

Valle Raatikainen

PYSÄKÖINTITILOJEN
ILMANVAIHDON MITOITUS

Opinnäytetyö
Talotekniikka

Lokakuu 2015




MAMK
University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 31.10.2015
Tekijä(t) Valle Raatikainen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka
Nimeke Pysäköintitilojen ilmanvaihdon mitoitus	
Tiivistelmä Suljetun pysäköintitilan ilmanvaihtoa mitoittaessa terveydelle haitalliset pakokaasupäästöt täytyy pitää alle sallittujen arvojen, jotta voidaan varmistua turvallisesta sisäilmasta. Toisaalta ilmanvaihdon tulee toimia energiatehokkaasti, jolloin ilmavaihdon selvää ylimitoitusta tulee välttää. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ajoneuvojen päästöihin perustuvaa laskentatyökalua ja perehtyä pysäköintitilojen ilmanvaihtoa koskeviin ohjeisiin ja määräyksiin sekä tutustua ajoneuvoista muodostuviin epäpuhtauksiin. Työssä mitoitettiin myös kauppakeskuksen pysäköintitilan ilmavirta laskentatyökalulla. Pysäköintitilojen ilmanvaihtoa koskevia ohjeita annetaan Suomen rakentamismääräyskokoelma D2:ssa, mutta varsinaisia määräyksiä ovat Sosiaali- ja terveysministeriön asettamat haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien raja-arvot. Laskentatyökalun mitoittava ilmavirta perustuu näiden arvojen alittamiseen. Laskettavia epäpuhtauksia ovat typpi-dioksidi, hiilimonoksidi sekä hiukkaset, näistä mitoitettava epäpuhtautena nykyisillä päästöarvoilla toimii hiilimonoksidi. Työssä ei esitetä epäpuhtautuottojen laskentamalleja. Käytännön mitoituskohteena oli kauppakeskuksen pysäköintitila. Mitoitus tehtiin kolmella pysäköintitilan lämpötilalla ja viidellä raja-arvolla, kohde mitoitettiin myös rakentamismääräys D2:n ohjeilla. Tulokset antoivat paljon tietoa millaisissa kohteissa laskentatyökalua olisi hyödyllistä käyttää. Tulosten perusteella tietyissä tilanteissa voisi käyttää kolmasosaa rakentamismääräyskokoelma D2:n mitoittavasta ilmavirrasta. Työstä selviää myös minkälaisia raja-arvoja olisi hyvä käyttää mitoituksessa.	
Asiasanat (avainsanat) Ilmanvaihto, pysäköintitila, päästöt	
Sivumäärä 30+7	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Mika Ruponen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Granlund Oy / Helsinki

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 31.10.2015
Author(s) Valle Raatikainen	Degree programme and option Building services engineering
Name of the bachelor's thesis Parking facilities ventilation	
Abstract <p>Parking space ventilation must be designed to ensure harmful exhaust emissions do not exceed permissible levels. At the same time ventilation should be designed to be energy-efficient, so that the air flow is not oversized. The aim of the study was to develop and test a calculation tool for a closed parking space and become more familiar with instructions and regulations regarding ventilation of such spaces. Air flow rates for a shopping centre car park are calculated as an example using the calculation tool.</p> <p>Instructions for parking space ventilation are given in the National Building Code of Finland D2, but actual regulations on harmful known concentration limits for different pollutants from car exhaust emissions are set by the Ministry of Health & the Social Welfare. Calculation Tool calculates air flow based on the exposure of these values. Calculated pollutants are nitrogen dioxide, carbon monoxide and particles, calculation emission value works with monoxide. The work is not presenting pollutant calculation models.</p> <p>A shopping centre car park was selected for practical calculation of a test case. The air flow rates were calculated at three different temperatures and using five concentration limit values. The results provided valuable information on what kinds of situations the calculation tool could be used in. Based on the results obtained from these test cases, parking space ventilation system could use only a third of the air flow required by National Building Code of Finland D2 under certain conditions. The work also revealed some limit values that should be used in calculations.</p>	
Subject headings, (keywords) Ventilation, car park, emissions	
Pages 30+7	Language Finnish
Remarks, notes on appendices 	
Tutor Mika Ruponen	Bachelor's thesis assigned by Granlund Oy/ Helsinki

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	PYSÄKÖINTITILOJEN ILMANVAIHTO	2
2.1	Yleistä pysäköintitiloista	2
2.2	Aiemmat tutkimukset.....	2
2.3	Ilmanlaatua koskeva sääntely	3
2.4	Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeet ja määräykset pysäköintitilojen ilmanvaihdolle	4
2.5	Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet	5
2.6	Raja-arvot terveyden suojelemiseksi	7
3	AJONEUVOJEN PÄÄSTÖT.....	8
3.1	Hiilimonoksidi (CO).....	8
3.2	Typen oksidit (NO _x)	8
3.3	Hiukkaset (PM).....	10
3.4	Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien yhteisvaikutus	11
3.5	Ulkoilman taustapitoisuus	11
3.6	LIISA 2012 pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä	12
3.7	Ajoneuvojen kylmäkäyttö.....	12
4	OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET	15
5	MENETELMÄT	17
5.1	Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien raja-arvojen määrittäminen.....	17
5.2	Tarvittavan ilmamäärän laskeminen epäpuhtauspitoisuuden raja-arvoilla..	18
5.3	Käytännön mitoituskohde	19
6	TULOKSET	21
6.1	Ajoneuvojen epäpuhtaustuotto	21
6.2	Esimerkkilaskenta raja-arvojen määrittämiselle.....	22
6.3	Pysäköintitilan ilmapirran esimerkkilaskenta typpidioksidipitoisuuden perusteella	23
6.4	Pysäköintitilan ilmapirran esimerkkilaskenta hiilimonoksidipitoisuuden perusteella	25
6.5	Ilmapirran laskeminen rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeella	25
7	POHDINTA	29

LÄHTEET	31
---------------	----

LIITE

1 Laskenta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on suljettujen pysäköintitilojen koneellisen ilmanvaihdon mitoittaminen. Suljetun pysäköintitilan ilmanvaihtoa mitoittaessa terveydelle haitalliset pakokaasupäästöt täytyy pitää alle sallittujen arvojen, jotta voidaan varmistua turvallisuudesta sisäilmasta. Toisaalta ilmanvaihdon tulee toimia energiatehokkaasti, jolloin ilmanvaihdon selvää ylimitoitusta tulee välttää. Näiden seikkojen takia pysäköintitilan ilmanvaihdon mitoittaminen on usein vaativaa.

Opinnäytetyössäni kehitetään laskentatyökalua, jolla LVI-suunnittelijat voisivat arvioida suljetuissa pysäköintitiloissa tarvittavaa tulo- ja poistoilmavirtaa. Työssä käsitellään myös pysäköintitilojen ilmanvaihtoa koskevia määräyksiä ja ohjeita sekä perehdytään pysäköintitilojen ilmanvaihtoon vaikuttaviin tekijöihin. Laskentatyökalun tarkoituksena on toimia apuvälineenä suljetun pysäköintitilan ilmanvaihdon hankesuunnitelmavaiheessa.

Tässä opinnäytetyössä mitoitetaan suljettu pysäköintitila Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 ohjeiden mukaan sekä laskentatyökalun avulla ja verrataan tuloksia keskenään. Tulosten analysoinnin perusteella pystytään toteamaan, että mitoituksessa voidaan käyttää laskentatyökalua, joka mitoittaa pysäköintitilan ilmanvaihdon yksilöllisesti epäpuhtauspitoisuuden perusteella ehkäisten selkeän ylimitoituksen.

Opinnäytetyö tehdään Granlund Oy:lle, joka on Suomessa johtava talotekniikkasuunnittelun, kiinteistö-, energia- ja ympäristöasioiden konsultoinnin sekä ohjelmistojen asiantuntijakonserni. Konsernissa työskentelee yli 500 asiantuntijaa. Granlund toimii Suomessa 14 paikkakunnalla ja Granlundin pääkonttori sijaitsee Helsingissä.

2 PYSÄKÖINTITILOJEN ILMANVAIHTO

2.1 Yleistä pysäköintitiloista

Pysäköintitilojen tulee täyttää viranomaisten asettamat rakennus-, palo- ja turvallisuusmääräykset sekä tietyt viihtyisyysvaatimukset. Erillistä ilmanvaihtoa tulee käyttää pysäköintitiloissa, joiden pinta-ala on yli 60 m² ja jonka ulkoseinän avoin ala on alle 30 % ja avoimen pinta-ala on oltava alle 10 % kunkin tason lattiapinta-alasta. Tavallisesti pysäköintitiloja käytetään ajoneuvojen säilytykseen, jonka vuoksi niissä oleskeluaan vain väliaikaisesti. Pysäköintitilojen ilmanlaatua heikentävät ajoneuvoista syntyvät pakokaasut. Pakokaasuja syntyy pysäköintitiloihin ajoneuvojen kylmäkäynnistyksistä, joutokäynnistä ja ajettavasta matkasta. [1, s. 29.]

Pysäköintitilojen kuormitus vaihtelee paljon kohteen mukaan. Toimistorakennusten pysäköintitilojen kuormituksen huipputunnit osuvat aamuun klo 7-9 välille ja iltaan klo 15–17 välille. Puolestaan liikerakennusten huipputunti on arkisin illalla klo 16-17 ja lauantaisin klo 12-13 välillä. Pysäköintitilojen ilmanvaihdon suunnittelussa tulee ottaa huomioon tilan käyttökuormitus ajat ja se että ilmanvaihto on riittävä myös huipputunnin aikana. [1, s. 29.]

Jotta suljettujen pysäköintitilojen epäpuhtauspitoisuudet saadaan pidettyä sallituissa raja-arvoissa, toteutetaan pysäköintitilojen ilmanvaihto koneellisesti. Pysäköintitilojen koneellinen ilmanvaihto toteutetaan yleensä tuloilmapuhaltimilla, poistoilmapuhaltimilla tai molemmilla. [1, s. 29.]

2.2 Aiemmat tutkimukset

Pysäköintitilojen ilmanvaihdon mittaamisesta on julkaistu yksi diplomityö. Diplomityö on Pysäköintihallien pakokaasupäästöjen mittaaminen ja ilmanvaihdon ohjaus, Jukka Huikari 2007 [1]. Jukka Huikarin diplomityössä tutkittiin pysäköintihallien ilmanlaatua ja hiilidioksidi antureiden edellytyksiä toimia ilmanvaihdon ohjauksessa. Diplomityössä seurattiin ilmanvaihdon käyttöastetta ja mitattiin hiilimonoksidipitoisuutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Tutkimuskohteena olivat Kampin pysäköintihalli Helsingissä ja P-koskikeskuksen pysäköintihalli Tampereella.

