



Euroopan unionin
osarahoittama



HAMK
Hämeen ammatti-
korkeakoulu



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Kanta-Hämeen rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutokseen (ILMARA)

Rakennetun ympäristön energiajärjestelmät muuttuvassa ilmastossa (TP3)

Ona Vassallo

Projektiasiantuntija

Kestävät energiajärjestelmät –tutkimusryhmä,

HAMK Tech



Sisältö

1. Työpaketin tavoitteet
2. Taustatutkimus
 - I. Kaukolämpö
 - II. Sähkö
 - III. Jäähdytys
3. Simulaation tulokset
 - I. Kaukolämpö
 - II. Sähkö
 - III. Jäähdytys
4. Toimenpide-ehdotukset
 - I. Kaukolämpö
 - II. Sähkö
 - III. Jäähdytys

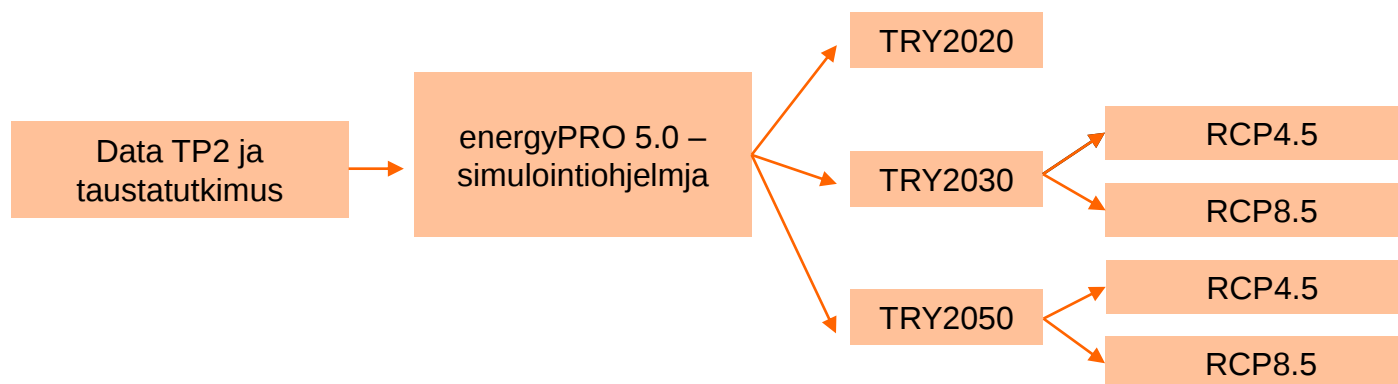
Selitteet

RCP	Representative Concentration Pathway, Ilmastoskenaario
TRY	Test Reference Year, Testivuosi
SMR	Small Modular Reactor, Pienoisydinvoima
CO ₂	Hiilidioksidi
t CO ₂	tonnia hiilidioksidi päästöjä (kumulatiivinen määrä)



Työpaketin 3 tavoite

- TP3 tukee ilmastonmuutokseen sopeutumista tietoisesti ja ennakoivasti tuottamalla kohderyhmille aktiivisesti tietoa energiajärjestelmien muutoksesta muuttuvassa ilmastossa ja siten tukee kohderyhmien sopeutumista ilmastonmuutokseen. Työpaketissa kehitetään kohderyhmille toimenpide-ehdotuksia ilmastonmuutokseen sopeutumiseen ja riskienhallintaan liittyvien suunnittelukäytäntöjen ja –prosessien kehittämiseen liittyen energiajärjestelmien muutokseen. TP3 tukee kestävän kehityksen periaatteita ja unionin ympäristöpolitiikkaa tuottamalla tietoa niistä vihreän siirtymän energiainvestoinneista, joilla huomioidaan muuttunut ilmasto.
 - Energiajärjestelmien simulointi- ja mitoituslaskelmat
 - Arvioiden, tarkistuslistan ja toimenpide-ehdotusten tekeminen
- Tuloksina työpaketista tulee energiajärjestelmätason (kaupunki, alue) laskelmat jäähdytyksen, lämmityksen ja sähköntarpeesta, lisätä tietoa ja toimenpide-ehdotuksia kohderyhmille niistä kestävän kehityksen sekä unionin ympäristöpolitiikan mukaisista energiainvestoinneista, joilla kestävästi voidaan tuottaa energiaa muuttuneessa ilmastossa





EnergyPRO

- Energiajärjestelmämallinnusta varten valittiin energyPRO -ohjelma, joka on suunniteltu erityisesti monimutkaisten energiaprojektien mallintamiseen, analysointiin ja optimointiin, mukaan lukien sähkön, lämmön ja jäähdytyksen osalta.
- Sen avulla on voidaan vertailla ja optimoida järjestelmiä, ja se tulee skenaariomallinnusta. Tulevaisuuden lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien kannalta on tärkeää pystyä vertailemaan tuloksia nykyilmastossa ja tulevaisuuden ilmastossa.
- EnergyPRO soveltuu aluekohtaiseen mallinnukseen, sillä siihen saa yksityiskohtaisesti erilaisia energiajärjestelmiä, joita voidaan optimoida kattavasti halutuilla tavoilla.

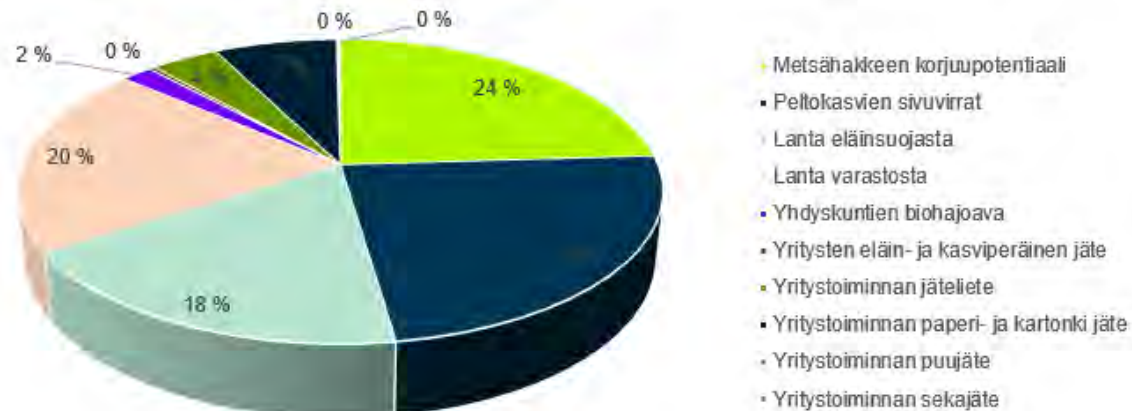


Taustatutkimus

- Biomassapotentiaalit Kanta-Hämeen alueella

- Kanta-Hämeessä on laajoja metsäalueita, jotka tarjoavat merkittävän määrän metsähaketta. Metsätalous on alueella vahvaa, ja metsähakkeen käyttö energianlähteenä on yleistä. Lisäksi alueella on paljon maataloutta, ja peltokasvien sivuvirrat, kuten olki ja muut kasvinjäänteet, ovat merkittävä biomassan lähde. Tämä tukee paikallista bioenergiaa ja vähentää jätettä.
- Biomassan hyödyntämisellä on tärkeä rooli 100 % uusiutuvien energiajärjestelmien tulevaisuutta ajatellen. Sen käyttö on kuitenkin rajallista, koska sen on oltava kestävä - ei ainoastaan ympäristön vaan myös sosiaalisesti ja taloudellisesti. IEA:n Net Zero by 2050-raportin (2021) mukaan noin 60 prosenttia maailman 100 EJ bioenergian tarjonnasta vuonna 2050 tulee kestävästä jätevirroista, jotka eivät vaadi erityistä maankäyttöä. Lisäksi jotkin havainnot viittaavat siihen, että maankäytön muutoksilla on suuri vaikutus biomassan kestäväan käyttöön energialähteenä.
- Vera ym. (2022) ja Humpenöder ym. (2018) antoivat hyvän yleiskatsauksen siitä, miten maankäytön muutokset vaikuttavat YK:n kestäväan kehityksen tavoitteiden välisiin suhteisiin. On olennaista mainita, että arvioinnit on tehty vertaamalla biomassan potentiaalista käyttöskenaariota entiseen maankäyttöön ja "business as usual" -kehitykseen.

Kanta-Hämeen biomassapotentiaalista tulevan energiamäärän jae

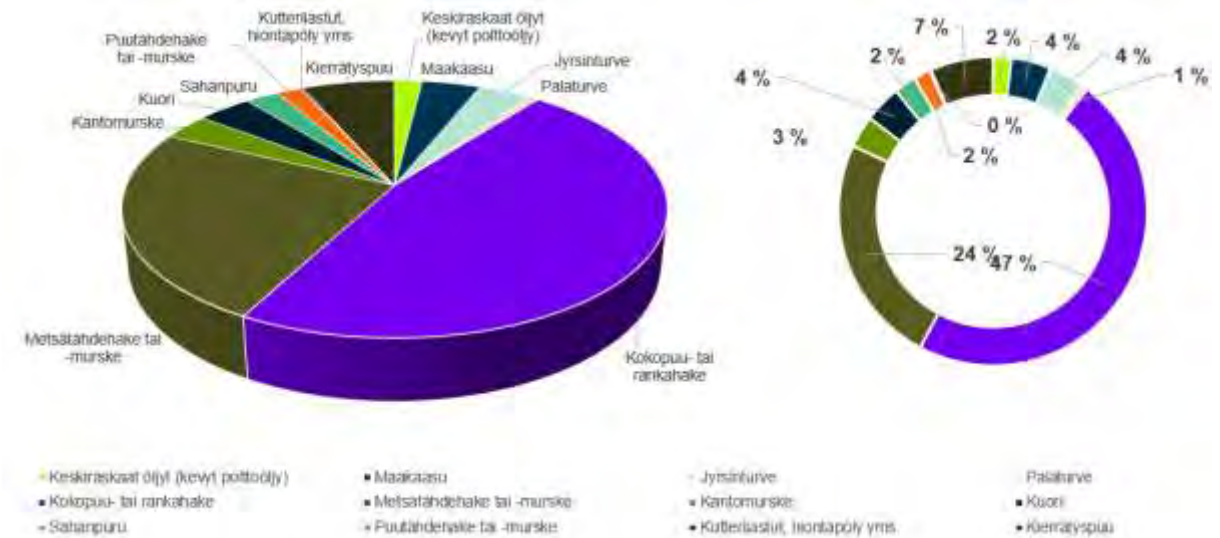




Taustatutkimus, Kaukolämpö

- Hämeenlinnan alueella kaukolämpöverkon haltijana ja -tuottajana toimii **Loimua Oy**
- Polttoaineena kaukolämmöntuotannossa on vuodesta 2023 käytetty pääosin biomassaa, joista suurin osa on kokopuuta tai metsätähdehakea.
- Fossiilisinä polttoaineina on käytetty maakaasua, kevyttä polttoöljyä sekä turvetta. Fossiilisten osuus kulutuksesta on vähäistä.
- Kaukolämpötilastot ja lämmityslaitoskohtaiset tiedot ovat saatavilla avoimesti, ja investointipäätökset tulevaisuuden järjestelmiin on hankittu Loimuan omilta nettisivuilta.

