

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2022

Matias Koppanen

JARKKO NIEMINEN AREENAN ENERGIANKULUTUKSEN JA LÄMMITYSTEHONTARPEEN ARVIOINTI

Matias Koppanen

JARKKO NIEMINEN AREENAN ENERGIANKULUTUKSEN JA LÄMMITYSTEHONTARPEEN ARVIOINTI

Tässä opinnäytetyössä tehtiin selvitys ja arviointi Jarkko Nieminen Areenan energiatehokkuudesta ja lämmitystehontarpeesta. Elokuussa 2021 Jarkko Nieminen areenalla aloitettiin laajennushanke, jolla tuotiin lisää sisätilaa areenan käyttöön. Laajennuksen vuoksi erityisesti rakennuksen lämmitys ja ilmanvaihto puolen mitoitukset muuttuivat. Työssä pyrittiin laskennallisesti valitsemaan mahdollisimman energiatehokas lämmitysjärjestelmä, jolla voidaan parantaa ja ylläpitää rakennuksen energiatehokkuutta myös laajennuksen jälkeen. Lisäksi ilmanvaihdon arvoihin, sähkön- ja kaukolämmönkulutukseen pyrittiin vaikuttamaan energiatehokkaasta näkökulmasta.

Rakennuksen energiatehokkuuden ja lämmitystarpeen arvioimiseksi käytettiin apuna Timbal Energia ohjelmistoa. Hiilidioksidipäästöjen sekä hiilijalanjäljen laskemiseksi ja arvioimiseksi apuna käytettiin Suomen ympäristökeskuksen Y-HIILARI hiilijalanjälki -työkalua. Energiatehokkuuden ja lämmitystehontarpeen arvioimiseksi ja ilmanvaihtokoneiden arvojen määrittämiseksi käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmia C3, D3 ja D5. Lisäksi lämpöpumppujen mitoituksessa käytettiin apuna lämpöpumppujen energialaskentaopasta. Suurin osa laskennan lähtöarvoista saatiin laajennusta ennen tehdyistä suunnitelmista sekä vanhoista laskelmista.

Laajennuksen myötä Jarkko Nieminen areenan koko rakennuksen lämmitysenergian tarve nousi noin 267 MWh/a. Lämmitysenergian tarve on yhteensä noin 864 MWh/a. Vuositason ostoenergiankäyttökustannuksia Jarkko Nieminen areenalla voitiin millä tahansa lämpöpumppujärjestelmällä vähentää yli 25 000 eurolla. Maalämpöpumpulla käyttökustannuksien säästö olisi jopa 36 750 €. Poistoilmalämpöpumpulla ja ilma-vesilämpöpumpulla ostoenergian säästöä tapahtuu noin 35 % ja maalämpöpumpulla 47 %. Ilma-vesilämpöpumpun todettiin olevan investointikustannuksiltaan maalämpöpumppua halvempi, mutta pitkällä aikavälillä maalämpöpumppu osoittautui kannattavammaksi investoinniksi.

ASIASANAT:

energiatehokkuus, energiankulutus, päästöt, energiansäästö, lämpöpumppu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmental technology

13.6.2022 | number of pages 55, number of pages in appendices 9

Matias Koppanen

JARKKO NIEMINEN ARENA ENERGY CONSUMPTION AND HEATING DEMAND ASSESSMENT

This thesis is a study and assessment of the energy efficiency and heating demand of the tennis hall Jarkko Nieminen Arena. In August 2021, an expansion project was started at Jarkko Nieminen Arena to bring more indoor space to the arena. Due to the extension, the heating and ventilation side of the building had to be sized differently. The aim of this thesis is to calculate the most energy-efficient heating system possible, which would improve and maintain the energy efficiency of the building even after the extension. In addition, the values for ventilation, electricity and district heating consumption were influenced from an energy-efficient point of view.

A software called Timbal Energy was used to assess the energy efficiency and heating needs of the building. To calculate and estimate the carbon dioxide emissions and the carbon footprint, the Finnish Environment Institute's Y-HILARI carbon footprint tool was used. The Finnish building codes C3, D3 and D5 were used to assess energy efficiency and heating power demand and to determine the values of the ventilation machines. In addition, the energy calculation guide for heat pumps was used to help in the sizing of heat pumps. Most of the essential input values for the calculations were obtained from the pre-extension plans and old calculations.

The expansion increased the heating energy demand of the entire Jarkko Nieminen Arena building by approximately 267 MWh/a. The heating energy demand was then about 864 MWh/a. With any heat pump system in the Jarkko Nieminen arena, the annual energy consumption costs could be reduced by more than € 25 000. With a ground source heat pump the savings in operating costs would be up to € 36 750. With an exhaust air heat pump and an air-to-water heat pump, the energy savings in purchasing energy would be around 35% and with a ground source heat pump the energy savings would be up to 47%. The air-to-water heat pump was found to be cheaper as an investment than the ground source heat pump, but in the long run the ground source heat pump proved to be a more profitable investment.

KEYWORDS:

energy efficiency, energy consumption, emissions, energy saving, heat pump

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 JARKKO NIEMINEN AREENAN LAAJENNUSHANKE	11
3 ENERGIATARPEEN LASKENNAN LÄHTÖTIEVAATIMUKSET	14
3.1 Timbal Energia -ohjelmisto	14
3.2 Skenaariot	15
3.2.1 Nykytila	15
3.2.2 Maalämpöpumppu	16
3.2.3 Ilma-vesilämpöpumppu	16
3.2.4 Poistoilmalämpöpumppu	16
3.2.5 Vanha osa	16
3.2.6 Laajennusosa	17
3.3 Laskennan ja simuloinnin vaiheet	17
3.3.1 Pinta-alat ja tilavuus	18
3.3.2 U-arvot	19
3.3.3 IV-koneiden arvot	20
3.3.4 Laskentaparametrit	24
4 LÄMMITYSRATKAISUT JARKKO NIEMINEN AREENALLA	27
4.1 Lämpöpumppujen mitoitus	27
4.2 Lämmitysratkaisujen vertailu	32
5 LAAJENNUSHANKKEEN VAIKUTUS AREENAN HIILIJALANJÄLKEEN	38
6 TULOKSET	42
6.1 Lämmitystehontarve	43
6.2 Käyttökustannukset	45
6.3 Investointikustannukset	47
7 POHDINTA	50
8 LÄHTEET	52

LIITTEET

- Liite 1. Juhani Lehtonen Oy:n SPF-lukulaskelmat vuoden 2007 laajennuksen ilmanvaihtokoneista.
- Liite 2. Lämpöpumppujen kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta.
- Liite 3. Timbal Energia ohjelmiston simuloinnin tulokset.
- Liite 4. Vanhan osan ja laajennusosan laskennan tulokset.

KUVAT

Kuva 1 Havainnekuva Jarkko Nieminen areenan laajennuksen julkisivusta. (Schauman Arkkitehdit Oy, 2021)	11
Kuva 2 Timbal Energia ohjelmiston hyödyt käyttäjälle (Timbal Energia).	14
Kuva 3 Jarkko Nieminen areenan eri skenaarioiden sekä toteutuneen lämmityssähkön, laitesähkön ja kaukolämmön kulutus (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta; Timbal Energia).	29
Kuva 4 Kaukolämmön ja sähkön toteutunut vuoden 2021 kulutus verrattuna skenaarioiden laskennalliseen kulutukseen (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta; Liite 3).	35
Kuva 5 Jarkko Nieminen areenan sähkön- sekä lämpöenergiankulutuksen aiheuttamat kasvihuonepäästöt skenaarioittain. (Suomen ympäristökeskus, 2021)	40
Kuva 6 Eri skenaarioiden lämmitysenergian tarve ja kuormista saatu hyöty. (Timbal Energia, Liite 3)	43
Kuva 7 Eri skenaarioiden omavaraisenergiat, lämpö- ja ostoenergian tarve sekä muu sähköenergian tarve (Timbal Energia, Liite 3).	44
Kuva 8 Ostoenergian kokonaiskustannukset vuositasolla eri tilanteissa (Timbal Energia; EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta).	45
Kuva 9 Simulointi skenaarioiden kannattavuuksien vertailu (Liite 3).	49

TAULUKOT

Taulukko 1 Eri skenaarioiden lämmitysmuodot sekä ilmanvaihtokoneiden lukumäärät (LeVIA Oy, 2020).	15
Taulukko 2 Skenaarioiden pinta-alat sekä ilmatilavuudet.	18
Taulukko 3 Jarkko Nieminen areenan eri rakennusosien U-arvot (Schauman Arkkitehdit Oy, 2021).	20
Taulukko 4 Työssä ja simuloinnissa käytettävät ilmanvaihtokoneet sekä huippuimurit. (LeVIA Oy, 2020; Insinööritoimisto Juhani Lehtonen Oy, 2007)	21
Taulukko 5 Ilmanvaihtokoneiden ja erillispoistojen käyttö eri skenaarioissa. (LeVIA Oy, 2020)	22
Taulukko 6 Kaukolämmön energiankulutus, hinta sekä kustannukset vuodesta 2014 vuoteen 2021 saakka (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta).	25
Taulukko 7 Sähköenergian vuosittainen kulutus ja kustannukset 2016–2021 (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta).	26

Taulukko 8 Lämpöpumppujen mitoituksessa käytetyt ja lasketut arvot (Timbal Energia).	31
Taulukko 9 Hiilidioksidipäästöt skenaarioittain Timbal Energia ohjelmiston ja Y-HILARI laskurin mukaan (Timbal Energia; Suomen ympäristökeskus, 2021).	39
Taulukko 10 Lämpöpumppujärjestelmien erotellut hinta-arviot.	47

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

CO ₂ ekv	(Hiilidioksidiekvivalentti) Kasvihuonepäästöjen yleismitta. Voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen.
Ilmanvaihtokone	Ilmanvaihtokone, tai IV-kone, on laite, joka tuo rakennukseen ilmaa tietyllä ilmavirralla tulokanavistoa pitkin ja myös poistaa ilmaa poistokanaviston kautta.
Ilma-vesilämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu, tai IVLP/UVLP, on lämpöpumppu-tyyppi, joka siirtää lämpöä ulkoilmasta vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään (Oulun kaupunki, 2013).
IRR	Sisäinen korkokanta (internal rate of return, IRR).
LKV	Lämmin käyttövesi.
LTO	Lämmöntalteenotto.
LVI	Lämmitys, vesi ja ilmanvaihto.
Lämmönsiirrin	Lämmönsiirrin, tai lämmönvaihdin, on komponentti, jolla voidaan siirtää lämpöenergiaa lämmitys- tai jäähdytys tarkoituksessa eri nesteiden välillä, joilla on eri lämpötila.
Maalämpöpumppu	Maalämpöpumppu, tai MLP, on lämpöpumppu-tyyppi, joka kerää lämpöä keräysputkistolla maaperästä, vesistöistä tai porakaivolla maaperästä (Oulun kaupunki, 2013).
Poistoilmalämpöpumppu	Poistoilmalämpöpumppu, tai PILP, on lämpöpumppu-tyyppi, joka ottaa lämpöä rakennuksen poistoilmasta ja luovuttaa lämmön lauhdutinpatterien avulla takaisin rakennukseen. (Oulun kaupunki, 2013)
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, LKV}}$	Tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergiatarpeiden suhde (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).
RAU	Rakennusautomaatio.
skenaario	Tulevaisuudessa mahdollisesti esiintyvien tapahtumaketjujen kuvaus.
SNA	Suhteellisen nykyarvon menetelmä, on investoinnin kannattavuuden tarkastelun laskentamenetelmä. Kertoo, milloin investoinnista tulee kannattavaa.
SPF-luku	(Seasonal Performance Factor) Vuotuinen keskimääräinen lämpöpumpun lämpökerroin. Lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumppujärjestelmän vuotuisen sähkönkulutukseen.
SU	Sähköurakointi.

η_a	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.
η_t	Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde.
$\varphi_{lpm}/\varphi_{tila}$	Suhteellinen lämpöteho.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä selvitetään ja arvioidaan Jarkko Nieminen Areenan energiatehokkuutta ja lämmitystehontarvetta. Kyseisen laajennushankkeen rakennusvaihe on aloitettu elokuussa 2021. Lopputulokset ja tästä työstä saadut arviot on tarkoitus hyödyntää areenan laajennushankkeessa. Työssä pyritään laskennallisesti valitsemaan energiatehokas lämmitysjärjestelmä. Lisäksi ilmanvaihdon arvoihin pyritään vaikuttamaan energiatehokkaasta näkökulmasta. Selvityksessä käytettävät lähtöarvot tulevat suurilta osin suunnittelutyössä saaduista arvoista.

Toimeksiantajana tälle opinnäytetyölle toimii Enerz Oy. Enerz Oy on energiaremontteihin, rakennusautomaatioon ja talotekniseen managerointiin erikoistunut yritys. Yritys tiedostaa ilmastonmuutoksen ja kasvavan energiankulutuksen olevan suuri ongelma, johon he tarjoavat kestäviä ratkaisuja. Heidän tavoitteenaan on olemassa olevien energiajärjestelmien optimoiminen ja vanhojen järjestelmien päivittäminen uusiutuviin energiajärjestelmiin. (Enerz Oy.) Enerz Oy osallistuu Jarkko Nieminen areenan laajennusprojektiin energiatehokkuuden parantamisen osalta.

Euroopan komission heinäkuussa 2021 julkaiseman Fit for 55 ilmastopakettin mukaisesti ilmastotavoitteet nostetaan vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä. Euroopan Unionin vuoden 2050 hiilineutraalisuustavoite edellyttävät energiatehokkuuden nostamista ja kehittämistä. Energiatehokkuuden lisäämistä pidetään tärkeänä ja keskeisenä päästövähennyskeinona, joka kannustaa sekä yrityksiä että kuluttajia tarkastelemaan omaa kulutustaan ja ohjaa ympäristöystävällisempään suuntaan. Tällä tavoin voidaan helposti ja edullisesti vähentää päästöjä sekä lisätä Suomen energiaomavaraisuutta. (Energiateollisuus ry.)

Energiayritysten vahva sitoutuminen vapaaehtoiisiin energiatehokkuussopimuksiin täyttää Suomelle asetetut energiatehokkuusveloitteet. Sopimusten myötä energiyritysten asiakkaat saavat kattavaa ja monipuolista energiatehokkuusneuvontaa, joka ajaa kilpailukykyisesti hinnoiteltuihin energiapalveluihin. Tätä kautta tietoisuus kasvaa entisestään jokaisella osa-alueella ja edistää kestävä

kehitystä sekä talouden, ilmaston että yhteiskunnan kannalta. (Energiateollisuus ry.) Energiatehokkuus on tärkeä osa-alue tässä työssä ja tuo positiivisia vaikutuksia tarkastelun kohteelle ja kannustaa pitämään huolta energiatehokkuudesta jatkossakin.

Työssä pyritään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen sekä taloudellisuuden että energiatehokkuuden kannalta, minkä vuoksi työssä korostuu eri tekijöiden vertailu. Työssä otetaan huomioon laajennushankkeen kokonaisvaltainen hyöty pitkällä tähtäimellä ja vertailukohtana toimii skenaario, jossa laajennushanketta ei olla tehty. Työssä käytettiin laskennan sekä rakennuksen energiatehokkuuden tarkastelussa apuna Ympäristöministeriön Suomen rakentamismääräyskokoelman kappaleita C3, D3 sekä D5.

2 JARKKO NIEMINEN AREENAN LAAJENNUSHANKE

Jarkko Nieminen Areena on Turun Impivaarassa sijaitseva tennis-, sulkapallo- ja monitoimihalli, joka tarjoaa monenlaisia aktiviteettimahdollisuuksia harrastajille sekä ammattipelaajille. Laajennustyön on määrä valmistua vuoden 2022 heinäkuussa. Koko laajennushanke tuo urheilukeskukseen noin 3700 neliötä uutta tilaa: kaksi uutta tenniskenttää, kolme padelkenttää, uuden kuntosalin, ryhmäliikuntatilan, uuden kahvion sekä proshopin. Lisäksi laajennuksessa keskukseen tuotiin monikäyttö-, liikunta-, sosiaali- ja varastotilat. Kyseessä on jo neljäs Impivaaran Tenniskeskuksen laajennushanke. (Impivaaran Tenniskeskus Oy.)

Laajennuksesta johtuvan suuren tilanlisäyksen vuoksi areenan LVI- puoli tarvitsi päivitystä. Laajennuksen yhteydessä Jarkko Nieminen areenan vanhat viisi IV-konetta vaihdettiin uusiin ja ne asennettiin IV-konehuoneeseen uuden laajennusosan vesikatolle. Vuonna 2007, samaisessa kiinteistössä tehtiin vastaavanlainen laajennustyö ja silloin käyttöön otettu ilmavaihtokone sekä -konehuone pysyivät ennallaan. (LeVIA Oy, 2020.)



Kuva 1 Havainnekuva Jarkko Nieminen areenan laajennuksen julkisivusta. (Schauman Arkkitehdit Oy, 2021)

Laajennustyön vuoksi lämmöntuotannon laitteet asennettiin rakennuksen uuteen lämmönjakohuoneeseen ja vanhat lämmöntuotannonlaitteet purettiin vanhoista

tiloista, mistä johtuen myös areenan kaukolämpöliittymä jouduttiin uusimaan. Rakennus on liitetty Turku Energia Oy:n kaukolämpöverkoston. (LeVIA Oy, 2020.) Lämmityspuolta pyrittiin myös uusimaan niin, että lämmitystä ei kateta ainoastaan ostoenergialla.

Turku Energia Oy kaukolämmön tuottajana

Kaukolämmön Jarkko Nieminen areenalle tuottaa Turku Energia Oy. Turku Energia on tehnyt suunnitelmallista ja pitkäjänteistä työtä uusiutuvan energian lisäämiseksi tuotannossaan. Esimerkkejä tästä ovat esimerkiksi Hyötytuuli Oy:n tuulipuistohanke tuulivoiman osuuden lisäämiseksi sekä Turun Seudun Energiatuotanto Oy:n kanssa käynnistetty geotermisen lämpöenergian hyödyntämishanke, jonka avulla voidaan tuottaa hiilineutraalia kaukolämpöä. (Turku Energia Oy, Matkalla kohti hiilineutraalia tuotantoa.)

Turku Energia Oy:n tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2029 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi Turku Energia Oy ja Turku Energia Sähköverkot ovat sitoutuneet energia-alan Energiapalvelujen energiatehokkuussopimukseen. Lisäksi he ovat sitoutuneet tehostamaan myös omaa energiankäyttöään energian jakelussa ja tuotannossa. Vuoteen 2025 mennessä Turku Energia Oy:n tavoite on säästää omasta energiakäytöstään 6 %. Tähän mennessä yritys on onnistunut säästämään muun muassa kaukolämmön verkostohäviöiden vähentämistoimilla. (Turku Energia Oy, Matkalla kohti hiilineutraalia tuotantoa.)

Uusiutuvien energianlähteiden osuus kaukolämmön tuotannosta vuonna 2021 oli 75 % (Turku Energia Oy, 2022). Turku Energia pyrkii luopumaan kivihiielen käytöstä kaukolämmön perustuotannossa kokonaan vuoden 2022 aikana. (Turku Energia Oy, Matkalla kohti hiilineutraalia tuotantoa.) Turku Energia aktiivisesti tekee töitä energiatehokkuuden ja energiasäästön tiedon lisäämiseksi sekä kotitalouksissa että yrityksissä. Yhtenä Suomen suurimmista energia-alan yhtiöistä se ajaa kaukolämmön luetettavuutta ja hiilivapaan energian tavoitteillaan myös turvaa sen käytön.

Mitä tulee sähkön hintaan, siihen tulevaisuudessa tulee todennäköisesti vaikuttamaan sen kasvava kysyntä. Sähkön tuotantoon panostetaan nyt enemmän kuin koskaan ja sen hiilidioksidipäästöt tulevat putoamaan tulevaisuudessa. Esimerkiksi Suomessa vuonna 2021 hiilidioksidivapaan sähkön osuus oli 87 %. Sähkön asiakashinta oli myös Suomessa vuonna 2021 eurooppalaisittain suhteellisen edullista. (Energiateollisuus ry, 2022.) Vihreä sähkö vetää asiakkaita puoleensa ja sen myötä kysyntä kasvaa entistä enemmän. Fossiilisista polttoaineista irtaantuminen erilaisilla säädöksillä ja verotuksella takaavat myös niiden käytön vähentämisen. Tämän lisäksi täytyy muistaa, että kuluttajilla itsellään on mahdollisuus vaikuttaa omaan sähkönkulutukseensa ja tätä kautta sen kokonaishintaan sekä päästöihin.

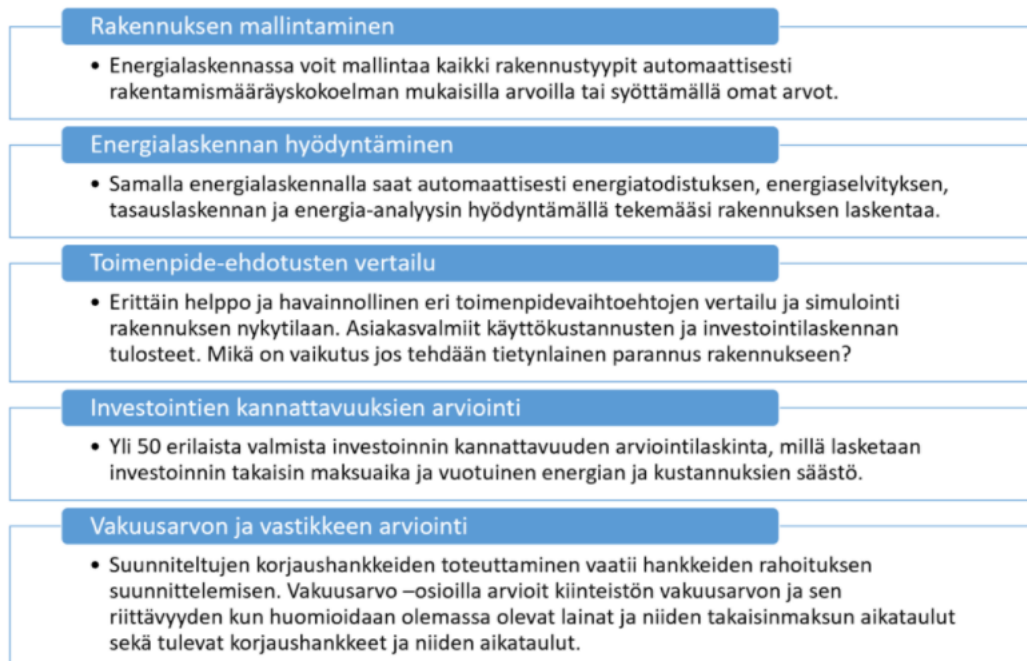
Kaukolämmön kulutukseen kuluttaja ei pysty vaikuttamaan yhtä hyvin kuin sähkön kulutukseen. Siitä huolimatta myös kaukolämmön tuotannossa ja hinnassa tullaan todennäköisesti näkemään muutoksia tulevaisuudessa. Fossiilisten raaka-aineiden kallistuessa myös niiden käyttö vähenee. Esimerkiksi turpeesta on tullut entistä kalliimpi lämmönlähde nousseen päästöoikeuden myötä. Turpeen kallistuessa siitä on myös alettu luopumaan. Kaukolämmön tuotannossa tullaan panostamaan hiilineutraaleihin polttoaineisiin yhä enemmän, sillä toisin kuin fossiilisiin polttoaineisiin, niiden hintaan ei kohdistu muita nousupaineita kuin vuodenajanvaihtelut. (Energiateollisuus ry, Kaukolämmön tuotanto.)

3 ENERGIATARPEEN LASKENNAN LÄHTÖTIEVAATIMUKSET

Energiatarpeen laskenta suoritettiin suurilta osin käyttäen laskentaohjelmistoa nimeltä Timbal Energia. Laskenta on opinnäytetyön lopputuloksen kannalta työn tärkein osa. Lähtötietovaatimukseen kuuluu suuri määrä erilaisia muuttujia ja arvoja, joita kappaleessa kattavasti käydään läpi.

3.1 Timbal Energia -ohjelmisto

Työssä käytettiin apuna Timbal Energia -ohjelmistoa, joka toimii työkaluna energialaskennalle sekä eri osa-alueiden analysoimiselle ja suunnittelulle. Kyseinen ohjelma on tarkoitettu rakennusten energiatehokkuuden kehittämiseen. Lisäksi, sillä voidaan arvioida investointien kannattavuutta ja pystytään luomaan määräysten mukaisia energiatodistuksia. (Timbal Energia.)



Kuva 2 Timbal Energia ohjelmiston hyödyt käyttäjälle (Timbal Energia).

Ohjelmiston avulla luodaan laaja analyysi, joka sisältää kaiken aina lähtötiedoista, energiatodistukseen sekä investointikustannuksiin saakka. Tässä opinäytetyössä Timbal Energia -ohjelmisto onkin tärkein laskennassa käytetty työkalu. Pelkästään Timbal Energia -ohjelmiston avulla koko työtä ei pystytä tekemään, vaan se antaa vain lopputulokset, kunhan eri lähtötietovaatimukset saadaan selvitettyä tai laskettua muilla tavoin.

3.2 Skenaariot

Seuraavaksi käydään läpi lyhyesti kaikki skenaariot, joita laskennassa ja simuloinnissa on käytetty. Tässä opinäytetyössä skenaarioiden esittäminen on tärkeää, sillä eri tilanteita ja lopputuloksia on helppo verrata keskenään tällä tavoin. Työssä on käytetty hyödyksi kuutta eri skenaariota, joita on avattu alempana. Taulukossa 1 on myös jäsennelty eri skenaarioiden vaikuttavia tekijöitä, kuten rakennuksen lämmitysmuoto ja ilmanvaihtokoneiden määrä. Vanha osa- ja laajennusosa -skenaariot ovat vertailussa mukana, jotta tarkastelu laajennuksesta johtuvista hyödyistä ja haitoista on mahdollista.

Taulukko 1 Eri skenaarioiden lämmitysmuodot sekä ilmanvaihtokoneiden lukumäärät (LeVIA Oy, 2020).

skenaariot	IV-koneiden määrä	Lämmitysmuoto
Nykytila	7	Kaukolämpö
Maalämpöpumppu	7	Kaukolämpö + maalämpöpumppu
Ilma-vesilämpöpumppu	7	Kaukolämpö + ilmavesilämpöpumppu
Poistoilmalämpöpumppu	7	Kaukolämpö + poistoilmalämpöpumppu
Vanha osa	5	Kaukolämpö
Laajennusosa	2	Kaukolämpö

3.2.1 Nykytila

Nykytila-skenaario viittaa nimensä mukaisesti rakennuksen nykytilaan. Tässä skenaariossa laajennustyö on valmis ja siinä tarkastellaan uutta laajennettua urheilukeskusta, jossa lämmitysmuotona toimii yksin kaukolämpö. Skenaario toimii

siis lähtö- ja vertailuarvona. Lisäksi tässä skenaariossa ilmanvaihtojärjestelmä on käytössä normaalisti ja järjestelmäkuvauksesta saatujen arvojen mukaisesti.

3.2.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu-skenaario on rakenteiltaan täysin sama, kuin Nykytila-skenaario, eli niiden pinta-alat ja tilavuus ovat yhtä suuret. Maalämpöpumppu-skenaariossa otetaan käyttöön kaukolämmön rinnalle omavaraiseksi energianlähteeksi maalämpöpumppu. Ilmanvaihtojärjestelmät pysyvät myös ennallaan.

3.2.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu-skenaario noudattaa samaa kaavaa, kuin Nykytila- ja Maalämpöpumppu-skenaariot. Tässä skenaariossa lämmitysmuotoina ovat puolestaan ilmavesilämpöpumppu sekä kaukolämpö.

3.2.4 Poistoilmalämpöpumppu

Tässä skenaariossa lämmitysmuotona toimii vuorostaan kaukolämmön lisäksi poistoilmalämpöpumppu. Poistoilmalämpöpumppu-skenaario on siis jälleen keran muuten täysin vastaavanlainen Nykytila-, Maalämpöpumppu- ja Ilma-vesilämpöpumppu-skenaarioiden kanssa.

3.2.5 Vanha osa

Vanha osa- skenaario taas hieman poikkeaa edellisistä. Nimensä mukaisesti se viittaa Jarkko Nieminen areenan vanhaan osaan, eli alkuperäiseen rakennukseen ennen vuonna 2021 alkanutta laajennusta. Vanha osa -skenaariossa on myös vähemmän ilmanvaihtokoneita rakennuksen pienemmän ilmatilavuuden vuoksi.

Huomioitavaa tässä skenaariossa on se, että osa ilmanvaihtokoneiden arvoista on saatu LeVIA:n järjestelmäkuvauksen uusista IV-koneista, jotka eivät välttämättä niiden tieltä poistettujen vanhojen IV-koneiden kanssa ole yhdenvertaisia. Vanhojen käytöstä pois otettujen IV-koneiden arvoja ei myöskään ollut saatavilla tämän opinnäytteen tekemiseen, joten uusien IV-koneiden arvot voivat siis hieman poiketa todellisista vanhojen IV-koneiden arvoista. Lisäksi kyseisessä skenaariossa vaikuttaa vanha, vuoden 2007 laajennuksessa tuotu IV-kone sekä erillispoisto. Yhteensä kyseisessä skenaariossa ilmanvaihtokoneita on 5 kappaletta.

3.2.6 Laajennusosa

Laajennusosa -skenaario on kooltaan huomattavasti pienempi kuin muut skenaariot, sillä tässä tarkasteltava alue on vain laajennustyössä tehtävä rakennuksen osa. Lisäksi Laajennusosa skenaariossa ilmanvaihtokoneiden määrä on vähäisempi. Tässä skenaariossa käytössä on kaksi IV-konetta.

3.3 Laskennan ja simuloinnin vaiheet

Tässä työssä käytetyt lähtöarvot sekä muut lähtötiedot on saatu insinööritoimisto LeVIA Oy:n tekemästä alustavasta LVIA-järjestelmäkuvauksesta, Schauman Arkkitehdit Oy:n tekemistä piirustuksista sekä suunnitelmista ja insinööritoimisto Juhani Lehtonen Oy:n vuoden 2007 laajennusta varten tehdyistä laskemista sekä LVI-piirustuksista. Suurin osa lähtötiedoista oli mahdollista saada näistä lähteistä, mutta osa lähtöarvoista jouduttiin laskemaan ja selvittämään muilla tavoin.

Joidenkin arvojen selvittämiseksi apuna käytettiin AutoCAD -suunnitteluohjelmaa. Esimerkiksi eräiden pinta-alojen sekä tilavuuksien selvittämiseksi AutoCAD on mainio työkalu, sillä ohjelmalla on mahdollista saada tarkkoja arvoja.

Lisäksi laskennan ja simuloinnin luettavuuden kannalta tärkeitä arvoja ovat eri laskentaparametrit. Tässä työssä olennaisimmat laskentaparametrit ovat sähkön ja kaukolämmön hinnat. Kuten aikaisemmin mainittiin, Jarkko Nieminen areena on liitettyä Turku Energia Oy:n kaukolämpöverkoston. Sama energiayhtiö

toimii myös sähköenergian myyjänä ja jakelijana Jarkko Nieminen areenalle. Kaukolämmön ja sähkön hinnat (€/MWh) voitiin laskennallisesti arvioida vanhan kulutusdatan ja kustannusten avulla Turku Energian EnergiaOnline palvelun kautta.

3.3.1 Pinta-alat ja tilavuus

Pinta-alojen sekä tilavuuksien selvittäminen ja laskeminen tätä opinnäytetyötä varten tehtiin suurilta osin käsin suunnitteluohjelmaa käyttäen tai suoraan lähteistä poimimalla. Taulukossa 2 on lueteltuna eri skenaarioiden pinta-alat sekä tilavuudet. Tässä kappaleessa käydään läpi, miten kyseisiin arvoihin on päädytty.

Taulukko 2 Skenaarioiden pinta-alat sekä ilmatilavuudet.

	Nykytila	Maalämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu	Poistoilmalämpöpumppu	Vanha osa	Laajenusosa
Bruttoala [m²]	13405	13405	13405	13405	9830	3575
Nettoala [m²]	12064	12064	12064	12064	8847	3217
Ilmatilavuus - lämmitetyt tilat [m³]	102096	102096	102096	102096	75240	26856

Pinta-alojen laskeminen oli ensimmäisiä asioita, joita työn tekemiseen lähdeittäessä täytyi tehdä. Pinta-aloilla tässä tapauksessa tarkoitetaan rakennuksen eri rakenteiden, kuten seinien, alapohjan, yläpohjan, ikkunoiden ja ovien pinta-aloja. Pinta-aloilla on suuri merkitys rakennuksen ulkovaipan lämmönjohtumisen laskennan kannalta. Rakennuksen ulkovaipan lämmönjohtuminen kertoo suoraan, kuinka paljon lämpöhäviöitä syntyy pelkästään rakenteiden läpi.

Rakennuksen pinta-alojen selvittämiseksi täytyi mennä hieman pidemmän kaaavan kautta. Saatavilla olevassa aineistossa oli ainoastaan saatavilla Laajenusosan alapohjan pinta-ala ja loput rakenteiden pinta-aloista täytyi selvittää manuaalisesti. Apuna näiden pinta-alojen selvittämiseksi käytettiin AutoCAD

ohjelmistoa ja niin sanottua sapluuna -menetelmää piirtämällä ääriviivat rakennuksen läpileikkauskuvista. Tällä tavoin laskettiin kaikkien niiden skenaarioiden rakenneosien pinta-alat, joita ei vielä ollut saatavilla. Huomioitavaa on siis se, että saadut arvot saattavat sisältää pieniä virheitä.

Rakennuksen tilavuuden selvittäminen alusta asti tuotti vaikeuksia. Esimerkiksi asemakaavan ja asemapiirroksen yhteyteen tehdyssä rakennusoikeuslaskelmassa ei ollut mainittu, onko tilavuus rakennustilavuus vai ilmatilavuus. Voidaan kuitenkin olettaa, että kyseessä on rakennustilavuus, sillä siinä puhutaan rakennusoikeuslaskelmasta. (Schauman Arkkitehdit Oy, 2021.) Rakennuksen ilmatilavuutta ei ollut saatavilla. Timbal Energia -ohjelmistossa onneksi mainitaan, että jos ilmatilavuutta ei ole tiedossa voi sen helposti arvioida rakennustilavuuden avulla.

Timbal Energia -ohjelmiston Tiedot -välilehdeltä löytyy taulukko, josta voi selvittää ilmatilavuuden prosenttiosuuden rakennustilavuudesta rakennustyyppin mukaan. Koska tämän työn rakennustyyppi on liikuntahalli, käytämme siis sen rakennustyyppin arvoa, joka on 90 % rakennustilavuudesta. (Timbal Energia.) Laajennusosan rakennustilavuus voitiin selvittää suoraan asemapiirroksen rakennusoikeuslaskelmasta, mutta Vanhan osan rakennustilavuus jouduttiin laskemaan samaa menetelmään käyttäen kuin pinta-alatkin laskettiin (Schauman Arkkitehdit Oy, 2021). Näin saatiin mahdollisimman tarkka rakennustilavuus Vanhalle osalle. Laskemalla yhteen Vanhan osan ja Laajennusosan tilavuudet, saatiin myös rakennus- ja ilmatilavuudet kaikille lopuille skenaarioille.

3.3.2 U-arvot

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin kuvastaa rakennuksen eri osien lämmönläpäisykykyä. Mitä pienempi U-arvo on, sitä parempi lämmöneristys ja sitä vähemmän syntyy hukkalämpöä. Taulukossa 3 on esitetty olennaiset rakennuksen eri osien U-arvot.

Taulukko 3 Jarkko Nieminen areenan eri rakennusosien U-arvot (Schauman Arkkitehdit Oy, 2021).

	U-arvo (W/m ² K)
Yläpohjarakenne - halliosa, toimisto	0,09
Alapohjarakenne - halliosa	0,16
Alapohjarakenne - toimisto	0,16
Ulkoseinärakenne - halliosa	0,17
Ulkoseinärakenne - toimisto	0,17
Ikkunat	1
Ovet	1

Kaikissa tämän opinnäytetyön laskuissa käytettiin oheisen taulukon (Taulukko 3) U-arvoja. Vanhan rakennuksen ja edellisten laajennustöiden eri rakenneosien U-arvot voivat toki poiketa tämänhetkistä arvoista. Siitä huolimatta taulukossa olevia U-arvoja päädyttiin käyttämään eikä nähty tarpeelliseksi lähteä muuttamaan niitä eri skenaarioiden kohdalla. Vanhan rakennuksen U-arvoja ei myöskään ollut saatavilla.

Kaikki U-arvot, ikkunoita ja ovia lukuun ottamatta, löytyvät Schauman Arkkitehdit Oy:n laatimasta piirustuksesta, jossa oli läpyleikkaukset laajennusosan suunnitelmasta rakennuksesta. Kyseisen suunnitelman ohessa oli Sweco Rakennetekniikka Oy:n eritellyt rakennetyypit jokaiselle rakenneosalle. Ympäristöministeriön asetuksen C3 mukaan ikkunoiden, ovien ja kattoikkunoiden U-arvo ei saa ylittää arvoa 1,0 W/m²K lämpimän tai erityisen lämpimän tilan vaipan lämpöhäviön vertailuarvoa laskettaessa. Käytämme siis kyseistä 1,0 W/m²K U-arvoa näissäkin laskelmissa ovien sekä ikkunoiden kohdalla. (Ympäristöministeriö, 2010.)

3.3.3 IV-koneiden arvot

Tässä työssä käytetään ilmanvaihtokoneiden kohdalla teoreettisia ja valmiiksi arvioituja arvoja. Ilmanvaihtokoneiden valmistajan antamia koneen teknisiä arvoja

ei ollut saatavilla. Timbal Energia -ohjelmiston ilmanvaihdon energiantarpeen laskenta kohdassa ilmanvaihto lasketaan konekohtaisesti. Jokaiselle koneelle siis valitaan sisälämpötila, käyntiaikasuhteet ja -vuorokausikerroin sekä LTO-vuosi-hyötysuhde. IV-koneiden tulo- ja poistoilmavirtoina käytetään LeVIA Oy:n järjestelmäkuvauksen mukaisia arvoja. IV-koneiden lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän uudistukseen kuuluivat uudet huippuimurit, joita käydään myös lyhyesti läpi.

Taulukko 4 Työssä ja simuloinnissa käytettävät ilmanvaihtokoneet sekä huippuimurit. (LeVIA Oy, 2020; Insinööritoimisto Juhani Lehtonen Oy, 2007)

Koneen tunnus	Tuloilma- virta (m ³ /s)	Poistoilma- virta (m ³ /s)	Lämmönsiirtimen tyyppi
TK01	0,9	0,9	Levylämmönsiirrin
TK02	2,2	2,2	Levylämmönsiirrin
TK03	4,9	4,9	Pyörivä lämmöntalteenotto
TK04	5,6	5,6	Pyörivä lämmöntalteenotto
TK05	5,6	5,6	Pyörivä lämmöntalteenotto
TK10	4,5	4,5	Pyörivä lämmöntalteenotto
PK10	-	0,32	-
PF01	-	0,03	-
PF02	-	0,3	-

Tämän opinnäytetyön laskennassa ja simuloinnissa käytettiin kaiken kaikkiaan kuutta ilmanvaihtokonetta sekä yhtä erillisenä poistokoneena toimivaa ilmanvaihtokonetta. Jokainen ilmanvaihtokone oli varustettu suodatuksella, joka oli pääsääntöisesti luokkaa F7, lämmöntalteenotolla, lämmityksellä sekä äänenvaimennuksella ja tarvittavilla ulko- ja poistoilmapelleillä. (LeVIA Oy, 2020.) Tämän työn lopputuloksen kannalta suodattimilla ja äänenvaimennuksella ei ole suurtakaan merkitystä, joten niiden tarkastelu voidaan jättää huomioimatta.

Taulukossa 4 on lueteltuna jokaisen ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirta sekä lämmönsiirtimen tyyppi kyseisessä laitteessa. Taulukossa 5 taas on lueteltuna, missä skenaariossa kutakin ilmanvaihtokonetta tai huippuimuria on käytetty. Tieto perustuu LeVIA Oy:n (2020) järjestelmäkuvauksen mainintaan siitä, missä osassa Jarkko Nieminen areenaa kukin kone toimii. Järjestelmäkuvauksessa oli lueteltuna myös jokaisen koneen tulo ja poistoilmavirrat. TK10 sekä

PK10 koneiden ilmavirrat ovat taas Insinööritoimisto Juhani Lehtonen Oy:n tekemistä laskelmista vuodelta 2007 (Insinööritoimisto Juhani Lehtonen Oy, 2007).

Taulukko 5 Ilmanvaihtokoneiden ja erillispoistojen käyttö eri skenaarioissa. (LeVIA Oy, 2020)

Koneen tunnus	Nykytila	Maalämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu	Poistoilmalämpöpumppu	Laajennuosa	Vanha osa
TK01	x	x	x	x	-	x
TK02	x	x	x	x	x	-
TK03	x	x	x	x	x	-
TK04	x	x	x	x	-	x
TK05	x	x	x	x	-	x
TK10	x	x	x	x	-	x
PK10	x	x	x	x	-	x
PF01	x	x	x	x	x	-
PF02	x	x	x	x	x	-

Ilmanvaihdossa ja lämmityksessä käytettyjä mitoitusarvoja (Ympäristöministeriö, 2012; LeVIA Oy, 2020):

- Mitoittava ulkolämpötila -26°C
- Liikuntahalli +20°C
- Pesu- ja pukuhuonetilat +23°C
- Muut tilat +21°C
- Tuloilman lämpötila +17°C

Ympäristöministeriön Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan liikuntahallien vakioitu ilmanvaihtokoneiden käyttöaika on 14 tuntia vuorokaudessa ja 7 päivää viikossa (Ympäristöministeriö, 2012). Tätä käyttöaikaa käytämme siis laskennan ilmanvaihtokoneissa.

Ympäristöministeriön saman, D3 asetuksen mukaan, liikuntahalleissa käytettävä lämmitysraja tulisi olla 18°C. LeVIA:n alustavan järjestelmäkuvauksen mukaan taas liikuntahallin sisälämpötilan mitoitusarvo olisi 20°C. Simuloinnin parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi päädyimme siihen, että asetimme liikuntahallin

sisälämpötilaksi 18°C ja ilmanvaihtokoneiden sisään puhallettavan tuloilman lämpötilaksi 17°C. Tällä tavoin kyettiin saamaan paras hyöty irti suuren hallin ilmanvaihdosta. (Ympäristöministeriö, 2012; LeVIA Oy, 2020.)

Tässä työssä käytetään siis kaikissa laskelmissa mitoittavana ulkolämpötilana -26°C, joka perustuu Ympäristöministeriön Suomen rakentamismääräyskokoelmaan D3. Sen mukaan energialaskennassa ja lämmitystehontarpeen laskennassa käytetään mitoittavana ulkolämpötilana rakennuspaikan maantieteellisen sijainnin mukaista säävyöhykkeen mitoittavaa ulkolämpötilaa. (Ympäristöministeriö, 2012.)

Kaiken kaikkiaan viisi uutta tehdasvalmisteista ilmavaihtokonetta sekä kaksi huipumuria (PF01, PF02) tuli käyttöön Jarkko Nieminen areenalla. Lisäksi yksi edellisen, vuoden 2007, laajennuksen ohessa tullut IV-kone ja erillinen poistokone ovat mukana laskelmissa. Uusista IV-koneista kahden koneen lämmöntalteenotto toteutettiin levylämmönsiirtimillä (TK01, TK02) ja kolmen muun pyörivällä lämmöntalteenotolla (TK03, TK04, TK05) (LeVIA Oy, 2020). Vanhan ilmanvaihtokoneen (TK10) LTO oli toteutettu pyörivällä lämmöntalteenotolla Insinööritoimisto Juhani Lehtonen Oy, 2007).

Järjestelmäkuvauksen mukaan ilmavaihtokoneina käytettiin mahdollisimman korkean lämpötilahyötysuhteen omaavia laitteita. Tämän tarkemmin lämpötilahyötysuhteista ei järjestelmäkuvauksessa tai muissa LeVIA Oy:n (2020) liitteissä mainita. Tyypillisesti tuloilman lämpötilahyötysuhde vastavirtalevylämmönsiirtimillä ja regeneratiivisillä lämmöntalteenottolaitteilla on 60–80 %. Ilmanvaihdon energiankulutuksen kannalta tärkeämpi arvo on kuitenkin lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja sitä tarkastellaankin seuraavaksi.

Timbal Energia -ohjelmistossa IV-koneen LTO-vuosihyötysuhteen voi valita alas vedettävästä valikosta. Valikossa suurin vuosihyötysuhde levylämmönsiirtimille on 0,45 ja pyörivällä lämmöntalteenotolla 0,59. (Timbal Energia.) Vuosihyötysuhde päädyttiin kuitenkin määrittämään laskennallisesti, sillä ei ole tarpeeksi luotettavaa ja vahvaa tietoperustaa Timbal Energia- ohjelmistossa annetuille arvoilla. Ympäristöministeriön Tasauslaskentaoppaan 2018 laskennallisten

ohjeiden avulla voidaan laskea ilmavaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tilanteessa, jossa tuloilmanlämpötilahyötysuhde on määritetty yhtä suurilla tulo- sekä poistoilmavirroilla. (Ympäristöministeriö, 2017). Tällä tavoin laskettuna vuosihyötysuhteeksi saadaan hieman Timbal Energia- ohjelmiston hyötysuhteista poikkeavia, mutta tarkempia arvoja.

Ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhteen laskemiseksi ja selvittämiseksi täytyi aluksi selvittää jokaisen ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilahyötysuhde, joka laskettiin alla olevalla kaavalla (Ympäristöministeriö, 2017).

$$\eta_t = \frac{(t_{LTO} - t_u)}{(t_s - t_u)}$$

Ympäristöministeriön asetuksen C3 mukaan, jollei selvityksin toisin osoiteta, ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on mahdollista laskea kertomalla tuloilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde 0,6:lla, jos tulo- ja poistoilmavirrat kyseisessä tilanteessa ovat yhtä suuret (Ympäristöministeriö, 2010). Kaava on muotoa:

$$\eta_a = 0,6\eta_t$$

Yllä olevilla kaavoilla laskemalla saatiin kaikille ilmanvaihtokoneille tuloilman lämpötilahyötysuhteeksi 0,98 ja siitä vuosihyötysuhteeksi 0,59. Huonelämpötilana kaikissa tapauksissa käytettiin 18°C ja tuloilman lämpötilana 17°C. Mitoittava ulkolämpötila oli -26°C.

3.3.4 Laskentaparametrit

Turku Energian nettisivuilla on käytössä energiankäytön seurantapalvelu nimeltä EnergiaOnline. EnergiaOnline palvelusta voidaan seurata kaukolämmön sekä sähkön energiankulutusta ja siitä seurautuvia kustannuksia. Seurantapalveluun kirjautumalla kiinteistön tai kiinteistöjen omistaja voi seurata energiankäyttöä vuosi- tai jopa tuntitasolla. (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta.) Tässä työssä turvaudutaan täysien kalenterivuosien antamaan dataan.

Motiva Oy:n nettivisujen mukaan keskimääräinen kaukolämmön hinta Suomessa vuonna 2016 oli 75 euroa megawattitunnilta (Motiva Oy, 2019). Hinnat ovat todella paikkakunta- sekä yhtiökohtaisia, joten turvaudutaan EnergiaOnline palvelusta saatavan datan tuloksiin. Näin on myös mahdollista saada Jarkko Nieminen areenalle sopivia hintoja.

Taulukko 6 Kaukolämmön energiankulutus, hinta sekä kustannukset vuodesta 2014 vuoteen 2021 saakka (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta).

	Energia yhteensä	Kustannukset yhteensä	Kaukolämmön hinta
	MWh	€	€/MWh
2014	291,50	20116,02	69,01
2015	388,40	26696,04	68,73
2016	293,82	20766,9	70,68
2017	307,67	23030,34	74,86
2018	327,47	23765,12	72,57
2019	312,17	23932,28	76,67
2020	279,57	21498,39	76,90
2021	360,63	26849,39	74,45

Taulukossa 7 on esitetty Jarkko Nieminen areenan kaukolämmön vuosittainen energiankulutus sekä siitä johtuvat kustannukset. Mukaan on myös laskettu energian hinta (€/MWh). Kaukolämmön hintana käytetään edellisen täyden kalanerivuoden mukaista energian hintaa. Sähkön hinnaksi saatiin siis 74,45 €/MWh.

Myös sähköenergian hinta voitiin selvittää samalla tavalla EnergiaOnlinesta saatavalla Jarkko Nieminen areenan energiankulutusdatan avulla. Taulukkoon 8 onkin koottu EnergiaOnline palvelusta haettu Jarkko Nieminen areenan sähköenergian kulutus ja kustannukset vuodesta 2016 vuoden 2021 loppuun saakka. Lisäksi taulukkoon on laskettu sähköenergian hinta.

Taulukko 7 Sähköenergian vuosittainen kulutus ja kustannukset 2016–2021 (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta).

	Energia yhteensä	Kustannukset yhteensä	Sähköenergian hinta
	kWh	€	€/MWh
2016	683 450	57 692,61	84,41
2017	660 285	51 657,43	78,24
2018	629 725	49 993,47	79,39
2019	648 775	58 317,72	89,89
2020	549 697	48 559,65	88,34
2021	614 464	53 686,89	87,37

Taulukosta (Taulukko 7), alimmalta riviltä, voidaan nähdä edellisen täyden kalenterivuoden kulutuksen ja kokonaiskustannusten mukaan laskettu sähköenergian hinta. Tätä sähköenergian hintaa käytetään myös Timbal Energia -ohjelmiston simuloinnissa ja laskelmissa.

Todellisuudessa Turku Energia Oy:n hinnoittelun mukaan sähkön sekä kaukolämmön hinnat koostuvat perusmaksusta ja energiamaksusta. Sähkön hinta voidaan vielä jakaa myynnin perusmaksuun ja energiamaksuun sekä siirron perusmaksuun ja energiamaksuun. Lisäksi sähkön hintaan vaikuttaa myynnin ja siirron verotus. (Turku Energia Oy, EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta.) Molempia arvoja, sekä sähköenergian hintaa (87,37 €/MWh) että kaukolämmön hintaa (74,45 €/MWh), voidaan käyttää kaikissa tämän opinnäytetyön simuloitiskenaarioissa laskelmissa.

4 LÄMMITYSRATKAISUT JARKKO NIEMINEN AREENALLA

Oleellinen osa tätä opinnäytetyötä oli selvittää ja valita mahdollinen vaihtoehtoinen energianlähde toimimaan Jarkko Nieminen areenalla kaukolämmön rinnalle. Eri skenaarioissa käytettyjä lämpöpumppuratkaisuja vertaillaan nyt keskenään ja lisäksi tarkastellaan niistä syntyviä kustannuksia. Lisäksi otetaan vertailuun mukaan tilanne, jossa kaukolämpö toimii ainoana lämmitysratkaisuna rakennukselle. Lämpöpumppujen mitoituksessa ja laskennassa käytettiin apuna Ympäristöministeriön energialaskentaopasta.

Timbal Energia ohjelmistolla pystytään laskemaan automaattisesti lämpöpumppujen lämmöntuotto sekä sähköenergian kulutus samaa laskentamenetelmää käyttäen. Tämä laskentamenetelmä on esitetty myös energialaskentaoppaassa. Arvot riippuvat vain ohjelmiston käyttäjän valitsemista lämpöpumpun kattamista osuuksista sekä lämmöntarpeesta. Taulukot lämpöpumppujen kattamasta osuudesta tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta löytyvät liitteistä (Liite 2). Energialaskentaopasta käytettiin siis apuna oikean lämpötehon ja tilojen lämmityksen suhteen löytämiseksi. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012.)

4.1 Lämpöpumppujen mitoitus

Lämpöpumppujen mitoitus tehdään Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan laskentamenetelmää käyttäen ja Timbal Energia ohjelmiston avulla siten, että arvioidaan mahdollisimman realistisesti toimiva ja energiatehokasta ratkaisu. Mitoituksessa käytettiin siis energialaskentaoppaan yksinkertaista laskentamenetelmää. Liian yksityiskohtaista laskemista ja analysointia lämpöpumppujen osalta pyritään välttämään. Tarkoituksena on vain esittää ja todistaa, että lämpöpumppuratkaisu on toimiva ja järkevä järjestelmä Jarkko Nieminen areenalla.

MLP ja IVLP mitoitus

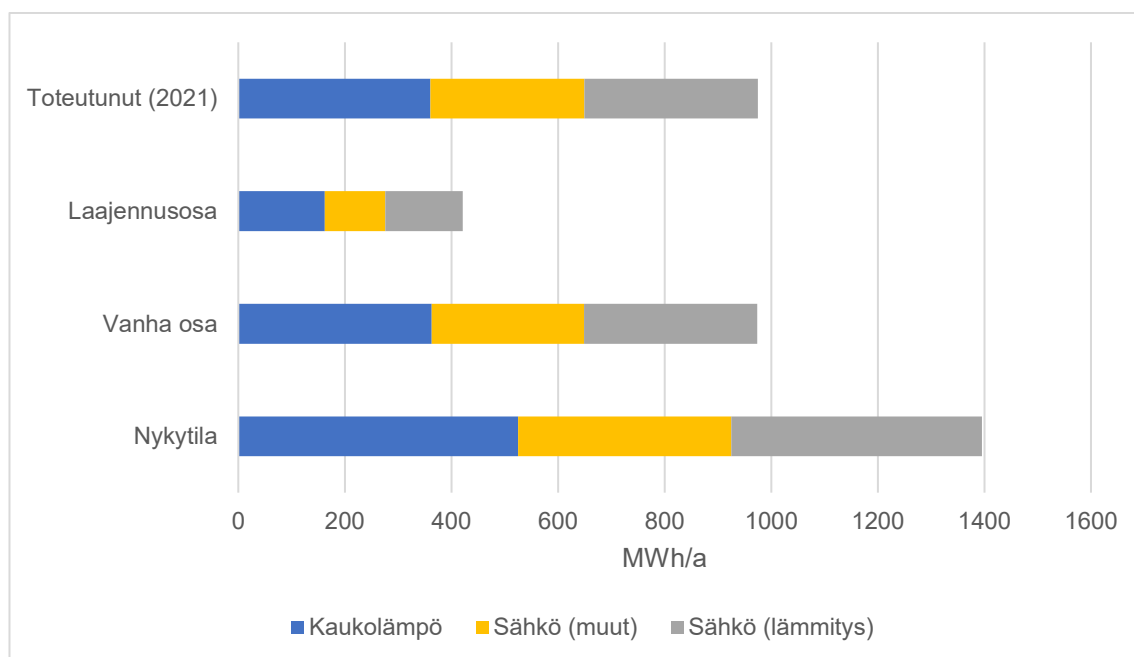
Energialaskentaoppaan mukaan maa- ja ilma-vesilämpöpumppujen tuottama lämmitysenergian osuus pystytään arvioimaan laskentaoppaassa esitettyjen taulukoiden avulla, jos lämpöpumpun nimellistehon suhde rakennuksen tilojen lämmityksen mitoitustehoon tunnetaan. Tästä saatua arvoa kutsutaan suhteelliseksi lämpötehoksi ($\varphi_{lpn}/\varphi_{tila}$). Taulukoilla voidaan myös arvioida lämpöpumpun mitoitus lämmönjakoverkoston lämpötilatason, tilojen- ja käyttöveden lämmitysenergian suhteen. Lisäksi samaisten taulukoiden avulla voidaan arvioida Suomen säävyöhykkeiden vaikutus lisälämmitysenergiantarpeeseen. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012.)

Energialaskentaoppaan mukaan tilanteessa, jossa maalämpöpumpun keruupiirin paluunesteen lämpötila on 0°C ja menoveden lämpötila 35°C, maalämpöpumpun suhteellinen lämpöteho on silloin 1,0. Tämä tarkoittaa sitä, että maalämpöpumppu on mitoitettu täystehon mukaan. Tässä työssä ei kuitenkaan käytetä lämpöpumppujen mitoituksessa täystehomitoitusta vaan osatehomitoitusta. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012.)

Vastaavasti ilma-vesilämpöpumpun kohdalla suhteellisen lämpötehon ollessa 1,0 vastaa se tehomitoitusta noin -5°C ulkolämpötilassa, jolloin menoveden lämpötila on 35°C. Ilma-vesilämpöpumpuilla tarkka mitoituspisteen ulkolämpötila riippuu lämpöpumpun lämmöntuottokyvystä, kun ulkolämpötila on alle +7°C. ilma-vesilämpöpumppujen tehomitoitus vastaa suoraan osatehomitoitusta, sillä niiden toimintarajalämpötila on korkeampi kuin lämmitysjärjestelmän mitoittava ulkolämpötila Suomen ilmastovyöhykkeillä. Tyypillinen toimintarajalämpötila ulkoilma-lämpöpumpuille (ilma-vesi) on -20°C. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012.)

Energialaskentaoppaan lisäksi lämpöpumppujen mitoituksessa käytettiin apuna Oilonin valintatyökalua nimeltä Oilon Selection Tool, jolla voidaan valita ja mitoitaa lämpöpumppu rakennuksen tunnetun energiankulutuksen perusteella. Lisäksi valintatyökaluun täytetään muita tarvittavia tietoja. Oilon Selection Toolilla ei voida kuitenkaan valita ja mitoittaa ilma-vesilämpöpumppuja.

Laajennetun rakennuksen (Nykytila -skenaario) arvioitu lämmityksen energiankulutus saatiin Timbal Energia -ohjelmiston avulla, koska vanhan rakennuksen energiankulutus tunnettiin. Ennen laajennusta kaukolämmön kulutus Jarkko Nieminen areenalla oli noin 360 MWh ja sähkön kokonaissähkönkulutus oli noin 614 MWh (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta). Vanha osa -skenaarion avulla voitiin arvioida, kuinka suuri osa tästä sähkönkulutuksesta on lämmitystä. Vanha osa -skenaarion laskennan mukaan arvioituna noin 48 % rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeesta on huonekohtaista sähkölämmitystä ja loput 52 % on kaukolämpöä. Näitä prosentuaalisia osuuksia käytettiin myös Nykytila- sekä laajennusosa -skenaarioiden laskennassa ja sen avulla saatiin alla olevat (Kuva 3) kaukolämmön sekä sähkön kokonaisenergian kulutukset.



Kuva 3 Jarkko Nieminen areenan eri skenaarioiden sekä toteutuneen lämmitys-sähkön, laitesähkön ja kaukolämmön kulutus (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta; Timbal Energia).

Sijoittamalla laajennetun rakennuksen arvioidut kaukolämmön ja sähkön energiankulutukset Oilon Selection Toolin laskentaosioon saadaan laajennetun rakennuksen lämmitystehontarpeeksi noin 504,7 kW. Valintatyökaluun sijoitetaan siis kaukolämmön kulutus sekä sähköpattereilla tai -vastuksilla kulutettu lämmitys-sähkö. Rakennukseen valittujen maalämpöpumppujen tehoksi saadaan noin 223

kW (Oilon Group Oy). Suhteelliseksi lämpötehoksi ($\varphi_{lpn}/\varphi_{tila}$) saadaan silloin 0,44, joka pyöristetään lukuarvoon 0,4 (Liite 2).

Ilma-vesilämpöpumppuja ei Oilon Selection Toolilla ollut mahdollista mitoittaa. Voidaan kuitenkin olettaa, että IVLP on tässä tapauksessa vähintään yhtä tehokas kuin maalämpöpumppukin. Ilma-vesilämpöpumpun kohdalla voidaan käyttää hieman suurempaa 240 kW lämpöpumppujärjestelmää, joka nostaa suhteellisen lämpötehon ($\varphi_{lpn}/\varphi_{tila}$) noin 0,48. Tämä saatu suhteellinen lämpöteho voidaan pyöristää lukuarvoon 0,5 (Liite 2).

PILP mitoitus

Poistoilmalämpöpumpun mitoitus on taas hieman yksinkertaisempi maa- ja ilma-vesilämpöpumppujen mitoitukseen verrattuna. Jos tilojen lämmittämisen energiantarve ($Q_{lämmitys,tilat}$) ja käyttöveden lämmittämisen energiantarve ($Q_{lämmitys,lkv}$) tunnetaan, energialaskentaoppaassa esitettyjen taulukoiden avulla voidaan arvioida poistoilmalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian osuus. Lisäksi samaisten taulukoiden avulla voidaan arvioida poistoilmalämpöpumpun jäteilman lämpötilan sekä SPF-luvun vaikutus lämpöpumpulla tuotettavan lämmitysenergian osuuteen. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012.)

Poistoilmalämpöpumpun tuottaman osuuden tilojen ja lämpimänkäyttöveden lämpöenergian tarpeen ($Q_{LP}/Q_{lämmitys,tilat,iv,lkv}$) valitsemiseksi täytyy tilojen, ilmanvaihdon ja LKV:n lämpöenergian tarve ensin laskea ($Q_{lämmitys,tilat,iv,lkv}$). Lämpöenergian tarve saadaan käyttämällä alla olevaa kaavaa. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012.)

$$Q_{lämmitys,tilat,iv,lkv} = \frac{Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lämmitys,lkv}}{\text{lämmitetty nettopinta} - \text{ala}}$$

jossa,

$Q_{lämmitys,tilat,iv,lkv}$

on tilojen, ilmanvaihdon ja LKV:n lämpöenergian tarve

$Q_{\text{lämmitys,LKV}}$ on käyttöveden lämmittämisen energiantarve

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ on tilojen lämmittämisen energiantarve

Timbal Energia -ohjelmisto laskee tilojen, ilmanvaihdon ja LKV:n lämpöenergian tarpeen automaattisesti käyttämällä yllä olevaa kaavaa. Ohjelmistoon täytyy vain syöttää tilojen ja käyttöveden lämmittämisen energiantarve. Yllä esitetystä kaavasta saatavalla arvolla voidaan valita ja arvioida poistoilmalämpöpumpun tuottama osuus tilojen ja LKV:n lämpöenergian tarpeesta. Kyseinen arvo voidaan valita liitteistä löytyvällä taulukolla (Liite 2). Laskennallisesti saatua arvoa voidaan verrata taulukossa oleviin lukuihin pyöristämälle se seuraavaan lähinnä olevaan lukuun. Lisäksi oikean poistoilmalämpöpumpun tuottaman osuuden tilojen ja LKV:n lämpöenergian tarpeen löytämiseksi jäteilman lämpötila täytyy tuntea.

Mitoituksen arvot

Taulukko 8 Lämpöpumpujen mitoituksessa käytetyt ja lasketut arvot (Timbal Energia).

Maalämpöpumpun arvot	
Arvioitu LP:n suhteellinen lämpöteho $\varphi_{\text{lpn}}/\varphi_{\text{tila}}$	0,4
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, LKV}}$	2,0
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, LKV}}$ (laskennallinen)	2,97
Korkein menoveden lämpötila	60°C
Lämpöpumpun kattama osuus tilojen ja LKV:n lämpöenergian tarpeesta	0,70
Lämpöpumpun SPF-luku, tilojen lämmitys	3,5
Lämpöpumpun SPF-luku, käyttöveden lämmitys	2,3
Ilma-vesilämpöpumpun arvot	
Arvioitu LP:n suhteellinen lämpöteho $\varphi_{\text{lpn}}/\varphi_{\text{tila}}$	0,5
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, LKV}}$	2,0
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, LKV}}$ (laskennallinen)	2,97
Korkein menoveden lämpötila	60°C
Lämpöpumpun kattama osuus tilojen ja LKV:n lämpöenergian tarpeesta	0,68
Lämpöpumpun SPF-luku, tilojen lämmitys	2,3
Lämpöpumpun SPF-luku, käyttöveden lämmitys	1,8
Poistoilmalämpöpumpun arvot	

Tilojen, ilmanvaihdon ja LKV:n lämpöenergian tarve, $Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, lkv}}$	81
Lämpöpumpun tuottama osuus tilojen ja LKV:n lämpöenergian tarpeesta,	0,74
Lämpöpumpun SPF-luku, tilat ja LKV	1,9
Jäteilman alin lämpötila	5°C

Yllä olevassa taulukossa (Taulukko 8) on esitetty tämän opinnäytteen simulointiskenaarioissa käytetyt lämpöpumppujen laskennalliset arvot. Suurin osa taulukossa luetelluista arvoista on saatu Timbal Energia ohjelmiston avulla. Näiden arvojen perusteella lasketaan Timbal Energia ohjelmiston avulla kunkin lämpöpumpun lämmöntuotto sekä sähkönenergian kulutus Jarkko Nieminen areenalla.

4.2 Lämmitysratkaisujen vertailu

Tarkasteltaessa yleisesti liikuntahallien lämmitystä täytyy ottaa huomioon monia asioita. Yksi tärkeimmistä tekijöistä on liikuntahallien lämpöenergian hankinta, joka voidaan toteuttaa monin eri tavoin, esimerkiksi kaukolämmöllä tai lämpöpumpuilla.

Kaukolämpö liikuntahallin lämmönlähteenä

Yleisesti järkevä ratkaisu liikuntahallien lämmönlähteeksi on kaukolämpö. Kaukolämpöä voidaan käyttää päälämmönlähteenä tai sillä voidaan kattaa lämmityshuippujen sekä prosessien lämmitystarpeita, jotka vaativat korkeaa lämpötilaa. Nykyisin hyvinkin energiatehokkaaksi ja kilpailukykyiseksi koettu lämmitysratkaisu on lämpöpumppu, joka tuottaa rakennuksen vaatiman lämmitysenergian sähköllä. Siitä huolimatta tilanteessa, jossa lämpöpumppu otetaan käyttöön, täytyy huomioida, että se on matalalämpöinen lämmönlähde, joka vaikuttaa jo suunnitteluvaiheessa lämmitysjärjestelmän, lämmönjaon ja lämpimän käyttöveden valmistukseen. Siksi lämpöpumppu vaatiikin usein rinnalleen korkealämpöisen lisä- tai jälkilämmityksen esimerkiksi juuri kaukolämmön. (Toomla, 2015.)

Suurimmassa osassa liikuntahalleja, kuten Jarkko Nieminen areenallakin, lämmitysenergiaa kuluu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen. Energiatehokkaissa tapauksissa ilmanvaihdon osuus lämmitysenergian kulutuksesta on merkittävä, sillä suuren ilmatilavuuden omaava rakennus vaatii aina suurien ilmamäärien käsittelyn. Lämpimän käyttöveden (LKV) valmistus on myös yksi lämpöenergian kulutuksen tekijä liikuntahalleissa. Keskimäärin LKV kattaa noin 12 % lämpöenergian kulutuksesta liikuntahalleissa tilojen lämmityksen kattaessa noin 42 % ja ilmanvaihdon lämmityksen noin 41 %. Voidaan siis sanoa, että liikuntahallit ovat suhteellisen yksinkertaisia kokonaisuuksia, mitä tulee lämpöenergian kulutukseen ja tarpeeseen. (Toomla, 2015.)

Tämän opinnäytetyön ajatus piilee kaukolämmön ostoenergian tarpeen vähentämisessä ja vaihtoehtoihin lämmitysratkaisuihin siirtymisessä. Kuten aikaisemmin mainittiin, kaukolämmön voidaan todeta olevanärkevin vaihtoehto liikuntahallin tai muun tämänkokoisen kiinteistön päälämmönlähteeksi. (Toomla, 2015.)

Täytyy kuitenkin ottaa huomioon se tosiasia, että rakennukset muuttuvat yhä enemmän suuntaan, jossa ne eivät ole riippuvaisia pelkästään ostoenergiasta. Pienilläkin investoinneilla voidaan taata ympäristöystävällisempiä ja energiätehokkaampia ratkaisuja, joista voi pitkällä juoksulla olla suurtakin kustannushyötyä. Vain yhtä täysin oikeaa ja toimivaa lämmitysratkaisua on lähes mahdotonta määrittää liikuntahalleille, koska on täysin kohdekohtaista, mikä ratkaisu missäkin toimii. (Toomla, 2015.)

Lämpöpumppu kaukolämmön rinnalle

Johannes Simolan opinnäytetyö ”Energia- ja kustannustehokas lämmitysjärjestelmä – vertailussa maalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu” käsittelee energia- ja kustannustehokkaita lämmitysjärjestelmiä ja vertailee maalämpöpumppua ja ilma-vesilämpöpumppua. Työssään Simola tulee siihen tulokseen, että ilma-vesilämpöpumppu sopisi paremmin pientalojen lämmitykseen, kun taas maalämpöpumppu olisi huomattavasti kannattavampi suuremmissa kiinteistöissä, kuten rivitaloissa ja kerrostaloissa. (Simola, 2020.)

Suuremmissa kiinteistöissä takaisinmaksuaika maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun välillä kaventuu. Työssään Simola (2020) tuo myös esille sen, että suuremmissa kiinteistökohteissa usein lämmönjakomuotona on patterilämmitys, joka myös Jarkko Nieminen areenalla on käytössä (LeVIA Oy, 2020). Maalämpöpumpulla on parempi lämpökerroin patterilämmitysjärjestelmässä kuin ilma-vesilämpöpumpulla. Sen vuoksi Simola suositteleekin maalämpöpumppua isompiin kiinteistökohteisiin. (Simola, 2020.)

Simola (2020) kertoo työssään lyhyesti muistakin lämpöpumpuista, kuten poistoilmalämpöpumpusta, jota myös tässä työssä tarkastellaan. Simola kuitenkin vetoaa siihen, että poistoilmalämpöpumppu ei ole yhtä energiatehokas kuin maalämpöpumppu tai vesi-ilmalämpöpumppu ja siksi ei myöskään käsittele poistoilmalämpöpumppua sen yksityiskohtaisemmin. Tässä työssä poistoilmalämpöpumppu pidettiin kuitenkin mukana tarkastelussa vertailun vuoksi, vaikka se ei ole maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun rinnalla yhtä tehokas. Poistoilmalämpöpumppu ei ole myöskään yhtä yleinen Suomessa lämmityskäytössä oleva lämpöpumppu. (Simola, 2020.)

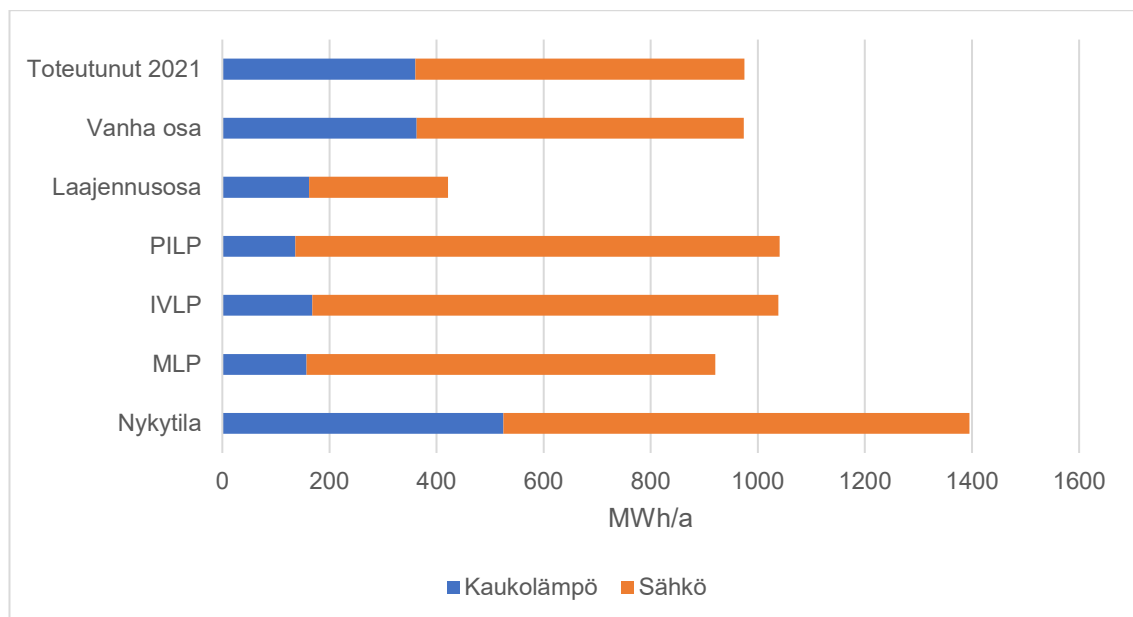
Minkä tahansa lämpöpumpun käyttöönottamisella voitaisiin Jarkko Nieminen areenalla säästää kaukolämmön vuositason kustannuksissa huomattavasti. Lämpöpumppujärjestelmien suuret kustannukset johtuvat yleensä niiden asennuksesta. Esimerkiksi maalämpöpumpun kohdalla suurin sen hintaan vaikuttaja on se, että tehdäänkö kiinteistölle porakaivo vai ei. Toinen vaihtoehto olisi maapiirin tekeminen eli vaakaputkiston asentaminen, mikä olisi edullisempaa porakaivoon verrattuna. (Oulun kaupunki, 2013.)

Ilma-vesilämpöpumpun asentaminen olisi maalämpöpumppuun verrattuna huomattavasti edullisempi vaihtoehto. Toisaalta ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän käyttöikä on pienempi kuin maalämpöpumpun, joka vaikuttaa myös huomattavasti kustannuksiin ja investointeihin, kun pienemmällä aikavälillä joudutaan uusimaan tai korjaamaan järjestelmää. Maalämpöpumpun käyttöiän ollessa noin 15–20 vuotta on ilma-vesilämpöpumpun käyttöikä puolestaan noin 10–15 vuotta. (Oulun kaupunki, 2013.) Lämpöpumppujen käyttöikä voi tosin vaihdella

tapauskohtaisesti. Lisäksi ilma-vesilämpöpumpun vuosittainen sähkönkulutus on korkeampi (Motiva Oy, 2021).

Ilma-vesilämpöpumppujen sähkönkulutukseen liittyvä suuri ongelma on kovat pakkasjaksot. Ulkoilman lämpötilan ollessa alle -20°C ilma-vesilämpöpumpun antama lämmitysenergian määrä ja laitteen lämpökerroin laskevat. Lämmitystarpeen ollessa suurimmillaan ilma-vesilämpöpumput tuottavat vähiten energiaa. Kovimpien pakkasten aikana ilma-vesilämpöpumput käyttävät varalämmitysjärjestelmää kattaakseen vaaditun lämmitystarpeen. Varalämmitysjärjestelmänä ilma-vesilämpöpumpuille käytetään yleensä niiden omia sähkövastuksia, joka nostavat ilma-vesilämpöpumpun sähköenergian tarvetta huomattavasti. (Motiva Oy, 2021.)

Kaukolämmön ja sähkön kokonaiskulutusten vertailu



Kuva 4 Kaukolämmön ja sähkön toteutunut vuoden 2021 kulutus verrattuna skenaarioiden laskennalliseen kulutukseen (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta; Liite 3).

Kuvassa 4 on esitetty vuoden 2021 toteutunut kokonaisenergiankulutus sekä eri skenaarioiden laskennalliset kaukolämmön ja sähkön kulutusosuudet. Kuvasta

voidaan välittömästi nähdä, kuinka paljon lämpöpumput vaikuttavat kaukolämmön tarpeeseen. Lämpöpumpun ollessa käytössä Jarkko Nieminen areenalla rakennuksessa voi se, lämpöpumpun tyypistä riippumatta, laskennallisesti vähentää kaukolämmön tarvetta yli 350 megawattitunnilla vuodessa.

Kaukolämmön kulutus (skenaariot) (Kuva 4):

- Nykytila	525 MWh
- Maalämpöpumppu	158 MWh
- Ilma-vesilämpöpumppu	168 MWh
- Poistoilmalämpöpumppu	137 MWh
- Vanha osa	363 MWh
- Toteutunut (2021)	361 MWh

Kuten aikaisemmin mainittiin lämpöpumput tuottavat vaaditun lämmitysenergiansa sähköllä, joka vaikuttaa suuresti rakennuksen kokonaisenergiensähkönkulutukseen. Lämpöpumpun mitoituksessa ja valinnassa täytyy siis ottaa huomioon myös sähköenergian tarpeen muutos, joka voi vaikuttaa koko rakennuksen energiatehokkuuteen. Maalämpöpumpun (MLP: 763 MWh) käyttöönoton myötä rakennuksen sähköenergian tarve laskee noin 107 MWh ja ilma-vesilämpöpumpun (IVLP: 870 MWh) käytön myötä sähköenergian tarve ei muutu Nykytila -skenaarioon (Nykytila: 870 MWh) verrattuna. Poistoilmalämpöpumpun käytöllä sähköenergian tarve taas nousisi noin 33 MWh (PILP: 904 MWh).

Voidaan sanoa, että maalämpöpumppu on potentiaalisin vaihtoehto Jarkko Nieminen areenalla omavaraisenergianlähteeksi ja jolla voidaan vähentää lämmitysostoenergian määrää merkittävästi. Koko kiinteistön lämmitystä maalämmöllä ei voida eikä tulla kattamaan, joten kaukolämmöllä olisi edelleen tärkeä rooli kattamassa lämmityshuippuja sekä olemalla päälämmönlähde. Maalämpöpumppu toimisi kaukolämmön tukena ja pystyisi parantamaan näin rakennuksen energiatehokkuutta.

Maalämpöpumpun vähentäessä kaukolämmön ostoenergian tarvetta, nostaa se samalla sähköenergian tarvetta. Muihin lämpöpumppuratkaisuihin verrattuna sähköenergian tarpeen nousu on kuitenkin vähäisempi ja sitä kautta

kustannusten nousu pienempi. Myös toteutuneeseen kulutukseen ja Nykytila- skenaarioon verrattuna kokonaisenergiankulutus laskee maalämpöpumpun käytön myötä. Laajennuksesta ja lämpöpumpun käytöstä johtuvia investointi- sekä käyttökustannuksia käsitellään tarkemmin tuloksissa.

5 LAAJENNUSHANKKEEN VAIKUTUS AREENAN HIILIJALANJÄLKEEN

Energiatehokkuuden parantamiseen liittyy myös olennaisena osana lämmön- sekä sähkönkulutuksesta johtuvien päästöjen minimoiminen. Siksi tämän opinnäytetyön energiatehokkaan tarkastelunäkökulman jatkamiseksi otetaan käsitteeseen laajennuksesta johtuvat päästöt sekä sen hiilijalanjälki. Tarkastelu tehdään 10, 15 ja 20 vuotta eteenpäin siitä hetkestä, kun laajennus on valmis. Tarkastelun kohteena ovat tässä opinnäytetyössä käytetyt eri lämpöpumpuilla varustetut skenaariot. Lisäksi tutkitaan ja verrataan laskennallisesti edellä mainittujen skenaarioiden suhdetta tilanteeseen, jossa laajennusta tai koko energiaremonttia ei ole tehty lainkaan.

Timbal Energia ohjelmisto pystyy simuloinnissa laskemaan automaattisesti vuosittaiset hiilidioksidipäästöt kullekin skenaariorolle. Ei kuitenkaan käy selväksi, miten ohjelma laskee hiilidioksidipäästöt, joten päädyttiin käyttämään Timbal Energia ohjelmiston lisäksi toista työkalua, jolla voidaan laskea hiilijalanjälki Jarkko Nieminen areenalle.

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) nettisivuilta löytyy maksuton yrityksille tarkoitettu hiilijalanjäljen laskenta työkalu nimeltä Y-HIILARI Hiilijalanjälki -työkalu. Anniina Kontiokorpi on alun perin tehnyt kyseisen laskenta työkalun osana diplomityötään ”Energia- ja ilmastotoimenpiteiden käynnistäminen pk-yrityksissä”. Y-HIILARI työkalulla voidaan laskea yhteensä yrityksen vuodessa tuottama hiilijalanjälki, johon osana kuuluu sähkönkulutus, lämpöenergiankulutus, kuljetukset, jätehuolto sekä liikematkustaminen. Y-HIILARI-työkalusta saaduilla hiilijalanjäljen arvoilla voidaan tukea ja vahvistaa Timbal Energia ohjelmiston antamat tiedot. Y-HIILARI-työkalulla voidaan myös laskea toteutuneen kulutuksen perusteella Jarkko Nieminen areenan hiilijalanjälki. (Suomen ympäristökeskus, 2013.) Timbal Energia ohjelmistolla tämä ei ollut mahdollista.

Jarkko Nieminen areenan hiilijalanjäljen laskennassa ei jätehuoltoa oteta huomioon, koska kiinteistön jätehuollosta ei ole tarpeeksi tietoa, jotta se voitaisiin ottaa

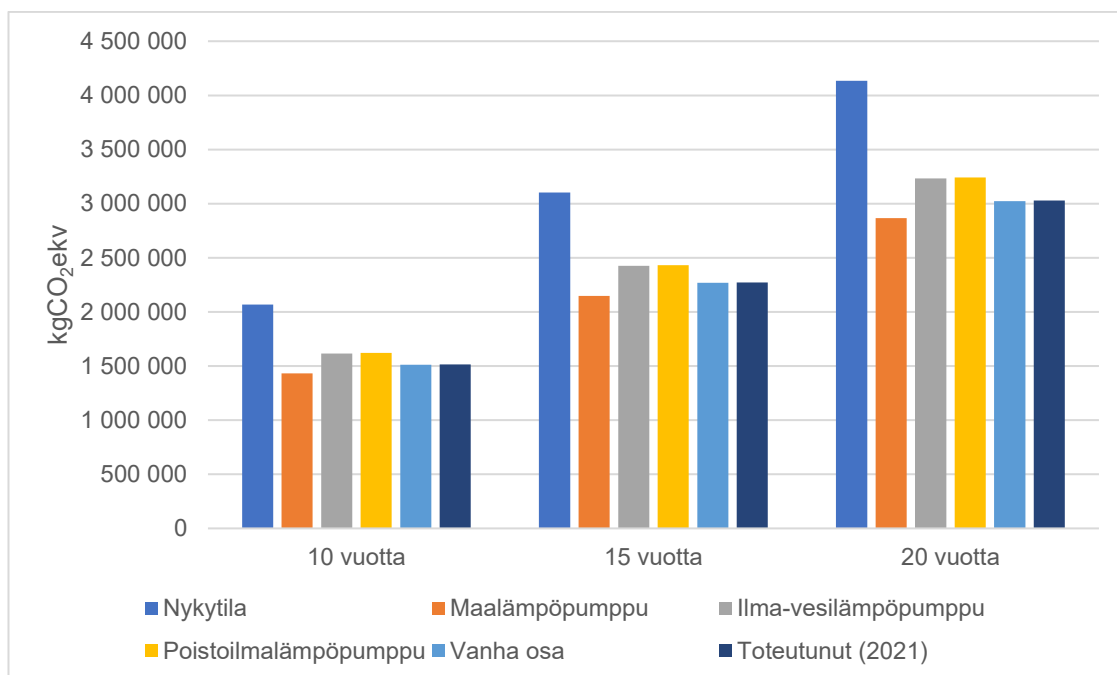
mukaan laskelmiin. Kuljetuksista ja liikematkustamisesta syntyvää hiilijalanjälkeä ei myöskään oteta huomioon, sillä niistä ei ole tarpeeksi tai ollenkaan informaatiota. Liikuntahallien ylläpitoon liittyvien kuljetusten ja liikematkustamisen osalta ei myöskään synny niin paljon päästöjä, jotta se olisi varteen otettava tai hyödyllinen laskennan kannalta. Keskitytään siis opinnäytetyön aiheen mukaisesti ainoastaan energiankulutuksesta ja -tuotannosta syntyviin päästöihin.

Taulukko 9 Hiilidioksidipäästöt skenaarioittain Timbal Energia ohjelmiston ja Y-HIILARI laskurin mukaan (Timbal Energia; Suomen ympäristökeskus, 2021).

skenaariot	Timbal Energia ohjelmisto	Y-HIILARI laskuri
Yksikkö	kgCO ₂ /a	kgCO ₂ ekv
Nykytila	188 500	206 779
Maalämpöpumppu	166 956	143 246
Ilma-vesilämpöpumppu	190 535	161 619
Poistoilmalämpöpumppu	198 103	162 006
Vanha osa	132 335	151 189
Toteutunut (2021)	-	151 367

Taulukossa 10 on esitetty eri skenaarioiden sekä vuoden 2021 toteutuneesta energian kulutuksesta lasketut vuosittaiset kasvihuonepäästöt. Laajennusosan skenaario on poistettu tästä vertailusta, koska sillä ei ole vertailun kannalta suurtaakaan merkitystä. Huomioitavaa on se, että Timbal Energia ohjelmisto antaa tuloksen suoraan hiilidioksidin massana per vuosi ja Y-HIILARI laskuri taas hiilidioksidiekvivalentteina vuodessa. Y-HIILARI laskurin antama tulos on, lämpöpumppulla varustettua skenaariota lukuunottamatta, myös jokaisen skenaarion kohdalla suurempi Timbal Energia -ohjelmiston antamiin CO₂ päästöihin verrattuna.

Kuten aikaisemmin todettiin Timbal Energia -ohjelmistolla ei pystytä laskemaan toteutuneen energiankulutuksen perusteella hiilidioksidipäästöjen määrää, joten päädyttiin siihen, että hiilijalanjälkeä tutkitaan vain Y-HIILARI laskurin avulla. Tällä tavoin tuloksista saadaan vertailukelpoisia keskenään, sillä ne on laskettu samaa työkalua käyttäen.



Kuva 5 Jarkko Nieminen areenan sähkön- sekä lämpöenergiankulutuksen aiheuttamat kasvihuonepäästöt skenaarioittain. (Suomen ympäristökeskus, 2021)

Yllä olevasta Kuvasta (Kuva 5) voidaan nähdä eri skenaarioiden aiheuttamat kasvihuonepäästöt 10, 15 ja 20 vuoden aikavälillä. Päästöjen määrä ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂ekv). Kuvan tarkastelussa täytyy ottaa huomioon se, että kyseiset päästölaskelmat ovat vain arvioita annetulla ajanjaksolla. Todellisuudessa päästöjen määrässä voi olla enemmän muutosta vuosien välillä riippuen kulutetun sähkön ja kaukolämmön määrästä.

Tarkasteluun otettiin myös mukaan viimeisen täyden kalenterivuoden (2021) tapahtuneet päästöt. Vanha osa -skenaariota on tarkoitus olla rakenteeltaan, ilmanvaihdoltaan sekä muilta ominaisuuksiltaan identtinen Jarkko Nieminen areenan kanssa ennen laajennustyötä. Toisin sanoen Vanha osa -skenaario ja vuoden 2021 toteutuneet arvot vastaavat toisiaan.

Kuvasta (Kuva 5) voidaan hyvin nähdä kuinka paljon enemmän laajennuksen jälkeinen valmis rakennus (Nykytila) tuottaa päästöjä verrattuna skenaarioihin, joissa on otettu käyttöön jokin lämpöpumpusta. Voidaan siis todeta, että lämpöpumpuilla on todella positiivinen vaikutus päästöjen määrään, vaikka lämpöpumppujen toiminta perustuu siihen, että ne tuottavat vaaditun lämpöenergian

sähköllä (Toomla, 2015). Skenaarioissa, joissa on käytössä lämpöpumppu, on niiden sähkön kulutuksesta syntyvien päästöjen osuus kokonaispäästöistä yli 80 %.

Y-HIILARI-laskurissa sähkönkulutuksella on huomattavasti korkeampi päästökerroin siitä aiheutuvilla suorilla kasvihuonepäästöillä kuin kaukolämmön suorilla kasvihuonepäästöillä. Toisaalta siihen, onko sähkönkulutuksesta johtuvat kasvihuonepäästöt suoraa vai epäsuoraa, vaikuttaa vahvasti sähköntuotannon alkuperä ja sähkötyyppi. Esimerkiksi, jos kulutat aurinkosähköä, tuulivoimaa, vesivoimaa tai ydinvoimaa, ei Y-HIILARI laskurin mukaan siitä synny lainkaan suoraa kasvihuonepäästöjä. (Suomen ympäristökeskus, 2021.)

Voidaan siis todeta, että maalämpöpumpulla on pienempi hiilijalanjälki muihin lämpöpumppuratkaisuihin verrattuna. Lisäksi Maalämpöpumppu -skenaariolla on pienempi hiilijalanjälki verrattuna muihin skenaarioihin.

6 TULOKSET

Työssä on käsitelty lämmityksen ja ilmanvaihdon vaikutusta Jarkko Nieminen areenan energiatehokkuuteen sekä lämmitystehontarpeeseen. Yleisesti ottaen liikuntahallien lämpötekniisessä suunnittelussa täytyisi ottaa myös huomioon rakennuksen jäähdytystarve, vaikka Suomen ilmasto on valtaosan ajasta sisäilman lämpötilaa viileämpää (Toomla, 2015).

Jäähdytyksen tarvetta ei tässä työssä otettu huomioon, sillä Timbal Energia -ohjelmiston laskennan mukaan rakennuksen sisälämpötila ei ylitä 25°C jäähdytysrajaa Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2012; Timbal Energia). LeVIA Oy:n alustavassa järjestelmäkuvauksessa (2020) myös mainitaan, että Jarkko Nieminen areenalle ei tule erillistä jäähdytysjärjestelmää. (LeVIA Oy, 2020) Voidaan siis todeta, että jatkossakin Jarkko Nieminen areenan jäähdytys toteutetaan rakenteellisin sekä passiivisin keinoin (Toomla, 2015).

Maalämpöpumpun asennuttaminen olisi energiatehokkain vaihtoehto Jarkko Nieminen areenalle ainakin hiilidioksidipäästöjen ja energiankulutuksen osalta. Seuraavaksi tarkastellaan käyttö- ja investointikustannusten vaikutusta eri lämpöpumppuratkaisujen takaisinmaksuaikaan sekä kokonaiskustannuksiin. Lisäksi tarkastellaan laajennustyötä aiheutuvaa lämmitystehontarpeen muutosta.

6.1 Lämmitystehontarve



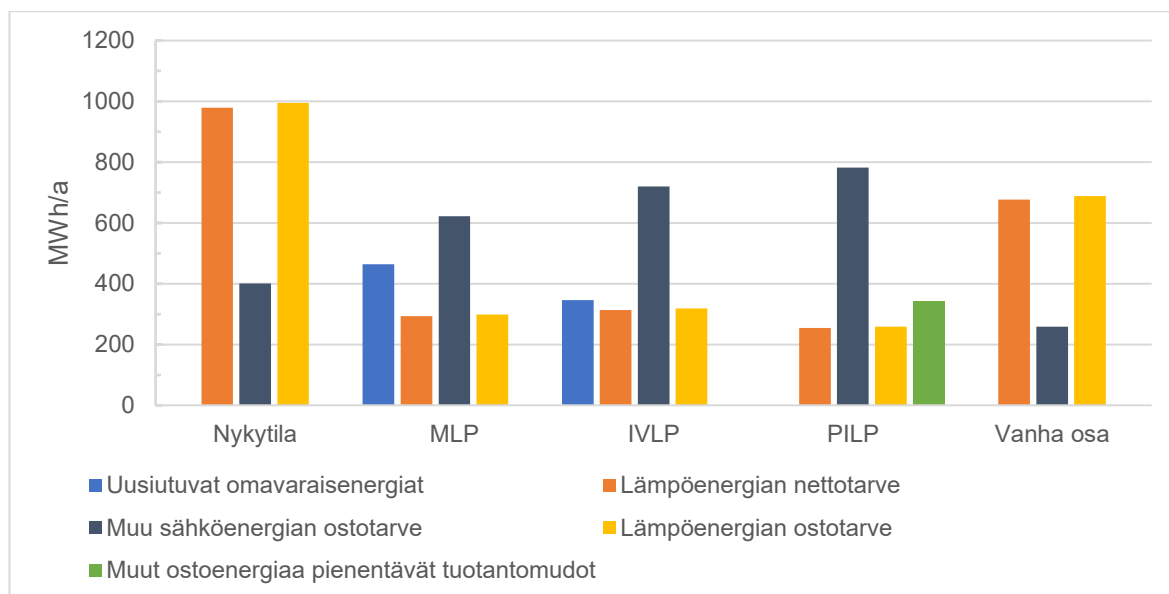
Kuva 6 Eri skenaarioiden lämmitysenergian tarve ja kuormista saatu hyöty. (Timbal Energia, Liite 3)

Kuvassa 6 pystypalkit kuvaavat rakennuksen kokonaislämpöhäviöenergiaa, joka jaetaan lämpöenergian tarpeeseen (oranssilla) ja kuormista saatuun hyötyyn (sinisellä). Timbal Energia- ohjelmiston avulla tehdyn laskennan ja simuloinnin mukaan Jarkko Nieminen areenan laskennallinen rakennuksen lämpöhäviöenergia ennen laajennusta olisi noin 924 MWh vuodessa. Laajennuksen myötä lämpöhäviöenergia nousisi noin 398 MWh. Tämä tarkoittaa, että laajennuksen jälkeen Jarkko Nieminen areenan lämpöhäviöenergiat yhteensä olisivat 1 322 MWh vuodessa. (Liite 3.)

Kuvan 6 vertailuun ei ollut tarpeellista ottaa mukaan Ilma-vesilämpöpumppu- tai Poistoilmalämpöpumppu-skenaariota, sillä kaikilla lämpöpumpun sisältämällä skenaarioilla on sama lämpöenergian tarve ja kuormista saatava hyöty. Myös Nykytila-skenaariolla luvut ovat samat. Vertailusta tuli näin yksinkertaisempaa ja kuvaa (Kuva 6) on helpompi tarkastella.

Simuloinnin mukaan kuormista saatavalla hyödyllä pystytään kattamaan noin 35 % lämpöhäviöenergiasta. Näin kuormista saatavan hyödyn avulla voidaan lämpöenergiatarve pudottaa Nykytila- ja Maalämpöpumppu-skenaariossa noin 864

megawattituntiin vuodessa. Loput tästä lämpöenergiatarpeesta pystytään helposti kattamaan sähkölämmityksen, kaukolämmön ja lämpöpumpun avulla. (Timbal Energia, Liite 3.)



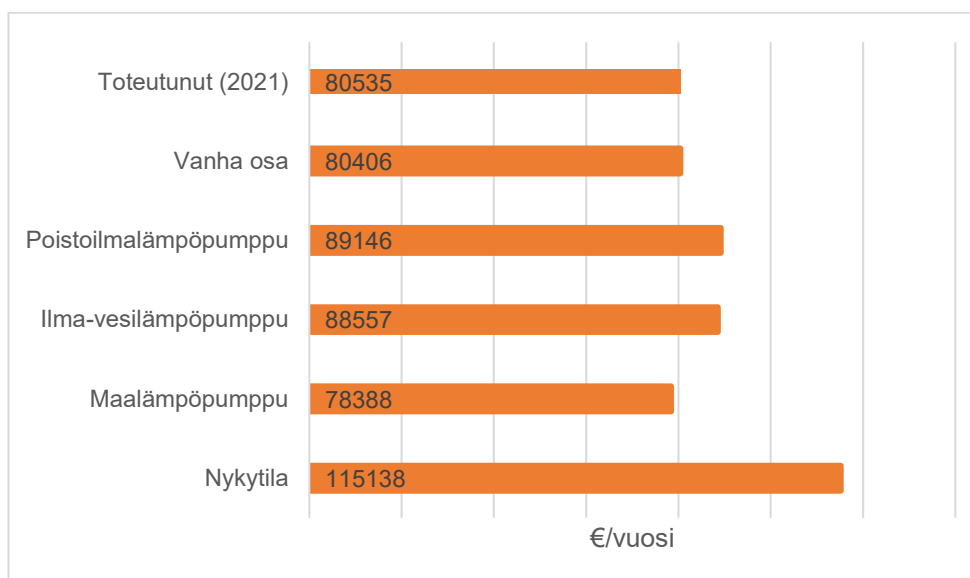
Kuva 7 Eri skenaarioiden omavaraisenergiat, lämpö- ja ostoenergiatarve sekä muu sähköenergiatarve (Timbal Energia, Liite 3).

Poistoilmalämpöpumpulla ja ilma-vesilämpöpumpulla ostoenergian säästöä tapahtuu noin 35 % ja maalämpöpumpulla säästö on jopa 47 % (Kuva 7). Tämä säästö saadaan jakamalla uusiutuvien omavaraisenergioiden määrä lämpöenergian ostotarpeen määrällä. PILP:n kohdalla muut ostoenergiaa pienentävät tuotantomuodot jaetaan lämpöenergian ostotarpeen määrällä. (Timbal Energia, Liite 3.)

Kuvasta 7 voidaan hyvin nähdä kuinka laajennus itsessään vaikuttaa koko rakennuksen lämpö- sekä sähköenergian tarpeeseen. Eli muutos siirryttäessä Vanha osa -skenaariosta Nykytila -skenaarioon. Lisäksi kuvasta voidaan helposti nähdä, kuinka eri lämpöpumput vaikuttavat sähköenergian käytön lisääntymiseen ja lämpöenergian vähenemiseen.

6.2 Käyttökustannukset

Timbal Energia ohjelmiston avulla tehdyn simuloinnin mukaan maalämpöpumppu olisi energiatehokkain vaihtoehto. Ohjelmiston simuloinnin mukaan maalämpöpumpulla varustetun Jarkko Nieminen areenan osto- ja kokonaisenergiankulutus sekä ostoenergiasta johtuvat kustannukset olisivat alhaisemmat muihin skenaarioihin verrattuna. Simuloinnista kävi myös ilmi, että Maalämpöpumppu -skenaariion vuosittaiset hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät muihin skenaarioihin verrattuna kuten se todettiin jo Y-HIILARI laskurin avulla. Lisäksi vuosittaiset energiasäästöt sekä kustannussäästöt ovat pienemmät suhteessa muihin skenaarioihin. Simuloinnin tulokset löytyvät liitteistä (Liite 3). (Timbal Energia.)



Kuva 8 Ostoenergian kokonaiskustannukset vuositasolla eri tilanteissa (Timbal Energia; EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta).

Kuvaan 8 on kuvattu Jarkko Nieminen areenan vuoden aikaiset kaukolämmön sekä sähkön käyttökustannukset eri skenaarioiden välillä. Myös vuoden 2021 toteutuneet käyttökustannukset on otettu mukaan vertailuun. Kuva (Kuva 8) osoittaa hyvin sen, missä suhteessa maalämpöpumpun käyttö vähentäisi vuosittaisia käyttökustannuksia suhteessa muihin tilanteisiin. Esimerkiksi Nykytila -skenaariossa vuosittaiset käyttökustannukset nousisivat suhteessa Vanha osa skenaarioon ja toteutuneeseen kulutukseen (2021) noin 35 000 € vuodessa.

Jos maalämpöpumppu otettaisiin käyttöön Jarkko Nieminen areenalla, vuosittaisia käyttökustannuksia voitaisiin vähentää jopa noin 36 750 € vuodessa Nykytila-skenaarioon verrattuna. Ilma-vesilämpöpumpun ja poistoilmalämpöpumpun käytöllä voitaisiin vuosittaisia käyttökustannuksia vähentää noin 26 000 € Nykytila-skenaarioon verrattuna. Vanha osa skenaarioon ja toteutuneeseen kultukseen verrattuna maalämpöpumpun käytöllä voitaisiin kokonaisenergiakäytön kustannuksissa säästää noin 2 000 € vuodessa. (EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta; Timbal Energia)

Kaukolämmön sekä sähkön hinnat ovat todellisuudessa suhteellisen muuttuvia arvoja. Laskentaparametrien selvittämisessä ja laskennassa ei tätä esimerkiksi otettu huomioon. Timbal Energia ohjelmiston simuloinnissa voidaan lämpö- ja sähköenergian vuotuiselle hinnanmuutokselle asettaa prosentuaalinen arvo. Timbal Energia ohjelma antaa automaattisesti arvioidut prosentuaaliset hinnanmuutokset kaukolämmölle ja sähkölle. Näitä Timbal Energia ohjelmiston antamia arvoja päädyttiin myös käyttämään, sillä ei nähty tarpeelliseksi muuttaa niitä (Liite 3). Hinnannousulle ei myöskään ollut mahdollista löytää tarkempaa arvoa.

Timbal Energia ohjelmisto laskee automaattisesti tarkastelujakson käyttökustannukset yhteensä huomioiden mukaan vuotuisen hinnannousun. Tällä tavoin saadaan arvio siitä, kuinka paljon tarkastelujakson käyttökustannukset olisivat yhteensä. 20 vuoden tarkastelujaksolla, huomioiden vuosittainen hinnanmuutos, laajennetun rakennuksen käyttökustannukset olisivat noin 2,9 miljoonaa euroa. Maalämpöpumpulla kyseinen arvo voitaisiin pudottaa noin 2 miljoonaan euroon. Ilma-vesilämpöpumpulla käyttökustannukset putoaisivat noin 2,2 miljoonaan euroon ja poistoilmalämpöpumpulla noin 2,3 miljoonaan euroon. (Timbal Energia, Liite 3.)

Ilman vuotuista kaukolämmön ja sähkön hinnanmuutosta olisi Nykytila-skenaariion käyttökustannukset 20 vuoden tarkastelujaksolla yhteensä noin 2,3 miljoonaa euroa. Maalämpöpumppu-skenaariossa käyttökustannukset olisivat noin 1,6 miljoonaa euroa. Ilma-vesilämpöpumppu- ja Poistoilmalämpöpumppu-skenaariossa käyttökustannukset olisivat noin 1,8 miljoonaa euroa. (Timbal Energia, Liite 3.)

6.3 Investointikustannukset

Investointikustannusten osalta tarkastellaan ilma-vesilämpöpumppu- sekä maalämpöpumppujärjestelmien hintaa ja vaikutusta kokonaiskustannuksiin pitkällä aikavälillä. Lisäksi tarkastellaan investoinnin kannattavuutta sekä takaisinmaksuaikaa molemmissa järjestelmissä. Investointikustannusten tarkasteltuun ei otettu mukaan poistoilmalämpöpumppua, sillä sen arvioituja investointikustannuksia ei ollut saatavilla.

Taulukko 10 Lämpöpumppujärjestelmien erotellut hinta-arviot.

	MLP	IVLP
Lämpöpumput	54 000 €	110 000 €
Laitteet	64 800 €	64 800 €
Maalämpökaivot	112 000 €	-
RAU ja SU	35 000 €	35 000 €
YHT	265 800 €	209 800 €

Yllä olevaan taulukkoon (Taulukko 10) on eroteltu lämpöpumppujärjestelmien eri osien kustannukset. Alimmalta riviltä löytyy kummankin järjestelmän kokonaiskustannukset. Tämän kustannusarvion on tehnyt Enerz Oy. Taulukkoa (Taulukko 10) tarkastelemalla voidaan heti huomata maalämpöpumppujärjestelmän olevan kalliimpi ilma-vesilämpöpumppujärjestelmään verrattuna. Eroon vaikuttaa suuresti MLP järjestelmän vaatima maalämpökaivo, joka tässä tapauksessa kattaa hieman yli 40 % kokonaiskustannuksista.

Simulointi skenaarioiden investointien ja kustannusten kannattavuuksia voidaan tarkastella kolmella eri tavalla. SNA menetelmällä, eli Suhteellisen nykyarvon menetelmällä, keskiarvoisella takaisinmaksuajalla tai sisäisen korkokannan tarkastelulla. Tässä tapauksessa tarkastellaan ainoastaan MLP- ja IVLP-skenaarioiden kannattavuuksien vertailua, sillä niistä oli saatavilla investointikustannusten arvio.

Kannattavuuksien vertailussa käytettiin rahana arvon muutoskorkona (inflaatio) 2 % ja investoinnin korkona 3 %. Nämä parametrit ovat Timbal Energia ohjelmiston automaattisesti asettamat arvot. Näillä parametreilla laskettuna

maalämpöpumpun investointi tulee kannattavaksi vuonna 2030 ja ilma-vesilämpöpumpun investointi vuonna 2031. Tarkastelujakson ensimmäinen vuosi oli 2022. Timbal Energia ohjelmisto laskee investoinnin kannattavuuden Suhteellisen nykyarvon menetelmällä (SNA). (Timbal Energia, Liite 3.)

Keskiarvoinen takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla:

$$\frac{\textit{Investoinnin hinta}}{\textit{Investoinnista johtuva vuosittainen kustannussäästö}} = x \textit{ vuotta}$$

Keskiarvoinen takaisinmaksuaika Maalämpöpumpulle:

$$\frac{265\,800 \text{ €}}{36\,750 \text{ €}} \approx 7,2 \textit{ vuotta}$$

Keskiarvoinen takaisinmaksuaika Ilma-vesilämpöpumpulle:

$$\frac{209\,800 \text{ €}}{26\,581 \text{ €}} \approx 7,9 \textit{ vuotta}$$

Koska kyseessä on investoinnin kannattavuuslaskelma ei esimerkiksi keskiarvoinen takaisinmaksuajan laskeminen ole tässä tapauksessa kovinkaan tarkka menetelmä. Timbal Energia ohjelmisto käyttääkin kannattavuuksien vertailussa apuna sisäistä korkokantaa. Sen avulla voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta.

Sisäinen korkokanta kertoo, kuinka monen prosentin tuottoasteen se antaa pääomalle. Eli, mitä suurempi sisäisen korkokanta, sitä parempi investointi. Ohjelmiston käyttäjä voi itse valita investoinnin takaisinmaksuajan ja yhtäaikaaisesti tarkkailla ohjelmiston laskemaa sisäistä korkokantaa.

Laskentaparametrit		Rahoitus ja korko parametrit			
Tarkastelujakso, vuosia	20	Rahan arvon muutoskorko		2 %	
Tarkastelujakson ensimmäinen vuosi	2022	Investoinnin korko (Tiedot sivulla asetettu arvo: 3%)		3 %	
Lämpöenergian vuotuinen hinnannuutos	2 %	Investoinnin takaisinmaksuaika, vuosia		11	
Sähköenergian vuotuinen hinnannuutos	3 %	Investointilaskennassa käytetään annuiteettimenetelmää			
Kustannukset		Nykyinen	Maalämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu	Poistoilmalämpöpumppu
Käyttökustannukset		115 138 €/a	78 388 €/a	88 557 €/a	89 146 €/a
Vuosittaiset maksut					
Vuosittaiset huoltokustannukset					
Investointikustannukset			265 800 €	209 800 €	
Vuosittaiset kustannussäästöt			36 750 €/a	26 581 €/a	25 991 €/a
Ustolämpöenergian keskihinta	80, / €/MWh		80, / €/MWh	80, / €/MWh	80, / €/MWh
Sähköenergian hinta	87,37 €/MWh		87,37 €/MWh	87,37 €/MWh	87,37 €/MWh
Tarkastelujakson käyttökustannukset yht.	2 887 544 €		1 994 618 €	2 171 257 €	2 256 021 €
Tarkastelujakson käyttökust. nykyarvo yht.	2 325 400 €		1 604 814 €	1 751 143 €	1 815 765 €
Käyttökust. nykyarvo ja investointi yht.	2 325 400 €		1 972 743 €	2 041 555 €	1 815 765 €
Investointi kannattavaksi			vuonna 2030	vuonna 2031	
Sisäinen korkokanta			7,3 %	6,5 %	

Kuva 9 Simulointiskenaarioiden kannattavuuksien vertailu (Liite 3).

Esimerkkinä yllä olevassa kuvassa (Kuva 9) investoinnin takaisinmaksuajaksi on asetettu 11 vuotta. Silloin Maalämpöpumppu -skenaarion sisäinen korkokanta olisi 7,3 % ja Ilma-vesilämpöpumppu-skenaarion sisäinen korkokanta 6,5 %. 10 vuoden takaisinmaksuajalla MLP:n sisäinen korkokanta putoaa 6,0 prosenttiin ja IVLP:n korkokanta 5,0 prosenttiin. Voidaan siis todeta, että investoinnin takaisinmaksuaika vaikuttaa suuresti sisäiseen korkokantaan ja edelleen investoinnin kannattavuuteen.

Takaisinmaksuajan määrittämiseen vaikuttaa vahvasti myös esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmän käyttöikä. Ei ole siis taloudellisesti kannattavaa, jos takaisinmaksuaika on pidempi kuin arvioitu järjestelmän käyttöikä. Maalämpöpumpun arvioitu käyttöikä voi olla 15–20 vuotta ja ilma-vesilämpöpumpun käyttöikä 10–15 vuotta (Oulun kaupunki, 2013). Lämpöpumppujen käyttöikä voi tietysti vaihdella tapauskohtaisesti.

Voidaan siis sanoa, että maalämpöpumppujärjestelmä on investoinnin kannattavuuden puolesta ilma-vesilämpöpumppujärjestelmää parempi vaihtoehto Jarkko Nieminen areenalle. Vaikka MLP järjestelmä maksaakin investointina IVLP järjestelmää enemmän, vaikuttaa järjestelmän kannattavuuteen huomattavasti vuosittaiset kustannussäästöt (MLP: 36 750 € ja IVLP: 26 581 €). Timbal Energia ohjelmiston tekemä kannattavuuksien vertailu löytyy liitteistä (Liite 3).

7 POHDINTA

Voidaan todeta, että maalämpöpumppu onärkevin ja potentiaalisin lämpöpumpppuratkaisu Jarkko Nieminen areenalle. Maalämpöpumpun käytöllä voidaan laskea kaukolämmön tarvetta huomattavasti, joka näkyy myös vuosittaisissa kustannuksissa, eikä rakennuksen sähkönkulutus nouse liikaa. Säästöä tapahtuu myös areenan toteutuneeseen kulutukseen verrattuna.

Vaikka maalämpöpumpun todettiin olevan Jarkko Nieminen areenalleärkevin vaihtoehto, ei se silti poista muiden lämpöpumppujen hyötyjä tai kilpailukykyä. Millä tahansa lämpöpumpppuratkaisulla voidaan vuosittaisia käyttökustannuksia vähentää Jarkko Nieminen areenalla yli 25 000 €. Toisaalta ero maalämpöpumpun on yli 10 000 €. Loppujen lopuksi lämpöpumpuista puhuttaessa suurin tekijä, joka vaikuttaa lämpöpumpun valintaan on itse lämpöpumppujärjestelmän kokonaiskustannukset. Täytyy myös muistaa, että lämpöpumpun valinta on aina kohdekohtaista.

Jarkko Niemisen areenan laajennus vaikuttaa vahvasti rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Laajennuksen myötä laskennallinen kokonaisenergiankulutus nousi noin 420 MWh (Nykytila: 1 395 MWh) toteutuneeseen kulutukseen ja Vanha osa -skenaarioon verrattuna (Vanha osa: 974 MWh). Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP: 1038 MWh) ja Poistoilmalämpöpumppu -skenaarioissa (PILP: 1041 MWh) kokonaisenergiankulutus vähenisi hieman yli 350 MWh Nykytila -skenaarioon verrattuna. Maalämpöpumppu -skenaariossa (MLP: 920 MWh) sama luku oli noin 475 MWh. Maalämpöpumpun käytöllä kokonaisenergian kulutus voitaisiin siis laskea jopa alle toteutuneen kulutuksen (2021: 975 MWh).

Kuten sanottua Impivaaran Tenniskeskus Oy:lle tämä on jo neljäs laajennushanke sen olemassaolon aikana. On siis mahdollista, että areenalle toteutetaan tulevaisuudessa muitakin laajennuksia tai hankkeita. Toisaalta rakennusoikeutta asemapiirustuksen mukaan on enää jäljellä hieman yli 1000 neliötä, joten sen suhteen hankkeita voitaisiin kohdentaa olemassa olevan rakennuksen ja järjestelmien päivittämiseen ja muokkaamiseen.

Jos Jarkko Nieminen areenalla halutaan jatkossakin pitää huolta energiatehokkuudesta ja panostaa ympäristöystävällisiin ratkaisuihin, on heillä mahdollisuudet moneen kehitysprojektiin. Tulevaisuudessa esimerkiksi ylijäämälämmön hyödyntäminen olisi yksi vaihtoehto vähentää lämpöenergian ostotarvetta. Esimerkiksi lämpimien kesien aikana olisi mahdollista ajaa syntynyttä ylijäämälämpöä takaisin maaperään. Tätä varastoitua lämpöä olisi sitten mahdollista käyttää taas kylmimpinä ajanjaksoina. Toisena esimerkkinä aurinkosähkön mahdollisuutta ei tässä työssä tarkasteltu lainkaan. Aurinkosähkön hyödyntäminen olisikin varmasti yksi keino supistaa Jarkko Nieminen areenan sähkönkulutusta ja lisätä energiatehokkuutta.

8 LÄHTEET

Energiateollisuus ry. 2022. Energiavuosi 2021 – Sähkö. Energiateollisuus ry:n verkkosivu. Saatavilla osoitteessa: https://energia.fi/uutishuone/materiaali-pankki/energiavuosi_2021_-_sahko.html#material-view. Viitattu 15.5.2022.

Energiateollisuus ry. Energiatehokkuudesta useita etuja. Saatavilla osoitteessa: <https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/energiatehokkuus>. Viitattu 9.5.2022.

Energiateollisuus ry. Fit for 55. Saatavilla osoitteessa: https://energia.fi/energia-politiikka/eu_ja_fit_for_55. Viitattu 9.5.2022.

Energiateollisuus ry. Kaukolämmön tuotanto. Energiateollisuus ry:n verkkosivut. Saatavilla osoitteessa: https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto/usein_kysyttya_kaukolammon_hinnasta. Viitattu 15.5.2022.

Enerz Oy. <https://enerz.fi/>. Viitattu 9.5.2022.

Geo Geo Oy. Maalämpölaskuri. Saatavilla osoitteessa: <https://www.geogeo.fi/maalampolaskuri>. Viitattu 10.5.2022.

Impivaaran Tenniskeskus Oy. Jarkko Nieminen areenan laajennus. Saatavilla osoitteessa: <https://www.jarkkonieminenareena.fi/laajennus/>. Viitattu 21.3.2022.

Insinööritoimisto Juhani Lehtonen Oy. 2007. Impivaaran tenniskeskuksen SPF-lukulaskelmat. Turku, 2007. Viitattu 10.3.2022.

LeVIA Oy. 2020. Alustava LVIA-järjestelmäkuvaus. Turku, 15.12.2020. Viitattu 10.3.2022. Lämpöpumppujen energianlaskentaopas. 2012. Saatavilla osoitteessa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lampopumppujen-energi-laskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf/1d053cd5-1865-e174-6424-841fac831c48/Lampopumppujen-energi-laskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf?t=1603260214849. Viitattu 5.4.2022.

Motiva Oy. 2019. Kaukolämmön hinta. Motiva Oy:n verkkosivu. 23.7.2019. Saatavilla osoitteessa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitusjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta. Viitattu 10.3.2022.

Motiva Oy. 2021. Ilma-vesilämpöpumppu, IVLP. Motiva Oy:n verkkosivu. Saatavilla osoitteessa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitusjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_ivlp. Viitattu 13.5.2022.

Oilon Group Oy. Oilon Selection Tool. Oilonin verkkosivut. Saatavilla osoitteessa: <https://oilon.com/fi/tuotteet/oilon-selection-tool/>. Viitattu 3.6.2022.

Oulun kaupunki. 2013. Rakennusvalvonta. Laatukortit ja ohjeet. Lämpöpumput. Saatavilla osoitteessa: https://www.ouka.fi/documents/486338/20578333/Pientalo_16_Lampopumput_2013_02_01.pdf/2f2b3862-68ea-4f73-a886-a0175d5b094d. Viitattu: 28.4.2022.

Schauman Arkkitehdit Oy. 2021. Jarkko Nieminen areena asemakaava ja asemapiirros. Viitattu 14.3.2022.

Schauman Arkkitehdit Oy. 2021. Jarkko Nieminen areena muutos ja laajennustyö. Läpileikkaukset. Viitattu 11.3.2022.

Schauman Arkkitehdit Oy. 2021. Jarkko Nieminen areenan Havainnekuva. Viitattu 6.4.2022.

Simola, J. 2020. Energia- ja kustannustehokas lämmitysjärjestelmä – vertailussa maalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu. Opinnäytetyö. LVI-tekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Saatavilla osoitteessa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/353706/Simola_Johannes.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 22.4.2022.

Suomen ympäristökeskus. 2013. Laskurit. Y-HIILARI Hiilijalanjälki -työkalu. Saatavilla osoitteessa: https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari. Viitattu 29.4.2022.

Tilastokeskus. Käsitteet. Hiilidioksidiekvivalentti. Saatavilla osoitteessa: <https://www.stat.fi/meta/kas/hiilidioksidiek.html>. Viitattu 14.5.2022.

Timbal Energia. Rakennusten energiatehokkuuden kehittäminen. Saatavilla osoitteessa: <https://timbal.fi/timbal-energia>. Viitattu 10.3.2022.

Toomla, S. 2015. Liikuntahallien energiankulutuksien muodostuminen ja energiatehokkuus. Diplomityö. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka. Helsinki: Aalto-yliopisto. Saatavilla osoitteessa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/19077/master_Toomla_Sander_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 5.4.2022.

Turku Energia Oy. 2022. Energian alkuperä. Turku Energia Oy:n verkkosivut Saatavilla osoitteessa: <https://www.turkuenergia.fi/vastuullista-energiaa/energian-alkupera/>. Viitattu: 13.5.2022.

Turku Energia Oy. EnergiaOnline – Oman energiankäytön seuranta. Turku Energia Oy:n verkkosivu. Saatavilla osoitteessa: <https://www.turkuenergia.fi/kotitaloudet/asiakasedut/energiansaastovinkit/oman-energiankayton-seuranta/>. Viitattu 14.3.2022.

Turku Energia Oy. Matkalla kohti hiilineutraalia tuotantoa. Turku Energia Oy:n verkkosivut. Saatavilla osoitteessa: https://www.turkuenergia.fi/tietoa-meista/matkalla-kohti-hiilineutraalia-tuotantoa/?utm_source=gdp&utm_medium=display&utm_campaign=jaahdytys&utm_content=pmax&gclid=Cj0KCQjwg_iTBhDrARIsAD3Ib5hXk1Fk_EtxMweYf4E9Yu6Ale_8xq4c2mIV-ME-BUtv3EtR36TfLq1saAutMEALw_wcB. Viitattu 13.5.2022.

Ympäristöministeriö, Eskola L., Jokisalo J. & Siren K. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Saatavilla osoitteessa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lampopumppujen-energiaskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf/1d053cd5-1865-e174-6424-841fac831c48/Lampopumppujen-energiaskentaopas-3.10.2012-

10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf?t=1603260214849.

Viitattu 25.3.2022.

Ympäristöministeriö, Saari M., Nyman M., Kokko E. & Vuolle M. 2017. Tasauslaskentaopas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Saatavilla osoitteessa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564)

8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/

8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-

133703.pdf?t=1603260250564. Viitattu 29.3.2022.

Ympäristöministeriö. 2010. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavilla osoitteessa: <https://ymparisto.fi/download/noname/%7B7BF051A7-6436-4724-A1FD-7688A56FB09B%7D/102966>. Viitattu 1.4.2022.

Ympäristöministeriö. 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavilla osoitteessa: https://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Viitattu 25.3.2022.

Ympäristöministeriö. 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavilla osoitteessa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BDF2B6F84-2CF9-4C43-9D76-9B04C7AF1D72%7D/30748>. Viitattu 25.3.2022.

Ympäristöministeriö. 2017. 1010/2017 Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Annettu Helsingissä 20.12.2017. Saatavilla osoitteessa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>. Viitattu 25.3.2022.

Liite 1: Juhani Lehtonen Oy:n SPF-lukulaskelmat vuoden 2007 laajennuksen ilmanvaihtokoneista



LASKELMA

15.10.2007

1 (1)

IMPIVAARAN TENNISKESKUS SPF-LUKULASKELMA



Sähkötehot on saatu konetoimittajan mitoituslaskelmista.

Tulo- ja poistokone yhdessä

Kone	Vaikutusalue	Ilmavirta m ³ /s	Puhallintehot (kW) tulo poisto
TK10	palloiluhallit	4,5	4,78 4,36

Erilliset poistokoneet

Kone	Vaikutusalue	Ilmavirta m ³ /s	Puhallinteho (kW)
PK10	wc-poisto	0,32	0,2

Yhteenveto

Ilmavirrat yhteensä 4,82 m³/s

Sähkötehot yhteensä 9,34 kW

SFP-luku $\frac{9,34 \text{ kW}}{4,82 \text{ m}^3/\text{s}}$ 1,94 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}}$

Laskettu SFP-luku on alle sallitun 2,5 kW /m³/s.

INSINÖÖRITOIMISTO JUHANI LEHTONEN OY

Juhani Lehtonen

2007-135

Liite 2: Lämpöpumpujen kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta

Taulukko 1. Maalämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia ($Q_{lp}/Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}$) taulukoituna suhteellisen lämpötehon ($\phi_{lpn}/\phi_{\text{tila}}$) suhteen, tilojen- ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteen ($Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$) ja tilojen lämmityksen menoveden max. lämpötilan (T_m) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho Φ_{lpn} annetaan toimintapisteessä $T_{\text{luos}} / T_{\text{meno}} (0/35 \text{ } ^\circ\text{C})$.

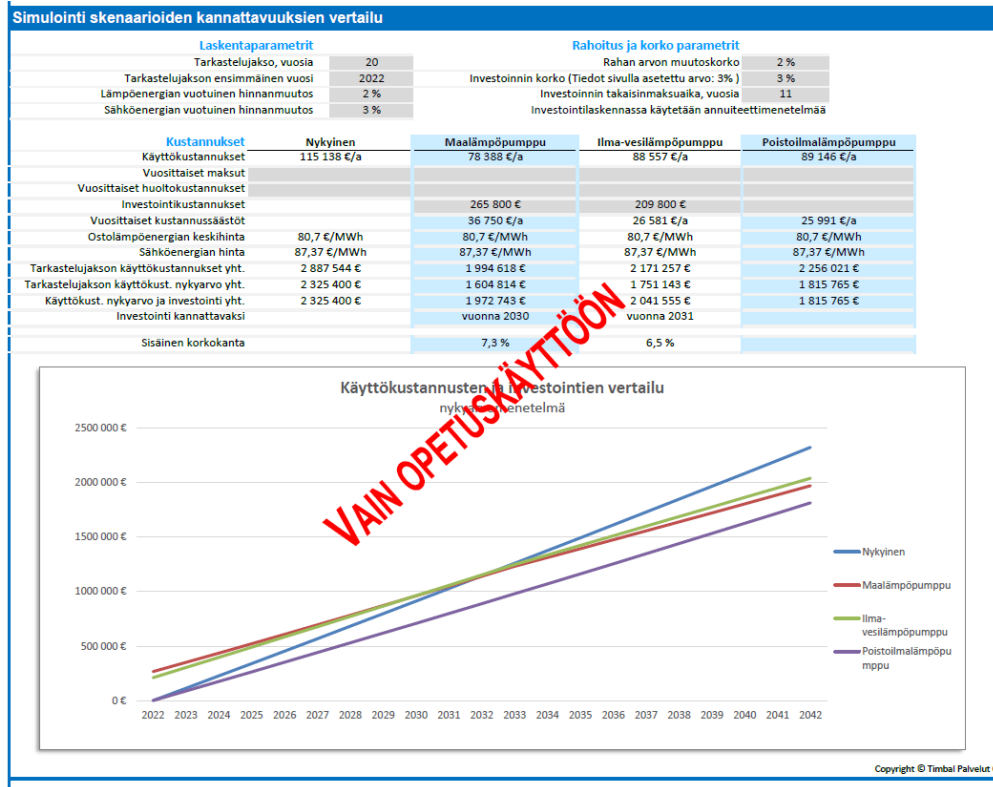
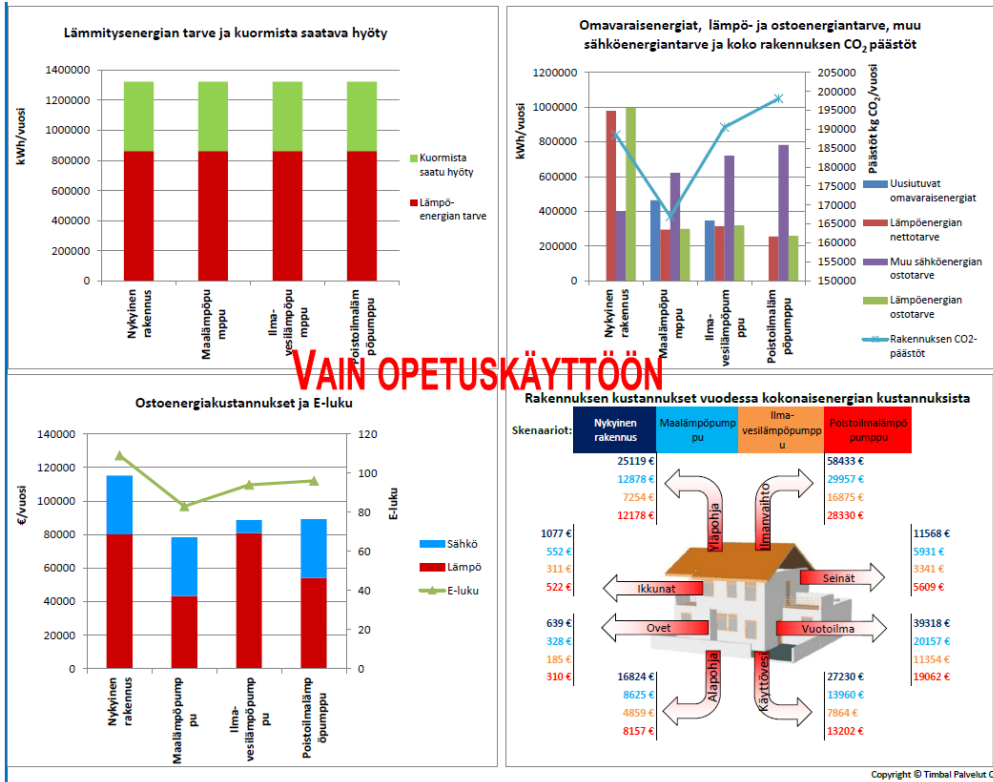
$\phi_{lpn}/\phi_{\text{tila}}$	$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ } ^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ } ^\circ\text{C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,4	0,5	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,5	0,5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,6	0,5	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,7	0,5	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,8	0,5	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,9	0,5	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,0	0,5	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Taulukko 2. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) suhteellinen lämpöenergia ($Q_p/Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}$) taulukoituna suhteellisen lämpötehon ($\phi_{\text{ipn}}/\phi_{\text{tila}}$) suhteen, tilojen lämmitys- ja käyttövesienergioiden suhteen ($Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$) ja tilojen lämmityksen menoveden max. lämpötilan (T_m) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{ipn} annetaan toimintapisteessä $T_{\text{ulko}} / T_{\text{meno}} (+7/35)$.

$\phi_{\text{ipn}}/\phi_{\text{tila}}$	$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,4	0,5	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,5	0,5	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,6	0,5	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,7	0,5	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,5	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
0,9	0,5	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,0	0,5	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79

Taulukko 4. Poistoilmalämpöpumpun tuottama osuus tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{LP} / Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, likv}}$) lämpöpumpun SPF-luvun, tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämpöenergian tarpeen ja jäteilman lämpötilan funktiona.

$Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, likv}}$ kWh/m ² a	$Q_{LP} / Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, likv}}$							
	SPF = 2,0				SPF = 3,0			
	$T_{\text{jäte}} -3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 1^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 5^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} -3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 1^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 5^{\circ}\text{C}$
100	0,99	0,95	0,90	0,84	0,94	0,86	0,80	0,74
150	0,82	0,72	0,66	0,60	0,70	0,61	0,56	0,51
200	0,66	0,56	0,51	0,46	0,55	0,47	0,43	0,39
250	0,55	0,46	0,41	0,37	0,45	0,38	0,35	0,31

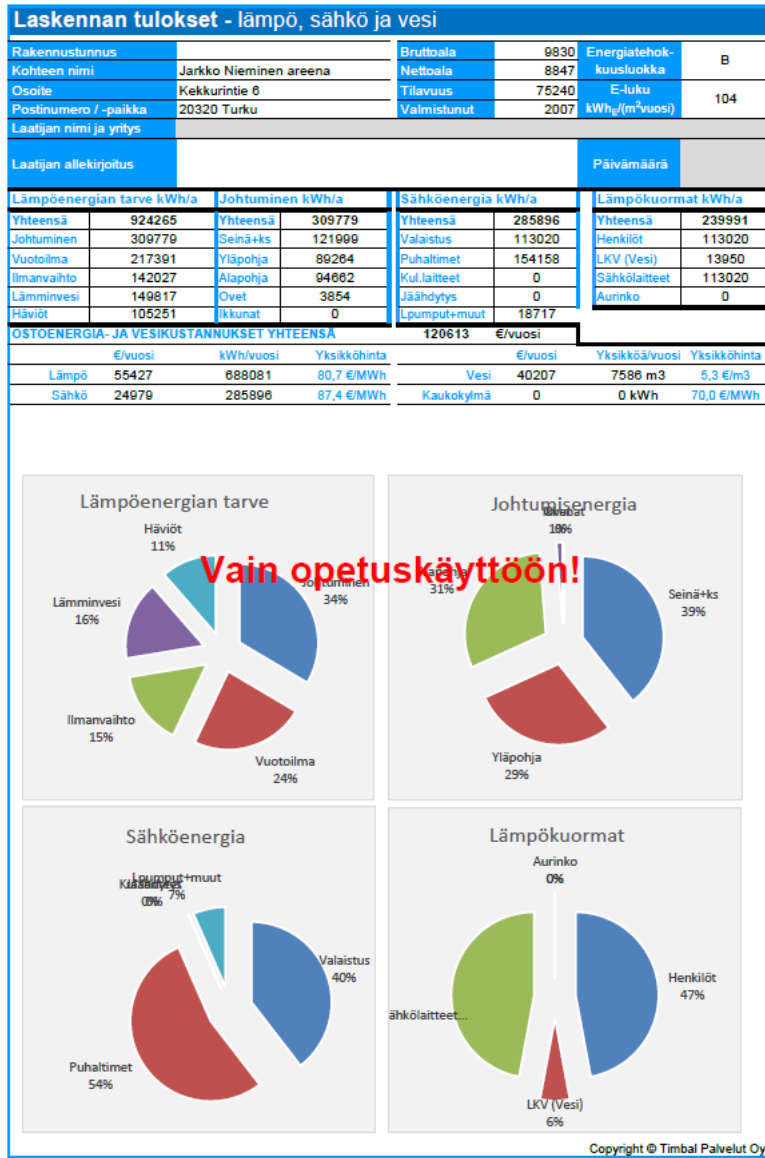


Simulointiskenaarioiden tulosten yhteenveto									
Kohde: Jarkko Nieminen areena, Kekkuriintie 6, Turku, (I)									
Laskenta skenaario	Osto- ja kokonaisenergiankulutus, kWh/vuosi	Osto- ja kokonaisenergian kustannus	CO ² päästöt, kg CO ₂ /a	E-luku ja E-luokka	Vuosittaiset käyttö- ja huolto-kustannukset, €/vuosi	Investointi	Energian säästö, kWh/vuosi	Kustannusten säästö, €/vuosi	Takaisinmaksuaika, vuotta
Nykyinen rakennus	1395452	115 138 €	188500	B (109)	0 €	-	-	-	-
1. Maalämpöpumppu	920483	78 388 €	166956	A (83)	0 €	265 800 €	474969	36 750 €	8
2. Ilma-vesilämpöpumppu	1038430	88 557 €	190535	B (94)	0 €	209 800 €	357022	26 581 €	9
3. Poistoilmalämpöpumppu	1040514	89 146 €	198103	B (96)	0 €		354937	25 991 €	

Copyright © Timbal Palvelut Oy

Liite 4: Vanhan osan ja Laajennusosan laskennan tulokset.

Vanha osa:



Laajennusosa:

