

Lari Kauppi

PUTKITEHTAAN ILMANVAIHDON ESISELVITYS

PUTKITEHTAAN ILMANVAIHDON ESISELVITYS

Lari Kauppi
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Lari Kauppi

Opinnäytetyön nimi: Putkitekhaan ilmanvaihdon esiselvitys

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Pipemill's Airconditioning Preliminary Study

Työn ohjaaja: Tomi Jäävirta

Työn valmistuslukuksi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 70 + 8 liitettä

Opinnäytetyössä selvitettiin ilmanvaihdon uudistamisvaihtoehtoja SSAB:n putkitekhaaseen, jonka IV-järjestelmät ovat tulleet teknisen käyttöikänsä päähän. Tavoitteena oli tehdä ilmanvaihtojärjestelmien saneerausvaihtoehtojen esiselvityssuunnitelma ja laskea eri saneerausvaihtoehtojen kustannusarviot asiakkaalle. Kohteen alkuperäisten IV-piirustusten ja kohdekäynnin perusteella tuotantotilat havaittiin todella alipaineisiksi, 2010-luvulla asennetut kohdepoistoimurit pahentavat alipaineisuutta entisestään.

Työssä selvitettiin ratkaisuja uudelle ilmanjakotavalle, etsittiin kohteeseen soveltuvia tuloilman päätelaitteita, määriteltiin uusien IV-konehuoneiden sijainti ja koko sekä laskettiin tuotantotiloille uudet ilmamäärät. Työssä pohdittiin myös, onko kustannustehokasta käyttää energiatehokkaita ilmanvaihtojärjestelmiä, jotka on suunniteltu toimimaan haastavissa ja likaisissa tiloissa.

Ilmastoinnin esisuunnittelu ja ilmanjaon muuttaminen sekoittavaksi havaittiin haastavaksi. Rakennuksen sisäpuolinen kanavointi oli suurelta osin vaikea toteuttaa tilan puutteen vuoksi, ja lopulta siitä ideasta päätettiin luopua asiakkaan aloitteesta. Kanavointi päätettiin suunnitella asennettavaksi rakennuksen ulkopuolelle, jolloin kanavointi on eristettävä ja pinnoitettava säänkestäväksi.

Uusi lämmöntalteenotolla varustettu IV-järjestelmä ei ehdi maksamaan itseään takaisin. Esisuunnitelman mukaan tehdyllä järjestelmällä hallitaan lämpökuormia ja epäpuhtauksia ja parannetaan työskentelyolosuhteita. Lisäksi järjestelmä on energiatehokas.

Asiasanat: teollisuus, ilmanvaihto, energiatehokkuus, kustannusarvio

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in HVAC engineering

Author: Lari Kauppi
Title of thesis: Pipemill's airconditioning preliminary study
Supervisor: Tomi Jäävirta
Term and year when the thesis was submitted: spring 2022
Number of pages: e.g. 70 + 8 appendices

Purpose of this bachelor's thesis was to make a preliminary plan about reforming an air conditioning system in SSAB pipemill, located in Oulainen. Current air conditioning systems are worn out. The main goal for this preliminary plan, was to design a couple different versions for a durable and functional air conditioning system and count estimate costs for each version. Original ventilation drawings and observation on the spot both indicated that the ventilation was well underpressurized. The local exhaust ventilation system makes the underpressure in the building even worse.

The thesis examines air distribution, duct routing, locations for diffusers and grilles, new locations for air-ventilation systems with heat recovery and new calculated amount of air current.

The preliminary designing was challenging. Planning the displacement air distribution was difficult because there was not enough space left for ducts. Eventually SSAB decided to give up on routing the ducts inside of the building, and decision was made to route the ducts outside of the building.

New ventilation system repayment won't be achieved during it's lifetime. With this air-condition system, it is possible to control heat loads and impurities in the air, improve working conditions and energy efficient system is achieved.

Keywords: industry, ventilation, energy efficiency, cost estimate

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEOLLISUUDEN ILMANVAIHTO	8
2.1	Prosessi-ilmastointi	8
2.2	Tilailmastointi.....	9
2.3	Ilmanjakomenetelmät	9
2.3.1	Syrjäyttävä ilmanjako	10
2.3.2	Sekoittava ilmanjako	11
2.4	IV-konehuoneen suunnittelu.....	12
2.5	IV-järjestelmien rasitusluokat ja tekninen käyttöikä	12
2.6	LTO:n vaatimukset ja tyypit	13
2.6.1	Pyörivä roottorilämmönsiirrin.....	13
2.6.2	Levylämmönsiirtimet, vasta- ja ristivirtasiirrin	14
2.6.3	Nestekiertoinen lämmöntalteenotto.....	15
3	ILMANVAIHDON SANEERAUSESITYS.....	16
3.1	Kela- ja putkihalli	17
3.2	Varusteluhalli.....	18
3.3	Pinta-ala ja tilavuus	20
3.4	Ilmanjakotavan valinta.....	20
3.5	IV-konehuoneet	21
3.6	IV-kone	24
3.7	Kanavisto ja runkoreititys.....	25
3.8	Päätelaitteet	27
3.8.1	Poistoilma	27
3.8.2	Tuloilma	28
3.8.3	Jäteilma.....	34
3.8.4	Raitisilma	35
3.9	Ilmamäärät	37
3.10	Automaatio	39

4	ENERGIANKULUTUS RAKENNUKSESSA.....	40
4.1	Tuotantotilojen nykyinen lämpöenergian kulutus.....	40
4.2	Tuotantotilojen lämpöenergian kulutus uudella järjestelmällä.....	55
5	KUSTANNUSARVIO	61
5.1	Nykyistä vastaavan järjestelmän saneerauskustannukset.....	62
5.2	Uuden järjestelmän investointikustannukset.....	62
5.3	Takaisinmaksuaika.....	63
5.3.1	Nykyisen järjestelmän uusiminen.....	63
5.3.2	Uusi järjestelmä	63
6	YHTEENVETO	66
	LÄHTEET.....	68
	LIITTEET	70

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tehdään esiselvitys SSAB Europe Oy:n putkitehtaan tuotantotilojen ilmanvaihtojärjestelmien nykytilasta ja niiden eri saneerausvaihtoehdoista. Opinnäytetyössä keskitytään kolmen tuotantohallin muodostamaan kokonaisuuteen. Tavoitteena on uudistaa nykyiset ilmanvaihtojärjestelmät siten, että tuotantotilojen oleskeluvyöhykkeen ilmanlaatua saadaan parannettua ja tilojen ilmanpainesuhteita voidaan hallita tulevaisuudessa paremmin. Tehdas on liitetty kaukolämpöön ja lämpöenergiasta joudutaan maksamaan, joten uusissa ilmanvaihtojärjestelmissä pyritään hyödyntämään lämmöntalteenottoja ja pohditaan niiden hyötyjä.

Tuotantotilojen ongelmina ovat teknisen käyttöikänsä ylittäneet IV- ja automaatiojärjestelmät sekä sekoittava ilmanjakotapa. Sekoittavan ilmanvaihdon ongelmana on, että puhdas tuloilma sekoittuu likaiseen sisäilmaan, ennen kuin se saavuttaa oleskeluvyöhykkeen. Yhden tuotantotilan katossa on LTO:lla varustettuja kattokoneita, ja niiden poistoilmansuodattimet likaantuvat ja tukkeutuvat jo muutamassa päivässä. Tämän seurauksena ilmanvaihtuvuus tuotantotilassa on ajoittain huono ja suodattimien tiheän vaihtotarpeen vuoksi huoltokustannukset ovat korkeat.

Tuotantotilat on havaittu alipaineisiksi ja uudet kohdepoistojärjestelmät ja niiden toiminta pahentavat alipaineisuutta entisestään. Nykyisiä IV-järjestelmiä ei ole pystytty säätämään toimimaan oikein kohdepoistojen kanssa. Kaikkien tuotantotilojen ilmanvaihtojärjestelmissä ei ole lämmöntalteenottoa, ja niissä ilmanvaihto on toteutettu pääosin huippuimureilla ja tuloilmakoneilla.

Lopuksi selvitetään, mitä nykyisen järjestelmän kaltaiset IV-koneet maksavat verrattuna uuteen vaihtoehtoiseen järjestelmään. Lopputulemana asiakkaalle toimitetaan esiselvitys kustannusarvioiden kera ilmanvaihtojärjestelmien uusimisesta luonnossuunnitelmineen eri päätelaitteivaihtoehdoilla. (Liite 1.)

2 TEOLLISUUDEN ILMANVAIHTO

Teollisuusrakennuksissa ensisijainen tavoite on yleensä teollisuuden prosessin toiminnan tavoitteet ja sen jälkeen työntekijöiden olosuhteiden viihtyvyydestä. Kulloisenkin teollisuustoiminnan mukaan saattavat kuitenkin myös työsuojelulliset ja turvallisuusnäkökohdat nousta merkittävään asemaan ilmastointiratkaisuja miettiessä. Teollisuuden ilmanvaihdossa puhutaan yleensä prosessi-ilmastoinnista ja tilailmastoinnista. (2, s. 535.)

2.1 Prosessi-ilmastointi

Prosessi-ilmastointi on avainasemassa monissa tuotantoprosesseissa. Esimerkkeinä mainitaan kemian teollisuuden prosessit ja tuotteiden kuivatuksen prosessit, joissa prosessiin tarvitaan ilmaa ja joista pitää poistaa ilmaa. On myös teollisuustiloja, joissa prosessi ei tarvitse prosessi-ilmastointia vaan joissa tuotantotila tarvitsee epäpuhtauspäästöjen takia ainoastaan yleisilmanvaihdon, esimerkiksi kokoonpanolinjat. (2, s. 535.)

Useimmissa prosesseissa pitää poistaa ilmaa siten, että prosessi pysyy alipaineisena ympäristöön nähden. Tällöin prosessin epäpuhtaudet ja lämpö eivät pääse tunkeutumaan tuotantotilaan, jossa työntekijät työskentelevät. Prosessipoisto voi tulla suoraan prosessista, mahdollisimman suljetusta koteloinnista tai erilaisista kohdepoistoratkaisuista, kuten huuvut, kaavut, vetokaapit jne. (2, s. 536.)

Poistoilma voi olla kuumaa, kosteata ja sisältää isoja määriä hiukkasia ja syövyttäviä kemikaaleja, jotka asettavat erityisvaatimuksia poistoilman kanaville ja muille poistoilman laitteille, jolloin materiaalit, niiden paksuudet ja tiivyydet tulee valita oikein. Prosessipoistosta pitää tyypillisesti erottaa tai suodattaa epäpuhtaudet sekä ottaa lämpö talteen ja poistaa liika kosteus, ennen kuin se johdetaan puhaltimella ympäristöön. (2, s. 536.)

2.2 Tilailmastointi

Prosessi-ilmastoinnin järjestelyillä pyritään estämään haitallisten epäpuhtauksien ja liian lämmön tuleamista tuotantotilaan ja etenkin työntekijöiden oleskeluvyöhykkeelle. Tilailmastoinnilla huolehditaan siitä, että oleskeluvyöhykkeellä epäpuhtauspitoisuudet pysyvät asetetuissa rajoissa, joita ovat mm. HTP-arvot eli haitalliseksi tunnetut pitoisuudet.

Prosessin kuvauksen tavoitteena on tunnistaa mahdolliset päästölähteet, työskentely- ja oleskeluvyöhykkeet, ilman olosuhteiden vaikutus prosesseihin ja kotelointia ja ilmastointia vaativat kohteet sekä mahdollisuudet prosessien jätelämpöjen hyödyntämiseen.

Prosessin konvektiovirtaukset vievät mennessään epäpuhtauksia tuotantotilan yläosaan. Tätä hyödynnetään valitsemalla kerrostumaperiaate (syrjäyttävä ilmanjako) tilailmastoinnin toteuttamiseksi, jolloin oleskeluvyöhykkeelle aikaansaadaan puhtaammat ja viileämmät olosuhteet ja tilan yläosaan muodostuvat suuremmat epäpuhtauspitoisuudet ja lämpötilat. (2, s. 537)

Rakennuksen ilman jaon ja poiston on oltava sellainen, että ilma virtaa koko oleskeluvyöhykkeelle. Ilmanjako tulee toteuttaa siten, ettei tapahdu epäviihtyisyyttä aiheuttavaa ilman liikettä eli vetoa. Tehostetun ilmanvaihdon aikana suurempaa ilman liikettä saa tapahtua, että huonetilassa syntyvät epäpuhtaudet poistuvat tehokkaasti. Ilman on virrattava rakennuksessa sisäilmaltaan puhtaamista tiloista epäpuhtaampiin tiloihin. (4, s. 37.)

Näiden tuotantotilojen teollisuustoiminnasta nousevat työsuojelulliset ja turvallisuusnäkökohdat merkittävään asemaan ilmastointiratkaisuja suunniteltaessa. Prosessista vapautuvien epäpuhtauksien leviämistä on jo ehkäisty kohdepoistojärjestelmillä, mutta ilmanjakotapaa muuttamalla ja tulo- ja poistoilmamääriä tasapainottamalla tilannetta saadaan kohennettua ja kohdepoistojen tehokkuutta parannettua.

2.3 Ilmanjakomenetelmät

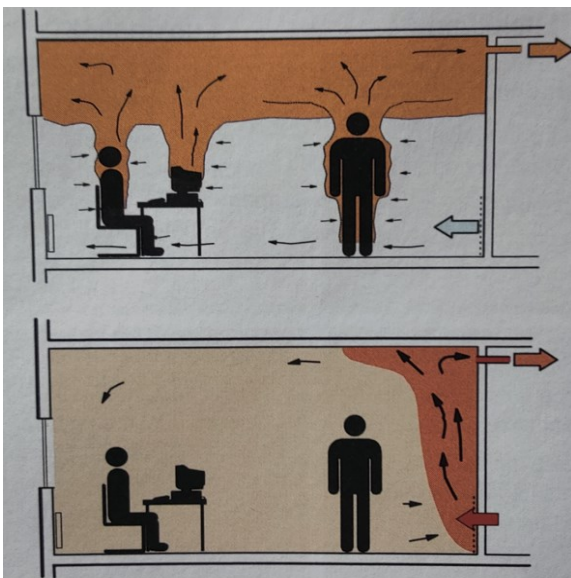
“Optimaalisimman teollisuusilmanvaihtotavan löytäminen vaatii aina huolellista tutustumista siihen, mitä tilassa tehdään sekä miten ja kauanko tilassa työskennellään. Energiatehokkuusnäkökulmien

huomioon ottaminen lisää selville ottamisen tarvetta, koska epäpuhtaudet saattavat tukkia LTO-laitteet.” (2, s. 537.)

2.3.1 Syrjäyttävä ilmanjako

Syrjäyttävä ilmanjako toteutetaan yleensä alhaisella, alle 0,5 m/s ilmannopeudella ja pienellä alilämpöisyydellä oleskeluvyöhykkeeseen nähden. Tuloilma tuodaan suoraan oleskeluvyöhykkeen tasolle, tai hyvin korkeissa tiloissa tuloilma puhalletaan piennopeuslaitteella muutamien metrien korkeudesta oleskeluvyöhykkeelle. Tätä ilmanjakoperiaatetta käytetään etenkin silloin, kun epäpuhtaudet syntyvät samassa lähteessä kuin lämpökuorma. (2, s. 255)

Syrjäyttävän ilmanjaon tapauksessa tuloilman päätelaitteet eivät hallitse huonetilan virtauksia vaan lämpökuormien konvektiovirtaukset ovat hallitsevia. Tuloilman nopeuden ja lämpötilan ollessa oikein valitut huonetilan alaosaan muodostuu puhdas kerrostunut oleskeluvyöhyke. Huonetilan yläosaan muodostuu epäpuhtauksien kerääntymisvyöhyke, jonne poistoilman päätelaitteet sijoitetaan. Poistoilman päätelaitteet tulee sijoittaa niin ylös kuin mahdollista. Tuloilman ollessa lämpimämpää kuin huoneilma tapahtuu oikosulkuvirtausta. (1, s. 229 - 231.) (Kuva 1.)

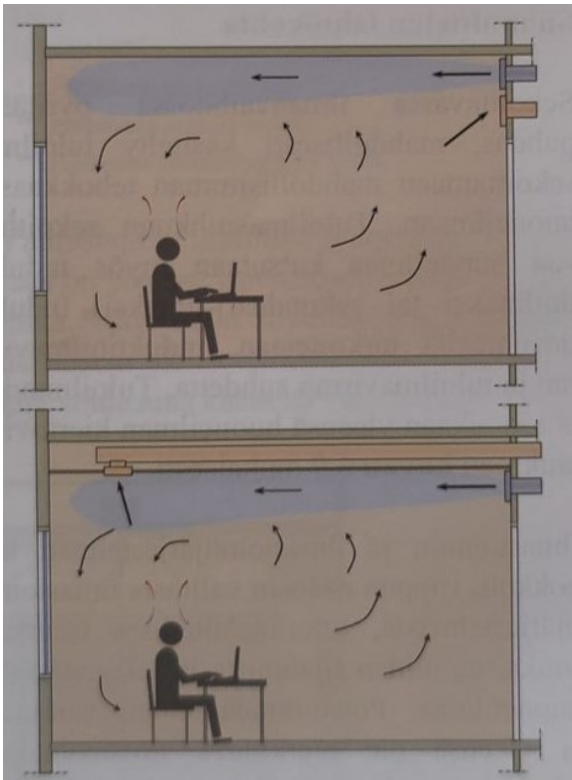


KUVA 1. Syrjäyttävän ilmanjaon synnyttämiä lämpötila- ja pitoisuuseroja. Alemmassa kuvassa havainnollistetaan oikosulkuvirtaus, joka tapahtuu tuloilman ollessa lämpimämpää kuin huoneilma. (2, s. 258)

Tilassa on oltava tarpeeksi vapaata lattiapinta-alaa päätelaiteasennuksille ja niiden ympärille muodostuvalle henkilötyöpisteistä vapaalle suoja-alueelle. Syrjäyttävälle ilmanvaihdolle on useita käyttökohteita: teollisuushallit, kuntosalit ja liikuntatilat, koululuokat ja vastaavat tilat, vanhainkotien ja palvelutalojen yleiset tilat, kirjastot, kokoustilat ja käytävät. (5.)

2.3.2 Sekoittava ilmanjako

Sekoittavassa ilmanvaihdossa pyritään puhdas, mahdollisesti käsitelty tuloilma sekoittamaan mahdollisimman tehokkaasti huoneilmaan käyttäen suuria ilmannopeuksia päätelaitteissa kuvan 2 mukaisesti. Tuloilmasuihkuun sekoittuvaa huoneilmaa kutsutaan induktioilmaksi tai sekundääri-ilmaksi. Induktiosuhteella tarkoitetaan induktioilmavirran ja tuloilmavirran suhdetta. Tuloilmavirta saa aikaan yleensä huoneilmaan kiertovirtauksen. (2, s. 258.)



KUVA 2. Sekoittavan ilmanvaihdon kiertovirtaus; alemmassa kuvassa tapahtuu myös oikosulkuvirtausta, jossa osa tuloilmasta virtaa suoraan poistoilman päätelaitteeseen (2, s. 257).

Sekoittava ilmanvaihto on varteenotettava vaihtoehto silloin, kun tilassa ei ole suuria lämpökuormia tai suuria epäpuhtauslähteitä. Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilman päätelaitteet sijoitetaan yleensä tilan yläosiin/katon rajaan, kuin myös poistoilman päätelaitteet. (1, s. 231.)

