



# Hiedanranta: kaukolämmön jakeluverkoston vaihtoehtotarkasteluita

Tampereen kaupunki



# Mallinnetut tilanteet ja oletukset

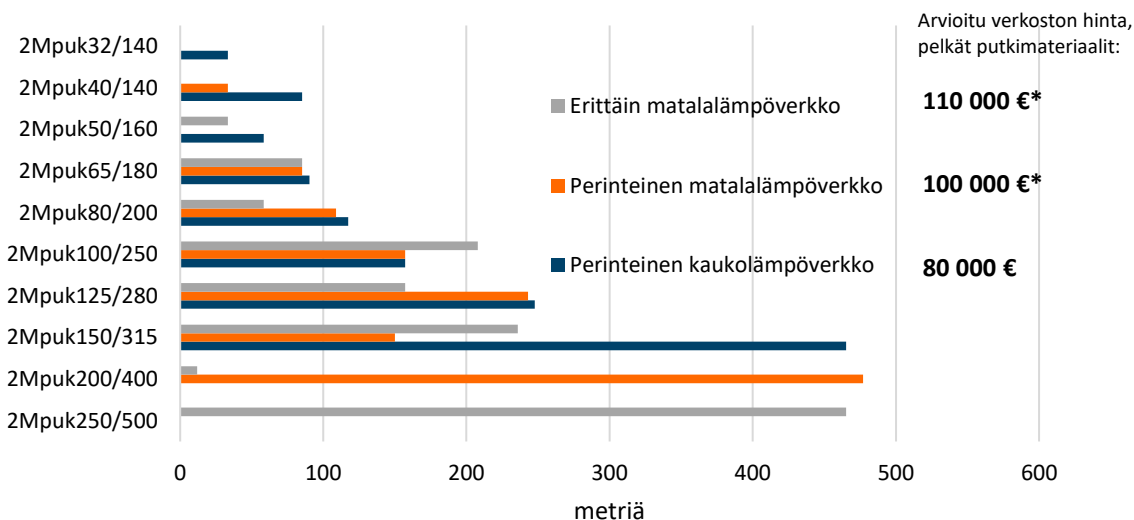
# Tilanteet ja niiden laskentaoletuksia

- Kaikki tarkastelut koskevat Hiedanrannan superkorttelin lämpöverkkoa sisältäen 15 normaalia korttelia
- **Skenaarioiden suunnittelu (yhteensä 9 kpl)**
  - **Tavallisilla ja optimoiduilla rakennuksilla:**
    - Perinteinen kaukolämpöverkko**
    - Matalalämpöverkko**
    - Erittäin matalalämpöverkko**
  - **Lämpökalla optimoiduilla rakennuksilla:**
    - Perinteinen kaukolämpöverkko**
    - Matalalämpöverkko**
    - Erittäin matalalämpöverkko**
- Näiden skenaarioiden lisäksi kommentoitiin lauhteiden hyödyntämisen potentiaalia
- Verkostoon syötettävän veden lämpötilat eri skenaarioissa
  - Perinteinen kaukolämpöverkko: 115-86 °C
  - Matalalämpöverkko: 85-65 °C
  - Erittäin matalalämpöverkko: 55-40 °C
- Ulkolämpötilan aikasarja tunneittain viiden vuoden keskiarvona
  - Ilmatieteenlaitoksen mittausdatasta Tampereelta
  - Kaikki simuloinnit suoritettiin vuoden mittaisina
- Maalämpötilan aikasarja mallinnettiin kuukausittain 1 m syvyydellä moreenissa
  - Mittausdatana käytettiin samaa ilmatieteenlaitoksen lämpötiladataa kuin ulkolämpötilan kohdalla
- Aikasarjojen muodostus kulutuksille eri skenaarioihin
  - Tehoaikasarjat muodostettiin Sitowisen raportin perusteella kortteille I9 ja I10
  - Muille kortteille kulutus skaalattiin rakennusten pinta-alan mukaan
  - Yhteensä kortteita 15 kpl ja muodostavat niin sanotun superkorttelin
  - Huom. koska kaikki kulutukset perustuvat samoihin skaalattuihin aikasarjoihin, osuvat niiden tuntihuiput samaan aikaan. Tämä hieman liioittelee suurinta kulutushuippua.

