

Niko Hokkanen

PYSÄKÖINTIHALLIN ILMANVAIHTO  
SUUNTAPAINEPUHALTIMILLA  
Suunnittelun näkökohtia

Opinnäytetyö  
Talotekniikan koulutusohjelma


Helmikuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 19.2.2014				
<b>Tekijä(t)</b> Niko Hokkanen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikka				
<b>Nimeke</b> Pysäköintihallin ilmanvaihto suuntapainepuhaltimilla, suunnittelun näkökohtia					
<b>Tiivistelmä</b> Opinnäytetyöni tavoitteena oli laatia ilmanvaihtosuunnittelijan työtä avustava suunnittelun ohjeistusmateriaali suuntapainepuhaltimien käytöstä pysäköintitilojen ilmanvaihdossa. Materiaalin on tarkoitus toimia työkaluna etenkin kohteen suunnittelun alussa esi- ja hankesuunnittelussa, sekä toteutussuunnitteluvaiheen pienimuotoisena "tarkistuslistana". Suuntapainepuhaltimet pysäköintitilan ilmanvaihdossa ovat vielä kohtuullisen tuore ilmiö talotekniikkarintamalla, vaikka niitä on käytetty mm. maantietunneleiden ilmanvaihtoon jo useita vuosikymmeniä. Nykypäivänä puhaltimia voi nähdä jo useissa isommissa pysäköintitiloissa, mutta niiden suunnitteluprosessi on vielä jossain määrin hämärän peitossa. Monissa suunnittelutoimistoissa järjestelmän suunnittelussa tukeudutaankin laitevalmistajien tarjoamiin suunnittelupalveluihin, joihin sisältyy useimmiten myös virtaustekninen CFD-mallinnus. Vaikka suunnittelutyö teetetäisiinkin alihankintana jollakin muulla toimijalla, tulisi kohteen muita LVIA- ja palontorjuntajärjestelmiä suunnittelevien henkilöiden omata hyvä perustietämys puhallinjärjestelmän toiminnasta ja siihen mahdollisesti vaikuttavista tekijöistä, jotta saavutetaan kaikilta osiltaan toimivasti yhteensovitettu talotekniikkajärjestelmä. Suomen rakentamismääräyksissä ei ole erikseen käsitelty suuntapainepuhaltimien käyttöä, ja myös määräykset pysäköintitilojen ilmanvaihdosta antavat kohteen suunnittelijalle melko vapaat kädet toteutuksen suhteen. Myös kirjallisuusteoksia aiheeseen liittyen on julkaistu verrattain vähän. Tämä loi tarpeen aiheen käsittelylle opinnäytetyön muodossa. Työ perustuu kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän käyttöön, jossa aihetta on pyritty avaamaan sanallisesti käytettävissä olevien lähdeaineiden tietoihin perustuen. Työssä ei käsitellä järjestelmän CFD-mallinnusta eikä esitetä laskentamalleja järjestelmän mitoitusperusteiksi.					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Suuntapainepuhallin, pysäköintihalli, ilmanvaihto					
<b>Sivumäärä</b> 31(1)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 2px;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%; padding: 2px;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Suomi</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Heikki Salomaa	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Etteplan Design Center Oy / Kouvola				

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  19.2.2014
<b>Author(s)</b>  Niko Hokkanen	<b>Degree programme and option</b>  Building services engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Ventilation of car park using jet fan system, point of views for design.		
<b>Abstract</b>  The main goal for my thesis was to create an instructional documentation concerning ventilation design for enclosed car park when using a jet fan system. This documentation is meant to be used by ventilation designer, especially in the pre-design and expertise design phase of construction project but also as a small checklist for working design phase.  Using jet fans for ventilation and smoke control in car parks is quite a new phenomenon in the field of building services, even though they have been used in road tunnel ventilation for decades. Nowadays one can find jet fan systems in many large parking spaces, but the design process of the system is still a bit obscure for many ventilation designers. In many case jet fan manufacturers are used as subcontractors for this design process that often includes CFD-modelling. Even if the jet fan system is designed by a third part, it is still important for HVAC and fire protection designers to understand the function methods of this system and to be aware of the factors that can affect on its or other systems operation, in order to achieve fully functioning building service system.  There isn't any sections concerning jet fan systems in national building codes of Finland and the codes for parking space ventilation gives one many different ways to approach the system design. There isn't much literature about this subject available either. All these matters together created a need for this documentation.  This thesis is based on a qualitative research method, meaning that the matter in is attempted to explain based on the information gathered from source literature. Neither CFD-modelling nor manual calculation as a principle for system design are not included in this thesis.		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Jet fan, impulse fan, parking space, car park, ventilation		
<b>Pages</b>  31(1)	<b>Language</b>  Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Heikki Salomaa	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Etteplan Design Center Oy / Kouvola	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	PYSÄKÖINTITILOJEN ILMANVAIHTO .....	1
2.1	Viranomaismääräykset ja ohjeet.....	2
2.1.1	Ilmamäärät .....	2
2.1.2	Ilmavirtojen säätö.....	3
2.2	Ilmanvaihtoperiaatteet .....	4
2.2.1	Perinteinen kanavistoilmanvaihto.....	4
2.2.2	Suutinkanavajärjestelmä .....	5
2.2.3	Suuntapainepuhallinjärjestelmä .....	6
2.3	Pysäköintitilojen epäpuhtaudet.....	7
2.3.1	HTP – Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet.....	8
2.4	Savunpoisto palotilanteessa .....	9
3	SUUNTAPAINEPUHALTIMEN OMINAISUUDET JA TOIMINTA.....	9
3.1	Puhaltimen rakenne .....	9
3.2	Puhaltimen ilmasuihku .....	13
3.3	Puhaltimen äänenkehitys .....	14
4	SUUNTAPAINEPUHALLINJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	14
4.1	Puhaltimien valinta .....	14
4.1.1	Käyttötarkoitus.....	15
4.1.2	Puhallinmalli .....	15
4.2	Tulo- ja poistoilmapisteen .....	17
4.3	Kohteen rakenteelliset ratkaisut.....	18
4.4	Savunhallinta .....	19
4.4.1	Savunpoistotasot .....	19
4.4.2	Suuntapainepuhaltimien käyttö savunhallinnassa.....	20
4.5	Automaatiojärjestelmä .....	22
4.5.1	Kiinteistöautomaatiojärjestelmän perusrakenne .....	22
4.5.2	Ohjaus .....	23
4.5.3	Hälytys .....	25
4.5.4	Palotilanne.....	25
4.6	Yleisesti huomioitavaa.....	26
4.6.1	Suuntapainepuhallinten vaikutus sprinklerijärjestelmän toimintaan.....	26

4.6.2	Järjestelmän huoltovaatimukset .....	27
4.7	CFD – mallinnus osana suunnittelua .....	28
5	YHTEENVETO .....	28
	LÄHTEET .....	30

#### LIITE

Suuntapainepuhaltimien ja sprinklerisuuttimien sijoitus esimerkki

## 1 JOHDANTO

Tämä työ on laadittu suunnittelutyön apuvälineeksi toteutettaessa suljettujen pysäköintitilojen ilmanvaihtoa ja savunhallintaa suuntapainepuhallinjärjestelmällä. Työn tarkoitus on toimia IV-suunnittelijan työkaluna erityisesti kohteen esi- ja hankesuunnitteluvaiheessa, sekä yleispätevänä ohjeena tapauksissa joissa vaaditaan ymmärrystä suuntapainepuhallinjärjestelmän käytöstä. Työssä ei ohjeisteta virtaustekniseen CFD-mallinnukseen liittyviä toimenpiteitä ja menetelmiä.

Suljettujen pysäköintitilojen ilmanvaihtojärjestelmiltä voidaan vaatia usein suuria tulo- ja poistoilmavirtoja, jotta tiloista saadaan riittävän tehokkaasti poistettua haitalliset ilman epäpuhtaudet ja lämpökuormat, joista merkittävä osa syntyy ajoneuvojen polttomoottorien palamisreaktion tuotteena.

Käytettäessä pysäköintitilassa perinteistä kanavoitua ilmanvaihtoa ja savunpoistoa voidaan kohdata tilankäytöllisiä ongelmia ja tästä mahdollisesti seuraavaa rakennuskustannusten kasvua. Ilmanvaihdon energiatehokkuuden toteutuminen asettaa myös osaltaan haasteita tilan epäpuhtauslähteiden ollessa hyvin paikallisia, joka edellyttää järjestelmältä nopeaa paikallisiin ilman epäpuhtauksiin reagointia.

Vaihtoehtoisena suljetun pysäköintitilan ilmanvaihtotapana käytetty suuntapainepuhallinjärjestelmä pohjautuu 1960-luvulla kehitettyyn tunneli-ilmanvaihtoon, jossa tilan ilmamassoja liikutellaan suurten, pääasiassa kattoon asennettujen puhaltimien avulla. Pysäköintitiloissa menetelmän käyttö on tilojen monimuotoisuuden takia tunneleita monimutkaisempaa, mutta hyvin suunnitellulla ja toteutetulla järjestelmällä voi olla mahdollista saada aikaan kustannussäästöjä niin rakennuksen toteutus- kuin käyttöajanakin.

## 2 PYSÄKÖINTITILOJEN ILMANVAIHTO

Tässä luvussa käsitellään suljettujen pysäköintitilojen (yli 60 m<sup>2</sup>) ilmanvaihdon viranomaismääräyksiä, toteutusperiaatteita, tiloissa esiintyviä epäpuhtauksia, sekä tilojen savunhallinnan lähtökohtia.

## 2.1 Viranomaismääräykset ja ohjeet

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteessä 2 määritetään moottoriajoneuvosuojien ilmanvaihto-ohjeet jotka suunnittelutyössä tulee ottaa huomioon. Ohjeita ei sellaisinaan tule noudattaa, mikäli moottoriajoneuvosuojan yhteydessä on muita tiloja joissa työskennellään jatkuvasti. Tällaisia tiloja voivat olla esimerkiksi huolto- ja korjaustilat tai lastaustermiinit. Tapauksissa joissa suojan yhteyteen rakennetaan muita sisäilmastoltaan puhtaammaksi luokiteltuja tiloja, ilmanvaihto suunnitellaan näiden tilojen vaatimusten mukaiseksi. [1, Liite 2.]

