

Tartu Ülikool  
Geoloogia osakond

# SOOJUSPUURAUKUDE MÕJU KESKKONNALE

Aruanne

Argo Jõelet

Tartu 2007

## Sisukord

1. Sissejuhatus .....	2
2. Taust .....	3
2.1. Soojuspuuraukud ja teised energia ammutamise/salvestamise lahendused .....	3
2.2. Geotermaalse energia kasutamise regulatsioon Euroopas.....	8
2.3. Eesti geotermilised tingimused .....	11
3. Uuringud Eesti soojuspuurkaevudes .....	15
3.1. Metoodika.....	15
3.2. Avatud süsteemiga soojuspuurkaevud .....	17
3.3. Suletud süsteemiga soojuspuuraukud.....	24
3.4. Uuritud soojuspuuraukude vastavus seadusandlusele ja mõju keskkonnale.....	30
4. Soovitused seadusandluse muutmiseks .....	33
5. Kokkuvõte .....	35
6. Tänuõnad .....	36
7. Abstract .....	37
8. Kasutatud kirjandus .....	38

Lisa 1. Uuritud puuraukude nimekiri.

## 1. Sissejuhatus

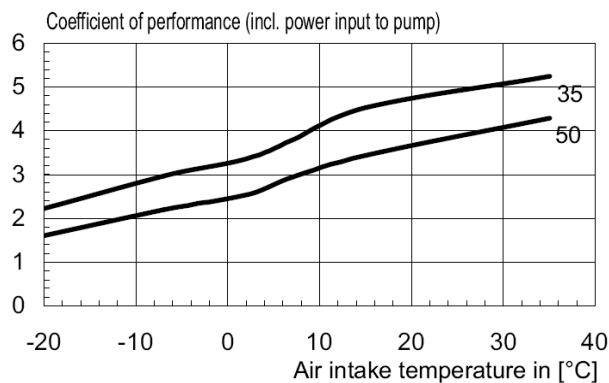
Soojuspumbad esindavad arenevat tehnoloogia valdkonda, mida üldiselt peetakse keskkonnasõbralikuks. Kasutades ära rõhu muutustega kaasnevat aurustumist ja kondenseerumist on võimalik energiat külmemast keskkonnast üle kanda soojemale keskkonnale. Samuti on võimalik ka vastupidine viis. Kuna soodsatel tingimustel kulutatakse soojuspumba töötamiseks vähem energiat, kui soojuspump üle kanda suudab, siis on soojuspumbad võitnud majanduslikult põhjendatud populaarsust nii kütmisel kui ka jahutamisel. Tuleb vaid leida sobilik allikas, kust soojust ammutada või kuhu seda salvestada. Arvestades Eesti kliimatilisi tingimusi on peamiseks vajaduseks soojuse ammutamine ning kõige stabiilsemateks energia allikateks tuleb lugeda kivimeid ja (põhja)vett. Samas on põhjavesi peamine joogivee allikas Eestis ja tema kvaliteedi säilitamine on esmatähtis. Soojuspuuraukude poolt keskkonnale põhjustatavate mõjude uurimisel lähtuti vajadusest selgitada välja erinevad tegurid, mis võivad viia põhjavee reostamiseni ja vee hulga või kvaliteedi halvenemiseni.

Lisaks konkreetselt Eesti soojuspuurauke puudutavatele peatükkidele on käesolevas aruandes peatükke, kus vaadeldakse maasoojuse teemat laiemalt, aitamaks mõista Eesti praegust situatsiooni ja üldisemaid selle valdkonna suundumusi Euroopas.

## 2. Taust

### 2.1. Soojuspuuraukud ja teised energia ammutamise/salvestamise lahendused

Soojuspump on kütteseade, millega kantakse energiat jahedamalt väliskeskkonnalt küttesüsteemile. Soojuspumpade tehnoloogia on endiselt suure arengu staadiumis ja nende efektiivsus muudkui kasvab, kuid nende kasutegur jääb alati sõltuma väliskeskkonna temperatuurist. Joonisel 2.1 on toodud ühe tüüpilise õhk-vesi tüüpi soojuspumba soojendusteguri (väljundenergia ja sisendenergia suhe, ingl. k. coefficient of performance – COP) sõltuvus õhutemperatuurist, vesi-vesi tüüpi soojuspumpade soojendusteguri sõltuvus sisendvee temperatuurist on sarnane. On ilmne, et kui väljas on õhutemperatuur  $-20^{\circ}\text{C}$ , siis langeb õhust energiat ammutava soojuspumba efektiivsus oluliselt võrrelduna vesi-vesi tüüpi soojuspumpadega, mis ammutavad soojust maa seest, kus temperatuur püsib vahemikus  $-3^{\circ}\text{C}$  kuni  $+5^{\circ}\text{C}$ . Maa seest soojuse ammutamisel on kõige efektiivsemad avatud süsteemiga soojuspuuraukud, järgnevad vertikaalse kontuuriga ja neile omakorda horisontaalse kontuuriga maasoojussüsteemid.



Joonis 2.1. Firma Dimplex õhk-vesi tüüpi soojuspumba mudeli L116ASR soojendusteguri (COP) sõltuvus välisõhu temperatuurist küttevee temperatuuride  $35^{\circ}\text{C}$  ja  $50^{\circ}\text{C}$  korral ("Heat Pumps" project planning manual, 2006).

Maa seest soojuse ammutamisel on mitmeid tehnilisi lahendusi. Käesolevas aruandes käsitletakse soojuse puuraukudest ammutamist kasutades suletud või avatud süsteeme. Suletud süsteemi korral asetseb puuraugus U-kujuline torustik, milles ringleb madala külmumistemperatuuriga vedelik (sageli kasutatakse piirituse või propüleenglükooli vesilahust). Madal külmumistemperatuur võimaldab alandada ringleva vedeliku temperatuuri alla  $0^{\circ}\text{C}$  ning suurendada horisontaalsuunalist soojusvoogu puuraugu suunas.

Üheks tehniliseks probleemiks suletud süsteemiga puuraukude juures on soojuse ülekandumine maa-aineselt puuraugus olevale torustikule. Ülekantava soojuse hulk sõltub

torustiku välispindalast ning et suurendada kontuuri efektiivset raadiust paigutatakse Lääne-Euroopas puuraukudesse üha enam kahest U-torust koosnevaid süsteeme. Teine aspekt soojuse ülekandumise juures on seotud puurauku täitva materjaliga. Õhuga täidetud osas praktiliselt soojuse kandumist torustikule ei toimu, sest õhu soojusjuhtivus ja –mahtuvus on väga madalad. Vee soojusjuhtivus ehk võime konduktiivselt soojust üle kanda on madalam kui puuraukude täitmiseks kasutataval kivimaterjalil (vastavalt u. 0,6 W/m/K ja 1–2 W/m/K), kuid vesi saab puuraugus vabalt ringelda ja soojust üle kanda konvektiivselt, mis on oluliselt efektiivsem soojuskande viis. Ühtlasi suurendatakse torustiku efektiivset raadiust puuraugu enda raadiuseni. Skandinaavias jäetakse sageli puuraugud kivimaterjaliga täitmata, sest 1) põhjavesi on tihti maapinna lähedal, 2) suurema veehulgaga kaasneb suurem hulk sulamissoojust, mis aitab külmumisel temperatuuril püsida 0°C juures kauemat aega ning 3) jää soojusjuhtivus (u. 2 W/m/K) on vähemalt sama suur või suurem kui tüüpilisel puuraugu täitel. Skandinaavia tava ei ole geoloogilistest erinevustest tulenevalt Eestis üheselt rakendatav. Erinevalt Põhjamaadest on Eesti aluspõhjas erineva survega veekihiid ning puuraugu manteldamata jätmisel hakkab vesi piki puurauku voolama ning võib viia vee hulga ja kvaliteedi muutusteni ühes või teises veekihis. Manteldatud puuraukudes on vee tase sageli seotud sügavama veekihi tasemega, mis võib tihti olla kümneid meetreid allpool maapinda, mis omakorda tähendab, et arvestatav osa puuraugust energeetilises mõttes ei tööta.

Puuraukude täitmiseks sobilike materjalide väljatöötamisega tegeletakse maailmas, pidades silmas, et täitematerjalil oleks võimalikult suur soojusjuhtivus ning suur vastupidavus korduvale külmumisele. Sageli kasutatakse puuraukude täitmisel bentoniitsavi ja betooni segusid, mis säilitavad elastsuse ja veepidavuse ka pärast korduvaid külmumisi.

Saksamaa Inseneride Assotsiatsioon (Verein Deutscher Ingenieure) on välja töötanud standardi VDI 4640, millega määratletakse tehnilised nõuded soojuspuuraukudele. Muu hulgas on toodud ka keskmised soojushulgad puuraugu jooksva meetri kohta, mida saab kasutada soojuspuuraukude dimensioneerimiseks (Tabel 1). Arvestades Eesti aluspõhjas esinevaid kivimeid ja nende soojusjuhtivusi (vt. peatükk 2.3), siis on ka meil sobilik lähtuda keskmisest veega küllastunud kivimi soojusandvusest 50 W/m. VDI 4640 soovitab ka, et kui soojuspuuraukude sügavus on kuni 50 m, siis peaks puuraukude vahekaugus olema vähemalt 5 m ja kuni 100 m sügavuste puuraukude korral vähemalt 6 m. Eestis tuleks kaaluda veelgi suuremat vahekaugust, kuna meie kütteperiood on pikem.

Tabel 1. Soojuspuuraukudest topelt U torustikuga saadav soojushulk ühe meetri kohta vastavalt Saksamaa standardile VDI 4640.

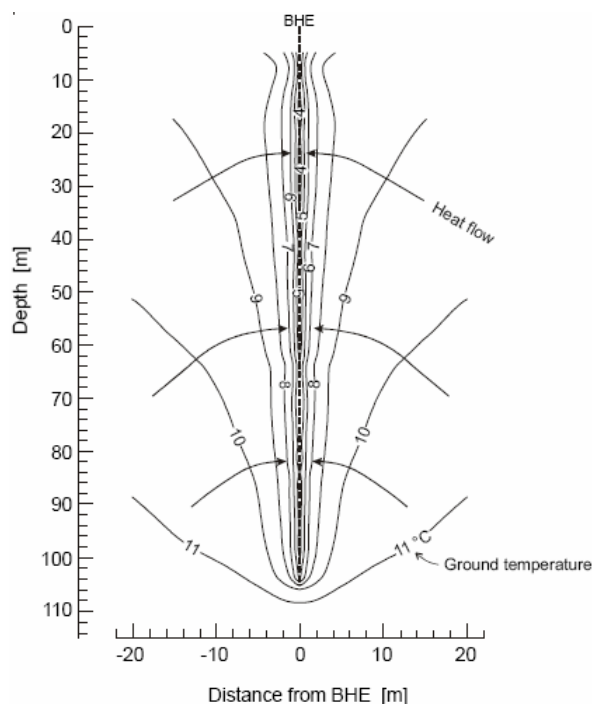
**Soovituslikud keskmised**

kuiv setend (soojusjuhtivus $\lambda < 1,5$ W/m/K)	20 W/m
tavaline veeküllastunud kivim ( $1,5$ W/m/K $< \lambda < 3,0$ W/m/K)	50 W/m
Kõrge soojusjuhtivusega kivim ( $\lambda > 3,0$ W/m/K)	70 W/m

**Kivimtüübiti**

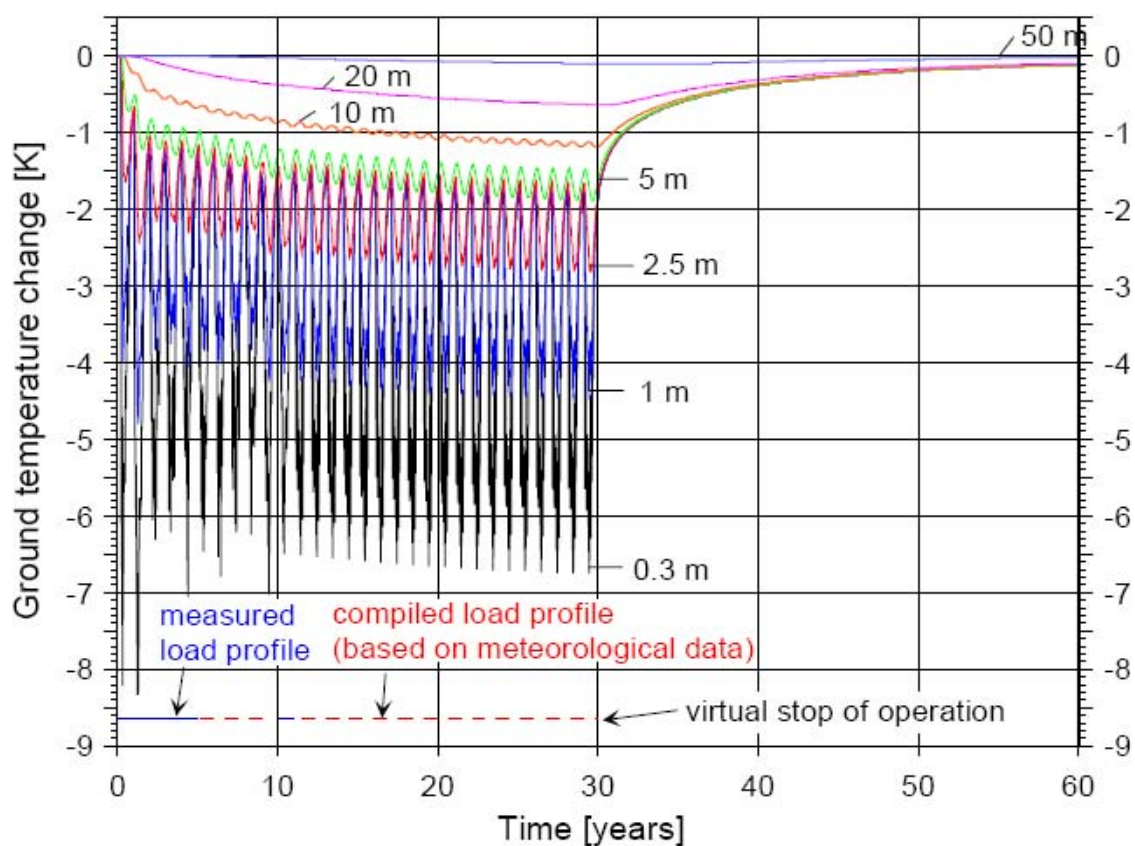
kuiv kruus ja liiv	<20 W/m
veega küllastunud kruus ja liiv	55—65 W/m
lubjakivi	45—60 W/m
liivakivi	55—65 W/m

