



# Kohderyhmäkohtaisen geo-energiakoulutusmateriaalin muodostaminen

Niko Pihlanen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2021

Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

PIHLANEN, NIKO

Kohderyhmäkohtaisen geoenergiakoulutusmateriaalin muodostaminen

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Huhtikuu 2021

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kattava koulutusmateriaali Rototec Oy:n tulevaisuuden tarpeisiin kouluttaa osaajia niin yrityksen sisälle kuin ulkopuolelle. Tilaajayrityksessä olikin tunnistettu tuleva osaajapula varsinkin suurempien ja monimutkaisten järjestelmien asennus-, suunnittelu-, valvonta-, sekä ostopuolella. Tavoitteena oli tunnistaa eri kohderyhmien oppimistarpeet, tavoitteet ja miten koulutusmateriaali vastaa tarpeisiin.

Materiaalista tuli tehdä tarpeeksi laaja-alainen, jotta se soveltuisi eri kohderyhmille. Opinnäytetyön teon yhteydessä tunnistettiin eri koulutusmateriaalin kohderyhmät ja luotiin heille oppimistavoitteet sekä koulutusmateriaali. Luottamukselliset liitteet on poistettu julkisesta opinnäytetyöstä.

Opinnäytetyössä tehdyn tarkastelun yhteydessä liitteeksi tehty koulutusmateriaali kehittyi huomattavasti. Koulutusmateriaalille tehtiin myös suunnitelma, jolla materiaalia parannetaan lähivuosina. Tulevaisuudessa koulutusmateriaali tullaan kääntämään myös ruotsiksi ja norjaksi, sekä tarkastetaan faktat paikallisilla tiedoilla.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC Systems

PIHLANEN, NIKO:  
Group-Specific Geoenergy Training Material

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages  
April 2021

---

Geoenergy is being installed at an accelerating rate each year, and the need for experts will continue to increase in the future. In the commissioner company, Rototec Oy training material has not been done before. Thesis commissioner company has identified a future shortage of experts, especially in the installation, design and purchasing of larger and more complex systems.

The purpose of this thesis was to make training material for the needs of Rototec Oy to train experts inside and outside the company. The material had to be made extensive enough to be suitable for different target groups.

In the work, the target groups and their learning goals were identified, and corresponding educational materials created. The aim was to identify the learning needs and goals of different groups and assess how the training material meets them.

As the result, the target groups were identified, and the training material generated to match their need and goals. Furthermore, a plan to develop the training material was created. In the future, the training material will be translated into Swedish and Norwegian and the facts will be checked with local data.

---

Key words: geoenergy, training material

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	ROTOTEC OY .....	7
3	GEOENERGIA.....	8
3.1	Geoenergia Suomessa .....	9
3.1.1	Geoenergiajärjestelmän investointi & kannattavuus .....	10
3.1.2	Geoenergian päästövähennyspotentiaali .....	12
3.2	Geoenergia maailmalla .....	13
3.3	Geoenergian eri muodot .....	14
3.3.1	Maalämpö.....	15
3.3.2	Maaviilennys.....	16
3.3.3	Lämmön varastointi kallioperään .....	17
3.3.4	Syvä- ja keskisyvä geoenergia .....	19
3.3.5	Vaakakeruujärjestelmät .....	21
3.3.6	Avoimet geoenergiajärjestelmät .....	22
4	KOULUTUSMATERIAALI .....	24
4.1	Koulutusmateriaalin suuntaus .....	24
4.1.1	Suunnittelijat ja konsultit .....	25
4.1.2	Sijoittajat.....	26
4.1.2	Asentajat .....	27
4.1.3	Kuluttaja-asiakkaat .....	27
4.1.4	Huolto ja ylläpito organisaatiot.....	28
5	YHTEENVETO .....	29
	LÄHTEET .....	30
	LIITTEET .....	32
	Liite 1. Geoenergiakoulutusmateriaali (ei julkinen) .....	32
	Liite 2. Geoenergiajärjestelmän esiselvitys (ei julkinen).....	33

**LYHENTEET JA TERMIT**

EGS	Enhanced Geothermal System
SPF-luku	Seasonal Performance factor
Sulpu	Suomen lämpöpumppuyhdistys
TRT	Thermal response test
VJK	Vedenjäähdytyskone

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Rototec Oy:n kanssa. Lähtökohtana opinnäytetyössä on laajentaa kohderyhmien tietotaitoa geoenergian eri osa-alueista. Geoenergia on laaja käsite, josta on hyvin vähän tarjolla koulutusmateriaalia varsinkaan Suomessa. Työssä käydään läpi geoenergian teoriaa kohdentaen käsitteet kuitenkin Suomessa yleisesti käytössä oleviin metodeihin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tunnistaa erilaisien kohderyhmien yksilölliset oppimistavoitteet. Oppimistavoitteiden perusteella pystytään koostamaan koulutusmateriaali, jolla kohderyhmät voivat saavuttaa asetetut oppimistavoitteet. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään koulutusmateriaalin sisältöä, rakennetta, sekä esitystapaa. Jotta oppimistavoitteiden täyttymistä voidaan seurata, on luotava tapa todentaa oppiminen. Työn tutkimuskysymykset:

- Mitkä ovat geoenergiakoulutuksen eri kohderyhmät?
- Mitkä ovat kohderyhmien oppimistavoitteet?
- Millainen koulutusmateriaali vastaa kohderyhmien oppimistavoitteisiin?

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda kattava koulutusmateriaali, sekä sen esitys ja varmentamistapa. Lisäksi tavoitteena on, että jokainen, joka käy läpi koulutusmateriaalin oppimismielessä saavuttaa asetetut oppimistavoitteet. Koulutusmateriaalia tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään eri sidosryhmien koulutustarpeisiin ja niitä onkin kohdistettu eri kohderyhmiä ajatellen.

Tämä opinnäytetyössä koostuu geoenergian teoriaosuudesta, koulutusmateriaali osuudesta, sekä yhteenvedosta. Geoenergian teoriaosuudessa käydään esimerkiksi läpi eri hyödyntämismuotoja kuten maalämpöä, viilennystä sekä energian varastointia. Liitteenä oleva materiaali on kehitetty Rototec Oy:lle koulutusmateriaaliksi, jota voi myöhemmin jakaa alan muiden organisaatioiden kesken.

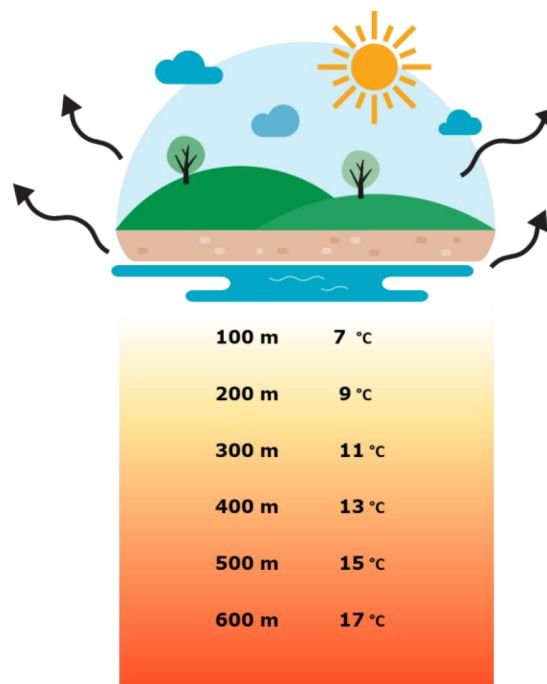
## 2 ROTOTEC OY

Rototec Oy on Suomessa vuonna 2007 perustettu geoenergia-alan ratkaisuja tarjoava yritys. Yritys on osa Rototec Group konsernia, johon kuuluu huhtikuussa 2021 operatiivisina yhtiöinä Rototec Oy, Rototec Ab, Rototec As, Konsulttitoimisto Enersys Oy, sekä Siv. Ing. Haga og Haugseth AS. Konsernin yhteenlaskettu liikevaihto vuonna 2019 oli noin 57 miljoonaa euroa. Yritys on laajentunut viime vuosina voimakkaasti, sekä yritysostojen että sisäisen kasvun kautta. Rototec Group työllistää suoraan yli 100 henkilöä ja välillisesti useita satoja. Rototec Group kouluttaa vuosittain satoja eri sidosryhmiin kuuluvia henkilöitä geoenergian perusteista, sekä detaljeista. Koulutusmateriaalia ei kuitenkaan aiemmin ole järjestelmällisesti tehty, jonka johdosta liitteenä oleva koulutusmateriaali tulee tarpeeseen. (Rototec)

### 3 GEOENERGIA

Geoenergia on auringon energiaa varastoituneena maaperään, sekä syvältä kalliosta tulevaa geotermistä lämpöä. Geoenergiaa hyödynnetään tyypillisesti Suomessa lämpöpumpun energialähteenä mutta on myös sovelluksia, joissa maaperää hyödynnetään suoraan kuten vapaaviilennys tai vapaalämmitys. Myös lämmön varastointi ja jäähdytys ovat nykyisellään yleisiä geoenergian hyödyntämisuotoja.