Kaukolämmön polttoainejakauma 2023



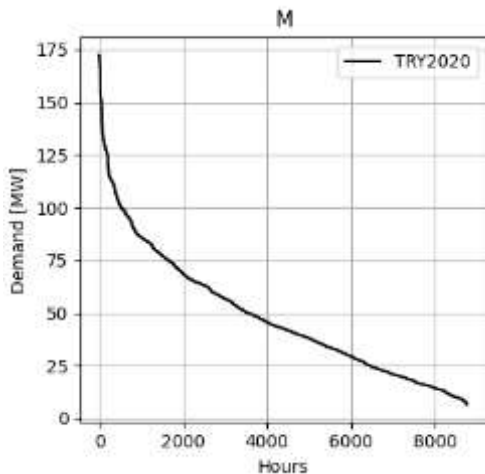
	Asuinalot	Teollisuusasiakkaat	Muut asiakkaat	Yhteensä
Sopimusteho [MW]	97.7	24.6	103.3	225.6
Kaukolämmön käyttö [GWh]	216.9	36.9	189.4	443.2

Hämeenlinna -alueella olevien asiakkaiden sopimustehot ja KL käyttö vuonna 2022 (Energiateollisuus ry, 2022)



Taustatutkimus, Kaukolämpö

- Loimualla on Hämeenlinnan alueella 2 höyryvoimalaitosta (lv) ja 12 kiinteää lämpölaitosta (klk), joista vanhimmat raskaan polttoöljyn laitokset ovat jo poistuneet käytöstä.
- Uusin biomassa kattila, Vanajan K6, saa pian seuraa sähkökattila- ja lämpöpumppuinvestoinneista (2026-2027).
- Uusien investointien on tarkoitus nostaa alueen kaukolämmön tuotanto lähelle 100 % uusiutuvan energian tuotantoa.
- Kaukolämmön pysyvyyskäyrä Hämeenlinnan alueella perustuu alueen lämmitystarpeeseen sekä testivuoden säähän. Osittain käyrässä on mallinnettu lämpimän käyttöveden normaaleja käyttöaikoja.



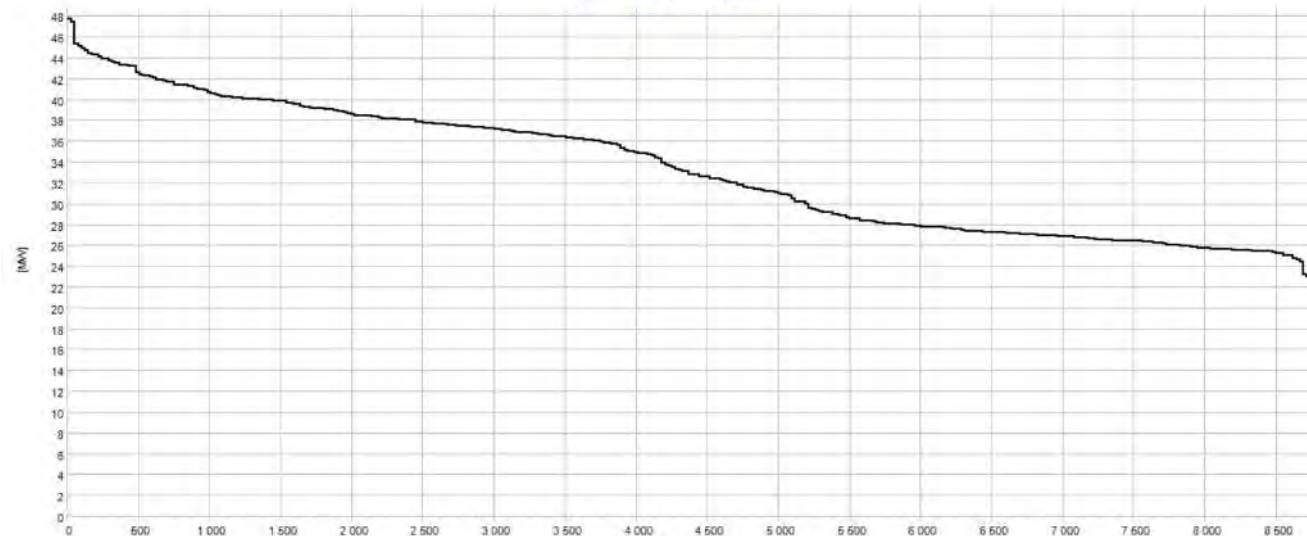
Kaukolämmön pysyvyyskäyrä 2023

Tuotantolaitoksen nimi		Laitostyyppi	Käyttöönotto vuosi	lkm	Turbiinien kautta	Suoraan kattiloista	LTO	Yhteensä	Sähköteho	Pääpoltoaine
					[MW]					
Loimua, HML	Kauriala	klk	1964	3	-	40	-	40	-	maka
	Keinusaari	klk	1969	2	-	63	-	63	-	rpö
	Ahvenisto	klk	1977	4	-	55	-	55	-	maka
	Katuma	klk	1980	3	-	10	-	10	-	kpö
	Sairaala	klk	1992	1	-	4	-	4	-	maka
	Sairionranta	klk	2007	1	-	10	-	10	-	kpö
	Parolannummen lämpökeskus	klk	..	3	-	10	-	10	-	maka
	Kalevalan puistotie I, Lammi	klk	..	2	-	5	-	5	-	kpö
	Puhdistamon I, Lammi	klk	..	1	-	5	-	5	-	rpö
	Lammi KPA-kattila	klk	..	1	-	4	-	4	-	popu
	Vanaja K6	klk	2020	1	-	35	10	45	-	popu
	Hauho KPA-kattila	klk	..	1	-	2	-	2	-	popu
	Vanaja (leijukattila)	lvl	1989	1	-	54	4	58	16	popu
Vanaja (kaasuturbiini)	lvl	1989	1	65	-	-	65	40	maka	



Taustatutkimus, Sähkö

- Sähkön kulutuksen muutosta on hankkeessa tarkasteltu vain lämpötilan tuoman energianmuutostarpeen myötä.
 - Lämmitysenergian muutos asumisessa (kaukolämpö, ja sähkö lämmitys)
 - Jäähdytysenergian muutos asumisessa (kaukojäähdytys, ja rakennuskannan ominaisjäähdytysarvot)
- Kanta-Hämeen läpi kulkeva Fingridin hallinnoima 400 kV voimalinja sallii suuret investoinnit alueelle.
- 400 kV voimalinjan lisäksi alueella on sekä Fingridin että Elenian 110 kV voimalinjoja. Fingridin 110 kV voimalinja toimii Hämeenlinnassa ja on yhdistetty mm. Loimuan omistamaan Vanajan voimalaitokseen.



Sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrä, kun kulutus on haettu koko Suomen sähköntunti datasta Hämeenlinnan asumisen ja maatalouden sähkönkulutuksen osuus huomioiden (1,292 % koko maan asumisen ja maatalouden sähkön kulutuksesta)



Kantaverkot Kanta-Hämeessä. Sininen kuvaa Fingridin hallinnoimaa 400 kV:n voimajohtoa, ja punainen 110 kV:n voimajohtoa. Harmaalla kuvassa on Elenian hallinnoimaa 110 kV voimalinjaa

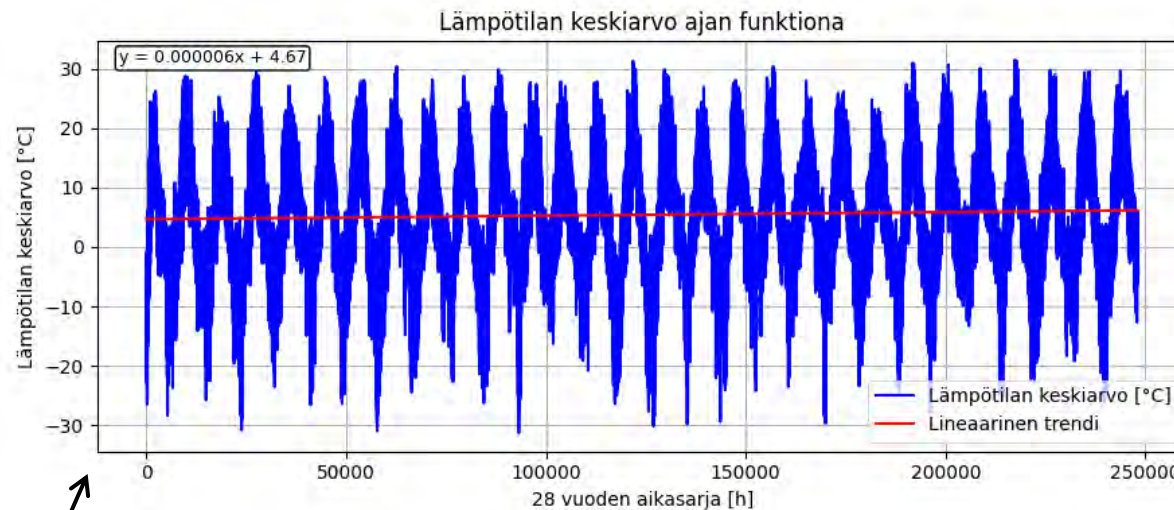


Hämeenlinnan läpi kulkeva Fingridin hallinnoima 110 kV voimajohto



Taustatutkimus, Jäähdytys

- Hankkeessa oli tarkoitus tarkastella kaupunkitason jäähdytysenergian kasvua, mutta siihen saatu datapohja todettiin liian vaikeaksi koottavaksi hankkeen puitteissa. Jäähdytystarpeen tarkastelua tehtiin Ilmatieteen laitoksen havaintojen latauspalvelun ja testivuosien tarkastelun kautta. RCP4.5 2030 testivuoden lämpötilan keskiarvo on 6,0 °C, RCP4.5 2050 on 6,7 °C. RCP8.5 testivuosien 2030 ja 2050 lämpötilan keskiarvot ovat 6,2 °C ja 7,3 °C. Vuosien 2010–2024 lämpötilan keskiarvo on ollut 5,6 °C, ja TRY2020 testi vuoden lämpötilan keskiarvo on 5,1 °C. Koko Jokioisten mittaushistorian (28 vuotta) keskiarvo on 5,6 °C.
- Oheisessa kuvassa on esitettynä Jokioisten Ilmalan 28 vuotta lämpötilan tunnittaista keskiarvoa. Tilaston trendiviiva viittaa keskilämpötilan kasvuun ($y = 6E-06x + 4.6651$). Tilastoon lisättäessä ennustettu tulevaisuuden skenaario RCP4.5 trendiviiva ei juurikaan muutu ($y = 6E-06x + 4.6264$). RCP8.5 skenaariossa trendiviiva muuttuu hiukan ($y = 7E-06x + 4.5803$).



