

Simulering av energiförbrukningen i Aalto- universitets campusbibliotek

Ari Piippo

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerande Energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Ari Piippo
Arbetets namn:	Simulering av energiförbrukningen i Aalto-universitets campusbibliotek
Handledare (Arcada):	Kaj Karumaa
Uppdragsgivare:	Oy PQR Consult Ab
<p>Sammandrag:</p> <p>Detta examensarbete gjordes som uppdrag för Oy PQR Consult Ab. Syftet med detta examensarbete var att komma till en slutsats om hur stor förbättring saneringen av undersökningsobjektet kan förväntas ha på energiförbrukningen. Som undersökningsobjekt har fungerat Aalto-universitets campusbibliotek i Otnäs. Biblioteket skall genomgå sanering, där bl.a. källarutrymmen på biblioteksdelen görs till ett stort lärocenter och hustekniska system uppdateras till att motsvara dagens krav. Detta kräver bl.a. att ventilationssystemet förses med värmeåtervinningsaggregat och utrymmen med kylanläggningar.</p> <p>I arbetet har IDA ICE använts för att bygga upp två versioner av byggnaden. Den ena versionen av byggnaden är byggt att motsvara dess nuvarande läge, medan det andra att motsvara kommande med projekterade värden och aggregat. För dessa versioner har sedan energisimuleringar på ett år utförts och resultat jämförts sinsemellan. Tyngdpunkten har hållits vid den totala förbrukningen av köpenergi, med en inblick på ändringar i omständigheterna.</p> <p>Från resultaten kan ses att det uppstår en betydande förbättring i energiförbrukningen och även förbättring i omständigheterna under varm tidsperiod. Förbättring i energiförbrukning medför även en betydande minskning i årliga energikostnaderna.</p>	
Nyckelord:	Energiförbrukning, värmeförluster, energisimulering, Oy PQR Consult Ab, IDA ICE
Sidantal:	40+3
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	5.6.2015

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distributed Energy Systems
Identification number:	
Author:	Ari Piippo
Title:	Simulating energy consumption of campus library at Aalto-university
Supervisor (Arcada):	Kaj Karumaa
Commissioned by:	Oy PQR Consult Ab
<p>Abstract:</p> <p>This thesis was made as an assignment for Oy PQR Consult Ab. The target for the assignment was the campus library at Aalto-university, which is being renovated. The renovation will, among other things include, the restructuring of two basement floors to form a large learning center. Furthermore, all building services will also be updated to match modern requirements. In practice, this means that for example the ventilation system will be endowed with heat recovery units and rooms will be equiped with cooling. The goal of this thesis was to determine what effect the renovation will have on the energy consumption at the campus library.</p> <p>The focus of this research was on the complete consumption of delivered energy, but also on the change in circumstances inside the building. To investigate this, a simulations software (<i>IDA ICE</i>) was used to create two versions of the building. The first version represented the current state at the library and the second version illustrated the future state, including the planned enhancements. A one-year energy simulation was then run on both of these versions and the results were compared and analyzed.</p> <p>The results show that, big improvements to the energy consumption can be achieved and also the indoor circumstances were significantly improved in warm weather conditions. These improvements therefore have a direct effect to the yearly energy expenses.</p>	
Keywords:	Energy consumption, heat loss, energy simulation, Oy PQR Consult Ab, IDA ICE
Number of pages:	40+3
Language:	Swedish
Date of acceptance:	5.6.2015

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Hajautetut Energiajärjestelmät
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Ari Piippo
Työn nimi:	Aalto-yliopisto kampuskirjaston energiankulutuksen simulointi
Työn ohjaaja (Arcada):	Kaj Karumaa
Toimeksiantaja:	Oy PQR Consult Ab
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Oy PQR Consult Ab:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli simuloimalla selvittää saneerauksen vaikutus energiankulutukseen Aalto-yliopiston kampuskirjastossa. Kirjastoon tullaan tekemään saneeraus, jossa muun muassa kirjastopuolen kellarikerrokset yhdistetään suureksi oppimiskeskukseksi ja talotekniset järjestelmät päivitetään vastaamaan nykyajan vaatimuksia. Tämä tarkoittaa muun muassa että ilmanvaihtojärjestelmään lisätään lämmöntalteenotto ja tiloihin jäähdytys.</p> <p>Opinnäytetyössä käytettiin apuna IDA ICE -simulointiohjelmaa, jolla mallinnettiin kaksi versiota rakennuksesta. Ensimmäinen versio tehtiin vastaamaan rakennusta sen nykytilanteessa kun taas toinen tulevaa tilannetta suunnitelluilla arvoilla ja koneilla. Näille versioille suoritettiin vuoden energiasimuloinnit, joiden tuloksia vertailtiin keskenään. Työssä keskityttiin ostetun energian kokonaiskulutukseen mutta myös tarkasteltiin saneerauksen vaikutusta sisäolosuhteisiin.</p> <p>Tuloksista selvisi, että energiankulutus parani huomattavasti sekä lämmintä ajanjaksoa tarkasteltaessa myös rakennuksen sisäolosuhteet paranivat. Näin ollen myös vuosittaisiin energiakustannuksiin syntyi merkittävä parannus.</p>	
Avainsanat:	Energiankulutus, lämpöhäviöt, energiasimulointi, Oy PQR Consult Ab, IDA ICE
Sivumäärä:	40+3
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	5.6.2015

INNEHÅLL / CONTENTS

1	Inledning	8
2	Energiförbrukning	9
2.1	Graddagstal	9
3	Uppvärmningsbehovet i byggnader	10
3.1	Värmeöverföring	12
3.1.1	<i>Konduktion</i>	13
3.1.2	<i>Konvektion</i>	13
3.1.3	<i>Strålning</i>	13
3.2	Värmetransport i konstruktioner	14
3.2.1	<i>Fönster</i>	15
3.2.2	<i>Isoleringsfönster</i>	16
3.3	Köldbryggor	18
4	Ventilation	18
4.1	Specifika fläkteffekt	19
4.2	Värmeåtervinning	21
4.3	Luftläckage	22
4.4	Kylsystem	24
5	Värmelaster och inomhusklimat	24
5.1	Operativ temperatur	26
6	IDA ICE	28
6.1	Simuleringsmodeller	28
7	Redogörelse om undersökningsobjektet	30
7.1	Byggnadsdelar	30
7.2	Ventilation	31
7.3	Kyla	33
7.4	Uppvärmning	34
8	Simuleringar	34
8.1	Energiförbrukning	34
8.1.1	<i>Nuvarande läget</i>	35
8.1.2	<i>Kommande läget</i>	36

8.1.3	Jämförelse	37
8.2	Omständigheter	41
9	Slutsats.....	43
	Källor / References	45
	Bilagor / Appendices.....	48
	Bilaga 1. Schema över nuvarande ventilationssystem	48
	Bilaga 2. Schema över kommande ventilationssystem.....	49

Figurer / Figures

Figur 1. Typisk fördelning av värmeförluster samt uppvärmningsenergi enligt källor i en affärsbyggnad (Seppänen & Seppänen 2010 s. 60).	11
Figur 2. Sambandet mellan ädelgasens mängd och värmegenomgångskoefficienten i ett 1,2 m x 1,2 m MSE-fönster (Hemmilä & Heimonen 1999 s. 23).	18
Figur 3. Roterande värmeväxlare. (Swegon Ab 2014 s. 31)	22
Figur 4. Värmeförnimmelse enligt PMV och PPD (SFS-EN ISO 7730) (Sandberg 2014b s. 38).	27
Figur 5. Skärningsbild av simuleringsmodellen	29
Figur 6. Simuleringsmodellen av campusbiblioteket.	29
Figur 7. Simuleringsmodellen av campusbiblioteket	30
Figur 8. Månatliga förbrukning av köpenergi, nuvarande läget.	35
Figur 9. Månatliga förbrukning av köpenergi, kommande läget.	37
Figur 10. Jämförelse mellan förbrukning av fjärrvärme.	38
Figur 11. Jämförelse mellan förbrukning av el.	38
Figur 12. Fördelning av energianvändning för respektive läge.	39
Figur 13. Årliga energikostnader.	40
Figur 14. Jämförelse mellan rumstemperaturer under varmaste vecka.	41
Figur 15. Jämförelse i Fangers trivselindex under varmaste vecka.	42

Tabeller / Tables

Tabell 1. Specifika eleffekter för ventilationen (MMF 176/2013 s. 8).	20
Tabell 2. Årsverkningsgrader för ventilationens värmeåtervinning. (MMf 176/2013 s. 8)	22
Tabell 3. Standardanvändning av byggnader och interna värmelaster per uppvärmd nettoarea (Finlands ByggBS D3 2012 s. 19).	26
Tabell 4. U-värden för konstruktionsdelar i nuvarande och kommande läget.	31
Tabell 5. Teknisk information om nuvarande ventilationsaggregat.	32
Tabell 6. Teknisk information om kommande ventilationsaggregat.	33
Tabell 7. Förbrukning av köpt energi i det nuvarande läget.	35
Tabell 8. Förbrukning av köpt energi i det kommande läget.	36

1 INLEDNING

Detta examensarbete kommer att redogöra för energiförbrukningen och omständigheterna i campusbiblioteket Otnäs, med hjälp av ett dynamiskt simuleringsprogram. Byggnaden skall undergå ändringar i konstruktionen och hustekniska systemet uppdateras till att möta dagens krav. Detta betyder bl.a. att ventilationssystemet förnyas med aggregat som är försedda med värmeåtervinning, U-värden för konstruktionsdelar förbättras och utrymmen förses med kyla. Det nuvarande läget kommer att jämföras med det kommande och slutsatser dras om hurudan effekt saneringen kan förväntas ha.

Examensarbetet har gjorts som uppdrag för Oy PQR Consult Ab, för att stöda det pågående VVS-planeringsarbetet i objektet, och ge en blick på ändringen som saneringen medför. Genom simuleringar vill fås en slutsats om hur stor förbättring som sker i förbrukningen av energi och omständigheterna i byggnaden.

Största delen av energin som förbrukas i byggnader går åt till strävan efter bra inomhusklimat. Av den totala energiförbrukningen i Finland går ca 40 % åt till energianvändning i byggnader. Bra energiprestanda minskar på byggnadens livscykelkostnader och medför oftast förbättring i boendekomfort. (Miljöministeriet 2014, Sanberg 2014b s. 37)

Syftet med detta examensarbete är att genom dynamiska simuleringar undersöka energiförbrukningen och omständigheten i byggnaden och hurudan den kan förväntas vara efter saneringen. Eftersom det nuvarande ventilationssystemet inte möter dagens krav bl.a. på grund av ingen värmeåtervinning, kommer antagligen den största förbättringen ske genom förnyandet av ventilationssystemet.

Tyngdpunkten i arbetet kommer att vara på den totala förbrukningen av köpt energi. Energiförbrukning som uppstår av användning av elektroniska apparater samt tappvarmvatten kommer inte att undersökas närmare. Vid simulering av energiförbrukningen kommer standardvärden från Finlands ByggBS D3 och D5 användas som stöd.

I detta examensarbete kommer att redogöras de olika värmeförluster som uppstår i byggnader, deras inverkan på energiförbrukningen och hur de kan beräknas. Undersökningssdelen kommer att uppfatta simuleringar av den årliga energiförbrukningen och omständigheter för både det nuvarande läget samt kommande. Jämförelse mellan skillnaderna kommer att framföras för att bilda en uppfattning om saneringens effekt.

2 ENERGIFÖRBRUKNING

Byggnadens energibehov består av behovet för uppvärmning av bl.a. utrymmen, ventilationsluft och tappvatten, men även kylning av utrymmen och elanvändning. I samband med energibehovet talas om nettoenergibehov. Nettoenergibehov används för mängden uppvärmningsenergi exclusive inre värmelaster, solstrålningsenergi genom fönster och återvunnen energi från frånluft. Nettobehovet av uppvärmningsenergi täcks med energi från uppvärmningssystemet som fördelas och distribueras till utrymmen, tilluft och tappvatten. (Finlands ByggBS D5 2012 s. 3-13)

Byggnadens energiprestanda visas med ett E-tal och enligt det indelas i energiprestandaklass mellan A och G. E-talet baserar sig på den årliga förbrukningen av köpt energi enligt standardanvändning samt energiformsfaktorer och uttrycks i kWh_E/m²år. Energiformsfaktorn visar hur mycket naturresurser som krävs för att alstra den energi som byggnaden förbrukar under dess livstid. Enligt Finlands ByggBS D3 (2012 s. 8), är energiformsfaktorn för fjärrvärme 0,7, medan faktorn för el är 1,7. (Finlands ByggBS D3 2012 s. 8-13, Motiva och Miljöministeriet 2013 s. 2, Miljöministeriet 2011 s. 3-4)

2.1 Graddagstal

Till uppvärmningsbehovet påverkar i hög grad klimaten som ändrar årligen. Att följa med och jämföra energiförbrukningen under olika tidsperioder skapar basen till effektiv energianvändning. Graddagstal används för att normera verkliga förbrukningar av uppvärmningsenergi. Med hjälp av detta kan årliga eller månatliga förbrukningsmängder för samma byggnad jämföras. Orsaken varför graddagstal används för att bedöma byggnadens uppvärmningsbehov baserar sig på att byggnadens energiförbrukning är närapå

proportionell med skillnaden på inne- och utetemperaturerna. (Ilmatieteenlaitos 2015, Motiva 2014, Seppänen 2001 s. 35, RT 52-11172 2014 s. 1,2,4)

Graddagstal fås genom att räkna ihop dagliga skillnaden mellan inne- och utetemperaturer för varje månad. Som innetemperatur antas i allmänhet vara +17 °C och dygnets medeltal som utetemperatur. Som ett jämförelsevärde av ett normalår, används medeltalet av graddagstal från åren 1981-2010, som för Helsingfors är 3878. Det verkliga antalet graddagar för Helsingfors år 2014 var 3464. Eftersom antalet graddagar var mindre än jämförelsevärdet betyder det att året var i medeltal varmare. (Ilmatieteenlaitos 2015, Motiva 2014, Seppänen 2001 s. 35, RT 52-11172 2014 s. 2,4)

Vid jämförelse av energiförbrukningen för en byggnad under olika tidsperiod används nedanstående formel. Energimängden som går åt till att värma upp tappvarmvattnet är inte beroende av utetemperaturen och räknas därför bort från den totala uppvärmningsenergin före normering. (RT 52-11172 2014 s. 1)

$$Q_{\text{norm}} = \frac{S_{N\text{vpkunta}}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} \times Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$$

där

Q_{norm} byggnadens normerade förbrukning av uppvärmningsenergi

$Q_{\text{toteutunut}}$ energi som går åt till uppvärmning av utrymmen

$$= Q_{\text{kok}} - Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$$

Q_{kok} byggnadens totala förbrukning av uppvärmningsenergi

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ energiförbrukning till tappvarmvatten

$S_{N\text{ vpkunta}}$ normalårets eller – månads (1981..2010) graddagstal för jämförelseorten