2.4 IV-konehuoneen suunnittelu

IV-konehuoneen suunnittelussa ja toteutuksessa tulee varmistua siitä, että kulkuväylän vapaa vähimmäiskorkeus on pääosin 2,1 metriä. Oviaukon korkeus saa olla välttämättömien karmien ja kynnyksien verran matalampi. IV-konehuoneen mallinnuksella tai tekemällä riittävän määrän leikkauskuvia varmistutaan kulkureiteistä, huoltotiloista ja luoksepääsystä ja varmistutaan IV-järjestelmien teknisen käyttöiän kestävästä huollettavuudesta. IV-konehuoneeseen järjestetään kulku kiinteällä porrasyhteydellä. Oviaukon ja mahdollisen portaikon leveys tulee olla vähintään 900 mm, ja toistuvissa huolto- ja kunnossapitotöissä tarvittavat laitteet, varaosat ja tarvikkeet tulee saada vaivatta vietyä konehuoneeseen. Konehuoneen suunnittelussa tulee huomioida tarpeeksi suuret haalausreitit, jotta IV-kone voidaan uusida konehuoneen rakenteita rikkomatta. (4, s. 41.)

2.5 IV-järjestelmien rasitusluokat ja tekninen käyttöikä

Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmille on määritetty rasitusluokat käyntiaikojen mukaisesti ja keskimääräistä teknistä käyttöikää voidaan arvioida sen mukaan. IV-koneiden toimiessa jatkuvasti 24 h/pv, 7 pv/vko saavutetaan rasitusluokka 1, "vaikea". Keskimääräiseksi tekniseksi käyttöiäksi 1. rasitusluokan IV-järjestelmille voidaan määrittää 10 - 15 vuotta. Ilmanvaihtokoneiden toimiessa 9 - 10 h/pv, 5 pv/vko, saavutetaan rasitusluokka 2, "normaali". Keskimääräiseksi tekniseksi käyttöiäksi 2. rasitusluokan IV-järjestelmille voidaan määrittää 20 - 25 vuotta. Ilmanvaihtokoneiden toimiessa joitakin tunteja vuorokaudessa, n. 10 - 20 h/vko, saavutetaan rasitusluokka 3, "kevyt". Keskimääräiseksi tekniseksi käyttöiäksi 3. rasitusluokan IV-järjestelmille voidaan määrittää 30 - 40 vuotta. (6, s. 23 - 26.)

Tämän kohteen rasitusluokka asettuu 1. ja 2. luokan välille, jolloin keskimääräiseksi tekniseksi käyttöiäksi voidaan arvioida 15 - 20 vuotta käyntiaikojen perusteella.

2.6 LTO:n vaatimukset ja tyypit

Teollisuustilojen poistoilma on luokkaa 4. Tämän luokan poistoilmasta lämpö tulee ottaa talteen väliaineen välityksellä eli ns. rekuperatiivisellä lämmönsiirtimellä.

IV-koneen palvellessa vain yhtä tilaa voi LTO:n tyyppin kuitenkin valita vapaasti sillä edellytyksellä, että tuloilma on tarpeeksi puhdasta takaamaan ilman laadulle asetetut vaatimukset. Tällaisia tiloja ovat esim. teollisuustilat, autohallit ja -tallit. (4, s. 37.)

Lämmöntalteenottolaitteen jäätyminen esto otetaan huomioon rajoittamalla ulospuhallusilman lämpötilaa tehonsäädöllä. Jäätyminen eston ulospuhallusilman minimilämpötilana voidaan käyttää ohjearvoja, jos laitteesta ei ole olemassa varmennettuja suoritusarvoja: asuinrakennuksissa levylämmönsiirtimille +5 °C ja pyöriville lämmönsiirtimille tai kosteutta siirtäville levylämmönsiirtimille 0 °C sekä muissa rakennuksissa levylämmönsiirtimille 0 °C ja pyöriville lämmönsiirtimille –5 °C. (15, s. 24.)

2.6.1 Pyörivä roottorilämmönsiirrin

Kuvassa 3 näkyvä pyörivä roottorilämmönsiirrin on yleensä rakennettu alumiinilevystä, johon on tehty pieniä solia, joiden läpi ilma virtaa. Roottori varaa lämpöä poistoilmasta ja luovuttaa lämmön sisään puhallettavaan ulkoilmaan pyörähdettyään 180°. Tätä kutsutaan regeneratiiviseksi lämmönsiirtimeksi. Roottorilämmönsiirtimen lämpötilasuhde tasailmavirroilla on jopa n. 80 - 85 %.

Roottorin ominaisuuksiin liittyy ilmanvuotoherkkyys. Siirtimen otsapintojen tiivisteiden välistä ilma pääsee virtaamaan läpi, jos tulo- ja poistoilmapuolen välillä on paine-eroa. Paineen ollessa suurempi poistopuolella ilmaa vuotaa tuloilman puolelle, ja paineen ollessa suurempi tuloilmanpuolella on ilmanvuoto todennäköistä poistoilman puolelle. Ilmanvuodon määrää voidaan vähentää tasamalla paine-eroa tulo- ja poistoilmapuolen välillä, tai suunnittelemalla paine korkeammaksi tuloilman puolella, jotta vältetään haitalliselta poistoilman takaisin virtaukselta. (1, s. 160)

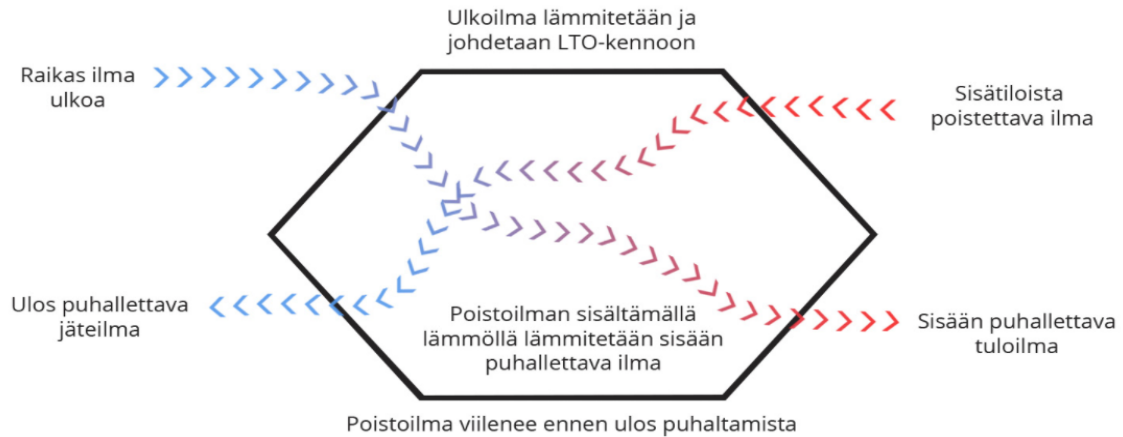


KUVA 3. Hitsaamoihin ja maalamoihin suunniteltu roottori lämmöntalteenotto (12)

2.6.2 Levylämmönsiirtimet, vasta- ja ristivirtasiirrin

Vasta- ja ristivirtasiirtimet on valmistettu yleensä alumiinilevyistä, joiden joka toisessa välissä virtaa ulkoilma ja joka toisessa poistoilma. Vastavirtasiirtimessä ilmavirrat kulkevat toisiinsa nähden vastavirtaan ja osittain ristivirtaan. Alumiinilevyt ovat ohuita, n. 0,1 - 0,4 mm paksuja, ja levyjen välit ovat yleensä 2 - 4 mm. Vastavirtasiirtimen lämpötilasuhde tasailmavirroilla on n. 80 %. (Kuva 4.)

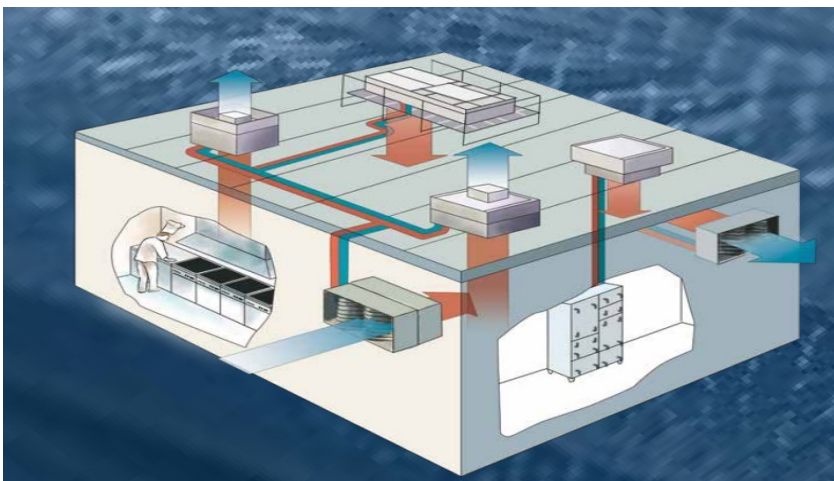
Ristivirtasiirtimessä ilmavirrat menevät vain ristiin, minkä vuoksi ristivirtasiirtimen lämpötilasuhde tasailmavirroilla on heikompi, n. 60 %. Lämpö siis siirtyy levylämmönsiirtimissä väliaineen läpi, joten ne ovat rekuperatiivisia lämmönsiirtimiä. (1, s. 158.)



KUVA 4. Ristivirtasiirrin ja sen toiminta

2.6.3 Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Nestekiertoisen LTO:n tarkoitus on siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan väliaineen eli kiertävän nesteen avulla. Nestekiertoisessa LTO:ssa neste kiertää kahden patterin välillä. Toinen patteri on poistoilman puolella ja toinen tuloilman puolella, joten toinen patteri siis varastoi- ja toinen luovuttaa lämpöä. LTO-tekniikoista heikoin lämpötilahyötysuhde on nestekiertoisilla LTO-ratkaisuilla, n. 40 - 60 %. Nestekiertoisessa LTO:ssa on myös enemmän kuluvia osia kuin muissa LTO-malleissa, ja nestettä kierrättävä pumppu kuluttaa sähköä. Pattereissa kiertävänä nesteenä käytetään veden ja jäätymisenestoaineen seosta. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hyvä ominaisuus on mahdollisuus sijoittaa patterit etäälle toisistaan. (Kuva 5.) (1, s. 184.)

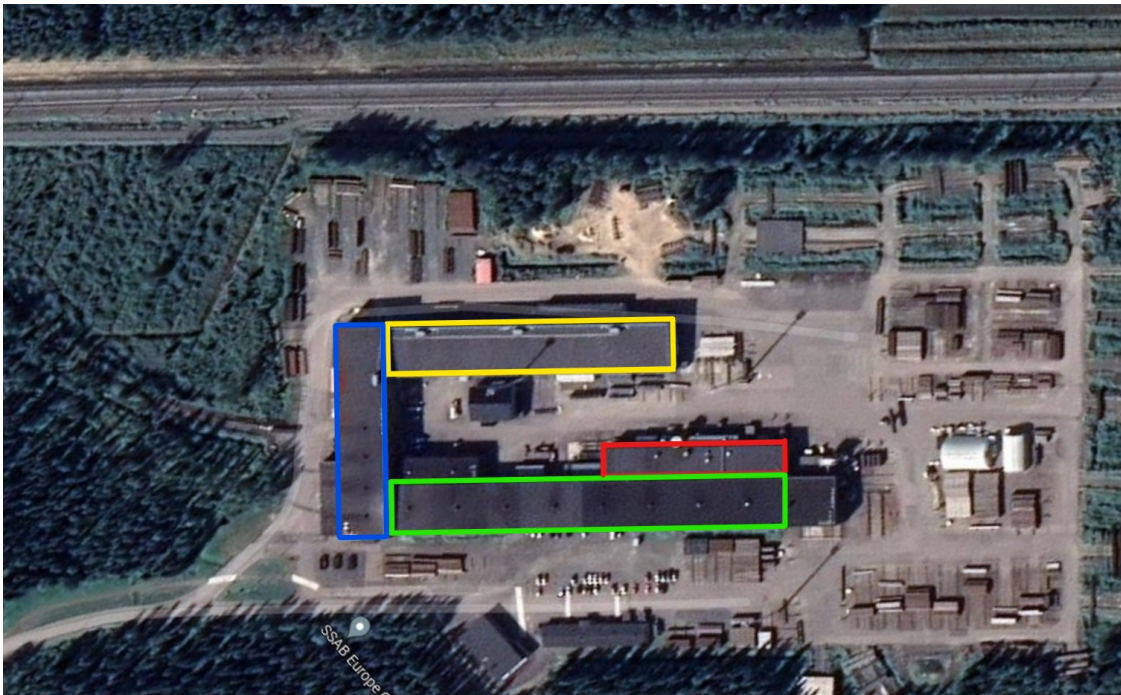


KUVA 5. Retermia tuotekatalogi (8, s. 1)

3 ILMANVAIHDON SANEERAUSESITYS

Putkitehdas sijaitsee Oulaisissa ja on Rautaruukki Oy:n 1970-luvulla rakennuttama (kuva 6). Putkitehdas on nykyään SSAB Europe Oy:n omistuksessa, ja tuotantotiloja on laajennettu vuosien saatossa tarpeen mukaan. Putki- ja kelahalli rakennettiin vuonna 1976, ja myöhemmin rakennettuja tuotantotiloja tehtaalle ovat varusteluhalli ja pinnoittamo. Tällä hetkellä tehtaan pinta-ala on kokonaisuudessaan n. 16 000 m². Tehtaassa valmistetaan SSAB Raahesta tulevasta raaka-ainemateriaalista koneiden ja prosessien avulla putkipaaluja, joista rakennetaan esimerkiksi patoseiniä pysäköintihalleihin. Putkipaaluja voidaan paaluttaa maahan ja porata peruskallioon. Halleissa on useita hitsaus- ja hiontatyöpisteitä, plasma- ja polttoleikkaustyöpisteitä sekä vesipainekoelaitteita ja vesiallas.

Tehdas voidaan jakaa neljään osioon, jotka ovat varustelu-, kela- ja putkihalli sekä pinnoittamo. Tässä työssä keskitytään kolmen ensin mainitun tuotantotilan ilmanvaihdon saneerauksen esiselvitykseen. Nämä hallit ovat käytännössä samaa tilaa, koska niitä ei ole erotettu seinärakenteilla, toisin kuin pinnoittamo.



KUVA 6. Satelliittikuva SSAB Oulaisten tehtaasta. Varusteluhalli/keltainen, kelahalli/sininen, putkihalli/vihreä ja pinnoittamo/punainen.

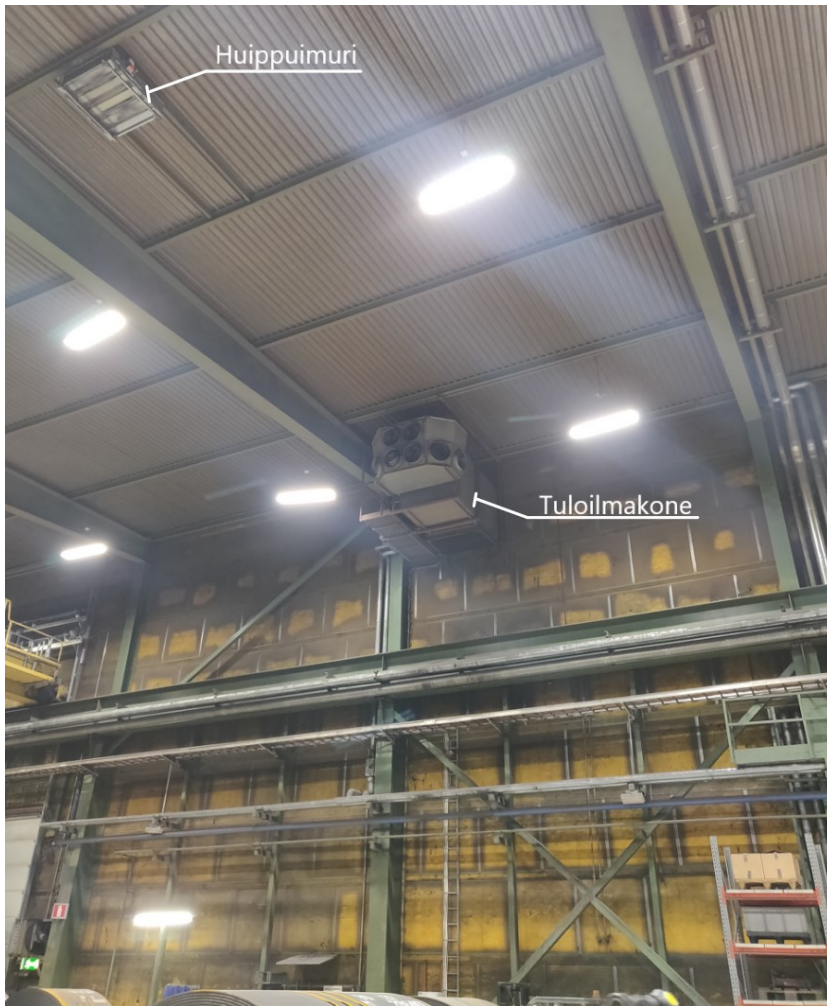
3.1 Kela- ja putkihalli

Tuotantotilojen ilmanvaihtojärjestelmät ovat vuodelta 1976. Jälkeenpäin asennetulla kohdepoisto-järjestelmällä on pyritty ehkäisemään tuotantotiloissa epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Kohdepoistojärjestelmää hyödynnetään putkihallin hitsaus- ja hiontatyöpisteillä sekä plasmaleikkaus-työpisteillä. Tuotantotiloissa sisäilmaan vapautuvat epäpuhtaudet tulevat pääosin kohdepoistotto- milta hitsaus- ja hiontatyöpisteiltä sekä vesipainekoealtaasta. Työntekijät käyttävät raitisilmamas- keja hitsaus- ja hiontapisteillä välttääkseen altistumista terveydelle haitallisille savuille ja hiukka- sille. Tuotantotilojen sekoittava ilmanjaon vuoksi haitalliset hiukkaset sekä muut epäpuhtaudet se- koittuvat sisäilmaan ja likainen sekoittunut ilma leviää tehokkaasti tuotantotilojen oleskeluvyöhyk- keelle.

Nykyisten IV-suunnitelmien mukaan kela- ja putkihallin ilmanvaihto on hyvin alipaineinen, mikä vai- keuttaa kohdepoistojen asianmukaista toimintaa. Alipaineisuuden on huomattu aiheuttavan tuotan- totilojen rakenteiden läpi vetoa, josta koituu harmia työntekijöille varsinkin kylmän sään aikaan.

Kela- ja putkihallissa nykyinen poistoilmanvaihto on toteutettu huippuimureilla, jotka puhaltavat lämpimän ilman ulos ilman lämmöntalteenottoa tai suodatusta. Kelahallin päässä poistoilmaa kä- sittelee myös yksi kattokone, joka on varustettu LTO:lla ja poistoilmansuodattimilla.

Tuloilmanvaihto on toteutettu kuudella tuloilmakoneella ja yhdellä kattokoneella sekoittavana il- manjakona. Kattokone ja tuloilmakoneet on varustettu nestekiertoisilla lämmityspattereilla, joiden avulla tuloilmaa lämmitetään. Tilojen lämmityksessä käytetään nestelämmitteisiä kiertoilmakojeita. Tuloilmakoneet on asennettu seinälle katon rajaan, josta tuloilman puhallus tapahtuu teollisuusha- joittimilla alaviistoon, tuotantotilojen lattiaa kohti. Tuloilman päätelaitteita halleissa ei ole asennettu optimaalisimmalla tavalla: nykyiset tuloilmakoneet on asennettu seinälle katon rajaan n. 40 metrin välein. Tuloilmakoneiden puhallus on osin suunnattu huippuimureita kohti, ja tämä voi aiheuttaa ns. oikosulkuvirtausta, eli osa tuloilmasta virtaa suoraan huippuimurin kautta ulos. (Kuva 7.)