Tilojen ilmanvaihdon on oltava riittävä, jotta tilojen käyttäjille ei aiheudu terveydellistä haittaa. Moottoriajoneuvosuoja on suunniteltava alipaineiseksi, mikäli se on yhteydessä muuhun rakennukseen. Suojan tuloilmana voidaan käyttää rakennuksen muista tiloista johdettua siirtoilmaa, mutta tällöin tulee huomioida tilojen käyttöaikojen eroavaisuudet ja selvittää, onko muiden tilojen poistoilman lämmöntalteenoton käyttö taloudellisempi vaihtoehto. [1, Liite 2.]

Riittävän ilmanvaihdon varmistamiseksi tilojen kaikissa osissa on kiinnitettävä huomiota tulo- ja poistoilma-aukkojen sijoitukseen. Näin pyritään estämään likaisen ilman tarpeeton leviäminen eniten epäpuhtauksia sisältäviltä alueilta. Tarvittaessa voidaan käyttää myös siirtoilmapuhaltimia tai paikallispoistoja epäpuhtaan ilman hallitsemiseksi. [1, Liite 2.]

Moottoriajoneuvosuojaan ei vaadita koneellista ilmanvaihtoa jos:

- Suojan pinta-ala on alle 60 m<sup>2</sup>.
- Suoja on lämmittämätön, sen ulkoseinien pinta-alasta vähintään 30 % on avointa ja näiden aukkojen pinta-ala on vähintään 10 % tason lattiapinta-alasta, eikä tilassa ole ilman liikettä merkittävästi häiritseviä rakenteellisia esteitä.
- Kyseessä on riviautosuoja, johon on mahdollista toteuttaa painovoimainen ilmanvaihto. [1, Liite 2.]

### 2.1.1 Ilmamäärät

Käytettäessä koneellista ilmanvaihtoa, pysäköintitilan poistoilmavirta määräytyy tapauskohtaisesti, jonkin seuraavan vaihtoehdon mukaisesti: [1, Liite 2.]

1. Tilassa keskimäärin yksi ajo autopaikkaa kohti vuorokauden vilkkaimman 8 tunnin jakson aikana, esim. asuin talojen paikoitustilat:

$$q_{v, \text{poisto}} = 0,9 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$$

2. Tilassa keskimäärin 2-4 ajoa autopaikkaa kohti vuorokauden vilkkaimman 8 tunnin jakson aikana, esim. toimisto- ja virastotalojen henkilökunnan paikoitustilat:

$$q_{v, \text{poisto}} = 2,7 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$$

3. Tilassa jossa on edellä mainittuja useampia ajoja autopaikkaa kohti, esim. paikoitustalot ja toimisto-, virasto- ja liikerakennusten asiakaspaikoitus:

$$q_{v, \text{poisto}} = n * 0,9 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2, \text{ jossa } n = \text{ajojen lukumäärä, } n \geq 4.$$

### 2.1.2 Ilmavirtojen säätö

Tilojen ilmavirtojen säätö tapahtuu epäpuhtauspitoisuuksien (esim. hiilimonoksidi, CO) perusteella.

Ilmavirtojen tehostustarvetta tilassa voivat aiheuttaa esim. autojonojen syntyminen (pysäköintimaksujärjestelyt, muut jonoa kerryttävät liikennejärjestelyt) tai muut tilan käyttöasteen hetkelliset muutokset.

Ilmanvaihdon tehoa voidaan pienentää tilan käyttöajan ulkopuolella. Tällöin ohjauksen tulee tapahtua epäpuhtauspitoisuuden perusteella, ja tila on varustettava erillisellä hälytysjärjestelmällä. Ohjaus- ja hälytysantureiden lukumäärä kerrostasoa kohti on vähintään 3 kpl. Yleisiä asennuspaikkoja ovat esimerkiksi ajoreitit ja –luiskat joissa epäpuhtauspitoisuudet kohoavat eniten. Yleinen asennuskorkeus on 1,7 m. Antureiden sijoitus tulee kuitenkin suunnitella aina tapauskohtaisesti.

Hiilimonoksidin raja-arvoina ilmavirtojen säädössä voidaan käyttää esim.:

- Ohjaus: 50 ppm (CO)
- Hälytys: 70 ppm (CO)

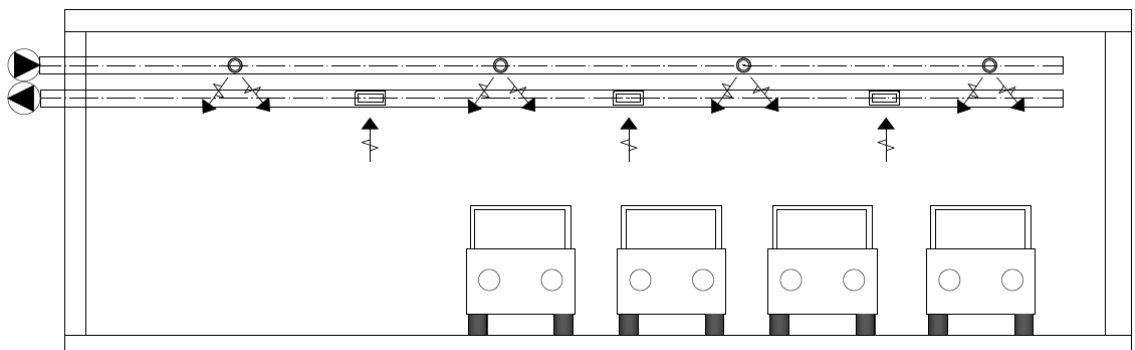
[1, Liite 2.]



## 2.2 Ilmanvaihtoperiaatteet

### 2.2.1 Perinteinen kanavistoilmanvaihto

Perinteinen kanavistoilmanvaihto toteutetaan tulo- ja poistoilman päätelaitteita käyttäen kuvassa 1 esitetyllä tavalla. Ilmavirrat tuotetaan erillisillä tulo- ja poistoilmapuhaltimilla joiden käyttö voi olla jatkuvaa, tilojen käyttöaikojen mukaan ajastettua tai epäpuhtauspitoisuuksista johtuvaan tarpeenmukaisuuteen perustuvaa. Tarpeenmukaisessa puhallinkäytössä paikallisia epäpuhtauspitoisuuksia mitataan tilan eri kohdista joissa epäpuhtauspitoisuudet kohoavat suurimmiksi. Paikallisiin epäpuhtauspitoisuuksiin energiatehokkaasti reagoivan järjestelmän toteuttaminen voi osoittautua hankalaksi, sillä se vaatii automaatiojärjestelmältä sekä puhaltimien kierrosnopeuksien että päätelaittekohtaisten ilmavirtojen nopeaa muuttamista siten että ilmanvaihtoa tehostetaan vain epäpuhtailla alueilla. Käytettäessä suuria kanavakokoja järjestelmä voi myös vaatia huomattavan paljon tilaa jo usein muutenkin ahtaista pysäköintitiloista, kuten kuvan 2 esimerkistä voidaan todeta.



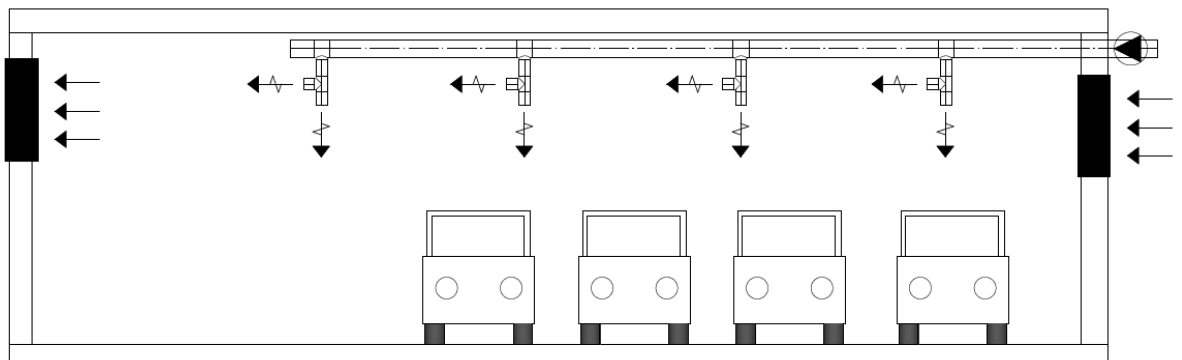
**KUVA 1. Ilmanvaihto tulo- ja poistoilmakanavistoa käyttäen**



**KUVA 2. Esimerkki suurten kanavakokojen tilavaatimuksista pysäköintitiloissa**

### 2.2.2 Suutinkanavajärjestelmä

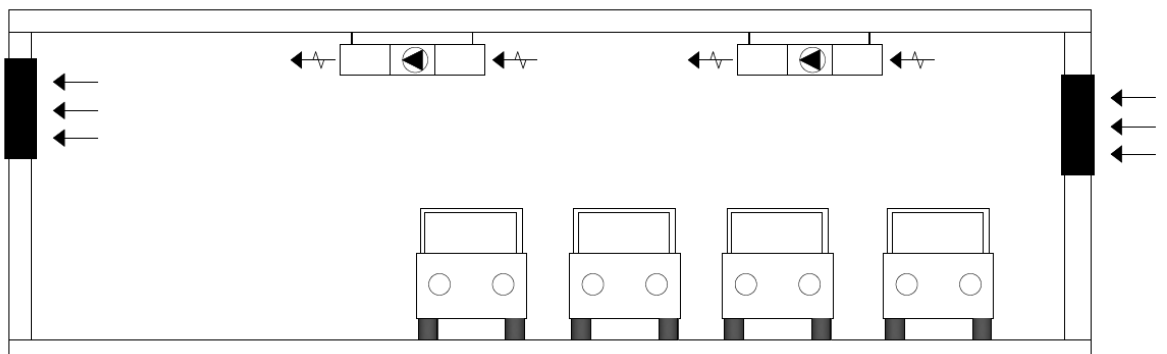
Suutinkanavajärjestelmä on toimintaperiaatteeltaan tavallisen kanavoidun ilmanvaihtojärjestelmän ja suuntapainepuhallinjärjestelmän välimaastossa. Sen toiminnan periaatteena on pyrkiä ilman täydelliseen sekoittumiseen tilassa. Järjestelmän varsinainen tuloilma johdetaan tilaan pienellä nopeudella esim. seinän tuloilmasäleikköjen kautta. Erillisellä suutinkanavistolla aikaansaadaan tuloilman liike kohti poistoilmapistettä kuvan 3 mukaisesti. Suutinkanaviston ilmamäärät ovat verrattain pieniä ja ilman lähtönopeus suuttimista on mitoitettu siten, että se indusoi mukaansa oikean määrän ilmaa. Järjestelmän ohjaus vaatii paikallisten epäpuhtauksien mittausta useammasta eripisteestä, jotta epäpuhtauspitoisuudet poistuvat tilasta tehokkaasti. [2, s. 533.]