Soojuspuuraukude puhul tekib küsimus nende soojuslikust mõjuraadiusest, pikaajalisest jätkusuutlikkusest ja soojusvälja taastumisest. Seda on uuritud nii numbriliste mudelitega kui ka mõõtmistega. Ühe väga hästi kontrollitud näitena võib tuua Šveitsis oleva Elgg'i, kus 1986. aastal rajati 105 m sügavusele suletud kontuuriga soojuspuuraukule lisaks veel kaks monitooringu puurauku 0,5 ja 1 m kaugusele (Eugster and Rybach, 2000; Rybach and Eugster, 2002). Mõõtmised ja kaasnenud simulatsioonid näitavad, et kütmise kõrghooajal võib temperatuuri langus vertikaalse kontuuri vahetus läheduses ulatuda mitme kraadini, kuid selline jahtumine toimub vaid 1—2 meetri raadiuses puuraukust (Joonis 2.2).



Joonis 2.2. Arvutuslikud temperatuurid Šveitsis Elggi soojuspuuraugu (BHE) ümbruses 1997. aasta talvel kütmise kõrghetkel Rybach ja Eugster (2002) järgi. Häirimatu temperatuur puuraugu üla- ja allaosas on vastavalt 9°C ja 12°C.

Pikaajaline monitoring Elggi soojuspuuraugus näitab, et 1 m kaugusel langes esimese paari aasta jooksul temperatuur 1—2 kraadi võrra, kuid edaspidine temperatuuri langus on olnud oluliselt väiksem. See näitab, et soojusväli saavutab puuraugu ümbruses tasakaalulisele lähedase oleku, kus puuraugust võetavat soojushulka kompenseerib radiaalselt puuraugu suunas kanduv soojushulk. Pikaajaline prognoosmudel näitab, et ka kavandatud 30 aastase ekspluatatsiooniperioodi lõpus on 10 meetri kaugusel temperatuuri langus ligikaudu 1 kraad (Eugster and Rybach, 2000) (Joonis 2.3).



Joonis 2.3. Arvutuslikud temperatuuri muutused erineval kaugusel Elggi soojuspuuraugust 30 aastase ekspluatatsiooni perioodi ja sellele järgneva taastumisperioodi jooksul Rybach ja Eugster (2002) järgi. Temperatuuri hälve on arvatud ekspluatatsioonile eelnevalt mõõdetud temperatuuri suhtes.

Nii Eestis kui ka mujal Euroopas on laialt kasutusel maapinnalähedase soojuse ammutamine pinnasekollektoritega. Levinuim lahendus on horisontaalne kontuur, mis paigaldatakse pinnasesse ligikaudu 0,9—1,2 m sügavusele, Põhja-Euroopas kuni 1,5 m sügavusele. Rusikareegli kohaselt on torude vaheline kaugus võrdne paigaldamissügavusega. Võrreldes puurauku vertikaalselt paigaldatuga on vaja pikemat kontuuri, sest tavaliselt saadakse soojust ainult 10—35 W/m<sup>2</sup> pinnasest sõltuvalt. Väiksem soojushulk torustiku jooksva meetri kohta

tuleneb pudedate ja sageli veega küllastumata setete madalamast soojusjuhtivusest, üldisest maapinna lähedaste kihtide jahtumisest talvisel perioodil ning kontuuri pindalalisest geometriast (puuraugus toimub soojuskanne radiaalselt puuraugu suunas). Maapinna lähedusel on ka positiivne pool, sest suvel toimub ammutatud soojuse peaaegu täielik taastumine. Kitsaskohaks horisontaalse kontuuri paigaldamisel on vajadus piisavalt suure pindala järele, mida linnakruntidel ei pruugi olla. Pindala probleemi lahendamiseks on võetud kasutusele mitmesuguse konfiguratsiooniga kontuure, näiteks „kammi“ või tüvikoonuse kujulisi. Nendega võetakse piiratud ruumalast täielikumalt soojus ära, kuid neid ümbritseva soojusvälja taastumine nii suvisel perioodil kui ka pikaajaliselt on veel ebaselge.

Üha enam saavutab populaarsust suletud kontuuri paigaldamine puuritud vaivundamentidesse. Kontuur kinnitatakse betooni sisse paigaldatava raudsõrestiku külge. Suurimaks sellist tüüpi soojusvaiadega objektiks on värskest valminud Zürichi lennujaam, kus umbes 30 m sügavusele ulatuvatest vaiadest 300 sisse on paigaldatud kontuurid (Pahud and Hubbuch, 2007). Süsteemi kasutatakse nii kütmiseks kui ka jahutamiseks ning on juba tõestanud oma efektiivsust.

Soojusvaiad on oma olemuselt analoogilised tamponitud soojuspuuraukudele, sest nad puuritakse ja hiljem täidetakse vett mittejuhtiva materjaliga. Vaiade rajamist reguleerib Eestis ehitusseadus, mis käsitleb puurimist oluliselt leebemalt ja puurimisloa saamine on palju lihtsam. Esineb juhtumeid, kus rajatavate vaiade sügavus on mitukümmend meetrit ehk sarnane madalamate soojuspuuraukude sügavusele. Põhimõtteline vastuolo Eesti tingimustes seisneb selles, et soojuspuurauke käsitletakse puurkaevudena, mille rajamiseks nõutakse tavapraktikas 10 m hooldusala (kaugus ehitistest ja krundi piirist) olemasolu, samas kui soojusvaiad asuvad vahetult ehitise all.

Avatud süsteemiga soojuspuurauke kasutatakse nii madalate kui ka sügavate soojusressursside tarbimisel alates eramute kütmisest kuni elektri tootmiseni. Valdavalt juhitakse välja pumbatud vesi teise puuraugu kaudu maa sisse tagasi, kuigi paljudes maades ei ole see nõutud. Madalate süsteemide puhul peetakse silmas pigem põhjavee varude säilitamist. Sügavate süsteemide puhul lisandub probleem soolase veega, mis pinnaveekogudesse juhtides võib põhjustada ökoloogilisi muutusi.



## ***2.2. Geotermaalse energia kasutamise regulatsioon Euroopas***

Geotermaalse energia kasutamine on riigiti erineval tasemel ja ka kasutamist reguleerivad seadused on küllaltki erinevad. Seadusandluse kujunemise peamisi suunajaid varasemal perioodil on olnud kõrgetemperatuuriliste ressursside olemasolu riigis. Väikses sügavuses olevate madalatemperatuuriliste ressursside kasutamine varieerub riigiti. Nende ressursside kasutamise regulatsiooniga tegeletakse, kuid Euroopas puudub seni ühtne lähenemine. Järgnev ülevaade põhineb peamiselt EGEC (European Geothermal Energy Council; [www.egec.org](http://www.egec.org)) uuringutel ja kokkuvõtetul.

Geotermaalset energiat loetakse roheliseks energiaks, mis on tingimuslikult taastuv. Enamasti on geotermaalse energia kasutamine reguleeritud mitmete seadustega (kaevandamis-, energia-, keskkonnakaitse- ja veeseadus). Tavaliselt on kaevandamisseaduses sätestatud, et geotermaalne energia kuulub riigile, kuid maaomanikud võivad väikses sügavuses olevat ressursi vabalt kasutada. Samas reguleeritakse termaalse vee kasutamist reeglina veeseaduses.

Kasutatakse termineid kõrge ja madala entalpiaga geotermaalsed varud ning „sügav“ ja „madal“ geotermaalne energia. Selline liigitus ei ole kattuv. Näiteks Prantsusmaal loetakse kõrge entalpiaga varudeks termaalset vett, mille temperatuur pumpamistesti ajal maapinnal mõõdetuna on vähemalt 150°C, mõningates riikides on piir veelgi kõrgem. Sügavat geotermaalset energiat kasutatakse piirkondliku kaugkütte ja elektri tootmise eesmärkidel ning veetemperatuur ei pruugi olla üle 150°C. Sügavaks ja madalaks energiaks jaotamine on paljuski tinglik, kuigi tegelikkuses jaotumine siiski esineb ja on pigem seotud tarbimise lahendustega. Üksik objektide ja väiksemate piirkondade kütteks kasutatakse soojuspumpasid ja pigem kuni 250 m sügavusi puurauke, mida sõltuvalt vajatavast energia hulgast võib olla kümneid (Eugster and Sanner, 2007). Sügavam energia (tavaliselt >1000 m) võib sobida otsekütteks ilma soojuspumpasid kasutamata.

Rootsi on maailmas juhtival kohal elanike arvu kohta paigaldatud soojuspumpade arvu poolest (Clauser, 2006). Selle edu põhjuseks loetakse üldiselt liberaalseid seaduseid („Technical assistance ..“, 2007), kuigi loomulikult on vee- ja keskkonnakaitse seadused

olemas. Kõigi soojuspumpade paigaldamiseks tuleb taotleda luba. Veekaitsealadel võidakse puuraukudele esitada erinõudeid. Puuraukude täitmist ei nõuta. Rootsi Geoloogiateenistus (SGU) on koostöös Rootsi Soojuspumba Assotsiatsiooniga (SVEP) välja töötanud nõuded soojuspuuraukude puurimisel (Normbrunn 97). See dokument sisaldab mõningaid nõudeid puuraukudele, nagu näiteks, et terasest manteloru peab ulatuma vähemalt 2 m pinnakattest sügavamale (vähemalt 6 m maapinnast) ja peab olema väljast poolt tsementeeritud, et vältida pinnareostuse kandumist põhjavette. Puurauke soovitatakse rajada vähemalt 4 m kaugusel hoonetest.

Üldiselt soovitatakse Rootsis, et puurauk peaks olema vähemalt 10 m krundi piirist, et ta välistada mõju naabri soojuspuuraukule. Juhul, kui see tiheasustus alal ei ole võimalik, siis võidakse nõuda sügavama puurauku puurimist, et vähendada võetava energia hulka puurauku jooksva meetri kohta ja sel moel kahandada soojuspuurauku mõjuraadiust.

Rootsi seadused ei tohiks olla otseseks eeskujuks Eestile geoloogilise ehituse erinevuste tõttu. Eesti kihilises settekattes on erineva survega veekihid, mille ühendamisel manteldamata puuraukuga hakkab vesi voolama.

Saksamaa on riik, kus kasutatakse nii madalat kui ka sügavat geotermaalset energiat ning kus on suhteliselt läbitöötatud seadusandlus. Geotermaalse energia kasutamine on reguleeritud kaevandamis- ja veeseadusega. Energia ammutamisel madalamate kui 100 m sügavuste puuraukudega on vaja kooskõlastust ainult veevaldkonna ametnikega, sügavamate puuraukude korral võidakse nõuda ka kooskõlastust kaevandamisvaldkonna ametnikega. Kaevandamiseseaduse kohaselt tuleb kõige pealt taotleda luba ressursi uurimiseks (luba antakse kuni 3 aastaks) ja alles pärast varu tõestamist väljastatakse kasutamise luba. Praktikas välditakse keerukat asjaajamist ning puuritakse sageli 99–100 meetriseid puurauke. Soojuspuuraukude rajamise nõuded on kehtestatud standardiga VDI 4640.

Prantsusmaa seadustes on mitmeid sarnaseid jooni Saksamaaga. Ka Prantsusmaal tuleb kaevandamiseseaduse kohaselt enne puurimist taotleda uuringuluba ning hiljem taotleda luba ressursi kasutamiseks. Niisamuti tehakse kaevandamiseseaduses erand madalatele geotermaalsetele rakendustele (puuraukud <100 m, tarbitav soojushulk <200 Thermie tunnis). Madala geotermaalse energia kasutamisel kehtivad keskkonna ja vee seadused.