KUVA 7. Kelahallissa sijaitseva tuloilmakone ja huippumuri

3.2 Varusteluhalli

Varusteluhalli on myöhemmin rakennettu laajennus SSAB:n Putkitehtaalle. Varusteluhallin ilmajakotapa on myös sekoittava. Ilmanvaihto on toteutettu LTO:lla varustetuilla kattokoneilla. Kattokoneiden tarkkoja ilmavirtoja ei ole tiedossa. Oletetaan ilmavirrat tasapainoisiksi, toisin kuin kela- ja putkihallin tilanteessa, koska samanlaista ongelmaa rakenteiden läpi tulevan vedon kanssa ei ole tullut vastaan.

Kattokoneiden ongelmana on ollut nopeasti likaantuvat poistoilmansuodattimet, jotka aiheuttavat poistoilmavirroissa muutoksia ja järjestelmän toiminnan heikentymistä sekä lisäkustannuksia kun-

nossapidolle. Varusteluhallin läheisyydessä sijaitsevasta bitumikattilasta tulevia hajuja on kulkeutunut ajoittain kelahalliin asti. Tämä kertoo kelahallin alipaineisuudesta, ja voi viestiä myös tukkeutuneista poistoilmansuodattimista varusteluhallin kattokoneissa ja siitä aiheutuvasta ylipaineisuudesta.

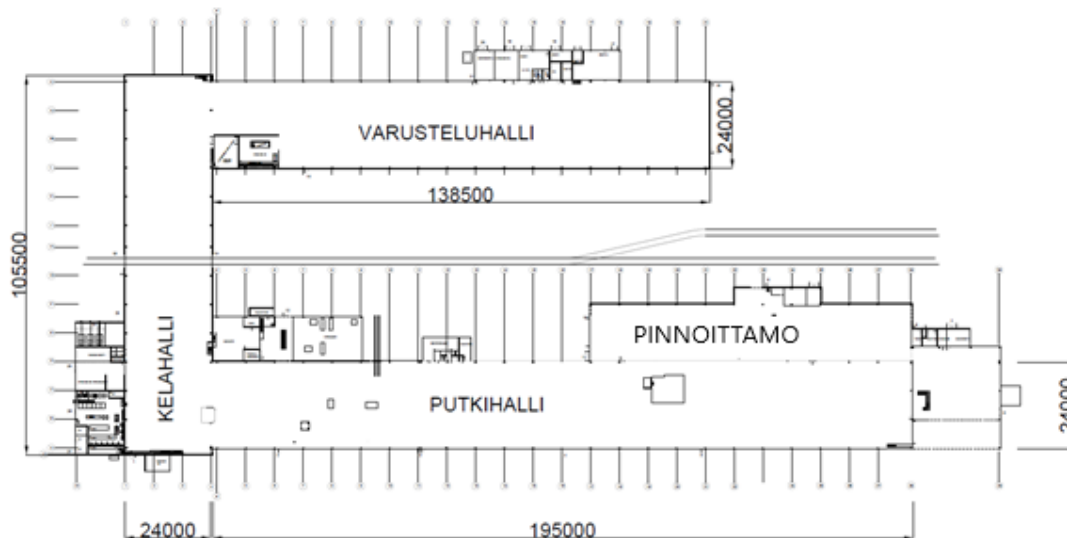
Varusteluhallin tuloilma puhalletaan tasaisesti katosta alaspäin teollisuushajoittimilla, ja poistoilmäsäleiköt ovat suoraan kattokoneiden alla katon rajassa. Tässäkin tuotantotilassa puhdas tuloilma ehtii sekoittua likaiseen sisäilmaan, ennen kuin ilmavirtaus saavuttaa oleskeluvyöhykkeen, joten ilmanlaatu tuotantotilassa on huono. Jälkikäteen asennetut kohdepoistojärjestelmät on otettu käyttöön varusteluhallin hitsaus- ja hiontatyöpisteillä epäpuhtauksien leviämisen ehkäisemiseksi. Tuotantotilan lämmitys on toteutettu kiertoilmakojeilla ja kattokoneiden tuloilmaa lämmitetään nestekiertoisilla lämmityspattereilla. (Kuva 8.)



KUVA 8. Kattokone sekoittavalla ilmanjaolla varusteluhallissa ja siltanosturi

3.3 Pinta-ala ja tilavuus

Putkitehtaasta alkuperäisiä paperille piirrettyjä LVI-suunnitelmia löytyy putki- ja kelahallista. Suunnitelmia on osittain päivitetty myös sähköiseen muotoon Cad-ohjelmia apuna käyttäen. (Liite 2.) Putkihallin pinta-ala on n. 4 680 m² ja korkeutta n. 9 metriä, kelahallin pinta-ala on n. 2 532 m² ja tilan korkeus n. 11,5 metriä, varusteluhallin pinta-ala on n. 3 324 m² ja tilan korkeus on n. 9 metriä. Hallien kokonaispinta-alaksi tulee n. 10 536 m² ja tilavuudeksi 101 154 m³. (Kuva 9.)



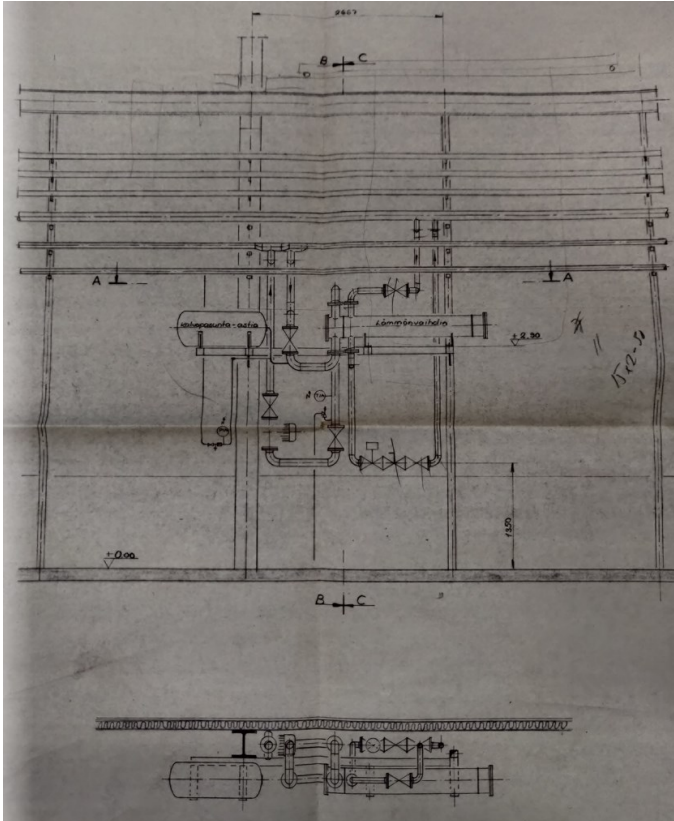
KUVA 9. Pohjakuva putkitehtaasta fyysisine mittoineen

3.4 Ilmanjakotavan valinta

Nykyään tuotantotilojen ilmanvaihto on toteutettu sekoittavalla ilmanjaolla, ja tuloilman päätelaiteiden puhaltamat ilmavirrat hallitsevat virtauksia. Tuotantotiloissa on kuitenkin suuria lämpökuormia ja epäpuhtauslähteitä, joten sekoittava ilmanjako ei ole paras vaihtoehto, koska epäpuhtaudet jäävät kiertämään sisäilmaan.

Syrjäyttävällä ilmanjaolla tuloilman puhaltaminen täysin symmetrisesti oleskeluvyöhykkeelle on haastavaa, koska tuotantotilat ovat mitoiltaan pitkiä, hallien seinille on asennettu paljon sähköhylyjä ja -kaappeja, paineilma-, lämmitys- ja käyttövesiputkistoja. Selvästi haasteellisin tuotantotiloista tämän suhteen on putkitali. Haasteita kanavoinnin suunnitteluun tuo myös jokaisen tuotantotilan katossa kulkevat siltanosturit. (Kuva 10.)

Ilmanjakotavaksi valitaan syrjäyttävä ilmanjako, koska tehtaan työoloja voidaan kuitenkin parantaa merkittävästi tällä muutoksella. Tuotantotiloissa syntyy paljon epäpuhtauksia ja lämpökuormia, joita ei haluta sekoittaa oleskeluvyöhykkeen ilmaan. Syrjäyttävä ilmajako on myös yleinen ratkaisu teollisuudessa ja korkeissa tiloissa.



KUVA 10. Vuoden 1976 leikkauskuva putkihallista

3.5 IV-konehuoneet

Vanhojen ilmanvaihtojärjestelmien huoltotyöt ja kunnossapito ovat olleet haastavia, koska IV-koneet ja huippumurit sijaitsivat katolla ja katon rajassa. Huoltotöitä varten kulku on tapahtunut katon kautta ja osittain myös hallin sisältä. Katolle on kuljettu seinätikkaita pitkin.

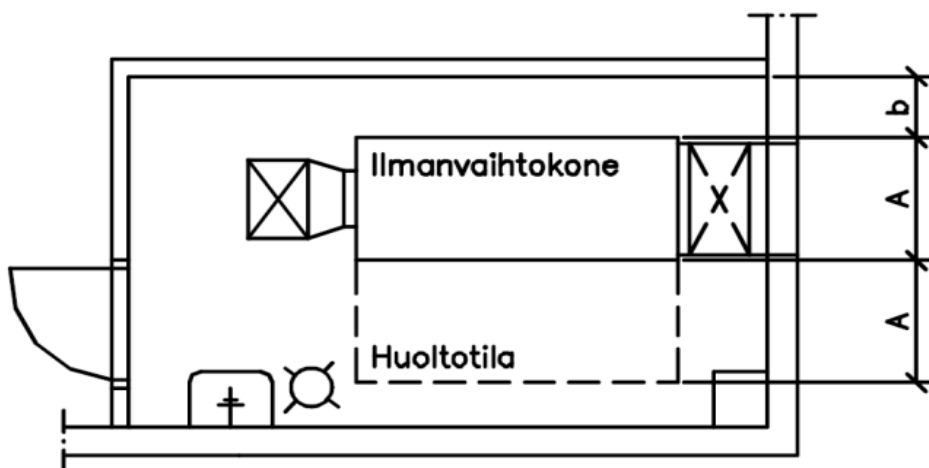
Kohdekäynnin aikana ja tilaajan kanssa pidetyissä palavereissa päätettiin uudet ilmanvaihtokoneet ja konehuoneet sijoittaa maan tasolle huoltotöiden helpottamista varten. Ilmanvaihtokoneita varten

rakennetaan uudet IV-konehuoneet, jotka ovat kuvassa 11 värjätty sinisellä. IV-konehuoneiden tilavarauksissa tulee huomioida myös muita mahdollisia tilatarpeita tulevaisuutta varten. Esimerkiksi kaukolämmönsiirtimet voidaan sijoittaa IV-konehuoneisiin tuotantotilojen sijaan, jos niiden uusiminen tulee ajankohtaiseksi. IV-konehuoneisiin sijoitetaan IV-koneiden lisäksi LVI-jakokeskukset ja valvonta-alakeskukset eli VAK:it ja näiden tilantarve tulee myös huomioida suunnitteluvaiheessa.



KUVA 11. IFC-malli putkitehtaasta, uusien IV-konehuoneiden ehdotetut sijainnit värjätty sinisellä.

IV-koneen huoltopuolella tulee olla vapaata tilaa vähintään IV-koneen leveyden verran, ja IV-koneen takana tulee tilaa olla vähintään 0,4 kertaa IV-koneen korkeuden verran tai vähintään 600 mm (kuva 12). (4, s. 48)

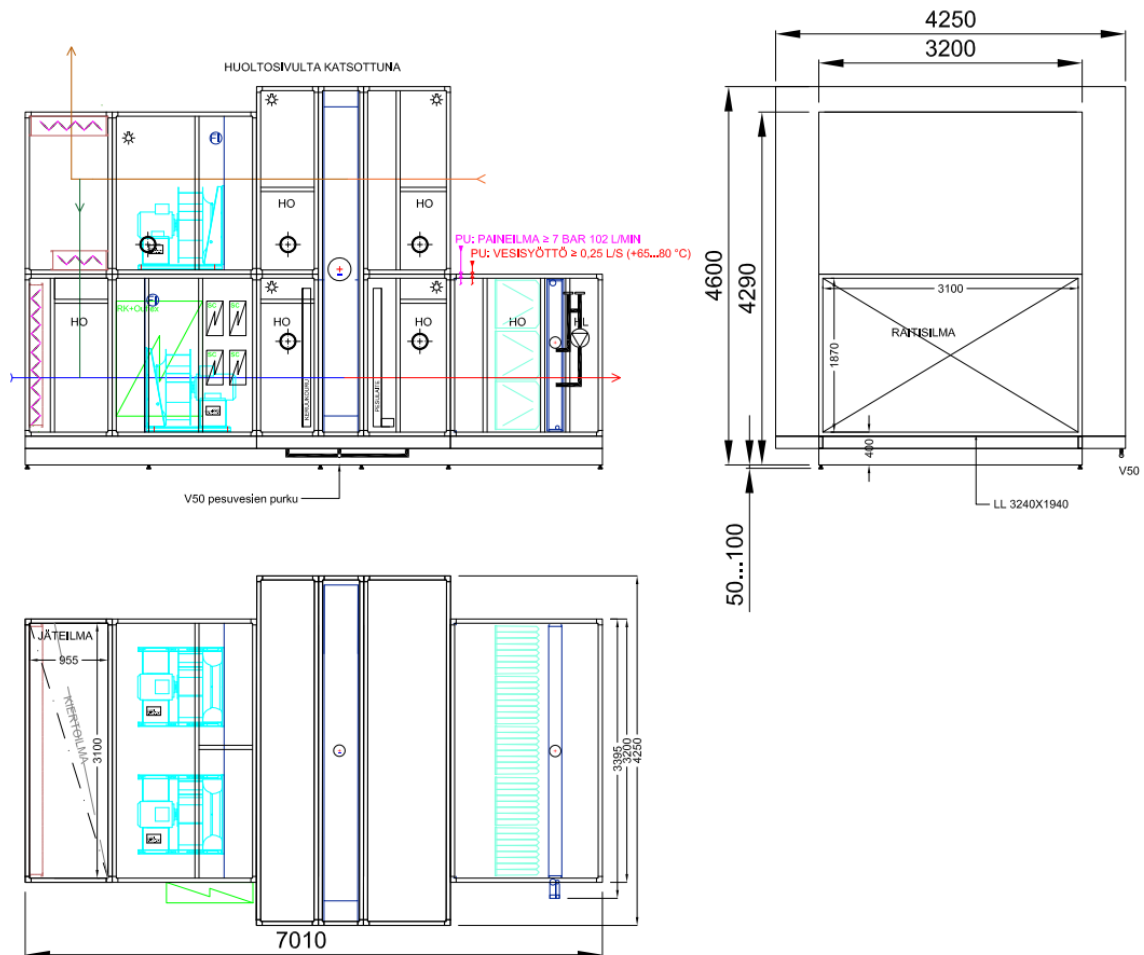


KUVA 12. IV-koneen huottilan sijoitus- ja mitoitus esimerkki. A on ilmanvaihtokoneen leveys ja b on 0,4 kertaa ilmanvaihtokoneen korkeus tai vähintään 600 mm. (4, s. 48.)

IV-koneen fyysisten mitat:

- leveys: 4,25 m
- pituus: 7,010 m + kammmiot 2,5 m + 0,6 m kulkuväylä sivulta koneen taakse = 10,110 m
- korkeus: 4,6 mm + n.0,15 m säätöjalat ja nostolenkit = 4,75 m

Kun konehuoneiden tilavarauksia lasketaan kuvan 12 mukaan, minimipinta-alaksi tulee: $10,110 \text{ m} * (4,25 * 2 + 0,6) \text{ m} = 92 \text{ m}^2$. Kun konehuoneisiin tehdään tilavarauksia myös lämmönsiirtimiä, LVI-jakokeskuksia ja valvonta-alakeskuksia varten, kasvaa IV-konehuoneen tilantarve. Tässä vaiheessa IV-konehuoneen pinta-alaksi määritetään 150 m^2 . (Kuva 13.)



KUVA 13. Mastervent Oy:n KRS-THR IV-koneen mittakuva (liite 3).

3.6 IV-kone

Esitetään tuotantotilojen uusiksi IV-koneiksi hitsaamoihin ja maalaamoihin suunniteltua Mastervent Oy:n IV-konetta, jonka malli on KRS-15-THR. IV-koneessa on roottorilämmöntalteenotto ja ilmoitettu lämpötilahyötysuhde 73,6 %. Kyseisen IV-järjestelmän suunnitteluperusteina pidetään hitauslaitoksissa ja konepajoissa ilmanvaihtokertoimenä 2,2 - 3,5 1/h, ja ilmanvaihto tulee toteuttaa syrjäyttävänä ilmanvaihtona. Yhden IV-koneen ilmamäärät ovat 12,4 m³/s tuloilmaa ja 12,5 m³/s poistoilmaa. Koneita on suunniteltu tehtaalle 5 kappaletta. (Liite 3.)

Masterventin LTO-roottori on puhaltimien painepuolella ja varustettu huuhtelusektorilla. Asennus toteutetaan siten, että roottorin vuotoilma liikkuu tuloilmasta poistoilmaan päin, joten haitallista poistoilman takaisinvirtausta tuotantotiloihin ei tapahdu. LTO:n tukkeutumisen ehkäisemiseksi ja toiminnan takaamiseksi IV-koneessa on sisäänrakennettu pesujärjestelmä THR-P150. (Liite 4.)

LTO:n korkeapainepesulaite THR-P150

THR-P150 on automaattisesti toimiva IV-koneeseen sisäänrakennettu puhdistuslaite. Laite käyttää korkeapaineista kuumaa vettä IV-koneen roottorin puhdistamiseen. Painevesisuihku poistaa roottoriin jääneen lian, perässä kulkeva paineilmasuutin kuivaa roottorin virtauskanavat ja roottorin jälkikuivaus tehdään puhaltimilla. Näillä toimilla roottori pidetään toimintakunnossa maalamoissa, hitsaamoissa ym. prosesseissa. THR-pesujärjestelmää käytettäessä poistopuolella ei käytetä suodattimia, koska roottori itsessään ottaa poistoilman mukana virtaavaa likaa vastaan. Tuloilman puolella on suodattimet roottorin jälkeen.

Taulukossa 1 on laskettu LTO:n roottorin pesun kustannukset. Pesujakson aikana roottori puhdistetaan kokonaan, joten suodatinkustannukset ja moottoreiden sähkönkulutus alenevat merkittävästi tavanomaiseen järjestelmään verrattuna. Pesuvesi viemäroidään kojeen sivulle tulevan vedenkeräysaltaan kautta erotuskaivoon ja siitä poistoviemäriin. (Liite 4.)

