

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

**PYSÄKÖINTIHALLIEN PAKOKAASUPÄÄSTÖJEN MITTAAMINEN JA
ILMANVAIHDON OHJAUS**

Diplomityön aihe on hyväksytty Energia- ja ympäristötekniikan osastoneuvoston kokouksessa 7.6.2007

Työn ohjaaja ja tarkastaja professori Esa Marttila
Työn tarkastaja tekniikan lisensiaatti Simo Hammo

Tampereella 27.8.2007

Jukka Huikari
Kärkikuja 6 B 47
33720 Tampere
GSM: 050-5823760

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Ympäristö ja energiatekniikan koulutusohjelma

Jukka Huikari

Pysäköintihallien pakokaasupäästöjen mittaaminen ja ilmanvaihdon ohjaus

Diplomityö

Lappeenranta 2007

70 sivua, 11 kuvaa, 22 kaaviota, 7 taulukkoa ja 4 liitettä

Tarkastajat: Professori Esa Marttila

Tekniikan lisensiaatti Simo Hammo

Hakusanat: anturi, henkilöauto, hiilidioksidi, hiilimonoksidi, ilmanlaatu, ilmanvaihto, pakokaasut, pysäköintihalli

Henkilöautojen pakokaasut sisältävät satoja eri yhdisteitä, joista monet ovat ihmisen terveydelle haitallisia. Pysäköintihallien ilmanlaatua on tähän asti mitattu pääasiassa hiilimonoksidiantureilla, jolloin ilmanvaihtokoneita on voitu käyttää tarvepohjaisesti. Parantunut pakokaasujen puhdistustekniikka on vähentänyt perinteisesti haitallisimmaksi koettujen hiilimonoksidin ja typenoksidien määrä pakokaasuissa. Tästä johtuen hiilidioksidin määrä pysäköintihallissa voi kohota haitalliselle tasolle ennen kuin hiilimonoksidianturit reagoivat tilanteeseen.

Tässä diplomityössä tarkasteltiin pysäköintihallien ilmanlaatua ja hiilidioksidiantureiden edellytyksiä toimia ilmanvaihdon ohjauksessa. Hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuuksia mitattiin Kampin ja Koskikeskuksen pysäköintihalleissa. Tuloksissa esitetään hiilimonoksidin ja hiilidioksidin riippuvuus ilmanvaihdon tehosta ja pysäköintihallin liikenteen määrästä. Johtopäätöksissä on kuvattu ehdotus hiilidioksidiantureiden käytöstä pysäköintihallien ilmanvaihdon ohjauksessa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

Technical faculty

Energy and environmental technology

Jukka Huikari

Measuring of parking garage exhaust fumes and controlling the air ventilation

Master's thesis

Lappeenranta 2007

70 pages, 11 figures, 22 diagrams, 7 tables and 4 appendices

Examiners: Professor Esa Marttila

Lic. Tech. Simo Hammo

Keywords: air ventilation, air quality, carbon monoxide, carbon dioxide, exhaust fumes, parking garage, passenger car, sensor

Passenger cars exhaust fumes contain hundreds of different compounds, of which many are dangerous to people. Carbon monoxide sensors have been used to measure parking garages air quality and air ventilation has been based on demand. The amounts of carbon monoxide and nitrogen oxides, which have traditionally been viewed as the most dangerous compounds, have been reduced because of better exhaust fume purification. The amount of carbon dioxide can rise to a harmful level before carbon monoxide sensors react to the situation.

This Master's thesis examines the parking garages air quality and the carbon dioxide sensors prerequisite to control air ventilation. The concentration of carbon monoxide and carbon dioxide was measured at Kamppi and Koskikeskus parking garages. Results show how the concentration of carbon monoxide and carbon dioxide depends on the power of air ventilation and the amount of traffic. A proposal about using carbon dioxide to control air ventilation in parking garages is shown in conclusions.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	3
2 LAINSÄÄDÄNTÖ JA VIRANOMAISMAÄRÄYKSET ILMANLAADULLE	4
2.1 Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeet ja määräykset pysäköintihallien ilmanvaihdolle	4
2.2 Valtioneuvoston päätös ulkoilman laatuvaatimuksista.....	5
2.3 HTP-arvot	8
2.4 Sisäilmaston tavoitearvot sisäilmastoluokituksen laatuluokittain	9
2.5 Viranomaisten haastattelut	10
3 SUOMEN AUTOKANTA JA AUTOISTA SYNTYVÄT PÄÄSTÖT	12
3.1 Suomen autokanta.....	12
3.2 LIPASTO järjestelmä.....	13
3.2.1 Hiilimonoksidi CO	13
3.2.2 Hiilivedyt HC.....	15
3.2.3 Typen oksidit NO _x	16
3.2.4 Hiukkaset PM.....	17
3.2.5 Metaani CH ₄	18
3.2.6 Typpioksiduuli N ₂ O.....	19
3.2.7 Rikkidioksidi SO ₂	20
3.2.8 Hiilidioksidi CO ₂	21
3.3 Pakokaasupäästöt kylmäkäynnistyksessä	22
3.4 Henkilöautojen käynnistyspäästöt pysäköintihallissa	27
3.5 Henkilöautojen yksikköpäästöt.....	28
4 PYSÄKÖINTIHALLIT.....	29
4.1 Yleistä.....	29
4.2 Pysäköintihallin ilmanvaihto.....	29
4.2.1 Sekoittava ilmanjako	31
4.2.2 Syrjäyttävä ilmanjako.....	32
4.3 Rakennusautomaatio.....	33
4.4 Ilmanvaihdon energiankulutus.....	34
4.5 Pysäköintihallien ilmanvaihto ulkomailla	37
5 PYSÄKÖINTIHALLIEN ILMANLAADUN SEURANTAMITTAUKSET	38
5.1 Anturiteknologia ja mittarien toimintaperiaatteet	39
5.1.1 A-Sense hiilidioksidilähetin	40
5.1.2 A-Sense M-III hiilimonoksidi-/hiilidioksidilähetin	41
5.1.3 Kimessa GSE 507 Ex hiilimonoksidilähetin	43
5.1.4 SX200/CO kaasunvalvonta-anturi	43
5.1.5 SX 422p kaasunilmaisim	44
5.1.6 SX 303DM kaasunvalvonta-anturi	46
5.1.7 Dataloggerit	47
5.2 Mitattavat kohteet.....	47
5.2.1 Kampin pysäköintihalli Helsinki.....	48
5.2.2 P-Koskikeskus Tampere	50
6 MITTAUSTULOKSET.....	52
6.1 Kampin pysäköintihalli Helsinki	52
6.1.1 Pysäköintihallin käyttöaste	53
6.1.2 Ilmanvaihtokoneiden trendiseuranta.....	54
6.1.3 Hiilimonoksidipitoisuus.....	55
6.1.4 Hiilidioksidipitoisuus	55
6.1.5 Hiilimonoksidi-hiilivetyseos	56
6.2 P-Koskikeskus Tampere.....	57
6.2.1 Pysäköintihallin käyttöaste	57
6.2.2 Ilmanvaihtokoneiden trendiseuranta.....	58
6.2.3 Hiilimonoksidipitoisuus.....	59
6.2.4 Hiilidioksidipitoisuus	60
6.2.5 Hiilimonoksidi-hiilivetyseos	61
7 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	63
LÄHTEET	68
LIITTEET.....	71

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

η_{puh}	puhaltimen hyötysuhde
$\eta_{\text{säh}}$	sähkömoottorin hyötysuhde
η_{tot}	kokonaishyötysuhde
$\eta_{\text{väl}}$	välityksen hyötysuhde
Δp_{tot}	paine-ero (kPa)
Δp	paine-ero (kPa)
n	kierrosluku (r/min)
n_{0p}	poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus täysteholla (r/min)
n_{0t}	tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus täysteholla (r/min)
n_{xp}	poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus (r/min)
n_{xt}	tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus (r/min)
P	puhaltimen sähköteho (kW)
PF	poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus (r/min)
P_{0p}	poistoilmapuhaltimen täysteho (kW)
P_{0t}	tuloilmapuhaltimen täysteho (kW)
P_{lohko1}	lohkon 1 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)
P_{lohko2}	lohkon 2 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)
P_{lohko3}	lohkon 3 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)
P_{lohko4}	lohkon 4 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)
P_{lohko5}	lohkon 5 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)
P_{poisto}	poistoilmapuhaltimen sähköteho (kW)
P_{tulo}	tuloilmapuhaltimen sähköteho (kW)
qv	ilmavirta (m ³ /s)
TF	tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus (r/min)

1 JOHDANTO

Pysäköintihallit, jotka on sijoitettu maan alle tai muuten suljettuun tilaan ovat yleisiä ratkaisuja nykyrakentamisessa. Tiheästi rakennetuissa taajamissa pysäköintipaikat on osoitettu usein jo asemakaavassa sijoitettavaksi maan alaisiin pysäköintihalleihin tai keskitetysti maan päällisiin pysäköintitaloihin. Erityisesti keskusta-alueiden liikerakentamisessa käytettävä maa-ala pyritään maksimoimaan pääkäyttötarkoitusta varten. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa pysäköintihalli asettaa tilana erityisiä vaatimuksia. Pysäköintihallin tulee täyttää rakennus-, palo- ja turvallisuusmääräykset sekä tietyt viihtyisyysvaatimukset. Yleensä pysäköintihallien ainoa käyttötarkoitus on autojen säilytys, jolloin niissä oleskellaan vain lyhytaikaisesti. Pysäköintihallien ilmanlaatua kuormittavat autojen pakokaasupäästöt. Normaaliin liikenteeseen verrattuna lisäpäästöjä syntyy autojen kylmäkäynnistyksistä, hitaasta nykivästä liikenteestä ja mahdollisista ruuhkista.

Pakokaasut ovat kompleksisia seoksia, jotka koostuvat sekä hiukkas- että kaasufaasiin jakautuneista orgaanisista ja epäorgaanisista yhdisteistä (Työterveyslaitos 2006). Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa ilmasta kaikki ihmisille haitalliset yhdisteet. Pysäköintihalleissa käytetään yleisesti tarvepohjaista ilmanvaihdon ohjausta, jolla vältetään turhalta ilmanvaihdolta. Perinteisesti ohjaus on tehty hengitysilmassa suurimpana ongelmana pidetyn hiilimonoksidin määrän mukaan. Uusien autojen parantunut pakokaasujen puhdistustekniikka tuottaa kuitenkin entistä vähemmän hiilimonoksidia. Pysäköintihalleissa tämä voi aiheuttaa tilanteen, jossa ilmanvaihtoa ohjaavat hiilimonoksidianturit eivät reagoi ilmanlaadun heikentymiseen. Uusien katalysaattorilla varustettujen autojen pakokaasupäästöt koostuvat pääasiassa hiilidioksidista moottorin ollessa lämmin.

Tämän diplomityön tavoitteina oli tarkastella pysäköintihallien ilmanlaatua ja ilmanvaihdon ohjausta. Työssä mitattiin viikon ajan kahden pysäköintihallin hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelua. Samalla seurattiin rakennusautomaation ilmanvaihdon ohjausta. Tavoitteina oli myös selvittää hiilidioksidimittareiden edellytyksiä toimia pysäköintihallien ilmanvaihdon ohjauksessa. Diplomityö tehtiin YIT Kiinteistötekniikka Oy:lle ja SRV Viitosen Oy:lle. Työtä ohjasivat kehityspäällikkö Juha From YIT Kiinteistötekniikka Oy:stä sekä talotekniikkayksikön johtaja Tapani Nousiainen SRV Viitosen Oy:stä. Mittauksissa käytetyt anturit toimittivat Stig Wahlström Oy ja Sensorex Oy.

2 LAINSÄÄDÄNTÖ JA VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET ILMANLAADULLE

2.1 Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeet ja määräykset pysäköintihallien ilmanvaihdolle

EU-jäsenyyden myötä Suomen ympäristölainsäädäntö on harmonisoitu vastaamaan EY-lainsäädäntöä. Erityisesti ympäristönsuojelussa ja luonnonsuojelussa suuri osa lainsäädännön muutoksista pohjautuu EY-lainsäädäntöön. Maankäytön ja rakentamisen tärkein ohjauskeino on vuonna 2000 voimaan tullut maankäyttö- ja rakennuslaki. Lakia sovelletaan alueiden suunnittelussa ja käytössä sekä rakentamisessa. Tarkemmat säännökset ja määräykset alueiden käytöstä ja rakentamisesta sisältyvät maankäyttö- ja rakennusasetukseen. Kunnissa maankäyttöä ja rakentamista ohjataan kaavoituksella ja rakennusjärjestyksellä. Rakentamista koskevat, maankäyttö- ja rakennuslakia täydentävät määräykset ja ohjeet sisältyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. (Ympäristöministeriö 2003)

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D2 on annettu määräyksiä ja ohjeita rakennusten sisäilmastolle ja ilmanvaihdolle. Pysäköintihallien ilmanvaihto-ohjeet sisältyvät näihin ohjeisiin ja määräyksiin liitteenä. Nämä ohjeet koskevat vain sellaisia moottoriajoneuvosuojia, joiden tilat on tarkoitettu vain pysäköintiin. Ohjeita ei siis voida soveltaa suoraan, jos tiloissa työskennellään jatkuvasti. Pysäköintihalli voi myös olla suorassa yhteydessä liiketiloihin. Tällöin tulee kiinnittää huomiota hallin alipaineisuuteen liiketilaan nähden. (Ympäristöministeriö 2003: 28)

Moottoriajoneuvosuojien ilmanvaihto järjestetään siten, etteivät ilman epäpuhtaudet aiheuta terveydellistä haittaa suojien käyttäjille. Mikäli autojonojen syntyminen on todennäköistä esim. pysäköintimaksu- tai liikennejärjestelyjen takia, tehostetaan näiden alueiden ilmanvaihtoa sijoittamalla lisäpoistoja ruuhkakohtiin. Tehostettu poisto voi tällöin olla epäpuhtauspitoisuuden (esimerkiksi CO-pitoisuus) mukaan ohjattu. Jos autosuojissa tai niiden yhteydessä on työpaikkoja, järjestetään ilmanvaihto työpaikkojen vaatimusten mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2003: 28)

Tulo- ja poistoilma-aukot sijoitetaan siten, että suojan eri osien riittävä ilmanvaihto varmistuu. Aukot asetetaan siten, ettei ilma pääse tarpeettomasti leviämään alueilta, joissa epäpuhtauspitoisuus on suuri. Suojaan ei myöskään saa jäädä kohtia, joissa ilman epäpuhtaus-

pitoisuudet voivat paikallisesti ylittää sallitut arvot. Tämän estämisessä voidaan käyttää esim. paikallispoistoja tai siirtoilmapuhaltimia. (Ympäristöministeriö 2003: 28)

Koneellisen ilmanvaihdon poistoilmavirta on: (Ympäristöministeriö 2003: 28)

☒ tiloissa, joissa tapahtuu keskimäärin yksi ajo autopaikkaa kohden vuorokauden vilkkaimman 8 tunnin jakson aikana, vähintään $0,9 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$. Tällaisia ovat esimerkiksi asuintalojen paikoitustilat;

☒ tiloissa, joissa ajoja on vastaavasti 2-4, vähintään $2,7 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$. Näitä ovat esimerkiksi toimisto- ja virastotilojen henkilökunnan paikoitustilat; sekä

☒ tiloissa, joissa ajoja on vastaavasti useampia, on poistoilmavirran oltava vähintään $n \times 0,9 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$. Kaavassa n tarkoittaa ajojen lukumäärää ja sen lukuarvo on vähintään 4. Näitä tiloja ovat esimerkiksi varsinaiset paikoitustalot sekä toimisto-, virasto- ja liikera kennusten asiakaspaikoitustilat.

Moottoriajoneuvosuojaan ilmanvaihtoa voidaan vähentää normaalin käyttöajan ulkopuolella, kun ilmanvaihtoa ohjataan epäpuhtauspitoisuuden mukaan ja suojaan asennetaan erillinen hälytysjärjestelmä. Ilmanvaihto käynnistyy täydelle teholle, kun yhden anturin kohdalla epäpuhtauspitoisuus ylittää asetetun raja-arvon (esimerkiksi CO-pitoisuus 50 ppm). Hälytys tapahtuu, kun epäpuhtauspitoisuus ylittää sille asetetun raja-arvon (esimerkiksi CO-pitoisuus 70 ppm). Ohjaus- ja hälytysantureita asennetaan suojaan vähintään 3 kpl kullekin tasolle, yleensä ajoluiskien ja ajoreittien läheisyyteen. Anturien toiminta on säännöllisesti tarkastettava ja ne on kalibroitava vähintään kerran vuodessa. Kalibrointitodistus liitetään rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeseen. (Ympäristöministeriö 2003: 28)

2.2 Valtioneuvoston päätös ulkoilman laatuvaatimuksista

Valtioneuvoston päätöksellä 711/2001 pantiin täytäntöön Euroopan neuvoston direktiivi 1999/30/EY ilmassa olevien rikkidioksidin, typpidioksidin, typen oksidien, hiukkasten ja lyijyn pitoisuuksien raja-arvoista, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/69/EY ilmassa olevan bentseenin ja hiilimonoksidin raja-arvoista sekä eräitä ilmanlaadun arvioinnista ja hallinnasta annetun neuvoston direktiivin 96/62/EY säännöksiä. Tarkoituksena on ehkäistä ja vähentää ympäristön pilaantumista vahvistamalla raja-arvot rikkidioksidin, typpidioksidin, typen oksidien, hiukkasten, lyijyn, hiilimonoksidin ja bentsee-

nin pitoisuuksille ulkoilmassa sekä ajankohdat, joista alkaen raja-arvoja ei saa ylittää. Raja-arvot ovat direktiivien vaatimusten mukaiset samoin ajankohdat raja-arvojen noudattamiselle lukuun ottamatta lyijylle säädettyä ajankohtaa. (Ympäristöministeriö 2001.)

Raja-arvoja sovelletaan terveyshaittojen ehkäisemiseksi alueilla, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä ja joilla ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille. Kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi annettuja raja-arvoja sovelletaan laajoilla maa- ja metsätalousalueilla ja luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Raja-arvojen lisäksi asetuksella säädetään direktiivin mukaisesti rikkidioksidin ja typpidioksidin varoituskynnykset, joiden ylittyessä väestöä on varoitettava epäpuhtauksien aiheuttamasta vaarasta. Asetuksella kumottaisiin valtioneuvoston päätös ilmanlaadun raja-arvoista ja kynnyksarvoista (481/1996) sekä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta annetun valtioneuvoston päätöksen (480/1996) 3 §, joka sisältää ohjearvot kasvillisuusvaikutusten ehkäisemiseksi. (Ympäristöministeriö 2001.)

Valtioneuvoston päätöksessä (480/1996) on annettu ohjearvot hiilimonoksidin, typpioksidin, rikkidioksidin, kokonaisleijuman, hengitettävien hiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksista ulkoilmassa. Päätöksessä on lisäksi annettu vuosiohjearvot rikkidioksidille ja typen oksideille sekä rikkilaskeumalle, joista kaksi ensin mainittua on muutettu sitoviksi valtioneuvoston asetuksella ilmanlaadusta (711/2001). (Ympäristöministeriö 2001.)

Ohjearvot ovat osa ilmansuojelun hallinnollista ohjausta. Ohjearvot on esitetty taulukossa 1. Niillä ilmaistaan ilmanlaadun tavoitteita sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Ohjearvot on otettava huomioon mm. maankäytön ja liikenteen suunnittelussa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on, että ohjearvojen ylityminen estetään ennakoita. Ohjearvojen lähtökohtana on terveydellisten ja luontoon sekä osittain myös viihtyvyyteen kohdistuvien haittojen ehkäiseminen. (Ympäristöministeriö 2001.)

Taulukko 1. Ilmanlaadun ohjearvot (Ympäristöministeriö 2001.)

Aine	Ohjearvo	Tilastollinen määrittely
	(20 °C, 1 atm)	
Hiilimonoksidi (CO)	20 mg/m ³ (17,2 ppm)	tuntiarvo
	8 mg/m ³ (6,88 ppm)	tuntiarvojen liukuva 8 tunnin keskiarvo
Typpidioksidi (NO ₂)	150 µg/m ³	kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO ₂)	250 µg/m ³	kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hiukkaset, kokonaisleijuma (TSP)	120 µg/m ³	vuoden vuorokausiarvojen 98. prosenttipiste
	50 µg/m ³	vuosikeskiarvo
Hengitettävät hiukkaset, (PM ₁₀)	70 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaismäärä (TSR)	10 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo TSR ilmoitetaan rikkinä

Valtioneuvoston asetuksessa (711/2001) on annettu raja-arvot rikkidioksidin, typpidioksidin ja muiden typen oksidien, hengitettävien hiukkasten (PM₁₀), lyijyn sekä hiilimonoksidin ja bentseenin pitoisuuksista ulkoilmassa. Raja-arvot on esitetty taulukossa 2. Asetus tuli voimaan 15.8.2001, ja sillä kumottiin vanha valtioneuvoston päätös ilmanlaadun raja-arvoista ja kynnsarvoista (481/1996). Raja-arvolla tarkoitetaan ilman epäpuhtauksien pitoisuutta, joka on alitettava määrääjassa, ja joka ei saa ylittyä sen jälkeen, kun se on alitetu. Asetuksen mukaan kuntien on laadittava ja pantava toimeen suunnitelmia, joilla varmistetaan raja-arvojen alittaminen annettuihin määräaikoihin mennessä jos raja-arvot ylittyvät tai ovat vaarassa ylittyä. Ilmanlaatuasetuksen raja-arvot on säädetty sekä terveyden että kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi. (Ympäristöministeriö 2001.)

Taulukko 2. Raja-arvot terveyden suojelemiseksi (Ympäristöministeriö 2001.)

Aika	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo (293 K, 101,3 kPa)	Sallitut ylitykset vuodessa	Ajankohta, jolloin pitoisuuksien viimeistään tulee olla raja-arvoa pienemmät
Rikkidioksidi (SO ₂)	1 tunti	350 µg/m ³	24	1.1.2005
	24 tuntia	125 µg/m ³	3	1.1.2005
Typpidioksidi (NO ₂)	1 tunti	200 µg/m ³	18	1.1.2010
	1 vuosi	40 µg/m ³	-	1.1.2010
Hiukkaset (PM ₁₀)	24 tuntia	50 µg/m ³ ¹⁾	35	1.1.2005
	1 vuosi	40 µg/m ³ ¹⁾	-	1.1.2005
Lyijy	1 vuosi	0,5 µg/m ³	-	15.8.2001
Hiilimonoksidi(CO)	8 tuntia ²⁾	10 mg/m ³ (8,6 ppm)	-	1.1.2005
Bentseeni (C ₆ H ₆)	1 vuosi	5 µg/m ³	-	1.1.2010

1) Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

2) Vuorokauden korkein kahdeksan tunnin liukuva keskiarvo.

2.3 HTP-arvot

Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot ovat sosiaali- ja terveysministeriön arvioita työntekijöiden hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymisterveydelle. Ne on vahvistettu työturvallisuuslain (738/2002) 38 § 4 momentin nojalla annetulla sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (109/2005). Työnantajan on otettava ne huomioon työn vaarojen selvittämisessä ja arvioinnissa sekä työympäristön suunnittelussa työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä arvioi-
nessaan. Taulukossa kolme on esitetty hiilimonoksidin, typpioksidin, typpidioksidin ja rikkidioksidin HTP-arvot 8 tunnin sekä 15 minuutin altistusjaksoille. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2005: 11)

Taulukko 3. HTP-arvot 2005 (Sosiaali- ja terveysministeriö 2005)

Epäpuhtaus	HTP-arvot			
	8 h		15 min	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Hiilimonoksidi CO	30	35	75	87
Hiilidioksidi CO ₂	5000	9100		
Typpioksidi NO	25	31		
Typpidioksidi NO ₂	3	5,7	6	11
Rikkidioksidi SO ₂	1	2,7	4	11

Sisäilman epäpuhtauksien raja-arvoja yleensä, muualla kuin työpaikalla, ovat viranomaiset antaneet vain muutamalle aineelle. Sisäilman tulee lisäksi täyttää ulkoilmalle asetetut vaatimukset, eikä siinä saa olla yli 10 %:a HTP-arvojen työpaikoille sallimista pitoisuuksista. (Rakennustietosäätiö 1993: 2)

2.4 Sisäilmaston tavoitearvot sisäilmastoluokituksen laatuluokittain

Sisäilmasto muodostuu huoneen lämpöolosuhteista sekä ilman laatutekijöistä. Sisäilmastoa voidaan pitää tyydyttävänä silloin, kun terveydellinen vaara on vältetty ja huomattava enemmistö pitää olosuhteita viihtyisänä. Sisäilmastossa olevat puutteet ja ongelmat vaikuttavat oleellisesti sen vaikutuspiirissä olevien ihmisten viihtyisyyteen, terveyteen ja työtehoon. Taulukossa 4 esitetyt sisäilmaston tavoitearvot on tarkoitettu sovellettaviksi sellaisiin tiloihin, joissa oleskellaan normaalissa sisävaatetuksessa. Taulukon 4 arvoja ei ole tarkoitettu sovellettaviksi mm. pysäköintihalleihin, joissa oleskelu on tilapäistä. Sisäilmastoluokka S3 vastaa lähinnä viranomaissäännösten mukaista laatua ja luokka S1 on korkein. (Seppänen & Seppänen 2004: 11)

Sisäilman hiilidioksidipitoisuus tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 2160 mg/m³ (1200 ppm). Sisäilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi rikkidioksidin, typpidioksidin, hiukkasten, lyijyn, hiilimonoksidin tai bentseenin pitoisuudet ovat yleensä enintään ilmanlaadusta annetun valtioneuvoston asetuksen (711/2001) mukaisia. (Ympäristöministeriö 2003: 6)

Taulukko 4. Sisäilmaston tavoitearvot sisäilmastoluokituksen laatuluokittain (Seppänen & Seppänen 2004: 12)

Ilman laatu	Yksikkö	Sisäilmastoluokka		
		Enimmäisarvot		
		S1	S2	S3
Radon Rn	Bq/m ³	100	100	100
Hiilidioksidi CO ₂	ppm	700	900	1200
Ammoniakki ja amiinit NH ₃	µg/m ³	30	30	40
Formaldehydi H ₂ CO	µg/m ³	30	50	100
Haihtuvat or- gaaniset yhdis- teet TVOC	µg/m ³	200	300	600
Hiilimonoksidi CO	ppm	1,72	2,58	6,88

Jos sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylittää 2 700 mg/m³ (1 500 ppm), ilmanvaihto ei ole terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla. Hiilidioksidin määrä tulisi mitata sisäilmasta, jos sisäilma tuntuu tunkkaiselta tai ilmanvaihdon riittävyttä on syytä epäillä. Tyydyttävänä hiilidioksidipitoisuutena sisäilmassa voidaan pitää arvoa 2 160 mg/m³ (1 200 ppm). (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2003: 26)

2.5 Viranomaisten haastattelut

Pysäköintihallien lainsäädännön ja viranomaismääräysten tulkintaa varten haastateltiin ympäristöministeriön yli-insinööri Kaisa Kaukoa, Helsingin kaupungin rakennusvalvontaviraston yksikön päällikköä Risto Oksasta sekä Tampereen kaupungin rakennusvalvonnan LVI-tarkastusinsinööri Juha Brunnilaa. Keskusteluissa käsiteltiin rakentamismääräyskoelma D2:n liite 2; moottoriajoneuvosuojien ilmanvaihto-ohjetta. Huomioitavaa oli se, että kyseessä on ohje eikä määräys. Pysäköintihallin ilmanlaadun tulee alittaa Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön HTP-arvot eri yhdisteille. Tilan ilmanlaatu voi kuitenkin olla heikompi kuin normaalin ulko- tai sisäilman, koska pysäköintihallit eivät ole tarkoitettu pitkäaikaiseen oleskeluun. Moottoriajoneuvosuojien ilmanvaihto-ohjeessa mainitaan epäpuhtauspitoisuuden ohjauksessa ilmassa olevan hiilimonoksidin määrä. Perustellusti ilmanvaihdon ohjauksessa voidaan kuitenkin käyttää myös muuta kuin pysäköintihallin ilman hiilimonoksidin määrää. Tällöin ratkaisulle pitää esittää riittävät perustelut suunnitelmissa ja

rakennusvalvontaviranomaisella on täysi päätävävalta suunnitelmien hyväksymisessä. Yli-insinööri Kaisa Kaukon mukaan moottoriajoneuvosuojien ilmanvaihto-ohjeeseen ei ole tulossa muutoksia lähiaikoina. Rakentamismääräyskokoelmaa päivitetään tarvittaessa ja kokonaisuudessaan päivitysprosessi vaatii aikaa tarvittaville selvityksille ja lausunnoille, ellei kyseessä ole erityisen nopeaa muutosta tarvitseva määräys.