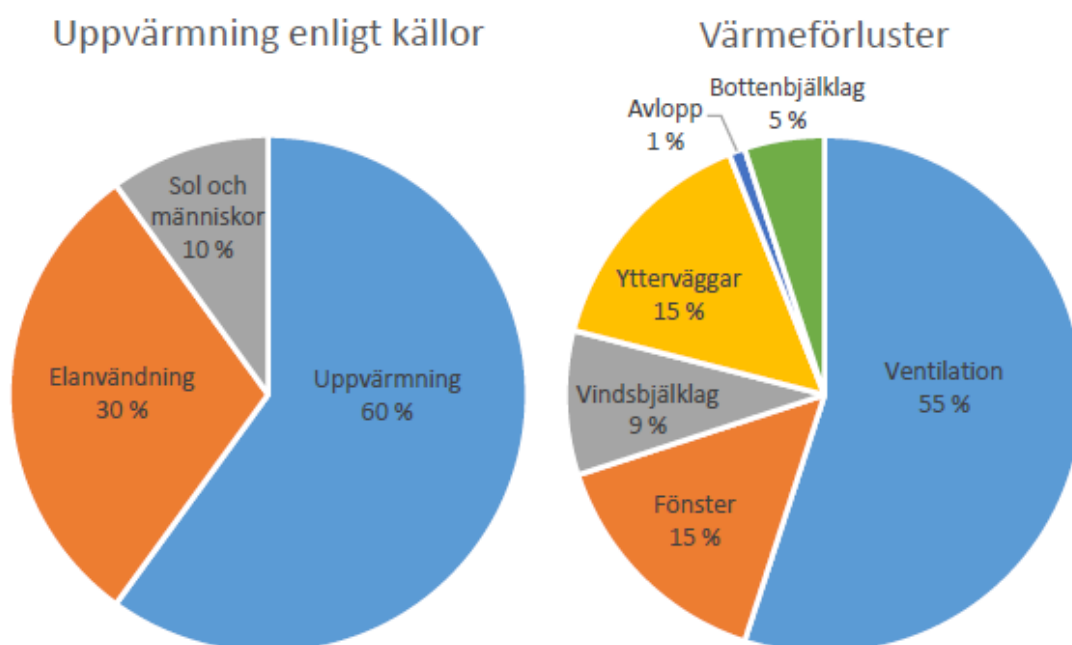
$S_{\text{toteutunut vpkunta}}$ förverklig graddagstal för månad eller ett år för jämförelseorten

3 UPPVÄRMNINGSBEHOVET I BYGGNADER

Byggnadens uppvärmningsbehov består av värmeförluster genom manteln, ventilationen och uppvärmning av tappvarmvatten. Ytterhöljets främsta uppgift är att behålla den inhämtade värmen, och därmed upprätthålla bra inomhusklimat. Till behovet av upp-

värmningsenergi påverkar centralt inne- och utetemperaturen. Uppvärmningsaggregaten dimensioneras enligt utetemperaturer givna i Finlands ByggBS D3, så att uppvärmningsbehovet uppfylls även under ytterst kalla dagar. Som dimensionerande utetemperatur i Esbo, används -26 grader Celsius. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 58-59, Finlands ByggBS D3 2012 s. 29)

Beaktansvärda aspekter i planerings- och byggskedet, som påverkar byggnadens uppvärmningsbehov, är bl.a. byggnadens form och riktning samt antal fönster och deras isoleringsförmåga. Då byggnadens uppvärmningsbehov granskas, kan detta göras från två olika håll. Från behovet av uppvärmningseffekten, dvs. dimensioneringens synvinkel, men även från förbrukningens synvinkel. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 58-59)



Figur 1. Typisk fördelning av värmeförluster samt uppvärmningsenergi enligt källor i en affärsbyggnad (Seppänen & Seppänen 2010 s. 60).

I figur 1. är illustrerat typiska fördelningen av värmeförluster och uppvärmningsenergi i en affärsbyggnad. Byggnader är klassificerade enligt deras användningssyfte, vilket gör att även bibliotek och arkiv behandlas som affärsbyggnader. Från figuren kan ses att ventilationen orsakar den största värmeförlusten, därefter som näst störst är transmissionsförluster genom ytterväggar och fönster. Från fördelningen av uppvärmningsenergi kan ses att största andelen, dvs. 60 % alstras genom själva uppvärmningen. Näst största

uppvärmningsenergi källan är elanvändningen i fastigheten. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 60, Finlands ByggBS D3 2012 s. 28)

Värmedistributionssystemets främsta uppgift är att täcka netto uppvärmningsbehovet i utrymmen, som uppstår genom värmeförluster. Med nettobehov menas i detta sammanhang den uppvärmningsenergi som inte upptas t.ex. från solvärme genom fönstret. För att beräkna årliga energibehovet för uppvärmning av utrymmen kan används nedanstående formel. (Finlands ByggBS D5 2012 s. 40-41)

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} + Q_{\text{varastointi,ulos}}$$

där

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	energibehov för uppvärmning av utrymmen, som täcks med distributionssystemet kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	nettoenergibehovet för uppvärmning av utrymmen, som täcks med värmedistributionssystemet kWh/a
$Q_{\text{jakelu,ulos}}$	värmeförlust från värmedistributionssystemet i icke-uppvärmt utrymme kWh/a
$Q_{\text{varastointi,ulos}}$	värmeförlust som uppstår från lagring
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	värmedistributionssystemets verkningsgrad

Vid beräkning av energibehovet tas i beaktande värmeförluster som uppstår på grund av lagring och då ledningarna är i icke-uppvärmt utrymme, som t.ex. i marken. (Finlands ByggBS D5 s. 41)

3.1 Värmeöverföring

Värme överförs i ett ämne alltid från högre temperatur till lägre, och försöker samtidigt jämna ut temperaturskillnaden. Värmeöverföring kan ske genom värmeledning, strålning och konvektion. Från uppvärmningsbehovets synvinkel anses värmeledning vara den mest centrala processen, eftersom värmeförluster genom byggnadsmanteln i stor grad uppstår genom ledning. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 60-61)

3.1.1 Konduktion

Värmeledning (konduktion) är den enda överföringsformen i fast och genomskinligt ämne. Processen sker genom att rörelse-energin i ett ämnets molekyler överförs till en annan. Överföringsmängden per ytenhet kan räknas med hjälp av Fouriers lag, där minustecknet står för att värme alltid strävar till att gå från en yta med högre temperatur till lägre. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 60-61, Seppänen 2001 s. 57, Fläkt Woods s. 31)

$$\phi = -\lambda A \frac{T_1 - T_2}{s}$$

där

ϕ	värmeflödet, W/°C
λ	materialets värmeledningsförmåga, W/m°C
A	materialets yta, m ²
T ₁ , T ₂	temperaturer, °C
s	lagrets tjocklek

3.1.2 Konvektion

Konvektion är en värmeöverföringsform där värme flyttar sig med gas eller vätska i rörelse. När det uppstår en temperaturskillnad mellan en fast yta och omgivande gas eller vätska, överförs värme med konvektion till ytan eller bort från det. Ifall strömningen på ytan orsakas enbart av temperaturskillnaden, kallas det för naturlig konvektion. Då det orsakas på grund av en utomstående kraft såsom vind eller fläkt talas det om påtvingad konvektion. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 61-63, Fläkt Woods 2009 s. 32-33)

3.1.3 Strålning

Värmestrålning är elektromagnetisk strålning som varje partikel utger på basis av dess temperatur oberoende av omgivande temperatur, och som inte behöver ett medium för att överföras. Då strålningen träffar en annan partikel absorberas det delvis och överför energi. Strålningsvärme kan delas i två olika typer: högtemperaturstrålning som är över ca.+500°C och lågtemperaturstrålning som är under ca.+250°C. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 63, Fläkt Woods 2009 s. 32-33, Swegon Ab 2014 s. 15)

3.2 Värmetransport i konstruktioner

Vid beräkning av transmissionsförluster genom byggnadsdelar eller konstruktion, beaktas materialets värmegenomgångskoefficient (U-värdet). U-värdet markerar värmeflödet som vid stillastående tillstånd passerar genom byggnadsdelen då temperaturen på var sin sida av byggnadsdelen är en enhet stor. Som enhet för U-värdet används $W/(m^2 K)$, ju lägre U-värdet är, desto bättre är dess värmeisolering. För att kunna bestämma värmegenomgångskoefficienten för en byggnadsdel, måste värmemotståndet (R) för samtliga materialskikt avgöras enligt nedanstående formel. (Finlands ByggBS C4 2002 s. 3, 5, Petersson 2007 s. 239, 241, Saint-Gobain ISOVER Ab)

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}$$

där

R_i	Enskilda skikts värmemotstånd, ($m^2 K/W$)
d_i	Enskilda materialskiktets tjocklek, (m)
λ	Enskilda materialets värmeledningsförmåga, ($W/m K$)

Utöver materialskiktets värmemotstånd skall även värmeövergångsmotståndet på ytor beaktas. För att beräkna den totala värmemotstånden från inne- till uteluft måste övergångsmotstånden R_{si} och R_{se} räknas med. Därefter kan värmegenomgångskoefficienten för byggnadsdelen bestämmas. (Petersson 2007 s. 239, 241)

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se}$$

R_T	Totala värmemotstånd, ($m^2 K/W$)
ΣR_i	Summan av värmemotstånd
R_{si} / R_{se}	Övergångsmotstånd på inner- respektive yttersida

$$U = \frac{1}{R_T}$$

där

U	Värmegenomgångskoefficient, $W/(m^2 K)$
R_T	Byggnadsdelens totala värmemotstånd från omgivning till omgivning

En stor andel av byggnadens värmeförluster uppstår genom byggnadsmanteln, dvs. ytterväggar, vinds- och bottenbjälklag, fönster och dörrar. Förlusten som uppstår kan räknas individuellt för varje byggnadsdel med hjälp av följande formel. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 64-68, Finlands ByggBS D5 2012 s. 17)

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

där

Q_{rakosa}	ledningsförlust genom byggnadsdel, kWh
U_i	byggnadsdelen i:s värmegenomgångskoefficient, W/(m ² K)
A_i	byggnadsdelen i:s area, m ²
T_s	innetemperatur, °C
T_u	utetemperatur, °C
Δt	tidsintervall, h
1000	koefficient som används för att omvandla resultatet till kilowattimmar

Värmeförlusten som uppstår för varje byggnadsdel kan sedan adderas ihop för att få fram den totala värmeförlusten för byggnadsmanteln (Finlands ByggBS D5 2012 s. 16).

3.2.1 Fönster

Fönster är byggnadsmantelnns sämsta delar med tanke på isoleringsförmågan. Genom att rikta fönster mot söder kan solenergi utnyttjas och däröver minskar behovet av uppvärmningsenergi. Detta förutsätter dock att byggnaden kan tack vare dess värmekapacitet och justeringar i uppvärmningssystemet tillgodo ta solvärme. Med tanke på förbrukning av uppvärmningsenergi är ett fönster riktat mot norr oförmånligast men å andra sidan minskar kylbehovet i utrymmet. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 72)

När fönstrets energieffektivitet undersöks är det inte enbart U-värdet som avgör effektiviteten, utan även dess g-värde. G-värdet står för den totala solenergitransmissionen genom fönstret. Fönster med lågt U-värde men samtidigt högt g-värde, passar bäst i utrymmen där solvärmelasten inte orsakar problem. Ifrågavarande fönster hindrar värme-

förluster ut genom fönstret men släpper samtidigt in gratis värme-energi och ljus. Ifall utrymmet utsätts för höga värmelaster genom fönstret och således behov av nedkylning är det lönsamt att välja fönster med lågt g-värde. (Pilkington 2015 s. 4)

Fönstrets värmetekniska egenskaper beror i stort sätt av andelen glasskivor och luftspalter, deras avstånd och ytbeläggnings. Även ett tunt plastfilm istället för glaset motsvarar ett lager glas. Värmegenomgångskoefficienten för fönster kan räknas med formeln nedan med hjälp av materialets värmemotstånd. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 72, Sandberg 2014a s. 433)

$$k_v = \frac{1}{m_s + m_u + m_{i1} + m_{i2} + \dots + m_{in}}$$

där

k_v värmegenomgångskoefficient

m_i luftspaltens värmemotstånd

$m_s + m_u$ ytter- och innerytans värmemotstånd; för deras summa anges värdet 0,2 m²C/W för upprätta fönster och 0,18 m²C/W för vågräta

m_{in} luftspalts värmemotstånd

Enligt Finlands ByggBS D3 (2012 s. 11) får maximal värmegenomgångskoefficient för fönster i varmt utrymme vara högst 1,8 W/(m² K) och i delvis uppvärmt utrymme högst 2,8 W/(m² K). Vid beräkning av referensvärmeförlusten för byggnaden, kan användas värdet 1,0 W/(m²K) för fönster. Då värmeisoleringskoefficienten för gamla fönsterytor inte kan konstateras från dokument eller genom mätningar används riktvärden som är givna i MMf 176/2013 tabell 1. Som värmegenomgångskoefficient för fönster i byggnader före år 1969 används värdet 2,8 W/m²K. Som totala solenergitransmittans (g) används 0,6 och korrigeringskoefficienten (F) 0,5 för solstrålningens genomträngning. (Finlands ByggBS D3 2012 s. 11,13, MMf 176/2013 s. 7)

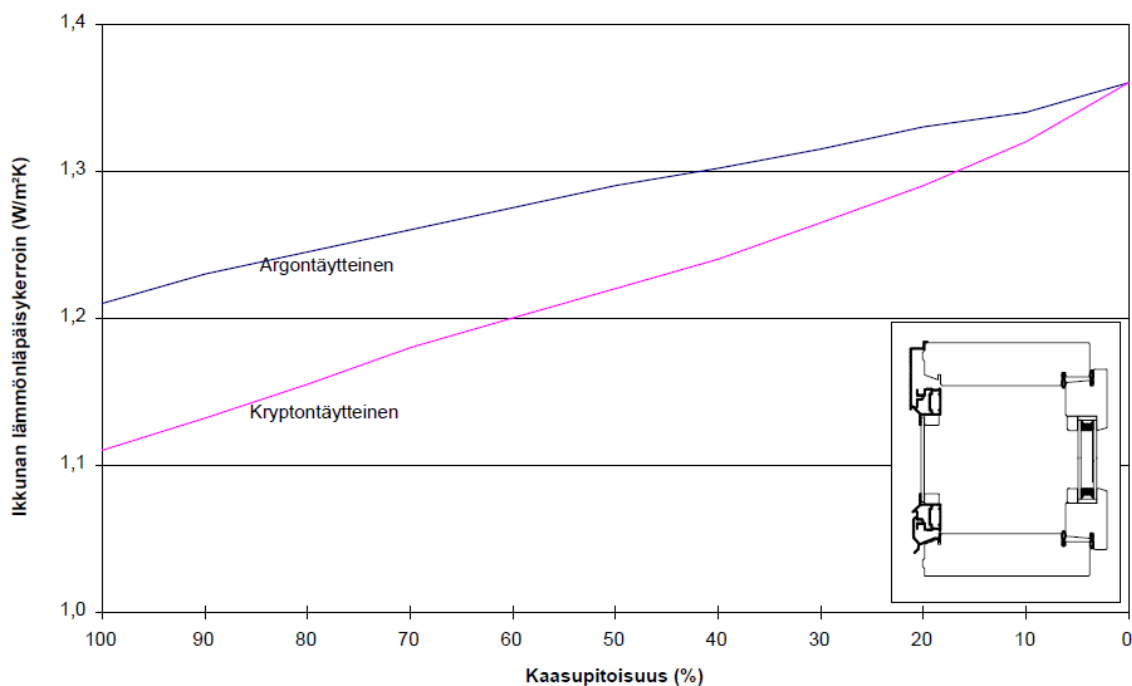
3.2.2 Isoleringsfönster

Isoleringsförmågan i fönster kan förbättras genom att fylla luftspalterna med ädelgas, som t.ex. argon, krypton eller xenon varav argon är den mest använda. Ädelgasens bra

isoleringsförmåga grundar sig på att det transporterar och leder värme sämre än luft. Nyttan i isoleringsförmågan ökar desto större molekyler ädelgasen i användning innehåller, å andra sidan betyder det mer sällsynta och dyrare gaser. Användning av argon som tilläggsisolering i fönster har en 0,2 till 0,3 W/(m² K) inverkan på U-värdet. (Hemmilä & Heimonen 1999 s. 22-23, RT 38-10941 2008 s. 5-6)

