



## Tampereen Keskusareena ja Kansi

### Ekotehokkuusselvitys

#### Optiplan Oy

Y-tunnus 0775337-1  
[www.optiplan.fi](http://www.optiplan.fi)  
Puh. 010 507 6000

Helsinki  
Mannerheimintie 105  
PL 48, 00281 Helsinki

Turku  
Kutomonkatu 1  
PL 56, 20101 Turku

Tampere  
Åkerlundinkatu 11 D  
PL 431, 33101 Tampere

## YHTEENVETO

Tässä selvityksessä tutkittiin Tampereen Keskusareena ja Kansi –hankkeen ekotehokkuutta. Selvityksen tavoitteena oli kuvata keskeisimpiä ratkaisuja, joilla jäähalli saavuttaa hyvän energiatehokkuuden. Tämän lisäksi tavoitteena oli selvittää hankkeelle alustavia tehon – ja energiantarpeita, jotta pystytään arvioimaan paikallisten energialähteiden hyödyntämispotentiaalia. Näiden lisäksi tavoitteena oli selvittää hankkeen aiheuttama hiilijalanjälki ja esittää periaatteet rakennusten BREEAM ympäristösertifioinnille.

Energiatehokkaassa jäähallissa erityistä huomiota tulee kiinnittää lauhdelämmön tehokkaaseen hyödyntämiseen, kylmäaineen valintaan, taloteknisten järjestelmien tehokkuuteen ja tarpeenmukaiseen toimintaan sekä jäästä vapautuvan lämmön minimoimiseen.

Muiden rakennusten osalta energian- ja tehontarpeen minimoimiseksi kaikki rakennukset tulisivat rakentaa voimassa olevan lainsäädännön mukaiseen A-energiatehokkuusluokkaan. Tällöin koko hankkeen lämmitysenergian kulutus on noin 8 400 MWh/a ja sähköenergiankulutus on noin 5 900 MWh/a (sisältää jäähallien jäähdytys­sähkön mutta ei muiden rakennusten käyttäjä­sähköä). Lisäksi jäähdytysenergiaa kuluu muissa rakennuksissa kuin jäähalleissa noin 500 MWh/a.

Paikallisten energianlähteiden hyödyntäminen laajassa mittakaavassa on haasteellista hankkeen sijainnista (junaradan päällä kaupungin keskustassa) ja laajuudesta johtuen. Paikallisesti tuotetulla uusiutuvalla energialla (maalämpö, -kylmä sekä aurinkosähkö) voitaisiin kuitenkin kattaa jonkin osakokonaisuuden energiatarve kokonaisuudessaan.

Hiilijalanjäljestä suurin osa aiheutuu käytön aikana, joten käytönaikaiseen kulutukseen tulee kiinnittää eniten huomiota. Myös uuden hallin sijainnin arvioitiin vähentävän päästöjä suhteessa nykyisin käytössä olevaan Hakametsän jäähalliin noin 20 %, johtuen uuden hallin paremmasta saavutettavuudesta.

## SISÄLTÖ

YHTEENVETO .....	2
SISÄLTÖ .....	3
1 JOHDANTO .....	5
2 ENERGIATEHOKAS JÄÄHALLI .....	5
2.1 Lauhdelämpö .....	5
2.2 Jääradan kylmäliuos .....	6
2.3 Talotekniikka.....	7
2.4 Vaipan lämmöneristävyys .....	8
2.5 Jääradan energiankulutus .....	8
2.6 Kesäaikainen käyttö .....	9
3 TEHON- JA ENERGIANTARVE.....	10
3.1 Sähkö.....	10
3.2 Lämmitys.....	11
3.3 Jäähdytys .....	12
3.4 Keskusareenan energiankulutuksen vertailu Espoon Barona Areenaan ja Hakametsän jäähalliin.....	14
4 ENERGIALÄHTEET .....	17
4.1 Perinteiset ratkaisut .....	17
4.2 Paikallisten energialähteiden hyödyntämispotentiaali .....	22
4.3 Johtopäätökset ja suositukset.....	31
5 HIILIJALANJÄLKI.....	31
5.1 Rakentaminen ja rakennusmateriaalit .....	32
5.2 Käyttö .....	32

5.3	Jäähallin sijainnin merkitys hiilijalanjälkeen .....	32
6	YMPÄRISTÖSERTIFIKOINTIJÄRJESTELMÄ BREEAM .....	35
6.1	Yleistä.....	35
6.2	Tavoitteet.....	36

## 1 JOHDANTO

Tampereen keskustaan, Sorin sillan molemmin puolin junaradan päälle, suunnitellaan monitoimihallia, harjoitusjäähallia, toimisto- ja asuintaloja, hotellia, pysäköintitaloa sekä kevyen liikenteen yhteyksiä. Hankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa tullaan kiinnittämään erityistä huomioita ympäristönäkökohtiin.

Tämän ekotehokkuusselvityksen päätavoitteena on esittää koko hankkeelle (erityisesti jäähallille), teknis-taloudelliset reunaehdot huomioiden, realistinen ekotehokkuustavoite. Ekotehokkuusselvitys sisältää myös arvion hankkeen energiantarpeesta, paikallisten uusiutuvien energialähteiden hyödyntämispotentiaalin sekä rakentamisen, rakennusmateriaalien, käytön ja liikenteen hiilijalanjäljen.

Ekotehokkuusselvityksen tilaajina toimivat ECO<sub>2</sub> – Ekotehokas Tampere 2020 hanke sekä NCC Property Development Oy.

## 2 ENERGIATEHOKAS JÄÄHALLI

Pääosa jäähallin käytön aikaisista ympäristövaikutuksista syntyy energiankulutuksesta sekä kylmäaineiden ja jäänhoitokoneiden käytöstä. Energiankulutukseen vaikuttavat eniten hallin ilman lämpötila, jään pintalämpötila, jäänhoitoon käytetyn veden määrä ja lämpötila, vaipan lämmöneristyskyky, ilma- ja vesihöyrytiivetyys sekä sisä- ja ulkopintojen pinnoitteen väri ja säteilyominaisuudet.

### 2.1 Lauhdelämpö

Jäähalleissa suurin yksittäinen energiankuluttaja on kylmäkoneisto, joka pitää jääradan riittävän kylmänä. Kylmäkoneisto on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin jääkaappi, joka jäädyttää jääkapin sisätilaa siirtämällä lämpöä jääkapista huonetilaan. Jäähallissa kylmäkoneisto siirtää puolestaan lämpöä pois jääradasta, jonka seurauksena syntyy jäästä pois siirretyn lämpöenergian ja kompressorin käyttämän sähköenergian suuruinen määrä lauhdelämpöä. Syntyneen lauhdelämmön mahdollisimman tehokas hyödyntäminen onkin oleellinen osa jäähallin energiatehokkuutta.

Lauhdelämmön hyödyntämistä rajoittaa hiukan sen matala lämpötilataso, mutta sitä voidaan kuitenkin hyödyntää routasuojausliuoksen lämmittämiseen, hallin lämpimien tilojen lämmitykseen, ilmanvaihdon lämmitykseen sekä jäädytysveden tekoon. Lisäksi tulee huomioida, että lauhdelämpöä syntyy ainoastaan silloin, kun kylmäkoneisto on

käynnissä. Tästä johtuen järjestelmä tulee varustaa energiavaraajilla, jotta myös lauhdelämpö, jota syntyy silloin kun lämmönkulutus ei ole yhtä suurta tai suurempaa kuin lauhdelämmön tuotanto, saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti.

Pienissä halleissa (harjoitushalli) lauhdelämmöllä pystytään keskimäärin kattamaan hallin koko lämmitystehon tarve ja jopa ylittämään se. Suurissa halleissa (päähalli) on sen sijaan niin suuri määrä muita lämpimiä tiloja, ettei pelkällä lauhdelämmöllä pystytä kattamaan koko lämmitystehon tarvetta. Siirtämällä harjoitushallista ylijäävä lauhdelämpö päähallin pystytään vähentämään päähallissa tarvittavaa muuta lämmitysenergiaa ja toisaalta hyödyntämään harjoitushallin tuottama lauhdelämpö mahdollisimman tehokkaasti.

## 2.2 Jääradan kylmäliuos

Jääradan kylmäliuos on aine joka kiertää jään alla pitäen jään riittävän kylmänä ( $-6\text{ °C}$  ...  $-2\text{ °C}$ ). Kylmäliuos ei itsessään kuluta energiaa, mutta sen kierrättämiseen tarvitaan kiertopumppu, joka puolestaan kuluttaa sähköenergiaa. Energiankulutus taas riippuu painehäviöistä, joita syntyy, kun kylmäliuos kiertää putkistossa. Painehäviöitä voidaan pienentää valitsemalla kylmäliuos, joka aiheuttaa mahdollisimman vähän painehäviöitä. Energiankulutusta voidaan vähentää myös pienentämällä jakelussa syntyviä lämpöhäviöitä. Käytännössä tämä tarkoittaa, esimerkiksi metallisten putkien käyttämistä jakeluverkossa.

Tällä hetkellä hiilidioksidilla voidaan saavuttaa hyviä tuloksia energiansäästönäkökulmasta tarkasteltuna. Sen hyvyys perustuu erittäin alhaiseen dynaamiseen viskositeettiin ja faasimuutokseen. Alhainen viskositeetti vähentää painehäviöitä ja tätä kautta myös pumppauskustannuksia. Faasimuutoksen avulla puolestaan saavutetaan tehokas lämmön luovutus vakiolämpötilassa, joka taas vähentää kylmäliuoksen tarvetta, jonka seurauksena painehäviöt laskevat. Vuositasolla pumppausenergian kulutusta voidaan vähentää noin 80 %:lla käyttämällä Freeziumin sijasta hiilidioksidia jääradan kylmäliuoksena. Tämän lisäksi käyttämällä kupariputkia muoviputkien sijaan pystytään poistamaan putkissa tapahtuva lämpötilan pudotus, mikä taas mahdollistaa kylmäkoneistossa korkeamman höyrystymislämpötilan käytön. Tämä puolestaan parantaa kylmäkoneiston hyötysuhdetta, jolloin kompressorin käyttämä sähköenergian määrä vähenee noin

10 %:lla. Takaisinmaksuaika on hiilidioksidia käyttävillä järjestelmillä noin 5 – 10 vuotta.

Hiilidioksidia käyttävän järjestelmän haittapuolena on sen korkea painetaso, mikä aiheuttaa lisävaatimuksia järjestelmän komponenteille. Hiilidioksidin lämpeneminen nostaa järjestelmän painetasoa, jolloin käyttöajan ulkopuolella järjestelmä tulee joko tyhjentää tai varautua muulla tavoin paineen nousuun.

## 2.3 Talotekniikka

### 2.3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla on keskeinen rooli jäähallin energiatehokkuuden näkökulmasta, mutta myös sisäilman laadun näkökulmasta. Ilmanvaihdon keskeinen rooli johtuu siitä, että ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa ulos puhallettavan ilman määrän ja sitä kautta kuluvaan energiaan sekä hallin ilman kosteuteen ja sen aiheuttamaan energiankulutukseen. Lisäksi ilmanvaihto kuluttaa sähköä, jolla pyöritetään ilmanvaihtokoneen puhaltimia.

Ulospuhallettavan ilman mukana kulkeutuvan energian määrää voidaan pienentää käyttämällä ilmanvaihtokoneita, joissa on korkea lämmöntalteenoton hyötysuhde, jolloin hallista ulospuhallettavasta ilmasta saadaan merkittävä osa lämpöenergiaa talteen.