	Jäähdytystä vaativien tuntien määrä [h]				Astetunnit [°Ch]		Kasvu 2030-->2050	
	27 °C	26 °C	25 °C	24 °C	24 °C	27 °C	24 °C	27 °C
Jäähdytyksen raja								
RCP45_2030	28	44	81	129	614.5	201.9		
RCP45_2050	31	59	101	160	777.6	246.1	127 %	122 %
RCP85_2030	31	52	91	143	672.9	229.5		
RCP85_2050	53	90	143	214	1080.1	403.4	161 %	176 %

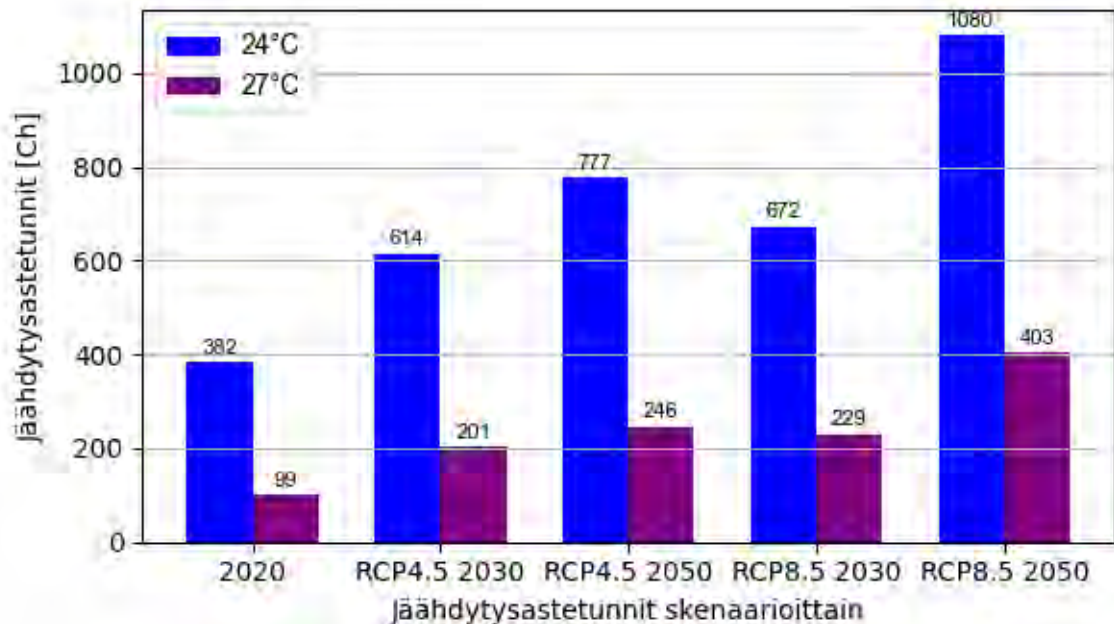
Ilmastoskenaarioiden jäähdytystä vaativien tuntien määrä jäähdytysasteiden erilaisilla rajoilla, sekä astetunnit eri skenaarioissa 24 ja 27 asteen rajoilla



	Jäähdytystä vaativien tuntien määrä [h]				Astetunnit [°Ch]	
Jäähdytyksen raja	24 °C	25 °C	26 °C	27 °C	24 °C CDH	27 °C CHD
keskiarvo 2010–2017	123	80	47	29	629	221
2010	285	196	104	66	1480	536
2011	203	141	97	55	1062	420
2012	20	13	8	0	93	0
2013	110	52	25	8	477	72
2014	271	198	136	95	1495	715
2015	40	13	7	4	168	27
2016	55	24	2	0	242	0
2017	3	0	0	0	14	0
2018	341	269	202	142	1974	1103
2019	159	117	71	47	861	374
2021	277	207	160	110	1610	889
2022	221	175	126	79	1221	576
2023	123	81	61	38	651	287
2024	155	93	43	12	726	118
keskiarvo 2010–2024	162	113	74	47	862	365
TRY2020	84	46	29	14	383	100

Testivuoden 2020 ja toteutuneiden säätietojen vertailua Jokioisten Ilmalasta (Ilmatieteenlaitos, 2025)

Jäähdytysastetuntien kehitys testivuosien skenaarioiden mukaan



Taustatutkimus, Jäähdytys

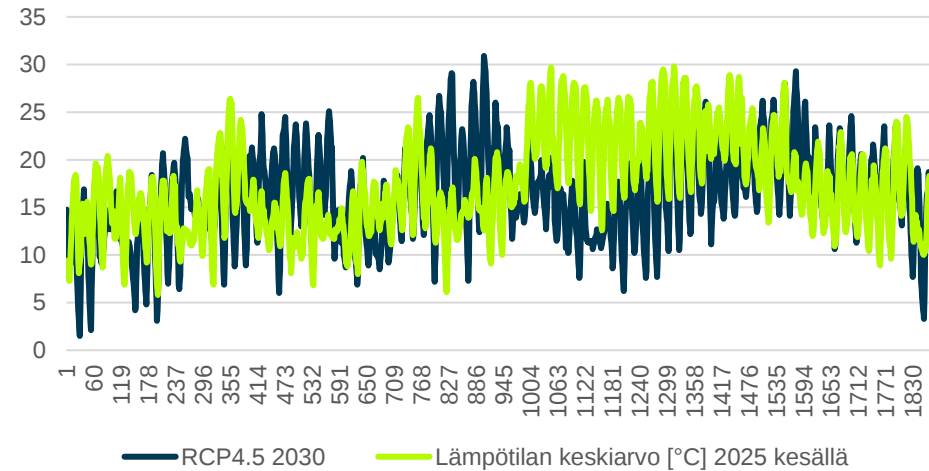
- Jäähdytysastetunteja tarkastellessa viime vuosien (2010–2024) jäähdytysaste tuntien keskiarvot ylittivät selkeästi testivuoden 2020 arvot.
- Keskiarvoiset astetunnit olivat lähempänä ilmastoskenaarioiden 4.5 ja 8.5 vuoden 2050 astelukuja.



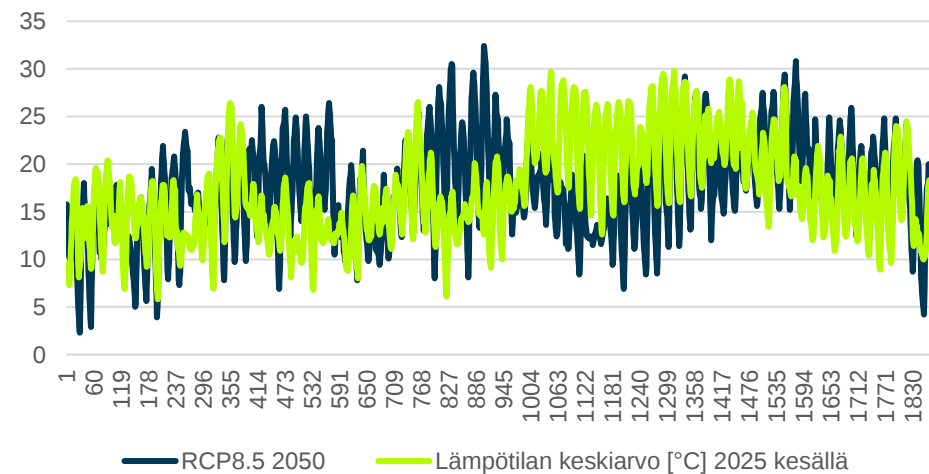
Taustatutkimus, Jäähdytys

- Vuoden 2025 kesä-elokuun tarkastelu paljastaa, että kuluvan kesän helleaalto ylsi jo tulevaisuuden skenaarioiden tasolle
- Vuoden 2025 helleaalto oli myös poikkeuksellisen pitkä, vaikkei korkeimmilla lämpötiloillaan vielä yltänyt referenssivuoden 2050 tasoille tarkastelluissa ilmastoskenaarioissa.

Kesä-elo 2025 vertailu RCP4.5 2030 säädätan kanssa
2025 vs RCP4.5 2030 [°C]



2025 vs RCP8.5 2050 [°C]



Kesä-elo 2025 vertailu RCP8.5 2050 säädätan kanssa



Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö

- Lämmitystarpeen laskenta tulevaisuuteen tehdään RCP-tiedostojen pohjalta käyttäen energyPRO- simulointiohjelmaa. Lämmitys Kanta-Hämeen alueella sisältää pienpuun polttoa, sähköä, öljyä sekä kaukolämpöä, mutta energyPRO-ohjelma on keskittynyt voimalaitospohjaisen lämmitysverkon arviointiin. Tämän takia lämmityslaskenta on suoritettu pääasiassa alueellisiin kaukolämpöverkkoihin ja niiden tutkimiseen. Päätökseen keskittyä kaukolämpöverkkoihin on vaikuttanut ILMARA-hankkeessa yhteistyössä toimiva Loimua, joka on Hämeenlinnan kaukolämpöyhtiö. Kaukolämpöjärjestelmän tutkiminen on tehty Hämeenlinnan kaupungille.
- Hämeenlinnassa Loimualla on 12 kiinteää lämmityslaitosta ja 2 suunniteltua lämpöpumppua (SSAB:n ja jätevedenpuhdistamon hukkalämpöjen hyötykäyttäminen). Vanajan voimalaitoksella on lisäksi kaksi savukaasupesuria, jotka toimivat verkossa lämmöntalteenottajina. Vuonna 2023 Loimua tuotti Hämeenlinnan alueelle noin 424 GWh lämmitysenergiaa. Tiedot ovat julkisesti ilmoitettujen investointipäätösten pohjalta otettu mukaan mallinnuksiin.
- Ensin mallinnettiin kaukolämpövuosi 2023 ja sitä vuotta vastaava kaukolämpöjärjestelmä aikaisemmin mainituilla kattiloilla ja savukaasupesureilla. Tämä tehtiin, koska oli tärkeä saada simulaatiotyölle pohja. Loimualta tuli vuoden 2025 alussa tieto tulevaisuuden kaukolämpöjärjestelmän radikaalista muutoksesta, jossa osa lämpökattiloista ja turbiini Vanajan voimalaitokselta laitettaisiin pois käytöstä, ja tilalle hankittaisiin sähkökattiloita ja hukkalämmön hyödyntämistä. Vuoden 2024 ja 2025 aikana näistä on uutisoitu Loimuan puolesta.
- Näiden muutosten takia tehtiin niin sanottu tulevaisuuden skenaario, "future", joka sisältää 30 MW ja 5 MW sähkökattilat, sekä SSAB:n hukkalämpöjen hyödyntävän lämpöpumpun sekä jätevesilaitoksen hukkalämpöjen lämpöpumpun. Suuri määrä sähkön käyttöä tulee vaikuttamaan kaukolämpöyhtiön raportoituihin hiilidioksidipäästöihin myönteisesti. Puukattilat on oletettu jäävän alueelle.



Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö

- Polttoaineiden lämpöarvot ja hiilidioksidipäästöjen kertoimet ovat lueteltu alla olevassa taulukossa

Polttoaine	LHV**	yks	CO ₂ päästökerroin	yks	Referenssit ja muistiot
Metsätähde	10.2	GJ/t	0*	t/TJ	Polttoaineluokitus 2023. *Bioperäinen päästökerroin on 112 t/TJ.
Sähkö			30	g/kWh	
Turve	12.3	GJ/t	103.2	t/TJ	
Maakaasu	38.2	GJ/1000 m ³	55.81	t/TJ	
Kevyt polttoöljy	43.2	GJ/t	73	t/TJ	
Uraanioksidi	3900	GJ/kg	0	t/TJ	Arvio haettu World Nuclear Association –nettisivuilta.

Polttoaineiden lämpöarvoja ja hiilidioksidin päästökertoimia

**LHV = Lower Heating Value



Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö

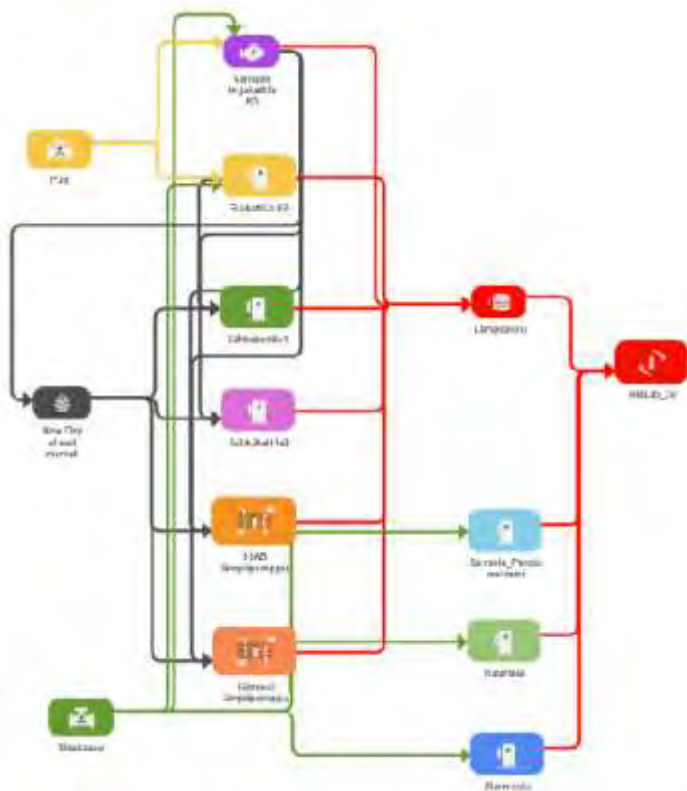
- Polttoaineiden hintadataa ei ollut tiedossa etukäteen. Sen kokoaminen suoritettiin skaalaamalla historia-dataa ja arvioimalla vuosittaista kehitystä. Alla olevassa taulukossa on lueteltuna simuloinneissa käytetyt hinnat ja niiden skaalaukset vuosille 2030 ja 2050.
- Tulevaisuuden (2030 ja 2050) tarkastelu tehdään RCP-tiedostojen lisäksi myös polttoainehintojen kehityksen puolesta. Polttoaineiden hintojen kehitys on oletettu kasvavan vähintään 2 % vuosittain.
- EnergyPRO:n operaatiostrategia käynnistää kattilat polttoainehintojen mukaisesti, eli sen mukaan mikä polttoaine on kannattavin polttoaine polttaa. Sähkön hinnoissa huomioidaan veroluokka II (alempi veroluokka), sähkönsiirron alueellinen voimalaitosten tehomaksu sekä perusmaksu, ja pörssisähkö.

Polttoaine	Hinnat 2023	2030	2050	Lähteet ja huomautukset
Metsätähde	28 €/MWh	+2 % vuosittain	+2 % vuosittain	Tilastokeskuksen ilmoittaman energiapuun keskiarvoinen hinta muutaman vuoden aikajaksolta.
Sähkö	Elspot 2023	Elspot +10%	Elspot +20%	Elspot 2023 datasetti sähkön hinnasta. Sisältää alueellisen siirtoverkon tehomaksut ja veroluokan 2 verotuksen.
	Alueelliset siirtohinnat	Alueelliset siirtohinnat	Alueelliset siirtohinnat	
	Verot (II)	Verot (II)	Verot (II)	
Maakaasu	65 €/MWh	+2 % vuosittain	+2 % vuosittain	Tilastokeskuksen ilmoittaman maakaasun keskiarvoinen hinta muutaman vuoden aikajaksolta
	Sis. Verot yms.			
Kevyt polttoöljy	150 €/MWh	+2 % vuosittain	+2 % vuosittain	Tilastokeskuksen ilmoittaman kevyen polttoöljyn keskiarvoinen hinta muutaman vuoden aikajaksolta
	Sis. Verot yms.			
Uraanioksidi	1,43 €/MWh	+2 % vuosittain	+2 % vuosittain	Arvio perustuu aikaisempiin tutkimuksiin pienydinvoimaloista (burnup 45 GWd/tU) ja vuoden 2023 USD/EUR kurssiin.
	Sis. Pelkät polttoaineen hankintakustannukset			

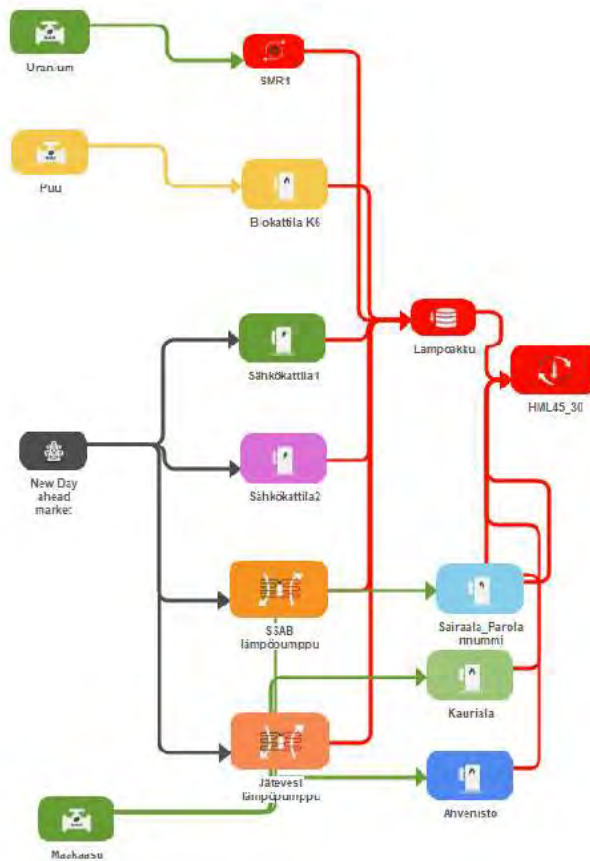
Polttoaineiden hintojen oletukset ja projektiot tulevaisuuden järjestelmille



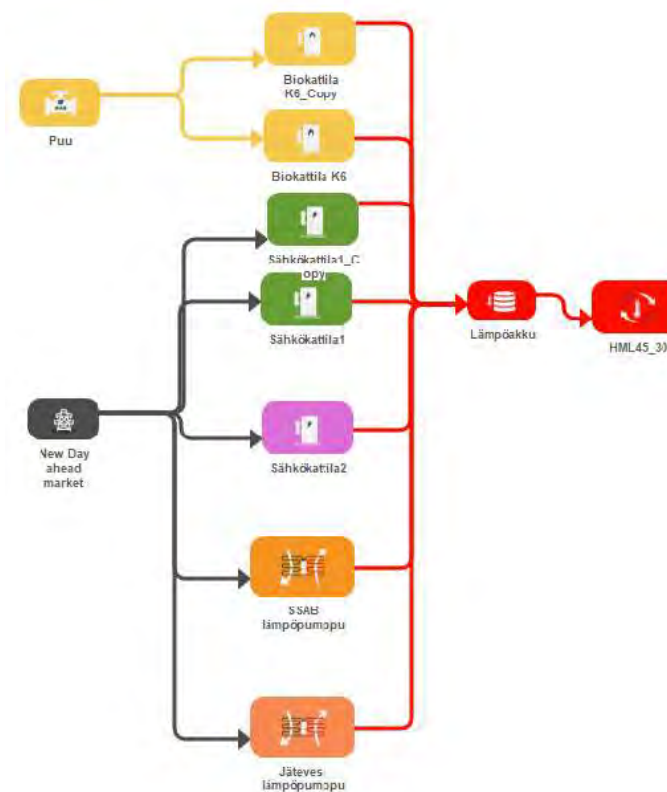
Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö



Järjestelmä, johon on toteutettu lähitulevaisuuden suunnitelmat.



Järjestelmä, josta on poistettu CHP, ja jota korvataan SMR.



