

Tomi Vuorinen

ORAKSEN RAUMAN TEHTAAN TUOTANTOTILOJEN
ILMASTOINNIN OPTIMOINTI

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
2018

ORAKSEN RAUMAN TEHTAAN TUOTANTOTILOJEN ILMASTOINNIN OPTIMOINTI

Vuorinen, Tomi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Toukokuu, 2018
Sivumäärä: 44
Liitteitä: 1

Asiasanat: Ilmastointi, ilmanvaihto, optimointi, teollisuus

Tämä opinnäytetyö on tutkimus Oraksen Rauman tehtaan tuotantotilojen ilmanvaihtoon sekä sen aiempaa energiatehokkaampaan optimointiin. Työn tilaaja oli Oras Oy ja työ suoritettiin Sataservice Oy:n palveluksessa. Tutkimus- ja kokemuseräisesti lähtötilanteesta tiedetään se, että ilmamäärien tarkasteluun on selkeät perusteet.

Yrityksen energiakatselmuksessa vuodelta 2015 todetaan usean hallin ulkoilmamäärien olevan liian suuria. Energiakatselmuksen laatimisesta on kulunut jo jonkin verran aikaa, jonka kuluessa ilmanvaihtoa on säädetty parempaan päin siellä missä siihen on ollut edellytyksiä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saattaa ilmamäärät siihen optimitilanteeseen, mihin ne ovat mahdollista asettaa nykyisellä rakennuksen käytöllä.

Opinnäytetyö jakautuu pääasiassa neljään eri vaiheeseen, jotka ovat mittaukset, mitoitukset, laskelmat sekä säädöt. Valtaosa työhön käytetystä ajasta kului varsinaiseen alkutilanteen mittaamiseen. Työssä esitellään ilmamäärien uudelleen mitoittamisen kulku, tutkitaan siihen liittyviä ohjeita ja määräyksiä sekä suoritetaan myös odotettavissa olevien säästöjen laskenta.

Opinnäytetyön tuloksena ilmamäärien vähentämisen havaittiin olevan mahdollista noin $5 \text{ m}^3/\text{s}$, joka vaikuttaa suurelta määrältä ja jonka rahallinen säästöpotentiaali on huikea, mutta joka kuitenkin noin $100 \text{ m}^3/\text{s}$ kokonaisuuteen verraten on suhteellisen pieni määrä. Työssä käydään läpi mistä ja miten ilmamääriä supistetaan ja mitkä ovat sen vaikutukset. Ilmamäärien supistaminen parantaa energiatehokkuutta ja luo säästöjä kuitenkin ilman laadusta tinkimättä. Energiatehokkuutta parannetaan lisäksi mm. päivittämällä ilmanvaihdon aikaohjelmia. Lisäarvoa työlle tuo myös muiden havainnoitujen parannusehdotuksien esiin nostaminen.

OPTIMIZATION OF AIR CONDITIONING IN ORAS RAUMA PRODUCTION PLANT

Vuorinen, Tomi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction and Municipal Engineering

May, 2018

Number of pages: 44

Appendices: 1

Keywords: Air conditioning, ventilation, optimizin, industry

The purpose of this thesis was to improve the energy efficiency in the production plant of Oras Oy located in Rauma. The goal was to optimize ventilation costs and to create savings. Client was Oras Oy and thesis was accomplished in service of Sataservice Oy. Most of the time spent on the thesis was spent measuring the current state of air flows.

It is stated in the enterprises energy survey that almost in every hall were found oversized air flows. It has been a few years now after the survey and the situation has been improved where ever it is possible. The aftercome of this thesis is to finally optimize air flows in such state that there is no over sizing and in the other hand there is great indoors air quality in this current usage of the building.

This thesis is divided mainly in four stages, which are the measurements, sizing, calculations and adjustments. Measurements are collected in the minutes. Most of the time spent in this piece of work is spent assembling the minutes. Thesis introduces how new air flows are sized and what are the statutes and guidelines given by the environmental department.

As a result it was pointed out that we can afford to decrease the total amount of in- and outdoor airflows. The calculated decrease is around 5 m³/s which seems to be a very large amount both in air and in money. However it is quite small count when compared in the total 100 m³/s air in- and outtake. Here we go through where and why the air flows can be cut off and what are the results. Downsizing improves energy efficiency and create savings without reducing the air quality. Energy efficiency is also improved by updating the ventilation units time schedules. The thesis also includes other improvement suggestions which are observed while crafting this piece of work.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Työn tausta.....	6
1.2	Työn rajaaminen	6
2	TEOLLISUUSILMANVAIHTO	7
2.1	Teollisuusilmanvaihdon perusteet	7
2.2	Epäpuhtaudet ja haitallisiksi tunnetut pitoisuudet	9
3	KOHTEEN ESITTELY HALLEITTAIN.....	10
3.1	Tavoite	10
3.2	Halli 1.....	10
3.3	Halli 2.....	11
3.4	Halli 3.....	12
3.5	Halli 4.....	12
3.6	Halli 5.....	13
3.7	Halli 6.....	14
3.8	Halli 7.....	15
3.9	Halli 8.....	15
4	KOHTEEN MITTAAMINEN	17
4.1	Menetelmät ja mittalaitteet	17
4.2	Halli 1.....	18
4.3	Halli 2.....	19
4.4	Halli 3.....	19
4.5	Halli 4.....	20
4.6	Halli 5.....	20
4.7	Halli 6.....	21
4.8	Halli 7.....	21
4.9	Halli 8.....	22
4.10	Hallit yhteensä	22
5	ILMAVIRTOJEN UUDELLEEN MITOITUS.....	23
5.1	Määräykset.....	23
5.2	Mitoituksessa käytettävät ilmavirrat.....	26
5.3	Uusien tulo- ja poistoilmavirtojen määrittäminen	27
5.3.1	Hallin 1 ilmamäärien mitoitus.....	27
5.3.2	Hallin 2 ilmamäärien mitoitus.....	29
5.3.3	Hallin 3 ilmamäärien mitoitus.....	30

5.3.4	Hallin 4 ilmamäärien mitoitus	31
5.3.5	Hallin 5 ilmamäärien mitoitus	32
5.3.6	Hallien 6 ja 7 ilmamäärien mitoitus	32
5.3.7	Hallin 8 ilmamäärien mitoitus	33
5.4	Mittauksien ja mitoituksien vertailu sekä johtopäätökset.....	33
6	AIKAOHJELMIEN OPTIMOINTI	35
6.1	Desigo Insight	35
6.2	Aikaohjelman määrittelmä.....	36
6.3	Aiemmat aikaohjelmat	37
6.4	Aikaohjelmiin tehtävät muutokset	37
7	SÄÄSTÖPOTENTIAALIN ARVIOINTI.....	38
7.1	Lämpöenergian säästö ilmamääriä pienentämällä	40
7.2	Lämpöenergian säästö aikaohjelmia parantelemalla	41
7.3	Puhaltimen sähköenergian säästö ilmamäärien muutoksen takia	42
7.4	Puhaltimen sähköenergian säästö aikaohjelmien optimoinnin takia	43
7.5	Puhaltimen sähköenergian säästö pölynpoistojen automatiikkaan liittämisestä.....	43
7.6	Odotettavissa olevat säästöt yhteensä	44
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	45
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia Oraksen Rauman tehtaan tuotantotilojen ilmanvaihtoa. Työ lähti käyntiin kokemus- ja tutkimusperäisestä tiedosta, jonka mukaan ilmamääriä olisi syytä tarkistaa mm. tilojen muuttuneiden käyttötarkoitusten ja paremman energiatehokkuuden saavuttamisen takia. Oras Oy:n yrityksen energiakatselmuksessa (Niskakangas, Enegia Consulting Oy, 5.12.2015, 30) todetaan usean hallin ulkoilmamäärien olevan liian suuria.

Työssä hallit käydään läpi yksitellen ja määritetään määräysten mukainen tarpeellinen ilmanvaihto tutkimalla voimassa olevia asetuksia ja määräyksiä. Samalla pyritään saamaan ilmanvaihto kokonaisuudessaan energiatehokkaaksi ja kerätä säästöjä karsimalla ylimääräinen ilmanvaihto pois. Lisäksi käytännön mittaustyötä tehdessä esiin nousi monia muita parannusehdotuksia, jotka tilaajan niin halutessa voidaan toteuttaa omina projekteinaan.

1.2 Työn rajaaminen

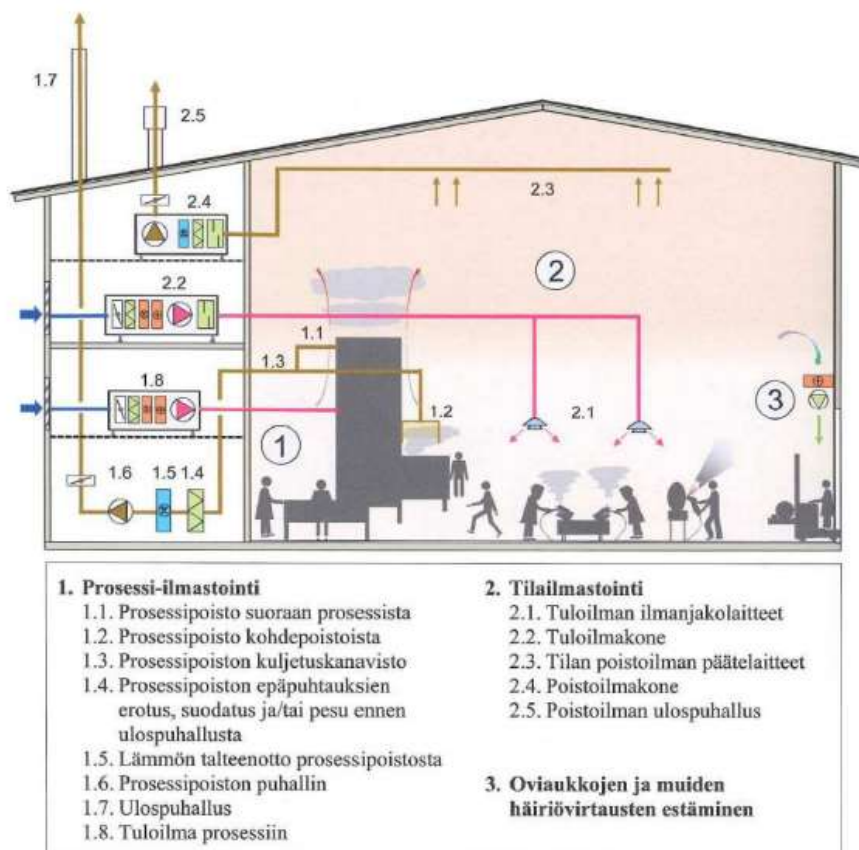
Työssä mitataan tuotantotilojen (hallit 1-8) kokonaisilmamäärät ilmanvaihtokone- ja hallikohtaisesti. Pääte-laitekohtaiseen mittaamiseen tai säätämiseen tässä työssä ei paneuduta. Mittauksissa huomioon on otettu kaikki laitteet, jotka joko tuovat ilmaa sisään tehtaaseen tai siirtävät sitä pois sieltä. Niitä koneita, jotka käsittelevät ja kierrättävät jo kertaalleen sisääntuotua ilmaa, ei tässä työssä ole huomioitu eikä mitattu, koska niillä ei ole vaikutusta sisään tuotavan ja ulos vietävän ilman taseeseen. Mitoituksessa ei myöskään oteta huomioon sellaisia tiloja, joiden epäpuhtauskuorman määrittäminen vaatii haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien (HTP-pitoisuudet) mittaamista. Tällaisten tilojen kohdalla tyydytään toteamaan, että mikäli ilmavirtoja halutaan nykyisestään pienentää, täytyy tiloissa suorittaa kyseiset mittaukset. Käytännössä näitä mitoittamatta jääviä tiloja ovat hallit 3, 6 ja 7. Näissä tiloissa sijaitsee muovipuristamo,

kromaamot sekä valimo. Selvyyden vuoksi kuitenkin todettakoon, että mittausten osalta nämäkin hallit ovat työssä mukana.