Toinen merkittävä energiankulutukseen vaikuttava tekijä ilmanvaihdon osalta on käytettävät ilmamäärät. Ilmamäärät tulisi aina olla tarpeenmukaiset, mikä tarkoittaa käytännössä ilmavirtojen ohjausta kosteus- ja hiilidioksidianturoiden sekä aikaohjelmien avulla. Tällöin ilmanvaihto on pienellä teholla silloin, kun jäähalli ei ole käytössä, mikä vähentää puolestaan energiankulutusta.

Ilmanvaihdon yhteydessä tulee myös huolehtia hallissa olevan ja sinne puhallettavan ilman riittävän alhaisesta kosteudesta, jotta pystytään minimoimaan jään pintaan tiivistyvän kosteuden määrä ja tätä kautta syntyvä ylimääräinen energiankulutus. Kosteuden hallinnassa erityisen tärkeää on huolehtia nimenomaan ihmisistä hallin sisään vapautuvan kosteuden poistamisesta, koska se muodostaa merkittävimmän osan kokonaiskosteudesta.

Ilmanvaihdon aiheuttamaan sähkökulutukseen voidaan vaikuttaa valitsemalla ilmanvaihtokone, jonka SFP-luku (ominaissähköteho) on alhainen ja riittävän suurilla kanavilla, jolloin niissä syntyvät painehäviöt ovat alhaiset.

### 2.3.2 Valaistus

Valaistus kuluttaa tyypillisesti myös melko paljon energiaa johtuen hallin tarvitsemasta suuresta valaistustehosta. Valaistuksen aiheuttamaa energiankulutusta voidaan pienentää tarpeenmukaisella valaistuksella eli käyttämällä valaistusta täydellä teholla ainoastaan silloin kuin se tarpeellista. Toinen tapa on hankkia vähemmän energiaa kuluttavia valaisimia. Yhtenä vaihtoehtona ovat LED-valaisimet. Niiden käytöstä jäähalleissa on kuitenkin toistaiseksi melko vähän kokemuksia. Yhdysvalloissa niillä on kuitenkin säästetty noin 70 % säästöjä valaistuksen energiankulutuksessa.

## 2.4 Vaipan lämmöneristävyys

Vaipan lämmöneristävyydellä ei jäähallissa ole kokonaisenergian kulutuksen kannalta suhteellisesti yhtä suurta merkitystä kuin esimerkiksi asuintalossa. Tämä johtuu siitä, että jäähallin energiataseessa vaipan lämpöhäviöiden osuus on vain n. 10 %, kun esimerkiksi jään aiheuttama viilennys on n. 50 %. Tästä johtuen vaipan parempaan eristämiseen ei kannata panostaa niin paljon kuin esimerkiksi jäärata-alueen toimivuuteen ja sitä kautta energiankulutuksen pienentämiseen.

## 2.5 Jääradan energiankulutus

Jääradan energiankulutus muodostuu jään ja hallin ilman välisestä konvektiolämmönsiirrosta, säteilylämmönsiirrosta jään ja katon (ja muiden pintojen) välillä, maahan siirtyvästä lämmöstä, jään uudelleen jäädyttämisestä, sekä valaistuksesta ja luistelijoista. Näistä merkittävimpiä ovat konvektio- ja säteilylämmönsiirto.

Jääradan energiankulutusta pystytään alentamaan keskittymällä säteily- ja johtumislämmönsiirron vähentämiseen, johon yksi keino on jään ja hallin ilman välisen lämpötilaeron minimoiminen. Jään ja hallin ilman välisen lämpötilaeron minimoimisella tarkoitetaan jään lämpötilan mahdollisimman korkeaa lämpötilaa ja hallin sisäilman mahdollisimman alhaista lämpötilaa olosuhteista tinkimättä. Käytettävissä lämpötiloissa tulee huomioida myös tarpeenmukaisuus eli käytön aikana jään lämpötilaa lasketaan ja sisälämpötilaa nostetaan, kun käyttöajan ulkopuolella tilanne on päinvastainen. Käytännössä pääareenalla ilmanlämpötilan tulisi olla +14 °C ja kosteuden 65 %. Harjoitus-hallissa vastaavat arvot ovat + 5 °C ja 70 %

### 2.5.1 Säteilylämmönsiirron hallinta

Säteilylämmönsiirrolla tarkoitetaan kappaleen pinnasta toiseen kappaleeseen siirtyvää lämpöä. Säteilylämmönsiirrossa ei tarvita erillistä väliainetta vaan lämpö voi siirtyä esimerkiksi jään pinnasta suoraan jäähallin kattoon. Tämä aiheuttaa lähes 30 % jääradan aiheuttamasta energiankulutuksesta.

Säteilylämmönsiirtoa voidaan kuitenkin vähentää laskemalla lämpötiloja (jään lämpötilaa ja ilman lämpötilaa, jolloin myös rakenteiden lämpötilat laskevat) ja valitsemalla halliin ja erityisesti sen kattoon materiaaleja, joiden emissiivisyys on alhainen ( $\epsilon \sim 30\%$ ), kuten kiillotettuja metalleja. Kun emissiivisyys on alhainen, materiaali ei ime säteilevää lämpöä (tai kylmää) itseensä vaan heijastaa sen takaisin. Tällöin myös pinnan lämpötila pysyy korkeampana eikä siihen tiivisty kosteutta.

### 2.5.2 Konvektiolämmönsiirron hallinta

Konvektiolämmönsiirrolla tarkoitetaan lämpövirtausta jään pinnan ja jäähallin ilman välillä. Se muodostaa yli 30 % jääradan energiankulutuksesta ollen suurin yksittäinen jääradan energiankulutuksen aiheuttaja. Konvektiolämmönsiirtoa voidaan vähentää riittävällä ilman kuivauksella, jolloin ilman suhteellinen kosteus on myös jääradan pinnalla alle 100 %. Tällöin ilmassa oleva kosteus ei pääse tiivistymään radan pintaan.

## 2.6 Kesäaikainen käyttö

Jäähallien järkevillä ja tarpeenmukaisilla käyttöajoilla voidaan vaikuttaa myös hallien energiatehokkuuteen. Päähallin kesäaikaisella jääradan sulkemisella voidaan vähentää merkittävästi energiankulutusta, koska tällöin jää voidaan sulattaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sulkemista vähintään kesä- ja heinäkuu, mutta mahdollisesti myös touko – ja elokuussa, koska SM-liiga pelit ovat tauolla myös näinä kuukausina. Toukokuussa hallia saatetaan tarvita esimerkiksi MM-kisoja varten ja elokuussa mahdollisesti harjoitusotteluita varten. Harjoitushallin voidaan sen sijaan pitää käytössä myös kesäaikaan, koska sen energiansäästöpotentiaali on alhaisempi ja sen käyttö on tarpeellista myös kesäisin.

Sulkemalla päähallin jäärata kesäksi pysytään vähentämään energiankulutusta noin 400 MWh/a, minkä lisäksi vältetään lauhde-energian tuottamiselta, jota ei pystyttäisi kesäaikaan kuitenkaan hyödyntämään.

### 3 TEHON- JA ENERGIANTARVE

Tehon- ja energiantarpeentarkastelu on jaettu jäähallien muodostamaan tehon ja energiantarpeeseen sekä asuntojen, toimistojen, liiketilojen ja hotellin tehon ja energiantarpeeseen. Jäähallien energiankulutusta tarkastellaan kohdassa 0, jossa sitä vertaillaan Hakametsän jäähallin ja Barona Areenan energiakulutukseen.

Muiden kuin jäähallien laskennassa on oletettu, että rakennukset rakennetaan nykyisen käytännön mukaisesta (2010) A-energialuokkaan. Käytännössä tämä tarkoittaa hyvää ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja vaipan hyvää ilmatiiveyttä sekä hyvää ilmanvaihdon ominaissähkötehokkuutta. Toimisto- ja liiketiloissa myös valaistussähkön kulutuksen minimoiminen tarpeenmukaisella ohjauksella ja energiatehokkailla laitteilla on oleellinen merkitys energiatehokkuuden parantamiseksi.

#### 3.1 Sähkö

Sähkönkulutus sisältää kiinteistösähkönkulutuksen, joka tarkoittaa käytännössä valaistuksen, ilmanvaihdon puhaltimien ja laitteiden sähkönkulutusta. Taulukoissa 1, 2 ja 3 on esitetty kohdekohtaiset arviot vuotuisista sähkönkulutuksista. Erot ominaissähkönkulutuksissa johtuvat eri tilojen erilaisista käyttötarkoituksista. Liiketilojen sähkön kulutusta nostaa erityisesti piha- ja sisävalaistuksen tarvitsema energia. Toimistoissa sähkönkulutusta asuntoihin nähden nostaa suurempi ilmanvaihtomäärä ja tätä kautta suurempi ilmanvaihtokoneiden puhaltimien tarvitsema sähköenergianmäärä. Toinen merkittävä tekijä on valaistus, joka tarkoittaa asunnoissa vain yhteistilojen valaistusta, kun toimistossa valaistus käsittää lähes kaiken valaistuksen.

**Taulukko 1: Arvio toimistojen, asuntojen ja liiketilojen vuotuisista sähköenergiankulutuksista Sorin pihan rakennuksissa**

Sorin pihan rakennukset		
	Energia (MWh/a)	Energia (kWh/m <sup>2</sup> ,a)
Toimistot	511	35
Asunnot	75	16
Liiketilat	172	90
<b>Yht.</b>	<b>758</b>	

**Taulukko 2: Arvio toimistojen, asuntojen ja liiketilöiden vuotuisista sähköenergiankulutuksista Galleria plazan rakennuksissa**

<b>Galleria plaza:n rakennukset</b>		
	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Toimistot</b>	471	35
<b>Asunnot</b>	125	16
<b>Liiketilat</b>	172	90
<b>Yht.</b>	<b>769</b>	

**Taulukko 3: Arvio asuntojen, liiketilöiden ja hotellin vuotuisista sähköenergiankulutuksista hotellirakennuksessa**

<b>Hotelli</b>		
	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Asunnot</b>	50	16
<b>Liiketilat</b>	66	90
<b>Hotelli</b>	357	30
<b>Yht.</b>	<b>473</b>	

### 3.2 Lämmitys

Muiden rakennusten kuin jäähallien lämmitystehon ja –energian tarve koostuu vaipan lämpöhäviöistä, ilmanvaihdon lämpöhäviöistä sekä käyttöveden aiheuttamasta lämmitystarpeesta. Taulukossa 4, 5 ja 6 on esitetty arviot toimistojen, asuntojen, liiketilöiden sekä hotellin lämmitysenergiankulutuksista eri rakennuksissa. Erot ominaisenergiankulutuksissa johtuvat eroista käyttötarkoituksissa ja erityisesti erisuuruista ilmanvaihtomääristä ja lämpökuormista.