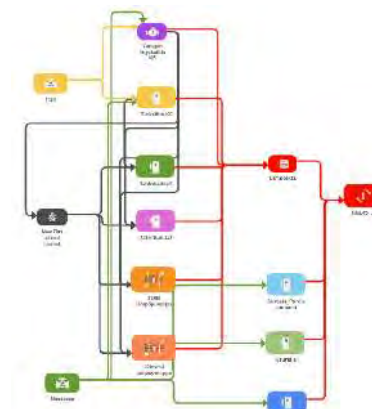
Järjestelmä, josta on poistettu CHP ja maakaasukattilat, joita korvaa lisätty biokattila ja lisäsähkötuotanto [100 % uusiutuva järjestelmä]



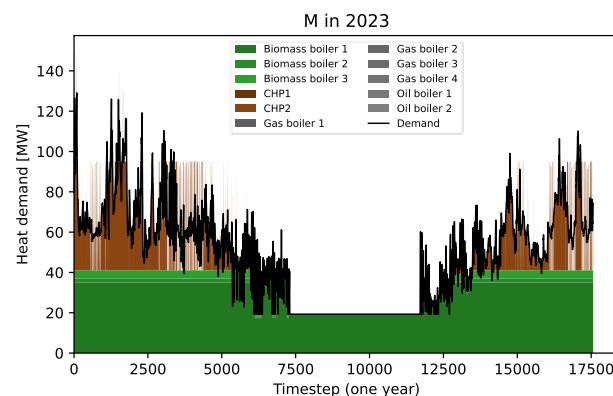
Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö

2023 RCP4.5 2050	SMR RCP4.5 2050
5 360 t CO ₂	1 690 t CO ₂
33 400 t€	43 400 t€

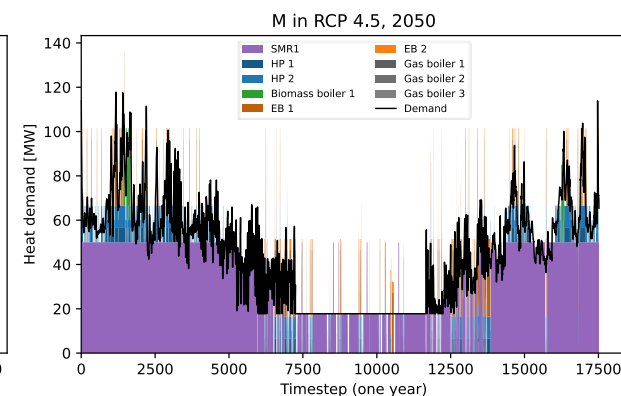
- Vuoden 2023 mallinnettu järjestelmä tuotti ilmastoskenaarion 4.5 mukaan 5360 tonnia CO₂ päästöjä (vuonna 2050), samalla, kun kassavirta laski 33 400 t€.
- Verrattain, SMR-skenaarion samassa ilmastoskenaariossa vuonna 2050 tuotti vain 1690 tonnia CO₂ päästöjä, samalla, kun kassavirta pystyi pysymään huomattavasti korkeammalla, 43 400 tuhannessa eurossa.



Järjestelmä, johon on toteutettu lähitulevaisuuden suunnitelmat.



Järjestelmä, josta on poistettu CHP jota korvataan SMR.



Lämmitysenergian tuotanto alkuperäisten suunnitelmien mukaan (vas.) ja uudelleen ajateltu, pienydinvoimaa sisältävä Revision 1 (oik.). Tuotannon ja kulutuksen eriaikaisuus kuvissa selittyy lämpövaraston latauksella sähkön ollessa erityisen halpaa.

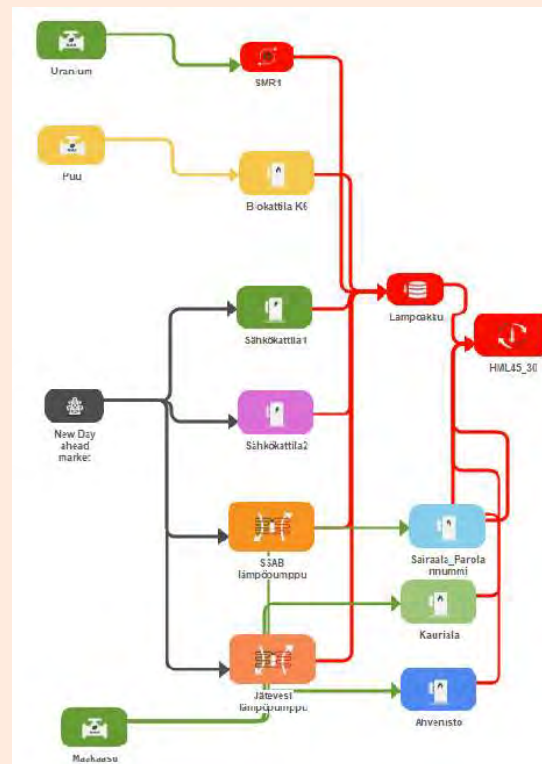


Euroopan unionin
osarahoittama

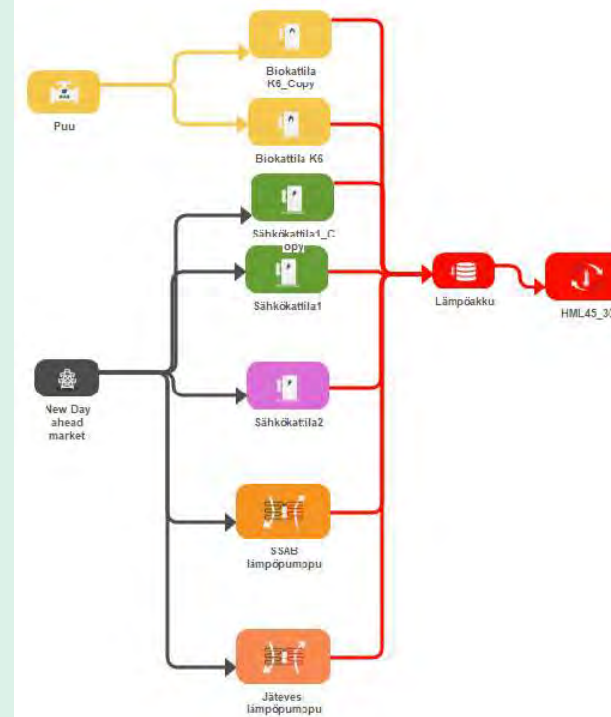
HAMK
Hämeen ammatti-
korkeakoulu

HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Uudelleen
suunniteltu
järjestelmä
vuonna 2023;
sähkötaktila +
lämpöpumput



Revision 1: Järjestelmä, josta
on poistettu CHP jota
korvataan SMR.

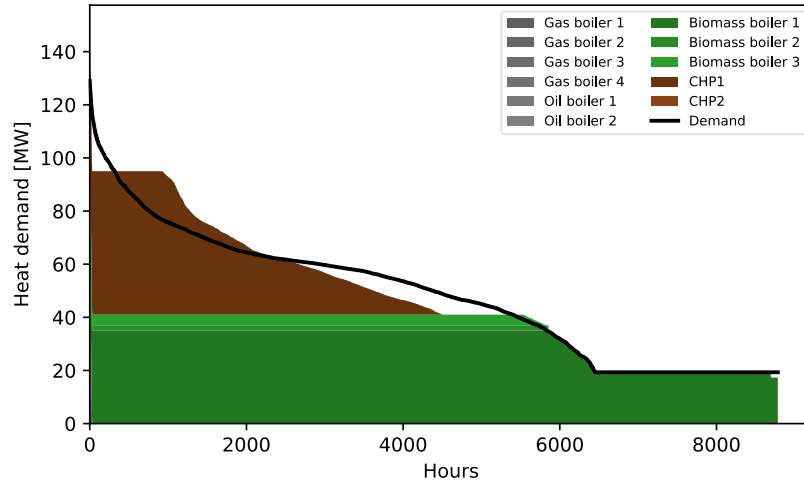


Revision 2: Järjestelmä, josta on
poistettu CHP ja maakaasukattilat,
joita korvaa lisätty biokattila ja
lisäsähkötaktila [100 % uusiutuva
järjestelmä]

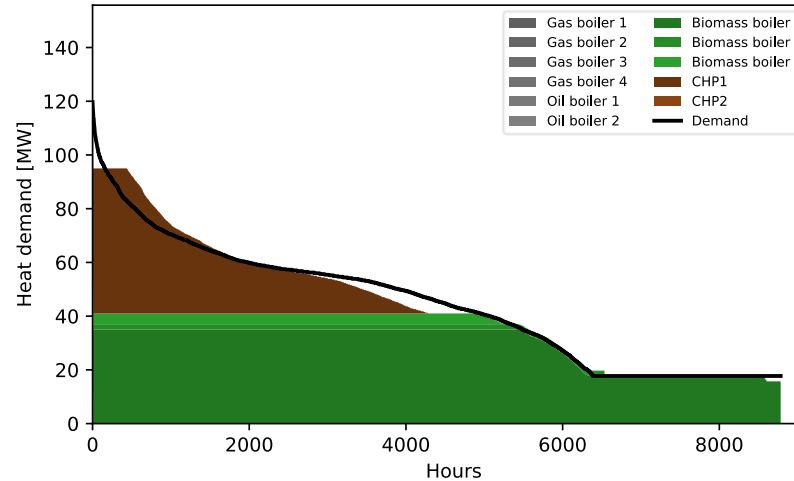


Lämmitysenergian pysyvyyskäyrä alkuperäisten suunnitelmien mukaan (vas. & keskellä) ja uudelleen ajateltu, pienydinvoimaa sisältävä kakkossuunnitelma (oik.)