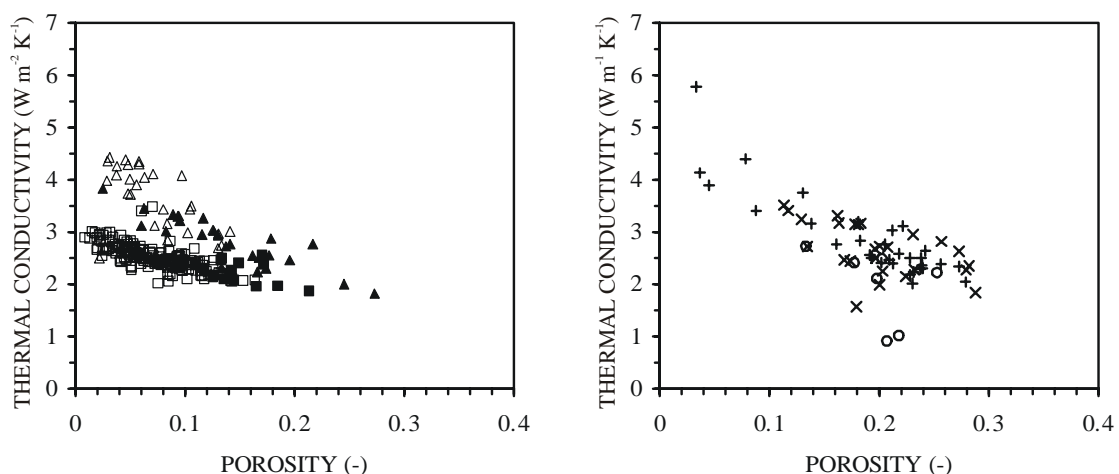
Juhul kui väljapumbatavat termaalset vett soovitakse lasta pinnaveekogusse, siis on vaja prefektoraadi luba, tagasijuhtimisel samasse veekihti luba vaja ei ole.

Iirimaal ja Hollandis kehtib samuti lihtsustatud kord madalatele soojuspuuraukudele ning madalateks loetakse kuni 200 m sügavusi puurauke. Samas on Taanis soojuspuuraukude rajamine põhjavee kaitse põhjusel keelatud.

### 2.3. Eesti geotermilised tingimused

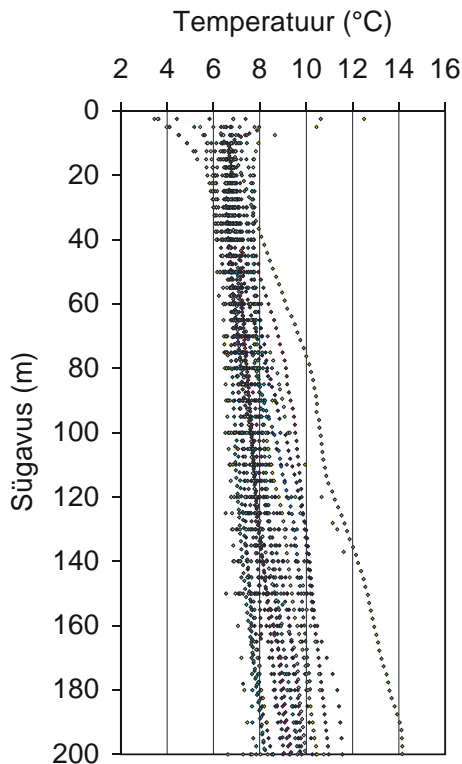
Soojuspuuraukude põhjustatud soojuslike häirete mõistmiseks on vaja tunda ka loodusliku soojusvälja. Temperatuurid maa sees sõltuvad peamiselt kahest parameetrist: maapinna temperatuurist ja maasisese soojusvoo tihedusest. Maapinna temperatuurina tuleb mõista aasta keskmist pinnase temperatuuri, mis Eestis jääb peamiselt vahemikku 6—8°C. Maapinna temperatuur on reeglina üks-kaks kraadi kõrgem kui aasta keskmine õhutemperatuur samas kohas. Maapinna temperatuuri mõjutab mõningal määral ka lokaalne mikrokliima. Näiteks metsas võib temperatuur olla kuni kraadi võrra madalam kui põllul või asfalteeritud platsil.

Teine parameeter, soojusvoo tihedus, väljendab seda, kui palju voogab soojust läbi ühikulise pindala ajaühikus ning seda määratakse temperatuuri gradiendi ja kivimite soojusjuhtivuse korrutisena. Soojusvoo tihedus muutub sügavuti, kuid sadadesse meetritesse jäävate puuraukude puhul võib soojusvoo tiheduse lugeda konstantseks. Samas kivimite soojusjuhtivus võib varieeruda isegi mitu korda olles savikamates ja poorsemates setendites madalam ning kvartsi- ja dolomiidirikastes mittepoorsetes kivimites kõrgem. Enamiku Eesti sette kivimite soojusjuhtivus veega küllastunud olekus jääb vahemikku 2—3 W/m/K, savikivimites 1—1,5 W/m/K (Joonis 2.4).



Joonis 2.4. Eesti karbonaatkivimite (vasakul) ja terrigeensete kivimite (paremal) soojusjuhtivus (Jõelett and Kukkonen, 2002). Soojusjuhtivus sõltub peamiselt mineraloogilisest koostisest ja poorsusest. Tingimärgid:  $\Delta$  – lubjakivi;  $\square$  – dolomiit;  $\circ$  – liivakivi;  $\times$  – aleuroliid;  $\bullet$  – savikivim.

Kivimilise koostise muutused sügavuti tingivad ka temperatuuri gradiendi muutusi, et nende kahe parameetri korrutis (soojusvoo tihedus) oleks konstantne. Tüüpiliselt on temperatuuri kasv sügavuti Eestis nii liivakivides kui ka karbonaatkivimites 12—16 K/km, madala soojusjuhtivusega Lontova sinisavis 30—50 K/km (Joonis 2.5).

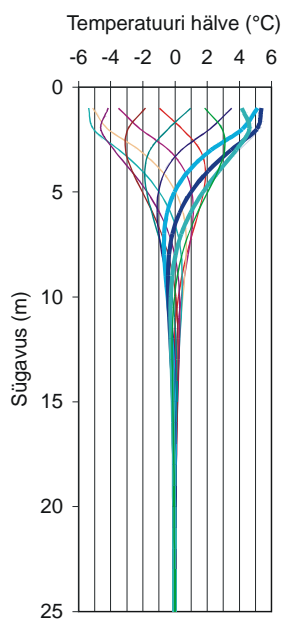


Joonis 2.5. Mõõdetud temperatuurid umbes 50 puuraugus üle Eesti.

Maasisene soojusväli püüdleb tasakaalu poole. Tasakaaluliseks võib lugeda olekut, kus sügavamalt tulevale soojusvoole lisandub ainult kivimites esinevate radioaktiivsete elementide lagunemisel eralduv soojus. Sisuliselt tähendaks see vertikaalsuunas konstantset soojusvoogu, kuna radioaktiivne soojustootlikkus on väike. Eestis võib sageli täheldada, et soojusvoo tihedus muutub sügavuti oluliselt. Kaks peamist põhjust, miks esineb soojusvoo tiheduse häireid, on kliimaatilised muutused ja põhjavee voolamine (Jõelet, 1998).

Kliima muutustega kaasnevad maapinnatemperatuuri muutused, mis kanduvad aja jooksul sügavamale. Enamasti kandub soojus edasi konkreetsest, mis on suhteliselt vähe efektiivne soojuskande liik, ja seetõttu on kogu protsess aeganõudev. Maapinna temperatuuri muutuseid on nii perioodilist kui ka juhuslikku laadi. Perioodiliste muutuste (päevased ja aastased) poolt põhjustatud „sooja- ja külmalained“ liiguvad üha sügavamale kaotades oma amplituudi, kuna soojuse ülejääk/puudujääk hajub üle üha suureneva sügavusvahemiku. Need „lained“ jõuavad üksteisele järele hakates kompenseerima teineteise mõju ja juba

suhteliselt väikestel sügavustel kaovad temperatuuri anomaaliad. Joonisel 2.6 on toodud arvutuslikud temperatuuriprofiilid eeldades  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  (tüüpiline temperatuuri käik Eestis) amplituudiga aastaseid muutusi. Juba 10-15 meetri sügavusel on 10-kraadine signaal kahanenud vaevu mõõdetavaks. Temperatuurikõveral on paremal juhul ära tuntavad 1-1,5 aasta mõju (nt. suvi-talv-eelmise suvi), kuid varasemad aastad ei paista reeglina välja. Välimõõtmistel on harva näha aastaste tsüklite mõju, kuna tihtipeale on puuraukude maapinnalähedane osa ilma veeta.



Joonis 2.6. Arvutuslikud temperatuurid eeldades tüüpilist aastast maapinnatemperatuuri käiku ( $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ). Kuna konkutiivne soojuskanne on aeganõudev, siis on sūdatalveks eelmise suve mõju jõudnud 6–8 meetri sügavusele.

Seega tuleb tõdeda, et hoolimata suurest amplituudist, kompenseerivad aastased tsüklid suures osas iseennast. Sügavamad mõju omavad hoopis pikaajalised trendid. Kuna temperatuuri kasv sügavuti on küllaltki väike, siis avaldavad oma mõju juba suhteliselt väikesed maapinnatemperatuuri muutused. Näiteks puuraukudes ülemisel 100–150 meetril jälgitava madala temperatuuri gradiendi peamiseks põhjuseks on Väikse Jääajana tuntud külma perioodi lõppedes viimasel kahel sajandil toimunud kliima soojenemine, millele lisandub ka tänapäevane temperatuuri tõus. Summaarne soojenemine maksimaalselt 1–2 kraadi on võrreldavas suurusjärgus temperatuuri kasvuga ülemisel 100 meetril. Sarnaselt globaalsete kliima muutustega omavad rolli ka maakasutuse muutustest (näiteks mets põlluks) tulenevad maapinnatemperatuuri muutused.

Teine suurem soojusvoo häirete põhjustaja on voolav põhjavesi. Soojus kandub edasi konvektiivselt ehk koos liikuva ainesega. Kuna vee voolamine toimub kivimis sees, kus

soojustasakaalu saavutamine käib väikestel vahemaadel (milli- kuni detsimeetrid) suhteliselt ruttu, siis ei erine kivimi ja vee temperatuur teineteisest märkimisväärselt.

Konvektiivse soojuskande efektiivsus sõltub vee vooluhulgast (Darcy kiirus), mis omakorda sõltub kivimite veeläbilaskvusest ja rõhu erinevusest. Temperatuuri või soolsuse poolt tingitud vee tiheduse erinevused ei ole looduslikult piisavad, et põhjustada põhjavee vaba konveksiooni Eestis. Seega on peamiseks põhjaveet liikuma panevaks jõuks põhjavee surve erinevused.

Soojusvoo tiheduse häirete seisukohalt on oluline vertikaalne vee voolamine ehk liikumine maksimaalse temperatuuri gradiendi suunas. Põhjavee toitealal allapoole liikuv jahedam vesi soojeneb ja võtab sel moel kivimitest soojust, mis antakse kivimitele tagasi väljavoolualal, kus maapinna poole voolav soe vesi jahtub. Subhorisontaalselt voolav vesi ei põhjusta reeglina soojusvoo tiheduse anomaaliaid, kuna kivimites olev vesi asendub samal temperatuuril oleva veega. Küll aga võib subhorisontaalne vee voolamine omada tähtsust soojuspuuraukude kontekstis, kus puuraugu ümbruse jahutatud/soojendatud vesi asendub „normaaltemperatuurilise“.

Kuigi voolav vesi kannab soojust, ei pruugi kaasnevad anomaaliad olla mõõdetava suurusega. Selleks, et vee voolamisega kaasneks ka olulisi soojusvoo häireid, peab vertikaalsuunaline Darcy kiirus olema suurem kui umbes  $10^{-7}$  m/s ehk teisisõnu kivimit peab aastas läbima vähemalt tema mahuga võrdne hulk vett. Eestis on tavaliselt põhjavee liikumiskiirus ebapiisav, et konvektsioon kontrolliks soojuskannet, aga soojuspuurkaevude ümbrus võib olla erandiks, kuna horisontaalsuunaline voolamine ületab tavaliselt vertikaalsuunalist.

### 3. Uuringud Eesti soojuspuurkaevudes

#### 3.1. Metoodika

Lisaks visuaalsetele vaatlustele rakendati ka füüsikalisi meetodeid soojuspuurkaevude uurimisel. Puurkaevudes mõõdeti sügavuti põhjavee temperatuuri ja elektrijuhtivust. Detailsetel mõõtmistel on nende kahe suhteliselt kiireti mõõdetava parameetri abil võimalik hinnata puuraugu seisundit ning identifitseerida võimalikud vee sisse- ja väljavoolu kohad. Ühes puuraugus teostati poole aasta jooksul temperatuuri monitooringut fikseeritud sügavusel mõõteintervalliga 2 minutit.

Temperatuuri mõõtmisel kasutati sondi, mille lahutusvõime on 0,001 K ja absoluuttäpsus 0,1 K. Kuna mõõtmisi teostati soojuspuuraukudes nende ekspluatatsiooni perioodil, siis esines neis temperatuurihäireid, mis võisid ulatuda kuni 0,02 K. Vee elektrijuhtivuse mõõteaparaadi lahutusvõime on sõltuvalt mõõtepiirkonnast 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  või 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , absoluuttäpsus 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Vee elektrijuhtivus on temperatuurist sõltuv parameeter. Mõõdetud elektrijuhtivuse väärtus ( $EC$ ) teisendati vastavaks standardsele temperatuurile 25°C kasutades valemit

$$EC@25 = \frac{EC}{1 - k(25 - T)} \quad (1)$$

kus  $T$  on temperatuur (°C) ja  $k$  on temperatuurikoefitsient (1/K). Käesolevas töös kasutati temperatuurikoefitsiendi väärtust 0,02 1/K.

