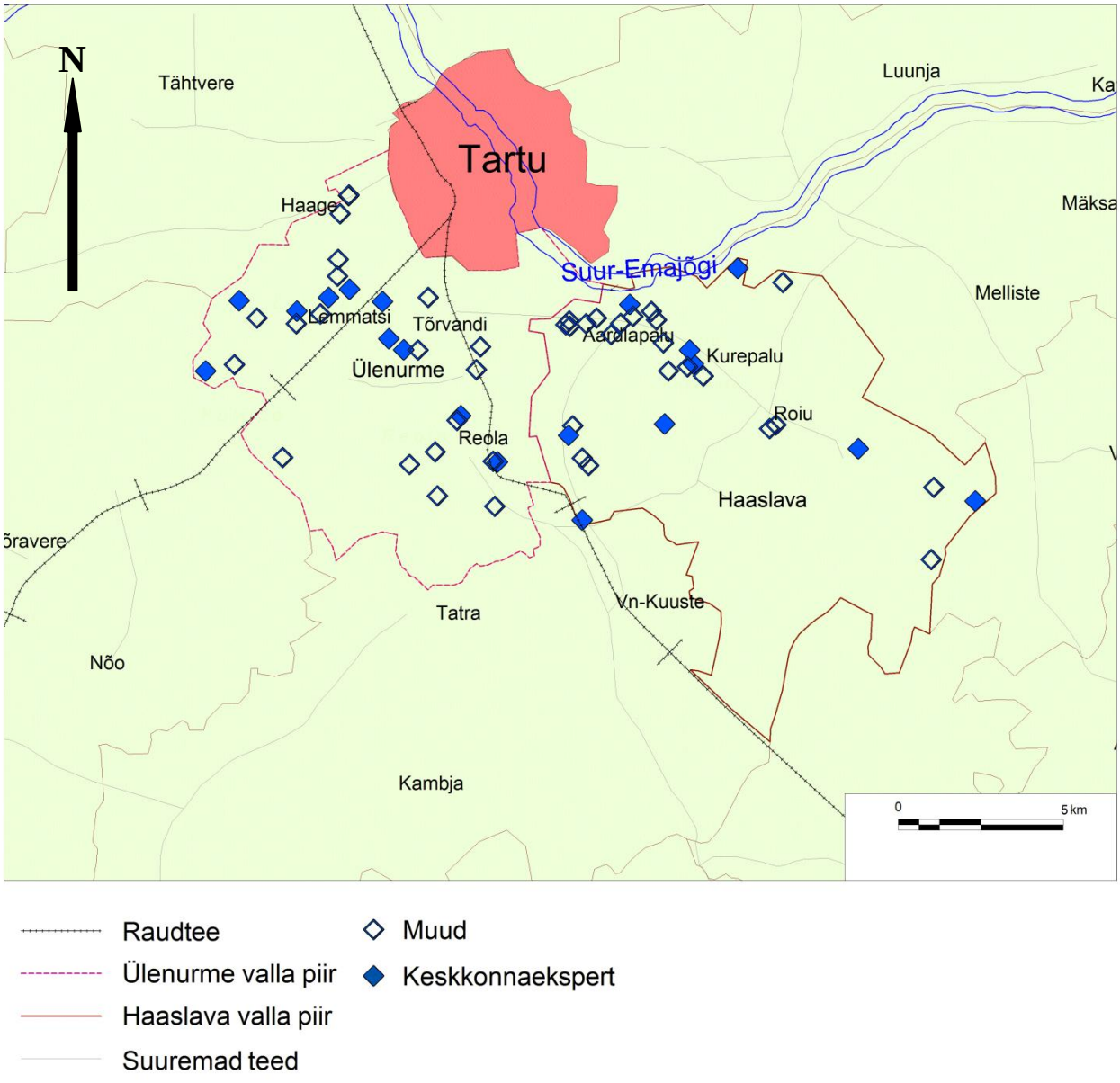
2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Puurkaevude andmed

Uuritava andmestiku moodustavad 61 Haaslava ja Ülenurme valla piirkonnas rajatud tarbepuurkaevu. Valimisse on valitud puurkaevud, mis on rajatud viimase kümne aasta jooksul antud piirkonnas (Joonis 1). Andmestik sisaldab 19 puurkaevu, mis on rajatud OÜ Keskkonnaeksperdi poolt. Töö autor omab otsest kokkupuudet puurimisfirmaga Keskkonnaekspert ning on veendunud antud ettevõtte poolt esitatud andmete usaldusväärsuses. Ülejäänud 42 puurkaevu on teiste puurimisettevõtete tehtud ja andmete kvaliteet baseerub hinnangul, et hüdrogeoloogilist litsentsi omavad puurijad omavad häid geoloogilisi teadmisi ja oskavad neid rakendada. Kogu andmestik pärineb avalikust Keskkonnameti Keskkonnateabe registrist ja on kirjeldatud ülevaatlikult (Lisa 1). Analüüsitavad puurkaevud koonduvad peamiselt suuremate asulate ümber ja nende paiknemine seotud vaid praktilise väärtusega- olme ja joogiveeallikana. Analüüsitavaks informatsiooniks on eelkõige puurkaevude geoloogilised läbilõiked ja hüdrogeoloogilised parameetrid. Geoloogilisest läbilõikest on oluline pinnakatte paksus - Kvaternaari setete ja aluspõhja kivimite vaheline piir. Antud puurkaevud avavad nii Kvaternaari, Kesk-Devoni, Kesk-Alam-Devoni kui ka Siluri põhjaveekihte. Hüdrogeoloogilistest andmete valimisse on võetud ainult Kesk-Devoni põhjaveekihti avavate puurkaevude parameetrid: staatiline veetase, deebit ja erideebit.

Eesti Vabariigis reguleerib puurkaevude rajamist Veeseadus, mille kohaselt on hüdrogeoloogiliste tööde sh. puurkaevude projekteerimiseks, puurimiseks ja likvideerimiseks vajalik hüdrogeoloogiliste tööde tegemise litsents. Litsents antakse Keskkonnaministri pool moodustatud komisjoni poolt kaheks aastaks. Puurimistöödele eelneb puurkaevu projekti koostamine, vajaliku Keskkonnaameti kooskõlastuse ja ehitamiseks kirjaliku nõusoleku saamine kohalikult omavalitsuselt. Puurkaevu puurimistöid teostav isik peab puurimistööde

ajal pidama puurimispäevikut, kuhu kantakse puurkaevu või puuraugu asukoht, töö tegemise aeg, puurimismeetodi ja isolatsiooni tegemise kirjeldus, vastavalt puurimissügavusele puuri ja manteltoru läbimõõt ning geoloogilise läbilõike kirjeldus, kasutatud setete eemaldamise meetod ja puurkaevu hüdrogeoloogilised andmed. Pärast puurimistööde lõpetamist peab puurimistöid teostav isik esitama puurimispäeviku andmed Keskkonnaametile, kes korraldab andmete esitamise Keskkonnaregistrisse (Veeseadus, 1994).



Joonis 1. Viimasel kümnendil Haaslava ja Ülenurme valla piirkonnas rajatud tarbepuurkaevud.

2.1.1 **Andmete saamiseks vajalike välitööde kirjeldus**

Lähtuvalt seadusandlusest on puurkaevu rajamise etapid on tööplatsi ettevalmistamine, puurkaevu suudme kindlustamine, manteltorude paigaldamiseks ettepuurimine ja vajaduse korral puurkaevu ja õõne manteltorudega kindlustamine, manteltorudetaguse isoleerimine, puurkaevu ja -augu töötava osa avamine ja vajaduse korral kindlustamine (Keskkonnaministri määrus nr. 37, 2010).

Puurkaevu rajamisemetoodikat jagatakse suruõhuga ja savilahuga puurimiseks. Suruõhuga puurimisel väljatakse puuraugust sette- ja kivimimaterjal järk-järgult sügavuse suunas kuni jõutakse veeandvasse kivimikihti. Samal ajal moodustub maapinnale settelevik, kus on võimalik näha pinnakatte settematerjali vaheldumist ja aluspõhjakivimeid. Puurmeistril tuleb lihtsalt märkida sügavusvahemikud, kus puurhiiv muutus. Savilahu kasutatakse puurimisel kui pinnakatte setted on pudedad ning õhuga puurimine on ebaefektiivne. Savilahu ringleb korduvalt läbi puuraugu ja kandes uut puurmaterjali maapinnale. Antud puurimismeetodi puhul on läbilõikes setete ja kivimite sügavusvahemike määramine oluliselt ebatäpsem, sest puurhiiv sisaldab nii sügavamalt pärit uut materjali kui ka juba puuritud ringlevat materjali. Savilahu neeldumine puurimisel viitab aga hästi vettjuhtivate setete või kivimiteni jõudmist. Mõnikord aitab see puurmeistril Kvaternaari setete ja aluspõhjaliste kivimite piiri ära tunda. Puurmeistrid kasutavad sageli ka pinnakatte setete ja aluspõhjakivimite ülemineku piirde määramiseks puurimistugevuse muutumist. Aluspõhja tugevalt tsementeerunud liivakivide puurimiseks tuleb rakendada suuremat pöördemomenti võrreldes pudedate pinnakatte setetega. Lisaks on aluspõhjakivimikihtides nn. kindlad markerid, mille esinemine puurhiivas viitab õige kivimikihi jõudmist. Lõuna-Eesti piirkonnas, kus avanevad aluspõhjalised liivakivid, on selliseks markeriks vilgumineraalid. Nimelt sisaldavad Devoni ladestu punased liivakivid savikaid vahekihte, milles esineb õhukesi vilgukelmeid (Isakar, 2003). Vilgumineraali äratundmine kompetentsele puurmeistrile pole keeruline, sest vilgulibled helgivad valguse käes kui puurmaterjali lähemalt vaadelda.

Puurkaevu hüdrogeoloogilised parameetrid määratakse samuti puurkaevu rajamisel. Pärast puurimistöid teostatakse puurkaevu puhatuspumpamine (kuni vee selginemiseni) ja proovipumpamine. Puhastuspumpamiseks kasutatakse suruõhukompressorit või süvaveepumpa. Proovipumpamist tehakse kuni tootlikkuse ja dünaamilise veetaseme stabiliseerumiseni. Puurkaevu hüdrogeoloogiliste parameetrite määramiseks peab puurkaevu või -augu puurinud isik proovipumpamise vähemalt 1,3-kordse projekteeritud tootlikkusega

või maksimaalse tootlikkusega, kui projekteeritud tootlikkust proovipumpamisel ei ole võimalik saavutada. Proovipumpamise käigus määrab puurkaevu puurinud isik puurkaevu tootlikkuse, staatilise ja dünaamilise veetaseme ning erideebiti (Keskkonnaministri määrus nr. 37, 2010).

