



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jere Väyrynen

Ilmanlaadun vaikutus pysäköintilaitoksen energiatehokkuuteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

28.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jere Väyrynen Ilmanlaadun vaikutus pysäköintilaitoksen energiatehokkuuteen 31 sivua + 1 liite 28.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-urakointi
Ohjaajat	suunnittelupäällikkö Timo Vahtero lehtori Seppo Innanen
<p>Ilmanvaihdon on tarkoitus toimia pysäköintilaitoksissa energiatehokkaasti ja niin, että voidaan varmistua siitä, ettei ihmisen terveydelle haitalliset epäpuhtaudet aiheuta vaaraa. Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia ilmanlaadulle asetettuja tavoitteita ja pysäköintilaitoksen energiatehokkuuteen. Tässä insinööriyössä on perehdytty ajoneuvoista syntyviin epäpuhtauksiin, määräyksiin ja ohjeistuksiin moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihdosta sekä ilmanvaihdon mitoituksiin kahdessa eri rakennuskohteessa.</p> <p>Työssä on myös perehdytty vuoden 2018 alussa voimaan tulleeseen uuteen asetukseen, joka korvasi vanhan rakentamismääräyskokoelman osan D2. Uudessa asetuksessa on tullut voimaan uusi ohje mitoittaa moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihto epäpuhtausperusteisesti vanhan pinta-ala perusteisen mitoituksen rinnalle. Haitallisiksi tunnettujen pitoisuuksien osalta työssä on käsitelty, mitkä ovat ihmisen terveydelle haitalliset raja-arvot, sekä käsitelty millä tavoin näitä käytetään mitoittaessa ilmanvaihtoa moottoriajoneuvosuojaan.</p> <p>Työ on tehty YIT Suomi Oy:lle ja työn kohteena on käytetty Pasilaan vuosina 2019 ja 2020 rakentuvaa Triplan kaupunkikeskusta ja tarkemmin sen yhteyteen rakentuvaa pysäköintilaitosta. Triplan pysäköintilaitoksesta on tulossa maanalainen 5-kerroksinen pysäköintilaitos, joten tarkastelemalla energiansäästön mahdollisuuksia voidaan kohteen koon vuoksi päästä suuriinkin säästöihin. Työssä on myös käytetty toisena kohteena Kauppakeskus Eastonia, jossa on käytetty periaatteeltaan samoja ilmanvaihdon ratkaisuja kuin Triplassa käytetään.</p> <p>Ajoneuvoista syntyvien pakokaasujen osalta työssä on käsitelty, mitä epäpuhtauksia ajoneuvoista syntyy. Työssä on myös tutkittu pysäköintilaitoksessa tapahtuvaa liikenteen määrää, mille ajalle suurimmat ajomäärät ajoittuvat sekä, miten epäpuhtauspitoisuudet käyttäytyvät suhteessa ajoneuvomääriin.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, moottoriajoneuvosuoja, epäpuhtaus

Author Title	Jere Väyrynen Air quality's effects to parking lots energy efficiency
Number of Pages Date	31 pages + 1 appendice 28 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Contracting
Instructors	Timo Vahtero, Design Manager Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to study the aspects of air quality in parking garages in order to see how the air quality affects the energy efficiency of the facility. The aim was to establish whether there are any energy saving possibilities, and ways to improve the energy efficiency of ventilation. A further target was to study how ventilation and air quality limits affect the total energy consumption.</p> <p>Two sample properties were studied, one that was completed in 2017 and another currently being constructed. Data from the air quality sensors in the former facility was to analyse to develop the systems of the latter. In addition, traffic data from the former facility was analysed to establish the times when the effect of contaminants is at its greatest in parking garages.</p> <p>The final year project showed that the energy efficiency of the ventilation in parking garages is already on a good level. However, matters to study in the future were found, and some savings could potentially be found if they were studied deeper.</p>	
Keywords	ventilating, energy, air quality, parking lot

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pysäköintitilojen ilmanvaihto	2
2.1	Viranomaismääräykset	2
2.1.1	Rakentamismääräyskokoelman osa D2	2
2.1.2	Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta	3
2.1.3	Opas moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon mitoituksesta	4
2.2	Viranomaisvaatimukset Triplassa	5
3	Ajoneuvojen päästöt	7
3.1	Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet	11
3.2	Mitoittava epäpuhtaustekijä moottoriajoneuvosuojassa	12
3.3	Hiilimonoksidi	14
3.4	Typen oksidit (NO, NO ₂ ja N ₂ O)	14
3.5	Pienhiukkaset	15
4	Suuntapainepuhallinjärjestelmän laitteet	15
4.1	Suuntapainepuhallinjärjestelmä	15
4.2	Suuntapainepuhallin	16
5	Kohteet	17
5.1	Tripla	17
5.2	Easton Helsinki	17
6	CFD-virtausmallinnus	18
6.1	Mallinnuksen lähtötiedot	18
6.2	Ilman virtaavuus eri korkeuksilla	19
6.3	Ilmanlaatu	19
6.4	Korkeussuuntaiset leikkaukset	20
7	Ilmanvaihdon trendiseuranta	20

7.1	Kävijämäärät parkkihallissa	21
7.2	P1-kerroksen olosuhdeseuranta	22
7.3	P2-kerroksen olosuhdeseuranta	25
8	Ilmanvaihdon tehostus	27
9	Päätelmät ja yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmanvaihdon ja savunpoiston CFD-virtausmallinnus Triplan pysäköintilaitoksesta	

Lyhenteet

CFD	Computational Fluid Dynamics
CO	Hiilimonoksidin kemiallinen molekyylikaava
CO ₂	Hiilidioksidin kemiallinen molekyylikaava
HTP	Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet.
NO	Typpioksidin kemiallinen molekyylikaava
NO ₂	Typpidioksidin kemiallinen molekyylikaava
N ₂ O	Dityppioksidin kemiallinen molekyylikaava
PM	Pienhiukkaset
ppm	Parts per million. Yksikkö, joka tässä tapauksessa ilmoittaa molekyylien määrän suhteen miljoonasosissa.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on pysäköintilaitoksen ilmanlaadun vaikutus pysäköintilaitoksen energiatehokkuuteen. Tässä opinnäytetyössä on pohdittu ratkaisuja ja kehitysmahdollisuuksia liittyen esimerkkikohteiden ilmanvaihdon mitoitukseen ja pysäköintilaitoksen energiatehokkuuteen LVI-tekniikan osalta. Työssä käydään myös läpi pysäköintilaitoksen ilmanvaihtoon vaikuttavia määräyksiä, asetuksia ja ohjeistuksia. Työssä on myös perehdytty pysäköintilaitoksen ilmanlaatuun vaikuttaviin tekijöihin.

Työn kohteena toimi Pasilaan vaiheittain vuosina 2019 ja 2020 valmistuva Tripla-kaupunkikeskus ja tarkemmin sen yhteyteen rakennettavaan maanalaiseen pysäköintilaitokseen. Työssä on käytetty hyväksi pilottikohteena vuonna 2017 Itäkeskukseen valmistunutta Kauppakeskus Eastonia, jossa on valittu aikoinaan rakennusvaiheessa samoja ilmanvaihdon ratkaisuja, joita Triplaan ollaan valitsemassa.

Opinnäytetyö on tehty YIT Suomi Oy:lle, joka on suomalainen rakennusalan yritys. Yritys toimii asunto-, toimitila ja infrarakentamisen segmenteillä ja sen markkina-alueet ovat pohjoismaat, Venäjä, Baltian maat ja itäisen Etelä-Euroopan maat. Yritys työllistää noin 10000 rakennusalan ammattilaista. [22.]

2 Pysäköintitilojen ilmanvaihto

2.1 Viranomaismääräykset

2.1.1 Rakentamismääräyskokoelman osa D2

Vuoden 2018 alussa vanhentuneessa Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 liitteessä 2 määritetään moottoriajoneuvosuoja koskevat ilmanvaihto-ohjeet, jotka tulee ottaa huomioon moottoriajoneuvosuoja suunniteltaessa. Määräysten ulkopuolelle jäävät sellaiset tilat, joissa työskennellään jatkuvasti. Huolto-, korjaus- tai lastauslaituritiloille ei tule soveltaa näitä ohjeita. Tapauksissa joissa suojan yhteyteen rakennetaan muita sisäilmastoltaan puhtaammaksi luokiteltuja tiloja, ilmanvaihto suunnitellaan näiden tilojen vaatimusten mukaiseksi. [1.]

Tilojen ilmanvaihdon on ensisijaisesti oltava riittäviä, jotta tilojen käytöstä johtuen käyttäjille ei aiheudu terveydellistä haittaa. Moottoriajoneuvosuoja on suunniteltava alipaineiseksi, mikäli se on yhteydessä muuhun rakennukseen. Moottoriajoneuvosuojan tuloilmana voidaan käyttää saman rakennuksen muista tiloista johdettua siirtoilmaa. [1.]

Tilojen 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.]

Moottoriajoneuvosuojaan ei vaadita koneellista ilmanvaihtoa, jos suojan pinta-ala on alle 60 m², 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. Tällöin kyseessä on riviautosuoja, johon on mahdollista toteuttaa painovoimainen ilmanvaihto. [1.]

Näitä on sovellettu rakennettaessa molempia opinnäytetyön kohteena olevia pysäköintihalleja. Tulevaisuudessa aloitettavissa kohteissa tullaan kuitenkin soveltamaan uutta voimaan tullutta asetusta.

2.1.2 Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta

Uudessa vuonna 2018 voimaan tulleessa ”Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta” määräyksiä koskien moottoriajoneuvosuoja on yksinkertaistettu verrattuna aikaisempaan. [2.]

Asetuksesta on annettu myös 19.12.2017 päivätty perustelumuistio, jossa tarkennetaan asetuksessa esitettyjä määräyksiä. Asetuksessa mainitaan, että

Eriyissuunnittelijan on mitoitettava moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon ilmavirrat siten, etteivät ilman epäpuhtaudet aiheuta terveydellistä haittaa käyttäjille. Ilmavirrat on mitoitettava niin, että moottoriajoneuvosuoja hiilimonoksidin keskiarvopitoisuus kriittisimmäksi arvioituna käyttötuntina ei ylitä arvoa 35 mg/m³ (30 ppm). Moottoriajoneuvosuojan jatkuvan työskentelyalueen ilmavirrat on mitoitettava niin, että hiilimonoksidin hetkellinen pitoisuus ei ylitä 7 mg/m³ (6 ppm). [3.]

Perustelumuistiossa oletetaan, että hiilimonoksidipitoisuuden voidaan olettaa korreloivan riittävällä tarkkuudella muihin epäpuhtauksiin samassa tilassa. Perustelumuistiossa tarkennetaan, että asetuksessa mainituilla raja-arvoilla tarkoitetaan pitoisuutta moottoriajoneuvosuoja, eikä poistoilman keskiarvopitoisuutta. Perustelumuistiossa mainitaan, kuinka Sosiaali- ja terveysministeriö on asetuksellaan vahvistanut työpaikan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot). [3.]

Vuoden 2018 julkaisussa HTP-arvoista on esitetty hiilimonoksidin osalta arvoksi 15 minuutin altistusajalla 87 mg/m³ (70 ppm). Julkaisussa mainitaan myös, että muiden terveydelle haitallisten epäpuhtauksien, kuten esimerkiksi typen oksidien, muodostuessa mitoitavaksi tekijäksi, tulisi ilmanvaihto mitoittaa tämän epäpuhtauden mukaan. HTP-

arvojen julkaisussa mainitut raja-arvot typpidioksidin osalta ovat 1,96 mg/m³ 15 minuutin altistusajalla ja 1 mg/m³ 8 tunnin altistusajalla. [14.]

2.1.3 Opas moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihdon mitoitukselta

Tässä julkaisussa on selvennetty edellä mainitussa asetuksessa annettuja vaatimuksia koskien moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihdon suunnittelua, esitetään moottoriajoneuvosuojaan epäpuhtauskuormitukseen perustuva ilmavirran mitoitus tapa ja pyritään havainnollistamaan moottoriajoneuvosuojaan suunnittelussa ilman laadun tärkeyden huomiointi. Oppaan ei ole tarkoituksena olla sellaisenaan asetuksen tasoinen kannanotto, mutta sen tarkoituksena on selventää uuden asetuksen tulkintaa ja määräystenmukaisuuden osoittamista myös käytännön mitoitus esimerkein. [4.]

Oppaassa on uutena aiempaan Suomen rakentamismääräyskokoelman neliöpohjaiseen mitoitus tapaan verrattuna epäpuhtauksien kuormitukseen perustuva mitoitus tapa. Kuormitukseen perustuvassa mitoituksessa ensimmäiseksi arvioidaan mitoittava käyttötilanne laaditun liikennöintisuunnitelman perusteella. Huomioitavaa tässä on se, että mitoittava tilanne ei välttämättä ole ruuhkahuippu, vaan se voi olla myös jokin muu, kuten ajoneuvojen kylmäkäynnistyksestä ja ulosajosta syntyvä tilanne, joissa epäpuhtaudet voivat olla suurempia. [4.]

Oppaassa on esitetty mitoitus laskelmat kolmelle erilaiselle kohteelle: jotka ovat asuin kerrostalon, toimistorakennuksen ja liikerakennuksen moottoriajoneuvosuoja. Oppaassa on laskettu mitoitus laskemille myös vaihtoehtoisia ratkaisuja vaihdellen moottoriajoneuvosuojaan pysäköintiaikoja ja lämpötiloja. [4.]

Moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihdon mitoitus etenee niin, että ensiksi on tarpeen määrittää sisäilman epäpuhtauskuormitus, joka tehdään liikennesuunnitelman avulla. Monia epäpuhtaus tekijöitä on epätarkkaa arvioida suunnitteluvaiheessa. Moottoriajoneuvosuojaan käytettävistä autoista syntyvät epäpuhtaus pitoisuudet riippuvat monesta tekijästä:

- ajoneuvojen tyypistä (moottoripyörä, henkilöauto, pakettiauto, kuorma-auto, linja-auto)
- ajoneuvojen iästä, mallista ja käyttövoimasta

- ajoneuvojen käynnistymislämpötilasta, johon vaikuttaa tilan sisälämpötila, ajoneuvon pysäköinti-aika sekä mahdollinen moottorilämmittimien käyttö
- ajoneuvojen tyhjäkäyntiaika
- ajoneuvojen ajonopeus ja kuljettajien ajotapa
- ruuhkautuminen ja pysäköintipaikkojen etsintä
- liikenteenohjausjärjestelmä, jolla vähennetään ylimääräistä liikennöintiä. [4.]

Epäpuhtauskuormituksen mitoituksen jälkeen voidaan mitoittaa tarvittava poistoilmamäärä. Moottoriajoneuvosuoja on tarpeen suunnitella alipaineiseksi muihin tiloihin nähden, jolloin $q_{tulo} = 0,9 * q_{poisto}$ ja korvausilma otetaan ulkoilmana $q_{korvaus} = 0,1 * q_{poisto}$ ja $C_{korvaus} = C_{tulo}$, näin ollen poistoilmavirran mitoittavaksi yhtälöksi tulee:

$$q_{poisto} = \frac{G}{(C_{poisto} - C_{tulo})}$$

jossa,

q_{poisto} on poistoilmavirta ($dm^3/s/m^2$)

C_{tulo} on tuloilman epäpuhtauspitoisuus (mg/m^3)

C_{poisto} on poistoilman epäpuhtauspitoisuus (mg/m^3)

G on epäpuhtauskuormitus moottoriajoneuvosuojaan (mg/s)

Tällä kaavalla lasketaan ja määritetään erikseen moottoriajoneuvosuojaan ilmamäärät jokaiselle kerrokselle. [4.]

2.2 Viranomaisvaatimukset Triplassa

Triplan ilmanvaihdon osalta, rakennusvalvontaan on toimitettu ja hyväksytetty em. oppaan kaltaiseen mitoitukseen perustuva ilmanvaihto.

Triplan osalta moottoriajoneuvosuojaan paikat jakautuvat kaikkien asunto-, toimisto- ja liikerakennuksen kesken, joten mitoituslaskelmassa on huomioitu eri käyttötarkoitusten erot, miten paikat jakautuvat. Myös oppaassa on esitetty laskentaesimerkkejä eri käyttötarkoituksille. Paikoitustilojen käyttö on saatu liikennesuunnittelijan laatimasta autopaikalaskelmasta. Autojen epäpuhtauspäästöinä on käytetty Lipasto-/Liisa-laskentajärjestelmän tutkimusraporttia LIISA 2012. [8.] Kohteeseen mitoittava tilanne on saatu samasta liikennesuunnitelmasta, ja mitoittava tilanne on lauantaina kello 13–14. Mitoittavan tilanteen osalta laskelmissa on käytetty olettamusta, että lähtevät autot ovat kaikki olleet pysäköitynä yli 2 tuntia, jolloin niiden käynnistys tapahtuu kylmäkäynnistyksenä samassa lämpötilassa hallin kanssa. [15.]

Ilmanvaihdon mitoituksen on tehnyt Granlund Oy, jonka laskentaohjelma on ottanut huomioon NO₂-, CO- ja hiukkaspitoisuudet. Mitoittavaksi tekijäksi epäpuhtauksien osalta on laskettu CO-pitoisuus. Epäpuhtauksien osalta mitoituksessa on käytetty sosiaali- ja terveysministeriön HTP-arvoista annettua asiakirjaa vuodelta 2014 ja asiakirjassa esitettyjen 15 minuutin ja 8 tunnin raja-arvojen väliltä on interpoloitu raja-arvot 40 minuutin altistukselle, mikä kuvaa paremmin tämän kaltaisen monta eri käyttötarkoitusta palvelevan moottoriajoneuvosuojaan käyttötarkoitusta. [15.]

Taulukko 1. Lasketut mitoitusilmavirrat Triplan pysäköintilaitoksen kerroksissa eri lämpötiloissa.

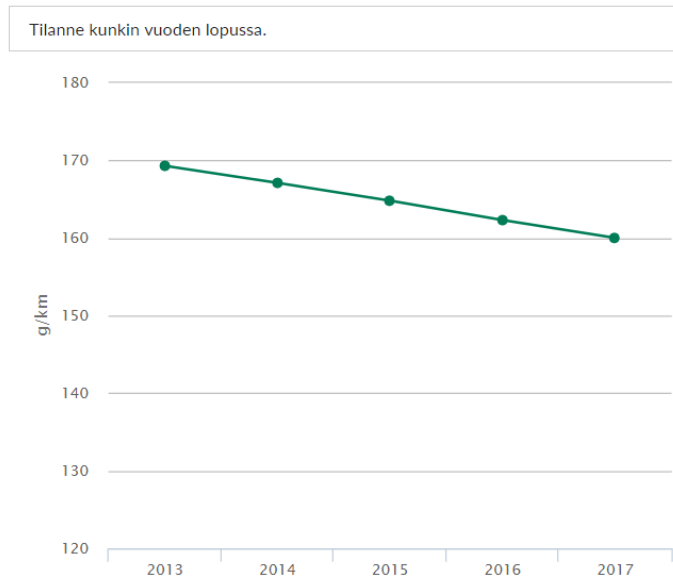
Pysäköintikerros	Tarvittava ilmavirta									D2		Parkkipaikkojen käyttäjät
	-10 °C			0 °C			+10 °C			ilmavirrat		
	l/s,m ²	m ³ /s	% D2	l/s,m ²	m ³ /s	% D2	l/s,m ²	m ³ /s	% D2	l/s,m ²	m ³ /s	
Pysäköintikerros 1	3,1	58	86 %	1,9	35	52 %	1,2	22	33 %	3,6	67,4	Liiketilaa
Pysäköintikerros 2	3,0	59	83 %	1,8	36	51 %	1,1	22	31 %	3,6	70,8	Liiketilaa
Pysäköintikerros 3	3,1	58	98 %	1,9	35	59 %	1,2	22	37 %	3,2	58,9	Puoliksi liiketilaa, puoliksi hotelli yms.
Pysäköintikerros 4	2,2	47	122 %	1,3	28	73 %	0,8	17	44 %	1,8	38,5	Puoliksi toimistoa, puoliksi asuntoja
Pysäköintikerros 5	1,9	41	106 %	1,2	25	64 %	0,7	15	39 %	1,8	38,8	Puoliksi toimistoa, puoliksi asuntoja
Yhteensä (m³/s)	263 96 %			159 58 %			98 36 %			274		

Taulukossa 1 on esitetty lasketut ilmavirrat, ja siitä voidaan huomata, että verrattuna vanhaan rakentamismääräyskokoelman ilmavirran mitoitukseen moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihdon osuus on vain 36 % taulukon neliöpohjaiseen mitoitukseen verrattuna. Kuvasta voidaan myös huomata, että moottoriajoneuvosuojan lämpötilan vaikutus ilmamäärän tarpeeseen on huomattava. Tämä johtuu pääasiassa kasvaneesta lämpötilaerosta auton ja ilman lämpötilan välillä ja siitä syystä kylmäkäynnistyksestä syntyvästä kasvaneesta epäpuhtauskuormituksesta. Autojen viilentyessä enemmän, aiheuttaa niiden kylmäkäynnistys enemmän päästöjä. [15.]

3 Ajoneuvojen päästöt

Pysäköintitiloissa vallitsevista epäpuhtauksista hiilimonoksidia (CO), eli häkää pidetään yleisesti haitallisimpana epäpuhtautena. Hiilimonoksidia syntyy ajoneuvojen polttomootoreissa tapahtuvan epätäydellisen palamisen seurauksena, jota tapahtuu moninkertaisesti autojen kylmäkäynnistyksen yhteydessä. Näin ollen autojen päästöt talvisin ovat suurempia kesään verrattuna. Hiilimonoksidi aiheuttaa ihmisessä sen imeytymisen hemoglobiiniin happea voimakkaammin aiheuttaen hapen puutoksen, joka johtaa lievimmillään päänsärkyyn ja pahoinvointiin tai pahimmillaan suurissa pitoisuuksissa jopa kuolemaan. Ajoneuvojen päästöistä suuri osuus on myös hiilidioksidia (CO₂), joskin viime vuosina uusien ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen määrä on laskenut (kuva 1). Liikennekäytössä olevien ajoneuvojen keskimääräinen CO₂-päästö vuoden 2017 lopussa oli 160,0 g/km, joka on neljän vuoden takaiseen vastaavaan lukuun verrattuna lähes kymmenen grammaa pienempi. [6.]

Liikennekäytössä olevien henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt



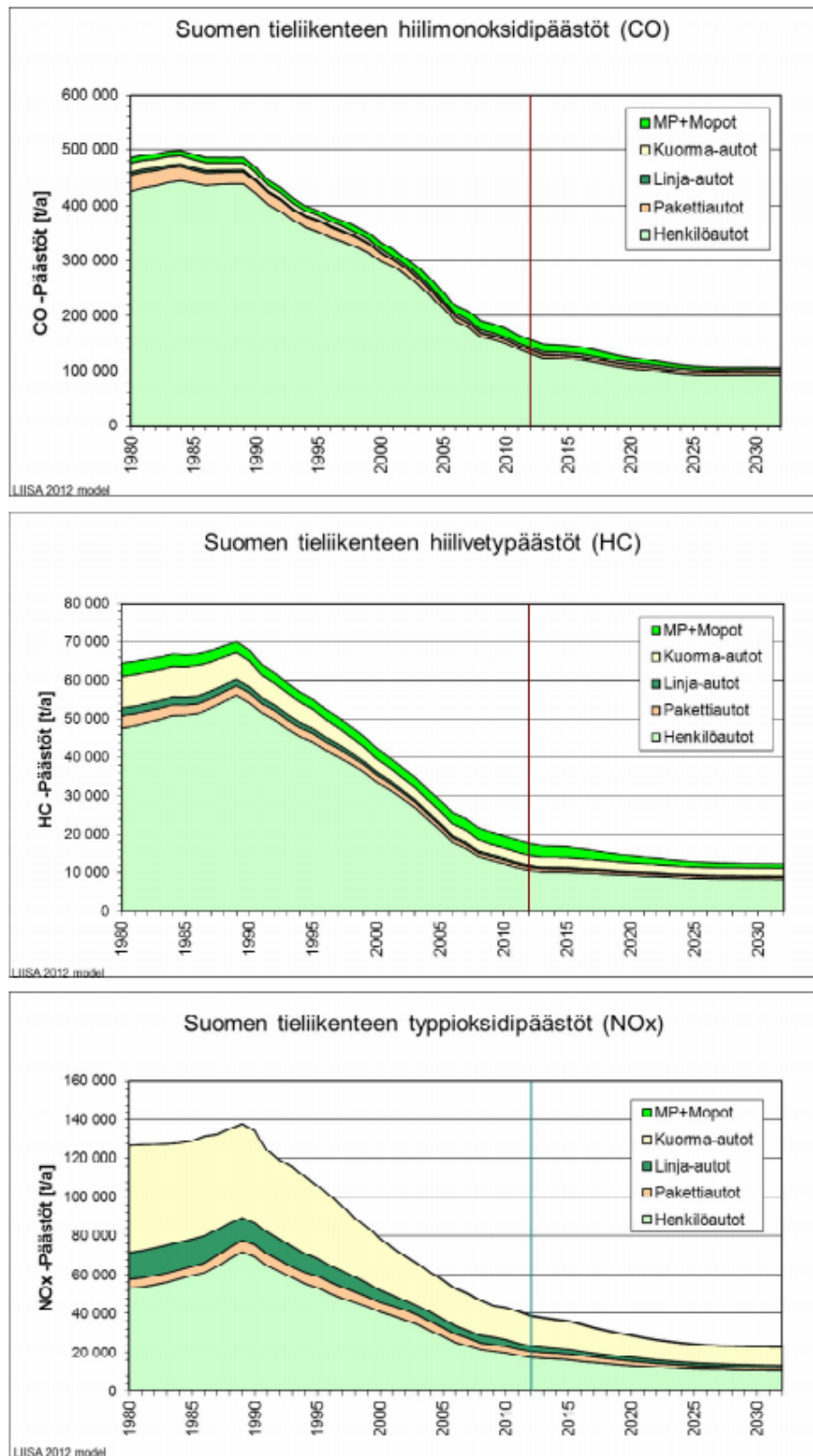
Kuva 1. Ajoneuvojen hiilidioksidipäästöt viime vuosina

Edellä mainittujen epäpuhtauksien lisäksi polttomoottoreista syntyy epäpuhtauksina typen oksideita, kuten typpioksiduuleja (N_2O), typpidioksideja (NO_2), rikkidioksidiä (SO_2), metaania (CH_4) ja pienhiukkasia (PM). [6.]