**KUVA 3. Suutinkanavajärjestelmän toimintaperiaate**

### 2.2.3 Suuntapaine puhallinjärjestelmä

Suuntapaine puhallinjärjestelmä on viimeaikoina yleistynyt periaate pysäköintitilojen ilmanvaihdon toteuttamiseksi. Se perustuu suurilla, pääasiassa kattoon asennettavilla, puhaltimilla tapahtuvaan ilman liikuttamiseen tuloilmapisteeiltä koko tilan kautta poistoilmapisteeille, jossa poistopuhallin/-puhaltimet johtavat epäpuhtaan ilman ulos rakennuksesta. Menetelmä ei edellytä ilmanvaihtokanavien käyttöä itse pysäköintitilassa, mutta joissain tapauksissa tulo- tai poistoilmapisteen siirto tilan eri osiin kanavoinnin avulla voi tulla kysymykseen. Etenkin maanalaisissa tiloissa erilliset tulo- ja poistoilmapuhaltimet kanavoitteineen voivat olla välttämättömiä jotta saadaan johdettua ilmaa tilaan ja sieltä pois. Suuntapaine puhaltimien avulla voidaan poistaa tilasta epäpuhtas ilmassa käyttämättä kerralla koko järjestelmän toimintakapasiteettia, sillä niiden ohjaus perustuu paikallisiin epäpuhtauspitoisuuksien mittauksiin jolloin vain tarvittavat puhaltimet käyvät siirrettäessä ilmaa epäpuhtaalta alueelta kohti poistopistettä. Järjestelmän tarkoituksenmukaisen toiminnan saavuttamiseksi tilaan tarvitaan useita epäpuhtauspitoisuuksien mittauspisteitä. Puhaltimia on mahdollista käyttää ilmanvaihdon lisäksi myös palotilanteissa osana savunhallintaa (ks. 4.4 Savunhallinta). Kuvassa 4 on esitetty periaatepiirros suuntapaine puhallinjärjestelmän toiminnasta ilmanvaihtotilanteessa ja kuvassa 5 esimerkki pysäköintitilaan asennetuista puhaltimista.



**KUVA 4. Suuntapaine puhallinjärjestelmän toimintaperiaate**



**KUVA 5. Pysäköintitilan kattoon asennettuja suuntapainepuhaltimia**

### 2.3 Pysäköintitilojen epäpuhtaudet

Pysäköintitilojen haitallisimpana ilman epäpuhtautena pidetään yleisesti hiilimonoksidia (CO), kansankielellä häkää. Hiilimonoksidia vapautuu tilaan ajoneuvojen polttomoottoreissa tapahtuvan epätäydellisen palamisen seurauksena. Se sitoutuu ihmisen veren hemoglobiiniin happea voimakkaammin, aiheuttaen hapen puutoksen joka lievimmillään johtaa mm. päänsärkyyn, pahoinvointiin ja oksenteluun, pahimmillaan kuolemaan. [3, s. 23.] Pysäköintitiloissa usein tapahtuva ajoneuvojen kylmäkäynnistys tuottaa epäpuhtauspitoisuuksia selvästi enemmän kuin ajaminen lämpimällä moottorilla, mm. siksi että nykypäivän autojen pakokaasuja ”puhdistavan” katalysaattorin toiminta edellyttää riittävän, vähintään 250 °C:n lämpötilan.

Ajoneuvojen päästöistä huomattava osuus on myös hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Tämä on syytä huomioida tilan epäpuhtauspitoisuuksia hallittaessa.

Hiilimonoksidin ja hiilidioksidin lisäksi muita polttomoottoreista syntyviä epäpuhtauksia ovat mm. [4, s. 13]

- hiilivedyt (HC)

- typen oksidit ( $\text{NO}_x$ )
- hiukkaset (PM)
- metaani ( $\text{CH}_4$ )
- typpioksiduuli ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ )

Epäpuhtauspitoisuuksien (kaasujen) liike ja kerrostuminen riippuvat teoriassa kaasun ja ilman massan suhteesta. Ilmaa kevyemmät kaasut ( $\text{CO}$ ) nousevat ylöspäin ja ilmaa raskaammat kaasut ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ) jäävät tilan alaosaan. Käytännön tilanteessa pakokaasujen ilmaa korkeampi lämpötila ja ilmanvaihdon tuottamat ilmavirrat aiheuttavat kuitenkin myös raskaampien kaasujen nousun ylöspäin ja niiden sekoittumisen ympäröivään ilmaan. [4, s. 38.]

### 2.3.1 HTP – Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet -julkaisussa määritellyillä HTP-arvoilla kuvataan eri aineiden pienimpiä pitoisuuksia joilla arvioidaan olevan haitallista vaikutusta ihmisen terveydelle, altistumisajasta ja aineen pitoisuudesta riippuen. Arvoina käytetään hetkellistä pitoisuutta  $\text{HTP}_{15\text{min}}$  ja pidempää altistumista  $\text{HTP}_{8\text{h}}$ . Taulukkoon 1 on poimittu tyypillisten ajoneuvoista peräisin olevien epäpuhtauksien HTP –raja-arvot.

**TAULUKKO 1. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön HTP-arvoja vuonna 2014. [5]**

	HTP-arvot			
	8h		15min	
	ppm	mg / m <sup>3</sup>	ppm	mg / m <sup>3</sup>
Hiilimonoksidi ( $\text{CO}$ )	30	35	75	87
Hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ )	5000	9100		
Rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ )	1	2,7	4	11
Typpioksidi ( $\text{NO}$ )	25	31		
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	3	5,7	6	11

## **2.4 Savunpoisto palotilanteessa**

Pysäköintitilojen savunpoistosta on annettu määräykset ja ohjeet Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa E2, tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus sekä E4, autosuojien paloturvallisuus.

Autosuojaan sovelletaan yleisesti palovaarallisuusluokan 1 (toiminnot, joihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara) mukaisia ohjeita. Suunniteltavan autosuojan suojaustason ollessa määritetty tasolle 3 (=kohteessa automaattinen sammutuslaitteisto ja alkusammutuskalusto suojaustason 1 mukaisesti), tulee huomioida että savunpoistolaitteisto ei saa viivyttää eikä vaarantaa sammutuslaitteiston toimintaa (ks. 4.6.1 Suuntapainepuhallinten vaikutus sprinklerilaitteiston toimintaan). [6, s. 7; 7]

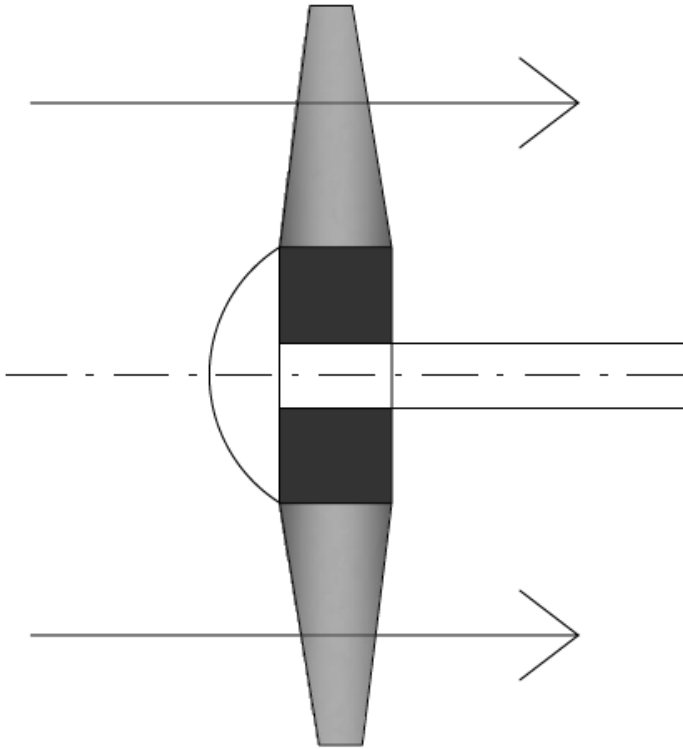
Kappaleessa 4.4.2 on tarkemmin käsitelty suuntapainepuhaltimien käyttöä osana rakennuksen savunpoistojärjestelmää.

## **3 SUUNTAPAINEPUHALTIMEN OMINAISUUDET JA TOIMINTA**

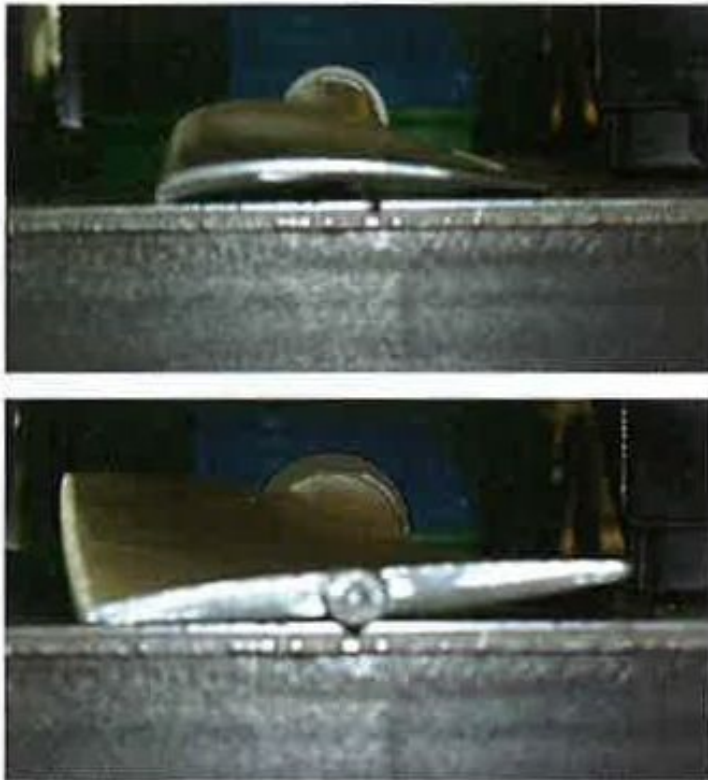
### **3.1 Puhaltimen rakenne**

Suuntapainepuhaltimet luokitellaan aksiaalipuhaltimiksi, ilman virratessa suoraan puhaltimen läpi siipipyörän akselin suuntaisesti kuten kuvassa 6 on esitetty.