2.2 **Geoloogiline kaardistamine**

Geoloogilised kaardid jagunevad mõõtkava järgi väikese- (1:500 000 ja väiksemad), keskmise- (1:200000–1:100 000) ja suuremõõtkavalised (1:50 000–1:20 000) ning detailsed (1:10 000 ja detailsemad). Mida väiksem on kaardi mõõtkava, seda suurem on kaardi koostamiseks kasutatud andmete üldistatuse aste ja seda väiksem nende rakenduslik väärtus. Pinnakatte geoloogilise kaardi koostamise puhul peab kasutama vähemalt ühe pinnakatet täies ulatuses läbiva puuraugu või pinnakatet täies ulatuses avava paljandi (või kaeve) andmeid iga 25 km^2 suuruse kaardistatud ala kohta (Maa-amet, 2013). Antud uurimustöö raames püütakse uuritava andmestiku (puurkaevude geoloogilistes läbilõigete andmed) põhjal täpsustada Eesti geoloogilise baaskaardi (1:50000) Tartu kaardilehe pinnakatte paksust Haaslava ja Ülenurme piirkonnas. Paraku puurkaevude ehk puuraukude paiknemine uuritaval alal seab teatavaid kitsendusi kogu varem kaardistatud pinnakatte paksuse täpsustamiseks. Nimelt saab täpsemalt analüüsida ja vaadelda piirkondi, kus rajatud puurkaeve on tihedamalt ehk geoloogilist informatsiooni on rohkem.

2.3 **Põhjaveekihi veejuhtivuse määramine puurkaevu erideebiti abil**

Põhjaveekihi veejuhtivus T (*transmissivity)* väljendab veega küllastunud kihi veeläbilaskvust, vee horisontaalsel liikumisel kui survegradient võrdub ühega. Kihi veejuhtivust on sageli määratud puurkaevude erideebitit kasutades, sest standardsete põhjaveekihi testide läbiviimine on üsna kulukas. Puurkaevude rajamisel tehakse proovipumpamine, mille käigus määratakse puurkaevu tootlikkus ja veetaseme alanemine staatiliselt veepiirilt dünaamilisele. Erideebitina tähistatakse kaevu tootlikkust (l/s) veetaseme alandamisel 1 m võrra pumpamise käigus (tootlikkuse jagatis üldise taseme alanemisega). 1963. aastal Theis'i poolt pakutud teoreetiline meetod (valem 1.0) piiratud põhjaveekihi veejuhtivuse määramiseks puurkaevu erideebiti abil omab kahte puudust. Nimelt eeldab see puurkaevu 100 % efektiivsust. Reaalselt on puurkaevus aga alandus suurem kui väljas pool kaevu põhjaveekihis. See on

põhjustatud turbulentse voolamise poolt vee liikumisel kaevu. Lisaks tuleb Theis'i võrrandi puhul esile puudus, vastatavalt kihi veejuhtivuse määramiseks tuleb hinnata ka põhjavee kihi mahtuvuskoefitsenti S. Seega ühe parameetri määramine baseerub teise hindamisel (Fetter, 1994).

$$T = \frac{Q}{(h_0 - h)} \frac{2.3}{4\pi} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \qquad (1.0)$$

1990-ndate algul uurisid M. Razack ja D. Huntley Haouz basseini (Maroko) hüdrogeoloogilise uurimustöö raames alluviaalse põhjaveekihi veejuhtivuse ja puurkaevude erideebitite vahelisi seoseid. Nad analüüsisid andmepaare, milles oli erideebit ja veejuhtivus kindlalt teada. Oma uurimustöö tulemiks said nad empiirilise valemi (Valem 1.1), mille korrelatsiooni koefitsent oli 0,63 veejuhtivuse ja erideebiti vahel. Võrreldes analüütiliste meetodite lahenditega said nad empiirilise suhte puhul vähem vigu, sest varasemad analüütilised meetodid ei võta arvesse turbulentse hõõrdumiskao mõju erideebitile. Razacki ja Huntley võrrand on täpsem just alluviaalsete põhjaveekihtide veejuhtivuste leidmisel. Koefitsent K väärtused on vastavalt kasutatavatele ühikutele (Tabel 1) (Razack & Huntley, 1991).

$$T = K \left(\frac{Q}{h_0 - h}\right)^{0.67} \qquad (1.1)$$

Tabel 1. Koefitsent K väärtused valemis 1.1

T	Q/s					
	m^2/s	m^2/min	m^2/day	ft^2/s	ft^2/min	ft^2/day
m^2/s	0,36	0,023	$1,8*(10^{-4})$	0,073	0,0047	$3,6*(10^{-4})$
m^2/min	21,6	1,39	0,011	4,4	0,28	0,0022
m^2/day	31000	2000	15,3	6300	408	3,12
m^2/yr	$1,1*(10^7)$	$7,3*(10^5)$	5600	$2,3*(10^6)$	$1,5*(10^5)$	1140
ft^2/s	3,87	0,25	0,0019	0,79	0,051	$3,9*(10^{-4})$
ft^2/min	232	15	0,114	47,3	3,04	0,023
ft^2/day	$3,4*(10^5)$	21500	165	68100	4380	33,6
ft^2/yr	$1,2*(10^8)$	$7,9*(10^6)$	60200	$2,5*(10^7)$	$1,6*(10^6)$	12300

Eestis on varasemalt põhjaveekihi veejuhtivusi uuritud peamiselt põhjaveevaru hinnangute andmisel. Tartu linna põhjaveevaru hinnangu raames on leitud Kesk-Devoni põhjaveekompleksi (varasem nimetus Tartu veekompleks) veejuhtivuse väärtused, kasutades Dupuit´i valemit, mis on Theisi valemi lähendus ning eeldatati, et puurkaev avab kogu põhjaveekihti (Välkmann jt, 1992). Lisaks on Eestis kasutatud Rapla linna põhjavee tarbevaru ümberhinnangu (Savitskaja, 2007) ja AS Viljandi Veevärk poolt Viljandi linnas kasutatavate põhjaveevarude ümberhindamise (Maves, 2007) raames kihi veejuhtivuse määramiseks valemit T=130*q (Šestakov, jt 1975), kus q-on erideebit l/s*m. Antud valem on samuti empiirilist laadi ja kasutakse veejuhtivuse hinnanguliseks andmiseks üksikpuuraukudest pumpamiskatse läbiviimisel. Võrdluse loomiseks kasutatakse lisaks eelnimetatud valemile Ühendriikides kasutatud lähendust T=1,385*q (Batu, 1998).

2.3.1 **Kesk-Devoni põhjaveekompleksi iseloomustus**

Kesk-Devoni põhjaveekompleks (D_2) on joogivee seisukohast Lõuna-Eesti piirkonna olulisim põhjaveekompleks, levides Häädemeeste ja Mustvee vahelisest mõttelisest piirist kuni Eesti lõuna piirini. Veekompleksi paksus kasvab kagu suunas kuni ~250 m Haanja kõrgustikul. Kesk-Devoni põhjaveekompleksi moodustavad Amata, Gauja, Aruküla ja Burtnieki kihistu liivakivid ja aleuroliidid. Tartu kaardilehe piires levib veekompleks ainult Aruküla ja Burtnieki ladestu kivimites. Kuigi kolmandiku osa veekompleksi mahust moodustavad suure savisisaldusega kivimid, pole õnnestunud savikaid kihte pindalaliselt rööbistada ega veekompleksi väiksemateks üksusteks jagada (Perens, 2005). Veekompleks paljandub vaid sügavamates jõeorgudes, mujal katavad teda väga erineva pakusega Kvaternaarisetted. Lamamiks on Narva lademe aleuriitsed savid ja savikad dolomiidid. Veekompleksi põhiliseks toitumisallikaks on sademed, mis läbi pinnakatte infiltreerudes jõuavad Devoni liivakividesse. Veekompleksi põhiliseks toitumisalaks Tartu kaardilehe piires peetakse Otepää kõrgustikku, milles toimub põhjavee survelise iseloomu kujunemine. Väljavoolualaks on Emajõgi ja tema lisajõed. Otepää kõrgustiku põhjanõlval jääb põhjaveetase 20-25 m sügavusele maapinnast, samas jõeorgudes ulatub survetase mitu meetrit üle maapinna. Neis piirkonnades võivad puurkaevud sagedasti ülevoolavad olla (Põldvere, jt 2007). Kõrgustiku alal võib kihi veejuhtivus tõusta 200-500 m^2/ööpäevas, üldjuhul jääb see siiski alla 100 m^2/ööpäevas. Kivimite veejuhtivus on keskmiselt 1-3 m/ööpäevas ja puurkaevude erideebit valdavalt 0,4-1 l/s*m. (Perens & Vallner, 1997).

2.4 **Uurimustöös kasutatavad tarkvarad**

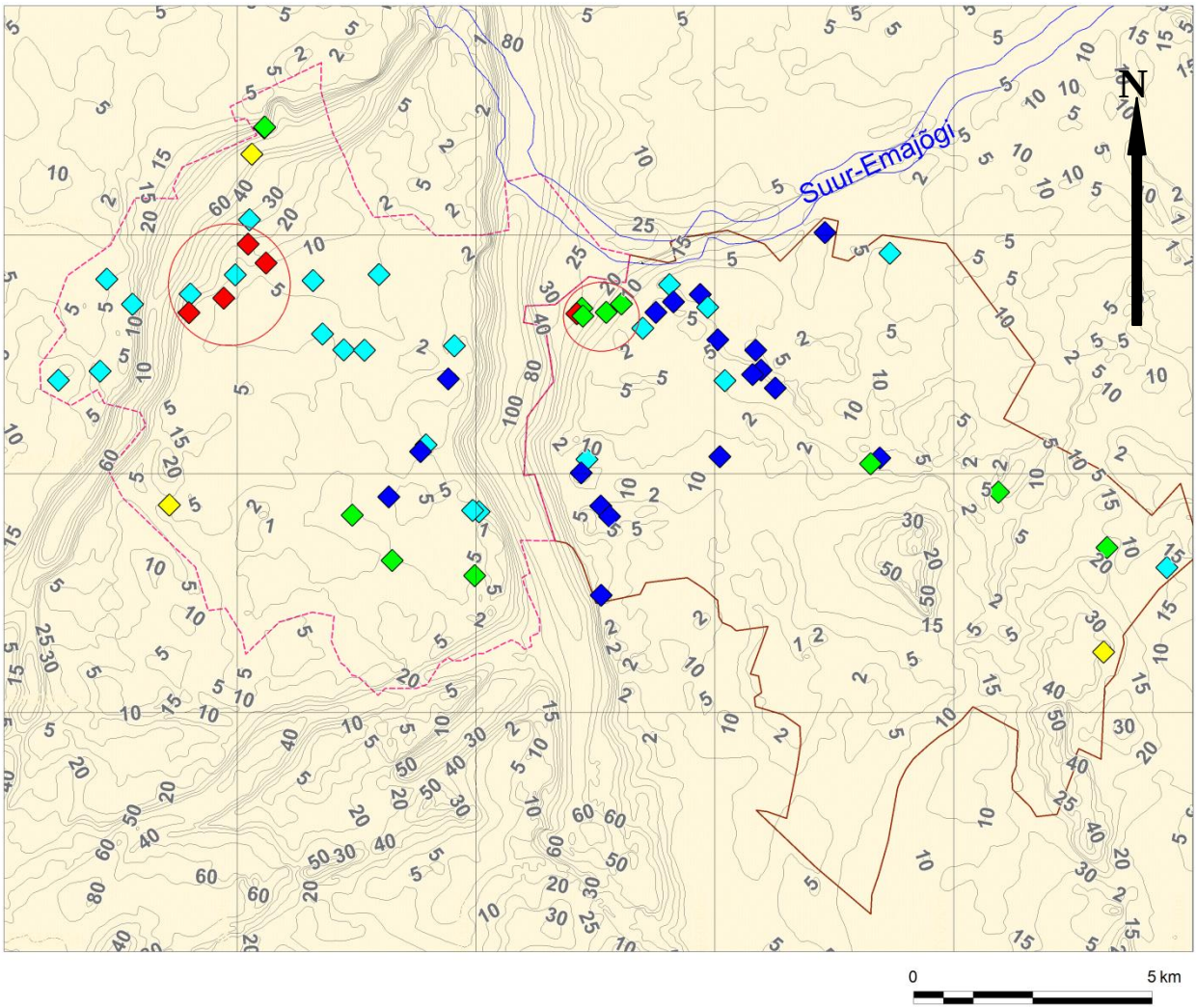
Antud diplomitöö raames kasutatakse kartograafia algandmete analüüsimiseks ja visualiseermiseks GIS tarkvara- MapInfo professional 10.5 ja Microsoft Office Excel 2007 andmeanalüüsis.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

