Ilmastonkestävä **kaupunki**

Energiatehokkaampaan ja terveellisempään kaavoitukseen vaikuttavista tekijöistä sekä ilmaston terveysvaikutuksista

Juuso Suomi, Risto Väyrynen Turun yliopisto

Miika Meretoja Turun kaupunki

Ilmatieteen laitos laati vuonna 2009 leviämismallin typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöistä Turun seudulla. Mallissa otettiin huomioon energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen päästöt. Ilmansaasteille on määritelty raja- ja ohjearvot. Raja-arvot käytännössä määrittelevät korkeimmat sallitut ilmansaasteiden pitoisuudet. Ne ovat sitovia, eivätkä ne saa ylittyä sellaisilla alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa teollisuusalueilla tai liikenneväylillä. Ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niiden sovellusalueita ovat kaavoitus, rakentaminen ja liikenteen suunnittelu. Ohjearvojen tavoitteena on ilmansaasteiden aiheuttamien terveysvaikutusten ehkäisy. Ilmansaasteiden lisäksi korkea ilman lämpötila aiheuttaa terveyshaittoja myös Suomessa etenkin riskiryhmille, kuten sairaille ja vanhuksille. Liukkaat jalkakäytävät aiheuttavat talvisin runsaasti vammoja kaatumisten seurauksena. Niiden päivien lukumäärän, joiden aikana lämpötila nousee nolla asteen yläpuolelle, ennakoidaan lisääntyvän ilmastonmuutoksen seurauksena. Tässä raportissa tarkastellaan lyhyesti merkittävimpien ilmanlaatuun vaikuttavien saasteiden alueellista jakaumaa Turussa, sekä pyritään arvioimaan millä alueilla sulamis-jäätymis-syklissä tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvat muutokset tulevat näkymään ensimmäisinä. Raportissa olevat ilmanlaatukuvat on laadittu Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksessa Ilmatieteen laitoksen laatiman aineiston perusteella. Lämpötila-aineistot on kerätty ja niihin liittyvät kartat on laadittu Turun yliopiston kaupunki-ilmastoprojektin puitteissa.