Suuntapainepuhaltimen puhallussuunnan vaihtaminen voi olla laitevalmistajasta ja -mallista riippuen mahdollista. Tämän mahdollistaa kuvassa 7 esitetty puhallinsiipien symmetrinen muotoilu, jolloin siipipyörän pyörimissuuntaa voidaan vaihtaa ilman, että siitä aiheutuu ilmavirran tai siipipyörän mekaanisen kestävyuden heikkenemistä. [2, s. 162.]

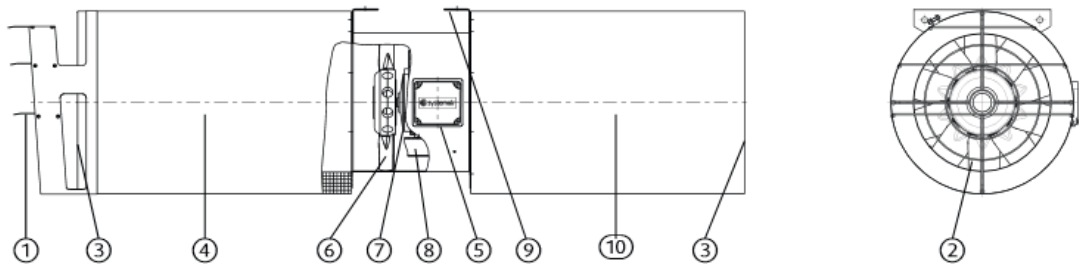


**KUVA 6. Ilmavirran kulkusuunta aksiaalipuhaltimessa**



**KUVA 7. Yllä tavanomaisissa aksiaalipuhaltimissa käytetty Airofoil – siipi, alla suuntapainepuhaltimen symmetrinen siipi [2, s. 151]**

Kuvassa 8 on esitetty suuntapainepuhaltimen pääasialliset komponentit, joissa voi olla eroavaisuuksia laitevalmistajista ja puhaltimen käyttötarpeista riippuen. Puhaltimen perusrakenne on kuitenkin yleisesti ottaen hyvin samanlainen eri malleissa. Kuvissa 9 ja 10 on käytännön esimerkki pysäköintitilaan asennetusta puhaltimesta, joka on varustettu puhalluksen ohjaukseen tarkoitetuilla siivillä ja puhallinta suojaavalla ritilällä. Puhalluksen ohjauksella voidaan suunnata ilmavirtoja esim. tilanteissa joissa pysäköintitilan katossa on virtausta häiritseviä palkkeja.



**KUVA 8. Esimerkki suuntapainepuhaltimen rakenteesta (Systemair AJR/AJ8) [8]**

Kuvassa 8 esitetyn puhaltimen komponentit:

1. Puhalluksenohjaussiivet
2. Suojaritilä
3. Puhaltimen kartio-osat
4. Äänenvaimennin, painepuoli
5. Kytkentärasia
6. Siipipyörä
7. Moottori
8. Moottorin pohjalevy
9. Kiinnityspisteet
10. Äänenvaimennin, imupuoli





**KUVA 9. Suojaritulällä varustettu suuntapainepuhallin imupuolelta kuvattuna**

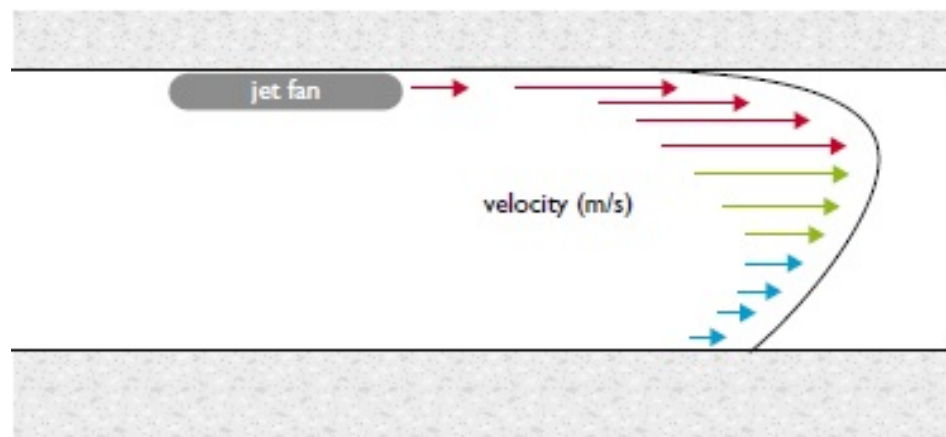


**KUVA 10. Suuntapainepuhaltimen painepuoli, joka on varustettu puhalluksenohjaussivillä**

### 3.2 Puhaltimen ilmasuihku

Suuntapainepuhaltimella aikaansaadaan suurinopeuksinen turbulenttinen ilmasuihku. Puhaltimen tuloilmasuihkun vaikutukset ulottuvat huomattavasti tavanomaisia poistoilmavirtoja kauemmas, ja näin ollen ulkoiset tekijät vaikuttavat sen käyttäytymiseen huomattavan paljon. Puhaltimen tuloilmasuihkuun vaikuttavia tekijöitä voivat olla mm. suihkun tiellä olevat esteet, tilan muoto ja ympäröivät pinnat, toiset suihkut, puhaltimien ominaisuudet (muoto, tilavuusvirta, ym.) sekä virtaukset jotka aiheutuvat mm. lämpötilaeroista, paine-eroista ja ajoneuvojen liikkeistä. [9, s. 76.]

Suuri merkitys suuntapainepuhaltimen ilmasuihkun vaikutukseen on ympäröivän ilman indusoitumisella suihkuun. Ilmasuihkun edetessä sen nopeus laskee, siihen sekoittuu ympäröivää ilmaa ja tilavuusvirta kasvaa. Tilavuusvirran kasvua ja induktiota rajoittavat ympäröivät pinnat. [9, s. 76.] Puhaltimien tuottamia ilmavirtoja ei kuitenkaan suuntapainepuhaltimista puhuttaessa yleensä käsitellä tilavuusvirtoina ( $q_v$ ), vaan suureena käytetään puhaltimen työntövoimaa Newtonneissa (N) [ $\text{Pa}/\text{m}^2$ ]. Kuvassa 11 on esitetty periaate suuntapainepuhaltimella aikaansaattavan ilmavirtauksen profiilista.



**KUVA 11. Periaate suuntapainepuhaltimen aikaansaaman ilmavirtauksen profiilista [10]**

Aksiaalipuhaltimia käsiteltäessä tulee muistaa, että niiden imuaukolla tapahtuva virtaus on häiriöherkkä. Esimerkiksi puhaltimen imuaukon ja seinäpinnan liian pieni etäisyys toisistaan voi alentaa puhaltimen suorituskykyä. [11, s. 137]

### 3.3 Puhaltimen äänenkehitys

Puhallintyyppistä tai laitevalmistajasta riippumatta puhaltimien äänenkehitykseen vaikuttavat aina tietyt asiat. Näihin lukeutuvat mm.:

- Ilmaääni (puhaltimen turbulentsissa virtauksessa paineen vaihtelujen tuottama ääni)
- Puhaltimen värähtely (laakeroinnista ja osien tasapainotuksesta aiheutuva värähtely, suuria puhaltimia käsiteltäessä tämän merkitys on vähäinen)
- Virtauksen esteet (kaikki puhaltimen ilmavirran edessä olevat objektit, jotka aikaansaavat ilman pyörteilyä aiheutuvaa paineen vaihtelua)

Periaatteena voidaan pitää, että mitä suuremmilla kierroksilla puhallin pyörii, sitä korkeammilla taajuuksilla on puhaltimen tuottama ääniteho. Mitä parempi hyötysuhde puhaltimella on, sitä pienempi on sen ominaisäänitehotaso. [12, s. 48-49.]

Suomessa yleisesti saataville suuntapainepuhaltimille laitevalmistajien ilmoittamat äänenpainetasot ( $L_{pA}$ ) vaihtelevat karkeasti välillä 60 – 75 dB puhaltimesta riippuen. Näissä lukemissa ei välttämättä ole huomioitu puhaltimen ilmavirtaan vaikuttavia mahdollisia lisävarusteita kuten puhalluksenohjaussiipiä.

## 4 SUUNTAPAINEPUHALLINJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Tässä luvussa käsitellään yksityiskohtia, jotka on hyvä huomioida puhallinjärjestelmää suunniteltaessa. Ohjeet on tarkoitettu suunnittelutyön tueksi ja ”muistilistaksi”. Lähtökohtaisesti järjestelmän varsinainen toteutussuunnittelu (sisältäen puhaltimien määrät, sijoitukset, ym.) suositellaan tehtäväksi CFD-virtausmallinnusta hyödyntäen (ks. 4.7 CFD-mallinnus osana suunnittelua).

### 4.1 Puhaltimien valinta

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään suuntapainepuhaltimien valintaan liittyviä asioita. Työn kirjoitushetkellä suuntapainepuhallinjärjestelmiä on saatavana Suomessa mm.

laitevalmistajilta kuten Fläkt Woods ja Systemair. Ulkomaisia laitevalmistajia maailmalla on useita, joista mainittakoon mm. Novenco ja Colt.

#### **4.1.1 Käyttötarkoitus**

Puhaltimien ominaisuuksia valittaessa tulee tietää mihin toimintaan niitä tullaan käyttämään, sekä vaaditaanko niiltä puhalluskykyä molempiin suuntiin. Vaihtoehtoja puhaltimien käyttötarkoitukselle ovat:

- Ilmanvaihto ja savunhallinta
- Pelkkä ilmanvaihto
- Pelkkä savunhallinta

Käytettäessä puhaltimia eri toimintoihin (ilmanvaihto, savunhallinta tai yhteiskäyttö), niiden ominaisuuksissa ja huoltovaatimuksissa (ks. 4.6.2 Järjestelmän huoltovaatimukset) on määräysten mukaisuuden ja kustannusten suhteen eroja jotka tulee huomioida.

