

# MAJOITUSRAKENNUKSIEN ILMANVAIHTOSELVITYS

Sieppi Juho

Opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri

VUOSI 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri AMK

---

<b>Tekijä</b>	Juho Sieppi	<b>Vuosi</b>	2020
<b>Ohjaaja</b>	Maria Tikka		
<b>Toimeksiantaja</b>	Puolustushallinnon rakennuslaitos		
<b>Työn nimi</b>	Majoitusrakennuksien ilmanvaihtoselvitys		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	36 + 11		

---

Opinnäytetyössä selvitettiin kahden majoitusrakennuksen ilmanvaihdon toimivuutta majoituskäytössä. Ilmanvaihdon toimivuutta tutkittiin vertailemalla jo kumottujen ja voimassa olevien ympäristöministeriön asettamien rakennusmääräyskokoelmien D2 osioiden pohjalta. Majoitusrakennuksien rakennusaikaiset määräykset eivät täytä nykyvaatimuksia tilojen ollessa majoituskäytössä.

Opinnäytetyössä rakennuksien ilmanvaihto mitoitetaan kumotun rakennusaikaisen määräyksen ja voimassa olevan määräyksen mukaan. Mitoituksesta saatujen tietojen perusteella arvioitiin ilmanvaihdon aiheuttamaa energiankulutusta ja miten mitoitus tulisi vaikuttamaan rakennuksen sisäilmaan ja majoituskapasiteettiin. Työn teoriaosiossa käsitellään ilmanvaihdon vaikutuksesta sisäilmastoon ja yleisiä ilmanvaihdon mitoitusperusteita.

Kokonaisuutena työn tavoitteena oli nostaa majoitusrakennuksien sisäilman laatua kustannus- ja energiatehokkaasti nykypäivän tasolle. Työn avulla majoitusrakennuksien ilmanvaihdosta saa hyvän kokonaiskuvan. Ilmanvaihdosta johtuvat sisäilmaongelmat selvisivät ja sisäilmanlaatu majoitusrakennuksissa nousi nykypäivän hyvälle tasolle.

Avainsanat

majoitusrakennus, rakennusmääräys, ilmanvaihto, sisäilma

Degree Programme in Civil Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Juho Sieppi	<b>Year</b>	2020
<b>Supervisor</b>	Maria Tikka		
<b>Commissioned by</b>	Construction Establishment of Finnish Defence Administration		
<b>Subject of thesis</b>	Survey of Ventilation in Accommodations		
<b>Number of pages</b>	36 + 11		

---

In this thesis the objective was to improve the indoor air quality in accommodations. The indoor ventilation in accommodations does not meet the regulations of the National Building Codes of Finland. The thesis was commissioned by the Construction Establishment of Finnish Defence Administration and is part of their ongoing development work.

The source materials consisted of the building code decree D2: Indoor climate and ventilation of buildings. In addition, the data was gathered from a ventilation literature. The theory section of the thesis discussed various ventilation systems in accommodations. The indoor ventilation of the accommodation buildings was dimensioned according to the valid National Building Codes. In Addition, an estimate about the need of the investment was made.

The goals set for this thesis were achieved. Based on the ventilation study, the indoor air quality is improved in the accommodations. The study showed that not all the indoor air problems in accommodations can be eliminated with ventilation and that further research is needed.

**Key words** accommodation, building code, ventilation, indoor air

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 SISÄILMASTO .....	8
2.1 Sisäilma .....	9
2.2 Lämpöolot ja ilman virtausnopeus .....	10
2.3 Ilmansuodatus .....	11
3 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT MAJOITUSRAKENNUKSIIN .....	12
3.1 Painovoimainen ilmanvaihto .....	12
3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto .....	14
3.3 Tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmä .....	16
4 RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA OSA D2 VUOSILTA 1976-2017 .....	18
5 MAJOITUSTILOJEN ILMANVAIHDON SELVITYS .....	22
5.1 Majoitusrakennus 1 .....	23
5.1.1 Ilmamäärämitoitus D2 1987 .....	23
5.1.2 Ilmamäärämitoitus D2 2017 .....	24
5.2 Majoitusrakennus 2 .....	25
5.2.1 Ilmamäärä mitoitus D2 1978 .....	26
5.2.2 Ilmamäärä mitoitus D2 2017 .....	26
5.3 Hiilidioksidin tuottoon perustuva ilmanvaihdon mitoitus .....	27
5.4 Majoitusrakennuksien kokonaisenergiakulutus .....	29
6 TULOKSET .....	31
7 POHDINTA .....	33
LÄHTEET .....	34

## ALKUSANAT

Opinnäytetyöstä haluan kiittää toimeksiantajaa Puolustushallinnon rakennuslaitosta. Rakennuslaitos tarjosi mielenkiintoisen aiheen kesällä 2019 ja antoi hyvät edellytykset opinnäytetyön toteutusta varten. Lisäksi kiitos kuuluu myös opinnäytetyön ohjaajalle Maria Tikalle.

Rovaniemellä 24.4.2020

Juho Sieppi

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ODA	Ulkoilmanlaadun määrittäminen
q50	Ilmanvuotoluku
SUP	Tuloilman laatuluokitus
SFS	Strandardisoimisjärjestö

## 1 JOHDANTO

Rakennuksien hyvän sisäilmaston ja Ilmanvaihdon merkitys on korostunut viime vuosien aikana merkittävästi niin pienissä rakennuksissa kuin myös suuremmissa kiinteistöissä. Erityisesti sisäilmaongelmat ovat lisääntyneet ja aiheuttaneet suuria toimenpiteitä valtakunnallisesti. Kouluissa ja työpaikoilla sisäilmanlaatua ja ilmanvaihdon riittävyttä on alettu seuraamaan entistä tarkemmin. Nykypäivän rakentamisessa keskitytään jo rakennusvaiheessa sisäilmaan ja ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon tarkoituksena on tuottaa rakennuksiin terveellistä ja viihtyisää ilmaa niin, että sisäilman epäpuhtauspitoisuudet olisivat hallinnassa (Sepänen ym. 2017, 5).

Rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttaa useat asiat ja ilmanvaihto on yksi niistä. Suurin osa rakennuksen lämmöstä poistuu ilmanvaihdosta ja lämmöntalteenotolla on suuri vaikutus energiatehokkuuteen. Vanhoissa rakennuksissa ilmanvaihto on toteutettu pääsääntöisesti painovoimaisesti, joten lämmöntalteenottoa ei ole otettu huomioon.

Aiheen opinnäytetyöhön sain Puolustushallinnon rakennuslaitokselta kesällä 2019. Työssä selvitetään kahden majoitusrakennuksen ilmanvaihdon toimivuutta majoituskäytössä, sisäilman laatua sekä vertaillaan rakennuksien ilmanvaihdon rakennusaikaisia määräyksiä ja asetuksia. Opinnäytetyö oli osa laajaa selvitystä, jossa tutkittiin majoitusalueen rakennusten ilmanvaihdon toimivuutta majoituskäytössä.

Puolustushallinnon rakennuslaitos on kartoittanut rakennuksien sisäilmaongelmia ja alkanut tekemään toimenpiteitä rakennuksien sisäilman parantamiseksi. Puolustushallinnon rakennuslaitos on kunnostamassa arvion mukaan noin 90 miljoonalla eurolla kiinteistöjä. (Rotonen 2019)

## 2 SISÄILMASTO

Ihminen viettää suuremman osan ajasta sisätiloissa ja käyttää vuorokaudessa hengittämiseen 15-20 m<sup>3</sup> sisäilmaa. Ihmisen terveyteen sisäilmalla on siis suuri vaikutus. Ilmanvaihdon tehtävänä on luoda terveellinen ja turvallinen sisäilmasto normaaleissa sääoloissa sekä tilojen käyttötilanteissa. Työpaikoilla yleistyneet sisäilmasta johtuvat oireilut ovat johtaneet työntehon laskuun, poissaoloihin sekä suurin työterveyskuluihin (Sandberg 2014, 56). Huono sisäilmasto aiheuttaa Suomessa merkittäviä taloudellisia kustannuksia. Arvioiden mukaan kustannukset ovat noin 1 miljardia euroa vuodessa (Sandberg 2014, 56). Hyvällä sisäilmalla saavutetaan siis merkittäviä kansantaloudellisia säästöjä.

Majoitusrakennuksille sisäilmastotavoitteita asetettaessa on apuna hyvä käyttää sisäilmastoluokitusta 2018. Sisäilmastoluokituksessa 2018 annetaan sisäympäristölle tavoitearvot, suunnittelun ohjausta ja tuotevaatimukset. Sisäilmastoluokitus 2018 ohjeessa uudisrakennuksissa sisäilmastoon vaikutetaan merkittävästi jo suunnittelu ja rakennusvaiheessa. Saneeraus kohteissa sisäilmasto määritellään lähtötietojen ja halutun sisäilman tason mukaan. Sisäilmastoluokat jaetaan kolmeen eri laatuluokkaa: S1, S2 ja S3.

Sisäilmastoluokka S1 sanotaan olevan hyvin yksilöllinen. Sisäilman laatu on erittäin laadukasta ja ilmassa ei esiinny hajuja, Rakennuksen rakenteissa tai tiloissa ei ole sisäilman laatuun vaikuttavia epäpuhtauslähteitä sekä huonelämpötilat ovat säädettävissä haluttuun lämpötilaan.

Hyvää sisäilmastoa kuvaa S2-luokkaa. Sisäilmalaatu on hyvä ja hajuton, rakennuksen rakenteissa tai tiloissa ei ole epäpuhtauslähteitä, huonelämpötilat ovat hyvät, kuitenkin vedon tunne ja rakennuksen yllämpeneminen kesällä on mahdollista. S3-luokka on tyydyttävä sisäilmastoluokka, joka on rakennusmääräyksien mukainen ja täyttää terveydensuojelulain asettamat ehdot.



## 2.1 Sisäilma

Sisäilmalla tarkoitetaan rakennuksen sisällä olevan huonetilan ilmaa. Sisäilmaan tuodaan ulkoilmaa rakennukseen ilmanvaihtojärjestelmän avulla. Sisäilma sisältää myös epäpuhtauksia, jotka aiheutuvat ihmisestä ja ihmisen aiheuttamista toimista. Epäpuhtautta tuo myös rakennuksen vaipan lävitse kulkeutuva vuotoilma.

Rakennuksen ilmavuotolukuna käytetään nimitystä q50. Ilmanvuotoluku q50 kuvaa rakennuksen vuotoilman määrää suhteessa vaipan pinta-alaan. Vaipan läpi kulkeutuva vuotoilma määrää kuvastaa yleensä vuotoilmaluku. Laskennallinen vuotoilmaluku on uusissa pientaloissa noin  $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  ja vanhoissa rakennuksissa luku on noin  $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . Vanhoissa rakennuksissa ilmanvuotoluku voi olla huomattavasti suurempi kuin laskennallinen vuotoilmaluku. (Vertia 2019)

Ihmisperäiset epäpuhtaudet sisäilmassa on suurimmaksi osaksi ulos hengitettyä hiilidioksidia. Majoitusrakennuksessa nukkuminen ja muusta vietetystä ajasta, ihmisen hiilidioksidin tuotto on merkittävää. Hiilidioksidin määrän kasvu huoneilmassa yleensä kertoo, että ilmanvaihto huoneessa ei ole riittävällä tasolla. Ilmanvaihdon toimiessa oikein huonetilasta saadaan poistettua epäpuhtaudet ja pidettyä hiilidioksidin määrä sallituissa rajoissa (Seppänen 2004, 21).

Majoitusrakennuksen sisäilmanlaadun tavoitearvot otetaan suunnittelussa huomioon, kun tiedetään ihmisperäisen hiilidioksidin aiheuttamat epäpuhtaudet sisäilmaan. Ihmisperäisen hiilidioksidin tavoitearvot on esitetty Taulukossa 1 (Sisäilmastolukitus 2018, 7).