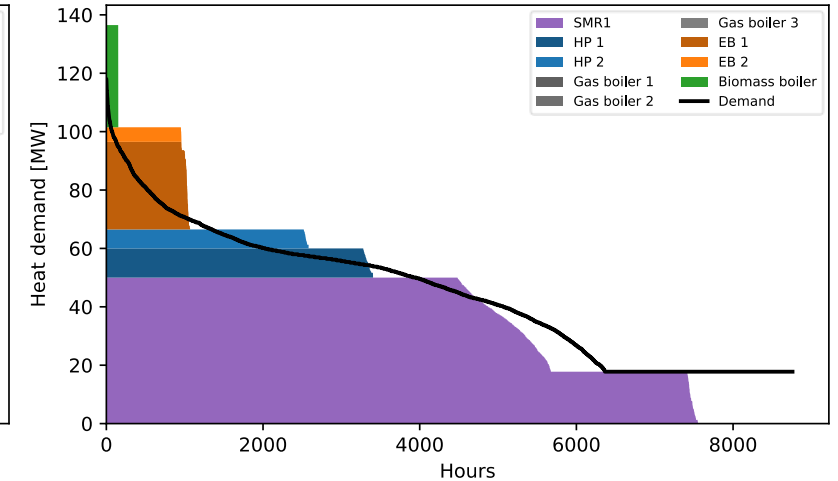
M in 2023



M in RCP 4.5 2050



M in RCP 4.5 2050 after Revision 1

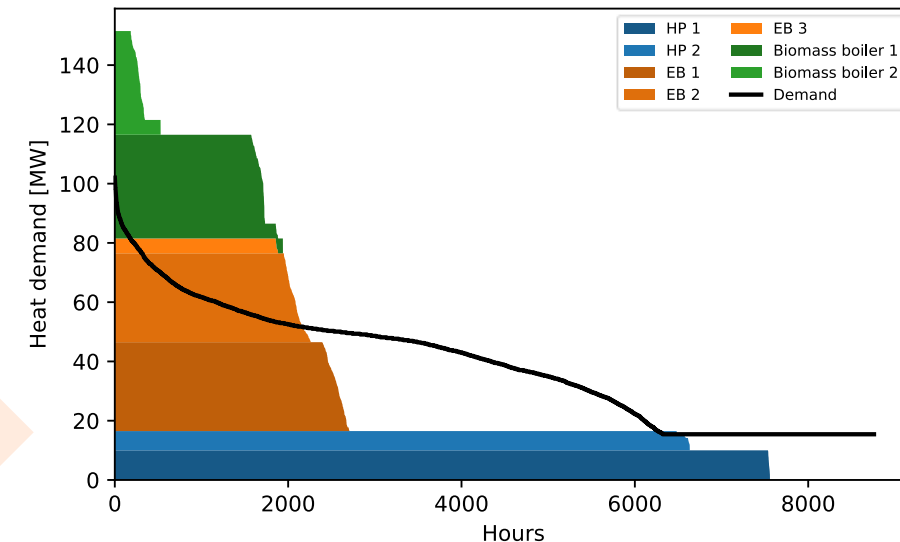


- Vuoden 2023 järjestelmään verrattuna, 100 % uusiutuvan energian järjestelmä tuotti 5 260 t CO2 päästöjä, ja kassavirta laski hieman alle 2023-skenaarion (32 400 t€)

Täysin uusiutuvista energioista koostuva kakkossuunnitelma (oik.). Käyrät kuvattuna "Operation time order", eli siinä järjestyksessä, missä kattilat ovat olleet päällä. Lämmitystarpeen ja kattiloiden päälläoloajan eriaikaisuus selittyy kuvissa lämpöakun toiminnalla, jota puretaan ja ladataan eri aikoina.



M in RCP 4.5 2050 Revision 2

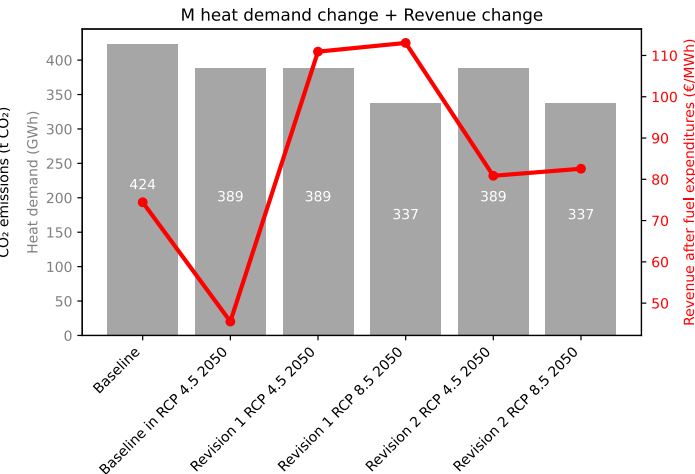
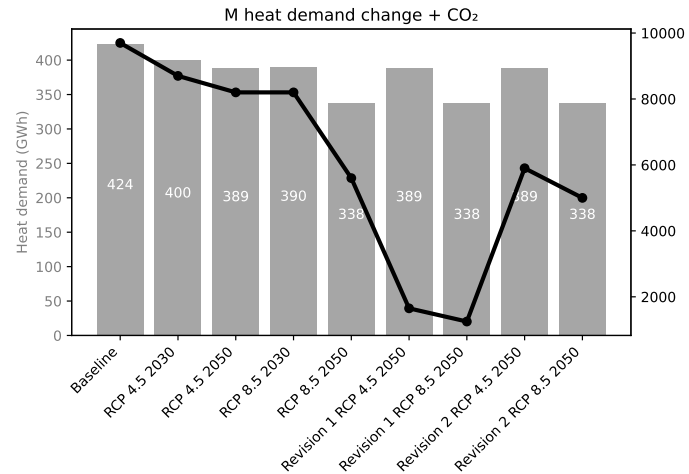




Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö

- Kokonaisuudessaan lämmitysenergian muutoksen arviointiin otettiin huomioon vain ja ainoastaan ilmastonmuutoksen vaikutus RCP-ilmastoskenaarioiden pohjalta
- Muita huomattavia lämmitystarvetta vähentäviä vaikutuksia tulevaisuudessa ovat energiatehokkuuden kasvu ja teknologian kehitys, sekä mahdolliset väestömuutokset alueella.
- Ilmastonmuutoksesta johtuva lämmitysenergian lasku tulee olemaan alueella merkittävää. Kun sen vaikutus lisätään muihin mahdollisiin tuleviin muutoksiin rakennuskannassa, voi muutos olla jopa 31 %-43 % skenaarioittain vuoteen 2050 mennessä.
- Lämmitysjärjestelmän kassavirtaa on yritetty hankkeessa mallintaa, mutta siihen liittyvät epävarmuudet ovat suuria. Voimme kuitenkin todeta, että vähemmän myytyä energiaa tulee tarkoittamaan vähemmän myyntituloa. Tämän pohjalta tehtiin vertailua erilaisten muutosskenaarioiden pohjalta (Taulukko). Taulukossa on vertailtu alkuperäiset järjestelmää ("Ennen SK, HP vuonna 2023), johon ei ole tehty sähkökattila tai lämpöpumppulisäyksiä, vuoden 2050 järjestelmiin RCP-skenaariion 4.5 alla. Tehtyjä muutoksia oli sähkökattiloiden lisäys ja lämpöpumput, sekä SMR-skenaariossa pienoisydinvoiman testaus ("4.5 2050 SMR"). Lisäksi testattiin järjestelmää, joka oli 100 % uusiutuva. Kaikissa järjestelmissä on ollut käytössä sähkön päästökerroin, jonka voi halutessaan laskea nolaksi, jos yhtiöllä on olemassa hiilivapaan sähkön takuu
- Järjestelmistä tulevaisuudessa kassavirtaa ja CO2 päästöjä tarkastellessa parhaiten selvisi pienoisydinvoimaa pohjaenergiana käyttävä järjestelmä. Tämä voi kuitenkin johtua siitä, ettei polttoaineelle ollut tiedossa tarpeeksi hintaa korottavia tekijöitä. Nykyiseltään voidaan todeta, että pienoisydinvoima ei ole vielä lainsäädännöllisesti saatavilla Suomeen, mutta että sen arvioidaan olevan saavutettavissa 2030-luvulla.

Lämmitysenergian hiilidioksidipäästöjen muutokset (vas.) ja lämmitysenergian ja kassavirran muutokset (oik.) kaukolämpöverkossa.





Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö

- Lämmitysjärjestelmän kassavirtaa on yritetty hankkeessa mallintaa, mutta siihen liittyvät epävarmuudet ovat suuria. Voimme kuitenkin todeta, että vähemmän myytyä energiaa tulee tarkoittamaan vähemmän myyntituloa. Tämän pohjalta tehtiin vertailua erilaisten muutosskenaarioiden pohjalta (Alla oleva taulukko). Taulukossa on vertailtu alkuperäisät järjestelmää ("Ennen SK, HP vuonna 2023), johon ei ole tehty sähkökattila tai lämpöpumppu lisäyksiä, vuoden 2050 järjestelmiin RCP-skenaarion 4.5 alla. Tehtyjä muutoksia oli sähkökattiloiden lisäys ja lämpöpumput, sekä SMR-skenaariossa pienoisydinvoiman testaus ("RCP 4.5 2050 SMR"). Lisäksi testattiin järjestelmää, joka oli 100 % uusiutuva ("RCP 4.5 2050, 100 % uusiutuva"). Kyseisen skenaarion kassavirta oli alhaisin, todennäköisesti liittyen korkeaan polttoainehintaan ja sähkönsiirtohinnaan.
- Kaikissa järjestelmissä on ollut käytössä sähkön päästökerroin, jonka voi halutessaan laskea nolaksi, jos yhtiöllä on olemassa hiilivapaan sähkön takuu
- Järjestelmistä tulevaisuudessa kassavirtaa ja kumulatiivisia hiilidioksidi päästöjä tarkastellessa parhaiten selvisi pienoisydinvoimaa pohjaenergiana käyttävä järjestelmä. Tämä voi kuitenkin johtua siitä, ettei polttoaineelle ollut tiedossa tarpeeksi hintaa korottavia tekijöitä. Nykyiseltään voidaan todeta, että pienoisydinvoima ei ole vielä lainsäädännöllisesti saatavilla Suomeen, mutta että sen arvioidaan olevan saavutettavissa 2030-luvun jälkeen.

Skenaario	Järjestelmä lämpöpumpuilla vuonna 2023	RCP 4.5 2050, muutokset tehty	RCP 4.5 2050, SMR	RCP 4.5 2050, 100 % uusiutuva
Kassavirta	49 000 t€	33 400 t€	42 600 t€	32 400 t€
t CO2	19 605	5 360	1 602	5 260



Simuloinnin tulokset, Kaukolämpö

- Energiajärjestelmän varautuminen muutoksiin on tärkeää, varsinkin järjestelmässä, joka priorisoi kassavirran. On siis löydettävä keinoja paikata muuttunutta kassavirtaa, joko nostamalla myydyn lämmitysenergian hintaa tai löytämällä halvempia keinoja tuottaa energiaa.

Lämmitystarpeen muutos laskee pahimmassa skenaariossa jopa -21 % vuoteen 2050 mennessä

Kassavirran oletetaan laskevan lämmön tarpeen vähenemisen myötä.

- Polttoainehintojen kehityksen volateetti on ratkaiseva tekijä.

Rikastetun uraanidioksidin hinnan kehitys on epävarmaa, mutta voidaan olettaa kasvavan.

Sähkön pörssihinnan ja siirtoverkon tehomaksujen voidaan olettaa kasvavan. Sähköveron huoltovarmuussuus kasvaa.

Metsähakkeen hinta on ollut kasvussa, johtuen lämpimästä talvesta ja irtautumisesta tuontipuusta. Puun keruu vaikeutuu loskasäällä, joka kasvattaa sen hintaa. Lämpenevät talvet lisäävät puun keruun vaikeuksia.



