1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Projekt "Jõhvi, Toila ja Mäetaguse valla ühise energiasäästliku arengu kavandamine"

Ptk 4. Mäendus aruanne

Kaevandusvete hüdrogeoloogiline modelleerimine ja kasutuselevõtmise tehnilised lahendused Jõhvi ja Mäetaguse vallas



MÄEINSTITUUT TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL mi.ttu.ee

TTÜ Mäeinstituut

5. jaanuar 2011. a.

1 Sisukord

1 Sisukord 2
1.1 Tabelid 4
1.2 Joonised 5
2 Sissejuhatus 8
3 Ülesande püstitus ja taustinfo 8
3.1 Autorid 9
3.2 Mõisted 9
3.3 Kasutatud andmed 15
3.4 Kasutatud tarkvara 15
4 Etapp 1: Kaevandusvete kasutusele võtmise potentsiaal soojusvarustuses ja tehnilised lahendused Jõhvi ja Mäetaguse vallas. 16
4.1 Modelleerimine 16
4.2 Geomeetriline modelleerimine 16
4.2.1 Uuringuala 16
4.2.2 Geomeetriline mudel 20
4.3 Tehnoloogiline modelleerimine 30
4.3.1 Üldistatud kaevandusvee staatiline mudel 33
4.3.2 Maapinna vajumine 36
4.4 Hüdrogeoloogiline modelleerimine 38
4.4.1 Põhjavesi, küllastunud kihid 38
4.4.2 Hüdrogeoloogilised andmed 42
4.4.3 Hüdrogeoloogilise mudeli objektid 48
4.4.4 Dünaamiline hüdrogeoloogiline mudel 52
4.5 Kaevandusvete kasutusele võtmise potentsiaal soojusvarustuses 55
4.6 Tehnilised lahendused Jõhvi ja Mäetaguse vallas 55
4.7 Võimalike soojusallikate ja tarbimispunktide kaardistamine 56
4.8 Hinnang soojuspotentsiaali kasutamiseks ning soojuse akumuleerimiseks 62
5 Etapp 2: Jõhvi vallas kaevandusvete kasutamise tasuvushinnang Tammiku, Kose, Aiandi või tööstuspiirkonnas näidisobjektil. 70
5.1 Võimalikud näidisobjektid Jõhvi vallas 70
5.2 Tammiku asula, Aiandi piirkonna, Jõhvi linna, Ahtme linnaosa soojusega varustamine Ahtme SEJ juurde rajatava soojuspumba kaudu 70

5.3 Kose küla 82
5.4 Näidisobjekti valik ja selle tasuvushinnang 86
5.4.1 Tasuvushinnang: esimene variant – 10MW. 86
5.4.2 Tasuvushinnang: teine variant – 50MW 87
6 Etapp 3: Võimalused suletud kaevanduste Kaevandus nr. 2, Tammiku ja Ahtme maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimist ning nende hüdro-ja maasoojusenergeetilise potentsiaali ära kasutamist Jõhvi vallas. 89
7 Etapp 4: Mäetaguse vallas tasuvushinnang kaevandusvete ärakasutamiseks kütteks näidisobjektil Kiikla alevikus suletud Sompa kaevanduse vete baasil 90
7.1 Võimalikud näidisobjektid Mäetaguse vallas 90
7.2 Kiikla küla 90
8 Kokkuvõte 97
9 Kasutatud kirjandus 100

1.1 Tabelid

Tabel 1 Uuringu autorid 9
Tabel 2 Mudelis kasutatavad mõisted ja tähised 14
Tabel 3 Uuringus kasutatud andmed 15
Tabel 4 Uuringus kasutatud tarkvara 15
Tabel 5 Geomeetrilise mudeli lähteandmed 19
Tabel 6 Kaevanduste geomeetrilised andmed 30
Tabel 7 Kaevanduste mahumudel 35
Tabel 8 Maksimaalne maapinna vajumine sõltuvalt kaevandamise tehnoloogiast 36
Tabel 9 Veemaht põlevkivikihindis 37
Tabel 10 Põlevkivikaevandusi veestavate kihtide iseloomustus [16] 40
Tabel 11 Sademed 2008-2009. aastal Jõhvi HMJ andmetel [13] 45
Tabel 12 Kaevanduste pumbajaamade andmed [5] 45
Tabel 13 Vaatluspuurkaevude andmed uuringualal [5] 46
Tabel 14 Modelleerimisel kasutatud filtratsioonitegurid [8,5,19] 47
Tabel 15 Uuringuala modelleerimisel kasutatud alade ja kihtide andmed [5,8,9,17,18,19] 47
Tabel 16 Vee maht kaevandustes 55
Tabel 17 Lõigete seletused 64
Tabel 18 Jõhvi linna, Tammiku asula ja Ahtme linnaosa soojusvajadus ning sellest lähtuvalt kaevandusvee kasutamise mahud 79
Tabel 19 Kose asula võimalik soojusvajadus ning sellest lähtuvalt kaevandusvee kasutamise mahud 85
Tabel 20 Tootmiseks tehtavad kulutused, kui 10MW soojusenergia tootmiseks 86
Tabel 21 Soojusega opereerimiseks tehtavad kulutused, kui 10MW soojusenergia tootmiseks 86
Tabel 22 10MW soojusenergia tootmiseks tehtavad kulutused 86
Tabel 23 Tootmiseks tehtavad kulutused, kui 50MW soojusenergia tootmiseks 87
Tabel 24 Soojusega opereerimiseks tehtavad kulutused, kui 50MW soojusenergia tootmiseks 87
Tabel 25 50MW soojusenergia tootmiseks tehtavad kulutused 87
Tabel 26 Kiikla küla soojusvajadus ning sellest lähtuvalt kaevandusvee kasutamise mahud 94
Tabel 27 Kiiklasse installeeritava soojusvõimsuse tootmiseks tehtavad kulud 96
Tabel 28 Kiikla soojuspumbast saadava soojuse opereerimiseks tehtavad kulutused 96
Tabel 29 Kiikla soojuspumba kulutused 96
Tabel 30 Põlevkivi kaevandustes olev vesi (tühjas ruumis, tervikutes, kattekivimite tühemikes) 97

1.2 Joonised

Joonis 1 Kaevandusvee kasutamise põhimõtteskeem [6] 8
Joonis 2 Uuringuala suurusega 30x30 km 17
Joonis 3 Käsikambritega ja osalise täitmisega kaevandatud ala 18
Joonis 4 Käsilaavadega ja osalise täitmisega kaevandatud ala 18
Joonis 5 Kombainilaavadega ja maa langetamisega kaevandatud ala 19
Joonis 6 Tulptervikutega kamberkaevandatud ala 19
Joonis 7 Maapinna absoluutkõrgus, m 21
Joonis 8 Maapinna ruumiline mudel, vaade kagust, ülalt ja lõunast 22
Joonis 9 Kvaternaarisetete paksus uuringualal, m 23
Joonis 10 Lubjakivi lae ehk kvaternaarisetete põhja absoluutkõrgus, m 23
Joonis 11 Lubjakivi paksus uuringualal, m 24
Joonis 12 Põlevkivikihindi lae, e. kaljuse katendi põhja absoluutkõrgus uuringualal, m 25
Joonis 13 Põlevkivikihindi lae, e. kaljuse katendi põhja absoluutkõrgus uuringualal, m. Ruumiline mudel. 25
Joonis 14 Põlevkivikihindi paksus uuringualal ja põlevkivimaardlas, m 26
Joonis 15 Põlevkivikihindi põhja absoluutkõrgus plaanil ja kõrgusmudel, vaade idast 27
Joonis 16 Lõigete I-I' ja II-II' asukohad 28
Joonis 17 Põhja-Lõuna suunaline läbilõige I-I' 29
Joonis 18 Lääne-Ida suunaline läbilõige II-II' 29
Joonis 19 Põhjavee taseme 2008. aasta kõrgusmudel, vaade idast, ruudustik suurusega 5x5km 30
Joonis 20 Kaeveõõne kõrgus erinevate väljamistehnoloogiate korral, m 31
Joonis 21 Käsilaava skeem 32
Joonis 22 Kombainilaava skeem 32
Joonis 23 Kambriploki varing tulptervikutega kamberkaevandamise korral 33
Joonis 24 Kamberkaevandamise läbilõige, tervikud püsivad 33
Joonis 25 Kaevandused uuringualal 34
Joonis 26 Vajumid maapinnal, läänes kombainilaavad, idas kambriplokid 36
Joonis 27 Võimalik tervikute deformeerumine põlevkivikaevandustes 37
Joonis 28 Maapinna vajumine kombainilaava alal (LIDAR andmed) 37
Joonis 29 Maapinna vajumine kombainilaava alal (Kaevandus nr 4, kaevandatud 1974) 37
Joonis 30 Vee mahud kaevanduste aladel, milj. m^3 38
Joonis 31 Eesti hüdrogeoloogiline läbilõige. Veeladestute piirid on jämeda joonega. 1 - liiv, kruus, moreen, 2 - liivakivi, 3 - lubjakivi ja dolomiit, 4 vettpidav kiht (savi, tihe lubjakivi), 5 – aluskord 39
Joonis 32 Vaatluskaevud ja pumbad uuringualal 43
Joonis 33 Veetase 2000. aastal 43
Joonis 34 Veetase 2004. Aastal 44
Joonis 35 Veetase 2008. aastal 44
Joonis 37 Kõrgusandmed hüdrogeoloogilises mudelis 48
Joonis 36Veepidemed uuringualal 1
Joonis 38 Pumba lisamine hüdrogeoloogilisse mudelisse 49
Joonis 39 Vaatluspuurkaevu parameetrite sisestamine mudelisse 49
Joonis 40 Veejuhtivused K_x, K_y ja K_z 50
Joonis 41 Eriveemahtuvus Ss mudelis 50

Joonis 42 Eriveeloovuutus Sy mudelis ... 51
Joonis 43 Efektiivpoorsus n mudelis ... 51
Joonis 44 Poorsus p mudelis ... 52
Joonis 45 Sademetest tingitud juurdevool mudelis (Recharge) ... 52
Joonis 46 Mudel näitab kihiti veetasemeid ja kuivi ning vett täis mudeli võrgupunkte ... 53
Joonis 47 Mudeli read näitavad profiilis kihtide asetust, veetaset ja pumpade ning vaatluskaevude asukohti ... 54
Joonis 48 Vee pumpamise mudel ... 55
Joonis 49 Tarbimispunktide kaardistamine ... 56
Joonis 50 Väljavoolud kaevandustest, pumbad ja vaatluskaevud ... 56
Joonis 51 Kohtla jõgi, (p 14 Joonis 50) ... 57
Joonis 52 Kuiv suletud kaevanduse kraav Sompa kaevanduse lõunanurgas (p 5 Joonis 50) ... 57
Joonis 53 Endine kaevanduse vee väljavoolu koht Ahtme kaevanduse lõunaservas (p 10 Joonis 50) ... 58
Joonis 54 Teise kaevanduse streki varing (p 12 Joonis 50) ... 58
Joonis 55 Vee sissevool Kohtla kaevanduse kattekivimitest üle tõkketerviku Aidu karjääri (p 8 Joonis 50) ... 59
Joonis 56 Ahtme kaevanduse väljavool (p 6 Joonis 50) ... 59
Joonis 57 Tammiku-Kose väljavool (p 7 Joonis 50) ... 60
Joonis 58 Teise kaevanduse väljavool (p 13 Joonis 50) ... 61
Joonis 59 Kukruse kaevanduse põhi (p 15 Joonis 50) ... 62
Joonis 60 Kuiv kraav Sompa kaevanduse lõunaosa pumpla N5 asukohas (p 11 Joonis 50) ... 62
Joonis 61 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal ... 63
Joonis 62 Kaevandustes oleva vee kasutamise potentsiaali välja selgitamiseks vajalike lõigete asukohad ... 64
Joonis 63 Lõige nr 1 "Kiikla" ... 65
Joonis 64 Lõige nr 2 "Sompa kaevandus" ... 66
Joonis 65 Lõige nr 3 "Allmaabasseinid" ... 67
Joonis 66 Lõige nr 4 "Jõhvi linn" ... 67
Joonis 67 Lõige nr 5 "Tammiku-Ahtme" ... 68
Joonis 68 Lõige nr 6 "Ahtme kaevandus" ... 68
Joonis 69 Lõige nr 7 "Ahtme väljavool" ... 69
Joonis 70 Tammiku, Aiandi, Jõhvi linna ja Ahtme linnaosa asukohaplaan ... 71
Joonis 71 Tammiku asula asukohaplaan ... 72
Joonis 72 Aiandi piirkonna asukohaplaan ... 73
Joonis 73 Tammiku, Aiandi, Jõhvi linna ja Ahtme linnaosa alla jäävate kaevanduste mäetöödeplaanid ... 75
Joonis 74 Tammiku asula all asuva Tammiku kaevanduse mäetöödeplaan ... 76
Joonis 75 Aiandi piirkonda jäävate kaevanduste mäetööde plaan ... 77
Joonis 76 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal Jõhvi ja Ahtme piirkonnas ... 78
Joonis 77 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal Tammiku asulas ... 78
Joonis 78 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal Aiandi piirkonnas ... 79
Joonis 79 Ahtme kaevanduse mäetoode plaan ja kaevanduse pumpla Ahtme SEJ kõrval ... 80
Joonis 80 Võimalikud soojuspumba vee võtu kohad Ahtme SEJ kõrval ... 81
Joonis 81 Soojuspumba läbinud vee suunamine tagasi loodusesse mööda kraave pidi ... 82
Joonis 82 Kose küla asukohaplaan ... 83

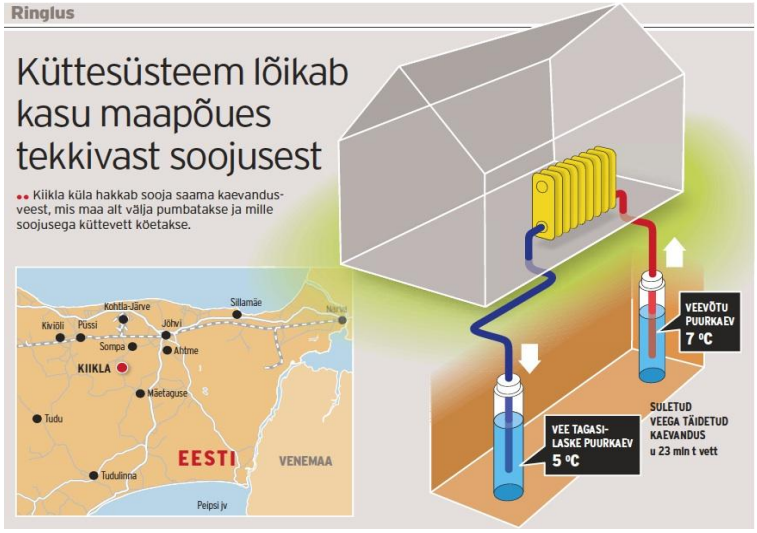
Joonis 83 Kose küle naabrusse jäävate kaevanduste mäetöödeplaanid 84
Joonis 84 Soojuspumba võimalikud vee võtu kohad Kose asula kütmiseks 85
Joonis 85 Kululiikide kulud installeeritava võimsuse kohta, 10MW soojusenergia tootmise puhul 87
Joonis 86 Kululiikide kulud installeeritava võimsuse kohta, 50MW soojusenergia tootmise puhul 88
Joonis 87 Tammiku ja Ahtme kaevanduse maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimine 89
Joonis 88 Kiikla küla asukohaplaan 91
Joonis 89 Kiikla küla ümbrusesse jäävate kaevanduste mäetöödeplaan 93
Joonis 90 Soojuspumba võimalikud vee võtukohad Kiikla küla ümbruses 95
Joonis 91 Kululiikide kulud Kiiklasse installeeritava võimsuse kohta 96
Joonis 92 Tasuvusanalüüs Ahtme soojuspumba (SP) jaoks 98
Joonis 93 Tasuvusanalüüs Kiikla jaoks 99

2 Sissejuhatus

Käesolev aruanne on TTÜ Mäeinstituudi kaevandusvee hüdrogeoloogilise mudeli koostamise esimene vahearuanne. Vahearuande koostamise ajaks on kõik vajalikud mudelid koostatud. Ees seisab mudeli kalibreerimine, tarbimispunktide analüüs, pumpade tootlikkuse optimeerimine ja arvutuste kooskõlastamine projektimeeskonnas.

3 Ülesande püstitus ja taustinfo

Hüljatud või suletud põlevkivikaevanduste vee kasutamine soojusenergia või kineetilise energia allikana on üks võimalusi moodustunud tehnogeense veekogumi otstarbekaks kasutamiseks. (Joonis 1) Veekogumi kasutamise hindamiseks tuleb arvutada võimalik vee maht, vee vooluhulk ja analüüsida võimalikke kohti veevõtuks, vee pumpamiseks või soojuspumba paigutamiseks. Analüüsiks on otstarbekas koostada mäenduslik geoinfosüsteemi mudel, milles sisaldub kivimikihtide ja maapinna geomeetriline mudel, kaevanduse tehnoloogiline ruumiline mudel ja vee voolu hüdrogeoloogiline dünaamiline mudel. Mudeli abil simuleeritakse vee pumpamist soovitavatest kohtadest.



Joonis 1 Kaevandusvee kasutamise põhimõtteskeem [6]

Projekti eesmärk on luua uuringualas, mis hõlmab Jõhvi, Toila ja Mäetaguse valdu, eeldused põlevkivienergeetika negatiivse sotsiaalmajandusliku- ja keskkonnamõju leevendamiseks läbi energiasäästu meetmete kavandamise ja kohalikel alternatiivsetel energiaallikatel põhineva energiatootmise arengueelduste väljaselgitamise. Selle rakendumine on eelduseks kohaliku majanduskeskkonna elavnemisele ja jätkusuutlikkuse kasvule ning sõltuvuse vähenemisele import- ja fossiilkütustest Jõhvi, Toila ja Mäetaguse vallas.

TTÜ mäeinstituudi uurimustöö neli etappi

4.1. Kaevandusvete kasutusele võtmise potentsiaal soojusvarustuses ja tehnilised lahendused Jõhvi ja Mäetaguse vallas.

4.2. Jõhvi vallas kaevandusvete ärakasutamise tasuvushinnang Tammiku, Kose, Aiandi või tööstuspiirkonnas näidisobjektil.

4.3. Võimalused suletud kaevanduste Kaevandus nr. 2, Tammiku ja Ahtme maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimiseks ning nende hüdro- ja maasoojusenergeetilise potentsiaali ära kasutamist Jõhvi vallas.
4.4. Mäetaguse vallas tasuvushinnang kaevandusvete ärakasutamiseks kütteks näidisobjektil Kiikla alevikus suletud Sompa kaevanduse vete baasil.

3.1 Autorid

Uuringu autorid on TTÜ Mäeinstituudi töötajad. (Tabel 1) Töös on kasutatud teemaga seotud andmeid, artikleid ja projekte. (Tabel 2)

Tabel 1 Uuringu autorid

Ametikoht	**Nimi**	**Osa projektis**
Dotsent	Hardi Torn	metoodika, kontroll
Professor	Ingo Valgma	kontseptsioon, metoodika, aruanded
Spetsialist	Vivika Väizene	digitaalkaardistamine
Spetsialist	Margit Kolats	geomeetrilised ruumimudelid
Assistent	Veiko Karu	andmemudelid, kaevanduste vajumise arvutused, ruumala arvutused
Assistent	Karin Robam	hüdrogeoloogiline analüüs
Spetsialist	Merle Otsmaa	digitaliseerimine

3.2 Mõisted

PÕHJAVEEGA SEONDUVAID MÕISTEID

1. Aeratsioonivöö: maakoore ülemine, maapinnast põhjavee pinnani ulatuv osa, mille poorides on peamiselt õhk, kuid ka allavalguvat (infiltreerunud) vett; põhjavee tasemest kõrgemale jäävad pinnased ja kivimid.
2. Aeroobsed (oksüdeerivad, hapendavad) **tingimused**: olukord, kus veekogus või põhjaveekihis esineb vaba hapnik ning tegutsevad aeroobsed bakterid, (Eh >0).
3. Agressiivne põhjavesi: põhjavesi, mis tingituna oma koostisest (palju vaba CO2, sulfaate jt ühendeid, madal pH) lahustab või söövitab temaga kokku puutuvaid tahkeid aineid (betoon, karbonaatkivimid, raud jne).
4. Alanduslehter (depressioonilehter): töötava kaevu, veehaarde või muu põhjavee taset alandava objekti ümber kujunev põhjavee vaba– või survepinna lehterjas nõgu.
5. Aluskord: Eestis koosneb aluskord Alam–Proterosoikumi magma– ja moondekivimeist ning lamab 100–500 m sügavusel pealiskorra all; mõnekümne meetri paksuses ülemises osas leidub kohati põhjavett.
6. Aluspõhi: Eestis moodustab aluspõhja Vanaaegkonna settekivimite kompleks, kuhu kuuluvad alt üles Vendi, Kambriumi, Ordoviitsiumi, Siluri ja Devoni ajastu kivimid.
7. Anaeroobsed (redutseerivad, taandavad) **tingimused**: olukord, kus veekogus või põhjaveekihis puuduvad vaba hapnik, nitraadid, nitritid ja enamasti ka sulfaadid (Eh <0).
8. Arteesiavesi ehk surveline vesi: maakoore vettpidava kihi all olev põhjavesi, mille survetase on kõrgemal vettpidava kihi alumisest pinnast; soodsatel tingimustel võib vesi puurkaevust ise maapinnale voolata
9. Deebit (tootlikkus): keskmine vee hulk, mida kaev või allikas ajaühikus annab (l/s, m3/ööpäevas jne)

10. Denitrifikatsioon: nitraatlämmastiku redutseerimine molekulaarse lämmastikuni või dilämmastikoksiidini denitrifitseerijate bakterite toimel; protsess toimub anaeroobsetes tingimustes
11. Dünaamiline veetase: kaevus või puuraugus vee välja– või sissepumpamise ajal kujunev veetase
12. Erideebit (eritootlikkus): kaevu tootlikkuse ja püsima jäänud alanduse suhe (tootlikkus arvutatuna ühe meetrise alanduse kohta)
13. Filtratsioon: põhjavee liikumine veega küllastunud setete ning kivimite poorides ja lõhedes
14. Filtratsioonikiirus: filtratsioonigradiendi ja filtratsioonikoefitsiendi korrutis, pole tegelik vee voolukiirus kivimikihi poorides ja tühikutes. Filtratsioonikiirus ja tegelik voolukiirus oleksid võrdsed kui veevool hõlmaks tervet ristlõiget. Tegelik vee voolukiirus on filtratsioonikiirus jagatud vett sisaldava kihi suhtarvuna väljendatud efektiivpoorsusega
15. Filtratsioonikoefitsient: kivimite, setete, pinnaste veeläbilaskvust (veejuhtivust) iseloomustav suurus, filtreeruva vee hulk ajaühikus läbi kihi ristlõike pinnaühiku, mõõdetakse m/ööpäevas (m3/ööpäevas läbi m2 ristlõike = m/ööpäevas).
16. Hajureostus (hajukoormus): otsesed või kaudsed ainete heited või sademetega sissekanne põhjavette, mis võib põhjustada reostumist laial alal, keskkonnakoormus kindla asukohata allikast, näiteks põllukultuuride kasvatamisega kaasnev nitraatide levik ja kloriidide sisalduse suurenemine linnade maapinnalähedases põhjavees
17. Hapnikubarjäär: veekogus või põhjaveekihis esinev vöö, kus toimub üleminek aeroobsest seisundist (mida iseloomustab vaba hapniku, nitraatide ja sulfaatide esinemine ning raua puudumine) anaeroobsesse seisundisse (mida iseloomustab vaba hapniku, nitraatide, nitritite ja sulfaatide puudumine ning 2–valentse raua, sageli ka gaasilise lämmastiku ning väävelvesiniku esinemine)
18. Hüdrauliline kalle, kalle, gradient: surve (rõhu) vähenemine filtratsioonitee ühiku kohta
19. (Vee) **hüdrokeemiline tüüp**: vees esinevate makrokomponentide (mida on 20 mg-ekv% või rohkem) sisaldus, mida väljendatakse nende reastamisega sisalduse alanevas järjekorras, anioonid ees, katioonid järel (näit HCO3–Cl–Ca–Mg)
20. Infiltratsioon: sademe- või pinnavee imbumine maasse. Osa põhjavette infiltreerunud veest aurub põhjavee pinnalt ja aeratsioonivööst eestkätt taimede abil tagasi atmosfääri, allesjäänud veekogus tähendab nn netoinfiltratsiooni
21. Jäänukvesi e. reliktvesi: settekivimi tekkimise ajal pooridesse jäänud vesi
22. (Vee) **karedus**: lahustunud kaltsiumi- ja magneesiumisoolade (peamiselt Ca(HCO3)2 ja Mg(HCO3)2, aga ka CaSO4 ja MgSO4 jt.) sisaldus looduslikus vees; väljendatakse 1 liitris vees sisalduvate kaltsium- ja magneesiumioonide hulgana milligramm–ekvivalentides (mg-ekv/l) või kareduskraadides (ɳdH). Kasutusel on järgmine skaala: (väga) pehme vesi < 1,5 mg-ekv/l (<4,0 ɳdH), keskmiselt kare (pehme) vesi 1,5–3,0 mg-ekv/l (4,0–8,0 ɳdH), suurenenud karedusega (mõõdukalt kare) vesi 3,0–6,0 mg-ekv/l (8,0–16,0 ɳdH), kare vesi 6,0–12,0 mg-ekv/l (16,0–30,0 ɳdH), väga kare vesi > 12,0 mg-ekv/l (>30,0 ɳdH); Eestis tohib joogivee karedus olla kuni 10,0 mg-ekv/l, ehk 27,0 ɳdH)
23. Karst: põhja– ja pinnavee lahustavast toimest tingitud nähtus lubjakivide, dolomiidi, kipsi ja kivisoola esinemisaladel, mille tulemusena tekivad spetsiifilised pinnavormid nagu karrid, karstilehtrid, lohud, kurisud, uurded, lõhed, kanalid, jäänukid, koopad jne. Lisaks lahustavate kivimite olemasolule mõjutavad karstinähtuste levikut ka suhteline erosioonibaas ja tektoonilised rikkevööndid
24. Karstiala: karsti (karstilehtrid, –nõod, –järved, –koopad, –jõed) leviku piirkond, kus puudub ajutiselt või alaliselt sademevee pindmine äravool vooluveekogusse
25. (Vee) **leelisus**: looduslikus vees lahustunud vesinikkarbonaatide (Ca(HCO3)2, Mg(HCO3)2 ja NaHCO3) sisaldus, väljendatud milligramm–ekvivalentides liitris (mg-ekv/l)

26. Looduslik põhjaveevaru: varem kasutusel olnud mõiste kui staatilise ja dünaamilise põhjaveevaru summa. Staatiline põhjaveevaru oli võrdne maapinnas oleva gravitatsioonilise vee mahuga (vesi, mis võib raskusjõul pinnases liikuda). Dünaamiline põhjavaru oli võrdne veehulgaga, mis igal aastal infiltreerus põhjavette. Looduslik põhjaveevaru on suurem kui põhjaveeressurss

27. Maapinnalähedane põhjavesi: valdavalt aeroobne põhjavesi, harilikult surveta (vabapinnaline) veekihi või veekihtide ülemises 10–30 m osas esinev (enamasti pinnakattes, õhukese pinnakatte puhul ka aluspõhja kivimeis)

28. (Vee) **mineraalsus**: vees lahustunud mineraalainete hulk, väljendatakse kas mg/l või g/l

29. Mineraalvesi (ka ravi–mineraal– e. tervisevesi): põhjavesi, millel on mineraalsoolade, gaaside, mikroelementide jt. ainete rohke sisalduse või muude omaduste (radioaktiivsuse, temperatuuri, happesuse jm.) tõttu tervisele kasulik toime

30. Nitrifikatsioon: ammoniaagi oksüdeerimine nitritini ja edasi nitraadini nitrifitseerijate bakterite elutegevuse käigus; protsess toimub aeroobsetes tingimustes

31. Pealiskord: Eestis moodustavad pealiskorra Vendi, Kambriumi, Ordoviitsiumi, Siluri ja Devoni ladestu kivimid ning Kvaternaari setted

32. Pinnakate: aluspõhja katvad kobedad (e. purd–) setted; Eestis moodustavad pinnakatte Kvaternaari ajastu setted

33. Pinnasevesi: pinnakattes leviv ülavesi või maapinnalähedane põhjavesi

34. Põhjavee bilanss: teatud piirkonna põhjavee juurde- ja äravooluelementide summa

35. Põhjavee kaitstus: hinnanguline kategooria, väljendab põhjaveekihi kaetust setete või kivimitega mis takistavad reoaine jõudmist põhjavette

36. Põhjaveekiht, veekiht: vett sisaldav ja andev maapõue osa, poorsetes või lõhelistes vettjuhtivates kivimites ja setetes leviv põhjavesi; üks või mitu kivimi– või pinnasekihti, mis on piisavalt poorsed ja läbilaskvad, et põhjavesi saaks seal märkimisväärses ulatuses voolata või sealt saaks võtta olulises koguses põhjavett (kasutatud on ka nimetusi veehorisont ja veelade)

37. Põhjaveekihi veejuhtivus: põhjaveekihi veeläbilaskevõime, iseloomustatakse vett andva pinnase filtratsioonikoefitsiendi ja veekihi paksuse korrutisega *km* (m2/ööpäevas), on hüdrogeoloogiliste arvutuste tähtsaim parameeter

38. Põhjaveekihi taseme- ja rõhujuhtivus (piesojuhtivus): põhjaveekihi omadus veetaseme või rõhu muutusi edasi kanda. Vabapinnalise põhjavee tasemejuhtivus (*a*) sõltub põhjaveekihi veejuhtivusest (*km*) ja veeannist (μ), $a=km/\mu$. Survelise veekihi korral nimetatakse ka rõhujuhtivuseks või piesojuhtivuseks. Survelise veekihi korral sõltub tasemejuhtivus veekihi veejuhtivusest ja veekihi (vesi+pinnas) elastsusmoodulist (kui palju vett vabaneb ruumalaühikust surve ühikulise vähenemise korral)

39. Põhjavee liigvähendamine: lubamatu tegevus, mille tagajärjel põhjavee tase või surve püsivalt alaneb (allikate puhul vooluhulk väheneb)

40. Põhjaveekogum: veemajanduskavas piiritletav põhjaveemaht põhjaveekihis või –kihtides, veemajanduskavade aruandlusühik, põhjavesi, mida kasutatakse või soovitakse tulevikus joogiveeallikana kasutusele võtta, või mis mingil muul moel on oluline

41. Põhjaveemaardla ehk "põhjaveevaru arvestuspiirkond": põhjavee võtmiseks määratud kinnitatud põhjaveevaruga maa–ala

42. Põhjaveeressurss: veekihi või veeladestiku keskmine pikaajaline toitumismäär, millest on lahutatud pinnaveekogude ökoloogilise kvaliteedi säilitamiseks vajalik vooluhulk

43. Põhjavee tase: vabapinnalises põhjavees mõõdetud veetase, pindalaliselt väljendatult põhjaveepind; survelises põhjavees mõõdetud survetase, pindalaliselt väljendatult survepind

44. Põhjaveevaru: vee kogus põhjaveeressursist mida lubatakse veehaarete abil kasutusele võtta nii, et oleks tagatud põhjavee hea seisundi säilimine. Põhjaveevaru jaguneb uurituse

detailsusest sõltuvalt tarbevaruks T1 või T2 või prognoosvaruks P. Põhjaveevaruga maa–ala on põhjaveevaru arvestuspiirkonnaks

45. Põhjavesi: laiemas käsitluses on kogu allpool maapinda küllastusvööndis olev vesi, mis on otseses kokkupuutes mulla või mulla aluskihiga; kitsamas käsitluses küllastusvööndis raskusjõu või hüdraulilise rõhu toimel pinnase poorides või lõhedes liikumisvõimeline vesi

46. Redokspotentsiaal, **Eh**: näitaja, mis iseloomustab süsteemi oksüdeerivaid (aeroobseid, hapendavaid, Eh>0) või redutseerivaid (anaeroobseid, taandavaid, Eh<0) omadusi

47. Redoksreaktsioon: keemiline reaktsioon, milles reageerivate ainete elementide oksüdatsiooniaste muutub. Seda seletatakse elektronide üleminekuga redutseerijalt oksüdeerijale

48. Reostamine: inimtegevuse tulemusena ainete või soojuse otsene või kaudne õhku, vette või maasse viimine, mis võib osutuda kahjulikuks inimeste tervisele või veeökosüsteemide või veeökosüsteemidest otseselt sõltuvate maismaaökosüsteemide kvaliteedile, põhjustab kahju materiaalsele varale või raskendab või takistab keskkonna kasutamist puhkeaja veetmiseks või muul seaduslikul otstarbel. Vee reostamine on vee kasutamise piiramist põhjustav vee omaduste halvendamine reostusallika poolt

49. Reostunud põhjavesi sisaldab inimtekkelist reoainet üle keskkonnakvaliteedi standardi (keskkonnanormi) ning on inimese tervisele ja keskkonnale ohtlik

50. Sanitaarkaitseala: veehaarde sanitaarkaitseala on joogivee võtmise kohta ümbritsev maa- ja veeala, kus veeomaduste halvenemise vältimiseks ning veehaarderajatiste kaitsmiseks kitsendatakse tegevust ja piiratakse Veeseaduse alusel liikumist

51. Seotud vesi: kivimi, pinnase või mulla osakestele molekulaarjõudude mõjul kinnitunud või huumuse ja mineraalide koostises olev vesi; ei kuulu põhjavee hulka

52. Soolakas vesi: vesi, milles on lahustunud 2–10 g/l sooli (kloriide, sulfaate)

53. (Vee) **soolsus**: looduslikus vees lahustunud sulfaatide ja kloriidide (CaSO4, MgSO4, CaCl2, MgCl2, Na2SO, NaCl) hulk milligrammides või grammides liitris (või kilogrammi kohta)

54. Staatiline veetase: põhjavee tase puuraugus või kaevus kui vett välja ei pumbata ega juurde ei lasta

55. Suur veeringe: maailmamerelt aurunud vee kandumine õhuvooludega maismaa kohale, kus langeb sademetena maha, osa sellest veest aurub kohe, osa imbub maasse täiendades põhjaveevaru, osa vett voolab veekogudesse, kust kas aurub või jõuab tagasi merre, so. süsteem: meri–atmosfäär–maismaa–meri

56. Tehispõhjavesi: põhjavesi, mis on saadud pinnavee tehislikul voolamisel läbi pinnase või kivimikihi

57. Veehaare: rajatis vee võtmiseks veekogust või põhjaveest (viimasel juhul puurkaev, salvkaev või kaevude grupp)

58. Veeand (efektiivpoorsus või aktiivne poorsus): veega küllastunud pinnase omadus ära anda gravitatsioonilist vett, mis füüsikalises mõttes on vabalt väljavoolava vee mahu suhe kivimi kogumahusse, tähistatakse μ

59. Veekihid (veekompleks, veeladestik, veeladestu): nimetused, mida kasutatakse põhjaveekihtide gruppide kirjeldamise hõlbustamiseks (hõlmavad ühte või mitut põhjaveekihti)

60. Veepide e. vettpidav kiht: pinnase, kivimi kiht, mis ei lase vett läbi (veepidavus ei ole absoluutne). Kihipinnaga ristsuunaline filtratsioonikoefitsient on üldjuhul väiksem kui 10-2 m/ööpäevas

61. Veeringe e. vee ringkäik: vee pidev korduv ringlemine Maa atmo–, hüdro–, lito– ja biosfääris, mis toimub Päikeselt saadava energia ja raskusjõu mõjul. See seisneb vee aurustumises, veeauru edasikandumises, kondenseerumises ja sademete langemises ning äravoolus

62. Vesinikueksponent, **pH**: lahuse happelisust (pH<7) või aluselisust (pH>7) iseloomustav suurus; võrdub arvuliselt vesinikioonide kontsentratsiooni negatiivse kümnendlogaritmiga
63. Väike veeringe: maailmamerelt aurunud vee langemine sademetena tagasi maailmamerre, so. süsteem: meri–atmosfäär–meri
64. Ülavesi: ajutiselt sademete või lumesulamise järgselt aeratsioonivöö veega küllastunud osas leviv gravitatsiooniliselt vaba vesi

Töös kasutatakse mäenduse ja hüdrogeoloogiaga seotud mõisteid (Tabel 2). Hüdrogeoloogiline mudel on ruumiline geoloogiline ja tehnoloogiline mudel, mille sees voolab digitaalne vesi. Kui simuleerida mudelis vee pumpamist, siis käitub see kalibreeritud mudeli korral samuti nagu looduseski. Mudel koosneb digitaalinfost. Mida paremini jäljendab digitaalinfo reaalsust, seda paremini jäljendab see ka simuleeritud vee pumpamise reaalsust.
Peamised andmed, mida mudelis vajatakse on ruumi, kivimi ja kaevandamise andmed. (Tabel 2, [7])

Tabel 2 Mudelis kasutatavad mõisted ja tähised

Parameeter	Tähis	Näide	Ühik	Selgitus	Ingliskeelne nimetus
Aurumistegur	E	= 300	mm/a	Aurustuva vee hulk maapinnalt ja taimedelt aasta jooksul	*Evaporation rate*
Sadeveetegur	a	= 0,11	m³/a.mm	Sadeveetegur näitab, kui palju ärastatavat vett annab 1mm sademeid	
Eriveeloovutus	Sy	= 0,14		Küllastunud pinnasest raskusjõu toimel välja valguva vee ja pinnase kogumahu suhe	*Specific Yield*
Eriveeloovutus	Sy	= 14	%	Küllastunud pinnasest raskusjõu toimel välja valguva vee protsentuaalne sisaldus pinnase kogumahust	*Specific Yield*
Eriveemahutavus	Ss	= 4,5	1/m	Vee maht, mis võib eralduda pinnase ühest mahuühikust, kui muuta hüdrostaatilist rõhku ühe ühiku võrra	*Specific Storage*
Filtratsioonimoodul	K	= 10	m/ööp	Iseloomustab kivimite ja pinnase veeläbilaskvust, näitab vee liikumise kiirust mingis kivimis või pinnases	*Hydraulic conductivity*
Horisontaalne filtratsioonimoodul	Kx,y	= 30	m/ööp	Näitab vee liikumise kiirust mingis kivimis või pinnases horisontaalsel tasapinnal	*Horizontal hydraulic conductivity*
Vertikaalne filtratsioonimoodul	Kz	= 3	m/ööp	Näitab vee liikumise kiirust mingis kivimis või pinnases vertikaalses tasapinnas	*Vertical hydraulic conductivity*
Kaevevälja pindala	S	= 141,1	m^2	Kaevandatud või kaevandatava ala pindala	*Mining area*
Pumba alumise otsa kõrgus	Vp	= 33	m	Puurkaevus vett läbilaskva osa alumise otsa absoluutkõrgus	*Bottom of Screen*
Pumba ülemise otsa kõrgus	Vl	= 35	m	Puurkaevus vett läbilaskva osa ülemise otsa absoluutkõrgus	*Top of Screen*
Vaatluspuurkaevu ülemise otsa kõrgus	Vh	= 42	m	Vaatluspuurkaevu vett läbilaskva otsa ülemise osa absoluutkõrgus	*Screen elevation*
Väljapumbatava vee maht	Qp	= 3822	m^3/h	Kaevandusest või karjäärist välja pumbatava vee maht ajas	*Amount of pumped out water*
Kihi paksus	hk	= 20	m	Kivimikihi paksus maakoores	*Thickness*
Efektiivpoorsus	n	= 15	%	Vett vastu võtvate pooride protsentuaalne sisaldus kivimi kogumahust	*Effective porosity*
Efektiivpoorsus	n	= 0,15		Vett vastu võtvate pooride ja kivimi kogumahu suhe	*Effective porosity*
Poorsus	p	= 30	%	Pooride ruumala protsentuaalne sisaldus kogu kivimi ruumala suhtes. Pooride hulka kuuluvad kivimimassiivi läbivad lõhed ja praod ning kõikvõimalikud tühimikud.	*Porosity*
Poorsus	p	= 0,3		Pooride ruumala ja kogu kivimi ruumala suhte. Pooride hulka kuuluvad kivimimassiivi läbivad lõhed ja praod ning kõikvõimalikud tühimikud.	*Porosity*
Sademed	P	= 853,3	mm/a	Maapinnale langevate sademete hulk aastas	*Precipitation*
Tehnogeenne tühemelises	nt	= 1,83	milj m³	Kaevandamise käigus tekkinud tühemelisus	*Technogenic porosity*
Tõkketerviku laius	l	= 50	m	Vett mitte läbilaskva terviku laius	*Width of the water barrier*
Tõkketerviku pikkus	L	= 6,7	km	Vett mitte läbilaskva terviku pikkus	*Length of the water barrier*
Tõkketervikut läbiva vee hulk	q	= 28	m^3/h	Ühe tunni jooksul tõkketervikut läbiva vee maht	*Amount of water coming through the barrier during one hour*
Vaatluse aeg	t	= 7300	päev	Kuni vaatlusperioodini möödunud päevade arv	*Observation time*
Pumpamise lõpetamine	w	= 7300	päev	Kuni pumpade töö alguspäevast kuni pumpade töö lõpetamiseni möödunud päevade arv	*Stop time*
Veejuhtivus	K	= 393	m²/ööp	Veeläbilaskevõime, mis leitakse vett andva pinnase filtratsioonimooduli ja veekihi paksuse korrutisena. Ajaühikus filtreeruva vee hulk läbi ühikulise pinnaühiku.	*Permeability*
Veemaht	Q	= 24,8	milj m^3	Suletud kaevandustes oleva vee maht	*Water volume*
Veetase	hv	= 35	m	Veetaseme absoluutkõrgus vaatluspuurkaevus	*Observation head*
Esialgne veetase	hi	= 42	m	Esialgne veetase maapinnas mudeli käivitamise hetkel	*Initial head*
Veetasemete vahe	dh	= 20	m	Veetasemete kõrguse erinevus	*Difference between of the water levels*
X-koordinaat L-est 1997 koordinaatsüsteemis	X	= 697386,852	m	Uuringupunkti X-koordinaat uuringualal	*x-coordinate of the prospecting area*
Y-koordinaat L-est 1997 koordinaatsüsteemis	Y	= 6580306,41	m	Uuringupunkti Y-koordinaat uuringualal	*y-coordinate of the prospecting area*

mudeli_algandmed.xls

3.3 Kasutatud andmed

Uuringu teostamiseks on kasutatud teostaja poolt toodetud või hangitud tehnoloogilisi, hüdrogeoloogilisi ja ruumiandmeid (Tabel 3).