Tyypillisesti auringon säteily vaikuttaa muutamien sadan metrin syvyyteen ja loppu geoenergiasta koostuu syvältä maaperästä johtuvasta energiasta. Kuitenkin vuodenaikasta johtuvat lämpötilamuutokset vaikuttavat vain 10–15 metrin syvyyteen asti. Syvemmälle mentäessä myös kallioperän lämpötila kasvaa esimerkiksi KUVA 1 mukaisesti. (Svenskt Geoenergicentrum)



KUVA 1 Maan esimerkkilämpötilat eri syvyyksillä Suomessa (Rototec)



### 3.1 Geoenergia Suomessa

Geoenergian kasvaa Suomessa ilmastotavoitteiden johdosta sillä uusiutuvien energiamuotojen osuutta on lisättävä vauhdilla kiristyvien ilmastotavoitteiden johdosta. Geoenergia tarjoaa monia mahdollisuuksia uusiutuvan energian hyödyntämiseen, sillä geoenergiaa voidaan hyödyntää energian varastointiin, viilennykseen, lämmitykseen. Investoinnit lämpöpumppuihin on ollut voimakkaassa kasvussa koko 2000-luvun ajan, josta johtuu myös maalämmöllä tuotetun energian osuuden vahva kasvu kuten Taulukko 1 näkyy.

Taulukko 1 tilastokeskus, Rakennukset lämmitysmuodon mukaan 1970–2019 (tilastokeskus 5/2020)

Lämmitysaine	Vuosi						
	1970	1980	1990	2000	2010	2015	2019
Kaikki rakennukset	837 948	934 845	1 162 410	1 299 490	1 446 096	1 505 138	1 538 172
Kauko- /aluelämpö	..	48 538	105 608	130 946	164 721	180 749	200 817
Öljy, kaasu	320 171	347 498	306 750	320 934	322 279	316 688	300 239
Kivihilli, koksi	24 328	11 794	8 753	7 986	6 983	6 789	6 440
Sähkö	41 872	178 707	357 743	455 752	554 368	578 568	593 624
Puu, turve	429 467	327 230	321 342	292 763	277 553	278 661	272 249
Maalämpö	..	..	..	3 397	21 667	46 014	68 033
Muu, tuntematon 1)	22 111	20 578	62 214	87 486	98 525	97 669	96 770
%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Kauko- /aluelämpö	..	5,2	9,1	10,1	11,4	12,0	13,1
Öljy, kaasu	38,2	37,2	26,4	24,7	22,3	21,0	19,5
Kivihilli, koksi	2,9	1,3	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4
Sähkö	5,0	19,1	30,8	35,1	38,3	38,4	38,6
Puu, turve	51,3	35,0	27,6	22,5	19,2	18,5	17,7
Maalämpö	..	..	..	0,3	1,5	3,1	4,4
Muu, tuntematon 1)	2,6	2,2	5,4	6,7	6,8	6,5 <sup>1)</sup>	6,3

Sulpun tilastoista selviää, että suuret maalämpöratkaisut ovat olleet noususuhdanteessa lähivuosina. Taulukko 2 on esitetty sulpun tilasto, josta selviää että yli 10kW maalämpöjärjestelmiä vuonna 2015 asennettiin 2897 kappaletta.

Taulukko 2 Sulpu tilasto 2015 (Sulpu 2015)

Lämmönlähde	Lämmönjako	Vuosi	Mitoituslämpöteho (kW)					Yhteensä	Muutos %
			0-6	7-10	11-25	26-100	101-1000		
Ulkoilma	Vesi (UVLP)	2015	96	1818	677	113		2704	82,7 %
		2014	68	926	378	108		1480	
	Ilma (ILP)	2015	44058	715	230	24		45027	-14,8 %
		2014	51647	1045	114	16		52822	
Poistoilma	Vesi, ilma (PILP)	2015	1777	7	0	0		1784	1,0 %
		2014	1761	6	0	0		1767	
Maa, vesi, kallio	Vesi, ilma (MLP)	2015	2017	4296	2117	765	15	9210	-17,2 %
		2014	2064	6226	1950	867	18	11125	
Yhteensä		2015	47948	6836	3024	902	15	58725	-12,6 %
		2014	48392	8392	3426	981	20	67194	

Taulukko 3 selviää että vuonna 2020 asennettiin yli 10 kW maalämpöjärjestelmiä jo 4724 kappaletta tarkoittaen 63 % kasvua vuodesta 2015. Tilastoissa ei kuitenkaan näy niin sanotut räätälöidyt maalämpöratkaisut, sillä niitä Sulpu ei tilastoi. Räätälöidyillä maalämpöratkaisuilla tarkoitetaan esimerkiksi suuria kylmäkoneikkoja, joita voidaan hyödyntää tavallisen maalämpökoneen sijasta. Kokonaismäärissä mitattuna maalämpöä on asennettu vuonna 2020 vähemmän kuin vertailuvuonna 2015 mutta järjestelmien tehojen kasvun seurauksena tehoa on asennettu kokonaisuudessaan enemmän vuonna 2020.

Taulukko 3 Sulpu tilasto 2020 (Sulpu 2020)

Lämmönlähde	Lämmönjako	Vuosi	Mitoituslämpöteho (kW)					Yhteensä	Muutos %
			0-6	7-10	11-25	26-100	101-1000		
Ulkoilma	Vesi (IVLP)	2020	705	3 934	3 024	229		7 892	24,4 %
		2019	532	3 259	2 358	196		6 345	
	Ilma (ILP)	2020	78 217	3 467	425	79		82 188	4,0 %
		2019	75 796	2 573	581	83		79 033	
Poistoilma	Vesi, ilma (PILP)	2020	3 569					3 569	-7,0 %
		2019	3 839					3 839	
	Ilma (PILP)	2020						0	
		2019						0	
Maa, vesi, kallio	Vesi, ilma (MLP)	2020	1 947	1 973	3 582	1 125	17	8 644	-3,8 %
		2019	2 029	2 583	3 415	946	15	8 988	
Yhteensä		2020	84 438	9 374	7 031	1 433	17	102 293	4,2 %
		2019	82 196	8 415	6 354	1 225	15	98 205	

### 3.1.1 Geoenergiajärjestelmän investointi & kannattavuus

Geoenergiajärjestelmälle on tyypillistä verrattain iso investointi, mutta edulliset käyttökustannukset, koska laitteisto käyttää ilmaisenergiaa maaperästä ja vain osa kokonaislämmitysenergiasta tulee sähköstä. Julkisesta työstä salattu liite 2. sisältää esimerkin geoenergiajärjestelmän kannattavuuslaskennasta, jossa hyödynnetään lämmitystä ja viilennystä.

