



Tavoitteena nollaenergiالیكuntarakennukset

Kari Hemmilä | Ari Laitinen



Tavoitteena nollaenergia- liikuntarakennukset

Kari Hemmilä & Ari Laitinen



ISBN 978-951-38-8615-8 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)

VTT Technology 320

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8615-8>

Copyright © VTT 2018

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Alkusanat

Uima- ja jäähalleissa energiantarve lattiapinta-alaa kohti on huomattavasti suurempi kuin muissa liikuntarakennuksissa. Euroopan unioni hyväksyi vuonna 2010 direktiivin 2010/31/EU, jonka mukaan rakennusten pitää olla vuodesta 2020 lähtien energiankulutukseltaan lähes nollaenergiatasoisia. Tällä tutkimuksella pyritään siis selvittämään, mitä edellytyksiä on pienentää edellä mainittujen liikuntarakennusten energiantarvetta ja onko uusiutuvalla energialla korvattavissa joko osa tai kaikki energiantarpeesta.

Lähes nollaenergiarakennuksien energiankulutuksen kriteerit on määriteltävä kansallisesti, koska ilmasto-olosuhteet poikkeavat eri maissa toisistaan. Suomessa jää- ja uimahalleille ei ole asetettu raja-arvoja energiankulutukselle eikä luokitusasteikkoa, mutta näille halleille kuitenkin tulee määräysten mukaan laskea energialuokituksen perusteena oleva E-luku. Tutkimuksessa tarkastellaan, olisiko mahdollista laatia luokitus myös edellä mainituille liikuntahalleille.

Projektin ovat rahoittaneet opetus- ja kulttuuriministeriö, ympäristöministeriö sekä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Projektin toteutuksesta on vastannut VTT ja ohjausryhmätyöskentelyyn ovat osallistuneet Erja Metsäranta (opetus- ja kulttuuriministeriö), Pekka Kalliomäki (ympäristöministeriö), Kari Hemmilä (VTT) ja Ari Laitinen (VTT).

Kiitämme rahoittajien edustajia ja yrityksiä, joilta olemme saaneet aineistoa julkaisuun.

Espoossa 29.12.2017

Kari Hemmilä ja Ari Laitinen

Sisällysluettelo

Alkusanat	3
1. Johdanto	6
2. Tavoite	7
3. Hallityypit	8
3.1 Uimahallityypit	8
3.2 Jäähallityypit.....	8
4. Energiankulutukseen vaikuttavat määräykset ja ohjeet	9
4.1 Uimahallit	9
4.1.1 Viranomaismääräykset	9
4.1.2 Ohjeet.....	9
4.2 Jäähallit.....	10
4.2.1 Viranomaismääräykset	10
4.2.2 Ohjeet.....	11
5. Energiankulutus	12
5.1 Uimahallit	12
5.1.1 Energiankulutukseen vaikuttavat tekijät.....	12
5.1.2 Vuotuinen energian- ja vedenkulutus	12
5.2 Jäähallit.....	16
5.2.1 Energiankulutukseen vaikuttavat tekijät.....	16
5.2.2 Vuotuinen energian- ja vedenkulutus	16
5.2.3 Kuukausittainen energiankulutus	18
6. Energiansäästömahdollisuudet uimahalleissa	20
6.1 Rakenteelliset mahdollisuudet	20
6.2 Talotekniikan mahdollisuudet	21
6.3 Valaistuksen mahdollisuudet	21
6.4 Rakennuksen käytön optimointi	22
7. Energiansäästömahdollisuudet jäähalleissa	23
7.1 Rakenteelliset mahdollisuudet	23
7.2 Talotekniikan mahdollisuudet	24
7.3 Valaistuksen mahdollisuudet	24
7.4 Rakennuksen käytön optimointi	25
8. Energian tuotanto rakennuksen tontilla	26
8.1 Aurinkosähkö.....	26
8.2 Aurinkolämpö.....	28
8.3 Maalämpö.....	28
8.4 Ilmalämpö.....	29
8.5 Tuuli	30
8.6 Lämmön talteenotto jätevedestä	31
8.7 Lämmön talteenotto poistoilmasta	31
8.8 Energian keräämisen ja säästämisen kannattavuus	32
8.9 Tuotetun sähkön verovaikutus.....	33

9. Energian varastointi	34
9.1 Sähkön varastointi akkuihin	35
9.2 Sähkön kemiallinen varastointi	39
9.3 Sähkön varastoinnin kannattavuus	39
9.4 Lämmön varastointi.....	40
10. Jäähallin lauhde-energian hyödyntäminen	42
10.1 Jäärajojen alla olevan maaperän sulana pito.....	42
10.2 Jäähallin tilojen lämmitys.....	42
10.3 Käyttö- ja jäänhoitoveden lämmitys.....	42
10.4 Tontilla olevien muiden rakennusten lämmittäminen.....	42
10.5 Lämmön muuntaminen sähköksi	42
10.6 Lauhdelämmön myyminen	43
11. Energiatekniset simuloinnit	44
11.1 Uimahallit	44
11.1.1 Simuloinnin lähtötiedot	44
11.1.2 Perustapauksen laskennallinen energiankulutus.....	45
11.2 Jäähallit.....	63
11.2.1 Simuloinnin lähtötiedot	63
11.2.2 Sisäilman lämpötilan ja vaipan lämmöneristyksen vaikutus energiankulutukseen	64
11.2.3 Aurinkosähkö jäähalleissa	69
12. Yhteenveto.....	76
Lähdeviitteet	80
Tiivistelmä	
Abstract	

1. Johdanto

Rakennusten energiatehokkuusmääräykset ovat jatkuvasti tiukentuneet ja vuonna 2010 Euroopan Unionissa hyväksytyin direktiivin 2010/31/EU mukaan rakennusten pitää olla vuodesta 2020 lähtien energiankulutukseltaan lähes nollaenergiatasoisia.

Nollaenergiarakennuksen määritelmä on vakiintumaton ja sillä voidaan tarkoittaa, että rakennus ei tarvitse ulkopuolisia energianlähteitä, vaan kaikki sen tarvitsema energia otetaan luonnosta (aurinko, tuuli, maalämpö). Tämän tason saavuttaminen edellyttää sähkö- ja lämpö energian kausivarastointia rakennuspaikalla, mikä on kallista ja hankalaa. Tavallisesti nollaenergiarakennuksilla tarkoitetaan ns. nettonollaenergiarakennuksia, joissa lämmityskauden ulkopuolella sähkö- ja mahdollisesti myös lämpö syötetään alueelliseen verkkoon ja lämmityskaudella ja yöllä verkoista otetaan tarvittava määrä sähköä ja lämpöä kattamaan tarve. Vuositasolla rakennuksen energiankulutus on enintään yhtä suuri kuin rakennuspaikalla luonnosta kerätty energia. Tämän tyyppinen rakennus on huomattavasti helpompi rakentaa kuin energialtaan täysin omavarainen. Suomessa on tällaisia vuositasolla nollaenergiakulutuksen omaavia asuintaloja tehtykin. Näissä rakennuksissa tuotettu aurinkosähkö syötetään kesäpäivisin valtakunnan verkkoon. Yöllä ja talvella verkosta otetaan sähköä kattamaan rakennuksen sähköntarve.

Lähes nollaenergiarakennuksien energiankulutuksien kriteerit on määritelty kansallisesti, koska ilmasto-olosuhteet poikkeavat eri maissa toisistaan. Suomessa jää- ja uimahalleille ei ole asetettu raja-arvoja energiankulutukselle eikä luokitusasteikkoa, mutta näille halleille kuitenkin tulee määräysten mukaan laskea energialuokituksen perusteena oleva E-luku. Tutkimuksessa tarkastellaan, olisiko mahdollista laatia luokitus myös edellä mainituille liikuntahalleille.

Uima- ja jäähalleissa energiantarve lattiapinta-alaa kohti on huomattavasti suurempi kuin muissa liikuntarakennuksissa ja asuinrakennuksissa. Jäähalleissa jään ylläpito aiheuttaa suurimman energiankulutuksen. Uimahalleissa allasveden lämmitys ja kierrätys on suurin energiankuluttaja. Lisäksi näissä molemmissa liikuntahalleissa ilmanvaihto ja valaistus kuluttavat myös merkittävästi energiaa. Näillä perusteilla tarkastelukohteeksi valittiin uima- ja jäähallit. Niihin sovellettavaa tekniikkaa voidaan käyttää myös muissa vähemmän haasteita edustavissa halleissa. Näitä ovat muun muassa monitoimi- ja palloiluhallit.

Liikuntatilojen suuri energiantarve asettaa haasteen kattaa luonnosta saatavalla energialla rakennuksen energiankulutus. Vaikka nettonollaenergiatason saavuttamien liikuntarakennuksissa on haasteellista ja voi paljon energiaa tarvitsevissa uima- ja jäähalleissa olla mahdotonta, kaikkien liikuntarakennusten energiankulutusta on kuitenkin mahdollista vähentää rakenteellisin ja teknisin keinoin sekä ainakin osan energiantarpeesta kattaa luonnosta saatavalla energialla.

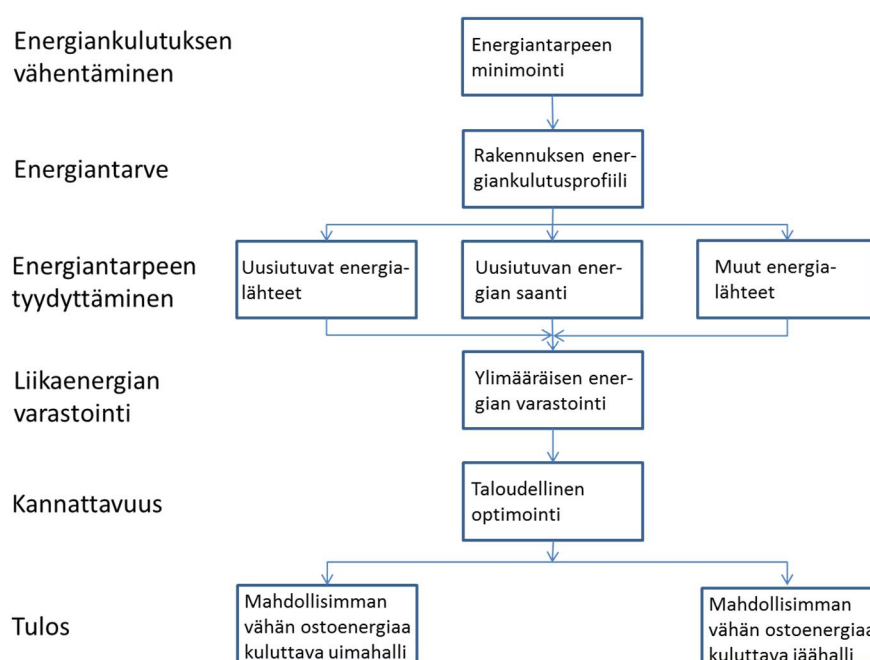
Tutkimuksessa pääpaino on uima- ja jäähallien uudisrakentamisessa, koska silloin energiatehokkuuteen ja energiansäästöön voidaan vaikuttaa eniten. Tämä tarkastelutapa ei kuitenkaan sulje pois korjausrakentamista, sillä monia kehitettävistä tekniikoista voidaan hyödyntää myös korjausrakentamisessa.

2. Tavoite

Tavoitteena on selvittää mahdollisuudet ja ratkaisut, joilla uima- ja jäähalleista voi rakentaa mahdollisimman vähän energiaa kuluttavia ja mahdollisimman paljon tarvitsemansa energiaa ympäristöstään kerääviä. Tällöin voi olla mahdollista, että vuositasolla ne kuluttavat ja tuottavat yhtä paljon energiaa (= nettonollaenergiarakennus).

Kuvassa 1 on esitetty tutkimuksen vaiheet, joiden avulla tavoitteet saavutetaan. Tärkeimpänä tekijänä on selvittää, mihin nykyisissä rakennuksissa energiaa kuluu ja miten sen määrää voidaan vähentää. Vasta tämän jälkeen selvitetään, milloin energiaa kuluu ja miten tarvittava energia voidaan kattaa luonnosta saatavalla energialla.

Nykyisin uima- ja jäähalleja ei oteta huomioon energiamääräyksissä ja -todistuksessa. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena on kehittää menetelmä, jolla nämä hallit voitaisiin ottaa huomioon energiamääräyksissä ja energiatodistuksessa.



Kuva 1. Tutkimuksen vaiheet tavoitteiden saavuttamiseksi.

3. Hallityypit

Tutkimus keskittyy tutkimaan uima- ja jäähallien ominaisuuksia ja erikoispiirteitä. Hallien tyypitys perustuu Suomessa yleisesti käytössä oleviin luokitteluihin eikä tutkimusta varten ole laadittu toisenlaista jakoa. Tutkimuksessa hankittua tietoa voidaan soveltaa myös muunlaisiin liikuntahallityyppeihin, kun rakennusten ympäristöstä kerättävän energian määrä suhteutetaan eri hallien energiantarpeeseen.

3.1 Uimahallityypit

Suomessa on uimahalleja ja kylpylöitä noin 250. Suomen uimaliiton tilaston mukaan valtaosassa uimahalleista on pääaltaana 25 metrin allas, 50 metrin pääallas on 12 uimahallissa. Uimahallit on RT-kortissa RT 97-10839 jaettu muun muassa uima-altaiden vesipinta-alan mukaan eri tyypeihin, taulukko 1.

Taulukko 1. Uimahallien jako uima-altaiden pinta-alan mukaan eri tyypeihin (RT 97-10839 Uimahallit ja virkistyskylpylät).

Uimahallityyppi	Vesipinta-ala (m ²)	Kävijää/vuosi
Uintikeskus	1500	500 000
Suuri	750	300 000
Keskisuuri	500	150 000
Pieni	300	50 000

3.2 Jäähallityypit

Suomessa on tällä hetkellä 49 tekojäärataa ja 223 jäähallia, joissa on 264 jäärataa. Jäähallit jaotellaan eri tyypeihin katsomokoon perusteella (taulukko 2).

Taulukko 2. Jäähallien jaottelu katsomokoon perusteella eri tyypeihin.

Jäähallityyppi	Toiminta	Katsomopaikat
Suurhalli	Monitoimihalli, jääurheilu, kansainväliset tapahtumat, TV-valmius	> 6000
Kilpailuhalli	Monitoimihalli, jääurheilu, kansalliset tapahtumat, TV-valmius	1500 – 6000
Pieni kilpailuhalli	Jääurheilu, paikallinen monikäyttö, paikalliset ottelut	300 – 1500
Harjoitushalli	Jääurheilu, paikalliset harjoitus- ja junioriottelut	100 – 300 seisomapaikkaa
Katettu tekojäärata	Jääurheilu, paikallinen harrastus- ja harjoituskäyttö	100 - 300 seisomapaikkaa

4. Energiankulutukseen vaikuttavat määräykset ja ohjeet

Ohessa ovat tärkeimmät viranomaismääräykset ja ohjeet, joilla on vaikutusta rakennusten energiankulutukseen:

- Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013
- Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2, Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1/11
- Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3, Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11
- Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityshontarpeen laskenta, Ohjeet 2012
- Tasauslaskentaopas 2012. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö 24.11.2011
- Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä

4.1 Uimahallit

Uimahalleja voidaan suunnitella ja rakentaa varsin vapaasti. Rakentamismääräykset rajoittavat vain jonkin verran ulkovaipan lämpöhäviöitä. Lisäksi joillakin uimahalleissa tapahtuvien urheilulajien säännöillä ja uimahallien suunnitteluohjeilla on energiankulutusta lisääviä ja vähentäviä vaikutuksia. Ohessa on tarkasteltu niistä tärkeimpiä.

4.1.1 Viranomaismääräykset

Rakentamismääräyskokoelma osa D3 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11

- Rakennukselle on laskettava E-luku
- Uimahallit ja kylpylät kuuluvat käyttötarkoitukseluokkaan 9, jolle ei ole vaatimustasoa E-arvolle

Tämän lisäksi joidenkin rakennusosien suurin lämmönläpäisykerroin on rajoitettu:

Rakennuksen vaippaan kuuluvan seinän, yläpohjan ja alapohjan tai puolilämpimään tilaan rajoittuvan rakennusosan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään 0,60 W/(m²K). Lämpimän tilan ikkunan, oven, tai umpinaisen savunpoisto- ja uloskäyntiluukun lämmönläpäisykerroin saa olla enintään 1,8 W/(m²K) ja puolilämpimässä tilassa enintään 2,8 W/(m²K).

4.1.2 Ohjeet

Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet STM opas 3:2008 ohjeistaa seuraavia tekijöitä

- Allasvedestä haihtuvien aineiden pitoisuudet ilmassa
- Uimahallien ja kylpylöiden allashuoneiden ilmastointi; suurin ilman kosteuspitoisuus <14,3 g H₂O/(kg kuivaa ilmaa)
- Uimahallitilojen ilmavirrat ja lämpötilat (taulukko 3)

Taulukko 3. Uimahallin eri tilojen huoneilman lämpötilarajat (STM opas 3:2008).

Tila	Huoneilman lämpötila (°C)	
	Minimi	Maksimi
Sisääntuloalue, oheistilat ja rappukäytävät	18	22
Pukuhuoneet	24	26
Uinninvalvomo- ja saniteettitilat	22	25
Henkilökunnan muut tilat	21	23
Suihkuhuoneet saniteettitiloineen	26	28
Allashuone	29	32

Uima-allasvesien käsittelystä LVI-kortti LVI 22-10386 ohjeistaa seuraavia tekijöitä, joilla kaikilla on vaikutusta energiankulutukseen:

- Allasveden lämmitys
- Korvausvesi
- Veden pumppaaminen
- Veden desinfiointi (otsonointi, fotokemiallinen desinfiointi)

Uimahallit ja virkistysuimalat (RT 97-10839) antaa ohjeita altaiden ja oheistilojen mitoitukselle lajikohtaisesti seuraavasti:

Kilpauinti

- vaadittu radan pituus 25 tai 50 m
- radan vähimmäisleveys 2,5 m
- Vähimmäissyvyysvaatimuksia

Vesipallo

- Minimileveys, pituus ja syvyys

Taitouinti

- Minimileveys, pituus ja syvyys

Uppopallo

- Minimileveys, pituus ja syvyys

Oheistilat

- Kokomitoitus

4.2 Jäähallit

Jäähalleja voidaan suunnitella ja rakentaa varsin vapaasti. Rakentamismääräykset rajoittavat vain jonkin verran ulkovaipan lämpöhäviöitä. Lisäksi joillakin lajisäännöillä ja ohjeilla on energiankulutusta lisääviä ja vähentäviä vaikutuksia. Ohessa on tarkasteltu niistä tärkeimpiä.

4.2.1 Viranomaismääräykset

Rakentamismääräyskokoelma osa D3 (2012) Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11

- Rakennukselle on laskettava E-luku
- Jäähallit kuuluvat käyttötarkoitukseluokkaan 9, jolle ei ole vaatimustasoa E-arvolle

Tämän lisäksi joidenkin rakennusosien suurin lämmönläpäisykerroin on rajoitettu:

Rakennuksen vaippaan kuuluvan seinän, yläpohjan ja alapohjan tai puolilämpimään tilaan rajoittuvan rakennusosan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään 0,60 W/(m²K). Lämpimän tilan ikkunan, oven, tai umpinaisen savunpoisto- ja uloskäyntiluukun lämmönläpäisykerroin saa olla enintään 1,8 W/(m²K) ja puolilämpimässä tilassa enintään 2,8 W/(m²K).

4.2.2 Ohjeet

RT-kortissa RT 97-11199 on esitetty luettelo opetus- ja kulttuuriministeriön ja Rakennustietosäätiö RTS:n yhteistyönä liikuntapaikkarakentamista varten laatimista RT-, Infra- ja LVI-ohjeista ja oppaista sekä liikuntapaikkarakentamista käsittelevistä muista julkaisuista sekä liikuntapaikkarakentamiseen liittyvistä rakentamista yleisesti käsittelevistä ohjeista. Jäähallien energiankulutukseen liittyen näistä on poimittavissa seuraavat lähteet:

Opetus- ja kulttuuriministeriön liikuntapaikkajulkaisut (<https://www.rakennustieto.fi>):

- No 49 Jäähallien energiatalous, 1994
- No 58 Jäähallin automaatio- ja säätöjärjestelmät. 1996
- No 71 Jäähallit ja tekojäähentät. 1999
- No 91 Liikuntapaikkarakentamisen ympäristövaikutukset. 2007
- No 92 Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka. 2007
- No 102 Liikuntahallien lasirakenteet. 2012

Suomen jääkiekkoliiton nettisivuilta (<http://www.finhockey.fi/info/jaahallit/>) löytyvät vapaasti saatavilla olevat ohjeet:

- Jäähallin suunnittelun energianäkökulma
- Jäähallien energiatehokkuuden nykytilatutkimusraportti
- Kylmäkoneistojen hankintaopas
- Jäähallien valaistusohje

5. Energiankulutus

5.1 Uimahallit

5.1.1 Energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

Uimahallien energiankulutukseen vaikuttavat seuraavat tekijät

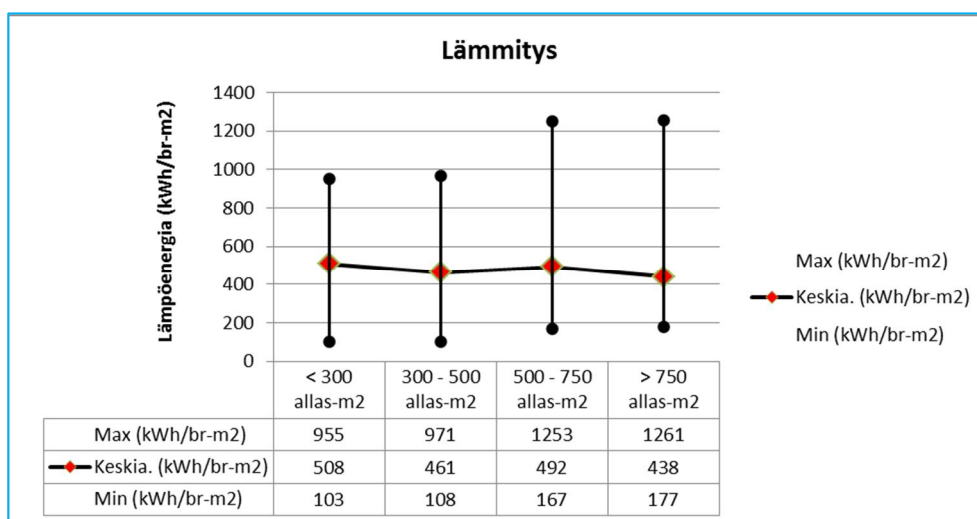
- Rakennuksen koko
- Rakennuksen vaipan lämmöneristävyys
- Kävijämäärä (henkeä/vrk) ja käyttöaika (h/vrk)
- Altaiden koko
- Altaiden ja huoneilman lämpötila
- Kosteuden poistaminen huoneilmasta
- Ilmanvaihto
- Veden pumppaus
- Veden suodatus, desinfiointi ja vaihto
- Kävijöiden saunominen ja peseytyminen
- Valaistus

5.1.2 Vuotuinen energian- ja vedenkulutus

Seuraavassa esitetään uimahalliportaalin (<http://uimahallit.vtt.fi/>) tiedoista määritetyt lämmön-, sähkön- ja veden kulutukset uimahallin bruttopinta-alaan suhteutettuna. Kulutukset perustuvat yhteensä 143 uimahallin tietoihin. Uimahallityyppien lukumäärät on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Eri kokoluokan uimahallien määrä Suomessa.

Allaspinta-ala	< 300 m ²	300 - 500 m ²	500 - 750 m ²	> 750 m ²
Lukumäärä	34 kpl	62 kpl	26 kpl	21 kpl

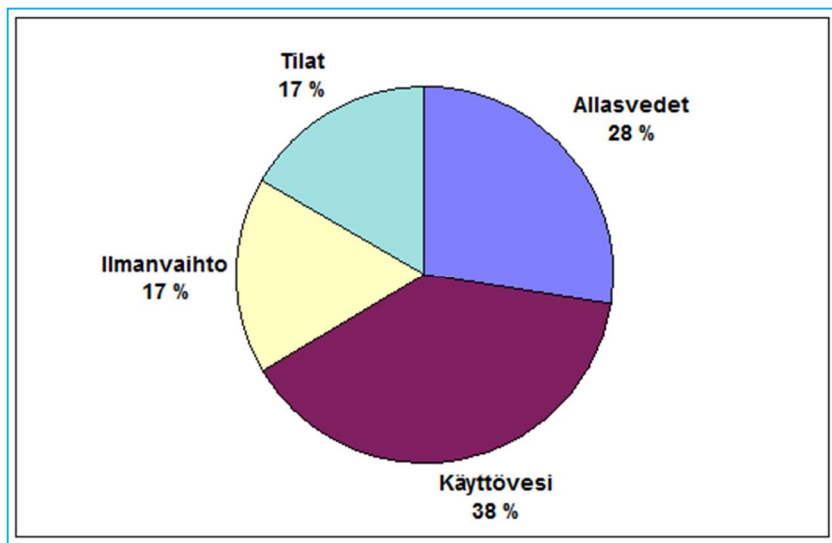


Kuva 2. Uimahallien lämmitysenergian ominaiskulutusten maksimi, keskiarvo ja minimi hallityypeittäin.

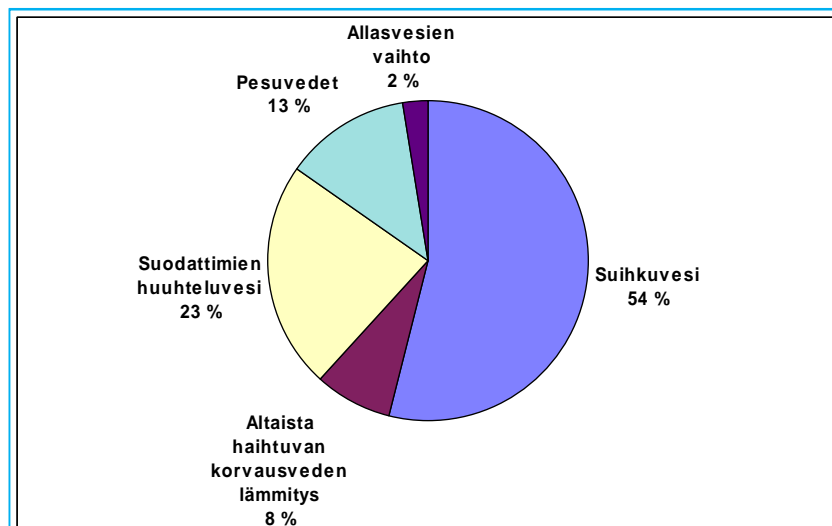
Lämmitysenergiankulutus hallityypeittäin on esitetty kuvassa 2. Kaikissa uimahallityypeissä kulutusvaihtelu on erittäin suuri, mutta keskimääräinen vuotuinen kulutus on melko samansuuruinen kaikilla halleilla. Kaikkien hallien keskimääräinen lämmitysenergiankulutus on 475 kWh/br-m².

Uimahallin lämmitysenergian tarve muodostuu allasvesien lämmitystarpeesta, käyttöveden lämmityksestä, tilojen lämmityksestä (vaipan johtumishäviöt, vuotoilma ja käytäviltä haihtuva vesi) ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta. Karkea arvio lämmitysenergiankulutuksen prosentuaalisesta jakautumasta esitetään kuvassa 3, kun oheistilojen lämmitysenergiankulutusta ei oteta huomioon.

Käyttöveden lämmitysenergiankulutus muodostuu suihkuvesistä, suodattimien huuhteluvedestä, pesuveistä, altaista haihtuvien korvausvesistä ja allasveden vaihtovesistä. Kulutusjakauman arvio on esitetty kuvassa 4.



Kuva 3. Lämmitysenergian tarpeen jakauma. Arviossa on oletettu ilmanvaihdon varustetun poistoilman lämmöntalteenotolla. Jakaumassa ei ole otettu huomioon oheistilojen lämmitysenergiankulutusta.



Kuva 4. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutusjakauma-arvio.

Allasvesien lämmitystarve riippuu altaiden pinta-alasta, veden lämpötilasta, hallin ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta, kävijämäärästä sekä kylpylätoimintojen määrästä (vesiliukumäet, vesihierontasuihkut, vesiputoukset, porealtaat ym.). Allasvesien suositeltavat lämpötilatasot ovat Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskuksen mukaan seuraavat:

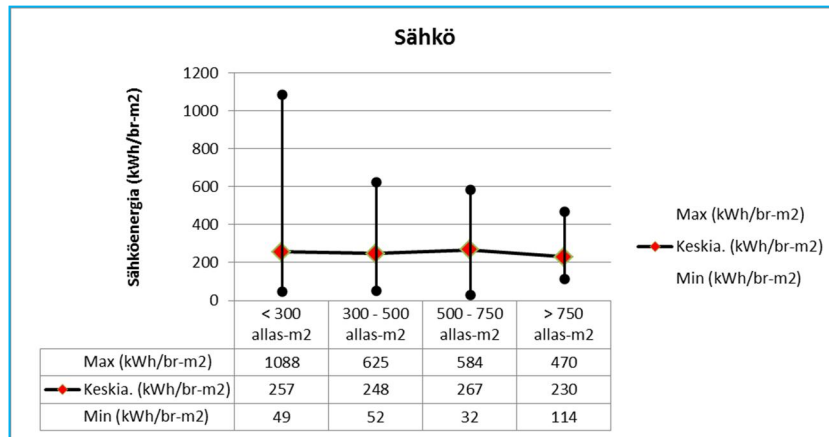
- pääaltaassa +26 - +28 °C
- monitoimialtaassa +30 - +34 °C
- kahlualtaassa +30 - +32 °C
- vauvauinnin minimilämpötila +32 °C
- porealtaissa 35 - 37 °C.

Hallin ilman lämpötilan tulisi olla 1 - 2 °C allasveden lämpötilaa korkeampi haihtumisen ja lämmitystarpeen minimoimiseksi. Hallin lämpötilan ei kuitenkaan tulisi olla korkeampi kuin +32 °C. Hallin suhteellista kosteutta on energiankäytön minimoimiseksi ja uimareiden termisen viihtyvyyden kannalta syytä pitää mahdollisimman korkeana. Kosteustaso täytyy kuitenkin sovittaa tasolle, jossa se ei aiheuta rakenteiden kosteusvaurioriskiä ja toisaalta ei ylitä terveydelle vaarallista rajaa. Terveyden kannalta on absoluuttiselle kosteudelle annettu RT-kortissa (RT 97-10839) maksimi arvoksi 14,3 g H₂O/(kg kuivaa ilmaa), joka on noin 20 % pahoivointirajan alapuolella (Lehtinen, T. et al., 2002).

Taulukko 5. Suhteellisen kosteuden maksimiarvot pahoivoinnin perusteella, hallin lämpötilasta riippuen.

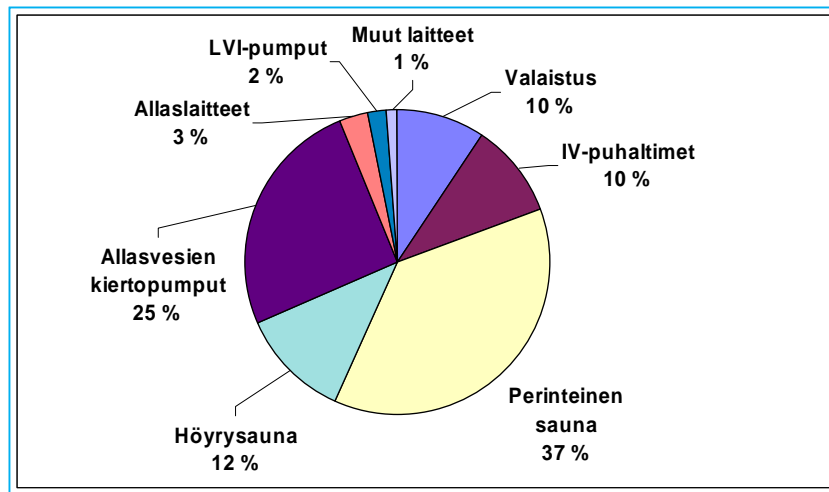
Hallin ilman lämpötila (°C)	Suhteellisen kosteuden maksimiarvo pahoivointikriteerin perusteella (%)
28	59
30	52
32	46

Uimahallien sähköenergian kokonaiskulutukset on esitetty kuvassa 5. Sähkökulutuksessa on suuria poikkeamia minimi - maksimikulutusten välillä. Sen sijaan hallityyppien keskimääräinen sähkönkulutus on kohtuullisen saman suuruinen riippumatta hallityypistä. Kaikkien uimahallien sähköenergian keskikulutus on 250 kWh/br-m².



Kuva 5. Uimahallien sähköenergian ominaiskulutusten maksimi, keskiarvo ja minimi hallityypeittäin.

Uimahallin sähköenergia kuluu saunojen kiukaiden lämmittämiseen, vedenkäsittelyn pumppaukseen, ilmanvaihdon puhaltimiin, allas tilan valaistukseen, allaslaitteiden pumppaukseen (vesihieronta, vesiputoukset, ym.), LVI-pumppuihin (lämmönjako, käyttöveden kierto) ja muihin pienempiin kulutuskohteisiin (kuva 6). Lisäksi sähköenergiaa kuluu oheistiloissa (valaistus, iv-laitteet, ym.), mutta ne on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle.

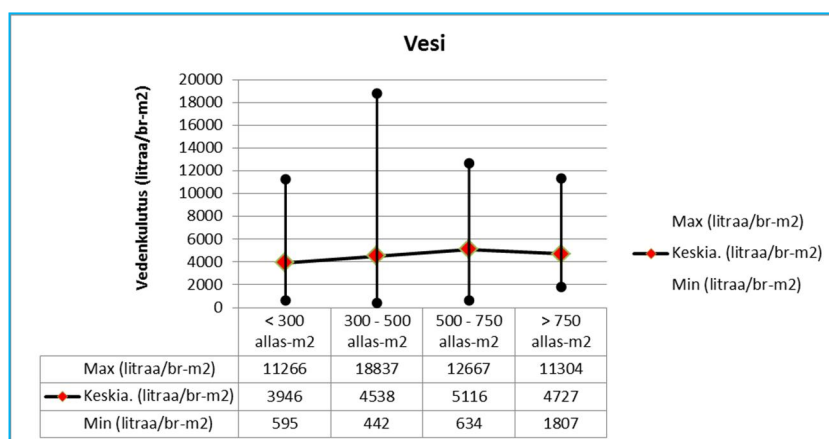


Kuva 6. Allastilan ja saunasaston sähköenergian arvioitu kulutusjakauma. Kulutusjakauma ei sisällä oheistilojen sähköenergian kulutusta.

Kirkkonummen uimahallissa tehdyssä seurannassa (taulukko 6) on havaittavissa, että merkittävä osuus sähköstä kuluu saunojen kiukaiden lämmittämiseen. Vaikka tämä on yksittäinen kohde, saman suuntaisia tuloksia on saatu myös muissa uimahalleissa.

Taulukko 6. Eri kohteisiin vuotuinen sähkönkulutus Kirkkonummen uimahallissa.

Kohde	kWh/m ² a	Osuus (%)
Valaistus	25	11
Ilmanvaihto	65	27
Pumput	71	30
Saunan kiukaat	74	31
Muut laitteet	5	2
YHTEENSÄ	240	100



Kuva 7. Uimahallien veden ominaiskulutusten maksimi, keskiarvo ja minimi hallityypeittäin.

Uimahallien veden kokonaiskulutukset on esitetty kuvassa 7. Myös uimahallien vedenkulutuksissa on suuria eroja pienimmän ja suurimman kulutuksen välillä. Kaikkien hallien keskimääräinen kulutus on suhteellisen saman suuruinen hallityypistä riippumatta. Kaikkien uimahallien keskimääräinen vedenkulutus on 4530 litraa/br-m². Kulutuserot yksittäisten hallien välillä ovat erittäin suuria. Suurimman ja pienimmän kulutuksen suhde voi olla lämmön osalta 10-kertainen, sähkön osalta 20-kertainen ja veden osalta jopa 40-kertainen.

Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto kaikkien tarkasteltujen uimahallien lämmön, sähkön ja veden kulutuksista. Kaikilla kulutuksilla mediaani on pienempi kuin keskimääräinen kulutus. Tämä kertoo siitä, että yksittäisten hallien suuri kulutus nostaa keskiarvokulutusta ja tilastollisesti mediaanikulutus kuvaa keskiarvokulutusta paremmin keskimääräisen hallin kulutusta.

Taulukko 7. Yhteenveto kaikkien tarkasteltujen uimahallien keski- ja mediaanikulutuksista sekä kulutusten keskihajonta.