Puuraukudes mõõdeti temperatuuri ainult vees, kuna õhu käes on sondi soojuslik tasakaalustumine väga aeglane. Vertikaalseid mõõtmisi tehti intervalliga 2,5 m või vähem.

Vee elektrijuhtivus peegeldab soolsuse muutusi. Kuigi elektrijuhtivuse teoreetiline füüsikaline-keemiline taust on keeruline ja kompleksne, on siiski selle parameetri käitumine väikese soolsusega samatüübilises vees enam-vähem lineaarne. Ligilähedasel on elektrijuhtivusega  $EC@25=1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  hüdrokarbonaatset tüüpi vee soolsus 0,9 g/l ning kloriidset tüüpi vee soolsus 0,6 g/l.



Käesoleva uuringu meetodika kavandamisel lähtuti tavapärasest monitooringu praktikast, kus jälgitakse vee elektrijuhtivust ning üldkeemia analüüsi teostatakse vajaduse korral anomaaliate ilmnemisel. Elektrijuhtivusekarotaaž näitab oma suure lahutusvõimega vee puurauku voolamise kohti (suue, manteloru lekkekohad, avatud intervallid, soojuskontuuri lekkekohad), mis on ka potentsiaalsed keemilise reostuse allikad. Keemilise analüüsi jaoks võetav veeproov peaks esindama puuraugus olevat vett, kuid praktikas on vee proovimine suletud kontuuriga puuraukudes keeruline, sest pumba puurauku viimisega kaasneb pumba kinni jäämise oht või soojuskontuuri lõhkumise oht. Lisaks on saadav veeproov rohkem või vähem segunenud ning tema poolt esindatava vee asukoht (erinevad intervallid puuraugus või veekihis) raskesti tõlgendatav. Kuigi maailmas on levinud mitmesuguseid ilma pumpamata vee intervalliti proovimise tehnikaid (nt. Nurmi and Kukkonen, 1986), siis Eestis sellised võimalused puuduvad. Avatud süsteemiga soojuspuuraukude puhul toimub veekihis suhteliselt kiire tsirkulatsioon puurauke ümbritseval alal, mis viib võimaliku reostuse suhteliselt kiire lahjendumiseni, mille tulemusena on võimalik reostust jälgida vaid lühikese aja jooksul pärast reostamist. Uuringute käigus ei tuvastatud reostuse sissevoolu puuraukudesse.

### **3.2. Avatud süsteemiga soojuspuurkaevud**

Avatud süsteemiga puurkaevudes toimub energia ülekanne põhjavee pumpamise teel. Eestis on teadaolevalt levinud ainult sellised süsteemid, kus väljapumbatav vesi juhitakse teise puurkaevu kaudu tagasi. Pole teada sellist süsteemi, mida kasutataks kasvõi hooajaliselt soojuse akumulatsiooniks.

Avatud süsteemiga soojuspuurkaevud ei ole Eestis kuigi levinud. Käesoleva töö täitmisel õnnestus tuvastada kümne süsteemi olemasolu, millest kuue puhul oli võimalik teha ka otseseid mõõtmisi (Lisa 1). Reeglina teostati mõõtmisi ainult tagasivoolukaevus, sest pumbatavas kaevus ei mahtunud sond pumbast mööda. Järgnevalt olulisemate vaatluste tulemused.

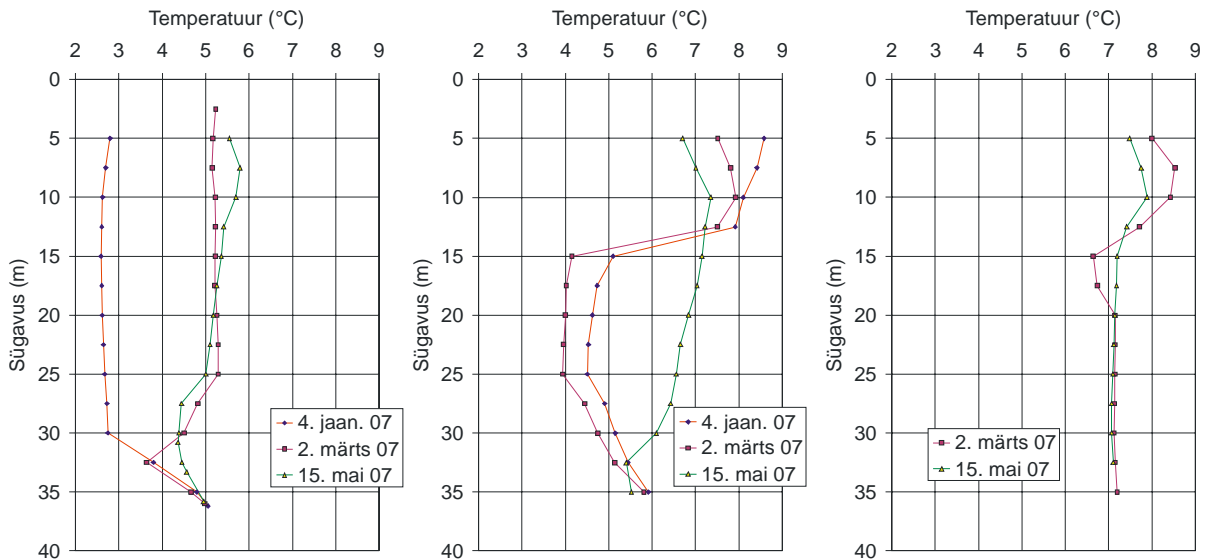
#### *Uuemõisa, Tehnika 30*

Süsteem on rajatud 2004. aastal eesmärgiga kütta ehitusmaterjalide poe ruume. Süsteem koosneb poe tagahoovis neljast ridamisi paiknevast puuraugust, mis asetsevad 10—20 meetrit teineteisest ning millest uuringute ajal kasutati ainult kahte. Kõige idapoolsemast pumbatakse vett, mis juhitakse peale soojusvaheti läbimist reas järgmise kaudu tagasi. Nende puuraukude vahemaa on 20 meetrit. Kaks läänepoolset kaevu on omal ajal puuritud silmas pidades süsteemi laiendamise võimalust ning antud tööde käigus oli võimalik neid kasutada vaatluskaevudena.

Kasutusesolevate kaevude suudmete kaitseks külmumise vastu on rajatud pinnasekuhjatised, kuid suudmetele pääseb ligi. Kasutuna seisvad kaevud olid alguses kaitstud tavapärase kübaratega, aga kevadel alustatud poe laienduse käigus jäid nad uue hoone alla. Ligipääs nendele kaevudele säilitati pidades endiselt silmas võimalust neid tulevikus kasutama hakata. Kõigi nelja puuraugu suudmed on kaitstud selliselt, et reostuse sattumine puuraukudesse ei ole tõenäoline. Süsteemi kasutamisel esines esimesel aastal probleeme tagasivoolukaevus vee vastuvõtmisega, kuna pumbatavad mahud on küllaltki suured. Hiljem on ennetava meetmena seda puurkaevu igal suvel läbi pumbatud.

Mõõtmisi teostati tagasivoolukaevus (järgnevalt tähistatud kaevuna 2) ja tema naaberkaevus (3) kolmel korral, kõige läänepoolsemas kaevus (4) kahel korral. Viimased mõõtmised

teostati 15. mail, kui kütteperiood oli juba lõppenud ja tarbimist enam ei toimunud. Tagasivoolukaevus 4. jaanuaril tehtud mõõtmised näitavad, et tagasijuhitav külm vesi voolab mööda puurauku vähemalt 30 m sügavuseni (Joonis 3.1 vasakul). Paaril viimasel meetril puuraugu põhjast vee soolsus veidi suureneb näidates, et see vesi ei ole aktiivses ringluses. Temperatuur kerkib viimastel meetritel oluliselt, kuid ei saavuta looduslikku väärtust (7°C).



Joonis 3.1. Temperatuur Uuemõisas Tehnika 30 puuraukudes 2, 3 ja 4 (vt. selgitusi tekstis).

Tagasivoolukaevust 11 meetri kaugusel olevas kaevus (Joonis 3.1. keskel) on samuti jälgitav tagasijuhitava külma vee mõju. Jaanuaris tehtud mõõtmistel on intervallis 5—12,5 m näha eelmisest suvest tingitud looduslikult kõrgenenud temperatuurid, kuid alates sügavusest 15 m on selgelt näha jahutatud põhjavee voolamise mõju. Mõju maksimum asub ligikaudu 25 meetri sügavusel, ka läbilõike sügavam osa on jahutatud.

Kaev 4, mis asub tagasivoolukaevust umbes 30 meetri kaugusel, ei näita jahutatud vee voolamisega seotud ilminguid (Joonis 3.1 paremal). Puuraugu ülemisel 10—20 meetril on näha eelmise suve ja lõppenud talvega seotud soojenemise ja jahtumise kandumist sügavamale. Vee elektrijuhtivuse mõõtmised näitasid, et kõigis kaevudes on ühesuguse koostisega magevesi (elektrijuhtivus 650—850  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), keemilise reostuse ilminguid ei ole.

### Haapsalu, Pääsukese 5

Süsteem koosneb kahest puuraugust, mis puuriti 2005. aastal. Süsteemi kasutatakse eramu kütteks. Puurkaevud asetsevad kinnistu ühes servas. Pumbatav kaev on tagaaias, tagasivoolukaev asub sissesõiduvärava juures tänava servast 3—4 meetri kaugusel.

Tagasivoolukaevu sügavus on 67 meetrit, pumbatava kaevu sügavus on põhjaveekatastri andmetel 29 meetrit. Kaevude vahemaa on ligikaudu 20 meetrit.

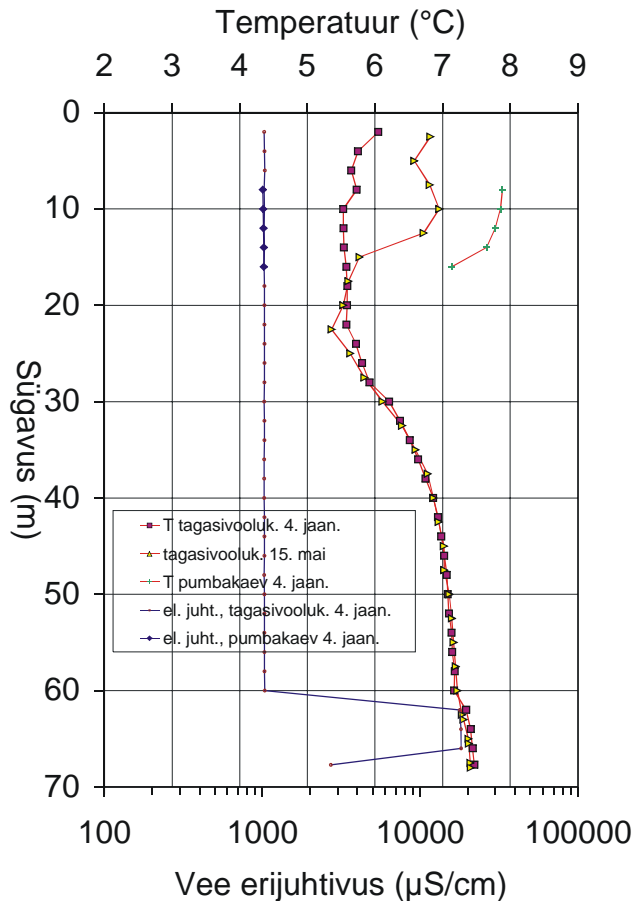
Puurkaevude suudmed on õhukese mullakihi all. Suudmetel on kummitihendi ja poltidega suletav kaas. Tagasivoolukaevus ei olnud märke lekkest, kuid mõõtmiste ajal hakkas avatud kaev kergelt üle voolama, kui soojuspump lülitus tööle.

Mõõtmisi tehti talvel mõlemas puurkaevus, kevadel ainult tagasivoolukaevus. Talvised mõõtmised tehti enne suurte külmade algust, kevadel oli põhiline kütteperiood lõppenud. Pumbatavas kaevus sai mõõtmisi teha süvaveepumba peale jäävas osas, kus temperatuurid olid ootuspäraselt eelmise suve mõjudega (Joonis 3.2). Vaid vahetult pumba peal mõõdetud temperatuur on ilmselt alt pumbatava vee mõjul ülalolevast jahedam.

Tagasivoolukaevus mõõdetud temperatuur näitab, et efektiivselt toimib ainult puuraugu ülaosa sügavuseni 25—30 meetrit (Joonis 3.2). Sügavusvahemikus 30—40 meetrit toimub temperatuurivälja korrektsioon ning sügavamal on jälgitav normaalne temperatuuri gradient. Kuna pumbakaev on 29 meetri sügavune, siis viitab see üheselt, et kahe puuraugu vahelisel alal toimub põhjavee voolamine horisontaalselt.

Nii temperatuuri andmetes kui ka elektrijuhtivuse andmetes toimub intervallis 60—62 m hüpe. Kuna muutusest nii sügavamal kui ka madalamal on jälgitav sarnane temperatuuri gradient, siis viitab selline anomaalia väikese vooluhulgaga vee voolamisele piki puurauku kuni nimetatud intervallini, kus vesi puuraugust väljub. Kevadise mõõtmise andmetes on hüpe silutum ja selgitatav temperatuurivälja ühtlustumisega pärast kütteperioodi lõppu.