Tabel 3 Uuringus kasutatud andmed

Andmed	**Allikas ja viide**
Kaevandamistehnoloogiad	Mäeinstituudi mäenduslik geoinfosüsteem – MGIS, Eesti Energia Kaevandused (EEK), mäetööde plaanid, planšetid, tehnoloogilised projektid, Vt. lk. 18
Hüdrogeoloogilised andmed	Vaatluskaevude andmed, EEK, kivimite ja tehnoloogiate anded, (Vt. Hüdrogeoloogilised andmed 4.4.2)
Ruumiandmed	Puuraukude andmed, mäetööde plaanid, Vt. Geomeetriline modelleerimine 4.2.1
Artiklid ja projektid	Vt. Kasutatud allikad 0

3.4 Kasutatud tarkvara

Uuringus kasutati modelleerimis- ja vormistustarkvara. (Tabel 4)

Tabel 4 Uuringus kasutatud tarkvara

Tarkvara	**Kasutuseesmärk**
Modflow	Hüdrogeoloogiline mudel
Mapinfo	Digitaalkaardistamine
VerticalMapper	Ruumiline modelleerimine
Plaxis	Stabiilsusanalüüs
MS Access	Andmebaaside päringud
MS Excel	Optimeerimine
Ms Word	Aruandlus
AutoCad	Joonestamine
Corel Draw	Joonestamine

4 Etapp 1: Kaevandusvete kasutusele võtmise potentsiaal soojusvarustuses ja tehnilised lahendused Jõhvi ja Mäetaguse vallas.

4.1 Modelleerimine

Hüdrodünaamilise mudeli koostamiseks koostati geomeetriline mudel, tehnoloogiline mudel ja hüdrogeoloogiline mudel. Mudelite koostamise eemärk on reaalse olukorra e. soojuspumba või turbiini kasutamise simuleerimine arvutil.

4.2 Geomeetriline modelleerimine

Geomeetriline modelleerimine koosneb uuringuala määramisest ja kõrgusmudelite koostamisest.

Põlevkivi kaevandamine algas katsetöödega 1916. aastal. Kolme aastaga kujunes Virumaal välja kaks mäetööstuspiirkonda – Kohtla ja Ubja. Tänaseks võib kokku lugeda 20 kaevandamiskohta – karjääri ja allmaakaevandust, kus põlevkivi on kaevandatud või kaevandatakse tänaseni.

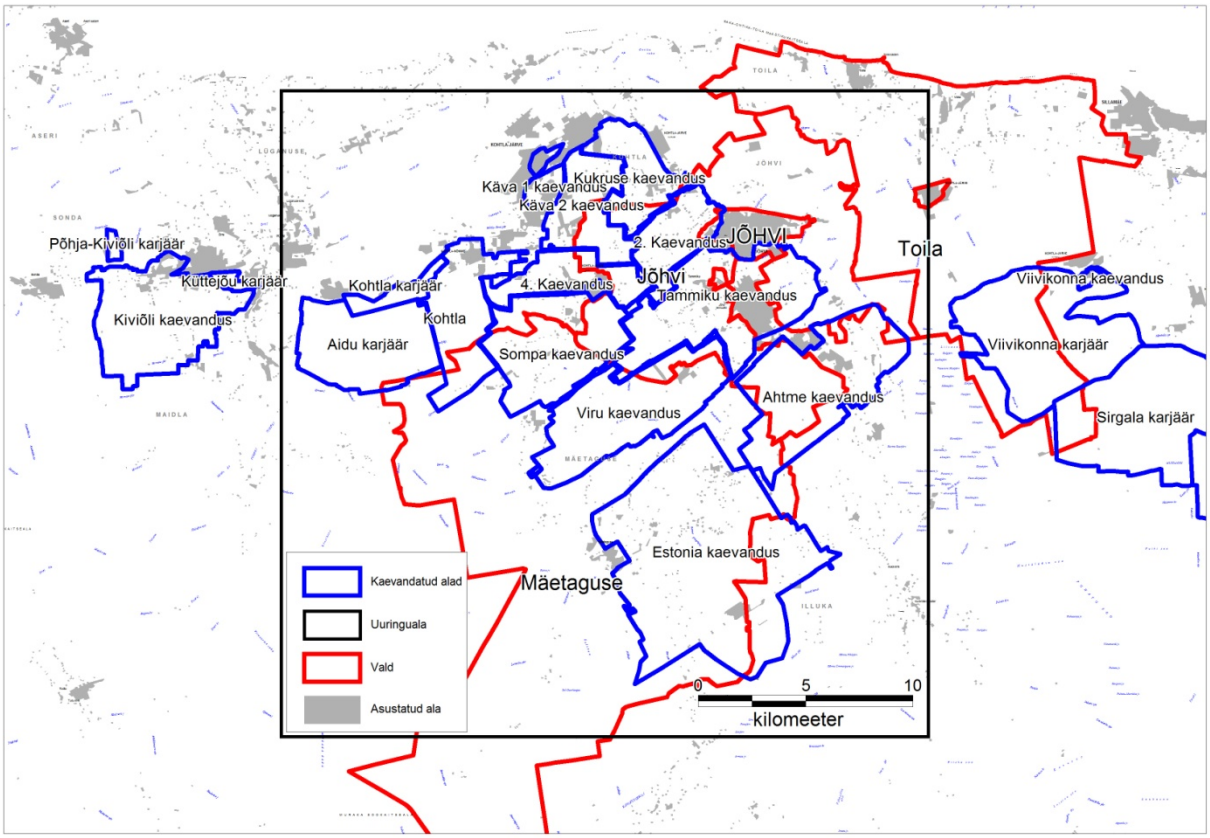
Põlevkivi on toodetud nii ava- kui allmaakaevandamisega. Seitsmekümnendatel aastatel kasvas karjääride toodang peaaegu pooleni ja püsis sellel tasemel viimase ajani. Tänaseks moodustab avakaevandamise toodang 55%.

Algul kaevandati põlevkivi õli, siis majapidamisgaasi ja alates viiekümnendatest peamiselt elektrienergia tootmiseks. Ajavahemikus 1945…1980 kasvas kaevandamine jõudsalt. Maksimaalne tase, üle 30 mln t, saavutati 1980. aastal. Üheksakümne aastaga kaubastatud põlevkivi kogus ületas 2006. aasta kevadel miljardi tonni koguse.

Kaevandamist alustati avamusjoonel pealmaatöödega. Kus see polnud võimalik, mindi üle allmaatöödele.

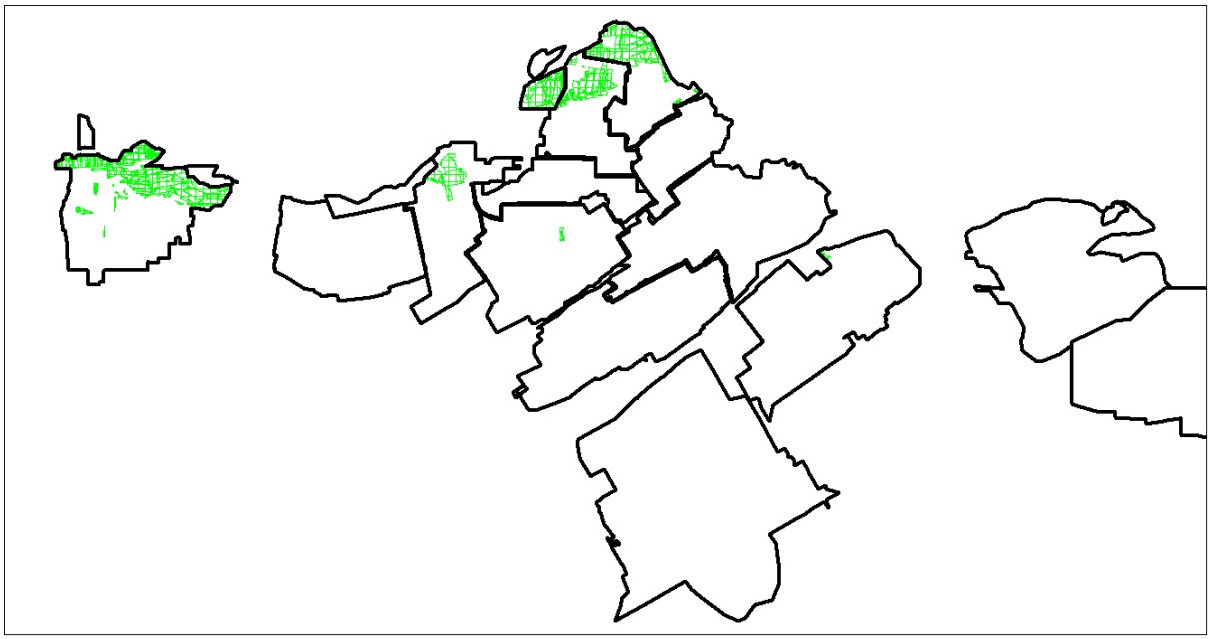
4.2.1 Uuringuala

Uuringuala määramise aluseks on lähteülesandes toodud Jõhvi, Toila ja Mäetaguse valdade piirid, kaevanduste piirid ja valgala piirid. Lähtudes veekogumi pindalast ja valgala asetusest altkaevandatud alal, on võetud uuringualaks ruut suurusega 30x30 km (Joonis 2).

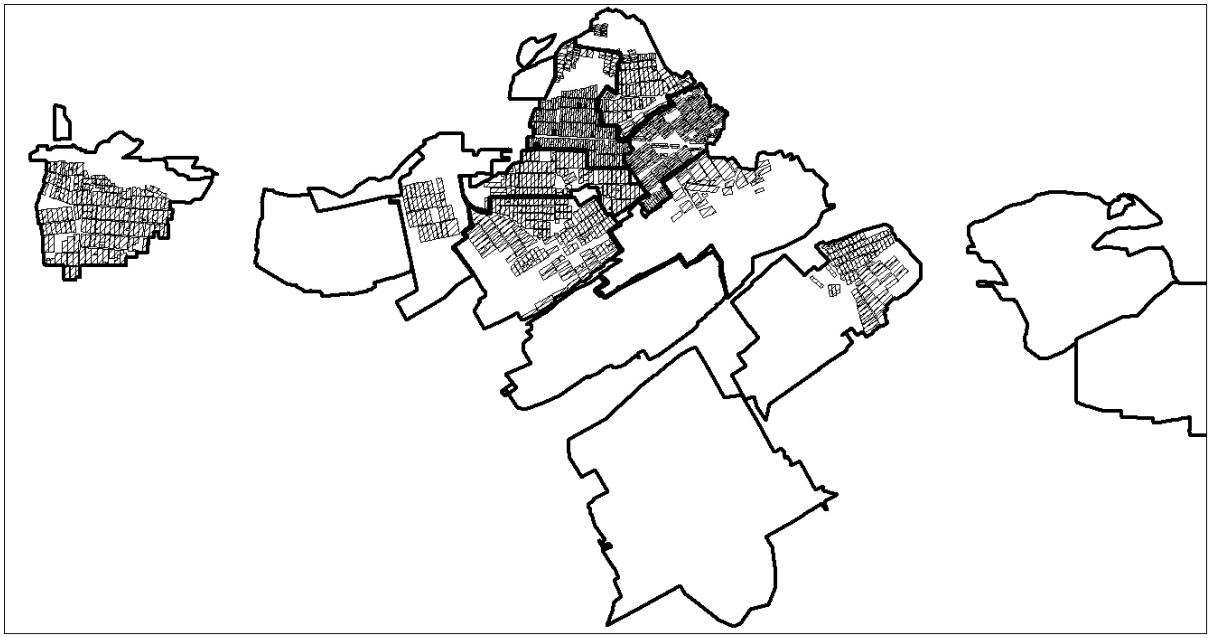


Joonis 2 Uuringuala suurusega 30x30 km

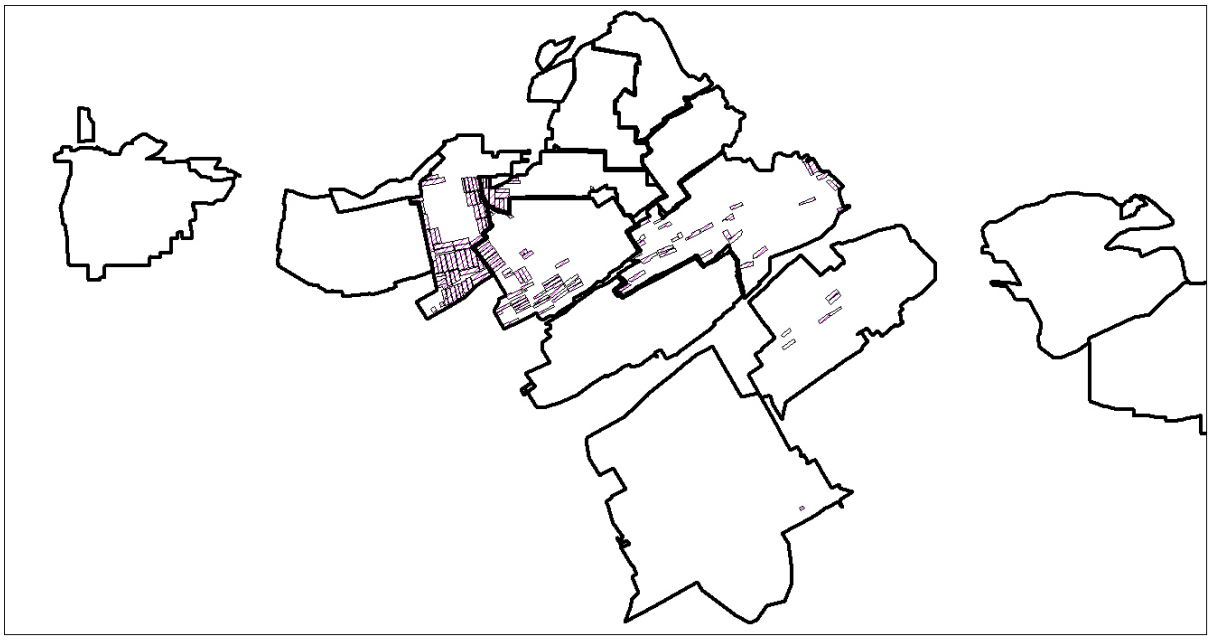
Kaevandustes kasutati kaevandamiseks erinevaid tehnoloogiaid, mis tekitasid erineva stabiilsusega ja ruumalaga veekogumid (Joonis 3 Käsikambritega ja osalise täitmisega kaevandatud ala, Joonis 4 Käsilaavadega ja osalise täitmisega kaevandatud ala, Joonis 5 Kombainilaavadega ja maa langetamisega kaevandatud ala ja Joonis 6 Tulptervikutega kamberkaevandatud ala).



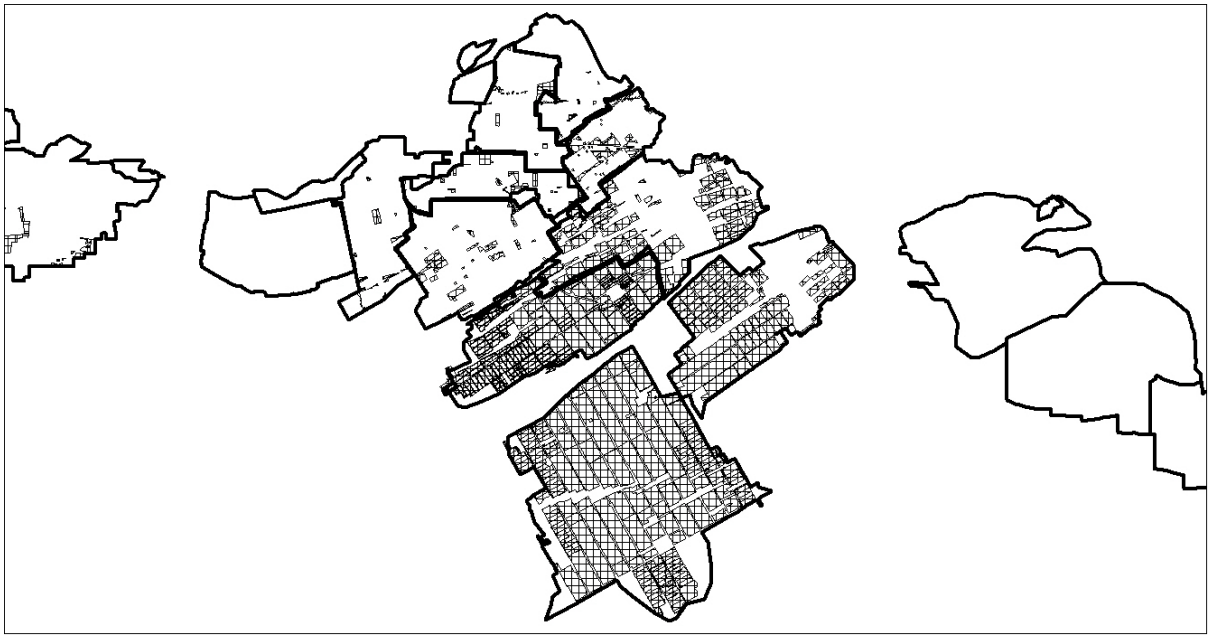
Joonis 3 Käsikambritega ja osalise täitmisega kaevandatud ala



Joonis 4 Käsilaavadega ja osalise täitmisega kaevandatud ala



Joonis 5 Kombainilaavadega ja maa langetamisega kaevandatud ala



Joonis 6 Tulptervikutega kamberkaevandatud ala

Geomeetriline mudel koosneb geoloogiliste ja tehnoloogiliste kihtide paksustest ning nende põhjade ja lagede absoluutkõrgustest (Tabel 5).

Tabel 5 Geomeetrilise mudeli lähteandmed

Parameetrid	**Andmete päritolu**
Maapinna absoluutkõrgus	Baaskaart, mäetööde plaanid
Põlevkivikihindi põhja ja lae absoluutkõrgus	Mäetööde plaanid mõõtkavas 1:1000, 1:2000 ja 1:5000
Põlevkivikihindi ja kattekivimite paksused	Geoloogilised aruanded, mäetööde plaanid

paksused	

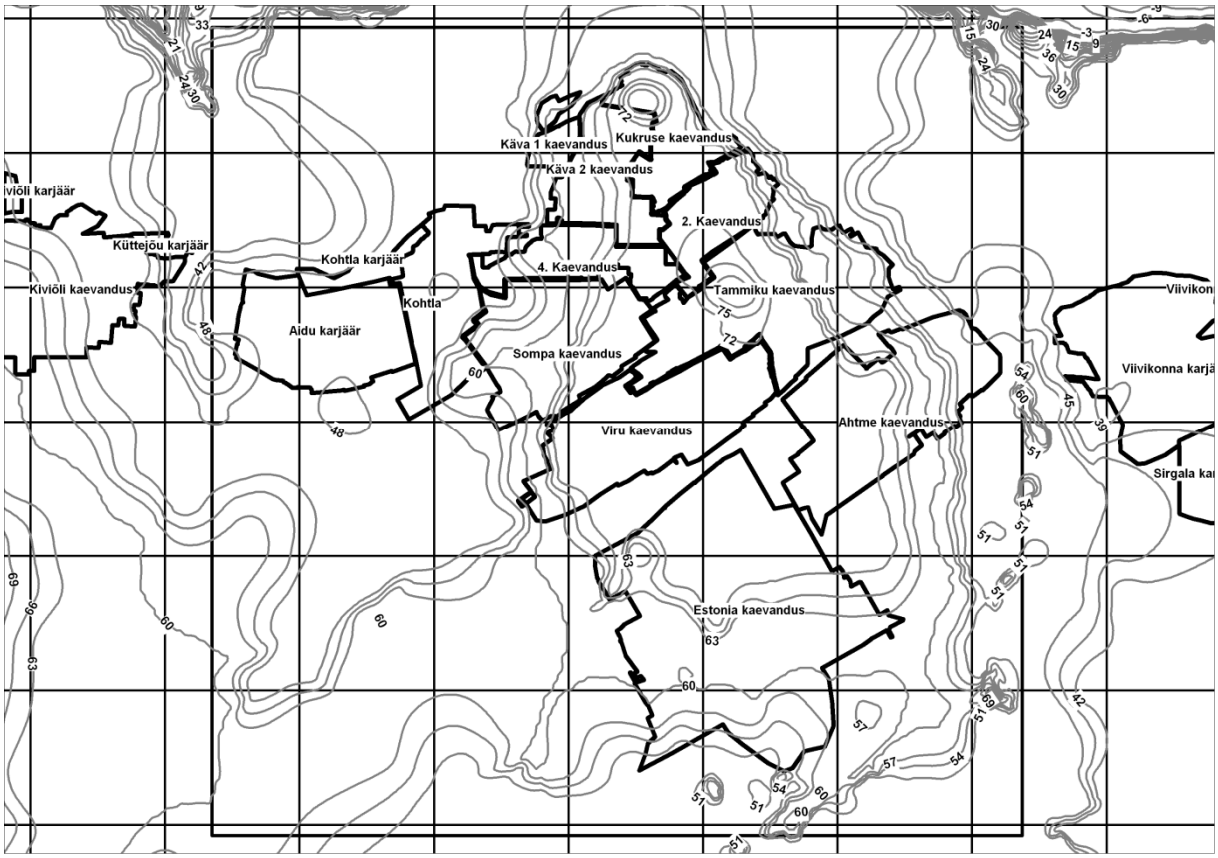
4.2.2 Geomeetriline mudel

Geomeetrilise mudeli tegemiseks on kasutatud MapInfo Vertical Mapper tarkvara, mis võimaldab visualiseerida, optimeerida ja analüüsida geomeetrilisi parameetreid.

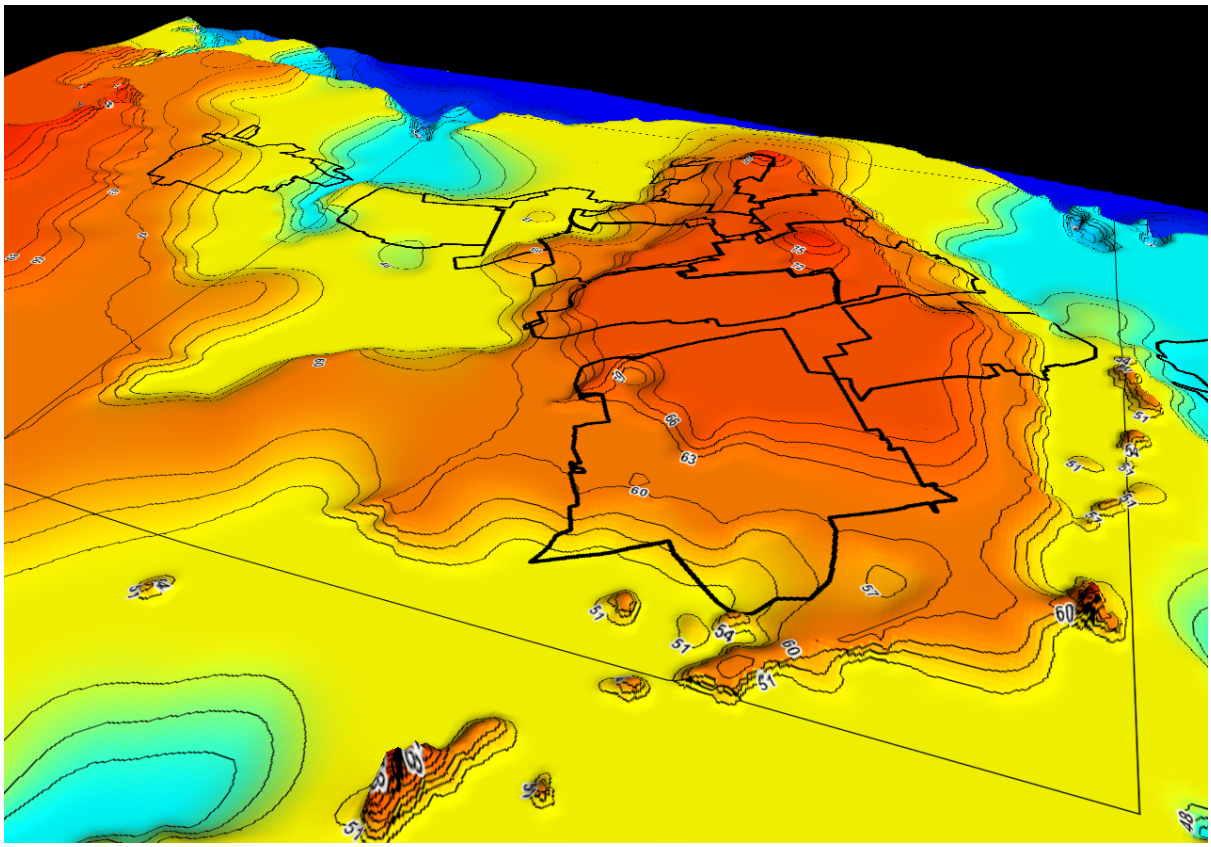
Geomeetriline mudel koosneb geoloogiliste ja tehnoloogiliste kihtide paksustest ja nende põhjade ja lagede absoluutkõrgustest. Algandmeteks mudeli koostamisel olid maapinna absoluutkõrgus, põlevkivi põhja absoluutkõrgus, põlevkivikihindi ja kvaternaarisetete paksus, mille põhjal on moodustatud põlevkivi lagi ehk kaljuse katendi põhi, kaljuse katendi lagi ehk kvaternaari põhi ja kaljuse katendi paksus. Maapinna absoluutkõrgus on moodustatud baaskaardi kõrgusjoontejoonte ja kõrguspunktide põhjal. Põlevkivi pinna absoluutkõrgus on digitaliseeritud mäetööde plaanidelt mõõtkavaga 1:1000 ja 1:2000 ning geoloogilistest aruannetest puuraukude info põhjal. Põlevkivikihindi ja kvaternaarisetete paksused on pärit geoloogilistest aruannetest.

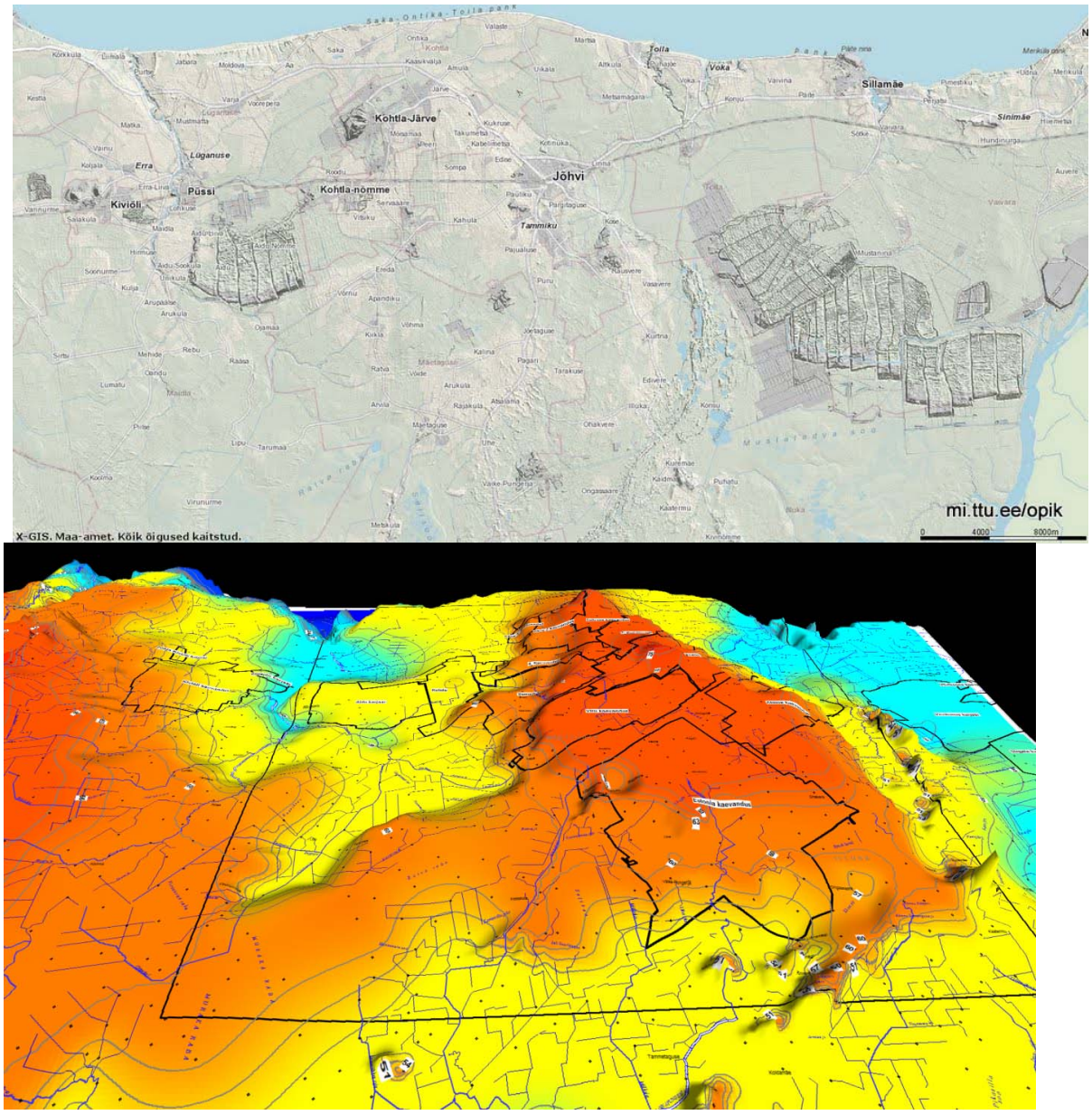
Pindade moodustamiseks on kasutatud tasandamisega triangulatsiooniga interpoleerimise meetodid.

Uuringualal on maapinna kõrgeim punkt Tammiku kaevanduse alal (78m) ja madalaimad kohad Kohtla jõe ja Purtse jõe orgudes ala loodenurgas (Joonis 7 ja Joonis 8). Maapinna kõrgus väheneb kaevanduste servades, seal on ka väiksem kattekivimite paksus, olles põhjuseks, miks kaevandused sellesse piirkonda rajati. Maardla tiibade madalamates osades asuvad põlevkivikarjäärid.



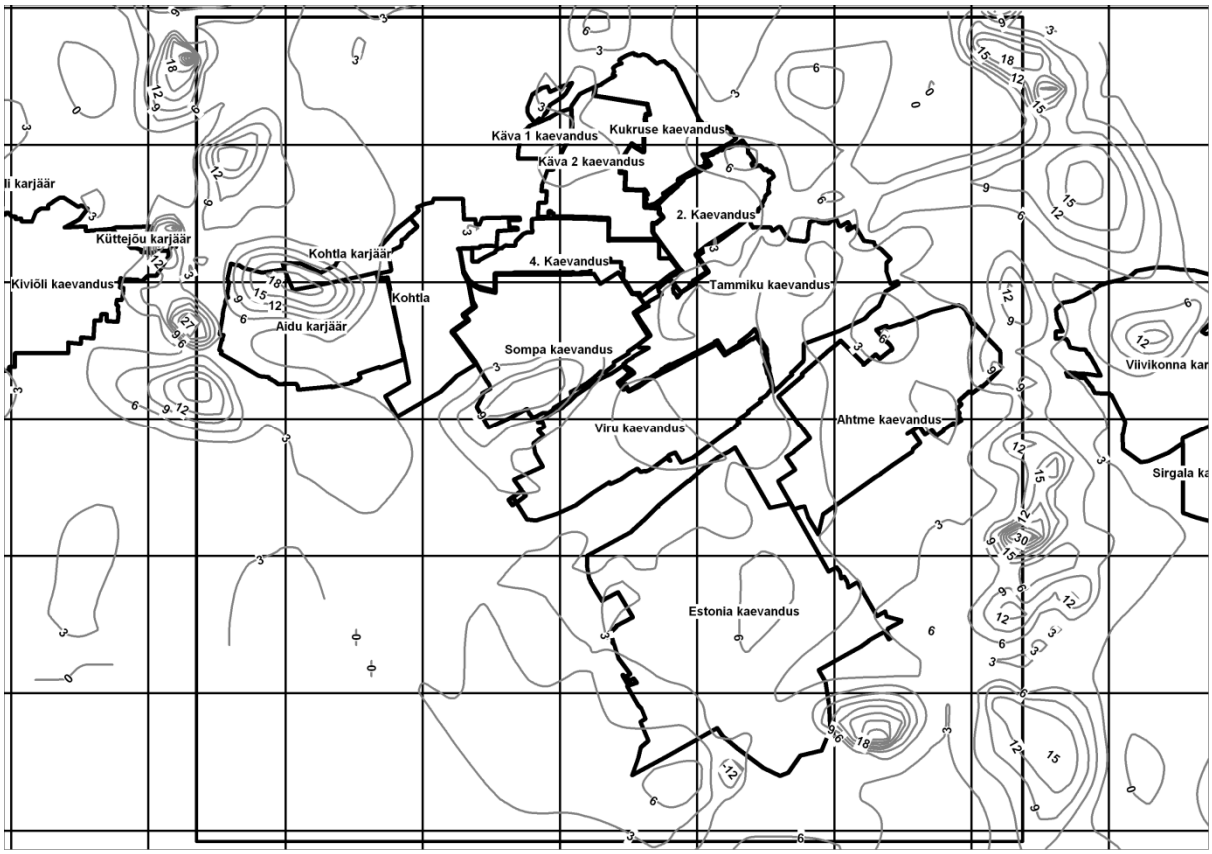
Joonis 7 Maapinna absoluutkõrgus, m



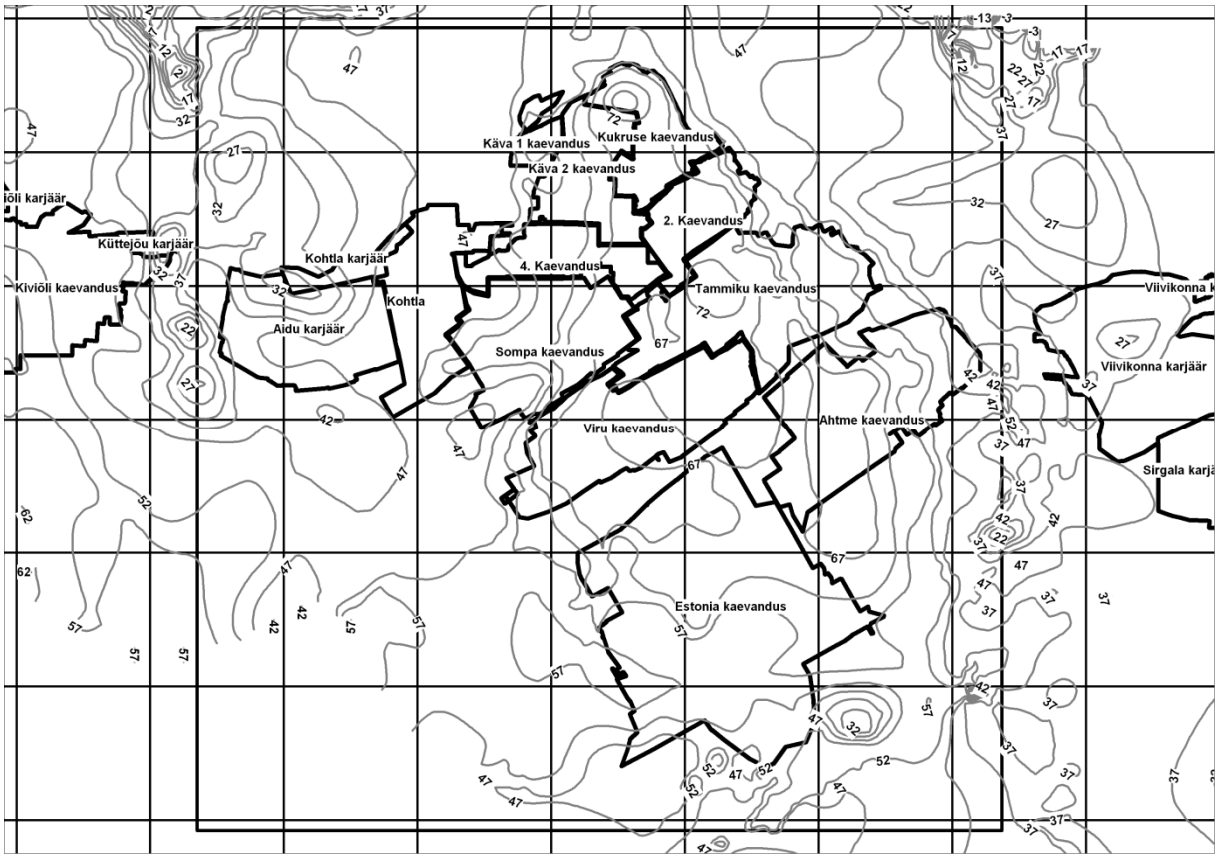


Joonis 8 Maapinna ruumiline mudel, vaade kagust, ülalt ja lõunast

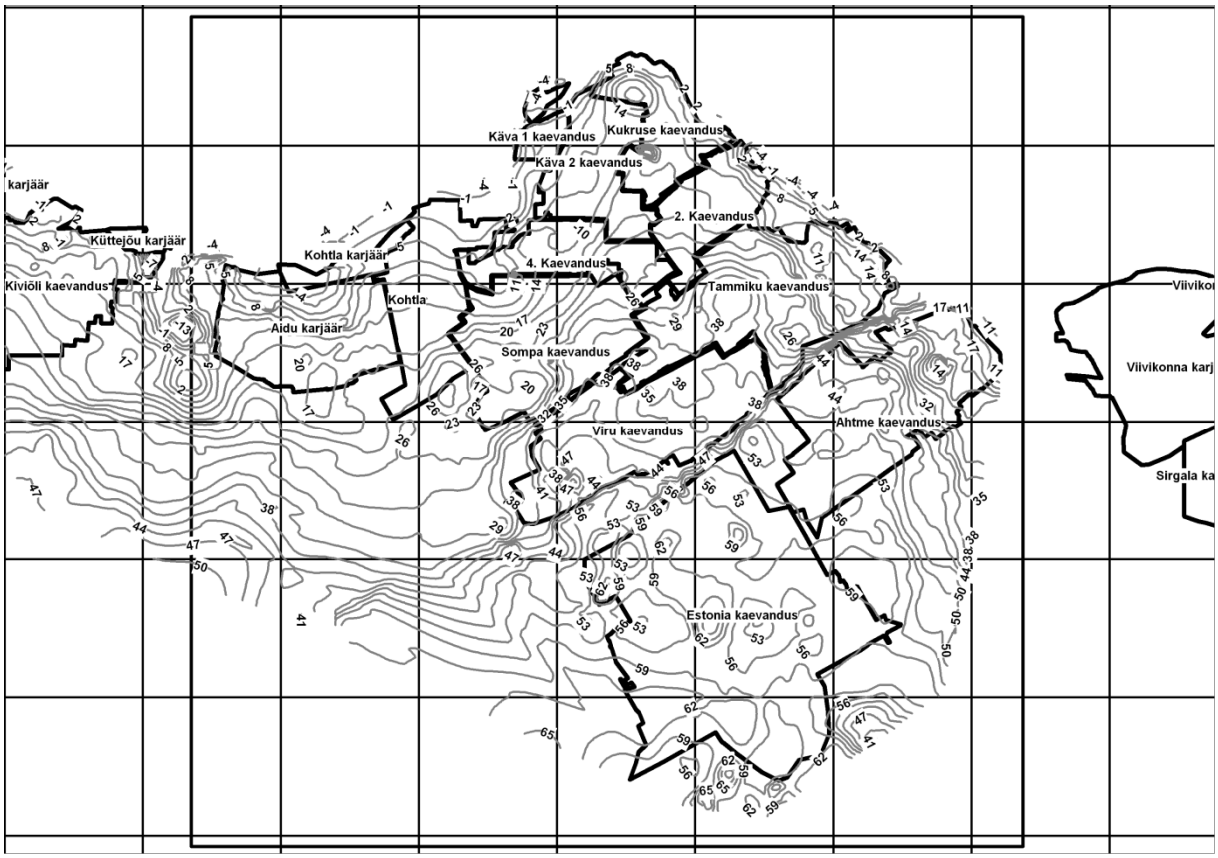
Kvaternaarisetete paksus on uuringualal väike, ulatudes kohati kuni 6 meetrini (Joonis 9).



Joonis 9 Kvaternaarisetete paksus uuringualal, m

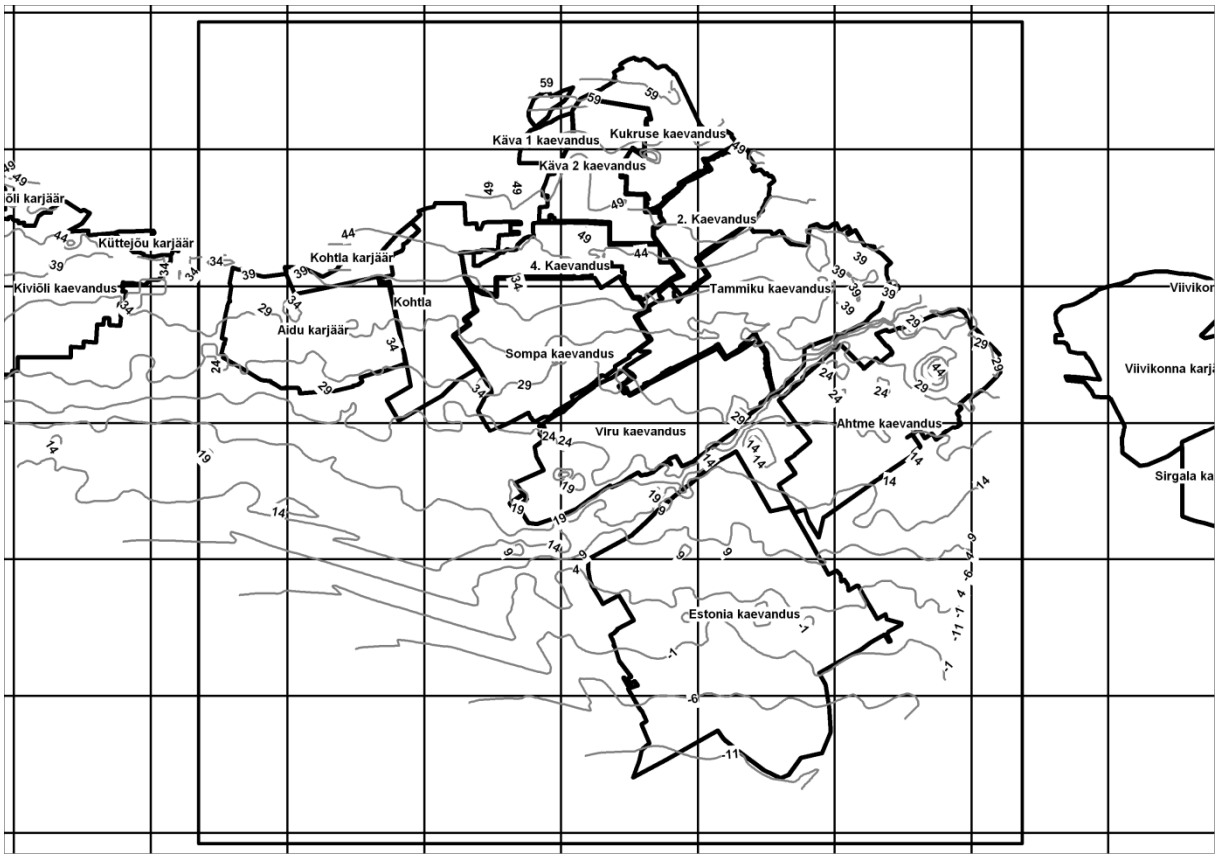


Joonis 10 Lubjakivi lae ehk kvaternaarisetete põhja absoluutkõrgus, m

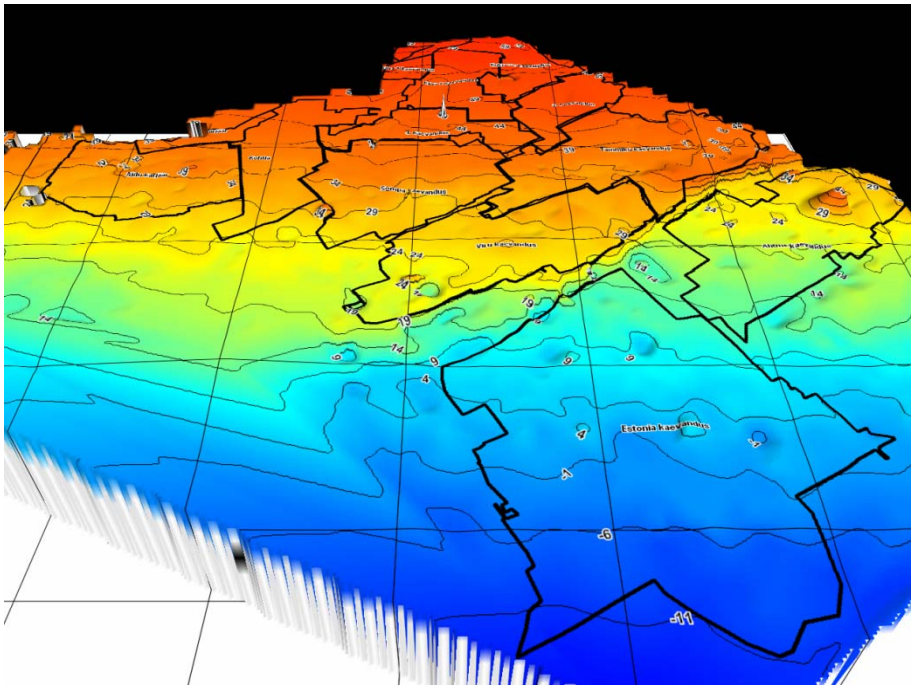


Joonis 11 Lubjakivi paksus uuringualal, m

Põlevkivi lasub uuringualal suhteliselt püsiva kaldega lõuna suunas. Põlevkivikihindi lae absoluutkõrgus on põhjaosas 59 meetrit ja lõunas -11 meetrit (Joonis 12 ja Joonis 13).



