

# Hitsaushallin ilmanvaihto-, kohdepoisto- ja lämmöntalteenottoratkaisut

**Kosti Tahvanainen**

Opinnäytetyö

---

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Kosti Tahvanainen	
Työn nimi Hitsaushallin ilmanvaihto-, kohdepoisto- ja lämmöntalteenottoratkaisu	
Päiväys 30.11.2011	Sivumäärä/Liitteet 31/1
Ohjaaja(t) Harri Heikura	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Karibu Oy	
Tiivistelmä <p>Nykyisin Javasko Oy:n teollisuushallin ilmastoinnissa menee energiaa hukkaan kohdepoistopuhaltimien kautta, koska ne puhaltavat kaiken lämpimän ilman hallista ulkoilmaan. Ennen kaikkea talvella energiahäviöt ovat suuria, joten hallin lämmöntalteenoton parantamiselle on tarvetta.</p> <p>Insinööriyön tavoitteena on selvittää nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja tehdä suunnitelma sen energiatehokkuuden parantamiseksi.</p> <p>Työn ensimmäisessä vaiheessa piirrettiin Vilppulassa sijaitsevan Javasko Oy:n tehdashallin (5600 m<sup>2</sup>) nykyisen ilmanvaihtokanaviston ja kohdepoistokanaviston pohjakuvat ja ilmastoinnin ohjauksen toimintakaavion sähköiseen muotoon AutoCad-ohjelmalla.</p> <p>Insinööriyön toisessa vaiheessa tehtiin edellä luotujen piirrosten pohjalta suunnitelmat ja laskelmat järjestelmien energiatehokkuuden parantamiseksi. Työn tuloksena suunniteltiin ilmastointikoneet taajuusmuuttajakäyttöisiksi ja paineohjatuiksi. Toisena tuloksena suunniteltiin nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä suurimman kohdepoistopuhaltimen ja tuloilmakoneen välille.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin asiakkaalle tehdashallin energiaa säästävät IV-toimintakaavio- ja pohjapiirrokset uusine järjestelmineen toteutusta varten.</p>	
Avainsanat Ilmastointijärjestelmä, Lämmöntalteenotto, Kohdepoistojärjestelmä	

Field of Study Technology Communication and Transport			
Degree Programme Mechanical Engineering and Production Technology			
Author(s) Kosti Tahvanainen			
Title of Thesis Ventilation, Local Exhaust Ventilation and Heat Recovery solution of a Welding Hall			
Date	30.11.2011	Pages/Appendices	31/1
Supervisor(s) Harri Heikura			
Client Organisation/Partners Karibu Ltd			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The thesis was done for a company called Javasko Ltd which is located in Vilppula, Finland. My tasks were focused the air conditioning system of their factory facilities (5600m<sup>2</sup>).</p> <p>At the first phase two Autocad drawings were drawn (Layout drawing and function diagram drawing) on the current air channels and local exhaust ventilation system of the factory facility. After the present state documentation my second task was to design a way to improve the energy efficiency of the air conditioning systems. The first improvement design solution was to equip all air-conditioning supply air and exhaust fans with a variable frequency drive (VFD) and interior pressure control with the exhaust fan VFD. Second improvement idea was to design a heat recovery system between the largest local exhaust ventilation fan and supply air machine.</p> <p>The end result was that we gave two drawings (Layout drawing and activity diagram drawing) to the customer which include all the new systems.</p>			
<p><b>Keywords</b></p> <p>Air-conditioning system, Heat recovery, Exhaust ventilation system</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Työn tausta ja tavoitteet .....	6
2	ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN TEOREETTISTA TARKASTELUA.....	7
2.1	Perusilmanvaihto .....	7
2.2	Teollisuusilmanvaihto .....	7
3	NYKYINEN JÄRJESTELMÄ.....	9
3.1	Tuloilmakoneet .....	9
3.2	Poistoilmakoneet.....	10
3.3	Tuloilmanhajottimet .....	10
3.4	Poistoilmanimukartiot .....	11
3.5	Kohdepoistojärjestelmä .....	12
3.5.1	Kohdepoistopuhaltimet.....	13
3.5.2	Kohdepoistot.....	14
4	UUDET JÄRJESTELMÄT .....	16
4.1	Tuloilmakoneet.....	16
4.2	Poistoilmakoneet .....	16
4.3	Paineohjaukset.....	16
4.4	Poistoilman lämmöntalteenotto (LTO).....	17
4.5	Polttoleikkaukoneen kohdepoisto.....	17
4.6	Poistoilman lämmöntalteenoton lämpötekniinen hyvyys ja taloudellisuus .....	18
4.6.1	Rakentamismääräykset ja -suositukset.....	19
4.6.2	Lämmöntalteenottojärjestelmän käsitteitä .....	20
4.6.3	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta.....	23
4.6.4	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton säästöjen laskenta.....	26
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	28
	LÄHTEET .....	30
	LIITTEET .....	31

Tässä työssä käytetyt keskeisimmät käsitteet ja niiden lyhenteet:

Punakynä =	Punakynäpiirros tarkoittaa sitä, että hahmotellaan paikan päällä käsin, mitenkä esimerkiksi ilmastointikanavat tehdashallissa oikeasti kulkevat.
Toimintakaavio =	Esittää järjestelmän pääasialliset kytkennät ja toiminnot
SP =	Säätöpelti
PIK =	Poistoilmanimukartio: Ø315 (kanavahaaraØ250)
PIK1 =	Poistoilmanimukartio: Ø250 (kanavahaaraØ200)
TIH1 =	Tuloilmanhajotin 1: Ø315 (1510x1020x400)
TIH2 =	Tuloilmanhajotin 2: Ø315 1600x830x380)
TK1.7 =	Tuloilmakone 1.7
PK1.7 =	Poistoilmakone 1.7
PDE_PK1.7 =	Poistoilmakone 1.7:n paine-eroanturi
SC_PK1.7 =	Poistoilmakone 1.7:n taajuusmuuttaja
TK5 =	Tuloilmakone 5
PK5 =	Poistoilmakone 5
PDE_PK5 =	Poistoilmakone 5:n paine-eroanturi
SC_PK5 =	Poistoilmakone 5:n taajuusmuuttaja
TK6 =	Tuloilmakone 6
PK6 =	Poistoilmakone 6
PDE_PK6 =	Poistoilmakone 6:n paine-eroanturi
SC_PK6 =	Poistoilmakone 6:n taajuusmuuttaja
KP1 =	Kohdepoisto 1: Letku ja SP = Ø160 ja kanavahaara Ø250
KP2 =	Kohdepoisto 2: Letku ja SP = Ø160 ja kanavahaara Ø200
KP3 =	Kohdepoisto 3: Letku ja SP = Ø160 ja kanavahaara Ø250
KP4 =	Polttoleikkauspisteenkohdepoistohuuva
KPP1 =	Kohdepoistopuhallin 1
KPP2 =	Kohdepoistopuhallin 2
KPP3 =	Kohdepoistopuhallin 3
Layout=	Pohjapiirros
IV=	Ilmanvaihto

## 1 JOHDANTO

Työn kohteena oli Vilppulassa sijaitseva Javasko Oy:n teollisuushalli (Koskihalli). Javasko Oy on keskiraskaan teknologiateollisuuden järjestelmätoimittaja, jonka toimintaan kuuluvat mm. levysepäntyöt, hitsaukset, koneistukset sekä asennukset. Vilppulan toimitilat ovat keskittyneet polttoleikkauksiin ja hitsauksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kyseisen hallin (5600 m<sup>2</sup>) ilmanvaihto- ja kohdepoistojärjestelmien ja niiden energiatehokkuuden parantaminen. Työ suoritettiin käytännössä kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa vierailtiin tehtaalla (11.5.2011) ja tehtiin olemassa olevista IV- ja kohdepoistojärjestelmistä ”punakynäpiirrokset” sekä kerättiin tarvittavat tiedot järjestelmiin kuuluvista laitteista. Näiden tietojen pohjalta piirrettiin Autocad –muotoon järjestelmien layout- ja toimintakaaviopiirrokset (yht. 2 kpl). Tämä vaihe oli tärkeä, koska asiakkaalla ei toistaiseksi ollut käytössään näiden järjestelmien piirroksia missään muodossa.

Toisessa vaiheessa tehtiin edellä luotujen piirrosten pohjalta suunnitelmat ja piirrokset järjestelmien parantamiseksi. Alustavana ajatuksena oli suunnitella ilmastointikoneet taajuusmuuttajakäyttöisiksi ja paineohjatuiksi. Toisena parannuksena suunniteltiin nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä suurimman kohdepoistopuhaltimen ja tuloilmakoneen välille. Mikäli parannussuunnitelmia lähdetään asiakkaan toimesta toteuttamaan, on kyseinen työ mahdollisesti tarkoitus aloittaa ensi syksynä.