2 TEOLLISUUSILMANVAIHTO

2.1 Teollisuusilmanvaihdon perusteet

Teollisessa ilmanvaihdon suunnittelussa ensisijainen prioriteetti on prosessien toiminta, jonka jälkeen tulevat työskentelyolosuhteiden tavoitteet. Kuitenkin tulee muistaa työsuojelulliset tavoitteet, jotka voivat osaltaan rajoittaa joidenkin ratkaisuiden käyttämistä. Yleisesti teollinen ilmastointi tai ilmanvaihto voidaan eritellä prosessi-ilmanvaihtoon sekä yleisilmanvaihtoon. Prosessiin liittyvä ilmanvaihto viittaa itse tuotantoprosessissa tarvittavaan ilmaan tai sen laatuun, kun taas yleisilmanvaihto liittyy työoloihin ja prosessia ympäröivään tilaan ja sen ilmanlaatuun. On myös olemassa teollisuuden prosesseja, jotka eivät ole riippuvaisia ilmatekniikasta. (Sandberg 2014, 535). Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä kohde on pääasiassa tällainen, jossa suuri osa tilojen toiminnoista ei tarvitse varsinaista prosessi-ilmatekniikka, pl. puhdasilat, joissa on omat vaatimuksensa ja suodatuksensa ilmanlaadulle. Kuvassa 4 on havainnollistava esitys prosessi- ja tilailmastoinnin järjestelmistä.



Kuva 4. Teollisuushallin ilmastointijärjestelmät. (Sandberg 2014, 536)

Teollisessa ilmanvaihdossa tärkeä osa on myös kohdepoistojärjestelmillä. Kohdepoistoksi mielletään sellainen laite, joka imee yksittäisestä epäpuhtauslähteestä peräisin olevat epäpuhtaudet pistemäisesti, päästämättä näitä epäpuhtauksia yleisilmanvaihdon alueelle. Tällaisia paikkoja voi olla esimerkiksi varsinaiset tulityöpaikan huuvut tai kemikaalien käsittelyä varten olevat vetokaapit. Kohdepoistojärjestelmän osat ovat jo katapauksessa seuraavanlaiset: päätelaite, joka ympäröi epäpuhtauslähteen mahdollisimman hyvin, kanavisto jota pitkin epäpuhtaudet kuljetetaan, mahdollinen suodatin sekä puhallin joka tuottaa tarvittavan poistoilmavirran epäpuhtausien poistamiseksi. (Sandberg 2014, 545).

Kohdepoisto voidaan järjestää usealla tavalla. On mahdollista valita keskuspuhdistuslaite, johon on liitetty useita poistopisteitä, kuten huuvia tai koteloita. Tällainen järjestelmä tulee yleensä halvemmaksi kuin muut vaihtoehdot, mutta uusien pisteiden lisääminen säilyttäen hyvät ilmavirrat joka pisteelle on yleensä työlästä. Tässä järjestel-

mässä on siis yksi puhallin ja jokaiselle pisteelle haarautuva kanavisto. Tämän vastakohta on yksittäisjärjestelmä, jossa yhden puhaltimen ja yksinkertaisen kanavan takana on vain yksi kohdepoiston piste. Yksittäisjärjestelmä on yleensä kalliimpi hankinta- ja huoltokustannuksiltaan kuin keskusjärjestelmä. Kohdepoistojärjestelmä voidaan suunnitella matala- tai korkeapaineiseksi. Korkeapaineisella järjestelmällä puhaltimen paine on noin 10-30 kPa, matalapaineisella alle 5 kPa. Korkeapainejärjestelmässä tyypillistä on pienet kanavakoot ja suuret ilmannot. (Sandberg 2014, 546). Opinnäytetyön kohteessa on kummankin tyyppisiä kohdepoistojärjestelmiä. Keskusjärjestelmässä imurit ovat yleensä kooltaan suuria, kun taas yksittäisjärjestelmissä yleensä katolla sijaitsevat huippuimurit ovat huomattavasti keskusjärjestelmien imu-reita pienempiä. Kuvassa 5 on vierekkäin kookkaampi keskusimuri sekä yksittäisestä poistosta vastaava huippuimuri.



Kuva 5. Keskusjärjestelmän imuri sekä yksittäisjärjestelmän huippuimuri.

2.2 Epäpuhtaudet ja haitallisiksi tunnetut pitoisuudet

Parhaan ilmanvaihtotavan löytäminen vaatii prosessin tuntemista, erityisesti silloin kun prosessi itsessään vaatii tietyt olosuhteet. Lisäksi täytyy tietää, miten ja kuinka kauan tilassa työskennellään. Epäpuhtaudet ovat vallan erilaisia teollisuudessa, kuin esimerkiksi asuinrakennuksissa. Niiden määrät voivat olla rajuja sekä terveydelle haitallisia. Näitä teollisuudessa yleensä ovat erilaiset kemikaalit sekä hiukkasmaiset epäpuhtaudet. Työturvallisuuslaissa on vahvistettu niin sanotut haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP-pitoisuudet), joille on asetettu ainekohtaisia maksimiarvoja. Työntäjän on huomioitava nämä prosesseista lähtöisin olevat pitoisuudet työn vaarallisuutta selvitettyä. Maksimiarvojen tarkastelua varten työpaikoilla käytetään 8 tunnin tai 15 minuutin tarkastelujaksoa, joille kullekin on asetettu omat ylärajat. Kaasumaisia

epäpuhtauksia (esim. hiilidioksidi, CO₂) tarkasteltaessa yksikkö on tavanomaisesti ppm, parts per million. Hiukkasmaisille epäpuhtauksille käyttökelpoinen mittausyksikkö on esimerkiksi milligrammaa per kuutio (mg/m³). (Sandberg 2014, 536-540)

3 KOHTEEN ESITTELY HALLEITTAIN

3.1 Tavoite

Tehdas on keskikokoinen teollisuuskompleksi, joka koostuu kahdeksasta eri aikoina rakennetusta hallista, joiden kokonaispinta-ala on reilu 24 000 neliometriä. Tehtaan sisällä on toteutettu aikojen saatossa uudelleenjärjestelyjä, jolloin tietyillä kriteereillä mitoitettut ilmanvaihtokoneet eivät välttämättä ole optimaalisia uuden käyttötarkoituksen kohdalla. Lisäksi pienempiä tilojen käyttötarkoitusten muutoksia saattaa tapahtua nopeallakin aikataululla. Tässä työssä pyritään vastaamaan tilojen ilmanvaihdon tarpeeseen niin hyvin kuin mahdollista, karsimalla ylimääräinen ilmanvaihto pois sieltä missä sille ei ole tarvetta ja samalla kerryttää tilaajalle säästöjä.

3.2 Halli 1

Hallissa 1 on lähettämö ja varastotilaa. Lähettämöstä tuotteet lähtevät eteenpäin kumi-rengaskuljetuksina. Tästä syystä hallin käytävällä on vilkas trukkiliikenne. Hallissa on vähän työntekijöitä verrattuna pinta-alaan. Ilmanjako hallissa on toteutettu kattohajotajilla sekoittavalla ilmanjakoperiaatteella. Ilmaa puhalletaan sisään kiertoilmanvaihtokoneilla, joissa on säätöpellit raitis- ja kiertoilmalle. Lämmitys tapahtuu koko tehtaan tapaan pääasiassa ilmanvaihtokoneiden avulla. Paikoitellen seinustoilla on kuvan 6 tyyppisiä lämpökonvektoreita.



Kuva 6. Vesikiertoinen lämpökonvektori.

3.3 Halli 2

Hallissa 2 on varastotilaa ja kokoonpanopisteitä. Hallissa on suureen pinta-alaan verraten vähän työntekijöitä, joskin enemmän kuin hallissa 1. Hallissa on muutamia pieniä kohdepoistoja esim. liimauksesta aiheutuvan käryn poistamiseen. Tavallisesti kokoonpanopisteellä ei aiheudu suuria epäpuhtauskuormia. Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat kuvan 7 tyyppisesti katolla, lukuunottamatta yhtä vanhempaa tuloilmakonetta, joka sijaitsee hallin sisällä. Ilmanvaihtokoneet ovat nykyiseen käyttötarkoitukseen ylimitoitettut, jonka takia ne käyvät pienillä kierrosluvuilla, mikä ei ole optimaalista.



Kuva 7. 2-hallin konehuone sijaitsee katolla.

3.4 Halli 3

Hallissa 3 sijaitsee osittain 1-hallin tyyppistä varastotilaa sekä omalla puolellaan muovipuristamo. Muovipuristamossa valmistetaan yli 20 muovikoneen voimin hanojen muoviosia. Muovin puristamisessa syntyy valtava määrä lämpöä ja siksi hallin 3 lämpökuorma onkin valtava. Muovikoneista imetään ilmaa yleispoistokanavistoon, jonka johdosta hallissa ei ole syytä epäillä järjestyttäviä epäpuhtauskuormia. Tuloilma 3-hallin varaston puolelle puhalletaan kattohajottajien kautta, kun taas muovipuristamon puolella ilma tuodaan koneiden päällä reikäkanavalla noin 2 metrin korkeudessa lattiapinnasta. Tällöin ympäristöä viileämpi tuloilma laskeutuu alaspäin kohti lattiaa, jolloin saadaan aikaan piennopeuslaitteille tyypillinen ilman kerrostuminen.

3.5 Halli 4

Halli numero 4 jakautuu moneen eri toimintoja sisältävään tilaan. Toinen puoli hallista on pääasiassa varastoa, toisella puolella on toimintoja kuten työkalu- ja erikoistuotevalmistus. Työkalupuolella on joitain epäpuhtauslähteitä, kuten sorvi ja muita koneita. Hallia palvelee 2 isompaa ilmanvaihtokonetta, joissa vain toisessa on poistopuhallin. Tästä johtuen 4-halli on ylipaineinen. Tämä on hyväksyttävää, koska viereisessä hallissa sijaitsee kromaamot, jotka ovat voimakkaasti alipaineisia. Ilmanjako 4-hallissa on toteutettu sekoittavalla periaatteella, kattohajottajilla.

3.6 Halli 5

Hallissa 5 sijaitsee hionta- ja kiillotuskoneita. Hallin epäpuhtauskuorma on suuri, mutta hallissa on keskitetty kohdepoistojärjestelmä. Kohdepoistot on toteutettu kahdella pölynpoisto-keskusimurilla (Kuva 8), jotka imevät hionta- ja kiillotuskoneiden epäpuhtaudet, suodattavat niistä suurimman osan ja puhaltavat jäteilman ulos katon kautta. Näitä kohdepoistoja ei ole liitetty automatiikkaan, joten hallin poistoilmamäärä vaihtelee riippuen koneiden käytöstä. Pääasiassa imurit ovat ainakin päiväsaikaan käytössä. Yleisilmanvaihto on toteutettu kahdella, yhteensä noin 14 m³/s sisäänpuhaltavalla tulokoneella. Kuvassa 9 on esitetty hallin 5 yleisilmanvaihdon poistoritilä. Varsinaista kanavistoa ei ole, vaan poistoritilä on yhteydessä poistopuhaltimen kammioon.



Kuva 8. 5-hallin pölynpoistoimurin yläosa.



Kuva 9. 5-hallin yleispoistoritilä.

3.7 Halli 6

Hallissa 6 sijaitsee muovi- ja messinkikromaamo. Kromaamoissa on suuret tulo- ja poistoilmamäärät, johtuen kromaamisessa tarvittavien altaiden kaasumaisista epäpuh-
tauspäästöistä. Varsinkin messinkikromaamo on alipaineinen, koska siellä sijaitsee al-
taiden lisäksi 3 materiaalivarastoa, joissa jokaisessa on oma poistopuhallin, sekä labo-
ratorio ym. tilaa, joissa on omia huippuimureita. Tuloilma tuodaan kromaamoihin pää-
asiassa piennopeuslaitteilla, joilla pyritään saamaan aikaan ilman kerrostumista siten,
että oleskeluvyöhykkeellä on aina raikkain ilma. Ilma poistetaan korkeammalta katon
rajasta yleispoistoilla, sekä kromausaltaiden päältä muovipuhaltimin. Kromaamoiden
osuus tehtaan kokonaispoisto- ja tuloilmamäärässä on jopa 30%. Kuvassa 10 on esi-
tetty yksi monista kromaamoiden altaiden muovipuhaltimista. Nämä puhaltimet ja ka-
navistot ovat muovia, koska kromauksessa käytettävät aineet syövyttäisivät peltikana-
vat.



Kuva 10. Kromaamon muovipuhallin.