Teoriassa ilmaa kevyemmät epäpuhtauspitoisuudet nousevat ilmaan verrattuna ylöspäin ja ilmaa raskaammat kaasut kerrostuvat ilman alapuolelle. Käytännössä pakokaasun korkeampi lämpötila, ilmanvaihdon aiheuttamat ilmavirrat ja ajoneuvojen aiheuttama ilmavirta aiheuttavat myös sen, että tiloissa vallitsevat kerrostumat sekoittuvat keskenään. [6.]

Ajoneuvojen päästöistä hiilimonoksidin, typpioksidien ja hiilivetyjen osalta Suomen tieliikenteen päästöt ovat laskeneet tasaiseen tahtiin. Kuvassa 2 on esitetty tieliikenteessä olevien ajoneuvojen päästöjen kehitys 80-luvulta vuoteen 2012. Kuvassa on myös esitetty ennustettu päästöjen kehitys vuoteen 2030. Tämän vuoksi autojen

pakokaasupäästöt eivät ole enää niin suuri vaikuttava tekijä uusissa rakennettavissa pysäköintilaitoksissa, mikä johtaa tulevaisuudessa yhä pienempiin tarvittaviin mitoitusilmavirtoihin. Koko ajan enemmän yleistyvä sähköautokanta tulee myös pienentämään autojen päästöjä entisestään. [6.]



Kuva 2. Ajoneuvojen kokonaispäästöjen kehitys

3.1 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa haitallisiksi tunnetut pitoisuudet määritellään eri epäpuhtausluokille pienimmät pitoisuudet, joilla arvioidaan olevan haitallista vaikutusta ihmisen terveydelle riippuen altistumisajasta. Arvojen pysyessä annettujen ohjeiden alapuolella ei altistumisesta olemassa olevan tiedon perusteella todeta olevan haittaa tai vaaraa ihmisen terveydelle. Arvoina julkaisussa käytetään hetkellistä pitoisuutta, jossa kuvataan altistumista 15 minuutin ajanjaksolla, ja pidempää altistumista, jossa kuvataan 8 tunnin ajan altistumista epäpuhtausluokille. [14.]

HTP-arvot voivat ylittyä siis 8 tunnin aikajaksoilla hetkellisesti, kunhan keskiarvo kyseiselle ajanjaksolle ei ylitä esitettyä raja-arvoa. HTP- arvot 15 minuutille on määrätty pääsääntöisesti sen vuoksi, että ne voivat aiheuttaa äkillisiä myrkytystiloja, ärsytystä, huuhaavaa tai väsyttävää vaikutusta. Taulukossa 2 esitetään terveydelle haitalliseksi ylittävien aineiden raja-arvot. Mitoittaessa pysäköintilaitoksen ilmanvaihtoa tulisi myös ottaa huomioon palvelevatko julkaisussa esitetyt raja-arvot käyttötarkoitusta ja mahdollisesti interpoloida lisäksi arvot jostain näiden kahden esitetyn raja-arvon väliltä. Näin ilmanvaihtoa voidaan ohjata palvelemaan paremmin oikeata tilannetta. [14.]

Taulukko 2. Autoista syntyvien päästöjen HTP-arvot taulukoituna

Aine tai aine-ryhmä	HTP-arvot			
	8 h		15 min	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Hiilimonoksidi	20	23	75	87
Hiilidioksidi	5000	9100		
Typpimonoksidi	2	2,5		
Typpidioksidi	0,5	0,96	1	1,96
Typpioksiduuli	100	180		
Metaani	1000			
Rikkidioksidi	0,5	1,3	1	2,7

3.2 Mitoittava epäpuhtaustekijä moottoriajoneuvosuojassa

Moottoriajoneuvosuojan epäpuhtauksien osalta mitoittava epäpuhtaustekijä on hiilimonoksidi. Mitoitettaessa hiilimonoksidin raja-arvojen perusteella ei ylitetä myöskään muiden epäpuhtaustekijöiden raja-arvoja hiilimonoksidin noustessa ensimmäisenä. Tämä johtuu siitä, että kylmäkäynnistyksissä syntyvät hiilimonoksidin määrät ovat suhteessa suuret verrattuna muihin epäpuhtauksiin. [13.]

Taulukossa 3 on esitettyä käynnistyksistä ja kylmä-ajona syntyvät päästöt. Paikallisesti syntyvät yksittäiset epäpuhtauksien nousut eivät aiheuta ihmisen terveydelle vaaraa, jolloin näiden perusteella ei ole tarpeen mitoittaa. Näitä syntyy lähinnä typen oksidien kohdalla dieselautojen käynnistyksen yhteydessä. Bensiini-autojen osalta kylmäkäynnistyksessä syntyvä epäpuhtauspiikki syntyy hiilimonoksidin vaikutuksesta. [8.]

Taulukko 3. Ajoneuvoista syntyvät päästöt käynnistyksissä ja kylmänajossa

	Talvikäynnistys ilman esilämmitystä (@ -10 °C)				
	CO	HC	NOx	HIUKK.	Kulutus
HA bens. kat + ei-kat	92	9,6	1,2	0,06	0,14
HA dies. ei-kat	8	1	4	0,5	0,13
PA bens.	150	15	4	0,05	0,25
PA dies.	3,5	1	2,5	0,70	0,15
LA	50	20	4	8	2,5
KAIP	45	15	3	6	2
KAP	60	25	5	10	3
Autotyyppi	Talvikäynnistys esilämmitettynä (@ 0 °C)				
	CO	HC	NOx	HIUKK.	Kulutus
HA bens. kat + ei-kat	54	6,5	1,0	0,03	0,09
HA dies. ei-kat	6	0,6	2	0,20	0,13
PA bens.	100	6	2	0,03	0,20
PA dies.	3	0,6	2,5	0,45	0,15
LA	30	12	5	6	2,5
KAIP	25	10	4	4	2
KAP	35	15	6	8	3
Autotyyppi	Kesäkäynnistys (@ +20 °C)				
	CO	HC	NOx	HIUKK.	Kulutus
HA bens. kat + ei-kat	9	2,2	0,8	0,01	0,07
HA dies. ei-kat	4	0,5	0	0,10	0,05
PA bens.	50	3,5	2	0,02	0,15
PA dies.	2,5	0,6	2,5	0,35	0,07
LA	12	3	6	4	2,5
KAIP	10	2,5	5	2	2
KAP	13	4	7	6	3
Autotyyppi	Päästöt joutokäynnistä [g/min]				
	CO	HC	NOx	HIUKK.	
HA bens.	4,17	0,26	0,18	0,005	
HA bens.kat	0,3	0,1	0,07	0,001	
HA dies.	0,23	0,08	0,16	0,02	
PA bens.	5	0,3	0,2	0,007	
PA bens.kat	0,5	0,1	0,1	0,002	
PA dies.	0,18	0,04	0,28	0,02	
LA	0,9	0,48	1,33	0,08	
KAIP	0,9	0,48	1,33	0,08	
KAP	1	0,5	1,4	0,09	

HA = henkilöautot, PA = pakettiautot, LA = linja-autot,
KAIP = kuorma-autot ilman perävaunua, KAP = perävaunulliset kuorma-auto

3.3 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidin (CO) suurimpana lähteenä toimii vanhat bensiinikäyttöiset ajoneuvot. Hiilimonoksidia syntyy ajoneuvojen polttomoottoreissa epätäydellisen palamisen yhteydessä, kun poltetaan hiilipohjaisia polttoaineita. Hiilimonoksidia syntyy, kun polttoaine palaa liian vähäisessä happimäärässä epätäydellisesti. Ilmassa olevaa häkää ei voi aistia, sillä se on väritön, hajuton ja mauton kaasu. Häkää on pakokaasuissa noin 4–7 %. Tästä suurimman osan katalysaattori lämmitettyään kuitenkin muuttaa vaarattomaksi hiilidioksidiksi. Hiilimonoksidipäästöt ovat myös tasaisesti laskeneet ajoneuvojen tekniikan kehittyessä. [10.]

Hiilimonoksidi siirtyy ilmasta keuhkojen kautta vereen, jossa se sitoutuessaan hemoglobiiniin aiheuttaa hapenpuutetta. Yleisimmät häikämyrkytykset aiheutuvat suljetussa tilassa käytettävästä auton tyhjäkäynnistä tai polttoaineella käyvistä lämmitinlaitteista. Altistuminen kymmenkertaiselle hiilimonoksidipitoisuudelle tyypilliseen hengitysilmiaan verrattuna tunnin ajaksi nostaa pitoisuudet ihmisen kehossa hengenvaaralliselle tasolle. [9.]

3.4 Typen oksidit (NO, NO₂ ja N₂O)

Typen oksideja syntyy lähinnä dieselkäyttöisissä moottoreissa korkean lämpötilan ja paineen vaikutuksesta ilmassa olevan typen yhtyessä happeen. Palavan aineen ei tarvitse siis sisältää typpeä, koska typpi sitoutuu ilmasta. Ilmakehässä esiintyvistä typen oksideista suurin osa muodostuu liikenteestä syntyvistä päästöistä, mutta myös teollisuudesta syntyy huomattava osa näistä. Typen oksidien pitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan keväällä ja talven pakkaspäivinä ja ruuhkat lisäävät pitoisuuksia isojen kaupunkien keskuksissa. Kokonaispäästöistä typen oksidien osalta noin 90 % on typpimonoksideja ja 10 % typpidioksideja. Typen oksidien päästöt ovat laskeneet hiilimonoksidin tapaisesti tasaisesti hyvän ajoneuvojen tekniikan kehityksen ansiosta. [11.]

3.5 Pienhiukkaset

Pienhiukkaset eli partikkelit ovat pieniä kiinteitä hiukkasia, joita syntyy palotilanteessa. Pienhiukkasia syntyy autojen pakokaasuista, energiantuotannosta, teollisuuden prosesseista ja puun pienpoltosta. Näistä syntyvät hiukkaset ovat pääasiassa hiiltä. Pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä, ja ne ovat terveydelle vaarallisia joutuessaan hengitysilmaan. Hengitysilmaan joutuessaan ne tunkeutuvat keuhkorakkuloihin ja tukkivat niitä. [12.]

Pienhiukkasia syntyy eniten dieselillä toimivissa ajoneuvoissa, ja uudet autot onkin nykypäivänä varustettu erillisellä hiukkassuodattimella. Hiukkassuodatin kerää tyypillisesti ajoneuvojen pakokaasuista noin 85 % kaikesta moottorin syntyneestä hiukkasmäärästä. [11.]

4 Suuntapainepuhallinjärjestelmän laitteet

4.1 Suuntapainepuhallinjärjestelmä

Suuntapainepuhallinjärjestelmä perustuu kattoon asennettaviin puhaltimiin, jotka liikuttavat ilmaa tuloilmakoneiden tuloilmasäleiköiltä kohti poistoilmasäleikköjä, josta poistoilmakoneiden puhaltimien avulla ilma johdetaan ulos rakennuksesta. Menetelmän avulla ei vaadita ilmanvaihtokanavien käyttöä suuntapainepuhaltimien sijaitsemisissa tiloissa, vaan ilma saadaan ohjattua pelkästään puhaltimien avulla. Suuntapainepuhaltimien ohjaus perustuu paikallisten epäpuhtauksien siirtoon mäntämäisesti kohti poistoilmasäleikköjä, minkä vuoksi käytetään alueen koko järjestelmää samanaikaisesti ja epäpuhdas ilma saadaan sekoitettua ja siirretty alueilta, joissa epäpuhtauksia havaitaan. Epäpuhtauksien pitoisuuksien laskiessa matalle pitoisuustasolle järjestelmä palautuu takaisin, tai jopa kokonaan valmiustilaan, jos epäpuhtauksia ei tiloissa havaita. Epäpuhtauksien havaitsemiseksi järjestelmään on lisättävä mittauspisteitä mittaamaan ylitykset epäpuhtauspitoisuuksien raja-arvoissa. Suuntapainepuhallinjärjestelmää on myös mahdollista käyttää osana savunhallintajärjestelmää. [7.]

4.2 Suuntapainepuhallin

Suuntapainepuhaltimet on suunniteltu suljetun pysäköintitilan ilmanvaihtoon, jolloin tilaan ei tarvitse asentaa kanavointia, vaan ilman siirtämisen hoitavat suuntapainepuhaltimet. Tällöin myös tilan ilmanvaihto voidaan hoitaa edullisemmalla ilmanvaihdolla, jolloin käytöstä aiheutuvat kustannukset luonnollisesti laskevat. Järjestelmää ohjataan ilmanlaatuantureiden perusteella niin, että vain tarvittavat puhaltimet käynnistyvät, mutta ilmanvaihtoalueittain kaikki puhaltimet käynnistyvät samanaikaisesti. Kanavien painehäviöiden poistumisen vuoksi myös ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilmapuhaltimet voidaan mitoittaa pienemmiksi. [16.]

Suuntapainepuhaltimia voidaan käyttää myös osana savunhallintajärjestelmää. Palohälytys signaalin saadessaan suuntapainepuhaltimet käynnistyvät muutaman sekunnin viiveellä antaen poistoilmapuhaltimen käynnistyä ensin ja estävät savun leviämistä tilassa sekä ohjaavat savun lähimpään savunhallintakanavaan. Suuntapainepuhaltimien avulla pystytään vähentämään paikoitustilan savunpoistoaikaa, savun määrää sekä maksimoida poistumis- ja sammutusreittien esteettömyys. Suuntapainepuhaltimia on myös mahdollisuus ajaa tarvittaessa molempiin suuntiin. Suuntapainepuhallinjärjestelmä voidaan myös CFD-virtausmallintaa, jolloin mallinnuksessa etsitään suuntapainepuhaltimille optimaaliset paikat pysäköintihallista ilmanvaihdon kannalta. [16.]