	Lämpö kWh/br-m ² a	Sähkö kWh/br-m ² a	Vesi litraa/br-m ² a
Keskiarvo	474	251	4530
Mediaani	435	228	4133
Keskihajonta	224	135	2708

5.2 Jäähallit

5.2.1 Energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

Jäähallien energiankulutukseen vaikuttavat seuraavat tekijät

- Rakennuksen koko
- Rakennuksen lämmöneristävyys
- Kävijämäärä ja käyttöaika (h/vrk, kk/vuosi)
- Jääalueen koko
- Jään ja huoneilman lämpötila
- Ilmankuivaus
- Ilmanvaihto
- Jäänhoito (vesimäärä / kerrat / veden lämpötila)
- Kävijöiden peseytyminen
- Valaistus
- Kylmäkoneiston lauhdelämmön hyödyntäminen

5.2.2 Vuotuinen energian- ja vedenkulutus

Seuraavassa esitetään jäähalliportaalin (<http://jaahallit.vtt.fi>) tiedoista määritetyt lämmön-, sähkön- ja veden kulutukset jäähallin bruttopinta-alaan suhteutettuna. Kulutukset perustuvat kaikkiaan 81 jäähallin tietoihin.

Jäähallien lämmitysenergiankulutukset on kuvassa 8 esitetty eri hallityypeille käyttäen aiemmin esitettyä jäähallien luokitusta. Hallien lukumäärät, joihin lämmitysenergiankulutukset perustuvat, on esitetty taulukossa 8.

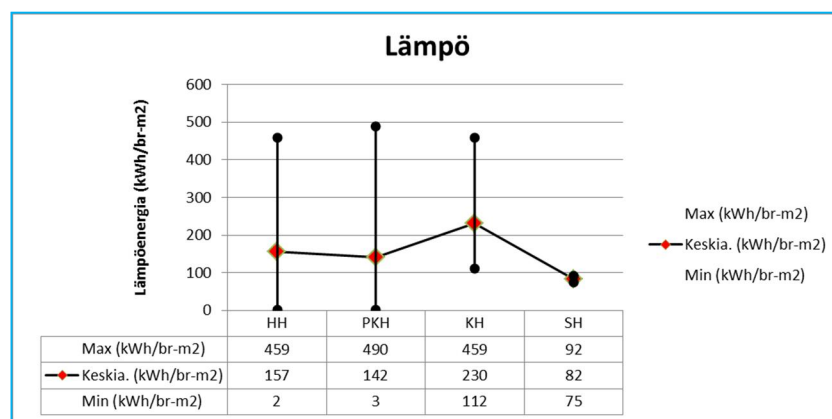
Taulukko 8. Jäähallien määrä, joihin lämmitysenergiankulutukset perustuvat, erityyppisissä halleissa.

Hallityyppi	HH harjoitushalli	PKH pieni kilpahalli	KH kilpahalli	SH suuri halli
Lukumäärä	16 kpl	28 kpl	6 kpl	3 kpl

Jäähallien vuotuiset lämmitysenergian rakennusten bruttopinta-alaa kohti lasketut ominaiskulutukset on esitetty kuvassa 8. Kaikilla hallityypeillä yksittäisten hallien kulutukset poikkeavat suuresti. Harjoitushallien ja pienten kilpailuhallien keskimääräiset kulutukset ovat samaa suuruusluokkaa. Kilpailuhallien keskimääräinen ominaiskulutus on selvästi suurempi kuin pienempien hallien kulutukset. Suurten hallien ominaiskulutukset ovat puolestaan pienemmät kuin pienten hallien. Jäähallityyppien lukumäärät, joihin sähköenergian kulutukset perustuvat, on esitetty taulukossa 9.

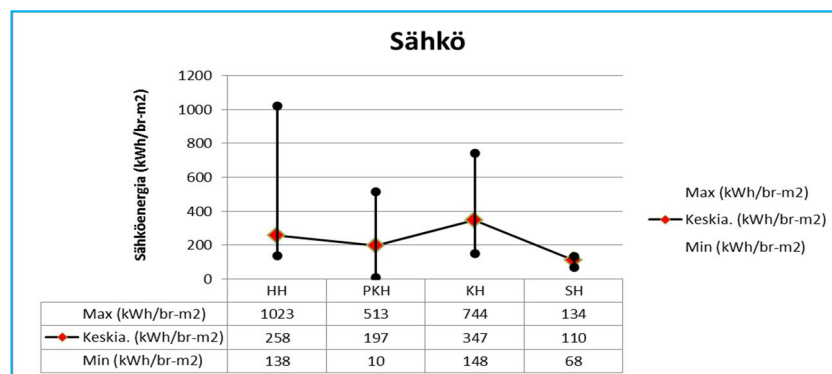
Taulukko 9. Jäähallien määrä, joihin sähköenergiankulutukset perustuvat, erityyppisissä halleissa.

Hallityyppi	HH harjoitushalli	PKH pieni kilpahalli	KH kilpahalli	SH suuri halli
Lukumäärä	17 kpl	51 kpl	6 kpl	3 kpl



Kuva 8. Jäähallien lämmitysenergian ominaiskulutusten maksimi, keskiarvo ja minimi hallityypeittäin.

Jäähallien sähköenergian vuotuiset rakennusten bruttopinta-alaa kohti lasketut ominaiskulutukset on esitetty kuvassa 9. Kaikilla hallityypeillä yksittäisten hallien kulutuksissa on paljon hajontaa. Harjoitushallien ja pienten kilpailuhallien keskimääräiset kulutukset ovat suuruudeltaan samaa luokkaa. Kilpailuhallien keskimääräinen ominaiskulutus on selvästi suurempi kuin pienemmissä halleissa. Suurten hallien keskimääräinen ominaiskulutus on puolestaan pienten hallien kulutusta pienempi.

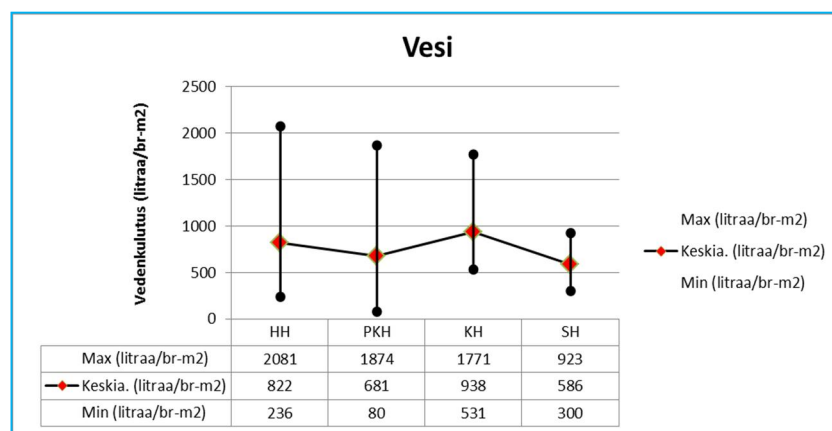


Kuva 9. Jäähallien sähköenergian ominaiskulutusten maksimi, keskiarvo ja minimi hallityypeittäin.

Taulukko 10. Jäähallien määrä, joihin vedenkulutukset perustuvat, erityyppisissä halleissa.

Hallityyppi	HH harjoitushalli	PKH pieni kilpahalli	KH kilpahalli	SH suuri halli
Lukumäärä	16 kpl	48 kpl	6 kpl	3 kpl

Jäähallityyppien lukumäärät, joihin vedenkulutukset perustuvat, on esitetty taulukossa 10. Jäähallien vuotuiset, rakennusten bruttopinta-alaa kohti lasketut, vedenkäytön ominaiskulutukset on esitetty kuvassa 10. Kaikilla hallityypeillä yksittäisten hallien kulutuksissa on paljon hajontaa. Harjoitushallien ja pienten kilpailuhallien keskimääräiset vedenkulutukset ovat samaa suuruusluokkaa. Kilpailuhallien keskimääräinen ominaiskulutus on selvästi pienempien hallien kulutusta suurempi. Suurten hallien keskimääräinen ominaiskulutus on puolestaan pienten hallien kulutusta pienempi.



Kuva 10. Jäähallien veden ominaiskulutusten maksimi, keskiarvo ja minimi hallityypeittäin.

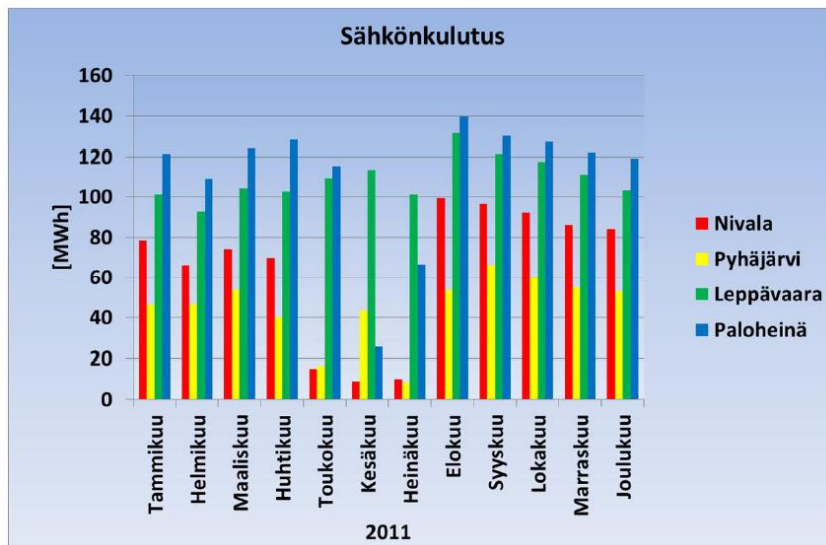
Taulukossa 11 on esitetty yhteenveto kaikkien tarkasteltujen jäähallien lämmön, sähkön ja veden kulutuksista. Kaikilla kulutuksilla mediaani on pienempi kuin keskimääräinen kulutus. Tämä osoitus siitä, että yksittäisten hallien suuri kulutus nostaa keskiarvokulutusta ja tilastollinen mediaanikulutus kuvaa paremmin keskimääräisen hallin kulutusta.

Taulukko 11. Yhteenveto kaikkien tarkasteltujen jäähallien keski- ja mediaanikulutuksista sekä kulutusten keskihajonta.

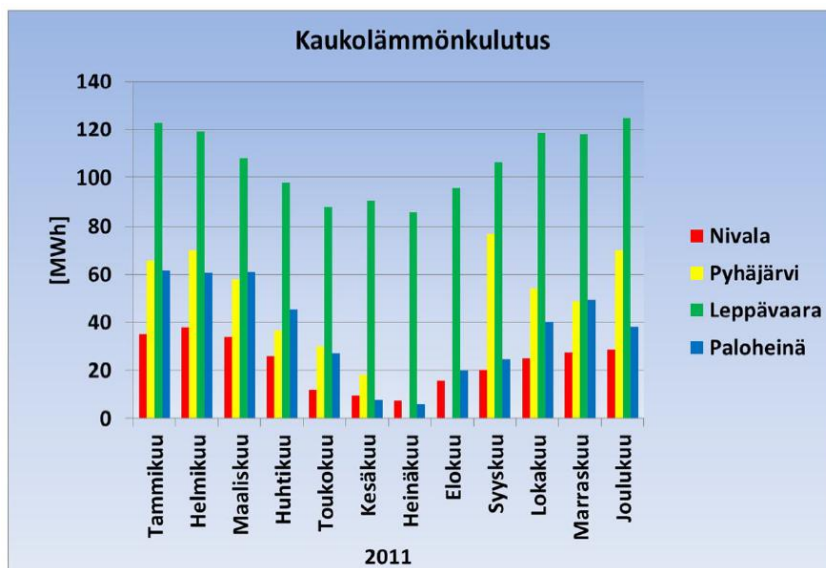
	Lämpö kWh/br-m ² a	Sähkö kWh/br-m ² a	Vesi litraa/br-m ² a
Keskiarvo	221	153	738
Mediaani	192	136	666
Keskihajonta	148	117	459

5.2.3 Kuukausittainen energiankulutus

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty neljän suomalaisen jäähallin sähkön ja lämmitysenergian kuukausittainen kulutus. Kuvista on havaittavissa, että vain Leppävaaran jäähallissa oli jäärata käytössä myös kesällä. Erot kuukausittaisissa kulutuksissa jäähallien välillä selittyy eroavuuksilla hallien ja jääratojen koossa sekä erilaisilla jäähdytys- ja taloteknisillä laitteilla. Hallikohtaisesti kuitenkin on pääteltävissä, että sähköenergiaa kuluu eniten lämpimänä vuodenaikana ja lämmitysenergiaa kylmänä vuodenaikana.



Kuva 11. Sähkön kuukausittainen kulutus neljässä jäähallissa.



Kuva 12. Lämmitysenergian kuukausittainen kulutus neljässä jäähallissa.

6. Energiansäästömahdollisuudet uimahalleissa

Uimahallien sekä lämmön että sähkön energiankulutus on varsin suurta. Rakennuksena uimahalli kuluttaa lämpöä ja sähköä laajuutta kohti laskettuna noin kaksin kertaisesti muihin julkisiin palvelurakennuksiin (päiväkodit, koulut, terveydenhuollon rakennukset) verrattuna.

Uimahalli on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti vaativa kokonaisuus. Toimiva energiatehokas uimahalli on aina monen eri osapuolen (muun muassa käyttäjien edustajat, eri teknisten alojen asiantuntijat, pääsuunnittelija ja erikoissuunnittelijat) yhteistyön tulos, minkä vuoksi suunnittelussa korostuu kokonaisuuden hallinta. Tässä selvityksessä keskityttiin uimahallien energiatehokkuuteen ja jätettiin muiden laadullisten osatekijöiden merkitys vähemmälle.

6.1 Rakenteelliset mahdollisuudet

Uimahallien sisäolosuhteet poikkeavat normaaleista asuin- ja liikerakennuksista. Tavallisissa rakennuksissa rakenteiden läpi lämpöä siirtyy tavallisimmin syyskuun ja toukokuun välillä. Uimahalleissa sen sijaan rakenteiden läpi siirtyy lämpöä sisältä ulos lähes kaikkina vuodenaikoina, mikä johtuu korkeasta sisäilman lämpötilasta ja korkeamman lämpötilan vuoksi lämmönhukka on normaaleja rakennuksia suurempi. Tämän vuoksi vaipan lämmöneristävyyden parantamisella on saavutettavissa tilojen lämmitysenergiankulutuksessa merkittäviä säästöjä. Toinen hyöty vaipan lämmöneristävyyden parantamisella on sisäpintojen korkeampi lämpötila. Tämä pienentää kosteuden tiivistymisen riskiä allastilan kosteasta ilmasta rakennuksen vaipan sisäpinoille. Riski on suurimmillaan kovien pakkasten aikana.

Uimahalleissa sisäpinnan kondenssin kannalta kriittisimpiä kohteita ovat tyypillisesti ulkovaipan lasirakenteet. Niiden lämmöneristävyys on merkittävästi huonompi kuin tavallisten seinä- ja kattorakenteiden. Vaikka lasirakenteiden lämmöneristävyys on parantunut oleellisesti viimeisten 20 vuoden aikana, julkisivun lasiosat ja niiden karmirakenteiden lämmöneristävyys on vieläkin merkittävästi huonompi kuin uimahallien katto- ja seinärakenteiden lämmöneristävyys 20 vuotta sitten. Kondenssia lasirakenteiden sisäpintaan on pyritty estämään ikkunoiden sisäpintaan suunnatulla lämminilmapuhalluksella. Nykyisin kosteuden tiivistyminen on mahdollista estää myös sähkölämmitteisillä lasirakenteilla.

Saksassa on rakennettu 2010-luvulla kaksi uimahallia, joiden vaipparakenteiden lämmöneristävyys on passiivirakennusten tasoa. Uimahallit ovat Bambados (Bambergissa) ja Lippe-Bad Lünen (Lünessä). Lisäksi näissä on muun muassa talotekniikan parantamiseen perustuvia ratkaisuja ja aurinkosähköjärjestelmiä. Rakenteellisista ja taloteknisistä ratkaisuja on kuvattu enemmän raporteissa (Peper, Grove-Smith, 2013) ja (Gollwitzer, Gressier, Peper, 2015). Näissä rakennuksen vaipan lämmöneristävyys on parannettu passiivitasolle. Taulukossa 12 on esimerkkinä Bambados-uimahallin vaipan rakenteiden lämmönläpäisykertoimet ja rakennepaksuudet.

Edellä mainituissa uimahalleissa lämmitysenergiaa on säästynyt sekä parannetun lämmöneristyksen että kehittyneen talotekniikan vuoksi. Raportissa (Peper, Grove-Smith, 2013) Lünen uimahallin lämmitysenergian säästöksi tarkkailujaksolla on esitetty 67 % ja Bambergin uimahallin lämmitysenergian säästöksi 56 % kaupungin nettisivulla <http://www.stadtwerke-bamberg.de/baeder/bambados/das-moderne-ockobad-mit-passivhausstandard.html>. Arvot perustuvat simulointeihin, vertailuihin vastaaviin uimahalleihin ja arvioihin. Todellista tarkkaa arvoa on mahdotonta esittää, koska hallit on rakennettu alun perin energiaa säästäviksi.

Taulukko 12. Bambados-uimahallin ulkovaipan paksuudet ja U-arvot (Gollwitzer, Gressier, Peper, 2015).

Rakenne	Paksuus (mm)	U-arvo (W/m ² K)
Ulkoseinä	550	0,135
Maanvastainen seinä	550	0,137
Maanvarainen laatta	750	0,142
Katto (puuta)	380	0,097
Katto (betonia)	610	0,095

6.2 Talotekniikan mahdollisuudet

Nykyisillä talotekniikan laitteilla on mahdollista saavuttaa merkittäviä sähkö- ja lämpöenergian säästöjä. Ohessa muutamia talotekniikkaan liittyviä energiansäästömahdollisuuksia:

- huoneilman kuivaaminen vähentää tuuletustarvetta
- kosteuteen sitoutunut latentti lämpö voidaan johtaa lämpöpumpun avulla esimerkiksi uima-allasveeteen
- huoneilman kosteuden ylläpitäminen riittävän korkeana vähentää allasveden haihtumista ja vähentää tuuletuksen hukkaamaa lämpöä
- lämpöenergian ottaminen poistoilmasta lämpöpumpun ja lämmönvaihtimen avulla pienentää ilmanvaihdon aiheuttamaa lämmönhukkaa
- lämmön talteenotto jätevedestä ja lämmön käyttö käyttöveden esilämmitykseen tai uima-allasveden lämmittämiseen vähentää lämmitysenergian tarvetta
- allas- ja lämpöpumppujen sekä ilmanvaihdon tuulettimien pyörimisnopeuden säätö invertteritekniikalla vähentää pumppujen ja puhaltimien energiankulutusta

6.3 Valaistuksen mahdollisuudet

Keinovalaistuksessa on mahdollista säästää energiaa käyttämällä energiatehokkaita valonlähteitä ja valaisimia sekä säätämällä keinovalaistusta siten, että valo palaa vain niissä tiloissa, joissa on ihmisiä. Lisäksi energiaa voidaan säästää säätämällä keinovalojen valaistusvoimakkuutta siten, että valaistustaso pysyy vakiona eri vuorokauden aikoina. Tällöin otetaan huomioon ikkunoista sisälle tulevan valon voimakkuus ja lamppujen tuottamaa valoa himmennetään tarvittaessa. Kaikkia lampputyyppejä ei kuitenkaan voi himmentää ja osa lampuista on sellaisia, ettei ne syty tarvittaessa heti uudelleen sammuttamisen jälkeen, vaan ne tulee jäähtyä ennen syttymistä. Tällaisia ovat esimerkiksi elohopeahöyry- ja korkeapainenatriumlamput.

Taulukossa 13 on lueteltu tavallisimpien valonlähteiden ominaisuuksia. Niistä voidaan päätellä, että hehku- ja halogeenilamput ovat himmennettävyyden, uudelleenkäynnistettävyyden ja värinoston kannalta muita parempia, mutta niiden heikkoutena on huono valoteho kulutettua sähköenergiaa kohden ja lyhyt käyttöikä. Nykyisin LED-valot ovat kilpailukykyisiä muille tehokkaimmille valonlähteille.

LEDeillä on hehku- ja halogeenilamppujen kanssa samat hyvät ominaisuudet himmennettävyydessä ja uudelleenkäynnistettävyydessä, mutta valotehokkuus ja kestoikä LEDeillä on kymmenkertainen hehku- ja halogeenilamppuihin verrattuna. Lampputyypeistä hehkulamppu ja halogeenilamppu tuottavat parhaimman värinoston, koska niiden säteilemän valon spektri on jatkuva. Ainoastaan värinostossa LEDit häviävät jonkin verran. LEDien hyvä ominaisuus on myös, että himmennettäessä värilämpötila ja valotehokkuus säilyvät. Hehku- ja halogeenilampuissa valotehokkuus heikkenee ja värilämpötila laskee himennyksen myötä.

Uimahallissa valaistuksen tuottama lämpö ei kuitenkaan mene hukkaan, vaan se on suurimmaksi osaksi hyödynnettävissä tilojen ja allasveden lämmityksessä. Valaistuksella tilojen lämmittäminen ei kuitenkaan ole järkevää, sillä valaistuksessa käytettävä sähkö on kalliimpaa kuin muu lämmitykseen käytettävä energia. Sähkön kerääminen ja varastointi uusiutuvana energiana on myös kalliimpaa kuin uusiutuvan lämmön kerääminen ja varastointi.

Nykyisten LEDien valotehokkuus on parhaimmillaan luokkaa 100 lm/W ja tehokkuuden odotetaan paranevan merkittävästi lähitulevaisuudessa. Kirjallisuudessa valkoisten LEDien valotehokkuuden teoreettiseksi rajaksi on arvioitu 300 - 350 lm/W, joten niiden käyttö tulee lähitulevaisuudessa entistä kannattavammaksi.

Taulukko 13. Eri valonlähteiden ominaisuuksia (Halonen, Tetri, Bhusal, 2010).

Lampputyyppi	Ominaisuudet					
	Valotehokkuus (lm/W)	Kestoikä (h)	Himmennettävissä	Uudelleenkäynnistys	Värinointo	Käyttökohteet
Hehkulamppu	5 - 10	1000	täysin	heti	erittäin hyvä	Yleisvalaistus
Halogeenilamppu	12 - 35	2000 - 4000	täysin	heti	erittäin hyvä	Yleisvalaistus
Elohopeahöyry	40 - 60	12000	ei mahdollista	2 - 5 min	huono - hyvä	Ulkovalaistus
Energiansäästölamppu	45 - 65	6000 - 12000	osa lamppuista	heti	hyvä	Yleisvalaistus
Loisteputki	50 - 100	10000 - 16000	kohtuullisesti	heti	hyvä	Yleisvalaistus
Induktiolamppu	60 - 80	60000 - 100000	ei mahdollista	heti	hyvä	Vaikeasti huollettavat kohteet
Metallihalidi	50 - 100	6000 - 12000	mahdollinen, ei käytänn.	5 - 10 min	hyvä	Kaupat, liikerakennukset
Korkeapainenatrium	80 - 100	6000 - 12000	mahdollinen, ei käytänn.	2 - 5 min	kohtalainen	Ulkovalaistus, tiet, varastot
Korkeapainenatrium (värikorjattu)	40 - 60	6000 - 10000	mahdollinen, ei käytänn.	2 - 6 min	hyvä	Ulkovalaistus, liikerakennukset
LED	20 - 120	20000 - 100000	täysin	heti	hyvä	kaikki kohteet

6.4 Rakennuksen käytön optimointi

Rakennuksen talotekniikka ja valaistus on mitoitettu huipputarpeen mukaan. Käyttämällä ilmanvaihtoa, vedenkäsittelyä, lämmitystä, ilman kuivausta ja valaistusta osateholla silloin, kun se on mahdollista, saavutetaan merkittäviä energiansäästöjä. Ohessa on joitain esimerkkejä käytön optimoinnista.

- hiljaisena aikana ylimääräiset saunat ja tilat pidetään suljettuina, jolloin saavutetaan säästöä sähkönkulutuksessa
- altaat peitetään yöaikaan silloin, kun hallissa ei ole käyttäjiä, jotta haihtuminen vedenpinnasta estyy
- ilmanvaihto ohjataan tarpeen mukaan, millä pidetään hallitilan ilman kosteus valittujen säätöarvojen rajoissa
- ilmanvaihtoa vähennetään ja ilman kosteuden annetaan nousta yöaikaan, kun halli ei ole käytössä
- valaistusvoimakkuus säädetään tarpeen mukaan ja luonnonvalon saanti otetaan huomioon
- aputiloissa valot sytytetään ja sammutetaan läsnäolotunnistimen avulla

7. Energiansäästömahdollisuudet jäähalleissa

Jäähalleissa suurin energiankulutus aiheutuu jääratojen jäätyneenä pitämisestä ja jään huoltamisessa radoille levitetyn veden jäädyttämisestä. Tarvittava energia kylmäkoneiden pyörittämiseen on sähköä. Tämä sähköntarve on suurinta kesällä ja pienintä talven kylmimpinä kuukausina.

Kylmäkoneiden lauhdelämpöä syntyy enemmän kuin katsomo- ja aputilojen, jääradan alla olevan maaperän sekä käyttöveden lämmittämiseen tarvitaan. Näin ollen ulkopuolelta tuotavaa lämpöenergiaa tarvitaan vain silloin, kun kentässä ei ole jäätä sekä mahdollisesti käyttöveden lisälämmittämiseen.

Valaistus on myös yksi sähköä kuluttava tekijä. Sen aiheuttamaa energiankulutusta voidaan pienentää valitsemalla valotehokkaat valonlähteet ja säätämällä valaistusta hallissa tapahtuvan toiminnan tarpeiden mukaan.

7.1 Rakenteelliset mahdollisuudet

Simulointilaskelmien perusteella havaittiin, että jäähallirakennuksen vaipan lämmöneristävyydellä on vain hyvin pieni vaikutus rakennuksen energiankulutukseen (sähkönkulutukseen). Säästö on niin pieni, että se ei kata kohtuuajassa vaipan lämmöneristävyyden parantamisesta aiheutuvaa lisäkustannusta.

Suurin hyöty lämmöneristävyyden parantamisella saavutetaan tehokkaalla lämmöneristyksellä jääkentän ja perusmaan välissä, jolloin maaperästä vuotaa vähemmän lämpöä jäärataan ja siten kylmäkoneen jäähdytyskuormitus vähenee. Lämmöneristekerroksesta huolimatta jääradan alla olevaa maaperää pitää kuitenkin lämmittää routimisen estämiseksi, mutta tehokkaampi lämmöneriste pienentää lämmitystarvetta. Katon sisäpinnan pinnoittaminen lämpöä heijastavalla aineella vähentää katon jäärataan säteilemän lämmön määrää, mikä myös pienentää kylmäkoneen jäähdytyskuormitusta. Nämä molemmat menetelmät vähentävän kylmäkoneen sähkönkulutusta.

Katon tumma ulkopinta absorboi auringon lämpösäteilyä ja näin kattorakenteen lämpötila nousee. Tämä lisää lämpimänä vuodenaikana jäähän kohdistuvaa lämpökuormaa, joka tulee poistaa kylmäkoneella. Valitsemalla vesikatteeksi vaalea tai heijastavapintainen materiaali jäätä ylläpitävän kylmäkoneen sähkönkulutusta voidaan vähentää (kuva 13).



Kuva 13. Jäähallin vaalea vesikate (Sol Arena, Lahti, <http://www.luh.fi/>).

Simulointilaskelmien perusteella on päätelty, että lämpösäteily katosta jään pintaan edustaa jäähdytysko-
kuormasta jopa 30 %. Tätä lämpökuormaa voidaan pienentää seuraavilla tavoilla:

- päällystämällä katon sisäpinta pienemissiviteettisellä pinnoitteella (kuva 14)
- käyttämällä alaslaskettua kattoa, jossa on pienemissiviteettipinnoite
- päällystämällä katon sisäpinta pienemissiviteettisellä pinnoitteella ja käyttämällä alaslaskettuna kat-
tona tavallista kangasta



Kuva 14. Katon metallinen sisäpinta heijastaa lämpöä ja valoa (Malmin jäähalli).

Alaslaskettu vaalea katto heijastaa valoa, jolloin jääalue tulee valaistuksi tasaisemmin ja valotehoa voidaan vähentää. Toinen etu alaslasketusta katosta on parantunut akustiikka. Katon materiaalia valitessa tulee tarkistaa seuraavia tekijöitä:

- kestävyys kiekon iskuja vastaan
- rakentamismääräysten ja paloturvallisuuden vaatimukset
- huoneilman kondensoitumisen ja veden alassatamisen riski

7.2 Talotekniikan mahdollisuudet

Jäähallien talotekniikka koostuu jääradan jäähdytyskoneista, lämmönsiirtonesteiden pumppuista, ilmanvaihdon koneista, huoneilman kosteudenpoiston koneista sekä lämpimän käyttöveden tuottavista laitteista. Talotekniikan avulla voidaan säästää energiaa muun muassa seuraavilla tavoilla:

- lämpöenergia otetaan talteen poistoilmasta lämpöpumpun ja lämmönvaihtimen avulla pienentää ilmanvaihdon aiheuttamaa energiankulutusta
- jääradan jään muodostamisessa ja ylläpitämisessä syntyvä lauhdelämpö johdetaan maahan porattuun lämpökaivoon tai vesistöön, jolloin pieni lämpötilaero jään ja lauhdutusveden välillä parantaa kylmäkoneiden hyötysuhdetta
- kylmäkoneiden lauhdelämpöä käytetään maaperän sulana pitämiseen, huoneilman lämmittämiseen, huoneilman kuivaamiseen sekä lämpimän käyttöveden tuottamiseen
- lämmönsiirtonesteiden pumppujen ja lämpöpumppujen sekä ilmanvaihdon tuulettimien pyörimisnopeuden säätö invertteriteknikalla vähentää pumppujen ja puhaltimien energiankulutusta

7.3 Valaistuksen mahdollisuudet

Jäähalleissa ei hyödynnetä luonnonvaloa valaistuksessa, koska sen voimakkuuden vaihtelut ja matala tulo kulma häiritsevät luistelua ja häittaavat pelaamista. Näin ollen jääradat valaistaan pelkästään keinovaloilla. Keinovalaistuksessa on mahdollista säästää energiaa käyttämällä energiatehokkaita valonlähteitä ja valaisimia sekä säätämällä keinovalaistusta tarpeen mukaan. Esimerkiksi tavallinen luistelu ei tarvitse yhtä tehokasta valaistusta kuin jääkiekon pelaaminen. Sen sijaan televisiointi vaatii erityisen tehokkaan valaistuksen. Aputiloissa valot voidaan ohjata niin, että valo palaa vain niissä tiloissa, joissa on ihmisiä.

Jäähallissa valaistuksen tuottama lämpö on haitaksi, sillä se lisää jääradan jäähdytystarvetta. Lisäksi jäähdytyskoneet tuottavat lauhdutuslämpöä niin paljon, ettei sitäkään kaikkea pystytä jäähallissa hyödyntämään. Tämän vuoksi valonlähteiksi tulisi valita sellaisia, joiden valoteho kulutettua sähköä kohden on mahdollisimman suuri. Taulukossa 13 on lueteltu tavallisimpien valonlähteiden ominaisuuksia ja suurimmat valotehokkuudet on purkauslamppuilla ja LEDeillä.

7.4 Rakennuksen käytön optimointi

Jäähallin energiantarvetta voidaan pienentää säätämällä jään ja ilman lämpötilaa sekä valaistusta tilassa tapahtuvan toiminnan mukaiseksi. Taulukossa 14 on esitetty suositukset eri toiminnoille.

Taulukko 14. Eri toimintojen suositellut jäälämpötilat (IIHF Ice Rink Manual).

Toiminto	Ilman lämpötila (°C)		Jään lämpötila (°C)	Suurin ilman suhteellinen kosteus (%)
	Jäärata 1,5 m korkeudella	Katsomo (operatiivinen)		
Jääkiekko				
- peli	+ 6	+ 10...+ 15	- 5	70
- harjoitus	+ 6	+ 6 ... + 15	- 3	70
Kuvioluistelu				
- kilpailu	+ 12	+ 10...+ 15	- 4	70
- harjoitus	+ 6	+ 6 ... + 15	- 3	70

Hallin ilmaa kuivaamalla saadaan säästöä jääradan jäähdytystarpeessa, kun jään pintaan ei kondensoidu ilmasta kosteutta. Tämä vähentää myös jään hoitotarvetta, kun jään pintaan ei muodostu kuuraa. Kosteutta poistettaessa jäähallin ilmasta vapautuu merkittävästi veden höyrystymislämpöä, jota voidaan käyttää esimerkiksi käyttöveden esilämmitykseen. Toisaalta jäähallissa syntyy runsaasti kylmäkoneiden lauhdutuslämpöä, eikä sille kaikelle ole käyttöä jäähallissa.

8. Energian tuotanto rakennuksen tontilla

Uimahalleissa tarvitaan sekä lämpöä että sähköä. Energiantarve on suurimmillaan talvella, jolloin ulkona on pitkään pimeää ja kylmää ja luonnosta saatavan energian määrä on minimissään. Jäähalleissa suurin energiantarve ajoittuu kesäkauteen, jolloin lämmönvuoto rakenteiden läpi on suurinta ja ulkoilman kosteuspitoisuus on suurimmillaan. Jäähalleissa tarvitaan vain sähköä kylmäkoneiden pyörittämiseen ja sisätilojen valaisuun. Kylmäkoneiden lauhdelämpö riittää lämmittämään sisätilojen ilman ja käyttöveden. Lauhdelämpöä syntyy yli jäähallien oman tarpeen ja sitä voidaan hyödyntää lähistöllä olevien muiden rakennusten lämmitämisessä.

Energian kerääminen auringonpaisteesta ja tuulesta on haasteellista, sillä näitä ei ole aina saatavilla ja tällöin tarve saattaa olla suurin. Vuorokautiset vaihtelut ovat suuria ja talvikaudella energiansaanti luonnosta on vähäisempää kuin kesällä.

Suunniteltaessa mahdollisimman paljon uusiutuvaa energiaa hyödyntävää liikuntarakennusta sähköä pitää pystyä varastoimaan ainakin päivätasolla tai tulee olla korvaavia ratkaisuja varmistamaan sähkönsaanti sellaisina aikoina, joina sähköä ei luonnosta ole saatavilla. Toinen mahdollisuus on syöttää ylimääräinen sähköenergia verkkoon ja ottaa verkosta energiaa, silloin kun sitä muuten ei ole saatavilla.

8.1 Aurinkosähkö

Maanpinnalla aurinko paistaa keskipäivällä pilvettömältä taivaalta kohtisuoralle pinnalle noin 1000 W/m^2 teholla. Tästä maksimiarvosta säteilyteho pienenee muun muassa, kun säteilyn tulokulma poikkeaa kohtisuorasta, taivaalla on pilviä, ilmassa on kosteutta, puut varjostavat paneelia ja paneelin pinta likaantuu. Pilvet vähentävät säteilytehoa ja täysin pilvisellä säällä suoraa säteilyä ei ole lainkaan ja hajasäteilyn teho voi olla noin 100 W/m^2 .

Paneelien ominaisuuksista ilmoitetaan tavallisesti huipputehontuotto (W_p), joka vastaa siitä saatavaa tehoa, kun pintaan kohdistuu kohtisuorasti auringonpaistetta 1000 W/m^2 . Paneelit tuottavat sähköä myös silloin, kun niihin ei osu suoraa auringonpaistetta, mutta vain murto-osan huipputehosta. Aurinkokennojen materiaali ratkaisee, kuinka paljon kennot tuottavat energiaa hajasäteilystä.

Aurinkosähköpaneelit koostuvat yleensä kymmenistä yksittäisistä aurinkosähkökennoista, jotka on kytketty sarjaan ulostulevan jännitteen nostamiseksi tyypillisesti 14 - 40 volttiin. Yhden kennon tuottama tasajännite on noin 0,5 V. Suurissa aurinkosähköjärjestelmissä useita aurinkopaneeleita kytketään sarjaan, jotta järjestelmän jännite saadaan nousemaan 500 - 700 volttiin. Tällä vähennetään johtimien paksuntamistarvetta ja siirtohäviöitä.

Sarjaan kytketyt aurinkokennot tulee olla ominaisuuksiltaan mahdollisimman samanlaisia, jotta sähköntuotto olisi tehokasta. Yksikin heikkolaatuinen, likaantunut tai ympäristön varjostama kenno laskee koko sarjaan kytketyn järjestelmän hyötysuhdetta. Likaantumisen ja varjostuksen häitää voidaan pienentää asentamalla kennojen väliin ohitusdiodeja. Näillä vaihtoehtoja on tarkasteltu artikkelissa (Díaz-Dorado et al., 2010).

Nykyisillä aurinkosähköpaneeleilla pystytään muuntamaan kohtisuorasta auringonsäteilystä sähköksi noin 20 %. Kohtuuhintaisen paneelien hyötysuhde on kuitenkin pienempi, noin 15 %. Nykyisillä paneeleilla saadaan vuositasolla parhaimmillaan 1000 kertainen määrä wattitunteja verrattuna paneelin huipputehoon. Esimerkiksi, paneelin huipputehon ollessa 100 W, sen keräämä vuotuinen energiamäärä on maksimissaan noin 100 kWh, mikäli paneeli on suunnattu optimaalisesti aurinkoa kohden. Aurinkosähköpaneelien hyötysuhde suhteeseen vaikuttaa myös niiden lämpötila; lämpötilan kasvaessa niiden hyötysuhde pienenee jonkin verran. Näin ollen aurinkosähköpaneelit toimivat parhaiten pakkasessa. Aurinkosähköjärjestelmän kokonaishyötysuhdetta pienentävät sähkönsiirron ja tasajännitteen vaihtojännitteeksi muuttavan invertterien häviöt, minkä vuoksi järjestelmän hyötysuhde pienenee paneelien teoreettisesta hyötysuhteesta käytännössä muutaman prosenttiyksikön.