Kanta-Hämeen sähkönkulutus vuonna 2023 (Energiateollisuus ry, 2024)

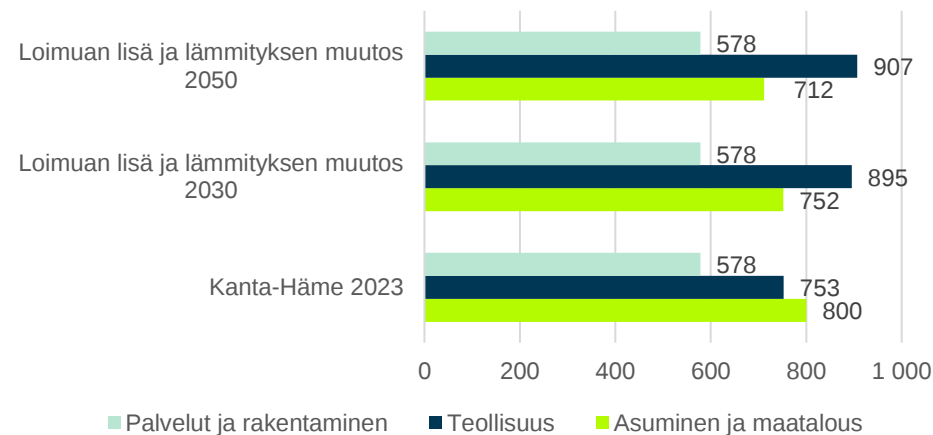
Kanta-Hämeen sähkön kulutus 2023



Simuloinnin tulokset, sähkö

- Kanta-Hämeen nykyinen sähkön tarve (2023) on noin 2 310 GWh vuodessa.
- Asuminen ja maatalous vievät alueella suurimman osan energiasta, mutta teollisuuden osuus on myös merkittävä, ja tulee todennäköisesti lisääntymään kaukolämpöyhtiön Loimuan suunnitelmien mukaan
- Loimuan investoinnit Hämeenlinnan alueen sähkökattiloihin ja lämpöpumppeihin kuluttaisivat noin 142 GWh ja 154 GWh vuosina 2030 ja 2050 RCP-skenaariossa 4.5. Tämä muuttaisi kulutusrakennetta vuoteen 2050 mennessä niin, että Kanta-Hämeen alueen suurin sähkön kuluttaja ei olisi enää asuminen ja maatalous, vaan teollisuus, kun asumisen lämmitykseen sähköllä tuotettu kaukolämpö lasketaan teolliseksi tuotannoksi.

Kanta-Hämeen sähkönkulutus 2023, 2030 ja 2050 (RCP4.5) [GWh]



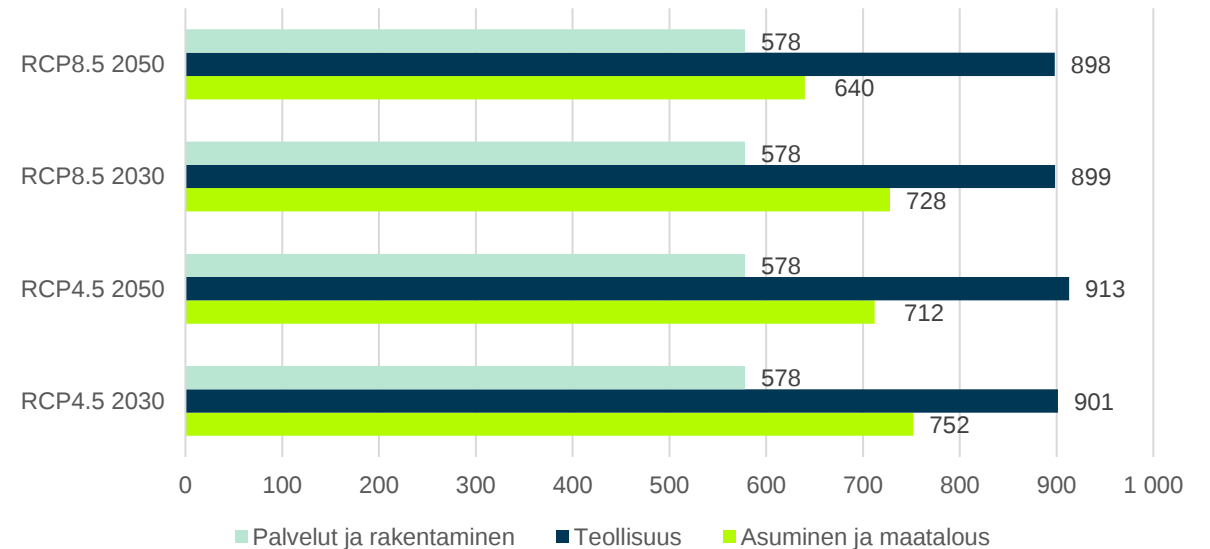
Kanta-Hämeen sähkönkulutuksen muutos vuosille 2030 ja 2050 ilmastoskenaarion RCP4.5 mukaan



Simuloinnin tulokset, sähkö

- Olettaen, että lämpöpumppu (min COP = 2) pystyy tuottamaan alueelle jäähdytysenergiaa tarpeeksi (60 MW jäähdytysenergian tuotantokapasiteetti, 30 MW sähkö), sähkön kulutus kasvaa skenaarioittain teollisuuden puolella.
- Tässä on huomioitava, että mallintaessa jäähdytystarvetta sähkönkulutus on tarkoituksella laitettu teollisuuden puolelle, sillä energian yksinkertainen generointi vaatii suuren teollisen lämpöpumpun, sekä kylmäakun tasoittamaan suurimpia kulutuspiikkejä. Jäähdytystarve on Suomessa jyrkkä ja lyhytaikainen, jonka takia voidaan puhua jatkuvasta huipputehontarpeesta. Hellejaksojen pitkittyessä suurempaa kylmäakkua tulisi harkita.
- Jäähdytyksen vaikutusten laskemista tulisi jatkossa harkita rakennuskohtaisten ilmailmalämpöpumppujen kautta niin, että pystytään arvioimaan sähköverkon kestävyyttä niissä tilanteissa, kun jäähdytystarve lisääntyy huomattavasti kesällä.

Kaukolämmön sähköistyminen, jäähdytystarpeen lisäys, asumisen lämmityksen lasku RCP-skenaarioittain [GWh]



Miten eri muutokset vaikuttavat alueen sähköenergian tarpeisiin RCP-skenaarioittain



Simuloinnin tulokset, jäähdytys

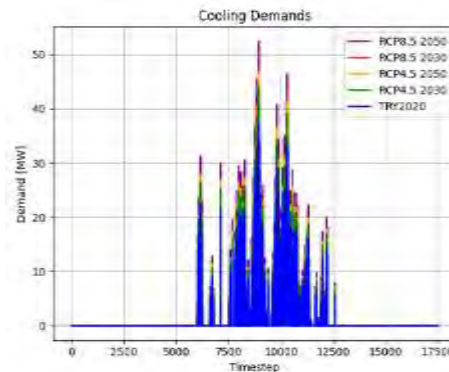
- Tulokseksi jäähdytystarpeen mallinnuksesta saatiin testivuonna 2020 noin 10 GWh, jota skaalattiin jokaiseen skenaarioon edelleen IDA ICE simulaatiotulosten perusteella.
- Rakennuskohtaisessa tarkastelussa (TP2 mukaisten simulointien avulla) jäähdytystarpeen arvioinnissa käytettiin COP 4 omaavaa ilma-ilmalämpöpumppua, jonka tuloksena sähköenergian kokonaistarve laski pahimmassa skenaariossa noin 3500 megawattituntiin.



Jäähdytystarpeen mallinnus ja simulointi energyPROlla Hämeenlinnan alueelle. Kuvan järjestelmä on mallinnettu kattamaan koko alueen jäähdytystarve pahimmassa skenaariossa vuonna 2050, kun jäähdytystarve on 3,64 kWh/m² vuodessa, jäähdytyskoneen hyötysuhteen (COP) ollessa 4

RCP skenaario	TRY	RCP4.5		RCP8.5	
Referenssivuosi	2020	2030	2050	2030	2050
Jäähdytyksen kasvu %	0	18	25	18	40
Jäähdytyksen kWh/m ² a	2.60	3.07	3.25	3.07	3.64
Kerrosala HML (omakoti-, rivi- ja kerrostalot) m ²	3 848 638				
MWh vuodessa	10 006	11 808	12 508	11 808	14 009

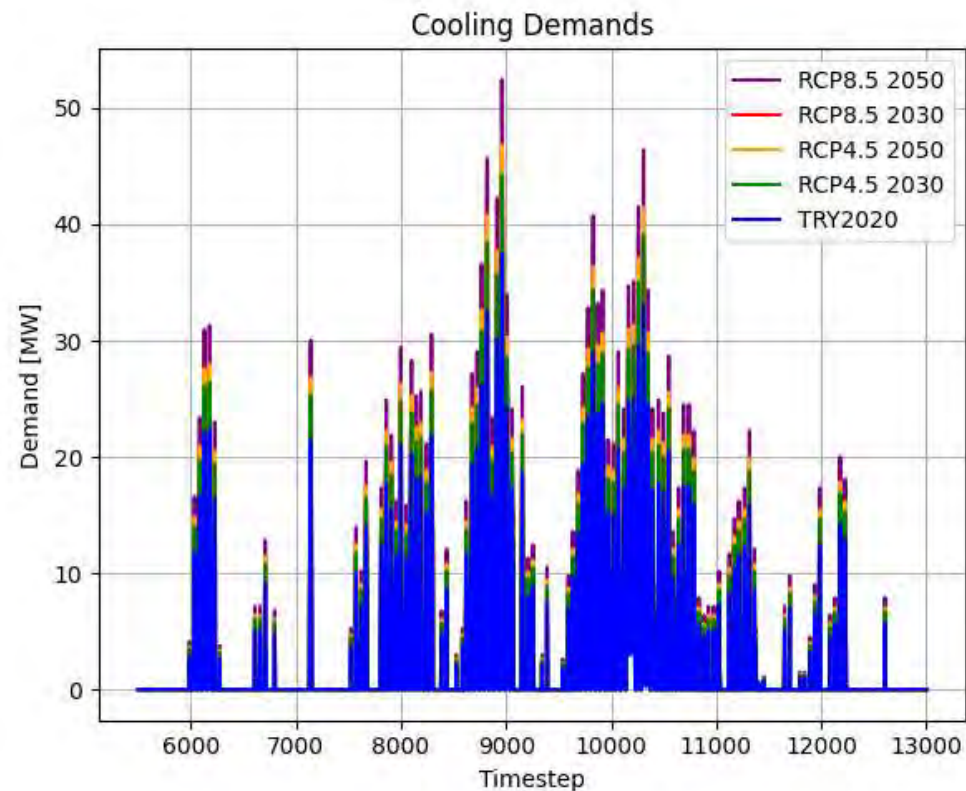
Jäähdytystarpeen muutos kussakin skenaariossa