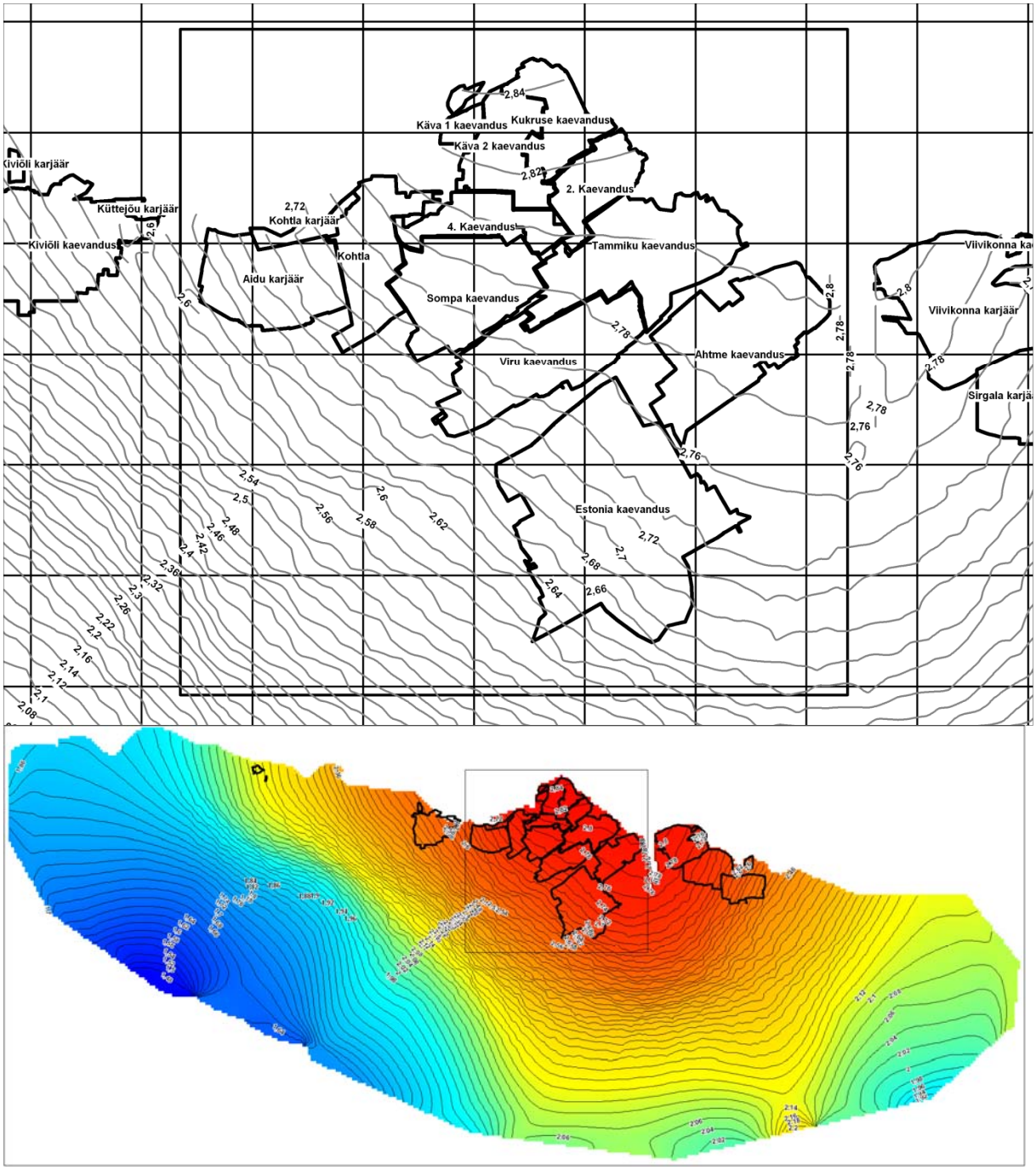
Joonis 12 Põlevkivikihindi lae, e. kaljuse katendi põhja absoluutkõrgus uuringualal, m



Joonis 13 Põlevkivikihindi lae, e. kaljuse katendi põhja absoluutkõrgus uuringualal, m. Ruumiline mudel.

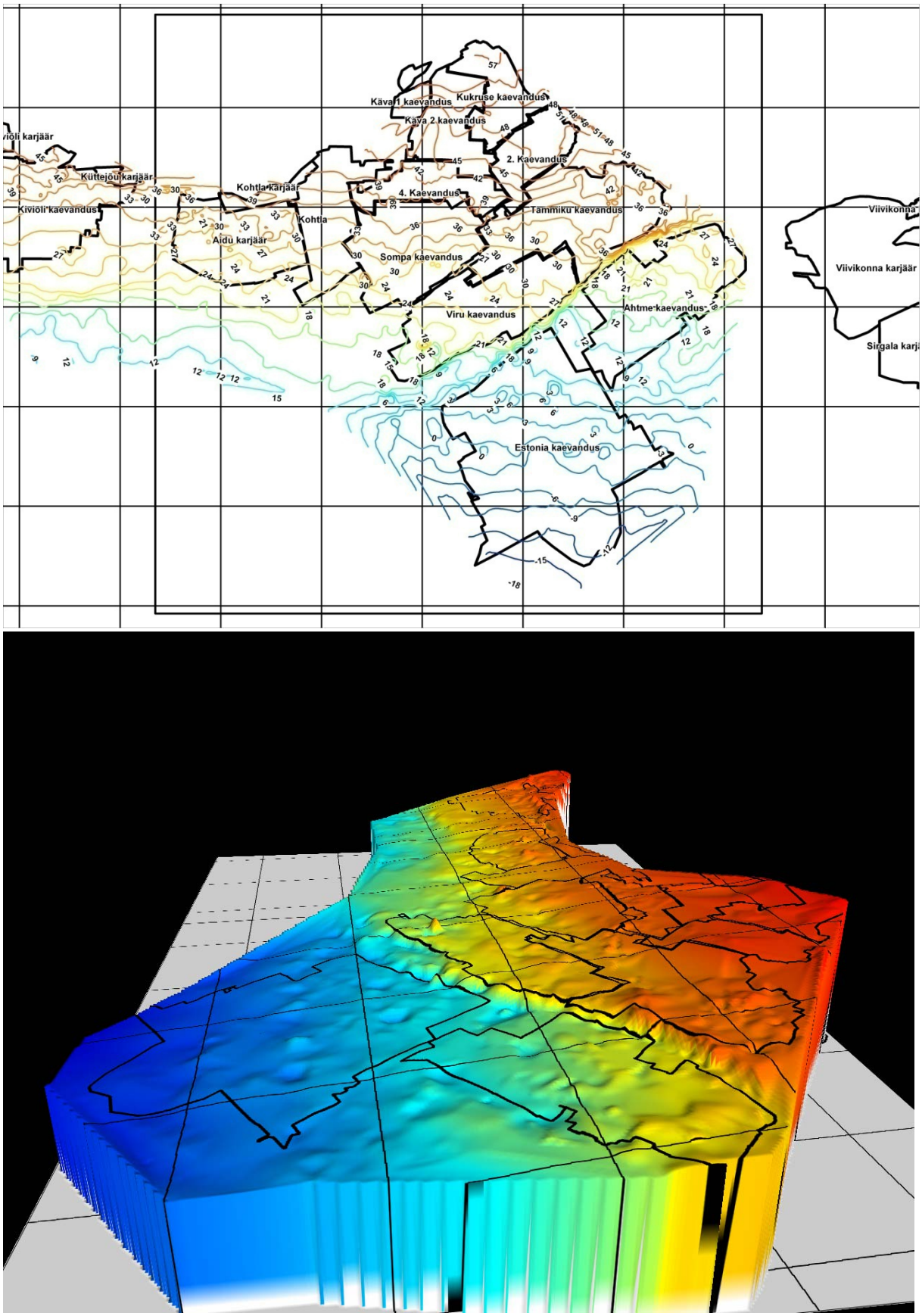
Põlevkivikihindi paksus väheneb maardla tiibade suunas, olles suurim Kukruse kaevanduses (2,84m) ja õhem tiibadel tegutsevate kaevandamiskohtade alal (2,58m). Kaevandamisalast

väljaspoole põlevkivikihindi paksus uuringualal väheneb kuni 1,5 meetrini. Vee modelleerimise seisukohast on kihindi paksuse erinevused tühised (Joonis 14). Vee mahu arvutamisel on see siiski arvesse võetud.



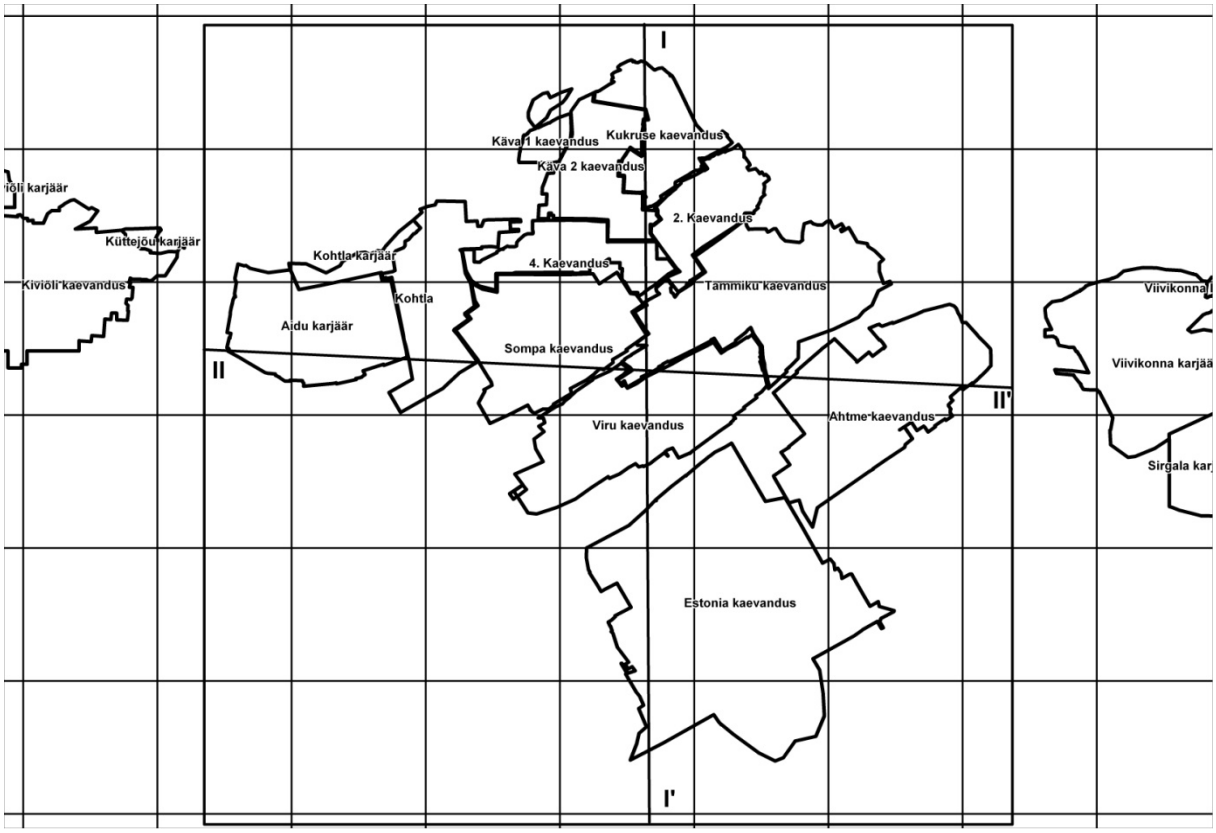
Joonis 14 Põlevkivikihindi paksus uuringualal ja põlevkivimaardlas, m

Põlevkivikihindi põhja absoluutkõrgus on ala põhjaosas 59 m ja lõunas -16 m (Joonis 14). Kõrgus väheneb tiibade suunas, nii nagu maapinna kõrguski.



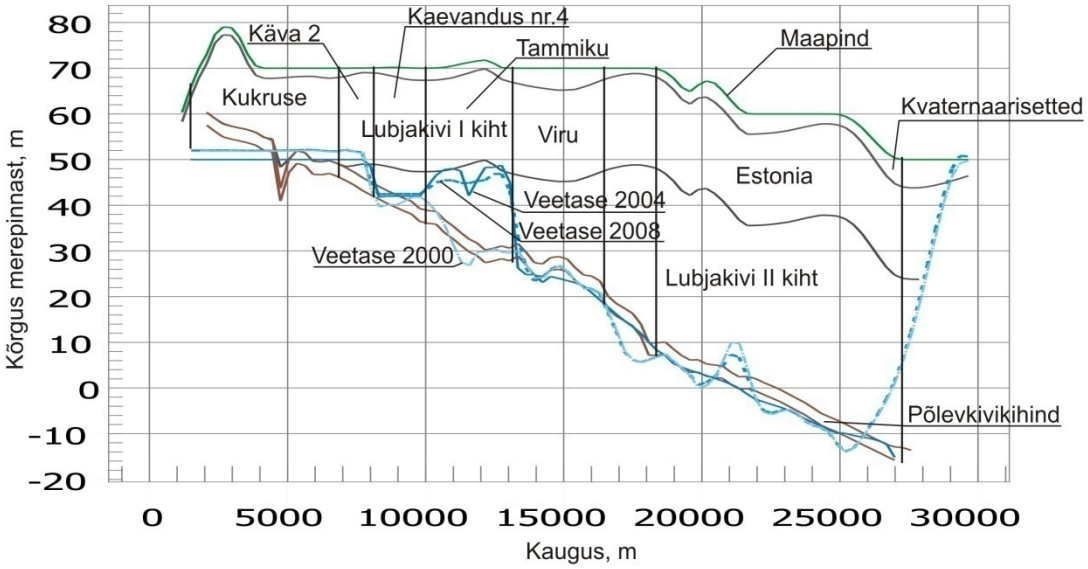
Joonis 15 Põlevkivikihindi põhja absoluutkõrgus plaanil ja kõrgusmudel, vaade idast

Põlevkivikihindi sügavus suureneb lõuna suunas ja Jõhvi kõrgendik mõjub uuringuala ruumile, tekitades kaevanduste piirkonna keskele kõrgema veetaseme, mis langeb kõrgendiku servade suunas (Joonis 16, Joonis 17 ja Joonis 18).

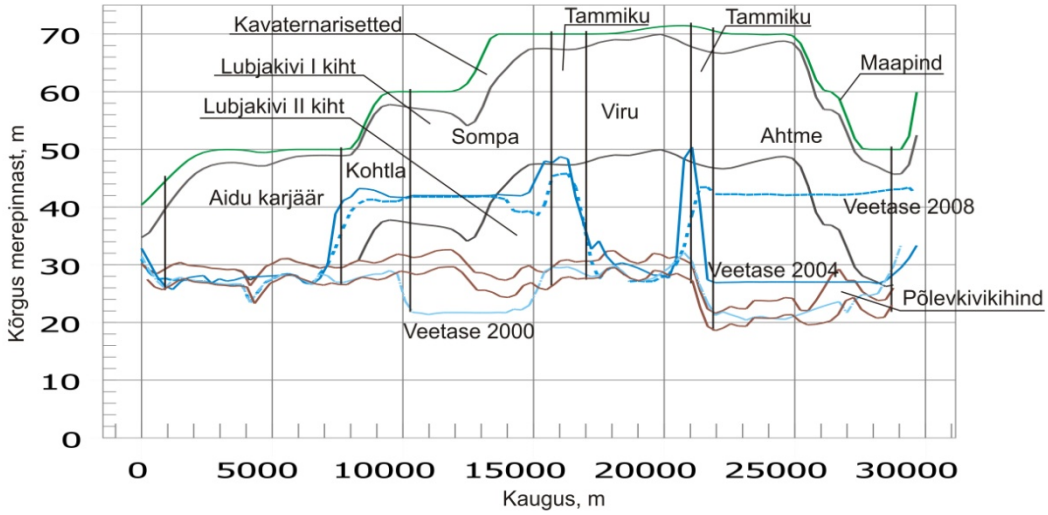


Joonis 16 Lõigete I-I' ja II-II' asukohad

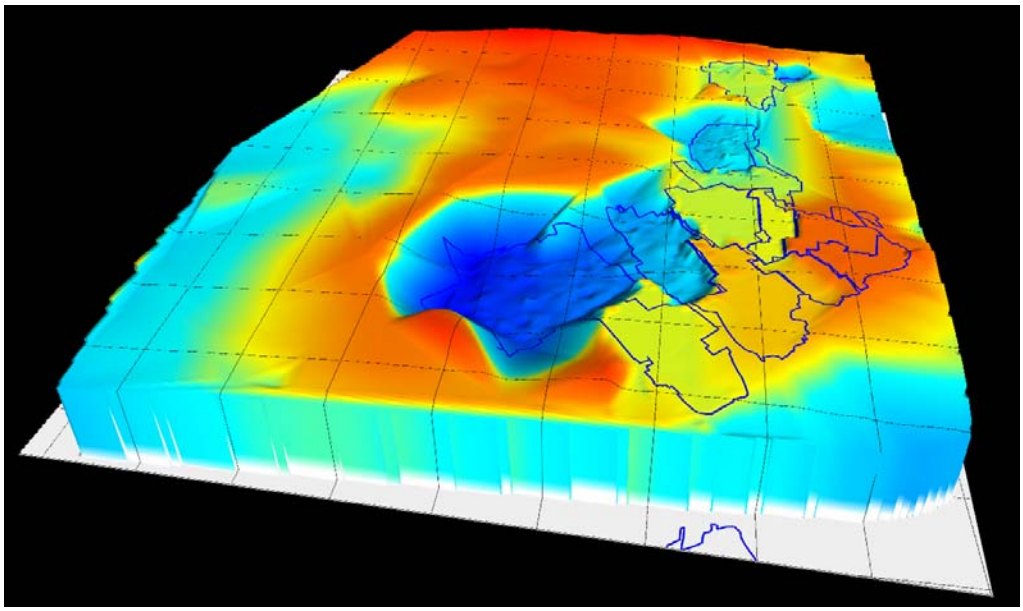
Vee maht kaevanduse alal sõltub vettkandvate kihtide paksusest, need suurenevad lõuna ja ida suunas (Joonis 16 kuni Joonis 19).



Joonis 17 Põhja-Lõuna suunaline läbilõige I-I’



Joonis 18 Lääne-Ida suunaline läbilõige II-II’



Joonis 19 Põhjavee taseme 2008. aasta kõrgusmudel, vaade idast, ruudustik suurusega 5x5km

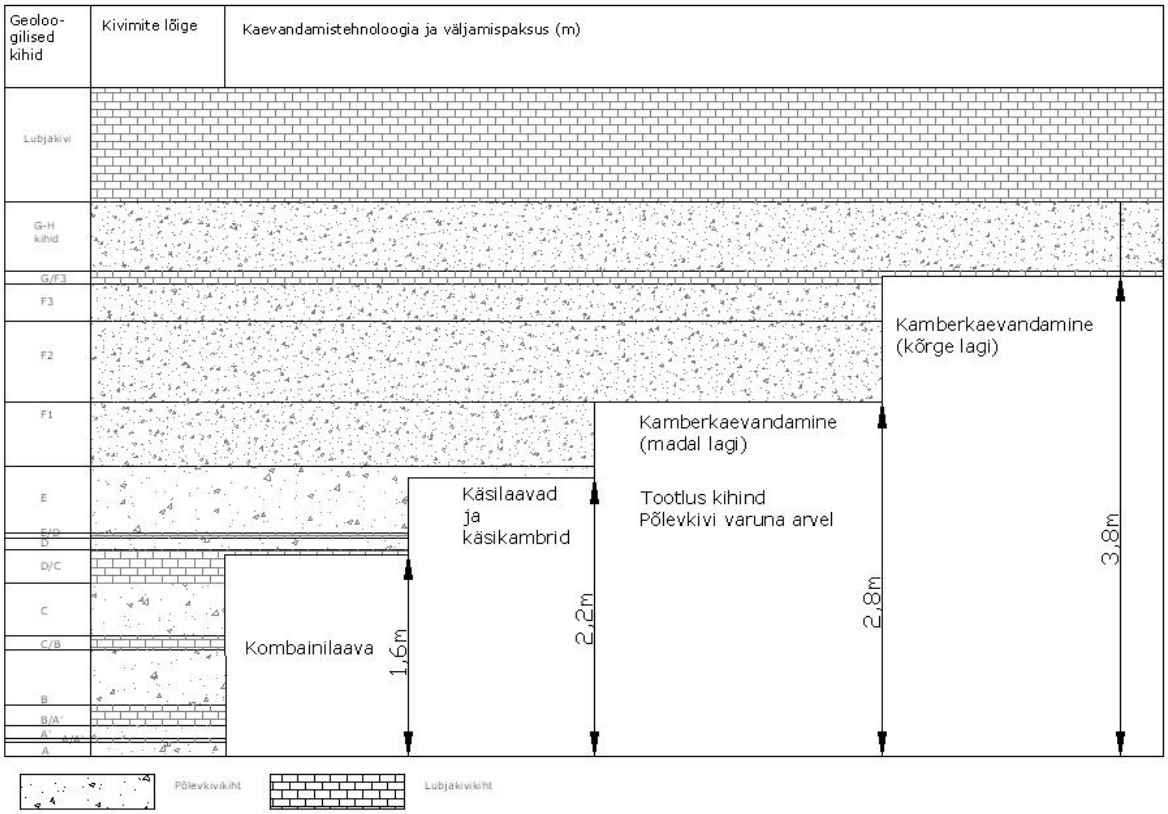
Tabel 6 Kaevanduste geomeetrilised andmed

Kaevandus	Katend, m			Põlevkivi paksus, m			Veetase 2000, m			Veetase 2004, m			Veetaseme 2008, m			Maapinna kõrgus, m			Veetase 2009..2010, m				Kõikumine	
	min	kesk	max	min	kesk	max	min	kesk	max	min	kesk	max	min	kesk	max	min	kesk	max	min	min	max	max	min	max
Tammiku	11	23	43	2,8	2,8	2,8	25	35	42	35	48	51	28	45	47	50	67	80	40	45	45	51	1	3
Kukruse	9	11	12	2,8	2,8	2,9	51	52	54	49	50	50	51	52	58	60	71	79	51	51	54	54	3	3
Kaevandus nr.2	9	13	22	2,8	2,8	2,8	39	46	52	49	50	51	43	47	52	58	70	76	45	45	46	47	2	2
Kaevandus nr.4	4	12	20	2,8	2,8	2,8	21	39	48	41	42	50	41	42	48	50	62	73	41	45	43	46	3	3
Sompa	12	23	34	2,7	2,8	2,8	20	23	39	41	42	45	33	42	45	50	62	71	40	44	43	47	3	3
Viru	32	42	50	2,7	2,8	2,8	11	24	37	17	26	50	11	25	45	57	69	72	31	45	34	51	3	4
Estonia	49	57	66	2,6	2,7	2,8	-15	1	52	-18	-1	26	-15	1	42	50	63	70	-15	-15	1	1	1	1
Kohtla	3	15	54	2,7	2,8	2,8	22	35	44	38	42	44	31	41	47	50	51	60	38	42	40	46	2	2
Käva	15	21	30	2,8	2,8	2,8	49	51	53	50	50	51	51	52	52	52	60	62	51	51	52	52	1	1
Käva 2	7	10	13	2,8	2,8	2,8	41	51	53	44	50	51	43	51	52	59	66	78	51	51	52	52	1	1
Ahtme	13	37	55	2,8	2,8	2,8	8	20	35	18	27	29	19	42	45	42	64	71	39	45	41	49	1	1

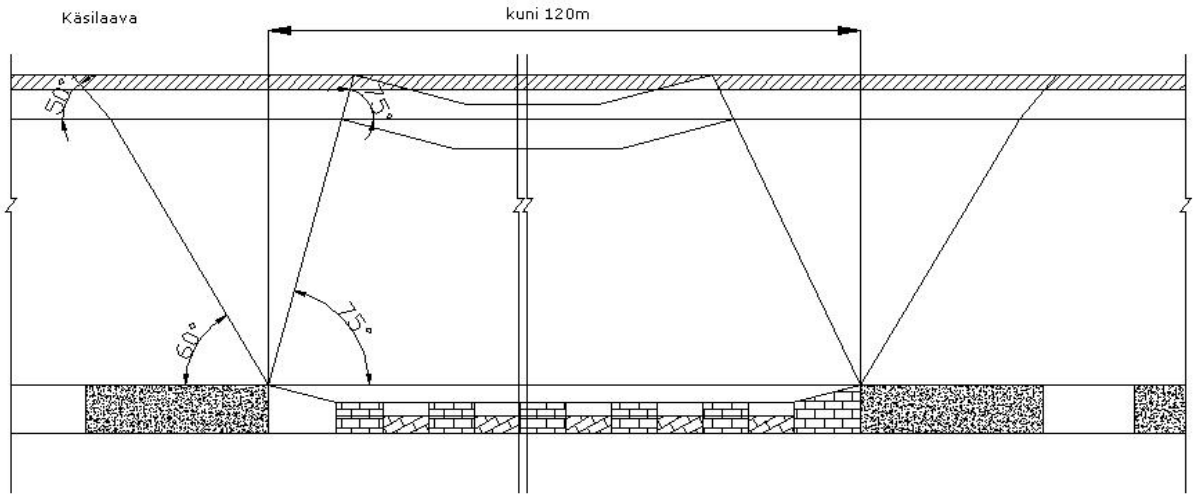
4.3 Tehnoloogiline modelleerimine

Tehnoloogiline modelleerimine on tehnoloogiate ruumilise digitaalse mudeli koostamine. Selle mudeli abil viiakse hüdrodünaamilisse mudelisse veejuhtivusparameetrid.

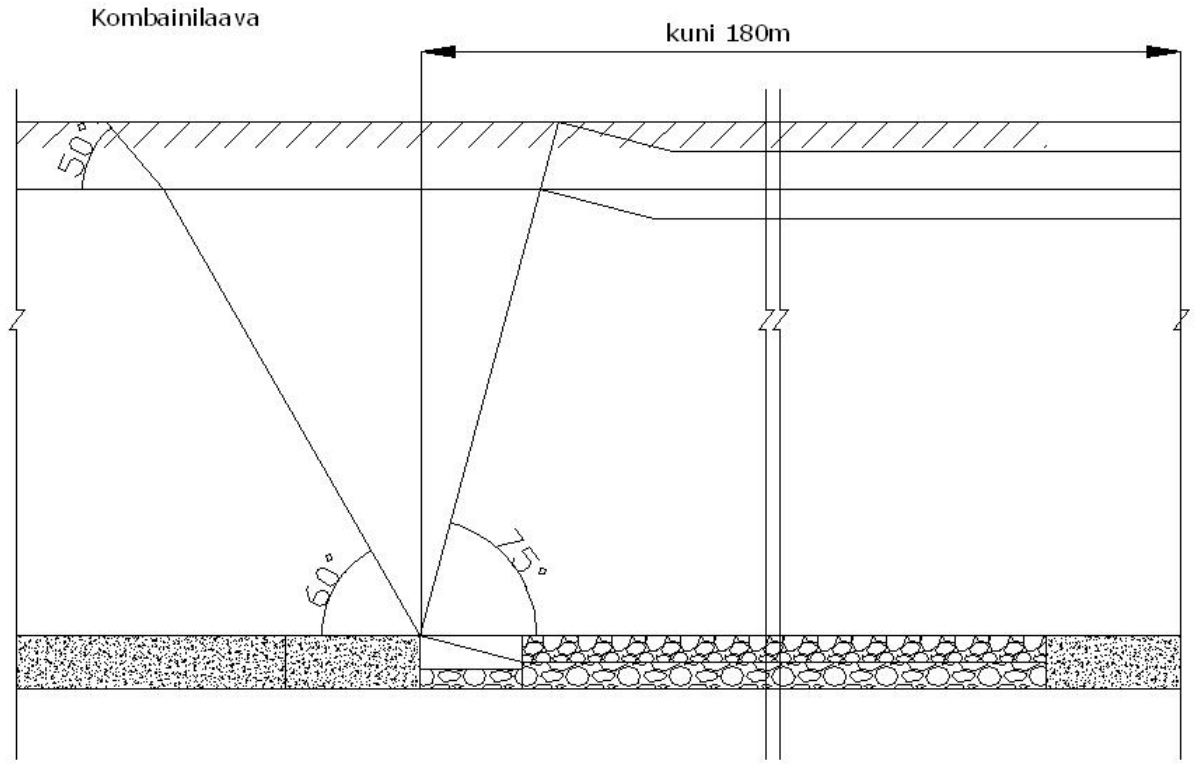
Allmaakaevandamisega tekib altkaevandatud maa. Altkaevandatud maad ja seda ümbritsevat maad klassifitseeritakse vastavalt maapinna püsivusele järgnevalt: püsiv maa, langetatud maa, stabiilne maa ning kvaasistabiilne maa [2]. Lisaks erinevale stabiilsusele tekib erineva ruumala ja erineva veejuhtivusega allmaabassein, ka kattekivimid kobestuvad erinevalt.



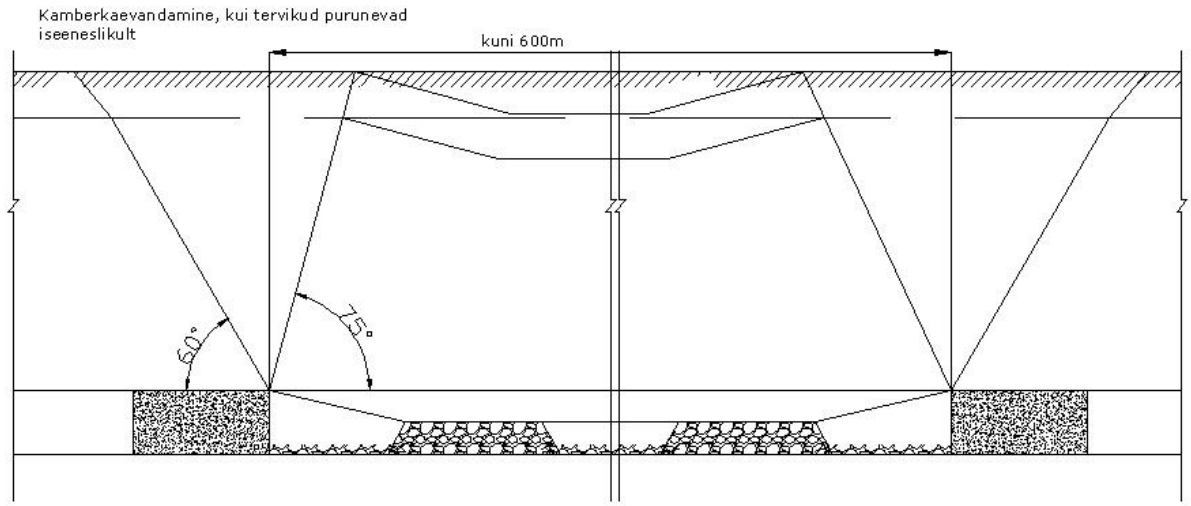
Joonis 20 Kaeveõõne kõrgus erinevate väljamistehnoloogiate korral, m



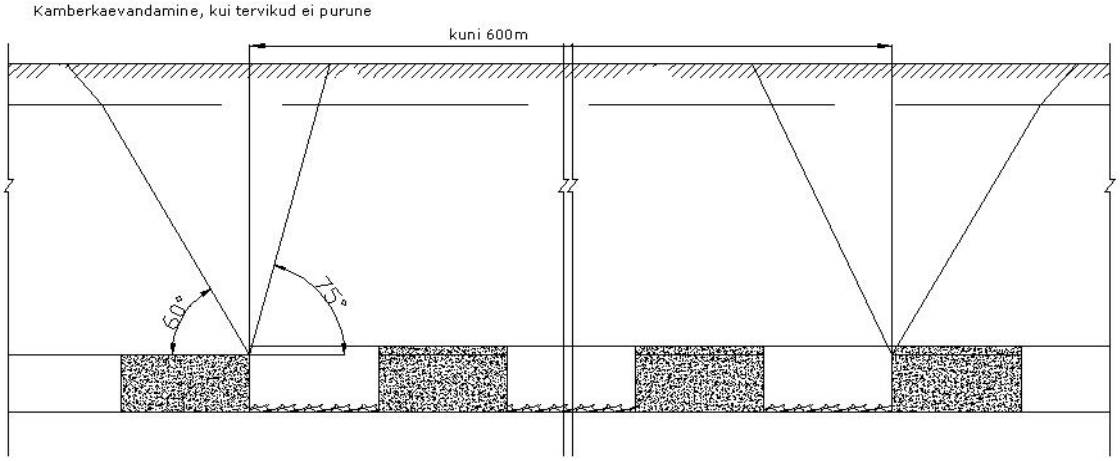
Joonis 21 Käsilaava skeem



Joonis 22 Kombainilaava skeem



Joonis 23 Kambriploki varing tulptervikutega kamberkaevandamise korral



Joonis 24 Kamberkaevandamise läbilõige, tervikud püsivad

4.3.1 Üldistatud kaevandusvee staatiline mudel

Kaevandused, kust vett enam ei pumbata, on täitunud veega. Veetase on taastunud pärast pumpamise lõpetamist tasemele, mis ümbritseb kaevandusi ja taseme muutus sõltub vee juurdevoolu, sademete, aurustumise ja vee äravoolu tasakaalust. Kui põlevkivi kaevandati sellise tehnoloogiaga, mis jättis maa alla vaba ruumi ja see ruum ei ole täidetud ega kinni vajunud, siis on see nüüdseks täitunud veega. Mahu arvutamiseks on võetud arvesse iga kasutatud tehnoloogia puhul: põlevkivikihindi paksus ja ruumala, väljatud kihindi mõõtmed, kaevandusse jäetud täitematerjali mahud ja kihindisse jäetud tervikute mõõtmed. Iga tehnoloogia jaoks on hinnatud vajumine, laekivimite kobestumine ning selle mõju kivimile ja poorsusele.



Joonis 25 Kaevandused uuringualal

Tabel 7 Kaevanduste mahumudel

Parameeter	Kukruse	Kaevandus nr 2 (Jõhvi kaevandus)	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme	Viru	Estonia
Alustas tööd	1921	1949		1925	1953	1951	1948	1937	1948		
Lõpetas töö	1966	1973		1972	1975	1999	2000	2001	2001		
Töötas	45	24	0	47	22	48	52	64	53	0	0
Kaevevälja pindala, km^2	13,2	12,3	3,47	14,05	12,7	40	33,6	18,3	43,3	41,7	141,1
Kaevandatud	11,92	11,1	0	17,4	12,69	31,38	24,7	16,36	35,93	0	0
Kaevandamata	1,28	1,2	3,47	-3,35	0,01	8,62	8,9	1,94	7,37	41,7	141,1
Tootluskihindi paksus, m	2,83	2,81	2,83	2,82	2,8	2,8	2,77	2,76	2,79	2,75	2,71
Väljatud paksus, m											
Käsilaavad, väljatud paksus, m	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Käsikambrid, väljatud paksus,m	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Kamberkaevandamine, väljatud paksus, m	2,83	2,81	2,83	2,82	2,8	2,8	2,77	2,76	2,79	2,75	2,71
Strekid, väljatud paksus, m	2,83	2,81	2,83	2,82	2,8	2,8	2,77	2,76	2,79	2,75	2,71
Kombainilaavad, väljatud paksus, m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Pindala	11,92	11,1	0	17,4	12,69	31,38	24,7	16,36	35,93	0	0
Käsilaavad, km2	6,3	6,8		9,1	7,7	4,4	12,7	3,8	6,3	0	0
Käsikambrid, km2	3,5	0		3,7	0	0	0,1	1,4	0,1	0	0
Kamberkaevandamine, km2	0,3	1,7		0,7	1,1	11,8	1,9	0,6	17,2	0	0
Strekid, km2 (koos streki tervikuga) 30% vabaruumi	1,4	2		3	2,3	9,6	5	3,2	9,1	0	0
Strekide vabaruum, km2	0,42	0,6	0	0,9	0,69	2,88	1,5	0,96	2,73	0	0
Kombainilaavad, km2	0	0		0	0,9	2,7	3,5	6,4	0,5	0	0
Väljamata põlevkivi, m											
Käsilaavad	0,63	0,61	0,63	0,62	0,6	0,6	0,57	0,56	0,59	0,55	0,51
Käsikambrid	0,63	0,61	0,63	0,62	0,6	0,6	0,57	0,56	0,59	0,55	0,51
Kamberkaevandamine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Strekid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kombainilaavad	1,33	1,31	1,33	1,32	1,3	1,3	1,27	1,26	1,29	1,25	1,21
Veemaht väljamata põlevkivis, milj m3		Põlevkivi poorsus	6	%							
Käsilaavad	0,24	0,25	0,00	0,34	0,28	0,16	0,43	0,13	0,22	0,00	0,00
Käsikambrid	0,13	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Kamberkaevandamine	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Strekid	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kombainilaavad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,21	0,27	0,48	0,04	0,00	0,00
Lubjakivi % väljatud kihindist, jäeti maa alla											
Käsilaavad, Lubjakivi % väljatud kihindist	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Käsikambrid, Lubjakivi % väljatud kihindist	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Kamberkaevandamine, Lubjakivi % väljatud kihindist	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Strekid, Lubjakivi % väljatud kihindist	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kombainilaavad, Lubjakivi % väljatud kihindist	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lubjakivi paksus, m, jäeti maa alla											
Käsilaavad, Lubjakivi paksus väljatud kihindist, m	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Käsikambrid, Lubjakivi paksus väljatud kihindist, m	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Kamberkaevandamine, Lubjakivi paksus väljatud kihindist, m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Strekid, Lubjakivi paksus väljatud kihindist, m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kombainilaavad,Lubjakivi paksus väljatud kihindist, m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lubjakivi ruumala (kobestustegur), milj m3		Kobestustegur	1								
Käsilaavad	5,5	6,0	0,0	8,0	6,8	3,9	11,2	3,3	5,5	0,0	0,0
Käsikambrid	3,1	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,1	1,2	0,1	0,0	0,0
Kamberkaevandamine	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strekid	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kombainilaavad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Veehulk käsilaavades, milj m3	13,9	15,0	0,0	20,0	16,9	9,7	27,9	8,4	13,9	0,0	0,0
Veehulk käsikambrites, milj m3	7,7	0,0	0,0	8,1	0,0	0,0	0,2	3,1	0,2	0,0	0,0
Veehulk kambrites, milj m3	0,8	4,8	0,0	2,0	3,1	33,0	5,3	1,7	48,0	0,0	0,0
Veehulk Strekides,, milj m3	4,0	5,6	0,0	8,5	6,4	26,9	13,9	8,8	25,4	0,0	0,0
Veehulk kombainilaavades, milj m3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	4,1	5,3	9,6	0,8	0,0	0,0
Veehulk kaevanduses, milj m3 (kui kõik välja)	26,4	25,4	0,0	38,6	27,8	73,7	52,5	31,5	88,2	0,0	0,0
Ruumala järgi (ilma vajumiseta), milj m3											
Käsilaavad	8,3	9,0	0,0	12,0	10,2	5,8	16,8	5,0	8,3	0,0	0,0
Käsikambrid	4,6	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,1	1,8	0,1	0,0	0,0
Kamberkaevandamine	0,8	4,8	0,0	2,0	3,1	33,0	5,3	1,7	48,0	0,0	0,0
Strekid	4,0	5,6	0,0	8,5	6,4	26,9	13,9	8,8	25,4	0,0	0,0
Kombainilaavad	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	4,1	5,3	9,6	0,8	0,0	0,0
Veehulk kaevanduses, milj m3 (väljamata põlevkivi+lubjakivi jäi maa-alla)	18,1	19,6	0,0	27,8	21,4	70,1	42,0	27,6	82,8	0,0	0,0
Vesi kobestunud lubjakivis?											
Tervikute %											
Kamberkaevandamine	20	20	20	20	25	25	25	30	30	35	40
Tervikute pindala, km2	0	0	0	0	0	3	0	0	5	0	0
Tervikute ruumala, milj m3	0	1	0	0	1	8	1	0	14	0	0
Vee maht tervikus, m3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Veemahu arvutus, põlevkivikihindis	Kukruse	Kaevandus nr 2 (Jõhvi kaevandus)	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme	Viru	Estonia
Veehulk kaevanduses, milj m3 (väljamata põlevkivi+lubjakivi jäi maa alla)	18,1	19,6	0,0	27,8	21,4	70,1	42,0	27,6	82,8	0,0	0,0
Tervikute ruumala, milj m3	0,2	1,0	0,0	0,4	0,8	8,3	1,3	0,5	14,4	0,0	0,0
Vee maht tervikus, m3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	0,9	0,0	0,0
Kokku vett, milj m3	18,0	18,7	0,0	27,4	20,7	62,4	40,7	27,1	69,3	0,0	0,0

kaevanduste mahud.xlsx

Basseini maht – loetakse olukorda, kui kõik kihid maapinnast kuni põlevkivikihindi põhjani on väljatud ja see ruum on täitunud veega.
Vesi basseinis – on maht, mis arvestab põlevkivikihindi absoluutkõrgust ja veetaseme absoluutkõrgust kaevanduse piires.
Veehulk kaevandustes – on maht, mis on arvutatud arvestades vee sisaldust Kvaternaari setetes, lubjakivikatendis ning põlevkivikihindis (sh. tervikute kadu, poorsus, vajumisest tingitud lõhelisus ja loomulik lõhelisus).