Opinnäytetyöni esimerkkikohteissa suuntapainepuhaltimiksi on valittu Fläktwoodsin suuntapainepuhaltimet.

5 Kohteet

5.1 Tripla

Tripla on Pasilaan vuosina 2019 ja 2020 vaiheittain valmistuva kaupunkikeskus, johon valmistuu uuden Pasilan aseman lisäksi kauppakeskus, hotelli, toimistoja, asuntoja sekä pysäköintilaitos. Ensimmäisessä vaiheessa syksyllä 2019 valmistuu Pasilan asema, kauppakeskus sekä pysäköintilaitos. Hotelli, toimistot ja asunnot valmistuvat vaiheittain vuoden 2020 aikana. Triplan kaupalliset tilat ja pysäköintilaitoksen omistaa sijoittajaryhmä, johon kuuluvat Ilmarinen, Onvest, Fennia sekä YIT. [17.]

Opinnäytetyöni koskee pysäköintilaitoksen osaa tästä Triplan kokonaisuudesta ja pysäköintilaitos on kokonaisuudessaan n. 90 000 m²:n kokoinen. Tästä pysäköintihallia ja suuntapainepuhaltimin hoidettua ilmanvaihdon osaa on n. 82 000 m², ja kerroksittain pinta-alat ovat 14 500-18 200 m². Yhteensä pysäköintipaikkoja pysäköintilaitokseen tulee noin 2300, joista sähköautojen latauspisteitä on noin 350. Pysäköintilaitoksessa on viisi kerrosta, jotka sijaitsevat kaikki maan alla. Kerroksittain pysäköintihallissa ilmanvaihdon palvelualueet on jaettu niin, että jokaisessa kerroksessa pysäköintihallissa on 4 palvelualueetta. Pysäköintihallin ilmanvaihtoa hoitaa siis yhteensä 20 tulopoistoilmanvaihtokonetta. Suuntapainepuhaltimia on parkkihalliin asennettu yhteensä 220 kappaletta palvelemaan ilmanvaihtoa parkkihallin osalla. [17.]

5.2 Easton Helsinki

Easton Helsinki on kauppakeskus, joka sijaitsee Helsingin Itäkeskuksessa. Easton Helsinki valmistui ja avattiin ensimmäisen kerran lokakuussa 2017. Kauppakeskuksen omistaa Kesko Oyj. Liikkeitä kauppakeskuksessa on yhteensä 30. Easton Helsingin pysäköintilaitos on kaksikerroksinen, joista molemmat sijaitsevat maan pinnan yläpuolella. Pysäköintilaitoksessa on yhteensä 1 100 pysäköintipaikkaa, joiden lisäksi polkupyöräpaikkoja on 330. [18.]

Kauppakeskus Eastonissa pysäköintilaitos on kooltaan n. 27 000 m² molempien kerroksien ollessa n. 13 500 m². Pysäköintihalli on jaettu molemmissa kerroksissa kolmeen

ilmanvaihtoalueeseen, ja näin ollen pysäköintihallia palvelee yhteensä 6 tulo-poistoilmanvaihtokonetta. Suuntapainepuhaltimia pysäköintihalliin on asennettu yhteensä 23 kappaletta. [18.]

6 CFD-virtausmallinnus

Virtausmallintamalla voidaan mallintaa, miten ilmapirrat jakautuvat mallinnetussa tilassa sekä normaalin ilmanvaihdon avulla, että suuntapainepuhaltimien kanssa. Virtausmallinnuksen avulla voidaan myös päätellä, syntyykö tilaan epäpuhtauksien kerrostumia, sekä miten ne kerrostuvat. Virtausmallinnuksessa CFD-ohjelma laskee mallinnukseen tarvittavat säilymisen differentiaaliyhtälöt (massa, liikemäärä ja energia). Tämän avulla ohjelma ratkoo tarvittavan määrän iterointikertoja algebrallisista yhtälöistä, kunnes ohjelma on saavuttanut halutun tarkkuustason virtausten osalta. Virtausmallinnuksessa ei oteta kuitenkaan huomioon termisiä vaikutuksia, kuten esimerkiksi autoista syntyvää lämpöä. Virtausmallinnus on täysin isoterminen. Tällä on positiivinen vaikutus ajatellessa ilman sekoittumista pysäköintilaitoksessa. Liitteessä 1 on esitelty virtausmallinnus, joka on tehty Triplan pysäköintilaitoksen kolmanteen kerrokseen. [19.]

6.1 Mallinnuksen lähtötiedot

Triplan pysäköintilaitoksen P3-kerroksesta on Fläktwoods Oy:n toimesta tehty virtausmallinnus (liite 1). Virtausmallinnuksessa on käsitelty ilman liikkuvuutta pysäköintihallin osissa sekä eri korkeusalueilla. Korkeudet, jotka raporttiin on esitetty ovat 0,5 metrin, 1,6 metrin korkeudelta ja 2,5 metrin korkeudelta. Mallinnus on laadittu käyttäen pysäköintihallin mitoitusilmavirtaa. Mallinnus on laadittu normaalin ilmanvaihdon tilanteeseen suuntapainepuhaltimien ilmapirran ollessa $0,61 \text{ m}^3/\text{s}$ suuntapainepuhallinta kohden. Ilmapirran liikkuvuutta on myös käsitelty kahdessa eri tilanteessa, normaalissa ilmanvaihdon mitoitusilmavirta-tilanteessa sekä ilmanvaihdossa, jossa suuntapainepuhaltimet ovat käynnissä mitoitusilmanvaihdon lisäksi.

6.2 Ilman virtaavuus eri korkeuksilla

Raportissa (liite 1) esitetään sivuilla 3, 4 ja 5 alemmissa kuvissa ilman virtaavuutta pysäköintihallin eri osissa mitoituksilma-tilanteessa. Kuvista voidaan huomata, että ilman virtaavuus pysäköintihallissa eri korkeuksilla on miltei identtistä ja ilmavirtaus liikkuu korkeussuuntaisesti katsottuna yhteneväisesti. Edellä mainituista mallinnoista voidaan myös huomata, että pysäköintihallin tulo- ja poistoilmasäleikköjen sijoittamisella on suuri merkitys ilmanlaatuun ja sen vaihtuvuuteen eri osissa pysäköintihallia. Tulo- ja poistoilmasäleikköjen sijoittaminen tehokkaammin ilman virtaavuuden kannalta pienentäisi suuntapaineohjauksen tarvetta pysäköintihallissa. Näin ollen pysäköintihalliin ei pääsisi muodostumaan myöskään kohtia, joissa ilma saadaan vaihtumaan pelkästään suuntapainepuhaltimien avulla. Mahdollisuutena parantaa ilman virtaavuutta huonosti virtaavissa osissa pysäköintilaitoksen. Tällä tavoin ilmanvaihdon tehostuksen tarve vähenisi ja saataisiin suoraa energiasäästöä.

6.3 Ilmanlaatu

Raportissa on myös käsitelty ilmanlaatua pysäköintihallissa. Kuvista voidaan hyvin havainnoida, että normaalitilanteessa ilman suuntapainepuhaltimia ilmavirtaus liikkuu nopeasti suoraan eteenpäin tuloilmasäleiköltä, jolloin tällä alueella ilmanlaatu on hyvää. Tämän johdosta kuitenkin tuloilmasäleikköjen puolelle hallia muodostuu helposti kohtia, joissa ilmanlaatu ei ole yhtä hyvää kuin poistoilmasäleikköjen puoleisella seinustalla, eli ilma ei sekoitu tarpeeksi. Tämän johdosta näihin kohtiin on pakokaasupäästöjen johdosta helppo muodostua tarvetta ilmanvaihdon tehostukselle. Kuten liitteen sivulta 6 ja 7 voidaan huomata, niissä kohdissa, joihin tuloilmasäleikkö ei puhalla suoraan ilmaa, ilmanlaatu on todella heikkoa verrattuna muuhun pysäköintihalliin.

6.4 Korkeussuuntaiset leikkaukset

Liitteen sivulla 8 on esitetty leikkaukset A, B ja C, joissa kuvataan ilman virtaavuutta ja ilman laatua pysäköintihallin läntiseltä, keski- ja itäosalta. Kaikissa liitteen 1 sivujen 8–11 kuvaajissa voidaan huomata, että ilman virtaavuus ja ilmanlaatu on puhaltimien ollessa päällä hyvällä tasolla. Analysoidaan siis hiukan tilannetta, jossa ilmanvaihto toimii ilman puhaltimien tehostusta.

Leikkauksessa A ilman nopeus pysyy läpi leikkauksen yleisesti liikkuvana ja verraten sitä ilman laatuun, voidaan huomata, että ilmanlaatu on huonointa juuri ennen poistoilmasäleikköä. Ilman liikkuessakin kuitenkin tällä osuudella voidaan päätellä, että ilmanvaihto toimii myös normaalitilanteessa tarpeeksi hyvin.

Leikkauksessa B ilman nopeus laskee pieneksi lähempänä poistoilmasäleikköä mutta verrattaessa tätä ilman laatuun voidaan huomata, että ilman virtaavuuden laskiessa kerkeää ilmavirta myös laskemaan hieman lähemmäs lattiaa ja vaihtamaan ilmaa lattian tasossa parantaen lattian pinnassa olevan ilman laatua. Keskellä pysäköintihallia ilma virtaa keskikorkeudella ja katon rajassa nopeammin, jolloin ilman vaihtuvuus lattian tasolla hieman kärsii. Ilma vaihtuu kuitenkin läpi koko leikkaustason mutta hiukan paremmin katon rajassa, minkä vuoksi kerrostumia lattianrajaan on mahdollista syntyä.

Leikkauksessa C voidaan huomata, että ilman puhaltimia tämän kohdan ilmanvaihto ei käytännössä toimi ilman liikkeen ollessa todella hidasta. Ilmanlaatu on muihin leikkaustasoihin verrattuna viisinkertaisesti huonompaa ilman puhaltimia. Parhaimmassakin tapauksessa ilmanlaatu on leikkauksen vasemmassa reunassa yhtä hyvää, kuin muualla kerroksessa on huonoimmillaan. Tämä alue siis käytännössä tarvitsee varmasti puhaltimien tehostusta kuormituksen kasvaessa.

7 Ilmanvaihdon trendiseuranta

Tarkastelin Eastonin pysäköintilaitoksen olosuhteita aikavälillä 28.01.2019 kello 00.00 – 03.02.2019 kello 23.59. Olosuhteiden tarkastelussa tavoitteena oli selvittää, miten parkkihallin olosuhteet käyttäytyvät suhteessa parkkihallin kävijämääriin. Olosuhteiden

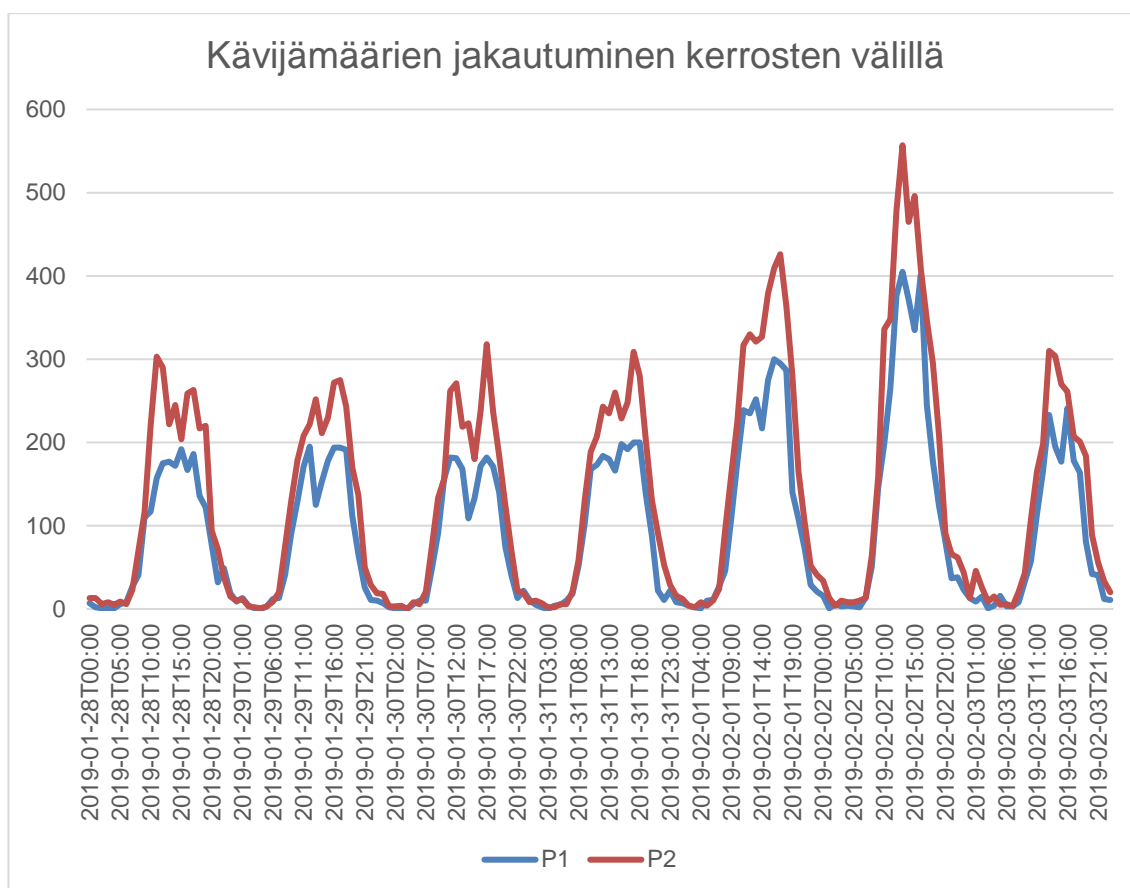
osalta tarkastelun kohteeksi on otettu suhteellinen kosteus, hiilimonoksidi ja lämpötila. Ilmanvaihtoalueet A301–303 sijaitsevat pysäköintilaitoksen ensimmäisessä kerroksessa, josta on myös sisään- ja ulosajo pysäköintihalliin. Ilmanvaihtoalueet A311–313 sijaitsevat pysäköintilaitoksessa P2-kerroksessa, joka on kerrosta ylempänä. Ajo P2-kerrokseen tapahtuu P1-kerroksen kautta.

