



**➤ TOIMETIS 12:
JUHISED TÖÖSTUSETTEVÕTETELE**

Toetab:

Intelligent Energy  **Europe**

Jaanuar 2008

Direction Ile-de-France

205, avenue Georges Clemenceau
92024 NANTERRE Cedex
Tél. 01 70 92 32 00 – Fax 01 70 92 32 07
www.saunier-associes.com

| | |
|--|-----------|
| 1. Sissejuhatus | 3 |
| 2. Energiavajadus, mida võiks katta geotermiline energia | 4 |
| 2.1. Temperatuurinivood | 4 |
| 2.2. Hoonete kütte/õhu konditsioneerimise vajaduste katmine | 6 |
| 2.3. Geotermilise energia integreerimine tööstuslikku protsessi | 6 |
| 2.4. Bilanss | 7 |
| 3. Tehnilise lahenduse valik..... | 8 |
| 3.1. Geotermilise rakenduse tüüp | 8 |
| 3.2. Süsteemi kavandamine..... | 10 |
| 3.3. Bilanss | 10 |
| 4. Tasuvusaeg | 11 |
| 4.1. Investeeringukulude hindamine | 11 |
| 4.2. Ekspluatatsioonikulude hinnang..... | 12 |
| 4.3. Tasuvusaja hindamine | 12 |
| 4.4. Keskkonnavalased kaalutlused..... | 13 |
| 5. Järeldused..... | 14 |

1. SISSEJUHATUS

Selle dokumendi eesmärk on tuua tööstuse arendajatele Eestis informatsiooni ja kogemust, mis võimaldaks neil aru saada geotermilise energia võimalustest oma rakendustes. See töö tugineb kolmes tööstusettevõttes läbi viidud tasuvusuuringul käesoleva projekti raames ja ka muul asjakohasel informatsioonil:

- Tüüpsupermarket Saksamaal
- Valukoda Rootsis
- Poekompleks Prantsusmaal

Seega on see juhik kasutatav eelistatult sarnastes tööstusettevõtetes, arvestades kohalikke geotermilisi, kliimaatilisi majanduslikke ja seadusandlikke olusid.

See juhik peaks toetama tööstusarendajaid ja pöörama nende tähelepanu geotermilise energia kasulikkusele..