Paneeleja tutkitaan laboratorioissa paljon ja uusia materiaaleja kehitetään. Tutkimuksella on tarkoituksena pienentää valmistuskustannuksia, parantaa hyötysuhdetta ja pidentää käyttöikää. Tällä hetkellä tehokkaimmat aurinkokennot tuottavat laboratoriomittauksissa yli 40 %, mikä on lähellä teoreettista maksimiarvoa.

Näiden paneelien tultua markkinoille ja niiden hinnan halvennuttua ne lienevät käyttökelpoisin vaihtoehto aurinkosähkön tuottamiseksi.

Aurinkopaneelin nimellisteholla ja huipputeholla tarkoitetaan sitä sähkötehoa, jonka paneeli tuottaa standardiolosuhteissa, kun auringon säteily kohtisuoraan paneelia on 1000 W/m^2 . Huippu- ja nimellistehon yksikkönä käytetään yksikköä Wp (kWp = 1000 Wp). Pääkaupunkiseudulla auringonsäteily voi olla keskipäivällä kirkkaalla säällä enimmillään noin 800 W/m^2 , joten aivan aurinkopaneelin nimellistehon suuruista sähkötehoa paneeleista ei käytännössä saada. Tiettyä huipputehoa varten tarvittava paneelien pinta-ala riippuu paneelien nimellishyötysuhteesta ja pinta-ala voidaan laskea kaavalla (1).

$$A = P / (1000 * \eta) \quad (1)$$

missä

A	on tarvittava paneelin pinta-ala, m^2
P	on paneelin haluttu huipputeho, Wp
η	on paneelin nimellishyötysuhde, -

Aurinkopaneeleja on ollut käytössä laajamittaisesti vasta 20 - 30 vuotta, joten niiden kestoikää ei tarkkaan tiedetä. Paneelien kestävyysvaikutavat, paneelin rakenne, valmistuksessa käytetyt materiaalit ja vedenpitävyys, aurinkokennojen materiaali sekä valmistustoleranssit.

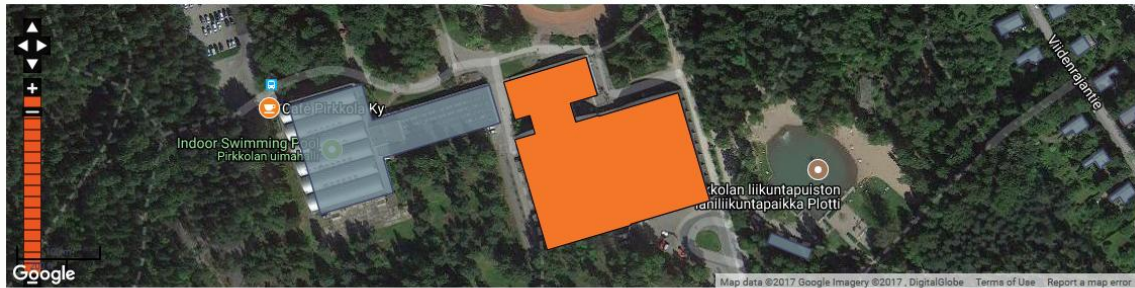
Aurinkosähköpaneelien energiantuotto heikkenee materiaalien vanhenemisen vuoksi tyypillisesti 0,5 - 1,0 % vuodessa (Jordan, Kurtz, 2012). Näin ollen 20 vuoden kuluttua paneelit tuottavat 90 - 82 % alkuperäisestä tehosta. Monet valmistajat takaavat, että paneelien tuotto vähintään 80 % alkuperäisestä 20 - 25 vuoden kuluttua asennuksesta. Energiantuoton pienenemisen aiheuttavat kennojen materiaalien vanheneminen lämpötilavaihteluiden ja auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta sekä kennoja suojaavan lasilevyn pinnan vaurioituminen ympäristörasitusten vuoksi.

Kirjallisuudessa on esitetty arvioita 30 - 40 vuoden teknisestä käyttöiästä. Sinä aikana paneelit tarvitsevat vain vähän huoltoa. Tavallisimmat huoltotoimenpiteet ovat lehtien ja muiden roskien sekä lian poistaminen paneelien pinnalta esimerkiksi vesisuihkun avulla. Paneelien pinnan likaantuminen ja pinnalla olevat roskat heikentävät paneelien sähköntuottoa, minkä vuoksi ajoittainen puhdistaminen on tarpeellista.

Paneelien käyttöiän aikana liitäntäelektronikka (latausjärjestelmä, invertterit) saatetaan joutua uusimaan ainakin yhden kerran. Tästä aiheutuvat kustannukset tulee ottaa huomioon investoinnin kannattavuutta arvioitaessa.

Kuvassa 15 on nähtävissä nettisivuston (<https://sunenergia.com/>) arvio erään jäähallin katolle mahtuvien aurinkosähköpaneelien pinta-alasta ja niiden vuotuisesta energiantuotosta. Sivusto perustuu paneelisiin, joiden hyötysuhde on noin 15 % ja arviossa on otettu huomioon ympäristön aiheuttama varjostus. Tätä voi käyttää olemassa olevien rakennusten katolle asennettujen paneelien sähköntuoton arvioinnissa. Aurinkolaskuri on käytössä myös joillain energiayhtiöillä, esimerkiksi Helenillä (<https://www.helen.fi/aurinko/kodit/aurinkolaskuri/>).

Uudisrakennusten ja maaston korkeussuhteet eivät ole vielä selvillä, minkä vuoksi arviota niihin sijoitettujen aurinkosähköpaneelien määrästä ja sähköntuotosta ei voi selvittää tällä menetelmällä. Aurinkolaskuria voidaan soveltaa korjausrakentamisessa, kun vanhaa liikuntahallia saneerataan ja halutaan arvioida aurinkopaneeleista saatava hyöty. Aurinkolaskuri perustuu ilmatieteenlaitoksen tilastoimaan vuosien 1981 - 2010 vertailuvuoden säähän. Vuosittaisten sääpoikkeamien vuoksi aurinkopaneelien todellinen tuotto voi poiketa laskennallisesta kumpaankin suuntaan.



Olemme kartoittaneet rakennuksesi! [Lue lisätietoja](#)

Kattosi pinta-ala on **8094.0 m²**, josta aurinkoenergian tuotantoon soveltuvaa alaa on **4538 m²**. Tällä alalla tuottamasi aurinkosähkön vuotuinen kokonaismäärä olisi **699875 kWh**

Kuva 15. Pirkkolan Liikuntapuiston jäähallin katolle mahtuvien aurinkosähköpaneelien pinta-ala ja vuotuinen energiantuotto (<https://sunenergia.com/>).

8.2 Aurinkolämpö

Maanpinnalla aurinko paistaa keskipäivällä pilvettömältä taivaalta kohtisuoralle pinnalle enimmillään noin 1000 W/m² teholla. Suomessa kuitenkin harvoin päästään yli 800 W/m² säteilytehon. Ilmassa olevat epäpuhtaudet ja kosteus pienentävät tätä tehoa. Tässä suhteessa aurinkosähkö- ja aurinkolämpöpaneelit ovat samanarvoisia.

Aurinkolämpöä kerätään taso- ja tyhjöputkikeräimillä. Näiden molempien toimintaperiaate on sama: auringon lämpösäteily lämmittää tumman, auringonsäteilyä tehokkaasti absorboivan pinnan, joka on yleensä lasipinnan takana. Keräinpinnan takana on lämmöneriste, joka vähentää lämmönhukkaa ja parantaa hyötysuhdetta. Lämpö siirretään keräimestä lämmitettävään kohteeseen tavallisesti veden ja pakkasnesteen seoksella. Tasokeräimissä voidaan käyttää myös ulkoilmaa, joka puhalletaan lämmentyneenä huonetilaan.

Aurinkolämpökeräimien hyötysuhde on parhaimmillaan jopa 80 %, jos kiertovettä lämmitetään vain muutamia asteita ulkolämpötilaa lämpimämmäksi. Hyötysuhde kuitenkin heikkenee merkittävästi keräinpinnan ja ulkoilman välisen lämpötilaeron kasvaessa. Tämä johtuu keräimen vaipan läpi tapahtuvien lämpöhäviöiden kasvamisesta lämpötilaeron kasvaessa. Hyötysuhdetta osaltaan pienentävät kiertovesipumppujen tai puhaltimien tarvitsema sähköenergia ja lämmönsiirron häviöt.

Julkaisun (Solpros, 2006) mukaan tasokeräimen vuosituotto on noin 240 kWh/m²a, kun keräin lämmittää veden 60 °C tasolle. Mikäli ulostulevan veden lämpötila on vain 40 °C, vuosituotto kasvaa tasolle 350 kWh/m²a. Nämä tuottomäärät edellyttävät optimaalista suuntausta aurinkoon nähden ja esteetöntä ympäristöä paneelin lähellä. Tyhjöputkikeräimillä tuotto on suurempi kuin tasokeräimillä.

Vertailuna 20 % hyötysuhteen aurinkosähköpaneelin huipputeho on 200 W/m² ja sen vuotuinen tuotto on enimmillään 200 kWh/m²a. Toisaalta, jos aurinkosähköpaneelin tuottamaa sähköä käytetään ilmalämpöpumpun pyörittämiseen ja lämpöpumpun energiakerroin on 3, tämän järjestelmän lämmön vuosituotto on 3 x 200 kWh/m²a = 600 kWh/m²a.

8.3 Maalämpö

Maalämpö (geoterminen energia) on yhteisnimitys maaperästä saatavalle lämpöenergialle. Maan pintakerroksiin ja vesistöihin sitoutuu kesäkaudella auringosta tullutta säteilyenergiaa ja sen vaikutuksesta maanpinta ja vesistö lämpenevät. Kallioperässä syvällä oleva lämpöenergia on maassa olevien alkuaineiden (pääosin uraani, torium ja kalium) radioaktiivisten isotooppien hajoamisen tuottamaa lämpöä ja osittain maanpinnan keskilämpötilasta peräisin olevaa lämpöä.

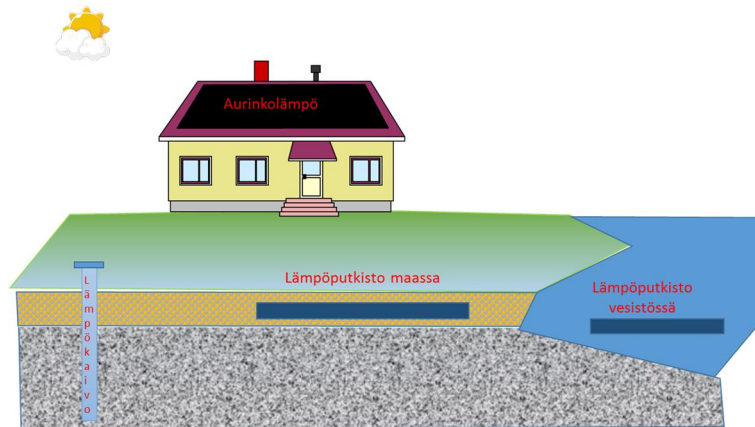
Lämpötilan nousua syvemmälle kallioperään porattaessa kuvataan geotermisellä gradientilla. Maapallon keskimääräinen gradientti on noin 33°C/km. Eli noin kolmen kilometrin syvyydestä saataisiin kiehuva vettä.

Mannerlaattojen liittymäkohdissa ja muilla vulkaanisesti aktiivisilla alueilla gradientti voi olla jopa yli 200 °C/km. Suomessa geoterminen gradientti on vaatimattomampi, noin 8 - 25°C/km (Huusko, 2016).

Suomessa näiden energialähteiden lämpötilataso on niin matala, että tämän energian hyödyntäminen edellyttää poikkeuksetta lämpöpumpun käyttöä. Lämpötilatasot 100 - 300 m syvissä porareijissä lämpötilat ovat 5 - 7 °C ja lämpötilojen vaihtelut vuodenaikojen mukaan rajoittuvat maan 10 - 15 m paksuun pintakerrokseen (Lauttamäki, Kallio, 2013).

Geoenergian keruulaitteiston voi toteuttaa joko pintajärjestelmänä, jossa energia kerätään noin metrin syvyyteen maahan tai vesistöön lasketun vaakaputkiston avulla, tai kalliolämpöjärjestelminä, joissa kallioon porataan tyypillisesti 150 - 300 metriä syviä energiakaivoja. Ongelmana maanpinnan läheisyyteen pintaputkistona asennettavissa energiankeruujärjestelmissä etenkin suurissa kohteissa on vaadittavan maa-alueen varsin suuri koko, ja lisäksi pintaputkisto on altis routavaurioille. Rajoitteena pintaputkistoissa on myös se, että alueella, johon putkisto on asennettu, ei tulisi liikkua raskailla ajoneuvoilla tai muutenkaan tehdä sellaisia töitä, jotka saattaisivat vaurioittaa putkistoa. (Lauttamäki, Kallio, 2013).

Suomen syvintä reikää porataan Espoon Otaniemeen. Tämä 7 km syväksi suunnitellun reiän on tarkoitus lämmittää sinne pumpattu vesi noin 120 °C lämpöiseksi ja vesi on tarkoitus johtaa paikalliseen kaukolämpöverkkoon lämmittämään kiinteistöjä. Teoriassa tällä vedellä voisi tuottaa myös sähköä, mutta hyötysuhde ei olisi kovin hyvä matalahkon lämpötilatason vuoksi.



Kuva 16. Eri lähteistä kerättävä uusiutuva lämpöenergia.

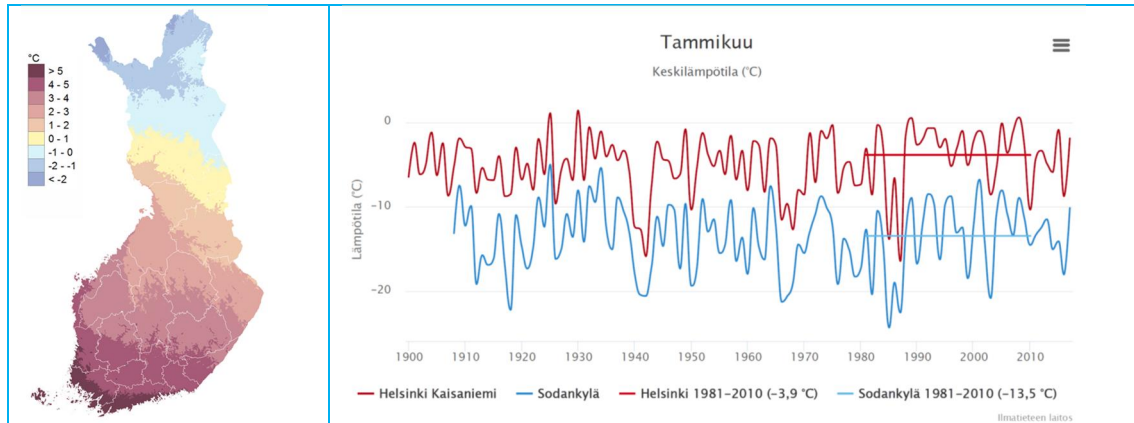
Aurinko- ja tuulivoiman teho vaihtelevat jyrkästi eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina, mutta geotermistä energiaa on saatavilla tasaisesti ympäri vuorokauden ja kaikkina vuodenaikoina. Suomessa geotermisen energian hyödyntäminen tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen edellyttää kuitenkin lämpötilatason nostoa lämpöpumpun avulla.

8.4 Ilmalämpö

Ulkoilmassa olevaa lämpöenergiaa voidaan hyödyntää ilmalämpöpumpun avulla. Menetelmässä lämpöpumppu jäädyttää ulkoilmaa ja lauhdutuslämpö ohjataan joko sisäilmaan tai lämmitettävään veteen. Laitteen lämpökertoimeen (saatu lämpöteho/käytetty sähköteho) vaikuttaa laitteen ominaisuuksien lisäksi ulkoilman lämpötila ja lauhdutuslämpötila. Energiakerronta pienentävät ulkoilman matala lämpötila ja korkea lauhdutuslämpötila. Kun ulkoilman ja lauhdutuslämpötilan ero on 20 °C, lämpökerroin voi olla jopa 6 - 7. Ulkolämpötilan laskiessa -20...-30 °C tasolle lämpökerroin pienenee tasolle 1, jolloin järjestelmä ei tuota yhtään ylimääräistä lämpöä.

Suomessa ulkoilman vuotuiset keskilämpötilat (kuva 17) ovat kohtuullisia koko maassa, mutta talven alimmat ovat niin matalia, erityisesti pohjoisessa, että silloin ilmalämpöpumppujen hyöty on pieni. Uimahalleissa

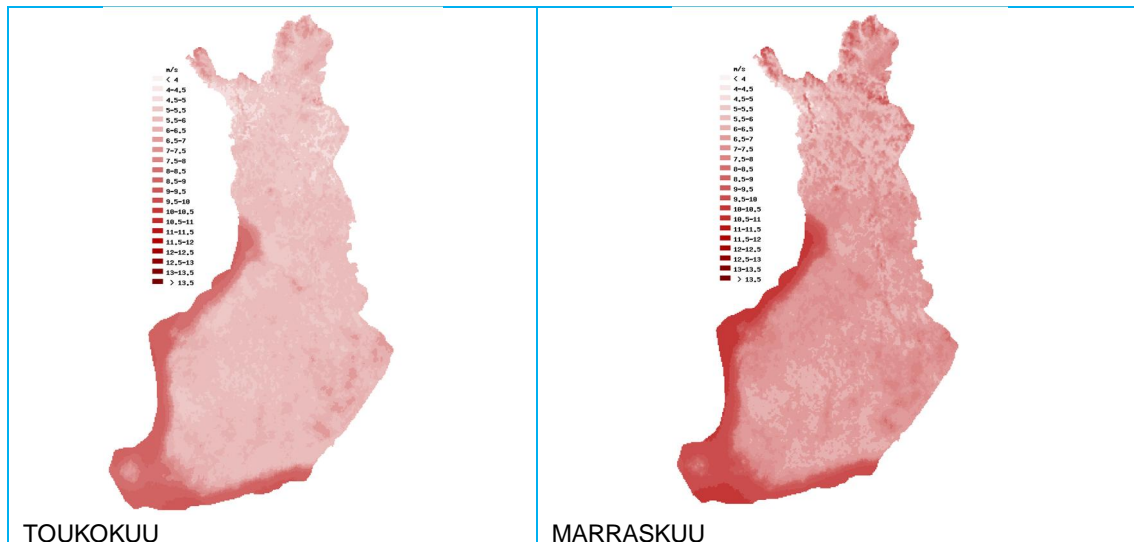
ilmalämpöpumppua voidaan käyttää kevästä syksyyn, mutta talvella, jolloin lämmöntarve on suurimmillaan, ilmalämpöpumpusta ei ole merkittävää hyötyä.



Kuva 17. Vuoden keskilämpötila 1981 - 2010 sekä tammikuun keskimääräiset lämpötilat Helsingissä ja Sodankylässä sadan vuoden aikana (Ilmatieteen laitos).

8.5 Tuuli

Auringon säteilyn absorboituminen ilmakehään ja maanpintaan saa aikaan ilmakehään lämpötilaeroja, jotka aiheuttavat ilmanpaineen eroja. Nämä ilmanpaine-erot pyrkivät tasaantumaan ilmavirtausten (tuulen) avulla. Lämpötilaerojen lisäksi tuulta aiheuttaa maapallon pyörimisliike. Keskimääräinen tuulennopeus vaihtelee vuodenajan ja sijainnin mukaan. Suurimmat keskituulennopeudet ovat vesistöjen lähellä syksyllä. Pienimmät keskituulennopeudet ovat keväällä ja kesällä sisämaassa (kuva 18). Kuvassa tuulten keskimääräiset nopeudet ovat 50 metrin korkeudessa maanpinnasta. Tätä matalammalla nopeudet ovat merkittävästi pienempiä maastoesteiden vuoksi.



Kuva 18. Keskimääräiset tuulennopeudet keväällä ja syksyllä 50 m korkeudella maanpinnasta (<http://www.tuuliatlas.fi/nopeus/>).

Tuulesta tuuligeneraattorilla saatava teho on enintään (<http://www.tuuliatlas.fi/tuulivoima/>)

$$P_{max} = \frac{16}{27} * \rho / 2 * A * v^3 \quad (2)$$

missä

P = teho (W)

ρ = ilman tiheys (= 1,3 kg/m³)

A = roottorin lapojen kärkien piirtämän alueen pinta-ala (m²)

v = tuulen nopeus (m/s)

Käytännössä sähköteho pienempi kuin kaavan antama teoreettinen arvo, koska roottori ei ole ideaalinen, tuuliturbiinin laitteistossa on mekaanista kitkaa ja sähkögeneraattorin hyötysuhde on tavallisesti 90 - 95 %. Kuukausituottoja arvioitaessa tulee myös tiedostaa, että vaaka-akseloitu potkuriturbiini tuottaa sähköä vasta yli 3 m/s tuulella ja kestävyuden vuoksi tuuliturbiini on pysäytettävä yli 20 - 25 m/s tuulella. Pystyakseliturbiini tuottaa sähköä jo yli 2 m/s tuulella eikä sitä tarvitse pysäyttää kovassakaan myrskyssä. Pystyakseliturbiinin hyötysuhde on kuitenkin huonompi kuin potkuriturbiinin.

Kuvan 18 keskimääräisiä tuulennopeuksia tarkasteltaessa havaitaan, että sisämaassa tuulen nopeudet ovat paljon pienempiä kuin rannikolla ja sen vuoksi tuuliturbiinit tuottavat sisämaassa vain kohtuullisesti energiaa. Näin ollen tuuliturbiinin asentaminen liikuntahallien tontille ei ole kannattavaa. Rakennusten viereen korkean maston rakentaminen kaupunkialueella ei ole myöskään asemakaava-, turvallisuus- ja viihtyisyytekijöiden vuoksi yleensä mahdollista. Tuulivoimaloiden suunnittelua ja rakentamista on ohjeistettu ympäristöministeriön julkaisussa Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012).

Jos läpimitaltaan 20 m oleva potkuri sijaitsee 50 metriä korkean tornin päässä, tällaisen tuulivoimalan tuottama teho on 5 m/s tuulella kaavan (1) mukaan enintään 15 kW ja 10 m/s tuulella 121 kW. Käytännössä tuottotehot jäävät alle puoleen teoreettisista maksimitheoista eri häviöiden vuoksi. Jos käytetään matalampaa tornia, sen yläpäässä tuulennopeudet ja sen myötä tuottoteho ovat pienemmät. Näistä syistä johtuen sisämaassa olevien pienten tuulivoimaloiden tuottama vuotuinen energia on vaatimatonta hankintakustannuksiin verrattuna eikä investointi näin ole kannattavaa.

Suomeen rakennettujen tuulivoimaloiden vuoden 2011 tuotantotilastot (Turkia, Holtinen, 2013) osoittavat, että sisämaahan rakennettujen tuulivoimaloiden energiantuotanto on tyypillisesti 5 - 15 % teoreettisesta maksimivuosituotannosta (kapasiteettikerroin). Tämä johtuu siitä, että sisämaassa tuulten nopeudet ovat merkittävästi pienempiä kuin tuulivoimalan maksimiteho edellyttäisi. Näin ollen 100 kW:n tuulivoimalasta saa vain 5 - 15 kW:n keskimääräisen sähköntuoton.

8.6 Lämmön talteenotto jätevedestä

Uimahalleissa syntyy runsaasti lämmintä jätevettä suihkujen ja allasveden vaihtamisen vuoksi. Tätä lämpöä on mahdollista ottaa talteen. Siihen on kehitetty monia laitteita. Laitteissa vesi tai lämpöpumpun kylmäaine toimii väliaineena ja siitä lämpö johdetaan lämmönvaihtimen tai lämpöpumpun avulla esimerkiksi käyttö- tai allasveteen. Rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan terveydelle vaarallinen aine (jätevesi) ja käyttövesi tulee erottaa toisistaan niin, etteivät ne joudu kosketuksiin toistensa kanssa esimerkiksi vuotamalla putken seinämän läpi ja saastuttamalla käyttöveden. Laitteen hyötysuhteeseen vaikuttavat muun muassa jäteveden lämpötila, lämmitettävän veden lämpötila, vesien virtausnopeus ja lämmönsiirtotapa.

8.7 Lämmön talteenotto poistoilmasta

Poistoilmassa on, etenkin uimahallissa, suuret määrät lämpöenergiaa. Normaalisti tätä energiaa hyödynnetään perinteisillä poistoilman lämmöntalteenotolaitteilla tuloilman lämmittämiseen. Tehokkaankin lämmöntalteenoton jälkeen poistoilmassa on edelleen lämpöenergiaa (erityisesti kesällä), jota voidaan hyödyntää poistoilmalämpöpumpulla. Uimahalleissa poistoilmalämpöpumput ovatkin merkittäviä energiansäästöratkaisuja.

Käytettäessä lämmön talteenotossa poistoilmalämpöpumppua saadaan ilmassa oleva kosteus tiivistettyä vedeksi ja sillä tavoin talteen otettavan lämpöenergian määrä kasvaa tiivistyneen veden höyrystymislämmön verran. Tämä lämpömäärä on merkittävästi suurempi kuin kuivan ilman sisältämä lämpömäärä.

8.8 Energian keräämisen ja säästämisen kannattavuus

Rakennuksen tontilta saatavan uusiutuvan energian keräämisen tavoite on vähentää rakennuksen ostoenergian sähkön, kaukolämmön ja polttoaineiden kulutusta. Yleensä ostoenergiankulutuksen vähentäminen ei ole itsetarkoitus, vaan hankitun laitteiston tulee maksaa investointi- ja käyttökustannukset takaisin kohtuullisen ajan kuluessa pienentyneenä ostoenergian tarpeena.

Alkuinvestoinnin hinta ja sillä saatava energiansäästö on varsin tarkkaan arvioitavissa, mutta ostoenergian hinnan kehitys sekä tarvittavien huoltotoimenpiteiden kustannukset investoinnin elinaikana perustuvat aika epätarkkaan arvaukseen. Tämän seurauksena kannattava investointi muuttuu ei-kannattavaksi ja päinvastoin tahattomalla tai tahallisella kustannusten ja säästöjen vähättelyllä tai ylikorostamisella.

Karkeasti energiansäästöinvestoinnin kannattavuutta voi arvioida siten, että lasketaan investoinnin elinaikanaan tuottaman tai säästämisen energian kustannus yhtä kilowattituntia kohden. Tällöin laskelmissa otetaan huomioon investoinnin, huollon ja käytön aiheuttamat kustannukset ja ne jaetaan investoinnin elinaikanaan tuottamalla tai säästämällä energiamäärällä. Laskemissa jätetään korkokanta ottamatta huomioon.

$$\text{Energiakustannus} = \frac{\text{investointi} + \text{huolto} + \text{käyttö}}{(\text{energian vuosituotto tai säästö}) \times \text{kestoikä}} \quad (3)$$

Esimerkiksi tällä hetkellä aurinkosähköpaneelien hinta on suurissa erissä 0,8 - 1 €/Wp ja käyttöelektroniikan kanssa asennettuna noin 1,5 €/Wp. Tämä yksi huipputehováhti tuottaa ensimmäisenä vuonna 1 kWh vuodessa, 20 vuoden päästä enää 0,8 kWh ja 40 vuoden kuluttua noin 0,6 kWh paneelien vanhenemisen vuoksi. Tällöin 20 vuoden aikana keskimääräinen vuotuinen energiantuotto on noin 0,9 kWh 1,5 € investointia kohden. Lisäksi pitää laskea vuosittaiset puhdistus- ja huoltokustannukset. Oletetaan niiden olevan 20 vuoden aikana 1 Wp tuottavaa paneelin osaa kohti 0,25 € ja 40 vuoden aikana edellä mainittu summa kaksinkertaisena.

$$\text{Energiakustannus} = (1,5 \text{ €} + 0,25 \text{ €}) / (0,9 \text{ kWh/a} \times 20 \text{ a}) = 0,10 \text{ €/kWh}$$

Tämä on kustannus investoinnista ja huollosta aiheutuva energiakustannus paneelin 20 vuoden toiminta-aikana. Se on tällä hetkellä monissa tapauksissa enemmän kuin sähköverkosta saatavan energian hinta suurkuluttajalle. Mikäli paneelit kestävät 40 vuotta ja energiantuotto heikkenee tasaisesti koko eliniän ajan, näiden paneelien investoinnista ja huollosta aiheutuva energiakustannus on 0,06 €/kWh. Kustannuksissa ei ole otettu huomioon elektroniikan uusimisesta aiheutuvaa kustannusta, mikä heikentää kannattavuutta. Tasajännitteen vaihtojännitteeksi muuntavan invertterin kestoikä on tyypillisesti 10 - 20 vuotta.

Edellä olevassa esimerkissä oli tarkasteltu aurinkosähköpaneelien asentamisen kannattavuutta. Samaa menetelmää voi soveltaa myös muihin energiansäästön ja -keräämisen investointeihin. Kuten alussa todetaan, menetelmä on karkeatasoinen ja soveltuu lähinnä energiakustannuksen suuruusluokan arviointiin. Menetelmässä ei oteta huomioon korkoa eikä energian hinnan muuttumista.

Tarkempia investointien kannattavuuslaskelmia voi tehdä esimerkiksi oheisilla menetelmillä. Ongelmana niissä on luotettavien lähtöarvojen selvittäminen, koska se edellyttää tulevaisuuden ennustamista. Pitkän aikavälin kannattavuuslaskelmat ovat herkkiä lähtöarvojen suhteen ja pienet muutokset voivat kääntää kannattavan investoinnin tappiolliseksi. Tarkempia menetelmiä ovat:

- nykyarvonmenetelmä
- annuiteettimenetelmä
- takaisinmaksuajan menetelmä
- pääoman tuottoastemenetelmä
- sisäisen korkokannan menetelmä

8.9 Tuotetun sähkön verovaikutus

Jos aurinkosähköpaneelien ja tuuligeneraattoreiden yhteishuipputeho on yli 100 kilovolttiampeeria, kiinteistön omistajan tulee rekisteröityä tullille sähköntuottajana. Mikäli sähkön vuosituotanto on yli 800 000 kilowattituntia, tuotetusta sähköstä pitää maksaa sähkövero ja huoltovarmuusmaksu. Jos sähkön tuotanto on vähäisempää, mutta sähköä siirretään verkkoon muiden kulutettavaksi, verkkoon siirretystä sähköstä pitää myös maksaa edellä mainitut maksut (laki 501/2015; <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150501>).

Verkkoon siirretystä energiasta maksetaan tuottajalle sähköpörssin spot-hinta hinta, joka vaihtelee voimakkaasti vuodenajan ja vuorokaudenajan mukaan kysynnän ja tarjonnan perusteella. Maksettu hinta on suurimmillaan talvella ja halvimmillaan kesällä.

9. Energian varastointi

Liikuntahallien ympäristöstä luonnonenergiaa ei saada tasaisesti koko ajan, vaan energian määrässä on suuria vuorokautisia, päivittäisiä ja kuukausittaisia vaihteluita. Syynä tähän on ulkolämpötilan ja valoisan ajan pituuden vaihtelut vuodenajan mukaan. Lisäksi pilvisuus voi pienentää päiväaikaista energiansaantia hetkellisesti jopa kymmenesosaan. Ainoa poikkeus on porakaivosta ja maassa olevista keruuputkista saatava geoterminen lämpöenergia, joka pysyy suhteellisen vakiona vuorokaudesta toiseen vuoden ympäri. Muulle luonnonenergialle on ominaista, että ajoittain sitä saadaan jopa yli tarpeen ja erityisesti talvikautena sitä saadaan hyvin niukasti. Tämän energian hyödyntämisen kannalta on oleellista, että tätä energiaa pystytään varastoimaan ja siirtämään saantia niihin ajankohtiin, jolloin energiasta muuten olisi pulaa.

Jäähallissa tarvitaan suuria määriä sähköenergiaa pyörittämään jäätä ylläpitäviä kylmäkoneita ja ilmanvaihtoa sekä jonkin verran myös valaistukseen. Kylmäkoneet tuottavat lauhdelämpöä enemmän kuin tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen tarvitaan, jolloin jäähalleihin tarvitsee kerätä luonnosta vain sähköä. Mikäli sähköä kerätään hetkellisesti yli oman tarpeen, ylimääräisen sähkön varastointi on varteenotettava vaihtoehto.

Uimahalleissa sähkön tarve on vain osa energiantarpeesta. Suuri osa energiasta käytetään lämpönä, jolla lämmitetään allasvettä, käyttövettä ja tiloja. Sähköäkin tarvitaan pumppujen ja puhaltimien pyörittämiseen sekä saunojen lämmittämiseen ja tilojen valaistukseen.

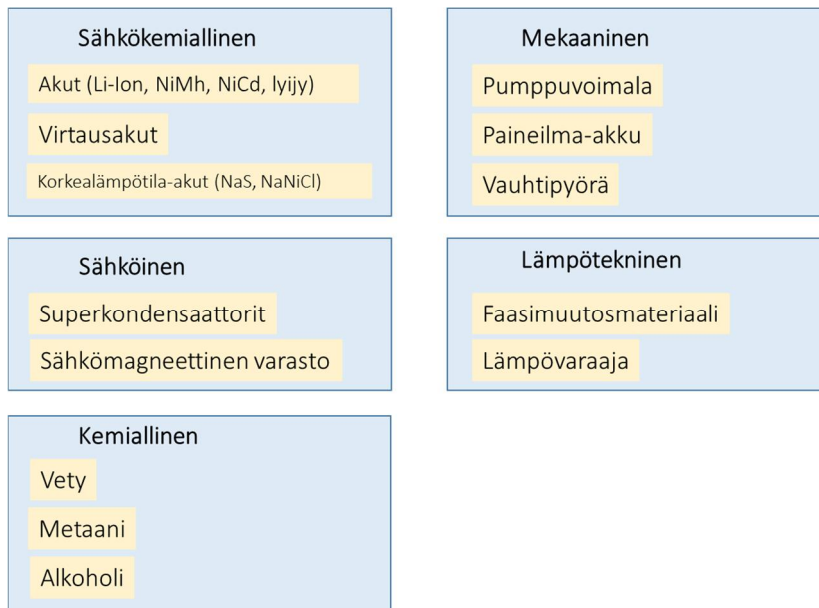
Kuvassa 19 on listattu sähkön ja lämmön varastointitavat ja niiden menetelmät. Lämpötekniinen menetelmä on tarkoitettu lämmön varastointiin. Muut kuvassa listatut menetelmät on tarkoitettu sähkön varastointiin, joskin varastoidusta sähköstä voidaan tarvittaessa tehdä helposti myös lämpöä.

Sähkön varastointi mekaanisena energiana samoin kuin sähköiset varastointimenetelmät (superkondensaattorit ja sähkömagneettinen varasto) on tarkoitettu myös sähköverkossa hetkellisesti olevan ylimääräisen sähkön lyhytaikaiseen varastointiin ja näistä varastoista energia on nopeasti purettavissa paikkaamaan sähköverkossa olevaa lyhytaikaista tarvetta. Tämän varastointimenetelmän itsepurkautuminen on suurta, energiatiheys on pieni ja kustannukset suuria varastoituun energiaan suhteutettuna, joten näiden ominaisuuksien vuoksi se ei sovellu liikuntahalleissa tuotetun sähkön viikko- ja kausivarastointiin.

Kemiallinen varastointi perustuu esimerkiksi veden hajottamiseen elektrolyytisesti vedyksi ja hapeksi. Syntyvä vety voidaan jatkokäsitellä metaaniksi tai alkoholiksi, jolloin energian varastointi on helpompaa ja energian säilyvyys on parempaa. Vedystä saadaan uudelleen sähköä polttokennojen tai polttomoottorien pyörittämien generaattoreiden avulla. Tämä sähkön varastointitapa hukkaa edellä esitetyistä tavoista eniten energiaa. Lataus-purkaus-syklin sähkön hyötysuhde on vain 25 - 40 %, mutta prosessissa syntyy myös paljon lämpöä, joten kokonaisyötysuhde on 65 - 80 %. Menetelmä on erityisen sopiva pitkäaikaiseen varastointiin. Tässä menetelmässä varaston tyhjentyminen itsestään on hyvin hidasta.

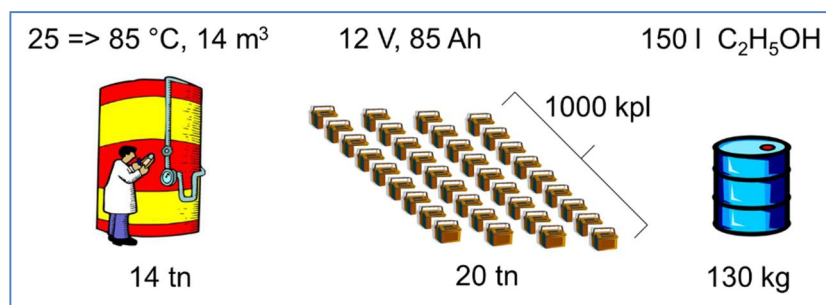
Sähkökemiallinen varastointi perustuu sähkön varastointiin akkuihin, joissa se sitoutuu latauksen aikana elektrolyytiin ja elektrodien kemiallisiin reaktioihin. Akkuja purettaessa reaktiot ovat käänteisiä, jolloin akuista saadaan sähköä.

