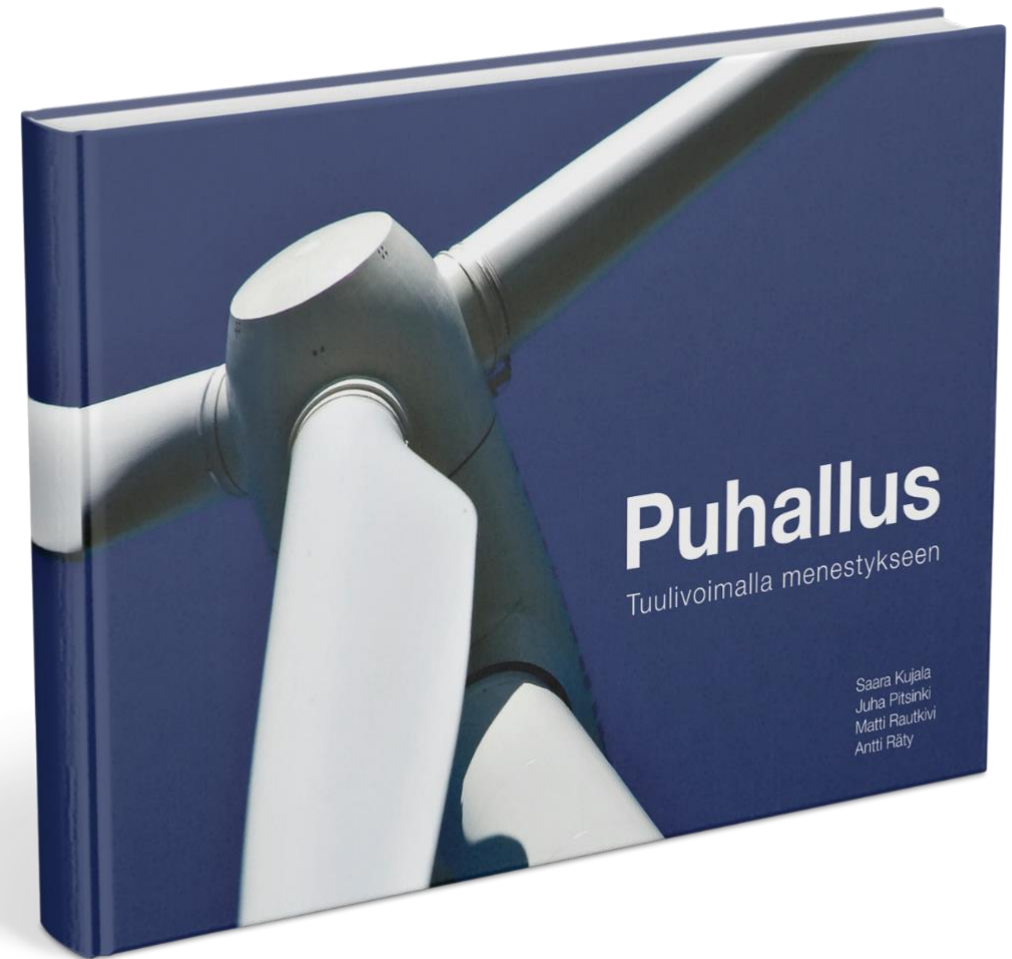
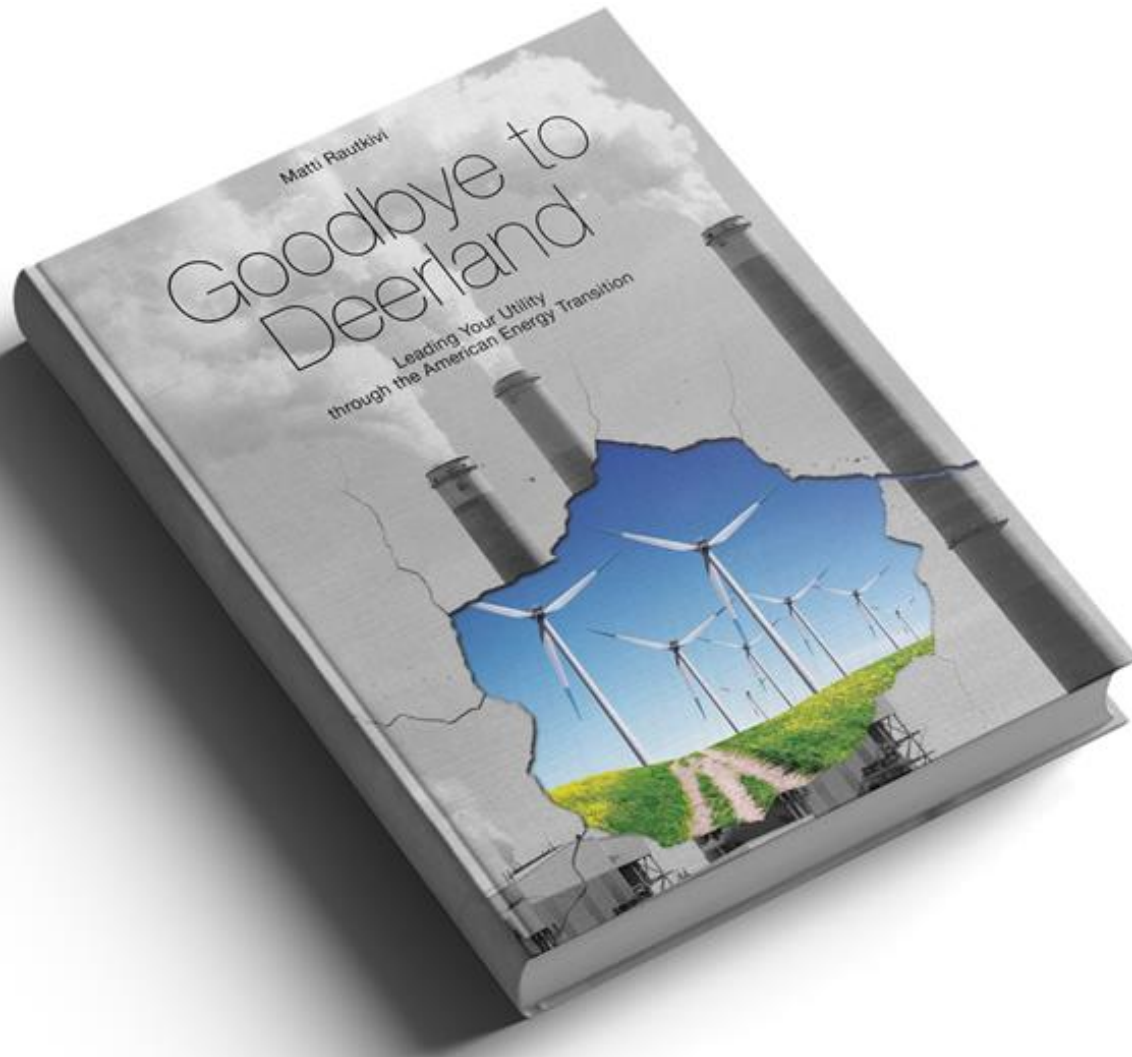


RATKAISUEHDOTUS HELSINGIN KAUKOLÄMMÖN TUOTANNOKSI

Matti Rautkivi
Saara Kujala

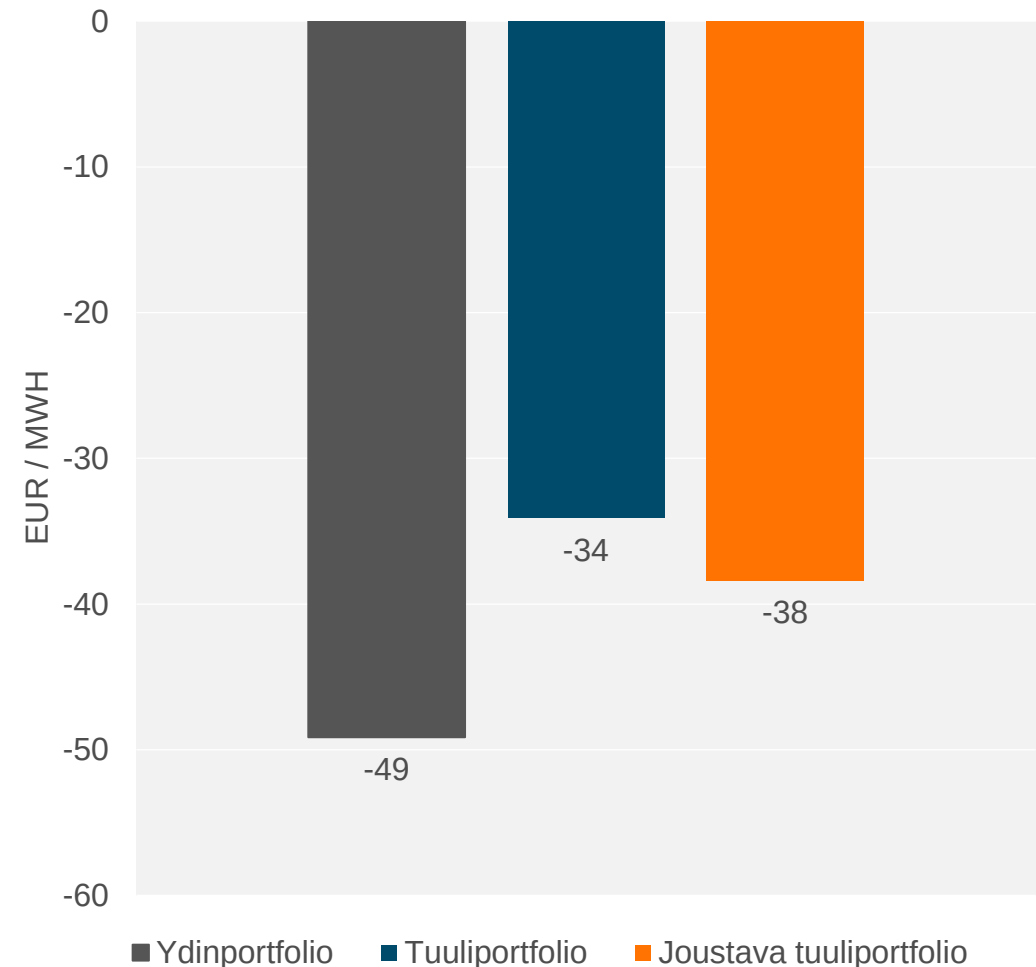
18.3.2019

- Edullinen tuulivoima muokkaa Suomen energiakenttää voimakkaasti
- Perinteisesti biomassapohjainen polttoaine (hake tai pelletti) on nähty Suomessa parhaana hiilen korvaajana kaukolämmityksessä, mutta mahdollisuus kaukolämmityksen sähköistämiseen tuulivoiman kautta on muuttanut tilannetta
- Isot lämpöpumput yhdistettynä tuulivoimaan ja riittävään säätökapasiteettiin ovat jo nyt nykyisiä kivihiililaitoksia edullisempi tapa tuottaa kaukolämpöä
- Lämpöpumppujen lämmönlähteenä voi toimia merivesi, datakeskusten hukkalämpö ja geoterminen lämpö, joista datakeskusten hukkalämpö sekä merivesi ovat kannattavin yhdistelmä tuottaen yli 10% säästön nykytilaan verrattuna
- CO₂ päästövähennys vastaa yli miljoonan auton poistumista Suomen maanteiltä
- Syvä geolämpö voi kaupallistuessaan laskea kustannuksia vieläkin enemmän