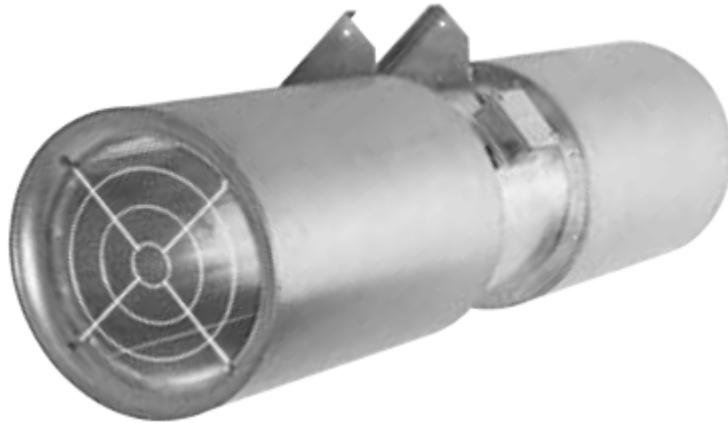
Savunhallintaan käytettävältä puhaltimelta vaadittuihin ominaisuuksiin vaikuttaa se, onko samassa tilassa käytössä automaattinen palonsammutusjärjestelmä. Puhaltimen palonkeston vaatimus ilman automaattista sammutusjärjestelmää on 2 h / 400 °C ja automaattisen sammutusjärjestelmän kanssa 2h / 200 °C. [13, s. 15] Erityisesti savunhallinnassa on hyötyä puhaltimen kyvystä toimia molempiin suuntiin, jolloin saman puhaltimen avulla voi olla mahdollista hallita erilaisia savunhallintatilanteita, palon alkulähteen sijainnista riippuen.

#### **4.1.2 Puhallinmalli**

Pysäköintitilojen puhallintyyppin valintaan vaikuttaa sen käyttötarkoituksen vaatimien ominaisuuksien lisäksi mm. käytettävissä oleva tilan suuruus, muodot ja vapaa korkeus.

Markkinoilla olevista puhaltimista löytyy malleja jotka soveltuvat käytettäväksi erilaiset vaatimukset omaavissa tiloissa. Alla on esitetty yleisimmin saatavilla olevia puhallintyyppejä.

Aksiaalipuhaltimet, joita tässä työssä käsitellään, ovat yleisin laitetyyppi suuntapainepuhallinjärjestelmissä. Eroavaisuuksia löytyy puhaltimien kokoluokissa, käyttötarkoituksissa ja muotoiluissa. Kuvassa 12 on esitettyä pyöreä ja kuvassa 13 8-kulmainen aksiaalinen puhallin.



**KUVA 12. Systemair AJR-TR – sarjan suuntapainepuhallin [14, s. 9]**



**KUVA 13. Systemair AJ8 – sarjan suuntapainepuhallin [14, s. 10]**

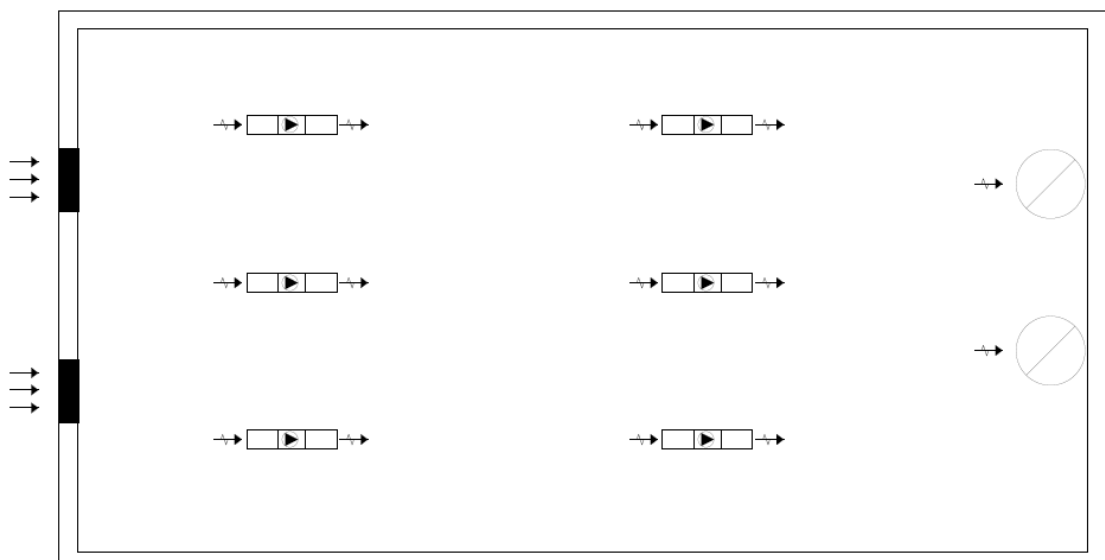
Induktiopuhaltimia, joita tässä työssä ei laajemmin käsitellä, on käytetty suuntapainepuhallinjärjestelmissä, mutta niiden toimintaperiaate eroaa hieman aksiaalipuhaltimen toiminnasta. Induktiopuhaltimet ovat muotoilultaan ratkaisevasti erilaisia aksiaalimalleihin verrattuna, mutta niitä voidaan käyttää samalla periaatteella ilmanvaihdossa ja savunhallinnassa. Puhaltimen imuoli on sen alapinnassa ja ilmavirran puhallus onnistuu vain yhteen suuntaan. Induktiopuhaltimien käyttökohteita voivat olla mm. tilat jotka ovat liian matalia riittävän suurten, pyöreän mallisten aksiaalipuhaltimien asentamiseksi. Kuvassa 14 on esitetty esimerkkikuva induktiopuhaltimesta.



**KUVA 14. Systemair IV – sarjan induktiopuhallin [14, s. 11]**

#### 4.2 Tulo- ja poistoilmapisteeet

Tulo- ja poistoilmapisteeet on pyrittävä sijoittamaan siten, että suuntapainepuhallinjärjestelmälle voidaan taata mahdollisimman yksinkertainen toiminta. Käytännössä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi pisteiden sijoittamista rakennuksen eri puolille kuvan 15 periaatepiirroksen kaltaisesti. Tulo- ja poistoilmapisteeitä voidaan tarvittaessa siirtää kanavoinnilla, mikäli puhallinjärjestelmän suunnittelu tätä edellyttää (mikäli esim. rakenteelliset ratkaisut muutoin estävät pisteiden optimaalisen sijoituksen). Pysäköintitilan sijaitessa maan alla tulee erillisten tulo- ja poistoilmapuhaltimien käyttö usein kysymykseen jotta ilmaa saadaan johdettua tilaan ja sieltä pois.



**KUVA 15. Periaatepiirros tulo- ja poistoilmapisteeiden sijoittelusta**

Tuloilma voidaan johtaa pysäköintitilaan esimerkiksi ulkoilmaan johtavilta ajoväyliltä tai muuta reittiä tuloilmapuhaltimen/-puhaltimien avulla. Myös rakennuksen muiden

tilojen siirtoilman hyödyntäminen pysäköintitilan tuloilmana on Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan sallittua. Tuloilmapisteistä tulee olla saatavissa riittävä määrä korvausilmaa niin ilmanvaihto- kuin palotilanteessa. Kuvassa 16 on esitetty esimerkki pysäköintitilassa käytössä olevasta järjestelmästä, jossa riittävän tulo-/korvausilman saannin mahdollistaa tilan säleikkö malliset avoimet ulkoseinät.

Savunpoistossa käytettävien poistoilmapisteen sijoituksessa tulee huomioida hätäpoistumisreittien sijainnit siten, että reitit ovat käytettävissä silloinkin kun puhaltimet poistavat tilasta savua.



**KUVA 16. Esimerkkitapaus tulo-/korvausilman johtamisesta pysäköintitilaan**

### **4.3 Kohteen rakenteelliset ratkaisut**

Kohteen suunnitteluprosessin alkuvaiheesta lähtien tulee kiinnittää huomiota tilan rakennesuunnitteluun ja siihen, että rakenteellisia ratkaisuja pyrittäisiin toteuttamaan suuntapainepuhallinjärjestelmän toimintaedellytykset huomioon ottaen. Ilma-/kaasumassan liikkeitä voivat usein häiritä tilassa sijaitsevat palkit/muut rakenteet,

valaisimet, ym., mutta rakenteiden avulla voi olla mahdollista muodostaa myös liikettä edesauttavia reittejä.

Pysäköintitilan käytettävissä oleva korkeus voi aiheuttaa päänvaivaa ilmanvaihdon suunnittelussa, myös suuntapainepuhallinjärjestelmän ollessa kyseessä. Riittävän korkeiksi suunnitelluissa tiloissa voidaan käyttää suurempia suuntapainepuhaltimia ja näin pienentää puhaltimien kokonaismäärää. [15]

Poistumisteiden, muihin tiloihin johtavien ovien ja muiden mahdollisten kulkureittien sijoitus tulee olla savunhallinnassa käytettäviin suuntapainepuhaltimiin verrattuna siten, että niihin kohdistuu mahdollisimman vähän puhaltimista aiheutuvaa dynaamista painetta. Näin pyritään välttämään savun tunkeutumista hätäpoistumisreiteille ja muihin tiloihin mahdollisessa palotilanteessa. Myös hätäpoistumisreittien ja savunpoistopisteiden sijainti tulee yhteen sovittaa siten, ettei savunpoiston toiminta palotilanteessa hankaloita käyttäjien poistumista tilasta. [16, s. 18.]

## **4.4 Savunhallinta**

### **4.4.1 Savunpoistotasot**

RIL 232–2012 Rakennusten savunpoisto – julkaisussa on annettu ohjeita rakennuksen savunpoiston järjestämisestä. Julkaisussa on määritelty kolme eri savunpoistotasoa, jotka antavat lähtökohtia suunnittelutyöhön. Noudatettavia määräyksiä aiheeseen liittyen on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osiossa E, rakenteellinen paloturvallisuus.