Kaikissa varastointitavoissa energian hävikki on lämpöenergiaa, mutta sen hyödyntäminen liikuntahallien lämmitykseen voi olla kannattamatonta pienen lämpötilatason ja jaksottaisuuden vuoksi. Toisaalta esimerkiksi akut tulee säilyttää lämmitetyssä tilassa, jolloin hukkalämpöä voidaan käyttää energiavarastotilan lämmittämisessä.



Kuva 19. Sähkö- ja lämpöenergian varastointitavat.

Energian varastointi suuressa mittakaavassa on haasteellista, sillä varastoitua energiaa kohti tarvitaan paljon tilaa ja varasto painaa paljon. Paino on samaa luokkaa kuin lämpimään veteen varastoitavalla energialla. Sen sijaan, jos energiamäärä varastoitaisiin kaasuna tai polttonesteenä, varaston paino ja koko ovat 1/10 - 1/200 akkujen tarvitsemasta tilasta ja painosta. Kuvassa 20 on vertailtu muutaman menetelmän vaatimaa tilantarvetta ja varastointilaitteiston painoa, kun tehtävänä on varastoida 1 MWh lämpö- tai sähköenergiaa.



Kuva 20. Yhden megawattitunnin varastointi lämpönä, sähköinä ja polttoaineena (etanoli).

Energian varastointia ja varastoinnin eri tekniikoita on käsitelty laajemmin VTT:n tutkimusjulkaisussa (Alanen et al., 2003). Vaikka tutkimus on jo 15 vuotta vanha, siinä esitetyt menetelmät ovat edelleen käytössä ja menetelmien kehittyminen koskee lähinnä energiatiheyttä, kestoikää, hyötysuhdetta ja hintaa. Sen sijaan uusien menetelmien ei juuri ole kehitetty julkaisun ilmestymisen jälkeen.

9.1 Sähkön varastointi akkuihin

Sähkö on siinäkin mielessä avainasemassa, että se on tarpeellista myös luonnosta saatavan lämpöenergian hyödyntämisen kannalta. Sähkö pyörittää lämmön siirtämisessä tarvittavia puhaltimia, pumppuja ja kompressoreita. Vaikka ilma- ja maalämpöä on jatkuvasti saatavilla, ilman sähköä niitä ei pystytä hyödyntämään.

Sähkö on myös siinä suhteessa poikkeuksellista, että sähköenergia voidaan muuntaa helposti muun tyyppiseksi energiaksi, kuten liike- ja lämpöenergiaksi. Toisaalta auringonsäteilyn muuntaminen sähköksi ei vielä ole niin tehokasta kuin auringonsäteilyn hyödyntäminen lämpönä.

Liikuntahallien tapauksessa tulee kyseeseen sähköön varastointi akkuihin sähkökemiallisena energiana ja sähköllä vedestä elektrolyytisesti tuotettuun vetyyn tai sitä syntetisoimalla saataviin kaasuihin tai polttonesteisiin kemiallisena energiana.

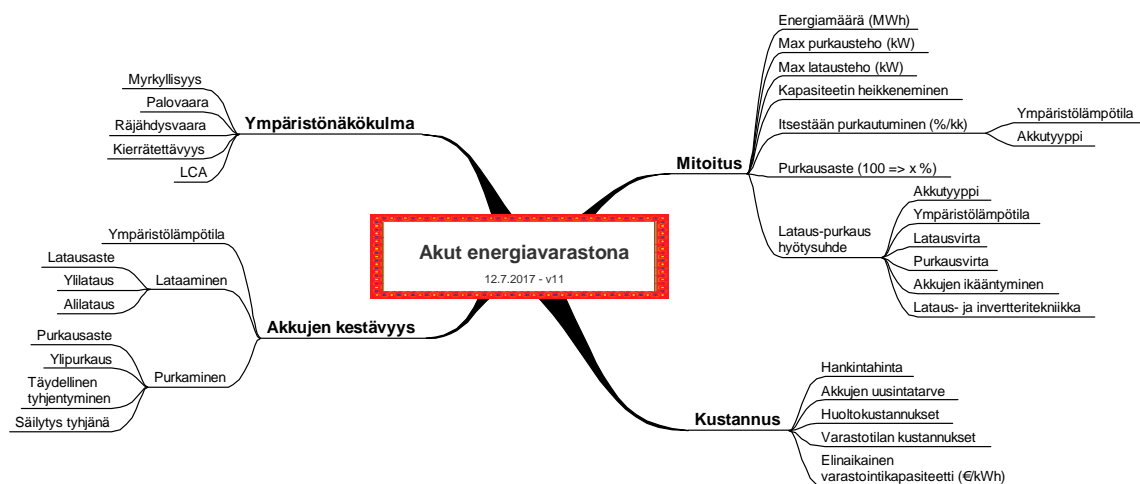
Akkujen etuna on vakiintunut tekniikka ja hyvä lataus-purkaus-syklin hyötysuhde (75 - 95 %). Akkujen haittana on varsin pieni energiatiheys (kWh/m^3 ja kWh/kg), itsepurkautumisen nopeus, rajallinen kestoikä, suurehko hankintahinta ja joillain paloturvallisuusriski.

Yleisimmät akkutyypit ovat:

- Lyijyakku (esim. autojen käynnistysakku)
- Suljettu lyijyakku (esim. aurinkosähköjärjestelmien akku)
- Li-Ion-akku (esim. hybridautot, matkapuhelimet, kannettavat tietokoneet)
- Nikkeli-kadmium-akku (esim. sähkötyökoneet)
- Nikkeli-metallihydridi-akku (esim. kannettavat tietokoneet)
- Virtaus-akku (suuret akkuvarastot)
- Natrium-rikki-akku (suuret akkuvarastot)

Akkujen ominaisuudet ovat tyyppikohtaisia ja akkujen tyyppin valintaa vaikuttavat halutut ominaisuudet. Näitä ovat muun muassa seuraavat tekijät (Alanen et al., 2003):

- latausaika; lyhin aika, joka vaaditaan varaston täyttämiseen tyhjästä täyteen
- itsepurkautuminen; energian katoaminen varastosta itsestään tietyssä ajanjaksossa
- hyötysuhde; osuus, joka saadaan käyttöön varastoitavasta sähköenergiasta (loppu muuttuu lämmöksi latauksen ja purkauksen aikana ja mahdollinen ylilataaminen hajottaa elektrolyytissä olevaa vettä vedyksi ja hapeksi)
- lataus-purkaus-sykli; määrä, jonka aikana varaston kapasiteetti pienenee 80 prosenttiin
- energiatiheys; yhteen kilogrammaan tai litraan varastoitavan energian määrä
- tehotiheys; akuista saatava sähköteho akun painoa tai tilavuutta kohden (kW/kg tai kW/m^3)
- lämpötila-alue; akuston toimintalämpötila-alue
- hinta; varastointikapasiteetin hinta ja pääosin siitä muodostuva akun elinaikanaan varastoiman energian hinta
- turvallisuus; vikatilanteiden luonne ja todennäköisyys, materiaalien myrkyllisyys, komponenttien reaktiivisuus
- ympäristötekijät; materiaalien myrkyllisyys, materiaalien hävittäminen ja kierrättäminen



Kuva 21. Akkujen valintaan ja mitoitukseen vaikuttavat tekijät.

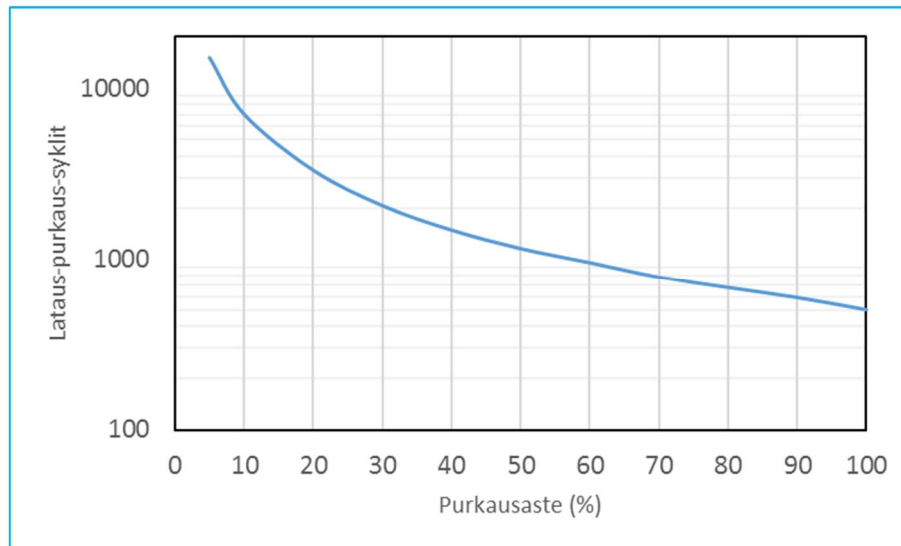
Kuvassa 21 on listattu akkujen valintaan ja mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä. Energiateknisen mitoituksen lisäksi tulee ottaa huomioon akkujen kestävyteen vaikuttavat tekijät ja niiden vaikutus sähkön varastoinnin kustannuksiin. Myöskään ympäristötekijöitä ei pidä unohtaa, sillä monet akuissa käytetyistä aineista on myrkyllisiä, syövyttäviä tai räjähdys- tai palovaarallisia. Kannattaa myös muistaa, että suureen akkuvarastoon on varastoituneena enemmän energiaa kuin ukkosilmalla on yhdessä salamassa, joka on Ilmatieteenlaitoksen mukaan tyypillisesti 140 kWh (<http://ilmatieteenlaitos.fi/perustietoa-ukkosesta>). Akuston mahdollinen oikosulku tai muu äkillinen purkautuminen voi aiheuttaa voimakkaan räjähdys- ja tulipalon.

Akut asettavat vaatimuksia myös lataus- ja purkauselektronikalle sekä säilytysympäristölle. Toiset akkutyypit ovat hyvin herkkiä virheikäytön aiheuttamille vaurioille. Akut voivat tuhoutua jopa yhdestä virheikäytön aiheuttamasta tilanteesta. Vaurioita saattavat aiheuttaa seuraavat tekijät:

- korkea tai matala lämpötila
- ylilataus
- ylipurkaus
- napaisuuden vaihtuminen sarjaan kytkettyjä akkuja purettaessa (syväpurkaus)
- lataaminen osittain purettuna (muisti-ilmiö)
- liian suuri purkausvirta
- säilytys purettuna pitkiä aikoja (esim. talvikausi)

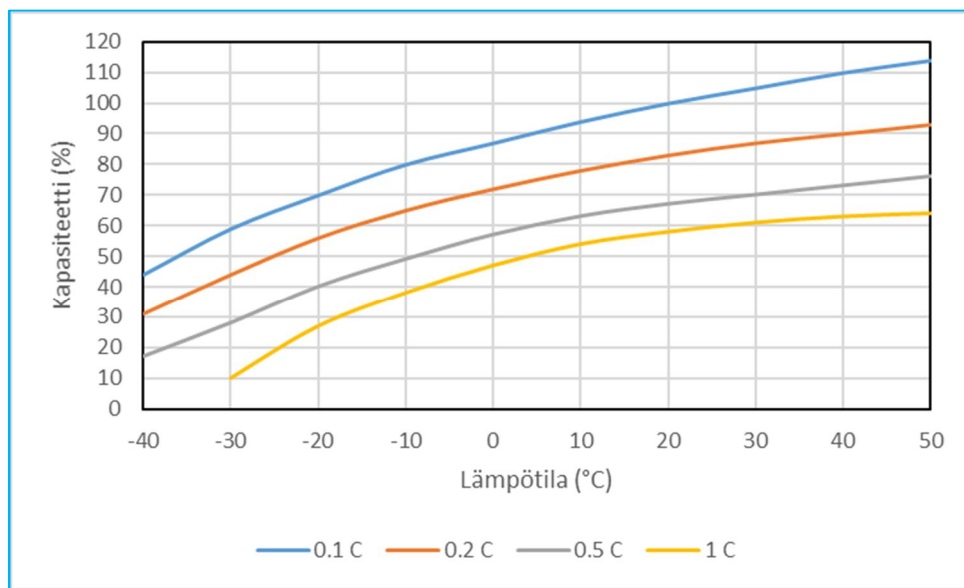
Akkujen elinikään vaikuttavat akkujen tyyppi, toimintalämpötila, purkaus- ja latausvirta, purkauksen aste (kuinka tyhjäksi akku puretaan ennen uudelleenlatausta). Esimerkiksi lyijyakkujen lataus-purkaus-jaksojen määrä on tyypillisesti noin 500 kpl ja Li-Ion-akuilla 1000 - 2000 kpl, kun akut puretaan tyhjäksi ja ladataan täyteen jokaisella syklillä. Jokaisella lataus-purkaus-kerralla akkujen kapasiteetti pienenee alkuperäisestä. Akkujen elinikänä pidetään lataus-purkaus-syklien määrää, jolla kapasiteetti on pienentynyt tasolle 80 % alkuperäisestä. Jotkut valmistajat käyttävät kriteerinä tasoa myös 70 %, jolloin syklien määrä on suurempi.

Mikäli akkuja puretaan vähemmän ja ladataan se sen jälkeen täyteen, joidenkin akkutyypin elinikä pitenee vastaavasti ja samalla eliniän aikana varastoitua energiamäärä kasvaa. Kasvu kuitenkin ei ole kovin suurta, koska kerralla varastoidaan vähemmän energiaa. Lisäksi jotkin akkutyypit, esimerkiksi nikkeli-kadmium-akut, voivat menettää kapasiteettiaan siitä syystä, ettei niitä pureta tyhjäksi ennen uudelleen lataamista. Kyseessä on ns. muisti-ilmiö.



Kuva 22. Esimerkki lyijyakkun käyttöiän (latauskertaa) ja purkausasteen välisestä suhteesta. Käyttöiän ajatellaan olevan lopussa, kun akkujen kapasiteetti on pienentynyt 80 prosenttiin.

Akkujen kapasiteettiin vaikuttavat akun lämpötila ja purkausvirta. Lämpötilan laskiessa ja virran kasvaessa kapasiteetti pienenee. Se, millä tavalla lämpötila ja purkausvirta vaikuttavat, riippuu paljon akun tyypistä ja rakenteesta. Kuvassa 23 on esimerkkinä lyijyakun lämpötila- ja purkausvirtariippuvuus. Kun akkua puretaan 20 °C lämpötilassa virralla, joka vastaa akkuun varastoidun energian purkamista 10 tunnin aikana (0,1 C -virralla), akun kapasiteetti on 100 %. Jos akkua puretaan samalla virralla -20 °C lämpötilassa, akun kapasiteetti pienenee tasolle 70 %. Jos akkua puretaan 20 °C lämpötilassa virralla, joka vastaa akkuun varastoidun energian purkamista 1 tunnin aikana (1 C -virralla), akun kapasiteetti on 60 %. Muillakin akkutyypeillä purkausvirta ja ympäristön lämpötila vaikuttavat käytettävissä olevaan energiamäärään. Käyrien muoto on valmistaja-, akkutyypin- ja kapasiteettikohtainen.



Kuva 23. Lämpötilan ja purkausvirran tyypillinen vaikutus lyijyakun kapasiteettiin. Kuvassa C on akun nimellinen kapasiteetti (Ah) ja purkausvirta 0,10 C on 10 % akun nimelliskapasiteettia vastaavasta purkausvirrasta, jolla akun varaus puretaan 10 h aikana.

Akkujen kehitys on nopeutunut sähköajoneuvojen akkujen tarpeen myötä. Laboratoriossa on kehitetty monia lupaavia tekniikoita, mutta niiden saaminen teolliseen valmistukseen on vielä tutkimuksen kohteena. Akkuteknologian kehittäminen kohdistuu nykyisin seuraaviin teemoihin:

- akun hinta suhteutettuna energiakapasiteettiin (€/kWh)
- energiatiheys (Wh/dm³ ja Wh/kg)
- kestävyys (lataus-purkaus-sykliden määrä)
- toimintalämpötila-alue
- itsepurkautuminen
- akun valmistuksessa käytettävien materiaalien ekologisuus
- käytettyjen akkujen materiaalien kierrätettävyys
- harvinaisten materiaalien tarpeen pienentäminen
- paloturvallisuus
- lataus- ja purkausnopeus

9.2 Sähkön kemiallinen varastointi

Sähköä voidaan varastoida myös kemiallisesti hajottamalla vettä elektrolyytisesti vedyksi ja hapeksi. Syntyvä vety voidaan varastoida sellaisenaan kaasuna tai siitä voidaan tehdä syntetisoimalla metaania tai alkoholia. Vedystä tai siitä tehdystä polttoaineesta saadaan uudelleen sähköä polttokennojen tai polttomoottorien pyörittämien generaattoreiden avulla. Tämä sähkön varastointitapa hukkaa edellä esitetyistä tavoista eniten energiaa. Lataus-purkaus-syklin hyötysuhde on vain 25 - 40 %.

Tämän menetelmän etuna on suuri energiatiheys ja pieni hävikki varastoinnin aikana, jos se säilytetään kaasumaisena tai polttonesteenä. Nesteytetyn kaasun ylläpitäminen vaatii jatkuvasti jäähdytysenergiaa. Kaasun tai polttonesteen käyttö mahdollistaa pitkäaikaisvarastoinnin ja rakennuksen ulkopuolelta tuodun polttoaineen käyttämisen sähköntuotantoon.

9.3 Sähkön varastoinnin kannattavuus

Optimitilanne on, että tuotettu sähkö pystytään käyttämään ilman varastointia. Tällöin varastointikustannuksia ei synny. Aurinkosähkön osalta vuorokautiset ja vuodenajalliset vaihtelut ovat kuitenkin suuria. Jos pyritään kattamaan suuri osa kulutuksesta aurinkosähköllä, sähköä tulee varastoida pimeitä vuorokauden- ja vuodenaikoja varten.

Tällä hetkellä sähkön varastointi akkuihin on tehokkainta ja edullisinta. Sähkön varastoinnin parantamiseen panostetaan voimakkaasti. Tämän vuoksi varastointimenetelmät kehittyvät ja kustannukset halpenevat jatkuvasti. Varastoinnin kehittämisen tarpeen muodostavat sähköautojen kehitys ja uusiutuvan energian varastointi.

Sähkön varastointikustannus muodostuu pääasiassa akuston hankintahinnasta, mutta monissa tapauksissa myös varaston tila- ja käyttökustannukset ovat merkityksellisiä. Varastoidun sähkön kustannus kilowattituntia kohden voidaan arvioida oheisella kaavalla. Se ei ota kuitenkaan huomioon investoinnin korkokustannuksia.

$$\text{Varastointikustannus} = \frac{\text{akkuvaraston investointi- ja käyttökustannus}}{\text{akun kapasiteetti} \times \text{purkausaste} \times \text{purkaussyklist} \times \text{varastoinnin hyötysuhde}} \quad (4)$$

Akkuvaraston kustannukset koostuvat:

- hankintahinnasta
- latauksen ja purkauksen hallintajärjestelmän hinnasta
- invertterin hinnasta (invertteri muuttaa akkujen tasajännitteestä vaihtojännitettä)
- tilakustannuksista (rakentamiskustannukset)
- sähkötoista

Akkuvaraston käyttökustannus sisältää:

- akkujen huollon
- akkujen säilytystilojen lämmityksen ja jäähdytyksen
- säilytystilojen kunnossapidon ja huollon

Akkujen kapasiteetti määritellään täyteen ladatun akun energiavarannon perusteella, kun akku puretaan täysin tyhjäksi. Akkujen kestävyuden kannalta monet akut ovat tyypiltään sellaisia, että ne kannattaa purkaa vain osittain ennen täyteen lataamista. Tällöin akkujen purkausaste on esimerkiksi 50 % täyden 100 % asemesta. Akkujen elinikä (purkaussyklien määrä) kasvaa tässä tapauksessa enemmän kuin kaksinkertaiseksi, mutta silloin akkuja tarvitaan kaksinkertainen määrä saman varauskapasiteetin saavuttamiseksi. Varastoinnin hyötysuhde on aina alle 100 % ja tyypillisesti se on 70 - 90 %. Varastointihäviöt johtuvat:

- latauksen ja purkauksen häviöistä, joissa osa akkuun varastoitavasta sähköstä muuttuu lämmöksi akkujen sisäisen vastuksen vuoksi ja osa hajottaa elektrolyytissä olevaa vettä vedyksi ja hapeksi
- akkujen itsepurkautumisesta, jossa akkujen varaustila pienenee itsestään ajan kuluessa
- johtimien vastuksista, minkä vuoksi osa sähköenergiasta muuttuu lämmöksi
- invertterin häviöistä, jolloin osa sähköenergiasta muuttuu lämmöksi

Varastointikustannus on varastoitua sähköenergiaa kohden merkittävä, minkä vuoksi varaston koko tulee pitää kohtuullisena. Teknologian kehittymisen myötä sähkön varastoinnin kustannus halpenee tulevaisuudessa.

9.4 Lämmön varastointi

Lämmön lyhytaikainen varastointi ei ole niin kallista kuin sähkön varastointi, mutta auringosta saatavan lämmön kausivarastointi kohtuullisin kustannuksin on haasteellista. Jos aurinkolämpökeräimien pinta-ala on niin suuri, että kaikkea kerättyä lämpöenergiaa ei jatkuvasti pystytä hyödyntämään, ylimääräinen energia on kannattavaa varastoida esimerkiksi yöaikoja ja pilvisiä päiviä varten. Sen sijaan lämpöpupulla maasta tai ilmasta saatavaa lämpöä ei kannata tuottaa ylimääräistä, vaan tarpeen mukaan. Tällöin sen varastointikaan ei ole tarpeellista.

Lämmön varastoinnissa käytetään rakennuksissa tyypillisesti lämmöneristettyjä vesisäiliöitä. Nykyisin myös faasimuutosmateriaaleihin perustuva lämmön varastointi on yleistynyt. Faasimuutosmateriaalissa lämpöä sitoutuu ja vapautuu aineen olomuodon muuttumisen seurauksena. Lämpöä sitoutuu, kun aine muuttuu kiinteästä nesteeksi ja lämpöä vapautuu, kun aine muuttuu nesteestä kiinteäksi. Aineiden olomuodon muutokset tapahtuvat muutaman Celsiusasteen alueella. Tämä muutoslämpötila on ainekohtainen ominaisuus samoin kuin faasimuutoksessa sitoutuva ja vapautuva energia. Muutoslämpötilaan voidaan vaikuttaa valitsemalla aine kulloisenkin tarpeen mukaisesti.

Lämpöä siirtyy aineeseen ja aineesta johtumalla ja koska aineiden lämmönjohtavuus on varsin pientä, lämmön siirtymisnopeus on rajallista. Vesivarastossa lämpöä voidaan siirtää tehokkaammin, koska vesi pysyy nesteenä koko ajan, mutta haittana on suurempi lämpötila-alue. Vesivarastoon lämpöä voidaan siirtää kierrättämällä varaston vettä tai sijoittamalla vesisäiliöön lämpökierukka, jossa virtaava vesi siirtää lämpöä varastoon ja sieltä pois.

Taulukko 15. Lämmön varastoinnissa käytettyjen aineiden lämpökapasiteetteja (Alanen et al., 2003). Vedessä ja kivessä ei tapahdu faasimuutosta, vaan lämmön sitoutuminen perustuu aineen ominaislämpökapasiteettiin.

Aine	Lämpötila (°C)	Lämpökapasiteetti (kWh/m ³)
vesi	$\Delta T = 50$	60
kivi (eri kivilajit)	$\Delta T = 50$	28 - 33
Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	24	70
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	30	47
parafiini	20 - 60	56
lauriinihappo	46	50
steariinihappo	58	45
pentaglyseriini	81	59
butyylistearaatti	19	39
propyyliipalmiaatti	19	52

Lämmön siirtyminen varastoon

- vesi voi kiertää paneeleissa
- vesi toimii väliaineena; faasimuutosmateriaali ei siirry
- ongelmana lämmön siirtyminen faasimuutosmateriaaliin materiaalien huonon lämmönjohtavuuden vuoksi
- varastointihäviöt ympäröivään maaperään voivat isossa varastossa olla merkittäviä

Uimahalleissa lämpöenergian tarve on niin suurta, että lämpövaraston koko on myös suuri. Esimerkiksi yhden MWh:n varastointiin tarvitaan 34 m³ kokoinen varasto, jos lämpötilan vaihteluväli on 30 ⇌ 55 °C. Lämpöä voidaan varastoida myös faasimuutosmateriaalin avulla, jolloin lämpötilamuutos on pienempi, mutta varaston koko ei oleellisesti pienene.

Taulukko 16. Rajamäen uimahallin altaiden tilavuus ja lämpötila (<http://www.rajamaen-uh.fi/uimahalli.html>).

Rajamäen uimahalli	Tilavuus (m ³)	Lämpötila (°C)
Kunto- ja kilpauintiallas	963	27
Lastenallas	126	32
Monitoimiallas	114	32
Lämminvesiallas	108	32
Hyppyallas	480	27
Kylmävesiallas	8	8
Yhteensä	1799	

Toinen vaihtoehto on käyttää uima-altaiden vettä lyhytaikaisena lämpövarastona. Mikäli altaiden lämpötilan sallitaan muuttua ± 1 °C (yhteensä 2 °C), altaisiin voidaan varastoida hetkellisesti $1,18 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ K}) \times 1799 \text{ m}^3 \times 2 \text{ K} = 4250 \text{ kWh}$. Tällä lämpövarastoinnilla voidaan kattaa parin pilvisen päivän lämpöenergian tarve. Porin keskustan uimahallissa altaiden vesimäärä on suurempi (yhteensä 2700 m³), joten tähän vesimäärään on mahdollista varastoida enemmän energiaa 2 °C lämpötilan muutoksella (6370 kWh).

Allasveden ja allashuoneen ilman lämpötiloilla on vaikutusta veden haihtumiseen avoimesta allaspinnasta. Jos allasvesi on lähes huoneilman lämpöistä, haihtuminen on suurta. Näin ollen allasveden lämmitäminen tavoitelämpötilaa 1 °C lämpimämmäksi kasvattaa haihtumista, mutta toisaalta haihtuminen tavoitelämpötilaa 1 °C kylmemmän allasveden pinnasta on pienempää. Veden haihtumiseen sitoutunut lämpö voidaan osittain palauttaa kondensoivalla ilmankuivaimella.

Jäähalleissa jääratojen kylmäkoneet tuottavat päällä ollessaan niin paljon lauhdelämpöä, että se kattaa kaiken lämmitystarpeen. Näin ollen lauhdelämpöä ei tarvitse kausivarastoida eikä aurinkolämpöä kerätä.

Uimahalleissa päivällä auringosta tullut ylimääräinen lämpö voidaan varastoida muutamaksi päiväksi esimerkiksi allasveteen. Suuressa vesimäärässä 1 - 2 °C lämpötilan nousu pystyy varastoimaan huomattavan paljon lämpöenergiaa. Lämpöenergian tarve talvikuukausina on niin suurta, ettei lämpöenergian kausivarastoja pystytä rakentamaan.

Kummassakaan hallityypissä erillisistä lämpövarastoista ei ole paljoakaan hyötyä. Jäähalleissa niitä ei tarvita ja uimahalleissa koko kasvaisi niin suureksi, että sellaisen rakentaminen ei kannata.

10. Jäähallin lauhde-energian hyödyntäminen

Jääratojen jäädytys ja jään ylläpito tuottavat runsaasti jääradoista kylmäkoneilla pumpattua lämpöenergiaa lauhdelämpönä. Tätä energiaa ei kannata tuhlaa tuulettamalla se ulkoilmaan, vaan energia voidaan hyödyntää jäähallissa ja muissa rakennuksissa ohessa esitetyillä tavoilla.

Hyötykäytön rajoitteena on matala lämpötilataso, jolloin hyötysuhde ei ole kovin suuri monessakaan tapauksessa. Lauhdelämpötilaa on mahdollista nostaa kylmäkonetta säätämällä, mutta se ei kannata, koska tämä lisää jäädytyksen energiantarvetta ja lauhdelämpönä saatu energia ei kasva yhtä paljon.

10.1 Jääratojen alla olevan maaperän sulana pito

Jääratojen alla oleva maaperän lämpötila laskee pakkaselle, vaikka jääradan alla on lämmöneristekerros. Maaperän jäätyminen aiheuttaa kosteuden kerääntymistä jääradan alle ja maan routimista. Tämän estämiseksi maaperää lämmitetään joko maahan upotettujen lämmitysputkien tai sähkölämmityskaapeleiden avulla.

Kylmäkoneiden lauhdelämpö on lämpötilaltaan matalaa, minkä vuoksi se soveltuu erityisen hyvin jääratojen alla olevan maaperän sulana pitämiseen. Kylmäkoneet tuottavat niin paljon lauhdelämpöä, että maan sulana pito kuluttaa vain pienen osan lämpöenergiasta.

10.2 Jäähallin tilojen lämmitys

Jäähallissa on tiloja, jotka tarvitsevat lämmitystä. Näitä ovat muun muassa katsomo, aputilat, kahvio/ravintola sekä pukeutumis- ja peseytymistilat. Näiden lisäksi myös jääradan yläpuolella olevaa ilmaa tulee lämmittää, jotta luistelijat eivät palelisi. Tilojen lämmittämiseen matalan lämpötilatason lauhdelämpö soveltuu hyvin.

10.3 Käyttö- ja jäänhoitoveden lämmitys

Lauhdetta voidaan järjestelmästä riippuen hyödyntää joko käyttö- ja jäänhoitoveden esilämmittämiseen tai suoraan lämmittämiseen. Käyttötapa riippuu käytettävissä olevan lauhteen lämpötilatasosta.

10.4 Tontilla olevien muiden rakennusten lämmittäminen

Lauhdetta on usein saatavilla enemmän kuin hallissa pystytään hyödyntämään. Tällöin ylijäämälauhdetta kannattaa hyödyntää lähialueella olevien rakennusten tai esimerkiksi läheisen uimahallin tai jalkapallokentän lämmitystarpeisiin.

10.5 Lämmön muuntaminen sähköksi

Lauhdelämpöä voi muuttaa myös sähköksi. Muuttaminen edellyttää lämpötilaeroa, jossa lauhdelämpö edustaa korkeampaa lämpötilaa ja esimerkiksi maaperä matalampaa lämpötilaa. Teoreettinen maksimihyötysuhde on ns. Carnot-hyötysuhde:

$$\eta = 1 - \frac{T_0}{T_1} \quad (5)$$

missä

T_0 = matalampi lämpötila (K)

T_1 = korkeampi lämpötila (K)

Käytännössä kylmäkoneen lauhdelämpötila on vain vähän korkeampi kuin esimerkiksi maaperän lämpötila, jolloin hyötysuhde jää pieneksi. Lisäksi tätä teoreettista maksimihyötysuhdetta ei pystytä käytännössä saavuttamaan, jonka vuoksi lämpöenergiasta saadaan muutettua sähköksi 3 - 10 %. Lämpötilaeron pitäisi olla yli 100 °C, jotta voitaisiin saavuttaa merkityksellisiä hyötysuhteita. Menetelmiä lämpötilaeron muuttamiseksi sähköksi on:

- lämpösähkögeneraattori (TEG)
- Stirling-moottori-generaattori
- orgaaniseen kaasuun perustuva Rankine-kone (ORC)

10.6 Lauhdelämmön myyminen

Jos muuta käyttöä ylijäämälauhteelle ei ole, sen myyminen kaukolämpöverkkoon voi olla yksi ratkaisu. Usein tämä ratkaisu edellyttää lauhteen lämpötilatason nostoa lämpöpumpulla riittävän korkeaksi, jotta sitä voidaan hyödyntää kaukolämpöverkossa. Tämä lisää lämpöpumppujen sähkönkulutusta ja pienentää siten myynnistä saatavaa hyötyä.

11. Energiatekniset simuloinnit

Energiateknisten simulointien tarkoituksena on selvittää, mikä osa uima- ja jäähallien vuotuisesta energiankulutuksesta on katettavissa luonnosta saatavalla energialla. Simuloinneissa varioidaan muun muassa rakennusten lämmöneristystasoa, teknisiä laitteistoja sekä energian keräys- ja varastointikapasiteettia. Tavoitteena on löytää mahdollisimman kustannustehokas ratkaisu kummallekin liikuntahallityypille.

Energiatekniset simuloinnit on tehty IDA ICE -ohjelmalla (IDA Indoor Climate and Energy, <http://www.equa.se/fi/ida-ice>). Laskennassa on käytetty Helsingin vuoden 2012 testisäätä. Helsinki on Suomen testisääpaikkakunnista se, jossa rakennusten energiankulutus on pienin. Näin ollen, jos nollaenergia-liikuntahalli ei toimi Helsingissä, ei se toimi muuallakaan Suomessa.

11.1 Uimahallit

11.1.1 Simuloinnin lähtötiedot



Kuva 24. Uimahallin simulointimalli.

Uimahallin laskennallisten tarkastelujen lähtökohdaksi valittiin Porin keskustan uimahallin, jonka laskentamalli on kuvassa 24. Tämä uimahalli edustaa kooltaan ja muodoltaan nykyisiä uimahalleja. Ainoa poikkeus muihin uusiin uimahalleihin verrattuna on, että Porissa on aurinkolämpö- ja aurinkosähkökeräimet. Laskenta tehtiin IDA-ICE simulointiohjelmalla ja sen erillistä uimahallimallia, mallissa käytetyt perustiedot on esitetty taulukossa 17.

Simuloinneissa ei ole mukana uima-altaiden vedenkäsittelyprosessia, mutta muuten tarkastelu käsittää kaikki tilojen ja ilmanvaihdon lämmön- ja kosteudenhallinnan, altaiden vedenlämmityksen, käyttöveden lämmityksen sekä sähkölaitteiden (saunan kiukaat ja valaistus) energiankulutukset.

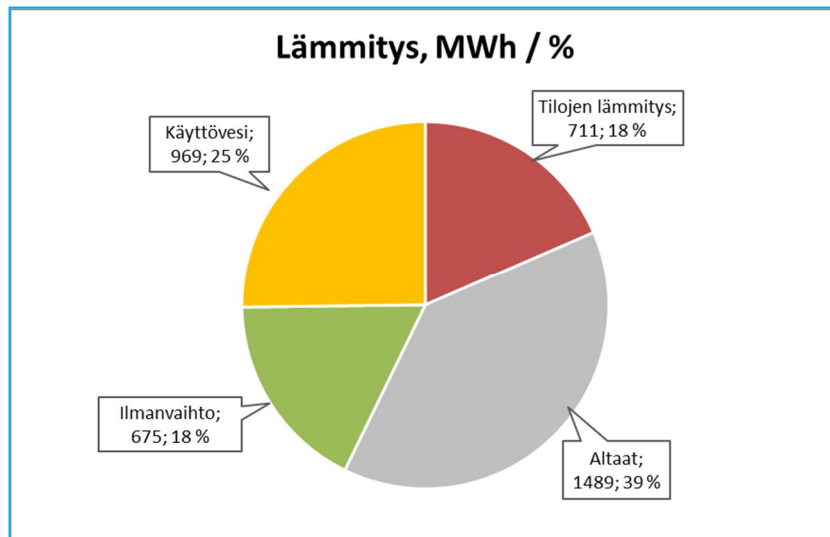
Taulukko 17. Simulointimallin perustiedot.