2. ENERGIAVAJADUS, MIDA VÕIKS KATTA GEOTERMILINE ENERGIA

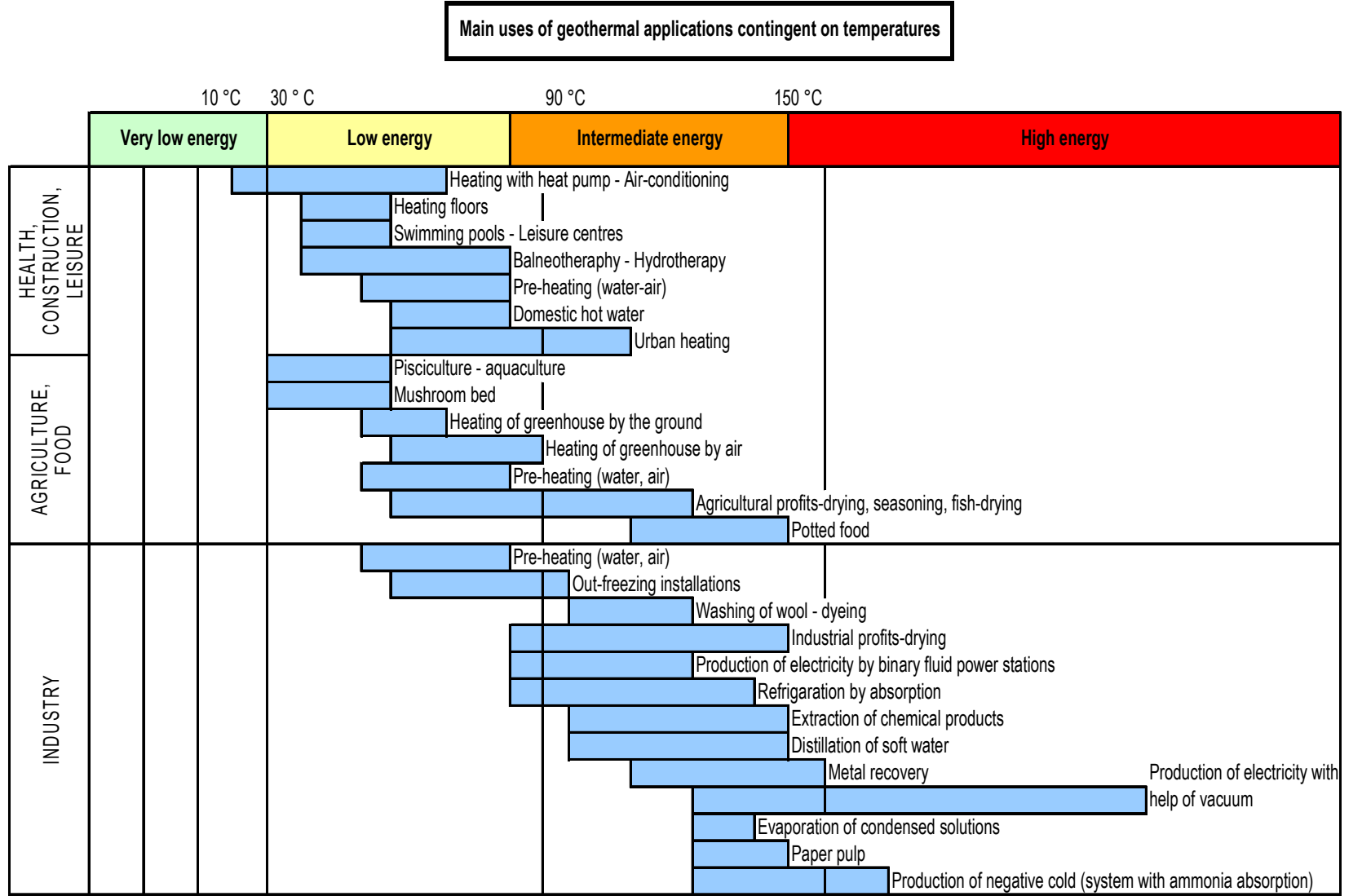
2.1. TEMPERatuurINIVOOD

Üldiselt on geotermilise energia kasutamisel temperatuuritasemed piiratud kas kasutatava veesoone temperatuuriga või vastuvõetava temperatuuriga soojuspumba kondensaatori väljundis. Mida väiksem on temperatuuride vahe, seda suurem on efektiivsus.

See piirang mõjutab otseselt kõiki geotermiliste rakenduste tüüpe hoonete kütteks ja tööstuslikuks kasutuseks.

Esimene samm hõlmab seega rakenduste väljavalimist, mis võiksid töötada madalail temperatuurinivoodel (alla 70°C).

Joonis 1- Temperatuuritasemed mitmesugustel tööstuslike protsessidel (baseerub D7 – Prantsusmaa)



2.2. HOONETE KÜTTE/ÕHU KONDITSIONEERIMISE VAJADUSTE KATMINE

Tuleb märkida, et geotermilised süsteemid tuleb võimsuse suhtes üldiselt dimensioneerida baaskoormuse järgi. Majanduslikult on otstarbekas installeeritud geotermiliste seadmete võimalikult pikk aastane eksploatatsiooniaeg. Seega on tavaline, et geotermiline energia katab ainult 50-60% rakenduse maksimaalsest koormusest.

Hooned

Hoonete jaoks hinnatakse energiavajadust energiatarbimise andmete järgi või uute hoonete jaoks projektandmete järgi.

Hoone energiavajadus sõltub lokaalsetest kliimatilistest tingimustest ja hoonekarbi soojapidavusest.

Eestis on kehtestatud hoonete energiatõhususe miinimumnõuded (BEE) (kWh/y*m²) ja neid nõudeid saab kasutada esimese lähendusena. BEE väärtused on taandatud primaarenergia tarbimisele ja arvestavad ka CO₂ emissiooni.

Näiteks uutele büroohoonetele BEE väärtus ei tohi ületada 220 kWh/y*m², avalikele ja ärihooneile 300 kWh/y*m².

Ruumide ülesoojenemise vältimiseks soovitatakse peamiselt arhitektuurilisi, ehituslikke meetmeid, kuid võib kasutada ka jahutusseadmeid.