Taulukko 1. Sisäilmastoluokituksen 2018 tavoitearvot

	S1	S2	S3
<b>Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm]</b>	< 350	< 550	< 800
<b>Radonpitoisuus [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	< 100	< 100	< 200
<b>PM2.5 [µg/m<sup>3</sup>]</b>	< 10	< 10	< 25
<b>Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]</b>			
<b>toimi- ja opetustilat</b>	90 %	90 %	
<b>asunnot</b>	90 %	80 %	
*suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus			

## 2.2 Lämpöolot ja ilman virtausnopeus

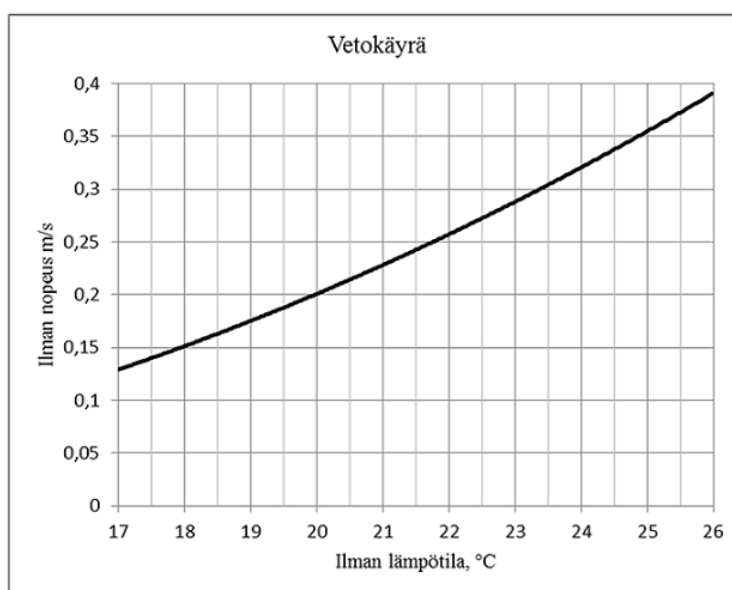
Uusissa rakennuksissa huonelämpötilojen tulee täyttää Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaiset terveydelliset vaatimukset. Asetuksen mukaan huonelämpötilan on oltava miellyttävää suunniteltuna käytön aikana. Lämmityskaudella huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään 21 °C. (Asumisterveysasetus 545/2015) Huonelämpötilan on tärkeä huomioida ilmanvaihdossa. Liian korkea huonelämpötila vaikuttaa ihmisen toimintakykyyn ja viihtyvyyteen.

Rakennuksen huonelämpötilaan ilman kosteudella on suuri vaikutus. Suuret kosteuskuormat on hyvä poistaa sisäilmasta. Liiallinen kosteus sisäilmassa vaikuttaa tilan viihtyisyyteen. Suomessa vuoden ajalla on suuri vaikutus sisäilma kosteuteen, talvella ulkoilma on kuivaa, ja kesällä ulkoilmaa on kostea.

Ilman virtausnopeudella voidaan myös vaikuttaa huonetilan viihtyisyyteen. Vedon tunne syntyy, kun huonelämpötila laskee voimakkaasti. Ihminen tuntee vedon tunteen ihollaan (Taulukko 2). Vedon voimakkuuteen vaikuttaa ilman nopeus ja lämpötila. (Seppänen 1996, 25)

### Taulukko 2. Ilmanvirtausnopeus vetokäyrässä (Asumisterveys asetus 545/ 2015)

Ilman virtausnopeus ei saa ylittää kaavion 1 vetokäyrän virtausnopeutta.



Kaavio 1. Ilman virtausnopeuden enimmäismäärä

### 2.3 Ilmansuodatus

Sisäilman laatuun ulkoilman suodatuksella on suuri vaikutus. Ulkoilmassa on suuria määriä epäpuhtauksia, jotka täytyy poistaa ennen kuin se siirtyy sisäilmaan. Ilmansuodatuksen taso majoitusrakennuksien ilmanvaihdossa tulee olla ulkoilman laadun ja valitun sisäilma tavoitteen mukainen. Sisäilmalle asetettu laatuavoite määrittelee suodattimen valinnan. Suodattimen valintaan vaikuttaa myös seuraavat asiat: rakennuksen ulkoilman laatu, tuloilman laatu ja tuloilman laatuaste niin, että suunniteltu sisäilman laatuavoitteet täyttyvät (Talotekniikkainfo 2019a).

Ulkoilman laadun arvioinnissa käytetään standardin SFS-EN 16798-3:2017 mukaista laatuoluokitusta. Ulkoilma jaetaan kolmeen laatuoluokkaan: ODA 1, ODA2 ja ODA 3. Suomen hyvässä ulkoilman laadussa käytetään yleensä ODA 1 -tason ulkoilmaa (Liite 1). Kaupungeissa käytetään ODA 3 tason ulkoilmaa. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksen mukaan ilmansuodatuksen tulee riittää, kun ulkoilman 24 tunnin hiukkaspitoisuus on raja-arvojen  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10- ja  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2,5. ODA 2 ja 3 -tasoissa on arvioitava ilmasuodatus tai muiden ilmanpuhdistusratkaisuiden käyttämisestä. (Talotekniikkainfo 2019a)

Uudessa asetuksessa tuloilman laatua luokitellaan suodatusluokkien SUP 1–5 mukaan. Haluttu sisäilman laatu määrittelee tuloilman suodatuksen valinnan. Tuloilman suodatusluokkaa SUP 1 käytetään sisäilmaluokituksissa S1 ja S2. SUP 4 luokan tuloilma täyttää asumisterveysasetuksen vaatimat hiukkaspitoisuuden. (Talotekniikkainfo 2019a)

Tuloilman suodatus määräytyy sisäilman laatuasteen, käytettävän ulkoilmavirran ja ulkoilmanlaadun mukaan. Vuonna 2018 voimaan tulevassa uudessa suodatinstandardissa SFS-EN 16890 suodattimet jaetaan suodatinluokkiin: ePM1, ePM2,5, ePM10 ja ISO Coarse. (Talotekniikkainfo 2019a)

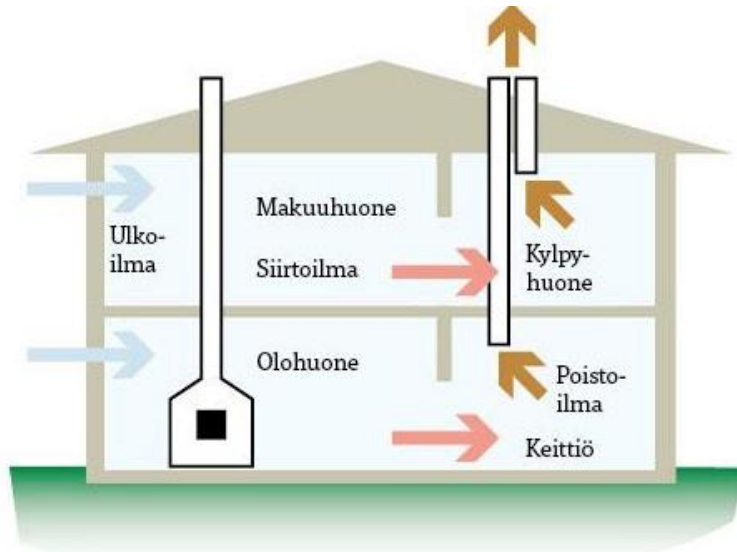
### 3 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT MAJOITUSRAKENNUKSIIN

Majoitusrakennuksissa ilmanvaihtojärjestelmillä turvataan ja ohjataan rakennuksen huonetilojen sisäilman laatua. Ilmanvaihtojärjestelmässä keskeistä on suunnitella järjestelmä rakennuksen alkuperäisen käyttötarkoituksen mukaisesti niin, että normaalissa käyttötilanteessa sisäilma on laadukasta. Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on tuoda rakennuksen suunnitelmien mukaisesti ulkoilmavirtaa ja poistaa sisäilmasta haitallisia epäpuhtauksia, jotka ovat vaaraksi terveydelle (Talotekniikkainfo 2019b).

Rakenteiden läpi kulkeutuva vuotoilma tulisi olla erityisen vähäistä, sillä nykyisessä rakennuskannassa ilmavirrasta johtuvia vaikutuksia ei oteta huomioon. Rakennuksen liika ylipaineisuus voi johtaa rakenteisiin kosteutta ja alipaineessa rakennuksen maaperästä ja rakenteista voi siirtyä sisäilmaan terveydelle haitallisia epäpuhtauksia. (Björkroth, Eskola 2019, 11) Ilmanvaihtoa mitoittaessa tulee myös ottaa huomioon rakennuksen painesuhteet, vaikka paine-eron suunnittelulle ja mittaamiselle ei ole tarkkaa ohjeistusta. Yleensä painesuhteet säädetään ja otetaan huomioon, kun ilmanvaihtoa mitoitetaan.

#### 3.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Asuin- ja majoitusrakennuksissa painovoimaisen ilmavaihdon rakentaminen oli yleistä 1960–1970-luvulla. (Sandberg 2014,114) Nykypäivänä täysin painovoimaisia ilmanvaihtoja rakennetaan melko vähän. Uudiskohteisiin painovoimasta rakennettiin vielä 1990-luvulla rivi- ja pientaloihin (Korkala 2016, 181). Painovoimaisessa ilmavaihdossa ilman virtaus ulos hormia tai kanavaa pitkin perustuu painovoimaan, lämpötilan ja ilmareitin korkeuseroista johtuvaan paine-eroon (kuva 1). Talvella painovoimainen ilmanvaihto toimii paremmin kuin kesällä, koska ilman tiheyserot ovat talvella suuremmat kuin kesällä ja kylmä ilman ollessa tiheämpää. Tuulella on myös huomattava merkitys painovoimaisen ilmavaihdontoitintaan.



Kuva 1. Painovoimainen ilmanvaihto (Hengityслиitto 2020)

Painovoimaista ilmanvaihtoa suunniteltaessa tulee rakennus ajatella yhtenäisenä kokonaisuutena. Järjestelmän muuttaminen koneellisesta painovoimaiseksi on haastavaa ja tätä ei suositella. Muuttuva ulkolämpötilan ja tuulen vaikutus tulee huomioida ulkoilmaventtiileitä valittaessa. Lämmöntalteenottoa ei voi täysin painovoimaiseen ilmanvaihtoon toteuttaa (Kuuluvainen ym. 2018, 1).

Painovoimainen ilmanvaihto sopii rakennuksiin, joissa suunnitellut ilmamäärät ovat pienet, Rakennuksen käyttö on vähäistä ja ilman tarve ei ole jatkuvaa. Painovoimainen ilmanvaihto sopii rakennuksiin, joissa ilman liikkuminen hormoneissa ja ulkoilmareiteissä on hallittua ja suunniteltuja. Rakennuksen sijainti ja rakennuspaikka vaikuttavat myös painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuteen.

