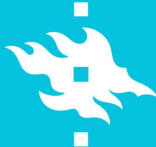


LES-virtausmallitarkastelu kaupunkibulevardilla



HSY



TEKIJÄT:

Mona Kurppa¹, Antti Hellsten², Mikko Auvinen^{1,2}, Anu Kousa³
Mari Kauhaniemi² ja Nelli Kaski³

¹ Helsingin yliopisto

² Ilmatieteen laitos

³ Helsingin seudun ympäristöpalvelut



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



RAPORTIN VALMISTELUUN OSALLISTUIVAT MYÖS:

Christina Suomi, Jari Rantsi, Pihla Kuokkanen, Anu Kuutti ja Tapani Rauramo,
Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto

Anu Haahla ja Outi Väkevä, Helsingin Ympäristökeskus

Tiivistelmä

Tässä LES-tapaustutkimuksessa on tarkasteltu kaupunkikortteleiden tuulettumista eri kaupunkikortteliratkaisuissa. Tavoitteena oli selvittää, onko kortteleiden sijoittelulla, massoittelulla ja korkeusvaihteluilla merkitystä ilman epäpuhtauksien kulkeutumiseen ja ilmanlaatuun katukuiluissa ja sisäpihoilla, ja asettaa tämän mukaan eri korttelimallit paremmuusjärjestykseen.

Tutkimuskohteena oli neljä Hämeenlinnanväylän alueelle laadittua teoreettista bulevardikaupunkirakennetta.

Tutkimuksessa ilman virtausta ja virtauksen mukana liikkuvia, ilman epäpuhtauksia kuvaavia, [ilmapaketteja](#) mallinnettiin suurten pyörteiden simulaatiomallilla (large-eddy simulation, LES). Tutkimuksessa otettiin huomioon paitsi katupuiden ja ympäröivän puuston ilman virtausta jarruttava vaikutus, myös säätilan merkitys tuulettumiseen.

Tutkimus osoittaa, että kortteliratkaisulla on huomattava merkitys bulevardikadun tuulettumiseen. Rakennuskorkeuden kortteleiden välinen vaihtelevuus keskimääräisesti lisää pystysuuntaista tuulettumista ja ilman epäpuhtauksien kulkeutumista ylöspäin pois katutasosta. Vaakasuuntainen tuulettuminen on sitä tehokkaampaa mitä esteettömämpää virtaus on. Rakennukset ja puusto hidastavat ja estävät virtauksen kulkua ja täten myös ilman epäpuhtauksien kulkeutumista.

Tehokkaampi tuulettuminen voi laskea terveydelle haitallisten ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joille ihmiset altistuvat katutasossa.

Tämän LES-tarkastelun perusteella valittiin paras korttelimalli, mutta tutkimuksen perusteella ei voida antaa suoria arvioita ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. OSPM-tarkastelusta saatiin arvio typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvolle kolmessa eri liikennemääräskenaariossa liikenteen ollessa sujuvaa. Pienimällä tarkastellulla liikennemäärällä typpidioksidille asetettu raja-arvo ei todennäköisesti ylity yhdessäkään kortteliratkaisussa, mutta suuremmilla liikennemäärillä raja-arvo joko ylittyy tai on vaarassa ylittyä riippuen kortteliratkaisusta. Yksi tarkastelluista neljästä kortteliratkaisusta osoittautui tässä suhteessa selvästi muita paremmaksi.

Abstract

This study utilizes LES (Large-Eddy Simulation) modeling to examine how the structural layout of different urban perimeter block arrangements influences the air quality within street canyons. The objective is to reveal whether changes in the perimeter block orientation and shape can alter the wind conditions enough to result in meaningful differences in the local pollutant dispersion and ventilation characteristics.

This numerical investigation considers four alternative city boulevard designs for the Hämeenlinnanväylä area that forms part of the new Helsinki City Plan. Each design facilitates an equal amount of gross floor area, but features a distinctly different city block plan layout. The efficiency with which each boulevard design is capable of dispersing traffic emissions from its street canyons is assessed by performing high-resolution LES analysis with a model that features a detailed representation of the urban landscape including trees planted on the boulevard and surrounding forests.

The LES simulations yield detailed descriptions of the atmospheric turbulence and how it interacts with the urban structures in each boulevard alternative. The solution also incorporates a simultaneous evolution of air parcels, representing elements of traffic emissions, which are continuously discharged from the streets. The ventilation and dispersion performance of each design package is evaluated and compared by analyzing the distribution of these air parcel concentrations and their rate of vertical transport and dilution. Two contrasting meteorological scenarios are considered in the simulations.

The study concludes that the most effective way to improve air quality within street canyons and inner courtyards is to introduce variation in the perimeter block heights. While confirming that the meteorological conditions have a strong impact on urban air quality, the investigation reveals that the chosen city block arrangement can play a significant role as well. The results of this study provide detailed information for urban planners on how design choices can reduce the level of pollution exposure in a densely built environment.

The LES investigation enabled the identification of the best boulevard design alternative, but these simulations cannot provide estimates on what the actual pollution levels will be. For this reason, the study is augmented by OSPM-analysis, which provides estimates for the annual average NO₂ concentration levels within the boulevard. The study concludes that in light traffic conditions (21 900 vehicles per weekday) the issued threshold value was not surpassed by any of the design alternatives. But, under heavier traffic conditions the threshold was nearly reached or exceeded, depending on the city block arrangement.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

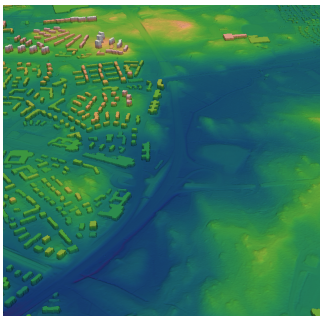
Viitteet

- **Sanasto**

Johdanto

Bulevardisoinnin tavoitteena on luoda monipuolista urbaania kaupunkitilaa, joka on samalla myös terveellinen, turvallinen ja viihtyisä.

Tutkimuksen tarkastelualue keskittyi Metsäläntien ja Hämeenlinnanväylän risteyksen läheisyyteen välillä Hakamaentie - Kehä I.



Kuva 1: Tarkastelualueen lähtötilanne vuonna 2016 topografiakartalla, jossa rakennuksia ja Hämeenlinnanväylää erottavat suojavyöhykkeet. Tutkimusasetelmassa korttelit rajaavat uudelleen linjattua ja kaduksi muutettua Hämeenlinnanväylän bulevardia.



Kuva 2: Nykyisen Hämeenlinnanväylän (paksu katkoviiva) ja tutkitun bulevardikadun (ohut katkoviiva) linjausten ero.

Tässä kaupunkibulevardeilla tarkoitetaan katuja, joissa on omat kaistat kullekin kulkumuodolle ja jossa katulinjaa reunustavat rakennuskorttelit muodostavat katukuiluja.

Johdanto

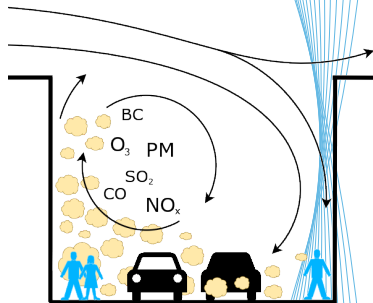
Tiivis kaupunkirakenne ja etenkin katukuilumaiset korttelirakenteet heikentävät tuulettuvuutta. Katukuiluun syntyy usein tuulipyörre (Kuva 3), joka toisaalta edesauttaa päästöjen kulkeutumista pois katukuilusta, mutta toisaalta myös kierrättää sekä kadulta lähtöisin olevia liikenteen päästöjä että muita ympäristön epäpuhtauksia katukuilussa kasaten niitä tuulenpuoleiselle sivulle.

Ulkoilman laadulle on asetettu terveysvaikutusperusteiset raja-arvot, jotka eivät saa ylittyä alueilla, joilla ihmisiä oleilee.

Kaupunkirakenteen tiivistämisestä, liikkumistarpeen vähentämisestä ja joukkoliikenteen lisääntyvästä käytöstä huolimatta bulevardien liikennemäärän ja mahdollisen ruuhkautumisen pelätään aiheuttavan ilmanlaatuongelmia.

Vuonna 2014 julkaistussa kaupunkibulevardien ilmanlaatuselvityksessä¹ arvioitiin suunnitteilla olevien kaupunkibulevardien toteuttamismahdollisuuksia vuonna 2014 voimassa olleet ilmanlaatukriteerit huomioiden.

Tämä työ on Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston toimeksiannosta tehty jatkoselvitys. Aiemman ilmanlaatuselvityksen suositusten mukaisesti LES-virtausmallia on hyödynnetty arvioimaan vilkasliikenteisen kadunvarren korttelirakenteiden vaikutuksia ilman virtaukseen ja sen kautta ilman epäpuhtauksien kulkeutumiseen kokonaisen kaupunginosan tarkastelualueella. Tässä laajuudessa ja menetelmällä saatutulla tarkkuudella tehty työ lienee ensimmäinen maailmassa.



Kuva 3: Havaintoesimerkki ilman epäpuhtauksien kulkeutumisesta katukuilussa

¹ Kaupunkibulevardien ilmanlaatuselvitys. Ilmatieteen laitos. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2014:29

Johdanto

Tavoitteet

Tavoitteena on suunnitella terveellisuuden ja turvallisuuden vaatimukset täyttäviä mahdollisimman hyvin tuulettuvia monimuotoisia korttelirakenteita kaupunkibulevardien varrelle.

Tässä työssä tutkittiin ilmapakettien kulkeutumista ja tuulettumista katukuiluista ja sisäpihoilta neljässä toisistaan poikkeavassa esimerkkikortteliratkaisussa. LES-virtausmallinnus toteutettiin kaupunkiympäristössä **neljällä kortteliversiolla V1-V4** neljässä toisistaan poikkeavassa säätilassa katupuut sekä ympäröivä kasvillisuus huomioiden.

Työn tutkimuskysymykset olivat:

- Millaisessa kortteliratkaisussa liikenteen päästöt kulkeutuisivat parhaiten pois katukuiluista?
- Mitkä tekijät vaikuttavat eniten katukuilujen ja sisäpihojen tuulettavuuteen?
- Ylittyykö typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvolle annettu raja-arvo teoreettisella kaupunkibulevardilla ja miten eri kortteliratkaisut vaikuttavat tähän?

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylitymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

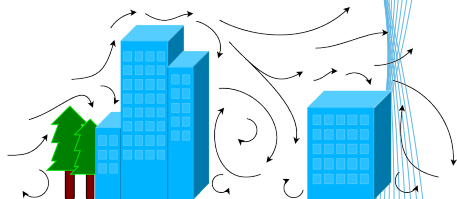
Viitteet

- **Sanasto**

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

LES-mallinnusmenetelmä

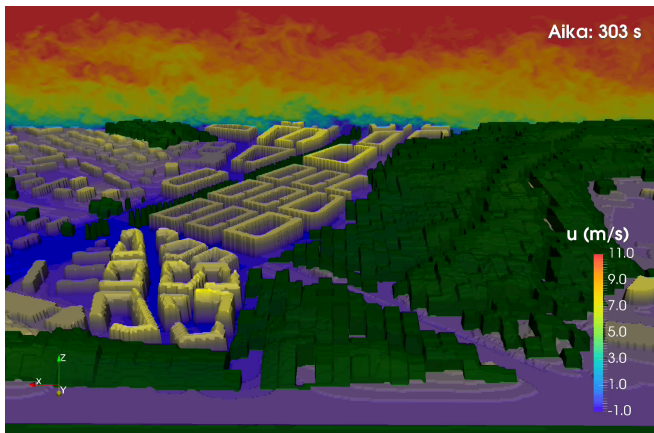
- LES = **L**arge-**E**ddy **S**imulation = Suurten pyörteiden simulaatiomenetelmä.
- LES on numeerista virtauslaskentaa, jossa kaikki laskentahilaväliä (= laskentaresoluutiota) suuremmat kolmiulotteiset virtausrakenteet ratkaistaan suoraan ajan ja paikan funktiona. Pienemmät rakenteen parametrisoidaan.
- LES vaatii raskasta rinnakkaislaskentaa supertietokoneympäristössä.
- Kaupunkialueen LES-mallinnuksessa on resoluution oltava riittävän suuri, jotta suurin osa virtausrakenteista saadaan ratkaistua myös katukuiluissa ja sisäpihoilla. Tässä tutkimuksessa resoluutio on 1 m (tarkin mahdollinen vuonna 2016).
- Samalla mallinnusalueen on oltava riittävän laaja, jotta malli kuvaa ilmakehän rajakerroksen turbulentin liikkeen todenmukaisesti.
- Tämänkaltainen LES-mallinnus on vasta äskettäin tullut mahdolliseksi sen vaatiman suuren laskentakapasiteetin vuoksi.