Laajuustiedot			
Rakennustilavuus	59500 m ³		
Bruttopinta-ala	10880 m ²		
Vaippa			
	Pinta-ala	U-arvo ¹⁾	Ilmanvuotoluku
Ulkoseinä	1800 m ² maan päällä 1080 m ² maan alla	0,17 W/(m ² K)	
Alapohja	4540	0,16 W/(m ² K)	
Yläpohja	4540	0,09 W/(m ² K)	
Ikkunat	900	1,0 W/(m ² K)	
Vaipan ilmanpitävyys			1,0 (m ³ /h m ²)
Ilmanvaihto			
	Palvelualue	Ilmavirta (ulkoilma/kokonaisilma)	Lämmöntalteenoton hyötysuhde
Kone 1, allastilat	päivä yö	2 dm ³ /(s m ²) / 4 dm ³ /(s m ²) 0,15 dm ³ /(s m ²) / 4 dm ³ /(s m ²)	60 %
Kone 2, muut tilat	päivä yö	2 dm ³ /(s m ²) / 0,15 dm ³ /(s m ²) 0,15 dm ³ /(s m ²) / 0,15 dm ³ /(s m ²)	60 %
Altaat			
	Pinta-ala	Veden lämpötila ²⁾	Allastilan ilman lämpötila
Iso allas	1035 m ²	+26 °C	+30 °C
Hyppyallas	140 m ²	+28 °C	+30 °C
Tenava-allas	35 m ²	+30 °C	+30 °C
Nuoriso-/opetusallas	200 m ²	+28 °C	+30 °C
Monitoimiallas	125 m ²	+32 °C	+33 °C
Sähkölaitteet			
Valaistus	9 W/m ²		
Saunan kiukaat	60 kW		
Muut laitteet	0,5 W/m ²		
Lämmin käyttövesi³⁾			
Kokonaiskulutus	16320 m ³ /vuosi		

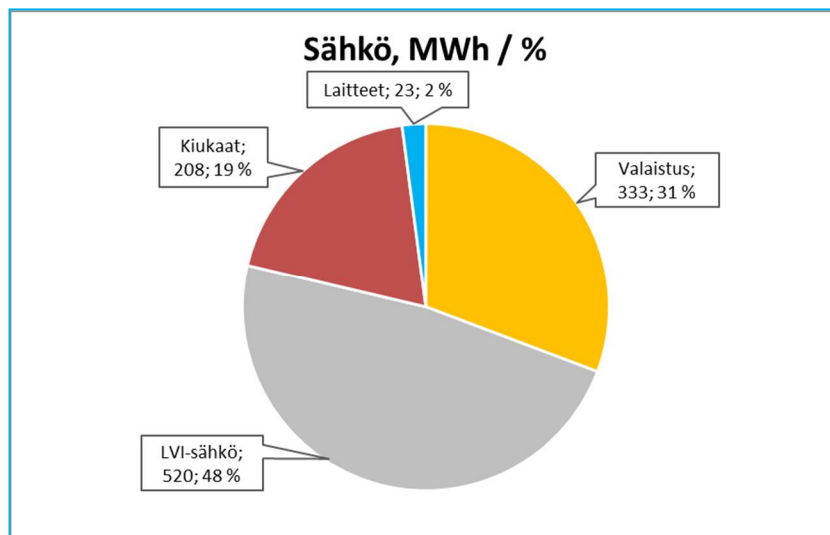
- 1) Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 (2012)
- 2) Ohjetiedosto RT 97-10839
- 3) Vastaa noin 50 % Porin mitatusta kokonaisveden kulutuksesta

11.1.2 Perustapauksen laskennallinen energiankulutus

Perustapauksessa uimahallin kosteudenhallinta hoidetaan ilmanvaihdoilla ja laskennan lähtötiedot ovat taulukon 17 mukaiset. Perustapauksen laskennallinen lämmitysenergiatarve on 3843 MWh/a ja sähköenergiankulutus 1084 MWh/a. Lämmitystarpeen jakauma on esitetty kuvassa 25 ja sähkökulutuksen vastaavasti kuvassa 26.



Kuva 25. Perustapauksen lämmitysenergiatarpeen jakauma, vuotuinen lämmitystarve on 3843 MWh/a.



Kuva 26. Perustapauksen sähköenergiankulutuksen jakauma, sähköenergian vuosikulutus on 1084 MWh/a.

11.1.2.1 Energiansäästötoimenpiteiden laskennallinen tarkastelu

Energiansäästötoimenpiteinä tarkasteltiin useita yksittäisiä ja yhdistettyjä toimenpiteitä, jotka on esitetty yhteenvetona taulukossa 18:

- Tapaus 1: Rakenteiden lämmöneristys voimassa olevan energiamääräysten (D3 2012) mukaan. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde 60 %. Uima-allastilojen ilmankuivaus ulkoilmalla: sisäilman suhteellisen kosteuden ylittäessä 53 % lisätään ulkoilmavirtaa lineaarisesti. Jätevedestä otetaan lämpöä talteen 30 %:n hyötysuhteella.
- Tapaus 2: Muuten kuten tapaus 1, mutta uima-allastilojen ilmankosteuden hallinta hoidetaan ilmanvaihtokoneeseen integroidulla lämpöpumppukuivaimella.
- Tapaus 3: Kuten tapaus 2, mutta poistoilmakanavaan on lisätty lämpöpumppuun liitetty jäähdytyspatteri, jolla poistoilma jäähdytetään +5 °C:een tai 0 °C:een.

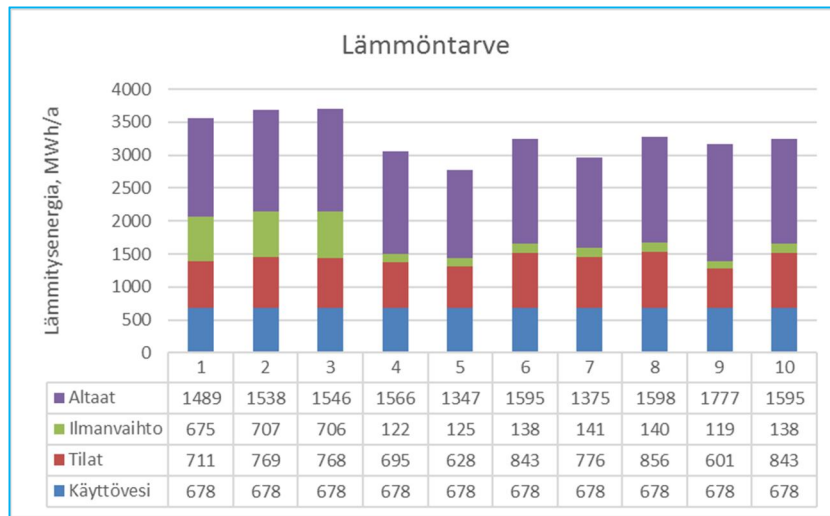
- Tapaus 4: Kuten tapaus 3, mutta hallin ulkovaipan lämmöneristystä on parannettu merkittävästi samoin kuin poistoilman lämmöntalteenottoa (60 % -> 80 %)
- Tapaus 5: Tapaus 4:ään verrattuna on lisätty uima-altaiden peittäminen yön ajaksi
- Tapaus 6: Kuten tapaus 4, mutta valaistus on totutettu energiatehokkaalla valaistuksella (12 W/m² -> 3 W/m²)
- Tapaus 7: Kuten tapaus 6 lisättyä uima-altaiden peittäminen yön ajaksi
- Tapaus 8: Kuten tapaus 4, mutta saunojen lämmöneristystä on parannettu merkittävästi (U-arvo puolitetty)
- Tapaus 9: Kuten tapaus 4, mutta uima-allastilojen sisälämpötila on laskettu (+30 °C -> +28 °C). Poikkeuksena monitoimiallastila, jossa on sama lämpötila kuin muissakin laskelmissa (+33 °C).
- Tapaus 10: Kuten tapaus 4, mutta uima-allastilojen sisälämpötila on laskettu (+30 °C -> +28 °C). Poikkeuksena monitoimiallastila, jossa on sama lämpötila kuin muissakin laskelmissa (+33 °C).

Taulukko 18. Tarkastellut uimahallin energiansäästötoimenpiteet.

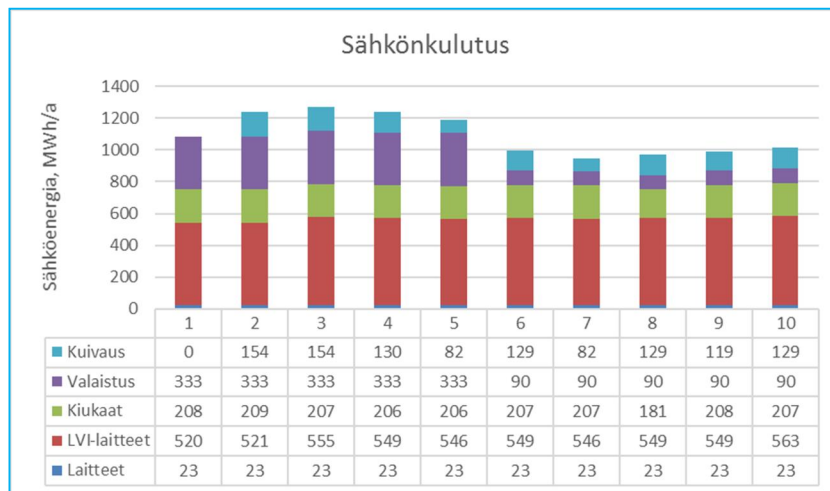
Tapaus / toimenpide	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3	Tapaus 4	Tapaus 5	Tapaus 6	Tapaus 7	Tapaus 8	Tapaus 9	Tapaus 10
Jäteveden lämmöntalteenotto (30 %)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ilman lämpöpumppukuivaus		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Vaipan lämmöneristävyyden parantaminen				X	X	X	X	X	X	X
IV:n tehostettu lämmöntalteenotto				X	X	X	X	X	X	X
Energiatehokas valaistus						X	X	X	X	X
Uima-altaiden yöpeitteet					X		X			
Saunan lisäeristys								X		
Allastilojen ilman lämpötila + 28 °C									X	
Poistoilman tehostettu lämmöntalteenotto allastilojen IV-koneesta			X	X	X	X	X	X	X	X
Poistoilman tehostettu lämmöntalteenotto muiden tilojen IV-koneesta										X

Tuloksista nähdään, että lämpöpumppukuivaus (tapaus 2) lisää sekä lämmöntarvetta, että sähkönkulutusta verrattuna ilmanvaihtokuivaukseen (tapaus 1). Toisaalta lämpöpumppukuivauksella hallin olosuhteet pysyvät paremmin hallinnassa ja kuivaimen tuottamalla lämmöllä voidaan kattaa osa lämmöntarpeesta. Lisäjäähdytyspatterin lisäys poistoilmaan (tapaus 3) lisää hieman ainoastaan sähkönkulutusta. Tätä lisäpatteria käytetään poistoilmalämpöpumpun lämmönlähteenä.

Vaipan parempi lämmöneristys ja ilmanvaihdon LTO:n hyötysuhteen parantaminen (tapaus 4) vähentää sekä lämmön- että sähköntarvetta. Tähän lisättyä uima-altaiden yöpeitot (tapaus 5) vähentää edelleen lämmön ja sähkön tarvetta. Energiatehokkaaseen valaistukseen siirtyminen (tapaus 6) lisää tilojen lämmöntarvetta mutta toisaalta pienentää merkittävästi sähköntarvetta. Altainen peittäminen yöksi (tapaus 7) toisi lisäsäästöjä sekä lämmitykseen että sähkönkulutukseen, mutta teknisistä, huollollisista ja hygieenisistä syistä tätä säästötoimenpidettä ei ole otettu huomioon myöhemmissä tarkasteluissa.



Kuva 27. Laskettujen tapausten vuotuiset lämmitysenergiantarpeet.



Kuva 28. Laskettujen tapausten vuotuiset sähköenergiankulutukset.

Saunan kiukaiden sähkökulutus on uimahallissa merkittävä kulutuskohte, joten tapaus 8:ssa tutkittiin saunan seinien-, kattojen, -ja lattioiden lisäeristämisen vaikutusta energiankulutuksiin. Eristepaksuuden kaksinkertaistaminen (seinissä 15 cm -> 30 cm) vähensi kiukaiden sähkökulutusta vain runsaat 10 %, joten lisäeristäminen yksinään ei ole riittävä ratkaisu.

Allastilojen ilman lämpötilan lasku (+30 °C -> +28 °C) pienentää vain hieman lämmitystarvetta (tapaus 9, vertailukohta tapaus 6). Sähkökulutukseen tällä toimenpiteellä ei ole vaikutusta. Syynä vain vähäiseen lämmitysenergian laskuun on, että vaikka tilojen lämmitystarve vähenee, niin altaiden lämmitystarve kasvaa haihtumisen lisääntyessä.

Viimeisessä tapauksessa (tapaus 10) lisäjäähdytyspatterin lisääminen muiden kuin allastiloja palvelemaan ilmanvaihtokoneeseen lisää vain marginaalisesti sähkökulutusta.

Kaikissa tarkastelutapauksissa on käytetty jäteveden passiivista lämmöntalteenottoratkaisua, jolla käytöveden lämmitystarve pienenee 30 %.

11.1.2.2 Energiantuottotarkasteluja

Energiantuottotarkastelut on tehty hallin energiansäästötapaukselle Tapaus 6, joka sisältää ilmankosteuden hallinnan lämpöpumpulla, passiivitason vaipan lämmöneristyksen ja tehokkaan poistoilman lämmöntalteenottoratkaisun (hyötysuhde 80 %) ja energiatehokkaan valaistuksen sekä jäteveden lämmöntalteenoton (hyötysuhde 30 %).

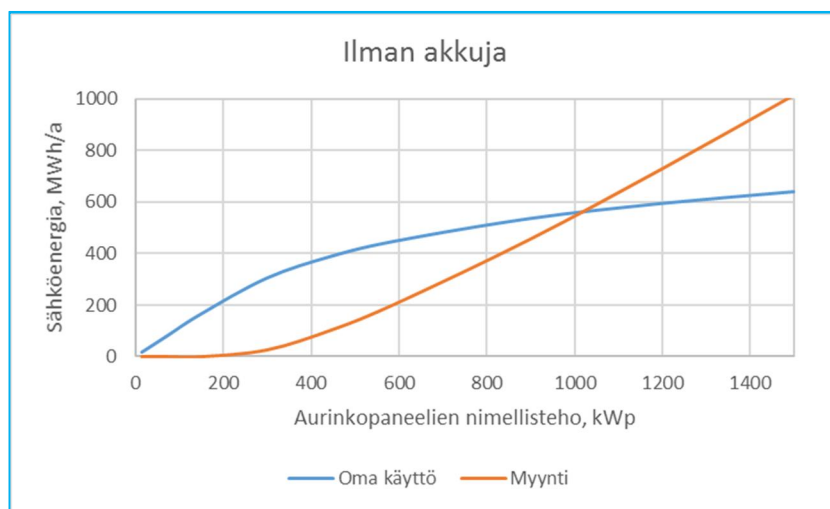
Tarkasteluissa on otettu huomioon yksittäisiä toimenpiteitä sekä eri toimenpiteiden yhdistelmiä. Tarkastelut on tehty seuraaville tapauksille:

- esimerkkitarkastelu sähköntuotosta PV-paneeleilla
- esimerkkitarkastelu PV-järjestelmän ylijäämänsähkön käytöstä hallin lämmitykseen
- poistoilmalämpöpumpun lämmöntuottotarkastelu
- aurinkosähkön käytön maksimointi
- aurinkolämmön käytön maksimointi
- realistinen aurinkolämmön ja -sähkön toteutusratkaisu

11.1.2.2.1 Esimerkki sähköntuotosta

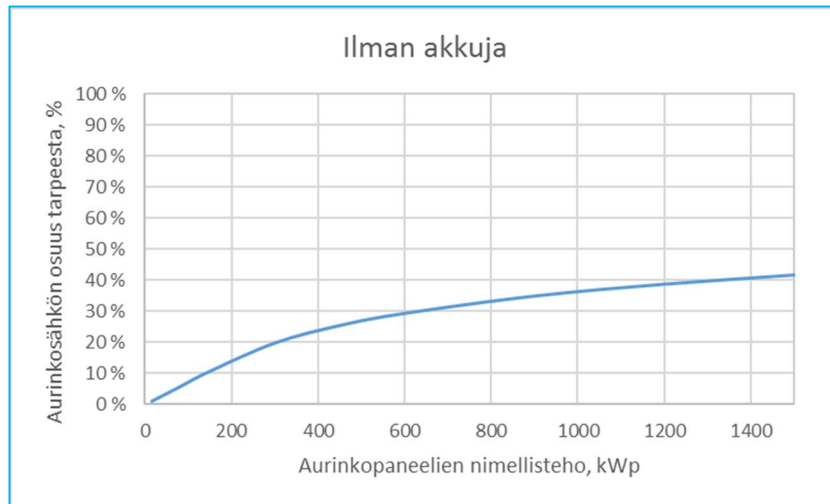
Lämmöntuotannossa on käytössä aurinkokeräimet (500 m²) ja poistoilmalämpöpumppu, joka ottaa lämpöä talteen allasaluetta palvelevasta ilmanvaihtokoneesta. Poistoilmalämpöpumpulla ajetaan hallista poistettava ilma + 5 °C:een ilmanvaihdon noudattaessa normaalia vuorokausirytmää (päivällä 2 dm³/(s m²), yöllä päivällä 0,15 dm³/(s m²)). Sähköntarve muodostuu laskennallisista valaistus, LVI-laitteiden (pumput + puhallimet), saunojen sähkökiukaiden, ilman kuivauksen ja poistoilmalämpöpumpun kulutuksista. Mainittakoon, että poistoilmalämpöpumpun sähköntarpeeseen vaikuttaa valittu aurinkokeräinmäärä pienentäen kulutusta kesäkuukausina.

Sähköntuotannossa on tarkasteltu erilaisia aurinkopaneeliratkaisuja (PV) ilman akustoa ja akuston kanssa. Seuraavassa on ensin esitetty PV-tuotannon ja sähköntarpeen suhteita, kun akustoa ei ole käytettävissä. Tarkastelussa PV-paneelien kokonaishyötysuhteeksi on valittu 15 % ja paneelit on asennettu etelän suuntaan 45 ° kulmaan, paneeleilla ei ole minkäänlaista varjostusta. Sähköntarpeen ja PV-paneelien tuoton tarkastelu on tehty tuntitasolla. Kuvassa 29 on esitetty paneeleilla tuotetun sähkön jakautuminen omaan käyttöön ja myyntiin menevään sähköenergiaan. Kuvasta nähdään, että lähes kaikki PV-paneelien sähkö menee omaan käyttöön, kun paneelien huipputeho jää alle 300 kWp (pinta-ala alle 2000 m²).



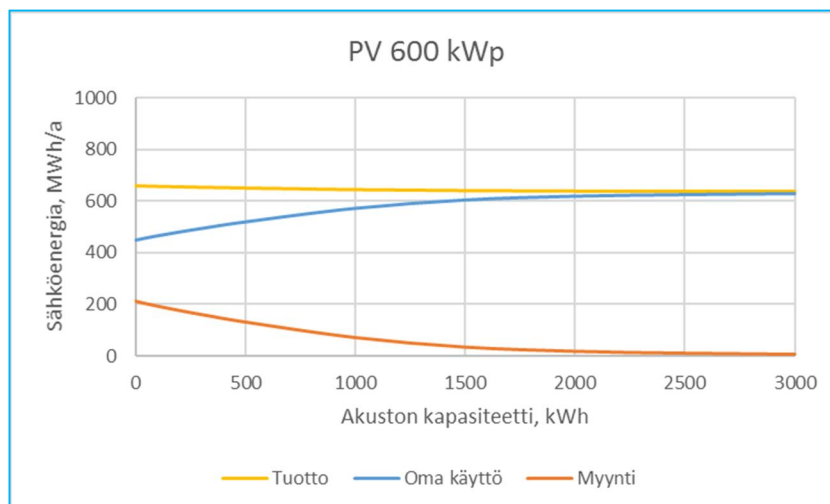
Kuva 29. PV-paneelien tuotannon jakautuminen omaan käyttöön ja myyntiin paneelien nimellistehon funktiona.

Kuvassa 30 on esitetty aurinkosähkön osuus sähkökulutuksesta eri paneelimäärillä. Tuloksista havaitaan, että tarkastelluilla paneelien nimellistehoilla voidaan maksimissaan kattaa runsaat 40 % sähkötarpeesta, joskaan maksimimäärän edellyttämä PV-paneelimäärä ei ole taloudellisesti järkevä ratkaisu.



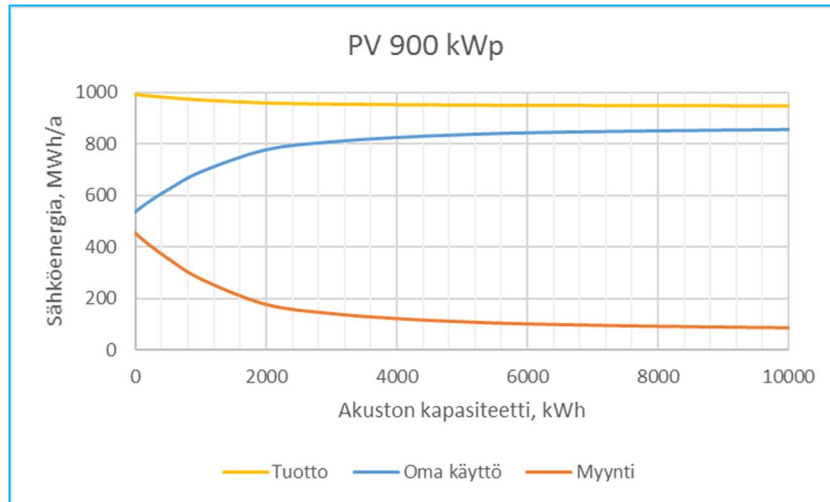
Kuva 30. PV-paneelien nimellistehon vaikutus aurinkosähköosuuteen sähkön kokonaistarpeesta.

Seuraavassa on tarkasteltu akkujen vaikutusta PV-paneelilla tuotetun sähkön oman käytön osuuteen ja myytävään sähköön. Tarkastelut on tehty kahdella PV-paneelien nimellisteholla: 1) 600 kWp ja 2) 900 kWp. Valinnan perusteina ovat, että kyseiset määrät vielä mahdollistavat tarkastellun hallin katolle ja toisaalta kyseisillä paneelimäärillä jää varastoitavaa sähköä, jolla voidaan suurentaa aurinkosähkön oman käytön osuutta. Kuvassa 31 on esitetty akuston kapasiteetin vaikutuksia aurinkosähkön omakäyttöön, myyntiin ja tuottoon, kun PV-paneelien nimellisteho on 600 kWp ja pinta-ala 4000 m² oletushyötysuhteella 15 %. Akuston lataus-purkusyklin hyötysuhteeksi on valittu 88 % ja itsepurkautuvuudeksi 2 % / kuukausi. Häviöllisen akuston vaikutus näkyy hienoisena tuoton hiipumisena (kuva 31). Tuloksista nähdään, että PV-paneelien tuotannon täysimääräiseen hyödyntämiseen tarvitaan kapasiteetiltaan yli 2000 kWh:n akusto.

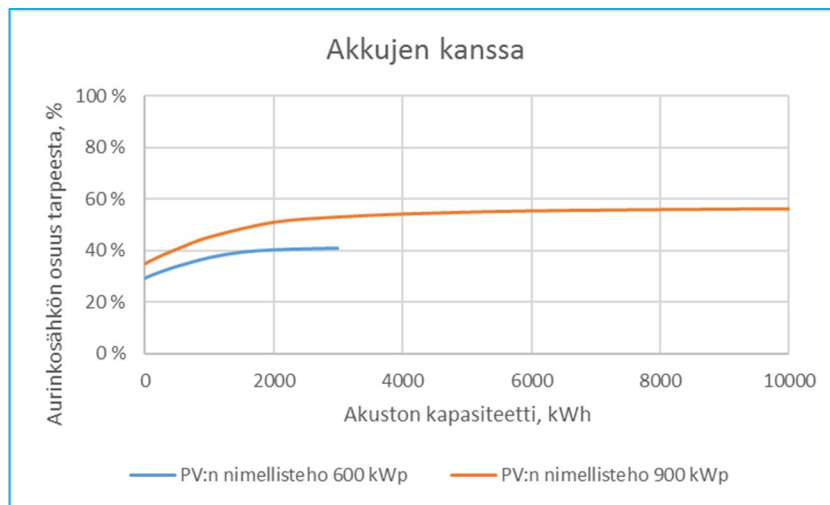


Kuva 31. Akuston kapasiteetin vaikutus aurinkosähkön hyödyntämiseen uimahallissa, kun PV-paneelien nimellisteho on 600 kWp (pinta-ala 4000 m² hyötysuhteella 15 %).

Kuvassa 32 on esitetty tulokset PV-paneelien nimellisteholla 900 kWp. Tuloksista nähdään, että aurinkosähkön omaomakäyttö ei merkittävästi enää kasva, jos akuston kapasiteetti on yli 4000 kWh. Akuston käytöllä voidaan kasvattaa aurinkosähkön oman käytön osuutta, kuva 33. PV-paneelien nimellisteholla 600 kWp aurinkosähkön osuutta sähköntarpeesta voidaan kasvattaa 30 %:sta 40 %:iin ja 900 kWp:n nimellisteholla 35 %:sta noin 55 %:iin.



Kuva 32. Akuston kapasiteetin vaikutus aurinkosähkön hyödyntämiseen uimahallissa, kun PV-paneelien nimellisteho on 900 kWp.



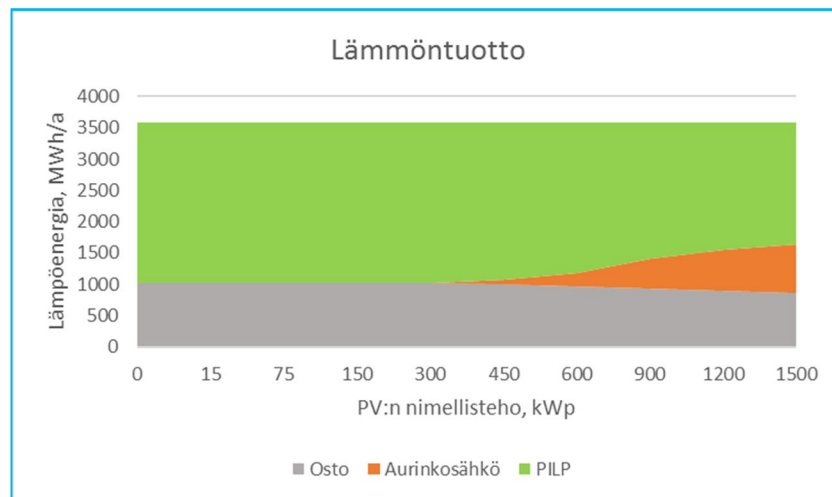
Kuva 33. Akuston kapasiteetin vaikutus aurinkosähkön osuuteen sähkön kokonaistarpeesta.

Uimahallin koko sähköntarpeen kattamiseksi tarvittaisiin nimellisteholtaan noin 1500 kW:n (vastaa 10000 m² hyötysuhteella 15 %) PV-laitteisto ja sen rinnalle kapasiteetiltaan 500 MWh:n akusto. Tällaisen järjestelmän investointihinnaksi tulisi nykyisillä hinnoilla ja tekniikalla arviolta 200 M€. Suuren epävarmuuden kustannukseen aiheuttaa akuston hinta. Tarvittava akuston koko (500 MWh) olisi tällä hetkellä maailman suurin yksikkö, sillä tämän hetken suurin akusto on Australiassa ja sen kapasiteetti on 129 MWh.

11.1.2.2.2 Esimerkki lämmöntuotosta

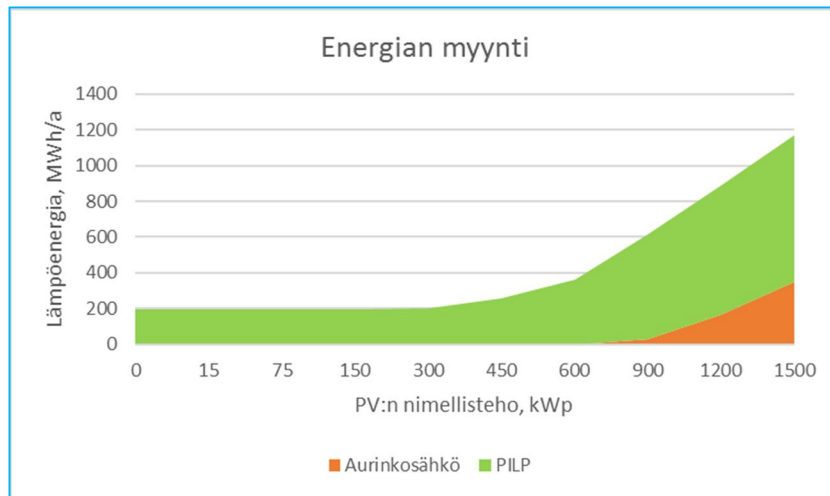
Lämmöntuotannossa on käytössä PV-paneelien ”ylijäämä sähkö” ja poistoilmalämpöpumppu (PILP), joka ottaa lämpöä talteen allasaluetta palvelevasta ilmanvaihtokoneesta. PV-paneelien tuotantoa on tarkasteltu ilman akustoa. Poistoilmalämpöpumpulla ajetaan hallista poistettava ilma + 5 °C:een ilmanvaihdon noudattaessa normaalia vuorokausirytmää (päivällä 2 dm³/(s m²), yöllä päivällä 0,15 dm³/(s m²) ja poistoilmalämpöpumpun lämpökertoimeksi on oletettu vakio 3,5. PV:n ja poistoilmalämpöpumpun lämmöntuotanto on laskettu pienellä lämpövaraajalla (vesivaraajan koko 25 m³). Lämmöntarve muodostuu laskennallisista uimahallin vaipan lämpöhäviöistä, ilmanvaihdon lämmöntarpeesta, allasvesien lämmityksestä, ilman kuivauksen aiheuttamasta lämmöntarpeesta sekä käyttöveden lämmityksestä.

Laskennan tulokset lämmöntuotannon osalta on esitetty kuvassa 34. Poistoilmalämpöpumppu kattaa yli 70 % lämmöntuotannosta ja ostenergia vajaan 30 % niin kauan, kunnes aurinkosähkötuotannosta jää omakäytön jälkeen käytettäväksi lämmityksessä. Aurinkosähkön käyttö lämmitystarkoitukseen alkaa, kun paneelien nimellisteho on suurempi kuin 300 kWp. Tarkastelulla suurimmalla PV:n nimellisteholla (1500 kWp) aurinkosähkö kattaa runsaat 20 %, poistoilmalämpöpumppu 55 % ja ostenergia 25 % lämmöntarpeesta. Aurinkosähkön hyödyntäminen lämmitykseen pienentää siten hieman (5 %) ostenergiatarvetta.

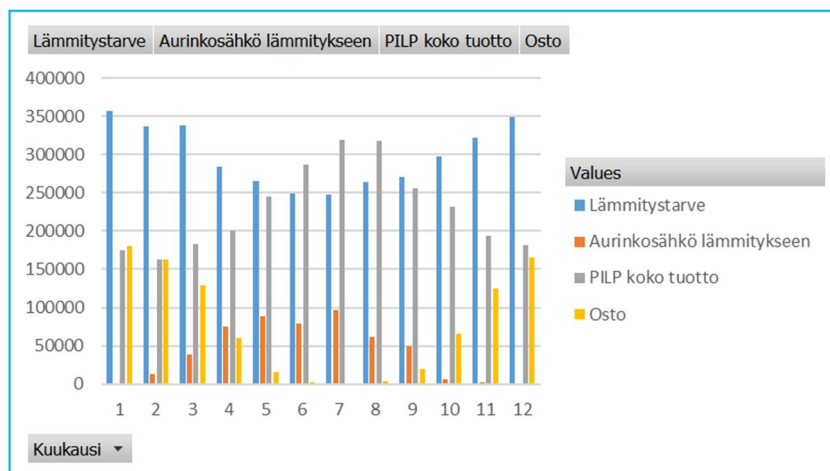


Kuva 34. Aurinkosähkön nimellistehon vaikutus aurinkosähkön määrään lämmöntuotannosta.

Poistoilmalämpöpumpun ja aurinkosähkön lämmöntuotto ylittää ajoittain lämmöntarpeen, joten lämpöä ja aurinkosähköä jää vielä myytäväksikin, kuva 35. Esimerkki kuukausittaisista lämmöntarpeista ja lämmöntuotoista on esitetty kuvassa 36. Esimerkistä käy ilmi, että aurinkosähkön ja poistoilmalämpöpumpun ylituotantoa on kesäkuukausina toukokuusta syyskuuhun.



Kuva 35. Aurinkosähkön nimellistehon vaikutus aurinkosähkön osuuteen myytävästä energiasta.



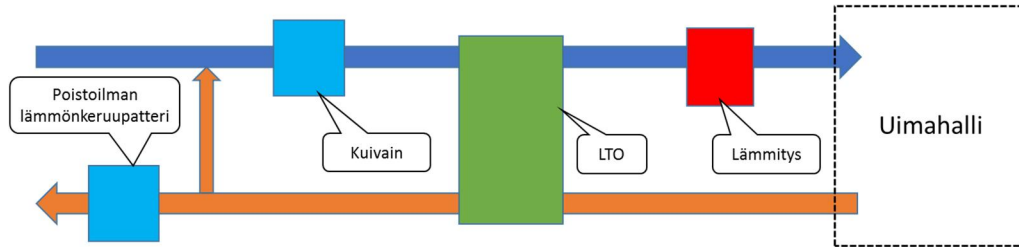
Kuva 36. Kuukausittaiset lämmöntarpeet ja -tuotot. Aurinkosähköjärjestelmän nimellisteho on 900 kWp.

11.1.2.2.3 Poistoilmalämpöpumpun lämmöntuotto

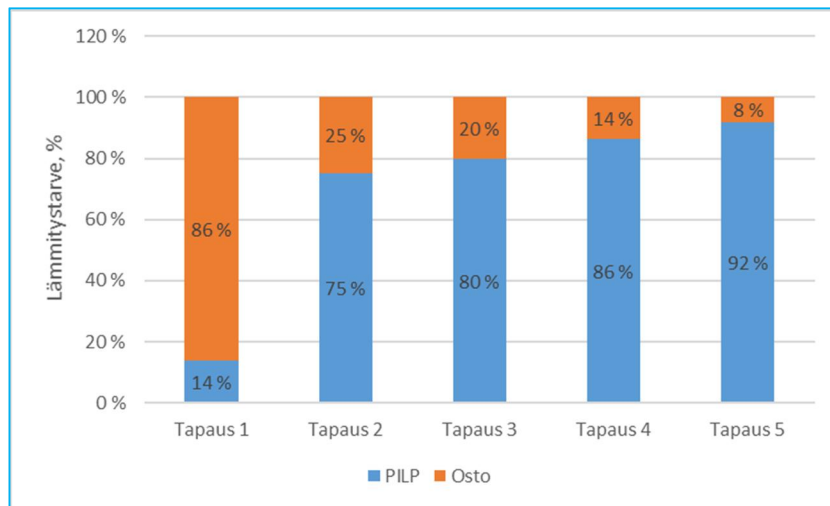
Seuraavassa on tarkasteltu poistoilmalämpöpumpun (PILP) lämpöenergian tuottoa ja sen hyödyntämistä uimahallin lämmityksessä lämmön talteenoton eri tapauksissa. Tarkastelun kohteena on ollut seuraavat tapaukset:

1. Lämpöä otetaan talteen vain ilmankuivainpatterista.
2. Lämpöä otetaan talteen sekä ilmankuivainpatterista että allastilojen ilmanvaihtokoneen erillisestä poistoilman lämmöntalteenottopatterista (kuva 37). Poistoilman lämpötilan asetusarvo +5 °C.
3. Lämpöä otetaan talteen sekä ilmankuivainpatterista että allastilojen ja muiden tilojen ilmanvaihtokoneiden erillisistä poistoilman lämmöntalteenottopattereista. Poistoilman lämpötilan asetusarvo +5 °C.
4. Lämpöä otetaan talteen sekä ilmankuivainpatterista että allastilojen ilmanvaihtokoneen erillisestä poistoilman lämmöntalteenottopatterista. Poistoilman lämpötilan asetusarvo +0 °C.

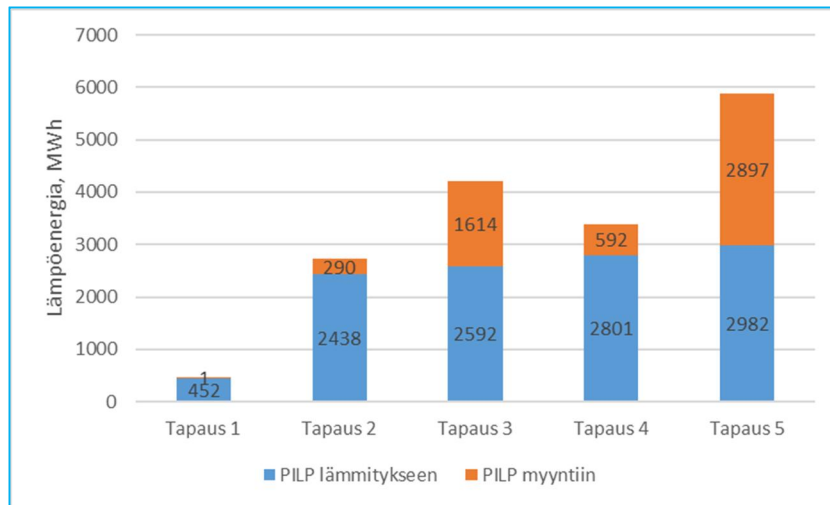
5. Lämpöä otetaan talteen sekä ilmankuivainpatterista että allastilojen ja muiden tilojen ilmanvaihtokoneiden erillisistä poistoilman lämmöntalteenottopattereista. Poistoilman lämpötilan asetusarvo +0 °C.



Kuva 37. Uima-allastilojen ilmanvaihtokoneen periaatteellinen toimintakaavio ja poistoilmalämpöpumpun lämmönkeruupattereiden sijoitus (kuivain ja poistoilman lämmönkeruupatteri).

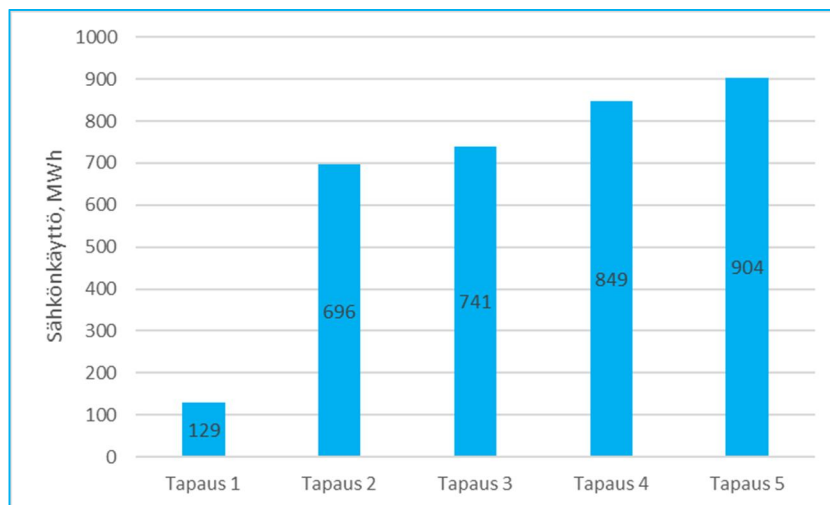


Kuva 38. Poistoilmalämpöpumpun osuus lämmöntarpeesta eri tapauksissa.