Savunpoistotasoihin on määritelty minimivaatimukset, jotka on mahdollista myös ylittää (esim. tasoon III riittävän laitteiston käyttö tason II laitteistona). Savunpoistotasojen minimivaatimukset ovat seuraavat:

Savunpoistotasossa I riittää, mikäli rakennuksen tavanomaisia ikkuna- ja oviaukkoja voidaan hyödyntää savunpoistossa tai palokunta pystyy poistamaan savun tilasta omin voimin. Tähän tasoon kuuluvia tiloja voivat olla esim. kerrostalohuoneistot ja muut tavanomaiset asuinrakennukset. Rakennuksen suojaustaso ja toimintavarmuusluokka



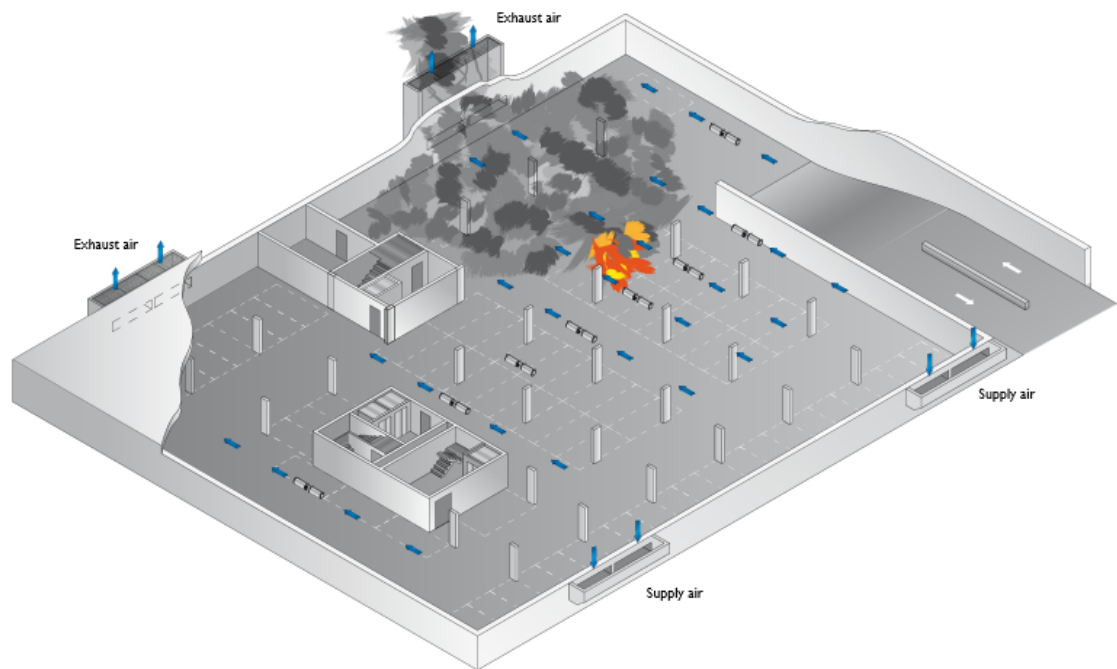
on 1. Suunnittelussa mitoitusmenetelmänä käytetään % -perusteista arviointia E2/E4 mukaisesti. [17, s. 38.]

Savunpoistotasossa II pyritään helpottamaan palokunnan toimintaa palotilanteessa. Savunpoistolaitteistoon kuuluu vähintään painonapista/ohjauskeskuksesta avattavat savunpoistoluukut tai painovoimainen/koneellinen savunpoistolaitteisto. Tason II tiloihin voivat kuulua esim. kerrostalojen porrashuoneet. Rakennuksen suojaustaso on 1 ja toimintavarmuusluokka 2. Mitoitusmenetelmänä on kaavamitoitus ja porrashuoneiden savunpoistoluukkujen mitoitus E1 vaatimusten mukaisesti. [17, s. 39.]

Savunpoistotasoon III kuuluu savuilmaisimen signaalista käynnistyvä automaattinen savunpoistojärjestelmä, joka on laukaistavissa myös manuaalisesti. Tässä tasossa savunpoiston tulee mahdollistaa ihmisten turvallinen poistuminen tilasta ennen palokunnan saapumista sekä palokunnan toiminnan helpottaminen ja turvaaminen. Rakennuksen suojaustaso on 2 ja toimintavarmuusluokka 3. Mitoitusmenetelmänä on vakiopalo-tehoon perustuva mitoitusmenetelmä, mutta myös parempia menetelmiä voidaan käyttää (esim. oletettuun palonkehitykseen perustuva). [17, s. 40.]

#### **4.4.2 Suuntapainepuhaltimien käyttö savunhallinnassa**

Samoilla suuntapainepuhaltimilla voi olla mahdollista toteuttaa sekä tilan ilmanvaihto että savunhallinta. Tilaan vaaditaan lisäksi myös varsinainen savunpoistojärjestelmä puhaltimiseen, jotta savu saadaan johdettua ulos rakennuksesta ja tilalle saadaan tuotua riittävä määrä puhdasta korvausilmaa. Joissain tapauksissa voi olla tarpeen lisätä suuntapainepuhallinjärjestelmään myös pelkästään savunhallintaan käytettäviä puhaltimia tai toteuttaa ilmanvaihto ja savunhallinta täysin eri puhaltimilla. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki puhallinjärjestelmän toiminnasta kun pysäköintitilassa on paikallinen tulipalo. Tällöin vain tarvittavia puhaltimia käytetään savunhallintaan, jotta saadaan ohjattua savua kohti poistopistettä ja pidettyä muut tilat vapaana savusta.



**KUVA 17. Järjestelmän toimintaesimerkki paikallisessa tulipalotilanteessa. [14, s. 6]**

Suuntapainepuhaltimien ensisijainen tehtävä savunpoistotilanteessa on luoda savuttomia vyöhykkeitä, jotka mahdollistavat palokunnan sammutustoiminnan. Puhallinjärjestelmällä pystytään myös tehostamaan savunpoistoa palon ajan, sekä hoitamaan savutuuletusta palon loppuvaiheessa. Periaate on, että suuntapainepuhallinjärjestelmä käynnistyy vasta kun kaikki ihmiset ovat päässeet poistumaan alueelta joka palon alkuketkillä täyttyy savusta. [17, s. 147–148.] Pää savunpoistopuhaltimien tulisi käynnistyä välittömästi palontunnistuksen jälkeen. Suuntapainepuhaltimien käynnistyessä liian aikaisin voi olla mahdollista, että ihmisten poistuminen tilasta vaikeutuu savun liikkeiden nopeutuessa ja näkyvyyden heiketessä tai että automaattisen sammutusjärjestelmän toiminta häiriintyy (ks. 4.5.1 Suuntapainepuhallinten vaikutus sprinklerijärjestelmän toimintaan). Puhaltimille tarpeen mukaan määritettävään käynnistymisviiveeseen vaikuttavia asioita ovat: [16, s. 18]

- Tilan koko ja muoto
- Suuntapaine- ja savunpoistopuhaltimien määrät ja sijoitukset
- Tilan oletettu henkilömäärä
- Mahdollisten poistumisteiden sijainnit

Savunhallintatilanteessa tulee varmistua suuntapainepuhaltimien tilavuusvirtaa vastaan korvausilmamäärän saannista, palon sijaitessa missä tahansa osassa pysäköinti-

tilaa. Korvausilma tulee pystyä johtamaan riittävän pienellä nopeudella. Myös varsinainen savunpoistopuhaltimien tilavuusvirran tulisi olla suuntapainepuhaltimien virtaamaa vastaava, jotta pystytään välttämään ei-haluttua turbulenssia ja palokaasujen takaisinvirtausta. [16, s. 18; 13, s. 16.]

## **4.5 Automaatiojärjestelmä**

Tässä kappaleessa käsitellään automaatiojärjestelmän peruskokoonpanoa sekä sen toimintaa suuntapainepuhallinjärjestelmän ohjauksessa.

### **4.5.1 Kiinteistöautomaatiojärjestelmän perusrakenne**

Suuntapainepuhaltimien toimintaa ohjataan osana kiinteistön automaatiojärjestelmää. Automaatiojärjestelmä voi koostua useammasta eri osa-alueesta, joiden avulla pystytään säätämään ja optimoimaan taloteknisten laitteiden toimintaa. Yleisesti puhutaan keskitetystä ja hajautetusta automaatiojärjestelmästä.

Keskitetty automaatiojärjestelmä voi koostua kolmesta tasosta; hallinto-, automaatio- ja kenttätasosta. Järjestelmän tarkoituksena on, että kiinteistön kaikki automatisoidut toiminnot voidaan käsitellä ja ohjata yhdestä paikasta. Hallintotasoon kuuluvat etä- ja paikallisvalvomot, joiden tehtävä on toimia käyttäjärajapinnassa mahdollistaen käyttäjälle koko kiinteistön automaatiojärjestelmän käsittelyn. Automaatiotasoa koostuu prosessoriohjatusta alakeskuksista ja I/O – moduuleista. Sen tehtävä on automaatiojärjestelmän prosessien (mittaus, säätö, ohjaus, hälytys, indikointi) itsenäinen hoitaminen moduuleiden välityksellä. Järjestelmän kenttätasoon kuuluvat mm. erilaiset anturit ja toimilaitteet, joista osa pystyy toimimaan myös itsenäisesti. Antureilla tuotettu tieto kiinteistön olosuhteista käsitellään alakeskuksissa josta ohjataan toimilaitteita säätötarpeiden mukaisesti. [18, s. 43.]

Hajautettu automaatiojärjestelmä (LON, Local Operating Network) ei aina sisällä alakeskuksia, ja sen kenttätaso voi erota keskitetyn järjestelmän kenttätasosta. Tässä järjestelmässä kenttätason laitteita (lähettimet, toimiyksiköt, säätimet, ym.) kutsutaan solmuiksi. Solmut sisältävät järjestelmän ”älyn”, Neuron-mikropiirin, jonka ansiosta laitteet pystyvät toimimaan ja kommunikoimaan itsenäisemmin. Hajautettu järjestelmä on mahdollista liittää keskitettyyn järjestelmään. [18, s. 46.]