Diplomityön tuloksien perusteella todettiin hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuksien olevan alhaisia ja ilmanvaihtokoneiden käyvän 1/3 ja 2/3 teholla suurellakin kuormitustilalla. Työssä todetaan myös, että hiilimonoksidin vähentyessä pakokaasuissa ilmanvaihdon ohjaus ei välttämättä toimi enää suunnitellulla tavalla ja hiilidioksidipitoisuudet voivat nousta epämiellyttävälle tasolle. Lisääntynyt dieselautojen määrä vähentää myös autojen pakokaasujen sisältämää hiilimonoksidia, sillä dieselmoottori tuottaa sitä vähemmän. Hiilidioksidiohjaus voisi tarjota ratkaisun näille mahdollisille ongelmille.

2.3 Ilmanlaatua koskeva sääntely

Euroopan Unionin jäsenyyden myötä Suomen ympäristölainsäädäntö on harmonisoitu vastaamaan EY-lainsäädäntöä. EY eli Euroopan yhteisöt on nimitys Euroopan hiili- ja teräsyhteisön, Euroopan talousyhteisön ja Euroopan atomienergiayhteisön muodostamalle kokonaisuudelle. Erityisesti ympäristönsuojelussa ja luonnonsuojelussa suuri osa lainsäädännön muutoksista pohjautuu EY-lainsäädäntöön. Ympäristöministeriö toteaa, että *"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."* [2.]

Pysäköintitilojen ilmanvaihtoon liittyviä ohjeita ja määräyksiä annetaan Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D2 [3] ja Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet [4]. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 ajoneuvosuoja koskevat merkinnät ovat ohjeita eivätkä määräyksiä, mutta ajoneuvosuojien ilma ei saa sisältää epäpuhtauksia Sosiaali- ja terveysministeriön asettamia raja-arvoja enempää. Koska pysäköintitilat ovat tarkoitettu väliaikaiseen oleskeluun, voi pysäköintitilojen ilmanlaatu sen takia olla heikompaa kuin normaalin sisä- tai ulkoilmanlaatu. Rakentamismääräys kokoelma D2:n ajoneuvosuoja koskevasta ohjeesta käy ilmi, että ajoneuvosuojien ilmanvaihto voidaan toteuttaa epäpuhtauspitoisuuden mukaan ohjatulla järjestelmällä. On myös mahdollista toteuttaa ilmanvaihto muulla tavalla kunhan se voidaan perustella riittävän hyvin suunnitelmissa, mutta tällöinkin

rakennusvalvontaviranomaisella on päätävältä suunnitelmien hyväksymisessä. [1, s. 10.]

2.4 Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeet ja määräykset pysäköintitilojen ilmanvaihdolle

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 antaa ohjeita ja määräyksiä moottoriajoneuvosuojien eli suljettujen pysäköintitilojen ilmanvaihdolle. Ohjeita käytetään pääosin paikoitukseen tarkoitetuissa ajoneuvosuojissa. Suojien yhteydessä olevissa huolto- ja korjaustiloissa, lastaus- ja linja-autoterminaaleissa tai muissa tiloissa, joissa työskennellään kokoaikaisesti, ei näitä ohjeita voida soveltaa suoraan. [3, s.28.]

Moottoriajoneuvosuojien ilmanvaihto on toteutettava siten, etteivät ilman epäpuhtaudet aiheuta terveydellistä haittaa suojien käyttäjille. Jos autojonojen syntyminen on mahdollista esimerkiksi pysäköintimaksu- tai liikennejärjestelyiden takia, on näiden alueiden ilmanvaihtoa tehostettava lisäämällä lisäpoistoja ruuhkakohtiin. Lisäpoistot voidaan toteuttaa esimerkiksi epäpuhtauspitoisuuden mukaan ohjatulla tehostuksella. [3, s.28.]

Ajoneuvosuojien tai niiden yhteydessä olevien työpaikkojen ilmanvaihto toteutetaan työpaikka vaatimusten mukaisesti. Jos moottoriajoneuvosuoja on muun rakennuksen yhteydessä, on sen ilmanvaihto oltava alipaineinen muihin tiloihin nähden. Moottoriajoneuvosuojan tuloilmana voidaan käyttää siirtoilmaa. [3, s.28.]

Ajoneuvosuojan tulo- ja poistoilma-aukot on sijoitettava siten, että riittävä ilmanvaihto varmistuu suojan eri osissa. Aukot tulee sijoittaa siten, ettei ilma pääse leviämään tarpeettomasti alueilta, joissa epäpuhtauspitoisuus on suuri. Kohtia joissa epäpuhtauspitoisuudet saattavat paikallisesti ylittää sallitut raja-arvot tulee välttää. Tällaisten tilanteiden estämiseen voidaan käyttää esimerkiksi paikallispoistoja. [3, s.28.]

Rakentamismääräyskokoelma D2:n mukaan pysäköintitiloissa, joissa autopaikkaa kohden tapahtuu keskimäärin yksi ajo vuorokauden vilkkaimman 8 tunnin jakson aikana tulee poistoilmavirran olla $0,9 \text{ l/s, m}^2$. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi asuintalojen paikoitustilat. Pysäköintitila, joissa yhtä autopaikkaa kohden tapahtuu 2-4 ajoa autopaikkaa kohden tulee poistoilmavirran olla vähintään $2,7 \text{ l/s, m}^2$. Tällaisia tiloja

ovat esimerkiksi toimisto- ja virastotilojen henkilökunnan paikoitustilat. Tilat, joissa ajoja autopaikkaa kohden on useampia on poistoilmavirran oltava vähintään $n \times 0,9$ l/s, m^2 . Kaavassa n tarkoittaa ajojen lukumäärää ja sen lukuarvo on vähintään 4. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi liikerakennusten asiakaspaikoitustilat. [3, s.28.]

Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan käyttää riviautosuojissa ja alle $60 m^2$:n moottoriajoneuvosuojissa. Riviautosuoja on sellainen pysäköintitila, jossa ei ajeta sisällä ja jonka syvyys on enintään 7 m tai 14 m silloin, kun suoja on tarkoitettu linja-autoille tai muille pitkille ajoneuvoille. Ajoneuvosuojan täytyy olla maanpäällä tai ilmanvaihdon kannalta vastaavasti esimerkiksi rinteessä. Riittävän ilmanvaihdon ja ilman kierron saavuttamiseksi tulee tulo- ja poistoilma-aukkojen sijoittamiseen kiinnittää erityistä huomiota. Tuloilma-aukko voidaan sijoittaa ulkoseinän tai oven alaosaan. Poistoilma-aukko voidaan sijoittaa seinän yläosaan tai kattoon tuloilma-aukon vastakkaiselle puolelle. Tulo- että poistoilma-aukon vapaa poikkipinta-alan on oltava vähintään 0,1 % lattiapinta-alasta, kuitenkin vähintään $150 cm^2$. [3, s.28.]

Suojassa ei vaadita erillistä ilmanvaihtoa, jos lämmittämättömän moottoriajoneuvosuojan, esimerkiksi pysäköintitalon ulkoseinästä vähintään 30 % on avointa ja aukkojen pinta-ala on vähintään 10 % kunkin tason lattiapinta-alasta. Ilmankulkeutumista huomattavasti estäviä palkkeja ja väliseiniä tulee välttää. [3, s.28.]

Normaalin käyttöajan ulkopuolella pysäköintitilan ilmanvaihtoa voidaan vähentää ohjaamalla ilmanvaihtoa epäpuhtauspitoisuuden mukaan ja sijoittamalla suojaan erillinen hälytysjärjestelmä. Järjestelmä hälyttää kun epäpuhtauspitoisuus ylittää asetetun raja-arvon. Jos anturi havaitsee epäpuhtauspitoisuuden ylittävän asetetun raja-arvon, käynnistyy ilmanvaihto päälle. Pysäköintitilaan on asennettava jokaiselle tasolle vähintään 3 kpl ohjaus- ja hälytysantureita ja ne tulee asentaa yleensä ajoluiskien ja ajo-reittien läheisyyteen. Ohjaus- ja hälytysantureiden toiminta on tarkastettava säännöllisesti ja ne on kalibroitava vähintään kerran vuodessa. [3, s.28]

2.5 Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet

Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut hengitysilman epäpuhtauspitoisuuksille raja-arvoja. Määräyksissä todetaan, että "*Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot ovat sosiaali- ja terveysministeriön arvioita työntekijöiden hengitysilman epä-*

puhtauksien 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 (268/2014). [4, s.10.]

Lisäksi todetaan, että "työnantajan on otettava HTP-arvot huomioon työn vaarojen selvittämisessä ja arvioinnissa sekä työympäristön suunnittelussa työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä arvioidessaan. Kaikkia työpaikan ilman epäpuhtauksien vaikutuksia ei pidetä HTP-arvoon vaikuttavina haitallisina vaikutuksina." [4, s.10.]

Määräyksissä todetaan myös, että "Työpaikan ilman epäpuhtauden haitallisen vaikutuksen ilmaantuminen riippuu pitoisuuden lisäksi altistusajasta. Siksi HTP-arvoja vahvistetaan aineen tai aineryhmän ominaisuuksien mukaan ilman epäpuhtauksien 8 tunnin, 15 minuutin ja/tai hetkelliselle keskipitoisuudelle." [4, s.10.]

Taulukossa 1 on esitetty Sosiaali- ja terveysministeriön asettamat Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien suurimmat sallitut arvot auton pakokaasuissa. Taulukossa on esitetty haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien raja-arvot 8 tunnin ja 15 minuutin aikavälillä.

TAULUKKO 1. Sosiaali- ja terveysministeriön asettamat HTP-arvot 2014 [4]

Epäpuhtaus	HTP-arvot			
	8 h		15 min	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Hiilimonoksidi CO	30	35	75	87
Hiilidioksidi NO₂	5000	9100		
Typpioksidi NO	25	31		
Typpidioksidi NO₂	3	5,7	6	11
Rikkidioksidi SO₂	1	2,7	4	11
Typpioksiduuli N₂O	100	180		
Metaani CH₄	1000			

2.6 Raja-arvot terveyden suojelemiseksi

Sosiaali- ja terveysministeriön on asettanut raja-arvot terveyden suojelemiseksi, jotka on esitetty taulukossa 2. Raja-arvoilla tarkoitetaan ulkoilmassa olevaa korkeinta sallittua epäpuhtauspitoisuutta, jotta voidaan varmistua ulkoilman oleva terveydelle ja ympäristölle vaaratonta. Raja-arvoja on annettu terveyden suojelemiseksi rikkidioksidista (SO₂), typpidioksidista (NO₂), hengitettävien hiukkasista (PM₁₀), pienhiukkasista (PM_{2,5}), lyijystä (Pb) sekä hiilimonoksidista (CO) ja bentseenistä (C₆H₆). [2.]