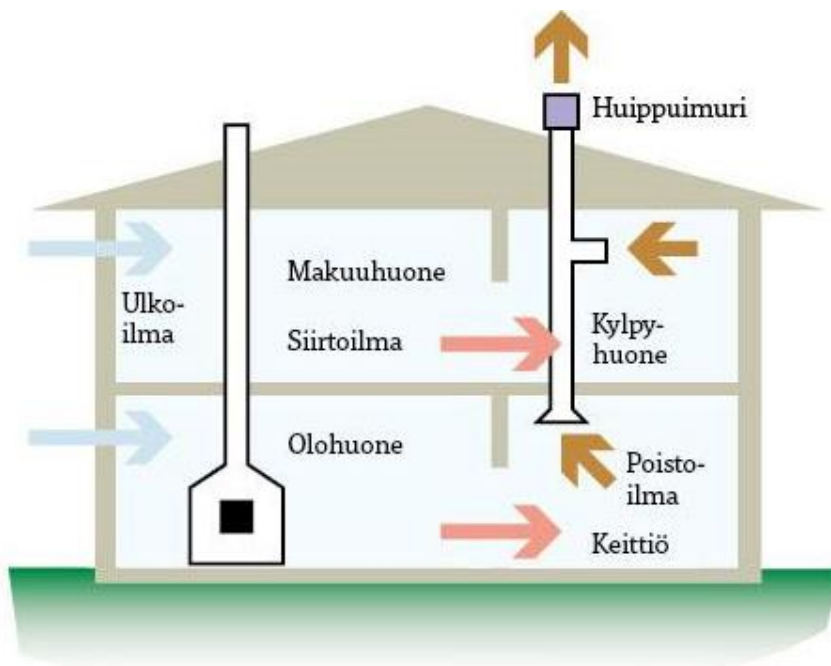
Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmana pidetään joko liian suurta tai pientä ilmanvaihtoa (Korkala 2016, 184). Erityisesti vanhoissa rakennuksissa tehostaminen on otettava huomioon. Painovoimaisen Ilmanvaihdon toimivuutta voidaan parantaa ja tehostaa useilla eri keinoilla. Helpoin ja yleisin tapa on perinteinen ikkunantuuletus.

Tehostusta voidaan saada sisäilmaohjattujen sähköpuhaltimien avulla, jotka asennetaan seinään vanhan ulkoilmaventtiilin tilalle. Muita tehostusratkaisuja erityisesti kesäajalle on hormiin asennettava poistoilmapuhallin, joka ei pysäytetynä aiheuta isoa paine-eron muutosta hormissa. Painovoimaisen ilmanvaihdon

tehostamiseen käytetään myös Ruotsissa enemmän käytettyä aurinkohormia. Aurinkohormissa on aurinkokeräin, joka lämmittää hormin loppuosassa olevaa ilmaa. Ilman lämmittäminen lisää aurinkoisella säällä ilmavirtausta poistohormissa. (Kuuluvainen ym. 2018, 4)

### 3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

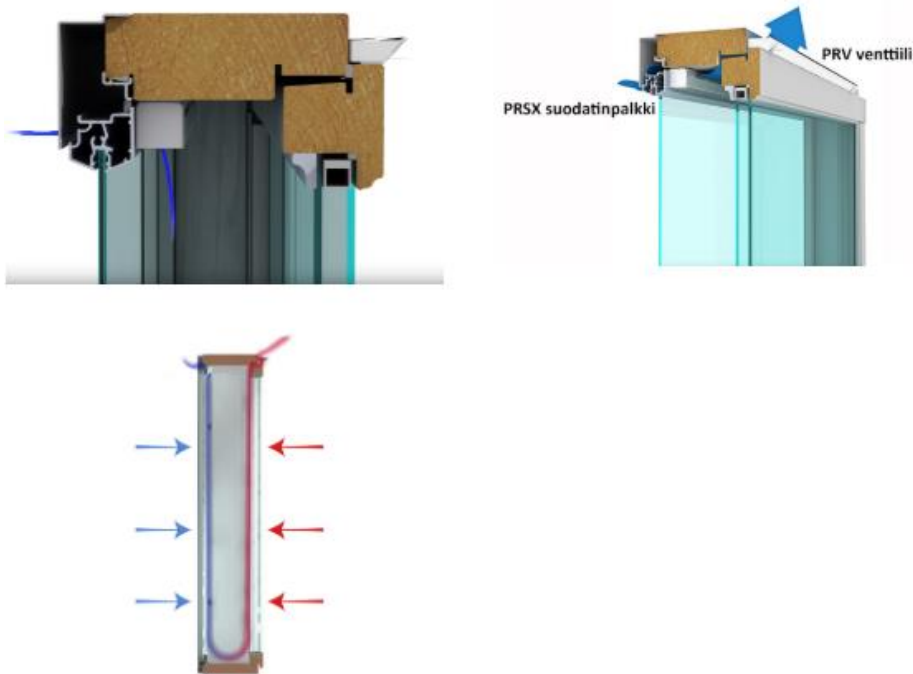
Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilma poistetaan vesikatolla sijaitsevan huippuimurin avulla. Huippuimurin poistaa käytönmukaisesti keittiöstä, WC-tilasta, pesuhuoneesta, vaatehuoneesta ja saunasta huoneilmaa. Huoneet varustetaan poistoilmaventtiileillä (kuva 2). Huippuimuri aiheuttaa merkittävän energian kulutuksen, kun rakennuksesta poistetaan lämmitettyä huoneilmaa.



Kuva 2. Koneellinen poistoilmanvaihto (Hengitysliitto 2020)

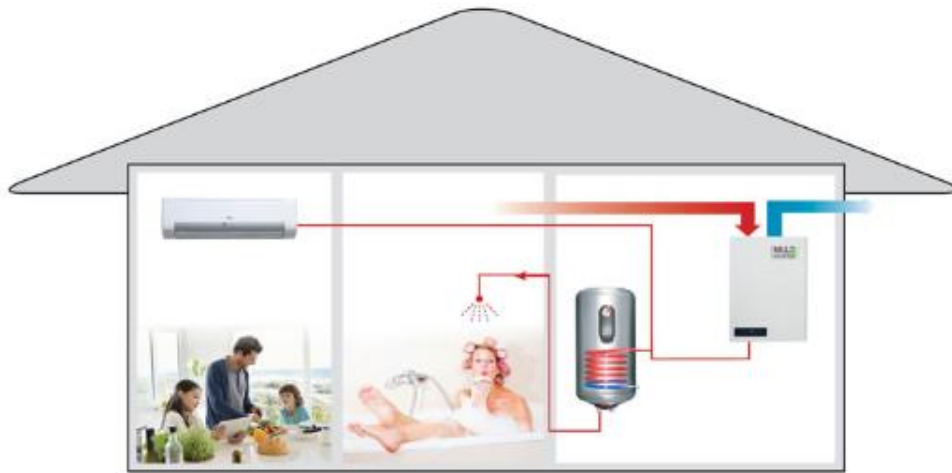
Ilmavirtoja ohjataan yleensä keittiön liesikuvulta, jonka ilmavirtaa voidaan tehostaa ruuanlaitto tilanteessa. Tilojen ilmavirrat säädetään poistoilmaventtiileiden avulla mitoitettuihin ilmamääriin. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa sisäilmaa siirretään suunniteltuja siirtoilmareittejä käyttäen. Ulkoilmavirta muodostuu poistoilmavirran aiheuttamasta alipaineesta. Ulkoilmavirta (korvausilma) tulee epäpuhtauksineen rakennuksen vaipan lävitse joko hallitusti tai hallitsemattomasti.

Yleensä rakennukset varustetaan korvausilmaventtiileillä, jotka asennetaan makuuhuoneisiin, olohuoneeseen ja keittiöön. Uusissa korvausilmaventtiileissä on myös otettu ulkoilman suodatus huomioon. Kylmällä säällä poistoilmavaihdon ongelmana on kylmän ilman aiheuttama vedon tunne. Vedon vaikutukseen on vaikea vaikuttaa korvausilmaventtiileillä. (Sandberg 2014, 116) Erilaiset ratkaisut ulkoilmavirran lämmittämiseen ovat vähentäneet vedon tunnetta, kuten korvausilman lämmittäminen ulkoilmaikkunan avulla niin, että talvella ilma johdetaan sisään ikkunan välistä (kuva 3).



Kuva 3. Tuloilmaikkunaventtiili (Multiheater 2020)

Koneellisen poistoilmavaihdon heikkoutena on ollut hukkaan menevä lämpöenergia. Uusien teknisien ratkaisujen avulla koneellisen poistoilmavaihtoon on mahdollista liittää esimerkiksi poistoilmalämpöpumppu, jolla saadaan huoneesta poistettavasta ilmasta lämpöenergia talteen. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan tuottaa rakennukseen määräysten mukainen ilmanvaihto, tarvittava lämmin käyttövesi ja jäähdytys kesäajan helteille (kuva 3). Poistoilmalämpöpumppu on myös hyvä valinta rakennuksiin, jotka eivät ole vakituksessa asuinkäytössä.



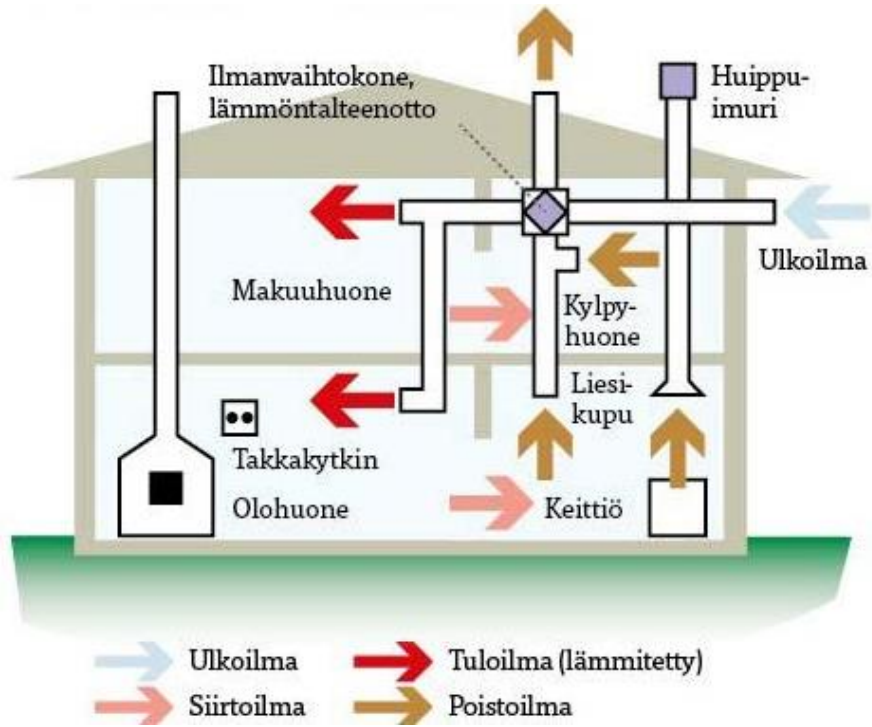
Kuva 4. Poistoilmalämpöpumppu puhallinkonvektorilla (multiheater 2020)

### 3.3 Tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmä

Koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä ilmaa poistetaan huonetilasta koneellisesti puhaltimilla ja ulkoilmavirta tuodaan rakennukseen ulkoilmapuhaltimen avulla. Huonetilaan tulevaa tuloilmaan määrää ja lämpötilaa ohjataan tuloilmakanavistoon ja lämmityspatterin avulla. Koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto tarvitsee järjestelmän ohjaamiseen automatiikkaa, jolla säädetään puhallustehoja. Puhallustehoa voidaan ohjata pois/päällä-ohjauksella, valittujen kierrosnopeuksien mukaan tai taajuusmuuntaja käyttöisesti. (Sandberg 2014, 118)

Rakennuksen poistoilmasta voidaan lämmöntalteenottolaitteella saada suuri osa lämpöenergiaa talteen ja hyödyntää tuloilma lämmittämisessä. Lämmöntalteenotosta on olemassa erilaisia teknisiä vaihtoehtoja mm. patteri-patteri -järjestelmä, pyörivä talteenottokenno ja levylämmönsiirrin. (Korkala & Laksola 2009, 77)





Kuva 5. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (Hengitysliitto 2020)

#### 4 RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA OSA D2 VUOSILTA 1976-2017

Ilmanvaihdon rakentamista ja suunnittelua on alettu ohjaamaan vuodesta 1976 lähtien. Sisäasiainministeriön laati määräykset ja ohjeet, joiden pohjalta luotiin Ilmanvaihdon rakennusmääräyskokoelman D2. Kokoelmat ovat muuttuneet paljon 40 vuoden aikana. Suurimmat erot ovat havaittavissa sisällössä ja ulkoasussa. Määräyskokoelmia on päivitetty vuosien tai vähintään kymmenen vuoden välein. Kokoelmat ovat muuttuneet sen mukaan, miten ihmisten toiminta ja rakennusten asettamat tavoitteet ovat muuttuneet.