4.3.2 Maapinna vajumine

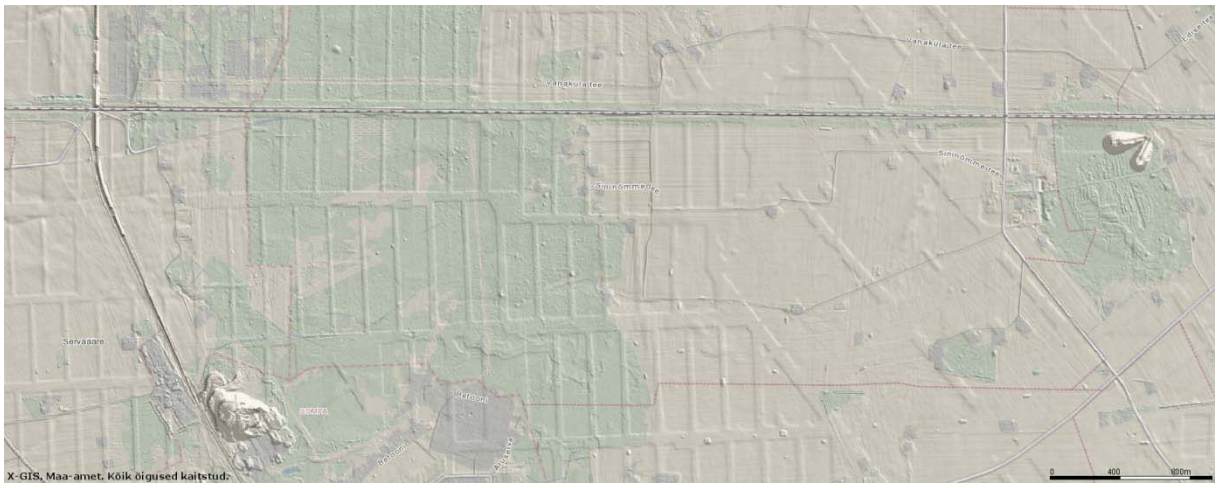
Maapind vajub põlevkivi kaevanduste piirkonnas sõltuvalt väljatud kihindi paksusest ja väljamistehnoloogiast kuni 1,84 m (Tabel 8). Vajumine mõjutab võimalikku vee hulka nii kaevanduses kui kattekivimites (**Tõrge! Ei leia viiteallikat.**). Vajumist on hinnatud nii mäetehniliste uuringute andmete alusel kui kaasaegseid lasermõõdistamisi (LIDAR - Light Detection And Ranging) ja väljamistehnoloogiaid võrreldes (Tabel 8, Joonis 26, Joonis 29).

$\eta_{max} = a \times m$

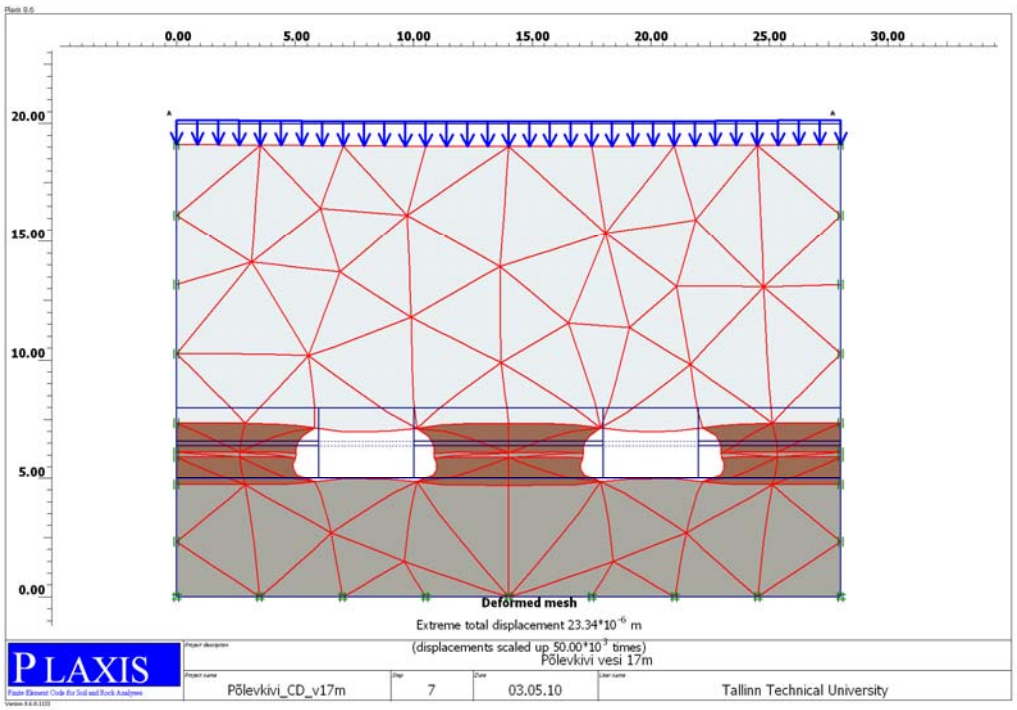
kus a – vajumistegur (kamberkaevandamise puhul a= 0,65, teiste kaevandamisviiside puhul a= 0,60);
m – põlevkivikihindi väljamispaksus.

Tabel 8 Maksimaalne maapinna vajumine sõltuvalt kaevandamise tehnoloogiast

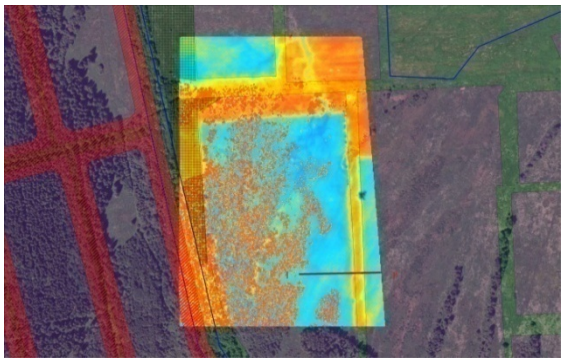
Maapinna vajumine, m		Kukruse	Kaevandus nr 2 (Jõhvi kaevandus)	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme	Viru	Estonia
Käsilaavad, väljatud paksus, m		1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
Käsikambrid, väljatud paksus,m		1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
Kamberkaevandamine, väljatud paksus, m		1.84	1.83	1.84	1.83	1.82	1.82	1.80	1.79	1.81	1.79	1.76
Strekkid, väljatud paksus, m		1.84	1.83	1.84	1.83	1.82	1.82	1.80	1.79	1.81	1.79	1.76
Kombainilaavad, väljatud paksus, m		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90



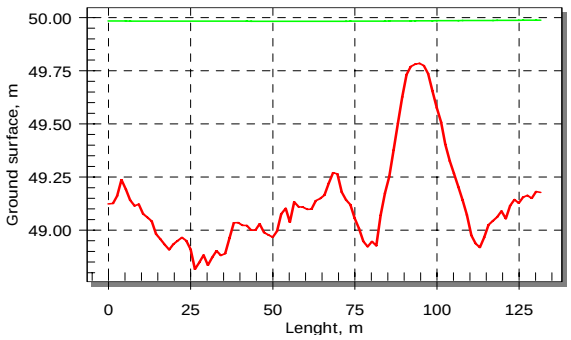
Joonis 26 Vajumid maapinnal, läänes kombainilaavad, idas kambriplokid



Joonis 27 Võimalik tervikute deformeerumine põlevkivikaevandustes



Joonis 28 Maapinna vajumine kombainilaava alal (LIDAR andmed)

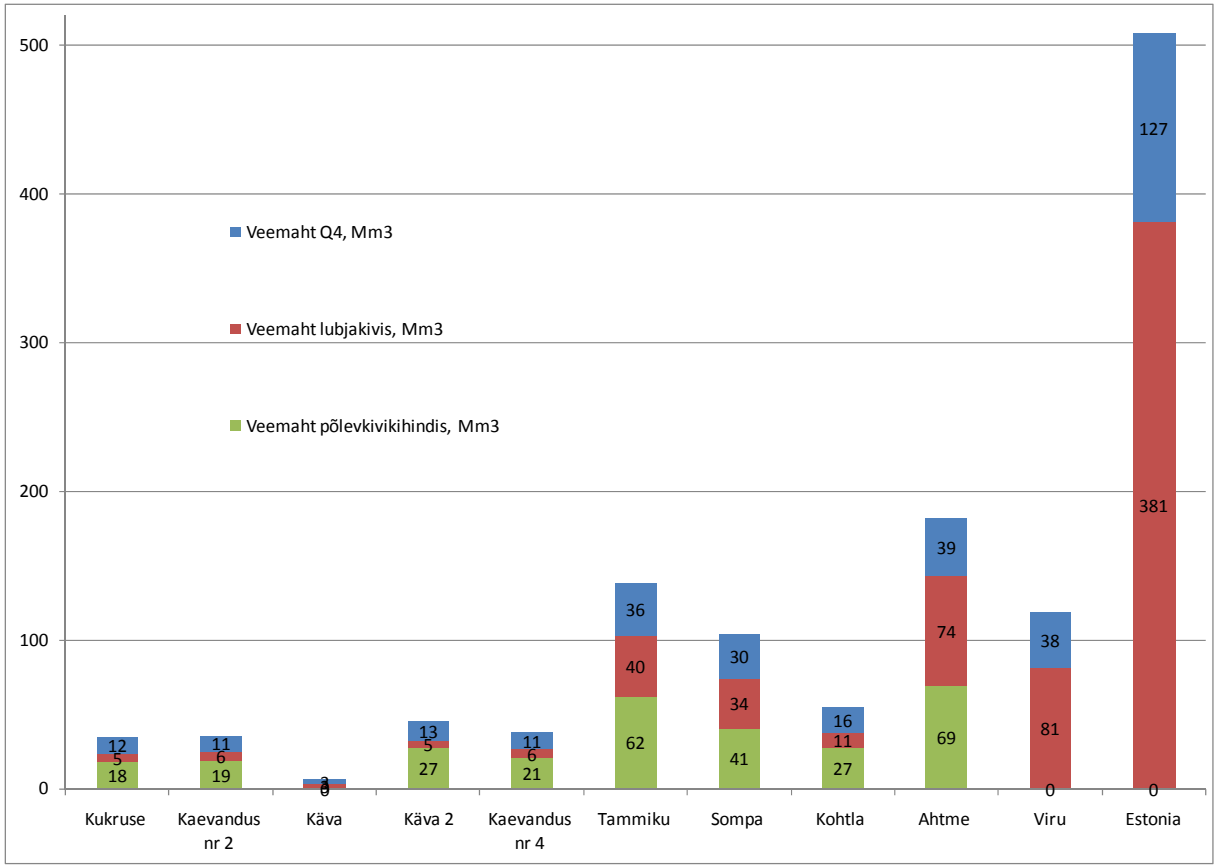


Joonis 29 Maapinna vajumine kombainilaava alal (Kaevandus nr 4, kaevandatud 1974)

Tabel 9 Veemaht põlevkivikihindis

Veemahud	Kukruse	Kaevandus nr 2	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme	Viru	Estonia	Kokku
Veemaht Q4, Mm3	11,9	11,1	3,1	12,6	11,4	36,0	30,2	16,5	39,0	37,5	127,0	336,3
Veemaht lubjakivis, Mm3	5,3	6,2	3,1	4,9	5,7	40,0	33,6	11,0	73,6	81,3	381,0	645,7
Veemaht põlevkivikihindis, Mm3	18,0	18,7	0,0	27,4	20,7	62,4	40,7	27,1	69,3	0,0	0,0	284,3
Veemaht kokku, Mm3	35,1	35,9	6,2	45,0	37,8	138,4	104,6	54,6	181,9	118,8	508,0	1266,3

kaevanduste mahud.xlsx/koond



Joonis 30 Vee mahud kaevanduste aladel, milj. m^3

4.4 Hüdrogeoloogiline modelleerimine

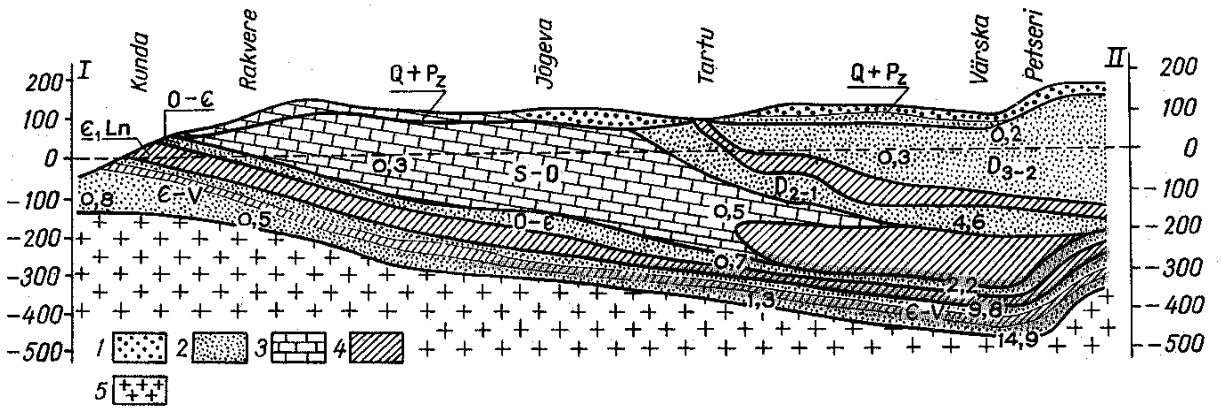
Hüdrogeoloogilise modelleerimise jaoks kasutatakse eelnevalt kirjeldatud lähteandmeid. Eesmärk on pumpamise parameetrite simuleerimine.

4.4.1 Põhjavesi, küllastunud kihid

Pinnas on maakoore pindmist kihti moodustavad setted, muld ja kivimid koos mulla ning kultuurikihiga. Eesti pindmine kiht toetub kõvale **aluspõhjale** (*bedrock*), mis koosneb erinevatel geoloogilistel ajastutel moodustunud settekivimitest. Aluspõhi toetub omakorda Eelkambriumi kristalsetest magma- ja moondekivimitest koosnevale **aluskorrale**.

Põhjavee vabapinnast allpool olevate kihtide poorid on kuni aluspõhjani (*bedrock*) täidetud veega. Poorsemad ja paremini vett läbilaskvad kihid vahelduvad vettpidavate ja vähepoorsete kihtidega. Kiht moodustab **veeladestu** (*aquifer*), kui tema poorides sisaldub vett ja see vesi on kättesaadav praktiliselt kasutatavates hulkades. **Veeand** on veemahtuvusest ja poorsusest alati väiksem, sest kogu vett ei saa kivimist või settest kätte. Vesi esineb kivimites keemiliselt ja füüsiliselt seotuna ning vaba veena. Liivas ja liivakivides ületab eriveeloovutus 20-30%.

Erineva filtratsioonitakistuse tõttu on põhjavee kihid üksteisest eraldatud (Joonis 31). Pinnasevee kihis on põhjavee vabapinnaline tase maapinnast enamasti mõni meeter (kuni 15-20 m nõlvadel) allpool.



Joonis 31 Eesti hüdrogeoloogiline läbilõige. Veeladestute piirid on jämeda joonega. 1 - liiv, kruus, moreen, 2 - liivakivi, 3 - lubjakivi ja dolomiit, 4 vettpidav kiht (savi, tihe lubjakivi), 5 – aluskord.

Eesti põlevkivimaardla geoloogiline läbilõige jaguneb järgmiselt:
Aluskorra moodustavad Alam-Proterozoikumi tard- ja moondekivimid.

Pealiskorra moodustavad erineva vanusega settekivimid:

- allosas on Vendi ja Alam-Kambriumi purdkivimid (savid, aleuroliidid, liivakivid);
- ülaosas Ordoviitsiumi karbonaatkivimid, kus vahelduvad lubjakivid, dolomiidid ja merglid.

Geoloogilise läbilõike Ordoviitsiumi karbonaatsed kivimid on lõhelised, kirde-edelasuunaliste rikkevöönditega (Ahtme, Viivikonna jt) ja karstunud (Heinsalu, Andra, 1975; Sokman et al, 2008). Settekivimite kompleksis on jälgitavad vertikaalsed ja horisontaalsed lõhed, mis esinevad erinevatel tasemetel põlevkivi ja lubjakivi kihtides. Kuna karbonaatsete kivimite koostis läbilõikes on erinev, siis on nende lõhelisus ja karsti leviku intensiivsus erinev. Aluspõhja pealispind jääb valdavalt absoluutkõrguste 30...60m vahele. Aluspõhja reljeefi üheks hüdroloogilist situatsiooni mõjutavaks elemendiks on erosioonilise tekkega ürgorud, mis on lõikunud aluspõhja ning osaliselt täitunud Kvaternaari setetega (Savala, Purtse, Vasavere jt), Seepärast on need nüüdisreljeefis nõrgalt väljenduvad. Orud on orienteeritud põhja-lõuna suunas, nende pikkus varieerub 5...22km. Orgude laius muutub paarisajast meetrist kuni 1,5km ja sügavus aluspõhja kivimites on kuni 70m.

Ala hüdrogeoloogilises läbilõikes esinevad järgmised veeladestikud ja veepidemed:
Kvaternaari veeladestiku vesi pärineb erineva geneesiga setetest, mille paksus ja levik on muutlik. Vesi on vabapinnaline, veetaseme muutused on mõjutatud atmosfäärsetest sademetest. Suurema levikuga on soode setted põlevkivi maardla kagu- ja lääneosas, millest suuremad on Hiiesoo, Sämi, Muraka, Varudi, Kuresoo, Puhatu ja Sirtsi. Looduslikes tingimustes asub põhjaveetase maapinnast 0,2...0,5 m, kuivendatud aladel 1...2 m sügavusel. Soode vesi osaleb Aidu, Viivikonna, Sirgala ja Narva karjääride vee moodustumises.
Jääjärvesetted levivad maardla lõunaosas, samuti Kohtla-Järve, Jõhvi ja Narva linna ümbruses koosnedes pisiteralisest ja tolmsest liivast. Veetase asub maapinnast 1...7 m sügavusel. Osaleb põhiliselt karjääridesse tungiva vee moodustumises.
Jõgede setted ja mattunud orgude Pleistotseeni setted levivad Selja, Kunda, Pada, Purtse ja Vasavere mattunud orus koosnedes enamjaolt segateralisest liivast ja kruusast. Veetaseme

sügavus maapinnast vaheldub 1...16 m piires, sõltuvalt reljeefist, osaleb kaevandusvee moodustumises.
Ordoviitsiumi veekompleks levib Põhja-Eesti paekaldast lõunapoole, va. mattunud orgude suudmealad. Vettandvateks kivimiteks on lubjakivi ja dolokivi.

Eristatakse kolme põhjaveekihti (Kattai jt, 2000 jt):

- Nabala-Rakvere veekiht, mille vettsisaldavate kivimite paksus on kuni 25m. Veekihi lamamiks on Oandu lade. Veetase 0.3...6.0 m sügavusel maapinnast, valdavalt surveta. **Põhjaveekiht on Estonia ja Viru kaevandustesse voolava kaevandusvee oluliseks moodustajaks.**
- Keila-Kukruse veekiht levib kogu maardla ulatuses, lõhelistes ja dolomiidistunud lubjakivis. Veekihi lamamiks on Uhaku lade, mille paksus siin on 10...15 m. Vettkandvate kivimite paksus on 10...35 m, veetase 0,1...15 m sügavusel maapinnast. Töötavate kaevanduste ja karjääride piirkonnas on veetase alandatud kuni veekihi lamamini. **Keila-Kukruse põhjaveekiht võtab vahetult osa kaevandusvee moodustumisest.**
- Lasnamäe-Kunda veekiht levib kogu põlevkivimaardla piires. Lasuvuse sügavus on 3...4 m põhjaosas ja kuni 120 m lõunas. Veekihi lamamiks on Varangu ja Pakerordi lademed. Veetase tõuseb kuni 25 m, kaevanduste piirkonnas võib olla sügavamal.
- Ordoviitsiumi-Kambriumi veeladestik levib kogu leiukohas, vesi esineb peeneteralises liivakivis. Vettsisaldavate kivimite paksus on 20 m. Veetase põlevkivimaardla põhjaosas on 20 m sügavusel, lõunaosas 160 m sügavusel maapinnast. Otseselt kaevandusvee moodustumisel ei osale.
- Kambriumi-Vendi veeladestik levib kogu põlevkivimaardla ulatuses. Vettkandvateks kivimiteks on Voronka põhjaveekihil liivakivi ja Gdovi põhjaveekihil - liivakivi, aleuroliit. **Mäetöid ei mõjuta.** Veekihid on Kirde-Eesti peamiseks ühisveevarustuse allikaks.

Veerohkus sõltub sademete hulgast, kivimite lõhelisusest ja karstumusest.

Tabel 10 Põlevkivikaevandusi veestavate kihtide iseloomustus [16]

Veeladestik	Põhjavee-kiht	Kivim	Sügavus, m	Veekihi paksus,m	Veetase (maa-pinnast mõõdetuna), m	Erideebit, l/s/m	Filtratsiooni-moodul, m/p	Veejuhtivus, m²/p
Kvaternaar	Q	Liiv, moreen, turvas	0	0-77	-15.7	0.001-54	0.02-175	0.1-1980
Ordoviitsium	Nabala-Rakvere, O2nb-rk	Lubjakivi, mergel, dolokivi	2-20	0-50	-13.1	0.025-11.0	0.40-185	2-2546
	Keila-Kukruse, O2kl-kk		0.5-50	0-44	0.2-28.2	0.007-8.3	0.04-170	0.03-2308
	Lasnamäe-Kunda, O2ls-kn		0.5-100	17-24	0.6-15.6	0.001-2.1	0-48	0.01-187

Keila-Kukruse veekiht koosneb lõhelisest ja karstunud lubjakivist, mille paksus on 10 m ala põhjaosas kuni 25 m lõunaosas. **Üldistatud veejuhtivuskoefitsient k_m=719 m²/ööp**, mis lõhelistel ja karstunud aladel võib olla märgatavalt suurem. Keila-Kukruse veekiht annab

99,2% Kohtla kaevandusse voolavast veest, alumine Lasnamäe-Kunda veekiht aga 0,8%. Lasnamäe-Kunda veekihi veejuhtivus on 20 m²/ööp.

2001.aasta- Veetase Sompa kaevanduses väheneb 37m abs.k. , 4.kaevanduses püsib veetase 40-41 m abs.k ja Käva kaevanduses 51,5m abs.k. Veetase on kõrgeim Käva kaevanduses, kust vesi tungib edasi 4.kaevandusse, seda aga dreenivad Sompa ja Kohtla kaevandus. Tulevikus kui veetase Sompa ja 4.kaevanduses on ühtlustunud, hakkab 4.kaevanduse äravool vähenema ja veetase tõusma, tõenäoliselt kuni 46-48meetrini abs.k. ligilähedale esialgsele. Maardla lääneosas on Kohtla kaevanduse ja Aidu karjääri töötamisest tekkinud Keila-Kukruse veekihi veetaseme alanduslehter, mille mõju ulatub kaevandustööde piirist 3 km kaugusele lõunasse.

Kohtla kaevandus – läbitöötatud ala pindala 16,8 m², mille laest on 66% varistatud või varisenud, 22% on ebapüsiv ja 9% on tervikud ja karstirikete tõttu läbitöötamata ala (Valgma, 2001). **Kukruse ja Käva** kaevanduse veega täitunud osast määrati poorsus (**eriveeloovutus**) **0,67. Kohtla** kaevanduse **eriveeloovutus 0,11** ja **Sompa 0,09-0,1.**
Aasta keskmine infiltratsioon moodustab **ligikaudu 30%** aasta sademete summast. Infiltratsiooniprotsess on kõige suurem kevad-ja sügisperioodil. Üksikutel suvekuudel imbuvad sademed maapinnalähedasse kihti ja kuluvad aurumisele. Talvised sademed jõuavad kaevandusse lume sulamisperioodil.

Veetasemete ühtlustumine on toimunud Käva, Kukruse ja 2.kaevanduses. Tulevikus ühinevad ühtseks veehoidlaks ka Sompa, Tammiku ja 4.kaevandus [15].
Väikese paksusega (2-4)m kvaternaarisetted ei moodusta pidevalt väljapeetud veekihti, mis oleks veevarustuses praktilise tähtsusega. Kvaternaarisetted on transiitkeskkonnaks, läbi mille sademevesi infiltreerub Ordoviitsiumi veekompleksi.

Keila-Kukruse veekiht levib kvaternaarisetete all. Vettandvate kivimite paksus suureneb lõuna suunas 4 meetrist kuni 40 meetrini. Kivimite filtratsiooniomadused sõltuvad lõhelisuse astmest ja filtratsioonitegur muutub 5…80 m/ööp, keskmiselt on 20 m/ööp. Veekiht on kaevandusi täitva vee põhiliseks allikaks.

Kaevandustööde tulemusel on vettandvate kivimite füüsikalised omadused järsult muutunud. Põlevkivi tootsa kihindi väljakaevandamise tõttu on suurenenud kivimite üldine poorsus. Lae deformatsioon ja varistamine on suurendanud kivimite lõhelisust ning maapinna mikroreljeef on muutunud, mis soodustavad muutusi pindmises äravoolus ja selle infiltratsioonis. Veekiht toitub kogu oma levikualal.

Enamustes likvideeritud kaevandustes on veetase reguleeritud kindlaksmääratud kõrguseni, mis reeglina ei küüni esialgseni. Nii hoitakse veetaset põhjapoolsetes- Kukruse, Käva ja 2.kaevanduses, 52-50m abs kõrguses.
Kohtla kaevandus reguleerib veetaset ülevalpool Aidu karjääri. Sompa ja 4.kaevanduse vesi, suundudes Kohtla kaevandusse, suurendab vaieldamatult vee juurdevoolu Viru kaevandusse. Tammiku kaevanduse vesi suundub suure tõenäosusega Pühajõe jõgikonda. Veega täitunud

Ahtme kaevanduse veetaset reguleerib läbivool Estonia kaevandusse ning looduslik äravool Vasavere jõe ja mattunud oru suunas.
Kaevandusvee temperatuur muutub aasta jooksul vahemikus 8-12 °C [14].

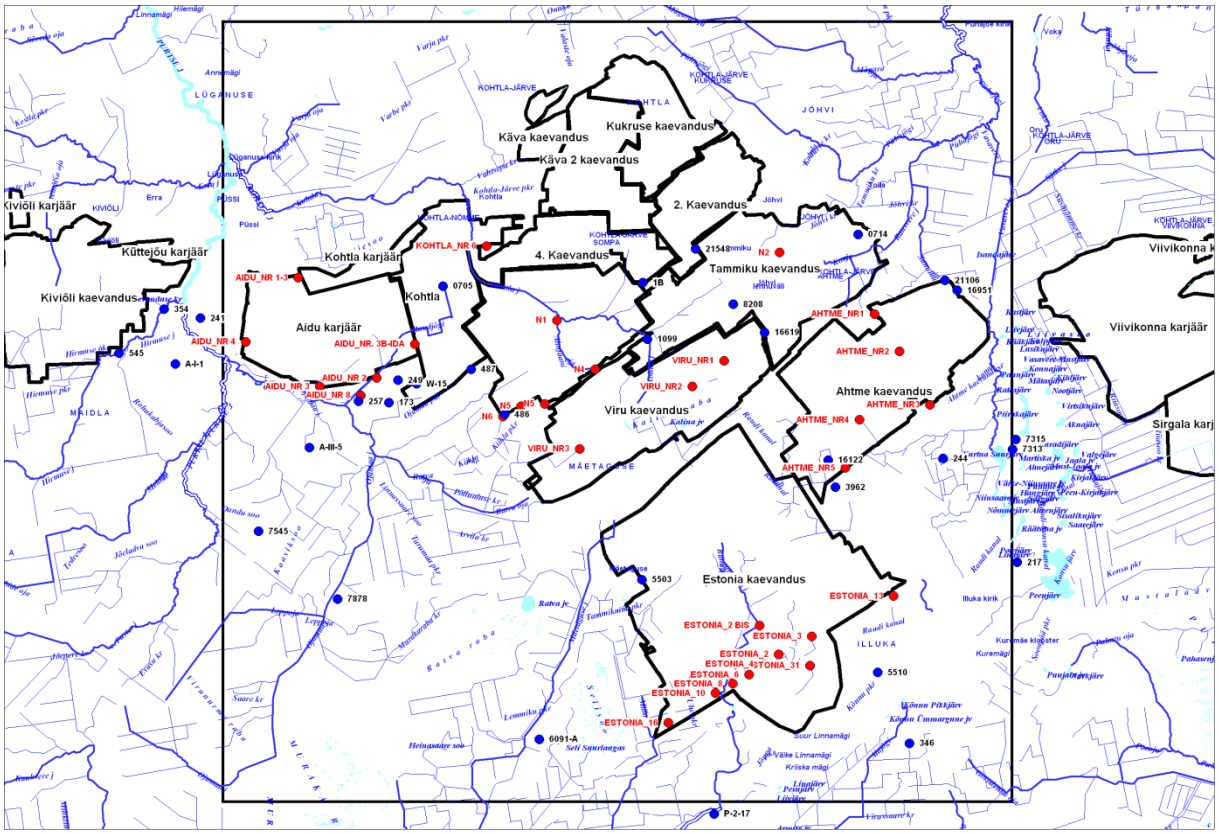
4.4.2 Hüdrogeoloogilised andmed

2004. aasta detsembris täitus viimasena suletud Ahtme kaevandus veega ja nii moodustus maa-alune veebassein, mis ulatub Kohtlast läänes kuni Vasavereni idas ja Kukruselt põhjas kuni Pagarini lõunas. Selles tehnogeenses veekogumis on suhteliselt puhast ja kergesti kättesaadavat vett. [12]

Suletud kaevandustesse tuleb vesi peamiselt sademetest. See osa, mis kaevandustest välja ei voola, imbub naaberkaevandustesse või toidab põhjaveekihte. Nii moodustub tööle jäänud kaevandustest välja pumbatav vesi sademetest, põhjaveest ja suletud kaevandustest tulevast veest.

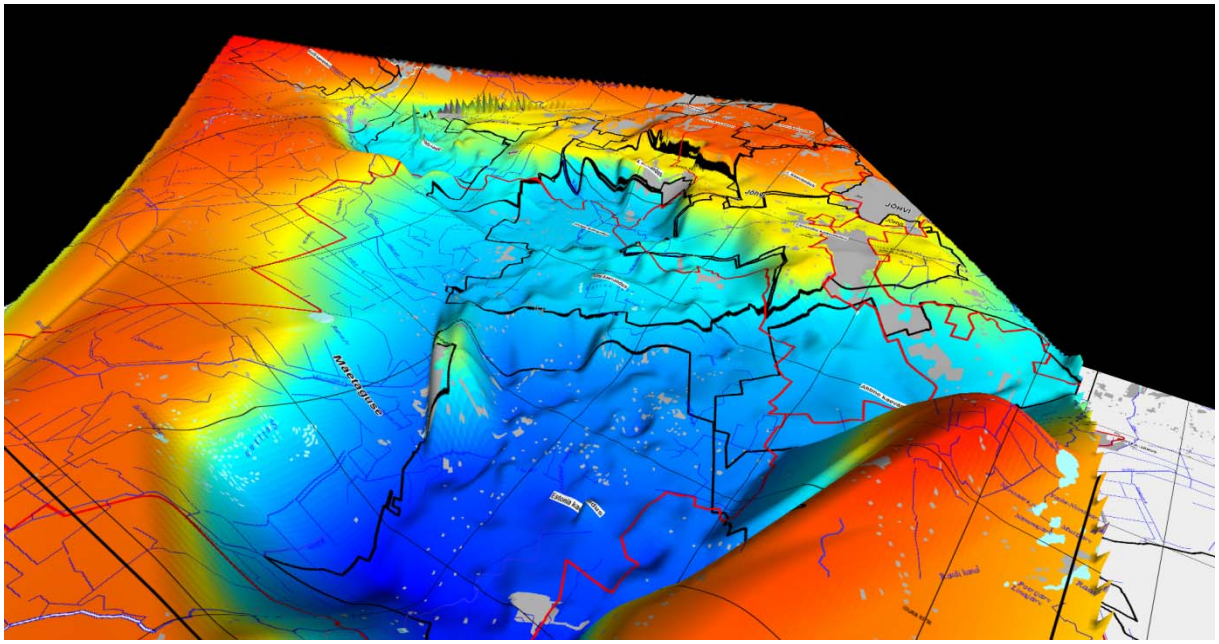
Veevahetuse intensiivsus veekogumis sõltub kaevanduste vahele jäetud tõkketerviku pikkusest ja paksusest, veetasemete vahest naaberkaevandustes ja tõkketerviku ning lasumi veejuhtivusest (Tabel 14). Veevahetus on seda intensiivsem, mida pikem ja õhem on barjäärtervik, mida suurem on veetasemete vahe naaberkaevandustes ja mida suurem on kivimite veejuhtivus. Kivimite veejuhtivust mõjutab maapõue geoloogiline häiritus ehk karst ja lõhed. Samuti sõltub kaevandatud ala kivimite veejuhtivus kaevandamisviisist (Joonis 20 Kaeveõõne kõrgus erinevate väljamistehnoloogiate korral, m).

Eesti paekivikihtide veerikkus sõltub peamiselt lõhede ja karstiõõnsuste rohkusest. Sademetevee infiltratsiooni aluspõhja kivimitesse soodustavad rohked enam-vähem vertikaalsed lõhed murenemisvöös. Vastavalt erinevate kivimikihtide filtratsiooniomadustele on hüdrogeoloogilises läbilõikes tinglikult võimalik eristada vettandvaid, lokaalselt vettandvaid ja nõrgalt vettandvaid (suhteliselt vettpidavaid) kihte. Märgatavalt erinevad on kihtide vertikaalne ja horisontaalne veejuhtivus. Kui horisontaalne filtratsioonitegur on maapinnalähedastes kihtides ligikaudu 20–50, keskmiselt 30m/ööpäevas, siis risti kihipindadega on filtratsiooniteguri arvutatud 10-5 – 10-2 m/ööpäevas. Rohkem kui 300 hüdrogeoloogilises uuringupuuraugus tehtud vooluhulga-karotaaž on näidanud, et karbonaatse kompleksi ülemise 20 m veejuhtivustegur kõigub enamasti 10–50 m/ööpäevas, keskmiselt 30 m/ööpäevas. 20–50 m sügavusel väheneb see 5–8 meetrini ja 50–100 m sügavusel 1–2 meetrini ööpäevas. Sellest sügavamal lasuvate kihtide veejuhtivustegur ei ületa tavaliselt üht meetrit ööpäevas ja neid võib üldjuhul vaadelda kui nõrgalt vettandvaid kihte. [8]
Veetase kõigub kaevandatud uuringualal 1...5 m. Suurem kõikumine on töötavate kaevanduste alanduslehtrite piirkonnas (Tabel 6).

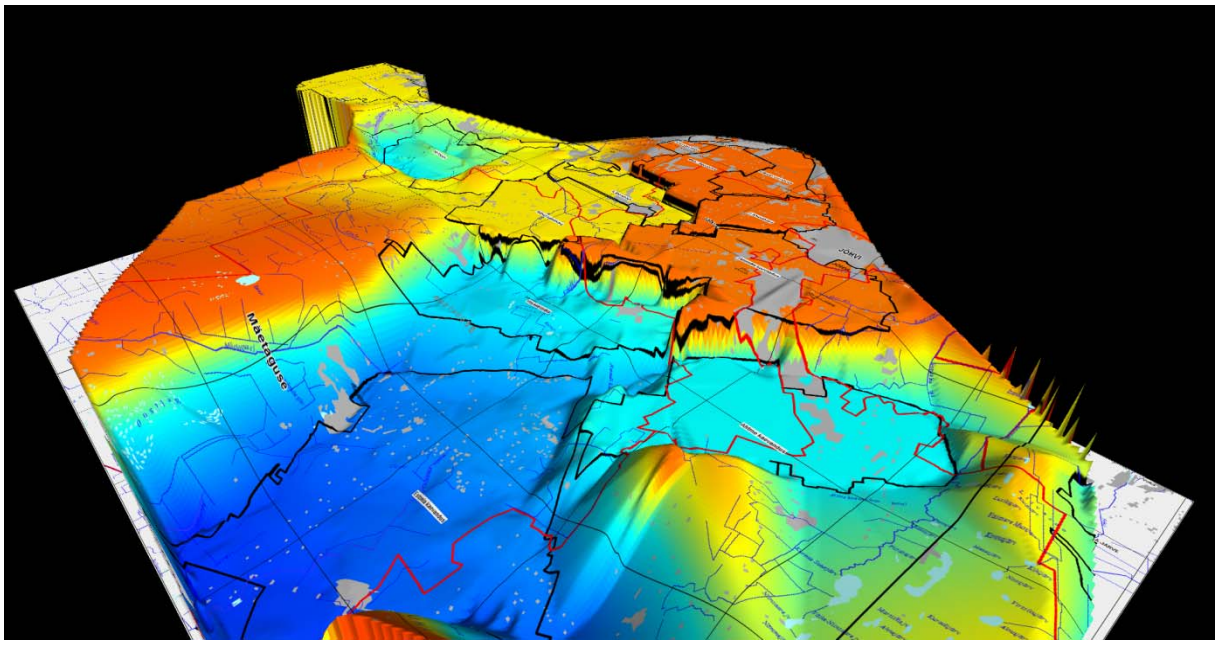


Joonis 32 Vaatluskaevud ja pumbad uuringualal

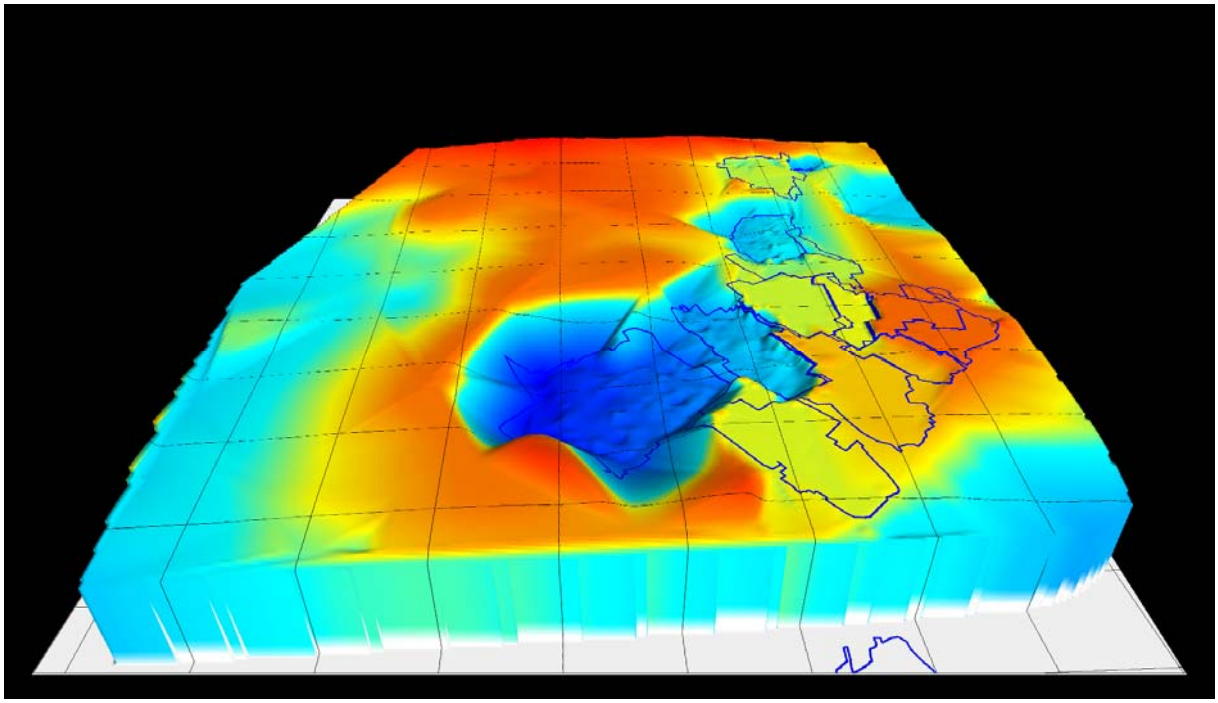
Veetase taastub vastavalt pumpamise lõpetamisele kaevandustes (Joonis 33 kuni Joonis 35). Uuringualal on peamine veepide põlevkivikihindi põhi.



Joonis 33 Veetase 2000. aastal



Joonis 34 Veetase 2004. Aastal



Joonis 35 Veetase 2008. aastal

Arvutamiseks kasutatakse sademete andmeid (Tabel 11), puurkaevude veetasemeid (Tabel 11), filtratsiooniparameetreid (Tabel 14) ja veemahtuvusi (Tabel 15).