Taajamissa lyijyn, hiilimonoksidin ja rikkidioksidin pitoisuudet yleensä alittavat selvästi annetut raja-arvot. Suurimmissa kaupungeissa ja vilkkaasti liikennöityjen teiden läheisyydessä typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten raja-arvot saattavat ylittyä ajoittain. [2.]

Jotta voidaan varmistua että raja-arvot alitetaan on laadittava ja pantava toimeen ilmansuojelusuunnitelmia. Ilmanlaadusta ja raja-arvojen ylityksistä on tiedotettava sekä varoitettava väestöä, jos pitoisuudet kohoavat poikkeuksellisen korkeiksi. [2.]

TAULUKKO 2. Sosiaali- ja terveysministeriön asettamat raja-arvot terveyden suojelemiseksi [2]

Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo	Sallitut ylitykset vuodessa
Rikkidioksidi SO ₂	1 tunti	350 µg/m ³	24
	24 tuntia	125 µg/m ³	3
Typpidioksidi NO ₂	1 tunti	200 µg/m ³	18
	1 vuosi	40 µg/m ³	
Hiukkaset PM¹⁰	24 tuntia	50 µg/m ³	35
	1 vuosi	40 µg/m ³	
Lyijy	1 vuosi	0,5 µg/m ³	
Hiukkaset PM ^{2,5}	1 vuosi	25 µg/m ³	
Hiilimonoksidi CO	8 tuntia	10 µg/m ³	
Bentseeni C₆H₆	1 vuosi	5 µg/m ³	

3 AJONEUVOJEN PÄÄSTÖT

Ajoneuvoliikenne aiheuttaa pakokaasupäästöjä ja osa pakokaasuissa olevista yhdisteistä on terveydelle haitallisia jo pieninäkin pitoisuuksina. Tässä luvussa käsitellään pysäköintitiloissa muodostuvia terveydelle haitallisia aineita ja niihin vaikuttavia tekijöitä.

3.1 Hiilimonoksidi (CO)

Hiilimonoksidia eli häkää syntyy aina, kun hiilipitoiset aineet palavat vähäisellä hapen määrällä. Jos happea on riittävästi, se palaa nopeasti edelleen hiilidioksidiksi. Hiilimonoksidia syntyy esimerkiksi polttomoottoreissa, kun poltetaan hiilipohjaisia polttoaineita ja lämpötila on liian alhainen täydelliselle hapettumiselle. Tavallisesti on vaikeampi optimoida polttolaitetta alhaiselle hiilimonoksidimäärälle kuin alhaiselle palamattomille polttoainemäärille. [5.]

Hiilimonoksidin määrä pakokaasussa riippuu ajotilanteesta ja moottorin käyntilämpötilasta. Erityisesti hiljaa ajettaessa tai nykivässä ajossa hiilimonoksidia muodostuu paljon. Varsinkin bensiinikäyttöiset ajoneuvot tuottavat paljon häkäpäästöjä. Häkäpitoisuudet ovat nykyisin kuitenkin pienentyneet polttoaineiden ja moottoritekniikan parantumisen sekä pakokaasujen katalyyttisen puhdistuksen ansiosta. Pakokaasuissa häkää on 4–7 %, mutta katalysaattori hapettaa siitä suurimman osan vaarattomaksi hiilidioksidiksi. [5.]

Häkä aiheuttaa hapenpuutetta, koska se vähentää veren punasolujen hapenkuljetuskykyä sitoutumalla hemoglobiiniin. Yleisimmin häkämyrkytykset aiheutuvat bensiinikäyttöisen auton joutokäynnistä suljetussa tilassa ja polttoaineella tai kaasulla hiljaa käyvistä lämmitinlaitteista. Häkämyrkytysoireita ovat pahoinvointi, päänsärky ja hengenahdistus. [5.]

3.2 Typen oksidit (NO_x)

Toinen merkittävä raja-arvoilla säädeltävä ajoneuvopäästö hiilimonoksidin lisäksi on typen oksidit (NO_x). Typen oksideja muodostuu polttomoottoreissa kun typpi sitoutuu happeen. [6] Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli

typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi. Pakokaasuissa typpidioksidin määrä typen oksideista on noin 20 %. [7, s.7.]

Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttavat pääasiassa ajoneuvoliikenne. Vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna, ihmiset altistuvat helpommin liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle. [7, s.7.]

Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. [7, s.7.]

Typpidioksidin määrä pakokaasussa riippuu ajotilanteesta ja moottorin käyntilämpötilasta. Kuten hiilimonoksidi, myös typpidioksidit muodostuvat erityisesti hiljaa ajattaessa tai nykivässä ajossa. Varsinkin dieselkäyttöiset ajoneuvot tuottavat paljon typen oksideja. [6.]

Typpidioksidi on suurin terveystaittojen aiheuttaja, se aiheuttaa erityisesti hengityselinoireita. [5] Typpidioksidille herkempiä väestöryhmiä ovat lapset ja astmaatikot, joiden hengitysoireita voivat lisätä suhteellisen nopeasti kohonneet pitoisuudet. Pakkaskaudella tapahtuva typpidioksidipitoisuuden kohoaminen on erityisen haitallista astmaatikoille, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmaatikoille keuhkoputkien supistusta ja typpidioksidi pahentaa tästä aiheutuvia oireita kuten hengenahdistusta ja yskää. [7, s.7]

Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 20–30 µg/ m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla pitoisuudet voivat olla lähellä vuosiraja-arvoa 40 µg/m³. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 10–20 µg/ m³. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason 200 µg/ m³. (Taulukko 2.) suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla muutamia kertoja vuodessa. Yli-

tystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puh-
tailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin
2–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. [7, s.7]

3.3 Hiukkaset (PM)

Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostat-
tamasta katupölystä eli epäsuorista päästöistä. Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös
suorat hiukkaspäästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden proses-
seista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasi-
assa pieniä hiukkasia. [7, s.8] Polttoaineen palamisprosessissa muodostuvat hiukkaset
ovat suurimmaksi osaksi hiiltä ja niiden pintaan on tarttunut muita pakokaasussa ole-
via haitallisia yhdisteitä. Hiukkaset ovat monimuotoisia ja niihin on saattanut sitoutua
usein syöpävaarallisia hiilivetyjä. [6.]

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä
Suomen kaupungeissa. Hiukkasten koko vaihtelee suuresti, halkaisijaltaan alle 2,5
mikrometrin hiukkasia kutsutaan pienhiukkasiksi. Ulkoilman hiukkasten koko on yh-
teydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat
pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista.
Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset,
jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävälle hiuk-
kasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM10), on annettu ilmanlaadun ohje-
ja raja-arvot. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä (PM 2,5), ovat
pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokul-
keumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. [7, s.8.]

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskus-
toissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä
maalis-huhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä
ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.
Hengitettävälle hiukkasille annettu vuorokausiohjarvo ylittyy keväisin yleisesti
Suomen kaupungeissa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu
raja-arvo on sen sijaan ylittynyt viime vuosina vain Helsingin keskustassa. Vuosi-
keskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo alittuu Suomessa. Suurimpien kaupunkien

keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9–12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 3–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. [7, s.8.]

3.4 Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien yhteisvaikutus

Jos altistutaan samanaikaisesti tai peräkkäin usealle haitalliselle aineelle täytyy ottaa huomioon aineiden mahdolliset yhteisvaikutukset. Haitalliseksi tunnettujen aineiden yhteisvaikutus voi olla summautuva eli additiivinen, toisiaan voimistava eli supra-additiivinen eli synergistinen tai toisiaan heikentävä eli infra-additiivinen eli antagonistinen. Pysäköintitiloissa muodostuvat epäpuhtaudet ovat peräisin ajoneuvojen pakokaasuista, joiden ainesosilla ei ole todettu yhteisvaikutusta, joten sitä ei ole otettu huomioon laskennassa. [4, s.14.]

3.5 Ulkoilman taustapitoisuus

Ulkoilmassa on valmiina useita epäpuhtauksia ja osa näistä epäpuhtauksista on terveydelle vaarallisia. Ulkoilmassa jo valmiina olevaa epäpuhtautta kutsutaan taustapitoisuudeksi. Taustapitoisuuteen vaikuttaa energiantuotannosta, teollisuudesta ja liikenteestä aiheutuvat päästöt. Epäpuhtauksien taustapitoisuus on suurempi kaupunkien keskustoissa ja muilla vilkkaasti liikennöidyillä alueilla. [8.]

Ilman epäpuhtauspitoisuutta mitataan ilmanlaatuindeksillä, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Suomessa ilmanlaatu on pääasiassa hyvä lukuun ottamatta yleisiä kevätpölyn aiheuttamia hiukkaspitoisuuksien ylityksiä ruuhkakeskuksissa. Ilmanlaatuindeksi perustuu pitoisuuksien tuntiarvoihin. [8.]

Taustapitoisuus vaikuttaa pysäköintitilojen mitoitukseen, koska ajoneuvoista muodostuvien päästöjen lisäksi myös taustapitoisuuden sisältämä epäpuhtaus täytyy huomioida epäpuhtauksien kokonaistuotossa ja sitä kautta ilmanvaihdon mitoituksessa. Taustapitoisuus on olemassa valmiina pysäköintitilan ilmassa ja myös korvaavassa tuloilmassa, joten se on eräänlainen epäpuhtauspitoisuuden laskennallinen nollataso.

3.6 LIISA 2012 pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä

"LIISA 2012 on Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä. LIISA on VTT:ssä kehitetty tieliikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä, jonka kehitystyön ovat rahoittaneet ympäristöministeriö, NesteOil Oyj ja VTT." [9.]

Laskenta ottaa huomioon ajoneuvojen kylmäkäytön ja joutokäynnin lisäpäästön sekä erityyppisten polttoaineiden vaikutukset päästöihin. Päästömäärät on jaettu yhdeksälle ajoneuvotyyppille ja kahdeksalle väylätyypille. Tulokset on myös saatavissa autokannan ikäjakauman suhteen. Lasketut pakokaasupäästöt ovat hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset, metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) ja hiilidioksidi (CO₂). [9.]

"Pakokaasupäästöjen laskenta perustuu kunkin ajoneuvotyypin liikennesuoritteisiin eri väylätyypeillä ja niitä vastaaviin päästökertoimiin. Rikkidioksidi ja hiilidioksidi lasketaan kulutetun polttonestemäärän ja päästökertoimen avulla. Päästökertoimet on määritellyt VTT:ssä erikoistutkija Juhani Laurikko." [9.]