**Taulukko 4: Arvio toimistojen, asuntojen ja liiketilöiden vuotuisista lämmitysenergiankulutuksista Sorin pihan rakennuksissa**

<b>Sorin pihan rakennukset</b>			
	<b>Teho (kW)</b>	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Toimistot</b>	796	671	46
<b>Asunnot</b>	174	405	84
<b>Liiketilat</b>	139	84	43
<b>Yht.</b>	<b>1108</b>	<b>1160</b>	

**Taulukko 5: Arvio toimistojen, asuntojen ja liiketilöiden vuotuisista lämmitysenergiankulutuksista Galleria plazan rakennuksissa**

<b>Galleria plaza:n rakennukset</b>			
	<b>Teho (kW)</b>	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Toimistot</b>	734	619	46
<b>Asunnot</b>	290	675	84
<b>Liiketilat</b>	139	84	43
<b>Yht.</b>	<b>1163</b>	<b>1378</b>	

**Taulukko 6: Arvio asuntojen, liiketilöiden ja hotellin vuotuisista lämmitysenergiankulutuksista hotellirakennuksessa**

<b>Hotelli</b>			
	<b>Teho (kW)</b>	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Asunnot</b>	116	270	84
<b>Liiketilat</b>	53	32	43
<b>Hotelli</b>	800	1170	98
<b>Yht.</b>	<b>969</b>	<b>1472</b>	

### 3.3 Jäähdytys

Muiden rakennusten kuin jäähallien jäähdytystarve koostuu tuloilman jäähdyttämisestä ja huoneilman jäähdyttämisestä. Suurin jäähdytystehontarve on toimistotiloissa ja hotellissa, johtuen niiden sisällä olevista suurista lämpökuormista. Toisaalta jäähdytysenergiantarve suhteessa huipputehoon on melko alhainen verrattuna lämmityksen vastaaviin arvoihin. Liiketiloissa on myös niissä jäähdytystehontarvetta, mutta energi-

ankulutus on hiukan alhaisempi kuin toimistoissa ja hotellissa. Asuntoihin ei ole oletettu jäädytystehon- eikä energiatarvetta.

**Taulukko 7: Arvio toimistojen, asuntojen ja liiketilöiden jäädytysenergiankulutuksista Sorin pihan rakennuksissa**

<b>Sorin pihan rakennukset</b>			
	<b>Teho (kW)</b>	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Toimistot</b>	1024	166	12
<b>Asunnot</b>			
<b>Liiketilat</b>	134	13	7
<b>Yht.</b>	<b>1159</b>	<b>179</b>	

**Taulukko 8: Arvio toimistojen, asuntojen ja liiketilöiden jäädytysenergiankulutuksista Galleria plazan rakennuksissa**

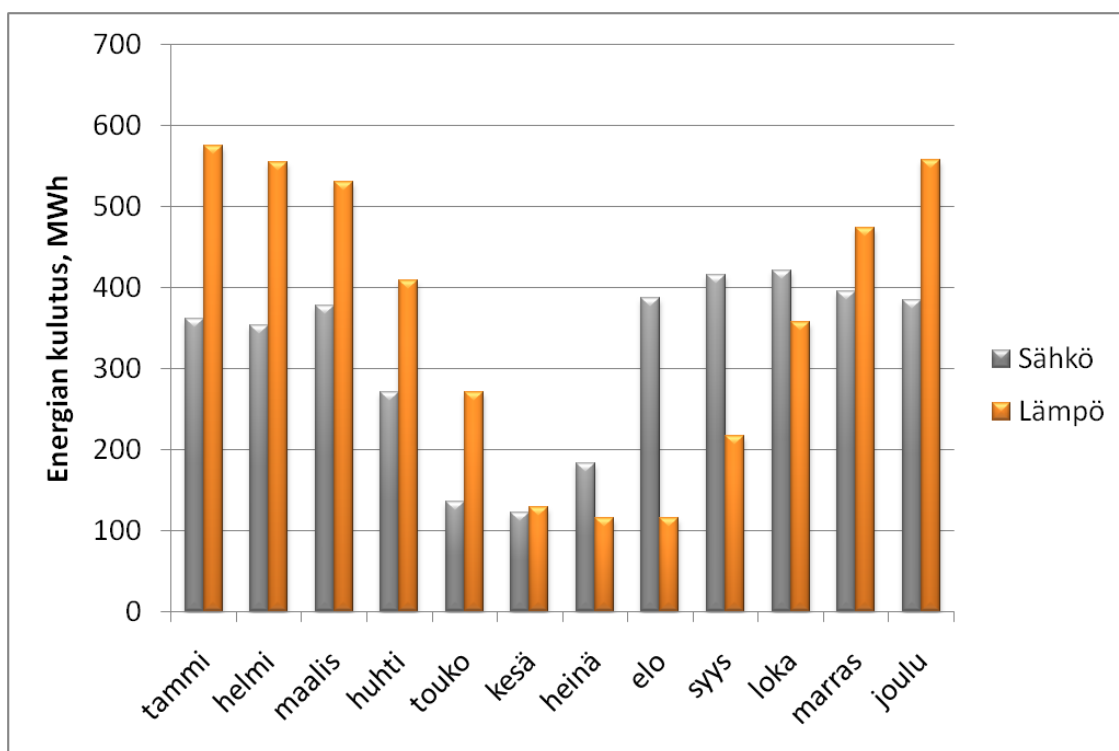
<b>Galleria plaza:n rakennukset</b>			
	<b>Teho (kW)</b>	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Toimistot</b>	946	154	12
<b>Asunnot</b>			
<b>Liiketilat</b>	134	13	7
<b>Yht.</b>	<b>1080</b>	<b>166</b>	

**Taulukko 9: Arvio asuntojen, liiketilöiden ja hotellin jäädytysenergiankulutuksista hotellirakennuksessa**

<b>Hotelli</b>			
	<b>Teho (kW)</b>	<b>Energia (MWh/a)</b>	<b>Energia (kWh/m<sup>2</sup>,a)</b>
<b>Asunnot</b>			
<b>Liiketilat</b>	51	5	7
<b>Hotelli</b>	840	140	12
<b>Yht.</b>	<b>891</b>	<b>145</b>	

### 3.4 Keskusareenan energiankulutuksen vertailu Espoon Barona Areenaan ja Hakametsän jäähalliin

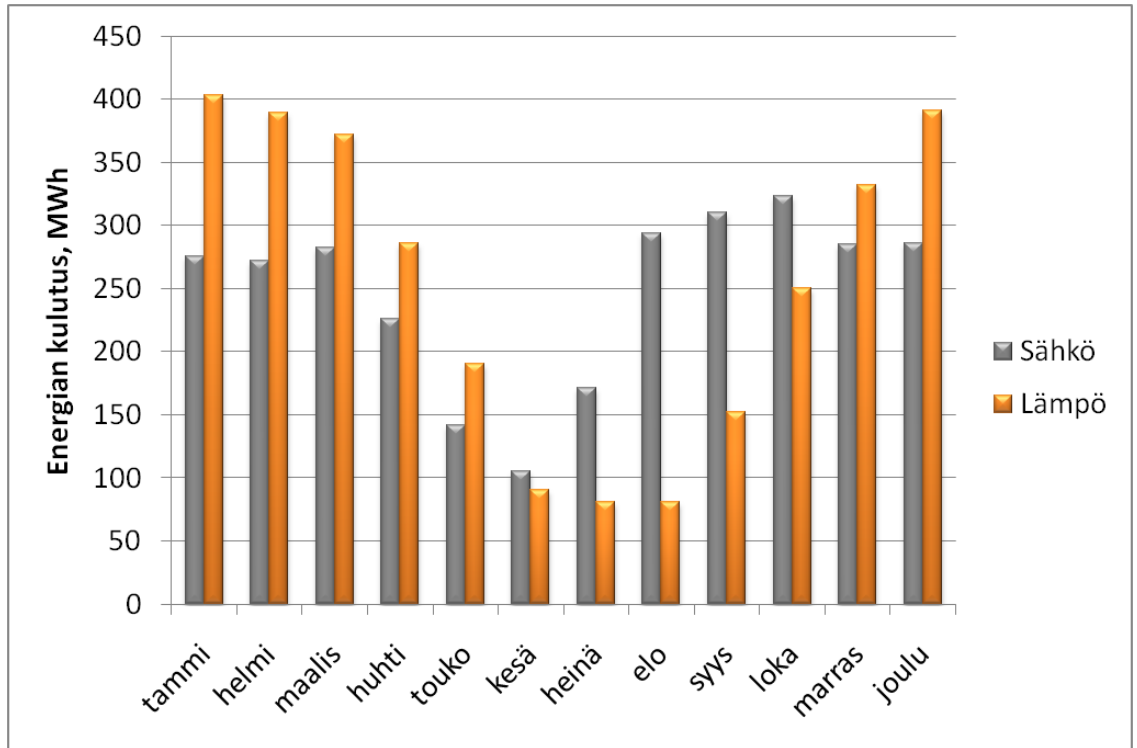
Alustavien laskelmien mukaan Keskusareenan absoluuttinen energiankulutus on suurempi kuin Barona Areenan ja Hakametsän jäähallin, mutta ominaisenergiankulutus on vastaavasti alhaisempi (lähes 30 %) kuin vertailuhallien. Tämä johtuu siitä, että Keskusareena sisältää runsaasti muita tiloja ja harjoitushallin.



Kuva 1: Keskusareenan ja harjoitushallin energiankulutustiedot

Taulukko 10: Keskusareenan ja harjoitushallin ominaisenergian kulutustiedot

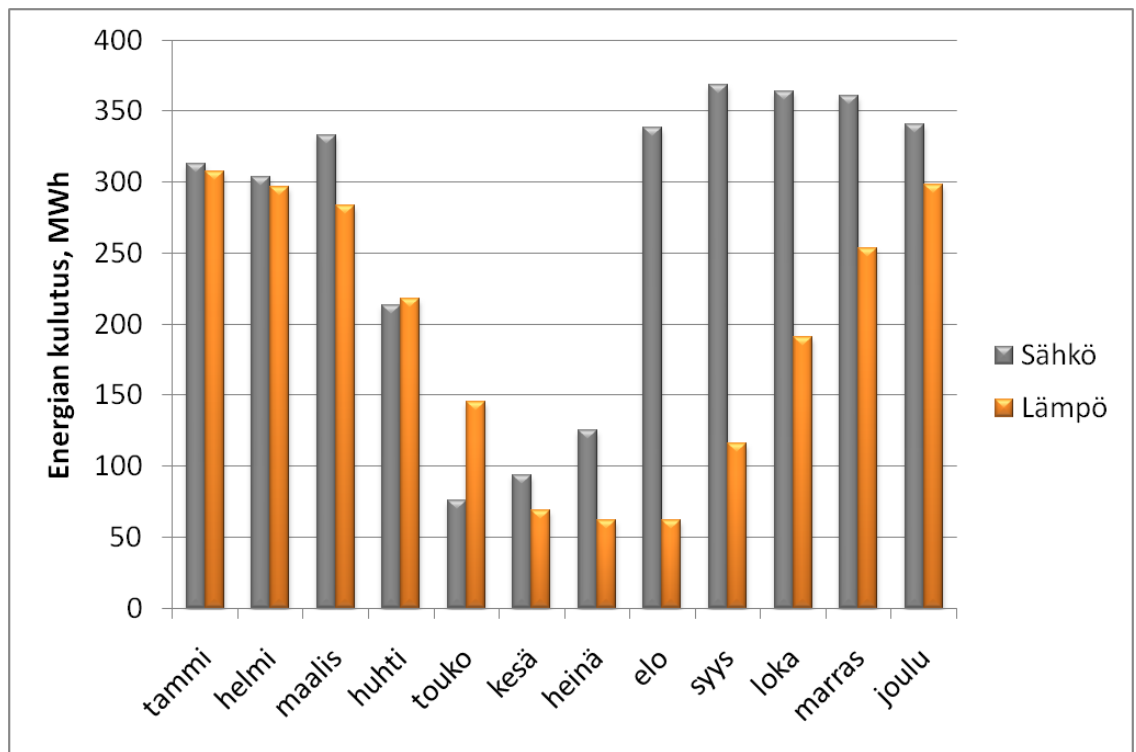
	Ominaisenergiankulutus
	kWh/m <sup>3</sup>
Sähkö	15
Lämpö	17
Yhteensä	31