Maksimaalset koormust saab arvutada tarbimise järgi – aastane tarbimine tuleb jagada kütteperioodiga tundides ja keskmise sise- ja välistemperatuuri vahega ning korrutada maksimaalse temperatuuride vahega.

Arvutuslikuks välistemperatuuriks võetakse harilikult –22°C, kuigi tegelik minimaalne välistemperatuur võib talvel langeda kuni -33°C. Suvine maksimum ületab harva 30 °C.

Energiavajadus

Hoone energiavajadus sõltub kliimatilistest tingimustest ja erinevatest soojusallikatest nagu päikesesoojus ja hoone sisemised soojuseraldused (valgustus, seadmed jne.). Need energiaallikad tuleb võtta igal juhtumil samuti arvesse.

Hoone energiabilansi saab koostada nende soojuseraldiste funktsioonina.

Esimeses lähenduses energiavajadust võib arvutada:

Energiavajadus (kWh/aastas)=24*soojuskoormus (kW)*kraadpäevad (°C päev)/25

Ja jahutusvajadus:

Jahutusvajadus (kWh/a)=A*jahutuskoormus (kW)/ kraadpäevad (°Cpäev)

2.3. GEOTERMILISE ENERGIA INTEGREERIMINE TÖÖSTUSLIKKU PROTSESSI

Geotermilist energial saab integreerida tööstuslikku protsessi kahel viisil: kas salvestina muidu ümbritsevasse õhku hajuva soojuse jaoks või energiakaevuna kasutamiseks otse tehnoloogilises protsessis.

Tööstuslikud protsessid võivad olla geotermilise energia kasutamise sihtmärgiks, kuna seal on olemas madalatemperatuurilise soojuse vajadus ja heitenergia, mida saab sesoonselt salvestada.

Energiasalvesti

Suurem osa tööstuslike tehnoloogilisi protsesse eraldavad soojust peamiselt ümbritsevasse õhku või vette, kasutades soojusvaheteid. Soojus läheb kaduma, kuna:

- Soojuse taaskasutussüsteemid puuduvad
- Soojuse tootmine ja soojuse vajadus ei ole samaaegsed.

Geotermilised rakendused pakuvad siin võimalust eraldunud soojuse salvestamiseks, et kasutada teda hiljem.

Seda salvestatud soojust saab taastada, kasutades soojuspumpa, mis võimaldab saavutada vastuvõetava temperatuurinivoo.

Paljude andmete kohaselt saab taaskasutada 50-70% salvestatud soojusest.

Üheks võimaluseks on arvestada soojuse ülejäägi müügiga lähedasele kaugküttesüsteemile, kui selline on olemas.

Tööstusliku tehnoloogilise protsessi sooja- ja külmavarustus

Geotermilist energiat saab kasutada tööstusliku protsessi soojavarustuseks kas soojuse võtmisega maapinnast või eelnevalt salvestatud soojuse taaskasutamisega.

Protsessi jaoks vajalik temperatuurinivoo on otsustav projekteerimisparameeter ja enamikul juhtudel piiravaks teguriks: piiratud temperatuurinivoo tõttu ei kata geotermiline energia kogu protsessi. Siiski võib ta võimaldada eelsoojendust protsessi ahelas.

Geotermiline energia pakub ka muid võimalusi nagu külmavarustust tööstusliku tehnoloogilise protsessi ahelas. Selle lahenduse juures pakub kõigepealt huvi:

- Külmavaru tekitamine, mida saab luua lisaks, geotermilise soojuse tootmise käigus.
- Gradiiride kasutuse vältimine, mis võivad olla potentsiaalseks allikaks *Legionella* arenemisele.

Geotermilise energia kasutamine külmavarustuses on piiratud kliima tõttu ka kuna ta võistleb teiste külmatehnoloogiatega, mis annavad oma ülearust soojust välisõhule (energeetiline tulu saab tekkida ainult nende kahe lahenduse COP erinevusest).

2.4. BILANSS

Eespool kirjeldatud erinevate võimaluste jaoks on soovitatav ligikaudu hinnata võimsust, mida saaks anda geotermiline rakendus (hoonete kütteks ja õhu konditsioneerimiseks, tööstuslikeks protsessideks nagu ka soojuse taaskasutussüsteemides).