Simuloinnin tulokset, jäähdytys

- EnergyPRO:lla mallinnettuna ja simuloituna jäähdytystarpeet ylsivät pahimmissa skenaarioissa yli 50 megawatin, eli 50 000 kilowatin tehontarpeen. Kyseinen tulos on arvio, perustuen rakennuskannan lämmitetyn nettopinta-alan määrään ja alueellisen jäähdytystarpeen keskiarvoiseen määrään (kWh/m² a).
- Tutkimusta saadaan tarkemmaksi, kun rakennuskannan ikää simuloidaan kattavammin ja arvioidaan rakennuskannan jäähdytysyksiköiden tarvetta rakennuskohtaisesti.
 - Sähkön tarve on tällöin verkossa hajautetumpaa, eikä kohdistu yhdelle alueelle

Jäähdytystarve kaikilla skenaarioilla Hämeenlinnan rakennuskannalla aiemmin raportissa mainituin oletuksin



Jäähdytystarpeen lähempi tarkastelu jäähdytyskaudella



Euroopan unionin
osarahoittama



HAMK
Hämeen ammatti-
korkeakoulu



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Toimenpide-ehdotukset

- Toimenpide-ehdotuksilla tavoitellaan riskinhallinnan työkaluja kohderyhmille
- Kohderyhminä työpaketissa toimivat kaupunkien ja energiajärjestelmien suunnittelijat, päättäjät sekä jossain määrin yritykset sekä asukkaat. Energia ja sen tulevaisuus koskee laajaa yhteiskunnallista joukkoa, mutta joihinkin päätöksiin voidaan vaikuttaa laajalti vain energianjärjestelmien omistajuuden tasolla.
 - Esimekriksi kiinteistön omistajat, järjestelmien operaattorit ja järjestelmiä suunnittelevat tai konsultoivat tahot.



Toimenpide-ehdotukset, Kaukolämpö (erityisesti Hämeenlinna)

Kriteeri	Toimenpide	Huomiot
Hiilidioksidipäästöjen minimointi (suunnittelija)	- Sähkön "Uusiutuva energia" -takuun hankinta. - Pienoisydinvoiman (SMR) harkitseminen alueelle. - Siirtyminen pois fossiilisista polttoaineista, mukaan lukien maakaasua käyttävä CHP. (Siirtyminen pois polttamisesta.)	Fossiilisten polttoaineiden päästöhinnat tulevat tulevaisuudessa todennäköisesti kasvamaan entisestään. Puubiomassan hiilidioksidipäästöt lasketaan Suomessa maankäyttösektorille, mikä tekee siitä houkuttelevan polttoaineen.
Kassavirran vähennyksen minimointi (suunnittelija)	- Sähkötilliden ajo alhaisen pörssisähköhinnan aikaan, ja lämpöenergian varastointi, kun sähkötillillä tuottaminen on halpaa. - Korkeiden sähkön pörssihintojen aikaan metsätähdehakkeen priorisointi. - Hukkalämpöjen hyödyntäminen mahdollisuuksien mukaan kaukolämpöverkossa	Alhaisen rikastetun uraanidioksidin hinnan ja korkean energiasaannon ansiosta SMR tekniikka on kassavirtavertailun voittaja tulevaisuuden skenaarioissa. Lähempi tarkastelu SMR tekniikan vaativista toimista todennäköisesti muuttaa tuloksia, esimerkiksi rakennusvaiheen, polttoaineen toimitusketjujen ja jätteenkäsittelyn tarkastelun myötä. Hukkalämpöjen hyödyntäminen alueella edistää alueellista lämmityksen omavaraisuutta ja kestävyyttä, sekä polttamisesta pois siirtymistä.
Toimitusvarmuus (suunnittelija)	- Monipuolinen energiajake alueelle. Investoinnit useampaan erilaiseen tuotantotekniikkaan. - Lämmön kausivarastoinnin harkinta ja kulutusjoustot tehopiikkien laventamiseen.	Lämmönkausivarastointi tuo alueelle erityistä joustamista talven kulutuspiikkien ajoille, ja niihin hetkiin, kun sähkön ja/tai biomassan voidaan olettaa olevan kallista.
Lämmitystarpeen vähentymiseen varautuminen (suunnittelija, yritykset)	- Myydyn lämmitysenergian hinnan korotus. - Halvemman polttoaineen valinta. - Uudet liikentoiminta-alueet, kuten kaukojäähdytys ja erilaiset energiapalvelut.	Vaihtoehtoja on monia. Tarkempi tarkastelu vaatii vaihtoehtojen optimoinnin.
Peruskuorman siirtyminen pois polttamisesta (suunnittelija, yritykset)	Polttoaineiden korvaaminen sähköllä tai tasaisella SMR tekniikalla, kun kulutuksessa ei ole suuria tuotantopiikkejä. Esimerkiksi kesäisin.	Alhaiset sähkön pörssihinnat osuvat alueella ajankohdalle, jolloin lämmöntarve on alhainen.



Toimenpide-ehdotukset, Jäähdytys

Kriteeri	Toimenpide	Huomiot
Hiilidioksidipäästöjen minimointi (suunnittelija, asukas)	- Passiivisen viilennyksen priorisointi rakennusten rakentamisvaiheessa, ja mahdollisuuksien mukaan korjausrakentamisessa. - Uusiutuvan energian ja vapaan viilennyksen valitseminen aktiivisten tekniikoiden kanssa (ilmalämpöpumput, maalämpöpumput).	Näistä on kirjoitettu erillinen lista Työpaketissa 2
Luvat (suunnittelija, asukas)	Tekniikan uudelleen sovittamisen lupien selvittäminen.	Tekniikan uudelleen sovittaminen vanhempiin rakennuksiin vaatii lupien selvittämisen. Esimerkiksi ilmalämpöpumppujen asennus parvekkeettomiin rakennuksiin ei ole luvanalaista.
Toimitusvarmuus (suunnittelija)	- Kaukojäähdytysverkon suunnittelu alueelle jäähdytystarpeen mukaan. - Rakennusten energiasimulointi jäähdytystarpeen kartoittamiseen.	Alueella ei ole kunnollista kaukojäähdytysverkkoa. Alue joutuu tukeutumaan sähköllä jäähdytettävään, hajautettuun jäähdytykseen (lämpöpumput)
Jäähdytystarpeen kasvuun varautuminen (suunnittelija)	Eri tekniikoiden kartoittaminen eri rakennuksille; ilmalämpöpumput, vapaa viilennys, rakennuksen tuuletus, varjostukset, sekä ympäristön kasvillisuus, rakennuksen käyttäjien mukavuus huomioiden.	Passiiviset tekniikat etusijalla, ja tarvittaessa aktiivisen jäähdytyksen keinot mukaanlukien.



Toimenpide-ehdotukset, Sähkö

Kriteeri	Toimenpide	Huomiot
Hiilidioksidipäästöjen minimointi (suunnittelija, asukas)	Lämpöpumppujen suosiminen	Noin 2/3 energiasta "ilmaista" lämmityksen tarkastelussa. Jäähdytystarkastelussa ilmaisen energian osuus on suurempi kuin aikaisemmin mainittu.
Toimitusvarmuus (suunnittelija, asukas, siirtoverkko-operaattori)	- Hajautettu tuotanto vähentää energiakatkoksien mahdollisuutta. - Pienoissähköntuotanto auttaa kiinteistöjen omavaraisuudessa. - Sähköautojen tuoman jouston mahdollisuuksien arviointi alueilla	Isot investoinnit sähköä kuluttaville laitteille K-H alueella tuovat haasteita toimitusvarmuudelle. Näihin varautuminen siirtoverkon kehittämisellä sekä joustavuuden keinoilla on kriittistä alueella.
Jäähdytystarpeen kasvuun ja lämmitystarpeen vähentymiseen varautuminen (suunnittelija)	- Ilmalämpöpumppujen hajautettu lisääminen. - Rakenteellisten energiatehokkuustoimien jälkeen jäähdytystarpeen arviointi rakennuskohtaisesti. - Kasvavaan sähköntarpeeseen varautuminen. - Kasvavaan sähköenergianhintaan varautuminen, huoltovarmuuskustannusten hinnan nousu.	Hajautettu tuotanto vähentää suurten teollisten yhteyksien rakentamistarvetta. Sähköenergianhinnan kasvuun varautuminen sisältää älykkäitä sähkölaitteita sekä akustomahdollisuuden harkintaa.



Lähteet

- IEA. (2021). Net Zero by 2050, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>, Licence: CC BY 4.0
- Vera, I., Wicke, B., Lamers, P., Cowie, A., Repo, A., Heukels, B., Zumpf, C., Styles, D., Parish, E., Cherubini, F., Berndes, G., Jager, H., Schiesari, L., Junginger, M., Brandão, M., Bentsen, N.S., Daioglou, V., Harris, Z. and van der Hilst, F. (2022). Land use for bioenergy: *Synergies and trade-offs between sustainable development goals*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 161, p.112409. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112409>
- Humpenöder, F., Popp, A., Bodirsky, B.L., Weindl, I., Biewald, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J.P., Klein, D., Kreidenweis, U., Müller, C., Rolinski, S. and Stevanovic, M. (2018). *Large-scale bioenergy production: how to resolve sustainability trade-offs?* Environmental Research Letters, 13(2), p.024011. doi:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9e3b>.
- Energiateollisuus ry. (2022). Vuositalukot, Kaukolämpötilasto 2022. <https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/>
- Luke. (2020). Kanta- ja Päijät-Hämeen alueiden metsävarat ja hakkuumahdollisuudet. [WWW] https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/545774/AMO_Kanta-H%C3%A4me_P%C3%A4iv%C3%A4t-H%C3%A4me_2020_0420.pdf?sequence=1
- Luke. (2024). Biomassa-Atlas. https://biomassa-atlas.luke.fi/?zoomLevel=4&coord=358631_6764825&mapLayers=4+100+default,1332+50+,1333+50+&showMarker=true
- Metsäkeskus. (2020). Hämeen metsäohjelma 2021–2025. [WWW] <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/alueellinen-metsaohjelma-hame-2021-2025.pdf>



**Euroopan unionin
osarahoittama**



HAMK
Hämeen ammatti-
korkeakoulu



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Raportti on kirjoitettu osana Kanta-Hämeen rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutokseen (ILMARA) -hanketta. ILMARA-hanke saa osarahoitusta Euroopan Unionilta.