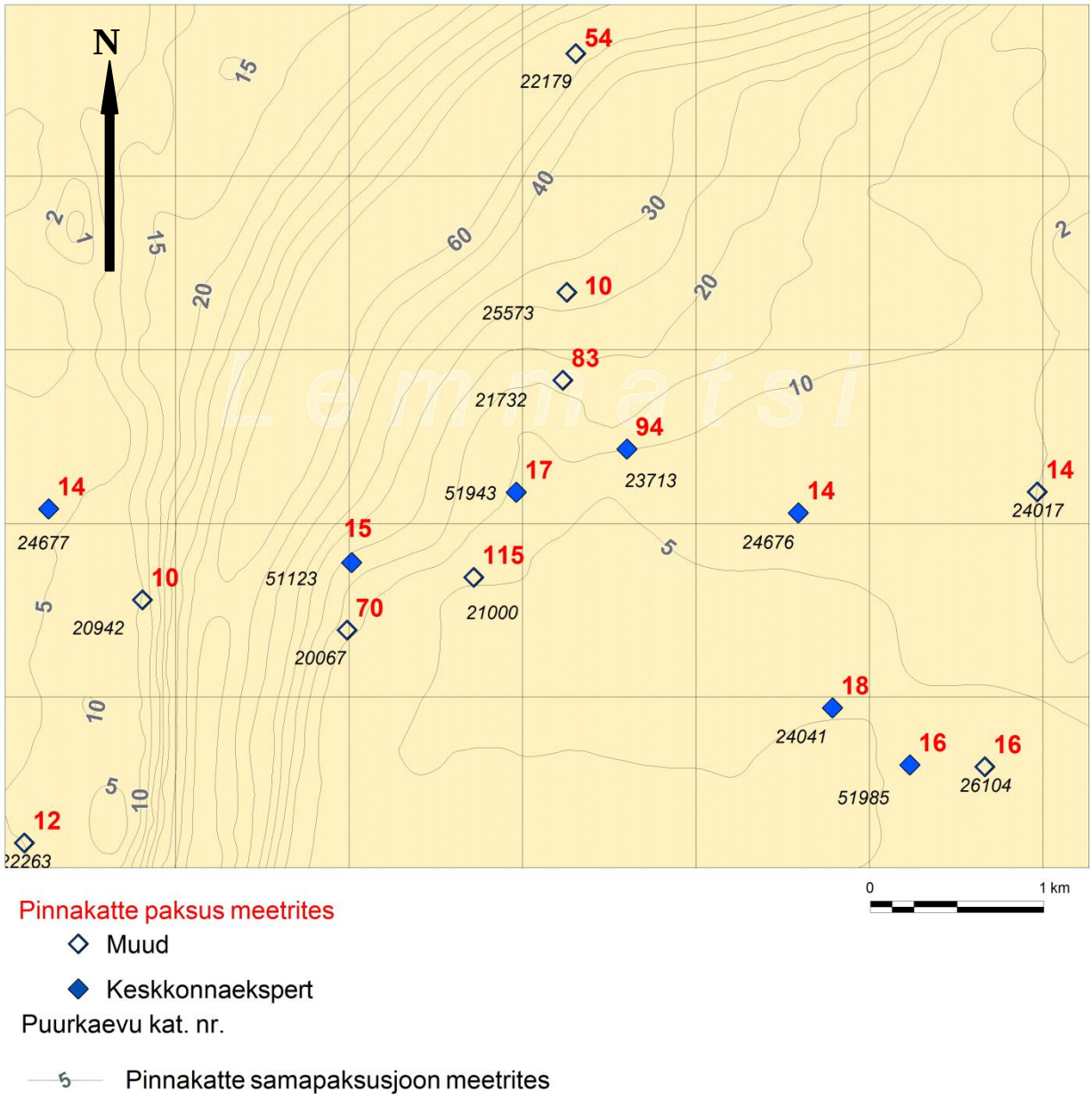
3.1 Pinnakatte paksuse kaardistamine

Eesti baaskaardi (1:50000) Tartu kaardilehe pinnakatte paksuste võrdlemisel tarbepuurkaevude rajamisel kirjapandud Kvaternaari setete paksuste andmetega Haaslava ja Ülenurme valla piirkonnas ühtib laias plaanis teadaolevaga. Puurkaevude geoloogilistest läbilõigetest lähtuvalt katab aluspõhjalisi settekivimeid platoo alal keskmiselt 10-20 meetri paksune pinnakatte kiht. Varasemalt kaardistatud ürgorgude läheduses on lokaalseid piirkondi, kus esineb keskmisest kordades suuremaid Kvaternaari-setete paksusi. Koguni viies analüüsitavas puurkaevu geoloogilises läbilõikes on pinnakatte paksus ≥ 70 m (Joonis 2). Järgnevalt vaadeldakse lähemalt kahte kitsamat piirkonda joonisel 2 tähistatud punaste ringidega, kus puurkaevude andmete suurem tihedus võimaldab paremini hinnata pinnakate paksuse levikut. Antud alade kirjeldamisel on nimetatud need Lemmatsi ja Aardlapalu piirkondadeks.

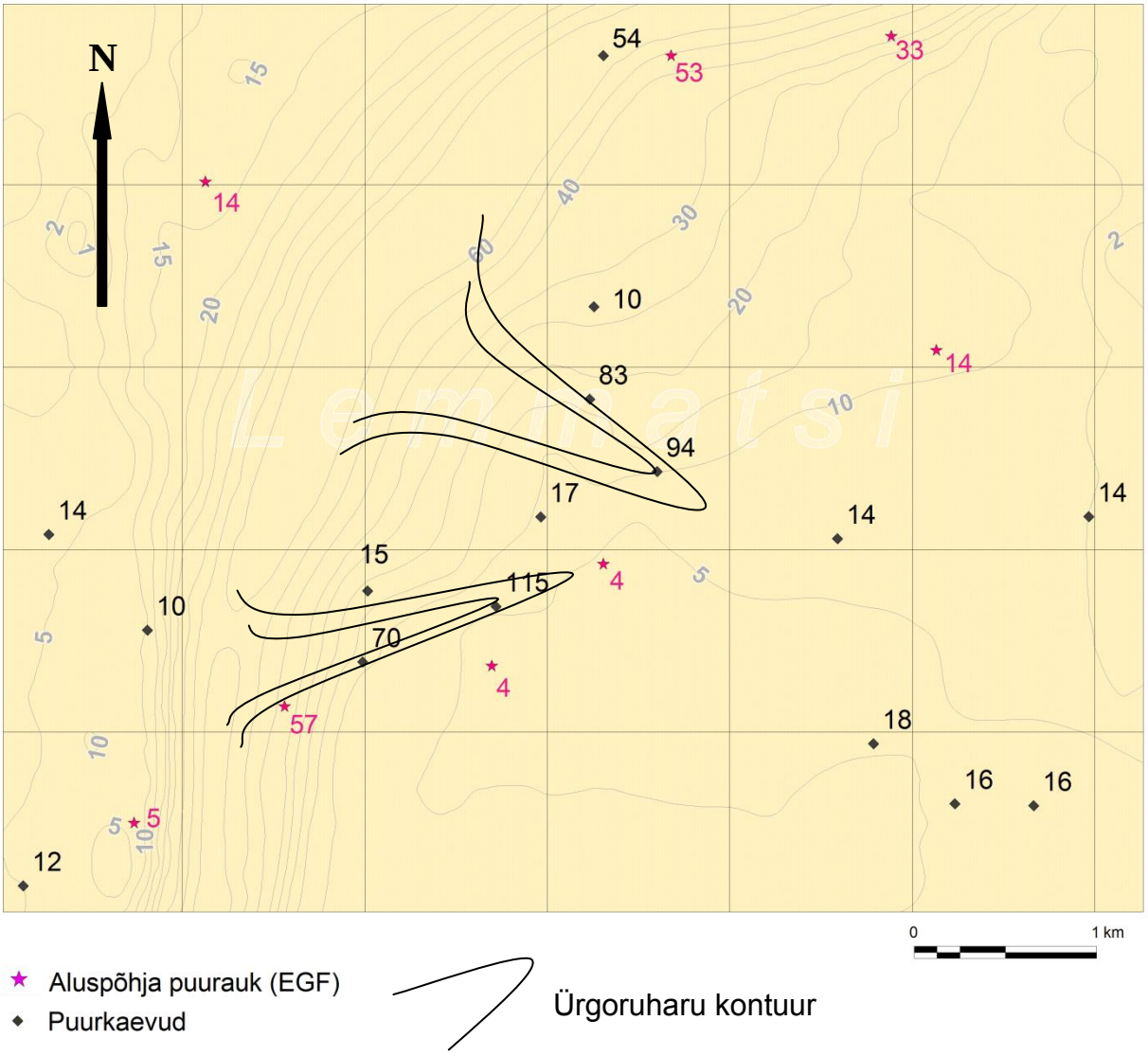
Lemmatsi piikonnas analüüsitakse täpsemalt kümnekonna puurkaevu andmeid, millest pooled on puurfirma Keskkonnaeksperdi tehtud. Seega uuritavate andmete usaldusväärus on kõrge. Kitsa ala piires varieerub pinnakatte paksus suures vahemikus. Eristub neli puurauku, kus Kvaternaari-setete paksus on üle 70 meetri. Puurkaevu kat. nr 21000 geoloogilises läbilõikes on kirjeldatud isegi 115 m pinnakatte setteid (Lisa 1). Vaadates kaardipilti (Joonis 3) hakkab silma, et suuri pinnakatte väärtusi ümbritsevad samas 10-20 m paksused Kvaternaari setted. Nimelt puurkaevude kat nr. 51123, 51943 ja 25573 läbilõigetes on pinnakatte paksus vastavalt 15, 17 ja 10 meetrit (Lisa 1). Uuritavatele andmetele tuginedes võib oletada, et suured paksused levivad kitsaste vööndidena. Võttes arvesse varasema kaardistamise tulemusi arvan, et anomaalsete suurte pinnakatte paksuste näol on tegemist Raadi-Ropkamõisa ürgoru mattunud lisaharudega Lemmatsi piikonnas. Võimalike lisaharude asendid on visualiseeritud (Joonis 4), lisaks on kaardile kantud aluspõhja puuraukudes (Eesti Geoloogia Fond) kirjeldatud pinnakatte paksuse väärtused, mis aitavad uurimustöös analüüsitavaid andmeid võrrelda. Lisaks võivad antud lisaharud olla ka omavahel ühenduses, mida on püütud illustreerida (Joonis 5).