3.8 Halli 7

Hallissa 7 sijaitsee valimo, jossa valmistetaan keernamuotit ja valetaan hanarungot. Valaminen aiheuttaa halliin suuria lämpökuormia, koska messinkisulan lämpötila kohoaa jopa 1000°C:een. Valimoon tuloilma tuodaan piennopeuslaittein, joka aiheuttaa ilman kerrostumisen ja parantaa työskentelyolosuhteita oleskeluvyöhykkeellä. Valimossa osa kohdepoistoista on liitetty yleispoistokanavaan ja osa hallin ulkopuolella sijaitsevaan (Kuva 11) pölynpoistojärjestelmään, josta suodatettu ilma lopulta puhalletaan poistokanavaan. Lisäksi tulo- ja poistoilmakoneet käyvät todella suurilla kierroksilla, lähes täysillä. Tämä antaa syytä epäillä puhaltimien olevan alimitoitettut nykyiseen käyttötarkoitukseen.



Kuva 11. Valimon pölynpoistojärjestelmä.

3.9 Halli 8

Hallissa 8 sijaitsee hionta- ja kiillotuskoneita, käsihiomakoneita, juotospaikka, muita työstökoneita ja pieni toimisto. Ilmanjako hallissa on toteutettu pääasiassa kuvan 12 tyyppisillä piennopeuslaitteilla.



Kuva 12. 8-hallin tuloilman päätelaite.

Hallista löytyy pölynpoistojärjestelmä, joka puhaltaa poistoilmaa ulos noin 3 m³/s päällä ollessaan. Täten hallin poistoilmamäärä vaihtelee imurien käytöstä riippuen, joskin halli on lähtökohtaisesti alipaineinen. Kuvassa 13 pölynpoistojärjestelmän imu-riyksikkö hallin ulkopuolella.

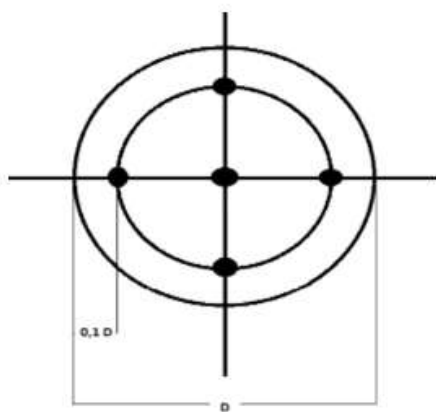


Kuva 13. 8-hallin pölynpoistojärjestelmän imuri.

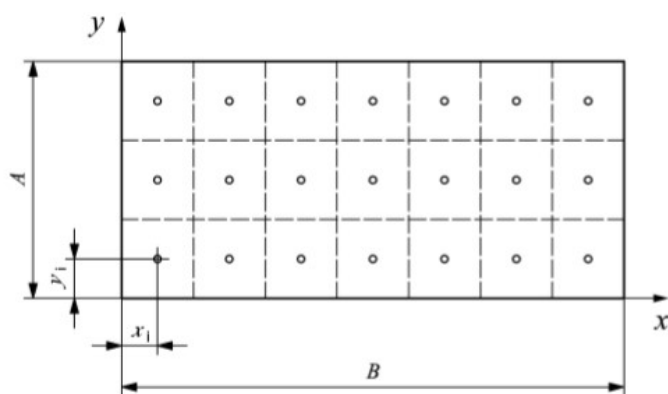
4 KOHTEEN MITTAAMINEN

4.1 Menetelmät ja mittalaitteet

Alkutilanteen mittaamiseen sovelletaan standardia SFS-EN 12599, Rakennusten ilmanvaihto, ilmastointi- ja ilmastovaihtojärjestelmien luovutukseen liittyvät testimenettelyt ja mittausmenetelmät. Pyöreiden kanavien mittaukset suoritettiin 5-pistemenetelmänä kuvan 14 mukaisesti. Pisteet esittävät mittauskohdan. Suorakaidekanavien mittauksessa otettiin yleensä enemmän mittauspisteitä, kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 14. Mittausperiaate pyöreästä kanavasta.



Kuva 15. Mittausperiaate suorakaidekanavasta. (SFS-EN 12599)

Mittaukset on suoritettu kanavistosta suurimmaksi osaksi jo olemassa olevista mittauspisteistä. Mittauksissa käytettiin pääasiassa kuvan 16 kuumalanka-anemometriä. Siellä missä mittaus oli mahdollista suorittaa iris-pellin mittayhteistä, mittaus suoritettiin velocicalc-paine-eromittarilla. Usein tällaista mahdollisuutta ei ollut. Joskus (esim. halli 7) iris-pellit olivat niin likaisia, että säätöasentoa ei ollut mahdollista lukea, joten mittaus suoritettiin kanavistosta.



Kuva 16. Velocicalc kuumalanka-anemometri.

Kuumalanka-anemometri toimii siten, että mittauspää työnnetään kanavaan. Mittauspäässä oleva metallilanka (volframi, platina tai iridium-platina-seos) (Siren 1995, 193) lämmitetään ympäristöä lämpimämmäksi. Ilman virtaus aiheuttaa langan viilentymistä ja koska langan resistanssi on riippuvainen langan lämpötilasta, sen perusteella voidaan määrittää langan ohitse virtaavan ilman nopeus.

Paine-eromittarista ilmavirta saadaan mittaamalla paine-ero iris-pellin yhteistä ja lukemalla tilavuusvirta mittauskäyrästä. (FläktWoods 2013)

4.2 Halli 1

Hallissa 1 on vähän tulo- ja poistoilmaa, koska suurin osa siitä on varastoa ja siellä työskentelee vain vähän ihmisiä. Halli on hieman ylipaineinen.

Taulukko 1. Hallin 1 mitatut ilmamäärät.

Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Vaikutusalue/muuta
01TK01	480			Kiertoilmakone, 15% raitisilma 85% kiertoilma (koneen kokonaisilmamäärä 3191)
01TK02	252			Kiertoilmakone, 21% raitisilma 79% kiertoilma (koneen kokonaisilmamäärä 1200)
01TK03	1520			Kone kunnossapitotilan katossa, vaikuttaa kunnossapito ja pistokoe-tilaan.
		01PK01-PF01	200	Poistaa lähettämön toimisto/taukotilasta, hallin päädyssä
		01PK02	180	Poistaa 1-hallin vessoista ja siivouskomerosta
		01PK03	300	Poistaa pistokoe-tilasta, puhallin Hi-Fek 25
yht.	2252		680	

4.3 Halli 2

Hallissa 2 on kokoonpanopisteitä joten siellä on jonkin verran ihmisiä, joskin pinta-alaan suhteutettuna vähän. Halli on hieman alipaineinen, vaikka sen ei välttämättä tarvitsisi olla.

Taulukko 2. Hallin 2 mitatut ilmamäärät.

Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Muuta
02TK01	4209			Sijaitsee hallin sisällä tasanteella
02TK02	1332			Sijaitsee konehuoneessa katolla
		02TK02-PF01	6332	Sijaitsee konehuoneessa. 02TK01-PF01 on päällä, 02TK02-PF01 alla. 02TK01-PF01 pois käytöstä
		02PK04	340	STEF-3-004, vaikuttaa tj-toimisto
		02PK05	-	Ei käy, tulpattu
		02PK06	-	Ei käy, tulpattu
		02PK??	450	Nimeämätön kohdepoistoimuri termostaattien kokoonpanotilassa
		02PK???	200	Nimeämätön kohdepoistoimuri termostaattien kokoonpanotilassa, liimaimuri
yht.	5541		7322	

4.4 Halli 3

Hallissa 3 poistoilmamäärää pyritään kasvattamaan lämmön poiston tehostamiseksi. Halli on nyt ylipaineinen, mutta se voisi olla hieman alipaineinen.

Taulukko 3. Hallin 3 mitatut ilmamäärät.

Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Muuta
03TK02	7684			Kone vaikuttaa sekä 3-halliin muovipuolelle että viereiseen varastoon
		03TK02	4500	Kone vaikuttaa sekä 3-halliin muovipuolelle että viereiseen varastoon
		03PK01	300	Muovipuolen huippari, STDE-25
		03PK07	300	Muovipuolen huippari, Vallox 22P-2
yht.	7684		5100	

4.5 Halli 4

Hallissa 4 on paljon muutoksia varastoksi, joten sen ilmamäärää on syytä pienentää. Halli on ylipaineinen.

Taulukko 4. Hallin 4 mitatut ilmamäärät.

Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Muuta
04TK01	5150			Sijaitsee työkalupuolen ylätasanteella
		04TK01-PF01	5000	Sijaitsee työkalupuolen ylätasanteella
04TK09	5060			Sijaitsee erikoistuotevalmistustilan ylätasanteella, "vanha ruokala", puhalltaa nyt 4-halliin.
		04PK01	220	
		04PK03	350	STDE-25, täysteho, kohdepoistoja
		04PK06		Ei käy, erikoistuotevalmistus
		04PK09	300	Erikoistuotevalmistus
		04PK11		Ei käy, purettu
		04TK02-PF01	300	Puhallin STDE-30, puoliteholla
		04TK02-PF02	400	4-halli, kokoonpano. STDE-35
		04TK06-PF01		Ei käy
		04PJ01-PF05		Pulverimaalaamo, purettu
		04PJ01-PF06		Pulverimaalaamo, purettu
		04PK14		Palvelee "pienet tilat", ei käynnissä
		04PK15		Ei käy, vanha puhallin yhä katolla, puretaan?
		04PK04	700	Työkalupuolen pölynpoistimuri
		04PK02		Mikä? → Ei käy
yht.	10210		7270	

4.6 Halli 5

Hallin 5 painesuhteet ovat melko tasaiset. Halliin tulee ilmaa 14 m³/s ilmaa ja sieltä poistuu melkein yhtä paljon.

Taulukko 5. Hallin 5 mitatut ilmamäärät.

Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Muuta
05TK01+02	13800			05TK01 ja 05TK02 puhaltavat samaan kanavistoon, sijaitsevat ylätasolla häkkipuolella
		05TK01-PF01	6500	Poistokone sijaitsee katolla. Kanava = ritilä katossa, joten mittaaminen hankalaa. Huom!
05TK04	624			Vaikuttaa 05 tauko/toimistotiloihin, sijaitsee taukokuoneen takatilassa
		05PK04	761	Vaikuttaa 05 tauko/toimistotiloihin, sijaitsee taukokuoneen takatilassa
		05PK02	1100	Poistaa 5-hallin toimisto/labra/wo-tiloista
		05PK01		Ei käy
		05PK??	3000	Hiontakoneiden pölynpoisto (nordfab)
		05PK??	2500	Hiontakoneiden pölynpoisto (nordfab)
		05PK05		Ei käy
yht.	14424		13861	

4.7 Halli 6

Hallissa 6 vaihtuu ilmaa suuria määriä. Kromaamot ovat myöskin keskenään erotettu toisistaan ja ne eivät ole tasapainossa.

Taulukko 6. Hallin 6 mitatut ilmamäärät.

Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Muuta
06TK02	8400			Messinkikromaamo. Kone käy 100%
06TK05	20400			Muovikromaamo. Kone käy 100%
04TK02	882			Vaikuttaa messinkikromaamoon. Huomioitava kromaamoiden ilmamäärässä.
		06TK02FK11	1300	Kemikaalivaraston huippumuri 11
		06TK02FK12	1250	Kemikaalivaraston huippumuri 12
		06TK02FK13	560	Kemikaalivaraston huippumuri 13
06TK06	400			Tauko-/työnjohtotila (sijainti samassa tilassa muovikromaamon takana koneen 06TK05 kanssa)
		06FK01	300	Kemikaalivaraston päällä, yleispoistomuri, STDE-25
		06FK09	1000	Labran perällä nurkassa, puhallin katolla, kumitusosasto
		06TK01-PF01		Ei käytössä
06TK01				Ei käytössä
		06FK08	250	Puhallin labran välitilalla
		06FK11	1700	Muovikromaamon yleispoisto
		06FK02	400	Yhdyskäytävä
		06FK03	2900	Vaikuttaa kromaamot, SSSH-5-612
		06PP-4	2300	Kultalinjan poisto, sundsvalls plastik LAP 50
		06FK07	4000	Kromaamot yleispoisto, STDE-60
		06FK06	500	Likaiset tilat, STDE-30
		06FK04	1500	Kromaamot, STDE-50
		PP1	3500	Altaiden muovipuhaltimet, Sundsvalls plastik
		PP2	3400	Altaiden muovipuhaltimet, Sundsvalls plastik
		PP3	2800	Altaiden muovipuhaltimet, Sundsvalls plastik
		06 320F	3000	Kromaamon huippari
		06TK05-PF01	3100	Muovikromaamo
yht.	30082		33760	

4.8 Halli 7

Valimo on kevyesti alipaineinen, mikä estää valuprosessissa aiheutuvien hiukkasten leviämisen muihin halleihin.

Taulukko 7. Hallin 7 mitatut ilmamäärät.

Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Muuta
07TK01-TF01	24700			Konehuoneessa katolla, valimon tuloilma
		07TK01-PF01	27200	Omassa konehuoneessaan katolla
		07FK01	400	Valimon perällä kunnossapidossa huuvan kohdepoisto
		07FK02	(2700)	Kuljetinkanava pölynpoistimurille. Puhaltaa poistokanavaan!
07SK01-SF01	150			Uunien sähkökaappien jäähdytys
07SK01-SF02	150			Uunien sähkökaappien jäähdytys
yht.	25000		27600	

4.9 Halli 8

Halli 8 on roimasti alipaineinen tietyssä tilanteessa, mikä on turhaa. Pyritään leikkaamaan liika alipaine sieltä pois.

Taulukko 8. Hallin 8 mitatut ilmamäärät.

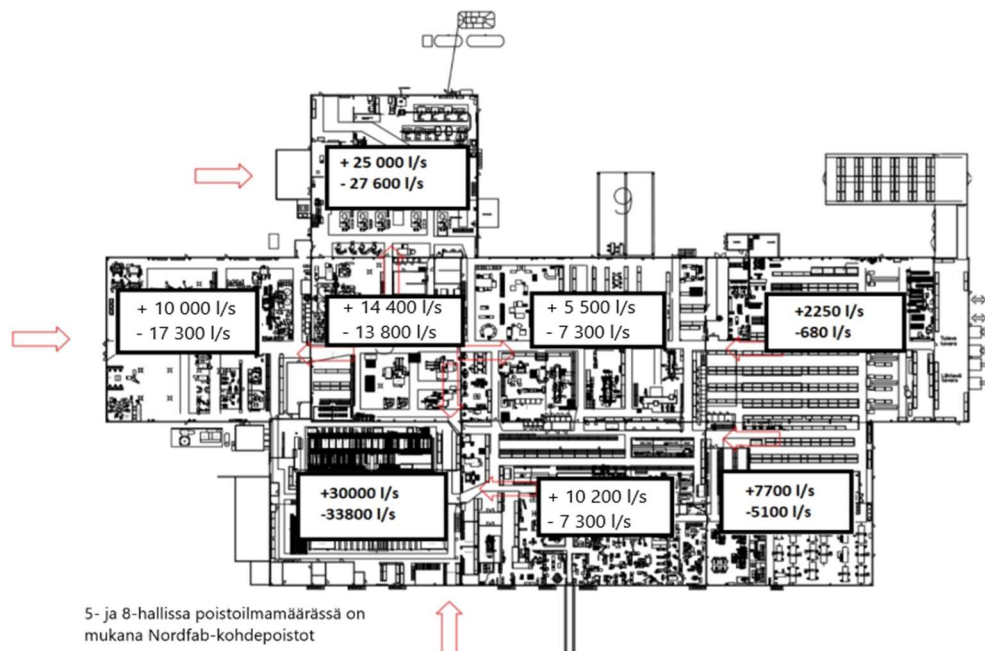
Tulokone	Tuloilma l/s	Poistokone	Poistoilma l/s	Muuta
08TK01	9860			8-hallin tulokone, sijainti katolla konehuoneessa
		08TK01-PF01.1	13900	8-hallin poistokone, sijainti katolla konehuoneessa
		08PK03		Poistettu käytöstä
		08PK01		Poistaa tulpatusta kanavasta, sammutetaan
		08PK??	3000	Hiontakoneiden pölynpoisto (nordfab)
		08PK02	400	Poistaa juotospaikalta
yht.	9860		17300	

4.10 Hallit yhteensä

Taulukko 9. Kaikkien hallien mitatut ilmamäärät yhteensä.

Yläkerta yhteensä	Tuloilma [m ³ /s] 105	Poistoilma [m ³ /s] 113
----------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

Kuvassa 17 koottuna alkutilanne pohjakuvaan. Pohjakuva kuvaa täyden käytön tilannetta, jolloin 5- ja 8-halleissa on yleispoiston lisäksi myös pölynpoistot päällä samanaikaisesti. Kuvassa punaiset nuolet osoittavat ilman virtaussuuntaa hallien sisällä. Tilojen ulkopuolella olevat nuolet osoittavat kohtia, joissa saattaa tapahtua ilman sisään virtaamista ulkoa. Vuotoilman sisään pääsy on osittain väistämätöntä, koska tietyt tilat on pakko pitää alipaineisina.



Kuva 17. Alkutilanteen ilmavirrat tehtaan sisällä.

5 ILMAVIRTOJEN UUELLEEN MITOITUS

5.1 Määräykset

Työn laatimisen aikaan rakentamismääräykset ovat olleet muutoksessa. Kun työ syksyllä 2017 aloitettiin, voimassa oli Rakentamismääräyskokoelman osa D2 vuodelta 2012, joka otti kantaa rakennusten ilmanvaihtoon. Opinnäytetyön kirjallista osuutta tehdessä keväällä 2018 voimaan on astunut 1. tammikuuta alkaen 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.

1009/2017 Ympäristöministeriön asetuksen perustelumuiiston mukaan perusteet lainmuutokselle olivat sitovien määräyksien ja käytännön toteutusta ohjaavien ohjeiden entistä selkeämpi erottelu. Perustelumuiiston mukaan ”Rakennuksen sisäilmasto vaikuttaa merkittävästi rakennuksessa oleskelevien henkilöiden terveyteen ja viihtyvyy-

teen. Sen vuoksi rakennuksen sisäilmastoon on kiinnitettävä erityistä huomiota.” Lisäksi uuden asetuksen on tarkoitus keventää ja sujuvoittaa säädöksiä. Turhaa sääntelyä pyritään purkamaan, antaen kuitenkin samalla selkeät noudatettavat määräykset ja viitteelliset ohjeet.

Ilmanvaihdosta uusi ympäristöministeriön asetuksen 8 § toteaa, että ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Tarkemmin ulkoilmavirroista on todettu § 9, että koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään 0,35 (l/s) per lattianeliö. 10 § sanoo, että muiden kuin asuinrakennusten ulkoilmavirran on oltava vähintään 0,15 (l/s) per lattianeliö suunnitellun käyttöajan ulkopuolella.

Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista, nimeltään Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet joka löytyy ympäristöministeriön nettisivuilta, antaa käytännössä uudet ohjeet ilmastointi- ja ilmanvaihtosuunnittelijoille. Raportti on FINVAC ry:n kokoama ja siinä todetaan asuntorakentamisen ja muun rakentamisen eroavan niin paljon toisistaan, että niille on annettu omat suunnitteluoppaat. Tämän opinnäytetyön kannalta keskeinen opas on 3.12 Työtilat (muut kuin toimistot). Taulukossa 10 esitettynä oppaan tilan ja ohjeelliset ulkoilmavirrat.

Taulukko 10. Työtilojen (muut kuin toimistot) ohjeelliset mitoitusilmavirrat. (Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet, loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista, 20)

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm ³ /s,hlö	Ulkoilma- virta dm ³ /s,m ²	Poistoilma- virta dm ³ /s,m ²	Muita ohjeita
Työtila, jossa on ihmisten ja rakennusmateriaalien lisäksi runsaasti muitakin epäpuhtauslähteitä	6	2 kuitenkin vähintään yhtä suuri kuin kohdepoistojen yhteenlaskettu ilmavirta		Ilmanvaihto 6 dm ³ /s, hlö + 2 dm ³ /s,m ² Kohdepoistot selvästi rajattuihin epäpuhtauslähteisiin. Ilmanvaihdon riittävyys tarkastettava myös HTP-arvojen osalta.
Kiinteä työpiste, palvelupiste tms.	10			Ulkoilmavirta tuotava suuressa tilassa työpisteeseen vedottomasti
Laboratoriot ja muut vastaavat tilat joissa käsitellään terveydelle haitallisia aineita	6	2		Ilmanvaihto 6 dm ³ /s, hlö + 2 dm ³ /s,m ² Paikallispoistot ja vetokaapit selviin epäpuhtauspäästölähteisiin, korvausilma järjestettävä, suunnittelussa otettava huomioon laitteiden käytön samanaikaisuus
Autokorjaamot ja katsastustilat	6	2		Ilmanvaihto 6 dm ³ /s, hlö + 2 dm ³ /s,m ² Kohdepoistot selviin rajattuihin epäpuhtauslähteisiin ja ajoneuvojen pakokaasuihin ¹⁾
Varastot	6	0,35-1,0		Varastoitavan tavarun mukaan ilmanvaihto 6 dm ³ /s, hlö + 0,35...1,0 dm ³ /s,m ²

Opinnäytetyön kohteessa on myös toimistotiloja (opas 3.2), joissa käytetään toimistorakennuksen (Taulukko 11) ilmavirtoja.

Taulukko 11. Toimistorakennuksen ohjeelliset mitoitusilmavirrat. (Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet, loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista, 7)

Huonetila	Ulko- ilmavirta dm ³ /s,hlö	Ulkoilmavirta dm ³ /s,m ²	Poisto- ilmavirta dm ³ /s,m ²	Muita ohjeita
Toimistohuone	6	1		Suunnittelu suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan
Avotoimisto tai kokonaan avoin työskentelyalue	6	1,5		Suunnittelu suurempaan ilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan, tilan kokonaispinta-alaa kohden
Neuvotteluhuone, kokoontumistila tai vastaava	6	3		Mitoitus suurempaan kokonaisilmavirtaan johtavan kriteerin mukaan. Tarpeen mukainen ohjaus, jos yli 10 hengelle
Käytävä, joka on tarkoitettu vain läpikulkuun		0,5		Ilmavaihtoon tarkoitettu ilma voi olla siirtoilmaa toimistohuoneista
Kahvio, taukotila		2		
Varasto			0,35	
Tulostus-, kopiointi- yms. tilat			2	Mitoitus laitteiden mukaan, tuloilmana siirtoilmaa esim. käytävistä

Lisäksi opas 3.14 antaa ohjearvot tiloihin joita on monissa rakennustyypeissä, kuten hygienia-tilat ja vessat. Taulukossa 12 nämä ohjearvot.

Taulukko 12. Tiloja, joita on monessa rakennustyypissä (kuten hygieniatilat). (Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet, loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista, 22)

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm ³ /s,hlö	Ulkoilma- virta dm ³ /s,m ²	Poistoilma- virta dm ³ /s,m ²	Muita ohjeita
Käytävät ja aulat, jotka toimivat myös odotustilana (julkinen hallinto, terveydenhuolto, sosiaalihuolto, sairaalat jne.)		3		
Käytävät, joita käytetään pääasiallisesti vain läpikulkuun		0,5		Suurempi ilmanvaihto jos käytävässä muuta toimintaa (kuten koulut, lääkärikeskukset, sairaalat, julkiset palvelut)
WC (yleisötilat, työpaikat, henkilökunta, asiakkaat, koulut, kasarit jne.)			20 dm ³ /s,WC-istuim	
Suihkutilat, runsas käyttö, kuten liikuntatilat		5	16 dm ³ /s,suihku	Suunnitellaan suuremman vaihtoehdon mukaan. Tuloilma osittain tai kokonaan siirtoilmaa LVI 06-10449
Suihkutilat, vähäinen käyttö kuten henkilökunnan tilat			16 dm ³ /s,suihku	Tuloilma osittain tai kokonaan siirtoilmaa LVI 06-10449
Henkilökunnan pukuhuoneet			4 dm ³ /s,hlö	Pukuhuonetta käyttävien henkilöiden lukumäärä arvioidaan pukukaappien lukumäärän perusteella (1 tai 2 kpl/hlö, työvaatteet ja siviilivaatteet) LVI 06-10449
Yleisön pukuhuoneet		3		
Henkilökunnan taukotila		2		
Porrashuone		0,5 1/h	0,5 1/h	
Tupakointitila				LVI STM-00361 ²¹⁾

5.2 Mitoituksessa käytettävät ilmavirrat

Edelliseen pohjautuen mitoituksessa käytetään taulukon 13 mukaisia ilmavirtoja.