Kuva 2: Barona Areenan energiankulutustiedot

Taulukko 11: Barona Areenan ominaisenergian kulutustiedot

	Ominaisenergiankulutus	
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>3</sup>
Sähkö	150	21
Lämpö	152	22
Yhteensä	301	43



Kuva 3: Hakametsän jäähallin energiankulutustiedot

Taulukko 12: Hakametsän jäähallin ominaisenergian kulutustiedot

	Ominaisenergiankulutus	
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>3</sup>
Sähkö	223	26
Lämpö	159	18
Yhteensä	382	44

## 4 ENERGIALÄHTEET

### 4.1 Perinteiset ratkaisut

Perinteisillä ratkaisuilla tarkoitetaan kaukolämpöä ja –kylmää (kaukojäähdytys) sekä kiinteistökohtaista kompressorijäähdytystä. Myös verkosta ostettu sähkö kuuluu tähän ryhmään. Näille kaikille ratkaisuille yhteistä on se, että niillä pystytään kattamaan rakennusten lämmityksen-, jäähdytyksen ja sähköntarve kokonaisuudessaan. Näistä ratkaisuista tutkitaan niiden taloudellisuus, kasvihuonekaasupäästöt ja äänet. Kauko- ja kompressorijäähdytyksen osalta tehdään myös tekninen vertailu järjestelmien eroavaisuuksien selvittämiseksi.

#### 4.1.1 Kaukolämpö

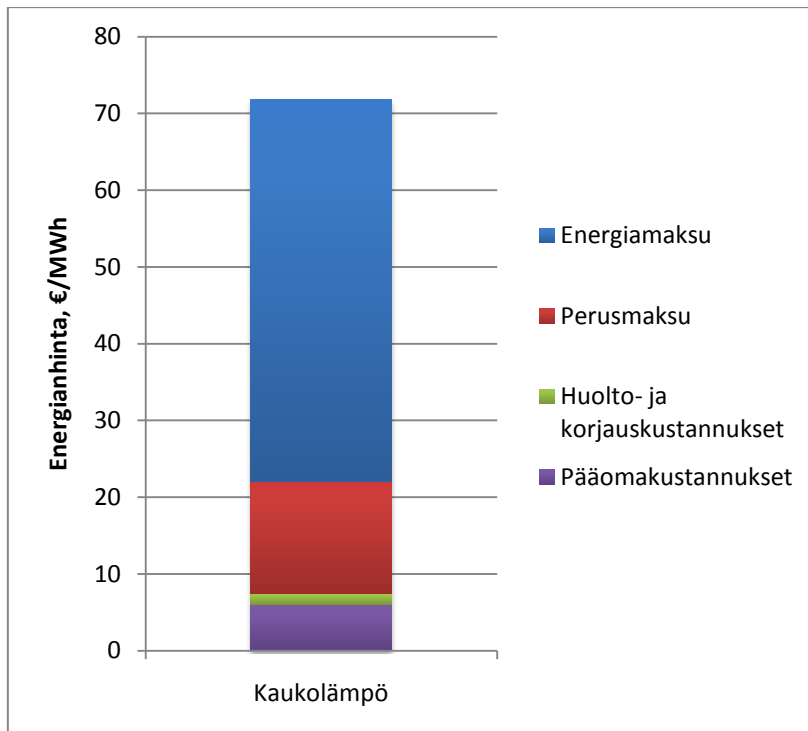
Kaukolämpö on keskitetysti tuotettua lämpöä, jota jaetaan putkistojen avulla rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen. Suurimmissa kaupungeissa se tuotetaan tyypillisesti yhteistuotantolaitoksissa, jolloin sitä syntyy sähköntuotannon sivutuotteena. Kaukolämmön käyttämistä suositellaan, koska se tuotetaan tehokkaasti ja se luo voimalaitoksen tarvitsemaa lämpökuormaa.

##### Taloudellisuus

Kaukolämmön taloudellisuutta tutkitaan yksikkökustannusten avulla, koska sen avulla saadaan hyvä kuva järjestelmän taloudellisuudesta. Tällöin tarkasteltavat kustannukset muodostuvat investointi-, ylläpito- ja käyttökuluista seuraavasti

- investointikustannukset: liittymismaksut ja lämmönjakokeskus
- ylläpitokulut: laitteiden huolto- ja korjauskulut
- käyttökulut: perus- ja energiamaksu

Laskemalla kaukolämmön aiheuttamat kustannukset energiayksikköä kohden tulee kustannukseksi noin 70 – 75 €/MWh (ks. kuva 3)



**Kuva 4: Kaukolämmön hinta energiayksikköä kohden (alv 23 %)**

### Kasvihuonekaasupäästöt

Tällä hetkellä Tampereen Sähkölaitoksen tuottaman lämmön päästökerroin on 179 kg CO<sub>2</sub>/MWh. Yhtiön tavoitteena on kuitenkin vähentää tuotannossa syntyviä päästöjä vuoteen 2020 mennessä yli 20 %:lla vuoden 2005 tasosta, jolloin päästökerroin olisi vuonna 2020 noin 140 – 150 kg CO<sub>2</sub>/MWh. Vuoteen 2030 mennessä päästöjen vähennystavoite on yli 60 %, jolloin päästökerroin olisi noin 70 – 80 kg CO<sub>2</sub>/MWh.

### Äänet

Kiinteistön kannalta kaukolämpöjärjestelmä on käytännössä täysin äänetön järjestelmä, koska lämpö siirretään kiinteistöön lämmönvaihtimien avulla. Tällöin kiinteistön sisällä ei tarvita minkäänlaista lämmöntuotantolaitteistoa.

#### 4.1.2 Kaukojäähdytys ja kiinteistökohtainen kompressorijäähdytys

Kaukojäähdytyksellä tarkoitetaan keskitetysti tuotettua kylmää, jota jaetaan putkiston välityksellä rakennuksille palvelemaan ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspattereita ja tila-

jäähdytysverkostoja. Kaukojäähdytys tuotetaan suurimmaksi osaksi vapaajäähdytyksellä vesistöistä ja loput tuotetaan absorptio- tai lämpöpumppukoneiston avulla.

Kompressorijärjestelmässä jäähdytykseen tarvittava kylmä vesi tuotetaan vedenjäähdytyskoneikoilla, joissa kompressoreita käytetään sähköenergian avulla. Kylmän tuotannossa syntynyt hukkalämpö johdetaan lauhduttimien avulla tyypillisesti ulkoilmaan. Kompressorijärjestelmässä käytetään lisäksi vapaajäähdytystä, jossa viileää ulkoilmaa puhalletaan rakennusten sisälle.

### Taloudellisuus

Taloudellisuus tarkastelua ei ollut tässä yhteydessä mahdollista tehdä, koska selvitystä tehtäessä kaukojäähdytyksen aiheuttamat kustannukset eivät olleet tiedossa. Alla on esitetty kuitenkin mihin osiin kustannukset jakautuvat.

Kaukojäähdytyksen kustannukset muodostuvat seuraavasti

- investointikustannukset: liittymismaksu ja jäähdytyksenjakokeskus
- ylläpitokulut: laitteiden huolto- ja korjauskulut
- käyttökulut: perus- ja energiamaksu

Kompressorijäähdytyksellä kustannukset muodostuvat puolestaan seuraavasti

- investointikustannukset: veden jäähdytyskone ja nestejäähdytin, vapaajäähdytysyksikkö, rakennetekniset lisäkustannukset ja tilakustannukset
- ylläpitokulut: laitteiden huolto- ja korjauskulut, jotka ovat suuremmat kuin kaukojäähdytyksessä johtuen suuremmasta laitemäärästä
- käyttökulut: sähköenergian kustannukset

### Kasvihuonekaasupäästöt

Kaukojäähdytyksen kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat pääasiassa pumppujen ja kompressorien tarvitsemasta sähköstä. Kompressoria tarvitaan kuitenkin vain melko

lyhyenä aikana vuodesta, koska suurin osan tarvittavasta jäähdytysenergiasta saadaan vapaajäähdytyksenä suoraan järvestä.

Kiinteistökohtaisessa jäähdytyksessä toimintaperiaate pääpiirteissään vastaavanlainen kuin kaukojäähdytyksessä eli kesällä, kun ulkoilma on lämmintä, jäähdytys tuotetaan kompressoreilla ja silloin, kun ulkoilma on tarpeeksi viileää, käytetään sitä tilojen jäähdytykseen. Kiinteistökohtaisessa jäähdytyksessä kompressoria tarvitaan kuitenkin enemmän johtuen viileästä ilmasta saatavan vapaajäähdytyksen vähäisemmästä verrattuna kaukojäähdytykseen.

Kaukojäähdytyksen aiheuttamat päästöt ovat Helsingissä noin 70 kg CO<sub>2</sub>/MWh, jossa käytetään vapaa- ja kompressorijäähdytyksen lisäksi absorptiojäähdytystä. Tampereen Sähkölaitoksen tuottaman kaukojäähdytyksen päästökertoimen voidaan olettaa olevan samaa luokkaa, koska absorptiojäähdytyksen päästöt eivät muuta päästökerrointa kovin oleellisesti.

Kiinteistökohtaisen jäähdytyksen keskimääräinen kylmäkerroin on noin 3, jolloin päästökertoimeksi muodostuu Suomen keskimääräisellä sähköllä myös noin 70 kg CO<sub>2</sub>/MWh.

### Äänet

Ääniteknisesti kaukojäähdytys on parempi, koska kompressorijäähdytyksessä ääntä tuottavat laitteet ovat kiinteistön sisällä tai ulkopuolella seiniin tai kattoon kiinnitettynä. Kaukojäähdytyksessä kiinteistössä tarvitaan ainoastaan lämmönvaihdin, jolloin jäähdytyksen tuotanto on äänetöntä.

### Tekninen vertailu

Kumpikin järjestelmä tuottaa tarvittavan jäähdytystehon kiinteistöjen käyttöön. Kaukojäähdytysverkostossa tuloveden lämpötila on 3 °C korkeampi (10/18 °C vs. 7/12 °C), jolloin ulkoilman kuivaaminen on vähäisempää. Tämä on huomioitava ilmanvaihdon jäähdytyspatereiden mitoituksessa. Myös vaikutukset huonelaitteiden mitoitukseen ja säätöön tulee tarkistaa.

Käyttövarmuus on kompressorijärjestelmässä hieman parempi, koska kaukojäähdytysverkostossa ollaan täysin riippuvaisia Tampereen Kaukolämpö Oy:n toimituskyvystä.

Laajennettavuus on kaukojäähdytyksessä parempi koska lisätehoa on saatavilla helpommin, kompressorijärjestelmässä pitää investoida uusiin laitteisiin. Toisaalta kiinteistön sisäisten jäähdytysverkostojen kapasiteetti tulee rajoittavaksi tekijäksi.