TAULUKKO 1. Laitevalmistajan toimittama THR-pesulaitteen pesukustannuslaskenta sisältäen kuivauksen 7 bar:n paineilmalla

THR-PESULAITTEEN VESIVIRTA VEDEN PAINEEN FUNKTIONA SEKÄ					
PESUN KUSTANNUKSET SISÄLTÄEN KUIVAUS 7bar PAINEILMALLA					
Veden paine bar	150	Veden alkulämpöt. °C	5	Paineilmaa (7bar), l/min	102
Veden hinta €/m ³	3,62	Veden loppulämpöt. °C	65	Vesivirta l/s	0,19
Sähkön hinta €/MWh	97,5	Roottorin halkaisija	3760	Pesuaika min.	95
Lämmön hinta €/MWh	55,94	Suihkun leveys mm	20	Vettä l	1053
Pesurin moott.teho kW	7	Roott.pyör.nop.r/min	1,1	Paineilmaa Nm ³	9,7
				Pesukerran hinta €	10,20 EUR
				kuumalla vedellä	
				Vuosikustannus, kun pesu kerran viikossa	
					530,2 EUR

3.7 Kanavisto ja runkoreititys

Kanavistolle asetetaan tavoitteeksi paljon toiminnallisia ominaisuuksia, joita pitää osata ottaa huomioon suunnittelussa. Kanaviston tulee olla tiivis, virtausteknisesti stabiili, helposti tasapainotettavissa, energia- ja säätötekniisesti suorituskykyinen, äänitekniisesti hallittu, helposti ja turvallisesti huollettavissa ja paloturvallinen. (2, s. 86)

Kanavistolle tulee varata tarpeeksi tilaa eristystä ja kanavaristeilyä varten, kuten myös kannakoinnille, asennus- ja eristystöille, mittauksille, säädöille ja huoltotöille. Myös muiden järjestelmien mahdolliset tilavaraukset ja tarpeet tulee huomioida. (2, s. 87)

Tuotantotilojen alkuperäisiä sekoittavan ilmanjaon kanavia tai laitteita ei voida jatkossa hyödyntää, koska kohteen uutta ilmanjakoa suunnitellaan syrjäyttävänä ja tämä vaatii kanaviston ja kanavien runkoreitityksen uusintaa. Tekninen käyttöikä on myös täyttynyt nykyisillä IV-järjestelmillä, joten vanhat kanavat ja laitteet siis puretaan kokonaisuudessaan. Poistoilman uusi kanavointi suunnitellaan asennettavaksi pääosin rakennuksen sisälle. Poistoilman päätelaitteet sijaitsevat mahdollisimman korkealla tuotantotiloissa, jolloin siltanosturit ja sähköhyllyt eivät tuota ongelmia poistoilman kanaviston runkoreitityksessä.

Uuden tuloilmakanaviston runkoreitityksen suunnittelussa havaittiin, ettei tilaa syrjäyttävän ilman- jaon kanavistolle juuri ole. Suunniteltaessa uusia IV-konehuoneita maan tasolle joudutaan uudet tuloilman runkokanavat asentamaan osittain rakennuksen ulkopuolelle. Tuloilman kanavointia pysytään toteuttamaan osittain rakennuksen sisällä, kun myös tuloilman runkokanavat asennetaan siltanosturien yläpuolelle katon rajaan, ja haarat tuodaan sähköhyllyjen ja ulkoseinän välistä oleskeluvyöhykkeelle. Sähköhyllyjen ja seinän välissä oleva tila on kuitenkin vain 330 mm, rakennuksen runkopalkkien leveyden verran. Kanaviston haaroja varten käytössä oleva tila on siis hyvin vähäinen rakennuksen sisällä.

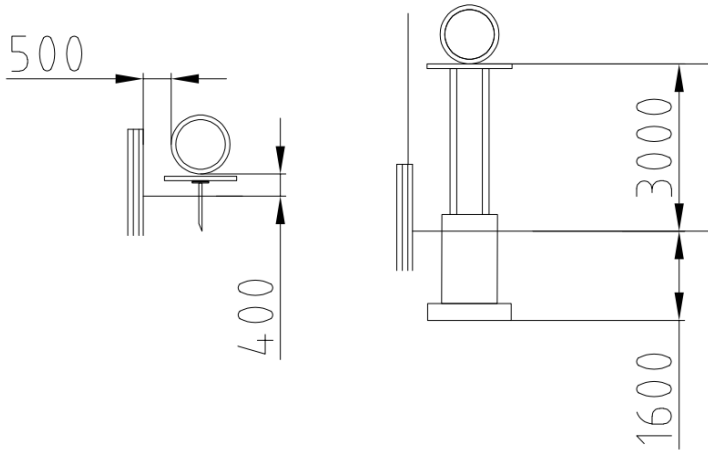
Tilaaajan kanssa on pohdittu myös vaihtoehtoisia ratkaisuja runkoreititystä varten. Tilaaajan ehdotuksesta selvitetään myös mahdollisuuksia hoitaa tuloilman kanavointi pääosin rakennuksen ulkopuolelta. Ulos asennettava kanavisto tulee eristää ja pellittää säänkestäväksi. Pyöreän kanavan lämmöneristepaksuus Paroc Hvac -tuotteille valitaan $\Delta t = 50 \text{ °C}$ mukaisesti. (Taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Vaadittava eristepaksuus kanavassa virtaavan ilman ja ympäristön välisen lämpötilaeron mukaan (9, s. 13)

Pyöreän kanavan lämmöneristepaksuus

Kanavan halkaisija, mm	Nimellinen eristepaksuus, mm			
	$\Delta t = 20 \text{ °C}$	$\Delta t = 30 \text{ °C}$	$\Delta t = 40 \text{ °C}$	$\Delta t = 50 \text{ °C}$
63	40	50	60	80
80	40	50	60	80
100	50	60	80	100
125	50	60	80	100
160	50	60	80	100
200	60	80	100	120
250	60	80	100	120
315	60	80	100	120
400	80	100	100	160
500	80	100	120	160
630	80	100	120	160
800	100	120	120	160
1000	100	120	160	180
1250	100	120	160	180

Rakennuksen ulkopuoliselle tuloilmakanavoinnille tilaa riittää tuotantotilojen ulkoseinillä, mutta kanaviston kannakointi ulkona on kalliimpaa kuin mitä se olisi rakennuksen sisällä. Sekundäärikannakointi on suunniteltu toteutettavaksi porapaaluilla, jotka porataan routimattomaan syvyyteen ja kanavat kannakoidaan porapaalujen päälle. Kannakoinnin ensisijaisena tehtävänä on vastaanottaa putkiston painon aiheuttama kuormitus kannatuspisteessä ja jakaa kuormitus sekundäärikannakkeiden avulla ympäröiviin rakenteisiin (3). (Kuva 14.)



KUVA 14. Luonnos kanavien sekundäärikannakoinnista

3.8 Päätelaitteet

3.8.1 Poistoilma

Poistoilman päätelaitteet sijoitetaan eri puolille tuotantotiloja päästöisimpien työpisteiden ja alueiden päälle, mahdollisimman korkealle. Poistoilman päätelaitteina käytetään Fläktgroupin BDKU-imukartioita (kuva 15).

Tuotantotiloissa poistoilmavirtausta tapahtuu myös kohdepoistojen kautta. Tämä tulee huomioida IV-koneiden ohjauksessa siten, että kokonaispoistoilmamäärät pysyvät mahdollisimman vakiona eikä kohdepoistojen vaihteleva käyttö aiheuta merkittävää alipainetilannetta tuotantotiloissa.



KUVA 15. Fläktgroup BDKU-100, Ø1000mm (Liite 5).

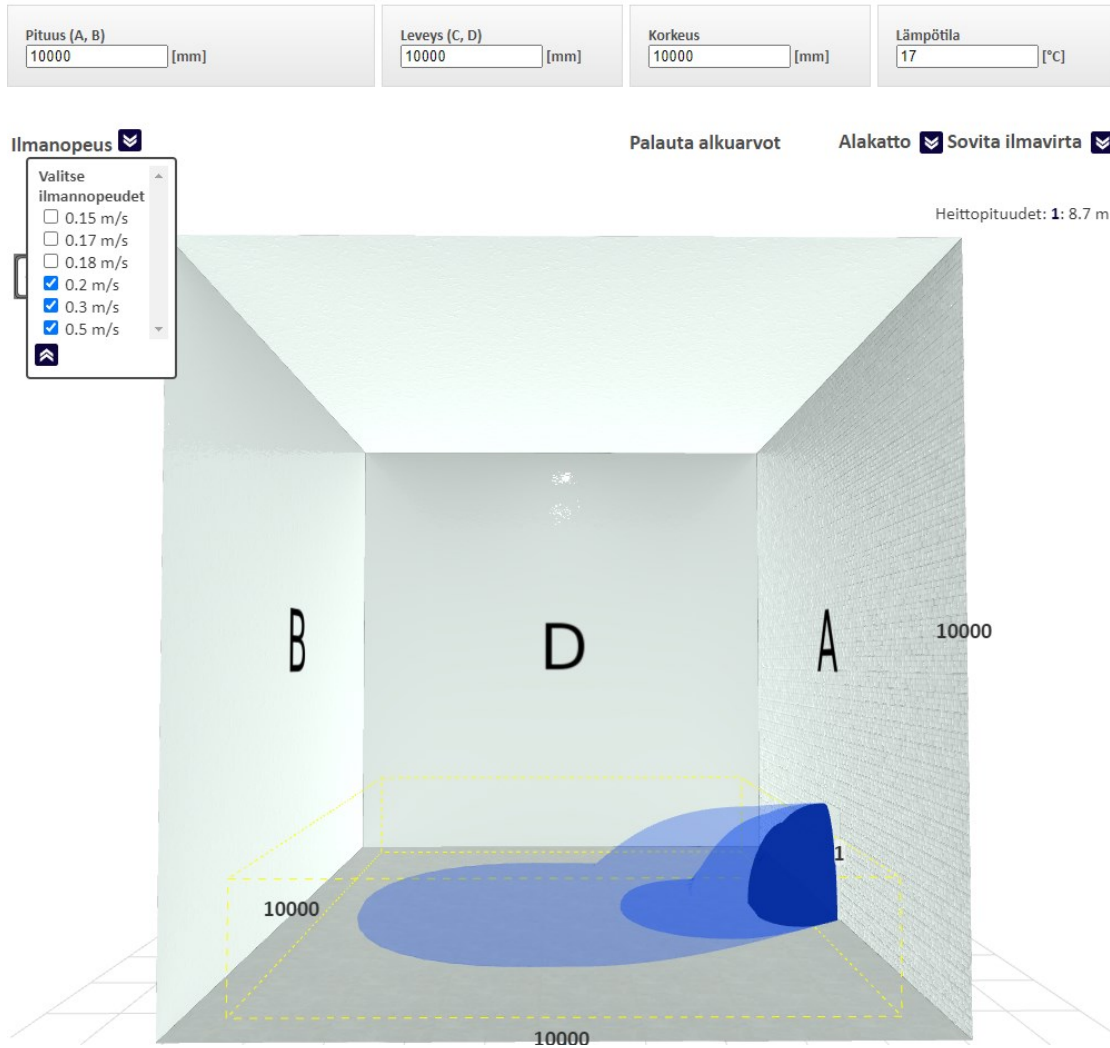
3.8.2 Tuloilma

Tuotantotilojen uusi ilmanvaihto toteutetaan syrjäyttävänä ilmanjakona. Syrjäyttävän ilmanjaon päätelaitteet ovat usein fyysisiltä mitoiltaan isoja, lattialle tai seinälle asennettavia piennopeuslaitteita. Tuotantotiloissa vapaa lattia pinta-ala on vähissä, joten päädytään käyttämään erilaisia seinälle asennettavia päätelaitteita. Tuotantotilojen välillä vapaan seinäpinta-alan suhteen on eroja, joten tuotantotiloissa käytetään tilaan paremmin sopivaa ja soveltuvaa päätelaitetta.

Heittokuvioiden tarkastelu

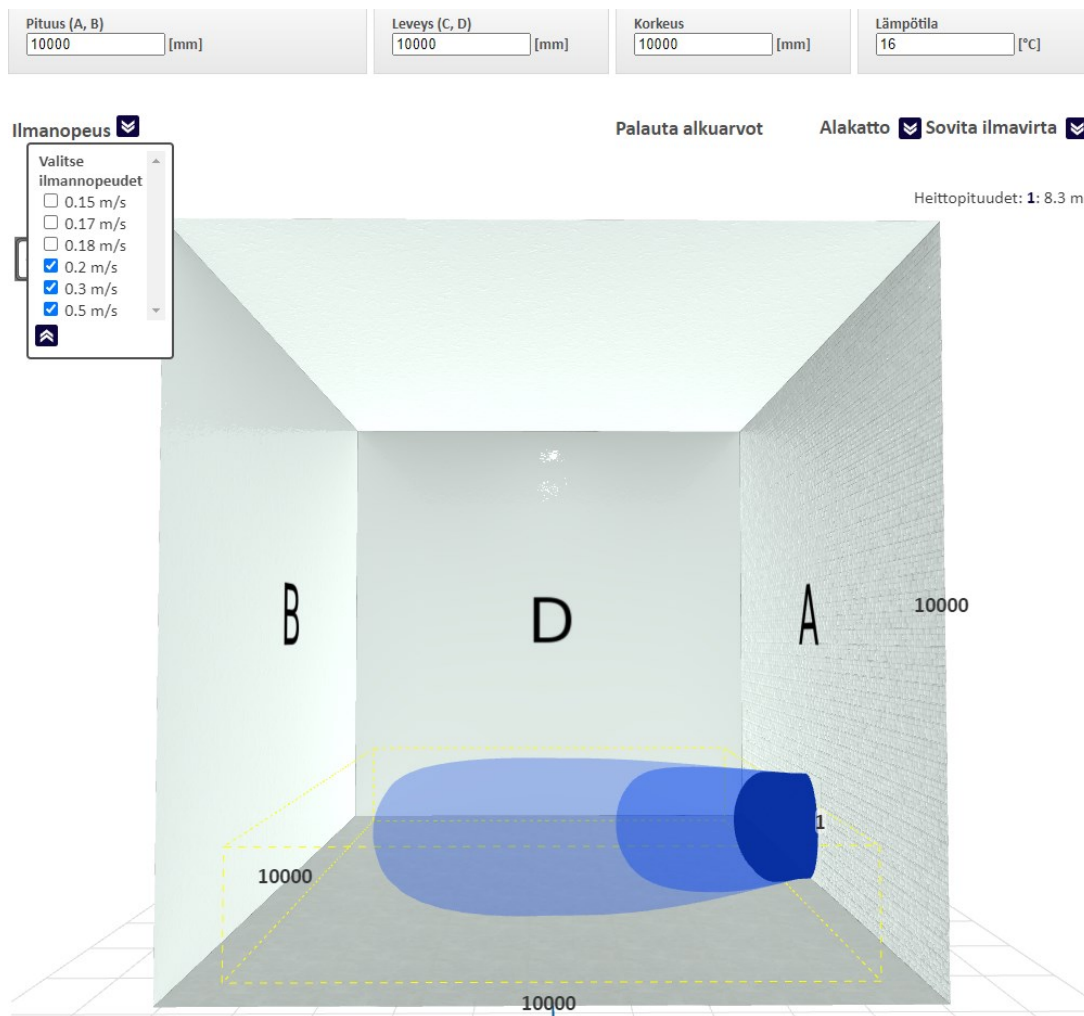
Tuloilmapäätelaitteita valittaessa on tärkeää tarkastella heittokuvioita. Piennopeuslaitteita käytettäessä on tuloilman oltava viileämpää kuin huoneilma, että puhtaan ja likaisen sisäilman kerrostuminen tilassa tapahtuu oikein. Heittokuvioiden tarkastelulla ja simulointiohjelmiä apuna käyttäen voidaan tarkastaa ilmanjaon toimivuutta eri lämpötiloissa, varsinkin silloin kun asennustapa poikkeaa tuotetiedoissa esitetyistä asennustavoista. (4, s. 37)

Heittokuvioiden tarkastelun apuna käytetään Climeconin vent.X-simulointiohjelmaa, jotta nähdään, miten heittokuviot käyttäytyvät eri lämpötiloissa. Tuloilman ollessa viileämpää kuin huoneilma piennopeuslaitteet toimivat optimaalisesti, koska tuloilma virtaa loivasti lattiaa kohti nostaen lämpimämpää ja likaista ilmaa kohti katon rajaa ja tuloilma jää oleskeluvyöhykkeelle. (Kuva 16.)



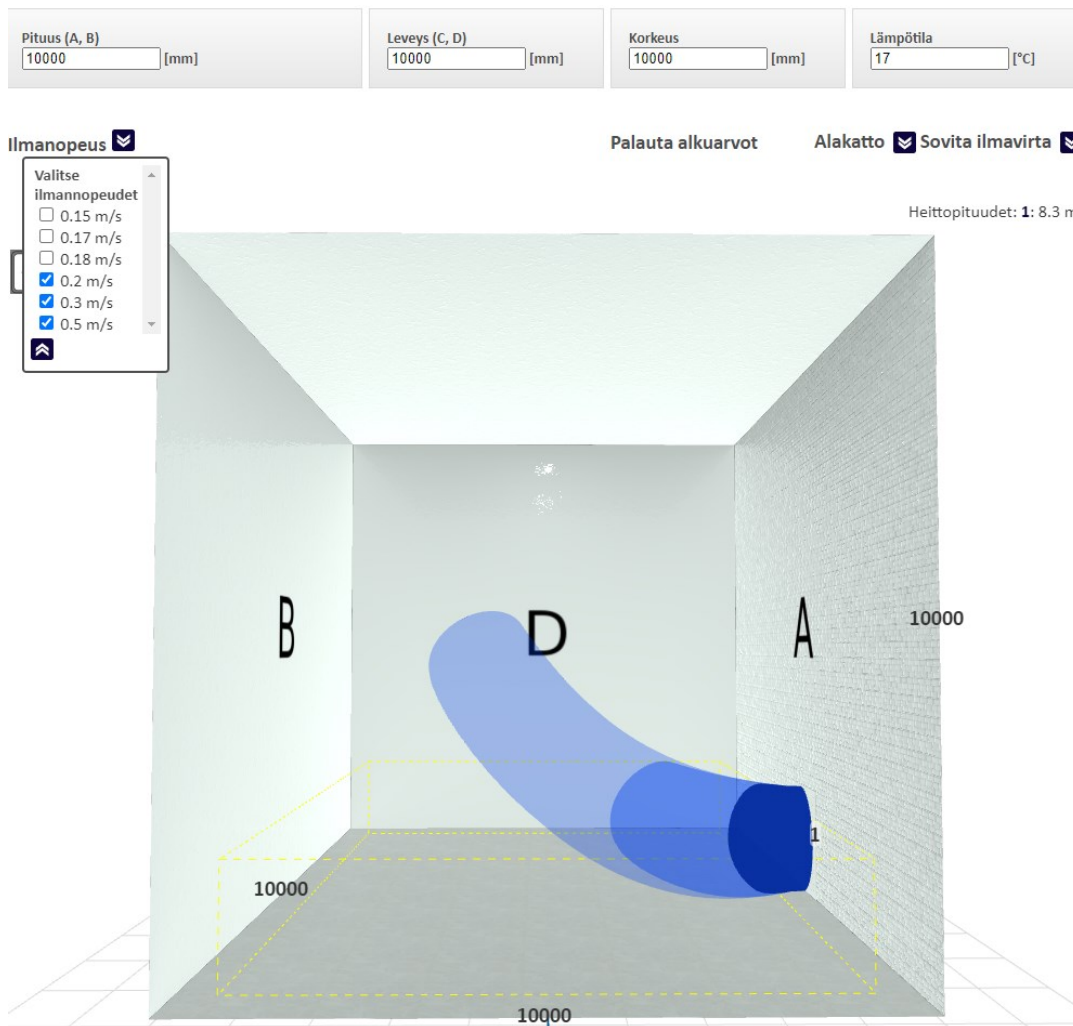
KUVA 16. Vent.X-simulointiohjelma, jossa heittokuva toteutettu alilämpoisellä tuloilmalla, tuloilman lämpötila 16 °C, huonelämpötila 17 °C, oleskeluvyöhyke merkitty katkoviivalla.

Tuloilman ollessa saman lämpöistä kuin huoneilma on piennopeuslaitteiden toiminta syrjäyttävänä ilmanvaihtona vielä hyvällä tasolla. Kun huonetilassa on pistemäisiä lämpökuormia ja epäpuhtauslähteitä, haluttua ilman kerrostumista tapahtuu edelleen, kun lämmin ilma pääsee kohoamaan kohti kattoa sekoittumatta ja tuloilma saavuttaa edelleen oleskeluvyöhykkeen. (Kuva 17.)



KUVA 17. Vent.X-simulointiohjelma, heittokuva isotermisellä tuloilmalla, tuloilman lämpötilä 16 °C, huonelämpötilä 16 °C, oleskeluvyöhyke merkitty katkoviivalla.