Tabel 11 Sademed 2008-2009. aastal Jõhvi HMJ andmetel [13]

Kuu	Sademed, mm/a	
	2008	2009
Jaanuar	43.4	35.3
Veebruar	61.6	29.9
Märts	74.2	40.7
Aprill	40.8	12.6
Mai	28.3	35
Juuni	127.9	98.2
Juuli	54.5	136.9
August	242.2	89
September	51.3	73
Oktoober	91.4	164
November	68.5	62.4
Detsember	68.3	76.3
Sademeid kokku (mm/a)	952.4	853.3
Aurumistegur (mm/a)	300	300
Juurdevool kaevandusse (mm/a)	652.4	553.3

Tabel 12 Kaevanduste pumbajaamade andmed [5]

Kaevanduste pumbad	X	Y	Puurkaevu nimi	Pumba ülemise otsa kõrgus (m)	Pumba alumise otsa kõrgus (m)	Pumpade töötsükli lõpp (päev)	Väljapumbatava vee maht (m³/h)
Ahtme väljavool	699730	6581237		26	24		
AHTME_NR1	697386.9	6580306.0	1	23.7	21.7	1	-5395.83
AHTME_NR2	698338.3	6578860.0	2	21.5	19.5	1	-8686.13
AHTME_NR3	699493.9	6576814.0	3	15.7	13.7	1	-11324.4
AHTME_NR4	696808.4	6576230.0	4	15	13	1	-11515.93
AHTME_NR5	696270.9	6574374.0	5	8.7	6.7	1	-10397.52
AIDU_NR 1-3	675409.7	6581701	6	33.9	31.9	1460	-4453.69
AIDU_NR 2	678414.3	6577841	7	24.1	22.1	1460	-20700.33
AIDU_NR 3	676234.8	6577513	8	23.3	21.3	1460	-22843.95
AIDU_NR 4	673413.1	6579232	9	27.1	25.1	1460	-20603.66
AIDU_NR 8	677804.4	6577176	10	23	21	1460	-17069.3
AIDU_NR. 3B-IDA	679868.3	6579151	11	29.6	27.6	1460	-3396.78
ESTONIA_10	691323.6	6565697	12	-10.9	-12.9	6000	-8200.03
ESTONIA_13	698109.8	6569445	13	-2.8	-4.8	6000	-36694.09
ESTONIA_16	689520	6564555	14	-15	-17	6000	-25361.54
ESTONIA_2	693737.7	6567203	15	-5.7	-7.7	6000	-10960.73
ESTONIA_2 BIS	693005.6	6568306	16	-4.2	-6.2	6000	-8661.07
ESTONIA_3	694992	6567895	17	-4.4	-6.4	6000	-16433.76
ESTONIA_31	694920.5	6566763	18	-10.4	-12.4	6000	-31320.16
ESTONIA_4	693174.3	6566819	19	-10.3	-12.3	6000	-16331.55
ESTONIA_6	692599.8	6566414	20	-11.6	-13.6	6000	-19434.03
ESTONIA_8	691989.9	6566062	21	-11.1	-13.1	6000	-13298.54
KOHTLA_NR 6	682592.3	6582923	22	40.7	38.7	1900	-5860.27
VIRU_NR1	691649.7	6578507	23	27.3	25.3	1900	-4052.34
VIRU_NR2	690436.7	6577515	24	27.3	25.3	1900	-28550.2
VIRU_NR3	686145	6575110	25	21	19	1900	-15924
Ojamaa	681486.1	6576585	26	20	18		-8333.3
Ojamaa(2)	682903.5	6575640	27	20	18		-8333.3
Ojamaa(3)	682540.1	6574514	28	20	18		-8333.3
Ojamaa(4)	680759.3	6575241	29	20	18		-8333.3

Tabel 13 Vaatluspuurkaevude andmed uuringualal [5]

Vaatluspuurkaevu nimi	X	Y	Vaatluspuurkaevu ID	Vaatluspuurkaevu ülemise otsa kõrgus (m)	Vaatluse aeg (päev)	Veetase (m)	Veekiht
0705	680931.7828	6581380.533	1	42.00	150	41.046	O2KK
0714	696766.0466	6583374.525	2	42.00	150	45.193	O2KK
1099	688722.0559	6579333.911	3	42.00	150	44.096	O2KK
16122	695623.2416	6574683.083	4	42.00	150	34.273	O2KK
16619	693190.3328	6579597.558	5	42.00	150	39.916	O2KK
16951	700535.7312	6581215.856	6	42.00	150	38.256	O2KK
173	678883.1743	6576898.354	7	42.00	150	40.303	O2KK
1B	688563.0066	6581507.971	8	42.00	150	40.551	EEN
21106	700072.4855	6581594.53	9	42.00	150	41.925	O2KL-KK
21548	690558.6537	6582811.315	10	42.00	150	41.845	O2KK
217	700003.6358	6574742.83	11	42.00	150	47.288	O2ID-KK
241	679224.1125	6577754.175	12	42.00	150	36.263	O2KK
244	677720.8397	6576942.378	13	42.00	150	56.119	O2ID-KK
249	698716.6768	6563768.756	14	42.00	150	41.858	O2KK
257	695904.2673	6573631.801	15	42.00	150	41.13	O2KK
346	695904.2673	6573631.801	16	42.00	150	49.382	O2KL-KK
354	683284.9186	6576435.936	17	42.00	150	46.687	O2KL
3642	682016.3305	6578181.837	18	42.00	150	43.83	O2KL-KK
3962	688527.7542	6570069.659	19	42.00	150	45.103	O2KL-KK
486	697500.0569	6566500.069	20	42.00	150	40.275	O2KK
487	684599.8479	6563930.123	21	42.00	150	40.988	O2KK
5119	702650.0447	6575099.16	22	42.00	150	63.929	O2ID-KK
545	673901.0075	6571938.033	23	42.00	150	47.063	O2KL
5503	676924.269	6569329.525	24	42.00	150	24.705	O2KL-KK
5510	691995.2284	6580683.43	25	42.00	150	44.496	O2KL-KK
6091-A	684599.8479	6563930.123	26	42.00	150	51.166	O2KL-KK
7313	702650.0447	6575099.16	27	42.00	150	44.985	O2ID-KK
7315	702772.6832	6575477.502	28	42.00	150	44.813	O2ID-KK
7545	673901.0075	6571938.033	29	42.00	150	53.256	O2ID-KK
7878	676924.269	6569329.525	30	42.00	150	48.021	O2ID-KK
8208	691995.2284	6580683.43	31	42.00	150	44.618	O2KK
A-I-1	670736.2401	6578372.829	32	42.00	150	44.465	O2KK
A-III-5	675846.0105	6575165.03	33	42.00	150	48.976	O2KK
P-2-17	691273.962	6561047.539	34	42.00	150	50.226	O2KL-KK
W-15	679928.4975	6577616.476	35	42.00	150	40.133	O2KK

Tabel 14 Modelleerimisel kasutatud filtratsioonitegurid [8,5,19]

Kiht/ala	Kx (m/p)	Ky (m/p)	Kz (m/p)
Kvaternaari kiht (Q4)	15	15	1.5
Lubjakivi ülemine osa (katend)	30	30	3
Lubjakivi alumine osa (katend)	8	8	1
Kaevandatud ala ümbrus	25	25	2.5
Kukruse kaevanduse ala	300	300	30
Käva 2 kaevanduse ala	300	300	30
Käva 1 kaevanduse ala	300	300	30
Pavandu karjääri ala	100	100	10
Kaevandus nr 4 ala	150	150	10
Kohtla kaevanduse ala	150	150	10
Kohtla karjäär	80	80	8
Aidu karjääri ala	100	100	10
Sompa kaevanduse ala	500	500	50
Kaevandus nr 2 ala	200	200	20
Tammiku kaevanduse ala	500	500	50
Ahtme kaevanduse ala	500	500	50
Viru kaevanduse ala	1000	1000	100
Estonia kaevanduse ala	1000	1000	100
Põlevkivi all olev lubjakivi kiht	1	1	0.1

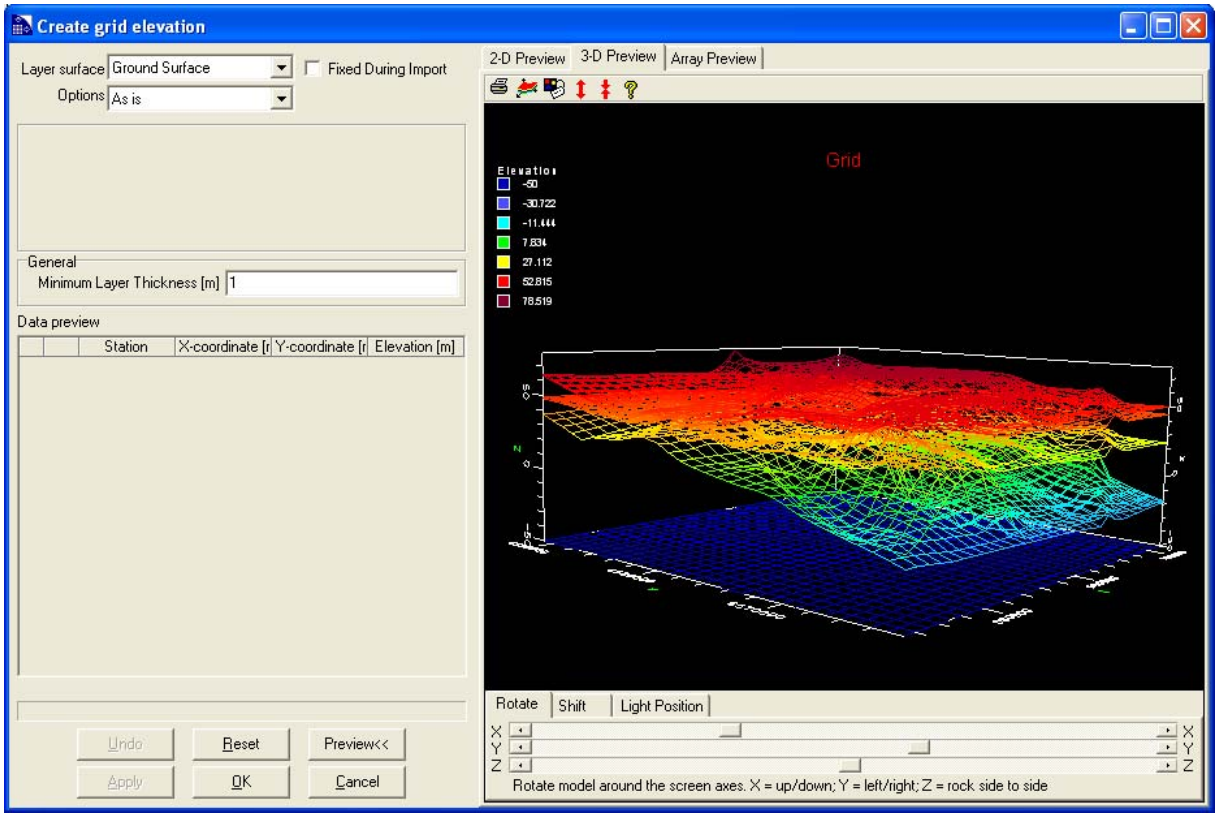
Tabel 15 Uuringuala modelleerimisel kasutatud alade ja kihtide andmed [5,8,9,17,18,19]

Kiht/ala	Eriveemahtuvus	Eriveeloovutus	Efektiivpoorsus	Kogu poorsus
Kvaternaari kiht (Q4)	4.5	0.14	0.045	0.14
Lubjakivi ülemine osa (katend)	1.5	0.14	0.015	0.45
Lubjakivi alumine osa (katend)	1	0.12	0.1	0.3
Kaevandatud ala ümbrus	1	0.12	0.01	0.3
Kukruse kaevanduse ala	5	0.67	0.05	0.25
Käva 2 kaevanduse ala	5	0.67	0.05	0.25
Käva 1 kaevanduse ala	5	0.67	0.05	0.25
Pavandu karjääri ala	5	0.25	0.05	0.25
Kaevandus nr 4 ala	5	0.25	0.05	0.25
Kohtla kaevanduse ala	5	0.11	0.05	0.25
Kohtla karjäär	5	0.25	0.05	0.25
Aidu karjääri ala	5	0.25	0.05	0.25
Sompa kaevanduse ala	5	0.25	0.05	0.25
Kaevandus nr 2 ala	5	0.25	0.05	0.25
Tammiku kaevanduse ala	5	0.25	0.05	0.25
Ahtme kaevanduse ala	5	0.25	0.05	0.25
Viru kaevanduse ala	10	0.3	0.1	0.3

Estonia kaevanduse ala	10	0.3	0.1	0.3
Põlevkivi all olev lubjakivi kiht	1	0.12	0.1	0.3

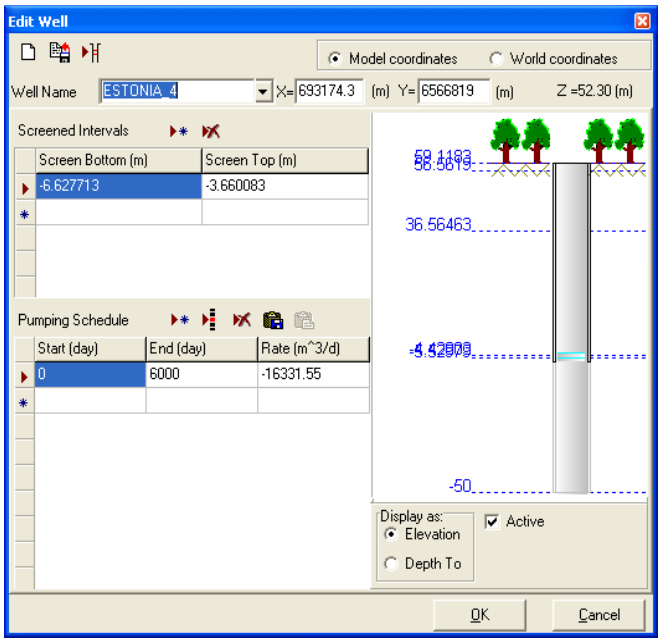
4.4.3 Hüdrogeoloogilise mudeli objektid

Hüdrogeoloogiline mudel koosneb geomeetrilisest mudelist (Joonis 37), vaatluskaevude (Joonis 38) ja pumpade andmetest (Joonis 39) ning veekihtide omadustest (Joonis 40).

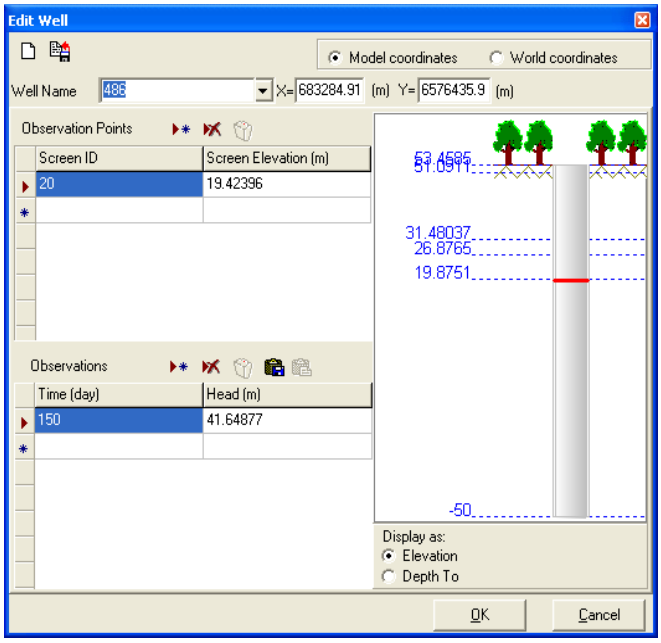


Joonis 37 Kõrgusandmed hüdrogeoloogilises mudelis

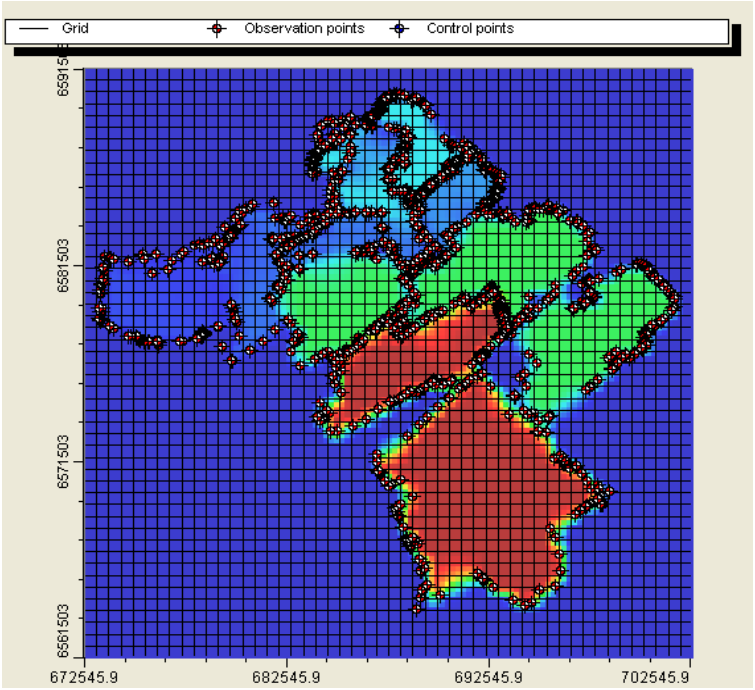
Joonis 36Veepidemed uuringualal



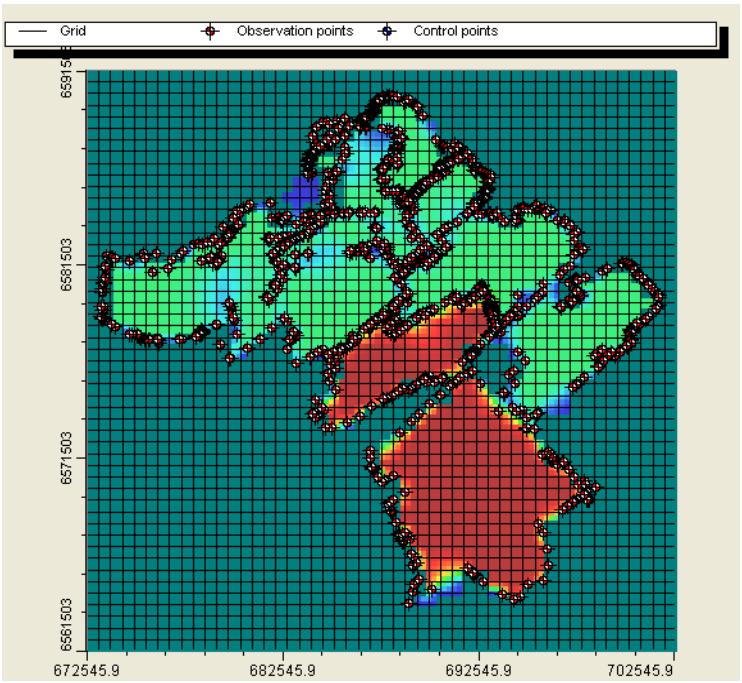
Joonis 38 Pumba lisamine hüdrogeoloogilisse mudelisse



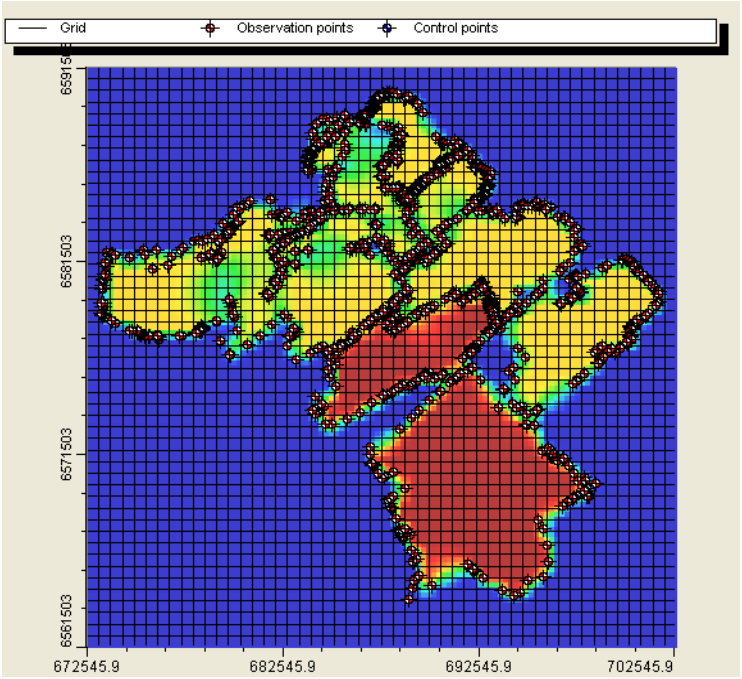
Joonis 39 Vaatluspuurkaevu parameetrite sisestamine mudelisse



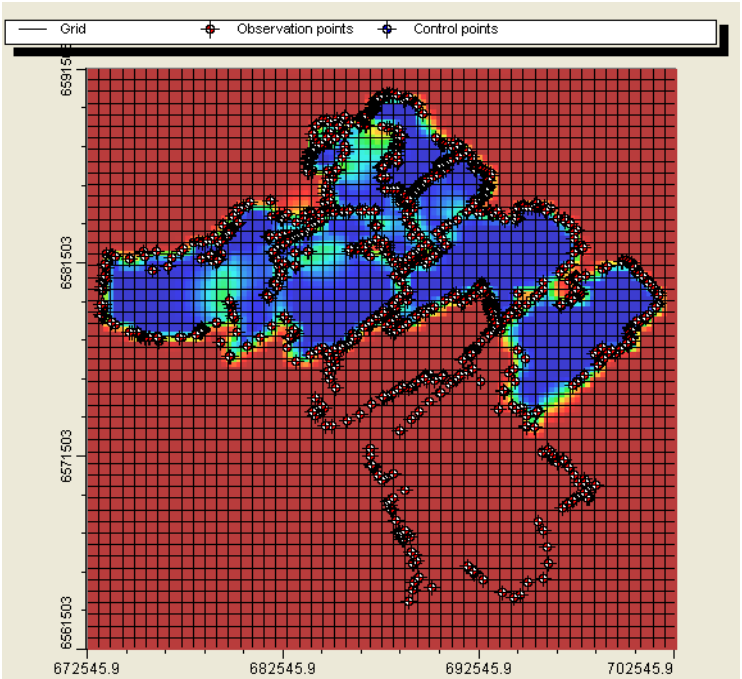
Joonis 40 Veejuhtivused K_x, K_y ja K_z



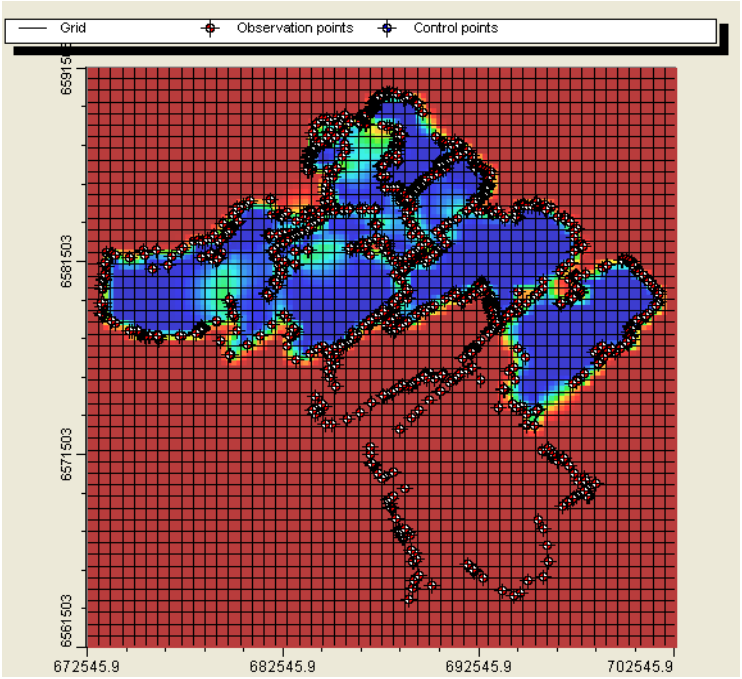
Joonis 41 Eriveemahtuvus Ss mudelis



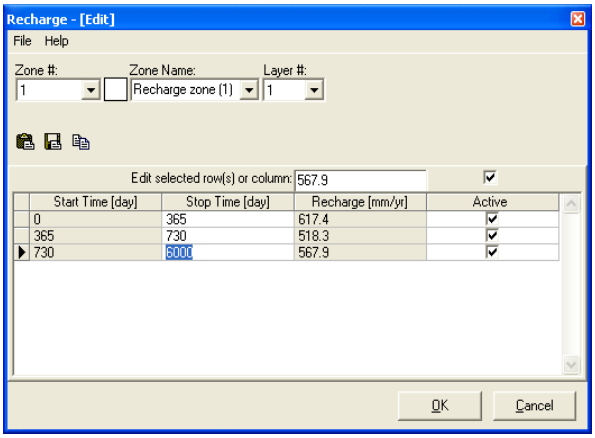
Joonis 42 Eriveeloovuutus Sy mudelis



Joonis 43 Efektiivpoorsus n mudelis



Joonis 44 Poorsus p mudelis



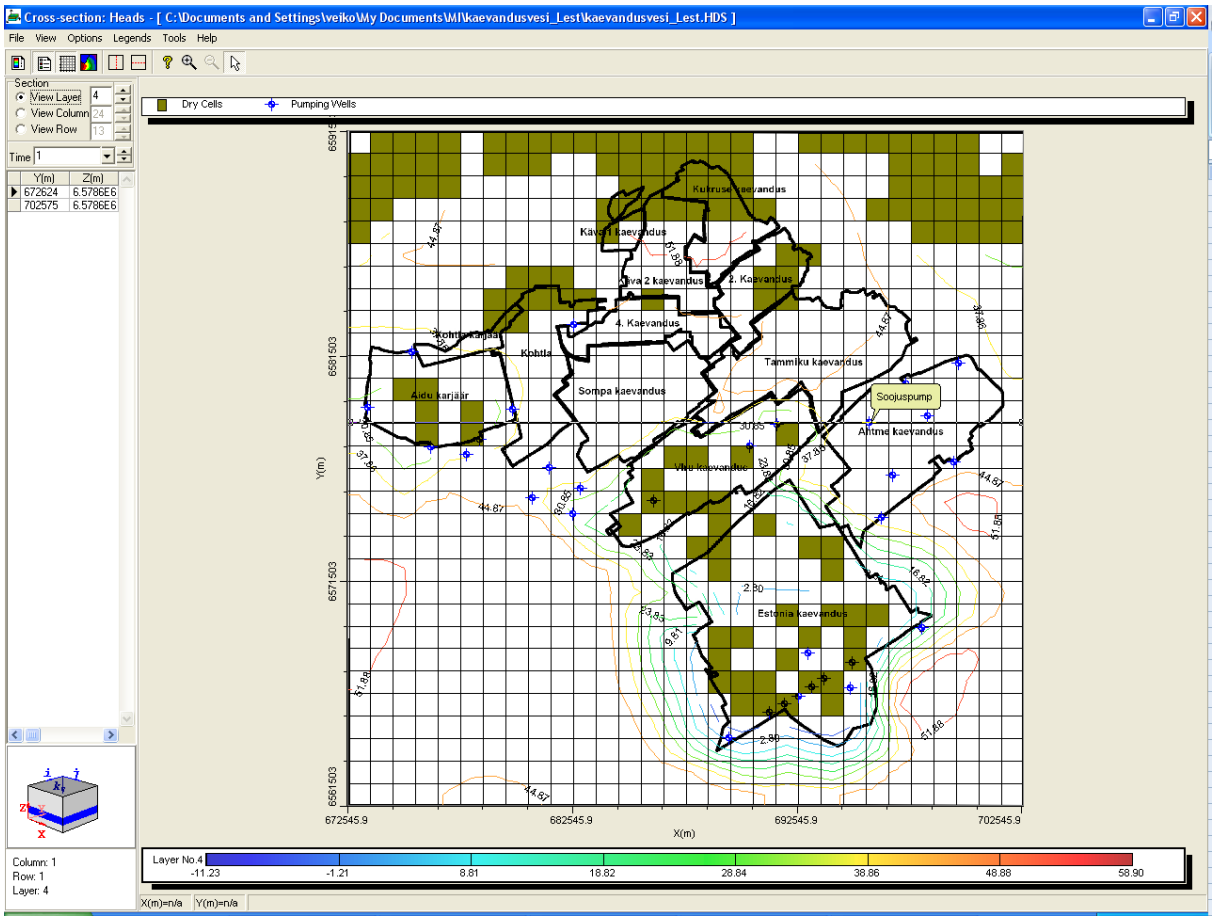
Joonis 45 Sademetest tingitud juurdevool mudelis (Recharge)

Geomeetriline mudel ja ruumilistele objektidele omistatud modelleerimiseks vajalikud parameetrid sisestati põhjavee modelleerimise tarkvaras põhjaveemudelisse. Piirkonnad moodustuvad kaevanduste tõkketervikutest. (**Tõrge! Ei leia viiteallikat.**)

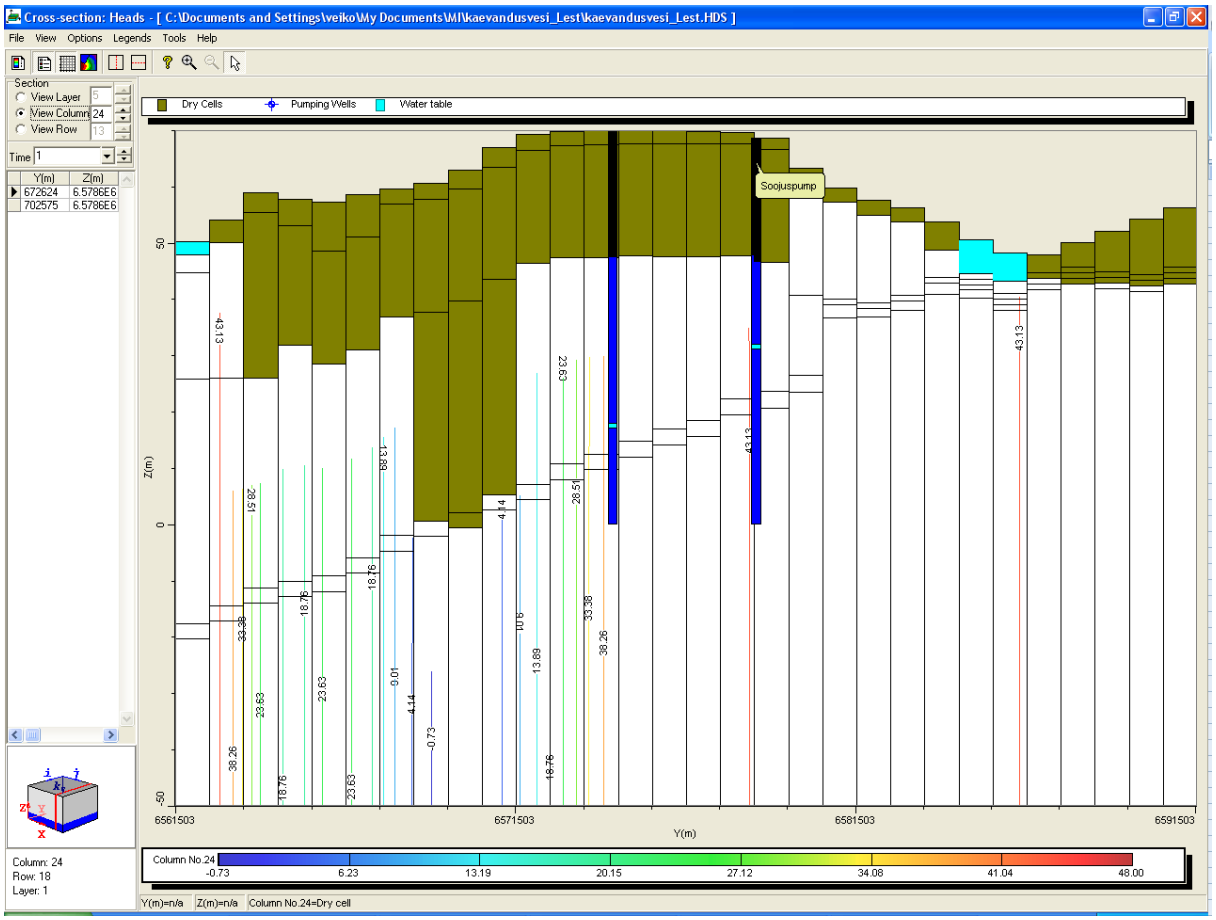
4.4.4 Dünaamiline hüdrogeoloogiline mudel

Dünaamilise hüdrogeoloogilise mudeli koostamiseks on kasutatud geoloogiliste kihtide geomeetrilisi ja hüdrogeoloogilisi andmeid, samuti kaevanduste pumplate ja vaatluskaevude mõõdetud tulemusi (Andmed Eesti Energia Kaevandused AS). Dünaamiline mudel on koostatud tarkvaraga ModFlow.

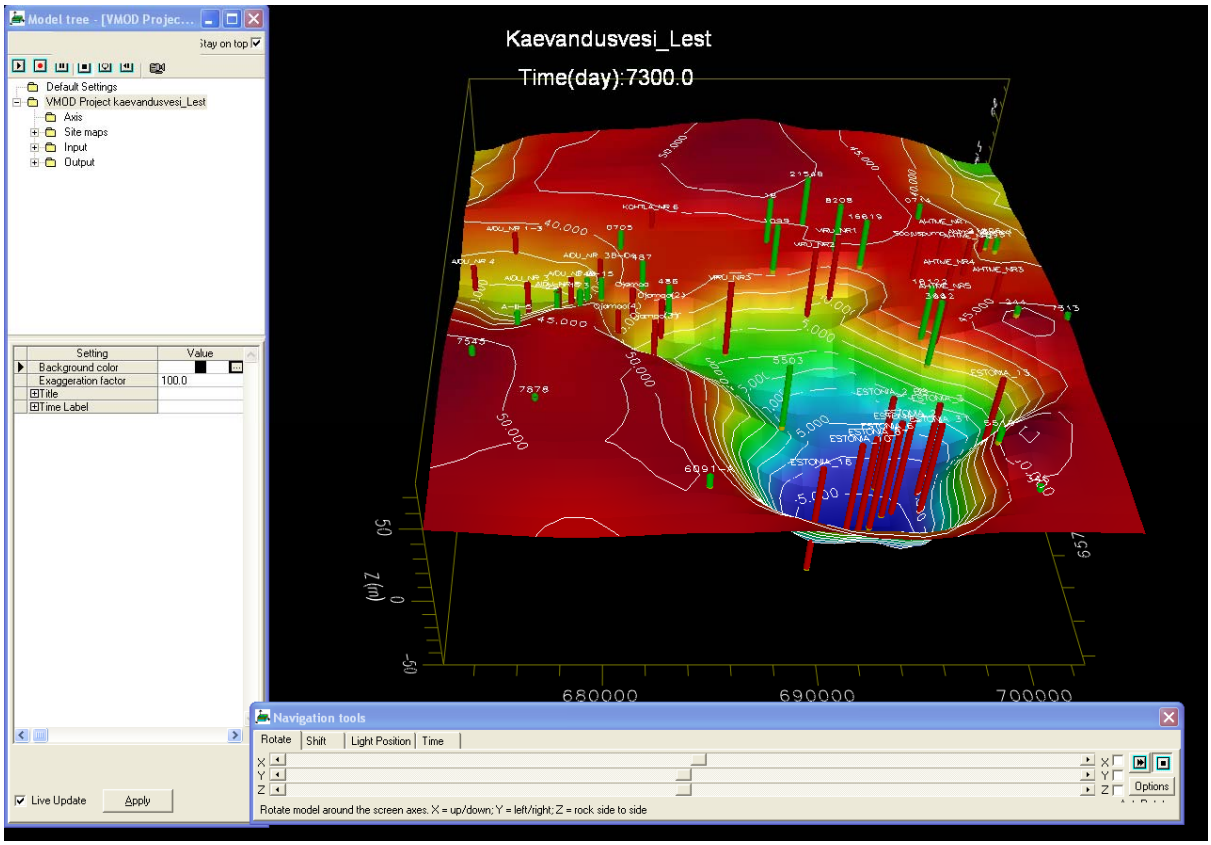
Mudel näitab, kas potentsiaalses soojuspumba asukohas on pumbatavat vett. Piirkonna põhjavee taseme kõikumine on tarkvaras jälgitav kolmemõõtmelisena.



Joonis 46 Mudel näitab kihiti veetasemeid ja kuivi ning vett täis mudeli võrgupunkte



Joonis 47 Mudeli read näitavad profiilis kihtide asetust, veetaset ja pumpade ning vaatluskaevude asukohti



Joonis 48 Vee pumpamise mudel

4.5 Kaevandusvete kasutusele võtmise potentsiaal soojusvarustuses

Esialgsed modlleerimistulemused näitavad, et vee ringipumpamise mahul ei ole soojuspumba kasutamise seisukohast piiranguid, kuna see jääb väiksemaks kui vee pumpamise maht töötavates kaevandustes.

Tabel 16 Vee maht kaevandustes

Veemahud, Mm3	Kukruse	Kaevandus nr 2	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme	Viru	Estonia	Kokku
Veemaht Q4, Mm3	12	11	3	13	11	36	30	16	39	38	127	336
Veemaht lubjakivis, Mm3	5	6	3	5	6	40	34	11	74	81	381	646
Veemaht põlevkivikihindis, Mm3	18	19	0	27	21	62	41	27	69	0	0	284
Veemaht kokku, Mm3	35	36	6	45	38	138	105	55	182	119	508	1266
						Suletud kaevandustes kokku:			640			kaevanduste mahud.xlsx!koond

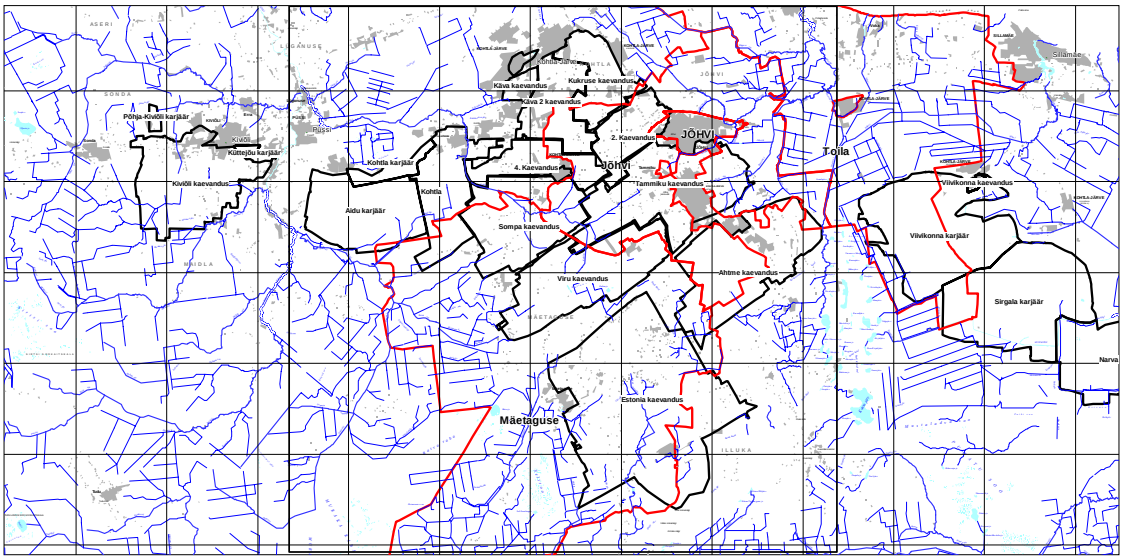
4.6 Tehnilised lahendused Jõhvi ja Mäetaguse vallas

Peamised lahendused on:

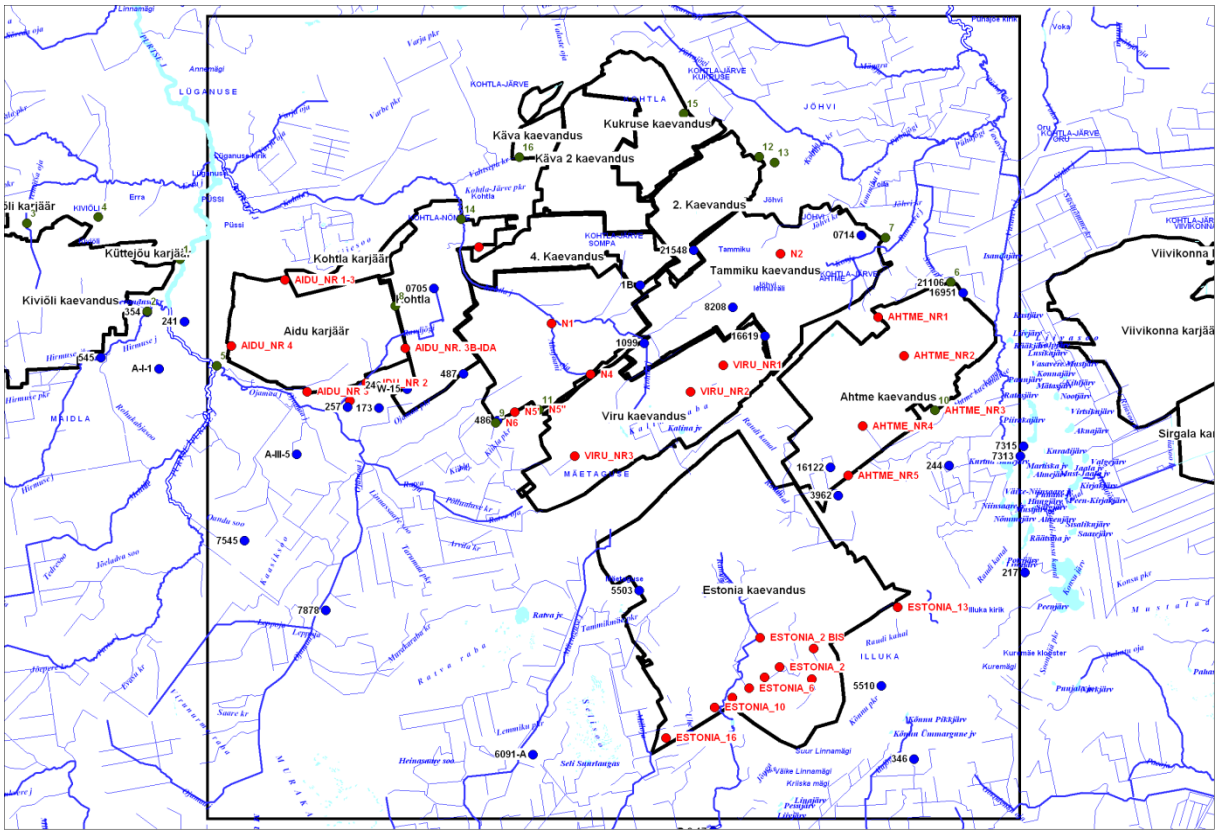
1. Kaevandustest väljavoolava vee soojuse kasutamine
2. Kaevandustest väljapumbatava vee soojuse kasutamine
3. Kaevandusse paigaldatava soojuspumba kasutamine

4.7 Võimalike soojusallikate ja tarbimispunktide kaardistamine

Tarbijate ja soojusallikate kaardistamiseks on koostatud kaevanduste kaart mudelis ja hüdrogeoloogiline mudel. Asustuse, infrastruktuuri ja veemudeli ühildamine näitab parimaid võimalikke tarbimispunkte.