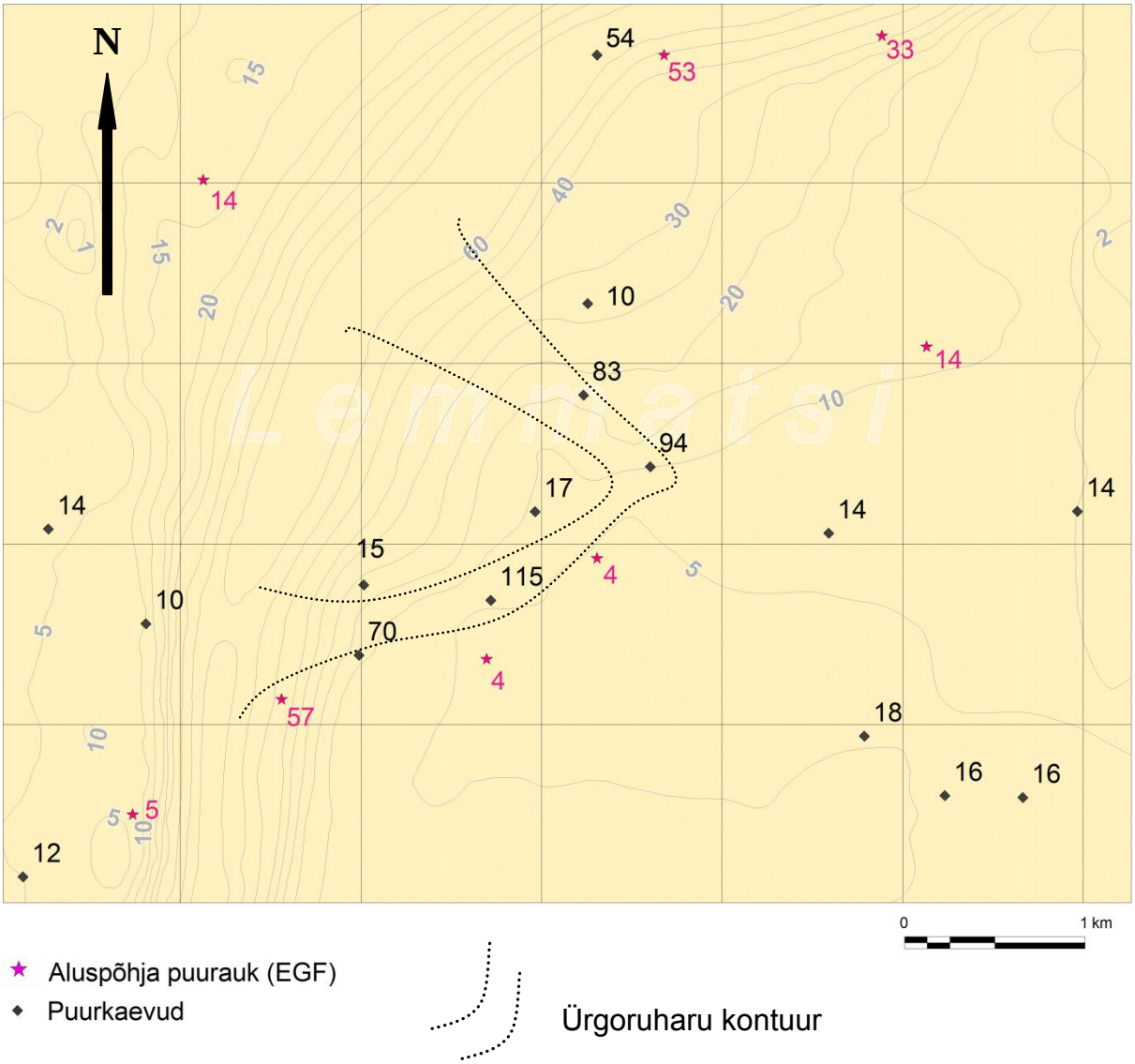
Joonis 2. Ülevaade pinnakatte paksuse varieeruvusest puuraukudes Haaslava ja Ülenurme valla piirkonnas Eesti baaskaardi Tartu kaardilehe pinnakatte paksuse taustal.



Joonis 3. Pinnakatte paksuse väärtused puurkaevude geoloogilistes läbi lõigetes Lemmatsi piirkonnas Kvaternaari setete samapaksusjoonte taustal.

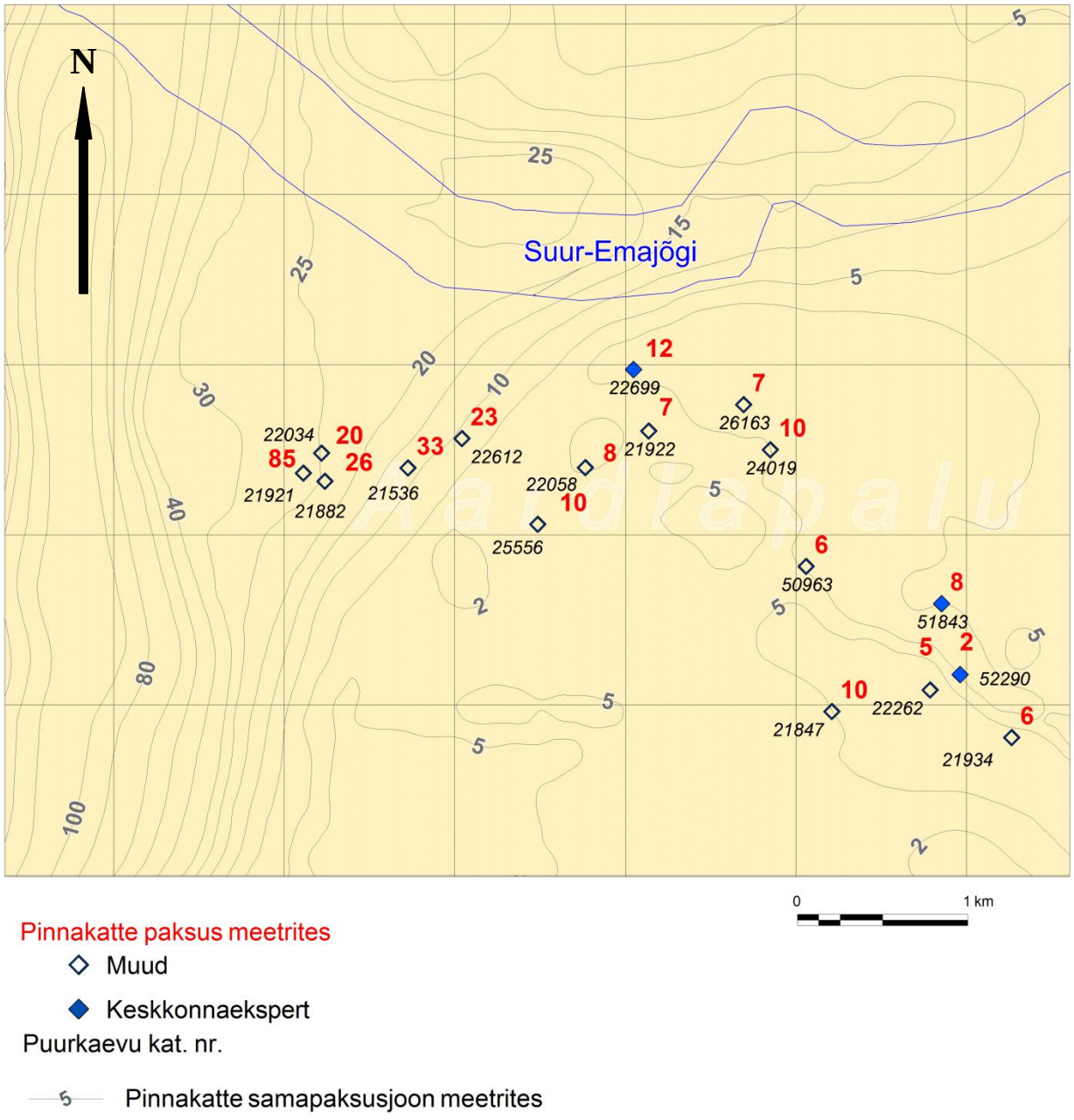


Joonis 4. Raadi-Ropkamõisa ürgoru võimalike lisaharude asendiskeem.