Taulukko 3. Ilmanvaihdon ohjearvoja D2 mukaisesti 1976–2017 (Seppänen ym. 2017, 10)

Tila	Yksikkö	1976	1978	1987	2003	2010	2012	2017
Asuinhuone	dm <sup>3</sup> /s, hlö	-	-	4	6	6	6	6
	dm <sup>3</sup> /s, m <sup>2</sup>	-	-	0,7	0,5	0,5	0,5	0,35
Keittiö	dm <sup>3</sup> /s, perus	-	22	50	8 <sup>3</sup> /20	8	8	-
	dm <sup>3</sup> /s, tehostettu	-	-	20 <sup>2</sup>	25	25	25	-
WC	dm <sup>3</sup> /s, perus	-	8	10	7	7	7	-
	dm <sup>3</sup> /s, tehostettu	-	-	-	10	10	10	-
KH	dm <sup>3</sup> /s, perus	-	16	15	10	10	10	-
	dm <sup>3</sup> /s, tehostettu	-	-	-	15	15	15	-

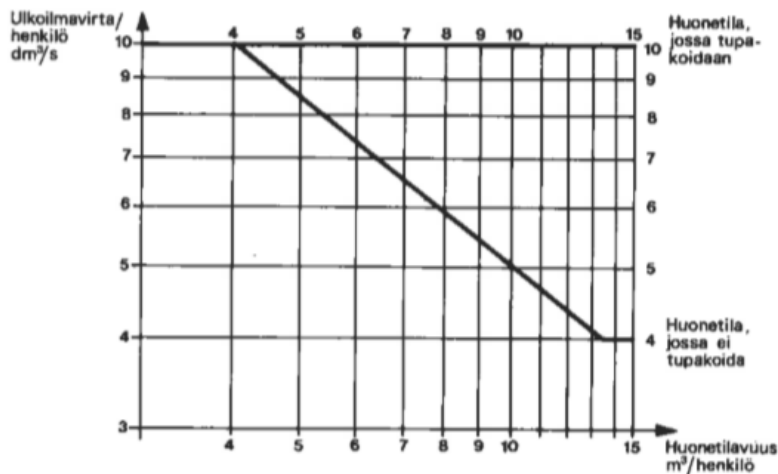
Ensimmäinen määräyskokoelma tuli voimaan 1.6.1976. Määräyskokoelma oli melko suurpiirteinen ja epämääräinen sisällöltään. Sivuja määräyksessä oli vain 9 sivua. (D2 1976)

Ilmanvaihtoa alettiin kehittää ja vuonna 1978 asetettiin uusi määräyskokoelma, joka muutti aikaisempaa paljon. Esimerkiksi ilmanvaihdon ja sisäilman laatuun sekä tavoitteisiin kiinnitettiin enemmän huomiota. Aiemmassa oppaasta ja määräyksestä muodostui tulkintavaikeuksia. Päivitetty opas D2 1978 sisältää ohjeet ja normit, joilla tulkintavaikeudet poistuivat. Painovoimainen ilmanvaihto oli vielä paljon käytössä, mutta Ilmanvirtojen vaatimukset ilmanvaihtojärjestelmien osalta

vaikuttivat painovoimaisen ilmanvaihdon vähenemiseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon tilalle asuinrakennuksiin asennettiin koneellinen ilmanvaihto. Myös koneellisen poistopuhaltimen avulla alettiin ilmaan tuottamaa asuntoihin.

Vuonna 1987 D2 päivityksellä tarkoituksena oli luoda tyydyttävä sisäilmasto asuinrakennuksien huonetiloihin normaali olosuhteissa sekä käyttötilanteissa. Hallitulla lämpötilalla, kosteudella ja puhtaalla sisäilmalla tarkoitetaan tyydyttävää sisäilmaa. Oleskelutiloissa ilmavirrat muuttuivat niin, että ulkoilmaa oli tuotava tyydyttävän sisäilmamäärän mukaisesti. Ulkoilmavirran tuli olla henkilöä kohden taulukon 4. mukaisesti. Ulkoilmavirrat tilassa tuli olla vähintään 4 dm<sup>3</sup>/s hlö ja tilassa, jossa tupakoidaan 10 dm<sup>3</sup>/s hlö (D2 1987, 5)

Taulukko 4. Ulkoilmavirrat henkilöä kohti (D2 1987, 5)



Tulo- ja poistokoneiden yleistymisen 1980-luvulla aiheutti myös muutoksia energiatalouteen ja se vuoksi määräykset muuttuivat ilmanvaihdon osalta niin, että ilmanvaihdon energiakulutus tulisi olla mahdollisimman pieni. Lämmöntalteenotto tuli olla hyötysuhteeltaan vähintään 50 %, Kun poisto- ja tuloilmavirta on suhdeluvultaan 1. (D2 1987,11)

Ilmanvaihdosta saatu energian säästö ei saa kuitenkaan vaikuttaa heikentävästi sisäilman laatuun. D2 vuosilta 1978–1987 ohjeistaa, että ilmanvaihdon mitoituksessa pyritään luontaisiin painesuhteisiin ja ilmavirtaus muodostuu puhtaam-

mista tiloista likaisempaan päin. Rakennukset suunniteltiin yleensä hieman alipaineiseksi ulkoilmaan nähden. Kuitenkin niin, että alipaine ei saa ylittää 30 Pa. (D2 1987, 6)

Seuraavat päivitykset ilmanvaihdon rakennusmääräyksien osaan D2 päivitettiin vuosina 2003, 2010 ja 2012. Ilmanvaihtoa kehitettiin enemmän ihmisten terveyden ja turvallisuuden sekä viihtyisyyden mukaan. Kun ihmiset viettävät sisätiloissa enemmän aikaa niin sisäilman tulee olla laadukkaampaa. Laadukkaan sisäilman mittarina käytettiin huoneen ihmisperäistä hiilidioksidipitoisuutta. Huoneen hiilidioksidipitoisuus ei saanut nousta yli 1200 ppm. (Ympäristöministeriö D2 2003, 6; 2010, 7; 2012, 7)

Sisäilman laatutavoitteiden parantuminen vaikutti myös rakennuksen tilakohtaisiin ilmamääriin (Taulukko 3). Ulkoilmavirta henkilöä kohti tuli olla  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja pienin ulkoilmavirta sai olla  $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s/m}^2)$ , joka vastaa normaalikorkuisen huoneen ilmanvaihtokerrointa  $0,5 \text{ l/h}$ . Päivitetyssä määräyksessä kiinnitettiin myös huomiota tilanteeseen, jossa rakennus ei ole toiminnassa tai rakennuksessa ei ole ihmisiä. Ilmavirta tulisi näissä tilanteissa olla vähintään  $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) /m}^2$ . (Sepänen ym. 2017, 10)

Vuoden 2010 D2 määräyksissä lämmöntalteenottoa tehostettiin. Aikaisemmassa vuoden 2003 määräyksessä lämmöntalteenotto laitteessa tuli lämpötilahyötysuhteen olla vähintään 50 % poisto ja tuloilmavirran olleessa suhdeluvultaan 1. Vuoden 2010 määräyksessä LTO-laitteen hyötysuhde nousi ja tuli olla 55 % tulo ja poistoilman olleessa samat. (D2 2010; D2 2003)

Nykyinen voimassa oleva ilmanvaihdon asetus 1009/2017 tuli voimaan 1.1.2018. Asetuksessa keskeisenä asiana on hyvän sisäilmaston ylläpitäminen niin, että energiatehokkuus vaatimukset täyttyvät. Rakennukseen Ilmanvaihdon ja sisäilmaston suunnittelussa suunnittelijalle annetaan lisää vapauksi ja vastuuta, tällöin suunnittelijan osaaminen vaikuttaa loppu tulokseen. Rakennuksen sisäilmasto tavoitteet otetaan huomioon ilmanvaihdon suunnittelussa. Suunnitteluun sisältyy mm. Huonelämpötilojen vaihtelu talvella ja kesällä, lämpökuormien hal-

lintaa säävyöhykkeen perusteella sekä sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä. Hiilidioksidintaso sisäilmassa saa olla enintään 800 ppm yli ulkoilman hiilidioksiditason. Vuoden 2017 asetuksessa ilmanvaihdon suodatuksessa huomioidaan ulkoilman laatu ja sisäilmanlaadun asettamat ehdot suodatuksen tasosta.

Koko rakennuksen osalta ulkoilmavirrat eivät muutu aikaisemmista vuosien 2003-2012 D2:sta, mutta voimassa olevaa asetusta täydentää yksittäisten tilojen ohjeistuksella. Yksittäisissä tiloissa ulkoilmavirrat mitoitetaan tilakohtaisesti. Koko rakennuksen ulkoilmavirta tulee olla suunniteltuna käyttö aikana 0,35 (dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Asuinhuoneistolle tulee mitoittaa ulkoilmavirtaa vähintään 18 dm<sup>3</sup>/s. (Ympäristöministeriö 1009/2017)

## 5 MAJOITUSTILOJEN ILMANVAIHDON SELVITYS

Majoitusrakennuksien painovoimaista- ja poistoilmanvaihtoa selvittämisessä käytetään rakennusaikaisia määräyksiä ja ohjeita. Ilmanvaihdon selvitys keskittyy kahden tyypillisen majoitusrakennukseen ilmanvaihtoon. Majoitusrakennukset sijaitsevat Rovaniemellä. Rakennukset ovat yksikerroksisia ja lämmitysmuotona on sähkölämmitys. Rakennuspaikan ulkoilma olosuhteet ovat hyvät. Rakennuksien lähistöllä ei ole liikennettä tai muuta ulkoilman epäpuhtauslähteitä, voidaan siis olettaa ulkoilman olevan laatuluokituksen ODA 1 tasoista.

Majoituskapasiteetin käyttö molemmissa rakennuksissa on vähäistä, koska rakennuksien ilmanvaihdossa ja sisäilmassa on todettu puutteita. Nykyisellä ilmanvaihdolla ei enää saavuteta tarvittavan majoituskapasiteetin vaatimaa tyydyttävän sisäilmaston tasoa S3. Kesällä huonelämpötilan hallinta on vaikeaa rakennuksien huonelämpötilojen noustessa ja vaikuttaen majoittujien viihtyvyyteen. Talvella rakennuksien painesuhteet muuttuvat, koska ilman tiheyserot muuttuvat ja tämä johtaa rakennuksessa ilmavirtojen kasvuun. Erityisesti makuuhuoneiden ulkoilmavirta kasvaa ja aiheuttaa vedon tunnetta rakennuksessa majoittuville henkilöille.

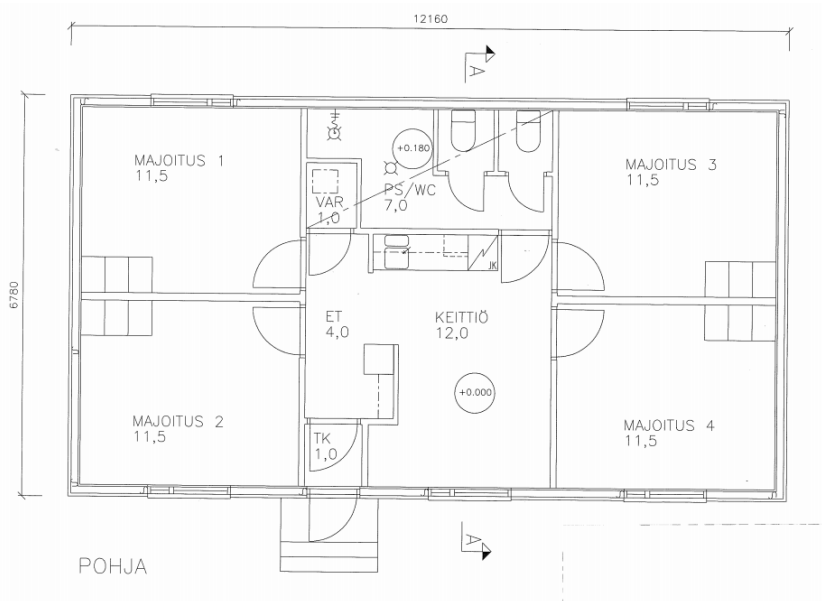
Majoitusrakennukset on rakennettu vuonna 1953 ja 1995, joten rakennustavat ja määräykset ovat muuttuneet paljon. Rakennusten tiiveysvuotoilmaluku ( $q_{50}$ ) on laskemassa 4–6  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ . Vertailuna uuden asuinrakennuksen ilmavuotoluku on keskimäärin 1,4  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  (Vertia 2019). Suuren ilmavuodon aiheuttamat energiakulutus on merkittävä kokonaisenergian kulutuksen kannalta.