Vee elektrijuhtivus on mõlemas puurkaevus ühesugune viidates ringluses oleva vee looduslikule päritolule. Tagasivoolukaevu põhjas on enam kui viie meetri ulatuses jälgitav väga suure juhtivusega vesi. Selle vee päritolu jäi uuringute käigus selgusetuks. Elektrijuhtivus viitab soolsusele 10 g/l, mis on suurem kui merevees. Eelnevate uuringute käigus on sellise elektrijuhtivusega vett tuvastatud ainult süvapuuraukude kristalsesse aluskorda ulatuvas osas.



Joonis 3.2. Temperatuur Haapsalus Pääsukese 5 puuraukudes.

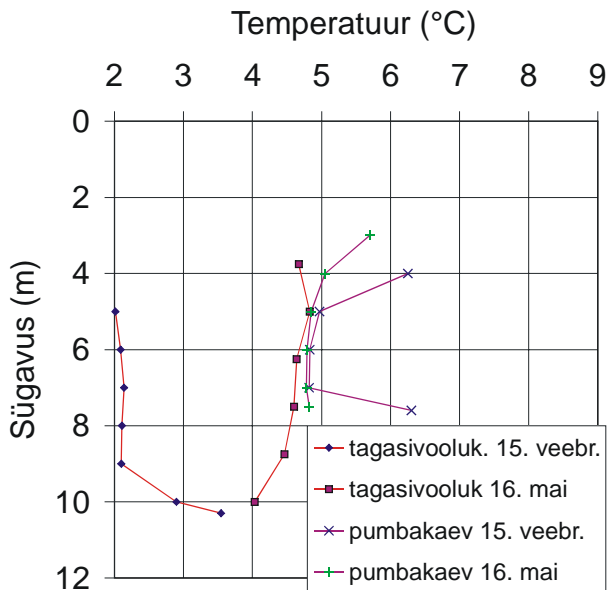
Päris puuraugu põhjal tehtud mõõtmine näitab juhtivuse mõningast kahanemist. See on üsna tavaline nähtus, mis esineb mittepumbatavate kaevude põhjas ning on tõlgendatav kolloidse mudana, mis raskendab ionide liikumist vees. Sonni üles-alla liigutamine paneb tavaliselt mudakihi ja lasuva selgema vee segunema, mille tulemusena elektrijuhtivus suureneb mõningal määral.

#### *Oisu küla, Pikk 1*

Süsteem koosneb kahest puurkaevust, millest esimene puuriti algselt eramu veega varustamiseks, teine puuriti küttesüsteemi tagasivoolukaevuks. Pumbakaev asub maja betoneeritud põrandaga keldris ning on 7,5 meetrit sügav (9 m ümbritsevast maapinnast). Tagasivoolukaev asub kuuris ja selle sügavus on 10 m. Puurkaevude vahekaugus on ligikaudu 17 m.

Nii vee tarbimiseks kui ka kütte jaoks kasutatakse tsentrifugaalpumpasid, mis ei asu puurkaevus. Seetõttu oli võimalik temperatuurimõõtmisi teostada nii pumbakaevu kui ka tagasivoolukaevu kogu ulatuses. Esimeste mõõtmiste ajal veebruaris oli väljas

õhutemperatuur  $-10^{\circ}\text{C}$  ja küttekooormus suhteliselt suur. Tagasivoolukaevus mõõdetud temperatuur veidi üle  $2^{\circ}\text{C}$  näitab, et süsteem toimis piirlähedaselt (Joonis 3.3). Reeglina ei luba soojuspumpade automaatika tagasivoolava vee temperatuuri langeda alla  $2^{\circ}\text{C}$ , kuna siis tekkib soojusvaheti külmutamise oht. Nii kütmise tipphooajal kui ka kevadel väikese koormuse ajal oli pumbatava vee temperatuur ligikaudu  $5^{\circ}\text{C}$ . Ülevoolu probleemi ei ole tagasivoolukaevus esinenud.



Joonis 3.3. Temperatuur Oisu küla Pikk 1 puuraukudes.

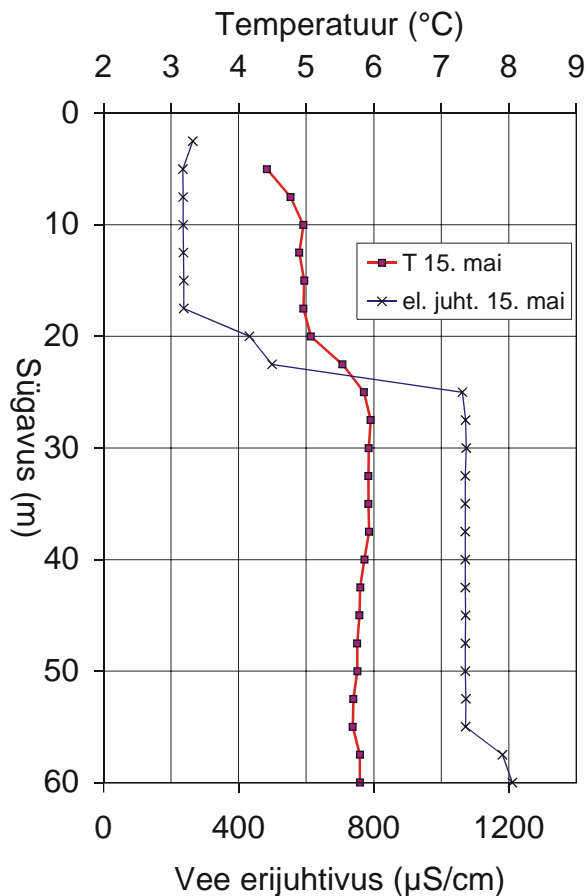
Omaniku sõnul juhtus süsteemi kasutamise esimestel aastatel üks õnnetus, mille käigus purunes veneaegne soojusvaheti ja tagasivoolukaevu sattus 30—40 liitrit külmaainet, milleks oli piiritus. See rikkus ruttu ka tarbekaevu vee ning kraaniveel oli umbes nädalal aega tunda piirituse lõhna, mis aja jooksul nõrgenes ja kadus. Omanik küsitles naabreid, kelle kaevud on mõnekümne meetri kaugusel, kuid nende vee kvaliteet ei muutunud. Sellest juhtumist võib teha kaks väga olulist järeldust. Esiteks näitab see, et avatud süsteemi puuraukude vahelisest ringlusest põhilise osa moodustab väga piiratud hulk põhjavett. Hinnanguliselt peaks ringluses osalema vähemalt tuhandeid liitreid põhjavett, sest puuraukude vahekaugus on ligikaudu 17 meetrit, temperatuuri kõverate alusel toimub ringlus vähemalt 4—5 meetri paksuses kivimkihis, mille oletatav poorsus on 10%. Selleks, et piirituse lõhn oleks endiselt tuntav, peaks piirituse sisaldus vees olema suurusjärgus 0,1—1%, mis omakorda eeldab, et vee voolamine toimub suhteliselt kitsas vööndis kahe puuraugu vahel. Aja jooksul toimus pidev lahjenemine, kuna kahe puuraugu vaheline ringlus toimub oluliselt suuremal alal, mille äärealadel on lihtsalt voolukiirus väiksem. Teiseks näitab see juhtum, et selles kohas ei toimu tugevat põhjavee voolamist, sest vastasel korral oleks rikutud vesi kantud

puurkaevude juurest kiiremini ära. Piirituse mõju avaldumine naabrite kaevudes on lahjenemise tõttu mittetõenäoline.

*Pärnu, Tammsaare 44*

Süsteemi kasutatakse eramu kütteks. Uuringute raames tutvuti ainult tagasivoolukaevuga, mis oli avatud sügavuseni 60 meetrit. Kaevu suue on muru all plastist kaevus, mis on pealt kaanega tihedalt suletud. Reostuse sattumine kaevu on vähetõenäoline.

Mõõtmisi teostati 15. mail pärast kütteperioodi lõppu ja ainult tagasivoolukaevus. Vee elektrijuhtivuse graafik viitab sellele, et tagasivoolu toru ulatub vähemalt 22,5 meetri sügavusele (Joonis 3.4). Puuraugu ülaosas on magevesi, mis võib olla sinna jäänud puurimisest saadik. Varasemad uuringud on näidanud, et magestunud vesi manteldatud osas on üsnagi tavaline nähtus mittepumbatavates puuraukudes. Sügavusvahemikus 25—55 m on sama koostisega vesi, mis viitab vee voolamisele piki puurauku. Viimasel viiel meetril vee soolsus kasvab, usutatavasti looduslikult.



Joonis 3.4. Temperatuur ja vee erijuhtivus Pärnus Tammsaare 44 avatud süsteemi tagasivoolukaevus.

Temperatuurigraafik on raskesti tõlgendatav. Puuraugu ülaosas, kus vesi voolab piki tagasivoolutoru kuni 25 meetri sügavuseni, on temperatuur madalam kui sügavamal. 30 meetrist sügavamal temperatuuri kahanemist ei ole lihtne seletada, kuid see võib olla seotud süsteemi tööle lülitumisega mõõtmiste ajal.

#### *Saue, Palgi 9*

Süsteem koosneb kahest 12 meetri sügavusest puurkaevust, mis asetsevad teineteisest ligikaudu 27 m kaugusel. Puuraukude suudmed on maapinna tasandil. Neid katvad raudkaaned takistavad prügi sattumist puurauku, kuid ei takista reostunud pinnavee sissevoolu.

Temperatuuri mõõdeti ainult tagasivoolukaevus. Lühikene temperatuuriprofiil on ilma suuremate muutusteta, 4,5°C on sarnane samal perioodil teistes süsteemides mõõdetuga.

#### *Saku, Niidu 5*

Süsteem koosneb kahest 30 meetri sügavusest puurkaevust, millest tutvuti ainult pumbakaevuga. Süsteemi kasutatakse eramu kütteks. Puurkaevu suue on aias maapinnast madalamal veekindlast vineerist ehitatud kastis.

Uuringute läbiviimiseks võttis omanik ise ühendust. Probleem seisnes selles, et soojuspump lülitus küttehooajal korduvalt mitmeks päevaks välja. Probleemi põhjusena kahtlustati pumbatava põhjavee liiga madalat temperatuuri. Mõõtmised pumbast kõrgemale jäävas osa näitasid sügavuti langevat trendi, kuid vahetult süvaveepumba peal mõõdetud temperatuur 4,5°C oli kestvat külmaperioodi arvestades igati ootuspärane. Probleem oli alguse saanud pärast seda, kui omanik vahetas pumba uue vastu, mille poolt pumbatud vee hulk oli ilmselt väiksem ja seetõttu jahutati soojusvahetis vesi liiga maha ning võis põhjustada (osalist?) jäätumist.



### **3.3. Suletud süsteemiga soojuspuuraukud**

Suletud süsteemiga soojuspuuraukud on sellised, kus energia ülekanne toimub ilma põhjavett välja pumpamata. Valdavalt on Eestis levinud suletud soojuspuuraukude süsteemid, kus toimub maasisese energia tarbimine, kuid Paides (Ringtee 2) on kasutusel kümnel puuraukul põhinev süsteem, mida kasutatakse suure kaupluse külmutusseadmete tööol eralduva soojuse akumulatsiooniks.

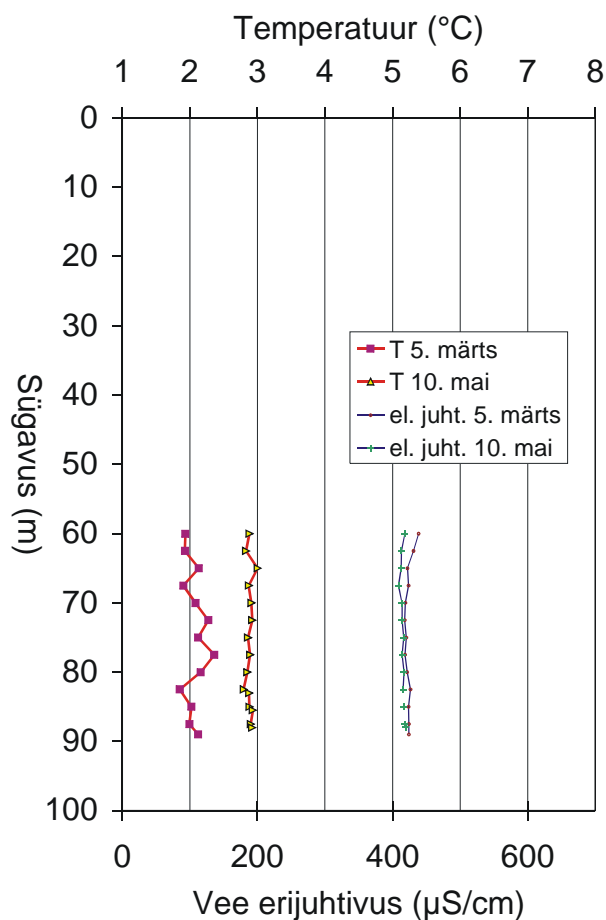
Suletud süsteemiga soojuspuuraukude toimimise uurimiseks vesteldi süsteemide omanikega ning tehti ka visuaalseid vaatlusi. Mõõtmiste tegemiseks õnnestus avada puurauke kahes kohas, millest ühte süsteemi jälgiti pikaajaliselt. Järgnevalt olulisemate vaatluste tutvustus.