Tuloilman ollessa lämpimämpää kuin huoneilma, ei enää saavuteta haluttua lopputulosta piennopeuslaitteilla. Huonetilassa olevat pistemäiset lämpökuormat nousevat huonommin kohti huoneen yläosia ja tuloilma ei jää enää oleskeluvyöhykkeelle, ja näin ilmanlaatu oleskeluvyöhykkeellä on huonompi kuin tasalämpöisellä tai alilämpöisellä tuloilmalla. (Kuva 18.)



KUVA 18. Vent.X-simulointiohjelma, heittokuvio yllämpöisellä tuloilmalla, tuloilman lämpötila 18 °C, huonelämpötila 17 °C, oleskeluvyöhyke merkitty katkoviivalla.

Syrjäyttävää ilmanvaihtoa suunniteltaessa on hyvä muistaa, ettei piennopeuslaitteita tule käyttää lämmityksessä, koska pienen ilmannonpeuden vuoksi yllämpöinen tuloilma karkaa tilan yläosiin. On kuitenkin olemassa lämmitykseen soveltuvia tuloilman päätelaitteita, jotka mahdollistavat syrjäyttävän ilmanvaihdon. Nämä päätelaitteet eivät ole piennopeuslaitteita, vaan niiden ilmannonpeus ja ilman heittopituus ovat suurempia, jotta yllämpöinen tuloilma saadaan puhallettua oleskeluvyöhykkeelle.

WOZB syrjäyttävä hajotin

Kela- ja varusteluhallissa voidaan käyttää pääosin Fläktgroupin valmistamaa WOZB- syrjäyttävää hajotinta (kuva 19). Päätelaite on tarkoitettu vapaaseen asennukseen mutta voidaan asentaa myös

seinälle. Päätelaitte sopii tiloihin, joissa tarvitaan suuria ilmamääriä suoraan työskentelyalueella. Hajottimen suositeltu asennuskorkeus on 3 - 4 metriä lattiasta. Päätelaitteessa on sisävaippa, jota käsin tai moottorilla säätämällä voidaan muuttaa laitteen heittokuviota. Hajotin soveltuu ilman jäähdytykseen ja lämmitykseen. (Liite 6.)



KUVA 19. Fläktgroup WOZB, pyöreä syrjäyttävä hajotin (liite 6).

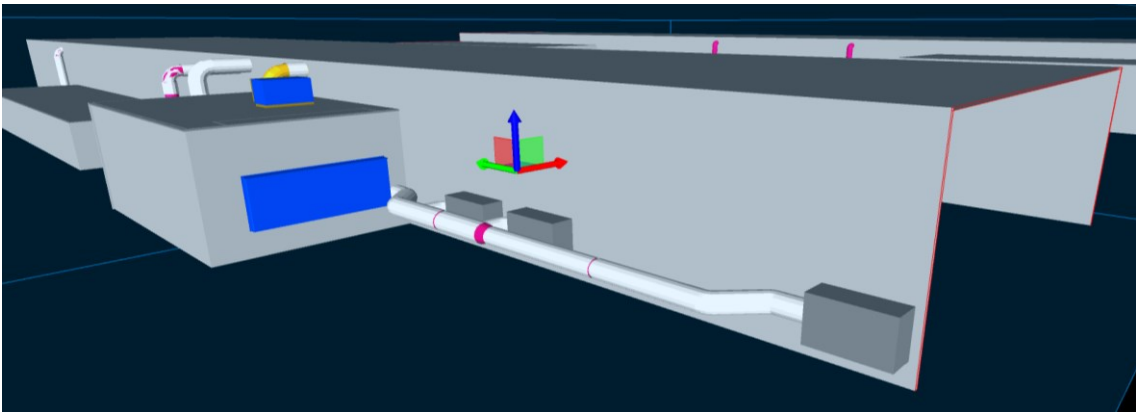
Sopimusvalmistajan päätelaite

Toisena vaihtoehtoisena päätelaitteena käytetään sopimusvalmistajan tuottamaa lämpöeristettyä kammiota. Kammio asennetaan ulkoseinälle ja kammion etuseinään asennetaan reikälevy, jonka läpi ilma virtaa sisätiloihin. Kammion todelliset mitat varmistetaan toteutussuunnitteluvaiheessa. (Kuva 20.)

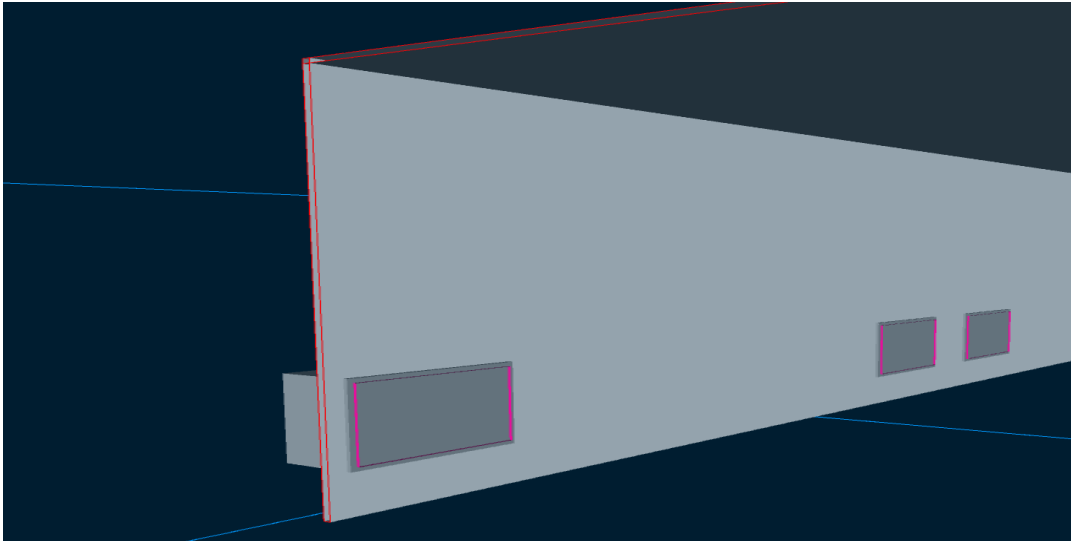


KUVA 20. Tuloilmapäätelaitteeksi kaavailtu kammio (10).

Kuvissa 21 ja 22 havainnollistetaan IFC-mallin avulla, kuinka kammion tapaisen päätelaitteen sijoittelua kohteeseen on suunniteltu.



KUVA 21. Leikkauskuva IFC-mallista. Näkymä ulkoa, kun tuloilman päätelaitteiden asennus ja kanavointi toteutetaan rakennuksen ulkopuolelta.



KUVA 22. Leikkauskuva IFC-mallista. Näkymä sisältä, kun tuloilman päätelaitteiden asennus ja kanavointi toteutetaan rakennuksen ulkopuolelta.

3.8.3 Jäteilma

IV-konehuoneiden jäteilma-aukot ja päätelaitteet sijoitetaan yleensä rakennuksen korkeimman osan vesikatolle siten, että jäteilma suunnataan ulospuhallushajottajalla ylöspäin. Näin estetään jäteilman kulkeutuminen saman rakennuksen ja mahdollisten naapurirakennuksien raitisilmasäleiköihin ja avattaviin ikkunoihin. Lumen takia jäteilma-aukon alareunan etäisyys vesikattoon tulisi olla vähintään 0,9 m. (1, s. 207.)

Jäteilman ulospuhallushajottana käytetään ETS NORDin UVK-ilmastointikatosta. Ulospuhallushajottajan fyysiset mitat voidaan määrittää ja suunnitella vastaamaan projektin edellyttämiä vaatimuksia. (Kuva 23.)



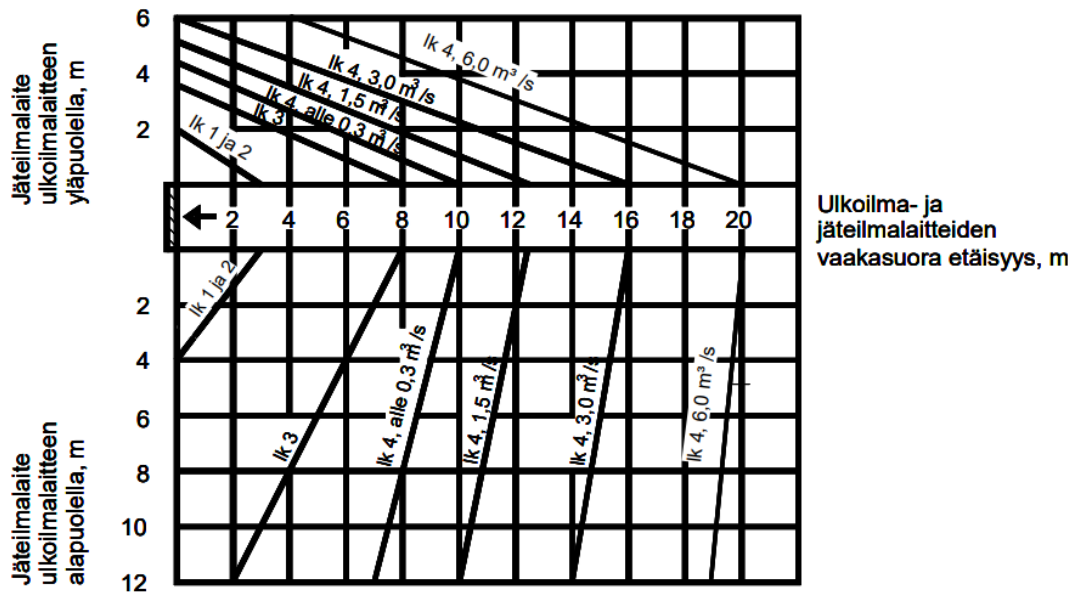
KUVA 23. ETS-NORD:n UVK-ilmastointikatos. (liite 7)

3.8.4 Raitisilma

Ilmanvaihtojärjestelmän sisäänotto tulee suunnitella niin, että raitisilma on kesäisin mahdollisimman viileää ja sisään otettavan ilman laatu on mahdollisimman hyvä.

Liikenteen pako- ja savukaasujen kulkeutuminen raitisilman mukana sisäilmaan tulee estää. Raitisilmasäleiköt pyritään sijoittamaan mahdollisimman kauas liikennöidyistä väylistä. Säleikön sijoitukseen vaikuttavat myös kiinteistön omat ja naapurikiinteistöjen pysäköinti- ja latauspaikat. Myös lähiympäristön muut ilmaa pilaavat ja hajuja sisältävät toiminnot tulee huomioida. (4, s. 30)

Rakennuksen oman jäteilman sekoittumista sisäänottoilmaan ei saa tapahtua. Jäteilman ulospuhaltimet ja ilman sisäänottoaukot tulee sijoittaa tarpeeksi kauas toisistaan. Minimietäisyydet on esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. Jäte- ja ulkoilmalaitteiden väliset etäisyydet (4, s. 31)

Kesäisin mahdollisimman viileän raitisilman saantiin vaikuttaa raitisilmasäleikön sijainti. Raitisilmasäleikkö tulee pyrkiä sijoittamaan rakennuksen pohjois- tai itäpuolelle, koska aurinko paistaa näille seinustoille vähiten. Säleikön sijoittelussa tulee minimoida tuulen aiheuttamat vaikutukset painesuhteissa ilmanvaihtojärjestelmässä. Raitisilmasäleiköstä ilma virtaa viemäröityyn ulkoilmakammioon ja siitä suodattimien läpi IV-koneeseen. (1, s. 206 - 207)

Sadeveden ja lumen sisääntuloa IV-koneeseen estetään käyttämällä tarpeeksi suurta ulkosäleikköä, jonka vapaan otsapinnan ilmanopeutena on max. 1,5 m/s, tai riittävän suurta viemäröityä ulkoilmakammiota, jossa ilmanopeus tulee olla max. 1 m/s. Käytettävät raitisilmasäleiköt tulee olla standardin SFS 13030:n mukaisesti testattuja. (1, s. 206 - 207)

Raitisilmasäleikön valinnassa käytetään apuna Climeconin Tuisku.X-mitoitusohjelmaa, jossa päästään mitoittamaan oikean kokoinen säleikkö ilmavirran perusteella. Kohteeseen raitisilmasäleiköksi valitaan kuvan 25 Climeconin TUISKU-PS, pystysäleinen lumi- ja sadesuoja, joka on suunniteltu estämään lumen ja veden kulkeutumista ilmanottoaukkoihin. Valitun raitisilmasäleikön mitat ovat 5120 x 2550 mm. (Liite 8.)



KUVA 25. Climecon Tuisku-PS (liite 8).

3.9 Ilmamäärät

Varusteluhallin kattokoneiden tarkkoja ilmavirtoja ei ole tiedossa. Ilmavirroiksi oletetaan 4 m³/s per kattokone, joten varusteluhallin nykyiseksi kokonaisilmavirraksi arvioidaan 12 m³/s tulo- ja poistoilmaa. Alkuperäisistä IV-piirustuksista löydetään nykyiset kela- ja putkihallin ilmavirrat. Kokonaisuudessaan kolmen tuotantotilan ilmavirroiksi saadaan +49,3 m³/s tuloilmaa ja -65,8 m³/s poistoilmaa. Kun ilmavirtoja verrataan toisiinsa, voidaan havaita suuria eroja ilmamäärissä. Käytännössä näin suurta ilmavirtojen epätasapainoa ei olla mittaamalla todennettu, mutta tuotantotiloissa on tehty reiluun alipaineisuuteen viittaavia havaintoja. Kohdepoistojen tuottamia poistoilmavirtoja ei tässä ole huomioitu.

Työtilassa, jossa on ihmisten ja rakennusmateriaalien lisäksi runsaasti muitakin epäpuhtauslähteitä kuten tehdastyössä, ulkoilmavirtana käytetään vähintään 2 (dm³/s)/m² (7, s. 21).

Tehtaan nykyisillä ulkoilmavirroilla saadaan tuotantotiloihin keskimäärin 4,7 (dm³/s)/m², mikä on Finvacin ohjeistukseen nähden riittävästi. Tuotantotilat ovat kuitenkin korkeita, joten (dm³/s)/m² luku ei suoraan varmista ilmanvaihdon riittävyttä. Uuden ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa on mahdollista käyttää nykyisiä ulkoilmavirtoja Finvacin mukaan ja tuotantotilojen keskimääräinen ilmanvaihtokerroin on silloin 1,75 1/h.

Masterventin suunnitteluperusteissa suositellaan konepajaan ilmanvaihtokerrointa 2,5–3,5 1/h. Tekstissä on mainittu myös tilanteita, joissa ilmanvaihtolukuna 2,2–2,5 1/h on ollut riittävä. Ilmanvaihtokertoimen kasvattamisen sijaan on mahdollista parantaa sisäilman laatua eristämällä tehokkaasti työpisteitä ja alueita, joissa syntyy paljon lämpökuormia, epäpuhtauksia ja muita haitallisia päästöjä. (Liite 4.)

Tässä esisuunnittelussa halutaan kuitenkin laskea tilanne varman päälle, joten kasvatetaan ulkoilmavirtaa niin, että saadaan tuotantotilojen ilmavaihtoluvuksi 2,2 1/h (Taulukko 3). Ulkoilmavirtojen nostoa voidaan perustella myös tulevaisuuslisänä. Ilmanvaihtokoneissa riittää kapasiteettia myös tilanteissa, kun tuotantoa tiloissa tehostetaan tai toimintaa laajennetaan.

Tuotantotilojen uusi kokonaisulkoilmavirta q_v lasketaan kaavalla 1.

KAAVA 1. Ulkoilmavirran laskentakaava

$$q_v = V * 1000/3600 * 1/h$$

q_v = ulkoilmavirta (dm³/s)

1000 = Kerroin, jolla tehdään laatumuunnos litrasta kuutioon sekunnissa (m³/s)

V = Tilavuus (m³)

3600 = Kerroin, joilla tehdään laatumuunnos, sekunnista tunniksi.

1/h = Ilmanvaihtokerroin

TAULUKKO 3. Tuotantotilojen pinta-alat, tilavuudet, alkuperäiset ja uudet ilmanvaihokeroinet ja ilmavirrat

PALVELUALUE	Henkilömäärä	Pinta-ala [m ²]	Korkeus [m]	Tilavuus [m ³]	Tulo [l/s/m ²]	Poisto [l/s/m ²]	l/s/hlö	1/h	Tulo lask. l/s	Poisto lask. l/s	VALITTU TULO l/s	VALITTU POISTO l/s
PUTKIHALLI alkuperäinen		4 680,0	9,0	42 120,0	5,9	7,1		2,4	27 800	33 300	27 810	33 310
KELAHALLI alkuperäinen		2 532,0	11,5	29 118,0	3,8	8,1		1,2	9 500	20 500	9 510	20 510
VARUSTELUHALLI alkuperäinen		3 324,0	9,0	29 916,0	3,6	3,6		1,4	12 000	12 000	12 000	12 000
		[m ²] yht.		[m ³] yht.					alkuperäinen m ³ /s			
		10 536,0		101 154,0	4,7			1,75	49 300	65 800		
PUTKIHALLI uusi		4 680,0	9,0	42 120,0	5,3	5,3		2,1	24 800	25 000	24 810	25 010
KELAHALLI uusi		2 532,0	11,5	29 118,0	4,9	4,9		1,5	12 400	12 500	12 400	12 510
VARUSTELUHALLI uusi		3 324,0	9,0	29 916,0	7,5	7,5		3,0	24 800	25 000	24 800	25 010
		[m ²] yht.		[m ³] yht.					Uudet ilmavirrat m ³ /s			
		10 536,0		101 154,0	5,9			2,21	62 000	62 500		

3.10 Automaatio

Uusien ilmanvaihtojärjestelmien yhteydessä hallien ilmavirtoja sekä painesuhteita ohjataan uudella rakennusautomaatiojärjestelmällä. Uudet valvonta-alakeskuskaapit sijoitetaan uusiin IV-konehuoneisiin tai sähkötiloihin, yksi VAK per halli, ja keskuksiin liitetään ilmanvaihtokoneiden kiertovesipumput, koneiden mittauspisteet, ulko- ja sisälämpötilat, suodattimien paine-ero mittaus, ilmavirta, paine-eromittauspisteet hallien vaipan yli sekä käyntitiedot nykyisiltä kohdepoistopisteiltä.

Hallien ilmanvaihtokoneet säädetään toimimaan käyntiaikojen mukaan. Varustelu- ja putkiahallissa ilmanvaihtokoneiden poistoilmapuhaltimien käyntitehoa pudotetaan portaittain pienemmälle sen mukaan, kuinka monta kohdepoistoa on sillä hetkellä käytössä. Järjestelmät säädetään toimimaan niin, että tuloilman ja hallista poistuvan ilman määrä pysyvät mahdollisimman samana kohdepoistojen käyntitilasta riippumatta. Kelahallin ilmanvaihtokone voidaan säätää toimimaan suoraan käyntiaikojen mukaan, koska kyseisessä hallissa ei ole kohdepoistojärjestelmää, joka aiheuttaisi hetkellistä reilua alipainetta. Toteutussuunnitteluvaiheessa tarkennetaan kohdepoistojen tuottamia ilmavirtoja ja sitä, kuinka tarkasti ilmanvaihtokoneiden toimintaa säädetään niiden mukaan. Tavoitteena on pitää hallit hieman alipaineisena ulkoilmaan verrattuna.

4 ENERGIANKULUTUS RAKENNUKSESSA

Kokonaisuudessaan tehtaan lämpöenergian kulutus on ollut viimeisimpinä vuosina n. 1950 MWh. Lämmitysenergian lähteenä on kaukolämpö, lämpöenergian hinta on tällä hetkellä 55,94 €/MWh ALV 0 %. Nykyisen järjestelmän lämmitysenergian käyttö ja energian hinta vuositasolla on ollut $1950 \text{ MWh} * 55,94 \text{ e/MWh} = 109\,100 \text{ € ALV } 0 \%$. Tehtaan prosessi kuluttaa paljon sähköä, n. 3300 MWh/a. Prosessi siis aiheuttaa huomattavasti lämpökuormia tuotantotiloihin.