- Tuuliportfolio on 31% edullisempi kuin ydinportfolio sähköyhtiön kannalta
- Ydinportfoliossa sähköä on myytävä 15 EUR/MWh kalliimmalla verrattuna tuuliportfolioon
- Pelkkään tuulivoimaan perustuva tuotantoportfolio on riskialtis, koska tuotannon vaihteluilta (volyymiriski) tai markkinahinnalta (hintariski) on vaikea suojautua
- Joustava tuuliportfolio on 22% edullisempi kuin ydinportfolio
- Joustava tuuliportfolio tarjoaa tarvittavan suojauksen ja riittävän kapasiteetin kaikissa olosuhteissa

SÄHKÖN HANKINNAN NETTOKUSTANNUS / MWH



VAIHTOEHDOT HELSINGIN KAUKOLÄMMÖN TUOTANNOKSI

Yksityiskohtainen energiajärjestelmämalli optimoi kustannustehokkaimman kaukolämmön tuotantomuodon Helsingissä



Tuulivoiman kustannusten nopea lasku on tehnyt tuulivoimasta halvimman tavan tuottaa sähköä Suomessa, ja lisääntyvä tuulivoima tulee alentamaan sähkön markkinahintaa



Edullinen tuulisähkö mahdollistaa kaukolämmön sähköistämisen suurilla lämpöpumpuilla kustannustehokkaasti. Lämpövarastot ja joustavat moottorivoimalaitokset optimoivat tuotantoa sähkön markkinahinnan mukaan

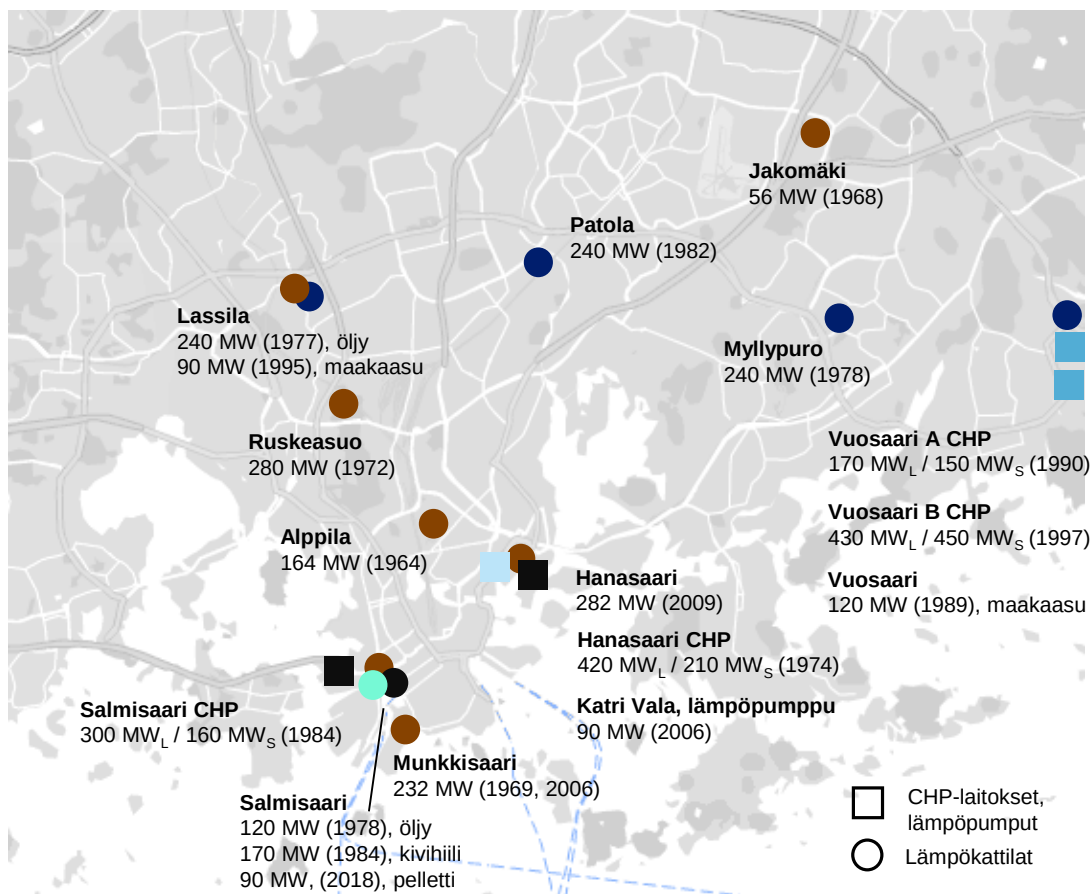


Kaukolämmön sähköistäminen vaatii sopivan lämmönlähteen lämpöpumpuille. Vaihtoehtoisia lämmönlähteitä mallissa ovat datakeskusten hukkalämpö, merivesi ja syvä geoterminen lämpö

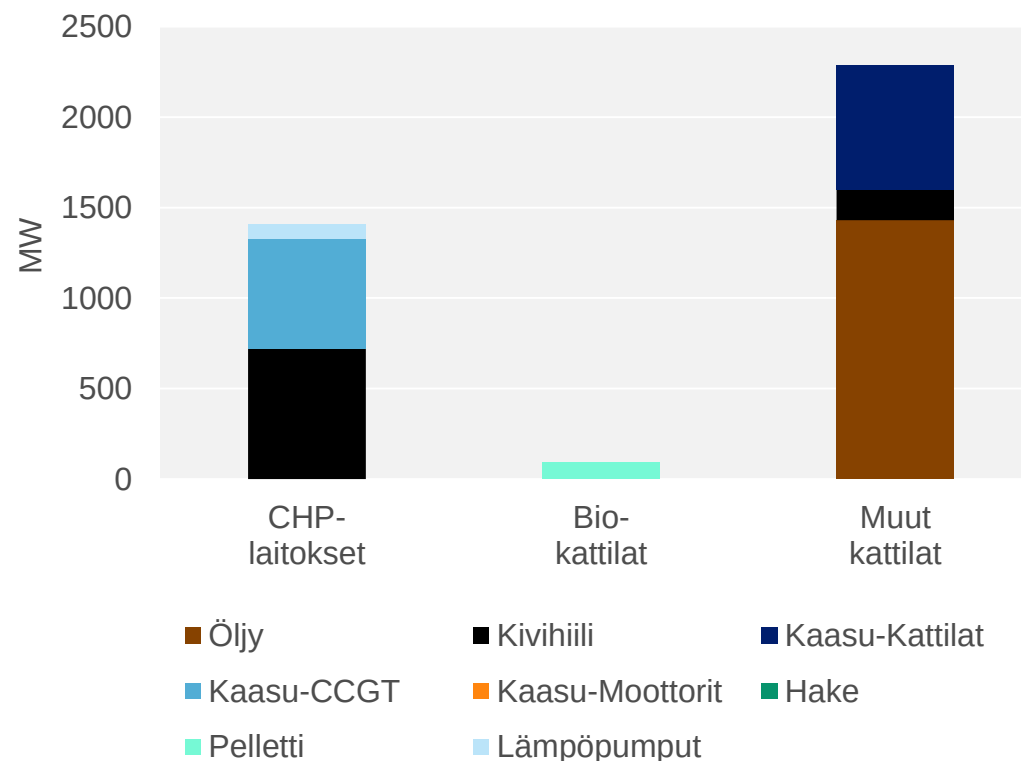


Malli optimoi kustannustehokkaimman kaukolämmön tuotantovaihtoehdon Helsingille huomioiden sekä biomassapolttoaineisiin että sähköistykseen perustuvat vaihtoehdot