Kuva 39. Poistoilmalämpöpumpun kokonaistuotto, lämmityksessä hyödynnettävissä oleva määrä ja myytävä lämpöenergia.

Samalla kun poistoilmalämpöpumppu säästää merkittävässä määrin lämmitysenergiaa, se samalla lisää sähköenergiankäyttöä, kuva 40. Kuvassa esitetyt sähkönkulutukset vastaavat tilannetta, jolloin PILP:n tuottoa rajoitetaan, kun ei ole lämmitystarvetta.



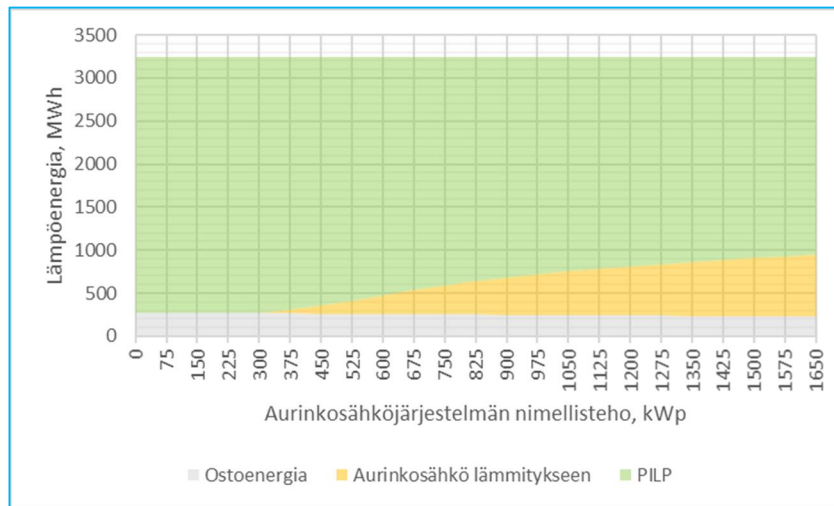
Kuva 40. Poistoilmalämpöpumpun sähkönkäyttö esimerkkitapauksissa.

11.1.2.2.4 Aurinkosähkön maksimointi

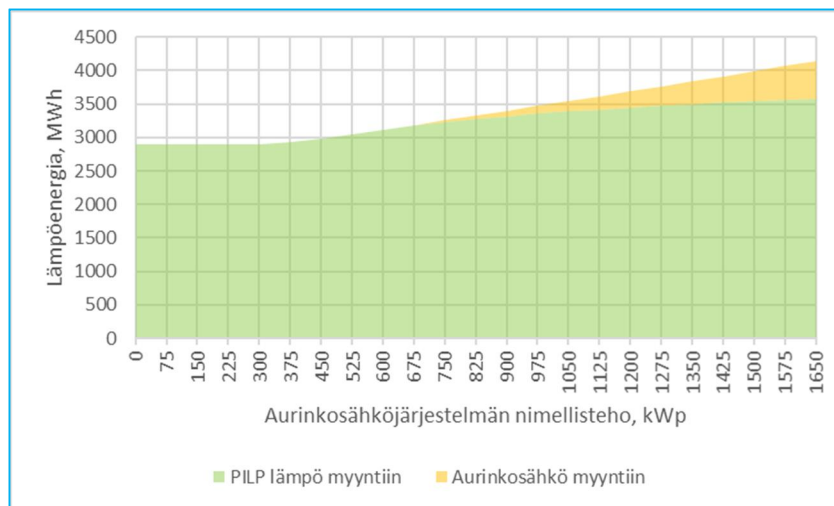
Aurinkosähkön käytön maksimointia tarkasteltiin järjestelmällä, jossa aurinkosähköntuotannon ylijäämää käytetään ensin lämmitykseen, jos voidaan, ja vasta sitten myydään verkkoon. Akustoa tässä tarkastelussa ei käytetty. Poistoilmalämpöpumpun lämmöntuotantoa ajetaan suurimmalla mahdollisella tuotolla eli poistoilman lämpötilana on 0 °C ja lämpöä otetaan ilmankuivaimesta, allas-alueen ilmanvaihtokoneesta sekä muiden tilojen ilmanvaihtokoneesta. Aurinkolämpöä ei tässä tarkastelussa ole lainkaan.

Kuvassa 41 on esitetty aurinkosähkön käytön vaikutukset lämmöntuotantoon. Laskennassa on oletettu akuton aurinkosähkijärjestelmä, jolloin ylijäämä, jota ei saada käytetyksi hallissa hyödynnetään ensin hallin

lämmitykseen ja vasta toissijaisesti myydään sähköverkkoon. Tuloksista nähdään, että aurinkosähkö saadaan käytettyä kokonaisuudessaan uimahallissa, kun järjestelmän nimellisteho on alle 300 kWp. Suuremmilla järjestelmillä osa sähköstä voidaan hyödyntää lämmityksessä, jolloin sähkö korvaa lähinnä poistoilmalämpöpumpun osuutta lämmityksessä ja ostoenergiaa pystytään korvaamaan vain vähäisessä määrin. Tämä selittyy sillä, että sekä poistoilmalämpöpumpun että aurinkosähkön tuotanto on suurimmillaan päiväsaikaan. Sekä poistoilmalämpöpumpun lämpöä, että aurinkosähköä on mahdollista myydä vielä ulos, jota on havainnollistettu kuvassa 42. Ylijäämäenergia ajoittuu kummassakin tapauksessa kesäkaudelle (huhtikuu - lokakuu).



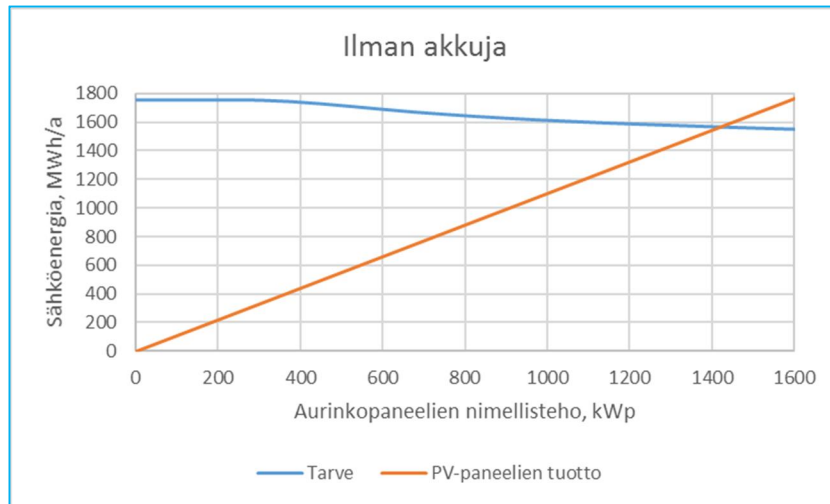
Kuva 41. Lämmöntuottoprofiili aurinkosähkijärjestelmän nimellistehon funktiona.



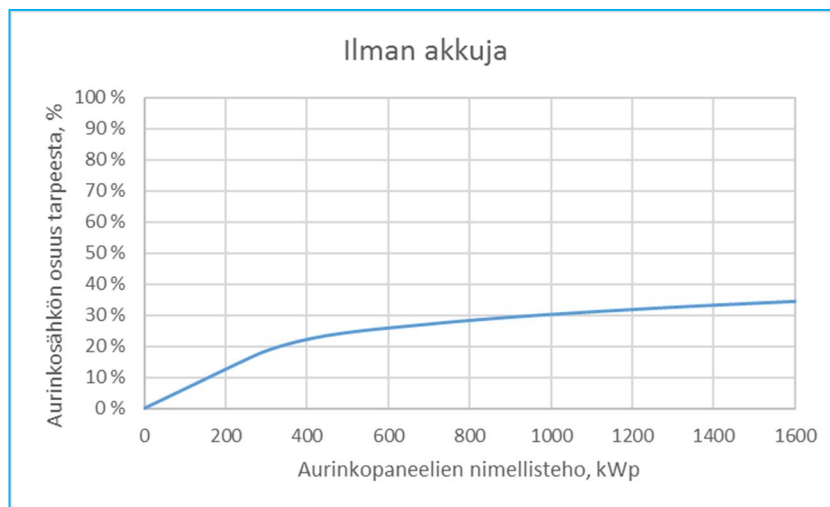
Kuva 42. Myytäväksi jäävä energia.

Seuraavassa on tarkasteltu aurinkosähkön vaikutuksia uimahallin sähkönkäyttöön. Aurinkosähkijärjestelmän tuotanto kattaa vuositasolla uimahallin sähkötarpeen, kun PV-järjestelmän nimellisteho on suurempi kuin 1400 kWp, kuva 43. Ilman akustoa PV-tuotantoa ei kuitenkaan pystytä täysimääräisesti hyödyntämään

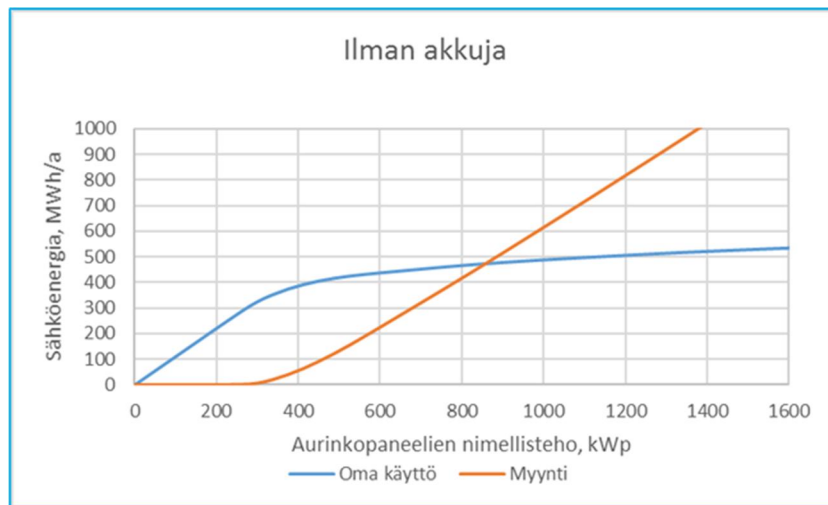
ja aurinkosähkön osuus sähkönkäytöstä jää maksimissaan noin 35 %:iin, kuva 44. Aurinkosähkön tuotannosta yli jäävän sähkön käyttö lämmitykseen vaikuttaa kokonaissähkötarvetta alentavasti, koska se korvaa poistoilmalämpöpumpun lämmöntuotantoa, jolloin lämpöpumpun sähkötarve laskee (kuva 43).



Kuva 43. Sähkötarve ja aurinkopaneelien tuotto nimellistehon funktiona.

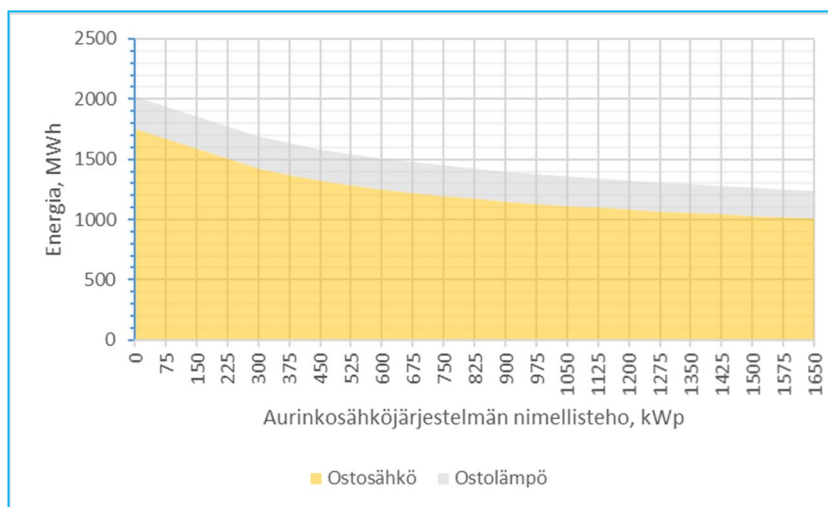


Kuva 44. Aurinkosähkön osuus kokonaissähkötarpeesta.



Kuva 45. Aurinkosähkön omakäyttö ja lämmitykseen sekä myyntiin jäävä sähköenergia.

Kuvassa 45 on vielä esitetty aurinkosähkön omaan käyttöön menevä osa ja ylijäämä osa. Ostoenergiaa voidaan tällä järjestelmällä vähentää merkittävästi, mistä suurin osa on poistoilmalämpöpumpun ansiota, kuva 46.

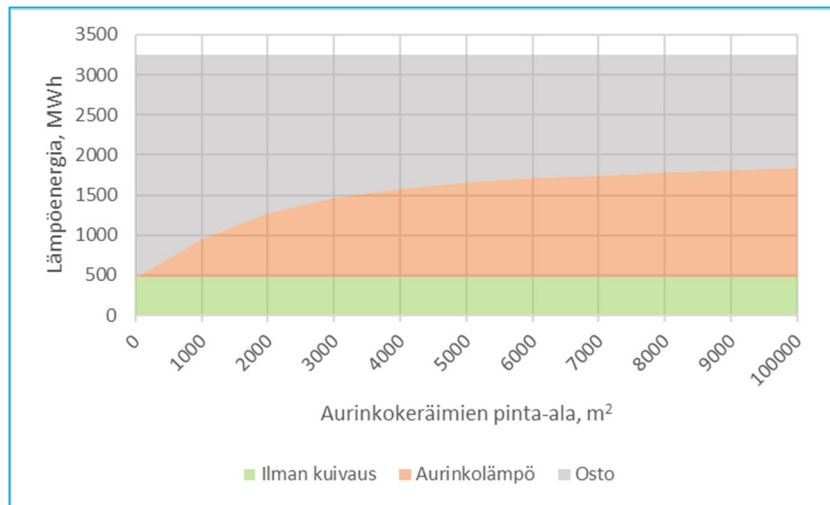


Kuva 46. Ostoenergiantarve aurinkosähköä maksimaalisesti hyödyntävällä järjestelmällä.

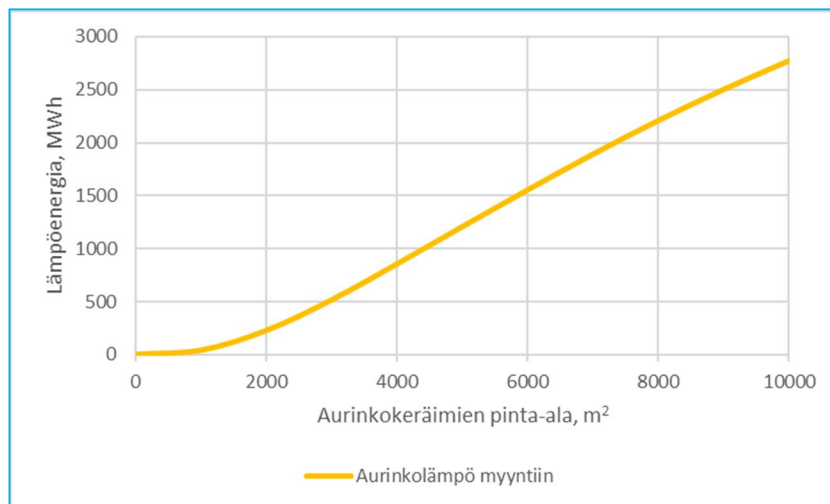
11.1.2.2.5 Aurinkolämmön maksimointi

Aurinkolämmön käytön maksimointia tarkasteltiin järjestelmällä, jossa lämpöä otetaan ilmankuivaimesta ja aurinkokeräinjärjestelmästä. Aurinkosähköä ei tässä tarkastelussa käytetä lämmitykseen.

Kuvassa 41 on esitetty aurinkolämmön käytön vaikutukset lämmöntuotantoon. Laskennassa on oletettu aurinkolämpöjärjestelmä varustetuksi vuorokausivaraajalla (mitoitus 50 litraa/aurinkokeräin-m²). Tuloksista (kuva 47) nähdään, että aurinkolämpö korvaa ostettavaa lämpöenergiaa ja ilmankuivauksesta saatavaa lämpö muodostaa vakio-osuuden tuotannosta. Aurinkolämpöä on mahdollista myydä myös ulos, jota on havainnollistettu kuvassa 48. Ylijäämäenergian tuotanto ajoittuu kesäkaudelle (toukokuu - syyskuu).

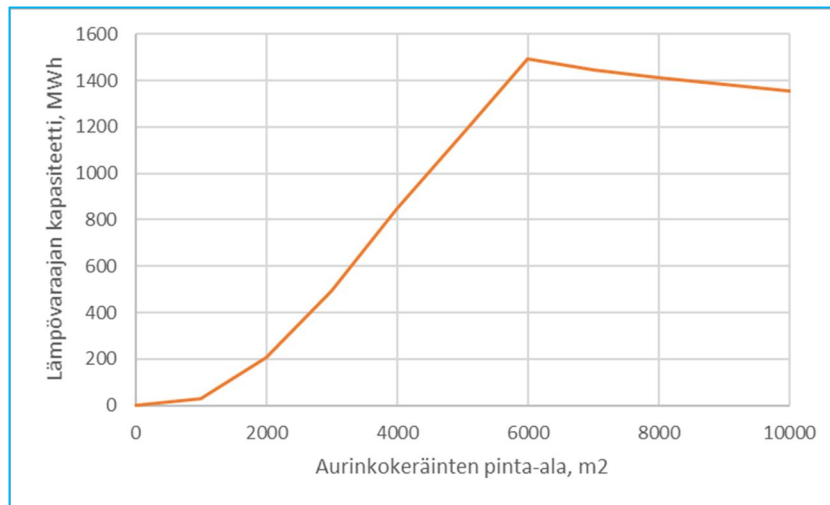


Kuva 47. Lämpötuottoprofiili aurinkolämpöjärjestelmän keräinpinta-alan funktiona.

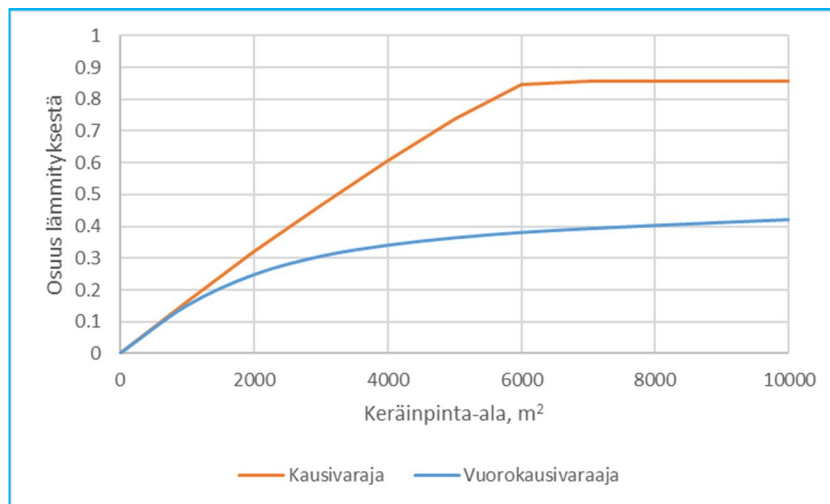


Kuva 48. Myytäväksi jäävä energia.

Aurinkoenergian osuutta lämmityksessä voidaan kasvattaa käyttämällä kausivarastointia. Seuraavassa on tarkasteltu tarvittavan lämpövaraston kapasiteettia, jotta kaikki aurinkokeräinten tuottama lämpö voitaisiin hyödyntää lämmityksessä, kuva 49. Aurinkoenergian osuus lämmöntarpeesta vuorokausi- ja kausivaraajalla on esitetty kuvassa 50. Tulosten mukaan aurinkolämpö yhdessä ilmakehävaimen lämmön kanssa kattaisi kaiken vuotuisin tarvittavan lämpöenergian 6000 m² keräinmäärällä ja noin 1500 MWh:n lämpövaraajalla. Kyseinen varaajan lämpöenergiamäärä vastaa varaajan lämpötilaerolla 35 °C vajaata 37000 m³:n vesivaraajaa.

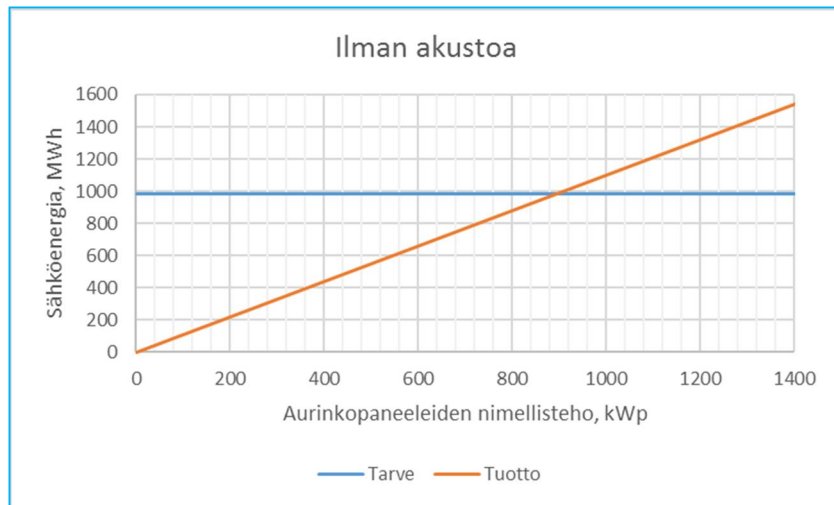


Kuva 49. Tarvittava lämpövaraston kapasiteetti tietyllä aurinkokeräimen pinta-alalla. Kapasiteetti on määritetty niin, että kaikki keräimien tuottama energia voidaan hyödyntää uimahallin lämmityksessä. Uimahallin lämpöenergiatarve katetaan kokonaisuudessaan noin 6000 m²:n keräinpinta-alalla ja 1500 MWh:n lämpövaraajalla.

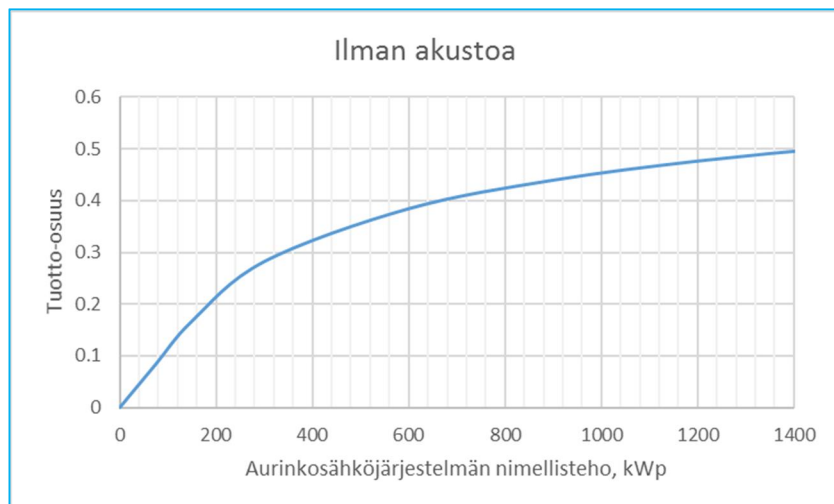


Kuva 50. Aurinkolämmön osuus lämmöntarpeesta kausivarastolla ja vuorokausivarastolla. Kausivarastolla kaikki mahdollinen uimahallin lämpöenergiatarve katetaan noin 6000 m²:n keräinpinta-alalla (lopun 15 % katetaan ilmankuivaimen lämmöllä).

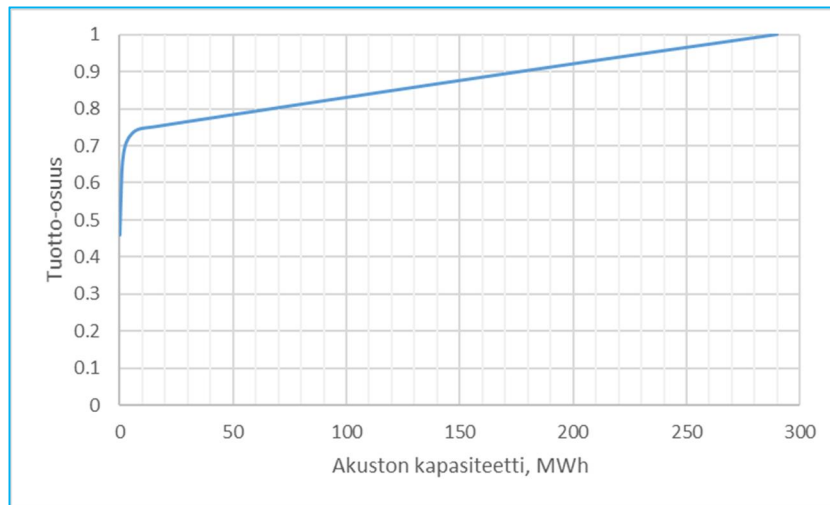
Seuraavassa on tarkasteltu aurinkosähkön vaikutuksia uimahallin sähkökäyttöön, kun aurinkokeräinpinta-ala on 6000 m² ja ilmankuivaimen lauhtelämpö käytetään lämmitykseen. Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto kattaa vuositason uimahallin sähkötarpeen, kun PV-järjestelmän nimellisteho on suurempi kuin 900 kWp, kuva 51. Ilman akustoa PV-tuotantoa ei kuitenkaan pystytä täysimääräisesti hyödyntämään ja aurinkosähkön osuus sähkökäytöstä jää noin 50 %:iin, kuva 53. Riittävän suurella keräinmäärällä ja akuston kapasiteetilla on mahdollista kattaa uimahallin koko sähköenergiatarve, josta kuvassa 53 on esimerkki nimellisteholtaan noin 1000 kWp PV-järjestelmän tarvitsemasta akkukapasiteetista. Tulosten mukaan tarvittava akuston kapasiteetti on noin 290 MWh. Akuston kokoa määritettäessä oletettiin akun lataus-purku syklin hyötysuhteeksi 88 %.



Kuva 51. Sähköntarve ja aurinkosähkön tuotanto aurinkosähköjärjestelmän nimellistehon funktiona.

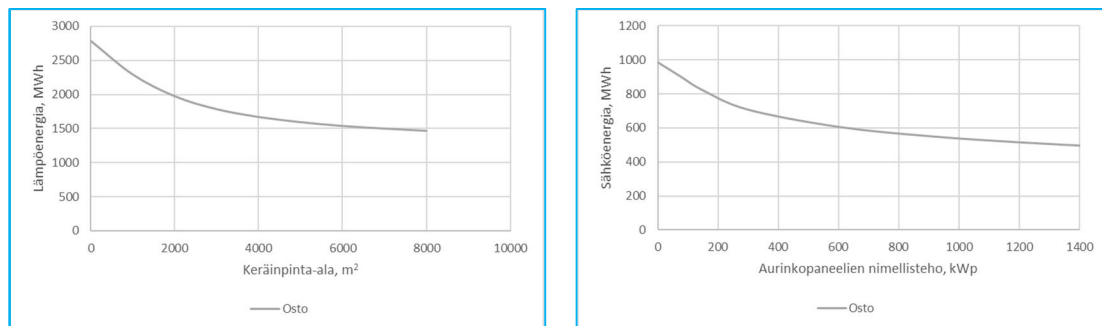


Kuva 52. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto-osuus uimahallin sähköntarpeesta ilman akkuja.



Kuva 53. Akkukapasiteetin vaikutus aurinkosähkön tuotanto-osuuteen uimahallin sähköntarpeesta. Esi-merkkilaskenta on tehty nimellisteholtaan 1050 kWp:n PV-järjestelmälle. Akuston hyötysuhde 88 %.

Varaajattomalla aurinkolämpöjärjestelmällä voidaan ostoaenergiaa vähentää keräinpinta-alaa lisäämällä ja akuttomalla aurinkosähköjärjestelmällä vastaavasti nimellistehoa kasvattamalla, kuva 54.



Kuva 54. Ostettavan lämpöenergian energiantarve varaajattomalla aurinkolämpöjärjestelmällä ja ostettavan sähköenergian tarve akuttomalla aurinkosähköjärjestelmällä maksimaalisesti aurinkolämpöenergiaa hyödyntävällä järjestelmällä.

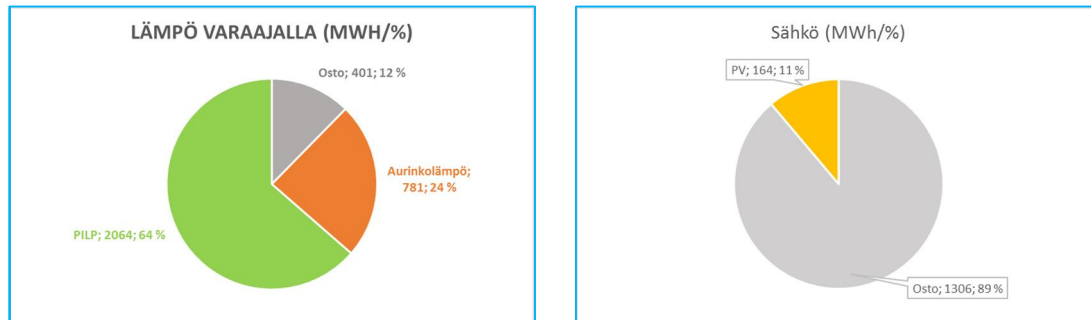
11.1.2.2.6 Realistinen tapaus

Tässä tarkastelussa on lähtökohdaksi valittu lämmöntuottoon aurinkolämpöjärjestelmä, normaalilla lämpövaraajalla (vuorokausivarasto), joka on mitoitettu siten, että kesällä ei juurikaan synny ylimääräistä lämpöä. Tämä mitoitus tarkoittaa tarkastellulla uimahallilla aurinkolämpöjärjestelmää, jonka vuosituotto on vajaa 790 MWh ja vastaa tarkasteluun valitun keräimen tuotto-ominaisuuksilla noin 1500 m²:n keräinpinta-alaa. Aurinkolämmön lisäksi lämmöntarve katetaan poistoilmalämpöpumpulla, jolla otetaan lämpöä allastilojen ilmanvaihtokoneesta (ilmankuivaimesta ja poistoilmasta). Poistoilma ajetaan lämpöpumpulla 0 °C:een. Loppu lämmöntarpeesta katetaan ostoaenergialla.

Sähköntuotantoon on valittu aurinkopaneelit ilman akustoa, ja järjestelmän mitoitus on valittu niin, että ylimääräistä verkkoon myytävää sähköä ei juurikaan synny. Näin mitoitettuna PV-järjestelmän nimellistehoksi on valittu 150 kWp, joka paneelin 15 %:n hyötysuhteella vastaa 1000 m²:n paneelimäärää.

Tällä laiteratkaisulla vuotuisesta lämpöenergiatarpeesta (3246 MWh) aurinkoenergialla katetaan 24 %, poistoilmalämpöpumpulla 64 % ja ostoaenergian osuudeksi jää vain 12 % (kuva 55). Sähköntarpeesta (1470

MWh) PV-paneeleilla pystytään kattamaan 11 %, jolloin ostosähkön osuudeksi jää 89 % (kuva 55). Ostolämmön ominaiskulutus on tällöin 37 kWh/m²a ja ostosähkön ominaiskulutukseksi 120 kWh/m²a. Ostettavan lämpöenergian tarve on vajaat 10 % tilastoitujen kulutusten keskiarvosta (440 kWh/m²) ja ostettavan sähköenergian kulutus 52 % tilastoidusta keskiarvosta (230 kWh/m²a).



Kuva 55. Lämpö- ja sähköenergian tuotto tarkastellussa tapauksessa.

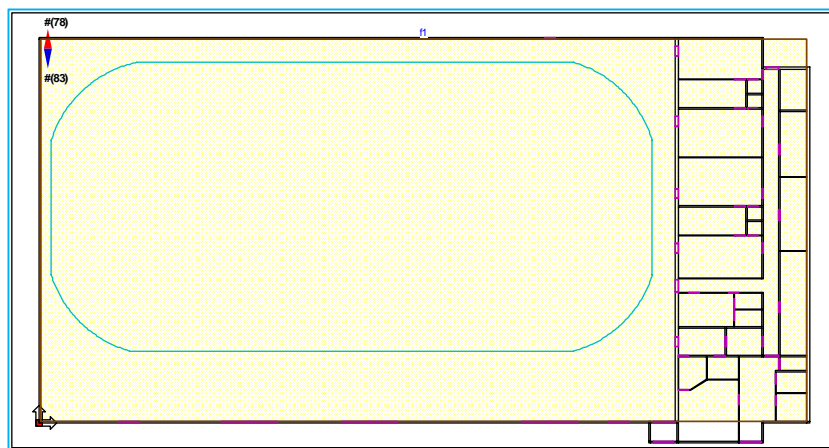
11.2 Jäähallit

11.2.1 Simuloinnin lähtötiedot

Jäähallin jäähdytysenergian tarvetta ja lämmitysenergian tarvetta tarkasteltiin laskennallisesti. Laskennoissa käytettiin tyypillisen 1-rataisen jäähallin tietoja lähtökohtana (taulukko 19 ja kuva 56) ja laskenta tehtiin IDA ICE -simulointiohjelmalla.

Taulukko 19. Laskennassa käytetyn 1-rataisen jäähallin tilavuus ja pinta-alat.

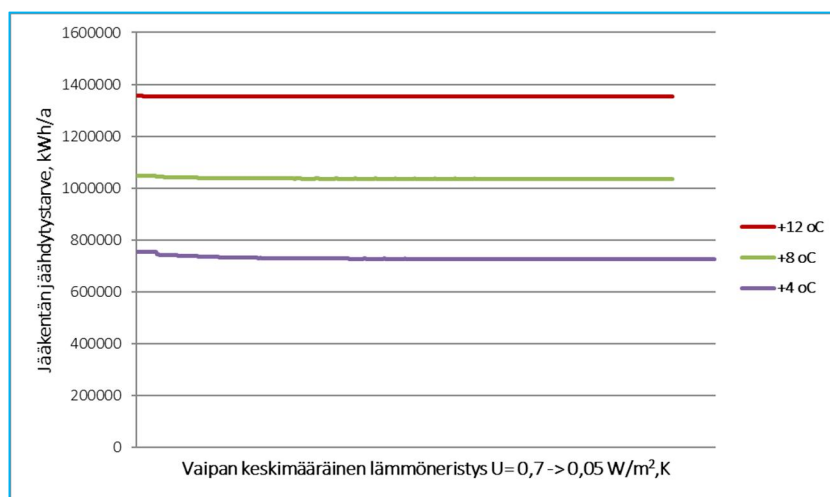
Lähtötieto	Arvo
Hallin tilavuus	29373 m ³
Hallin pinta-ala	2937 m ²
Jääkentän pinta-ala	1740 m ²
Jään pintalämpötila	-4 °C
Rata-alueen ilman suhteellinen kosteus	65 %
Pesuhuoneiden ilman lämpötila	+22 °C
Muiden oheistilojen (pukuhuoneet, käytävät, kahvio) ilman lämpötila	+21 °C
Rata-alueen ja oheistilojen välisten rakenteiden lämmöneristävyys	U=0,4 W/m ² K
Kylmäkoneiston kylmäkerroin	2,7



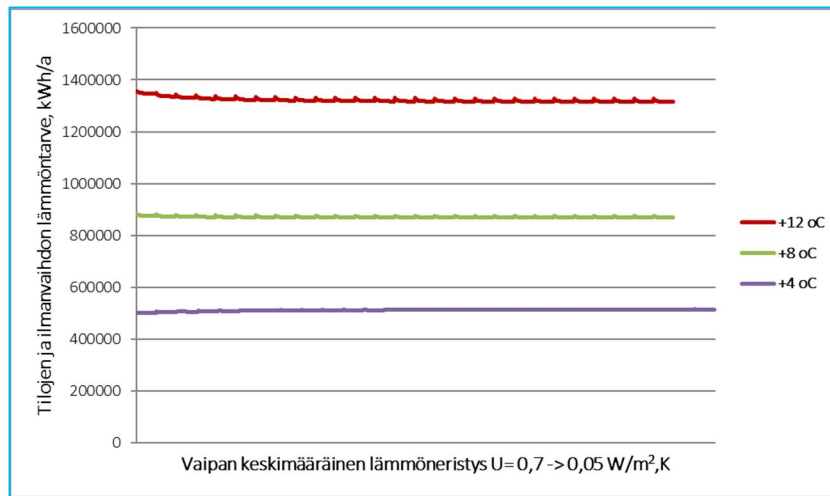
Kuva 56. Laskennassa käytetyn 1-rataisen harjoitusjäähallin pohjakuva.