Sisällys

Pienhiukkaset 2

Typen oksidit (NO_x) 3

Rikkidioksidi (SO_2) 4

Ilman lämpötilan vaikutus 5

Vesi sulaa ja jäätyy 6

Toimintojen sijainnin merkitys 8

Ympäristötekijät ja niiden vaikutus energiatehokkuuteen 9

Lähteet 10

Helsingin kaupunki Vantaa TURKU LAHTI

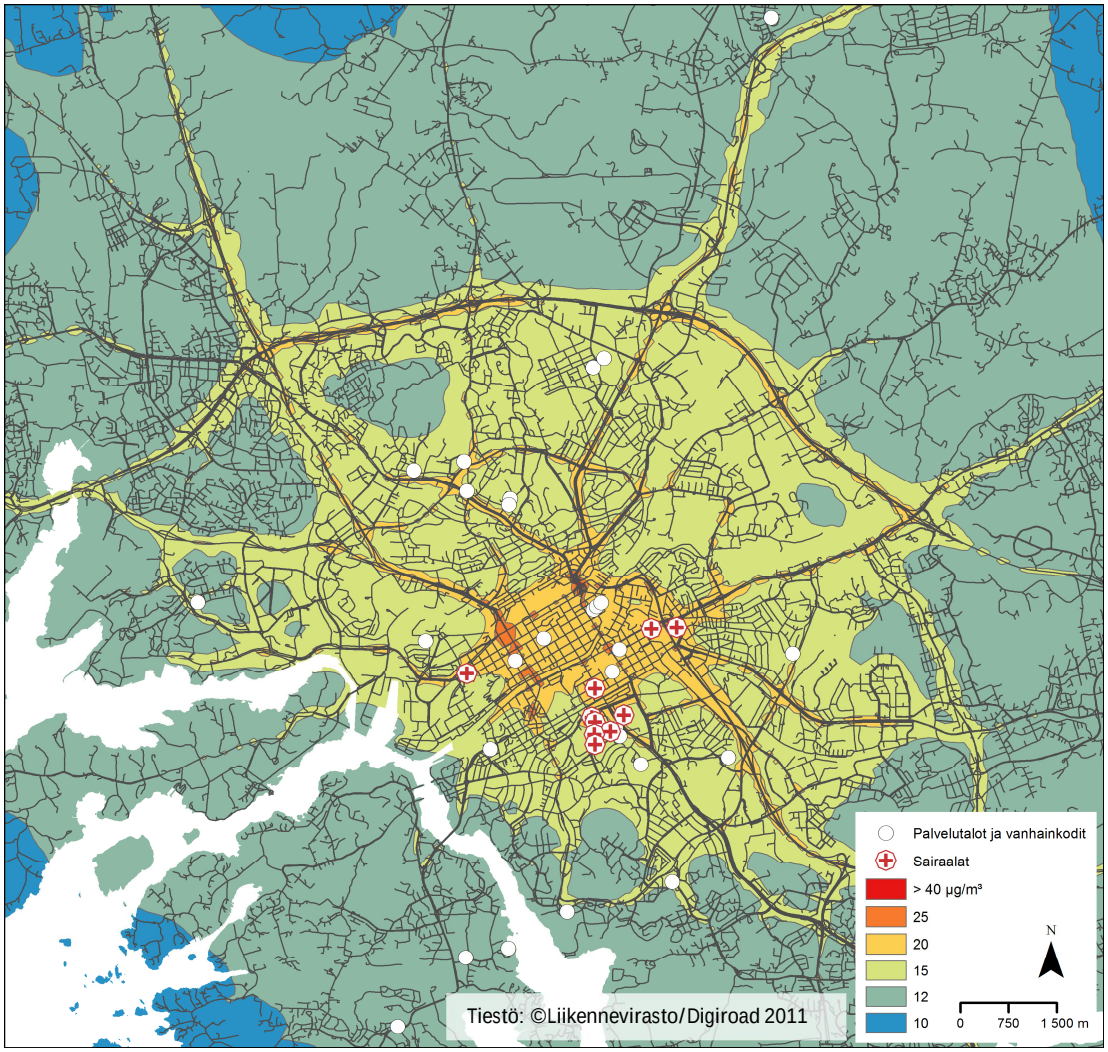
ILMATIETEEN LAITOS Turun yliopisto University of Turku HSY Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013 Euroopan unioni Euroopan aluekehitysrahasto

Ilmastonkestävä **kaupunki**

Pienhiukkaset

Pienhiukkaset ovat ihmisten terveyteen kohdistuvista ympäristötekijöistä kaikkein haitallisimpien joukossa, sillä ne kulkeutuvat suoraan ihmisten hengitysteihin. Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä, kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja. Suorat pienhiukkaspäästöt ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Halkaisijaltaan alle 10 mikrometriä oleville pienhiukkasille (PM10) on määritetty ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot.

Suomessa hiukkaspitoisuudet ovat korkeita keväällä maalis–huhtikuussa, kun maanpinta on kuivunut talven jäljiltä ja tuuli sekä liikenne nostavat katupölyä ilmaan. Hengitettäville hiukkasille annettu vuorokausiohjearvo (70 µg/m³) ylittyy Suomen kaupungeissa yleisesti keväisin. Turussa hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ylittyy keskustassa ruutukaava-alueella, sekä vilkkaimpien teiden varsilla. Vuositasolla korkeimmat hiukkaspitoisuudet havaitaan niin ikään vilkkaimpien katujen varsilla (kuva 1). Hiukkaspitoisuudelle sovittu raja-arvo (kalenterivuoden keskiarvo 40 µg/m³) ylittyy Turussa vain paikoin.