Joonis 49 Tarbimispunktide kaardistamine



Joonis 50 Väljavoolud kaevandustest, pumbad ja vaatluskaevud



Joonis 51 Kohtla jõgi, (p 14 Joonis 50)



Joonis 52 Kuiv suletud kaevanduse kraav Sompa kaevanduse lõunanurgas (p 5 Joonis 50)



Joonis 53 Endine kaevanduse vee väljavoolu koht Ahtme kaevanduse lõunaservas (p 10 Joonis 50)



Joonis 54 Teise kaevanduse streki varing (p 12 Joonis 50)



Joonis 55 Vee sissevool Kohtla kaevanduse kattekivimitest üle tõkketerviku Aidu karjääri (p 8 Joonis 50)



Joonis 56 Ahtme kaevanduse väljavool (p 6 Joonis 50)



Joonis 57 Tammiku-Kose väljavool (p 7 Joonis 50)



Joonis 58 Teise kaevanduse väljavool (p 13 Joonis 50)



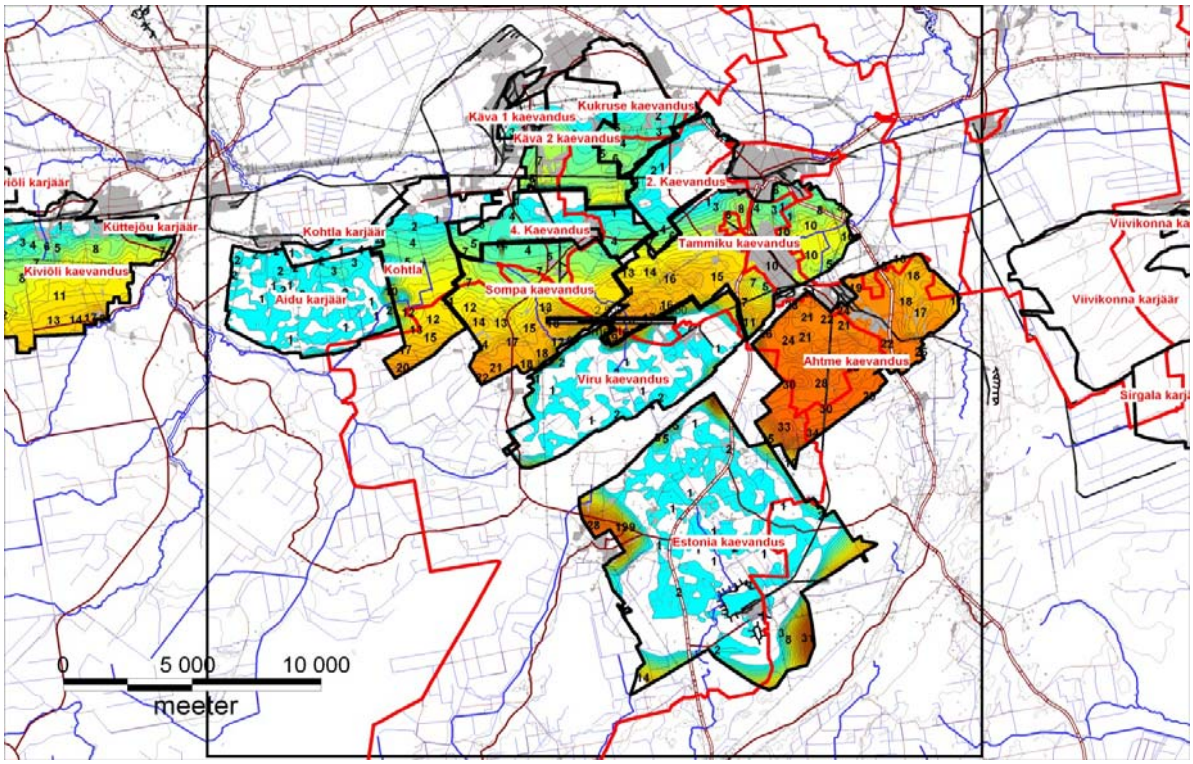
Joonis 59 Kukruse kaevanduse põhi (p 15 Joonis 50)



Joonis 60 Kuiv kraav Sompa kaevanduse lõunaosa pumpla N5 asukohas (p 11 Joonis 50)

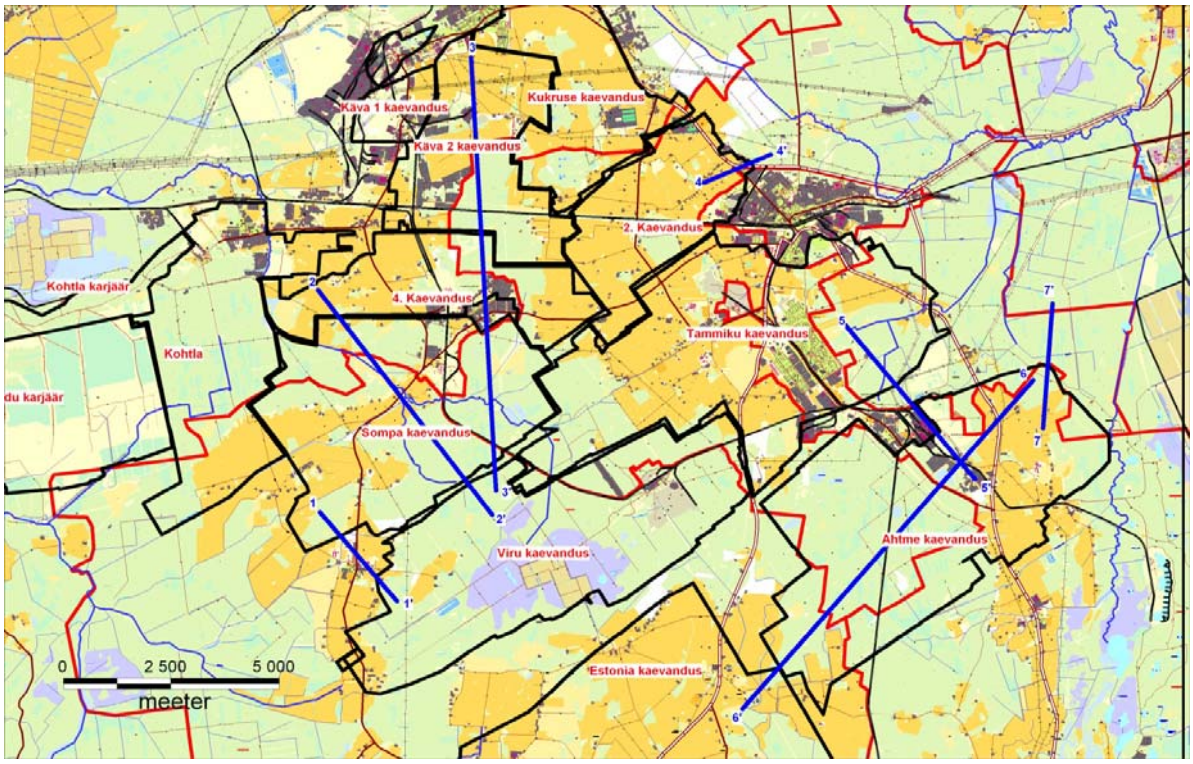
4.8 Hinnang soojuspotentsiaali kasutamiseks ning soojuse akumuleerimiseks

Eesti põlevkivi maardlas on suletud kaevandustest veega täielikult täitunud Ahtme, Tammiku, Sompa ning osaliselt täitunud kaevandus nr 4, kaevandus nr 2, Käva, Käva 2, Kohtla ning Kukruse. Tänu kaevanduste vahele jäätud tõkketervikutega on tekkinud nn allmaabasseinid (Joonis 61). Läbi tõkketervikute toimub allmaabasseinide vahel samuti veevahetus vastavalt kivimite vesiomadustele. Veevahetuse intensiivsus veekogumis sõltub kaevanduse vahele jäetud tõkketervikute pikkusest ja paksusest, veetasemete vahest naaberkaevandustes ja tõkketerviku ning lasumi veejuhtivusest. Veevahetus on seda intensiivsem, mida pikem ja õhem on barjääritervik, mida suurem on veetasemete vahe ja mida suurem on kivimite veejuhtivus. Viimast mõjutab tugevalt maapinna geoloogiline häiritus – karst ja lõhed ning sellest tulenev veejuhtivuse anisotroopia. Allpool olev joonis (Joonis 61) kirjeldab allmaabasseinide veesurvet. Suletud kaevandustes oleva vee kasutamise potentsiaal on seda suurem , mida suurem on allmaabasseinis oleva vee surve.



Joonis 61 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal

Kaevanduses oleva vee potentsiaalist ja hulgast parema ülevaate saamiseks tuleb vaadata iseloomulike kohtade lõikeid. Lõigete plaan on toodud allpool oleval joonisel (Joonis 62).



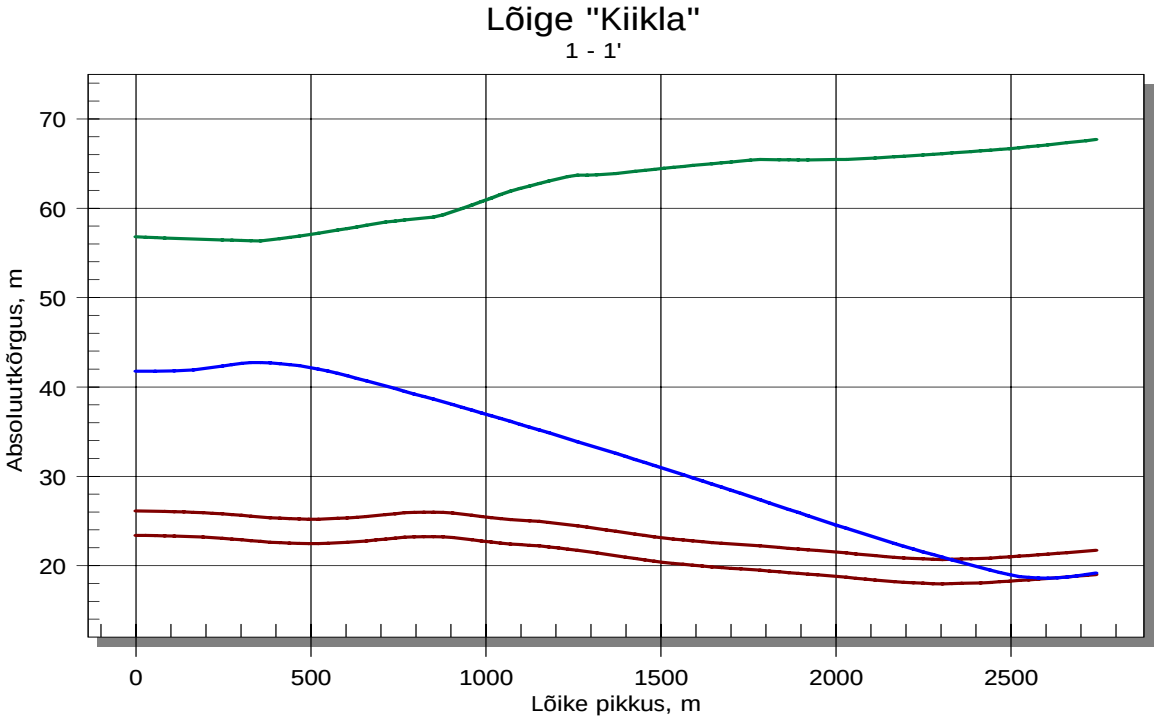
Joonis 62 Kaevandustes oleva vee kasutamise potentsiaali välja selgitamiseks vajalike lõigete asukohad

Allpool olev tabel kirjeldab iseloomulikke kohti ning lõigete asukohti.

Tabel 17 Lõigete seletused

Lõike nr	Lõike nimetus	Aktuaalsus	Viide
1	Kiikla	Kiikla asulasse planeeritakse rajada soojuspumpa	Joonis 63
2	Sompa kaevandus	Kiikla soojuspump saab vajaliku veekoguse Sompa kaevandusest	Joonis 64
3	Allmaabasseinid	Illustreerib vee paiknemist vanades kaevandustes	Joonis 65
4	Jõhvi linn	Selgitab, et miks Jõhvi ümbruses vahel keldrid vett täis on	Joonis 66
5	Tammiku-Ahtme	Näitab Tammiku kaevanduses oleva vee ja Ahtme kaevanduse vee omavahelist seost	Joonis 67
6	Ahtme kaevandus	Ahtme kaevanduse vesi on seotud Estonia kaevandusest välja pumbatava veega ning Ahtme SEJ juurde võimalusel rajatava soojuspumbaga	Joonis 68
7	Ahtme väljavool	Näitab kuidas kaevanduse vesi iseeneslikult puuraukudest välja voolab	Joonis 69

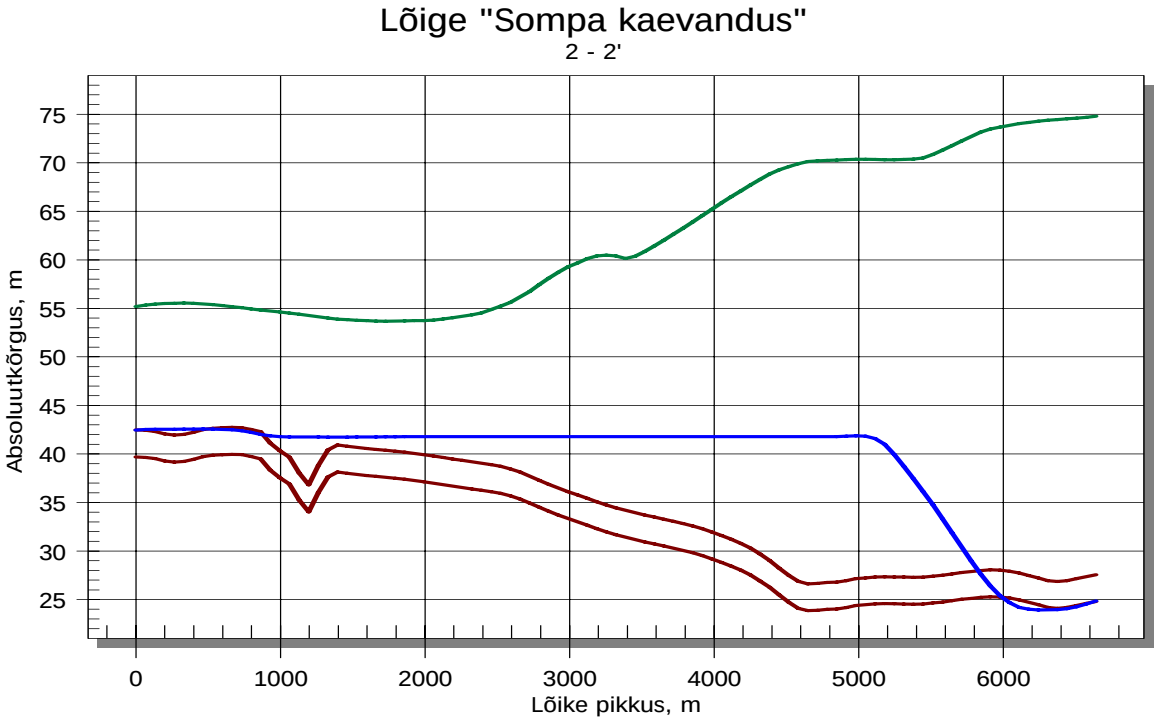
Lõige nr 1 (Joonis 63): lõige algab Sompa kaevanduse edela osast ning lõppeb Viru kaevanduse loode osas. Lõike pealt on näha, et Sompa kaevandus on veega täitunud ning sealt infiltreerub vett samuti töötavasse Viru kaevandusse. Kiikla asula juures on Sompa kaevanduse veekihi paksus 20 meetrit.



Joonis 63 Lõige nr 1 "Kiikla"

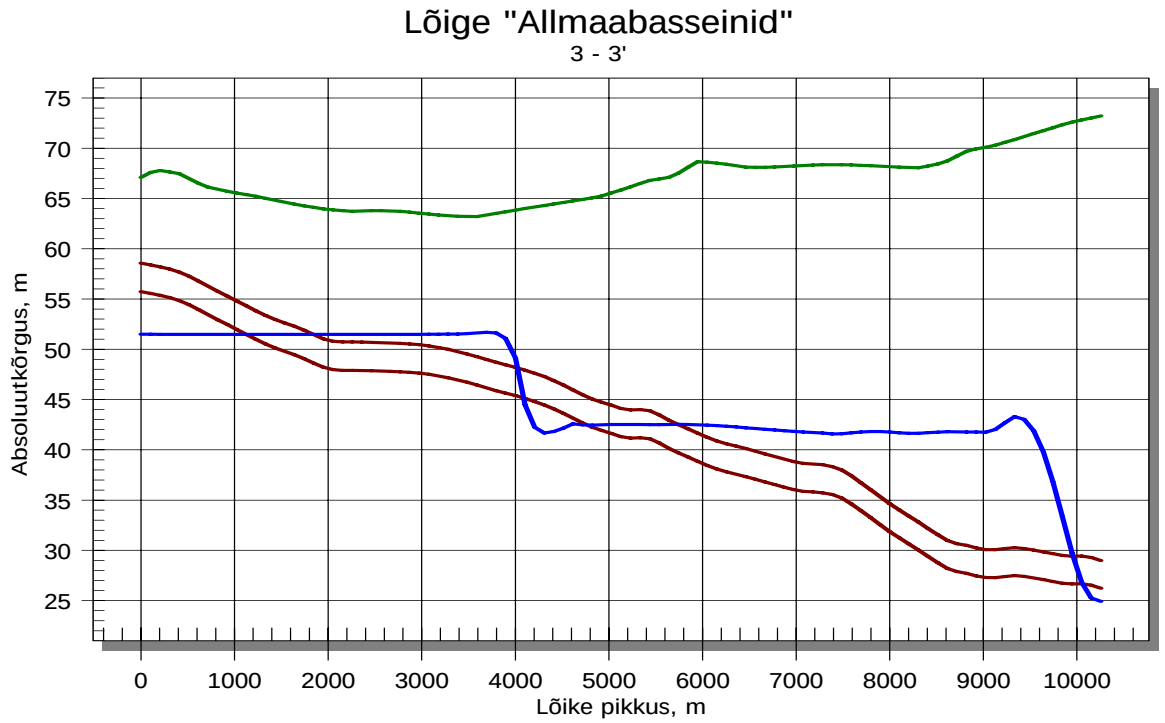
Märkus: roheline joon – maapind; sinine joon – veetase; pruun joon – põlevkivikiht.

Lõige nr 2 (Joonis 64): lõige algab kaevandus nr 4 edela osast, läheb risti läbi Sompa kaevanduse ning lõppeb Viru kaevanduse põhja osas. Lõikelt on näha, et nii kaevandus 4 kui ka Sompa kaevandus on veega täitunud ning Sompa kaevandusest infiltreerub vett Viru Kaevandusse.



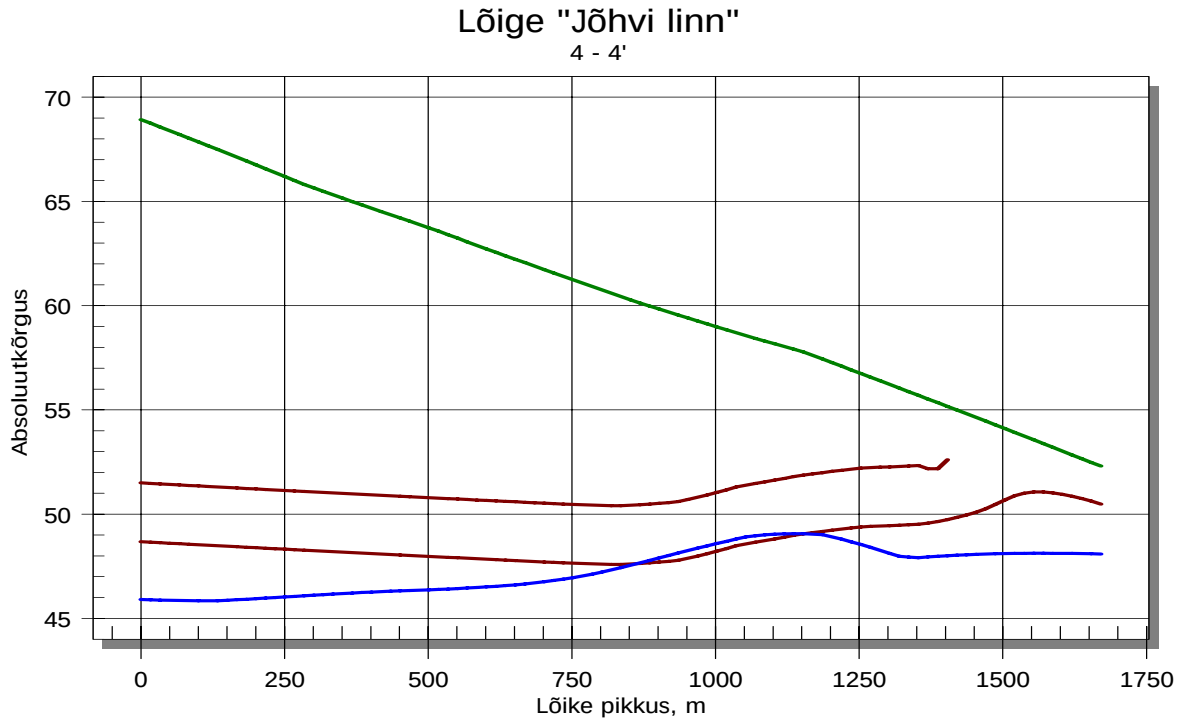
Joonis 64 Lõige nr 2 "Sompa kaevandus"

Lõige nr 3 (Joonis 65): lõige algab Käva 2 kaevanduse põhja osast ning liigub põhjast lõunasse kuni Viru kaevanduse põhjaossa. Lõige illustreerib hästi tekkinud allmaabasseine. Näha on, et Käva 2 põhjaosas on kuiv ning samuti kaevandus nr 4 põhjapoolne osa on kuiv. Käva 2 on põhja poolt kui seetõttu, et põlevkivikihind on kaldu lõunasse ning kogu vesi voolab mööda kihindipõhja lõuna suunas. Juhul kui sademeid oleks rohkem, oleks võimalik, et ka Käva 2 põhjaosa täituks teatud määral veega. Kaevandus 4 põhjaosa on kuiv seetõttu, et Käva 2 ja kaevandus nr 4 vahel on tõkketervik ning vee infiltreerumine Käva 2-st kaevandusse nr 4 võtab aega. Samas on tekkinud olukord, et kaevanduse nr 4 ja Sompa kaevanduse vahel ei ole sellist olukorda tekkinud, kuna põlevkivikihindi sügavus on piisavalt suur.



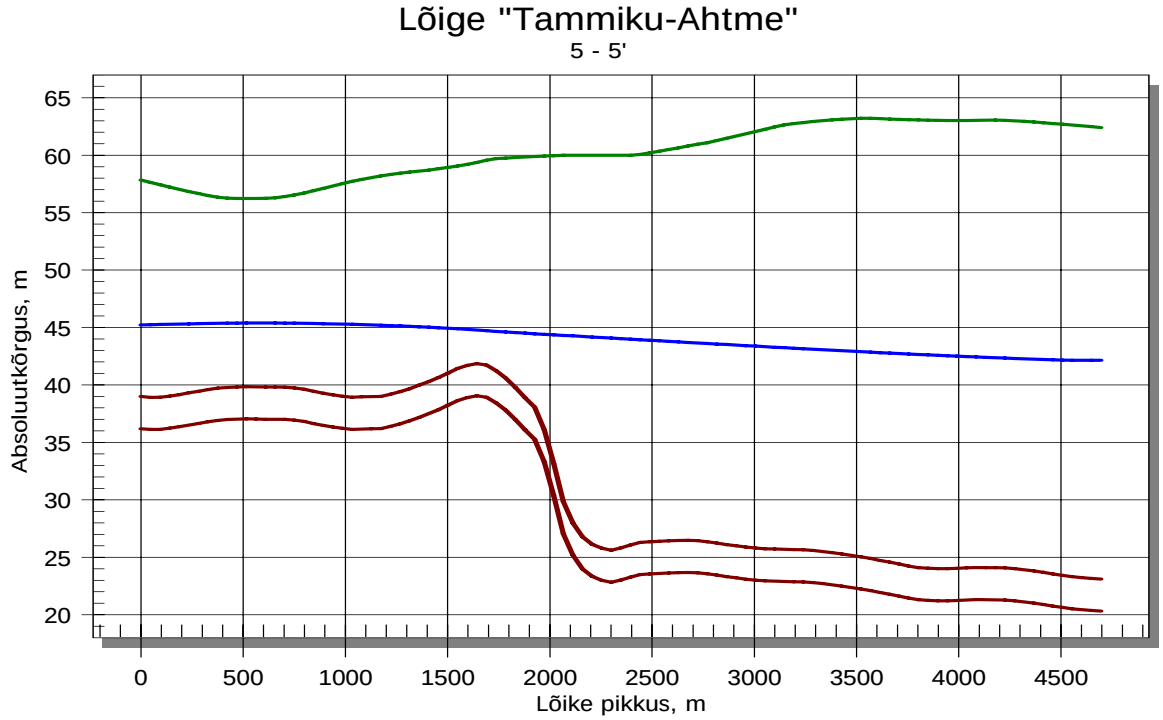
Joonis 65 Lõige nr 3 "Allmaabasseinid"

Lõige nr 4 (Joonis 66): lõige algab kaevandus nr 2 keskosast ning liigub kuni põlevkivikihindi avamusjooneni Jõhvi linna külje all. Lõige iseloomustab olukorda, kus kaevanduse nr 2 keskosa on kuiv ning vesi koguneb Jõhvi linna külje all asuvatesse kaevanduskäikudesse. See on põhjustatud maapinna taseme langusest ning põlevkivikihindi tõusust maapinnani.



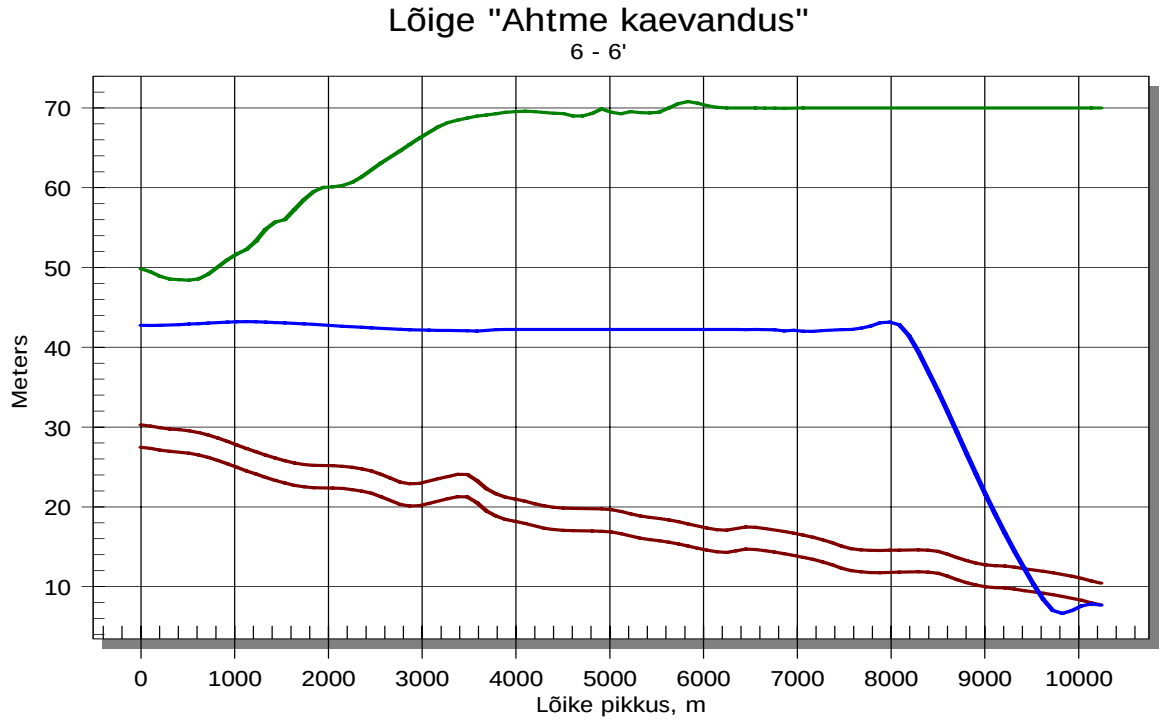
Joonis 66 Lõige nr 4 "Jõhvi linn"

Lõige nr 5 (Joonis 67): lõige algab Tammiku kaevanduse idaosa keskelt ning liigub lõunasuunas Ahtme kaevanduse idaosa keskele. Lõikel on näha kuidas põlevkivikihind teeb järsu süvenemise, see toimub Ahtme rikkes.



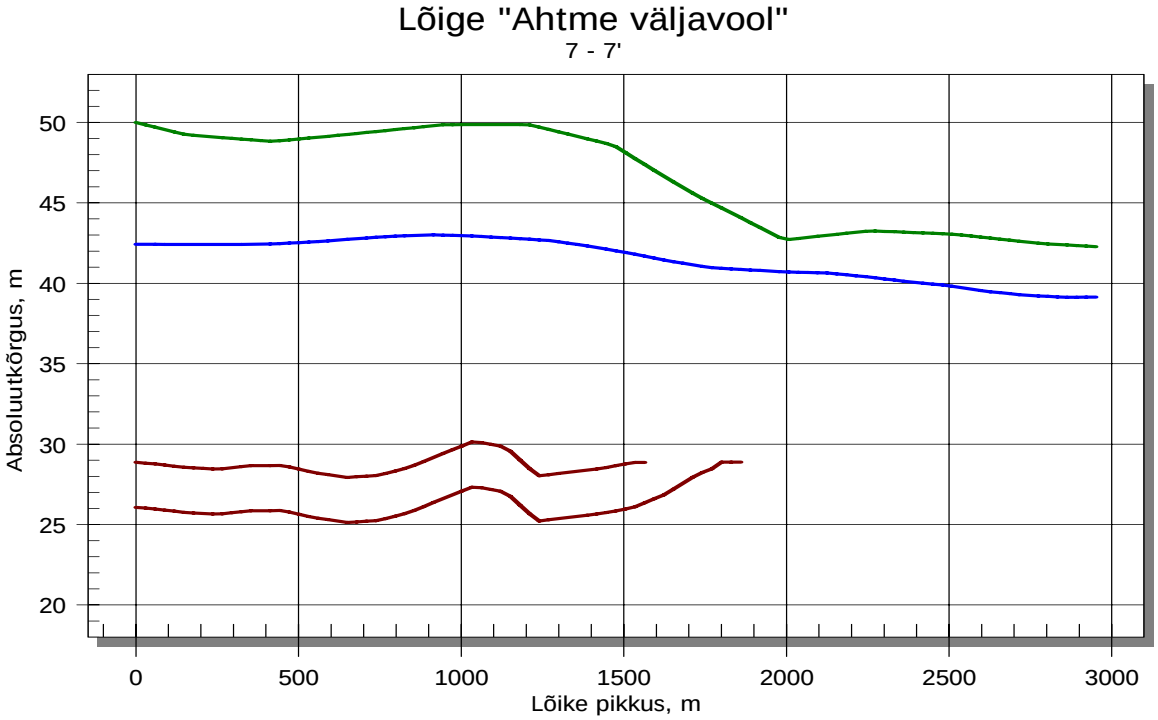
Joonis 67 Lõige nr 5 "Tammiku-Ahtme"

Lõige nr 6 (Joonis 68): lõige algab Ahtme kaevanduse idaosas ning liigub risti Ahtme kaevandust Estonia kaevanduse suunal. Lõikelt on näha kuidas veetase Estonia kaevanduse suunal väheneb. Vee tase asub seal kuni 30 meetri kõrgusel ning seetõttu annab Ahtme kaevandus päris palju vett Estonia kaevandusele.



Joonis 68 Lõige nr 6 "Ahtme kaevandus"

Lõige nr 7 (Joonis 69): lõikel on näha kui lähedale on tõusnud vee tase Ahtme väljavoolu suunas ning kuna sinna on puuritud puuraugud vee välja laskmiseks siis vesi voolab iseeneslikult nüüd Ahtme kaevandusest välja.



Joonis 69 Lõige nr 7 "Ahtme väljavool"

Võimalikke kasutuskohti Jõhvi vallas kirjeldab peatükk 5 Jõhvi vallas kaevandusvete ärakasutamise tasuvushinnang Tammiku, Kose, Aiandi või tööstuspiirkonnas näidisobjektil.

Võimalikke kasutuskohti Mäetaguse vallas kirjeldab peatükk 7 Mäetaguse vallas tasuvushinnang kaevandusvete kasutamiseks kütteks näidisobjektil Kiikla alevikus suletud Sompa kaevanduse vete baasil.

5 Etapp 2: Jõhvi vallas kaevandusvete kasutamise tasuvushinnang Tammiku, Kose, Aiandi või tööstuspiirkonnas näidisobjektil.

5.1 Võimalikud näidisobjektid Jõhvi vallas

Näidisobjekti valikuks Jõhvi vallas on projektimeeskond vaadelnud järgnevaid piirkondi:

- Tammiku asula
- Aiandi piirkond
- Jõhvi linn koos Ahtme linnaosaga
- Kose asula

Järgnevalt kirjeldatakse neid piirkondi täpsemalt, et välja valida näidisobjektiks tehniliselt ja soojuspotentsiaalilt parim.
Kirjeldatakse järgnevat:

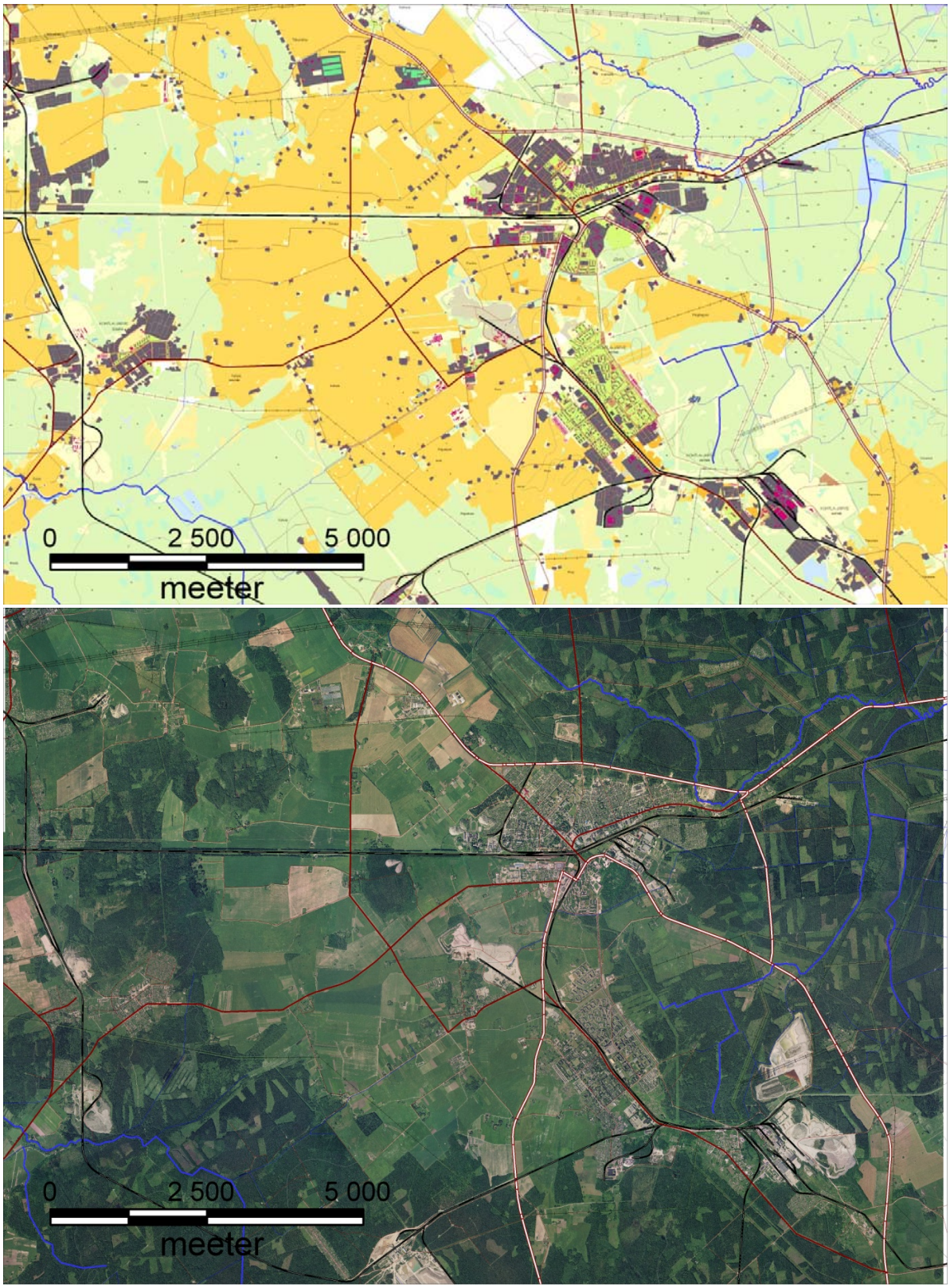
- Asukoht
- Ülevaade teostatud töödest, millised käsitlevad soojuspumpade kasutamist kaevandusvee baasil - loetelu
- Ülevaade piirkonda jäävate kaevanduste vee potentsiaalist
- Soojusenergia vajadused ning tehnilised nõudmised soojuspumpade rajamiseks
- Soojuspumpade toitevee saamine, veetase, veemahud kasutamisel
- Tasuvushinnang/majandusmudel

5.2 Tammiku asula, Aiandi piirkonna, Jõhvi linna, Ahtme linnaosa soojusega varustamine Ahtme SEJ juurde rajatava soojuspumba kaudu

Tammiku asula, Aiandi piirkond, Jõhvi linn ja Ahtme linnaosa jäävad ühtsesse kaardipiirkonda ning seetõttu vaadeldakse neid koos.

- Asukoht

Jõhvi linn koos Tammiku, Aiandi ja Ahtme linnaosa asub Kirde-Eestis (Joonis 70). Jõhvi linn on Ida-Virumaa keskuseks.



Joonis 70 Tammiku, Aiandi, Jõhvi linna ja Ahtme linnaosa asukohaplaan

Eraldi objektina on vaadeldav Tammiku asula (Joonis 71, Joonis 74).



Joonis 71 Tammiku asula asukohaplaan

Eraldi saab vaadata Aiandi piirkonda (Joonis 72, Joonis 75).



Joonis 72 Aiandi piirkonna asukohaplaan

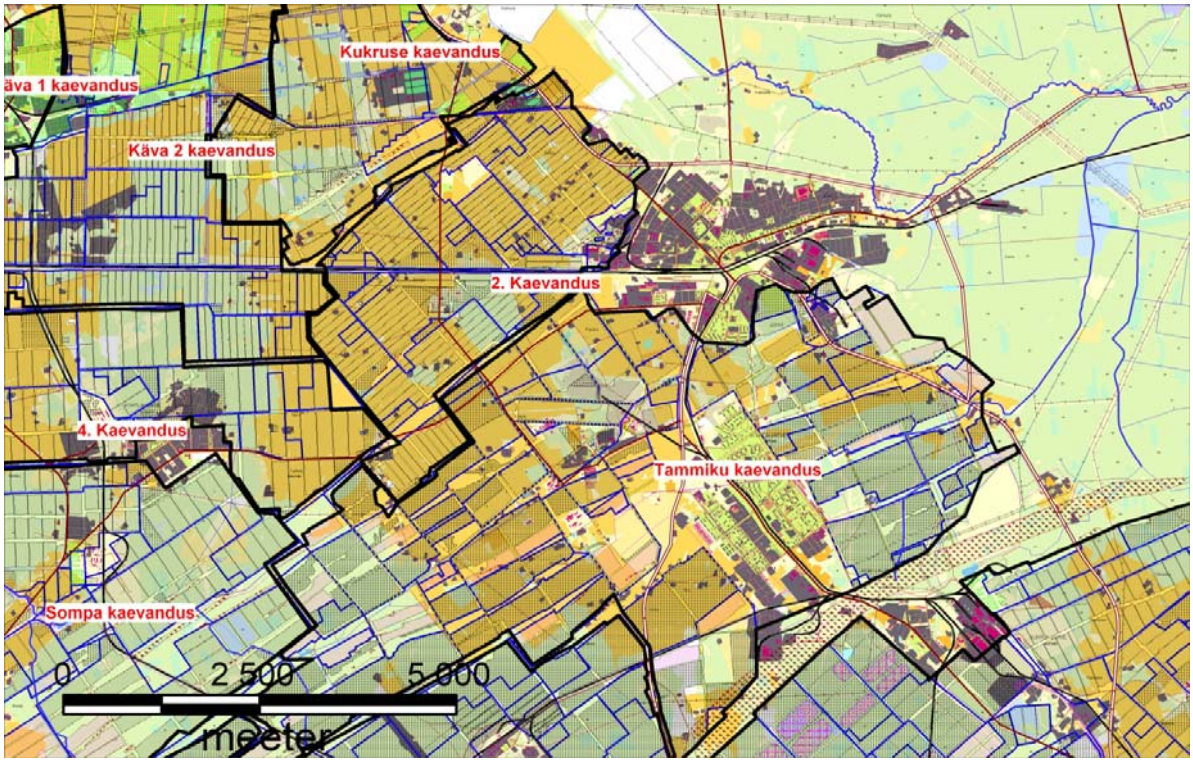
- Ülevaade teostatud töödest, millised käsitlevad soojuspumpade kasutamist kaevandusvee baasil – loetelu

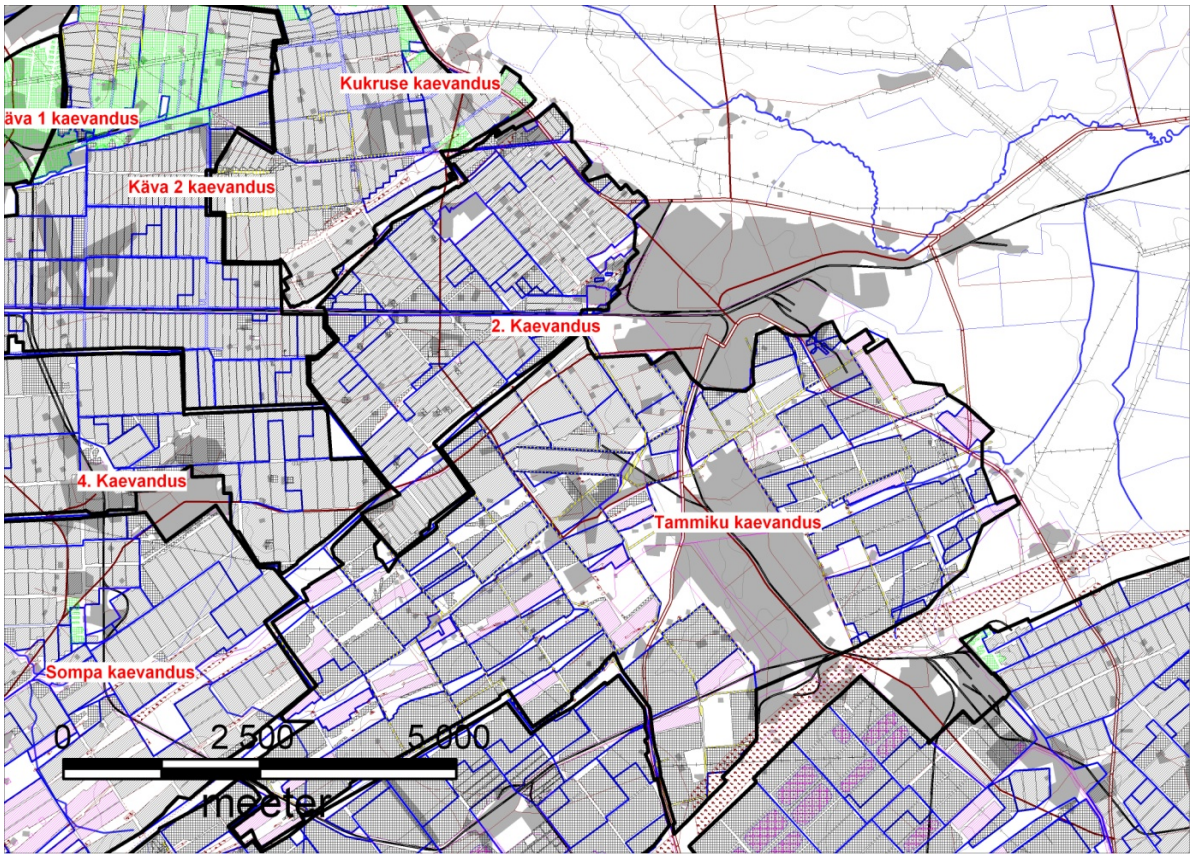
Meie andmetel on hetkel käesolev töö esimene sellelaadne uurimustöö.