Kaukojäähdytysjärjestelmän tilantarve kiinteistössä on noin kolmannes kompressorijärjestelmään verrattuna. Toisaalta kompressorijärjestelmän tilantarve voi tulla eteen elinkaaren aikana, jos jostain syystä kaukojäähdytyksen saanti estyy (sopimuskausi on Helsingissä 15 vuotta).

Kaukojäähdytysjärjestelmään voidaan pitää energiatehokkaana, jos kylmä tuotetaan absorptiojäähdytyskoneilla tai vapaa jäähdytyksellä.

Kaukojäähdytysjärjestelmän kiinteistölaiteiden huoltotarve on pieni.

#### 4.1.3 Verkkosähkö

Verkkosähköllä tarkoitetaan sähköä, jota jaetaan kulutuspiisteeseen paikallisen jakeluyhtiön toimesta. Tässä tapauksessa paikallinen jakeluyhtiö on Tampereen Sähköverkko Oy. Sähkön myyjä sen sijaan voi olla kuka tahansa toimija, jonka sähkön ostaja voi valita haluamiensa kriteereiden mukaan.

##### Taloudellisuus

Sähkön hinta on riippuvainen tehtävästä sopimuksesta ja vallitsevasta markkinatilanteesta. Käytännössä normaalien tuotteiden kokonaishinta (energia ja siirto) on noin 80 €/MWh (alv 0 %). Jos kuitenkin halutaan ostaa ”vihreää sähköä”, jota monet yhtiöt myyvät hiukan korkeampaan hintaan kuin normaalia sähköä, on kokonaishinta hiukan korkeampi.

##### Kasvihuonekaasupäästöt

Verkosta ostettavan sähkön kasvihuonekaasupäästöt voidaan laskea tai määrittää usealle eri tavalla. Varsinaista oikeaa tai virallista tapaa tähän ei ole vaan tyypillisesti käytetään sitä tapaa, jolla saadaan määrittäjän kannalta mieleisiä tuloksia. Päästökertoimena voidaan käyttää esimerkiksi sähkön myyjän ilmoittamaa päästökerrointa (194 kg CO<sub>2</sub>/MWh), marginaalisähkön päästökerrointa (700 kg CO<sub>2</sub>/MWh) tai Suomen keski-

määräisen sähkön päästökerrointa (200 kg CO<sub>2</sub>/MWh). Näiden kaikkien kertoimien käyttöä voidaan perustella, mutta toisaalta niillä on myös omat heikkoutensa.

Yhden vakiokertoimen käytön ongelma on se, että todellisuudessa sähkön päästökerroin vaihtelee sen mukaan milloin sähköä käytetään. Päästökerroin muodostuu käytännössä kysynnän ja tarjonnan mukaan eli mitä tuotantomuotoja tarvitaan kaiken kysynnän tyydyttämiseksi. Tästä johtuen esimerkiksi vihreän sähkön ostaminen ei varsinaisesti vähennä päästöjä laajassa mittakaavassa, koska sähkön kokonaistuotantorakenne ei muutu vaikka yksittäinen asiakas ostaisikin vihreää sähköä.

## 4.2 Paikallisten energialähteiden hyödyntämispotentiaali

Tässä selvityksessä paikallisilla energialähteillä tarkoitetaan aurinkoa, tuulta, biomassaa, biokaasua sekä maalämpöä ja –kylmää, joiden hyödyntämispotentiaalia tarkastellaan energiansaannon, maan käytön, äänen, taloudellisuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmista. Lisäksi tutkitaan mahdollisuutta myydä tuotettua oman käytön ylittävää lämpöä tai sähköä vaikka lähtökohtaisesti järjestelmien tuottama energia tulisikin käyttää omassa käytössä mahdollisimman suuren taloudellisen tuoton saavuttamiseksi.

### 4.2.1 Aurinko

Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa, jonka säteilyteho maan pinnalle on  $1,7 \times 10^{14}$  kW. Tämä säteilyteho on noin 20 000 kertaa suurempi kuin koko maapallon teollisuuden ja lämmityksen käyttämä teho. Keskellä kirkasta päivää maan pinnalle osuvan säteilyn teho on noin 800 – 1000 W/m<sup>2</sup>. Energiämäärissä tarkasteltuna tämä tarkoittaa Tampereella noin 1200 kWh/m<sup>2</sup>, kun tarkastellaan 45° kulmassa olevaa pintaa. Tätä energiaa voidaan hyödyntää aktiivisesti aurinkokeräimillä lämmön tuotantoon ja aurinkopaneeleilla sähkön tuotantoon. Jos aurinkoenergiaa käytetään lämmöntuotantoon, saadaan siitä talteen 25 – 50 % käytettävästä tekniikasta riippuen. Aurinkosähkön tuotannossa hyötysuhde on parhaimmillaankin vain n. 12 %.

#### Energiansaanto ja maankäyttö

Maksimaalista energiansaantoa määritettäessä oletetaan, että hallin katolle asennetaan niin suurin määrä kuin mahdollista aurinkokeräimiä tai –paneeleita. Koska katto on tasainen, tarvitaan katolle telineet, joilla pystytään asentamaan paneelit ja keräimet 45° kulmaan maksimaalisen energiamäärän saamiseksi. Telineiden käyttäminen vaatii kuitenkin enemmän pinta-alaa kuin pelkän keräimen tai paneelin pinta-ala johtuen varjos-

tuksista, joita paneelit ja keräimet aiheuttavat toisilleen. Käytännössä katolle saataisiin asennettua noin 3 500 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita tai -keräimiä. Lämmöntuotoksi voitaisiin saada tällöin aurinkokeräimillä noin 1 200 MWh/a, joka on noin 14 % hankkeen vuotuisesta kokonaislämmöntarpeesta. Aurinkopaneelilla voitaisiin vastaavasti päästä noin 330 MWh/a sähkön tuotantoon, joka on noin 6 % hankkeen vuotuisesta sähköenergian kulutuksesta.

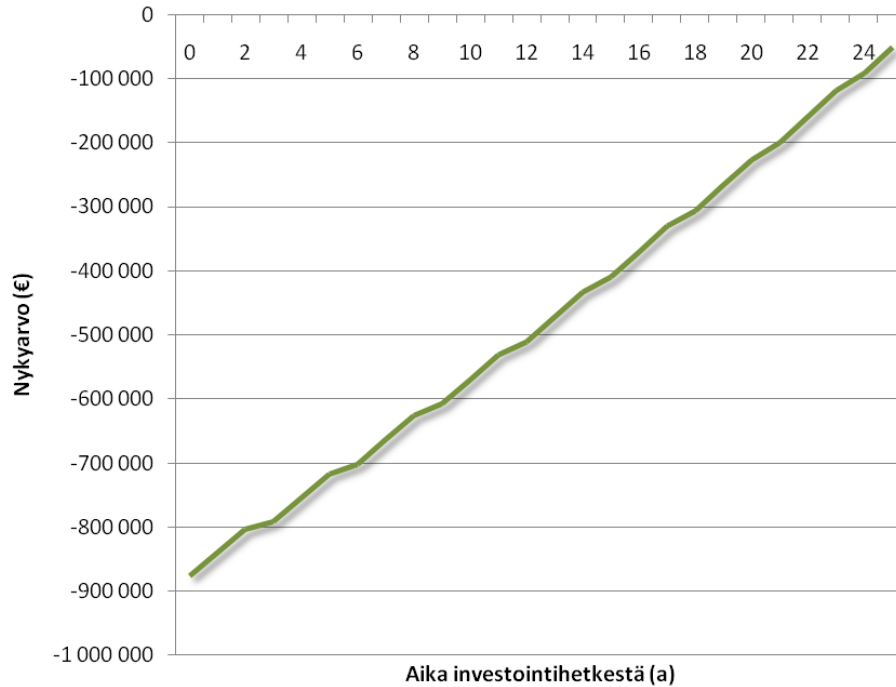
Kaiken energian hyödyntäminen on kuitenkin haasteellista tai jopa mahdotonta johtuen käytön ja kulutuksen eriaikaisuudesta. Eriaikaisuus johtuu siitä, että eniten energiaa tarvitaan talvisin, kun taas aurinkoenergiaa saadaan käytännössä vain kesäisin. Tämä johtuu siitä, että 3 500 neliön aurinkopaneelijärjestelmän huipputeho kesäaikaan on n. 440 kW:a, kun rakennusten tarvitsema peruskuorma on tällöin alle puolet tästä eli noin 200 kW. Käytännössä tämä tarkoittaa, että aurinkosähköjärjestelmän huipputeho tulisi olla korkeintaan 200 kW:a (noin 1 500 m<sup>2</sup>), jotta kaikki tuotanto menisi omaan käyttöön. Aurinkolämpö puolestaan tuottaa toukokuun ja elokuun välillä lähes 200 MWh/kk, kun taas rakennuksen tarvitsema lämpöenergian määrä näinä kuukausina on noin 150 MWh/kk. Tästä johtuen suositeltava aurinkolämpöjärjestelmän maksimikoko on noin 2 500 m<sup>2</sup>.

### Äänet

Aurinkoenergiaa hyödyntävät järjestelmät ovat periaatteessa täysin äänettämiä. Ainoa äänenlähde on aurinkolämpöjärjestelmissä keruuliuksen kiertopumpun todella hiljainen ääni, joka rajoittuu tekniseen tilaan.

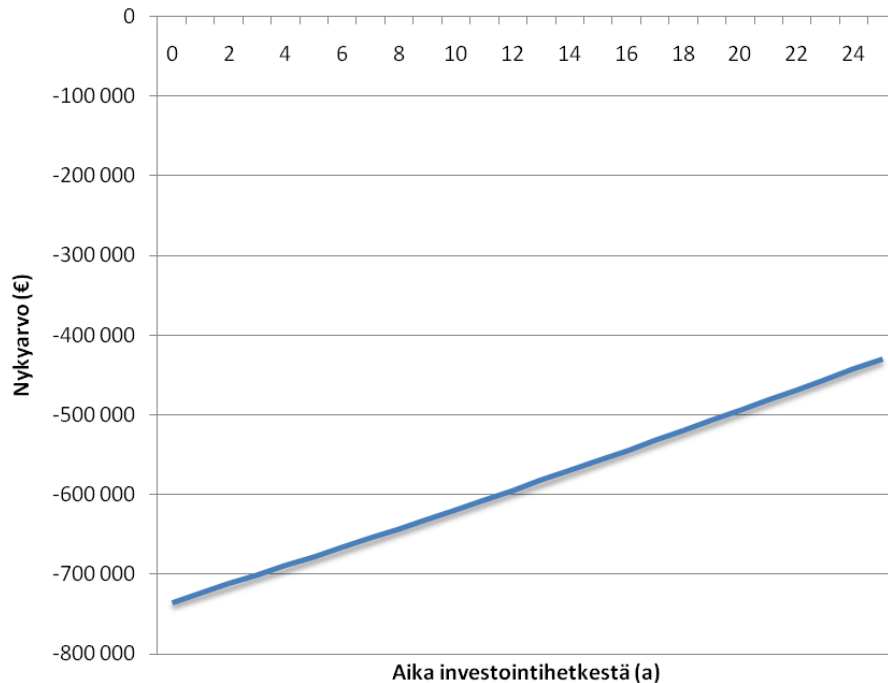
### Taloudellisuus

Aurinkolämmön- ja sähkön taloudellinen kannattavuus on melko heikkoa johtuen laitteiden suhteellisen kalliista hinnoista ja toisaalta myös alhaisesta hyötysuhteesta vaikka järjestelmä olisikin optimaalisesti mitoitettu. Mikäli aurinkolämpö järjestelmä toteutettaisiin maksimaalisen mitoituksen mukaan, muodostuisi sen hankintakustannukseksi noin 900 000 € (alv 23 %), kun mukaan on laskettu 30 % investointituki. Elinkaarikustannusnäkökulmasta tarkasteltuna järjestelmä on myös kannattamaton, kun se oletetaan korvaavan kaukolämpöä (ks. kuva 4). Tilanne on vastaavanlainen myös pienemmille järjestelmille.