#### Geoenergiajärjestelmän investointiin vaikuttavat tekijät:

- Kohteen energian- ja tehonkulutukset
- Toimituslaajuus
- Valittu laitteisto, sekä suunnitteluratkaisut
- Pihamaan koko ja rakenne
- Laitteiston sijoitteluun tarvittava laitetila
- Suunnitellun järjestelmän tehonpeitto ja teho
- Mahdolliset putkireititykset jäähdytykselle ja lämmitykselle
- Mahdollisten sähköliittymien kasvatusten aiheuttamat kustannukset
- Valvonta, suunnittelu ja lupamaksut
- Muut yksilölliset tekijät, jotka vaikuttavat investointiin

#### Geoenergiajärjestelmän käyttökustannuksiin vaikuttavat tekijät:

- Hyötysuhde
- Sähköenergian ja sähkönsiirron hintamalli
- Huipputehona käytettävän energian hintamalli
- Lämmitystehon optimointi (teholeikkaukset, kysyntäjousto)
- Lämmitysenergian optimointi (olosuhdevalvonta ja -säätö, tarpeenmukaisuus, kysyntäjousto, energian kierrätys ja varastointi)

#### Geoenergiajärjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat tekijät:

- Geoenergiajärjestelmä
  - o Investointi
  - o Käyttökustannukset
  - o Huolto- ja ylläpitokustannukset
- Vaihtoehtoisen järjestelmän tai järjestelmien
  - o Vaihtoehtois- tai tulevat korjausinvestoinnit
  - o Jäähdytys ja lämmitys
- Mahdollinen rahoitus ja sen aiheuttamat kustannukset
  - o Rahoituksen ajanjakso
- Energianhintojen tuleva kehitys
- Investoinnin vaikutukset kiinteistön arvoon
- Mahdollinen hiilijalanjäljen pienenemisen arvo

### 3.1.2 Geoenergian päästövähennyspotentiaali

Geoenergian yleisimmän hyödyntämismuodon maalämmön päästöt olivat n. 39 kg CO<sub>2</sub>/MWh vuonna 2018 ja sähkön päästöjen laskun seurauksena myös maalämmön päästöt ovat vuodesta 2018 vähentyneet huomattavasti. Maalämpöjärjestelmän päästöihin vaikuttaa suuresti käytettävän lämpöpumppujärjestelmän SPF-luku, sekä osatehoisuus eli maalämpöpumpun tehon osuus kokonaistehontarpeesta.

SPF-luku kuvaa tarvittavan sähköenergian määrää suhteessa tuotettuun lämpöenergiaan sisältäen käyttöveden, sekä tilalämmityksen. Tyypillisesti SPF-luku eli kokonaishyötysuhde on sitä parempi mitä matalampi on tehtävän lämmitysveden lämpötila. Keskiarvopäästöt kulutetulla sähköenergialla ovat vähentyneet energiateollisuuden mukaan 48 % vuosien 2018–2020 välillä. Maalämpöjärjestelmän käyttämän sähkön päästöt ovat kuitenkin noin 16 % korkeammat kuin vuoden keskiarvon vertailuvuonna 2018, johtuen sähkönkäytön profiilin painottumisesta talviaikaan. (Oksanen J. 2020, energiateollisuus sähkötilasto)

Vertailtavan energiamuodon, kaukolämmön päästöt ovat myös laskeneet ja vuonna 2020 sen keskiarvolliset päästöt olivat 127 kgCO<sub>2</sub>/MWh. Kaukolämmön päästöjä vertailtaessa on kuitenkin hyvä huomioida, että päästöt vaihtelevat aluekohtaisesti toisin kuin sähköntuotannon päästöt. Fossiilisten polttoaineiden päästöt ovat valtioneuvoston rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmässä arvoitu olevan 260 kg CO<sub>2</sub>/MWh kuten Taulukko 4 näkyy. (Oksanen J. 2020)

Taulukko 4 Suomen sähkön ja lämmön päästökertoimien keskiarvallisesta kehittymisestä (Kuittinen M. 2019)

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 4 poiketen sähköenergian keskipäästö on ollut 2020 selvästi alle taulukoidun. (energiateollisuus sähkötilasto)

### 3.2 Geoenergia maailmalla

Maailmalla geoenergiaa hyödynnetään jo melko paljon. Esimerkiksi Kiinassa tuotetaan n. 123 TWh / v geoenergialla, joka vastaa noin kaksi kertaa Suomen lämmitysenergian tarvetta. Kuitenkin asukaslukuun suhteutettuna suurimmat geoenergiamaat ovat Islanti, Ruotsi, Suomi ja Norja. (Tilastokeskus asumisen energia, Geoenergicentrum statistik)

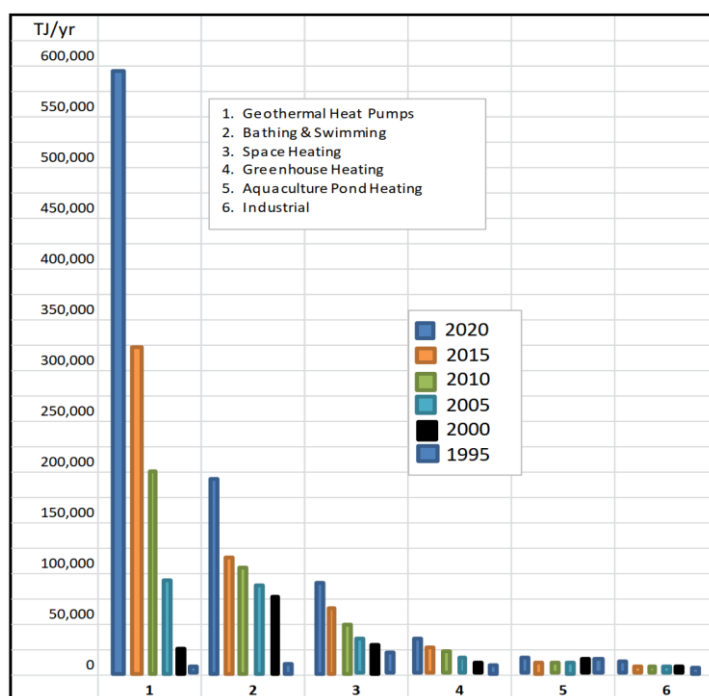
Eroja kärkimaiden geoenergian käyttötarkoituksissa on suuresti. Esimerkiksi Islannissa voidaan tuottaa sähköä turbiineilla geoenergialla saatavasta lämmöstä, kun taas Suomessa vastaava vaatisi useita kilometrejä syvempiä kaivoja johtuen alhaisemmasta kallioperän lämpötilasta. Taulukosta 5 selviää maailman johtavat geoenergiamaat suorassa geoenergian käytössä asukaslukuun suhteutettuna.

Taulukko 5, johtavat maat geoenergian tuottamisessa väestönlukuun suhteutettuna per 1000 henkilöä. (Geoenergicentrum statistik 2020)

MW/population		TJ/population	
Iceland	(7.00)	Iceland	(99.10)
Sweden	(0.67)	Sweden	(6.22)
Finland	(0.42)	Finland	(4.23)
Switzerland	(0.26)	Norway	(2.34)
Norway	(0.21)	New Zealand	(2.12)

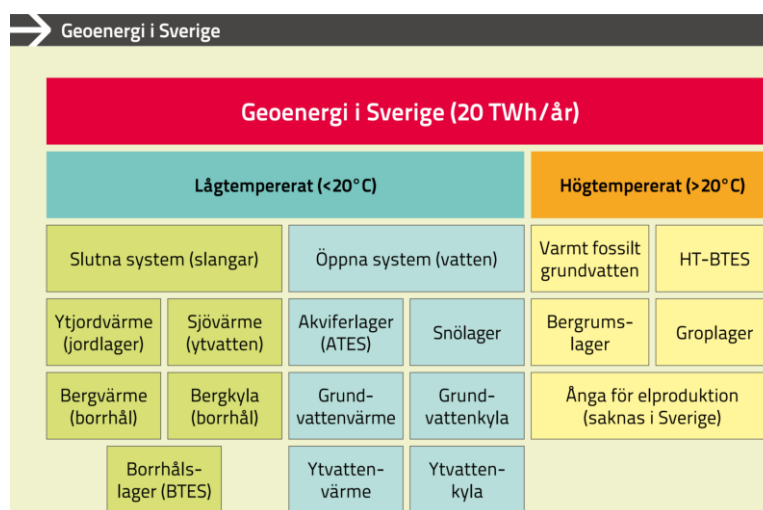
Kuten Taulukosta 6 näkyy, maalämpö maailmalla on lähes 23 kertaistunut kahdenkymmenen vuoden aikana maailmalla. Kiihtymistä on edistänyt tekniikan kehittyminen, sekä kiristyvät ilmastotavoitteet. Esimerkiksi EU alueen tulisi vähentää päästöjä vähintään 55 % 2030 mennessä 1990 tasosta. (EU Paris agreement)

Taulukko 6 Geoenergian kehittyminen maailmalla (geoenergicentrum statistik 2020)



### 3.3 Geoenergian eri muodot

Geoenergian hyödyntämismuotoja on maailmalla monia erilaisia, mutta tässä kappaleessa käsitellään Suomessa yleisimmin esiintyviä hyödyntämismuotoja. Kuvasta 2 selviää myös muita tuotantomuotoja, jotka löytyvät esimerkiksi Ruotsista.