#### *Tallinn, Nurme 37*

Süsteem koosneb ühest 200 m sügavusest puuraukust, mis on rajatud 1998. aastal eramu kütmiseks ning sooja vee tootmiseks. Puurauk asub hoovis mõne meetri kaugusel majast. Soojuskontuur on puuraukus, mis on tamponimata ja tänu millele oli võimalik selles puuraukus mõõtmisi teha. Puurauk on suletud korgiga ning reostuse eest hästi kaitstud.

Selle puurauku uurimisel teostati kahel korral temperatuuri ja vee elektrijuhtivuse karotaaži ning vahepealsel ajal registreeris sond temperatuuri ajalisi muutusi fikseeritud sügavusel (80 m). Vertikaalmõõtmisi sai teha ainult piiratus sügavusvahemikus. Puurauku manteltoru ulatub Kambrium-Vendi veekihti ja veetase vastab survekõrgusele selles veekihis. Mõõtmiste ajal oli veetase 59,3 ja 59,5 m allpool maapinda. Alates sügavusest 89 m on puurauk ummistunud ning sond sügavamale ei läinud, kuigi konstruktsiooni järgi peaks manteltoru ulatuma 128 m sügavusele.

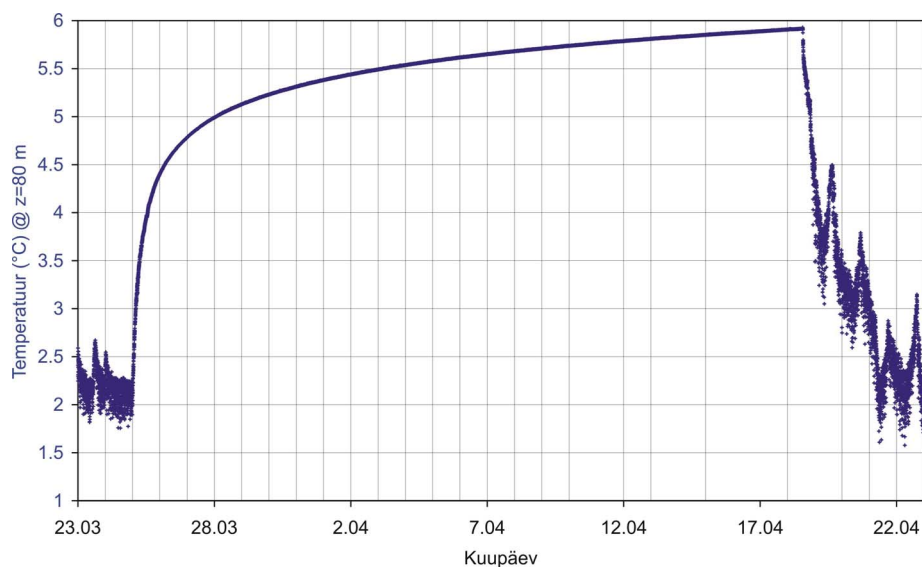
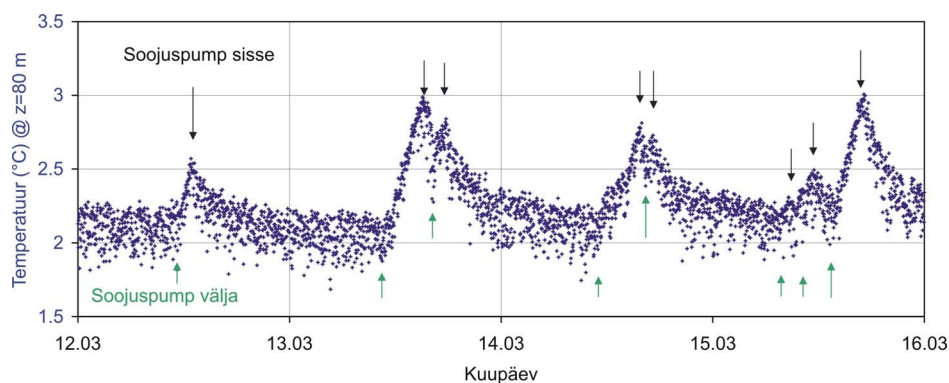
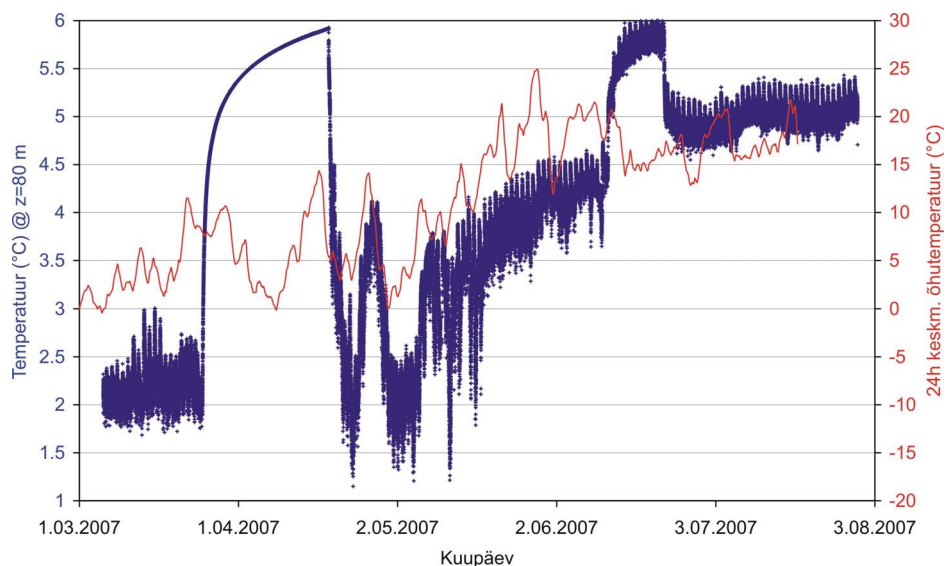
Karotaaži tulemused näitavad, et ligikaudu 30 meetrises sügavusvahemikus ei esine süstemaatilisi temperatuuri ja soolsuse muutusi. Märtsi alul mõõdetud temperatuuride variatsioonid 0,5°C piires tulenevad ilmselt sellest, et soojuspump mõõtmiste ajal töötas ning et külmem soojakontuur ja soojem puurauku sein põhjustavad puurauku täitva vee konvektiivset ringlust. Sarnaseid variatsioone temperatuurikarotaaži tulemustes täheldati ka Haabneemes (vt allpool).



Joonis 3.5. Temperatuur ja vee elektrijuhtivus Nurme 37 puuraugus.

Temperatuuri monitooring 80 meetri sügavusel andis mitmekülgset informatsiooni konkreetse süsteemi töö kohta. Andmestikust on näha erineva kestusega soojuspumba töötamise ja temperatuurivälja taastumise tsükleid, aga ka soojuse tarbimise pikaajalisi muutusi (Joonis 3.6). Küttesüsteemi häälestamine ei ole kõige õnnestunud, sest soojuspump peab soojendama vett temperatuurini, mis on tema väljundtemperatuuri piiril. See viib situatsioonini, kus isegi juulis töötab puuraugukontuuri tsirkulatsioonipump üle 22 tunni ööpäevas.

Monitooring algas märtsis, mil suuremad külmad olid juba möödas ning ööpäeva keskmine õhutemperatuur oli juba valdavalt üle  $0^{\circ}\text{C}$ . Sellegipoolest näitavad andmed küttesüsteemi olulist vähenemist mais. Ajavahemikul 12.—22. juuni sooja vee tarbimist ei toimunud ning kuna soojuspump pidi ainult vee temperatuuri hoidma, siis tõusis temperatuur puuraugus täiendavalt 0,5—1 kraadi.



Joonis 3.6. Tallinnas Nurme 37 soojuspuuraugus 80 m sügavusel mõõdetud temperatuur (sinised ristid) 2007. a. märtsist juulini (üleval). Üldiseks võrdluseks ilmastikuga sellel perioodil on toodud 24 tunni keskmised õhutemperatuurid Tartus (<http://meteo.physic.ut.ee>). Monitooritud temperatuurid näitavad soojuspumba töötükleid (keskel). Tõenäoliselt automaatika rikke tõttu ei töötanud soojuspump 25. märtsist 18. aprillini ning selle aja jooksul toimus oluline soojusvälja taastumine puuraugus.

Kõige prominentsemaks sündmuseks kogu monitooringu jooksul oli tõenäoliselt soojuspumba automaatika rikkest põhjustatud maasoojuse mittetarbimise periood 25. märtsist 18. aprillini, mille kestel toimus elamu kütmine elektrikütteseadme abil. Puuraugus toimuv temperatuuri tõus iseloomustab radiaalset soojuskannet lõpmata pika joonelise tarbija suunas ning on otseselt analoogiline veetaseme muutusega pumpamise lõppedes. Esimeste tundide jooksul kerkis temperatuur 0,3—0,4 kraadi tunnis, mis on sama suur tõusukiirus kui lühematel soojuspumba välja lülitumise perioodidel. Esimese ööpäeva jooksul kerkis temperatuur 2,5 kraadi ning kogu mittetöötamise perioodi jooksul 4 kraadi, mis moodustavad ligikaudu 40% ja 60% tõusust eeldatava häirimatu temperatuurini 8°C (vt. joonis 2.6). Lõplik temperatuurivälja taastumine võtaks vähemalt aastakümneid.

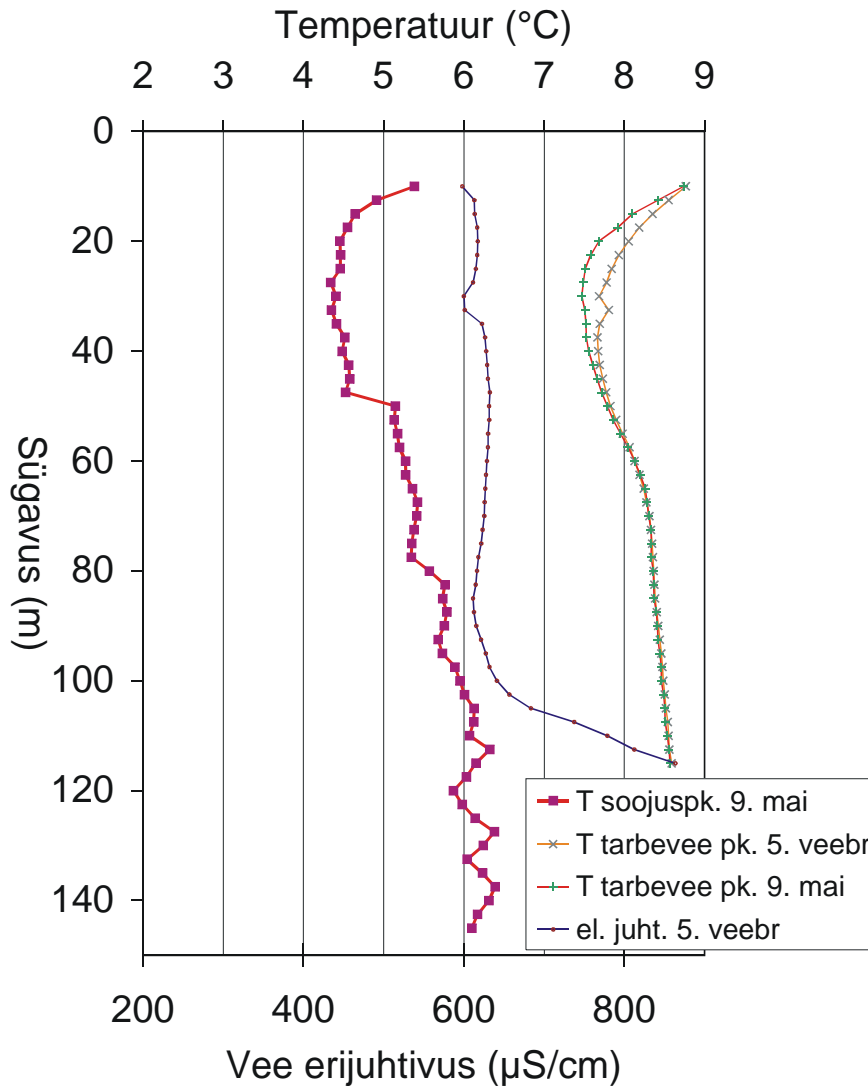
#### *Haabneeme, Vahtra 6*

Teadaolevalt on see Eesti vanim soojuspuurkaevude süsteem, mis rajati 1994. aastal. Süsteem koosneb kahest puuraugust (kat.nr. 4701 ja 4704), millest ühte (4704?) kasutatakse ka tarbevee kaevuna. Puurkaevud on puuritud enne elamu ehitamist, asetsevad umbes 28 m teineteisest ning 0,5—2 meetrit elamust ja kinnistu piiridest. Puurkaevud on korralikult suletud.

Puuraugud on puuritud 144 ja 150 m sügavuseks ulatudes kristallsesse aluskorda. Puurkaevud ei ole nüüdseks enam puuritud sügavuseni avatud, mis on terrigeensetesse setenditesse puuritud kaevude puhul üsna tavaline. Mõõtmisi sai teostada tarbeveekaevus 115 m ja soojuspuuraugus 145 m sügavuseni. Hüdrauliliselt on veetasemed seotud Kambrium-Vendi põhjaveekihiga, mis tänu maapinna väikesele absoluutkõrgusele (3 m ü.m.p.) ja asendile Tallinna depressioonilehtri servaalal tähendab veetaseme sügavust ainult 8—9 meetrit.