Kuva 4: Periaatekaavio ilman virtausrakenteista ja -pyörteistä kaupunkiympäristössä

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Esimerkki LES-virtausmallinnuksesta teoreettisessa kaupunkiympäristössä



Klikkaa kuvaa nähdäksesi animaation!

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Tässä työssä tutkittiin kaupunkirakenteen vaikutusta **ilman virtaukseen** ja **ilmapakettien** kulkeutumiseen ja korttelirakenteiden tuulettumiseen. Työssä hyödynnetty LES-mallinnus on ilmapakettien mallinnusta, ei varsinaista ilmanlaatumallinnusta.

Ilman virtaus

Kolmiulotteista ja turbulenttia.

Ilmapaketti

Massaton ja reagoimaton partikkeli, joka kulkeutuu ilman virtauksen mukana.

Kaasumaiset ilmansaasteet ja pienhiukkaset kulkeutuvat ilmapakettien tavoin.

- Pienhiukkasten kohdalla, fysikaaliset prosessit (*esim. tiivistyminen, haihtuminen, koaguloituminen ja asettuminen pinnoille*), joita tässä työssä ei ole huomioitu, muokkaavat lisäksi paikallisia pienhiukkaspitoisuuksia.
- Reagoivien kaasujen, esim. typen oksidien (NO_x), kohdalla kemialliset reaktiot vaikuttavat pitoisuuteen.

Ilmapaketit edustavat ilman epäpuhtauksia. **Taustapitoisuuksia** ei ole huomioitu vaan työssä arvioitiin paikallisten ilman epäpuhtauksien kulkeutumista.

Korttelirakenteiden tuulettuminen

Epäpuhtaan ilman korvautuminen puhtaammalla ilmalla. Ihanteellista on epäpuhtauksien tuulettuminen ylöspäin.

LES-mallia yksinkertaisemmalla OSPM-ilmanlaatumallilla voidaan simuloida ilmanlaatua pelkistetyissä katukuiluissa [Linkki osioon OSPM-mallinnus: Vuosikeskiarvojen arviointi](#).

Kyseessä on uraa uurtava LES-tutkimus, sillä ilman epäpuhtauksien teoreettista leviämistä kaupunkiympäristössä ei ole aiemmin muuallakaan maailmassa tutkittu näin suurella tarkkuudella.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Menetelmät

Virtaussimulointi

PALM

Tutkimus tehtiin LES-virtausmallilla PALM (Maronga *et al.*, 2015), joka on Hannoverin yliopistossa kehitetty avoimen lähdekoodin LES-virtausmalli ilmakehän rajakerrossimulaatioita varten. [Linkki PALM:n nettisivuille](#)

PALM:lla pystytään simuloimaan 3-ulotteiset virtauskentät myös hyvin monimutkaisissa ympäristöissä, kuten kaupunkikortteleissa, käyttäen korkeaa paikallista ja ajallista laskentaresoluutiota.

PALM on validoitu vertaamalla mallituloksia mittaustuloksiin useissa erilaisissa tilanteissa.

Ilmatieteen laitos ja Helsingin yliopisto osallistuvat aktiivisesti PALM:in kehitystyöhön.

- Esimerkkinä tässä työssä hyödynnetty sisäkkäisten laskenta-alueiden menetelmä (nesting), jonka Ilmatieteen laitoksen ja Hannoverin yliopiston tutkijat ovat yhteistyössä kehittäneet aivan hiljattain.

Simulaatiot suoritettiin Ilmatieteen laitoksen Cray XC-30 -supertietokoneella. Laskenta rinnakaistettiin neljällesadalle prosessoriytimelle.

Suorituskykyisellä henkilökohtaisella tietokoneella laskentaan olisi kulunut arviolta noin 3 vuotta. Tosin se ei olisi ollut mahdollista, koska laskennassa tarvittiin yhteensä yli teratavun (=1024 gigatavua) verran keskusmuistia. Henkilökohtaisissa tietokoneissa on varsin harvoin enemmän kuin 16 tai 32 gigatavua keskusmuistia.

Menetelmät

Virtaussimulointi

Tutkimuksessa PALM-malliin oli yhdistetty sekä ilmapakettien kulkeutumista kuvaava malli että kasvillisuusmalli.

- Ilmapakettien kulkeutumista kuvaavalla mallilla simuloitiin reagoimattomien kaasumaisien aineiden ja pienhiukkasten kulkeutumista kaupunkikortteleissa.
- Kasvillisuusmallin avulla huomioitiin katupuiden ja ympäröivien puiden vaikutus ilman virtaukseen ja ilmapakettien kulkeutumiseen.

Mallinnuksen työvaiheet

1. Laskenta-alueen pinnanmuotojen ja puuston korkeuskarttojen rakentaminen sekä ilmapakettien lähdealueiden määrittäminen kartalle
2. Simulaatioissa käytettävien meteorologisten olosuhteinen määrittäminen
3. Virtaussimulointi
4. Tulosten jälkikäsitteily ja analysointi

Menetelmät

Ympäristön pinnanmuodot



Kuva 5: Esimerkki topografiakartasta

- Simulaatioita varten laadittiin topografiakartta kuvaamaan ympäristön pinnankorkeutta Z (m).
- Pinnanmuodoissa ovat mukana kaikki ilman virtaukselle läpäisemättömät pinnat eli rakennukset ja maanpinnan.
 - Maaston korkeustiedot saatiin Maanmittauslaitoksen tiedostopalvelusta.
 - Rakennustiedot ovat Helsingin Kaupunkimittausosaston KMO:n sekä KSV:n aineistoa.
- Tutkimuksessa pinnanmuotoihin otettiin huomioon myös Helsingin uuden yleiskaavan (Kvsto 26.10.2016) mukaiset rakentamisalueet Hämeenlinnanväylän bulevarditarkastelualueen etelä- ja pohjoispuolilla.

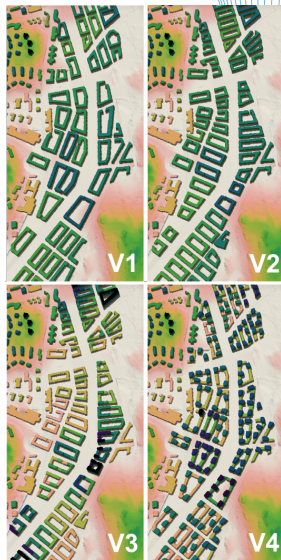
Menetelmät

Ympäristön pinnanmuodot

Tutkimuksessa verrattiin neljää toisistaan poikkeavaa korttelirakennetta, jotka tuottavat LES-virtaustarkastelussa riittävän monipuolisen variaation. Kortteliversiot ovat:

- V1:** Korttelit, joiden pitkä julkisivu on bulevardin suuntainen. Korttelit ovat kooltaan noin 100 m x 50 m. Rakennusten korkeus on 30 m.
- V2:** Kuten V1, mutta korttelit on käännetty 90 ° siten, että kaikin sivu on bulevardin suuntainen ja bulevardin suuntaan nähden poikittaisia katuja on V1:en verrattuna enemmän.
- V3:** Korttelit on suunnattu kuten V2:ssa, mutta rakennusten korkeus vaihtelee välillä $20\text{ m} < h < 50\text{ m}$. Korkeimmat rakennukset sijoittuvat liikenteen solmukohtiin (Metsäläntien ja Pirkkolatien risteykset).
- V4:** Korttelit on suunnattu kuten V1:ssa, mutta rakennusten massoittelu on erilainen. Rakennuksissa on 20 m korkea jalusta liiketiloja varten ja tornimaisia asuinratkaisuja jalustan yläpuolella ($h < 45\text{ m}$). Välit ja aukot rikkovat katukuilugeometriaa.

Takaisin Johdanto-osioon

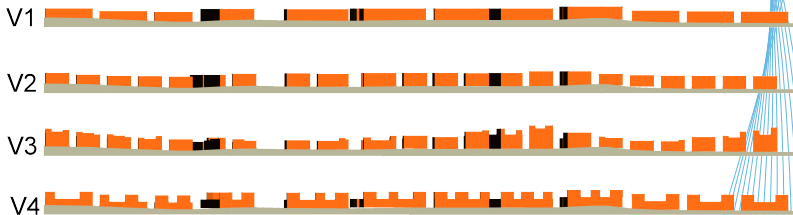


Kuva 6: Eri kortteliversiot.

Kuva 6 suurempana [Liitteessä A](#).

Menetelmät

Ympäristön pinnanmuodot



Kuva 7: Bulevardikadun pituusleikkaus kadun itäpuolelta katsottuna. Kuvasta ilmenee korttelien leveyksien ja korkeuksien vaihtelu eri versioissa.

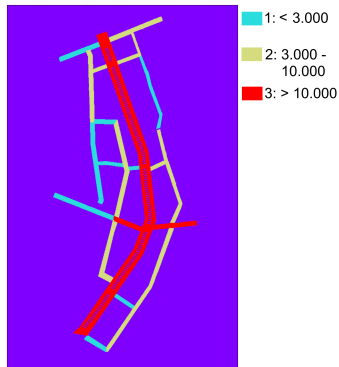
Kerrosalatoite ja bulevardin leveys (54 m) ovat samat kaikissa vaihtoehdoissa. Kaikki katot ovat tasakattoja. Myös katupuiden sijoittelu bulevardin keskelle on koko pituudeltaan kaikissa versioissa identtinen.

Takaisin Pohdinta-osioon.

Menetelmät

Kadut ilmapakettien lähteinä

Liikennemäärät ja -luokat (ajoneuvoa / vuorokausi)



Kuva 8: Katuverkko ja arvioidut liikennemäärät bulevardialueella vuonna 2025. Kadut ovat jaettu kolmeen eri luokkaan keskimääräisen liikennemäärän mukaan. Katuverkko ja liikennemäärät perustuvat Hämeenlinnanväylän kaupunkibulevardi - liikenneselvityksen tuloksiin (Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2015:6).

- Tässä työssä tutkittiin kaduilta lähtöisin olevien ilmapakettien kulkeutumista kaupunkikortteleissa.
- Katujen arkivuorokauden keskimääräiset liikennemääräarviot ovat vuodelle 2025 olettaen, että Hämeenlinnanväylä on muutettu liikenneolosuhteitaan tasoliittymälliseksi bulevardiksi. Muut lähtöoletukset löytyvät Hämeenlinnanväylän kaupunkibulevardi - liikenneselvityksestä.
- Kadut jaettiin kolmeen eri lähdeluokkaan $i = 1, 2$ tai 3 arvioidun liikennemäärän perusteella.
- Ilmapaketteja (jotka kulkeutuvat kuten ilman epäpuhtaudet) lähettiin katujen päältä 1 m korkeudesta 4 sekuntin välein 1 ilmapaketti $/m^2$.
 - Ilmapaketteja ei lähetetty katupuiden alta, sillä puut eivät ole lähteitä.
- Suhteelliset lähdevoimakkuudet määrättiin katukohtaisten liikennemäärien mukaan.
- Lähteiden voimakkuus huomioitiin painottamalla pitoisuuksia kertoimella $w_i = 2^{i-1}$ missä i on lähdeluokka.

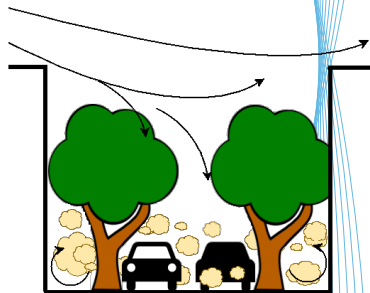
Menetelmät

Puiden vaikutus

Aiemmissa tutkimuksissa (esim. kirjallisuuskatsaus Janhäll (2015)) korkeiden katupuiden on havaittu hidastavan ilman virtausta ja liikenteen päästöjen poistumista katukuilusta (Kuva 9) ja täten nostavan ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia katutasossa paikallisesti.

Puiden kykyä poistaa ilman epäpuhtauksia, esimerkiksi pienhiukkasten deponoitumista (kertymistä) lehdille, on tutkittu vain vähän kaupungeissa. Tutkimuksissa vaikutus pitoisuuksiin on havaittu vähäiseksi (Salmond *et al.* 2016). Deponoituminen on sitä voimakkaampaa, mitä lähempänä päästölähdettä kasvillisuus on (Janhäll, 2015). Näin ollen katukuiluissa deponoitumisen kannalta paras vaihtoehto olisivat matalat pensaat, tuulettumisen kannalta pensaat ja seinäkasvillisuus.