Nendel juhtudel saab vastavat energiavajadust hinnata, võttes arvesse installeeritud seadmete võimsust ja nende tööaega.

Tuleb anda kuus hinnangut:

- Soojuskoormus (kW)
- Külmakoormus (kW)

- Aastane küttevajadus (kWh/a)
- Aastane külmavajadus (kWh/a)

- Salvesti soojusvaheti võimsus (kW)
- Aastas salvestatud soojus (kWh/a)

3. TEHNILISE LAHENDUSE VALIK

3.1. GEOTERMILISE RAKENDUSE TÜÜP

Tuleb arvestada kolme tüüpi geotermilise rakendusega: puurauksoojusvaheti (Borehole Heat Exchanger (BHE)); veesoone soojusenergiasalvesti (Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)) ja puurauk soojusenergiasalvesti (Borehole Thermal Energy Storage (BTES)).

Puurauksoojusvaheti (BHE)

See on horisontaalne või vertikaalne torusüsteem allpool maapinda, mis võimaldab saada soojust (või jahutust) pinnasest soojuspumba (HP) abil.

Veesoone soojusenergiasalvesti (ATES)

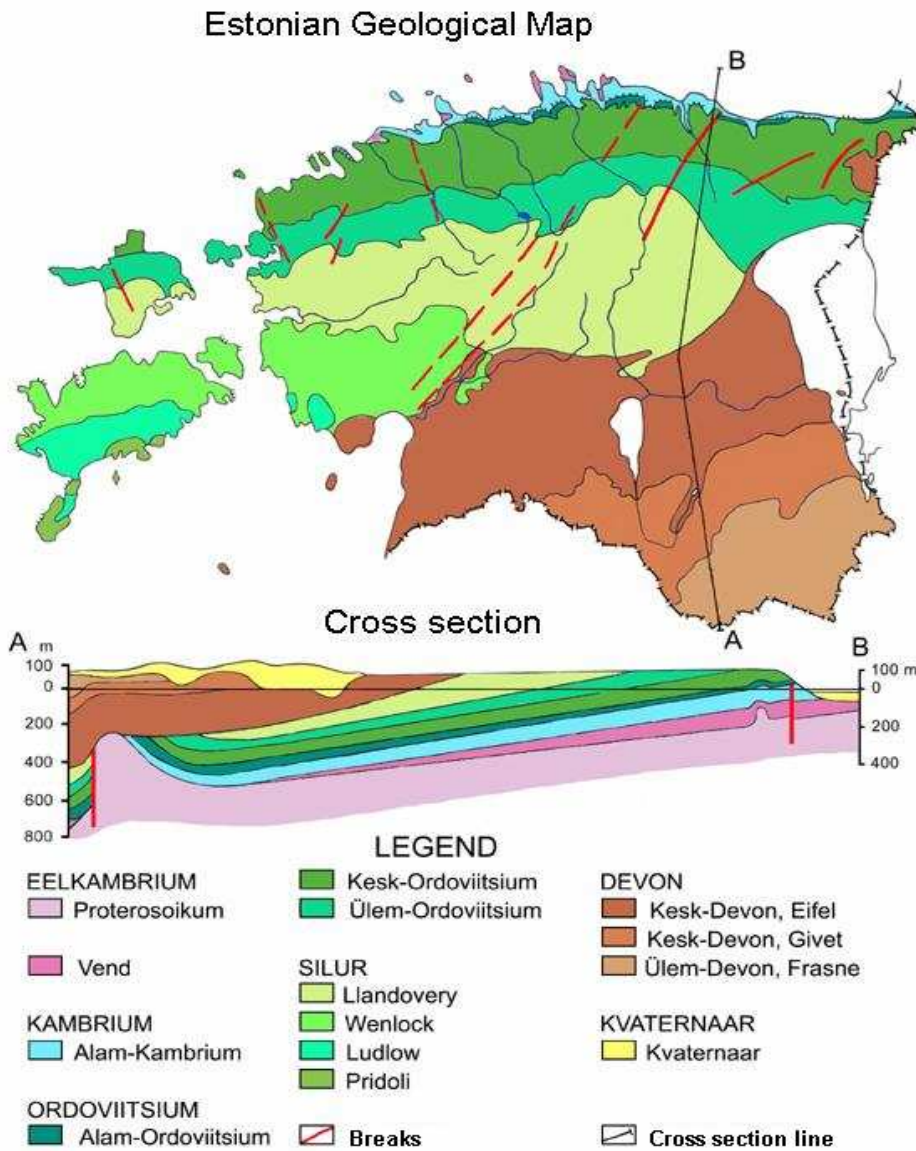
See geotermilise energia liik võib olla sobiv tööstuslikuks kasutamiseks võimaliku suure võimsuse tõttu. Veesooned sügavusel alla 100 m sisaldavad vett temperatuuriga ligikaudu 7-8°C. Sügavamad veesooned võivad anda rohkem võimsust, kuid veesoone temperatuur jääb peaaegu samaks.