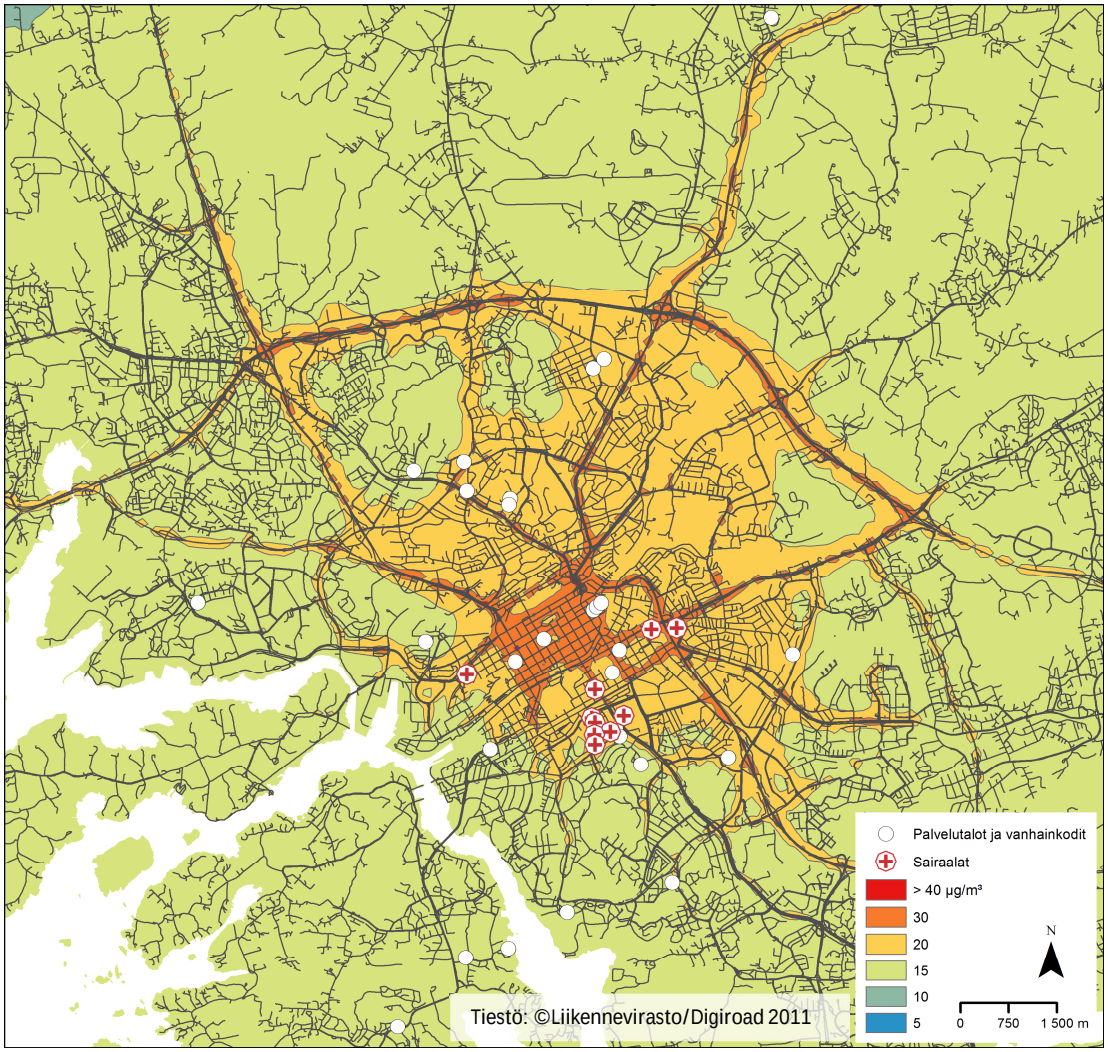


Kuva 1. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden (PM10) korkein vuosikeskiarvo (µg/m³). Ilmatieteen laitoksen leviämismallin perusteella hiukkasten pitoisuudet ovat suurimmillaan Turun keskustan ruutukaava-alueella ja etenkin vilkkaimmin liikennöityjen katujen varsilla. Hiukkaspitoisuudet ovat melko korkeita myös sisääntuloväylien varsilla. Kuvaan on merkitty myös sairaaloiden ja vanhainkotien sijainnit.

Typen oksidit (NO_x)

Typen oksideilla tarkoitetaan typpimonoksidia, eli häkää (NO) ja typpidioksidia (NO_2). Ne ovat ulkoilmassa haitallista etenkin astmaatikoille, mutta ne voivat aiheuttaa hengitysoireita myös lapsille. Pääasialliset päästölähteet ovat liikenne, energiatuotanto ja teollisuus, joista autoliikenteen merkitys on suurin. Typpidioksidi huonontaa kaupunkien ilmanlaatua etenkin kylminä ja tyyninä talvipäivinä.