- Ülevaade piirkonda jäävate kaevanduste vee potentsiaalist

Piirkonna lähedusse jäävad suletud kaevandused: Ahtme, Tammiku ja kaevandus nr 2.

Allpool olevatel joonistel (Joonis 73, Joonis 74, Joonis 75) on ära toodud nimetatud kaevanduste mäetööde seisud näidisobjektida alal. Kasutatud on järgmisi kaevandamisviise: käsilaavadega kaevandamine, kamberkaevandamine, paarisstrekkidega, kombainkaevandamine.

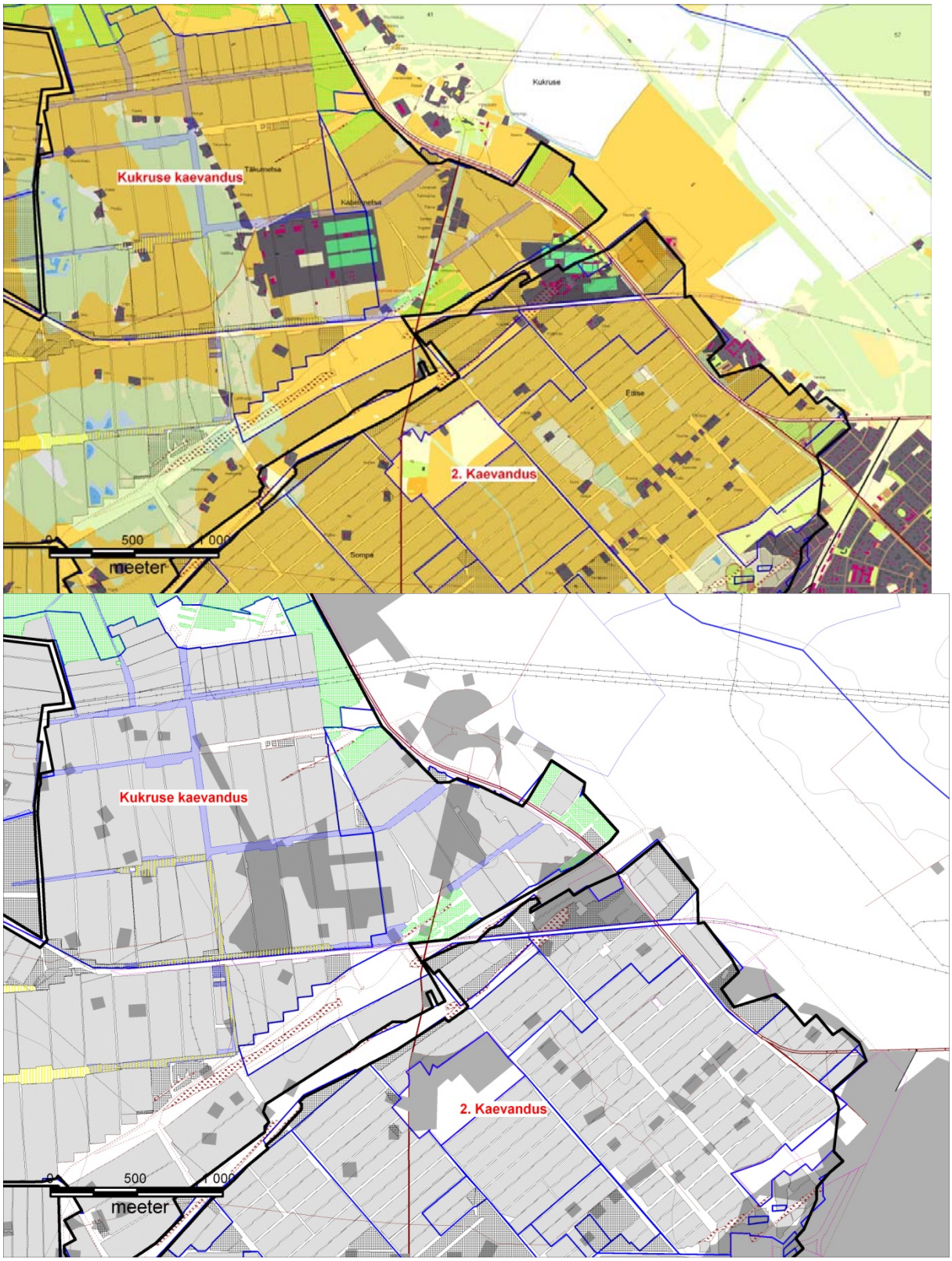




Joonis 73 Tammiku, Aiandi, Jõhvi linna ja Ahtme linnaosa alla jäävate kaevanduste mäetöödeplaanid



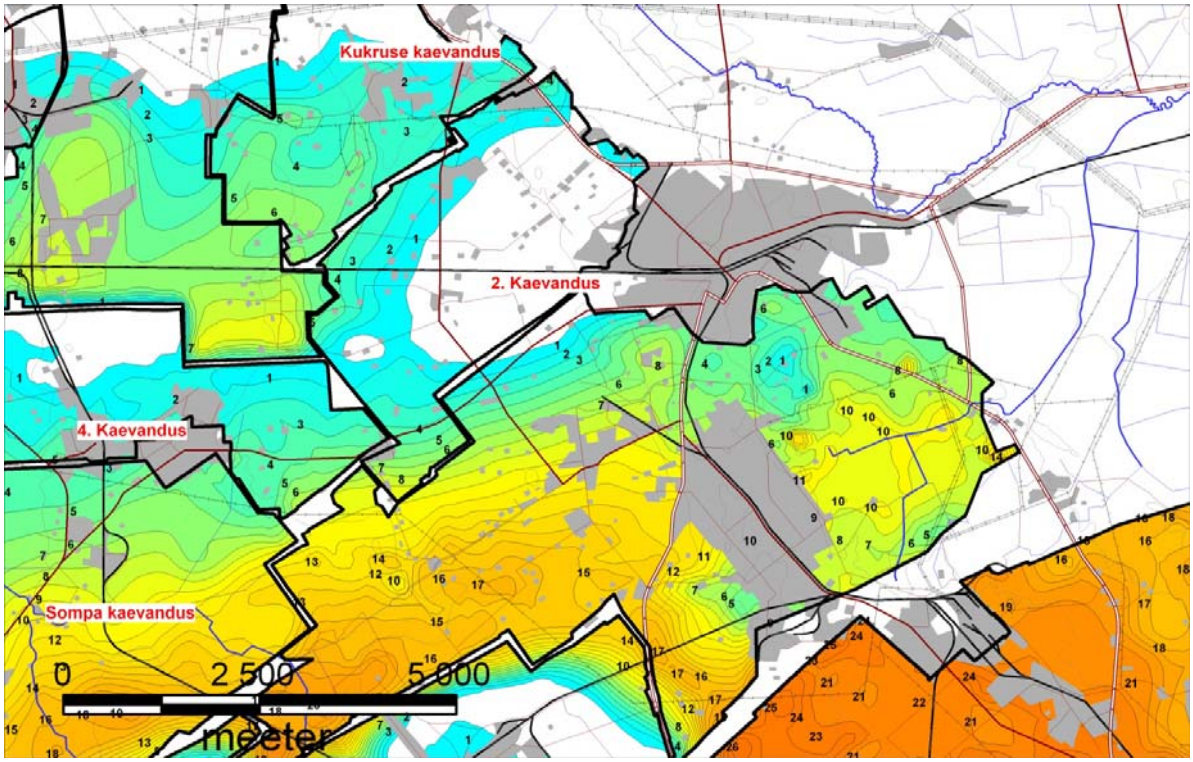
Joonis 74 Tammiku asula all asuva Tammiku kaevanduse mäetöödeplaan



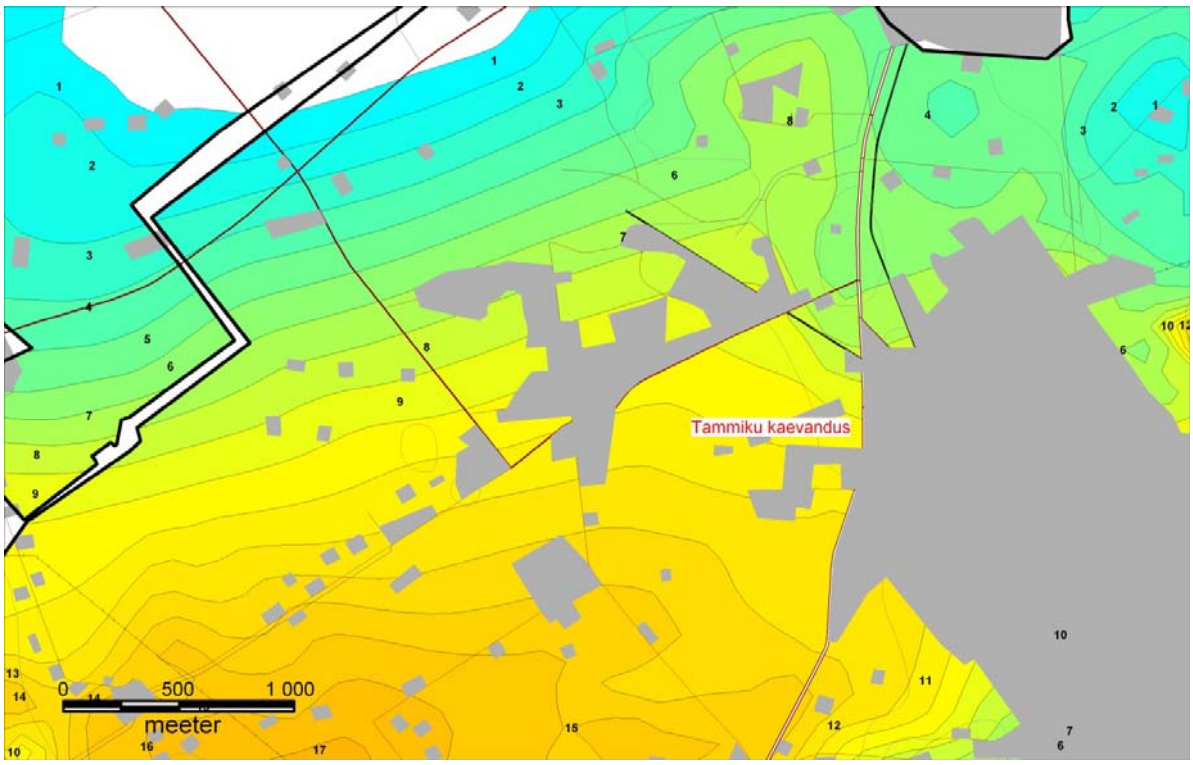
Joonis 75 Aiandi piirkonda jäävate kaevanduste mäetööde plaan

Järgnevatel joonistel (Joonis 76, Joonis 77, Joonis 78) on graafiliselt kujutatud kaevandusvee maksimaalset võimalikku kasutamise potentsiaali. Joonisel olev number näitab veesamba

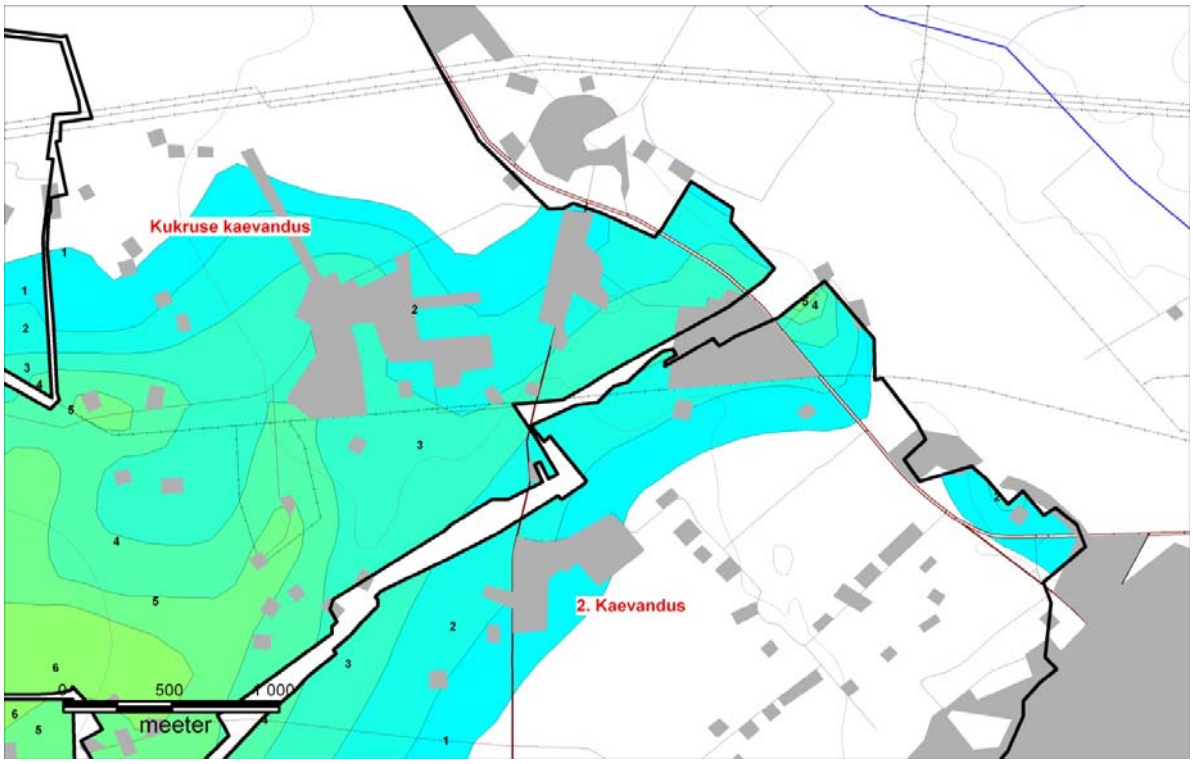
survekõrgust antud kaevanduse piirkonnas. Värvilise ala puudus kaevanduse piirkonnas tähendab, et selles piirkonnas on altkaevandatud ala kuiv ja vett selles kohas ei ole.



Joonis 76 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal Jõhvi ja Ahtme piirkonnas



Joonis 77 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal Tammiku asulas



Joonis 78 Kaevandusvee kasutamise potentsiaal Aiandi piirkonnas

- Tehnilised nõudmised soojuspumpade rajamiseks

Soojuspump peab tagama minimaalselt 10 MW ja maksimaalselt 50 MW. Lähtuvalt sellest on tarvilik kaevandusvee vooluhulk 2148 kuni 10740 m^3/h.

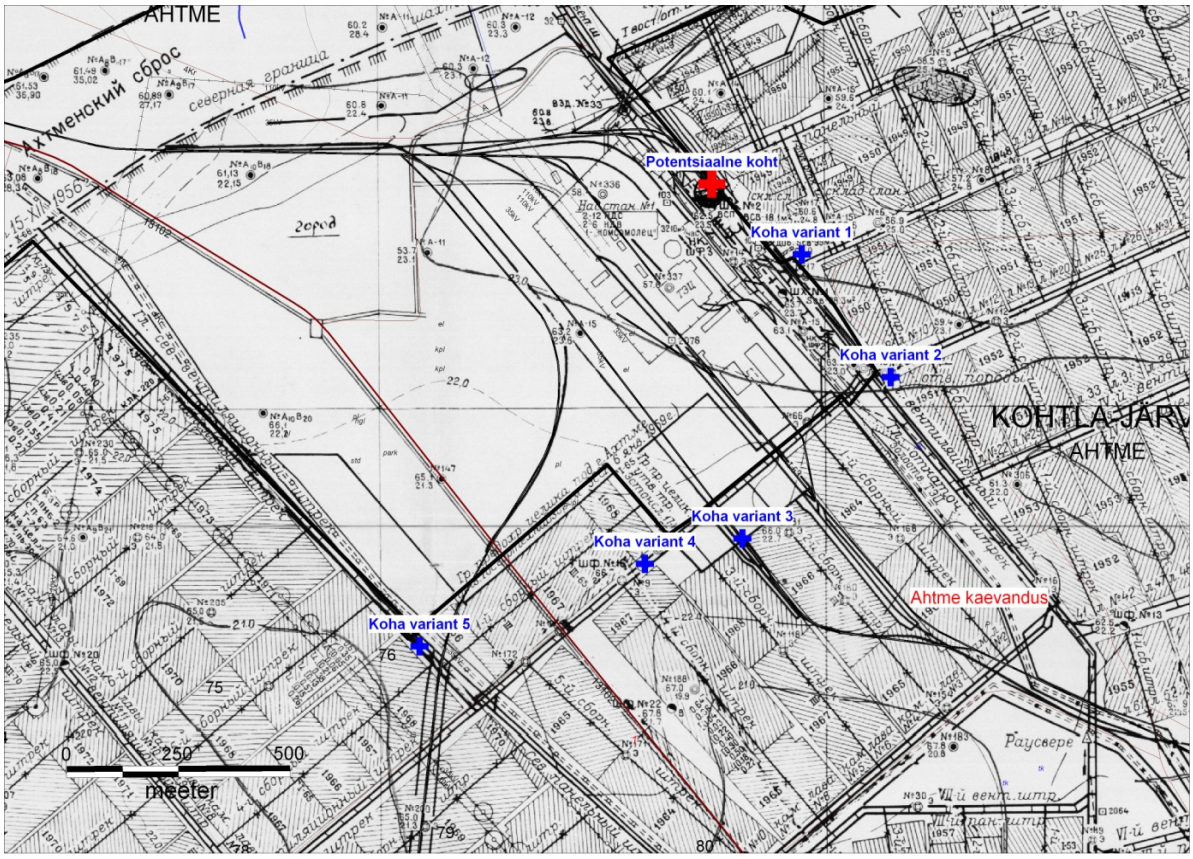
- Soojuspumpade toitevee saamine, veetase, veemahud kasutamisel

Kaevandusvee mahuline vajadus sõltub selles, kui palju kaevandusvee temperatuuri alandada ehk kui palju soojust ära võtta. Mida vähem soojust võtta, seda rohkem läheb tarvis vett (Tabel 18).

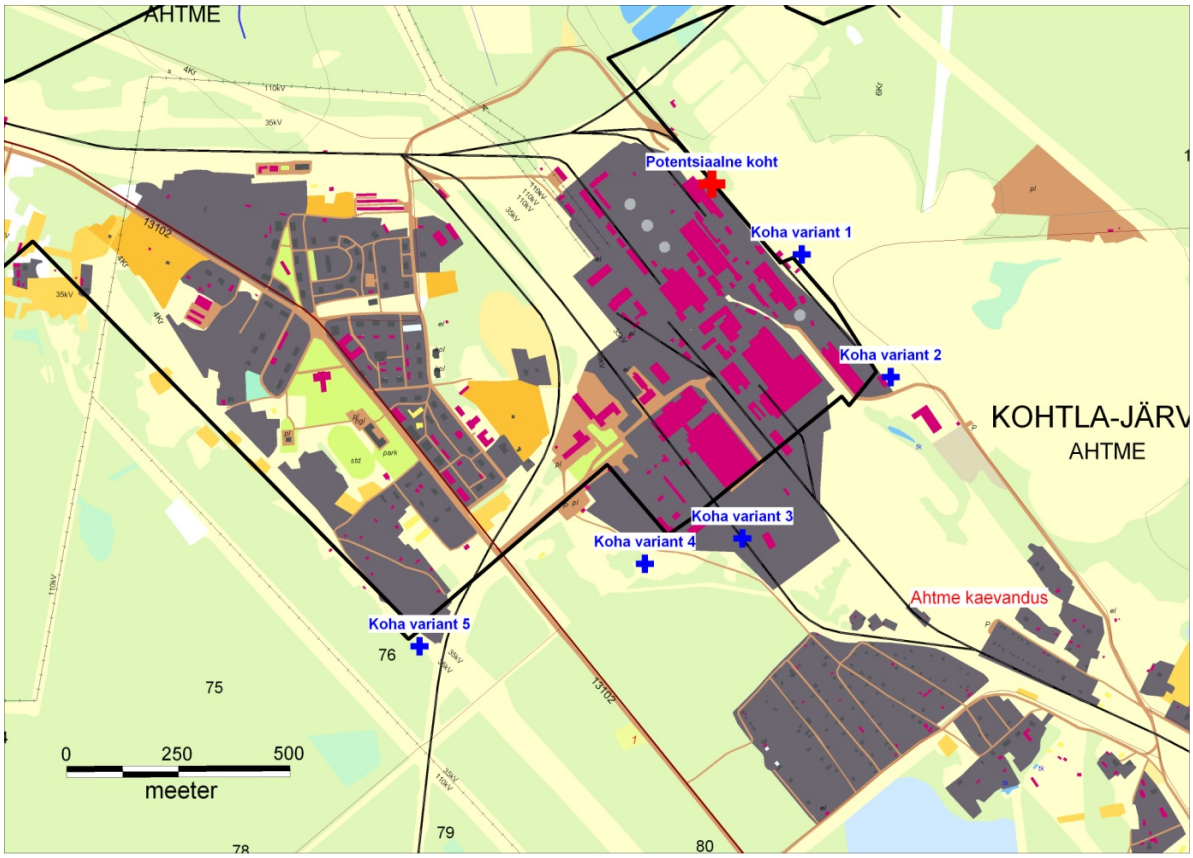
Tabel 18 Jõhvi linna, Tammiku asula ja Ahtme linnaosa soojusvajadus ning sellest lähtuvalt kaevandusvee kasutamise mahud

Tarbimiskoht	Nimi	Soojuskoormus	Veetemperatuur soojuspumpa, °C	Veetemperatuur kaevandusse tagasi, °C	Temperatuurivahe, °C	Vajalik soojusvõimsus, kW	kui palju vett, m3/s	kui palju vett, m3/d
Ahtme ja Jõhvi	Ahtme SEJ	Baaskoormus	8	7	1	10000	2.39	206 205
		Baaskoormus	8	6	2	10000	1.19	103 103
		Baaskoormus	8	5	3	10000	0.80	68 735
		Baaskoormus	8	4	4	10000	0.60	51 551
		Talvine koormus	8	7	1	50000	11.93	1 031 026
		Talvine koormus	8	6	2	50000	5.97	515 513
		Talvine koormus	8	5	3	50000	3.98	343 675
		Talvine koormus	8	4	4	50000	2.98	257 757

Jõhvi linna, Ahtme linnaosa ja Tammiku asula kütmiseks kaevandusvee baasil on olemas potentsiaalne koht Ahtme SEJ kõrval (Joonis 79). Seal on vana Ahtme kaevanduse pumpla, mille saab uuesti kasutusele võtta ning kaevandusveega saavutada baassoojus veele ning gaasiküttega tõsta vesi vajaliku soojuseni. Lisaks on võimalik kaevandusvett võtta ka teistest kohtadest Ahtme SEJ kõrvalt (vt Joonis 80 Võimalikud soojuspumba vee võtu kohad Ahtme SEJ kõrval).

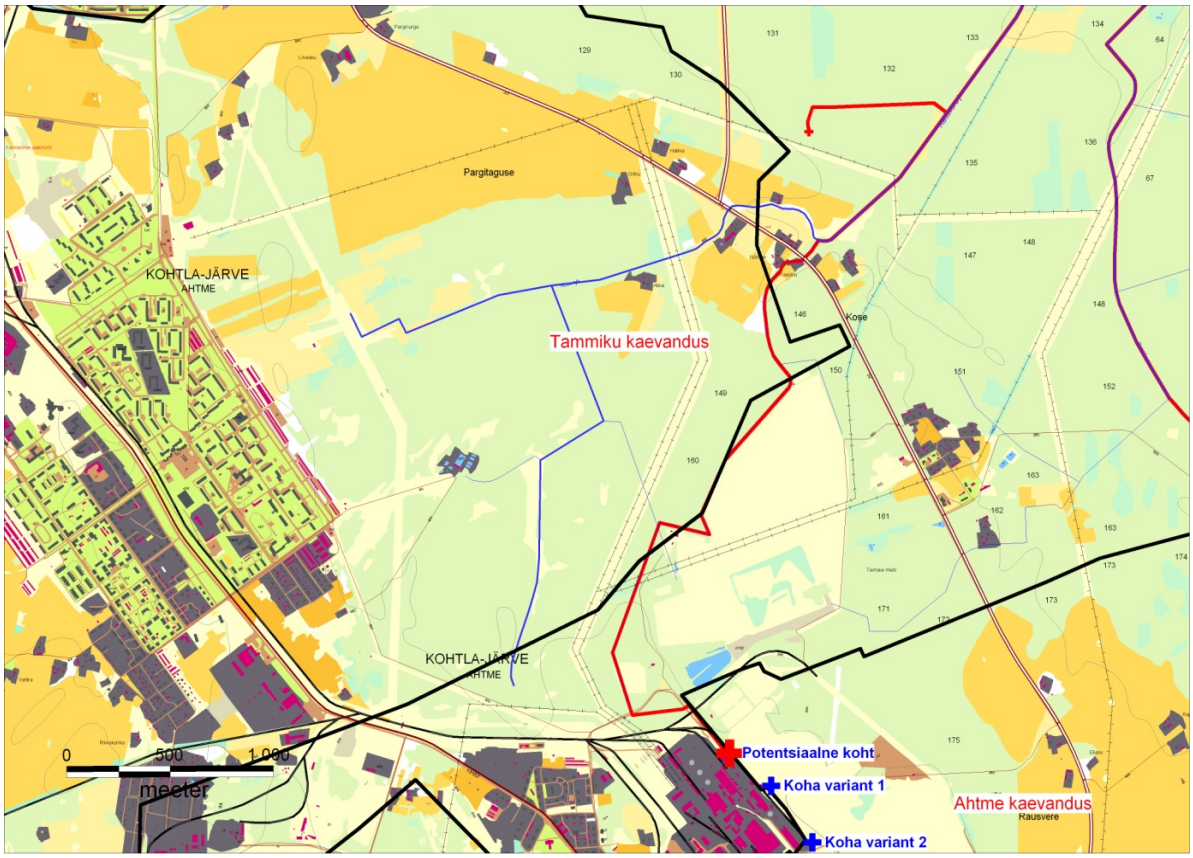


Joonis 79 Ahtme kaevanduse mäetoode plaan ja kaevanduse pumpla Ahtme SEJ kõrval



Joonis 80 Võimalikud soojuspumba vee võtu kohad Ahtme SEJ kõrval

Vett, millelt on soojus ära võetud saab, kas suunata suletud Ahtme kaevandusse uuest tagasi (mõne teise puuraugu kaudu veevõtu kohast eemal) või mööda kraave loodusringlusse (Joonis 81).



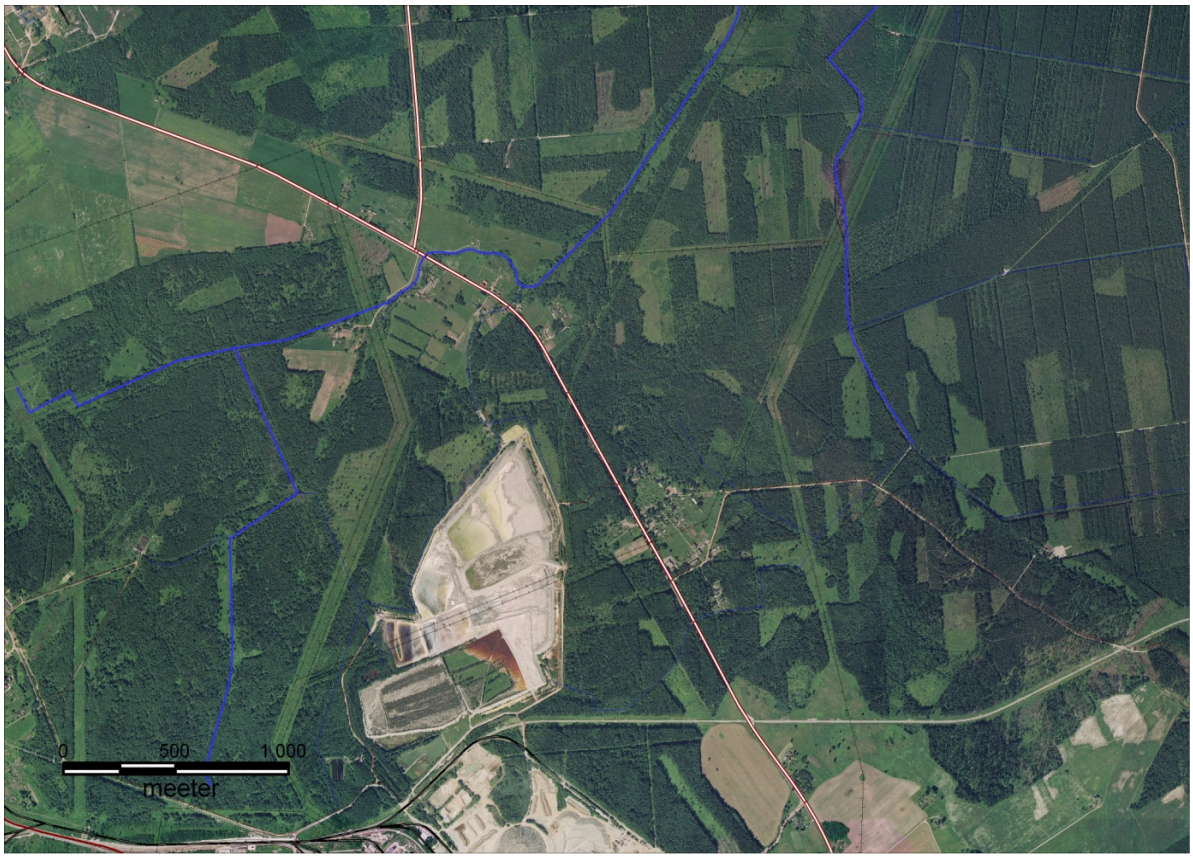
Joonis 81 Soojuspumba läbinud vee suunamine tagasi loodusesse mööda kraave pidi

5.3 Kose küla

- Asukoht

Kose küla paikneb Jõhvi vallas, Jõhvi linnast kagu suunas. Naabrusse jäävad Ahtme kaevanduse aherainemäed.





Joonis 82 Kose küla asukohaplaan

- Ülevaade teostatud töödest, millised käsitlevad soojuspumpade kasutamist kaevandusvee baasil – loetelu

Meie andmetel on hetkel käesolev töö esimene selle laadne uurimustöö.

- Ülevaade piirkonda jäävate kaevanduste vee potentsiaalist

Kose küla jääb kahe suletud kaevanduse vahele: Ahtme ja Tammiku (Joonis 83 Kose küle naabrusse jäävate kaevanduste mäetöödeplaanid).



Joonis 83 Kose küle naabrusse jäävate kaevanduste mäetöödeplaanid

- Tehnilised nõudmised soojuspumpade rajamiseks

Soojuspump peab tagama minimaalselt 0,3 MW ja maksimaalselt 1 MW. Lähtuvalt sellest on tarvilik kaevandusvee vooluhulk 64 kuni 215 m^3/h.

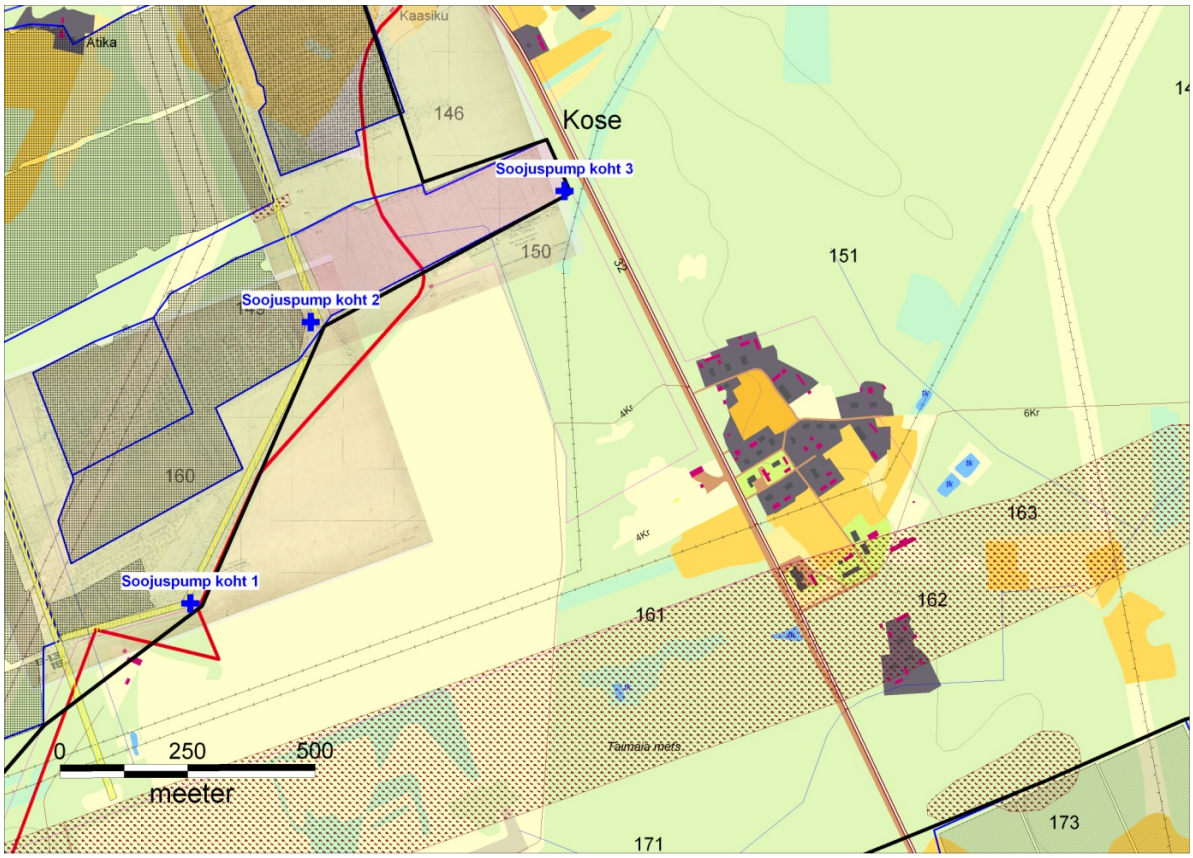
- Soojuspumpade toitevee saamine, veetase, veemahud kasutamisel

Kaevandusvee mahuline vajadus sõltub selles, kui palju kaevandusvee temperatuuri alandada ehk kui palju soojust ära võtta. Mida vähem soojust võtta, seda rohkem läheb tarvis vett (Tabel 19).

Tabel 19 Kose asula võimalik soojusvajadus ning sellest lähtuvalt kaevandusvee kasutamise mahud

Tarbimiskoht	Nimi	Soojuskoormus	Veetemperatuur soojuspumpa, °C	Veetemperatuur kaevandusse tagasi, °C	Temperatuurivahe	Vajalik soojusvõimsus, kW	kui palju vett, m3/s	kui palju vett, m3/d
Kose küla	Kose	Baaskoormus	8	7	1	300	0.07	6 186
		Baaskoormus	8	6	2	300	0.04	3 093
		Baaskoormus	8	5	3	300	0.02	2 062
		Baaskoormus	8	4	4	300	0.02	1 547
		Talvine koormus	8	7	1	1000	0.24	20 621
		Talvine koormus	8	6	2	1000	0.12	10 310
		Talvine koormus	8	5	3	1000	0.08	6 874
		Talvine koormus	8	4	4	1000	0.06	5 155

Kose asula soojuspumba tarbeks saab kasutada kaevandusvett suletud Tammiku kaevanduses. Võimalikud asukohad on toodud allpool oleval joonisel (Joonis 84). Asukohad asuvad kaevandatud aladel ning kasutatud vett on võimalik loodusesse tagasi suunata samuti mööda olemasolevaid kraave.



Joonis 84 Soojuspumba võimalikud vee võtu kohad Kose asula kütmiseks

5.4 Näidisobjekti valik ja selle tasuvushinnang

Eelnevaid kirjeldusi arvesse võttes on kõige potentsiaalsem soojuspumba asukoht Ahtme SEJ kõrval. Sealt on võimalik soojusega varustada nii Ahtme linnaosa, Jõhvi linna kui ka lisa investeeringute ja trassi rajamisega Tammiku asulat.

Tasuvushinnangu analüüsis on vaadatud kahte situatsiooni, esimese variandina tuleks saada kaevandusvee soojusest baaskoormus 10MW ning teise variandi puhul tuleb kaevandusvee soojusena 50 MW. 10MW tagab aastaringse soojavee vajaduse ning 50 MW tagab lisaks veel talvise kütmisperioodi.

Tasuvusanalüüsis vaadeldakse järgmisi komponente:

1) Tootmine – vajalikud tegevused/investeeringud sooja tootmiseks
2) Opereerimine – saadava sooja viimine tarbijani
3) Kulud – investeeringud, muutuvkulud, püsikulud vastavalt installeeritavale soojusvõimsusele

Analüüsis ei ole arvestatud hindade tõusuga, kuna seda on raske ette prognoosida.

5.4.1 Tasuvushinnang: esimene variant – 10MW.

Aastane soojuse tootmisvõimsus on 87 650 107 kWh.

Tabel 20 Tootmiseks tehtavad kulutused, kui 10MW soojusenergia tootmiseks

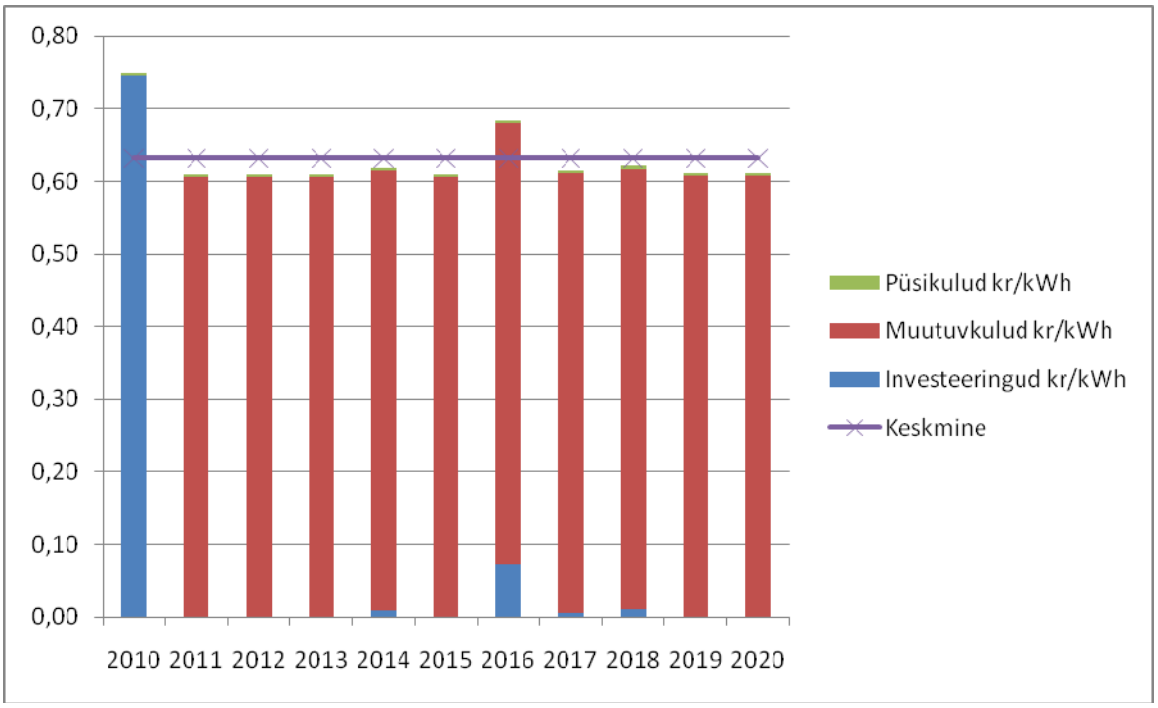
Tootmine		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Puuraukude rajamine	mln EEK/a	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kaevandusvee pumbad	mln EEK/a	0.80	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00
Soojuspump	mln EEK/a	49.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Elektrienergia soojuse tootmiseks	mln EEK/a	0.00	29.22	29.22	29.22	29.22	29.22	29.22	29.22	29.22	29.22	29.22
Soojuskeskuse hoone	mln EEK/a	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumpamine välja	mln EEK/a	0.00	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89
Vee tagastuse trass	mln EEK/a	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Liitumine elektrivõrguga	mln EEK/a	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ehitus, montaz, ehitusjärelvalve ja projektijuhtimine	mln EEK/a	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 21 Soojusega opereerimiseks tehtavad kulutused, kui 10MW soojusenergia tootmiseks

Opereerimine		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Magistraaltrassid	mln EEK/a	9.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jaotustrassid	mln EEK/a	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.40	0.10	0.00	0.00
Ehitus, montaz, ehitusjärelvalve ja projektijuhtimine	mln EEK/a	0.71	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.60	0.11	0.11	0.11	0.11

Tabel 22 10MW soojusenergia tootmiseks tehtavad kulutused

Kulud		Kokku	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Investeeringud	mln EEK/a	74.46	65.34	0.03	0.03	0.03	0.83	0.03	6.43	0.51	1.01	0.11	0.11
Muutuvkulud	mln EEK/a	531.10	0.00	53.11	53.11	53.11	53.11	53.11	53.11	53.11	53.11	53.11	53.11
Püsikulud	mln EEK/a	3.52	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33



Joonis 85 Kululiikide kulud installeeritava võimsuse kohta, 10MW soojusenergia tootmise puhul

5.4.2 Tasuvushinnang: teine variant – 50MW

Aastane soojuse tootmisvõimsus on 437 956 901 kWh.

