



Aurinkosuojaikkunakalvojen vaikutus sisäilmastoon Töölön sairaalassa

Johan Huber

Opinnäytetyö
Hajautetut energiajärjestelmät
2016

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Johan Huber
Arbetets namn:	Solskyddsfönsterfilmers inverkan på inomhusklimatet i Tölö sjukhus
Handledare (Arcada):	Mikael Paronen
Uppdragsgivare:	Helsingfors och Nylands sjukvårdsdistrikt(HNS)
<p>Sammandrag:</p> <p>I detta examensarbete undersöks det hurdan inverkan solskyddsfönsterfilmer har på inomhusklimatet på en avdelning av Tölö sjukhus. Utgångspunkten var att temperaturen i avdelningen under sommar förhållanden översteg normerna för gott inomhusklimat. För att ändra på detta installerades det solskyddsfönsterfilmer i avdelningen samtidigt som temperaturen i avdelningen mättes med hjälp av temperaturloggers. I examensarbetet undersöks med hjälp av data från temperatur loggerna hurdan inverkan filmerna hade. Personalen på avdelningen fick också besvara ett frågeformulär där de själva fick uppskatta inverkan av fönsterfilmerna på inomhusklimatet.</p> <p>Resultatet av temperaturmätningarna visade att solskyddande fönsterfilmer sänker innetemperaturen med 1–1,5 °C. Också på basen av frågeformulären så hade fönsterfilmerna en positiv inverkan på inomhusklimatet.</p>	
Nyckelord:	Solskyddsfönsterfilmer, inomhusklimat, passiv kylning
Sidantal:	34+3
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distribuerade energisystem
Identification number:	
Author:	Johan Huber
Title:	The effects off solar window films on the indoor climate in Töölö hospital
Supervisor (Arcada):	Mikael Paronen
Commissioned by:	The Hospital District of Helsinki and Uusimaa
<p>Abstract:</p> <p>The goal of this study was to see how much sun control window films have an impact on the indoor climate in a hospital environment. The starting point of the study was that the indoor temperature in one ward of the hospital has been experienced as too hot by the users. So to improve on this the ward got sun control window films installed. At the same time the inside temperature was monitored by temperature loggers.</p> <p>In the study the data from the loggers were analyzed to determine what kind of impact the films had. The staff of the ward also got to answer a survey regarding how they evaluated the impact of the films.</p> <p>As a conclusion the temperature measurements showed that when the window films were installed in a room, the temperature dropped by 1–1,5 °C. Also the answers from the survey of the staff showed indication that the window films have a positive impact on the indoor climate.</p>	
Keywords:	Solar control window films, indoor climate, passive cooling
Number of pages:	34+3
Language:	Finnish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma: Hajautetut energiajärjestelmät	
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Johan Huber
Työn nimi:	Aurinkosuojaikkunakalvojen vaikutus sisäilmastoon Töölön sairaalassa
Työn ohjaaja (Arcada):	Mikael Paronen
Toimeksiantaja:	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri (HUS)
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tässä opinnäytetyössä selvitetään, kuinka paljon Töölön sairaalan sisäilmastoa voidaan parantaa hyödyntämällä auringonsäteiltä suojaavia ikkunakalvoja. Tutkimuksen lähtökohta on, että Töölön sairaalan osasto 4:llä on kesäisin ollut niin isoja lämpökuormia, ettei osaston sisäilmasto vastaa hyvän sisäilmaston normeja. Asian parantamiseksi osastolle asennettiin ikkunakalvoja pienentämään lämpökuormia. Samalla sisälämpötilaa seurattiin lämpötilaloggereiden avulla.</p> <p>Opinnäytetyössä vertailtiin lämpötilaloggereista saatavan datan avulla, kuinka paljon tilojen lämpötilat muuttuivat, kun tiloihin asennettiin ikkunakalvot. Henkilökunta sai myös kyselyyn vastaamalla arvioida, kuinka ikkunakalvot heidän mielestään vaikuttivat sisäilmastoon.</p> <p>Lämpötilojen mittaukset osoittivat, että kalvojen asentamisen jälkeen huoneiden sisälämpötila putosi 1–1,5 °C. Myös henkilökunnan kyselyyn antamat vastaukset puoltavat näkemystä siitä, että ikkunakalvoilla on positiivinen vaikutus sisäilmastoon.</p>	
Avainsanat:	Aurinkosuojaikkunakalvot, sisäilmasto, passiivinen jäähdytys
Sivumäärä:	34+3
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Lähtökohta.....	1
1.2	Työn tarkoitus ja tavoitteet	1
2	Sisäilmasto	2
2.1	Sisäilmaston vaikutus tuottavuuteen	3
3	Lämpö	3
3.1	Yleistä lämmöstä	3
3.2	Konvektio	4
3.3	Johtuminen	5
3.4	Lämpösäteily	5
3.4.1	<i>Auringon säteily</i>	5
3.4.2	<i>Auringon säteilyspektri</i>	6
4	Lämpöviihtyvyys	7
4.1	Huonelämpötilan vaikutus ihmiseen.....	7
4.2	Ikkunoiden vaikutus lämpöviihtyvyyteen	8
5	Aurinkosuoja ikkunakalvot	10
5.1	Toimintaperiaate.....	10
5.2	Ikkunakalvojen asennus	11
6	testikohteen kuvaus	13
6.1	Työn toteutus.....	14
6.2	Lämpökuormat.....	16
7	Mittaukset	19
7.1	Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät	19
7.2	Mittaustulokset.....	20
8	Henkilökunnan kokemukset	27
9	Tutkimuksen tulokset ja arviointi	28
10	Sammanfattning	30
10.1	Utgångspunkten för arbetet.....	30
10.2	Solskyddsfönsterfilmerna	31
10.3	Värmelaster	32
10.4	Mätningarna.....	32

10.5	Användarnas åsikter.....	33
10.6	Slutsats.....	34
	LÄHTEET.....	35
	Liitteet.....	37

KUVAT JA TAULUKOT

Kuva 1: Työsuorituksen teho prosentteina suhteutettuna sisäilman lämpötilaan.

Kuva 2: Auringonsäteilystä johtuvan lämpöenergian siirtyminen huonetilaan ikkunan kautta.

Kuva 3: Eri auringonsäteilyn aallonpituusalueet ja niiden voimakkuus maan pinnalla.

Kuva 4: Käytettyjen ikkunakalvojen eri auringon säteilyalueiden läpäisevyys.

Kuva 5: Havainne kuva miksi aurinkosuojaikkunakalvoa ei kannata sijoittaa sisimmälle ikkunalasipinnalle. Tämä asennustapa johtaa huonoon g-arvoon ja voi johtaa lasin särkymiseen.

Kuva 6: Kuvassa näkyy Töölön sairaala. Sinisellä merkitty alue on Osasto missä työ toteutettiin.

Kuvan oikeassa yläreunassa näkyy ilmansuunnat.

Kuva 7: Kuvassa on esitetty miten kalvotus toteutui osastossa, sekä missä huoneissa oli lämpötilaloggereita.

Kuva 8: Kaava sisäisten lämpökuormien laskentaan.

Kuva 9: Kuvassa esitetty vertailussa käytettyihin huoneisiin auringonsäteilystä aiheutuva lämpökuorma. Kuva 10: Kuvassa on esitetty lämpötilaloggereiden mittaamat lämpötilat huoneissa 1 ja 4, 23.6.2015–21.8.2015 välisenä aikana. Kuvassa on myös esitetty ulkolämpötila.

Ulkolämpötila saatu Ilmatieteen laitokselta.

Kuva 11: Kuvassa on esitetty lämpötilaloggereiden mittaamat lämpötilat huoneissa 2 ja 4, 23.6.2015–21.8.2015 välisenä aikana. Kuvassa on myös esitetty ulkolämpötila. Ulkolämpötila saatu Ilmatieteen laitokselta.

Kuva 12: Kuvassa punaisella merkityllä alueella nähdään että samoihin aikoihin kun aurinkosuoja ikkunakalvot asennettiin huoneeseen 1 niin syntyi noin yhden asteen lämpötilaero huoneen 1 ja 4 välillä. Pystyakselin vasemmalla puolella on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla puolella on ulkolämpötilan mittaasteikko.

Kuva 13: Tässä kuvassa nähdään sama ilmiö joka esiintyi kuvassa 11 mutta huoneen 2 ja 4 välillä.

Kuva 14: Kuvassa esitetty huoneen 2 ja 4 sisälämpötilat suhteessa auringon säteilytehoon. Vasemmalla pystyakselilla on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla pystyakselilla auringon säteilytehon mittaasteikko.

Kuva 15: Kuvassa suurennettuna aika jolloin huoneeseen 4 asennettiin kalvot. Vertailussa huoneen 1 ja huoneen 4 lämpötilat. Pystyakselin vasemmalla puolella on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla puolella on ulkolämpötilan mittaasteikko.

Kuva 16: Kuvassa suurennettuna aika jolloin huoneeseen 4 asennettiin kalvot. Vertailussa huoneen 2 ja huoneen 4 lämpötilat. Pystyakselin vasemmalla puolella on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla puolella on ulkolämpötilan mittaasteikko.

Kuva 17: Kuvassa esitetty huoneen 2 ja 4 sisälämpötilat suhteessa auringon säteilytehoon. Vasemmalla pystyakselilla on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla pystyakselilla auringon säteilytehon mittaasteikko.

Kuva 18: Kuva jossa on esitetty henkilökunnan vastaukset kyselylomakkeeseen prosentteina.

Taulukko 1: Eri ikkunatyyppeiden ominaisuudet.

Kaava 1: Kaava jolla lasketaan ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D5.)

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirille. Ohjaajina ovat toimineet HUS-vastuuhenkilönä Erkki Tulokas sekä itse työn ohjaajana Mikael Paronen, joka ehdotti aihetta minulle. Haluan kiittää molempia sekä muita työssä mukana olleita kaikesta avusta, minkä he ovat antaneet.

1 JOHDANTO

1.1 Lähtökohta

Hyvä sisäilmasto tarkoittaa sitä, että tilassa jossa oleskellaan on terveellistä ja mukavaa olla ja että siellä jaksaa oleskella pidempään. Kohde, jossa opinnäytetyö suoritettiin, on ortopedian ja traumatologian osasto Töölön sairaalassa. Siellä hoidetaan vakavia lantion ja alaraajojen vammoja. Potilaat joutuvat usein makaamaan samassa huoneessa ja vuoteessa hyvin kauan. Tämän takia on tärkeää, että sisäilmasto tilassa on hyvä.

Koska Töölön sairaalan toiminnan on kaavailtu siirtyvän vuonna 2021 uuteen Meilahteen rakennettavaan syöpä- ja traumasairaalaan, mitään suurempia toimenpiteitä ei oltu valmiita tekemään osaston sisäilmaston parantamiseksi. Tästä syystä päädyttiin aurinkosuojaikkunakalvotukseen, joka on helposti toteutettava ja edullinen toimenpide. Ikkunakalvotus ei vaadi käyttökatkoksia osaston toiminnassa, ja se kohdistuu osaston tilan jäähdytyksen ja täten sisäilmaston parantamiseen.

Kalvotuksen ohella haluttiin tutkia kuinka paljon hyötyä kalvoista käytännössä on osastolla. Tehdäkseen tämän osaston potilashuoneisiin asennettiin lämpötilaloggereita seuraamaan huoneiden lämpötiloja tunnin mittaus välillä. Huoneiden kalvoitus tehtiin myös vaiheittain jotta saatiin kalvottomia verrokkihuoneita joiden lämpötiloja pystyi vertaamaan kalvotettuihin huoneisiin.

1.2 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoitus on koota ja vertailla kerätty lämpötiladata helposti ymmärrettäväksi kokonaisuudeksi jonka perusteella pystyy arvioimaan kalvojen todellisen vaikutuksen tilojen sisäilmastoon. Tarkoitus on myös tutkia minkälaisissa kohteissa kalvot olisivat hyödyllisimpiä ja jos olisi kannattavaa asentaa niitä muihinkin HUS:in kohteisiin jossa kärsitään vastaavanlaisista ongelmista.

Tavoitteena on antaa henkilölle tämän opinnäytetyön luettuaan selvä kuva siitä miten aurinkosuoja ikkunakalvot toimivat sekä missä kalvoja on järkevää hyödyntää.

Toinen tavoite on havainnollistaa kuinka tärkeää auringonsäteilyltä suojautuminen on kun tavoitellaan hyvää sisäilmastoa.

2 SISÄILMASTO

Sisäilmasto on yksi suurimmista ellei suurin tekijä joka vaikuttaa rakennuksen yleiseen viihtyvyyteen. Sisäilmasto muodostuu sisäilmasta ja siihen vaikuttavista erilaisista fysikaalisista tekijöistä. Sisäilmalla tarkoitetaan sisätiloissa olevaa hengitettävää ilmaa josta saattaa löytyä ilman eri yhdisteiden lisäksi muita tilasta tulevia kaasumaisia ja/tai hiukkasmaisia yhdisteitä.

Sisäilmastotekijöihin kuuluvat:

- Lämpötila
- Ilman liike
- Kosteus
- Valaistus
- Säteily
- Melu

Karkeasti määriteltynä hyvä sisäilmasto on sellainen, että suurin osa rakennuksessa olevista ihmisistä ovat tyytyväisiä sisäilmastoon eikä sisäilmastosta koidu rakennuksen käyttäjien terveydelle haittaa.

Hyvän sisäilmaston takaamiseksi on myös ohjeita ja määräyksiä, kuten ”*Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista 190/2002*” joka määrää raja arvoja isolle osalle sisäilmasta löytyvistä kemikaaleista.

Suomen rakentamismääräyskokoelmasta osiosta: ”*D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2003*” jossa on koottu eri standardeja ja määräyksiä ohjeistamaan miten uudisrakennus suunnitellaan ja rakennetaan jotta rakennuksessa saavutetaan hyvä sisäilmasto.

Sisäilmayhdistys on laatinut sisäilmaluokituksen joka määrittää uudisrakennusten sisäilmaston kolmeen eri luokkaan S1, S2 ja S3. Luokituksia voidaan soveltuvin osin myös käyttää korjausrakentamisen yhteydessä.

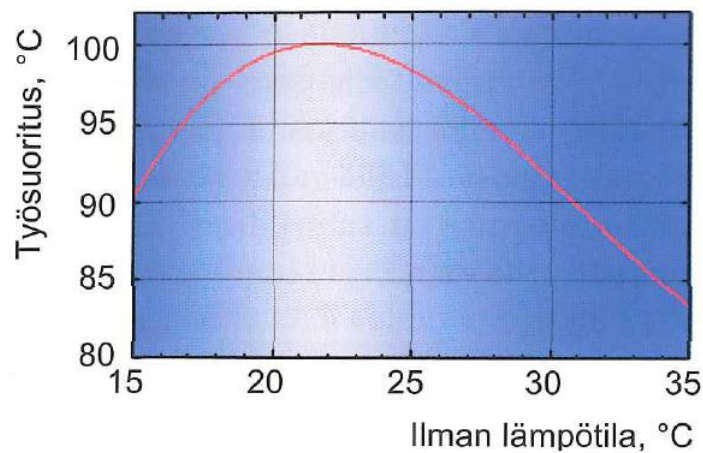
Sisäilmasto vaikuttaa myös siihen mihin tiettyä tilaa voi tai saa käyttää sekä tilassa tehdyn työn tuottavuuteen.