Pinnoittamon tilojen ja ilmanvaihdon käyttö ei ole säännöllistä, vaan pinnoittamon laitteita käytetään keskimäärin parina päivänä kuukaudessa. Tuotantotilojen yhteyteen on rakennettu myös pienempiä lämmitettyjä tauko- ja varastotiloja. Tehtaan suurin lämpöenergian kulutus tapahtuu kuitenkin putki-, kela- ja varusteluhallissa. Laskennassa määritetään energiankulutusta näille tiloille, eli käytetään näiden kolmen tuotantotilan pinta-aloja ja huonekorkeuksia.

Laskennalla pyritään selvittämään, minkälaiset olosuhteet tuotantotiloissa saavutetaan nykyisellä ostoenergialla. Tehtaalle ei löydy suoraan ominaisarvoja Suomen rakennusmääräyskokoelman energiatehokkuuden laskentaoppaasta, joten joudutaan soveltamaan oppaan ohjeita. Laskenta suoritetaan Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla.

4.1 Tuotantotilojen nykyinen lämpöenergian kulutus

Rakennusosat ja kylmäsiilat

Tuotantotilojen energiankulutukseen sisältyy rakennuksen vuosittainen lämmitysenergiankulutus, sähkölaitteiden energiankulutus ja jäähdytykseen kulutettu energia. Laskenta on tehty vuoden 2020 mukaisilla, Oulun kuukauden keskilämpötiloilla. (13.)

Rakennuksen vaipan läpi johtuvan energiamäärän laskentaa varten tarvitaan rakenteille U-arvot ja pinta-alat. Tehtaan rakenteista ei ole saatavilla tarkkoja suunnitteluarvoja, joten käytetään lähtötie-

doissa yleisesti 1970-luvulla käytettyjä materiaaleja ja niiden U-arvoja. Kylmäsiltojen lisäkonduktanssit Ψ_k , W/(m K) on otettu laskentaoppaan taulukon 3.3 arvojen mukaisesti, koska rakennuksen tarkkoja suunnitteluarvoja ei ole käytettävissä. (15, s. 19)

Laskelmissa $C_{rak,omin}$ rakennuksen sisäpuolisena tehollisena lämpökapasiteetin ominaisarvona käytetään raskasrakenteisen toimistorakennuksen arvoa 160 Wh/(m² K). (15, s. 38)

Vuotoilma

Tehtaan vuotoilman lämpöhäviöitä on vaikea määrittellä, koska tehtaassa on useita aktiivisessa käytössä olevia nosto-ovia ja aukkoja. Laskelmissa rakennuksen q_{50} ilmanvuotolukuna käytetään asuinkerrostalon ja toimistorakennuksen keskimääräisen ja heikon ilmanpitävyyden raja-arvoa 8,0 m³/(h m²). (15, s. 22) Rakennusosien alat on mitattu tehtaan pohjakuvista ja seinien pinta-alan laskennassa tilan korkeutena on käytetty 9,5 metriä.

Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde

Laskelmissa on käytetty tasapainoisempia ilmavirtoja kuin mitä ilmavirrat ovat alkuperäisten suunnitelmien mukaan olleet. Tuloilmaa +49,3 m³/s, poistoilmaa -49,3 m³/s ja -5 m³/s poistoilmaa on laskettu virtaavan kohdepoistojen kautta ilmanvaihdon käyntiaikasuhteiden mukaan. Tämä on huomioitu vuotoilmavirtana, koska ilmanvaihtoa ei olla pystytty nykyisessä järjestelmässä ohjaamaan toimimaan oikein kohdepoistojen aiheuttamassa alipainetilanteessa.

Tehtaan tuloilmakoneet on ajettu puoliteholle ulkolämpötilan laskiessa alle -15 °C. Energialaskennan testivuonna 2020, ulkolämpötila on ollut alle -15 °C:n koko vuoden aikana n. 313 tunnin ajan vyöhykkeellä 3 (14). Tuloilmakoneiden käynti puoliteholla huomioidaan laskennassa puolen kuukauden ajaksi kylmimmälle kuukaudelle eli tässä tapauksessa helmikuulle.

Laskelmissa käytetään nykyisten kattokoneiden levylämmönsiirtimien hyötysuhteena 60 %:a. Kun huonelämpötilana käytetään 17 °C:a, sisäänpuhallusilman lämpötilana 15 °C:a ja jäteilman minimilämpötilana jäätymissuojauksessa varmuuden vuoksi 2 °C:a nollan sijaan, saadaan laskettua ympäristöministeriön LTO-laskurilla kattokoneiden LTO:n vuosihyötysuhteeksi 57,2 % vyöhykkeelle 3. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Kattokoneiden poistoilman LTO:n vuosihyötysuhde, (η_a , IV-kone) (11)

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Mitoitus-tuloilmavirta m ³ /s	Mitoitus-poistoilmavirta m ³ /s	Käyttö-ilmavirta- kerroin
kattokoneet	Koko rakennus	Jatkuva	12	12	1
	Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,60	SFS-EN 308:n mukaan		
	Tuloilman lämpötilasuhde	0,60			
	Poistoilman lämpötilasuhde	0,60			
	Tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan LTO:ssa	1,00			
	Huonelämpötila	17,0 °C			
	Jäteilman minimilämpötila jäätymissuojauksessa	2,0 °C			
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, ivkone}$)					
	Säävyöhyke				
	I (II) Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	58,1 %	100 %		
	III Jyväskylän TRY 2012 testivuosi	57,2 %	98 %		
	IV Sodankylä TRY 2012 testivuosi	53,2 %	92 %		
© Ympäristöministeriö, LTO-laskin 2018 (versio maaliskuu 2017)					

Taulukossa 5, nykyisen koko ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteeksi saadaan 13,9 %:a. Nopeasti likaantuvat poistoilmansuodattimet ja siitä johtuvat muutokset kattokoneiden poistoilmavirroissa todellisuudessa huonontavat ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhdetta. Laskennassa LTO:ta ei oteta kesä-, heinä- ja elokuun ajaksi pois käytöstä. Tuloilman lämpötila nousee 0,5 °C puhaltimessa.

TAULUKKO 5. Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde $\eta_a = 13,9 \%$ (11)

							Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]	Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η_a]
Lämpimät tilat							23,476	13,9 %
Ilmälämpöteho- ja lämmön talteenoton vaatimuksen								
it ilmanvaihtokoneet								
Palvelualue	Käyttötapa	Mitoitus-tuloilmavirta m ³ /s	Mitoitus-poistoilmavirta m ³ /s	Käyttö-ilmavirta- kerroin	Käyttöajan keskimääräinen poistoilmavirta, m ³ /s	Käyntiaikatekijät τ_d h/vrk τ_w vrk/vko	Käyntiajoilla painotettu poistoilmavirta, m ³ /s	Ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde, % [$\eta_{a, ivkone}$]
Kattokoneet		12	12	1	12,000	16 5	5,714	57 %
huippuimurit, tuloilmakoneet		37,3	37,3	1	37,300	16 5	17,762	0 %
					0,000		0,000	

Laskennan lähtötiedot on koottu taulukkoon 6. Laskelmissa IV-koneiden käyntiajaksi on asetettu 16 tuntia päivässä viitenä päivänä viikossa. Tehdashallissa keskiraskaan työn huonelämpötilaksi on suositeltu 17 °C. (4, s. 11)

TAULUKKO 6. Laskennan lähtötiedot

Kylmäsiilat	l (m)	ψ (W/mK)	tot. W/(m K)
ikkuna ja ovi	1600	0,2	320,00
ulkoseinä - yläpohja	835	0,3	250,50
ulkoseinä - alapohja	835	0,5	417,50
ulkonurkat	63	0,1	6,30
sisänurkat	45	-0,1	4,50
Yhteensä			998,80
C_{rak}	160	Wh/m ² K	
x	20		
Rakenteet	A_i (m ²)	U_i (W/m ² K)	H (W/m ² K)
Seinät	7532,5	0,25	1883,13
Yläpohja	10536	0,16	1685,76
Ovet	400	1,4	560,00
Rakenteet -alapohja yhteensä			4128,89
Seinä, puoliämmintila			
Alapohja	10536	0,32	3371,52
Yhteensä m ²	29005		
ilmavirta/m ²	4,7	dm ³ /s	
Ulkoilmavirta	49300	q_{vu} (dm ³ /sm ²)	
Ilmavirrat	q_v (m ³ /s)		H (W/K)
q_v poistoilma	49,3		50936,81
Vuotoilmanvaihto	5,60		6724,41
η_a	0,139		
Vuotoilma q50	8	m ³ /hm ²	
	(°C)		
T_s	17		
T_{sp}	15		
$T_{s,puoliämmintila}$			
$T_{u,vuosi}$	5,05		
$\Delta T_{maa,vuosi}$	5		
$\Delta T_{puhallin}$	0,5		

Lähtötietojen määrittämisen jälkeen voidaan aloittaa tilan lämmitysenergian kokonaistarpeen laskeminen rakennusosien lämpöhäviöistä, kylmäsilloista, vuotoilmasta ja tuloilman lämpenemiseen tarvittavasta energiasta huonetilassa.

Rakennusosan lämpöhäviö lasketaan kaavalla 2 (15, s. 18).

KAAVA 2. Rakennusosan lämpöhäviön laskentakaava

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

Q_{rakosa} = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)

U_i = rakennusosan i lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2 K)$)

A_i = rakennusosan i pinta-ala (m^2)

T_s = sisäilman lämpötila ($^{\circ}C$)

T_u = ulkoilman lämpötila ($^{\circ}C$)

Δt = ajanjakson pituus (h)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Laskettaessa Q_{johntmaa} johtumishäviötä alapohjaan käytetään ulkolämpötilan T_u tilalla $T_{\text{maa, kuukausi}}$. Laskettaessa johtumishäviötä johonkin muuhun tilaan käytetään T_u tilalla kyseessä olevan tilan suunnittelulämpötilaa. Maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan maan vuotuisesta keskilämpötilasta kaavalla 3 (15, s. 20).

KAAVA 3. Maan kuukausittaisen keskilämpötilan laskentakaava.

$$T_{\text{maa, kuukausi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$$

$T_{\text{maa, kuukausi}}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila ($^{\circ}C$)

$T_{\text{maa, vuosi}}$ = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila ($^{\circ}C$)

$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero ($^{\circ}C$).

Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 4 (15, s. 18).

KAAVA 4. Kylmäsiltojen lämpöhäviöiden laskentakaava

$$Q_{\text{kylmäsiltilat}} = \sum I_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$Q_{\text{kylmäsiltilat}}$ = johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi (kWh)

l_k = viivamaisen kylmäsilän pituus (m)

Ψ_k = viivamaisen kylmäsilän lisäkonduktanssi (W/(m K))

Vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 5 (15, s. 21).

KAAVA 5. Vuotoilmavirran laskentakaava

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

$q_{v, \text{vuotoilma}}$ = vuotoilmavirta (m³/s)

q_{50} = rakennusvaiipan ilmanvuotoluku (m³/(h m²))

A_{vaiippa} = rakennusvaiipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna) (m²)

x = kerroin, on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeimmille rakennuksille 15 kerroskorkeuden ollessa noin 3 m. Maapinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon. Kun rakennuksen kerroskorkeus poikkeaa oleellisesti tavanomaisesta, kerroin x valitaan sellaisen kerroslukumäärän mukaan, joka tavanomaisessa tilanteessa vastaa rakennuksen korkeutta. Tällaisia poikkeavan kerroskorkeuden rakennuksia ovat esimerkiksi korkeat varastorakennukset. Laskennassa käytetään x :n arvona lukua 20.

3600 = kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m³/h yksikköön m³/s.

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 6 (15, s. 21).

KAAVA 6. Vuotoilman lämmittämiseen tarvittaman energian laskentakaava

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v, \text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

ρ_i = ilman tiheys (kg/m³)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kg K))

$q_{v, \text{vuotoilma}}$ = vuotoilmavirta (m³/s)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Tuloilman lämpeneminen tilassa lasketaan erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle kaavalla 7 (15, s. 25).

KAAVA 7. Tuloilman tilassa lämpenemiseen tarvittava energia

$$Q_{iv, \text{tuloilma}} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, \text{tulo}} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000$$

$Q_{iv, \text{tuloilma}}$ = tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk / 7 vrk)

ρ_i = ilman tiheys (kg/m³)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kg K))

$q_{v, \text{tulo}}$ = tuloilmavirta (m³/s)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Tilan lämmitysenergian kokonaistarve lasketaan kaavalla 8.

KAAVA 8. Lämmitysenergian kokonaistarpeen laskentakaava

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma}$$

Q_{tila} = tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

Q_{joht} = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (kWh)

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$Q_{iv,tuloilma}$ = tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$Q_{iv,korvausilma}$ = korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

Lähtötiedoilla ja kaavoilla 2 - 8, on laskettu lämmitysenergian tarpeet jokaiselle kuukaudelle. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve on 2340 MWh/a, joka on laskettu viimeisen sarakkeen Q_{tila} alimalle riville. (Taulukko 7.)

TAULUKKO 7. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve.

Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve											Tilat	
kk	T_u (°C)	t (h)	Q_{rakosa} (kWh)	$Q_{kylmäsillat}$ (kWh)	ΔT_{maakk} (K)	T_{maakk} (°C)	$T_s - T_{maakk}$ (K)	$Q_{johtmaa}$ (kWh)	Q_{vuoto} (kWh)	$Q_{iv,tulo}$ (kWh)	Q_{tila} (kWh)	
tamm	-2,1	744	58673	14193	0	10,1	7,0	17433	95557	88030	273887	
helm	-3,9	672	57989	14028	-1	9,1	8,0	18012	94443	39756	224228	
maal	-1,8	744	57752	13970	-2	8,1	9,0	22450	94056	88030	276258	
huht	0,5	720	49051	11866	-3	7,1	10,0	24154	79886	85190	250147	
touko	6,8	744	31333	7580	-3	7,1	10,0	24959	51030	88030	202932	
kesä	16,9	720	297	72	-2	8,1	9,0	21726	484	3667	26247	
heinä	15,1	744	5837	1412	0	10,1	7,0	17433	9506	72004	106192	
elo	14,2	744	8601	2081	1	11,1	6,0	14925	14008	88030	127645	
syys	10,1	720	20512	4962	2	12,1	5,0	12016	33407	85190	156088	
loka	5,2	744	36248	8769	3	13,1	4,0	9908	59035	88030	201990	
marras	1,6	720	45781	11075	3	13,1	4,0	9589	74560	85190	226195	
joulu	-2	744	58366	14119	2	12,1	5,0	12417	95056	88030	267988	
	5,05	8760,0	430441	104126				205022	701028	899180	2339797	
			430	104				205	701	899	2340	
			MWh	MWh				MWh	MWh	MWh	MWh	

Seuraavaksi lasketaan kaavoilla 9 - 11 LTO:n jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila T_{LTO} , ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve Q_{IV} ja kattokoneiden LTO:n säästämä lämpöenergia vuodessa Q_{LTO} , taulukkoon 8. Lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila lasketaan kaavalla 9.

KAAVA 9. LTO:n jälkeisen kuukauden keskimääräisen tuloilmalämpötilan laskentakaava

$$T_{LTO} = T_u + \eta_a \frac{q_{vi,poisto}}{q_{v,tulo}} * (T_p - T_u)$$

T_{lto} = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C)

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta (m³/s)

$q_{v,poisto}$ = poistoilmavirta (m³/s)

T_p = poistoilman lämpötila (°C)

η_a = ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde (%)

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve Q_{iv} , eli ilmanvaihtokoneessa tapahtuva tuloilman lämmittäminen lasketaan kaavalla 10 (15, s. 23).

KAAVA 10. Ilmanvaihtokoneessa tapahtuvan tuloilman lämmittämisen laskentakaava

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000$$

Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve (kWh)

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk)

ρ_i = ilman tiheys (kg/m³)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, (J/(kg K))

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta (m³/s)

T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila (°C)

$\Delta T_{puhallin}$ = lämpötilan nousu puhaltimessa (°C)

T_{lto} = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Ilmanvaihdosta talteenotettu energia Q_{lto} lasketaan kaavalla 11.

KAAVA 11. Ilmanvaihdon talteenotetun energian laskentakaava

$$Q_{lto} = \eta_a q_{v,tulo} \rho_i c_{pi} (T_{sp} - T_u) \Delta t t_d t_v$$

Q_{lto} = ilmanvaihdosta talteenotettu energia (kWh)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (J/(kg K))

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta (m³/s)

T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila (°C)

T_u = ulkoilman lämpötila (°C)

η_a = ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde (%)

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi lasketaan 1834 MWh/a, kun ulkoilma lämmitetään 15 °C:seen. LTO:n talteenottaman energian määräksi saadaan 345 MWh/a, kun ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteena on 13,9 %. (Taulukko 8.)

TAULUKKO 8. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve ja ilmanvaihdosta talteenotettu energia.

kk	T_u (°C)	t (h)	T_{LTO} (°C)	Q_{iv} (kWh)	Q_{lto}
tammi	-2,1	744	0,6	292283	49819
helmi	-3,9	672	-1,0	146669	49734
maalis	-1,8	744	0,8	286869	48945
huhti	0,5	720	2,8	237448	40881
touko	6,8	744	8,2	131672	23890
kesä	16,9	720	16,9	0	0
heinä	15,1	744	15,4	0	0
elo	14,2	744	14,6	0	2331
syys	10,1	720	11,1	69793	13815
loka	5,2	744	6,8	160546	28551
marras	1,6	720	3,7	218238	37780
joulu	-2	744	0,6	290479	49527
	5,05	8760,0	6,71	1833997	345273
				1834	345
				MWh	MWh

Seuraavaksi lasketaan taulukkoon 9 tuotantotilojen lämpökuormista hyödynnettävä energia $Q_{\text{sis.lämpö}}$. Ennen sitä on kuitenkin laskettava rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö H_{tila} , rakennuksen aikavakio τ , suhdeluku γ , numeerinen parametri a ja lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste $\eta_{\text{lämpö}}$. Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 12 (15, s. 37).

KAAVA 12. Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviöiden laskentakaava

$$H_{\text{tila}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u)} 1000$$

H_{tila} = rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (W/K)

Q_{tila} = rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateiksi.

Rakennuksen aikavakio lasketaan kaavalla 13 (15, s. 37).

KAAVA 13. Rakennuksen aikavakion laskentakaava

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}}$$

τ = rakennuksen aikavakio (h)

C_{rak} = rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti (Wh/K)

H_{tila} = rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (johtumisen, vuotoilman, korvausilman ja tuloilman tilassa tapahtuvan lämpenemisen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö) (W/K)

Suhdeluku γ lasketaan kaavalla 14 (15, s. 37).

KAAVA 14. Suhdeluvun γ laskentakaava

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}}$$

γ = lämpökuorman suhde lämpöhäviöön, -

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ = rakennuksen lämpökuorma (kWh)

Q_{tila} = rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

Kaavassa 16 esiintyvä a on numeerinen parametri, joka riippuu aikavakiosta τ . Se lasketaan kaavalla 15 (15, s. 37).

KAAVA 15. Numeerisen parametrin a laskentakaava

$$a = 1 + \frac{\tau}{15}$$

a = numeerinen parametri, -

Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste lasketaan kaavalla 16 (15, s. 37).

KAAVA 16. Lämpökuormien hyödyntämisasteen laskentakaava

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

Lämpökuormien energia, joka hyödynnetään lämmityksessä, lasketaan kaavalla 17 (15, s. 36).

KAAVA 17. Lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien laskentakaava

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}}$$

$Q_{\text{sis. lämpö}}$ = lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä, (kWh)

$\eta_{\text{lämpö}}$ = lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste, -

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ = rakennuksen lämpökuorma eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, (kWh)

TAULUKKO 9. Lämpökuormista hyödynnettävä energia, lämpökuormien ollessa 3300 MWh/a.