Taulukko 13. Mitoituksessa käytettävät ilmavirrat.

varastotilat	0,35 l/s/m ²
tehdastyön tilat	2,0 l/s/m ²
toimistotilat	1,5 l/s/m ²
taukotilat	2 l/s/m ²
WC-tilat	20 l/paikka

5.3 Uusien tulo- ja poistoilmavirtojen määrittäminen

Uudet ilmamäärät määritetään aiemmin esitettyjen säädösten mukaan. Mitoitus suoritetaan lattianeliöiden perusteella kolmesta syystä. Ensinnäkin on mahdoton tietää kussakin hallissa kullakin hetkellä työskentelevien ihmisten määrä sellaisella tarkkuudella, jotta saataisiin läsnäolon perusteella aikaan tarvittava ilmanvaihto. Toiseksi hallit ovat niin suuria, että läsnäolevien ihmisten määrän perusteella mitoittaessa ilmavirrat jäävät aivan liian pieniksi. Kolmas syy pinta-alaperusteisen mitoituksen suosimiseen on se, että kohteen ilmanvaihtokoneita ohjataan vain aikaperusteisesti, eikä niissä ole mahdollisuutta esim. hiilidioksidiperustaiseen ohjaukseen. Vaikka tällainen ohjaus voitaisiin toteuttaa, ei siinä ole järkeä. Hallit ovat isoja ja tällaisten anturien sijoittelun tai toiminnan muutoin mennessä pieleen koneiden ohjaus voitaisiin saada totaalisen sekaisin. Hallissa olevien ihmisten lukumäärä tiedetään kuitenkin riittävän tarkalla haarukalla, jotta voidaan luoda toimivia aikaohjelmia eri käyttöasteen aikoihin.

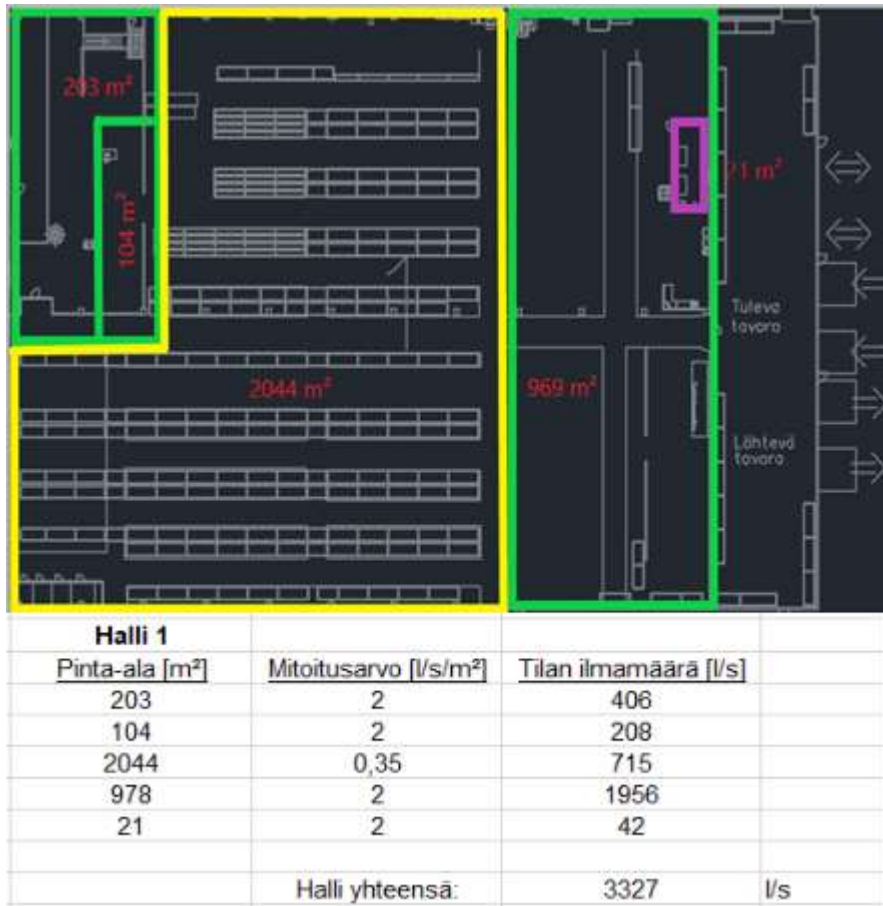
Hallin sisällä alueet ovat jaettuna pääasiassa taulukon 13 mukaisiin alueisiin. Nämä alueet löytyvät eroteltuina eri väreillä jokaisesta pohjakuvasta. Pohjakuvissa on käytetty havainnollistamisen vuoksi eri värejä luomaan käsitys siitä, minkälaista toimintaa kussakin hallin osassa suoritetaan. Värien selitykset ilmenevät taulukosta 14.

Taulukko 14. Värikoodien selitykset.

Keltainen	Varastotila
Vihreä	Tehdastyön tila
Sininen	Toimistotila
Lila	Taukotila
Ruskea	WC-tila

5.3.1 Hallin 1 ilmamäärien mitoitus

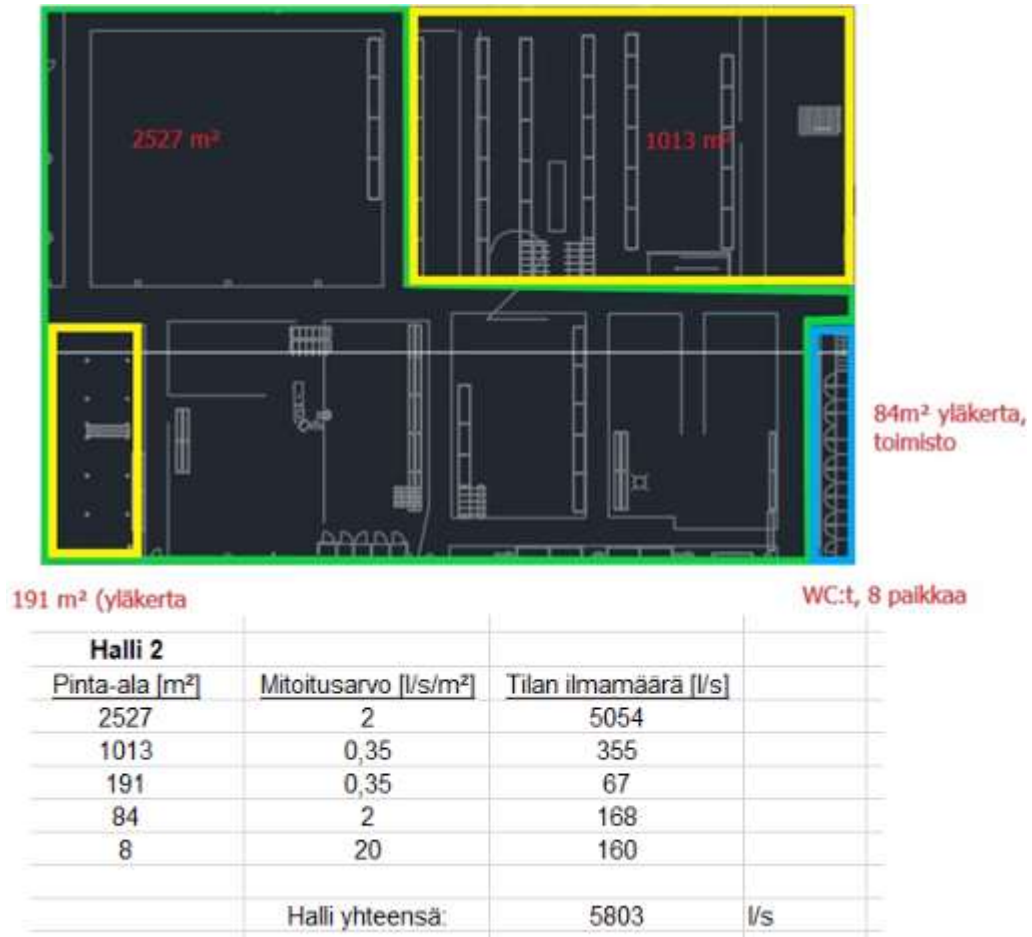
Kuvassa 18 on esitetty hallin pohjapiirros sekä sitä vastaava mitoitusdata sitä vastaava alue kerrallaan. Hallin tarvitsema poisto- ja tuloilmamäärä on ilmoitettu ”halli yhteensä”-kohdassa.



Kuva 18. Hallin 1 mitoitus.

5.3.2 Hallin 2 ilmamäärien mitoitus

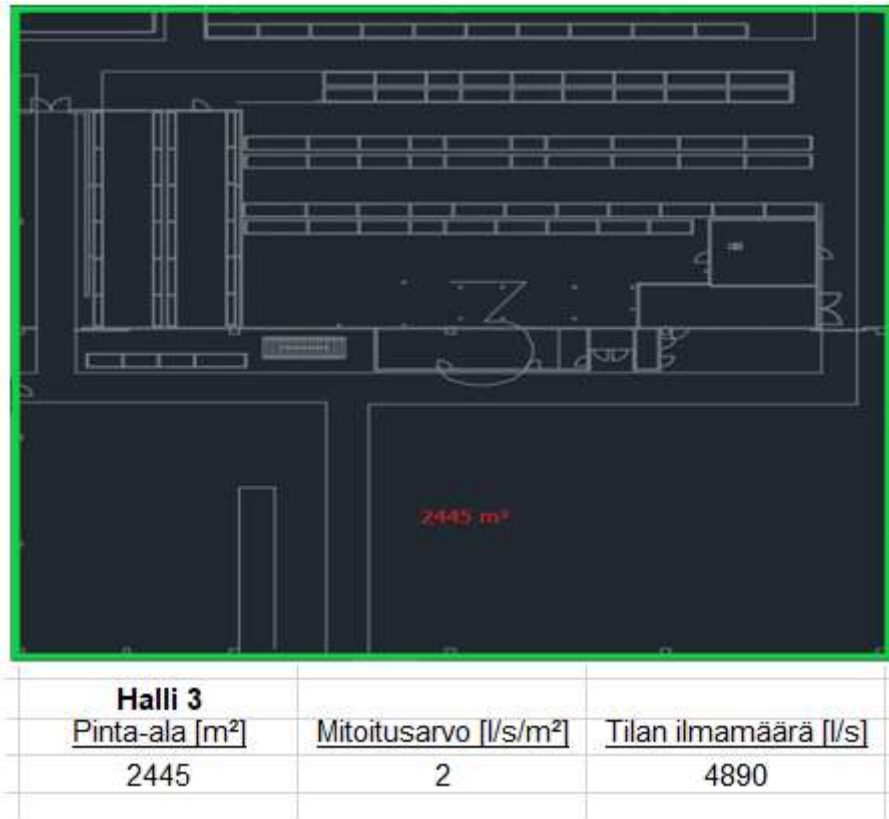
Kuvassa 19 on esitetty hallin pohjapiirros sekä sitä vastaava mitoitusdata sitä vastaava alue kerrallaan.



Kuva 19. Hallin 2 mitoitus.

5.3.3 Hallin 3 ilmamäärien mitoitus

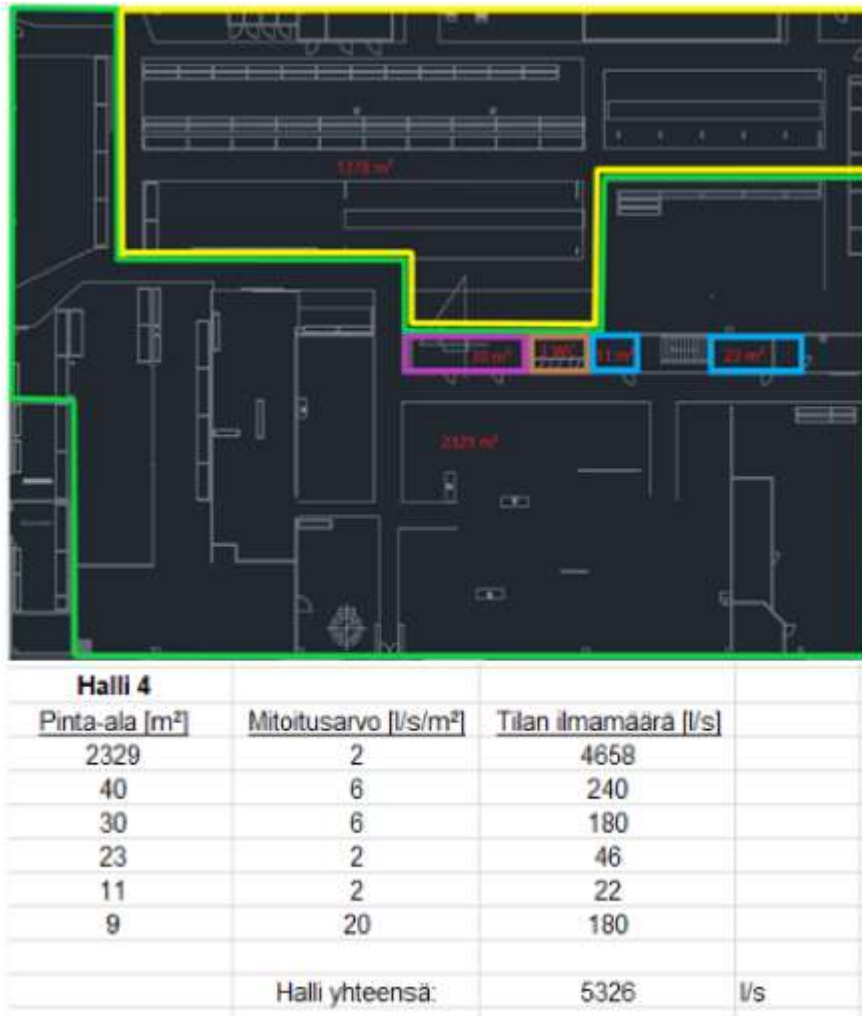
Kuvassa 20 on esitetty hallin pohjapiirros sekä sitä vastaava mitoitusdata sitä vastaava alue kerrallaan.