2.1 Sisäilmaston vaikutus tuottavuuteen

Kuten tässä ja seuraavissa kappaleissa tulee ilmi, sisäilmastolla on suuri vaikutus tuottavuuteen. Jos henkilö viihtyy hyvin tilassa ja tilassa oleminen ei aiheuta fysiologisia oireita, kohentaa se hänen työpanosta.

Tyypillisesti toimistorakennuksessa 80% rakennuksen kokonaiskäyttökustannuksista kuluu palkka- ja henkilöstökuluihin. Jos aurinkosuojaikkunakalvoja käyttämällä saadaan aikaiseksi parempi sisäilmasto joka vähentää sairaspöissaoloja sekä lisää kunkin henkilön tuottavuutta saadaan viihtyvyyden lisäksi aikaiseksi myös rahallista säästöä.

Kuvassa 1 nähdään esimerkki lämpötilan vaikutuksesta työn tuottavuuteen. Paras sisälämpötila toimistotyölle on 21 °C ja 23 °C välissä.



Kuva 1: Työsuorituksen teho prosenteina suhteutettuna sisäilman lämpötilaan toimistotyössä. (Aurinkosuojaus, Rehva ohjekirja No 12, 2011, s. 9.)

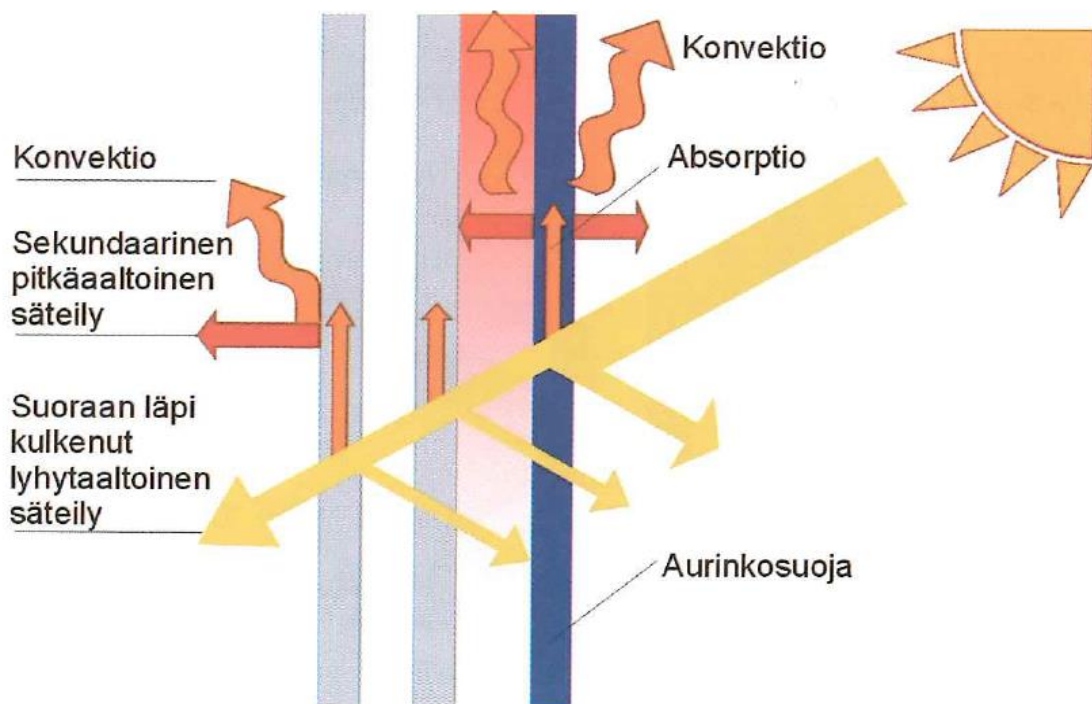
3 LÄMPÖ

3.1 Yleistä lämmöstä

Lämpö on termodynamiikassa käsite joka kuvailee energian siirtymistä kappaleesta toiseen lämpötilaerosta johtuen. Lämmön siirtyminen tapahtuu spontaanisti aina lämpimästä kappaleesta kylmempään. Energiaa ei voi tuhota, tämän takia eristetyissä systeemissä energia ei pääse pois ja lämpötila siinä pysyy samana. Tästä johtuen huone joka on hyvin eristetty ja johon siirtyy energiaa lämmön muodossa, esimerkiksi

auringsäteilyn avulla voi päätyä tilaan jossa huoneen sisälämpötila on korkeampi kuin ympärillä olevien tilojen lämpötilat.

Lämmönsiirtyminen tapahtuu kolmella eri tavalla konvektion, johtumisen ja säteilyn avulla. Kuvassa 2 nähdään minkälaista lämmönsiirtymistä auringonsäteilystä tuleva lämpökuorma aiheuttaa kun se osuu rakennuksen ikkunaan. Kuvassa nähdään säteilyä, konvektiota sekä johtumista. Kaikki kolme lämmönsiirtymisen tapaa vaikuttavat operatiiviseen lämpötilaan. Operatiivinen lämpötila ilmaisee minkälaiseksi ihminen kokee lämpötilan tietyssä tilassa.



Kuva 2: Auringonsäteilyä johtuvan lämpöenergian siirtyminen huonetilaan ikkunan kautta. (Aurinkosuojaus, Rehva ohjekirja No 12, 2011, s. 19.)

3.2 Konvektio

Konvektio on lämmön siirtymistä nesteessä tai kaasussa lämmön luomien virtausten mukana. Nämä virtaukset syntyvät siitä että lämpötilaero aiheuttaa tiheyseroja aineissa. Kun kaasumainen aine kuumenee se laajenee ja samalla kevenee joka aiheuttaa sen että se alkaa nousta. Vastaavasti kylmempi ilma on tiheämpää ja siten painavampana alkaa laskeutua.

On olemassa kaksi eri konvektion muotoa: luonnollinen konvektio ja pakotettu konvektio. Luonnollinen konvektio syntyy ainoastaan aineen tiheyserosta joka johtuu

aineen lämpötilaeroista. Luonnollisen konvektion voimakkuutta voidaan mitata Rayleighin luvulla, jonka avulla pystytään määrittämään jos aineen virtaus on turbulenti tai laminaarinen.

Pakotettu konvektio syntyy siitä että ainetta pakotetaan liikkeelle esimerkiksi pumpulla tai puhaltimella. Tätä käytetään paljon eri LVI-järjestelmissä.

3.3 Johtuminen

Johtumisella tai konduktiolla tarkoitetaan lämmön siirtymistä aineen sisällä. Johtumisen avulla lämpö voi myös siirtyä aineesta toiseen jos ne ovat kosketuksissa toisiinsa.

Eri aineet johtavat lämpöä eri tavalla: metallit johtavat parhaiten ja kaasut huonoiten. Periaatteessa mitä tiheämpi aine sen paremmin se johtaa lämpöä. Tämän takia on hyvä käyttää ikkunoita joissa on useita kerroksia koska ilma tai kaasu ikkunalasien välissä eristää hyvin.

3.4 Lämpösäteily

Lämpösäteily on lämmönsiirtotavoista ainoa joka ei tarvitse väliainetta energian siirtämiseen. Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä. Kaikki kappaleet emittoivat lämpösäteilyä. Tämä säteily syntyy kappaleiden sisällä olevien atomien ja molekyylien lämpöliikkeistä. Kun kappaletta kuumentaa lämpöliike kasvaa ja se emittoi enemmän säteilyä. Esimerkiksi kun takka kuumenee tarpeeksi voi tuntea kuinka se hohkaa lämpöä. Kaikista lämmönsiirtotavoista säteily vaikuttaa tyypillisesti eniten operatiiviseen lämpötilaan.

Tässä opinnäytetyössä eri lämmönsiirtotavoista lämpösäteily on keskeisimmässä roolissa koska ikkunakalvojen päämääräinen tehtävä on vähentää huonetilaan saapuvan auringonsäteilyn määrää.

3.4.1 Auringon säteily

Aurinko tuottaa uskomattoman määrän energiaa. Auringon tuottamasta energiasta noin $1,74 \times 10^{17} \text{W}$ saapuu maahan. Ihmiskunnan käyttämä energiamäärä on noin $1,5 \times 10^{17} \text{Wh}$ (<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical->

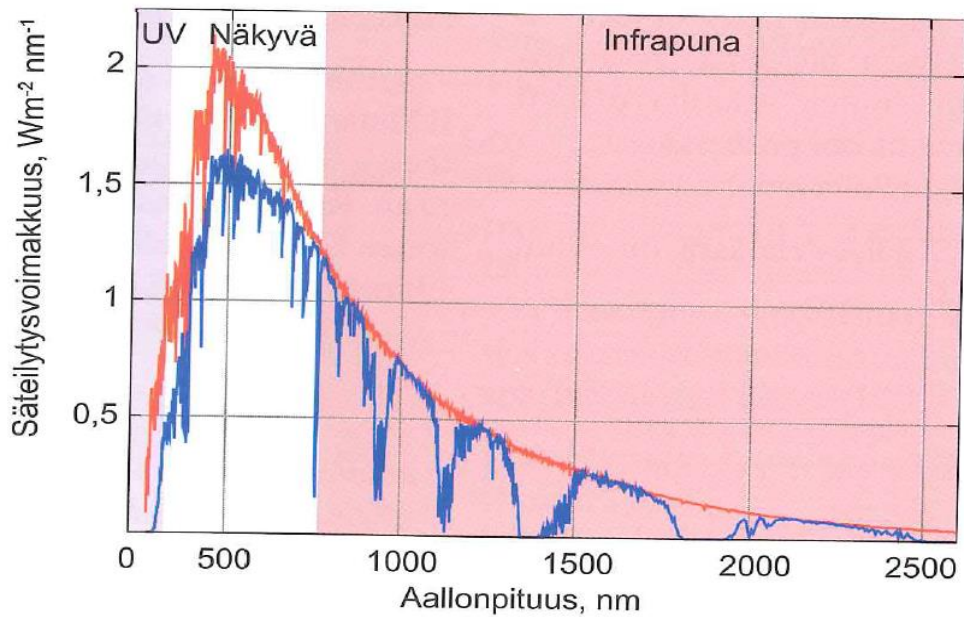
review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf, s.41). Tämä tarkoittaa että jos pystyisimme valjastamaan kaiken auringon maapalloon säteilemän energian noin 45 minuutin ajan pystyisimme kattamaan koko ihmiskunnan vuotuisen energiantarpeen.

Merenpinnan korkeudelle saapuva auringonsäteily Suomessa on optimaalisissa olosuhteissa noin 1 kW/m^2 . Tämä tarkoittaa että yhdelle neliömetrille saapuu yhtä paljon säteilyenergiaa kuin mitä keskikokoisesta lämmityspatterista saa lämmitysenergiaa.

Tämä johtaa siihen että jos haluamme kesällä säilyttää maltillisen sisälämpötilan rakennuksessa jolla on paljon ulkopinta-alaa johon aurinko paistaa täytyy meidän joko jäähdyttää rakennusta tai suojata rakennusta auringonsäteilyltä. Jos mahdollista on aina suotuisaa käyttää passiivisia jäähdytysratkaisuja koska ne yleensä eivät aiheuta juoksevia kuluja sekä ovat usein paljon huoltovapaampia.

3.4.2 Auringon säteily-spektri

Auringosta säteilee maahan pääosin säteilyä joka on aallonpituudella 320nm–2500nm. Tämä aallonpituusalue pitää sisällään ultraviolettisäteilyä jolla on lyhyt aallonpituus (320 nm–380 nm), näkyvää valoa (380 nm–780 nm) ja infrapunasäteilyä (780 nm–2500nm). Kuvassa 3 nähdään että auringon säteilyenergian spektri merenpinnan tasolla koostuu kokonaisenergian osalta noin 53% näkyvästä valosta, 42% lyhytaaltoisesta infrapunasäteilystä ja 5% ultraviolettisäteilystä. Kaikki nämä säteilyn muodot pystyvät läpäisemään tavallisen ikkunalasin. Kun huoneeseen saapunut säteily absorboituu eri pintoihin nämä alkavat puolestaan säteillä pitkäaaltoista infrapunasäteilyä aallonpituusalueella 5000–10 000nm. Säteily tällä aallonpituusalueella ei pysty läpäisemään tavallista ikkunalasia ja tämän takia energia jää sisätilaan ja huoneeseen syntyy niin sanottu kasvihuoneilmiö. Tämän ehkäisemiseksi kannattaa yrittää estää ylimääräisen säteilyenergian pääsy sisätiloihin. Tämä voidaan saada aikaan erilaisilla aurinkosuojaimilla: i sälekaihtimilla, räystäillä, verhoilla, puilla tuottamalla varjostuksella tai ikkunakalvoilla. . (Aurinkosuojaus, Rehva ohjekirja No 12, 2011, s. 4-5.)



Kuva 3: Eri auringonsäteilyn aallonpituusalueet ja niiden voimakkuus maan pinnalla. (Aurinkosuojaus, Rehva ohjekirja No 12, 2011, s. 4.)

4 LÄMPÖVIIHTYVYYS

Kun tarkastellaan lämpöviihtyvyyttä on tärkeää että tilan lämpöoloja ei määritellä huoneen ilman lämpötilalla vaan että käytetään huonetilan operatiivista lämpötilaa.

Operatiivinen lämpötila osoittaa minkälaiseksi ihminen kokee tietyn tilan lämpöoloja. Operatiivisen lämpötilan voi laskea tilan lämpötilan sekä kehoon kohdistuvan keskimääräisen säteilylämpötilan keskiarvona. Keskimääräinen säteilylämpötila koostuu periaatteessa ilman lämpötilan sekä huoneen pintojen lämpötilojen keskiarvosta¹.

Lämpöviihtyvyys korreloi suoraan ihmisen yleisen viihtyvyyden, työn tuottavuuden ja suorituskyvyn kanssa.

4.1 Huonelämpötilan vaikutus ihmiseen

Huonelämpötilan vaikutuksesta ihmiseen on tehty useita eri tutkimuksia, tässä merkittävimmät johtopäätökset:

¹ Tarkemmat määritelmät löytyvät ISO 7730 standardissa.