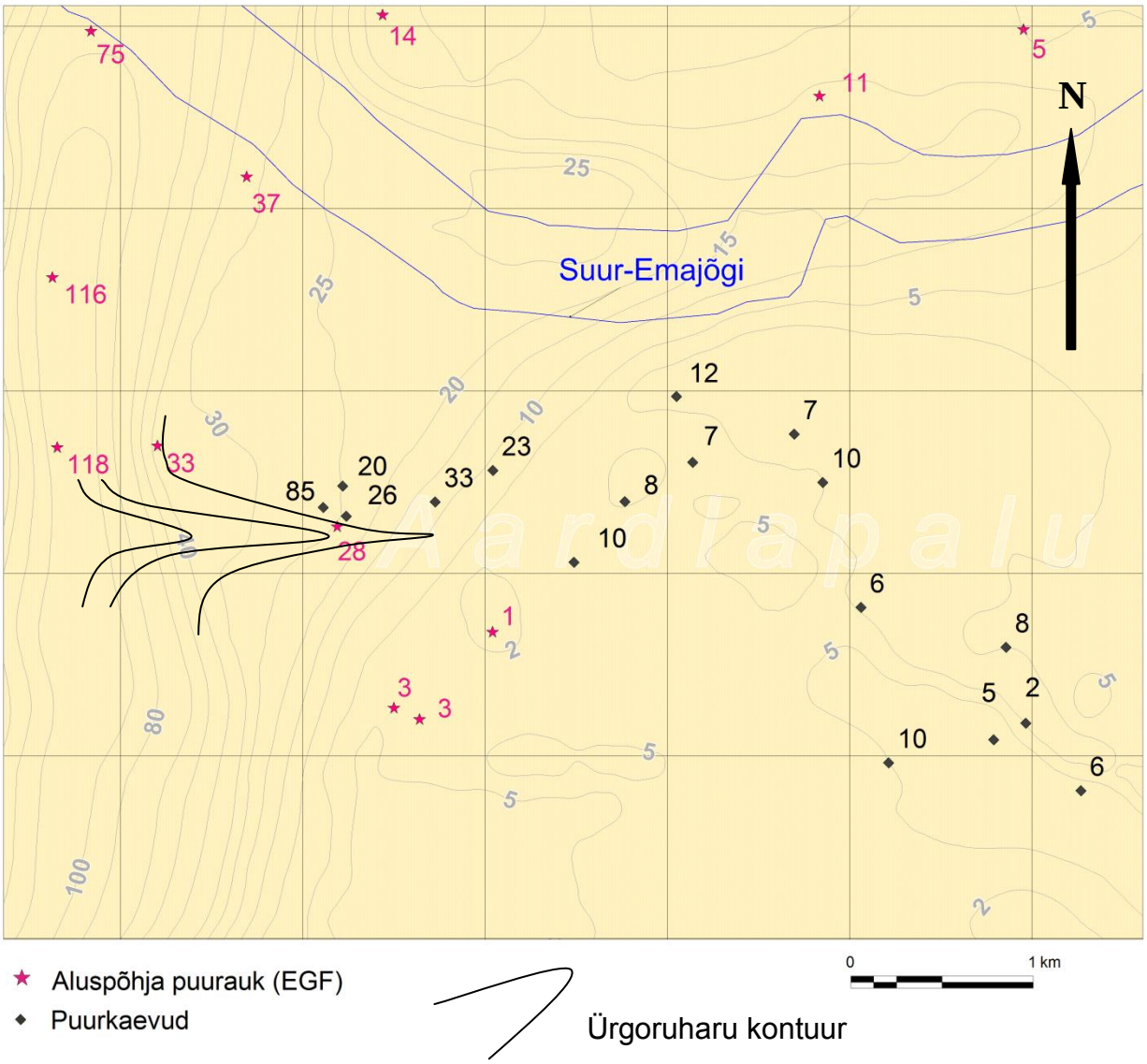


Joonis 5. Raadi-Ropkamõisa ürgoru võimalike lisaharude ühendatuse asendiplaan.

Aardlapalu piirkonnas on Keskkonnaekspert OÜ poolt rajatud puukaeve vähem võrreldes Lemmatsiga. Seega baseeruvad antud piirkonna tulemused valdavalt teiste puurfirmade esitatud andmete põhjal. Ülevaatlik kaardipilt analüüsitavate andmetega Kvaternaari setete samapaksusjoonte taustal on illustreeritud joonisel 6. Varasemate pinnakatte kaardistamise tulemused ühtivad üldiselt selle töö raames uuritud andmetega. Devoni platoo ala piires katab aluspõhjakivimeid keskmiselt 10 meetri paksune Kvaternaari-setetekiht. Lääne poole liikudes kasvab pinnakatte paksus hüppeliselt, kuna antud piirkonnas levib põhja-lõuna suunaline sügav ürgorg. Sarnaselt Lemmatsi piirkonnaga viitavad kogutud andmed ürgoru lisaharule, mis on lääne-ida suunaline. Lisaharu võimalik paiknemine on esitatud joonisel 7.



Joonis 6. Pinnakatte paksuse väärtused puurkaevude geoloogilistes läbi lõigetes Aardlapalu piirkonnas Kvatrenaari setete samapaksusjoonte taustal.



Joonis 7. Pinnakatte paksuse väärtused puurkaevude geoloogilistes läbi lõigetes Aardlapalu piirkonnas Kvaternaari setete samapaksusjoonte taustal.

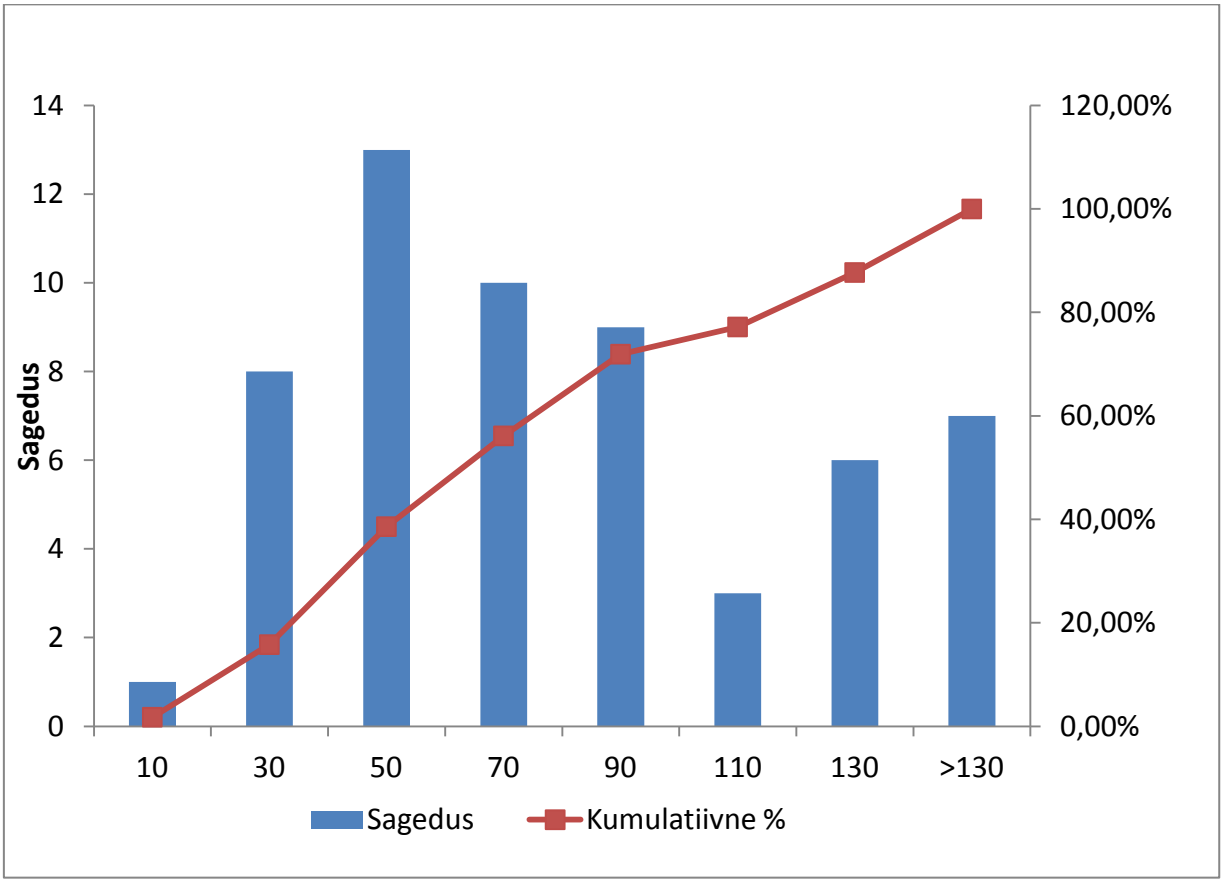
3.2 **Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivused**

Haaslava ja Ülenurme piirkonnas rajatud 58 puurkaevu (avavad Kesk-Devoni põhjaveekompleksi) erideebitite põhjal arvutati Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivusi kolme erineva valemi abil. Erideebit on määratud puurkaevu proovipumpamise käigus. Kõik leitud väärtused on esitatud (Lisa 2). Arvutatud väärtustele leiti olulised statistilised karakteristikud (keskmine, maksimaalne, minimaalne ning mediaaniline väärtus), mis toodud Tabel 2. Batu (1998) ja Šestakov jt (1975) hinnanguliste valemite tulemused on sarnasemad võrreldes ameeriklaste Huntley ja Razacki empiirilise valemi väärtustega. Seega tõenäoliselt Razack ja Huntley (1991) meetod Eesti geoloogilistes tingimustes ei tööta. Kihi veejuhtivuste sagedusliku jagunemist kirjeldab histogramm, mille algandmetena on kasutatud Šestakov jt (1975) valemi tulemusi (Joonis 8). Histogrammilt tuleb esile, et enamus väärtusi jääb vahemikku 30-90 m^2/ööp. Seega leiab kinnitust, et aluspõhja platoo ala jääb Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivused keskmiselt alla 100 m^2/ööp (Perens &Vallner,1997). Šestakov jt (1975) valemi põhjal arvutatud kihi veejuhtivuste keskmine väärtus on 83,6 m^2/ööp. Tartu põhjavee tarbevaru hinnangu raames saadud Kesk-Devoni põhjaveekompleksi veejuhtivuse keskmiseks väärtuseks oli 54 m^2/ööp (Välkmann jt 1992). Tulemused ei erine oluliselt, seega Kesk-Devoni põhjaveekihi keskmine veejuhtivus võiks jääda vahemikku 65-70 m^2/ööp antud piirkonnas.