Hiilidioksidipitoisuuden huomioiminen majoitusrakennuksien ilmavaihdon mitoituksessa on tärkeää. Hiilidioksidin määrä erityisesti makuuhuoneessa nousee henkilömäärän noustessa. Laskelman avulla varmistetaan suunnitellun ilmanvaihdon riittävyys ja tarvittavat ilmamäärät. Huonetilan hiilidioksidin tuottoon vaikuttavat mm. henkilöiden määrä, aineenvaihdunnan teho, oleskeluaika sekä huonetilavuus. Hiilidioksidinkuormitus majoitusrakennuksiin lasketaan ympäristöministeriön tilan ulkoilmavirran mitoitus laskentaoppaan 2018 mukaan. (Liljeström, Loikkanen, Salomaa & Kalliomäki 2017, 8)

## 5.1 Majoitusrakennus 1

Majoitusrakennus (1) on vuonna 1995 valmistunut 77 m<sup>2</sup> kevyt rakenteinen majoitusrakennus, jossa on neljä makuuhuonetta, keittiö, varasto, pesuhuone ja WC-tila (kuva 1). Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmavaihto.

Kuva 6. Majoitusrakennus 1. pohjakuva



### 5.1.1 Ilmamäärämitoitus D2 1987

Rakennuksen Ilmamäärät on mitoitettu vuoden 1987 Ympäristöministeriön ilmanvaihdon rakennusmääräysten D2 mukaan. Tilojen ilmamäärät henkilöperusteisesti 4 dm<sup>3</sup>/s hlö. Ilmanvaihtoluku tulee olla normaalikorkuisessa tilassa 0,5 1/h. Ilmanvaihto on tehostettavissa 20 % ja ilmapvirtaa voi pienentää 50 % käyttömitoituksesta. (D2 1987,16)

Ilmanvaihto mitoitettiin poistoilmavirtojen perustella. Kun rakennus on normaalissa käyttötilanteessa, koko rakennukseen poistoilmavirta on 51 dm<sup>3</sup>/s ja ilmanvaihtokerroin 0,95 1/h normaalihuonekorkeudella (Taulukko 5). Ilmamäärät riittävät majoittamaan rakennuksessa 12 henkilöä.

Taulukko 5. Ilmamäärät Majoitusrakennus (1)

Majoitusrakennus 1 (1995)	Ilmavirrat mitoitetaan poistoilmavirtojen perusteella														
D2 1987	ET	MH1	MH2	MH3	MH4	Varasto	Ulkoilma yhteensä	Keittiö	kPH	WC	Varasto	Poistoilma yhteensä	n	1/h	Poisto+Tulo
<i>Ohjeelliset mitoitusilmavirrat</i>	(S)MH	8	8	8	8	(S)MH	32	20	15	20	1	56	1,05	-24	
<i>Suunnitteluilmavirrat käyttötilanteessa</i>		12	10	12	10		44	15	15	20	1	51	0,95	-7	
<i>Suunnitteluilmavirrat tehostustilanteessa +20%</i>		14	12	14	12		52	18	18	24	2	62	1,16	-10	
<i>Tehostus ruoanlaitto-tilanteessa</i>		12	10	12	10		44	20	15	20	1	56	1,05	-14	
<i>Poissaolo-tilanteessa -50%</i>		6	5	6	5		22	8	8	10	1	27	0,50	-5	

Kun rakennuksen vuotoilmaluku on  $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  ja ilmanvaihto on suunnittelussa käyttötilanteessa rakennuksen painesuhteet ovat kohtuullisen tasapainossa. Ilmanvaihdon tehostuskäytössä ja ruoanlaitto-tilanteessa rakennus muuttuu alipaineiseksi ( $10\text{--}14 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) suhteesta ulkoilmavirtaan. Korvausilman saanti tulee tässä tilanteessa varmistaa avaamalla keittiöstä tuuletus ikkuna tai käyttämällä suunniteltua korvausilmaventtiiliä.

#### 5.1.2 Ilmamäärämitoitus D2 2017

Ilmanvaihdon rakennusmääräyksen D2 2017 mukaan uuden rakennuksen ilmanvaihdon mitoituksen tulee olla henkilöperusteisesti  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  henkilö. Ilmanvaihtoluku tulee olla normaalikorkuisessa tilassa vähintään  $0,5 \text{ 1/h}$ . Ilmanvaihto on tehostettavissa  $30 \%$  ja ilmavirtaa voi pienentää  $60 \%$  käyttömitoituksesta (Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen 2019, 7). Majoitusrakennuksen nykyisellä koneellisella poistoilmavaihdolla majoituskapasiteetti laskee 8 henkilöön, kun ilmanvaihto mitoitetaan voimassa olevan vuoden 2017 ilmanvaihdon rakennusmääräyksen D2 mukaan.

Mitoituksen lähtökohtana oli parantaa rakennuksen sisäilmastoa ja sen myötä majoituskapasiteettia. Mitoituksessa rakennuksen ulkoilmavirta on normaalikäyttötilanteessa  $66 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja ilmanvaihtokerroin  $1,2 \text{ 1/h}$  normaalihuonekorkeudella. Makuuhuoneen ulkoilmavirta on  $18 \text{ dm}^3/\text{s}$  normaalikäyttötilanteessa ja majoituskapasiteetti on 3 henkilöä. Koko rakennuksen majoituskapasiteetti on tällä mitoituksella 11 henkilöä. (Taulukko 6).



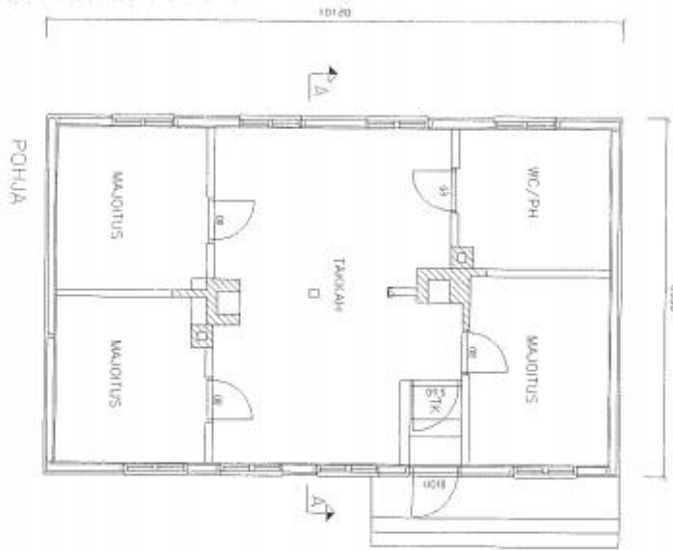
Taulukko 6. Ilmamäärät Majoitusrakennus 1

Majoitusrakennus 1 (uusi 2020)															
2017	ET	MH1	MH2	MH3	MH4	Varasto	Ulkoilma				Poistoilma				
							yhhteensä	Keittiö	kPH	WC	Varasto	yhhteensä	n	1/h	poisto + tulo
Ohjeelliset ilmvirrat	(S)MH	12	12	12	12	(S)	48	8	10	20	6	44	0,82286	4	
Suunnittelulmvirrat käyttötilanteessa		18	18	18	12		66	15	20	22	9	66	1,23429	0	
Suunnittelulmvirrat tehostustilanteessa +30%		23	23	23	12		81	19	24	26	12	81	1,51481	0	
Tehostus ruuanlaittilanteessa		18	18	18	12		66	25	15	20	6	66	1,23429	0	
Poissaolo tilanteessa -60%		10	10	10	7		37	9	12	12	4	37	0,69195	0	
Suunnittelulmvirrat käyttötilanteessa S2		24	24	24	18		90	20	29	29	12	90	1,68312	0	
Suunnittelulmvirrat tehostustilanteessa S2 +30%		31	31	31	23		116	30	35	35	16	116	2,16935	0	
Poissaolo tilanteessa S2 -60%		12	12	12	10		46	12	14	14	6	46	0,86026	0	

Tehostuskäytöllä (+30 % normaalikäytöstä) majoituskapasiteetti nousee 15 henkilöön. Rakennuksen paine suhteet pysyvät tasapainossa ulko- ja poistoilmavirtojen ollessa saman suuruiset, ruuanlaitto ja tehostuskäytöllä tulee Ilmanvaihtokoneen vähentää poistoilman määrää pesuhuoneesta ja wc-tilasta. Myös siirtoilma liikkuminen rakennuksessa tulee varmistaa.

## 5.2 Majoitusrakennus 2

Majoitusrakennus 2 on vuonna 1953 valmistunut kevytrakenteinen majoitusrakennus, jossa on kolme makuuhuonetta, takkahuone ja pesuhuone WC-tilalla. Ilmanvaihtojärjestelmänä on painovoimainen ilmanvaihto. Rakennuksessa on yhteensä neljä poistoilmahormia. Takkahuoneessa on kaksi poistohormia ja makuuhuoneessa sekä WC/pesuhuoneessa on poistoilmahormit.



Kuva 7. Majoitusrakennus 2 pohjakuva

### 5.2.1 Ilmamäärä mitoitus D2 1978

Majoitusrakennuksen (2) ilmanvaihto on painovoimainen ja ilmanvaihdon mitoitus tehdään rakennusvuoden mukaisia määräyksiä käyttäen. Vuonna 1953 ei ilmanvaihdolle määräyksiä ja ohjeita ollut, joten käytin mitoituksessa vuoden 1978 D2 määräystä. Lisäksi painovoimaisen ilmanvaihdon mitoituksessa käytin neliöperustaista mitoitusta  $10 \text{ m}^2/\text{henkilö}$ . Mitoitusohjeistuksessa käytin LVI-insinööri Markus Hakson asiantuntijalausuntoa. Hakson painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitusohjeistuksella rakennuksen majoituskapasiteetti on 6 henkilöä. Majoitusrakennuksen nykyisellä painovoimaisella ilmanvaihdolla majoituskapasiteetti on myös 6 henkilöä, kun ilmanvaihto mitoitetaan voimassa olevan vuoden 2017 D2 määräystä käyttäen.

### 5.2.2 Ilmamäärä mitoitus D2 2017

Majoitusrakennuksen painovoimaisen ilmanvaihdon mitoittaminen voimassa olevan määräyksen mukaan kokonaisilmamäärä on  $42 \text{ dm}^3/\text{s}$  (Taulukko 5). Majoituskapasiteetti on tällä mitoituksella 7 henkilöä. Ilmamäärä mitoituksessa käytin

painovoimaisen ilmanvaihdon oppaan ilmamäärän mitoitusaulukkoa poistoilmahormille (Kuuluvainen ym. 2018, 9). Majoituskapasiteetti, nousee yhdellä henkilöllä aiemmasta Hakson mitoitukseen perustavasta mitoituksesta.