**Kuva 5: Aurinkolämpöjärjestelmän elinkaarikustannukset 2 500 m<sup>2</sup>:n järjestelmälle.**

Maksimimitoituksen mukaan toteutetun aurinkosähköjärjestelmän hankintakustannus on noin 750 000 € (alv 0 %) sisältäen 35 %:n investointituen. Elinkaarikustannuksiltaan järjestelmä on tappiollinen (ks. kuva 5) johtuen kalliista investoinnista suhteessa saattuihin tuottoihin.



**Kuva 6: Aurinkosähköjärjestelmän elinkaarikustannukset 200 kW:n järjestelmälle**

#### Kasvihuonekaasupäästöt

Aurinkosähkö ja -lämpö ovat käytännössä päästöttömiä energialähteitä. Päästöjä syntyy ainoastaan laitteiden valmistuksessa ja huolloissa sekä aurinkolämmön osalta hiukan myös kiertonestepumpun käyttämän sähköenergian osalta, joka on muutama megawattituntia vuodessa.

#### 4.2.2 Tuuli

Tuuli on ilmanvirtausta, joka syntyy auringon aikaansaamista lämpötilaeroista ja tätä kautta syntyvistä paine-eroista, jotka pyrkivät tasoittumaan aiheuttaen ilman virtausta. Tuulivoimaloilla hidastetaan tätä virtausta ja samalla kerätään energiaa talteen. Energiaa saadaan talteen sitä enemmän mitä suurempi on tuulen nopeus.

#### Energiansaanto ja maankäyttö

Tuulivoimalla saatava energiansaanto on lähes täysin riippuvainen paikallisista tuuliolosuhteista, joiden tarkka selvittäminen edellyttäisi pidempiaikaisia mittauksia suunniteltavalla sijoituspaikalla. Tampereen Keskusareena ja Kansi hankkeen rakennusten katonlehdelle mahdollisesti sijoitettavien tuulivoimaloiden huipunkäyttöajan voidaan olettaa

olevan noin 1 000 h/a, mikä tarkoittaa käytännössä, että 20 kW:n tuulivoimala tuottaisi sähköä noin 20 MWh/a. Katolle sijoitettavien tuulivoimaloiden maksimaalinen määrä on tilantarpeen perusteella noin 10, koska tuulivoimaloiden keskinäinen etäisyys tulee olla noin 5 roottorin halkaisijaa, mikä tarkoittaa käytännössä noin 60 metrin väliä voimaloiden välillä. Käytännössä tämä tarkoittaisi, että tuulivoimaloita sijoitettaisiin jokaiselle katonharjalle (4) ja loput jäähallin katolle. Tällöin tulee kuitenkin huomioida tuulivoimaloiden aiheuttamat vaatimukset rakenteiden lujuuksille.

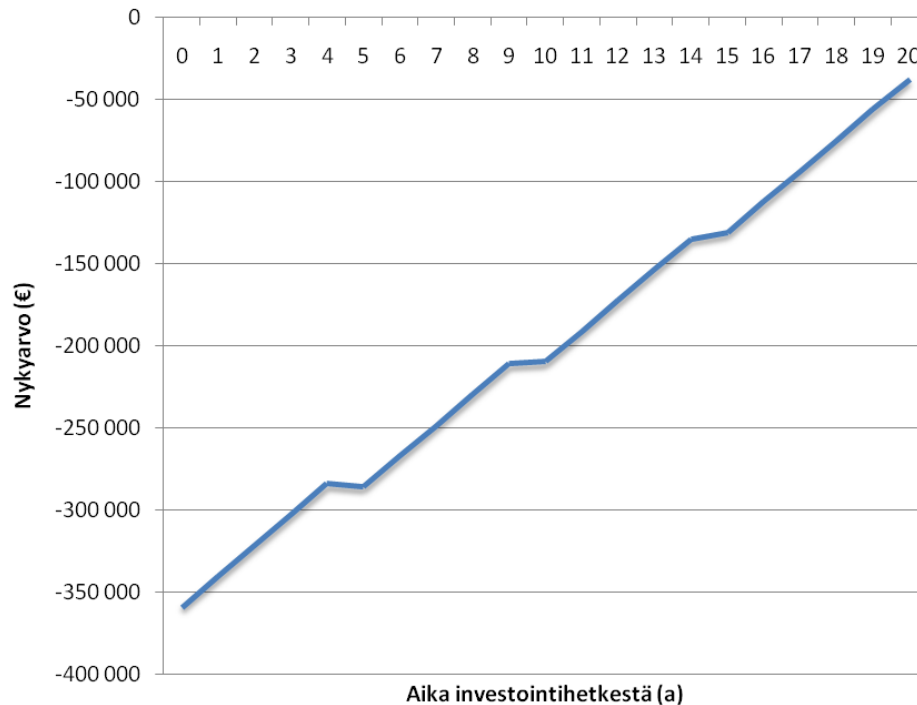
### Äänet ja maisema

Tuulivoimalat aiheuttavat jonkin verran ääntä roottorin pyöriessä aivan lähiympäristöön, mutta jo noin 20 metrin etäisyydeltä tuulivoimaloiden aiheuttamaa ääntä on vaikea erottaa muista äänistä. Lisäksi ääntä saattaa aiheuttaa resonanssi, jota voimalat saattavat aiheuttaa rakenteisiin. Tämä voidaan kuitenkin estää ottamalla riskit huomioon suunnittelu- ja asennusvaiheessa.

Ääntä suurempi uhka on sen sijaan maisemahaitat, joita voimalat aiheuttavat erityisesti jäähallin katolle sijoitettuna. Haittaa koituu erityisesti asunnoille, jotka ovat suunniteltu rakennettavaksi jäähallin pohjoispuolelle. Erityisen ongelmalliseksi saattaa muodostua tuulivoimaloiden roottorien aiheuttamat varjoefektit, joita syntyy roottorin pyöriessä, kun tuulivoimalat ovat auringon ja katsojan välissä. Tässä tapauksessa tilanne on erityisen hankala, koska tuulivoimalat sijaitsisivat asuin- ja toimistorakennusten eteläpuolella, jolloin voimalat ovat juuri rakennusten ja auringon välissä.

### Taloudellisuus

Tuulivoiman taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti paikalliset tuuliolosuhteet, koska tuulivoimaloiden tuotto on täysin riippuvainen tuuliolosuhteista. Kuten aiemmin on mainittu, oletetaan kyseisellä paikalla yhden tuulivoimalan tuottavan 20 MWh/a. Jos hankkeen katolle toteutettaisiin 10 tuulivoimalan järjestelmä, tulisi hankintakustannukseksi noin 360 000 euroa (alv 23 %). Elinkaarikustannuskulmasta tarkasteltuna investoinnin nettonykyarvo on noin -40 000 €.



### Kasvihuonekaasupäästöt

Tuulivoiman osalta kasvihuonekaasupäästöt rajoittuvat ainoastaan laitteistojen valmistuksessa ja huolloissa syntyviin päästöihin, koska tuotannossa ei synny päästöjä lainkaan.

### 4.2.3 Biomassa

Biomassalla tarkoitetaan eloperäisiä polttoaineita, kuten puuta, sokeria sekä tärkkelystä sisältäviä kasveja. Tyypillisimpiä kiinteistöjen lämmityksessä käytettäviä biopolttoaineita ovat pelletti ja hake, koska ne tarjoavat parhaat mahdollisuudet biomassan hyödyntämiseen johtuen niiden polton yksinkertaisesta automatisoinnista.

Mikäli hankkeen lämpöenergia tuotettaisiin yhdellä tai useammalla biopolttoainetta käytävällä järjestelmällä, muistuttaisi järjestelmä hyvin paljon kaukolämpöjärjestelmää, joka käyttää polttoaineena biomassaa. Käytännössä tällainen järjestelmä tarkoittaisi, että alueelle tulisi varastoida kymmeniä kuutioita haketta tai pellettiä, jotta lämmönsaanti on keskeytymätöntä kaikissa tilanteissa. Lisäksi järjestelmä aiheuttaisi alueelle savukaasupäästöjä, joka ei ole suotavaa kaupunkialueella. Myös huollontarve on runsas johtuen polttoaineiden ominaisuuksista.

Johtuen biomassan hankalasta sovittamisesta kaupungin keskustaan ja toisaalta paikallisen energiayhtiön siirtymisestä vähäpäästöisempään energiantuotantoon, ei ole perusteltua harkita biomassaa hyödyntämistä Tampereen Keskusareena ja Kansi –hankkeen energiantuotannossa.

#### 4.2.4 Biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Sitä kerätään tyypillisesti kaatopaikoilta ja jäteveden puhdistamoilta. Kaasu sisältää metaania (CH<sub>4</sub>) 40 – 70 % ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 30 – 60 %. Vaikka biokaasu on uusiutuvaa energiaa, on se koostumukseltaan hyvin samantyyppistä kuin fossiilinen maakaasu.

Tampereen alueella biokaasua syntyy Pirkanmaan Jätehuollon jätteenkäsittelykeskuksissa sekä Tampereen Veden jäteveden puhdistamoilla. Pirkanmaan Jätehuollon Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksessa ja Tampereen Veden jäteveden puhdistamoilla syntyvä kaasu käytetään kuitenkin jo paikanpäällä sähkön ja lämmön tuotantoon. Koukkujärven jätteenkäsittelykeskuksessa syntyvä kaasu sen sijaan myydään Fortumille, joka tuottaa kaasusta lämpöä nokialaisille.

Käytännössä tämä tarkoittaa, että biokaasua ei ole saatavissa Tampereen Keskusareena ja Kansi –hankkeen luokse, koska syntyvä kaasu hyödynnetään sen keräämispaikalla tai sen läheisyydessä. Tästä johtuen biokaasua käyttävä järjestelmä ei ole vaihtoehto hankkeen lämmitysenergian tuottamiseen.

#### 4.2.5 Maalämpö ja – Kylmä

Maalämpö ja – kylmä ovat maahan varastoitunutta energiaa, jota voidaan hyödyntää lämmitykseen lämpöpumpun avulla ja jäädytykseen suoraan tai lämpöpumpun avulla. Maalämpöä käytettäessä lämpöä kerätään kallioon poratuissa rei'istä keruunesteen avulla. Tämän jälkeen saatu matalalämpöinen lämpöenergia muutetaan paremmin rakennuksessa hyödynnettävään muotoon lämpöpumpun avulla. Maakylmää voidaan sen sijana hyödyntää suoraan rakennuksen viilennykseen, koska maan lämpötila on Tampereen seudulla noin 5 °C. Toinen vaihtoehto on käyttää lämpöpumppua myös viilennyksessä, jos halutaan käyttää alempaa lämpötilatasoa. Kaivosta saatavaa energiamäärä ei kuitenkaan voida kasvattaa käyttämällä lämpöpumppua.