7.1 Kävijämäärät parkkihallissa

Kuvan 3 kuvaajasta voidaan huomata, että parkkihallin kävijämäärä alkaa kasvamaan arkipäivinä räjähdysmäisesti kello kuudesta eteenpäin. Kävijämäärä pysyy noin 600 kävijän määrässä tuntia kohden aina kello 18:aan saakka. Perjantaisin kävijämäärä pysyy muutaman tunnin pitempään korkeana. Lauantaisin kävijämäärä alkaa nousta vasta kello 8 aikaan ja sunnuntaisin kello 9–10. Perjantaisin ja lauantaisin myös kävijämäärien piikki kasvaa hiukan muita päiviä suuremmaksi.



Kuva 3. Kävijämäärät parkkihallissa tarkastelun aikavälillä



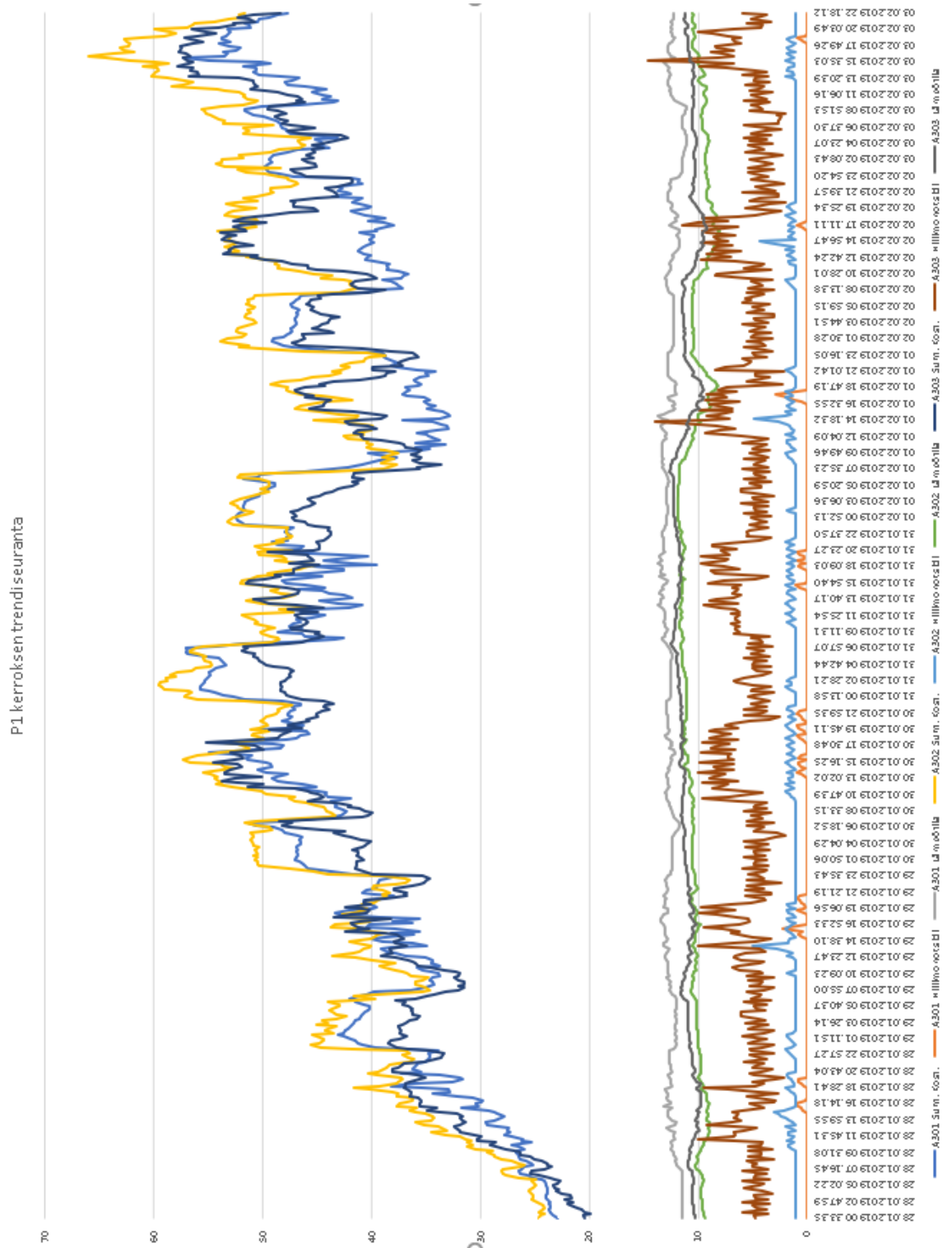
Kuva 4. Kävijämäärien jakautuminen P1- ja P2-kerrosten välillä

7.2 P1-kerroksen olosuhdeseuranta

Lämpötilan osalta voidaan kuvan 4 kuvaajasta huomata, että P1-kerroksessa aikoina, jolloin kävijämäärä on suuri, tapahtuu lämpötilassa laskemista. Lämpötilan laskeminen johtuu P1-kerroksessa sijaitsevien sisäänajojen ovien aukinaisuudesta, jolloin ulkoilmaa pääsee suoraan ovien kautta sisään pysäköintihalliin. Lämpötilan laskeminen on myös kaikkein suurinta nimenomaan sillä alueella, joka sijaitsee lähimpänä sisäänajo-ovia. Tarkasteluvälillä lämpötila parkkihallin P1-kerroksessa on käynyt alle 10 asteen maanantaina, perjantaina, lauantaina ja sunnuntaina.

Hiilimonoksidin osalta arvot ovat pysyneet tarkasteluvälillä pääosin alle lukeman 10 ppm. A303:n ilmanvaihtoalueella hiilidioksidipitoisuudet ovat olleet tarkastelujaksolla muita korkeampia. Tämä johtuu todennäköisesti anturien sijoittamisesta. Tämän ilmanvaihtoalueen ilmanlaatuanturit on sijoitettu lähelle liukuporrasaulaa keskelle parkkihallia, jolloin myös suurin osa autoista pysäköi lähelle tätä anturia. Kahden muun ilmanvaihtoalueen anturit on sijoitettu poistoilmasäleikön ja tuloilmasäleikön läheisyyteen.

Suhteellisen kosteuden osalta parkkihallissa olosuhteet ovat vaihdelleet 20–65 %:n välillä. Suhteellinen kosteus on riippuvainen olosuhteista ulkoilmassa, ja kuten kuvien 5 ja 6 kuvaajista voidaan huomata, se on molempien kerrosten osalta hyvin samanlainen.



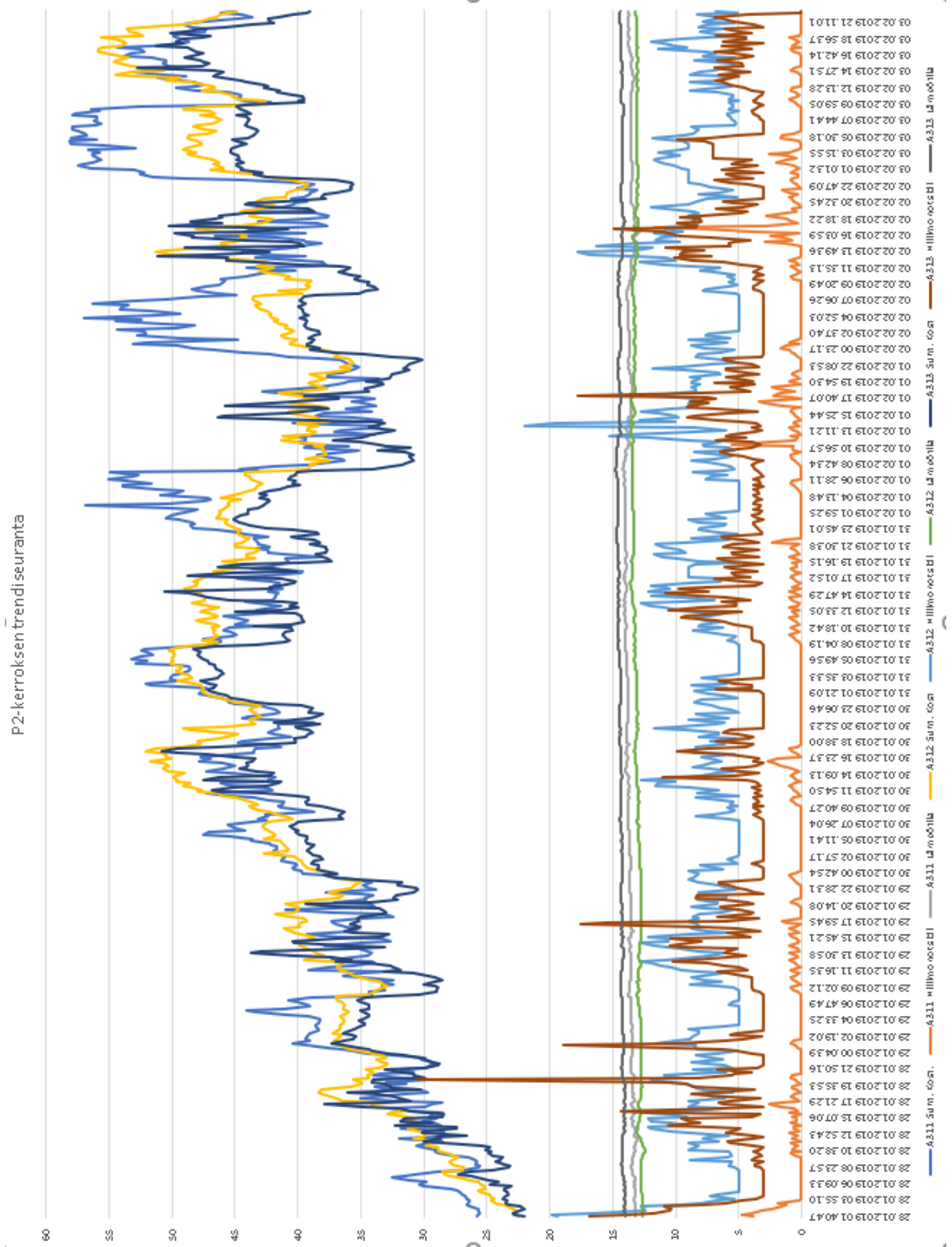
Kuva 5. P1-kerroksen olosuhteet tarkasteluvälillä

7.3 P2-kerroksen olosuhdeseuranta

Lämpötilan osalta P2-kerroksessa ei tapahdu samanlaista vaihtelua lämpötilassa kuin alemmassa kerroksessa. Tämä vahvistaa päätelmät, että aukinaiset ovet aiheuttavat lämpötilan vaihtelun P1-kerroksessa. Lämpötila on pysytellyt koko tarkastelujakson ajan 12–15 asteessa.

Hiilimonoksidin osalta P2-kerroksessa pitoisuudet ovat korkeammat kuin P1-kerroksessa. Tarkasteluvälillä kahdessa hiilidioksidianturissa oli pohjakuormaa 3 ja 5 ppm, jonka vuoksi arvot hieman vääristävät totuutta. Pohjakuormat antureissa johtuvat antureiden kalibroimattomuudesta. Tämä huomioon otettuna pitoisuudet ovat hyvin samankaltaiset verrattuna P1-kerrokseen. Tässä tarkastelussa on kuitenkin muutama isompi piikki, jotka selittyvät P2-kerroksen suuremmalla kävijämäärällä.

Suhteellisen kosteuden osalta parkkihallissa olosuhteet ovat olleet 20–60 %. Suhteellinen kosteus on riippuvainen olosuhteista ulkoilmassa, ja kuten kuvien 5 ja 6 kuvaajista voidaan huomata, se on molempien kerrosten osalta hyvin samanlainen.



Kuva 6. P2-kerroksen olosuhteet tarkasteluvälillä

8 Ilmanvaihdon tehostus

Triplan pysäköintilaitoksen osalta suuntapainepuhaltimien ohjaukset toimivat niin, että mikäli jokin kerroksen pysäköintitilaa palveleva ilmanvaihtokone pyytää tehostusta suuntapainepuhaltimilta, rakennusautomaatiojärjestelmä antaa tehostuskäskyn jokaiselle kyseistä kerrosta palvelevalle ohjauskeskukselle. Suuntapainepuhaltimien käynnistyessä on niiden minimikäyttöaika 30 minuuttia.

Mikäli palvelualueen haitalliset pitoisuudet ylittävät asetetut raja-arvot käynnistyvät suuntapainepuhaltimet asetetun käynnistymisviiveen jälkeen. Mikäli pitoisuudet eivät laske alle asetettujen raja-arvojen käynnistyy ilmanvaihtokoneet toisena portaana tehostuskäyrien mukaiselle ilmamäärälle. Ilmanvaihtokoneet ja suuntapainepuhaltimet pysähtyvät asetetun viiveen kuluttua pitoisuuksien laskiessa alle asetellun pysäytysrajan. [20.]