3 SUOMEN AUTOKANTA JA AUTOISTA SYNTYVÄT PÄÄSTÖT

3.1 Suomen autokanta

Suomessa on yksi Euroopan vanhimmista autokannoista. Vuonna 2006 henkilöautojen keski-ikä Suomessa oli 10,5 vuotta ja keskimääräinen romutusikä 18,4 vuotta. Henkilöautojen keski-ikä on pysynyt melkein samana viimeiset neljä vuotta, kun taas keskimääräinen romutusikä on kasvanut hieman. Tähän on varmasti vaikuttanut autoverotuksen muutos, jonka johdosta tuontiautojen määrä on kasvanut. Uuden henkilöauton hinnasta noin 45 % on veroa, joka muodostuu autoverosta 26,9 % ja arvonlisäverosta 18 %. Dieselautojen osuus henkilöautokannasta on noussut melko tasaisesti vuodesta 1995 lähtien ja oli vuonna 2006 hieman yli 13 %. Autojen määrä on myös kasvanut tasaisesti 1990-luvun alkupuolen lamavuosien jälkeen. (Autoalan tiedotuskeskus 2007)

Autoalan keskusliiton ja autoliiton mukaan Suomessa toteutuva autojen noin 18 vuoden käyttöikä merkitsee sitä, että keskimääräinen henkilöauto kuluttaa käyttöaikanaan ylimääräisen kahden vuoden polttoaineannoksen verrattuna siihen, että uusin tekniikka olisi jatkuvasti laajassa käytössä. Energiankulutuksen kannalta optimaalinen henkilöautojen kiertämysväli olisi noin 10 vuotta. Henkilöautojen pitkää käyttöikää voidaan osittain puolustaa sillä, että lisättäessä uusien autojen määrää lisääntyvät myös autojen valmistuksesta aiheutuvat haitat. Auton käyttövaihe on kuitenkin sen elinkaaren aikana aiheutuvien päästöjen ja energiankulutuksen kannalta ratkaiseva. Kokonaistulosta voidaan parantaa tehostamalla käytön aikaista energian kulutusta. Henkilöautokannassa tämä voidaan toteuttaa ottamalla uutta tekniikkaa käyttöön suhteellisen nopeasti. (Autoalan tieto 2007)

Katalysaattorittomien henkilöautojen poistaminen liikenteestä ja niiden korvaaminen uudempaa tekniikkaa sisältävillä autoilla on edelleen vielä useiden vuosien ajan liikenteen päästöjen kannalta hyvin vaikuttavaa ja tehokasta. Kehitys jatkuu katalysaattoreiden käyttöön oton jälkeenkin suhteellisen nopeana. Uudet autot kehittyvät yhä puhtaammiksi ja osaltaan kehitystä tukevat myös EU:n jatkuvasti kiristyvät pakokaasumääräykset. Käytännön liikenteessä saavutetaan myös yhä paranevia päästötuloksia. Tässäkin suhteessa eriklaisissa autoissa on merkittäviä eroja. Henkilöautokannan keski-ian kääntäminen laskuun nopeuttamalla vanhojen autojen poistumia ja lisäämällä uusien autojen määrää merkitsisi

myös sitä, että ilman katalysaattoria olevat autot poistuisivat liikenteestä entistä nopeammin. Tämä nopeuttaisi edelleen tieliikenteen päästöjen vähenemistä. (Autoalan tieto 2007)

3.2 LIPASTO järjestelmä

LIPASTO on VTT:ssä toteutettu Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. Järjestelmä sisältää seuraavat neljä alamallia:

- LIISA 2005, tieliikenne
- RAILI 2005, rautatieliikenne
- MEERI 2005, vesiliikenne
- ILMI 2005, ilmaliikenne

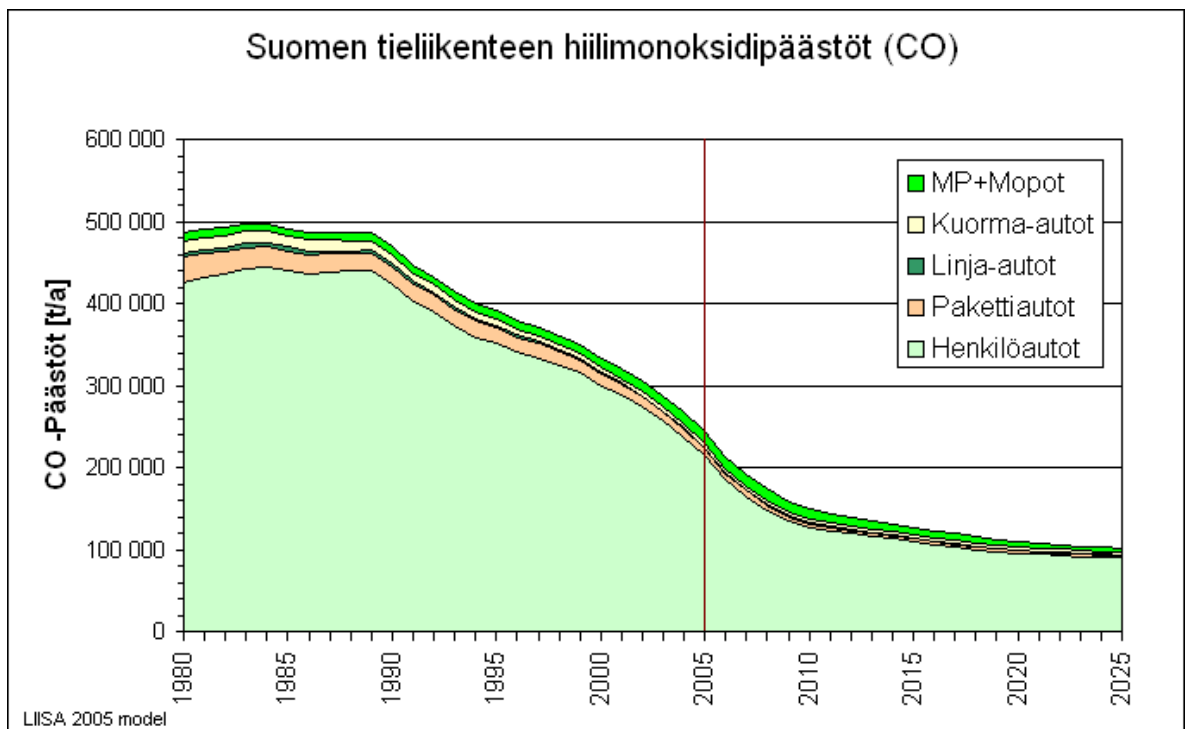
LIPASTO järjestelmä sisältää yllä olevien alamallien lisäksi keskusyksikön (LIPASTO 2005), jossa tiedot yhdistetään moniulotteisessa malli- ja raportointitietokannassa. Mallien avulla voidaan laskea Suomen liikenteen aiheuttamat pakokaasupäästöt perusvuonna 2005 seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tämän lisäksi mallit laskevat liikennemuotojen energiankulutuksen. Karkealla tasolla päästömäärät ja energiankulutus on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2025. (VTT 2005)

3.2.1 Hiilimonoksidi CO

Hiilimonoksidi on hajuton, väritön, veteen niukkaliukoinen, ilmaa hieman kevyempi ja erittäin helposti syttyvä kaasu. Hiilimonoksidi on ihmisille vaarallista, sillä se sitoutuu veren punasolujen hemoglobiiniin muodostaen karboksihemoglobiinia (COHb). Tällöin kudosten hapensaanti vähenee, sillä hiilimonoksidi sitoutuu hemoglobiiniin noin 200 kertaa hanakammin kuin happi. Lieviä muutoksia sydämen ja hermoston toiminnassa voi ilmetä jo 50 ppm:n (58 mg/m³) häkäpitoisuudessa. Häkäpitoisuus 200 ppm (230 mg/m³) aiheuttaa noin tunnin altistuksen jälkeen voimakasta päänsärkyä ja 500 ppm:n (580 mg/m³) pitoisuus noin 20 minuutin kuluttua. Pitoisuus 1000 - 10000 ppm (1160 - 11600 mg/m³) aiheuttaa päänsärkyä, huimausta, hengästyneisyyttä ja pahoinvointia noin 10 minuutin jälkeen ja

kuoleman, jos altistuminen jatkuu 10 - 45 minuuttia pitoisuudesta riippuen. (Työterveyslaitos 2006)

Hiilimonoksidia eli häkää syntyy polttoaineen epätäydellisen palamisen tuloksena. Hiilimonoksidin määrä pakokaasussa riippuu ajotilanteesta. Sitä syntyy erityisesti ajettaessa hiljaa tai ajettaessa hyvin kovaa sekä ajettaessa nykivää ajoa, kuten kaupunkiliikenteessä. Häkäpäästöt ovat erityisesti bensiinikäyttöisten henkilöautojen ongelma. Hiilimonoksidi muuttuu ilmassa muutaman tunnin kuluessa hiilidioksidiksi (CO₂). Hiilimonoksidi aiheuttaa hengitettynä hapenottokyvyn laskua ja suurina annoksina sydänoireita. Yhdyskuntailman häkä ei ole merkittävä terveydellinen ongelma. (VTT 2005)



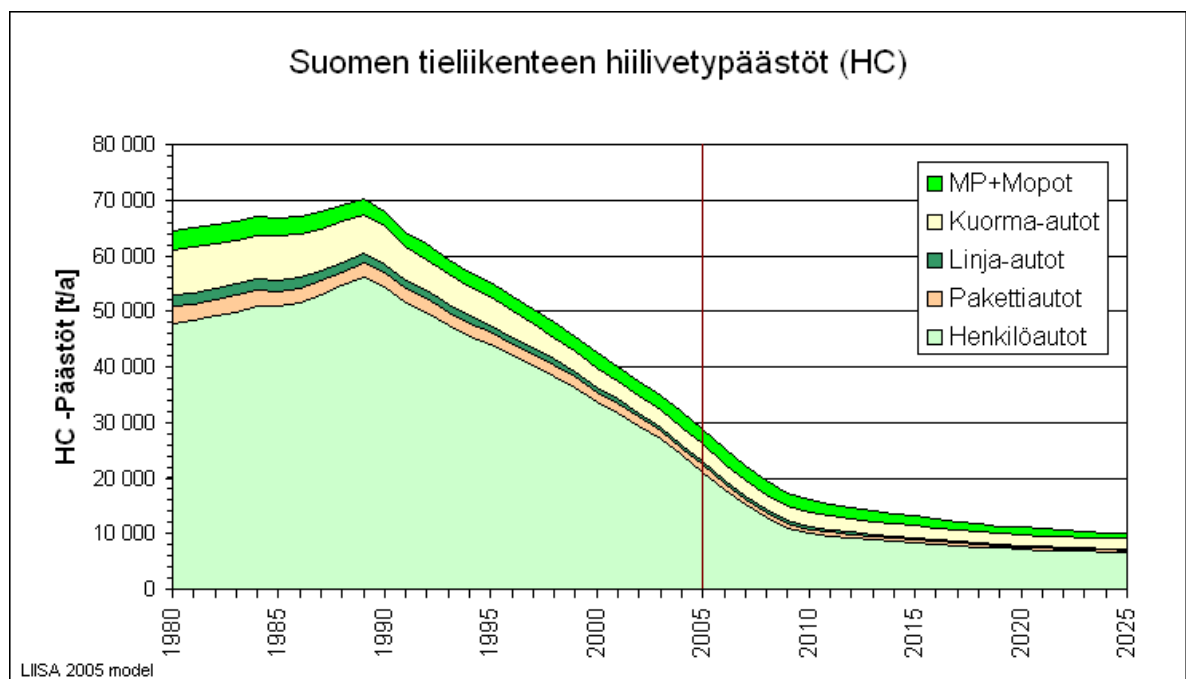
Kaavio 1. Suomen tieliikenteen hiilimonoksidipäästöt 1980-2025 (VTT 2005)

Hiilimonoksidipäästöt lisääntyivät lievästi koko 80-luvun liikennesuoritteiden kasvun vuoksi (kaavio 1). Autojen häkäpäästöihin kiinnitettiin jo tuolloin huomiota ja säätötekniisin keinoin päästöt kyettiin pitämään lähes ennallaan suoritteiden kasvusta huolimatta. Katalysaattoritekniikan käyttöönotto 90-luvun alussa aikaansai uusilla autoilla voimakkaan päästöjen vähentymisen (parhaimmillaan jopa yli 95 % häkäpäästöistä saadaan puhdistetuksi). Autokannan uudistumisen myötä myös kokonaishäkäpäästöt ovat alentuneet ja niiden oletetaan jatkavan alentumistaan vuoteen 2010, jolloin lähes kaikki bensiinikäyttöiset henkilöautot ovat katalysaattorilla varustettuja. Päästöjen vähenemiseen tällä hetkellä vaikuttaa siis uu-

sien autojen myynti. Uusien autojen myynnin lasku vuosina 1991 - 1993 taloudellisen laman vuoksi hidasti katalysaattoritekniikan käyttöönottoa. Toisaalta suoritteiden samanaikainen kasvun pysähtyminen ja osittainen lasku hidasti päästöjen kasvua. Häkäpäästöjen vähentymiseen on vaikuttanut myös polttoaineiden kehittäminen. Reformuloidun bensiinin käyttöönotto 90-luvun alussa on vähentänyt häkäpäästöjä noin 15 % vuosittain. Tämä vähentyminen koskee erityisesti vanhaa autokalustoa. Hiilimonoksidipäästöjen vähentymistä hidastaa suuresti autojen kylmäkäyttö. (VTT 2005)

3.2.2 Hiilivedyt HC

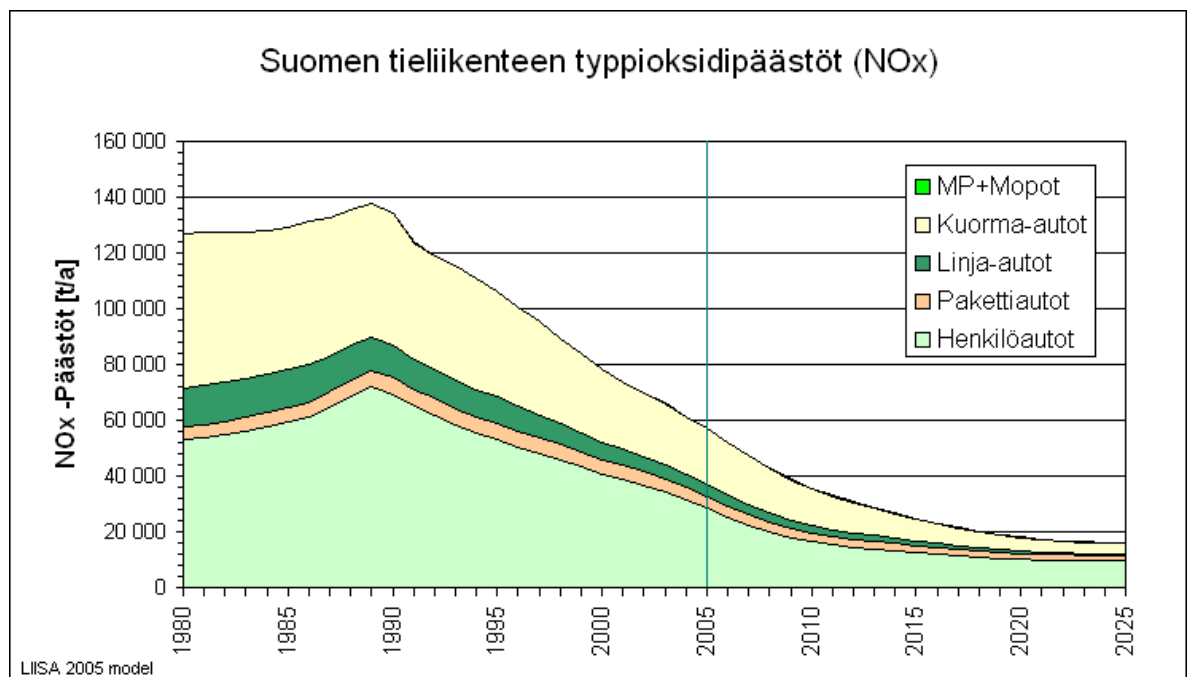
Hiilivedyt ovat pääasiassa palamatonta polttoainetta, joka jää pakokaasuihin polttoaineen epätäydellisen palamisen tuloksena. Hiilivedyn määrä pakokaasussa riippuu ajotilanteesta. Sitä syntyy erityisesti ajettaessa hiljaa tai ajettaessa hyvin kovaa sekä ajettaessa nykivää ajoa, kuten kaupunkiliikenteessä. Osalla hiilivedyistä on suoria myrkkyaikutuksia. Useat hiilivetypäästöistä tavatut orgaaniset yhdisteet kuuluvat syöpää aiheuttavien aineiden eli karsinogeenien ryhmään. Hiilivetypäästöjen vähenemiseen on vaikuttanut voimakkaasti katalysaattoritekniikan käyttöönotto. Myös hiilivetypäästöjen vähentymistä hidastaa autojen kylmäkäyttö. (VTT 2005)



Kaavio 2. Suomen tieliikenteen hiilivetypäästöt 1980 - 2025 (VTT 2005)

3.2.3 Typen oksidit NO_x

Typen oksideja syntyy polttomoottoreissa ilman typen sitoutuessa happeen. Typen oksideja syntyy erityisesti ajettaessa lujaa eli maantieolosuhteissa ja kaupunkiliikenteessä kiihdytettäessä. Valtaosa pakokaasujen typen oksideista vapautuu typpimonoksidina, joka vähitellen ilmassa hapettuu typpidioksidiksi ja edelleen muuntuu muiksi typpiyhdisteiksi. Typen oksidien määrä ilmoitetaan tavallisesti muunnettuna typpidioksidiksi (NO₂) ja merkitään symbolilla NO_x. Typen oksideista typpidioksidi (NO₂) on haitallisin. Typpidioksidin vaikutukset kohdistuvat lähinnä hengitysteihin. (VTT 2005)

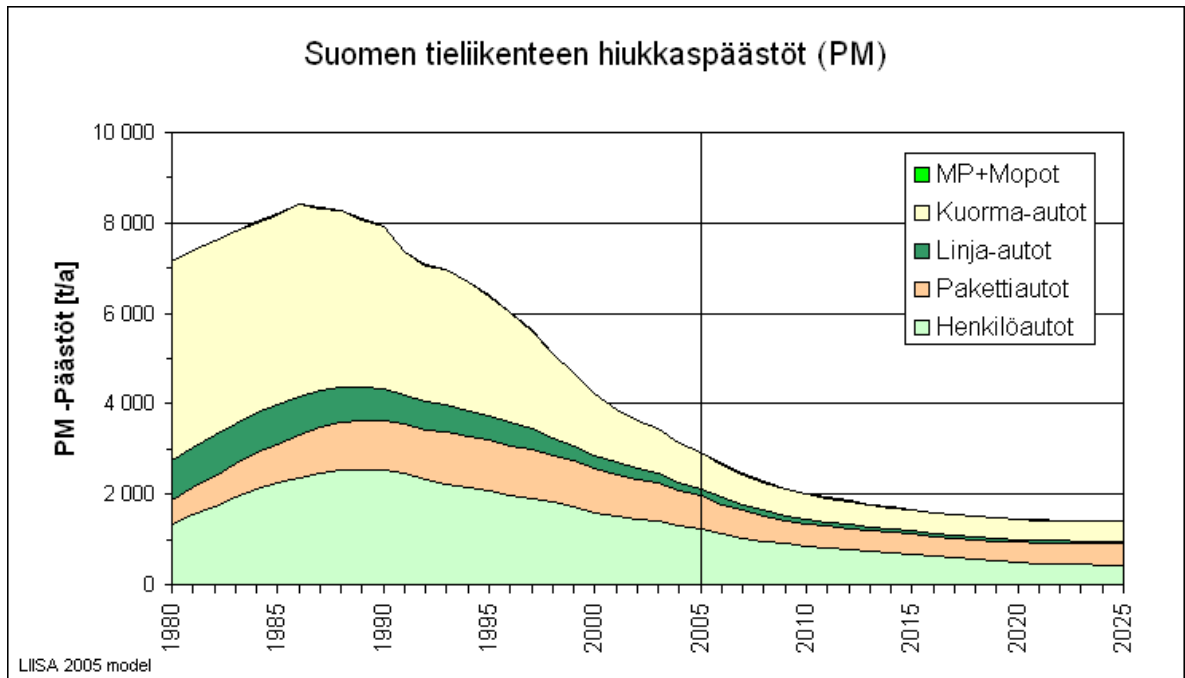


Kaavio 3. Suomen tieliikenteen typpioksidipäästöt 1980-2025 (VTT 2005)

Typen oksidien päästöt kasvoivat voimakkaasti 1980-luvulla uudemman tekniikan käyttöönoton myötä. Katalysaattoritekniikan käyttöönotto 1990-luvun alussa aikaansai uusilla autoilla voimakkaan päästöjen vähentymisen. Päästöjen vähentymä on jopa 95 %. Typen oksideissa ei ole samaa kylmäkäytön päästöongelmaa kuin hiilimonoksidissa ja hiilivedyissä, joten katalysaattori vaikuttaa kokonaispäästöihin koko tehollaan. Autokannan uudistumisen myötä kokonaistypenoksidipäästöt ovat alentuneet. Päästöjen oletetaan jatkavan alentumistaan vuoteen 2010, jolloin lähes kaikki henkilöautot on varustettu katalysaattorilla. (VTT 2005)

3.2.4 Hiukkaset PM

Pakokaasuissa olevat hiukkaset syntyvät palamisprosessin tuotteina ja ovat kooltaan pieniä. Hiukkaset ovat runkoaineeltaan enimmäkseen hiiltä ja niiden pintaan on tarttunut muita pakokaasussa olevia haitallisia yhdisteitä. Hiukkaset ovat liikenteen saasteongelmista ehkä monisärmäisin. Siinä missä useimpien kaasumaisten haitta-aineiden vaikutukset tunnetaan jo varsin hyvin, on hiukkasten ja aerosolien terveysvaikutuksien tutkiminen vasta alullaan. Monimutkaiseksi ongelman tekee hiukkasten monimuotoisuus ja niihin sitoutuva, useimmiten orgaaninen aines, joka saattaa sisältää mm. syöpävaarallisia hiilivetyjä. Hiukkaspäästöjä mitataan ja pakokaasurajoitukset annetaan yleensä kokonaismassana, joka sisältää kaikenkokoisia hiukkasia. Tämä kokonaismassaa kuvaava luku ja sen perusteella tehdyt vertailut auto- tai moottorityyppien välillä saattavat kuitenkin olla jossain määrin harhaanjohtavia, sillä hiukkasten haittavaikutusten tiedetään olevan suureksi osaksi sidoksissa niiden kokoon. Mitä pienempiä hiukkaset ovat, sitä syvemmälle ne tunkeutuvat hengityselimiin ja sitä vaikeampi elimistön oman suodatusjärjestelmän on taistella niitä vastaan. Esimerkiksi hiukkasten massan mukaan mitattuna dieselmoottoriset autot tuottavat keskimäärin 10 kertaa enemmän hiukkaspäästöjä kuin bensiinikäyttöiset, mutta jos vertailu tehdäänkin vain keskimäärin 1 mikronin (m) läpimittaisten tai sitä pienempien hiukkasten välillä, jotka pääsevät lähes esteettä ihmisen keuhkoihin asti, ovat ne jo paljon tasavertaisempia. Hiukkasongelma vaatii siis vielä paljon lisätutkimuksia. Kaupunki-ilman hiukkaspitoisuudesta pahimpina aikoina, keväisin, on suurin osa lisäksi ns. re-emissiota eli uudelleen kadun pinnasta ilmaan noussutta ainesta, joka usein on peräisin talvisesta hiekoitushiekasta eikä suinkaan pakoputkista. Katujen huolellinen harjaus ja pesu vaikuttavat silloin tehokkaammin kuin pakokaasupäästöjen rajoitukset. (VTT 2005)

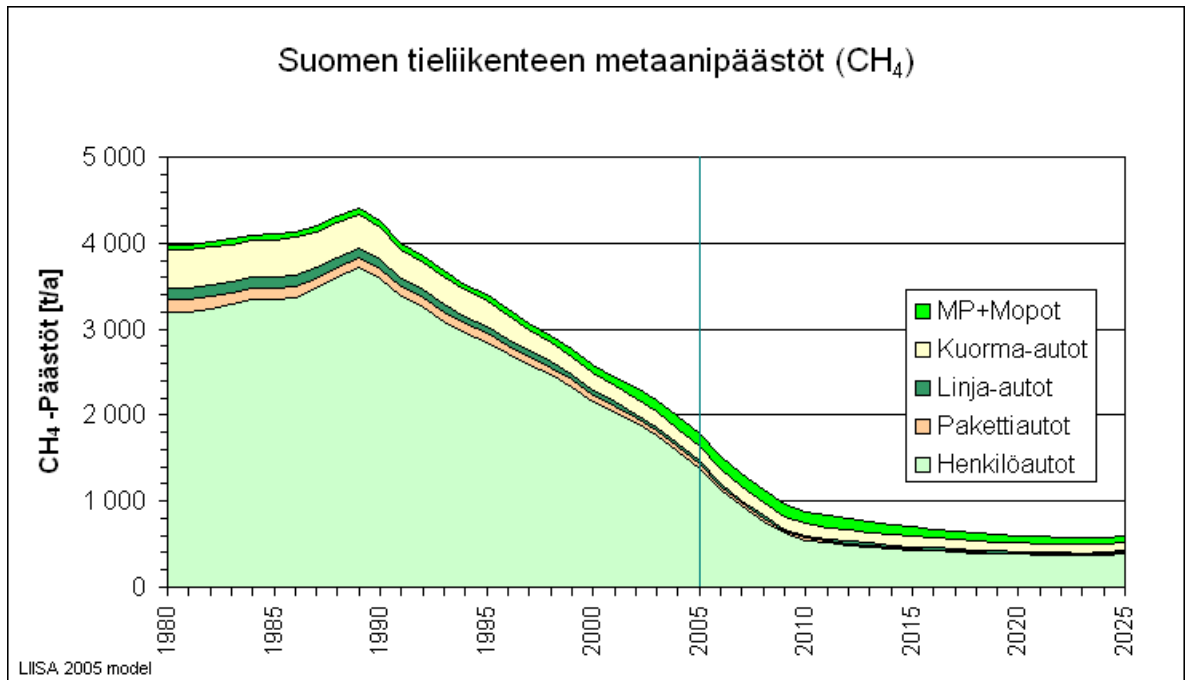


Kaavio 4. Suomen tieliikenteen hiukkaspäästöt 1980-2025 (VTT 2005)

Hiukkaspäästöt ovat erityisesti dieselkaluston ongelma. Hiukkaspäästöt kasvoivat voimakkaasti 1980-luvulla suoritteiden kasvun suhteessa. Polttoaineiden kehittäminen ja erityisesti polttoaineessa olevan rikin määrän vähentäminen on vähentänyt hiukkaspäästöjä. Jyrkkä päästöjen vähenemä tapahtui 1994, jolloin reformuloidut polttoaineet tulivat yleiseen käyttöön. (VTT 2005)

3.2.5 Metaani CH₄

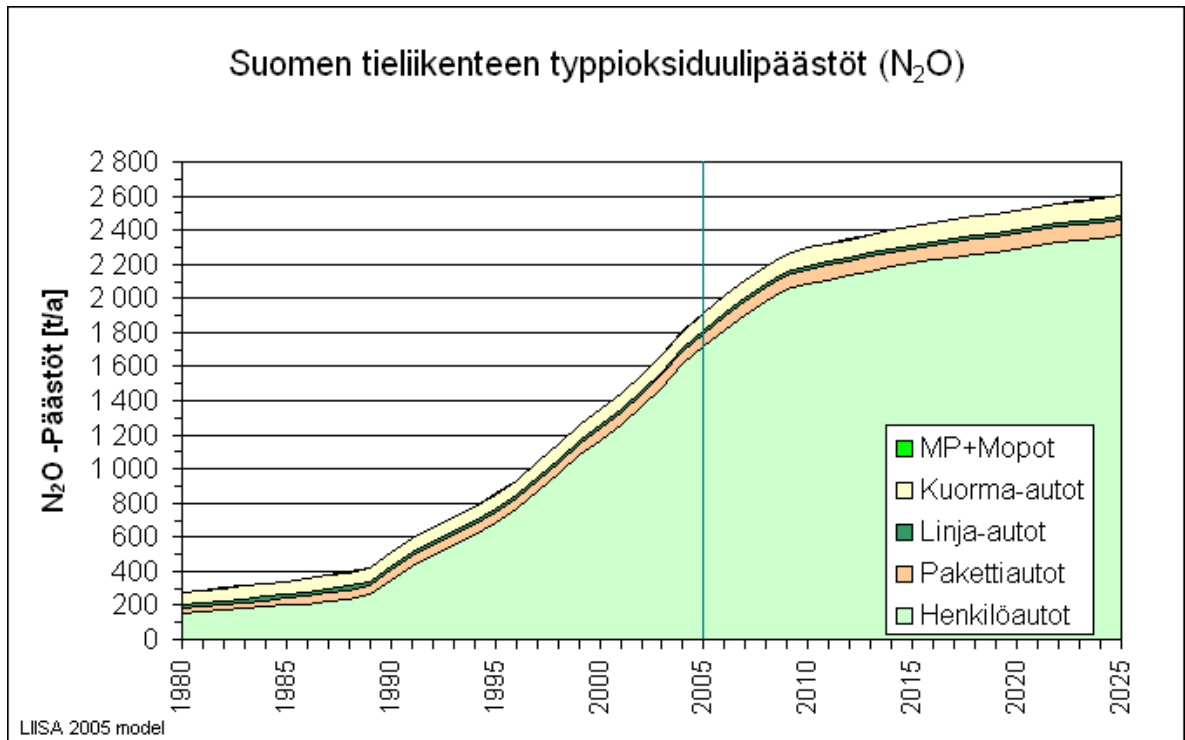
Metaani kuuluu hiilivetyihin (yleismerkintä HC). Sitä syntyy samassa prosessissa kuin muitakin hiilivetyjä. LIISA 96 laskentajärjestelmässä metaanipäästöt on laskettu mukaan hiilivetypäästöihin (HC). Metaani lasketaan erikseen sen vuoksi, että se on tärkeä kasvihuoneilmiöön vaikuttava yhdiste. Metaanilla ei ole sanottavia terveysvaikutuksia. Katalyysaattori tehoaa huonosti metaanipäästöihin, sillä se on hiilivedyistä vaikeimmin hapetettava. Siksi kaaviossa 5 esitetty päästövähennyskehitys ei ole yhtä suuri kuin hiilivedyillä yleensä. Moottorien lisäksi metaania syntyy mm. soilla ja muissa biomassan maatumisreaktioissa, kuten kaatopaikoilla. (VTT 2005)