Kuva 20. Hallin 3 mitoitus.

5.3.4 Hallin 4 ilmamäärien mitoitus

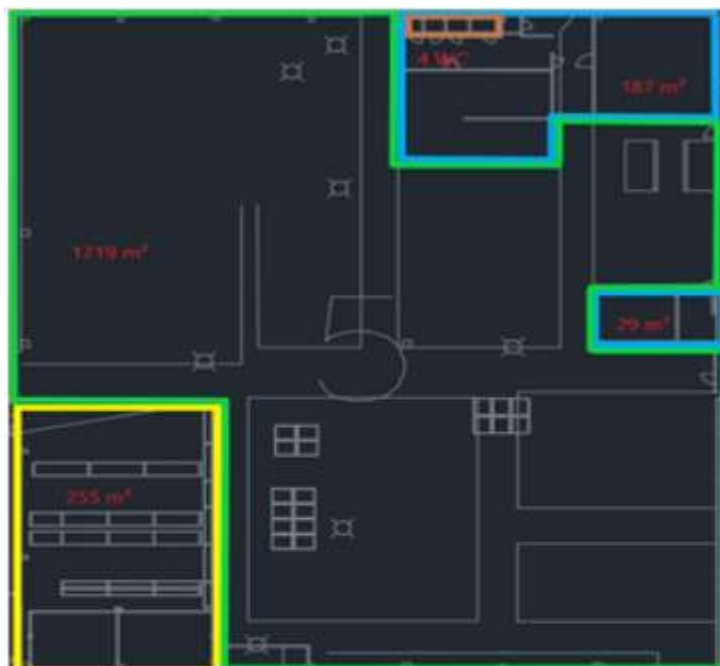
Kuvassa 21 on esitetty hallin pohjapiirros sekä sitä vastaava mitoitusdata sitä vastaava alue kerrallaan.



Kuva 21. Hallin 4 mitoitus.

5.3.5 Hallin 5 ilmamäärien mitoitus

Kuvassa 22 on esitetty hallin pohjapiirros sekä sitä vastaava mitoitusdata sitä vastaava alue kerrallaan.



Halli 5		
Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]
1719	2	3438
255	0,35	89
187	2	374
29	2	58
4	20	80
Halli yhteensä:		4039 l/s

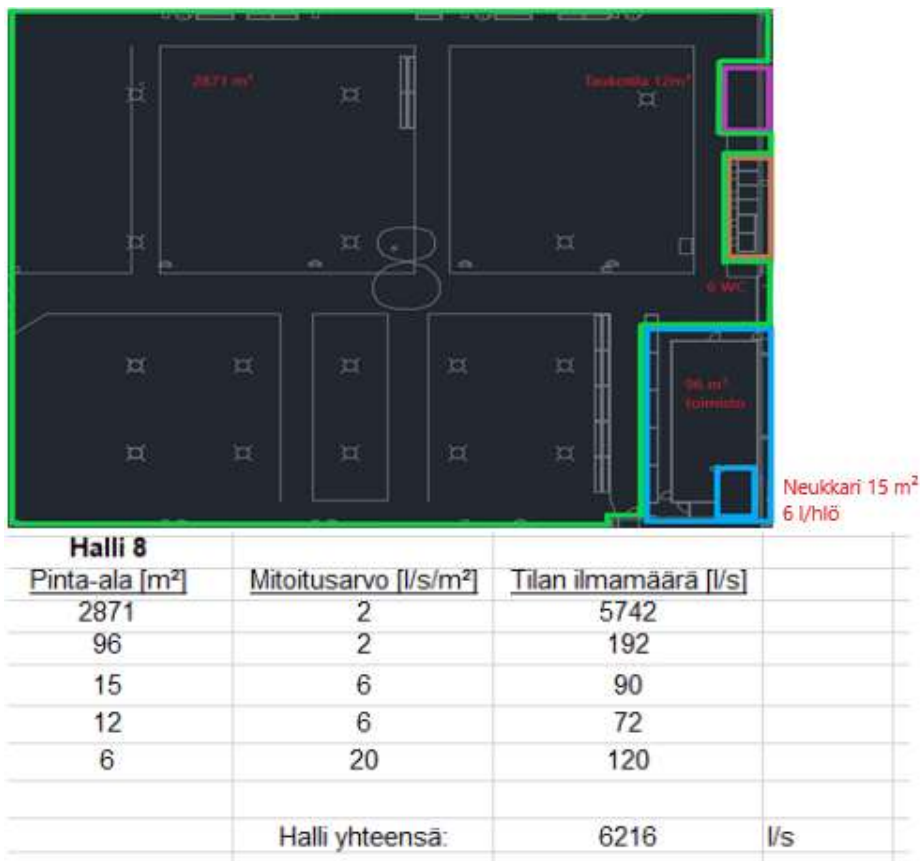
Kuva 22. Hallin 5 mitoitus.

5.3.6 Hallien 6 ja 7 ilmamäärien mitoitus

Kohdan 1.4 mukaisesti hallit 6 ja 7 jätetään mitoittamatta.

5.3.7 Hallin 8 ilmamäärien mitoitus

Kuvassa 23 on esitetty hallin pohjapiirros sekä sitä vastaava mitoitusdata sitä vastaava alue kerrallaan.



Kuva 23. 8-hallin mitoitus.

5.4 Mittauksien ja mitoituksien vertailu sekä johtopäätökset

Taulukossa 15 esitetään yhdessä mitatut vanhat ilmavirrat sekä uudet mitoitetut ilmavirrat. Pitää muistaa, että 3-hallia ei oteta säädöissä huomioon. Myöskään 5- ja 8-hallien ilmavirtoja ei ole syytä laskea mitoituksen osoittamaan arvoon hiontakiillotuksen takia.

Taulukko 15. Mitatun ja mitoitetun tilanteen vertailu.

Halli 1			Halli 5						
Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]	Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]				
203	2	406	1719	2	3438				
104	2	208	255	0,35	89				
2044	0,35	715	187	2	374				
978	2	1956	29	2	58				
21	2	42	4	20	80				
Halli yhteensä:		3327	l/s		Halli yhteensä:	4039	l/s		
Mitatut:		tulo	poisto	l/s	Mitatut:	tulo	poisto	l/s	
		2250	680				14400	13800	
Halli 2			Halli 6						
Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]	Ei mitoiteta						
2527	2	5054							
1013	0,35	355							
191	0,35	67							
84	2	168							
8	20	160							
Halli yhteensä:		5803	l/s		Halli 7				
Mitatut:		tulo	poisto	l/s	Ei mitoiteta				
		5500	7300						
Halli 3			Halli 8						
Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]	Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]				
2445	2	4890	2871	2	5742				
Mitatut:		tulo	poisto	l/s	Mitatut:	tulo	poisto	l/s	
		7700	5100				9900	17300	
Halli 4			Halli 8						
Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]	Pinta-ala [m ²]	Mitoitusarvo [l/s/m ²]	Tilan ilmamäärä [l/s]				
2329	2	4658	96	2	192				
40	6	240	15	6	90				
30	6	180	12	6	72				
23	2	46	6	20	120				
11	2	22	Halli yhteensä:			6216	l/s		
9	20	180	Mitatut:		tulo	poisto	l/s		
Halli yhteensä:		5326			9900	17300			
Mitatut:		tulo	poisto	l/s					
		10200	7300						

Taulukosta 15 ilmenee, että 1-hallin tilanne on hyvä. Hallissa olevien kiertoilmaa säätelevien koneiden ansiosta ilmamääriä ei tarvitse säädellä, vaikka mittaus- ja mitoitustulokset eivät olekaan litramääräisesti samat. Myös 2-hallin tilanne on entisellään kunnossa.

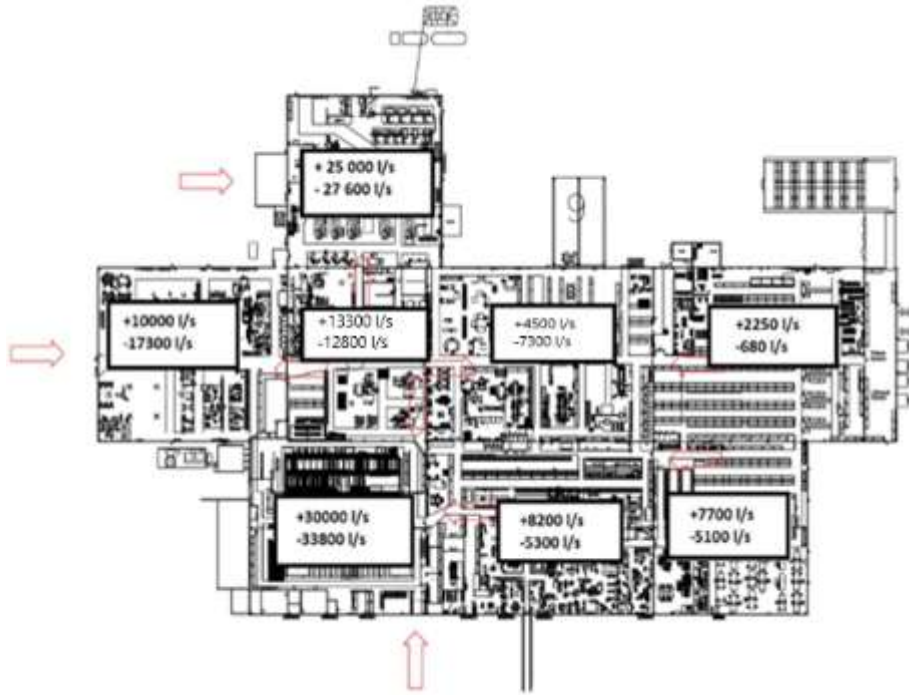
3-hallia ei uudelleen säädetä tämän perusteella, vaikka se onkin mitoituksessa otettu mukaan. Tämä sen takia, että nähdään poistoilman tarve pelkän henkilökuorman perusteella. Kun yhtälöön otetaan vielä yli 20 muovikonetta, voidaankin arvioida poistoilmamäärän olevan riittämätön.

4-hallissa huomataan olevan aivan liikaa tuloilmaa. Tilan käyttötarkoitusta on muutettu viimeaikana kokoonpanosta varastotilaksi. Alennetaan 4-hallin tulo- ja poistoilmamääriä 2 m³/s.

5- ja 8-halleissa tulo- ja poistoilmaa vähennetään koeluonteisesti 1 m³/s molemmista. Tilanteen stabiiliutta on vaikea arvioida hiontakiillotuksen aiheuttamien epäpuhtauksien takia, ja siksi ei olekaan perusteita rajulle tiputukselle aivan mitoituksen sallimiin ala-arvoihin, koska se todennäköisesti johtaisi huonoon ilmanlaatuun tiloissa.

Suureen epäpuhtauskuormaan perustuen 6- ja 7-hallit jätetään tämän opinnäytetyön osalta mitoittamatta.

Kuvassa 24 on esitetty ilmavirrat ja ilman virtaussuunnat hallien sisällä uudelleen mitoituksen jälkeen. Virtaussuunnat tulevat pysymään samanlaisina kuin aiemminkin. Muutokset ovat loppukädessä melko pieniä.



Kuva 24. Mitoituksen jälkeiset ilmavirrat hallin sisällä.

6 AIKAOHJELMIEN OPTIMOINTI

6.1 Desigo Insight

Rakennusautomaatiojärjestelmä Rauman tehtaalla on Siemensin toimittama Desigo Insight. Järjestelmä on kytketty Siemensin etävalvomoon, josta voidaan vaikuttaa kriittisiin asetuksiin mm. lämmityspiirien säätökäyriin. Tämän lisäksi järjestelmän pääasialliset käyttäjät (kunnossapidon päivystäjät ja huoltajat) pääsevät käsiksi hälytystietoihin sekä käyntiä ohjaaviin aikaohjelmiin (Siemens Oy:n www-sivut 2018).