Gas i fönster läcker ut med tiden via kanttätningarna, läckagets mängd beror bl.a. på fel i tätningssmassan och dess genomtränglighet. Tillverkare anger ett nominellt procenttal för mängden ädelgas i nya fönster vilket oftast är 90 procent, och till detta tillåts en -5 till +10 procents avvikelse. Det tillåtna gasläckaget är under 1 procent per år. I undersökningar har det ändå visat sig att läckaget för ett typiskt CE-märkt fönster är mindre än 0,5 procent per år. Ett läckage på 5 procent, som kan tänkas uppstå under flera tio år, orsakar därmed ungefär 2 procents försvagning i värmeisoleringen. (Hemmilä & Heimonen 1999 s. 22-23, RT 38-10941 2008 s. 5-6)

I ett exempelfall, där isolerings fönstret innehåller från början 90 procent ädelgas, och har ett läckage på 1 procent per år, efter 20 år finns det 74 procent gas kvar. I figur 2. är illustrerat sambandet mellan fönstrets värmegenomgångskoefficient och procentuella andelen ädelgas. (Hemmilä & Heimonen 1999 s. 22-23)



Figur 2. Sambandet mellan ädelgasens mängd och värmegenomgångskoefficienten i ett 1,2 m x 1,2 m MSE-fönster (Hemmilä & Heimonen 1999 s. 23).

3.3 Köldbryggor

En köldbrygga uppstår då isoleringen på manteln av byggnaden försvagas lokalt, och därmed orsakar värmeförluster. Vanliga köldbryggor är t.ex. stomkonstruktion som tränger igenom isoleringen, fönsterfördjupningarna och fundamentals anslutning till själva väggkonstruktionen. Köldbryggornas betydelse för byggnadens värmeisolering har vuxit med byggnadens specialkrav. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 68)

Nedanstående formel kan användas för att bestämma värmeförluster som orsakas på grund av köldbryggor i fogarna mellan byggnadsdelar. Vid beräkning av köldbryggor tas till beaktande materialspecifika tilläggs-konduktans, vars riktvärden är presenterade i Finlands ByggBS D5 s. 18. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 68, MMf 176/2013 s. 7, Finlands ByggBS D5 2012 s. 17-18)

$$Q_{kylmäsillat} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

där

$Q_{kylmäsillat}$ ledningsförlust genom köldbryggor, kWh

l_k längd på linjär köldbrygga, m

Ψ_k tilläggs-konduktans från linjär köldbrygga, W/(m K)

Vid beräkning av köldbryggornas inverkan på värmeförluster i en existerande byggnad, kan även ett förenklat räknesätt tillämpas. Detta görs genom att öka på byggnadsmantelns ledningsförluster med 10 procent (MMf 176/2013 s. 7).

4 VENTILATION

Ventilationen orsakar ett stort energibehov i byggnader på grund av eftersträvan av bra inomhusklimat. Värmeförluster som uppstår via ventilationen är i hög grad beroende av luftbytets mängd. Vid dimensionering av luftmängden till utrymmen används i regel utrymmets area eller antal personer som vistas där. De dimensionerade luftmängden är

vanligtvis mellan 1-3 l/s per m² ifall dimensionering görs enligt arean, och mellan 4-25 l/s per person ifall det görs på basis av personer. Luftbytet skall vara minst 0,5 gånger utrymmets luftvolym per timme. Ventilationsluften uppvärms till rumstemperaturen endera i luftbehandlingsaggregatet, eller som en effekt från de andra elementen i utrymnet. (Sandberg 2014a s. 448, Seppänen & Seppänen 2010 s. 75)

Värmeförlusten som orsakas på grund av ventilationen kan räknas enligt följande formel. (Finlands ByggBS D3 2012 s. 14)

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d t_v (1 - \eta_a)$$

där

H_{iv}	specifik värmeförlust på grund av ventilation, W/K
ρ_i	luftens densitet, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	luftens specifika värmekapacitet, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v,poisto}$	beräknat frånluftsflöde vid standardanvändning, m ³ /s
t_d	genomsnittlig tid som ventilationssystemet är i funktion per dygn, h/24h
t_v	tid som ventilationssystemet är i funktion per vecka, dygn/7 dygn
η_a	årsverkningsgrad för värmeåtervinning från frånluft, dvs. relationen mellan den energi som tas till vara och återanvänds med hjälp av värmeåtervinningsaggregat per år och den energi som behövs för att värma upp ventilationsluften då ingen värme återvinns.

4.1 Specifika fläkteffekt

Elförbrukningen bildar en stor del av hela energibehovet, därmed kan byggnadens livstidskostnader och miljöaspekter påverkas genom bestämmelse-enlig planering. Strävan efter en lägre elförbrukningsnivå skall inte ändå gå på inomhusklimatets kostnad. För att visa hur eleffektivt ett ventilationssystem är, används SFP-tal (Specific Fan Power). Värdet visar hur stor eleffekt det krävs för systemet att transportera en kubik luft i sekunden. (Mäkinen & Railio 2014 s. 5)

Enligt Finlands ByggBS D3 (2012 s. 15), är den högsta tillåtna specifika eleffekten för ett mekaniskt till- och frånluftssystem 2,0 kW/(m³/s), medan det för mekaniska frånluftssystem är 1,0 kW/(m³/s). I mekaniska till- och frånluftssystem förs luften maskinellt ut med hjälp av fläktar, och in via fläktar hämtas frisk uppvärmd eller nerkyld luft. Ett maskinellt frånluftssystem för endast bort luft från byggnaden med hjälp av fläktar. I vissa undantag får den specifika eleffekten överskrida tidigare nämnda värden, t.ex. ifall klimathanteringen inomhus kräver en kraftigare ventilation. (Mäkinen & Railio 2014 s. 7, Finlands ByggBS D3 2012 s. 15)

Specifika fläkteffekten för hela ventilationssystemet är summan av samtliga fläktars sammanlagda tillförda eleffekt i kW, dividerat med projekterade till- eller frånluftslödet m³/s. (Mäkinen & Railio 2014 s. 7,10, Fläkt Woods 2009 s. 102)

$$SFP = \frac{P_{tuloilmapuhaltimet} + P_{poistoilmapuhaltimet}}{q_{max}}$$

där

SFP	luftbehandlingsaggregatets specifika fläkteffekt kW/(m ³ /s)
P _{tuloilmapuhaltimet}	summan av tillförd eleffekt till samtliga tilluftsfläktar, kW
P _{poistoilmapuhaltimet}	summan av tillförd eleffekt till samtliga frånluftsfäläktar, kW
q _{max}	byggnadens största projekterade till- eller frånluftslöde, m ³ /s

Ventilationssystemets elenergiförbrukning består av elen som förbrukas av samtliga fläktar och eventuella tillbehör, t.ex. pumpar. Ifall den specifika fläkteffekten inte kan konstateras från t.ex. ritningar eller i samband med inspektion, skall standardvärden enligt tabell 1. nedan användas. (MMF 176/2013 s. 8)

Tabell 1. Specifika eleffekter för ventilationen (MMF 176/2013 s. 8).

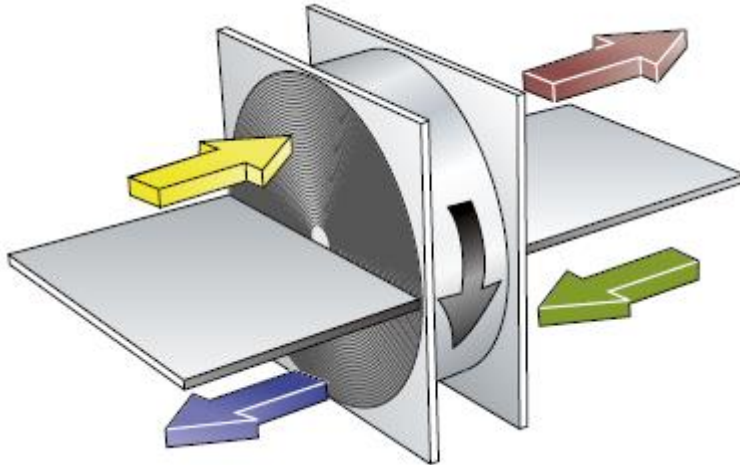
Ventilationssystem	Bygglov beviljat år	
	-2012	2012-
Självdraagsventilation	0,0 kW/m ³ /s	0,0 kW/m ³ /s
Fläktstyrd frånluft	1,5 kW/m ³ /s	1,0 kW/m ³ /s
Fläktstyrd till-/frånluft	2,5 kW/m ³ /s	2,0 kW/m ³ /s

4.2 Värmeåtervinning

Tilluft med samma temperatur som uteluften måste värmas upp förrän det kan distribueras till utrymmen. Detta kan göras energieffektivt genom att använda värmeåtervinningsaggregat. Med värmeåtervinning menas ett system som tar till godo värme från frånluft och överför det till tilluften eller till något annat uppvärmningssystem, och således sänker förbrukningen av uppvärmningsenergi. En betydande del av den värme som frånluften innehåller kan tas till vara i luftbehandlingsaggregatet med hjälp av en värmeväxlare och överförs till tilluften. Efter att luften passerat värmeväxlaren skall det ännu ytterligare värmas upp med en vattenburen radiator eller el. (Tasauslaskentaopas 2012 s. 43, Seppänen & Seppänen 2010 s. 171, 188, 260, Sandberg 2014b s. 159-160)

Värmeåtervinning anses vara viktigaste enskilda åtgärd för att minska energiförbrukningen. Mängden värme som kan återvinnas från frånluften stiger desto större temperaturskillnaden mellan från- och tilluften är. Som undantag finns tillstånden då frånluftens fukttinnehåll kan vid låga utetemperaturer orsaka påfrostning i återvinnaren, vilket leder till att återvinnaren måste nedregleras. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 188, 260, Fläkt Woods 2009 s. 41)

I figur 3. kan ses en roterande värmeväxlare, som är den mest använda typen i värmeåtervinning tack vare dess kompakta storlek samt höga temperaturverkningsgrad, som är typiskt mellan 75 och 85 procent. En roterande värmeväxlare består av ett roterande hjul, gjort av tunt aluminium eller av ett keramiskt material. Omringande hölje är tude-lad, varav till den ena delen leds tilluft och till den andra frånluft, hjulet roterar och därmed överför värme till tilluften. Eftersom rotorn opererar med motströmsprincip utan ett mellanliggande medium, nås en högre temperaturverkningsgrad jämfört med övriga värmeväxlartyper. (Sandberg 2014b s. 178-179, Fläkt Woods 2009 s. 118)



Figur 3. Roterande värmeväxlare. (Swegon Ab 2014 s. 31)

Vid beräkning av energiförbrukningen för ventilationssystemet och värmeåtervinning används årliga standardvärden, ifall värden inte kan konstateras från t.ex. ritningar. Med årsverkningsgrad för ventilationens värmeåtervinning menas den andelen värme som värmeåtervinningsaggregaten utnyttjar i förhållande till ventilationens uppvärmningsbehov, då byggnaden inte har värmeåtervinning. Årsverkningsgraden beskriver inte alltså verkningsgraden för enskilda aggregat, eftersom byggnadens ventilationssystem kan ha flera värmeåtervinningsaggregat med olika verkningsgrad. (MMf 176/2013 s. 8, Sandberg 2014a s. 450)

Tabell 2. Årsverkningsgrader för ventilationens värmeåtervinning. (MMf 176/2013 s. 8)

Bygglöv beviljat år	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Årsverkningsgrad	0%	0%	0%	0%	0%	30%	30%	45%	45%

Från tabell 2 kan ses, att vid dagens läge skall minst 45 procent av den värme som behövs för att värma upp tilluften återvinnas från frånluften. (MMf 176/2013 s. 8, Finlands ByggBS D3 s. 15)

4.3 Luftläckage

Med luftläckage menas oavsiktliga luftströmmar som går igenom byggnadsmanteln, och därmed kan öka energiförbrukningen i onödan. Orsaken bakom luftströmmarna är

tryckskillnaden som uppstår över byggnadens väggytor på grund av vind och temperaturskillnader. Aspekter som påverkar luftflödets storleks är bl.a. byggnadsmantelns lufttäthet och typ av ventilation. Från energiförbrukningens synvinkel är det lönsamt att byggnadsmanteln är tät men å andra sidan förhindrar täta manteln självdragsventilation under varmt väder. (Finlands ByggBS D5 2012 s. 22, Seppänen & Seppänen 2010 s. 76-77)

För att visa byggnadens täthet, används luftläckaetal q_{50} ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$). Detta visar hur många gånger luftvolymen byter under en timme per kvadratmeter, då tryckskillnaden över manteln är 50pa. Högsta tillåtna luftläckaetal för byggnadsmanteln är 4 ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$), detta värde används även ifall lufttätheten inte kan påvisas t.ex. genom mätning. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 76-77, Finlands ByggBS D3 2012 s. 11,14, MMf 176/2013 s. 8-9)

Luftflödet genom byggnadsmanteln ($q_{v, \text{vuotoilma}}$, m^3/s) kan beräknas med formeln given nedan. (Finlands ByggBS D5 2012 s. 21)

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaiippa}}$$

där

q_{50}	luftläckaetal för byggnadsmanteln, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
A_{vaiippa}	byggnadsmantelns area bottenbjälklaget medräknat, m^2
x	faktor, som för envåningshus är 35, för hus med två våningar 24, hus med tre eller fyra våningar 20 och hus med fem eller flera våningar 15, då våningshöjden är cirka 3m.
3600	koefficient med hjälp av vilken luftflödet omvandlas från m^3/h till m^3/s .