### 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Javasko Oy:llä oli tarvetta saada hitsaushallissa jo olevista IV- ja kohdepoistojärjestelmistä sähköiset kuvat käyttöönsä, koska heillä ei näitä ollut entuudestaan ollut. Nykyinen järjestelmä on energiaa tuhlaava, joten energiatehokkuuden parantamiselle oli tarvetta. Tällä hetkellä energiaa menee paljon hukkaan kohdepoistopuhaltimien kautta, koska ne puhaltavat kaiken lämpimän ilman hallista ulkoilmaan. Ennen kaikkea talvella energiaa menee paljon hukkaan tästä syystä, joten oli tarvetta suunnitella halliin lämmöntalteenottojärjestelmä suurimman kohdepoistopuhaltimen ja tuloilmakoneen välille.

## 2 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN TEOREETTISTA TARKASTELUA

Tässä teoreettisessa tarkastelussa eritellään perusilmanvaihto ja teollisuusilmanvaihto. Loput tarkastelut on esitetty luvussa 4.6 alkaen.

### 2.1 Perusilmanvaihto

Ilmanvaihdolla huolehditaan siitä, että tehdashallissa on hyvä ja puhdas sisäilma. Hallista poistetaan epäpuhdasta ilmaa ja tilalle tuodaan raitista ilmaa.

Ilmanvaihto perustuu paine-eroihin, joiden takia ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Paine-erojen syntyvän mukaan ilmanvaihto voi olla joko luonnollinen tai koneellinen. Luonnollisessa ilmanvaihdossa sisä- ja ulkoilman tiheyserot sekä tuloilman ja poistoilman aukkojen korkeuserot synnyttävät alipaineen, jonka ansiosta ilmaa poistuu poistoaukoista ja tuloaukoista tulee korvausilmaa tilalle. Tuloilma-aukot voivat olla esimerkiksi tuloilmaventtiilejä seinässä, ikkunakarmiventtiilejä, tai yhdistettynä niin sanottuihin tuloilmaikkunoihin tai tuloilmapattereihin.

Koneellisessa ilmanvaihdossa poistoilmaputken yläpäähän sijoitetaan poistopuhallin, joka huolehtii riittävästä ilman virtauksesta. Poistopuhaltimen toiminta voi olla joko automaattista tai käsin säädettävää. Myös tuloilmaa voidaan puhalttaa koneellisesti rakennuksen sisätiloihin. Pelkkään poistopuhallukseen perustuvaa koneellista ilmanvaihtoa kutsutaan poistoilmanvaihdoksi, ja kun järjestelmä sisältää myös tuloilman puhalluksen, puhutaan tulo- ja poistoilmanvaihdosta.

Riittävä ja hallittu korvausilman saanti on tärkeää sekä luonnollisen ilmanvaihdon että poistoilmanvaihdon toimivuuden kannalta. Tuloilmapuhalluksen sisältävien järjestelmien etuna on se, että niihin voidaan liittää tuloilman suodatus ja poistoilman lämmön talteenotto, mutta ne vaativat myös enemmän huoltoa ja suodattimien kunnon valvontaa tuloilman puhtauden varmistamiseksi. (Ilmanvaihdon perusteet 2011)

### 2.2 Teollisuusilmanvaihto

Teollisuusilmastointi on työ- ja tuotantotilojen sisäilman ja päästöjen hallintaa ilma- ja lämpötekniikkaa hyväksi käyttäen. Teollisuusilmastoinnista käytetään myös pidempää määritelmää: ”Teollisuusilmastoinnissa virtausteknisin keinoin saavutetaan ja hallitaan turvallinen, terveellinen ja viihtyisä sisäilma teollisuustiloissa ja tiloissa, joissa ilmanvaihdon ja

ilmankäsittelyn tarpeen määrää työntekijän tarpeitten ja toimintojen sekä rakenteellisten asioiden lisäksi, ja useimmiten ensisijaisesti, muut tekijät, kuten tuotantoprosessit". ( Tähti, 2000, 202)



### 3 NYKYINEN JÄRJESTELMÄ

Vilppulan tehdashallin IV-koneet koostuvat kolmesta tuloilmakoneesta (TK 1.7, TK5 ja TK6) ja kolmesta poistoilmakoneesta (PK 1.7, PK5 ja PK6). Tuloilmakoneista suurin on TK 1.7, jonka kapasiteetti on n. 4,0 m<sup>3</sup>/s. TK5 ja TK6 ovat samankokoisia ( n. 3,2 m<sup>3</sup>/s).

#### 3.1 Tuloilmakoneet

IV-konehuoneet sijaitsevat tehdashallin katolla. IV-konehuoneita Vilppulan tehdashallissa on kaksi. Tuloilmakoneet on sijoitettu sillä tavoin, että TK 1.7 on omassa konehuoneessaan ja TK5 ja TK6 ovat samassa tilassa. Halli on jaettu kolmeen osaan ja jokaiselle tuloilmakoneelle on oma tilansa hoidettavana. Tuloilmakoneitten parannus ajatuksena oli, että ne laitettaisiin taajuusmuuttajakäyttöisiksi. Tällä toiminnalla voidaan säädellä koneitten ilmamäärää haluttaessa. Esimerkiksi, jos viikonloppuisin tehdashallissa ei ole toimintaa, taajuusmuuttajalla voidaan laskea kunkin tuloilmakoneen ilmamäärää haluttuun arvoon. IV-toimintakaaviopiirroksen tuloilmakoneitten taajuusmuuttajat on merkitty SC\_TK1.7, SC\_TK5 ja SC\_TK6 merkinnöillä.



Kuva 1. IV-konehuoneet

Kuvassa 1 näkyy IV-konehuoneet, joidenka sisällä sijaitsee tuloilmakoneet ja poistoilmakoneet. Ensimmäisenä kuvassa oleva konehuoneisto sisältää TK5, PK5, TK6 ja PK6 ja taustalla näkyvä konehuone TK1.7 ja PK1.7.

### 3.2 Poistoilmakoneet

Jokaista tuloilmakonetta vastaa poistoilmakone (PK 1.7, PK5 ja PK6). Kukin poistoilmakone on kapasiteetiltaan samankokoinen kuin vastaava tuloilmakone. Poistoilmakoneet sijaitsevat IV-konehuoneessa.

Tarkkaa tietoa siitä, miten kaikki koneet on sijoitettu konehuoneistossa ei ole, koska emme päässeet käymään kyseisissä huoneistoissa vierailumme aikana. Koneiden tarkalla sijoituksella ei kuitenkaan ollut merkitystä työn suorittamisen kannalta.

Parannusajatuksena poistoilmakoneille oli se, että nekin muutettaisiin taajuusmuuttajakäyttöisiksi ja paineohjatuiksi. Paine-eroanturit (PDE\_PK1.7, PDE\_PK5 ja PDE\_PK6) ohjaavat mittausten perusteella vastaavien taajuusmuuttajien (SC\_PK1.7, SC\_PK5 ja SC\_PK6) avulla poistoilmapuhallinten ilmamäärää siten, että hallin sisäilman paine on ulkoilman painetta suurempi. Tällä kompensoidaan kohdepoistopuhallinten aiheuttamaa alipainetta hallissa ja estetään siten raajan ulkoilman hallitsematon virtaus hallitilaan.

### 3.3 Tuloilmanhajottimet

Tuloilmakoneet siirtävät ulkoilmaa kanavia pitkin tuloilman hajottimille ja niitä kautta tehdashalliin. Tuloilman hajottimia on Vilppulan hallissa kahdenlaisia (TIH1 ja TIH2). TIH1 on mitoiltaan suurempi kuin TIH2 (TIH1=1510x1020x400 mm ja TIH2=1600x830x380 mm).

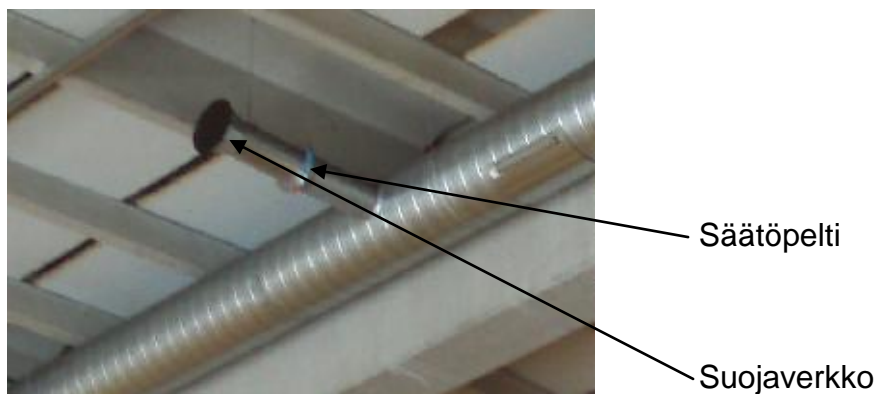
Kuvassa 2 on esitetty TIH1 ja sen sijoitus lattiatasoon. Osa hajottimista on sijoitettu myös tehdashallin seinille tilan parantamisen vuoksi. Kaikkien tuloilmahajottimien kanavakoko ennen, kuin se liittyy tuloilman runkokanavaan on  $\varnothing 315$  mm. Kaikki hajottimet sisältävät säätöpellin (kuvassa 2).