# Verkoston suunnittelu

- Mallinnusta varten mitoitettiin alustavasti kaukolämmön jakeluverkosto

Putkimateriaalien määrät eri skenaariossa

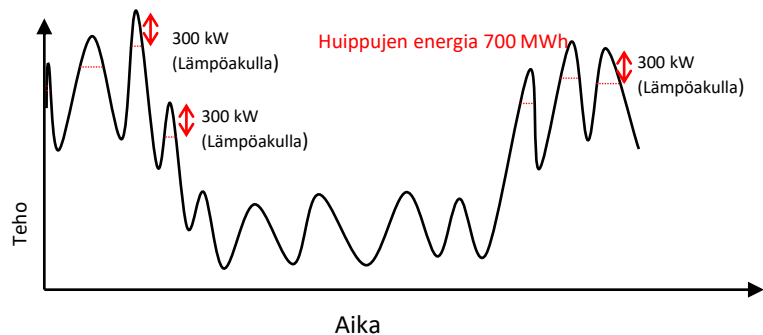
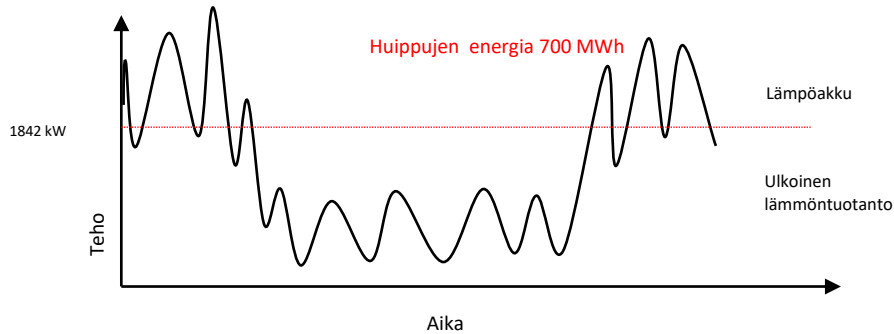


\* Kahdelle suurimmalle putkelle hinnat interpoloitiin

- Matalalämpöverkoissa verkoston virtausta on kasvatettava tarvittavan tehon siirtämiseksi, mikä edellyttää suurempia putkia
- Matalaenergiaverkko ei ole suoraan samassa lämpötilassa Tampereen muun kaukolämpöverkoston kanssa, mikä edellyttää väliin lämmönvaihdinta
- Kustannuksia huomioidessa on muistettava myös matalalämpöverkon säästöt lämpöhäviöissä
- Lämpöakun tapauksessa runkojohtoa joka yhdistyy ulkoiseen kaukolämpöverkkoon voitaisiin pienentää juuri ja juuri yhdellä koolla painehäviöiden pysyessä vielä sallituissa rajoissa (ei huomioitu taulukossa)

- Vaikka todellinen asennuskustannus on merkittävästi tässä esitettyä pelkkää putkimateriaalia suurempi (tarkempi kustannuslaskenta ei tämän raportin asiaa), silti kokonaisuudessaan voidaan todeta verkoston kustannusten erojen olevan suuruusluokaltaan kymmeniätuhansia euroja, eikä näin kokonaisuuden kannalta kovinkaan merkittävä muuttuja

# Lämpöakun mallintaminen



## Lämpöakun muita asetuksia:

- Maantieteellinen sijainti painotetun keskiarvon mukaan kulutusten maantieteellisistä sijainneista tehon suhteen
- Veden lähtölämpötila ulkoisen kaukolämpöverkon mukaan skenaariokohtaisesti
- Akku lisättiin vain optimoitujen rakennusten kanssa samaan skenaarioon

