

# TP2 Uudet teknologiat

# Sisällysluettelo

- Kaukolämmityksen kehittyminen
- Lämpöpumput kl-tuotannossa
- Lämpöpumput esimerkkejä
- Absorptiolämpöpumppu
- Absorptiolämpöpumppu, esimerkki
- Lämpövarastot
- Sähkökattila
- Aurinkoenergia
- Kysynnän ohjaus
- Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto

# Sisällysluettelo

- Kaukolämpöverkon optimointi
- Geolämpö
- Älykäs kaukolämpöverkko
- Pienydinvoima
- P2X
- P2P
- Hukka- ja ympäristölämpö
- Vesistö lämmönlähteenä
- Biokaasu
- Moottorivoimalaitos

# Kaukolämmityksen kehittyminen

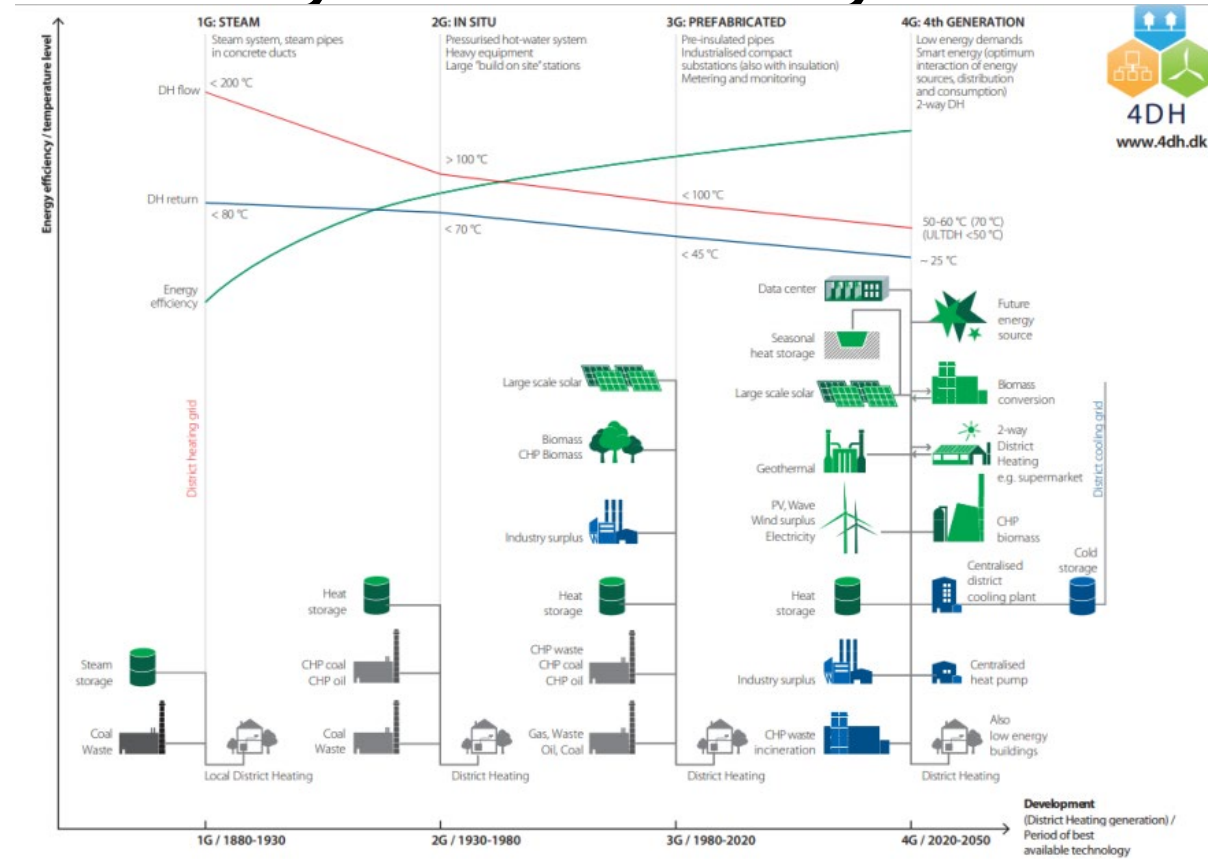


Figure 5: District heating technology evolution (source 4DH research centre, [www.4dh.eu](http://www.4dh.eu)) [6]

Kaukolämmityksen teknologian kehitys 1880-2050 [1]

# Kaukolämmityksen kehittyminen

- 1G kaukolämpöverkko: energian siirto höyryllä
  - 2G kaukolämpöverkko: vesi energian siirron väliaineena, CHP
  - 3G kaukolämpöverkko: tehdasvalmistetut kaukolämpöverkon osat (tehdasvalmisteiset kokonaisuudet), CHP biomassa
- ⇔ energiatehokkuuden kasvaminen

# Kaukolämmityksen kehittyminen

## 4G kaukolämpöverkko

- Kaukolämpöverkon lämpötilojen lasku
  - siirtohäviöiden pieneneminen
  - matalalämpöisten energianlähteiden kytkeminen kaukolämpöverkkoon helpottuu
    - ympäristö- ja hukkalämmöt
    - lämmön talteenotto savukaasuista paranee
    - uusiutuvat energiat; aurinkoenergia, geolämpö
  - kaukolämmön pumppaustarve pienenee, kun jäähtymä kasvaa
  - asiakkaiden liitälaitteiden ja järjestelmien kehitys sekä suositukset ja määräykset mahdollistamaan alemmat lämpötilat

# Kaukolämmityksen kehittyminen

## 4G kaukolämpöverkko

- Kaksisuuntainen kaukolämpöverkko
  - Asiakkaat voivat toimittaa ylimääräistä energiaa kaukolämpöverkkoon
- Tulevaisuuden lämmönlähteet
  - Esimerkiksi P2X, vetytalous, P2P
- Kaukolämmön ja kaukokylmän integraatio sähkö- ja kaasuverkkojen kanssa (sektori-integraatio)
- Älykäs kaukolämpöverkko, digitalisaatio, ns. kolmannet osapuolet palvelun tarjoajina, kaukolämpöyhtiöiden olosuhdepalvelut jne.
- Kaukolämpötoiminta perustuu vähähiilisiin ratkaisuihin

# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Lämpöpumpputyyppejä:
  - Mekaaniset lämpöpumput (sähkö)
  - Absorptiolämpöpumput (lämpö)
  - Absorptiolämpömuuntajat (lämpö)
  - Höyryn mekaaninen komprimointi (sähkö)
  - Termokompressorit (lämpö)  
(suluissa käyttöenergia)

Yleisin lämpöpumpputyyppi on mekaaninen kompressorilämpöpumppu [3]



# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Mekaanisilla lämpöpumpuilla saadaan tuotettua noin 85–90 °C vettä, niin että COP pysyy hyvänä (>3), kun lämmönlähteen lämpötila 20–30 °C
- Kalliimmilla kylmäaineilla päästään 115 °C lämpötilaan => investointikustannus kasvaa (monenako päivänä tarvitaan, kannattako lämpö tuottaa esim. sähkökattilalla?)
- Kuumalämpöpumput: esim. Calefan toimittamat lämpöpumput tuottavat 90–130 °C vettä, kun lämmönlähde 20–90 °C [3]

# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Lämmönlähteitä:
  - Luonnonvesien lämpö
  - Puhdistettujen jätevesivirtojen lämpö
  - Teollisuuden hukkalämmöt
  - Savukaasujen lämmöntalteenotto
  - Ilman lämpö
  - Jäähdytyksen tuotanto (kaukojäähdytys, datakeskukset)
  - Maalämpö [3]

# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Alkuinvestointeja pienentäviä tekijöitä
  - Lämmönlähde lähellä kuormia, siirtoputkien tarve minimoitu
  - Edullista tilaa käytettävissä
  - Tuotetun lämpö suoraan sopivaa kaukolämpöverkkoon tai priimauksen tarve pieni (onnistuu olemassa olevilla laitoksilla)
  - Hyvä sähköverkko; ei vahvistustarvetta pumppujen vuoksi
  - Järkevästi mitoitettu laitoskoko
  - Lämpöakku, joka on mitoitettu optimaalisesti
  - Mahdollisuus saada investointitukea [2]

# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Jatkuvaa kannattavuutta parantavia tekijöitä
  - Jatkuva, lämpötilaltaan soveltuva, saatavuudeltaan mahdollisimman tasainen lämmönlähde
  - Nollahintainen tai hinnaltaan negatiivinen lämmönlähde
  - Riittävän pitkä vuotuinen käyttöaika
  - Mahdollisuus tuotetun energian varastointiin
  - Mahdollisuus yhdistää kaukolämmön ja -jäähdytyksen tuotanto
  - Alhainen sähkön hinta ja siirtomaksut
  - Mahdollisuus osallistua säätösähkömarkkinoille
  - Positiivinen vaikutus peruslämpöä tuottavien voimalaitosten käyttöasteeseen ja hyötysuhteeseen [2]

# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Lämpöpumppujen hyötyjä
  - Kasvattaa uusiutuvan tuotannon osuutta lämmöntuotannossa ja usein vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä
  - Ei aiheuta paikallisia päästöjä
  - Mahdollistaa matalassa lämpötilassa olevien lämmönlähteiden hyödyntämisen
  - Laajentaa lämmöntuotantorakennetta ja suojaa markkinariskeiltä
  - Suojaa yksittäisiltä laiterikoilta
  - Suojaa sähkön hinnan vaihteluilta [2]
  - Lämpöpumput käynnistyvät nopeasti ja niillä voidaan ajaa joustavasti markkinatilanteen mukaan. [3]

# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Riskejä ja rajoitteita
  - Sähköverkon riittävyys
  - Tilanpuute (kaupunkien keskustat)
  - Lämpötilataso (talvella menovesi 110-120 °C, lämpöpumppulaitoksen maksimi 85-90°C) [2]
  - Lämpöpumppujen kannattavuuteen vaikuttaa sähkövero (veroluokka 1)

# Lämpöpumput kl-tuotannossa

- Lämpöpumpun avulla voidaan nostaa kaukolämmön menoveden lämpötilaa esimerkiksi verkoston latva-alueilla hyödyntämällä paluuveden sisältämää lämpöenergiaa.[46]
- Tavoitteena on säästää energiaa, kun koko verkoston lämpötilaa ei tarvitse nostaa korkeaksi. Tällöin latva-alueillekin saadaan riittävän lämmintä kaukolämpöä.[46]