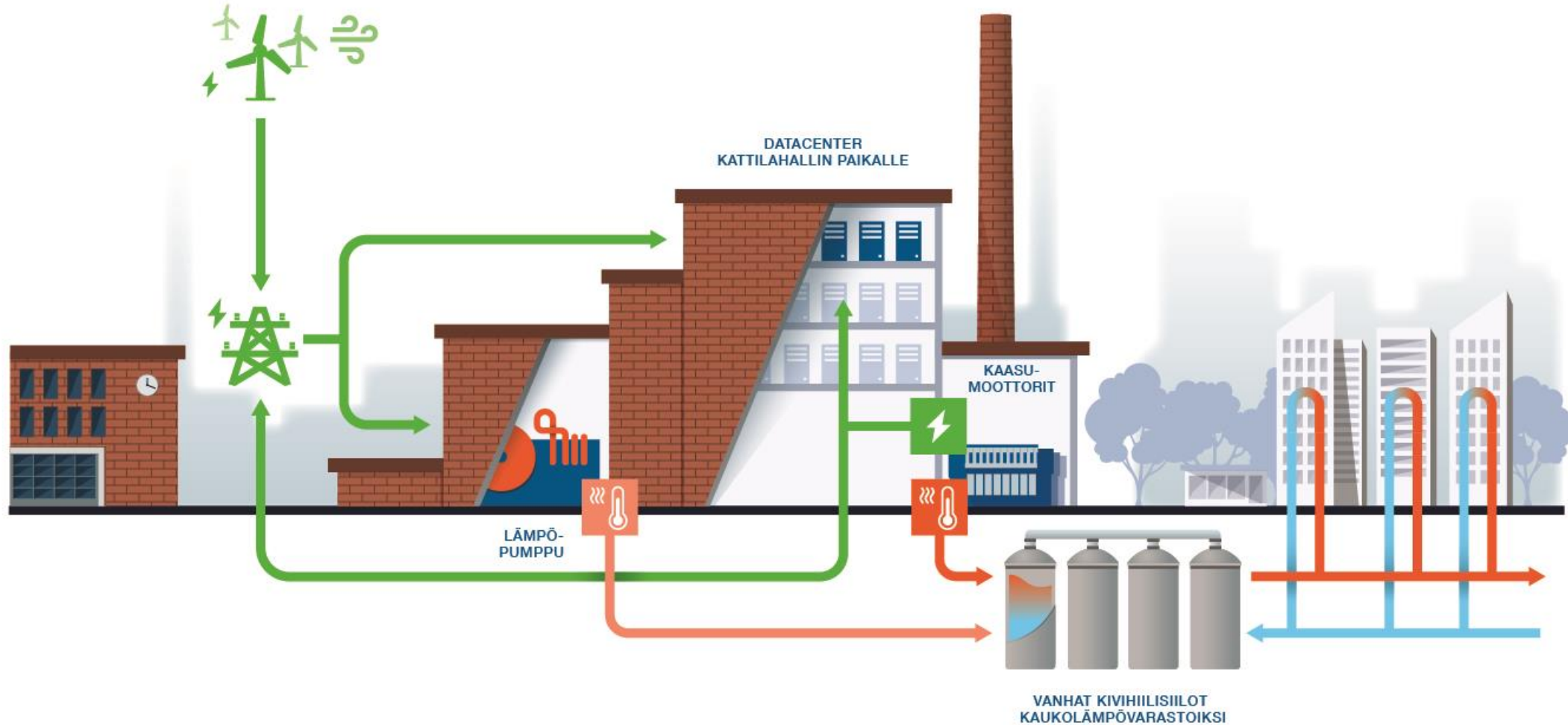
Kaukolämmön tuotanto Helsingissä perustuu lähinnä Salmisaaren ja Hanasaaren kivihiili-yhteistuotantolaitoksiin sekä Vuosaaren maakaasu-yhteistuotantolaitoksiin.



LÄMMÖNTUOTANTOKAPASITEETTI



Datakeskuksessa servereiden käyttämä sähkö muuntuu lämmöksi, joka toimii kaukolämmön lähteenä



Datakeskukset kaukolämmön tuotannossa

- Datakeskuksen hukkalämpöä hyödynnetään kaukolämpönä jo muun muassa Mäntsälässä, uusia projekteja on suunnitteilla esimerkiksi Espoossa
- Datakeskuksia sijoitetaan usein vanhoihin tehdasrakennuksiin, esimerkiksi Haminassa
- Vanhojen hiilivoimalaitosten konvertointi datakeskuksiksi on suunnitteilla mm. Chicagossa ja Saksan Offenbachissa
- Energiayhtiölle datakeskus on merkittävä sähkönostaja, lisäksi datakeskuksen tarvitsema varavoimala osallistuu energiamarkkinoille tuottaen lisätuloa

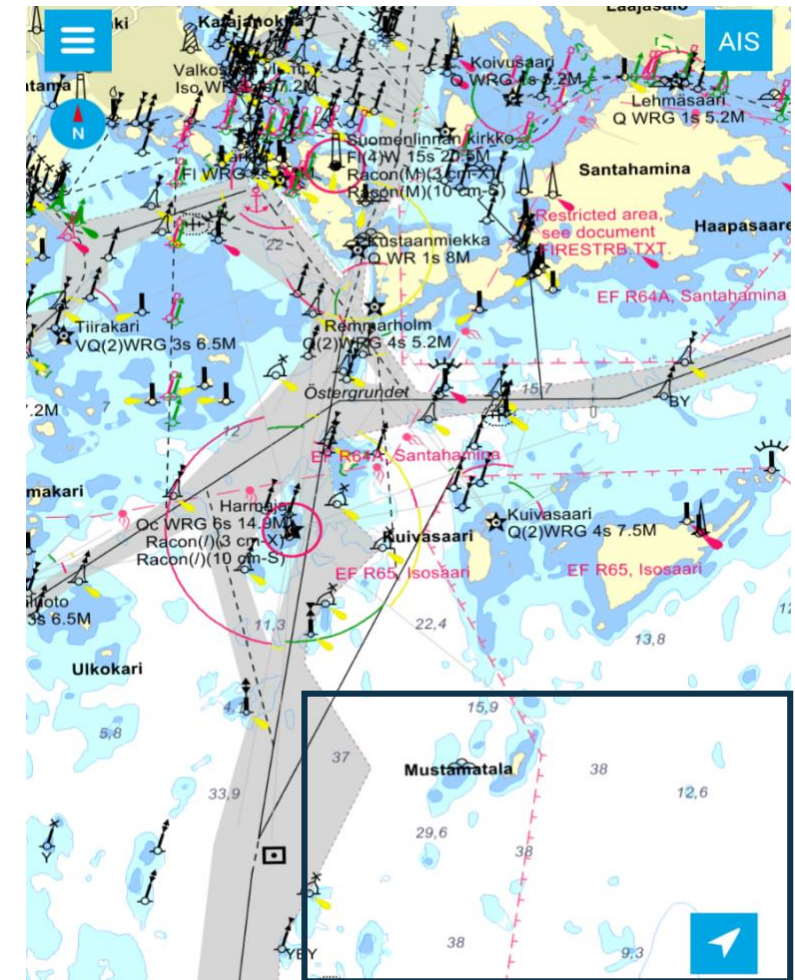


HAMINAN DATAKESKUS SIJAITSEE VANHASSA PAPERITEHTAASSA

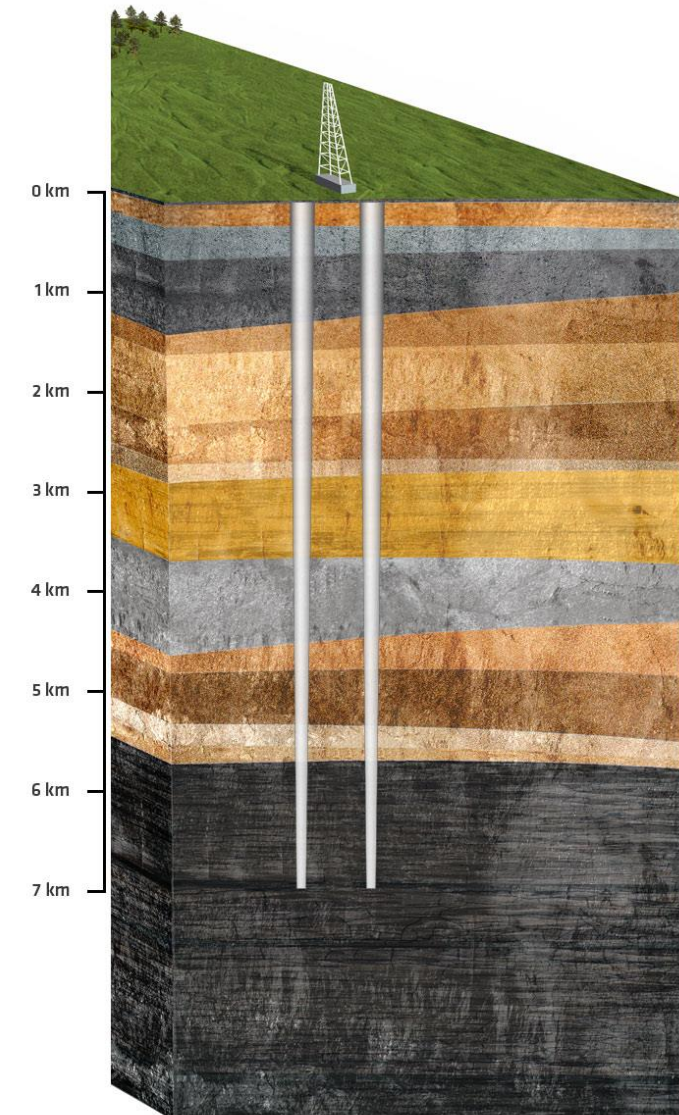
Kuva: <https://www.datacenterdynamics.com/news/google-buys-wind-power-for-finland-data-center/>

- Merivesilämpöpumppuja käytetään lämmöntuotannossa useissa kohteissa ympäri maailman.
- Tukholman kaukolämpöverkossa merivesilämpöpumppuja on käytetty vuodesta 1984 saakka.
- Lämpöpumppujen ja moottorien yhdistäminen tuotantorakenteessa mahdollistaa tuotannon optimoinnin sähkön markkinahinnan mukaan sekä halvan tuulisähkön käytön lämmöntuotannossa
- Järjestelmän toiminnan optimoimiseksi (lämmön priimaaminen biomassakattiloilla tai moottoreilla talvella) merivesilämpöpumput sijoitettaisiin Salmisaareen tai Hanasaareen
- Talvella lämmönlähteenä käytettäisiin +3-asteista vettä, jota on arvioitu saatavan noin 35 m syvyydestä
- Lähimmät sijainnit Kuivasaaren ja Isosaaren eteläpuolella

MERIVESILÄMPÖPUMPUN IMUPUTKI



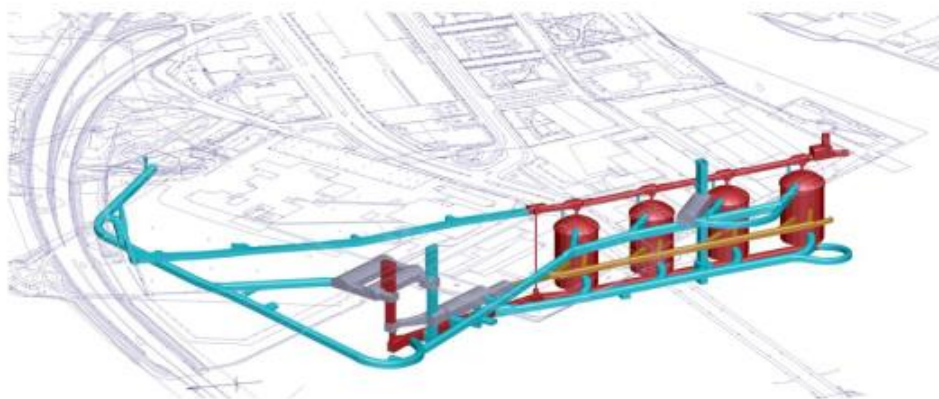
- Syvä geolämpö perustuu maankuoren luonnollisen lämmön hyödyntämiseen
- Prosessissa maaperään porataan kaksi syvää reikää, toisesta pumpataan vettä alas kallioperään, jossa se kuumenee kallioperässä luontaisesti olevan lämmön vaikutuksesta. Kuuma vesi nousee ylös toisesta reiästä, ja syntynyt lämpö syötetään lämmönvaihtimen kautta kaukolämpöverkkoon
- Teknologiaa testaan Otaniemen Deep Heat – pilottiprojektissa, onnistunut pilotti mahdollistaa laajemman käyttöönoton
- Mallissa ei ole kartoitettu syvälle geolämmölle soveltuvia sijainteja tai hyödynnettävän lämmön maksimimäärää
- Energiajärjestelmämalli arvioi geolämmön kannattavuutta osana Helsingin kaukolämmön tuotantoa kustannusnäkökulmasta
- Koska teknologia ei ole toistaiseksi kaupallisesti käytettävissä, se otetaan mallinnuksessa huomioon tulevaisuuden vaihtoehtona