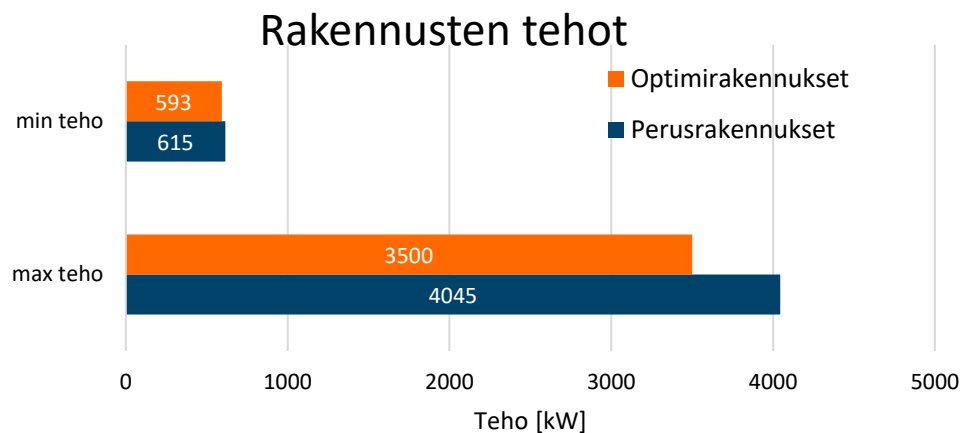
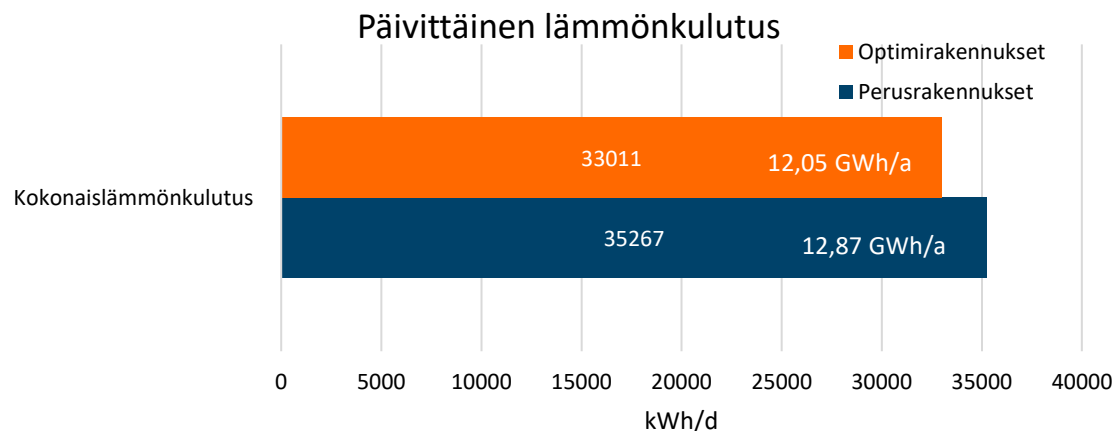
## Lämpöakun ohjauksen määrittäminen:

- Ennen huipputehotietojen toimittamista akku mallinnettiin pelkästään kapasiteetin perusteella
  - Mitoitus tehtiin iteroimalla, jossa etsittiin rajateho jonka yläpuolelle jäävä osuus hoidettaisiin akulla
  - Rajoittavana tekijänä toimi vain 700 MWh kapasiteetti
  - Akulta tarvittava huipputeho olisi tällöin 1630 kW
  - Ulkoiselta verkolta vaadittiin suurimmillaan 1842 kW teho
- Lopullinen akku mallinnettiin ilmoitetun huipputehon ja kapasiteetin avulla
  - 300 kW teho kulutushuippujen aikana (2333 kpl)
  - 700 MWh kapasiteetti vastaa 300 kW teholla 2333 käyttötuntia vuodessa eli 26,6% vuoden kaikista tunneista
  - Ulkoiselta verkolta vaadittiin suurimmillaan 3180 kW teho
  - Tämä on aiemmissa suunnitelmissa "superkorttelit"-tason akku
- Akku mallinnettiin myös ainoana lämpöenergiälähteenä
  - Tällöin ulkoiseen verkkoon liittyvä putki voidaan poistaa (säästöt ~50 k€)
  - Muuten putkikoot ja tulokset vastaavat käytännössä akutonta tapausta, koska lopulta kuluttajien tehontarve määrää virtauksen suuruuden
- Perusteluita lämpöakun ajotapaan
  - Kulutushuippujen leikkaus hyödyttää eniten ulkoista verkkoa
  - Yhdistävää runkolinjaa voidaan mahdollisesti pienentää
  - Akun kapasiteetti on 5,8 % koko vuoden kulutuksesta. Jatkuvaan käyttöön siitä saadaan vain keskimäärin vain 80 kW teho
  - Koska akkua ladataan vain sähköllä on sitä kannattavaa ladata vain silloin kun sähkön hinta on todella alhainen ja näin ollen keskimääräistä tehoa ei voida nostaa (akku ladataan ja puretaan keskimäärin kerran vuodessa)
  - Sähkön exergia sisältö (suurin hyödynnettävissä oleva työ) on huomattavasti lämpöä suurempi, joten lämmön perustarve on kannattavampaa kattaa kaukolämmöllä, jossa voimalaitoksen höyryn lauhduttamisessa vapautuva energia siirretään joka tapauksessa kaukolämpöverkkoon



## Tuloksia ja huomioita

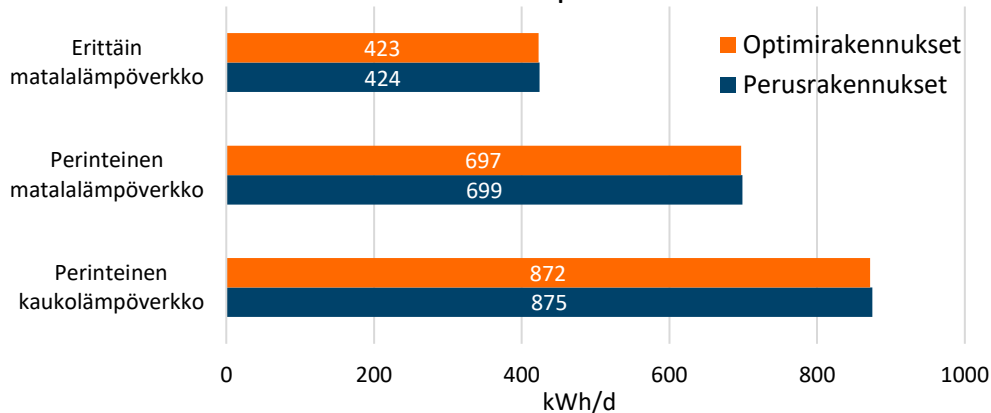
# Lämmönkulutus



- Kuvaajien energioissa ja tehoissa on otettu huomioon vain rakennukset eikä verkoston muita häviöitä ole huomioitu – näitä käsitellään erikseen seuraavalla kalvolla
- Rakennusten huipputehot ovat mallissa hieman todellisuutta suuremmat, sillä kaikilla kulutuksilla kulutushuiput osuvat samalle ajanhetkelle, samoin minimitehot ovat hieman todellisuutta pienemmät
- Siirryttäessä perusrakennuksista optimirakennuksiin, tarvitaan Tampereen kaukolämpöverkostosta noin 0,5 MW pienempi huipputeho
- Minimitehoissa ei ole suurta eroavaisuutta