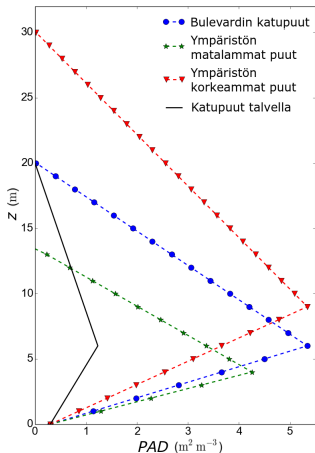
Puiden vaikutus kaupunkiympäristöön ei ole yksiselitteinen: puut esimerkiksi tarjoavat sekä varjoa että tuulensuojaa ja lisäävät biodiversiteettiä ja viihtyisyyttä.



Kuva 9: Periaatekaavio katupuiden vaikutuksesta tuulettumiseen. Tilanne on esitetyn mukainen puiden ollessa lehvässä ja koskee ajanjaksoa touko-kesäkuusta loka-marraskuuhun. Lehdettömällä jaksolla vaikutus on selkeästi vähäisempi.

Menetelmät

Puiden vaikutus



Kuva 10: Esimerkit kasvialatiheyden PAD (m^2/m^3) pystyprofiileista korkeuden z (m) funktioina.

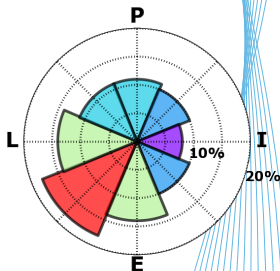
- Simulaatioissa bulevardin keskelle asetettiin kaksi katupuuriviä. Lisäksi bulevardikaupunginosan ulkopuolella olevassa ympäristössä on paljon puita, esim. Keskuspuistossa idässä.
- Puut ovat huokoisia esteitä, jolloin niiden vaikutus virtaukseen tulee huomioida eri tavalla kuin läpäisemättömien esteiden (eli maan pinnan ja rakennusten): vaikutus esitettiin kasvialatiheyden (plant area density, PAD) avulla.
- Puiden korkeus annettiin mallille karttana, joka kertoo puun korkeuden tietyssä pisteessä (0 m = ei puuta).
- PAD :n profiili (Kuva 10):
 - Puut (lehmuksia), joiden oksat alkavat 6,5 m korkeudesta ja oksasto on kartion muotoinen.
 - Mitatut PAD arvot lehmuksille saatiin [Viikin testipuista](#).
 - Ympäristön puiden kohdalla profiilia venytettiin tai litistettiin, jos puu oli korkeampi tai matalampi kuin bulevardin katupuu.
 - Talvisissa simulaatioissa lehdettömyys ja hidastavan vaikutuksen heikkeneminen huomioitiin pienentämällä PAD :n arvoa 20 prosenttiin.
- Bulevardilla sekä puurivien etäisyys toisistaan että puiden istutusväli ovat 10 m.

Menetelmät

Säätilan vaikutus

Säätilan vaikutus huomioitiin suorittamalla mallisimulaatiot kaikilla korttelimalleilla V1-V4 kahdessa, toisinaan selkeästi poikkeavassa säätilassa:

1. **Yleinen säätila:** Tuuli lounaasta, lämpötila maanpinnassa 20°C ja ilman pystysuuntainen sekoittuminen mahdollista (= neutraali ilmankerros). Tämä edustaa tyypillistä kesäsäätä Helsingissä.
2. Ilmanlaadun kannalta **epäedullinen säätila:** Heikko tuuli idästä, lämpötila maanpinnassa -10°C ja ilman pystysuuntainen sekoittuminen hidasta ja rajoitettua (= lämpötilainversio, stabiili ilmankerros). Tämä edustaa tyypillistä talvisäätä Helsingissä korkeapaineen vallitessa, jolloin ilmanlaatu on usein heikentynyt.



Kuva 11: Keskimääräisen tuulensuunnan jakauminen Helsinki-Vantaa lentoasemalla vuosina 1980 - 2010. Lähde: Ilmatieteenlaitos

Menetelmät

Säätilan vaikutus

- Edellisten lisäksi mallinnettiin lounaistuulen tilanne stabiilin kerrostumisen vallitessa, sekä itätuulitilanne neutraalin kerrostumisen vallitessa.
- Tuulennopeudet olivat korttelikattojen yläpuolella 10 m/s (yleisessä säätilassa) ja 8 m/s (epäedullisessa säätilassa). Lähellä kadun pintaa nopeudet pienivät arvoon 1-2 m/s.
- Tässä työssä ei huomioitu autojen vaikutusta virtaukseen eikä hyvin heikkoa tuulista tilannetta, koska tällöin autojen aiheuttaman virtauksen osuus katussassa olisi huomattava.

Menetelmät

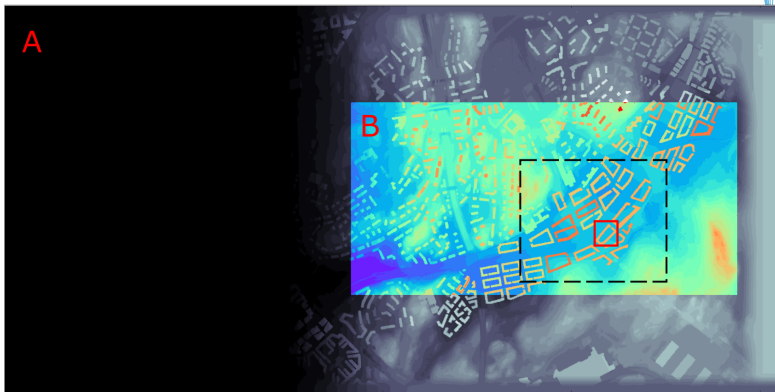
Simulaatiot

- Mallisimulaatioiden **laskenta-alue (A)** oli 4096 m pitkä, 2048 m leveä ja 394 m korkea.
- Lisäksi tämän laskenta-alueen sisällä oli määritelty **tiheämmän resoluution laskenta-alue (B)**, jonka dimensiot olivat 2048 m x 1024 m x 96 m.
- Laskentaresoluutio (= mallin hilaväli) oli tiheämmän resoluution laskenta-alueella **1 m** ja muualla **2 m**.
- Mallia ajettiin 61 minuutin ajan eri säätiloissa neljälle eri kortteliversiolle.

Menetelmät

Laskenta-alue ja tulosten tallennus: Yleinen säätila

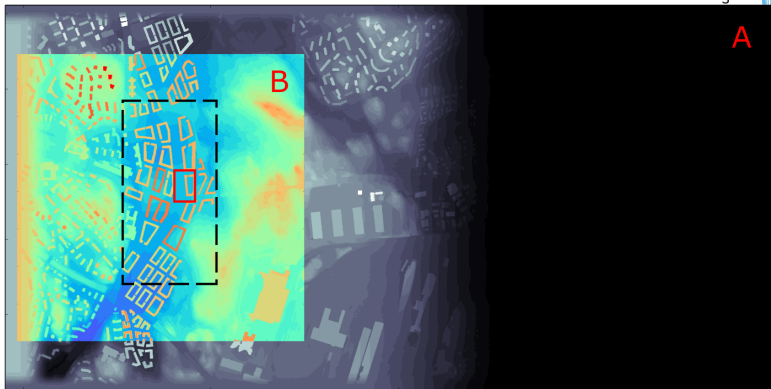
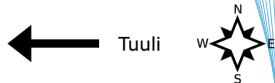
Tuuli →



Kuva 12: Laskenta-alue kortteliversiossa V1. Laskenta-alue (A) on merkitty harmaan sävyillä, jossa musta on maanpinnan korkeus $Z = 0$ m. Tiheämmän resoluution (1 m) laskenta-alue (B) on merkitty väreillä. Tuloksia tallennettiin sekä **isolta** (musta katkoviiva) että **pieneltä** (punainen viiva) **tallennusalueelta**.

Menetelmät

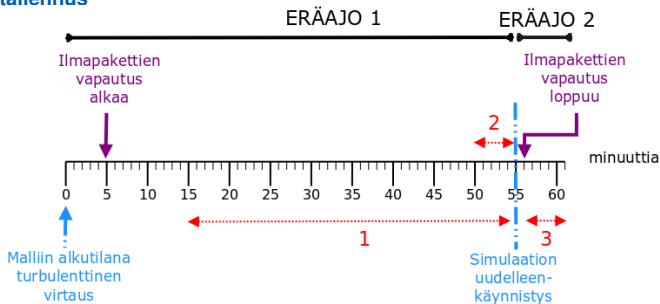
Laskenta-alue ja tulosten tallennus: Epäedullinen säätila



Kuva 13: Laskenta-alue kortteliversiossa V1. Laskenta-alue (A) on merkitty harmaan sävyillä, jossa musta on maanpinnan korkeus $Z = 0$ m. Tiheimmän resoluution (1 m) laskenta-alue (B) on merkitty väreillä. Tuloksia tallennettiin sekä **isolta** (musta katkoviiva) että **pieneltä** (punainen viiva) **tallennusalueelta**.

Menetelmät

Ajot ja datan tallennus



Kuva 14: Havaintoesimerkki malliajojen kulusta ja datan tallentamisesta

Virtausta ja ilmapakettien kulkua simuloitiin 61 minuutin ajan kahdessa eräajossa.

Ilmapakettien vapauttaminen aloitettiin 5 minuutin kohdalla ja lopetettiin 56 minuutin kohdalla. Tämän jälkeen mallia ajettiin vielä 5 minuuttia, jotta voitiin tutkia ilmapakettien pitoisuuksien laimenemista.

Dataa tallennettiin kolmessa eri osassa:

- 1: 40 min aikasarja isolta tallennusalueelta 5 s aika-askelin
- 2: 5 min aikasarja pieneltä tallennusalueelta 0.07 - 0.15 s aika-askelin
- 3: 5 min aikasarja isolta tallennusalueelta 5 s aika-askelin

Menetelmät

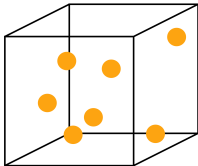
Analyysimuuttujat

Simulaatioiden tuloksia analysointiin tarkastelemalla kolmea eri muuttujaa: **pitoisuutta c** , **pystysuuntaista kuljetusta (= vuota) F** ja **laimenemisnopeutta D** .

Pitoisuus c (m^{-3})

eli ilmapakettien lukumäärä tilavuudessa. Antaa **yleiskuvan ilmapakettien kulkeutumisesta**. Tarkastelukorkeudet $z = 4$ m ja $z = 10$ m.

Mitä korkeampi pitoisuus, sitä huonompi ilmanlaatu.

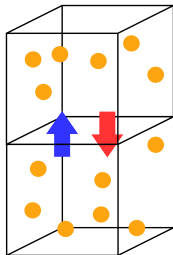


Kuva 15: Pitoisuus

Pystysuuntainen kuljetus (= vuo) F ($\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

eli pinnan läpi ylöspäin kulkeutuneiden ilmapakettien nettolumäärä aikayksikössä. **Mittaa suoraan pystysuuntaista tuulettumista**. $F > 0$, jos ilmapaketteja kulkeutuu enemmän ylös- kuin alaspäin. Tarkastelukorkeus $z = 20$ m.

Mitä suurempi pystysuuntainen vuo, sitä suurempi päästöjen tuulettuminen ylöspäin ja parempi ilmanlaatu.



Kuva 16: Pystysuuntainen kuljetus

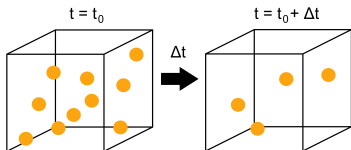
Menetelmät

Analyysimuuttujat

Laimenemisnopeus D ($\text{m}^{-3} \text{s}^{-1}$)

eli pitoisuuden muutos ajan (t) suhteen tilavuudessa, kun ilmapakettien vapauttaminen kaduilta on keskeytetty. **Mittaa suoraan tuulettumista sekä pysty- että vaakasuunnassa.** t_0 on valittu tarkasteluhetki ja Δt on muutos ajassa. Tarkastelukorkeus $z = 0 - 20$ m.

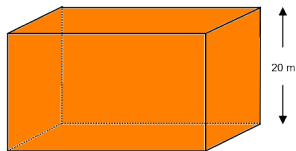
Mitä suurempi laimenemisnopeus, sitä tehokkaampi päästöjen tuulettuminen ja parempi ilmanlaatu.



Kuva 17: Laimenemisnopeus

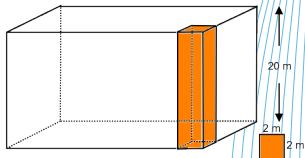
D :n keskiarvoittaminen

Tilavuuskeskiarvo $\langle D(t) \rangle_V$ eli keskiarvo koko tarkastelutilavuuden (eli tallennusalueen) yli.