Kaavio 5. Suomen tieliikenteen metaanipäästöt 1980-2025 (VTT 2005)

3.2.6 Typpioksiduuli N₂O

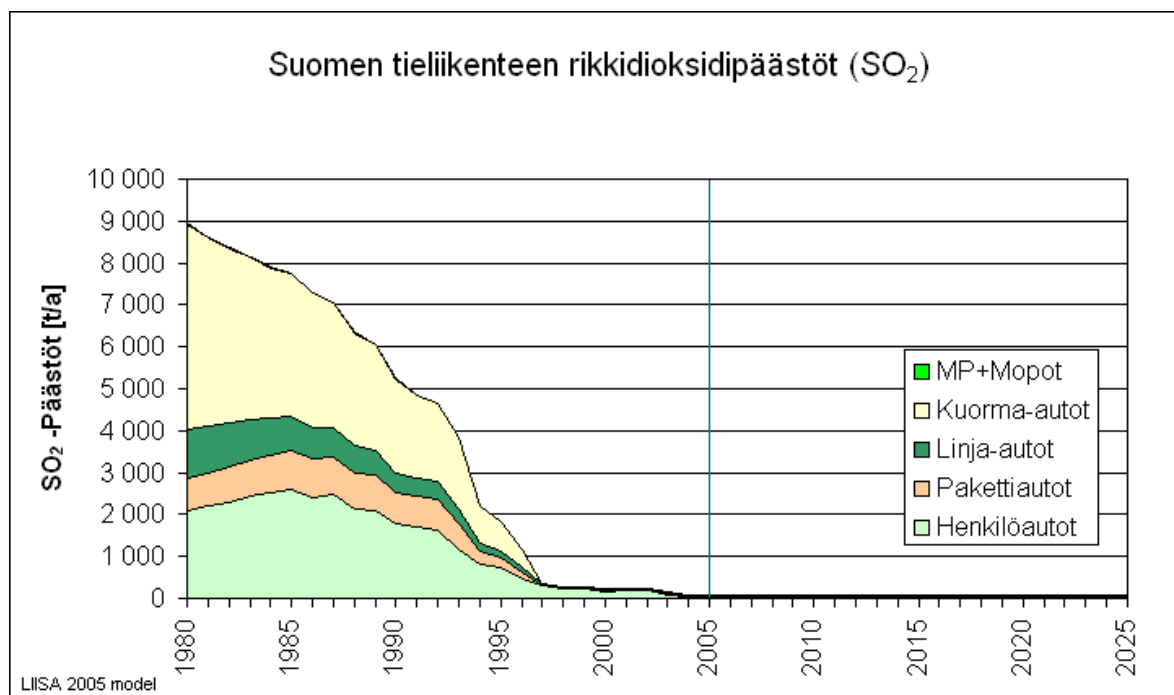
Typpioksiduuli eli ilokaasu on typen oksidi, mutta sitä ei perinteisesti lasketa mukaan NO_x merkinnällä ilmaistaviin typen oksideihin (NO, NO₂). Tämä siitä syystä, että ilokaasulla ei ole samanlaisia haittavaikutuksia kuin niillä. Lisäksi sen määrittäminen pakokaasusta on ollut hyvin vaikeata. Typpioksiduuli on voimakas kasvihuonekaasu, jonka vuoksi siihen on alettu kiinnittää huomiota. Myös analyysitekniikan paraneminen on osaltaan myötävaikuttanut typpioksiduulipäästöjen merkittävyyden lisääntymiseen. Typpioksiduuli on erityisesti katalysaattori-autojen ongelma. Sitä syntyy katalysaattorissa tietyissä olosuhteissa, kun katalysaattori ei ole aivan toimintalämpöinen. Katalysaattoreilla varustettujen autojen N₂O päästö on likimain kymmenkertainen tavallisiin autoihin verrattuna. Typen oksidien kokonaispäästö kasvaa siinä suhteessa kuin katalysaattoriautot lisääntyvät autokannassa. (VTT 2005)



Kaavio 6. Suomen tieliikenteen typpioksiduulipäästöt 1980-2025 (VTT 2005)

3.2.7 Rikkidioksidi SO₂

Pakokaasujen rikkidioksidi syntyy polttoaineessa epäpuhtautena olevan rikin (S) yhtyessä palamistapahtumassa happeen, jolloin syntyy rikin oksideja (SO, SO₂, SO₃). Lähes 100 % polttoaineen sisältämästä rikistä muuttuu oksideiksi, koska palamisreaktioiden kinetiikka on sellainen, että oksidit ovat rikille termodynaamisesti edullisin muoto. Toisin kuin voimalaitosten savukaasuista, rikkiä ja sen oksideja ei ole käytännössä mahdollista poistaa moottorien pakokaasuista. Siksi rikkipäästöjä voidaan vähentää vain vähentämällä polttoaineessa olevan rikin määrää. Rikin vähentämistä polttoaineesta on nopeuttanut myös tarve käyttää tehokkaita pakokaasun puhdistimia. Rikki heikentää katalysaattorien toimintatehoa bensiinimoottorisissa autoissa ja erityisen haitallinen se on tehokkaissa dieselkatalysaattoreissa, joissa se muodostaa pakokaasun hiukkasiin sitoutuvia sulfaattiyhdisteitä. Rikkidioksidia syntyy polttoaineen kulutuksen suhteessa eli kaiken polttoaineessa olevan rikin oletetaan tulevan pakoputkesta ulos. Rikkidioksidi aiheuttaa maaperän happamoitumista ja oireita hengitysteissä. (VTT 2005)



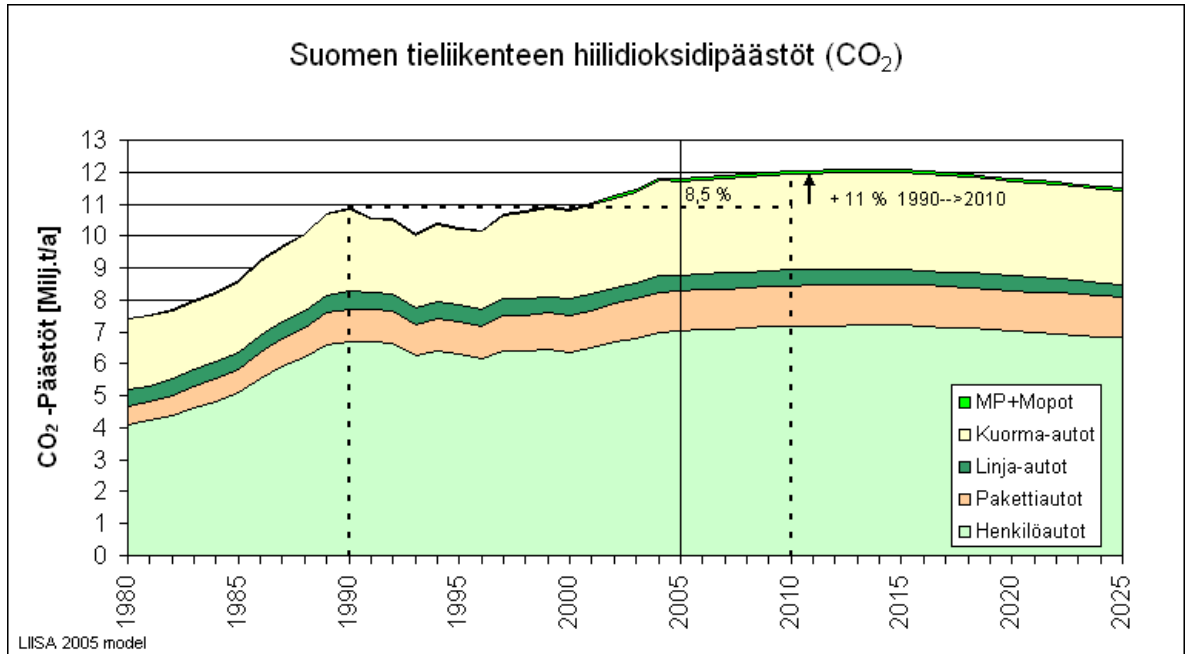
Kaavio 7. Suomen tieliikenteen rikkidioksidipäästöt 1980-2025 (VTT 2005)

Rikkidioksidien päästöissä on tapahtunut raju pudotus 15 vuoden aikana. Viimeaikojen voimakas polttoaineessa olevan rikin määrän vähentäminen ei ole johtunut niinkään halusta vähentää suoria rikkipäästöjä, vaan kysymyksessä on ollut katalysaattorin toimintatehon parantaminen. Erityisen suuri rikin määrän vähentyminen on tapahtunut dieselöljyssä. Rikin määrä dieselöljyssä vuonna 1987 oli 0,2 painoprosenttia ja nykyisessä Citydieselissä vain 0,002 painoprosenttia eli sata kertaa vähemmän. (VTT 2005)

3.2.8 Hiilidioksidi CO₂

Vapaana hiilidioksidi esiintyy kaasuna tai kiinteässä muodossa hiilidioksidijäänä. Kaasumainen hiilidioksidi on väritöntä, lähes hajutonta ja ilmaa raskaampaa. Hiilidioksidi on polttoaineen täydellisen palamisen lopputuote vesihöyryn ohella. Myös pakokaasun hiilimonoksidi (CO) muuttuu ilmassa verrattain nopeasti hiilidioksidiksi. Hiilidioksidilla ei ole terveysvaikutuksia, mutta se on merkittävin kasvihuoneilmiötä aiheuttava kaasu. Hiilen eri muotojen polttaminen on nostanut ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nykyiseen noin 380 ppm (Wikipedia 2007). Tällä hetkellä ei ole käytettävissä tekniikkaa hiilidioksidin kohtuulliseksi poistamiseksi pakokaasusta. Hiilidioksidin määrä on suorassa suhteessa käytetyn polttoaineen määrään eikä tämä suhde ole riippuvainen ajo-olosuhteista. Jokaisesta bensii-

nilitrasta syntyy 2350 grammaa ja dieselöljylitrasta 2660 grammaa hiilidioksidia. Pakokaasuja syntyy yhdestä polttoainelitrasta kaikkiaan noin 16 kg, josta kuitenkin vain noin 1 % on haitallisia yhdisteitä (loppu on enimmäkseen typpeä ja vesihöyryä). (VTT 2005)



Kaavio 8. Suomen tieliikenteen hiilidioksidipäästöt 1980-2025 (VTT 2005)

Päästömäärien kehitys on suorassa suhteessa kokonaispolttoainekulutukseen. Siten ainoa hiilidioksidipäästöjä vähentävä tekninen mahdollisuus on toistaiseksi polttoainetalouden kehittyminen. Ajomäärien vähentyminen olisi tehokkain keino hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. 1990 -luvun alussa tapahtunut hiilidioksidipäästöjen vähentyminen aiheutui ajomäärien vähentymisestä. (VTT 2005)

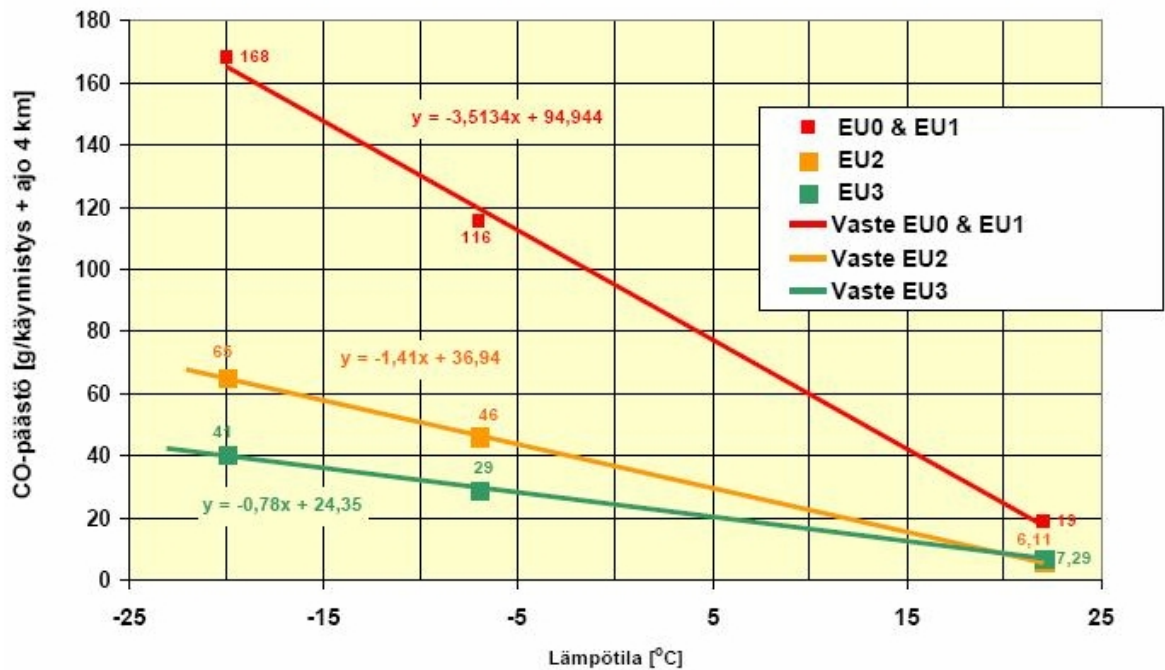
3.3 Pakokaasupäästöt kylmäkäynnistyksessä

Kylmäkäynnistyksestä ja auton käytöstä ennen saavutettua käyttölämpötilaa aiheutuvia lisäpäästöjä on tutkittu VTT Energiassa osana MOBILE2 vuosiraporttia. Tavoitteena tutkimuksessa oli karakterisoida uusimpien autojen kylmäkäynnistyksessä syntyviä pakokaasupäästöjä ja hyödyntäen aikaisempaa tutkimusaineistoa sekä uusia tuloksia kehittää malli kylmäkäynnistyksen osuudelle päästöistä, jota voidaan käyttää päästöjen määriä laskettaessa. Tekniikan kehityksestä ja sen vaikutuksista pyrittiin saamaan kuva mittaamalla päästöjä eri vuosimallien autoista, jotka antoivat poikkileikkauksen sen hetkisen teknologian toimi-

vuudesta. Valtaosa testatuista autoista oli 1999-2001 vuosimallia. Mittauskampanjat toteutettiin yhteistyössä kotimaisten auto- ja moottorilehtien kanssa, jotka eri testiprojektiansa puitteissa arvioivat uusia, markkinoille tulleita automalleja. (Laurikko 2002)

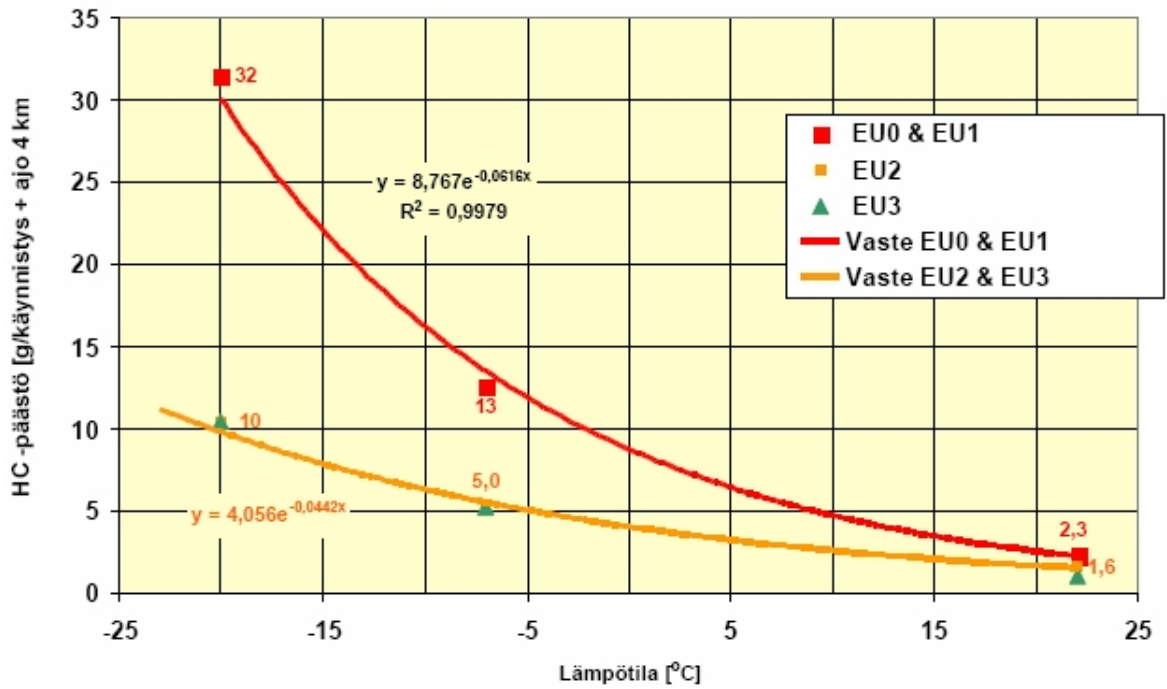
Henkilöautot jaetaan yhteiseurooppalaisten normien mukaan eri päästöluokkiin. Näitä eurooppalaisia luokkia/normeja ovat mm. EURO-0 (EU0); EURO-1 (EU1); EURO-2 (EU2); EURO-3 (EU3); EURO-4 (EU4) ja EURO-5 (EU5). Uudemmissa päästöluokissa on tiukemmat vaatimukset auton päästöille, kuin vanhemmissa esimerkiksi EURO-1-normin autot ovat saastuttavampia kuin EURO-3-normin autot. Saksassa auton verotus perustuu päästöluokitukseen (Keränen 2004)

Käyttäen hyväksi mitattuja käynnistyspäästöjen arvoja sekä vastaavien EU2/EU3-tyyppihyväksytyjen autojen keskimääräisiä, normaalilämpötilassa mitattuja ominaispäästöarvoja, muodostettiin käynnistyslämpötilasta riippuvat funktiot, joiden avulla arvioitiin muissakin lämpötiloissa syntyvä käynnistyslisäpäästö. Tässä määrittämisessä oli perusteena myös Juhani Laurikon kylmäkäynnistystä käsitellyt väitöskirjatyö, materiaali ja perusteoriat, joiden mukaan CO-päästö on likimain lineaarisesti lämpötilasta riippuva, kun taas hiilivety (HC) päästöille eksponentiaalifunktio antaa paremman korrelaation. Vanhemman tyyppisten katalysaattori-autojen kokeiden perusteella oletettiin myös, että NO_x-päästöt eivät keskimäärin riipu käynnistyslämpötilasta, mutta uudemman havaintoaineiston perusteella niilläkin näyttäisi olevan lievä käänteinen riippuvuus, eli päästöt kasvaisivat hieman käynnistyslämpötilan laskiessa. (Laurikko 2002)



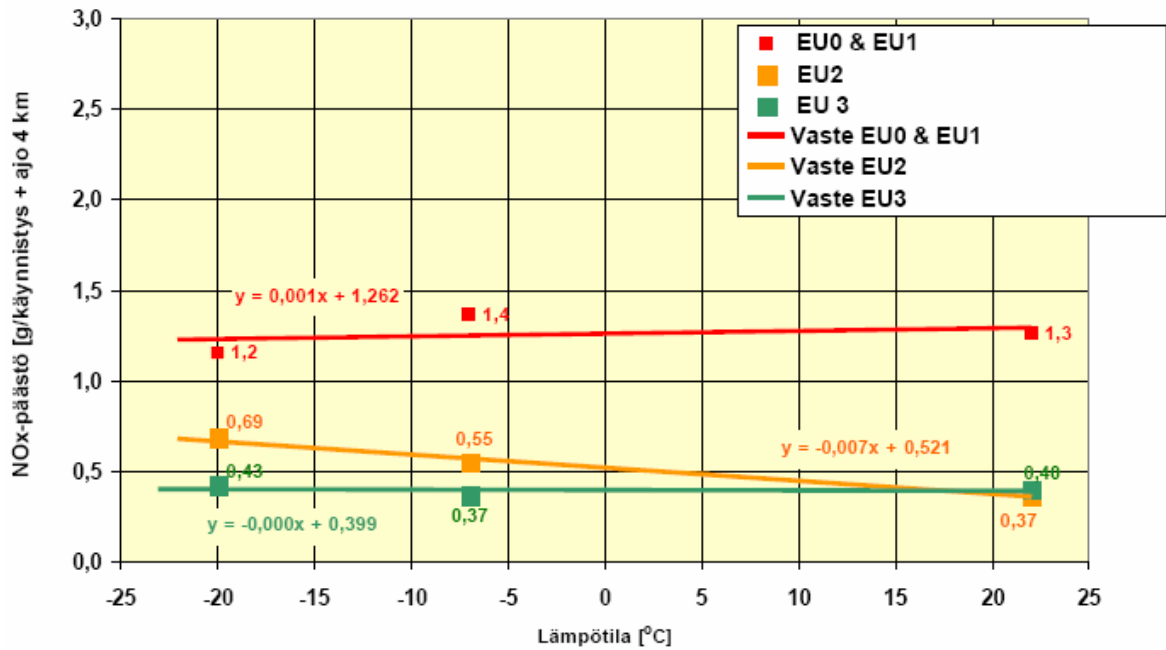
Kaavio 9. Kylmäkäynnistyksen CO-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona bensiinikäyttöisille EU0-EU3 autoille. (Laurikko 2002)

Kaavioissa 9, 10 ja 11 on esitetty tämän tarkastelun tuloksena syntyneet kylmäkäynnistyspäästöjen kuvaajat, sekä niiden perusteella -20 °C lämpötilaan ekstrapoloidut arvot. Kuten kaavio 9 näyttää, kylmäkäynnistyksen aiheuttamissa CO-lisäpäästöissä oli tapahtunut merkittävää positiivista kehitystä, eli EU2-autoissa kylmäkäynnistyspäästöt ovat kaikissa lämpötiloissa alle puolet vanhemman sukupolven (EU0 & EU1) katalysaattori-autojen päästöistä ja EU3–autoissa vähenemää on tullut vielä noin 30 % lisää. Taso on siis vain noin neljännes siitä, missä liikuttiin 1990-luvun alkupuolen eli ns. 1. sukupolven katalysaattori-autoissa.



Kaavio 10. Kylmäkäynnistyksen HC-lisäpäästö käynnistyslämpötilan funktiona bensiinikäyttöisille EU0-EU3 autoille. (Laurikko 2002)

Melkein yhtä merkittävä vähenemä on havaittavissa kaavion 10 mukaan myös HC-lisäpäästöissä, mutta havaintoaineisto ei antanut tukea sille oletukselle, että EU3-autoissa olisi edelleen pienemmät päästöt, vaan ne lienevät samaa suuruusluokkaa kuin EU2-autoissa, eli tasoltaan uudemmat EU3-autot ovat vain noin 40 % 1. sukupolven katalysaattori-autoista (EU0 ja EU1). Useimmissa tapauksissa CO- ja HC-kylmäkäynnistyslisä oli noin 99 % mittausjakson tuloksesta. (Laurikko 2002)



Kaavio 11. Kylmäkäynnistyksen NO_x-lisäpäästö käynnistylämpötilan funktiona bensiinikäyttöisille EU0-EU3 autoille. (Laurikko 2002)

Dieselmoottorisia autoja mitattiin tutkimuksessa vertailun vuoksi. Mittaustulosten perusteella kylmäpäästöongelma ei niitä juuri kosketa, sillä päästöt olivat enimmäkseen aivan olemattomat bensiinikäyttöisiin autoihin verrattuina. Päästöt otoksen huonoimmalla, muista huomattavasti poikkeavalla dieselautolla olivat samassa suuruusluokassa parhaiden bensiinikäyttöisten autojen kanssa. (Laurikko 2002)

VTT Energian tutkimustulokset osoittavat, että autojen kylmäkäynnistys aiheuttaa lisäpäästöjä myös pysäköintihalleissa, joissa autojen käynnistystä sekä ajoa moottorin ollessa kylmänä tapahtuu paljon. Merkittävimmät päästöt aiheutuvat hiilimonoksidista CO ja hiilivedyistä HC. Tuloksissa näkyy selvästi uudempien autojen tehokkaampi pakokaasupäästöjen puhdistus verrattuna vanhempiin autoihin aina käynnistyksestä lähtien. Lämpötilalla on suuri merkitys kylmäkäynnistyksessä syntyviin päästöihin, joten lämmitetyissä pysäköintihalleissa kylmäkäynnistyspäästöt jäävät pienemmiksi kuin kylmissä halleissa. Suomen autojen keski-ikä on tällä hetkellä noin 10 vuotta, joten liikenteessä on vielä runsaasti EU0-, EU1- ja EU2-normin autoja.

3.4 Henkilöautojen käynnistyspäästöt pysäköintihallissa

Taulukossa viisi on esitetty erityyppisten autojen käynnistyspäästöjä moottorin lämpötilan vaihdellessa, kun autoja pysäköidään eripituisiksi ajoiksi. Taulukossa olevat käynnistyspäästöt koskevat lämmitettyjen hallien tai lämpimän vuodenajan tilannetta. Kylmällä ilmalla tai lämmittämättömässä pysäköintihallissa mm. hiilimonoksidipäästöt lisääntyvät. Taulukosta voi havaita, että auton moottorin jäähtyttyä käynnistyspäästöt lisääntyvät. Katalysaattorilla varustetut autot tuottavat huomattavasti vähemmän hiilimonoksidia verrattuna ilman katalysaattoria oleviin bensiinikäyttöisiin autoihin.

