

Niko Jalonen

# Energiankulutuksen minimointi työmaaympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

27.3.2014

Tekijä Otsikko	Niko Jalonen Energiankulutuksen minimointi työmaaympäristössä
Sivumäärä Aika	35 sivua + 2 liitettä 27.3.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	johtaja talotekniikka Tapani Nousiainen osaamisaluepäällikkö Piia Sormunen
<p>Käytäntö on osoittanut työmaiden energiankulutuksen olevan suurta. Kiristyvät rakentamismääräykset ja ohjeistukset luovat painetta muuttaa toimintaa energiaystävällisempään suuntaan. Tässä työssä oli tarkoituksena tarkastella ja tutkia, miksi työmaan energiankulutukset ovat suuria, sekä kuinka kulutusta olisi mahdollista pienentää. Tarkempaa tarkastelua tehtiin käyttäen mallikohteena Derby Business Parkin työmaata. Pääpaino työllä oli työmaaorganisaation käytössä olleilla parakeilla ja niiden energiankulutuksella. Samalla pyrittiin muuttamaan työskentelyolosuhteet parakeissa vastaamaan edes välttävästi nykyisten standardien vaatimuksia lämpötilan, ilmanvaihdon sekä valaistuksen osalta.</p> <p>Opinnäytetyön alussa tutkittiin ja selvitettiin energiankulutusta työmaalla ja työn aikana pohdittiin erilaisia ratkaisuja, joilla olisi mahdollista minimoida energiahukkaa. Työmaalla tehdyillä lämpökamerakuvauksilla haluttiin nostaa esiin kohtia, joihin tulisi kiinnittää huomiota tulevia parakeja mietittäessä. Esimerkkilaskuilla pyritään esittämään erilaisten tilanteiden energiankulutusta sekä näistä johtuvia hukkaan meneviä energiamääriä. Lopuksi parakkien energiankulutusta simuloitiin IDA ICE -energiasimulointiohjelmalla.</p> <p>Simuloinneilla on mahdollista tarkastella eroavaisuuksia energiankulutuksissa teoreettisella tasolla. Simulointien tuottamista raporteista oli mahdollista nähdä pientenkin muutosten vaikutus positiivisesti energiankulutusten minimointiin. Simulointitulosten uskotaan herättävän lisämielenkiintoa aiheeseen liittyen yhtiön sisällä.</p> <p>Simulointien teoreettinen tarkastelu ei vastaa täydellisesti todellisuutta. Ainoa keino, jolla näiden tulosten oikea vaikutus saadaan selville, on tehdä käytännön vertailua työmaiden välisessä energiankulutuksessa. Tarkastelu pitäisi tehdä kahden samankokoisen ja tyyppisen työmaan välillä, joista toinen on pilottikohde uusilla ratkaisuilla ja toinen on nykytilanteen mukainen.</p> <p>Tulokset ja laskelmat osoittavat hukatun energiamäärän olevan suuri ja pienilläkin toimenpiteillä olisi mahdollista säästää energiakuluissa työmaakohtaisesti. Esimerkkikohteessa olisi ollut mahdollista säästää pelkästään parakkien lämmityskustannuksissa 13 000 €. Yhtiötasolla säästetyt euromäärät ovat jo todella tuntuva luokkaa, kun suhteutetaan tämä säästö kaikille työmaille niiden koon mukaan.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, työmaa, parakki, lämmöntalteenotto, ilmanvaihto, lämmitys, valaistus

Author Title	Niko Jalonen Minimizing Energy Consumption in a Construction Environment
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 27 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructors	Tapani Nousiainen, Head of Building Services Piia Sormunen, Head of Expertise Area
<p>The purpose of this study was to explore the excess energy consumption on construction sites in order to reduce it. Derby Business Park site was used as a sample case. The main focus of this study was to look at the barracks and their consumption of energy. By using today's standard requirements for heating, ventilation and lighting, the working conditions in the barracks will be upgraded to an acceptable level.</p> <p>The construction site's energy consumption was studied at the beginning of this final year project. Various ideas to minimize energy loss were taken into consideration. Thermal camera imaging was used to highlight the points which needed addressing to reach the aim of reducing energy. Various scenarios were simulated with calculations to bring forth the amounts of energy that go to waste. IDA Indoor Climate and Energy software was used to figure out the energy consumption figures for the barracks.</p> <p>The simulation reports were used to establish which changes would reduce energy consumption. The findings from the IDA ICE simulations are expected to raise additional interest in the subject matter within the company.</p> <p>The theoretical review of the simulations does not guarantee the figures. Only a study of two similar, equal-sized construction sites, one a pilot with new energy solutions, the other a conventional one, would yield certainty.</p> <p>Results and calculations prove that a large amount of energy is wasted. It would only take small measures to save on energy costs. In the example case it would have been possible to save up to 13 000 € on barrack heating costs alone. At the company level this reduction in energy costs would be a formidable sum of money.</p>	
Keywords	Energy efficiency, Construction site, Barrack, Heat recovery, Air handling, Heating, Lighting

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennustyömaan energiankäytön ohjeistus	3
2.1	Määräykset ja ohjeet	3
2.2	Ympäristöluokitukset	3
3	Energiankulutuksen osa-alueet työmaalla	5
3.1	Haastattelu, kalustokeskuksen päällikkö Tapio Kaikkonen	5
3.2	Energiankulutus työmaalla	6
3.2.1	Työmaavalaistus	6
3.2.2	Työmaan lämmittäminen	9
3.2.3	Energiankulutuksen jakautuminen työmaalla	10
3.2.4	Energiankulutuksen seuranta	11
4	Parakkien nykytilanne	12
4.1	Parakkien rakenne	12
4.2	Ilmanvaihto	17
4.3	Lämmitys	18
4.4	Valaistus	18
5	Ehdotuksia energiankulutuksen minimoimiseksi	20
5.1	Parakkien rakenne	20
5.2	Ilmanvaihto	22
5.3	Lämmitys	23
5.4	Valaistus	24
6	Energiasimuloinnit	26
6.1	Perustapaus	27
6.2	Uuden rakennusselostuksen mukaiset parakit	28
6.3	Uudet parakit, poistoilmanpuhallin sammutettu talvikuukausien ajaksi	28
6.4	Uudet parakit ilmanvaihtokoneella	30
7	Johtopäätökset	31
	Lähteet	35

## Liitteet

Liite 1. Insinööriyöhaastattelu

Liite 2. Esimerkkilaskuja työmaan energiankulutuksista, Excel

## Lyhenteet ja määritelmät

BREEAM	<i>Building Research Establishment's Environmental Assessment Method.</i> Brittiläinen kiinteistöjen ympäristöluokitusjärjestelmä.
EU	<i>Euroopan unioni.</i>
IDA ICE	<i>IDA Indoor Climate and Energy.</i> Simulointiohjelma.
IV	Ilmanvaihto.
kWh	Kilowattitunti. Energian yksikkö.
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design.</i> Yhdysvaltalainen kiinteistöjen ympäristöluokitusjärjestelmä.
lm	Lumen. Valovirran yksikkö.
LTO	Lämmöntalteenotto.
lx	Luksi. Valaistusvoimakkuuden yksikkö. $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ .
l/h	Littraa tunnissa. Kulutuksen yksikkö.
MWh	Megawattitunti. Energian yksikkö. $1 \text{ MWh} = 1\,000 \text{ kWh}$ .
PromisE	Kotimainen kiinteistöjen ympäristöluokitusjärjestelmä.
U-arvo	Rakennusosan lämmönläpäisykerroin [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].

## 1 Johdanto

Energia ja sen käyttö puhututtaa nykymaailmassa. Elämme yhteiskunnassa, jossa energiankulutus on ollut kasvussa jo pitkään. Samalla kallistuva energianhinta tuo lisäpainetta muuttamaan käsitystämme energiankulutuksesta. Yksittäiset ihmiset sekä maailmanlaajuiset yritykset ovatkin ryhtyneet toimiin energiankulutuksen seuraamiseksi tarkemmin. Monissa tapauksissa yritykset ovat olleet valmiita muuttamaan omia toimintatapoja ilmastoystävällisempään suuntaan. Energiankulutuksella on suora yhteys kasvihuonepäästöihin sekä niiden aiheuttamaan ilmastonmuutokseen. Tästä johtuen energiaa hankitaan niin sanotuilla vihreillä energiasopimuksilla, joissa energiantuotanto on toteutettu uusiutuville energiamuodoilla. Samalla yritykset vaihtavat toimipaikkojaan uusiin tehokkaisiin ympäristöluokiteltuihin rakennuksiin, joissa on huomioitu nykyiset ja joissain tapauksissa jopa tulevat energiamääräykset. Rakennusvaiheessa on näissä tapauksissa kiinnitetty erityistä huomiota energiatehokkaisiin järjestelmiin sekä ekologisiin materiaalivalintoihin. Rakennusautomaatiojärjestelmillä sekä niiden rinnalle rakennetuilla energianmittausjärjestelmillä haetaan lisää energiasäästöjä.

SRV Yhtiöt Oyj on muuttanut omana kehityshankkeena vastavalmistuneeseen LEED-Platina-tason saavuttaneeseen Derby Business Parkiin, jossa rakennusautomaatiojärjestelmät on viety erittäin pitkälle ja energiankulutuksen seuranta sekä minimointi ovat huipussaan. Rakennustuotannon puolella taas energiankulutus on ollut seurannassa, ja varsinaisia suurempia toimenpiteitä ei ole vielä tehty. Seurannasta on kuitenkin huomioitu, että työmaat saattavat olla erittäin suuria energiasyöppöjä. Tähän ollaan nyt hakemassa ratkaisuja, ja tällä insinööriyöllä on tarkoitus selvittää työmaiden energiankulutusta tarkemmin. Pääpaino työssä tulee olemaan työmaaorganisaation käytössä olevissa parakeissa. Parakit ovat osoittautuneet kokonaisenergiankulutusta seurattaessa mahdollisesti suurimmaksi tekijäksi sähkölaskun suuruudessa työmaalla.

Pienilläkin muutoksilla nykyiseen tilanteeseen olisi mahdollista vaikuttaa energiankulutukseen ja lopulta energiakustannusten suuruuteen sekä kilpailukyvyn parantamiseen.

Esimerkkikohteena työssä tullaan käyttämään Derby Business Parkin työmaata. Työmaan organisaatiolla oli käytössään 29 parakkia. Näistä tiloista noin puolet oli työmaatoimistokäytössä, ja loput olivat henkilöstötiloja. Yhtiön toimintatavasta johtuen työmaalla työskentelee insinöörejä, mestareita ja muuta henkilökuntaa täysipäiväisessä

työssä, joten sisäilman laadulla on suoraan vaikutusta työnlaatuun. Tarkoituksena olisi mahdollistaa työmaaorganisaatiolle työskentelyolosuhteet, jotka vastaisivat edes välttävää yleisiä nykypäivän vaatimuksia, ja samalla päästäisiin myös energiatehokkuudessa uudelle tasolle.



## 2 Rakennustyömaan energiankäytön ohjeistus

### 2.1 Määräykset ja ohjeet

Rakentamista ohjeistetaan Suomessa monilla eri lainsäädännöillä, määräyksillä sekä ohjeilla. Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittää rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettelyn ja viranomaisvalvonnan. Tarkempia rakentamismenettelyitä koskevia säännöksiä ja ohjeita on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Kokoelman osa D, *LVI ja Energiatalous*, ottaa kantaa rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoihin, sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon sekä energiatehokkuuteen [1]. On kuitenkin huomioitava, että nämä määräykset eivät ota kantaa siirtokelpoisiin määräajan paikallaan pysyviin rakennuksiin. Työmaan parakit eivät suoraan kuulu tähän luokkaan, mutta olisi mahdollista käyttää määräyskokoelman osia, jotka käsittelevät määräaika- rakennuksia ja soveltaa niiden määräyksiä ja ohjeita suunniteltaessa energiankulutuksen muutostoimenpiteitä.

### 2.2 Ympäristöluokitukset

Nykyäänä rakennushankkeessa on monesti käytössä myös erilaisia ympäristöluokituksia. Rakennusten ja rakennushankkeen ympäristöluokitusten avulla sijoittajat, viranomaiset ja käyttäjät voivat vertailla kiinteistöjen energiatehokkuutta yhtenäisin menetelmin. Luokitusten avulla rakennuksen toimintaympäristöön perustuva suorituskyky voidaan osoittaa läpinäkyvästi ja rakennuksen elinkaarivaatimukset huomioiden. Yleisimmät Suomessa käytetyt ympäristöluokitusohjelmat ovat kotimainen PromisE sekä brittiläinen BREEAM ja yhdysvaltalainen LEED [2]. Nämä ympäristöluokitusjärjestelmät ohjaavat rakennushankkeen kulkua ja pisteyttävät eri vaiheet tiettyjen kriteerien mukaisesti. Pisteitä tai krediittejä kohde saa mm. materiaalivalinnoista, rakennuksen aiheuttamista ympäristövaikutuksista sekä veden- ja energiakulutukseen liittyen. Jokainen ympäristöluokitusohjelma antaa projektin lopussa pistesaldon mukaan kiinteistölle ympäristöluokituksen. Osa pisteistä näissä luokituksissa tulee työmaan käyttämästä energiasta ja siitä, kuinka tarkkaan energiankulutusta on tarkasteltu rakennusvaiheen aikana. Mikäli projektissa on seurattu hiilidioksidipäästöjen kertymistä, olennaisessa osassa on energiankulutus ja eri energiamuotojen käyttö. Uusiutuvilla tuotantomuodoilla tuotetulla energialla saa suuremmat pisteet.

BREEAM, *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*. Tässä luokitusjärjestelmässä perusvaatimuksina *Rakennustyömaan ympäristövaikutus* (Construction Site Impacts) manuaalissa on, että työmaata hallitaan ympäristöystävällisesti koskien resurssien käyttöä, energiankulutusta ja ympäristön pilaantumisen ehkäisyä. Yhtenä pistealueena on työmaan CO<sub>2</sub>-päästöjen tai energian seuranta, raportointi sekä tavoitteiden asettaminen näille. Pisteitä saa kuukausittaisen energiakulutuksen mittauksen järjestämisestä, sekä mittaustulosten esittämisestä työmaalla. Mittarit täytyy lukea kuukausittain, ja tulokset tulee esittää graafisesti esimerkiksi työmaatoimiston seinällä. Asianmukaiset tavoitteet energiankulutuksen osalta projektille tulee olla myös asetettuina, ja näiden tulee pohjautua edellisten projektien toteutuneisiin kulutuksiin. Näiden asetettujen tavoitteiden tulee olla selkeät jokaiselle rakennusvaiheelle. Tekninen tarkastuslista ottaa kantaa ja pisteyttää energiaa säästävien ratkaisujen käytöstä työmaalla. Energiansäästölamppujen käyttö ja laitteiden kytkeminen pois päältä, kun niitä ei käytetä, vaikuttaa positiivisesti pistesaldoon. Samoin vaikuttaa myös termostaattien lisääminen lämmitykseen. Ajastimilla toteutetut ohjaukset ja energiatehokkaiden laitteiden käyttö lisää myös pistesaldoa. [3]

LEED, *Leadership in Energy and Environmental Design*, ei ota suoraan kantaa työmaa-aikaiseen energiankäyttöön. On kuitenkin mahdollista ansaita innovaatiopisteitä esimerkillisellä toiminnalla tai ratkaisuilla, joilla vähennetään rakennushankkeen ympäristövaikutuksia [4]. Tällaiseksi esimerkilliseksi toiminnaksi voisi katsoa energiankulutuksen minimoinnin rakennusvaiheessa.

On siis todettava lainsäädännön ja määräyksien ottavan nykyaikana hyvin niukasti kantaa energiankulutukseen tai työmaan aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin. Muut vapaasti valittavat toimintaperiaatteet ja ympäristöluokitukset ottavat kantaa kaikkiin energiapuolen asioihin enemmän, ja seuraamalla näiden asettamia ohjeita ja aluerajauksia on mahdollista luoda toimiva ohjerunko toimenpiteille, joita tulisi huomioida, kun suunnitellaan energiankäyttöä työmailla uusiksi.

### 3 Energiankulutuksen osa-alueet työmaalla

Työmaat ovat suurehkoja energian kuluttajia. Energiaa kuluu mm. rakennustöihin, työmaan lämmittämiseen sekä valaisuun. Suurimpia yksittäisiä sähkönkuluttajia työmailla ovat nosturit, hissit sekä työmaatilat eli parakit. Talviaikaan tapahtuva valutyö aiheuttaa myös suurta kuormitusta työmaan energiakulutukseen, sillä betonia ei voi päästää jäätymään kuivuessaan. Edellä mainituista kulutuslaitteista varsinkin parakit käyttävät suuren osan työmaan käyttämästä kokonaisenergiasta. Jotta saataisiin lisää tietoa tavarantoimittajan suunnalta energiansäästömahdollisuuksiin työmaaympäristössä, työssä haastateltiin SRV Kaluston eli yhtiön kalustokeskuksen päällikköä Tapio Kaikkosta. Ideana oli saada selville, onko tähän aiheeseen perehdytty toimittajan puolelta ja mikäli on, mitä on mahdollisesti jo tehty ja mitä tullaan tekemään.

#### 3.1 Haastattelu, kalustokeskuksen päällikkö Tapio Kaikkonen

Haastattelussa kävi ilmi, että energia-asioita on pohdittu SRV Kalustossa ja pieniä askelia energiaystävällisempään suuntaan on otettu. Muutos on hidasta, sillä investointeja tehdään lähinnä vanhentunutta kalustoa uusittaessa. Työmaaparakit ovat keskimäärin elinkaarensa puolivälissä ja niitä uusitaan vähitellen uuteen malliin. Uusia parakkeja tulee vuosittain kalustokeskukselle noin 10–20 kappaletta. Uusissa parakeissa kaikkiin pintoihin on lisätty eristystä ja täten saatu lämpöhäviöitä pienemmiksi. Parakkien valmistukseen ei tällä hetkellä ole olemassa tiettyä ohjetta, jota tulisi seurata. Laittevalinnat, kalustus ja rakenne ovat lähinnä lähtöisin käyttäjän kokemuksista. Työntekijät vaativat entistä enemmän mukavuutta työympäristöltä, ja tämä ajaa kehitystä eteenpäin. On kuitenkin huomioitava, että vähitellen ollaan siirtymässä suuntaan, jossa parakkien rakennettakin tultaisiin tarkemmin valvomaan määräyksillä.

Muita toteutettavia energiansäästöjä haetaan työmaavalaistuksesta, joka on yksi suurimmista yksittäisistä sähkönkuluttajista. Osalla työmaista on aloitettu LED-valaistuksen käyttö nykyisten vielä paljolti käytössä olevien loisteputkivalaisimien rinnalla tai tilalla. Tarkkaa tietoa energiankulutuksen pienentymisestä ei ole vielä tullut, mutta oletuksena voi pitää sitä, että nämä uudet valaisimet kuluttavat energiaa vähemmän. Uuteen valaistusjärjestelmään on mahdollista liittää myös ohjauskeskus, jolla olisi mahdollista ohjata valaisimia pois päältä työaikojen ulkopuolella. Käytännössä valot ovat päällä

kuitenkin yötä päivää. Käyttäjät eivät ole osanneet ottaa kaikkea hyötyä irti näistä uusista energiasäästäväistä ominaisuuksista.

Tärkeimpänä asiana energiansäästöissä Kaikkonen pitää käyttäjän ohjeistamista. Oikeanlaisella ohjeistuksella ja sitä kautta laitteiden oikeaoppisella käytöllä olisi mahdollista vaikuttaa kaikkein eniten energiankulutuksen minimoimiseen. Toisena erittäin tärkeänä asiana hän pitää sitä, että työmailla olisi tarjolla käytännön esimerkkejä siitä, kuinka työntekijöiden teot vaikuttavat energiankulutukseen. Esimerkiksi väärällä ideologialla valitut lämmittimet käyvät työmaalle erittäin kalliiksi. Jos lämmittimiä käytetään eri tavalla kuin, mihin ne on suunniteltu, hävitään hyötysuhteessa paljon ja täten kasvatetaan energialaskua. Laitteiden oikeaoppinen käyttö tulee huomioida työmaasuunnitelmaa laadittaessa. Suunnitelman ollessa suunniteltu nimenomaan tietylle työmaalle on mahdollista saada maksimaalinen hyöty irti lämmitysjärjestelmistä.

Esimerkit tulisi saada mahdollisimman tarkoiksi ja helposti ymmärrettäviksi. Kaikki työmaalla työskentelevät eivät välttämättä ymmärrä, mitä tarkoittaa esimerkiksi 2 000 kWh/kuukausi, tai on vaikea suhteuttaa kulutusta 7 l/h siihen, mitä luku oikeasti tarkoittaa euroissa. Mikäli esimerkit viedään eurotasolle, olisi mahdollista nähdä, kuinka paljon pienikin ylimääräinen paneutuminen, esimerkiksi reiän tukkiminen elementissä, säästäisi energiaa ja rahaa. Tällöin jokainen voi itse miettiä, kannattaako reikä tukkia kuukauden ajaksi pressulla, vanerilla taikka jopa vanerin ja eristeen yhdistelmällä.

## 3.2 Energiankulutus työmaalla

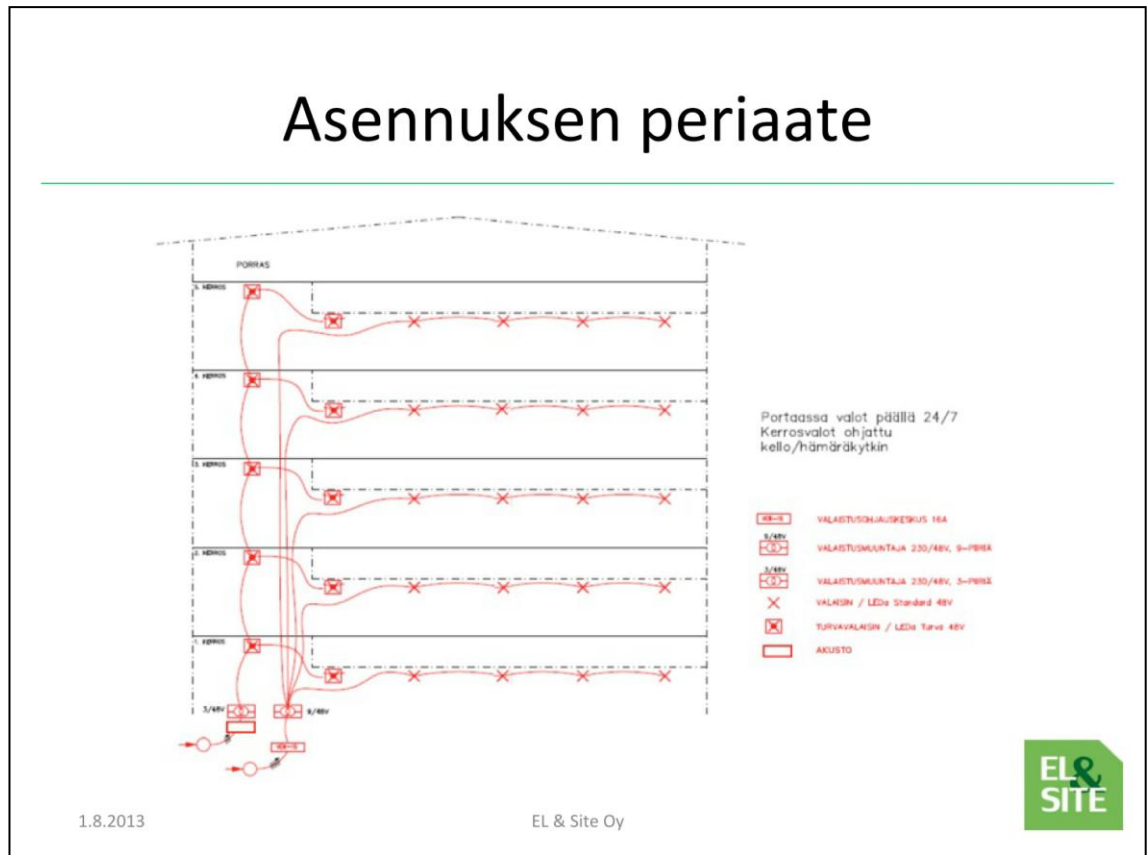
### 3.2.1 Työmaavalaistus

Valaistus on yksi tärkeimmistä asioista työmaalla, ja se on yksi osa viikoittain pidettävästä kunnossapitotarkastuskierroksesta. Hyvällä valaistuksella taataan hyvät työskentelyolosuhteet sekä ylläpidetään työturvallisuutta. Perusvaatimuksena yleisvalaistukselle on taso 50 lx, joka työmaavalaistuksen tulee saavuttaa [5]. Yleisvalaistus kuluttaa vakio-osan työmaan kokonaisenergiasta läpi työmaan elinkaaren. Tämä osuus saattaa suurella työmaalla olla suurikin osa kulutetusta sähköstä. Tämän työn esimerkkikohteessa oli käytössä keskimäärin 200 työmaavalaistinta. Työmaavalaistimet oli varustettu 58 W:n loisteputkillla. Vuorokautta kohden kulutettu energia näillä valaisimilla on 278,4 kWh. Tämä tarkoittaa nykyisillä sähköenergianhinnoilla noin 22 €:a. Tämä 22 €

vuorokaudessa ei tunnu paljolta, mutta kun tämä päivittäinen euromäärä kerrotaan päivillä, joina työmaa on käynnissä, on summa jo tuntuva. Kokonaisuudessaan esimerkiksi rakennusvaiheen aikana noin 17 800 euron edestä sähköenergiaa yleisvalaistukseen. Laskut on esitetty liitteessä 2.

On huomioitava, että tälläkin työmaalla valot paloivat vuorokauden ympäri, joten kuluista olisi mahdollista pienentää sammuttamalla valot yön ajaksi. Mikäli valojen paloaika rajoitettaisiin esimerkiksi välille 6:00–18:00, tarkoittaisi tämä jo kulutuksen tippumista puoleen. Tällä työmaalla se olisi tarkoittanut hiukan alle 9 000 €:n säästöä. Paloaikojen rajoitus vaikuttaa hieman työmaavalaisuus- ja sähköistysuunnitelmiin, joten tämä on huomioitava näitä suunnitelmia laadittaessa. Pääasiassa tämä näkyy uudenaikaisena tapana sijoittaa valaistuksen lähdöt työmaan sähkökeskuksiin. Lähtöjen tulisi olla varustettu kellokytkimillä, tai sitten valot irrotettaisiin kytkemällä valaistusryhmät irti työpäivän päätteeksi. Tämä vie kuitenkin aikaa ja tarkoittaa aamusta samanlaisen kierroksen tekemistä, jotta valot saadaan jälleen palamaan. Kello-ohjauksilla tai liiketunnistimilla päästäisiin eroon irtikytkemisistä, ja samalla säästyisi rahaa energiankulutuksen pienentyessä.

Kalustokeskus on jo hankkinut uudenlaisia LED-työmaavalaisimia. Tämä uusi järjestelmä on otettu käyttöön muutamalla työmaalla. Se on kuitenkin vielä niin uusi, että käytöstä ei ole paljon kokemusta, eikä ole tullut tarkkaa tietoa sen energiankulutuksesta. Teknisten tietojen valossa järjestelmän pitäisi olla energiankulutukseltaan ystävällisempi kuin nykyiset loisteputkivalaisimet. Yhden tällaisen uudentyyppisen valaisimen ottoteho on 21 W, mikä on 37 W vähemmän kuin yhden loisteputkivalaisimen ottama sähköteho [6]. Valaistusvoimakkuuksista ei ole olemassa tarkkaa tietoa, joka olisi mitattu työmaaympäristössä. Mikäli se jää alle nykyisten loisteputkivalaisimen tehokkuuden, tarvitaan uusia valaisimia kappalemäärässä enemmän, joten näiden valmistajan tietojen pohjalta voidaan todeta LED-valaisimen olevan vain hieman energiatehokkaampi. Työmailla on käytössään myös T5-loisteputkilla varustettuja valaisimia, jotka ovat selvästi energiatehokkaampia kuin T8-malliset. T5-malliin nähden on hyvin vaikea sanoa, kumpi on energiatehokkaampi, loisteputkivalaisin vai uuden tekniikan LED-valaisin. Mittaamalla ja seuraamalla kulutusta on mahdollista vähitellen saada selville säästöpotentiaali uudessa työmaavalaisuusjärjestelmässä.



Kuva 1. LEDa-valaisimien asennusperiaate [7].

Uusi LED-valaisin on käytännön kannalta monelta osalta kuitenkin parempi kuin perinteinen ketjutettava työmaavalaisin. Sähkämiehen kommentit uuteen valaisimeen olivat erittäin positiiviset. Hänen mielestään asennus on valaisimen keveydestä johtuen entistä kätevämpää ja nopeampaa. Samoin sähkösyötön toteuttaminen valaisimelle on helppoa. Holviin kiinnitetään valmis parikaapeli, johon valaisimet kytketään valaisimessa kiinni olevilla liittimillä. Käytännössä muuntaja sijoitetaan työmaasähkökeskuksen yhteyteen, johon voidaan sijoittaa myös valaistusjärjestelmän ohjauskeskus. Sieltä parikaapeli viedään ja kiinnitetään alueelle, jonne valaistus toteutetaan. Muuntajaan voi kytkeä joko kolme tai yhdeksän valaistuspiiriä riippuen muuntajasta, kuten kuvasta 1 on mahdollista nähdä. Valaisimien sijoittaminen ja haarojen ottaminen on helppoa, sillä niiden sijaintia järjestelmä ei rajoita mitenkään. Kuvassa 2 on mahdollista nähdä tämä parikaapelista otettavan haarasyötön mahdollisuus. Valaisimia tulee asentaa linjaan 6–8 m:n välein. [7]



Kuva 2. Uusia LED-valaisimia kiinnitettynä holviin.

### 3.2.2 Työmaan lämmittäminen

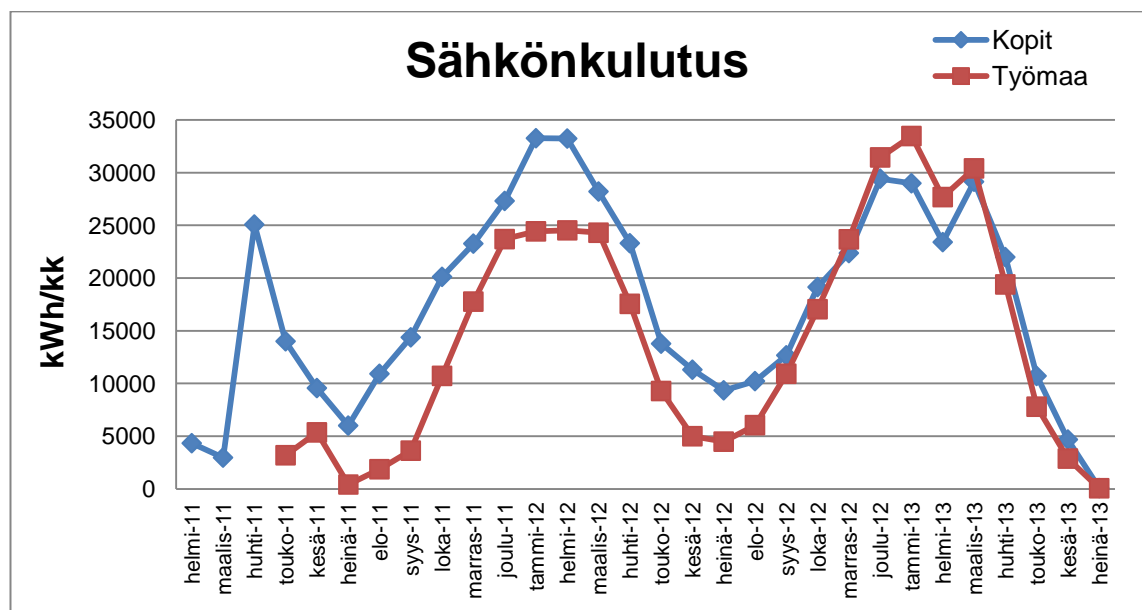
Muita huomattavia energiankulutuslaitteita työmaalla ovat lämmittimet. Tässä työssä ei tulla kuitenkaan paneutumaan tarkemmin lämmittimien eroihin eikä niiden energiankulutukseen. Lämmityksessä on huomioitava valmistajan laitteelle tarkoittaman käyttötavan mukainen käyttö, jotta hyötysuhteet laitteilla pysyvät hyvinä ja energiankulutus pysyisi niin pienenä kuin mahdollista. Haastattelussa kävi ilmi, että Kaikkonen pitää erittäin tärkeänä laitteiden oikeaoppista käyttöä sekä oikeanlaisen lämmityssuunnitelman tekemistä. Kohteet poikkeavat paljon toisistaan ja eri järjestelmät toimivat paremmin tietynlaisessa tilanteessa kuin toinen. Siten lämmitystä ja suunnitelmaa mietittäessä on tärkeä tukeutua toimittajan apuun suunnittelussa ja oikean järjestelmän valinnassa. Tällä valinnalla on kaikkein suurin vaikutus siihen, että saavutetaan pienin mahdollinen energiankulutus.

Työmaalla on tärkeä kiinnittää huomiota myös energiahukkaan. Ei ole merkitystä, millä järjestelmällä ja millä energiamuodolla lämmitetään, jos rakennuksen ulkokuoren tiivistämiseen ei kiinnitetä huomiota. Seuraavaksi käydään läpi esimerkki, kuinka paljon energiaa hukataan, jos jätetään ulkokuoreen 1 m<sup>2</sup>:n kokoinen aukko. Tämänkokoista aukkoa vastaa hyvin pieni ikkuna. Esimerkilaskuun liitteen 2, kohdassa 2 otettiin tiedot eräällä työmaalla mitatuista olosuhteista. Sisällä mittaushetkellä mitattiin 23,8 °C:n lämpötila, ja ulkona oli mittaushetkellä -4,8 °C. Aukosta hukataan lämmitettyä ilmaa

5 Pa:n paine-erolla 6 440 m<sup>3</sup>/h tai 1,79 m<sup>3</sup>/s. Tunnissa hukatun ilmamäärän lämmittämiseen tarvitaan 61,4 kWh energiaa. Tämä tarkoittaa nykyisellä energian hinnalla 5 € kustannusta. Vuorokauden aikana ilmaa karkaa ulos jo 118 €:n edestä.

### 3.2.3 Energiankulutuksen jakautuminen työmaalla

Tämän työn esimerkkikohteesta ei ollut saatavilla tarkempaa erittelyä työmaan käyttämästä sähköenergiasta ja siitä, miten se jakautuu osiin, mutta parakkien osuus oli selvitetävissä. Kuvion 1 käyrästä on mahdollista nähdä parakkien ja työmaan käyttämän sähkön suhde. Yli puoleenväliin rakennusaikaa oli parakkien kulutus suurempi kuin muun työmaan. On huomattava myös talven aiheuttama suuri kulutuksen nousu. Tämä johtuu pääsääntöisesti lämmitysenergian lisätarpeesta. Valaistus vie toki talvella hie-man enemmän energiaa kesään nähden. Tämä johtuu valojen käyttöasteen noususta pimeään takia. Helmikuussa 2013 on nähtävissä myös selvä pudotus kulutuksessa niin työmaalla kuin parakeillakin. Tämä johtunee helmikuussa pidettävistä viikon mittaisista hiihtolomista eikä säätilan muutoksista. Suuruudeltaankin muutos vastaa noin neljäs-osaa koko kuukauden kulutuksesta. On siis huomioitava kulutuksen laskevan heti kun työmaalla työskentelevien määrä vähenee. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että myös lämmitys on selvästi vähemmällä käytöllä kuin silloin, kun kaikki työmaan työntekijät ovat paikalla. Samalla jäävät tietysti kulutuksesta pois työkoneet, kohdevalaistus sekä muu yleiseen työskentelyyn vaadittava sähkönkulutus.



Kuvio 1. Toteutunut Derby Business Parkin työmaa-aikainen sähkönkulutus



### 3.2.4 Energiankulutuksen seuranta

SRV:llä on käytössään internetselaimella toimiva ympäristöraportointijärjestelmä, SRV Ympäristö, jonne on mahdollista kerätä tietoa työmailla syntyvistä jätteistä sekä energian ja veden kulutuksista. Tällä järjestelmällä on tarkoitus tuottaa tietoa hankkeiden ympäristövaikutuksista konsernin omaan sisäiseen käyttöön, mutta myös tarvittaessa asiakkaille sekä muille sidosryhmille. Energian ja veden kulutustietojen syöttämisestä järjestelmään vastaa työmaan ympäristövastaava. [8] Energiankulutuksen seurannalle ei ole perusteita mikäli tietoa ei hyödynnetä. Tietojen syöttäminen vie oman aikansa ympäristövastaavan työajasta, joten tieto on tärkeä saada julkaistuksi vähintään kuukausittain ja mieluiten useamminkin niiden ihmisten tietoon, jotka kulutuksen ovat aiheuttaneet. Tällä tietojen julkistuksella ja tilastoinnilla on suuri vaikutus energiankulutuksen minimoinnissa. Työntekijän ollessa tietoinen hänen aiheuttamastaan kulutuksesta on mahdollista lähestyä energiansäästötoimenpiteitä paljon konkreettisemmin. Nykypäivänä on olemassa tapoja mitata ja esittää kulutusta reaaliajassa näytöltä. Tällaisella tai edes näyttämällä paperille tulostetun kulutustiedon työntekijöille auttaisi varmasti energiankulutuksen pienennystalkoissa, sillä mittaamatta tai julkaisematta jättämisellä ei hyödynnetä jo olemassa olevaa tietoa. Samalla täytyisivät luvussa 2.2 mainittujen ympäristöluokitusjärjestelmien innovaatiopisteiden kriteerit.

## 4 Parakkien nykytilanne

Kalustokeskuksen Kaikkosen haastattelussa kävi ilmi myös, että parakeille ei ole säädetty kovinkaan tarkkoja ehtoja, jotka niiden tulee täyttää henkilöstötiloina. Pääpiirteittäin käyttäjä määrää tilan rakenteen. Työministeriön päätös rakennustyömaiden henkilöstötiloista ottaa kantaa huonekorkeuteen, jonka on oltava vähintään 2,2 m. Lämmitettävän tilan lämpötilan on oltava vähintään +18 °C, sekä ilmanvaihdon on oltava riittävän tehokas eikä haitallista vetoa saa esiintyä. [9] Määräykset antavat siis melko vapaat oikeudet toteuttaa tilat sellaisiksi kuin käyttäjä haluaa. Edellä mainitut perusvaatimukset kuitenkin tulee täyttää.

### 4.1 Parakkien rakenne

Nykyinen parakkien rakenne on lähtöisin työmaan esittämistä tarpeista 1980-luvulta. Rakenne on elänyt matkan varrella ja kehittynyt vähitellen nykyiseen tilaansa eri valmistajien ja asiakkaiden määrittelemien muutostarpeiden kautta. Tällä hetkellä SRV:n käytössä olevat parakit ovat noin puolessavälissä elinkaartansa, kuten luvussa 3.1 todettiin. Nykyisten parakkien tilarakenteen rakenne on seuraavanlainen [10]:

#### Alapohja

- Muovimatto 1,5 mm
- Havuvaneri 12 mm
- Puurunko 45 x 95 mm k600
- Polyuretaani 95 mm
- Kovalevy 3,2 mm

#### Yläpohja

- Profiilipelti
- Kovalevy 3,2 mm
- Puurunko 45 x 95 mm k600
- Polyuretaani 95 mm
- MDF-levy 6 mm, maalattu valkea

#### Ulkoseinät

- Matala profiilipelti
- Puurunko 45 x 60 mm k1200
- Polyuretaani 60 mm
- Lakkavaneri 6,5 mm
- Kantavat teräspilarit rungon sisällä

#### Ikkunat

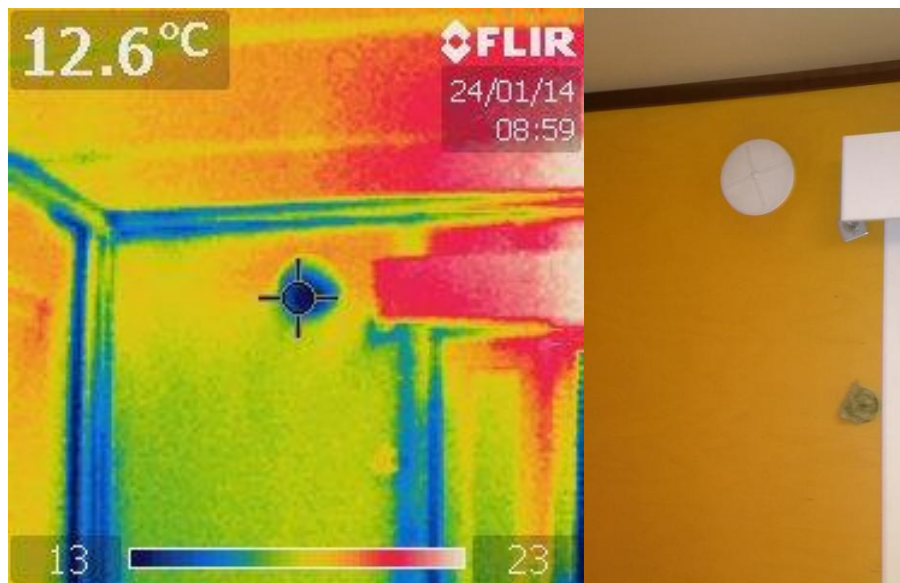
- 2-lasinen lämpölasikaasulla

#### Ovet

- Teräsovi.

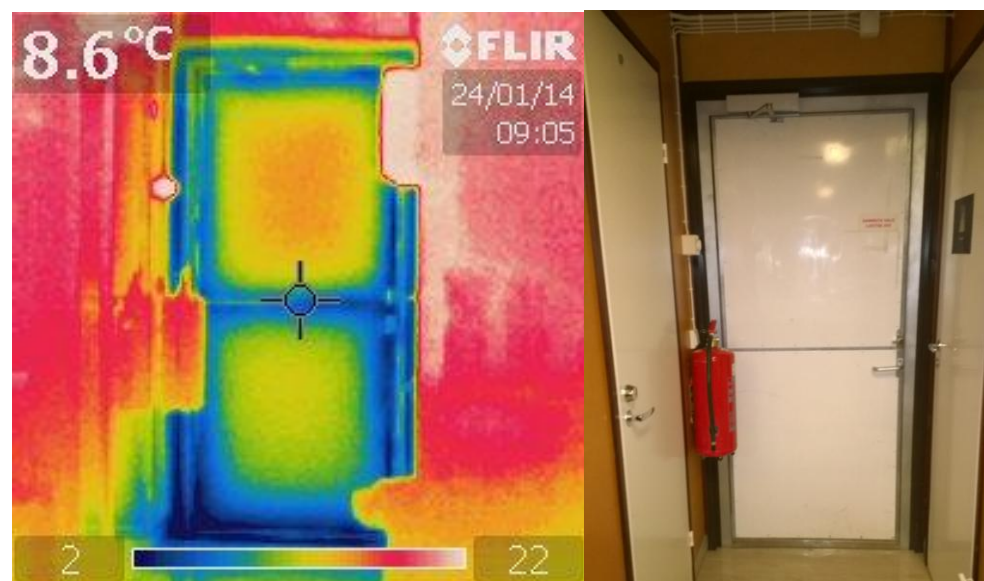
Parakkien rakenne soveltuu siihen käyttöön, mihin se on tarkoitettu. Alun perin parakit on suunniteltu väliaikaiseen oleskeluun, peseytymiseen sekä vaatteiden vaihtoon ja työmaan mestareille lyhytaikaiseen työskentelyyn. Tämän toimenkuvan parakit täyttävät hyvin, mutta tarkasteltaessa tiloja toimistotyötä tekevän henkilön näkökulmasta olisi rakenteessa parantamisen varaa. Tiloissa on useita paikkoja, joissa lämpötilat eivät ole tasolla, joka tuntuisi miellyttävältä pitkään paikallaan työtä tekeväälle. Tilanne on pahin talvikuukausien aikana. Tarkempaa tarkastelua tehtiin ongelmakohtille FLIR InfraCam -lämpökameralla. Kuvat otettiin tammikuun 24. päivänä, jolloin ulkona oli yli  $-15\text{ °C}$  pakkasta. Huomionarvoisia kohtia kuvauksessa olivat ilmanottoaukot ikkunoiden vieressä, ulko-ovet, koppien nurkat ja itse ikkunarakenteet. Näistä huomionarvoisista kohdista pahin oli parakin alanurkka kuvassa 5, jossa lämpötila oli vain  $1,5\text{ °C}$ . Huonoimmat ja paljon vetoa aiheuttavat paikat olivat parakkien liitoskohdissa, joissa yhdistetään kaksi parakkia toisiinsa. Nämä kohdat onkin syytä ottaa tarkempaan tarkasteluun ka-sausvaiheessa ja miettiä, mitä näille olisi tehtävissä.

Seuraavaksi työssä esitetään kuvauksen myötä esille nousseet huomiota vaativat kohdat. Lämpökamerakuvasta näkee aikaleiman, jolloin kuva on otettu. Vasemmassa ylänurkassa on näkyvillä kuvan keskellä olevan osoittimen kohdasta mitattu lämpötila. Alalaidan asteikko näyttää kuvan minimi- ja maksimilämpötilan skaalattuna eri väreille, sininen kuvan kylmimmän ja valkoinen kuvan lämpimimmän alueen.



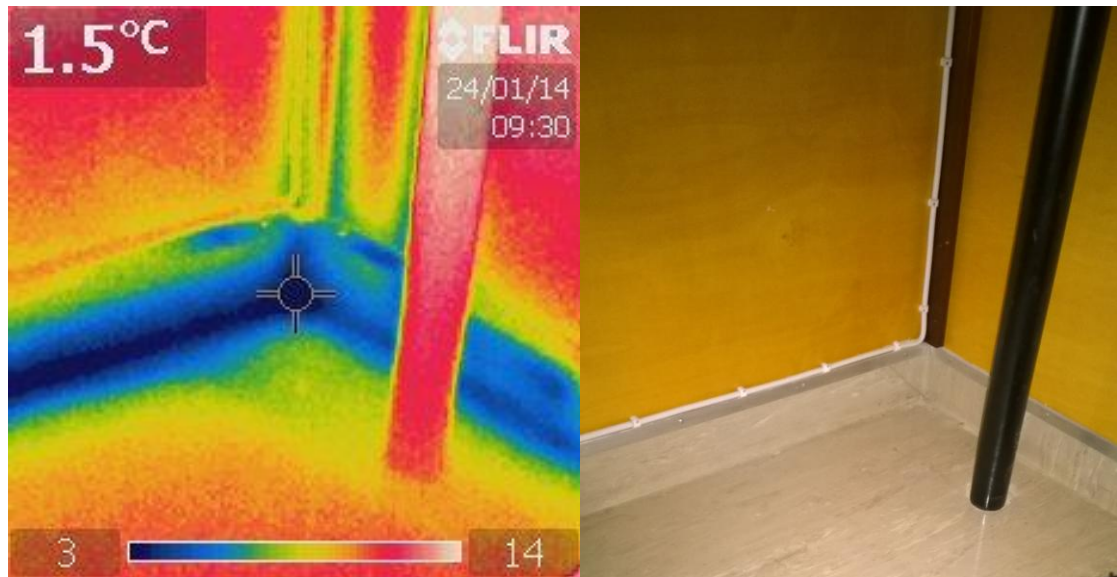
Kuva 3. Ilmanottoaukko ikkunan vieressä.

Ilmanottoaukko kuvan 3 keskellä on suljettu työntekijöiden toimesta, jotta pakkasilma ei pääse sisään koppiin aiheuttamaan vetoa. Suljettunakin aukon venttiilin lämpötila jäi reilusti alle huonelämpötilan.



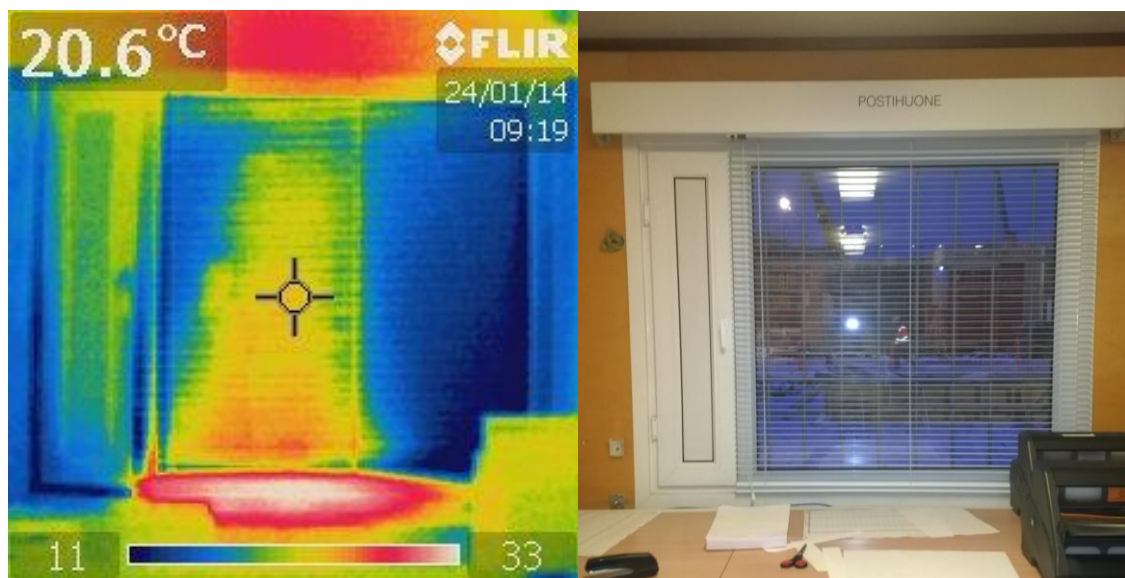
Kuva 4. Ulko-ovi.

Kuvan 4 ulko-oven puurakenteiset ja eristetyt keskiosat eristävät lämpöä melko hyvin. On kuitenkin huomattava, että ovirakenteen metallinen kehikko aiheuttaa huomattavat kylmäsilat. Kaiken lisäksi karmit vuotavat ovilehden välistä ilmaa sisään, vaikka tiivisteet olivat paikoillaan. Vuotokohdissa lämpötila oli vain +2 °C, ja veto oli huomattava.



Kuva 5. Parakin alanurkka työpöydän alla.

Työhuoneen työntekijä valitteli varpaiden palelevan töitä tehdessä. Patteri oli käännetty +28 °C:seen, jotta paleleminen lakkaisi. Kuvasta 5 nähdään nurkan lämpötilan olevan vain +1,5 °C. Kuvasta voi myös todeta kylmän ilman liikkuvan muovimaton alla, koska seinällekin nostettu osuus pysyy kylmänä. Lattian lämpötila ei muuallakaan kuvassa nouse yli +14 asteen, kuten alalaidassa olevasta asteikosta nähdään.

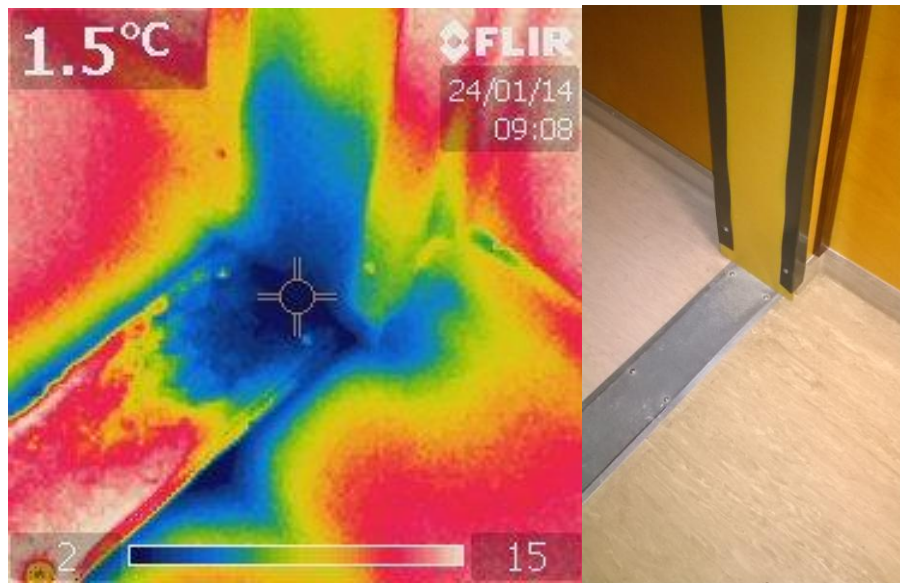


Kuva 6. Ikkuna.

Kuvassa 6 ikkunan pintalämpötila on kohtuullisen lähellä huonelämpötilaa, ja kuvasta nähdään patterin lämmittävä vaikutus selkeästi punaisena ja keltaisena alueena. Huo-



mionarvoista on kuitenkin karmien väri eli huomattavasti pienempi lämpötila. Tuuletusikkunan ympärillä lämpötila laskee 11 asteeseen.



Kuva 7. Käytävällä oviaukon kohdalla oleva liitos.

Liitoskohdan tulisi olla eristetty villalla vanerin takaa sekä metallisen listan alta. Kuvassa 7 on kuitenkin selkeästi nähtävissä kylmän ilman vuotaminen sisätiloihin listan sekä vanerin alta. Kylmimmillään lämpötila oli vain juuri ja juuri plussan puolella.



Kuva 8. Avotoimiston tai neuvotteluhuoneen liitos lattiassa.

Kuvassa 8 on esitetty lattian poikki menevän liitoksen lämpötiloja. Kylmä pakkasilma pääsee tässäkin tapauksessa kulkeutumaan lattialle ja sisälle työskentelytilaan metallilistan alta. Suurin osa ilmavirrasta tulee kuitenkin listoittamatta jääneestä aukosta tolppien välistä.

## 4.2 Ilmanvaihto

Tilojen ilmanvaihto on toteutettu koneellisen poistoilmapuhaltimen kanssa. Toimistotiloissa kone sijaitsee siivouskomerossa ja henkilöstötiloissa WC:n puolella. Tuloilma otetaan pääsääntöisesti ikkunoiden vieressä olevien raitisilmasäleikköjen kautta. Tämä tarkoittaa, että ilma tulee sisälle juuri sellaisena kuin sen tila on ulkona. Kesällä ilma on todennäköisesti lämpimämpää kuin huoneilma ja talvella taas erittäin paljon kylmempää. Tämä lämpötilaero tunnetaan yleensä vetona. Vedontunne aiheuttaa helposti taas lämpötilan nostamista. Lämpötilan nostolla pyritään pääsemään tilanteesta eroon, vaikka se on väärä toimintatapa. On huomioitava myös, että pitkän työskentelyn tai kokoustamisen yhteydessä sisäilma muuttuu helposti tunkkaiseksi ja raittiin ilman saamiseksi työskentelytilaan avataan ikkuna. Tällöin tilanne on se, että tilaa lämmitetään täydellä teholla ja samalla sitä jäähdytetään raittiin ilman saamiseksi. Voidaan todeta nykyisellä tavalla toimittaessa hukattavan energiamäärän olevan suuri. Tuloilma kokonaisuudessaan lämmitetään sähköllä ja kesällä jäähdytetään erilaisilla ilmalämpöpumpuilla tai jäähdytyskoneilla. Tämän jälkeen ilma puhalletaan lämpimänä tai jäähdytettynä ulos, ilman minkäänlaista nykypäiväistä LTO-laitetta. Tästä tilanteesta on esimerkki liitteessä 2 kohdassa 3.

Liitteen 2 kohdan 3 esimerkin mukaan nykyiset kanavapuhaltimet poistavat ilmaa parakeista 69 l/s kappale. Esimerkkikohteessa puhaltimia oli 11 kappaletta. Nämä poistopuhaltimet poistavat ilmaa yhteensä  $0,759 \text{ m}^3/\text{s}$  parakeista. Oletetaan esimerkkilaskussa ulkoilman lämpötilaksi  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  ja sisäilman lämpötilaksi  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Näillä lämpötiloilla tämän ilmamäärän lämmittämiseen kuluu energiaa vuorokaudessa sellaiset 328 kWh, mikä vastaa energian nykyhinnoilla noin 26 €. Näitä lukuja verrattaessa kuukauden ajanjaksoon on puhaltimien kautta hukattu taivaalle noin 10 MWh ja noin 800 €. Talvella pakkasjakson aikana lukemat ovat helposti kaksinkertaiset. Luvun 3.2.2 esimerkkilaskun lämpötiloilla hukattu energiamäärä nousee 18,8 MWh:iin ja rahaa puhalletaan taivaalle 1 500 eurolla.

### 4.3 Lämmitys

Parakeissa on sähkölämmitys. Jokaisessa kopissa on vähintään kaksi sähkölämmittintä seinällä, ja näillä tuotetaan tarvittava lämpö. Jokaista patteria voidaan säätää omasta termostaatista. Termostaatteja käydään ohimennen kääntämässä lämpimämmälle, kun vähänkin tuntuu kylmältä. Käyttövesi tulee parakkeihin kylmänä, mikä tarkoittaa lämpimän käyttöveden omatoimista lämmittämistä. WC-tiloissa sekä sosiaaliiloissa on lämminvesivaraaja, jolla lämmin käyttövesi lämmitetään.

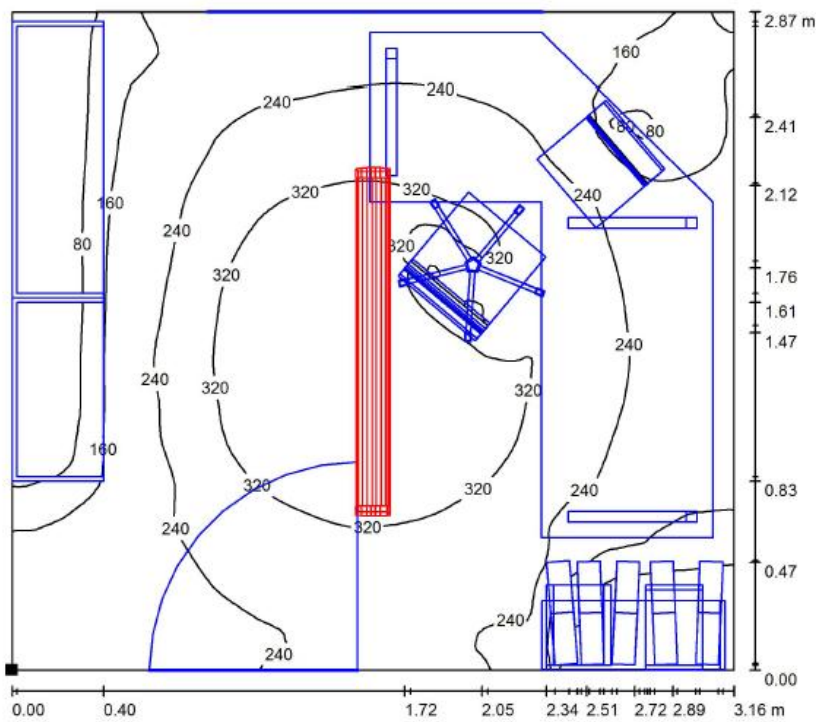
### 4.4 Valaistus

Parakeissa valaistus on toteutettu loisteputkivalaisimilla. Nykyiset valaisimet on varustettu yhdellä tai kahdella T8-loisteputkella. Valaisimet eivät ole valonsuuntauksen ja valotehokkuuden kannalta kovinkaan hyviä, vaan pääsääntöisesti ne ovat yleisvaloa antavia. Toimistohuoneissa valaisimet ovat keskellä kattoa eivätkä valaise tehokkaasti työskentelytasoa. Työpöydät ovat pääsääntöisesti sijoitettuna seinien läheisyyteen. Valot toimivat huoneen ovenpieleen sijoitetuilla kytkimillä. Valojen sytytys ja sammutus ovat täten käyttäjän tottumuksen mukaisia, aamulla töihin tultaessa valot laitetaan päälle ja töistä lähdeäessä ne sammutetaan, mikäli muistetaan. Energiansäästön kannalta tämä ei ole se kaikkein järkevin tapa.

DIALux-ohjelmalla toteutettujen mallinnuksien mukaan käytävillä, kahvi- ja taukutiloissa sekä neuvotteluhuoneissa päästään tarvittaviin standardin mukaisiin luksimääriin. Toimistohuoneissa luksitasot jäävät kuitenkin jonkin verran alle tavoitetason. Kuvassa 9 esitettyssä laskelmassa on käytössä T5-loisteputkella varustettu valaisin. Lukemat ovat tässä kuvassa parempia kuin nykyiset T8-loisteputkilla varustetut valaisimet antaisivat tulokseksi simuloinnista. Simuloinnissa ei käytetty nykyistä valaisinta, sillä sitä ei löytynyt ohjelman tietokannasta.



## Toimistohuone / Käyttötaso / Isolux-käyrät (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 23

Kuva 9. Toimistohuoneen valaistusvoimakkuus.

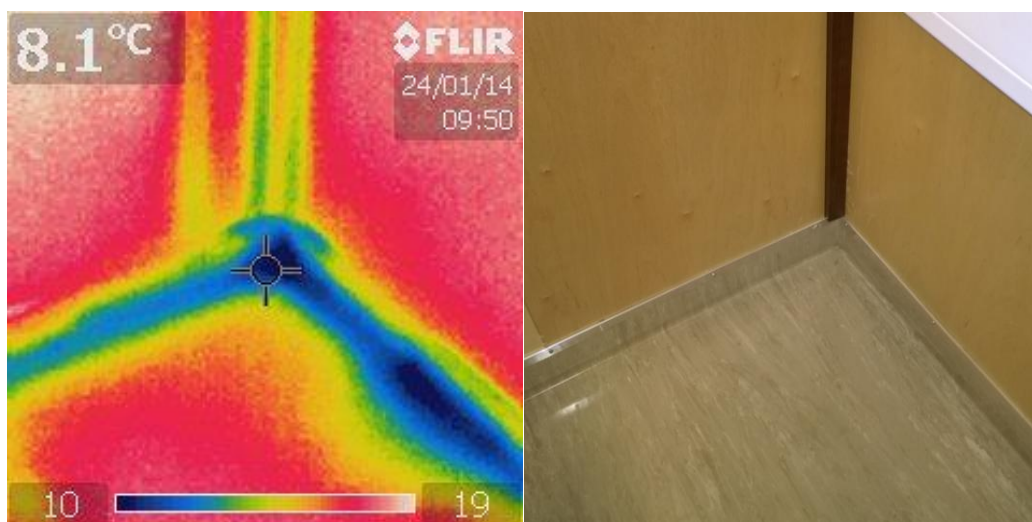
Kuvassa valaisin on piirretty punaisella ja kalusteet näkyvät sinisellä. Simulointituloksesta on mahdollista nähdä, että työpöydällä valaistusvoimakkuus ei ole kuin noin 250 lx. Edes suoraan valaisimen alla ei päästä kunnolla yli 300 lx:n tason. Työmaalla paikan päällä tehdyt mittaukset HT307 Lux -mittarilla osoittavat T8-loisteputkilla varustetun valaisimen tuottavan vain 188 lx työskentelyalalla. Suoraan valaisimen alla tilanne on hiukan parempi, mutta siinäkin vain 257 lx. T5-loisteputkilla varustetut valaisimet tuottivat hyvin lähelle simuloinnin mukaiset valaistusolosuhteet.

## 5 Ehdotuksia energiankulutuksen minimoimiseksi

### 5.1 Parakkien rakenne

Kuten luvussa 3.1 jo todettiin, on uusiin parakkeihin tulossa paremmin eristävät seinät sekä ylä- ja alapohja. Eristyksen paksuutta on ulkoseinissä lisätty 60 millimetristä 95 millimetriin. Seinän paksuutta kasvattamalla on ollut mahdollista irrottaa seinän kantavat teräsrakenteet irti ulkopinnasta. Tämä vähentää huomattavasti kylmäsiltojen määrää rakenteessa, mikä pienentää lämmönläpäisyyttä. Uusissa parakeissa ylä- ja alapohjan uusi eriste on 28 mm paksumpi. Näillä eristeen lisäyksillä on saatu U-arvoja pienennettyä huomattavasti, aina 34 % pienemmäksi alkuperäiseen nähden. [11] Muuten parakkien rakenne on samanlainen vanhoihin parakkeihin verrattuna. Parakkeja pinottaessa toistensa päälle ja liitettäessä toisiinsa on huomioitava riittävän hyvin eristetyn liitoksen teko parakkien välille. Mikäli eristys ei ole kunnossa liitoskohdassa, vuotaa siitä lämmintä sisäilmaa ulos aiheuttaen energiahäviöitä. Tämä oli selvästi nähtävissä lämpökamerakuvissa luvussa 4.1.

Yhdelle työmaista on toimitettu uuden rakennusselostuksen mukaan rakennettuja parakkeja. Lämpökameralla kuvatessa oli nähtävissä samoissa kohdissa vanhojen parakkien kanssa selvää parannusta lämpötiloissa.



Kuva 10. Uuden parakin nurkka, vanhemman parakin vastaava nurkka kuvassa 3.

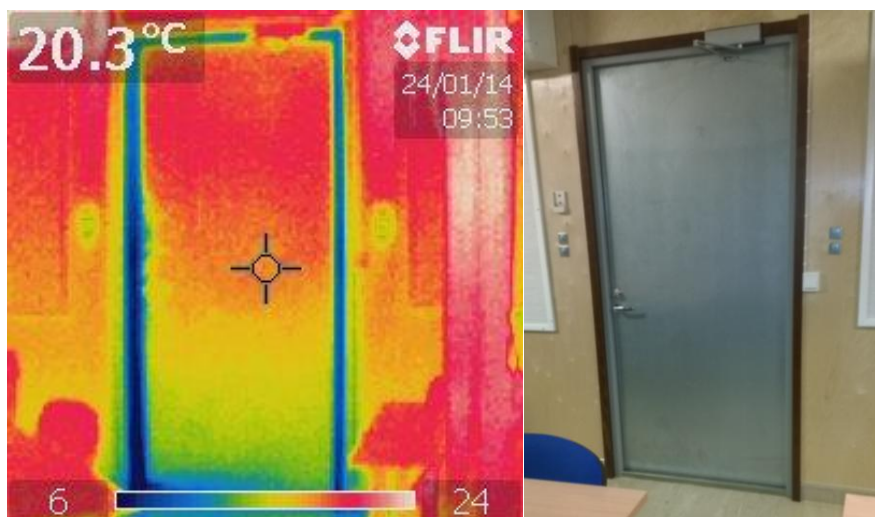
Kuvassa 10 on nähtävissä selkeä lämpötilan nousu vanhempaan parakkiin verrattaessa. Nurkassa lämpötila on noussut vanhemman parakin +1,5 asteesta kuvan 10 mu-

kaiseen +8,1 asteeseen. Edelleen lämpötila on alhaisempi kuin olisi suotavaa. On kuitenkin huomattava kylmän alueen rajoittuvan selvästi pienemmälle alalle kuin vanhemmassa parakissa. Lattian ja seinäpinnan lämpötilakin on noussut melkein haluttuun huonelämpötilaan.



Kuva 11. Uuden parakin liitoskohta sekä ilmanvaihtoaukot seinässä.

Liitoskohdassa on nähtävissä vuotoa keskellä kuvaa 11. Vuotokohdassa lämpötila on yli +10 °C. Tämä on kuitenkin sen verran alhainen lämpötila, että vieressä ollessa oli selvästi tunnettavissa kylmän vaikutus. Ulkopuolella kuvan kohdassa on liitos kohdan yli asennettu pelti. Pelti yltää sokkelista räystäään reunalle saakka. Liitoskohtaa on pyritty eristämään ja suojaamaan ilmaston vaikutuksilta, mutta jostain syystä tilanne ei ole kuitenkaan kokonaan parantunut. Kuvassa 11 on myös nähtävissä, kuinka paljon huompi tapaus on hiukan auki jätetty ilmanvaihtoventtiili verrattuna täysin kiinni olevaan. Auki oleva on noin 11 asteen lämpöinen ja kiinni oleva venttiili on täysin samassa lämpötilassa kuin sisäilma. Tässä tilanteessa auki olevasta venttiilistä vuoti siis kylmää ilmaa sisään neuvotteluhuoneeseen. Ilmanvaihtoa ei tilassa tapahdu, jos kaikki venttiilit ovat kiinni, joten jokin venttiileistä on pidettävä auki.



Kuva 12. Ulko-ovi, uusi malli.

Uuden ulko-oven rakenne (kuva 12) on selvästi parempi kuin kuvassa 4 esitetyn vanhemmanmallisen ulko-oven rakenne. Uudessa ovesa keskellä ovilehteä ei ole enää kylmäsiltoja. Karmirakenne näyttää olevan selvästi tiiviimpi kuin aikaisemmin. Huonoin kohta uudessakin ovesa on tiivisteet karmien ja ovilehden välissä. Ilmavuotoa näyttäisi olevan joka puolella ovea.

## 5.2 Ilmanvaihto

Työmaaparakit ovat joillekin työntekijöille projektiorganisaatiossa täysipäiväinen työpiste. Tästä johtuen on painetta luoda parakkeihin mahdollisimman lähelle toimistoa vastaavat työskentelyolosuhteet. Liian kuuma tai kylmä ei edesauta työtehokkuuden ylläpitämisessä, ja olisi suotavaa, että ilmasto parakeissa vastaisi yleisesti käytössä olevia määräyksiä. Tähän tilanteeseen pääsy edellyttää ilmanvaihdon uudelleen miettimistä. Täysin koneellisella ilmanvaihdolla olisi parhaat edellytykset luoda hyvät työskentelyolosuhteet. On kuitenkin muistettava parakkien liikuteltavuus. Parakit vaihtavat paikkaa keskimäärin kerran vuodessa, joten suuritoisten asennuksien tekeminen parakkeihin paikalleen asennuksen yhteydessä ei ole kannattavaa. Tämä luo omat kriteerit, jotka tulee ottaa huomioon koneellista ilmanvaihtoa mietittäessä.

Keskusteluissa kalustokeskuksen päällikön sekä talotekniikan osastolla työskentelevien kanssa kävi ilmi, että koneellista ilmanvaihtoa on mietitty parakkeihin. Ajatukset ovat jääneet kuitenkin mietinnän tasolle. Ei ole löytynyt ratkaisua, jossa hankintakustannuk-

set jäisivät kohtuullisiksi tai koppien liikuteltavuudesta aiheutuvat ongelmakohdat olisi ratkaistu. Ilmanvaihtokanavien (IV-kanavien) rakentaminen parakkien sisälle on haasteellista matalan huonekorkeuden takia. Toisena asiana on huomioitava koppien välisten liitosten teko. Tähänkään ei ole löytynyt sopivaa ja toimivaksi todettua ratkaisua. Ulkoisten IV-kanavien rakentaminen olisi helpoin tapa toteuttaa kanavisto, mutta tämä tarkoittaa kuitenkin jokaisen työmaan kohdalla IV-kanavien uudelleen asentamista ja purkamista. Asiaan kysyttiin vastauksia myös parakkien valmistajalta Parmacolta, josta todettiin asian olevan haasteellinen, mutta osattiin kuitenkin kertoa laitteesta, jota voisi harkita vastauksena ilmanvaihto-ongelmaan.

Koneellisen ilmanvaihdon toteuttamiseen yhtenä esimerkkinä oli huonekohtaisena ilmanvaihtolaitteena mainostettu Mitsubishi Electricin Lossnay VL-100U5-E -laite. Laite on tarkoitettu maksimissaan 80 m<sup>2</sup>:n huonealalle, joka on riittävä parakkia ajatellen. Ilmavirta on kohtuullisen pieni, mutta selvä parannus aikaisempaan koneelliseen poistoon. Selvänä etuna tässä laitteessa olisi myös hyvällä hyötysuhteella toteutettu lämmöntalteenotto. Kompaktin kokonsa ansiosta on huomattava myös koppien siirtelyä haittaamaton ulko-osan koko. Ulkonevat osat eivät tule juurikaan räystäään ulkopuolelle. [12] Normaaleissa ilmalämpöpumpuissa huonona puolena on ulkoyksikön suurehko koko. Se on yleensä haitallisessa paikassa siirtoa ajatellen ja pitää täten aina purkaa ja asentaa uudelleen ammattilaisen toimesta, mistä koituu kustannuksia. Samalla seiniin jää helposti kylmäaineputkien läpivientien aukkoja, joiden paikkaaminen pitää toteuttaa kunnolla, jotta vältetään uusilta kylmäsilloilta. Koneellisen ilmanvaihdon kanssa olisi mahdollista luopua myös ikkunoiden vieressä olevista ilmanvaihtoventtiileistä, mikä poistaisi jälleen yhden kylmäsillan sekä aukon, josta tapahtuu energiahäviöitä.

Rakenteeseen tehdyt muutokset eli eristepaksuuden ja runkorakenteen koon kasvatus näyttäisi parantavan tilannetta energiansäästönäkökulmasta katsottuna. Edelleen on kuitenkin kohtia, joihin voisi kiinnittää lisähuomiota, jotta vuotoilmavirrat ja kylmäsillat saataisiin minimoitua.

### 5.3 Lämmitys

Itse lämmitysjärjestelmään ei pystytä vaikuttamaan. Sähköiset lämmittimet ovat järkevin vaihtoehto parakkien lämmittämiseen. Vesikiertoista kaukolämmöllä tapahtuvaa lämmitystä mietittiin työn aikana, mutta idea hylättiin useiden ongelmakohtien takia.

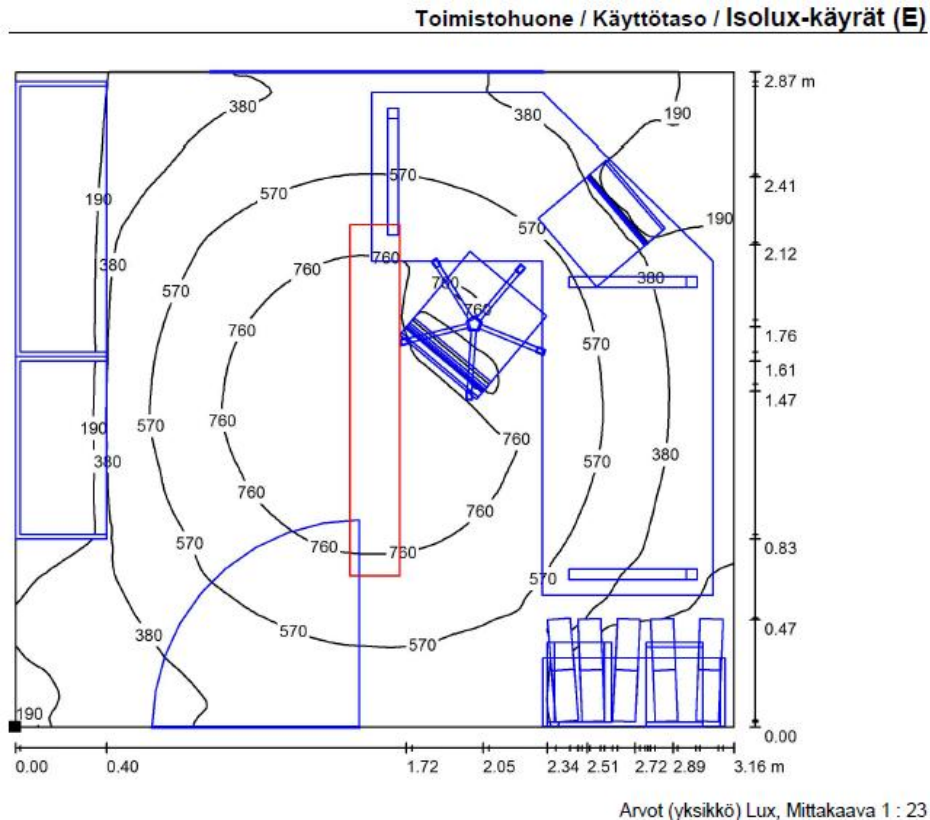
Ainainen vesivahingon mahdollisuus sekä parakkikohtaisen vesikierron toteuttaminen ei onnistuisi ilman ulkoisia asennuksia, mikä ei ole järkevää, kuten todettiin IV-kanavien asennuksista luvussa 5.2. Yhtenä mahdollisuutena lämmitysjärjestelmän muokkaamiseen on patterikohtaisen termostaatin vaihtaminen huonekohtaiseen seinälle asennettavaan termostaattiin. Näin ollen mittauspiste siirtyisi tasaisempiin olosuhteisiin pois ikkunan alta, joka on melko vetoinen ja lämpötiloiltaan vaihteleva paikka. LTO:n lisäys ilmanvaihtoon on se toimenpide, jolla saadaan lämmityskustannuksia pienennettyä eniten. Käyttäjien ohjeistus on toki myös tärkeä asia, ja silläkin on mahdollista saavuttaa kustannuksissa säästöjä.

#### 5.4 Valaistus

Valaistuksen osalta energiaa on säästettävissä vähentämällä paloajoja minimiin. Työpäivän aikana ei kuitenkaan saavuteta merkittäviä säästöjä. Tärkeimpänä on muistaa sammuttaa valot työpäivän päätteeksi ja silloin, kun poistuu työskentelytilasta huomattavaksi ajaksi. Vaihtamalla valaisimet energiatehokkaampia T5-loisteputkia tai LED-valoja käyttäviksi olisi laskennallisesti säästettävissä pieniä summia. T5-loisteputkilla varustetut valaisimet ovat noin 10 % energiatehokkaampia kuin T8-loisteputkilla varustetut valaisimet. Mikäli valaisimet varustetaan normaalin kuristimen sijaan elektronisella liitäntälaitteella, voi energiansäästö olla 40 %. [13, s. 25] Lisäsäästöjä on mahdollista hakea vaihtamalla valaisimet LED-tyyppisiksi, mikäli löytyy energiatehokas ja valotehokkuudeltaan hyvä malli. LEDin ja T5:en välisen energiankulutuksen ero on vielä tällä hetkellä pientä, ja perinteisemmän loisteputkivalaisimen hankintahinnan ollessa alhaisempi on järkevä miettiä loisteputkilla varustettuja valaisimia. Muutaman kymmenen euron investoinnilla olisi kuitenkin saada säästöjä aikaiseksi lisäämällä liiketunnistimet valaisimiin. Tällä lisäyksellä päästäisiin eroon turhasta valaisimien päällä olost. Liitteessä 2 on esimerkki siitä, kuinka paljon sillä säästettäisiin, että paloajat minimoitaisiin.

Tärkeintä valaistusta mietittäessä on oikean valaistusvoimakkuuden eli lux-tason saaminen työpisteille. Hämärässä työskentely heikentää työtehokkuutta rasittamalla silmiä sekä aiheuttamalla helposti pääkipua. Toimistoissa työpöydille on asetettu standardissa SFS-EN 12464 vaatimukseksi 500 lx sekä työskentelyalan välittömässä läheisyydessä tasoksi 300 lx [14]. Tähän olisi syytä pyrkiä, jotta työolosuhteita saataisiin parannettua. Kuvassa 9 päästiin työpöydällä vain noin 250 lx:n tulokseen parhaimmillaan,

mikä on nykyinen tilanne työmailla. Näihin standardin vaatimiin lukemiin on mahdollista päästä, jos toimistohuoneissa vaihdetaan valaisimet heijastimella sekä T5-loisteputkella tai LED-valolähteellä varustettuihin valaisimiin, kuten DIALux -ohjelmalla suoritettu toinen simulointi osoittaa.



Kuva 13. Toimistohuoneen valaistusvoimakkuus uudella valaisimella.

Kuvassa 13 esitetyn simuloinnin tulokseen päästiin Philips SmartForm TCS460 2x32 W -valaisimella. Tässä valaisimessa on T5-eco-loisteputket, jotka ovat valontuotoltaan ja energiatehokkuudeltaan erinomaiset. Tätä valaisinta käytettäessä olisi energiansäästö nykytilanteeseen verrattuna vain 8 W. Rahallinen säästö jää valaisimella marginaaliseksi suhteutettuna parakkien kokonaisenergiankulutukseen. Kuitenkin työtehokkuus lisääntyy paremmissa valaistusolosuhteissa.

## 6 Energiasimuloinnit

Parakkeja ja niiden energiankulutusta päätettiin tutkia tarkemmin simuloimalla erilaisia tilanteita IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) -simulointiohjelmalla. Tarkoituksena oli selvittää aikaisemmin tässä työssä mietittyjen energiansäästömahdollisuuksien potentiaalia. Simuloinnit suoritettiin vuoden jaksolle, jolloin on mahdollista tarkastella koko vuoden energiankulutusta. Ohjelmalla simuloitiin Derby Business Parkin työmaan parakit. Työmaalla oli 29 parakkia, joista 7 sosiaali-tiloja, 12 kahvio ja taukotiiloja, sekä 10 toimisto käytössä olevaa parakkia.

Simuloinnit suoritettiin käyttäen samoja lähtötietoja, jotka ovat seuraavat:

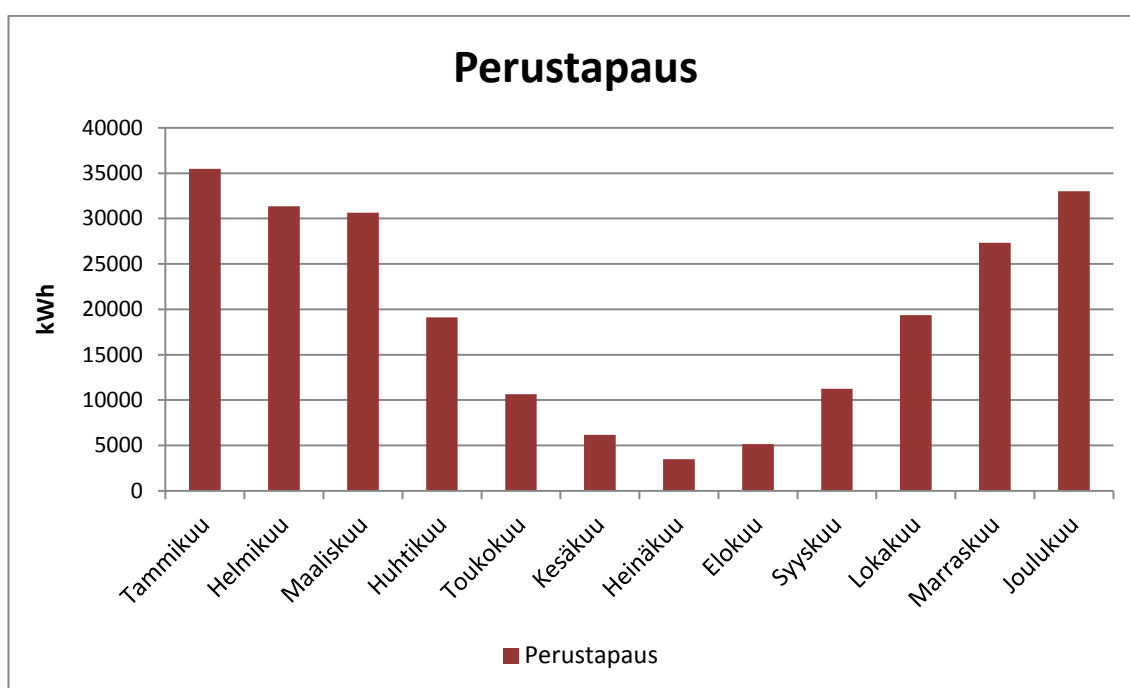
- Sää tiedot Helsinki-Vantaa 2012 referenssisää, paikka Helsinki.
- Ikkunat etelään ja pohjoiseen.
- Ikkunoiden U-arvo  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ja g-arvo 0,675, sisäiset kaihtimet.
- Ovien U-arvo  $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .
- Kylmäsillat.
- Käyttöaika klo 6:30–16:00, käyttöaste 1.
- Vesivaraajista yhteensä 1 kW sisäistä kuormaa.
- Taukotiiloihin, toimistohuoneisiin ja neuvotteluhuoneisiin laskettu yhden henkilön verran sisäisiä kuormia.
- Toimistoissa oletettiin joka toiselle pöytäkone ja lopuille kannettava sekä kaikille erilliset näytöt.
- Valaistuksen aiheuttama lämpökuorma huomioitu.
- Huomioitu myös kopiokone kopiotilassa.

Lähtötietojen ollessa samat kaikille simuloinneille voidaan jättää lähemmässä tarkastelussa huomioimatta valaistuksen, ilmanvaihdon, lämminvesivaraajien sekä sähkölaitteiden kulutukset, sillä ne ovat kaikille simuloinneille samat. Seuraavissa kohdissa tarkastellaan täten vain lämmitykseen kuluva energiaa. [15]



## 6.1 Perustapaus

Simuloinnit aloitettiin perustapauksesta eli vanhemman rakennusselostuksen mukaisen parakkien energiankulutuksesta. Tällä simuloinnilla oli tarkoitus selvittää, kuinka lähelle ohjelma simuloi nykyisen tilanteen toteutuneisiin tiedossa olleisiin energiankulutuksiin nähden. Kuvion 1 toteutuneet luvut ovat vain noin 7 %:n päässä simuloinnin tuloksista, joten simuloinnin voi todeta hyvinkin luotettavaksi. Näissä tuloksissa olevalla erolla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, koska muita simulointeja verrataan tähän perustapaukseen. Perustapauksen ja muiden simulointien välinen mahdollinen ero on se, johon tullaan kiinnittämään huomiota.

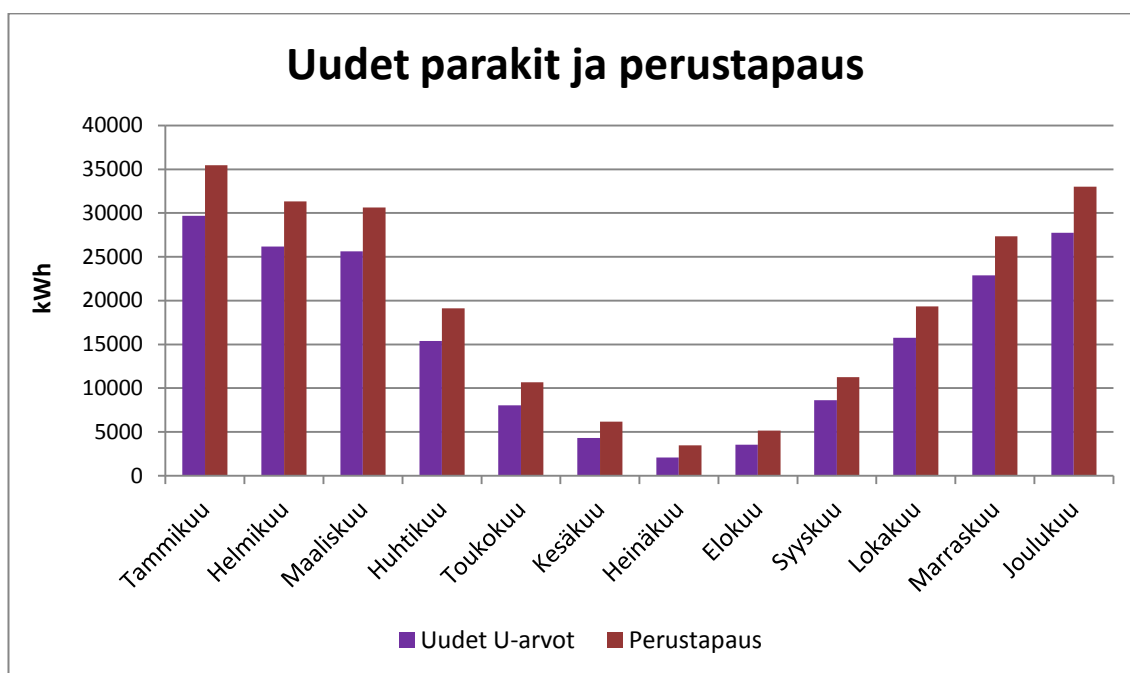


Kuvio 2. Perustapauksen lämmitysenergiankulutus

Kuvion 2 palkeista nähdään suuret energiankulutukset, jotka suorasähkölämmitys aiheuttaa. Pääsyyt tähän suureen kulutukseen ovat aikaisemmin työssä mainitut puutteellinen ilmanvaihto, kylmäsiltojen vaikutus sekä suurehko vuotoilmavirta, mitkä johtuvat huonosta eristyksestä. Suhteutettaessa kulutusta pinta-alaan on tullut esille arvo  $292 \text{ kWh/m}^2$ . Tämä on nykystandardeilla erittäin heikko arvo. Mikäli määräykset muuttuvat ja rakennustyön aikaiseen energiankulutukseen tullaan jatkossa kiinnittämään huomiota, tässä on yksi selkeä kohde, josta olisi mahdollista pienentää energiankulutusta.

## 6.2 Uuden rakennusselostuksen mukaiset parakit

Toisena simulointina suoritettiin uuden rakennusselostuksen mukaisten eli uusien parakkien tutkinta. Lähtökohdat tähän simulointiin olivat muuten samat, mutta eristepaksuuksia kasvatettiin 2013 vuoden selostuksen mukaisiin määriin. Kasvanut eristepaksuus pienentää vuotoilmaa, joten se huomioitiin tässä simuloinnissa.



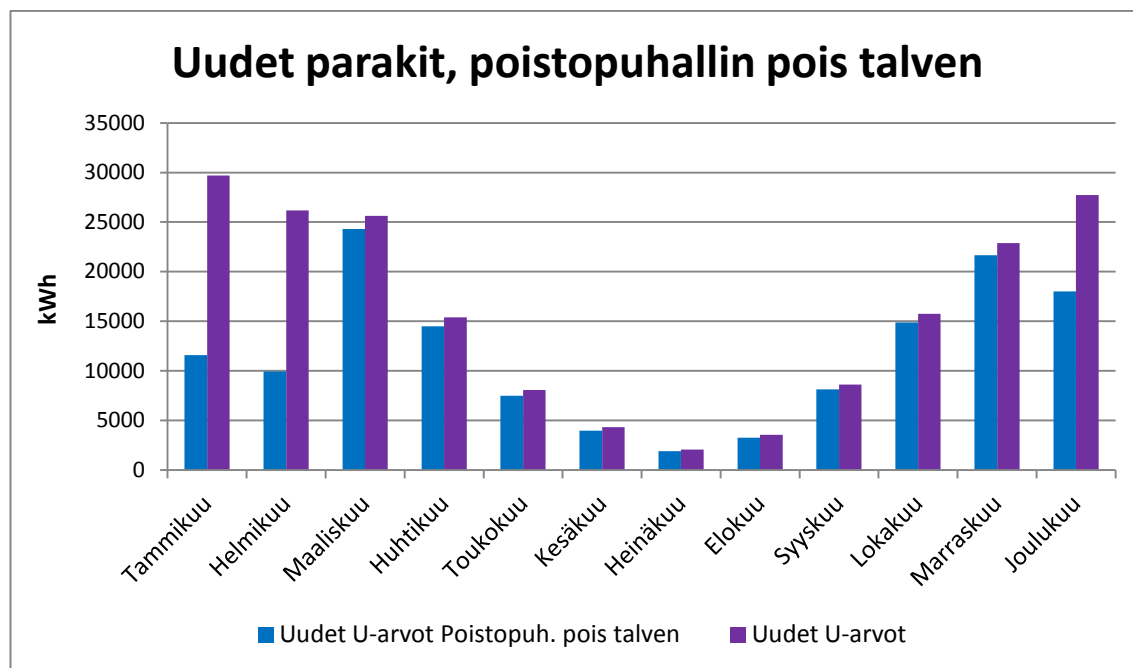
Kuvio 3. Uusien parakkien ja perustapauksen lämmitysenergiankulutuksen vertailu.

Uusien parakkien kulutukset ovat selvästi alhaisempia kuin perustapauksella, kuten kuviosta 3 on selvästi nähtävissä. Pelkästään eristepaksuutta lisäämällä ja siirtämällä metallinen runkorakenne sisäpintaa vasten saadaan kylmäsiltojen sekä vuotoilman vaikutusta pienennettyä ja suurimpana hyötynä U-arvojen paraneminen. Perustapauksen ja uusien parakkien yhteenlaskettu kulutuksen ero on jopa 40 MWh. Tämä tarkoittaa noin 3 000 € säästöä vuotuisella tasolla nykyiseen eli perustapaukseen nähden.

## 6.3 Uudet parakit, poistoilmanpuhallin sammutettu talvikuukausien ajaksi

Lämpökamerakuvauksia tehdessä tuli vastaan tilanne, jossa parakkien kaikki poistoilmapuhaltimet oli sammutettu. Tämä johtui työntekijöiden mukaan siitä, että vedontunne saataisiin loppumaan. Samalla ilmanvaihtoaukot ikkunoiden vieressä oli suljettu. Ener-

giankulutuksen kannalta tämä poistoilmapuhaltimien sammutus on hyvä asia, ja näin saadaan minimoitua energiankulutusta, mutta tällöin ei ilmanvaihtoa tapahdu juuri lainkaan ja ilma parakeissa muuttuu tunkkaiseksi melko nopeasti. Tällaisessa tilanteessa raitis ilma saadaan sisälle availemalla ikkunoita ja ovia, mikä taas lisää energiankulutusta. Tätä tilannetta simuloitiin kolmannessa IDA ICE -tilanteessa.



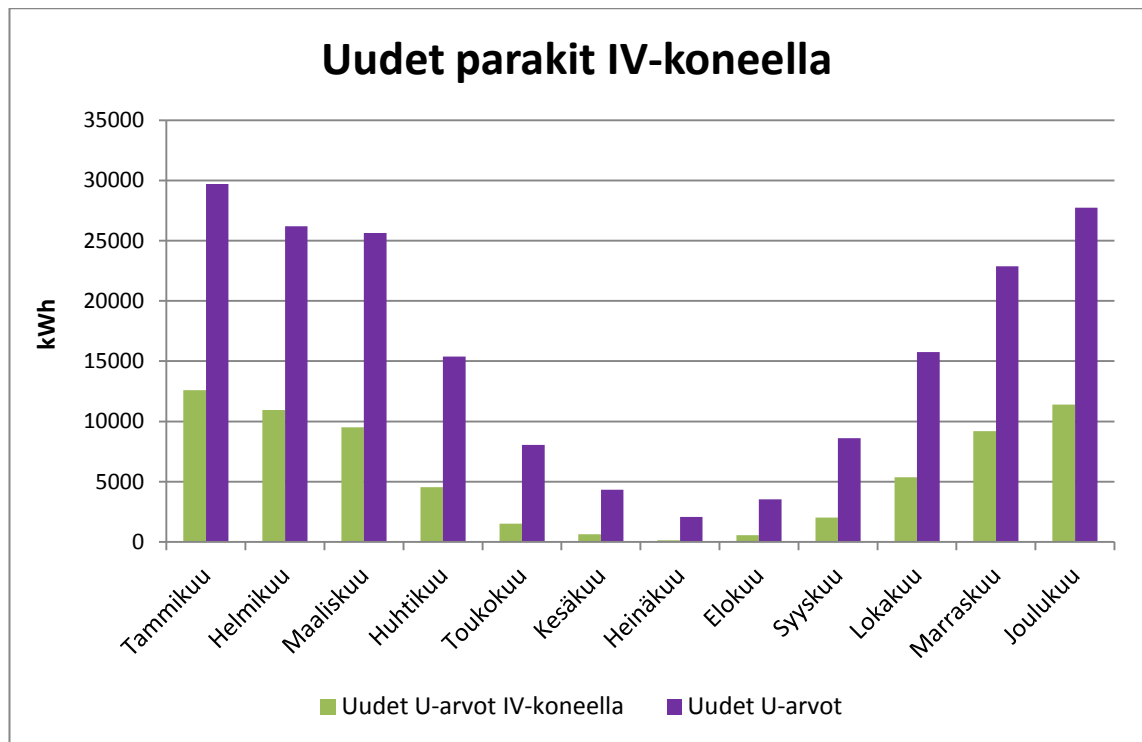
Kuvio 4. Uusien parakkien tilanne verrattuna tilanteeseen, jossa poistoilmapuhaltimet on kytketty pois päältä talvikuukausiksi.

Kuviosta 4 on selkeästi nähtävissä joulukuusta helmikuuhun vaikuttava energiankulutuksen aleneminen. Tämä huima ero kulutuksissa tulee siitä, että kertaalleen lämmitetty sisäilma pysyy parakeissa sisällä pidempään eikä sitä puhalleta ulos heti lämmityksen jälkeen. Poistopuhaltimet eivät poista ilmaa parakeista kuin noin 70 l/s, mikä tuntuu pieneltä määrältä huomioiden parakkien tilavuuden. Tämän ilmamäärän lämmittämiseen kulutetaan kuitenkin suuria määriä energiaa, kuten luvussa 4.2 mainitaan. Tammikuussa energiankulutus on pienentynyt tämän pienen ja mitättömältä tuntuvan toimen ansiosta yli 18 MWh. Helmikuussa energiaa kuluisi yli 16 MWh vähemmän ja joulukuussakin säästettäisiin energiaa melkein 10 MWh. Tämä on yhteenlaskettuna 44 MWh, mikä tarkoittaa yli 3 500 € säästöä. Nämä luvut vastaavat tuloilman tai tässä tapauksessa korvausilman lämmittämiseen kuluvaa energiaa. Poistopuhaltimien käytössä näitä lukuarvoja vastaavat määrät energiaa menee hukkaan. Tämän simuloinnin

tilanteessa parakkien ainoa ilmanvaihto ei ole käynnissä, ja ilmanlaatu työskentelytiloissa heikkenee nopeasti. Tämä aiheuttaa taas työtehokkuuden heikentymistä.

#### 6.4 Uudet parakit ilmanvaihtokoneella

Luvussa 5.2 ilmanvaihtokoneen lisäämistä parakkeihin pidettiin parhaimpana vaihtoehtona lämmityskustannuksissa säästämiseen, joten viimeisenä vaihtoehtona simuloitiin uudet parakit IV-koneella, joka sisältää hyvällä hyötysuhteella toteutetun LTO:n. Tämä simulointi tuntui ennakkoon kaikkein parhaimmalta tilanteelta pohjautuen kokemukseen ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta.



Kuvio 5. IV-koneella varustetut uuden rakennuslaskelman mukaiset parakit.

Viimeisen simuloinnin tulokset ovat esillä kuviossa 5. Tästä on mahdollista nähdä IV-koneen lämmöntalteenoton suuri vaikutus energiansäästöön. Simuloinnissa uudet IV-koneet oli huomioitu sosiaalityötiloissa, neuvotteluhuoneissa sekä muissa avonaisissa tiloissa, kuten kahvioissa. Lisäämällä IV-koneet näihin tiloihin kulutukset tippuivat kylmimpinä kuukausina tasolle, joka on hyvin lähellä kuvion 4 tuloksia. Tämä vahvistaa siis poistopuhaltimien hukkaavan energiaa luvun 6.2 mukaisten määrien verran. Tämän kohdan tilanteessa ilmanvaihtokone kierrättää lämmön takaisin parakkeihin esilämmit-

täen tuloilmaa. Näin saadaan toteutettua toimiva ilmanvaihto ja hyödynnettyä suuri osa tarjolla olevasta energiasta. Lämmityksen tarvitsema energia jää jokaisella kuukaudella reilusti alle puoleen uusien parakkien alkutilanteesta. Huomionarvoista on myös se, että perustapakukseen nähden (luku 6.1) energiankulutus on parhaimmillaan vain 4 % alkuperäisestä ja huonoimmillaankin ollaan kuitenkin 35,5 % tasolla alkuperäiseen lämmityksen energiakulutukseen verrattuna. Simuloinneista on mahdollista todeta tämän työn esimerkkikohteen kokoisella ja kaltaisella työmaalla energiansäästöpotentiaalin olevan suurta. Kuvion 5 mukaiset lukemat tuottavat 164,5 MWh:n säästön vuodessa ainoastaan lämmityskuluissa perustapakukseen nähden. Uusien parakkienkin säästöpotentiaali on simuloinnin mukaan 121,5 MWh, eli huomattavan suuri. Euroissa tämä tarkoittaa noin 13 000 € säästöä alkuperäiseen ja uusien parakkien kanssa melkein 10 000 euroa.

## **7 Johtopäätökset**

Työssä oli tarkoitus tutkia, miksi työmaat kuluttavat energiaa suuria määriä ja kuinka kulutusta olisi mahdollista pienentää. Työn aikana selvitettiin työmaan energiankulutusta ja sitä, mitkä osa-alueet vaikuttavat kulutukseen eniten. Suurimman vaikutuksen kulutukseen aiheuttaa työmaan lämmittäminen, niin rakennuksen kuin parakkienkin. Seuraavana tärkeänä osa-alueena on työmaavalaistus ja varsinkin yleisvalaistuksen vaikutus energiankulutukseen. Työ- ja kohdevalaistuksen osuus valaistukseen menevästä energiasta on verraten pieni, joten tärkeintä on huomioida tarpeettoman käytön minimoiminen. Siten valot palavat vain töitä tehdessä. Yksittäisten työkoneiden ja laitteiden kulutusta on vaikea mennä muuttamaan, ja työkoneiden käytöstä säästöt tulevat vain oikeaoppisen käytön kautta.

Työmaan lämmityksessä on huomioitava oikea ajoitus ja oikeanlaisen lämmitysjärjestelmän valitseminen. On syytä käyttää aikaa työmaasuunnitelman suunnitteluun kalustokeskuksen ja valmistajien ammattitaitoa hyödyntäen ja täten toteuttaa paras mahdollinen lämmitysjärjestelmä kulloisellekin työmaalle. On turha lämmittää työmaata, jos rakennuksen aukkoja ei ole tiivistetty. Kaikki se lämpö, joka taloon tuodaan, sekä tämän lämmön tuottamiseen käytettävä energia katoaa taivaalle. Tärkeää olisi siis ajoittaa työmaan aloitus siten, että ulkokuori saataisiin tiiviiksi kesän lämmössä ja lämmitys aloitettaisiin vasta tämän jälkeen. Talviaikana erittäin suuri energiasyöppö on myös betonivalujen lämmitys. Tämä on tarpeen, jotta betoni ei jäädy kovettuessaan. Työssä

ei saatu mittaustuloksia betonilämmityksistä aikaiseksi, mutta on selvää, että lämmittämistä tulisi välttää. Lämmittämiseen käytetty energia katoaa betonista suoraan ympäröivään ilmaan ja ilman mukana taivaalle.

Yleisvalaistuksessa tärkein huomio on paloaikojen järkevöittäminen. Koko työmaata on turha valaista läpi vuorokauden. Yön ajaksi sammutettu valaisin ei kuluta energiaa yhtään. LED-valaistuksen energiankulutuksista on tarpeen saada lisää mittaustuloksia ja kokemusta, jotta voidaan sanoa, onko se energiaystävällisempi tapa kuin nykyiset loisteputkivalaisimet. Samalla tulee selvittää, onko uudesta järjestelmästä muita mahdollisia haittoja. LED-valaistusjärjestelmän hyötynä on siihen helposti liitettävä ohjauskeskus, jolla olisi mahdollista ohjata työmaavalot aikaohjauksella päälle ja pois. Tämä on mahdollista toteuttaa loisteputkivalaisimillakin, mutta se vaatii hieman enemmän työtä. Samalla tulisi valaistussuunnitelmat tehdä niin, että suurin osa valoista olisi mahdollista sammuttaa työaikojen ulkopuolella. Osa täytyy jättää palamaan turvallisuussyistä. Yökäsi palamaan jätetyiksi ryhmiksi riittäisivät porrashuoneen sekä kerroksista muutaman valaisimen käsittämä linja.

Parakit ovat yhtiössä tällä hetkellä työmailla koko työmaaorganisaation käytössä. Työmaaorganisaatioon kuuluu mestareita ja työnjohtajia, mutta myös paljon toimistotöitä tekeviä henkilöitä. On siis tärkeää miettiä, mikä on nykyinen käyttötarkoitus parakeillemme. Väliaikaiseen oleskeluun ja työntekoon parakit soveltuvat erinomaisesti eli siihen mihin ne ovat tarkoitettu. On kiinnitettävä huomiota kuitenkin tähän toiseen osaan työmaaorganisaatiosta, joka myös työskentelee työmaalla parakeissa. Heille oma työhuone tai työpiste on täysiaikainen työpaikka. Varsinkin heitä, mutta myös muuta henkilökuntaa ajatellen olisi suotava saada nostettua parakkien työskentelyolosuhteet tasolle, jotka vastaisivat nykypäivän standardeja toimistotyöskentelystä. Istuuhan pääkonttorinkin väki tällä hetkellä erinomaisissa olosuhteissa ja rakennuksessa, jossa energiansäästötoimenpiteet ovat erittäin kehittyneet. Yhtenä vaihtoehtona parakeille on käsitellä niitä määräaikaisina rakennuksina, jolloin löytyisi valmiit standardit esimerkiksi uudesta rakentamismääräyskokoelman osasta D3. Tällä hetkellä parakeista ei ole säädetty tarkkoja ehtoja, jotka niiden tulisi täyttää, kuten luvussa 2 mainittiin. Nämä vaadittavat ominaisuudet olivat vähintään +18 °C:n lämpötila lämmitettävillä alueilla, 2,2 m:n minimi huonekorkeus sekä riittävä ilmanvaihto.

Parakeissa suurin huomio tulee kiinnittää lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän uudelleen miettimiseen. Simuloinnit osoittivat lämmitykseen kulutetun energian olevan suur-

ta. Pääsyy tälle suurelle energiankulutukselle on ilmanvaihdon nykyinen toteutustapa. Pelkillä poistopuhaltimilla toteutettu ilmanvaihto puhaltaa ulos valtavan määrän ilmaa. Tätä ilmamäärää lämmittämään tarvitaan vastaavasti huimat määrät energiaa. Viimeinen simulointi osoitti, että lisäämällä lämmöntalteenotolla varustettu IV-kone parakeihin on mahdollista hyödyntää nykyisen IV:n hukkaamasta energiasta suurin osa. Samalla huomiota tulee kiinnittää työmaalla parakkien paikallelaittovaiheessa liitoskohtien kunnolliseen tilkitsemiseen ja sen tärkeyteen. Ilman kunnollisia lämpökatkoja liitoskohdista vuotaa ilmaa sisään sekä ulos, mikä aiheuttaa jatkuvaa energiahukkaa ja vedon tunnetta erittäin helposti. Katkot tulisi tehdä mahdollisimman lähelle ulkopintaa, jolloin parakkien väliin jäävä ilma ei pääse jatkuvasti vaihtumaan ja aiheuttamaan lisää lämpöhäviöitä. Ilmanvaihdon muuttamisen sekä liitoskohtien tilkitsemisen lisäksi parakeissa on mahdollista säästää energiaa vaihtamalla valaisimet uusiin energiaystävällisempiin malleihin. Samalla päästäisiin standardien vaatimaan tasoon valaistusvoimakkuudessa, ja työskentelyolosuhteet paranisivat. Tämän lisäksi säästöjä on mahdollista aikaansaada lisäämällä liiketunnistimet valaisimiin. Näin ollen paloajat saadaan minimoitua ja työntekijän epähuomiosta johtuva turha valojen käyttö minimoitua.

Vaikka luvussa 5.3 todettiin, ettei nykyiseen lämmitysjärjestelmään pysty vaikuttamaan, heräsi työn loppupuolella uusi ajatus. Tämä ajatus oli, olisiko suorasta sähkölämmityksestä parakeissa mahdollista luopua kokonaan. Tämä tarkoittaisi lämpöpumpun ja ilmanvaihdon yhdistämistä yhdeksi kaiken tekeväksi järjestelmäksi. Lämmitykseen tarvittava energia saatiin laskettua simulointien mukaan tasolle, jossa esimerkiksi ilmalämpöpumpulla olisi mahdollista tuottaa suurin osa tarvittavasta energiasta. Ilmalämpöpumpulla olisi myös mahdollista toteuttaa kesällä tarvittavaa viilennystä tiloissa. Tätä mahdollisuutta tullaan miettimään ja pohtimaan työn jälkeenkin.

Mikäli energiakustannuksia halutaan kunnolla päästä tutkimaan ja pohtimaan ratkaisuja energiankulutuksen minimoimiseksi, on ensiarvoisen tärkeää saada luotettavaa tietoa nykyisestä kulutuksesta. Ilman tätä tarkkaa ja luotettavaa tietoa on mahdoton tehtävä selvittää, mistä ja kuinka paljon oikeasti on säästettävissä. Olisi tarpeen saada järjestettyä energianmittaus siten, että tiedot kerätään automaattisesti järjestelmään josta kuka tahansa pääsisi käsiksi energiankulutuksiin. Varsinkin oman työmaan energiankulutukset tulee saada työmaan tietoisuuteen.

Työn huomioidut ovat herättäneet lisää mielenkiintoa asiaa kohtaan, ja tarkempaa tutkimusta tullaan jatkamaan tämän työn jälkeen. Selvitetään tarve mahdolliselle pilottikoh-

teelle, jossa on huomioitu tässä työssä pohdittuja energiansäästömahdollisuuksia. Vain pilottikohteen kautta päästään käsiksi todelliseen säästöpotentiaaliin uusien järjestelmien testikäytön kautta. Taulukossa 1 on kerrattu esiin tulleiden säästöjen suuruutta.

Taulukko 1. Potentiaalisia laskennallisia säästöjä esimerkkikohteessa.

<b>Säästön kohde</b>	<b>Säästö</b>
Työmaavalaistus, kello ohjauksella	9 000 €/a
Eristeen lisäys parakkeihin	3 000 €/a
IV:n muuttaminen LTO:lla varustettuun IV-koneeseen	10 000 €/a
<b>Työmaa yhteensä</b>	<b>22 000 €/a</b>



## Lähteet

- 1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma). Päivitetty 14.1.2014. Luettu 18.2.2014.
- 2 Finnish Green Building Council kotisivut. 2013. Verkkodokumentti. Rakennusten ympäristöluokitukset. <http://figbc.fi/tietopankki/ymparistoluokitukset/>. Luettu 18.12.2013.
- 3 Urakoitsijan BREEAM kredit ohje. 2013. Olof Granlund Oy, Helsinki.
- 4 Tiainen, Anne. 2013. Ympäristöpäällikkö, SRV Rakennus Oy, Espoo. Sähköpositiivisesti. 20.12.2013.
- 5 205/2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Helsinki.
- 6 LEDa työmaavalaisin. Myyntiesite. El&Site Oy, Helsinki.
- 7 LEDa asennusohje. 2013. El&Site Oy, Helsinki. 1.8.2013
- 8 SRV Ympäristö. SRV Rakennus Oy Intranet. Espoo. 18.2.2014.
- 9 977/1994. Työministeriön päätös rakennustyömaiden henkilöstötiloista. Helsinki.
- 10 Rakenneselostus/SRV. 2012. Parmaco Oy, Tampere.
- 11 Rakenneselostus/SRV. 2013. Parmaco Oy, Tampere.
- 12 Lossnay VL-100U5-E ilmanvaihtolaite. Myyntiesite. Scanoffice Oy, Espoo.
- 13 Iso-Heiniemi, Marko. 2010. Teknitaloudellinen tarkastelu T5-loistelamppujen käytöstä. Opinnäytetyö. Keskipohjanmaan Ammattikorkeakoulu.
- 14 SFS-EN 12464. Valo ja valaistus. Työkohteen valaistus. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 15 Hyttinen, Laura. 2014. IDA Indoor Climate and Energy simuloinnit. SRV Rakennus Oy, Espoo.

# Insinööritöhaastattelu

## Energiankulutuksen minimointi työmaaympäristössä

Haastateltava: Tapio Kaikkonen, Kalustokeskuksen Päälikkö

Yritys: SRV Kalusto Oy

### Energiansäästö

- Mitä Kalusto on tehnyt ja mitä tulee mahdollisesti tekemään energiankulutuksen minimoimiseksi?
- Onko konkreettisia esimerkkejä energiansäästöä olemassa/käytössä työmailla?
- Onko laitehankintoja tehdessä katsottu energiapuolta?

### Valaistus

- Ollaanko työmaavalaisimia muuttamassa johonkin tiettyyn energiaa säästävään malliin?
- Päälläoloaikojen ohjaus: Onko mietitty kuinka saataisiin valot palamaan vain työaikana?
- Kellokytkimiä, liiketutkia yms.
- Toimiiko ohjaus niin kuin on haluttu?

### Parakit

- Mistä on tullut ohjeet nykyisten ja uusien parakkien valmistamiseen?
- Onko jokin määräys/ohje olemassa, jota seurata valmistusvaiheessa?
- Mistä on tullut päätös lisätä eristystä uusiin parakkeihin?
- Kuinka valitaan laitteet koppeihin sisälle? Lämmityspatterit, IV-kone, valaisimet jne

## Esimerkkilaskuja työmaan energiankulutuksista

**1. Työmaavalaistus****1.1 Vanhat loisteputkityömaavalaisimet****1.1.1 Vuorokautinen energiankulutus**

$$W_{\text{valaisin}} = P_{\text{valaisin}} \cdot n \cdot t_{\text{paloaika}}$$

278,4 kWh/vrk

W<sub>valaisin</sub>

kWh/vrk

Valaisimien kuluttama energia vuorokaudessa

P<sub>valaisin</sub>

58

W

Yhden valaisimen teho

n

200

kpl

Valaisimien määrä työmaalla

t<sub>paloaika</sub>

24

h

Paloaika

1000

-

Muunnoskerroin. Wh -&gt; kWh

**1.1.2 Vuorokauden käytön aiheuttama kustannus**

$$\text{Kustannus}_{\text{vrk}} = W_{\text{valaisin}} \cdot \text{sähköenergianhinta}$$

22,3 €/vrk

Kustannus<sub>vrk</sub>

€/vrk

Vuorokauden käytön aiheuttama kustannus

W<sub>valaisin</sub>

278,4

kWh

Valaisimien kuluttama energia vuorokaudessa

€/kwh

Energianhinta

huom!

Muuttuva lukuarvo.

Katso nykyhintaa

**1.1.3 Työmaa-aikainen kustannus**

$$\text{Kustannus}_{\text{työmaa}} = \text{Kustannus}_{\text{vrk}} \cdot \Delta t$$

17 818 €

Kustannus<sub>vrk</sub>

22,3

€

Työmaa-aikainen kustannus

Δt

800

€

Vuorokauden käytön aiheuttama kustannus

vrk

Työmaan kesto, vuorokausia

**2. Elementissä olevan aukon kautta kulkeva ilmamäärä ja sen lämmityskustannukset****2.1.1 Aukon kautta ulos kulkeutuva ilmamäärä**

$$q_{v,\text{aukko}} = 0,8 \cdot A_{\text{aukko}} \cdot \sqrt{\Delta p} \cdot 3600$$

6440 m<sup>3</sup>/hq<sub>v,aukko</sub>m<sup>3</sup>/h

Aukon kauttava kulkeva ilmamäärä

0,8

-

Kerroin

l

1

m

Aukon leveys

h

1

m

Aukon korkeus

A<sub>aukko</sub>

1

m<sup>2</sup>

Δp

5

Pa

Paine-ero

3600

-

Muunnoskerroin, m<sup>3</sup>/s -> m<sup>3</sup>/h

**2.1.2** Aukon kautta kulkeutuvan ilmamäärän lämmittämiseen tarvittava energia tunnissa

$$W_{\text{ilma, h}} = \rho_{\text{ilma}} \cdot C_{p\text{ilma}} \cdot (T_s - T_u) \cdot q_{v,\text{aukko}} \cdot \Delta t$$

61,4 kWh/h

Wilma, h

 $q_{v,\text{aukko}}$  $\rho_{\text{ilma}}$  $C_{p\text{ilma}}$  $T_s$  $T_u$  $\Delta t$ 

1,79

1,2

1000

23,8

-4,8

1

1000

**kWh/h**m<sup>3</sup>/skg/m<sup>3</sup>

Ws/(kg°C)

°C

°C

h

-

Ilmakuution lämmitykseen tarvittava energia

Aukon kautta kulkeva ilmamäärä

Ilman tiheys

Ilman ominaislämpökapasiteetti

Sisälämpötila

Ulkolämpötila

Ajanjakson pituus

Muunnoskerroin. Wh -&gt; kWh

**2.1.3** Aukon aiheuttama kustannus lämmitykseen tunnissa

$$\text{Kustannus}_{\text{Saukko, h}} = W_{\text{ilma, h}} \cdot \text{energianhin-}$$

ta

5 €/vrk

Wilma,aukko

61

**€/vrk**

kWh

0,08

€/kwh

Aukon kautta kulkeutuvan ilmamäärän

lämmittämiseen tarvittava energia tunnissa

Energianhinta huom! Muuttuva lukuarvo.

[Katso nykyhintaa](#)**2.1.4** Aukon kautta kulkeutuvan ilmamäärän lämmittämiseen tarvittava energia vuorokaudessa

$$W_{\text{ilma, vrk}} = W_{\text{ilma, h}} \cdot \Delta t$$

1473 kWh/vrk

 $q_{v,\text{aukko}}$  $t_d$ 

61,4

24

**kWh/vrk**

kWh

h/vrk

Aukon kautta kulkeva ilmamäärä

Tuntien määrä vuorokaudessa

**2.1.5** Aukon aiheuttama kustannus lämmitykseen vuorokaudessa

$$\text{Kustannus}_{\text{Saukko, vrk}} = W_{\text{ilma, vrk}} \cdot \text{energian-}$$

hinta

118 €/vrk

Wilma,aukko

1473

**€/vrk**

kWh

0,08

€/kwh

Aukon kautta kulkeutuvan ilmamäärän

lämmittämiseen tarvittava energia vuorokaudessa.

Energianhinta huom! Muuttuva lukuarvo.

### 3. Poistoilmapuhaltimen aiheuttama energiavähiö

#### 3.1.1

Puhaltimien ilmavirta

$$Q_{v,\text{puhaltimet}} = Q_{v,\text{puhallin}} \cdot n$$

0,759 m<sup>3</sup>/s

$q_{v,\text{puhaltimet}}$

$q_{v,\text{puhallin}}$

$n$

m<sup>3</sup>/s

0,069

m<sup>3</sup>/s

11

kpl

Yhden poistopuhaltimen ilmavirta

Poistoilma puhaltimien määrä

#### 3.1.2

Korvausilmavirran määrä

$$Q_{v,\text{korvausilma}} = t_d \cdot t_v \cdot Q_{v,\text{puhaltimet}} - t_d \cdot t_v \cdot Q_{v,\text{tulo}}$$

0,759 m<sup>3</sup>/s

$q_{v,\text{korvausilma}}$

$t_d$

$t_v$

$q_{v,\text{puhaltimet}}$

$q_{v,\text{tulo}}$

m<sup>3</sup>/s

1

h/24h

1

vrk/7vrk

0,759

m<sup>3</sup>/s

0

m<sup>3</sup>/s

Keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte

Keskimääräinen viikoittainen käyntiaikasuhte

Poistoilman määrä

Tuloilman määrä

#### 3.1.3

Korvausilman lämmittämiseen tarvittava energia vuorokaudessa

$$Q_{iv,\text{korvausilma}} = \rho_{\text{ilma}} \cdot q_{v,\text{korvausilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

328 kWh

$\rho_{\text{ilma}}$

$c_{p\text{ilma}}$

$q_{v,\text{korvausilma}}$

$T_u$

$T_s$

$\Delta t$

kWh

1,2

kg/m<sup>3</sup>

1000

Ws/(kg°C)

0,759

m<sup>3</sup>/s

5

°C

20

°C

24

h

1000

-

Ilman tiheys

Ilman ominaislämpökapasiteetti

Korvausilman määrä

Ulkolämpötila

Sisälämpötila

Ajanjakson pituus

Muunnoskerroin. Wh -> kWh

**3.1.4** Korvausilman lämmittämisen kustannus vuorokaudessa
$$\text{Kustannus}_{\text{puhaltimet, vrk}} = Q_{\text{iv, korvausilma}} \cdot \text{energianhinta}$$

26 €/vrk

 $Q_{\text{iv, korvausilma}}$ 

328

€/vrk

kWh

Puhaltimien kautta kulkeutuvan ilmamäärän lämmittämiseen tarvittava energia, vrk.

0,08

€/kwh

Energianhinta

huom!

[Muuttuva lukuarvo.](#)[Katso nykyhintaa](#)**3.1.5** Korvausilman lämmittämisen kustannus kuukaudessa
$$\text{Kustannus}_{\text{puhaltimet, kk}} = \text{Kustannus}_{\text{puhaltimet, vrk}} \cdot \Delta t$$

787 €/kk

 $\text{Kustannus}_{\text{puhaltimet, vrk}}$ 

26

€/kk

€/vrk

Puhaltimien kautta kulkeutuvan ilmamäärän lämmittämiseen tarvittava energia, vrk.

 $\Delta t$ 

30

vrk/kk

Vuorokausien määrä kuukaudessa