- Huonelämpötila määrää tuottavuuden toimistotyössä. Toimistotyössä lämpötilaoptimi on 20 °C ja 24 °C välillä ja optimaalinen lämpötila on 22 °C. [Seppänen 2006]
- Korkeilla lämpötiloilla on yhteys sairas rakennus –oireyhtymään. Nimitystä käytetään erilaisille oireiluille jotka esiintyvät vain spesifissä rakennuksissa ja joihin ei ole löydetty tieteellistä syytä. [Seppänen 2006]
- Liian korkealla lämpötilalla on suora yhteys huonoksi havaittuun sisäilmanlaatuun. [Seppänen 2006]
- Liian korkeat lämpötilat luokkahuoneissa huonontavat menestymistä opiskeluissa. [Wargocki 2006]
- Liian alhaiset lämpötilat saattavat heikentää työn tuottavuutta (Kuva 1).
- Alhaiset lämpötilat voimistavat ilmanliikkeen ja vedon tunnetta.

Ihmisen yleistä lämpöaistimusta arvioidaan yleensä PMV-indeksillä, joka kuvaa lämpöaistimuksia 7-portaisella asteikolla (kylmä, viileä, viileähkö, neutraali, lämpimähkö, lämmin ja kuuma)². PPD-indeksiä taas käytetään arvioimaan lämpöoloihin tyytymättömien osuuden³. PPD-indeksi lasketaan prosenteissa, erinomaisen lämpöviihtyvyyden raja on 6%, perustasosta hyvään on 10% ja 15% prosenttien välillä. PPD- ja PMV-arvon voi laskea kun tiedossa on tilan ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, säteilylämpötila, ilman nopeus, ilman paine sekä käyttäjien vaatetus ja aktiviteetit. Näitä kahta edellä mainittua indeksiä on hyvä käyttää kun suunnitellaan uutta tilaa tiettyyn tarkoitukseen tai kun suunnitellaan minkälaisiin aktiviteetteihin jokin olemassa oleva tila soveltuu.

Jos kyseessä on käytössä oleva tila voidaan käyttää AMV- ja APD-indeksejä jotka ovat vastaavia indeksejä mutta antavat arvot ihmisten vastaamien kyselyiden perusteella.

4.2 Ikkunoiden vaikutus lämpöviihtyvyyteen

Ikkunoilla on suuri vaikutus lämpöviihtyvyyteen koska auringonsäteilyn lämpökuorma varastoituu ikkunoiden sisäpuolella oleviin pintoihin ja rakenteisiin. Huonetilassa ikkunoiden läheisyydessä olevien pintojen lämpötilat voivat siten nousta merkittävästi tilan muiden osien pintalämpötiloista. Tämä aiheuttaa termistä asymmetriaa mikä

² Predicted mean vote

³ Predicted percentage of dissatisfied

vaikuttaa suuresti siihen minkälaiseksi ihminen lämpöviihtyvyyden tilan eri alueilla tuntee ja paikallista tyytymättömyyttä syntyy helposti. Avokonttorissa voi olla useiden asteiden lämpötilaero tilan keskellä sijaitsevan alueen ja ulkoseinien läheisyydessä olevien alueiden välillä.

Ikkunoiden sekä ikkuna-alueiden pintalämpötilaan vaikuttaa merkittävästi ikkunan rakenne sekä aurinkosuojauksen käyttö. Hyödyntämällä sekä oikean tyyppistä ikkunaa että aurinkosuojauksia voidaan varsinkin kesällä kun auringonsäteily on suurimmillaan, laskea merkittävästi ikkunoiden ja ikkunoiden läheisyydessä olevien pintojen lämpötilaa. Kun näitä pintalämpötiloja voidaan hallita, voidaan parantaa lämpöviihtyvyyttä tilassa. Liian korkeat ikkunälämpötilat vaikuttavat myös siihen miten ilma tilassa liikkuu. Ikkunan synnyttämä konvektiovirtaus voi sotkea suunnitellun ilmanjaon ja luoda voimakasta paikallista ilmanvirtausta sekä vedon tunnetta.

Ikkunoiden lämpöominaisuuksia arvioidaan kaikkien muiden rakenteiden tapaan sekä U-arvolla (W/m^2K) että ilmanpitävyydellä. Muista rakenteista poiketen ikkunoiden lämpöominaisuuksien arviointiin käytetään myös g-arvoa(solar heat gain). g-arvo on auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin eli se kertoo kuinka suuri osa auringonsäteilyn energiasta läpäisee lasin ja täten päätyy sisätilaan. g-arvon skaala on 0–1 jossa 1 tarkoittaa että kaikki auringonsäteily läpäisee ikkunan. Tässä työssä keskitytään lähinnä g-arvoon koska aurinkosuojaikkunakalvojen vaikutus U-arvoon sekä ilmanpitävyyteen eivät olennaisesti vaikuta siihen miten ne hillitsevät kesällä tapahtuvaa huoneiden yllilämpenemistä. Taulukossa 1 nähdään miten eri ikkunatyypit vaikuttavat ikkunoiden lämpöominaisuuksiin. Kuten taulukossa nähdään lasikerrosten määrä ja niiden välissä oleva kaasu on suurin vaikuttaja ikkunan U-arvoon. G-arvoon voidaan vaikuttaa käyttämällä lasityyppiä joka heijastaa auringonsäteilyä tehokkaasti pois. Aurinkosuojaikkunakalvojen päämääräinen funktio on myös parantaa ikkunoiden g-arvoa.

Taulukko 1: Eri ikkunatyyppien ominaisuudet. (Aurinkosuojaus, Rehva ohjekirja No 12, 2011, s. 17.)

Tyyppi	U [W/m ² K]	g _{lasi}	τ _v
1-lasi, kirkas 6 mm	5,7	0,86	0,89
2-lasi, kirkas 4-12-4	2,8	0,76	0,81
2-lasi, kirkas, Low-e 4-12-4 Ilma	1,5	0,66	0,77
2-lasi, kirkas, Low-e 4-12-4 Argon	1,3	0,66	0,77
Selektiivilasi 6-16-6 Argon	1,1	0,34	0,59
3-lasi, kirkas 4-6-4-6-4 Argon	1,9	0,67	0,73
3-lasi, kirkas, Low-e 4-12-4-12-4 Argon	0,6	0,60	0,74

5 AURINKOSUOJA IKKUNAKALVOT

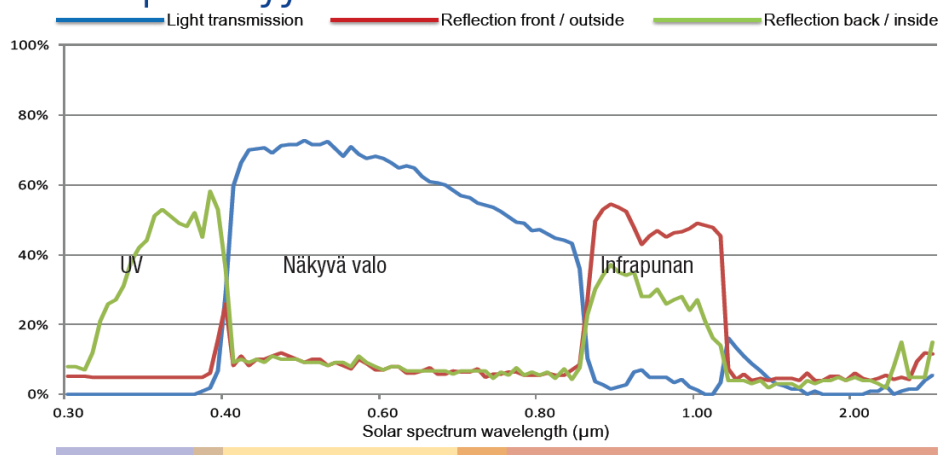
Töölön sairaalassa jossa opinnäytetyö toteutettiin käytettiin 3M aurinkosuojakalvo Prestige 70-mallisia ikkunakalvoja auringonsäteilyn torjumiseen. Kalvot ovat valmistettu PET sekä coPMMA muoveista ja niiden päälliskerros on naarmunkestävä. Kalvoissa ei ole käytetty metalleja joten ne ovat korroosion kestäviä. Koska kalvoissa ei ole käytetty metalleja ne eivät myöskään tee rakennuksesta faradayn häkkiä joka estäisi sähkön ja sähkömagneettisen säteilyn läpäisemästä rakennuksen kuorta [Keskikastari, 2013]. Tämä ilmiö heikentää esimerkiksi matkapuhelinten radiosignaalia voimakkaasti, ja syntyy usein kun rakennuksen rakenteissa käytetään metallipintoja ja selektiivilasia mikä sisältää metallia (Suomen 3M Oy).

5.1 Toimintaperiaate

Aurinkosuojaikkunakalvot toimivat vähentämällä aurinkoenergian määrää joka pääsee ikkunan kautta sisätiloihin. Kalvoissa on kaksi päämääräistä ominaisuutta jotka aikaansaavat tämän. Ensimmäinen on se että ikkunakalvot heijastavat pois auringon säteilyä, joka estää säteilyenergian saapumista huonetilaan asti. Toinen on se että kalvot absorboivat osan aurinkoenergiasta, mikä estää sen pääsyn itse sisätilaan.

Auringonsäteilyn heijastuminen saadaan aikaiseksi optimaalisella koostumuksella. Kalvoissa on käytetty aallonpituuksien suhteen valikoivia nanoteknologisia ja materiaalitekniisiä yhdistelmiä jotka mahdollistavat sen että kalvoilla on tarkasti säädellyt aaltopituusalueet läpäisyn, absorptioon ja heijastuksen osalta. Kuten kuvasta 4 näkee kalvot ovat optimoituja päästämään läpi mahdollisimman paljon näkyvää valo mutta torjumaan infrapuna- ja UV-säteilyä. Infrapuna- ja UV-säteilyn pääsyä huonetilaan halutaan estää sillä ylimääräinen säteily luo ylimääräistä lämpökuormaa sekä kuluttaa huoneen sisustusta.

Valon läpäisevyys



Kuva 4: Käytettyjen ikkunakalvojen eri auringon säteilyalueiden läpäisevyys. (Suomen 3M Oy)

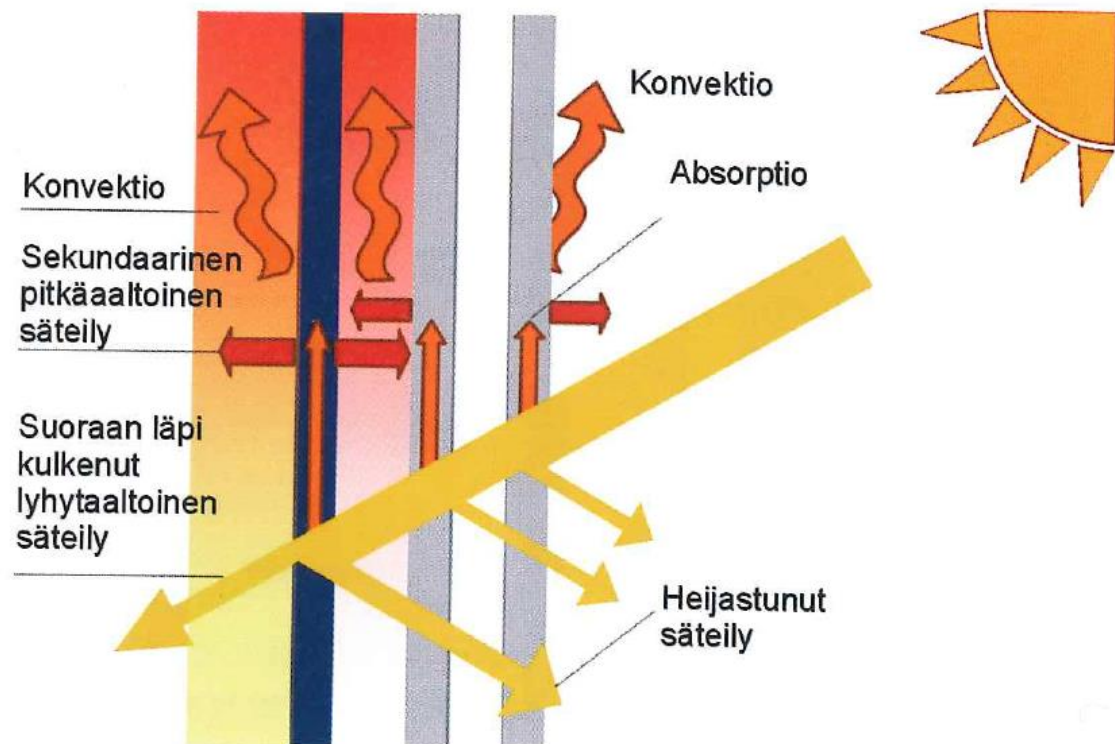
Prestige 70-Kalvon eri säteilyalueiden torjunta-asteet ja näkyvän valon läpäisy :

- Torjutun auringonsäteilyn kokonaismäärä(g-arvo): 0,5
- Lähi-infrapunasäteily: 97%
- Ultraviolettisäteily: 99,9%
- Näkyvän valon läpäisy: 70%

5.2 Ikkunakalvojen asennus

Kalvot pyritään aina asentamaan uloimman ikkunalasin sisäpinnalle jotta niiden pois heijastama lämpöenergia ei jäisi ikkunalasiin väliin. Aurinkosuojakalvon voi myös asentaa uloimman ikkunalasin ulkopinnalle mutta silloin se ei olisi suojassa

säältä ja ikkunakalvo on siinä vaikeampi puhdistaa. Kuvassa 5 näkee että mikäli kalvo asennetaan sisimmälle ikkunalasipinnalle suuri osa lämpöenergiasta varastoituu ikkunoiden väliin tai päätyy huonetilaan. Tämä ei ole hyväksi koska ikkunoiden välisen onkalon lämpötila saattaisi nousta todella korkeaksi ja pahimmassa tapauksessa siitä johtuva ikkunoiden lämpölaajeneminen saattaisi aiheuttaa ikkunoiden särkymisen. Jos ikkunakalvon joutuu asentamaan sisimmän ikkunalasin pinnalle kannattaa ikkunoiden välinen tila tuulettaa ulkoilmaan.



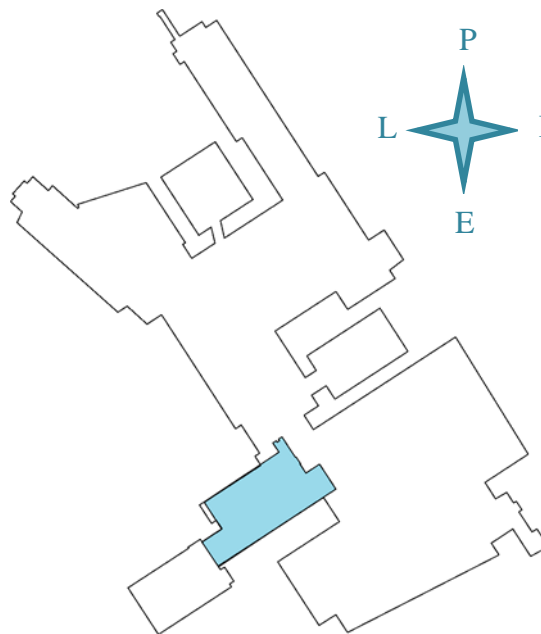
Kuva 5: Havainne kuva miksi aurinkosuojäikkunakalvoa ei kannata sijoittaa sisimmälle ikkunalasipinnalle. Tämä asennustapa johtaa huonoon g-arvoon ja voi johtaa lasin särkymiseen. (Aurinkosuojäus, Rehva ohjekirja No 12, 2011, s. 20.)