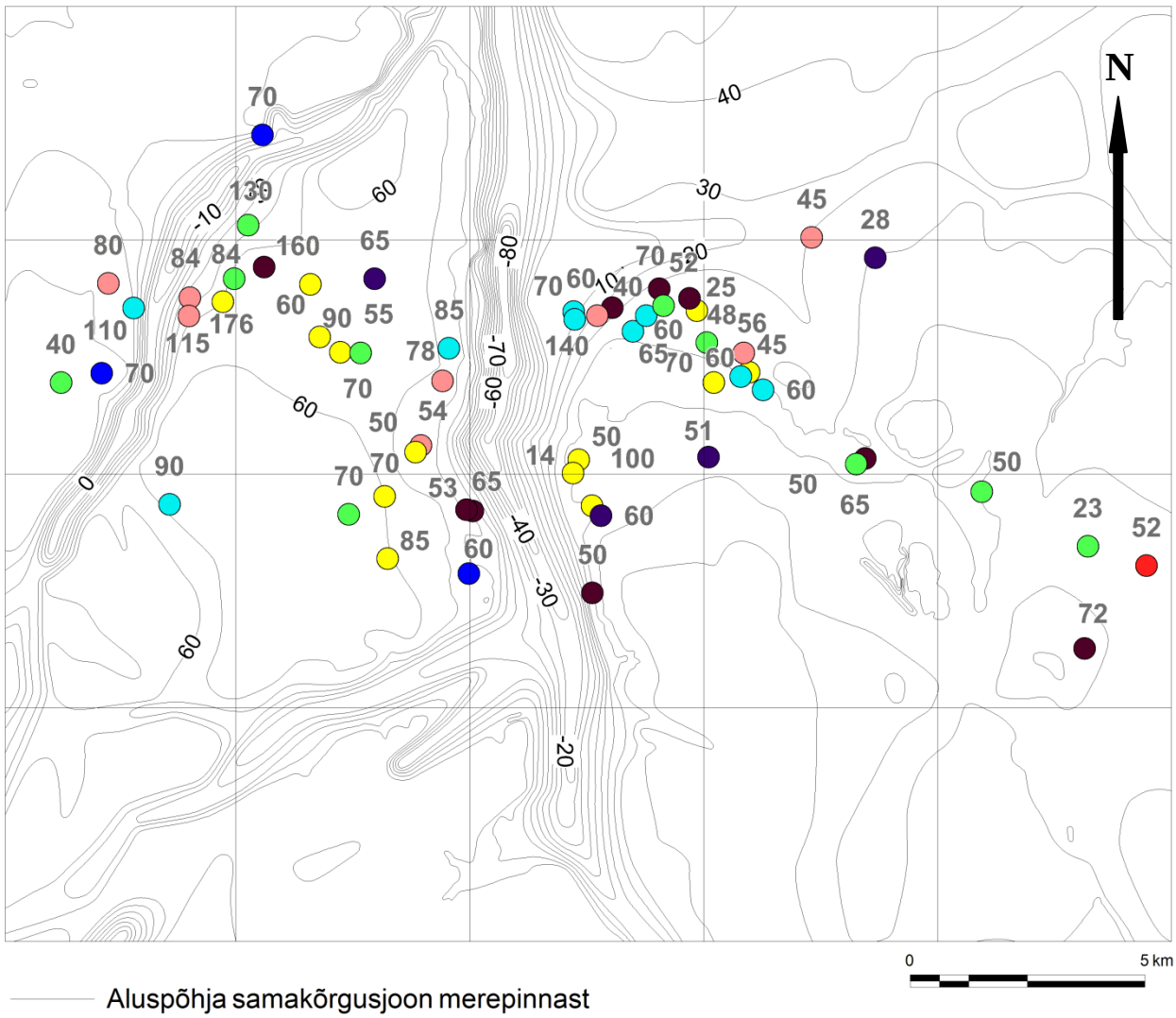
Lisaks Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivuste absoluutväärtuste omavahelisele võrdlemisele üritati prooviti seostada puurkaevu töötava osa pikkusega ja puurkaevu sügavusega (Joonis 9 ja Joonis 10). Korrelatsiooni-koefitsentide väärtusteks saadi vastavalt 0,14 ja 0,04. Antud tulemuste põhjal võib öelda, et kihi veejuhtivusel pole otsest seost puurkaevu töötava osa pikkuse ja sügavusega. Lisaks analüüsiti Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivuste väärtuste seost ürgorgude levikuga. Nimelt mattunud ürgorud võivad sisaldada väga erineva veejuhtivusega kivimeid, mis võiksid omada mõju ürgoru lähedusesse rajatud puurkaevude erideebititele. Ürgorgude levikupildi ja veejuhtivuste analüüsil ei leitud, et ürgorgude läheduses oleks veejuhtivuse väärtused oluliselt suuremad või väiksemad. Pigem viitab kihi veejuhtivuste varieerumine kogu uuritava ala piires sellele, et veekiht on väga vahelduv. Vettjuhtivad kivimikihid vahelduvad lokaalsete veepidemetega.

Tabel 2. Kolme erineva valemi abil leitud veejuhtivuste väärtuste statistikud

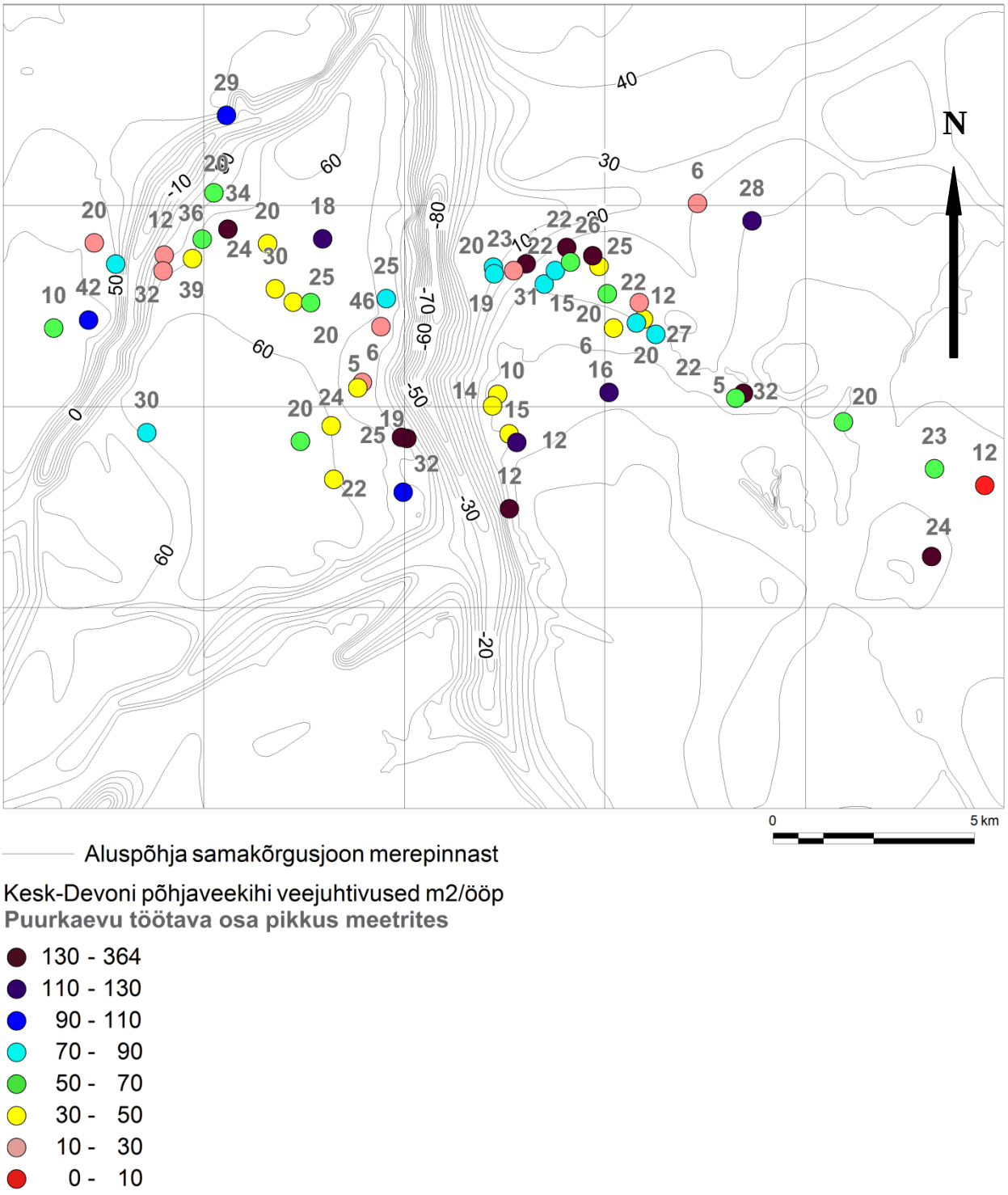
	Kesk-Devoni veekihi veejuhtivused (m^2/ööp)		
	$T=15,3*q^{0,67}$	$T=130*q$	$T=1,385*q$
Aritmeetiline keskmine	212,3	83,6	77,0
Maksimaalne väärtus	44,0	7,3	6,7
Minimaalne väärtus	605,0	364,0	335,1
Mediaan	190,8	65,0	59,8



*Joonis 8. Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivuste väärtuse (T=130*q) jagunemise histrogramm.*



*Joonis 9. Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivuste väärtused (T=130*q) versus puurkaevu sügavus aluspõhja releefi taustal.*



*Joonis 10. Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivuste väärtused (T=130*q) versus puurkaevu töötava osa pikkus aluspõhja releefi taustal.*

KOKKUVÕTE

Varasemate pinnakate kaardistamise tulemused said veelgi kinnitust antud uurimustöö põhjal. Tartu kaardilehe piires täpsemalt Haaslava ja Ülenurme valla piirkonnas on Kvaternaari-setete paksus väga varieeruv. Kui aluspõhjalisel platool on pudedate pinnakatte setete paksus keskmiselt 10-20 meetrit, siis mattunud ürgorgudes võib nende paksus küündib üle 100 meetri. Tuginedes puurkaevude geoloogilistele läbilõigetele, joonistusid välja kitsamad piirkonnad (Lemmasti ja Aardlapalu), kus pinnakatte paksus on kordades suurem, kui seda eelnevate kaardistamiste põhjal võiks oletada. Arvestades nende lokaalsete alade suhtelist lähedust varasemalt kontuuritud ürgorgudele võib arvata, et on tegemist põhiürgorgude väga kitsaste harudega, mis on täidetud pinnakatte setetega. Tulevaste puurkaevude projekteerimisel antud piirkonnas tuleks arvestada põhi ürgorgude läheduses võimaliku suure pinnakatte paksuse muutlikkusega, mis puurkaevu sügavust hinnates on oluline.

Töö raames arvutatud Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivus väärtuste ja aluspõhjaliste ürgorgude levikupildi analüüsil ei leitud otsest seost uuritavas piirkonnas. Lisaks võis eeldada, et põhjaveekihi veeläbilaskvusel on seos puurkaevude sügavuse ja töötava osa pikkusega. Nimelt pikemalt põhjaveekihti avavas puurkaevus peaks veejuhtivus suurem olema, paraku antud uurimus seost ei toeta. Kinnitust ei leidnud ka teooria, et aluspõhjalistes liivakivides sügavuse suurenedes veejuhtivus paraneks. Veejuhtivuste ja puurkaevude sügavuse vaheline korrelatsiooni koefitsent on 0,04. Veejuhtivuse väärtuste suur varieerumine viitab uuritavas piirkonnas Kesk-Devoni põhjaveekompleksi moodustavate kivimite kirjususele- vettandvad kivimid vahelduvad vähem vettandvatega. Seega ei saa selgelt piiritleda nii pindalaliselt kui ka kihistu läbilõikes veekihi veejuhtivuse väärtusi.

Käesoleva uurimustöö tähtsaim eesmärk oli puurkaevude andmete, mis pole saadud teadusliku geoloogilise välitöö raames, kasutamine üldgeoloogiliste teadmiste täpsustamiseks lokaalses piirkonnas. Kuigi puurkaevude rajamise peamine eesmärk on veevarustuse loomine majapidamistele ja ühisveevärkidele kindlas asukohas, siis nn. kõrvalproduktina saadakse oluline geoloogiline informatsioon (puurkaevu geoloogiline läbilõige) lokaalse piirkonna kohta. Mida rohkem on puuritud seda rohkem on algandmeid geoloogiliste üldistuste tegemiseks. Kui riiklik geoloogiline kaardistamine mõõtkavas 1:50000 katab ainult osaliselt Eestit (peamiselt Põhja-Eesti ja mõned piirkonnad Lõuna-Eestis) siis puurkaevude andmed võiksid anda olulise panuse selle suurendamiseks. Puurkaeve rajatakse nii täna kui ka edaspidi tulevikus, seega väärtuslikku geoloogilist informatsiooni tuleb aina juurde. Lisaks saadakse

need andmed teaduslikust aspektist lähtuvalt odavalt kätte, sest puurimiskulud maksab kaevu soovija kinni. Enamasti nõuab teadusliku uuringu tegemine suurt finantskulutust.