### Energiansaanto ja maankäyttö

Energiansaantoon vaikuttaa ratkaisevasti maaperän ominaisuudet, josta lämpöä tai kylmää kerätään. Erityisen oleellisesti energiansaantoon vaikuttaa pohjaveden virtaus. Jos virtaus on voimakasta, saadaan kaivosta selkeästi enemmän energiaa kuin kaivosta, joka ei täyty luonnostaan vedestä johtuen siitä, että veden virtauksen mukana alueelle tulee jatkuvasti uutta vettä. Lisäksi pintamaan syvyys ennen peruskalliota vaikuttaa merkittävästi energiansaantiin, johtuen sen heikosta lämmön johtavuudesta verrattuna kallioon. Kaivojen tarkkojen ominaisuuksien selvittämiseksi tarvitaan muutama koeporaus, joista voidaan mitata kaivoista saatava energiamäärä ja teho.

Jos kaivoja sijoitetaan alueelle maksimaalinen määrä, saataisiin alueelle porattua 50 – 60 kaivoa, joista kukin olisi syvyydeltään 300 metriä. Tällöin niistä voitaisiin saada lämmitysenergiaa noin 1 500 MWh/a, kun oletetaan kaivoille tyypillinen lämmöntuotto. Maalämpöpumppujen avulla saatava kokonaisenergian määrä on tällöin noin 2 100 MWh/a. Huipputeho tällaisella järjestelmällä on 430 kW. Viilennyskäytössä saatava energiamäärä riippuu tarvittavasta lämpötilatasosta, mutta esimerkiksi 11 °C keruuliuksen paluulämpötilalla saatava viilennysenergia on noin 1 500 MWh/a. Huipputeho on tällöin noin 300 kW.

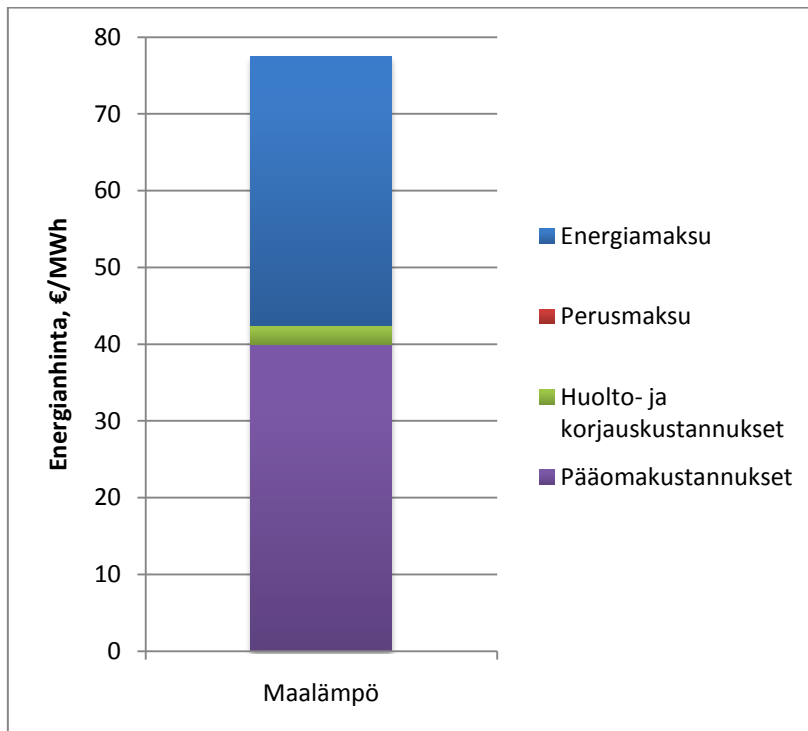
### Äänet ja maisema

Maalämpö- ja kylmäjärjestelmät aiheuttavat hyvin vähän ääniä tai maisemahaittoja. Äänet rajoittuvat tekniseen tilaan, johon lämpöpumput sijoitetaan. Maisemahaittoja ei myöskään aiheudu, koska kaivot sijaitsevat maanpinnan alapuolella. Näkyviin jää ainoastaan sadevesikaivoa muistuttava tarkastuskaivo.

### Taloudellisuus

Taloudellisuus näkökulmasta maalämpö on melko kilpailukykyinen ratkaisu kaukolämpöön verrattuna, johtuen edullisista käyttökuluista, jotka ovat noin 2/3 kaukolämmön käyttökuluista. Investointikustannus on kaukolämmöllä noin 200 €/kW (alv 23 %) ja maalämmöllä vastaavasti noin 1 200 – 1 600 €/kW (alv 23 %) riippuen mitoituksesta ja maaperän ominaisuuksista. Tällöin maalämmön takaisinmaksuaika suhteessa kaukolämpöön on noin 15 – 20 vuotta. Jos samaa järjestelmää käytetään myös jäähdytykseen, lyhenee takaisinmaksuaika muutamalla vuodella. Energiayksikköä kohden maalämmön hinta on 75 - 80 €/MWh (ks. kuva 4). Vaikka maalämpö onkin nykytilanteessa hiukan

kalliimpi kuin kaukolämpö, saavuttaa se kaukolämpöä elinkaaritarkastelussa. Tämä johtuu energianhinnan noususta, joka rasittaa enemmän kaukolämpöä, koska kaukolämmöllä suurempi osuus kustannuksista on energiankulutukseen perustuvia kustannuksia, kun maalämmöllä ne ovat vain noin puolet kokonaiskuluista.



Kuva 7: Maalämmön hinta energiayksikköä kohden (alv 23 %)

### Kasvihuonekaasupäästöt

Maalämmön aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa voidaan käyttää useita erilaisia menetelmiä, joilla saadaan hyvin erilaisia tuloksia aivan kuten verkkosähkön tapauksessakin. Päästöt voidaan laskea olettaen, että maalämpö käyttää marginaalisähköä, jolloin päästökertoimeksi tulee noin 280 kg CO<sub>2-ekv</sub>/MWh. Jos puolestaan oletetaan maalämmön käyttävän Suomen keskimääräistä sähköä tai Tampereen Sähkölaitoksen myymää sähköä, tulee päästökertoimeksi noin 70 kg CO<sub>2-ekv</sub>/MWh. Kolmas tapaa määrittää maalämmön tuottamalle lämmölle päästökerroin on käyttää mallia, jossa eri ostetun sähkön päästökerroin riippuu sen hankinta-ajankohdasta. Tässä mallissa päästökerroin on suurin kovilla pakkasilla ja pienin lämpiminä aikoina. Tällöin keskimääräiseksi päästökertoimeksi tulee noin 180 kg CO<sub>2-ekv</sub>/MWh.

Maakylmän osalta päästökerroin muodostuu ainoastaan kiertopumppujen aiheuttamasta sähköenergian kulutuksesta, jolloin sen kylmäkerroin (tuotettava jäähdytysteho/käytetty sähköteho) on luokkaa 10 – 20. Tällöin päästökertoimeksi muodostuu Suomen keskimääräisellä sähköllä tai Tampereen Sähkölaitoksen myymällä sähköllä noin 15 kg CO<sub>2</sub>/MWh.

### 4.3 Johtopäätökset ja suositukset

Hankkeen energiantuotanto rajoittuu suurimmaksi osaksi perinteisiin ratkaisuihin, kuten kaukolämpöön ja kauko- tai kompressorijäähdytykseen, koska paikallisen energiantuotannon mahdollisuudet ovat melko rajalliset. Lämmöntuotannon osalta biopoltoaineilla toimivat järjestelmät eivät ole mahdollisia, kuten ei myöskään maalämpö, koska maa-alue ei ole riittävän suuri, jotta sieltä voitaisiin saada riittävästi lämpöä.

Paikalla tuotettavista uusiutuvista energioista, kuten aurinkolämpö ja –sähkö sekä tuulisähkö, voidaan saada pieniä määriä energiaa, mutta niiden osuus on melko vähäinen kokonaisenergiantarpeesta vaikka niitä asennettaisiinkin melko suuria määriä. Ne eivät myöskään ole vielä taloudellisesti kannattavia.

Vuonna 2012 voimaan tuleviin rakentamismääräyksiin peilaten järkevintä olisi panostaa järjestelmiin, jotka tuottavat sähköä ja täten parantavat rakennusten E-lukua merkittävimmin. Tällöin potentiaalisin vaihtoehto on aurinkosähkön hyödyntäminen, koska aurinkopaneeleita pystytään asentamaan siten, etteivät ne häiritse naapurustoa, kuten tuulivoimalat. Aurinkopaneeleita voidaan asentaa myös mahdollisuuksien mukaan osaksi julkisivua ja samalla korvata muita rakennusmateriaaleja. Aurinkosähköä tuottavien tekniikoiden kehittyminen saattaa tarjota myös uusia mahdollisuuksia aurinkosähkön hyödyntämiseen. Kehitteillä on esimerkiksi ikkunoihin kiinnitettäviä kalvoja, jotka tuottavat sähköä auringon valon avulla.

Uusiutuvia energialähteitä voitaisiin pyrkiä hyödyntämään esimerkiksi siten, että niillä katettaisiin esimerkiksi mainos- tai ulkovalojen energiankulutus. Myös esimerkiksi yhden rakennuksen tekeminen lähes nollaenergiataloksi voisi olla mahdollista.

## 5 HIILIJALANJÄLKI

Hankkeen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä tarkastellaan ainoastaan jäähallien osalta, koska niiden osalta on käytettävissä NCC:n toimittamat EstiModel-laskelmat, jonka avulla pystytään arvioimaan rakentamisessa aiheutuvien päästöjen määrä. Päästöt muodostu-

vat rakentamisen, rakennusmateriaalien ja rakennuksen käytön aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä. Näistä merkittävimmän osan muodostavat käytön aikana muodostuvat päästöt. Nämä päästöt jakautuvat vielä sähkön, lämmön ja jäähdytyksen aiheuttamiin päästöihin.

## **5.1 Rakentaminen ja rakennusmateriaalit**

Jäähallien rakentaminen ja rakennusmateriaalit aiheuttavat CO<sub>2</sub>-päästöjä noin 16 000 t, jos hanke toteutetaan käyttäen tyypillisiä rakennusmateriaaleja.

## **5.2 Käyttö**

Käytönaikaiset päästöt aiheutuvat rakennusten lämmön, sähkön ja jäähdytyksen energiankulutuksesta päästöistä. Rakennusten energiankulutuksesta aiheutuvat päästöt riippuvat käytettävän energialähteen päästökertoimesta sekä käytetystä energiamäärästä.

### **5.2.1 Lämpö**

Lämmön osalta päästöt syntyvät kaukolämmön tuotannosta aiheutuvista päästöistä, jotka ovat tällä hetkellä 179 kg CO<sub>2</sub>/MWh. Elinkaarenaikaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ovat 25 vuoden tarkastelujaksolla noin 15 000 t, kun kaukolämmön päästöjen oletetaan laskevan nykytasolta 80 kg:aan CO<sub>2</sub>/MWh tarkastelujakson aikana.