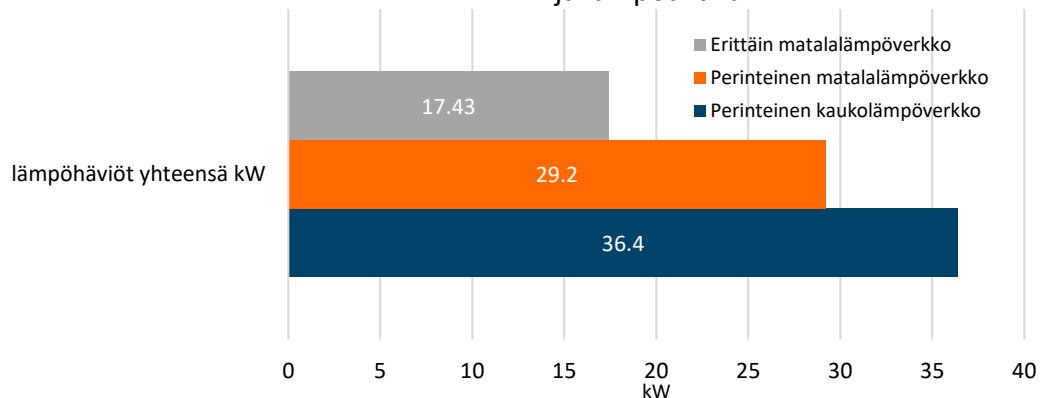
# Jakeluverkoston lämpöhäviöt

Verkoston lämpöhäviöt



- Verkoston lämpötilalla on merkittävin vaikutus jakeluverkoston lämpöhäviöihin
- Optimoiduilla rakennuksilla lämpöhäviöiden osuudet koko vuotuisesta energiankulutuksesta:
  - Erittäin matalalämpöverkko: 1,3 % (0,155 GWh/a)
  - Perinteinen matalalämpöverkko: 2,1 % (0,255 GWh/a)
  - Perinteinen kaukolämpöverkko: 2,7 % (0,32 GWh/a)

Verkon keskimääräiset lämpöhäviöt optimoiduilla rakennuksilla ja lämpöakulla

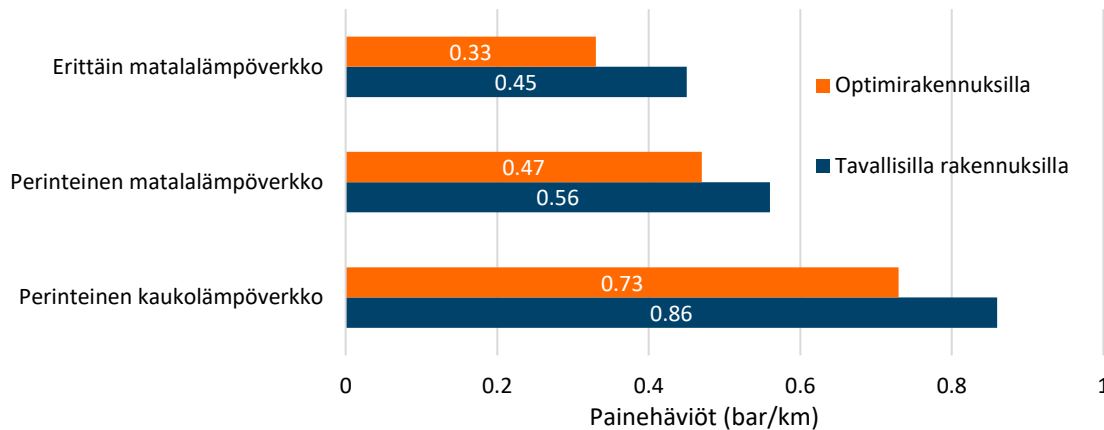


- Siirryttäessä perinteisestä kaukolämpöverkosta erittäin matalalämpöverkkoon, leikataan jakeluverkoston lämpöhäviöt noin puoleen. Säästetty energiamäärä on noin 20 % siitä säästöstä, mikä saadaan siirryttäessä tavallisista rakennuksista optimoituihin rakennuksiin.
- Lämpöhäviöiden kannalta optimoiduilla ja tavallisilla rakennuksilla ei ole käytännössä eroa