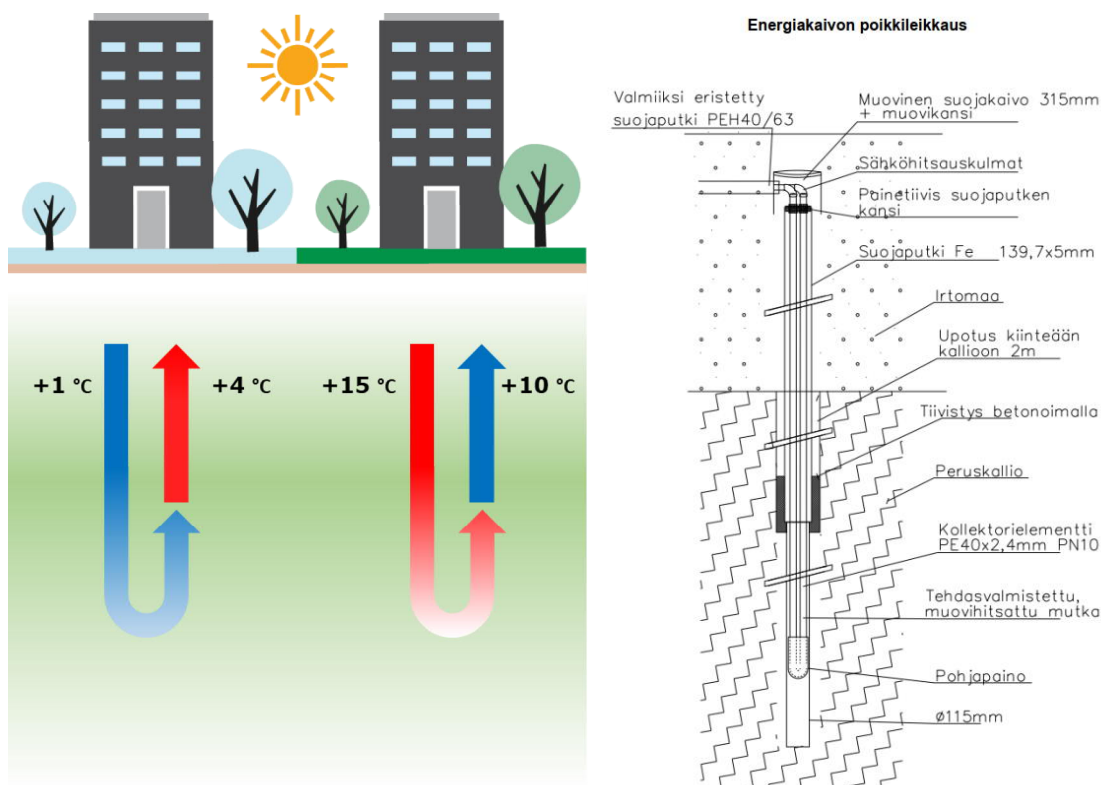


KUVA 2 Geoenergian eri muodot Ruotsissa (ruotsiksi) (Svenskt guide för geoenergi 2017)

### 3.3.1 Maalämpö

Maalämpö on Suomessa yleisesti käytetty geoenergian hyödyntämismuoto. Maalämmössä hyödynnetään kallioon varastoitunutta energiaa tyypillisesti keruuputkiston avustuksella.

Kuvasta 3 selviää maaperän eri lämpötilat lämmitys-, sekä jäähdytystilanteissa. Käytännössä energiakaivossa oleva keruuputki joko luovuttaa tai kerää lämpöenergiaa kalliosta. Kuvassa 4 on tyypillinen maalämpökaivon rakenne. Suojaputki hakataan pehmeänmaan osuudelle ja limitetään 2–6 m kiinteään kalliioon, jonka jälkeen kiinteän kallion ja suojaputken sauma tiivistetään esimerkiksi betonoimalla. Tämän jälkeen porataan energiakaivo tavoitesyvyyteen kiinteän kallion osuudelta ja lasketaan keruukollektori kaivoon. Lopuksi tehdään maankaivuu ja vaakaputkiston putkityöt rakennukseen sisälle.

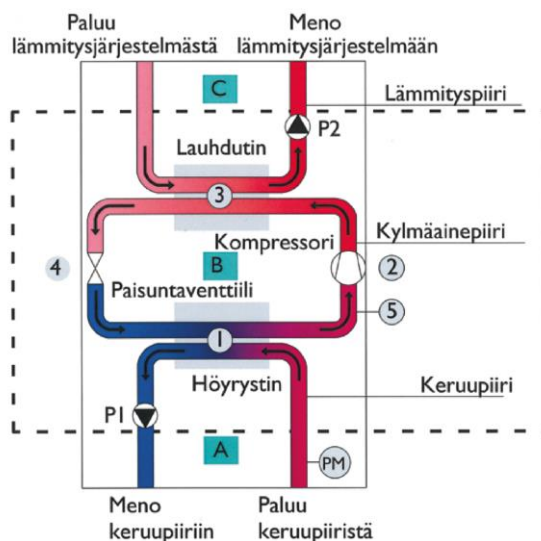


KUVA 3 vasen. Maalämmön ja maaviillennyksen toimintaperiaatteet (Rototec)

KUVA 4 oikea. Energiakaivon tyypillinen rakenne (Rototec)

Maalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen faasimuutokseen kylmäainepiirissä, joka on kuvattuna kuvassa 5. Keruupiiri kerää matalalämpöistä energiaa,

joka siirtyy höyrystimen välityksellä kylmäainepiiriin. Kylmäainepiirissä kompressor puristaa matalalämpöisen kylmäaineen korkeampaan paineeseen, joka tarkoittaa myös korkeampaa lämpötilaa. Kompressorin jälkeen tarpeellinen lämpötila luovutetaan lauhduttimen kautta lämmityslinjaan, josta lämpö ladataan tyypillisesti joko käyttövesi- tai lämmitysvaraajaan. Lauhduttimen jälkeen viilennyt kylmäaine kulkeutuu paisuntaventtiiliin, joka ruiskuttaa kylmäaineen pienempään paineeseen tarkoittaen samalla matalampaa lämpötilatasoa. (Jere Oksanen)



KUVA 5 Lämpöpumpun toimintaperiaate (Juvonen & Lapinniemi 2013)

Maalämpöpumppu tarvitsee kompressorin, sekä kiertovesipumppujen pyörittämiseen sähköenergiaa ja kokonaisuudessaan siitä kuuluu noin yksi kolmasosa viidesosaa tarvittavasta lämpöenergiasta. Maalämmön suuri etuus onkin vähäinen sähköenergian tarve verrattuna saatavaan lämmitysenergiaa. (Oksanen J. 2020)

### 3.3.2 Maaviilennys

Lämpötila 100–300 metriä syvissä energiakaivoissa on tyypillisesti Etelä-Suomessa noin 7–10 °C välillä. Tämä mahdollistaa hyvät mahdollisuudet hyödyntää viilennystä joko suoraan ns. vapaaviilennyksen avulla tai maalämpökoneikolla lämpötilatasoja laskien. (Oksanen J. 2020)



Tyypillisin maaviilennyksen hyödyntämismenetelmä on vapaaviilennys varsinkin pienemmän jäähdytystarpeen tapauksissa. Pienemmissä kiinteistöissä vapaaviilennys voidaan toteuttaa esimerkiksi johtamalla energiakaivoissa kiertävä keruuneste jäähdytyskonvektorille. Ohjaus tapahtuu moottoriventtiilin avustuksella, sekä jäähdytyskonvektorin puhallintehon säädöllä. Vapaaviilennyksessä ongelmaksi kuitenkin saattaa kuitenkin suurilla jäähdytystehoilla energiakaivon liiallinen lämpeneminen, jolloin myös tehonsaanti konvektorista heikkenee. Energiakaivon lämpeneminen on kuitenkin hyvä huomioida viilennyskonvektorin lämpötilatasoja ja tehoja mitoittaessa.