Luftflödet genom manteln kan sedan användas för att bestämma värmeförlusten som uppstår på grund av luftläckage. (Finlands ByggBS D3 2012 s. 14, 23, Finlands ByggBS D5 2012 s. 21)

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v, \text{vuotoilma}}$$

där

$H_{\text{vuotoilma}}$	specifik värmeförlust på grund av luftläckage, W/K
ρ_i	luftens densitet, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	luftens specifika värmekapacitet, 1000 Ws/(kgK)
$Q_{v,\text{vuotoilma}}$	läckageluftflöde, m ³ /s

4.4 Kylsystem

Energiförbrukningen för ett kylsystem består av den energi som går åt till produktion av kyla samt behöriga aggregats energiförbrukning. Mängden energi som förbrukas av kylsystemet ingår i förbrukningen av köpt energi, enbart ifall byggnaden är tillförsedd med ett kylsystem. I fall där bara enstaka rum är kyllda behövs inte kylsystemets energiförbrukning beräknas. (MMf 176/2013 s. 16)

5 VÄRMELASTER OCH INOMHUSKLIMAT

Genom att byggnader blivit allt mer energieffektiva, har värmeförlusternas andel minskat med en medföljd risk av att inre och yttre värmelaster höjer inomhustemperaturen väldigt högt. Överlopps värme i rummen orsakas av solstrålning, elektroniska apparater, människor och värmeförluster från cirkulationssystem för tappvatten och varmvattenberedaren. Av dessa är värmelaster förorsakade av solstrålningen avgjort störst. Bra värmeisolering och samtidigt ökad användning av el har lett till att t.ex. kontorsutrymmen behöver nedkylning även på vintern. (Sandberg 2014a s. 419, Seppänen & Seppänen 2010 s. 182, Finlands ByggBS D5 2012 s. 12)

Värme som människor utger i utrymmen uppstår genom konvektion, strålning, andning och vattenånga som avdunstar från huden. I Finland används 125 W per människa för att ange den totala värmelasten från en person i vanliga kontorsomständigheter. Detta motsvarar ämnesomsättningens effekt 1,2 met på en kroppsytta av 1,8 m². Värmelasten varierar kraftigt enligt utrymmets användningsändamål och tid. Utrymmen såsom mötes- eller klassrum med stora människolaster skapar därmed en signifikant mängd värme. (Sandberg 2014a s. 430, Sandberg 2014b s. 43, Seppänen & Seppänen 2010 s. 182)

Värmelaster och kylbehov kan minskas genom att undvika placering av stora fönster på soliga sidor av byggnaden, och genom att rikta fönster till sådana utrymmen med stora värmelaster norrut. Utöver detta kan apparater som medför stor mängd värme placeras i skilda utrymmen för att hindra värmeöverföring till rummen. (Seppänen & Seppänen 2010 s. 182)

Strålningsenergi från solen består både av rakt överförd strålnings-energi genom fönstret och indirekt värmeöverföring. Värme överförs indirekt som en följd av att strålningsenergin värmer upp fönsterytan och därefter förflyttas värme i form av strålning och konvektion till utrymmet. Den solstrålningsenergi som tillföres byggnaden kan räknas med hjälp av nedanstående formel. (Finlands ByggBS D5 2012 s. 32, Sandberg 2014a s. 433)

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

där

Q_{aur}	solstrålningsenergi som tillföres byggnaden genom fönstren, kWh/mån
$G_{säteily,vaakapinta}$	total solstrålning mot horisontell yta per ytenhet, kWh/m ² mån
$G_{säteily,pystypinta}$	total solstrålning mot vertikal yta per ytenhet, kWh/(m ² mån)
F_{suunta}	omvandlingskoefficient med hjälp av vilken den totala solstrålningsenergin mot horisontellt plan omvandlas till total strålningsenergi mot vertikal yta i olika väderstreck
A_{ikk}	fönsteröppningens area (inklusive båg- och karmkonstruktion), m ²
g	genomträngningskoefficient för den totala solstrålningen genom fönstrets ljusöppning.

Värmelaster som människor och elektroniska apparater medför kan räknas med hjälp av standardvärden för nettoarea eller på basis av persontäthet. I tabell 3. kan ses standardvärden för användningstider och effekter per nettoarea för inre värmelaster i olika typer av byggnader. (Finlands ByggBS D3 2012 s. 19)

Tabell 3. Standardanvändning av byggnader och interna värmelaster per uppvärmd nettoarea (Finlands ByggBS D3 2012 s. 19).

Användningskategori	Klockslag	Användningstid		Användningsgrad	Belysning	Hushållsapparater	Människor
		h/24h	d/7d				
Fristående småhus, radhus och kedjehus	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Flervåningsbostäder	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Kontorsbyggnad	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Affärsbyggnad	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Inkvarteringsbyggnad	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Undervisningsbyggnad eller daghem	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Idrottshall	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sjukhus	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a innehåller inte värme bunden av fukt; den totala värmeavgivningen fås genom att dividera värdet med koefficienten 0,6

b i bostadsbyggnader är användningsgraden för belysning 0,1

c är riktvärde för nya byggnader om inga exaktare uppgifter finns till hands.

d drifttider för ventilationssystemet

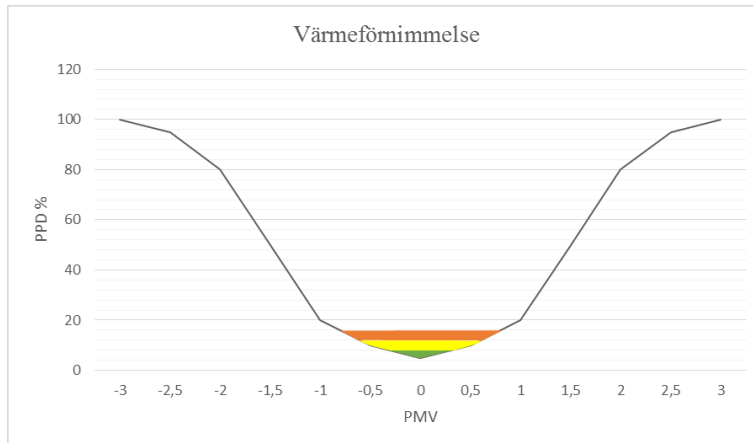
Som standard för kontorsbyggnader, kan användas en eleffekt på 12 watt per kvadratmeter för både belysning och hushållsapparater om mängden inte kan påvisas på annat sätt. (Finlands ByggBS D3 2012 s. 19)

5.1 Operativ temperatur

Operativ temperatur används för att visa den temperatur i utrymmen som människan uppläver. Det baserar sig på ungefärliga medeltalet av omgivande rumsytornas temperatur och lufttemperatur. Som målsättning för operativa temperaturen under vintertiden kan has +21 till +22°C. På grund av möjliga hälsorisker, borde temperaturen inte få stiga över 23°C. Detta innebär att överhettande i t.ex. kontorsutrymmen måste hindras. (Swegon Ab 2014 s. 19, Sandberg 2014b s. 46)

På sommaren kan som målsättning has +24 till +25 °C. Operativa temperaturen kan i vissa fall överskrida ifrågasättande värden, men då måste användaren själv kunna påverka omständigheterna t.ex. genom att öka lufthastigheten. (Sandberg 2014b s. 46)

I samband till operativa temperatur talas om Fangers trivselindex, som fungerar som en bas till planering av värmeomständigheterna runtom i världen. För att uppskatta värmeförnimmelsen används oftast en PMV (Predicted Mean Vote) skala, där även missnöjdas andel ingår som PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). (Sandberg 2014b s. 38)



Figur 4. Värmeförnimmelse enligt PMV och PPD (SFS-EN ISO 7730) (Sandberg 2014b s. 38).

PMV-skalan i figur 4 visar procentuella andelen missnöjda enligt temperaturavvikelsen. Den neutrala temperaturen för människan ligger på nollstället, för varje grad som temperaturen avviker från detta ökar procentuella andelen missnöjda. Som exempel, ifall rumstemperaturen sjunker eller stiger med en grad Celsius, är andelen missnöjda 20 %. I figuren ovan används tre olika färgade klassificeringar för andelen missnöjda, vilka är 6,10 och 15 %. En beaktansvärd aspekt i figuren är att det är omöjligt att nå en 100 procents förnöjelse, vilket även som lägst ligger det på 5 %. (Sandberg 2014b s. 38, Swegon Ab 2014 s. 7)

Centrala aspekter som påverkar värmeförnimmelsen enligt PMV-skalan i figur 4 är bl.a. omgivningens genomsnittliga strålningstemperatur, lufthastigheten och relativa fuktigheten. Hur en känner omgivande temperatur varierar dock kraftigt. För enkelhetens skull kan sägas att temperaturen är på rätt nivå, då personen inte kan säga ifall temperaturen skall höjas eller sänkas. (Sandberg 2014b s. 38)

6 IDA ICE

IDA Indoor Climater and Energy (IDA ICE) är en dynamisk simuleringsmjukvara, som kan användas till att undersöka inomhusklimaten i enstaka utrymmen men också energiförbrukningen för hela byggnaden. Objektet som undersöks kan bestå av ett eller flera utrymmen, sk. zoner, vanligtvis ingår åtminstone ett luftbehandlingssystem samt ett primärsystem. Byggnadens ytterväggar begränsas med en building body, där inuti zoner ritas. Databasen innehåller bl.a. väderdata och olika konstruktionsmaterial som kan utnyttjas. (EQUA 2014, EQUA Simulation Ab 2013 s. 6-8)

6.1 Simuleringsmodeller

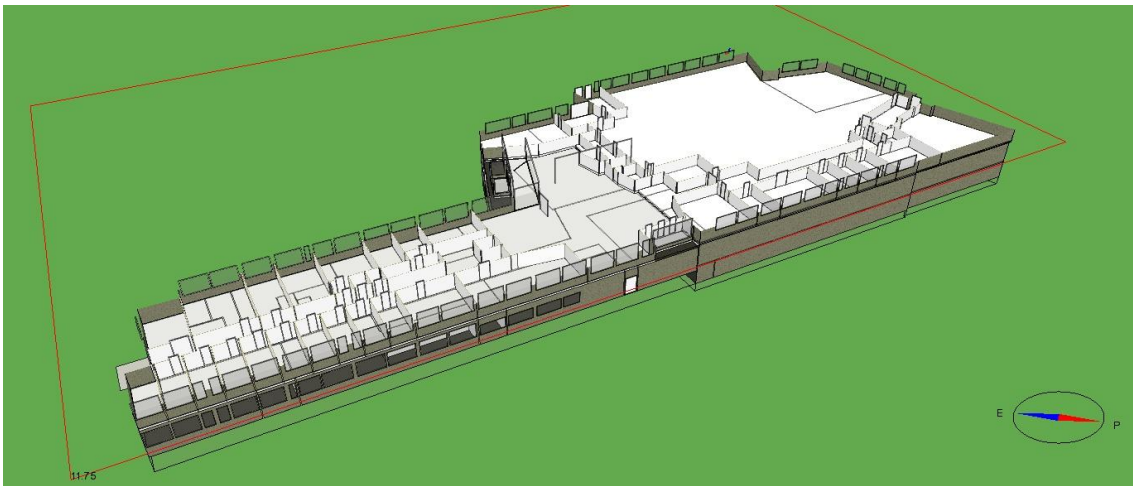
Dynamiska simuleringsmodellen har byggts upp med hjälp av IDA ICE. Eftersom byggnaden genomgår ändringar i både konstruktion och utrymmen, skapades två olika versioner. Ena versionen motsvarar det kommande läget med projekterade aggregat och värden och den andra versionen byggdes för att motsvara det nuvarande läget.

Arkitektritningar hämtades in till IDA ICE som bottenbild. I ritningarna kom fram både nuvarande konstruktioner samt ändringar som skall ske. Genom att använda dessa bottenritningar kunde zoner ritas in enligt planeringar.

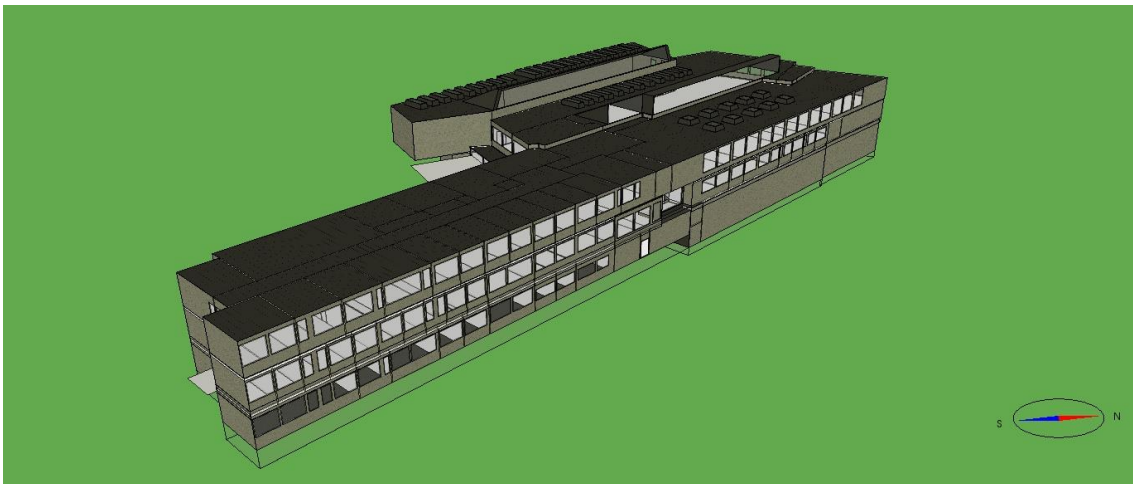
- Som läget för byggnaden valdes Helsingfors och själva byggnadens riktning specificerades.
- IDA ICE använder sig av väderdata som är uppdaterad år 2012.
- U-värden för konstruktionsdelar inmatades.
- Som primära uppvärmningssystem används fjärrvärme.
- I utrymmen för vilka antalet vistande personer kunde konstateras från ritningar användes det, i övriga utrymmen användes standardvärden.
- För vistelsetiden i biblioteks- och allmänna utrymmen användes bibliotekets egna uppehållstider. För kontorsdelen användes standardvärden enligt tabell 3.
- För belysning användes standardvärden från tabell 3.
- Som basen till ventilationsaggregat användes standardaggregat, som modifierades för att motsvara behovet samt drifttider specificerades.

- För förbrukning av tappvarmvatten användes standardvärdet givet för affärsbyggnader, dvs. $68 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{a})$ (Finlands ByggBS D3 2012 s. 21).