6.2 Aikaohjelman määrittelmä

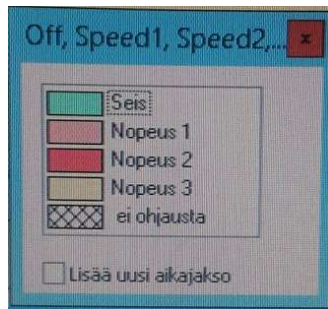
Aikaohjelmalla käsitetään rakennuksen automaatiojärjestelmässä oleva toiminto, joka ohjaa ilmanvaihtokoneen käyntiä. Koneen käyntiastetta voidaan ohjata monen eri datan, kuten esimerkiksi huoneen lämpötilan, perusteella (Sandberg 2014, 301). Kohteen eri koneisiin onkin asetettu monia noudatettavia parametreja, kuten esimerkiksi sisäänpuhalluslämpötila, josta kerätty data ohjaa ilmastointikoneen lämmöntalteenotto- ja lämmityspatteria. Tässä tapauksessa kaikille koneille erikseen on aktiivisesti mitattavien suureiden lisäksi määritelty aikataulu, jota koneen käyntiaste seuraa. Kaikkien automatiikkaan kytkettyjen tuotantotilojen ilmanvaihtokoneiden käyntiastetta ohjataan täten. Rakennuksen automaatiojärjestelmä Desigo Insight:ssa on oletuksena koneille viikkonäkymä, mutta koneille voidaan luoda erilaisia profiileja mm. kuukausi- tai vuosinäkömällä avulla.

Kuvassa 25 on esitetty esimerkki ilmanvaihtokoneen aikaohjelmasta viikkonäkymässä. Kuvan kone on ohjattu käymään määritetyllä ilmavirralla maanantaista klo 4:00 alkaen perjantain klo 22:00 saakka. Viikonloppuna koneen käyntiaste on 0, jolloin kone ei käy.



Kuva 25. Erään ilmanvaihtokoneen aikaohjelma viikkonäkymässä.

Aikaohjelmissa puhaltimien pyörimisnopeutta kuvataan erikokoisin ja -värisin palkein. Värien selityksen löytyvät kuvasta 26.



Kuva 26. Pyörimisnopeutta kuvaavat värit.

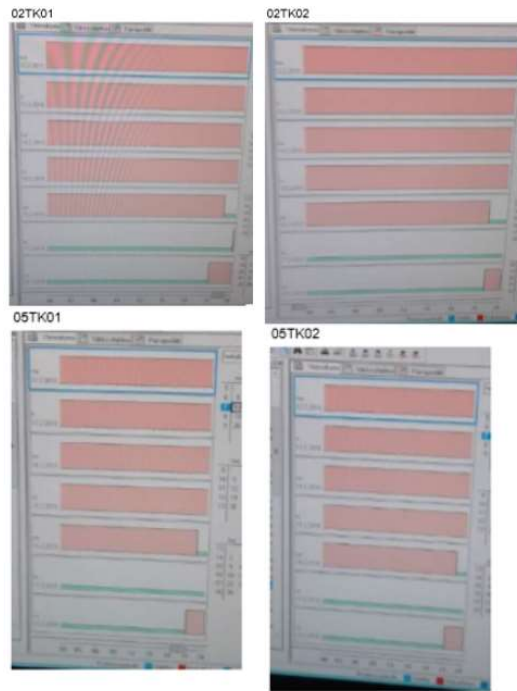
6.3 Aiemmat aikaohjelmat

Aikaisempien aikaohjelmien tarkastelua varten alkuperäiset ohjelmat löytyvät liitteestä 1 niistä koneista, jotka ovat kytketty automaatiikkaan. Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, että vain muutamien koneiden käyntiaikaa olisi syytä tarkentaa. Aikaohjelmia optimoidaan vähentämään ilmanvaihtoa aikoina, jolloin hallissa oleskelee henkilöitä vain vähän tai ei ollenkaan. Tämä aikaohjelmien optimointi kohdistetaan vain halleihin 2, 5 ja 8, koska näissä halleissa epäpuhtauspäästöt riippuvat pitkälti työntekijöiden lukumäärästä. Ohjelmien lähempään tarkasteluun tarvitaan tarkempia tietoja henkilömäärästä kussakin vuorossa, jonka takia toteutettiin sähköpostikysely tuotannon esimiehille. Kyselystä kuitenkin selvisi, että halleissa työskentelee niin vähän ihmisiä, että mitään ilmanvaihdon osa-aluetta ei voida mitoittaa henkilömäärästä riippuvaksi.

6.4 Aikaohjelmiin tehtävät muutokset

Aikaohjelmiin tehdään muutoksia seuraavissa koneissa:

02TK01, 02TK02, 05TK01 ja 05TK02. Kuvasta 24 ilmenee näiden koneiden entiset aikaohjelmat. Jokaiseen koneeseen tehdään käyntitehon puolitus aikavälille 23-04.



Kuva 24. Paranneltavien koneiden aikaohjelmat.

7 SÄÄSTÖPOTENTIAALIN ARVIOINTI

Säästöä tulee kertymään viidestä kohteesta. Nämä ovat lämpöenergian säästö vähentyneen tuloilman lämmityksen takia, vähentynyt lämpöenergian säästö aikaohjelmien parannuksen takia, vähentynyt puhallinsähkön käyttö vähentyneen tulo- ja poistoilma- virran takia, vähentynyt puhallinsähkö aikaohjelmien takia sekä vähentynyt puhaltimien sähkönkulutus pölynpoiston automatiikkaan liittämisen takia. Seuraavassa lasketaan jokaisen kohdan säästöpotentiaali. Oheisessa taulukossa 16 on esitetty yleispätevät lähtötiedot laskennalle.

Taulukko 16. Laskennan lähtötietoja.

LTO teho	0,6	
Lämmitettävä osuus	0,4	
Päiviä vuodessa	365	d
Keskilämpötila	5	°C
Ilman oml.kapasiteetti	1,2	kJ/kg i
Sisäänpuhalluslämpö	19	°C
Lämpötilaero	14	°C
Lämpöenergian hinta	0,05	€/kWh
SFP-luku	3	kW/(m ³ /s)
Sähkön hinta	0,09	€/kWh

Taulukossa LTO:n teho on arvioitu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, jolla lämmistä poistoilmasta siirretään lämpö kylmään tuloilmaan. Kaikissa isoimmissa ilmanvaihtokoneissa tehtaalla on pattereilla ja liuosnesteiden välityksellä toimivat lämmöntalteenottokoneistot. Tämä, ja koneen iät huomioiden voidaan arvioida 0,6 olevan melko optimistinen arvio lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta.

Vuoden käyttöpäivien lukumääränä on laskennassa osittain käytetty 260:tä päivää. Tämä perustuu siihen, että yleensä ilmanvaihtokone ei käy viikonloppuisin. Keskilämpötila on Rauman ilmatieteenlaitoksen laskettu tieto toteutuneista lämpötiloista (Ilmatieteenlaitoksen WWW-sivut). Ominaislämpökapasiteetti kuvaa ilman kykyä varastoida itseensä lämpöä. Arvo löytyy aineominaisuustaulukosta. Sisäänpuhalluslämpö on keskimääräinen arvio hallien sisään puhallettavan tuloilman lämpötilasta. Lämpötila vaihtelee halli- ja vuodenaikakohtaisesti. Lämpötilaero on sisäänpuhalluslämmön ja keskimääräisen ulkolämpötilan erotus.

Lämpöenergian hinta on keskimääräinen arvio suuren kiinteistön energianhinnasta ja pitää suullisen tiedon mukaan tehtaan kohdalla suurin piirtein paikkansa. SFP-luku kuvaa ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuutta, tai tässä kohtaa tarkemmin yksittäisen puhaltimen sähkönkulutusta yhtä siirrettävää ilmaa kuutiota kohden sekunnissa (SFP-opas, 2009, 7). Kuten lämpöenergian hinta, myös sähkön hinta on arvioitu ja pitää tiedon mukaan paikkansa. Lähes kaikki ovat muuttuvia yksiköitä, joita voidaan laskennan tarkentuessa tai muiden projektien yhteydessä eri arvoja syöttämällä käyttää ja hyödyntää.

7.1 Lämpöenergian säästö ilmamääriä pienentämällä

Säästetty lämmitysteho lasketaan kaavalla:

$$P_1 = Q_v * 0,4 * c * \Delta T$$

Jossa:

P_1 = Säästetty lämmitysteho [kW]

Q_v = Säästetty ilmamäärä [m³/s]

0,4 = LTO:n jälkeen lämmitettävä osuus [-]

c = Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg i]

ΔT = Lämpötilaero [°C]

Josta lähtöarvoja sijoittamalla saadaan:

$$P_1 = 4 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] * 0,4 * 1,2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg i}} \right] * 14 \text{ [}^\circ\text{C]} = \mathbf{27 \text{ [kW]}}$$

Joten lämmönkulutus vuodessa on:

$$P_2 = P_1 * 18\text{h} * 365\text{d}$$

Jossa:

P_2 = Vuotuinen lämmönkulutus [kW/a]

P_1 = Säästetty lämmitysteho [kW]

18h = Koneen käyntiaika päivässä [h]

365d = Päiviä vuodessa [d]

Josta arvot kaavaan sijoittamalla saadaan:

$$27 \text{ [kW]} * 18 \left[\frac{\text{h}}{\text{d}} \right] * 365 \left[\frac{\text{d}}{\text{a}} \right] = \mathbf{176\ 601 \left[\frac{\text{kW}}{\text{a}} \right]}$$

Lämpöenergian säästö saadaan kertomalla vuotuinen energiansäästö kaukolämmön hinnalla:

$$176\,601 \left[\frac{kW}{a} \right] * 0,05 \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right] = \mathbf{8\,800 \text{ €}}$$

7.2 Lämpöenergian säästö aikaohjelmia parantelemalla

Lämmönkulutus lasketaan aiemman kaltaisesti kaavalla:

$$P_1 = Q_v * 0,4 * c * \Delta T$$

Jossa:

P_1 = Säästetty lämmitysteho [kW]

Q_v = Säästetty ilmamäärä [m³/s]

0,4 = LTO:n jälkeen lämmitettävä osuus [-]

c = Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg i]

ΔT = Lämpötilaero [°C]

02-hallien koneilta tulee noin 2 m³/s ja 5-hallin koneilta noin 6 m³/s yönaikaista säästöä ilmamäärässä. Yhteensä säästetty ilmamäärä on siis 8 m³/s. Koneiden käynnissä säästettiin aikaohjelman ansiosta 5 tuntia aina yhden yön aikana.

Kaavaan sijoittamalla saadaan tulos:

$$8 \left[\frac{m^3}{s} \right] * 0,4 * 1,2 \left[\frac{kJ}{kg} i \right] * 14 [°C] = \mathbf{54 \text{ kW}}$$

Joten lämmönkulutus vuodessa on:

$$54 [kW] * 5 \left[\frac{h}{d} \right] * 365 \left[\frac{d}{a} \right] = \mathbf{98\,112 \left[\frac{kWh}{a} \right]}$$

Lämpöenergian säästö euroina vuodessa:

$$98\,112 \left[\frac{kW}{a} \right] * 0,05 \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right] = \mathbf{4\,900 \text{ €}}$$

7.3 Puhaltimen sähköenergian säästö ilmamäärien muutoksen takia

Sähköenergian vuotuinen kulutuksen säästö lasketaan kaavasta:

$$P_3 = Q_v * SFP * \text{käyttöaika}$$

Jossa:

P_3 = Puhallinenergian säästö [kWh]

Q_v = Säästetty ilmamäärä [m^3/s]

SFP = Arvioitu puhaltimen sähkönkulutus, tässä 3 [$kW/(m^3/s)$]

Käyttöaika = (18h * 365d/a) = 6 570 [h/a]

Kaavaan sijoittamalla saadaan:

$$4 \left[\frac{m^3}{s} \right] * 3 \left[\frac{kW}{\left(\frac{m^3}{s} \right)} \right] * 6\,570 \left[\frac{h}{a} \right] = \mathbf{78\,840 \text{ kWh/a}}$$

Puhallinsähkön säästö lasketaan kertomalla säästetty puhallinenergia sähkön hinnalla:

$$78\,840 \left[\frac{kWh}{a} \right] * 0,09 \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right] = \mathbf{7\,100 \text{ €/a}}$$

7.4 Puhaltimen sähköenergian säästö aikaohjelmien optimoinnin takia

Sähköenergian vuotuinen kulutuksen säästö kuten aiemmin:

$$P_4 = Q_v * SFP * \text{käyttöaika}$$

Jossa:

P_4 = Sähköenergian säästö [kWh]

Q_v = Säästetty ilmamäärä [m^3/s]

SFP = 3 [kW/(m^3/s)]

Käyttöaika = (5 h/d * 25 d/m * 12 m/a) = 1 500 [h/a]

Joten kaavaan sijoittamalla saadaan:

$$8 \left[\frac{m^3}{s} \right] * 3 \left[\frac{kW}{\frac{m^3}{s}} \right] * 1\,500 \left[\frac{h}{a} \right] = 36\,000 \text{ kWh/a}$$

Joten puhallinsähkön säästö vuodessa on:

$$36\,000 \left[\frac{kWh}{a} \right] * 0,09 \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right] = 3\,200 \text{ €/a}$$

7.5 Puhaltimen sähköenergian säästö pölynpoistojen automaatiikkaan liittämisestä

Pölynpoistojen liittäminen automaatiikkaan vähentää poistoilmakoneen ulos puhallettavaksi jäävää ilmamäärää pölynpoistopuhaltimien poistavan määrän verran. Nykyään niitä käytetään samanaikaisesti, mikä ei ole energiatehokasta. Pölynpoistojen ilmamäärä on 5-hallissa noin 5 m^3/s sekä 8-hallissa noin 3 m^3/s .