Kuva: ST1 (<https://www.st1.fi/geolampo>)

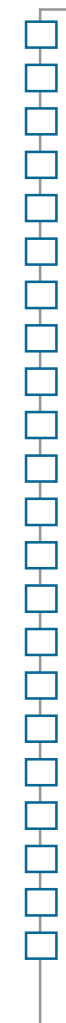
Kivihiilisiiloja on neljä, ne ovat korkeita ja täten muotonsa puolesta soveltuvat hyvin kaukolämpövarastoiksi

- Neljän kivihiilisiilon lieriön tilavuus on noin 310,000 m³
- Olettamalla, että 90 % tilavuudesta voidaan hyödyntää vesivarastona ja varastot toteutetaan kuten suunnitteilla oleva Mustikkamaan varasto, tulee uudesta varastosta jopa hieman isompi kuin Mustikkamaan varasto
 - Kapasiteetti 12.5 GWh
 - Purkuteho 130 MW



- Kivihiilen varasto- ja kuljetintilat
- Kaukojäähdytys ja LVI-laitos
- Huolto- ja liikennetilat
- Rakennusaikaiset tunnelit

Stadionin torni



~60 m

40 m

Malli optimoi Helsingin kaukolämmön tuotannon ottaen huomioon olemassaolevan laitoskannan ja valitsee parhaat investointivaihtoehdot hiilivoiman korvaamiseksi

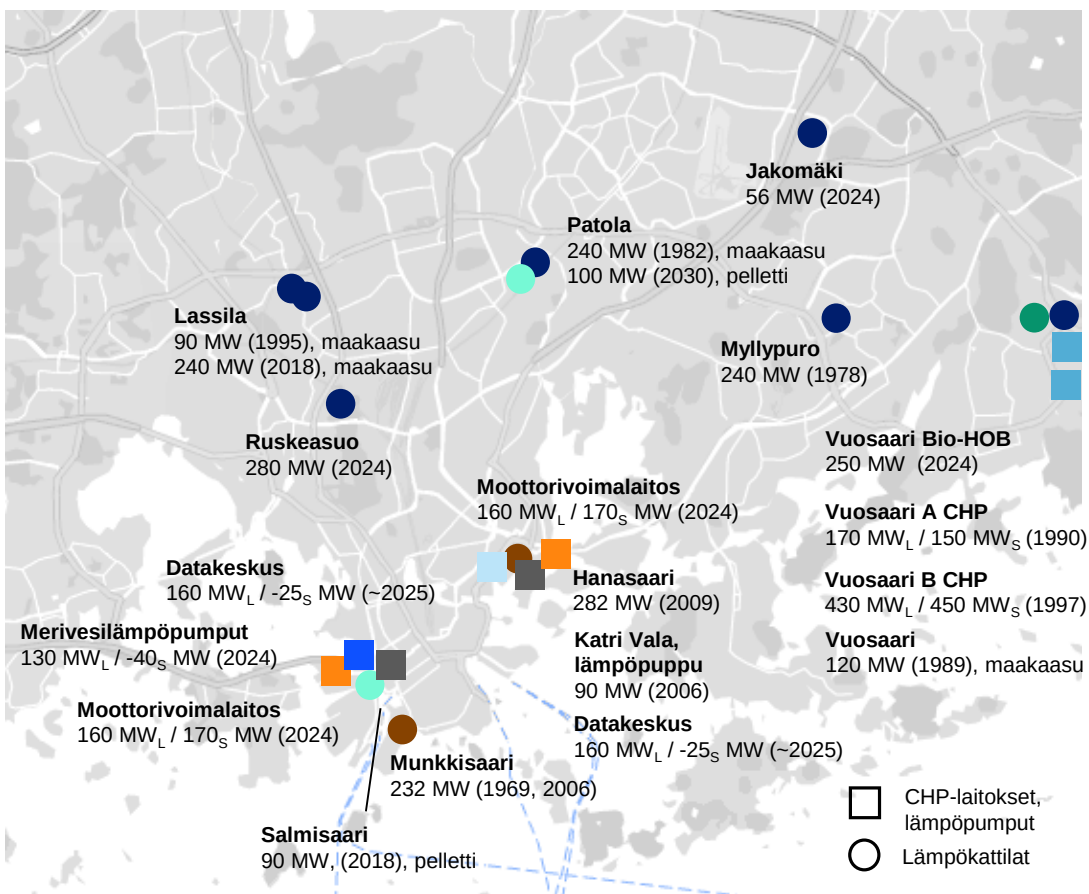
INVESTOINTIVAIHTOEHDOT KAUKOLÄMMÖN TUOTANTOON					MAKSIMIMÄÄRÄ	
Vaihtoehto 1: Datakeskus, tarvittava varavoimakapasiteetti ja lämpöpumpun kulutusta vastaava tuulivoimatuotanto	Datakeskus 160 MW lämpö -25 MW sähkö (lämpöpumpun kulutus)	+	Moottorivoimalaitos 160 MW lämpö 170 MW sähkö	+	Tuulipuisto-osuus (mankala) ~60 MW Suomi	2 kpl (Hanasaari ja Salmisaari)
Vaihtoehto 2: Merivesilämpöpumppu, kulutusta vastaava tuulivoimatuotanto ja moottorivoimalaitos tuulivoiman balansointiin	Merivesilämpöpumput 130 MW lämpö -40 MW sähkö (lämpöpumpun kulutus)	+	Moottorivoimalaitos 40 MW lämpö 40 MW sähkö	+	Tuulipuisto-osuus (mankala) ~100 MW Suomi	6 kpl Hanasaari / Salmisaari / Vuosaari
Vaihtoehto 3: Syvä geolämpö, sekä pumppauksen kulutusta vastaava tuulivoimatuotanto. Mallinnuksessa tulevaisuuden vaihtoehto	Syvä geolämpö 40 MW lämpö -4 MW sähkö (vesipumpun kulutus)	+	Tuulipuisto-osuus (mankala) ~10 MW Suomi			Ei määritelty
Vaihtoehto 4: Suunnitellut biomasalaitokset lisätään malliin omana skenaarionaan (biomassaskenario), Malli voi myös poimia yksittäisiä laitoksia muiden vaihtoehtojen täydennykseksi	Lämpölaitos 1 (hake) 250 MW lämpö Vuosaari		Lämpölaitos 2 (hake) 130 MW lämpö Tattarisuo		Lämpölaitos 3 (hake) 170 MW lämpö Salmisaari	Lämpölaitos 4 (pelletti) 100 MW lämpö Patola

RATKAISUEHDOTUS HELSINGIN KAUKOLÄMMÖN TUOTANNOKSI

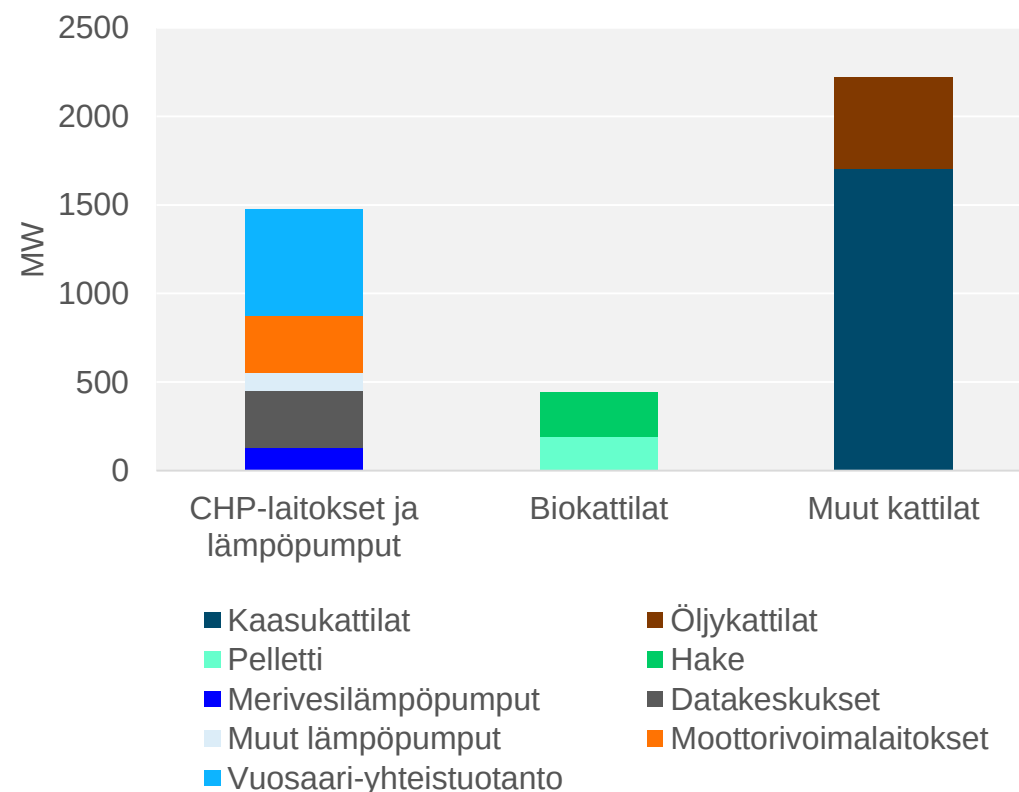
Edullisin kaukolämmön tuotantokustannus saadaan investoimalla hukkalämmön talteenottoon kahdessa datakeskuksessa, yhteen suureen merivesilämpöpumppuun ja kahteen biomassalaitokseen