# Lämpöpumput esimerkkejä

- **Laitos: Katri Vala on maailman suurin lämpöä ja jäähdytystä tuottava lämpöpumppulaitos [2]**
- Sijainti: Helsingin Sörnäinen, Katri Valan puiston alla
- Yhtiö: Helen Oy
- Käyttöönottovuosi: 2006
- Energialähde: Yhdyskunnan jäteveden ylijäämälämpö
- Teho: lämpöä 5x18 MW, jäähdytystä 5x12 MW Tuotanto: lämpöä 422 GWh/v. (5-7% kaukolämmön myynnistä), jäähdytystä 90 GWh/v. (70-75% jäähdytyksen myynnistä)
- Lämpöpumpputoimittaja: FriothermAG
- Energian varastointi: Lämpöakku ja jäähdytysakku [2]



# Lämpöpumput esimerkkejä

- **Laitos: Kakolan laitos tuottaa kaukolämpöä ja kaukojäähdytystä turkulaisille kiinteistöille [2]**
- Sijainti: Turun Kakola
- Yhtiö: TSE -Turun Seudun Energiantuotanto Oy
- Käyttöönottovuosi: 2009 ja 2013
- Energialähde: Yhdyskunnan jäteveden ylijäämälämpö
- Teho: lämpöä 2x20 MW, jäähdytystä 2x14 MW
- Tuotanto: lämpöä 302 GWh/v. ja jäähdytystä 30 GWh/v. vuonna 2015, (15-17% kaukolämmön myynnistä, 90% jäähdytyksestä) Lämpö
- pumpputoimittaja: FriothermAG
- Energian varastointi: Jäähdytysakku laitoksen yhteydessä (15 000 m<sup>3</sup>), lämpöakku verkolla (6 000 m<sup>3</sup>)
- Muuta: laitoksen yhteydessä on puhdistetun jäteveden varasto, joka takaa tasaisen vedensaannin

# Lämpöpumput esimerkkejä

- **Esplanadin lämpöpumppulaitos [4]**
- Vuonna 2018 käyttöön vihitty lämpöpumppulaitos vähentää Helenin hiilidioksidipäästöjä noin 20 000 tonnia vuodessa.
- Mitä: lämpöä ja jäähdytystä
- Mistä: kaukojäähdytyksen ja -lämmön paluuedestä sekä sähköstä
- Missä: Esplanadin puiston alla Helsingin keskustassa
- Milloin: 2018
- Kuinka paljon: 50 MW jäähdytystä ja 22 MW lämpöä

# Lämpöpumput esimerkkejä

- Oulun Energia Oy (16.9.2020): Karjasillan alueelle rakennettavan energiajärjestelmässä hyödynnetään lämmityskaudella kaukolämpöverkoston paluulinjan energiaa lämpöpumppujen avulla. [63]
- Oulun Energia Oy (16.9.2020): Samoilla lämpöpumpuilla tuotetaan kesäaikainen viilennysenergia, missä syntyvä lauhde-energia käytetään esimerkiksi alueen rakennusten lämpimän käyttöveden valmistamiseen. [63]

# Absorptiolämpöpumppu

- Käytössä hiljainen ja kestävä johtuen liikkuvien osien vähäisestä määrästä
- Lämpötilaa voidaan nostaa 30-65 °C:tta, COP 0,7-2
- Soveltuvat asennettavaksi matalalämpötilajärjestelmien yhteyteen, kun sähköenergian saatavuus on rajoitettua, toimintaa rajoittavat esimerkiksi melurajoitukset tai saatavilla on paljon hyödynnettäväksi sopivaa lämpöenergiaa [5]

# Absorptiolämpöpumppu, esimerkki

- **Ekokemin Riihimäen lämpöpumppu [2]**
- Laitos: Kaksi lämpöpumppua, jotka tehostavat Ekokemin Riihimäen voimalaitosten savukaasujen talteenottoa
- Sijainti: Ekokemin Riihimäen toimipaikka
- Yhtiö: Ekokem Oyj
- Käyttöönottovuosi: 2013
- Energialähde: Ekokemin voimalaitosten savukaasut ja kaukolämmön paluuvesi
- Teho: lämpöä 2x4,5 MW, jäähdytystä 2x2 MW
- Tuotanto: lämpöä 27 GWh/v (2-3% kaukolämmön myynnistä)
- Lämpöpumpputoimittaja: Carrier
- Energian varastointi: Ei akkuja
- Muuta: Lämpöpumput ovat absorptiolämpöpumppuja, jotka käyttävät pääasiassa kaasua sähkön sijaan

# Lämpövarastot

- Kaukolämpövaraston avulla kaikkea lämpöä ei tarvitse tuottaa ja kuluttaa samanaikaisesti. Voidaan välttää öljyllä tai kaasulla toimivien huippukuormalaitosten käynnistäminen kulutushuippujen aikana.
- Kaukolämpövaraston lataaminen lämpöpumpulla tai sähkökattilalla sähkön ollessa edullista esim. sähköntuotanto yli kysynnän tuulisen sään aikaan. [3]
- Lämpövarastona voidaan käyttää muusta käytöstä poistettua kallioluolaa tai louhia tarkoitusta varten sopiva luola. Muita varastointityyppejä ovat mm. säilöakut, kaivantovarastot, porareikävarastot ja pohjavesivarastot. [3]

# Lämpövarastot

- Turun Toriparkki
  - Kausi- ja aurinkolämpövarasto
  - Energiaa kerätään kesällä torin pinnasta kiveyksen alle asennettuun keräysputkistoon, joka kuljettaa auringon lämmittämää nestettä energiapaaluihin. Lämpö varastoidaan savimaahan keskimäärin 40 metrin syvyyteen.
  - Varaston täyden tehon saavuttaminen kestää arviolta viisi vuotta.
  - Teho 6,6 MW ja varastoitu energia 11,2 GWh [10]
  - Lämpöä hyödynnetään tilojen lämmitykseen ja liukkauden torjuntaan
  - Kytkentä myös Turku Energian kaukolämpöverkkoon. [11]
  - Otettu käyttöön 12/2020
  - Vuonna 2018 Työ- ja elinkeinoministeriö päätti myöntää 1,3 miljoonan euron investointiavustuksen aurinkoenergiaa varaavan akun rakentamiseksi torin alle. [26]

# Lämpövarastot

- Vantaan Energia VECTES-lämmön kausivarasto
  - Päävarasto 4 x 220 000 m<sup>3</sup> + paisuntakammio => 1 000 000 m<sup>3</sup>
  - Purkauskapasiteetti 200 MW
  - Varastointikapasiteetti 90 GWh
  - Varaston pohja 100 m syvyydessä, katto 50 m => pohjaveden paineen ansiosta varastoitu vesi voidaan lämmittää 140 °C:een.
  - Pitkän aikavälin energiatehokkuus noin 85%
  - KytKentä kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimilla
  - CO<sub>2</sub>-päästövähennys 26 000 tonnia vuodessa.
  - Kannattavuus perustuu siihen, että polttamisesta aiheutuvat kustannukset sekä päästöistä aiheutuvat lisäkulut jäävät toteutumatta. Lataus uusiutuvilla energianlähteillä tai hukkalämmöllä. Varastolla pystytään ratkomaan kausivaihtelun ongelmaa.
  - Suunniteltu käyttöönotto 2026, rahoituspäätökset 2022 [12]

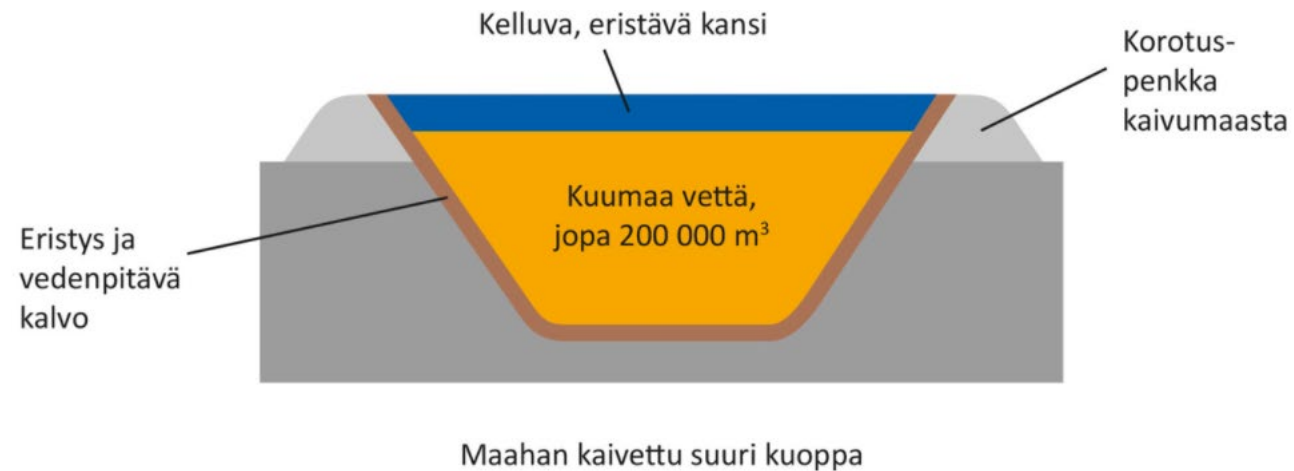


# Lämpövarastot

- Helen Oy Mustikkamaan kaukolämpövarasto
  - Vesitilavuus 260 000 m<sup>3</sup>
  - Lataus-/purkauskapasiteetti 120 MW
  - Varastointikapasiteetti 11,6 GWh [13]
  - Purkaminen noin 4 vuorokautta täydellä teholla.
  - Kytkeä kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimilla ( 5 kpl) Mahdollistaa hiilidioksidipäästöjen vähentämisen 21 000 tonnilla[14]
  - Sijoitettu vanhoihin öljyluoliin.
  - Lämpöluolassa olevan veden lämpötila vaihtelee jatkossa +45 ja +100 asteen välillä käyttötilanteen mukaan. [27]
  - Investoinnin arvo on noin 15 miljoonaa euroa, josta työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä uuden teknologian investointituki kattaa 2,1 miljoonaa euroa. [13]

# Lämpövarastot

- Esimerkiksi Tanskassa on rakennettu useita kausivaraajia, joissa maahan kaivetaan suuri kuoppa, se vuorataan eristävällä materiaalilla kuten kevytsoralla ja vedenpitävällä kalvolla. Päälle kelluva eristekansi ja varaaja on valmis. [15]



Kaivannevarasto, aurinkolämmönvarasto [15]

# Lämpövarastot

- Vojens Tanska
- Vesitilavuus 200 000 m<sup>3</sup> [61]
- Rakennettu vanhaan hiekkakuoppaan; 13 m syvä ja altaan ympärysmitta on 610 m.[61]
- Allas päällystetty muovivuorauksella [61]
- Kaksoisvuorattu kansi sisältää 60 cm LECA-sora eristekerroksen [61]
- Allasta ympäröivä maaperä kuivaa ja toimii lämpöeristeenä [62]
- Toimii yhdessä 70 000 m<sup>2</sup> suuruisen aurinkolämpökentän kanssa (kausivarasto) [62]