Ikkunakalvojen asennuksen ensimmäinen askel on puhdistaa ikkuna johon kalvo on tarkoitus asentaa. Puhdistus tehdään tavallisilla puhdistusaineilla ja ikkunalastalla. Sen jälkeen ikkunakalvoihin suihkutetaan kitkaa pienentävää ainetta esimerkiksi vettä johon on sekoitettu pieni määrä pesuainetta joka helpottaa asennusta ja kalvo asennetaan paikoilleen. Tämän jälkeen ylimääräinen vesi poistetaan ikkunalastalla ja kalvon reunat

siistitään varmistaakseen että kalvo istuu hyvin paikoillaan. Kun kalvo on kuivunut asennus on valmis. Kuivuminen kestää muutamasta päivästä viikkoon riippuen huoneen lämpötilasta. Tämä hyvin yksinkertainen ja nopea asennustapa tekee kalvoista todella helppoja asentaa kohteeseen jossa on tarve lisätä passiivista aurinkosuojausta. Töölön sairaalassa kalvojen asennus ei aiheuttanut yhtään käyttökatkosta vaikka asennus tehtiinkin päiväsaikaan normaalin työajan aikana.

6 TESTIKOHTEEN KUVAUS

Kohde jossa työ suoritettiin on osasto 4, Töölön sairaalassa. Töölön sairaala sijaitsee Helsingin Töölössä, Topeliuksenkatu 5:ssä. Sairaala kuuluu Helsingin yliopistolliseen sairaalaan. Sairaala on HUS-alueen suurin traumatologian päivystyspiste. Siinä hoidetaan kaikki helsinkiläiset tapaturmapotilaat sekä vaikeimmat tapaturmat koko Uudenmaan alueelta.



Kuva 6: Kuvassa näkyy Töölön sairaala. Sinisellä merkitty alue on Osasto missä työ toteutettiin. Kuvan oikeassa yläreunassa näkyy ilmansuunnat.

Osasto 4 on ortopedis-traumatologinen päivystävä vuodeosasto. Erikoisalana osastolla on vakavat lantion ja alaraajojen vammat. Osastossa on toimintaa kellon ympäri. Osasto sijaitsee sairaalan keskisiiven 5. kerroksessa ja potilashuoneissa ikkunoiden suunta on kaakkoon. Osasto on pinta-alaltaan 520m² kokoinen ja siinä on tilaa 25 vuodepotilaalle. Osastolla ei ole luontaista auringonsuojaa etelä- tai kaakkoispuolelta muista

rakennuksista, tai puista vaan kesällä aurinko paistaa kaakonpuoleiselle seinälle lähes koko päivän. Osaston kaakkoispuolella oleva rakennus on merkittävästi matalampi eikä aiheuta osastolle varjoa. Kohteessa ei myöskään ole rakennuksen ulkopuolisia passiivisia aurinkosuojia kuten esimerkiksi markiiseja, aurinkolippoja tai parvekkeita. Osastossa on kaksikerroksisia kirkkaita ikkunoita. Ikkunat ovat varustettuja sälekaihtimilla.

6.1 Työn toteutus

Työ aloitettiin asentamalla lämpötilaloggereita kaikkiin potilashuoneisiin jo kevään aikana. Loggerit sijoitettiin roikkumaan mahdollisimman keskellä huoneita noin 1,8m korkeudelle lattiasta jotta niihin ei kohdistuisi suoraa auringonsäteilyä tai muuta paikallista lämpökuormaa joka voisi vaikuttaa mittauslämpötilaan. Loggereilla mitattiin huoneiden keskilämpötilaa. Loggereina käytettiin 3M:n TL30 loggereita ja mittausväliksi valittiin 1 tunti. Loggereiden mittaustarkkuus on +/-0.5°C.

Tämän jälkeen laadittiin suunnitelma siitä missä järjestyksessä ja minkälaisella aikavälillä huoneet kalvotettaisiin jotta pystyttäisiin vertailemaan kalvollisen huoneen sekä kalvottoman huoneen lämpötilaeroja. Jotta saataisiin mahdollisimman identtiset vertailuhuoneet päätettiin että huoneet 1, 4, 5 ja 7 kalvotettaisiin. Osaston pohjakuva ja huoneiden numerot löytyvät kuvasta 7. Verrokkihuoneena huoneille 1 ja 4 toimisi huone 2. Huoneen 5 verrokkihuone olisi huone 6 ja huoneen 7 verrokkihuone olisi huone 8. Koska huone 3:lla ei löydy osastolla vastaavanlaista huonetta johon sitä voisi verrata päätettiin jättää se pois vertailusta.

Tarkkaa asennuspäivämäärää ei ennalta päätetty vaan haluttiin että asennus tehtäisiin kun ulkona on tarpeeksi lämmintä ja auringonsäteilyn teho olisi tarpeeksi vahva. Ajankohtana jolloin tarve aurinkosuojaikkunakalvoille olisi suurimmillaan. Tämä ei kuitenkaan täysin onnistunut koska kesä oli pääasiallisesti hyvin viileä. Keskilämpötila vertailujakson aikana oli 15,9 °C. Ensimmäinen kalvojen asennus tehtiin 5–7.7.2015 ja kalvot asennettiin vastoin suunnitelmia huoneisiin 1, 2, 6, ja 7. Tästä ei vielä aiheutunut suurempaa haittaa koska kaikille huoneille löytyi vielä verrokkihuone.

6–7.8.2015 asennettiin kalvot kaikkiin muihin osaston huoneisiin. Vertailuajaksi huoneiden välillä tuli 7.7.2015–6.8.2015. Loggerit poistettiin huoneista datan keruuta varten 20.9.2015. Loggereiden poiston yhteydessä kävi ilmi että osassa huoneista loggerit olivat jo otettu pois paikoiltaan, nämä huoneet olivat huoneet 5,6 ja 8. Loggerit oli otettu

pois huoneista jossakin vaiheessa mittausten aikana mikä karsi verrattavien huoneiden määrää.

Koska kalvojen asennus ei toteutunut suunnitelmien mukaan ja koska loggereita oli siirretty pois huoneista ennen aikaisesta jäi loppujenlopuksi vain 3 vertailukelpoista huonetta. Kalvottomat huoneet 1 ja 2 sekä niiden kalvottomana verrokkihuoneena huone 4.



Kuva 7: Kuvassa on esitetty miten kalvotus toteutui osastossa, sekä missä huoneissa oli lämpötilaloggereita.

6.2 Lämpökuormat

Sisäiset lämpökuormat vertailukelpoisissa huoneissa ovat hyvin samansuuruiset, koska huoneet ovat kooltaan melkein identtiset sekä käyttötarkoitus on kaikissa huoneissa sama. Sisäiset lämpökuormat lasketaan henkilömäärän, kuluttajalaitteiden, valaistuksen ja käyttöasteen mukaan (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012, s.19).

$$Q = kP \frac{T_d T_w 8760}{24 \cdot 7 \cdot 1000}$$

Q = valaistuksen ja kuluttajalaitteiden vuotuinen lämpökuorma kWh/m²

k = käyttöaste

P = lämpökuorma W/m²

T_d = rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa

T_w = rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa

Kuva 8: Kaava sisäisten lämpökuormien laskentaan.

Vertailuhuoneiden valaistuksesta ja laitteista aiheutuva vuotuinen lämpökuorma:

$$Q = 0.7 \cdot 18 \frac{24 \cdot 7 \cdot 8760}{24 \cdot 7 \cdot 1000} = 110,38 \text{ kWh/m}^2$$

Sairaalalaitteiden luovuttama teho on keskimäärin 9W/m². Valaistuksen tuoma lämpökuorma määräytyy valaistusmuodon mukaan, vertailuhuoneiden laskennassa käytetty arvoa 9W/m² (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet 2012, s.19).

Kohteen jokaisessa huoneessa on 6 potilasta ja lisäksi huoneissa käy jatkuvasti sairaalohenkilökuntaa. Ihmisen luovuttama lämpöteho vaihtelee 80W ja 150W välillä toiminnasta riippuen. Henkilöistä aiheutuvat lämpökuormat ovat 600W. Laskennassa käytettiin ihmisen luovuttamaksi lämpötehoksi 100W. Pintalaa kohden se on 13W/m².

Yhteenlaskettu lämpökuorma neliometriä kohden on näin ollen 31W/m².

Tämä tarkoittaa että kesälläkin sisäistä lämpökuormaa on jokaisessa noin 46m² kokoisessa vertailuhuoneessa 1426W.

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily, vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g = \sum G_{säteily, pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g$$

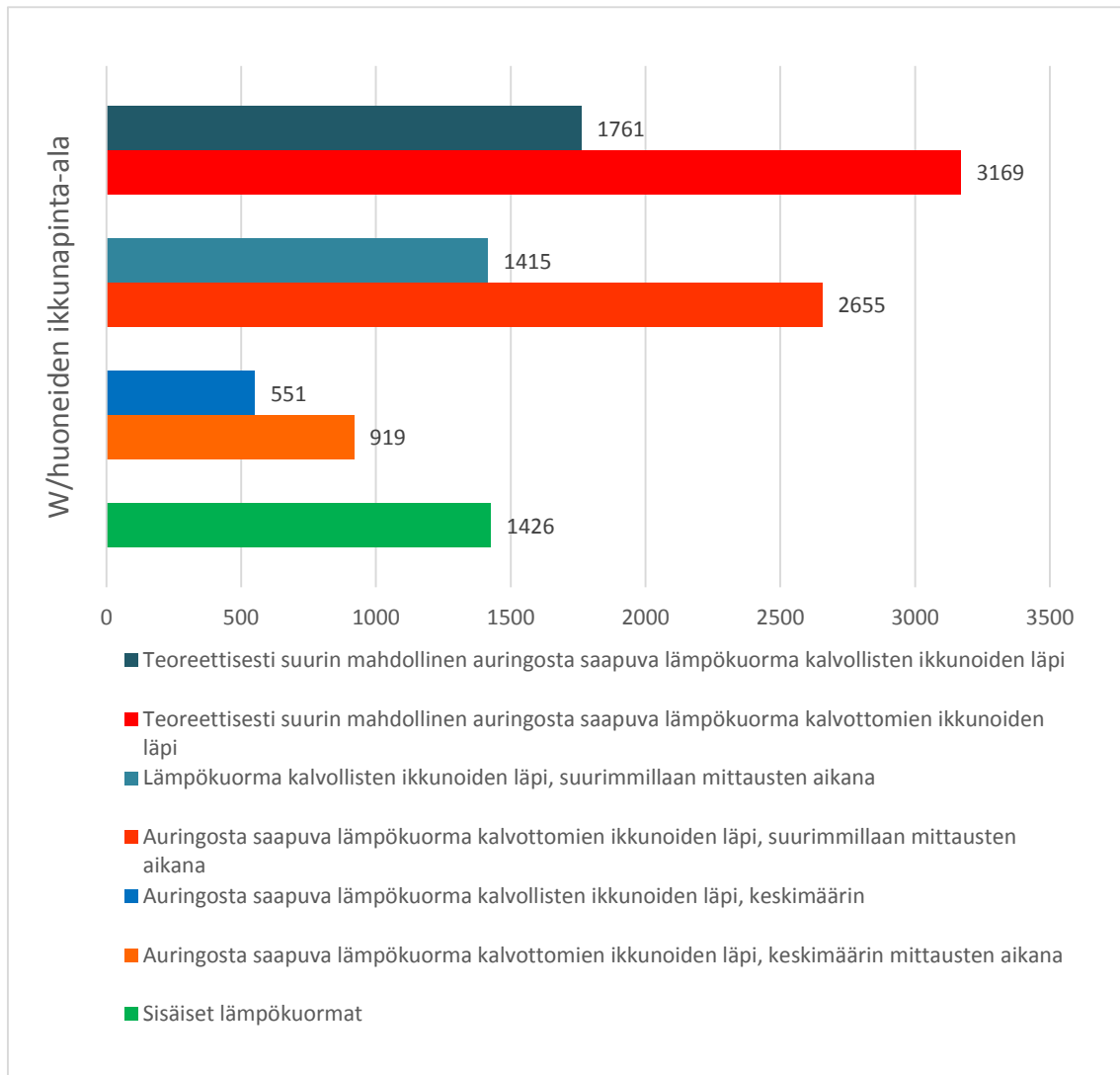
jossa

Q_{aur}	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk
$G_{säteily, vaakapinta}$	vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m ² kk)
$G_{säteily, pystypinta}$	pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh/(m ² kk)
F_{suunta}	muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi, -
$F_{läpäisy}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin, -
A_{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²
g	valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin, -

Kaava 1: Kaava jolla lasketaan ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D5.)

Ikkunapinta-ala huoneissa on n. 7,2m² ja vertailujakson keskimääräinen säteilyteho oli 313 W/m² ja suurimmillaan säteilyteho oli 838 W/m² (Ilmatieteen laitos, kumpulan mittauspiste). Kuvassa 9 on Suomen Rakentamismääräyskokoelman osiosta D5, otettu kaava jolla lasketaan kuinka paljon rakennukseen tulee lämpöenergiaa auringonsäteilystä ikkunoiden kautta. Työssä on käytetty kaavaa laskeakseen kuinka paljon ikkunakalvot auttavat vähentämään auringonsäteilyä tulevaa lämpökuormaa verrattuna kalvottomiin ikkunoihin. Oletuksena on että kalvollisen ikkunan läpi saapuisi lähes puolet vähemmän lämpöenergiaa kuin kalvottoman ikkunan läpi, sillä ikkunakalvo lähes puolittaa ikkunan

g-arvon kalvottomaan ikkunaan verrattuna.



Kuva 9: Kuvassa esitetty vertailussa käytettyihin huoneisiin suoraan auringonsäteilystä aiheutuva lämpökuorma.