UUDET INVESTOINNIT HELSINGIN KAUKOLÄMMÖN TUOTANTOON						MÄÄRÄ
Investointi 1: Salmisaaren ja Hanasaaren hiilivoimalaitokset konvertoidaan datakeskuksiksi, joiden hukkalämpö käytetään kaukolämmöksi	Datakeskus 160 MW lämpö -25 MW sähkö (lämpöpumpun kulutus)	+	Moottorivoimalaitos 160 MW lämpö 170 MW sähkö	+	Tuulipuisto-osuus (mankala) ~60 MW Suomi	2 kpl (Hanasaari ja Salmisaari)
Investointi 2: Investointi yhteen merivesilämpöpumppuun toteutetaan. Datakeskuksen varavoima tukee myös merivesilämpöpumppuja, joten erillistä moottorivoimalaitosta ei tarvita	Merivesilämpöpumput 130 MW lämpö -40 MW sähkö (lämpöpumpun kulutus)	+	Tuulipuisto-osuus (mankala) ~100 MW Suomi			1 kpl (Hanasaari / Salmisaari)
Investointi 3: Toteutetaan Vuosaaren hakelämpölaitos ja Patolan pellettilämpölaitos	Lämpölaitos 1 (hake) 250 MW lämpö Vuosaari	+	Lämpölaitos 4 (pelletti) 100 MW lämpö Patola			

Datakeskusten hukkalämpöön ja merivesilämpöpumppeihin perustuva ratkaisu kannattavin vaihtoehto Helsingille



LÄMMÖNTUOTANTOKAPASITEETTI



- Laitosten määrät ja tehot on mitoitettu Helsingin lämmöntarpeen mukaisesti ja niiden käyttö perustuu tuntipohjaiseen simulointiin
- Kivihiili-yhteistuotantolaitosten sulkeminen vähentää Helsingin sähköntuotantokapasiteettia ja samalla lämpöpumppujen lisääminen kasvattaa sähkön kysyntää
- Kattaakseen kasvavan sähkönkysynnän Helsinki investoisi osakkuusyhtiöiden kautta 200 MW tuulipuistoihin, joiden vuosituotanto vastaa lämpöpumppujen sähkönkysyntää
- Datakeskusten varavoimalaitokset toteutetaan mottorivoimalaitoksina, jotka myös balansoivat tuulivoiman tuotantoa
- Moottorivoimalaitokset priimaavat lämpöpumppujen lämmön talvella kun kaukolämmön menoveden lämpötila on korkea, ne korvaavat osittain Vuosaaren laitoksia lämmöntuotannossa
- Vuosaaren ja Patolan biomassalaitokset täydentävät kaukolämmön tuotantoa

**Datakeskusten
lämpöpumput ja
merivesilämpöpumput**
Yht. 450 MW lämpöä / 90
MW sähkötehoa

Sähkönkäyttö vuodessa
680 GWh

Tuulipuisto-osuudet
200 MW sähköä

**Sähköntuotanto
vuodessa**
~680 GWh sähköä

Moottorivoimalaitokset
(datakeskusten
varavoima)
320 MW lämpöä / 340 MW
sähköä

**Suojaus
sähkönhankintaan
ja sähköntuotanto**
384 GWh

Lämpölaitos 1 (hake)
250 MW lämpö
Vuosaari

Lämpölaitos 4 (pelletti)
100 MW lämpö
Patola

- Datakeskus, lämpöpumput ja moottorivoimalaitos sijoitetaan Salmisaaren voimalaitokseen
- Merenalaiset kivihiilisiilot konvertoidaan lämpövarastoksi



Tuulisähkön huomioiminen laskelmissa

Tuulisähköä saadaan omistusyrityksiltä lämpöpumppujen vuosittaista sähkönkulutusta vastaava määrä:

- Tuulipuiston käyttöaste 40%
- Tarvittava tuulipuistojen koko on 200 MW

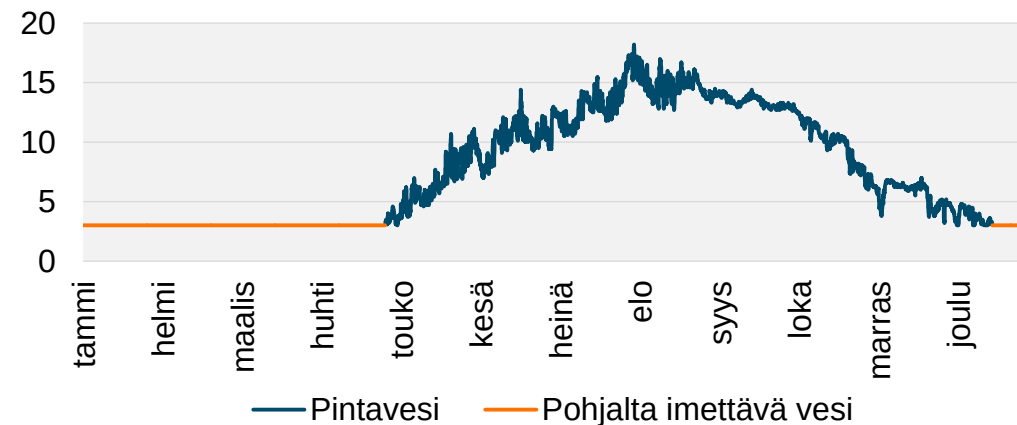
Tuulisähkön omakustannushinnaksi on arvioitu 26 EUR/MWh, mikä vastaa kokonaiskustannusta 30EUR/MWh

Koska lämpöpumppujen käyttämän sähkön vaihtoehtoiskustannus vastaa tuulisähkön edelleen myyntiä markkinalle, käytetään tuotantoa optimoitaessa kuitenkin sähkön kustannuksena markkinahintaa

Laskelmassa huomioidaan tuulisähkön vaikutus:

- Sähkön hankinnan kustannus lämpöpumpulle vastaa tuulisähkön hintaa siltä osin kun tuulipuisto tuottaa samaan aikaan lämpöpumpun kanssa
- Kun tuulipuisto tuottaa liian vähän, ostetaan sähköä markkinalta. Kun se tuottaa liikaa, myydään ylijäämä markkinalle

Meriveden lämpötila



Merän lämpötilasta johtuen pintavettä voidaan hyödyntää pääasiassa touko-marraskuussa

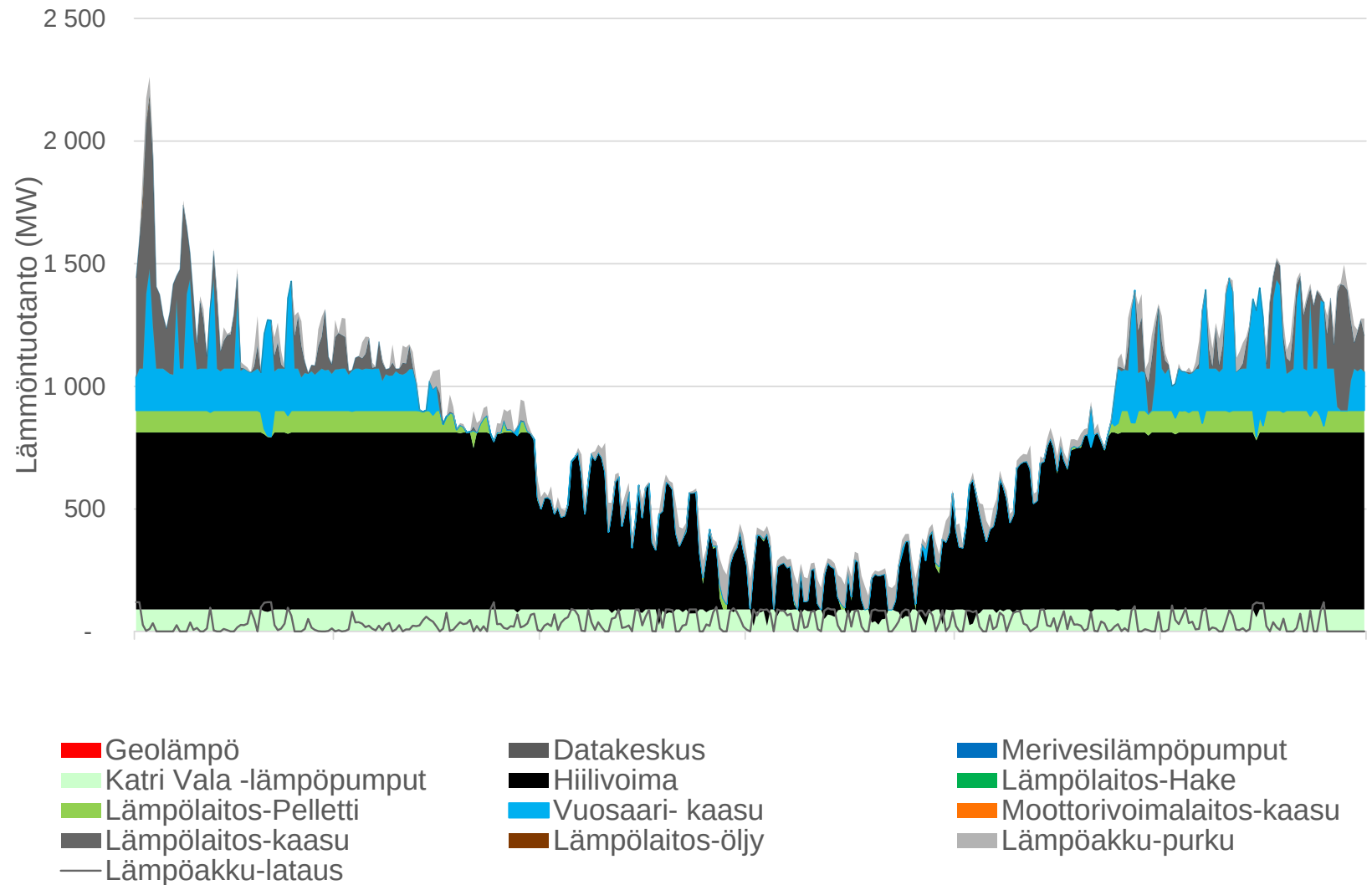
Lämpöpumpun arvioitu COP meriveden minimi- ja maksimilämpötiloilla:

- 2.9 merivesilämpötilalla 3 C
- 4.0 merivesilämpötilalla 20 C
- COP:n riippuvuus meriveden lämpötilasta on arvioitu lineaariseksi näiden pisteiden välissä

