

Markku Mäkinen

# Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien energiatehokkuus ja ympäristövaikutukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (ylempi AMK)-tutkinto  
Rakentamisen koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
18.4.2012

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Markku Mäkinen Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien energiatehokkuus ja ympäristövaikutukset 116 sivua + 10 liitettä 18.4.2012
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikka
Ohjaaja	lehtori Jorma Säteri
<p>Opinnäytetyössä selvitettiin lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien energiatehokkuutta ja ympäristövaikutuksia kuvitteellisen referenssikohteen avulla. Ensimmäiseksi selvitettiin lääketeollisuuden liiketoimintaympäristön tekijöitä ja energian käytön merkitystä hyödyntämällä saatavilla olevaa ohjeistusta energiatehokkuuden parantamiseen ilmastointijärjestelmissä, jotka palvelevat nimenomaisesti lääketeollisuutta. Opinnäytetyössä annettiin myös yleiskuvaus puhdistilatyypikohtaisista ilmastointijärjestelmistä.</p> <p>Toiseksi opinnäytetyössä laskettiin kuvitteellisen referenssikohteen tunnusluvut energiankulutuksille ja CO<sub>2</sub>-ominaispäästöille neljälle Suomen säävyöhykkeelle ja erilaisille energiamuodoille. Laskenta suoritettiin karkean tasoisena perustuen Suomen Rakentamismääräyskokoelman osien D2, D3 ja D5 2007, 2010 ja 2012 laskentamääräyksiin ja sääntöihin. Laskennassa selvitettiin SFP-lukuun vaikuttavia tekijöitä, kuten ilmastointikojeiden otsapintanopeuksia ja kanavistojen painehäviöitä. Laskennasta myöskin ilmeni niin sanottua kriittisten parametrien (esimerkiksi huonelämpötila ja kosteus) merkitys energiankulutukselle ja siitä johtuen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöille. Laskennan tarkoituksena oli selvittää niitä energiankulutuksen eroja, jotka syntyvät keskeytymättömän kolmivuorotyön ja keskeytyvän yksivuorotyön välillä. Laskennasta selvisi edellä mainittujen asioiden lisäksi kohtuullisen ylimitoituksen merkitys.</p> <p>Opinnäytetyön kolmas ja tärkein päämäärä oli selvittää kuvitteellisen referenssikohteen tunnuslukujen laskennan kautta ne tekijät, joilla on vaikutusta, kun lääketeollisuusyritys tekee investointipäätöksiä. Investointipäätöksessä huomioidaan tuotantolaitoksen sijoituspaikan merkitys energiankulutukselle ja ympäristövaikutuksille. Opinnäytetyöstä selvisi, ettei yksiselitteistä vastausta voitu antaa, koska laskennan tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset olivat ristiriitaisia ja synnyttivät osaltaan uusia kysymyksiä.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, ilmastointijärjestelmät, puhdistilat, ympäristövaikutukset

Author(s) Title Number of Pages Date	Markku Mäkinen Energy efficiency and environmental impacts of HVAC systems for pharmaceutical industry 116 pages + 10 appendices 18 April 2012
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructor(s)	Jorma Säteri, senior lecturer
<p>The Masters` s thesis focused on studying the energy efficiency and environmental impacts of HVAC systems in the pharmaceutical industry on the basis of an imaginary reference project. Firstly, an overall picture of the pharmaceutical industry was gathered. Then the meaning of energy consumption in the industry was looked into with the help of the guides available for the improvement of energy efficiency of HVAC systems in the pharmaceutical industry.</p> <p>Secondly, the key figures for the energy consumption and CO<sub>2</sub>-specific emissions for the four climate zones in Finland and the different energy forms were calculated for the reference project. The rough calculations were based on the calculation rules and instructions given in the Finnish Building Codes. The calculations were used to investigate factors having an effect on SFP. They also revealed how the critical parameters affect the energy consumption and CO<sub>2</sub>-specific emissions. The differences in energy consumption in various working time conditions was studied, as well as the consequences of moderate overdimensioning.</p> <p>The most important objective of the thesis was to find the key figures affecting the investment decision in the case of the reference project. The thesis concluded that no simple answer could be found, because the results of the calculations were contradictory, raising new questions.</p>	
Keywords	HVAC-systems, clean rooms, energy efficiency, environmental impacts

## Lyhenteet

ACH	<i>Air Change Rate</i> . Ilmanvaihtoa tunnissa.
API	Active Pharmaceutical Ingredient. Aktiivinen lääkeaine.
Aseptinen	Mikro-organismeista vapaa
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> . Amerikan LVI-yhdistys.
BPT	<i>Best Possible Technics</i> (paras mahdollinen tekniikka)
CFU	<i>Colony Forming Units</i> Pesäkkeitä muodostavaa yksikköä.
CNC	<i>Controlled but not classified</i> . Valvottu mutta ei luokiteltu.
EN ISO	Eurooppalainen ISO standardi
EU	Euroopan Unioni
EPA	<i>Efficient Particulate Air Filter</i> . Tehokas ilmahiukkassuodatin.
FDA	<i>Food and Drug Administration</i> . Yhdysvaltain ruoka –ja lääkevirasto.
GEP	<i>Good Engineering Practice</i> . Hyvä suunnittelutapa.
GMP	<i>Good Manufacturing Practice</i> . Hyvä valmistustapa.
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air Filter</i> . Huipputehokas ilmahiukkassuodatin.
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i> . Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi.
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> . Ympäristötieteiden ja teknologioiden instituutti.
ISO	<i>The International Organization for Standardization</i> Kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
ISPE	<i>International Society for Pharmaceutical Engineers</i> . Lääketeollisuusinsinöörien kansainvälinen yhdistys.
LBNL	<i>Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory</i>
MPP	<i>Most Penetrating Particle size</i> . Lävistävin hiukkaskoko.
RH	<i>Relative Humidity</i> . Suhteellinen kosteus.
RP	<i>Report</i> . Raportti.
Steriili	Mikro-organismeista täysin vapaa

UDAF	<i>Uni Directional Air Flow.</i> Yhdensuuntainen ilmavirta.
ULPA	<i>Ultra Low Penetration Air Filter.</i> Ultra alhaisen lävistyskyvyn ilmasuodatin.
USA	<i>United States of America.</i> Amerikan Yhdysvallat.
USD	<i>US-dollar.</i> Yhdysvaltojen dollari.
URS	<i>User Requirement Specificationoin</i> Käyttäjävaatimus.
Vol.4	<i>Volym 4.</i> Osa 4.
WHO	<i>World Health Organizationoin</i> Maailman terveysjärjestö.

## Sisällys

1	Johdanto	8
2	Lääketeollisuus	10
2.1	Lääketeollisuuden tunnusluvut	10
2.2	Lääketeollisuusyritykset	13
2.3	Yhdysvaltaisten lääketieteellisyrittäjien energiankulutus ja hinta	15
2.4	Lääketeollisuuden energiankulutus	17
2.5	LVI-järjestelmien energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet	23
3	Puhdastilojen ilmastointijärjestelmät	29
3.1	Elektroniikkateollisuuden ilmastointijärjestelmät	29
3.2	Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmät	31
4	Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien energiatehokkuus	40
4.1	Referenssikohde	40
4.2	Referenssikohteen ilmamäärät	43
4.3	Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien komponenttimitoitukset	48
4.3.1	Ulkosäleiköt ja ulospuhallushajottimet	48
4.3.2	Ilmastointikojeet	49
4.3.3	Tulo- ja poistoilmakanavat	52
4.3.4	Tulo- ja poistoilmalaitteet	52
4.4	Mitoitusprosessit	54
4.5	Ilmastointijärjestelmien SFP-luvut	63
5	Ilmastointijärjestelmien energiankulutus	75
5.1	Ilmastointijärjestelmien lämpöenergian kulutus	75
5.2	Ilmastointijärjestelmien jäähdytysenergian kulutus	80
5.3	Ilmastointijärjestelmien kostutuksen energian kulutus	85
5.4	Ilmastointijärjestelmien puhallinmoottoreiden sähköenergian kulutus	88
5.5	Ilmastointijärjestelmien kokonaisenergian kulutus	89
5.6	Ilmastointijärjestelmien kostutuksen kokonaisenergiankulutus	95
5.7	Ilmastoinnin jäähdytyksen vuotuinen sähköenergian tarve	96
5.8	Ilmastoinnin puhaltimien vuotuinen sähköenergian tarve	99
6	Ympäristövaikutukset	100

6.1	Ympäristölupa	100
6.2	Ominaispäästökertoimet	100
6.3	Energiamuotojen kulutuskertoimet	101
6.4	Lämmitysenergian CO <sub>2</sub> -ominaispäästöt	101
6.5	Kostutuksen CO <sub>2</sub> -ominaispäästöt	106
6.6	Jäähdytyksen CO <sub>2</sub> -ominaispäästöt	107
6.7	Puhallinsähkön CO <sub>2</sub> -ominaispäästöt	108
7	Yhteenveto	109
7.1	Lääketeollisuuden ympäristöarvot	109
7.2	Referenssikohteen sijoituspaikka	109
7.3	Vertailu energioiden kokonaiskulutuksen kannalta	110
7.4	Vertailu ympäristövaikutusten kannalta	111
7.5	Energiankulutuksen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen yhteisvaikutus	111
	Lähteet	114
	Liitteet	
	Liite 1. Puhdastilailmastoinnin toimintakaavio	
	Liite 2. Pohjapiirustus, pohjakerros 1:100	
	Liite 3. Pohjapiirustus, Tekninen kerros 1:100	
	Liite 4. Huonelaskentataulukot	
	Liite 5. Kanaviston painehäviölaskentataulukot	
	Liite 6. Lämmön talteenoton laskentadiagrammit	
	Liite 7. Lämpökuormien laskentataulukko	
	Liite 8. Ilmastointijärjestelmien lämpöenergiankulutuksen laskentataulukot	
	Liite 9. Ilmastointijärjestelmien jäähdytysenergiankulutuksen laskentataulukot	
	Liite 10. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 kostutusenergian laskentataulukko	

## 1 Johdanto

Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmät kuluttavat suuren osan siitä energiasta, joka sidotaan lääkkeen valmistukseen. Tarkemmat luvut esitellään tämän selvityksen seuraavissa luvuissa. Suuresta energiankulutuksesta seuraa ympäristövaikutuksia, joiden merkitystä kannattaa pohtia suhteessa siihen terveyden edistämisen yleiskuvaan, jonka lääketeollisuus itsestään antaa ja ylläpitää. Lääketeollisuus on viime vuosien aikana tullut mukaan ympäristötietoisten teollisuuden haarojen joukkoon. Sille on kustannusmielessä helppoa asettaa ja täyttää ympäristöä ja energiavaroja säästäviä vaatimuksia. Lääketeollisuus on kannattavaa liiketoimintaa ja sen energiakustannukset suhteessa myyntiin tämän selvityksen lukujen valossa ovat suhteellisen pienet. Energiankulutuksen pienentäminen parantaa kannattavuutta edelleen ja ohjaa ympäristövaikutuksia ympäristölle edulliseen suuntaan.

Tämä selvitys perustuu kuvitteelliseen referenssikohteeseen, joka on alalle tyypillinen niin sanottua greenfield-hanke (= uudisrakennus tai kokonainen kiinteistö). Referenssi kohteen avulla voidaan tuoda esiin tekijöitä, jotka vaikuttavat investointipäätöksen tekkoon. Näitä tekijöitä ovat erityisesti energiatehokkuus ja ympäristövaikutukset, jotka molemmat riippuvat sijoituspaikkakunnan ulkoilman mitoitusolosuhteista. Tässä selvityksessä lähtökohdaksi on otettu kuvitteellisen referenssikohteen sijoittaminen Suomeen ja sijoituspaikkakunta vaihtoehtoina ovat Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 säävyöhykkeet: Helsinki-Vantaa, Jokioinen, Jyväskylä ja Sodankylä, jotka edustavat tilastollisesti koko Suomea. Ilmastointijärjestelmien energiatehokkuus on usean tekijän yhteisvaikutuksesta syntyvä kokonaisuus. Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien mitoitusta ja toimintaa ohjaavat hyvän valmistustavan (Good Manufacturing Practice) GMP-vaatimukset, joista tärkeimmät ovat Euroopan Unionin sisäiset EU GMP-vaatimukset ja Yhdysvaltain Ruoka- ja lääkehallinnon FDA cGMP-vaatimukset. Nämä vaatimukset tulee täytyä kaikissa mahdollisissa ratkaisuissa, energiatehokkuus ja ympäristövaatimukset ovat toissijaisia, jos tällainen vertailu tulee ajankohtaiseksi. Tekniikan kehittyessä ja alaa tukevan tutkimustiedon syventyessä GMP- ja energiatehokkuus voidaan yhdistää. Tämä selvitys tukee tätä tavoitetta.



Kun lääketeollisuusyritys tekee investointipäätöstä uuden tuotantolaitoksen sijoittamisesta tai vanhan tuotantolaitoksen saneerauksesta, se tarvitsee päätöksensä tueksi selvityksiä, joista erilaiset päätökseen vaikuttavat tekijät voidaan tuoda esiin Yleensä päätöksen tekijät eivät tarvitse laajoja teknisiä selvityksiä vaan ne pyritään tiivistämään muutama tunnuslukuun, joita on helppoa verrata. Tässä selvityksessä keskitytään ilmastointijärjestelmien energiatehokkuuteen ja yksinkertaistettuun malliin ympäristövaikutuksista CO<sub>2</sub>- ominaispäästöjen muodossa. Kuvitteellisen referenssikohteen ilmastointijärjestelmät ovat lääketeollisuudelle tyyppisiä ulko- ja kierrätysilmajärjestelmiä. Kuvitteellisessa referenssikohteessa kaikki EU GMP -puhtausluokat D,C, B ja A ovat edustettuina antaen näin hyvän kokonaiskuvan.

Työnantajani Elomatic Oy suunnittelee ja rakennuttaa lääketehtaita maailmanlaajuisesti. Elomatic Oy:llä on toimistot Intiassa, Kiinassa, Serbiassa ja Puolassa, pääkonttori ja toimintojen pääosa sijoittuu Suomeen, jossa toimistot sijaitsevat Turussa (pääkonttori), Helsingissä, Jyväskylässä ja Oulussa. Tämän selvityksen taustalla on Elomatic Oy:n tarve saada materiaalia sisäiseen koulutukseen, jolla pyritään syventämään lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien energiatehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden ymmärtämistä ja ympäristövaikutusten suhdetta näihin. Tällä pyritään kohottamaan kompetensitasoa Elomatic Oy:n lääketeollisuusprojekteissa.

Ilmastointijärjestelmien energiatehokkuus ja ympäristövaikutukset ovat juuri nyt ajankohtaisia monestakin syystä. Energiatehokkuusvaatimukset tiukentuvat perustuen EU:n tavoitteisiin ja sitoumuksiin. Kiinteistöomistajat luokittelevat kiinteistöjään Leed ja Breeam vaatimusten mukaisesti. Yritykset kirkastavat yrityskuvaansa investoimalla energiatehokkuuteen, ja energiatehokkuudesta on tullut oma liiketoimintansa. Mitä energiatehokkuus on ja miten sillä vaikutetaan ympäristöön? Tässä selvityksessä paneudutaan näihin kysymyksiin pilkkomalla kuvitteellisen lääketeollisuuden referenssikohteen ilmastointijärjestelmät pieniin osiin, joita kutakin erikseen käsittelemällä saadaan vastauksia niiden merkityksestä energiatehokkuudelle. Ympäristövaikutusten arvioinnissa on käytetty samoja tietoja, joita käytettiin uusien Suomen Rakentamismääräyskokoelmien osien D3/2012 ja D5/2012 valmistelussa. Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmät edustavat vaativia ilmastointijärjestelmiä. Näiden ymmärtäminen antaa yleispätevyden ymmärtää myös muita alakohtaisia ilmastointijärjestelmiä.

## 2 Lääketeollisuus

### 2.1 Lääketeollisuuden tunnusluvut

Lääketeollisuus valmistaa tuotteita ehkäisemään ja parantamaan eläin- ja ihmisperäisiä sairauksia. Osaa sen tuotteista käytetään elämän laadun parantamiseen, näitä tuotteita ovat muun muassa ulkonäön hoitoon liittyvät valmisteet, kuten rypynpoistoon tarkoitettut hermoja lamaannuttavat pistokset ja silikoni proteesit.

Maailman lääketyritysten myynti valmistajien hinnoilla vastasi 808 miljardia dollaria vuonna 2009 (1, s. 39). Lääketeollisuus on keskittynyt valmistusvolyymiltaan ja liikevaihdoltaan Yhdysvaltoihin, jolla on 37 % markkinaosuus, Euroopan lääketeollisuudella on 31 % markkinaosuus, Japanilla 11 % ja muulla maailmalla 21 % maailman lääke-markkinoista (1, s. 39). On merkillepantavaa miten lääketeollisuus on keskittynyt läntisiin teollisuusmaihin ja populaatioltaan suuret maat, kuten Kiina, Intia ja Venäjä jakavat vain edellä mainitun 21 %:n markkinaosuuden

Vuonna 2008 Yhdysvaltojen, Euroopan ja Japanin lääketeollisuuden tuotannon arvo oli 358 miljardia euroa, josta Yhdysvaltojen osuus oli 34 %, Euroopan 55 % ja Japanin 11 % (1, s. 7).

Vuonna 2009 kaksitoista maailman suurinta lääkealan yritystä pyörittivät noin 434 miljardin dollarin liikevaihtoa, josta syntyi noin 19 %:n keskimääräinen nettotulos, joka vastaa noin 83 miljardia dollaria (2). Vuonna 2009 kaksitoista maailman suurinta lääkealan yritystä työllistivät suoraan noin 867 000 ihmistä (2).

Lääkkeen valmistus on yksi maailman kannattavimmista liiketoiminnoista. Maailman kannattavimmat liiketoiminnot ovat kannattavuusjärjestyksessä (3) huumeteollisuus, aseeteollisuus, prostituutio, öljyteollisuus, piraattituotteet, urheiluteollisuus, pankkitointa, alkoholin valmistus ja myynti, pornoteollisuus, lääketeollisuus, viihdeteollisuus ja ihmiskauppa.

Lääketeollisuus on merkittävä elinkeino Euroopassa. Vuonna 2008 eurooppalaisten lääkealan yritysten tuotannon arvo oli noin 197 miljardia euroa (1, s. 7). Vuonna 2009 maailman kahdentoista suurimman lääkealan yrityksen joukossa oli kuusi eurooppalais-

ta yhtiötä. Näiden yhteenlaskettu liikevaihto oli noin 235 miljardia dollaria ja nettotulos oli noin 44,8 miljardia dollaria, joka vastaa noin 19 % liikevaihdosta (2). Vuonna 2009 viisi suurinta eurooppalaista lääkeyhtiötä työllistivät suoraan noin 440 000 ihmistä.

Lääkekulujen prosentuaalinen osuus kaikista terveyden huollon kustannuksista vuonna 2007 oli maittain taulukon 1 mukainen.

**Taulukko 1. Lääkekulujen osuus terveydenhuollon kustannuksista vuonna 2007 (1, s. 35).**

Espanja	21,0 %
Japani	19,6 %
Italia	19,3 %
Ranska	16,3 %
Saksa	15,1 %
Yhdysvallat	12,0 %
Sveitsi	10,3 %

Lääkemyynnin arvo henkilöä kohden vastasi vuonna 2009 taulukossa 2 esitettyjä summia.

**Taulukko 2. Lääkemyynnin arvo henkilöä kohden vuonna 2009 (1, s. 41).**

Yhdysvallat	687 USD
Japani	556 USD
Kanada	426 USD
Sveitsi	370 USD
Ranska	349 USD
Saksa	337 USD
Espanja	301 USD
Italia	214 USD
Iso-Britannia	181 USD

Terveydenhuoltomenojen osuus bruttokansantuotteesta (BKT) oli maittain vuonna 2007 taulukon 3 mukainen.

**Taulukko 3. Terveysthuoltomenojen osuus bruttokansantuotteesta (BKT) vuonna 2007 (1, s. 34).**

Yhdysvallat	16,0 %
Ranska	11,0 %
Sveitsi	10,8 %
Saksa	10,6 %
Italia	8,7 %
Espanja	8,5 %
Iso-Britannia	8,4 %
Japani	8,1 %

Pohjoismaissa lääkemenojen prosentuaalinen osuus kaikista terveydenhuollon kustannuksista on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4. Lääkemenojen osuus terveydenhuollon kustannuksista pohjoismaissa vuonna 2007 (4).**

Suomi	14 %
Islanti	13 %
Ruotsi	13 %
Tanska	9 %
Norja	8 %

Lääkemenojen arvo kaikista terveydenhuollon menoista henkilöä kohden pohjoismaissa on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5. Lääkemenojen arvo pohjoismaissa henkilöä kohden vuonna 2007 (4).**

Suomi	294 USD
Islanti	377 USD
Ruotsi	351 USD
Tanska	351 USD
Norja	320 USD

Terveysthuoltomenojen prosentuaalinen osuus bruttokansantuotteesta (BKT) pohjoismaissa oli vuonna 2007 taulukon 6 mukainen.

**Taulukko 6. Terveysthuoltomenojen osuus bruttokansantuotteesta (BKT) pohjoismaissa vuonna 2007 (4).**

Suomi	8,2 %
Islanti	9,3 %
Ruotsi	9,1 %
Tanska	9,8 %
Norja	8,9 %

Pohjoismaissa lääketeollisuus on merkittävä elinkeino. Ruotsissa lääketeollisuus työllisti 14 000 henkilöä vuonna 2010. Ruotsin lääketeollisuuden viennin arvo oli 76 miljardia Ruotsin kruunua vuonna 2010 (5, s 5 ja 19). Tanskan lääketeollisuus työllisti 17 000 henkilöä vuonna 2008 ja lääketeollisuuden viennin arvo oli 41 miljardia Tanskan kruunua vuonna 2005 (6). Suomen lääketeollisuus elinkeinona ei ole yhtä suurta kuin Ruotsissa ja Tanskassa. Suomessa lääketeollisuus työllisti 5 623 henkilöä vuonna 2009 ja lääketeollisuuden viennin arvo oli 0,98 miljardia euroa vuonna 2010 (4).

## 2.2 Lääketeollisuusyritykset

Taulukon 7 mukaiset lääketeollisuusyritykset rankattiin kahdeksitoista suurimmaksi liikevaihdoltaan maailmassa maaliskuussa 2010 perustuen vuoden 2009 julkisiin toimintakertomuksiin.

**Taulukko 7. Maailman 12 suurinta lääketeollisuusyritystä (2).**

Suuruusjärjestys	Yrityksen nimi	Kotipaikka (maa)	Liikevaihto miljardia USD:a
1	Johnson & Johnson	Yhdysvallat	61,90
2	Pfizer	Yhdysvallat	50,01
3	Roche	Sveitsi	47,35
4	Glaxo Smith-Kline	Iso-Britannia	45,83
5	Novartis	Sveitsi	44,27
6	Sanofi-Aventis	Ranska	41,99
7	Astra Zeneca	Iso-Britannia	32,81
8	Abbott Laboratories	Yhdysvallat	30,76
9	Merek & Co	Yhdysvallat	27,43
10	Bayer Health Care *	Saksa	22,30
11	Eli Lilly	Yhdysvallat	21,84
12	British-Myers Squibb	Yhdysvallat	18,81

\*Bayer:in liikevaihtoon tulee lisätä osuuksia, joita tässä taulukossa ei ole laskettu mukaanoin

Taulukon 7 tiedot eivät kerro yrityksen kotipaikasta koko totuutta, koska taulukossa listatut yhtiöt harjoittavat liiketoimintaa kaikissa maailmanosissa. Selvennyksen vuoksi taulukkoon 8 on listattu vuonna 2002 Yhdysvalloissa toimineet suurimmat lääketeollisuusyritykset.

**Taulukko 8. Yhdysvalloissa toimineet suurimmat lääketeollisuusyritykset myynnin mukaan vuonna 2002 (8, s. 13).**

Yrityksen nimi	Yhdysvaltojen päämajan sijainti	miljardia USD:a
Abbot Laboratories	Abott Park, Illinois	9,27
Amgen	Thoyhdysvallatnd Oaks, California	4,99
Astra Zeneca	Wilmington, Delaware	17,84
Aventis	Bridgewater, New Jersey	17,25
Baxter Healthcare	Deerfield, Illinois	3,10
Bayer	West Haven, Connecticut	5,12
Boehringer Yngelheim	Ridgefield, Connecticut	7,92
Bristol -Myers Squipp	New York, NY	14,70
Glaxo Smith-Kleine	R. Triangle Park, North Caroline	28,20
Hoffmann- La Roche	Nutley, New Jersey	10,81
Johnson & Johnson	New Brunswick, New Jersey	17,20
Eli Lilly	Indianapolis, Indiana	11,07
Merek & Co	Whitehous Station, New Jersey	21,63
Novartis	East Hanover, New Jersey	15,36
Pharmacia	*	12,03
Pfizer	New York, NY	28,28
Schering-Ploughen	Kenilworth, New Jersey **	8,70
Wyeth	Madison, New Jersey	11,70

\*Pharmacia myytiin Pfizerille vuonna 2003

\*\*Schering-Ploughen myytiin Bayerille

Tanskalaiset lääketieteellisyrietykset Novo Nordisk ja IT. Lundeck löytyvät maailman viidenkymmenen suurimman lääketieteellisyrietyksen joukosta (2).

Läketieteellisyys investoi suuria summia tutkimukseen Taulukon 7 mukaiset kaksitoista suurinta Yhdysvalloissa toimivaa lääketieteellisyrietyttä käyttivät noin 42 miljardia dollaria tutkimukseen ja tuotekehitykseen vuonna 2002, joka vastaa noin 17 % keskimääräisestä maailmanlaajuisesta myynnistä. Läketieteellisyys on yksi eniten tutkimukseen ja tuotekehitykseen panostavista teollisuuden haaroista maailmassa. Lääketuotanto ja tutkimus on integroitu toisiinsa. Monissa yhtiöissä lääketuotanto ja tutkimuslaboratoriot ovat samassa paikassa (8, s. 14).

### 2.3 Yhdysvaltalaisen lääketieteellisyrietyksen energiankulutus ja hinta

Yhdysvaltalaisen lääketieteellisyrietyksen energiankulutus on hyvin tilastoitua ja tietoa siitä on helposti saatavilla. Eurooppalaisten lääketieteellisyrietyksen energiankulutustietojen saaminen on hankalaa, se edellyttäisi yritys kohtaista tiedon keruuta. Tässä selvityksessä tukeudutaankin Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratoryn tekemään raporttiin (8).

Yhdysvaltojen lääketieteellisyrietyksen tilastoitujen kuljetusten arvo oli vuonna 2002 noin 140 miljardia dollaria (8, s. 12). Yhdysvaltojen lääketieteellisyrietyksen tilastoitu energiakustannus oli vuonna 2002 noin 0,66 % kuljetusten arvosta eli arvoltaan 920 miljoonaa dollaria (8, s. 21). Tästä voidaan johtaa tunnusluku, joka ilmentää energian hinnan osuutta jokaista tehtaalta pois kuljetettua lääke-erää kohden:

$$0,92/140 = 0,00657$$

eli jokainen Yhdysvalloissa tehtaalta ulos lähetetty lääke-erä arvoltaan 1 miljardia dollaria on maksanut noin 6,6 miljoonaa dollaria energiakustannuksina.

Tätä tunnuslukua ei voi sellaisenaan soveltaa muualle kuin Yhdysvalloissa sijaitsevaan lääketieteellisyrietyteen, koska Yhdysvalloissa tilastoidut lääkeyrietykset sijaitsevat maantieteellisesti lämpimillä ilmastovyöhykkeillä kuin esimerkiksi eurooppalaiset ja pohjois-

eurooppalaiset lääketeollisuusyritykset. Yhdysvaltojen lääketeollisuusyritykset sijaitsevat pääosittain Pennsylvaniassa, Pohjois-Carolinassa, Californiassa, New Jerseyssä, New Yorkissa ja Puerto Ricossa (8, s. 5). Näiden osavaltioiden vuotuiset keskilämpötilat on listattu taulukkoon 9.

**Taulukko 9. Yhdysvaltalaisten lääkeyritysten maantieteelliseen sijaintiin perustuvat vuotuiset keskilämpötilat (9).**

Pennsylvania	10... 12 °C
Pohjois-Carolina	15... 16 °C
California	13... 17 °C
New Jersey	10... 12 °C
New York	12 °C
Puerto Rico	24... 26 °C

Vertailun vuoksi voidaan mainita esimerkiksi Helsingin ja Turun vuotuinen keskilämpötila, joka on 5 °C (10, s. 56).

Yhdysvaltojen lääketeollisuuden energiakustannukset olivat vuonna 2002 noin 920 miljoonaa dollaria, josta sähkön osuus oli noin 700 miljoonaa dollaria ja muiden polttoainneiden 220 miljoonaa dollaria (8, s. 22). Yhdysvaltojen lääketeollisuus kulutti sähköä vuonna 2002 noin 11 000 GWh, josta itse tuotettua oli noin 1 000 GWh (8, s. 23). Vertailuna voidaan mainita, että Suomen teollisuuden kokonaissähkönkulutus oli vuonna 2002 noin 45 000 GWh (11).

Lääketeollisuudelle tyypillisesti lämmitys, -ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmät ovat suurimmat energian kuluttajat. Tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriot sekä niin sanottua massan valmistusprosessi ovat kaksi suurinta kuluttajaryhmää (8, s. 24). Taulukossa 10 on esitetty kuluttajaryhmäkohtaiset prosentuaaliset jakaumat sekä kuluttajaryhmän sisäinen jakauma kulutuskohteittain.



Taulukko 10. Lääketeollisuuden energiankulutuksen jakauma (8, s. 24).

	Osuus kulutuksesta	Pisotrasiateho ja prosessi	Valaistus	Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi (HVAC)
Yhteensä	100 %	25 %	10 %	65 %
TTK	30 %	Mikroskoopit, centrifugit, sähköiset sekoittimet, analysointilaitteet, sterilointi, incubaatit, tutkimustilat, (jäähdytys)	Kohdevalot Yleisvalot	Puhdastilailmastointi ja vetokaapit, 100 % ulkoilmaa vaativat alueet, jäähdytysvesi, lämmitysvesi ja höyry
Toimistot	10 %	Tsto laitteet, kuten PC:t, faxit, tulostimet, kopiointilaitteet, käyttöveden lämmitys (9%)*	Kohdevalot Yleisvalot Pihavalot	Tilojen lämmitys (25%)* Tilojen jäähdytys (9%)* Ilmanvaihto (5%)*
Massan valmistus	35 %	Centrifugit, Sterilointi Incubaattorit, Kuivaajat, Erottimet	Kohdevalot Yleisvalot	Puhdastilailmastointi ja vetokaapit, 100 % ulkoilmaa vaativat alueet, jäähdytysvesi, lämmitysvesi ja höyry
Formulointi, Pakkaus ja täyttö	15 %	Sekoittimet, Moottorit	Yleisvalot Hieman yleisvaloja	Hiukkaspitoisuuden hallitsemisen ilmanvaihto
Varastot	5 %	Trukit Käyttöveden lämmitys (5 %)*	Yleisvalot Hieman yleisvaloja	Tilojen lämmitys (41 %)* Tilojen jäähdytys (4 %)*
Muut tilat	5 %		Yleisvalo	

\*Prosenttiosuudet käyttöveden lämmitykseen, tilojen lämmitykseen, tilojen jäähdytykseen ja ilmanvaihtoon on otettu U.S. DOE :n kaupallisten rakennusten energiankulutuksen tutkimuksesta (CBECS) kaupallisille toimisto- ja varastorakennuksille (U.S.DOE 1999). Näissä luvuissa on esitetty ensimmäiset arviot ja todellisuudessa luvut vaihtuvat kiinteistökohtaisesti.

## 2.4 Lääketeollisuuden energiankulutus

Lääketehtaan lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät kuluttavat taulukon 10 mukaan noin 65 % kaikesta Yhdysvalloissa sijaitsevan lääketehaan energiasta. Tähän on selvät syyt. Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien mitoitusta ohjaavat viranomaismääräykset: Euroopan Unionin sisällä EU GMP ja Yhdysvaltojen sisällä FDA cGMP. Yleensä kaikki lääketehollisuusyritykset pyrkivät täyttämään molempien viranomaismääräysten vaatimukset. Taulukko 11 selvittää nykyisten viranomaismääräysten keski-

näistä vastaavuutta puhtausluokkien osalta. Taulukko 11 perustuu ISPE:n ohjeisiin ja suosituksiin.

**Taulukko 11. EU-GMP ja FDA-cGMP vastaavuudet (12, s.11).**

Reference	Description			Classification				
ISPE Sterile Baseline Guide	Environmental Classification			Grade 5	Grade 7	Grade 8	Controlled Not Classified (with local monitoring)	Controlled Not Classified (CNC)
European Commission EU GMP, Annex 1, Vol. IV, Manufacture of Sterile Medicinal Products (effective 1 March 2009) (similar to PIC/S GMP Annex 1 2007)	Descriptive Grade			A	B	C	D	Not Defined
	A1 Rest	Maximum no. particles permitted per m <sup>3</sup> >= the stated size	0,5 µm	3 520	3 520	352 000	3 520 000	-
			5 µm	20 ("ISO 4.8")	29	2 900	29 000	-
	In Operation	Maximum no. particles permitted per m <sup>3</sup> >= the stated size	0,5 µm	3 520	352 000	3 520 000	Not stated	-
			5 µm	20	2 900	29 000	Not stated	-
		Maximum permitted number of viable organisms cfu/m <sup>3</sup>		< 1	< 10	< 100	< 200	-
FDA, Operation 2004, Guidance for Industry Sterile Drug Products Produced by aseptic Processing	In Operation	Maximum no. particles permitted >= the stated size	0,5 µm	ISO 5 (Class 100)	ISO 7 (Class 10 000)	ISO 8 (Class 100 000)	Not Defined	See ISPE Biopharm or Sterile Baseline Guides
		Action level number of airborne organisms cfu/m <sup>3</sup>		1	10	100	Not Defined	-

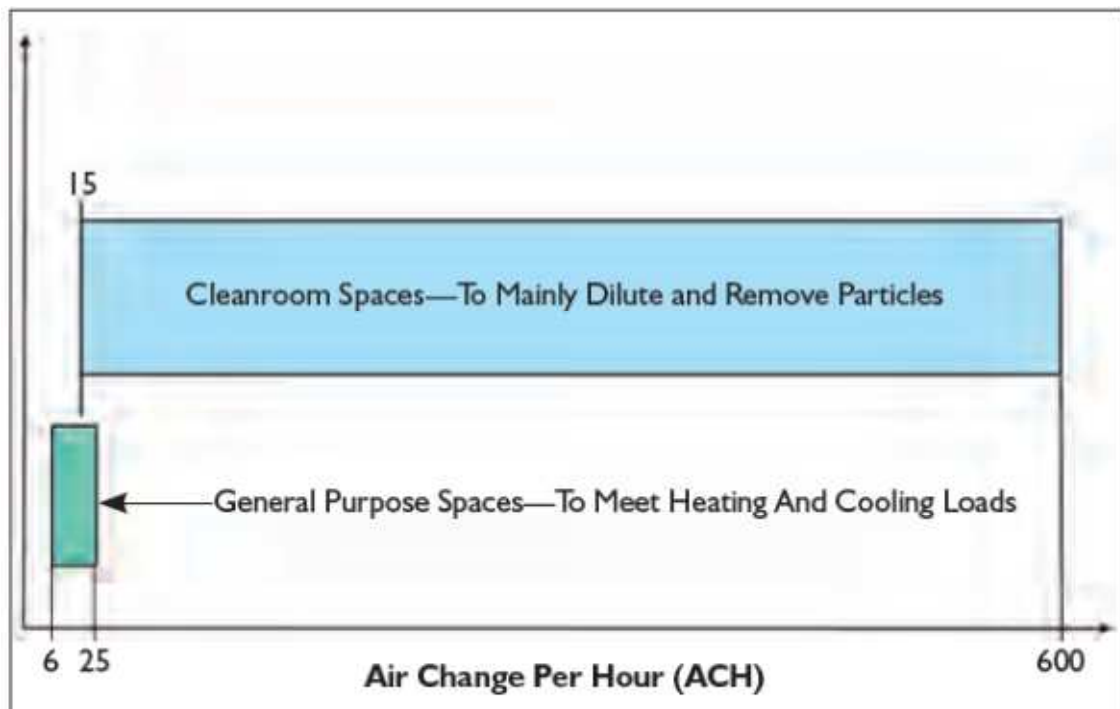
Lääketehtaan puhdastilojen ja valvottujen (CNC) tilojen puhtaus luodaan ilmastointijärjestelmien avulla annettujen edellytysten puitteissa.

EU GMP ja FDA cGMP perustuvat ISO 14644-standardeihin Taulukossa 12 on lueteltu ISO 14644- ja ISO 14698 -standardit, joihin lääketehaan puhdastilailmastointijärjestelmien mitoitus puhtausluokkakohtaisten hiukkaspitoisuuksien osalta perustuu. Näitä standardeja voidaan myös soveltaa CNC-tilojen ilmastointijärjestelmien mitoitukseen. Standardi ISO 14644-4 sisältää myös ohjeellisia arvoja muun muassa huonelämpötilalle ja kosteudelle.

**Taulukko 12. ISO-puhdastilastandardit.**

ISO-number	Title
ISO 14644-1	Classification of Particulate Cleanliness for Cleanrooms and Clean Zones
ISO 14644-2	Specifications for testing cleanrooms and associated environments to prove continued compliance
ISO 14644-3	Metrology and Test methods
ISO 14644-4	Design, Construction and Start-up of Cleanroom Facilities
ISO 14644-5	Cleanroom Operations
ISO 14644-6	Terms, Definitions & Units
ISO 14644-7	Separative Devices
ISO 14644-8	Classification Of Airborne Molecular Contamination
ISO 14898-1	Biocontamination, General Principles
ISO 14898-2	Biocontamination, Evaluation & Interpretation of Bio-Contamination Data
ISO 14898-3	Biocontamination, Methodology for Measuring the Efficiency of Processes of Cleaning and/or Disinfection

Puhdastilojen ja CNC-tilojen ilmanvaihtokertoimet (ACH) saattavat nousta moninkertaisiksi verrattuna muuhun teollisuuteen ja toimitilarakentamiseen. Tästä syystä lääketieteellisuuden ilmastointijärjestelmät kuluttavat paljon energiaa ja niiden energiatehokkuuteen ja ympäristövaikutuksiin tulee kiinnittää erityistä huomiota. ASHRAE on omassa lehdessään heinäkuussa 2004 (13) illustroinut selventävästi sitä ilmanvaihtokerroin-suhdetta, joka vallitsee puhdastilailmastointijärjestelmien ja tavanomaisen teollisuuden tai toimitilan ilmastointijärjestelmien välillä. Tämä suhde ilmenee kuvasta 1.



Kuva 1. Ilmanvaihtokertoimien suhteellisuus (13, s.37).

Ilmanvaihtokertoimet (=ilmanvaihdon tarve) ovat riippuvaisia epäpuhtauslähteistä, lämpökuormista ja sallitusta tuloilmanlämpötilan alilämpöisyydestä, kohdepoistoista ja vaaditun huonepaine-eron ylläpitoon tarvittavasta vuotoilmamäärästä. Elpymisaikavaatimus (recovery time) saattaa myöskin vaikuttaa vaadittuun ilmanvaihtokertoimeen. Elpymisaika tarkoittaa sitä aikaa, joka kuluu siitä hetkestä, kun epäpuhtaus lähde sammuu ja mitattu huoneilman hiukkaspitoisuus laskee 1/100:aan lähtöarvosta. Ilmanvaihtokerroin (ACH) lasketaan kaavan 1 mukaan (15, s. 62):

$$\text{ACH} = \frac{\text{huoneen ilmamäärä [m}^3/\text{h]}}{\text{huoneen tilavuus [m}^3\text{]}} \quad (1)$$

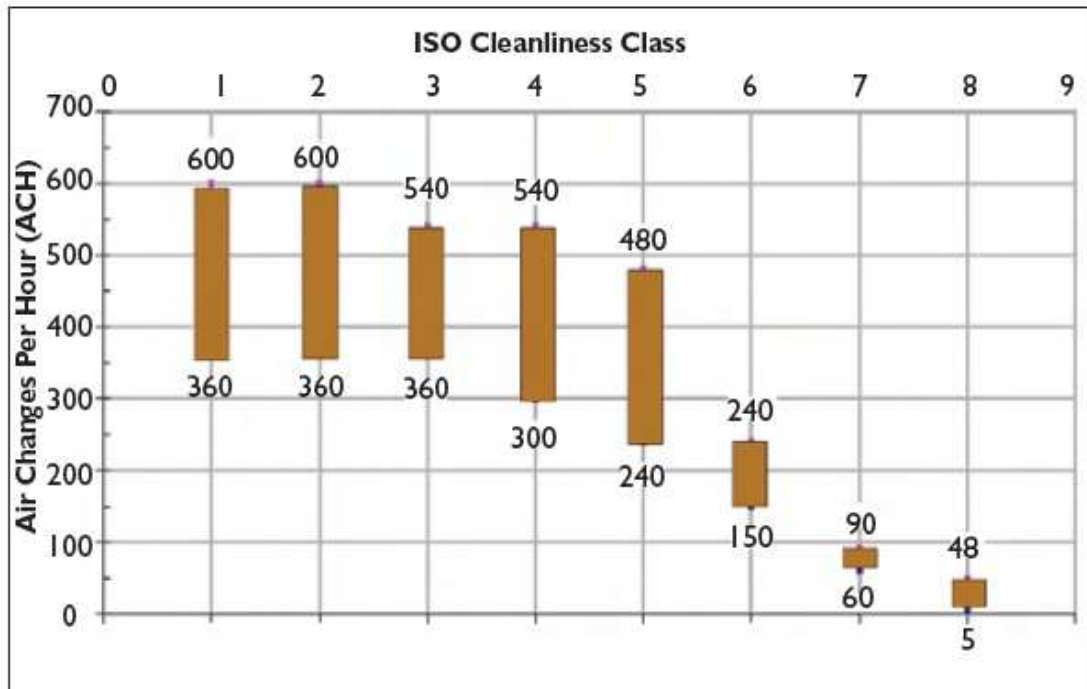
Huoneen hiukkaspitoisuus lasketaan laimennusyhtälön avulla (15, s. 63):

$$\text{Huoneen hiukkaspitoisuus/m}^3 = \frac{\text{Epäpuhtauksien hiukkas- tai mikrobipäästö/s *}}{\text{Huoneen ilmamäärä [m}^3/\text{s]}} \quad (2)$$

\*Edellytyksenä on, ettei huoneen tuloilmassa ole hiukkasia.

Ilmanvaihtokerroin ACH on ratkaisevassa roolissa puhuttaessa lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien energiatehokkuudesta ja ympäristövaikutuksista. Tästä aiheesta on

syvällisempää pohdintaa luvuissa 4 ja 7. IEST suosittelee puhdastilojen ilmanvaihtokertoimiksi (RP-121) perustuen ISO standardin 14644-1 puhtausluokkiin kuvan 2 mukaisia ilmanvaihtokertoimia.



Kuva 2. Puhdastilojen ilmanvaihtokertoimet puhtausluokkien mukaan (13, s. 37)

Lääketeollisuuden puhdas- ja CNC-tilojen ilmastointijärjestelmien puhtausluokkina käytetään ISO 14644-1:n mukaisia puhtausluokkia 5, 6, 7 ja 8. Vaativimpia ISO 14644-1:n puhtausluokkia 1, 2, 3 ja 4 käytetään lähinnä elektroniikkateollisuuden puhdastiloissa.

ASHRAE:n käsikirjassa on laskennallisesti osoitettu huoneen ilmanvaihtokertoimen laskenta ja huoneessa vallitseva ilmanvirtausnopeus (=otsapintanopeus niin sanotussa mäntävirtauksessa), kun huoneen mitat tunnetaan. ASHRAE viittaa myös käsikirjassaan vanhaan U.S. Federal Standardin 209E puhtausluokkiin 1 – 1 000 000, jota edelleen käytetään rinnan standardin ISO 14644-1 kanssa vaikka näin ei pitäisi tehdä. ASHRAE:n laskenta on esitetty taulukossa 13. Taulukon 13 ilmanvaihtokertoimet voidaan laskea kolmella eri tavalla. Laskennassa käytetyt kaavat 3, 4 ja 5 ovat

$$ACH = \frac{3600 \cdot Q}{LWH} \quad (3)$$

$$ACH = \frac{3600 * L * W * V}{LWH} \quad (4)$$

$$ACH = \frac{3600 * V}{H} \quad (5)$$

L on huoneen pituus [m]

W on huoneen leveys [m]

H on huoneen korkeus [m]

v on ilman nopeus huoneessa [m/s]

AHC on ilmanvaihtoa tunnissa (air changes per hour)

Kaava 5 osoittaa, että tietyllä ilman nopeudella huoneessa, ilmanvaihtokerroin AHC muuttuu käänteisessä suhteessa huonekorkeuteen H.

**Taulukko 13. Ilmanvaihtokertoimet huonekorkeudesta riippuvaisina (14, s. 16.11)**

CLASS ISO 209	AVERAGE ROOM VELOCITY. m/s	AIR CHANGES PER HOUR					
		2.5 m CEILING	3 m CEILING	6 m CEILING	9 m CEILING	12 m CEILING	18 m CEILING
2	0.43 to 0.51	638 to 750	510 to 500	255 to 300	170 to 200	128 to 150	85 to 100
3 CLASS 1	0.36 to 0.43	525 to 838	420 to 510	210 to 244	140 to 170	105 to 128	70 to 85
4 CLASS 10	0.30 to 0.36	450 to 525	360 to 420	180 to 210	120 to 140	90 to 105	60 to 79
5 CLASS 100	0.23 to 0.28	338 to 413	270 to 330	135 to 165	90 to 110	68 to 83	45 to 55
6 CLASS 1000	0.13 to 0.18	166 to 263	150 to 210	75 to 105	50 to 70	28 to 53	25 to 35
7 CLASS 10.000	0.04 to 0.09	60 to 120	50 to 100	24 to 48	15 to 30	12 to 24	8 to 16
8 CLASS 100.000	0.02 to 0.04	30 to 45	25 to 35	12 to 16	8 to 12	8 to 9	4 to 6
9 CLASS 1.000.000	0.010 to 0.015	15 to 23	12 to 18	6 to 9	4 to 6	3 to 5	2 to 3

Lääketeollisuuden puhdas- ja CNC-tilojen ilmastointijärjestelmien puhtausluokan mukaisina ilmanvaihtokertoimina voidaan käyttää taulukon 14 mukaisia ilmanvaihtoker-toimia.

**Taulukko 14. Tyypillisiä lääketeollisuuden puhdistilojen ilmanvaihtokertoimia (15, s. 62).**

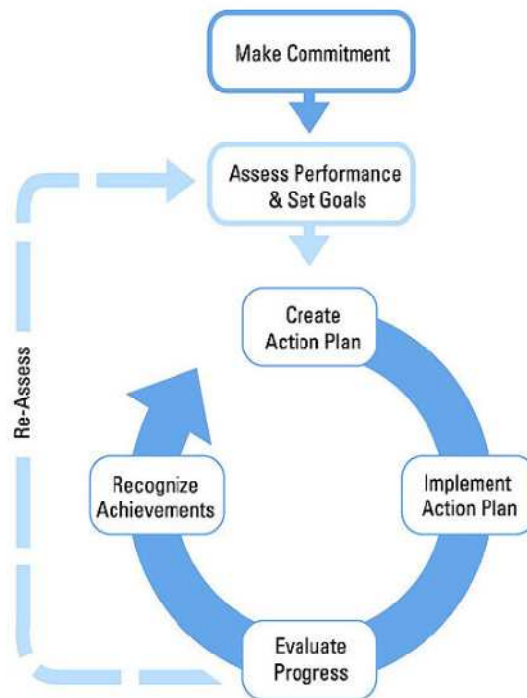
CLASS OF CLEANROOM	AIR CHANGES PER HOUR
ISO 8	2-10
ISO 7	10-100
ISO 6	> 100
< -	use unidirectional airflow

Useat lääketeollisuusyritykset käyttävät omia puhtausluokkakohtaisia ilmanvaihtokertoimia, jotka saattavat poiketa edellisen taulukon arvoista. Vaadittavan EU GMP- tai FDA cGMP -puhtausluokan määrittelee aina lääketeollisuusyritys. Puhtausluokan määrittely voidaan tehdä myös ISO 14644-1 -standardin puhtausluokkien mukaisesti. Annettujen puhtausluokkien vastaavuuden vertailuun voidaan käyttää taulukkoa 11.

## 2.5 LVI-järjestelmien energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet

Lääketeollisuuden vuotuiset energiakustannukset on suhteellisen pienet verrattuna esimerkiksi lääketehailta ulos lähteneisiin kuljetusten arvoon. Lääketeollisuus on kuitenkin osana ympäröivää yhteiskuntaa ja siksi myös vastuussa ympäristöstään. Lääketeollisuus on HI-TECH -teollisuutta ja siksi se haluaa ylläpitää yrityskuvaa, joka vastaa aikamme haasteita. Tämän hetken suurin haaste tulee ilmaston lämpenemisestä ja siihen vaikuttavasta CO<sub>2</sub>-päästöstä maan ilmakehään.

Lääketeollisuuden toiminnan perusta on ihmisten ja eläinten hyvinvoinnin lisääminen ja ilmaston lämpenemisen ehkäiseminen on osa tätä tavoitetta. Lääketeollisuuden strategisia tavoitteita ohjaavat taloudelliset vaikuttimet niin kuin muussakin teollisuudessa. Teollisuuden sisällä käydään jatkuvaa keskustelua siitä, mikä kullekin teollisuuden haaralle on tärkeää. Lääketeollisuusyrityksen tuleekin ennen energiaohtamisen strategiaan sitoutumistaan käydä läpi kuvan 3 mukainen prosessi (8, s. 19, 20).



**Kuva 3. Energiajohtamisen prosessi (8, s.20)**

Lääketeollisuuden energiatehokkuutta parantavat strategiset menetelmät jakaantuvat energiajohtamiseen ja energiankäytön valvontaan (8, s. 19, 20 21). LBLN:n pääraportti (8, s. 65, 66) esittää yhteenvetona ne lääketehollisuusyrityksen energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet, jotka mahdollistavat järkevemmän energian käytön ja pienentävät näin ollen ympäristövaikutuksia. Taulukossa 15 on esitetty ne toimenpiteet, jotka koskevat nimenomaisesti lääketehaan ilmastointijärjestelmiä. Toimenpiteet on jaettu energiajohtamiseen ja energiankäytön valvonnan tehtäviin.



Taulukko 15. Energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet (8, s.65)

Yleistä	
Energiajohtamisen ohjelmat	Energian käytön valvontajärjestelmät
Ilmastointijärjestelmät (HVAC)	
Energiatehokas suunnittelu	Käyttöönotto ja valvonta
Energian kulutuksen valvonta (RAV)	Lämpötilat tuotantoajan ulkopuolella
Kanavien tiiviys	Poistoilman lämpötilojen hallinta
Muuttuva ilmavirtajärjestelmät	Säädettävät taajuusmuuttujat
Lämmöntalteenotto	Vedenjäähdyttimien hyötysuhteet
Puhallintyytit	Poistopuhaltimien hyötysuhteet
Vapaajäähdytys	Aurinkolämpö
Rakennuksen varjostus	Rakennuksen eristykset
Ikkunatyytit	
Vetokaapit	
Tehokas varastointi	Luukkujen auki/kiinni rajat
Vortexin käyttö	IMS-poistohuuvut
Berkeley vetokaappi	
Puhdastilat	
Pienemmät kiertoilman ilmanvaihtokertoimet	Laadukkaat suodattimet ja niiden tehokkuus
Jäähdytysvesijärjestelmien optimointi	Jäähdytystornit
Kohdepoistojen minimointi	Puhtausluokan pudotus
Moottorit	
Moottorijohtamisen suunnitelma	Strateginen moottorivalinta
Kunnossapito	Oikein mitoitettut moottorit
Säädettävät taajuusmuuttujat	Tehon korjauskertoimet
Jännitteen (V) epätasaisuuden minimointi	Remmikäyttöjen korvaaminen

Näiden toimenpiteiden lisäksi LBNL on tuottanut yksityiskohtaisempaa tutkimustietoa erityisesti laboratorioiden ja puhdastilojen ilmastointijärjestelmien energiaterhokkuuden parantamiseksi (16, s. 17, 18, 19, 20). Näitä toimenpiteitä ovat

- ilmamäärien optimointi
- ilmanjako
- tieteellinen perusta ilmanvaihtokertoimille
- tehokkaampien suodattimien kehittäminen
- vetokaappien poistoilmamäärän pienentäminen
- poistoilman lämmön talteenotto
- kohdepoistolaitteiden ilmamäärän pienentäminen
- valvontajärjestelmien parantaminen
- epäpuhtauspitoisuuksiin perustuvat valvontajärjestelmät

- verkkopohjaiset RAU –järjestelmät
- miniympäristöt
- valaistustehot
- prosessilaitteiden lämpökuormat ja käyttö.

LBNL:n Hi-Tech-rakennusten puhdastilojen energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävien koulutusohjelmien aineistoista löytyvät muun muassa seuraavat suositukset (17, s. 26, 27):

- puhdastilojen minimointi
- oikea puhtausluokka
- optimoitu ilmanvaihtokerroin
- miniympäristöjen käytön hallinta
- optimoitu suodattimien osuus kattopinta-alasta
- puhdastilaprotokollan ja puhtauden harkinta
- minimoitu painehäviö (ilmanvastus)
  - ilmastointikojeiden sijoitus > tilojen lähellä
  - kanavien sopiva mitoitus ja minimoitu pituus
  - varattava riittävät tilat matalan painehäviön ilman virtaukselle
  - pieni otsapintanopeus
- muuttuvan pyörimisnopeuden puhaltimien käyttö
- optimoitu painetaso
- tuotannon ulkopuolisten aikojen ilmamäärien pienentämisen harkinta
- tehokkaat komponentit
  - otsapintanopeus
  - puhallinsuunnittelu
  - moottorien hyötysuhteet
  - HEPA-suodattimien paine-erot
  - puhallussuodatin yksiköiden hyötysuhteet
  - ilmastointijärjestelmien sähkösyötöt.

Saman aineiston suunnittelua koskevat ohjeet listaavat viisi suurimman energiansäästöpotentiaalin omaavaa toimenpidettä (17, s. 30):

- ilmastointikojeiden alhaiset otsapintanopeudet
- kuormituksen mukaan ohjattavat vedenjäähdyttimet

- vapaajäähdytystä hyödyntävät prosessilaitteet
- kahden lämpötilaeron jäähdytyspiirit
- kiertoilmamäärän alentaminen tuotannon ulkopuolisina aikoina

Tuloilma- ja ulkoilmajärjestelmien suunnitteluun samainen aineisto antaa seuraavat ohjeet (17, s. 52):

- ilmastointikojeiden sijoittaminen puhdastilojen lähelle
- kanaviston painehäviöt
- paine-erot/hävikit/kohdepoistot
- ilmastointikojeiden otsapintanopeudet
- pattereiden painehäviöt
- kanavien/kammioiden mitoitus ja sijoitus
- puhaltimien ja moottoreiden hyötysuhteet
- muuttuva ilmavirta puhaltimet.

Edellä mainitusta aineistosta löytyvät seuraavat energiatehokkuutta lisäävät johtopäätökset (17, s. 73):

- puhdastilan minimointi
- oikea puhtausluokka
- ilmanvaihtokerroin
- painehäviöiden minimointi
- ilmamääräsäätöiset järjestelmät
- poistoilmamäärän minimointi.

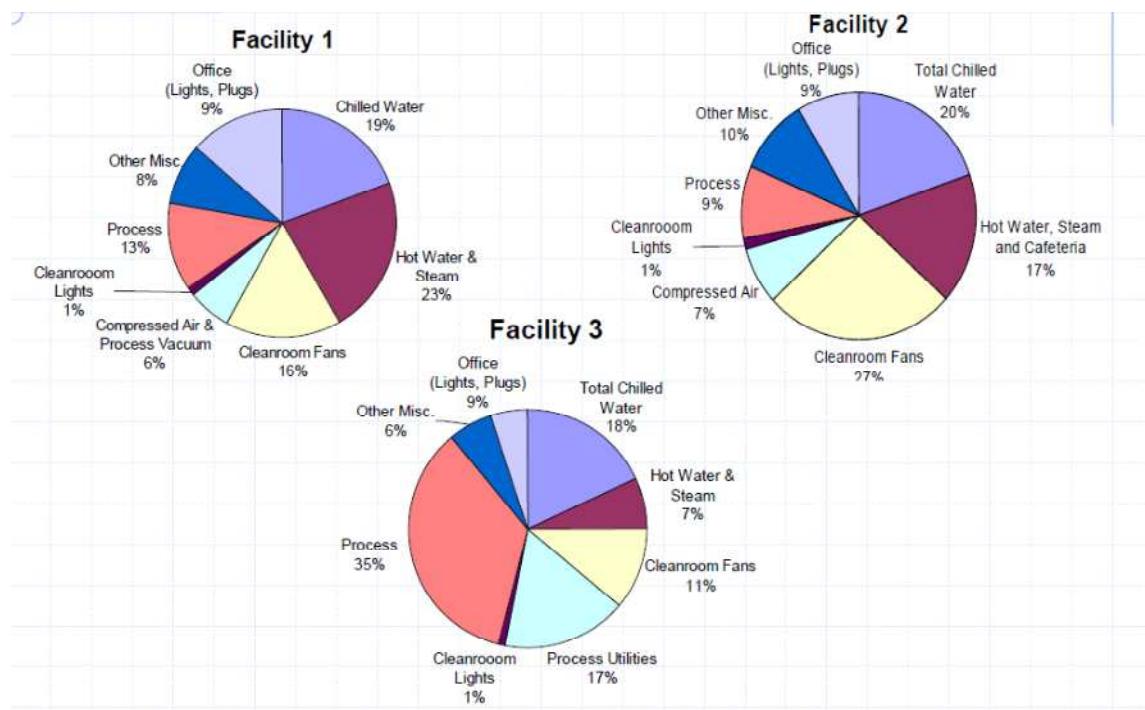
Samaisessa aineistossa on listattu ne käytännön toimenpiteet, joilla on pystytty vaikuttamaan ilmanvirtausreitin vastuksiin (17, s. 74):

- kanavakoko (isompi koko on hyvä)
- matala otsapintanopeus
- minimoitu kanaviston/ilmanvirtausreitin pituus
- tehokkaat matalapainehäviön suodattimet
- korotetun lattian painehäviö (% auki)
- palautusilmahormien koko ja sijoitus
- kammioiden käyttö.

Edellä mainittu aineisto tuo viimeksi esiin sen tosiasian, ettei puhdistilailmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuutta mahdollisteta ainoastaan ilmanvaihtoteknisin keinoin vaan kokonaisuuden hallitsemiseksi tarvitaan integroitua lähestymistapaa, jossa tulee ottaa huomioon (17, s. 75)

- järjestelmien mitoitus todellisille kuormille (mekaaninen ja sähkötek-ninen rajapinta)
- matalan painehäviön ilmastointijärjestelmät (mekaaninen/HVAC ja arkkitehtuurinen rajapinta)
- muuttuvien virtaamien mahdollistaminen (mekaaninen ja ohjauksen/valvonnan rajapinta).

LBLN:n tutkimukseen perustuvissa suosituksissa on kiinnitetty paljon huomiota puhdas-tilailmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuuteen ja erityisesti sähkönkulutukseen. Kuva 4 havainnollistaa puhdistilailmastointijärjestelmien puhaltimien sähköenergian-kulutusta, joka vastasi kokonaisenergiankulutuksesta 16 % laitoksessa 1, 27 % laitok-sessa 2 ja 11 % laitoksessa 3. Tässä yhteydessä on syytä muistaa, että kyseessä ole-vat laitokset 1, 2 ja 3 edustavat LBLN:n tutkimuksissa elektroniikkateollisuutta.

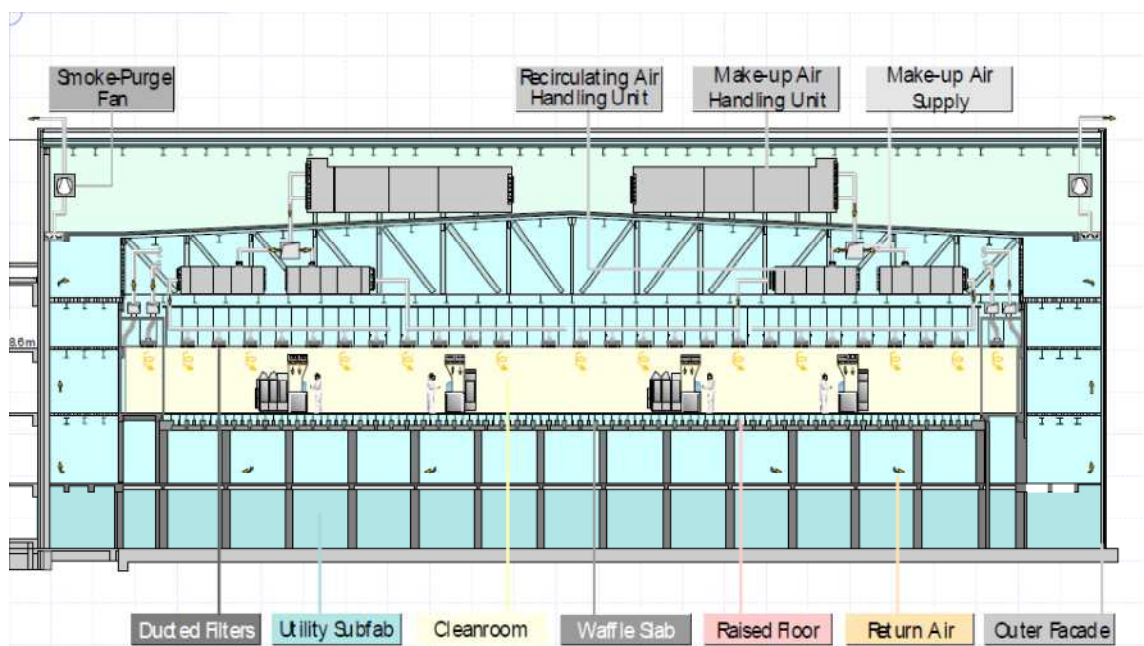


**Kuva 4 Energiakulutuksen jakaantuminen eräissä puhdistiloissa (17, s. 40)**

### 3 Puhdastilojen ilmastointijärjestelmät

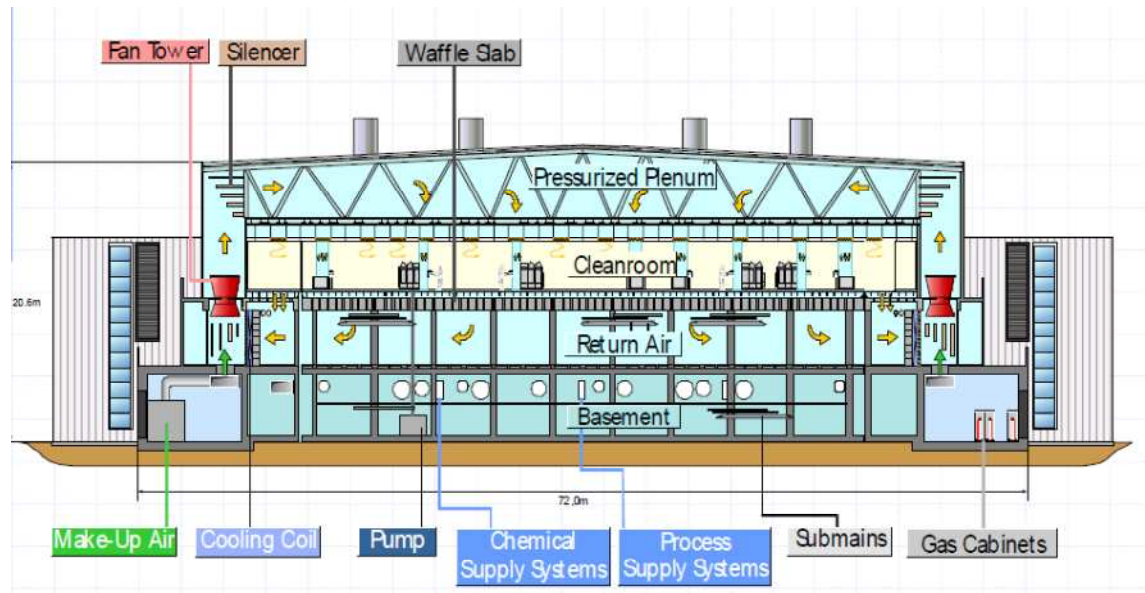
#### 3.1 Elektroniikkateollisuuden ilmastointijärjestelmät

Elektroniikkateollisuuden puhdastilailmastointijärjestelmät ovat yleensä kooltaan ja kapasiteetiltaan lääketeollisuuden puhdastilojen ilmastointijärjestelmiä suuremmat. Ne vaativat toimiakseen suuret tilat ja niissä pyritään luomaan ISO 14644-1 puhtausluokkien 1–5 olosuhteet. Kriittisinä huoneolosuhdeparametreinä ovat yleensä lämpötila ja kosteus. Niissä pyritään maksimoimaan kierrätysilman käyttö. Kierrätysilman käyttöön on kolme konseptia, jotka ovat esitettyinä kuvissa 5, 6 ja 7.



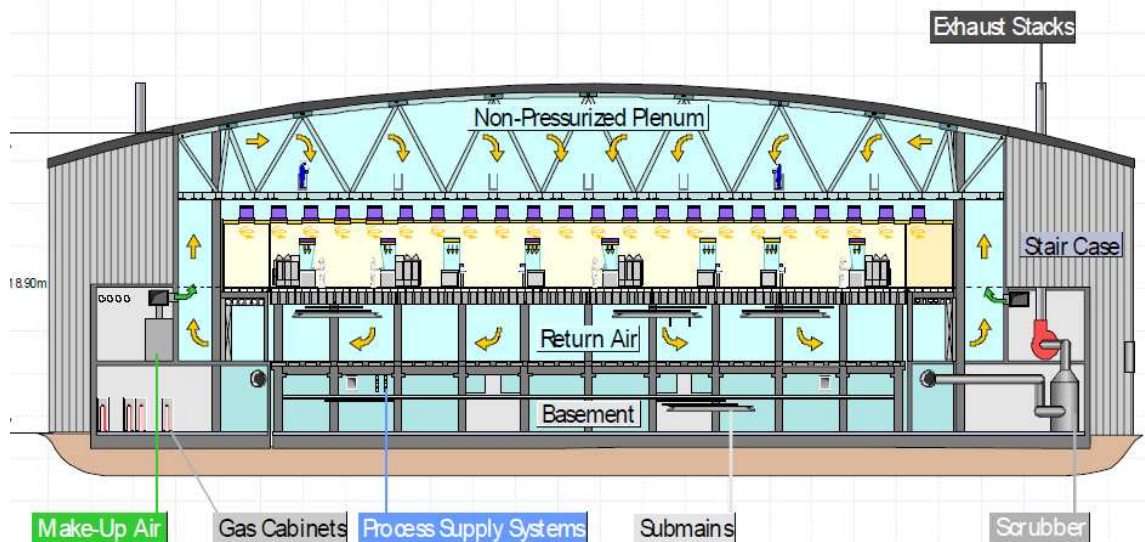
**Kuva 5. Konsepti 1 elektroniikkateollisuuden puhdastilailmastointijärjestelmän kiertoilmalle (17, s.11).**

Elektroniikkateollisuuden puhdastilailmastointijärjestelmän kierrätyskonseptissa 1 tuloilma (=käsitelty ulkoilma) johdetaan kanavilla kierrätysilmakojien sekoituskammioihin, joista kierrätysilmakojissa käsitelty ilma johdetaan kanavilla HEPA-suodattimille. Kierrätysilma johdetaan reiätetyn lattian kautta kierrätysilmahormeihin ja niistä kierrätysilmakammioon (17, s. 11).



Kuva 6. Konsepti 2 elektroniikkateollisuuden puhdistilailmastointijärjestelmän kiertoilmalle (17, s. 12).

Elektroniikkateollisuuden puhdistilailmastointijärjestelmän kierrätysilmakonseptissa 2 tuloilma (=käsitelty ulkoilma) johdetaan alipaineiseen kierrätysilmapuhallinkammioon, jossa jäähdytetty kierrätysilma sekoittuu ulkoilmaan. Kierrätysilmapuhaltimet puhaltavat ilman ylipaineiseen kammioon, josta ilma kulkeutuu HEPA-suodattimille (17, s. 12).

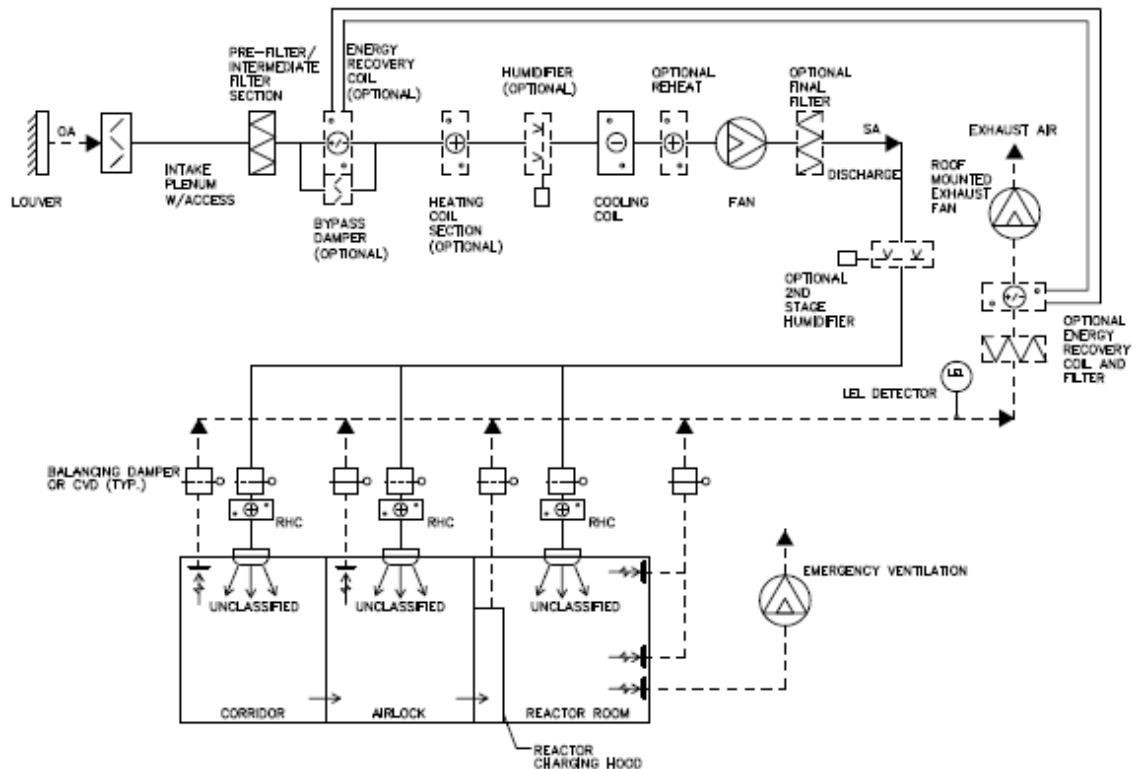


Kuva 7. Konsepti 3 elektroniikkateollisuuden puhdistilailmastointijärjestelmän kiertoilmalle (17, s. 13).

Elektroniikkateollisuuden puhdistililmastointijärjestelmän kierrätysilmakonseptissa 3 tuloilma (=käsittely ulkoilma) johdetaan kanavilla puhallinsuodatinyksiköiden (=FFU) alipainepuolelle kierrätysilmahormeihin, joista ilma johdetaan puhallinsuodatinyksiköiden HEPA-suodattimille. Järjestelmässä syntyvät lämpökuormat hallitaan ulkoilman käsittelyyn tarkoitetuissa tuloilmakojeissa (17, s. 13).

### 3.2 Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmät

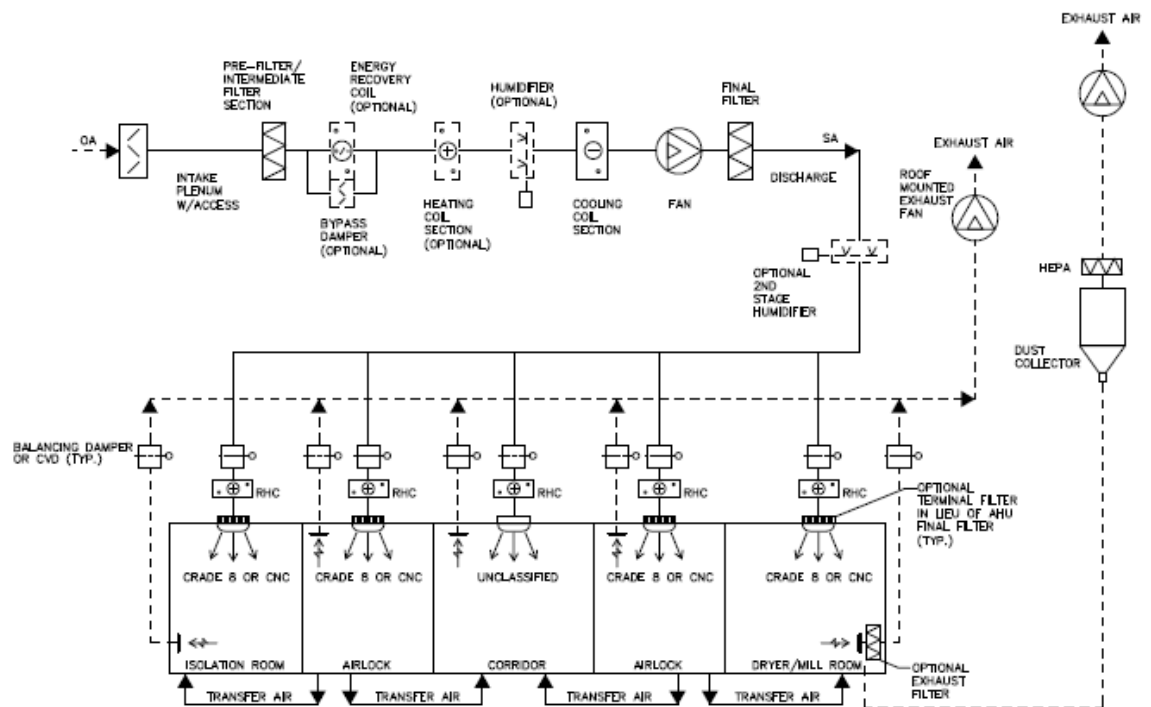
ISPE on julkaissut hyvien käytäntöjen oppaan, jossa on esitetty lääketeollisuudessa yleisimmin esiintyvät ilmastointijärjestelmät. Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmille on ominaista se, että ne rakennetaan palvelemaan tiettyä tuotantotyyppiä. Kuvissa 8 – 16 on esitetty yleisimmät järjestelmäratkaisut.



**Kuva 8. Lääketeollisuuden CNC-/puhdistililmastointijärjestelmä tiloille, joissa käsitellään kemiallisesti API:a (12, s. 50).**

Aktiivisen lääkeaineen kemiallinen käsittely estää kierrätysilman käytön, koska jäteilma on SRMK:n osan D2 jäteilmaluokan 4 ilmaa. Järjestelmään yleensä sisältyy vähintään kaksiportainen ulko- ja tuloilman suodatus, lämmön talteenotto, lämmitys, jäähdytys, jälkilämmitys ja optiona kostutus. Jälkilämmitys hoidetaan pääsääntöisesti huonekoh-

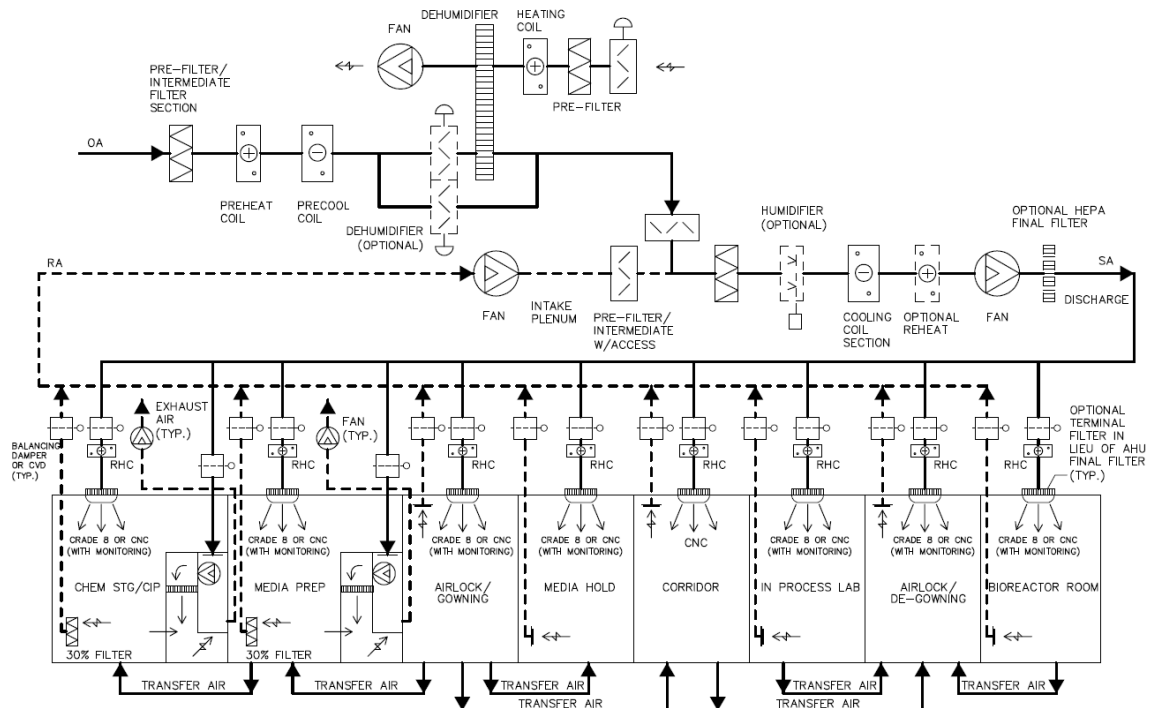
taisilla jälkilämmityspattereilla. Tämä siksi, että huonekohtaiset lämpökuormat saattavat esiintyä eriaikaisesti ja koko ulkoilma- ja tuloilmavirta kuivataan aiheuttaen tuloilmaan suurehkon alilämpöisyyden. Ilman huonekohtaista jälkilämmitystä niissä huoneissa, joissa ei ole riittävästi sisäisiä lämpökuormia, huonelämpötilat saattavat laskea alle hyväksyttävän työsuojelunormitason. Reaktorihuoneen kohdepoistohuuva ja hätätuuletus on huomioitu esimerkinomaisesti. Kuvan 8 esimerkissä kaikki valmistushuoneet ovat puhtausluokittelemattomia.



**Kuva 9. Lääketeollisuuden CNC-/puhdistilamastointijärjestelmä tiloille, joissa API:a käsitellään liuottimilla tai vaarallisilla aineilla (12, s. 51)**

Aktiivisen läkeaineen käsittely liuottimilla tai vaarallisilla aineilla estää kierrätysilman käytön ja tuo mukanaan useita käyttöturvallisuuteen liittyviä pohdintoja. Näitä ovat muun muassa ATEX-normiin liittyvät näkökohdat ja SRMK:n osiin E1, E7 ja D2 liittyvät näkökohdat. Kuvan 9 esimerkissä on merkille pantavaa erillispoistot ja jäteilman suodatus. Jäteilma tulee suodattaa silloin kun jäteilma sisältää ympäristölle vaarallisia aineita. Järjestelmän rakenne on kuten kuvassa 8 mutta tässä esimerkissä on lisänä huonekohtainen kolmas tuloilman suodatinporras, joka yleensä valitaan EPA- tai HEPA- suodatinluokista E10 – H14 standardin EN 1822:2009 mukaisesti (12, s. 51).



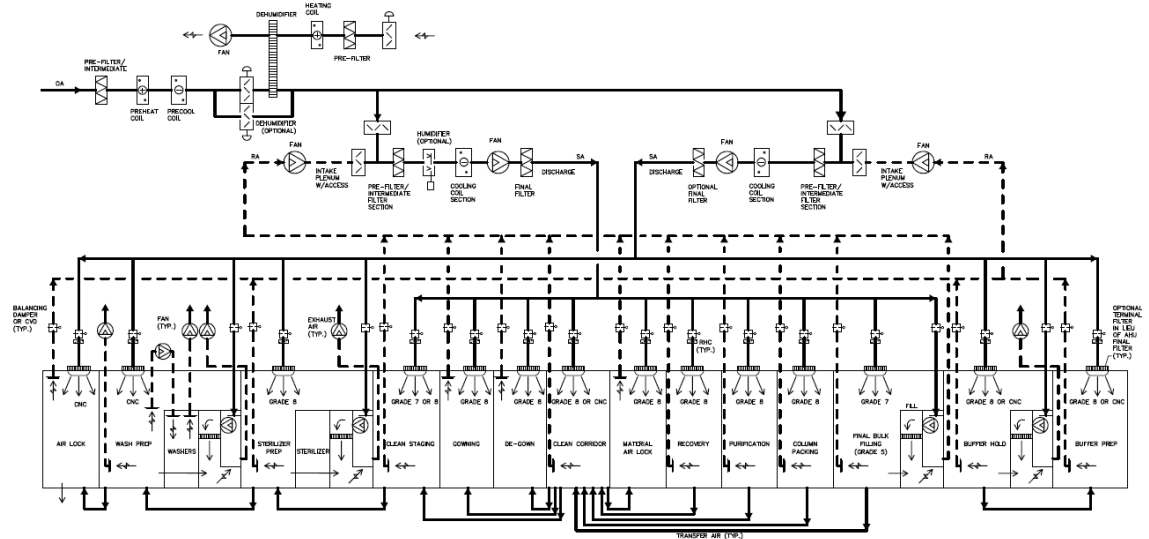


**Kuva 10. Lääketeollisuuden puhdistilamastointijärjestelmä biologisen lääkkeen viljelytiloille (12, s. 52).**

Biolääkkeiden valmistuksessa prosessi jaetaan geeniteknologian lainsäädännössä määriteltyihin bioturvallisuusluokkien BSL (Bio Safety Level) 1–4 mukaisiin luokkiin. Turvallisuusluokalla on suuri vaikutus ilmastointijärjestelmään. Kierrätysilmaa voidaan käyttää BSL 1- ja 2 -turvallisuusluokkien ilmastointijärjestelmissä sillä edellytyksellä, että kaikki ne työvaiheet, joissa huoneilmaan saattaa päästää eläviä viruksia, suoritetaan standardin EN 12469 luokkien I, II ja III mukaisissa suojakaapeissa. Biolääkkeiden valmistus jaetaan yleensä valmistusprosessin mukaiseen viljelyyn ja puhdistukseen.

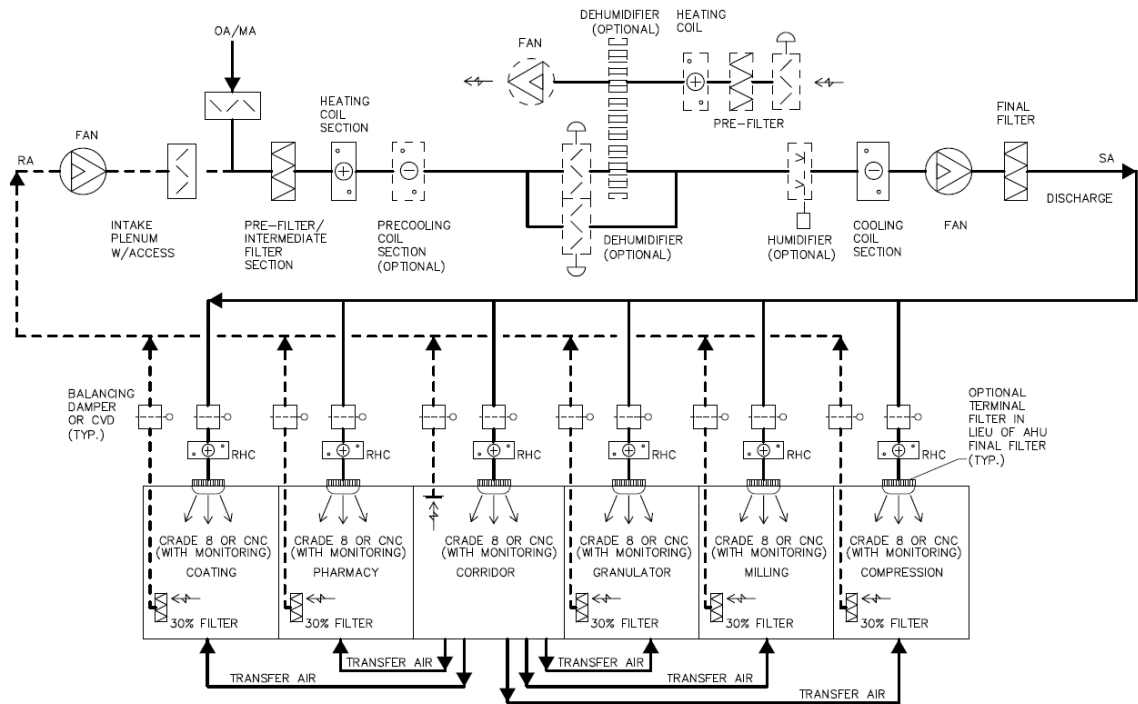
Kuvassa 10 on esitetty viljelyprosessin ilmastointijärjestelmä, jossa ulkoilma johdetaan erillisen ulkoilmakäsittely-yksikön kautta kierrätysilmakojeen sekoituskammioon. Ulkoilmayksikössä suodatin, lämmitys, jäähdytys ja kuivatus sekä sorptiokuivatus (jos mitoitusolosuhde vaatii). Kierrätysilmakojeessa on kaksiportainen suodatus, kostutus ja jäähdytys. Huonekohtaisissa tuloilmahaaroissa jälkilämmitys ja HEPA-suodattimet. Kierrätysilma HEPA-suodatetaan niissä huoneissa, joissa terveydelle tai ympäristölle haitallisia viruksia saattaa päästää huoneilmaan (12, s. 52). Biolääkkeiden valmistustilojen ilmastointijärjestelmän rakenteeseen ja mitoitukseen vaikuttavat samanaikaisesti GMP-puhtausluokat ja bioturvallisuusluokat. Molempien luokkien vaatimukset tulee

täyttyä. Tämä tekee ilmastointijärjestelmän suunnittelun haastavaksi. Biolääkkeiden valmistustilojen puhtausluokkina saattavat esiintyä kaikki EU GMP:tä vastaavat luokat A, B, C ja D.



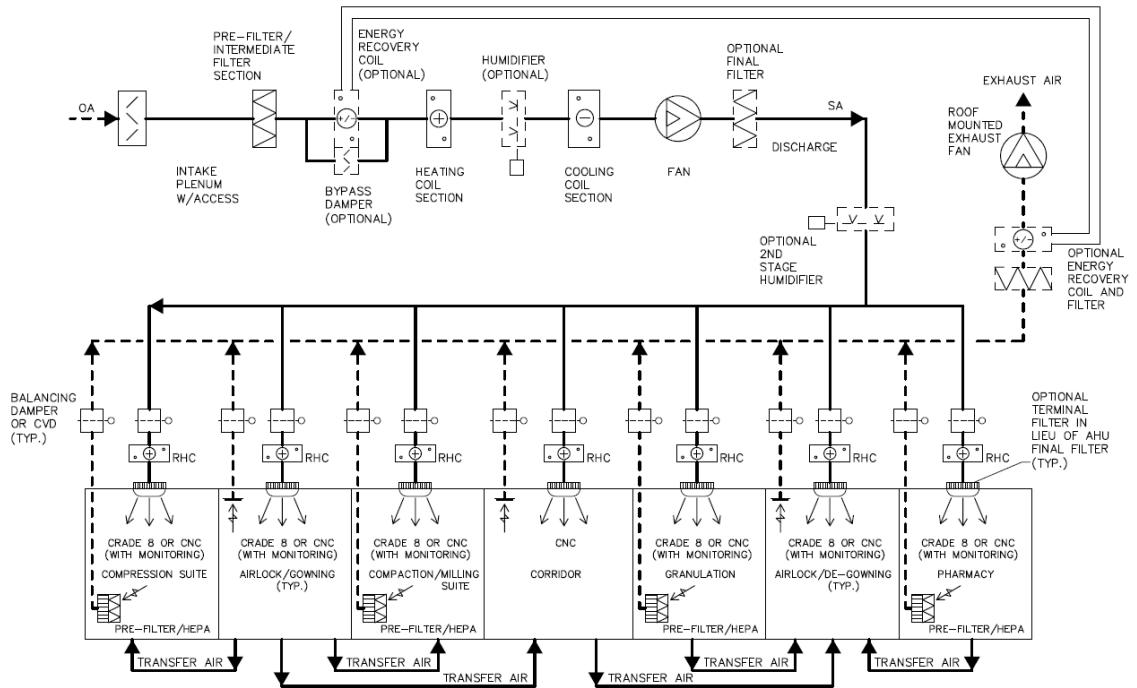
**Kuva 11. Lääketeollisuuden puhdistusilmastointijärjestelmä biologisen lääkkeen puhdistustiloille (12, s. 53).**

Kuvassa 11 on esitetty biolääkevalmistusprosessin puhdistuksen ilmastointijärjestelmä. Periaate on sama kuin biolääkevalmistusprosessin viljelyn ilmastointiprosessissa (12, s. 53). Bioturvallisuusluokkien 3 ja 4 ilmastointijärjestelmissä ei yleensä hyväksytä kierrätysilman käyttöä. Näiden terveydelle ja ympäristölle vaarallisten biolääkevalmistusprosessien ilmastointijärjestelmien jäteilma HEPA-suodatetaan Bag in/Bag out-tyyppisissä suodattimissa, joissa saastunut HEPA-suodatin vaihdetaan turvallisesti suoraan kaasutiiviiseen pakkaukseen. Bioturvallisuusluokkien 3 ja 4 ilmastointijärjestelmät varustetaan yleensä UPS-yksiköillä ja ne liitetään sähkönsyötön osalta varavoimajärjestelmiin. Bioturvallisuusluokkien 3 ja 4 ilmastointijärjestelmien toiminta tulee varmistaa sähkökatkojen varalta niin, että turvallisuuden kannalta kriittiset puhaltimet käyvät jatkuvasti.



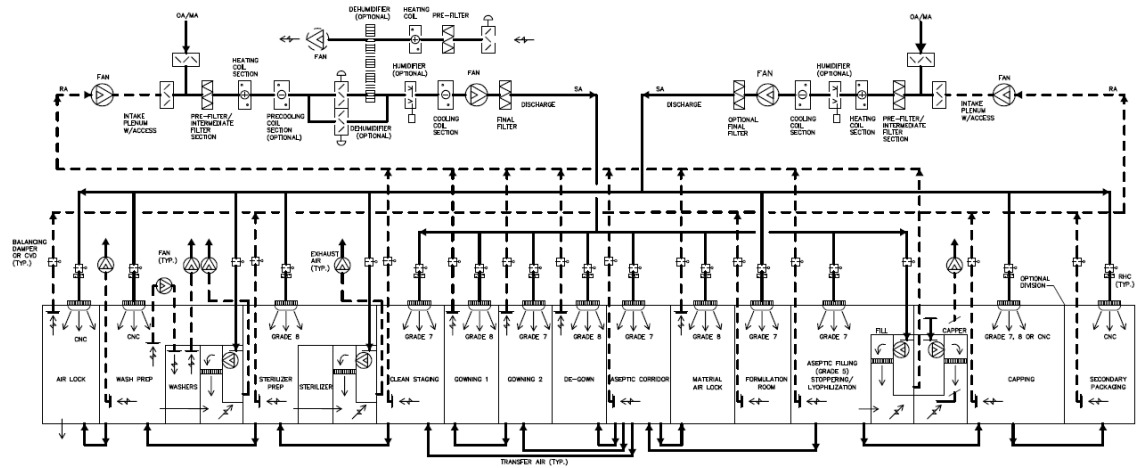
**Kuva 11. Lääketeollisuuden CNC-/puhdistilaimstointijärjestelmä suun kautta otettavan (OSD) lääkkeen valmistustiloille (12, s. 54).**

Kuvassa 12 on esitetty suun kautta otettavien lääkkeiden (OSD = Oral Solid Dosages) valmistustilojen ilmastointijärjestelmä. Näitä tiloja käytetään muun muassa tabletin valmistuksessa ja valmistusprosessissa käytettävät raaka-aineet ovat terveydelle vaarattomia. Ilmastointijärjestelmä koostuu yleensä erillisestä ulko- ja tuloilman käsittelyyksiköstä, josta ilma johdetaan kierrätysilmakojeen sekoituskammioon. Kierrätysilmakojeessa on kaksiportainen suodatus, kostutus ja jäähdytys. Kierrätysilmakojeen sekoituskammion jälkeen on esitetty asennettavaksi lämmityspatteri ja tämä tarvitaan, jos ulkoilma otetaan kierrätysilmajärjestelmään ilman erillistä ulko- ja tuloilman käsittelyyksikköä. Huonekohtaisissa tuloilmahaaroissa on jälkilämmityspatterit ja HEPA-suodattimet. Periaateratkaisuna voidaan pitää niin sanottua puhdaskäytävää, josta ilma virtaa valmistushuoneisiin. Näin rakennettu paine-erokaskadi estää niin sanotun ristikontaminaation. OSD-tuotantotilojen GMP-puhtausluokkana on yleensä EU GMP:tä vastaava "D" tai valvottu mutta ei luokiteltu "CNC" (12, s. 54).



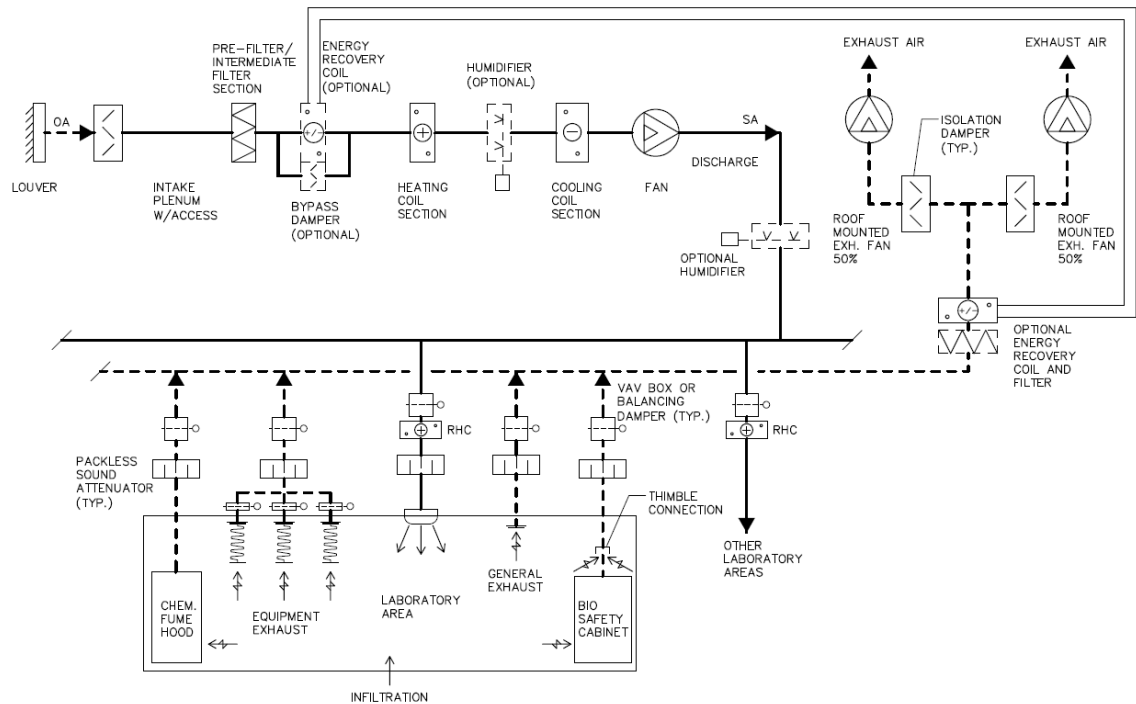
**Kuva 12. Lääketeollisuuden CNC-/puhdistilamastointijärjestelmä suun kautta otettavan (OSD) lääkkeen valmistustiloille, joissa käsitellään terveydelle vaarallisia (potent) aineita (12, s. 57).**

Kuvassa 13 on esitetty suun kautta otettavien lääkkeiden (Oral Solid Dosages) valmistustilojen ilmastointijärjestelmä. Näitä tiloja käytetään muun muassa tabletin valmistuksessa ja valmistusprosessissa käytettävät raaka-aineet ovat terveydelle vaarallisia, joten kierrätysilman käyttö ei tule kysymykseen. Ilmastointijärjestelmä koostuu yleensä erillisistä ulko- ja tuloilman sekä jäteilman käsittely-yksiköstä, joissa on epäsuora lämmön talteenotto. Muut lämmön talteenottomenetelmät ovat käyttökelttomia, koska tulo- ja jäteilman välistä vuotoa ei sallita. Tuloilmakojeessa on kaksiportainen suodatus, lämmön talteenotto, lämmitys, kostutus ja jäähdytys. Huonekohtaisissa tuloilmahaaroissa on jälkilämmityspatterit ja HEPA-suodattimet. Poistoilmakojeessa on lämmön talteenotto ja suodatin. OSD-tuotantotilojen GMP-puhtausluokkana on yleensä EU-GMP:tä vastaava "D" tai valvottu mutta ei luokiteltu "CNC" (12, s. 57).



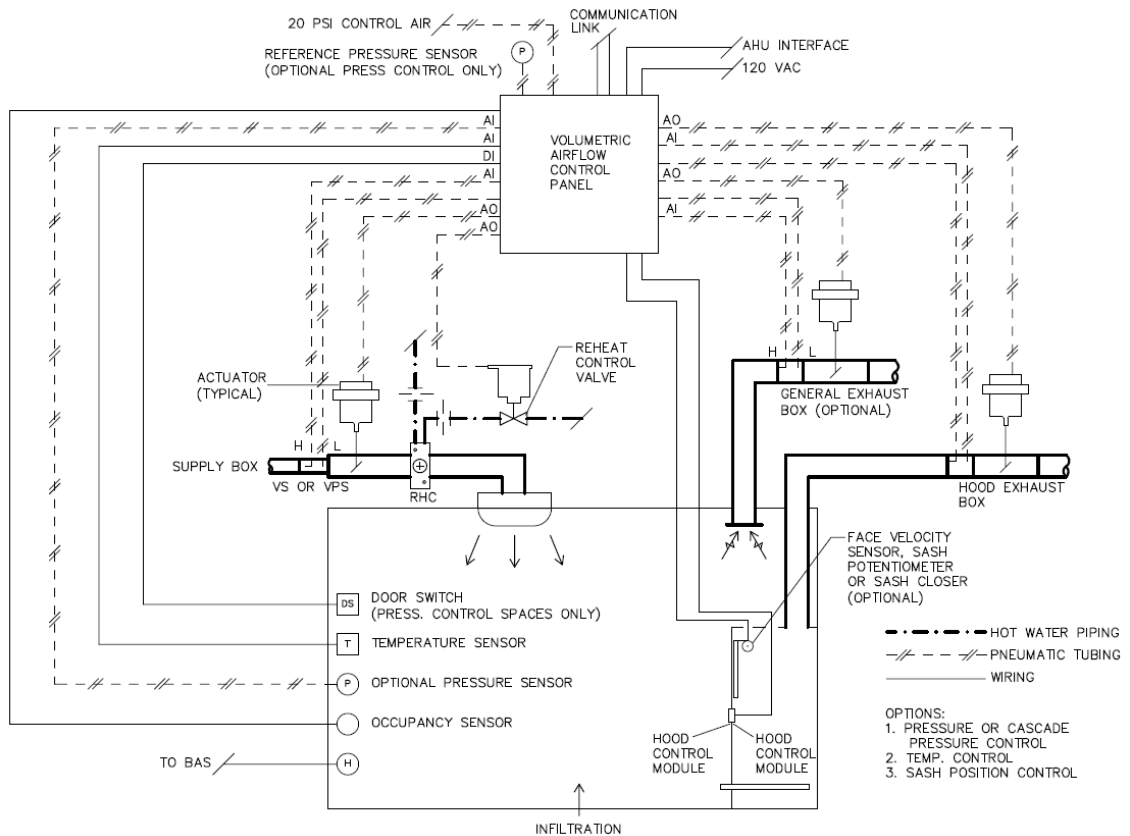
**Kuva 13. Lääketeollisuuden puhdistilailmastointijärjestelmä steriilin lääkkeen valmistustiloille (12, s. 60).**

Kuvassa 14 on esitetty steriilin (= mikro-organismeista täysin vapaa) lääkkeen valmistustilojen ilmastointijärjestelmä. Steriili lääke on yleensä suonen sisäiseen käyttöön tarkoitettu lääkevalmiste, kuten ruiskeet, silmätipat ja infuusioliuokset. Steriili lääke valmistetaan aseptisissa (= mikro-organismeista vapaa) tiloissa. Steriilin lääkkeen valmistustilojen ilmastointijärjestelmissä pyritään maksimoimaan kierrätysilman käyttö. Kierrätysilmajärjestelmiä saattaa olla useita ja niillä voi olla yksi yhteinen ulko- ja tuloilman käsittely-yksikkö tai jokaisella kierrätysilmajärjestelmällä on itsenäinen ulko- ja tuloilman käsittely-yksikkö. Kuvassa 14 kierrätysilmajärjestelmät koostuvat kierrätysilmapuhaltimesta, sekoituskammiosta, kaksiportaisesta suodattuksesta lämmityspatterista (tarvitaan, jos ulkoilma otetaan suoraan sisään ilman erillistä käsittely-yksikköä), jäädytyspatterista, absorptio kuivaimesta (jos huoneolosuhteet vaativat erityistä kuivuutta), kostutuksesta ja jälkilämmityspatterista. Huonekohtaisissa tuloilmahaaroissa jälkilämmityspatterit ja HEPA-suodattimet. Steriilin lääkkeen valmistustilat luokitellaan EU GMP- puhtausluokkien A, B, C ja D mukaan, myös luokitusta CNC esiintyy (12, s. 60).



**Kuva 14. Lääketeollisuuden CNC-/puhdastilailmastointijärjestelmä laboratorioille (12, s. 66)**

Lääkevalmistustilojen laadunvarmistus (QA = Quality Assurance, QC = Quality Control) tapahtuu laboratorioissa, kuten myös tuotekehitys ja tutkimus toiminta. Laboratorioiden jäteilma kuuluu yleensä SRMK:n osan D2 jäteilmaluokkaan 3 ja 4 eikä näin ollen sovellu kierrätysilmaksi. Laboratorioiden ilmastointijärjestelmä koostuu erillisistä ulko-/tuloilma- ja jäteilmayksiköistä joiden välillä on epäsuora lämmön talteenotto. Ulko-/tuloilmayksikkö koostuu suodattimesta, lämmön talteenottopatterista, lämmityspatterista, kostutusosasta (jos kostutusta tarvitaan), jäähdytyspatterista ja huonekohtaisista tuloilmahaaroista, joissa jälkilämmityspatterit. Laboratorioiden ilmastointijärjestelmät mitoitetaan yleensä vetokaappien ja kohdepoistojen korvausilmamäärän perusteella (12, s. 66). Tyypillinen laboratorioiden ilmastointijärjestelmä on esitetty kuvassa 15.



**Kuva 15. Lääketeollisuuden laboratoriotilojen ilmavirtojen ja paine-erojen hallinta (12, s. 67).**

Kuvassa 16 esitetään laboratorioissa yleisesti käytetyn vetokaapin ohjauskaavio. Vetokaapin luukussa pyritään ylläpitämään otsapintanopeus 0,5 m/s. Nopeus ei saisi alittaa eikä ylittää edellä mainittua otsapintanopeutta. Liian alhainen nopeus ei estä terveydelle vaarallisten huurujen ja kaasujen vuotoa vetokaapin työtasolta väärään suuntaan eli vetokaapista ulos. Liian korkea otsapintanopeus aiheuttaa turbulenssia vetokaapin aukossa ja siitä seuraa terveydelle vaarallisten huurujen ja kaasujen kulkeutumista ulos vetokaapista. Kuvan kaavio esittää laboratoriohuoneen ilmavirtojen ohjausjärjestelmää, jossa keskusyksikön välityksellä ohjataan vetokaapin aukon avautumisastetta (=korkeus työtasosta), aukon otsapintanopeutta, yleispoiston ilmamäärää ja tuloilmamäärää sekä tuloilman lämpötilaa, samoin ohjataan laboratoriohuoneen paine-eroa suhteessa referenssitilaan, ovikytkin tarvitaan paine-eron säädössä. Läsnäoloanturi aktivoi järjestelmän käyttötilaan. Kuva 15 ilmentää hyvin sitä kokonaisuutta, jolla laboratoriotilojen tai rakennuksen ilmavirtoja sekä käyttöturvallisuutta hallitaan (12, s. 67).

## 4 Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien energiatehokkuus

### 4.1 Referenssikohde

Referenssikohde on kuvitteellinen tuotantolaitos, jossa sijaitsevat tabletin valmistusosasto, voidevalmistusosasto, suonensisäisten steriilien lääkkeiden valmistusosasto ja pakkaamo. Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien kokonaisuuden ymmärtäminen edellyttää toimintakaavion ja layout-piirustusten lukemista samanaikaisesti tekstiosan kanssa. Toimintakaavio ja layout-piirustukset ovat liitteinä 1, 2 ja 3.

Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien energiatehokkuutta ja ympäristövaikutuksia tutkitaan Suomen olosuhteissa vaihtoehtoisilla sijoituspaikkakunnilla. Sijoituspaikkakunnat vastaavat Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3/2012 säävyöhykkeitä. Sijoituspaikkakuntavaihtoehdot ovat Helsinki-Vantaa, Jokioinen, Jyväskylä ja Sodankylä. Sijoituspaikkapohdintaa käytetään niin sanotuissa greenfield-hankkeissa, joissa lääkeyrityksellä on useampi vaihtoehto käytettävänä. Tässä pohdinnassa on mukana useita päätökseen vaikuttavia tekijöitä. Energiatehokkuus ja energiankulutus sekä näistä johtuvat ympäristövaikutukset muodostavat yhdessä tärkeän kokonaisuuden, jota ilman sijoituspaikkapohdinta ei vastaa nykyajan vaatimuksia. Samanlaista pohdintaa voidaan soveltaa myös peruskorjaus- ja saneerauspäätöksissä.

Lääketeollisuudelle ominaista on lääkkeen elinkaaresta johtuva investointitarve. Lääkkeen elinkaaren pituus on patenttihakemuksen jättämisestä patentin antaman suojan päättymiseen, noin 25 vuotta, asti, jonka jälkeen lääkkeen rinnalle ilmestyy halvempia versioita (4). Lääkkeen valmistuksen elinkaari on huomattavasti lyhyempi, noin 15 vuotta (4). Lääkkeentuotannon elinkaaren lyhydestä johtuen lääkeyritys on jatkuvassa prosessissa, jossa vanhojen, käytössä olevien tuotantolinjojen tehokkuutta parannetaan ja uusien tulevien lääkkeiden tuotantolinjojen suunnittelua viedään eteenpäin.

Referenssikohteen omistava yritys haluaa tietää tuotantolaitoksensa tuotannon ilmastointijärjestelmien energian kulutuksen, energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät sekä näiden ympäristövaikutukset sijoituspaikkakuntien mukaan. Referenssikohde on tuotantorakennus, joka jakaantuu pohjakerroksessa sijaitseviin tuotanto-osastoihin, niiden päällä sijaitsevaan tekniseen ullakkoon ja tekniseen kerrokseen (ks. liite 2 ja 3).



Energiankulutuksen ja ympäristövaikutusten selvittämiseksi suoritetaan niin sanottua peruslaskenta, jonka ehkäpä tärkeimpänä osana ovat huonelaskentataulukot (ks. liite 4). Huonelaskentataulukoista selviävät tuotanto-osastokohtaiset mitoitettut ilmamäärät. Tässä tapauksessa tuotanto-osastokohtainen ilmamäärä on myös tuotanto-osastokohtaisen ilmastointikojeen ilmamäärä. Laskenta etenee seuraavasti:

1. Määritetään GMP-kriittiset huoneolosuhteet ja mitoittavat ulkoilmaolosuhteet talvelle ja kesälle.
2. Täytetään huonelaskentataulukot ja suoritetaan laskenta (ks. liite 4).
3. Piirretään ilmastointiprosessit Mollier-diagrammiin.
4. Lasketaan tarvittavat lämmitys-, jäähdytys- ja kostutustehot.
5. Lasketaan kanaviston painehäviöt (ks. liite 5).
6. Suoritetaan niin sanotut kojeajot esimerkiksi FläktWoodsin Acon-ohjelmalla.
7. Lasketaan vuotuinen energiankulutus ulko- ja palautusilmajärjestelmille.
8. Lasketaan energiankulutustietoihin perustuvat ympäristövaikutukset.

Laskentaa ja suunnittelua tehdään samanaikaisesti, ne täydentävät toinen toisiaan. Lääketehtaan ilmastointijärjestelmien suunnittelu etenee vaiheittain:

1. CD (*Conceptual Design* / epävirallinen käänös: ehdotussuunnittelu)
2. BD (*Basic Design* / epävirallinen käänös: perussuunnittelu)
3. DD (*Detail Design* / epävirallinen käänös: toteutussuunnittelu)

Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien suunnitelmien taso vastaa BD-vaihetta (ks. liitteet 1, 2, 3). Tuotanto-osastot jakaantuvat tuotekohtaisesti taulukon 16 mukaisiin pinta-aloihin, huonekorkeuksiin ja tilavuuksiin.

**Taulukko 16. Tuotanto-osastojen jako.**

Osaston nimi	Ala [m <sup>2</sup> ]	Korkeus [m]	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]
Tabletin valmistus	206	2,55	525
Voiteen valmistus	187	2,45	458
Steriilit lääkkeet	106	2,44	259
Pakkaamo	359	2,45	881
Yhteensä	858		2123

Tuotanto-osastot ovat puhtausluokiteltuja valmistettävien tuotteiden mukaisiin EU GMP -puhtausluokkiin. Sovellettavat puhtausluokat on esitetty taulukossa 17. Puhtausluok-

kien määrittämisen tekee lääkeyritys. Tuotanto-osastoihin sovelletaan taulukon 17 mukaisia EU GMP- puhtausluokkia.

**Taulukko 17. Sovellettavat EU GMP– puhtausluokat.**

Osaston nimi	luokka
Tabletin valmistus	D ja CNC*
Voiteen valmistus	D ja CNC
Steriilit lääkkeet	A, B, C, D ja CNC
Pakkaamo	CNC

\*CNC: valvottu, mutta ei puhtausluokiteltu tila

Tuotantotilojen ilmastointijärjestelmät jakaantuvat tuotekohtaisesti, joka on suositeltavaa ristikontaminaatioiden välttämiseksi (12, s. 15, 163). Taulukossa 18 on esitetty osastokohtaisten ilmastointijärjestelmien tunnuksat.

**Taulukko 18. Osastokohtaiset ilmastointijärjestelmät.**

Osaston nimi	Ilmastointijärjestelmät
Tabletin valmistus	G3 AHU 1
Voiteen valmistus	G3 AHU 2
Pakkaamo	G3 AHU 3
Steriilit lääkkeet	G3 AHU 4.1 ja G3 AHU 4.2

Tuote- ja osastokohtaisten ilmastointijärjestelmien ulko- ja kierrätysilman käytön rakenne määräytyy ristikontaminaatoriskin perusteella ulkoilma- ja kierrätysilmajärjestelmiin. Taulukossa 19 on esitetty ilmastointijärjestelmäkohtaiset rakenteet. Ulko- ja kierrätysilman käyttöön liittyvät riskit määrittelee lääkeyritys.

**Taulukko 19. Ilmastointijärjestelmien rakenteet.**

G3 AHU 1	Ulkoilma 100%
G3 AHU 2	Ulkoilma/kierrätysilma 20/80%
G3 AHU 3	Ulkoilma/kierrätysilma 20/80%
G3 AHU 4	Ulkoilma/kierrätysilma 20/80%

Kierrätysilman käyttöä kannattaa hyödyntää, jos ristikontaminaation vaaraa ei ole. Ulkoilman osuus voi kierrätysilmajärjestelmissä vaihdella 10—20 % välillä normaalimitoi-

tuksissa, mutta ulkoilman minimiosuuden määrittelee sisäilman laatuvaatimukset ja kansalliset määräykset. Ulkoilman osuuteen vaikuttaa myös esimerkiksi kohdepoistojen ja suojailmanvaihtolaitteiden edellyttämät korvausilmamäärät.

Ilmastointijärjestelmien komponenttien kokoonpanossa noudatetaan ISPE:n suosituksia. Luvussa 3.2 on kuvattu lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmät. Taulukossa 20 viitataan luvun 3.2 järjestelmiin, joissa esitetään referenssikohteessa sovellettavat ilmastointijärjestelmien komponenttien kokoonpanot.

**Taulukko 20. Ilmastointijärjestelmien kokoonpanot.**

G3 AHU 1	luku 3.2 kuva 13
G3 AHU 2	luku 3.2 kuva 12
G3 AHU 3	luku 3.2 kuva 12
G3 AHU 4.1	luku 3.2 kuva 14
G3 AHU 4.2	luku 3.2 kuva 14

#### 4.2 Referenssikohteen ilmamäärät

Mitoitustehon selvittämiseksi on välttämätöntä käyttää niin sanottuja huonemitoitustaulukoita. Referenssikohteessa käytetyt taulukot ovat liitteessä 4. Puhdastiloissa tarvittavan ilmanvaihtokertoimen (ACH) määrittelee

- puhtausluokan mukaisen sallitun hiukkaspitoisuuden ylläpitäminen laimennuslaskelmaan (kaava 2) perustuen tai käyttämällä kokemuspohjaisia ilmavaihtokertoimia
- huoneessa vaikuttavat lämpökuormat ja sallittu tuloilman alilämpöisyys
- kohdepoistojen ja suojailmanvaihtolaitteiden korvausilmamäärät
- vuotoilmamäärät vaaditun huonepaine-eron ylläpitämiseksi.

Puhdastilan mitoittavaksi ilmamääräksi valitaan näistä edellä mainituista laskentatavoista se, joka edellyttää suurinta ilmamäärää. Hyvin usein mitoittaviksi tekijöiksi muodostuvat huoneessa vaikuttavat lämpökuormat ja sallittu tuloilman alilämpöisyys. Taulukossa 21 on esitetty tuotanto-osastokohtaiset prosessilaitteista tiloihin johtuvat lämpökuormat.

**Taulukko 21. Tuotanto-osastojen prosessilaitteiden lämpökuormat.**

Osaston nimi	Lämpökuormat [kW]
Tabletin valmistus	10,0
Voiteen valmistus	23,3
Steriilit lääkkeet	8,0
Pakkaamo	11,0
Yhteensä	52,3

Prosessilaitteiden lämpökuormien lisäksi huonetiloihin syntyy lämpökuormia ihmisistä, valaistuksesta ja johtumalla seinien ja kattojen läpi huonetiloja lämpimämmästä teknisestä tilasta, joka kattaa koko tuotanto-osastoalueen. Ihmisistä syntyvänä lämpökuormana on käytetty 70 W/hlö (10, s. 40), ja kussakin tuotanto-osastossa työskentelee 10 henkilöä. Valaistuksesta syntyvänä lämpökuormana on käytetty 15 W/lattia-m<sup>2</sup>. Puhdastilan katto- ja seinävaippojen läpi tekniseltä ullakolta johtuvana lämpökuormana on käytetty 2,8 W/lattia-m<sup>2</sup>. Sallittuna tuloilman alilämpöisyytenä on käytetty tuotanto-osastokohtaisesti taulukon 22 lämpötiloja.

**Taulukko 22. Tuloilman alilämpöisyys tuotanto-osastokohtaisesti.**

Osaston nimi	Tuloilman alilämpö [°C]
Tabletin valmistus	6
Voiteen valmistus	6
Steriilit lääkkeet	4
Pakkaamo	6

Taulukon 22 esittämien tuotanto-osastokohtaisten tuloilman alilämpöisyyksien lisäksi mitoituksessa on käytetty 2 °C tuloilman alilämpöisyyttä kaikissa henkilösuluissa. Henkilösulut toimivat myös pukuhuoneina, joissa vedon tunteen aiheuttamista on vältettävä.

Puhtausluokan mukaisen sallitun hiukkaspitoisuuden ylläpitämiseen kokemuspohjaisia ilmanvaihtokertoimia käyttäen sekä edellä mainittuihin huoneessa vaikuttaviin lämpökuormiin perustuen käyttäen taulukon 22 tuloilman alilämpöisyyttä mitoituksessa päädytään tuotanto-osastokohtaisiin ilmanvaihtokertoimiin, jotka on esitetty taulukossa 23.

**Taulukko 23. Tuotanto-osastokohtaiset mitoittavat ilmanvaihtokertoimet.**

Osaston nimi	Ilmanvaihtokerroin [ACH]
Tabletin valmistus	12-39
Voiteen valmistus	12-78
Steriilit lääkkeet	22-735
Pakkaamo	4-36

Tuloilmaeliminä käytetään niin sanottuja pyörrehajottimia, joissa on ilmansuuntausmahdollisuus. Tuloilman sisään puhallus tapahtuu katosta. Poistoilmaelimet sijaitsevat lattianrajassa. Tulo- ja poistoilmaelimet jaetaan tasaisesti katto- ja lattiapinnoille. Tuloilman alilämpöisyyden on oltava mahdollisimman suuri, koska käytettävissä oleva kattopinta on rajallinen eikä se salli suuremman tuloilmavirran käyttöä. Huonekohtainen tuloilmavirta lasketaan kaavalla 6.

$$qv = \frac{\Phi}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad (6)$$

$\Phi$  on lämpöteho [kW]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1,006 kJ/kg°C

$qv$  on ilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$\Delta T$  on lämpötilaero [°C] huoneilman ja tuloilman lämpötilojen välillä

Tuloilman alilämpöisyyden ja ilmanjakotavan välillä on riippuvuuksia, jotka on pidettävä mielessä mitoitusta tehtäessä (18, s. 300). Taulukossa 24 on esitetty yleisiä ohjeita tuloilman alilämpöisyyden, ilmanvaihtokertoimen ja ilmanjakotavan riippuvuuksien välillä.

**Taulukko 24. Ilman alilämpöisyys, ilmanvaihtokerroin ja ilmanjakotapa (18, s. 300).**

Alilämpöisyys $\Delta T$ [K]	Ilmanvaihtokerroin [ACH]	Ilmanjakotapa
$\leq 1$	0-20 20-100 100-500	Kaikki järjestelmät Pyörrehajoitin katossa tai lattiassa UDAF-katot (HEPA ja ULPA)
1-2	0-12 12-25 25-100	Kaikki järjestelmät Seinä- ja kattohajottimet Lattiasäleiköt Pyörrehajoitin katossa ja lattiassa
3-4	0-10 10-20 20-40 40-100	Kaikki järjestelmät Seinä-, katto- ja lattiahajottimet Pyörrehajoitin katossa ja lattiassa Pyörrehajoitin lattiassa
5-6	0-10 10-16 16-20 20-80	Kaikki järjestelmät Seinä-, katto- ja lattiahajottimet Pyörrehajoitin katossa ja lattiassa Pyörrehajoitin lattiassa

Suunnitellut tuotanto-osastokohtaiset ilmanvaihtokertoimet ylittävät useassa huoneessa edellisen taulukon ohjearvot, mutta puhdistilatyöskentelyssä käytetään suojavaatteita, jotka ehkäisevät vedon tunnetta. Huonetiloissa, joissa sisäiset lämpökuormat eivät muodostu mitoittaviksi on käytetty taulukon 25 mukaisia sallitun hiukkaspitoisuuden ylläpitämiseksi kokemukseen perustuvia ilmanvaihtokertoimia puhtausluokittain.

**Taulukko 25. Puhtausluokakohtaiset ilmanvaihtokertoimet.**

EU-GMP -puhtausluokka	Kokemuspohjainen ilmanvaihtokerroin [ACH]
D	12
C	22
B	32
A	UDAF-otsapintanopeus 0,45 m/s $\pm 20$ % *

\* perustuu EU GMP- ja FDA cGMP- määräyksiin

Kaikissa henkilösuluissa on käytetty korkeampaa ilmanvaihtokerrointa kuin puhtausluokka edellyttää. Vertailuarvoina voidaan käyttää ISPE:n suosituksia. ISPE käyttää suosituksissaan suurempia ilmanvaihtokertoimia. Niiden käyttö voi olla perusteltua, koska niitä käyttämällä hallitaan paremmin suunnitteluvaiheessa tuntemattomia lämpökuormia (12, s. 31). ISPE:n ohjearvot ilmanvaihtokertoimille on lueteltu taulukossa 26.

**Taulukko 26. ISPE:n ohjearvot ilmanvaihtokertoimille.**

EU-GMP -puhtausluokka	Ilmanvaihtokerroin [ACH]
D	6-20
C	20-40
B	40-60
A	UDAF-otsapintanopeus 0,45 m/s ±20 %

Puhdastilakohtaisen ilmanvaihtokertoimen määrittely on ilmastointijärjestelmän mitoituksen kannalta yksi tärkeimmistä tekijöistä, jotka vaikuttavat kokonaisuuteen. Toinen on huoneolosuhde, joka tulee ylläpitää GMP- tuotannon ollessa käynnissä. Huoneolosuhde voi olla niin sanottu GMP- kriittinen tai sen voivat määrätä mukavuustekijät. GMP- kriittisyydellä tarkoitetaan valmistettavan tuotteen kannalta sellaista olosuhdetta, jonka tiedetään olevan valmistettavalle tuotteelle neutraali, joka tarkoittaa sitä, että kriittisten olosuhteiden vallitessa tuotteen ominaisuudet pysyvät muuttumattomina.

GMP- kriittinen olosuhde käsittää yleensä huonelämpötilan ja suhteellisen kosteuden. Referenssikohteen tuotanto-osastoille on asetettu taulukossa 27 esitetyt GMP-kriittiset tai mukavuustekijöihin perustuvat huoneolosuhdevaatimukset.

**Taulukko 27. Huoneolosuhdevaatimukset.**

Osaston nimi	Huoneolosuhdevaatimus
Tabletin valmistus	21 °C ±3 °C, RH 50 % ±10 %
Voiteen valmistus	21 °C ±3 °C, RH NA
Steriilit lääkkeet	21 °C ±3 °C, RH 50 % ±10 %
Pakkaamo	21 °C ±3 °C, RH NA

Huoneolosuhdevaatimukset määrittelee lääkeyritys. ISPE suosittelee huoneolosuhdevaatimuksiksi, ellei lääkeyritys muuta vaadi, 18—23 °C, RH 30—60 % (12, s. 27). Puh-

dastilastandardi ISO 14644-4 käyttää normatiivisessa osassaan suositusarvoina huoneolosuhteille 18—22 °C, RH 30—65 %.

Huonelämpötila on yleisimmin käytetty parametri. Suhteellisen kosteuden alarajan asettaminen synnyttää erillisen kostutusjärjestelmän tarpeen. EU GMP- puhtausluokassa D kostutukseen riittää niin sanottu tehdashöyry, mutta EU GMP- puhtausluokissa A, B, C kostutukseen tulee käyttää niin sanottua puhdashöyryä. Huoneilman suhteellisen kosteuden alarajan asetuksessa kannattaa muistaa, että kaikki ne suhteellisen kosteuden alaraja-arvot, jotka alittavat ilmastointikojeen jäähdytyspatterin 10 °C pintalämpötilan, edellyttävät erillisen sorbtiokuivaimen käyttöä (19, s. 23).

Referenssikohteen ilmastointijärjestelmät ovat mitoitettu edellä mainittuja parametreja käyttäen. Näin olemme voineet laskea mitoitustehot perustilanteelle ja 20 % ylikapasiteetille, joka on lääketeollisuuden puhdistailmastointijärjestelmissä yleisesti käytetty periaate. Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien suunnitteluratkaisut on esitetty liitteissä 1, 2 ja 3. Liitteessä 1 esitetty toimintakaavio toimii muun suunnittelun perustana.

### 4.3 Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien komponenttimitoitukset

Ilmastointijärjestelmien komponenttimitoituksessa on pyritty hyvän suunnittelutavan mukaiseen mitoitukseen. Mitoituksessa on huomioitu 20 %:n ylikapasiteetti laskettuna perustilanteen ilmamäärästä. Ilmastointijärjestelmien kaikki komponentit mitoitetaan toimiviksi 20 %:n ylikapasiteetin ilmamäärällä.

#### 4.3.1 Ulkosäleiköt ja ulospuhallushajottimet

Ilmastointijärjestelmässä G3 AHU1 on ulkoilman sisäänotossa lumiloukkutyypinen ulkosäleikkö. Mitoituksessa on käytetty Fläkt Woodsin lumisuojasäleikön LSJ mitoitushjeita. Tämän säleikkötyypin tehokas lumen- ja vedenesto toimii, kun otsapintanopeus on  $\leq 0,7$  m/s. Ilmastointijärjestelmässä G3 AHU1 on jäteilman ulospuhalluksessa ulospuhallushajotin. Mitoituksessa on käytetty Fläkt Woodsin ulospuhallushajotintyyppiä EYMA-2. Ulospuhallushajotimen ulospuhallusnopeus suoraan ylöspäin on 20 %:n ylikapasiteetin ilmamäärällä noin 3,0 m/s, kun EYMA-2:n kokona on 125. Ilmastointijär-



jestelmän G3 AHU1 ulkoilmanotossa on ulkoilmakammio lumisuoja-äleikön jälkeen, jossa sisään virtaavan ulkoilman virtausnopeus laskee, jolloin ulkoilmassa mahdollisesti oleva lumi laskeutuu kammion pohjalle. Ulkoilmakammiossa on huolto-ovi ja lattiakaivo (20, s. 36-38).

#### 4.3.2 Ilmastointikojeet

Ilmastointikojeet on mitoitettu 20 %:n ylikapasiteetin ilmamäärille. Ilmastointikojeet on mitoitettu niin, että ne täyttävät Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 / 2012 kohdan 2.6 "Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus" vaatimukset. Ilmastointikojemitoituksessa on vertailtu mitoitustilanteen SFP-lukua yhtä kojekokoa suuremman kojeen SFP-lukuun ja pohdittu sen merkitystä kokonaisuuden kannalta. Ilmastointikojeajot on tehty Fläkt Woodsin ACON-ohjelmalla. Ilmastointikojeet jakautuvat kahteen ryhmään:

1. ulkoilmaa käyttävään järjestelmään G3 AHU1
2. kierrätysilmaa käyttäviin järjestelmiin G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4

Ulkoilmaa käyttävä järjestelmä G3 AHU1 on mitoitettu toimivaksi taulukon 28 mukaisissa ulkoilman olosuhteissa.

**Taulukko 28. G3 AHU1:n ulkoilman mitoitulosuhteet.**

Paikkakunta	talvi	kesä
Helsinki-Vantaa	-26 °C	25 °C RH 63 % (57,4 kJ/kg) *
Jokioinen	-29 °C	25 °C RH 63 % (57,4 kJ/kg)
Jyväskylä	-32 °C	25 °C RH 63 % (57,4 kJ/kg)
Sodankylä	-38 °C	25 °C RH 53 % (52,2 kJ/kg)

\* liitteen 1 komponenttimitoitus

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 / 2012 luvussa 2.2.1.5 annetaan kesäkauden mitoittaviksi säätiedoiksi 25 °C ja ulkoilman entalpiana Lapin läänissä 50 kJ/kg ja muualla Suomessa 55 kJ/kg. Sisäilmaluokitus 2008 luvussa 2.4.1 mainitsee ilmastoinnin mitoituksessa kesätilanteessa käytettäväksi 57 kJ/kg k.i ja Pohjois-Suomessa 52 kJ/kg k.i. G3 AHU1 ulkoilman mitoitulosuhteina on käytetty talvella Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 / 2012 liitteen 2 säätietoja ja kesällä Sisäilmaluokitus 2008 kohdan 2.4.1 ohjearvoja.

Epäsuoran vesi-etyleeniglykoli-LTO-järjestelmän poistoilman vuosihyötysuhteena on käytetty taulukon 29 mukaisia arvoja. Laskenta on esitetty liitteessä 6.

**Taulukko 29. LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde.**

Paikkakunta	hyötysuhde
Helsinki-Vantaa	0,48
Jokioinen	0,48
Jyväskylä	0,48
Sodankylä	0,47

Mitoituksessa käytetty 20 %:n ylikapasiteetti antaa referenssikohteelle riittävän reservin poikkeavia sääolosuhteita varten. Ylimitoituksessa on käytettävä harkintaa, jottei ajauduta hyötysuhteeltaan huonoihin valintoihin. Kierrätysilmaa käyttävissä järjestelmissä (G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4) kierrätysilman olosuhde on sama kuin huoneolosuhde (ks. taulukko 27). Sisään puhallettavan tuloilman olosuhde on tuotannon ollessa käynnissä taulukon 30 mukaisissa arvoissa.

**Taulukko 30. Tuloilman olosuhde tuotantokäytössä.**

G3 AHU 1	15 °C RH 73,8 %
G3 AHU 2	15 °C RH 73,8 %
G3 AHU 3	15 °C RH 73,8 %
G3 AHU 4.1	17 °C RH 64,9 %
G3 AHU 4.2	19 °C RH 57.2 %

Tuotantoaikojen ulkopuolella tuloilman olosuhdetta ohjaa huoneolosuhde. Ilmastointijärjestelmän toimintaosat on esitetty liitteessä 1.

Ilmastointijärjestelmissä yksittäisistä komponenteista tärkeimpiä ovat suodattimet. Puhdastilailmastointijärjestelmän tulee pystyä suodattamaan ilmasta pois se hiukkasmäärä, joka vaaditaan kyseessä olevan EU GMP– puhtausluokan ylläpitämiseen. Suomalaisen taajaman ulkoilman hiukkaspitoisuuden portaittaiseen alentamiseen hyväksyttävälle tasolle riittää kokemuspohjaisesti ilmastointikojeissa standardin SFS-EN 779:2011 luokan F7 + F9 suodatus. Kuvassa 17 on esitetty suodatinluokkien vertailu.

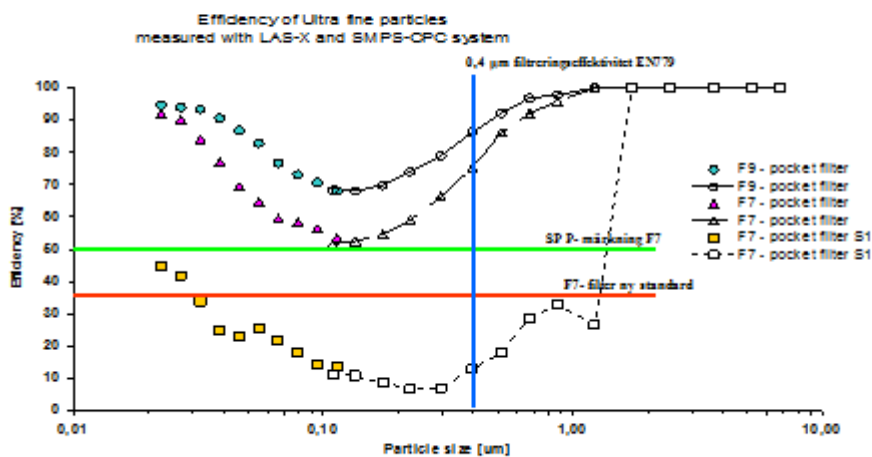
## Suodatinluokkien vertailu

<b>Mikrosuodatin</b>	99,999995 %	U17
Hiukkaserotus-	99,99995	U16
aste MPPS vähin; %	99,9995	U15
	99,995	H14
	99,95	H13
	99,5	E12
	95	E11
	85	E10
<b>Hienosuodatin</b>	95 %	F9
Keskim. hiukkaserotus	90	F8
aste 0,4 µm vähin; %	80	F7
	60	F6
	40	F5
<b>Karkeasuodatin</b>	90 %	G4
Keskim. Painoerotus-	80	G3
aste vähin; %	65	G2

Kuva 16. Suodatinluokkien vertailu (39).

Hienosuodattimien F7 ja F9 ultrahienojen hiukkasten suodatustehokkuutta on esitetty kuvassa 18.

## Ultrahienojen hiukkasten suodatustehokkuus



Kuva 17. Ultrahienojen hiukkasten suodatintehokkuus (39).

Puhdastilojen kattoihin asennettavat tuloilmahajoittimet varustetaan standardin EN 1822:2009 luokkien E10 ja H14 mukaisilla EPA- ja HEPA-suodattimilla. Näiden suodat-

timien valinnasta löytyy tarkempi kuvaus luvussa 4.3.4. EU GMP:n mukaisten hiukkas-ten puhtausluokkien sallitut huoneilman hiukkaspitoisuudet kokoluokissa 0,5 µm ja 5,0 µm löytyvät taulukosta 11. Puhdastilailmastointijärjestelmien suodattimet aiheuttavat merkittäviä painehäviöitä ja muodostavat näin ollen oleellisen tekijän sähköenergian kulutuksessa.

#### 4.3.3 Tulo- ja poistoilmakanavat

Tulo-, poisto-, kierrätys- ja jäteilmakanavien mitoitusperusteena on käytetty painehäviötä 1 Pa/jm. Kanavamitoituksessa on vertailtu painehäviöiden muutoksia, jos käytettäisiin yhtä kokoa suurempaa kanavaa.

#### 4.3.4 Tulo- ja poistoilmalaitteet

Puhdastilakohtaiset tulo- ja poistoilmalaitteet on mitoitettu toimimaan 20 %:n ylikapasiteettien ilmamäärillä. Ilmastointijärjestelmissä G3 AHU1, G3 AHU2 ja G3 AHU4 tuloilmaelimet ovat suunnitteluratkaisussa mallia TROX F640. Tuloilmaelimissä käytetyissä suodatinluokissa viitataan standardin EN 1822:2009 suodatinluokkiin. Taulukossa 31 on esitetty tuloilmahajottimien tyypit, mitat, mitoittavat ilmavirrat ja painehäviöt.

**Taulukko 31. Suodattimilla varustetut tuloilmaelimet.**

Hajotin malli	Hajotin koko	Suodatin malli	Suodatin koko [mm]
F640-M (Ø125, Ø160)	398 x 398	1) F780Z (E10)	345 x 345 x 78
	398 x 398	2) F782Z (H14)	345 x 345 x 78
F640-P (Ø160, Ø200)	498 x 498	3) F780Z (E10)	435 x 435 x 78
	498 x 498	4) F782Z (H14)	435 x 435 x 78
F640-C (Ø200, Ø250)	598 x 598	5) F780Z (E10)	535 x 535 x 78
	598 x 598	6) F782Z (H14)	535 x 535 x 78
F640-D (Ø315)	623 x 623	7) F780Z (E10)	575 x 575 x 78
	623 x 623	8) F782Z (H14)	575 x 575 x 78
Suodatin malli	Mitoittava ilmamäärä [dm <sup>3</sup> /s]	Hajottimen Δp [Pa]	Suodattimen Δp [Pa]
1)	70	17	125
2)	55	11	120
3)	125	28	125
4)	85	15	120
5)	240	50	125
6)	130	15	120
7)	270	45	125
8)	150	13	120

Tuloilmahajottajien mitoitus tulee tehdä vertailemalla taulukon 31 arvoja taulukon 32 E10-suodattimien mitoitukseen.

**Taulukko 32. E10-suodattimien mitoitus.**

Hajotinmalli	Liitoskanavan koko	Ilmavirta-alue [dm <sup>3</sup> /s]
F640 - M	Ø125	0...35
	Ø160	35...70
F640 - P	Ø200	70...125
F640 - C	Ø250	125...240
F640 - D	Ø315	240...270

Suodattimien suositeltu loppupainehäviö 300 Pa ja alkupainehäviö 125 Pa.

Samanlainen vertailu tulee tehdä H14-suodattimien mitoitukseen. Taulukossa 33 on esitetty H14-suodattimien mitoitusarvot.

**Taulukko 33. H14-suodattimien mitoitus.**

Hajoitinmalli	Liitoskanavan koko	Ilmavirta-alue [dm <sup>3</sup> /s]
F640 - M	Ø125	0...35
	Ø160	35...55
F640 - P	Ø200	55...85
F640 - C	Ø250	85...130
F640 - D	Ø315	130...150

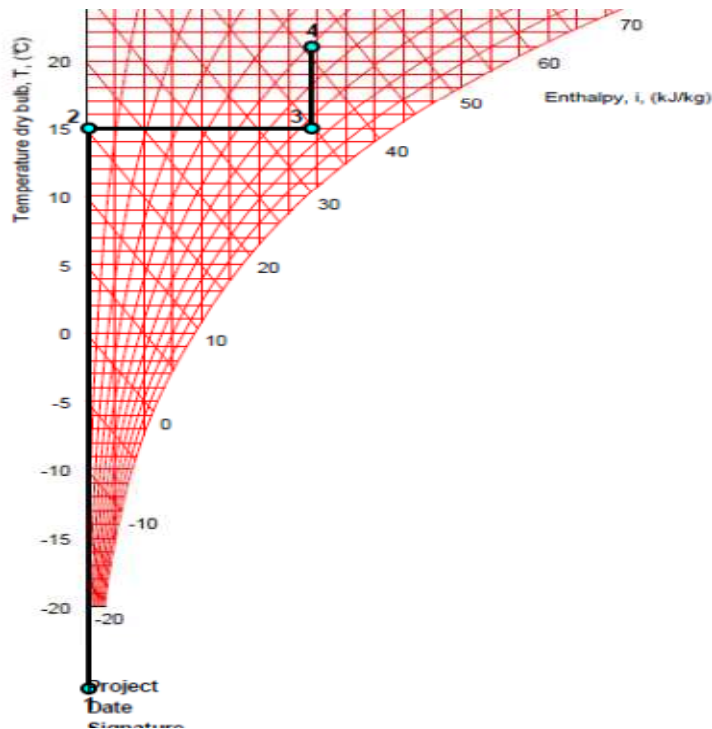
Suodattimien suositeltu loppupainehäviö 600 Pa ja alkupainehäviö 120/140\* Pa.

\* riippuu konstruktiosta

Poistoilmaeliminä ilmastointijärjestelmissä G3 AHU1, G3 AHU2 ja G3 AHU4 käytetään Polman's AB:n lattianrajasta imeviä poistoilmaelimiä ELL ja ELV. Tuloilmaeliminä ilmastointijärjestelmässä G3 AHU3 käytetään Fläkt Woodsin tuloilmalaitetta VSK13 ja poistoilmaeliminä Fläkt Woodsin säleikköä USR, johon liitettynä tasauslaatikko TGE.

#### 4.4 Mitoitusprosessit

Mollier-diagrammiin piirretyt ilmastoinnin prosessit kertovat ilmastointijärjestelmän komponenttien toiminnallisen asennusjärjestyksen, lämpötila-, kosteus- ja entalpia-arvot, joiden avulla mitoitetaan komponenttien tehot, kun mitoituspisteet ja ilmamäärät tunnetaan. Taulukossa 27 on annettu tuotanto-osastokohtaiset huoneolosuhdevaati-  
mukset ja taulukossa 28 on annettu ulkoilman mitoitusolosuhteet ilmastointijärjestelmälle G3 AHU1 kesällä ja talvella neljälle mitoituspaikkakunnalle. Kuvassa 18 on esitetty ilmankäsittelyprosessi talvella ilmastointijärjestelmälle G3 AHU1.



Kuva 18. G3 AHU1 ilmkäsittelyprosessi talvella.

Talvella G3 AHU1:n ilmkäsittelyprosessi seuraa olosuhdepisteitä taulukon 34 mukaisesti.

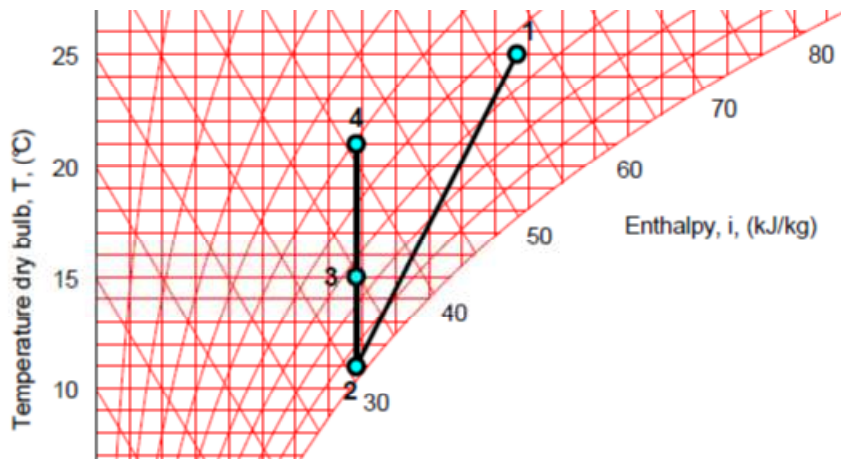
Taulukko 34. G3 AHU1:n ilmkäsittelyprosessi talvella.

Olosuhdepiste nro	Lämpötila [°C]	RH [%]	Vesisisältö [g/kg]	Entalpia [kJ/kg]
1	-26	29,1	0,1	-25,9*
2	15	1	0,1	15,3
3	15	73,8	7,82	34,8
4	21	50,6	7,82	41,0

\* Piste 1 olosuhde muuttuu mitoituspaikkakunnan mukaan

Pistevälin 1–2 tuloilman lämpötilan nostoon osallistuvat LTO-patteri ja esilämmityspatteri. Pistevälin 2–3 tuloilman vesisisällön kasvattamisen hoitaa höyrykostutusosa. Pistevälin 3–4 tuloilman lämpötilan nostaa tarpeen mukaan huonekohtaiset jälkilämmityspatterit.

Kuvassa 19 on esitetty ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 ilmastointiprosessi kesällä.



Kuva 19. G3 AHU1:n ilmaprosessi kesällä.

Kesällä G3 AHU1:n ilmaprosessi seuraa olosuhdepisteitä taulukon 35 mukaisesti.

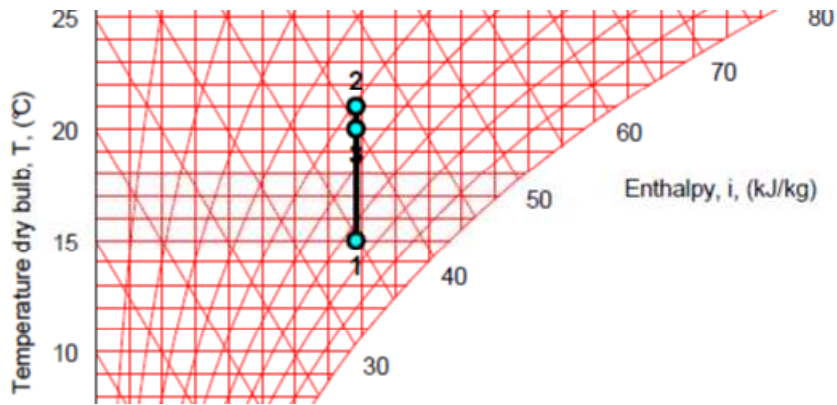
Taulukko 35. G3 AHU1:n ilmaprosessi kesällä.

Olosuhdepiste nro	Lämpötila [°C]	RH [%]	Vesisisältö [g/kg]	Entalpia [kJ/kg]
1	21	63,8	12,65	57,3
2	11	95,9	7,82	30,8
3	15	73,8	7,82	34,8
4	21	50,6	7,82	41,0

Pistevälin 1–2 tuloilman lämpötilan ja vesisisällön laskee jäähdytyspatteri. Pistevälin 2–3 tuloilman lämpötilan nostaa jälkilämmityspatteri. Pistevälin 3–4 tuloilman lämpötilan nostaa tarpeen mukaan huonekohtaiset jälkilämmityspatterit.

Kuvassa 20 on esitetty ilmastointijärjestelmien G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1 ilmaprosessi kesällä ja talvella.





Kuva 20. G3 AHU2, G3 AHU 3 ja G3 AHU4.1:n ilmkäsittelyprosessi kesällä ja talvella.

Talvella ja kesällä G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1:n ilmkäsittelyprosessi seuraa olosuhdepisteitä taulukon 36 mukaisesti.

Taulukko 36. G3 AHU2, G3 AHU 3 ja G3 AHU4.1:n ilmkäsittelyprosessi kesällä ja talvella.

Olosuhdepiste nro	Lämpötila [°C]	RH [%]	Vesisisältö [g/kg]	Entalpia [kJ/kg]
1	15	73,8	7,82	34,8
2	21	50,6	7,82	41,0
3	20	53,8	7,82	39,9

Pisteväli 1–2 kuvaa kahden sekoittavan ilmavirran olosuhdepisteitä. Piste 3 on sekoitetujen ilmavirtojen olosuhde. Pisteestä 3 kohti pistettä 1 tuloilmana lämpötilaa lasketaan tarpeen mukaan jäähdytyspatterissa ja jäähdytyksen jälkeen tuloilman lämpötilaa nostaa huonekohtaiset jälkilämmityspatterit tai järjestelmässä G3 AHU3 ilmastointikojeen jälkilämmityspatteri. Ilmastointijärjestelmäkohtaiset mitoitusilmamäärät perustilanteessa on esitetty taulukossa 37.

**Taulukko 37. Ilmastointijärjestelmäkohtaiset ilmamäärät perustilanteessa.**

Ilmastointijärjestelmä	qv tuloilma [m <sup>3</sup> /s]	qv poistoilma [m <sup>3</sup> /s]	qv palautusilma [m <sup>3</sup> /s]
G3 AHU 1	2,99	2,8	-
G3 AHU 2	0,935	0,46	3,735
G3 AHU 3	0,54	1,29	2,16
G3 AHU 4.1	0,6	0,005	2,38
G3 AHU 4.2	-	-	3,17

Taulukon 37 ilmamääriä yhdistelemällä saadaan järjestelmien perustilanteen mitoittavat kokonaisilmamäärät, jotka ovat taulukon 38 mukaiset.

**Taulukko 38. Ilmastointijärjestelmien kokonaisilmamäärät perustilanteessa.**

Ilmastointijärjestelmä	qv tuloilma [m <sup>3</sup> /s]	qv poistoilma [m <sup>3</sup> /s]
G3 AHU 1	5,065	4,56
G3 AHU 2	4,67	-
G3 AHU 3	2,7	-
G3 AHU 4.1	2,98	-
G3 AHU 4.2	3,17	-

Ilmastointijärjestelmät mitoitetaan 20 %:n ylikapasiteetille. Tämä koskee ilmastointijärjestelmien kaikkia komponentteja. Taulukossa 39 on esitetty ilmamäärät 20 %:n ylikapasiteetille.

**Taulukko 39. Ilmastointijärjestelmälukuiset ilmamäärät 20 %:n ylikapasiteetille.**

Ilmastointijärjestelmä	qv tuloilma [m <sup>3</sup> /s]	qv poistoilma [m <sup>3</sup> /s]	qv palautusilma [m <sup>3</sup> /s]
G3 AHU 1	3,48	3,29	-
G3 AHU 2	1,1	0,625	4,38
G3 AHU 3	0,63	1,38	2,54
G3 AHU 4.1	0,7	0,105	2,8
G3 AHU 4.2	-	-	3,81

Taulukon 39 ylikapasiteetin (20 %) ilmamäärät yhdistelemällä saadaan järjestelmien mitoittavat ilmamäärät, jotka ovat taulukon 40 mukaiset.

**Taulukko 40. Ilmastointijärjestelmien kokonaisilmamäärät 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Ilmastointijärjestelmä	qv tuloilma [m <sup>3</sup> /s]	qv poistoilma [m <sup>3</sup> /s]
G3 AHU 1	5,91	5,4
G3 AHU 2	5,48	-
G3 AHU 3	3,17	-
G3 AHU 4.1	3,5	-
G3 AHU 4.2	3,81	-

Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 ilman lämmitysprosessissa tarvittava lämpöteho laskeaan kaavalla 7 (21, s. 8). Lämmitysprosessi on esitetty kuvassa 18.

$$\Phi = \rho * qv * Cp * \Delta T \quad (7)$$

$\Phi$  on lämpöteho [kW]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$qv$  on ilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$C_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1,006 kJ/kg°C

$\Delta T$  on lämpötilaero [°C]

Ennen tuloilman lämmittämistä ulkoilma on ilmastointijärjestelmässä G3 AHU 1 läpäisyt epäsuoraan lämmön talteenottoon perustuvan LTO-patterin ja ulkoilman lämpötilan nousu lasketaan kaavalla 8 perustuen Fläkt Woodsin kojeajon tuloksena saatuun tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen  $\eta = 0,44$  (22, s. 423).

$$\eta = \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_3} \quad (8)$$

$\eta$  on tuloilman hyötysuhde

$t_1$  on poistoilman lämpötila [°C]

$t_2$  on tuloilman lämpötila [°C]

$t_3$  on ulkoilman lämpötila [°C]

Kaavasta 8 ratkaistaan tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen kaavalla 9.

$$t_2 = \eta * (t_1 - t_3) + t_3 \quad (9)$$

Ilmastointijärjestelmän G3 AHU 1 ilman jäädytys ja kuivatus lasketaan kaavalla 10. (21, s. 12)

$$\Phi = \rho * q_v * C_p * \Delta h \quad (10)$$

$\Phi$  on lämpöteho [kW]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$q_v$  on ilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$C_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1,006 kJ/kg°C

$\Delta h$  on entalpiaero [kJ/kg]

Jäädytysprosessi on esitetty kuvassa 19.

Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 höyrykostutuksen lisävedentarve lasketaan kaavalla 11. (21, s. 10).

$$q_{mh} = \rho * q_v * (x_2 - x_1) \quad (11)$$

$q_{mh}$  on lisävesimäärä [kg/s]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$q_v$  on ilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$x_1$  on ilman vesisisältö ennen kostutusta [kg/kg k.i]

$x_2$  on ilman vesisisältö kostuttimen jälkeen [kg/kg k.i]

Kostutusprosessi on esitetty kuvassa 18.

Ilmastointijärjestelmissä G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1 palautusilma sekoitetaan järjestelmästä G3 AHU1 tulevaan tuloilmaanoin Sekoituspisteen olosuhde lasketaan kaavoilla 12 ja 13 (21, s. 7).

$$h_3 = \frac{(\rho * q_{v1} * h_1) + (\rho * q_{v2} * h_2)}{(\rho * q_{v1}) + (\rho * q_{v2})} \quad (12)$$

$h_3$  on sekoituspisteen entalpia [kJ/kg]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$q_{v1}$  on palautusilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$h_1$  on palautusilman entalpia [kJ/kg]

$q_{v2}$  on tuloilmamäärä järjestelmästä G3 AHU1 [m<sup>3</sup>/s]

$h_2$  on tuloilman entalpia järjestelmästä G3 AHU1 [kJ/kg]

$$x_3 = \frac{(\rho * q_{v1} * x_1) + (\rho * q_{v2} * x_2)}{(\rho * q_{v1}) + (\rho * q_{v2})} \quad (13)$$

$x_3$  on sekoituspisteen vesisisältö [kg/kg k.i.]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$q_{v1}$  on palautusilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$x_1$  on palautusilman vesisisältö [kg/kg k.i.]

$q_{v2}$  on tuloilmamäärä järjestelmästä G3 AHU1 [m<sup>3</sup>/s]

$x_2$  on tuloilman vesisisältö järjestelmästä G3 AHU1 [kg/kg k.i.]

Sekoitusprosessi on esitetty kuvassa 20.

Ilmastointijärjestelmien G3 AHU2, G3 AHU3, G3 AHU4.1 ja G3 AHU4.2 ilman jäähdytys on niin sanottua kuivajäähdytystä ja sen teho lasketaan kaavalla 14 (21, s. 11).

$$\Phi = \rho * q_v * C_p * \Delta T \quad (14)$$

$\Phi$  on jäähdytysteho [kW]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$q_v$  on ilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$C_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1,006 kJ/kg°C

$\Delta T$  on lämpötilaero [°C]

Jäähdytysprosessi on esitetty kuvassa 20.

Ilmastointijärjestelmien G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1 höyrykostutusosien lisäveden tarve lasketaan kaavalla 11. Kostutukset ovat varauksia, jos lääkeyritys tulevaisuudessa päättää muuttaa huonekosteuden niin sanotuksi tuotekriittiseksi parametriksi.

Ilmastointikojien SFP-luvun laskennassa on käytetty kaavaa 15 (23, s. 10).

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{(q_{vmax})} \quad (15)$$

SFP on ilmastointikojien ominaissähköteho [kW/(m<sup>3</sup>/s)]

P<sub>tulo</sub> on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho [kW]

P<sub>poisto</sub> on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho [kW]

q<sub>v</sub> on kojeen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto) [m<sup>3</sup>/s]

Yksittäisen puhaltimen ominaissähköteho on laskettu kaavalla 16 (23, s. 10).

$$SFP = \frac{P_{puhallin}}{q_v} \quad (16)$$

SFP on puhaltimen ominaissähköteho [kW/(m<sup>3</sup>/s)]

P<sub>puhallin</sub> on puhaltimen ottama sähköteho [kW]

q<sub>v</sub> on puhaltimen ilmavirta [m<sup>3</sup>/s]

Puhallintehojen laskennassa on käytetty puhallinlakien mukaista laskentakaavaa, koska järjestelmien puhallinsähköenergian kulutuksessa on käytetty 20 % ylikapasiteetin SFP-lukua muutettuna perustilanteen SFP-luvuksi. Perustilanteen pienemmän puhallintehon määrittämiseksi on käytetty kaavaa 17 (24, s. 89). Kaava johdetaan puhallinlakien ensimmäisestä ja kolmannesta säännöstä.

$$\frac{qv_1}{qv_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{qv_1}{qv_2}\right)^3 \Rightarrow P_2 = \frac{P_1 * qv_2^3}{qv_1^3} \quad (17)$$

q<sub>v1</sub> on 20 % ylikapasiteetin ilmavirta [m<sup>3</sup>/s]

q<sub>v2</sub> on perustilanteen ilmavirta

n<sub>1</sub> on 20 % ylikapasiteetin puhaltimen moottorin kierrosluku [r/min]

n<sub>2</sub> on perustilanteen puhaltimen moottorin kierrosluku [r/min]

P<sub>1</sub> on 20 % ylikapasiteetin puhallinmoottorin teho [kW]

$P_2$  on perustilanteen puhallinmoottorin teho [kW]

#### 4.5 Ilmastointijärjestelmien SFP-luvut

Ilmastointijärjestelmien energiankulutuksen laskenta alkaa kanavien painehäviöistä. Niiden määrittämisen jälkeen voidaan laskea ilmastointikojeiden puhaltimien kokonaispainneiden korotuksen tarpeet. Näin määritellyt puhaltimien toimintapisteet johtavat Fläkt Woodsin ACON-ohjelmaa käyttäen puhallinmoottorivalintoihin, SFP-lukuihin ja puhallinmoottoritehoihin. Puhallinmoottoreihin johdettu sähköteho muuttuu osittain tiloihin kohdistuvaksi lämpökuormaksi.

Kanavien painehäviöt on laskettu liitteiden 2 ja 3 tulo- ja poistokanavaosuuksille, joihin on merkitty kanavakoot. Painehäviöiden laskenta on esitetty liitteessä 5. Painehäviöt on laskettu perustilanteen ja 20 %:n ylityksen ilmamäärille. Kanavaosuuksien kitkainehäviöt ja kanavaosien kertavastukset on laskettu yleisten laskentasääntöjen mukaisesti (25, s. 20...42). Taulukossa 41 on esitetty yhteenveto ilmastointijärjestelmien painehäviöistä normaalia kojemitoitusta käyttäen.

**Taulukko 41. Normaalin kojemitoituksen painehäviöt.**

Painehäviöt	G3 AHU 4.1 perust./ylim.20%	G3 AHU 4.2 perust./ylim.20%	G3 AHU 2 perust./ylim.20%	G3 AHU 3 perust./ylim.20%	G3 AHU 1 perust./ylim.20%
Kanavisto, tuloilma [Pa]	100/142	24/34	62/87	105/149	48/65
Kanavisto, poistoilma [Pa]	64/90	42/61	84/115	142/197	68/94
Lämmityspatteri [Pa]					47/60
Jäähdytyspatteri [Pa]	34/45	36/49	74/97	65/106	166/220
LTO-patteri [Pa]					130/171
Kostutusosa [Pa]					0/0
Suodatin F7 [Pa]	130/146		131/147	110/148	109/122
Suodatin F8 [Pa]					122/137
Suodatin F9 [Pa]	159/179	156/178	157/176	164/178	159/178
HEPA-suodatin [Pa]					
Äänenvaimennin [Pa]	33/45	32/48	35/47	29/40	39/55
Päätelaite [Pa]	610/615	600/600	342/359	102/141	345/364
Ilmanotto ja ulospuh. [Pa]					71/103
Yhteensä [Pa]	1130/1263	890/970	884/1028	717/960	1305/1569
SFP-luku [kW/m <sup>3</sup> /s]	1,38/1,91	1,01/1,45	1,19/1,62	1,12/1,55	1,52/2,09
Tuloilmapuh. teho [kW] (SFP)	3,6/5,83	3,19/5,54	4,38/7,08	2,09/3,39	5,51/8,73
Tuloilmapuh.nimellisteho [kW]	7,5	7,5	11	4	11
Poistoilmapuh. teho [kW] (SFP)	0,52/0,85		1,16/1,8	0,93/1,51	2,17/3,63
Poistoilmapuh.nimellisteho [kW]	3		4	2,2	5,5
Tuloilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]	2,98/3,5	3,17/3,81	4,67/5,48	2,7/3,17	5,07/5,91
Poistoilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]	2,38/2,8		3,78/4,38	2,16/2,54	4,55/5,4
Tuloilmapuh.1/2 teho [kW]	0,45/0,73	0,4/0,69	0,55/0,89	0,26/0,42	0,67/1,09
Poistoilmapuh.1/2 teho [kW]	0,07/0,11		0,14/0,23	0,12/0,19	0,27/0,45

Normaali kojemittoitus perustuu pattereiden otsapintanopeuden pitämiseen lämmityspattereissa maksimissaan 3,0 m/s ja jäähdytyspattereissa maksimissaan 2,5 m/s (20, s. 41). Normaalin kojemittoituksen rinnalla on suoritettu vertailevat kojeajot yhtä kokoa suuremmilla kojeilla ja näin saatua SFP-lukua on verrattu normaalin mitoituksen SFP-lukuun. Suuremman kojekoon SFP-luvut on esitetty taulukossa 42.

**Taulukko 42. Suuremman kojekoon vaikutus painehäviöihin.**

Painehäviöt	G3 AHU 4.1 perust./ylim.20%	G3 AHU 4.2 perust./ylim.20%	G3 AHU 2 perust./ylim.20%	G3 AHU 3 perust./ylim.20%	G3 AHU 1 perust./ylim.20%
Kanavisto, tuloilma [Pa]	100/142	24/34	62/87	105/149	48/65
Kanavisto, poistoilma [Pa]	64/90	42/61	84/115	142/197	68/94
Lämmityspatteri [Pa]					28/36
Jäähdytyspatteri [Pa]	14/18	18/25	37/49	26/34	72/96
LTO-patteri [Pa]					43/56
Kostutusosa [Pa]					0/0
Suodatin F7 [Pa]	108/117		105/115	103/113	92/100
Suodatin F8 [Pa]					102/113
Suodatin F9 [Pa]	128/143	120/135	124/137	122/138	131/145
HEPA-suodatin [Pa]					
Äänenvaimennin [Pa]	15/22	18/25	15/21	15/22	20/28
Päätelaite [Pa]	610/615	600/600	342/359	102/141	345/364
Ilmanotto ja ulospuh. [Pa]					71/103
Yhteensä [Pa]	1037/1148	822/880	768/884	615/795	1021/1201
SFP-luku [kW/m <sup>3</sup> /s]	1,27/1,75	0,95/1,37	0,94/1,28	0,82/1,14	1,2/1,65
Tuloilmapuh. teho [kW] (SFP)	3,33/5,4	3,01/5,22	3,55/5,74	1,4/2,26	4,43/6,88
Tuloilmapuh.nimellisteho [kW]	7,5	7,5	7,5	4	11
Poistoilmapuh. teho [kW] (SFP)	0,44/0,72		0,84/1,3	0,82/1,34	1,72/2,87
Poistoilmapuh.nimellisteho [kW]	3		7,5	4	7,5
Tuloilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]	2,98/3,5	3,17/3,81	4,67/5,48	2,7/3,17	5,07/5,91
Poistoilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]	2,38/2,8		3,78/4,38	2,16/2,54	4,55/5,4

SFP-lukujen vertailussa voidaan huomata selvä sähköenergian kulutuksen väheneminen käytettäessä yhtä kojekokoa suurempaa kojetta. Taulukossa 43 on esitetty SFP-lukujen muutokset normaalimitoituksen ja yhtä kojekokoa suuremman mitoituksen välillä.

**Taulukko 43. SFP-lukujen muutokset.**

Ilmastointijärjestelmä	Normaalimitoitus		Yhtä kojekokoa suurempi	
	SFP-luku [kW/m <sup>3</sup> /s]		SFP-luku [kW/m <sup>3</sup> /s]	
	Perustilanne	+20 % ylikap	Perustilanne	+20 % ylikap
G3 AHU 1	1,52	2,09	1,2	1,65
G3 AHU 2	1,19	1,62	0,94	1,20
G3 AHU 3	1,12	1,55	0,82	1,14
G3 AHU 4.1	1,38	1,91	1,27	1,75
G3 AHU 4.2	1,01	1,45	0,98	1,37



Merkittävimmät SFP-lukujen alenemiset ovat järjestelmissä G3 AHU1, G3 AHU2 ja G3 AHU3. SFP-luvun aleneminen on vähäinen järjestelmissä G3 AHU4.1 ja G3 AHU4.2. Kojekoon muuttaminen suuremmaksi edellyttää tilankäytön harkintaa ja kustannusvertailua kannattavuuslaskelmien kautta. Lääketeollisuudelle ominaista ovat kuitenkin suuret käyttötuntimäärät, jotka puoltavat alempia käyttökustannuksia.

Suunnittelussa on varauduttava siihen, että lääkeyritys minimoi investointia ja valitsee näin ollen normaalimitoituksen kojeet toteutuksen pohjaksi. Tämän lisäksi on varauduttava kierrätysilman suodatuksen tehostamiseen H13 HEPA –suodattimilla. Kaikki ilmastointijärjestelmiä palvelevat sähkökeskukset tulee varustaa lähdoilla, jotka kestävät ne sähkötehot, joihin tämän ”pahimman” skenaarion puhallinmoottorit mitoitetaan. Tämä mitoitus on esitetty taulukossa 44.

**Taulukko 44. Ilmastointijärjestelmien suurimmat mahdolliset painehäviöt ja sähkötehot.**

Painehäviöt	G3 AHU 4.1	G3 AHU 4.2	G3 AHU 2	G3 AHU 3	G3 AHU 1
	perust./ylim.20%	perust./ylim.20%	perust./ylim.20%	perust./ylim.20%	perust./ylim.20%
Kanavisto, tuloilma [Pa]	100/142	24/34	62/87	105/149	48/65
Kanavisto, poistoilma [Pa]	64/90	42/61	84/115	142/197	68/94
Lämmityspatteri [Pa]					47/60
Jäähdytyspatteri [Pa]	34/45	36/49	74/97	65/106	166/220
LTO-patteri [Pa]					130/171
Kostutusosa [Pa]					0/0
Suodatin F7 [Pa]	130/146		131/147	110/148	109/122
Suodatin F8 [Pa]					122/137
Suodatin F9 [Pa]	159/179	156/178	157/176	164/178	159/178
HEPA-suodatin [Pa]	600/600		600/600	600/600	600/600
Äänenvaimennin [Pa]	33/45	32/48	35/47	29/40	39/55
Päätelaite [Pa]	610/615	600/600	342/359	102/141	345/364
Ilmanotto ja ulospuh. [Pa]					71/103
Yhteensä [Pa]	1730/1863	1490/1570	1484/1628	1317/1560	1905/2169
SFP-luku [kW/m <sup>3</sup> /s]	1,88/2,59	1,01/1,45	1,68/2,28	1,64/2,27	2,05/2,85
Tuloilmapuh. teho [kW] (SFP)	3,6/5,83	3,19/5,54	4,38/7,08	2,09/3,39	5,51/8,73
Tuloilmapuh.nimellisteho [kW]	7,5	7,5	11	4	11
Poistoilmapuh. teho [kW] (SFP)	1,99/3,24		3,47/5,4	2,34/3,81	4,86/8,12
Poistoilmapuh.nimellisteho [kW]	4		5,5	4	11
Tuloilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]	2,98/3,5	3,17/3,81	4,67/5,48	2,7/3,17	5,07/5,91
Poistoilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]	2,38/2,8		3,78/4,38	2,16/2,54	4,55/5,4

Sähköenergian kulutuslaskelmissa ja lämpökuormina on käytetty taulukon 41 arvoja. Kanavien painehäviölaskelmissa on käytetty mitoitusperiaatetta, jossa kitkapainehäviö nä yhtä juoksumetriä kohden on pidetty maksimina 1 Pa/jm. Tämän mitoituksen tulokset ovat liitteessä 5. Mitoituksessa on tutkittu vaihtoehtoa, jossa edellä mainittu mitoitusperiaatteen pohjalta saadut kanavakoot korvataan yhtä kanavakokoa suuremmalla kanavalla. Tämän mitoituksen tulokset on esitetty liitteessä 5. Suuremman kanavakoon käytön vaikutukset kanaviston painehäviöihin on esitetty taulukossa 45.

**Taulukko 45. Suuremman kanavakoon vaikutus painehäviöihin.**

Ilmastointijärjestelmä	1 Pa/jm mitoitus [Pa]		Yhtä kokoa suurempi [Pa]	
	tulokanavat	poistokanavat	tulokanavat	poistokanavat
G3 AHU 1	48/65	68/94	29/39	42/59
G3 AHU 2	62/87	84/115	33/47	46/63
G3 AHU 3	105/150	142/198	43/61	58/81
G3 AHU 4.1	100/142	64/91	48/68	33/46
G3 AHU 4.2	24/34	42/61	12/17	18/27

Edellisen taulukon ensimmäinen luku tarkoittaa perustilanteen kanavistojen painehäviöitä ja jälkimmäinen luku +20 %:n ylikapasiteetin ilmamäärän aiheuttaman kanavistojen painehäviöitä. Kanavakoon suurentamisella ei ole merkittävää vaikutusta kokonaispainehäviöihin. Merkittävä tekijä kokonaispainehäviöissä ovat suodattimet. Suodattimien osuus kokonaispainehäviöistä normaalimitoituksella on esitetty taulukossa 46.

**Taulukko 46. Suodattimien osuus kokonaispainehäviöistä.**

Ilmastointijärjestelmä	Perustilan painehäviöt [Pa]		+20 % ylikapasiteetin painehäviöt [Pa]	
	yhteensä	suodattimet	yhteensä	suodattimet
G3 AHU 1	1305	690	1569	737
G3 AHU 2	884	588	1028	623
G3 AHU 3	717	274	960	326
G3 AHU 4.1	1130	889	1283	925
G3 AHU 4.2	890	756	970	778

Suodattimien painehäviöissä on huomioitu mitoittava painehäviö suodatinluokissa F7, F8 ja F9 sekä loppupainehäviö EPA- ja HEPA-luokan suodattimissa. EPA- ja HEPA-luokan päätelaitteissa on huomioitu vain suodattimien osuus.

Kojekokojen vertailussa taulukoissa 41 ja 42 on käytetty FläktWoodsin kojemitoitusohjelmia Acon. Kojetyyppinä on käytetty FläktWoodsin EQ. Taulukossa 47 on esitetty mitoituksissa käytetyt EQ-kojekoot.

**Taulukko 47. Mitoituksissa käytetyt EQ-kojeet.**

Ilmastointijärjestelmä	Normaalimitoitus EQ-kojekoko	Yhtä kokoa suurempi EQ-kojekoko
G3 AHU 1	068	090
G3 AHU 2	063	090
G3 AHU 3	036	054
G3 AHU 4.1	041	056
G3 AHU 4.2	045	068

Kojekoon valinnalla on suora vaikutus järjestelmän painehäviöihin ja SFP-lukuun. Valitsemalla suurempi kojekoko vähennetään järjestelmän sähköenergian kulutusta.

Heinäkuussa 2012 voimaan tuleva Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D3 luvussa 2.6.1 määrittelee koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän SFP-luvuksi 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja koneellisen poistoilmajärjestelmän SFP-luvuksi 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). Siinä määritellään myös mahdollisuus suurempaan SFP-lukuun, jos esimerkiksi rakennuksen sisäilmaston hallinta edellyttää tavanomaisesta poikkeavaan ilmastointia.

Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmät edellyttävät yleensä tavanomaisesta poikkeavaa ilmastointia ja näin ollen niissä sallitaan korkeampi SFP-luku kuin mukavuusilmastointijärjestelmissä. Lääketeollisuusrakennuksissa on myös mukavuusilmastointijärjestelmiä, kuten toimistojen, sosiaalityötilojen, keittiöiden ja ruokaloiden ilmastointijärjestelmät ja näihin sovelletaan SRMK:n määräyksiä ja ohjeita. Tavanomaisesta poikkeavien ilmastointijärjestelmien, kuten lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmät, sallituille painehäviöille asetetaan useissa standardeissa raja-arvoja. Taulukoissa 48 ja 49 on esitetty standardin SFS-EN 13779, ASHRAE:n ja Ernst Orlando Lawrence Berkeley National Laboratoriesin raja-arvot.

Taulukko 48. SFS-EN 13779 raja-arvot painehäviöille.

Component	Pressure losses in Pa		
	Low	Normal	High
Ductwork supply	200	300	600
Ductwork exhaust	100	200	300
Heating coil	40	80	100
Cooling coil	100	140	200
Heat recovery unit H3 <sup>a</sup>	100	150	250
Heat recovery unit H2-H1 <sup>a)</sup>	200	300	400
Humidifier	50	100	150
Air washer	100	200	300
Air filter F5-F7 per section <sup>b</sup>	100	150	250
Air filter F8-F9 per section <sup>b</sup>	150	250	400
HEPA Filter	400	500	700
Gas Filter	100	150	250
Silencer	30	50	80
Terminal device	30	50	100
Air inlet and outlet	20	50	70

<sup>a</sup> Class H1 – H3 according to EN 13053.  
<sup>b</sup> Final pressure drop before replacement.

Ernst Orlando Lawrence Berkeley National Laboratorio on tutkinut puhdistililmastointijärjestelmien energian kulutusta ja energiatehokkuutta useasta näkökulmasta ja tuottanut lukuisia raportteja tutkimustuloksista. LBNL on tutkimuksissaan viitannut muun muassa ASHRAE:n käyttämiin painehäviön raja-arvoihin, jotka on esitetty taulukossa 49 (26, s. 16).

Taulukko 49. LBNL raja-arvoja painehäviöille.

Component	Standard	Good	Better
Air handler face velocity	500	400	300
Air Handler	2.5 in. w.g.	1.5 in. w.g.	0.75 in. w.g.
Heat Recovery Device	1.00 in. w.g.	0.60 in. w.g.	0.35 in. w.g.
VAV Control Devices	Constant Volume, N/A	Flow Measurement Devices, 0.80- 0.30 in. w.g.	Pressure Differential Measurement and Control, 0.10 in. w.g.
Zone Temperature Control Coils	0.5 in. w.g.	0.30 in. w.g.	0.05 in. w.g.
Total Supply and Return Ductwork	4.0 in. w.g.	2.25 in. w.g.	1.2 in. w.g.
Exhaust Stack CFM and	0.7" w.g. full design flow through entire exhaust system, Constant Volume	0.7" w.g. full design flow through fan and stack only, VAV System with bypass	0.75" w.g. averaging half the design flow, VAV System with multiple stacks
Noise Control (Silencers)	1.0" w.g.	0.25" w.g.	0.0" w.g.
<b>Total</b>	<b>9.7" w.g.</b>	<b>6.2" w.g.</b>	<b>3.2" w.g.</b>

Taulukossa 49 painehäviön yksikkönä käytetty 1 in. w.g. = 250 Pa ja nopeuden yksikkönä fpm = 0,00508 m/s. LBNL on antanut puhdistililmastointijärjestelmien painehäviöiden raja-arvot erikseen ulkoilma- ja kierrätysilmajärjestelmille (27, s. 25–26). Nämä raja-arvot on esitetty taulukossa 50.

**Taulukko 50. Ulko- ja kierrätysilmajärjestelmien kokonaispainehäviöiden raja-arvot LBNL:n mukaan.**

Järjestelmä	Tyypillinen painehäviö (kokonaisstaattinen $\Delta p$ )	Parhaan käytännön painehäviö (kokonaisstaattinen $\Delta p$ )
Kierrätysilma	375 – 750 Pa	125 – 250 Pa
Ulkoilma	1500 – 2500 Pa	500 – 1375 Pa

LBNL:n tutkijat löysivät tutkimuksissaan järjestelmissä käytettyjä tyypillisiä painehäviöiden suunnitteluarvoja. Taulukossa 51 on esitetty tyypillisiä painehäviöiden suunnitteluarvoja kierrätysilmajärjestelmille.

**Taulukko 51. Tyypillisiä painehäviöiden suunnitteluarvoja kierrätysilmajärjestelmille.**

Järjestelmän osa	Kierrätysilmakojeen painehäviö [Pa]
Suodattimet	198
Patterit	125
Ulkop. painehäviö	250
Järjestelmähäviö	75
Yhteensä	638

Taulukossa 52 on vastaavat arvot ulkoilmajärjestelmille.

**Taulukko 52. Tyypillisiä painehäviöiden suunnitteluarvoja ulkoilmajärjestelmille.**

Järjestelmän osa	Ulkoilmakojeen painehäviö [Pa]
Esiuodattimet	250
Esilämmityspatterit	125
Jäähdytyspatteri	250
Kuivatusosa	250
Lämmityspatteri	125
Loppusuodattimet	250
Ulkop. painehäviö	625
Järjestelmähäviö	75
Yhteensä	1950

LBNL:n tutkijat huomasivat, että ilmastointijärjestelmien suunnittelijat käyttivät 2,5 m/s otsapintanopeutena ilmastointikojeiden mitoituksessa, koska tämä on turvalliseksi koettu niin sanottu peukalosääntö. Referenssikohteen ilmastointijärjestelmien sähköenergian kulutuslaskelmissa käytetään perustilanteen painehäviöiden aiheuttamaa sähkötehon tarvetta. Taulukon 41 painehäviöarvoista voidaan koota taulukon 53 arvot.

**Taulukko 53. Energiankulutuslaskelmissa käytettävät ilmastointijärjestelmien painehäviöt.**

Ilmastointijärjestelmä	Perustilanteen painehäviö [Pa]
G3 AHU 1	1305
G3 AHU 2	854
G3 AHU 3	717
G3 AHU 4.1	1130
G3 AHU 4.2	890

Voitaneen todeta, että taulukon 53 arvot ovat lähellä taulukon 48 normaaliarvoja, taulukon 49 standardi ja taulukoiden 50-52 tyypillisiä arvoja. Kanavien painehäviöiden ohjearvoina voidaan myös käyttää mukavuusilmastointilaitoksista tuttuja kanavistojen mitoitusarvoja, kuten ilman äänenvaimentimia oleville ilmamääräsäätimillä varustetuille kanavistoille 50–75 Pa ja kanavistoille, joissa virtaussäätimet ovat varustettuja äänenvaimentimilla, 75–125 Pa (28, s. 39).

Ilmastointijärjestelmien energiatehokkuusvaatimusten kasvaessa ovat niin sanotut suuret rakennuttajat tehneet omia ohjeitaan, joilla vaikutetaan suunnitteluun ja rakentamiseen niin, että rakennuttajien asettamat nykyisiä määräyksiä tiukemmat energiatehokkuusvaatimukset täytetään. Helsingin kaupungin rakennusvirasto HKR on julkistanut Helsingin kaupungin matalaenergiarakentamisen LVI-suunnitteluohjeen, jossa SFP-luvun ohjearvoksi annetaan uudisrakennuksissa  $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  ja korjauskohteissa enintään  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  (29, s. 9). Saman HKR:n ohjeen mukaan koteloitujen IV-kojeiden otsapintanopeus saa olla maksimissaan  $1.6 \text{ m/s}$  uudisrakennuksissa ja enintään  $2,0 \text{ m/s}$  korjauskohteissa (29, s. 10). HKR:n ohje edellyttää kanavistolta "väljää" mitoitusarvoista menemättä sen enempää yksityiskohtaisiin arvoihin.

Uppsalan läänin Maakäräjähuollon ilmastointijärjestelmien teknisessä ohjeessa annetaan yksityiskohtaisia ohjeita käytettäville mitoitusarvoille. Uppsalan läänin Maakäräjät vastaa lääninsä sisällä terveydenhuollosta ja sen rakennushankkeista. Maakäräjäjärjestelmä Ruotsissa vastaa suomalaista sairaanhoitopiirijärjestelmää. Tämän ohjeen mukaiset SFP-arvot ovat (30, s. 4):

*Tulo- ja poistoilmajärjestelmä, jossa LTO*

SFP,  $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ : 2,0, 1,5 ilmamäärällä  $>1,5 \text{ m}^3/\text{s}$

*Tulo- ja poistoilmajärjestelmä ilman LTO:ta*

SFP,  $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ : 1,5, 1,35 ilmamäärällä  $>1,5 \text{ m}^3/\text{s}$

*Poistoilmajärjestelmä, jossa LTO*

SFP,  $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ : 1,0, 0,7 ilmamäärällä  $>1,5 \text{ m}^3/\text{s}$

*Poistoilmajärjestelmä ilman LTO:ta*

SFP,  $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ : 0,6, 0,4 ilmamäärällä  $>1,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Uppsalan Maakäräjien ohje vahvistaa aikaisemmin tässä opinnäytetyössä mainitun 20 %:n ylimitoituspäätteen (ks. s. 47). Tämän ohjeen mukaan pää- ja kokoojakanavat mitoitetaan 20 % ylikapasiteetille. Ilman virtausnopeudet tulee mitoittaa  $4 \text{ m/s}$  nopeudelle ja maksiminopeutena käytetään  $5 \text{ m/s}$  20 %:n ylikapasiteetin ilmapirroilla. Kitkainhäviötä  $1 \text{ Pa/m}$  ei saa ylittää (30, s. 5). Saman Uppsalan Maakäräjien ohjeen mukaan tulee ilmalaitteet ja säätöpellit, jotka palvelevat ilman säätömahdollisuutta olevia ilmalaitteita, mitoittaa minimissään  $25 \text{ Pa}$  painehäviölle (30, s. 6). Uppsalan Maakäräjien ohjeen mukaan ulkoilmalaitteet mitoitetaan valmistajan ohjeiden mukaan. Ulkoilmasäleikön maksimiotsapintanopeutena käytetään  $2 \text{ m/s}$  (30, s. 6).

SFP-luvun optimoinnissa on syytä muistaa ilmastointijärjestelmien kasvava tilantarve, kun ilmastointikojeiden otsapintanopeutta ja kanavistojen ilman virtausnopeutta laskeaan. Taulukossa 54 on vertailtu ilmastointikojeiden mittoja, kun vertailtavina ovat niin sanottua normaalin mitoituksen ja paremman SFP-luvun ilmastointikojeet.

**Taulukko 54. Ilmastointikojeiden mitat normaalimitoituksella.**

Ilmastointijärjestelmä	Pituus [mm]	Leveys [mm]	Korkeus [mm]
G3 AHU 1	9600	2000	3502
G3 AHU 2	8750	2300	2902
G3 AHU 3	9000	1400	2902
G3 AHU 4.1	8800	2000	2302
G3 AHU 4.2	6950	1700	1526

Mitat muuttuvat, kun valitaan parempi SFP-luku, taulukon 55 mukaisesti.

**Taulukko 55. Ilmastointikojeiden mitat paremmalla SFP-luvulla.**

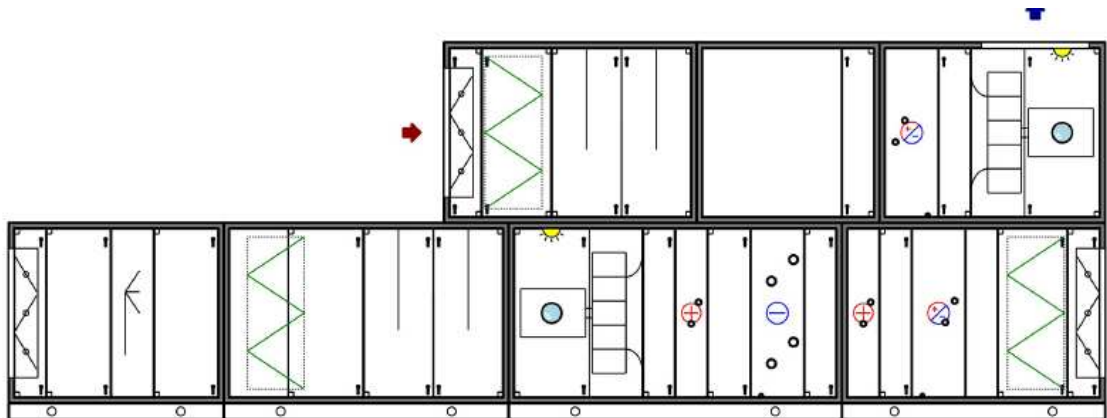
Ilmastointijärjestelmä	Pituus [mm]	Leveys [mm]	Korkeus [mm]
G3 AHU 1	9750	2600	3502
G3 AHU 2	9350	2600	3502
G3 AHU 3	9250	2000	2902
G3 AHU 4.1	9500	1700	3502
G3 AHU 4.2	7100	2000	1826

Kojeiden mitat perustuvat FläktWoodsin ACON-ohjelman EQ-kojesarjaan. Lähtölukuna on ollut tulo- ja poisto sekä kierrätysilmakojien asentaminen päällekkäin lukuun ottamatta ilmastointikojejärjestelmää G3 AHU 4.2, jossa on vain yhdellä puhaltimella varustettu kierrätysilmakoje.

Vertailtaessa taulukon 43 SFP-lukuja Uppsalan Maakäräjien ohjeen mitoitusarvoihin voidaan todeta, että tässä opinnäytetyössä käytetyt paremman SFP-luvun kojeet olisi pitänyt mitoittaa vieläkin väljemmin, jotta Uppsalan Maakäräjien ohjeen mukaiset SFP-arvot olisivat täyttyneet, kun ilmamäärä  $>1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . HKR:n palvelurakennusten LVI-suunnitteluohjeen mukaiset SFP-arvot kylläkin täyttyvät.

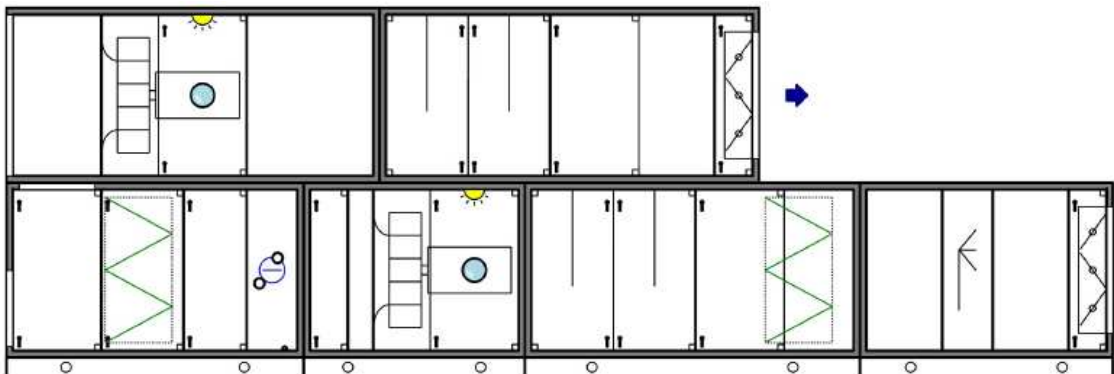


Referenssikohteen ilmastointikojeiden asennuskokoonpanot on selvennyksen vuoksi syytä eritellä. Kuvassa 21 on esitetty ilmastointikojeen G3 AHU1 asennuskokoonpano.



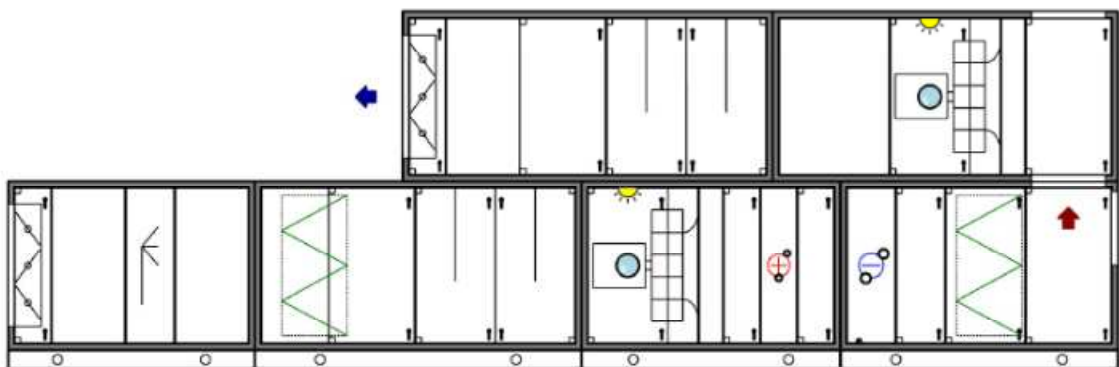
**Kuva 21. Ilmastointikojeen G3 AHU1 asennuskokoonpano.**

Kuvassa 22 on esitetty ilmastointikojeen G3 AHU2 asennuskokoonpano.



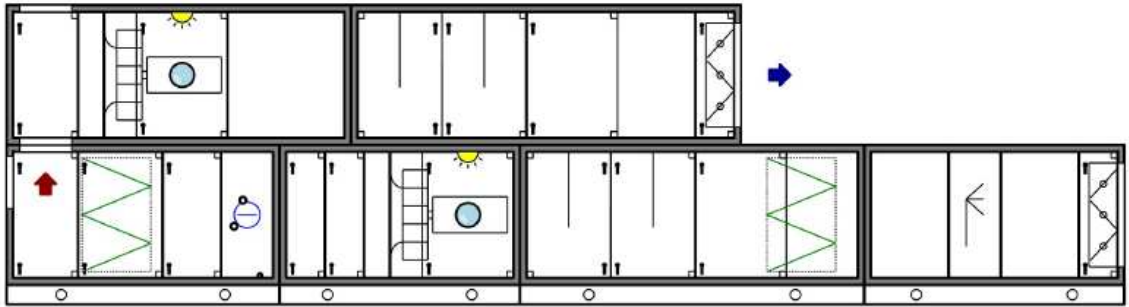
**Kuva 22. Ilmastointikojeen G3 AHU2 asennuskokoonpano.**

Kuvassa 23 on esitetty ilmastointikojeen G3 AHU3 asennuskokoonpano.



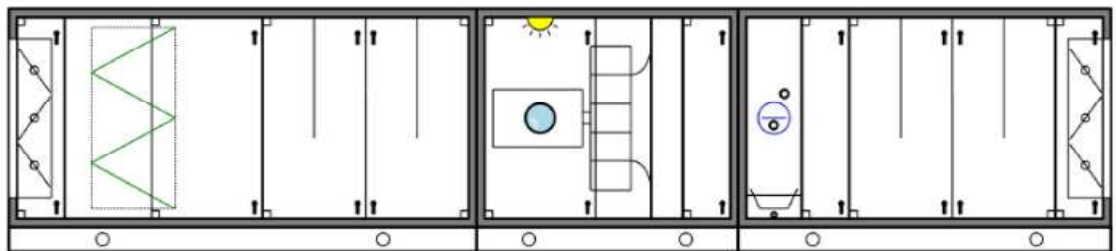
**Kuva 23. Ilmastointikojeen G3 AHU3 asennuskokoonpano.**

Kuvassa 24 on esitetty ilmastointikojeen G3 AHU4.1 asennuskokoonpano.



**Kuva 24. Ilmastointikojeen G3 AHU4.1 asennuskokoonpano.**

Kuvassa 25 on esitetty ilmastointikojeen G3 AHU4.2 asennuskokoonpano.



**Kuva 25. Ilmastointikojeen G3 AHU4.2 asennuskokoonpano.**

## 5 Ilmastointijärjestelmien energiankulutus

### 5.1 Ilmastointijärjestelmien lämpöenergian kulutus

Referenssikohteen ilmastointijärjestelmät jakaantuvat ulkoilman olosuhteista riippuvaan ulkoilmajärjestelmään G3 AHU1 ja ulkoilmaolosuhteista riippumattomiin kierrätysilmajärjestelmiin G3 AHU2, G3 AHU3, G3 AHU4.1 ja G3 AHU4.2. Ilmastointijärjestelmien lämpöenergian kulutus muodostuu näin kahden järjestelmätyypin summana. Ilmastointijärjestelmien lämpöenergian kulutukset on laskettu SRMK:n osan D5/2007 taulukon L.1.1 mukaisille säävyöhykkeille. Laskelmat on tehty SRMK:n osan D5/2007 liitteen 1 säävyöhykelukuisten taulukoiden L1.1 – L1.3 mitoitustiedoilla.

Ulkoilman olosuhteista riippuvaisen ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämpöenergian kulutus on laskettu SRMK:n osan D5/2007 luvun 4.3 mukaisesti. Laskentamenetelmä on yksinkertaistettu ja se antaa lämpöenergian kulutuksen karkealla tasolla (10, s. 9). Ilmastointijärjestelmien lämpöenergian kulutuksen laskenta on tehty seuraavilla ehdoilla:

- Puhdastilat ovat "rakennus rakennuksessa" periaatteella eli rakennuksen ulkovaipan lämpöhäviöt eivät sisälly laskentaan muuten kuin maanvaraisen lattian osalta.
- Puhdastiloja ympäröivä tekninen tila on yllämpöinen ympärivuotisesti, joten lämpövirta on sieltä puhdastiloihin päin.
- Auringosta syntyvää lämpökuormaa ei huomioida, koska puhdastiloissa ei ole ikkunoita eikä ulkovaippaa suoraan aurinkoon.
- Sisäiset lämpökuormat on laskettu täysimääräisinä eikä niitä ole huomioitu rakenteisiin varautuvina.
- Tehdasrakennuksen lämpöenergian kulutus ei sisälly tähän laskentaan.

Ulkoilmaolosuhteista riippumattomien kierrätysilmajärjestelmien G3 AHU2, G3 AHU3, G3 AHU4.1 ja G3 AHU4.2, lämpöenergian kulutus on laskettu arvioituun tuotantorytmiin perustuen. Näissä järjestelmissä lämpöenergiaa kuluu pääsääntöisesti tuloilman jälkilämmitykseen. Lääketeollisuuden puhdastilailmastointijärjestelmille on ominaista se, että jäädytetään ja lämmitetään samanaikaisesti. Ulkoilmaolosuhteista riippuvaisen ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämmityksen tarvitsema energia on laskettu kaavalla 18.

$$Q_v = \Sigma * (H_v * (T_s - T_u) \Delta t) / 1000 \quad (18)$$

$Q_v$  on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia [kWh]

$H_v$  on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt [W/K]

$T_s$  on sisäilman lämpötila [°C]

$T_u$  on ulkoilman lämpötila [°C]

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos kilowattitunneiksi

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt  $H_v$  lasketaan kaavalla 19.

$$H_v = \rho * C_p * q_{vp} * t_d * r * t_v * (1 * \eta_a) \quad (19)$$

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$C_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 Ws/(kgK)

$q_{vp}$  on poistoilmavirta [m<sup>3</sup>/s]

$t_d$  on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde [h/24h]

$t_v$  on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde [vrk/7 vrk]

$r$  on muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan

$\eta_a$  on ilmanvaihdon poistoilman lämmön talteenoton (LTO) vuosihyötysuhde tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolla

Ilmanvaihdon poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhde on laskettu liitteen 6 mukaisilla arvoilla. Liitteen 6 laskenta perustuu ympäristöministeriön monisteen 122 (2003) laskentasääntöihin ja kaavoihin. Poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa on tuloilman lämmön talteenoton hyötysuhteena käytetty FläktWoodsin ACON -laskentaohjelmalla saatua hyötysuhdetta. Liitteen 6 laskennan mukaiset poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhteet säävyöhykkeittäin on esitetty taulukossa 29, kun tulo- ja poistoilman välinen suhde R on ollut 1,1. Liitteen 6 mukainen LTO:n vuosihyötysuhteidenlaskenta säävyöhykkeittäin perustuu Tekniikan lisensiaatti Mika Vuollen Sisäilmätieto Oy:lle vuonna 2004 tekemään ohjelmaan.

Ilmastointijärjestelmien lämpöenergian kulutukset on laskettu säävyöhykkeittäin kahdelle tuotantorytmille:

- 24/24 h ympäri vuoden = keskeytymätön kolmivuorotyö
- 12/24 h 5/7 vrk = keskeytyvä yksivuorotyö.

Ilmastointijärjestelmien 1/1-tehon käyttötuntimäärät jakaantuvat tuotantorytmin mukaisesti:

- 8760 h = keskeytymätön kolmivuorotyö
- 3120 h = keskeytyvä yksivuorotyö.

Tämän lisäksi huomioidaan keskeytyvässä yksivuorotyössä ilmastointijärjestelmien 1/2-tehokäytön tuntimäärät:

- 3120 h = keskeytyvä yksivuorotyö ilta-/yökäyttö
- 2520 h = keskeytyvä yksivuorotyö.

Taulukon 21 mukaiset prosessilaitekuormat ovat päällä:

- 7300 h keskeytymättömässä kolmivuorotyössä
- 2600 h keskeytyvässä yksivuorotyössä.

Valaistuksesta, ihmisistä ja puhdistilarakenteen läpi johtuvat lämpökuormat vaikuttavat yhteisesti tuotantorytmin mukaisesti. Valaistuksesta ja ihmisistä syntyvä lämpökuorma ei vaikuta yöllä eikä viikonloppuisin keskeytyvässä yksivuorotyössä.

Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 poistoilman lämpöenergiassa huomioidaan hyödyksi ilmastointijärjestelmistä G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1 tulevan poistoilman sisältämä lämpömäärä suhteessa kierrätysilmamäärään. Sisäisten lämpökuormien kokonaislaskenta on esitetty liitteessä 7. Ilmastointijärjestelmä G3 AHU1 lämpöenergian kulutus perustilanteessa keskeytymättömässä kolmivuorotyössä on säävyöhykkeittäin taulukon 56 mukainen.

**Taulukko 56. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämpöenergian kulutus kolmivuorotyössä.**

Säävyöhyke	Lämpöenergian kulutus [kWh]
Helsinki	298 469
Jokioinen	319 554
Jyväskylä	349 784
Sodankylä	480 073

Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämpöenergian kulutus perustilanteessa keskeytyvässä yksivuorotyössä on säävyöhykkeittäin taulukon 57 mukainen.

**Taulukko 57. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämpöenergian kulutus yksivuorotyössä.**

Säävyöhyke	Lämpöenergian kulutus [kWh]
Helsinki	279 308
Jokioinen	293 892
Jyväskylä	314 961
Sodankylä	405 159

Vertailun vuoksi on tutkittava lämpöenergian kulutuksen kasvua, jos ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 ylikapasiteetti 20 % otetaan käyttöön keskeytymättömässä kolmivuorotyössä. Tämän toimenpiteen tulokset on esitetty taulukossa 58.

**Taulukko 58. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämpöenergian kulutus kolmivuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	Lämpöenergian kulutus [kWh]
Helsinki	341 204
Jokioinen	365 601
Jyväskylä	400 414
Sodankylä	551 101

Taulukoiden 56 ja 57 lämpöenergian kulutuksen eroissa näkyy yksivuorotyössä prosessilaitteista tulevan lämpökuorman pois jäänti ja siksi kulutusluvut ovat harhaanjohtavia. Taulukot 56 ja 57 osoittavat ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämmitysjärjestelmästä ottaman energiamäärän. Sisäisten lämpökuormien osuus ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämmitysenergian tarpeesta on keskeytymättömässä kolmivuorotyössä taulukon 59 mukainen.

**Taulukko 59. Sisäisten lämpökuormien osuus kolmivuorotyössä.**

Säävyöhyke	Lämpökuormaenergia [kWh]
Helsinki	248 788
Jokioinen	248 788
Jyväskylä	248 788
Sodankylä	248 788

Taulukossa 60 on esitetty sisäisten lämpökuormien osuus yksivuorotyössä.

**Taulukko 60. Sisäisten lämpökuormien osuus yksivuorotyössä.**

Säävyöhyke	Lämpökuormaenergia [kWh]
Helsinki	98 501
Jokioinen	98 501
Jyväskylä	98 501
Sodankylä	98 501

Taulukot 56, 57, 59 ja 60 yhdistämällä saadaan ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämmitysenergian kulutus perustilanteessa kolmi- ja yksivuorotyössä. Taulukossa 61 on esitetty keskeytymättömän kolmivuorotyön kulutus.

**Taulukko 61. Kolmivuorotyön lämmitysenergian yhteiskulutus (taulukot 56 + 59).**

Säävyöhyke	Kokonaiskulutus [kWh]
Helsinki	547 257
Jokioinen	568 342
Jyväskylä	598 572
Sodankylä	728 861

Taulukossa 62 on esitetty vastaavat kulutusluvut yksivuorotyössä.

**Taulukko 62. Yksivuorotyön lämmitysenergian yhteiskulutus (taulukot 57 + 60).**

Säävyöhyke	Kokonaiskulutus [kWh]
Helsinki	377 809
Jokioinen	392 393
Jyväskylä	413 462
Sodankylä	503 660

Taulukoista 61 ja 62 voidaan todeta, että kokonaisenergian kulutus ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 lämmitykseen perustilanteessa poikkeaa merkittävästi keskeytymättömän kolmivuorotyön ja keskeytyvän yksivuorotyön välillä.

Kierrätysilmajärjestelmät G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1 kuluttavat lämmitysenergiaa tasaisesti riippumatta ulkoilman olosuhteista. Niiden lämmitysenergian kulutukseen vaikuttaa kolmivuo- ja yksivuorotyö taulukon 63 mukaisesti.

**Taulukko 63. Kierrätysilmajärjestelmien lämmitysenergian kulutus perustilanteessa.**

Säävyöhyke	Kolmivuorotyön lämmitysenergian kulutus [kWh]	Yksivuorotyön lämmitysenergian kulutus [kWh]
Helsinki	76 811	58 454
Jokioinen	76 811	58 454
Jyväskylä	76 811	58 454
Sodankylä	76 811	58 454

Ilmastointijärjestelmien lämmitysenergian laskennan kulku on esitetty liitteessä 8 säävyöhykkeen I osalta. Säävyöhykkeille II, III ja IV laskennan kulku on samanlainen.

Kierrätysilmakojeiden osuudet lämmitysenergian kulutuksesta ovat kolmivuorotyössä: G3 AHU2 -> 51 %, G3 AHU3 -> 7 % ja G3 AHU4.1 -> 42 % ja vastaavat osuudet yksivuorotyössä: G3 AHU2 -> 48 %, G3 AHU3 -> 17 % ja G3 AHU4.1 -> 35 %.

## 5.2 Ilmastointijärjestelmien jäähdytysenergian kulutus

Jäähdytysenergiaa kuluu ilman kuivaukseen ja sisäisten lämpökuormien hallintaan. Ulkoilman olosuhteista riippuva ilmastointijärjestelmä G3 AHU1 muodostaa suurimman



jäähdytysenergian kuluttajan kesäaikaisen ilmankuivauksen johdosta. Kierrätysilmajärjestelmät G3 AHU2, G3 AHU 3, G3 AHU4.1 ja G3 AHU4.2 kuluttavat jäähdytysenergiaa tasaisesti ympäri vuoden siirtäen pois sisäisiä lämpökuormia.

Jäähdytysenergian kulutuksen laskenta on suoritettu Gunnar Liljan vuonna 1981 julkaistussa kirjassa "Luftbehandling 2" kohdan "Energibehov för kylning" mukaan (22, s. 429). Sama laskentamenetelmä on esitetty Ruotsin LVI-tekniikan yhdistyksen taulukkokirjassa "Meteorologi och klimatologi" luvussa 8 (31, s. 53, 62, 63). Menetelmän mukainen jäähdytyksen ominaisenergiankulutus  $h_j$  lasketaan kaavalla 20.

$$h_j = \frac{(t_u - t_{tuloilma})h*(T_u - T_{tuloilma})^{\circ C}}{2} \quad (20)$$

$h_j$  on jäähdytyksen ominaisenergiankulutus [kJh/kg]

$t_u$  on mitoittavan ulkolämpötilan esiintymisaika [h]

$t_{tuloilma}$  on tuloilman jäähdytyslämpötilan esiintymisaika [h]

$T_u$  on mitoittava ulkolämpötila [ $^{\circ}C$ ]

$T_{tuloilma}$  on tuloilman jäähdytyslämpötila [ $^{\circ}C$ ]

Mitoittavien vuosittaisten tuntimäärien ja lämpötilojen määrittämiseen käytetään liitteessä 9 esitettyjä säävyöhykelukuisia lämpötilojen pysyvyysskäyriä. Paikkakuntaakohtaisia lämpötilan ja entalpian pysyvyysskäyriä voi Suomessa ostaa Ilmatieteen laitokselta ja Foreca Oy:ltä. Liitteessä 9 esitetyt säävyöhykekohtaiset lämpötilan pysyvyysskäyrät on ostettu Ilmatieteen laitokselta heinäkuussa 2011.

Kun tuloilman jäähdytyslämpötila alittaa mitoittavan ulkolämpötilan kastepistelämpötilan, tiivistyy jäähdytyspatterin pinnoille vettä ja tuloilma kuivuu. Kuivauksen tarvitsema lisäenergian tarve lasketaan prosentuaalisena lisänä kaavan 20 mukaisen laskennan arvoon korjauskertoimella, joka saadaan Ruotsin LVI-tekniikan yhdistyksen taulukkokirjasta taulukosta 8.8 (31, s. 62 ja 63).

Näin laskettu jäähdytysenergian vuosittainen säävyöhykekohtainen kulutus  $\Phi_j$  lasketaan kaavalla 21.

$$\Phi_j = qv * \rho * h_j \quad (21)$$

$\Phi_j$  on jäähdytysenergian vuosittainen säävyöhykelukuinen kulutus [kWh]

$q_v$  on tuloilmavirta [ $m^3/s$ ]

$\rho$  on ilman tiheys  $1,2 \text{ kg}/m^3$

$h_j$  on jäähdytysenergian ominaiskulutus [ $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{a}$ ]

SRMK:n osa D5/2007 ei anna laskentaohjetta jäähdytysenergian kulutukselle, kun ilmastointijärjestelmä prosessoi ilman mitoittaviin huoneparametreihin ts. vakioilämpötilaan ja kosteuteen (10, s. 25). SRMK:n osan D5 heinäkuussa 2012 voimaan astuva versio edellyttää dynaamisen laskentaohjelman käyttöä jäähdytysenergian laskennassa (32, s. 3).

Jäähdytysenergian kulutus on laskettu säävyöhykekohtaisesti kolmi- ja yksivuorotyölle samoilla tuntimäärillä, joita käytettiin ilmastointijärjestelmien lämmitysenergian kulutuksen laskennassa (ks. luku 5.1). Sisäiset lämpökuormat vaikuttavat samalla tavalla jäähdytysenergian kulutuksen laskennassa kuin lämmitysenergian kulutuksen laskennassa (ks. luku 5.1). Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 jäähdytysenergian kulutus on keskeytymättömässä kolmivuorotyössä säävyöhykkeittäin taulukon 64 mukainen.

**Taulukko 64. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 vuotuinen jäähdytysenergian kulutus perustilanteessa kolmivuorotyössä.**

Säävyöhyke	Jäähdytysenergian kulutus [kWh]
Helsinki	131 695
Jokioinen	119 637
Jyväskylä	106 931
Sodankylä	76 386

Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 jäähdytysenergian kulutus on keskeytyvässä yksivuorotyössä säävyöhykkeittäin taulukon 65 mukainen.

**Taulukko 65. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 vuotuinen jäähdytysenergian kulutus perustilanteessa yksivuorotyössä.**

Säävyöhyke	Jäähdytysenergian kulutus [kWh]
Helsinki	93 555
Jokioinen	84 989
Jyväskylä	75 963
Sodankylä	54 264

Vertailun vuoksi on tutkittava jäähdytysenergian kulutuksen kasvua, jos ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 ylikapasiteetti 20 % otetaan käyttöön keskeytymättömässä kolmi- vuorotyössä. Tämän toimenpiteen tulokset on esitetty taulukossa 66.

**Taulukko 66. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 vuotuinen jäähdytysenergian kulutus kolmi- vuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	Jäähdytysenergian kulutus [kWh]
Helsinki	153 515
Jokioinen	139 458
Jyväskylä	124 647
Sodankylä	89 042

Kierrätysilmajärjestelmät G3 AHU 2, G3 AHU 3, G3 AHU 4.1 ja G3 AHU 4.2 kuluttavat jäähdytysenergiaa niin sanotussa kuivassa jäähdytyksessä (ei ilman kuivumista) tasaisesti riippumatta ulkoilman olosuhteista. Niiden jäähdytysenergian kulutukseen vaikuttaa kolmi- ja yksivuorotyö taulukon 67 mukaisesti.

**Taulukko 67. Kierrätysilmajärjestelmien G3 AHU 2, G3 AHU 3, G3 AHU 4.1 ja G3 AHU 4.2 vuotuinen jäähdytysenergian kulutus perustilanteessa.**

Säävyöhyke	Kolmivuorotyön jäähdytysenergian kulutus [kWh]	Yksivuorotyön jäähdytysenergian kulutus [kWh]
Helsinki	615 840	221 590
Jokioinen	615 840	221 590
Jyväskylä	615 840	221 590
Sodankylä	615 840	221 590

Kierrätysilmakojien osuudet jäähdytysenergian kulutuksesta ovat seuraavat: G3 AHU2 -> 41 %, G3 AHU3 -> 24 %, G3 AHU4.1 -> 19 % ja G3 AHU4.2 -> 16 %. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 jäähdytysenergian kulutus on kompressorilla tehtyä energiaa, koska ilmastointijärjestelmä hyödyntää suoraan kylmää ulkoilmaa, kun ulkoilman lämpötila on kylmempi kuin 11 °C. Kierrätysilmajärjestelmät G3 AHU 2, G3 AHU 3, G3 AHU 4.1 ja G3 AHU 4.2 hyödyntävät niin sanottua vapaajäähdytystä kun ulkoilma on 5 °C kylmempää kuin 7 °C :n jäähdytyspattereille menevä vesi. Tämä tarkoittaa vapaajäähdytyksen täysimääräistä hyödyntämistä ulkolämpötilan ollessa 2 °C (33, s. 8). Säävyöhykelkohtaisesti  $\leq 2$  °C lämpötiloja esiintyy tuntimääräisesti taulukon 68 mukaisesti (33, s. 8).

**Taulukko 68. Säävyöhykkeittäin  $\leq 2$  °C kestoajat.**

Säävyöhyke	$\leq 2$ °C kestoajat [h]
Helsinki	3819
Jokioinen	4109
Jyväskylä	4398
Sodankylä	5183

Ajallisesti tämä tarkoittaa sitä, että suhteutettuna vuoden kokonaistuntimäärään 8760 h kierrätysilmajärjestelmät hyödyntävät vapaajäähdytystä: Helsingissä -> 44 %, Jokioisilla -> 47 %, Jyväskylässä -> 50 % ja Sodankylässä -> 59 % ajasta. Karkeasti arvioituna vapaajäähdytyksellä tuotetaan jäähdytysenergian kulutuksesta taulukon 69 mukaiset osuudet.

**Taulukko 69. Vapaa jäähdytyksellä tuotettu jäähdytysenergia kierrätysilmajärjestelmissä.**

Säävyöhyke	Kolmivuorotyössä vapaajäähdytyksen osuus [kWh]	Yksivuorotyössä vapaajäähdytyksen osuus [kWh]
Helsinki	270 970	97 500
Jokioinen	289 445	104 147
Jyväskylä	307 920	110 795
Sodankylä	363 346	130 738

Näin ollen jäähdytyskompressorilla tuotetaan taulukon 70 mukaiset kierrätysilmajärjestelmien jäähdytysenergiat.

**Taulukko 70. Jäähdytyskompressorilla tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia.**

Säävyöhyke	Kolmivuorotyössä jäähdytyskompressorin osuus [kWh]	Yksivuorotyössä jäähdytyskompressorin osuus [kWh]
Helsinki	344 870	124 090
Jokioinen	326 395	117 443
Jyväskylä	307 920	110 795
Sodankylä	252 494	90 851

Ilmastointijärjestelmien jäähdytysenergian kulutuksen laskennan kulku on esitetty liitteessä 9 säävyöhykkeen I osalta. Säävyöhykkeille II, III ja IV laskennan kulku on samanlainen.

### 5.3 Ilmastointijärjestelmien kustutuksen energian kulutus

Kustutuksen vaatimaa energiaa kuluu varsinkin talvella kuivan tuloilman kustutukseen Ulkoilman olosuhteista riippuvainen ilmastointijärjestelmä G3 AHU1 muodostaa suurimman kustutuksen vaatiman energian kuluttajan. Ilmastointijärjestelmä G3 AHU1 toimittaa käsitellyn ulkoilman kierrätysilmajärjestelmiin G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1. Viimeksi mainittu kierrätysilmajärjestelmä G3 AHU4.1 palvelee EU GMP:n mukaisia puhtausluokkia D, C, B ja A. EU GMP:n mukaisessa puhtausluokassa D tuloilman kustutukseen voidaan käyttää niin sanottua tehdashöyryä, mutta puhtausluokissa C, B ja A tuloilman kustutus tulee hoitaa niin sanotulla puhdashöyryllä tai muulla todistettavasti puhtaammalla höyryllä (12, s. 160). Myös CNC-tilojen tuloilman kustutukseen voi käyttää tehdashöyryä.

Kustutuksen vaatiman energiankulutuksen laskenta on suoritettu Gunnar Liljan vuonna 1981 julkaistussa kirjassa "Luftbehandling 2" luvussa "Vattenförbrukning i fuktare" mukaan (22, s. 435).

Vuotuisen ilmastoinnin kustutuksen vaatiman energian kulutuksen laskenta alkaa sen vesimäärän määrittämisellä, jonka kustutus tarvitsee. Sen laskemiseksi tarvitaan säävyöhykekohtaiset ominaiskosteuskäyrät, jotka vastaavat säävyöhykekohtaisia keskilämpötilan pysyvyysskäyriä. Tässä laskennassa käytetyt säävyöhykekohtaiset ominaiskosteuskäyrät ovat liitteessä 10. Liitteessä 10 esitetyt säävyöhykekohtaiset ominaiskos-

teuskäyrät on ostettu Ilmatieteen laitokselta heinäkuussa 2011 (säävyöhykekohtaisia ominaiskostutuskäyriä voi Suomessa ostaa Ilmatieteen laitokselta tai Foreca Oy:ltä).

Ilmastointijärjestelmien kostutuksen vuotuinen ominaisvedenkulutus lasketaan säävyöhykekohtaisten ominaiskosteuskäyrien avulla kaavan 22 mukaisesti.

$$g_{vesi} = \frac{t_{max} * (i_{max} - i_{min})}{2} \quad (22)$$

$g_{vesi}$  on ominaisvedenkulutus [gh/kg]

$t_{max}$  on maksimiaika mitoitusominaiskosteudelle [h]

$i_{max}$  on mitoitusominaiskosteus [g/kg]

$i_{min}$  on käyrän mukainen minimiominaiskosteus [g/kg]

Vuotuinen vedenkulutus, jonka ilmastointijärjestelmän kostutin kuluttaa, lasketaan kaavalla 23.

$$v_{vesi} = \rho * g_v * g_{vesi} * 3,6 * 10^{-3} \quad (23)$$

$v_{vesi}$  on vuotuinen veden tarve [m<sup>3</sup>]

$\rho$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$g_v$  on ilmamäärä [m<sup>3</sup>/s]

$g_{vesi}$  on ominaisvedenkulutus [gh/kg]

Ilmastointijärjestelmässä G3 AHU1 käytetään höyrykostuttimia. käytettävän höyryverkoston paine on 8 bar:a, josta höyrynpaine alennetaan paineen alentimissa 3 bar:n paineeseen ennen kuin se johdetaan kostutintukeille. Tässä laskennassa on energiankulutuksen määrittämisessä käytetty 8 bar:n höyryn tarvitsemaa kokonaislämpö määrää 0,77 kWh/kg. Vuosittainen veden- ja lämmitysenergian kulutus ilmastointijärjestelmässä G3 AHU1 tuloilman kostuttamiseen on esitetty taulukossa 71.

**Taulukko 71. Vuosittainen veden- ja lämmitysenergian kulutus perustilanteessa kolmivuorotyössä.**

Säilytysohje	Vedenkulutus [kg]	Lämpöenergian kulutus [kWh]
Helsinki	583 665	449 422
Jokioinen	605 470	466 212
Jyväskylä	612 604	471 705
Sodankylä	661 423	509 296

Yksivuorotyössä vastaavat arvot on esitetty taulukossa 72.

**Taulukko 72. Vuosittainen veden- ja lämmitysenergian kulutus perustilanteessa yksivuorotyössä.**

Säilytysohje	Vedenkulutus [kg]	Lämpöenergian kulutus [kWh]
Helsinki	396 059	304 965
Jokioinen	410 854	316 358
Jyväskylä	415 696	320 086
Sodankylä	448 823	345 594

Kulutusarvot muuttuvat taulukon 73 mukaisiksi, jos 20 %:n ylikapasiteetti otetaan käyttöön.

**Taulukko 73. Vuosittainen veden- ja lämmitysenergian kulutus 20 %:n ylikapasiteetille kolmivuorotyössä.**

Säilytysohje	Vedenkulutus [kg]	Lämpöenergian kulutus [kWh]
Helsinki	680 367	523 883
Jokioinen	705 784	543 454
Jyväskylä	714 101	549 857
Sodankylä	771 008	593 676

Tämän laskentametodin tarkkuus on karkea ja se antaa vastauksena teoreettisen vuotuisen vedenkulutuksen ja sen kautta ilmastoinnin kustutuksen vaatiman lämpöenergian. Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 tuloilman kustutuksen vaatiman energiankulutuksen laskennan kulku on esitetty liitteessä 10.

#### 5.4 Ilmastointijärjestelmien puhallinmoottoreiden sähköenergian kulutus

Ilmastointijärjestelmien puhallinmoottoreiden sähköenergian kulutus on näissä laskelmissa oletettu ulkoilman olosuhteista riippumattomaksi ja näin ollen se pysyy samana kaikilla säävyöhykkeillä. Puhallinmoottoreiden vuotuiset sähköenergian kulutukset on laskettu kertomalla taulukon 41 mukaiset tulo- ja poistoilmapuhallinmoottoreiden SFP-laskennassa käytetyt tehot luvussa 5.1 esitetyillä keskeytymättömän kolmivuorotyön ja keskeytyvän yksivuorotyön käyttötuntimäärillä, jotka vastaavat puhallinmoottoreiden 1/1- ja 1/2-tehon käyttöaikoja. Sama lopputulos saadaan käyttämällä SRMK:n osan D5/2012 luvun 7.1.1. mukaista laskentatapaa. Puhallinmoottoreiden sähkönkulutus lasketaan kaavan 24 avulla.

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \sum SFP g_v * \Delta t * W_{\text{iv, muut}} \quad (24)$$

$W_{\text{ilmanvaihto}}$  on ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus [kWh]

SFP on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho [kW/(m<sup>3</sup>/s)]

$g_v$  on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta [m<sup>3</sup>/s]

$\Delta t$  on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla [h]

$W_{\text{iv, muut}}$  on muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus [kWh]

Taulukossa 74 on esitetty ilmastointijärjestelmien puhallinmoottoreiden sähköenergian kulutus keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa.

**Taulukko 74. Perustilanteen puhallinmoottoreiden vuotuinen sähköenergian kulutus perustilanteessa kolmivuorotyössä.**

Ilmastointijärjestelmä	Sähköenergian kulutus [kWh]
G3 AHU 1	67 277
G3 AHU 2	48 862
G3 AHU 3	26 484
G3 AHU 4.1	40 068
G3 AHU 4.2	27 952

Keskeytyvässä yksivuorotyössä puhallinmoottoreiden sähköenergian kulutus on taulukon 75 mukainen.



**Taulukko 75. Perustilanteen puhallinmoottoreiden vuotuinen sähköenergian kulutus yksivuorotyössä.**

Ilmastointijärjestelmä	Sähköenergian kulutus [kWh]
G3 AHU 1	29 415
G3 AHU 2	21 279
G3 AHU 3	11 564
G3 AHU 4.1	17 194
G3 AHU 4.2	12 205

Ilmastointijärjestelmien puhallinmoottoreiden sähköenergiankulutus kasvaa taulukon 76 arvojen mukaisiksi jos 20 %:n ylikapasiteetti otetaan käyttöön keskeytymättömässä kolmivuorotyössä.

**Taulukko 76. Puhallinmoottoreiden vuotuinen sähköenergian kulutus 20 %:n ylikapasiteetilla kolmivuorotyössä.**

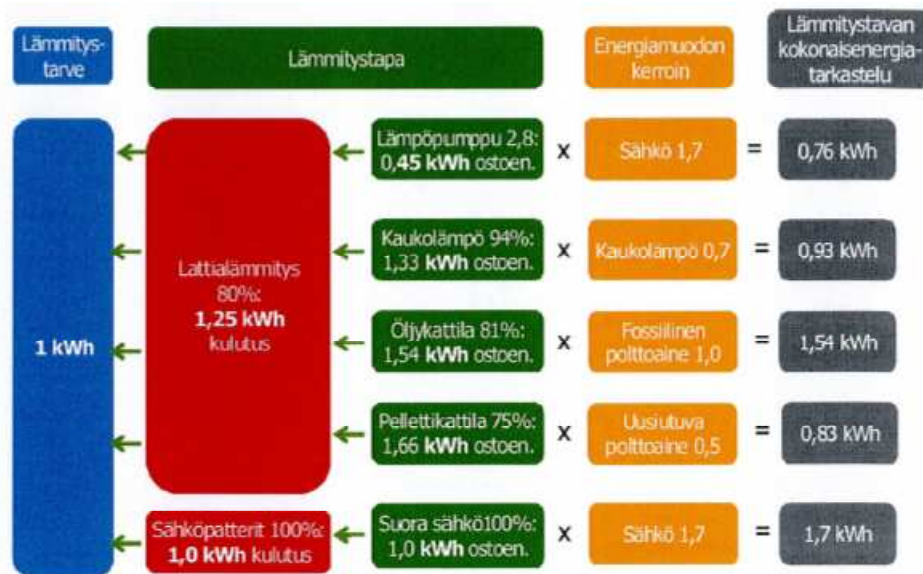
Ilmastointijärjestelmä	Sähköenergian kulutus [kWh]
G3 AHU 1	108 274
G3 AHU 2	78 490
G3 AHU 3	42 924
G3 AHU 4.1	62 461
G3 AHU 4.2	48 530

Ilmastointijärjestelmien puhallinsähköenergian kulutuksen laskenta on esitetty liitteessä 8.

### 5.5 Ilmastointijärjestelmien kokonaisenergian kulutus

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osat D3 ja D5 uudistuvat. Uudet määräykset astuvat voimaan 1.7.2012. Tässä selvityksessä on sovellettu uusien määräysten laskentasaäntöjä, joiden avulla selvitetään ilmastointijärjestelmien G3 AHU1, G3 AHU2, G3 AHU3, G3 AHU4.1 ja G3 AHU4.2 kokonaisenergian kulutukset energianjakelu ja tuotantotavasta riippuen. Tämä on olennaista selvittää, jotta ilmastointijärjestelmien ympäristövaikutukset voidaan arvioida oikein. Uuden D3:n mukainen kokonaisenergiankulutuksen laskenta edellyttää energianjakelun ja tuotannon häviöiden huomioimista, sekä

käytetyn energiamuodon kertoimien käyttöä. Kuvassa 27 on esitetty D3/2012:n laskentaperiaate.



Kuva 26. Lämmitysjärjestelmien kokonaisenergiankulutuksen eli E-luvun laskennan periaate (34, s. 5).

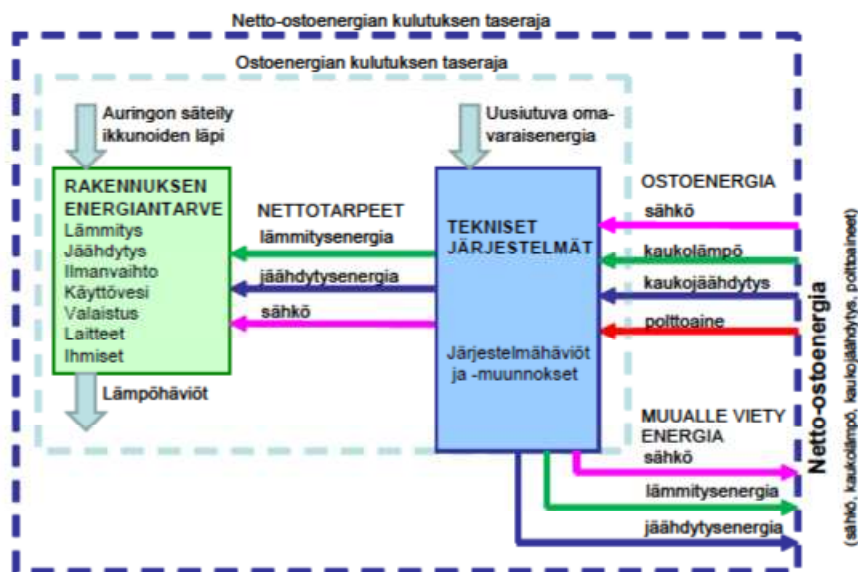
Näin lasketaan E-luku. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus on esitettävä laskennallisena energialukuna. E-luku on on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen netto-ostoenergian laskennallinen kulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden (37, s. 5). Tässä selvityksessä standardikäytöllä on tarkoitettu luvun 4.1 käyttöaikoja ja oletuksia. E-luvun laskennallinen taseraja on kuvan 27 uloimmainen katkoviiva, kun taas luvun 5 energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt lasketaan sisemmän katkoviivan taserajan mukaan.

E-luku = rakennukseen ostettu energia x energiamuodon kerroin (34, s. 3).

Energialähteille on määritetty luonnonvarojen käyttöä kuvastavat energiamuotojen kertoimet. Rakennuksen ajallinen elinkaari vaikuttaa luonnonvarojen käyttöön ja se huomioidaan energiamuotojen kertoimissa. Energiamuotojen kertoimien käyttö ohjaa kohti energiatehokkaampaa rakentamista ja kestävää luonnonvarojen käyttöä. Mitä suurempi energiamuodon kerroin on, sitä enemmän luonnonvarat kuluvat ja vastaavasti mitä pienempi energiamuodon kerroin on, sitä vähemmän kulutetaan luonnonvaroja (34, s. 3-4).

SRMK:n osan D3/2012 energiamuotojen kertoimet perustuvat primäärienergiakertoi-  
miin. Luonnonvarojen kuluminen kuvataan primäärienergiakertoimilla ja niillä ohjataan  
rakennusten energiatehokkuutta paremmin kuin ominaispäästökertoimilla (34, s.4).  
Primäärienergia tarkoittaa ihmiskunnan käytössä olevia energiamääriä mitattuna siinä  
muodossa kuin ne ovat ennen muunnosprosessia käyttökelpoiseksi energiaksi eli ennen  
niin kutsuttua energiatuotantoa (40).

Kokonaisprimäärienergiakertoimet (uusiutuva ja uusiutumaton) on määritetty Suomen  
2000-luvun energiatuotannon tilastojen perusteella niin sanotulla hyödynjakomenetel-  
mällä, johon SRMK:n osan D3/2012 energiamuodon kertoimien suhteet perustuvat.  
Tämä edellä mainittu tilastoihin perustuva laskenta on antanut kaukolämmön primää-  
rienergiakertoimeksi 0,9 ja sähkölle 2,2. Uusiutumattomia primäärienergiakertoimia  
tarkasteltaessa saadaan kaukolämmölle kerroin 0,77 ja sähkölle 1,75. Sähkön ja kauko-  
lämmön yhteistuotannossa (CHP) kaukolämmön primäärienergiakerroin on 0,72. Suo-  
men kaukolämmöstä 75 % tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa. Primäärienergiakerroin  
fossiilisille polttoaineille on 1.0 (34, s. 4 ja 37, s. 8).



Kuva 27. Lämmitysjärjestelmien energiankulutuksen taserajat (37, s. 5).

Ilmastointijärjestelmien esi- ja jälkilämmityspattereiden lämmönjakeluverkostossa käytetään näissä laskelmissa hyötysuhdetta 0,9 ja lämmönjakeluverkoston kiertopumppujen sähköenergian kulutuksena 0,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Lämmöntuotantojärjestelmien vuosi-

hyötysuhteet ja niihin kuuluvien apulaitteiden vuosittainen sähköenergian kulutus on esitetty taulukossa 77 (32, s. 45-46).

**Taulukko 77. Lämmöntuotantojärjestelmien vuosihyötysuhteet.**

Tuotantotapa	Vuosihyötysuhde	Sähkö [kWh/m <sup>2</sup> a]
Kevyt polttoöljy	0,9	0,24
Maakaasu	0,9	0,11
Turvepelletti	0,84	0,13
Kaukolämpö	0,97	0,07
Sähkö*	0,88	0,02

\*Sähkökattila

Näiden kahden hyötysuhteen lisäksi tarvitaan energiamuodon kertoimet, jotka ovat taulukon 78 mukaiset (36, s. 8).

**Taulukko 78. Energiamuotojen kertoimet.**

Energiamuoto	Energiamuodon kerroin
Kevyt polttoöljy	1,0
Maakaasu	1,0
Turvepelletti	1,0
Kaukolämpö	0,7
Sähkö*	1,7

Lämmitysenergian kokonaistarpeen laskemiseksi käytetään taulukon 79 mukaisia kertoimia, jotka saadaan kertomalla taulukon 78 arvot taulukon 95 arvoilla ja joilla kerrotaan luvussa 5.1 esitetyt kulutusarvot.

**Taulukko 79. Lämmitysenergian kokonaiskulutuksen kertoimet (taulukot 79 ja 95).**

Energiamuoto	Kokonaiskerroin
Kevyt polttoöljy	1,24
Maakaasu	1,24
Turvepelletti	1,32
Kaukolämpö	0,8
Sähkö*	2,15

Apulaitteiden vuosittainen sähkönkulutus on taulukon 80 mukainen. Puhdastilojen yhteenlaskettu pinta-ala on 658 m<sup>2</sup>.

**Taulukko 80. Apulaitteiden sähköenergian kulutus.**

Energiamuoto	Sähkö [kWh/a]
Kevyt polttoöljy	635
Maakaasu	523
Turvepelletti	541
Kaukolämpö	489
Sähkö*	446

Taulukon 80 sähköenergian kulutustiedot ovat suuntaa-antavia ja antavat tässä yhteydessä vain suhdeluvun eri energiamuotojen välillä, koska tässä selvityksessä käsitellään tuotantolaitoksen lämmitysjärjestelmiä. Taulukon 80 arvoja ei käytetä laskennan edetessä.

Taulukon 79 mukaisia kokonaiskertoimia käyttämällä voidaan laskea ilmastointijärjestelmien G3 AHU1, G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1 kokonaislämpöenergiankulutukset säävyöhykkeittäin eri lämmitysmuodoille. Lämmitysmuototarkastelussa on oletettu, että lääketeollisuusyritys sijoituspäätöstä tehdessään ottaa myöskin kantaa valittavaan lämmitysmuotoon. Lämpöenergian kulutuslaskennassa käytetään taulukoiden 56, 57, 58 ja 63 kulutustietoja perustilanteessa ja 20 % ylikapasiteetilla keskeytymättömässä kolmivuorotyössä sekä keskeytyvässä yksivuorotyössä.

Taulukossa 81 on esitetty vuotuiset kokonaislämpöenergian kulutukset keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa energiamuodoittain säävyöhykekohtaisesti.

**Taulukko 81. Kokonaislämpöenergiankulutus keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	465 347	491 493	528 978	690 536
Maakaasu	465 347	491 493	528 978	690 536
Turvepelletti	495 370	523 202	563 105	735 087
Kaukolämpö	300 224	317 092	341 276	445 507
Sähkö	806 852	852 185	917 179	1 197 301

Vuotuinen kokonaisenergian kulutus muuttuu suhteessa käyttötuntimäärään. Keskeytyvän yksivuorotyön vaikutus kokonaislämpöenergian kulutuksessa on esitetty taulukossa 82.

**Taulukko 82. Kokonaislämpöenergiankulutus keskeytyvässä yksivuorotyössä perustilanteessa**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	418 825	436 909	463 035	574 880
Maakaasu	418 825	436 909	463 035	574 880
Turvepelletti	445 846	465 097	492 908	611 969
Kaukolämpö	270 210	281 877	298 732	370 890
Sähkö	726 188	757 544	802 842	996 768

Vuotuinen kokonaislämpöenergiankulutus kasvaa, jos 20 %:n ylikapasiteetti otetaan käyttöön. Tämä muutos on esitetty taulukossa 83.

**Taulukko 83. Kokonaislämpöenergiankulutus keskeytymättömässä kolmivuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	558 417	589 791	634 773	828 643
Maakaasu	558 417	589 791	634 773	828 643
Turvepelletti	594 444	627 842	675 726	882 104
Kaukolämpö	360 269	380 510	409 531	534 609
Sähkö	968 222	1 022 622	1 100 615	1 436 761

Vastaava muutos tapahtuu myös keskeytyvässä yksivuorotyössä. Kulutusluvut muuttuvat taulukon 84 mukaisiksi.

**Taulukko 84. Kokonaislämpöenergiankulutus keskeytyvässä yksivuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	502 590	524 291	555 642	689 856
Maakaasu	502 590	524 291	555 642	689 856
Turvepelletti	535 015	558 116	591 489	734 363
Kaukolämpö	324 252	338 252	358 478	445 068
Sähkö	871 426	909 053	963 411	1 196 122

## 5.6 Ilmastointijärjestelmien kostutuksen kokonaisenergiankulutus

Ilmastointijärjestelmien kostutuksen vaatiman energian kokonaiskulutuksen tarkastelu suoritetaan kuten lämpöenergian kokonaiskulutuksessa. Ainoana poikkeuksena on kaukolämmön pois jättäminen, koska kostutuksessa käytettävällä energiamuodolla tulee voida tuottaa 8 bar:n höyryä paikallisesti erillisellä höyrykehittimellä. Höyrykehittimessä voi olla energianlähteenä kevyt polttoöljy, maakaasu, turvepelletti tai sähkö. Myös muut energianlähteet voivat tulla kysymykseen.

Vuotuinen ilmastointijärjestelmien kostutukseen tarvittava kokonaisenergia keskeytymättömässä kolmivuorotyössä on säävyöhykkeittäin energiamuodoittain esitetty taulukossa 85.

**Taulukko 85. Kostutuksen kokonaisenergiankulutus keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	557 283	578 103	584 914	631 527
Maakaasu	557 283	578 103	584 914	631 527
Turvepelletti	593 237	615 400	622 651	672 271
Sähkö	966 257	1 002 356	1 014 166	1 094 986

Vuotuinen kostutuksen tarvitsema kokonaisenergian määrä laskee käyttötuntien pienenessä. Keskeytyvän yksivuorotyön vaikutus on esitetty taulukossa 86.

**Taulukko 86. Kostutuksen kokonaisenergiankulutus keskeytyvässä yksivuorotyössä perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	378 157	392 284	396 907	428 537
Maakaasu	378 157	392 284	396 907	428 537
Turvepelletti	402 554	417 593	422 514	456 184
Sähkö	655 675	680 170	688 185	743 027

Kostutuksen tarvitsema kokonaisenergiatarve kasvaa, jos 20 %:n ylikapasiteetti otetaan käyttöön. Tämän lisäyksen vaikutuksia on esitetty taulukoissa 87 ja 88.

**Taulukko 87. Kostutuksen kokonaisenergiankulutus keskeytymättömässä kolmivuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	668 740	693 723	701 897	757 832
Maakaasu	668 740	693 723	701 897	757 832
Turvepelletti	711 884	738 480	747 181	806 725
Sähkö	1 159 509	1 202 827	1 216 999	1 313 984

Keskeytyvän yksivuorotyön vaikutus on esitetty taulukossa 88.

**Taulukko 88. Kostutuksen kokonaisenergiankulutus keskeytyvässä yksivuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	453 788	470 741	476 288	514 244
Maakaasu	453 788	470 741	476 288	514 244
Turvepelletti	483 065	501 111	507 016	547 421
Sähkö	786 810	816 204	825 822	891 633

## 5.7 Ilmastoinnin jäähdytyksen vuotuinen sähköenergian tarve

Ilmastoinnin vuotuinen sähköenergian tarve lasketaan menetelmällä, joka on esitetty SRMK:n osan D5/2012 luvussa 8. Jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuosittainen jäähdytysenergia [kWh] lasketaan kaavalla 25.

$$Q_{jk} = (1 + \beta_{hji}) * Q_{ji} + (1 + \beta_{hju}) * Q_{ju} \quad (25)$$

$Q_{jk}$  on Jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia [kWh]

$Q_{ji}$  on Ilmastointikojeen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia [kWh]

$Q_{ju}$  on Huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia [kWh]

$\beta_{hji}$  on Järjestelmän ilmapuolen (termiset, kondenssi, yms) häviöt huomioiva kerroin

$\beta_{hju}$  on Järjestelmän vesipuolen (termiset) häviöt huomioiva kerroin



Kaavassa 25 esitetyt  $Q_{jv}$  (huonelaitteiden käytävä vuotuinen jäähdytysenergia) ja  $\beta_{hji}$  (Järjestelmän ilmapuolen häviöt huomioiva kerroin) jätetään näissä laskelmissa huomiotta, koska jäähdytettäviä huonelaitteita ei ole valmistusosastoilla ja järjestelmän ilmapuolen häviöt on jo huomioitu jäähdytysenergian tarvelaskelmissa. Ilmastointijärjestelmien jäähdytyksessä hyödynnetään niin sanottua vapaajäähdytystä sen ollessa mahdollista. Laskettaessa kompressorilla tuotetun ja vapaajäähdytyksellä tuotetun jäähdytysenergian vuotuista sähköenergian kulutusta, käytetään SRMK:n osan D5/2012 luvun 8.1.3 menetelmää. Vuotuinen sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 26.

$$W_{\text{jäähdytys}} = \alpha_1 \frac{Q_{jk}}{\epsilon_{E1}} + \alpha_2 \frac{Q_{jk}}{\epsilon_{E2}} + W_{\text{jäähd.apu}} \quad (26)$$

$W_{\text{jäähdytys}}$  on Vuotuinen jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus [kWh]

$Q_{jk}$  on Jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia [kWh]

$\alpha_1$  on tuottoprosessilla 1 tuotetun vuosittaisen jäähdytysenergian osuus

$\alpha_2$  on tuottoprosessilla 2 tuotetun vuosittaisen jäähdytysenergian osuus  
( $\alpha_1 + \alpha_2 = 1,0$ )

$\epsilon_{E1}$  on tuottoprosessin 1 vuotuinen kylmäkerroin

$\epsilon_{E2}$  on tuottoprosessin 2 vuotuinen kylmäkerroin

$W_{\text{jäähd.apu}}$  on jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus [kWh]

Kaavassa 26 esitettyä  $W_{\text{jäähd.apu}}$  (jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden osuus) ei näissä laskelmissa huomioida, koska ilmastointijärjestelmien G3 AHU1, G3 AHU2, G3 AHU3, G3 AHU4.1 ja G3 AHU4.2 jäähdytyspatterit ovat liitettynä koko kiinteistöä palvelemaan jäähdytysjärjestelmään. Kaavan 25 korjauskertoimen  $\beta_{iv}$  arvona käytetään 0,2, jolloin korjauskertoimen kokonaisarvoksi muodostuu 1,2. Tällä arvolla kerrotaan taulukoiden 64, 65, 69 ja 70 vuotuiset jäähdytysenergian tarpeet ja näin saadaan laskettua häviöt huomioiva jäähdytysenergian tarve. Kaavan 26  $Q_{jk}$  jakauma kompressor- ja vapaajäähdytyksen välillä lasketaan säävyöhykekohtaisesti ja näin saadaan myös  $\alpha_1$ - ja  $\alpha_2$ -arvot. Tuottoprosessin 1 vuotuisena kylmäkerroimenä käytetään arvoa 2,5 ja tuottoprosessin 2 vuotuisena kylmäkerroimenä käytetään arvoa 5 (32, s. 58). Jäähdytysenergian tuottoprosessissa 1 käytetään ilmalauhdutteista kompressorikylmälaitosta ja jäähdytysenergian tuottoprosessissa 2 käytetään vapaajäähdytyksessä kuivaa liuosjäähdy-

tintä. Jäähdytysenergia tuotetaan pääsääntöisesti sähköllä ja kokonaisenergiantarpeen laskemiseksi kaavoille 25 ja 26 lasketut jäähdytysenergian tarpeen kerrotaan kertoimella 1,7 (35, s. 8). Laskennan tulokset on esitetty taulukoissa 89 - 93.

**Taulukko 89. Kolmivuorotyön jäähdytyksen sähköenergian tarve perustilanteessa.**

Säävyöhyke	Kerroin $\alpha_1$	Kerroin $\alpha_2$	Kerroin $\epsilon_{E1}$	Kerroin $\epsilon_{E2}$	$Q_{jk} 1$ [kWh]	$Q_{jk} 2$ [kWh]	$W_{jäähdytys}$ [kWh]
Helsinki	0,6375153	0,3624847	2,5	5	571878	325164	169406
Jokioinen	0,606452683	0,393547317	2,5	5	535238	347334	157177
Jyväskylä	0,573972946	0,426027054	2,5	5	497821	369504	145778
Sodankylä	0,475104951	0,524895049	2,5	5	394656	436015	120774

Taulukossa 90 tarkastellaan 20 %:n ylikapasiteetin käyttöönoton vaikutuksia jäähdytyksen sähköenergian tarpeeseen keskeyttämättömässä kolmivuorotyössä.

**Taulukko 90. Kolmivuorotyön jäähdytyksen sähköenergian tarve 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	Kerroin $\alpha_1$	Kerroin $\alpha_2$	Kerroin $\epsilon_{E1}$	Kerroin $\epsilon_{E2}$	$Q_{jk} 1$ [kWh]	$Q_{jk} 2$ [kWh]	$W_{jäähdytys}$ [kWh]
Helsinki	0,6375153	0,3624847	2,5	5	686254	390197	203287
Jokioinen	0,606452683	0,393547317	2,5	5	642286	416801	188613
Jyväskylä	0,573972946	0,426027054	2,5	5	597385	443405	174934
Sodankylä	0,475104951	0,524895049	2,5	5	473587	523218	144928

Keskeytyvässä yksivuorotyössä jäähdytyksen sähköenergian tarve laskee taulukon 91 mukaisesti.

**Taulukko 91. Yksivuorotyön jäähdytyksen sähköenergian tarve perustilanteessa.**

Säävyöhyke	Kerroin $\alpha_1$	Kerroin $\alpha_2$	Kerroin $\epsilon_{E1}$	Kerroin $\epsilon_{E2}$	$Q_{jk} 1$ [kWh]	$Q_{jk} 2$ [kWh]	$W_{jäähdytys}$ [kWh]
Helsinki	0,690618604	0,309381396	2,5	5	261174	117000	79388
Jokioinen	0,660293106	0,339706894	2,5	5	242918	124976,4	72650
Jyväskylä	0,627646167	0,372353833	2,5	5	224110	132954	66166
Sodankylä	0,526059169	0,473940831	2,5	5	174138	156886	51514

Yksivuorotyössäkin 20 %:n ylikapasiteetin käyttöönotto nostaa jäähdytyksen sähköenergian tarvetta taulukon 92 arvoihin.

**Taulukko 92. Yksivuorotyön jäähdytyksen sähköenergian tarve 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	Kerroin $\alpha_1$	Kerroin $\alpha_2$	Kerroin $\epsilon_{E1}$	Kerroin $\epsilon_{E2}$	$Q_{jk} 1$ [kWh]	$Q_{jk} 2$ [kWh]	$W_{jäähdytys}$ [kWh]
Helsinki	0,690618604	0,309381396	2,5	5	313409	140400	95266
Jokioinen	0,660293106	0,339706894	2,5	5	291502	149972	87180
Jyväskylä	0,627646167	0,372353833	2,5	5	268932	159545	79399
Sodankylä	0,526059169	0,473940831	2,5	5	208966	188263	61816

Ilmastointijärjestelmien jäähdytyksen sähköenergian tarve muutetaan kokonaisenergiakertoimen kautta kokonaisenergiatarpeeksi. Kertoimen vaikutus näkyy taulukossa 93.

**Taulukko 93. Jäähdytyksen sähköenergian kokonaistarve.**

Säävyöhyke	Energiakerroin	3-vuorotyö	3-vuorotyö	1-vuorotyö	1-vuorotyö
		perustilanne	20 % ylik.	perustilanne	20 % ylik.
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>Helsinki</b>	1,7	287 990	345 588	134 960	161 952
<b>Jokioinen</b>	1,7	267 201	320 641	123 505	148 206
<b>Jyväskylä</b>	1,7	247 823	297 387	112 482	134 978
<b>Sodankylä</b>	1,7	205 315	246 378	87 573	105 088

## 5.8 Ilmastoinnin puhaltimien vuotuinen sähköenergian tarve

Puhallinmoottoreiden vuotuiset sähköenergian kulutukset on esitetty taulukoissa 74...76. Nämä arvot tulee kertoa sähkön energiakertoimella. Tämän laskennan tulokset on esitetty taulukossa 94.

**Taulukko 94. Puhallinmoottoreiden sähköenergian kokonaistarve.**

Säävyöhyke	Energiakerroin	3-vuorotyö	3-vuorotyö	1-vuorotyö	1-vuorotyö
		perustilanne	20 % ylik.	perustilanne	20 % ylik.
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>Helsinki</b>	1,7	358 093	579 086	155 817	251 978
<b>Jokioinen</b>	1,7	358 093	579 086	155 817	251 978
<b>Jyväskylä</b>	1,7	358 093	579 086	155 817	251 978
<b>Sodankylä</b>	1,7	358 093	579 086	155 817	251 978

## 6 Ympäristövaikutukset

### 6.1 Ympäristölupa

Ympäristönsuojelulaki 86/2000 edellyttää lääkevalmisteita ja lääkeeraaka-aineita valmistavalta tehtaalta ympäristölupaa. Tämä vaatimus on kyseessä olevan lain 28 pykälän 1 momentin mukainen. Ympäristönsuojeluasetus 169/2000 määrittelee asian vieläkin tarkemmin sen 1 pykälän 1 momentin g) kohdassa. Tämä asettaa lääketeollisuusyrityksen pohtimaan uudishankkeen ympäristövaikutuksia ja päästöjä ilmaan, maahan ja veteen. Samanlaiseen pohdintaan joudutaan tehtäessä muutoksia jo toiminnassa olevaan tuotantolaitokseen, jolla on voimassa oleva ympäristölupa. Päästöjen muuttuessa tulee voimassa oleva ympäristölupa päivittää vastaamaan uutta tilannetta. Voimassa olevaa ympäristölupaa ja sen lupamääräyksiä noudattamista valvotaan jatkuvasti lääketeollisuusyrityksen ja ympäristönsuojeluviranomaisten yhteistoiminnalla.

Ympäristölupaa edeltää ympäristölupahakemus, johon kirjataan kaikki mahdolliset ilmaan, maahan ja veteen lääketeollisuusyrityksen toiminnasta johtuvat päästöt. Yhtenä osa-alueena on energiantuotannon ja käytön päästöt. Näitä ovat muun muassa SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, hiukkas- ja CO<sub>2</sub>-päästöt. Tässä selvityksessä keskitytään CO<sub>2</sub>-päästöihin laskeamalla ne energiamuotolukuisilla ominaispäästökertoimilla. Päästöjen laskennallisena taserajana on kattila tai lämmönsiirrin, joka tarkoittaa ostoenergian taserajaa.. Kuvassa 27 laskennallinen taseraja on esitetty kaavion muodossa.

### 6.2 Ominaispäästökertoimet

Energiamuotojen CO<sub>2</sub>-ominaispäästökertoimet vaihtelevat käytettävästä lähteestä riippuen. Tässä selvityksessä käytetään lähdekirjallisuudessa esitettyä uusinta kerrointa. Kaukolämmön ominaispäästönä käytetään keskimääräistä 218 g (CO<sub>2</sub>)/kWh ja sähkön ominaispäästönä 276 g (CO<sub>2</sub>)/kWh. Sähkön päästöt vaihtelevat huomattavasti vuodesta riippuen suurimman arvon ollessa 350 g (CO<sub>2</sub>)/kWh (37, s. 8). Tässä selvityksessä käytettyjen muiden energiamuotojen ominaispäästökertoimina käytetään kevyelle polttoöljylle 267 g (CO<sub>2</sub>)/kWh, maakaasulle 198 g (CO<sub>2</sub>)/kWh ja turvepelletille 349 g (CO<sub>2</sub>)/kWh (35, s. 39).

### 6.3 Energiamuotojen kulutuskertoimet

Luvussa 5 esitetyt ilmastointijärjestelmien energiankulutustiedot tulee laskea ostoenergian kulutuksen taserajojen mukaisilla kertoimilla (ks. kuvat 26 ja 27), jotta energiankulutukset voidaan kertoa CO<sub>2</sub>-ominaispäästökertoimilla. Tämä laskentatapa on esitetty Motivan ohjeena yksittäiselle kohteelle (38). Taulukossa 95 on esitetty energiamuotokohtaiset taserajan mukaiset kertoimet (=vuosihyötysuhde). Lämmön- ja kostutushöyryn jakeluverkostojen hyötysuhteena käytetään 0,9:ää ja sähkölämmityksessä 0,9:ää.

**Taulukko 95. Energiamuotojen taserajakertoimet.**

Energiamuoto	Vuosihyötysuhde
Kevyt polttoöljy	1,24
Maakaasu	1,24
Turvepelletti	1,32
Kaukolämpö	1,15
Sähkö*	1,26

Taulukon 95 arvot on saatu jakamalla luku 1 energiamuodon jakeluverkoston hyötysuhteella ja näin saatu tulos edelleen jakamalla energiamuodon tuotantotavan vuosihyötysuhteella, jotka on esitetty taulukossa 77. Jakelu- ja tuotantotavan vuosihyötysuhteet ovat SRMK:n osa D5/2012 mukaiset (32, s. 41, 45 ja 46).

### 6.4 Lämmitysenergian CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt

Lämmitysenergian ominaispäästöt lasketaan kertomalla vuosittaisen lämmitysenergian tarve energiamuotokohtaisella CO<sub>2</sub>-ominaispäästökertoimella. Laskenta suoritetaan säävyöhykekohtaisesti. Taulukossa 96 on esitetty lämmitysenergiatarve ostoenergian kulutuksen taserajojen mukaisilla hyötysuhdekertoimilla kolmivuorotyössä perustilanteessa.

**Taulukko 96. Taserajojen mukainen lämmitysenergiatarve kolmivuorotyössä perustilanteessa säävyöhykkeittäin.**

Säävyöhyke	Lämmitysenergian tarve [kWh]
Helsinki	375 280
Jokioinen	396 365
Jyväskylä	426 595
Sodankylä	556 884

Taulukon 96 lämmitysenergian tarve on saatu taulukoista 56 ja 63 laskemalla yhteen ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 ja ilmastointijärjestelmien G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU4.1 lämmitysenergian tarpeet. Samalla tavalla lasketaan lämmitysenergian tarve yksivuorotyössä yhdistämällä taulukoiden 57 ja 63 energiantarpeet. Taulukossa 97 on esitetty edellä mainitut laskentatulokset.

**Taulukko 97. Taserajojen mukainen lämmitysenergiatarve yksivuorotyössä perustilanteessa säävyöhykkeittäin.**

Säävyöhyke	Lämmitysenergian tarve [kWh]
Helsinki	337 762
Jokioinen	352 346
Jyväskylä	373 415
Sodankylä	463 613

Taulukoiden 96 ja 97 lämmitysenergiantarpeet kuvaavat perustilanteen tarvetta. Jos 20 %:n ylikapasiteetti otetaan käyttöön, tulee edellä mainituiden taulukoiden tarveluvut kertoa kertoimella 1,2. Lämmitysenergian energiamuotokohtaiset ostoenergian (ks. kuvat 26 ja 27) taserajaa noudattelevat säävyöhykekohtaiset kokonaistarpeet saadaan kertomalla taulukoiden 96 ja 97 arvot taulukon 79 vuosihyötysuhdekertoimilla. Laskenta suoritetaan erikseen kolmivuoro- ja yksivuorotyölle. Taulukko 98 antaa arvot keskeytymättömälle kolmivuorotyölle.

**Taulukko 98. Lämmitysenergian taserajan mukainen energiamuotokohtainen tarve kolmivuorotyössä perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	465 347	491 493	528 978	690 536
Maakaasu	465 347	491 493	528 978	690 536
Turvepelletti	495 370	523 202	563 105	735 087
Kaukolämpö	431 572	455 820	490 584	640 417
Sähkö	472 853	499 420	537 510	701 674

Yksivuorotyön vaikutus lämmitysenergian kulutukseen on taulukon 99 mukainen.

**Taulukko 99. Lämmitysenergian taserajan mukainen energiamuotokohtainen tarve yksivuorotyössä perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	418 825	436 909	463 035	574 880
Maakaasu	418 825	436 909	463 035	574 880
Turvepelletti	445 846	465 097	492 908	611 969
Kaukolämpö	388 426	405 198	429 427	533 155
Sähkö	425 580	443 956	470 503	584 152

Tilanteessa, jossa 20 %:n ylikapasiteetti otetaan käyttöön keskeytymättömässä kolmivuorotyössä, kasvaa ostoenergian taserajojen mukainen lämmitysenergian tarve taulukon 100 mukaisiin arvoihin.

**Taulukko 100. Lämmitysenergian taserajan mukainen energiamuotokohtainen tarve kolmivuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	558 417	589 791	634 773	828 643
Maakaasu	558 417	589 791	634 773	828 643
Turvepelletti	594 444	627 842	675 726	882 104
Kaukolämpö	517 886	546 984	588 701	768 500
Sähkö	567 423	599 304	645 012	842 009

Sama tarkastelu voidaan tehdä yksivuorotyölle 20 %:n ylikapasiteetilla, tulokset ovat taulukossa 101.

**Taulukko 101. Lämmitysenergian taserajan mukainen energiamuotokohtainen tarve yksivuorotyössä 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Kevyt polttoöljy	502 590	524 291	555 642	689 856
Maakaasu	502 590	524 291	555 642	689 856
Turvelletti	535 015	558 116	591 489	734 363
Kaukolämpö	466 112	486 237	515 313	639 786
Sähkö	510 696	532 747	564 603	700 983

Lämmitysenergian CO<sub>2</sub>-ominaispäästöjen laskentaan päästään kertomalla taulukoiden 96...100 arvot energiamuotokohtaisilla luvussa 5.2 esitetyillä kertoimilla. Laskennan tulokset ovat keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa taulukon 102 mukaiset.

**Taulukko 102. Keskeytymättömän kolmivuorotyön lämmitysenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	100 200	105 829	113 901	148 688
Maakaasu	74 305	78 480	84 466	110 263
Turvelletti	130 973	138 331	148 882	194 353
Kaukolämpö	81 811	86 408	92 998	121 401
Sähkö	103 577	109 397	117 740	153 700

Päästöt muuttuvat pienemmiksi, jos tuotannossa sovelletaan keskeytyvän yksivuorotyön työaikaa. Tämä vaikutus näkyy taulukossa 103.



**Taulukko 103. Keskeytyvän yksivuorotyön lämmitysenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	90 182	94 076	99 702	123 785
Maakaasu	66 877	69 765	73 936	91 795
Turvepelletti	117 879	122 969	130 322	161 801
Kaukolämpö	73 632	76 811	81 404	101 068
Sähkö	93 222	97 247	103 063	127 957

CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt kasvavat, jos 20 %:n ylikapasiteetti otetaan käyttöön. Tämä vaikutus on taulukon 104 mukainen.

**Taulukko 104. Keskeytymättömän kolmivuorotyön lämmitysenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	120 240	126 995	136 681	178 426
Maakaasu	89 167	94 176	101 359	132 316
Turvepelletti	157 167	165 998	178 658	233 223
Kaukolämpö	98 173	103 689	111 597	145 681
Sähkö	124 293	131 276	141 288	184 440

Päästöt vähenevät vastaavasti, jos tuotannossa voidaan soveltaa keskeytyvän yksivuorotyön työaika. Päästöjen muutoksen vaikutus on esitetty taulukossa 105.

**Taulukko 105. Keskeytyvän yksivuorotyön lämmitysenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt 20 % ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	108 219	112 892	119 642	148 542
Maakaasu	80 252	83 717	88 723	110 154
Turvepelletti	141 455	147 563	156 386	194 161
Kaukolämpö	883 59	921 74	976 85	121 281
Sähkö	111 867	116 697	123 675	153 549

## 6.5 Kostutuksen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt

Ilmastoinnin kostutuksen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt lasketaan samalla tavalla kuin lämmitystarpeen energiamuotokohtaiset päästöt. Kostutuksen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöjen laskennassa käytetään samaa ostoenergian taserajaa kuin lämmitystarpeen energiamuotokohtaisten päästöjen laskennassa. Laskennassa käytetään taulukoiden 71...73 lämpöenergian tarvearvoja. Keskeytymättömän kolmivuorotyön ilmastointijärjestelmien kostutuksen aiheuttama CO<sub>2</sub>-ominaispäästö on perustilanteessa energiamuotokohtaisesti taulukon 106 mukainen.

**Taulukko 106. Keskeytymättömän kolmivuorotyön kostutusenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	148 795	154 353	156 172	168 618
Maakaasu	110 342	114 464	115 813	125 042
Turvelletti	207 040	214 775	217 305	234 622
Sähkö	156 291	162 130	164 040	177 113

Ominaispäästöt vähenevät, jos tuotannossa sovelletaan työaikaa, joka vastaa keskeytyvää yksivuorotyötä. Työajan vaikutus on esitetty taulukossa 107.

**Taulukko 107. Keskeytyvän yksivuorotyön kostutusenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt perustilanteessa.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	100 968	104 740	105 974	114 419
Maakaasu	748 75	776 72	785 88	848 50
Turvelletti	140 491	145 740	147 457	159 208
Sähkö	106 055	110 017	111 313	120 184

Ylikapasiteetin, joka vastaa 20 %:n ilmamäärän nostoa, vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin keskeytymättömässä kolmivuorotyössä on taulukon 108 mukainen.

**Taulukko 108. Keskeytymättömän kolmivuorotyön kostutusenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	178 554	185 224	187 407	202 341
Maakaasu	132 411	137 357	138 976	150 051
Turvelletti	248 448	257 729	260 766	281 547
Sähkö	187 549	194 556	196 848	212 535

Taulukossa 109 on esitetty CO<sub>2</sub>-ominaispäästöjen aleneminen, jos 20 %:n ylikapasiteetin käyttötilanteessa sovelletaan työaikaa, joka vastaa keskeytyvää yksivuorotyötä.

**Taulukko 109 Keskeytyvän yksivuorotyön kostutusenergian energiamuotokohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt 20 %:n ylikapasiteetilla.**

Säävyöhyke	I	II	III	IV
Energiamuoto:	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
Kevyt polttoöljy	121 161	125 688	127 169	137 303
Maakaasu	898 50	932 07	943 05	101 820
Turvelletti	168 590	174 888	176 949	191 050
Sähkö	127 266	132 020	133 576	144 221

## 6.6 Jäähdytyksen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt

Ilmastoinnin jäähdytyksen aiheuttamat CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt lasketaan taulukoiden 89-92 ja sähkön CO<sub>2</sub>-ominaispäästökertoimen 276 g (CO<sub>2</sub>)/kWh avulla (37, s. 8). Tämän laskennan tulokset on esitetty taulukossa 110.

**Taulukko 110. Ilmastoinnin jäähdytyksen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt.**

<b>Säävyöhyke</b>	<b>Ominais- päästökerroin</b>	<b>3-vuorotyö perustilanne</b>	<b>3-vuorotyö 20 % ylik.</b>	<b>1-vuorotyö perustilanne</b>	<b>1-vuorotyö 20 % ylik.</b>
	kg(CO <sub>2</sub> )/kWh	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]	[CO <sub>2</sub> kg/a]
<b>Helsinki</b>	0,276	46 756	56 107	21 911	26 293
<b>Jokioinen</b>	0,276	43 381	52 057	20 051	24 062
<b>Jyväskylä</b>	0,276	40 235	48 282	18 262	21 914
<b>Sodankylä</b>	0,276	33 334	40 000	14 218	17 061

## 6.7 Puhallinsähkön CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt

Ilmastointijärjestelmien puhallinsähköenergian kulutus on kaikissa säävyöhykkeissä sama. Puhallinmoottoreiden CO<sub>2</sub>-ominaispäästöjen selvittämiseksi käytetään taulukoiden 74-76 sähköenergian kulutusarvoja ja kerrotaan ne sähkön CO<sub>2</sub>-ominaispäästökertoimella 276 g (CO<sub>2</sub>)/kWh. Tämän laskennan tulokset on esitetty taulukossa 111.

**Taulukko 111. Puhallinmoottoreiden tarvitseman sähköenergian vuotuiset CO<sub>2</sub>-päästöt.**

Säävyöhyke	Ominais-	3-vuorotyö	3-vuorotyö	1-vuorotyö	1-vuorotyö
	päästökerroin	perustilanne	20 % ylik.	perustilanne	20 % ylik.
	kg(CO <sub>2</sub> )/kWh	kg(CO <sub>2</sub> )/kWh	kg(CO <sub>2</sub> )/kWh	kg(CO <sub>2</sub> )/kWh	kg(CO <sub>2</sub> )/kWh
<b>Helsinki</b>	0,276	58 137	94 016	25 297	69 546
<b>Jokioinen</b>	0,276	58 137	94 016	25 297	69 546
<b>Jyväskylä</b>	0,276	58 137	94 016	25 297	69 546
<b>Sodankylä</b>	0,276	58 137	94 016	25 297	69 546

## 7 Yhteenveto

### 7.1 Lääketeollisuuden ympäristöarvot

Tämän selvitystyön johdannossa esiteltiin lääketieteellisuuden tunnuslukuja. Käytetyt tilastot kertoivat lääketieteellisuuden suuresta merkityksestä koko maailmantaloudelle. Lääketieteellisyys pyörittää omassa liiketoiminnassaan valtavia rahavirtoja sekä sen työllistävä vaikutus on suuri niin tutkimuksessa kuin tuotannossa. Tässä selvityksessä käytetyt Yhdysvaltojen lääketieteellisuuden vuoden 2002 tunnusluvut osoittavat sen tosiasian, että energiakustannusten osuus sen myynnin arvosta on vaatimaton. Energian hinnan merkitys lääketieteellisuudelle on vähäinen. Se mikä tekee lääketieteellisuuden energiankulutuksesta mielenkiintoisen, on se, että lääketieteellisyys on niin sanottua High Tech-teollisuutta, jonka pyörittäminen edellyttää korkeaa osaamisen tasoa ja tämä tuo energian käyttöön aivan uuden näkökulman. Lääketieteellisuuden tulee olla suunnan näyttävä kestävässä kehityksessä ja sillä on siihen vaadittavat taloudelliset resurssit. Lääketieteellisyys pyrkii Yhdysvalloissa ja läntisessä Euroopassa vähentämään energian kulutustaan ja sitä kautta ympäristöpäästöjään. Energiatohokkuudesta on tullut osa länsimaisen lääketieteellisuuden imagosta. Tämän asian merkitys on todella kasvanut ja siitä on esimerkkinä ISPE:n vuoden 2012 "vuoden kiinteistö" palkinnon voittanut Chiesi Farmaceutici S.p.A uusi tuotekehityskeskus Parmassa Italiassa. Tämä uusi laboratoriorakennus on suunniteltu ja rakennettu kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti. Rakennuksen toteutuksessa kiinnitettiin erityistä huomiota kestävä kehityksen neljään strategiseen perusteeseen: vähennä energiankulutuksen tarvetta, hyödynnä ilmaisenergioita, nosta energiatohokkuutta ja hyödynnä jäte-energiavirtoja.

### 7.2 Referenssikohteen sijoituspaikka

Tämän selvitystyön päätarkoituksena on tuottaa kuvitteellisen lääketieteellisyysyrityksen johdolle korkean tason tietoa mahdollisen investointikohteen energiankulutuksesta ja ympäristövaikutuksista. luvuissa 4...6 on kuvattu energiankulutuksen laskentaa ja CO<sub>2</sub>-päästöjä ilmaan. On itsestään selvää, ettei pelkkä energiankulutus tai yksittäinen ympäristöpäästö ratkaise investoinnin toteutumista. Tällaisen päätöksen tekeminen edellyttää useita taustatietoja, niistä energiankulutus ja ympäristövaikutukset ovat vain osana suurempaa kokonaisuutta. Nyt kuitenkin arvioidaan parasta mahdollista lääketieteellisyyslaitoksen sijoituspaikkaa pohjautuen tämän selvitystyön kautta saatuun tietoon.

### 7.3 Vertailu energioiden kokonaiskulutuksen kannalta

Tässä vertailussa käytetään taulukoiden 81 ja 82 arvoja. Vertailu tehdään perustuen teoreettiseen kokonaisenergian kulutukseen eli E-lukuun eri lämmöntuottomenetelmien välillä perustilanteessa keskeytymättömässä kolmivuorotyössä ja keskeytyvässä yksivuorotyössä. E-luvun energiamuotokertoimia ja primäärienergiakertoimia on tarkemmin käsitelty luvussa 5.5. Keskeytymättömässä kolmivuorotyössä vähiten lämpöenergiaa kuluu Helsingissä ja eniten Sodankylässä. Edullisin lämmöntuottotapa on kaukolämpö, joka kuluttaa perustilanteessa 300 224 kWh ilmastointijärjestelmien lämmittämiseen vuodessa. Keskeytyvässä yksivuorotyössä pienin ilmastointijärjestelmien lämpöenergiankulutus syntyy Helsingissä, jossa kaukolämpä kuluu perustilanteessa 270 210 kWh. Lämmitysenergian vuotuisen kokonaisenergian kulutuksen kannalta edullisin sijoituspaikka on Helsinki ja lämmöntuottomuotona kaukolämpö.

Kostutuksen vuotuinen energian tarve on sukua lämmitysenergialle. Energian tuotantotapa on niissä sama lukuun ottamatta kaukolämpöä. Tämä vertailu perustuu taulukoiden 85 ja 86 arvoihin. Keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa matalin ilmastoinnin kostutuksen kokonaisenergian kulutus saadaan Helsingissä kevytpolttoöljy- tai maakaasukattilaa käyttämällä kostutushöyryn tekemiseen. Kevytpolttoöljy- tai maakaasukattilalla tuotettu höyry vastaa 557 293 kWh:n energiamäärää. Keskeytyvässä yksivuorotyössä perustilanteessa vuotuinen ilmastoinnin kostutuksen kokonaisenergiatarve on perustilanteessa Helsingissä kevytpolttoöljy- tai maakaasukattilalla tuotettuna 378 157 kWh. Kostutuksen vuotuisen kokonaisenergian kulutuksen kannalta edullisin sijoituspaikka on Helsinki ja kostutusenergian tuottomuotona on kevytpolttoöljy- tai maakaasukattila.

Jäähdytysenergia tuotetaan sähköllä ja tässä arvioissa tukeudutaan taulukon 93 arvoihin. Keskeytymättömässä kolmivuorotyössä pienin ilmastoinnin vuotuinen sähköenergian kulutus syntyy Sodankylässä, jolloin sähköenergiaa kuluu 205 315 kWh vastaava määrä. Keskeytyvässä yksivuorotyössä tarvitaan ilmastoinnin vuotuisen jäähdytykseen 87 573 kWh sähköenergiaa. Jäähdytyksen vuotuisen sähköenergian kokonaiskulutuksen kannalta edullisin sijoituspaikka on Sodankylä.

Puhallinenergia on sähköenergiaa. Tässä selvityksessä on lähdetty siitä olettamuksesta, että puhallinenergiaa kuluu kaikilla sijoituspaikkakunnilla yhtä paljon perustilanteessa keskeytymättömässä kolmivuorotyössä. Puhallinenergian kokonaiskulutukset sijoituspaikkakuntalukuisesti on esitetty taulukossa 94. Puhallinenergian kulutukseen vaikuttaa kaikki ilmastointijärjestelmien komponenttien aiheuttamat painehäviöt. Tässä selvitystyössä SFP-luku pohdintaan perehdyttiin luvussa 5.4 vertailemalla niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat SFP-lukuun. Tehty selvitys osoittaa, että sisäänrakennettu 20 %:n ylimitoitus johtaa kohtuullisiin SFP-lukuihin. Se vaikuttaa edullisesti perustilanteessa ilmastointijärjestelmien puhallinenergian kulutukseen. Käyttämällä Uppsalan Maakäräjien mitoitushjetta saavutetaan kohtuulliset SFP-luvut ja kohtuulliset rakentamiskustannukset (30). Matalan SFP-luvun saavuttamisessa tulee saavutettu hyöty asettaa vaakakuppiin investointikustannusten kanssa. Puhallinenergian kulutuksen perusteella ei voida antaa ehdotusta edullisimmasta sijoituspaikkakunnasta.

#### 7.4 Vertailu ympäristövaikutusten kannalta

Ympäristövaikutusten arviointi on tehty CO<sub>2</sub>-ominaispäästöihin painottuvana. Taserajan muodostuksesta on kerrottu luvussa 5.5. CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt lasketaan yhteen taulukoiden 102, 103, 106, 107, 110 ja 111 avulla keskeytymättömälle kolmivuorotyölle ja keskeytyvälle yksivuorotyölle perustilanteessa. Keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa ilmastointijärjestelmien alhaisimmat CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt syntyvät Helsingissä maakaasua käytettäessä energiamuotona. Näin CO<sub>2</sub>-ominaispäästökseen muodostuu 289 540 kg (CO<sub>2</sub>)/a. Keskeytyvässä yksivuorotyössä päästöt laskevat määrään 188 960 kg (CO<sub>2</sub>)/a. CO<sub>2</sub>-ominaispäästöjen kannalta edullisin sijoituspaikka on Helsinki.

#### 7.5 Energiankulutuksen ja CO<sub>2</sub>-päästöjen yhteisvaikutus

Tulokset edellisistä luvuista eivät ole energiamuotojen osalta yksiselitteisiä. Lämpöenergian tuoton kannalta edullisin vaihtoehto kaukolämpö on CO<sub>2</sub>-ominaispäästöiltään toiseksi edullisin maakaasun jälkeen. Energiamuotokohtaisia energian kulutustaulukoita tutkimalla ja niitä vertaamalla CO<sub>2</sub>-ominaispäästötaulukoihin päädytään kaukolämmön ja maakaasun yhdistelmään.

Tässä yhdistelmässä lämpöenergia tuotetaan kaukolämmöllä ja ilmastoinnin kostutus-höyry maakaasukattilalla. Lämpöenergian yhteenlaskettu kulutus tällä yhdistelmällä on 857 507 kWh/a keskeytymättömässä kolmivuorotyössä perustilanteessa. CO<sub>2</sub>-ominaispäästöjen määrät ovat kaukolämpö-maakaasuyhdistelmälle 192 153 kg (CO<sub>2</sub>)/a. Tämä valinta synnyttää uuden kysymyksen. Valittaessa Helsinki lääketeollisuuslaitoksen sijoituspaikaksi tilanne on varsin selvä, koska kaukolämpöä ja maakaasua on saatavilla tiiviin kaupunki rakenteen ja tehokkaan hyödykeinfrastruktuurin ansiosta. Teknisesti on myös kustannustehokasta käyttää kaukolämpöä ilmastointijärjestelmien lämmitykseen ja erillistä maakaasukattilaa kostutushöyryn valmistamiseen. Tilanne monimutkaistuu, jos lääketeollisuusyritys päättää sijoittaa tuotantolaitoksen esimerkiksi Jokioisiin, jossa kaukolämpö- ja maakaasua ei ole yhtä helposti saatavilla. Siinä tapauksessa joudutaan käymään keskusteluja paikallisen energiayhtiön kanssa parhaasta mahdollisesta yhdistelmästä energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten kannalta. Tietysti myös lääketeollisuusyrityksen oma energiantuotanto on teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. On täysin mahdollista, että sijoituspäätöksen paikkakunnan ollessa esimerkiksi Jokioinen, päädytään energiatuotanto muotoon tai niiden yhdistelmiin, joita ei ole tässä selvityksessä käsitelty. Tärkeä näkökulma on myös niin sanottu savupiipputeollisuuden imago. Lääketeollisuusyritykset haluavat usein välttää savupiippuja omilla laitoksillaan ja tähän voi olla useita syitä.

Tämän selvitystyön tuloksena voidaan todeta, että energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten kannalta edullisinta olisi optimoida ilmastointijärjestelmien ilmamäärät, käyttöajat ja niin sanotut kriittiset parametrit. Puhdastilakohtaisia ilmamääriä voidaan pienentää eristämällä prosessilaitteet paremmin ja näin ehkäistä tuotantohuoneisiin siirtyvä lämpökuorma. Tässä selvitystyössä referenssikohteen tuotanto-osastojen huonekohtaiset mitoittavat ilmamäärät määräytyivät useassa huoneessa huonetilaan joh-tuvan lämpökuorman perusteella ja ylittivät puhdastilaluokan puhtauden ylläpitämiseen tarvittavan ilmamäärän. Tämä ylilämpöongelma aiheuttaa myös toisen ilmiön. Tuotannon ollessa käynnissä syntyy samanaikaisen jäähtymisen ja lämmityksen tarve, joka pitäisi pystyä ehkäisemään. Prosessista johtuen ylilämmön lisäksi toinen tekijä, jolla on merkitystä energiatehokkuudelle ja ympäristövaikutuksille on kriittisten parametrien valinta. Tämä selvitystyö osoittaa, että ilmastointijärjestelmien kostutus kuluttaa enemmän energiaa kuin niiden lämmitys (vrt. taulukot 81 ja 85) ja siksi siihen tulisi kiinnittää erityistä huomiota.



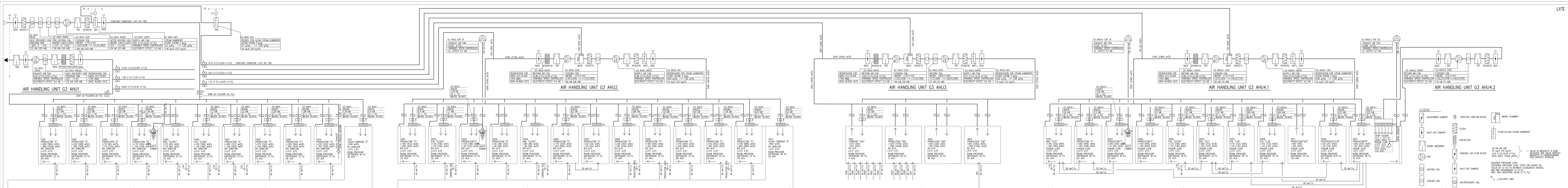
Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmien energiatehokkuutta ja ympäristövaikutuksia voidaan huomattavasti parantaa tunnistamalla niihin suoraan ja epäsuorasti vaikuttavat tekijät. Ilmastointijärjestelmät ovat vain yksi, mutta tärkeä osatekijä. Tämä selvitystyö osaltaan auttaa ymmärtämään palasten yhteensopivuuden suuressa palapelissä, jonka tarkoituksena on luoda tuotanto- ja työskentely-ympäristö, joka kaikilta osin täyttää lääketieteellisuuden GMP-vaatimukset ja tiukentuvat energiatehokkuus- sekä ympäristövaikutusvaatimukset.

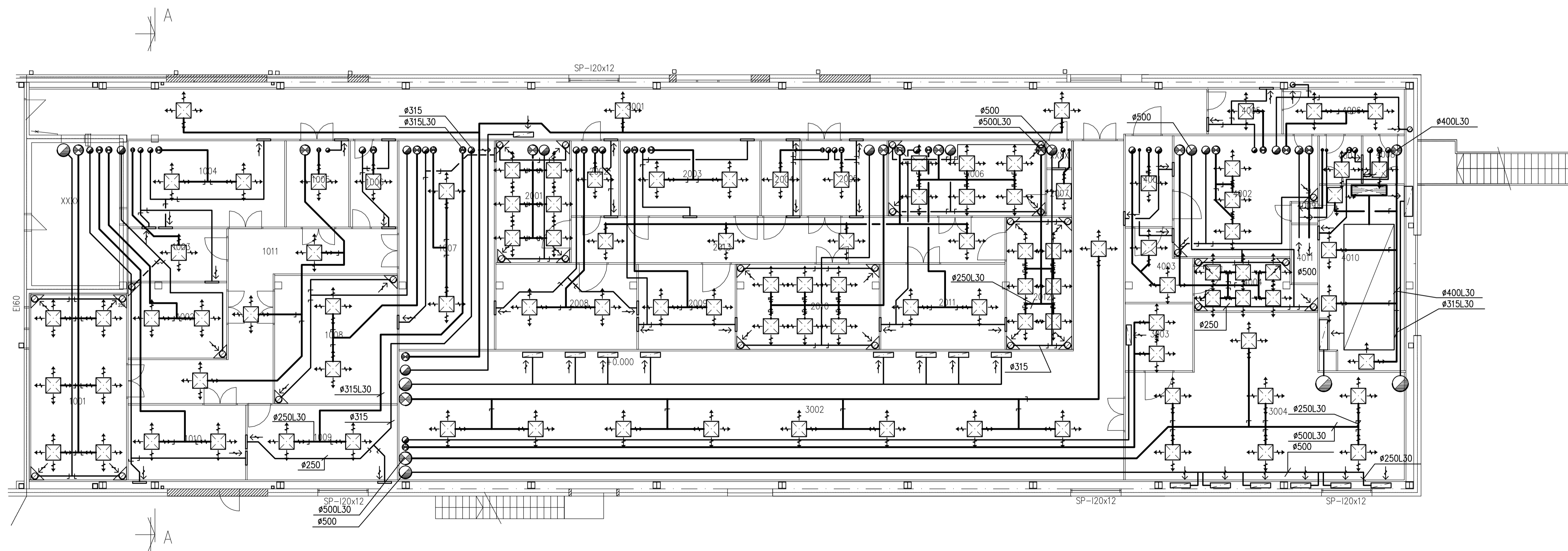
## Lähteet

- 1 German Association of Research-Based Pharmaceutical Companies. 2010. Statistics 2010 The Pharmaceutical Industry in Germany. Berliini: Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V.
- 2 Pharmaceutical Industry Market Leaders in terms of revenue. 2010. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[en.wikipedia.org/wiki/Pharmaceutical.Industry#Mark](http://en.wikipedia.org/wiki/Pharmaceutical_Industry#Market)>. Luettu 2.7.2011
- 3 The World`s Most Lucrative Business Markets. 2010. Verkkodokumentti. Drea. <[www.businesspundit.com/the-worlds-most-lucrative-business](http://www.businesspundit.com/the-worlds-most-lucrative-business)>. Luettu 14.7.2011.
- 4 Vienti ja tuonti. 2011. Verkkodokumentti . Lääketeollisuus r.y. <[www.laaketeollisuus.fi/etusivu/tilastot\\_ja\\_raportit/Vienti\\_ja\\_tuonti](http://www.laaketeollisuus.fi/etusivu/tilastot_ja_raportit/Vienti_ja_tuonti)>. Luettu 14.7.2011.
- 5 Fakta 2011. 2011. Verkkodokumentti. Läkemedelsindustriföreningen. <[www.lif.se/Rapporter\\_och\\_publicationer/Läkemedelsstatistik/Fakta\\_2011](http://www.lif.se/Rapporter_och_publicationer/Läkemedelsstatistik/Fakta_2011)>. Luettu 14.7.2011.
- 6 Beskæftigelsen i lægemiddelindustrien i Danmark. 2011. Verkkodokumentti. Lægemedel industri foreningen. <[www.lifdk.dk/sw239asp](http://www.lifdk.dk/sw239asp)>. Luettu 14.7.2011.
- 7 Kansainväliset tilastot. 2011. Verkkodokumentti. Lääketeollisuus r.y. <[www.laaketeollisuus.fi/etusivu/tilastot\\_ja\\_raportit/Kansainväliset\\_tilastot](http://www.laaketeollisuus.fi/etusivu/tilastot_ja_raportit/Kansainväliset_tilastot)>. Luettu 14.7.2011.
- 8 Gatlinsky, C., Chang, S., Worrell, E., Masanet, E. 2008. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry. Berkeley, California, Yhdysvallat: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- 9 Weatherbase. 2011. Verkkodokumentti. Canty and Associates. <[www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com)>. Luettu 15.7.2011.
- 10 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeet 2012. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 11 Sähkö Suomessa. 2011. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4nk%C3%B6](http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4nk%C3%B6)>. Luettu 18.7.2011
- 12 Blazewicz, B., Gantz, W., Garchner, P., Goldschmidt, NOIN, Heycocks, NOIN, Koler, NOIN, Moore, D., Roberts, R., Schnipper, T. 2009. Good Practice Guide, Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC). Tampa, Florida, Yhdysvallat: ISPE.
- 13 Sun , Wei. 2008. Conserving Fan Energy in Cleanrooms. ASHRAE Journal, July 2008, s. 36-38.

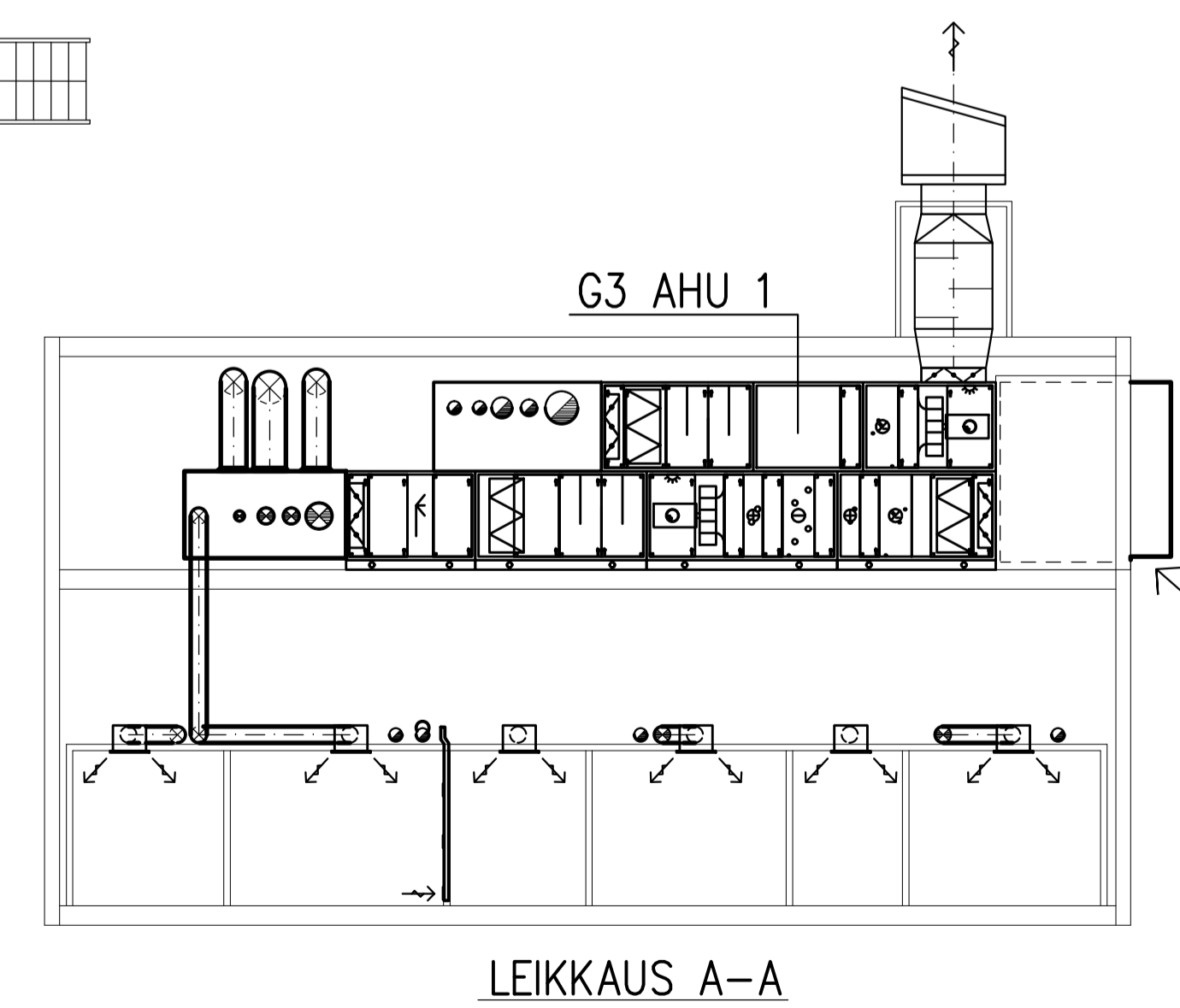
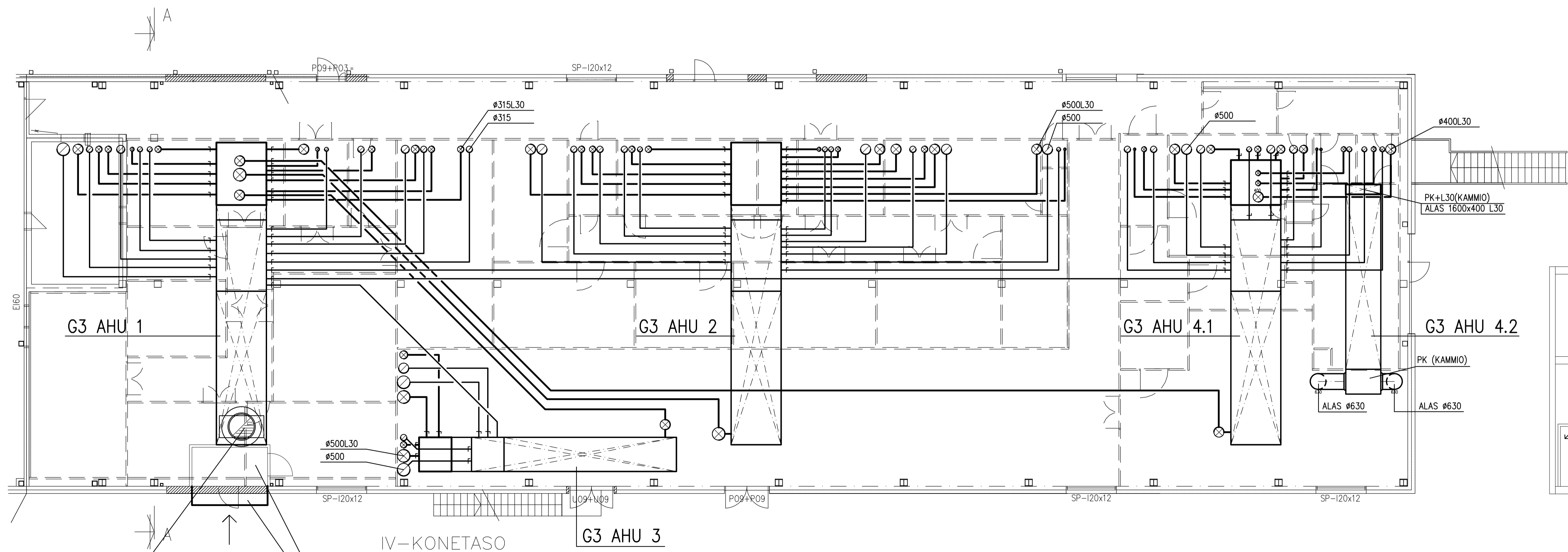
- 14 ASHRAE. 2003. ASHRAE Handbook HVAC Applications SI Editionoin Atlanta, Georgia, Yhdysvallat: ASHRAE.
- 15 Whyte, William. 1999. Cleanroom Design Second Editionoin Chichester , Englanti: John Wiley & Sons
- 16 Tschudi, W., Sartor, D., Mills E., Xu, T. 2002. High-Performance Laboratories and Cleanrooms A Technolgy Roadmap. Berkerley, California, Yhdysvallat: Ernest Orlando Lawrence Berkerley National Laboratory.
- 17 Tschudi, William. 2004. Cleanroom Air Systems Designoin Luentomoniste. Berkerley, California, Yhdysvallat: Ernest Orlando Lawrence Berkerley National Laboratory.
- 18 Awbi, Hazim. 2003. Ventilation of Buildings. Lontoo ja New York: Spoon Press.
- 19 Försvarets Materialverk. 2010. Avfuktningsteknisk Handbok. Tukholma: Försvarets Materialverk.
- 20 Ripatti, H., Pentikäinen, J., Saaristo, P., Vasara, J., Liljeström, K. 2002. Puhtaan ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluohje. Helsinki: Sisäilmayhdistys r.y.
- 21 Jalonen, Olli. 2002. H, x-diagrammi ja ilmastoinnin perusprosessit. Opetusmoniste. Espoo: EVTEK.
- 22 Lilja, Gunnar. 1981. Luftbehandling 2. Malmö: LiberHermods.
- 23 Mäkinen, P., Railio, J. 2004. LVI-ohjekortti LVI 30-10349 SFP-Opas. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 24 FlktWoods. 2010. Tekninen käsikirja. Helsinki: Fläkt Woods Oy.
- 25 Bagge, J., Pukkila, O. 1978. Ilmatekniikan suunnitteluopas osa 1. Helsinki: Valmet Oy ja Mercantile A.B.
- 26 Mathew P., Greenberg, S., Santor, D. 2009. Self Benchmarking Guide for Laboratory Buildings: Metrics, Benchmarks, Actioniin sanottua Berkerley, California, Yhdysvallat: Ernest Orlando Lawrence Berkerley National Laboratory.
- 27 Chu, L., Weale, J., Rumsey, P., Tschudi, B., Greenberg, S., Faulkner, D., Xu, T., Santor, D. 2006. High Performance Cleanrooms A Design Guideline Sourcebook. San Fransico, California, Yhdysvallat: Pacific Gas and Electric Company.
- 28 Suojanen, Risto. 1996. LVIS 2000 Ilmastointi kanavisto-opas. KaYhdysvallatla: Halton Oy ja Koja Oy.
- 29 Forsman, Jukka. 2011. Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohje, LVI-suunnitteluohje, versio 1.4. Helsinki: HKR-Rakennuttaja.
- 30 Jonsson, Peter. 2011. Teknisk anvisning 57 Luftbehandlingssystem Ver. 1.0. Uppsala: Landstingservice i Uppsala län.

- 31 Andersson, J., Mattson, L-O., Gehlin, S. 2003. VVS 2000 Tabeller och diagram, Meteorlogi och klimatlogi. Västerås: Förlags AB VVS.
- 32 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeet 2012. 2011. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 33 Kianta, Jani. 2004. Vapaajäähdytys. Luentomoniste. Helsinki: Building Forum.
- 34 Kalliomäki, Pekka. 2011. Taustamuisto, Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 35 Keto, Matias. 2010. Energiamuotojen kerroin Espoo: Aalto-Yliopiston Teknillinen korkeakoulu.
- 36 Rakennusten energiatehokkuus. 2011. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: Ympäristöministeriö
- 37 Kalliomäki, Pekka. 2011. Taustamuisto, Energiapaketti 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 38 Suomi, U., Hietaniemi, J., Hellgren, M. 2004. Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Helsinki: Motiva Oy.
- 39 Bertilsson, T., Persson, A-C. 2011. Filterskolan. Luentomoniste. Camfil Farr-yhtymä.
- 40 Primäärienergia. 2011. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[fi.wikipedia.org/wiki/Prim%C3%A4%C3%A4energia](http://fi.wikipedia.org/wiki/Prim%C3%A4%C3%A4energia)>. Luettu 15.4.2012.





POHJAKERROS JA TEKNINEN KANAVATASO



POISTOPUHALTIMEN PAINELUKON PÄÄLLÄ  
 PK+ÄÄNILOUKKU + PK L50  
 JA VESIKÄTÖLLÄ ULOSPUHALLUSHAJOTIN  
 TYYPIÄ FLÄKTWOODS EYMA-010

LÄMPÖERISTETTY ILMANOTTOKAMMIO  
 ULKOSÄLEIKKÖ TYYPIÄ FLÄKTWOOD OY  
 LUMISUOJA LSJ 3000x3000x400

# Huonelaskentataulukot

## Tabletin valmistusosasto ilmastointijärjestelmä G3 AHU1

Input data to the grey cells

Excel will calculate values in yellow and green cells

Maximum values for dimensioning in green cells

Density\*\* value for air in calculation: 1,2 kg/m³

Specific heat of air used in calculation: 1,006 kJ/kg°C

CNC-A\* according to EU GMP clean room cleanliness grades: CNC, D, C, B and A

G1-U17\* filters according to EN 779:2011 and EN 1882:2009

Pa\* pressure difference means positive pressure to adjacent spaces where measurement method and reading errors have been noticed

Columns C1 - C23 gives values for room airflow dimensioning

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
room name	room number	room grade CNC-A*	room pressure Pa*	supply air filtration G1-U17*	exhaust air filtration G1-U17*	room length m	room width m	room height m	room area m²	room volume m³	room AC-rate AC/h	room airflow m³/h	room airflow m³/s	room heat load from people kW	room heat load from lighting kW	room heat load from equipment kW	room heat load from trough envelope kW	room heat load total kW	allowed under temp. for supply air °C	airflow acc.to heatload** m³/s	dimensioning airflow for the room m³/s	dimensioning room AC/h	dimensioning room air velocity m/s
Production	1010	D	23	F7+F9+E10	F8	4,7	3,3	2,45	15,51	38	12	456	0,126665	0,2	0,23265	1	0,07755	1,5102	6	0,21	0,21	20	0,01344
Production	1009	D	23	F7+F9+E10	F8	6	3,3	2,45	19,8	49	12	582	0,162	0,2	0,297	1	0,099	1,596	6	0,22	0,22	16	0,01113
Production	1008	D	23	F7+F9+E10	F8	5,1	5	3,2	25,5	82	12	979	0,272	0,2	0,3825	1	0,1275	1,71	6	0,24	0,27	12	0,01067
Corridor	1011	D	46	F7+F9+E10	F8	15,8	1,8	2,45	28,44	70	28	1951	0,542	0,2	0,4266	0	0,1422	0,7688	6	0,11	0,54	28	0,01906
Production	1001	D	23	F7+F9+E10	F8	7,7	3,9	2,45	30	74	12	883	0,245	0,2	0,45	5	0,15	5,8006	6	0,80	0,80	39	0,02667
Production	1004	D	23	F7+F9+E10	F8	6,3	3,3	2,45	20,79	51	12	611	0,170	0,2	0,31185	0	0,10395	0,6158	6	0,09	0,17	12	0,00817
Production	1002	D	23	F7+F9+E10	F8	3,9	3	2,45	12	29	12	344	0,096	0,5	0,1755	1	0,0585	1,734	6	0,24	0,24	30	0,02046
Production	1003	D	23	F7+F9+E10	F8	3,9	2,1	2,45	8	20	12	241	0,067	0,2	0,12285	0	0,04095	0,3638	6	0,05	0,07	12	0,00817
MAL	1005	D/CNC	23	F7+F9+E10	F8	3,4	2,5	2,45	8,5	21	12	250	0,069417	0,2	0,1275	0	0,0425	0,37	6	0,05	0,07	12	0,00817
PAL	1006	D/CNC	23	F7+F9+E10	F8	3,4	1,9	2,45	6	16	32	506	0,141	0,2	0,0969	0	0,0323	0,3292	2	0,14	0,14	32	0,02178
Production	1007	D	23	F7+F9+E10	F8	8,3	3,8	2,45	32	77	12	927	0,258	0,2	0,4731	1	0,1577	1,8308	6	0,25	0,26	12	0,00817
Total									206	525					3,0969	10	1,0323				2,99	Basic	
																						3,47	Oversizing 20%

## Voiteen valmistusosasto ilmastointijärjestelmä G3 AHU2

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
room name	room number	room grade CNC-A*	room pressure Pa*	supply air filtration G1-U17*	exhaust air filtration G1-U17*	room length m	room width m	room height m	room area m²	room volume m³	room AC-rate AC/h	room airflow m³/h	room airflow m³/s	room heat load from people kW	room heat load from lighting kW	room heat load from equipment kW	room heat load from trough envelope kW	room heat load total kW	allowed under temp. for supply air °C	airflow acc.to heatload** m³/s	dimensioning airflow for the room m³/s	dimensioning room AC/h	dimensioning room air velocity m/s
Production	2008	D	23	F7+F9+E10	F8	5,7	3,4	2,45	19,38	47	12	570	0,15827	0,2	0,2907	1	0,0969	1,5876	6	0,22	0,22	17	0,01130985
Production	2012	D	23	F7+F9+E10	F8	5,2	2,7	2,45	14,04	34	12	413	0,11466	0,1	0,2106	5	0,0702	5,3808	6	0,74	0,74	78	0,052911401
Production	2011	D	23	F7+F9+E10	F8	5	3,4	2,45	17	42	12	500	0,138833	0,2	0,255	1	0,085	1,54	6	0,21	0,21	18	0,012506659
Production	2009	D	23	F7+F9+E10	F8	3,9	3,4	2,45	13,26	32	12	390	0,10829	0,1	0,1989	1	0,0663	1,3652	6	0,19	0,19	21	0,014214195
Production	2010	D	23	F7+F9+E10	F8	5,8	3,4	2,45	19,72	48	12	580	0,161047	0,2	0,2958	5	0,0986	5,5944	6	0,77	0,77	58	0,039166623
Corridor	2013	D	46	F7+F9+E10	F8	17,2	1,8	2,45	30,96	76	29	2200	0,61103	0,1	0,4644	0	0,1548	0,7192	6	0,10	0,61	29	0,019736111
Production	2001	D	23	F7+F9+E10	F8	4,9	2,9	2,45	14,21	35	12	418	0,116048	0,2	0,21315	5	0,07105	5,4842	6	0,76	0,76	78	0,053283007
Production	2007	D/CNC	23	F7+F9+E10	F8	1,8	1	2,45	1,8	4	12	53	0,0147	0,1	0,027	0	0,009	0,136	6	0,02	0,02	15	0,01043124
PAL	2002	D/CNC	23	F7+F9+E10	F8	3	2	2,45	6	15	32	470	0,130667	0,2	0,09	0	0,03	0,32	2	0,13	0,13	32	0,022089684
Production	2006	D	23	F7+F9+E10	F8	6,3	3	2,45	18,9	46	12	556	0,15435	0,2	0,2835	5	0,0945	5,578	6	0,77	0,77	60	0,040746117
MAL	2005	D/CNC	23	F7+F9+E10	F8	3,4	3	2,45	10,2	25	12	300	0,0833	0,1	0,153	0	0,051	0,304	6	0,04	0,08	12	0,008166667
Production	2004	D	23	F7+F9+E10	F8	3	1,5	2,45	4,5	11	12	132	0,03675	0,1	0,0675	0	0,0225	0,19	6	0,03	0,04	12	0,008166667
Production	2003	D	23	F7+F9+E10	F8	5,7	3	2,45	17,1	42	12	503	0,13965	0,2	0,2565	0,3	0,0855	0,842	6	0,12	0,14	12	0,008166667
Total									187	458					2,80605	23,3	0,93535				4,68	Basic	
																						5,50	Oversizing 20%

## Pakkaamo ilmastointijärjestelmä G3 AHU3

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
room name	room number	room grade CNC-A*	room pressure Pa*	supply air filtration G1-U17*	exhaust air filtration G1-U17*	room length m	room width m	room height m	room area m²	room volume m³	room AC-rate AC/h	room airflow m³/h	room airflow m³/s	room heat load from people kW	room heat load from lighting kW	room heat load from equipment kW	room heat load from trough envelope kW	room heat load total kW	allowed under temp. for supply air °C	airflow acc.to heatload** m³/s	dimensioning airflow for the room m³/s	dimensioning room AC/h	dimensioning room air velocity m/s
Production	3002	CNC	0	F7+F9	F8	31,2	5,5	2,45	171,6	420	1	420	0,117	0,5	2,574	5	0,858	8,932	6	1,23	1,23	11	0,00719
Corridor	3001	CNC	0	F7+F9	F8	55,4	2,3	2,45	127,42	312	1	312	0,087	0,1	1,9113	0	0,6371	2,6484	6	0,37	0,37	4	0,00287
Production	3003	CNC	0	F7+F9	F8	2,8	2,7	2,45	7,56	19	1	19	0,005	0,2	0,1134	1	0,0378	1,3512	6	0,19	0,19	36	0,02468
Production	3004	CNC	0	F7+F9	F8	11,5	4,6	2,45	53	130	1	130	0,036	0,5	0,7935	5	0,2645	6,558	6	0,91	0,91	25	0,01712
Total									359	881					5,3922	11,00	1,7974				2,69	Basic	
																						3,15	Oversizing 20%



# Huonelaskentataulukot

## Suonen sisäisten lääkkeiden valmistusosasto ilmastointijärjestelmä G3 AHU4.1

Input data to the grey cells

Excel will calculate values in yellow and green cells

Maximum values for dimensioning in green cells

Density\*\* value for air in calculation: 1,2 kg/m<sup>3</sup>  
 Specific heat of air used in calculation: 1,006 kJ/kg°C  
 CNC-A\* according to EU GMP clean room cleanliness grades: CNC, D, C, B and A  
 G1-U17\* filters according to EN 779:2011 and EN 1882:2009  
 Pa\* pressure difference means positive pressure to adjacent spaces where measurement method and reading errors have been noticed

Columns C1 - C23 gives values for room airflow dimensioning

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
room name	room number	room grade CNC-A*	room pressure Pa*	supply air filtration G1-U17*	exhaust air filtration G1-U17*	room length m	room width m	room height m	room area m <sup>2</sup>	room volume m <sup>3</sup>	room AC-rate AC/h	airflow acc.to m <sup>3</sup> /h	airflow acc.to m <sup>3</sup> /s	room heat load from people kW	room heat load from lighting kW	room heat load from equipment kW	room heat load from trough envelope kW	room heat load total kW	allowed under temp. °C	airflow acc.to m <sup>3</sup> /s	dimensioning airflow m <sup>3</sup> /s	dimensioning room AC/h	dimensioning room air velocity m/s
PAL	4008	B/C	46	F7+F9+H14	F8	2	1,7	2,45	3,4	8	32	267	0,074	0,2	0,051	0	0,017	0,268	2	0,11	0,11	48	0,03265
PAL	4007	B/C	46	F7+F9+H14	F8	2	1,7	2,45	3,4	8	32	267	0,074	0,2	0,051	0	0,017	0,268	2	0,11	0,11	48	0,03265
Production	4010	B	69	F7+F9+H14	F8	7,4	3,5	2,45	25,9	63	32	2031	0,564	0,2	0,3885	1	0,1295	1,718	4	0,36	0,56	32	0,02178
MAL Passtr.	4009	B/C	TBD	F7+F9+H14	F8	0,8	1	2,45	1	2	32	63	0,017	0	0,012	0	0,004	0,016	4	0,00	0,02	32	0,02178
Production	4004	C	46	F7+F9+H14	F8	5	1,82	2,45	9	22	22	490	0,136	0,2	0,14	3	0,05	3,382	4	0,70	0,70	113	0,07696
Production	4003	C	46	F7+F9+H14	F8	3	4,48	2,45	13	33	22	724	0,201	0,2	0,2016	0,2	0,0672	0,6688	4	0,14	0,20	22	0,01497
MAL	4001	C/D	23	F7+F9+H14	F8	3,6	1,9	2,45	7	17	22	369	0,102	0,1	0,1026	0	0,0342	0,2368	4	0,05	0,10	22	0,01497
Production	4007	C	46	F7+F9+H14	F8	5,53	4,7	2,45	26	64	22	1401	0,389	0,2	0,389865	1	0,129955	1,71982	4	0,36	0,39	22	0,01497
Autoclave	4011	CNC	TBD	F7+F9	F8	2,51	1	2,45	2,5	6	10	61	0,017	0,2	0,03765	1,67	0,01255	1,9202	4	0,40	0,40	233	0,15843
PAL	4006	C/D	23	F7+F9+H14	F8	4,8	1,8	2,45	9	21	32	677	0,188	0,1	0,1296	1	0,0432	1,2728	4	0,26	0,26	45	0,03051
PAL	4005	D/CNC	18	F7+F9+H14	F8	3	1,9	2,45	6	14	32	447	0,124	0,2	0,0855	0	0,0285	0,314	2	0,13	0,13	34	0,02282
<b>Total</b>									106	259		0	0,000		1,585815	7,87	0,528605				2,99	Basic	
																					3,51	Oversizing 20%	

## Suonen sisäisten lääkkeiden valmistusosasto ilmastointijärjestelmä G3 AHU4.2

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
room name	room number	room grade CNC-A*	room pressure Pa*	supply air filtration G1-U17*	exhaust air filtration G1-U17*	room length m	room width m	room height m	room area m <sup>2</sup>	room volume m <sup>3</sup>	room AC-rate AC/h	airflow acc.to m <sup>3</sup> /h	airflow acc.to m <sup>3</sup> /s	room heat load from people kW	room heat load from lighting kW	room heat load from equipment kW	room heat load from trough envelope kW	room heat load total kW	allowed under temp. °C	airflow acc.to m <sup>3</sup> /s	dimensioning airflow m <sup>3</sup> /s	dimensioning room AC/h	dimensioning room air velocity m/s
UDAF	4010	A	69	F7+F9+H14		3,17	2	2,45	6,34	16	735	11417	3,171	0	0,1902	10	0,0317	10,2219	3	2,82	3,17	735	0,50021
																					3,17	Basic	
																					3,81	Oversizing 20%	

# Kanaviston painehäviölaskentataulukot

## IV-järjestelmien G3 AHU4.1, G3 AHU4.2, G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU1 painehäviöiden laskentataulukko

Markku Mäkinen 25.11.2011

Laske

Tulo- ja poistoilmakanavistojen painehäviöt

Putkiosa nro	Virtaus l/s	d <sub>s</sub> mm	A m <sup>2</sup>	v m/s	Re	Re*k/d	Lambda	ρ <sub>dyn</sub> Pa	R Pa/m	Pituus m	ΔP <sub>kitka</sub> Pa	Kertavastus- lukujen summa	ΔP <sub>kerta</sub> Pa	ΔP <sub>yhteensä</sub> Pa	Lambda	Tavoitteen- haku	Prandtl, 4.60	Moody, 4.59b	Lambdasileä	Blasius, 4.58a	Nikuradse, 4.58b	Laminaari
G3AHU4.1 tuloi.1 perust.	140	314	0,0774	1,81	37197	18	0,022783	1,941479	0,14	3,5	0,49303762	0,3	0,582444	1,08	0,022782904	0,019518297	0,730582621	0,017225871	0,022782904	0,022782904	0,021446581	0,001720562
G3AHU4.1 tuloi.2 perust.	560	399,0	0,125	4,48	117092	44	0,017104	11,9146	0,51	20	10,2151308	5,7	67,91324	78,13	0,017104377	0,020352048	-0,18966793	0,016325901	0,017104377	0,017104283	0,017104377	0,00054658
G3AHU4.1 tuloi.3 perust.	2980	1333,3	1,3963	2,13	186461	21	0,015653	2,705657	0,03	1,6	0,05082093	7,7	20,83356	20,88	0,015652677	0,020352048	-0,79917401	0,01274117	0,015652677	0,015226121	0,015652677	0,000343235
G3AHU4.1 tuloi.1 +20%	168	314,0	0,0774	2,17	44637	21	0,021768	2,795729	0,19	3,5	0,6783397	0,3	0,838719	1,52	0,021767761	0,020888855	0,346929946	0,017225871	0,021767761	0,021767761	0,020674934	0,001433802
G3AHU4.1 tuloi.2 +20%	672	399,0	0,125	5,37	140510	53	0,016516	17,15703	0,71	20	14,2040943	5,7	97,79506	112,00	0,016516361	0,021372822	-0,46194962	0,016325901	0,016516361	0,016342164	0,016516361	0,000455483
G3AHU4.1 tuloi.3 +20%	3500	1333,3	1,3963	2,51	218998	25	0,015187	3,732297	0,04	1,6	0,06801856	7,7	28,73869	28,81	0,015186927	0,021372822	-1,08765639	0,01274117	0,015186927	0,014626026	0,015186927	0,00029224
G3AHU4.2 tuloi.1 perust.	175	249	0,0487	3,59	58634	35	0,020333	7,671386	0,63	4	2,50572527	2	15,34277	17,85	0,020332884	0,022145247	0,025719149	0,018168404	0,020332884	0,020332884	0,019581012	0,001091516
G3AHU4.1 poistoi.2 perust.	350	499,0	0,1956	1,79	58517	18	0,020343	1,902519	0,08	4	0,31024533	0,3	0,570756	0,88	0,020343084	0,022411617	-0,18996041	0,015548198	0,020343084	0,020343084	0,019588802	0,001093708
G3AHU4.1 poistoi.3 perust.	700	499,0	0,1956	3,58	117033	35	0,017106	7,610076	0,26	15,5	4,04361075	2,7	20,54721	24,59	0,017106028	0,023042504	-0,7189944	0,015548198	0,017106028	0,017106423	0,017106028	0,000546854
G3AHU4.1 poistoi.4 perust.	2380	1333,3	1,3963	1,70	148919	17	0,016334	1,725814	0,02	2,8	0,05919853	12	20,70977	20,77	0,016334189	0,023042504	-1,11201122	0,01274117	0,016334189	0,016106423	0,016334189	0,000429764
G3AHU4.1 poistoi.1 +20%	210	249	0,0487	4,31	70361	42	0,019427	11,0468	0,86	4	3,4474711	2	22,09359	25,54	0,019426908	0,023042504	-0,21458135	0,018168404	0,019426908	0,019426908	0,01888826	0,000909597
G3AHU4.1 poistoi.2 +20%	420	499,0	0,1956	2,15	70220	21	0,019437	2,739627	0,11	4	0,4268472	0,3	0,821888	1,25	0,019436653	0,023042504	-0,41197411	0,015548198	0,019436653	0,019436653	0,018895721	0,000911423
G3AHU4.1 poistoi.3 +20%	840	499,0	0,1956	4,30	140440	42	0,016518	10,95851	0,36	15,5	5,62261844	2,7	29,58798	35,21	0,016517943	0,023042504	-0,81631949	0,015548198	0,016517943	0,016344212	0,016517943	0,000455712
G3AHU4.1 poistoi.3 +20%	2800	1333,3	1,3963	2,01	175199	20	0,015838	2,38867	0,03	2,8	0,07944629	12	28,66404	28,74	0,015837918	0,023042504	-1,22094958	0,01274117	0,015837918	0,01546514	0,015837918	0,00036653
G3AHU4.2 tuloi.1 perust.	3170	640	0,3217	9,85	413229	97	0,023043	57,67581	2,08	2,5	5,19138736	0,3	17,30274	22	0,023042504	0,023042504	-1,38608683	0,014748295	0,01351229	0,01247926	0,01351229	0,000154878
G3AHU4.2 tuloi.2 perust.	3170	1535,5	1,8517	1,71	172237	17	0,015889	1,740735	0,02	0,5	0,00900651	0,7	1,218514	1	0,015889093	0,023042504	-1,23756072	0,012408333	0,015889093	0,015531206	0,015889093	0,000371582
G3AHU4.2 tuloi.1 +20%	3810	640,0	0,3217	11,84	496657	116	0,023043	83,31538	3,00	2,5	7,49919872	0,3	24,99461	32	0,023042504	0,023042504	-1,44466749	0,014748295	0,013072496	0,011918522	0,013072496	0,000128862
G3AHU4.2 tuloi.2 +20%	3810	1535,5	1,8517	2,06	207010	20	0,015348	2,514572	0,03	0,5	0,0125672	0,7	1,7602	2	0,015347934	0,023042504	-1,36040131	0,012408333	0,015347934	0,014833333	0,015347934	0,000309164
G3AHU4.2 poistoi.1 perust.	1585	480	0,181	8,76	275486	86	0,023043	45,57101	2,19	3	6,56293908	0,3	13,6713	20	0,023042504	0,023042504	-1,09504562	0,015679066	0,014552428	0,013810572	0,014552428	0,000232317
G3AHU4.2 poistoi.2 perust.	1585	629	0,3107	5,10	210228	50	0,015304	15,45436	0,38	8	3,00804395	0,9	13,90893	17	0,015303606	0,023042504	-1,10280405	0,014801896	0,015303606	0,014776243	0,015303606	0,000304432
G3AHU4.2 poistoi.3 perust.	3170	1535,5	1,8517	1,71	172237	17	0,015889	1,740735	0,02	1	0,01801302	3	5,222204	5	0,015889093	0,023042504	-1,23756072	0,012408333	0,015889093	0,015531206	0,015889093	0,000371582
G3AHU4.2 poistoi.1 +20%	1905	480,0	0,181	10,53	331104	103	0,023043	65,82943	3,16	3	9,48046851	0,3	19,74883	29	0,023042504	0,023042504	-1,1580571	0,015679066	0,014068274	0,013190013	0,014068274	0,000193293
G3AHU4.2 poistoi.2 +20%	1905	629,0	0,3107	6,13	252671	60	0,014787	22,32454	0,52	8	4,19869302	0,9	20,09208	24	0,014787416	0,023042504	-1,18713007	0,014801896	0,014787416	0,0141112293	0,014787416	0,000253294
G3AHU4.2 poistoi.3 +20%	3810	1535,5	1,8517	2,06	207010	20	0,015348	2,514572	0,03	1	0,02513441	3	7,543715	8	0,015347934	0,023042504	-1,36040131	0,012408333	0,015347934	0,014833333	0,015347934	0,000309164
G3AHU2 tuloi.1 perust.	123	249	0,0487	2,53	41211	25	0,022207	3,789727	0,34	1	0,33797986	0,3	1,136918	1	0,022206608	0,023042504	0,089164283	0,018168404	0,022206608	0,022206608	0,021008742	0,00155297
G3AHU2 tuloi.2 perust.	740	499,0	0,1956	3,78	123721	37	0,016924	8,504648	0,29	21	0,16924086	0,3	33,16813	39	0,016924086	0,023042504	-0,74938048	0,015548198	0,016924086	0,016870419	0,016924086	0,000517294
G3AHU2 tuloi.3 perust.	4670	1740,5	2,3793	1,96	223843	19	0,015125	2,288191	0,02	2,5	0,04970972	9,1	20,82254	21	0,015124922	0,023042504	-1,43827125	0,012125627	0,015124922	0,014546231	0,015124922	0,000285914
G3AHU2 tuloi.1 +20%	148	249	0,0487	3,04	49588	30	0,021203	5,486826	0,47	1	0,46721296	0,3	1,646048	2	0,021202793	0,023042504	-0,02218915	0,018168404	0,021202793	0,021202793	0,020244675	0,001290644
G3AHU2 tuloi.2 +20%	888	499,0	0,1956	4,54	148465	45	0,016344	12,24669	0,40	21	8,42340829	0,9	47,76211	56	0,016343695	0,023042504	-0,84460961	0,015548198	0,016343695	0,01611872	0,016343695	0,000431078
G3AHU2 tuloi.3 +20%	5480	1740,5	2,3793	2,30	262668	23	0,014681	3,150791	0,03	2,5	0,06644178	9,1	28,6722	29	0,014681342	0,023042504	-1,54193776	0,012125627	0,014681342	0,013976054	0,014681342	0,000243653
G3AHU2 poistoi.1 perust.	200	249	0,0487	4,11	67010	40	0,019665	10,01977	0,79	2	1,58266634	0,3	3,005931	5	0,019665319	0,023042504	-0,18924963	0,018168404	0,019665319	0,019665319	0,019070721	0,000955076
G3AHU2 poistoi.2 perust.	400	399,0	0,125	3,20	83637	31	0,018605	6,078879	0,28	5	1,41728604	0,2	12,15776	14	0,018605309	0,023042504	-0,46143225	0,016325901	0,018605309	0,018605309	0,018605309	0,000765212
G3AHU2 poistoi.3 perust.	800	499,0	0,1956	4,09	133752	40	0,016673	9,936991	0,33	2,3	7,63852776	2,9	28,8251	36	0,016672836	0,023042504	-0,79094691	0,015548198	0,016672836	0,016544792	0,016672836	0,000478497
G3AHU2 poistoi.4 perust.	3780	1740,5	2,3793	1,59	181184	16	0,015738	1,49914	0,01	28	0,03795399	19,5	29,23323	29	0,015737706	0,023042504	-1,29508992	0,012125627	0,015737706	0,015335811	0,015737706	0,000353233
G3AHU2 poistoi.1 +20%	237	249	0,0487	4,87	79407	48	0,018848	14,07001	1,07	2	2,13008276	0,3	4,221003	6	0,018848267	0,023042504	-0,27521715	0,018168404	0,018848267	0,018848267	0,018444929	0,000805972
G3AHU2 poistoi.2 +20%	474	399,0	0,125	3,79	99110	37	0,017832	8,536114	0,38	5	1,90750034	2	17,07223	19	0,017832298	0,023042504	-0,55612409	0,016325901	0,017832298	0,017832298	0,017664806	0,000645748
G3AHU2 poistoi.4 +20%	948	499,0	0,1956	4,85	158496	48																

# Kanaviston painehäviölaskentataulukot

IV-järjestelmien G3 AHU4.1, G3 AHU4.2, G3 AHU2, G3 AHU3 ja G3 AHU1 painehäviöiden laskentataulukko																						
Markku Mäkinen ##### Laske																						
Tulo -ja poistoilmakanavistojen painehäviöt yhtä kokoa suuremmilla kanavilla																						
Virtaava aine		nro	aine	1=VESI		Putken karheus		0,15 mm		Harmaisiin soluihin syötetään alkuarvot												
Aineen lämpötila		2 VESI		2=ILMA						Vedellä (1) ja ilmalla (2) syötetään lämpötila												
Tiheys		1,187968 kg/m3		3=MUU						Muilla aineilla (3) syötetään tiheys ja kinemaattinen viskositeetti												
Kinemaattinen visk.		1,53E-05 m2/s																				
Putkiosa	Virtaus	d <sub>s</sub>	A	v	Re	Re*k/d	Lambda	p <sub>dyn</sub>	R	Pituus	Δp <sub>kilka</sub>	Kertavastus-	Δp <sub>kerta</sub>	Δp <sub>yhteensä</sub>	Lambda	Tavoitteen-	Prandtl, 4.60	Moody, 4.59b	Lambdasileä	Blasius, 4.58a	Nikuradse, 4.58b	Laminaari
nro	l/s	mm	m <sup>2</sup>	m/s				Pa	Pa/m	m	Pa	lukujen summa	Pa	Pa		haku						
G3AHU4.1 tuloi.1 perust.	140	399	0,125	1,12	29273	11	0,024189	0,744663	0,05	3,5	0,15800638	0,3	0,223399	0,38	0,02418911	0,019518297	0,866246338	0,016325901	0,02418911	0,02418911	0,022512555	0,002186319
G3AHU4.1 tuloi.2 perust.	560	499,0	0,1956	2,86	93626	28	0,018088	4,870449	0,18	20	3,53089845	5,7	27,76156	31,29	0,018087844	0,020352048	-0,13155969	0,015548198	0,018087844	0,018087844	0,017861243	0,000683567
G3AHU4.1 tuloi.3 perust.	2980	1419,4	1,5822	1,88	175161	19	0,015839	2,106996	0,02	1,6	0,03761912	7,7	16,22387	16,26	0,015838567	0,020352048	-0,77002213	0,012591825	0,015838567	0,015465977	0,015838567	0,000365379
G3AHU4.1 tuloi.1 +20%	168	399,0	0,125	1,34	35128	13	0,023111	1,072314	0,06	3,5	0,21739112	0,3	0,321694	0,54	0,02311131	0,020888855	0,468777771	0,016325901	0,02311131	0,02311131	0,021695828	0,001821933
G3AHU4.1 tuloi.2 +20%	672	499,0	0,1956	3,44	112352	34	0,017241	7,013446	0,24	20	4,84650761	5,7	39,97664	44,82	0,017241219	0,021372822	-0,42256907	0,015548198	0,017241219	0,0172819	0,017241219	0,000569639
G3AHU4.1 tuloi.3 +20%	3500	1419,4	1,5822	2,21	205726	22	0,015366	2,90648	0,03	1,6	0,05034464	7,7	22,37989	22,43	0,015365864	0,021372822	-1,06226128	0,012591825	0,015365864	0,014856428	0,015365864	0,000311094
G3AHU4.1 poistoi.1 perust.	175	314	0,0774	2,26	46496	22	0,021547	3,03356	0,21	4	0,83265391	2	6,06712	6,90	0,02154674	0,022145247	0,102472587	0,017225871	0,02154674	0,02154674	0,020506682	0,00137645
G3AHU4.1 poistoi.2 perust.	350	629,0	0,3107	1,13	46423	11	0,021555	0,753579	0,03	4	0,10329809	0,3	0,228074	0,33	0,021555312	0,022411617	-0,06277581	0,014801896	0,021555312	0,021555312	0,02051321	0,001378642
G3AHU4.1 poistoi.3 perust.	700	629,0	0,3107	2,25	92845	22	0,018126	3,014315	0,09	15,5	1,34637636	2,7	8,13865	9,49	0,018125785	0,023042504	-0,64377395	0,014801896	0,018125785	0,018125785	0,017890395	0,000699321
G3AHU4.1 poistoi.4 perust.	2380	1419,4	1,5822	1,50	139893	15	0,01653	1,343956	0,02	2,8	0,04382598	12	16,12747	16,17	0,016530251	0,023042504	-1,07985254	0,012591825	0,016530251	0,016360146	0,016530251	0,000457491
G3AHU4.1 poistoi.1 +20%	210	314	0,0774	2,71	55796	27	0,020587	4,368327	0,29	4	1,14559657	2	8,736653	9,88	0,020586677	0,023042504	-0,1557974	0,017225871	0,020586677	0,020586677	0,019774784	0,001147041
G3AHU4.1 poistoi.2 +20%	420	629	0,3107	1,35	55707	13	0,020595	1,085153	0,04	4	0,14212139	0,3	0,325546	0,47	0,020594868	0,023042504	-0,29732894	0,014801896	0,020594868	0,020594868	0,019781035	0,001148868
G3AHU4.1 poistoi.3 +20%	840	629	0,3107	2,70	111414	27	0,017269	4,340613	0,12	15,5	1,84715287	2,7	11,71966	13,57	0,017269139	0,023042504	-0,75731047	0,014801896	0,017269139	0,01731815	0,017269139	0,000574434
G3AHU4.1 poistoi.3 +20%	2800	1419,4	1,5822	1,77	164580	17	0,016027	1,860147	0,02	2,8	0,05881051	12	22,32176	22,38	0,016026573	0,023042504	-1,19179337	0,012591825	0,016026573	0,01570876	0,016026573	0,000388868
G3AHU4.2 tuloi.1 perust.	3170	761,9	0,4559	6,95	347112	68	0,023043	28,71514	0,87	2,5	2,17110019	0,3	8,614541	11	0,023042504	0,023042504	-1,40711983	0,014226125	0,013947339	0,01303524	0,013947339	0,000184378
G3AHU4.2 tuloi.2 perust.	3170	1593,8	1,9949	1,59	165940	16	0,016002	1,499798	0,02	0,5	0,00752915	0,7	1,049859	1	0,016001594	0,023042504	-1,2187141	0,012323098	0,016001594	0,015676493	0,016001594	0,000385682
G3AHU4.2 tuloi.1 +20%	3810	761,9	0,4559	8,36	417192	82	0,023043	41,48034	1,25	2,5	3,13625446	0,3	12,4441	16	0,023042504	0,023042504	-1,47911495	0,014226125	0,01348899	0,01244952	0,01348899	0,00153407
G3AHU4.2 tuloi.2 +20%	3810	1593,8	1,9949	1,91	199442	19	0,015456	2,166528	0,02	0,5	0,01050512	0,7	1,516569	2	0,01545637	0,023042504	-1,34362452	0,012323098	0,01545637	0,014972092	0,01545637	0,000320896
G3AHU4.2 poistoi.1 perust.	1585	600	0,2827	5,61	220389	55	0,015169	18,66589	0,47	3	1,41571051	0,3	5,599766	7	0,01516896	0,023042504	-1,10600788	0,014949408	0,01516896	0,014602902	0,01516896	0,000290396
G3AHU4.2 poistoi.2 perust.	1585	799	0,5014	3,16	165498	31	0,01601	5,935626	0,12	8	0,95146384	0,9	5,342063	6	0,016009677	0,023042504	-1,05771416	0,014088937	0,016009677	0,015686933	0,016009677	0,000386711
G3AHU4.2 poistoi.3 perust.	3170	1593,8	1,9949	1,59	165940	16	0,016002	1,499798	0,02	1	0,0150583	0,3	4,499395	5	0,016001594	0,023042504	-1,2187141	0,012323098	0,016001594	0,015676493	0,016001594	0,000385682
G3AHU4.2 poistoi.1 +20%	1905	600,0	0,2827	6,74	264884	66	0,023043	26,96374	1,04	3	3,10655992	0,3	8,089121	11	0,023042504	0,023042504	-1,18657139	0,014949408	0,014658513	0,013946741	0,014658513	0,000241616
G3AHU4.2 poistoi.2 +20%	1905	799,0	0,5014	3,80	198911	37	0,015463	8,574286	0,17	8	1,32753332	0,9	7,716857	9	0,015463374	0,023042504	-1,1604778	0,014088937	0,015463374	0,014982063	0,015463374	0,000321751
G3AHU4.2 poistoi.3 +20%	3810	1593,8	1,9949	1,91	199442	19	0,015456	2,166528	0,02	1	0,02101024	0,3	6,499583	7	0,015455637	0,023042504	-1,34362452	0,012323098	0,015455637	0,014972092	0,015455637	0,000320896
G3AHU2 tuloi.1 perust.	123	314	0,0774	1,59	32680	16	0,023532	1,498603	0,11	1	0,1123109	0,3	0,449581	1	0,023532323	0,023042504	0,192542991	0,017225871	0,023532323	0,023532323	0,022015091	0,001958363
G3AHU2 tuloi.2 perust.	740	629	0,3107	2,38	98150	23	0,017876	3,368651	0,10	21	2,01042564	3,9	13,13774	15	0,017875714	0,023042504	-0,6789961	0,014801896	0,017875714	0,017875714	0,01769819	0,00065206
G3AHU2 tuloi.3 perust.	4670	1815,8	2,5895	1,80	214567	18	0,015245	1,931821	0,02	2,5	0,04054832	9,1	17,57957	18	0,015245142	0,023042504	-1,41851389	0,012032807	0,015245142	0,014700964	0,015245142	0,000298275
G3AHU2 tuloi.1 +20%	148	314	0,0774	1,91	39323	19	0,022469	2,169701	0,16	1	0,15525513	0,3	0,65091	1	0,022468581	0,023042504	0,066869651	0,017225871	0,022468581	0,022468581	0,021207848	0,001627559
G3AHU2 tuloi.2 +20%	888	629	0,3107	2,86	117781	28	0,017085	4,850857	0,13	21	2,7669651	9,9	18,91834	22	0,017085063	0,023042504	-0,79072646	0,014801896	0,017085063	0,017079222	0,017085063	0,000543383
G3AHU2 tuloi.3 +20%	5480	1815,8	2,5895	2,12	251783	21	0,014797	2,660077	0,02	2,5	0,05419324	9,1	24,2067	24	0,01479709	0,023042504	-1,52436006	0,012032807	0,01479709	0,014124722	0,01479709	0,000254187
G3AHU2 poistoi.1 perust.	200	314	0,0774	2,58	53139	25	0,020839	3,962201	0,26	2	0,52592091	0,3	1,18866	2	0,020839322	0,023042504	-0,12602007	0,017225871	0,020839322	0,020839322	0,019967555	0,001204393
G3AHU2 poistoi.2 perust.	400	499	0,1956	2,05	66876	20	0,019675	2,484923	0,10	5	0,48989293	2	4,969846	5	0,019675184	0,023042504	-0,38203307	0,015548198	0,019675184	0,019675184	0,019078268	0,000956994
G3AHU2 poistoi.3 perust.	800	629	0,3107	2,57	106109	25	0,017433	3,937064	0,11	23	2,50966675	2,9	11,41749	14	0,017432769	0,023042504	-0,720750499	0,014801896	0,017432769	0,017530683	0,017432769	0,000603156
G3AHU2 poistoi.4 perust.	3780	1815,8	2,5895	1,46	173675	14	0,015864	1,265659	0,01	2,8	0,0309617	19,5	24,68035	25	0,015864104	0,023042504	-1,27272665	0,012032807	0,015864104	0,015498943	0,015864104	0,000368504
G3AHU2 poistoi.1 +20%	237	314	0,0774	3,06	62969	30	0,019973	5,563822	0,35	2	0,70782769	0,3	1,669147	2	0,019973492	0,023042504	-0,22771791	0,017225871	0,019973492	0,019973492	0,0193064	0,001016366
G3AHU2 poistoi.2 +20%	474	499	0,1956	2,42	79248	24	0,018858	3,489391	0,13	5	0,65933827	2	6,978782	8	0,018857722	0,023042504	-0,48894502	0,015481896	0,018857722	0,018857722	0,018452178	0,00080759
G3AHU2 poistoi.4 +20%	948	629	0,3107	3,05	125739	30	0,016872	5,528524	0,15	23	3,41068859	2,9	16,03272	19	0,016871562	0,023042504	-0,82930311	0,014801896	0,016871562	0,01680232	0,016871562	0,000508992
G3AHU2 poistoi.3 +20%	4380	1815,8	2,5895	1,69	201243	17	0,01543	1,699344	0,01	2,8	0,04043219	19,5	33,13721	33	0,015429555	0,023042504	-1,37498535	0,012032807	0,015429555	0,014938484	0,015429555	0,000318024
G3AHU3 tuloi.1 perust.	130	314	0,0774	1,68	34540	17	0,023209	1,67403	0,12	1	0,12373393	0,3	0,502209	1	0,023208937	0,023042504	0,154420997	0,017225871	0,023208937	0,023208937	0,021769887	0,001852913
G3AHU3 tuloi.2 perust.	260	399	0,125	2,08	54364	20</																

## Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen laskenta

## SIY Sisäilmatieto Oy

Loppuyö Markku Mäkinen 10.12.2011 Liite 6

Mika Vuolle  
5.2.2004

## Sisäänsyöttötiedot:

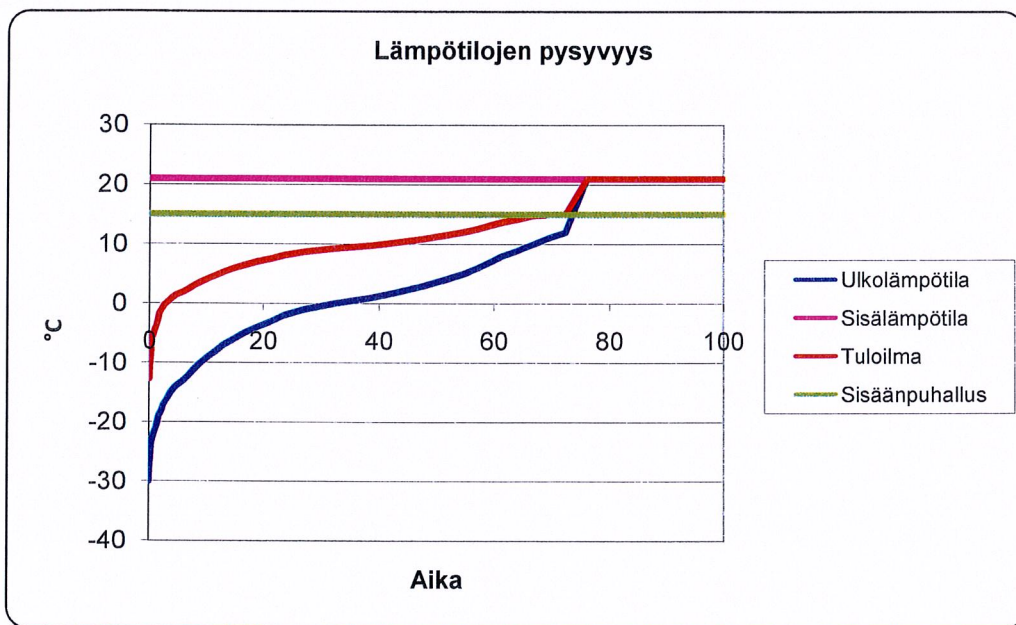
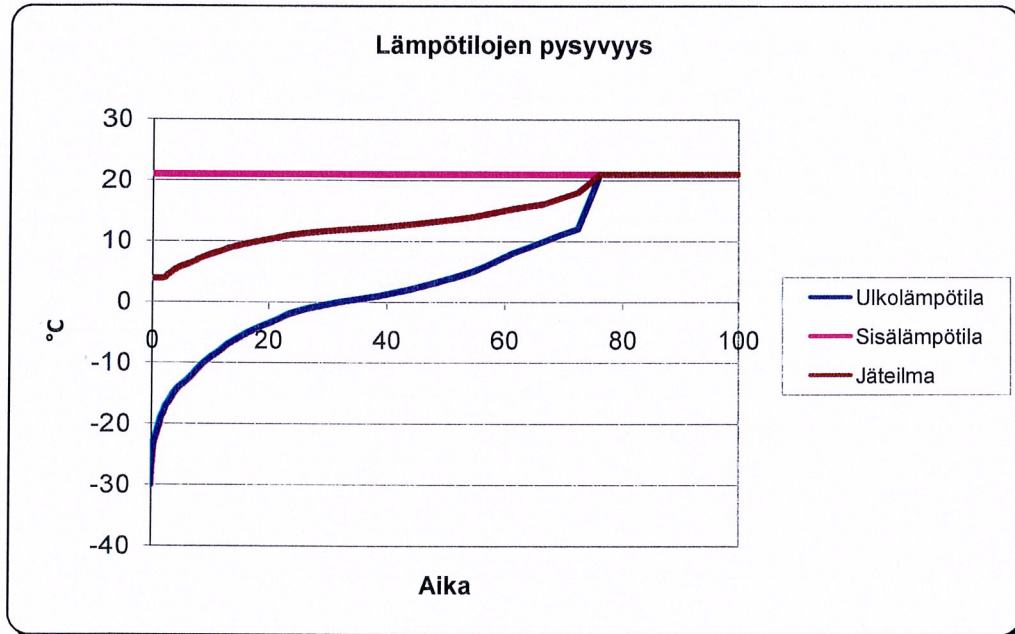
Sisälämpötila	21,0	°C	LTO:n tulopuolen lämpötilahyötysuhde	44,0	%
Sisäänpuhalluslämpötila	15,0	°C	Ilmanvaihtokoneen ilmavirtojen suhde (tulo/poisto)	1,1	-
Jäätymissuoja	2,0	°C	Poistoilmavirtojen suhde (kone / koko rakennus)	0,9	-
Lämmityskauden raja	12,0	°C	Poiston lämpötilahyötysuhde	48,4	%

Tulokset:	Helsinki		
LTO:n tuloilman vuosihyötysuhde	61,2	%	Perinteinen hyötysuhde
LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde	47,9	%	
Ilmanvaihdon vuosihyötysuhde	43,1	%	Koko rakennuksen ilmanvaihdon hyötysuhde
D2:n kerroin	1,09	%	

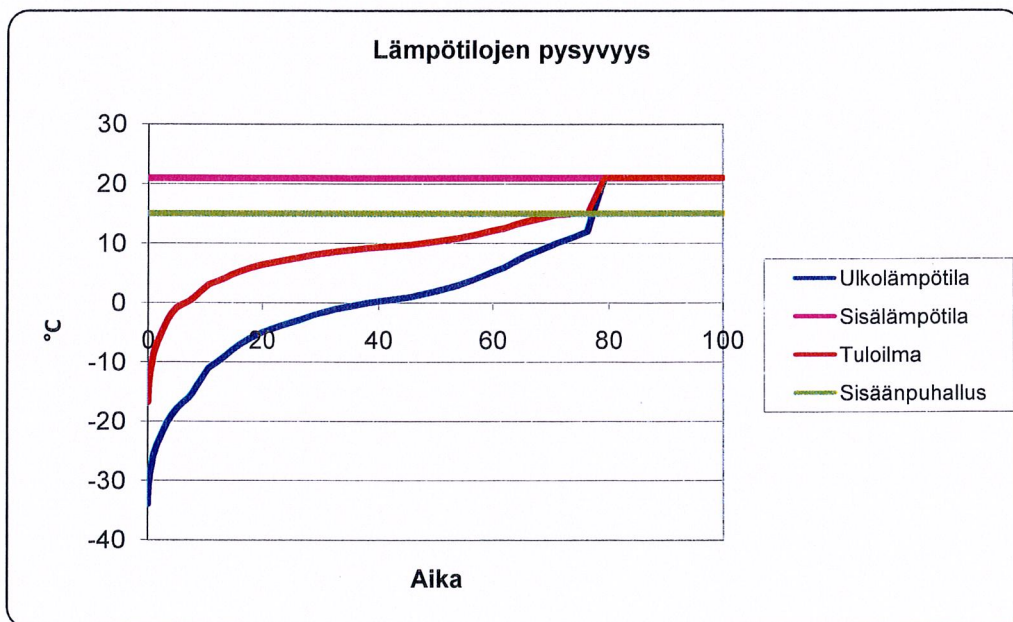
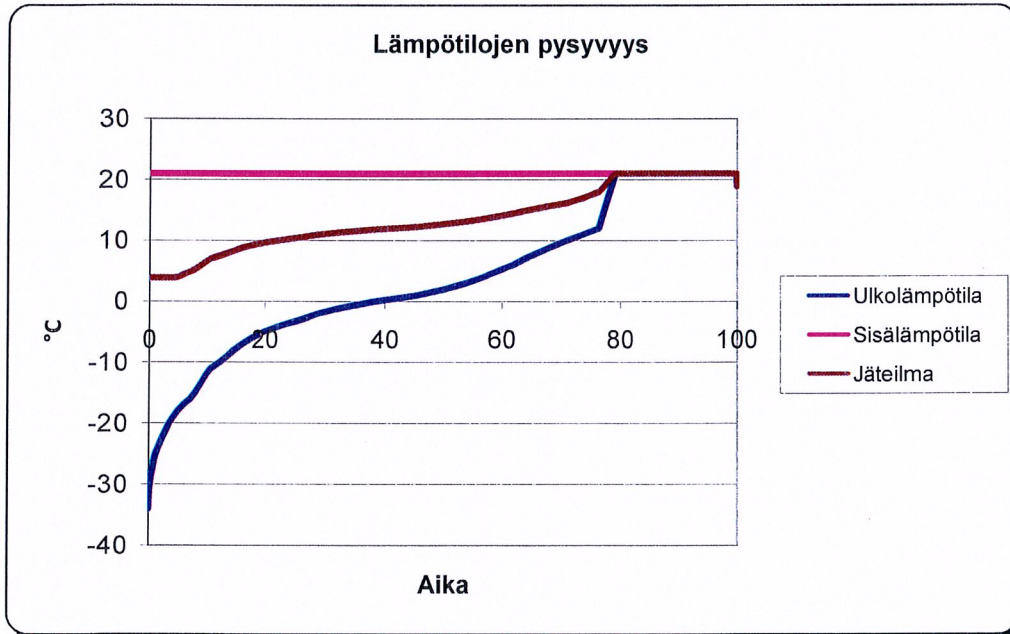
Tulokset:	Jyväskylä		
LTO:n tuloilman vuosihyötysuhde	59,4	%	Perinteinen hyötysuhde
LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde	47,6	%	
Ilmanvaihdon vuosihyötysuhde	42,8	%	Koko rakennuksen ilmanvaihdon hyötysuhde
D2:n kerroin	1,08	-	

Tulokset:	Sodankylä		
LTO:n tuloilman vuosihyötysuhde	56,0	%	Perinteinen hyötysuhde
LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde	46,6	%	
Ilmanvaihdon vuosihyötysuhde	42,0	%	Koko rakennuksen ilmanvaihdon hyötysuhde
D2:n kerroin	1,06	-	

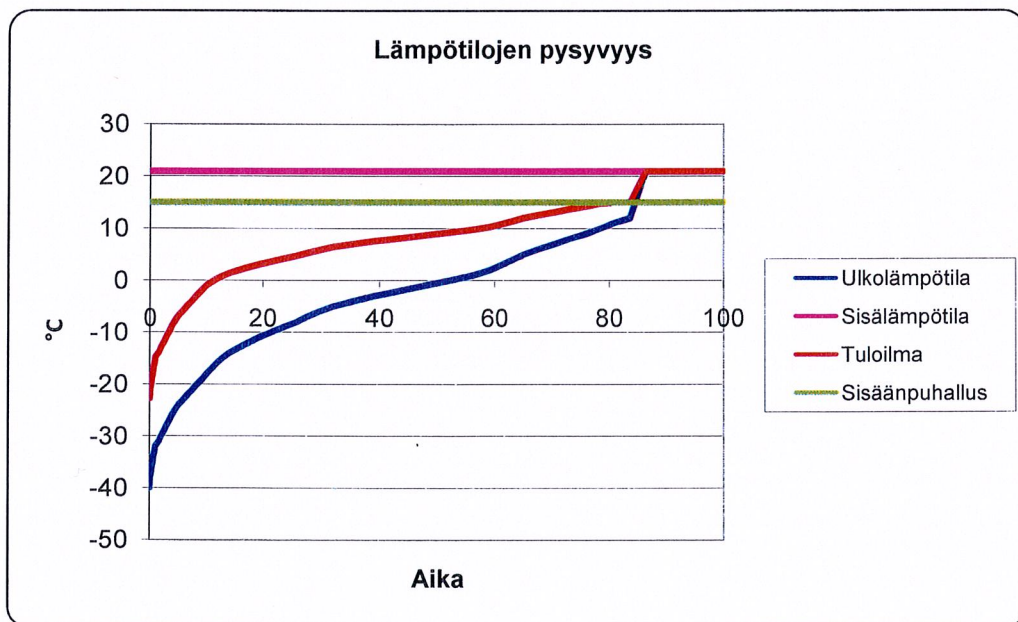
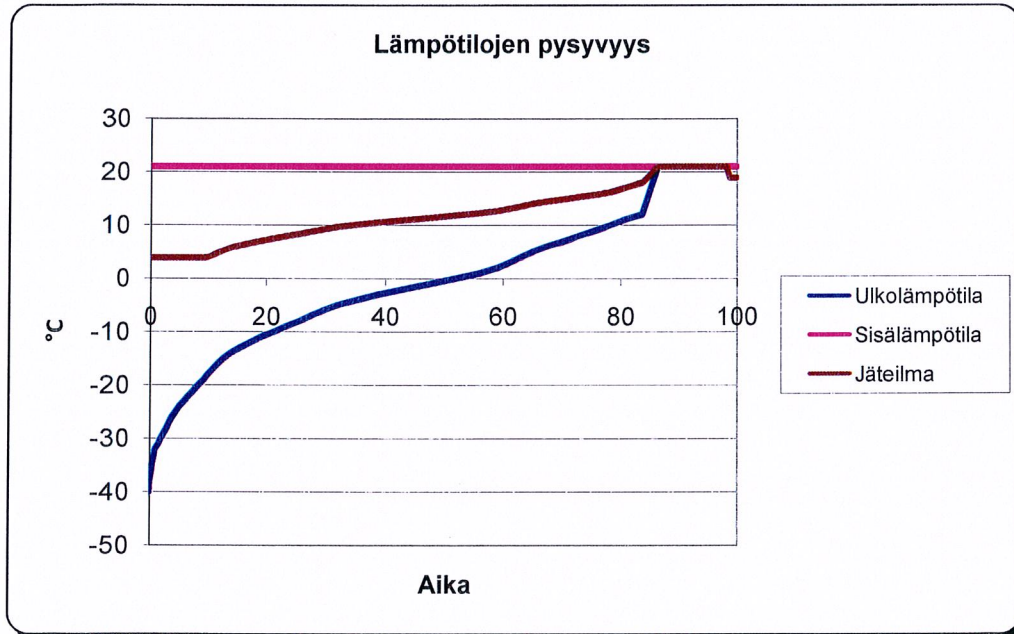
Kuvaajat (Helsinki):



Kuvaajat (Jyväskylä):



Kuvaajat (Sodankylä):



# Lämpökuormien laskentataulukko

Lopputyö 25.11.2011

## Lämpökuormat

Valaistus	15 W/m <sup>2</sup>	
Ihmiset	70 W/henkilö	laitteet
Ihmiset/os	10 henkilöä	päällä
24 h / 7 pv	8760 h	7300 h
12 h / 5 pv	3120 h	2600 h
12 h / 5 pv	3120 h	
24 h / 2 pv	2520 h	

Lämmönsiirto järjestelmään G3 AHU1

Pinta-alat:

Valaistus:

Laitekuormat:

Henkilöt

Vaipan läpi

U-arvo 0,3 lämpöt.ero lisäkerroin muuntok. 4 2 1000

G3 AHU4.1	0,001	0,859	G3 AHU3.	106	m <sup>2</sup>
G3 AHU2	0,11	0,86	G3 AHU4	187	m <sup>2</sup>
G3 AHU3	0,37	0,63	G3 AHU5	359	m <sup>2</sup>
			G3 AHU7	206	m <sup>2</sup>

1,59	kW	8	kW	0,7	kW	0,3	kW
2,81	kW	23,3	kW	0,7	kW	0,4	kW
5,39	kW	11	kW	0,7	kW	0,9	kW
3,09	kW	10	kW	0,7	kW	0,5	kW

Puhallinmoottori tehot	tuloilma [kW]	poistoilma [kW]
G3 AHU4.1 1/1-teho perustilanne	3,6	0,52
G3 AHU4.1 1/2-teho perustilanne	0,45	0,07
G3 AHU4.1 20% ylikapasiteetti	5,83	0,85
G3 AHU4.2 1/1-teho perustilanne	3,19	
G3 AHU4.2 1/2-teho perustilanne	0,4	
G3 AHU4.2 20% ylikapasiteetti	5,54	
G3 AHU2 1/1-teho perustilanne	4,38	1,16
G3 AHU2 1/2-teho perustilanne	0,55	0,14
G3 AHU2 20% ylikapasiteetti	7,08	1,8
G3 AHU3 1/1-teho perustilanne	2,09	0,93
G3 AHU3 1/2-teho perustilanne	0,26	0,12
G3 AHU3 20% ylikapasiteetti	3,39	1,51
G3 AHU1 1/1-teho perustilanne	5,51	2,17
G3 AHU1 1/2-teho perustilanne	0,69	0,27
G3 AHU1 20% ylikapasiteetti	8,73	3,63

## Hyödynnettävät lämpökuormat

	ihmiset [kWh] 24 h / 7 pv	ihmiset [kWh] 12 h / 5 pv	valaistus [kWh] 24 h / 7 pv	valaistus [kWh] 12 h / 5 pv	laitteet [kWh] 24 h / 7 pv	laitteet [kWh] 12 h / 5 pv	puh.moott. [kWh] 24 h / 7 pv	puh.moott. [kWh] 12 h / 5 pv	puh.moott. [kWh] 12 h / 5 pv	puh.moott. [kWh] 24 h / 2 pv	vaipan l. [kWh] 24 h / 7 pv	vaipan l. [kWh] 12 h / 5 pv	vaipan l. [kWh] 12 h / 5 pv	vaipan l. [kWh] 24 h / 2 pv
G3 AHU4.1 1/1-teho perustilanne	5267	1876	11964	4261	50166	17867	31002	11042			1914	682		
G3 AHU4.1 1/2-teho perustilanne									1394	1126			682	551
G3 AHU4.1 20% ylikapasiteetti	5267	1876	11964	4261	50166	17867	50266	17903			1914			
G3 AHU4.2 1/1-teho perustilanne							27944	9953						
G3 AHU4.2 1/2-teho perustilanne									1248	1008				
G3 AHU4.2 20% ylikapasiteetti							48530							
G3 AHU2 1/1-teho perustilanne	5274	1878	21132	7526	146277	52099	41736	14865			3381	1204		
G3 AHU2 1/2-teho perustilanne									1851	1495			1204	973
G3 AHU2 20% ylikapasiteetti	5274	1878	21132	7526	146277	52099	66898				3381			
G3 AHU3 1/1-teho perustilanne	3863	1376	29719	10585	50589	18018	16667	5936			4755	1694		
G3 AHU3 1/2-teho perustilanne									747	603			1694	1368
G3 AHU3 20% ylikapasiteetti	3863	1376	29719	10585	50589	18018	27042				4755			
G3 AHU1 1/1-teho perustilanne	9081	3235	47239	16825	121479	43267	63430	22592			7558	2692		
G3 AHU1 1/2-teho perustilanne									2830	2286			2692	2174
G3 AHU1 20% ylikapasiteetti	9081	3235	47239	16825	121479	43267	104695				7558			

Lämpökuormat G3 AHU4.1	ihmiset [kWh]	laitteet [kWh]
G3 AHU3.1 1/1-teho perustilanne 24 h / 7 pv 8760 h	5267	95047
G3 AHU3.1 1/1-teho 20% ylik. 24 h / 7 pv 8760 h	5267	114310
G3 AHU3.1 1/1-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h	1876	33852
G3 AHU3.1 1/2-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h		2075
G3 AHU3.1 1/2-teho perustilanne 24 h / 2 pv 2520 h		1676

Lämpökuormat G3 AHU4.2	ihmiset [kWh]	laitteet [kWh]
G3 AHU3.2 1/1-teho perustilanne 24 h / 7 pv 8760 h		27944
G3 AHU3.2 1/1-teho 20% ylik. 24 h / 7 pv 8760 h		48530
G3 AHU3.2 1/1-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h		9953
G3 AHU3.2 1/2-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h		1248
G3 AHU3.2 1/2-teho perustilanne 24 h / 2 pv 2520 h		1008

Lämpökuormat G3 AHU2	ihmiset [kWh]	laitteet [kWh]
G3 AHU4 1/1-teho perustilanne 24 h / 7 pv 8760 h	5274	212526
G3 AHU4 1/1-teho 20% ylik. 24 h / 7 pv 8760 h	5274	237689
G3 AHU4 1/1-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h	1376	35743
G3 AHU4 1/2-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h		3056
G3 AHU 1/2-teho perustilanne 24 h / 2 pv 2520 h		2468

Lämpökuormat G3 AHU3	ihmiset [kWh]	laitteet [kWh]
G3 AHU5 1/1-teho perustilanne 24 h / 7 pv 8760 h	3863	101730
G3 AHU5 1/1-teho 20% ylik. 24 h / 7 pv 8760 h	3863	112105
G3 AHU5 1/1-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h	1376	36232
G3 AHU5 1/2-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h		2440
G3 AHU5 1/2-teho perustilanne 24 h / 2 pv 2520 h		1971

Lämpökuormat G3 AHU1	ihmiset [kWh]	laitteet [kWh]
G3 AHU7 1/1-teho perustilanne 24 h / 7 pv 8760 h	9081	239707
G3 AHU7 1/1-teho 20% ylik. 24 h / 7 pv 8760 h	9081	280972
G3 AHU7 1/1-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h	3235	85375
G3 AHU7 1/2-teho perustilanne 12 h / 5 pv 3120 h		5522
G3 AHU7 1/2-teho perustilanne 24 h / 2 pv 2520 h		4460



# Ilmastointijärjestelmien lämpöenergiankulutus laskentataulukot

Loppuraportti Merku Mäkinen

10.11.2011

Lämmitysenergian tarve ilmastointijärjestelmällä DS AHU7		Perustilanteessa perustilanteessa		24 h/d, yö 5/7 d		12 h/d, päivä 5/7 d		12 h/d, yö 5/7 d		12 h/d, päivä 5/7 d		12 h/d, yö 5/7 d		Ilm		Ilman tiheys		kg/m³		
Säävyötyökoje SRMK:n osan DS ilmeen 1 mukaan		Perustilanteessa perustilanteessa		24 h/d, yö 5/7 d		12 h/d, päivä 5/7 d		12 h/d, yö 5/7 d		12 h/d, päivä 5/7 d		12 h/d, yö 5/7 d		Ilm		Ilman tiheys		kg/m³		
LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		LTO:n kautta kulleva lämmitys 20% viikapaistella		
4,53	m³/y	5,493	1824	2099	730	840	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
5,4	m³/y	6,519	2165	2491	866	996	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
6,53	m³/y	8,40	2911	3245	1133	1294	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
5,08	m³/y	6,133	2087	2344	835	937	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
5,93	m³/y	7,159	2378	2736	951	1094	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
5,08	m³/y	6,133	2087	2344	835	937	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
5,93	m³/y	7,159	2378	2736	951	1094	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
2,92	m³/y	3,525	1171	1347	468	539	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
3,504	m³/y	4,230	1405	1616	562	647	1,2	1006	W/m²K	1	1	0,31429	0,25971	1	1	0,93	1,07	0,46	0,16	
21	°C	15	°C	3525	1171	1347	468	539	1,2	1006	W/m²K	1	1	1,2	1006	W/m²K	1	1	1,2	1006
18	°C	12	°C	4230	1405	1616	562	647	1,2	1006	W/m²K	1	1	1,2	1006	W/m²K	1	1	1,2	1006
12	°C	3	°C	4230	1405	1616	562	647	1,2	1006	W/m²K	1	1	1,2	1006	W/m²K	1	1	1,2	1006
3	°C	1000	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	Wh/m²	SRMK DS lauluko 8.9																		
160	Wh/m²																			
0																				

11,5 #VALUE!  
12 #VALUE!







# Ilmastointijärjestelmien lämpöenergiankulutus laskentataulukot

Logon Oy Markku Mäkinen

20.11.2011

Lämpöenergian tarve ilmastointijärjestelmälle G3 AHU7  
Säilytyksen osan DS liitteen 1 mukaan

Perustilanteessa perustilanteessa

24 h/6, 177 °C 12 h/6, päivä 5/7 d 12 h/6, yö 5/7 d 12 h/6, päivä 2/7 d 12 h/6, yö 2/7 d

Perustilanteessa perustilanteessa		24 h/6, 177 °C	12 h/6, päivä 5/7 d	12 h/6, yö 5/7 d	12 h/6, päivä 2/7 d	12 h/6, yö 2/7 d	Ilm		Ilman tiheys		Ilman ominaislämpö		IV:n keskim. vikon käyntilämpötila		IV:n keskim. vikon käyntilämpötila		muutoksesta vikon käyntilämpötila		muutoksesta vikon käyntilämpötila		LTO:n laskettu poistilman vuosiyhteyshde		alopohjan U-arvo		alopohjan pite-ala		alopohjan H <sub>av</sub>		Jäähdytyslaitteen laskettu LTO:n tuotto		henkilöiden laskettu lämpökuorma		tilojen yhteinen laskettu lämpökuorma							
kuukausi	kuukauden tunnit	keskim. ulkolämpötila	huoneilmpötila	ilman lämpötilaero	alopohjan lämpötila	alop. ja sisäl. lämpötilaero	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	IV:n lämpötila	IV:n LTO:n energia	IV:n lämpötila	IV:n lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila	alopohjan lämpötila					
1	720	10,8	21	10,2	5,2125	15,7875	318	8016	3848	4169	3921	878	13,84	0	0	5126	171	248	0,64492359	0,0384	2,0410	1,04300	0,97210	1,00000	166	4960	182	4124	3433	175	1999	1674	2072	1657	2001	3030	3355	4400	183	17981
2	720	16	21	5	5,2125	15,7875	375	1314	0	1314	153	2,25	0	0	1841	183	511	0,31286383	0,0995	2,0209	1,02086	0,91378	1,00000	167	1674	175	2072	1657	2001	3030	3355	4400	183	17981						
3	720	14,7	21	6,3	7,2125	13,7875	338	1710	199	1909	330	3,30	2,28	0	0	2248	189	480	0,33367329	0,0543	2,0222	1,02224	0,92647	1,00000	175	2072	1657	2001	3030	3355	4400	183	17981							
4	720	14,2	21	6,8	8,2125	12,7875	314	1357	0	1357	158	2,25	0	0	1829	189	492	0,33545925	0,1036	2,0217	1,02169	0,91072	1,00000	172	1657	175	2072	1657	2001	3030	3355	4400	183	17981						
5	720	9,69	21	11,31	9,2125	11,7875	280	2971	1426	1545	346	8,31	5,09	0	0	2171	183	267	0,600174274	0,0844	2,0400	1,04001	0,92592	1,00000	170	2001	180	3030	3355	4400	183	17981								
6	720	3,95	21	17,05	10,2125	10,7875	265	4629	2222	2407	539	7,67	7,67	0	0	3211	189	253	0,632182654	0,0590	2,0421	1,04215	0,91028	1,00000	180	3030	3355	4400	183	17981										
7	720	1,42	21	19,58	10,2125	10,7875	256	5144	2469	2675	599	8,81	8,81	0	0	3930	189	290	0,63885728	0,0519	2,0418	1,04180	0,91650	1,00000	175	2072	1657	2001	3030	3355	4400	183	17981							
8	720	-3,85	21	24,85	9,2125	11,7875	289	6766	3281	3508	766	11,88	11,88	0	0	4583	189	248	0,645494101	0,0413	2,0410	1,04103	0,96540	1,00000	183	4400	183	4400	183	4400	183	4400	183	4400	183	4400				
9	8760	4,2125	21	16,7875	7,2125	13,7875	2978	5197	3325	3361	630	13,79	7,55	0	0	4004	2236	117	0,9482	0,0645	2,021	1,0211	0,94	1,000	1107	17981														

11,5  
12

RVALUE  
RVALUE



# Ilmastointijärjestelmien jäädytysergiankulutus laskentataulukot

Markku Mäkinen  
Lopputyö 26.11.2011  
Säävyöhyke I

## Jäädytysenergian tarve ilmastointijärjestelmälle G3 AHU1 eri käyttötilanteissa

Laskenta suoritetaan kirjan: Lilja, Gunnar. 1981, Luftbehandling 2. Malmö, Ruotsi: LiberHermodus s.429 "Energibehov för kylning" mukaan  
Laskentaa tukevat SRMK:n osan D5 2007 Liitteen 1 taulukon 1.1.1 mukaiset lämpötilan pysyvyysskäyriin piirretyt jäädytystarpeet

Pysyvyysskäyrään piirretyt pisteet perustuvat Ilmatieteenlaitoksen kesällä 2011 luovuttamiin pitkäaikaisiin (40 v.) mittaukseen SRMK:n osan D5 liitteen 1 mukaisilta säämittausasemilta

Ulkoilman lämpötila	25	°C	90611 kWh	jos laitos käy 1/1-teholla 9-21 vuoden ympäri
Tuloilman jäädytyslämpötila	11	°C	0,688 %	ja energiaa kuluu tämä prosenttiosuus verrattuna 24/24 h käyttöön
Ulkoilman lämpötilan pysyvyys	8678	h alle mitoituslämpötilan	41084 kWh	jos laitos käy 1/1-teholla 21-9 vuoden ympäri eli
Ulkoilman lämpötilan pysyvyys jakaja	6035	h alle tuloilman jäädytyslämpötilan	31,20 %	prosenttia kokonaistarpeesta <b>0,311966</b> eli tämä on korjauskerron yökäytölle
tiheys	1,2	kg/m <sup>3</sup>		

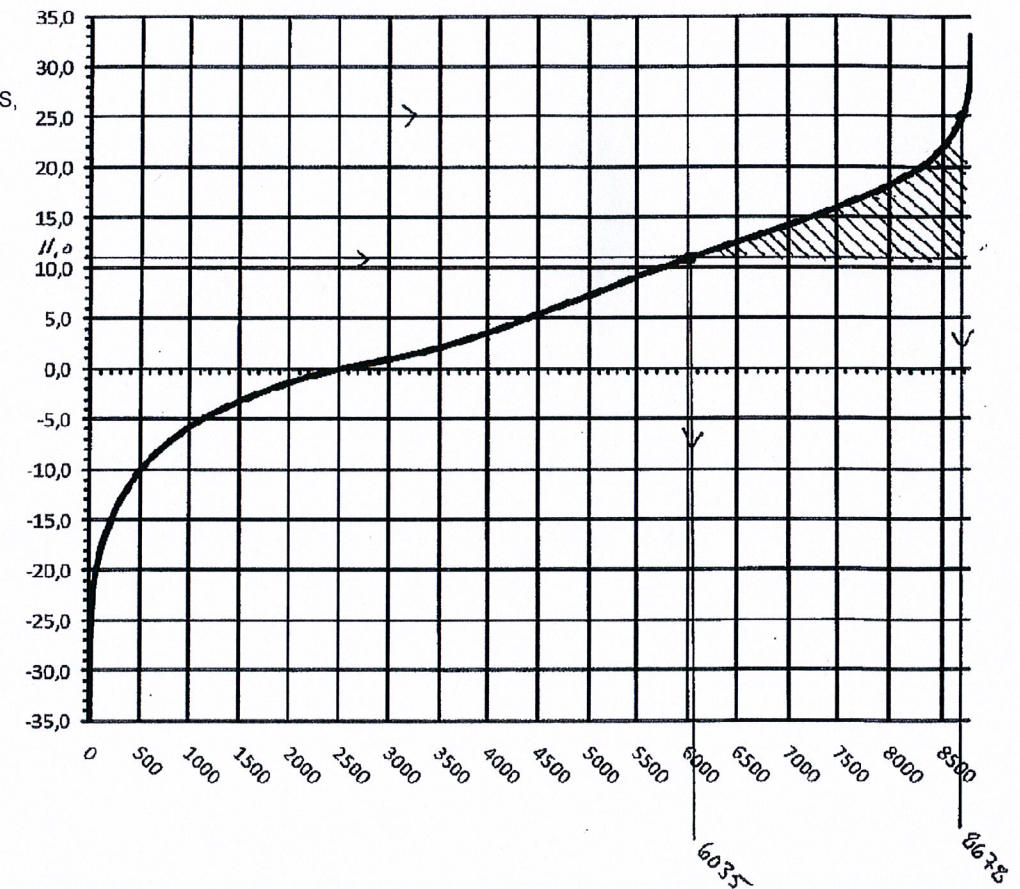
H<sub>jäädytys</sub> = **18501** kJ\*<sup>3</sup>/kg vuodessa, kun laitos käy 24/24 h 7/7d ympärivuotisesti  
H<sub>jäädytys</sub> = **12951** kJ\*<sup>3</sup>/kg vuodessa, kun laitos käy 12/24 h (9-21) 7/7d ympärivuotisesti

Faasimuutoksen aiheuttama energian tarpeen lisäys taulukkokirjan: Andersson, Matsson, Gehlin. VVS Tabeller & Diagram kapitel: Meteorologi och klimatologi. Tukholma, Ruotsi: Förlags AB VVS, on 17% **1,17** kun laitos käy 24/24h 7/7 d ympärivuotisesti ja 15% **1,15** kun laitos käy 12/24h (9-21) 7/7 d ympärivuotisesti korjauskerron 12/24 h käytölle **0,7** VVS 2000 Tabeller & Diagram taulukoiden 8:8 sivut 62 ja 63 välinen interpolaatio korjauskerron 12/24 h (9-21+21-9) 5/7 d käytölle **0,712329** 1/1-teholla ja 1/2-teholla, ks. periaate interpolaatiosta Gunnar Liljan kirja s.418, interpolaatio tehty 9-21 taulukkoon korjauskerron 24/24 h 2/7 d **0,287671** 1/2-teholla, ks. periaate interpolaatiosta Gunnar Liljan kirja s.419, interpolaatio tehty 24/24 h taulukkoon

H<sub>jäädytys</sub> = **21646** kJ\*<sup>3</sup>/kg vuodessa 24/24 h 7/7 d ympärivuotisesti  
H<sub>jäädytys</sub> = **14893** kJ\*<sup>3</sup>/kg vuodessa 12/24 h (9-21) 7/7 d ympärivuotisesti

Vuotuinen jäädytysenergian tarve kWh					
Perustilanteen 1/1 - tehon ilmamäärällä:	<b>5,07</b>	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>131695</b>	kWh	ilman aikaohjausta
Perustilanteen 1/1 - tehon ilmamäärällä:	<b>5,07</b>	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>64545</b>	kWh	12/24 h (9-21) 5/7 d ympärivuotisesti
Perustilanteen 1/2 - tehon ilmamäärällä:	<b>2,535</b>	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>10068</b>	kWh	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>18942</b> kWh <b>93555</b> kWh aikaohjauksella
20% ylikapasiteetin 1/1 - tehon ilmamäärällä:	<b>5,91</b>	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>153515</b>	kWh	ilman aikaohjausta
20% ylikapasiteetin 1/1 - tehon ilmamäärällä:	<b>5,91</b>	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>75239</b>	kWh	12/24 h (9-21) 5/7 d ympärivuotisesti
20% ylikapasiteetin 1/2 - tehon ilmamäärällä:	<b>2,955</b>	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>11736</b>	kWh	Q <sub>jäädytys</sub> = <b>22081</b> kWh <b>109055</b> kWh aikaohjauksella

Lämpötilan pysyvyys Helsinki-Vantaa











# Ilmastointijärjestelmän G3 AHU1 kostutusergian laskentataulukko

Markku Mäkinen  
Lopputyö 26.11.2011  
Säävyöhyke I

## Kostutusenergian tarve ilmastointijärjestelmälle G3 AHU1 eri käyttötilanteissa

Laskenta suoritetaan kirjan: Lilja, Gunnar. 1981, Luftbehandling 2. Malmö, Ruotsi: LiberHermodus s.435 "Vattenförbrukning i fuktaren" mukaan  
Laskentaa tukevat SRMK:n osan D5 2007 Liitteen 1 taulukon 1.1.1 mukaiset ominaiskosteuden pysyvyyskäyriin piirretyt kostutustarpeet  
Pysyvyyskäyrään piirretyt pisteet perustuvat Ilmatieteenlaitoksen kesällä 2011 luovuttamiin pitkäaikaisiin (40 v.) mittauksietoihin SRMK:n osan D5 liitteen 1 mukaisilta säämittausasemilta

Huoneilman lämpötila	21	°C	
Huoneilman RH	50	%	
Huoneilman lämpösisältö	41	kJ/kg	
Huoneilman ominaiskosteus	7,82	g/kg k.i.	
jakaja	2		
muuntokerroin	3600	muuttaa sekunnit tunniksi	
jakaja	1000000	muuttaa grammat kuutioiksi	10 <sup>6</sup>
tiheys	1,2	kg/m <sup>3</sup>	
Ominaiskosteuden pysyvyys	7281	h/a	
0-tason ominaiskosteus	0,5	g/kg k.i.	
Muuntokerroin	1000	1 m <sup>3</sup> vettä on 1000 l ja se painaa 1000 kg	
Höyryn 8 bar kokonaislämpö	0,77	kWh/kg	
Grammatunnit=	26648	gh	vuodessa, kun laitos käy 24/24 h 7/7d ympärivuotisesti

Vuotuinen kostutusveden tarve m <sup>3</sup> /a					
Perustilanteen 1/1 - tehon ilmamäärällä:	5,07	m <sup>3</sup> /s	q <sub>m</sub> kostutus	584	m <sup>3</sup> /a ilman aikaohjausta
Perustilanteen 1/1 - tehon ilmamäärällä:	5,07	m <sup>3</sup> /s	q <sub>m</sub> kostutus	208	m <sup>3</sup> /a 12/24 h (9-21) 5/7 d ympärivuotisesti
Perustilanteen 1/2 - tehon ilmamäärällä:	2,535	m <sup>3</sup> /s	q <sub>m</sub> kostutus	104	m <sup>3</sup> /a q <sub>m</sub> kostutus 83 m <sup>3</sup> /a
20% ylikapasiteetin 1/1 - tehon ilmamäärällä:	5,91	m <sup>3</sup> /s	q <sub>m</sub> kostutus	680	m <sup>3</sup> /a ilman aikaohjausta
20% ylikapasiteetin 1/1 - tehon ilmamäärällä:	5,91	m <sup>3</sup> /s	q <sub>m</sub> kostutus	243	m <sup>3</sup> /a 12/24 h (9-21) 5/7 d ympärivuotisesti
20% ylikapasiteetin 1/2 - tehon ilmamäärällä:	2,955	m <sup>3</sup> /s	q <sub>m</sub> kostutus	121	m <sup>3</sup> /a q <sub>m</sub> kostutus 97 m <sup>3</sup> /a

Veden tarve kg/a		Energiantarve kWh kun vesi muutetaan 8 bar:n höyryksi
Perustilanne ilman aikaohjausta	583665	kg/a
Perustilanne aikaohjauksella	396059	kg/a
20% ylikapasiteetilla ilman aikaohjausta	680367	kg/a
20% ylikapasiteetilla aikaohjauksella	461678	kg/a

Ominaiskosteuden pysyvyys  
Helsinki-Vantaa