Sellise tehnika kasutamise võimalus sõltub eksploateeritavate veeresursside olemasolust antud koha lähedal. Seda ressursi on settebasseinis üle kogu Eesti, sisaldades poorset settekivimit ja glatsiofluviaalseid setteid ja setteveesoone koos vee voogudega.

Keskkonnaalane seadusandlus nõuab vee tagasitoimetamist veesoonde peale tema temperatuuri muutmist. Erandiks on Kirde-Eesti kaevandustest väljapumbatav vesi.

Veesoonesüsteemide kasutatavust mõjutavad põhitegurid on:

- *Veesoone juhtivus*
- *Põhjavee temperatuur*
- *Põhjavee keemiline koostis*
- *Veesoone stabiilsus (määrab puuraugu konstruktsiooni)*
- *Puurimistingimused*
- *Keskkonnanõuded*



Kaart on koostatud suures osas Elmar Kala poolt Eesti Geoloogiakeskuses 1995. aastal koostatud kaardi põhjal.

Joonis 1 Eesti geoloogiline kaart

Kasutatav võimsus

Tagasisesestamise minimaalsed ja maksimaalsed temperatuurid on piiratud füüsikaliste ja seadusandlike kaalutlustega. Peamine piirav tegur on vee voluhulk, mis enamikul juhtudel ei tohi ületada 10-30 m³/h.

Saamaks soovitud võimsust, on võimalik kasutada mitut topeltpuurauk süsteemi või uurida sügavamaid veesooni.

Puurauk soojusenergiasalvesti (BTES)

Kui pole võimalik kasutada sobivat veesoont, võib kaaluda puurauk soojusenergiasalvesti süsteemi kasutamist. Installeeritavate puurauksoojusvahetite (BHES) arv sõltub peamiselt rakenduse võimsusest.

Pinnasega vahetatav võimsus sõltub pinnase tüübist oa on tavaliselt ligikaudu 4-5 kW 100 m BHE kohta.

Puurauk soojusenergiasalvesti süsteeme mõjutavad põhitegurid on:

- *Pinnase soojusjuhtivus*
- *Puutumatu pinnase temperatuur*
- *Puurimistingimused*

Eestis on kogemus ATES ja BTES kasutamisel piiratud

3.2. SÜSTEEMI KAVANDAMINE

Soojuse tootmiseks:

Soojuspumba väljundis saadav soojuslik võimsus = pinnasest saadud võimsus x 1,25

Külma tootmiseks:

Pinnasesse eemaldatud soojuslik võimsus = jahutusvõimsus soojuspumba väljundis x 1,25.

Pööratava süsteemi puhul, kus nii soojuse kui ka külma tootmine toimub geotermilise energia kasutamisega, on tavaliselt optimaalne geotermilise süsteemi dimensioneerimine küttevajaduse järgi.

3.3. BILANSS

Selles osas uuriti veesoone kasutamise võimalust. Sel juhul tuleb hinnata puuraukude teoreetilist sügavust (tuleb kõigepealt teha kindlaks, et antud sügavuses veesoone eksisteerib), ja topeltpuuraukude arv eelmises osas tehtud energiabilansi alusel.

Samal viisil, energiabilansi alusel, peab BHES-ide arv vastama BHES rakenduse võimsuse vajadusele.