Kuvassa 2 nähdään kuinka suuri lämpökuorma verrokkihuoneisiin saapuu ikkunoiden kautta vertailuaikana ikkunakalvolla ja ilman. Kuvassa on myös esitetty kuinka suuri auringonsäteilyn lämpökuorma teoreettisesti voi olla silloin kun auringon säteilyteho on suurimmillaan Suomessa. Vertailujakson aikana auringonsäteilystä aiheutuva lämpökuorma suurimmillaan ikkunakalvolla oli n. 1415W huoneen ikkunapinta-alaa kohden ja ilman ikkunakalvoa vastaava luku oli 2655W. Kuvasta käy myös hyvin ilmi kuinka suuret sisäiset lämpökuormat ovat tällaisessa sairaalaosastossa jossa on paljon potilaita henkilökuntaa sekä sairaalalaitteita. Sisäiset lämpökuormat ovat yhtä suuret kuin mitä kalvollisen huoneen ikkunoiden kautta huoneeseen saapuva säteilyenergian määrä vertailujakson aikana. Kuvasta ilmenee myös että ikkunakalvot lähes puolittavat

huoneisiin auringonsäteilystä tulevan energian määrään kalvottomaan huoneeseen verrattuna. Kalvollisten ikkunoiden g-arvot on saatu aurinkosuojaikkunakalvojen valmistajalta Suomen 3M Oy. Laskuissa käytettyjen kertoimien luvut on otettu Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D5.

7 MITTAUKSET

7.1 Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät

Koska mittaukset on toteutettu toiminnassa olevassa sairaalaosastossa löytyy paljon eri huonekohtaisia muuttujia jotka voivat vaikuttaa mittaustulokseen. Kuten aikaisemmassa kappaleessa tuli mainittua itse tilat valittiin niin että niiden koko ja käyttöalueet olisivat mahdollisimman identtisiä kalvollisten sekä kalvottomien huoneiden välillä. Kuitenkin henkilömäärään ja miten itse tiloja käytettiin ei pystytty tässä työssä vaikuttamaan.

Olenneisimmat muuttujat jotka ovat voineet vaikuttaa mittaustuloksiin:

- Miten sälekaihtimia on käytetty
- Miten ovet huoneisiin ovat olleet auki/kiinni
- Miten ikkunat ovat olleet auki/kiinni
- Potilaiden määrät huoneissa
- Sairaalalaitteiden käyttö
- Huoneiden ilmanvaihto
- Ihmisten liikkuminen sisään ja ulos huoneista
- Auringon säteilyteho

Osastonhoitajan mukaan ovet kaikkiin vertailukelpoisiin huoneisiin ovat aina auki henkilökunnan liikkumisen takia ja ikkunoiden avulla huoneita tuuletetaan tarpeen mukaan esimerkiksi vuodepotilaiden virtsan tai ulosteen hajun takia. Potilaiden määrä ja sairaalalaitteiden käyttö ovat hyvin samanlaisia kaikissa verrokkihuoneissa. Kaikkien huoneiden ilmanvaihto on toteutettu samalla tavalla.

Kesä 2015 oli pääasiallisesti hyvin viileä kesä mikä oli ikkunakalvojen vaikutuksen kokeilun kannalta huono asia koska auringon säteilyteho oli pieni joten

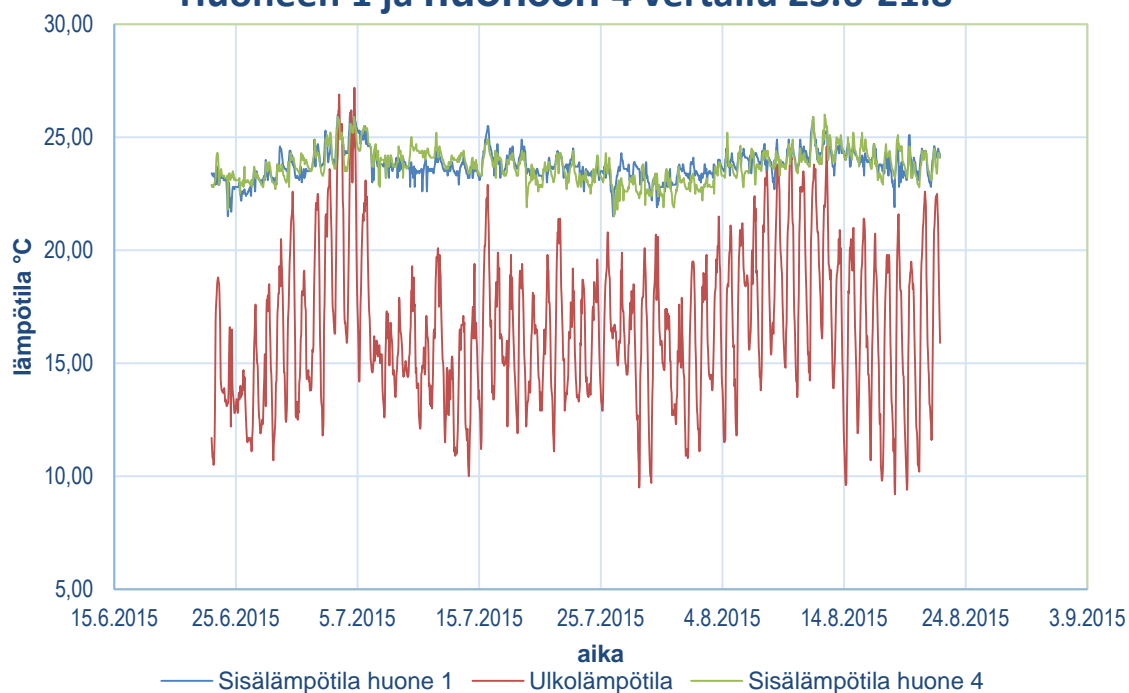
aurinkosuojaikkunakalvoista saatava hyöty oli suhteellisen pieni verrattuna osaston sisäisiin lämpökuormiin. Vasta elokuun puolessavälissä joka oli vertailuajankohdan jälkeen oli pidempi hellejakso mikä tarkoittaa että ei pystytty vertailemaan ikkunakalvojen vaikutusta sisäilmastoon semmoisessa tilanteessa johon ne ovat suunniteltu ja parhaiten soveltuvat.

Tämän johdosta suurimmat mittaustuloksiin vaikuttavat muuttujat ovat sälekaihtimien käyttö joka huomattavasti vaikuttaa ikkunan g-arvoon sekä ikkunoiden kautta tapahtuva tuuletus.

7.2 Mittaustulokset

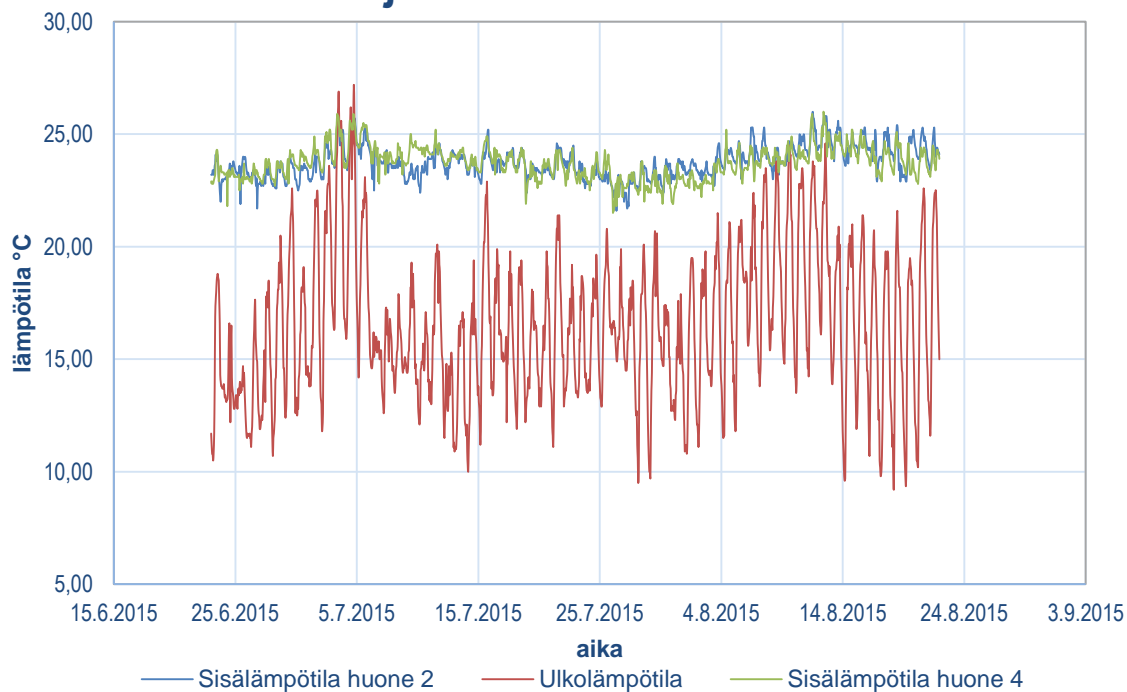
Vertailuajankohdaksi valitsin 23.6.2015–21.8.2015 jotta saadaan vertailtua kahden viikon ajalta minkälainen lämpötilaero oli ennen kalvojen asennusta, yhden kuukauden ajalta minkälainen lämpötilaero on kun huoneissa 1 ja 2 on kalvo mutta huone 4 on kalvoton sekä lämpötilaero kahden viikon ajalta kun kaikissa huoneissa on kalvot. Oletettu tulos oli että kahdelta ensimmäiseltä viikolta lämpötilat huoneissa olisivat samanlaiset, seuraavan kuukauden ajalta kun ensimmäisiin huoneisiin asennettiin kalvot niin kalvollisten huoneiden lämpötilat olisivat matalampia kuin verrokkihuoneen ja viimeiseltä kahdelta viikolta lämpötilaerot tasaantuisivat jälleen kun kaikissa huoneissa on kalvot. Kuvassa 10 ja 11 nähdään selvästi että sisälämpötila huoneissa on hyvin selvästi riippuvainen ulkolämpötilasta. Kuvista 10 ja 11 käy ilmi että ulkolämpötilat pysyivät pääosin päiväsaikaan 20 °C tienoilla ja vain kaksi kertaa vertailujakson aikana ulkolämpötila kohosi yli 25 °C. Kuvista näkee myös että sisälämpötilat sekä kalvollisissa että kalvottomassa huoneessa pysyivät koko vertailujakson aikana alle 27 °C mikä on sisälämpötilan enimmäisarvo kesäaikana(http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/lampoolot/lampoviihtyisat_olot/Sivut/default.aspx). Tämän perusteella huomaa selvästi että ei ollut optimaalinen aika suorittaa mittauksia koska lämpötilat kalvottomassakin huoneessa pysyi sallittujen rajojen sisäpuolella eli aurinkosuojaikkunakalvojen tuomalle suojalle ulkoisia lämpökuormia vastaan ei vertailujakson aikana ollut tarvetta.

Huoneen 1 ja huoneen 4 vertailu 23.6-21.8



Kuva 10: Kuvassa on esitetty lämpötilaloggereiden mittaamat lämpötilat huoneissa 1 ja 4, 23.6.2015-21.8.2015 välisenä aikana. Kuvassa on myös esitetty ulkolämpötila. Ulkolämpötila saatu Ilmatieteen laitokselta.

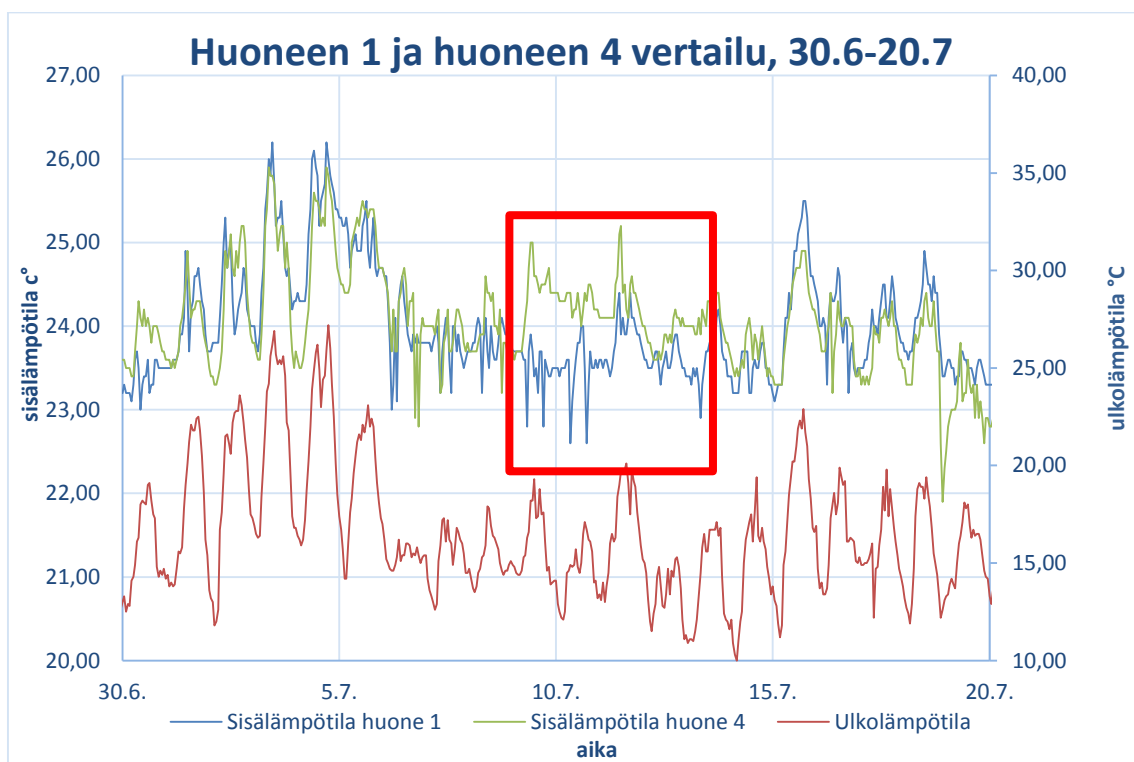
Huoneen 2 ja huoneen 4 vertailu 23.6-21.8



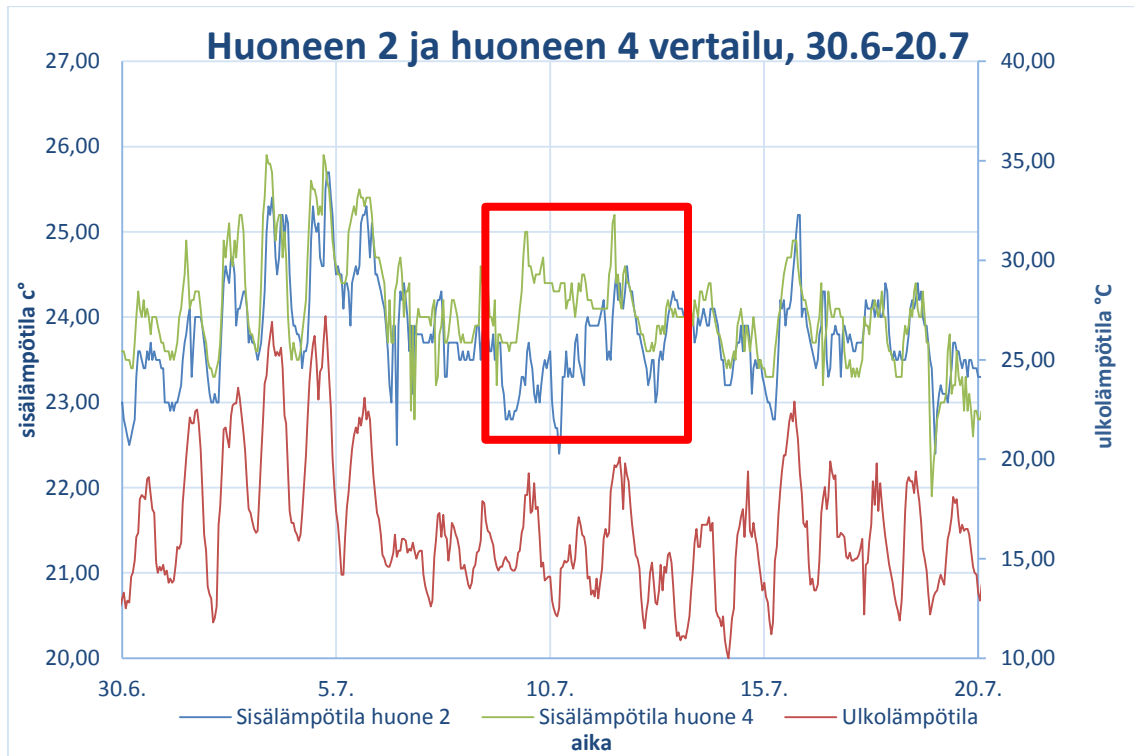
Kuva 11: Kuvassa on esitetty lämpötilaloggereiden mittaamat lämpötilat huoneissa 2 ja 4, 23.6.2015-21.8.2015 välisenä aikana. Kuvassa on myös esitetty ulkolämpötila. Ulkolämpötila saatu Ilmatieteen laitokselta Töölön sairaalan lähimmältä sääasemalta.