LASKENNAN TULOKSET

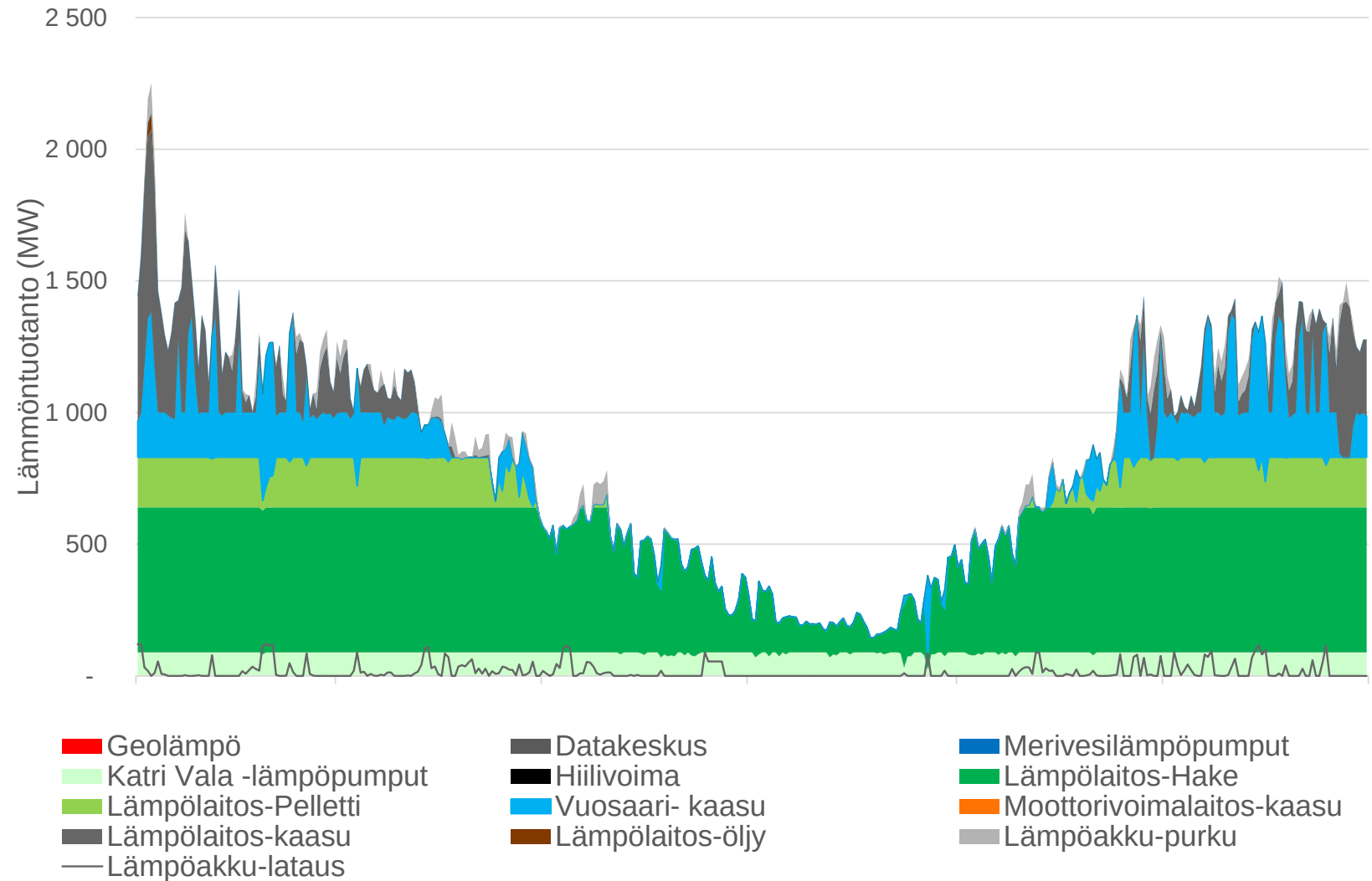
Nykytilanteessa
kaukolämmön tuotanto
perustuu pitkälti
hiilivoimaan
ja maakaasuun

Katri Valan lämpö-
pumput jo nyt edullisin
tapa tuottaa
kaukolämpöä
Helsingissä



Biomassaskenaariossa
hiililaitokset korvataan
käytännössä hake-
ja pellettikäyttöisillä
lämpölaitoksilla

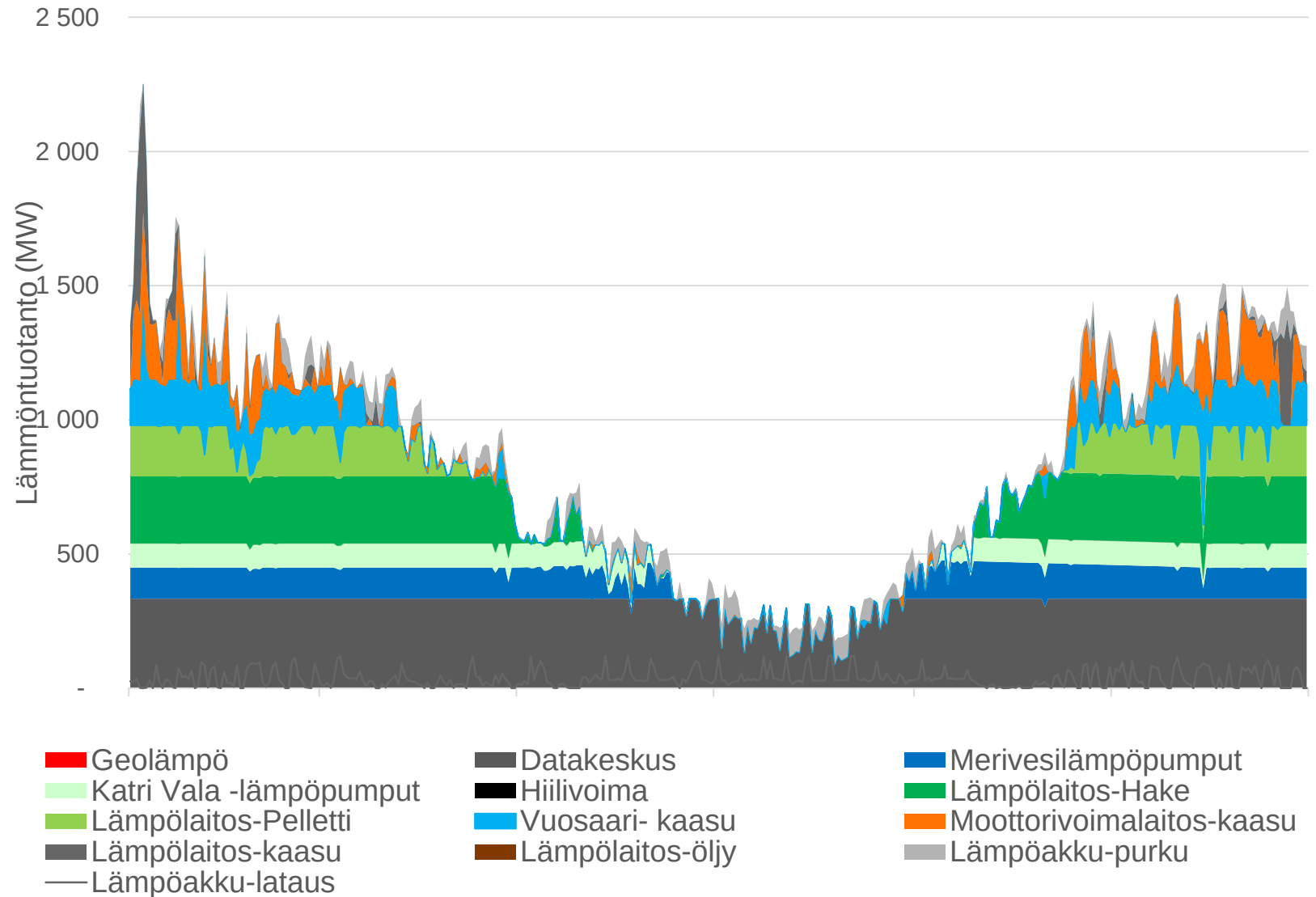
Kaukolämmön
tuotannossa ei
muita merkittäviä
muutoksia



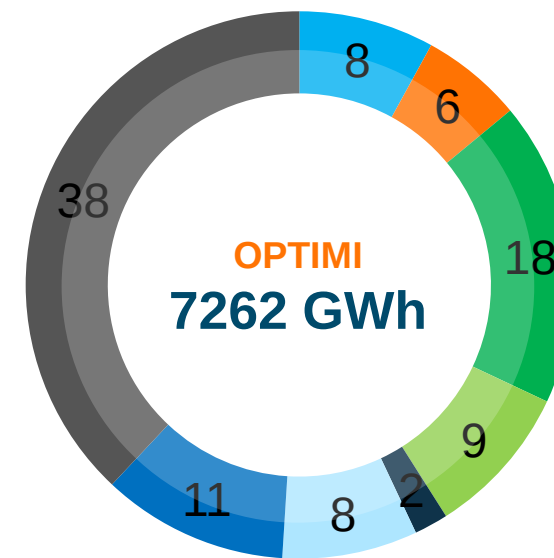
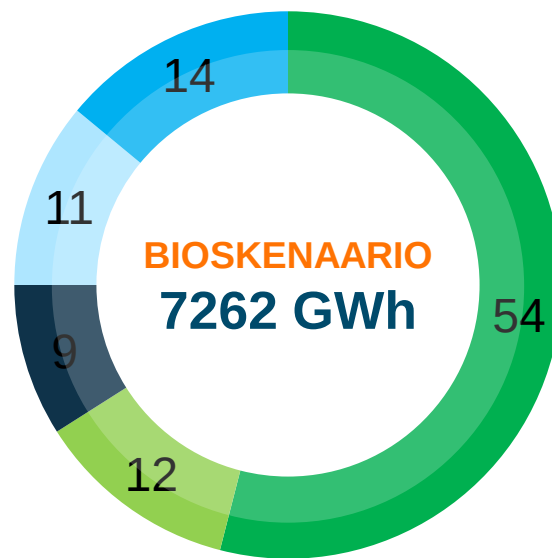
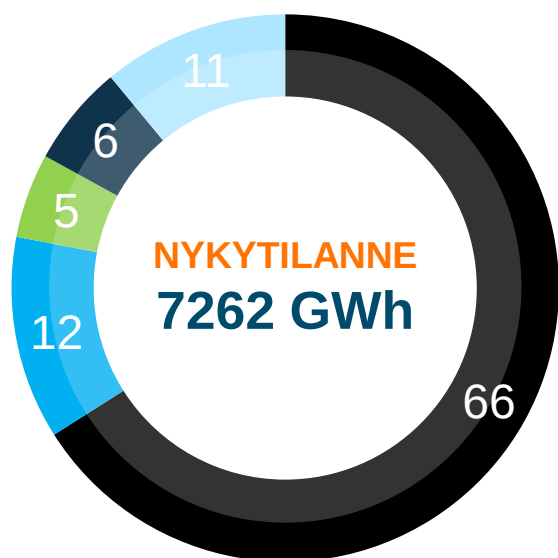
Optimiskenaariossa
kaukolämmön tuotanto
perustuu datakeskusten
hukkalämpöön

Merivesilämpöpumput
ja kaksi uutta
biomassalämpölaitosta
tukevat tuotantoa

Moottorivoimalaitos
osallistuu kaukolämmön
menoveden
priimaukseen kylminä
pakkaspäivinä; korvaa
osittain Vuosaaren
yhteistuotantolaitoksen
tuotantoa



Mallinnus perustuu tuntikohtaiseen optimointiin esimerkkivuoden osalta. Hiilenkäyttö korvataan datakeskusten hukkalämmöllä, lämpöpumpuilla ja hakkeella.