Taulukko 5. Käynnistyspäästöt pysäköintihallissa tai P-alueella (VTT-energia 2000)

Lämmin auto sisään ja ulos, seisonta-aika alle 10 min			
	Katalysaattori [g]	Ei katalysaattoria [g]	Diesel [g]
CO	1,0	16	1,0
HC	0,1	1	0,1
NO ₂	0,2	1	0,5
CO ₂	180	180	150
PM	0,02	0,02	0,2
Seisonta-aika yli 10 min, alle 2 tuntia			
	Katalysaattori [g]	Ei katalysaattoria [g]	Diesel [g]
CO	3	41	2,5
HC	0,3	4	0,3
NO ₂	0,3	1,5	0,7
CO ₂	200	210	155
PM	0,022	0,022	0,22
Seisonta-aika yli 2 tuntia, alle 6 tuntia			
	Katalysaattori [g]	Ei katalysaattoria [g]	Diesel [g]
CO	6	51	4
HC	0,5	7	0,5
NO ₂	0,4	2	1
CO ₂	220	240	160
PM	0,024	0,024	0,24
Seisonta-aika yli 6 tuntia			
	Katalysaattori [g]	Ei katalysaattoria [g]	Diesel [g]
CO	16	66	6
HC	1,1	10	1,1
NO ₂	0,5	3	1,1
CO ₂	260	300	170
PM	0,026	0,026	0,26

3.5 Henkilöautojen yksikköpäästöt

Henkilöautojen päästöistä on ollut jonkin verran saatavilla tietoa, mutta julkinen tietomäärä ei kuitenkaan ole ollut runsas, vaan on perustunut melko pieneen mittausmäärään. Viime vuosina tiedon määrässä on tapahtunut olennaista parantumista sekä itse mittausmäärien että varsinkin niiden jalostamisessa päästökertoimiksi eri ajoneuvotyypeille ja ajotilanteille. Henkilöautoilla ongelman muodostaa suuri määrä eri merkkejä, malleja, ajo-olosuhteita, auton kuntoa, ikää, ajotapoja jne. Päästöt on määritetty laboratorio-olosuhteissa, joten todellisen ajon päästön määrittely on ollut edelleenkin arvioperusteista. Tämä koskee erityisesti katuajoa, jossa yksittäisen auton liiketilat vaihtelevat suuresti ja keskimääräinen ajo kuvaa huonosti eri ajotilanteissa tapahtuvien päästöjen keskiarvoa. Vaikka tiedon määrä on lisääntynyt huomattavasti, se ei poista kuitenkaan maiden välisten erojen aiheuttamaa epävarmuutta. Taulukossa 6 on esitetty Suomen henkilöautojen keskimääräiset päästöt ja energiankulutus matkayksikköä kohden. Keskimäärin pakokaasupäästöt sisältävät hiilidioksidia noin 27 kertaa (= 165 g/km / 6,1 g/km) enemmän kuin hiilimonoksidia. (VTT 2005)

Taulukko 6. Suomen henkilöautojen yksikköpäästöt vuonna 2000 (VTT 2005)

		Bensiinikäyttöiset	Diesikäyttöiset	Keskimäärin
Päästöt [g/km]	CO	7,1	0,40	6,1
	HC	0,88	0,11	0,77
	NO_x	1,3	0,81	1,2
	PM	0,0209	0,20	0,047
	CH₄	0,045	0,0022	0,039
	N₂O	0,028	0,014	0,026
	SO₂	0,0070	0,0014	0,0062
	CO₂	169	143	165
kulutus	g/km	54	45	53
	l/100 km	7,2	6,0	7,0
energia	MJ/km	2,3	1,9	2,3
	kWh/km	0,64	0,54	0,63

4 PYSÄKÖINTIHALLIT

4.1 Yleistä

Moottoriajoneuvojen pysäköintihalleja rakennetaan entistä enemmän maa-alueen tilan puutteesta ja ajoneuvojen lisääntymisestä johtuen. Pysäköintihallit saattavat olla maksullisia tai maksuttomia, mutta useimmiten maksullisia. Pysäköintihalleissa on runsaasti tilaa autoille ja ne voivat olla monikerroksisia rakennuksia tai kaivettu maan alle, tai molempia. Pysäköintihalleja on kaupunkien keskustoissa, ostoskeskuksissa ja muissa paikoissa missä pysäköintipaikoista on pulaa.

Pysäköintihallien vilkkain käyttö ajoittuu usein arkipäivinä aamuun klo 7-9 ja iltaan klo 15-17, jolloin ihmiset saapuvat tai poistuvat työpaikalta. Tällöin syntyy hetkittäisiä ruuhkahuippuja ja edelleen myös isoimmat pakokaasupäästöt pysäköintihalliin. Pysäköintihallien yhteydessä olevissa liikekeskuksissa ruuhka-aika voi olla vasta illalla klo 16 eteenpäin, jolloin ihmiset tulevat asioimaan kaupoissa. Pysäköintihallin ilmanvaihdon suunnittelussa tulee huomioida, millä tavalla tilan käyttö jaksottuu ja että ilmanvaihto riittää myös ruuhka-aikana.

4.2 Pysäköintihallin ilmanvaihto

Pysäköintihallit voidaan jakaa puoliavoimiin sekä suljettuihin halleihin. Jos lämmittämättömän pysäköintisuojan ulkoseinästä vähintään 30 % on avointa ja aukkojen pinta-ala on vähintään 10 % kunkin tason lattiapinta-alasta, ei pysäköintihallissa vaadita erillistä ilmanvaihtoa. Edellytys kuitenkin on, että tilassa ei ole ilmankulkua huomattavasti haittaavia esteitä kuten väliseiniä tai palkkeja. Tällaiset puoliavoimet pysäköintihallit vaativat sopivan maanpäällisen tilan, jollaista ei usein ole saatavilla tai mahdollista rakentaa. Suljetut pysäköintihallit vaativat aina koneellisen ilmanvaihdon, jotta tilan ilmanlaatu ei aiheuta vaaraa ihmisten terveydelle. Suljetut pysäköintihallit ovat usein rakennettu maan alle esimerkiksi rakennusten kellarikerroksiin. (Ympäristöministeriö 2003: 28)

Koneellinen ilmanvaihto koostuu tuloilmapuhaltimista, poistoilmapuhaltimista tai molemmista. Yleensä pysäköintihallien ilmanvaihtoon kuuluu sekä tuloilma- että poistoilmapu-

haltimia. Koneellisella ilmanvaihdolla voidaan säilyttää pysäköintihallin ilmassa olevien pakokaasujen määrä sallituissa rajoissa. Ilmanvaihtojärjestelmät voidaan jakaa edelleen ilman kulkeutumisen perusteella sekoittavaan tai syrjäyttävään ilmanjakoon. (Burnett & Chan 1997: 108)



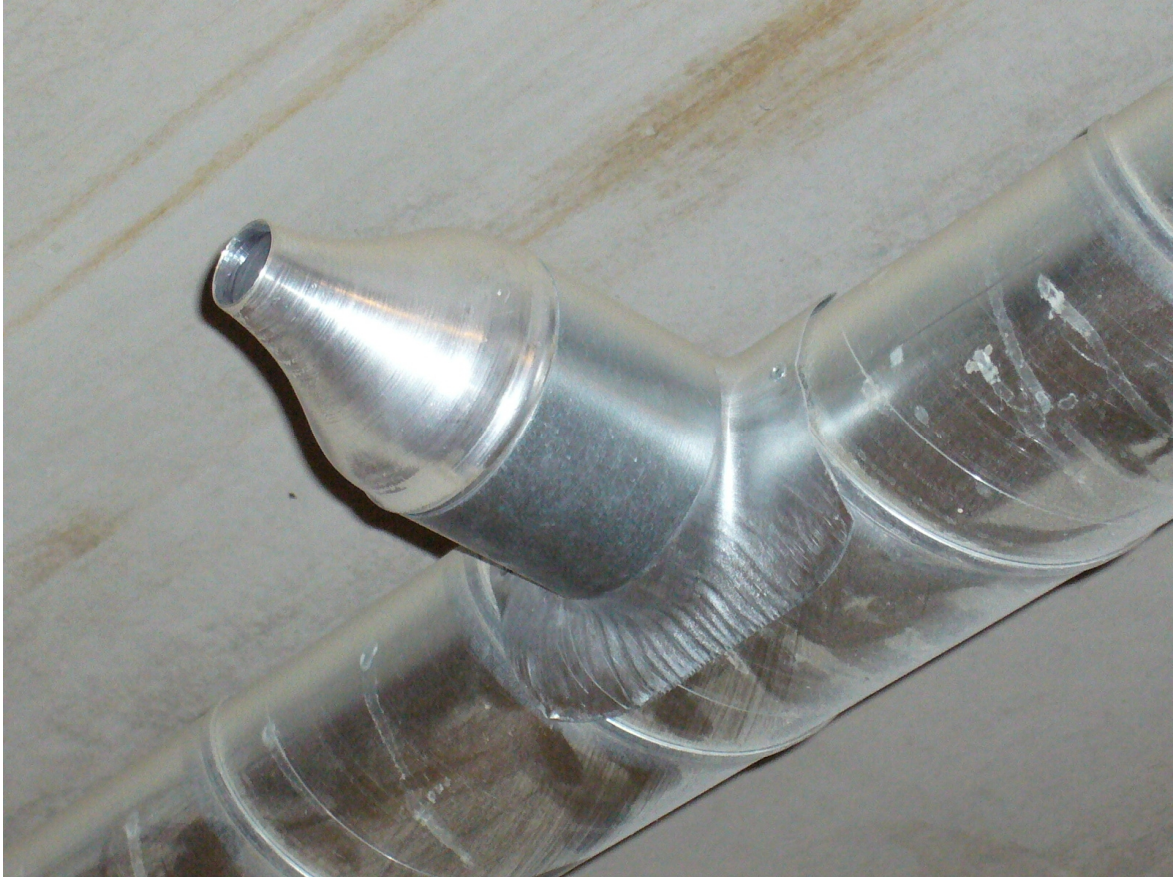
Kuva 1. Ilmanvaihtokanavia Kampin pysäköintihalli

Ilmanvaihtokoneita voidaan käyttää jatkuvasti, ajastetusti tai tarvepohjaisesti. Ajastetussa järjestelmässä ilmanvaihtoa voidaan pienentää yöaikana tai muuna aikana, jolloin pysäköintihallin käyttö on vähempää. Tarvepohjaisessa ilmanvaihdossa koneiden käyttöä ohjataan ilman epäpuhtauksien mukaan. Ilmanvaihtoa tehostetaan, kun ilman laatu heikkenee. Tarvepohjaisessa ilmanvaihdossa on perinteisesti käytetty CO-antureita ohjaamaan ilmanvaihtoa. Perinteisesti on ajateltu, että hiilimonoksidi CO ja typenoksidit NO_x aiheuttavat isoimman riskin pakokaasuissa ja että CO-anturit soveltuvat hyvin bensiinikäyttöisten autojen pakokaasujen havaitsemiseen. Valtaosa Suomen autoista on bensiinikäyttöisiä, joten johtamalla hiilimonoksidi pois pysäköintihalleista on saatu myös muut pakokaasujen haitalliset yhdisteet huuhdottua pois tilasta. (Martin 2001: 2).

4.2.1 Sekoittava ilmanjako

Sekoittavassa ilmanvaihdossa pyritään tuloilma sekoittamaan tehokkaasti tilan ilmaan ilmasuihkuilla. Tarkoituksena on luoda tasaiset olosuhteet koko pysäköintitilaan. Sekoittavan ilmanjaossa pakokaasujen haitallisten yhdisteiden pitoisuudet saadaan nopeasti laimennettua pienemmiksi. Haittapuolena tällaisessa ratkaisussa on kanavien vaatima tila ja materiaalikustannukset. Tilaan pitää sijoittaa useita tulo- ja poistoilmapistettä, jotta varmistetaan ilman sekoittuminen koko tilassa. Ilmanvaihdossa voi myös syntyä oikosulkuvirtauksia, jolloin puhdas tuloilma menee suoraan poiston kautta ulos. Suuret tilat voidaan jakaa useaan osaan, jolloin jokaisen osan ilmanvaihdon koneita voidaan käyttää tarvittaessa. Sekoittava ilmanjako voidaan toteuttaa esimerkiksi Dirivent-järjestelmällä. (Martin 2001: 3)

Dirivent-järjestelmä käyttää käsitellyn ilmanvaihtoilman kuljettamiseen ilmasuihkuja, jotka puhalletaan suuttimista suurella lähtönopeudella. Näin ilmanvaihtoilma voidaan kuljettaa laajalle alueelle ja jakaa jokaiseen kohteeseen jatkuvasti sopiva määrä tuloilmaa. Pienikokoisen kanaviston hankintakustannukset ovat usein pienemmät kuin perinteisissä järjestelmissä. Dirivent-järjestelmällä päästään myös pienempään kokonaisilmavirtaan, jolloin saadaan säästöä energiankulutuksessa. Suunnattavilla suuttimilla saadaan ilma vaihtumaan myös kulmissa tai palkkien takana. Dirivent-järjestelmä on käytössä mm. Koskikeskuksen ja kauppakeskus Duon parkkihalleissa Tampereella. (Fläktwoods 2007)



Kuva 2. Dirivent suutin Kauppakeskus Duon pysäköintihallissa

4.2.2 Syrjäyttävä ilmanjako

Syrjäyttävässä ilmanjaossa pyritään epäpuhtauksien ja lämpötilan kerrostumiseen. Tavoitteena on saada aikaan hyvät olosuhteet oleskeluvyöhykkeellä. Korkeita epäpuhtauspitoisuuksia ja oleskeluvyöhykkeestä poikkeavia lämpötiloja voidaan sallia muissa osissa tilaa. Syrjäytysilmanvaihdossa tuloilma johdetaan halliin pienellä nopeudella ilman sekoittumista tarkoituksellisesti välttäen. Näin saadaan aikaan tilassa olevan ilman syrjäytyminen tuloilmalla. Puhdas ilma virtaa likaisen tilalle. Syrjäytysilmanvaihdon suunnittelussa on otettava huomioon ilmastoitavan tilan muut virtaukset. Virtaus tilassa on pyrittävä saamaan sellaiseksi, etteivät virtaukset sekoita tuloilmavirtaa, vaan vahvistavat ilman kulkusuuntaa tuloilmalaitteelta poistoilmalaitteelle. (Seppänen & Seppänen 2004: 193)

Syrjäyttävä ilmanjako mahdollistaa suuren ilmanvaihtuvuuden. Pysäköintihallissa syntyvät pakokaasupäästöt pakotetaan poistoilmapisteen kautta pois tilasta. Teoriassa tällä tavalla muodostuu suurimmat pakokaasujen yhdisteiden pitoisuudet poistoilmapisteele. Näin ollessa tarvepohjaiseen ilmanvaihtoon riittäisi yksi anturi, joka olisi sijoitettu poistoilmapis-

teen läheisyyteen. Käytännössä yksi mittari ei yleensä riitä. Syrjäyttävässä järjestelmässä, jossa ilma liikkuu yhteen suuntaan, on yleensä suuri tulo- ja poistoilmapisteen välinen etäisyys. Ilman virtaukseen tulo- ja poistoilmapisteen välillä voi vaikuttaa häiritsevästi monet tekijät, kuten autojen liikkuminen joka aiheuttaa turbulenttisia virtauksia. Järjestelmässä käytetäänkin useita antureita, joilla varmistetaan ilmanvaihdon oikea toiminta. (Martin 2001:3)

4.3 Rakennusautomaatio

Rakennuksen LVI-järjestelmiin kuuluu oleellisena osana rakennusautomaatiojärjestelmä, joilla ohjataan ja valvotaan rakennuksen sisäilmastoa ja LVI-laitteiden toimintaa. Rakennusautomaatiojärjestelmän laajuus ja toiminnot riippuvat rakennuksesta. Laitteiden ohjaus kuuluu niihin, mutta niissä on mukana yleensä myös paljon muita toimintoja, kuten hälytys- ja valvontatoiminnot sekä energian kulutuksen mittaaminen ja valvonta. Kehittyneissä automaatiojärjestelmissä on mahdollisuus myös rakennuksen muuhun valvontaan kulun, turvallisuuden ja tietoliikenteen osalta. Rakennuksissa on myös muita LVI-tekniikan piiriin kuuluvia erikoislaitteita, kuten palonsammutusjärjestelmiä ja keittiölaitteita. (Seppänen & Seppänen 2004: 242-243)

Rakennusautomaatiojärjestelmä rakentuu yleensä seuraavista tasoista:

- Valvomotaso
- Alakeskustaso
- Kenttälaitteisto

Valvomo toimii linkkinä käyttäjän ja järjestelmän välillä. Eri puolilta rakennusta kerätty mittaus-, hälytys- ja ohjausinformaatio muokataan alakeskuksissa ja lähetetään valvomoon. Käyttöliittymä muokkaa tiedon käyttäjälle havainnolliseen muotoon mm. grafiikkaa hyödyntäen. Valvomolaitteisto on tyypillisesti toimistotason pc-laitteisto, jota käytetään järjestelmän hallintaan. (Seppänen & Seppänen 2004: 243)

Valvomo ja alakeskukset yhdistetään toisiinsa tiedonsiirtoväylällä. Tiedonsiirto on digitaalista ja yleensä sarjamoitoista, jolloin tieto kulkee peräkkäin yhtä tai kahta johdinparia pitkin. Tiedonsiirto mahdollistaa useimmissa järjestelmissä myös mittaus- ja ohjaustiedon

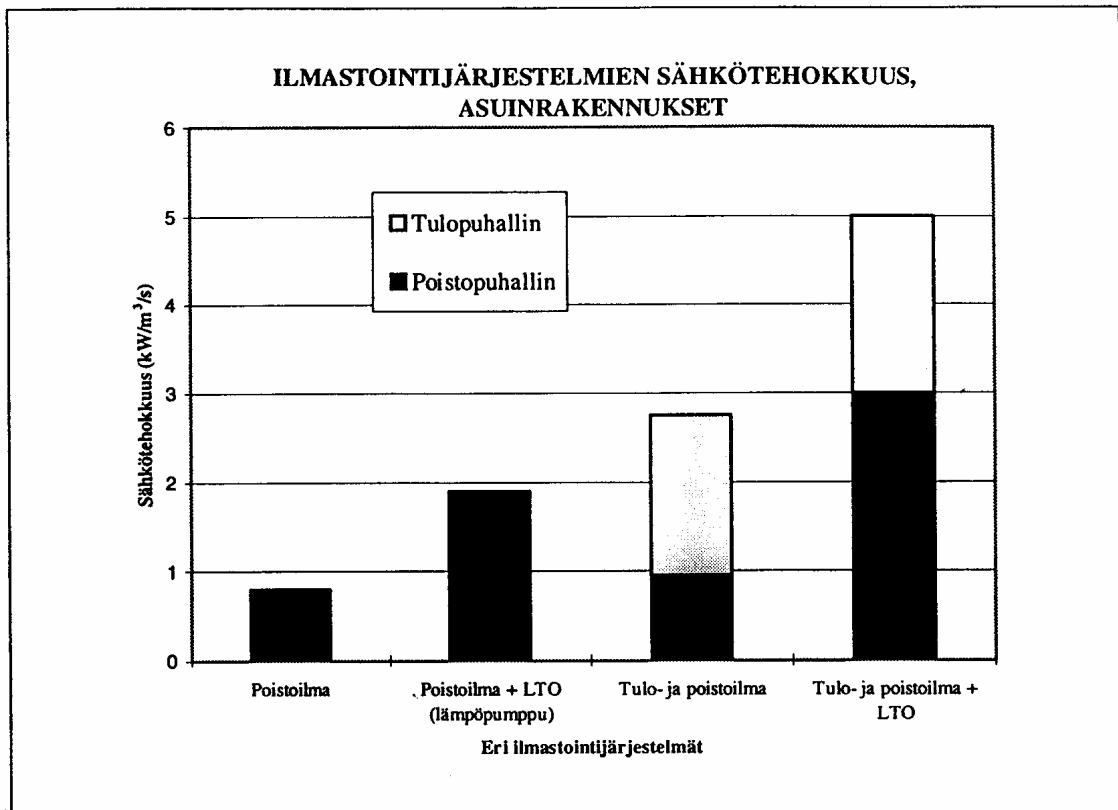
välittämisen suoraan alakeskuksesta toiselle, jolloin järjestelmässä voidaan käyttää mm. yhteisiä mittausantureita. Modeemien välityksellä alakeskukset voivat sijaita hyvinkin etäällä valvomosta. Nykyiset rakennusautomaatiojärjestelmät perustuvat lähes poikkeuksetta suoraan tietokonesäätötekniikkaan. Säättötoiminnot on tällöin toteutettu ohjelmallisesti digitaalitekniikalla, kun taas perinteisessä analogiatekniikassa säätimet rakentuvat analogisista mittaus-, vertailu- ja vahvistinpiireistä. Säättöön ja valvontaan tarkoitetut toiminnot toteutetaan useimmissa järjestelmissä alakeskustasolla. Alakeskukset toimivat useimmissa järjestelmissä itsenäisesti, jolloin valvomon puuttuminen tai vioittuminen ei estä mm. säättöpiirien toimintaa. Kenttälaitteita ovat mittausanturit, toimilaitteet ja hälytyslähettimet. Kenttälaitteet liittyvät alakeskuksiin kenttäkaapeloinnin välityksellä tyypillisesti analogisina jännite- tai virtaviesteinä. Alakeskukset sijoitetaan mahdollisimman lähelle ohjattavia prosesseja pääasiassa ilmastointikonehuoneisiin, lämmönjakohuoneisiin sekä sähkökeskustiloihin. Tällöin kenttäkaapeloinnin tarve minimoituu sekä käyttö- ja huoltotoimenpiteet on helpompi suorittaa. (Seppänen & Seppänen 2004: 243-245)

4.4 Ilmanvaihdon energiankulutus

Pysäköintihallien energiankulutus koostuu yleensä ilmanvaihdosta, valaistuksesta ja ajo-luiskien lämmityksestä talvella sekä parkkitolppien sähkönkulutuksesta. Ilmanvaihdon energiankulutus muodostuu ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutuksesta ja mahdollisesti tuloilman lämmittämisestä ja poistoilman lämmöntalteenotosta. Ilmanvaihto muodostaa merkittävän osan pysäköintihallien energiankulutuksesta.

Puhaltimien ominaistehontarve voidaan määrittää puhaltimen ottaman tehon ja sen tuottaman ilmavirran suhteeksi. Asuinrakennusten ominaistehot ovat pienempiä verrattuna toimistorakennuksien tehoihin, koska asuinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmät ovat yksinkertaisempia ja painetasot alhaisempia kuin toimistorakennusten. Mitä monimutkaisempi ilmastointijärjestelmä, sitä suurempi on yleensä siinä tapahtuva painehäviö. Tämä kasvattaa myös puhallinenergian osuutta rakennuksen koko energiankulutuksesta. Lämmitysenergian tarve pienenee, kun järjestelmään liitetään lämmöntalteenotto. Lämmöntalteenotto vastaavasti kasvattaa järjestelmän sähköenergian tarvetta. IV-laitoksen käyttöajoilla on myös erittäin suuri vaikutus vuosittaiseen sähköenergiankulutukseen. Kullakin puhaltimella on sille optimaalisin toiminta-alue, jolla puhaltimen hyötysuhde vaihtelee ilmavir-

ran ja paine-eron funktiona. Erityisesti muuttuvilmavirtaisissa (MIV) järjestelmissä on tärkeää suorittaa hyötysuhdetarkastelut koko järjestelmän ilmavirta-alueella. MIV -järjestelmissä puhaltimen parhaan hyötysuhteen alue mitoitetaan käyttötunneiltaan suurimman ilmavirran alueelle. Kuvassa 3 on esitetty eri ilmanvaihtojärjestelmien vaikutusta sähkötehokkuuteen asuinrakennuksissa. (Teknillinen korkeakoulu)



Kuva 3. Ilmastointijärjestelmien sähkötehokkuus asuinrakennuksissa (Teknillinen korkeakoulu)

Puhaltimen tehontarve voidaan laskea seuraavasti kaavalla 1. (Teknillinen korkeakoulu)

$$P = \frac{qv \times \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} \quad (1)$$

jossa

P on sähköteho (kW)

qv on ilmavirta (m³/s)

Δp_{tot} on paine-ero (kPa)

η_{tot} on kokonaishyötysuhde.

Kokonaishyötysuhde koostuu puhaltimen hyötysuhteesta η_{puh} , sähkömoottorin hyötysuhteesta $\eta_{\text{säh}}$, ja välityksen hyötysuhteesta $\eta_{\text{väl}}$. Kokonaishyötysuhde voidaan määrittää kaavalla 2. (Teknillinen korkeakoulu)

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{puh}} \times \eta_{\text{säh}} \times \eta_{\text{väl}} \quad (2)$$

jossa

η_{tot} on kokonaishyötysuhde

η_{puh} on puhaltimen hyötysuhde

$\eta_{\text{säh}}$ on sähkömoottorin hyötysuhde

$\eta_{\text{väl}}$ on välityksen hyötysuhde

Järjestelmien kokonaishyötysuhde on pieni ja vaihtelee tyypillisesti 0,05 - 0,4. Huonoin hyötysuhde on pienissä järjestelmissä, kun taas paras suurissa järjestelmissä, joissa puhallin on taaksepäin kallistetuin siivin. Moottorin hyötysuhde on yleensä 60 - 70 % ja välityksen hyötysuhde 70 - 85 %. Mitä pienempi on puhaltimen teho, sitä suuremmat ovat suhteessa välityksen häviöt. (Teknillinen korkeakoulu)

Puhaltimien painehäviöt ovat verrannollisia pyörimisnopeuden toiseen potenssiin. Puhaltimen painehäviöt voidaan laskea kaavalla 3. (Teknillinen korkeakoulu)

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta p_0} = \left(\frac{n_x}{n_0} \right)^2 \quad (3)$$

jossa

Δp on paine-ero

n on kierrosluku.

Koska puhaltimen tehon tarve on verrannollinen paineen ja tilavuusvirran tuloon, on tehon tarve verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. Tehon tarve voidaan laskea kaavalla 4. (Teknillinen korkeakoulu)

$$\frac{P_x}{P_0} = \left(\frac{n_x}{n_0} \right)^3 \quad (4)$$

jossa

P on teho

n on kierrosluku.

4.5 Pysäköintihallien ilmanvaihto ulkomailla

Paikallinen lainsäädäntö ohjaa myös ulkomailla pysäköintihallien rakentamista ja ilmanvaihdon suunnittelua. Pitoisuuksien maksimiarvoissa ja altistusajoissa on vaihtelua eri maiden välillä. Myös paikallinen lainsäädäntö antaa erilaisia säädöksiä liittyen pysäköintihallien ilmanvaihtoon. Esimerkiksi Ranskan määräyksissä pysäköintihallin pinta-ala vaikuttaa ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon määrää voidaan kuvata ilman virtauksen suhteella pinta-alaan (l/s)/m² tai ilmanvaihtokerroimella (ACH). Ilmanvaihtokerroin (ACH) ilmoittaa, kuinka montaa kertaa tilan ilma vaihtuu yhden tunnin aikana. Taulukossa 7 on esitetty pysäköintihallien ilmanvaihtoon liittyviä määräyksiä ja asetuksia eri maissa.

Taulukko 7. Ilmanvaihto asetukset suljetuille pysäköintihalleille eri maissa (Ayari & Krarti 2001: 52-53)

	Altistusaika [h]	CO-pitoisuus [ppm]	Ilmanvaihto
Alankomaat	24 0,5	50 200	-
Iso Britannia	8 15 minuuttia	50 300	6-10 ACH
Japani/Etelä Korea	-	-	6,35-7,62 (l/s)/m ²
Kanada	8 1	11/13 25/30	-
Ruotsi	8 15 minuuttia	20 100	0,91 (l/s)/m ²
Saksa	0,5	100	3,3 (l/s)/m ²
Suomi	8 15 minuuttia	30 75	2,7 (l/s)/m ²

5 PYSÄKÖINTIHALLIEN ILMANLAADUN SEURANTAMITTAUKSET

Seurantamittauksilla pyrittiin selvittämään, millaiset pakokaasupäästöt autoista aiheutuu pysäköintihalliin. Seurantamittauksilla haluttiin myös tarkastella, mitkä pakokaasujen epäpuhtaudet ovat merkittävät pysäköintihallin ilmanlaadulle. Seurattaviksi epäpuhtauksiksi valittiin hiilimonoksidi CO ja hiilidioksidi CO₂, joita muodostuu yksikköpäästönä (g/km) keskimääräisesti eniten. Yhdestä mittauspisteestä mitattiin myös hiilimonoksidin ja hiiliveityjen seosta. Mittauslaitteisto koostui antureista ja dataloggereista, jotka asetettiin viikon ajaksi kohteina olleisiin pysäköintihalleihin.

Typen oksideja NO_x ei mitattu kohteissa. Typen oksidit ovat perinteisesti olleet dieselkäyttöisten autojen ongelma. Dieselautojen pakokaasuista pienempi osa on hiilimonoksidia, joten CO-anturit eivät sovellu hyvin niiden mittaukseen. Yhdysvalloissa on tutkittu dieselmoottoreiden pakokaasuja kaivoksissa. Tutkimuksessa todettiin, että pakokaasuissa suurin osa haitallisista yhdisteistä on hiilidioksidia. Hiilidioksidi on myös ainoa reagoimaton kaasu, jonka pitoisuuden avulla voidaan havaita pakokaasuissa olevien haitallisten yhdisteiden määrä. Hiilidioksidin määrä oli aina suoriteriippuvainen. Tutkimuksessa arvioitiin, että kun hiilidioksidipitoisuus on alle 1300 ppm, pysyy myös muiden haitallisten yhdisteiden pitoisuudet alhaisina. Näin ollen tilan, jossa on dieselkäyttöisiä ajoneuvoja, hiilidioksidipitoisuuden tulisi alittaa 1300 ppm. (US Department of Interior, Bureau of mines)

Antureiden sijoittamiseen ei ole olemassa tarkkaa ohjetta, koska pysäköintihallien ilmanvaihdossa on eroja. Sijoittamisessa tulee huomioida mm. pilarit, ajoreitit, ilmanvirtaukset ja pysäköintipaikkojen sijoittelu. Rakentamismääräyskokoelman D2 liite 2 ohjeessa on mainittu vähintään kolmen anturin sijoittamisesta pysäköintitilaan. Maittain ohjeissa on myös eroja. Saksan pysäköintihalli standardi VDI 2053:1 suosittelee CO-antureiden asennuskorkeudeksi 1,5-1,8 m ja vähintään kaksi anturia/1000 m². Yleisesti mittareiden asennuskorkeuteen vaikuttaa mitattavan kaasun massa suhteessa ilman massaan. Ilmaa raskaammat kaasut painuvat alas ja kevyemmät nousevat ylös. Hiilimonoksidi on hieman ilmaa kevyempää, kun taas hiilidioksidi ja typen oksidit ovat ilmaa raskaampia. Massojen eroilla ei kuitenkaan ole ratkaisevaa merkitystä, koska lämpötila- ja paine-eroista johtuva ilman liikkuminen on hallitsevaa pakokaasuissa (Martin 2001:5). Pakokaasut nousevat aluksi ylöspäin, koska ne ovat kuumia tullessaan pakoputkesta. Edelleen ilmanvaihdon turbulenttiset virtaukset sekoittavat pakokaasut ilmaan, joten anturit tulee sijoittaa hengi-

tyskorkeudelle. Antureita ei pidä sijoittaa pakoputkien korkeudelle. Seurantamittauksissa anturit sijoitettiin noin 1,5 m korkeuteen maan pinnasta, joka vastaa normaalia hengityskorkeutta. Mittauspisteet on esitetty pysäköintihallien pohjapiirustuksissa (liite 1 ja liite 2).