Kuva 2. Tuloilmanhajotin (TIH1)

### 3.4 Poistoilmanimukartiot

Poistoilmapuhaltimet poistavat hallista ilmaa imukartioitten kautta, jotka on sijoitettu poistoilmakanavaan. Poistoilman imukartioita on kahdenlaisia (PIK ja PIK1).



Kuva 3. Poistoilman imukartio (PIK1)

Kuvassa 3 näkyy, miten imukartio on sijoitettu poistoilmakanavaan. Poistoilmakanavasta lähtevän imukartion (PIK1) kanava koko on  $\varnothing 200$  mm ja kartiomainen loppuosa on halkaisijaltaan 250 mm. Vastaavasti imukartio PIK:n kanava koko on  $\varnothing 250$  mm ja loppuosa  $\varnothing 315$  mm. Kuvassa 3 näkyy, että poistoilman imukartio sisältää säätöpellin. Säätöpellillä

voidaan säätää kartion poistoilman määrää. Kaikissa hallissa olevissa poistoilman imukartioissa on säätöpellit ja suojaverkot kartioiden päässä.

### 3.5 Kohdepoistojärjestelmä

Teollisuustilojen ilmanvaihto muodostuu yleis- ja kohdeilmanvaihdosta. Yleisilmanvaihtoa käytetään lähinnä ilman lämpötilan ja kosteuden hallintaan sekä laimentamaan kohdepoistojen ohi päässeitä epäpuhtauksia. Epäpuhtauksien hallinnassa yleisilmanvaihdon mahdollisuudet rajoittuvat aina jo työilmaan päässeiden epäpuhtauksien laimentamiseen, mikä johtaa usein kohtuuttoman suuriin ilmavirtoihin, jos epäpuhtausmäärät ovat suuria. Lisäksi päästölähteiden läheisyyteen muodostuu paikallisesti korkeita epäpuhtauspitoisuuksia, joiden laimentaminen riittävän alhaiselle tasolle ei onnistu yleisilmanvaihdon avulla, vaikka käytettäisiin suuriakin ilmavirtoja. Tämän vuoksi kohdeilmanvaihtoa kannattaa käyttää aina, kun päästölähteet ovat työilman laadun kannalta merkittäviä ja selkeästi paikallistettavia. (Kohdeilmanvaihto, 2011)

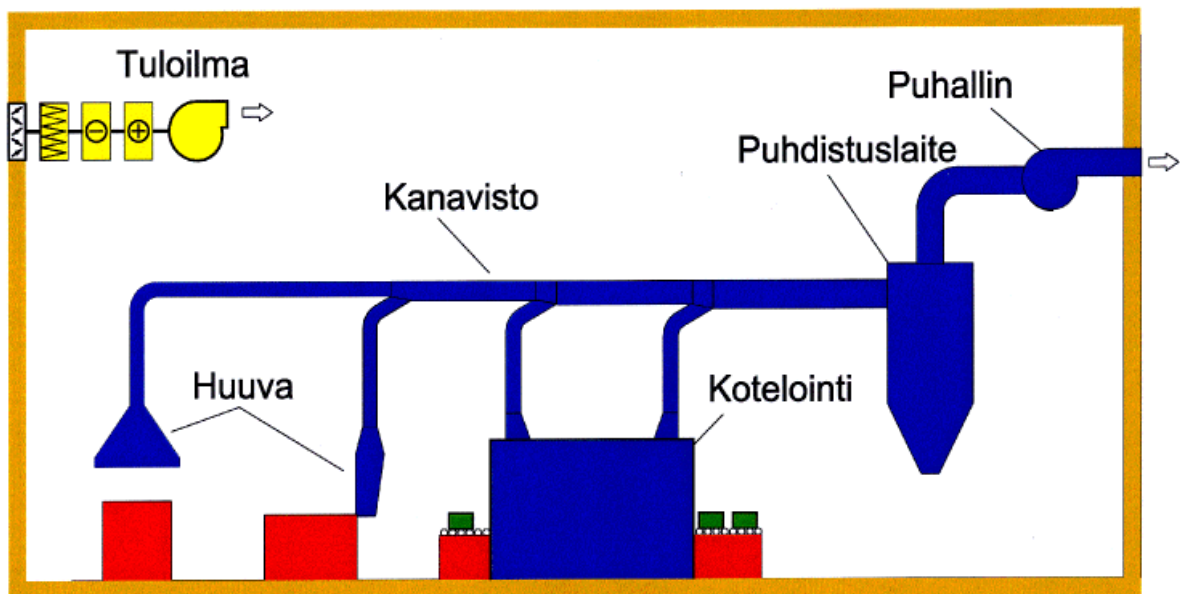
Kohdeilmanvaihdolla on perinteisesti tarkoitettu kohdepoistoa, jolla pyritään poistamaan epäpuhtaudet suoraan muodostumispaikaltaan ennen niiden leviämistä työpaikan ilmaan. Kohdepoistot vähentävät yleensä välittömästi työntekijöiden altistumista ja toisaalta pienentävät tilan yleisilmanvaihdon kuormitusta. Kohdeilmanvaihdon avulla voidaan ottaa talteen raaka-aineita, suojata laitteistoja ja tuotteita sekä vähentää tilojen siivoustarvetta.

Kohdeilmanvaihtoa on myös kohdepuhallus, jolla tarkoitetaan työilman laadun parantamista paikallisesti suunnatun tuloilman jaon avulla. Kohdepuhallusta on käytetty viime aikoina menestyksellisesti täydentämään ja tehostamaan kohdepoistojen toimintaa.

Kohdepoiston avulla luodaan hallittu, imuaukkoon suuntautuva ilmavirtaus epäpuhtauslähteen läheisyyteen. Mikäli imun aikaansaama virtaus on riittävä, liikkuvat vapautuvat epäpuhtaudet ilmavirtausten mukana kohdepoistoon. Epäpuhtauslähteen lähellä olevaa imuaukkoa kutsutaan huuveksi. Jos huuva sulkee epäpuhtauslähteen kokonaan sisäänsä, puhutaan koteloinnista. (Kohdeilmanvaihto, 2011)

Tyypillisen kohdepoistojärjestelmän osat (Kuva 4) ovat:

- Imuhuuva tai kotelointi, joka ympäröi työpisteen
- Kanavisto epäpuhtauksien kuljettamiseksi
- Puhdistuslaite, joka suodattaa ulospuhallettavan ilman
- Puhallin, joka kehittää ilmavirran



Kuva 4. Kohdepoistojärjestelmänperiaate. (Kohdeilmanvaihto, 2011)

### 3.5.1 Kohdepoistopuhaltimet

Kohdepoistojärjestelmiä hallissa on alkuperäisesti kaksi kappaletta, jotka ovat automaattisina jatkuvasti päällä. Uudistuksena halliin suunniteltiin kohdepoistojärjestelmä polttoleikkauskoneelle. Tämä uusi kohdepoistojärjestelmä eroaa muista kohdepoistojärjestelmistä siinä, että se on manuaali- eli käsikäyttöinen. Kohdepoistopuhallin laitetaan vain silloin päälle, kun polttoleikkauspisteessä tehdään töitä. Puhaltimen saa päälle ja pois käytöstä käsikatkaisimella, joka sijaitsee polttoleikkauskoneen läheisyydessä.

Kohdepoistopuhaltimet sijaitsevat hallin katolla. Puhaltimet on merkitty IV-toimintakaaviopiirrokseseen merkinnöillä KPP1, KPP2 ja KPP3. Suurin kohdepoistopuhaltimista on KPP2, jonka kapasiteetti on  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . KPP1:n kapasiteetti on  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ja polttoleikkauskoneella toimivan KPP3:n kapasiteetti on  $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ .



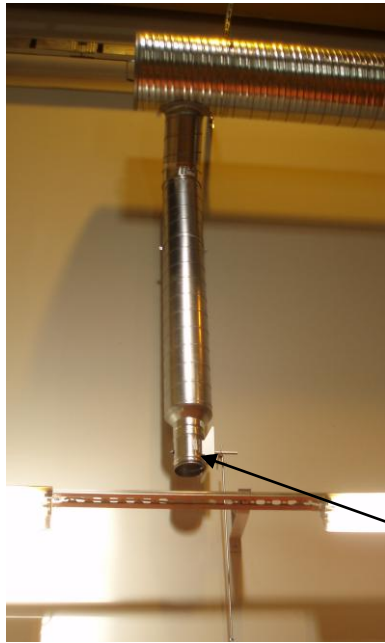
Kuva 5. Kohdepoistopuhallin KPP2

Kuvassa 5 on esillä kohdepoistopuhallin 2 (KPP2), jonka yhteyteen tuloilmakone 5 (TK5) kanssa rakennetaan nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä.

### 3.5.2 Kohdepoistot

Kohdepoistoja käytetään teollisuushalleissa silloin, kun esimerkiksi hitsatessa syntyvää käryä halutaan poistaa heti työpisteeltä pois. Kohdepoistoja sijoitetaan sellaisille työpisteille, joissa työn seurauksena syntyy erinäistä käryä/hitsaussavua.