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ (kWh)	Lämpökuormista hyödynnettävä energia						$Q_{\text{sis. lämpö, hyöd}}$ (kWh)
	C_{rak} (Wh/K)	H_{tila} (W/K)	τ (h)	γ (-)	a (-)	$\eta_{\text{lämpö}}$ (-)	
280274	1685760	19274	87,5	1,02	6,8	0,86	241603
253151	1685760	15965	105,6	1,13	8,0	0,83	209724
280274	1685760	19751	85,4	1,01	6,7	0,86	242045
271233	1685760	21056	80,1	1,08	6,3	0,83	224143
280274	1685760	26741	63,0	1,38	5,2	0,68	190866
271233	1685760	364540	4,6	10,33	1,3	0,09	25125
280274	1685760	75122	22,4	2,64	2,5	0,36	100138
280274	1685760	61274	27,5	2,20	2,8	0,43	119778
271233	1685760	31419	53,7	1,74	4,6	0,56	150550
280274	1685760	23008	73,3	1,39	5,9	0,69	192819
271233	1685760	20400	82,6	1,20	6,5	0,78	210717
280274	1685760	18958	88,9	1,05	6,9	0,85	239197
3300000		697506					2146705
3300 MWh							2147 MWh

Rakennuksessa on lämpökuormaa 3300MWh/a, ja laskelmissa lämpökuormista energiaa on saatu hyödynnettyä 2147 MWh/a. Hyödynnettävän lämpökuorman ollessa tiedossa voidaan laskea seuraavaksi rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$, tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ ja lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus $Q_{\text{lämmitys}}$. (Taulukko 10.)

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 18 (15, s. 17).

KAAVA 18. Rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarpeen laskentakaava

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis. lämpö}}$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ = tilojen lämmitysenergian nettotarve (kWh)

Q_{tila} = tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

$Q_{\text{sis.lämpö}}$ = lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä (kWh)

Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ lasketaan lämmönjakojärjestelmittäin kaavalla 19 (15, s. 18).

KAAVA 19. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen laskentakaava

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

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ = tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä (kWh/a)

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ = tilojen lämmitysenergian nettotarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä (kWh/a)

$Q_{\text{jakelu, ulos}}$ = lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan (kWh/a)

$Q_{\text{varastointi, ulos}}$ = laskettavan lämmön jakelujärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö (kWh/a)

$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$ = laskettavan lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde, -

Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan lämmön tuottojärjestelmittäin kaavalla 20 (15, s. 48).

KAAVA 20. Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutuksen laskentakaava

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{aurinko,lkv}} - Q_{\text{muu,tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}}$$

$Q_{\text{lämmitys}}$ = lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus (kWh/a)

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ = tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve (kWh/a)

$Q_{\text{lämmitys, iv}}$ = ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve (kWh/a)

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$ = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kWh/a)

$Q_{\text{aurinko, lkv}}$ = aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen (kWh/a)

$Q_{\text{muu tuotto}}$ = muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia (kWh/a)

η_{tuotto} = lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä, -.

TAULUKKO 10. Ostoenergian ja kokonaisenergian kulutus

$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$		0,8				
η_{tuotto}		0,97				
Lämmitysjärjestelmien energiankulutus		Ostoenergiankulutus $_{\text{lämmitys, tilat, LKV}}$ (kWh)		Ostoenergian ja kokonaisenergiankulutus		
$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ (kWh)	$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ (kWh)	$Q_{\text{lämmitys, tilat, kulutus}}$ (kWh)	$Q_{\text{lämmitys, iv, kulutus}}$ (kWh)	Kaukolämpö (kWh)	Sähkö (kWh)	
32283	40354	41602	292283	333886	280274	
14504	18130	18690	146669	165359	253151	
34213	42767	44090	286869	330959	280274	
26004	32505	33510	237448	270959	271233	
12066	15082	15549	131672	147221	280274	
1122	1402	1446	0	1446	271233	
6054	7568	7802	0	7802	280274	
7867	9834	10138	0	10138	280274	
5538	6922	7136	69793	76929	271233	
9171	11464	11819	160546	172365	280274	
15478	19347	19946	218238	238184	271233	
28791	35989	37102	290479	327581	280274	
193092	241365	248830	1833997	2082827	3300000	
		249	1834	2083	3300	
		MWh	MWh	MWh	MWh	

Tilojen lämmityksen lämpöenergian kulutukseksi saadaan 249 MWh/a, ilmanvaihdon lämmityspattereiden lämpöenergian kulutukseksi saadaan 1834 MWh/a ja kokonaisuudessaan kaukolämmön lämpöenergian kulutukseksi saadaan 2083 MWh/a, kun hyödynnettäviä lämpökuormia rakennuksessa on 2147 MWh/a.

Pohdinta

Laskemissa tehtaan lämpöenergian kulutukseksi nykyisellä ilmanvaihdolla saatiin 2083 MWh/a eli 133 MWh enemmän, kuin mitä todellinen kulutus on ollut vuonna 2020. Laskelmissa ei huomioitu

pinnoittamon tai sivutilojen lämmityksen tarpeita eikä lämpimän käyttöveden kuluttamaa energiaa, eli nämä huomioiden olisi laskelman energiankulutus tätä suurempi. On myös energiankulutusta pienentäviä, laskelmissa huomioimattomia seikkoja. Laskelmissa käytetyt vuoden 2020 ulkolämpötilat ovat Oulussa mitattuja eli n. 100 km pohjoisempaa, kuin missä itse tehdas sijaitsee. Laskelmissa ei ole myöskään huomioitu auringon säteilyn lämmittävää vaikutusta.

Tuloilmakoneet on suunniteltu puhaltamaan +15 °C ilmaa tuotantotiloihin ympäri vuoden. Laskelmien mukaan, tähän tarvittava lämpöenergia on suurempi, kuin mitä todellinen kulutus on ollut. On mahdollista, ettei tehtaan sisäilman lämpötila ole suunnitellulla tasolla huippupakkasten aikaan.

4.2 Tuotantotilojen lämpöenergian kulutus uudella järjestelmällä

Uuden järjestelmän laskelmassa rakennusosien ja kylmäsiltojen tiedot pysyvät samoina kuin aiemmin. Uudella automaatiojärjestelmällä ilmanpainesuhteet saadaan pidettyä tasapainossa kohdepoistojen käytöstä riippumatta ja vuotoilmavirtaa lisäävää alipainetilannetta ei pääse enää kehittymään eli vuotoilmavirta pienenee. Uuden järjestelmän laskelmissa IV-koneiden käyntiajat pysyvät ennallaan. Sisään puhallettavan ilman lämpötilana käytetään nyt 16 °C:a ja poistoilman lämpötilana 18 °C:a. Lämpötilaa nostetaan, että päästään lähemmäs ohjeistettua keskiraskaan tehdastyön sisälämpötilaa. (4, s. 11.)

Pyörivää LTO:ta käytettäessä jäteilman minimilämpötilana pidetään jäätymissuojaksessa –3 °C varmuuden vuoksi –5 °C:n sijaan. Kuukauden keskilämpötiloina käytetään samoja Ilmatieteenlaitoksen mittaustietoja Oulusta vuodelta 2020. (13.)

Laskelmissa IV-järjestelmien kautta virtaa –57,5 m³/s poistoilmaa ja tämän lisäksi –5 m³/s poistoilmaa virtaa ulos kohdepoistojen kautta, tuloilmaa virtaa rakennukseen +62 m³/s. Rakennuksen lämmitysenergian kokonaistarve kasvaa ilmamääriä lisättäessä, kuitenkin prosessin tuottamaa lämpökuormaa voidaan käyttää hyödyksi lämmöntalteenotossa ja näin vähentää ostettavaa kaukolämpöenergian tarvetta. Uuden IV-järjestelmän laskelmissa ilmanvirtoja ei puoliteta ulkolämpötilan laskeutessa alle –15°C:n. Tuloilman lämpötila nousee 0,5 °C:a puhaltimessa. (Taulukko 13.)

Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde

Valmistajan ilmoittama LTO:n lämpötilahyötysuhde Masterventin koneilla on 73,6 %. Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde lasketaan ympäristöministeriön LTO laskurilla. Valmistajan ilmoittama lämpötilahyötysuhde ja tuotantotilojen ilmavirrat käyntiaikoihin ja lämpötiloihin on syötetty laskuriin ja ilmanvaihtokokonaisuuden LTO:n vuosihyötysuhteeksi saadaan 67,9 % vyöhykkeellä 3. (Taulukko 11.) (Taulukko 12.)

TAULUKKO 11. Ympäristöministeriön LTO laskuri 2018 (11)

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Mitoitus- tuloilmavirta m³/s	Mitoitus- poistoilmavirta m³/s	Käyttö- ilmavirta- kerroin
KRS-THR-15	Koko rakennus	Jatkuva	62	57,5	1
	Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,74	SFS-EN 308:n mukaan		
	Tuloilman lämpötilasuhde	0,71			
	Poistoilman lämpötilasuhde	0,76			
	Tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan LTO:ssa	1,08			
	Huonelämpötila	18,0 °C			
	Jäteilman minimilämpötila jäätymissuojauksessa	-3,0 °C			
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, ivkone}$)					
Säilyvyys					
	I (II) Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	74,7 %	100 %		
	III Jyväskylän TRY 2012 testivuosi	73,8 %	99 %		
	IV Sodankylä TRY 2012 testivuosi	69,5 %	93 %		
© Ympäristöministeriö, LTO-laskuri 2018 (versio maaliskuu 2017)					

TAULUKKO 12. Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde 67,9 % (11)

							Poistoilmavirta, m³/s [q _{v, p}]	Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]
Lämpimät tilat							29.762	67,9 %
Ilmälämpötilaerolla	Käyttötapa	Mitoitus- tuloilmavirta m³/s	Mitoitus- poistoilmavirta m³/s	Käyttö- ilmavirta- kerroin	Käyttöajan keskimääräinen poistoilmavirta, m³/s	Käyntiajatekijät τ _d τ _w h/vrk vrk/vko	Käyntiajoilla painotettu poistoilmavirta, m³/s	Ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _{a, ivkone}]
	Palvelualue	62	57,5	1	57.500	16 5	27.381	74 %
	Kohdepoistot ja vuotoilma		5	1	5.000	16 5	2.381	0 %
					0.000		0.000	

TAULUKKO 13. Uuden järjestelmän laskennan lähtötiedot

Kylmäsiilat			
ikkuna ja ovi	1600	0,2	320,00
ulkoseinä - yläpohja	835	0,3	250,50
ulkoseinä - alapohja	835	0,5	417,50
ulkonurkat	63	0,1	6,30
sisänurkat	45	-0,1	4,50
Yhteensä			998,80
C_{rak}	160	Wh/m^2K	
x	20		
Rakenteet	$A_i (m^2)$	$U_i (W/m^2K)$	H (W/K)
Seinät	7532,5	0,25	1883,13
Yläpohja	10536	0,16	1685,76
Ovet	400	1,4	560,00
Rakenteet - alapohja yhteensä		Σ hoht W/K	4128,89
Seinä, puolilämmintila			
Alapohja Σ hoht W/K	10536	0,32	3371,52
Yhteensä m^2	29004,5		
Perusilmavirta luokka 1	5,9	dm^3/s	
Ulkoilmavirta	62000	$q_{vu} (dm^3/sm^2)$	
Ilmavirrat	$q_v (m^3/s)$		H (W/K)
qvpoistoilma - 5 m^3/s kohdepoisto	57,5		22149,01
Vuotoilmavaihto	3,2		3867,27
η_a	0,679		
Vuotoilma q_{50}	8	m^3/hm^2	
	(°C)		
T_s	18		
T_{sp}	16		
$T_{s,puolilämmintila}$			
$T_{u,vuosi}$	5,05		
$\Delta T_{maa,vuosi}$	5		
$\Delta T_{puhallin}$	0,5		

Lähtötietojen määrittämisen jälkeen aloitetaan tilojen lämmitysenergian kokonaistarpeen laskeminen rakennusosien lämpöhäviöistä, kylmäsiiloista, vuotoilmasta ja tuloilman lämpenemiseen tarvittavasta energiasta huonetilassa kaavoilla 2 - 8. Tilojen lämmitysenergian kokonaistarpeeksi saadaan 2303 MWh/a, joka on laskettu viimeisen sarakkeen Q_{tila} alimmalle riville taulukkoon 14.

TAULUKKO 14. Tuotantotilojen lämmitysenergian kokonaistarve

Kuukausi	Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve										Tilat	
	T_u (°C)	t (h)	Q_{rakosa} (kWh)	$Q_{kyimäisilat}$ (kWh)	ΔT_{maakk} (K)	T_{maakk} (°C)	$T_s - T_{maakk}$ (K)	$Q_{johtimaa}$ (kWh)	Q_{vuoto} (kWh)	$Q_{iv,tulo}$ (kWh)	Q_{tila} (kWh)	
tammikuu	-2,1	744	61745	14936	0	10,1	8,0	19942	57833	102672	257128	
helmikuu	-3,9	672	60764	14699	-1	9,1	9,0	20278	56914	92736	245391	
maaliskuu	-1,8	744	60823	14714	-2	8,1	10,0	24959	56969	102672	260137	
huhtikuu	0,5	720	52024	12585	-3	7,1	11,0	26581	48728	99360	239277	
toukokuu	6,8	744	34405	8323	-3	7,1	11,0	27467	32225	102672	205092	
kesäkuu	16,9	720	3270	791	-2	8,1	10,0	24154	3063	20235	51513	
heinäkuu	15,1	744	8908	2155	0	10,1	8,0	19942	8344	55126	94475	
elokuu	14,2	744	11673	2824	1	11,1	7,0	17433	10934	72233	115097	
syyskuu	10,1	720	23485	5681	2	12,1	6,0	14444	21997	99360	164967	
lokakuu	5,2	744	39320	9512	3	13,1	5,0	12417	36829	102672	200749	
marraskuu	1,6	720	48754	11794	3	13,1	5,0	12016	45665	99360	217589	
joulukuu	-2	744	61438	14862	2	12,1	6,0	14925	57545	102672	251442	
	5,05	8760,0	466610	112876				234557	437044	1051771	2302857	
			466,61	112,88				235	437	1052	2303	
			MWh	MWh				MWh	MWh	MWh	MWh	

Seuraavaksi lasketaan kaavoilla 9 - 11 LTO:n jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila T_{LTO} , ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve Q_{iv} ja kattokoneiden LTO:n säästämä lämpöenergia vuodessa Q_{LTO} . Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi saadaan 766 MWh/a, kun ulkoilma lämmitetään 16 °C:seen. LTO:n talteenottaman energian määräksi saadaan 2297 MWh/a, kun ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteena on 67,9 %:a. (Taulukko 15.)

TAULUKKO 15. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve ja ilmanvaihdosta talteenotettu energia

Kuukausi	T_u (°C)	t (h)	T_{LTO} (°C)	Q_{iv} (kWh)	Q_{lto}
tammikuu	-2,1	744	10,56	120827	323948
helmikuu	-3,9	672	9,89	123851	321696
maaliskuu	-1,8	744	10,67	118112	318579
huhtikuu	0,5	720	11,52	94154	268465
toukokuu	6,8	744	13,85	40266	164659
kesäkuu	16,9	720	17,59	0	-15588
heinäkuu	15,1	744	16,93	0	16108
elokuu	14,2	744	16,59	0	32216
syyskuu	10,1	720	15,07	10060	102190
lokakuu	5,2	744	13,26	54749	193295
marraskuu	1,6	720	11,93	84518	249413
joulukuu	-2	744	10,59	119922	322158
	5,05	8760,0	13,84	766459	2297137
				766	2297
				MWh	MWh

Seuraavaksi lasketaan kaavalla 17 tuotantotilojen lämpökuormista hyödynnettävä energia $Q_{sis.lämpö}$. Ennen sitä on laskettava kaavoilla 11 - 15 rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö H_{tila} , rakennuksen aikavakio τ , suhdeluku γ , numeerinen parametri a ja Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste $\eta_{lämpö}$. (Taulukko 16.)

TAULUKKO 16. Lämpökuormista hyödynnettävä energia, lämpökuormien ollessa 3300 MWh/a

Q _{lämpökuorma} (kWh)	Lämpökuormista hyödynnettävä energia						Q _{sisilämpö,hyöd} (kWh)
	C _{rak} (Wh/K)	H _{tila} (W/K)	τ (h)	γ (-)	a (-)	η _{lämpö} (-)	
280274	1685760	17194	98,0	1,09	7,5	0,84	235836
253151	1685760	16674	101,1	1,03	7,7	0,87	220577
280274	1685760	17659	95,5	1,08	7,4	0,85	236876
271233	1685760	18990	88,8	1,13	6,9	0,81	220459
280274	1685760	24613	68,5	1,37	5,6	0,69	193992
271233	1685760	65041	25,9	5,27	2,7	0,19	51063
280274	1685760	43787	38,5	2,97	3,6	0,33	93170
280274	1685760	40711	41,4	2,44	3,8	0,40	112675
271233	1685760	29003	58,1	1,64	4,9	0,59	158917
280274	1685760	21080	80,0	1,40	6,3	0,69	193210
271233	1685760	18427	91,5	1,25	7,1	0,76	206769
280274	1685760	16898	99,8	1,11	7,7	0,83	232932
3300000		330077					2156475
3300							2156
MWh							MWh

Rakennuksessa on lämpökuormaa 3300 MWh/a, lämpökuormista energiaa saadaan hyödynnettyä 2156 MWh/a. Hyödynnettävän lämpökuorman ollessa tiedossa lasketaan seuraavaksi rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$, tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ ja lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus $Q_{\text{lämmitys}}$ kaavoilla 18 - 20. (Taulukko 17.)

TAULUKKO 17. Ostoenergian ja kokonaisenergian kulutus

Lämmitysjärjestelmien energiankulutus		Ostoenergiankulutus _{lämmitys,tilat,LKV} (kWh)		Ostoenergian ja kokonaisenergiankulutus	
Q _{lämmitys,tilat,netto} (kWh)	Q _{lämmitys,tilat} (kWh)	Q _{lämmitys,tilat,kulutus} (kWh)	Q _{lämmitys,IV,kulutus} (kWh)	Kaukolämpö (kWh)	Sähkö (kWh)
21292	26615	28314	120827	149141	280274
24814	31018	32997	123851	156848	253151
23262	29077	30933	118112	149045	280274
18818	23523	25024	94154	119178	271233
11100	13875	14761	40266	55027	280274
450	563	599	0	599	271233
1304	1631	1735	0	1735	280274
2422	3028	3221	0	3221	280274
6050	7563	8046	10060	18105	271233
7539	9424	10025	54749	64774	280274
10820	13524	14388	84518	98906	271233
18510	23138	24614	119922	144537	280274
146382	182978	194657	766459	961116	3300000
		195	766	961	3300
		MWh	MWh	MWh	MWh

Tilojen lämmityksen lämpöenergian kulutukseksi saadaan 195 MWh/a, Ilmanvaihdon lämmityspatereiden lämpöenergian kulutukseksi saadaan 766 MWh/a ja kokonaisuudessaan kaukolämmön lämpöenergian kulutukseksi saadaan 961 MWh/a, kun hyödynnettäviä lämpökuormia rakennuksessa on 2156 MWh/a.

Pohdinta

Laskemissa tehdään kaukolämpöenergian kulutukseksi uudella ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmällä saadaan 961 MWh/a eli 989 MWh vähemmän, kuin mitä kulutus oli todellisuudessa vuonna 2020. Laskelmissa ei huomioitu pinnoittamon tai sivutilojen lämmityksen tarpeita, eikä lämpimän käyttöveden kuluttamaa energiaa, eli nämä huomioiden olisi laskelman energiankulutus tätä suurempi. Energiankulutusta pienentäviä, laskelmissa huomioimattomia seikkoja ovat auringon säteilyn lämmittävä vaikutus ja säätietojen käyttö 100 km pohjoisemmalta paikkakunnalta, kuin missä itse tehdas sijaitsee.