Taulukko 7. Suurin ilmavirta poistoilmahormille painehäviöllä 1,5 Pa

Mitoituslämpötilat: ulkona +10 °C ja sisällä +21 °C, hormi 4 metriä:			
PH/WC	9	dm <sup>3</sup> /s	15*22cm hormin koko
TAKKAAH	24	dm <sup>3</sup> /s	15*29cm
Majoitushuone	9	dm <sup>3</sup> /s	15*22cm
yht.	42	dm <sup>3</sup> /s	

Kun painovoimaista ilmavaihtoa tehostetaan lisäämällä poistohormiin huippuimuri, poistoilmamäärä nousee 55 dm<sup>3</sup>/s (Taulukko 8). Painovoimaista ilmanvaihtoa tehostamalla majoituskapasiteetti nousee 8-9 henkilöön.

Taulukko 8. Ilmamäärät Majoitusrakennus 2

Majoitusrakennus 2 (uusi 2020)											
	Takkahuone	MH1	MH2	MH3	Ulkoilma yhteensä +	MH2	Takkahuone	PH/WC	Poistoilma yhteensä -	n 1/h	Poisto/tulo
Ohjeelliset ilmavirrat	11	8	8	8	35	8	24	15	47	1,2	-10
Suunnitteluilmavirrat käyttötilanteessa	15	8	8	8	39	9	24	9	42	1,0	-3
Suunnitteluilmavirrat tehostustilanteessa +30%					51				55	1,4	-6

### 5.3 Hiilidioksidin tuottoon perustuva ilmanvaihdon mitoitus

Majoitusrakennuksien ilmanvaihdon mitoittaminen hiilidioksidi tason perusteella tehdään, jotta ilmanvaihto olisi riittävää hiilidioksidi tason noustessa. Mitoituksessa käytin sisäilmaluokituksen 2018 ohjearvoja ja Ympäristöministeriön las-kentaopasta: Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidin kuormituksen perusteella. (Liljeström, Loikkanen, Salomaa & Kalliomäki 2017, 8)

Majoitusrakennuksessa (1) kolmen aikuisen ihmisen nukkuessa ulkoilmavirta tulee olla makuuhuoneessa vähintään 13,6 dm<sup>3</sup>/s, jotta S3-luokan tavoite täytyisi. Ilmamäärämitoituksen perusteella sisäilmalaatu pysyy hyvänä kolmen aikuisen nukkuessa makuuhuoneessa. Neljän aikuisen nukkuessa ilmamäärän tulisi olla

yli 18 dm<sup>3</sup>/s, jotta hiilidioksidi taso ei nouse yli 800 ppm tason (Taulukko 9). Nykyisellä koneellisella poistoilmavaihtojärjestelmällä ja ulkoilmavirralla makuuhuoneessa nukkuvien aikuisten määrä laskee 2 henkilöön, kun ilmanvaihto mitoitetaan voimassa olevan vuoden 2017 ilmanvaihdon asetuksen mukaan.

Taulukko 9. Makuuhuoneen ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidin kuormituksen perusteella

<b>CO2-PERUSTAINEN: 3 AIKUISTA NUKKUU (MET 0,8)</b>						
			kehon pinta-ala aikuinen	Co2-tuotto	Ilmamäärä dm <sup>3</sup> /s	n 1/h
<b>D2 2017</b>						
350 ppm		S1	1,9	0,0109	<b>31,1</b>	3,89
550 ppm		S2	1,9	0,0109	<b>19,8</b>	2,48
800 ppm		S3	1,9	0,0109	<b>13,6</b>	1,70
800 ppm	4 aikuista	S3	1,9	0,0145	<b>18,1</b>	2,27
<b>D2 1987</b>						
1100 ppm	4 aikuista	-	1,9	0,0145	<b>13,2</b>	1,65

Majoitusrakennuksessa 2. ulkoilmavirta makuuhuoneessa tulee olla vähintään 9 dm<sup>3</sup>/s, kun kaksi aikuista nukkuu ja sisäilmanlaatu on S3-luokan tasoista. Ilmamäärämitoituksen perusteella sisäilmalaatu pysyy hyvänä kahden aikuisen ihmisen nukkuessa makuuhuoneessa. Neljän aikuisen nukkuessa ulkoilmavirta tulee olla yli 18 dm<sup>3</sup>/s, jotta hiilidioksidi taso ei nouse yli 800 ppm tason (Taulukko 10).

Taulukko 10. Makuuhuoneen ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidin kuormituksen perusteella

<b>CO2-PERUSTAINEN: 2 AIKUISTA NUKKUU (MET 0,8)</b>						
			kehon pinta-ala aikuinen	Co2-tuotto	Ilmamäärä dm <sup>3</sup> /s	n 1/h
<b>D2 2017</b>						
350 ppm		S1	1,9	0,0072	<b>20,7</b>	2,59
550 ppm		S2	1,9	0,0072	<b>13,2</b>	1,65
800 ppm		S3	1,9	0,0072	<b>9,1</b>	1,13
800 ppm	3 aikuista	S3	1,9	0,0109	<b>13,6</b>	1,70

Nykyisellä painovoimaisella ilmanvaihdolla ja ilmamäärä mitoituksella ulkoilmavirta makuuhuoneessa on  $\text{dm}^3/\text{s}$  (taulukko 7). Hiilidioksidi kuormituksen perusteella huoneessa saa majoittua 2 aikuista. Kun ilmanvaihto on tehostuskäytössä, hiilidioksidin tasoa makuuhuoneessa on vaikea arvioida.

#### 5.4 Majoitusrakennuksien kokonaisenergiakulutus

Majoitusrakennuksen 1 Ilmanvaihdon vaikutusta energiankulutukseen on laskettu energiatehokkuus asetuksen 1010/2017 mukaan (Liite 2). Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergian kulutus (E-luku)  $219.6 \text{ kWh E/m}^2$  vuosi (Laskentapalvelut). Nykyisen koneellisen poistoilmanvaihdon lämmöntalteenoton puuttuminen näkyy merkittävästi rakennuksen energian kulutuksessa.

Majoitusrakennuksen Ilmanvaihtojärjestelmän vaihtaminen esimerkiksi tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmäksi, jossa lämmöntalteenotolla vaikutetaan paljon rakennuksen energiankulutukseen. Energiankulutus laskelmassa käytin Vallox MC 90 ( $10\text{-}80 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) Ilmanvaihtokonetta. Koneen lämmöntalteenoton hyötysuhde on valmistajan antama 76 % (Laskentapalvelut). Majoitusrakennuksen kokonaisenergia kulutus laskee, kun rakennuksessa on suunniteltu tulo- ja poistoilmanvaihto. Laskennallinen kokonaisenergian kulutus tulo- ja poistoilmanvaihdolla (E-luku)  $154 \text{ kWh E/m}^2$  vuosi (Liite 3).

Vaihtoehtoisena ratkaisuna tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmälle majoitusrakennukseen olisi poistoilmalämpöpumppu. Poistoilmalämpöpumpulla ilmanvaihto ja rakennuksen lämmittäminen yhdistyisi. Poistoilmasta talteen otetulla energialla lämmitetään rakennuksen lämmintä käyttöväettä. Poistoilmalämpöpumppuun on myös mahdollista liittää puhallinkonvektori, jonka avulla rakennuksen huoneilmaa pystyy lämmittämään ja jäähdyttämään.

Kokonaisenergian kulutuksen laskennassa käytin Nilan Compact PC poistoilmalämpöpumppua, jolla voidaan vähentää nykyistä kokonaisenergiankulutusta noin

50 kWh E/m<sup>2</sup> vuodessa (Liite 4). Rakennuksen energiatehokkuus paranee noin 23 % poistoilmalämpöpumpulla. (Laskentapalvelut)

Majoitusrakennuksen 2 kokonaisenergiakulutus on 443 kWh E/m<sup>2</sup> vuosi, kun rakennuksessa on nykyinen painovoimainen ilmanvaihto (Liite 5). Ilmanvuotoluokuna (q50) laskelmissa käytin 6 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>\*h). Rakennuksen kokonaisenergiakulutus on 406 kWh E/m<sup>2</sup> vuosi, kun rakennuksessa on tehostettu painovoimainen ilmanvaihto. Energiakulutus laskee, koska laskelmissa rakennukseen lisätään ilmalämpöpumppu (liite 6). Ilmalämpöpumppu tuottaa vuodessa noin 3000 kWh ja kokonaisenergian kulutus laskee 9 % aikaisemmasta energiakulutuksesta, kun rakennukseen lisätään ilmalämpöpumppu. (Laskentapalvelut)

## 6 TULOKSET

Majoitusrakennuksen vuoden 1987 koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän muuttaminen nykyaikaiseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi tuo suuren parannuksen rakennuksen sisäilmaan sekä energiankulutukseen. Sisäilman laadun parantuminen lisää majoituskapasiteettia nykyisestä 8 henkilöstä 11 henkilöön ja vähentää laskelmien mukaan noin 30 prosenttia rakennuksen kokonaisenergian kulutuksessa.

Nykyisessä koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ei ole ilmansuodasta ja ulkoilmavirta tulee suoraan ulkoa. Tulo- ja poistoilman vaihdolla saadaan suodatettua ulkoilman epäpuhtauksia ja vähennettyä siitä johtuvia haittoja. Poistoilmanvaihdon aiheuttama vedon tunne poistuu, kun makuuhuoneisiin tuodaan hallitusti suunniteltu tuloilma määrä. Sisäilman laatu on sisäilmastoluokituksen S3 -luokan tasoista, kun rakennuksessa on suunniteltu tulo- ja poistoilmanvaihto.

Investointi majoitusrakennuksen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmälle tulisi olemaa noin 5000–6000 € (Liite 7). Takaisinmaksuaika investoinnille olisi kokonaisenergiakulutuksen muutoksen mukaan noin 5 vuotta. (RT kustannuslaskin) Toisena edullisempänä vaihtoehto tulo- ja poistoilmanvaihdolle on poistoilmalämpöpumppu. (Lämpöpumppu multiheater 2020) Poistoilmalämpöpumpun ja sen asennus vanhan koneellisen poistoilmanvaihdon tilalle maksaa noin 5000–6000 € (Liite 8). (RT kustannuslaskin) Takaisinmaksuaika investoinnille olisi kokonaisenergiakulutuksen muutoksen mukaan noin 7 vuotta.

Majoitusrakennuksen (2) painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen joko koneellisesti tai tuulen avulla lisää rakennuksessa majoittujien viihtyisyyttä ja sisäilman laatua. Ilmanvaihdon tehostamisella, majoituskapasiteetti nousee 6 henkilöstä 7 henkilöön. Majoitusrakennuksen sisäilma paranee varsinkin kesällä, kun poistoilmanvaihtoa pystyy tehostamaan. Ilmanvaihdon tehostuksella pystytään poistamaan liika kosteus rakennuksesta ja erityisesti pesuhuoneesta, jossa sisäilman kosteus nousee käytön aikana.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen lisää energiankulutusta puhaltimen viemän sähkön verran, myös tilojen lämmittämiseen tarvitaan enemmän lämmitysenergiaa, kun ilmamäärät rakennuksessa kasvaa. Ilmanvaihdon tehostamisella lisätään rakennuksessa olevien ihmisten viihtyisyyttä ja asumismukavuutta. Rakennuksen nousevaan energiankulutukseen voi vaikuttaa, esimerkiksi lisäämällä rakennukseen ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumpulla energiankulutusta voi laskea ja kesäisin ilmalämpöpumpulla voidaan viilentää majoitusrakennusta.

Investointi majoitusrakennuksen painovoimaisen ilmanvaihdon tehostukselle ja ilmalämpöpumpulle on noin 3000–3500 €. Takaisinmaksuaikaa on vaikea laskea, kun lämmöntalteenottoa ei painovoimaisessa ilmanvaihdossa ole. Kuitenkin lisäämällä ilmalämpöpumpun voidaan takaisinmaksuajaksi laskea noin 10–12 vuotta. Takaisinmaksuajassa ei ole huomioitu käytön aikana tulevia huoltokustannuksia tai ilmalämpöpumpun käyttöaikaa, joka on noin 12–15 vuotta (Lämpöykkönen 2017).