# Lämpövarastot

- Lappeenrannan Mustolan kaukolämpöverkossa Elstor Oy kokeilee suola-akkua, jonka tarkoituksena on tuottaa lämpöenergiaa vihreällä sähköllä ja varastoida ekoenergialla tuotettu lämpö akkuun. [45] [48]
- Suolaa lämmitetään ja sulatetaan sähkön ollessa edullista. Suola-akkuun varastoitunut lämpö hyödynnetään kaukolämpöverkostossa kulutuksen mukaan. [45]
- Lämpöakussa on kiinteää suolaa, jota lämmitetään noin 300 asteeseen. [77]
- Laskennallinen lämpöenergian varastokapasiteetti on 5 MWh [49]
- Suurin mahdollinen energiamäärä laitteen läpi vuorokaudessa on noin 15 MWh [49]
- Latausteho 0,75 MW sähkö [50]
- Purkuteho max 1,0 MW höyry/lämpö [50]
- Lataus ja purku toisistaan riippumattomia [50]

# Lämpövarastot

- Vatajankoski ja Polar Night Energy rakentavat lämpövaraston, jossa sähköenergiaa varastoidaan lämpönä hiekkaan. [60]
- Lämpövarasto sijoitetaan Vatajankosken voimalaitosalueelle [60]
- Lämmitysteho 100 kW [60]
- Kapasiteetti 8 MWh [60]
- Vatajankoski käyttää varastoitua lämpöä omistamiensa suurteholaskentakapasiteetin vuokraamiseen tarkoitettujen dataservereiden tuottaman hukkalämmön lämpötilan nostamiseen [60]
- Lämpö syötetään Kankaanpään kaukolämpöverkkoon [60]

# Lämpövarastot

- Polar Night Energy tutkimus energiavarastoista Tampereen Hietarantaan [76]:
- Hiekka-akun energiatiheys noin 0,1 MWh/m<sup>3</sup>
- Tutkitut akutilavuudet 31 000 m<sup>3</sup> ja 6 300 m<sup>3</sup>
- Hiekka lämmitetään yli 600 C asteeseen [76]

# Sähkökattila

- Elektrodikattila
  - Elektrodit upotetaan veteen, joka toimii vastuksena
  - Elektrodien korkeutta vedessä muuttamalla säädetään tehoa
  - Ensisijaisesti höyryn tuotantoa => lämmönvaihtimella lämpö kaukolämpöverkkoon
  - Vaatii kattilaveden käsittelyä (johtokyky, pH, happi)
  - Teho pienjännitteellä (esim. 690V) muutamia MW
  - Teho keskijännitteellä (6-36kV) kymmeniä MW [16]

# Sähkökattila

- Vastuskattila
  - Sähkö johdetaan vedessä olevien vastuselementtien läpi
  - Ei tarvitse erillistä vedenkäsittelyä, voidaan käyttää suoraan kaukolämpövetä
  - Yleisesti toimii 400/690V jännitetasolla ja teho muutamia MW [16]



# Sähkökattila

- Kaukolämmön tuotantoon käytettävät sähkökattilat ovat pääasiassa sähköveroluokassa I [18]
- Sähkövero 1.1.2021 alkaen veroluokka I 2,253 snt/kWh ja veroluokka II 0,063 snt/kWh (sis. huoltovarmuusmaksun) [17]
- Selvityksessä [18] suositellaan kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavien sähkökattiloiden siirtämistä alempaan veroluokkaan. Tätä tukee tarve varastoida yhä suuremmissä määrin uusiutuvilla energialähteillä tuotettua sähköä myös lämmöksi. [19]

# Sähkökattila

- Investointikustannuksiltaan edullinen verrattuna esim. öljykäyttöiseen lämpökeskukseen [16] Sähköliittymän hintaan vaikuttaa sähkökattilan teho.
- Käyttökustannuksiin vaikuttaa sähkövero, sähköenergian hinta ja sähkön siirron hinta
- Sähkökattilat ovat alhaisen tai negatiivisen sähkönhinnan aikana hyvä lämmön tuotantomuoto. [18]
- Sähkökattiloilla mahdollista osallistua säätösähkömarkkinoille (> 5MW). [20]
- Kannattavuuteen vaikuttaa kaukolämpöverkon rakenne ja käytettävät polttoaineet.
- Päästövähennykset käytettäessä uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua sähköä.

# Sähkökattila - Seinäjoki

- EPV Energia rakentaa kaukolämpöakun ja sähkökattilan Seinäjoen voimalaitosalueelle. [55]
- Tilavuudeltaan 10 000 m<sup>3</sup>:n kaukolämpöakkuun mahtuu energiaa 400 MWh. [55]
- Lataus- ja purkuteho on 40 MW. [55]
- Sähkökattilan teho on 40 MW. [55]
- Kattila liityntäjännite on 13,8 kV, suunnittelupaine 10 bar ja suunnittelulämpötil 184 °C [78]
- Sähkökattilan toimittaa Parat Halvorsen AS Norjasta [78]
- 50 000 tonnin CO<sub>2</sub>-päästövähennys. [55]
- Sähkökattilan ja lämpöakun rakentamiskustannukset ovat yhteensä noin 5 miljoonaa euroa. [55]
- Investointiin on myönnetty Business Finlandin energiatukea. [55]
- Hankeen tavoite on valmistua syksyllä 2022. [55]

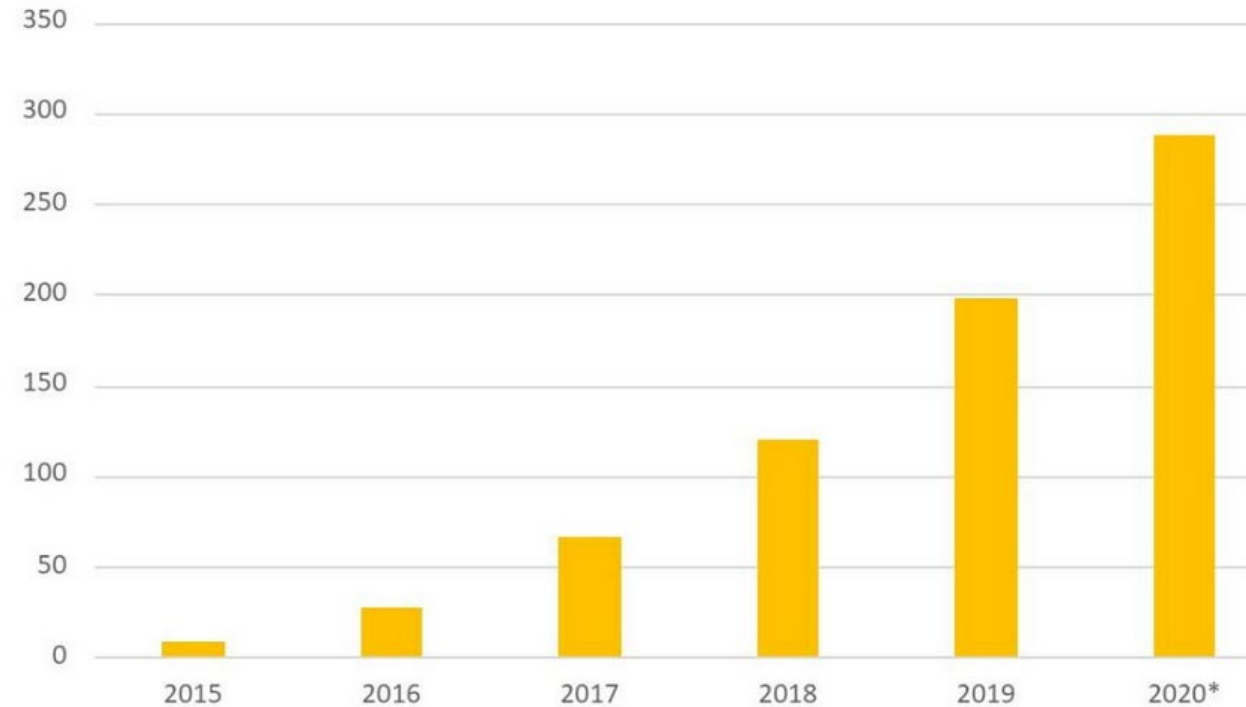
# Aurinkoenergia

- Vaihtelee Suomessa voimakkaasti vuodenaikojen mukaan
  - Kokonaissäteily Etelä-Suomessa Pohjois-Saksan luokkaa
  - Jyväskylässä 7 % ja Utsjoella 15% pienempi kuin Helsingissä [3]
- Kausivaihtelun vuoksi osaksi hybridijärjestelmää. Laajamittainen varastointi nostaa kustannuksia.

# Aurinkoenergia

- Aurinkosähkö
  - Energiavirastolle on ilmoitettu 4,6 MW edestä yli 1 MW:a suurempia aurinkosähkölaitoksia [21]
  - Järjestelmät, joiden nimellisteho on enintään 100 kVa tai vuosituotanto enintään 800 000 kWh, ja tuottaja kuluttaa sähkön siirtämättä sitä sähköverkkoon, ovat vapautettuja sähköverosta ja huoltovarmuusmaksusta [3] [22]
  - Esimerkiksi markettien katoille asennetut aurinkosähkölaitokset tuottavat eniten sähköä silloin kun jäähdytyksen tarve on suurin
  - Jos sähkö kulutetaan samassa kiinteistössä kuin tuotetaan, säästetään sähkön siirtomaksuissa. Tuotanto ja kulutus ovat sähköverkon liityntäpisteen samalla puolella.

# Aurinkoenergia



\*vuoden 2020 tiedot alustavia

Verkkoon liitetyn aurinkosähkön pientuotantokapasiteetti MW (< 1MW) [21]

# Aurinkoenergia

- Aurinkolämpö
  - Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää aktiivisesti aurinkokeräinten avulla. Tasokeräimissä ja tyhjiöputkikeräimissä lämpö otetaan talteen järjestelmässä kiertävään nesteeseen. [3]
  - Tyhjiöputkikeräimien hyötysuhde parempi mutta investointi kalliimpi
  - Aurinkolämpöä voidaan tuottaa keskitetysti kaukolämpöverkkoon tai kiinteistökohtaisesti (hajautetusti)
  - Huomioitava lämmön varastointi ja korvaava tuotanto
  - Lämmönkeräysjärjestelmä ei saa ylikuumentua ja kiehua => lämpö pitää pystyä siirtämään kulutukseen, varastoon tai järjestelmää on pystyttävä jäähdyttämään.