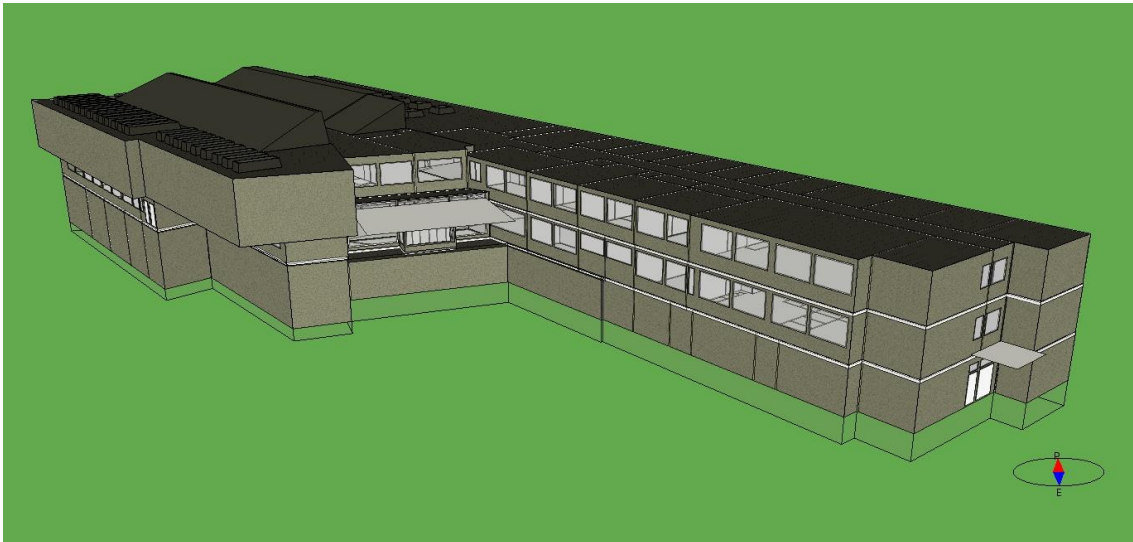
Versionen som motsvarar det nuvarande läget är uppbyggd av 120 zoner med en total golvarea på ca 9100 m^2 . Det kommande läget består av 130 zoner och en area på ca 7700 m^2 . I figur 5. kan ses skärningsbilden av versionen med nuvarande rumsfördelning och i figur 6. och 7. byggnaden som helhet.



Figur 5. Skärningsbild av simuleringsmodellen



Figur 6. Simuleringsmodellen av campusbiblioteket.



Figur 7. Simuleringsmodellen av campusbiblioteket

7 REDOGÖRELSE OM UNDERSÖKNINGSOBJEKTET

Som undersökningsobjekt fungerar år 1970 invigd Aalto-universitets campusbibliotek som är belägen i Otnäs. Byggnaden är tudelad med kontorsutrymmen på ena sidan och själva biblioteksdelen på den andra. Biblioteksdelen är för tillfälle i fyra våningar, varav två våningar under markytan. De två källarvåningarna skall genomgå fullständig förändring eftersom den nuvarande mellanbjälkslagen skall rivas och utrymmet göras till ett stort lärocenter. Eftersom byggnaden har en hög arkitektonisk värde, behandlas det som ett skyddat objekt. Detta betyder att visuella ändringar på utsidan måste hållas till minimal. Husetekniska system skall uppdateras för att motsvara dagens krav. Detta betyder att bl.a. ventilationssystemet förnyas och förses med aggregat med värmeåtervinning, därmed förses utrymmen med kylanläggningar.

År 2012 har den verkliga förbrukningen av fjärrvärme varit 1409 MWh och elenergi 776 MWh (Etholén 2014 bilaga 2 s. 1).

7.1 Byggnadsdelar

I tabell 4. är presenterat värmegenomgångskoefficienter som har använts för de olika byggnadsdelarna. För byggnadsdelar vars U-värde inte har kunnat konstateras från ritningar eller dylika dokument, har standardvärden från MMf 176/2013 använts.

Tabell 4. U-värden för konstruktionsdelar i nuvarande och kommande läget.

		U-värde W/m ² K		
Byggnadsdel		Nuvarande läget	Kommande läget	
Yttervägg	US1	0,52	0,52	
	KS1	0,47	0,12	Under markytan
Bottenbjälklag	AP1	0,30	0,20	Biblioteksdel
	AP2	0,32	0,23	Kontorsdel
Vindsbjälklag	YP1	0,47	0,12	
	YP4	0,60	0,60	Taklykta betongdel
Ytterdörrar	UO	2,2	2,2	Träd

		Nuvarande läget		
Fönster		U-värde	g-värde	
		2,8	0,6	Övriga fönster
		2,8	0,6	Lyktornas fönster
		2,8	0,6	Runda takfönster
		Kommande läget		
		1,0	0,57	Övriga fönster
		1,8	0,73	Lyktornas fönster
		1,8	0,62	Runda takfönster

Standardvärden markerade med fetstil (MMf 176/2013 s. 7, Energitodistus opas s. 9)

7.2 Ventilation

Gamla arkitektritningar har använts för att konstatera luftmängder och fördelning av ventilationsaggregat. I tabell 5 och 6 kan ses både det nuvarande och kommande ventilationssystemets huvudaggregat med värden som har använts i simuleringar. I bilaga 1 och 2 kan ses ventilationssystemets uppbyggnad för respektive läge med övriga aggregat. SFP-tal för de nuvarande aggregaten har beräknats med hjälp av ett ändamålsenligt excel-verktyg gjort av Kaj Karumaa.

En beaktansvärd aspekt i det nuvarande systemet är att det inte är försedd med värmeåtervinningsaggregat eller kylbatterier. Det finns dock två cirkulationsluftfläktar som tjänar bokförråds utrymmen på bibliotekssidan. Cirkulationsluftens andel av tilluften har delats i förhållandet till utrymmets tilluftsmängd.

Följande ändringar gjordes för ventilationssystemet:

- För nuvarande aggregat användes standardaggregat med driftstid reglering.
- SFP-talet delades för till- och frånluftsfläkten.
- Fläktarnas drifttid ändrades till att möta behovet.
 - Drifttid för aggregat med både från- och tilluft ställdes till 14 timmar per dag, 6 dagar i veckan.

- Drifttid för aggregat med enbart frånluft, såsom för toaletter, är dygnet runt.
- Kylbatteriet i nuvarande aggregat stängdes av genom att ställa värdet till noll.
- Årsverkningsgraden för värmexväxlare i de nya aggregaten angavs.

Tabell 5. Teknisk information om nuvarande ventilationsaggregat.

Nuvarande ventilationssystem					Drifttid			
Aggregat	Utrymmen	Reglering	Tilluftflöde m ³ /s	Frånluftflöde m ³ /s	h/dygn	dygn/ vecka	LTO årsverk.grad	SFP-tal
TI-1/PI-16	Kontor-del	Tidsprogram	5,1	4,55	14	6	0%	3,31
PI-17	Kontor-del/ smutsig frånluft	Konstant	-	0,55	24	7	0%	2,97
TI-2a/PI-7	Bokförråd K2- 1vån sydväst	Tidsprogram	1,4	1,4	14	6	0%	4,8
PI-15	Bokförråd smutsig frånluft	Konstant	-	0,1	24	7	0%	2,95
TI-3/PI-11	Läsesal	Tidsprogram	2,8	2,8	14	6	0%	4,28
TI4a/PI-14/PI-8	Bokförråd K2- 1vån. Nordost	Tidsprogram	1,4	1,4	14	6	0%	4,8
TI-5/PI-10	Bibliotek 2. vån.	Tidsprogram	4,2	4,2	14	6	0%	3,92
TI-2	Bokförråd cirkulationsluft	Temperatur	3,9	-	24	3		3,98
TI-4	Bokförråd cirkulationsluft	Temperatur	4,0	-	24	3		3,96

Förklaringar till beteckning: K2 = nedre källare, K1 = övre källare

I tabell 6. kan ses att i det kommande läget kommer luftbytet i utrymmen att regleras enligt temperaturen och koldioxidhalten. Därmed användes standardaggregat med både temperatur- och koldioxidsensorer. För varje zon ställdes in temperatur+CO2 styrning för luftbytet.

Tabell 6. Teknisk information om kommande ventilationsaggregat.

Kommande ventilationssystem					Drifttid		LTO årsverk.grad	SFP-tal
Aggregat	Utrymmen	Reglering	Tilluftflöde m ³ /s	Frånluftsflöde m ³ /s	h/dygn	dygn/ vecka		
G301TK/PK01	Lärocenter K2	Tidsprogram+CO2	4,0	4,0	14	6	85,5%	1,84
G301PK02	Lärocenter K2 smutsig frånluft	Konstant	-	0,15	24	7	0%	0,7
G302TK/PK01	Lärocenter 1vån.	Tidsprogram+CO2	3,1	3,1	14	6	85%	1,71
G302PK02	Lärocenter 1vån.	Konstant	-	0,21	24	7	0%	0,7
G302PK03	Lärocenter 1vån.	Konstant	-	0,08	24	7	0%	0,66
G303TK/PK01	Bibliotek 2 våning	Tidsprogram+CO2	4,2	4,2	14	6	80%	2,64
G304TK/PK01	Lässal 2. våning	Tidsprogram+CO2	2,8	2,8	14	6	84%	1,96
G305TK/PK01	Kök 1. våning		0,5	0,5	14	6	0%	1,52
G306TK/PK01	Kontor-del/K1	Tidsprogram+CO2	1,0	1,0	14	6	83,5%	2,04
G306PK02	Kontor-del/K1 smutsig frånluft	Konstant	-	0,2	24	7	0%	0,73
G307TK/PK01	Kontor-del/ 1vån.	Tidsprogram+CO2	1,3	1,3	14	6	84,5%	1,84
G307PK02	Kontor-del/1vån. smutsig frånluft	Konstant	-	0,25	24	7	0%	0,71
G308TK/PK01	Kontor-del/2vån.	Tidsprogram+CO2	1,7	1,7	14	6	84,5%	1,83
G308PK02	Kontor-del/2 smutsig frånluft	Konstant	-	0,1	24	7	0%	0,53
G309TK/PK01	Lärocenter 1vån. kontor-del	Tidsprogram+CO2	0,65	0,65	14	6	86%	1,64
G310TK/PK01	Huvudingång 1vån	Tidsprogram+CO2	0,6	0,6	14	6	84,5%	2,03

Förklaring till beteckningar: K2 = nedre källare, K1 = övre källare

7.3 Kyla

I utrymmen som skall förses med kyla användes standard kylanläggningar, för vilka specificerades effekten samt kylbatteriets temperatur. Följande effekter och temperaturer har använts vid simulering av det kommande läget:

- T1 433 kW 14°C
- T2 747 kW 14°C
- T3 635 kW 14°C

Andelen anläggningar och kombinationer för varje utrymme har konstaterats ifrån nya ritningar.

7.4 Uppvärmning

Som primära uppvärmningssystem fungerar fjärrvärme. Vid modifieringen av standard-systemet för nuvarande läget stängdes av nedkylningsaggregatet, eftersom ifrågavarande läge inte är försedd med kyla. För kommande läget är aggregatet påkopplat.

Uppvärmningssystemet i IDA ICE har som standard temperaturerna 70°C för fram- och 40°C för returledningen i radiatorsystemet. För att ändra detta system att bättre motsvara nuvarande och kommande läget med temperaturerna 80/60°C, ändras procentuella värmeförlustmängden för distributionsledningar till zonen. Som standard omfattar värmeförluster 10 procent av mängden värme som förs in till zoner. Eftersom den procentuella värmeförlustmängden för system med 80/60°C inte är konstaterat i Finlands byggbestämmelser, kan i detta fall användas 15 procent (Vuolle 2015).

8 SIMULERINGAR

I följande kommer att redovisas för både hela årets energisimuleringar och deras resultat, men även närmare undersöka förhållandet i byggnaden.

8.1 Energiförbrukning

För båda versionerna av byggnaden simulerades den årliga energiförbrukningen varefter resultaten kunde jämföras sinsemellan. Tyngdpunkten i detta hålls vid den totala förbrukningen av köpt energi för hela byggnaden och skillnaden som uppstår. Med köpt energi menas den andel av energi som går åt till uppvärmning, ventilation, kyla, elapparater och belysning (Finlands ByggBS D5 2012 s. 4).

Följande justeringar användes inför energisimuleringar:

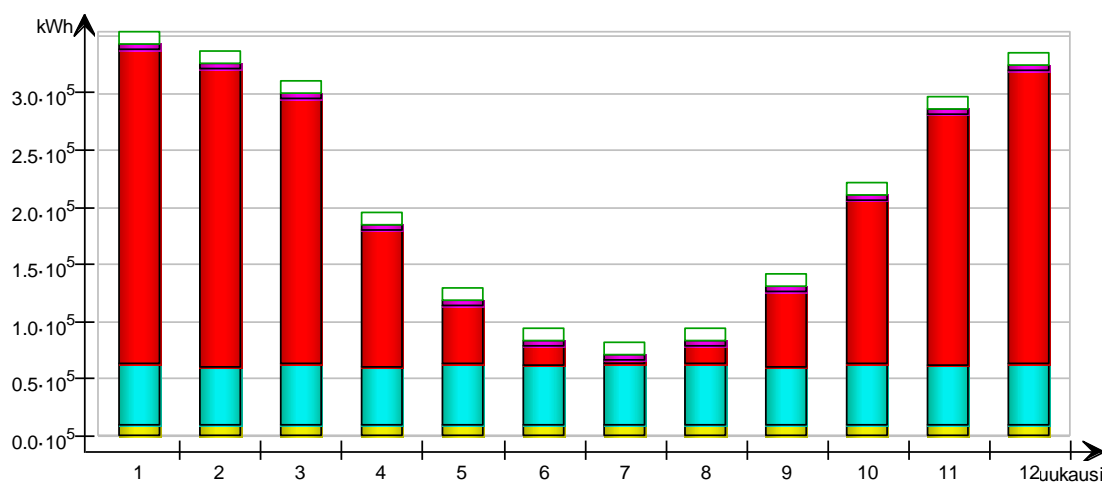
- Tidsintervall för utgivning av resultat ändrades till högsta tillåtna, dvs. 1h.
- Inre lasternas andel gavs som 60 %

8.1.1 Nuvarande läget

I tabell 7. kan ses den totala förbrukningen av energi för det nuvarande läget. I tabellen kommer fram bl.a. energimängden som går åt till belysning och drift av hustekniska aggregat, men även fjärrvärmes andel. I figur 8. kan i sin sida ses fördelningen av förbrukning för ifrågavarande läget på månatlig basis.

Tabell 7. Förbrukning av köpt energi i det nuvarande läget.

Nykytilanne	Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	113896	12.4	37.23	193623	21.1
Jäähdytys	0	0.0	0.0	0	0.0
LVI sähkö	635101	69.3	104.5	1079672	117.7
Yhteensä, Kiinteistösähkö	748997	81.7		1273295	138.8
Lämmitys, kaukolämpö	1660400	181.0	992.8	1162280	126.7
LKV, kaukolämpö	52369	5.7	5.96	36658	4.0
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	1712769	186.8		1198938	130.7
Yhteensä	2461766	268.4		2472233	269.6
Laitteet, asukas	131534	14.3	34.85	223608	24.4
Yhteensä, Asukkaan sähkö	131534	14.3		223608	24.4
Yhteensä	2593300	282.8		2695841	294.0



Figur 8. Månatliga förbrukning av köpenergi, nuvarande läget.