11.2.2 Sisäilman lämpötilan ja vaipan lämmöneristyksen vaikutus energiankulutukseen

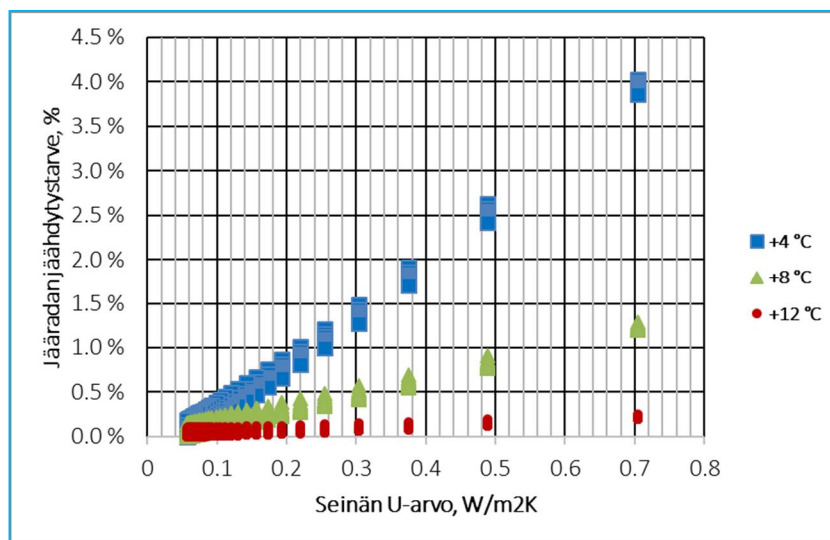
Laskennallisesti tarkasteltiin hallin ulkovaipan (seinät, katto) lämmöneristävyyden vaikutusta hallin tilojen lämmitystarpeeseen varioimalla jäähallin seinä- ja kattorakenteiden U-arvoa välillä 0,70...0,05 W/m²K. Tarkastelu tehtiin kolmella rata-alueen ilman lämpötilan asetusarvolla: +4 °C, +8 °C ja +12 °C. Tuloksista (kuva 57 ja kuva 58) voidaan havaita, että vaipan lämmöneristävyydellä ei ole oleellista vaikutusta energiankulutukseen, mutta sen sijaan hallin rata-alueen ilman lämpötilalla on suuri vaikutus.



Kuva 57. Jäähallin jääradan jäähdytysenergiantarve, kun vaipan keskimääräinen U = 0,663 -> 0,057 W/m²K ja rata-alueen ilmanlämpötila +12 °C, +8 °C ja +4 °C. X-akselilla on kaikki lasketut tapaukset kullakin sisälämpötilalla: vasemmalta lähtien seinän U-arvo pienenee arvosta 0,70 W/m²K askeleittain arvoon 0,05 W/m²K. Kullakin seinän U-arvon askeleella on katon U-arvoa pienennetty arvosta 0,70 W/m²K askeleittain arvoon 0,05 W/m²K. Katon U-arvon muutoksien vaikutusta ei piirretyllä skaalalla havaitse.



Kuva 58 Jäähallin rata-alueen lämmitysenergiantarve, kun vaipan $U = 0,663 \rightarrow 0,057 W/m^2K$ ja rata-alueen ilmanlämpötila $+12\text{ °C}$, $+8\text{ °C}$ ja $+4\text{ °C}$. X-akselilla on kaikki lasketut tapaukset kullakin sisälämpötilalla: vasemmalta lähtien seinän eristyspaksuus kasvaa (U -arvo pienenee) arvosta $0,05$ m askeleittain arvoon $0,70$ m. Kullakin seinän eristyspaksuuden askeleella on katon eristyspaksuutta muutettu arvosta $0,05$ m askeleittain arvoon $0,70$ m. Katon U -arvon muutoksien vaikutus on juuri ja juuri havaittavissa.

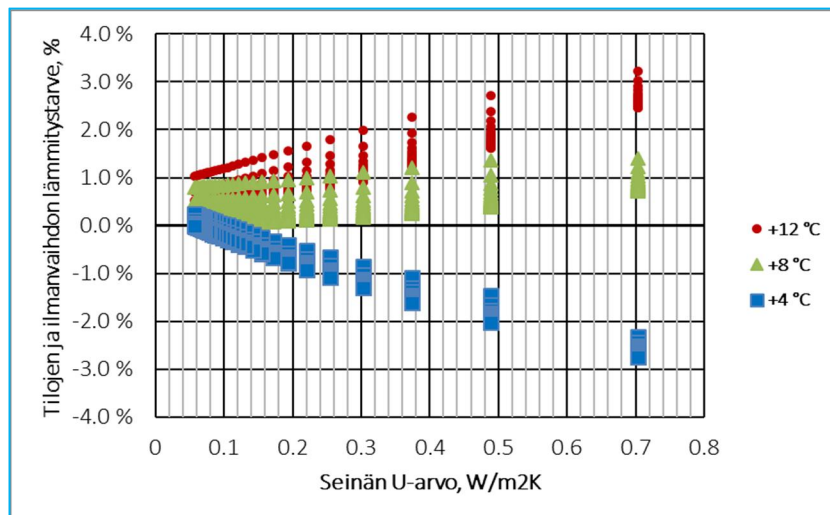


Kuva 59. Jäähallin jääradan jäädytysenergiantarpeen suhteellinen muutos, kun vaipan $U = 0,70 \rightarrow 0,05 W/m^2K$ ja rata-alueen ilmanlämpötila $+12\text{ °C}$, $+8\text{ °C}$ ja $+4\text{ °C}$. X-akselilla on kaikki lasketut tapaukset kullakin sisälämpötilalla: vasemmalta lähtien seinän eristyspaksuus pienenee (U -arvo kasvaa) arvosta $0,70$ m askeleittain arvoon $0,05$ m. Kullakin seinän U -arvolla on katon U -arvoa pienennetty arvosta $0,66 W/m^2K$ askeleittain arvoon $0,06 W/m^2K$. Katon eristyspaksuuden (U -arvon) muutokset havaitaan pieninä hyppäyksinä.

Vaipan vaikutukset energiatarpeisiin on selkeämmin havaittavissa suhteellisissa muutoksissa (kuvat 59 ja 60) kuin edellä esitetyissä absoluuttisissa kulutuksissa. Kaikilla tarkastelluilla hallin sisäilman lämpötilatasoilla jääradan vuotuinen jäädytysenergiantarve kasvaa, joskin varsin maltillisesti. Jäähallin jäädytysenergiantarpeeseen vaipan lämmöneristystyksen vaikutus on suurempi matalammilla hallin lämpötiloilla (kuva 11). Suurimmillaan $+4\text{ °C}$:sen hallin jääradan jäädytystarve kasvaa noin 4% seinän U -arvon heikentyessä arvosta $0,06 W/m^2K$ arvoon $0,7 W/m^2K$. Katon lämmöneristystyksen vaikutus on erittäin pieni. Hallin

sisälämpötilan ollessa +8 °C jääradan jäähdytystarve kasvaa alle 1,5 % ja ilman lämpötilan ollessa +12 °C vaikutuksen voidaan todeta olevan mitätön.

Vaipan lämmöneristystason vaikutus hallin vuotuiseseen lämmitysenergiatarpeeseen riippuu hallin ilman lämpötilatasosta (kuva 60). Viileässä hallissa (+4 °C) vaatimaton lämmöneristys vähentää lämmitystarvetta ja muissa tapauksissa lisää lämmitystarvetta. Kaiken kaikkiaan muutokset lämmöntarpeessa ovat marginaalisia.

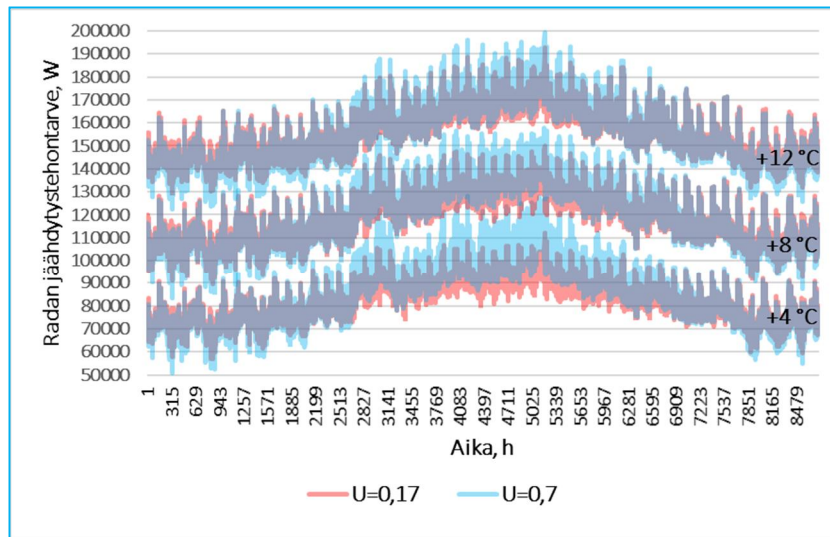


Kuva 60. Jäähallin tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiatarpeen suhteellinen muutos seinän ja katon U-arvon funktiona ja rata-alueen ilman lämpötiloilla +12 °C, +8 °C ja +4 °C. X-akselilla on kaikki lasketut tapaukset kullakin sisälämpötilalla: vasemmalta lähtien seinän eristyspaksuus pienenee (U-arvo kasvaa) arvosta 0,70 m askeleittain arvoon 0,05 m. Kullakin seinän U-arvolla on katon lämmöneristystä muutettu arvosta 0,66 W/m²K askeleittain arvoon 0,06 W/m²K. Katon eristyspaksuuden (U-arvon) muutokset havaitaan hyppäyksinä.

11.2.2.1 Hallin lämpötilan ja vaipan lämmöneristyksen vaikutus jäähdytystehoon

Vaipan lämmöneristyksellä on vaikutusta myös kylmäkoneiston käytönaikaiseen jäähdytystehontarpeeseen. Jäähdytystehontarve kasvaa kesällä ja pienemmällä lämmöneristyksellä (suuremmalla U-arvolla) vaikutus on suurempi kuin paksummalla eristyksellä (pienempi U-arvo). Kuvassa 61 on esitetty laskennan tulokset kahdella vaipan eri lämmöneristävyydellä ja kolmella hallin sisäilman eri lämpötilalla.

Taulukossa 20 on esitetty tuntikohtaiset suurimmat jäähdytystehontarpeet eri tapauksille. Suhteellisesti ja absoluuttisesti suurin vaikutus hallin vaipan lämmöneristystasolla on matalalla hallin lämpötilalla. Hallin lämpötilalla +4 °C huonosti eristetty vaippa lisää jäähdytystehontarvetta 14 %, kun tarkastelluilla korkeammilla lämpötiloilla vaikutus jää 5 %:n luokkaan. Jäähdytystehontarve heijastuu suoraan kylmäkoneiston sähkötehtähtarpeeseen, jolla tulevaisuudessa on nykyistä suurempi merkitys sähkökustannuksiin siirryttäessä sähköhinnoittelussa tehontarvepohjaisiin malleihin.



Kuva 61. Jäähallin vaipan U-arvon vaikutus tuntikohtaisiin tehontarpeisiin. Tarkastelu on tehty hallin ilman lämpötilatasoilla +12 °C, +8 °C ja +4 °C ja vaipan U-arvoilla 0,17 W/m²K ja 0,7 W/m²K.

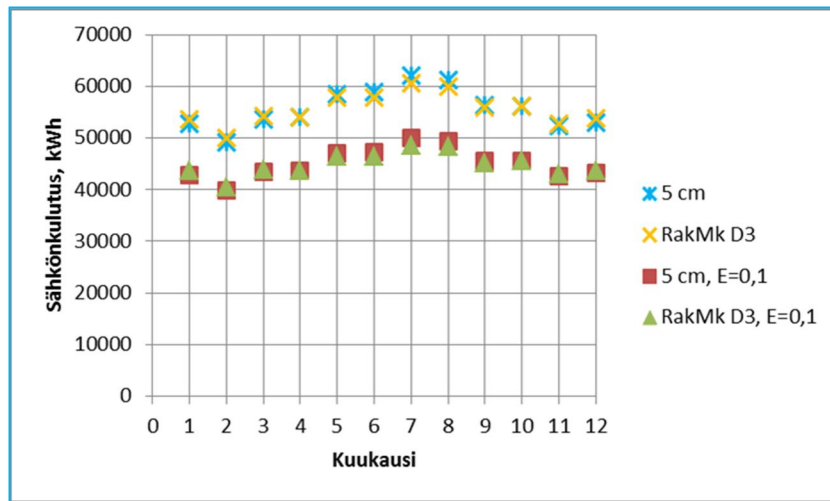
Taulukko 20. Tuntikohtainen jääradan maksimi jäähdytystehontarve jäähallin eri lämpötiloilla ja vaipan eri lämmöneristystasoilla.

Hallin sisäilman lämpötila	Maksimi radan jäähdytystehon tarve, (kW)		Muutos (kW)	Muutos (%)
	U=0,17 W/m ² K	U=0,7 W/m ² K		
+4 °C	112 kW	128 kW	16 kW	14,1 %
+8 °C	150 kW	158 kW	8 kW	5,3 %
+12 °C	193 kW	200 kW	7 kW	3,5 %

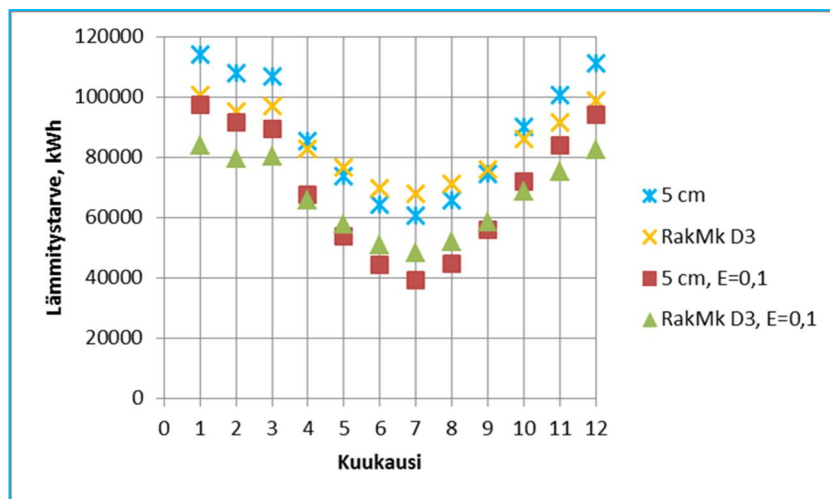
11.2.2.2 Vaipan matalaemissiviteetin vaikutus energiankulutukseen

Emissiviteetti liittyy vaipan pinnan ominaisuuteen ja sen vaikutukseen pitkäaaltoisen lämpösäteilyn määrään jään ja vaipan välillä. Mitä suurempi emissiviteetin arvo on, sitä suurempi on vaipan jäälle muodostama lämpösäteilykuormitus. Emissiviteetin arvo voi olla välillä 0 - 1. Yleisimpien rakennusmateriaalien emissiviteetti vaihtelee välillä 0,90 - 0,95, mutta matalaemissiviteetipinnoilla emissiviteetti voi olla parhaimmillaan niinkin pieni kuin 0,05.

Kuvissa 62 ja 63 on esitetty esimerkkinä rata-alueen katon sisäpinnan emissiviteetin vaikutus kuukausittaiseen sähköenergian kulutukseen ja toisaalta lämmitysenergian tarpeeseen hallin lämpötilalla +12 °C. Tarkastelu on tehty kahdella vaipan eristystasolla: nykymääräysten mukaisella (kuvissa RakMk D3) ja vaatimatottomalla eristystasolla (U=0,70 W/m²K, kuvissa 5 cm). Kummallakin eristystasolla vaikutus on merkittävä sekä sähköenergiankulutukseen että lämmitystarpeeseen.



Kuva 62. Sähkönkulutuksen jakautuminen eri kuukausille. Rata-alueen ilman lämpötila on 12 °C, vaipan U-arvo on 0,7 tai 0,17, katon sisäpinnan emissiviteetti on 0,9 tai 0,1.



Kuva 63. Jäähallin rata-alueen lämmitysenergiantarve. Rata-alueen ilman lämpötila on +12 °C, vaipan U-arvo on 0,7 tai 0,17, katon sisäpinnan emissiviteetti on 0,9 tai 0,1.

Taulukoissa 21, 22 ja 23 on esitetty vuotuiset energiankulutukset eri tapauksissa, kun rata-alueen ilmanlämpötila on +4 °C, +8 °C ja +12 °C. Jäähdytyskoneen lauhdelämpö riittää lämmittämään hallin sisäilmaa ja lauhdelämpöä jää myös myytäväksi toisten rakennusten lämmittämiseen. Lämmön ostotarve on määritetty tuntitason lauhdelämmön tuoton ja lämmöntarpeen perusteella, kun käytössä on kapasiteetiltaan 100 kWh:n lämpövaraaja. Yhteenvedon tuloksista voidaan todeta, että katon matalaemissiviteettipinnoite pienentää vuotuisia sähköenergiankulutusta 15 - 20 % ja vähentää vuotuisia lämmitysenergiantarvetta 17 - 20 %.

Taulukko 21. Jäähallin vuotuinen sähkönkulutus, lämpöenergiatarve, lauhde myyntiin ja tarvittava lämmön ostenergia, kun rata-alueen ilman lämpötila on +4 °C.

Vaipan U-arvot (seinät / katto) ja katon emissiviteetti	Sähkönkulutus (MWh)	Lämmitystarve (MWh)	Lauhde myyntiin (MWh)	Lämmön ostotarve (MWh)
0,17 W/m ² K / 0,09 W/m ² K; ε = 0,9	498	599	769	0
0,17 W/m ² K / 0,09 W/m ² K; ε = 0,1	417	483	632	0
0,70 W/m ² K / 0,70 W/m ² K; ε = 0,9	506	592	808	1,3
0,70 W/m ² K / 0,70 W/m ² K; ε = 0,1	426	470	680	5,4

Taulukko 22. Jäähallin vuotuinen sähkönkulutus, lämpöenergiatarve, lauhde myyntiin ja tarvittava lämmön ostenergia, kun rata-alueen ilman lämpötila on +8 °C.

Vaipan U-arvot (seinät / katto) ja katon emissiviteetti	Sähkönkulutus (MWh)	Lämmitystarve (MWh)	Lauhde myyntiin (MWh)	Lämmön ostotarve (MWh)
0,17 W/m ² K / 0,09 W/m ² K; ε = 0,9	607	785	897	0
0,17 W/m ² K / 0,09 W/m ² K; ε = 0,1	506	645	722	0
0,70 W/m ² K / 0,70 W/m ² K; ε = 0,9	612	799	899	0,1
0,70 W/m ² K / 0,70 W/m ² K; ε = 0,1	511	650	737	2,9

Taulukko 23. Jäähallin vuotuinen sähkönkulutus, lämpöenergiatarve, lauhde myyntiin ja tarvittava lämmön ostenergia, kun rata-alueen ilman lämpötila on +12 °C.

Vaipan U-arvot (seinät / katto) ja katon emissiviteetti	Sähkönkulutus (MWh)	Lämmitystarve (MWh)	Lauhde myyntiin (MWh)	Lämmön ostotarve (MWh)
0,17 W/m ² K / 0,09 W/m ² K; ε = 0,9	747	1040	1056	0
0,17 W/m ² K / 0,09 W/m ² K; ε = 0,1	594	829	793	0
0,70 W/m ² K / 0,70 W/m ² K; ε = 0,9	750	1081	1019	0
0,70 W/m ² K / 0,70 W/m ² K; ε = 0,1	597	863	768	1,4

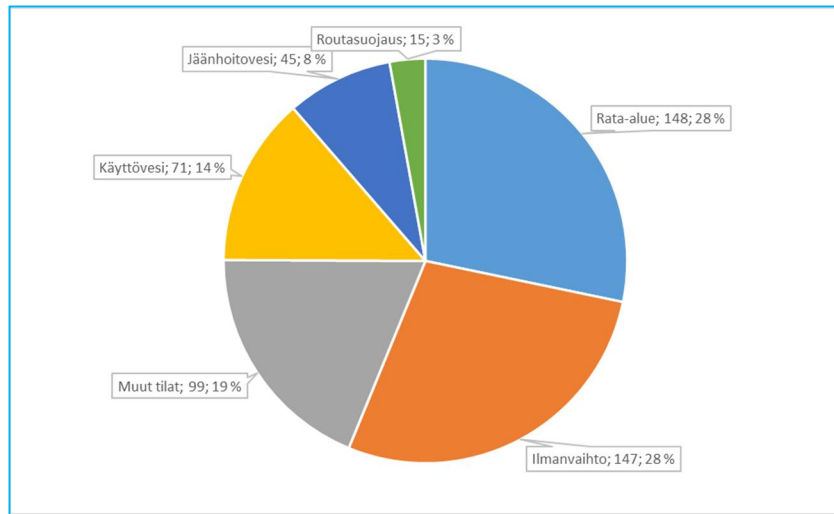
11.2.3 Aurinkosähkö jäähalleissa

Aurinkosähkön mahdollisuuksia kattaa jäähallin sähköenergian tarvetta tutkittiin pienimmän energiankulutuksen hallissa, jossa hallin lämpötila on +4 °C, vaipan sisäpinta on varustettu matalaemissiviteettipinnoitteella (ε = 0,1), valaistus on toteutettu LED-valaisimin, kylmäkoneiston kylmäkerroin on vakio 2,7 ja ilman kuivaus toteutettu kylmäkoneistoon liitetyllä kondensoivalla kuivaimella. Tällöin hallin vuotuinen sähköenergiankulutus on 417 MWh/a.

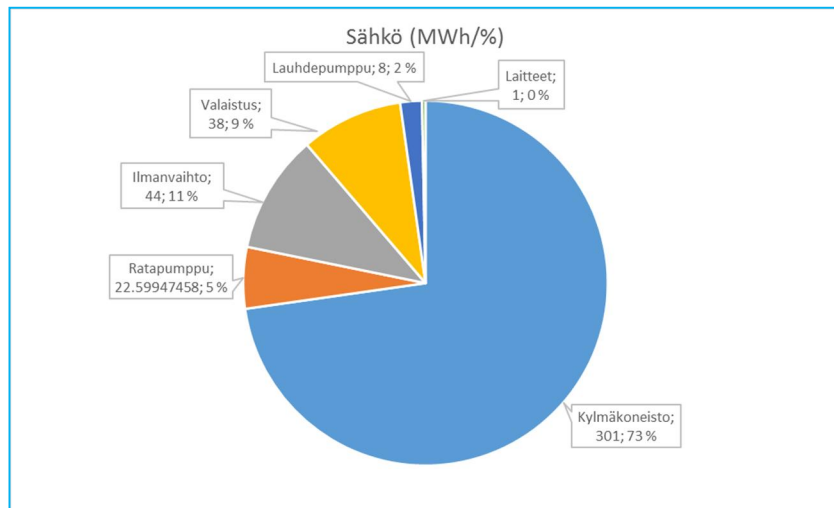
Seuraavassa ei ole tarkasteltu hallin lämmitystasetta, koska kylmäkoneiston lauhdelämpö kattaa kaiken lämmitystarpeen (taulukko 21) ja näin ollen vain sähkötaseen tarkastelu on relevanttia nollaenergianäkökulmasta.

11.2.3.1 Laskennalliset energiantarpeet

Aurinkosähkötarkasteluihin valitun jäähallin lämmöntarpeen jakauma on esitetty kuvassa 64 ja sähköntarpeen jakauma kuvassa 65. Lämmitystarpeesta suurimman osan kuluttavat rata-alueen lämmitys ja ilmanvaihto, myös sosiaalitilojen (pukuhuoneet) ja käyttöveden lämmitys näyttelevät merkittävää osaa. Sähkönkulutuksesta ehdottomasti suurimman osan kuluttaa kylmäkoneisto, jolla jäähdytetään luistelurata sekä hallitaan ilmatilan ilman kosteutta (kuivataan tarpeen mukaan). Muun sähköntarpeen merkittävimmät kulutuskohteet ovat ilmanvaihdon puhaltimet ja valaistus sekä ratapumppu ja lauhdepumppu.



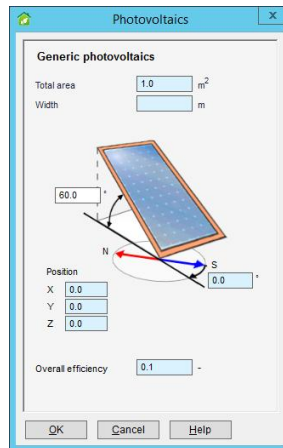
Kuva 64. Laskennallinen lämmitysenergiantarpeen jakauma.



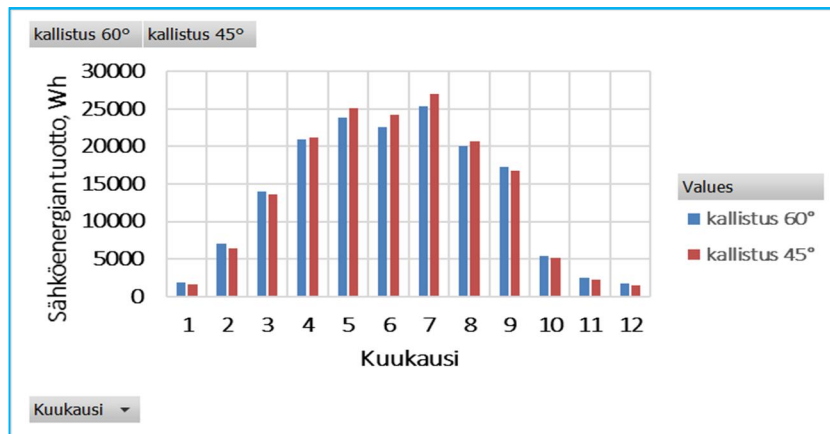
Kuva 65. Laskennallinen sähköenergiantarpeen jakauma.

11.2.3.2 Aurinkosähkön tuotanto

Aurinkoenergian tuotantoa simuloitiin etelään suunnatuilla paneeleilla, joiden kallistuskulma vaakatasoon nähden on 60° (kuva 66). Simulointi tehtiin Helsingin säätiedoilla ja paneelin hyötysuhteella 15 %. Tämä edustaa nykytekniikalla hyvää paneelia. Optimaalista kallistuskulmaa (45°) pystymällä asennuksella haettiin parempaa aurinkoenergian tuottoa keväisin ja syksyisin. Vuositasolla 60° kallistuksella sähköenergian tuotto oli noin 163 kWh/ paneeli-m², joka on vajaa 2 % pienempi kuin 45° kallistuksella (166 kWh/ paneeli-m²). Aurinkopaneelin kuukausitason sähköntuotto kallistuksilla 60° ja 45° on esitetty kuvassa 67.

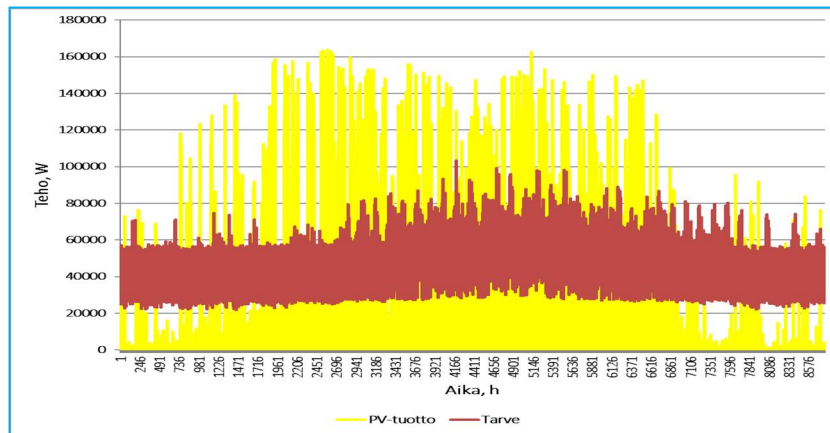


Kuva 66. Aurinkosähköpaneelien suuntaus etelään, kallistuskulma 60° (kuva IDA-ICE ESBO).

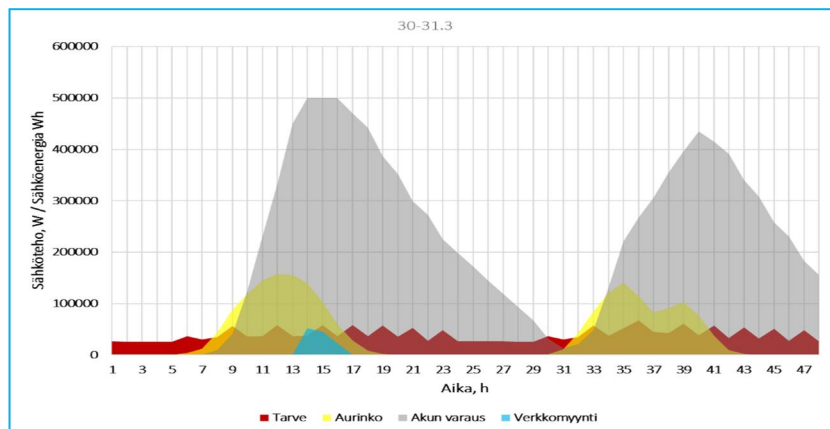


Kuva 67. Aurinkosähköpaneelien kuukausittainen sähköntuotanto Helsingissä Wh/paneeli-m², suuntaus etelään, kallistuskulmat 60° ja 45°. Vuosituotanto 60° kallistuksella 163 kWh/ paneeli-m² ja 45° kallistuksella 166 kWh/ paneeli-m².

Aurinkosähkön kokonaistuotanto riippuu suoraan verrannollisena asennettujen paneelien huipputehosta. Pienillä paneelimäärillä ei riitä kattamaan milloinkaan jäähallin sähkötehontarvetta. Suurilla paneelimäärillä esimerkiksi tuntikohtainen aurinkosähkön tuotto voi olla suurempi kuin tarve. Tarvetta suurempi aurinkosähköntuotto voidaan järjestelmästä riippuen joko syöttää valtakunnan verkkoon tai varastoida akustoon. Kuvassa 68 on esitetty esimerkki nimellisteholtaan 1000 kWp:n aurinkopaneelijärjestelmän tuntikohtaisesta tehontuotosta ja vastaavasta jäähallin sähkötehontarpeesta.



Kuva 68. Nimellisteholtaan 1000 kWp:n aurinkosähköpaneelien tuntikohtainen sähköntuotanto Helsingissä (kuvassa "PV-tuotto") ja vastaava jäähallin tehontarve (kuvassa "Tarve").

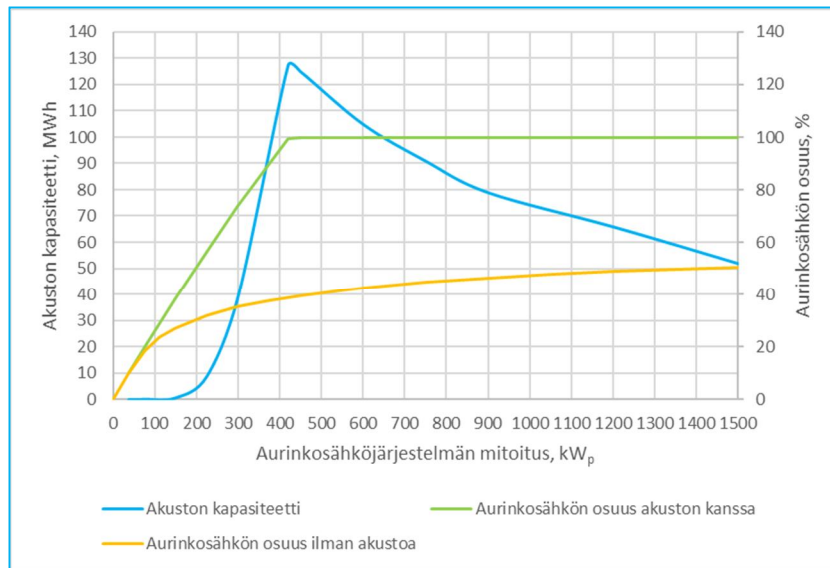


Kuva 69. Nimellisteholtaan 1000 kWp:n aurinkosähköpaneelien tuntikohtainen sähköntuotanto Helsingissä (kuvassa "Aurinko") ja vastaava jäähallin tehontarve (kuvassa "Tarve"). Lisäksi kuvassa on esitetty kapasiteetiltaan 500 kWh:n akuston varaustila ja ylijäämänsähkön verkkomyynti.

Kuvan 68 esimerkissä aurinkosähkön tuotanto ylittää hetkittäin jäähallin sähköntarpeen ja ylimääräinen tuotanto voidaan joko myydä verkkoon tai varastoida akustoon. Selvemmin tämä havaitaan kuvasta 69, jossa on tarkasteltu lähemmin kahden kevätpäivän (maaliskuun 30. ja 31. päivä) sähköenergiatasetta. Laskelma on oletettu akuston varauskapasiteetiksi 500 kWh.

Kuvassa 69 esitetyssä tilanteessa ensimmäisenä päivänä aurinkosähkön tuotanto ylittää tarpeen, jolloin ylijäämä voidaan varastoida akustoon ja akuston kapasiteetin täytyttyä jää vielä myytävää verkkoon. Ensimmäisenä päivänä akuihin varastoitunut energia riittää melkein kattamaan yöaikaisen tarpeen. Toisena päivänä aurinkosähkön ylijäämä ei riitä varaamaan akustoa täyteen, eikä verkkoon jää myytävää.

Seuraavassa tarkastelussa on laskettu tiettyä aurinkopaneelin nimellistehoa vastaava aurinkosähkön osuus jäähallin sähköntarpeesta ilman akkuja ja akkujen kanssa. Akusto on mitoitettu antamaan maksimaalisen aurinkoenergiaosuuden. Tarkastelussa ei siis ole välitetty siitä, onko järjestelmä taloudellisesti kannattava, vaan haettu kombinaatiota (aurinkopaneelien teho - akuston kapasiteetti), jolla aurinkosähkön käyttö jäähallissa maksimoituu. Akuston lataus-purkusuiklin hyötysuhteeksi on oletettu 88 %. Tarkastelun tulokset on esitetty kuvassa 70.

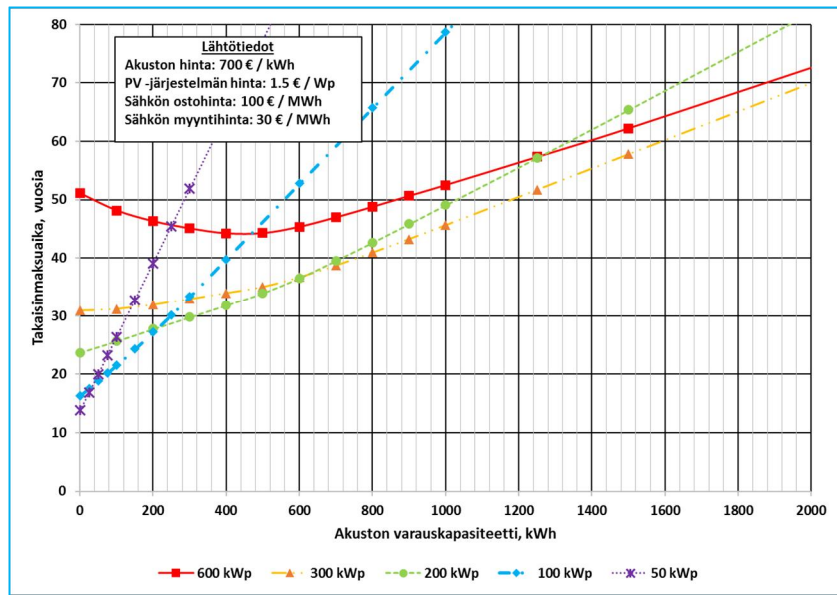


Kuva 70. Aurinkosähköjärjestelmän maksimaalinen osuus jäähallin sähkötehontarpeesta ilman akustoa ja akkujen kanssa. Lisäksi kuvassa on esitetty tarvittava akuston kapasiteetti tietyllä mitoituksella. Akuston hyötysuhde 88 %.

Tarkastelun johtopäätöksenä on, että 100 %:n aurinkosähkön kattavuus saavutetaan minimissään runsaan 400 kW_p:n nimellistehoisella aurinkosähköjärjestelmällä, joka on varustettu kapasiteetiltaan noin 130 MWh:n akustolla. Tarvittava paneelimäärä vastaa 15 %:n hyötysuhteella noin 2800 m²:n paneelipinta-alaa, joka on vielä teoriassa mahdollinen ja mahtuu hallin katolle/tontille. Tarvittavan akuston kapasiteetti on sitä vastoin taloudellisesti täysin epärealistinen. Kuvasta 70 havaitaan, että pyrittäessä 100 %:n aurinkosähkön osuuteen, akuston kapasiteettitarvetta voidaan vähentää lisäämällä paneelien nimellistehoja. Lisäksi havaitaan, että ilman akkuja maksimi aurinkoenergian osuus tutkitulla nimellistehoalueella on noin 50 %, joskin siihen tarvittava paneelien pinta-ala on hieman epärealistinen (10 000 m² paneelien hyötysuhteella 15 %).