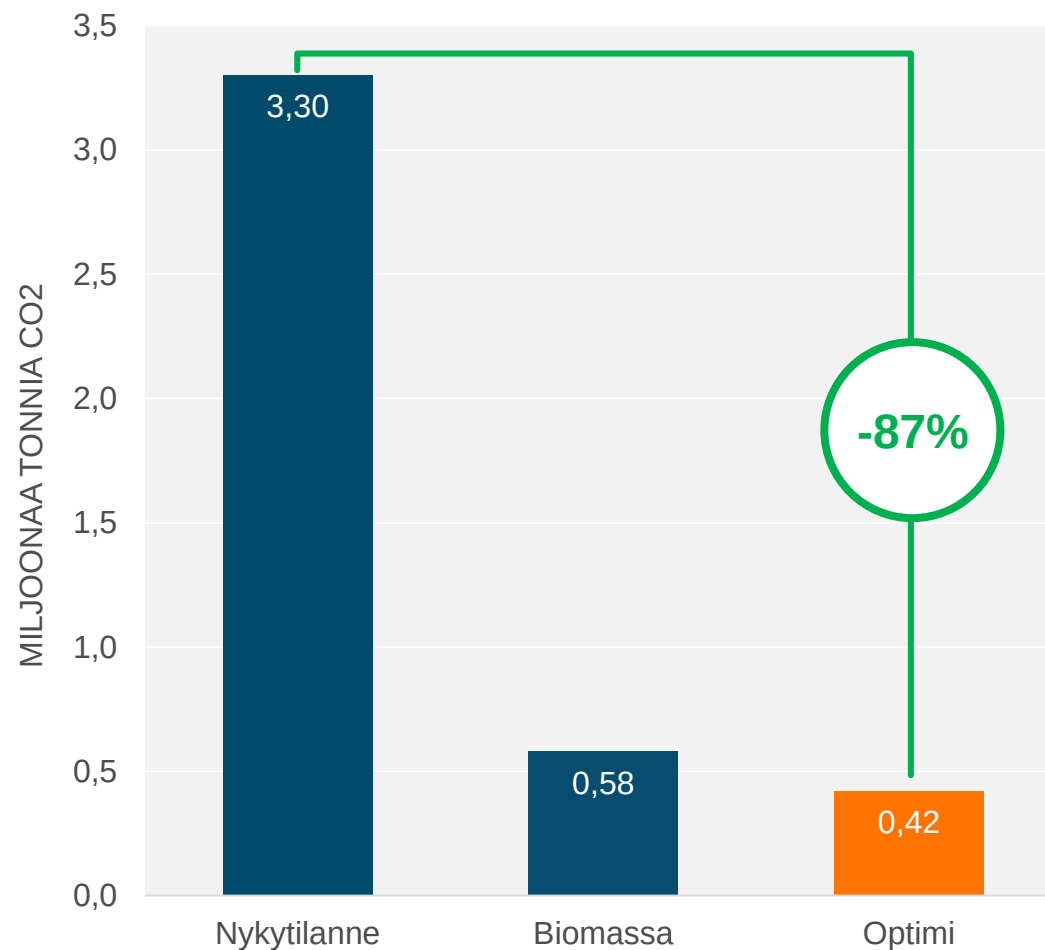
■ Hiilivoima
■ Vuosaari-CCGT
■ Lämpölaitos-pelletti
■ Lämpölaitos-kaasu
■ Katri Vala-lämpöpumput

■ Lämpölaitos-hake
■ Lämpölaitos-pelletti
■ Lämpölaitos-kaasu
■ Vuosaari-CCGT
■ Katri Vala-lämpöpumput

■ Vuosaari-CCGT
■ Lämpölaitos-hake
■ Lämpölaitos-kaasu
■ Merivesilämpöpumput
■ Moottorivoimalaitos-kaasu
■ Lämpölaitos-pelletti
■ Katri Vala-lämpöpumput
■ Datakeskus

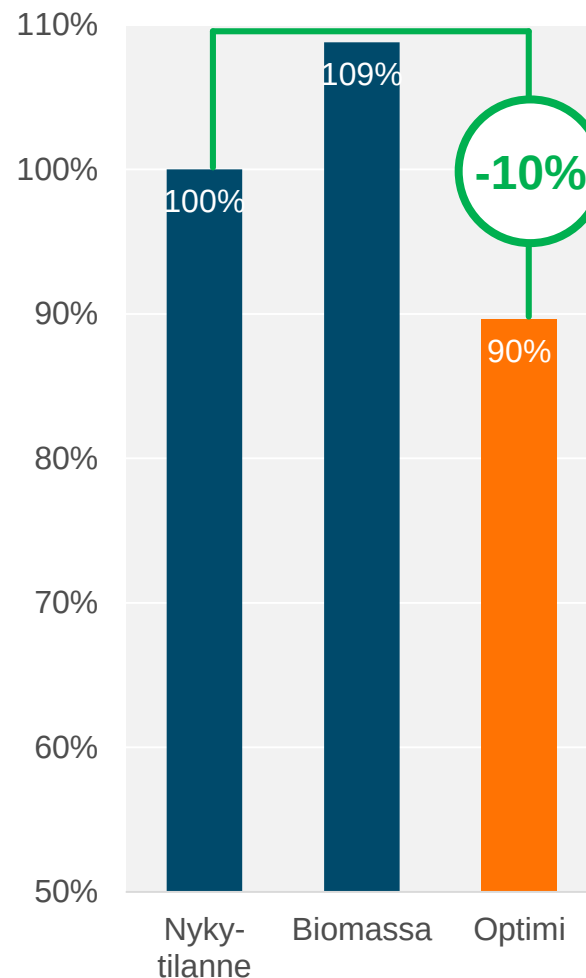
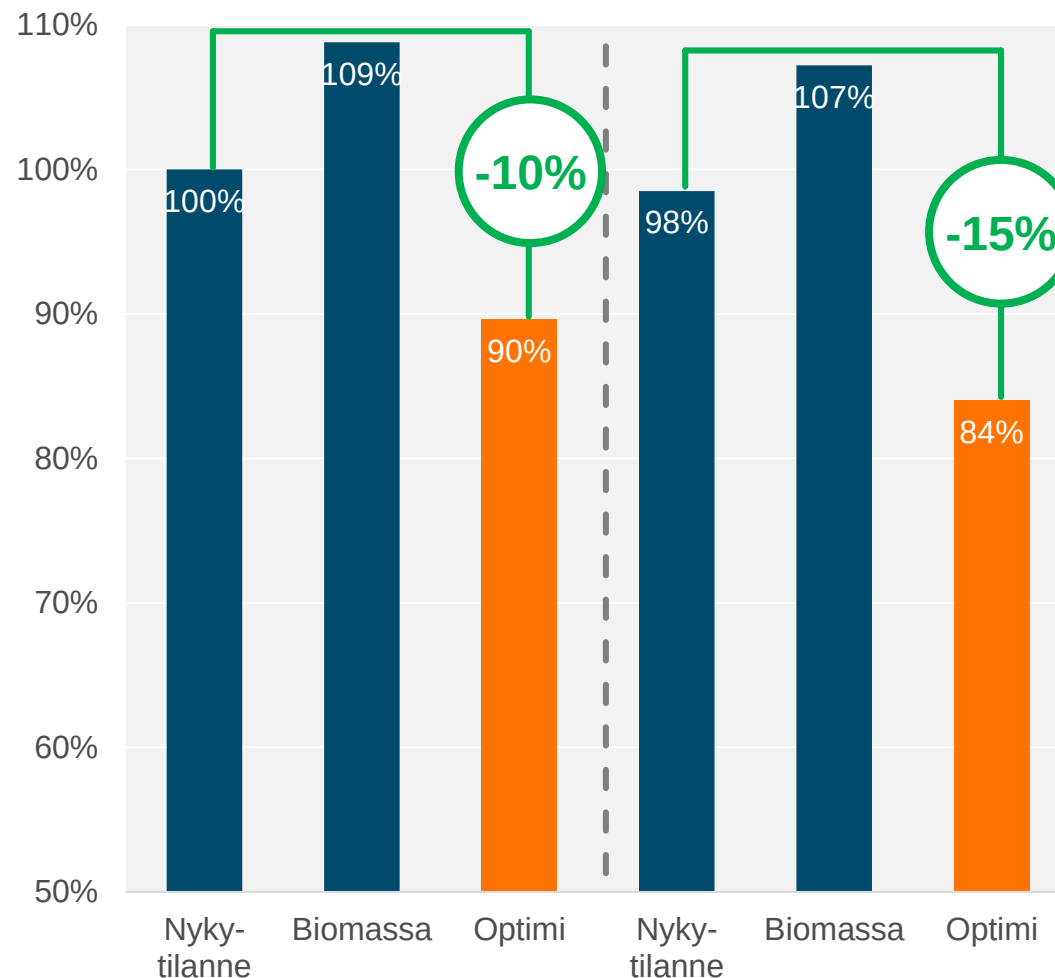
- Nykytilanteeseen verrattuna CO2-päästöt pienenevät noin 2.9 miljoonaa tonnia, eli 87% nykytilanteeseen verrattuna
- Tämä vastaa vaikutukseltaan lähes 1 100 000 henkilöauton poistumaa Suomen maanteiltä, n. 40% Suomen rekisteröidystä henkilöautokannasta
- Päästöjen alentuminen on todellista, koska lämpöpumppujen nettosähkökäyttöä vastaava määrä on tuotettu tuulivoimalla
- Täysin päästöttömään lämmöntuotantoon päästään, kun siirrytään maakaasusta biokaasun käyttöön
- Myös Helsingin lähipäästöt ovat merkittävästi pienemmät, koska polttoon perustuvaa tuotantoa on vähemmän kuin nykytilanteessa tai biomassaskenaariossa
- Huomioitavaa biomassaskenaarion osalta on se, että tuotannossa syntyy CO2-päästöjä, mutta nykyisellään biomassaa kohdellaan uusiutuvana energiana eikä sille kohdistu päästömaksuja

CO2 –PÄÄSTÖT



* Keskimääräiset auton päästöt 160 g/km ja ajomäärä 16800 km/a.