Hiilidioksidin osalta tehostuskäsky annetaan, jos ylitetään 1 100 ppm eikä se ole poistunut 8 tunnin viiveellä. Hiilimonoksidin osalta tehostuskäsky annetaan, jos ylitetään 70 ppm eikä se poistu 15 minuutin kuluessa tai 30 ppm ei poistu 8 tunnin kuluessa. Typpi-dioksidin osalta tehostuskäskyt annetaan, jos 15 minuutin kuluessa yli 6 ppm ei ole poistunut tai 3 ppm ei ole poistunut 8 tunnin kuluessa. [20.]

Energiansäästöllisesti ajateltuna olisi mahdollisesti tehokkaampaa, jos tehostuskäskyn tullessa ei käynnistettäisi kuin sen ilmanvaihtoalueen suuntapainepuhaltimet ja ilmanvaihtokoneet, jonka epäpuhtauksien pitoisuudet ylittävät raja-arvot. Tämä olisi mahdollista toteuttaa ohjelmallisesti jokaisella palvelualueella olevien omien anturien ansiosta. Triplassa ilmanvaihdon palvelualueita on kerroksittain pysäköintihallin osalta aina 4, jolloin tehostuspyynnön tullessa kaikki 4 ilmanvaihdon palvelualueita käynnistyvät. Näin ollen olettaen, että tällaisella tehostuksella saataisiin epäpuhtauksien pitoisuudet yhtä nopeasti poistettua paikallisesti, voidaan todeta, että yhdessä tehostuskerrassa käytetty energiamäärä olisi mahdollista pudottaa suuntapainepuhaltimien energiankulutusta jopa 25 prosenttiin nykyisestä. [20.]

Eastonin osalta ilmanvaihtokone käynnistyy tehostetun ilmanvaihdon ilmamäärälle, jos suuntapainepuhaltimien ohjauskeskuksen antama ilmanvaihdon tehostuskomento aktivoituu. Ilmanvaihtokone palaa aikaohjelman mukaiseen ohjaukseen käyttäjän asetteleman viiveen kuluttua tehostuskomennon poistumisesta. Eastonissa ei anturoida epäpuhtauksien osalta kuin hiilimonoksidia. Hiilimonoksidin osalta tehostuskäsky pöytäjärjestelmään tulee hiilimonoksidin ollessa yli 70 ppm, jos pitoisuus ei ole laskenut 15 minuutin sisällä alle sen tai 30 ppm, jos pitoisuus ei ole laskenut alle 8 tunnin aikana. [21.]

9 Päätelmät ja yhteenveto

Insinööriytössäni tarkoituksena oli tutkia ratkaisuja ja kehitysmahdollisuuksia liittyen esimerkkikohteiden ilmanvaihdon mitoittamiseen ja energiatehokkuuteen. Työssä perehdyttiin pysäköintilaitoksen ilmanvaihtoon koskeviin asetuksiin, määräyksiin ja ohjeisiin. Työssä perehdyttiin myös pysäköintitiloja kuormittaviin epäpuhtausustekijöihin ja niiden vaikuttavaan kuormitukseen tulevaisuudessa.

Tällä hetkellä pysäköintilaitoksissa mitoittavaksi epäpuhtausustekijäksi tulee aina hiilimonoksidi nykyisen ajoneuvotekniikan takia. Tästä johtuen tulevaisuudessa mahdollisesti kehittyvä tekniikka voi aiheuttaa muutoksen, jolloin nykyinen mitoitus tapa ei ole optimaalinen, ja on tarpeen siirtyä mitoittamaan esimerkiksi typen oksidien tai hiukkaspitoisuuden perusteella. Tekniikan kehityksen ja ajoneuvojen epäpuhtauksien vähentymisen johdosta myös ilmavirran mitoitus tulee tulevaisuudessa laskemaan.

Työstä voidaan myös huomata, että suunniteltaessa pysäköintilaitos lämpimäksi tai puolilämpimäksi, mitoittavana ilmavirtana voidaan käyttää vanhaan mitoitus tapaan verrattuna jopa 70 % pienempää mitoitusilmavirtaa. Tämän johdosta mitoittaessa ilmavirtoja tulevaisuudessa on tärkeää käyttää uutta asetuksessa annettua mitoitus tapaa. Mitoittaessa ilmanvaihtoa on myös tärkeää sijoittaa laitteet niin, että ratkaisut palvelevat ilmanlaadun kannalta normaalitilanteessa mahdollisimman hyvin ja tarvittavien tehostuksien määrä saadaan minimoitua.

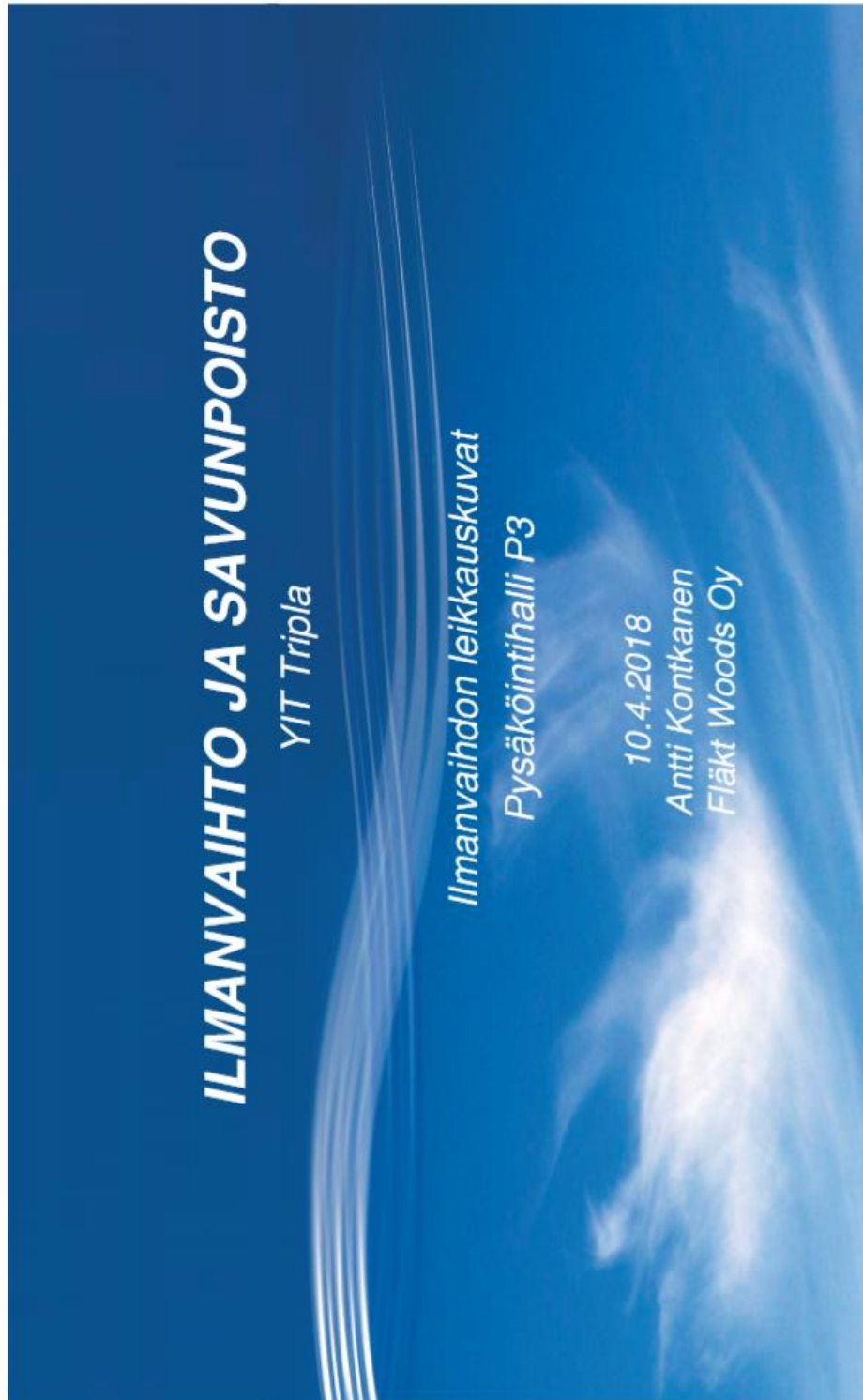
Suuntapainepuhaltimien käynnistymisen osalta olisi käytön aikana mahdollisuutta tutkia lisää, voitaisiinko suuntapainepuhaltimien käynnistymistä jakaa kerroksien osalta osiin. Tällöin ei turhaan käynnistettäisi suuntapainepuhaltimia koko kerroksen osalta, vaan pelkästään niillä ilmanvaihtoalueilla, joilla on tarvetta. Ilmanlaadun anturoinnit asennetaan kuitenkin jokaiselle palvelualueelle, jolloin tämä ei aiheuttaisi lisäanturointien tarvetta vaan voitaisiin hoitaa pelkästään ohjelmallisesti. Tällä voitaisiin mahdollisesti saada lisäsäästöjä energiankulutukseen.

Lähteet

- 1 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1/11. Ympäristöministeriö.
- 2 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Ympäristöministeriö.
- 3 Kalliomäki, Pekka. 2017. Perustelumuuksio asetukseen 1009/2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B38B67974-22AE-4672-8B81-1082550A33EB%7D/133738> Luettu 27.10.2018
- 4 Liljeström, Kimmo. Loikkanen, Oskari. Raiko, Maria. Suominen Miika. 2018. Moottoriajoneuvosuojaajan ilmanvaihdon mitoitusopas. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B91FAA441-B059-4A9C-A1F8-643E0BFBA1C2%7D/144136> Luettu 27.10.2018
- 5 Huikari, Jukka. 2007. Diplomityö. Pysäköintihallien pakokaasupäästöjen mittaus ja ilmanvaihdon ohjaus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUTPub-tietokanta.
- 6 Hiilidioksidipäästöt. 2019. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. <<https://www.liikenne.fi/ymparisto/henkilouutot/hiilidioksidipaastot>> Luettu 21.03.2019.
- 7 Hokkanen, Niko. 2015. Pysäköintihallin ilmanvaihto suuntapainepuhaltimilla. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 8 Auvinen, Heidi. Mäkelä, Kari. 2013. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 2012 laskentajärjestelmä. Verkkoaineisto. VTT. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-R-06355-13.pdf> Luettu 2.12.2018.
- 9 Salomaa, Eija-Riitta. 2016. Häkämyrkytys. Verkkoaineisto. Duodecim Terveyskirjasto. https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00759 Luettu 21.3.2019
- 10 Pakokaasujen säännellyt päästöt. 2019. Verkkoaineisto. Autoalan tiedotuskeskus. <http://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ja_niiden_mittaus/pakokaasupaastot> Luettu 21.3.2019
- 11 Laurikko, Juhani. 2008. Dieselhenkilöautojen ympäristöystävällisyys nro 12/2008. Verkkoaineisto. Ajoneuvohallintokeskus AKE. <https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1321969257/5a5f23edd6aa03c1e5bd319fb07e468b/1319-AKE1208Dieselienymparistoystavallisyys.pdf> Luettu 21.3.2019

- 12 Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. 2019. Verkkoaineisto. Hengitysliitto. <<https://www.hengitysliitto.fi/fi/terveys-hyvinvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/ilmanlaatu-saasteet/hiukkaset-ja-kaasumaiset-aineyhdisteet>> Luettu 21.3.2019
- 13 Raatikainen, Valle. 2015. Pysäköintitilojen ilmanvaihdon mitoitus. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 HTP-arvot 2018. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. 2018. Verkkoaineisto. Sosiaali- ja terveysministeriö. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160967/STM_09_2018_HTParvot_2018_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 24.9.2018.
- 15 Peltola, N & Tyni, J. 2015. YIT TRIPLA Yhteenveto paikoitushallien ilmanvaihdon mitoituksesta. Julkaisematon selvitys. Granlund Oy.
- 16 Autopaikotustilojen suuntapainepuhaltimet. 2018. Verkkoaineisto. FläktGroup. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=6b77d159-7177-47a6-b14b-96d43910e4fe>> Luettu 5.9.2018.
- 17 Näin Tripla rakentuu. 2019. Verkkoaineisto. YIT. <<https://tripla.yit.fi/nain-tripla-rakentuu>> Luettu 20.10.2018.
- 18 Tietoa Easton Helsingistä. 2018. Verkkoaineisto. Easton Helsinki. <<https://eastonhelsinki.fi/tietoa-eastonista/>> Luettu 20.10.2018.
- 19 Virtausmallinnus (CFD). 2018. Verkkoaineisto. FläktGroup. <<http://oldfi.flaktwoods.fi/erityisosaamisemme/autopaikotustilojen-ilmanvaihto/virtausmallinnus/>> Luettu 27.10.2018
- 20 Triplan pysäköintilaitoksen ilmanvaihdon suunnitelmat P1-P5 kerroksissa. 2018. Julkaisematon lähde.
- 21 Easton Helsinki pysäköintilaitoksen ilmanvaihdon suunnitelmat. 2017. Julkaisematon lähde.
- 22 Tietoa YIT:stä. 2019 Verkkoaineisto. YIT. Luettu 27.10.2018. <<https://www.yit-group.com/fi/tietoa-yitsta>>