Tulevikku vaadates oleks mõistlik luua Maa-ametil, kes tegeleb Eesti geoloogilise kaardistamisega, veebikeskkond, kus praeguse Keskkonnaameti keskkonnaregistri andmebaasi puurkaevude ja puuraukude geoloogilised andmed oleks seotud kaardirakendusega, mis võimaldaks andmete visualiseerimist läbilõigetena teatud piirkonnas.

SUMMARY

Mapping thickness of Quaternary deposits and estimation of aquifer transmissivity of the Middle-Devonian aquifer system based on drilled wells data in the region of Haalava and Ülenurme

The purpose of this research is to map the thickness of Quaternary deposits and to estimate the aquifer transmissivity of the Middle-Devonian aquifer system by using the water wells' data in the region of Haaslava and Ülenurme. The analysis of geological cross-section of Quaternary deposits and hydrogeological parameters is based on 61 water wells drilled in this region during the last 10 years . These results of geological cross-sections from current study were compared with previously recorded geological mapping findings on order to make generalisations about thickness. Also the hydrogeological parameters gained during the well development process were used to evaluate Middle-Devonian aquifer system transmissivity. The assessment of aquifer transmissivity based on specific capacity data. The credibility of data used in current research is based on water well companies competency.

Firstly, the results clearly illustrated that thickness of Quaternary deposits varies considerably within the frames of geological map of Tartu region. The thickness of Quaternary deposits on the Devionian plateau usually in range of 10-20 metres. The thickness can reach to more than 100 metres in ancient valleys. The geology data of water wells suggest that in some areas (Lemmatsi and Aardlapalu) the thickness of Quaternary deposits can be much higher than its is described by previous studies. Therefore the design of water wells near the ancient valley in those particular areas must take into the consideration the change in large differences in thickness of Quaternary deposits in small areas.

Current study did not find any direct correlation between the values of Middle-Devonian aquifer transmissivity and the location of wells in regards of buried valleys. There was also no connection found between aquifer transmissivity and the depth of water well as well as the length of well screen. It was confirmed that large variation in aquifer transmissivity refers to diversity of the sedimentary rocks forming Middle-Devonian groundwater complex.

The main aim of current research was to improve the general geological information in particular regions by using the data gained during the water well drilling process. Water well drilling enables us to obtain valuable geological information about distinct area. In recent years popularity of building a water well has increased rapidly, therefore more information is available in the databases than before. Furthermore, due to higher demand of drilling wells for private sector clients, the cost of the valuable scientific information is cheaper than any other scientific research project, as there is no need for governmental support for geological practice. While a national geological map at the 1:50000 scale covers only some parts of Estonia (mainly North-Estonia and some regions in South-Estonia), water wells' data could contribute to improvement of geological knowledge outside the mapped areas.

TÄNUAVALDUSED

Autor soovib tänada oma juhendajaid Andres Marandit ja Maile Polikarpust, kes olid suureks abiks lõputöö valmimisel ja OÜ Keskkonnaeksperti usaldusväärsete puurkaevude andmete eest.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Arold, I., 2005. Eesti maastikud. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu Ülikooli geograafia instituut, 261-263 lk.

2. Batu, V., 1998. Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis, John Wiley & Sons, New York, 727 lk.

3. Fetter, C.W., 1994. Applied Hydrology Third Edition. Macmillan College, New York 256—257 lk.

4. Keskkonnaministri määrus nr. 37 2010. Nõuded puurkaevu ja puuraugu projekti ja konstruktsiooni ning likvideerimise ja rekonstrueerimise projekti kohta, puurkaevu ja puuraugu projekteerimise, rajamise, kasutusele võtmise, likvideerimise ja konserveerimise kord ning puurkaevu või puuraugu asukoha kooskõlastamise, rajamise ja kasutusele võtmise taotluste, puurimispäeviku, puurkaevu ja puuraugu andmete keskkonnaregistrisse kandmiseks esitamise ning puurkaevu ja puuraugu likvideerimise akti vormid RT I 2010, 54, 352.

5. Kleesment, A., Mark-Kurik E,. 1997. Middle-Devonian,. In: Raukas A. ja Teedumäe A. (eds.). Geology and Mineral Resources of Estonia. Estonian Academy Publisher, Tallinn, 112-121 lk.

6. Kleesment, A., Nestor H., Soesoo A., 2006. Devon Eestis. GEOGuide Baltoscandia Tallinn 32 lk

7. Maa-amet, 2013. Juhend Eesti geoloogiliseks digitaalkaardistamiseks mõõtkavas 1:50000. Tartu

8. Perens, R., Vallner, L,. 1997. Water-bearing formation. In: Raukas A. ja Teedumäe A. (eds.). Geology and Mineral Resources of Estonia. Estonian Academy Publisher, Tallinn, 138-140 lk.

9. Perens, R., 2005. Põhjaveekihtide, -komplekside, -ja kogumite iseloomustus. Rmt.: Perens R. Põhjavee seisund 1999-2003. aastal. Prisma Print, Tallinn, 7-16 lk.

10. Põldvere, A., Perens, R., Ariva, K., All, T. ja Rohtla, R., 2007. Baaskaardi Tartu (5441) kaardilehe seletuskiri, Eesti Geoloogiakeskus, Tartu.

11. Razack, M., Huntley, D., 1991. Assesing transmissivity from specific capacity in a large and heterogeneous alluvial aquifer. - Groundwater. Vol 29 (6) 856-861.

12. Rõõmusoks, A., 1983. Eesti aluspõhja geoloogia. Valgus, Tallin, 15 lk.

13. Maves, 2009. AS Viljandi Veevärk poolt Viljandi linnas kasutatavate põhjaveevarude ümberhindamine, Maves, Tallinn.

14. Savitskaja, L., 2007. Rapla linna põhjavee tarbevaru ümberhinnang. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

15. Šestakov, B., Kravtsenko, I., Pasakovski, I., 1975 Põhjavee dünaamika praktikum, Moskava Ülikooli Kirjastus, Moskva, 141-142 lk.

16. Theis, C. V., 1963 Estimating the transmissivity of water-table aquifer from the specific capacity of a well. U.S Geological Survey Water Supply Paper 1536-I 332-336 lk.

17. Veeseadus, 1994- Riigiteataja I, 1994, 40, 655.

18. Välkmann, S., Savva, V., Otsmaa, M., Boldõreva, N. ja Simm, D., 1992. Tartu põhjaveevaru hinnang. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, EGF 4606.

Veebiallikas

- Isakar, M., 2103. Vilgud [http://www.ut.ee/BGGM/miner/vilgud.html]08.05.2013

LISAD

Lisa 1. Ülenurme ja Haaslava tarbepuurkaevude andmed.

Jrk. nr.	Puurkaevu kat. nr.	Ristkoordinaat X	Ristkoordinaat Y	Suudme absoluutne kõrgus (m)	Puurkaevu sügavus (m)	Pinnakatte paksus (m)	Staatiline veetase (m)	Veetaseme alanemine (m)	Deebit (l/s)	Erideebit (l/s*m)	Puurkaevu töötava osa pikkus (m)	Puurkaevu töötava osa raadius (m)	Puurimis ettevõte
1	51985	6467610	657235	61,0	55,0	16,0	2,9	2,8	0,98	0,35	20	0,125	KK
2	51943	6469180	654965	60,0	84,0	17,0	3,9	2,1	1,00	0,48	24	0,125	KK
3	51916	6465615	658955	52,0	54,0	10,0	6,0	11,0	0,97	0,09	6	0,125	KK
4	50234	6464219	660065	41,0	53,0	10,0	1,0	1,0	1,00	1,00	22	0,125	KK
5	51123	6468776	654017	56,0	84,0	15,0	3,0	6,0	1,00	0,17	12	0,125	KK
6	24677	6469085	652270	60,0	80,0	14,0	3,4	3,2	0,69	0,22	20	0,125	KK
7	24676	6469061	656591	64,0	60,0	14,0	3,5	2,8	1,00	0,36	20	0,125	KK
8	24041	6467938	656788	61,9	70,0	18,0	4,0	3,5	0,97	0,28	30	0,125	KK
9	23713	6469429	655604	67,0	160,0	94,0	27,0	1,0	1,00	1,00	34	0,108	KK
10	22943	6466966	651261	77,0	40,0	10,0	15,0	2,0	0,83	0,42	10	0,125	KK
11	26130	6465478	658838	52,5	50,0	5,1	0,0	5,4	1,67	0,31	29,5	0,151	Muud
12	26104	6467600	657667	62,0	90,0	16,0	5,0	15,0	6,95	0,46	25	0,168	Muud
13	25816	6464145	657410	70,0	70,0	30,0	11,0	1,0	0,50	0,50	20	0,112	Muud
14	25412	6467695	659552	52,0	85,0	10,0	6,0	24,0	16,61	0,69	25	0,168	Muud
15	24296	6464244	659930	48,0	65,0	14,0	2,5	1,6	2,22	1,39	19	0,098	Muud
16	24017	6469182	657968	65,0	65,0	14,0	5,0	2,5	2,22	0,89	18	0,098	Muud
17	23267	6464529	658179	65,0	70,0	8,0	6,0	1,0	0,33	0,33	24	0,115	Muud
18	25573	6470332	655257	62,5	130,0	10,0	20,0	2,0	1,00	0,50	20	0,112	Muud
19	23394	6463199	658244	68,0	85,0	20,0	20,0	4,0	1,00	0,25	25	0,132	Muud
20	22263	6467160	652130	72,0	70,0	12,0	7,0	2,5	2,00	0,80	42	0,089	Muud
21	22179	6471707	655309	60,0	180,0	54,0	-	-	-	-	-	-	Muud
22	21732	6469825	655234	65,0	200,0	83,0	-	-	-	-	-	-	Muud
23	21381	6464360	653580	75,0	90,0	67,0	10,0	2,5	1,67	0,67	30	0,098	Muud