Temperatuurikarotaaži teostati 5. veebruaril ja 9. mail. Veebruaris oli õhutemperatuur ligikaudu -10°C ning tulenevalt suuremast küttekoormusest oli ainult soojuse ammutamiseks kasutatav puurauk sulamistemperatuuri lähedal (0.005°C, vähene vesi jää peal), kuid siiski külmunud ja mõõtmisi ei saanud teha. Mai alguseks olid temperatuurid selles puuraugus taastunud oluliselt olles vahemikus 4,4—6,4°C (võrdluseks samal ajal oli Nurme 37 puuraugus 2,9°C). Temperatuurikõveral on ligikaudu 0,5 kraadi ulatuses kõikumisi, mida võib mitmeti seletada. Üheks võimaluseks on sarnaselt Nurme 37 objektiga puuraugus oleva vee konvektiivne ringlus, mida põhjustavad temperatuuri erinevused puuraugu seinaga ja

kontuuri vahel. Teiseks ja tõenäolisemaks põhjuseks on kivimites toimuv horisontaalsuunaline põhjavee voolamine depressioonilehtri suunas ning tulenevalt kivimite veejuhtivuse erinevustest on liivakamates vahekihtides taastumine kiirem kui savikamate vahekihtide kohal.



Joonis 3.7. Temperatuur ja vee elektrijuhtivus Haabneemes Vahtra 6 puuraukudes.

Tarbevee puurkaevus on soojuste tarbimisest tingitud häired suhteliselt väikesed. Sügavamal kui 50 meetrit erinevad veebruaris ja mais mõõdetud temperatuurid teineteisest maksimaalselt 0,03°C. Detailsemal vaatlusel võib täheldada, et 9. mail mõõdetud temperatuurides on mõningased variatsioonid, mis korreleeruvad hästi oluliselt suuremate variatsioonidega teises puurkaevus ja viitavad põhjavee horisontaalsele voolamisele. Variatsioonide väiksem amplituud on ilmselt mitmete tegurite koosmõju tulemus. Kindlasti kaasneb mõningane temperatuuride ühtlustumine pumpamisega põhjavee vertikaalse voolamisega puuraugus. Osaliselt võib rolli mängida ka 1–2 tunni võrra erinev ajaline viivitus soojuspumba välja lülitumisest mõõtmiseni. Ei saa ka välistada, et tehnilistel

põhjustel on tarbevee puurkaevus olevas kontuuris fluidi ringlus väiksem ja sellest tulenevalt ammutatakse sealt vähem energiat.

Tehniliste probleemide tõttu õnnestus põhjavee elektrijuhtivuse karotaaži teostada ainult veebruaris, mil üks puuraukudest oli külmunud. Mõõtmised tarbevee puurkaevus näitavad, et vesi siseneb puurauku peamiselt intervallis 85—100 m ehk manteloru otsa (82 m) lähedusest. Pumbatava põhjavee soolsus on hinnanguliselt 0,35—0,4 g/l, kuid kasvab alates sügavusest 100 m kuni soolsuseni 0,5 g/l. Taoline soolsuse kasv sügavuti on iseloomulik Kambrium-Vendi veekihtidele ja see nähtus jätkub aluskorras.

#### *Paide, Ringtee 2*

Teadaolevalt on see ainuke soojuspuuraukude süsteem Eestis, mida kasutatakse soojusest vabanemiseks. Süsteem koosneb kümnest puuraugust, mille peamine kasutuseesmärk on suure kaupluse jahutusseadmete poolt toodetava soojuse akumulatsioon, aga samuti energia ammutamine ruumide soojendamiseks talvisel perioodil. Väidetavalt on kogu eksploatatsiooniperioodi jooksul kütmiseks soojuspumpa kasutatud vaid üksikutel juhtudel, sest tavalisel talvel piisab ruumide kütteks jahutusseadmete soojusest.

Kümme puurauku on valdavalt umbes 100 meetri sügavused (kogupikkus 947 m) ja nad puuriti 1999. aastal. Puuraugud asuvad kaupluse parkla servas, samuti vaid mõne meetri kaugusel tänavatest. Puuraugud on täitmata, kuid korralikult korgiga suletud ning reostuse sissepääsemine ebatõenäoline.

### **3.4. Uuritud soojuspuuraukude vastavus seadusandlusele ja mõju keskkonnale**

Kehtivad Eesti seadused ei käsitle eraldi energeetilisi puurauke. Juhul kui energeetilised puuraugud on täitmata (likvideerimata), siis tuleks neid käsitleda sarnaselt veehaarde puurkaevudega koos neile kehtivate sanitaarnõuetega, mis on kehtestatud keskkonnaministri 16. detsembri 1996. a. määrusega nr. 61 „Veehaarde sanitaarkaitseala moodustamise ja projekteerimise kord“ (RTL 1997, 3, 8; 2004, 96, 1500).

Nii suletud kui ka avatud süsteemiga soojuspuurauke tuleks vaadelda veevõtukohtadena, sest neid kasutatakse ühe kinnisasja tarbeks tootlikkusega alla 10 m<sup>3</sup> ööpäevas. Tavapraktikas erineb selle määruse tõlgendamine maakonniti. Punkt 4.1 on sõnastatud „Ühe kinnisasja omanikule vajaliku kaevu asukoht peab olema võimalike reostusallikate (kogumiskaevud, käimlad, prügikastid, väetise- ja sõnnikuhoidlad, õlimahutid, kanaliseerimata saunad jne.) suhtes põhjaveevoolu suunas (järgib üldjoontes maapinna kallakust) ülesvoolu ja neist krundi piires võimalikult kaugemal (mitte vähem kui 10 m)“. See määruse punkt lubab tõlgendada, et näiteks kanaliseeritud saun või krundi piir ei ole asukoha valikul piiravaks. Samas loetakse mõnes maakonnas võimalikeks reostusallikateks kõiki ehitisi ning puurauk peaks neist olema vähemalt 10 meetri kaugusel. Samuti nõutakse, et puurauk peaks olema vähemalt 10 m kaugusel kinnistu piirist, sest muidu seatakse lubamatuid piiranguid naaberkrundi kasutamisele.

Valdav osa energeetilistel eesmärkidel kasutatavatest puuraukudest on majale või kinnistu piirile lähemal kui 10 meetrit. Piisavalt laia hooldusala puudumine ei ole kehtiva määrusega vastuolus, kuid ei järgi suundumusi põhjavee kaitsel.

Tõsisem probleem on soojuspuuraukude suudmetega. Eelpool nimetatud määruse punkti 4.2 kohaselt peab manteltoru ulatuma vähemalt 30 cm maapinnast kõrgemale, mittesoovitatava variandina on lubatud ka vett pidavate seinte ja põhjaga šurfi rajamine. Valdavalt on avatud süsteemiga soojuspuuraukude suudmed maapinnal või allpool maapinda ja mitte šurfides. Tuleb tunnistada, et puuraugud on veekindlalt suletud, kuid on raske ennustada, milliseks kujuneb nende seisund niisketes aeroobsetes tingimustes eeldatava kasutusaja (vähemalt 30 aastat) lõpus. Mõningad puuraugud on aias täitemulla all ning omanikud ei tea täpset

puuraugu asukohta. Omanike endi seisukohast on lühinägelik eeldada, et puuraugus oleva pumba eluiga on sama pikk kui soojuspumbal ja ülejäänud süsteemil.

Uuringud näitasid, et olemasolevad soojuspuuraugud ei põhjusta olulist füüsilist ega ka keemilist mõju pinnastele, põhjaveele ja ökosüsteemile. Probleemid on nõuetele mittevastavate tehniliste lahendustega suudemete sulgemisel ja sellega kaasneva potentsiaalse reostusohuga. Usutavasti on tegu laiema probleemiga ning soojuspuuraukude suudmed ei ole kehvemas seisus kui tavalistel tarbevee puurkaevudel.

Tegelikku soojuspumbaga seotud keemilist mõju ehk reostuse sissekandumist dokumenteeriti ainult ühes kohas ning selle põhjuseks oli mittesobiliku soojusvaheti kasutamine. Tänapäevased avatud süsteemide osadena kasutatavad soojusvahetid on mehaaniliselt oluliselt vastupidavamad külmumisele. Nad on mahult väiksemad ning külmakandevedeliku hulk, mis võiks sattuda põhjavette on väike (maksimaalselt mõnikümmend liitrit) ning lahjeneb mitteoluliste sisaldusteni juba väikeses kauguses puuraugust. Suletud süsteemiga puuraukudes olev kontuur on pikem ning kasutatav soojuskande vedeliku hulk suurem (kuni mõnisada liitrit). Kuigi Eestis puuduvad juhtumid, kus vertikaalsed kontuurid oleksid lekkinud, siis seda laadi ohuga tuleks siiski arvestada. Probleemi lahenduseks võiks olla rahvusvahelistele standarditele vastavate komponentide (kontuuri torud, soojusvahetid) kasutamine ja nende paigaldamine litsentseeritud töötajate poolt.

Uuringute käigus ei täheldatud soojuspuuraukude mõju vee hulgale. Avatud süsteemiga soojuspuuraukude kaudu võetav vesi juhitakse suletud torustikku pidi teise puuraugu kaudu tagasi maapõue. Esineb küll mitmeid süsteeme, kus tagasivoolu puurkaev on sügavam kui pumbatav puurkaev, kuid mõõtmised näitavad, et soojuse ammutamisel töötab sügavamast kaevust ainult madalama puurauguga võrdne osa. Soojuse ammutamisel puudub praktiline vajadus erineva sügavusega puuraukude rajamiseks. Vähendamaks veel ka erinevate veekihtide põhjavee võimalikku segunemise või ühest veekihist teise voolamise riski, siis oleks põhjendatud edaspidi nõuda ühesügavuste puuraukude puurimist avatud süsteemi tarbeks.

Põhimõtteliselt peaks avatud süsteemides kasutatava põhjavee kvaliteeti mõjutama tema kokku puutumine õhuga, kuid see mõju on tegelikkuses raskesti tuvastatav ja määratav.



Kindlasti vähendab seda mõju nõue, et puuraukude suudmed peavad olema suletud. Täiendava meetmena võiks kaaluda nõuet, et tagasivoolu torustik ulatuks mõned meetrid allapoole staatilist põhjaveetaset, et vältida pihustunud vee kokkupuudet puuraugu õhuga ka põhjavee madalseisu ajal.

Pinnase jahutamise või soojendamisega kaasnev põhjavee füüsikaline mõjutamine ei põhjusta vee hulga muutusi. Jäätumisega kaasnev kivimite külmumine toimub väga lokaalselt puuraugus ja tema vahetus ümbruses (maksimaalselt kümneid sentimeetreid puuraugust). Jäätumine mõjutab ainult samast kaevust vee võtmist ja naaberkaevude veeandvust ei mõjutata. Meetritesse ulatuva külmumisvööndi põhjustamiseks tuleb puuraugus temperatuuri alandada pikaajaliselt mitmekümne kraadi võrra, mis muudab soojuspumba kasutamise ebarentaabliks ja seega mittetõenäoliseks.

#### 4. Soovitused seadusandluse muutmiseks

Geotermaalse energia on roheline energia, mille kasutamist tuleb soodustada. On raske saavutada Euroopa Liidu võetud sihte taastuvenergiate osakaalu tõstmisel ilma geotermaalse energia kasutamise kasvuta. Riikides, kus soojuspumpade kasutamine on hüppeliselt kasvanud, toetatakse riiklikul tasandil nende kasutajaid mitmesuguste soodustuste kaudu. Samas suunas peaks liikuma ka Eesti.

Kaevandamiseseadus peaks käsitlema maasisest soojust kui riigile kuuluvat taastuvat vara, mida sarnaselt tuule- või päikeseenergiale võivad maaomanikud kasutada ilma selle eest maksu maksmata.

Veeseaduses tuleks seletada lahti terminid puurauk, energeetiline puurauk ja salvkaev. Hetkel puuduvad igasugused nõuded salvkaevudele ja regulatsioon neist võetava vee tarvitamisele. Praeguse seadusandluse kohaselt ei takista miski aluspõhja ulatuva salvkaevude rajamist ja nende kasutamist energeetilistel eesmärkidel.

Energeetilisi puurauke saab kasutada nii energia ammutamiseks (talvel kütteks) kui ka salvestamiseks (suvel jahutamiseks, paremaks soojusvälja taastamiseks) ning ka seadustes tuleks neid käsitleda mitmefunktsioonilistena.

Juhul kui suletud kontuuriga energeetiline puurkaev täidetakse vett mittejuhtiva materjaliga peale kontuuri paigaldamist, siis puudub vajadus hooldusala kehtestamiseks. Samuti võiks lubada suletud kontuuri paigaldamist puuritud vaiadega vundamentidesse.

Võimaluse korral tuleks eelistada suurema arvu madalamate (<100 m) soojuspuuraukude puurimist ühele või mitmele sügavamale. Sügavad puuraukud avavad otsetee alumiste veekihtideni ja suurendavad võimalust, et reostus kandub kiiresti sügavamatesse kihtidesse.

Lubada vee väljapumpamist energeetilistel eesmärkidel ainult juhul, kui see juhitakse tagasi samasse veekihti teise samas intervallis avatud puuraugu kaudu.

Avatud süsteemiga soojuspuuraukudest võetavat vett tuleks käsitleda mittetarbitava ressursina, sest kogu väljapumbatav veehulk juhitakse veekihti tagasi.