3.7 Ajoneuvojen kylmäkäyttö

Suljetut pysäköintitilat jaetaan tässä työssä mitoittaessa lämmittämättömiin -10 °C, puolilämpimiin 0 °C ja lämpimiin +10 °C tiloihin. Pysäköintitilan lämpötila vaikuttaa ajoneuvojen kylmäkäytöstä muodostuviin päästöihin. Ajoneuvon kylmäkäyttö tarkoittaa käynnistystä ja ajoa niin, että moottorista tulee käyntilämpöinen erilaisissa olosuhteissa kuten talvella, kesällä ja lämmitin lämpöisenä. Kun moottori ei ole vielä käyntilämpöinen syntyy lisäpäästöjä käynnistyksestä ja ajosta jolloin moottori ei ole vielä saavuttanut normaalia käyntilämpötilaansa. Myös käynnistys normaalissa kesälämpötilassa on kylmäkäynnistys, tosin lisäpäästöt ovat selvästi pienemmät kuin talviolosuhteissa. Suomessa ajoneuvojen olosuhteet kylmäkäytön kannalta ovat erityisen vaativat. [10, s.42.]

LIISA 2012:ssa laskenta perustuu ajoneuvojen kylmäkäytöstä aiheutuvien lisäpäästöihin, jotka muodostuvat käynnistysten määrästä eri lämpötiloissa ja lisäpäästöön yhtä

käynnistystä kohden sekä näiden päästöjen kehitykseen koko tarkastelujakson aikana. Ajoneuvojen kylmäkäytön päästöjen vähentymiseen on oleellisesti vaikuttanut katalysaattori tekniikan kehittyminen. [10, s.42.]

Katalysaattori on ajoneuvossa oleva laite, joka muuttaa pakokaasujen haitallisia aineita harmittomammiksi. Bensiiniä polttoaineenaan käyttävien autojen kolmitoimikatalysaattoreissa hiilimonoksidi eli häkä hapettuu hiilidioksidiksi ja palamattomat hiilivedyt hapettuvat hiilidioksidiksi ja vedeksi ja typen oksidit pelkistyvät typeksi. Kun katalysaattorin lämpötila on riittävä ja pakokaasun happipitoisuus on optimaalinen, alkaa katalysaattori toimia. Katalysaattorin toimintatila saavutetaan noin 0,5 - 3 minuutin kuluttua ajon alkamisesta riippuen ajo-olosuhteista ja tekniikasta. Ennen kuin katalysaattori alkaa toimia on katalysaattorilla varustetun ajoneuvon päästöt lähes yhtä suuret kuin ilman katalysaattoria olevan ajoneuvon päästöt. [10, s.42.]

Taulukossa 3 on esitetty lisäpäästöjä, jotka aiheutuvat erilaisista kylmäkäynnistyksistä ja kylmän-ajosta. Taulukossa on esitetty erilaisten ajoneuvotyyppien kylmäkäynnistyspäästöjä pysäköintitilan lämpötilan vaihdellessa. Kuvasta voidaan huomata, että lämmittämättömässä pysäköintihallissa pakokaasupäästöt lisääntyvät merkittävästi verrattuna lämmitettyyn pysäköintitilaan. Kuvasta nähdään myös, että katalysaattorilla varustetut autot tuottavat huomattavasti vähemmän hiilimonoksidia verrattuna ilman katalysaattoria oleviin bensiinikäyttöisiin autoihin. Taulukossa on myös lopuksi esitetty kylmänajon joutokäynnistä aiheutuvat lisäpäästöt. Joutokäynnin päästöt ovat merkittäviä varsinkin ajosuoritteen tapahtuessa suljetussa ympäristössä esimerkiksi parkkihallissa. [6, s.63.]

TAULUKKO 3. Päästöt käynnistyksistä ja kylmäajon lisäpäästöt sekä joutokäyntipäästöt [6, s.63.]

	Talvikäynnistys ilman esilämmitystä (@ -10 °C)				
	CO	HC	NOx	HIUKK.	Kulutus
HA bens. kat + ei-kat	92	9,6	1,2	0,06	0,14
HA dies. ei-kat	8	1	4	0,5	0,13
PA bens.	150	15	4	0,05	0,25
PA dies.	3,5	1	2,5	0,70	0,15
LA	50	20	4	8	2,5
KAIP	45	15	3	6	2
KAP	60	25	5	10	3

Autotyyppi	Talvikäynnistys esilämmitettynä (@ 0 °C)				
	CO	HC	NOx	HIUKK.	Kulutus
HA bens. kat + ei-kat	54	6,5	1,0	0,03	0,09
HA dies. ei-kat	6	0,6	2	0,20	0,13
PA bens.	100	6	2	0,03	0,20
PA dies.	3	0,6	2,5	0,45	0,15
LA	30	12	5	6	2,5
KAIP	25	10	4	4	2
KAP	35	15	6	8	3

Autotyyppi	Kesäkäynnistys (@ +20 °C)				
	CO	HC	NOx	HIUKK.	Kulutus
HA bens. kat + ei-kat	9	2,2	0,8	0,01	0,07
HA dies. ei-kat	4	0,5	0	0,10	0,05
PA bens.	50	3,5	2	0,02	0,15
PA dies.	2,5	0,6	2,5	0,35	0,07
LA	12	3	6	4	2,5
KAIP	10	2,5	5	2	2
KAP	13	4	7	6	3

Autotyyppi	Päästöt joutokäynnistä [g/min]			
	CO	HC	NOx	HIUKK.
HA bens.	4,17	0,26	0,18	0,005
HA bens.kat	0,3	0,1	0,07	0,001
HA dies.	0,23	0,08	0,16	0,02
PA bens.	5	0,3	0,2	0,007
PA bens.kat	0,5	0,1	0,1	0,002
PA dies.	0,18	0,04	0,28	0,02
LA	0,9	0,48	1,33	0,08
KAIP	0,9	0,48	1,33	0,08
KAP	1	0,5	1,4	0,09

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

Ajoneuvojen yksikköpäästöillä tarkoitetaan ajoneuvojen maantieajon ja katuajon aiheuttamia päästöjä. Ajoneuvojen todellinen pakokaasujen päästmäärä on vaikea määrittää, koska päästöihin vaikuttavat ajoneuvon merkki, malli, ajo-olosuhde, ajoneuvon kunto ja ikä sekä ajotapa. Päästmääriin vaikuttaa myös se, että ne ovat määritetty laboratorio-olosuhteissa ja siitä johtuen todellinen päästöjen määrä on aina arvioperusteista. Erityisesti katuajossa yksittäisen auton ajo-olosuhteet vaihtelevat suuresti ja keskimääräinen ajosuorite kuvaa huonosti pakokaasupäästöjen keskiarvoa. Kuvassa 2 on esitetty Suomen henkilöautojen keskimääräiset päästöt matkayksikköä kohden. [11.]

TAULUKKO 4. Ajoneuvojen yksikköpäästöt [11]

	Päästöt [g/km]								
	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	SO ₂	CO ₂
Bensiinikäyttöiset, maantieajo	1,9	0,13	0,37	0,0035	0,0059	0,0024	0,035	0,00080	142
Bensiinikäyttöiset, katuajo	2,2	0,24	0,26	0,0030	0,010	0,008	0,018	0,0012	214
Bensiinikäyttöiset, keskimäärin	2,0	0,17	0,33	0,0033	0,0074	0,0044	0,029	0,00094	167
Dieselinikäyttöiset, maantieajo	0,07	0,021	0,54	0,029	0,00058	0,0042	0,0010	0,0009	136
Dieselinikäyttöiset, katuajo	0,21	0,44	0,51	0,030	0,0013	0,0077	0,0010	0,0014	206
Dieselinikäyttöiset, keskimäärin	0,12	0,17	0,53	0,029	0,0008	0,0054	0,0010	0,0011	160
Maantieajo	1,3	0,09	0,43	0,012	0,0041	0,0030	0,024	0,00084	140
Katuajo	1,5	0,30	0,34	0,012	0,007	0,0079	0,013	0,0013	211
Keskimäärin	1,4	0,17	0,40	0,012	0,0052	0,0047	0,020	0,00099	165

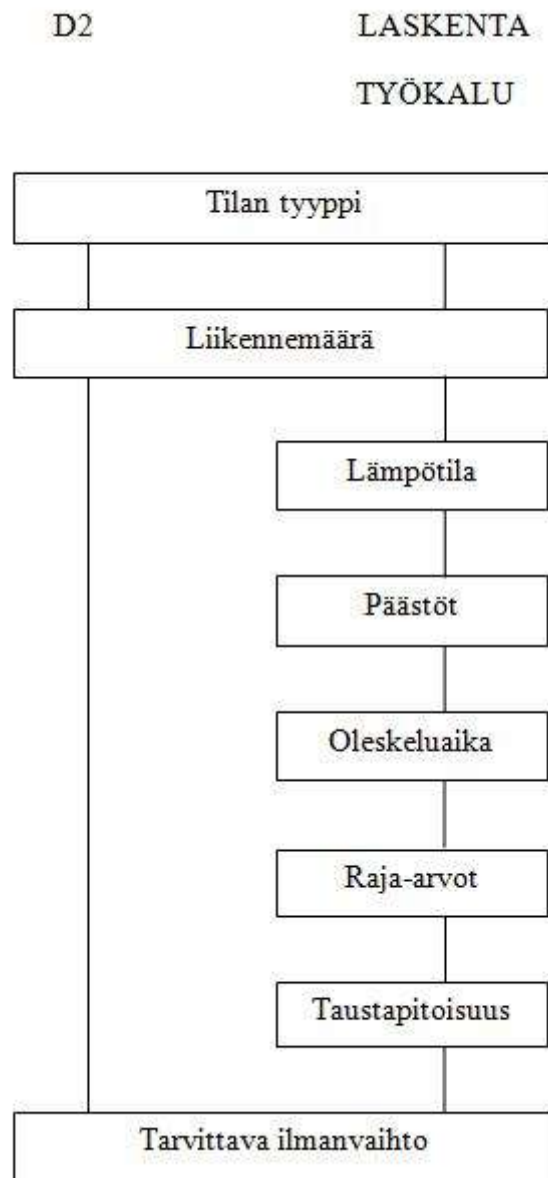
4 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää laskentatyökalua, jolla suljettujen pysäköintitilojen ilmapirtaa voitaisiin mitoittaa epäpuhtauspitoisuuksiin perustuvien raja-arvojen avulla. Aluksi määritetään oleskeluaikaan perustuvat epäpuhtauspitoisuuksien raja-arvot, jotta tiedetään mikä on pysäköintitilan ilman epäpuhtauspitoisuuksien sallitut maksimipitoisuudet. Raja-arvojen määrittämisen jälkeen lasketaan pysäköintitilassa muodostuvien epäpuhtauksien kokonaistuotto. Sen jälkeen voidaan laskea pysäköintitilalle ilmapirta, jolla epäpuhtaudet saadaan pidettyä määritettyjen raja-arvojen alapuolella.