Toinen maaviileän hyödyntämistapa on esimerkiksi maalämpöpumpulla tuotettu koneellinen jäähdytys. Normaalissa jäähdytyssovelluksessa kompressorilla tuotetaan kylmää hyörystimelle, josta viilennyt neste johdetaan jäähdytysverkostoon. Kuuma lauhde taas tyypillisesti johdetaan ulkona oleva lauhdutinyksikölle, joka lauhduttaa lämmön ilmaan. Maaviileän toimintaperiaate on muutoin sama kuin normaalissa vedenjäähdyttimellä jäähdytyksessä, mutta ilmaan lauhduttamisen sijasta energia säilötään ensisijaisesti talteen lämmitysenergiavaraajiin. Varaajien ollessa lämpötilatasoltaan riittävän lämpimiä, voidaan ylimääräinen lämpöenergia siirtää energiakaivoon talteen lämmönvaihdinta hyödyntäen. Jäähdytykseen yleisesti käytettävien vedenjäähdytyskoneiden tapauksessa lämpöenergiaa lauhdutetaan ilmaan, jolloin energiaa ei saada hyötykäytettyä. Maaviilennyksen etu tyypillisesti tulee verrattain edullisesta lisäinvestoinnista maalämpöjärjestelmään jäähdytyksen saamiseksi ja energian uusiokäytöstä.

### **3.3.3 Lämmön varastointi kallioperään**

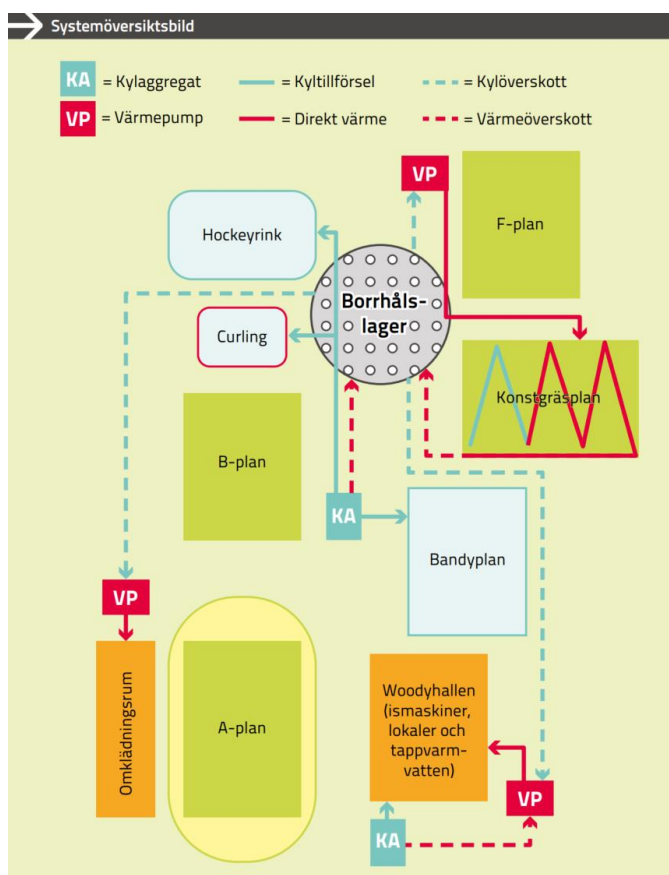
Maalämpökaivoihin voidaan varastoida sekä lämmitys että viilennys energiaa. Erilaisia hyödyntämisvaihtoehtoja on esimerkiksi:

- ATES Aquifer Thermal Energy Storage (pohjavesilämpövarastot)
- CTES Cavern Thermal Energy Storage (luolalämpövarasto)
- BTES Borehole Thermal Energy Storage (porareikälämpövarasto)
- DTES Thermal Energy Storage (putkitettu maalämpövarasto)

(RT lämpöenergian varastointi)

BTES eli Borehole Thermal Energy Storage on tyypillisesti energiakaivoista koostuva kaivokokonaisuus, johon ladataan tyypillisesti lämpöenergiaa. Esimerkkeinä BTES varastoista voitaisiin pitää esimerkiksi polttolaitoksen viereen asennettavaa lämpöenergiavarastoa. Polttolaitoksella (esim. jätteenpoltto) tuotetaan lämpöä, josta osa varastoidaan energiakaivokenttään talteen. Kaukolämpöverkoston huippukuorman aikaan energiakaivoista saataisiin käytettyä säästettyä lämpöenergiaa esimerkiksi lämpöpumpun lämmönlähteeksi, joka mahdollistaisi pienemmän jätteenpolttolaitoksen mitoituksen, sekä halvan energian huippukuormituksen aikaan. Vastaavia laitoksia on suunnitteilla niin Suomessa, Ruotsissa kuin Norjassakin esimerkkinä Norjaan suunnitteilla oleva Fortumin Furusetin voimalaitoksen BTES. Kuitenkin harva laitos on vielä toteutunut. Energiakaivoja voi myös regeneroida esimerkiksi jäähdytys tai hukkalämpöenergiaa kaivokenttään lataamalla. Regeneroinnilla eli lämmön lataamisella kallioperään saadaan vastavuoroisesti enemmän energiaa käytettäväksi talviaikana ilman että energiakaivon lämpötilat tippuvat liikaa. (RT lämpöenergian varastointi, Fortum furuset)

Kuvassa 6 esimerkki energiakaivovarastosta, joka on toiminnassa Ruotsin Backvallenissa. Kesäaikana tekonurmen pintaa jäähdytetään samalla ladataan lämpöenergiaa energiakaivoihin. Talvella taas tekonurmikenttä pidetään sulana lämpöpumpun ja energiakaivovaraston avulla. Energiakaivoihin myös ladataan lämpöpumppujen lauhde-energiaa, jota syntyy esimerkiksi ulkojäiden ja jäähallin jään jäähdyttämisestä. Energiakaivovarastoa hyödynnetään myös läheisen hallin tilalämmitykseen, käyttövedenvalmistukseen sekä jääkoneiden lauhteiden keräyksessä. (Svenskt guide för geoenergi)



KUVA 6 BTES energiavaraston periaatekuvasta Backvallenissa Ruotsissa (ruotsiksi) (Svenskt guide för geoenergi)

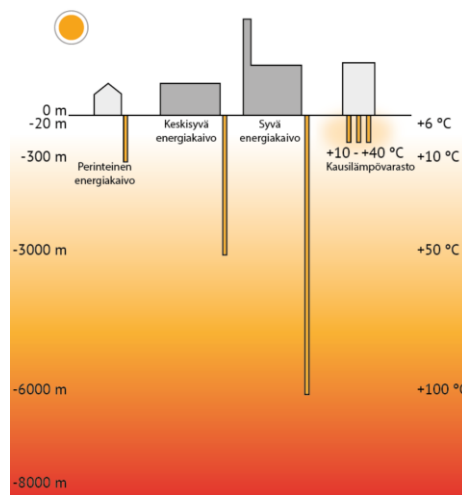
### 3.3.4 Syvä- ja keskisyvä geoenergia

Matalaa, keskisyvää ja syvää geoenergia voidaan luokitella seuraavasti:

- Matala geoenergia enintään 1000 metriä syvä
- Keskisyvä geoenergia enintään 1001-3000 metriä syvä
- Syvä geoenergia yli 3000 metriä

(Helsingin maalämpö ohje)