Avatus süsteemides ei tohiks tagasijuhitav vesi saada õhutatud. Tagasivoolutoru ots peaks ulatuma puuraugus allapoole staatilist veepinda ning puuraugu suue võiks soovituslikult olla hermeetiliselt suletud.

Tuleks kaaluda maapinnalt esimese veekihi (näiteks kuni 20 m) energeetilistel eesmärkidel kasutamise lubamist avatud süsteemiga ilma 10 m hooldusala kehtestamiseta juhul, kui puuraugud suletakse reostuskindlalt. Eriti just tiheasustusosal on ülemine põhjaveekiht sageli reostunud ning joogiveeks kõlbmatu, kuid soojuse tootmiseks on see täiesti piisav.

Enne kristalse aluskorra kivimitega seotud soojusressursside kasutamise lubamist tuleks teostada keskkonnamõjude hindamine. Suure soolsusega aluskorra vee tarbimisega kaasnevad potentsiaalsed ohud vajavad eelnevat uurimist.

Soojuspuuraukude puurijad ja soojuspumpade paigaldajad võiksid olla litsentseeritud, et vähendada oskamatuses seotud keskkonnareostuse ohte.

Tuleks üle vaadata nii horisontaalsetes kui ka vertikaalsetes soojuskontuurides kasutatavad vedelikud ja vajadusel keelata keskkonnaohtlikud ühendid. See hõlmab ka vanemaid süsteeme, mille rajamise ajal võis olla kasutusel näiteks toksiline etüleenglükool. Nüüdisaegsetes süsteemides kasutatakse piiritust või teisi looduslikult lagunevaid mittetoksilisi ühendeid.

Kõigi maasoojuspumpade paigaldamine peaks olema kooskõlastatud kohaliku keskkonnateenistusega. Eriti just horisontaalsed kontuurid kätkevad endas ohtu, et kui riigil puudub ülevaade nende asukohtadest, siis ei osata ka ennetada võimalikku leket, mis võib kaasneda tühjendamata kontuuri lõhkumisega näiteks uue maaomaniku poolt. Horisontaalsed kontuurid asuvad küll väikeses sügavuses, kuid nad on vertikaalsetest kontuuridest pikemad ja võivad sisaldada suuremas koguses külmakande vedelikke, mille looduslik lagunemine ei toimu koheselt ning mis jõuavad põhjavee ülemistesse kihtidesse.

## 5. Kokkuvõte

Viimase 13 aasta jooksul on Eestis puuritud mitmeid puurauke, mida kasutatakse energia saamiseks või soojuse talletamiseks. Käesoleva töö eesmärgiks oli nende puuraukude tehnilise seisundi kontroll ja selgitada välja, millist mõju nad omavad põhjavee kvaliteedile ja hulgale.

Soojuspuuraukud ei ole Eestis kuigi levinud. Käesoleva töö täitmisel koguti informatsiooni kümne avatud ja viie suletud süsteemi olemasolu, detailsemaid vaatlusi ja/või mõõtmisi teostati vastavalt kuues ja kolmes kohas. Lisaks visuaalsetele vaatlustele teostati võimaluse korral puuraukudes põhjavee temperatuuri- ja elektrijuhtivusekarotaaži. Ühe süsteemi jälgimisel teostati poole aasta jooksul temperatuuri monitooringut.

Soojuspuuraukudes tehtud mõõtmistega ei tuvastatud soojuspumpade põhjustatud reostust. Töös kirjeldatakse ühte juhtumit, kus külmakand vedelik pääses puurauku, kuid põhjustatud piiritusereostus oli lokaalne ja kadus suhteliselt ruttu. Ühes puuraukus tuvastati põhjavee külmumist küttehooaja kõrghetkel, kuid nii rahvusvahelised kogemused kui ka temperatuuride taastumine selles puuraukus ja analoogilises puuraukus näitavad, et jahtumine on väga lokaalne puuraugu vahetus läheduses ja ei mõjuta põhjavee liikumist aluspõhjas.

Peamiseks tuvastatud tehniliseks probleemiks tuleb lugeda soojuspuuraukude suudmete lahendusi. Keskkonnaministri määruse kohaselt peaks puuraugu manteltoru ulatuma vähemalt 30 cm üle maapinna või suue peaks asuma veekindlate seintega šurfis. Eriti just avatud süsteemiga puurkaevude suudmed on maapinnal või mullakihi all ja määrukses olev nõue täitmata. Samas tuleb tõdeda, et reeglina on puuraukud veekindlalt suletud ja vaid üksikjuhtudel esines potentsiaalne pinnavee sissevoolamise oht.

Aruande soovitude peatükk sisaldab ettepanekuid soojuspuurauke käsitleva seadustiku muutmiseks. Samuti on aruandes lühike ülevaade Euroopa riikide soojuspuuraukude regulatsioonist, mis üldiselt on madalate soojuspuuraukude rajamist soosiv ja toetav.

## 6. Tänusõnad

Töö autor on tänulik kõigile soojuspuuraukude omanikele, kes lahkelt lubasid neis uuringuid läbi viia ning jagasid mitmekülgset informatsiooni oma soojuspumpade kohta. Suured tänud Heino Uussaarele Movek Gruppist, kes jagas oma aastate pikkust kogemust ning aitas autorit järje peale soojuspumpade valdkonnas.

## 7. Abstract

*Jõelegt, A. 2007. Environmental impact of geothermal boreholes. Report. Univeristy of Tartu, Institute of Ecology and Earth Sciences, Department of Geology, Tartu, 38 pp.*

Several geothermal boreholes have been drilled in Estonia during the past 13 years, but their impact on environment has not been investigated yet. The aim of present study is to find out in what conditions are the existing geothermal boreholes and are there any threats on groundwater, which is the main drinking water supply in Estonia.

The study concluded that geothermal boreholes are not very common in Estonia. Altogether there are only about 20 ground source heat pump systems of which 6 groundwater heat pump systems (open loop systems) and 3 borehole heat exchangers (closed loop systems) have been inspected more thoroughly. In addition to visual observations, temperature and fluid specific conductivity were logged whenever possible.

Logging indicated that there is no heat pump related pollution in geothermal boreholes. Although boreholes may freeze during the few peaks of heating season, the recovery is fast as soon as the load of heat consumption decreases. The data suggest that cooling is mainly limited to the borehole and its nearest vicinity and do not affect groundwater flow in rocks even in the local scale.

The main technical problems of geothermal boreholes are related to the construction of well heads. According to Estonian legislation the well heads must extend 30 cm above the ground surface or alternatively the well heads must be in specific caves. These demands are not fulfilled in many cases and there is a potential threat of surface water spill into these boreholes.

The present report includes many suggestions how to improve existing legislation. There are also overviews on legislation in other European countries. Also a short description of Estonian geothermics is included.

## 8. Kasutatud kirjandus

Clauser, C., 2006. Geothermal Energy, In: K. Heinloth (ed), Landolt-Börnstein, Group VIII: Advanced Materials and Technologies, Vol. 3: Energy Technologies, Subvol. C: Renewable Energies, Springer Verlag, Heidelberg-Berlin, 493-604.

Eugster W. J. and Rybach L., 2000. Sustainable production from borehole heat exchanger systems. Proceedings of World Geothermal Congress 2000, 825-830.

Eugster W. J. and Sanner B., 2007. Technological Status of Shallow Geothermal Energy in Europe. Proceedings of the European Geothermal Congress 2007. Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007, 8 p.

“Heat Pumps” project planning manual, 2006. [http://www.dimplex.de/fileadmin/dimplex/downloads/planungshandbuecher/en/PHB\\_HP\\_heating\\_Sep06.pdf](http://www.dimplex.de/fileadmin/dimplex/downloads/planungshandbuecher/en/PHB_HP_heating_Sep06.pdf)

Jõelet A., 1998. Geothermal studies of the Precambrian basement and Phanerozoic sedimentary cover in Estonia and Finland, PhD dissertation, Tartu, 125 p.

Jõelet A. and Kukkonen I.T., 2002. Physical properties of Vendian to Devonian sedimentary rocks in Estonia. GFF, 124, 65—72.

Nurmi P. A. and Kukkonen I. T., 1986. A new technique for sampling water and gas from deep drill holes. Canadian Journal of Earth Sciences 23 (9), 1450-1454.

Pahud D. and Hubbuch M., 2007. Measured Thermal Performances of the Energy Pile System of the Dock Midfield at Zürich Airport. Proceedings of the European Geothermal Congress 2007. Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007, 7 p.

Rybach L. and Eugster W. J., 2002. Sustainability aspects of geothermal heat pumps. Proceedings, Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2002, 6 p.

„Technical assistance on the standards and codes applied to heating and cooling from renewable energies sector“ 2007. Report, MVV Consulting. [http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/heating\\_cooling/2007\\_06\\_14\\_final\\_report\\_standards\\_and\\_codes\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/heating_cooling/2007_06_14_final_report_standards_and_codes_en.pdf)

Lisa 1. Uuritud puuraukude nimekiri.

Nr.	katastri nr <sup>1</sup>	passi nr <sup>1</sup>	veekihit <sup>1</sup>	sügavus <sup>1</sup>	puurimise a. <sup>1</sup>	vald, linn <sup>1</sup>	aadress	PL, lamb <sup>2</sup>	IP, lamb <sup>2</sup>	Uuring <sup>3</sup>	kommentaariid
1	4704	6668/1	C-V	150	1994	Viimsi vald	Haabneeme, Vahtra tee 6, eramu, energ	6597682	546200	V, T, EJ	
2	4701	6668/2	C-V	144	1994	Viimsi vald	Haabneeme, Vahtra tee 6, eramu, energ	6597684	546235	V, T, EJ	energia + vesi
3	14496	6822	V2vr	200	1998	Tallinn	Nurme tn. 37 (energ. vee pk.)	6582791	539260	V, T, EJ	
4	14769	6838	C-V	200	1999	Tallinn	Nõmme Linnaosa, Hommiku tn. 8 (energ.vee	6582633	536424	V	
5	16935	160	V2gd	160	2003	Harku vald	Tabasalu a-k, Vahtra 10 (energ. vee pk.)	6587649	530113	V	
6	14965	6842(PA-1)	S-O	101	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528524	588846	V	
7	19376	6843(PA-2)	S-O	81	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528540	588854	V	
8	19377	6844(PA-3)	S-O	90	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528556	588846	V	
9	19378	6845(PA-4)	S-O	102	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528573	588832	V	
10	19379	6846(PA-5)	S-O	100.5	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528592	588817	V	
11	19380	6847(PA-6)	S-O	102	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528579	588800	V	
12	19381	6848(PA-7)	S-O	102	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528566	588787	V	
13	19382	6849(PA-8)	S-O	65	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528550	588772	V	
14	19383	6850(PA-9)	S-O	103	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528535	588756	V	
15	19384	6851(PA-10)	S-O	100.3	1999	Paide l.	Ringtee tn. 2	6528514	588739	V	
16	16948	SP-266	S	99	2003	Pärnu l.	Tammsaare pst. 44 (energ. vee pk.)			V	pumbakaev
17				2003		Pärnu l.	Tammsaare pst. 44 (energ. vee pk.)	6470512	530298	V, T, EJ	tagasivoolukaev
18	16470	915	S	12	2002	Paide l.	Peetri tn. 2/5 (energ. vee pk.)			V	tegelikult 2 kaevu
19	21226	1540	S	15	2005	Paide l.	Peetri 4/1 (energ. vee pk.)			V	tegelikult 2 kaevu
20	21387	SP-327	O	29	2005	Haapsalu l.	Pääsukese 5 (energ. pk.)	6532296	472966	V, T, EJ	pumbakaev
21	21388	SP-328	O	69	2005	Haapsalu l.	Pääsukese 5 (energ. pk.)	6532302	472952	V, T, EJ	tagasivoolukaev
22	21390	SP-325	O	25	2005	Haapsalu l.	Pääsukese 3 (energ. pk.)			V	
23	21391	SP-326	O	35	2005	Haapsalu l.	Pääsukese 3 (energ. pk.)				
24	16759	451-1SL	O-C	36	2004	Ridala vald	Uuemõisa a-k, Tehnika tn. 30 (energ. vee pk.)	6533131	476145	V	pumbakaev
25							Uuemõisa a-k, Tehnika tn. 30 (energ. vee pk.)	6533122	476130	V, T, EJ	tagasivoolukaev
26							Uuemõisa a-k, Tehnika tn. 30 (energ. vee pk.)	6533121	476118	V, T, EJ	hetkel kasutamata
27							Uuemõisa a-k, Tehnika tn. 30 (energ. vee pk.)	6533114	476098	V, T, EJ	hetkel kasutamata
28							Saku	6574091	536893	V, T, EJ	pumbakaev
29							Oisu k., Pikk 1	6514551	590499	V, T, EJ	tagasivoolukaev
30							Oisu k., Pikk 1	6514554	590488	V, T, EJ	energia + vesi
31							Saue, Palgi 9	6576040	531091	V	pumbakaev
32							Saue, Palgi 9	6576036	531118	V, T, EJ	tagasivoolukaev

<sup>1</sup> Andmed pärinevad põhjaveekatastrist.

<sup>2</sup> Halli taustaga asukohakoordinaadid erinevad põhjaveekatastris olevatest üle 20 m.

<sup>3</sup> Uuring: V - vaatlus, T - temperatuurikarotaaž, EJ - elektrijuhitavuse karotaaž