Jrk. nr.	Puurkaevu kat. nr.	Ristkoordinaat X	Ristkoordinaat Y	Suudme absoluutne kõrgus (m)	Puurkaevu sügavus (m)	Pinnakatte paksus (m)	Staatiline veetase (m)	Veetaseme alanemine (m)	Deebit (l/s)	Erideebit (l/s*m)	Puurkaevu töötava osa pikkus (m)	Puurkaevu töötava osa raadius (m)	Puurimis ettevõte
24	21250	6472255	655568	70,0	70,0	37,0	18,0	4,0	2,78	0,70	29	0,132	Muud
25	21082	6462881	659975	60,0	60,0	30,0	15,0	1,5	1,20	0,80	32	0,089	Muud
26	21000	6468690	654720	56,8	176,0	115,0	10,0	50,0	16,70	0,33	36	0,14	Muud
27	20067	6468386	653991	55,0	115,0	70,0	2,0	14,0	3,07	0,22	39	0,132	Muud
28	21223	6467000	659419	55,0	78,5	8,0	9,0	25,0	4,18	0,17	46	0,151	Muud
29	20942	6468560	652810	65,8	110,0	10,0	11,0	1,5	0,90	0,60	32	0,102	Muud
30	21046	6472273	655578	62,0	180,0	28,0	-	-	-	-	-	-	Muud
31	52076	6463462	673214	70,5	45,0	20,0	15,2	1,6	0,83	0,52	23	0,115	Muud
32	52290	6467181	665967	43,4	45,0	2,0	7,0	3,0	0,97	0,32	12	0,125	KK
33	52293	6465366	665105	66,0	51,0	1,0	12,0	1,0	0,97	0,97	16	0,125	KK
34	51843	6467597	665859	47,5	48,0	8,0	7,0	5,0	1,00	0,20	6	0,113	KK
35	51437	6462469	662619	57,0	50,0	4,0	7,5	0,5	0,97	1,94	12	0,125	KK
36	51312	6470066	667309	41,0	45,0	8,0	7,0	5,0	1,00	0,20	6	0,125	KK
37	50996	6465311	662326	66,0	55,0	10,5	19,6	3,6	1,00	0,27	10	0,112	Muud
38	50963	6467816	665063	45,0	56,0	6,0	2,1	2,1	1,00	0,48	27	0,151	Muud
39	50714	6465030	662203	55,0	50,0	2,0	9,7	3,9	0,97	0,25	12	0,125	KK
40	50321	6463050	674465	73,0	52,0	13,0	10,0	18,0	1,01	0,06	12	0,125	KK
41	26163	6468766	664697	30,0	60,0	7,0	4,0	0,2	0,56	2,80	25	0,115	Muud
42	25556	6468062	663489	40,0	65,0	10,0	3,0	1,5	0,90	0,60	15	0,112	Muud
43	25410	6465339	668454	47,5	60,0	5,4	1,2	2,2	3,61	1,64	18	0,114	Muud
44	24855	6464628	670943	56,0	50,0	26,0	10,0	2,0	0,96	0,48	20	0,125	KK
45	24668	6469631	668668	45,0	70,0	13,0	5,5	2,6	2,22	0,85	28	0,098	Muud
46	24308	6461275	673142	103,0	72,0	43,0	38,7	1,0	1,50	1,50	24	0,118	Muud
47	24019	6468501	664853	38,0	60,0	10,0	5,0	3,0	1,00	0,33	20	0,112	Muud
48	23782	6464333	662612	60,0	60,0	5,0	8,5	5,5	1,67	0,30	14	0,097	Muud
49	22699	6468971	664051	34,0	52,0	12,0	2,0	1,0	1,67	1,67	26	0,125	KK
50	22612	6468566	663043	35,0	140,0	23,0	5,0	1,5	2,78	1,85	31	0,145	Muud
51	22262	6467090	665790	48,3	60,0	5,0	7,0	1,5	1,00	0,67	22	0,089	Muud

Jrk. nr.	Puurkaevu kat. nr.	Ristkoordinaat X	Ristkoordinaat Y	Suudme absoluutne kõrgus (m)	Puurkaevu sügavus (m)	Pinnakatte paksus (m)	Staatiline veetase (m)	Veetaseme alanemine (m)	Deebit (l/s)	Erideebit (l/s*m)	Puurkaevu töötava osa pikkus (m)	Puurkaevu töötava osa raadius (m)	Puurimis ettevõte
52	22058	6468396	663768	40,5	70,0	8,0	4,5	1,5	1,00	0,67	22	0,132	Muud
53	22034	6468480	662220	32,0	70,0	20,0	0,5	1,5	1,00	0,67	20	0,112	Muud
54	21934	6466810	666270	50,0	60,0	6,0	9,0	1,5	1,00	0,67	22	0,089	Muud
55	21922	6468610	664140	40,0	40,0	7,0	5,0	1,0	0,50	0,50	22	0,089	Muud
56	21921	6468363	662114	32,0	85,0	85,0	-	-	-	-	-	-	Muud
57	21882	6468315	662240	33,5	60,0	26,0	11,5	1,5	0,90	0,60	23	0,112	Muud
58	21847	6466964	665215	50,0	70,0	10,0	10,0	4,0	1,00	0,25	20	0,146	Muud
59	21790	6464115	662802	60,0	60,0	9,0	13,5	2,5	2,22	0,89	15	0,098	Muud
60	21536	6468394	662727	36,0	70,0	33,0	1,5	20,0	1,66	0,08	19	0,098	Muud
61	20005	6465223	668263	45,5	65,0	35,0	7,0	7,5	3,60	0,48	32	0,14	Muud

Lisa 2. Puurkaevude hüdrogeoloogiliste parameetrite ja arvutatud kihi veejuhtivus väärtused

Jrk.nr.	Puurkaevu kat. nr. (Koordinaadid vt. Lisa 1)	Puurkaevu töötava osa pikkus (m)	Veetaseme alanemine (m)	Erideebit-q_2 (l/s*m)	Erideebit-q_1 (m^3/ööp*m)	Veekihi veejuhtivus (m^2/ööp) $T=15,3*q_1^{0,67}$	Veekihi veejuhtivus (m^2/ööp) $T=130*q_2$	Veekihi veejuhtivus (m^2/ööp) $T=1,385*q_2$
1	51985	20	2,8	0,35	30,2	150,2	45,5	41,9
2	51943	24	2,1	0,48	41,1	184,6	61,9	57,0
3	51916	6	11,0	0,09	7,6	59,6	11,4	10,6
4	50234	22	1,0	1,00	86,4	303,5	130,0	119,7
5	51123	12	6,0	0,17	14,4	91,4	21,7	19,9
6	24677	20	3,2	0,22	18,7	108,7	28,1	25,8
7	24676	20	2,8	0,36	30,9	152,3	46,4	42,7
8	24041	30	3,5	0,28	23,9	128,5	36,0	33,2
9	23713	34	1,0	1,00	86,4	303,5	130,0	119,7
10	22943	10	2,0	0,42	35,9	168,4	54,0	49,7
11	26130	29,5	5,4	0,31	26,7	138,2	40,2	37,0
12	26104	25	15,0	0,46	40,0	181,2	60,2	55,4
13	25816	20	1,0	0,50	43,2	190,8	65,0	59,8
14	25412	25	24,0	0,69	59,8	237,2	90,0	82,8
15	24296	19	1,6	1,39	119,9	378,1	180,4	166,1
16	24017	18	2,5	0,89	76,7	280,3	115,4	106,3
17	23267	24	1,0	0,33	28,5	144,4	42,9	39,5
18	25573	20	2,0	0,50	43,2	190,8	65,0	59,8
19	23394	25	4,0	0,25	21,6	119,9	32,5	29,9
20	22263	42	2,5	0,80	69,1	261,4	104,0	95,7
21	21381	30	2,5	0,67	57,7	231,6	86,8	79,9
22	21250	29	4,0	0,70	60,0	237,8	90,4	83,2
23	21082	32	1,5	0,80	69,1	261,4	104,0	95,7
24	21000	36	50,0	0,33	28,9	145,6	43,4	40,0
25	20067	39	14,0	0,22	18,9	109,7	28,5	26,2
26	21223	46	25,0	0,17	14,4	91,5	21,7	20,0
27	20942	32	1,5	0,60	51,8	215,5	78,0	71,8
28	52076	23	1,6	0,52	44,8	195,6	67,5	62,1
29	52290	12	3,0	0,32	27,9	142,3	42,0	38,7
30	52293	16	1,0	0,97	83,8	297,4	126,1	116,1
31	51843	6	5,0	0,20	17,3	103,2	26,0	23,9
32	51437	12	0,5	1,94	167,6	473,1	252,2	232,1
33	51312	6	5,0	0,20	17,3	103,2	26,0	23,9
34	50996	10	3,6	0,27	24,0	128,7	35,1	33,2
35	50963	27	2,1	0,48	41,1	184,6	61,9	57,0
36	50714	12	3,9	0,25	21,5	119,6	32,4	29,8
37	50321	12	18,0	0,06	4,8	44,0	7,3	6,7
38	26163	25	0,2	2,80	241,9	605,0	364,0	335,1
39	25556	15	1,5	0,60	51,8	215,5	78,0	71,8

Jrk.nr.	Puurkaevu kat. nr. (Koordinaadid vt. Lisa 1)	Puurkaevu töötava osa pikkus (m)	Veetaseme alanemine (m)	Erideebit-q_2 (l/s*m)	Erideebit-q_1 (m^3/ööp*m)	Veekihi veejuhtivus (m^2/ööp) $T=15,3*q_1^{0,67}$	Veekihi veejuhtivus (m^2/ööp) $T=130*q_2$	Veekihi veejuhtivus (m^2/ööp) $T=1,385*q_2$
40	25410	18	2,2	1,64	141,8	422,9	213,3	196,4
41	24855	20	2,0	0,48	41,5	185,6	62,4	57,4
42	24668	28	2,6	0,85	73,8	273,0	111,0	102,2
43	24308	24	1,0	1,50	129,6	398,2	195,0	179,5
44	24019	20	3,0	0,33	28,8	145,4	43,3	39,9
45	23782	14	5,5	0,30	26,3	136,7	39,5	36,4
46	22699	26	1,0	1,67	144,1	427,6	216,8	199,6
47	22612	31	1,5	1,85	160,1	458,8	240,9	221,7
48	22262	22	1,5	0,67	57,6	231,4	86,7	79,8
49	22058	22	1,5	0,67	57,6	231,4	86,7	79,8
50	22034	20	1,5	0,67	57,6	231,4	86,7	79,8
51	21934	22	1,5	0,67	57,6	231,4	86,7	79,8
52	21922	22	1,0	0,50	43,2	190,8	65,0	59,8
53	21882	23	1,5	0,60	51,8	215,5	78,0	71,8
54	21847	20	4,0	0,25	21,6	119,9	32,5	29,9
55	21790	15	2,5	0,89	76,7	280,3	115,4	106,3
56	21536	19	20,0	0,08	7,2	57,3	10,8	9,9
57	20005	32	7,5	0,48	41,5	185,6	62,4	57,4

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Sven Marga (sündinud: 01.04.1989), annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose: "Pinnakatte paksuse kaardistamine ja Kesk-Devoni põhjaveekihi veejuhtivuse määramine Haaslava ja Ülenurme piirkonnas lähtuvalt tarbepuukaevude andmetest", mille juhendajad on Andres Marandi ja Maile Polikarpus,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace´i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 27.05.2014