Ilmanvaihdon ja savunpoiston CFD-virtausmallinnus Triplan pysäköintilaitoksesta



Ventilation Solutions



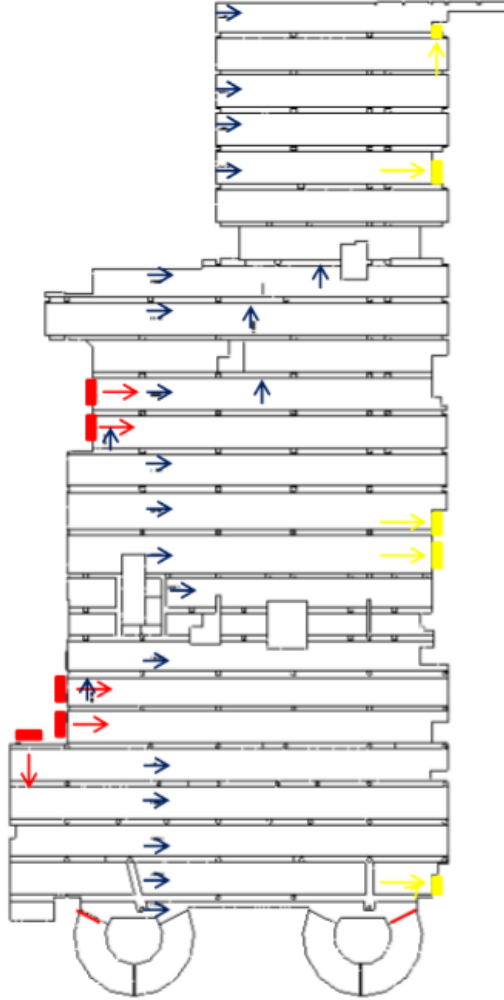
PYSÄKÖINTITASO P3 / ILMANVAIHTO

→ = Suuntapainepuhallin

Suuntapainepuhallimet:

P3-JTF-P301
P3-JTF-P302
P3-JTF-P303
P3-JTF-P304
P3-JTF-P305
P3-JTF-P306
P3-JTF-P307
P3-JTF-P308
P3-JTF-P310
P3-JTF-P311
P3-JTF-P312
P3-JTF-P313
P3-JTF-P314
P3-JTF-P315
P3-JTF-P316
P3-JTF-P317
P3-JTF-P318
P3-JTF-P319
P3-JTF-P320
P3-JTF-P321
P3-JTF-P322

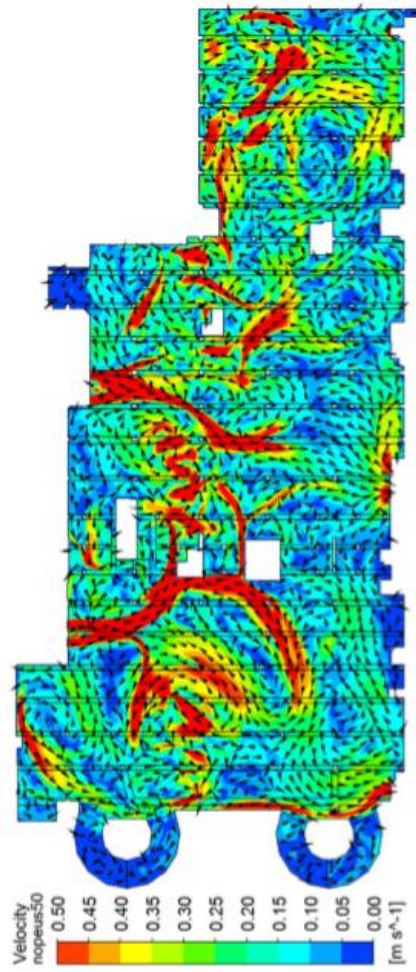
Puhaltimien alarajan korkeus on
2500mm lattian pinnasta



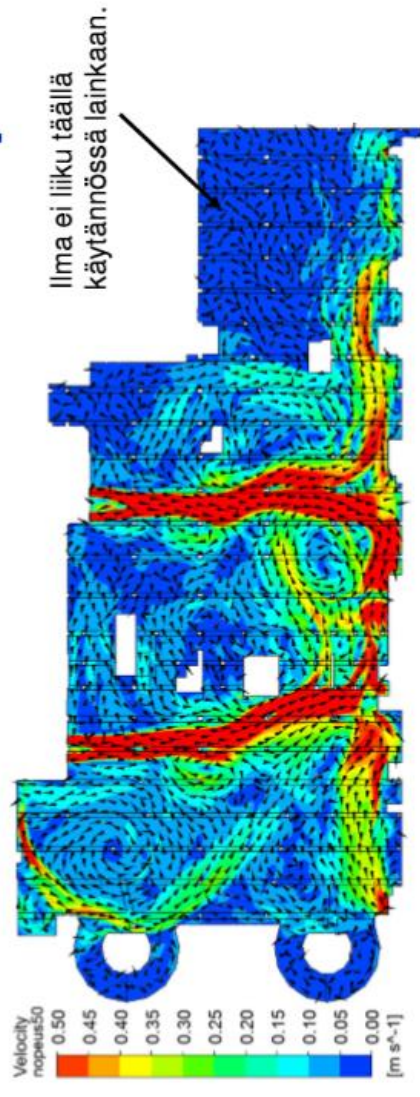
Puhallin:31JT-2SP-RDD-ISL
Puhaltimien lkm: 22
L=2299 mm
D=420 mm
Paino = 67kg
Ilmavirta 0,61 m3/s / puhallin
Puhallus 5 astetta lattian kohti

Ventilation Solutions

ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3: NOPEUSPROFIILIT JA -ALUEET 0,5 m LATTIAN PINNASTA

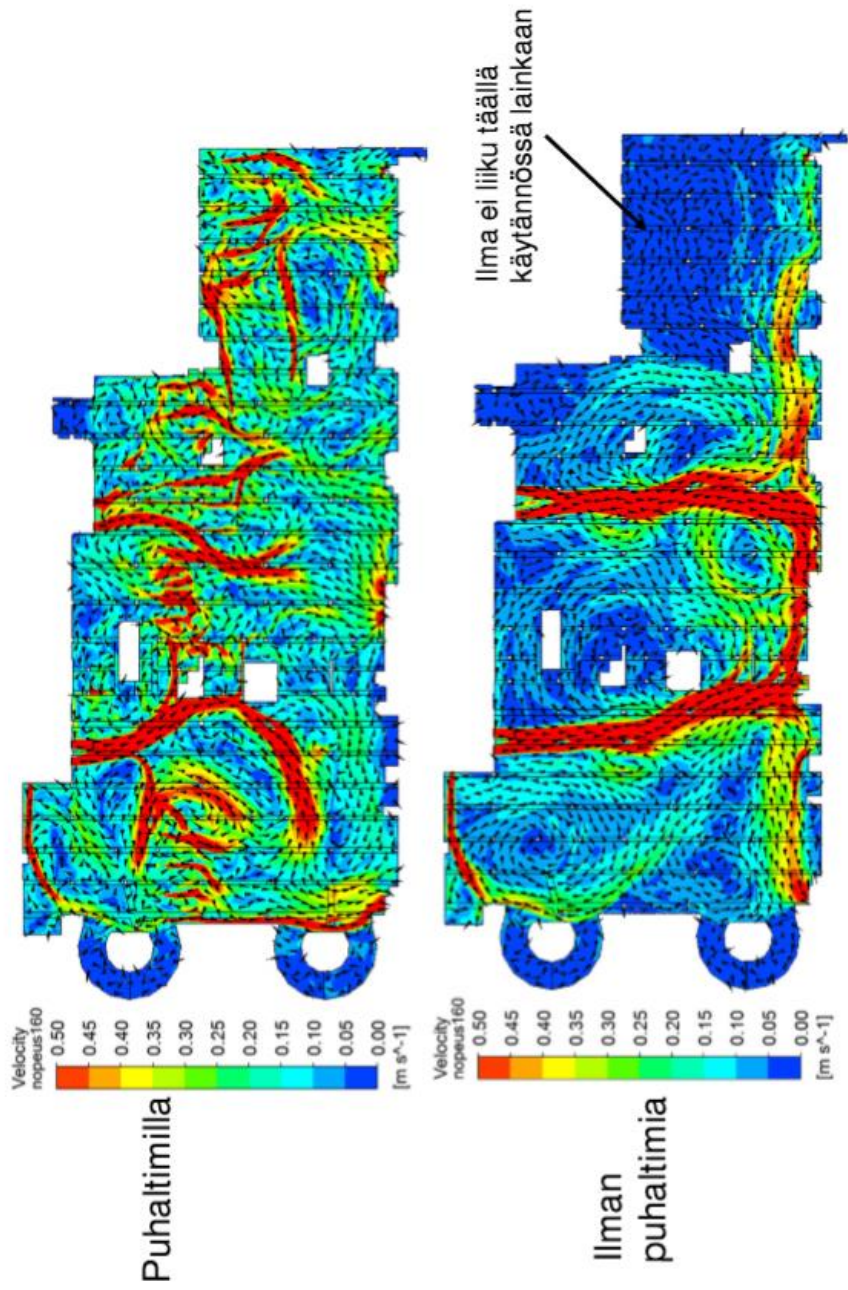


Puhaltimilla

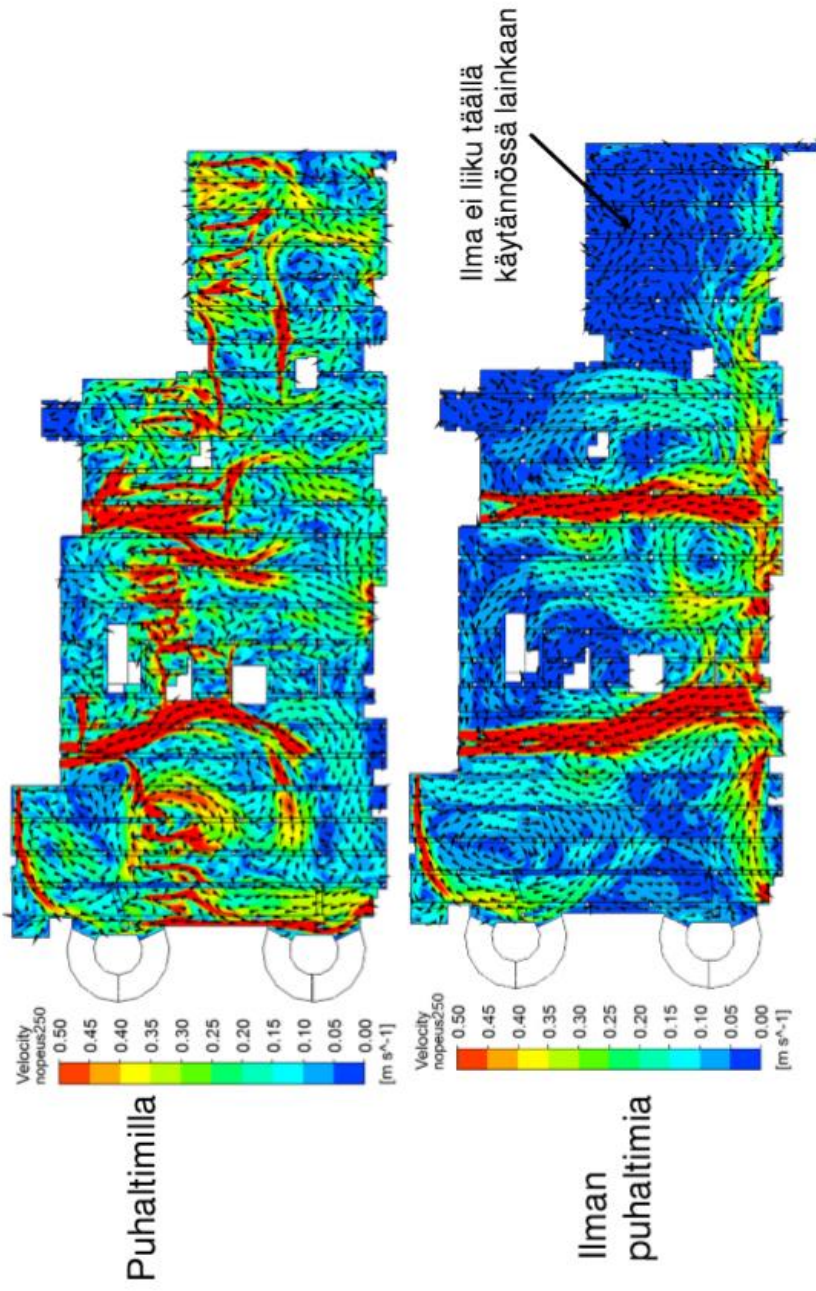


Ilman
puhaltimia

ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3: NOPEUSPROFIILIT JA -ALUEET 1,6 m LATTIAN PINNASTA

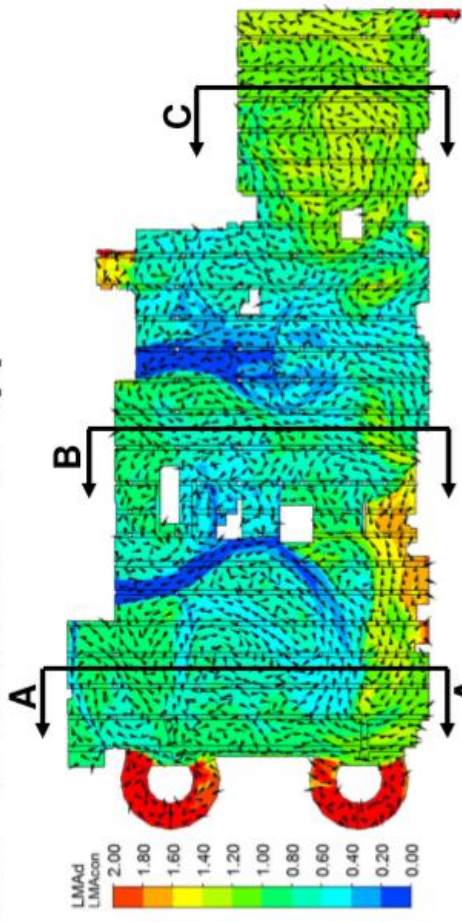


ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3: NOPEUSPROFIILIT JA -ALUEET 2,5 m LATTIAN PINNASTA