Kuvassa 6 näkyy, että kohdepoisto on sijoitettu seinän vierustalle. Yleensä kohdepoistojen päähän asennetaan niin sanottu imuletku, jota ei ole vielä asennettu kuvassa 6 näkyvään kohdepoistoputkeen. Imuletku asennetaan, jotta letkua voidaan liikuttaa käsin ja saada se näin aina haluttuun paikkaan, josta käryä/hitsaussavua halutaan imeä pois. Kaikissa kohdepoistoputkissa on säätöpellit, jotka on sijoitettu kohdepoistoon heti imuletkun jälkeen. Jokaista säätöpeltiä voidaan säädellä käsin ja säätöpelleillä säädetään kunkin kohdepoistoputken imutehoa/ilmamäärää.



Säätöpelti

Kuva 6. Kohdepoisto 3 (KP3)

Kohdepoistoja Vilppulan tehdashallissa on neljää erilaista mallia. IV-toimintakaavioon ne on merkitty KP1, KP2, KP3 ja KP4 merkinnöillä. Määrältään kohdepoistoja hallissa on yhteensä 24 kappaletta ( KP1 = 8 kpl, KP2 = 8 kpl, KP3 = 6 kpl ja KP4 = 2 kpl ). Kohdepoistojen 1 ja 3 ( KP1 ja KP3 ) imuilmat menevät kohdepoistopuhallin 2 eli KPP2:n kautta pois hallista ja kohdepoisto 2 ( KP2 ) taas KPP1:n kautta. Uutena tulevan polttoleikkaukoneen kohdepoistojen ( KP4 ) imuilmat imee kohdepoistopuhallin 3 (KPP3).

Kohdepoistojen runkokanavana on suurimmaksi osaksi käytetty halkaisijaltaan 315 mm olevaa kanavaa. Poikkeuksena on kohdepoisto 3 ryhmä, jonka runkokanava on  $\varnothing 500$  mm. Rungosta haarautuvat kohdepoistot ovat kanavakooltaan seuraavat:

- **KP1:** Kanavahaara  $\varnothing 250$  mm, letku ja säätöpelti  $\varnothing 160$  mm. KP1:n joudutaan tuomaan siltanosturin ohi, joten siltanosturin kohdalla kohdepoistoissa on litteä suorakulmion muotoinen kanava, jonka mitat ovat 500 mm x 150 mm.
- **KP2:** Kanavahaara  $\varnothing 200$  mm, letku ja säätöpelti  $\varnothing 160$  mm.
- **KP3:** Kanavahaara  $\varnothing 250$ mm, letku ja säätöpelti  $\varnothing 160$ mm.
- **KP4:** Kohdepoisto 4 ei ole samanlainen kuin muut kohdepoistot vaan polttoleikkaukoneelle on suunniteltu erilliset huuvat, jotka toimivat kohdepoistoina. Huuva on edestä katsottuna katkaistun kolmion muotoinen, jonka alareuna on 1403 mm ja yläreuna 597 mm ja pituutta huuvalla on 4000 mm. Huuvan päältä lähtee letku, joka on halkaisijaltaan 200 mm ja tämä letku yhdistyy runkokanavaan.

## 4 UUDET JÄRJESTELMÄT

Tässä luvussa esitellään järjestelmän uudet laitteet ja niiden ohjaukset.

### 4.1 Tuloilmakoneet

Kehittämistavoitteena tuloilmakoneille oli se, että tuloilmapuhaltimet muutettaisiin taajuusmuuttajakäyttöisiksi ja käyntiaikaohjatuiksi. Käyntiaikaohjaus asettaa vastaavien taajuusmuuttajien (SC\_TK1.7, SC\_TK5 ja TC\_PK6) avulla tuloilmapuhallinten ilmamäärää siten, että tuloilman määrä on tarpeen mukainen. Tällä pyritään säästämään tuloilman lämmitysenergiaa pitemmällä aikajänteellä.

### 4.2 Poistoilmakoneet

Parannusajatuksena poistoilmakoneille oli se, että poistoilmapuhaltimet muutettaisiin taajuusmuuttajakäyttöisiksi ja paineohjatuiksi. Paine-eroanturit (PDE\_PK1.7, PDE\_PK5 ja PDE\_PK6) ohjaavat mittauksen perusteella vastaavien taajuusmuuttajien (SC\_PK1.7, SC\_PK5 ja SC\_PK6) avulla poistoilmapuhallinten ilmamäärää siten, että hallin sisäilman paine on ulkoilman painetta suurempi. Tällä kompensoidaan kohdepoistopuhallinten aiheuttamaa alipainetta hallissa ja estetään siten raajan ulkoilman hallitsematon virtaus hallintaan.

### 4.3 Paineohjaukset

Paineohjaus mahdollistaa kaiken tehon hyödyntämisen puhaltimissa. Kaiken tehon hyödyntäminen tarkoittaa ennenkaikkea puhaltimien taloudellista käyttöä ja alhaista äänentasoja. Paineohjauksella pystytään säätämään energiankulutusta ja näin myös työympäristön kuormitus on mahdollisimman alhainen. Paineohjain säätää kanavistopaineen optimaaliseksi riippuen siitä, kuinka monta työpistettä kulloinkin on käytössä saman aikaisesti. Paineohjaimen avulla jokaisella työpisteellä on aina käytettävissä tarvittava ilmamäärä. (Puhaltimien paineohjausjärjestelmä, 2011).

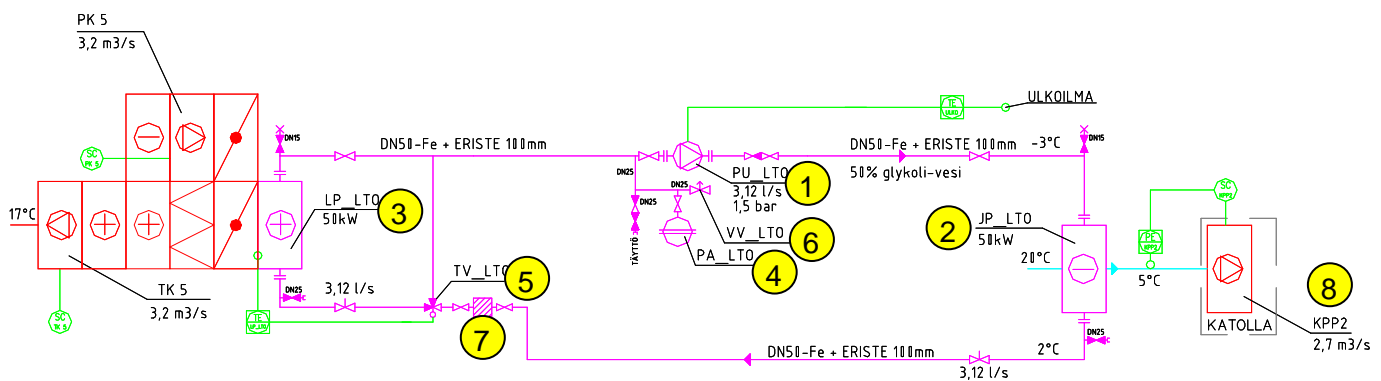
Useammalla kuin yhdellä työpisteellä varustetut kohdepoistojärjestelmät tarvitsevat eri ilmamääriä eri ajankohtina. Kyseisissä olevissa tapauksissa paineohjausjärjestelmä tuo monia hyötyjä, kuten lisää taloudellisuutta, takaa alhaisemman äänitason ja vähentää poistetun lämpimän ilman määrää.



#### 4.4 Poistoilman lämmöntalteenotto (LTO)

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä oli yksi uusista järjestelmistä, johon Javasko Oy halusi investoida lähitulevaisuudessa. Minun tehtäväni, ja osa opinnäytetyötä oli piirtää Autocad-ohjelmalla toimintakaavio, jossa näkyy mitä komponentteja kyseinen järjestelmä sisältää ja tarkastella investointia lämpöteknisten ja taloudellisten laskentojen avulla. Nestekiertoinen poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä sisältää seuraavia komponentteja:

1. Pumppu
2. Jäähdytyspatteri
3. Lämpöpatteri
4. Paisuntasäiliö
5. Kolmitieventiili
6. Varoventiili
7. Mudanerotin
8. Poistopuhallin

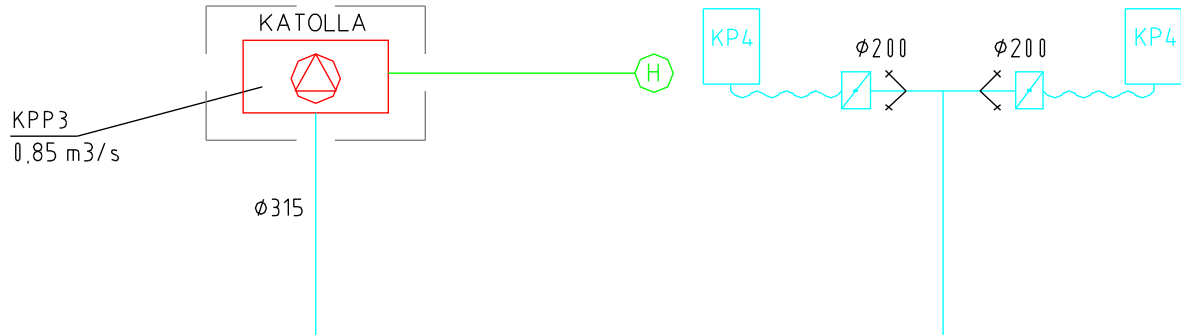


Kuva 7. Nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä (Liite1)

#### 4.5 Polttoleikkaukoneen kohdepoisto

Javasko Oy:n tehdashallissa olevalle polttoleikkaukoneelle rakennetaan oma kohdepoistojärjestelmä. Tuleva järjestelmä eroaa muista kohdepoistojärjestelmistä siten, että se on manuaalinen eli järjestelmä on päällä vain silloin kuin polttoleikkaukoneella tehdään töitä. Kohdepoistojärjestelmän käynnistäminen ja pysäyttäminen tapahtuu käsikytkimellä, joka sijaitsee polttoleikkaukoneen läheisyydessä. Kuvassa 8 käsikytkin on merkitty H-kirjaimella.