#### 4.5.2 Ohjaus

Suomen rakentamismääräysten mukaan pysäköintihallin ilmanvaihtoa ohjataan esimerkiksi CO-pitoisuuden mukaisesti. Määräykset eivät kiellä ohjauksen perustumista myös muihin pysäköintitiloissa esiintyviin epäpuhtauspitoisuuksiin, kuten esim. hiilivetyihin (HC). Eri laitevalmistajilta on saatavana yhdistelmälaitteita joilla eri pitoisuuksien mittaaminen onnistuu yhden laitteen avulla. Esimerkiksi yhdistettyyn CO- ja HC-mittaukseen on saatavana laitteita kuten kuvassa 18 esitetty Sensorex Oy:n SX 422p mitta-anturi sekä kuvan 19 Sensing Oy:n markkinoima Avaco DGT – t2w mitta-anturi.



**KUVA 18. SX 422p mitta-anturi yhdistettyyn CO- ja HC-mittaukseen [19]**



**KUVA 19. Avaco DGT – t2w mitta-anturi yhdistettyyn CO- ja HC-mittaukseen [20]**

Ajoneuvojen päästöt sisältävät myös huomattavan määrän hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>), joka voi olla tarpeen huomioida ilmanvaihdon ohjauksessa. Käytännössä tämä onnistuu esim. kuvan 20 kaltaisen SenseAir aSENSE m III yhdistelmämittalaitteen avulla, jolla ilmavirtojen ohjaus perustuu sekä hiilimonoksidi- että hiilidioksidipitoisuuksiin.



**KUVA 20. SenseAir aSENSE™ m III yhdistelmälähetin CO ja CO<sub>2</sub> mittaukseen. Seinään ja kanavaan asennettavat mallit [21]**

Mittalaitteiden sijoitus on ratkaistava tapauskohtaisesti suunniteltavan kohteen ja puhallinjärjestelmän ominaisuuksien mukaan. Yleisenä suunta-antavana ohjeena pysäköintitiloihin voidaan pitää laitteiden asennuskorkeutta 1,5 - 1,7 m (ihmisen hengityskorkeus) ja niiden asennusta ajoluiskien ja muiden vilkkaimmin liikennöityjen paikkojen läheisyyteen, joissa epäpuhtauspitoisuudet kohoavat helposti suuriksi. Suuntapaine puhallinjärjestelmässä antureiden sijoitukseen vaikuttaa puhallinten sijainti ja mahdolliset toiminta-alueet, joissa ohjataan useaa puhallinta samanaikaisesti. Rakentamismääräysten osassa D2 on asetettu anturien minimilukumääräksi 3 kpl / kerrosta-so, mutta suuntapaine puhallinjärjestelmässä tarvittava antureiden lukumäärä on todennäköisesti tätä suurempi.

Suuntapaine puhallinten ohjaus perustuu järjestelmän tarpeenmukaiseen käyttöön eri alueilla, jolloin ilmanvaihtotilanteessa kaikki puhaltimet eivät käynnisty epäpuhtauspitoisuuden raja-arvon ylittyessä jossakin kohti tilaa, vaan puhaltimet voivat olla jaettuina eri toiminta-alueisiin joista kukin käynnistyy tarpeen mukaan, jotta epäpuhdas ilmamassa saadaan siirrettyä lähimpänä olevalle poistopisteelle. Puhaltimien jakamista ”ryhmiin” käytetään etenkin suuremmissa pysäköintitiloissa. [15.]

CO-ohjauksen raja-arvona voidaan käyttää esimerkiksi D2:ssa ehdotettua pitoisuutta 50 ppm, mutta ero hälytyksen raja-arvoon tulee olla riittävä aiheettomien hälytyksien välttämiseksi. Pitoisuuden noustessa tietyllä alueella halutun ohjauksen raja-arvon yli,

tarvittavat suuntapainepuhaltimet käynnistyvät ilmanvaihtoteholle. Muuna aikana jolloin pitoisuus on raja-arvoa pienempi, voidaan perusilmanvaihtoa pitää yllä esim. tilan tulo- ja poistoilmapuhaltimia käyttämällä.

#### 4.5.3 Hälytys

Käytettäessä epäpuhtauspitoisuuksien perusteella ohjattavaa ilmanvaihtojärjestelmää pysäköintitilassa, Suomen rakentamismääräykset vaativat tilan varustamista erillisellä hälytysjärjestelmällä joka reagoi pitoisuuksien noustessa liian korkeiksi. CO-hälytyksen raja-arvona voidaan käyttää esimerkiksi pitoisuutta 70 ppm. [1, Liite 2] Halutun raja-arvon ylityttyä aiheutuu hälytys ja ilmavirtoja tehostetaan suuntapainepuhaltimien ja/tai tulo- ja poistoilmapuhaltimien avulla.

#### 4.5.4 Palotilanne

Keinoja järjestelmän palontunnistukseen ovat mm.

- Savun tunnistus
- Lämpötilan nopean nousun tunnistus
- Sprinklerijärjestelmän laukaisun tuottama paloilmoitus
- Käsikäyttöinen kytkin

Järjestelmän toiminta palotilanteessa tulee aina suunnitella kohteen ominaisuuksien ja paikallisen pelastusviranomaisen vaatimusten ja ohjeiden mukaisesti.

Esimerkkinä savunhallinnan toimintatavasta suuntapainepuhaltimilla voidaan pitää seuraavaa: [16, s. 18]

1. Pää savunpoistopuhallin/-puhaltimet käynnistyvät välittömästi savuntunnistuksen jälkeen.
2. Suuntapainepuhaltimet käynnistyvät tapauskohtaisesti määritellyn käynnistymisviiveen jälkeen, esim. 180s kuluttua 50 % teholle ja 240s kuluttua 100 % teholle (ks. 4.4.2 Suuntapainepuhaltimien käyttö savunhallinnassa). Tarvittavat suuntapainepuhaltimet käyvät savunhallintatilanteessa yleensä täydellä teholla. Kaikkien puhaltimien ei tarvitse olla toiminnassa, mikäli palo ja savun leviäminen rajoittuu vain tiettyyn osaan rakennusta.

Käytettäessä puhallinjärjestelmää savunhallintaan, on ohjausjärjestelmän kyettävä ohittamaan kaikki muut säädöt ja ohjaukset palotilanteessa, ja järjestelmä on varustettava erillisellä käyttökytkimellä joka on sijoitettu siten, että sillä on mahdollista käynnistää ja sammuttaa järjestelmä palotilanteessa.

## 4.6 Yleisesti huomioitavaa

### 4.6.1 Suuntapainepuhallinten vaikutus sprinklerijärjestelmän toimintaan

Suljettujen pysäköintitilojen palontorjuntaan useimmiten kuuluu sprinklerijärjestelmä. Sprinklerisuuttimien laukeamisen aiheuttaa niiden laukaisuelementtien reagoiminen savusta ja palamiskaasuista peräisin olevaan lämpöön. Käytettäessä suuntapainepuhaltimia savunhallintaan (= savun siirto varsinaiselle savunpoistopuhaltimelle/-pisteelle tai kulkureittejä avaava savun siirto) ne käyvät lähtökohtaisesti täydellä teholla. Tällöin voi tapauskohtaisesti olla olemassa joitakin palontorjunnan toimintaan haitallisesti vaikuttavia tekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon suunnittelussa.

#### 1. Suuntapainepuhaltimien vaikutus sprinklerien laukaisuviiveeseen:

Mitä suuremmalla teholla suuntapainepuhaltimia käytetään, sitä suuremmalla todennäköisyydellä ne voivat vaikuttaa sprinklerien oikea-aikaiseen laukaisuun. Puhallin voi häiritä suuttimelle tulevaa lämpösignaalia sen siirtäessä lämmintä ilmaa eteenpäin ja näin viivästyttää tarvittavan sprinklerisuuttimen laukaisua. Ilmanvaihtotilanteessa puhaltimen ohjaus perustuu usein vallitsevaan CO-pitoisuuteen jota nostaa ajoneuvojen käynnin lisäksi mahdollinen tulipalo. Tällöin aivan palotilanteen alussa CO-pitoisuuden kohotessa puhallin voi toimia ilmanvaihtotarpeeseen perustuen, nostaa tehoaan ja viivästyttää sprinklerien paloon reagoimista siirtämällä lämmintä ilmamassaa eteenpäin. [22, s. 1.] Myös tämän asian vuoksi on suotavaa, etteivät puhaltimet käynnisty täydelle savunhallinta teholle välittömästi savuntunnistuksen jälkeen.

#### 2. Suuntapainepuhaltimien vaikutus sprinklerisuuttimen vesisuihkun sammutuskykyyn:

Ilman nopeus suuntapainepuhaltimen suuaukolla voi nousta hyvinkin korkeisiin lukemiin (esim. 19 m/s), jolloin on mahdollista että sillä on joissain tilanteissa vaikutusta sprinklerin tuottamaan vesisuihkuun. [15] Suunniteltaessa

puhallin- ja sprinklerijärjestelmiä, tulee niiden sijoitukset tilassa pyrkiä toteuttamaan siten, että puhaltimien aikaansaaman ilmavirran vaikutus sprinklerisuuttimen tuottamaan vesisuihkuun on minimoitu. [16, s. 19] Ts. sprinklerisuuttimen sijoittamista puhaltimen painepuolen välittömään läheisyyteen tulisi välttää, jottei suihkun sammutusteho heikkene. Liitteessä 1 on esitetty esimerkki sprinklerisuuttimiin nähden epäedullisesti sijoitetuista puhaltimista.

#### **4.6.2 Järjestelmän huoltovaatimukset**

Suuntapainepuhallinjärjestelmään liittyvät huoltotoimenpiteet tulee aina suorittaa laitevalmistajan määrittämiä huoltovälejä noudattaen sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimusten mukaisesti. Eri käyttötarkoitukseen tarkoitetuilla puhaltimilla voi olla eroavaisuuksia huoltotoimenpiteiden suhteen, joita tässä kappaleessa on tuotu esille.

Normaalikäytössä puhaltimen suurempiin huoltotoimenpiteisiin kuuluu laakeroinnin ja akselitiivisteiden uusiminen. Esim. Fläkt Woods suosittelee tätä toimenpidettä tehtäväksi 5 vuoden tai 20 000 tunnin käyttöajan jälkeen.