5.1 Anturitekniologia ja mittarien toimintaperiaatteet

Kaasunvalvonnassa käytetään yleensä mitattavasta kaasusta riippuen seuraavia antureita: kaasuherkkiä puolijohdeantureita, kuumalanka-antureita, sähkökemiallisia kennoantureita tai infrapuna-antureita (NDIR). Oikean laitetyypin ja anturitekniologian suunnittelussa ja valinnassa on selvitettävä valvottavassa kohteessa esiintyvät kaasupitoisuudet ja valvontaperusteet. (Sensing Oy)

Kaasuherkät puolijohdeanturit

Puolijohdeanturi on valmistettu n-tyypin jauhemaisesta metallioksidipuolijohdeesta (SnO_2) sintraamalla. Anturin hienorakenne muodostuu suuresta joukosta vastakkain painettuja puolijohderakeiden pintakerroksia. Aineen sähköjohtavuuden määrää sen pintakerroksissa olevien helposti liikkuvien elektronien määrä ja liikkuvuus. Kaasun joutuessa anturiin, se adsorboituu siihen ja reagoi anturin pinnassa olevien happiatomien kanssa. Tällöin happiatomien sitomat elektronit vapautuvat parantaen sähkönjohtokykyä anturin pinnassa ja anturin vastus pienenee. Anturin reagoitua eri kaasuille säädellään muuttamalla anturin lämpötilaa ja käyttöjännitettä. (Sensing Oy)

Kuumalanka-anturit (katalyyttianturit)

Katalyyttinen poltto perustuu mittauskennossa olevan platinan sähkönjohtokyvyn muutosten seuraamiseen mitattavan kaasuseoksen hapettuessa. Menetelmässä käytetään kahta kennoa. Ilmassa olevat kaasuseokset hapetetaan toisessa kennossa joka on päällystetty katalyyttisellä materiaalilla (platinalla), jolloin lämpötilan noustessa kennon sähkönjohtavuus muuttuu. Mittausalueena useimmiten 0 - 100 % L.E.L. tai 0 - 20 % / L.E.L. (L.E.L. = Lower Explosive Limit). Anturi ei ole spesifinen vaan sillä mitataan palavien kaasujen kokonaispitoisuutta. Menetelmää käytetään yleisimmin suurien pitoisuuksien valvontaan. (Sensing Oy)

Sähkökemialliset kennoanturit

Sähkökemiallisessa kennossa kaasun reagoiessa elektrolyytin kanssa tai redoks - reaktiossa muodostuu jännite, tai virta, joka on verrannollinen kaasun pitoisuuteen. Menetelmät ovat herkkiä sekä spesifisiä ja sopivat hyvin eri kaasuille. Sähkökemiallisia kennoja käytetään yleisimmin hapen ja myrkyllisten kaasujen, kuten rikkivedyn, kloorin, otsonin, hään yms. pitoisuuksien valvontaan. Kennot tulee tarkastaa n. 0,5 - 1 vuoden välein. Kennojen elinikä tyypistä ja käytöstä riippuen n. 18 - 36 kk). (Sensing Oy)

Infrapuna anturit (NDIR = nondispersive infrared detector)

Useat kaasut ja höyryt absorboivat infrapunasäteilyä niille luonteenomaisilla aallonpituuksilla. Tämä mahdollistaa mitattavien aineiden kvantitatiivisen määrittämisen. Menetelmä on herkkä ja spesifinen eri kaasuille ja sopii erinomaisesti jatkuvaan mittaukseen. Anturi toimii ns. näytteenottoperiaatteella. Mittausjakso on esimerkiksi 15 sekuntia. (Sensing Oy)

5.1.1 A-Sense hiilidioksidilähetin

A-Sense hiilidioksidilähetin mittaa ilman hiilidioksidipitoisuutta ja lämpötilaa. Lähettimen hiilidioksidimittaus perustuu infrapunasäteilyn absorptioon ja lämpötilamittaus on toteutettu termistorilla. Lähetin on varustettu itsekaliibrointi-toiminnalla, joka mahdollistaa tarkan mittauksen ja pitkän kalibrointiajan. Säätimessä on RS-232 - liitäntä ja se voidaan ohjelmoida PC:llä. Käytettävä ohjelma on DOS-pohjainen ja sillä voidaan tehdä kaikki tarvittavat huolto- ja viritystoiminnot. A-Sense lähetin voidaan mallista riippuen asentaa joko huonetilaan tai ilmastointikanavaan. CO₂ - pitoisuuden mittausalue on vakiona 0-2000 ppm. Lähettimen maksiminäyttämä on 0-9999 ppm ja mittausaluetta voidaan muuttaa PC:llä. Kalibroinnista johtuen säätimen tarkkuus on voimassa alueella 0-3000 ppm. Alueen tarkkuus on ± 50 ppm vakiolämpötilassa. Lähetin on saatavana myös suuremmille mittausalueille: 0-6000 ppm, 0-2 %, 0-4 %, 0-10 % ja 0-20 %. Lämpötilan mittausalue on 0...50°C, alueen tarkkuus $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Syöttöjännite: 15-29 VAC/VDC. Ulostulossa voidaan valita joko 0-10 V tai 4-20 mA. Anturi on huoltovapaa ja sen arvioitu elinikä on yli 15

vuotta. A-Sense hiilidioksidi-/lämpötilalähettimeä käytetään tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säätöön ja ohjaukseen. (Stig Wahlström Oy 2007.)



Kuva 4. A-Sense hiilidioksidilähetin

5.1.2 A-Sense M-III hiilimonoksidi-/hiilidioksidilähetin

A-Sense m-III hiilimonoksidi-/hiilidioksidilähetin mittaa ilman hiilidioksidipitoisuutta, hiilimonoksidipitoisuutta, kosteutta ja lämpötilaa. Hiilidioksidin mittaus perustuu infrapunavalotekniikkaan. Hiilimonoksidin mittaus perustuu sähkönjohtavuuteen MMOS-anturilla (mixed metal oxide sensor). Kosteus mitataan kapasitiivisella anturilla ja lämpötila NTC-anturilla. Lähettimessä on LCD-näyttö, joka näyttää haluttaessa kaikkia neljää suurta, mutta koska lämpötila ja kosteus on mitattu laitteen kotelon sisältä ja ne on tarkoitettu laitteen sisäiseen käyttöön, nämä suureet on ohjelmoitu pois näytöltä. Näin ollen lähetimen näyttö näyttää vuorotellen CO₂- ja CO-pitoisuutta. Lähetimen käyttölämpötila-alue on 0...+ 50 °C. Lähetin voidaan varustaa myös lämmittimellä, jolloin alin käyttölämpötila on – 40 °C. Mittausilman lähetin saa kotelon takaa, kotelon takaseinään rakennetun erikoiskalvon välityksellä. (Stig Wahlström Oy 2004)

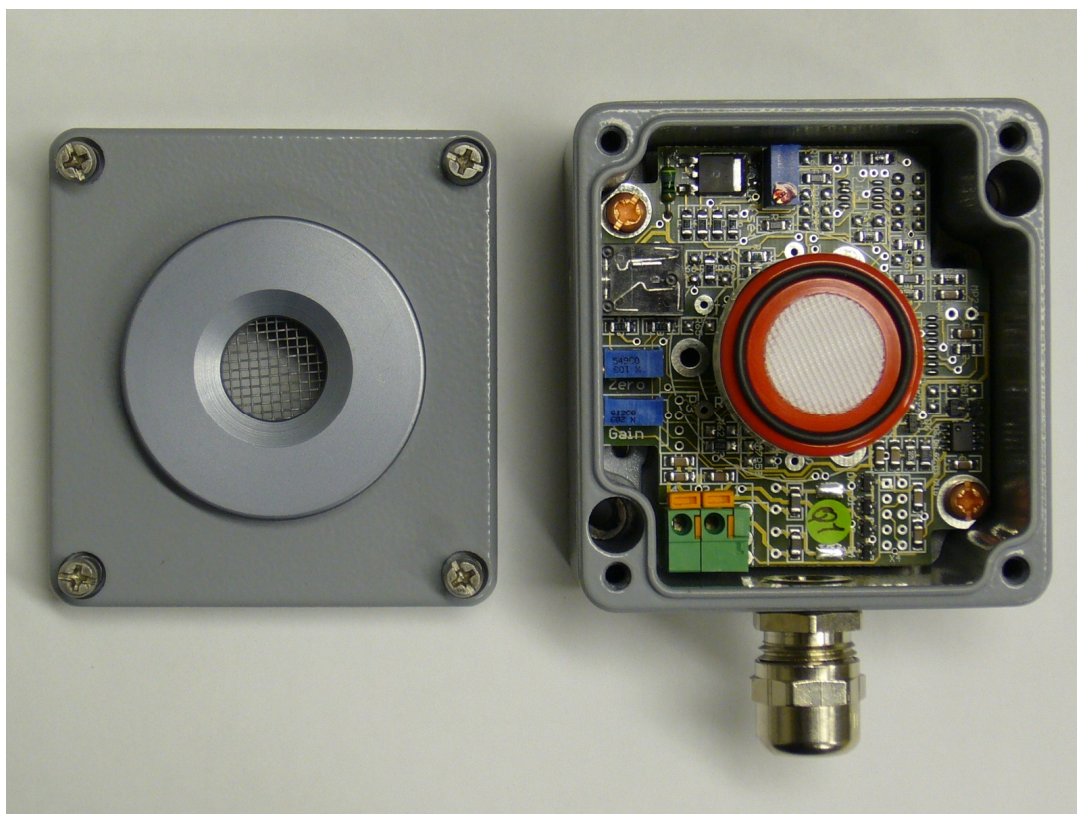


Kuva 5. A-Sense M-III hiilimonoksidi-/hiilidioksidilähetin

Lähettimen syöttöjännite on $24 \text{ VAC/VDC} \pm 20 \%$. Lähettimessä on 4 kpl ulostuloja, 2 analogilähtöä (valittavissa lähettimessä joko 0-10 V tai 4-20 mA), yksi relelähtö ja yksi avoin kollektorilähtö. Kollektorilähdön tilalla voi olla myös toinen relelähtö, jolloin releillä voidaan toteuttaa määräysten mukainen ohjaus niin, että rele 1 vetää kun CO pitoisuus on 50 ppm tai CO₂ -pitoisuus on esim. 1500 ppm. Vastaavasti rele 2 vetää, kun CO - pitoisuus on 70 ppm tai CO₂ pitoisuus on esimerkiksi 2000 ppm. Lähettimessä on RS-232-liitäntä lähettimen ohjelmointia ja huoltoa varten. Lähetin on huoltovapaa yli viisi vuotta ja sen arvioitu elinikä on yli viisi vuotta (CO-anturi rajoittaa lähettimen elinikää). Asense m-III lähetin on tarkoitettu pysäköintitilojen, tunneleiden, kaivoksien tms. tilojen ilmanvaihdon ohjaukseen. (Stig Wahlström Oy 2004)

5.1.3 Kimessa GSE 507 Ex hiilimonoksidilähetin

Kimessa GSE 507 Ex hiilimonoksidilähetin mittaa ilman hiilimonoksidipitoisuutta. Lähettimen anturin toiminta perustuu hiilimonoksidin elektrokemialliseen hapettamiseen hiilidioksidiksi. Lähettimen standardi kalibrointiväli on 0-100 tai 0-250 ppm. Lähettimen käyttölämpötila on -20 °C - + 50 °C ja analoginen ulostuloviesti on 4-20 mA. CO-anturi tulee kalibroida kerran tai kaksi kertaa vuodessa ja lähettimen elinikä on vähintään 3 vuotta riippuen käyttöympäristöstä. Kimessa GSE 507 lähettämiä käytetään mm. pysäköintihallien ilmanlaadun valvonnassa. Seurannassa käytettävä mittari oli kalibroitu välille 0-250 ppm. (Kimessa AG)

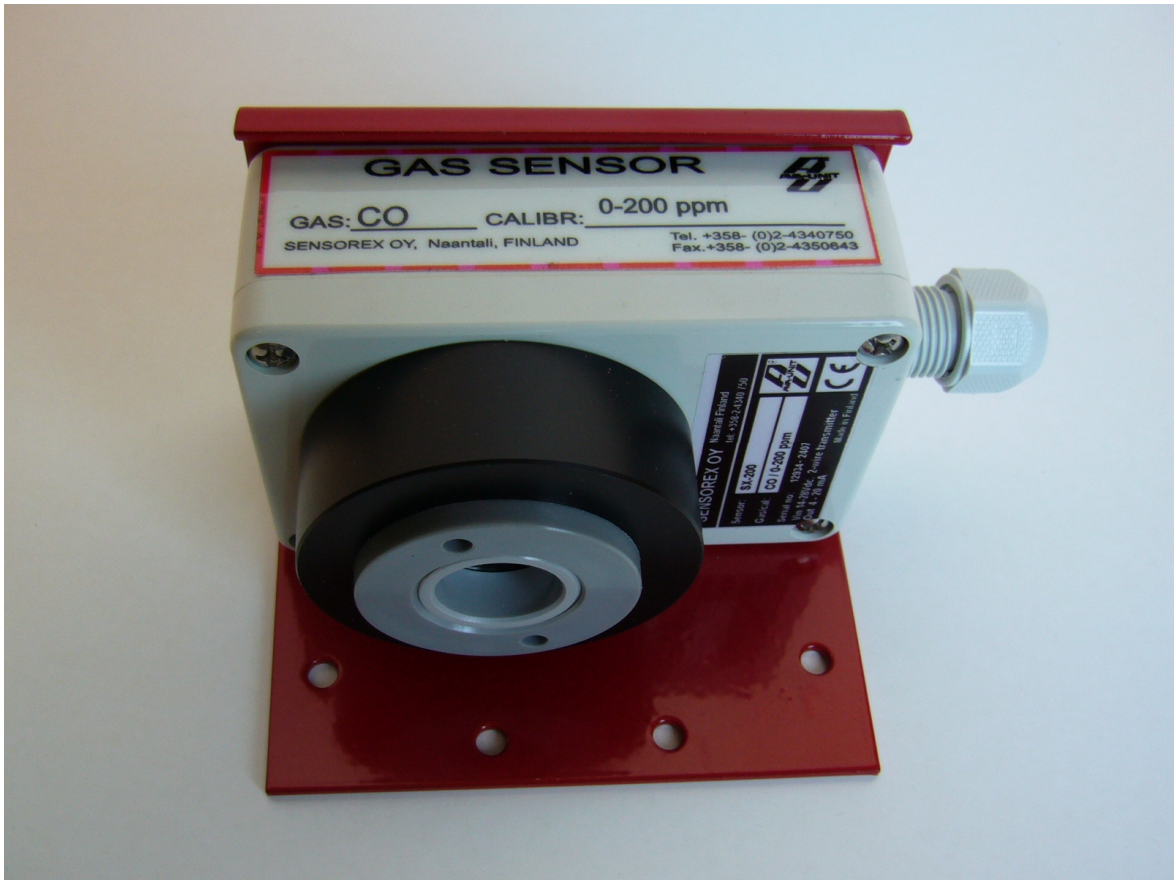


Kuva 6. Kimessa GSE 507 hiilimonoksidilähetin

5.1.4 SX200/CO kaasunvalvonta-anturi

SX200/CO kaasunvalvonta-anturilla mitataan ilman hiilimonoksidipitoisuutta. Lähetin on varustettu elektrokemiallisella mittauskennolla. Lähettimen käyttöjännite on +12 - 30 VDC ja käyttölämpötila on -20 - +45 °C. Analoginen ulostuloviesti on 4-20 mA. Mittauskennon

odotettu elinikä on 24 kk. SX200/CO kaasunvalvonta-antureita voidaan käyttää esimerkiksi pysäköintihalleissa. Mittauksissa käytettävä anturi oli kalibroitu välille 0-200 ppm.



Kuva 7. SX200/CO kaasunvalvonta-anturi

5.1.5 SX 422p kaasunilmaisimain

SX 422p kaasunilmaisimella mitataan ilman hiilimonoksidi- sekä hiilivetyjen pitoisuutta. SX 422p kaasunilmaisimella on tinaoksidipuolijohdekiteellä varustettu lähetin, jossa on mikroprosessori. Prosessori huolehtii automaattisesti kalibroinnista mittausalueen alapäässä siten, että hitaat taustapitoisuuden muutokset sekä mittauskiteen ryöminästä johtuvat mittausvirheet korjautuvat automaattisesti. SX 422 p kaasunilmaisimella ilmoittaa mitattavan ilman hiilimonoksidin ja hiilivetyjen yhteispitoisuuden. Mittaustuloksessa on huomioitava se, että anturi on tuplaherkkä hiilivedyille. Näin ollen esimerkiksi ilma joka sisältää hiilimonoksidia 10 ppm ja hiilivetyjä 10 ppm, antaa mittaustuloksen 30 ppm ($10 \text{ ppm CO} + 2 * 10 \text{ ppm HC}$). Kaasunilmaisimen käyttöjännite on 17-28V DC tai 15-24 VAC ja ulostulo on 4-20 mA logaritmisesti.



Kuva 8. SX 422p kaasunilmaisim

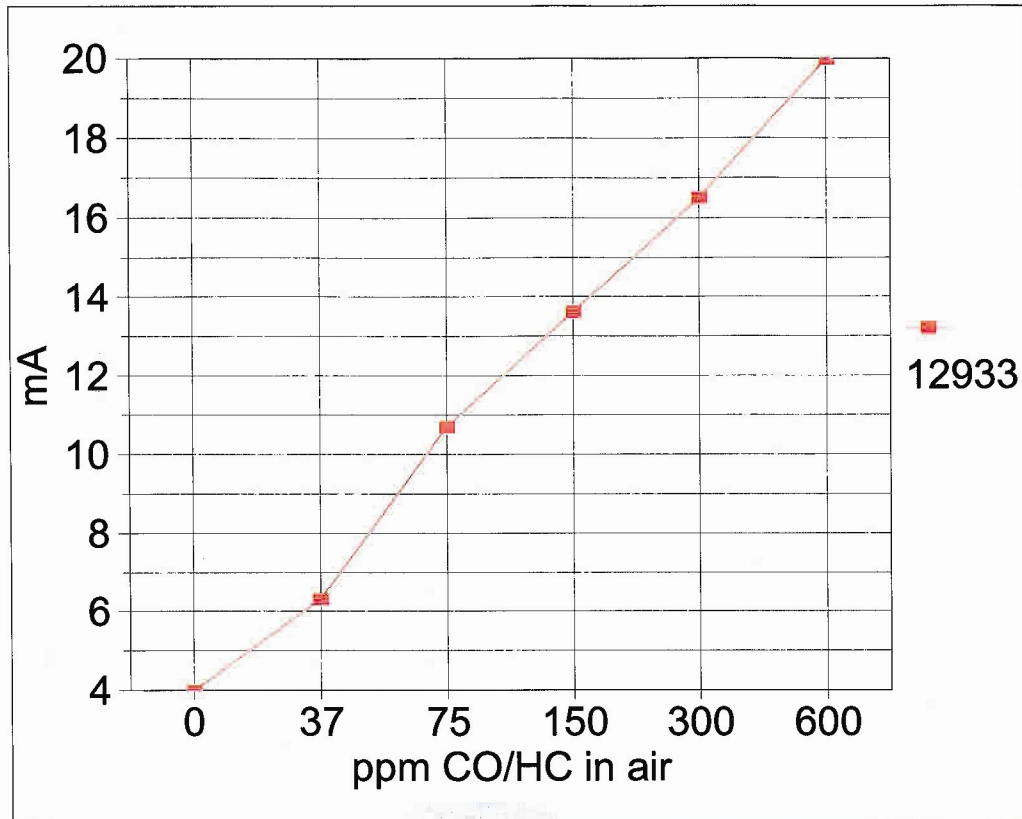
Käyttölämpötila on -20 °C - $+55\text{ °C}$. Kaasunilmaisimen käyttöikä on yli viisi vuotta. Kaasunilmaisim on periaatteessa huoltovapaa, mutta anturin luotettavan toiminnan varmistamiseksi jokavuotinen tarkistus ja kalibrointi on suositeltavaa. SX 422p kaasunilmaisimia käytetään mm. pysäköintihallien ilmanvaihdon ohjauksessa. Standardi mitta-alue on 0-400 tai 0-600 ppm. Mittausanturi on kalibroitu välille 0-600 ppm. (Sensorex Oy)

CALIBRATION CERTIFICATE SENSOREX OY

Sensorex Transmitters Type SX-422p
0-600 ppm CO/HC = Isign 4-20 mA, Log

YIT Kiinteistötekniikka Oy

Ser.no	0	37	75	150	300	600	ppm
12933	4.0	6.3	10.7	13.6	16.5	20.0	mA



Kaavio 12. SX422p kalibrointiasteikko

5.1.6 SX 303DM kaasunvalvonta-anturi

SX 303DM kaasunvalvonta-anturia käytetään ilman hiilidioksidipitoisuuden mittaamiseen. Anturin toiminta perustuu infrapunavalotekniikkaan. Lähettimen standardi mitta-alue on 0-5000 ppm. Lähettimen käyttölämpötila on -20 °C - $+50\text{ °C}$. Käyttöjännite on 24 VDC (8-30 VDC) ja analoginen ulostuloviesti on 4-20 mA. Anturi on kalibroitu välille 0-5000 ppm. (Sensorex Oy)



Kuva 9. SX 303DM kaasunvalvonta-anturi

5.1.7 Dataloggerit

Mittaustulosten tallentamiseen käytettiin dataloggereita. Dataloggauksessa käytettiin kolmea dataloggeria, joiden tallennusväli asetettiin 10 minuuttia. Mittaustulokset olivat 4-20 mA signaaleina, jotka muunnettiin ppm arvoiksi Excel-taulukoissa. Mittauspisteen 1 ja 2 tulokset tallennettiin Eltek Grants Squirrel 1200 series dataloggerilla, mittauspisteen 3 ja 4 Eltek Squirrel 1000 series dataloggerilla ja mittauspisteen 5 dataloggaukseen käytettiin Gemini Tinytag dataloggeria.

5.2 Mitattavat kohteet

Ilmanlaadun seurantamittauksia suoritettiin kahdessa kauppakeskuksen pysäköintihallissa heinäkuussa 2007. Mittauskohteina olivat Kampin pysäköintihalli Helsingissä sekä Koski-

keskuksen pysäköintihalli Tampereella. Molemmissa mittauskohteissa on yksi pysäköintitaso ja erillinen kiinteistön valvomo.

5.2.1 Kampin pysäköintihalli Helsinki

Kampin pysäköintihalli sijaitsee Helsingin ydinkeskustassa Kampin kauppakeskuksessa. Kauppakeskus valmistui 2005. Kampin henkilöautojen pysäköintihallin pinta-ala on 7749 m² ja se on kylmä halli. Pysäköintihallin ilmamäärä on 30 m³/s, eli (3,87 dm³/s)/m². Hallissa on 251 autopaikkaa ja sinne ajetaan sisään Olavinkadulta. Hallin pysäköinnin maksimikorkeus on 2,7 m, mutta osa hallin takaosasta on 2,4 m. Pysäköinti on avoinna joka päivä klo 06-24, ulos hallista voi ajaa vuorokauden ympäri. Pohjakuva on esitetty liitteessä yksi. Pohjakuvasssa on esitetty tulo- ja poistoilmasäleiköiden sekä päätteiden paikat. Rakennusautomaation mittausanturit ja ilmanlaadun seurantaan käytettävät mittarit on myös esitetty pohjakuvasssa.



Kuva 10. Kampin pysäköintihalli

Kampin pysäköintihallin ilmanvaihtoa ylläpitää kolme tuloilmapuhallinta sekä kolme poistoilmapuhallinta. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien ilmavirrat on valittu yhtä suuriksi. Tuloilmapuhaltimien maksimi pyörimisnopeus on rajoitettu lisäehdolla 95 %:iin, jotta myös täydellä pitoisuusohjauksella tila jää alipaineiseksi.

Tuloilmapuhaltimien ohjaukset

A-asennossa (kun ei ole savunpoistotilanne) tuloilmapuhaltimet TF1-TF3 käyvät täystehon (100 %, 50 Hz) tai osatehon (33 %, 16,5 Hz) aikaohjelman mukaan ja aikaohjelmien aikana rinnakkaisesti CO/HC-pitoisuuden ohjaamina. CO/HC-seoksen määrää mitataan Sensorer SX 422p antureilla, jotka on kalibroitu välille 0-200 ppm. CO/HC-pitoisuusohjauksessa tuloilmapuhaltimia TF1-TF3 ohjataan rinnakkaisesti samansuuruisella jänniteohjauksella 0..10V. Ohjaava CO/HC-pitoisuus lasketaan CO/HC-antureiden QE1-QE9 lukemista kolmen korkeimman pitoisuuden keskiarvona. Keskiarvo lasketaan vähintään 15 sekunnin välein mittausarvoista. Korkeimpien CO/HC-pitoisuuksien hetkellinen keskiarvo pyritään pitämään alhaisella tasolla ohjaamalla tuloilmapuhaltimen pyörimisnopeutta välillä 30-100 %. Tuloilmapuhallin käynnistyy 33 % teholle, kun pitoisuus ylittää 70 ppm. Tuloilmapuhallin käynnistyy 66 % teholle, kun CO/HC-pitoisuus ylittää 160 ppm. Tuloilmapuhaltimien täyden tehon käyttö on estetty asettamalla täyden tehon pitoisuusraja 210 ppm. Pitoisuuden laskiessa alle 70 ppm puhallin pysähtyy 15 min viiveellä. Pitoisuuden laskiessa ohjaus ei laske suurimmasta arvostaan 2 minuuttiin. Antureille ja ohjaavalle pitoisuudelle otettiin trendiseuranta mittausajanjaksolta. (Projectus Team)

Poistoilmapuhaltimien ohjaukset

Poistopuhaltimien käyntiluvut lukitaan tulopuhaltimien käyntiin seuraavasti: PF1 käy, kun TF1 käy; PF2 käy, kun TF2 käy; PF3 käy, kun TF3 käy. PF1 viasta TF1 seis, PF2 viasta TF2 seis, PF3 viasta TF3 seis. Poistoilmapuhaltimien pyörimisnopeutta ohjataan rinnakkaisesti samansuuruisella jänniteohjauksella, jonka ohjaus % lasketaan alakeskuksessa kaavan 5 mukaan (hallin alipaine 1,5 m³/s): (Projectus Team)

$$Ohj \% PF1...PF3 = \frac{30 * (Ohj \% TF1...TF3) + 1,5 * 100}{30} \quad (5)$$

Lisäksi alakeskuksessa on seuraava lukitus. Kun mikään aikaohjelmista ei ole voimassa (yötilanne, jolloin pysäköinti on kiinni) yksi poistoilmapuhaltimista PF1-PF3 käy 33 % (16,5 Hz) pyörimisnopeudella. Poistoilmapuhaltimien yökäyttö vuorottelee kerran viikossa. PF4 ja PF5 poistoilmapuhaltimet käyvät 0-1 käsikytkeksiensä 1-asennossa jatkuvasti ja 0-asennossa puhallin on seis. (Projectus Team)

Hälytykset

Hälytys tulee kun CO-pitoisuuden 8 h:n HTP-arvo 30 ppm ylitetään laskettuna anturikohtaisesti 8 h:n ajalle tasatuntien välein (esim. aikaväli 8-16, seuraava laskentaväli 9-17). Hälytys tulee myös kun CO-pitoisuuden 15 minuutin HTP-arvo 75 ppm ylitetään anturikohtaisesti. (Projectus Team)

5.2.2 P-Koskikeskus Tampere

Koskikeskus valmistui ja otettiin käyttöön vuonna 1988. P-Koskikeskus toimii ostoskeskus Koskikeskuksen yhteydessä Tampereen keskustassa. P-Koskikeskus on lämmin pysäköintihalli, jossa on 425 autopaikkaa. Pysäköintihallin pinta-ala on noin 12 300 m² ja ilmamäärä on 42,5 m³/s, eli (3,45 dm³/s)/m². Halliin ajetaan sisään sekä ulos Suvantokadulta. P-Koskikeskus on auki 24 h ja klo 22.00 jälkeen auton voi noutaa sisäänajoluiskan kautta. Pysäköintihallin maksimi pysäköinti korkeus on 210 cm. (Tampereen P-talo 2007).