Kohdepoistoina toimii kaksi huuvausta, jotka imevät polttoleikkauskäryt pois työpisteeltä (KP4). Huuvia voidaan liikuttaa käsin aina siihen kohtaan missä työskennellään.



Kuva 8. Polttoleikkauskoneen kohdepoistojärjestelmä

#### 4.6 Poistoilman lämmöntalteenoton lämpötekniinen hyvyys ja taloudellisuus

Seuraavissa laskennoissa käydään läpi lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet ja taloudelliset säästöt.

Laskennoissa käytetyt merkinnät:

$c_p$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK, (= 1006 J/kgK)

$Q_p$  = lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summa, m<sup>3</sup>/s

$q_p, i$  = lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m<sup>3</sup>/s

$q_{pLTO}$  = lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$q_{ep1}$  = lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvan erillispoiston ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$q_{ep2}$  = lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuulumattoman erillispoiston ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$q_{tLTO}$  = lämmöntalteenoton läpi kulkevan tuloilmavirran tilavuusvirta, m<sup>3</sup>/s

$t_s$  = välinen lämmöntarveluku, Kd

$t_s$  = sisäilman lämpötila, °C (on tässä sama kuin  $t_p$  eli poistoilmanlämpötila)

$t_j$  = jäteilman lämpötila (poistoilma LTO:n jälkeen), °C

$t_{tLTO}$  = tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C

$t_u$  = ulkoilman lämpötila, °C

$\eta_a$  = ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -

$\eta_p$  = lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde, -

$\eta_t$  = lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde, -

$\rho$  = ilman tiheys, kg / m<sup>3</sup>, (= 1,2 kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.6.1 Rakentamismääräykset ja -suositukset

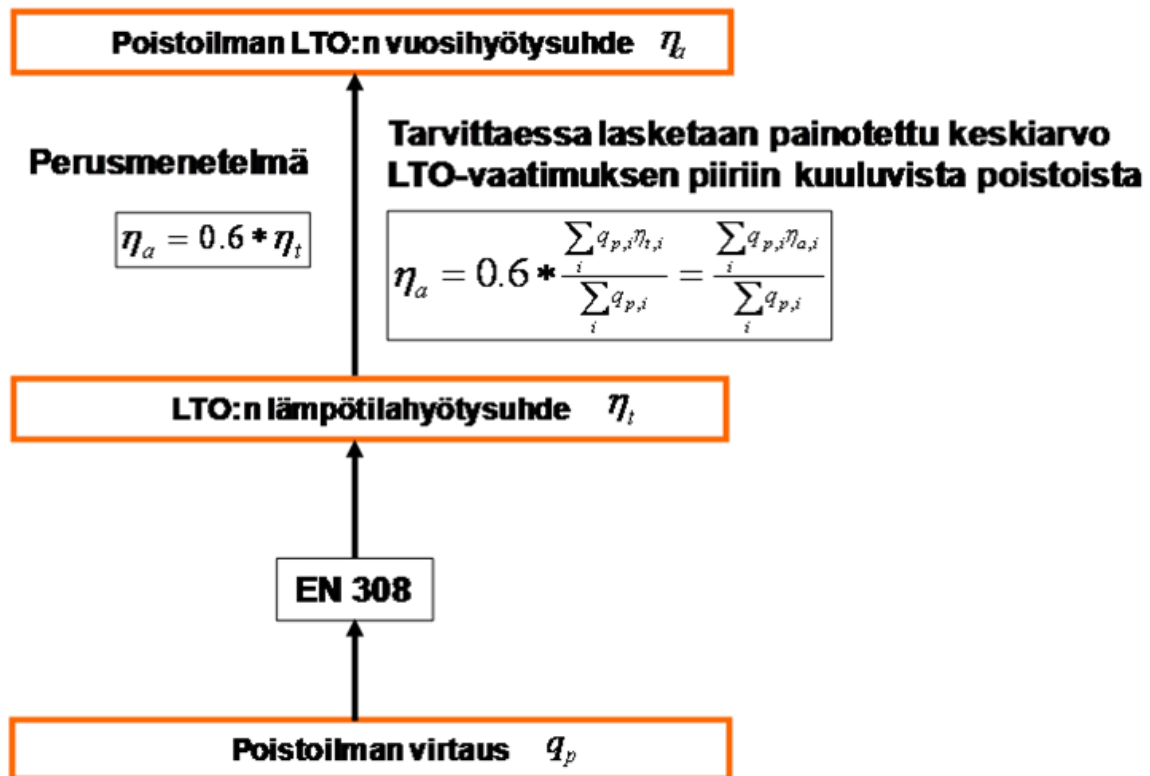
Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihtomääräyksessä 4.1.2 esitetään, että ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 30 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Suositus on muutettu 45%:iin vuonna 2010. (Ympäristöministeriön moniste, 2003)

Osan D2 kohdan 4.1.2.1 ohjetekstissä on esitetty, että laskelmissa käytetään lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteena lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kerrottuna 0,6:lla jollei selvityksin toisin osoiteta. Laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa esimerkiksi standardin EN 308 mukaan mitattua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta (tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuret) tai voimassa olevan tyyppihyväksyntäohjeen mukaisella tavalla mitattua hyötysuhdetta.

Lämpötilahyötysuhde määritellään suunnitteluratkaisun poistoilmavirralla. Ympäristöoppaassa 106 Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen esitetään seuraavat vaatimukset em.selvitykselle:

"Mikäli laskelmissa käytetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena muuta kuin lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kerrottuna 0,6:lla, on vuosihyötysuhteen osoittamisessa otettava huomioon ainakin tulo- ja poistoilmavirtojen suhde ja jäätymissuojauksen toiminta sekä mahdollinen tuloilmanlämpötilan rajoittaminen." (Ympäristöministeriön moniste, 2003)

Kyseisessä oppaassa on esitetty myös lyhyesti perusteet vuosihyötysuhteen määrittämiseksi.



Kuva 9. Ympäristöoppaan 106 mukainen kaavio rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämistavoista. (Ympäristöministeriön moniste, 2003)

#### 4.6.2 Lämmöntalteenottojärjestelmän käsitteitä

**Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemalla lämpömäärällä** tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan ilmanvaihdon ilmavirran lämmittämiseksi ulkoilman lämpötilasta huone- lämpötilaan. Tasauslaskelmissa ei siis oteta huomioon rakennukseen tulevia tairakennuksessa syntyviä ilmaislämpöjä, joten lämpömäärän lämpötilaerona käytetään sisälämpötilan ja ulkolämpötilan välistä erotusta ja sisälämpötilan oletetaan olevan kokovuoden ajan vakio. Sisälämpötila määritellään erilaisille rakennuksille ja tiloille osan D2 kohdassa 2.2.1.1. ja myös osan C3 kohdan 3.4.3 määräyksessä sanotaan, että mitoitettava sisälämpötila on +21 °C, jollei rakennuksen käyttötarkoituksesta tai muusta vastaavasta syystä johtuen ole perusteltua käyttää muuta arvoa. (Ympäristöministeriön moniste, 2003)

**Rakennuksen poistoilman (jäteilmän) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde** on lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään, kun rakennuksessa