- Optimiskenaariossa lämmön tuotantokustannus Helsingissä laskee 10% nykytilanteesta jo nykyisellä veroluokalla
 - Sähkön käytölle lämmityksessä kohdistuu 23 EUR/MWh vero, joka koskee myös kaukolämmöntuotantoa
 - Mikäli veroluokka alennettaisiin teollisuuden alempaan veroluokkaan (7EUR/MWh), olisi optimiskenaario 15% edullisempi vaihtoehto
- Biomassan käyttö lämmityksessä on noin 20% optimiskenaariota kalliimpaa
- Sähkönkäytön verokohtelu kaukolämmityksessä on jäänne ajalta, jolloin kaukolämpöä voitiin tehdä ainoastaan perinteisillä tuotantomuodoilla

NYKYINEN
VEROLUOKKATEOLLISUUDEN
VEROLUOKKA

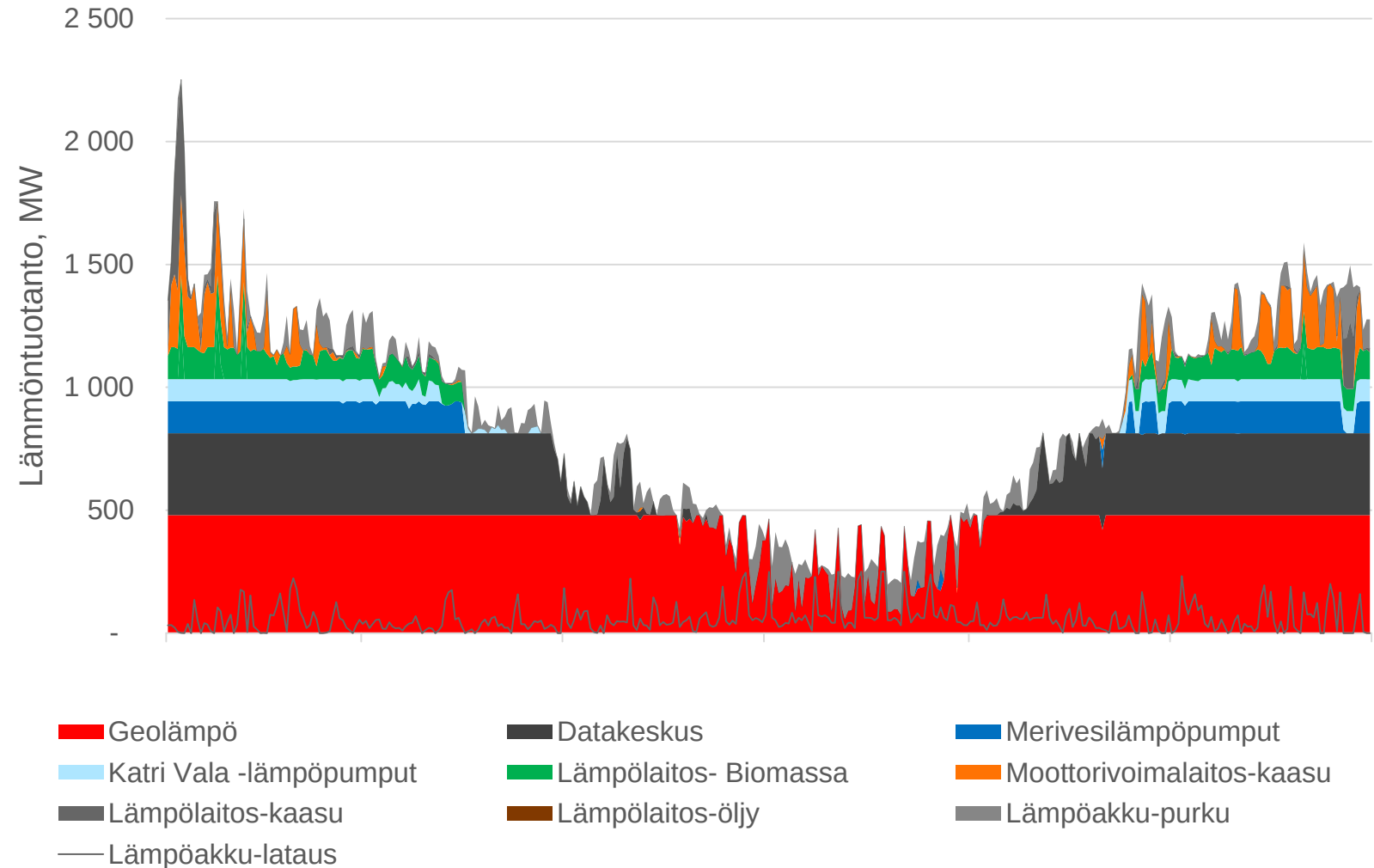
Syvä geolämpö voi laskea tulevaisuudessa kaukolämmön kustannuksia entisestään

Tulevaisuudessa edullisin kaukolämmön tuotanto Helsingissä voi perustua syvään geolämpöön ja datakeskusten hukkalämpöön

Merkittävä määrä geolämpöä käytännössä lopettaisi Vuosaaren yhteistuotantolaitoksen käytön ja vähentäisi biomassalaitosten käyttöä

Toteutusaikataulu riippuvainen teknologian kaupallistamisesta

Kustannussäästöt -19% ja CO₂ päästöt jopa -93% nykytilanteeseen verrattuna



- Edullinen tuulivoima muokkaa Suomen energiakenttää voimakkaasti
- Perinteisesti biomassapohjainen polttoaine (hake tai pelletti) on nähty Suomessa parhaana hiilen korvaajana kaukolämmityksessä, mutta mahdollisuus kaukolämmityksen sähköistämiseen tuulivoiman kautta on muuttanut tilannetta
- Isot lämpöpumput yhdistettynä tuulivoimaan ja riittävään säätökapasiteettiin ovat jo nyt nykyisiä kivihililaitoksia edullisempi tapa tuottaa kaukolämpöä
- Lämpöpumppujen lämmönlähteenä voi toimia merivesi, datakeskusten hukkalämpö ja geoterminen lämpö, joista datakeskusten hukkalämpö sekä merivesi ovat kannattavin yhdistelmä tuottaen yli 10% säästön nykytilaan verrattuna
- CO2 päästövähennys vastaa yli miljoonan auton poistumista Suomen maanteiltä
- Syvä geolämpö voi kaupallistuessaan laskea kustannuksia vieläkin enemmän

Optimoinnissa käytetyt investointikustannukset ja laitostehot

LAITOS (POLTTOAINE)	INVESTOINTIKUSTANNUS	LÄMPÖTEHO	SÄHKÖTEHO (+) / SÄHKÖN KULUTUS (-)
Yksikkö	EUR/kW	MW	MW
Lämpölaitos 1 (Hake)	500	250	0
Lämpölaitos 2 (Hake)	500	130	0
Lämpölaitos 3 (Hake)	500	170	0
Lämpölaitos 4 (Pelletti)	500	100	0
Merivesilämpöpumppu	600	130	-40
Meriveden imuputki	400	-	-
Datakeskuksen lämpöpumppu	400	160	-25
Syvä geolämpö	1500	40	-4
Moottorivoimala-yhteistuotanto (maakaasu / biokaasu)	800*	160	170
Kaukolämpövarasto	120	130 MW / 12.5 GWh	-

*50% investoinnista (400 EUR/kW) katetaan varavoimasopimuksella datakeskuksen kanssa

Optimoinnissa käytetyt polttoainehinnat ja muut oletukset

	YKSIKKÖ	ARVO
Polttoaineiden hinnat* (sis keskimääräiset verot yhteistuotantokäytössä)		
Hiili	EUR/MWh	19
Maakaasu	EUR/MWh	31
Hake	EUR/MWh	26
Pelletti	EUR/MWh	26
Muut lähtötiedot		
Sähkön markkinahinta	EUR/MWh	2017 toteutunut tuntihinta**
Sähkön siirtomaksu	EUR/MWh	10
Sähkövero, luokka I	EUR/MWh	22.5
Sähkövero, luokka II	EUR/MWh	7
CO ₂ -päästöoikeus	EUR/tCO ₂	17

* Vastaa pitkän aikavälin hintaennustetta

** Vuoden 2017 keskihinta (33 EUR/MWh) vastaa pitkän aikavälin sähkön hintaennustetta Suomessa

Polku 100% uusiutuvaan kaukolämmön tuotantoon

**Päästöt 3.3 Miljoonaa
tonnia / vuosi**

Päästövähennelmä 87%

Päästövähennelmä 93%

Päästövähennelmä 100%

- Päätös hiilivoimaloiden sulkemisesta

- Investoinnit tuulivoimaan, datakeskusten hukkalämpöön, moottorivoimalaitoksiin merivesilämpöpumppuun ja biomasalaitoksiin

- Investoinnit syvään geolämpöön
- Vuosaaren yhteistuotantolaitos suljetaan tarpeettomana
- Biomassan käyttö vähenee

- Siirytään biokaasun käyttöön moottorivoimalaitoksissa ja lämpölaitoksissa (huippukuorma)
- Fossiilisten polttoaineiden käyttö lämmöntuotannossa tarpeetonta

KIITOS!



WÄRTSILÄ