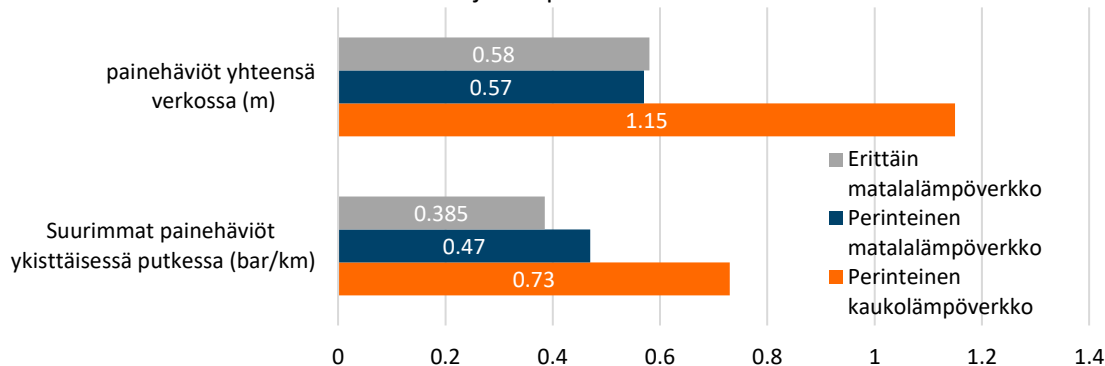


# Painehäviöt

Suurimmat painehäviöt yksittäisessä putkessa



Verkon painehäviöt optimoiduilla rakennuksilla ja lämpökudalla



- Painehäviöiden pienentyminen optimirakennusten kohdalla ei riitä vielä putkien pienentämiseen verkostossa
- Matalalämpöverkkojen pienemmät painehäviöt johtuvat putkikoon suurentamisesta kyseisissä skenaarioissa
- Putkikokoa tulee kasvattaa, jotta painehäviöt eivät kasvaisi liian suureksi suuremman virtauksen johdosta
- Tavallisesti siirto johdoissa painehäviöt ovat suuruusluokaltaan noin 0,5-1 bar/km (Energiateollisuus ry)
- Lämpöakku vähentää ulkoiseen kaukolämpöverkkoon liittyvässä putkessa syntyviä painehäviöitä