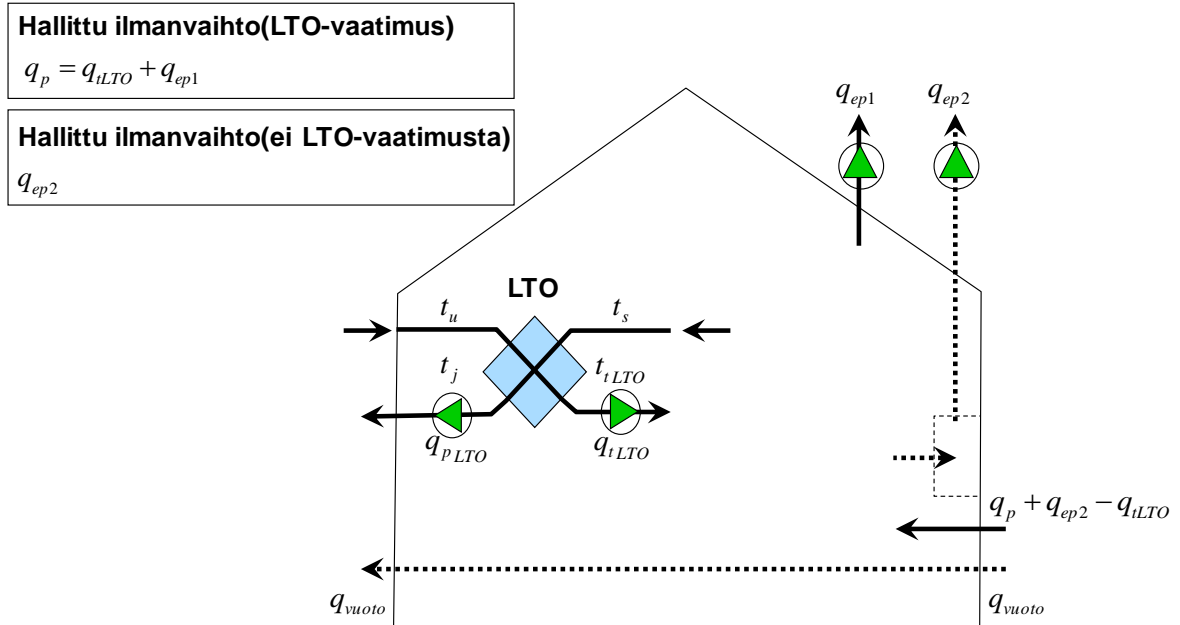
ei ole lämmöntalteenottoa. Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella ei siis tarkoiteta yksittäisen ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmittämisen vuosihyötysuhdetta. Vuotoilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpö määrää ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa huomioon. (Ympäristöministeriön moniste, 2003)

**Lämmöntalteenottolaitteisto (LTO)** on laitteisto, jonka avulla poistoilmasta siirtyy lämpöä joko tuloilmaan taikka muuhun rakennuksen tiloja lämmittävään järjestelmään ja joka näin alentaa rakennuksen lämmitysenergiakulutusta.

**Lämmön talteenottovaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta** sisältää kaikki muut kuin osan D2 kohdan 4.1.2.2 mukaan epätarkoituksenmukaiseksi osoitetut poistoilmavirrat. Näitä epätarkoituksenmukaisia poistoilmavirtoja voivat olla esimerkiksi ammattimaisten keittiöiden ja vetokaappien poistoilmavirrat ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. Tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa lämmöntalteenottolaitteen rakenteen lisäksi tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. Poistoilman lämmöntalteenottolaitteistojen erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti: (Ympäristöministeriön moniste, 2003)

- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirryhdistelmät: 40 -60 %
- ristivirtalevylämmönsiirtimet: 50 - 70 %
- vastavirtalevylämmönsiirtimet: 60 - 80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet: 60 - 80 %.

**Poistoilman lämpötilahyötysuhde** on poistoilman jäähtymisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen.



Kuva 10. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisessä ja määräys-  
tenmukaisuuden osoittamisessa käytettävät ilmavirrat. (Ympäristöministeriön moniste,  
2003)

#### 4.6.3 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

Tuloilman lämpötilahyötysuhde  $\eta_t$  [%] voidaan laskea kaavalla:

$$\eta_t = \frac{(t_{iLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} * 100\% \quad (1)$$

$t_{iLTO}$  = tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen [C]

$t_u$  = ulkoilman lämpötila [C]

$t_s$  = sisäilman lämpötila [C]

Esimerkkinä kohteen JP\_LTO-koneelle:

$$\eta_t = \frac{(17 - 0)}{(20 - 0)} * 100\% = 85\%$$

Poistoilman lämpötilahyötysuhde  $\eta_p$  [%] voidaan laskea kaavalla:

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} * 100\% \quad (2)$$

$t_j$  = jäteilman lämpötila LTO:n jälkeen [C]

$t_u$  = ulkoilman lämpötila [C]

$t_s$  = sisäilman lämpötila [C]

Esimerkkinä kohteen JP\_LTO-koneelle:

$$\eta_p = \frac{(20 - 5)}{(20 - 0)} * 100\% = 75\%$$

Tuloilman lämpötilahyötysuhteen ja poistoilman lämpötilahyötysuhteen yhteys saadaan lämpötaseen perusteella asettamalla poistoilmasta otettu lämpöteho samaksi kuin tuloilmaansiirtyvä lämpöteho:

$$c_p * \rho * q_{pLTO} (t_s - t_j) = c_p * \rho * q_{iLTO} (t_{iLTO} - t_u) \quad (3)$$

$c_p$  = ilman ominaislämpökapasiteetti [J/kgK] (=1006 J/kgK)

$\rho$  = ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>] (käytetty 1.2 kg/m<sup>3</sup>)

$q_{pLTO}$  = lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirtaus [m<sup>3</sup>/s]

$q_{iLTO}$  = lämmöntalteenoton läpi kulkeva tuloilmavirtaus [m<sup>3</sup>/s]

Korvaamalla molempien puolien lämpötilaerot poisto- ja tuloilman lämpötilahyötysuhteilla (kaavat 1 ja 2) saadaan yhtälö 3 muotoon:

$$c * \rho * q_{pLTO} * \eta_p (t_s - t_u) = c * \rho * q_{tLTO} * \eta_t (t_s - t_u) \quad (4)$$

ja olettamalla ilman ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet yhtä suuriksi saadaan yhtälö muotoon:

$$\eta_p = \eta_t * R_{LTO} \quad (5)$$

$R_{LTO}$  = lämmöntalteenoton läpi kulkevien tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}} \quad (6)$$

Suomen rakennusmääräyskokoelman, osan C3 määräyksen 3.4.2 mukaan yksittäisen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotonvuosihyötysuhde  $\eta_a$  [%] voidaan laskea yhtä suurilla ilmavirroilla määritetystä tuloilman lämpötilahyötysuhteesta seuraavasti:

$$\eta_a = 0.6 * \eta_t \quad (7)$$

Esimerkkinä kohteen JP\_LTO-koneelle:

$$\eta_a = 0.6 * 85\% = 51\%$$

0.6 = tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde, jota voidaan käyttää yleisesti, mutta ei jos suunniteltu todellinen suhde on tätä pienempi. Tällöin on vuosihyötysuhde laskettava vaihtoehtoisella tavalla, esim. lämmöntarvelukuihin perustuen, jota tässä insinööri-työssäni en tarkemmin esittele.

Jos rakennuksessa on useita ilmanvaihtokoneita tai erillispoistoja, niille kaikille tulee laskea vastaava vuosihyötysuhde. Mikäli rakennuksesta poistetaan lämmöntalteenotto-vaatimuksenpiiriin kuuluvaa ilmaa ( $q_{ep1}$ ), ilman lämmöntalteenottoa, näiden osalta vuosihyötysuhdeon 0 %.



Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirtaus  $q_{p,i}$  [m<sup>3</sup>/s] lasketaan seuraavasti:

$$q_{p,i} = \frac{pv}{7} * \frac{h}{24} * q_{pLTO} \quad (8)$$

$pv$  = käyttöpäivien määrä viikossa

$h$  = käyttötuntien määrä vuorokaudessa

Koko rakennuksen ilmanvaihdon vuosihyötysuhde on poistoilmavirroilla käyttöajan mukaan painotettu vuosihyötysuhde:

$$\eta_a = 0.6 * \frac{\sum_i q_{p,i} \eta_{t,i}}{\sum_i q_{p,i}} = \frac{\sum_i q_{p,i} \eta_{a,i}}{\sum_i q_{p,i}} \quad (9)$$

$q_{p,i}$  = yksittäisen LTO:n käyttöajalla painotettu poistoilman virtaus [m<sup>3</sup>/s]

$\eta_{t,i}$  = yksittäisen LTO:n lämpötilahyötysuhde [%]

Vuosihyötysuhteen laskenta esimerkki kohteen koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle, jossa on neljä ilmanvaihtokonetta, joista kolmella lämmöntalteenotto (JP\_LTO, PK5\_LTO ja PK1.7\_LTO):

$$\eta_a = 0.6 * \frac{(0.96 * 85\% + 1.14 * 85\% + 1.07 * 0\% + 1.43 * 85\%)}{0.96 + 1.14 + 1.07 + 1.43} = 39.1\%$$

Taulukko 1. Kohteen rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhdelaskennan lähtöarvot.