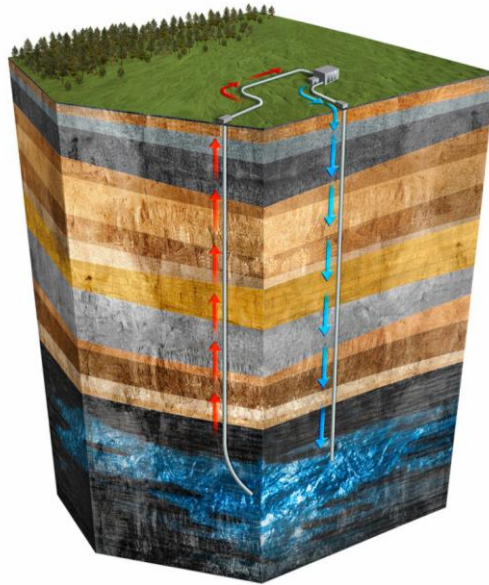
Käytännössä syvemmälle kallioon mennessä, saadaan lämpimämpää keruunestettä, joka selviää Kuva 7:ssä ja näin ollen myös lämpöpumpuille saadaan parempia hyötysuhteita. Huomionarvoista kuitenkin on, että maaperän lämpötila puutoa lämmityskäytössä ja syvä geoenergia ei sovellu yhtä hyvin lauhde-energian purkuun kuin matala geoenergia johtuen korkeammista lämpötilatasoista.



KUVA 7 Energiakaivon lämpötilat eri syvyyksissä (Rakennustietosäätiö 2020)

Suomessa on käynnissä useita pilotteja keskisyvästä geoenergiasta, sekä yksi pilotti syvästä geoenergiasta. Kuitenkin on huomioitava, että vain yksi laitos on varsinaisesti toiminnassa, vaikka useat järjestelmät ovat olleet rakenteilla jo vuosia.

Syvästä geoenergiasta esimerkki löytyy Espoosta ST1:n Deep Heat hankkeesta, jonka alkuperäisenä tavoitteena oli valmistua vuonna 2017. Kuitenkin kallioperän haasteiden vuoksi hankkeessa on yhä lämmöntuotanto aloittamatta kaukolämpöverkkoon. Hanke perustuu kahteen n. 6,4 km ja n. 6,1 km syvään energiakaivoon josta toisesta pumpataan vettä alas ja toisesta ylös. Jotta pumpattava vesi saadaan kiertämään kahden kaivon välillä, joudutaan kallionrakoja avaamaan kovalla paineella. Tekniikkaa kutsutaan EGS:ksi. Energiakaivosta on arvioitu saatavan tarpeeksi lämmintä energiaa kaukolämpöverkkoon, mutta kaivon jäähtyessä lämpöenergianoton seurauksena voidaan lämpöpumpun avulla lisätä hyödynnettävän energian lämpötilaa kaukolämpöverkkoon. Kuva 8 on ST1 Deep Heat hankkeesta, josta selviää veden pumppaus kallionrakoihin ja järjestelmän peruseriaate.



KUVA 8 ST1 Deep heat syväkaivon toimintaperiaate (Juuti P. 2019)

Keskisyviä geoenergiahankkeita on Suomessa työn alla myös esimerkiksi Mänttä-Vilppulan Kolhossa, jonka nykytilaa ei saatu selvitettyä alun uutisoinnin jälkeen. Espoon koskelossa on käyttöön otettu 1,3 km syvä energiakaivo, joka on käyttöön tammikuussa 2020 mutta julkista mittausdataa ei ole saatavana. Koskelon energiakaivossa on myös ollut haasteita seisomologian instituutin alustavan arvion mukaan kaivoon menevän veden hukkumisesta johtuvista kevyistä maanjärityksistä. Poraustöitä keskisyvistä energiakaivoista on Mänttä-Vilppulan lisäksi käynnissä Vantaan Energian voimalaitoksella. Käynnissä oleville ja valmistuneille hankkeille on myös myönnetty tukea menetelmien kehittämiseen. (Seisomologian instituutti 2020)

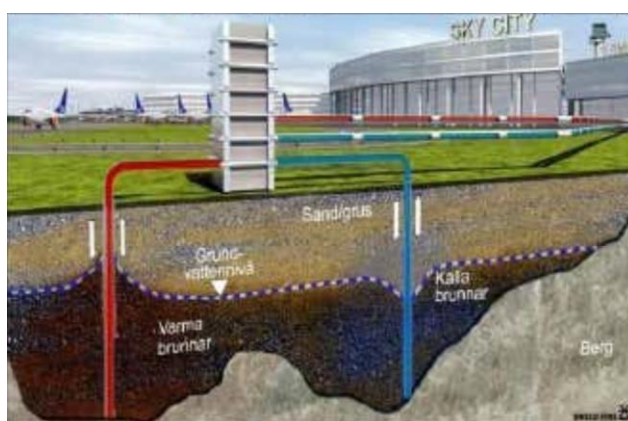
### 3.3.5 Vaakakeruujärjestelmät

Vaakakeruuputkistoja on ollut pidempään käytössä kuin energiakaivoista energiansa ottavia järjestelmiä johtuen niiden yksinkertaisesta toteutustavasta. Vaakakeruujärjestelmiin lukeutuvat tässä työssä esimerkiksi järveen asennettavat keraimet, sekä maan alla kulkevat vaakakeruuputkistot. Vaakaputkisto voidaan kaivaa pintamaahan ja näin ollen hyödyntämään auringon tuottamaa energiaa. Tyyppillisesti maassa kulkevat vaakakeruupiirit kulkevat noin metrin syvyydessä

maanpinnan alla, kosteassa maaperässä. Toinen vaihtoehto on painottaa keruuputkisto vesistön pohjaan, josta energiaa kerätään. Vesistöjen keruujärjestelmät vaativat kuitenkin vesilain mukaisen luvan. (Svenskt guide för geoenergi 2017)

### 3.3.6 Avoimet geoenergiajärjestelmät

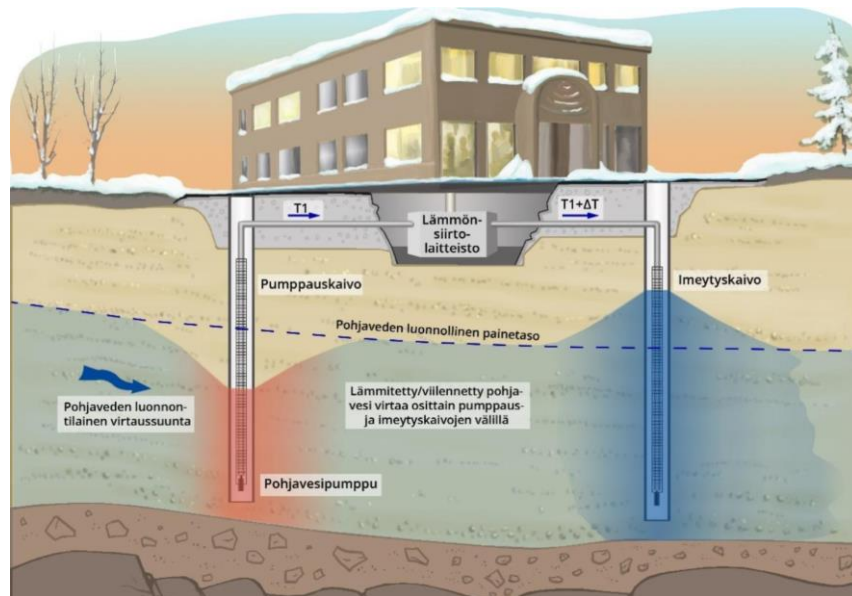
Avoimilla geoenergiajärjestelmillä tarkoitetaan järjestelmiä, joiden keruupiiri ei ole suljettu putkisto, vaan ne esimerkiksi ottavat vettä toisesta paikasta ja siirtävät sen toiseen paikkaan käyttäen hyödyksi veden energiasisällön. Kuvassa 9 on esitetty esimerkkikohde Arlandan lentokentältä, jossa lentokentän toisella puolella olevista energiakaivoista otetaan lämpöenergiaa eli käytännössä ladataan kaivoihin kylmäenergiaa. Toisella puolella lentokenttää vastavuoroisesti kaivoihin laitetaan lämmintä energiaa eli otetaan tarvittaessa kylmäenergiaa. Järjestelmää hyödynnetään lentokentän lämmitykseen ja jäähdytykseen. Alun perin kohteessa energiaa otettiin läheisestä vesistöstä mutta vesistön lämpenemisen seurauksien vuoksi energiaa päätettiin ottaa siiviläkaivoista avojärjestelmänä lämmönvaih-dinta hyödyntäen. (Svenskt guide för geoenergi 2017)



KUVA 9 avoin geoenergiajärjestelmä Arlandan lentokentällä Ruotsissa (AkviFER-lager Arlanda 2013)

Eräs tunnettu järjestelmä sijaitsee Renorin kiinteistössä Lahden askonalueella. Pohjavesi pumpataan 43 metrin syvyydestä lämmönvaihtimen läpi takaisin maaperän imeytyskaivoon. Välistä otetaan lämpö- ja viilennysenergiaa kiinteistöjen

tarpeisiin. Kuvassa 10 esimerkki Askon alueen pohjavesijärjestelmän toiminnasta. Muita tiettävästi käytössä olevia järjestelmiä on Kangasalla asuinkiinteistössä, sekä Orionin lääketehtaalla Turussa. (Renor askonalue)



KUVA 10 ATEs pohjavesivaraston hyödyntäminen (Arola, Kauppila, Vallin 2020)

Avoimet geoenergiajärjestelmät ovat Suomessa melko harvinaisia sillä järjestelmä tarvitsee onnistuakseen hyvät pohjavesivirtaukset. Myös lämmönvaihtimien likaantuminen on ollut haasteena avoimissa järjestelmissä.

## 4 KOULUTUSMATERIAALI

Koulutusmateriaali kattaa opiskelijan käyttämän oppimateriaalin, sekä kouluttajan käyttämän oppimateriaalin. Koulutusmateriaalilla voidaan tukea opiskelijan oppimista sekä onnistumista. Ideaalitilanteessa koulutusmateriaali räätälöidään tapauskohtaisesti käyttötarkoituksen, sekä yleisön mukaiseksi. Koulutusmateriaaleja on erilaisia, mutta niitä yhdistää oppilaan oppimisen tukeminen. Materiaalin tulisi sisältää opiskelijan oppimistavoitteiden mukaisia asioita. (Opetus ja kulttuuriministeriö 2018)

### 4.1 Koulutusmateriaalin suuntaus

Tässä opinnäytetyön koostetun koulutusmateriaalin tavoitteena on tutustuttaa lukija joihinkin seuraavista aiheista:

- Rototec
- Ympäristöpolitiikka & Energia
- Mitä geoenergia on?
- Jäähdytys
- Päästövähennys
- Geoenergiaprojektin vaiheet
- TRT
- Energiakaivokentän simulointi
- Poraaminen & Porauskalusto
- Keruuputkisto
- Suoruusporaus
- Detaljikuvat
- Huolto-ohje
- Esimerkkikohteet
- Järjestelmän seuranta

Koulutusmateriaali koostuu noin 110 diasta, joissa käsitellään erikseen oppimisen osa-alueita. Koska koulutusmateriaalin on kokonaisuudessaan laaja, sitä on tarkoitus räätälöidä kohderyhmäkohtaisesti. Räätälöinti tapahtuu tiettyjä osuuksia



poistaen, jolloin käsitellään vain kohderyhmän kannalta oleellisia asioita. Jokaiselle kohderyhmälle esitetään omat oppimistavoitteet, jotka on rajattu koulutusmateriaalista.

Kohderyhmät, jotka on tunnistettu:

- Suunnittelijat ja konsultit
- Sijoittajat
- Asentajat
- Kuluttaja-asiakkaat
- Huolto & ylläpito

Edellä mainittujen lisäksi koulutuksissa voi olla kohderyhmien ulkopuolisia henkilöitä tai kohderyhmien koulutuksia voidaan yhdistää. Koulutusmateriaalin esittelyssä voi myös olla ajallisia haasteita, jonka johdosta materiaalia voidaan tapauskohtaisesti typistää.

#### **4.1.1 Suunnittelijat ja konsultit**

Suunnittelijoilla ja konsulteilla tarkoitetaan erilaisia geoenergiajärjestelmiä suunnittelevia, valvovia ja konsultoivia tahoja. Suunnittelijat ja konsultit käsittää koulutusmateriaalin suuntauksen osalta myös oppilaitokset, joissa koulutetaan tulevaisuuden suunnittelijoita ja ammattiosaajia.

Suunnittelijoiden ja konsulttien oppimistavoitteeksi on tarkoitettu seuraavat aihealueet:

- Rototec
- Ympäristöpolitiikka & Energia
- Mitä geoenergia on?
- Jäähdytys
- Päästövähennys
- Projekti
- TRT - Thermal Response Test
- Energiakaivokentän simulointi
- Suorusporaus

- Detaljikuvat
- Esimerkkikohteet

Suunnitteluorganisaatioille ei ole tarpeellista käydä läpi esimerkiksi porauskaluston mittoja, poraamisen tarkkoja periaatteita tai vastaavia. Kuitenkin perusteet, sekä geoenergiaprojektille tyypilliset asiat tulisi tunnistaa. Suunnittelijoiden ja konsulttien tulee osata laaja-alaisesti alaa, jonka johdosta koulutusmateriaalia joko typistetään tai laajennetaan koulutusajan mukaan.

#### **4.1.2 Sijoittajat**

Sijoittajilla tarkoitetaan kaikkia geoenergiajärjestelmiä työkseen hankkivia tahoja. Näitä voi olla esimerkiksi ammattimaiset kiinteistösijoittajat tai rakennusliikkeet, jotka rakennuttavat geoenergiajärjestelmiä.

Sijoittajille oppimistavoitteeksi on tarkoitettu seuraavat aihealueet:

- Rototec
- Ympäristöpolitiikka & Energia
- Mitä geoenergia on?
- Jäähdytys
- Päästövähennys
- Geoenergiaprojektin vaiheet
- Esimerkkikohteet

Sijoittajille tärkeää on ymmärtää geoenergian perusteet, mahdollinen tuotto ja sen muodostuminen, sekä mitä on hyvä ottaa huomioon geoenergiaprojektissa. Myös ympäristöarvojen ja ympäristöpolitiikan mahdollinen kehitys on tärkeää ja niiden mahdolliset vaikutukset sisäistää.

#### **4.1.2 Asentajat**

Asentajilla käsitetään pääsääntöisesti vain keruuputkistoja asentavat henkilöt. Koulutusmateriaali ei sovellu lämpöpumppuja asentavilla tahoille koulutusmateriaaliksi. Asentajilla käsitetään myös energiakaivoja poraavat henkilöt.

Asentajien oppimistavoitteeksi on asetettu seuraavat aihealueet:

- Mitä geoenergia on?
- Geoenergiaprojektin vaiheet
- Poraaminen & Porauskalusto
- Keruuputkisto
- Suoruusporaus
- Detaljikuvat

Koulutusmateriaalin avulla voi kouluttaa vasta-alkeita asentajille, sekä täydentää koulutusta jo kauemmin energiakaivojen porausta tai asennusta tehneille. Käytännössä asentajien osuus on jaettu kahteen osaan, josta toinen koskee energiakaivoja poraavia henkilöitä ja toinen kohteessa energiakentän putkiasennuksia tekeviä henkilöitä.

#### **4.1.3 Kuluttaja-asiakkaat**

Kuluttaja-asiakkailla tarkoitetaan kaikkia tahoja, jotka hankkivat geoenergiajärjestelmiä yksityishenkilöinä. Kuluttaja-asiakas segmentti sisältää myös taloyhtiöt ja isännöitsijät.

Kuluttaja-asiakkaiden oppimistavoitteeksi on asetettu seuraavat aihealueet:

- Rototec
- Ympäristöpolitiikka & Energia
- Mitä geoenergia on?
- Jäähdytys
- Päästövähennys
- Geoenergiaprojektin vaiheet
- Poraaminen & Porauskalusto (perusteet)

- Järjestelmän seuranta
- Esimerkkikohteet

Kuluttaja-asiakkaille suunnattu osuus tullaan muodostamaan paljon yksinkertaisemmaksi kuin ammattilaisille suunnattu materiaali. Myös kaikkia osa-alueita tyypistetään ja asioita ei käydä läpi samassa mittakaavassa kuin muille. Kuluttajille tuodaan myös esimerkkejä enemmän käytännönläheisesti toteutuneiden esimerkkikohteiden kautta. Esimerkkikohteet valikoidaan mahdollisimman tarkasti vastaamaan kohdeyleisöä.

#### **4.1.4 Huolto ja ylläpito organisaatiot**

Koulutusmateriaalin teon yhteydessä huomattiin, ettei käytönaikaisille organisaatioille ole juurikaan pidetty koulutuksia aiemmin. Tulevaisuudessa järjestelmien lisääntyessä, myös ylläpitopalveluja tarjoaville tahoille tulee suurempi tarve, jonka johdosta koulutusmateriaaliin lisättiin materiaalia geoenergiajärjestelmien huollosta ja ylläpidosta. Materiaali käsittelee geoenergiajärjestelmän komponentteja ja niiden huollon tarvetta. Osio käsittelee myös oleellisia mittarointeja, joita geoenergiajärjestelmässä tulisi seurata toiminnan takaamiseksi.

Huolto-organisaatioiden oppimistavoitteeksi on asetettu seuraavat aihealueet:

- Mitä geoenergia on?
- Huolto ohjeistus
- Järjestelmän seuranta

Huolto ja ylläpidolle on tärkeää tunnistaa yleisimmät vikaantumis- ja huoltokohteet geoenergiajärjestelmässä. Koulutusmateriaalissa käydään myös läpi millä tavoin järjestelmää olisi hyvä seurata ja mitaroida.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tunnistettiin ja jaettiin koulutettavat eri kohderyhmiin. Myös opimistavoitteet ja niiden seurannalle kehitettiin onnistuneesti keinoja. Työssä myös kehitettiin lähtötietolomake koulutettavien vaihtelevien lähtötasojen vuoksi.

Koulutusmateriaalin tulisi olla tarpeeksi laaja-alaista, jotta se on muokattavissa yksinkertaisesti eri kohderyhmille. Koulutusmateriaalia tulee myös jatkossa kehittää pohjatiedon päivittyessä. Myös muihin Pohjoismaihin lanseerauksen yhteydessä faktatiedot tulee tarkastaa maakohtaisesti yhdessä paikallisen suunnitteluorganisaation kanssa.

Työssä käsitelty koulutusmateriaali sekä lähtötietolomake löytyvät liitteistä 1. Liite 2 on esimerkki esiselvityksestä. Liitteet ovat salattuja julkisesti opinnäytetyöstä. Koulutusmateriaali on koostettu käyttäen eri lähteitä, dataa ja käytäntöä. Koulutusmateriaalissa käsitellään asioita teorian kautta ja osaa teoreettisista oletuksista ei varmennettu käytännössä. Tulevaisuudessa kun tutkimusmenetelmät paranevat ja saadaan tutkimusprojekteja, voidaan näitä teoreettisia oletuksia todentaa käytännössä. Tällöin koulutusmateriaali tulisi päivittää ajantasaiseksi.

Opinnäytetyön kirjoittaja on viimeiset viisi vuotta työssään tutustunut Pohjoismaiseen, Kiinalaiseen, sekä eurooppalaiseen geoenergiaosaamiseen ja näiden kokemusten perusteella voi todeta, että pohjoismaissa osaaminen on kärkitasoa maailmassa. Alan suomenkielistä koulutusmateriaalia ei juurikaan ole saatavilla, joten suurin osa pätevistä osaajista onkin oppinut asiat pääsääntöisesti käytännön kautta. Geoenergian teoriaa tulisi sisällyttää jatkossa myös korkeakoulujen opintoihin, sillä alalla on jo havaittavissa krooninen pula varsinkin suurempien hankekokonaisuuksien osaajista.

## LÄHTEET

Akviferlager Arlanda. 2013 Andersson, &., Arvidsson, K., Djurberg, H. och Johansson, P-O. Akviferlager Arlanda – erfarenheter från de första årens drift samt förslag till effektivisering. Grundvattendagarna 2013. Julkaisu.

Arola, Kauppila, Vallin. 2020 GTK Pohjavesienergian hyödyntäminen – Turku Skanssin alue, Teppo Arola, Kauppila ja Sami Vallin. Selvitys.

Energiateollisuus ry. 4.2.2021. Energiavuosi 2020 sähkö. Tilasto. Luettu 7.4.2021. <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot>

EU Paris agreement. 2015 United nations. Julkaisu. Luettu 10.4.2021. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Geoenergicentrum statistik. Lund, W.J. and A.N. Toth. 2020. Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2020. Julkaisu.

Helsingin kaupunki. 2021. Helsinki maalämpö ohje. Ohje. Luettu 11.4.2021. <https://www.hel.fi/kaupunkiymparisto/fi/palvelut/palvelukuvaus?id=6453>

Juuti P. Yle 2019 Maan syvyyksien lämmöllä korvataan vielä kivihiiltä, uskoo Espoon koelaitoksen kanssa kamppaillut St1: "Oppirahat on maksettava". Uutinen. Luettu: 5.4.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-10954289>

Juvonen & Lapinniemi. 2013. Ympäristöministeriö Energiakaivo opas 2013. Ohje.

Kuittinen M. Ympäristöministeriö 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Julkaisu.

Mikroenergisystem på Furuset. Enova. Uutinen. Luettu 2.4.2021 <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/mikroenergisystem-pa-furuset/>

Oksanen, J. 2020. Geoenergian päästövähennyspotentiaali Suomessa : Tunti-kohtainen tarkastelu suurkohteissa. Tampereen yliopisto. Diplomityö.

Opetus ja kulttuuriministeriö. 2018. Opetus- ja kouluttusanasto. Julkaisu. Luettu 8.4.2021 <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160797/okm22.pdf>

Rakennustietosäätiö. 24.1.2020. Lämpöenergian kausivarastointi. Ohje.

Renor askonalue. 2018. Ainutlaatuinen pohjavesihanke askonalueella. Uutinen. Luettu 8.4.2021 <https://www.renor.fi/uutiset/2018/ainutlaatuinen-pohjavesi-hanke-askonalueella.html>

Sulpu 2020. Suomen lämpöpumpputilastot Vuosi 2020. Tilasto. Luettu: 8.4.2021

Sulpu 2015. Suomen lämpöpumpputilastot Vuosi 2015. Tilasto. Luettu: 8.4.2021

Svenskt geoenergicentrum. Så funkar geoenergi. Ohje. Luettu 5.4.2021.  
<https://geoenergicentrum.se/geoenergi-2/sa-funkar-geoenergi/>

Svenskt guide för geoenergi. 2017. Offentliga fastigheter. Julkaisu. Luettu: 1.4.2021

Seismologian instituutti. 3.12.2020. Kaksi maanjäristystä Espoon Koskelossa. Uutinen. Luettu: 10.4.2021. <https://www2.helsinki.fi/fi/node/100941>

Tilastokeskus 19.11.2020. Asumisen energiankulutus laski edelleen vuonna 2019. Tilasto. Luettu: 10.4.2021. [http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen\\_2019\\_2020-11-19\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tie_001_fi.html)

Tilastokeskus . 27.5.2020. Rakennukset lämmitysaineen mukaan 1970-2019 . Helsinki: Tilastokeskus. Tilasto. Luettu 4.4.2021  
[http://www.stat.fi/til/rakke/2019/rakke\\_2019\\_2020-05-27\\_tau\\_003\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2019/rakke_2019_2020-05-27_tau_003_fi.html)

## **LIITTEET**

Liite 1. Geoenergiakoulutusmateriaali (ei julkinen)



## Liite 2. Geoenergiajärjestelmän esiselvitys (ei julkinen)