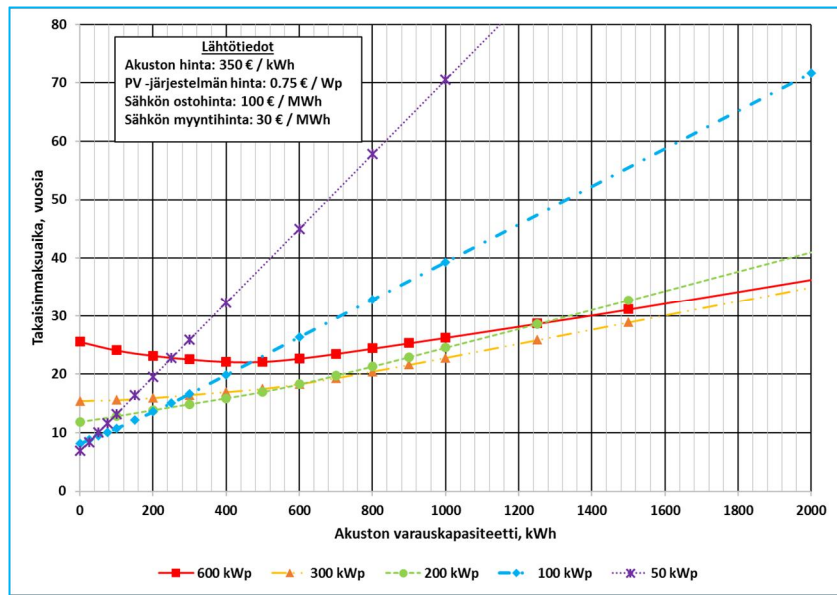
Akkuteknologian hinta on nykyisin suurissa järjestelmissä arviolta 700 €/kWh (Tesla Powerpack 2, 200 kWh). Hintaan sisältyy akusto, invertterit ja kaapelointi, mutta ei asennuskustannuksia. Akkuteknologia kehittyy jatkuvasti ja hinnat tulevat halpenemaan massatuotannon myötä huomattavasti lähivuosina. Aurinkopaneelien hinnat pienehköissä kohteissa asennettuna ovat noin 2 €/W (Fortum aurinkopaketti).

Seuraavassa on tarkasteltu akuston optimaalista mitoitusta olettamalla akuston hinnaksi edellä mainittu 700 €/kWh ja aurinkopaneelien hinnaksi 1,5 €/W_p, jossa on oletettu suuremman mittakaavan mukanaan tuoma yksikköhinnan halpeneminen. Sähkön hinnaksi (energia + siirto) on oletettu 100 €/MWh ja verkkoon myytävän sähkön hinnaksi 30 €/MWh. Näillä oletuksilla on kuvassa 71 esitetty eri nimellistehoisten aurinkosähköjärjestelmien (600, 300, 200, 100 ja 50 kW_p) suora takaisinmaksuaika. Laskelmissa ei ole otettu huomioon investoinnin korkoa, huolto- ja korjauskustannuksia eikä energian hinnan muuttumista vuosien kuluessa.



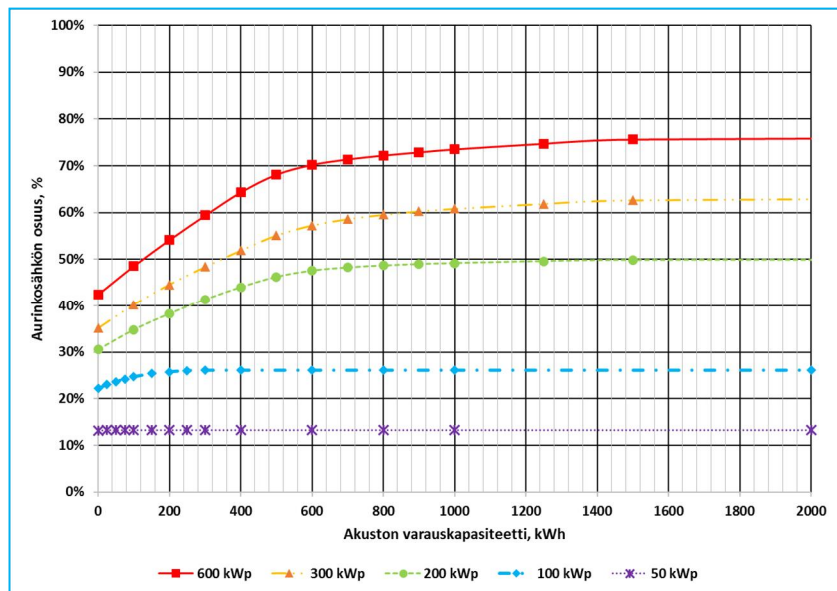
Kuva 71. Aurinkosähköjärjestelmien suora takaisinmaksuaika eri nimellistehoisille aurinkosähköjärjestelmille (600, 300, 200, 100 ja 50 kWp) akuston kapasiteetin funktiona. Laskennassa akuston hintana on käytetty 700 €/kWh, PV-paneelien 1.5 €/Wp, sähkön ostohintana 100 €/MWh ja sähkön myyntihintana 30 €/MWh.

Tuloksista havaitaan (kuva 71), että akuston optimaalinen mitoituskapasiteetti jää huomattavasti pienemmäksi kuin aurinkopaneelille määritellyt maksimaalinen aurinkoenergiaosuutta vastaavat maksimikapasiteetit (kuva 70). Tarkastelluista järjestelmistä pienimmällä (50 kWp) on lyhyin takaisinmaksuaika, noin 14 vuotta, eikä investoinnilla akustoon saavuteta hyötyä. Vain suurimmalla järjestelmällä (600 kWp) akustolla voidaan takaisinmaksuaikaa lyhentää, joskin takaisinmaksuajat ovat lyhyimmillään noin 45 vuotta, eikä akkujen käyttöikä ole kuin ehkä neljännes tästä, jolloin akusto pitäisi uusia useamman kerran. Tämä tuhoaisi akkuinvestoinnin järkevyyden myös tässä tapauksessa. Akkuista saadaan käytännössä lisähyötyä, jos niitä käytetään paitsi aurinkosähkövarastona, niin myös ostosähkön hintapiikkien tasoittamisessa, jota tässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon. Tulevaisuudessa sekä akustojen että paneelien hinnat tulevat entisestään halpenemaan ja kuvassa 72 onkin tarkasteltu tilannetta, jossa akuston ja paneelien hinnat ovat puolettuneet.



Kuva 72. Aurinkosähköjärjestelmien suora takaisinmaksuaika eri nimellistehoisille aurinkosähköjärjestelmille (600, 300, 200, 100 ja 50 kW_p) akuston kapasiteetin funktiona. Laskennassa akuston hintana on käytetty 350 €/kWh, PV-paneelien 0.75 €/W_p, sähkön ostohintana 100 €/MWh ja sähkön myyntihintana 30 €/MWh.

Pienimmällä järjestelmällä (50 kW_p) ilman akkuja takaisinmaksuaika puolittuu ja on nyt noin 7 vuotta. Suurimmalla tarkastellulla järjestelmällä (600 kW_p+ 500 kWh:n akusto) käy samoin, eli takaisinmaksuaika puolittuu ollen nyt noin 22 vuotta. Kuvassa 73 esitetään tarkasteltujen järjestelmien aurinkosähkön osuus koko sähköntarpeesta eri järjestelmämitoituksilla.



Kuva 73. Aurinkosähkön osuus sähköntarpeesta eri järjestelmämitoituksilla.

12. Yhteenveto

Tutkimuksessa tehtiin energiatekniset simuloinnit yhdelle uimahallille ja yhdelle jäähallille. Nämä edustavat tällä hetkellä tavanomaista uimahallia ja harjoitusjäähallia. Yksityiskohtaiset tulokset ja päätelmät koskevat simuloituja hallityyppejä ja niiden sijoituspaikkaa. Hallien koolla, suuntauksella ja maantieteellisellä sijainnilla on merkitystä tuloksiin, minkä vuoksi ennen uusien hallien rakentamista on suositeltavaa, että simuloinnit tehdään suunnitteluvaiheessa erikseen jokaiselle hallille. Näin saadaan päätöksenteon pohjaksi luotettavaa tietoa.

Simuloinnit osoittivat, että jää- ja uimahallin rakentaminen ulkopuolisesta energiasta riippumattomaksi on nykytekniikalla mahdollista, mutta käytännössä epärealistista korkean investointikustannuksen vuoksi. Näissä molemmissa liikuntarakennuksissa energian tarve on suurta verrattuna esimerkiksi asuinrakennuksiin. Tämän vuoksi rakennuksen ympäristöstä kerättävä uusiutuva energia ei järkevän hintaisella investoinnilla riitä kattamaan jää- ja uimahallin kaikkea energiantarvetta. Uima- ja jäähallien osalta on vaikea saavuttaa nollaenergiatasoa nykyisin saatavilla olevilla rakennus- ja laiteteknisillä ratkaisuilla niin, että ratkaisun kustannukset eivät karkaisi käsistä. Kummassakin hallissa erityisesti ongelmakohtaksi muodostuu aurinkosähköenergian käyttö, jonka ratkaiseminen edellyttäisi sähkön varastointitekniikan merkittävää parannusta ja kustannusten pienentymistä. Jäähallin lämmitysenergian tarve on katettavissa kokonaisuudessaan kylmäkoneiston lauhdelämmöllä. Uimahallissa lämmitysenergian tarpeesta merkittävä osa (80 - 90 %) on katettavissa poistoilmalämpöpumpulla.

Simuloinnit osoittivat kuitenkin, että merkittävä osa energiasta on saatavissa rakennuksen katolle tai ympäristöön asennettavilla aurinkosähköpaneelilla ja uimahallitapauksessa myös aurinkolämpökeräimillä. Jäähallissa aurinkolämpöä ei kannata käyttää, koska kylmäprosessin lauhdelämpöä on joka tapauksessa riittävästi käytettävissä. Energian varastoiminen ja erityisesti kausivarastoiminen on kuitenkin kallista, minkä vuoksi energiaa tulisi kerätä sen verran kuin sitä on mahdollista käyttää. Lisäksi pitkäaikaisvarastoinnin hyötysuhde on merkittävästi heikompi kuin päivätason varastoinnin.

Tutkittujen tapausten perusteella voidaan todeta, että akkuinvestointi pelkästään aurinkosähkön varastointiin ei ole kannattavaa nykyään eikä lähitulevaisuudessa. Aurinkosähköjärjestelmä, joka mitoiteetaan siten, että järjestelmän tuottama sähkö käytetään ilman varastointia hallissa kokonaan, vaikuttaa kohtuulliselta investoinnilta. Tällaisella järjestelmällä on mahdollista kattaa esimerkiksi noin 20 % jäähallin sähköenergiatarpeesta ja järjestelmän suora takaisinmaksuaika on kohtuullinen eli alle puolet oletetuista aurinkopaneelien ja hallin käyttöiästä (> 30 vuotta). Tällöin tarkastellun jäähallin ostosähkön ominaiskulutukseksi jää noin 115 kWh/m²a, joka on 43 % pienempi kuin tilastokeskiarvo (200 kWh/m²a).

Sähkön akkuvarastoinnin kannattavuutta heikentää varaston kallis hankintahinta ja akkujen varsin lyhyt kestoikä. Aurinkosähköjärjestelmän akkuvaraston kestoikä on arviolta 10 - 15 vuotta, minkä jälkeen akut pitää uusida. Sähkön lyhytaikaisen varastoinnin akustojen takaisinmaksuaika on myös pidempi kuin niiden kestoikä ja kaiken tarvittavan energian varastoitujen takaisinmaksuaika on 3 - 4 kertainen kestoikään verrattuna. Tämä osoittaa, että täysin ulkopuolisesta sähköverkosta riippumattoman liikuntahallin rakentaminen taloudellisesti kannattavasti on vielä kaukana tulevaisuudessa.

Liikuntahalleissa hyödynnettävien uusiutuvan energian muodot rajoittuvat lähinnä auringon säteilyyn. Ulkoilma- ja maalämpöpumput eivät etenkin jäähalleissa ole merkittävässä roolissa ja niiden käyttö rajoittuu erityistapauksiin, joita tässä hankkeessa ei tarkasteltu. Uimahalleissa edellä mainituilla lämpöpumpuilla voi olla täydentävä rooli, mutta ensisijaisesti lämmityksessä tulisi hyödyntää poistoilman energiasisältöä. Tuulienergiaa sisämaassa olevien rakennusten ympäristöissä on rajallisesti saatavilla ja tuulienergian hyödyntäminen lähellä asutusta rajoittaa turvallisuus- ja kaavoitustekijät.

Liikuntarakennusten energiantarvetta on mahdollista pienentää rakenteellisilla (rakennusosien lämmöneristävyyden), taloteknisillä (ilmanvaihdon ja jäteveden lämmöntalteenotto, lämpöpumput) sekä uuden tekniikan (esimerkiksi LED-valaistus) keinoilla. Näillä tavoin voidaan pienentää tontilta kerättävän energian tarvetta.

Uimahallin laskennalliset tarkastelut

Uimahallitapauksessa tarkasteltiin laskennallisesti Porin uimahallin kaltaista ratkaisua. Nykymääräysten mukaisilla rakenteiden lämmöneristystasoilla ja määräyksiä paremmalla ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla ($\eta_{lto}=60\%$) sekä perinteisellä valaistuksella (ei LED-valaistusta) tarkastellun uimahallin lämmöntarpeeksi saatiin noin 3800 MWh (350 kWh/m²a). Lämmöntarpeesta allasvesien lämmitys kattaa 39 %, lämpimän käyttöveden osuus on 25 %, ilmanvaihdon lämpöhäviöt 18 % ja vaipan 18 %.

Jäteveden passiivisella lämmöntalteenotolla ($\eta=30\%$), vaipan eristystasoa ja ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa ($\eta_{lto}=80\%$) parantamalla sekä siirtymällä energiatehokkaaseen valaistukseen saadaan lämmöntarve pudotettua tasolle 3250 MWh (300 kWh/m²a). Teknisesti lämmöntarvetta olisi mahdollista vielä jossain määrin vähentää mm. jäteveden tehokkaammalla lämmöntalteenotolla (edellyttää lämpöpumppua) sekä altaiden yöpeitteiden käytöllä. Altaiden yöpeitteiden käytöllä saavutettaisiin vuosittain noin 280 MWh (26 kWh/m²a) säästö. Yöpeitteiden käyttöön liittyy kuitenkin käyttötekniisiä ja hygieenisii haasteita, joiden vuoksi lämmöntuottotarkasteluissa tätä vaihtoehtoa ei ole tarkasteltu.

Jäteveden tehokkaampi lämmöntalteenotto edellyttää lämpöpumpun käyttöä, joka olisi kyllä teoriassa liitettävissä esimerkiksi poistoilmalämpöpumppuratkaisuun. On kuitenkin katsottu, että pelkästään tehostamalla poistoilmavaihdon lämmöntalteenottoa, pystytään keräämään riittävästi lämpöä uimahallin tarpeisiin. Tällöin jäteveden lämmöntalteenotto vain monimutkaistaisi järjestelmää, jolloin käytettävyys ja käyttövarmuus heikentyvät.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös hallin lämpötilan alentamisen vaikutusta lämmitysenergiatarpeeseen. Laskentatuloksista on havaittavissa, että allastilojen ilman lämpötilan 2 °C alentaminen ei juurikaan pienennä lämmitystarvetta. Syynä tähän on, että vaipan ja ilmanvaihdon pienempi lämmitystarve kompensoituu lähes täysin allasvesien suuremmalla lämmitystarpeella. Lisäksi tutkittiin erillisellä laskelmalla saunan vaipan paremman lämmöneristyksen vaikutusta saunan sähkökiukaiden energiankulutukseen. Mielenkiinnon tähän yksityiskohtaan herätti havainto, että saunojen sähkönkulutus muodostaa noin 20 % uimahallin koko sähköntarpeesta. Johtumislämpöhäviöiden puolittaminen pienensi saunojen sähkönkulutusta vain 10 %.

Uimahallin lämmön ja sähköntarpeen kattamiseksi tutkittiin erilaisia tuotokombinaatioita, joissa käytettiin lämmöntuotossa poistoilman lämmöntalteenottoa poistoilmalämpöpumpulla sekä aurinkolämpöä ja sähköntuotannossa aurinkopaneeleita. Poistoilman lämmöntalteenotossa varioitiin jäteilman lämpötilaa (+5 °C tai 0 °C) sekä ilmanvaihdon palvelualueita, josta lämpöä kerätään (pelkästään allastilat tai koko halli). Aurinkolämmössä varioitiin keräinpinta-alaa ja lämpövaraston kapasiteettia. Aurinkosähköjärjestelmän osalta varioitiin paneelimäärää ja akuston kapasiteettia. Tuottoratkaisuissa tarkasteltiin erityisesti kolmea eri lähestymistapaa: 1) realistinen ratkaisumalli, 2) aurinkosähkön maksimointi ja 3) aurinkolämmön maksimointi. Tutkimuksen aikana todettiin, että uimahallin lämmöntarpeesta 90 % on katettavissa poistoilmalämpöpumpulla. Ongelmaksi tulee tällöin sähkönkulutuksen kattaminen aurinkosähköllä.

- Realistisessa mallissa päädyttiinkin ratkaisuun, jossa poistoilmalämpöpumpun osuutta lämmityksessä pienennetään aurinkolämpöjärjestelmällä mahdollisimman paljon käyttäen hyväksi normaalia aurinkolämpöjärjestelmään liittyvää vuorokausilämpövarastoa. Aurinkolämpöjärjestelmän koko mitoitetaan niin, että ylimääräistä myyntiin jäävää aurinkolämpöä ei synny. Ostettavan sähkön kulutusta pienennetään akuttomalla PV-järjestelmällä, joka mitoitetaan niin, että kaikki tuotettava sähkö käytetään hallissa eikä myytävää sähköä synny. Näillä reunaehdoilla päädyttiin aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen, jossa keräinpinta-ala on 1500 m² ja vesivaraajien koko 75 m³. Vastaavasti aurinkosähköjärjestelmän mitoittustehoksi saatiin 150 kWp, joka järjestelmän hyötysuhteella 15 % vastaa 1000 m²:n paneelimäärää. Näin mitoitettuna lämpöenergiatarpeesta aurinkolämpö kattaa 24 %, poistoilmalämpöpumppu 64 % ja ostettavaa lämpöä jää 12 %. Sähköstä akuttomalla PV-järjestelmällä saadaan katettua 11 %, jolloin ostosähkön osuudeksi jää 89 %. Tällä järjestelmällä ostolämmön kulutukseksi jää 37 kWh/m²a ja ostosähkönkulutukseksi 120 kWh/m²a. Tilastokeskiarvoihin verrattuna lämmönkulutus on 90 % ja sähkönkulutus 48 % pienempi.
- Akuttomassa aurinkosähkön maksimaalisessa hyödyntämisessä ajatuksena oli demonstroida, kuinka paljon PV-järjestelmän ylijäämästä on mahdollista hyödyntää hallin lämmityksessä,

kun sähköjärjestelmän kokoa kasvatetaan ja rajoittavana tekijänä on ainoastaan paneelien tarvitsema pinta-ala. Tässä tarkastelussa ei käytetty aurinkolämpöä, vaan aurinkosähkön lisäksi lämmöntarve katettiin poistoilmalämpöpumpulla ja ostolämmöllä. Aurinkosähköjärjestelmällä, jonka keräin pinta-ala kattaisi koko käytettävissä olevan kattopinta-alan 4500 m² (675 kWp), voitaisiin lämmityksestä hyödyntää 9 % (PILP 83 % ja ostolämpö 8 %). Sähkökulutuksesta voitaisiin aurinkosähköllä kattaa tällöin 25 %. Laskelmia tehtiin myös mm. huomattavasti suuremmilla aurinkosähköjärjestelmillä aina 1600 kWp:n nimellisteho asti. Suurimmilla tarkastelluilla järjestelmillä ilman akkuja päästään aurinkosähkön kattavuuteen 35 %.

- Aurinkolämmön maksimoinnilla tavoiteltiin lämmön- ja sähköntuotannon osalta mahdollisimman omavaraista ratkaisua, jossa tarkasteltiin sekä lämmön että sähkön kausivarastointia. Täysin omavaraiseen ratkaisuun tarvitaan nykytekniikalla taloudellisesti täysin epärealistiset mitoitukset. Teoriassa lämmön suhteen omavaraiseen ratkaisuun tarvitaan 6000 m² aurinkokeräinpinta-ala yhdistettynä 1500 MWh:n lämpövarastoon (vastaa arviolta 37000 m³:n vesivaraajaa). Sähkökulutuksen kattamiseksi tarvittaisiin runsaan 1000 kWp nimellistehoinen järjestelmä (vastaa nykytekniikalla noin 7000 m²:n paneelipinta-alaa) yhdistettynä kapasiteetiltaan 290 MWh:n akustoon.

Mainittakoon, että poistoilmalämpöpumpulla voidaan tuottaa merkittävässä määrin lämpöä myyntiin tai lähiympäristössä hyödynnettäväksi, jota ei voida hyödyntää uimahallissa. Ylijäämälämpöä on tarjolla etenkin keväästä syksyyn ajoittuvalla kaudella.

Jäähallin laskennalliset tarkastelut

Jäähallin lämmitysenergiantarvetta ja sähköenergiankulutusta tarkasteltiin yksirataisella harjoitusjäähallilla. Laskennallisesti tarkasteltiin hallin ilman lämpötilan ja vaipan lämmöneristävyyden sekä vaipan sisäpinnan emissiviteetin vaikutuksia toisaalta hallin lämmitystarpeeseen ja toisaalta jäähdytysenergian ja jäähdytystehon tarpeisiin. Yhteenvetona tuloksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Hallin sisäilman lämpötilalla on suuri vaikutus sekä hallin lämmitys- että jäähdytysenergiaan. Harjoitushallin vuotuinen sähköenergiankulutus kasvaa jopa 50 % nostettaessa hallin lämpötila +4 °C :sta +12 °C:een. Samalla kasvaa lämmitysenergiantarve yli 70 %, mutta lämmitys pystytään kattamaan kokonaisuudessaan lauhteella kummallakin hallin lämpötilatasolla. Lämpötilan noustessa kylmäkoneiston maksimi tunti-teho kasvaa yli 70 %. Tässä voikin olla yksi tehokas keino tulevaisuudessa vastata sähkön kysyntäjoukon tarpeisiin.
- Hallin lämmöneristystasolla ei tutkituilla hallin lämpötilatasoilla ole juurikaan merkitystä hallin lämmitysenergiantarpeisiin. Hallin lämpötilalla +4 °C lämmitysenergiantarve jopa hieman kasvaa, mutta vaikutukset ovat käytännössä merkityksettömiä. Samoin on laita sähköenergiankulutuksen suhteen, vaipan eristystason lisääminen pienentää sähkökulutusta vain alle 2 % kaikissa tutkituissa tapauksissa. Sähkötehoon tarpeeseen vaikutus on hieman suurempi: +4 °C asteisessa hallissa maksimi sähkötehoon tarve kasvaa 14 %. Korkeammilla lämpötiloilla vaikutus sähkötehoon on pienempi 5 % - 3 %.
- Hallin vaipan sisäpinnan emissiviteetillä on merkittävä vaikutus sekä sähköenergian kulutukseen, että lämmitysenergiantarpeeseen. Matalaemissiviteettipinta pienentää sähköenergiankulutusta 15 - 20 % ja lämmitysenergiantarvetta 17 -20 %.

Harjoitusjäähallin lämmitysenergia ei ole ongelma tavoiteltaessa nollaenergiatasoa, koska lämmitys on katettavissa kylmäkoneiston lauhdelämmöllä. Ongelmaksi muodostuu sähköenergiankulutus, johon edellä esitetyn mukaisesti voidaan vaikuttaa rakennusteknisesti matalaemissiviteettipinnoitteella ja käyttöteknisesti tinkimällä hallin lämpöolosuhteista ja pitämällä hallissa mahdollisimman matalaa ilmanlämpötilaa. Tässä tutkimuksessa selviteltiin tarkemmin aurinkosähköjärjestelmän mahdollisuuksia pienentää ostettavan sähkön tarvetta. Tarkasteluissa otettiin lähtökohdaksi mahdollisimman vähän sähköä tarvitseva ratkaisu ja hallin lämpötilaksi valittiinkin +4 °C ja hallin sisäpinnat oli varustettu matalaemissiviteettipinnoitteella. Lähtökohtaisesti hallin valaistus on toteutettu energiatehokkaasti (LED-valaistus).

Ilman akkuja aurinkosähköllä on teoriassa mahdollista kattaa maksimissaan noin 50 % jäähallin sähkötarpeesta. Tällöin tosin tarvittavat paneelimäärät ovat epärealistisia, nimellisteho > 1500 kW_p (pinta-ala nykytekniikalla > 10000 m²). Realistisella paneelimäärällä, joka vielä on mahdutettavissa hallin katolle/tontille, ilman akkuja on päästävässä aurinkosähkön kattavuuteen 40 %. Ilman akkuja järkevän paneelimäärän mitoitus perustuu siihen, että paneelien sähköntuotanto voidaan käyttää hallissa eikä ylijäämäsähköä synny. Tällöin tarkastellun hallin PV-paneelien mitoitustehoksi jää noin 75 kW_p (vastaa noin 500 m² paneelimäärää) ja aurinkosähkön osuudeksi jää alle 20 %. Tällä mitoituksella tarkastellun jäähallin ostosähkön ominaiskulutus on 115 kWh/m²a, joka on 43 % pienempi kuin tilastokeskiarvo.

Akuston avulla on teoriassa mahdollista päästä täysin omavaraiseen sähköntuotantoon aurinkosähköjärjestelmällä, jonka nimellisteho on runsaat 400 kW_p yhdistettynä kapasiteetiltaan noin 130 MWh:n akustoon. Hinnaltaan ja tilatarpeeltaan tällainen järjestelmä ei kuitenkaan ole realistinen.

Lähdeviitteet

- AECOM Australia Pty Ltd, Energy Storage Study, A storage market review and recommendations for funding and knowledge sharing priorities. 2015. 104 p + 26 app.
- Alanen, Raili; Koljonen, Tiina; Hukari, Sirpa; Saari, Pekka, Energian varastoinnin nykytila. VTT Tiedotteita - Research Notes: 2199. VTT Prosessit, Espoo, 2003. 169 s. + liitt. 60 s.
- AllCell Technologies LLC, A Comparison of Lead Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications. 2012. 14 p.
- Bernier, Etienne, Hamelin, Jean, Agbossou, Kodjo, Bose, Tapan K., Electric round-trip efficiency of hydrogen and oxygen-based energy storage, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 30, Issue 2, February 2005, Pages 105-111.
- Christiansen, Carl, Murray, Ben, Energy Storage Study. AECOM Australia Pty Ltd, 2015. 104 p. + 10 app.
- D. Steward, D., Saur, G., Penev, M. and Ramsden, T., Lifecycle Cost Analysis of Hydrogen Versus Other Technologies for Electrical Energy Storage. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-560-46719. November 2009. 50 p.
- Díaz-Dorado, E., Suárez-García, A., Carrillo, C., Cidrás, J., Influence of the shadows in photovoltaic systems with different configurations of bypass diodes. SPEEDAM 2010 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. pp. 134 - 139. 2010.
- Fronius Australia Pty Ltd, Economics of PV Storage, A brief analysis of technology, costs and payback of battery storage. 2016. 6 p.
- Gollwitzer, Esther, Gressier, Florian, Peper, Søren, Passivhaus-Hallenbad Bambados Monitoring. 2015. 119 p.
- Halonen, Liisa, Tetri, Eino, Bhusal, Pramod, Annex 45 Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings. 2010. 348 p.
- Huusko, Asmo, Geologian Tutkimuskeskus kartoittaa Suomen geoenergiapotentiaalia. Positio 1/2016. s. 12 - 15.
- IIHF Ice Rink Manual. 56 p.
- Jordan, Dirk C. and Kurtz, Sarah R., Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review. NREL/JA-5200-51664. June 2012. 30 p.
- Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013, <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>
- Lauttamäki, Ville, Kallio, Jarmo, Geoenergiasta liiketoimintaa, GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS, Tutkimusraportti 206. 2013. 80 s.
- Lehtinen, T., Ruuska, E., Viljanen, M. Opetusministeriön liikuntapaikkajulkaisu no 84, Uimahallien ulko-vaippa ja sisäilmasto, suunnittelu ja rakentamisopas. Rakennustieto Oy, 2002.
- LVI 06-10451, Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. (2009, korjaus 2012). 34 s.
- LVI 22-10386, Uima-allasvesien käsittely. LVI-kortisto. 2005. 15 s.

- Peper, Søren, Grove-Smith, Jessica, Monitoring Passivhaus-Hallenbad Lippe-Bad Lünen. 2013. 135 p.
- Power Sonic, Sealed Lead Acid Batteries Technical Manual. 2009. 26 p.
- RT 97-10839, Uimahallit ja virkistysuimalat. 2005. 36 s.
- Seppänen, Juha, Sähköenergian varastointitekniikat älykkäässä sähköverkossa. 2014. 44 s. + 1 liite
- Solpros, Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. 19 s. 2006.
- STM-00272, Sosiaali- ja terveysministeriön asetus uimahallien ja kylpylöiden allasvesien laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Suomen säädöskokoelma 315/2002. (2003). 3 s.
- STM-00413, Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet. STTV:n oppaita 3:2008. (2009). 10 s.
- Suomen Jääkiekkoliitto ry, Jäähallit ja tekojääradat. Opetusministeriö, liikuntapaikkajulkaisu 71. 1998. 188 s.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D1. 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 2007. http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf
- Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2, Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1/11, http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf
- Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3, Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11. 35 s., http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf
- Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012, http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf
- Suomen tuuliatlas, <http://www.tuuliatlas.fi>
- Suomen uimaliitto. Selvitys uimaseurojen harjoitus- ja kilpailuolosuhteista 2014. Suomen Uimaliitto ry – Finska Simförbundet rf 2014.
- Tasauslaskentaopas 2012. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö 24.11.2011,
- Turkia, Ville, Holttinen Hannele, Tuulivoiman tuotantotilastot. Vuosiraportti 2011. VTT TECHNOLOGY 74. Tammikuu 2013. 55 s. + liitt. 7 s.
- Ympäristöministeriö, Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012. 92 s.
- Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä, http://www.finlex.fi/data/normit/40799-EU_27_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN.pdf
- Öster, Harriet, Kalliosta saatuna kaksi kolmasosaa lämmöstä on ilmaista, GeoFoorumi 1/2008. s. 6 - 9.
- Öster, Harriet, Maa- ja kalliolämpö – uusiutuvaa energiaa. Geologian tutkimuskeskus. GeoFoorumi 1/2008. s. 6 - 9.

Nimeke	Tavoitteena nollaenergialiikuntarakennukset
Tekijä(t)	Kari Hemmilä & Ari Laitinen
Tiivistelmä	<p>Tutkimuksessa arvioitiin yhden uimahallin ja yhden jäähallin energiankulutusta ja mahdollisuuksia pienentää energiantarvetta sekä rakenteita ja laitteistoja parantamalla että korvaamalla osa energiasta uusiutuvalla energialla. Arviointi tehtiin tietokonemallinnuksen avulla.</p> <p>Tarkasteltujen liikuntarakennusten energiantarvetta on mahdollista pienentää rakenteellisilla (rakennusosien lämmöneristävyys), taloteknisillä (ilmanvaihdon ja jäteveden lämmöntalteenotto, jäähallissa lauhdelämpö ja uimahallissa poisto-ilmalämpöpumppu), käyttöteknisillä (jäähallin lämpötila) sekä uuden teknologian (esimerkiksi LED-valaistus) keinoilla. Näillä tavoin voidaan pienentää tontilta kerättävän uusiutuvan energian tarvetta.</p> <p>Simuloinnit osoittivat, että jää- ja uimahallin rakentaminen ulkopuolisesta energiasta riippumattomaksi on nykytekniikalla mahdollista, mutta käytännössä taloudellisesti kannattamatonta korkean investointikustannuksen vuoksi. Näissä molemmissa liikuntarakennuksissa energiantarve on suurta verrattuna esimerkiksi asuinrakennuksiin, minkä vuoksi rakennuksen ympäristöstä kerättävä uusiutuva energia ei järkevän hintaisella investoinnilla riitä kattamaan jää- ja uimahallin kaikkea energiantarvetta. Uima- ja jäähallien osalta on vaikea saavuttaa nollaenergiatasoa nykyisin saatavilla olevilla rakennus- ja laiteteknisillä ratkaisuilla niin, että ratkaisun kustannukset eivät karkaisi käsistä. Kummassakin hallissa erityiseksi ongelmakohtaksi muodostuu sähköenergian käyttö, jonka ratkaiseminen edellyttäisi sähköön varastointitekniikan merkittävää parannusta ja kustannusten pienenemistä.</p> <p>Tarkastellut hallit edustavat tällä hetkellä tavanomaista uutta uimahallia ja harjoitusjäähallia. Yksityiskohtaiset tulokset ja päätelmät koskevat simuloituja hallityyppejä ja niiden sijoituspaikkaa. Hallien suuntauksella, maantieteellisellä sijoituksella sekä suunnitteluparametreilla on merkitystä tuloksiin, minkä vuoksi ennen uusien hallien rakentamista on suositeltavaa, että simuloinnit tehdään suunnitteluvaiheessa jokaiselle hallille.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8615-8 (URL: http://www.vtt.fi/julkaisu) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8615-8
Julkaisu-aika	Tammikuu 2018
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	81 s.
Projektin nimi	Nollaenergialiikuntarakennukset
Rahoittajat	Opetus- ja kulttuuriministeriö, ympäristöministeriö sekä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Avainsanat	uimahalli, jäähalli, nollaenergia, uusiutuva energia, simulointi
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Towards zero energy sports halls
Author(s)	Kari Hemmilä & Ari Laitinen
Abstract	<p>In this research energy consumption and possibilities to reduce the need for energy of one Finnish indoor swimming pool and one Finnish indoor ice rink was evaluated. The ways to reduce energy needs are improvement of thermal insulation of building envelope, more energy efficient equipments, and replace part of the energy demand with renewable energy. The evaluation was made using computer simulation.</p> <p>The energy needs of the studied sports halls are possible to reduce by building design (the thermal insulation of the envelope), HVAC equipment (heat recovery systems for ventilation and waste water, condenser heat in ice rinks and exhaust air heat pump in swimming pools) and new technology (LED lights). These are the ways to reduce the need of renewable energy harvested on the building plot. The simulations showed that it is possible to build off-grid indoor swimming pool and off-grid indoor ice rink so that the energy needed will be harvested on building plot. This is not, however, an economic solution because of high investment costs of a battery storage. The energy needed in both sports hall types is great compared to the energy needs of residential houses. This is why the cost of the energy harvesting on building plot is so expensive and all the energy needed is not possible to cover with reasonable investing costs. So it is hard to achieve zero energy level with present constructions and equipment without enormous investment costs. Electricity is the major problem in both sports halls. To solve this more efficient and cheaper electricity storing techniques are needed.</p> <p>The studied sports halls represent typical new indoor swimming pool and practice indoor ice rink. Detailed results and conclusions are valid for the simulated sports hall types and their location. The design, orientation and geographical location affect the results. For this reason, it is recommended that before building a new sports hall, simulations should be made to that specific hall.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8615-8 (URL: http://www.vttresearch.com/impact/publications) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Online) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8615-8
Date	January 2018
Language	Finnish, English abstract
Pages	81 p.
Name of the project	
Commissioned by	
Keywords	indoor swimming pool, indoor ice rink, zero energy, renewable energy, simulation
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland Ltd P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Tavoitteena nollaenergialiikuntarakennukset

Tutkimuksessa arvioitiin yhden uimahallin ja yhden jäähallin energiankulutusta ja mahdollisuuksia pienentää energiantarvetta sekä rakenteita ja laitteistoja parantamalla että korvaamalla osa energiasta uusiutuvalla energialla. Arviointi tehtiin tietokonemallin avulla.

Tarkasteltujen liikuntarakennusten energiantarvetta on mahdollista pienentää rakenteellisilla (rakennusosien lämmöneristävyyys), taloteknisillä (ilmanvaihdon ja jäteveden lämmöntalteenotto, jäähallissa lauhdelämpö ja uimahallissa poistoilmalämpöpumppu), käyttöteknisillä (jäähallin lämpötila) sekä uuden teknologian (esimerkiksi LED-valaistus) keinoilla. Näillä tavoin voidaan pienentää tontilta kerättävän uusiutuvan energian tarvetta.

Simuloinnit osoittivat, että jää- ja uimahallin rakentaminen ulkopuolisesta energiasta riippumattomaksi on nykytekniikalla mahdollista, mutta käytännössä taloudellisesti kannattamatonta korkean investointikustannuksen vuoksi. Näissä molemmissa liikuntarakennuksissa energiantarve on suurta verrattuna esimerkiksi asuinrakennuksiin, minkä vuoksi rakennuksen ympäristöstä kerättävä uusiutuva energia ei järkevän hintaisella investoinnilla riitä kattamaan jää- ja uimahallin kaikkea energiantarvetta. Uima- ja jäähallien osalta on vaikea saavuttaa nollaenergiatasoa nykyisin saatavilla olevilla rakennus- ja laiteteknisillä ratkaisuilla niin, että ratkaisun kustannukset eivät karkaisi käsistä. Kummassakin hallissa erityiseksi ongelmakohtaksi muodostuu sähköenergian käyttö, jonka ratkaiseminen edellyttäisi sähköön varastointiteknikan merkittävää parannusta ja kustannusten pienenemistä.

ISBN 978-951-38-8615-8 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8615-8>