Kuten kuvassa 10 ja 11 näkyy niin lämpötilaloggereista kerätty data täsmää jokseenkin oletetun tuloksen kanssa. Kaikissa huoneissa on suhteellisen sama lämpötila silloin kun kaikki huoneet ovat ilman kalvoja ja silloin kun kaikissa huoneissa on kalvot.

Kuitenkin vertailuajan 6.7–7.8 välisenä aikana kun huone 4 oli ilman kalvoa niin mitatut lämpötilat poikkeavat jokseenkin oletetusta tuloksesta. Kuten kuvissa 12 ja 13 nähdään, alussa kun huoneissa 1 ja 2 on ikkunakalvot ja huone 4 on ilman kalvoa näyttää siltä että molemmissa kalvollisissa huoneissa lämpötila oli noin 1.5 °C alempi, mikä on merkittävä ero. Kuitenkin muutaman päivän jälkeen lämpötilaerot molempien kalvollisten huoneiden ja kalvottoman huoneen välillä tasottuivat.



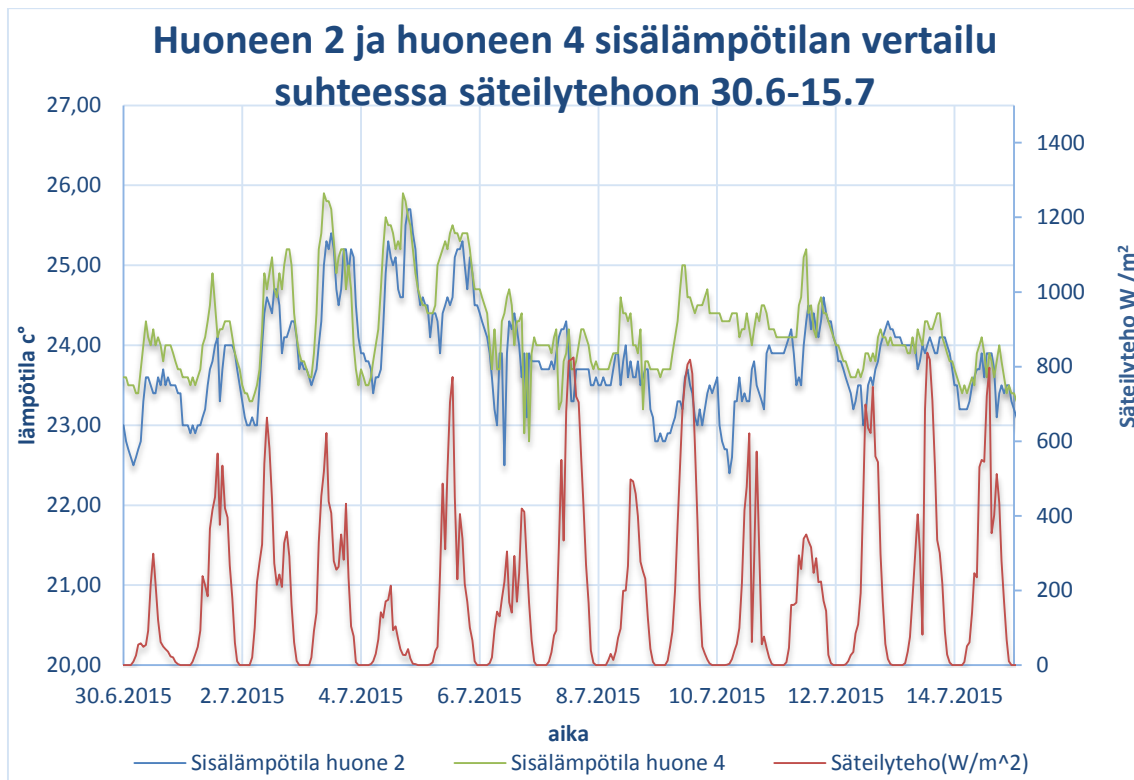
Kuva 12: Kuvassa punaisella merkityllä alueella nähdään että samoihin aikoihin kun aurinkosuoja ikkunakalvot asennettiin huoneeseen 1 niin syntyi noin yhden asteen lämpötilaero huoneen 1 ja 4 välillä. Pystyakselin vasemmalla puolella on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla puolella on ulkolämpötilan mittaasteikko.



Kuva 13: Tässä kuvassa nähdään sama ilmiö joka esiintyi kuvassa 11 mutta huoneen 2 ja 4 välillä.

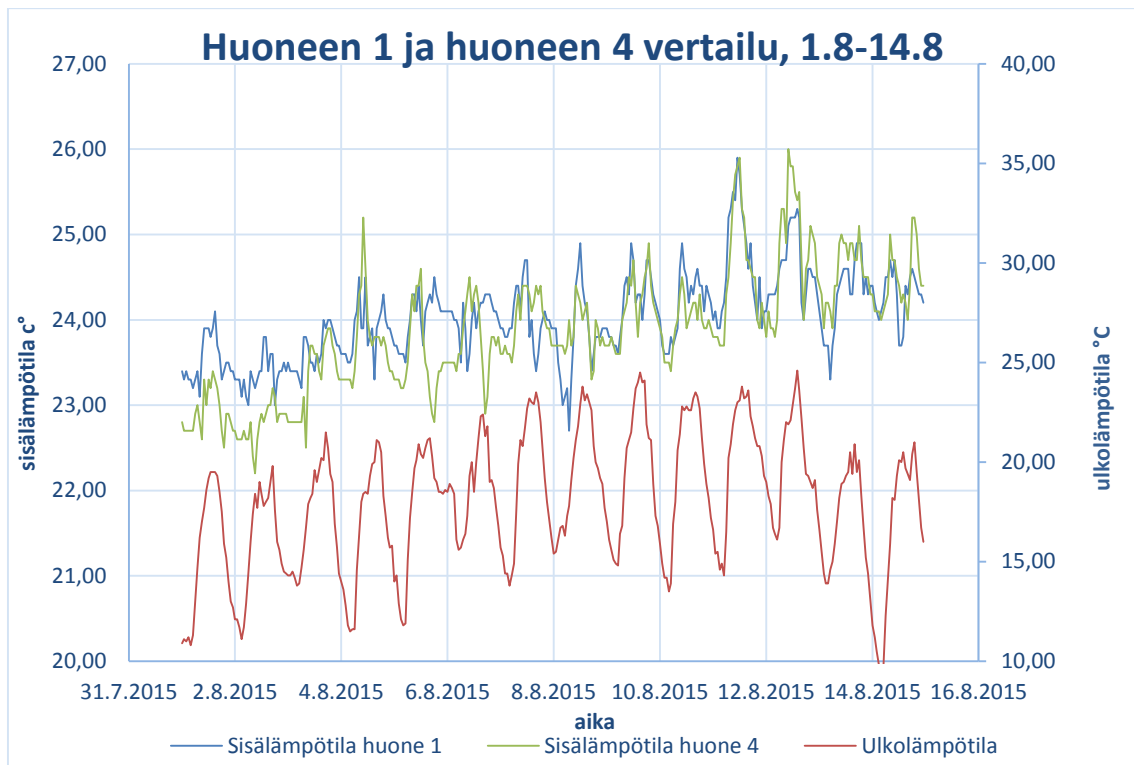
Kuvissa 12 ja 13 näkyvä ilmiö viittaa siihen että kalvoista ainakin alussa on ollut hyötyä. Koska kalvojen vaikutus tilojen viilennykseen ei muutu täytyy alun lämpötilaerojen sekä niiden tasaantumisen olla toinen syy kuin kalvojen vaikutus tilojen jäähtymiseen. Osastossa ei ole huonekohtaista ilmanvaihtoa tai jäähtytysjärjestelmää jotka olisivat voineet vaikuttaa tilojen jäähtymiseen ja lämpötilojen tasoittumiseen.

Todennäköisiä syitä ovat että tiloja ollaan käytetty ja tuuletettu eri tavoilla. Tämän lisäksi huoneisiin on jatkuvasti liikettä vuorokauden ympäri mikä aiheuttaa ilmavirtauksia jotka saattavat sekoittaa osaston ilmaa niin että eri alueiden ilmanlämpötilat tasoittuvat. Käytöstä johtuvia mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä löytyy kohdasta 7.1. Koska ei pystytty seuraamaan tilojen käyttöä, ilman liikettä ja lämmön pysyvyyttä huoneissa on mahdotonta sanoa tarkalleen mikä ilmiö aiheutti lämpötilojen tasoittumisen.

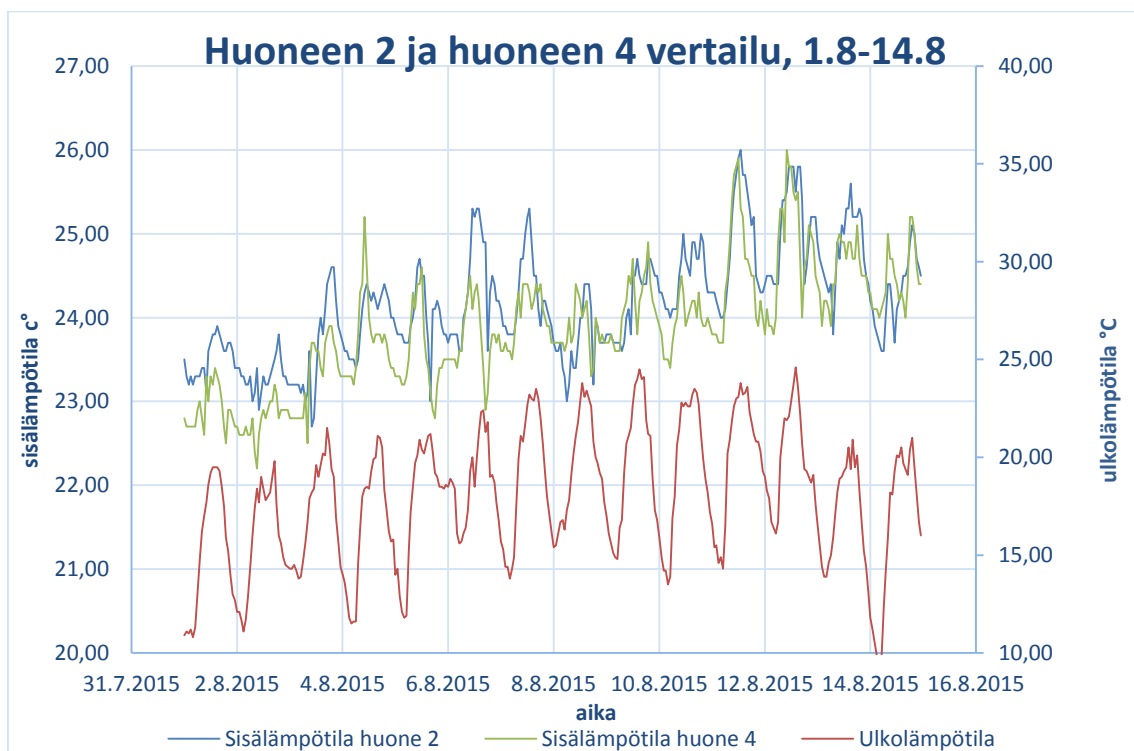


Kuva 14: Kuvassa esitetty huoneen 2 ja 4 sisälämpötilat suhteessa auringon säteilytehoon. Vasemmalla pystyakselilla on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla pystyakselilla auringon säteilytehon mittaasteikko.

Kuvassa 14 nähdään miten huoneiden 2 ja 4 sisälämpötilat korreloivat auringon säteilytehon kanssa 30.6–15.7 välisenä aikana kun ikkunakalvot asennettiin huoneeseen 2. Kuvasta käy ilmi että 6.7 jälkeen kun ikkunakalvot asennettiin huoneeseen 2 sisälämpötila on jopa 1.5 °C astetta alhaisempi kuin mitä se oli samansuuruisella säteilyteholla ennen kalvojen asennusta. Kuvasta huomaa myös että sisäisillä lämpökuormilla on suuri vaikutus tilojen lämpötilaan. Esimerkiksi 4.7 ja 12.7 säteilyteho on merkittävästi pienempi kuin muuna aikana mutta sisälämpötila ei kuitenkaan poikkea merkittävästi muiden päivien mitatusta sisälämpötilasta. Kuvasta nähdään myös että säteilyteho ei ole kuvassa näkyvänä aikana niin suuri kuin mitä se suomessa kesäisin voisi olla. Kuvassa säteilyintensiteetti oli suurimmillaan 838W/m².