## 7 POHDINTA

Ilmanvaihto rakennuksissa on muuttunut paljon viimeisten 40 vuoden aikana. Suurin syy tähän on ollut ihmisen toiminnasta johtuva lisääntynyt tarve kehittää ilmanvaihtoa. Ihminen viettää enemmän aikaa sisätiloissa ja se on aiheuttanut syyn kehittää ilmanvaihtoa. Ilmanvaihdon kehittyminen asuinrakennuksissa on myös tuonut tarvetta parantaa vapaa-ajan asumiseen ja majoituskäytössä olevien rakennuksien ilmanvaihtoa. Majoitusrakennuksien tulee olla viihtyisiä ja terveellisiä, joissa voi viettää aikaa läheistensä ja perheen kanssa. Opinnäytetyöllä pyrin tuomaan esille kuinka kiristyneet määräykset ovat tuoneet hyvän muutoksen rakennuksien sisäilman laatuun.

Mielestäni vanhojen rakennuksien ilmanvaihto perustuu siihen, että ilmaa varastoidaan rakennuksiin, kun ilmanvaihdon tarve on vähäistä eli rakennuksessa ei ole ihmisiä. Rakennuksen ollessa normaali käytössä varastoitunutta ilmaa käytetään ihmisten toimintaan niin kauan, että rakennuksessa toiminta loppuu. Rakennukset eivät ole tiiviitä ja vuotoilman määrä on suurta, näin rakennuksessa ilma vaihtuu. Aikoinaan ilmanvaihdolle ei asetettu erityisiä laadullisia määräyksiä, jotka olisivat tuoneet tarvetta kehittää ilmanvaihtoa. Uusissa rakennuksissa ilmanvaihto perustuu tasapainoon suhteessa tulo- ja poistoilmavirtoihin. Ilmanvaihdon tulee toimia joka tilanteessa ja täyttää laadulliset sisäilmasto vaatimukset.

Majoitusrakennuksien Ilmanvaihtoselvitystä tehdessä oli hyvä huomata, kuinka paljon investoinneilla voidaan parantaa vanhojen majoitusrakennuksien sisäilman laatua sekä rakennuksien energiatehokkuutta. Merkittävin muutos investoinneilla tulisi olemaan rakennuksien sisäilmassa. Kuitenkaan kaikkia sisäilmaongelmia ilmanvaihdolla ei pystytä poistamaan.

Kokonaisuutena opinnäytetyö saavutti tavoitteet, joita kesällä 2019 asetettiin toimeksiantajan Puolustushallinnon rakennuslaitoksen kanssa. Toimeksiantaja saa ilmanvaihdon selvityksellä hyvän kokonaiskuvan majoitusrakennuksien nykyisestä ilmanvaihdosta ja mahdollisten investointien kannattavuudesta.

## LÄHTEET

D2 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 16.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7B5EB5B5EC-4DF9-44B9-A315-94D1E6B84AFE%7D/134437>.

D2 2010. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 15.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7BD7685B7F-AE4B-4DD3-B689-BC8418933265%7D/102967>.

D2 2003. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 15.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7BCE4601D6-732C-4C9A-BC82-AA16C7EF4D29%7D/101112>.

D2 1987. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 15.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7B3C555C28-04E8-4DDC-B6F5-EBA879CB50A3%7D/100782>.

D2 1978. Rakennusten ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Sisäasiainministeriö. Viitattu 14.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7B09B36046-1078-484E-B9F0-9BA3BC5F0701%7D/100780>.

D2 1976. Rakennusten ilmanvaihto. Määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Sisäasiainministeriö. Viitattu 14.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7B5CC881D6-1453-4659-9F90-896C7BC1AB7F%7D/107510>.

Energiaselvitys 2020. E-lukulaskenta. Laskentapalvelut.fi.

Eskola, L. Björkroth, M. 2019. A-Insinöörit, Rakennusten paine-erojen mitausohjeprojektin loppuraportti. Viitattu 8.4.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7B7287C51D-EFAA-41F7-BCAC-7F81A18AAA4C%7D/151430>.

Hakso, M. 2020. Puolustushallinnon rakennuslaitos. LVI-insinöörin haastattelu 22.3.2020.

Hengitysliitto 2020. Ilmanvaihtojärjestelmät. Viitattu 20.4.2020 <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>.

Lämpöykkönen 2017. Ilmalämpöpumppu. Julkaistu 24.10.2017. Viitattu 7.5.2020 <https://lampoykkonen.fi/100faktaa/faktat-71-76-ilmalampopumpun-hankinta-nain-varmistat-etta-onnistut-laitteen-valinnassa/>.

Kuuluvainen, L. Lindberg, B. Lylykangas, K. Mikkola, J. Sainio, J. & Vuolle, M. 2018. Painovoimainen ilmanvaihdon opas. Viitattu 15.3.2020

<https://www.ym.fi/download/noname/%7B3729E8C3-9173-4EA5-ADB9-CD33C1432A01%7D/143101>.

Korkala, T. & Laksola, J. 2009. Ilmastointi. Hoito ja Huolto. 4. uudistettu painos. AS Printall.

Liljeström, K., Loikkanen, O., Salomaa, R. & Kalliomäki, P. 2017. Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidin kuormituksen perusteella. Laskentaopas. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 17.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7BE961AA41-6DF6-4708-B8D2-0553271D8354%7D/144135>.

Lämpöpumppu Multiheater ECO 30 2020. Hankintahinta. Riihimäki: Taloon.com. Viitattu 7.5.2020 <https://www.taloon.com/lampopumppu-multiheater-eco-30>.

Multiheater. Poistoilmalämpöpumppu. Viitattu 21.4.2020 <https://www.multiheater.fi/>.

Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen 2019. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 15.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7BC28A5C3D-0A1B-4504-98BB-14D9C1820FE9%7D/144725>.

Rakennustieto 2019. RT-kustannuslaskin. Viitattu 23.4.2020

RT 07-11299. 2018. Sisäilmastoluokitus. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki. Viitattu 13.3.2020.

Rotonen, T. 2019. Puolustusvoimat. Toimivuus ja turvallisuus edellä. Verkkokulkaisu 5.6.2019. Viitattu 24.4.2020 <https://puolustusvoimat.fi/blogi/-/blogs/toimivuus-ja-turvallisuus-edella>.

Sandberg, E. 2014. Sisäilmaston ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa1. Tammerprint.

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.

Seppänen, O., Lönnqvist, S., Säteri, J., Railio, J., Strand, T. & Ahola, M. 2017. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. Loppuraportti. Helsinki: FINVAC ry. Viitattu 15.3.2020 <http://www.ym.fi/download/noname/%7B59DC42F9-7C8A-4CBE-817E-1E2DBB67E02E%7D/133706>.

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Kiitorata Oy

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 23.4.2015/545. Ilman virtausnopeuden toimenpideraja. Viitattu 25.3.2020.

Talotekniikkainfo 2019a. Sisäilmasto ja ilmanvaihto- opas. Ilmansuodatus. Viitattu 1.4.2020 <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/12-ss-ilmansuodatus>.

Talotekniikkainfo 2019b. Sisäilmasto ja ilmanvaihto- opas. Ilmanvaihto. Viitattu 2.4.2020 <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/8-ss-ilmanvaihto>.

Vertia 2018. Ilmatiiveys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa, Viitattu 15.4.2020 <https://vertia.fi/wp-content/uploads/2018/06/Ilmatiiveys-ja-vuotokohdat-uusissa-rakennuksissa-2018-1.pdf>.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. Viitattu 16.3.2020 <https://www.ym.fi/download/noname/%7BAAD7DB92-F571-4766-A3F1-BFF63383191B%7D/133875>.

## LIITTEET

- Liite 1. Ulkoilman laatutason arviointi
- Liite 2. Energiaselvitys majoitusrakennus 1, Koneellinen poistoilmanvaihto
- Liite 3. Energiaselvitys majoitusrakennus 1, Tulo- ja poistoilmanvaihto
- Liite 4. Energiaselvitys majoitusrakennus 1, Poistoilmalämpöpumppu
- Liite 5. Energiaselvitys majoitusrakennus 2, Painovoimainen ilmanvaihto
- Liite 6. Energiaselvitys majoitusrakennus 2, Tehostettu painovoimainen ilmanvaihto
- Liite 7. Kustannuslaskenta, tulo- ja poistoilmanvaihto
- Liite 8. Kustannuslaskenta, Ilmanvaihtokoneen uusiminen

## Liite 1. Ulkoilman laatutason arviointi

Taulukko 12.1. Ulkoilman (ODA) luokitus, SFS-EN 16798-3:2017

Luokka	Kuvaus ja esimerkki	Hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot (24 tunnin keskiarvo ja vuosikeskiarvo)	
		PM2,5	PM10
ODA 1 (P) *)	Ulkoilma, jossa on pölyä ainoastaan tilapäisesti (esim. siitepölyä kesäisin). Esim. maaseudun ulkoilmaa	25 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup> (24h) 40 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)
ODA 2 (P)	Ulkoilma, jossa on suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia.	37,5 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup> (24h) 60 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)
ODA 3 (P)	Ulkoilma, jossa on erittäin suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia. Esim. Suuri osa isompien kaupunkien keskusta-alueista sekä teollisuusalueiden ympäristöistä	yli 37,5 µg/m <sup>3</sup>	yli 75 µg/m <sup>3</sup> (24h) yli 60 µg/m <sup>3</sup> (vuosi)

\*) luokan ODA1 hiukkaspitoisuus vastaa valtioneuvoston ilmanlaadusta antaman asetuksen raja-arvoja.

## Liite 2. Energiaselvitys majoitusrakennus 1, Koneellinen poistoilmanvaihto

ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (2018 säädöksen mukaisesti)			
<b>Rakennuskohde</b>			
Osoite	YM:n energiatodistusoppaan esimerkki,		
Rakennuksen käyttötarkoitus	Yhden asunnon talot		
Rakennusvuosi	1995		
Lämmitetty nettoala	160	m <sup>2</sup>	
<b>Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)</b>			
	Ostoenergia kWh/(m <sup>2</sup> a)	E-luku kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Tilojen lämmitys (2)	123.19	147.82	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	0.00	0.00	
Lämmin käyttövesi	33.72	40.46	
Sähkölaitteet	26.05	31.26	
Jäähdytys	0.00	0.00	
<b>Yhteensä</b>	<b>182.96</b>	<b>219.55</b>	
<small>(2) sisältää vuotuisen, korvausilman ja kältilman lämpenerian tilassa. (3) Jäiklämmityspatterit, laskettu lämmönvaihteen kanssa.</small>			
E-luku		220	kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luvun vaatimustaso (mahdolliset helpotukset huomioiden, ks. erillinen liite)		110	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Todellinen ostoenergia</b>			
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Tilojen lämmitys	28962	181.01	
Ilmanvaihdon lämmitys	0	0.00	
Lämmin käyttövesi	5395	33.72	
Sähkölaitteet	4168	26.05	
Jäähdytys	0	0.00	
<b>Yhteensä</b>	<b>38525</b>	<b>240.78</b>	
<small>Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisella säätövedolla. (E-luku laskennassa käytetty vyöhyke 1)</small>			
<b>Energiatodistuksen lähtötiedot ja tulokset</b>			
2018 säädöksen mukaisesti erillisessä liitteessä.			
<b>Kesäaikainen huonolämpötila ja tarvittaessa jäähdytysteho</b>			
2018 säädöksen mukaisesti.			
<small>(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)</small>			
<b>Rakennuksen lämpöhäviön määritysmukaisuus</b>			
2018 säädöksen mukaisesti erillisessä liitteessä.			
<b>Rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa</b>			
	kW	W/m <sup>2</sup>	
Tilojen lämmitys	8.08	50	
Ilmanvaihdon lämmitys (jäiklämmityspatteri)	2.91	18	
Lämmin käyttövesi	52.50	328	
Jäähdytys	0.00	0	
Rakennuksen lämmitystehontarve	70.54	441	
<small>Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisella mitoitusarvoilla. Lämpimän käyttöveden tehontarve hetkellisen mitoitusarvon mukaan.</small>			
<b>Rakennuksen energiatodistus</b>			
Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti erillisessä liitteessä.			
E-luokka:	D	(Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti)	
Laskentatyökalun nimi ja versio numero			
Laskentatyökalun nimi ja versio numero	www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)		