Uudella järjestelmällä saadaan paremmat työolosuhteet tehtaalle, niin ilmanlaadun kuin lämpöolojenkin suhteen. Uusi ilmanvaihto on toiminnaltaan tehokas myös kovien pakkasten aikaan, koska ilmamääriä ei tarvi laskea ulkolämpötilan vajotessa alle -15°C .

Laskelmissa lämpöenergiassa saavutettava säästö nykytilanteeseen verrattuna, on parhaimmillaan $989 \text{ MWh} * 55,94 \text{ €/MWh} = 55325 \text{ €}$.

Pesujärjestelmän säästö, jos nykyisten kattokoneiden poistoilmansuodattimien vaihto tapahtuu kerran kuukaudessa, tulee vuosikustannukseksi poistoilmansuodattimille ja niiden vaihdoille $475 \text{ eur} * 4 \text{ kpl kattokonetta} * 12 \text{ kk} = 22\,800 \text{ €}$. Uusiin IV-koneisiin tulee LTO:n pesujärjestelmät. IV-koneiden LTO:n pesu suoritetaan kerran viikossa, joten pesujärjestelmien vuosikustannukseksi tulee 2650 € . Pesurin käytön kustannuslaskelmat on esitetty aiemmin tekstin luvussa 4.5. Uusilla pesujärjestelmillä saavutettava säästö vuodessa on $22\,800 \text{ €} - 2650 \text{ €} = 20150 \text{ €}$.

Säästöt yhteensä

Uudella järjestelmällä saavutettava säästö nykytilanteeseen nähden, kun verrataan tarvittavia osuenergian määriä ja säästöjä suodatinkustannuksissa, on $55325 \text{ €} + 20150 \text{ €} = 75475 \text{ €}$.

5 KUSTANNUSARVIO

IV-koneet ovat tiensä päässä, joten järjestelmät on pakko uusida joka tapauksessa. Helpoin ja halvin vaihtoehto yleensä on uusida IV-koneet nykyisiä vastaavilla laitteilla, joten ensin lasketaan, mitä näiden uusiminen maksaa. Vaikka kohteeseen tarvitaan toimivampi ilmanvaihto, on hyvä näyttää asiakkaalle myös halvin saneerausvaihtoehto, koska näin saadaan helpommin perusteltua kalliimman ja toimivamman järjestelmän hintaa.

Kustannusarvioissa kanaviston hinnoittelussa on käytetty Lindabin hinnastoa. Pääte- ja säätölaitteet on laskettu valmistajien hinnastoista. Eristyksen hinnat on laskettu LVI-tukku Onnisen hinnastosta ja eristemäärän laskennassa on käytetty apuna Lindabin Vent Tools sovellusta. Pellityksen hinnat on laskettu Kespel Oy:n hinnastosta. Kaikki hinnastot ovat vuodelta 2021. Kustannuslaskenta suoritettiin Microsoft Excel taulukkolaskenta ohjelmalla. Tuloilma- ja IV-koneiden budjettihinnat on kysytty valmistajilta. IV-konehuoneiden rakennuttamisen ja sekundäärikannakoinnin kustannusarviot ovat tulleet AFRYltä.

Mahdollista katetta on sisällytetty 20 % materiaaleihin ja laitteisiin. Katetta on varattu urakoitsijan laskemaksi katteeksi ja tällä on myös huomioitu teräksen hinnan nousua vuodelle 2022 ja yleisiä vuosittaisia hinnan korotuksia. Kustannusarvioon eritellään +10 % varausta arvaamattomista kustannuksista. Toteutussuunnittelulle, rakennuttamiselle ja valvonnalle varataan yhteensä +15 %, vastaavissa kohteissa aiemmin toteutuneiden kustannusten pohjalta. Kustannusarvion työn osuus on laskettu talotekniikka-alan työehtosopimuksen mukaisesti. Laskelmissa on huomioitu saneerauslisä työalueen ollessa käytössä sekä lisät työskentelystä yli 5 metrin ja yli 10 metrin korkeudella. Työhintoihin on sisällytetty 15 % sosiaali- ja työnohjoituskustannuksista.

Kustannusarvioon sisällytettyjä opinnäytetyön ulkopuolisia kustannuksia ovat LVI-sähköistyksen ja hitsauslisäainevarastojen saneeraus- ja rakennuskustannukset.

5.1 Nykyistä vastaavan järjestelmän saneerauskustannukset

Kustannusarvio nykyistä vastaavalle ilmastointijärjestelmälle, LVI-sähköistyksen, automaation ja hitsauslisäainevarastojen kustannukset otettu huomioon. ALV 0 %:

Ilmanvaihtojärjestelmät

○ Tuloilmakoneet 6 kpl, säleikön asennus + työ	130 000 eur
○ Huippuimurit, läpiviennit (12kpl) + työ	191 500 eur
○ Kattokoneet 4 kpl + työ	562 000 eur
○ Nykyisten iv-koneiden purku	30 000 eur
● Lämmitysverkosto	
○ Putkiston liittäminen koneisiin	15 000 eur
○ Venttiilit, pumppu varaus	10 000 eur
● LVI-sähköistys	558 000 eur
● Hitsauslisäainevarastojen kustannukset	218 000 eur
● Automaatiojärjestelmä	
○ VAK x 3	36 000 eur
○ Automaatiopisteet 600 kpl x 250 eur/kpl	150 000 eur
● Arvaamattomat kustannukset (+10 %)	167 000 eur
● Yllä listatuista hinnoista suunnittelun, rakennuttamisen ja valvonnan aiheuttamat kulut (arvio +15 %)	278 500 eur
YHTEENSÄ	2 351 000 eur

Kustannusarvion tarkkuus on ± 30 %.

5.2 Uuden järjestelmän investointikustannukset

Kanavat sijoitetaan rakennuksen ulkopuolelle ulkoseinille, eristetään ja pellitetään sään kestäviksi. Tuloilman päätelaitteina käytetään sopimusvalmistajan tuottamia päätelaitteita. Uudet IV-konehuoneet rakennetaan maan tasolle. LVI-sähköistyksen, automaation ja hitsauslisäainevarastojen kustannukset otettu huomioon. ALV 0 %:

● IVKH	
○ 5 kpl Mastervent KRS-THR-15	1 200 000 eur
○ Kammiot, US + ETS-NORD UVK	255 000 eur
○ Uudet IV-konehuoneet 150 m ² x 5 + työ	900 000 eur
● Kanavointi	
○ Kanavat ja osat	475 000 eur

○ Eristys + pellitys	585 000 eur
○ Päätelaitteet + säleiköt	137 000 eur
○ Kanavien primääri ja sekundääri kannakointi	245 000 eur
○ Nykyisten järjestelmien purku	90 000 eur
○ Säätopellit + äänenvaimentimet	160 000 eur
● lämmitysverkosto + työ	
○ Lämpöputket kannakoituna ja eristettynä	100 000 eur
● Käyttövesi, putket + työ	
○ Putkitus + painepesuri IVKH	12 000 eur
○ Viemärointi konehuoneisiin	20 000 eur
● LVI-sähköistys	363 000 eur
● Hitsauslisäainevarastojen kustannukset	218 000 eur
● Automaatiojärjestelmä	
○ VAK x 3	36 000 eur
○ Automaatiopisteet 600kpl x 250 eur/kpl	150 000 eur
● Arvaamattomat kustannukset (+10 %)	472 500 eur
● Yllä listatuista hinnoista suunnittelun, rakennuttamisen ja valvonnan aiheuttamat kulut (arvio +15 %)	780 000 eur
● YHTEENSÄ	6 200 000 eur

Kustannusarvion tarkkuus on $\pm 30\%$.

5.3 Takaisinmaksuaika

5.3.1 Nykyisen järjestelmän uusiminen

Nykyisen järjestelmän saneerauskustannukset ovat 2 351 000 € työolosuhteiden ja sisäilman laadun pysyessä käytännössä samassa tilassa kuin nyt. Tällä investoinnilla ei voida saavuttaa säästöjä nykytilanteeseen nähden, joten järjestelmä ei tule myöskään maksamaan itseään takaisin.

5.3.2 Uusi järjestelmä

Uuden järjestelmän kustannukset ovat 6 200 000 €. Kohteeseen tehdään ilmanjakotavan muutos, uudet IV-konehuoneet, hankitaan uudet LTO:lla varustetut IV-koneet, jotka mitoitetaan uusille ilmavirroille. Säästöä saavutetaan nykytilanteeseen verrattuna LTO:lla ja THR-pesujärjestelmillä

75 475 € vuodessa. Uuden järjestelmän myötä sisäilman laatu on parempi ja oletetusti myös sairauspoissaolot vähenevät ja työn tehokkuus paranee.

Sisäympäristökijät vaikuttavat työntekijöiden työsuorituksiin ja terveyteen, jotka taas vaikuttavat tehtävän työn tuottavuuteen. Sisäympäristön vaikutuksilla työn tuottavuuden on arvioitu paranevan jopa 6 % (16, s. 5). Rakennusten saneerausten ja korjaustöiden kannattavuuden arvioinnissa on tarpeellista huomioida yhteys oireiden, työsuoritusten (tuottavuuden) ja sairauspoissaolojen välillä. Tämän yhteyden huomiointi on välttämätöntä, jotta voidaan arvioida oireilun taloudellinen merkitys ja laskea potentiaalinen sisäympäristön parannustoimenpiteiden taloudellinen hyöty. (16, s. 23)

Tutkimuksissa yleisoreiksi kuuluvat väsymys, pään raskaalta tuntuminen, päänsärky, pahoinvointi ja huimaus sekä keskittymisvaikeudet. Ärsytysoireisiin on laskettu nenän, silmien ja kurkun ärsytys ja yskä. Tutkimuksissa oireiden yhteyttä työsuoritukseen on määritelty seuraavanlaisesti: ”Subjektivisesti ilmaistujen yleisoreiden 10 %:n keskimääräinen absoluuttinen muutos vastaa 1,0 %:n muutosta työsuorituksissa (tuottavuudessa)”. (16. s. 25) Sairauspoissaolojen suhteen yhteyttä on kuvattu näin: ”Subjektivisesti ilmaistujen ärsytysoireiden 10 %:n keskimääräinen absoluuttinen muutos vastaa 0,7 %:n muutosta sairauspoissaoloissa. (16, s. 25)

Esimerkissä on käytetty toimistorakennusta: ”Toimistorakennuksen ilmastointia parannetaan niin, että se vaikuttaa lämpötilaan, ilmanvaihdon suuruuteen ja ilmanlaatuun. Laskennallinen vaikutus tuottavuuteen on lämpötilan vaikutuksesta 3 %, ilmanvaihdon parantamisen vaikutuksesta 2 % ja ilman laadun parantumisen johdosta 1 %. Tässä tapauksessa yhdistetty vaikutus on vähintään 3 % ja korkeintaan 5 %. Ilman laadun parantumisen vaikutusta ei voida ottaa huomioon, koska se on päällekkäinen ilmanvaihdon vaikutuksen kanssa.” (16, s. 33)

Koska Suomessa työn tuottavuus on keskimäärin 50 000 € vuodessa työntekijää kohden, pienikin parannus sisäympäristössä on pääsääntöisesti kannattavaa, kun kohonnut työntuottavuus otetaan huomioon. (16, s. 31) Tuotantotiloissa työskentelee n. 80 henkilöä. Ilmanvaihdon ja lämpöolojen parantamisen vaikutuksia on esitetty taulukossa 18.

Voidaan olettaa, että lämpöoloja ja ilmanvaihtoa parantavalla uudella järjestelmällä saadaan vähennettyä yleis- ja ärsytysoireita ainakin 10 - 15 %:a, jolloin vaikutus tuottavuuden kasvuun on n. 2 % ja säästö 80 000 €/a.

TAULUKKO 18. Saatava hyöty tuottavuuden kasvusta

Tuottavuus			Tuottavuuden kasvu		
€/hlö/a	Henkilömäärä	€/a			
50 000	80	4000000	1 %	40000	€/a
			2 %	80000	€/a
			3 %	120000	€/a
			4 %	160000	€/a

Koko järjestelmän takaisinmaksuaika ilman korkovaatimusta lasketaan vähentämällä nykyisen järjestelmän uusimisen kustannukset uuden järjestelmän kokonaiskustannuksista ja näiden erotus jaetaan investoinnista saatavilla säästöillä ja tuottavuuden kasvulla:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{6\,200\,000\text{€} - 2\,351\,000\text{€}}{75\,475\text{€} + 80\,000\text{€}} = 24,76 \text{ vuotta}$$

6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli tehdä esiselvitys SSAB Oulaisen tehtaalle IV-järjestelmien eri saneerausvaihtoehdoista. Järjestelmien esisuunnittelussa pyrittiin selvittämään toimet, joilla saadaan parannettua sisäilman laatua ja työolosuhteita sekä hallittua tuotantotiloissa vallitsevia ilmapainesuhteita paremmin kuin nyt.

Opinnäytetyössä ongelmien ratkaisemisessa ja päätösten teossa apuna käytettiin kirjallisuutta, internetiä, laitevalmistajien ja työnantajien kokemusta vastaavista kohteista. Esisuunnittelun alussa kohdekäynnillä selvitettiin järjestelmien kuntoa ja toimintaa. Esisuunnittelussa käytettiin apuna alkuperäisiä LVI-piirrustuksia, joista selvitettiin ilmapirrat sekä nykyisen järjestelmän ohjausta. Kohteesta tehtiin karkea IFC-malli, jonka avulla voitiin havainnollistaa asiakkaalle helpommin kanaviston runkoreitityksiä ja tilantarpeita, tarkasteltaessa eri vaihtoehtoja. Esisuunnitelluista järjestelmistä tehtiin kustannusarviot ja luonnossuunnitelmat, jotka toimitettiin raportin yhteydessä asiakkaalle.

LTO:lla varustettuja IV-kone valmistajia tällaisiin kohteisiin ei löytynyt montaa ja osa laitevalmistajista ei lopulta toimittanut tarvittavia dokumentteja laitteistaan yhteydenotoista huolimatta.

Työssä esitetyn uuden IV-järjestelmän saneerauskustannukset ovat korkeat. Tässä työssä on nostettu ilmapirran määrää ja muutettu ilmanjakotapaa. Toteutussuunnittelussa IV-järjestelmien saneerausta voidaan ajatella eri tavalla, kuin miten tilannetta on tässä työssä lähestytty. Kohteen sisäilman laatua voidaan parantaa kohdepoistojärjestelmiä lisäämällä ja päästöisten työpisteiden koteloinnilla. Ilmanvaihtojärjestelmät on mahdollista säilyttää ns. entisellään, jos näillä muutoksilla saavutetaan tarpeeksi puhdas sisäilma, eivätkä epäpuhtaudet pääse sekoittumaan sisäilmaan. Nykyistä vastaavalla ilmanvaihtojärjestelmällä ei kuitenkaan saada energiansäästöjä, koska lämmön talteenottoja ei ole putki- ja kelahallissa.

Uuden järjestelmän takaisinmaksuaika on pitkä, n. 25 vuotta. Järjestelmän tekniseen käyttöikänsä suhteutettuna (15 - 20 vuotta) investointi ei ehdi maksamaan itseään takaisin.

Kohteen esisuunnittelusta teki haastavaa tuotantotilojen koko, tilojen laaja-alainen käyttö, erillään olevat päästöiset työpisteet sekä rakennuksen ja järjestelmien ikä. Tilan puute uusille ilmanvaihtokoneille ja uudelle kanavoinnille aiheuttivat päänvaivaa ja kasvattivat myös hurjasti lopullista kustannusarviota. Opinnäytetyö osoittautui haastavammaksi ja laajemmaksi kuin osasin arvata ja eteneminen tässä projektissa oli ajoittain hyvin hidasta. Koen oman ammattitaitoni kehittyneen tämän työn aikana hyvin.

Ilmanvaihtojärjestelmien uusinta putkitekhtaalle on ajankohtaista. Syrjäyttävän ilmanjaon näen tehtaalle hyvinkin tarpeellisena, samoin kuin ilmanvaihtojärjestelmät LTO:lla varustettuna. Kuitenkin näin suuren ja kalliin investoinnin toteutuminen tällaisenaan on mielestäni epätodennäköistä. Lopullinen toteutettava ratkaisu on luultavasti jotain nykyisen ja ehdottamani uuden järjestelmän väliltä.

LÄHTEET

1. Talotekniikka-julkaisut Oy 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1.
2. Talotekniikka-julkaisut Oy 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 2.
3. Henell, Antti 2011. Kannakoinnin merkitys prosessiputkistojen suunnittelussa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Paperikoneteknologia koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 20.2.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26579/Henell_Antti.pdf?sequence=1.
4. Talotekniikka info, sisäilmasto ja ilmanvaihto – opas, päivitetty 11.6.2021. Hakupäivä 1.3.2022. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/17-ilman-jako-ja-poisto>.
5. Climecon. Syrjäyttävän ilmanvaihdon opas. Hakupäivä 15.2.2022 <https://climeconair.com/fi-fi/suunnittelijalle/opaat-ja-ohjeet/syrjayttavan-ilmanvaihdon-opas/>.
6. LVI 01-10424 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. RT-kortisto.
7. Finvac. Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. Hakupäivä 9.3.2022 [opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa 2019b.pdf \(talotekniikkainfo.fi\)](#).
8. Retermia Oy. Tuotekatalogi. Hakupäivä 23.2.2022. https://retermia.fi/wp-content/uploads/2019/09/Retermia_katalogi_web.pdf.
9. Paroc. Talotekniikan eristykset asennusopas. Hakupäivä 1.3.2022. <https://www.paroc.fi/search-page?q=opaat&category=>.
10. IV-ykköset Oy. Hakupäivä 1.3.2022. <https://www.iv-ykkoset.fi/osavalmistus>.

11. Ympäristöministeriö, documents, LTO-laskuri 2018. Hakupäivä 1.3.2022. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/LTO-laskin-2018-\(joulukuu-17\)-A648C939_153E_44EC_A159_0BA0699AFBC7-133695.xlsx/41bcb255-b95f-b64a-e77b-f0fd97753ed5?t=1603260248828](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/LTO-laskin-2018-(joulukuu-17)-A648C939_153E_44EC_A159_0BA0699AFBC7-133695.xlsx/41bcb255-b95f-b64a-e77b-f0fd97753ed5?t=1603260248828)
12. Taniplan Oy. WPS-KR roottorit pesulaitteella. PDF-dokumentti. Hakupäivä 1.3.2022 <https://de.cdn-website.com/21c4f244c6a24aa0a382abf8898bbc8a/files/uploaded/WPS-KR%2520roottoriosat%2520pesulaitteella%25202021-05-25.pdf>.
13. Ilmatieteenlaitos. Kuukauden keskilämpötila 2020. https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut?6Q0hW0Ue3EKANmx4TUFVNx_q=y%253D2020.
14. Ilmatieteenlaitos. Energialaskennan testivuodet 2020. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energia-laskenta-try2020>.
15. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. [Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf \(ym.fi\)](https://www.ymparisto.fi/documents/1410903/4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf)).
16. Seppänen, O. Sisäympäristön terveys- ja tuottavuusvaikutukset. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

LIITTEET

- Liite 1 Luonnossuunnitelmat SSAB Oulainen
- Liite 2 Alkuperäinen IV-piirros, vuodelta 1976.
- Liite 3 Mastervent koneajo
- Liite 4 Mastervent konepajan ilmanvaihto
- Liite 5 Fläktgroup BDKU imukartio, tekninen esite
- Liite 6 Fläktgroup WOZB pyöreä syrjäyttävä hajotin, tekninen esite
- Liite 7 Ets nord UVK ilmastointikatos
- Liite 8 Climecon, raitisilmasäleikkö, tekninen esite