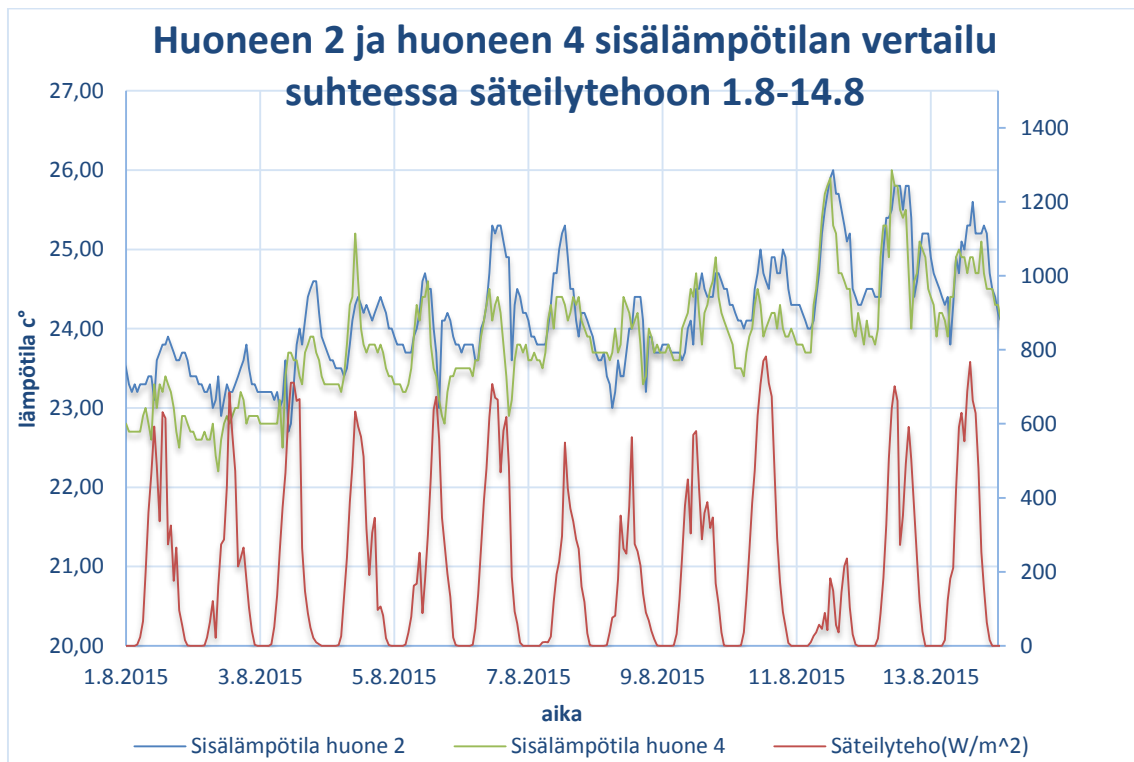
Kuva 15: Kuvassa suurennettuna aika jolloin huoneeseen 4 asennettiin kalvot. Vertailussa huoneen 1 ja huoneen 4 lämpötilat. Pystyakselin vasemmalla puolella on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla puolella on ulkolämpötilan mittaasteikko.



Kuva 16: Kuvassa suurennettuna aika jolloin huoneeseen 4 asennettiin kalvot. Vertailussa huoneen 2 ja huoneen 4 lämpötilat. Pystyakselin vasemmalla puolella on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla puolella on ulkolämpötilan mittaasteikko.

Kuvassa 15 ja 16 nähdään suurennettuna lämpötiladataa ajasta jolloin kalvottomaan verrokkihuoneeseen asennettiin aurinkosuojaikkunakalvo. Kuvista huomaa että mittausten mukaan huoneen 4 lämpötila ei juurikaan tee muutosta kun siihen asennetaan ikkunakalvo. Tämä on merkittävää sillä kun huoneisiin 1 ja 2 asennettiin ikkunakalvot lämpötila putosi huoneissa 1,5 °C vaikkakin se oli vain hetkellistä. Tämän mukaan ikkunakalvot eivät vaikuta sisälämpötiloihin mikä on ristiriidassa dataan mikä saatiin kun ikkunakalvot asennettiin huoneeseen 1 ja 2. Mahdollinen selitys ilmiölle on että huoneen sälekaihtimet ovat olleet suljettuina kun ikkunakalvot asennettiin.

Kuten kuvista myös näkee sisälämpötila ei kertaakaan kohonnut yli 27 °C korkeimmat sisälämpötilat ovat 26 °C 11.8 ja 12.8.



Kuva 17: Kuvassa esitetty huoneen 2 ja 4 sisälämpötilat suhteessa auringon säteilytehoon. Vasemmalla pystyakselilla on sisälämpötilan mittaasteikko ja oikealla pystyakselilla auringon säteilytehon mittaasteikko.

Kuvassa 17 nähdään miten huoneen 2 ja 4 sisälämpötilat korreloivat auringon säteilytehon kanssa 1.8–14.8 välisenä aikana kun aurinkosuojaikkunakalvo asennettiin huoneeseen 4. Tässä kuvassa nähdään että kun kalvot asennettiin huoneeseen 4 sisälämpötilassa ei nähty merkittävää muutosta. Tässä huomaa myös että 6.8 tapahtuvasta ikkunakalvon asennuksesta johtuva lämpötilan laskeminen huoneessa 4 oli pienempi kuin mitä ikkunakalvon asennus huoneessa 2 aiheutti. Kuvasta käy myös hyvin ilmi että vasta

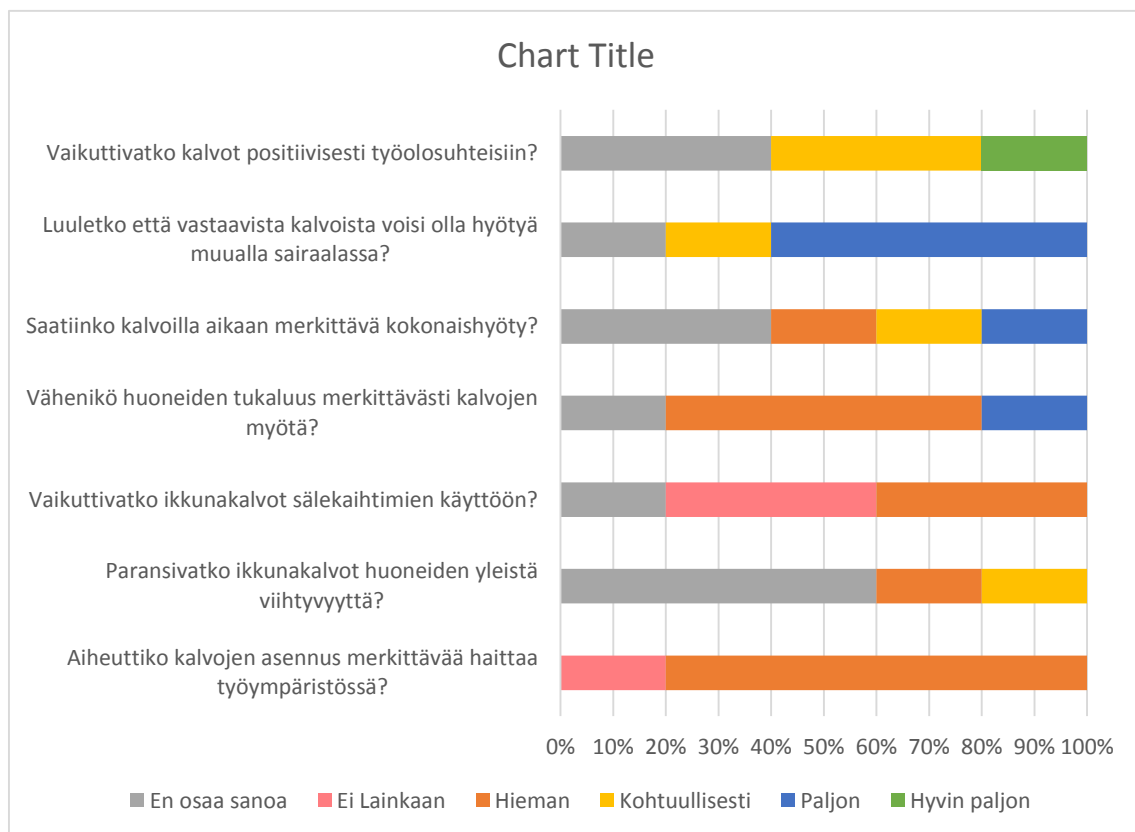
vertailujakson lopussa ja sen jälkeen lämpötilat ja säteilyteho alkavat nousta semmoiselle tasolle mikä on tyypillistä tälle vuodenajalle.

Kuvasta 17 näkee saman mikä on nähtävissä kuvassa 14 että sisälämpötilaan vaikuttaa vahvasti myös muut tekijät kuin auringon säteilyteho. Vaikka säteilyteho esimerkiksi 11.8 on hyvin matala eivät kuitenkaan huoneiden lämpötilat reagoi siihen merkittävästi.

8 HENKILÖKUNNAN KOKEMUKSET

Tässä työssä esitettiin lämpötilamittausten lisäksi kyselylomake osaston henkilökunnalle vastattavaksi (LIITE 1) koska haluttiin selvittää miten aurinkosuojaikkunakalvot vaikuttavat sisäilmastoon käyttäjien mielestä.

Kyselylomakkeen avulla haluttiin selvittää henkilökunnan aistimuksia sisäilmastosta ennen ikkunakalvojen asennusta verrattuna asennuksenjälkeiseen tilanteeseen.



Kuva 18: Kuva jossa on esitetty henkilökunnan vastaukset kyselylomakkeeseen prosentteina.

Vaikutusarvion tasot kyselyssä olivat: en osaa sanoa, ei lainkaan, hieman, kohtuullisesti, paljon ja hyvin paljon.

Kuten kuvasta 18 käy ilmi suurin osa vastanneista oli sitä mieltä että ikkunakalvojen asennus vaikutti suotuisasti sisäilmastoon. Kuvassa nähtävät tulokset puoltavat selvästi näkemystä siitä että aurinkosuojaikkunakalvot vaikuttavat suotuisasti sisäilmastoon kyseisessä kohteessa.

Positiivinen vaikutus työolosuhteisiin: 60% oli sitä mieltä että ikkunakalvoilla oli vähintään kohtuullinen vaikutus.

Kalvoilla saatava hyöty muualla sairaalassa: 20 % sitä mieltä että vähintään kohtuullisesti ja 60 % puoltaa voimakkaasti kalvojen käyttöä.

Merkittävä kokonaishyöty: 60 % sitä mieltä että vähintään hieman.

Kalvojen vaikutus potilaiden hyvinvointiin ja palautumiseen: 100% ei osannut sanoa.

Tukaluuden väheneminen: yli 80 % sitä mieltä että väheni vähintään hieman huolimatta koleasta kesästä.

Vaikutus sälekaihtimien käyttöön: 60 % sitä mieltä että ei vaikuttanut.

Huoneiden yleinen viihtyvyys: 40% oli sitä mieltä että ikkunakalvot paransivat huoneiden yleistä viihtyvyyttä vähintään hieman.

Kalvojen asennuksen aiheuttama haitta: 80 % vastanneista sitä mieltä että hieman haittaa. 20% sitä mieltä että ei lainkaan haittaa.

Vaikkakin suurin osa oli sitä mieltä että ikkunakalvot vaikuttivat positiivisesti työolosuhteisiin ja että kalvoilla oli merkittävä kokonaishyöty niin suurin osa ei pystynyt sanomaan jos ikkunakalvot paransivat huoneiden yleistä viihtyvyyttä.

Ikkunakalvojen asennuksesta aiheutuvista haitoista suurin osa oli sitä mieltä että siitä koitui hieman haitta mutta kukaan vastanneista ei ollut sitä mieltä että siitä olisi aiheutunut sitä enempää haittaa.

Yhteenkään kysymykseen joka liittyi viihtyvyyteen tai sisäilmastoon ei tullut vastausta että kalvoista ei olisi ollut hyötyä. Ainoastaan jonkin verran ”En osaa sanoa” vastauksia.

9 TUTKIMUKSEN TULOKSET JA ARVIOINTI

Yhteenvetona aurinkosuojia ikkunakalvojen vaikutuksesta sisäilmastoon Töölön sairaalassa voi henkilökunnan kyselyn perusteella sanoa että ikkunakalvoilla on selvä positiivinen vaikutus osaston sisäilmastoon ja ne sopivat erinomaisesti tämän työn kohteena olleen osaston kaltaisiin tiloihin.

Huoneiden keskilämpötila mittausten perusteella on vaikeampi todeta ikkunakalvoista aiheutuvaa vaikutusta sisäilmastoon koska oli sen verran paljon muuttujia mittausten aikana joita ei pystytty seuraamaan. Sekä sää ei ollut otollinen aurinkosuoja ikkunakalvojen vaikutuksen tutkimiseen. Vertailujakson alussa näytti selvästi siltä että ikkunakalvot olisivat laskeneet huoneiden keskilämpötilaa n. 1.5°C mutta tämä lämpötilaero tasottui muutaman päivän jälkeen eikä samanlaista lämpötilaeroa kalvollisten ja kalvottoman vertailuhuoneen välillä sen jälkeen syntynyt.

Koska työn aikana tuli ilmi että lämpötilamittaukseen vaikutti niin moni eri muuttujia joita ei tässä työssä pystytty ottamaan huomioon kuten esimerkiksi lämmönpysyvyys ja tilojen käyttö niin tekisin johtopäätökset ikkunakalvojen hyödyistä henkilökunnan subjektiivisen mielipiteen perusteella. Tämän pohjalta voi sanoa että aurinkosuoja ikkunakalvot soveltuvat hyvin sairaalakohteisiin parantamaan sisäilmastoa. Yhtenä suurena etuna muihin jäähdytysratkaisuihin on myös miten helposti asennettavia kalvot ovat kun ne eivät vaadi käyttökattoksia mikä on todella suuri hyöty sairaalaympäristössä. Aurinkosuoja ikkunakalvot soveltunevat myös muihin kohteisiin kuin sairaalakohteisiin jotka sijaintinsa takia joutuvat alttiiksi suoralle auringonsäteilylle ja jossa on suuret ikkunapinta-alat.

Jotta saisi kokonaisvaltaisemman kuvan ikkunakalvojen vaikutuksesta ja sisäilmastoon pitäisi lämpötilamittaukset ja vertailu tehdä ajankohtana jolloin olisi pidempi hellejakso ja tilojen ikkunoihin kohdistuisi suurempi auringon säteilykuorma. Lisäksi olisi hyvä tehdä tietokonesimulointi dynaamisella simulointiohjelmalla esimerkiksi IDA-ICE ohjelmalla. Tämä vaatisi että kohteen rakenteista, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmistä, sairaalalaitteista ja käytöstä olisi tarkkaa tietoa. Tämän avulla olisi mahdollista havainnollistamaan paremmin operatiivinen lämpötila tilassa sekä saisi tarkemmat mittaukset siitä kuinka paljon ikkunakalvot vaikuttavat tilojen keskilämpötilaan kun pystyttäisiin sulkea pois ja ottamaan huomioon enemmän mittaustuloksiin vaikuttavia muuttujia. Tämä voisikin olla hyvä aihe jatkotutkimuksille ja uudelle opinnäytetyölle

10 SAMMANFATTNING

Syftet med examensarbete var att ge en helhetsbild av hur solskyddsfönsterfilmer inverkar på inomhus klimatet i en sjukhusfastighet. Examensarbetet utfördes i Tölö sjukhus, avdelning 4.