# Kysynnän ohjaus

- Kaukolämmön kysynnänohjaukseen on olemassa useita keinoja. Näitä ovat esimerkiksi ajallinen ohjaus, suora ohjaus, tariffi- ja hintaohjaus ja kysyntäjousto. [7]



# Kysynnän ohjaus

- Ajallinen ohjaus
  - Rakennusten lämpötilaa lasketaan silloin, kun rakennusta ei käytetä. Suomessa on palveluntarjoajia, jotka hyödyntävät data-analytiikkaa ja tekoälyä rakennuksen lämmönkäytön optimoinnissa. Kiinteistöjen lämmönkäytön optimointi hyödyttää myös kaukolämpöyhtiötä pienentämällä huippukuorman tarvetta. Ajallisen ohjauksen lämpötilan nostot voivat aiheuttaa kaukolämpöverkkoon kulutuspiikkejä vaikka saadaan aikaan energian säästöä. [7]

# Kysynnän ohjaus

- Suora ohjaus
  - Rakennusten lämpötilaa ei ole toistaiseksi suoraan säädetty lämmönmyyjän toimesta, vaikka kiinteistöjen ohjausjärjestelmät antaisivat siihen mahdollisuuden etenkin asuinkerrostaloissa ja liikekiinteistöissä. Tällöin voitaisiin välttää esimerkiksi huippukattiloiden käynnistyminen asiakkaan asumismukavuuden siitä juurikaan kärsimättä. Suoran ohjauksen käyttöönotto vaatii lämmön myyjän ja asiakkaan välistä sopimusta, jossa määritellään lämmön toimituksen rajoitukset ja katkaisut. [7]

# Kysynnän ohjaus

- Hintaohjaus
  - Käyttämällä erilaisia tariffeja voidaan ohjata loppukäyttäjän lämmön käyttöä. Tarkempi mittaus mahdollistaa monipuolisempien hinnoittelumallien käyttöönoton. [7]

# Kysynnän ohjaus

- Kysyntäjousto

- Kaukolämmön kulutuksen ja tehontarpeen ajoitusta muutetaan verrattuna tavanomaiseen lämmöntarpeeseen ilman, että asiakkaan kokema palvelun laatu heikkenee. [7]
- Vuonna 2015 kaukolämpöyhtiöt ovat arvioineet säästöpotentiaaliksi 1-3% (Valor Partners Oy, 2015) vuosikustannuksista. Teoreettiseksi pitkántähtäimen säästöksi on arvioitu järjestelmästä riippuen 5-25%. [7]
- Kysyntäjouston ilmastovaikutus on hyvin positiivinen. Lämmön kysyntäjoustolla voidaan optimoida tuotantokapasiteetin käyttöä, esimerkiksi vähentää öljyä polttavien huippulämpölaitosten käyttöä. [3]

# Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto

- Lämmitysjärjestelmää, jossa päälämmitysjärjestelmän (esim. kaukolämpö) rinnalla käytetään toista lämmitysjärjestelmää, kuten ilmalämpöpumppua tai aurinkokeräimiä kutsutaan usein hybridijärjestelmäksi. [7]
- Hybridiasiakkaiden tuottamaa lämpöä voidaan jossain tapauksissa syöttää myös kaukolämpöverkkoon, mikäli mm. lämpötilataso ja muut tekniset edellytykset täyttyvät. [7]
- Teknisten edellytysten lisäksi myös taloudellisten edellytysten tulisi täyttyä, jotta ylijäämälämpöjä voidaan syöttää verkkoon. [7]
- Lämpöliiketoiminnassa digitalisaatio voi mahdollistaa esimerkiksi asiakkaan oman lämmön tuotannon integroimisen osaksi kaukolämpöjärjestelmää. [7]

# Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto

- Osuuskauppa Arinan Kaukovainion S-market on liitetty lämmöntuottajaksi Oulun Energian kaukolämpöverkkoon. S-marketin CO<sub>2</sub>-kylmälaitteiston tuottamaa ylijäämäenergiaa syötetään kaukolämpöverkon menolinjaan. [64]
- Projekti on osa kokonaisuutta, jossa Kaukovainion keskukseen suunnitellaan ja tehdään rakennuskokonaisuus, jossa tuotetaan vähähiilistä aurinkoenergiaa ja hyödynnetään lämpöpumppujen avulla kaukolämpöverkon paluupuolen energiaa sekä kaupan kylmälaitteiden tuottoa. Myös kiinteistöjen jätevesiä ja ilmanvaihdon poistoilmaa pyritään hyödyntämään kiinteistöjen lämmöntuotannossa. [64]
- Kaukovainion hankkeen ratkaisussa pyritään siihen, että ne voitaisiin ottaa käyttöön myös muissa kaukolämpökohteissa. [64]

# Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto

- Asunto-osakeyhtiö Tampereen Pohjolankatu 18–20
  - Tuottamaansa lämpöenergiaa taloyhtiö alkoi myydä kaukolämpöyhtiö Tampereen Sähkölaitokselle vuoden 2018 huhtikuussa (kaksisuuntainen kaukolämpö). [73]
  - Arvio 2019 myynnistä 170 MWh [73]
  - Lämmityksen ja sähkönkulutuksen laskennalliset päästöt ovat laskeneet vuoden 2010 runsaasta 140 hiilidioksiditonista vuoden 2019 negatiiviseen -24 hiilidioksiditonniin [73]

# Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto

- Asunto-osakeyhtiö Tampereen Pohjolankatu 18–20
  - valmistunut vuonna 1980 [73]
  - Talossa on 54 asuinhuoneistoa sekä yksikerroksinen liikehuoneistosiiپی [73]
  - Rakennuksen kerrosala on 4 117 neliometriä ja tilavuus 14 335 kuutiometriä. Oman tontin pinta-ala on 3 431 neliometriä. [73]
  - Taloyhtiö on lämpöenergian osalta hiilinegatiivinen. [73]
  - Energiaremontit tehty 2014–2017. Nämä + huoneistokohtainen viilennys maksanut 650 000 euroa. Osaan investointeja EU-GUGLE -tukea, yhteensä 205 850 euroa. [73]



# Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto

- Asunto-osakeyhtiö Tampereen Pohjolankatu 18–20
  - Vuonna 2014 toteutettiin lämmön talteenotto poistoilmasta, uudet kaukolämmön lämmönvaihtimet, aurinkokeräimet katolle, uudet ulko-ovet ja uudet ovet kahdeksaan autotalliin, 50 mm:n lämmöneristys ensimmäisessä kerroksessa olevien autotallien kattoihin, uudet ikkunat liikeseipeen, hidaslatauspisteet neljälle sähköautolle, led-valaistus liiketunnistimin porraskäytäviin ja autokatokseen sekä vakiopaineventtiilit kaikkiin hanoihin. [73]

# Kiinteistökohtainen lämmöntuotanto

- Asunto-osakeyhtiö Tampereen Pohjolankatu 18–20
  - Vuonna 2017 toteutettiin maalämpöjärjestelmä ja maaviilennys, lämmön talteenotto jätevedestä, varalämmönlähteenä toimiva sähkökattila, aurinkopaneelit ja kaksisuuntainen kaukolämpö. Lisäksi uusittiin sähköpääkeskus (125A => 185A), jossa on varaus sähköautojen pikalatauspisteille. [73]
  - Viisi 300 metrin lämpökaivoa omalle tontille. [73]

# Kaukolämpöverkon optimointi

- Kaukolämpöverkkojen lämpötilatason laskeminen
  - Kaukolämpöverkkoon syötetään lämmityskaudella tyypillisesti vähintään noin 75–95 °C-asteista vettä
  - Laskemalla kaukolämmön lämpötilatasoa kaukolämmöstä tulisi yhteensopivampi hukkalämmön ja muiden matalalämpötilaisten lämmönlähteiden kanssa. [25]
  - Mitä matalampi paluulämpötila on, sitä paremmalla hyötysuhteella lämpöä voidaan tuottaa. Paluulämpötilaan vaikuttaa erityisesti asiakaslaitteiden aiheuttama jäähtymä. [25]

# Kaukolämpöverkon optimointi

- Kaukolämpöverkkojen lämpötilatason laskeminen
  - Lämpöhäviöt ovat tyypillisesti noin 10 % tuotetusta lämmöstä. Jos menolämpötilaa laskettaisiin 10 °C:sta, niin lämpöhäviöt laskisivat lähes 10 %:lla, jolloin lämpöhäviöiden osuus tuotetusta lämmöstä laskisi noin prosentilla. [25]
  - Lämpötilatason pudottamista voi rajoittaa kaukolämpöverkon siirtokapasiteetti, jolloin kaukolämpöveden virtausta ei voi nostaa, jos menolämpötilaa laskettaisiin. Useimmissa tapauksissa lämpötilatason laskemista rajoittaa kuitenkin asiakaslaitteiden mitoitus ja jäähtymä. [25]
  - Tämän hetkinen asiakkaiden mitoituslämpötila on 115 °C. AFRY:n arvion mukaan lämmönjakokeskusten hankinta kustannukset nousisivat noin 5 %, jos mitoituslämpötilaa laskettaisiin alle 100 °C:n. [25]
  - Esimerkiksi Turun kaupunginosassa Skanssissa operoidaan paikallista aluelämpöverkkoa vuoden ympäri menolämpötilalla 65 °C. [25]

# Geolämpö

- Geoterminen lämpö (tai geoterminen energia) tarkoittaa syvälle maakuoreen varastoitunutta lämpöä. Tämä lämpö on maapallon ytimestä johtuvaa lämpöä, sekä maankuoren radioaktiivisten isotooppien hajoamisesta ja maan ytimen rajalla tapahtuvasta mineraalien faasimuutoksesta syntyvää lämpöä, jota johtuu myös lähelle maanpintaa.[3]
- Lämpötilan on todettu kasvavan mentäessä maanpintaa syvemmälle, ja Suomessa lämpötila kasvaa syvemmälle mentäessä noin 18 celsiusastetta kilometriä kohden. [28]
- Keskisyvä geoterminen lämpökaivo
  - Deep Geothermal Single Well, DGSW
  - Yltää 1-3 km syvälle
  - Kaivoon asennetaan koaksiaaliputki
  - Kaivoon pumpattu vesi kiertää yhdessä kaivossa
    - Ei erityisiä vaatimuksia maaperälle
    - Ei maaperän stimulointia eli säröytystä
- Veden lämpötila kahden kilometrin syvyydessä on noin 40 astetta. Veden lämpötilaa joudutaan nostamaan lämpöpumpulla. Keskisyvä geolämpökaivo lämmittää muutaman kerrostalon.[30]