# Lauhteiden hyödyntäminen

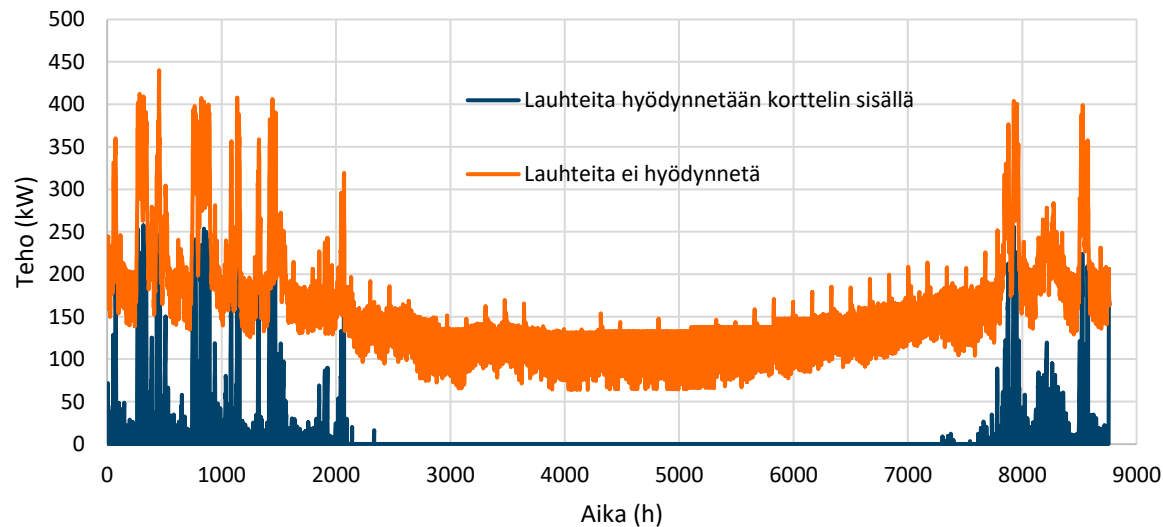
- Lauhteen siirtäminen korttelista toiseen
  - Koska suurin osa lauhdutuslämmöstä saadaan varsinaisesta lauhdelämmöstä (lämpötila usein alle 40 °C), on lämmön käyttö suurelta osin rajoittunut ilmanvaihdon ja lattialämmityksen lämmittämiseen. Tulistuslämpö voi olla jopa 70 °C, mutta sen osuus lauhdelämmöstä on niin pieni, että siitä ei saada taloudellista hyötyä
  - Näin ollen erittäin matalalämpöverkon lämpötilat (55-40 °C) ovat lähimpänä lauhteiden lämpötilaa
  - Lauhteen lämpötilaa on kuitenkin nostattava niin paljon, että lauhteen ja ympäristön välille syntyy 5-10 °C ero
  - Lämpötilan nostaminen olisi suoritettava lämpöpumpulla
  - Mikäli lauhdetta käytetään sellaisenaan, sopii se parhaiten ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen. Tällöin lämmönvaihtimen tehokkuutta saadaan kasvatettua lämpimämmän sisäilman lämmittämiseen verrattuna
  - Energiataloudellisesti kannattavinta on laskea verkoston lämpötilaa verrattuna lauhteen priimaamiseen, sillä lämpöhäviöt laskevat ensimmäisessä tapauksessa huomattavasti
  - On kuitenkin pohdittava ovatko kokonaiskustannukset kummassa vaihtoehdossa suuremmat. Priimaaminen vaatii lämpöpumput ja verkoston lämpötilan alentaminen puolestaan suuremmat putket
- Lauhteesta saatavat tehot vastaavat pienimmilläänkin lämpöakusta saatavaa tehoa
  - Kesällä: 375-1000 kW
  - Syksyllä ja keväällä: 200-525 kW
  - Talvella: 150-400 kW
  - Lämpöakun maksimi teho: 300 kW
- Kesällä yhdestä korttelista saatavat lauhdetehot riittävät kattamaan päivällä koko superkorttelin lämpötehon tarpeen
  - Mikäli lauhteita tulee useammasta korttelista, voidaan tehoja alkaa siirtämään jo superkortteleiden välillä

# Lauhteiden hyödyntäminen

- Verkoston tarvittavat muutokset

- Lauhteista saatu lämpöteho pystytään pääsääntöisesti lisäämään verkkoon ilman muutoksia
- Mikäli lauhteet pumpataan verkkoon aivan pienimmistä putkista verkon perältä vahvistuksia voidaan joutua tekemään riippuen lauhteiden maksimilämpötehosta
- Ulkoiseen kaukolämpöverkkoon liittyvää linjaa voidaan pienentää jopa kahdella putkikoolla, mikäli lauhteita hyödynnetään verkossa