Kuva 18: Tilavuuskeskiarvo

Pylväskeskiarvo $\langle D(x, y) \rangle_{z,t}$ eli keskimääräinen muutos ajassa $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 20\text{ m}$ pylväessä.



Kuva 19: Pylväskeskiarvo

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

 - Johdanto

 - Virtausmallinnus ja ilmapaketit

 - Menetelmät

 - Tulokset**

 - Pohdinta

 - Johtopäätökset

 - Suosituksset

 - Liitteet

 - Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

 - Johdanto

 - Menetelmät

 - Tulokset

 - Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

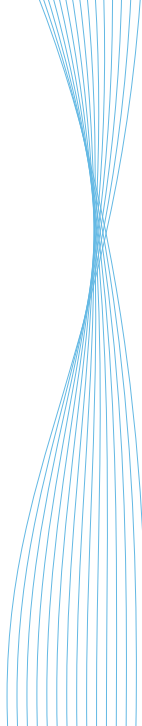
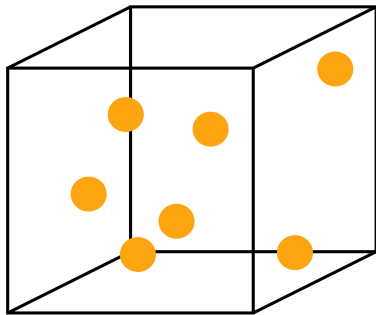
 - Yhteenveto

 - Viitteet

- **Sanasto**

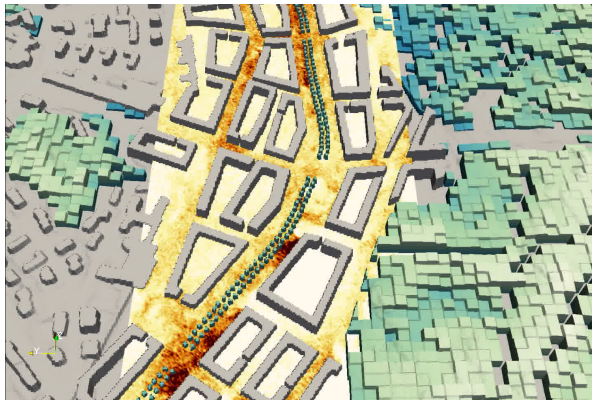
Tulokset

Pitoisuus c



Tulokset

Esimerkki pitoisuuden c ajallisesta ja paikallisesta vaihtelusta



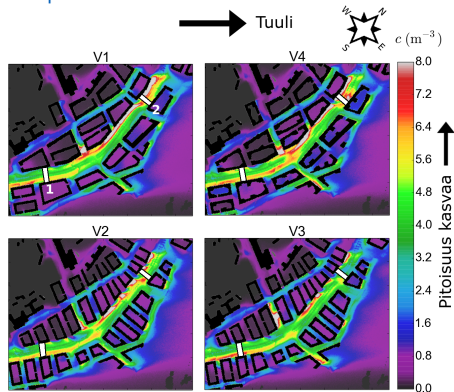
↑
Tuuli

Klikkaa kuvaa nähdäksesi animaation!

Tulokset

Pitoisuus c yleisessä säätilassa

40 minuutin aikakeskiarvo korkeudella $z = 4$ m maanpinnasta



Kuva 20: c (m^{-3}) korkeudella $z = 4$ m kaikissa eri kortteli-versioissa. Korttelit on merkitty mustalla.

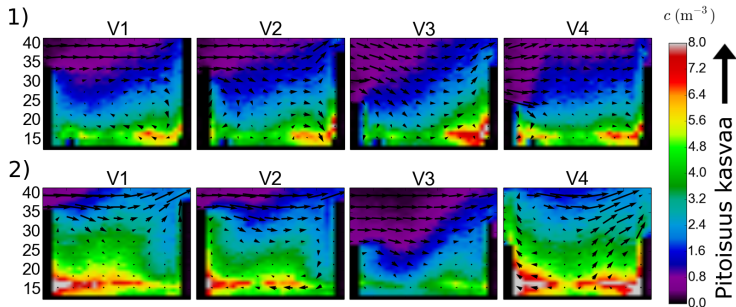
Valkoisella merkityt poikkileikkaukset esitetään Kuvassa 21. Kuva 20 suurempana [Liitessä B](#).

- Bulevardin eteläpää on lähes tuulensuuntainen, jolloin vaakasuuntainen kuljetus tuulen mukana oli tehokasta eikä huomattavia eroja versioiden välillä muodostunut.
- Pohjoispäässä pitoisuus kertyi tuulen puolelle. Kertyminen oli voimakkainta V1:ssa ja V4:ssa, joissa rakennusten pitkä sivu on bulevardin suuntaisesti ja katukuilut ovat pitkiä.
- Pitoisuudet olivat matalimmat V3:ssa, jossa rakennusten korkeus vaihtelee.
 - Lisäksi rakennuskorkeus on hieman matalampi tuulen puolella, mikä on aiemmissa tutkimuksissa (esim. Nosek *et al.*, 2016) havaittu edulliseksi tuulettumisen kannalta.
 - Kuitenkin paikallisia kertymäkohtia muodostui.
- Rakennusmassoittelemu vaihtelu V4:ssa (jalusta 20 m korkea + tornit) ei vähentänyt pitoisuuden kertymistä katutasoon verrattuna versioon V1.

Tulokset

Pitoisuus c yleisessä säätilassa

Katupoikkileikkaus c :n ja virtauksen 40 min aikakeskiarvosta



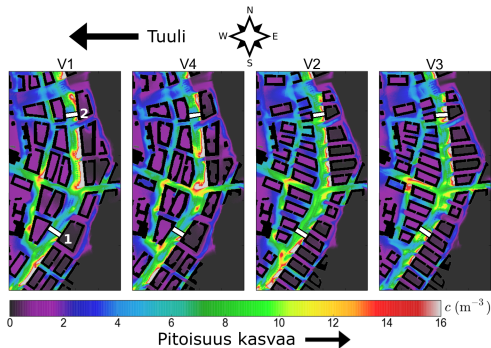
Kuva 21: Pitoisuuden c ja virtauksen poikkileikkaus 40 min aikakeskiarvosta bulevardin katukuilussa Kuvaan 20 merkityissä kohdissa 1 ja 2.

Kuva havainnollistaa virtauksen ja pitoisuuden kulkeutumisen mutkikkuutta katukuilussa, jotka eivät ole symmetrisiä tai suoria. Kaksi katupuuriviä katukuilun keskellä jarruttavat virtausta ja rikkovat katukuiluyörteen näissä poikkileikkauskohdissa.

Poikkileikkauskohdat on valittu edustamaan kahta toisistaan poikkeavaa tilannetta, jossa katukuilun orientaatio tuulen suuntaan verrattuna on erilainen.

Tulokset

Pitoisuus c epäedullisessa säätilassa



Kuva 22: c (m^{-3}) korkeudella $z = 4$ m kaikissa eri kortteliversioissa. Korttelit on merkitty mustalla.

40 minuutin aikakeskiarvo korkeudella $z = 4$ m maanpinnasta

- Pitoisuudet olivat kaksinkertaiset yleiseen säätilaan verrattuna.
- Bulevardin poikkikadut ovat lähes tuulen suuntaisia. Näin ollen bulevardi tuulettui parhaiten V2:ssa ja V3:ssa, joissa on enemmän tuulen kanssa samansuuntaisia katuja, kun taas V1:ssa ja V4:ssa pitoisuuden kertyminen tuulenpuolelle oli voimakkaampaa.
- Vaikka rakennuskorkeus V3:ssa laskee tuulensuunnassa (idästä länteen), mikä on epäedullista tuulettumiselle, V3 ei suoriudu selkeästi V2:a heikemmin.

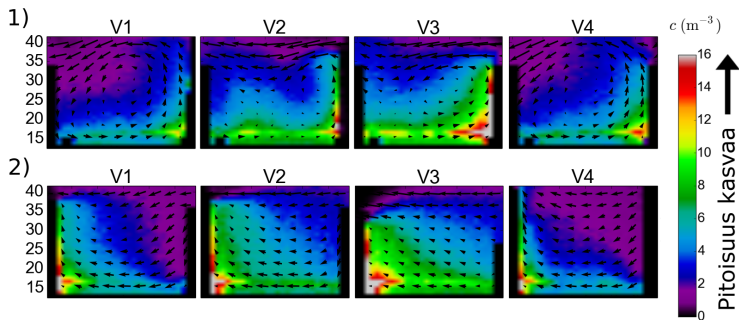
Valkoisella merkatut poikkileikkaukset esitetään Kuvassa 23. Kuva 22 suurempana [Liitessä B](#).

Sekä yleisessä että epäedullisessa säätilassa, **sisäpihat pysyivät ilmanlaadultaan hyvin puhtaina**, ja sisäpihojen keskimääräinen pitoisuus oli noin 10 % bulevardin keskimääräisestä pitoisuudesta.

Tulokset

Pitoisuus c epäedullisessa säätilassa

Katupoikkileikkaus c :n ja virtauksen 40 min aikakeskiarvosta



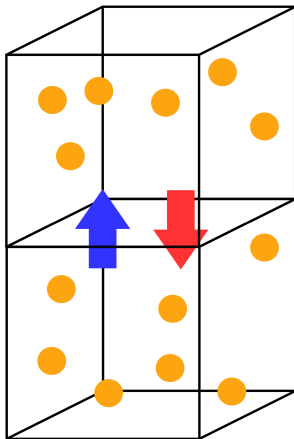
Kuva 23: Pitoisuuden c ja virtauksen poikkileikkaus 40 min aikakeskiarvosta Kuvaan 22 merkatuissa kohdissa 1 ja 2.

Myös talvisessa, ilmanlaadulle epäedullisessa säätilassa, poikkileikkauksissa oli huomattavia eroja. Selkeämpi katukuilupyörre muodostui poikkileikkauskohtiin 1. Puiden virtausta jarruttava vaikutus näissä simulaatioissa oli heikompi kuin yleisessä säätilassa, sillä puut olivat lehdettämiä (pienempi *PAD*).

Poikkileikkauskohdat on valittu edustamaan kahta toisistaan poikkeavaa tilannetta, jossa katukuilun orientaatio tuulen suuntaan verrattuna on erilainen.

Tulokset

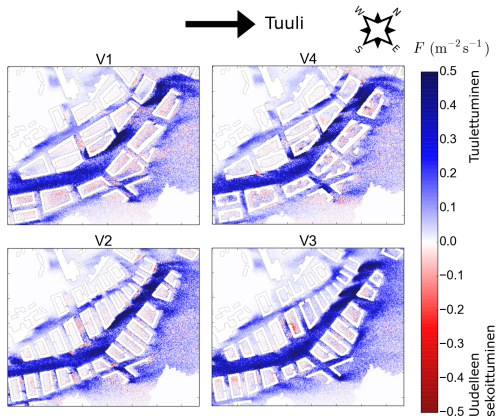
Pystysuuntainen kuljetus F



Mitä suurempi F , sitä tehokkaampi on pystysuuntainen tuulettuminen ja ilman epäpuhtauksien kulkeutuminen pois katukuilusta.

Tulokset

Pystysuuntainen kuljetus F yleisessä säätilassa



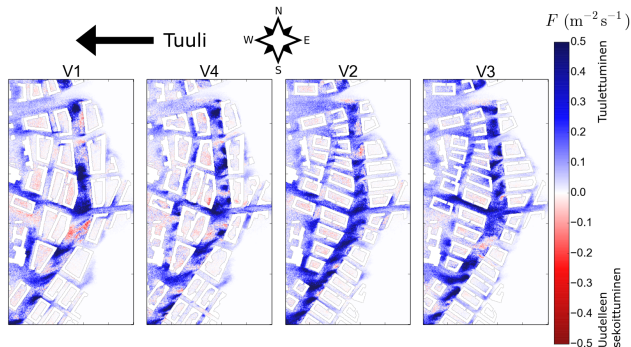
Kuva 24: F ($\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) korkeudella $z = 20$ m kaikissa eri kortteliversioissa. Korttelit on merkitty valkoisella.

40 minuutin aikakeskiarvo korkeudella
 $z = 20$ m maanpinnasta

- Katujen yllä F oli pääosin positiivinen (ylöspäin), mikä osoittaa katukuilujen tuulettumista.
- Bulevardin yllä tuulettuminen oli voimakkainta V3:ssa, kun taas muissa versioissa esiintyi myös alueita, joissa kuljetus oli alaspäin ja ilmapaketit sekoittuivat uudelleen katukuiluun ylhäältäpäin.
- Sisäpihojen yllä F oli lähellä nollaa tai negatiivinen, jolloin ilmapaketteja kulkeutui ylhäältäpäin sisäpihoille. Kuljetus oli kuitenkin heikkoa ja sisäpihojen pitoisuus pysyi matalana.
- V3:ssa esiintyi voimakasta kuljetusta alaspäin yhdellä sisäpihalla, jonka eteläpuoleisella kadulla myös pitoisuudet olivat suuret (katso Kuva 20).

Tulokset

Pystysuuntainen kuljetus F epäedullisessa säätilassa



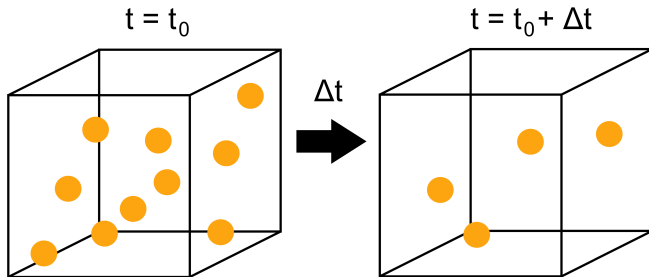
Kuva 25: F ($\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) korkeudella $z = 20$ m kaikissa eri kortteliversioissa. Korttelit on merkitty valkoisella.

40 minuutin aikakeskiarvo korkeudella $z = 20$ m maanpinnasta

- Bulevardin yllä kuljetus oli positiivisinta eli tuulettuminen voimakkainta versioissa V2 ja V3.
 - V1:ssa Metsäläntien eteläpuolella esiintyi voimakasta alaspäin kuljetusta eli ilmapakettien uudelleen sekoittumista ylhäältäpäin.
- Kuljetus oli heikompaa rakennusten takana tuulen suunnassa.
 - Myös epäedullisessa säätilassa pystysuuntainen kuljetus F oli sisäpihojen yllä hyvin pieni tai negatiivinen. Tästä huolimatta sisäpihojen pitoisuudet pysyivät alhaisina.

Tulokset

Laimenemisnopeus D



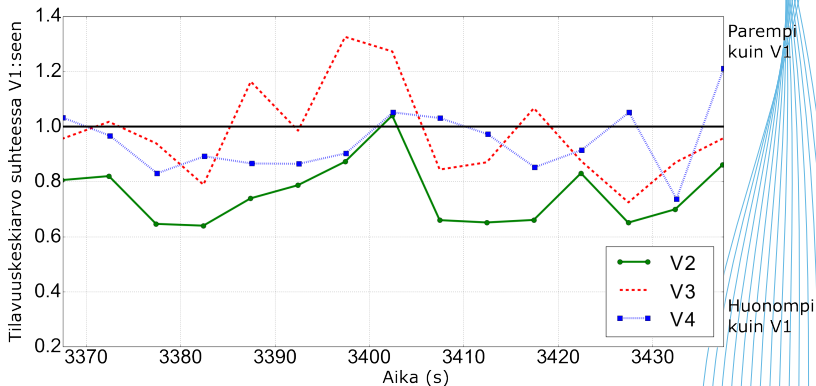
Yleisesti, kun päästölähde otettiin pois, pitoisuudet kaikilla katubulevardin korttelirakennemuotoilla pienenevät hyvin nopeasti - **alle puoleen kahdessa minuutissa**.

Tulokset

Laimenemisnopeus D yleisessä säätilassa

Tilavuuskeskiarvon muutos ajassa

Laimenemisnopeuden tilavuuskeskiarvo oli selkeästi matalin V2:ssa. Eli tuulettuminen oli heikointa ja pitoisuudet laimenevat hitaiten V2:ssa.



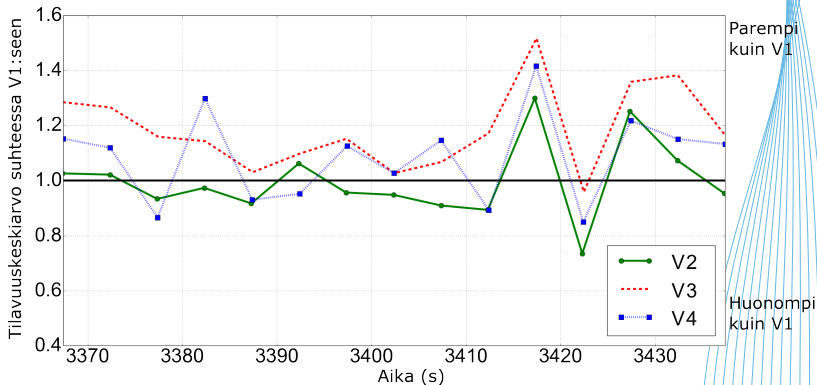
Kuva 26: Laimenemisnopeuden D tilavuuskeskiarvon muutos ajassa verrattuna versioon V1.

Tulokset

Laimenemisnopeus D epäedullisessa säätilassa

Tilavuuskeskiarvon muutos ajassa

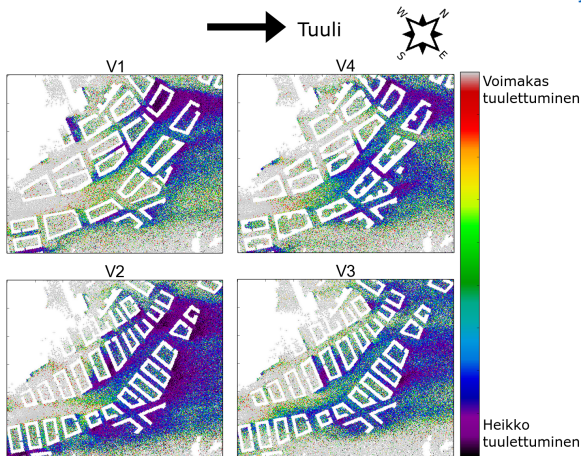
Laimenemisnopeuden tilavuuskeskiarvo oli selkeästi korkein V3:ssa. Eli tuulettuminen oli voimakkainta ja pitoisuudet laimenivat nopeiten V3:ssa.



Kuva 27: Laimenemisnopeuden D tilavuuskeskiarvon muutos ajassa verrattuna versioon 1.

Tulokset

Laimenemisnopeus D yleisessä säätilassa



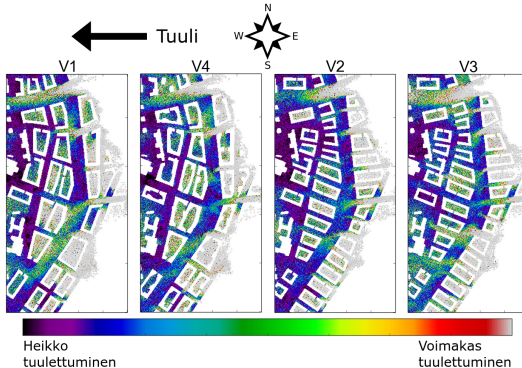
Kuva 28: Laimenemisnopeuden D pylväskeskiaarvo. Korttelit ja alueet, joissa laimenemisnopeutta ei ole voitu määrittää, on merkitty valkoisella.

Pylväskeskiaarvo

- Laimeneminen (eli tuulettuminen) oli voimakkainta bulevardin lounaispäässä, josta pitoisuudet huuhtoutuivat nopeasti pois.
- Tuulettuminen oli selkeästi heikointa V2:ssa ja voimakkainta V1:ssa.
- Kuitenkin bulevardin pohjoispäässä, laimenemisnopeus ja tuulettuminen oli heikompaa V1:ssa kuin V4:ssa.
- Sisäpihojen välillä oli laimenemisnopeudessa huomattavia eroja.

Tulokset

Laimenemisnopeus D epäedullisessa säätilassa



Kuva 29: Laimenemisnopeuden D pylväskeskisarvo. Rakennukset ja alueet, joissa laimenemisnopeutta ei ole voitu määrittää, ovat merkitty valkoisella.

Pylväskeskisarvo

- Tarkastelussa puhdasta ilmaa virtasi idästä ja tuuletti tehokkaasti katubulevardin sivukadut.
- Tuulettuminen oli V1:ssä voimakasta bulevardin eteläpäässä mutta heikkoa pohjoispäässä.
- V4:ssä laimenemisnopeuden ja tuulettumisen vaihtelu bulevardin sisällä oli voimakkaampaa kuin V1:ssä.

- Tuulettuminen oli voimakkaampaa V3:ssä kuin V2:ssä.
- Kuten yleisessä säätilassa, myös epäedullisessa säätilassa sisäpihojen tuulettuminen kaikissa korttelirakennusversioissa oli hyvin vaihtelevaa.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

 - Johdanto

 - Virtausmallinnus ja ilmapaketit

 - Menetelmät

 - Tulokset

 - Pohdinta**

 - Johtopäätökset

 - Suosituksset

 - Liitteet

 - Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

 - Johdanto

 - Menetelmät

 - Tulokset

 - Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

 - Yhteenveto

 - Viitteet

- **Sanasto**

Pohdinta

Paremmuusjärjestyksen asettelumenetelmä

Edellä esitettyjen tulosten mukaan, kaupunkibulevardien korttelirakenteilla ja rakennusten sijoitteluilla ja korkeudella on huomattava vaikutus [ilmapakettien](#) kulkeutumiseen.

Koska tutkimuksen tarkoituksena oli verrata eri kortteliversioita, asetettiin versiot paremmuusjärjestykseen seuraavalla tavalla:

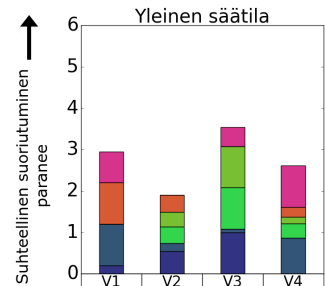
- Analyysimuuttujien aluekeskiarvot laskettiin erikseen bulevardille, muille katukuiluille, sisäpihoille ja ympäristölle eli kaikelle, mikä jää katukuilujen ja sisäpihojen ulkopuolelle.
- Kortteliversiot asetettiin järjestykseen suhteellisen pistemäärän perusteella:

$$\text{pistemäärä} = \frac{\text{arvo} - \text{pienin arvo}}{\text{suurin arvo} - \text{pienin arvo}}$$

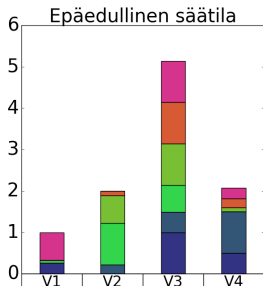
- 1 = paras, 0 = heikoin. Tämä huomioi arvojen suhteelliset erot, jolloin esim. toiseksi paras voi saada arvon 0.99.
- Pitoisuuden c kohdalla huomioitiin mallitulokset korkeuden $z = 4$ m lisäksi myös korkeudesta $z = 10$ m, joita ei esitetty Tulokset-osiossa.
- Paremmuusjärjestysasetelmassa painotus oli bulevardilla ja muilla katukuiluilla, missä arvioidaan olevan riski ilmanlaadun raja-arvojen ylityksille. Sisäpihoilla ja ympäristössä pitoisuudet olivat selkeästi katukuiluja alhaisemmat.

Pohdinta

Paremmuusjärjestys



$c : B$	0.20	0.54	1.00	0.00
$c : M$	1.00	0.20	0.08	0.87
$c : S$	1.00	0.81	0.48	0.00
$c : Y$	1.00	0.00	0.53	0.88
$F : B$	0.00	0.40	1.00	0.34
$F : M$	0.00	0.35	1.00	0.16
$F : S$	0.12	0.00	0.57	1.00
$F : Y$	0.11	0.47	1.00	0.00
$D_{tilavuus}$	1.00	0.00	0.91	0.77
$D_{pylväs} : B$	1.00	0.41	0.00	0.24
$D_{pylväs} : M$	0.75	0.00	0.46	1.00
$D_{pylväs} : S$	1.00	0.00	0.12	0.73
$D_{pylväs} : Y$	1.00	0.00	0.94	0.78
SUMMA	8.18	3.18	8.09	6.77



$c : B$	0.26	0.00	1.00	0.50
$c : M$	0.00	0.22	0.49	1.00
$c : S$	1.00	0.58	0.00	0.53
$c : Y$	1.00	0.00	0.77	0.95
$F : B$	0.07	1.00	0.65	0.00
$F : M$	0.00	0.67	1.00	0.10
$F : S$	0.00	0.01	1.00	0.02
$F : Y$	0.00	1.00	0.90	0.10
$D_{tilavuus}$	0.00	0.00	1.00	0.46
$D_{pylväs} : B$	0.00	0.11	1.00	0.22
$D_{pylväs} : M$	0.67	0.00	1.00	0.25
$D_{pylväs} : S$	0.19	1.00	0.72	0.00
$D_{pylväs} : Y$	0.67	0.14	1.00	0.00
SUMMA	3.86	4.73	10.53	4.13

Pistemäärät yleisessä ja epäedullisessa säätilassa.

Pylväsdiagrammissa on esitetty pistemäärät vain bulevardilla (B) ja muissa katukuiluissa (M).

Taulukossa ovat mukana kaikki alueet:

B = bulevardi

M = muut katukuilut (kuten sivukadut)

S = sisäpihat

Y = ympäristö.

c = Pitoisuus

F = Pystysuuntainen kuljetus

$D_{tilavuus}$ = Laimenemisnopeuden tilavuuskeskiarvo

$D_{pylväs}$ = Laimenemisnopeuden pylväskeskiarvo

Pohdinta

Paremmuusjärjestys

Yleisessä säätilassa

- Sekä V1 että V3 saivat korkeimmat kokonaispisteet ja V2 huonoimmat.
- V1 sai korkeat pisteet etenkin laimenemisnopeuden D suhteen, mutta matalat pystysuuntaisen kuljetuksen F suhteen.
 - Näin ollen vaakasuuntainen tuulettuminen dominoi versiossa V1.
- V3 suoriutui parhaiten katukuiluissa, ja etenkin pystysuuntainen kuljetus F oli tehokasta.

Epäedullisessä säätilassa

- V3 suoriutui selkeästi parhaiten kaikilla tarkastelun osa-alueilla paitsi sisäpihoilla. Jälleen, etenkin pystysuuntainen kuljetus F , oli tehokasta.
- Toisin kuin yleisessä säätilassa, V1 suoriutui huonoiten. Kuten yleisessä säätilassa, pystysuuntainen kuljetus oli heikkoa.
 - Näin ollen **pystysuuntainen kuljetus F määräytyy etenkin korttelirakenteen mukaan.**
- Versioiden suhteellinen järjestys laimenemisnopeuden D suhteen muuttui tuulensuunnan mukaan.
 - **Laimenemisnopeus D määräytyy vaakasuuntaisen kuljetuksen mukaan ja saa näin ollen sitä suuremman arvon mitä esteettömämpää virtaus on.**

Pohdinta

Paremmuusjärjestys - johtopäätökset

Molemmat säätilat huomioiden, LES-mallinnuksessa parhaaksi korttelivaihtoehdoksi osoitettiin V3, jossa korttelin kapein sivu on bulevardia vasten ja **rakennuskorkeus vaihtelee**.

- Erot muihin kortteliversioihin olivat huomattavat etenkin epäedullisessa säätilassa.
- Rakennuskorkeuden vaihtelevuus kaupunkikorttelissa parantaa tuulettuvuutta. Aiemmat tutkimukset tukevat saatuja tuloksia (esim. Gu *et al.*, 2011, Lo ja Ngan, 2015 ja Nosek *et al.*, 2016).
- Yllättäen rakennusmassoittelun vaihtelevuus V4:ssa ei osoittanut parantavan katukuilujen tuulettumista pysty- eikä vaakasuunnassa.
 - Todennäköisesti jalustan päällä olevat tornimaiset rakenteet rikkovat katupyörteen, mikä saattaa heikentää pystysuuntaista kuljetusta ja tuulettumista huomattavasti.
 - Lisäksi jalustan korkeus V4:ssa (20 m) on huomattava, jolloin katukuilut ovat melko syviä ja yhtenäisiä (vertaa V1, jossa rakennuskorkeus 30 m).
- Toiseksi parasta vaihtoehtoa oli vaikea määrittää, sillä muut kortteliversiot suoriutuivat melko tasaisesti.

Näiden tulosten vahvistamiseksi suoritettiin vielä lisäajoja vaihtamalla tuulensuuntia keskenään tarkastelluissa säätiloissa. Suoritetut lisäajot tukivat jo saatuja tuloksia. Pisteytys on esitetty **Liitteessä C**.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Johtopäätökset

Tässä tapaustutkimuksessa verrattiin katukuilujen ja sisäpihojen tuulettumista ilman epäpuhduksista neljässä poikkeavassa korttelirakenneversiossa.

Tutkimuskohteena oli neljä Hämeenlinnanväylän alueelle laadittua teoreettista bulevardikau-punkirakennetta. Tutkimus antaa kaupunkisuunnittelijoille aiempaa tarkempaa tietoa kortteli-rakenteiden vaikutuksesta paikalliseen ilmanlaatuun urbaanissa ja laajassa kaupunkiraken-nekokonaisuudessa ja sen vilkasliikenteisessä katukuilussa.

Tutkimus perustuu korkean resoluution numeeriseen LES-virtauslaskentaan kaupunkikort-teleissa katutasossa. LES-mallinnuksen avulla on mahdollista saada selville erilaisten kort-telimuotojen vaikutus tuulettumiseen toisin kuin perinteisiä ilmanlaatumalleja käytettäessä. Tämä tapaustutkimus on ensimmäisiä näin toteutettuja tarkasteluja maailmanlaajuisesti.

Korttelirakenteen ja etenkin katukuilun pituuden havaittiin vaikuttavan voimakkaasti pitoi-suuksien kasaantumiseen katukuiluissa. Rakennuskorkeuden vaihtelu ja bulevardin sivuka-tujen runsaus osoittautui suotuisaksi tuulettumiselle. Tutkituista korttelimalleista vaihtoehto V3 oli paras ilmapakettien kulkeutuvuuden ja kortteleiden tuulettuvuuden kannalta.

Tutkituilla korttelirakenteilla on vaikutusta paikalliseen ilmanlaatuun, mutta lisäksi tähän vai-kuttavat merkittävästi myös monet muut tekijät, kuten liikennemäärä, ajoneuvojakauma, lii-kenteen sujuvuus, ajonopeus ja tulevaisuuden kaluston päästöt. Korttelirakenne on yksi bu-levardin katutilan ja myös asuinkortteleiden ilmanlaatuun vaikuttava tekijä muiden ohessa. Kuitenkaan pelkästään korttelirakennevalinnalla ei voida vielä varmistaa hyväksyttävää il-manlaadun tasoa.

Johtopäätökset

Sisäpihoilla ilmapakettien pitoisuus oli noin 10 % bulevardin katukuilun arvoista. HSY:n ilmanlaadun passiivimittausten perusteella todellisten ilman epäpuhtauksien pitoisuudet sisäpihoilla ovat vuositasolla olleet noin 50 % läheisen liikennöidyn katukuilun pitoisuuksista. Poikkeavat tulokset johtuvat osittain taustapitoisuuksien huomiotta jättämisestä LES-mallinnuksesta ja korttelirakenteiden julkisivujen umpinaisuudesta. Toisaalta yksi mittauspiste ei välttämättä aina edusta koko sisäpihan tilannetta riittävän hyvin.

Todelliset LES:n perustuvat ilmanlaatumallinnukset tällä tarkkuudella ja näin laajassa skaalassa tulevat näillä näkymin mahdollisiksi lähivuosina. PALM-malliin tullaan lisäämään tärkeimmät ilman epäpuhtauksien kemialliset reaktiot ja pienhiukkasten fysikaaliset prosessit. Ilmanlaatumallinnuksia ei kuitenkaan näin suuressa mittakaavassa voida tehdä koko vuoden aineistolle LES-tekniikan vaativan suuren laskentakapasiteetin vuoksi.

Työssä huomioitiin katupuiden ja ympäröivän puuston virtausta jarruttava ja tuulettumista muokkava vaikutus. Katupuilla on myös muita ominaisuuksia, esimerkiksi tiettyyn pisteeseen asti hiukkasten kertyminen lehvästöihin sekä positiivista vaikutusta katutilassa koettuun tilan tuntuun ja viihtyisyyteen, sekä muihin, usein myös vaikeasti mitattavissa oleviin seikkoihin.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituks

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Suosituksset

Kaupunkibulevardit

Kaupunkibulevardikadut ovat urbaaneja, autoliikenteen lisäksi kävelijöiden, pyöräliikenteen sekä kauppojen, palveluiden ja liiketilojen jäsentämiä toiminnallisia toimintaympäristöjä. Tarkemman katutilan suunnittelun, kuten bulevardien katutasolla olevien tilojen tarkkojen sijaintien ja julkisivugeometrian, kuten sisäänkäyntiaukkojen sijaintien suunnittelussa, on mahdollista hyödyntää LES-virtausmallilla saatavia pitoisuuksien kasaantumisen osoittavia erittäin yksityiskohtaisia tietoja. Tässä tutkimuksessa pitoisuusjakauman yksityiskohtia ei käsitelty tuloksissa.

Parhaimman ilmanlaadun saavuttamiseksi kaupunkibulevardien alueella on suositeltavaa laatia mahdollisimman tarkka ja tavoitteellinen bulevardikaupunkirakenteen kokonaissuunnitelma, josta LES-mallinnuksen avulla voidaan vaiheittain lähestyä koko bulevardijaksolle ilmanlaadun kannalta parasta mahdollista kokonaisratkaisua.

Suosituksset

Kaupunkibulevardit

Vaikka tämän tutkimuksen painotus oli kaupunkibulevardien korttelimallien vertailussa, huomioitiin niiden rinnalla puiden vaikutus ilman virtaukseen ja ilmapakettien kulkeutumiseen. On oletettavaa, ja aiemmissa tutkimuksissa on osoitettu, että puiden asettelulla ja lajivallinnalla on huomattavaa vaikutusta katukuilujen tuulettumiseen. Katukasvillisuuden sijainnin vaikutusta olisi hyvä tutkia LES-mallinnuksella.

Yksi jatkotarkastelusuositus on mallinnusasetelma, jossa puut sijaisivat bulevardikadun rakennusten seinien vierustoilla kadun keskellä sijainnin sijaan. Tällöin katupuut eivät rikkoisi ja jarruttaisi katupyörrevirtauksia kuten perinteisesti sijoitettuna ja tuottaisivat suunnitteluun mahdollisesti uusia näkökulmia.

Puiden virtausta poikkeuttavan efektin lisäksi ilman epäpuhtaudet voivat kertyä eli deponoitua kasvuston päälle puhdistuen ilmaa. Deposoitumista kasvuston päälle on tutkittu vain vähän kaupunkiympäristössä. Tämä tullaan kuitenkin tulevaisuudessa huomioimaan tässä työssä käytetyn LES-mallin kehityksessä, jolloin deponoitumisen vaikutuksia voidaan tutkia ja hyödyntää myös Helsingissä.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Liitteet

Liite A



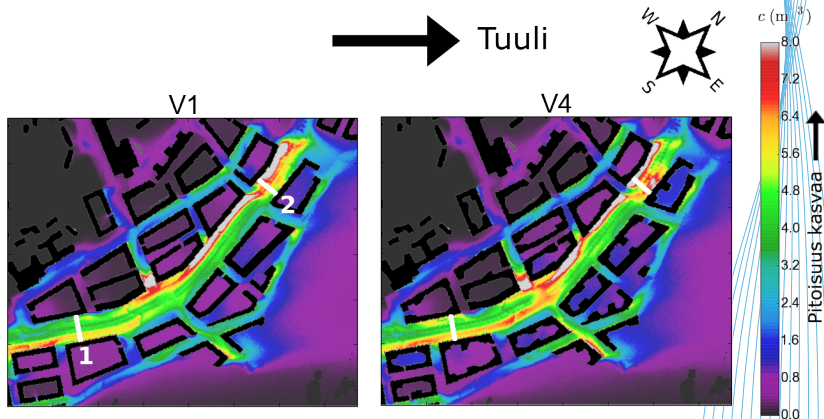
Kuva 30: Eri kortteliversiot V1, V2, V3 ja V4.

Takaisin Menetelmät-osioon.

Liitteet

Liite B

Yleinen säätilanne: pitoisuuden c (m^{-3}) 40 minuutin aikakeskiarvo korkeudella $z = 4$ m maanpinnasta.



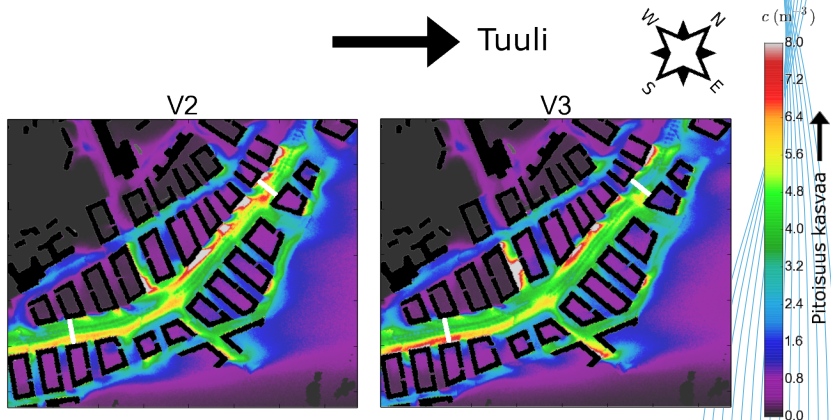
Kuva 31: c (m^{-3}) V1:ssä ja V4:ssä.

Takaisin Tulokset-osioon.

Liitteet

Liite B

Yleinen säätilanne: pitoisuuden c (m^{-3}) 40 minuutin aikakeskiarvo korkeudella $z = 4$ m maanpinnasta.



Kuva 32: c (m^{-3}) V2:ssa ja V3:ssa.

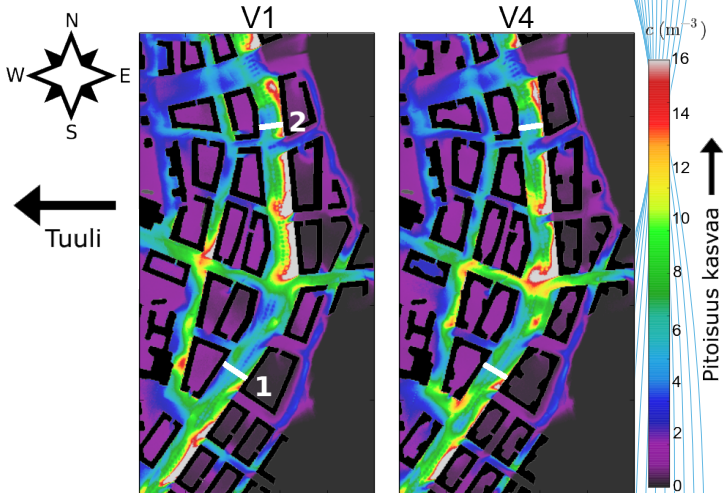
Takaisin Tulokset-osioon.

Liitteet

Liite B

Epäedullinen säätilanne:
pitoisuuden c (m^{-3}) 40
minuutin
aikakeskiarvo
korkeudella z
 $= 4$ m maan-
pinnasta.

**Takaisin
Tulokset-
osioon.**



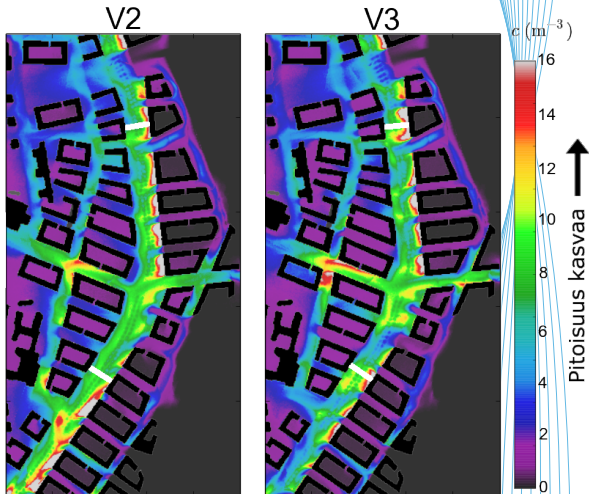
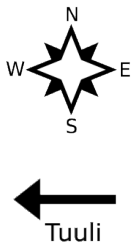
Kuva 33: c (m^{-3}) V1:ssä ja V4:ssä.

Liitteet

Liite B

Epäedullinen säätilanne: pitoisuuden c (m^{-3}) 40 minuutin aikakeskiarvo korkeudella $z = 4$ m maanpinnasta.

Takaisin Tulokset-osioon.



Kuva 34: c (m^{-3}) V2:ssa ja V3:ssa.

Liitteet

Liite C

Lisäajot

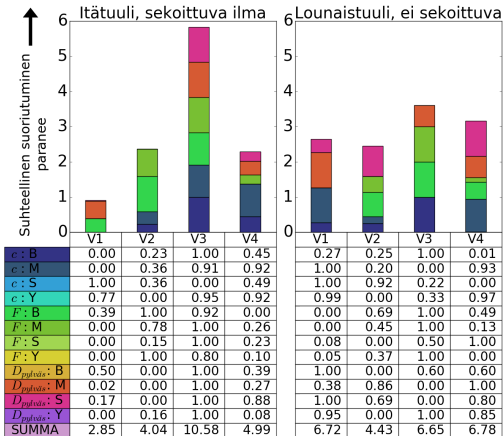
- Yleinen säätila, mutta tuuli idästä = **Itätuuli, neutraalisti kerrostunut ilmakehä**
- Epäedullinen säätila, mutta tuuli lounaasta = **Lounaistuuli, stabiilisti kerrostunut ilmakehä**

Nämä säätilat eivät ole kovin realistisia Helsingissä, mutta ajot tehtiin tulosten vahvistamiseksi.

Takaisin Pohdinta-osioon.

Liitteet

Liite C



Tulokset olivat hyvin samanlaiset ja tukivat aiemmin tehtyjä johtopäätöksiä.

Jälleen V3 dominoi kaikkien muuttujien suhteen itätuulen vallitessa.

Lounaistuulen vallitessa, versioiden väliset erot olivat pienemmät, mutta silti V3 suoriutui parhaiten katukuiluissa.

Kuva 35: Pistemäärät yleisessä ja epäedullisessa säätilassa.

Pylväsdiagrammissa on esitetty pistemäärät bulevardilla ja muissa katukuiluissa, ja taulukossa kaikkialla. B = bulevardi, M = muut katukuilut, S = sisäpihat ja Y = ympäristö.

Takaisin Pohdinta-osioon.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Viitteet

Tästä tapaustutkimuksesta kirjoitettiin pro gradu -opinnäytetyö:

Kurppa, M. (2016). Assessing pollutant ventilation in city planning alternatives using a large-eddy simulation, *Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto*.

Tutkielma löytyy Helsingin yliopiston digitaalisesta arkistosta osoitteesta <http://hdl.handle.net/10138/167627>

Gu, Z. *et al.* (2011). Large eddy simulation of flow in a street canyon with tree planting under various atmospheric instability conditions. *Science China Technological Sciences*, 53 (7), 1928-1937

Janhäll, S. (2011). Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130-137

Lo, K. ja Ngan, K. (2015). Characterising the pollutant ventilation characteristics of street canyons using the tracer age and age spectrum. *Atmospheric Environment*, 122, 611-621

Maronga, B. *et al.* (2015). The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for Atmospheric and Oceanic Flows: Model Formulation, Recent Developments, and Future Perspectives, *Geoscientific Model Development*, 8, 2515-2551

Nosek, S. *et al.* (2016). Ventilation processes in a three-dimensional street canyon. *Boundary-Layer Meteorology*, 159 (2), 259-284

Salmond, J. A. *et al.* (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health* 2016, 15 (Suppl 1): 36

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

OSPM-mallinnus

Johdanto

- Vaikka LES-mallinnuksen avulla kyetään tutkimaan yksittäisiä säätilanteita ja korttelisekä päästöskenaarioita, kuten tässä tutkimuksessa on tehty, sen avulla ei vielä nykyisin kyetä arvioimaan pitoisuuksien vuosikeskiarvoja.
- Siksi typpidioksidin vuosikeskiarvojen arviointiin käytetään OSPM mallia (The Operational Street Pollution Model) (Berkowicz, 2000; Berkowicz *et al.*, 1997).
- OSPM on laskennallisesti kevyt malli, mutta se ei kykene ottamaan huomioon erilaisten rakennusvaihtoehtojen vaikutusta pitoisuuksiin.
- Tutkittavista kortteliversioista OSPM-mallinnus soveltuu parhaiten korttelityypin V1 ilmanlaadun arviointiin. Mallinnus tehtiin tälle korttelityypille.
- Kortteliratkaisun vaikutusta vuosikeskiarvoihin arvioidaan tässä tutkimuksessa vertaamalla kortteliversioiden V2, V3 ja V4 LES-mallinnettujen pitoisuuksien suhteellisia muutoksia V1:n nähden 4 m korkeudella yleisessä säätilanteessa.
- LES-mallinnuksen avulla saadut suhteelliset muutokset esitetään värikarttoina. Näiden ja OSPM:llä mallinnetun korttelityypin V1 tulosten avulla arvioidaan raja-arvon ylittymistä kortteliversioissa V2, V3 ja V4.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

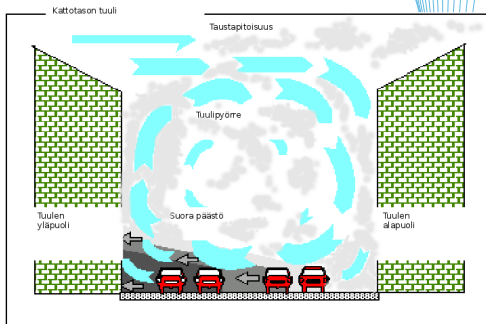
OSPM-mallinnus

Menetelmät

Katukuilumalli OSPM on kehitetty tie liikenteen päästöjen leviämisen arviointiin katukuiluissa.

Katukuilumaisessa ympäristössä ka-tua reunustavat korttelit estävät lii-kenteen päästöjen laimenemista, jol-loin ilman epäpuhtauksien pitoisuu-det voivat kohota korkeiksi.

OSPM laskee ilman epäpuhtauk-sien pitoisuuksia kahteen laskenta-pisteeseen, jotka sijaitsevat korttelei-den julkisivujen vieressä vastakkai-silla puolilla katua.



Kuva 36: Havainnekuva: liikenteen päästöjä sekoittava ja laimentava tuulipyörre katukuilussa, kun tuulella on katuun nähden poikittainen komponentti. Pitoisuutta kuvataan harmaasävyin. Lähde: <http://envs.au.dk/en/knowledge/air/models/ospm/>

Malli ottaa huomioon liikenteen aiheuttaman turbulenssin.

Malli toimii parhaiten, kun rakennusten korkeuden suhde kadun leveyteen on lähellä arvoa 1:1.

Mallilla ei voi arvioida kortteleiden sisäpihoille muodostuvia pitoisuuksia.

Malli ei ota huomioon puita, jotka heikentävät tuulettumista.

Malli ei huomioi katupuita, jotka heikentävät tuulettuvuutta.

OSPM-mallinnus

Mallinnettu ympäristö

Vaikka LES mallinnukset tehtiin bussikaistat sisältävälle 54 m leveälle bulevardille, päätettiin OSPM-mallinnukset kuitenkin tehdä kapeimmalle mahdolliselle eli 45 m leveälle bulevardille, jossa bussikaistoja ei ole.

Kapein mahdollinen bulevardi valittiin vuosikeskiarvojen mallinnuksen kohteeksi, koska se on tuulettumisen kannalta kriittisin tilanne.

Tässä oletetaan, että kortteliversio V3 olisi paras vaihtoehto myös kun bulevardin leveys on 45 m.

LES:n avulla tutkituista kortteliversioista korttelityypin V1 muodostama pääasiassa yhtenäinen ja tasakorkea katukuvilu soveltuu parhaiten OSPM-mallitarkasteluun. Pidemmät, noin 100 m pitkät julkisivut ovat bulevardin suuntaisia. Korttelien korkeus on 30 m, bulevardin leveys 45 m ja sivukatu-
jen leveys 15 m.

Merkitään OSPM-mallinnetua tilannetta symbolilla V1₄₅.

OSPM:llä mallinnettiin typpidioksidin vuosikeskiarvot kortteliversioon V1₄₅ etelä- ja pohjoisosassa erikseen kuvan 37 mukaisesti.

Pitoisuudet mallinnettiin 4 metrin korkeudelle katutasosta.



Kuva 37: Bulevardin teoreettinen korttelirakenne V1₄₅. Mallinnukset tehtiin bulevardin Metsäläntien eteläpuoliselle (punaiset pisteet) ja pohjoispuoliselle osalle (keltaiset pisteet)

OSPM-mallinnus

Lähtöoletukset

Mallinnettavaksi valittiin typpidioksidi (NO_2), koska se on Suomen kaupungeissa raja-arvoylitysten suhteen ongelmallisin ilmansaaste ja kaupunkirakenteen suunnittelussa tulee huolehtia siitä, että EU:n asettamia ilman epäpuhtauksien raja-arvoja ei ylitetä.

NO_2 -pitoisuudet mallinnettiin vuodelle 2025, koska ajoneuvokannan ja päästöjen kehitystä ei voida arvioida pidemmälle tulevaisuuteen: (Tarkemmat lähtöoletukset löytyvät [täältä](#))

- Huomioitiin autokannan tavanomainen kehitys
- HSL:n kalustoskenaarion toimenpiteiden oletettiin toteutuvan: sähköbussuja 28 % ja päästöluokkaan Euro VI kuuluvia busseja 50 %
- Säätieloina käytettiin vuoden 2014 tietoja
- NO_2 -taustapitoisuusarvot arvioitiin HSY:n Kallion kaupunkitausta-aseman vuoden 2014 tuntikeskiarvoista. Kallion mittausaseman NO_2 -pitoisuuden vuosikeskiarvo oli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuonna 2014. Vuoden 2025 taustapitoisuus saatiin vähentämällä oletettu taustapitoisuuden lasku $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nykytasosta vuoteen 2025 mennessä.

Mallinnuksessa tarkasteltiin eri liikennemääriä Hämeenlinnanväylällä:

- 21 900, 36 000 ja 52 000 ajoneuvoa arkivuorokaudessa
- joissa raskaan liikenteen osuus on 7 %.
- liikenteen oletettiin olevan sujuvaa kaikilla liikennemäärillä.

Hämeenlinnanväylän liikennemäärä vuonna 2015 (nopeusrajoitus 80 km/h):

- Metsäläntien eteläpuolella 47 800 ajoneuvoa arkivuorokaudessa
- Metsäläntien pohjoispuolella 50 200 ajoneuvoa arkivuorokaudessa

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

OSPM-mallinnus

Tulokset

OSPM-mallinnuksen tulokset kuvaavat sujuvan liikenteen tuottamia pitoisuuksia. On huomattava, että jos liikenne ruuhkautuu, päästöt ja siten myös pitoisuudet kasvavat tässä esitetyistä tuloksista, ruuhkautumisen asteesta riippuen.

Liikenteen lisääntyessä NO₂:n pitoisuudet kasvavat.

Alla olevassa taulukossa esitetään typpidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvot ja niitä verrataan raja-arvoon 40 µg/m³.

Liikennemäärä (ajon./vrk)	Eteläosa			Pohjoisosa			NO ₂ raja-arvo
	Länsipuoli	Itäpuoli	Keskiarvo	Länsipuoli	Itäpuoli	Keskiarvo	
21 900	34	34	34	33	32	32	ei ylity
36 000	40	40	40	39	36	37	vaarassa ylittyä
52 000	45	45	45	43	41	42	ylitty

Taulukko 1: Typpidioksidin pitoisuuksien vuosikeskiarvot arvioituna vuodelle 2025 eri liikennemäärillä sujuvalla liikenteellä version V1₄₅ mukaisen Hämeenlinnanväylän bulevardin etelä- ja pohjoisosassa 45 m leveän bulevardin kummallakin puolella. Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvon raja-arvo on 40 µg/m³

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

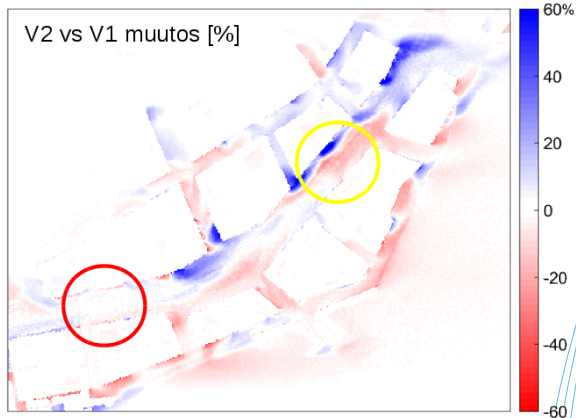
OSPM-mallinnus

Arviointia NO₂ raja-arvon ylitymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

- LES-mallilla tarkasteltiin neljän keskenään erilaisen korttelirakenteen V1-V4 vaikutusta kaupunkibulevardin korttelirakenteiden tuulettumiseen.
- OSPM-mallinnukset puolestaan tehtiin korttelirakenteelle V1₄₅, (45 metriä leveä bulvardi) kolmella eri liikennemäärällä. Liikenteen oletettiin olevan sujuvaa.
- Seuraavassa korttelityyppiä V2, V3 ja V4 verrataan korttelityypissä V1 syntyneisiin pitoisuuksiin LES-tulosten avulla.
- Lopuksi LES-tulosten ja OSPM-mallinnuksen perusteella arvioidaan NO₂:n vuosikeskiarvon raja-arvon ylittymistä 45 metriä leveässä katukuilussa korttelityypeillä V2₄₅, V3₄₅ ja V4₄₅.

OSPM-mallinnus

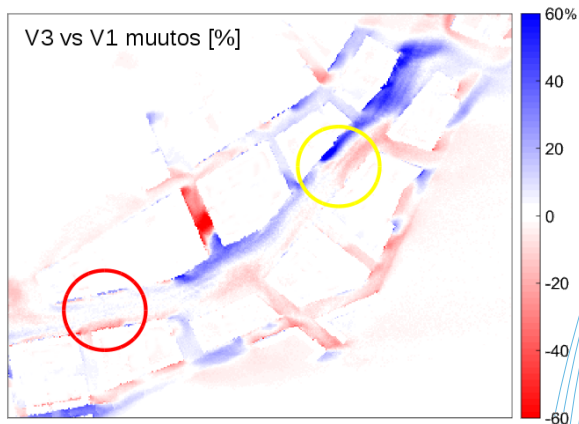
Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella: V2



Kuva 38: V2: LES-mallinnetun pitoisuuden prosentuaalinen muutos V1:n verrattuna 4 m korkeudella Yleisessä säätilassa. Ympyrät osoittavat OSPM-mallinnuksen kohdealueen. Muutosarvot eivät välttämättä ole mielekkäitä muualla kuin bulevardilla, koska eri versioissa sivukadut sijaitsivat eri paikoissa.

OSPM-mallinnus

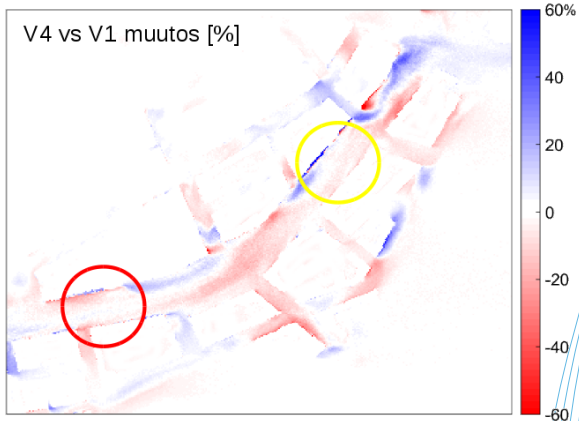
Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella: V3



Kuva 39: V3: LES-mallinnetun pitoisuuden prosentuaalinen muutos V1:n verrattuna 4 m korkeudella Yleisessä säätilassa. Ympyrät osoittavat OSPM-mallinnuksen kohdealueen. Muutosarvot eivät välttämättä ole mielekkäitä muualla kuin bulevardilla, koska eri versioissa sivukadut sijaitsevat eri paikoissa.

OSPM-mallinnus

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella: V4



Kuva 40: V4: LES-mallinnetun pitoisuuden prosentuaalinen muutos V1:n verrattuna 4 m korkeudella Yleisessä säätälässä. Ympyrät osoittavat OSPM-mallinnuksen kohdealueen. Muutosarvot eivät välttämättä ole mielekkäitä muualla kuin bulevardilla, koska eri versioissa sivukadut sijaitsevat eri paikoissa.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

Johdanto

Virtausmallinnus ja ilmapaketit

Menetelmät

Tulokset

Pohdinta

Johtopäätökset

Suosituksset

Liitteet

Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

Johdanto

Menetelmät

Tulokset

Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

Yhteenveto

Viitteet

- **Sanasto**

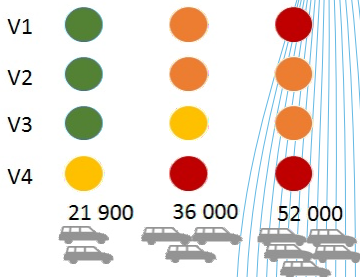
OSPM-mallinnus

Yhteenveto korttelirakenteen vaikutuksesta pitoisuuksiin

- 21 900 ajoneuvoa / vrk → raja-arvo ei ylitä korttelivaihtoehdossa V1₄₅
 - V2₄₅ ja V3₄₅: selvästi alle raja-arvon
 - V4₄₅: todennäköisesti alle raja-arvon
- 36 000 ajoneuvoa / vrk → raja-arvo on vaarassa ylittyä korttelivaihtoehdossa V1₄₅
 - V2₄₅: raja-arvo vaarassa ylittyä
 - V3₄₅: todennäköisesti alle raja-arvon
 - V4₄₅: raja-arvo todennäköisesti ylittyy
- 52 000 ajoneuvoa / vrk → raja-arvo ylittyy korttelivaihtoehdossa V1₄₅
 - V2₄₅ ja V3₄₅: raja-arvo vaarassa ylittyä
 - V4₄₅: raja-arvo todennäköisesti ylittyy

NO₂ raja-arvo

- ei ylitä
- todennäköisesti ei ylitä
- vaarassa ylittyä
- ylittyy



OSPM-mallinnus

Yhteenveto ja johtopäätökset

OSPM-mallilla arvioitiin typpidioksidin (NO_2) pitoisuuden vuosikeskiarvoja vuodelle 2025 kortteliversiolle V1₄₅. LES-tulosten ja kortteliversioon V1₄₅ OSPM-tulosten avulla arvioitiin vuosikeskiarvoja myös kortteliversioille V2₄₅, V3₄₅ ja V4₄₅.

- Mallinnuksen mukaan **typpidioksidin raja-arvo ei ylittyisi sujuvassa liikenteessä**, jos Hämeenlinnanväylän liikennemäärä on 21 900 ajoneuvoa vuorokaudessa.
- **Vilkkaammassa liikenteessä**, liikennemäärän ollessa yli 36 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, **NO_2 :n raja-arvo on sen sijaan vaarassa ylittyä versioissa V1₄₅, V2₄₅ ja V4₄₅**.
- **Kun liikennemäärä on 52 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, NO_2 :n raja-arvo ylittyy vaihtoehdoissa V1₄₅ ja V4₄₅ ja olisi vaarassa ylittyä vaihtoehdoissa V2₄₅ ja V3₄₅**.
- **Kortteliversio V3 osoittautui** tuulettumisen kannalta tarkastelluista vaihtoehdoista **parhaaksi**.
- Mitä leveämpi katukuilu on, sitä paremmin se tuulettuu.
- **LES- ja OPSM-mallinnustapojen** lähtökohtaisen erilaisuuden vuoksi tulosten yhteensovittaminen ja **vertailu osoittautui ennakoitua vaikeammaksi**.
 - LES-mallinnuksella ratkaistaan koko virtauskenttä ajan ja paikan suhteen laajalla alueella.
 - OSPM perustuu yksinkertaisiin parametrisointeihin idealisoidussa katukuilussa ja mallintaa ilman epäpuhtauksien pitoisuudet kahdessa katukuilun pisteessä tunneittain.

Viitteet

Berkowicz, R. (2000). OSPM- a parameterized street pollution model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 65, 323-331

Berkowicz, R., Hertel, O., Larsen, S.E., Sorensen, N.N, and Nielsen, M. (1997). Modelling traffic pollution in streets. Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute, Denmark.

Sisällysluettelo

Dokumenttilinkit

- **LES-mallinnus:** Korttelityyppien vaikutus ilmanlaatuun

- Johdanto

- Virtausmallinnus ja ilmapaketit

- Menetelmät

- Tulokset

- Pohdinta

- Johtopäätökset

- Suosituksset

- Liitteet

- Viitteet

- **OSPM-mallinnus:** Vuosikeskiarvojen arviointi

- Johdanto

- Menetelmät

- Tulokset

- Arviointia NO₂ raja-arvon ylittymisestä LES- ja OSPM-mallinnusten perusteella

- Yhteenveto

- Viitteet

- **Sanasto**

Sanasto

- Kaupunkipinta = Maanpinta, joka on muuttunut kaupungistumisen myötä. Pinta on rosoisempi (paljon virtausta hidastavia elementtejä, kuten rakennuksia) ja usein läpäisemätön.
- Ilmapaketti = Massaton ja reagoimaton partikkeli, joka kulkeutuu ilman virtauksen mukana kuten ilman reagoimattomat kaasut ja pienhiukkaset.
- Taustapitoisuus = Ilman epäpuhtauksien pitoisuus riittävän etäällä ihmisten aiheuttamista paikallisista ilman epäpuhtauksien lähteistä, esim. liikenteestä.
- Viikin testipuut = Lehmuspuut Helsingin yliopiston Viikin koekadulla (Viikki Street Tree Research Project), joiden avulla tutkitaan kaupungin vaikutusta katukasvillisuuteen.
- Yleinen säätila = Virtausmallinnuksessa käytetty säätila, jossa tuulensuunta on Helsingissä yleisimmin vallitseva ja ilman sekoittuminen pystysuunnassa on mahdollista. Ilmanlaadun kannalta parempi kuin talvinen (ilmanlaadulle epäedullinen) säätila.