# Geolämpö

- Syvä geoterminen poraus
  - Suomen kallioperän ominaisuuksilla 5-7 km syviä kaivoja
  - EGS = "Enhanced (tai Engineered) Geothermal System"
    - Perustuu kahteen porakaivoon, joiden välille on synnytetty kallioperässä tapahtuva vesivirtaus
    - Jotta vesivirtaus on mahdollinen, joudutaan kallioperän rakovyöhykkeitä avaamaan paineistetun veden avulla = säröytys tai stimulointi.
    - Lähialueilla voi esiintyä maanjäristyksiä. [28]
  - Syvälämpökaivoja kehitetään myös Single Well -toteutustavalla (vrt keskisyvät kaivot).
    - Yhden kaivon järjestelmässä virtaus ja tuleva teho tiedetään tarkemmin kuin EGS:ssä. Lisäksi säröytystä ei tarvita. [30]
  - Tavoitteena, että syvästä kaivosta saatavan veden lämpötila (100-120 °C) riittää suoraan kaukolämmön tuotantoon. Lämpöä riittää kaupunginosan lämmittämiseen.[30]

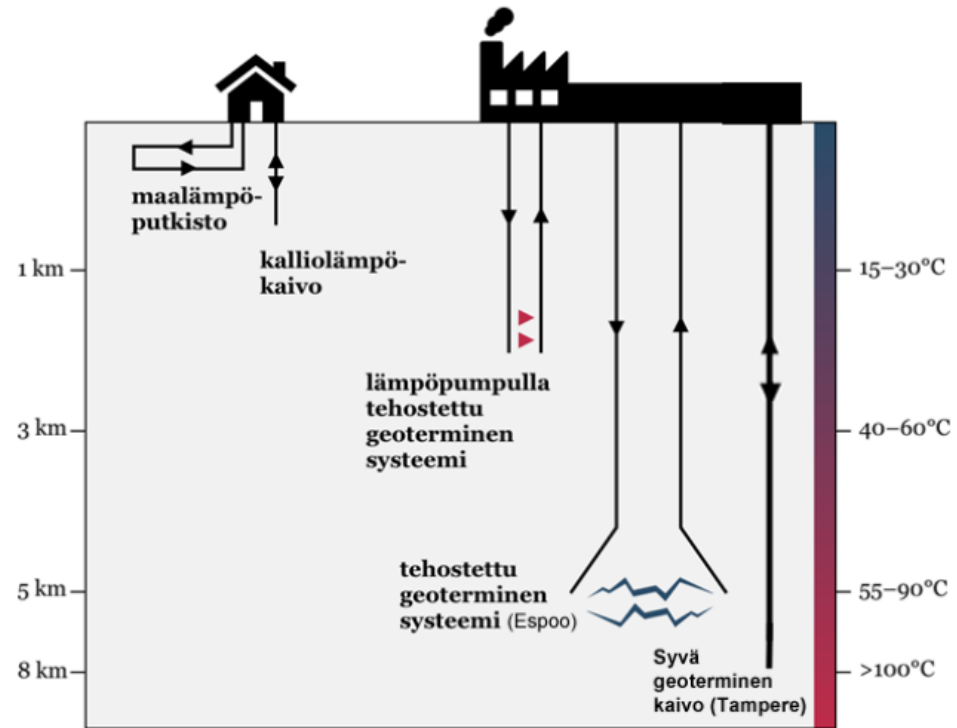
# Geolämpö

- Maalämpö on maan pintakerrokseen (tai veteen) imeytynyttä auringon energiaa.[29]
- Maalämpöä saadaan noin 200–300 metrin syvyydestä ja sitä riittää yhden omakotitalon tarpeisiin. Maaperän lämmittämän veden lämpötilaa joudutaan nostamaan lämpöpumpulla.[30]



KAMK • University  
of Applied Sciences

# Geolämpö



Lähde: Seismologian Instituutti  
ja Tampereen Sähkölaitos

Geotermistä energiaa eri syvyyksistä [30]



# Geolämpö

- Haasteita Suomessa:
  - tuotannon potentiaalia ei vielä tunneta
  - taloudelliset riskit
  - teknologiset riskit
  - kustannusten vaikea ennakoitavuus

# Geolämpö - Tampere

- Geolämmön tutkimuskaivo, joka sijaitsee Tammervoiman hyötyvoimalaitoksen vieressä [31] (Tarastenjärvi)
- Demonstraatiolaitos tuottaa tietoa: [31]
  - geolämmön potentiaali
  - sopiva porausnopeus
  - energian optimaalinen ottamistapa syvästä kaivosta
  - geolämmön kustannukset muihin uusiutuviin tuotantotapoihin verrattuna
  - millä teholla kaivoa voidaan hyödyntää niin, ettei se jäähy liian nopeasti
- Yhden kaivon arkkitehtuuri (DSGW, Deep Geothermal Single Well)
- Etelä-Suomessa pitää porata 6–8 kilometrin syvyyteen asti suoraan lämpötilavaatimukset täyttävän priimakaukolämmön tuottamiseksi.[32]
- Tampereella kaukolämpöverkko on rakennettu siten, että kovalla pakkasella verkostossa kulkevan veden lämpötilan tulee olla 120 astetta, jotta riittävä määrä energiaa saadaan siirrettyä kaupungin jokaiseen kolkkaan.[33]
- Tämä asettaa geolämpökaivolle samalla syvyysvaatimuksen.[33]

# Geolämpö - Tampere

- Joukko suomalaisia kaupunkiyhtiöitä on koonnut voimansa yhteenliittymäksi, jotta geotermistä lämpöä päästäisiin testaamaan kaupunkien kaukolämpöverkoissa.[34]

- Mukana ovat:

- Alva-yhtiöt, Jyväskylä
- Kuopion Energia, Kuopio
- Leppäkoski Group, Ikaalinen
- Pori Energia, Pori
- Tampereen Sähkölaitos, Tampere

- Etelä-Savon Energia, Mikkeli
- Lahti Energia, Lahti
- Napapiirin Energia ja Vesi, Rovaniemi
- Porvoo Energia – Borgå Energi, Porvoo
- Vaasan Sähkö, Vaasa

- Kangasalan Lämpö, Kangasala
- Lappeenrannan Energia, Lappeenranta
- Oulun Energia, Oulu
- Savon Voima, Joensuu
- Vantaan Energia, Vantaa

# Geolämpö - Tampere

- Syvän geolämpökaivon poraus alkoi Tampereella kesäkuussa 2021 [65]
- Elokuussa saavutettiin ensimmäinen etappi eli 1000 metrin syvyys.[65]
- Poraus työmaalla Tampereella jatkuu (19.8.2021): ensimmäisessä vaiheessa tarkoitus on porata noin 3000 metriä syvä kaivo. [66]
- Jatkoporausesta 6–8 kilometrin tavoitesyvyyteen neuvotellaan, kun ensimmäinen vaihe on analysoitu.[66]

# Geolämpö - Espoo

- St1:n Espoon Otaniemen geolämpöhanke
  - EGS-laitos, kaksi kaivoa n. 6,5 km syvyyteen
  - Tehoarvio 40 MW [36]
  - Arvioitu käyttöönotto 2022 [35]
  - Laitoksen käyttöiäksi arvioidaan on noin 30-40 vuotta. Kuitenkin, laitoksen tuottomäärä hieman pienenee ajan myötä. ST1:n arvion mukaan 20 vuoden päästä reiästä saadaan 10 astetta kylmempää vettä kuin toiminnan alussa.[3]

# Geolämpö - Vantaa

- Geoterminen maalämpölaitos joka tuottaa energiaa kaukolämpöverkkoon ja toimii myös energiavarastona [37]
- Variston geolämpölaitos voi tuottaa lämpöä suurin piirtein puolen megawatin teholla.[43]
- Keskisyvä 2 km lämpökaivo, tuottaa lämpöä n. 1400 MWh [37]
- Tuottaa saman verran lämpöä, kuin 40 perinteistä 300m maalämpökaivoa. [38]
- Tästä huolimatta keskisyvä 2 km geovoimala ei ole vielä kilpailukykyinen. [38]
- Investoinnille saatu 0,5 M€ TEM:n tuki [38]
- Kokonaishinta on 1,4 miljoonan euroa.[42]
- Ensimmäinen reikä toimii tutkimushankkeena, jossa kaivon lataamiselle ja lämmön tuotannolle haetaan oikeaa suhdetta.[38]



# Älykäs kaukolämpöverkko



## Älykäs kaupunkienergiajärjestelmä [7]

# Älykäs kaukolämpöverkko

- Eri järjestelmien integroitumisen keskiössä on lämmön tuotannon energiatehokkuus sekä samalla kustannuksissa säästäminen. [23]
- Kaukolämpö muun muassa mahdollistaa energian varastoinnin lämpönä silloin, kun esimerkiksi tuulivoimalla tuotetun sähkön tuotanto ylittää kysynnän.[23]
- Älykkäät ominaisuudet myös mahdollistavat sähkön ja lämmön tuotannon kannalta tärkeiden seikkojen mittaamisen ja ennakoinnin. Esimerkiksi sääolosuhteiden mukaan voidaan ennakoida kiinteistöjen lämmöntarvetta ja optimoida kaukolämmön tuotantotapaa.[23]



# Älykäs kaukolämpöverkko

- Älykkäiden ominaisuuksien ytimessä on datan kerääminen ja hyödyntäminen. Mitä enemmän tiedetään, sitä enemmän voidaan myös vaikuttaa lämmityksen eri osa-alueisiin.[24]
- Kun lämpöyhtiöt ovat älykkäiden lämmönjakokeskusten avulla koko ajan perillä, mitä missäkin lämmityskohteessa tapahtuu, voidaan ongelmiin vaikuttaa nopeasti.[24]
- Älykkäät ratkaisut kaukolämmön tuotannossa mahdollistavat parempien olosuhdepalveluiden tarjoamisen.[23] <=> kiinteistökohtaiset energiapalvelut

# Pienydinvoima

- Pieni modulaarinen ydinreaktori eli SMR (Small Modular Reactor)
- Teho alle 300 MW
- Tulevaisuuden visiona näitä voidaan rakentaa nopeasti ja joustavasti moduuleista ja sijoittaa tavallista ydinvoimalaitosta lähemmäksi asutusta (lämmönsiirtohäviöiden minimointi) [6]
- Niiden turvajärjestelmät perustuvat painovoimaan ja luonnonkiertoon => turvallisia sijoitettavaksi lähelle asutuskeskuksia tai teollisuusalueita [8]
- Lämpöä kaukolämpöverkkoon
- Korkea pääoman tarve
- Pohjakuormalaitoksena alueella, jossa lämmön kysyntä korkea [6]
- Suomen lainsäädäntö ei mahdollista sarjavalmistamista ydinvoimaa [7]