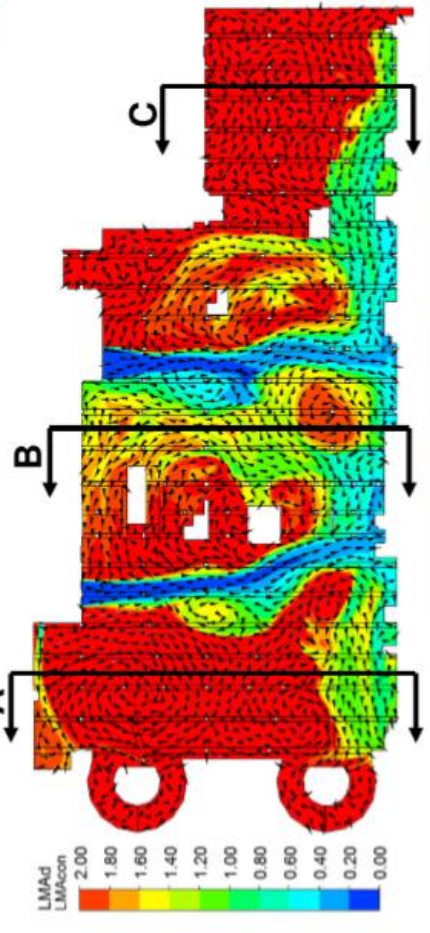




ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3:
DIMENSIOTON LMA - 1,6 m, aikavakio 1275 [s]



Puhaltimilla

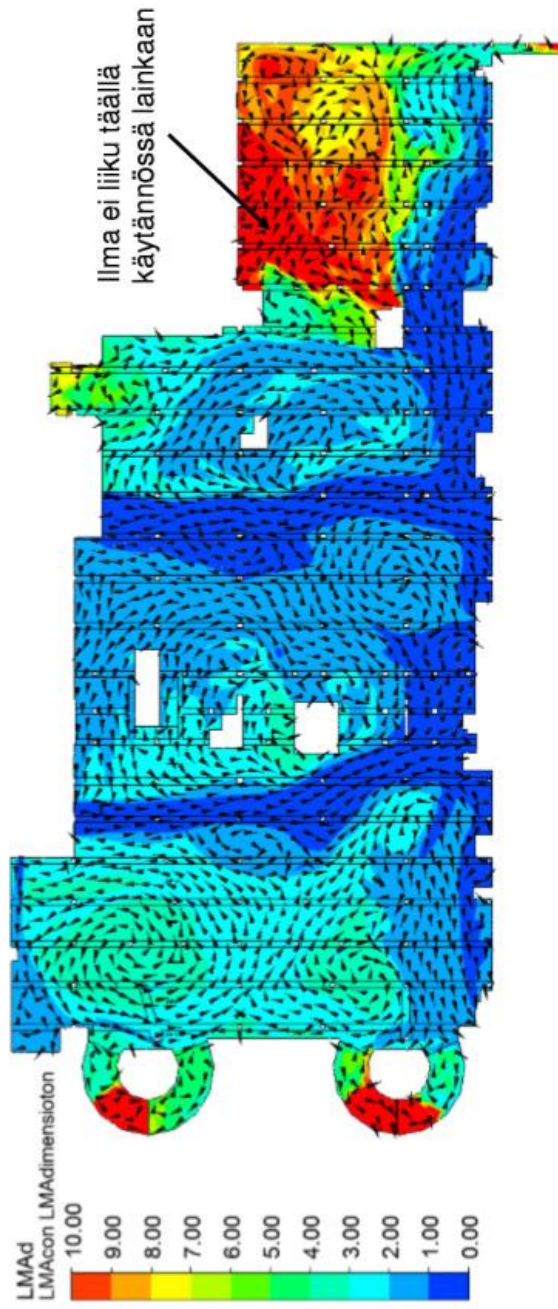


Ilman
puhaltimia

Ventilation Solutions

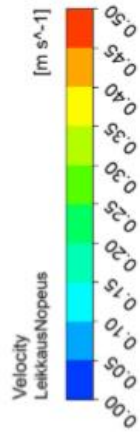
**ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3:
DIMENSIOTON LMA - 1,6 m, aikavakio 1275 [s]**

LMA, Ilman puhaltimia, isompi maksimiarvo

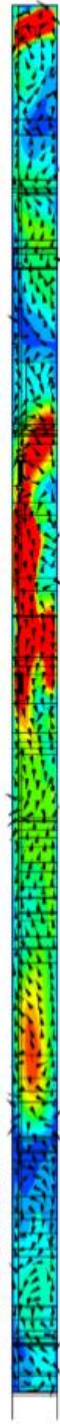




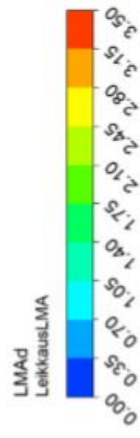
ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3: NOPEUSPROFILI JA DIMENSIOTON LMA – LEIKKAUS A



Puhaltimilla



Ilman puhaltimia



Puhaltimilla



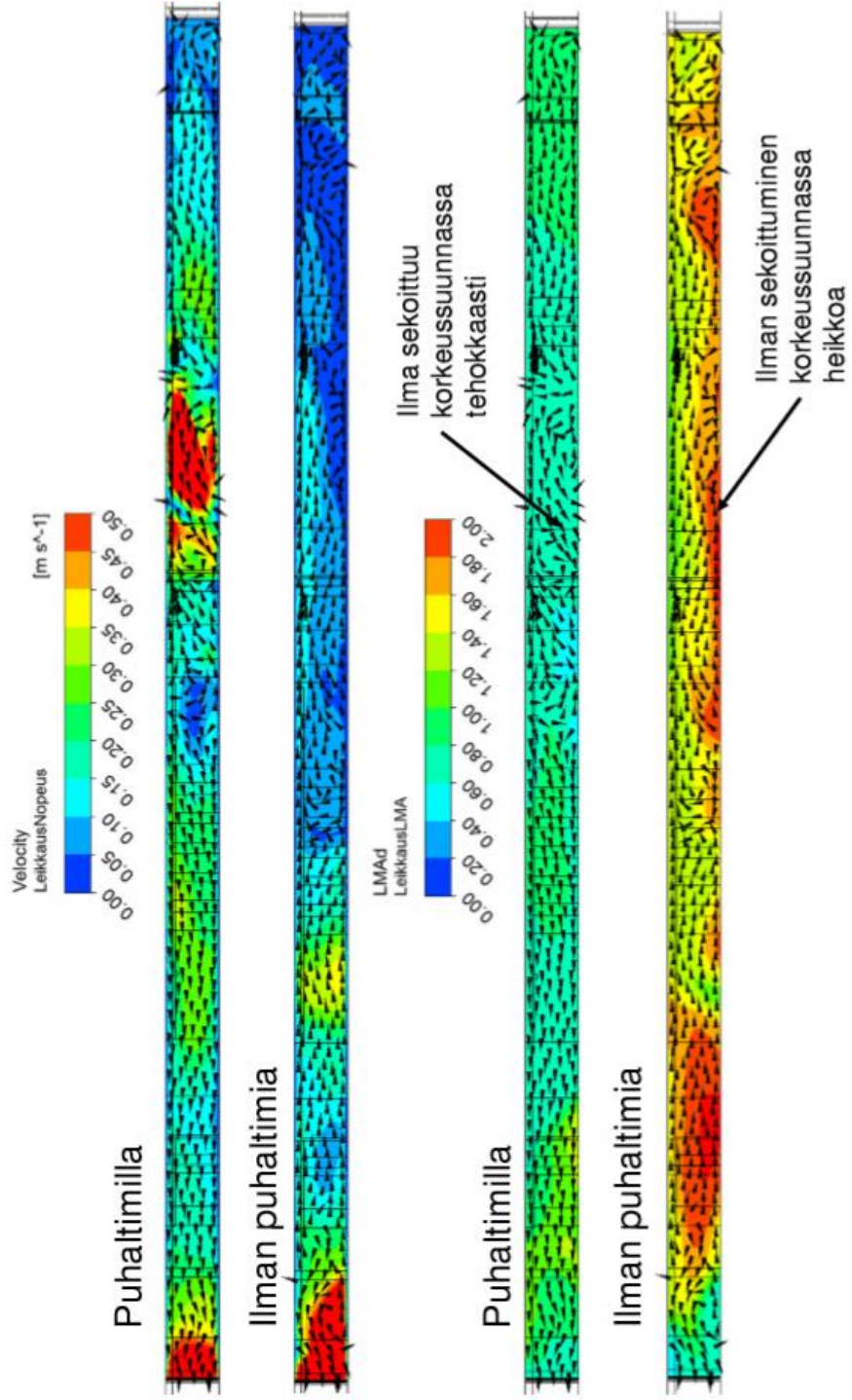
Ilman puhaltimia



Ventilation Solutions



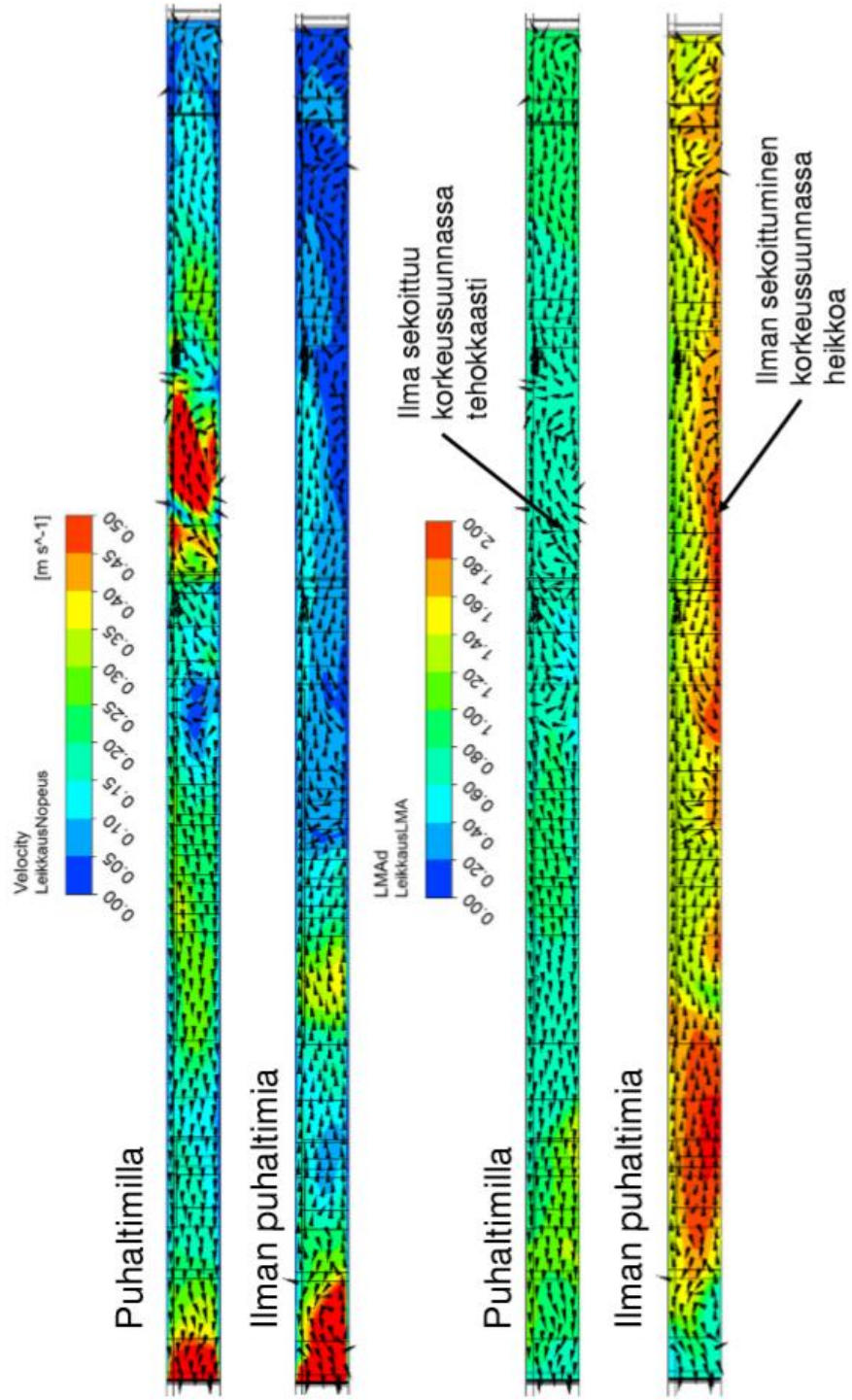
ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3: NOPEUSPROFILI JA DIMENSIOTON LMA – LEIKKAUS B



Ventilation Solutions



ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3: NOPEUSPROFIIILI JA DIMENSIOTON LMA – LEIKKAUS B



Ventilation Solutions

ILMANVAIHTO PYSÄKÖINTITASO P3: NOPEUSPROFILI JA DIMENSIOTON LMA – LEIKKAUS C