Tila	Ilmanvaihdon käyntiaika		Poistoilmavirtaus	LTO:n lämpötilahyötysuhde	LTO	Käyttöajoilla painotettu poistoilmavirtaus
	pv/vko	h/pv	$q_{pLTO}$ [m <sup>3</sup> /s]	$\eta_t$ [%]		$q_{p,i}$ [m <sup>3</sup> /s]
<b>Halli1+Levytyö-/hitaustila 1</b>						
PKK2	5	12	2.70	85.00	JP_LTO	0.96
PK5	5	12	3.20	85.00	PK5_LTO	1.14
-erillispoistot (PK6)	5	12	3.00	0.00		1.07
-epätark. muk. poistot (KPP1)	5	12	1.30	0.00		0.46
<b>Halli2+Levytyö-/hitaustila 2</b>						
PK1.7	5	12	4.00	85.00	PK1.7_LTO	1.43
-epätark. muk. poistot (KPP3)	5	8	0.85	0.00		0.20

#### 4.6.4 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton säästöjen laskenta

LTO-laitteille lasketaan maksimitehot  $P_{\eta_{pi}}$  [kW] suunnitteluperusteena käytettyjen sisäilma- ja jäteilman (poistoilma LTO:n jälkeen) lämpötilojen ja lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirtauksen avulla:

$$P_{\eta_{pi}} = (t_s - t_j) * q_{pi} * \rho * c_p \quad (10)$$

$t_s$  = sisäilman lämpötila [C]

$t_j$  = jäteilman lämpötila LTO:n jälkeen [C]

$q_{pLTO}$  = lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirtaus [m<sup>3</sup>/s]

$q_{pi}$  = lämmöntalteenoton läpi kulkeva käyttöaikapainotettu poistoilmavirtaus [m<sup>3</sup>/s]

$$q_{pi} = 5/7pv * 12/24h * q_{pLTO}$$

$\rho$  = ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>] (käytetty 1.2 kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  = ilman ominaislämpökapasiteetti [J/kgK] (=1006 J/kgK)

Maksimitehon laskenta esimerkki kohteen JP\_LTO-koneelle:

$$P_{\eta_{pi}} = (20 - 5) * 0.96 * 1.2 * 1.006 = 19.7 kW$$

Lasketaan koko rakennuksen lämmöntalteenoton teho  $P_{\eta_{pa}}$  [kW] ilman lämmitykseen vuositasolla:

$$P_{\eta_{pa}} = \sum_i P_{\eta_{p,i}} * \frac{\eta_a}{100} \quad (11)$$

$P_{\eta_p}$  = LTO-laitteen maksimi teho [kW]

$\eta_a$  = koko rakennuksen ilmanvaihdon vuosihyötysuhde [%]

Lämmöntalteenoton tehon laskenta esimerkki kohteen koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle, jossa on neljä ilmanvaihtokonetta, joista kolmella lämmöntalteenotto (JP\_LTO, PK5\_LTO ja PK1.7\_LTO):

$$P_{\eta_{pa}} = (19.7 + 23.4 + 29.3) * \frac{39.1}{100} = 28.3 kW$$

Ulkolämpötila  $t_u$  [C] laskenta, jolla lämmöntalteenoton teho voidaan täysimääräisesti hyödyntää:

$$t_u = t_s - \frac{P_{\eta_{pa}}}{V * \rho * c_p} * 3600 \quad (12)$$

$t_s$  = sisäilman lämpötila [C]

$P_{\eta_{pa}}$  = koko rakennuksen lämmöntalteenoton teho [kW]vuositasolla

$V$  = rakennuksen tilavuus [m<sup>3</sup>]

$\rho$  = ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>] ( käytetty 1.2 kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  = ilman ominaislämpökapasiteetti [J/kgK] (=1006 J/kgK)

Lasketaan esimerkki kohteen koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle.

$$t_u = 20 - \frac{28.3}{33600 * 1.2 * 1.006} * 3600 = 17.5C$$

Ilmatieteen laitoksen ulkolämpötilan pysyvyyntaulukosta katsotaan laskettua ulkolämpötilaa vastaava prosentuaalinen  $T_{\%}$  [%] osuus ajasta, jolloin lämpötila on alempi kuin laskettu ulkolämpötila.

Esimerkki kohteen Vilppula sijainnissa se on:

$$T_{\%} = 91\%$$

LTO:lla säästetty lämmitysenergia  $E_E$  [kWh] lasketaan vuositasolla:

$$E_E = P_{\eta_{pa}} * 24 * 365 * \frac{T_{\%}}{100} \quad (13)$$

$P_{\eta_{pa}}$  = koko rakennuksen lämmöntalteenoton teho [kW]vuositasolla

Lämmitysenergian laskenta esimerkki kohteen koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle.

$$E_E = 28.3 * 24 * 365 * \frac{91}{100} = 225596kWh$$

Taloudellinen säästö  $S_\epsilon$  (€) pienentyneestä lämmitysenergian kulutuksesta:

$$S_\epsilon = E_E * h_E \quad (14)$$

$h_E$  = energian hinta [€/kWh]

Taloudellisen säästön laskenta esimerkki kohteen koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle.

$$S_\epsilon = 225596 * 0.05 = 11279\text{€}/v$$

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli dokumentoida Javasko Oy:n tehdashallin ilmanvaihtojärjestelmä ja tehdä suunnitelma hallin energiatehokkuuden parantamiseksi. Energiatehokkuuden parantamiseksi suunnitelmana oli laittaa tuloilmakoneet taajuusmuuttajakäyttöisiksi ja käyntiaikaohjatuiksi. Toisena parannus ajatuksena oli suunnitella tuloilmakoneen ja kohdepoistopuhaltimen välille nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä.

Tehtävänä ollut työ oli kaikinpuolin haastava ja mielenkiintoinen. Ennen kaikkea työstä oli hyötyä Javasko Oy:lle, koska heillä ei entuudestaan ollut käytössään sähköisiä Autocad-kuvia tehdashallissa toimivasta ilmastointijärjestelmästä.

Suunnitelmien käyttöönotto olisi hyvä aloittaa siitä, että muutettaisiin tuloilmapuhaltimet taajuusmuuttajakäyttöisiksi ja käyntiaikaohjatuiksi. Tällä toimenpiteellä vähennettäisiin energiahäviöitä esimerkiksi viikonloppuisin, koska silloin ei hallissa ole mitään toimintaa, mutta silti tuloilmakoneet ja poistoilmapuhaltimet pyörivät samoilla kierroksilla, kuin arkipäivisin. Taajuusmuuttajilla ja käyntiaikaohjauksilla voidaan puolittaa koneiden kierrokset viikonloppuisin ja näin säästetään energiahäviöissä.

Seuraavana näiden investointejen jälkeen olisi kannattavaa tehdä nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä TK5 ja KPP2 välille. Lämmöntalteenottojärjestelmä lisää entistään energian säästöä. Etenkin talvisin kyseisellä järjestelmällä säästettäisiin, koska ilman lämmöntalteenottojärjestelmää kaikki kohdepoistopuhaltimien kautta puhallettava lämmin ilma menisi hukkaan. Sen sijaan kun lämmöntalteenottojärjestelmä keräisi tämän lämpimän ilman talteen ja kierrättäisi sitä uudelleen.

Laskelmien perusteella nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä (TK5 ja KPP2 välille) ja automaatiomodernisoinnit (poistoilmapuhaltimien kierrosnopeussäädöt painemittaus-

ten perusteella ja tuloilmapuhaltimien käyntiaikaohjaukset) ovat kannattava investointi Javasko Oy:n Vilppulan tehtaalle. Lisäksi, jos TK 6:lle asennettaisiin lämmöntalteenottojärjestelmä niin laskelmien mukaan energiaa (n. 126000 kWh) ja energiakustannuksissa (n. 6000€) säästettäisiin huomattava määrä lisää. Tuloksena saadaan  $S_e = 352000 * 0.05 = 17600€ / v$

Henkilökohtaisesti tämä opinnäytetyöprojekti oli todella mielenkiintoinen ja opin sen aikana paljon uutta todellisesta insinöörityöstä. Opinnäytetyön aikana sain kokemuksia aivan uusista asioista, joista minulla ei ennen ollut tietoa/koulutusta. Suurimpana ja henkilökohtaisesti vaikeimpana pidin LVI-alan opettelemista, koska minulla ei ollut aikaisemmin tietotaitoa kyseisestä alasta. Mutta hyvän opastuksen ja nöyrän opettelemisen kautta sain mielestäni tästäkin alasta kohtuullisen käsityksen. Siksi haluaisinkin kiittää ohjaajaani, Heikki Heiskasta, Karibu Oy:tä sekä Javasko Oy:tä opastuksestani ja koko insinöörityön mahdollistamisesta. Tämän insinöörityön tekeminen on ollut äärimmäisen opettavaista ja uskon, että tästä on myös hyötyä minulle tulevaisuudessa, kun aloitan oman työurani opiskeluiden jälkeen.

## LÄHTEET

Ilmanvaihdon perusteet [viitattu: 15.09.2011]. Saatavissa: [www.sisailmayhdistys.fi](http://www.sisailmayhdistys.fi).

Kohdeilmanvaihto [viitattu: 06.09.2011]. Saatavissa: [virtual.vtt.fi](http://virtual.vtt.fi).