Työssä mitoitetaan kauppakeskuksen pysäköintitilan ilmapirta sekä laskentatyökalulla että rakentamismääräyskokoelma D2:n mitoitusohjeilla. Laskentatyökalulla saatujen tuloksien perusteella selvitetään mikä epäpuhtaus toimii mitoittava epäpuhtautena pysäköintitilojen ilmapirtaa mitoittaessa. Laskentatyökalun ja rakentamismääräyskokoelman D2:n ohjeilla saatuja ilmapirta vertaillaan ja tuloksia analysoimalla päätel-

lään minkälaisissa tilanteissa ja kohteissa laskentatyökalu voisi olla hyödyllinen.

Ilmanvaihdon mitoituksen etenemistä voidaan verrata rakennusmääräyskokoelma D2:n ja laskentatyökalun välillä kuvan 1 mukaisesti. Rakennusmääräyskokoelman D2 mukaan edettäessä, otetaan mitoituksessa huomioon pysäköintitilan tyyppi ja tilan mukaan määräytyvä liikennemäärä. Laskentatyökalulla ilmanvaihtoa mitoittaessa otetaan laskennassa huomioon tilantyyppiin ja liikennemäärän lisäksi pysäköintitilan lämpötila ja siitä aiheutuvat lisäpäästöt. Laskentatyökalulla mitoittaessa otetaan myös huomioon oleskeluaika ja siihen perustuvat epäpuhtauksien raja-arvot sekä taustapitoisuus.



KUVA 1. Pysäköintitilan ilmanvaihdon mitoituksen eteneminen

5 MENETELMÄT

Suljettujen pysäköintitilojen ilmanvaihtoa mitoittaessa on ensin kerättävä tarvittavat lähtötiedot kohteesta epäpuhtaustuottojen laskentaa varten. Ilmanvaihdon mitoitukseen vaikuttavat kylmäkäytöstä muodostuvat epäpuhtaudet, epäpuhtauksien raja-arvot ja ulkoilman taustapitoisuus sekä pysäköintitilan lämpötila. Eniten ilmanvaihdon mitoitukseen vaikuttaa pysäköintitilan lämpötila, koska se on suoraan verrannollinen ajoneuvojen kylmäkäytöstä muodostuviin epäpuhtauksiin.

Pysäköintihallin laskentatyökalu toteutetaan Excel-taulukkolaskenta ohjelmalla, laskentatyökalun mitoitus perustuu pysäköintitilan ruuhkahuipun epäpuhtauspitoisuuksiin. Mitoittava epäpuhtauspitoisuus perustuu haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien raja-arvojen alittamiseen tietyllä aikavälillä. Laskentatyökalu ottaa huomioon pysäköintitilan lämpötilan, ajoneuvoista muodostuvat kylmäkäynnistyksen päästöt, joutokäynnin päästöt ja pysäköintitilassa muodostuvan ajomatkan aiheuttamat päästöt. Mitoitukseen vaikuttavat myös dieselkäyttöisten autojen määrä, kylmänä käynnistettävien autojen osuus lähteivistä autoista sekä ilman taustapitoisuus.

5.1 Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien raja-arvojen määrittäminen

Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien raja-arvoja 8 tunnin ja 15 minuutin aikavälillä. (Taulukko 1) Raja-arvot tulee määrittää uudelleen, jotta voidaan mitoittaa ilmavirta jollekin muulle kuin jo valmiiksi annetulle raja-arvolle 15 minuutin ja 8 tunnin välillä. [4, liite 6.]

Kaavassa 1 todellinen raja-arvon aikaväli saadaan, vähentämällä halutusta raja-arvon aikavälistä 15 minuuttia.

$$t_{tod} = t_x - t_{15 \text{ min}} \quad (1)$$

t_{tod}	Todellinen raja-arvon aikaväli
t_x	Haluttu raja-arvon aikaväli
$t_{15 \text{ min}}$	Raja-arvon aikaväli 15 min

Kaavassa 2 lasketaan raja-arvon kerroin jakamalla 8 tunnin ja 15 minuutin erotus todellisella aikavälillä. Kerrointa voidaan käyttää kaikissa eri raja-arvojen laskennassa.

$$k = \frac{r_{15 \text{ min}} - r_{8 \text{ h}}}{t_{\text{tod}}} \quad (2)$$

k	kerroin
$r_{8 \text{ h}}$	Raja-arvo 8 h
$r_{15 \text{ min}}$	Raja-arvo 15 min
t_{tod}	Todellinen raja-arvon

Kaavassa 3 lasketaan todellinen raja-arvo käyttämällä kaavan 2 kerrointa todelliseen raja-arvon aikaväliin.

$$r_x = k \times t_{\text{tod}} \quad (3)$$

r_x	Todellinen raja-arvo
k	kerroin
t_{tod}	Todellinen raja-arvon aikaväli

Kaavassa 4 saadaan raja-arvo halutulla aikavälillä, kun vähennetään 15 minuutin raja-arvosta todellinen raja-arvo.

$$r_t = r_{15 \text{ min}} - r_x \quad (4)$$

r_t	Raja-arvo halutulla aikavälillä
$r_{15 \text{ min}}$	Raja-arvo 15 min
r_x	Todellinen raja-arvo

5.2 Tarvittavan ilmamäärän laskeminen epäpuhtauspitoisuuden raja-arvoilla

Kaavassa 5 tarvittava ilmavirta epäpuhtauspitoisuuden alittamiseen saadaan jakamalla hiilimonoksidin kokonaistuotto, raja-arvon ja taustapitoisuuden erotuksella. [14, s.116.]

$$q_v = \frac{CO_{lim}}{r_t - CO_{tausta}} \quad (5)$$

q_v	Tarvittava ilmavirta (m^3/s)
CO_{lim}	CO-tuotto (mg/s)
r_t	Raja-arvo aikavälillä (mg/m^3)
r_{tausta}	CO-taustapitoisuus (mg/m^3)

Kaavassa 6 tarvittava ilmavirta muutetaan laadusta m^3/s laatuun $l/s, m^2$, jakamalla ilmavirta pinta-alalla ja kertomalla se tuhannella.

$$q_v = \frac{q_v}{A} \times 1000 \quad (6)$$

q_v	Ilmavirta ($l/s, m^2$)
q_v	Tarvittava ilmavirta (m^3/s)
A	Pinta-ala (m^2)

Ilmavirran laskeminen rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeella

Kaavassa 7 lasketaan pysäköintitilan tarvitsema ilmavirta rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeella. Tilat, joissa ajoja autopaikkaa kohden on useampia kuin neljä on poistoilmavirran oltava vähintään $n \times 0,9 (l^3/s)/m^2$. Kaavassa n tarkoittaa ajojen lukumäärää ja sen lukuarvo on vähintään 4. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi liikerakennusten asiakaspaikoitustilat. [3 s.28]

$$q_v = n \times 0,9 l/s, m^2 \quad (7)$$

5.3 Käytännön mitoituskohde

Käytännön mitoituskohteena on erään kauppakeskuksen puolilämmin suljettu auto-paikoitustila eli liikerakennuksen asiakaspaikoitustila. Pysäköintitilan pinta-ala on yli $60 m^2$ ja ulkoseinän avoin ala on alle 30 %, joten pysäköintitilassa on käytettävä koneellista ilmanvaihtoa. Koska kyseessä on liikerakennuksen asiakaspaikoitustila on ajojen lukumäärä rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeen mukaan laskettaessa olta-

va vähintään neljä. Laskentatyökaluun tarvittavia kohdekohtaisia tietoja löytyy kohteesta tehdystä ilmanlaatuselvityksestä ja liikennesuunnitelmasta.

Taulukossa 5 on esitelty kauppakeskuksen pysäköintitilan ilmanvaihdon mitoitukseen tarvittavat lähtötiedot. Ulkoilman taustapitoisuus ja typpidioksidien osuus typen oksideista perustuu kohteesta tehtyyn ilmanlaatuselvitykseen. Ulkoilman taustapitoisuutena käytettiin ilmanlaatuselvityksestä saatuja arvoja, jotka ovat typpidioksidilla 0,09 mg/m³ ja hiilimonoksidilla 3 mg/m³. Laskelmissa on autoliikenteen typenoksidipäästöistä olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia. Typpidioksidipäästöjen osuuden kehittymiseen liittyy kuitenkin paljon epävarmuustekijöitä muun muassa tiukkenevat päästönormit ja dieselautojen määrän muutos. [7.]

Saapuvien ja lähtevien autojen määrä, joutokäyntiaika, kylmien autojen määrä lähtevistä, katalysaattorilla varustettujen ajoneuvojen ja dieselautojen osuus on puolestaan saatu kohteesta tehdystä liikennesuunnitelmasta. Saapuvien ja lähtevien autojen maksimi määräksi saatiin 313 kpl/h. [12] Keskimääräisen joutokäynnin arveltiin olevan 1 minuutti ja kylmien autojen määrän lähtevistä keskimäärin 50 %. Nykyään suurin osa bensiinikäyttöisistä henkilöautoista on katalysaattorilla varustettuja ja vain noin 1 % oletettiin olevan katalysaattorittomia bensiiniautoja. Tulevaisuudessa katalysaattorittomien henkilöautojen määrä tulee pienenemään entisestään, joten laskennassa katalysaattorittomien henkilöautoja ei otettu huomioon. Dieselkäyttöisten henkilöautojen osuus oli 33 %. Dieselkäyttöisten ajoneuvojen ajosuorituksen muutoksen ennustaminen on vaikeampaa, sillä siihen vaikuttavat merkittävästi verotukselliset ohjaukset. [13.]

Pysäköintitilan pinta-ala ja korkeus on saatu pysäköintitilan pohjapiirroksista. Pinta-alaksi saatiin 13 328 m² ja korkeudeksi puolestaan 2,5 metriä. Arkkitehdin pohjapiirroksista on myös laskettu keskimääräinen ajomatka pysäköintihalliin ja hallista ulos, joka on keskimäärin 344 metriä.

TAULUKKO 5. Laskennan lähtöarvoja

Pysäköintitilan pinta-ala	13 328 m ²
Pysäköintitilan korkeus	2,5 m
Saapuvia ja lähteviä autoja	313 kpl/h
Keskimääräinen ajomatka	344 m
Keskimääräinen joutokäyntiaika	1 min
Kylmien autojen määrä lähtevistä	50 %
Ulkoilman taustapitoisuus NO₂, CO	0,09 mg/m ³ , 3 mg/m ³
Dieselautojen osuus	33 %
Typpidioksidien osuus typen oksideista	20 %

6 TULOKSET

6.1 Ajoneuvojen epäpuhtaustuotto

Pysäköintitilojen epäpuhtaustuotot muodostuvat ajoneuvojen kylmäkäytöstä eli kylmäkäynnistyksestä, joutokäynnistä ja pysäköintitilassa ajettavasta matkasta. Pysäköintitilassa syntyvät epäpuhtaustuotot perustuvat Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt LIISA 2012 tutkimusraporttiin Liite E:hen (Taulukko 3.) ja LIISA 2012 Suomen henkilöautojen keskimääräinen päästö ja energiankulutus matkayksikköä kohden vuonna 2011 tietoihin. (Taulukko 4.) Taulukossa 6 on esitelty kauppakeskuksen pysäköintitilassa muodostuvat epäpuhtaustuotot. Taulukossa on esitetty hiilimonoksidin, typpidioksidin ja hiukkasten epäpuhtausmäärät lämmittämättömässä, puolilämpimässä ja lämpimässä pysäköintitilassa.

TAULUKKO 6. Kauppakeskuksessa muodostuvat epäpuhtaustuotot

Pysäköintitilan lämpötila	Hiilimonoksidi	Typpidioksidi	Hiukkaset
Lämmittämätön -10 °C	3052,6 mg/s	35,6 mg/s	11,6 mg/s
Puolilämmitetty 0 °C	1860,4 mg/s	28,4 mg/s	6,2 mg/s
Lämmitetty +10 °C	1157,2 mg/s	24,7 mg/s	5,1 mg/s

6.2 Esimerkkilaskenta raja-arvojen määrittämiselle

Tässä työssä raja-arvot määritetään typpidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuden perusteella jo määritettyjen 15 minuutin ja 8 tunnin lisäksi aikaväleille 60, 120 ja 240 minuuttia. Alla on esitetty esimerkinomaisesti edellä mainittujen raja-arvojen määrittäminen hiilimonoksidille.

Raja-arvojen määrittämiseksi lasketaan tarvittava aikaväli kertoimelle. Kertoimelle tarvittava todellinen aikaväli lasketaan, siten että kaavaan 1 sijoitetaan taulukosta 1 saadut arvot.

$$8h = 480 \text{ min}$$

$$t_{\text{tod}} = 480 \text{ min} - 15 \text{ min} = 465 \text{ min}$$

Kerroin määritetään siten, että kaavaan 2 sijoitetaan taulukosta 1 saadut arvot ja jakajaksi kaavasta 1 saatu todellinen aikaväli.

$$k = \frac{87 \text{ mg/m}^3 - 35 \text{ mg/m}^3}{465 \text{ min}} = 0,112$$

Halutulle raja-arvolle tarvittava todellinen aikaväli lasketaan sijoittamalla kaavaan 1 taulukosta 1 saadut arvot.

$$t_{\text{tod}} = 60 \text{ min} - 15 \text{ min} = 45 \text{ min}$$

Haluttu raja-arvo sijoittamalla kaavasta 2 saatu kerroin ja kaavasta 1 saatu todellinen aikaväli kaavaan 3.

$$r_x = 0,112 \times 45 \text{ min} = 5 \text{ mg/m}^3$$

Todellinen raja-arvo 60 minuutille saadaan vähentämällä haluttu raja-arvo 15 minuutin raja-arvosta kaavan 4 mukaisesti.

$$r_{60 \text{ min}} = 87 \text{ mg/m}^3 - 5 \text{ mg/m}^3 = 82 \text{ mg/m}^3$$

Raja-arvon määrittäminen aikavälille 120 ja 240 minuuttia lasketaan samalla tavalla kuin 60 minuutille, mutta jo saatua kerrointa voidaan käyttää myös näissä laskuissa.

$$t_{tod} = 120 \text{ min} - 15 \text{ min} = 105 \text{ min}$$

$$r_x = 0,112 \times 105 \text{ min} = 11,7 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{120\text{min}} = 87 \text{ mg/m}^3 - 11,7 \text{ mg/m}^3 = 75,3 \text{ mg/m}^3$$

Raja-arvon määrittäminen aikavälille 240 minuuttia.

$$t_{tod} = 240 \text{ min} - 15 \text{ min} = 225 \text{ min}$$

$$r_x = 0,112 \times 225 \text{ min} = 25,2 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{240\text{min}} = 87 \text{ mg/m}^3 - 25,2 \text{ mg/m}^3 = 61,8 \text{ mg/m}^3$$

Taulukossa 7. on esitetty hiilimonoksidin ja typpidioksidin sallitut pitoisuudet tarvittaville aikaväleille. Lopussa on esitetty taustapitoisuus hiilimonoksidille ja typpidioksidille.

TAULUKKO 7. Hiilimonoksidin raja -arvot

Raja-arvon aikaväli	Hiilimonoksidi	Typpidioksidi
15 min	87 mg/m ³	11 mg/m ³
60 min	82,0 mg/m ³	10,51 mg/m ³
2 h	75,3 mg/m ³	9,84 mg/m ³
4 h	61,8 mg/m ³	8,44 mg/m ³
8 h	35 mg/m ³	5,7 mg/m ³
Taustapitoisuus	3 mg/m ³	0,09 mg/m ³

6.3 Pysäköintitilan ilmapvirran esimerkkilaskenta typpidioksidipitoisuuden perusteella

Pysäköintitila mitoitetaan yleensä sillä lämpötilalla, jolla sen on suunniteltu toimivan. Tässä työssä mitoitettiin ilmapirta kaikille pysäköintitilan lämpötilavaihtoehtoille,

jotta voidaan vertailla pysäköintitilan lämpötilan vaikutusta mitoittavaan ilmavirtaan. Työssä käytettiin myös monia eri raja-arvoja, jotta voidaan tutkia raja-arvojen vaikutusta ilmavirtaan.

Pysäköintitilan ilmavirta typpidioksidipitoisuuden 15 minuutin raja-arvolle lämmittämättömässä pysäköintitilassa lasketaan kaavalla 5. Kaavaan 5 sijoitetaan taulukosta 6 arvo 35,6 mg/s ja taulukosta 7 saadut arvot 11 mg/s ja 0,09 mg/s.

$$q_v = \frac{35,6 \text{ mg/s}}{11 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 3,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaavalla 6 tarvittava ilmavirta muutetaan laadusta m³/s laatuun l/s, m², jakamalla kaavasta 5 saatu ilmavirta 3,26 m³/s pysäköintitilan pinta-alalla 13 328 m² ja kertomalla se tuhannella.

$$q_v = \frac{3,26 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,2 \text{ l/s, m}^2$$

Pysäköintitilan ilmavirta typpidioksidipitoisuuden 60 minuutin raja-arvolle lämmittämättömässä pysäköintitilassa lasketaan kaavalla 5. Kaavaan 5 sijoitetaan taulukosta 6 arvo 35,6 mg/s ja taulukosta 7 saadut arvot 10,51 mg/s ja 0,09 mg/s.

$$q_v = \frac{35,6 \text{ mg/s}}{10,51 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 3,41 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaavalla 6 tarvittava ilmavirta muutetaan laadusta m³/s laatuun l/s, m², jakamalla kaavasta 5 saatu ilmavirta 3,41 m³/s pysäköintitilan pinta-alalla 13 328 m² ja kertomalla se tuhannella.

$$q_v = \frac{3,41 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,3 \text{ l/s, m}^2$$

6.4 Pysäköintitilan ilmvirran esimerkkilaskenta hiilimonoksidipitoisuuden perusteella

Pysäköintitilan ilmvirta hiilidioksidipitoisuuden 15 minuutin raja-arvolle lämmittämättömässä pysäköintitilassa lasketaan kaavalla 5. Kaavaan 5 sijoitetaan taulukosta 6 arvo 3052,65 mg/s ja taulukosta 7 saadut arvot 87 mg/s ja 3 mg/s.

$$q_v = \frac{3052,65 \text{ mg/s}}{87 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 36,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaavalla 6 tarvittava ilmvirta muutetaan laadusta m^3/s laatuun l/s, m^2 , jakamalla kaavasta 5 saatu ilmvirta $36,3 \text{ m}^3/\text{s}$ pysäköintitilan pinta-alalla $13\,328 \text{ m}^2$ ja kertomalla se tuhannella.

$$q_v = \frac{36,3 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 2,7 \text{ l/s, m}^2$$

Pysäköintitilan ilmvirta hiilidioksidipitoisuuden 60 minuutin raja-arvolle lämmittämättömässä pysäköintitilassa lasketaan kaavalla 5. Kaavaan 5 sijoitetaan taulukosta 6 arvo 3052,65 mg/s ja taulukosta 7 saadut arvot 82 mg/s ja 3 mg/s.

$$q_v = \frac{3052,65 \text{ mg/s}}{82 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 38,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaavalla 6 tarvittava ilmvirta muutetaan laadusta m^3/s laatuun l/s, m^2 , jakamalla kaavasta 5 saatu ilmvirta $38,7 \text{ m}^3/\text{s}$ pysäköintitilan pinta-alalla $13\,328 \text{ m}^2$ ja kertomalla se tuhannella.

$$q_v = \frac{38,7 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 2,9 \text{ l/s, m}^2$$

6.5 Ilmvirran laskeminen rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeella

Kaavassa 7 lasketaan pysäköintitilan tarvitsema ilmvirta rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeella. Kaavassa $0,9 \text{ l/s, m}^2$ vakioarvo ilmvirralla pysäköintitiloissa ja n tarkoittaa ajojen lukumäärää ja sen lukuarvo on vähintään 4. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi liikerakennusten asiakaspaikoitustilat. [3.]

$$q_v = 4 \times 0,9 \text{ l/s, m}^2 = 3,6 \text{ l/s, m}^2$$

q_v	Ilmavirta (l/s, m ²)
0,9	Tarvittava ilmavirta (l/s, m ²)
n	ajojen lukumäärää

Laskentatyökalu laskee tarvittavan ilmavirran hiilimonoksidin sekä typpidioksidin epäpuhtaustuoton perusteella. Laskentatyökalu laskee myös päästöistä muodostuvan hiukkasten epäpuhtaustuoton, mutta hiukkaspitoisuuteen perustuvaa ilmavirtaa ei ole pystytty määrittämään laskennassa raja-arvojen puuttumisen takia. Taulukossa 8 on esitetty typpidioksidi- ja hiilimonoksidin mitoittavat ilmavirrat eri lämpöisissä pysäköintitiloissa 15 minuutin ja 60 minuutin raja-arvoilla. Taulukosta 8 voidaan huomata, että typpidioksidipitoisuuteen perustuva laskennallinen ilmavirta on vain murto-osa hiilimonoksidipitoisuuden perusteella lasketusta ilmavirrasta. Tämän takia laskentatyökalussa pysäköintitilojen mitoittavana epäpuhtauspitoisuutena käytetään hiilimonoksidia ja sitä myös verrataan rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeella lasketuun ilmavirtaan.

TAULUKKO 8. Mitoittavat ilmavirrat hiilimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuden mukaan

Raja-arvot	Tarvittava ilmavirta					
	Lämmittämätön -10 °C		Puolilämmitetty 0 °C		Lämmitetty +10 °C	
	Typpidioksid, l/s,m ²	Hiilimonoksidi, l/s,m ²	Typpidioksid, l/s,m ²	Hiilimonoksidi, l/s,m ²	Typpidioksid, l/s,m ²	Hiilimonoksidi, l/s,m ²
15 min	0,2	2,7	0,2	1,7	0,2	1,0
60 min	0,3	2,9	0,2	1,8	0,2	1,1

Pysäköintitilan ilmavirtojen tulokset hiilimonoksidipitoisuuden perusteella laskettuna on esitetty taulukossa 9. Taulukossa on sarakkeittain eritelty pysäköintitilan mitoituslämpötiloja vastaavat tulokset ja viimeisessä sarakkeessa on rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeilla laskettu tarvittava ilmavirta. Riveittäin näkyy, minkä aikavälin raja-arvoilla ilmavirran mitoitus on tehty. Taulukossa on myös esitetty, kuinka monta

prosenttia laskentatyökalun antama ilmavirta on rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeilla lasketusta ilmavirrasta.

TAULUKKO 9. Mitoittavat ilmavirrat hiilimonoksidipitoisuuden mukaan

Raja-arvot	Tarvittava ilmavirta						D2 ilmavirrat
	Lämmittämätön -10 °C		Puolilämmitetty 0 °C		Lämmitetty +10 °C		
	l/s,m ²	% D2	l/s,m ²	% D2	l/s,m ²	% D2	l/s,m ²
15 min	2,7	76 %	1,7	46 %	1,0	29 %	3,6
60 min	2,9	81 %	1,8	49 %	1,1	31 %	3,6
2 h	3,2	89 %	1,9	53 %	1,2	33 %	3,6
4 h	3,9	108 %	2,4	67 %	1,5	42 %	3,6
8 h	7,2	199 %	4,4	121 %	2,7	76 %	3,6

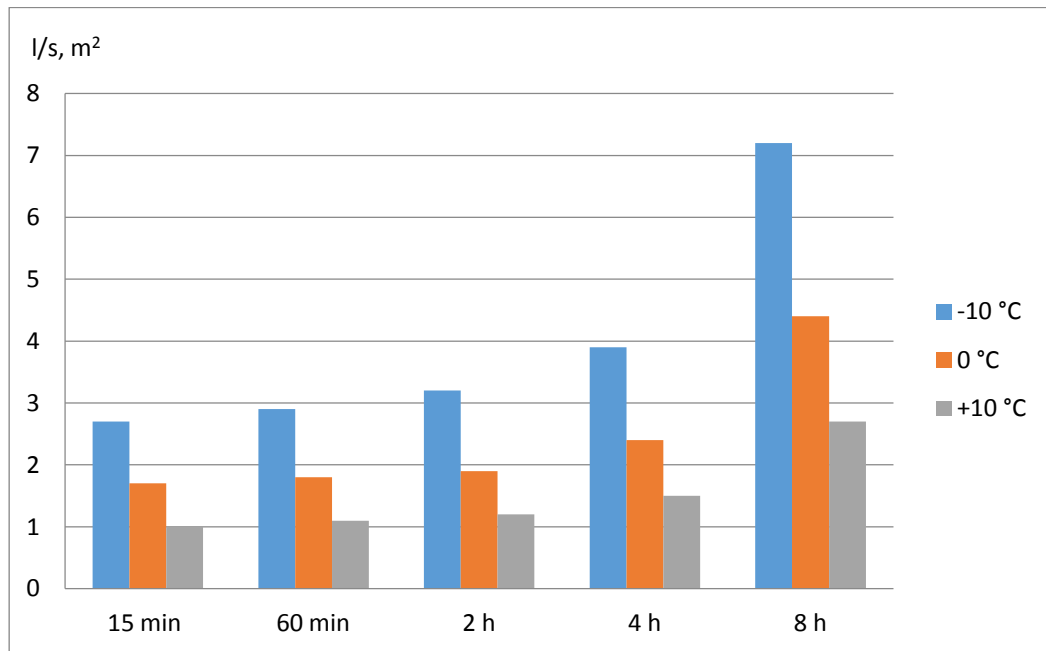
Tuloksista voidaan huomata, että laskentatyökalun mitoittama ilmavirta on pienempi suurimassa osassa mitoitustilanteissa kuin rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeilla lasketut arvot. Ainoastaan tilanteissa, jossa mitoittava raja-arvona ovat 8 tai 4 tuntia kylmässä ja 8 tuntia puolilämpimässä antaa mitoitustyökalu pysäköintitilassa rakentamismääräyskokoelma D2:ta suuremmat mitoittavat ilmavirrat.

Tilanne, jossa mitoittavana raja-arvona on 8 tuntia ja pysäköintitila on lämmittämätön on mitoittava arvo on lähes kaksinkertainen rakentamismääräyskokoelma D2:n antamaan tulokseen. Myös puolilämpimän pysäköintitilan 8 tunnin raja-arvolle laskettu ilmavirta on suurempi kuin rakentamismääräyskokoelma D2:n antama arvo. Pysäköintitilojen ilmanvaihdon mitoitus perustuu kuitenkin väliaikaiseen oleskeluun, joten 8 tunnin antama arvo ei ole vertailukelpoinen D2:n kanssa. Kokoaikaiseen oleskeluun tarkoitettuun tilaan käytetään muita rakentamismääräyskokoelma D2:n mitoitusohjeita.

Tilanne, jossa pysäköintitila on lämmittämätön ja raja-arvona käytetään lyhytaikaisen (15min) oleskelun arvoa voidaan huomata ilmavirran olevan 76 % rakentamismääräyskokoelma D2:n ilmavirrasta. Lämmittämättömän pysäköintitilan väliaikaisen (60 min - 2h) oleskelun arvoilla mitoitettaessa laskentatyökalun ilmavirrat ovat 81 % ja 89 % rakentamismääräyskokoelma D2:n ilmavirrasta.

Puolilämmitetyssä pysäköintitilassa ilmavirrat lyhyellä ja väliaikaisella mitoituksella ovat noin puolet rakentamismääräyskokoelma D2:n arvoista. Puolestaan tilanne, jossa

pysäköintitila on lämmitetty voidaan huomata ilmavirran olevan alle puolet rakentamismääräyskokoelma D2:n antamista arvoista lukuun ottamatta 8 tunnin arvoa. Lämmitetyn pysäköintitilan ilmavirtojen voidaan huomata olevan noin kolmannes rakentamismääräyskokoelma D2:n arvoista lyhyellä ja väliaikaisella (15 min - 2 h) oleskelulla mitoittaessa.



KUVA 2. Mitoittavat ilmavirrat hiilimonoksidipitoisuuden mukaan

Kuva 2 havainnollistaa, kuinka lähellä lämmitetyn ja puolilämmitetyn pysäköintitilan mitoitus tulokset ovat keskenään. Kuvasta voidaan huomata myös, kuinka vähän mitoittavassa ilmavirrassa eroa 15 minuutin, 60 minuutin ja 2 tunnin välillä, joten voi olla järkevää mitoittaa ilmanvaihto pidempää kuin alle tunnin oleskelua varten

Tuloksista voidaan päätellä, että rakentamismääräyskokoelma D2:n mitoituksen olevan suunniteltu väliaikaiseen oleskeluun lämmittämättömissä pysäköintitiloissa. Puolilämpimissä ja lämpimissä pysäköintitiloissa ilmavirrat ovat selvästi rakentamismääräyskokoelma D2:n ilmavirtoja pienemmät. Laskentatyökalu on siis hyödyllinen, kun mitoitetaan puolilämpimien tai lämpimien pysäköintitilojen ilmanvaihtoa. Pysäköintitiloissa voitaisiin välttää ilmavirtojen ylimitoitusta ainakin puolilämpimien ja lämpimien tilojen osalla. Mitoittaessa 15 minuutin tai kahden tunnin oleskelulle ei ilmavirran suuruudessa ole merkittävää eroa. Mitoittaessa esimerkiksi kahden tunnin raja-arvolle voidaan varmistua ilmanvaihdon riittävydestä äärimmäisessä ruuhkatilanteessa.

7 POHDINTA

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kehittää laskentatyökalu pysäköintitilojen ilmanvaihdon arvioimiseen. Työssä myös perehdyttiin pysäköintitilojen ilmanvaihtoa koskeviin määräyksiin ja ohjeisiin. Työssä tutustuttiin myös epäpuhtauspitoisuuksiin, joiden raja-arvojen pohjalta pysäköintitiloissa tarvittava ilmavirta laskettiin. Työssä selvitettiin voiko laskentatyökalun avulla mitoittaa pysäköintitilojen ilmavirta yksilöllisesti välttämättä ylittämättä verrattuna siihen, että ilmanvaihto mitoitettaisiin rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeilla.

Rakentamismääräyskokoelma D2 antaa ohjeita pysäköintitilojen mitoitukseen, mutta varsinaisia määräyksiä ovat sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asettamat haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien raja-arvot. Laskentatyökalun antamat mitoitusarvot perustuvat näiden raja-arvojen alittamiseen.

Pysäköintitilat, jotka ovat suunniteltu puolilämpimiksi tai lämpimiksi voidaan laskentatyökalun mukaan mitoittavana ilmavirtana käyttää alle puolta rakentamismääräyskokoelma D2:n arvoista. Puolestaan lämmittämättömän pysäköintitilan ilmavirrat ovat hyvin lähellä toisiaan laskentatyökalulla sekä rakentamismääräyskokoelman D2:n ohjeilla laskettaessa. Tästä voidaan päätellä rakentamismääräyskokoelma D2:n ohjeiden perustuvan lämmittämättömän pysäköintitilan mitoitukseen ja, että yksilöllinen mitoituslaskenta on hyödyllinen kun mitoitetaan puolilämpimiä tai lämpimiä pysäköintitiloja. Pysäköintitilojen kuormitus vaihtelee suuresti ja sitä myöten myös epäpuhtauspitoisuuksien määrä, joten epäpuhtauspitoisuuksien mittaamiseen perustuva ilmanvaihdon ohjaus on hyvin oleellinen osa toimivaa ja energiatehokasta ilmanvaihdon järjestelmää.

Polttoainetekniikan kehittyessä myös päästöjen pitoisuudet muuttuvat, siitä johtuen yhteen mitoittavaan epäpuhtauspitoisuuteen perustuva mitoitusilmavirta ei välttämättä ole tulevaisuudessa optimaalinen. Esimerkiksi hiilimonoksidin vähentyessä hiukkaset tai hiilidioksidipitoisuudet voivat kohota epämiellyttävälle tasolle. Tämän takia 15 minuutin ja 8 tunnin raja-arvoja olisi hyvä asettaa myös esimerkiksi hiukkaspäästöille.

Jukka Huikarin diplomityössä todetaan ilmanlaadun olevan pysäköintitiloissa erittäin hyvä ja täyttävän jopa sisäilmastoluokan S3 raja-arvot hiilidioksidin osalla suurellakin

kuormitusasteella. Pysäköintitilojen ilmanvaihdon ohjaus oli toteutettu hiilimonoksidiantureilla ja puhaltimien todettiin toimiva osateholla suurimman osan ajasta. Tämä tukee johtopäätöstä pysäköintitilojen ilmanvaihdon yksilöllisen mitoituksen tarpeellisuudesta ja olen myös samaa mieltä, että pysäköintitilojen ilmanvaihdon ohjaus usean eri epäpuhtauden perusteella voisi olla päästöarvojen kehittyessä toimiva ratkaisu.

LÄHTEET

1. Huikari, Jukka 2007. Pysäköintihallien pakokaasupäästöjen mittaaminen ja ilmanvaihdon ohjaus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Luettu 22.7.2015.
2. Ympäristöhallinnon Yhteinen Verkkopalvelu 2015. Ilmanlaatua koskeva sääntely. WWW-dokumentti. http://www.ymparisto.fi/fi-fi/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu/Ilmansuojelun_raja_ja_ohjearovot. Päivitetty 23.3.2015. Luettu 26.8.2015.
3. Ympäristöministeriö 2011. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Päivitetty 16.5.2011. Luettu 22.7.2015.
4. Sosiaali- ja terveysministeriö 2014. HTP-arvot 2014. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. PDF-dokumentti. http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/116148/URN_ISBN_978-952-00-3479-5.pdf. Päivitetty 17.4.2014. Luettu 22.7.2015.
5. Hengitysliitto 2015. Hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet. <http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhtaudet/hiilimonoksidi>. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoja. Luettu 23.7.2015
6. LIPASTO 2012. Tieliikenteen pakokaasupäästöt. WWW-dokumentti. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/index.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 22.7.2015.
7. Komppula, Birgitta, Hannuniemi, Hanna ja Lovén, Katja. Ilmatieteenlaitos 2015. Ilmanlaatuselvitys liikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjen leviämismallinnus. PDF-dokumentti. Luettu 20.8.2015.
8. Itä-Suomen Yliopisto 2002. Ympäristöterveys. WWW-dokumentti. http://wanda.uef.fi/tkk/avoin/ymp_terveys/terveys/terveys_altistus1_ilma.html. Ei päivitystietoja. Luettu 5.9.2015.
9. LIPASTO 2012. LIISA 2012. WWW-dokumentti. <http://www.lipasto.vtt.fi/liisa/liisa12.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 22.7.2015.
10. Mäkelä, Kari ja Auvinen, Heidi. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt, LIISA 2012 laskentajärjestelmä. PDF-dokumentti. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa2012raportti.pdf>. Päivitetty 3.12.2013. Luettu 23.7.2015.
11. LIPASTO 2012. Suomen henkilöautojen keskimääräinen päästö ja energiankulutus matkayksikköä kohden vuonna 2011. WWW-dokumentti. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/hayht.htm>. Päivitetty 7.8.2012. Luettu 22.7.2015.
12. Yli-Kauhaluoma, Mikko. Trafix 2015. Liikenteen toimivuus tarkastelu. PDF-dokumentti. Luettu 20.8.2015

13. Autoalan tiedotuskeskus 2015. Dieselautojen osuus henkilöautokannasta ja ensirekisteröinneistä 1990 – 2014. WWW-dokumentti. http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/suomen_autokanta/autokannan_kehitys/dieselautojen_osuus_henkiloautojen_ensirekisteroinneista_ja_henkiloautokannasta. Päivitetty 27.1.2015. Luettu 27.27.2015.
14. NPRA Norwegian Public Roads Administration. Road Tunnels. WWW-dokumentti. http://www.vegvesen.no/_attachment/61416/binary/14123. Päivitetty 4.3.2014. Luettu 26.8.2015.
15. VTT Energia 2001. Henkilöautojen pakokaasupäästöt kylmissä olosuhteissa ja niiden vähentämisen tekniikat. PDF-dokumentti. Päivitetty 5.3.2012. Luettu 23.7.2015.

LASKENTA

Raja-arvon määrittäminen typpidioksidille aikavälille 60 minuuttia.

$$8h = 480 \text{ min}$$

$$t_{\text{tod}} = 480 \text{ min} - 15 \text{ min} = 465 \text{ min}$$

$$k = \frac{87 \text{ mg/m}^3 - 35 \text{ mg/m}^3}{465 \text{ min}} = 0,112$$

$$t_{\text{tod}} = 60 \text{ min} - 15 \text{ min} = 45 \text{ min}$$

$$r_x = 0,112 \times 45 \text{ min} = 5 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{60\text{min}} = 87 \text{ mg/m}^3 - 5 \text{ mg/m}^3 = 82 \text{ mg/m}^3$$

Raja-arvon määrittäminen typpidioksidille aikavälille 120 minuuttia.

$$t_{\text{tod}} = 120 \text{ min} - 15 \text{ min} = 105 \text{ min}$$

$$r_x = 0,112 \times 105 \text{ min} = 11,7 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{120\text{min}} = 87 \text{ mg/m}^3 - 11,7 \text{ mg/m}^3 = 75,3 \text{ mg/m}^3$$

Raja-arvon määrittäminen v aikavälille 240 minuuttia.

$$t_{\text{tod}} = 240 \text{ min} - 15 \text{ min} = 225 \text{ min}$$

$$r_x = 0,112 \times 225 \text{ min} = 25,2 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{240\text{min}} = 87 \text{ mg/m}^3 - 25,2 \text{ mg/m}^3 = 61,8 \text{ mg/m}^3$$

Raja-arvon määrittäminen hiilimonoksidille aikavälille 60 minuuttia.

$$8h = 480 \text{ min}$$

$$t_{\text{tod}} = 480 \text{ min} - 15 \text{ min} = 465 \text{ min}$$

$$k = \frac{11 \text{ mg/m}^3 - 5,7 \text{ mg/m}^3}{465 \text{ min}} = 0,011$$

$$t_{\text{tod}} = 60 \text{ min} - 15 \text{ min} = 45 \text{ min}$$

$$r_x = 0,011 \times 45 \text{ min} = 0,49 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{60 \text{ min}} = 11 \text{ mg/m}^3 - 0,49 \text{ mg/m}^3 = 10,51 \text{ mg/m}^3$$

Raja-arvon määrittäminen hiilimonoksidille aikavälille 120 minuuttia.

$$t_{\text{tod}} = 120 \text{ min} - 15 \text{ min} = 105 \text{ min}$$

$$r_x = 0,011 \times 105 \text{ min} = 1,16 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{120 \text{ min}} = 11 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} - 1,16 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = 9,84 \text{ mg/m}^3$$

Raja-arvon määrittäminen hiilimonoksidille aikavälille 240 minuuttia.

$$t_{\text{tod}} = 240 \text{ min} - 15 \text{ min} = 225 \text{ min}$$

$$r_x = 0,0114 \times 225 \text{ min} = 2,56 \text{ mg/m}^3$$

$$r_{240 \text{ min}} = 11 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} - 2,56 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = 8,44 \text{ mg/m}^3$$

Ilmavirran laskeminen typpidioksidin perusteella kun pysäköintitilan lämpötila on lämmittämätön (-10 °C)

Mitoittava raja-arvo 15 min

$$q_v = \frac{35,6 \text{ mg/s}}{11 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 3,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{3,26 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,2 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 60 min

$$q_v = \frac{35,6 \text{ mg/s}}{10,51 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 3,41 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{3,15 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,3 \text{ l/s, m}^2$$

Ilmavirran laskeminen typpidioksidin perusteella kun pysäköintitilan lämpötila on lämmittämätön (0 °C)

Mitoittava raja-arvo 15 min

$$q_v = \frac{28,4 \text{ mg/s}}{11 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{2,6 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,2 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 60 min

$$q_v = \frac{28,4 \text{ mg/s}}{10,51 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 2,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{3,15 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,2 \text{ l/s, m}^2$$

Ilmavirran laskeminen typpidioksidin perusteella kun pysäköintitilan lämpötila on lämmittämätön (+10 °C)

Mitoittava raja-arvo 15 min

$$q_v = \frac{24,7 \text{ mg/s}}{11 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 2,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{2,6 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,2 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 60 min

$$q_v = \frac{24,7 \text{ mg/s}}{10,51 \text{ mg/m}^3 - 0,09 \text{ mg/m}^3} = 2,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{3,15 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 0,2 \text{ l/s, m}^2$$

Ilmavirran laskeminen hiilimonoksidipitoisuuden perusteella kun pysäköintitilan lämpötila on lämmittämätön (-10 °C)

Mitoittava raja-arvo 15 min

$$q_v = \frac{3052,65 \text{ mg/s}}{87 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 36,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{36,3 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 2,7 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 60 min

$$q_v = \frac{3052,65 \text{ mg/s}}{82 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 38,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{38,7 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 2,9 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 2 h

$$q_v = \frac{3052,65 \text{ mg/s}}{75,3 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 42,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{25,7 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 3,2 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 4 h

$$q_v = \frac{3052,65 \text{ mg/s}}{61,8 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 51,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{31,6 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 3,9 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 8 h

$$q_v = \frac{3052,65 \text{ mg/s}}{35 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 95,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{95,7 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 7,2 \text{ l/s, m}^2$$

Ilmavirran laskeminen hiilimonoksidipitoisuuden perusteella kun pysäköintitilan lämpötila on puolilämmin (0 °C)

Mitoittava raja-arvo 15 min

$$q_v = \frac{1860,39 \text{ mg/s}}{87 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 22 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{22 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 1,7 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 60 min

$$q_v = \frac{1860,39 \text{ mg/s}}{82 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{24 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 1,8 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 2 h

$$q_v = \frac{1860,39 \text{ mg/s}}{75,3 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 25,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{25,7 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 1,9 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 4 h

$$q_v = \frac{1860,39 \text{ mg/s}}{61,8 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 31,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{31,6 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 2,4 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 8 h

$$q_v = \frac{1860,39 \text{ mg/s}}{35 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 58 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{58 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 4,4 \text{ l/s, m}^2$$

Ilmavirran laskeminen hiilimonoksidipitoisuuden perusteella kun pysäköintitilan lämpötila on lämmitetty (+10 °C)

Mitoittava raja-arvo 15 min

$$q_v = \frac{1157,20 \text{ mg/s}}{87 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{14 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 1,0 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 60 min

$$q_v = \frac{1157.20 \text{ mg/s}}{82 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{15 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 1,1 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 2 h

$$q_v = \frac{1157.20 \text{ mg/s}}{75,3 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{16 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 1,2 \text{ l/s, m}^2$$

Mitoittava raja-arvo 4 h

$$q_v = \frac{1157.20 \text{ mg/s}}{61,8 \text{ mg/m}^3 - 3 \text{ mg/m}^3} = 19,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_v = \frac{15 \text{ m}^3/\text{s}}{13328 \text{ m}^2} \times 1000 = 1,5 \text{ l/s, m}^2$$