Korttelin 19 ulkoisen lämpötehon tarve



# Yhteenveto

- Mallinnuksien käytetyt lähtöarvot on tässä raportissa esitetty tarkasti, mutta tulee huomioida tulosten olevan kuitenkin vasta suuntaa-antavia useiden oletusten ja epävarmuuksien vuoksi
- Verkoston lämpötilan vaikutukset
  - Vaikuttavat tarvittavaan putkikokoon, jossa matalammilla lämpötiloilla tarvitaan suuremmat putket. Kokonaisuudessaan kuitenkin verkoston investointikustannusten erot eri tapauksissa ovat maltillisia.
  - Matalalämpöverkko ei olisi suoraan muun kaukolämpöverkon lämpötilassa, joten väliin tarvitaan lämmönvaihdin
  - Matalampi verkoston lämpötila vähentää putkistossa tapahtuvia lämpöhäviöitä ympäristöön. Säästöjen kokoluokka on suurimmillaan (perinteinen verkko vs. erittäin matalan lämpötilan verkko) noin 1...1,5 % vuotuisesta alueen lämmitysenergian käytöstä.
  - Erittäin matalalämpöverkon lämpötila on niin matala, että kuluttajien käyttövetä joudutaan priimaamaan, jotta veden lämpötila saadaan tarpeeksi korkeaksi (käyttöveden lämpötila on noin 55-65 °C).
  - Kuluttajien lämmönvaihtimien jäähtymät määräävät verkoston virtausnopeuden, joten liian pienellä jäähtymällä painehäviöt nousevat kohtuuttomiksi. Tämän takia normaalit lämmönvaihtimet eivät kelpaa matalalämpöverkkoihin.
- Akun vaikutukset
  - Tasapainotetaan ulkoista kaukolämpöverkkoa leikkaamalla kulutushuippuja. Akun huipputeho on 300 kW, mikä on hieman alle 10 % tarvittavasta huipputehosta.
  - Ulkoiseen verkkoon liittyvää linjaa voidaan mahdollisesti pienentää yhdellä putkikoolla. Vaikutus rakennuskustannuksiin ja lämpöhäviöihin on maltillinen.
  - Kokonaisuudessaan esitetyllä lämpöakulla ei ole kaukolämmön jakeluverkoston kannalta suurta vaikutusta
- Lauhteiden hyödyntämisen vaikutukset
  - Vaikutukset jakeluverkostoon ja ulkoiseen energiantarpeeseen periaatteellisesti pitkälti samanlaisia kuin lämpöakulla
  - Suurimassa osassa tapauksista lauhteiden energian syöttäminen verkkoon ei aiheuta verkon kannalta lisätoimenpiteitä
  - Lauhteiden energian syöttäminen verkkoon tapahtuu helpoiten erittäin matalalämpöverkon tapauksessa
  - Lauhteiden tehot suuria suhteessa lämpöakun tuottamiin maksimitheoihin, joten niillä saadaan leikattua kulutushuippuja jopa akkua tehokkaammin

# Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

- Hiedanrannan verkoston yhdistymisellä ulkoiseen verkkoon ei ole suurta merkitystä verkoston materiaaleissa tai lopullisissa kustannuksissa
- Alustavassa tarkastelussa matalalämpöverkko vaikuttaa häviöiden ja kustannusten kannalta parhaalta vaihtoehdolta, jota suositellaan selvitettäväksi tarkemmin
  - Verkoston kapasiteetti ei aseta rajoitteita matala- tai erittäin matalalämpötilaverkoston rakentamiselle
    - Putkikokoja joudutaan suurentamaan n. yhdellä dimensiolla perinteiseen KL-verkkoon verrattuna, mikä ei ole kovin merkittävä kuluerä lopullisten kustannusten kannalta
  - Lämpötilan alentaminen vähentää kokonaisenergiankulutusta noin 0,6 %-yks. matalalämpöverkossa ja 1,4 %-yks. erittäin matalalämpöverkossa verrattuna perinteiseen KL-verkostoon
    - Lämpöhäviöt pienenevät n. 25 % matalalämpö- ja 50 % erittäin matalalämpöverkolla
    - Lämpöhäviöiden osuus energiasta on joka tapauksessa vähäinen alueen suuren tehokkuuden vuoksi
  - Hiilidioksidipäästöissä säästetään 11,5 tonnia vuodessa lämpöhäviöiden laskiessa
  - Matalalämpöverkkoihin liittyvää tutkimusta on tehty paljon, ja sen kannattavuus on todettu monessa artikkelissa:
    - Rasmus Lund et al. 2017  
Comparison of Low-temperature District Heating Concepts in a Long-Term Energy System Perspective, 2017  
<https://discurso.aau.dk/index.php/sepm/article/view/1661>
    - P.K.Olsen1, H. et al. 2008  
A New Low-Temperature District Heating System for Low-Energy Buildings
  - Lauhteista saatavat tehot ovat merkittäviä varsinkin kesällä, mutta niiden hyödyntäminen kaukolämpöverkoissa vaatii lämpöpumppujen asentamista lämmönvaihtimien yhteyteen
  - Ensisijaisesti lauhteet kannattaa käyttää korttelin omaan lämmitykseen