4. TASUVUSAEG

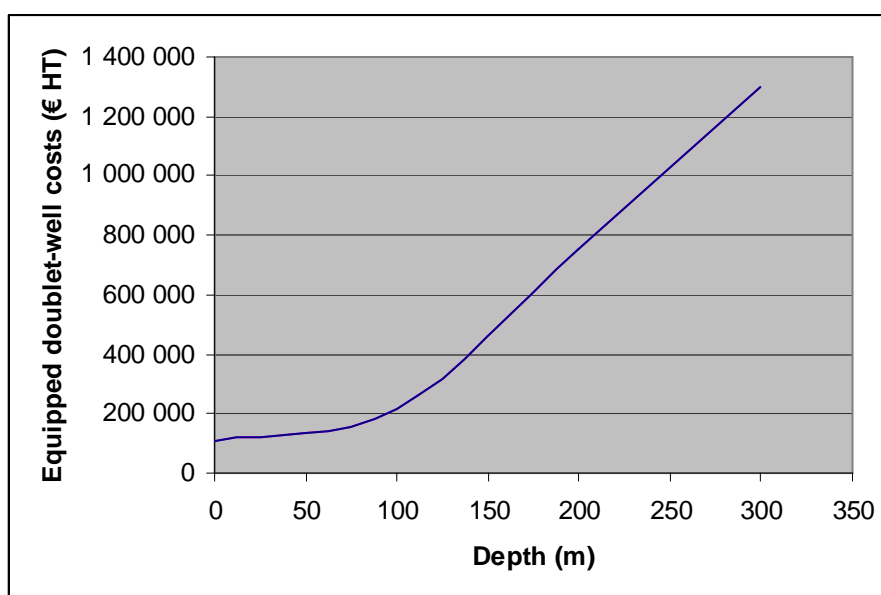
4.1. INVESTEERINGUKULUDE HINDAMINE

See lõik piiritleb reeglid, mida kasutatakse geotermilise süsteemi teostamise investeeringukulude hindamisel.

Kuna Eesti kohta andmed puuduvad, saab teha investeeringukulude ligikaudse hindamise toetudes teiste maade andmetele.

Joonis Fig. 3 esitab investeeringukulud topeltpuuraugu ehitamiseks Prantsusmaal. Eesti jaoks võiks hinda vähendada ligikaudu 20% odavamama tööjõu tõttu.

Veesoone ehituskulud



Joonis 2– Komplekteeritud topeltpuuraugu investeeringukulud

Soojuspumba maksumus

Soojuspumba paigaldamise maksumuseks hinnatakse tavaliselt 400-500 € /kW_{heat}.

Finantstoetus

Praegu ei ole riiklikku toetust saadaval, kuid olukord võib muutuda, kuna finantstoetuse paketid taaskasutuse jaoks on valitsusel päevakorras.

Teades nii kulusid kui ka subsiidiumide määra, saab hinnata geotermilise rakenduse investeeringukulusid.

Märkus: soovitatakse uurida mõlema geotermilise rakenduse tüübi (ATES ja BTES) elluviimise võimalusi, arvestamaks ökonoomsuse kriteeriumi.

4.2. EKSPLUATATSIOONIKULUDE HINNANG

Keskmiised kütuste hinnad on esitatud Tabelis 1.

| Energiakandja | Keskmine hind (€/ MWh) |
|----------------|------------------------|
| Gaas | 25 |
| Elekter | 65 |
| Kerge kütteõli | 50 |

Tabel 1– Keskmiised energiahinnad

Tavaline lahendus

Geotermilist energiat võrreldakse teiste võimalike lahendustega: olemasolevaga või sellisega, mida saaks teostada geotermilise rakenduse asemel.

Kui ei ole olemas kaugkütte-/kaugjahutusvõrke, on geotermilise rakenduse alternatiiviks tavaliselt õli, gaas või elektriküte koos heitsoojuse kasutamisega.

Geotermiline rakendus

Esimeses lähenduses ei võeta arvesse erinevust hooldus- ja remondikuludes mõlema lahenduse vahel. Neis tingimustes geotermilise rakendusega seotud kulud vastavad soojuspumba eksploatatsiooni kuludele.