Puhaltimien paineohjausjärjestelmä [viitattu: 08.09.2011]. Saatavissa:  
[www.tenvironment.fi](http://www.tenvironment.fi)

Tähti, E.;. 202. *Teollisuusilmastoinnin opas*. Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy (TAKE)

Ympäristöministeriön moniste 122.2003. *Ilmanvaihdon lämmöntalteenoto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa*. Helsinki

## LIITTEET

## 1. IV-Kaavio

## TOIMINTASELITYS (uudet ohjaukset)

### IV -KONEET (TK/PK1.7, TK/PK5 JA TK/PK6):

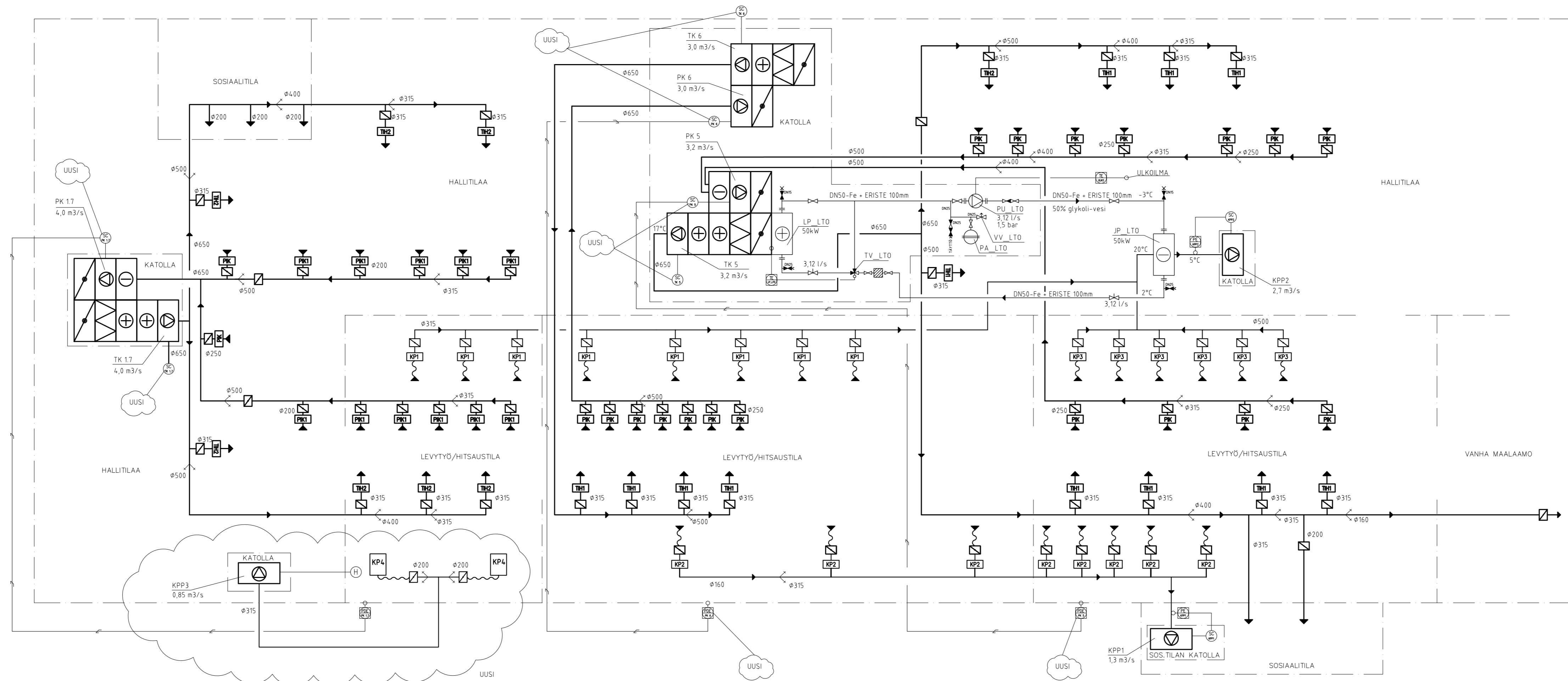
- Paine-eroanturit PDE\_PK1.7, PDE\_PK5 ja PDE\_PK6 ohjaavat mittauksensa perusteella vastaavien taajuusmuuttajien (SC\_PK1.7, SC\_PK5 ja SC\_PK6) avulla poistoilmahallintaa (PK1.7, PK5 ja PK6) ilmamäärää siten, että hallin sisäilman paine on ulkoilman painetta suurempi (/ paine-ero on asetettua raja-arvoa suurempi). Tällä kompensoidaan kohdepoistopuhallinten aiheuttamaa alipainetta hallissa.
- Tuloilmakoneiden (TK1.7, TK5 ja TK6) ilmamääriä ohjataan vastaavien taajuusmuuttajien (SC\_TK1.7, SC\_TK5 ja SC\_TK6) aikaohjelmien asetusarvojen perusteella (esim. viikontopun ajaksi ilmamäärien puolitus).

### KOHDEPOISTOPUHALTIMET (KPP1, KPP2 JA KPP3):

- Kohdepoistopuhaltimia KPP1 ja KPP2 ohjataan vastaavien paineantureiden (PE\_KPP1 ja PE\_KPP2) mittauksen ja taajuusmuuttajien (SC\_KPP1 ja SC\_KPP2) avulla siten, että alipaineet kohdepoistokanavistoissa pysyvät asetusarvoissaan.
- Kohdepoistopuhallin KPP3 (polttoleikkauksen kohdepoisto) käynnistetään ja pysäytetään polttoleikkauksen yhteydessä sijaitsevalla käsikäyttöpainikkeella.

### NESTEKIERTOINEN LTO KPP2:N JA TK5:N VÄLILLÄ:

- KPP2:n yhteydessä oleva lämmöntalteenottopatteri JP\_KPP2 (50kW) kerää kohdepoistopuhaltimen siirtämästä ilmastä lämpöä LTO-pumpun (PU\_LTO) kierrättämään lämmöntalteenotonesteeseen: 50% glykoli-vesi -seos (jäätymispiste alle -40°C).
- LP\_LTO -patterilla (50kW) lämpö siirtyy tuloilmakoneen TK5 halliin siirtämään ilmaan.
- LP\_LTO:n jälkeen sijaitseva ilman lämpötila-anturi TE\_LP\_LTO ohjaa kolmitietoisventtiiliä TV\_LTO siten, että TK5:n siirtämän ilman lämpötila LP\_LTO:n jälkeen pysyy asetusarvoissaan (17°C).
- Ulkoilmanlämpötila-anturi TE\_ULKO ohjaa LTO-pumppua (PU\_LTO) siten, että lämpötilan ylittäessä asetusarvonsa (17°C) PU\_LTO pysähtyy (LTO -järjestelmä pysähtyy). Ulkoilman lämpötilan taas laskiessa alle asetusarvon (16°C) PU\_LTO (LTO -järjestelmä) käynnistyy.
- Varoventtiilin VV\_LTO avautuspaine: 2,5 bar.
- Kalvopaisunta-astian PA\_LTO tilavuus minimissään 13 litraa; esipaine: 0,5 bar.



TÄMÄN PIIRUSTUKSEN PÄIVÄYKSEN JÄLKEEN TEHDYT/TEHTÄVÄT LISÄYKSET JA MUUTOKSET ON MERKITYY KAAVIOON TEKSTILLÄ: "UUSI" JA/TAI REVISIOPILVEN SISÄLLÄ.

TK 5:n ja KPP2:n välillä oleva LTO-järjestelmä on UUSI

- ☒ = SP = säätöpelti
- PIK = Poistoilman imukartio: ø315 (kanavaaara ø250)
- PIK1 = Poistoilman imukartio 1: ø250 (kanavaaara ø200)
- TH1 = Tuloilman hajotin 1: ø315 (1510x1020x400)
- TH2 = Tuloilman hajotin 2: ø315 (1600x830x380)
- TK1.7 = Tuloilmakone 1.7
- PK1.7 = Poistoilmakone 1.7
- TK5 = Tuloilmakone 5
- PK5 = Poistoilmakone 5
- TK6 = Tuloilmakone 6
- PK6 = Poistoilmakone 6
- ◁ = Kanavakoon muutoskohta
- ▶ = Virtaussuunta
- KP1 = Kohdepoisto 1: Letku ja SP = ø160 ja kanavaaara ø250 + siltanosturin ohitus
- KP2 = Kohdepoisto 2: Letku ja SP = ø160 ja kanavaaara ø200
- KP3 = Kohdepoisto 3: Letku ja SP = ø160 ja kanavaaara ø250
- KP4 = Polttoleikkauksen kohdepoistohuuva
- KPP1 = Kohdepoistopuhallin 1
- KPP2 = Kohdepoistopuhallin 2
- KPP3 = Kohdepoistopuhallin 3
- ⊙ = Taajuusmuuttaja
- ⊖ = Paineanturi/-lähetin

PÄIVÄYS: 8.6.2011

REVISIO	PÄIVÄYS	SUUNN.	MUUTOS
-	-	-	-
-	-	-	-
KOSA	KORTTELI/TILA	TONTTI/R.NO	VIRANOM.
RAKTOIMENPIDE	PIIRILAJI		OSASTO
JAVASKO OY VILPPULAN HALLIN (KOSKIHALLI) IV-, KOHDEPOISTO-, JA LTO-RATKAISU	PIIRISÄLTÖ IV-KAAVIO		MITTAKAAVA -
SUUNNITTELUYHISTÖ <b>Karibu</b> Pajatie 8 40630 JYVÄSKYLÄ ENGINEERING FINLAND ALLEKIRJ.	SUUNN. KTa TARK. HHe	ARKISTOINTIPIIR.NO 35913	MUUTOS -
	ARKISTOINTIPÄIVÄYS 12.5.2011	SUUNNALA PIIR.NO	