För det nuvarande läget kan ses i tabell 7, att totala elenergin som byggnaden förbrukar är 748 MWh, varav andelen energi som aggregat förbrukar är ca 635 MWh. För den si-

mulerade modellen av nuvarande läget är den årliga förbrukningen av köpt fjärrvärme ca 1660 MWh. Eftersom värden som har använts för belysning, cirkulationsvatten och elapparater är standardvärden, kommer de inte att undersökas noggrannare.

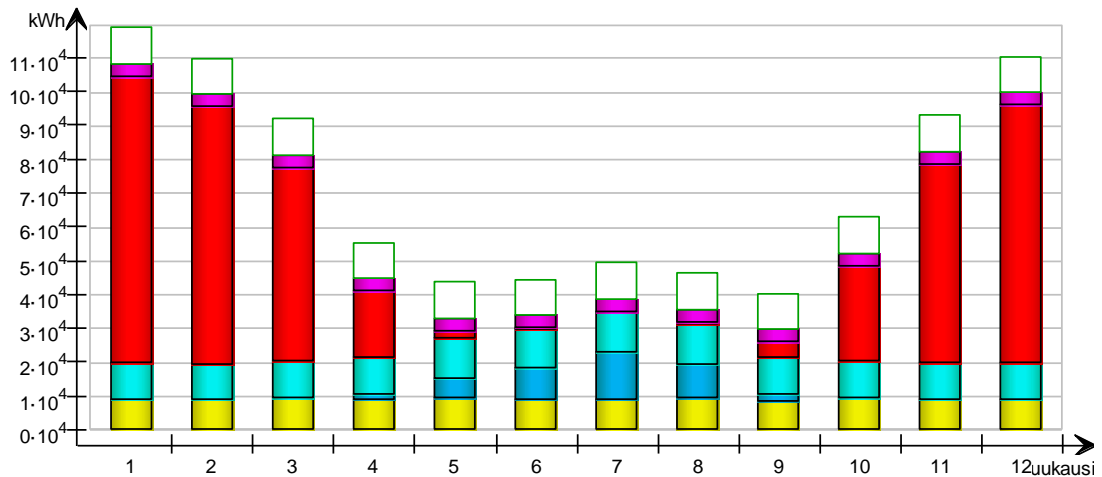
Liksom tidigare i arbetet redogjorts, har den verkliga förbrukningen för fjärrvärme år 2012 varit 1409 MWh och respektive för elenergi 776 MWh. Från simulerade resultat för nuvarande läget kan ses att det är svårt att få dem att exakt motsvara verkliga. Detta påverkas av flera olika aspekter, bl.a. köldbryggornas verkliga effekt på värmeförlusten, vistande människornas andel och vistelsetiden.

8.1.2 Kommande läget

I tabell 8. nedan kan ses energiförbrukningen för det kommande läget. Den totala elenergin som byggnaden förbrukar är 284 MWh, varav aggregaten förbrukar 134 MWh. Förbrukning av fjärrvärme är i detta fall ca 408 MWh. I figur 9. är illustrerat fördelningen på energiförbrukningen för kommande läget på månatlig basis.

Tabell 8. Förbrukning av köpt energi i det kommande läget.

Tuleva tilanne	Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	107320	13.9	35.07	182444	23.6
Jäähdytys	42558	5.5	85.08	72349	9.4
LVI sähkö	134143	17.4	29.42	228043	29.5
Yhteensä, Kiinteistösähkö	284021	36.8		482836	62.5
Lämmitys, kaukolämpö	408806	52.9	231.3	286164	37.0
LKV, kaukolämpö	44107	5.7	5.02	30875	4.0
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	452913	58.6		317039	41.0
Yhteensä	736934	95.4		799875	103.5
Laitteet, asukas	128835	16.7	33.17	219020	28.3
Yhteensä, Asukkaan sähkö	128835	16.7		219020	28.3
Yhteensä	865769	112.0		1018895	131.9



Figur 9. Månatliga förbrukning av köpenergi, kommande läget.

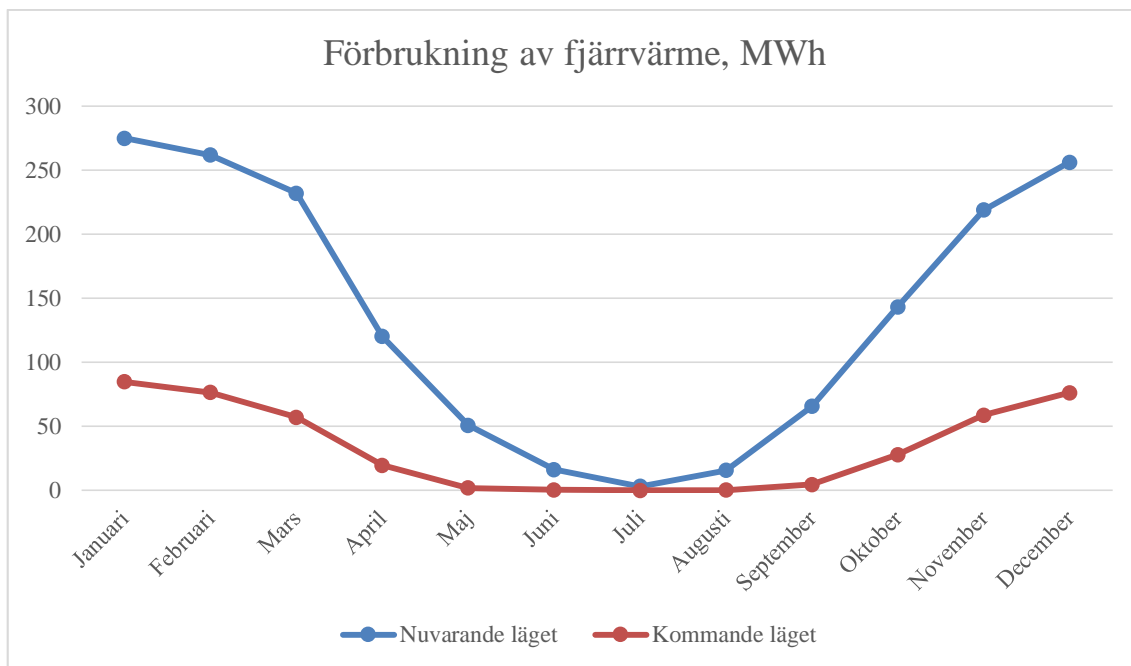
8.1.3 Jämförelse

Från resultaten kan ses att det uppstår en stor ändring i förbrukning av både elenergi och fjärrvärme. En beaktansvärd aspekt i jämförelsen är att det nuvarande läget inte har kylaggregat, medan det kommande har. Även då det kommande systemet, försedd med kyla, uppstår det en minskning på ca 460 MWh i elenergi från det nuvarande systemet. Minskningen som uppstår kan förklaras med att kommande aggregat är energieffektiva, vilket kan även konstateras från SFP-talen i tabell 5 och 6.

Förbrukningen av fjärrvärme i det kommande läget är ca 408 MWh, vilket betyder en minskning på ca 1250 MWh från det nuvarande. Den stora förbättringen som uppstår är i stort sett tack vare värmeåtervinningen och dess höga verkningsgrad, men även förbättringen av U-värden för bygnadsdelar.

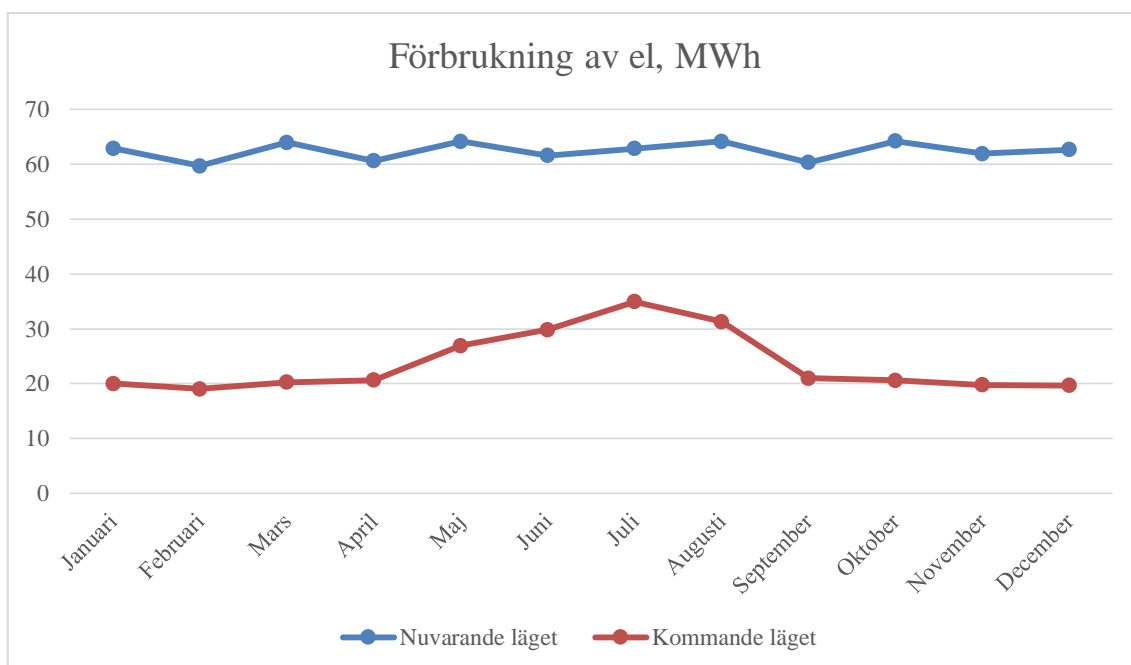
Energi som går åt till belysning, elen som personer använder och cirkulationsvatten räknas i IDA ICE enligt standarder för arean. Därmed tyder ändringen i deras förbrukning mellan lägena på ändringen i golvarean och rumsfördelning som saneringen medför.

I figur 10. nedan är illustrerat fjärrvärmes månatliga förbrukningsandel för de båda lägena, för att skapa en bättre bild på skillnaden som uppstår. Från energimängden är utelämnat cirkulationsledningens förbrukning.



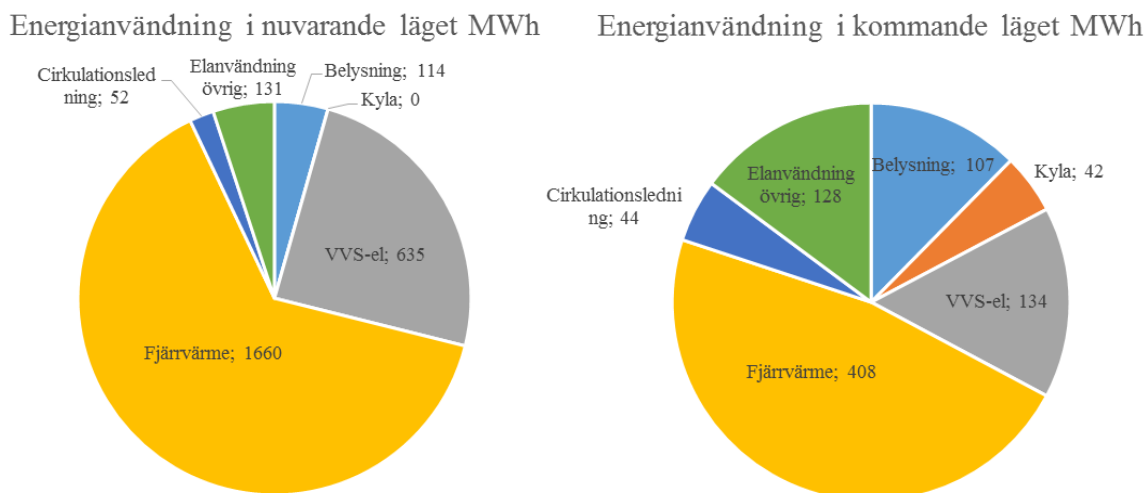
Figur 10. Jämförelse mellan förbrukning av fjärrvärme.

Från figur 11. kan ses förbrukningen av elenergi på månatlig basis, för respektive läge. Elförbrukningen omfattar i detta fall den el som går åt till belysning, drift av hustekniska aggregat och kyla. Elenergin som användaren förbrukar är exkluderat.



Figur 11. Jämförelse mellan förbrukning av el.

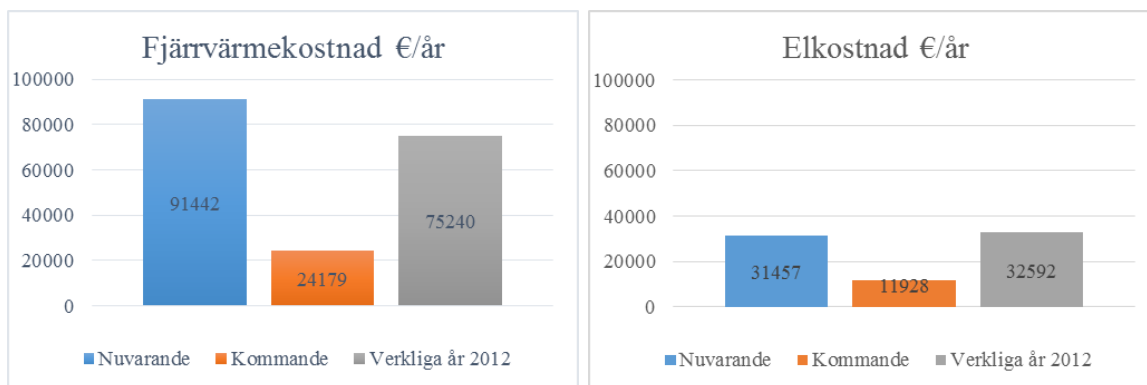
I figur 11. kan ses att förbrukningen i nuvarande läget varierar mellan ca 60 och 65 MWh per mån, under hela året. För kommande läget uppstår en höjning under sommartiden, vilket tyder till användningen av energi som går åt till kyla ökar. I juni, då förbrukningen är som högst förbrukas ca 35 MWh el, medan den under vintertid är omkring 20 MWh i mån.



Figur 12. Fördelning av energianvändning för respektive läge.

I figur 12. är presenterat fördelningen av energianvändningen i respektive läge, mängden är angett i megawatt timmar. Vid jämförelse av användningen skall beaktas att värden som använts för cirkulationsvatten, elen som kunden använder och belysningen är standarder enligt byggnadstypen. Eftersom de inte jämförs noggrannare har samma värden för båda versioner använts för att minska deras inverkan på totala energiförbrukningen. Figurerna visar att största delen av energin som byggnaden förbrukar går åt till uppvärmningen, och drift av hustekniska aggregat.

I nedanstående figur 13. kan ses stapeldiagram på årliga kostnaderna för energin som förbrukas. För fjärrvärme har använts priset 53,40 €/MWh (Fortum 2015a), och för elen 4,20 c/kWh (Fortum 2015b) enligt aktuella priser.