Kuva 11. Koskikeskuksen pysäköintihalli Tampere

Koskikeskuksen pysäköintihallin pohjakuva on esitetty liitteessä 2. Pohjakuvasssa on esitetty poistoilmapisteen sijainti sekä rakennusautomaation mittausturien ja ilmanlaadun seurantaan käytettävien mittarien sijainnit. Koskikeskuksen pysäköintihallin ilmanvaihdon ohjauksessa käytetään Sensorex Ava-Unit 10 kaasunvalvontajärjestelmiä. Ava-Unit 10 on moduulirakenteinen kaasupitoisuuksien valvonta- ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauskeskus. Ilman mittaukset suoritetaan hiilimonoksidipitoisuutta mittaavilla puolijohdekaasuantureilla, jotka on kytketty ohjauskeskuksiin. Koskikeskuksen pysäköintihallissa on 20 kpl Sensorexin SX 812 hiilimonoksidiantureita ja kolme Sensorex Ava-Unit 10 ohjauskeskuksia. SX 812 hiilimonoksidianturit on kalibroitu välille 0-600 ppm. (Sensorex 2007.)

Ilmanvaihtoa ohjaa 5 tuloilma- ja 5 poistoilmakoneetta. Pysäköintihalli on jaettu koneiden mukaisesti viiteen lohkokon. Jokainen tuloilmakoneisto muodostaa oman itsenäisen lohkon, jonka sisällä CO-pitoisuuden mittaus tapahtuu neljän anturin avulla. Tulo- ja poistoilmakoneet ovat kytketty toisiinsa siten, että lohkon tulo- ja poistoilmakoneet käyvät aina samanaikaisesti ja samalla teholla. Hiilimonoksidipitoisuuden ollessa 0-50 ppm lohkon koneet ovat pois päältä. Pitoisuuden ollessa 50-150 ppm lohkon koneet toimivat osateholla. Pitoisuuden ollessa 150-400 ppm lohkon koneet toimivat täydellä teholla. Hiilimonoksidipitoisuuden ylittäessä 400 ppm seuraa hälytys. Ilmanvaihtokoneiden käyttöä voidaan seurata valvomosta. (Sensorex 2007.)

6 MITTAUSTULOKSET

Mittaustulokset on jaettu kohteittain. Tuloksissa on esitetty myös rakennusautomaation valvomosta saatuja ilmanvaihtokoneiden käyntitehoja. Mittauspisteitä oli viisi molemmissa pysäköintihalleissa ja molemmissa mittauskohteissa anturit oli jaettu mittauspisteisiin samalla tavalla. Neljässä mittauspisteessä mitattiin hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuutta ja yhdessä pisteessä mitattiin vain hiilidioksidipitoisuutta. Lisäksi yhdessä mittauspisteessä oli seosanturi, joka mittasi ilman hiilimonoksidi-hiilivetyypitoisuutta. Mittaustulokset on esitetty selvyuden vuoksi kaavioina, sillä jo yhdestä mittauspisteestä saatiin satoja mittauslukemia.

Mittausanturien sijoittelu mittauspisteittäin

Mittauspiste 1: Kimessa GSE 507 (CO)
 ASense (CO₂)

Mittauspiste 2: aSense mIII (CO ja CO₂)

Mittauspiste 3: SX 200/CO (CO)
 SX 303DM (CO₂)
 SX 422p (CO/HC)

Mittauspiste 4: aSense mIII (CO ja CO₂)

Mittauspiste 5: aSense (CO₂)

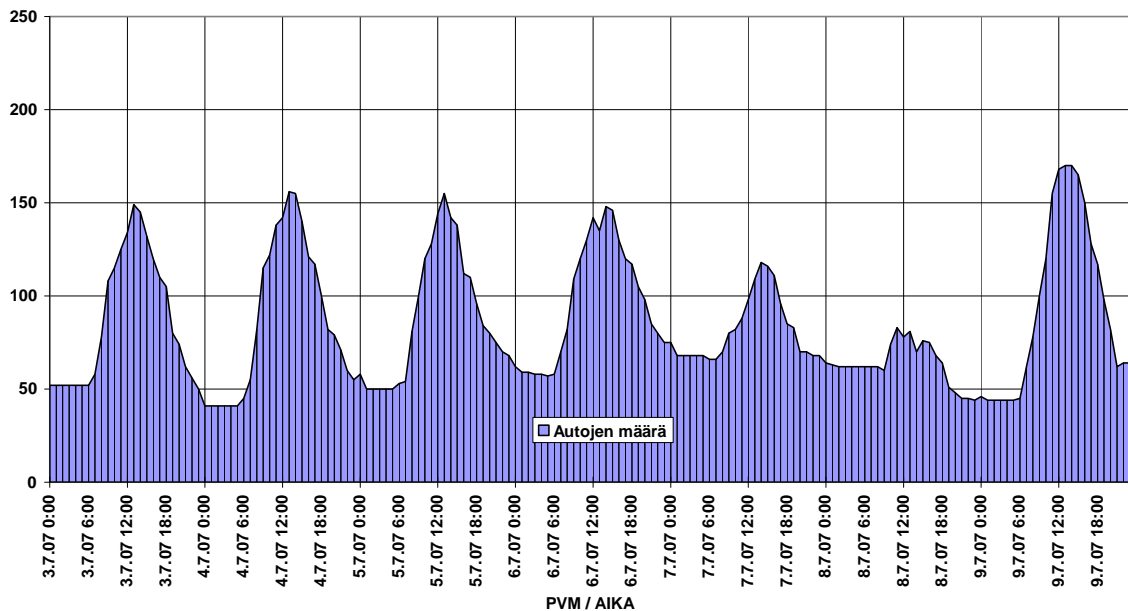
6.1 Kampin pysäköintihalli Helsinki

Kampin pysäköintihallin ilmanlaadun seurantamittaukset aloitettiin 3.7.2007 ja mittaukset lopetettiin 9.7.2007. Mittauspisteet on merkitty Kampin pohjakuvaan (liite 1). Mittauspisteet pyrittiin valitsemaan siten, että hallin ilmanlaadusta saataisiin mahdollisimman kattava otanta. Kampin pysäköintihalliin sisääntulo ja ulosajo ovat vierekkäin samassa rampissa. Normaalisti halli täyttyy ensiksi sisäänajo, ja ulostulon vierestä hallin takaosan täyttyessä

viimeiseksi. Ensimmäinen mittausajanjakso jouduttiin uusimaan, koska yhdessä dataloggerista oli toimintahäiriö.

6.1.1 Pysäköintihallin käyttöaste

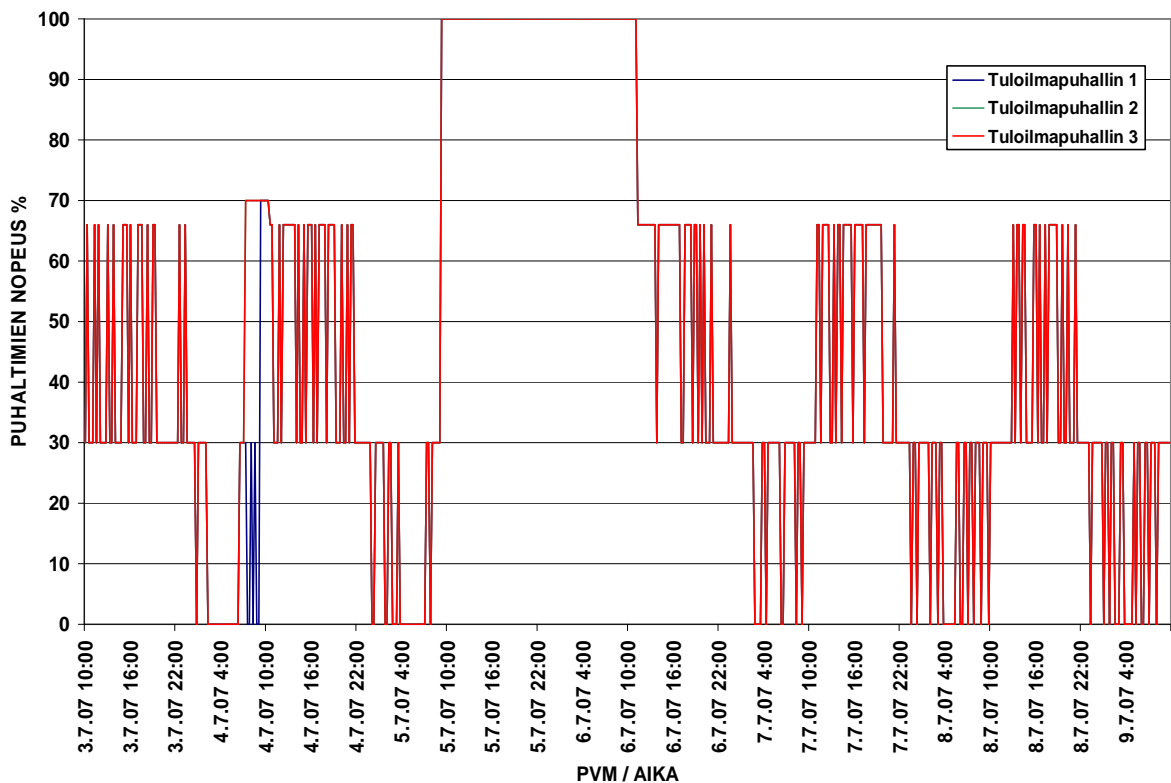
Kampin pysäköintihallin käytöstä saatiin tietoa Europarkista, joka operoi useita pysäköintilaitoksia Helsingin keskustassa ja Turussa. Kaaviossa 13 on kuvattu Kampin pysäköintihallissa olevien autojen määrää mittausajanjaksona 3.7.-9.7.2007. Päivittäin pysäköintihallissa oli mittausaikana eniten autoja noin klo 13-16. Pysäköintihallissa tapahtuva liikenne ja siitä aiheutuva kuormitus tilan ilmalle on oletettavasti suurimmillaan tähän aikaan ja hieman sen jälkeen, kun paljon autoja lähtee hallista. Autojen määrä ei kuvasta yhtäaikaista sisään- ja ulosajoliikennettä, jolloin autojen määrä pysäköintihallissa pysyy samana. Mittausajankohdasta johtuen pysäköintihallin käyttö oli normaalia pienempää. Pysäköintihallissa on 250 autopaikkaa.



Kaavio 13. Autojen määrä Kampin pysäköintihallissa 3.7.-9.7.2007

6.1.2 Ilmanvaihtokoneiden trendiseuranta

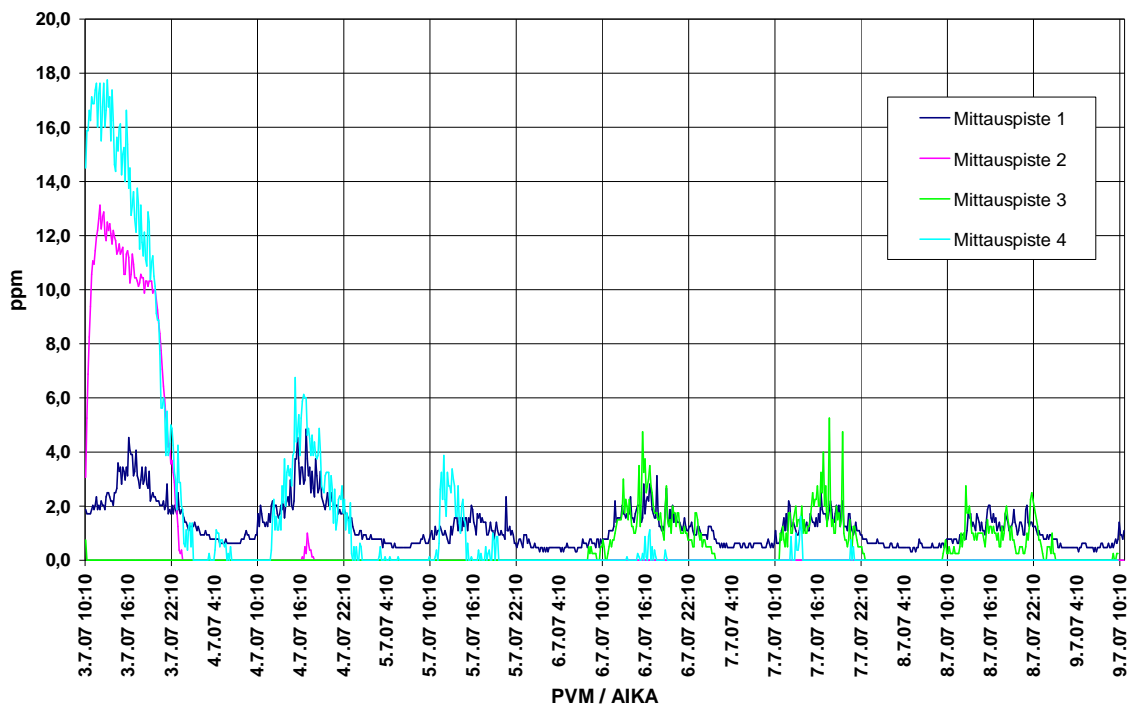
Ilmanvaihtokoneiden käyttöä seurattiin valvomosta. Kaaviossa 14 on esitetty ilmanvaihtokoneiden käyttötiedot mittausajanjaksolta. Ilmanvaihtokoneet kävivät rakennusautomaation ohjaamalla teholla. Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaikki kolme konetta kävivät samalla teholla, jonka vuoksi kaaviossa näkyy vain tuloilmapuhaltimen 3 käyrä. 5.7. ilmanvaihto asetettiin rakennusautomaatiosta toimimaan täydellä teholla yhden päivän ajaksi. Ilmanvaihto oli tarkoitus säätää valvomosta myös 66 %:iin yhden päivän ajaksi, mutta tuntemattomasta syystä tämä ei onnistunut. Liitteessä 3 on esitetty arviolaskelmat Kampin pysäköintihallin tulo- ja poistoilmapuhaltimien sähkötehoista. Puhaltimien yhteenlasketuiksi sähkötehoiksi saatiin: 30 % kierrosnopeudella 2,1 kW, 66 % kierrosnopeudella 19,2 kW ja 100 % kierrosnopeudella 55,0 kW. Laskuissa ei huomioitu puhaltimen hyötysuhteen muuttumista eri kierrosnopeuksilla. Hyötysuhteen muuttumisella on pieni vaikutus sähkötehoon, mutta kierrosnopeus on hallitseva sähkötehon kannalta. Pienillä nopeuksilla hyötysuhde huononee, joten silloin sähköteho on hieman korkeampi.



Kaavio 14. Kampin pysäköintihallin ilmanvaihtokoneiden käyttö aikavälillä 3.7.-9.7.2007.

6.1.3 Hiilimonoksidipitoisuus

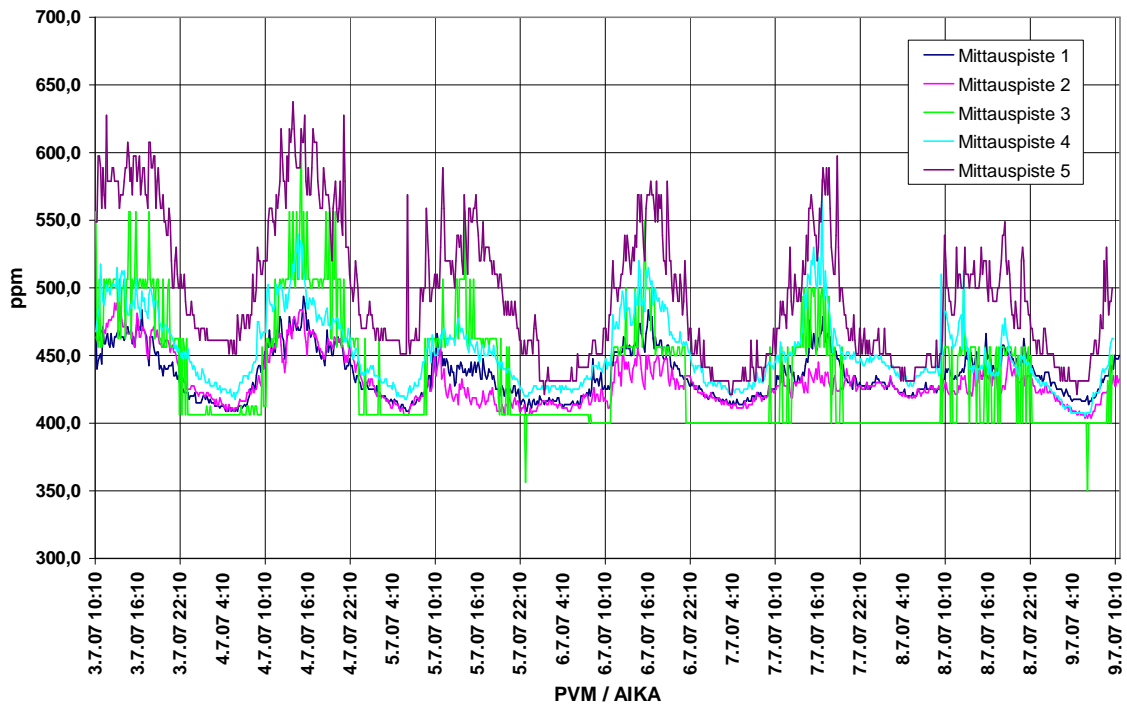
Pysäköintihallin hiilimonoksidipitoisuutta seurattiin neljässä mittauspisteessä. Kaaviossa 15 on esitetty hiilimonoksidipitoisuudet eri mittauspisteissä. Mittauspisteessä 3 oli yksi anturin johdoista irronnut, joten ajalta 3.7.-6.7. kyseisestä mittauspisteestä ei saatu tuloksia. Korkein pitoisuus (17,8 ppm) mitattiin pisteestä 4. Hiilimonoksidipitoisuudet olivat mittausajanjaksolla alhaisia. Hiilimonoksidin HTP-arvoja 15 minuutille tai 8 tunnille ei ylitetty yhdessäkään mittauspisteessä. Hiilimonoksidipitoisuus laski yöaikaan 0 ppm tai lähelle sitä. Korkeimmat päivittäiset pitoisuudet mitattiin klo 14-18.



Kaavio 15. Hiilimonoksidipitoisuus Kampin pysäköintihallissa

6.1.4 Hiilidioksidipitoisuus

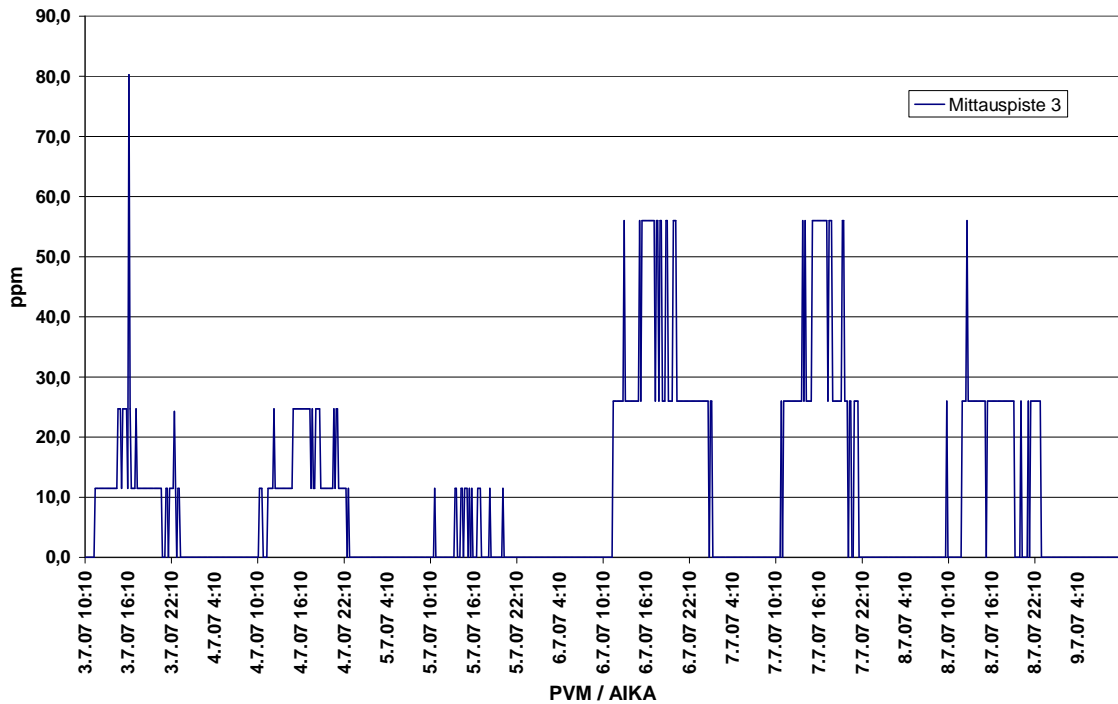
Hiilidioksidipitoisuutta seurattiin viidessä eri mittauspisteessä. Kaaviossa 16 on esitetty hiilidioksidipitoisuudet mittauspisteittäin. Suurin hiilidioksidipitoisuus mitattiin pisteestä 5. Hiilidioksidin määrä vaihteli mittausajanjaksona välillä 400 - 650 ppm. Hiilidioksidi pysyi reilusti alle sisäilman HTP-arvojen. Sisäilmastoluokituksen S1 arvoa 700 ppm ei ylitetty mittausaikana yhdessäkään pisteessä.



Kaavio 16. Hiilidioksidipitoisuus Kampin pysäköintihallissa

6.1.5 Hiilimonoksidi-hiilivetyseos

Hiilimonoksidi-hiilivetyseoksen pitoisuutta seurattiin mittauspisteessä 3. Kaaviossa 17 on kuvattu hiilimonoksidi-hiilivetyseoksen määrä mittauspisteessä 3. Korkein pitoisuus 80 ppm mitattiin 3.7.2007 klo 16. Yöaikaan pitoisuus laski 0 ppm. Päivällä pienimmät pitoisuudet mitattiin 5.7.2007, jolloin ilmanvaihtokoneet kävivät täydellä teholla.



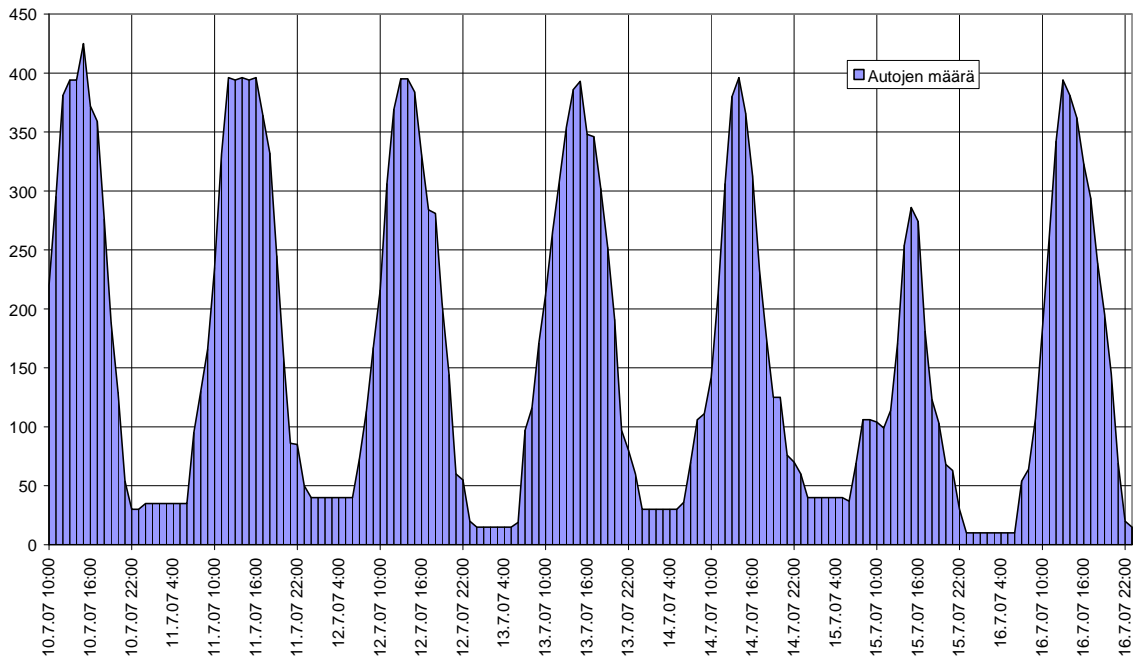
Kaavio 17. Hiilimonoksidi-hiilivetyypitoisuus Kampin pysäköintihallissa

6.2 P-Koskikeskus Tampere

Koskikeskuksen pysäköintihallin ilmanlaadun seurantamittaukset aloitettiin 10.7.2007 klo 10 ja lopetettiin 16.7.2007 klo 23. Mittauspisteitä oli viisi. Mittauspisteet sijoitettiin ilmanvaihtokoneiden lohkojen perusteella siten, että yksi mittauspiste oli jokaisessa lohkoissa. Koskikeskuksessa sisäänajo ja ulostulo ovat eri osissa hallia. Mittauspisteet on esitetty Koskikeskuksen pohjakuvassa liitteessä 2.

6.2.1 Pysäköintihallin käyttöaste

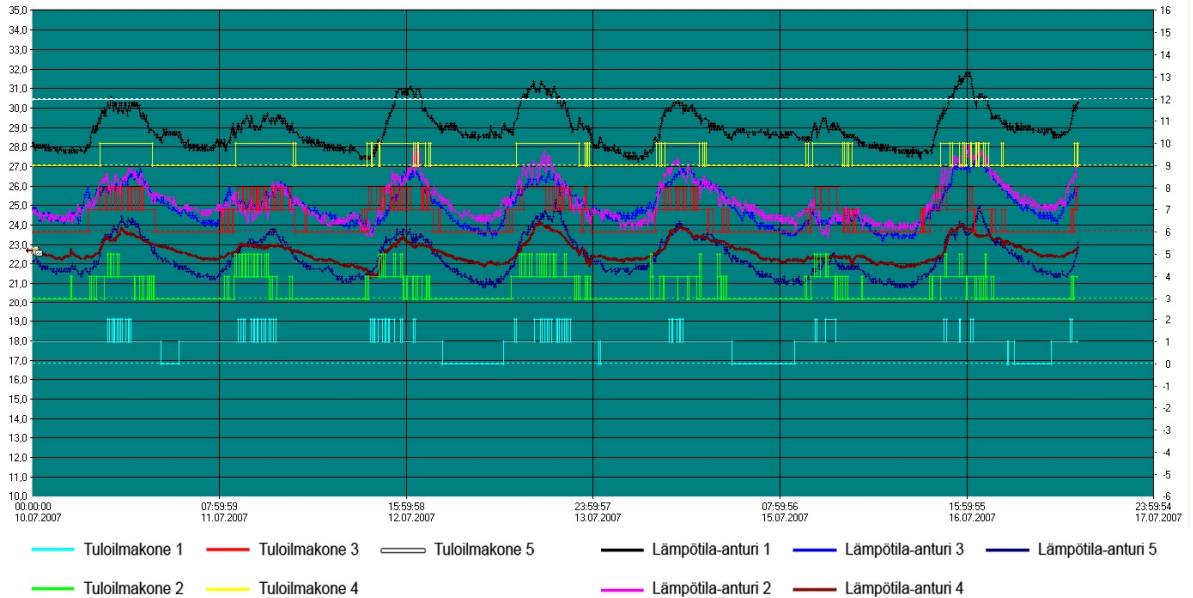
Koskikeskuksen pysäköintihallin käytöstä saatiin tietoa Tampereen pysäköintitalo Oy:stä, joka vastaa seitsemästä pysäköintitalosta Tampereella ja hallinnoi myös muualla Suomessa sijaitsevia pysäköintitaloja. Pysäköintihallin käyttö oli mittausajanjaksona vilkasta. Halli oli lähes täynnä päivittäin ruuhka-aikoina klo 15-16. Sunnuntaina 15.7. autoja oli vähemmän kuin muina päivinä. Öisin pysäköintihallissa oli vähän autoja lukumäärien ollessa 10-40 kpl.



Kaavio 18. Autojen määrä Koskikeskuksen pysäköintihallissa 10.7.-16.7.2007.