## Liite 3. Energiaselvitys majoitusrakennus 1, Tulo- ja poistoilmanvaihto

ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (2018 säädösten mukaisesti)			
<b>Rakennuskohde</b>			
Osoite	YM:n energiatodistusoppaan esimerkki,		
Rakennuksen käyttötarkoitus	Yhden asunnon talot		
Rakennusvuosi	1995		
Lämmitetty nettoala	160	m <sup>2</sup>	
<b>Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)</b>			
	Ostoenergia kWh/(m <sup>2</sup> a)	E-luku kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Tilojen lämmitys (2)	67.28	80.74	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	2.63	3.16	
Lämmin käyttövesi	33.72	40.48	
Sähkölaitteet	24.67	29.60	
Jäähdytys	0.00	0.00	
<b>Yhteensä</b>	<b>128.31</b>	<b>153.97</b>	
<small>(2) sisältää vuotolman, korvaustilan ja ulkoilman lämpenemisen tilassa. (3) Jäähdytyspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.</small>			
E-luku		154	kWh/(m <sup>2</sup> a)
E-luvun vaatimustaso (mahdolliset helpotukset huomioiden, kts. erillinen liite)		110	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Todellinen ostoenergia</b>			
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Tilojen lämmitys	17066	106.66	
Ilmanvaihdon lämmitys	915	5.72	
Lämmin käyttövesi	5395	33.72	
Sähkölaitteet	3947	24.67	
Jäähdytys	0	0.00	
<b>Yhteensä</b>	<b>27322</b>	<b>170.76</b>	
<small>Laskettu ajantipäikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätöedoilla. (E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)</small>			
<b>Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset</b>			
2018 säädösten mukaisesti erillisessä liitteessä.			
<b>Kesäaikainen huonelämpötila ja tarvittaessa jäähdytysteho</b>			
2018 säädösten mukaisesti.			
(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)			
<b>Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus</b>			
2018 säädösten mukaisesti erillisessä liitteessä.			
<b>Rakennuksen lämmitysteho mitoituslämpötilassa</b>			
	kW	W/m <sup>2</sup>	
Tilojen lämmitys	7.62	48	
Ilmanvaihdon lämmitys (jäähdytyspatteri)	2.85	18	
Lämmin käyttövesi	52.50	328	
Jäähdytys	0.00	0	
Rakennuksen lämmitystehontarve	69.96	437	
<small>Laskettu ajantipäikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla mitoitusarvoilla. Lämpimän käyttöveden tehontarve heikollisen mitoitusarvon mukaan.</small>			
<b>Rakennuksen energiatodistus</b>			
Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti erillisessä liitteessä.			
E-luokka:	C	(Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti)	
Laskentatyökalun nimi ja versio numero			
Laskentatyökalun nimi ja versio numero		www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)	



## Liite 4. Energiaselvitys majoitusrakennus 1, Poistoilmalämpöpumppu

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET (2018 säädöksen mukaisesti)				
<b>Rakennuskohde</b>				
Rakennuksen käyttötarkoituksiluokka	Yhden asunnon talot (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	1995			
Lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>	160			
E-luku, kWhE/(m <sup>2</sup> vuosi)	106 (< vaatimustaso=110)			
<b>E-luvun erittely</b>				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWhE/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Sähkö	14059	1.20	16871	105.4
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>14059</b>		<b>16871</b>	<b>105.4</b>
<b>Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus</b>				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
<b>Rakennuksen teknisten järjestelmien energiakulutus</b>				
		Sähkö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Lämpö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys (1)		1.0	83.8	
Tuloilman lämmitys		32.7		
Lämpimän käyttöveden valmistus			29.7	
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus				
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21.0		
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>54.7</b>	<b>113.5</b>	<b>0</b>
<small>(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen</small>				
<b>Energian nettoarve</b>				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)		12198	76	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)		5230	33	
Lämpimän käyttöveden valmistus		4200	26	
Jäähdytys		0	0	
<small>(2) sisäilma vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpeneminen tilassa</small>				
<small>(3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa</small>				
<b>Lämpökuormat</b>				
		kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Aurinko		1636	10.23	
Ihmiset		1682	10.51	
Kuluttajalaitteet		2523	15.77	
Valaistus		841	5.26	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä		92	0.58	
<b>Laskentatyökalun nimi ja versio numero</b>				
Laskentatyökalun nimi ja versio numero		www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)		

## Liite 5. Energiaselvitys majoitusrakennus 2, Painovoimainen ilmanvaihto

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET (2018 säädöksen mukaisesti)				
<b>Rakennuskohde</b>				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Yhden asunnon talot (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistusvuosi	1953			
Lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>	90			
E-luku, kWhE/(m <sup>2</sup> vuosi)	443 (> vaatimustaso=146)			
<b>E-luvun erittely</b>				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWhE/vuosi kWhE/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Sähkö	29037	1.20	34844	387.2
Uusiutuva polttoaine (Puu)	10000	0.50	5000	55.6
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>39037</b>		<b>39844</b>	<b>442.7</b>
<b>Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus</b>				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
<b>Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus</b>				
		Sähkö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Lämpö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys (1)		1.0	253.4	
Tuloilman lämmitys			47.3	
Lämpimän käyttöveden valmistus				
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus				
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21.0		
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>22.0</b>	<b>300.7</b>	<b>0</b>
<small>(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen</small>				
<b>Energian nettotarve</b>				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)		27126	301	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)		0	0	
Lämpimän käyttöveden valmistus		3150	35	
Jäähdytys		0	0	
<small>(2) sisätilä vuotolman, korvausilman ja tuloilman lämpeneminen tilassa</small>				
<small>(3) laskettu lämmintalteenoton kanssa</small>				
<b>Lämpökuormat</b>				
		kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Aurinko		1418	15.76	
Ihmiset		946	10.51	
Kuluttajalaitteet		1419	15.77	
Valaistus		473	5.26	
Lämpimän käyttöveden kierosta ja varastoinnin häviöstä		415	4.61	
<b>Laskentatyökalun nimi ja versionumero</b>				
Laskentatyökalun nimi ja versionumero		www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)		

Liite 6. Energiaselvitys majoitusrakennus 2 tehostettu painovoimainen ilmanvaihto.

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET (2018 säädöksien mukaisesti)				
<b>Rakennuskohde</b>				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Yhden asunnon talot (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	1953			
Lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>	90			
E-luku, kWhE/(m <sup>2</sup> vuosi)	406 (> vaatimustaso=146)			
<b>E-luvun erittely</b>				
Käytettävät energiamuodot	Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWhE/vuosi kWhE/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Sähkö	26248	1.20	31497	350.0
Uusiutuva polttoaine (Puu)	10000	0.50	5000	55.6
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>36248</b>		<b>36497</b>	<b>405.5</b>
<b>Uusiutuva omavaraisenergia, hyödyksikäytetty osuus</b>				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Lämpö ulkoilmasta		2600	28.89	
<b>Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus</b>				
		Sähkö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Lämpö kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys (1)		1.0	211.3	
Tuloilman lämmitys			47.3	
Lämpimän käyttöveden valmistus				
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus				
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21.0		
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>22.0</b>	<b>258.6</b>	<b>0</b>
<small>(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen</small>				
<b>Energian nettotarve</b>				
		kWh/vuosi	kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)		27126	301	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)		0	0	
Lämpimän käyttöveden valmistus		3150	35	
Jäähdytys		0	0	
<small>(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa</small>				
<small>(3) laskettu lämmönsäätötoimen kanssa</small>				
<b>Lämpökuormat</b>				
		kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Aurinko		1418	15.76	
Ihmiset		946	10.51	
Kuluttajalaitteet		1419	15.77	
Valaistus		473	5.26	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä		415	4.61	
<b>Laskentatyökalun nimi ja versio</b>				
Laskentatyökalun nimi ja versio		www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)		

## Liite 7. Kustannuslaskenta, tulo- ja poistoilmanvaihto

Lapin ammattikorkeakoulu Oy  
Jokiväylä 11 A  
98300 Rovaniemi

## Kustannuslaskelma

Raporttityyppi:	Tiivis	Tulostuspäivä:	23.04.2020
Hanke:	Majoitusrakennus	Muokkauspäivä:	23.04.2020
Laskelmat:	22 Ilmanvaihto-osat	Laskelman laajuus:	77 m <sup>2</sup>
Rakennuslupa:		ALV-%:	24,00
Osoite:		Kaikki kust./laajuus ALV 0 %:	61 €/m <sup>2</sup>
Osoite 2:		Kaikki kust./laajuus sis. ALV:	76 €/m <sup>2</sup>
Postinumero:		Laskelmien kaikki kust. yht. ALV 0 %:	4 729,00 €
Postitmp:		Laskelmien kaikki kust. yht. sis. ALV:	5 863,96 €
Maa:			

## Laskelma 22 Ilmanvaihto-osat

TALO2000	Kustannuserä	Määrä	Yksikkö	Hankinnat ja palvelut (ALV 0 %)	Materiaalit (ALV 0 %)	Työ (ALV 0 %)	Tunnit (tth)	Yhteensä (ALV 0 %)
				513 €	3 017 €	1 199 €	29	4 729 €
22	IV-järjestelmä, pientalo, tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla	82,00	brn2	513,33 €	3 016,78 €	1 198,89 €	29,23	4 729,00 €

## Liite 8. Kustannuslaskenta, Ilmanvaihtokoneen uusiminen

Lapin ammattikorkeakoulu Oy  
Jokiväylä 11 A  
96300 Rovaniemi

## Kustannuslaskelma

Raporttityyppi:	Tiivis	Tulospäivä:	23.04.2020
Hanke:	<b>Majolusrakennus</b>	Muokauspäivä:	23.04.2020
Laskelmat:	<b>IV-koneen uusinta</b>	Laskelman laajuus:	77 m <sup>2</sup>
Rakennuslupa:		ALV-%:	24,00
Osoite:		Kaikki kust./laajuus ALV 0 %:	32 €/m <sup>2</sup>
Osoite 2:		Kaikki kust./laajuus sis. ALV:	40 €/m <sup>2</sup>
Postinumero:		Laskelmien kaikki kust. yht. ALV 0 %:	<b>2 453,97 €</b>
Postitmp:		Laskelmien kaikki kust. yht. sis. ALV:	<b>3 042,92 €</b>
Maa:			

## Laskelma IV-koneen uusinta

TALO2000	Kustannuserä	Määrä	Yksikkö	Hankinnat ja palvelut (ALV 0 %)	Materiaalit (ALV 0 %)	Työ (ALV 0 %)	Tunnit (tth)	Yhteensä (ALV 0 %)
				<b>0 €</b>	<b>1 895 €</b>	<b>559 €</b>	<b>18</b>	<b>2 454 €</b>

## Rakenne:

22	IV-koneen vaihtaminen, kanavapuhdistus ja järjestelmän säätö (energiakorjaus)	1,00	erä	0,00 €	1 895,00 €	558,97 €	18,40	2 453,97 €
----	---	------	-----	--------	------------	----------	-------	------------

## Kuvaus:

Energiakorjaus: IV -koneen vaihtaminen, kanavapuhdistus ja järjestelmän säätö  
Sisältää kanaviston puhdistuksen ja venttiilien säädön.

## Työvaiheet:

- purkusuunnitelma
- rakenteiden suojaus ja työalueen rajausta
- purku käsin
- purkujätteen siirto jätealavalle

## Kustannuksiin vaikuttavat tekijät:

- jätteiden varastointi
- säilytettävien rakenteiden suojaus
- työnaikainen tuenta

## Kustannuserään ei sisälly:

- kalustokustannukset
- työnaikaiset tuennat
- tilien kunnostusta
- kaatopaikkakuljetuksia tai -maksuja