Figur 13. Årliga energikostnader.

Figuren 13. visar årliga kostnader enligt förbrukningen av energi. I båda diagram är det nuvarande läget enligt simuleringar markerat med blått, och det kommande med rött. Den gråa stapeln representerar den verkliga förbrukningen från år 2012.

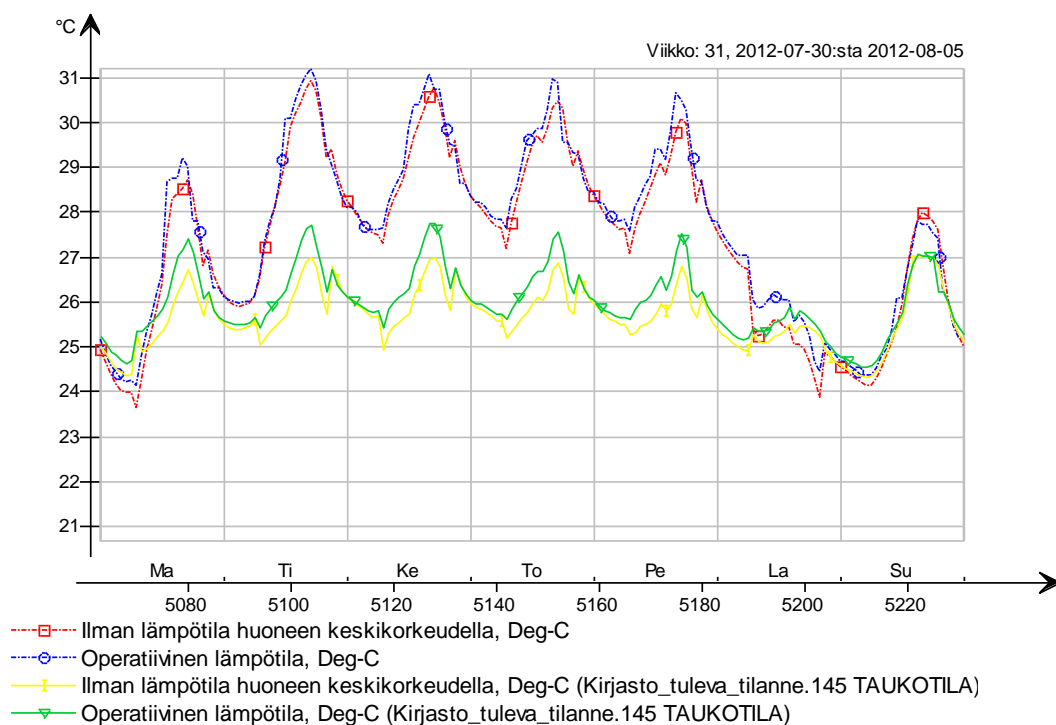
I fjärrvärmekostnader ingår både fjärrvärmes och cirkulationsledningens andel. Då de simulerade resultaten för fjärrvärme granskas, kan ses att de årliga uppvärmningskostnaderna i nuvarande läget är ca. 91 tusen euro, och i kommande läget omkring 24 tusen euro. Det uppstår alltså en minskning på ca. 67 tusen euro mellan simulerade lägen. Om jämförelsen sedan görs från den verkliga förbrukningens synvinkel, visar det sig att uppvärmningskostnaderna kan förväntas sjunka med ca. 51 tusen euro.

En beaktansvärd aspekt i elkostnaderna är att de inte inkluderar den energi som användarna förbrukar, eftersom det inte går att konstatera tillräckligt noggrant. Vid jämförelse av kostnaderna kan ses att det uppstår en minskning på ca. 19 tusen euro mellan simulerade lägen. Då kostnaderna för den verkliga förbrukningen jämförs med kommande läget ses att det uppstår en förbättring på ca. 20 tusen euro. Jämförande av den verkliga förbrukningen till kommande läget ger dock endast riktgivande resultat. Det är pga. av att i den verkliga förbrukningen kan antas ingå all el som byggnaden förbrukar och är inte därmed rakt jämförbar med simulerade resultat.

8.2 Omständigheter

För att se hurudan effekt det kommande ventilationssystemet har på inneklimatet under varma dagar jämfört med det gamla valdes ett utrymme till närmare undersökning. Utrymmet som valdes är den samma från båda versionerna och belägen på södra sidan av byggnaden. Tyngdpunkten var vid utrymmets temperaturer och därmed trivseln under årets varmaste vecka.

Utrymmet som valdes utgår ifrån samma basuppgifter i båda versionerna, dvs. 10 personer vistas där enligt kontorsenliga vistelsetider och apparaterna med belysning är på enligt samma vistelsetider. Största skillnaden mellan utrymmen är att det nuvarande läget inte är försedd med kyla, medan det kommande är.



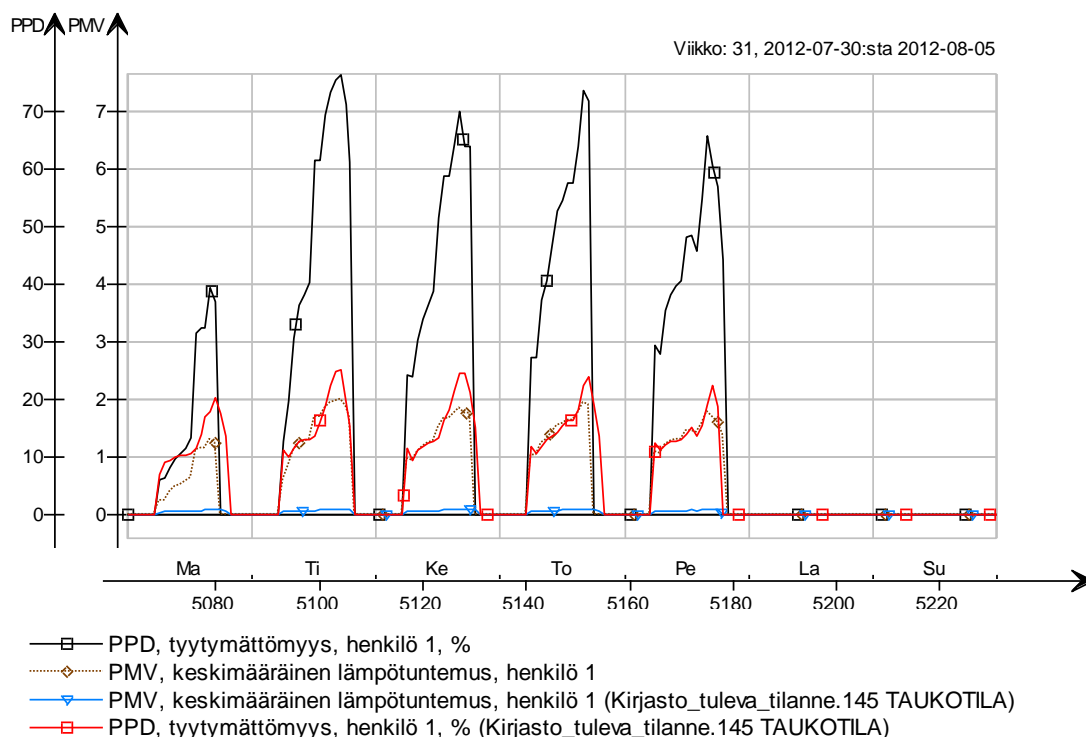
Figur 14. Jämförelse mellan rumstemperaturer under varmaste vecka.

Tidsperioden för undersökning av omständigheterna är enligt simuleringarna varmaste veckan år 2012, dvs. vecka 31. I figur 14. kan ses operativa temperaturen för det nuvarande läget markerad med blått och temperaturen på rummets mitt höjd som rött. Opera-

tiva temperaturen för kommande läget är presenterat med gröna linjen och respektive temperaturen på rummets mitt höjd med gul.

Vid granskning av grafen som representerar det nuvarande läget kan ses att operativa temperaturen stiger ända upp till +31°C under varmaste tiden, medan den under natten sjunker till ca +27°C. För det kommande läget kan ses att den operativa temperaturen ligger som högst mellan +27 och +28°C, medan den under natten sjunker till mellan +25 och +26°C.

I figur 15. nedan är illustrerat Fangers trivselindex för utrymmet under samma tidsperiod, där både temperaturavvikelsen och andel missnöjda framkommer. Figuren avviker en del från skalan som presenterades tidigare i arbetet, i och med att både PPD- och PMV-skalan är i sidan av figuren riktade uppåt.



Figur 15. Jämförelse i Fangers trivselindex under varmaste vecka.

Det nuvarande läget är markerad med svarta och bruna linjer, medan det kommande läget med blått och rött. I figuren ses att under varmaste veckan uppstår temperaturavvikelser ända upp till ca +7,5°C från neutrala. Detta leder till ett procentuellt missnöje på ca

75 %. För det kommande läget kan ses att det uppstår väldigt små avvikelser i temperaturen, avvikelsen i detta fall är markerat med blå färg. Även om avvikelsen är ytterst liten, skapar det ändå missnöje i ca 25 % av människorna.

9 SLUTSATS

Syftet med detta examensarbete var att genom dynamiska simuleringar undersöka energiförbrukningen i Aalto-universitets campusbibliotek. För ändamålet användes två versioner av byggnaden, en som motsvarar det nuvarande läget och andra som motsvarar det kommande. Genom att utföra energisimuleringar för versionerna kunde uppstående skillnader jämföras sinsemellan.

Från resultaten av årliga energisimuleringar kan ses att förbrukningen av fjärrvärme för nuvarande läget var ungefär 1660 MWh och för elenergi ungefär 748 MWh. I det kommande läget var fjärrvärmes andel ca 408 MWh, vilket betyder en minskning på ca 1250 MWh från tidigare. För andelen elenergi uppstod en förbättring på ca 460 MWh från det tidigare, då det för kommande läget var ca 284 MWh. En beaktansvärd aspekt i resultaten är, att det nuvarande systemet inte har kylaggregat medan det kommande har. Även med kylans elförbrukning medräknat uppstår det en stor förbättring. Enligt Seppänen & Seppänen (2010 s. 60) orsakar ventilationen över hälften av värmeförlustmängden i affärsbyggnader, vilket kan ses i figur 1. Minskningen i förbrukning av fjärrvärme kan därmed delvis förklaras med att ventilationssystemet i kommande läget är försedd med värmeåtervinning.

Vid jämförelse av årliga fjärrvärmekostnader för simulerade modeller, kan ses att det uppstår en förbättring på ca. 67 tusen euro. Då uppvärmningskostnaderna mellan den verkliga förbrukningen från år 2012 och simulerade kommande läget jämförs, uppstår det en årlig minskning på ca. 51 tusen euro. De årliga elkostnaderna för simulerade modeller visade en förbättring på ca. 19 tusen euro. Minskningen mellan verkliga och kommande läget var ca 20 tusen euro. Jämförelsen mellan kostnader för verkliga förbrukningen och simulerade fungerar endast som riktgivande, eftersom inte samma delområden ingår i dessa resultat.

Trots att förbrukning som uppstod vid simulering av det nuvarande läget inte helt motsvarade den verkliga förbrukningen från år 2012, kan saneringen förväntas ha en betydlig förbättring till förbrukningen av energi. Som en medföljd av uppdaterande av ventilationssystemet förväntas även inomhusklimaten bli betydligt bättre.

KÄLLOR / REFERENCES

- Energiatodistus opas, *Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja*, Tillgänglig: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Energiatodistuslomakkeet Hämtad: 11.3.2015
- Etholén, P. 2014. *Energiankulutuksen hiilijalanjälki Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökannassa*, Examensarbete, Metropolia, Rakentaminen, talotekniikka.
- Equa 2014, IDA ICE, tillgänglig: <http://www.equa.se/fi/ida-ice> Hämtad: 16.3.2015
- EQUA Simulation Ab. 2013, *User Manual IDA Indoor Climate and Energy*, Solna: EQUA Simulation Ab, 6-8 s.
- Finlands ByggBS C4 2002, *Miljöministeriets förordning om värmeisolering*, tillgänglig: www.finlex.fi/data/normit/1931-C4r.pdf Hämtad 13.4.2015
- Finlands ByggBS D3 2012, *D3 Byggnaders energiprestanda*, tillgänglig: http://www.ym.fi/sv-fi/Markanvandning_och_byggande/Lagstiftning_och_anvisningar/Byggbestammlsesamlingen Hämtad 24.2.2015
- Finlands ByggBS D5 2012, *D5 Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effekt för uppvärmning*, tillgänglig: http://www.ym.fi/sv-fi/Markanvandning_och_byggande/Lagstiftning_och_anvisningar/Byggbestammlsesamlingen Hämtad 24.2.2015
- Fortum 2015a. *Kaukolämmön hinnat taloyhtiöille ja yrityksille (alv 0%)*. Tillgänglig: <http://www.fortum.com/countries/fi/yritysasiakkaat/kaukolampo/tuotteet-ja-palvelut/hinnat/pages/default.aspx> Hämtad: 15.5.2015
- Fortum 2015b. *Fortum YritysKeston hinnat ja tulevaisuuden arviot*. Tillgänglig: <http://www.fortum.com/countries/fi/yritysasiakkaat/sahkosopimus/fortum-yrityskesto/hinta/pages/default.aspx> Hämtad: 15.5.2015
- Fläkt Woods. 2009, *Teknisk Handbok Luftbehandlingsteknologi*, Sollentuna: Fläkt Woods AB, 170 s.
- Hemmilä, K. & Heimonen, I. 1999, *Eristyslasin täydekaasun ja lasien toimivuus ja toteaminen*, Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 22-23 s. Tillgänglig: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1963.pdf> Hämtad: 11.3.2015
- Ilmatieteenlaitos. 2015. *Graddagar*, tillgänglig: <http://sv.ilmatieteenlaitos.fi/graddagar> Hämtad: 10.3.2015

- Miljöministeriet 2011. Miljöministeriets förordning om byggnaders energiprestanda. Tillgänglig: http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/d3r_2012_perustelut.pdf Hämtad: 4.5.2015
- Miljöministeriet 2014. Lagstiftning som gäller byggnaders energiprestanda. Tillgänglig: http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning_och_byggande/Lagstiftning_och_anvisningar/Lagstiftning_s_om_galler_byggnaders_energiprestanda Hämtad: 27.4.2015
- MMf 176/2013 2012, *Miljöministeriets förordning om energicertifikat för byggnader*. Tillgänglig: <http://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2013/20130176> Hämtad: 16.3.2015
- Motiva. 2014. *Mitä ovat lämmitystarveluvut?*. Tillgänglig: http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energiahallinta/kulutuksen_normitus/mita_ovat_lammitystarveluvut Hämtad: 10.3.2015
- Motiva och Miljöministeriet 2013. *Så läser du energicertifikatet*. Tillgänglig: http://www.motiva.fi/files/7602/Energiatodistusesite_2013_SV.pdf Hämtad: 17.3.2015
- Mäkinen, P. & Railio, J. 2014, *SFP-opas*, 31 s. Tillgänglig: <http://www.flaktwoods.fi/476d6be3-be6e-42e9-bd82-6152ff71a7aa> Hämtad: 27.2.2015
- Petersson, B-Å. 2007, *Tillämpad byggnadsfysik*, 3:1 uppl., Danmark, 524 s.
- Pilkington 2015, *Lasifakta 2015*, Lahti: Pilkington Lahden Lasitehdas Oy, 84 s. Tillgänglig: <http://www.pilkington.com/fi-fi/fi/arkkitehdit-suunnittelijat/lasifakta-2015> Hämtad: 21.3.2015
- RT 38-10941 2008, *Eristyslasit*, Rakennustietosäätiö RTS, 20 s. Tillgänglig: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10941.html.stx> Hämtad: 9.4.2015
- RT 52-11172 2014, *Lämmitystarveluku. Rakennusten energiankulutuksen seuranta*, Rakennustietosäätiö RTS, 5 s. Tillgänglig: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11172.html.stx> Hämtad: 31.3.2015
- Saint-Gobain ISOVER Ab 2015, *Beräkna U-värden*. Tillgänglig: <http://www.isover.se/konstruktionsl%C3%B6sningar/bbr/ber%C3%A4kna+u-v%C3%A4rden> Hämtad: 29.4.2015
- Sandberg, E. 2014a, *Ilmastointilaitoksen mitoitus*, Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy, 647 s.
- Sandberg, E. 2014b, *Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät*, Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy, 415 s.

Seppänen, O. 2001, *Rakennusten lämmitys*, 2 uppl., Helsinki: Suomen LVI-liitto ry, 35, 57 s.

Seppänen, O. & Seppänen, M. 2010, *Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka*, 5 uppl., Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy, 58-59, 64-68 s.

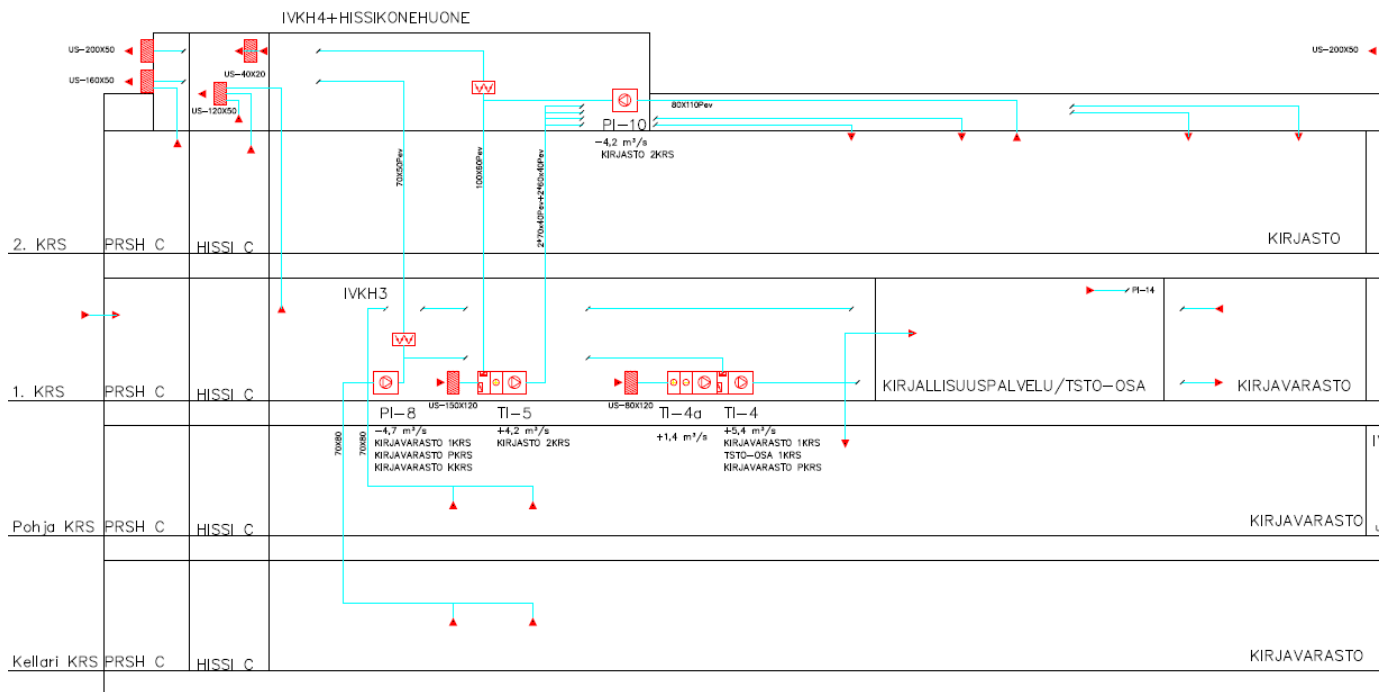
Swegon AB. 2014, *Teknikguide för inneklimat*, tillgänglig: http://www.swegon.com/Global/PDFs/System%20Technology/_sv/Indoor_climate_guide.pdf Hämtad: 16.3.2015

Tasauslaskentaopas 2012, Rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittaminen, tillgänglig: www.ym.fi/download/noname/%7B4A826B40-9B82-4749-B6BA-7A3537EA9DAE%7D/40514 Hämtad: 9.4.2015

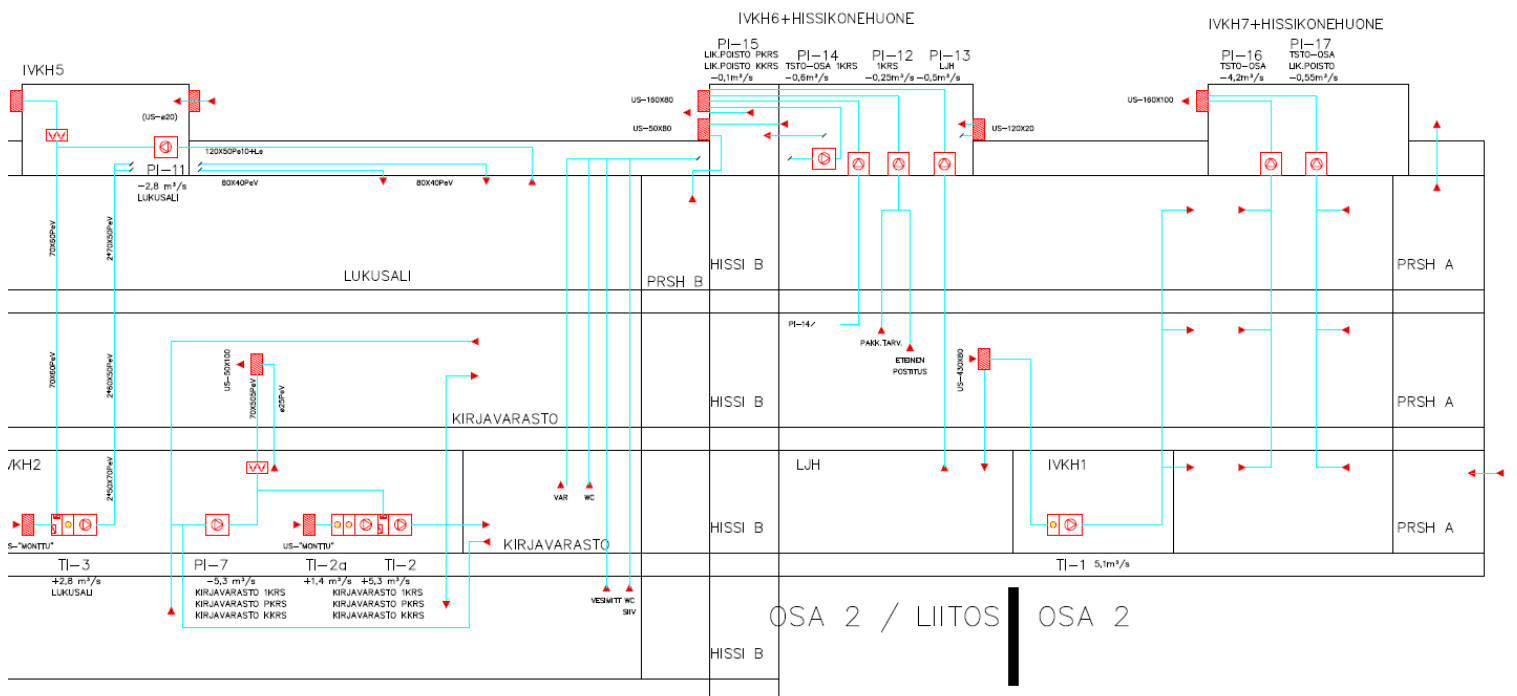
Vuolle, M. 2015, Diskussion om radiatorsystemets värmeförluster [e-post]. 2.4.2015

BILAGOR / APPENDICES

Bilaga 1. Schema över nuvarande ventilationssystem



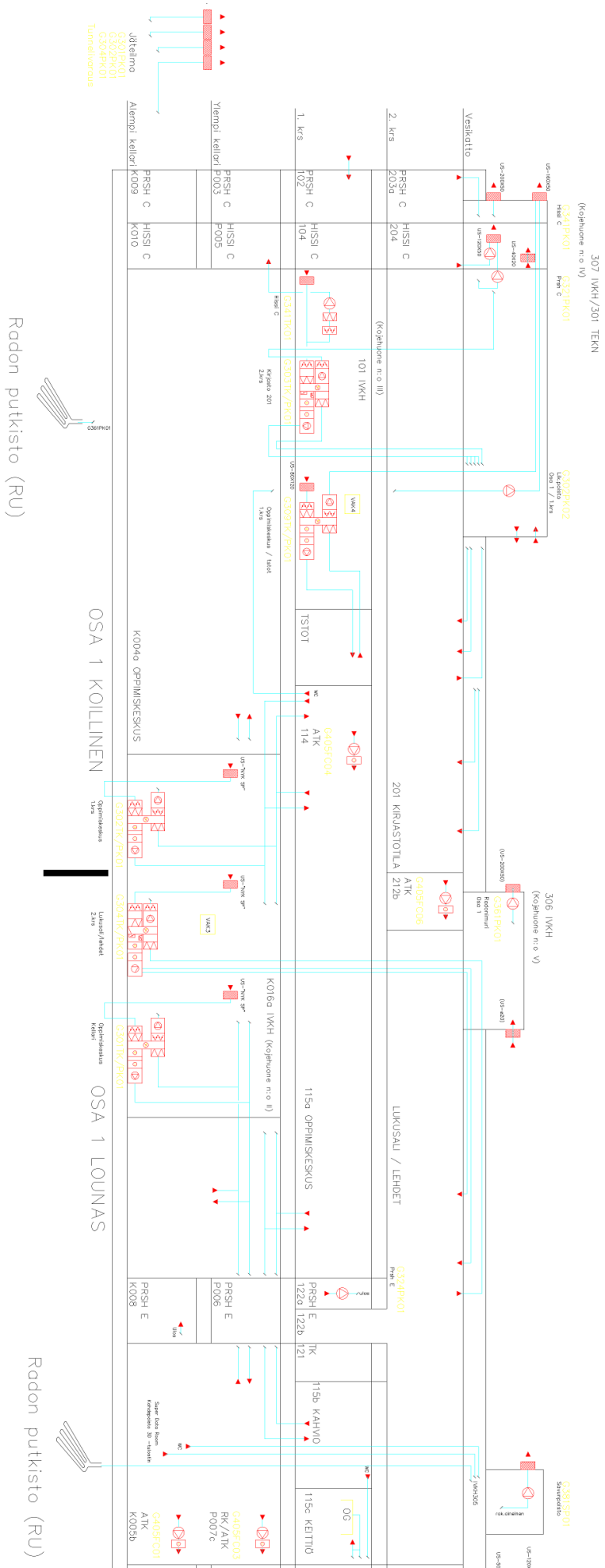
OSA 1 KOILLINEN

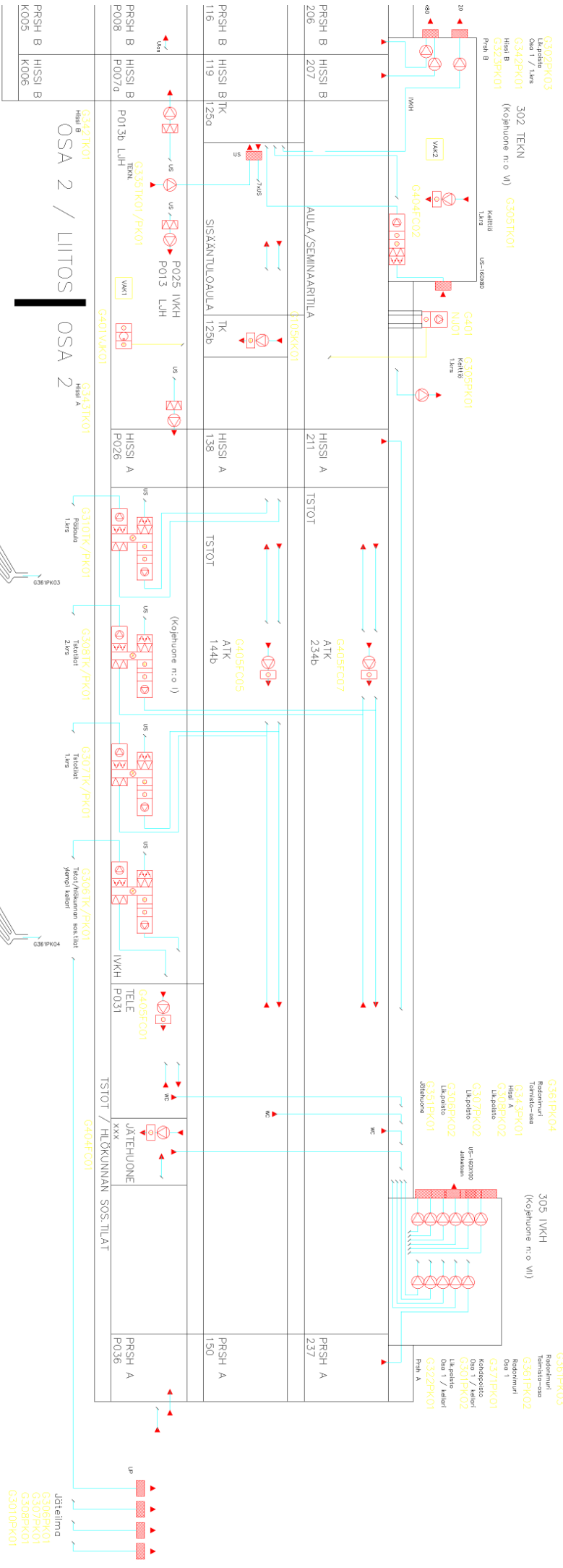


OSA 2 / LIITOS OSA 2

OSA 1 LOUNAS

Bilaga 2. Schema över kommande ventilationssystem





Radon putkisto (RU)

Radon putkisto (RU)



Jd1 elina
G306PK01
G307PK01
G308PK01
G309PK01