För att få en möjligast bred fattning om fönsterfilmernas effekt i fastigheten i fråga gjorde jag teoretiska uträkningar av solskyddsfönsterfilmernas effekt, bearbeta data insamlad av temperaturloggers utsatta i de utrymmen där installationen av solskyddsfönsterfilmerna skedde samt undersökt personalens åskiter om fönsterfilmernas inverkan på inomhusklimatet, före respektive efter installationen på basen av ett frågeformulär.

10.1 Utgångspunkten för arbetet

Grunden för ett gott inomhusklimat är att man trivs i det utrymme man vistas samt att det inte orsakar någon fara för hälsan att vistas i utrymme. Examensarbetet utfördes i avdelningen för ortopedi och traumatologi i Tölö sjukhus, där det sköts patienter med allvarliga skador i höft och nedre extremiteter. Eftersom flera av dessa patienter är sängliggande och därför är inomhus dygnet runt är det speciellt viktigt att inomhusklimatet i ett sådant utrymme är av god kvalitet. Utrymmena i fråga har dock haft problem med överhettning under sommar perioderna. Därför ansågs det som en bra åtgärd att installera solskyddsfönsterfilmer som är gjorda speciellt för att minska på värmebelastningen i utrymmena under de perioder då det behövs som mest. Dessutom är installeringen av fönsterfilmer en relativt lätt åtgärd och krävde därför inga pauser i avdelningens dagliga aktiviteter.

Eftersom det finns dåligt med undersökningar om hur solskyddsfönsterfilmer påverkar inomhusklimatet i sjukhusfastigheter där det finns betydliga inre värmelaster av sjukhusredskap, personal och patienter så ansågs detta som ett bra ämne för examensarbetet.

Arbetet påbörjades med att det under våren installerades temperaturloggers i alla utrymmen som ingick i arbetet. Temperaturloggerna placerades möjligast centralt i de rum som skulle få fönsterfilmer installerade på c. 1.8m höjd, så att de skulle påverkas möjligaste lite av diverse lokala värmelaster som skulle kunna störa mätresultaten.

Temperaturmätningarna i fastigheten gjordes med 3M:s TL30 temperaturloggers. Temperaturen i utrymmena mättes med 1 timmes tidsintervall. Mätnoggranheten för temperaturloggerna är +/-0.5°C. För att kunna göra jämförelser mellan temperaturerna i rum med solskydds fönsterfilm respektive rum utan solskyddsfönsterfilmer så upprättades en plan för i vilken ordning samt med hurdan tidsintervall fönsterfilmerna skall installeras i rummen. Enligt planen skulle alla utom ett rum i avdelningen ha ett referensrum. Någon tidsperiod för installeringarna av solskyddsfönsterfilmer bestämdes inte, istället bestämdes det att installeringarna skulle ske när det ansågs vara tillräckligt varmt utomhus samt när solstrålningens intensitet borde vara tillräckligt stark.

De första solskyddsfönsterfilmerna installerades 5-7.7.2015, i deras motsvarande referensrum installerades fönsterfilmerna 6-7.7.2015, som följd av detta blev referens tidsperioden 7.7.2015-6.8.2015.

I samband med insamlingen av data från temperaturloggerna märktes det att temperaturloggerna hade tagits bort från en del av rummen vilket gallrade mängden jämförbara rum. På grund av detta och att även installeringen av fönsterfilmerna hade skett i en från planen avvikande ordning, blev det endast 3 sinsemellan jämförbara rum kvar.

10.2 Solskyddsfönsterfilmerna

I detta arbete användes 3M:s Prestige 70 solskyddsfilmerna. Fönsterfilmerna är framställda av plast och har en mycket tålig ytbeläggning. Solskyddsfönsterfilmerna innehåller inga metaller vilket gör att dom inte korroderar samt att de inte bidrar till att göra byggnaden till en faraday bur vilket drastiskt skulle påverka till exempel mobiltelefonernas hörbarhet.

Funktionsprincipen med fönsterfilmerna är att de minskar mängden solenergi som släpps in genom fönstret. Fönsterfilmerna har två huvudsakliga egenskaper som skapar denna effekt. Fönsterfilmerna reflekterar bort solstrålning och fönsterfilmerna absorberar en del av solenergin så att den inte kommer in i fastigheten.

Installeringen av fönsterfilmer är en relativt lätt procedur. Det enda som krävs är i princip att rengöra ytan där fönsterfilmen skall installeras och att sedan lägga fönsterfilmen på plats med hjälp av vatten och lite rengöringsmedel och sedan låta fönsterfilmen torka.

Eftersom installeringen kräver så lite arbete och inte tar mycket utrymme är fönsterfilmerna ett utmärkt för utrymmen där man inte får störa de dagliga aktiviteterna och var man vill att arbetet skall vara snabbt och städigt gjort. Det gör att fönsterfilmerna lämpar sig mycket bra för till exempel sjukhus.

10.3 Värmelaster

De inre värmelasterna i alla 3 rum som jämfördes sinsemellan i undersökningen är mycket lika eftersom alla rum är nästan lika stora och de har samma användningsändamål.

De inre värmelasterna räknades på basen av personmängden, utrustningen i rummet, belysningen och användningsgraden.

Medeleffekten av sjukhusutrustningen i rummen är 9W/m^2 . Belysningens värmelast är också 9W/m^2 . I alla rummen fanns det 6 patienter. Värmelasten av en människa är beroende på aktivitet mellan 80W och 150W. I beräkningarna av inre värmelaster användes 100W per person. Vilket leder till en effekt på 13W/m^2 . Det betyder att de inre värmelasterna i rummet är 31W/m^2 .

Yttre värmelaster av solstrålningen räknades på basen av fönsterytan i rummen, byggnadens position samt väderstreck, skuggning och solstrålningens intensitet. Fönsterytan i rummen är 7.2m^2 . Solstrålningens intensiteten under referens tidsperioden var i medeltal 206W/m^2 . Som störst var den stundvis 838W/m^2 . Det betyder att solstrålningen i medeltal tillförde en värmelast på c. 313W, utan solskydds fönsterfilmer och som störst var värmelasten från solstrålning stundvis 1275W.

Efter att fönsterfilmerna installerades så är den via solstrålning tillförda värmelasten i medeltal 234W och som störst stundvis 951W. Uträkningarna gjordes enligt Finlands byggbestämmelser D5.

10.4 Mätningarna

Eftersom mätningarna i fsthögheten gjordes i en sjukhusavdelning som är i bruk så fanns det många variabler som kan påverka mätresultaten. Eftersom användningsändamålet och botten av rummen är likadana, är de största variablerna som ändrar på mätresultaten från

rum till rum beroende av hur personalen har använt rummen. Till exempel hur spjälgardinerna har används och hur rummen har fläktats med att öppna fönstren.

En faktor som påverkade mätresultaten är att sommaren 2015 var mycket sval. Det påverkar mätresultaten eftersom solskyddsfönsterfilmerna är till största nytta då det är som varmast och när solstrålningen är som starkast.

De förväntade resultaten av mätningarna var att temperaturen i alla rum skulle vara relativt lika i början när inga rum hade solskyddsfönsterfilmer. Sedan när solskyddsfönsterfilmerna installerades i 2 av rummen så skulle deras medeltemperatur sjunka i förhållande till referensrummet utan fönsterfilm. När även det sista referensrummet skulle få sin fönsterfilm så skulle medeltemperaturen i alla rum vara lika men på en lägre nivå än i början då inga rum hade solskydds fönsterfilmer.

Den från temperaturloggerna insamlade datan stämmer relativt bra med de förväntade resultaten. Alla rum hade i stort sett samma temperatur när inga rum hade fönsterfilmer. Då 2 av rummen fick fönsterfilmer sjönk temperaturen i de rummen jämfört med deras referensrum med 1.5°C. Men denna skillnade varade endast i några dagar i början av perioden då det fanns 2 rum med fönsterfilmer och 1 rum utan fönsterfilmer. Orsaken till att temperaturskillnaden jämnade ut sig kan ha många orsaker. Det kan bero på att spjälgardinerna har används olika, att utrymmena vädrats olika samt att luftströmmarna i utrymmena vars dörrar alltid är öppna för att personalen lätt skall kunna röra sig mellan rummen har jämnat ut temperaturskillnaden. Eftersom det inte gick att följa med hur luften rörde sig i avdelningen eller hur utrymmena användes, går det inte att på basen av denna undersökning säga vad som orsakade att temperaturen jämnade ut sig.

När även referensrummet fick solskyddsfönsterfilmer installerade sjönk igen temperaturen i rummet där fönsterfilmerna installerades, den här gången med 1°C. På basen av detta kan man säga att fönsterfilmerna definitivt påverkar värmeförhållandena i avdelningen.

10.5 Användarnas åsikter

För att få veta hur användarna, alltså personalen i avdelningen ansåg att solskyddsfönsterfilmerna påverkade inomhusklimatet i avdelningen så delades det ut ett frågeformulär som de fick fylla i.

Svaren på frågeformuläret lyder som följande:

60% tyckte att solskyddsfönsterfilmerna inverka positivt på arbetsmiljön.

Av de som svarade ansåg 80% att fönsterfilmerna skulle kunna vara till nytta annanstans i sjukhuset.

Solskyddsfönsterfilmerna hade en positiv helhetsinverkan enligt 60% av de som svarade. 80% tyckte att obekvämligheten i utrymmena minskade.

60% ansåg att fönsterfilmerna påverkade användningen av spjälgardiner.

Rummenas allmänna trivsel ökade enligt 40% av de som svarade.

Av de som svarade tyckte 80% att installeringen av fönsterfilmerna störde arbetsmiljön medan 20% tyckte att installeringen inte alls var till besvär.

Enligt svaren på frågeformulären kan man konstatera att största delen av personalen är av den åsikten att installeringen av solskyddsfönsterfilmer i avdelningen för att förbättra inomhusklimatet lyckades.

10.6 Slutsats

På basen av svaren i frågeformulären kan man säga att solskyddsfönsterfilmerna hade en klar förbättrande inverkan på inomhusklimatet i avdelningen.

På basen av mätdatan är det svårare att ge ett lika entydigt svar om fönsterfilmernas inverkan eftersom det fanns såpass många variabler som påverkade mätningarna och som inte kunde tas i beaktan i detta arbete. Men överlag stödde också mätningarna uppfattningen om att fönsterfilmerna förbättrade inomhusklimatet i avdelningen genom att sänka temperaturen i utrymmena.

Även den lätta installeringen av fönsterfilmerna som gör att man inte behöver avbryta användningen av utrymmena där fönsterfilmerna installeras gör att fönsterfilmerna lämpar sig ytterst bra för sjukhusmiljön.

För att få en ännu noggrannare bild av hur fönsterfilmerna påverkar inomhusklimatet borde man kunna göra en dylik undersökning under en längre värmebölja då solskyddsfönsterfilmerna är som allra effektivast.

Dessutom skulle det vara bra att göra en IDA-ICE simulering av utrymmet. Detta kräver dock mycket noggrann kännedom om byggnadens struktur, uppvärmningsystem, kylsystem, sjukhusutrustning och användning av utrymmena. Detta skulle vara ett bra ämne för fortsatta studier.

LÄHTEET

BP statistical review of world energy 2015, Julkaistu: 6.2015, Saatavilla:

<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>, Haettu: 16.12.2015

D3 Laskentaopas, Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen, Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Suomen rakentamismääräyskokoelma D5, 2012

Lämpösäteily, Julkaistu: 15.2.2012, Saatavilla: <http://physics.aalto.fi/pub/kurssit/Tfy-3.15xx/Teoria/tyo15.pdf>, Haettu: 21.10.2015

M. Keskkikastari, Matkapuhelinverkkojen kuuluvuusmittaukset energiatehokkaissa rakennuksissa, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 9.1.2013

Motiva, Ikkunoiden luokitukset ja säännöt, Julkaistu: 17.6.2013, Saatavilla:

http://www.motiva.fi/files/8301/Ikkunoiden_energialuokituksen_saannot_uusittu_2011_paivitetty_29112013.pdf, Haettu: 3.11.2015

[Seppänen 2006a] O. Seppänen, W. Fisk, 2006 Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance and health. ASHRAE Research journal. Vol 12, No 4

O. Seppänen, W. Fisk, Lei, 2006, Room temperature and productivity in office work. Healthy Buildings, Vol 1.

Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet, Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

Sisäympäristötavoitteiden asettaminen ja sisäympäristön laadun seuranta, 2012,
Saatavilla: [http://figbc.fi/wp-
content/uploads/2012/08/varkki_sisaymparisto_indikaattorit_luonnos.pdf](http://figbc.fi/wp-content/uploads/2012/08/varkki_sisaymparisto_indikaattorit_luonnos.pdf), Haettu:
23.9.2015

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 2012, RIL 259-2012:
Matalaenergiarakentaminen

Työterveyslaitos, Lämpöviihtyvyys, Julkaistu: 19.12.2014, Saatavilla:
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/lampoolot/lampoviihtyisat_olot/Sivut/default.aspx,
Haettu: 20.10.2015

W.Beck , D.Dolmans, G.Dutoo, A.Hall ja O.Seppänen, 2011, Aurinkosuojaus, Rehva
ohjekirja no 12.

[Wargocki 2006] Wargocki, Wyon, 2006, Research report on effects of HVAC on stu-
dent performance ASHRAE Journal. Vol 48

LIITTEET

Liite 1: Töölön sairaalan ikkunakalvotestin kyselylomake sairaalan henkilökunnalle.

Töölön sairaalan ikkunakalvotestin kyselylomake sairaalan henkilökunnalle

	En osaa sanoa	Ei lainkaan	Hieman	Kohtuullisesti	Paljon	Hyvin paljon
Aiheuttiko kalvojen asennus merkittävää haittaa työympäristössä?						
Paransivatko ikkunakalvot huoneiden yleistä viihtyvyyttä?						
Vaikuttivatko ikkunakalvot sälekaihtimien käyttöön?						
Vähениkö huoneiden tukaluus merkittävästi kalvojen myötä?						
Vaikuttivatko kalvot positiivisesti potilaiden hyvinvointiin ja toipumiseen?						
Oliko potilailta saatu palaute positiivista?						
Saatiinko kalvoilla aikaan merkittävä kokonaishyöty?						
Luuletko että vastaavista kalvoista voisi olla hyötyä muualla sairaalassa?						
Vaikuttivatko kalvot positiivisesti työolosuhteisiin?						

Vapaamuotoisia kommentteja: