



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Mikko Soininen

Sairaaloiden eristystilojen ilmanvaihtoratkaisut

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

13.3.2019

| | |
|---|---|
| Tekijä Otsikko | Mikko Soininen Sairaaloiden eristystilojen ilmanvaihtoratkaisut |
| Sivumäärä Aika | 37 sivua + 6 liitettä 13.3.2019 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | talotekniikka |
| Ammatillinen pääaine | LVI-suunnittelu |
| Ohjaajat | diplomi-insinööri Jukka Vasara, Granlund Oy diplomi-insinööri Tapani Idman, Granlund Oy lehtori Seppo Innanen |
| <p>Sairaaloiden eristystilojen ilmanvaihtoa varten ollaan kehittämässä Euroopan laajuista standardia. Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutustua standardiluonnokseen ja dokumentoida sen vaatimuksia sekä selvittää malliratkaisujen avulla, millaisia vaikutuksia sillä tulee olemaan eristystilojen ilmanvaihdon toteuttamiseen. Insinööriyö tehtiin Granlund Oy:lle.</p> <p>Insinööriyössä käydään läpi yksityiskohtaisesti uuden standardin asettamat vaatimukset eristystilojen ilmanvaihdon suunnittelulle. Näiden perusteella on laadittu mallisuunnitelmat eri eristystilatyypin ilmanvaihdon toteuttamiseksi. Lisäksi on tehty vertailu kahden erilaisen ilmanvaihtojärjestelmäratkaisun välillä.</p> <p>Insinööriyössä huomattiin, että uusi standardi tulee huomattavasti kasvattamaan eristystilojen ilmanvaihdon tilavuusvirtoja. Tästä johtuen tilavaatimukset ilmanvaihdon toteuttamiselle uuden standardin mukaisesti ovat suuremmat kuin nykytilanteessa. Lisääntyvät ilmamäärät aiheuttavat myös monia muita muutoksia. Esimerkiksi tarvitaan suurempia ilmanvaihtokoneita ja suuret ilmamäärät voivat aiheuttaa vedon tunnetta.</p> <p>Standardi tulee myös asettamaan vaatimuksia, joita ei nykytilanteessa ole aina huomioitu. Esimerkiksi ilmanvaihdon heittokuvioiden suunnittelussa on otettava huomioon, miten ilman liikkeillä pystytään ehkäisemään taudinaiheuttajien leviämistä.</p> <p>Insinööriyötä voidaan käyttää apuna eristystilojen ilmanvaihdon suunnittelussa, kun halutaan toteuttaa standardinmukaisia eristystiloja.</p> | |
| Avainsanat | ilmanvaihto, eristystila, sairaala |

| | |
|--|--|
| Author Title | Mikko Soininen Ventilation of Isolation Rooms |
| Number of Pages Date | 37 pages + 6 appendices 13 March 2019 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Professional Major | HVAC Design |
| Instructors | Jukka Vasara, M.Sc. Tapani Idman, M.Sc. Seppo Innanen, Senior Lecturer |
| <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the draft for a new Europe-wide standard on how the ventilation of airborne infection isolation rooms should be designed and built. The aim was to document the changes that the standard is likely to bring, and to develop model solutions for different types of isolation rooms.</p> <p>The study established that the new standard is likely to increase the airflows to and from isolation rooms greatly. Thus, the space required for ventilation will increase as bigger air handling units will be required. The study also showed other effects of the greater airflows. For example, larger air volumes may increase the feeling of draft.</p> <p>The final year project showed that the new standard adds new requirements for the design of ventilation of isolation rooms. For example, to reduce the spread of pathogens, the effect of supply air on the air movements in the room must be considered.</p> <p>This Bachelor's thesis can be used when designing isolation room ventilation to fulfil the requirements of the standard.</p> | |
| Keywords | ventilation, isolation room, hospital |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Euroopan laajuinen sairaalailmanvaihtostandardi | 2 |
| 2.1 | ”Ventilation in hospitals” -standardi | 2 |
| 2.2 | Suomen tilanne standardiin liittyen | 3 |
| 2.3 | Standardissa käsitellyt eristystilatyypit | 3 |
| 3 | Eristystilojen tekniset vaatimukset | 4 |
| 3.1 | Eristystilojen ilmanvaihdon mitoitus | 4 |
| 3.2 | Tuloilman laatu ja suodatus | 10 |
| 3.3 | Ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoitus | 14 |
| 3.4 | Poistoilmansuodatus | 17 |
| 3.5 | Sulkupeltien vaatimukset | 18 |
| 3.6 | Tilojen ja kanaviston ilmatiiveys | 18 |
| 3.7 | Äänenvaimennus | 20 |
| 3.8 | Ilmanvaihdon säädettävyys | 20 |
| 3.9 | Lämmön talteenotto | 21 |
| 3.10 | Yleiset periaatteet tilojen paine-eroille | 22 |
| 3.11 | Häiriötilanteet | 23 |
| 4 | Eristystilojen laadunvarmistus | 23 |
| 4.1 | Tilaajan vaatimukset | 25 |
| 4.2 | Asennusten laadunvarmistus | 26 |
| 4.3 | Toiminnan laadunvarmistus | 26 |
| 4.4 | Suorituskyvyn laadunvarmistus | 27 |
| 5 | Eristystilojen ilmanvaihdon mallisuunnitelmat | 28 |
| 5.1 | Mallisuunnitelmat | 28 |
| 5.2 | Eristystilakohtaisen- ja keskityn ilmavaihdon vertailu | 29 |
| 6 | Tulokset ja johtopäätökset | 33 |

| | | |
|-----|--|----|
| 6.1 | Johtopäätökset | 33 |
| 6.2 | Jatkotutkimusmahdollisuudet | 34 |
| 6.3 | Kiitokset | 35 |
| | Lähteet | 36 |
| | Liite 1. Vapaasti suomennettu standardiluonnoksen informatiivinen liiteosa | |
| | Liite 2. S _A -tartuntaeristys | |
| | Liite 3. S _B -tartuntaeristys | |
| | Liite 4. Suojaeristys | |
| | Liite 5. Yhdistetty S _A -tartunta- ja suojaeristys | |
| | Liite 6. Toimintakaavio ja selostus | |

Lyhenteet

| | |
|----------------|--|
| CEN | Euroopan standardisointijärjestö (European Committee for Standardization) |
| CFU | Colony Forming Unit, pesäkkeitä muodostavat yksiköt |
| DD | Detailed design, toteutussuunnittelu |
| DQ | Design verification, suunnitelmien tarkistus |
| FD | Functional design, yleissuunnittelu |
| HEPA | High Efficiency Particulate Filter, korkean erotusasteen suodatin |
| IQ | Installation verification, asennusten tarkistus |
| OQ | Operational verification, toiminnan tarkistus |
| PQ | Performance verification, suorituskyvyn tarkistus |
| S _A | Tartuntaeristystilan eristystaso |
| S _B | Korkean riskin tartuntaeristystilan eristystaso |
| SFS | Suomen Standardisoimisliitto |
| SUP | Supply air classification, WHO (2005), tuloilmaluokitus |
| URS | User requirement specification, käyttäjän vaatimusten selvitys |

1 Johdanto

Ilmateitse leviäviä infektioita sairastava potilas sijoitetaan sairaalassa eristystilaan. Tällaisia tauteja ovat esimerkiksi tuberkuloosi, tuhkarokko ja lintuinfluenssa. Sairastaessaan edellä mainitun kaltaisia muille ihmisille tartuntariskin aiheuttavia tauteja potilas sijoitetaan alipaineiseen eristystilaan. Eristystilan alipaineella viereisiin tiloihin verrattuna pyritään estämään taudinaiheuttajia sisältävää ilmaa leviämästä ja poistamaan se eristystilasta hallitusti. On myös tilanteita, joissa tulee noudattaa erityistä varovaisuutta potilaan suojelemisessa taudinaiheuttajilta. Tämä johtuu yleensä siitä, että potilaalla on esimerkiksi palovammoista johtuen alentunut vastustuskyky. Tällöin eristys huone pidetään yli-paineisena viereisiin tiloihin verrattuna.

Hyvin tehty eristystilojen ilmanvaihdon suunnittelu ja rakentaminen on todennäköisesti tehokkain tapa teknisten ratkaisujen osalta vähentää ja ehkäistä taudinaiheuttajien leviämistä. [16, s. 2] Määrittelemällä eristystilojen ilmanvaihdon toiminnalle selvät vaatimukset suojellaan tilojen kaikkia käyttäjiä. Täten pidetään haitallisten aineiden ja eliöiden määrä ilmassa ja pinnoilla alhaisena, sekä pyritään estämään niiden leviäminen tilojen ulkopuolelle. Havaitsemalla eristystä tarvitsevien potilaiden tila varhain ja sijoittamalla heidät eristystiloihin, joissa ilmanvaihto on kontrolloitua, voidaan tehokkaasti estää tartuntojen leviämistä. [4, s. 20.]

Euroopassa on kehitteillä Euroopan laajuinen sairaaloiden ilmanvaihtoa koskeva ”Ventilation in hospitals” –standardi. Se toteutetaan Euroopan standardoimisjärjestön CENin toimesta, ja standardi ohjeistaa terveydenhuoltotilojen suunnittelua ja rakentamista.

Standardiluonnos on jaettu kolmeen osaan:

- Yleiset vaatimukset, osa 1 (General requirements)
- Leikkaussalit, osa 2 (Operating suits)
- Eristys huoneet, osa 3 (Isolation rooms).

Yllämainittujen osa-alueiden lisäksi on tulevaisuudessa tarkoitus saada aikaan samanlainen standardi myös esimerkiksi sterilisointitiloille ja toimenpidehuoneille. Tämä insi-

nöörityö käsittelee pääasiassa standardin kolmatta osaa, joka keskittyy eristystilojen ilmanvaihtoon. Kuitenkin eristyshuoneita koskettavat myös kaikki ohjeet jotka ”Yleiset vaatimukset” -osassa on annettu. Tuleva standardi määrittelee esimerkiksi minimivaatimustason eristystilojen ilmanvaihdolle, ja samalla antaa Suomelle ensimmäistä kertaa yhteiset maanlaajuiset laatukriteerit.

Insinööriyön toimeksiantaja on Granlund Oy, joka on yksi Suomen suurimmista talotekniikka-alan suunnittelua, konsultointia ja ohjelmistoa tarjoavista yrityksistä Suomessa. Granlundilla on myös vahva erityisosaaminen sairaaloiden taloteknisessä suunnittelussa, ja yritys onkin ottamassa uuden standardin vaatimukset huomioon jo ennen niiden voimaan astumista. Tämä tarkoittaa sitä, että tarvitaan dokumentaatio standardin vaatimuksista ja mallisuunnitelmat erityyppisten sairaaloiden eristystilojen toteutuksesta. Tämän insinööriyön tarkoituksena on dokumentoida standardin vaatimukset sekä tuottaa mallisuunnitelmat insinööriyössä käsitellyistä eristystilatyypeistä (S_A-tartunta-, S_B-tartunta-, suoja- ja yhdistettyjen tartunta ja suojaeristystilojen) ilmanvaihdon toteutuksesta standardin vaatimusten perusteella.

Insinööriyö perustuu suurelta osien työn kirjoitushetkellä käytössä olleeseen versioon eristystilojen standardiluonnoksesta. Lisäksi työn taustoittamista varten on toteutettu asiantuntijahaastatteluita.

2 Euroopan laajuinen sairaalailmanvaihtostandardi

2.1 ”Ventilation in hospitals” -standardi

Euroopassa ei ole tähän asti ollut yhtenäisiä laatukriteereitä terveydenhuoltotilojen ilmanvaihdolle. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että historian saatossa eri maat ovat rakentaneet sairaaloiden, klinikoiden ja muiden erilaisten terveydenhuoltotilojen ilmanvaihdot maakohtaisten vaatimusten, tarpeiden ja tottumusten mukaan. ”Ventilation in hospitals” -standardia kehitetään saadaksemme Euroopan laajuista yhteistä pohjaa ja ymmärrystä siitä, mitä terveydenhuoltotilojen ilmanvaihdolta vaaditaan. Standardi määrittelee tekniset vaatimukset, joita erilaisten terveydenhuoltotilojen ilmanvaihdon on täytettävä, jotka

saavutetaan turvallinen ja viihtyisä sisäympäristö ilmanvaihdon osalta. Standardin voimaantultua on olemassa selkeästi määritellyt minimivaatimustasot eristystilojen ilmanvaihdolle ja ohjeet olosuhteiden ylläpitämiseksi tilojen koko elinkaaren ajalle.

2.2 Suomen tilanne standardiin liittyen

Suomessa ei tällä hetkellä ole yhtenäistä standardia eristystilojen ilmanvaihdosta. Käytännössä sairaaloiden eristystilojen vaatimuksista vastuussa ovat olleet, Suomen lain ja yleisesti hyväksytyjen ohjeiden lisäksi, tilaajat sekä eristystiloja suunnittelemassa olleet ammattitaitoiset henkilöt. Eristystilojen rakentaminen ja suunnittelu ovat nykytilanteessa perustuneet pääasiassa eristystilojen tilaajien vaatimuksiin ja suunnittelijoiden toimiviksi havaitsemiin käytäntöihin. [3; 6.]

2.3 Standardissa käsitellyt eristystilatyypit

Tässä insinööriyössä käsitellään viittä eri tyyppistä eristystilaa. Nämä eristystilat ovat 1) S_A - ja S_B -tasojen tartuntaeristystilat, 2) suojaeristys sekä 3) yhdistetty suoja- ja tartuntaeristystila, joka sekin voidaan toteuttaa S_A - tai S_B -tasoisena. Suomen sairaaloiden tartuntaeristystiloista noin 80 % on S_A -tason eristystiloja. [3] Tilaajien asiantuntijalääkärit todennäköisesti määrittävät tulevaisuudessa sen, milloin tarvitaan S_A -tilaa ja milloin S_B -tilaa. Brittiläisen suosituksen mukaan akuuttihoitoa tarjoavassa sairaalassa tulisi olla kaksi alipaineistettua huonetta 250:tä potilaspaikkaa kohti. [4, s. 25.] Suojaeristystä käytetään, kun vastustuskyvyltään heikkoa potilasta, kuten esimerkiksi palovammapotilasta halutaan suojella immuniteettipuutteidensa takia.

Tässä insinööriyössä eristystiloja käsitellään ilmaeristystilojen osalta. Muita sairaaloissa käytettyjä eristystapoja ovat esimerkiksi kosketuseristys ja radiojodieristys. [18, s. 16–17.] Ilmaeristystä käytetään sellaisten potilaiden eristämiseen, jotka ovat sairastuneet ilmateitse leviävillä taudinaiheuttajilla. Ilmaeristykseen tarkoitettussa tilassa hoitohenkilökunta käyttää tarkoituksenmukaisia suojarusteita, kuten hengityssuojainta ollessaan potilashuoneessa. Lisäksi ilmateitse tarttuvien taudinaiheuttajien leviäminen pyritään estämään tilojen välisellä painesuhteella, ilmanvaihtuvuuden määrällä ja esimerkiksi opastamalla potilaalle oikeanlainen tapa yskiä. [4, s. 24–25.]

3 Eristystilojen tekniset vaatimukset

Tässä insinööriyössä esille tulevat vaatimukset perustuvat pääasiassa ”Ventilation in hospitals” -standardin kolmanteen osaan eli eristystiloihin. Eristystilojen vaatimukset ovat yleisesti tiukempia kuin Suomen laissa määritellyt vaatimukset ilmanvaihdon toiminnalle. Äänieristystä ei kuitenkaan käsitellä standardin kolmannessa osassa lainkaan. Standardin ensimmäisessä osassa, eli yleisissä vaatimuksissa, on potilashuoneiden sallituksi äänitasoksi määritelty pienempi kuin 30 dB. Suomen lain sallima jatkuvan laajakaistaisen äänen maksimi desibeliarvo potilastiloissa on kuitenkin 28 dB. Edellisen kaltaisissa tapauksissa, joissa Suomen laissa tai yleisesti käytössä olevalla Talotekninen teollisuus ja kauppa ry:n ylläpitämällä Talotekniikkainfo-sivustolla on asetettu tiukempia vaatimuksia kuin standardissa, on tässä insinööriyössä noudatettu tiukempaa vaatimusta. Seuraavissa luvuissa 3.1–3.11 dokumentoidaan standardin vaatimuksia käymällä tarkemmin läpi eristystilojen ilmanvaihdolle asetettuja edellytyksiä. [9]

3.1 Eristystilojen ilmanvaihdon mitoitus

Standardissa annetaan ohjeet eristystilojen ilmanvaihdon mitoituksesta. Potilashuoneiden osalta mitoitus perustuu oletukseen tilan ilmaan tulevien taudinaiheuttajien määrän pysyvyydestä vakiona. Taudinaiheuttajien lähteenä on eristysruoneessa oleva potilas, joka hengittää tunnissa ulos noin 54 m³ ilmaa, jonka kaiken oletetaan olevan saastunutta. Ilmanvaihdon hyötysuhteen oletetaan olevan 75 % ja eri tyyppisille potilashuoneille on määritelty haluttu palautumisaste. Näillä tiedoilla päästään kaavaan 1, jolla voidaan laskea potilashuoneiden ilmamäärät. [19, s. 17.]

$$Q_v = k * \frac{Q_{vh}}{IV_H} \quad (1)$$

| | |
|----------|--|
| Q_v | potilashuoneen ilmavirta (m ³ /h) |
| k | haluttu ilman epäpuhtauksien laimennuskerroin, esim 10/1 |
| Q_{vh} | kontaminoitunut hengitysilma (m ³ /h) |
| IV_H | ilmanvaihdon hyötysuhde |

Koska lukuun ottamatta S_B -tartuntaeristystä on potilashuoneiden halutuksi laimentumiskertoimeksi määritelty 10/1, tulee niiden vaadituksi ilmavirraksi 200 dm³/s. S_B -tartuntaeristykselle on halutuksi laimentumiskertoimeksi määritelty kaksinkertainen 20/1 jolloin S_B -tason potilashuoneiden vaadittu ilmavirta on 400 dm³/s. Näiden tietojen perusteella saadaan taulukon 1 mukaiset tilojen palautumisajat, jotka ovat muille 25 minuuttia ja S_B -tartuntaeristykselle 12 minuuttia. Nämä arvot eivät ole sidottuja potilashuoneen kokoon vain ainoastaan potilaan uloshengittämään ilmaan. Tästä johtuen potilashuoneen ilmanvaihtokerroin on suoraan riippuvainen potilashuoneen tilavuudesta.

Käytettäessä sekoitettavaa ilmanjakoa voidaan potilashuoneen CFU-pitoisuus tasapainotilassa laskea kaavalla 2 olettaen, että ilma sekoittuu täysin. [17, s. 254.]

$$C_e = \frac{q_c}{Q_v} \quad (2)$$

| | |
|-------|--|
| C_e | taudinaiheuttajien pitoisuus ilmassa (CFU/m ³) |
| q_c | taudinaiheuttajien ilmaan leviämisenopeus (CFU/h) |
| Q_v | tuloilmavirta (m ³ /h) |

Sulkuhuoneen ilmanvaihdon mitoitus perustuu puolestaan odotusaikaan sulkuhuoneessa. Sulkuhuoneille on määritelty odotusaika, jonka kuluessa tilan ilman taudinaiheuttajapitoisuuden tulee palautua haluttuun tasoon. Muilla kuin S_B -tartuntaeristystilojen sulkuhuoneilla odotusaika on 3 minuuttia, jonka aikana sulkuhuoneiden ilman taudinaiheuttajien määrän on laimennettava kymmenesosaan. S_B -tartuntaeristystilojen laimentumisvaatimuksena taas on 1/50 viidessä minuutissa. Standardiin SFS-EN ISO 14644-3 perustuva kaava 3 on perusteena tarvittavan ilmanvaihdon mitoittamiselle. [20, s. 47–48.]

$$C(t) = C_0 e^{-nt} \quad (3)$$

| | |
|-----------|--|
| $C(t)$ | on taudinaiheuttajapitoisuus ajan t kuluttua |
| C_0 | on taudinaiheuttajapitoisuus hetkellä $t = 0$ |
| n_{ivk} | on ilmanvaihtokerroin |
| t | on hetkestä ($t=0$) kulunut aika |

Standardissa tilalle määriteltynä palautumisaikana on tilan taudinaiheuttajapitoisuuden laskettava laimentumiskertoimen käänteisluvun mukaiseen arvoon. Kaavassa 4 on käytetty esimerkkinä S_A -tason sulkutilan laimentumiskerrointa. [5, s. 37.]

$$e^{-n_{ivk}t} = \frac{c(t)}{c_0} = \frac{1}{10} \quad (4)$$

Ratkaistaan seuraavaksi palautumisaika t .

$$t = -\frac{1}{n_{ivk}} = \ln \frac{1}{10} \approx \frac{2,3}{n_{ivk}} \quad (5)$$

Koska standardi asettaa selvät arvot sulkuhuoneen vaaditulle palautumisajalle, voidaan kaava 5 muuttaa muotoon ratkaisemaan tarvittava ilmanvaihtokerroin.

$$n_{ivk} = \frac{2,3}{t} \quad (6)$$

Ilmanvaihtokertoimien laskemisessa käytettävä huoneen tilavuus lasketaan kertomalla huoneen pinta-ala huoneen korkeudella lattiasta alakattoon kaavan 7 mukaan. [2, s. 12.]

$$V = A * h \quad (7)$$

| | |
|---|-------------------------------------|
| V | huoneen tilavuus (m ³) |
| A | huoneen pinta-ala (m ²) |
| h | huoneen korkeus (m) |

Kun huoneen tilavuus on tiedossa, voidaan halutun ilmanvaihtokertoimen saavuttamiseen vaadittava ilman tilavuusvirta laskea kaavan 8 avulla.

$$Q_{vi} = \frac{V}{n_{ivk}} \quad (8)$$

Q_{vi} tuloilmavirta (m³/h)
 V huoneen tilavuus (m³)
 n_{ivk} ilmanvaihtokerroin (1/h)

Taulukko 1. Eristystilojen ilmanvaihdon mitoitusarvoja [19, s. 9].

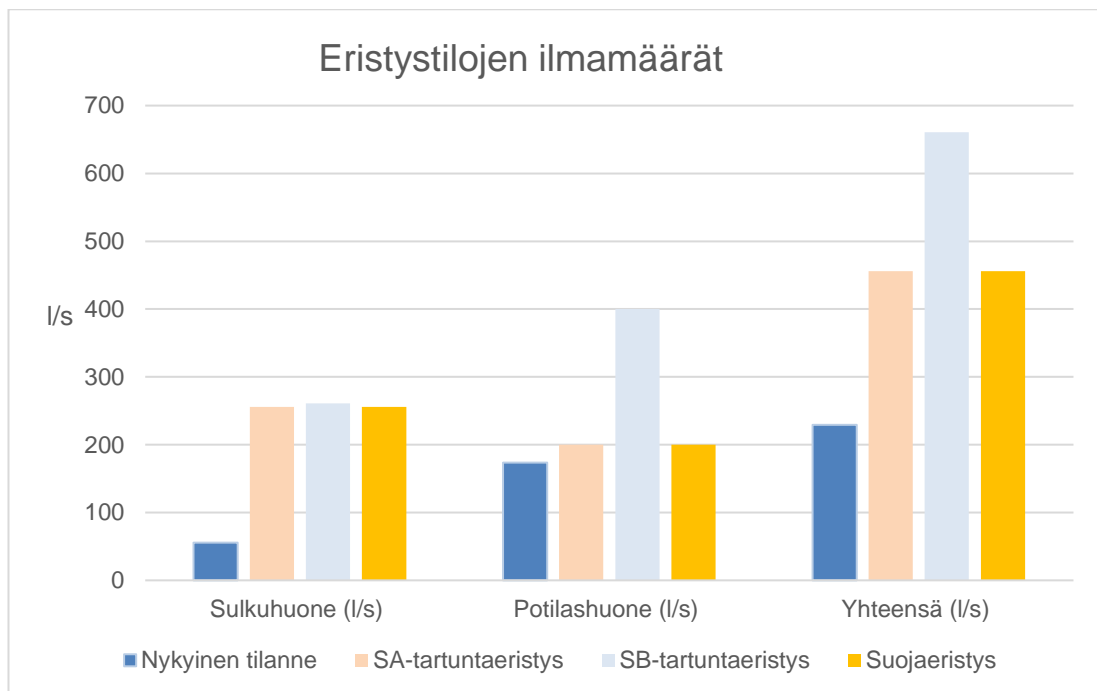
| Eristystilan tyyppi | Tartuntaeristys S_A | Tartuntaeristys S_B | Suojaeristys | Yhdistetty tartunta- ja suojaeristys |
|--|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------------------------------|
| Ilmavirta(dm ³ /s)* Potilashuone | 200 | 400 | 200 | 200 |
| Palautumisaika (1:100) | | | | |
| Potilashuone (60 m ³) | < 25 min | < 12 min | < 25 min | < 25 min |
| Sulkuhuone | < 6 min | < 8 min | < 6 min | < 6 min |
| Odotusaika sulkuhuoneessa** | > 3 min | > 5 min | > 3 min | > 3 min |
| Tyypillinen ilmanvaihtokerroin*** | | | | |
| Potilashuone (60 m ³) | > 12 1/h | > 24 1/h | > 12 1/h | > 12 1/h |
| Sulkuhuone | > 46 1/h | > 36 1/h | > 46 1/h | > 46 1/h |
| Kylpyhuone | - | - | - | - |

* Sulkuhuoneen ilmavirta mitoitetaan palautumisajan perusteella.

** Odotusaikaa sulkuhuoneessa voidaan lyhentää kasvattamalla ilmavirtaa lyhyemmän palautumisajan saavuttamiseksi.

*** Tyypillinen ilmanvaihtokerroin laimennuksen osatekijöiden perusteella. (Liite 1)

”Ventilation in hospitals” -standardissa on potilashuoneiden ilmamäärät ja eri tilojen tavoitepalautumisajat ja tyypilliset ilmanvaihtokertoimet esitetty taulukon 1 mukaisesti. Eristystilojen tyypilliset ilmanvaihtokertoimet ovat käyttötarkoituksesta riippuen potilashuoneille noin 12–24 1/h, ja sulkutiloilla noin 36–46 1/h. Työterveyslaitoksen vuonna 2012 viidessä suomalaisessa sairaalassa toteuttamien mittauksien mukaan nämä arvot mitatuissa eristystiloissa olivat 5–13 1/h potilashuoneissa ja 5–15 1/h sulkutiloissa. Tästä voidaan päätellä, että erityisesti sulkutilojen ilmanvaihtoa täytyy tehostaa noin 3–4 kertaiseksi nykyisestä tilanteesta. Myöskään mikään mitatuista potilashuoneista ei täyttänyt ilmanvaihtokertoimensa puolesta tartuntaeristystason S_B vaatimuksia. [1, s. 53.]



Kuva 1. Eristystilojen ilmamäärät pylväskaaviona

Insinööriyössä on tehty erilaisten tilojen mallisuunnitelmia mahdollisista tavoista toteuttaa standardin vaatimukset. Nämä mallit perustuvat mitoitukseltaan eristystilaan, jonka potilashuone on pinta-alaltaan 25 m², sulkuhuone 8 m² ja kylpyhuone 5,5 m². Tilat olivat korkeudeltaan 2,5 metriä lattiasta alakattoon. Nykyinen tilanne on otettu mukaan vertailun vuoksi ja perustuu Työterveyslaitoksen vuonna 2012 eristystiloissa tekemiin mittauksiin. [1, s. 53.]

Kuvasta 1 voidaan havaita, että johtuen standardin vaatimuksista varsinkin sulkuhuoneiden kasvavat ilmamäärät ovat niin isoja muutoksia, että ne vaikuttavat esimerkiksi kanaalien ja päätelaitteiden kokoihin sekä tiloja palvelevien ilmanvaihtokoneiden mitoittamiseen huomattavasti. Potilashuoneiden osalta nykytilanteeseen verrattuna ei ole suurta muutosta havaittavissa lukuun ottamatta S_B -tartuntaeristystä, jonka ilmamäärävaatimus on noin kaksinkertainen nykytilanteeseen verrattuna. Eristysyksiköiden potilas- ja sulkuhuoneiden yhteenlasketuissa ilmamäärissä nähtiin huomattavaa kasvua. Nykyiseen tilanteeseen verrattuna eristysyksiköihin tuotavat ja niistä poistettavat ilmamäärät noin kaksinkertaistuvat ja vaativimman S_B -tartuntaeristys tapauksessa jopa kolminkertaistuvat.

Taulukko 2. Eristystilojen tarkat ilmamäärät ja ilmanvaihtokertoimet. Mitoitukset perustuvat insinööriyön mallisuunnitelmissa käytetyn huoneen mittoihin. Potilashuoneen pinta-ala oli 25 m² ja sulkuhuoneen 8 m². Huonekorkeus lattiasta alakattoon oli 2,5 metriä.

| | Sulkuhuone (l/s) | Potilashuone (l/s) | Yhteensä (l/s) | Sulkuhuone ilmanvaihtokerroin (1/h) | Potilashuone ilmanvaihtokerroin (1/h) |
|---|------------------|--------------------|----------------|---|---|
| Nykyinen tilanne | 56 | 174 | 229 | 10 | 10 |
| S_A-tartuntaeristys | 256 | 200 | 456 | 46 | 12 |
| S_B-tartuntaeristys | 261 | 400 | 661 | 47 | 23 |
| Suojaeristys | 256 | 200 | 456 | 46 | 12 |

Taulukossa 2 esitettyjen tarkempien ilmamäärien ja ilmanvaihtokertoimien perusteella voidaan havaita sama. Taulukossa 2 korostuu myös vahvasti muutoksen suuruus sulkuhuoneiden osalta. Sulkuhuoneiden ilmanvaihtokertoimet ovat lähes viisi kertaa suurempia verrattuna nykyiseen tilanteeseen.

3.2 Tuloilman laatu ja suodatus

Taulukko 3. Minimivaatimukset tuloilman laadulle ja suodatukselle [2, s. 9].

| Eristystilantyyppi | Tartuntaeristys S_A | Tartuntaeristys S_B | Suojaeristys | Yhdistetty tartunta- ja suojaeristys |
|--|--|--|-------------------------------|---|
| Tuloilman laatu (Tuloilma on 100% ulkoilmaa) | SUP1 (Ventilation in hospitals osa 1, 8.12.1) | SUP1 (Ventilation in hospitals osa 1, 8.12.1) | SUP1 + H13 terminal filter | SUP1 + H13 terminal filter |
| Tuloilman suodatus | | | Vähintään H13 | Vähintään H13 |

Eristystilan tuloilman tulee täyttää taulukon 3 mukaisesti puhtausluokka SUP1:n vaatimukset. Suomen puhdas ulkoilma yhdistettynä tuloilman suodatukseseen on oletettavasti aiheuttanut sen, että tämä vaatimus on useimmiten täytynyt nykytilanteessakin. Tartuntaeristystilojen tuloilmalla ei ole muita suodatusvaatimuksia kuin SUP1-luokkaan pääsemiseksi vaaditaan, koska siellä olevan sisäilman laadun oletetaan olevan heikompaa kuin sinne tuotavan ilman. [2, s. 9.]

Taulukko 4. Tuloilman laatuluokitus [14].

| Luokka | Kuvaus | Hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot | |
|--------|---|--|------------------------|
| | | PM2,5 | PM10 |
| SUP 1 | Tuloilma - erittäin pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet | 6 µg/m ³ | 12,5 µg/m ³ |
| SUP 2 | Tuloilma - pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet | 12,5 µg/m ³ | 25 µg/m ³ |
| SUP 3 | Tuloilma - keskimääräiset hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet | 18 µg/m ³ | 37,5 µg/m ³ |
| SUP 4 | Tuloilma - suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet | 25 µg/m ³ | 50 µg/m ³ |
| SUP 5 | Tuloilma - erittäin suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet | 32,5 µg/m ³ | 75 µg/m ³ |

Taulukon 4 mukaisesti SUP1-luokan tuloilmassa on korkeintaan hyvin vähäisiä määriä partikkeleja sekä kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia. Siihen pääsemiseen tarvitaan yleensä ilmansuodattimien käyttöä.

Taulukko 5. Hiukkasmaisten epäpuhtauksien arvoja eri mittauspisteissä vuonna 2017 [10]

| PM10 | | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Havaintoasema | Vuosikeskiarvo (µg/m ³) | Korkein vrk-arvo (µg/m ³) |
| Helsinki Mannerheimintie | 19,1 | 155,1 |
| Oulu keskusta 2 | 11,8 | 52,5 |
| Jyväskylä Lyseo 2 | 11,4 | 69,4 |
| PM2,5 | | |
| Havaintoasema | Vuosikeskiarvo (µg/m ³) | Korkein vrk-arvo (µg/m ³) |
| Helsinki Mannerheimintie | 6,2 | 19,6 |
| Jyväskylä Lyseo 2 | 2 | 12,2 |
| Oulu keskusta 2 | 4,7 | 13,1 |

Taulukko 6. Ulkoilman puhtausluokitus. Ulkoilman puhtausluokan määrittely täytyy lisäksi tehdä erikseen ulkoilman partikkelin ODA(P) ja kaasujen ODA(G) perusteella. [14]

| 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 ³ | 50 µg/m ³ (24h) 40 µg/m ³ (vuosi) |
| ODA 2 (P) | Ulkoilma, jossa on suuria hiukkasmaisia ja/tai kaasumaisia epäpuhtauspitoisuuksia. | 37,5 µg/m ³ | 75 µg/m ³ (24h) 60 µg/m ³ (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 ³ | yli 75 µg/m ³ (24h) yli 60 µg/m ³ (vuosi) |

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

Ulkoilman puhtauden selvittäminen täytyy tehdä tapauskohtaisesti, mutta yleisesti Suomessa on varsin puhdasta ulkoilmaa. Esimerkiksi taulukon 5 perusteella nähdään, että ainoastaan Helsingin keskustassa Mannerheimintielle sijaitseva Ilmatieteen laitoksen mittauspiste on jäänyt huonoimpaan ODA 3-luokkaan PM10 24 tunnin keskiarvon ylittäessä taulukon 6 mukaan sallitun 75 mikrogrammaa kuutiossa ilmaa.

Taulukko 7. Ulkoilman suodatuksen tarve partikkelipitoisuuden perusteella [7, s. 34].

| Outdoor air quality | Supply air class | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | SUP 1 | SUP 2 | SUP 3 | SUP 4 | SUP 5 |
| ODA (P) 1 | 88 % ^a | 80 % ^a | 80 % ^a | 80 % ^a | Not specified |
| ODA (P) 2 | 96 % ^a | 88 % ^a | 80 % ^a | 80 % ^a | 60 % |
| ODA (P) 3 | 99 % ^a | 96 % ^a | 92 % ^a | 80 % ^a | 80 % |

^a Combined average filtration efficiency over a single or multiple stage filtration in accordance to average filtration efficiency specified in EN 779.

Taulukon 7. ilmansuodatusvaatimuksiin pääsemiseen vaadittavat suodattimet saadaan kaavasta 9.

$$E_t = 100 * \left(1 - \left(\left(1 - \frac{E_{s1}}{100} \right) * \left(1 - \frac{E_{s2}}{100} \right) * \dots * \left(1 - \frac{E_{sn+1}}{100} \right) \right) \right) \quad (9)$$

E_t suodatuksen kokonaissuodatustehokkuus (%)

E_{sn+1} yksittäisen suodattimen suodatusteho (%)

Taulukko 8. Tuloilmansuodatus [14].

| | Tuloilmaluokka | | | | |
|----------------|----------------|---------|---------|-------|-------|
| Ulkoilmaluokka | SUP 1 | SUP 2 | SUP 3 | SUP 4 | SUP 5 |
| ODA (P) 1 | M5 + F7 | F7 | F7 | F7 | |
| ODA (P) 2 | F7 + F7 | M5 + F7 | F7 | F7 | *) |
| ODA (P) 3 | F7 + F9 **) | F7 + F7 | M6 + F7 | F7 | *) |

*) SUP 5 tuloilmaluokan hiukkaspitoisuus on suurempi kuin asumisterveysasetuksen toimenpideraja huoneilmalle.

**) Pyrittäessä ODA3 -ulkoilmaympäristössä (isompien kaupunkien keskusta-alueet sekä teollisuusalueiden ympäristöt) parhaaseen tuloilmaluokkaan SUP1 suositellaan käytettäväksi hiukkassuodatuksen lisäksi myös kaasusuodatusta (SFS-EN16798-3:2017).

Tuloilman laatutason SUP1 saavuttamiseen minimissään tarvittava suodattimen määrä ja laatu määritellään standardiin SFS-EN 16798-3:2017 perustuvan taulukon 8 perusteella. Lisäksi on otettava huomioon mahdollinen HEPA-suodattimen tarve taulukon 2 määrittelemissä tilanteissa. Jos HEPA-suodatinta käytetään, on toimiva käytäntö käyttää karkeampana esisuodattimina F7- ja F9-tason ilmansuodattimia. Tämä lisää selvästi HEPA-suodattimen käyttöikä. [6]

Taulukko 9. Kaasusuodatuksen tarpeen määrittäminen [7, s. 35].

| Outdoor air quality | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------|-------|
| | SUP 1 | SUP 2 | SUP 3 | SUP 4 | SUP 5 |
| ODA (G)1 | recommended | | | | |
| ODA (G) 2 | required | recommended | | | |
| ODA (G)3 | required | required | recommended | | |
| G = Gas filtration; should be considered if design SUP quality category is above design ODA quality category. Dimensioning should be done in accordance with EN ISO 10121-1 and EN ISO 10121-2. | | | | | |

NOTE Further consideration on gas filtration is given in CEN/TR 16798-4.

Pyrittäessä tuloilmaluokkaan SUP1 ja käytettävissä olevan ulkoilman haitallisten kaasujen määrän takia ulkoilman luokan ollessa ODA(G)2 standardi SFS-EN 16798-3:2017 vaatii käyttämään kaasusuodatusta taulukon 9 mukaisesti. Myös ulkoilmaluokan ODA(G)1 kanssa suositellaan käytettävän kaasusuodatusta. On kuitenkin huomattava, että taulukko 7, joka on kotimaiselta Talotekniikkainfo-sivustolta, ei anna yhtä tiukkoja ohjeita kaasusuodatuksen suhteen. Onkin suositeltavaa tarkastella kaasusuodatuksen tarvetta tapauskohtaisesti. Jos kaasusuodatusta käytetään, asennetaan suodatin yleensä tason F8 tai F9 partikkelisuodattimien jälkeen ilmanvaihtokoneesta katsoen ja epäpuhtauskoostumus määrää suodatusmassan. [7, s. 35.]

3.3 Ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoitus

”Ventilation in hospitals” -standardissa ohjeistetaan huomioimaan taudinaiheuttajien leviäminen ilmanvaihtoa suunniteltaessa. Turun Ammattikorkeakoulussa tehdyn Kalliomäen ja Koskelan raportin mukaan taudinaiheuttajien leviämistä voidaan merkittäväällä tavalla ehkäistä tuloilmapäätelaitteiden sijoituksella. Heidän tekemiensä käytännön koekoiden perusteella nähdään, että erityisesti suoraan potilassängyn päällä oleva päätelaite ja alaspäin puhaltava ilmavirta suojaa tehokkaasti hoitohenkilökuntaa. [12, s. 5.]

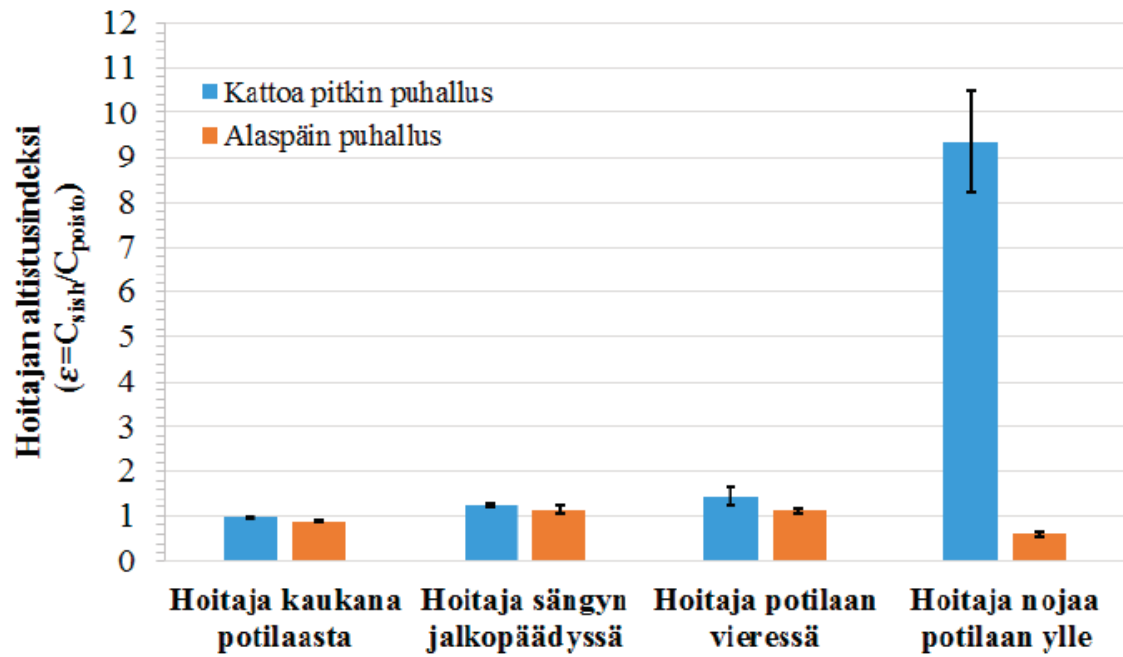


Kuva 2. Potilassängyn päällä oleva hajottaja puhaltaa ilmaa kattoa pitkin. Nukesta tuleva savu kuvaa potilaan hengitystä [12, s. 36].



Kuva 3. Hajottaja puhaltaa ilmaa alaspäin [12, s. 36].

Kuvassa 2 hajottaja potilassängyn päällä puhaltaa pitkin kattoa, ja kuvassa 3 ilmavirta ohjataan alaspäin. Kuvissa näkyy selvästi merkkisavun erilainen leviäminen, josta voi päätellä, että alaspäin puhaltava ilmavirta suojaa hoitajaa selvästi paremmin.



Kuva 4. Hoitajan sisään hengittämän merkkiaineen pitoisuus. Puhalletut ilmamäärät olivat kaikissa vaihtoehdoissa samoja. [12, s. 43]

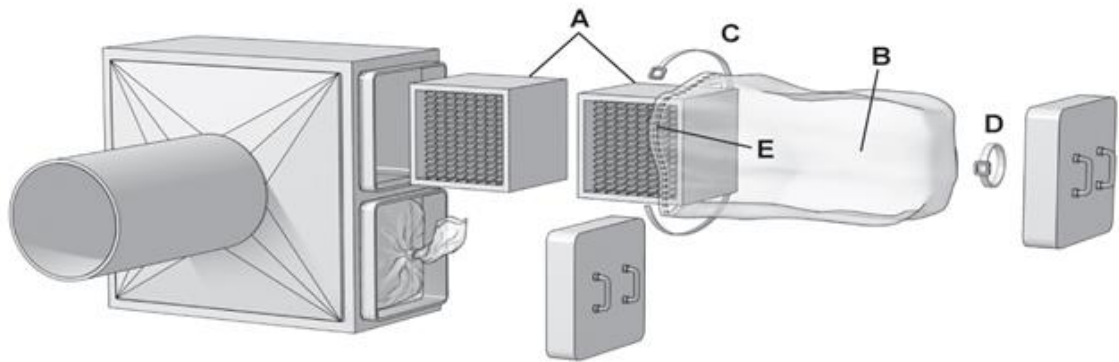
Kalliomäen ja Koskelan mittaukset kuvien 2 ja 3 mukaisesta tilanteesta tukevat kuvan 4 mukaan päätelmää, jonka pelkän merkkisavun käyttäytymisen perusteella voi tehdä. Eri-tyisesti hoitajan nojattessa potilaan ylle on altistus taudinaiheuttajille huomattavasti suurempaa, kun ilmaa puhalletaan kattoa pitkin.

3.4 Poistoilmansuodatus

Taulukko 10. Minimivaatimukset poistoilman laadulle ja suodatukselle [19, s. 10]

| | Tartuntaeristys S_A | Tartuntaeristys S_B | Suojaeristys | Yhdistetty tartunta- ja suojaeristys |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|---|
| Poistoilma (EN 13779) | | | | |
| Poistoilman suodatus | Vähintään H13 | Vähintään H13 | | Vähintään H13 |

Ilmansuodattimet asennetaan tulo- ja poistokanaviin taulukon 10 mukaan. Jos poistopuolella käytetään HEPA-suodatinta, se on voitava vaihtaa turvallisesti. Turvallisesti suodattimen vaihtaminen tarkoittaa esimerkiksi mahdollisuutta ottaa likainen suodatin pois päätelaitteesta tai kanavassa olevasta suodattimesta suoraan suljettavaan muovipussiin. Kuvassa 5 on esitetty yksi toteutustapa turvavaihtokotelolle, jossa likainen suodatin saadaan vaihdettua suoraan suljettavaan muovipussiin.



Kuva 5. Yhden laitevalmistajan ilmanvaihtokanavaan asennettava turvavaihtokotelo. A. Suodattimet. B. Muovipussi C. Kiristyshihna, joka kiristetään E:llä merkityn kuminauhan päälle varmistukseksi, ettei pussi pääsee irtomaan vaihdon aikana. D. Kiristyspanta pussin sulkemista varten. E. Kuminauha, joka kiristää pussin suun tiivisti kotelon suodatinvaihtauksen reunoihin. [15]

3.5 Sulkupeltien vaatimukset

Taulukko 11. Minimivaatimukset sulkupeltien tiiveydelle [19, s. 10].

| Eristystilantyyppi | Tartuntaeristys S_A | Tartuntaeristys S_B | Suojaeristys | Yhdistetty tartunta- ja suojaeristys |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---|
| Sulkupellit | Taso 4 (EN 1751) | Taso 4 (EN 1751) | Taso 4 (EN 1751) | Taso 4 (EN 1751) |

Sekä tulo- että poistokanaviin tulee asentaa sulkupellit. Sulkupellit tulee asentaa mahdollisimman lähellä eristystiloja, mutta kuitenkin sellaiseen paikkaan missä niitä pystytään huoltamaan. Sulkupeltien tiiveysvaatimus riippuu eristystilan käyttötarkoituksesta taulukon 11 mukaan. Kaikilla erityyppisillä eristystiloilla on vaatimuksena EN 1751-standardin mukaisen tason 4 tiiveyden omaava sulkupelti, joita löytää lähes kaikkien valmistajien katalogeista.

3.6 Tilojen ja kanaviston ilmatiiveys

Taulukko 12. Minimivaatimukset eristystilojen ilmatiiveydelle [2, s. 9]

| Eristystilan tyyppi | Tartuntaeristys S_A | Tartuntaeristys S_B | Suojaeristys | Yhdistetty tartunta- ja suojaeristys |
|------------------------------|--|--|--|---|
| Eristystilan ilmatiiveys* | 0,2 l/s m ² 50 pascalin paineella | 0,1 l/s m ² 50 pascalin paineella (alipaineinen desifioinnin aikana) | 0,4 l/s m ² 50 pascalin paineella | Riippuu tartunta- eristyksen tasosta |

* Ilmatiiveys tulee testata eristystilan sisäpinnoilta mukaan lukien ovien, ikkunoiden ja seinän läpäisevien kaappien sisäpinnoilta, katso kuva 1 ja 2

Taulukko 12 määrittelee eristystilan rakenteiden tiiveysvaatimukset. Näiden lisäksi on huomioitava, että S_B -tason eristystiloihin ei suositella rakennettavan alakattoa. S_B -tason eristystiloissa ei myöskään saisi olla avattavia ikkunoita, ja muissa tapauksissa ikkunan avaaminen tulisi vaatia erityistyökaluja, ja niitä tulisi avata vain siivoustarkoituksessa. [2, s. 12.]

Taulukko 13. Minimivaatimukset kanaviston ilmantiiveydelle [19, s. 10].

| Eristystilan tyyppi | Tartuntaeristys S_A | Tartuntaeristys S_B | Suojaeristys | Yhdistetty tartunta- ja suojaeristys |
|-------------------------------|---|---|--------------|---|
| Tuloilma kanaviston tiiveys | Luokka C | Luokka C | Luokka C | Riippuu tartuntaeristyksen tasosta |
| Poistoilma kanaviston tiiveys | Luokka C ennen puhallinta Luokka D puhaltimen jälkeen* | Luokka D ennen HEPA-suodatinta Luokka C HEPA-suodattimen jälkeen | Luokka C | Luokka D ennen HEPA-suodatinta Luokka C HEPA-suodattimen jälkeen |

* Jos käytetään HEPA-suodatinta vaatimukset samat kuin S_B :llä.

Kanaviston tiiveydellä pyritään taulukon 13 vaatimusten mukaisesti varmistamaan, ettei tuloilmakanavassa kulkevaan ilmaan sekoitu kanavan ulkopuolelta heikompileatuista ilmaa ja ettei poistoilmakanavissa mahdollisesti taudinaiheuttajia sisältävää ilmaa pääsee leviämään hallitsemattomasti. Tartuntaeristystilojen poistoilmapuhallin tuleekin sijoittaa mahdollisimman kauas eristystiloista sen varmistamiseksi, että poistoilmakanavisto pysyy alipaineisena. [2, s. 11.]

Kanavistoa suunniteltaessa yleissääntönä on, että haluttu kanaviston tiiveys saavutetaan käyttämällä yhtä pykälää tavoiteltavaa tiiveysluokkaa tiiviimpiä kanavan osia [8].

3.7 Äänenvaimennus

Taulukko 14. Sallitut äänitasot potilashuoneissa [14].

| | Jatkuva laajakaistainen ääni | | Impulssimainen tai kapeakaistainen ääni | |
|------------------------------------|--|---|--|---|
| | Keskiäänitaso $L_{\Delta eq, T} (db)$ | Enimmäisäänitaso $L_{\Delta fmax, T} (db)$ | Keskiäänitaso $L_{\Delta eq, T} (db)$ | Enimmäisäänitaso $L_{\Delta fmax, T} (db)$ |
| Huone- ja ulkotila | | | | |
| Asuin-, majoitus- tai potilashuone | 28 | 33 | 25 | 30 |

Eristystilojen sallitut äänitasot ovat samat kuin muillakin potilashuoneilla ympäristöministeriön asetuksen mukaan. Taulukon 14 arvojen saavuttamiseen täytyy kiinnittää eristystilojen kohdalla erityistä huomiota, koska eristystiloihin tuodaan ja poistetaan huomattavia määriä ilmaa. Tämä aiheuttaa melua esimerkiksi kanavistossa, säätölaitteissa ja pääte-elimissä.

3.8 Ilmanvaihdon säädettävyys

Potilasviihtyvyyden ja energian säästön takia ilmanvaihdon tehon on oltava säädettävissä hoitohenkilökunnan toimesta. Kun ei ole tarvetta ilmaeristykselle, on oltava mahdollista säätää eristystilan ilmanvaihdon ilmavirtoja pienemmiksi.

Taulukko 15. Potilashuoneiden ilmanvaihdon mitoitus D2-hankkeen ohjeen mukaan [12, s. 10].

| Tila / käyttötarkoitus | Ulkoilmavirta dm^3/s | Ulkoilmavirta $dm^3/s, m^2$ | Poistoilmavirta $dm^3/s, m^2$ | Muita ohjeita |
|------------------------|--|--|----------------------------------|---------------|
| Potilashuone | 10 dm^3/s , hoitopaikka | 2,5 | yhtä suuri kuin ulkoilmavirta | |
| Potilashuone, jossa WC | yhtä suuri kuin poistoilmavirta, kuitenkin vähintään 10 dm^3/s , hoitopaikka | yhtä suuri kuin poistoilmavirta, kuitenkin vähintään 2,5 | vähintään 30 dm^3/s , huone | |

Tässä insinööriyössä eristystilan ilmanvaihdon tehon eri toimintatiloja kutsutaan eristysilmanvaihdoksi ja kevennetyksi ilmanvaihdoksi. Finvac Ry:n tuottama ohje ilmanvaih-

don mitoituksesta sairaaloiden ja lääkärikeskusten potilashuoneiden ilmanvaihdosta antaa taulukon 15 mukaiset ilmamäärät potilashuoneelle. Näitä voidaan käyttää myös eristystilojen kevennetyn ilmanvaihdon minimimäärinä.

Johtuen eristystiloissa käytettyjen päätelaitteiden, ilmamääräsäätimien ja muiden vastaavien laitteiden toimialueista saattavat nämä asettaa korkeammat minimivaatimukset ilmanvaihdon toiminnalle kevennetyssä tilassa. Esimerkiksi ilmamääräsäätimet usein vaativat tiettyä ilmannopectta toimiakseen luotettavasti. Käytettäessä eristystilakohtaisia ilmanvaihtokoneita voidaan myös hyödyntää niitä eristystilojen ilmanvaihdon säätämiseen.

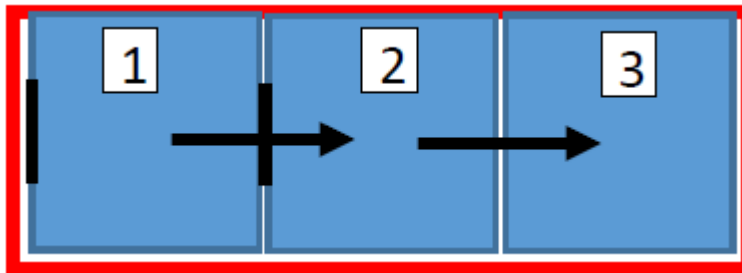
3.9 Lämmön talteenotto

Lämmön talteenotossa on käytettävä standardin SFS-EN 308 mukaista luokan II välittäjäaineeseen perustuvaa lämmöntalteenottoa, jossa ilmavirrat eivät kohtaa toisiaan lämmönsiirtimen eri puolilla. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi nestekiertoisella lämmöntalteenotolla. [2, s. 11.]

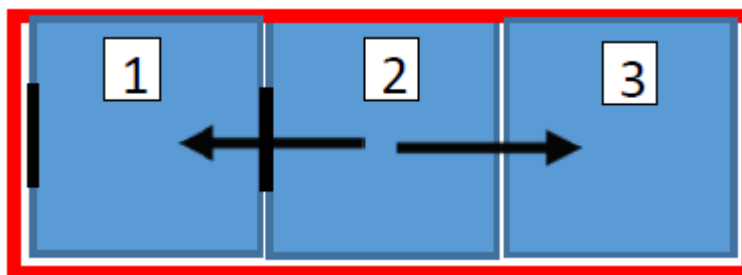
3.10 Yleiset periaatteet tilojen paine-eroille

Yleisenä ohjeena paine-eroille on, että ilman tulee aina virrata puhtaammasta likaisempaan tilaan päin. Viereisten eri puhtausluokkaan kuuluvien tilojen välisen paine-eron tulisi olla 5–20 Pa standardin SFS-EN ISO 14644:4 (2001) mukaan. [8]

Eri tyyppisten eristystilojen painesuhteet on esitetty alla olevissa kuvissa 6 ja 7. Tartuntaeristyksen tapauksessa ilmanvirtaus ohjataan paine-eron avulla sulkuhuoneesta potilashuoneeseen päin, ja potilashuoneesta kylpyhuoneeseen. Muissa tapauksissa taas pidetään potilashuoneessa ylipainetta verrattuna sulkuhuoneeseen ja kylpyhuoneeseen.



Kuva 6. Ilmanvirtaussuunta tartuntaeristystiloissa. Virtaussuunta nuolten mukaan. 1. sulkuhuone, 2. potilashuone, 3. kylpyhuone. Punainen viiva kuvaa eristystilan ilmantiiveyden mittausrajaa. [2, s. 10]



Kuva 7. Ilmanvirtaussuunta suoja- ja yhdistetyissä tartunta- ja suojaeristystiloissa. Virtaussuunta nuolten mukaan. 1. sulkuhuone, 2. potilashuone, 3. kylpyhuone. Punainen viiva kuvaa eristystilan ilmantiiveyden mittausrajaa. [2, s. 10]

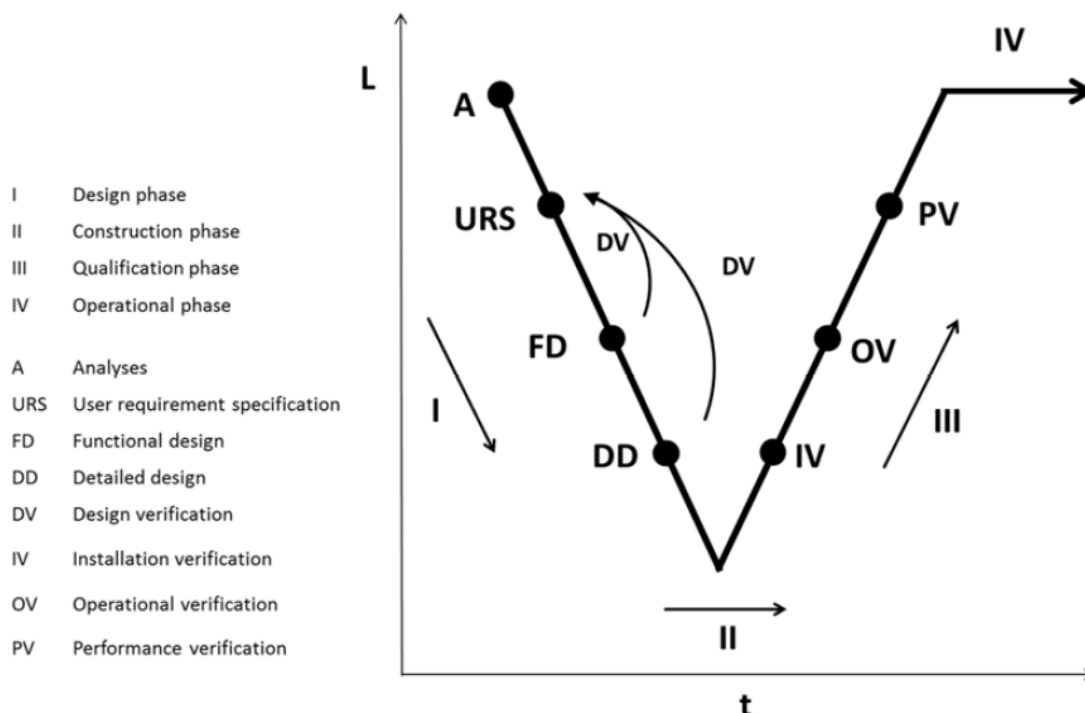
3.11 Häiriötilanteet

Eristystiloissa on oltava varoitusindikaattori, joka varoittaa häiriöistä ilmanvaihdon toiminnassa. Myös eristystilojen sisäänkäynnin luona on oltava varoitusindikaattori. Mikäli, siitä lähtee ääntä, on ääni pystyttävä hetkellisesti sulkemaan. S_B -tason eristystiloissa varoitusindikaattori tulee myös olla eristystilan valvomona toimivasta hoitajien kansliassa.

Eristystilojen ilmanvaihtokanavissa tulee olla motorisoidut sulkupellit, jotka sulkeutuvat automaattisesti sähkön jakelun katketessa tai ilmanvaihtokoneen tulo- tai poistopuhaltimen sammussa. [2, s. 11.]

4 Eristystilojen laadunvarmistus

Seuraavaksi käydään läpi standardin vaatimusten perusteella eristystilojen laadunvarmistusta. Kuvassa 8 toteuttamisprosessi on jaettu neljään eri vaiheeseen, jotka ovat suunnittelu, rakentaminen, validointi ja käyttöönotto. Tilan toteuttaminen lähtee liikkeelle suunnitteluvaiheesta, jonka aluksi analysoidaan tilan tarpeet ja vaatimukset. Tilan käyttötarkoituksen ja sille asetettujen vaatimusten määrittämisen perusteella saadaan käyttäjän parametrit tilalle (User requirement specification). Tämän jälkeen voidaan aloittaa tilan yleissuunnittelu (Functional design), joka tarkentuu toteutussuunnitteluksi (Detailed design). Koko suunnitteluprosessin ajan suunnitelmia verrataan tilaajan vaatimuksiin ja muokataan tarpeen mukaan.



Kuva 8. Eristystilan toteuttamisprosessi [2, s. 13]

Kun suunnitelmat on tehty, siirrytään tilan rakentamisen vaiheeseen. Käytännössä toteuttamisprosessin vaiheet eivät välttämättä etene aivan yhtä suoraviivaisesti vaiheesta toiseen kuin kuvassa 8 on esitetty, esimerkiksi suunnitteluvaihe ja rakentamisvaihe saattavat osittain tapahtua ajallisesti päällekkäin. Eristystilan valmistuttua on vuorossa validointivaihe. Tässä vaiheessa testataan ja hyväksytään tilan toiminnot ja varmistetaan, että tavoiteltuihin arvoihin päästään.

Vaiheessa III käydään läpi kolme asiaa: se, että 1) asennukset on tehty oikein (Installation verification), 2) tila ja siinä sijaitsevat laitteet toimivat suunnitellusti (Operational verification) ja 3) tavoitellut raja-arvot toiminnalle saavutetaan (Performance verification). Kun kaikki nämä testit ovat hyväksytysti suoritettu, voidaan siirtyä vaiheeseen IV, joka on tilan käyttöönotto sille suunniteltuun tarkoitukseen.

Seuraavissa luvuissa (4.1–4.4) käydään läpi eristystilojen ilmanvaihdon laadunvarmistukseen liittyviä tekijöitä tilaajaan, asennukseen, toimintaan ja suorituskykyyn liittyen. Nämä perustuvat ”Ventilation in hospitals” -standardiin.

4.1 Tilaajan vaatimukset

Eristyshuoneita suunniteltaessa ja rakennettaessa on tärkeää käydä läpi se, mitä tilalta halutaan. Näin suunnitellaan kustannus–laatu–suhteeltaan tarkoituksenmukaisia eristystiloja, eikä esimerkiksi suunnitella ja rakenneta S_B -tiloja, kun S_A -tasokin riittäisi.

Standardi ohjeistaa käymään suunnittelua aloitettaessa läpi seuraavat asiat:

- tilassa tehtävien toimintojen ja aktiviteettien kuvaus
- prosessien kuvaus
- huomioonotettavat säädökset, standardit ja ohjeistukset
- käytettävissä olevat resurssit
- rakennuksen sijainti, mitoitus, infrastruktuuri
- muuntojoustavuus (lainsäädäntö, standardit, lääketieteen kehitys)
- lääketieteellisten toimintojen määrittely ja strateginen suunnittelu tulevaisuuden hoitotoimenpiteistä ja laitevaatimuksista [2, s. 8].

4.2 Asennusten laadunvarmistus

Asennusten laadun tarkistuksesta standardi ohjeistaa huomioimaan ainakin seuraavat asiat:

- Toteutussuunnitelma vastaa standardin vaatimuksia ja asennukset vastaavat toteutussuunnitelmaa.
- Järjestelmän osat on asennettu niin, että ne ovat käytettävissä ja huollettavissa.
- Mittauslaitteiden oltava kalibroituja.
- Rakentamisessa käytettyjen materiaalien laatu.
- Ilmantiiveystestit.
- Varajärjestelmien ja häiriöistä ilmoittavien laitteiden toiminta.
- Ilmansuodattimien asennusten varmistaminen.
- Järjestelmän puhtauden tarkistaminen.
- Kerättävä eri laitteiden toimittajilta dokumentaatio järjestelmän eri laitteiden asennuksesta ja huollosta.
- HEPA-suodattimien testaus standardin EN 1822 mukaan.

4.3 Toiminnan laadunvarmistus

Toiminnan laadunvarmistamiseksi on suoritettava kaikki ”Ventilation in Hospitals” -standardin osassa 1 eli yleisissä vaatimuksissa mainitut testit. Lisäksi eristystiloille on tehtävä testi ilmanlaadun palautumisesta standardin ISO-EN 14644-3 mukaan. Testaus tehdään eristystilan lepotilassa, kun kaikki laitteet ja kalusteet on asennettu.

Testattaessa on käytettävä vähintään kahta mittauspistettä sulkuutilassa ja potilashuoneessa. Potilashuoneessa mittauspisteet sijaitsevat n. 1,5 metrin korkeudella potilaan sängyn vieressä sillä kohtaa, jossa potilaan pään oletettaisiin sijaitsevan. Toinen mittauspiste sijoitetaan lähellä poiston päätelaitteita. Sulkuutilassa mittauspisteet sijaitsevat työskentelykorkeudella huoneen keskiosassa, ja toinen lähellä poiston päätelaitteita. Ennen testausta lasketaan, millainen konsentraatio epäpuhtauksia tilassa tulisi olla simuloimaan tilaa käyttötilanteessa. [2. s. 16.]

Testi on suoritettava standardin ISO-EN 14644-3 ja ”Ventilation in Hospitals” -standardin osan 3 eli eristyshuoneille asettamien vaatimuksien mukaan. Testiä suoritettaessa on huomioitava valmistajan testauslaitteelle asettamat vaatimukset ja laitteen kalibrointisertifikaatti. Testissä käytettävän hiukkaspartikkelin läpimitta tulee olla korkeintaan 0,5 mikrometriä. Ilmanvaihtolaitteiden tulee olla toiminnassa, kun tila kontaminoidaan testausta varten. Ilman epäpuhtaudet tulee nostaa yli satakertaisiksi tavoite puhtaustasosta. Mittauksissa tulee käyttää korkeintaan minuutin mittausvälejä, ja ilman epäpuhtauksien konsentraatio on kirjattava, joka mittausvälillä. [2. s. 16.]

4.4 Suorituskyvyn laadunvarmistus

Käytön laadunvarmistuksessa on käytävä läpi ainakin seuraavat asiat:

- äänitasot
- lämpötila, ilmankosteus ja ilmannoisuus oleskeluvyöhykkeellä
- tilojen väliset paine-erot
- tilan puhtaus

Kaikki yllämainitut on testattava tilan ilmanvaihdon ollessa toiminnassa. [2, s. 37.]

5 Eristystilojen ilmanvaihdon mallisuunnitelmat

Insinööriyön toisena tavoitteena oli suunnitella standardin vaatimukset täyttävät mallisuunnitelmat eri tyyppisistä eristystiloista. Mallisuunnitelmien avulla pystytään valmistautumaan standardin asettamiin vaatimuksiin testaamalla, miten standardin vaatimukset ovat toteutettavissa todellisissa sairaalakohteissa. Mallisuunnitelmien avulla saadaan myös selvitettyä, minkälaisia vaatimuksia standardi asettaa esimerkiksi talotekniikan tilan tarpeen, laitteistojen teknisten ominaisuuksien ja huollettavuuden suhteen.

5.1 Mallisuunnitelmat

Insinööriyön liitteinä 2–5 ovat mallisuunnitelmat S_A - S_B -tasojen tartuntaeristystiloille, suojaeristystilalle ja S_A -tason yhdistetylle tartunta- ja suojaeristystilalle. Ne on luotu luvussa 3 lueteltujen standardin vaatimusten perusteella. Yleisesti mallisuunnitelmien ideana on ollut käyttää ratkaisua, jossa tilojen painesuhdetta ylläpidetään ohjaamalla ilmamääräsäätimien toimintaa paine-eroantureiden ja rakennusautomaatiikan avulla liitteen 6 toimintakaavion mukaisesti. Paine-eroa mitataan käytävän ja sulkuhuoneen välillä sekä sulkuhuoneen ja potilashuoneen välillä. Eristystilan ulkopuolella olevasta 2-asentoisesta kytkimestä pystytään säätämään eristystila ali- tai ylipaineiseksi sekä ottamaan paineenhallinta pois käytöstä. Jos saman eristystilan halutaan olevan muunneltavissa tarpeen mukaan ali- tai ylipaineiseksi, käytössä on 3-asentoinen kytkin.

Standardin ohje huomioida ilmanjaon merkitys taudinaiheuttajien leviämisessä on tartunta- ja yhdistetyissä tartunta- ja suojaeristystiloissa otettu huomioon käyttämällä vaihtoehtoisia tuloilmapäätelaitteita. Potilashuonetta palvelemaan asennetaan vähintään kaksi tuloilmapäätelaitetta ja ilmavirta ohjataan tarpeen mukaan eri päätelaitteille. Toinen päätelaitteista asennetaan potilassängyn päälle ja suurimman osan ajasta käytössä olevat päätelaitteet kauemmas potilassängystä. Normaali eristystilailmanvaihdon ja suojaavan ilmanvaihdon kytkennän voi toteuttaa esimerkiksi sulkuhuoneeseen sijoitettavalla kytkimellä, jonka hoitaja laittaa päälle mennessään potilashuoneeseen ja ottaa pois päältä poistuessaan takaisin sulkuhuoneeseen. Potilassängyn päällä olevan päätelaitteen heittokuvio suunnataan alaspäin luvun 3.2 mukaisesti. Tuloilmapäätelaitteiden heittokuviossa otetaan tarkemmin huomioon vedon tunne ja pääasiallisesti käytössä oleva tuloilmapäätelaitte voidaan asettaa jakamaan ilmaan esimerkiksi alakaton suunnassa.

Suoraan potilassängyn päällä olevan päätelaitteen alaspäin puhaltavasta heittokuviosta aiheutuu mahdollisesti vedon tunnetta, mutta otettaessa huomioon vierailun keskimääräinen kesto potilaan luona (10 minuuttia) tämä on hyväksyttävissä. Tämän ratkaisun avulla pystytään aikaansaamaan sairaalahenkilökunnan ja vierailijoiden kannalta turvallisempi ympäristö heidän ollessaan potilaan läheisyydessä. [12, s. 28.]

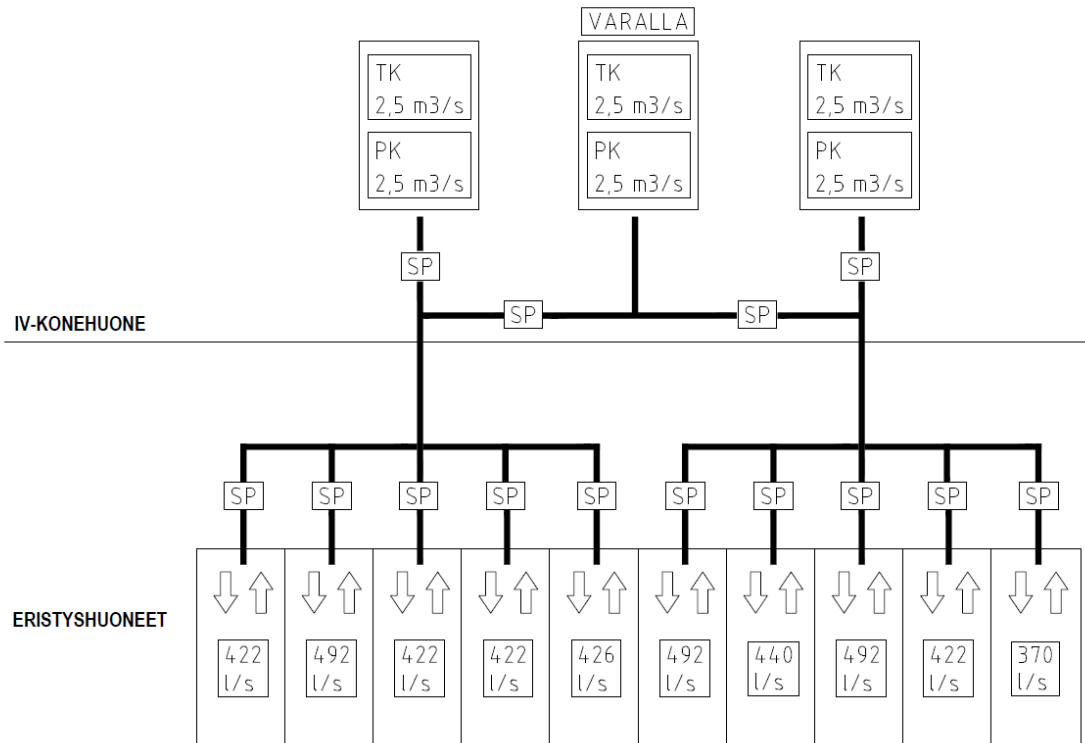
Mallisuunnitelmissa on käytetty vain päätelaitteita, joissa on HEPA-suodatin. Standardi ei kuitenkaan vaadi tätä. Vain suojaeristys ja yhdistetty suoja- ja tartuntaeristys asettaa vaatimuksen HEPA-suodattimessa tuloilmapäätelaitteissa. HEPA-suodatuksen käyttö esimerkiksi heti tartuntaeristystilojen poistoilmapäätelaitteissa, sen sijaan että suodatin sijaitsisi kanavistossa, estää taudinaiheuttajia leviämistä pidemmälle kanavistoon. Tämän johdosta standardi asettaa kanaviston tiiveydelle alhaisemmat vaatimukset HEPA-suodattimen jälkeen. Lisäksi HEPA-suodattimen sisältävien tulo- ja poistopäätelaitteiden käyttö lisää tilojen muuntojoustavuutta.

Mallisuunnitelmassa on ilmamääräsäätimet pyritty sijoittamaan käytävän puolelle. Tämä johtuu huollettavuuden helpottamisesta, ilmamääräsäätimien tuottamasta melusta ja sulkuhuoneen katon muiden taloteknisten laitteiden tilantarpeesta. On myös huomioitava, että ilmamääräsäätimet toimivat tarvittaessa sulkupelteinä. Tämä tulee ottaa huomioon esimerkiksi siinä tapauksessa, että eristystilaa palvelee vain yksi ilmanvaihtokone ja tuloilmakanavistoon ei ilmamääräsäätimiä asenneta, vaan tuloilman määrää ohjataan suoraan ilmanvaihtokoneella. Tällöin on standardin vaatimus motorisoiduista sulkupelleistä toteutettava muulla tavalla.

5.2 Eristystilakohtaisen- ja keskityn ilmavaihdon vertailu

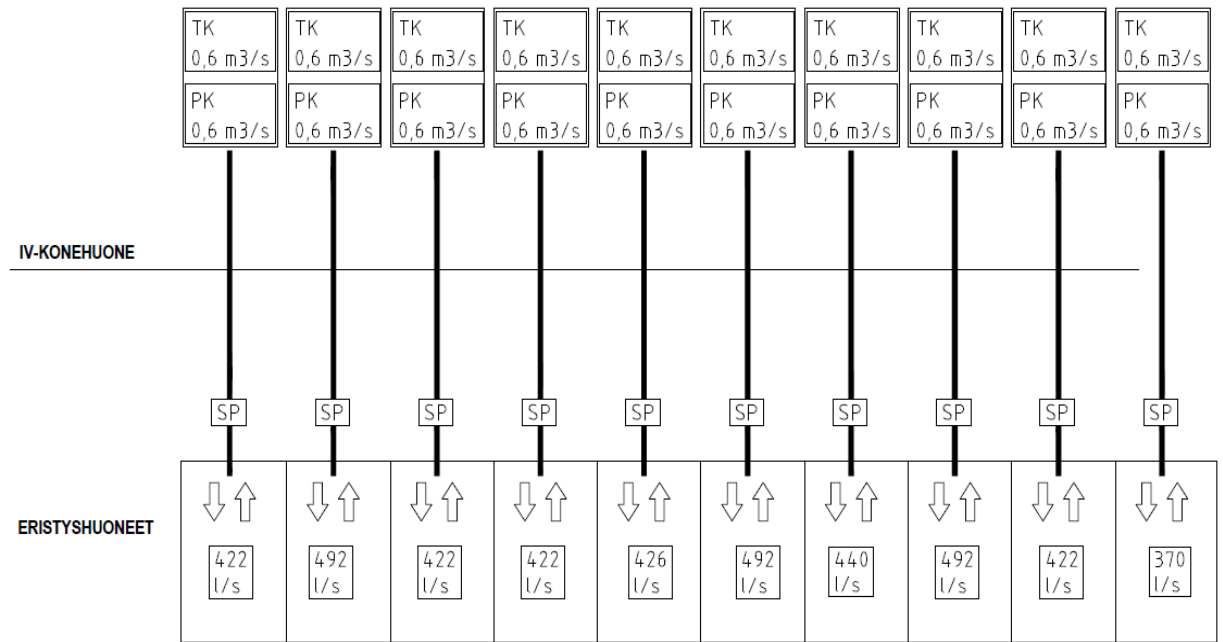
Insinööriyötä varten tehtiin vertailu eristystilakohtaisen ilmanvaihdon ja keskityn ilmanvaihdon välillä. Vertailun tavoitteena oli selvittää kahden eri ilmanvaihtojärjestelmäratkaisun etuja ja haittoja esimerkkikohteen tapauksessa. Samalla haluttiin myös selvittää standardin vaatimuksien vaikututusta myös eristystilojen ulkopuolisen ilmanvaihdon suunnitteluun ja toteutukseen. Standardin vaikutusta eristystilojen sisälle on käsitelty laajalti insinööriyössä muissa luvuissa ja mallisuunnitelmissa. Vertailuissa keskityttiin vaihtoehtojen eroavaisuuksiin eristystilojen ulkopuolella, koska kummallakin ratkaisulla itse eristystilat voitaisiin toteuttaa samalla tavalla. Esimerkkikohteenä vertailussa käytettiin

erään suomalaisen sairaalan eristystiloja. Eristystiloja oli yhteensä kymmenen, ja ne sijaitsivat samassa kerroksessa lähellä toisiaan. Eristystilojen ilmanvaihto mitoitettiin täyttämään S_A-tason eristystilojen vaatimukset standardin mukaisesti.



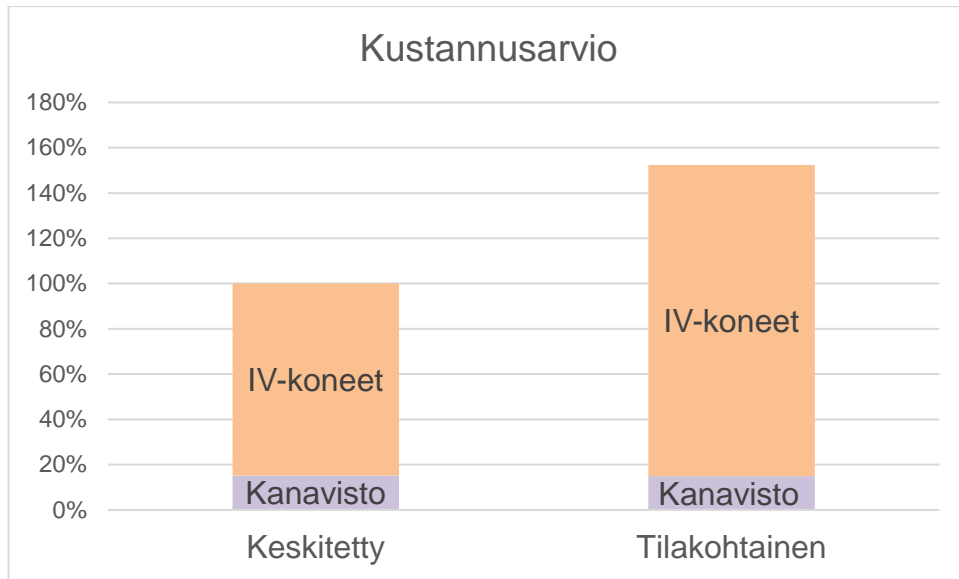
Kuva 9. Keskitetty ilmanvaihto.

Keskitetyn ilmanvaihdon vaihtoehdossa eristystilojen ilmanvaihto on kuvan 9 mukaisesti pääasiassa kahden ilmanvaihtokoneen vastuulla, ja näiden lisäksi on varalla kolmas ilmanvaihtokone, jota voidaan käyttää korvaamaan kumpi tahansa edellä mainituista koneista tarvittaessa.



Kuva 10. Eristystilakohtainen ilmanvaihto.

Eristystilakohtaisessa vaihtoehdossa taas jokaista tilaa palvelisi kuvan 10 mukaisesti oma tulo- ja poistoilmakone. Sekä keskitetyn- että eristystilakohtaisen ilmanvaihdon tapauksessa ilmanvaihtokoneet on varustettu nestekiertoisella lämmöntalteenotolla.



Kuva 11. Arvio keskitetyn- ja tilakohtaisen ilmanvaihdon hankintakustannuksista. Kuvassa eritelty ilmanvaihtokoneiden ja muun eristystilan ulkopuolisen kanaviston osuus hinnasta.

Kummallekin vaihtoehdolle laskettiin hankintahinta-arvio. Siinä otettiin huomioon eristystilojen ulkopuolisen kanaviston osien ja ilmanvaihtokoneiden kustannukset, koska eristystilat itsessään voidaan toteuttaa kummassakin vaihtoehdossa samalla tavalla. Hinta-arvion perusteella voidaan sanoa, että tilakohtainen ratkaisu tulisi kalliimmaksi vaihtoehdoksi. Kuvan 11 esittämässä hinta-arviossa myös huomattiin hintaeron muodostuvan lähes kokonaan ilmanvaihtokoneista. Kanavistolla ja sen osilla ei huomattu merkittävää eroa hinnoissa keskityn- ja eristystilakohtaisen ilmanvaihdon välillä.

Alla on listattu näiden kahden vaihtoehdon laadullisia eroavaisuuksia. Listattuna on asioita, joita voidaan pitää kyseisen vaihtoehdon etuna verrattuna vaihtoehtoiseen ratkaisuun. On myös huomattava, että erilaisia variaatioita eristystilojen ilmanvaihtojärjestelmän toteuttamiseksi on lähes rajaton määrä.

Keskitetyn ilmanvaihdon edut:

- Varalla oleva ilmanvaihtokone tuo toimintavarmuutta häiriötilanteissa ja helpottaa huoltamista.
- Halvempi hankintahinta. Oletettavaa myös, että pienempi määrä huollettavia koneita, vaihdettavia suodattimia, jne. pitää vaihtoehdon hinnan kilpailukykyisenä myös pitkällä aikavälillä.
- Vie vähemmän tilaa sekä ilmanvaihtokonehuoneessa että kanavistonsa puolesta.

Eristystilakohtaisen ilmanvaihdon edut:

- Voidaan säätää helpommin yksittäisten eristystilojen olosuhteita, esimerkiksi eristystilaan tuotavan ilman lämpötilaa.
- Voidaan ohjata yksittäiseen eristystilaan menevää ilmavirtaa suoraan ilmanvaihtokoneen puhallinta ohjaamalla.
- Ei riskiä ilmanvirtojen pääsemisestä kanavia pitkin eristystilasta toiseen.

6 Tulokset ja johtopäätökset

6.1 Johtopäätökset

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli dokumentoida ”Ventilation in hospitals” -standardin vaatimukset sekä tuottaa mallisuunnitelmat S_A -, S_B -, suojaus- ja yhdistettyjen tartunta ja suojaeristystilojen ilmanvaihdon toteutuksesta standardin perusteella. Työn perusteella huomattiin, että eristystiloja on suunniteltu lähinnä tilaajien toiveisiin ja suunnittelijoiden asiantuntemukseen perustuen. Standardi tuo mahdollisuuden esittää dokumentti, joka perustuu tutkittuun tietoon siitä, mitä vaatimuksia eristystiloja suunniteltaessa tulisi huomioida ja mitä vaatimuksia niiden käyttöönotossa ja laadunvarmistuksessa on.

On tärkeää huomioida, ettei standardi ole tämän insinööriyön kirjoitushetkellä vielä lopullisessa muodossaan ja että siihen saattaa edelleen tulla muutoksia. Esimerkiksi S_B -tason eristystilojen sulkupeltien erittäin kovat tiiveysvaatimukset nousivat esille asiana,

jota kannattaisi miettiä tarkemmin. Insinööriyön teon aikana uusimmassa käytettävissä olevassa standardiluonnoksessa tiiveysvaatimukseen olikin tullut muutos.

Standardin vaatimuksia dokumentoitaessa ja mallisuunnitelmia tehtäessä todettiin, että uusi standardi asettaa haasteita erityisesti suurien ilmamäärien takia, joita eristystiloihin täytyy tuoda ja sieltä poistaa. Tämä asettaa monia haasteita standardin mukaisten eristystilojen suunnitteluun ja toteutukseen. Lopputuloksena saadaan kuitenkin paremmin tutkittuun tietoon perustuvia eristystiloja, jotka palvelevat käyttäjiensä tarpeita nykytilanetta varmemmin.

Tehdyt mallisuunnitelmat ja ilmanvaihtojärjestelmien vertailu osoittivat, että uutta sairaalaa suunniteltaessa olisi hyvä tuoda aikaisessa vaiheessa esille eristystilojen tilavaatimukset ilmanvaihdon toteuttamisessa. Huonekorkeuteen ja riittävään alakattotilaan olisi kiinnitettävä erityistä huomiota johtuen nykyistä suuremmista kanavista, päätelaitteissa tai kanavissa sijaitsevista suodattimista ja kaikesta muusta tarvittavista tekniikasta. Lopuksi mainittakoon, että talotekniikan huollettavuus asettaa omat vaatimuksensa tilantarpeelle.

Myös perinteisestä potilashuoneiden ilmanjakotavasta alakatossa sijaitsevilla päätelaitteilla poikkeavia ratkaisua kannattaa harkita. Etenkin S_B -tartuntaeristystilojen ilmamäärät alkavat olla niin suuria, että pinta-alaltaan ja korkeudeltaan pieneen eristystilaan niitä on erittäin haastavaa tuoda potilasmukavuuden vaarantumatta. Standardin valmistuttua ja standardin tunnettavuuden kasvaessa voikin olettaa, että laitetoimittajat kehittävät omia eristystiloja varten räätälöityjä ratkaisujaan leikkaussalien tapaan.

6.2 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Tämä insinööriyö perustui valmisteilla olevaan CEN:n eristystilastandardin vaatimukseen käytännön suunnittelutyössä, asiantuntijahaastatteluihin sekä olemassa olevan kirjallisuuden hyväksikäyttöön. Esitän ohessa kaksi jatkotutkimusaihetta. Ensimmäiseksi voitaisiin toteuttaa käytännön mittauksia eristystiloissa samalla tavalla kuin on tehty leikkaussaleissa. Näin voitaisiin mitata ja verrata nykyisiä eristystiloja ja niiden sulku- ja potilashuoneiden ilman epäpuhtaisuuksien pitoisuuksia ja saada uutta tietoa ilmanvaihdon

mitoitukseen. Lisäksi olisi hyödyllistä, jos vertailuun otetaan mukaan myös uuden standardin mukaan mitoitettu ja rakennettu eristystila. [5; 6.]

Toinen tutkimusalue olisi selvittää, miten standardissa haluttua ilmanjakolaitteiden ja ilmanliikkeiden suunnittelu toteutetaan siten, että taudinaiheuttajien leviäminen ehkäistään mahdollisimman tehokkaasti. Aiheesta löytyy tutkimuksia, mutta johtuen mahdollisesti ilmanjaon simuloinnin ja todellisten testien tekemisen haastavuudesta sekä erilaisten ratkaisumahdollisuuksien korkeasta määrästä, selkeää vastausta siitä, mikä ilmanjako tapa olisi kaikkein tarkoituksenmukaisin, on haastavaa löytää. [12; 16; 17.]

6.3 Kiitokset

Haluan lopuksi kiittää seuraavia insinööriyön teossa mukana olleita henkilöitä. Insinööriyöni ohjaajia Jukka Vasaraa ja Tapani Idmania Granlund Oy:stä sekä Seppo Innasta Metropolia ammattikorkeakoulusta. Insinööriyötä varten haastattelemiani Aila Puusaarta Granlund Oy:stä ja Kim Hagströmiä Halton Oy:stä. Lisäksi haluan kiittää Eero Tähkää ja Aleksanteri Setälää Granlund Oy:stä.

Lähteet

- 1 Salmi, Kari; Kähkönen, Erkki; Holopainen, Rauno; Reijula, Kari. 2012. Ilmavälitteisten infektioiden hallinta sairaaloiden eristystiloissa – loppuraportti. Helsinki: Työterveyslaitos.
- 2 CEN/TC156/WG 18 N299. Ventilation in hospitals – Part 3 Ventilation of isolation units (version 7). 2018. European Committee of standardization CEN.
- 3 Vasara, Jukka. Varatoimitusjohtaja, Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu.14.11.2018.
- 4 VALSAI – hanke. Valtakunnallinen sairaaloiden kiinteistökannan kehittämisprojekti, kirjallisuuskatsaus 2007.
- 5 Setälä, Aleksanteri. 2017. Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
- 6 Idman, Tapani. Ryhmäpäällikkö, Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu 13.11.2018.
- 7 SFS-EN 16798-3:2017. Rakennusten energiatehokkuus. Osa 3: Muiden kuin asuinrakennusten ilmanvaihto- sekä ilmastointi- ja säteilyjärjestelmien tehokkuusvaatimukset. Moduulit M5-1, M5-4. 2017. Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.
- 8 SFS-EN ISO 14644-4. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 4: Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. 2001. Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.
- 9 Ilmanvaihdon tiiveysluokat. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/18-ss-ilmanvaihdon-tiiveysluokat>> Luettu 25.11.2018.
- 10 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. 2017. 796/24.11.2017.
- 11 Ilmansaasteiden vuositilastot. 2018. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmansaasteet#tilasto>> Luettu 10.12.2018.
- 12 Kalliomäki, Petri; Koskela, Hannu. 2018. Suojaava ilmanjako sairaaloiden eristystiloissa. Loppuraportti.Turun Ammattikorkeakoulu.
- 13 Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017. E-kirja. Finvac Ry.

- 14 Ilmansuodatus. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/12-ss-ilmansuodatuksen-tarve>> Luettu 16.12.2018.
- 15 Biology safety manual. 2019. Verkkoaineisto. University of North-Carolina. <<https://ehs.unc.edu/manuals/biological/chapter-9/references/>> Luettu 5.1.2019.
- 16 Jafari, Mohammad Javad; Hajgholami, Mohammad Reza; Omid, Leila; Jafari, Mina; Tabarsi, Payam; Salehpour, Soussan; Amiri, Zohre. 2015 Effect of Ventilation on Occupational Exposure to Airborne Biological Contaminants in an Isolation Room. National Research Institute of Tuberculosis and Lung Disease. Tanafos. Iran.
- 17 Beggs, Clive B.; Kerr, Kevin G.; Noakes, Catherine J.; Hathway, E. Abigail; Sleight, P. Andrew. 2008. The ventilation of multiple-bed hospital wards: Review and analysis. AJIC: American Journal of Infection Control. Iso-Britannia.
- 18 Maijala, Sari-Anna; Starry, Hannele; Vitakka, Carita. 2017. Eristyspotilaan hoitotyön toteuttaminen sisätautien vuodeosastolla. Opinnäytetyö. Lapin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 19 CEN-TC156-WG18_Draft_Isolation rooms rev 08 060119. 2019. European Committee of standardization CEN.
- 20 SFS-EN ISO 14644-3. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 3: Metrologia ja testimenetelmät. 2006. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

Vapaasti suomennettu standardiluonnoksen informatiivinen liiteosa.

Laimennuskerroin: luku, joka kuvaa missä määrin ilmanvaihtojärjestelmä laimentaa tilan epäpuhtauksia. Laimennuskertoimen laskenta perustuu potilaasta tulevien taudinaiheuttajien määrään. Mikrobit ovat erilaisia ja aiheuttavat eritasoisia riskejä. Tästä johtuen eri tasoilla eristystiloilla on erilaisia palautumisvaatimuksia.

Potilas- ja sulkuhuoneiden tarvittavat ilmamäärät ja palautumisaika lasketaan normaalien kaavojen mukaan. Palautumiskerroin kuitenkin vaihtelee eristystilan riskitason perusteella.

Laskelmien perusteena käytetään S_A -tason eristysyksiköillä laimennuskerrointa 100/1. Se jaetaan tason potilashuoneen 10/1 ja sulkuhuoneen 10/1 kesken. S_B -tason eristysyksiköillä palautumiskerroin on 1000/1. Se jaetaan tason potilashuoneen 20/1 ja sulkuhuoneen 50/1 kesken.

Potilashuoneiden oletetaan olevan stationäärisessä tilassa, jossa potilaasta tulee vakio määrä kontaminoitunutta ilmaa tilaan.

Sulkuhuoneiden oletetaan olevan epästationäärisessä tilassa. Palautumisajan tarkoituksena on estää taudinaiheuttajien pääsy sulkutilan ulkopuolelle. Erilaisista suojavaatteiden vaihto prosesseista johtuen S_A - ja S_B -tason sulkutiloilla on erilaiset palautumisajat. S_B -tason sulkuhuoneissa on aikaa enemmän vievät suojavaatteiden vaihtotoimenpiteet.

Sulkuhuoneiden palautumisajat:

- S_A : 3 minuuttia
- S_B : 5 minuuttia

Palautumisaikojen laskeminen.

Potilashuone:

- Keskiverto ihmisen uloshengittämä ilma on $54 \text{ m}^3/\text{h}$. Oletetaan pahin mahdollinen tilanne, jossa kaikki ilma on saastunutta.
- Eristystilan ilmanvaihdon tehokkuus on yleensä noin 75 %
- Palautumiskerroin S_A 10:1, S_B 20:1

Tarvittava ilmamäärä S_A : $10 * 54 \text{ m}^3/\text{h} / 0,75 = 720 \text{ m}^3/\text{h}$

Tarvittava ilmamäärä S_B : $20 * 54 \text{ m}^3/\text{h} / 0,75 = 1440 \text{ m}^3/\text{h}$

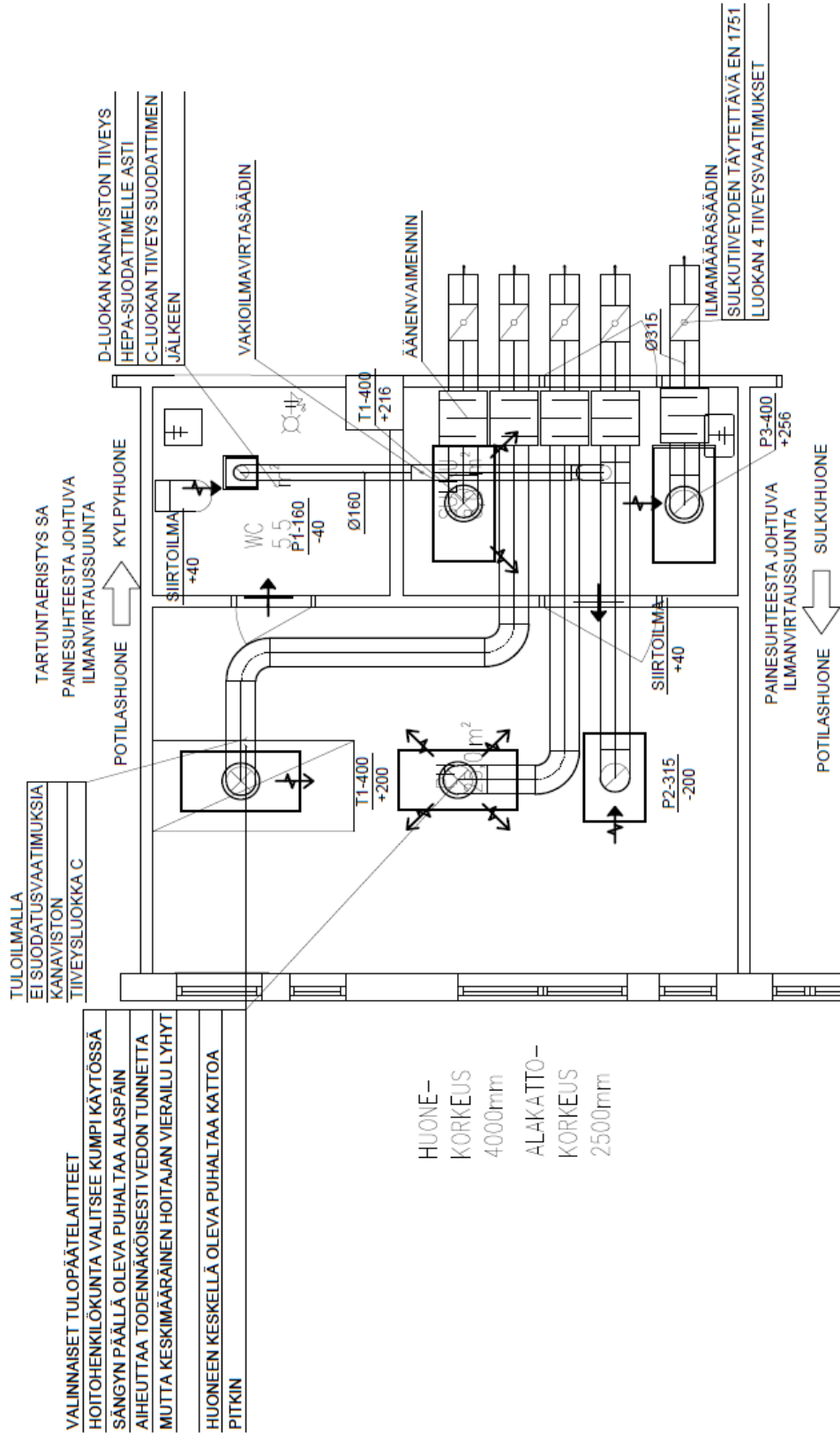
Sulkuhuone:

Tartuntaeristys S_A : 1:10 laimentuminen alle 3 minuutissa -> 1:100 alle 6 minuutissa -> ilmanvaihtokerroin 46

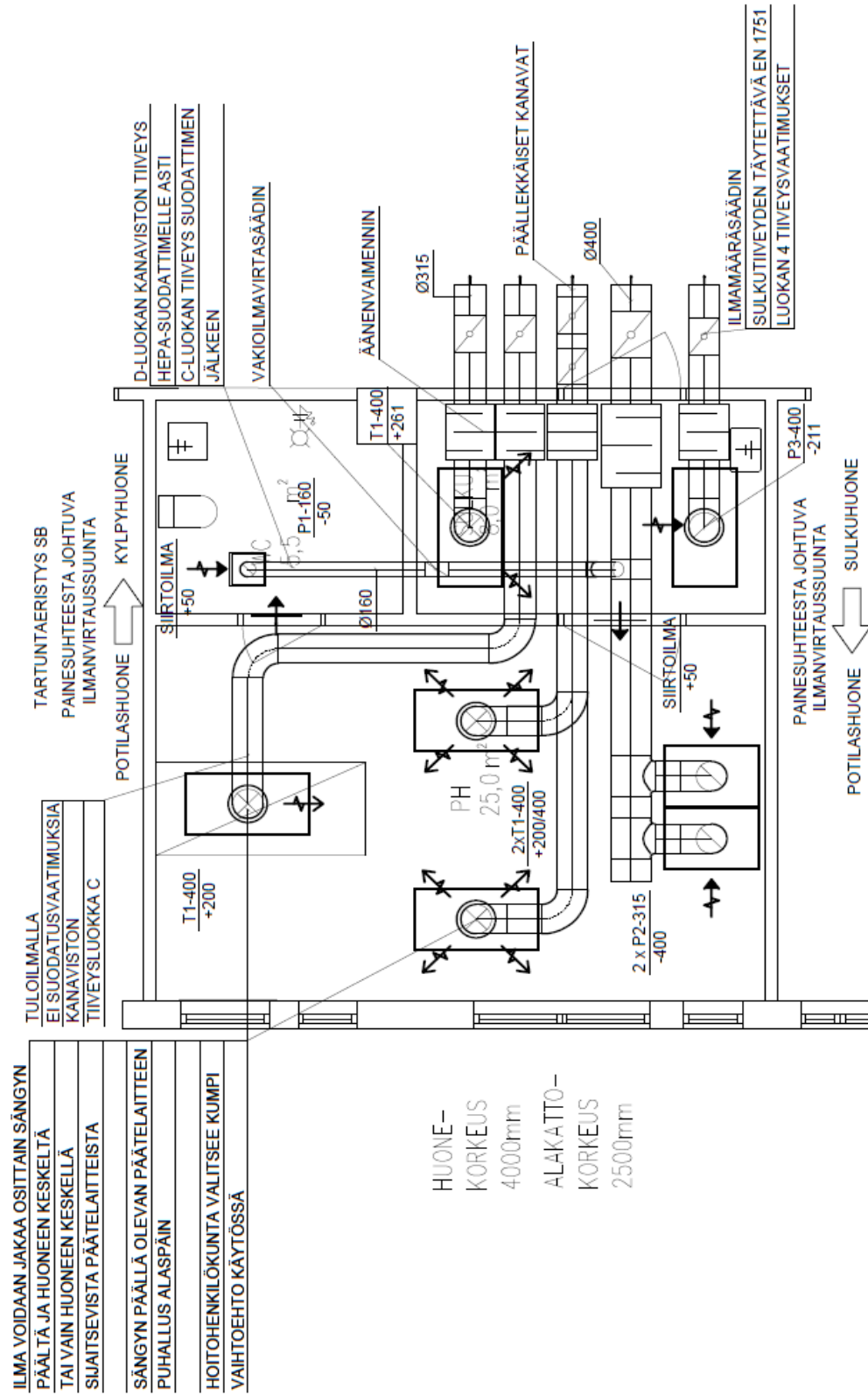
Tartuntaeristys S_B : 1:50 laimentuminen alle 5 minuutissa -> 1:100 alle 7 minuutissa -> ilmanvaihtokerroin 36

Kaikki arvot perustuvat taudinaiheuttajien ideaaliin laimentumiseen. [19, s. 17.]

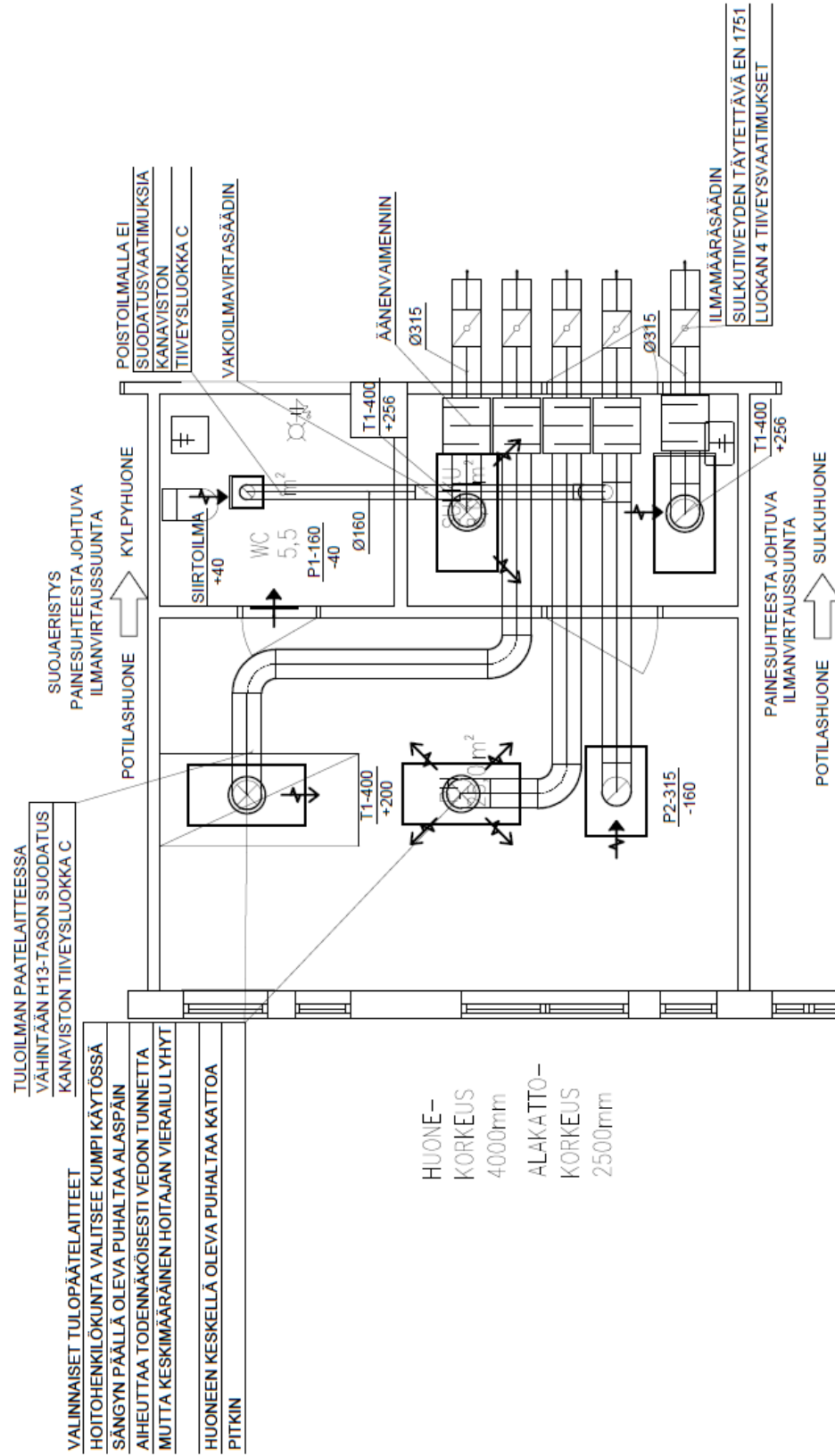
S_A-tartuntaeristys



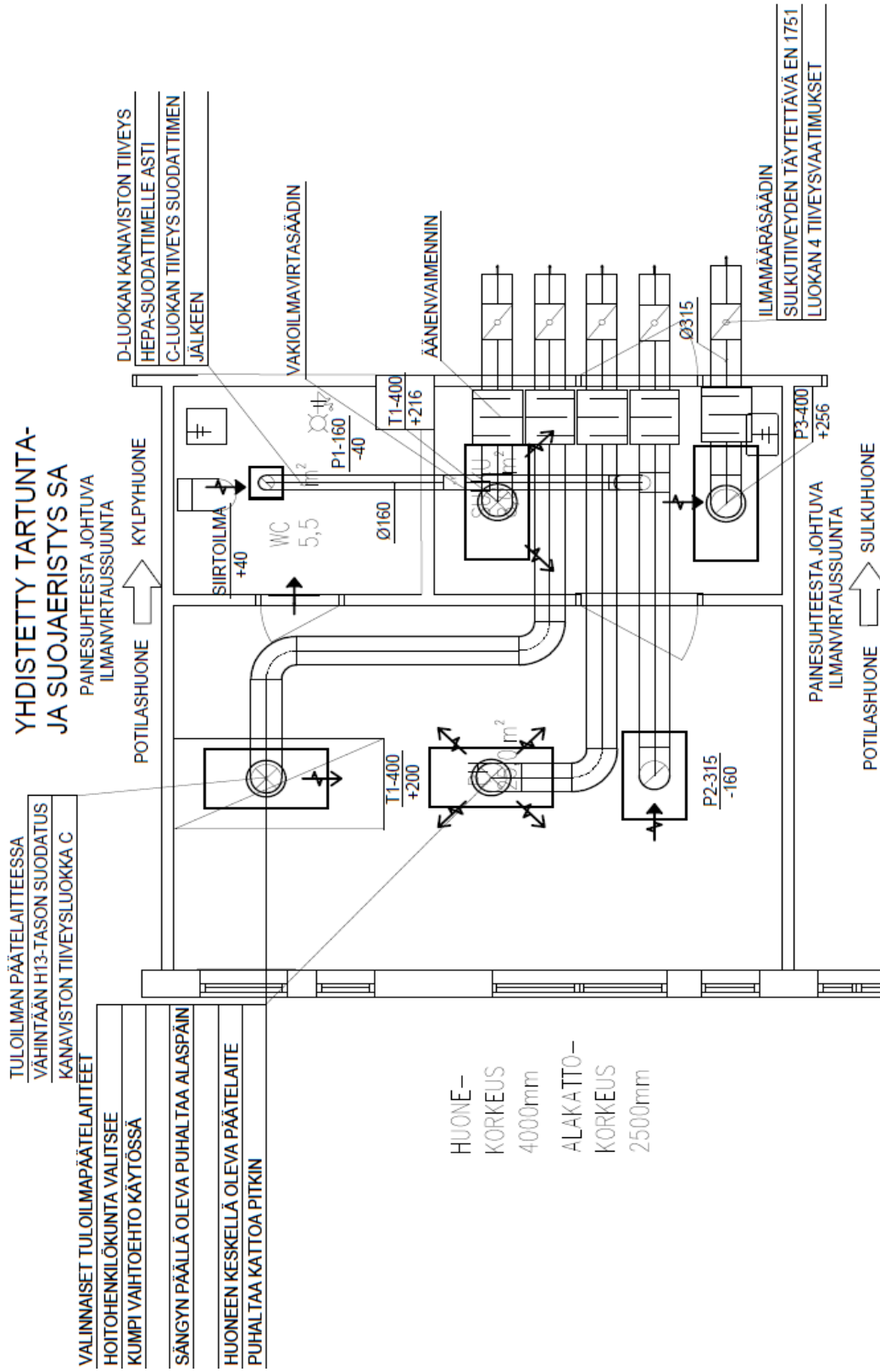
S_B-tartuntaeristys



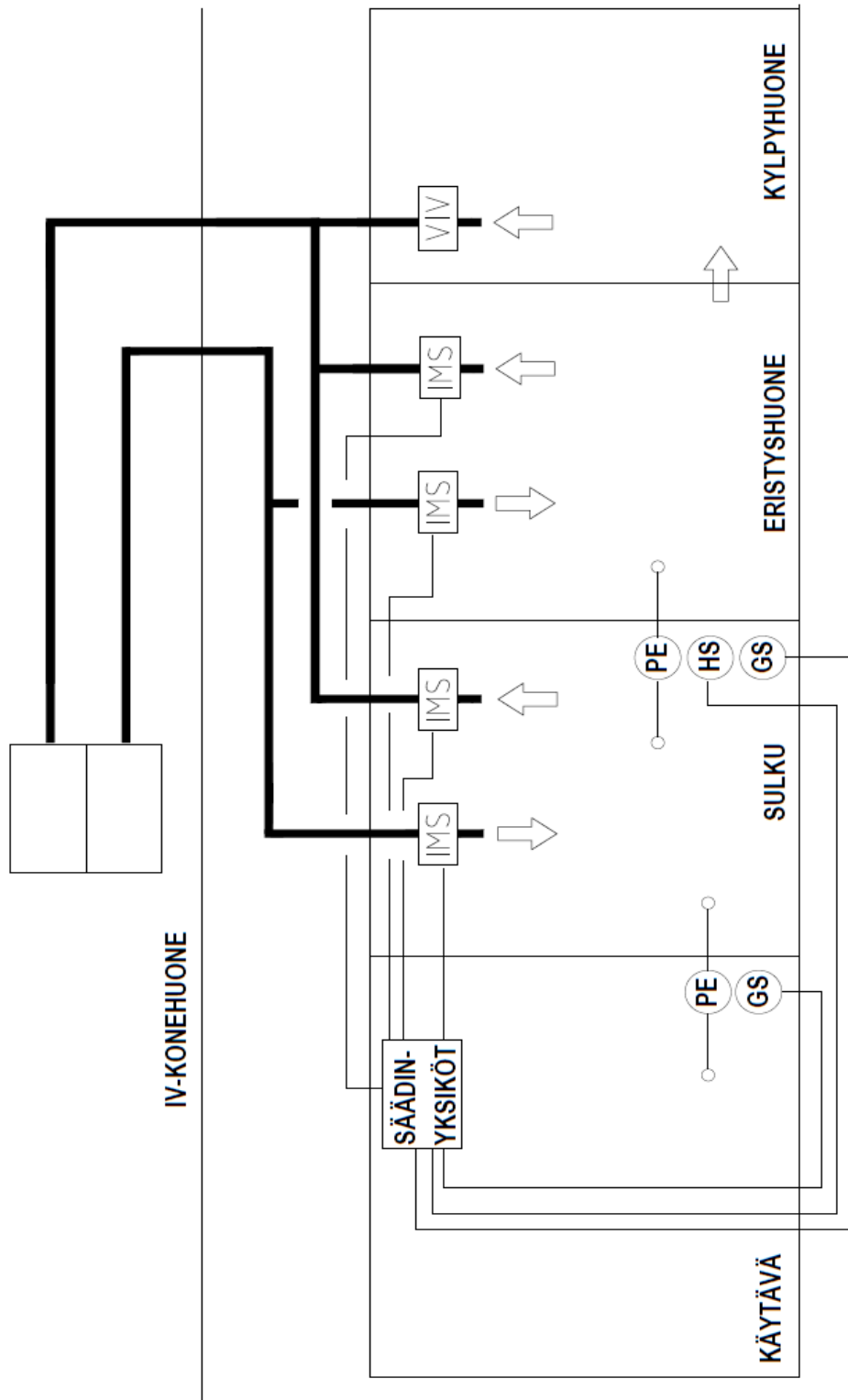
Suojaeristys



Yhdistetty S_A-tartunta- ja suojaeristys



Toimintakaavio ja selustus



TOIMINTASELOSTUS

Painesäätimet pitävät sulkuhuoneen ja eristyshuoneen painetasot asetusarvoissaan. Sulkuhuone -15 Pa käytävän suhteen, ja eristyshuone -15 Pa sulkuhuoneen suhteen tartuntaeristystiloilla. Suoja- ja yhdistetyillä suoja- ja tartuntaeristystiloilla painetasot ovat sulkuhuoneella -15 Pa käytävän suhteen, ja eristyshuoneella +15 Pa sulkuhuoneeseen.

Paineasetus valitaan sulkuhuoneen ulkopuolisella käytävällä olevalla kytkimellä, joka varustetaan irroitettavalla avaimella. Alipaineistettavissa eristyshuoneissa on 2-asentoinen kytkin, ali- ja ylipaineistettavissa eristyshuoneissa on 3-asentoinen kytkin. Käytävällä olevalta näytöltä voidaan asetella haluttu paine ja säätää halutut hälytysrajat, jotka ovat luettavissa näytöltä. Näytöltä voidaan myös asettaa eristystilan ilmanvaihto kevennettyyn tilaan. Sulkuhuoneessa olevasta kytkimestä voidaan asettaa potilashuoneen ilmanvaihto hoitohenkilökuntaa suojaavaan tilaan.

Rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan hälytykset hälytysrajojen ylityksistä ja alituksista, avoimista ovista ja mittaustietoa huonepaineesta.

Eristyshuoneen oven ollessa auki painesäätö ei ole toiminnassa ja hälystystoiminto on keskeytetty ja näytössä on indikointi ovesta.