# Pienydinvoima

- Pelkästään kaukolämpöä tuottava SMR projekti käynnissä Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa, FinReactor
  - Lämpöteho 24 MW => rakentaminen ei tarvitsisi Valtioneuvoston periaatepäätöstä [6]
- Business Finland rahoittaa elokuussa 2020 alkanutta kaksivuotista EcoSMR-hanketta, jonka tarkoituksena on yhdistää suomalaisia toimijoita kehittämään liiketoimintaa pienydinvoiman ympärille. Hankkeessa mm. kartoitetaan, millä reunaehdoilla pienydinvoima soveltuu kaukolämmöntuotantoon.[82]
- SMR toteutuksia:
  - Venäjällä Rosatom rakennuttanut kelluvan SMR voimalan, jossa kaksi 35 MWe tehoista reaktoria. Lämpöteho 150 MW.
  - Yhdysvalloissa NuScale Power Inc. -yhtiön NuScale SMR, sähköteho 60MWe ja lämpöteho 160 MW [9]
  - SMR-ydinreaktoreita maailmalla on käytössä erityisesti laivoissa

# P2X

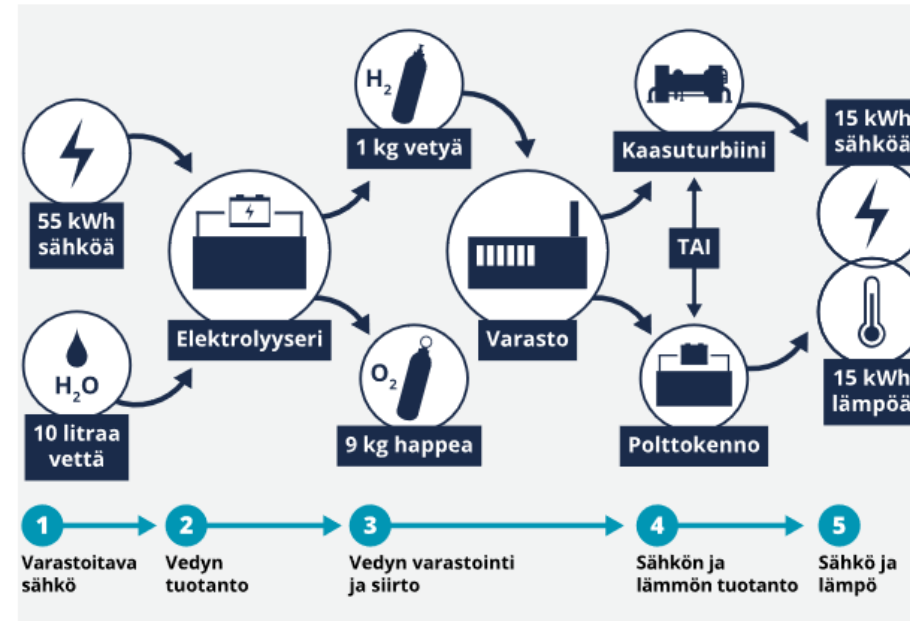
- Synteettisen metaanin (CH<sub>4</sub>) raaka-aineita ovat vety ja hiilidioksidi.
- Vety valmistetaan hajottamalla vettä alkuaineikseen hapeksi ja vedyksi uusiutuvilla energianlähteillä tuotetulla sähköllä (vihreä vety).
- Hiilidioksidia voidaan ottaa talteen teollisuus- ja voimalaitosprosesseista tai suoraan ilmasta.
- Hyötysuhde sähköstä synteettiseksi metaaniksi on noin 60% [39].
- Metaanin valmistus tuottaa runsaasti lämpöä, joten synteettistä polttoainetta tuottava laitos kannattaa sijoittaa sinne, missä hukkaenergiaa voidaan hyödyntää kaukolämpöverkossa [40].
- Synteettisellä metaanilla voidaan korvata fossiilista maakaasua (CH<sub>4</sub>) energiantuotannossa ja liikennepolttoaineissa ja siten pienentää mm. kaukolämmön hiilidioksidipäästöjä. Tässä metaanin raaka-aineena vihreä vety.

# P2X

- Vetytalous
  - Vedyn vuotuinen erillistuotanto globaalisti on noin 70 Mt [67]
    - Yli 90% fossiilipohjaista tuotantoa [67]
    - Tuotanto tuottaa KHK-päästöjä 830 MtCO<sub>2</sub>/vuosi (15 kertaa Suomen KHK-päästö)
    - Tuotannon korvaaminen elektrolyysivedyllä vaatisi vähäpäästöistä sähköä 4000 TWh (> EU:n sähköntuotanto 2020) [67]
  - Suomessa tuotanto 100 000 t [67]
    - KHK-päästöjä noin 1,2 Mt (noin 2% Suomen päästöistä) [67]
    - Tuotannon korvaaminen elektrolyysivedyllä vaatisi vähäpäästöistä sähköä noin 5,5 TWh (noin 8% Suomen vuotuisesta sähköntuotannosta) [67]
  - Terrafame / Sotkamon nikkeli-kaivos on tuottanut 2018 ja 2019 vuosittain noin 4500 t vetyä. [67]

# P2P

## Vety vaatii pitkän tuotantoketjun



Lähde: Fortum, grafiikka: Samuli Huttunen / Yle

Vety vaatii pitkän tuotantoketjun [68]

# P2X

- Vetyä voidaan valmistaa:
  - Höyryreformoinnilla hiilivedyistä
    - Maakaasu => Harmaa vety [69]
    - Hiili => Ruskea vety [69]
    - Öljy => Musta vety [69]
    - Hiilidioksidi otetaan talteen => Sininen vety [70]
  - Biomassasta pyrolyysin eli kuivatislauksen avulla
    - Turkoosi vety [70]
  - Elektrolyysillä vedestä
    - Uusitutvat energianlähteet => Vihreä vety [69]
    - Ydinvoima => Pinkki vety [69]

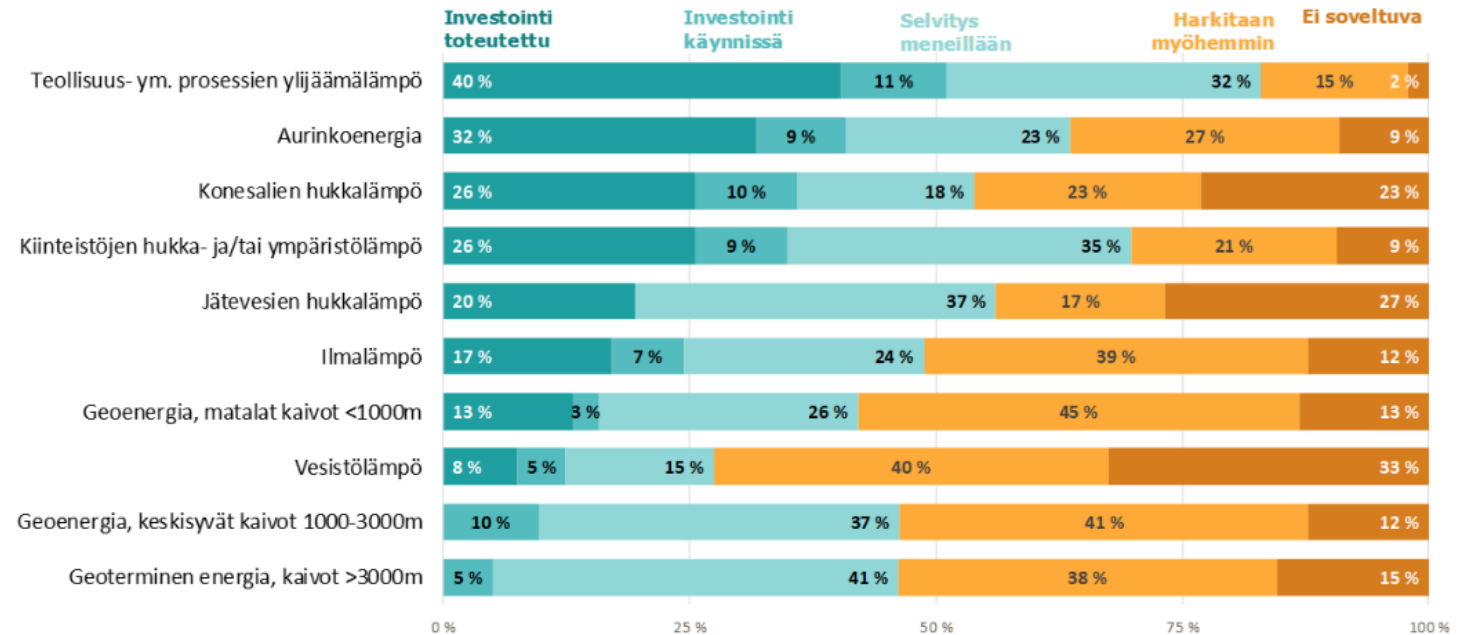
# P2X

- Joutsenossa kaukolämpöverkoston saadaan lämpöä Advenin omistamalta vetylämpölaitokselta. (Lappeenrannan Energia Oy) [46]
- Lämpö saadaan Kemira Chemicals Oy:n tehtaan prosesseissa syntyvän ylijäämälämmön talteenotolla ja polttamalla tuotantoprosessin sivutuotteena vapautuvaa vetyä. [54]



# Hukka- ja ympäristölämpö

Kaukolämpöyhtiöiden (N = 48) vastaukset kysymykseen: "Mitä ympäristö- ja hukkalämmön lähteitä on otettu käyttöön tai selvitetty yrityksessänne?". Ympäristö- ja hukkalämpökysely 2021 Suomen ympäristökeskus SYKE.



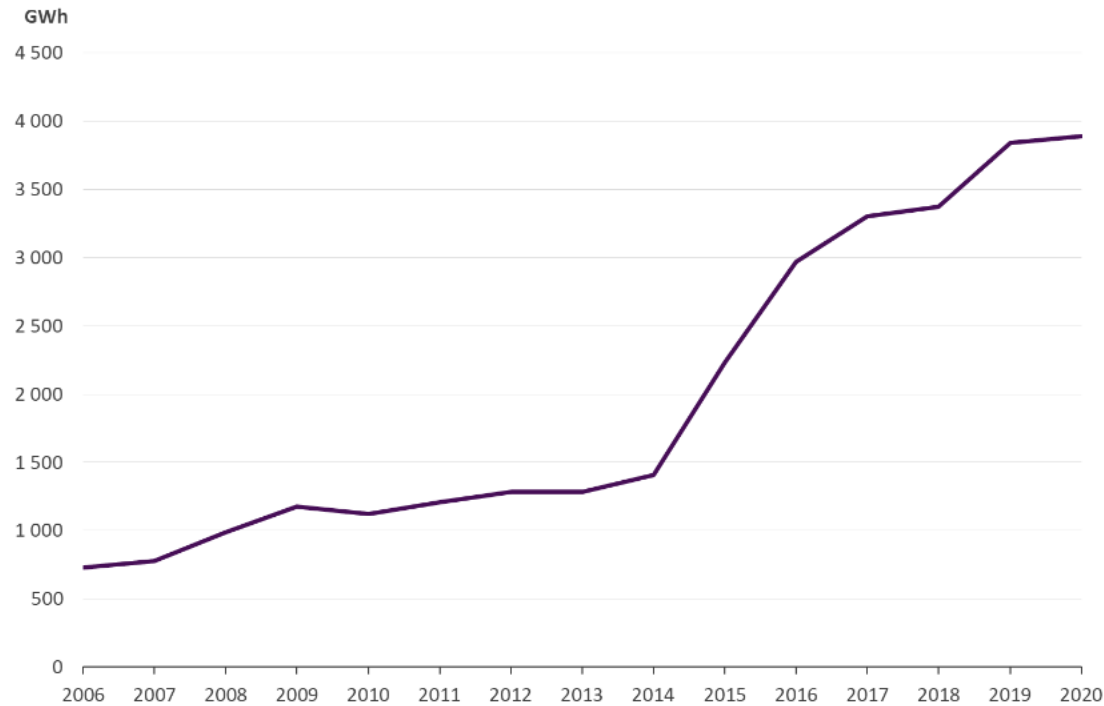
Ympäristö- ja hukkalämpöinvestointien tilanne kaukolämpöyhtiöissä [41]



# Hukka- ja ympäristölämpö

- Hukkalämmöt: muuten hyödyntämättä jäävä lämpöenergia, esimerkiksi lämmön talteenotto jätevedestä, savukaasuista, kaukojäähdytyksen paluuedestä.
- Hukkalämmöt kasvaneet 3 prosentista 11 prosenttiin kaukolämmöntuotannossa vuosina 2010–2020 [45]
- Hukkalämpöjä hyödyntämällä vältetään polttoaineiden käyttöä.

# Hukka- ja ympäristölämpö



Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämmön energialähteenä yli kolminkertaistunut vuodesta 2010 [45]

# Hukkalämpö

- Hukkalämpöpotentiaali energiadirektiivin mukaisille laitoskategorioille arvio noin 130 TWh. [25]
- Nykyisin (2018) hyödynnettävä määrä arvio noin 3 TWh. [25]
- Teknisesti kohtuullisesti hyödynnettävissä arvio noin 35 TWh [25]
- Vuonna 2018 tilojen ja veden lämmittäminen Suomessa kulutti 92 TWh energiaa. [25]
- Kaukolämpöä toimitettu 37,1 TWh vuonna 2018. [25]

# Hukka- ja ympäristölämpö

- Lappeenrannassa hukkalämpöä otetaan talteen esimerkiksi Finnsementin prosessista (Lappeenrannan Energia Oy).[46]
- Siilinjärven taajaman kaukolämpö tuotetaan lähes kokonaan Yaran tehtaan hukkalämmöllä (Savon Voima Oy). [47]
- Joensuun avointa kaukolämpöverkkoa hyödyntää Siun Sote -kuntayhtymän Joensuun keskussairaala, jossa kiinteistöjen jäähdytyksessä syntyvää hukkalämpöä on hyödynnetty kaukolämmön tuotannossa jo useiden vuosien ajan (Savon Voima Oy) [51]
- Kajaani: CSC – Tieteen Tietotekniikan Keskus Oy:n LUMI-supertietokoneen hukkalämmöllä tuotetaan 20 prosenttia Kajaanin kaukolämmöstä. [71] LUMI-konesalin käyttämä sähkö on kokonaan uusiutuvaa. (100% vesivoimaa 200MW:iin asti). [72]

# Vesistö lämmönlähteenä

- Maalämmön vesistöasennus vesitaloushanke, jota koskee vesilaki (587/2011). [44]
  - Voi aiheuttaa lyhytaikaista samentumista ja ravinteiden vapautumista. [44]
  - Estävät veneiden ankkuroinnin ja voivat vaikeuttaa kalastusta. [44]
  - Estävät ruoppaamisen. [44]
  - Käyttöön soveltuu muuten sama tekniikka kuin maalämpöputkistonkin käytössä, mutta putket täytyy ankkuroida vesistön pohjaan esimerkiksi betonipainoilla. [52]

# Vesistö lämmönlähteenä

- Helen rakentaa Vuosaaren voimalaitosten yhteyteen lämpöpumpun, joka käyttää lämmön lähteenä voimalaitoksen omaa jäähdytysvesikiertoa ja meriveden lämpöä. [53]
- Lämpöpumppu voi arvion mukaan hyödyntää tuotannossaan keskimäärin 20 prosenttia meriveden lämpöä ja 80 prosenttia jäähdytysvesien hukkalämpöä voimalaitoksen sisäisestä prosessikierrosta. [53]
- Lämpöpumpun kaukolämpöteho on noin 13 MW ja kaukojäähdytysteho 9,5 MW. [53]
- lämpöpumppu saadaan tuotantokäyttöön vuonna 2022. [53]
- Investoinnin arvo on noin 15 milj. euroa. [53]

# Biokaasu

- Biokaasua tuotetaan:
  - mädättämällä orgaanisesta jätteestä (esim. jätevedenpuhdistuksen lietteet, biojäte)
    - (ei puusta ja ligniiniä sisältävästä aineksesta)
    - selluloosa on mahdollista mädättää
    - kaasu sisältää tavallisesti 40-70 % metaania, noin 30-60 % hiilidioksidia ja hyvin pieninä pitoisuuksina mm. rikkiyhdisteitä.[74]
  - puusta termisellä kaasutuksella eli pyrolyysillä
    - kaasu sisältää mm. hiilimonoksidia, vetyä, hiilidioksidia, vettä, typpeä ja epäpuhtauksia
    - Kaasun koostumus riippuu kaasuttimen rakenteesta, prosessiolosuhteista ja polttoaineesta.[75]



# Moottorivoimalaitos

- Polttomoottori pyörittää generaattoria
- Lämmön talteenotolla pakokaasuista voidaan tuottaa höyryä, kaukolämpöä tai kombivoimalaitoksessa höyryturbiinin avulla sähköä.
- Pakokaasujen lämpöä voi hyödyntää myös ORC –prosessin (Organic Rankine Cycle) avulla. ORC perustuu orgaanisiin väliaineisiin ja voi hyödyntää sellaisia matalaenergisiä lämmönlähteitä, joita ei voi tai ei ole taloudellisesti järkevää hyödyntää vesi-höyry prosessissa. [58]
- Polttoaineina voidaan käyttää:
  - Raskas- ja kevyt polttoöljy, bensiini, diesel,
  - Bioöljyt ja alkoholit
  - Maakaasu
  - Biokaasu, synteettinen metaani
- Hyötysuhde sähkötuotannossa 40-50% [58], [59]
- Lämmön ja sähkön yhteistuotantoon optimoidun laitoksen hyötysuhde 80-90%. [58]

# Moottorivoimalaitos

- Pitkälähti Kuopio
  - Sähköteho 1,6 MW [56]
  - Lämpöteho 1,6 MW [56]
  - Vuosituotanto 8 – 10 GWh sähköä ja lämpöä [57]
  - Polttoaineena biokaasu, joka on tehty biokaasulaitoksella yhdyskuntien orgaanisesta jätteestä. [57]
  - Moottorivoimalaitos on miehittämätön, täysin automatisoitu laitos, jota ohjataan Kuopion Energian päävoimalaitoksesta. [56]
  - Laitostoimittaja Sarlin Oy
  - Kuopion Energia hyödyntää Pitkälähden moottorivoimalaitoksella Kuopion Biotehtaalta, Heinälammirinteen jätekeskuksen alueelta, saatavaa biokaasua. [81]

# Moottorivoimalaitos

- Biokaasu moottorivoimalaitokselle tulee Gasum Oy:n Kuopion biokaasulaitokselta [79]
  - Kuopion biokaasulaitos käsittelee alueen jätevedenpuhdistamoiden lietteitä, erilliskerättyä sekä pakkauksellista biojätettä ja elintarviketeollisuuden sivuvirtoja. Yhtenä laitoksen ominaissyötteenä on suuri määrä meijeriteollisuuden sivuvirtaa. [80]
    - Jätteenkäsittelykapasiteetti: 60 000 tn/a [80]
    - Kaasuntuottakapasiteetti: 35 GWh/a [80]
  - Uuden ympäristöluvan (29.6.2021) mukaiset kapasiteetit:
    - Jätteenkäsittelykapasiteetti: 93 000 tn/a [79]
    - Kaasuntuottakapasiteetti: 48 GWh/a [79]

# Lähteet

- [1] [Publications - Annex 47 \(heatpumpingtechnologies.org\)](https://www.heatpumpingtechnologies.org/publications-annex-47)
- [2] [https://energia.fi/files/993/Suuret lampopumput kaukolampojarjestelmassa Loppuraportti 290816 pai vitetty.pdf](https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_pai_vitetty.pdf)
- [3] [https://energia.fi/files/4342/ZETPOLF uudet tekniikat ja polttaminen loppuraportti.pdf](https://energia.fi/files/4342/ZETPOLF_uudet_tekniikat_ja_polttaminen_loppuraportti.pdf)
- [4] [Esplanadin lämpöpumppulaitos | Helen](#)
- [5] <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/121696/RautioHenna.pdf?sequence=2>
- [6] <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/120322/NorbladHeta.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [7] [https://energia.fi/files/2862/Alykas kaupunkienergia LOPPURAPORTTI 20180614.pdf](https://energia.fi/files/2862/Alykas_kaupunkienergia_LOPPURAPORTTI_20180614.pdf)
- [8] <https://finnuclear.fi/pieni-modulaarinen-reaktori/>
- [9] <https://form.jotform.com/200853485622052>
- [10] <https://www.nollae.fi/turun-toriparkki-edustaa-tulevaisuuden-energiaratkaisuja/>

# Lähteet

- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=BY5RrW5cuvA&t=155s>
- [12] [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/vantaanenergia/uploads/20210528155516/Vantaan Energia White Paper 2 VECTES FI 26052 1-1.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/vantaanenergia/uploads/20210528155516/Vantaan_Energia_White_Paper_2_VECTES_FI_26052_1-1.pdf)
- [13] [https://www.helen.fi/uutiset/2018/mustikkamaa\\_toteutus](https://www.helen.fi/uutiset/2018/mustikkamaa_toteutus)
- [14] <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2020/mustikkamaa>
- [15] [Aurinkolämpö, päästötön ja edullinen kaukolämmön lähde – Kestävä Energiatalous – Uusiutuvien tulevaisuus](#)
- [16] [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/497452/Hietala\\_Riku.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/497452/Hietala_Riku.pdf?sequence=2)
- [17] <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahko-ja-eraat-polttoaineet/verotaulukot/>
- [18] <https://valtioneuvosto.fi/documents/10623/51744721/L%C3%A4mp%C3%B6pumput+ja+konesalit+energiaverot+uksessa+loppuraportti.pdf/5619f123-882d-d4ec-852e-e10614380a67/L%C3%A4mp%C3%B6pumput+ja+konesalit+energiaverotuksessa+loppuraportti.pdf?t=1621837893882>
- [19] <https://valtioneuvosto.fi/-/10623/polttoon-perustumattoman-lammontuotannon-kilpailukyky-voitaisiin-parantaa-sahkoveronalennuksilla>
- [20] <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/#saatosahkon-hinnoittelu>

# Lähteet

- [21] <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-kasvoi-45-prosenttia-vuonna-2020-pientuotantoa-lahes-300-megawattia>
- [22] <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus2/>
- [23] <https://tunnetkokaukolammon.fi/alykkaat-ratkaisut-mahdollistavat-kaukolammon-ja-muiden-energiajarjestelmien-integroitumisen/>
- [24] <https://tunnetkokaukolammon.fi/alykas-kaukolammitys-on-kotien-ja-kiinteistojen-uusi-normaali/>
- [25] [https://tem.fi/documents/1410877/2897650/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4\\_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4\\_loppuraportti+2020.pdf?t=1601627038073](https://tem.fi/documents/1410877/2897650/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf?t=1601627038073)  
(28.9.2021)
- [26] [https://fi.wikipedia.org/wiki/Toriparkki\\_\(Turku\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Toriparkki_(Turku))
- [27] <https://www.helen.fi/uutiset/2021/ilmastoteko-jalkojemme-alla-mustikkamaan-j%C3%A4ttim%C3%A4iset-l%C3%A4mp%C3%B6luolat-ovat-nyt-t%C3%A4ynn%C3%A4-vett%C3%A4>
- [28] <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2020/geolampo>
- [29] [https://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/geolampo\\_ei\\_lopu](https://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/geolampo_ei_lopu)
- [30] <https://kaupunkilampo.fi/kaupunkilampo/geolampo/>

# Lähteet

- [31] <https://kaupunkilampo.fi/tampere/>
- [32] <https://kaupunkilampo.fi/teknologia/vesivasarateknologia/>
- [33] <https://kaupunkilampo.fi/kaupunkilampo/kaukolampo/>
- [34] <https://kaupunkilampo.fi/kaupunkilampo/yhteenliittyma/>
- [35] [https://www.st1.fi/St1n-Otaniemen geotermisen lampolaitoksen pilottiprojekti etenee virtaustestivaiheeseen](https://www.st1.fi/St1n-Otaniemen_geotermisen_lampolaitoksen_pilottiprojekti_etenee_virtaustestivaiheeseen)
- [36] <https://www.st1.fi/geolampo>
- [37] <https://www.vantaanenergia.fi/vantaan-energia-rakentaa-geotermisen-maalampolaitoksen/>
- [38] [https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliwebinaari/Webinaarit\\_2021](https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliwebinaari/Webinaarit_2021) esitys: Vantaan Energia Oy Asiakkaille maalämpöä kaukolämpöverkon kautta 8.6.2021 Ilkka Reko
- [39] <https://www.wartsila.com/insights/article/synthetic-fuels-supporting-wartsilas-vision-of-a-100-percent-renewable-energy-future>

# Lähteet

- [40] <https://www.vantaanenergia.fi/suomen-suurin-power-to-gas-laitos-wartsila-ja-vantaan-energia-ovat-sopineet-suunnittelun-jatkamisesta-kohti-investointipaatoista/>
- [41] <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/haku?n=33850&d=1&s=ymp%3%a4rist%3%b61%3%a4mm%3%b6n+Yhteenvedo+ymparisto-+ja+hukkalamppotutkimuksesta+SYKE+2021-05-24-1.pdf>
- [42] [Uraauurtavan geolämpölaitoksen poraukset alkoivat Vantaalla, ja pian se tuo kesän lämpöä talveen – minuutin animaatio näyttää, miten laitos toimii | Yle Uutiset | yle.fi](#)
- [43] [Uraauurtavan geolämpölaitoksen poraukset alkoivat Vantaalla, ja pian se tuo kesän lämpöä talveen – minuutin animaatio näyttää, miten laitos toimii | Yle Uutiset | yle.fi](#)
- [44] [https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen\\_hankintaopas\\_kunnat\\_ja\\_taloyhtiot.pdf](https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf) (10.9.2021)
- [45] [https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi\\_2020\\_netti\\_kj\\_paivitetty\\_20210318.pdf](https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2020_netti_kj_paivitetty_20210318.pdf) (10.9.2021)
- [46] <https://www.lappeenrannanenergia.fi/ajankohtaista/uusilla-innovaatioilla-vihreaa-kaukolammon-tuotantoa> (10.9.2021)
- [47] <https://savonvoima.fi/modernia-kaukolampoa-kiertotalous-keskiossa/> (10.9.2021)
- [48] <https://www.lappeenrannanenergia.fi/tiedote/jo-120-vuotta-hyvinvointia-kaupunkilaisille> (10.9.2021)
- [49] <https://elstor.fi/ilmastorahasto-vauhdittaa-elstorin-ratkaisua-hoyryn-ja-lammontuotannon-paastovahennyksiin-osana-teollisuuden-sahkoistymista/> [10.9.2021]



# Lähteet

- [50] <https://elstor.fi/wp-content/uploads/2021/08/yleisesittely-e1628674650820.png> [10.9.2021]
- [51] <https://savonvoima.fi/meneeko-yrityksestasi-ylimaaraista-lampoa-harakoille/> [10.9.2021]
- [52] <https://www.lampokartano.fi/maalampo/lammonlahteet> [10.9.2021]
- [53] <https://www.helen.fi/uutiset/2019/merivesilampopumppu> [10.9.2021]
- [54] <https://www.lappeenrannanenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/hiilidioksidivapaata-lampoa-joutsenoon> [10.9.2021]
- [55] [Kaukolämpöakku ja sähkökattila Seinäjoelle \(energiauutiset.fi\)](#) [13.9.2021]
- [56] [https://doczz.net/doc/3421213/sarlin-asiakaslehti-1\\_2015](https://doczz.net/doc/3421213/sarlin-asiakaslehti-1_2015) [13.9.2021]
- [57] <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tuotanto-ja-jakelu/voimalaitokset-ja-lampokeskukset/> [13.9.2021]
- [58] <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22458/Sadeharju.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [14.9.2021]
- [59] [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158656/kandidaatinty%C3%B6\\_heikkil%C3%A4\\_aleksi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158656/kandidaatinty%C3%B6_heikkil%C3%A4_aleksi.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [14.9.2021]

# Lähteet

- [60] <https://www.vatajankoski.fi/maailman-ensimmainen-kaupallinen-hiekkaan-perustuva-lampovarasto-rakennetaan-suomeen/> (16.9.2021)
- [61] [https://ramboll.com/projects/re/south-jutland-stores-the-suns-heat-in-the-worlds-largest-pit-heat-storage?utm\\_source=alias&utm\\_campaign=sun-storage](https://ramboll.com/projects/re/south-jutland-stores-the-suns-heat-in-the-worlds-largest-pit-heat-storage?utm_source=alias&utm_campaign=sun-storage) (16.9.2021)
- [62] <https://stateofgreen.com/en/partners/ramboll/solutions/world-largest-thermal-pit-storage-in-vojens/> (16.9.2021)
- [63] <https://www.oulunenergia.fi/uutiset/092020/karjasillalle-ainutlaatuinen-ja-energiatehokas-alue-energiajarjestelma/> (23.9.2021)
- [64] <https://www.kaleva.fi/kaukovainion-s-market-tuottaa-lampoa-kaukolampover/1642748> (23.9.2021)
- [65] <https://kaupunkilampo.fi/> (23.9.2021)
- [66] <https://kaupunkilampo.fi/geolampokaivoa-porattu-jo-ensimmainen-kilometri/> (23.9.2021)
- [67] <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2020-AK-317559.pdf> (24.9.2021)
- [68] <https://yle.fi/uutiset/3-11841773> (24.9.2021)
- [69] <https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/H2Cluster-Whitepaper-092021.pdf> (24.9.2021)

# Lähteet

- [70] TekniikkaTalous 3.9.2021, sivut 4–5, Sininen vety voi olla maakaasua haitallisempaa
- [71] <https://news.cision.com/fi/loiste/r/lumi-supertietokoneen-hukkalammolla-tuotetaan-20-prosenttia-kajaanin-kaukolammosta--csc-ja-loiste-la.c3115855> (24.9.2021)
- [72] <https://www.csc.fi/lumi> (24.9.2021)
- [73] <https://www.kiinteistoposti.fi/hiilinegatiivisessa-taloyhtiössä-on-kaksisuuntainen-kaukolampo/> (27.9.2021)
- [74] [Biokaasu - Suomen Biokierto ja Biokaasu ry](#) (28.9.2021)
- [75] <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26595/Kontola.pdf?sequence=4&isAllowed=y> (28.9.2021)
- [76] [https://energiavisaat.fi/wp-content/uploads/2020/12/Suuret-energiavarastot-koko-Hiedanrannan-yhteisolle-raportti\\_Polar\\_Night\\_Energy.pdf](https://energiavisaat.fi/wp-content/uploads/2020/12/Suuret-energiavarastot-koko-Hiedanrannan-yhteisolle-raportti_Polar_Night_Energy.pdf) (30.9.2021)
- [77] <https://www.lappeenrannanenergia.fi/ajankohtaista/uusiutuva-sahkoa-kayttava-lampoakku-vahentaa-co2-paastoja> (30.9.2021)
- [78] <https://www.parat.no/nl/nieuws/new-40mw-high-voltage-electrode-boiler-to-finland/> (30.9.2021)
- [79] PÄÄTÖS Ympäristöluvut Nro75/2021 Dnro ISAVI/9278/2019 Itä-Suomi Julkaisupäivä 29.6.2021
- [80] <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasulaitokset/kuopion-biokaasulaitos/> (1.10.2021)
- [81] <https://yle.fi/uutiset/3-7634833> (1.10.2021)
- [82] <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/suomalainen-pienreaktoriosaaminen-vahvistuu-uudella-innovaatio-ja>