Tabel 23 Tootmiseks tehtavad kulutused, kui 50MW soojusenergia tootmiseks

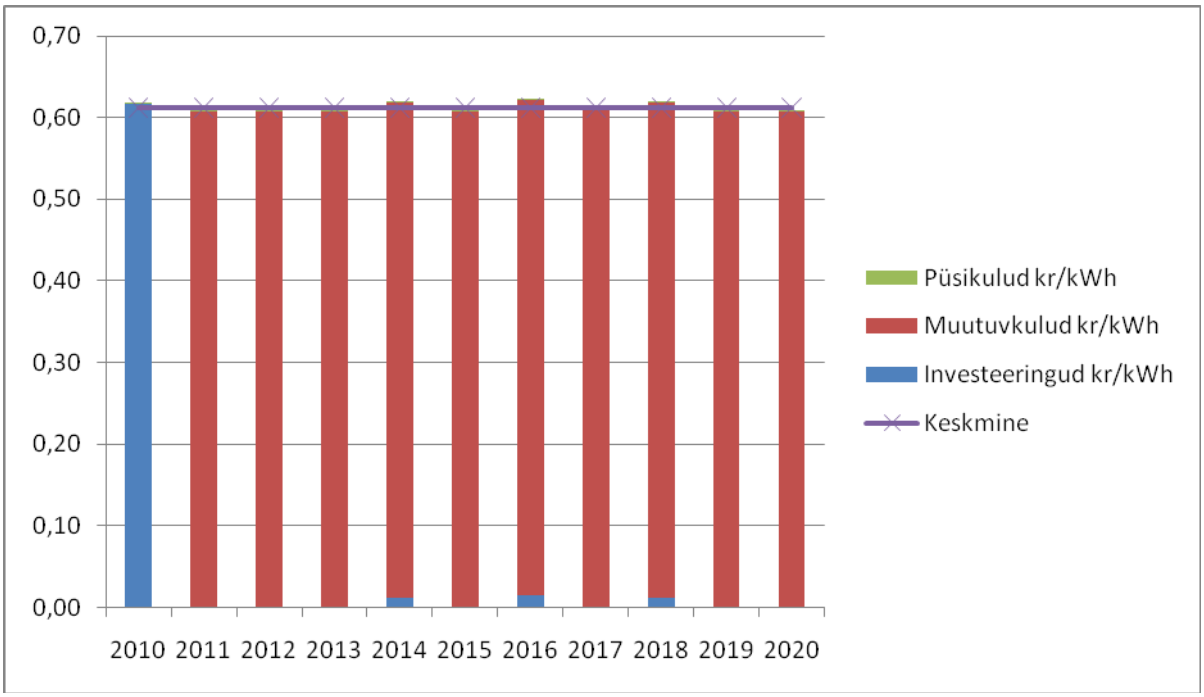
Tootmine		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Puuraukude rajamine	mln EEK/a	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kaevandusvee pumbad	mln EEK/a	4.80	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00
Soojuspump	mln EEK/a	249.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Elektrienergia soojuse tootmiseks	mln EEK/a	0.00	145.99	145.99	145.99	145.99	145.99	145.99	145.99	145.99	145.99	145.99
Soojuskeskuse hoone	mln EEK/a	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumpamine välja	mln EEK/a	0.00	119.91	119.91	119.91	119.91	119.91	119.91	119.91	119.91	119.91	119.91
Vee tagastuse trass	mln EEK/a	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Liitumine elektrivõrguga	mln EEK/a	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ehitus, montaz, ehitusjärelvalve ja projektijuhtimine	mln EEK/a	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 24 Soojusega opereerimiseks tehtavad kulutused, kui 50MW soojusenergia tootmiseks

Opereerimine		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Magistraaltrassid	mln EEK/a	9.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jaotustrassid	mln EEK/a	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.40	0.10	0.00	0.00
Ehitus, montaz, ehitusjärelvalve ja projektijuhtimine	mln EEK/a	0.71	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.60	0.11	0.11	0.11	0.11

Tabel 25 50MW soojusenergia tootmiseks tehtavad kulutused

Kulud		Kokku	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Investeeringud	mln EEK/a	287.04	269.92	0.03	0.03	0.03	4.83	0.03	6.43	0.51	5.01	0.11	0.11
Muutuvkulud	mln EEK/a	2658.91	0.00	265.89	265.89	265.89	265.89	265.89	265.89	265.89	265.89	265.89	265.89
Püsikulud	mln EEK/a	3.52	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33



Joonis 86 Kululiikide kulud installeeritava võimsuse kohta, 50MW soojusenergia tootmise puhul

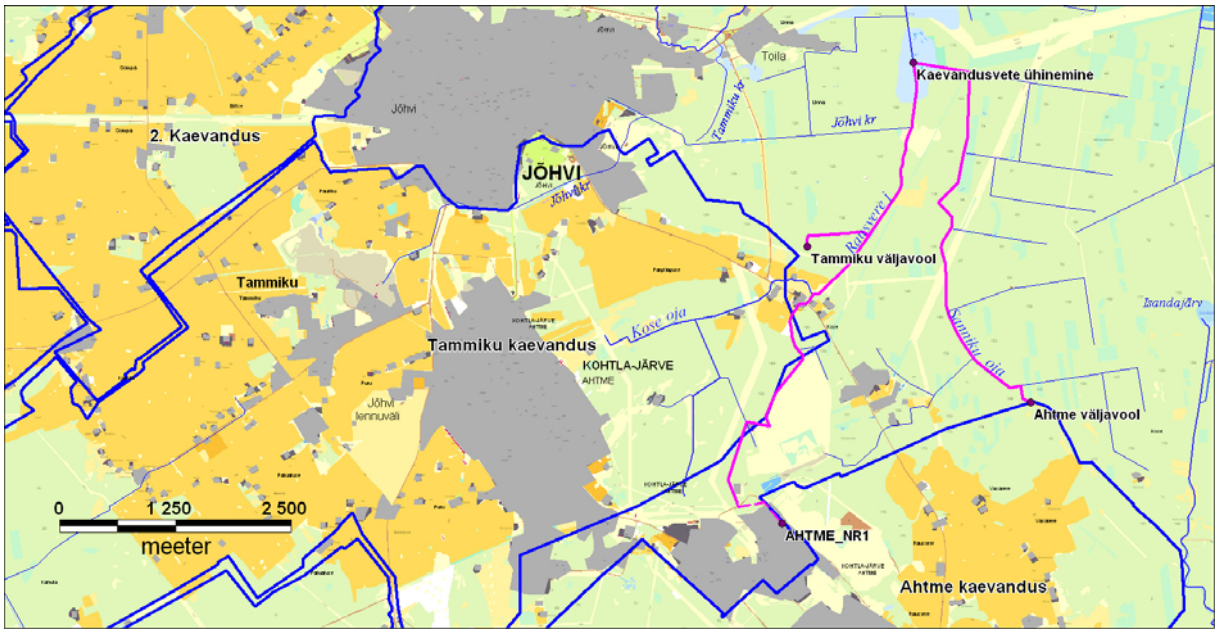
6 Etapp 3: Võimalused suletud kaevanduste Kaevandus nr. 2, Tammiku ja Ahtme maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimist ning nende hüdro-ja maasoojusenergeetilise potentsiaali ära kasutamist Jõhvi vallas.

Maapinnale juhitavat kaevandusvett on võimalik juhtida kokku Ahtme suletud kaevanduse väljavoolust (vooluhulk 0,2…2 m^3/s), Ahtme SEJ - Ahtme pumbajaamast NR1 (0.7..3m^3/s, sel juhul kui rajatakse soojuspump Ahtme SEJ) (Joonis 87, kaardil AHTME_NR1) ja Tammiku kaevanduse väljavoolust (0,2…2 m^3/s) (Joonis 87, kaardil Tammiku väljavool) Sanniku oja ja Rausvere jõe ühinemispunkti (Joonis 87, kaardil Kaevandusvete ühinemine). Ahtme kaevanduse (Joonis 87, kaardil AHTME_NR1) väljavoolust on võimalik vesi suunata juba olemasolevasse Sanniku ojja, Tammiku kaevanduse väljavoolust ja Ahtme kaevanduse pumbajaamast NR1 Rausvere jõkke.

Ahtme SEJ soojuspumba, Tammiku ja Ahtme kaevandusest kokkujuhitud veel puudub arvestatav hüdro-ja maasoojusenergeetiline potentsiaal.

Lähim asustus Linna küla jääb kaevandusvete ühenduspunktist ligikaudu 1km kaugusele. Kaugemal asuvad Jõhvi linn (ligikaudu 2,5km kaugusel) ja Oru linnaosa Toila vallas (ligikaudu 4km kaugusel).

Märkus: **Lilla joon kaardil** – maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimiseks kasutatavad olemasolevad kraavid, kanalid ja jõed. **Lilla punktiirjoon kaardil** – maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimiseks soovituslikud rajamist vajavad kraavid või kanalid.



Joonis 87 Tammiku ja Ahtme kaevanduse maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimine

7 Etapp 4: Mäetaguse vallas tasuvushinnang kaevandusvete ärakasutamiseks kütteks näidisobjektil Kiikla alevikus suletud Sompa kaevanduse vete baasil.

7.1 Võimalikud näidisobjektid Mäetaguse vallas

Näidisobjekti valikuks Mäetaguse vallas on projektimeeskond vaadelnud järgnevaid piirkondi:

- Kiikla küla

Järgnevalt kirjeldatakse piirkondi täpsemalt, et välja valida näidisobjektiks tehniliselt ja soojuspotentsiaalilt parim.
Kirjeldatakse järgnevat:

- Asukoht
- Ülevaade teostatud töödest, millised käsitlevad soojuspumpade kasutamist kaevandusvee baasil - loetelu
- Ülevaade piirkonda jäävate kaevanduste vee potentsiaalist
- Soojusenergia vajadused ning tehnilised nõudmised soojuspumpade rajamiseks
- Soojuspumpade toitevee saamine, veetase, veemahud kasutamisel
- Tasuvushinnang/majandusmudel

7.2 Kiikla küla

- Asukoht

Kiikla küla paikneb Mäetaguse valla lääneosas. Kiikla küla asustus on koondunud kõrvalmaantee nr 13126 Kohtla-Järve-Mäetaguse äärde. Mäetaguse valla üldplaneeringu kohaselt on Kiikla külas eristatud neli erineva olemusega ala: küla keskosa pargi ja avalikus kasutuses olevate hoonetega, tootmisala küla põhjaosas, võimalikud küla arenguks vajalikud põhiliselt elufunktsiooniga alad idaosas ning puhke- ja virgestusala. Asukoha skeem on toodud allpool oleval joonisel (Joonis 88 Kiikla küla asukohaplaan).

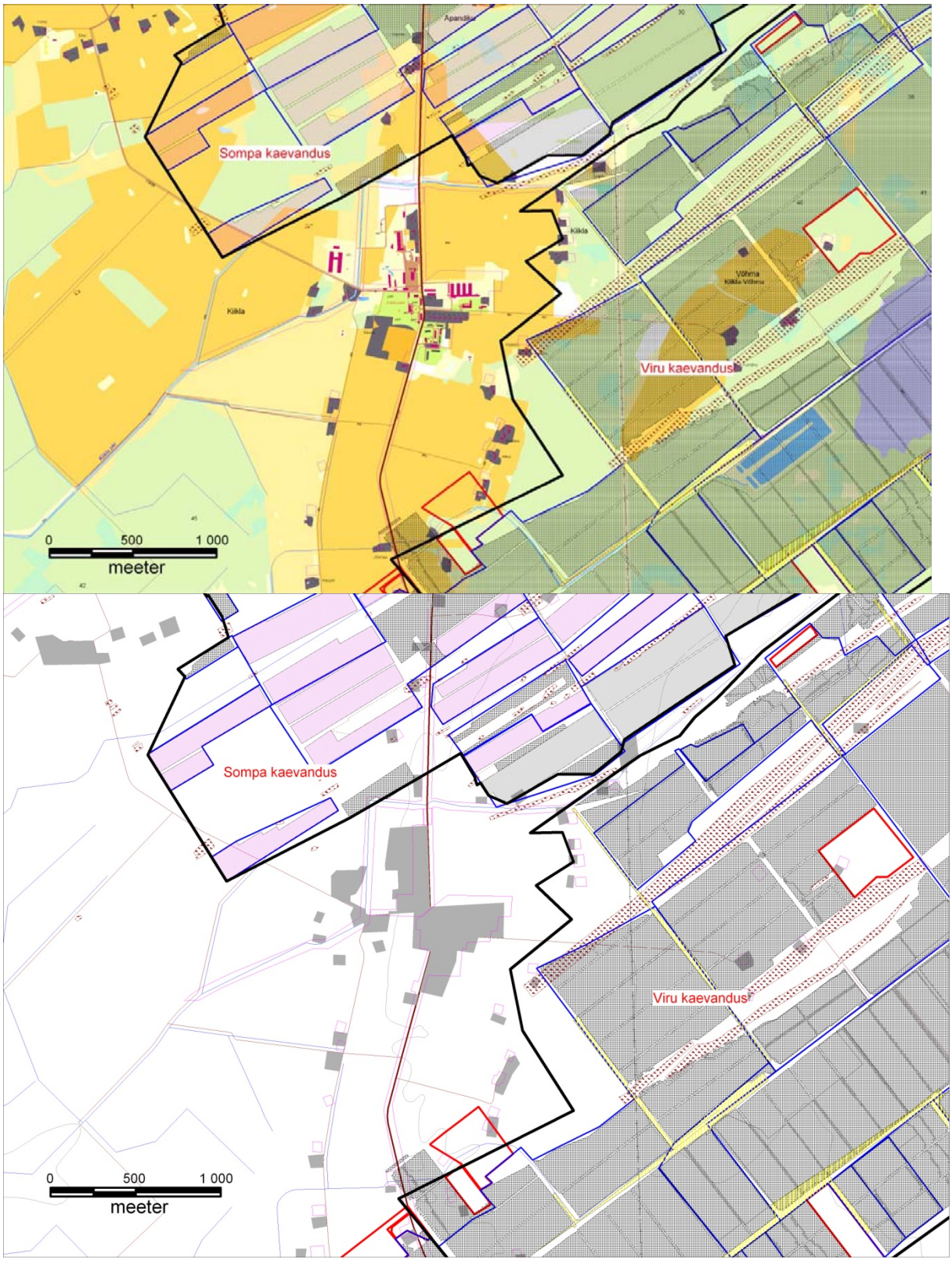


Joonis 88 Kiikla küla asukohaplaan

- Ülevaade teostatud töödest, millised käsitlevad soojuspumpade kasutamist kaevandusvee baasil - loetelu
    - Mäetaguse valla soojamajanduse arengukava, 2008-2009;
    - Kiikla küla kaugküttesüsteemi rajamise ning soojuspumpadel baseeruva kaevanduse veest soojusenergia tootmise teostatavus-rakendusuuring (Kiikla küla soojuspumpadel baseeruva kaugküttevarustuse eelprojekt), 2009);
    - Kiikla kaevandusvee KMH

- Ülevaade piirkonda jäävate kaevanduste vee potentsiaalist

Kiikla küla ümbrusesse jäävad suletud Sompa kaevandus, töötav Viru kaevandus ning avatav Ojamaa kaevandus, vt kaevanduste asukohaplaani (Joonis 89). Sompa kaevandus, mis jääb Kiikla küla kirdeossa, suleti 12.02.2000. Tööd peatati johtuvalt põlevkivivajaduse vähenemisest ja Sompa kaevanduse toodangu keskmisest kõrgemast omahinnast. Kaevandus piirneb põhjas endise kaevanduse nr 4 kaevandatud alaga, idas Tammiku, lõunas Viru ja läänes Ojamaa kaevandusega. Peale kaevanduse sulgemist hakkas tühjendatud kaevandus täituma veega, mille tase tasakaalustus paari järgneva aasta jooksul kõrgusmärgi 42…48 m (abs) vahel.



Joonis 89 Kiikla küla ümbrusesse jäävate kaevanduste mäetöödeplaan

- Tehnilised nõudmised soojuspumpade rajamiseks

Soojuspump peab tagama minimaalselt 0,5 MW ja maksimaalselt 0,8 MW. Lähtuvalt sellest on tarvilik kaevandusvee vooluhulk 90 kuni 125 m^3/h. [KMH aruanne]

- Soojuspumpade toitevee saamine, veetase, veemahud kasutamisel

Kaevandusvee mahuline vajadus sõltub selles, kui palju kaevandusvee temperatuuri alandada ehk kui palju soojust ära võtta. Mida vähem soojust võtta, seda rohkem läheb tarvis vett (Tabel 26).

Tabel 26 Kiikla küla soojusvajadus ning sellest lähtuvalt kaevandusvee kasutamise mahud

Tarbimiskoht	Nimi	Soojuskoormus	Veetemperatuur soojuspumpa, °C	Veetemperatuur kaevandusse tagasi, °C	Temperatuurivahe	Vajalik soojusvõimsus, kW	kui palju vett, m3/s	kui palju vett, m3/d
Kiikla küla	Kiikla	Baaskoormus	8	7	1	500	0.12	10 310
		Baaskoormus	8	6	2	500	0.06	5 155
		Baaskoormus	8	5	3	500	0.04	3 437
		Baaskoormus	8	4	4	500	0.03	2 578
		Talvine koormus	8	7	1	2000	0.48	41 241
		Talvine koormus	8	6	2	2000	0.24	20 621
		Talvine koormus	8	5	3	2000	0.16	13 747
		Talvine koormus	8	4	4	2000	0.12	10 310

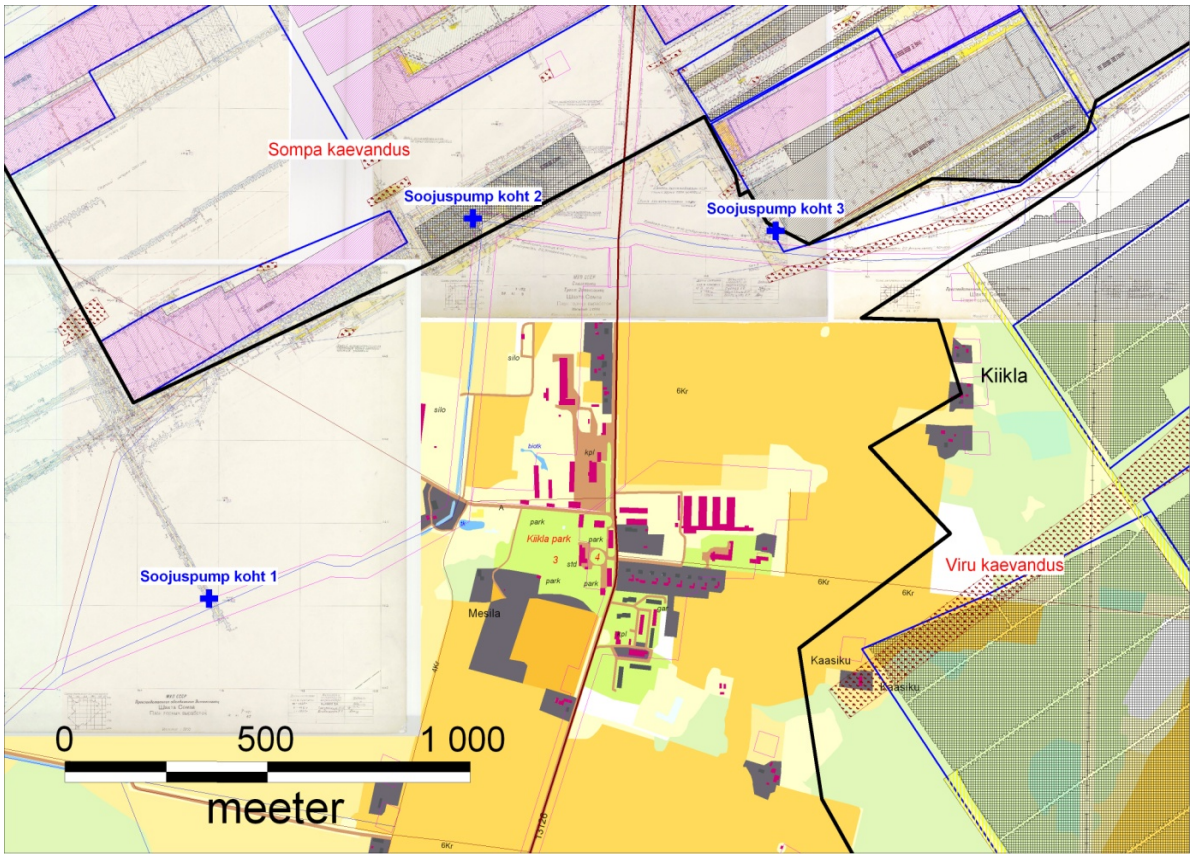
Sompa kaevandus paikneb põhjavee veealanduslehtri keskel, mis tähendab, et kaevandusvesi ei ole sõltuv otseselt sademetest, vaid põhjaveest (Ordoviitsiumi põhjaveekihi Nabala-Rakvere ja Keila-Kukruse veekiht). Sademetest mittesõltuv kaevandusvee komponent koosnes suures osas retsirkuleerivast veest: umbkaudu hinnatuna kuni pool väljapumbatud veest kaevanduse töötamise ajal võis retsirkuleerida. Pikaajaliste vaatluste tulemused näitavad, et sissevool Sompa kaevandusse, mis vajas väljapumpamist, oli minimaalselt 45 tuhat m^3 ööpäevas ja maksimaalselt 151 tuhat m3 ööpäevas. Vesi, mis varem välja pumbati ja sinna tagasi imbus, jääb nüüd kaevandusse, maa alla. See on ka üks põhjusi, miks Kohtla jõgi kuivaks jäi (Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut, 2004).

Suletud kaevanduste väljadel seisab põhjaveetase stabiilsel tasemel tänu loomulikule väljavoolule Ubjas, Küttejõus, Kävas ja Kosel, samuti tänu vee imbumisele naabruses olevatesse suletud ja/või töötavatesse karjääridesse/kaevandustesse. Sompa kaevanduses olev veetase on stabiilne just tänu viimasele – kaevandusvesi imbub peamiselt kõrvalpaiknevasse Viru kaevandusse (Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut, 2004; Savitski L., 2000).

Kaevandusvee (põhjavee) varu

Sompa kaevanduse alal kaevandatud kihis on säilinud suure veejuhtivusega ala. Pikaajaliseks aastaseks juurdevooluks Sompa kaevandusse on pakutud 96 000 m3/d, sellest talvel (jaanuar-märts) 22,1%, kevadel (aprill-mai) 29,3%, suvel (juuni-september) 24,2% ja sügisel (oktoober-detsember) 24,4% (Savitski L., Savva V., 2005). Enim tuleb Sompa kaevandatud alale vett pärast lumesulamist, kuna kivimite veejuhtivus langatatud alal on looduslikuga võrreldes suurenenud. Sompa kaevanduses oli selle töötamise ajal väljapumbatav veekogus toodangu tonni kohta üks suuremaid tollase Eesti Põlevkivi ettevõtete seas. Kavandatud kaugküttesüsteemi veehaarde poolt aastas väljapumbatav veekogus oleks 3% üleujutatud Sompa kaevanduse maa-alustes tühimikes olevast veemahust (Maves, 2010).

Allpool oleval joonisel (Joonis 90) on toodud välja võimalikud kohad kus kohast soojuspump saaks endale soojuse akumuleerimiseks kaevandusvett. Võimalike kohtade juures on võimalik vesi, millelt on soojusenergia ära võetud suunata mööda kraave pidi loodusesse uuesti ringlusesse, samuti on võimalus vesi suletud kaevandusse tagasi pumbata, seda küll soojuspumbast eemal, et vesi saaks kaevanduses uuesti ülesse soojeneda.



Joonis 90 Soojuspumba võimalikud vee võtukohad Kiikla küla ümbruses

- Tasuvushinnang/majandusmudel

Kiikla kohta teostatud eelprojekti järeldus: kaevandusvee soojuspumpade abil Kiikla küla soojusvarustuse investeeringuprojekt on võrreldes olemasoleva soojusvarustusega teadaolevate majanduskeskkonna parameetrite, soojuskoormuse ja finantseerimistingimuste realiseerumise korral kõrgelt tulutoov kogu finantsmajandusliku eluea vältel. Samas on investeeringu oodatav finantsmajanduslik tulukus tingitud peamiselt praeguse soojusvarustuse väga kõrgest hinnast - soojuse müügihinna alandamisel Eesti väikeste kaugküttesüsteemide hinnatasemele (ca 900 kr/MWh) on investeering tasuv vaid olulise (minimaalselt ca 20%lise) tugifinantseerimise ja ca 4,5 milj. kroonise omafinantseeringu korral. Investeeringu tulukust kahandab oluliselt ka planeeritust väiksem kaugkütte soojuskoormus nt 50% planeeritust väiksema soojuskoormuse (soojustarbijate kaugküttega mitteliitumise) korral on vajalik vähemalt 10%line tugifinantseerimine ja ca 3,7 milj. kroonine omafinantseering. Nende kahe teguri olulise koostoime puhul pole investeering tasuv ei finants- ega sotsiaalmajanduslikult ja on realiseeritav vaid olulise tugifinantseerimise puhul demonstratsioon ja pilootprojektina. Elektrienergia hinna planeeritust märgatavalt (kaks korda) kiirema kasvu või soojuspumba oluliselt (kaks korda) kehvema kasuteguri korral väheneb investeeringu tulusus oluliselt, kuid jääb siiski kasumlikuks. Vajalik ca. 3 miljoni kroonine omafinantseering.

Vastavalt Kiikla külale tehtud eelprojekti alusele on vajalikud soojuskoormused järgmised:

1) Esimesed viis aastat: aastane soojuse tootmisvõimsus on 3 670 440 kWh
2) Alates kuuendast aastast: aastane soojuse tootmisvõimsus on 5 138 616 kWh

Tabel 27 Kiiklasse installeeritava soojusvõimsuse tootmiseks tehtavad kulud

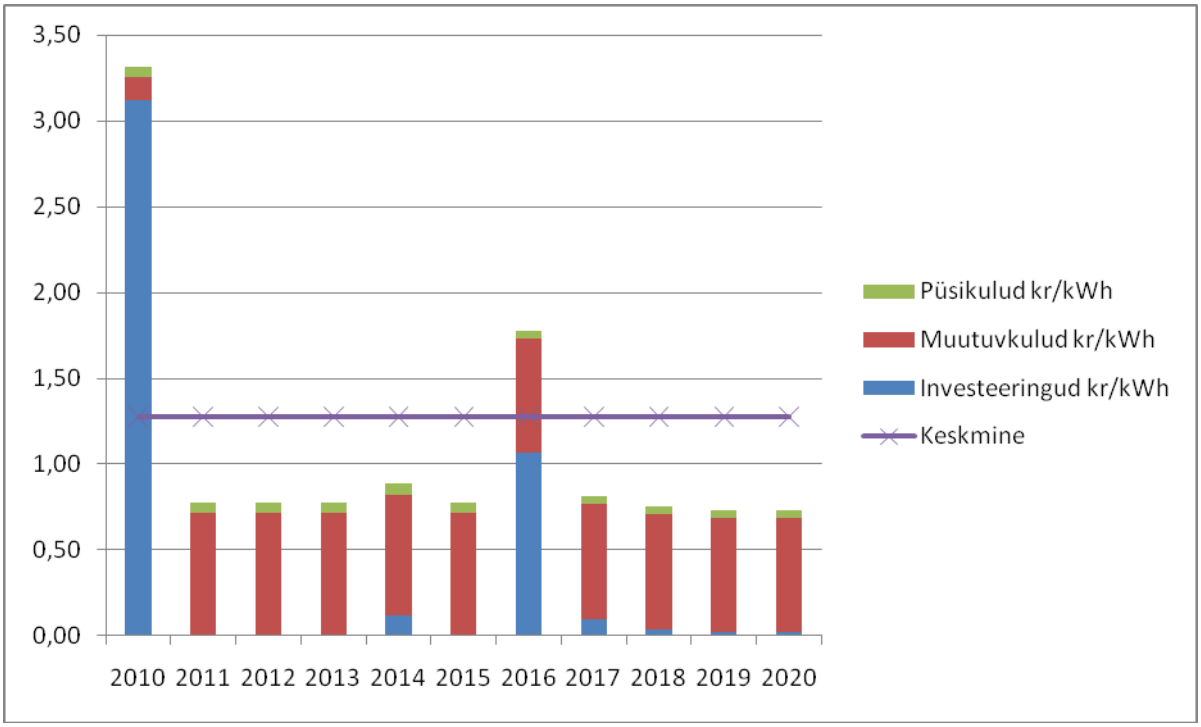
Tootmine		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Puuraukude rajamine	mln EEK/a	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kaevandusvee pumbad	mln EEK/a	0.40	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soojuspump	mln EEK/a	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Elektrienergia soojuse tootmiseks	mln EEK/a	0.00	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
Soojuskeskuse hoone	mln EEK/a	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumpamine välja	mln EEK/a	0.47	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
Vee tagastuse trass	mln EEK/a	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Liitumine elektrivõrguga	mln EEK/a	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00
Ehitus, montaz, ehitusjärelvalve ja projektijuhtimine	mln EEK/a	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 28 Kiikla soojuspumbast saadava soojuse opereerimiseks tehtavad kulutused

Opereerimine		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Magistraaltrassid	mln EEK/a	4.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.00	0.00	0.00	0.00
Jaotustrassid	mln EEK/a	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.40	0.10	0.00	0.00
Ehitus, montaz, ehitusjärelvalve ja projektijuhtimine	mln EEK/a	0.71	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.60	0.11	0.11	0.11	0.11

Tabel 29 Kiikla soojuspumba kulutused

Kulud		Kokku	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Investeeringud	mln EEK/a	18.42	11.47	0.03	0.03	0.03	0.43	0.03	5.47	0.51	0.21	0.11	0.11
Muutuvkulud	mln EEK/a	30.53	0.47	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42
Püsikulud	mln EEK/a	2.53	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24



Joonis 91 Kululiikide kulud Kiiklasse installeeritava võimsuse kohta

8 Kokkuvõte

TTÜ mäeinstituudi uurimustöö neli etappi

4.1. Kaevandusvete kasutusele võtmise potentsiaal soojusvarustuses ja tehnilised lahendused Jõhvi ja Mäetaguse vallas.

4.2. Jõhvi vallas kaevandusvete ärakasutamise tasuvushinnang Tammiku, Kose, Aiandi või tööstuspiirkonnas näidisobjektil.

4.3. Võimalused suletud kaevanduste Kaevandus nr. 2, Tammiku ja Ahtme maapinnale juhitavate vete kokkujuhtimiseks ning nende hüdro- ja maasoojusenergeetilise potentsiaali ära kasutamist Jõhvi vallas.

4.4. Mäetaguse vallas tasuvushinnang kaevandusvete ärakasutamiseks kütteks näidisobjektil Kiikla alevikus suletud Sompa kaevanduse vete baasil.

Esimese etapi raames:

- Loodi ruumiline mudel uuringupiirkonnast
- Loodi hüdrogeoloogiline mudel
- Hinnati veemahtusid suletud kaevandustes
- Hinnati stabiilsusolukorda ning vajumeid kaevandatud alal
- Hinnati kaevandusvee kasutuselevõtu potentsiaal

Analüüsi tulemusel leiti, et suletud põlevkivikaevandustes on piisavalt vett, mida saab kasutada sooja tootmiseks (Tabel 30 Põlevkivi kaevandustes olev vesi (tühjas ruumis, tervikutes, kattekivimite tühemikes)).

Tabel 30 Põlevkivi kaevandustes olev vesi (tühjas ruumis, tervikutes, kattekivimite tühemikes)

Veemahud, mln m³	Kukruse	Kaevandus nr 2 (Jõhvi kaevandus)	Käva	Käva 2	Kaevandus nr 4	Tammiku	Sompa	Kohtla	Ahtme	Viru	Estonia	Kokku
Veemaht Q4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Veemaht lubjakivis	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	73.6	0.0	0.0	87.7
Veemaht põlevkivikihindis	17.1	9.5	1.7	13.3	16.9	23.5	21.9	16.1	28.7	2.9	7.1	158.9
Veemaht kokku	**17.1**	**9.5**	**4.9**	**13.3**	**16.9**	**23.5**	**21.9**	**27.1**	**102.4**	**2.9**	**7.1**	**246.6**

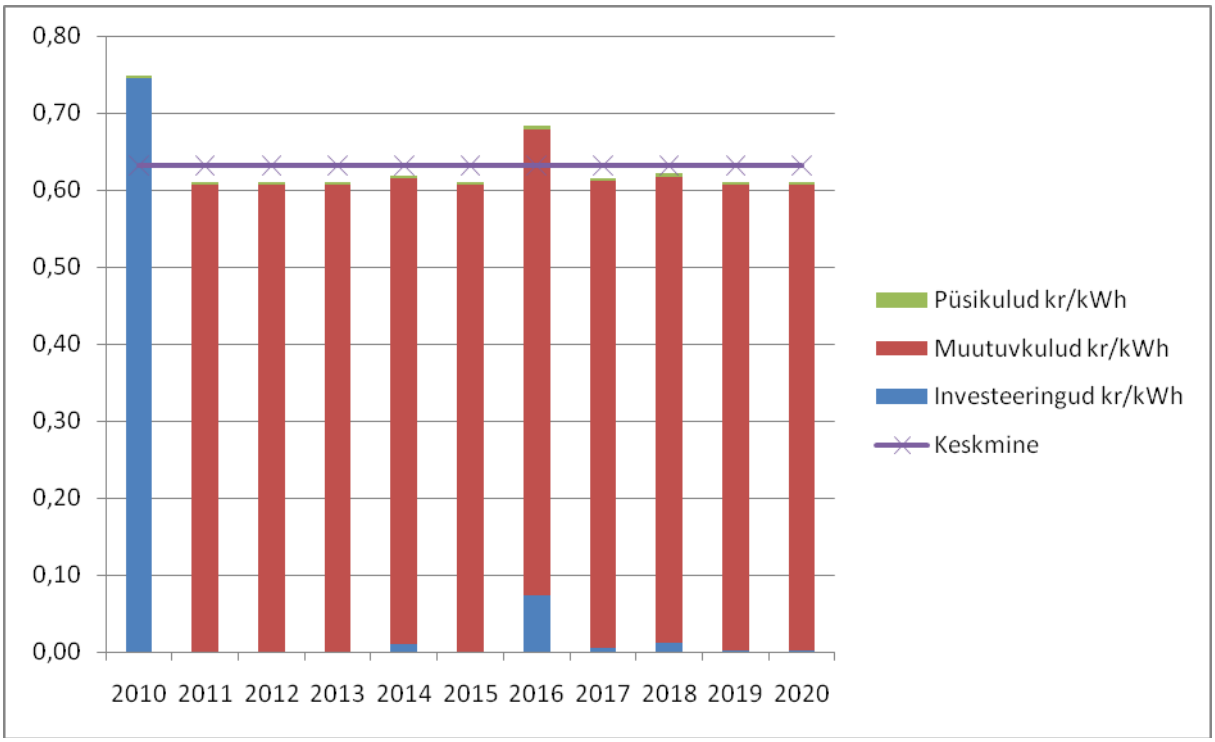
Kaevandusvete kasutamise parim võimalik tehniline lahendus on kaevandusvee pumpamine puuraugu või šurfi kaudu maapinnale. Soojuspumbas langetatakse vee temperatuuri 1…4 kraadi võrra ja seejärel juhitakse vesi tagasi kaevandusse või vooluveekogusse.

Ülevalpool olev joonis (Joonis 61) kirjeldab allmaabasseinide veesurvet. Suletud kaevandustes oleva vee kasutamise potentsiaal on seda suurem, mida suurem on allmaabasseinis oleva vee surve, mis on seotud nii vee koguse kui veetaseme kõrgusega.

Teise etapi raames teostati:

- Näidisobjektide analüüs Jõhvi vallas
- Tehniliste tingimuste kirjeldus

Soojuspumba kompleks on otstarbekas rajada Ahtme SEJ juurde. Tasuvusanalüüs näitas, et otstarbekas on rajada 10MW võimsusega kaevandusvett kasutav soojuspumba kompleks. Sellisel juhul on keskmine soojuse tootmise erikulu aastani 2020 (11 a keskmine) 0,63 kr/kWh (Joonis 92 Tasuvusanalüüs Ahtme soojuspumba (SP) jaoks).



Joonis 92 Tasuvusanalüüs Ahtme soojuspumba (SP) jaoks

Kolmanda etapi tulemused:

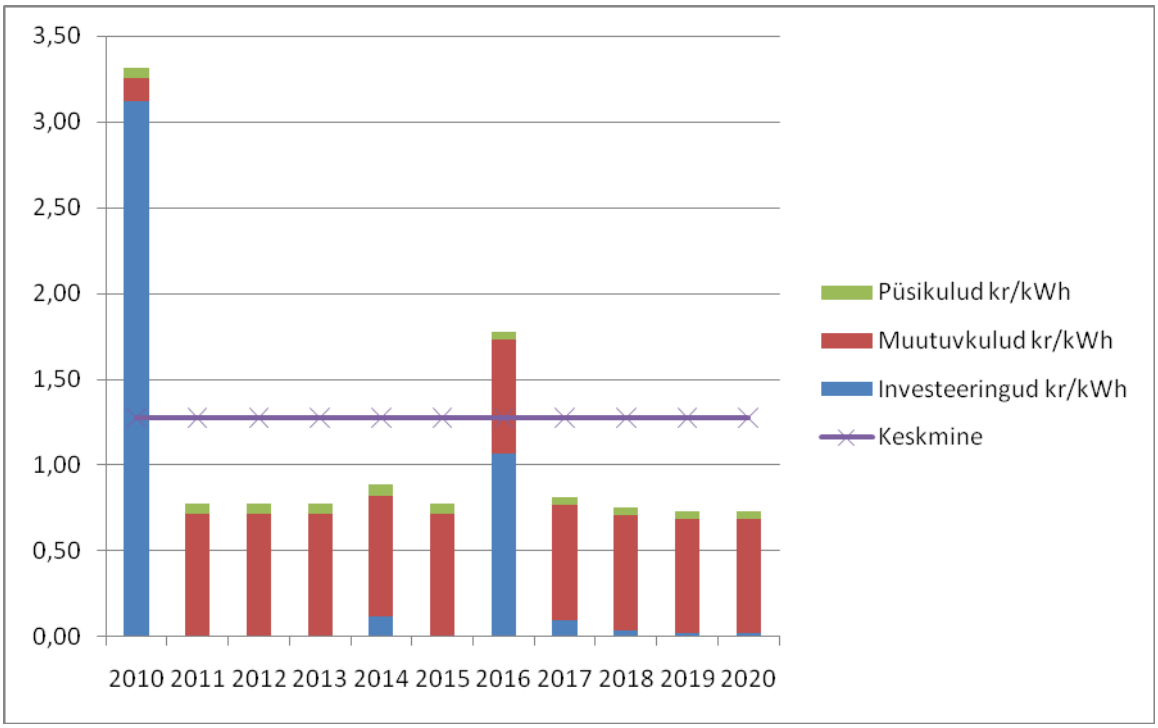
- Maapinnale juhitavate kaevandusvee kokkujuhtimise analüüs

Ahtme SEJ soojuspumba, Tammiku ja Ahtme kaevandusest kokkujuhitud veel puudub arvestatav hüdro-ja maasoojusenergeetiline potentsiaal.

Neljanda etapi raames tehti:

- Majanduslik hinnang Kiiklasse rajatava soojuspumba baasil

Kiikla asulasse on võimalus installeerida kaevandusvee baasil töötav soojuspump, mille 11 aasta keskmine soojuse tootmise erikulu on 1,28 kr/kWh (Joonis 93 Tasuvusanalüüs Kiikla jaoks).



Joonis 93 Tasuvusanalüüs Kiikla jaoks

9 Kasutatud kirjandus

1. Baaskaart. Maa-amet 2004 kuni 2010
2. Enno Reinsalu. Põlevkivi Kaevandamise AS ettevõtete tööst tulenevate hüdrogeoloogiliste muutuste prognoos. 416L. TTÜ Mäeinsttiutuut. 2004
3. Hannes Kask. 2. kaevanduse lokaliseerimise eelprojekt.
4. Heinsalu, Ü.I., Andra, H,R, 1975. Eesti põlevkivikaevanduste rajooni lõhelisus ja selle uurimise geofüüsikalised meetodid. Tallinn: Valgus. 123lk. (vene keeles, kokkuvõtted eesti ja inglise keeles).
5. Lind, L. Groundwater Flow Model of the Western Part of the Estonian Oil Shale Deposit. Eesti põlevkivimaardla lääneala veerežiimi mudel. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2010
6. Mäetagusel hakkab küla kütma vana kaevandus. 03.04.2010 http://www.epl.ee/artikkel/494546
7. Ojaste, K. Hüdrogeoloogia. Tallinn : [Tallinna Polütehniline Instituut], 1967
8. Perens, R. Veesoontest ja nende leidmisest. Skeptiline Eesti, www.skeptik.ee, 2009
9. Põhjaveekomisjon. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse, Eesti Põhjaveekomisjon, Tartu, 2004
10. Reinsalu E., Toomik A., Valgma I. 2002. Kaevandatud maa. TTÜ mäeinstituut, 97 lk.
11. Reinsalu, E. 2006. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Lk6
12. Reinsalu, E. Vesi suletud põlevkivikaevandusest. Keskkonnatehnika, (4), 20 – 22, 2005.
13. Riiklik Keskkonnaseire programm. Meteoroloogiline seire. Seireveeb. http://eelis.ic.envir.ee:88/seireveeb/
14. Savitski, L. Suletud ja suletavate kaevanduste mõju põhjaveele. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 2003
15. Savitski, L., Savva, V. Hüdrogeoloogilise muutuste prognoos Eesti põlevkivimaardla kaevandustööde piirkonnas 1.etapp: Kohtla kaevanduse sulgemine. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 2001
16. Veiko Karu, Viru jalaväepataljoni altkaevandatud maa-ala eksperthinnang, TTÜ mäeinstituut 2009
17. Vivika Väizene. Suletud kaevanduste mõju, TTÜ mäeinstituut, 2009
18. HÜDROGEOLOOGILISTE MUUTUSTE PROGNOOS EESTI PÕLEVKIVIMAARDLA KAEVANDUSTÖÖDE PIIRKONNAS 1. etapp: Kohtla kaevanduse sulgemine. EGK Hüdrogeoloogia osakond, 2001.
19. Hüdrogeoloogiliste muutuste prognoosid seoses Uus-Kiviõli kaevanduse avamise ja Aidu karjääri sulgemisega. Eesti Geoloogiakeskus: Hüdrogeoloogia osakond. Tallinn, 2009.