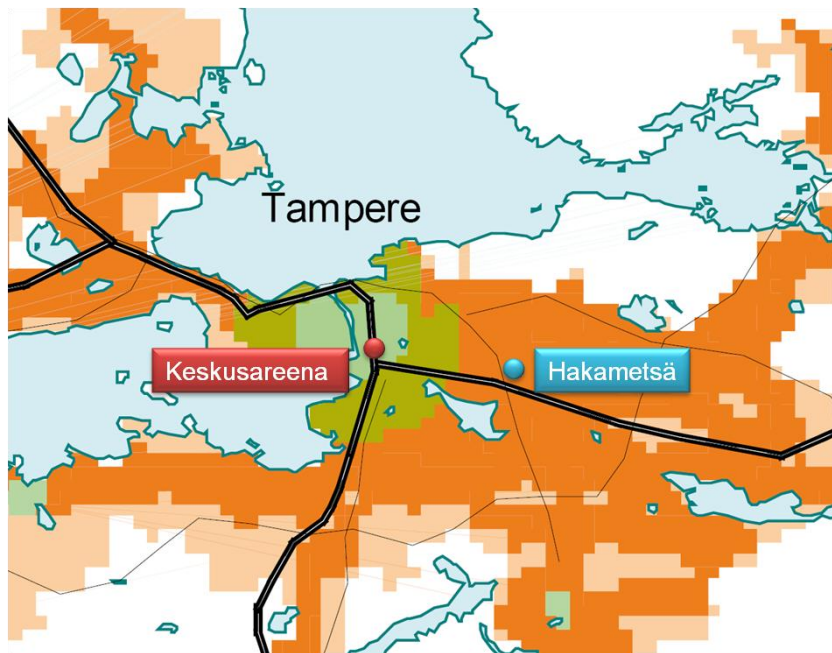
### **5.2.2 Sähkö**

Sähkön osalta päästöt päästöihin vaikuttaa oleellisesti millaista päästökerrointa laskelmissa käytetään. Tässä tarkastelussa päästökertoimeksi on valittu Suomen keskimääräisen sähkön päästökerroin eli 200 kg CO<sub>2</sub>/MWh. Tällöin elinkaaren aikaisiksi kokonaispäästöiksi muodostuu 15 000 t hiilidioksidia, kun päästökertoimen oletetaan laskevan nykytasosta 130 kg:aan CO<sub>2</sub>/MWh 25 vuoden tarkastelujakson aikana. Tämä lukuarvo sisältää myös jäähallin jäähdytykseen käytettävän sähkön. Mikäli jäähdytys toteutettaisiin kaukojäähdytyksellä, olisivat kokonaispäästöt yhtä suuret, koska kaukojäähdytyksen ja kiinteistökohtaisen jäähdytyksen päästöt ovat yhtä suuria.

## **5.3 Jäähallin sijainnin merkitys hiilijalanjälkeen**

Uuden jäähallin sijainnin merkitystä hiilijalanjälkeen tarkastellaan jääkiekko-otteluihin tulevan liikenteen kautta. Vertailukohteeksi on valittu nykyisin käytössä oleva Hakametsän jäähalli, koska sen käyttäminen on vaihtoehtoinen ratkaisu uuden jäähallin rakentamiselle. Laskennan pohjatietona on käytetty Hanna Kalenojan esittämiä arvioita

Hakametsän jäähallille ja Keskusareenalle tulevien katsojien kulkutapaosuuksista, matkojen pituuksista ja henkilöautojen kuormitusasteesta. Arvioit perustuvat Talli 2005 – mallin aiempiin ajoihin, Tampereen henkilöliikennetutkimukseen ja muihin liikennetutkimuksiin.



Kuva 8: Jäähallien sijainnit Tampereella

Arvion mukaan kulkutapaosuudet jakautuvat seuraavasti Keskusareenan ja Hakametsän jäähallin osalta

	Jalan tai polkupyörällä	Henkilöautolla	Joukkoliikenteellä
Hakametsä	15 %	71 %	14 %
Keskusareena	20 %	55 %	25 %

Matkojen keskimääräiset pituudet (km) ovat arvion mukaan seuraavat

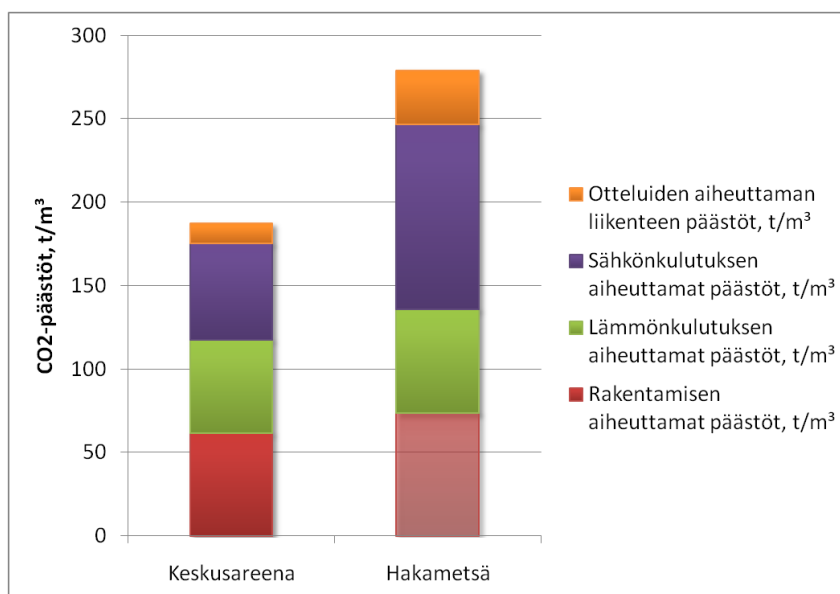
	Jalan tai polkupyörällä	Henkilöautolla	Joukkoliikenteellä
Hakametsä	1,6	8,2	8,6
Keskusareena	1,5	7,7	8,1

Yleisömääränä on käytetty Hakametsän ja Keskusareenan osalta Hakametsän hallissa toteutuneita keskimääräisiä yleisömääriä. Tapparan otteluissa luku on 5 523 katsojaa/ottelu ja Ilveksen otteluissa 5 361 katsojaa/ottelu. Henkilöautojen keskimääräisenä kuormitusasteena on käytetty Kalenojan arvion mukaan 2,1 henkilöä/auto. Tällöin jatkettaessa Hakametsän jäähallin käyttöä syntyisi otteluihin matkustamisesta päästöjä noin 200 t CO<sub>2</sub>/a. Keskusareenaa käytettäessä päästöjä syntyisi vastaavasti noin 160 t CO<sub>2</sub>/a.

Elinkaarenaikaisiksi (25 vuoden tarkastelu) päästöiksi tulee tällöin Keskusareenan osalta noin 3 200 t CO<sub>2</sub> ja Hakametsän osalta 4 000 t CO<sub>2</sub>, kun päästöjen on oletettu laskevan vuosittain noin 3 %.

#### 5.4 Hiilijalanjäljen vertailu Hakametsän jäähalliin

Hiilijalanjäljen vertailu suoritetaan käyttäen elinkaarenaikaisia (25 vuotta) ominaispäästöjä, jotta rakennukset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Vertailu käsittää rakentamisesta ja rakennusmateriaaleista, käytöstä sekä jääkiekko-otteluiden aiheuttamasta liikenteestä syntyvät päästöt (ks. kuva 9). Hakametsän osalta rakentamisen ja rakennusmateriaalien aiheuttamat päästöt ovat esitetty hiukan vaaleamman värillä, koska nämä päästöt ovat jo tapahtuneet eikä niihin voida enää vaikuttaa. Muut päästöt tapahtuvat sen sijaan tulevaisuudessa.



**Kuva 9: Keskusareenan ja Hakametsän jäähallin elinkaarenaikaiset (25 vuotta) CO<sub>2</sub> -päästöt tilavuutta kohden**

## 6 YMPÄRISTÖSERTIFIOINTIJÄRJESTELMÄ BREEAM

Hankkeen ympäristöominaisuuksia tullaan mittaamaan kansainvälisellä BREEAM ympäristösertifiointimenetelmällä. BREEAM sertifikaatin saaneita urheilurakennuksia ei ole tiedossa yhtään. Yhdysvalloissa on valmistunut syksyllä 2010 CONSOL Energy Center (Pittsburgh Penguins rakennuttama monitoimiareena) on ensimmäinen LEED Gold ympäristösertifioitu urheilurakennus. Hanke saavutti korkeat pisteet veden käytön tehokkuudessa, kierrätysmateriaaleissa, paikallisissa materiaalihankinnoissa, purun ja rakentamisen jätteiden hoidossa, sertifioidussa puussa sekä energiatehokkuudessa.

### 6.1 Yleistä

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) on englantilainen ympäristövaikutusten arviointijärjestelmä, jonka luokitus perustuu pisteytysjärjestelmään. Arvioinnissa pisteitä myönnetään mm. ympäristöasioiden huomiointamisesta, terveyttä ja hyvinvointia edistävästä käytännöistä, energiatehokkuudesta, liikennejärjestelyistä, vedenkäytöstä, materiaalitehokkuudesta, saastumisen ehkäisystä sekä innovatiivisista ratkaisuista.

Arviointikriteerit määräytyvät kohteen tyyppin ja ominaisuuksien mukaan. Arvioinnissa annetaan pisteitä täytettyjen vaatimusten perusteella. BREEAM ympäristöluokkia on viisi:

- Pass  $\geq 30 \%$
- Good  $\geq 45 \%$
- Very Good  $\geq 55 \%$
- Excellent  $\geq 70 \%$
- Outstanding  $\geq 85 \%$

Outstanding sertifikaatin on saavuttanut vain yksi rakennus maailmassa.

BREEAM arvioinnissa on yhdeksän pääkategoriaa, joita painotetaan yhteispisteitä laskettaessa kohteen maantieteellisestä sijainnista riippuen hieman eri tavoin. Pääkategoriat ja niiden keskeinen sisältö on lueteltu alla:

- Management - Rakennuttaminen ja käyttöönotto
- Health & Wellbeing - Sisäilmasto ja valaistus
- Energy - CO<sub>2</sub>-päästöt, valaistus, sähkönhallinta ja -laitteet

- Transport - Sijainti ja saavutettavuus (julkinen liikenne)
- Water - Vedenhallinta ja -kulutus
- Materials - Materiaalien luokitus, uudelleenkäyttö ja kierrätys
- Waste - Jätteiden käsittely työmaalla ja käytössä
- Land use & Ecology - Maa-alueen aikaisempi käyttö ja sijainnin ekologiset vaikutukset
- Pollution - Uusiutuvan energian käyttö, ympäristökuormitus ja saastuttaminen
- Innovation – Lisäpisteitä useaan pääkategoriaan

## 6.2 Tavoitteet

Hankkeen ympäristöominaisuuksille on asetettu tavoitteeksi jäähallin osalta ympäristöluokka ”Good” ja muiden rakennusten osalta ympäristöluokka ”Very Good”.

Rakennusten ympäristösertifiointijärjestelmiä on useita, niiden perusteet poikkeavat toisistaan, joten vertailu on hyvin hankalaa. Alla on esitetty suuntaa antava vertailu niistä (lähde: Comparison of International Environmental Assessment Methods - Thomas Saunders 2008).

	BREEAM	LEED	GREEN STAR	CASBEE
↑ Vaatimustaso	OUTSTANDING			
	EXCELLENT			
	VERY GOOD	PLATINUM	6 STAR	
	GOOD	GOLD	5 STAR	S
	PASS	SILVER	4 STAR	A
		CERTIFIED	3 STAR	B+
			2 STAR	B-
			1 STAR	C