Sähköenergian vuotuinen kulutuksen säästö kuten aiemmin:

$$P_5 = Q_v * SFP * \text{käyttöaika}$$

Jossa:

P_5 = Sähköenergian säästö [kWh]

Q_v = Säästetty ilmamäärä [m^3/s]

SFP = 3 [kW/(m^3/s)]

Käyttöaika = (8 h/d * 260 d/a) = 2 080 [h/a]

Joten kaavaan sijoittamalla saadaan:

$$8 \left[\frac{m^3}{s} \right] * 3 \left[\frac{kW}{\frac{m^3}{s}} \right] * 2\,080 \left[\frac{h}{a} \right] = 49\,920 \text{ kW/a}$$

Joten puhallinsähkön säästö on:

$$49\,920 \left[\frac{kW}{a} \right] * 0,09 \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right] = 4\,500 \text{ €/a}$$

7.6 Odotettavissa olevat säästöt yhteensä

Odotettavissa olevat säästöt ovat siis näistä viidestä eri lähteestä kerätyt euromääräiset säästöt. Vuosittaiset odotettavissa olevat säästöt ovat:

$$8\,800\text{€} + 4\,900\text{€} + 7\,100\text{€} + 3\,200\text{€} + 4\,500\text{€} = 28\,500 \text{ €}$$

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Tässä kappaleessa tehdään yhteenveto jo mainituista parannuksista sekä listataan vielä mahdollisesti mainitsemattomat kohteet, jotka nousivat esiin opinnäytetyötä tehdessä.

Hallissa 1 suositellaan koneiden uusimisia. Osa on alkuperäisiä ja alkaa olemaan teknisen käyttöikänsä päässä, jopa sen ylitse. Myös muissa halleissa koneiden uusimista suositellaan, sikäli kun niiden tekniset käyttöiät ylittyvät.

2-hallissa suositellaan hallin sisällä olevan vanhemman 02TK01 purkamista (kuva 25) ja 2-hallin tuloilman asettamista kokonaan 02TK02 taakse.



Kuva 25. 02TK01.

3-hallissa mietitään poistoilmamäärän nostamista. Selvitetään tarve tehokkaammalle puhaltimelle.

4-hallissa ilmamääriä pienennetään (varaston puoli). Hallin sisäisten muutosten aiheuttamien kanavamutosten tiimoilta ilmanvaihdon mittaus ja säätö oikeaan toimintapisteeseen.

5-hallissa ilmamääriä pienennetään. Ehdotetaan pölynpoistojärjestelmien liittämistä rakennusautomaatioon.

6 ja 7-halleissa ehdotetaan suoritettavaksi tarpeelliset mittaukset kromauksesta ja valuprosessista peräisin olevien epäpuhtauksien poistamiseen tarvittavan ilmavirran tarkempaan määrittelyyn.

6-hallissa ehdotetaan myös messinkikromaamoon puhaltavien tuloilmakoneiden (04TK02 ja 06TK02) uusimista.

Suosittelaa myös ilmanvaihtokoneiden uusimisten/isompien korjausten yhteydessä energianmittauksien lisäämistä siten, että energiankulutusta voidaan valvoa konekohtaisesti.

LÄHTEET

Yrityksen energiakatselmus, Oras Oy, Lauri Niskakangas, Enegia Consulting Oy, Jyväskylä 5.12.2015. Viitattu 27.5.2018.

Sandberg, Esa, 2014, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 2. Tammerprint

Sirén, K. 1995, Ilmastointitekniikan mittaukset. Tietonova. Espoo.

FläktWoods, 2013. Mittaus- ja säätölaite IRIS. Viitattu 28.5.2018
<http://m.flaktwoods.fi/f0d83e62-93fd-4b6a-b348-d2bc193f9872>

Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet

Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista, selvitys muiden kuin asuinrakennuksen tilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjeistoista ja selvitys asuinrakennuksen asuintilojen ja yhteistilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjeistoista. FINVAC ry, Helsinki 30.11.2017

SFS-EN 12599 2013, 70-80

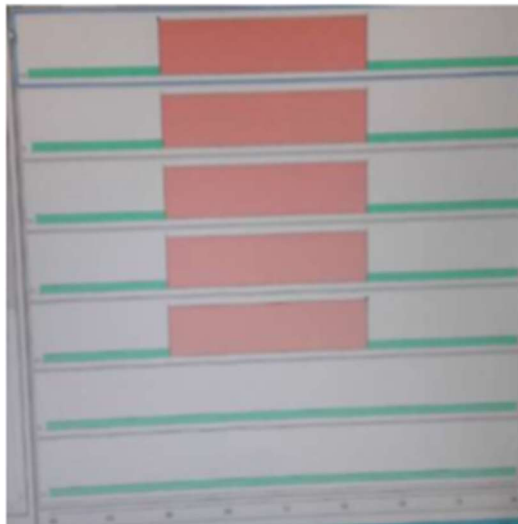
Ilmatieteenlaitoksen WWW-sivut (Viitattu 31.5.2018).
<http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>

SFP-opas, 3. painos Heinäkuu, 2009 LVI-talotekniikkateollisuus ry. (Viitattu 31.5.2018)
<https://www.energiakoulutus.fi/images/stories/archive/rakm/sfp-opas-painos3-v2009-heinakuu.pdf>

Siemens Oy:n WWW-sivut (Viitattu 22.5.2018).
http://www.siemens.fi/fi/infrastructure_and_cities/talotekniikka/rakennusautomaatio/saatolaitteet_ja_jarjestelmat/desigo_insight_valvomo.htm

Aikaohjelmat koneittain. Viikkonäkymä.

01TK01



01TK02



02TK01



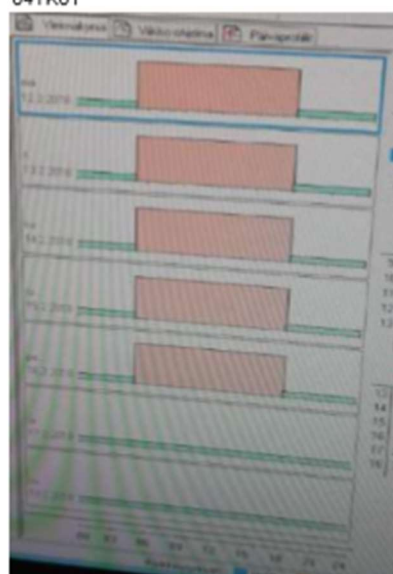
02TK02



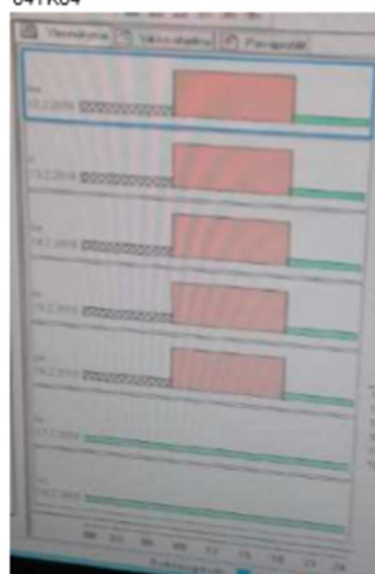
03TK04



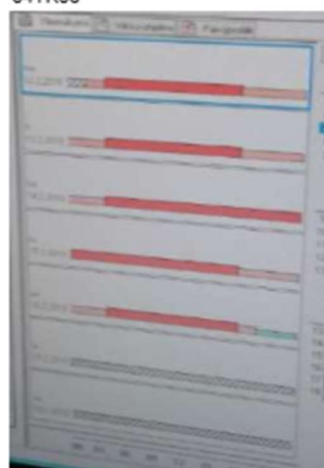
04TK01



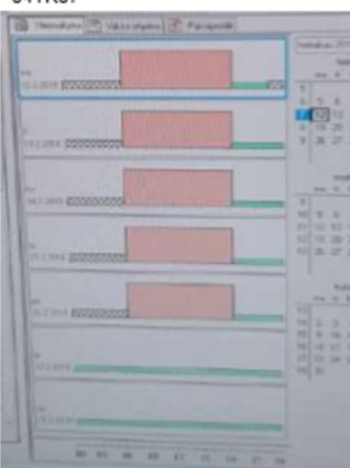
04TK04



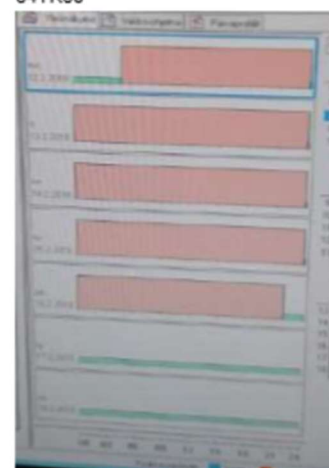
04TK06



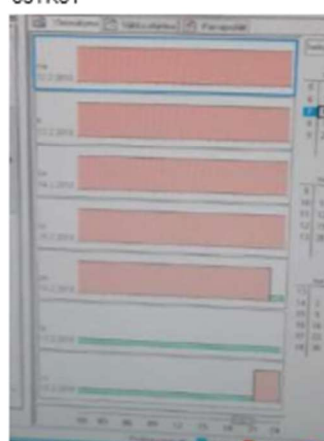
04TK07



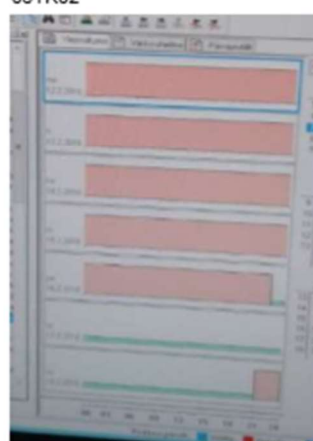
04TK09



05TK01



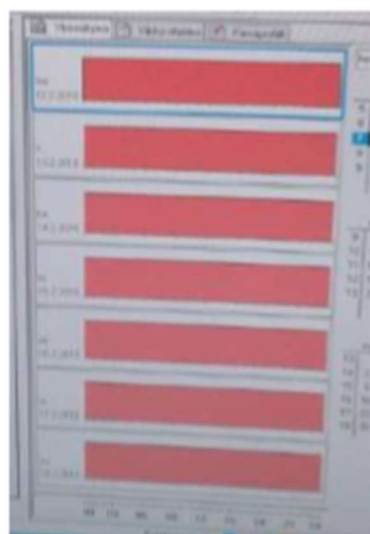
05TK02



08TK02



08TK03



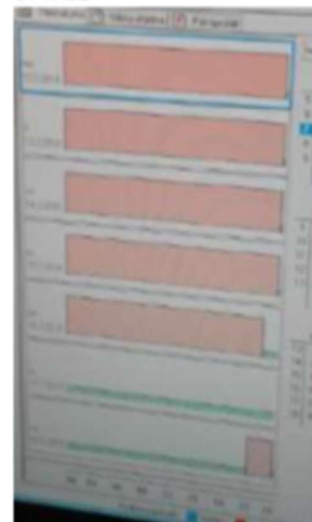
08TK05



08TK06



04TK02



07TK01



08TK01