Võib kasutada ligikaudset hinnangut soojuspumba (COP=4) elektritarbimise määramiseks:

$$\text{Elektri tarbimine soojuse tootmiseks} = \text{vajatav soojusenergia (kWh/a)} / 4$$

$$\text{Elektri tarbimine külma tootmiseks (kWh/a)} = \text{vajatav jahutusenergia (kWh/a)} / 3$$

Vahe mõlema lahenduse eksploatatsioonikuludes annab aastase energiasäästu (€/ a).

4.3. TASUVUSAJA HINDAMINE

Lihtne tasuvusaeg väljendub järgmise seosega:

$$\text{Tasuvusaeg (a)} = \text{geotermilise rakenduse investeeringukulud (€)} / \text{aastase energiasäästu väärtus (€ /a)}$$

Eeldatakse, et energiahinnad jäävad vaadeldava perioodi kestel konstantseks. Inflatsioonimäärade rakendamine neile lühendaks tasuvusaegu märgatavalt.

| | BTES – SP | ATES – SP |
|---------------------------------|--------------|-----------|
| Investeeringukulud (€/kW) | 1 000 –1 200 | 600 – 800 |
| Ekspluatatsioonikulud (€/kW, a) | 0 | 0 |
| Hoolduskulud (€/kW, a) | 0 | 0 - 30 |
| COP (-) | 4 | 4-5 |
| Energia hind (€/MWh) | 150 - 250 | 120 - 180 |
| Eluiga, maa-alune osa (a) | 40 - 100 | 20 - 100 |
| Eluiga, soojuspump (a) | 25 | 25 |
| Tasuvusaeg (a) | 5 - 10 | 5-10 |

Tabel 2– Eeldatavad majanduslikud näitajad geotermilistele rakendustele Eestis

Numbrid tabelis 2 kehtivad korrektselt kavandatud ja eksploateeritavate geotermilistele rakendustele. Ebaõige ehituse või eksploatatsiooni puhul võivad geotermilised energiasüsteemid osutuda kallimateks ja vähem efektiivseteks.

Samuti tuleb tähele panna, et tabeli 2 numbrid tavaliste geotermiliste rakenduste kohta on peamiselt tuletatud kommertshoonete ja büroode kütte ja jahutuse jaoks. Heitsoojuse taaskasutuse kohta ei ole seni piisavalt kogemusi üldiste järelduste tegemiseks.

4.4. KESKKONNAALASED KAALUTLUSED

Mõlema geotermilise ja võrdluslahenduse keskkonnamõju hinnatakse kasvuhoonegaaside emissiooni koguste järgi vastavalt kasutatavale energialiigile.

Kuna Eestis ligi 90% elektrist toodetakse madala efektiivsusega põlevkivikütel elektrijaamades, on CO₂ eriemissiooni väärtus suhteliselt kõrge. Kuid siiski võib olla eeliseid geotermilistel lahendustel võrreldes tavalistega. Pidades silmas elektrisüsteemi arengut tulevikus, suurenevad geotermilise energia eelised.

| Energia liik | Keskmine eriemissioon (g CO ₂ / kWh) |
|--------------|---|
| Gaas | 240 |
| Elekter | ~1200 |
| Kütteõli | 270 |

Tabel 3 – Kasvuhoonegaaside eriemissioonid

5. JÄRELDUSED

Järgides selles töös kirjeldatud etappe on võimalik saada esmane ettekujutus selliste rakenduste otstarbekusest Eestis kaasnevate investeeringute lihtsustatud hindamise alusel.

Geotermilise energia süsteemide kavandamisel on oluline soojusenergia vajadus. Parimad eeldused selliste süsteemide jaoks on:

- *Nii kütte kui ka jahutuse vajadus*
- *Küte ja jahutus on sesoonselt nihutatud*
- *Jaotustemperatuur kasutuseks kütteks on madal ja jahutuse jaoks kõrge*
- *Vajalik võimsus (kW) on madal võrreldes vajatava energiaga (kWh)*

Ilmselt vajavad üksikjuhtumid rohkem uuringuid kohapeal BTE; ATEs või BTES ehitamiseks.

Ekspert hinnangud jäävad oluliseks, hindamaks energiavajadust, määratlemaks geotermiliste lahenduste rakendamise võimalusi tööstuslikes tehnoloogilistes protsessides, maapinna geoloogilisi ja hüdrokeoloogilisi tingimusi, süsteemi valikut, seadusandlust jne.