Käytettäessä puhaltimia harvoin (esim. vain savuhallinnassa), tulee niiden toimintakunnossa pitämiseksi järjestelmää koekäyttää tietyin laitevalmistajan määrittämin väliajoin toiminnan testaamiseksi ja laakerien voitelun varmistamiseksi.

Mikäli puhallinta käytetään sekä ilmanvaihtoon että savunhallintaan, sen huoltovaatimukset ovat tiukemmat kuin pelkässä ilmanvaihtoon käytettävässä puhaltimessa. Puhaltimien lämpötilankestovaatimukset ovat erilaiset, ja tästä voi seurata esim. voitelutarpeesta johtuvien huoltotoimenpiteiden lisääntyminen. Lisäksi esim. Fläkt Woods suosittelee savunhallintaan käytettävän puhaltimen moottoria uudelleenikämittäväksi 40 000 käyttötunnin välein riittävän lämpötilankeston varmistamiseksi mahdollisessa palotilanteessa.

Automaatiojärjestelmään kuuluvat epäpuhtauspitoisuuksien mittaukseen käytetyt anturit tulee kalibroida vähintään kerran vuodessa. [1, Liite 2] Pitoisuusmittauksen tyyppistä riippuen jotkin anturit voivat olla myös automaattisesti kalibroituja. Huoltovälin



ja käyttöiän määrittämisessä tulee ottaa huomioon laitevalmistajan antamat ohjeet laitteen huollosta ja käyttöiästä.

#### **4.7 CFD – mallinnus osana suunnittelua**

CFD (Computational Fluid Dynamics) – mallinnus perustuu tietokoneen laskemiin matemaattisiin yhtälöihin, joiden avulla pystytään simuloimaan virtauksia, lämmönsiirtoa ja muita vallitsevia ilmiöitä. Tähän aiheeseen liittyen tarkasteltavina kohteina voivat olla mm. savun liikkeet, lämpöolosuhteet ja ilmanvaihtoon käytettyjen ilmavirtojen käyttäytyminen.

CFD-mallinnus on monessa lähteessä kuvattu lähestulkoon välttämättömäksi osaksi pysäköintihallin suuntapainepuhallinjärjestelmän suunnittelua. Sen avulla saadaan mallinnettua ilmassojen liikkeitä tilassa. Tällä pyritään varmistumaan siitä, että tilaan ei jää ns. katvealueita joissa ilman epäpuhtauspitoisuudet pääsevät nousemaan liian suuriksi ja että järjestelmästä pystytään rakentamaan mahdollisimman yksinkertaisesti toimiva. Jo yksi rakenneosana kuten palkki tai yhden puhaltimen muuttaminen voi vaikuttaa ilmavirtojen käyttäytymiseen ja heikentää järjestelmän toimivuutta. Tällöin on tärkeää, että simuloinnissa käytettävä rakennemalli on mahdollisimman paikkansapitävä.

Mallinnuksella pystytään simuloimaan myös erilaiset savunhallintatoimenpiteet, jolloin pystytään analysoimaan järjestelmän toimintaa ilmanvaihtotilanteesta huomattavasti eroavissa palotilanteissa.

Mallinnuksen avulla on mahdollista saada simuloitua järjestelmän toimintaa käytännön tilanteissa ja näin osoittaa sekä suunnittelijalle että viranomaiselle sen toiminnan riittävyys asetettujen suunnittelutavoitteiden ja viranomaismääräysten osalta.

## **5 YHTEENVETO**

Työn tarkoitus oli luoda IV-suunnittelijalle ohjeistava dokumentti kohteisiin joihin suunnitellaan suuntapainepuhallinjärjestelmää, ja joissa järjestelmän CFD-mallinnus tilataan alihankintana. Työhön ei sisällytetty erityisen yksityiskohtaisia mitoitus- tai

suunnitteluperusteita, vaan aiheeseen pyrittiin luomaan yleispätevä lähestymistapa, jotta tietoja voidaan jollain tapaa hyödyntää kohteesta riippumatta.

Suuntapainepuhallinjärjestelmiä on ollut Suomessa käytössä jo joitakin vuosia, mutta järjestelmää käsittelevää kirjallisuutta on julkaistu hyvin rajallinen määrä. Järjestelmän suunnittelun mitoituserusteiksi mainitaan monissa yhteyksissä ainoastaan CFD-mallinnus ja toiminnan todentaminen sen avulla. Suomen rakentamismääräyksissä puhallinjärjestelmän toimintaan ei juurikaan oteta kantaa, ja kotimaisista teoksista aihetta laajimmin käsitellään luultavasti laitevalmistajien tuottamissa materiaaleissa. Selkeiden määräysten puuttuessa onkin tärkeää, että jokainen kohde suunnitellaan yksilökohtaisesti ottaen huomioon eri tahojen kuten laitevalmistajan, paloviranomaisen, iv-suunnittelijan ym. näkökannat. Kohteen toteuttamisen jälkeen suoritettavat savukokeet ovat suositeltavia, jotta voidaan varmistua järjestelmän tarkoituksenmukaisesta toiminnasta.

Vaikka puhallinjärjestelmän suunnittelutyö tehtäisiinkin laitevalmistajan toimesta virtaustekniseen mallinnukseen perustuen, tulisi rakennushankkeessa mukana olevien suunnittelijoiden omata selkeä käsitys järjestelmän toiminnasta ja siitä, miten se tulee ottaa huomioon suunnittelun muilla osa-alueilla. Näiden muiden osa-alueiden (rakenne- ja sprinklerisuunnittelu ym.) yhteensovittamiseen tulee kiinnittää huomiota aivan hankkeen alkuvaiheesta lähtien. CFD-mallinnuksen jälkeisiin suunnitelmiin tehtäviä muutoksia (esim. palkkien lisääminen puhaltimien läheisyyteen) tulisi käsitellä myös puhaltimien toiminnan kannalta, jotta niiden tarkoituksenmukainen toiminta on taattu niin ilmanvaihto kuin palotilanteessa. Suositeltavinta olisi kuitenkin välttää näitä muutoksia, jotka voivat vaikuttaa järjestelmän toimintakykyyn.

**LÄHTEET**

1. Ympäristöministeriö 2011. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. PDF-dokumentti. [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf). Päivitetty 16.5.2011. Luettu 5.1.2015.
2. Sandberg, Esa. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.
3. Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2004.
4. Huikari, Jukka 2007. Pysäköintihallien pakokaasupäästöjen mittaaminen ja ilmanvaihdon ohjaus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
5. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2014. HTP-arvot 2014. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. PDF-dokumentti. [http://www.stm.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=9882186&name=DLFE-30018.pdf](http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=9882186&name=DLFE-30018.pdf). Päivitetty 17.4.2014. Luettu 26.1.2015.
6. Ympäristöministeriö 2005. E2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus, ohjeet 2005. PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/28207-E2su2005.pdf>. Päivitetty 21.3.2005. Luettu 5.1.2015.
7. Ympäristöministeriö 2005. E4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Autosuojien paloturvallisuus, ohjeet 2005. PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/28206-E4su2005.pdf>. Päivitetty 21.3.2005. Luettu 5.1.2015.
8. Systemair AB. Installation and Operating Instructions for Jet Fans. WWW-dokumentti. <http://catalogue.systemair.com/>. Luettu 10.2.2015.
9. Neste. Teollisuushallin lämmityksen ja ilmastoinnin suunnittelutietoa. Espoo. 1987.
10. SCS Group. Car Park Ventilation Demystified. PDF-dokumentti. <http://www.groupscs.co.uk/wp-content/resources/car-park-ventillation-demystified.pdf>. Päivitetty 18.12.2009. Luettu 9.1.2015.
11. Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver palvelut Oy. 1996.
12. Halme Alpo, Seppänen Olli. Ilmastoinnin äänitekniikka. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy. 2002.

13. Virtanen, Tomi 2014. Autosuojan savunpoistojärjestelmien vertailu palosimuloinnin avulla. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Insinööriyö.
14. Systemair AB. Green Ventilation Car Park Systems. PDF-dokumentti.  
[http://www.systemair.com/Documents/Downloads/Leaflets%20and%20Catalogues/English/Car\\_Park\\_Systems\\_2011-08\\_EN\\_E4081\\_klein.pdf](http://www.systemair.com/Documents/Downloads/Leaflets%20and%20Catalogues/English/Car_Park_Systems_2011-08_EN_E4081_klein.pdf). Päivitetty 23.9.2011. Luettu 10.2.2015.
15. Karjalainen Juho. Tekninen myyjä, Systemair Oy, Vantaa. Sähköpostikeskustelu 12.2.2015.
16. BS 7346-7:2006 Components for smoke and heat control systems – Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks. British Standard. 2006.
17. RIL 232-2012 Rakennusten savunpoisto. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Tammerprint Oy. 2012.
18. Harju, Pentti. Talotekniikan mittauksia, säätöjä ja automatiikkaa. Kouvola: PACKAGEMEDIA. 2014.
19. Sensorex Oy. Kaasunilmaisimien: Pakokaasu / CO/HC. PDF-dokumentti.  
<http://www.sensorex.fi/Pdf/SX422p%20PAK%20CO%20fin.pdf>. Päivitetty 20.7.2004. Luettu 26.1.2015.
20. Avaco DGT – t2w digitaalinen kaasunilmaisimien / lähetin. PDF-dokumentti.  
[http://www.sensing.fi/valvontalaitteet/esitteet/avaco\\_dgt-t2w\\_p-hallit.pdf](http://www.sensing.fi/valvontalaitteet/esitteet/avaco_dgt-t2w_p-hallit.pdf). Päivitetty 15.6.2009. Luettu 26.1.2015.
21. SenseAir AB. Integrated CO/CO<sub>2</sub> sensor & ventilation controller. PDF-dokumentti.  
[http://www.swoy.fi/images/pdf/aSense\\_m\\_III\\_yhidstelma\\_CO\\_CO2.pdf](http://www.swoy.fi/images/pdf/aSense_m_III_yhidstelma_CO_CO2.pdf). Päivitetty 5.11.2009. Luettu 6.1.2015.
22. Enright, P.A. (Tony). 2013. Impact of jet fan ventilation systems on sprinkler activation. Case studies in Fire Safety 1 (2014) 1-7.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214398X13000034>. Päivitetty 12.12.2013. Luettu 9.1.2015.

LIITE 1.  
Yksisivuinen liite