6.2.2 Ilmanvaihtokoneiden trendiseuranta

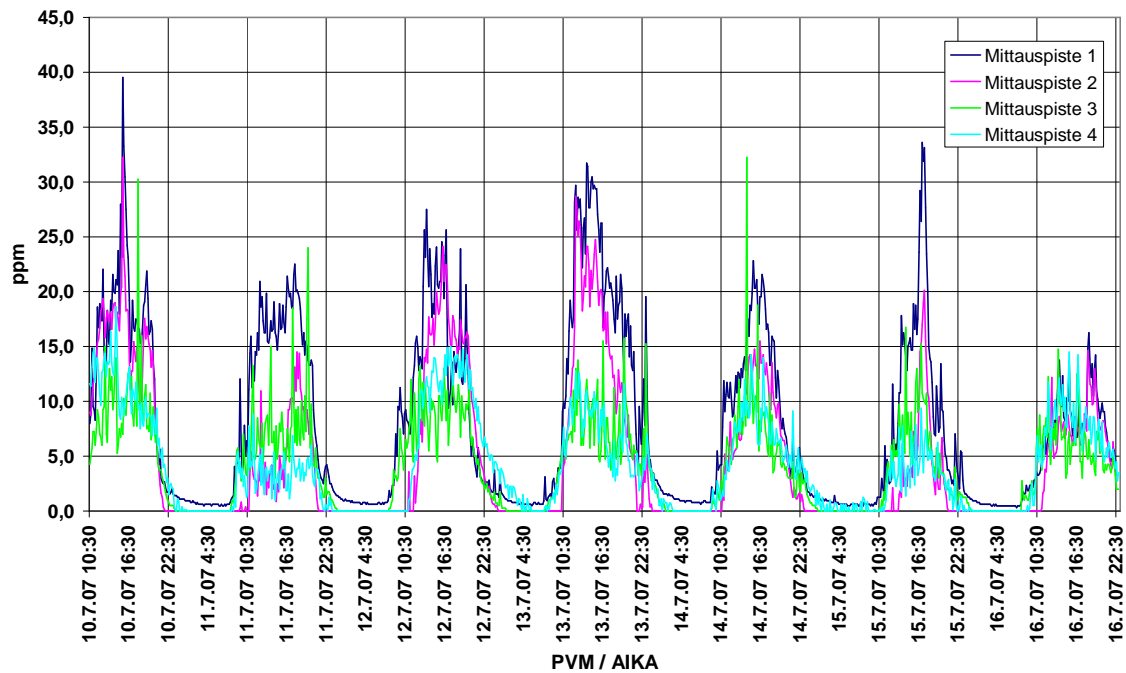
Ilmanvaihtokoneiden käyttötiedot saatiin valvomosta trendi-seurannalla Koskikeskuksen kiinteistön valvomosta. Ilmanvaihtokoneet käyvät puoliteholla, täysiteholla tai ovat pois päältä. Kaaviossa 19 on esitetty tuloilmakoneiden käyttö mittausaikana. Katkoviiva kuvaa sitä, että kyseinen puhallin on pois päältä. Katkoviivasta seuraava taso tarkoittaa puhaltimen käyttöä osateholla ja ylin taso tarkoittaa puhaltimen käyttöä täydellä teholla. Tulo- ja poistoilmapuhaltimet käyvät yhtä aikaa (kun TK01 käy, niin PK01 käy myös). Kaaviossa on myös esitetty hallin lämpötila eri mittauspisteissä. Lämpötila-asteikko on kaavion vasemmassa laidassa olevassa y-akselissa. Mittausaikana tuloilmapuhallin 5 ei käynyt ollenkaan. Tuloilmakone 4 kävi vain osateholla tai oli pois päältä. Tuloilmapuhaltimet 1, 2 ja 3 kävivät osateholla, täydellä teholla tai olivat pois päältä. Liitteessä 3 on esitetty laskelmat Koskikeskuksen tulo- ja poistoilmapuhaltimien sähkötehoista. Mittausajanjaksona saatiin laskelmien mukaan maksimisähkötehoksi 69 kW. Tällöin lohkojen 1,2 ja 3 ilmanvaihtokoneet kävivät täydellä teholla ja lohkon 4 kone kävi osateholla.



Kaavio 19. Koskikeskuksen ilmanvaihtokoneiden käyttö mittausajanjaksona

6.2.3 Hiilimonoksidipitoisuus

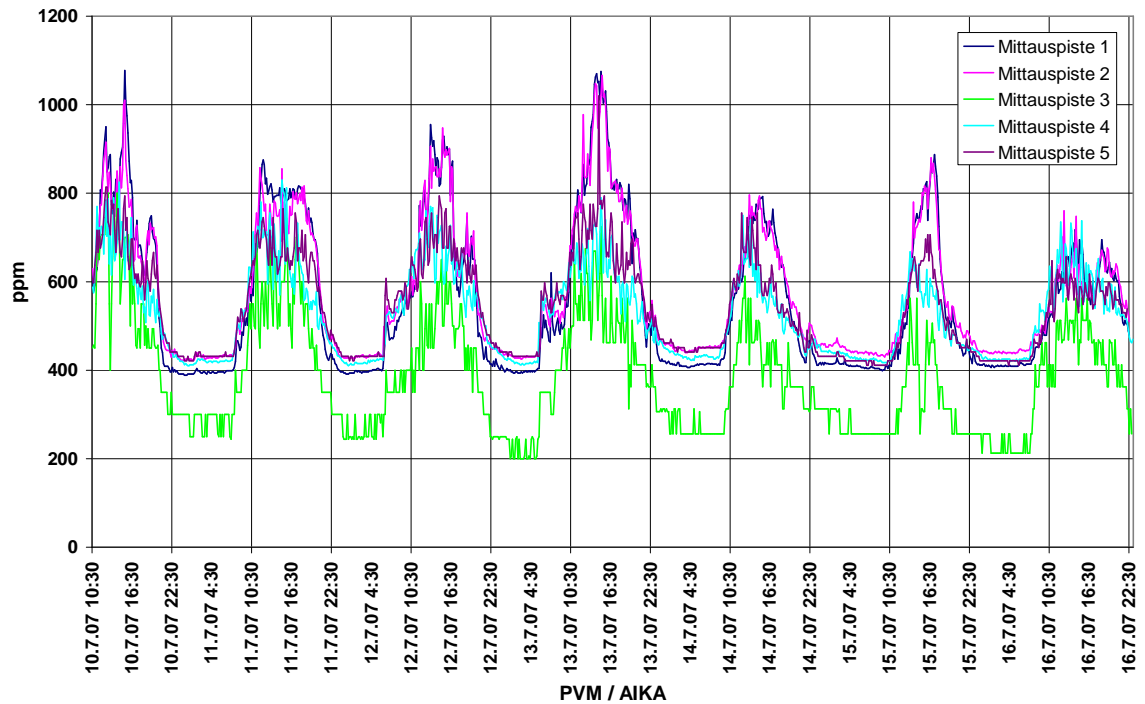
Hiilimonoksidin määrä mitattiin neljässä mittauspisteessä. Kaaviossa 20 on esitetty pitoisuuden vaihtelu mittausajanjaksona. HTP-arvoja ei ylitetty 15 minuutin altistusaikana, mutta hetkittäin ruuhka-aikana mittauspisteessä 1 ja 3 ylitettiin 8 tunnin HTP-arvo hiilimonoksidille (30 ppm). Korkein pitoisuus 39,5 ppm mitattiin pisteestä 1. Ilmanvaihtoa ohjaavaa pitoisuutta 50 ppm ei ylitetty yhdessäkään pisteessä.



Kaavio 20. Hiilimonoksidin määrä Koskikeskuksen pysäköintihallissa

6.2.4 Hiilidioksidipitoisuus

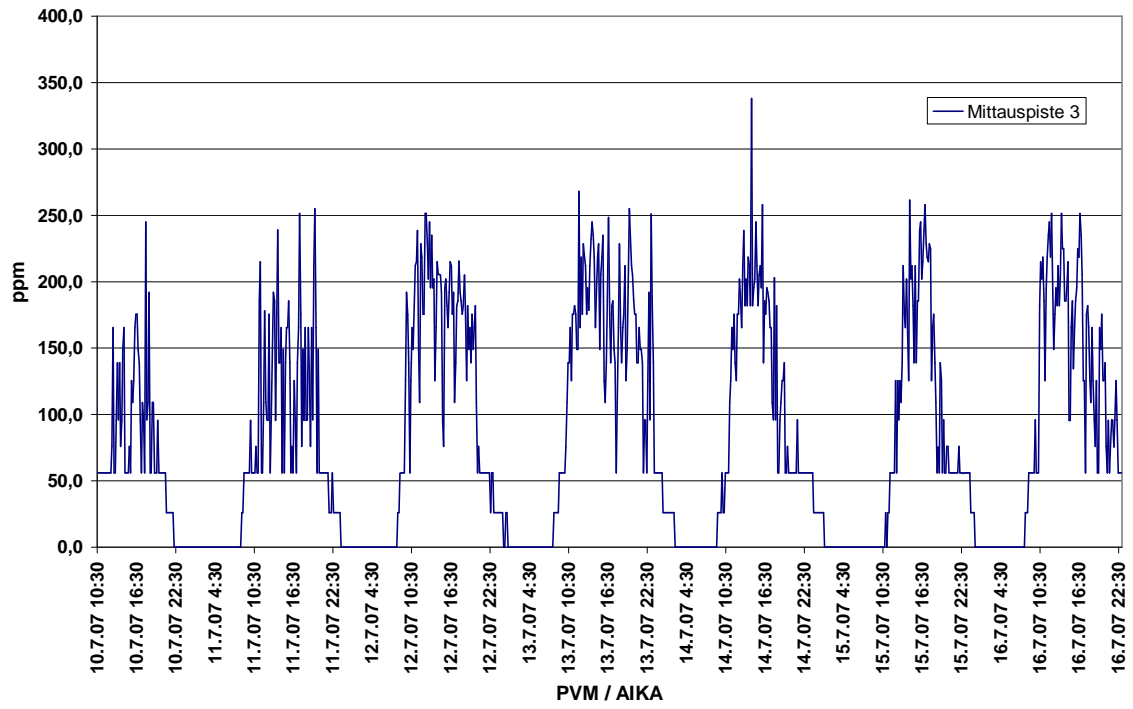
Hiilidioksidin määrä Koskikeskuksessa mitattiin viidessä mittauspisteessä. Kaaviossa 20 on esitetty hiilidioksidipitoisuudet mittausajanjaksona. Korkeimmat hiilidioksidipitoisuudet mitattiin 13.7. perjantaina. Perjantaina pysäköintihallin käyttö oli runsasta, joten suuret liikennemäärät näkyvät myös ilmanlaadussa. Mittauspisteestä saadut tulokset ovat selvästi pienempiä, kuin muissa pisteissä. Mittauspisteessä 3 saatiin alle 300 ppm tuloksia, jotka ovat alle ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden. Pienimmät mitatut pitoisuudet olivat 200 ppm, joten tämän pisteen tulokset ovat kauttaaltaan pieniä. Kaaviossa 21 on esitetty hiilidioksidin vaihtelu mittauspisteittäin.



Kaavio 21. Hiilidioksidin määrä Koskikeskuksen pysäköintihallissa

6.2.5 Hiilimonoksidi-hiilivetyseos

Hiilimonoksidi-hiilivetyseoksen pitoisuutta seurattiin mittauspisteessä 3. Pitoisuudet kohoivat liikennemäärän kasvaessa pysäköintihallissa. Kaaviossa 22 on esitetty pitoisuuden vaihtelu mittausaikana. Korkein mitattu pitoisuus oli 338 ppm klo 14.20 14.7. Päivittäiset maksimipitoisuudet olivat muina päivinä noin 250 ppm.



Kaavio 22. Hiilimonoksidi-hiilivetypitoisuus Koskikeskuksen pysäköintihallissa

7 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityötä varten ilmanlaatua mitattiin kahdessa kohteessa, Kampin pysäköintihallissa Helsingissä sekä Koskikeskuksen pysäköintihallissa Tampereella. Mittauksissa seurattiin pysäköintihallien ilman hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuuksia noin viikon mittausajanjaksona. Mittauspisteitä oli viisi molemmissa halleissa. Mittaukset ajoittuivat heinäkuun kahdelle ensimmäiselle viikolle. Kampissa mittaukset suoritettiin 3.7.-9.7.2007 ja Koskikeskuksessa 10.7.-16.7.2007.

Kampin pysäköintihallin mittausajankohta ajoittui pysäköintihallin käytön kannalta hiljaiselle ajalle. Hallin suurin täyttöaste oli päivittäin klo 12-16 välisenä aikana, mutta silloinkin autoja oli enimmillään vain noin 150 kappaletta. Halli ei ollut mittausajanjaksona missään vaiheessa lähellä täyttä, joten hallin ilmanlaadun kuormitus oli myös pienempää. Rakennusautomaation ilmanvaihtokoneiden trendiseurannasta voidaan nähdä, että ilmanvaihtokoneiden käyttö korreloi pysäköintihallin käyttöastetta. Ilmanvaihtokoneet kävivät 66 % nopeudella hallin käytön ollessa vilkkaimmillaan iltapäivisin. Ilmanvaihtokoneet asetettiin valvomosta täydelle teholle (100 %) 5.7.-6.7.2007 väliseksi ajaksi.

Mitatut hiilimonoksidipitoisuudet olivat alhaisia verrattuna sosiaali- ja terveysministeriön määrittämiin HTP raja-arvoihin. Suurin mitattu hiilimonoksidipitoisuus oli 17,8 ppm, joka ei ylitä edes hiilimonoksidin 8 tunnin HTP-arvoa (30 ppm). Mittauspisteestä 3 ei saatu tuloksia 3.7.-6.7.2007, johtuen mittarin johdon irtoamisesta. Mittauspisteistä 2 ja 4 mitattiin 3.7. yli 10 ppm hiilimonoksidipitoisuuksia, mutta muina päivinä pitoisuudet olivat pieniä jääden yleisesti alle 4 ppm. Myös mitatut hiilidioksidipitoisuudet olivat alhaisia mittauspisteissä. Hiilidioksidin määrä vaihteli välillä 400-650 ppm. Sisäilmastoluokituksen S1 määritettyä arvoa (700 ppm) hiilidioksidille ei ylitetty yhdessäkään mittauspisteessä. Mittauspisteittäin tarkasteltuna keskimäärin korkeimmat hiilidioksidipitoisuudet mitattiin pisteestä 5 ja pienimmät pisteestä 2. Pitoisuudet vastaavat hyvin hallissa tapahtuvaa ajoa. Hallissa on eniten liikennettä sisään- ja ulosajorampin lähellä. Mittauspiste 5 sijaitsi lähellä ramppia. Ruuhka-aikoina mittauspisteiden 2 ja 5 hiilidioksidipitoisuuksien ero oli noin 100-150 ppm. Hiilimonoksidi-hiilivetyseoksen määrää ilmassa seurattiin mittauspisteessä 3. Kirjallisuudessa ei ole määritetty ohje- tai raja-arvoja hiilimonoksidi-hiilivetyseokselle. Mitatut pitoisuudet korreloivat kuitenkin pysäköintihallin käytön kanssa. Korkein mitattu pitoisuus saatiin 3.7.2007. Ilmanvaihtokoneiden käyttäminen täydellä teholla ei vaikuttanut ilmanlaa-

tuun merkittävällä tavalla. Mitatut hiilimonoksidi ja hiilidioksidipitoisuudet olivat koko mittausajanjaksona alhaisia eikä ilmavaihdon käyttäminen täydellä teholla laskenut arvoja merkittävästi.

Koskikeskuksen pysäköintihallin mittausajanjakso sijoittui heinäkuun toiselle viikolle. Mittausajanjaksona hallin käyttö oli vilkasta. Ruuhka-aikoina halli oli lähes täynnä. Ilmanvaihtokoneet kävivät mittausajanjaksona melko suorassa suhteessa verrattuna hallin käyttöön tänä aikana. Kaikki tuloilmakoneet olivat pääsääntöisesti pois päältä yöaikaan, jolloin hallissa ei ollut liikennettä. Aktiivisina aikoina tuloilmapuhaltimet 1, 2 ja 3 kävivät osateholla tai täydellä teholla. Koneiden käyttö eri tehoilla jaksottuu selkeästi liikennekuormituksen mukaisesti. Ruuhka-aikana nämä kolme tuloilmakonetta kävivät täydellä teholla. Tuloilmapuhallin 4 oli pois päältä tai kävi osateholla. Tuloilmapuhallin 5 ei käynyt ollenkaan mittausajanjaksona. Tuloilmapuhaltimia 4 ja 5 ohjaavat hiilimonoksidianturit sijaitsevat hallin takaosassa, jossa on yleensä vähiten liikennettä. Korkein hiilimonoksidipitoisuus 39,5 ppm saatiin mittauspisteestä 1. Ruuhka-aikoina mitattiin hetkittäin yli 30 ppm hiilimonoksidipitoisuuksia, joka on HTP-arvo 8 tunnin altistusajalle. Rakennusautomaation tulisi käynnistää ilmanvaihto osateholla, kun hiilimonoksidipitoisuus ylittää 50 ppm. Tätä pitoisuutta ei ylitetty yhdessäkään mittauspisteessä, mutta siitä huolimatta ilmanvaihtokoneet kävivät osa- ja täystepholla. Koskikeskuksen pysäköintihallin hiilidioksidipitoisuudet nousivat liikennemäärien kasvaessa ja saavuttivat suurimmat arvonsa, kun halli oli täynnä. Korkeimmat hiilidioksidipitoisuudet mitattiin 13.7.2007. Tällöin mittauspisteistä 1, 2 ja 5 mitattiin hieman yli 1000 ppm hiilidioksidipitoisuuksia. Sisäilmastoluokituksen S3 arvoa (1200 ppm) ei ylitetty missään mittauspisteessä. Mittauspisteissä 3 ja 4 ei ylitetty edes sisäilmastoluokituksen S2 arvoa (900 ppm). Mittauspisteistä 1 ja 2 mitattiin keskimäärin korkeampia hiilimonoksidipitoisuuksia, kuin pisteistä 3 ja 4. Pisteet 3 ja 4 sijaitsevat sisäänajo rampin lähellä. Halliin tulevissa autoissa on usein moottorit jo käyttölämpötilassa, jolloin hiilimonoksidin osuus on pienempi pakokaasuissa. Keskitetty poistoilmapistee sijaitsee myös lähellä pistettä 3. Piste 1 sijaitsee lohossa 5, jonka tulo- ja poistoilmapuhaltimet eivät käyneet mittausajanjaksona. Piste 2 sijaitsee lohossa 4, jonka puhaltimet kävivät osateholla tai olivat pois päältä. Samanlainen trendi oli havaittavissa myös mitattujen hiilidioksidipitoisuuksien suhteen. Pisteistä 1 ja 2 mitattiin keskimäärin korkeampia pitoisuuksia kuin pisteistä 3 ja 4. Pisteestä 3 mitattuihin hiilidioksidipitoisuuksiin pitää suhtautua varauksella, sillä pisteestä mitattiin yöaikaan 200 ppm pitoisuuksia, jotka alittavat reilusti ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden 380 ppm. Hiilimonoksidi-hiilivetytypitoisuutta mitattiin

pisteessä 3. Korkein pitoisuus 338 ppm mitattiin 14.7. klo 14.20. Hallin käyttöaikana klo 10-21 pitoisuudet vaihtelivat noin 50-250 ppm. Hiilimonoksidi-hiilivetyseokselle ei ole ohje- tai raja-arvoja, mutta mitatut tulokset ovat melko korkeita verrattuna Kampin tuloksiin.

Kampin ja Koskikeskuksen pysäköintihallien hiilimonoksidi ja hiilidioksidipitoisuuksissa oli suuria eroja. Kampissa mitattiin huomattavasti pienempiä pitoisuuksia, kuin Koskikeskuksessa. Erot voivat johtua hallien koosta, korkeudesta, käyttöasteesta ja/tai ilmanvaihtokoneiden käyttötehosta. Koskikeskuksessa on 425 autopaikka, kun taas Kampissa on vain 250. Kampin halli on myös korkeampi kuin Koskikeskuksen, joten tilassa oleva ilmamäärä autoa kohti on suurempi. Mittausaikana Koskikeskuksen pysäköintihallissa oli enemmän liikennettä kuin Kampin hallissa, joten ilmanlaadun kuormitus oli runsaampaa. Mittareiden loggausväli oli mittauksissa 10 minuuttia. Loggausvälin asettaminen lyhemmäksi esim. 2 minuuttiin, voisi antaa tarkempaa tietoa ilmanlaadusta ja korkeampia pitoisuuksia.

Mittaustulokset olivat melko alhaisia hiilimonoksidin osalta, erityisesti Kampissa. Jatkomittauksia voisi suorittaa Kampissa eri aikana. Mittausajanjakso, jolloin hallissa on paljon liikennettä, antaisi enemmän tietoa ilmanlaadusta. Samanlaisella kuormituksella olevien hallien ilmanlaatuja olisi myös mahdollista vertailla. Rakennusautomaation mittareiden toiminta on myös syytä tarkastaa. Valvomosta suoritettussa seurannassa havaittiin isoja pitoisuuseroja rakennusautomaation antureiden välillä, esimerkiksi yöaikaan havaitut yli 100 ppm CO/HC-pitoisuudet eri mittareiden välillä tuntuvat liian suurilta. Mittaustulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanvaihto kävi turhan voimakkaalla teholla mittausajanjaksona ja sitä voisi vähentää. Vilkkaimpina aikoina ilmanvaihtokoneet kävivät enimmäkseen 2/3 teholla, tässä voisi riittää myös 1/3 teho. Mitatut hiilimonoksidi ja hiilidioksidipitoisuudet olivat todella pieniä. Pudotettaessa ilmanvaihdon tehoa, on kuitenkin syytä tarkkailla tilan oleskeluviihtyisyyttä. Koskikeskuksen ilmanlaatu oli hyvää mittauspisteissä verrattuna liikennemäärään. Tuloilmapuhaltimien 4 ja 5 toiminta olisi syytä tarkastaa, sillä puhallin 4 kävi vain osateholla ja puhallin 5 ei käynyt ollenkaan mittausajanjaksona. Kaikkien lohkojen anturit voivat vaatia kalibrointia. Puhaltimien sähkönkulutus vaihtelee suuresti eri kierrosnopeuksilla, sillä sen tehontarve on verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. Sähkönkulutus vähenee merkittäväällä tavalla jo pienentämällä puhaltimien kierrosnopeutta esimerkiksi kolmasosalla. Samalla tavalla puhaltimien käyttäminen ilmanlaatuun nähden liian suurella nopeudella lisää turhaan sähkönkulutusta.

Henkilöauton pakokaasut koostuvat sekä hiukkas- että kaasufaasiin jakautuneista orgaanisista ja epäorgaanisista yhdisteistä. Pakokaasujen tarkka koostumus vaihtelee ja siihen vaikuttaa moni eri tekijä. Pakokaasut sisältävät normaalissa oloissa aina hiilidioksidia. VTT:n arvion mukaan henkilöautojen keskimääräisissä yksikköpäästöissä hiilimonoksidin ja hiilidioksidin suhde on 1:27. Ilmakehässä on hiilidioksidia 380-400 ppm, jota voidaan pitää pysäköintihallin ilman hiilidioksidimäärän nolla-arvona. Jos oletetaan, että pakokaasut sisältävät hiilimonoksidia ja hiilidioksidia suhteessa 1:27, voidaan pysäköintihallin ilman hiilimonoksidipitoisuus laskea kaavalla 6, kun tiedetään tilassa olevan hiilidioksidin määrä.

Kaava 6. Pakokaasujen sisältämä hiilidioksidin määrä suhteessa hiilimonoksidisiin

$$\text{hiilidioksidipitoisuus ppm} = 380 \text{ ppm} + (\text{hiilimonoksidin määrä [ppm]} * 27) \quad (6)$$

Esimerkiksi hiilimonoksidin 8 tunnin HTP-arvo 30 ppm vastaa näin 1190 ppm hiilidioksidipitoisuutta ja hiilimonoksidin HTP-arvo 75 ppm vastaa 2405 ppm hiilidioksidipitoisuutta. Tällä tavalla ilmanvaihdolle voidaan teoriassa määrittää ohjaavat hiilidioksidipitoisuudet, jotka vastaisivat ilmassa olevan hiilimonoksidin määrää. Hiilimonoksidin ja hiilidioksidin suhde 1:27 perustuu VTT:n arvioon henkilöautojen keskimääräisistä yksikköpäästöistä. Pysäköintihalleja varten suhdeluku vaatinee tarkennusta, jotta voidaan varmistua siitä, että hiilidioksidipitoisuuden mukaan ohjattu ilmanvaihto pitää hallien ilmanlaadun hyväksyttävällä tasolla. Pysäköintihalleissa tapahtuvaan ajamiseen sisältyy paljon kylmäkäynnistyksiä ja hidasta nykivää ajoa, jonka johdosta hiilimonoksidin ja hiilidioksidin keskinäinen suhde voi olla suhdelukua 1:27 pienempi ja erityisesti talvella hallin lämpötila voi laskea jos sinne johdettava tuloilma on lämmittämätöntä ulkoilmaa. Hiilimonoksidia tulee enemmän, kun auton katalyysattori ei ole käyttölämpötilassa. Näin ollen ilmanvaihdon käynnistäminen osateholle jo ennen hiilidioksidipitoisuutta 1200 ppm on loogista ainakin hallin lämpötilan laskiessa. Sisäilmastoluokituksen S3 luokkaa täyttyy hiilidioksidin osalta, jos tilan pitoisuus on alle 1200 ppm. Silloin voidaan myös todeta, että tilan ilmanlaatu on siltä osin tyydyttävä. Erityisesti liikekeskusten yhteydessä olevien pysäköintihallien halutaan olevan viihtyisiä ja tähän tilan ilmanlaatu vaikuttaa. Pakokaasut eivät saa haista epämiellyttävästi pysäköintihallissa, sillä tällöin ihmiset voivat alkaa vältellä siellä asioimista. Mittaustulosten perusteella Koskikeskuksen pysäköintihallin hiilimonoksidipitoisuus oli keskimäärin alle 30 ppm, kun hiilidioksidipitoisuus oli alle 1200 ppm. Tarvepohjaisella ilmanvaihdolla voidaan tehostaa ilmanvaihtoa, kun hiilidioksidipitoisuus nousee yli 1200 ppm.

Hiilimonoksidin, hiilivetyjen ja typenoksidien osuus pakokaasuissa tulee pienentymään tulevaisuudessa, kun autokanta uudistuu. Hiilidioksidianturit näyttävät myös täten parhaalta epäpuhtauksien mittaustavalta, sillä hiilidioksidi on suorite riippuvainen autojen pakokaasuissa.

Ilmanvaihdon ohjausta hiilidioksidipitoisuuden mukaan olisi hyvä tutkia käytännössä. Yksi mahdollisuus olisi asentaa hiilidioksidianturit pysäköintihallin rakennusautomaatioon ja samalla mitata muita tilan epäpuhtauksia (hiilimonoksidi, hiilivedyt ja typenoksidit) erillisillä mittauksilla, jolloin nähdään kaasujen korrelointi keskenään. Antureiden sijoittamiseen on vaikeaa määrittää yleisohjetta, koska halleissa voi olla suuriakin eroja ilmanvaihdon kannalta. Antureilla pyritään saamaan mahdollisimman kattava kuva hallin ilmanlaadusta ja puhaltimien käyttötarpeesta. Hiilidioksidianturit tulee sijoittaa hengityskorkeudelle, sillä kuumat pakokaasut pyrkivät nousemaan ylöspäin. Rakentamismääräyskokoelman D2 liitteessä mainitaan sijoittamaan vähintään 3 anturia yhdelle pysäköintitasolle. Saksan pysäköintihalli standardi VDI 2053:1 suosittelee CO-antureiden asennuskorkeudeksi 1,5-1,8 m ja vähintään kaksi anturia/1000 m². Samankaltainen ohjeistus riittänee hiilidioksidiantureille: antureiden sijoittaminen 1,5-1,8 m korkeudelle (hengityskorkeus), vähintään 1 anturi 500 m²:n alueelle ja vähintään kolme anturia yhdelle tasolle. Halliin voidaan sijoittaa myös lisäksi muutama hiilimonoksidianturi, jotka hälyttävät CO-pitoisuuden kohotessa yli 75 ppm. CO-anturit tulee sijoittaa ruuhkakohtiin tai poistoilmapisteyden läheisyyteen, jossa on odotettavissa isoimmat pitoisuudet.

Suomen autoverotus tulee todennäköisesti muuttumaan enemmän käyttöpainotteiseksi, jollaista se on jo mm. Saksassa. Tällöin autolle lasketaan veroa sen tuottaman hiilidioksidipäästön mukaan. Tällainen verotusmalli kannustaa ihmisiä hankkimaan vähäpäästöisiä autoja. Myös uusien autojen päästöjä pyritään vähentämään tiukentuvalla lainsäädännöllä ja asetuksilla. Hiilimonoksidin vähentyessä pakokaasuissa ilmanvaihdon ohjaus ei välttämättä toimi enää suunnitellulla tavalla. Esimerkiksi hiilidioksidipitoisuudet voivat nousta epämiellyttävälle tasolle, koska hiilimonoksidianturit eivät reagoi muuttuneeseen tilanteeseen. Lisääntynyt dieselautojen määrä vähentää myös autojen pakokaasujen sisältämää hiilimonoksidia, sillä dieselmoottori tuottaa sitä vähemmän. Hiilidioksidiohjaus voisi tarjota ratkaisun näille mahdollisille ongelmille.

LÄHTEET

Autoalan tiedotuskeskus 2007. Autoalan tilastotietoja. <http://www.aut.fi/> www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Autoalan tieto 2007. Tieliikenne ja ympäristö vanha auto - uusi auto. <http://www.autoalantieto.fi/vanhauusi.asp> www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Ayari A. & Krarti M. Ventilation for enclosed parking garages. Ashrae journal Helmikuu 2001.

Burnett J. & Chan M. Y. 1997. Criteria for air quality in enclosed car parks. Paper 11337. Proc. Instn civ. Engrs. Transp. 123 1997.

Fläktwoods 2007. Dirivent air distribution system. <http://www.flaktwoods.com/169/7185/1/094f9589-2dc0-4834-bfe1-219e9ed67e5e> www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Keränen Ulla 2004. Autoverotus Saksassa. <http://www.oulu.fi/srpk1/Viesti/autoverotus.htm> www-dokumentti. Päivitetty 27.9.2004.

Kimessa AG. Gas sensor GSE 507 Ex for detection of carbon monoxide CO. http://www.kimessa.com/en/pdf/GSE507_e.pdf www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Laurikko Juhani 2002. Henkilöautojen pakokaasupäästöt kylmissä olosuhteissa ja niiden vähentämisen tekniikat. M2T9907 Mobile 2-vuosiraportti 2001. http://virtual.vtt.fi/virtual/mobile/vuosikirja2001/9_t9907.pdf www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Martin H. Demand-controlled ventilation in car parks. Technical note TN-021 Senseair AB. 2001

Projectus Team 2003. LVI 1207T4110 KytKentä- ja säätökaavio SPL-110TF/PF Tu-lo/Poistop. Sal.k.pys.halli -2,2M , -1,5M. Loppupiirustus. Laadittu 25.1.2003.

Rakennustietosäätiö 1993. LVIS 2000 Sisäilman epäpuhtaudet LVI 70-40030 tiedonjyväkortti. 8s.

Sensing Oy 2007. Kaasunvalvonta anturitekniologia ja toimintaperiaatteet. http://www.sensing.fi/kaasunvalvonta/k_anturit.html. www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Sensorex Oy 2007. Sensorex Ava-Unit 10 kaasunvalvontajärjestelmä. Laite-esite.

Sensorex Oy 2007. Esitteet. <http://www.sensorex.fi/esitteet.html> www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Seppänen O. & Seppänen M 2004. Rakennusten sisäilmasto ja lvi-tekniikka. SIY Sisäilmätieto Oy, Espoo. Kolmas päivitetty painos. Gummerus Kirjapaino Oy Jyväskylä 2004. 279s. ISBN 951-97186-5-6

Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje - Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Edita Prima Oy, Helsinki 2003. ISSN 1236-116X ISBN 952-00-1301-6

Sosiaali- ja terveysministeriö 2005. HTP-arvot 2005. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2005:10. Yliopistopaino Helsinki 2005. 71 s. ISBN 952-00-1672-4. ISSN 1236-116X.

Stig Wahlström Oy 2004. Optimaatiosanommat Stig Wahlström Oy:n asiakaslehti 2/04. <http://www.swoy.fi/?file=65> www-dokumentti. Julkaistu 2004.

Stig Wahlström Oy 2007. Hiilidioksidi- / lämpötilasäätimet, SenseAir. <http://www.swoy.fi/?file=94> www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Tampereen P-talo 2007. P-Koskikeskus. <http://www.tampereentalo.fi/koskikeskus.htm> www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Teknillinen korkeakoulu. Sähköverkot ja suurjännitetekniikka. <http://powersystems.tkk.fi/opinnot/15-02-06.ppt>. www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

Työterveyslaitos 2006 OVA-ohje: Hiilimonoksidi.
<http://www.occuphealth.fi/internet/ova/hiilmono.html> www-dokumentti. Päivitetty 22.5.2006.

Työterveyslaitos. 2006 Pakokaasupäästöjen genotoksiset vaikutukset.
<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Palvelut/Lisatietoa+palveluista/Tyoterveyslaitoksen+laboratoriot/pakokaasu.htm> www-dokumentti. Päivitetty 24.3.2006

US department of Interior, bureau of mines. Diesels in underground mining, report 8884.

VTT 2005. Liisa 2005 Tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä.
<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/index.htm> www-dokumentti. Ei päivitystietoja.

WHO Regional publications 2000, European series NO. 91. Air quality guidelines for Europe, Second edition. 273 s. ISBN 92 890 1358 3. ISSN 0378-2255.

Wikipedia 2007. Ilmastonmuutos. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ilmastonmuutos> www-dokumentti. Päivitetty 8.7.2007.

Ympäristöministeriö 2001. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi ilmanlaadusta.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=2964&lan=fi> www-dokumentti. Päivitetty 31.7.2001.

Ympäristöministeriö 2001. Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=580&lan=fi> www-dokumentti. Päivitetty 10.1.2007.

Ympäristöministeriö 2003. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma Rakennusten sisäilmasto määräykset ja ohjeet 2003. Edita publishing Oy Helsinki 2003. 30 s. ISBN 951-37-3974-0

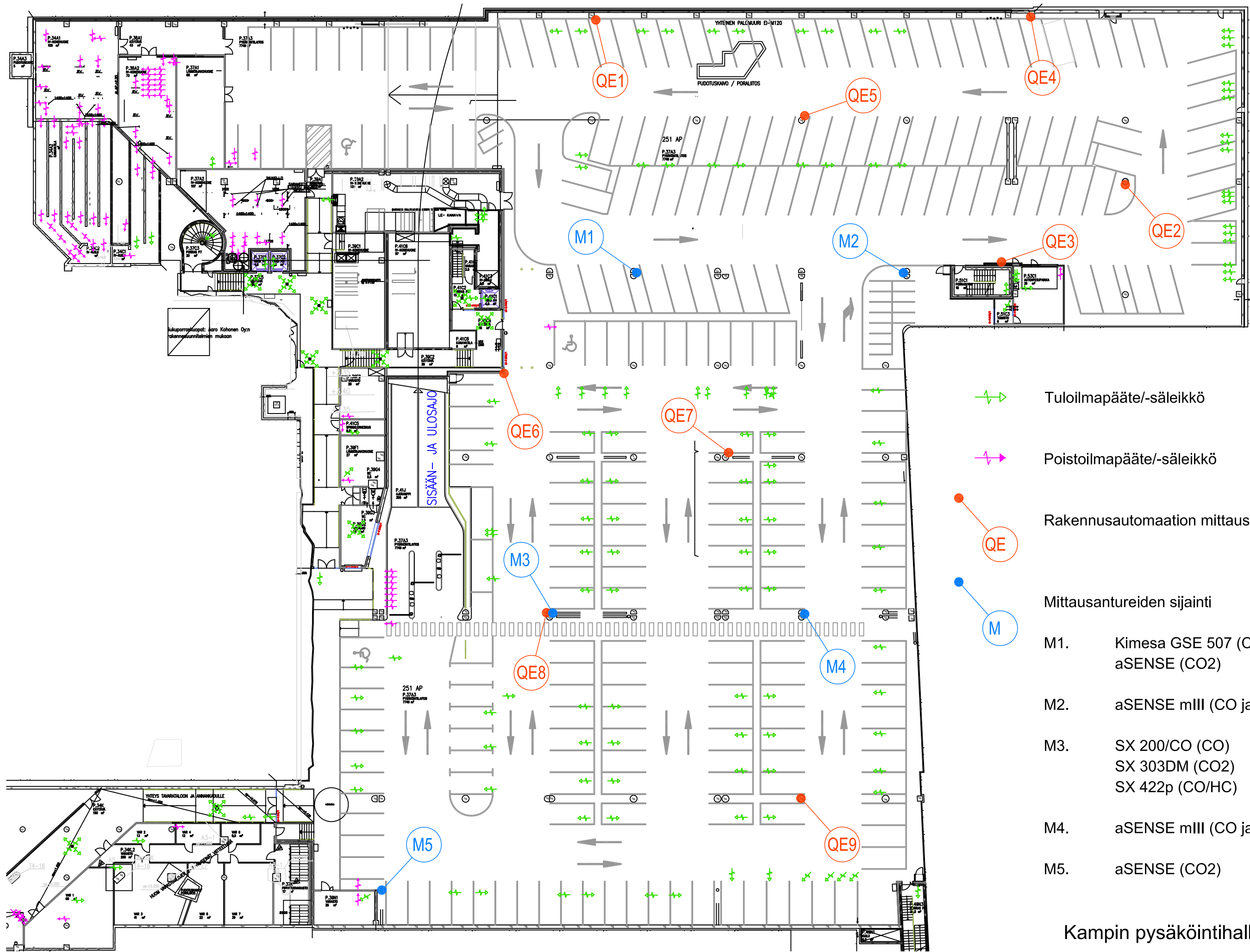
LIITTEET




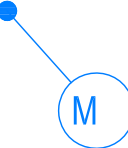
Liite 1 Kampin pohjakuva

Liite 2 Koskikeskuksen pohjakuva

Liite 3 Pysäköintihallien puhaltimien sähköteho

Liite 4 Hiilimonoksidin suhde hiilidioksidiin eri-ikäisten henkilöautojen pakokaasupäästöissä



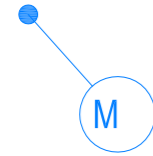
-  Tuloilmapäätte/-säleikkö
-  Poistoilmapäätte/-säleikkö
-  Rakennusautomaation mittausanturit
-  Mittausantureiden sijainti

- M1. Kimesa GSE 507 (CO)
aSENSE (CO2)
- M2. aSENSE mIII (CO ja CO2)
- M3. SX 200/CO (CO)
SX 303DM (CO2)
SX 422p (CO/HC)
- M4. aSENSE mIII (CO ja CO2)
- M5. aSENSE (CO2)

⊗⊗⊗⊗ Poistoilmapäätteet



Rakennusautomaation mittaustanturit



Mittausantureiden sijainti

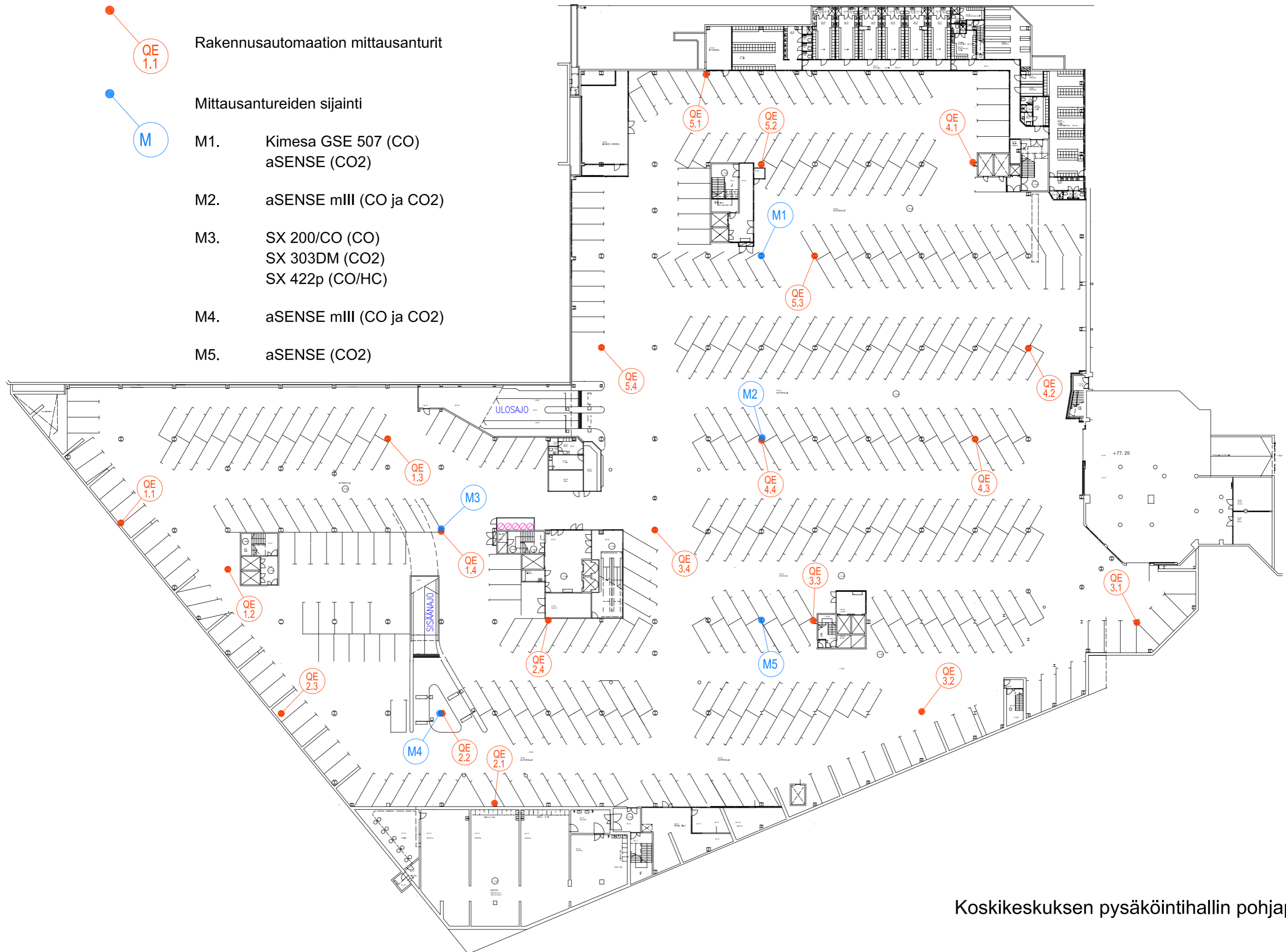
M1. Kimesa GSE 507 (CO)
aSENSE (CO2)

M2. aSENSE mIII (CO ja CO2)

M3. SX 200/CO (CO)
SX 303DM (CO2)
SX 422p (CO/HC)

M4. aSENSE mIII (CO ja CO2)

M5. aSENSE (CO2)



LIITE 3. PYSÄKÖINTIHALLIEN PUHALTIMIEN SÄHKÖTEHO

Kaava 1. Puhaltimen tehontarve

$$P = \frac{qv \times \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}}$$

jossa

P	sähköteho (kW)
qv	ilmavirta (m ³ /s)
Δp_{tot}	paine-ero (kPa)
η_{tot}	kokonaishyötysuhde

Kaava 2. Kokonaishyötysuhde

$$\eta_{tot} = \eta_{puh} \times \eta_{säh} \times \eta_{väl}$$

jossa

η_{tot}	kokonaishyötysuhde
η_{puh}	puhaltimen hyötysuhde
$\eta_{säh}$	sähkömoottorin hyötysuhde
$\eta_{väl}$	välityksen hyötysuhde

Kaava 3. Puhaltimen painehäviö

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta p_0} = \frac{n_x}{n_0}$$

jossa

Δp	paine-ero
n	kierrosluku

Kaava 4. Puhaltimen tehontarve suhteessa pyörimisnopeuteen

$$\frac{P_x}{P_0} = \left(\frac{n_x}{n_0} \right)^3 = P_x = P_0 \left(\frac{n_x}{n_0} \right)^3$$

jossa

P	sähköteho (kW)
n	kierrosluku (r/min)

Kaava 5. Kampin pysäköintihallin poistoilmapuhaltimien ohjaus

$$Ohj \% PF1...PF3 = \frac{30 * (Ohj \% TF1...TF3) + 1,5 * 100}{30}$$

jossa

PF	poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus
TF	tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus

Puhaltimien hyötysuhteita eri kierrosnopeuksilla ei huomioitu laskuissa. Puhaltimen hyötysuhde vaihtelee hieman riippuen puhaltimen ominaisuuksista ja säädöistä, mutta kokonaissähkötehon

tarkastelu voidaan suorittaa olettamalla hyötysuhde samaksi eri pyörimisnopeuksilla. Puhaltimen kierrosnopeus on kuitenkin ratkaisevassa asemassa, kun tarkastellaan puhaltimen sähkötehoa.

KAMPPI

Mittausajanjaksona kaikki tuloilmapuhaltimet käyvät samalla teholla esim. TF1, TF2 ja TF3 → 60% (kaavio 14). Myös poistoilmapuhaltimet käyvät samanaikaisesti samalla teholla.

Sähköteho, kun puhaltimet käyvät 100 %. Tällöin tuloilmapuhaltimet käyvät 95 % nopeudella, jotta tila on alipaineinen. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien kierrosnopeudet:

Poistoilmapuhaltimien kierrosnopeus 100 % = 1450 r/min

Tuloilmapuhaltimien kierrosnopeus 95 % = 1450 r/min * 0,95 = 1376 r/min

Tuloilmapuhaltimia 3 kpl ja poistoilmapuhaltimia 3 kpl

Yhteenlaskettu sähköteho (100 %) = 3 * (P_{tulo} + P_{poisto}) =

$$3 * \left[P_{0t} \left(\frac{n_{Xt}}{n_{0t}} \right)^3 + P_{0p} \left(\frac{n_{Xp}}{n_{0p}} \right)^3 \right] =$$

$$3 * \left[8,6kW * \left(\frac{1376r / \text{min}}{1450r / \text{min}} \right)^3 + 11,0kW * \left(\frac{1450r / \text{min}}{1450r / \text{min}} \right)^3 \right] = \underline{55,0 kW}$$

jossa

P _{tulo}	tuloilmapuhaltimen sähköteho (kW)
P _{0t}	tuloilmapuhaltimen täysteho (8,6 kW)
n _{Xt}	tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus (r/min)
n _{0t}	tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus täysteholla (1450 r/min)
P _{poisto}	poistoilmapuhaltimen sähköteho (kW)
P _{0p}	poistoilmapuhaltimen täysteho (11,0 kW)
n _{Xp}	poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus (r/min)
n _{0p}	poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus täysteholla (1450 r/min)

Sähköteho, kun tuloilmapuhaltimet käyvät 66 %. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien kierrosnopeudet:

Tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus 66 % = 1450 r/min * 0,66 = 957 r/min

Poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus saadaan sijoittamalla kaavaan 5:

$$Ohj \% PF1...PF3 = \frac{30 * (Ohj \% TF1...TF3) + 1,5 * 100}{30} = \frac{30 * 66\% + 1,5 * 100}{30} = 71 \%$$

Joten poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus = 0,71 * 1450 r/min = 1030 r/min

Yhteenlaskettu sähköteho (66%) = 3 * (P_{tulo} + P_{poisto}) =

$$3 * \left[P_{0r} \left(\frac{n_{Xr}}{n_{0r}} \right)^3 + P_{0p} \left(\frac{n_{Xp}}{n_{0p}} \right)^3 \right] =$$

$$3 * \left[8,6kW * \left(\frac{957r/min}{1450r/min} \right)^3 + 11,0kW * \left(\frac{1030r/min}{1450r/min} \right)^3 \right] = \underline{19,2 kW}$$

Sähköteho, kun tuloilmapuhaltimet käyvät 30 %. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien kierrosnopeudet:

Tuloilmapuhaltimen kierrosnopeus 30 % = 1450 r/min * 0,30 = 435 r/min

Poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus saadaan sijoittamalla kaavaan 5:

$$Ohj \% PF1...PF3 = \frac{30 * (Ohj \% TF1...TF3) + 1,5 * 100}{30} = \frac{30 * 30\% + 1,5 * 100}{30} = 35 \%$$

Joten poistoilmapuhaltimen kierrosnopeus = 0,35 * 1450 r/min = 508 r/min

Yhteenlaskettu sähköteho (30%) = 3 * (P_{tulo} + P_{poisto}) =

$$3 * \left[P_{0r} \left(\frac{n_{Xr}}{n_{0r}} \right)^3 + P_{0p} \left(\frac{n_{Xp}}{n_{0p}} \right)^3 \right] =$$

$$3 * \left[8,6kW * \left(\frac{435r/min}{1450r/min} \right)^3 + 11,0kW * \left(\frac{508r/min}{1450r/min} \right)^3 \right] = \underline{2,1 kW}$$

KOSKIKESKUS

Koskikeskuksessa tulo- ja poistoilmapuhaltimet käyvät joko osateholla tai täydellä teholla.

Mittausajanjaksona puhaltimet kävivät lohkoittain eri nopeuksilla (kaavio 19). Tuloilmapuhaltimien ja poistoilmapuhaltimien sähkötehot saatiin Koskikeskuksen kone- ja moottoriluettelosta.

	r/min	kW
Tuloilmapuhallin	1460	15,0
	735	2,2
Poistoilmapuhallin	1440	6,8
	720	1,4

Lohkon tulo- ja poistoilmapuhaltimen yhteenlaskettu sähköteho puhaltimien käydessä täydellä teholla

Lohkon puhaltimien sähköteho (täysteho) = (P_{tulo} + P_{poisto}) = 15,0 kW + 6,8 kW = 21,8 kW

Lohkon tulo- ja poistoilmapuhaltimen yhteenlaskettu sähköteho puhaltimien käydessä osateholla

Lohkon puhaltimien sähköteho (osateho) = P_{tulo} + P_{poisto} = 2,2 kW + 1,4 kW = 3,6 kW

Mittausajanjaksona sähköteho oli korkeimmillaan, kun lohkojen 1,2,3 puhaltimet kävivät täydellä teholla ja lohkon 4 puhaltimet kävivät osateholla. Tällöin lohkojen yhteenlaskettu sähköteho oli:

$$P_{\text{lohko1}} + P_{\text{lohko2}} + P_{\text{lohko3}} + P_{\text{lohko4}} + P_{\text{lohko5}} = 21,8 \text{ kW} + 21,8 \text{ kW} + 21,8 \text{ kW} + 3,6 \text{ kW} + 0 \text{ kW}$$

$$= \underline{69 \text{ kW}}$$

jossa

P_{lohko1} lohkon 1 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)

P_{lohko2} lohkon 2 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)

P_{lohko3} lohkon 3 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)

P_{lohko4} lohkon 4 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)

P_{lohko5} lohkon 5 tulo- ja poistopuhaltimen sähköteho (kW)

Viite: Keskustelut Laurikko/Huikari, 8.8.2007

HIILIMONOKSIDIN SUHDE HIILIDIOKSIDIIN ERI-ikäisten henkilöautojen pakokaasupäästöissä

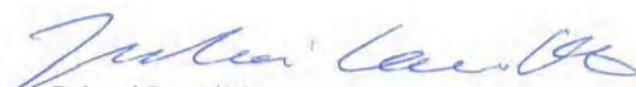
VTT on tutkinut autojen pakokaasupäästöjä 1980-luvulta alkaen. Mainittuna aikana on yksittäisiä kokeita tehty useita tuhansia ja eri automalleja ja –yksilöitä mitattu useita satoja. Kerätty tulosaineisto mahdollistaa kehitystrendien hahmottamisen, koska siihen sisältyy useiden eri tekniikkasukupolvia edustavia autoja.

Silmällä pitäen paikoitus- ja muiden suljettujen tilojen ilmanvaihtoa ja sen ohjausta, olen tehnyt yhteenvedon vuosina 1993-2007 suoritetuista mittauksista ja niiden tuloksista, sekä laskenut keskiarvoja hiilimonoksidin (ja palamattomien hiilivetyjen) suhteelle hiilidioksidipäästöistä. Pääjako on tehty pakokaasun puhdistuslaitteilla (katalysaattorit) varustettujen ja vanhempien, vielä ilman jälkipuhdistustekniikkaa valmistettujen autojen (yleensä valmistettu ja rekisteröity ennen vuotta 1991) välillä. Erikseen on myös käsitelty pakokaasukokeiden eri perustyyppisiä (U.S. FTP ja eurooppalainen testaus tapa, jossa vanhempi koe oli käytössä tyyppi hyväksymisissä ennen vuotta 2000, ja uudempi siitä lähtien), joita kaikkia on käytetty tutkimustoiminnassa vaihtelevassa määrin. Kokeissa päästöihin vaikuttavia muuttujia, joita tässä tarkastelussa ei ole eritelty, oli useita, mm. polttoaine vaihtelee, mutta niiden suuruuden on kokemukseen nojaten arvioitu olevan toissijainen ja kullekin autolle tässä tarkastelussa käytetään kaikista sille suoritetuista, tähän tarkasteluun soveltuvista kokeista laskettua koetyyppi kohtaista keskiarvoa.

Suoritettujen laskelmien perusteella käytettävissä oleva tulosaineisto, johon sisältyy tiedot runsaan 200 auton mittauksista osoittaa, että vanhemmissa autoissa, joissa ei ole pakokaasun puhdistuslaitteistoa, on hiilimonoksidin (CO) päästö koetyypistä riippuen noin 5-10 % samalle autolle samassa kokeessa mitatuista hiilidioksidipäästöistä (CO₂). Vastaavasti palamattomien hiilivetyjen määrä on keskimäärin noin 1 % hiilidioksidin määrästä. Sen sijaan jälkipuhdistuslaitteilla varustettujen autojen CO-päästöt ovat ns. ensimmäisen sukupolven kat-autoissa (vuosimallit 1989-1996) vain noin 0,5 – 2 %, ja uudemmissa, vuoden 2000 jälkeen tyyppi hyväksytyissä malleissa enää noin 0,2 - 0,8 % samoille autoille samoissa kokeissa mitatuista CO₂ –päästöistä. Hiilivetyjen päästöt olivat vanhemmissa kat-autoissa vastaavasti 0,1 – 0,3 %, ja uusimmissa alle 0,1 %. Yksityiskohtaisempi yhteenvetotaulukko liitteenä.

Edellä esitettyjen tarkastelujen tuloksena pidän perusteltuna, että po. olevien paikoitus- ja muiden vastaavien suljettujen tilojen tuuletuksessa siirryttäisiin perinteisestä hiilimonoksidipitoisuuden mukaan tapahtuvasta ohjauksesta hiilidioksidiperustaiseen. Perusteluna on, että autokannan uusiutumisen myötä hiilimonoksidipäästöt vähenevät suhteessa hiilidioksidiin niin voimakkaasti, että vähitellen tullaan tilanteeseen, jossa hiilidioksiditaso voi nousta häiritsevän korkeaksi ilman, että hiilimonoksiditaso samanaikaisesti ylittää asetettua ohjaustasoa. Vaikka hiilidioksidi ei olekaan hiilimonoksidin tapaan sellaisenaan myrkyllistä, liian korkea hiilidioksidipitoisuus vaikuttaa kuitenkin ihmisen hengitysrytmiin nostamalla hengitystiheyttä.

Mittausteknisesti on myös parempi ratkaisu siirtyä mittaamaan hiilidioksidia, sillä hiilimonoksidipitoisuuksien laskiessa niiden tarkka mittaaminen vaikeutuu ja anturien kalibrointivirheet ja käytön aikaiset liukumukset vaikuttavat häiritsevämmin lopputulokseen kuin hiilidioksidia mitattaessa.



Juhani Laurikko

TkT, erikoistutkija

autoja #	koelämpötila +23 °C koetyyppi	ryhmä	CO/CO2 (%) ajon alkuvaihe moottori kylmä*	koko ajokoe sis. kylmä- ja kuuma-ajoa	HC/CO2 (%) ajon alkuvaihe moottori kylmä	koko ajokoe sis. kylmä- ja kuuma-ajoa	ajomatka (km) ajon alkuvaihe moottori kylmä	koko ajokoe sis. kylmä- ja kuuma-ajoa
11	U.S.FTP	EI-KAT	7.6 %	5.1 %	0.91 %	0.70 %	5.78	17.8
32	EURO(40)	EI-KAT	10.3 %	7.2 %	1.2 %	0.90 %	2.04	11.6
98	U.S.FTP	EU2	1.4 %	0.47 %	0.17 %	0.06 %	5.78	17.8
5	EURO(40)	EU2	1.3 %	0.59 %	0.23 %	0.07 %	2.04	11.6
71	EURO(0)	EU2	2.2 %	0.84 %	0.30 %	0.10 %	2.04	11.6
10	EURO(0)	EU3	0.8 %	0.24 %	0.08 %	0.04 %	2.04	11.6
2	EURO(0)	EU4	0.7 %	0.19 %	0.03 %	0.02 %	2.04	11.6

* kuvaa normaaliolosuhteissa (+23°C), esim. parkkihallissa käynnistetyn auton päästöjä 6 h seisomnan jälkeen
 Jos seisonta-aika on lyhyempi, koko ajokokeen arvo on parempi viitearvo.

Koko ajokokeen arvo voisi olla hyvä viitearvo ottaen huomioon sekä sisään ajavat, lämpimät autot että käynnistetyt, ulos lähtevät.