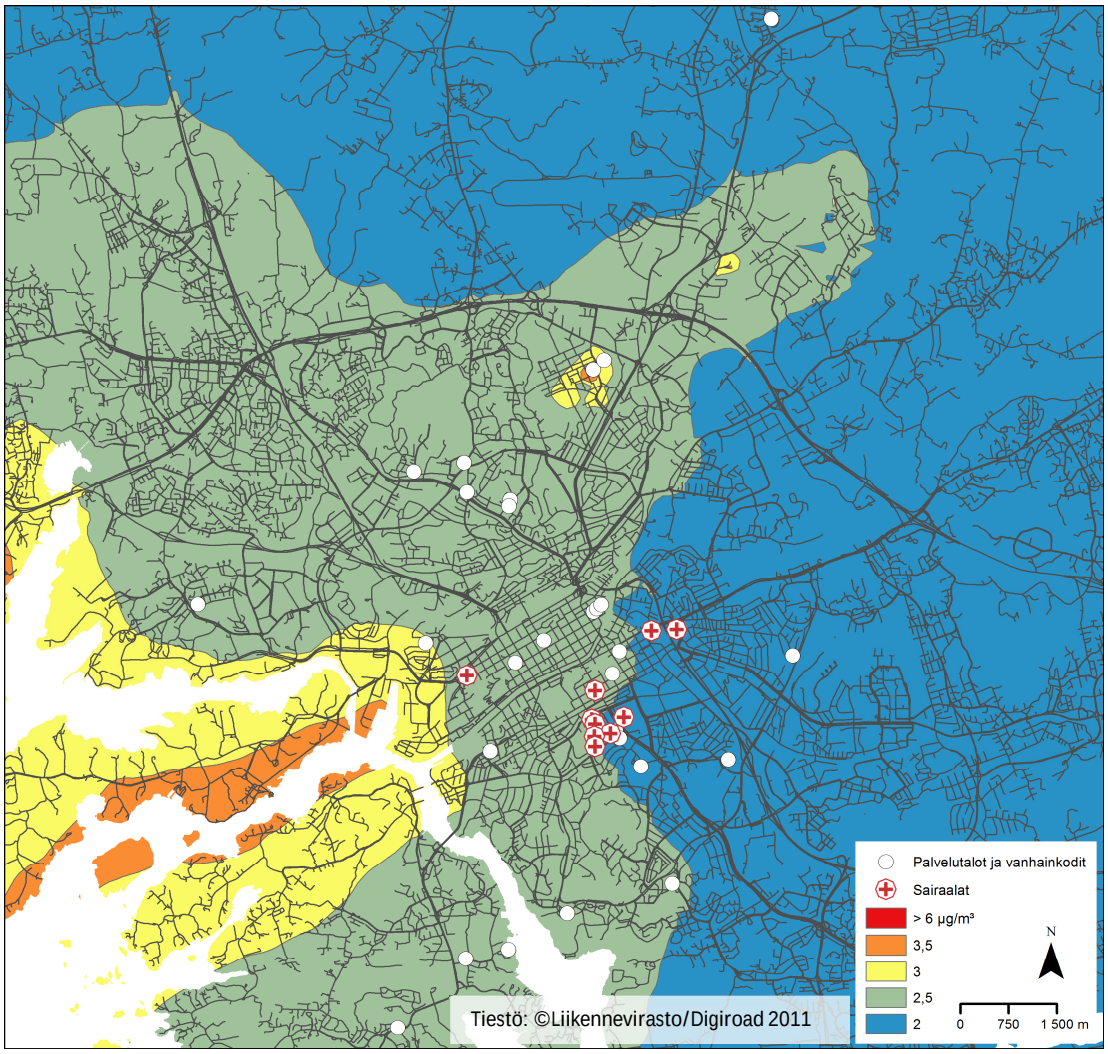
Typpidioksidin pitoisuudet noudattelevat Turun seudulla pitkälti samankaltaista alueellista jakaumaa kuin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet, eli korkeimmat pitoisuudet havaitaan ruutukaava-alueella ja vilkkaimpien sisääntuloväylien tuntumassa (kuva 2). Leviämismallin perusteella tehtyjen laskelmien mukaan typpidioksidille vuositasolla lasketut raja- ja ohjearvot (raja-arvo 40 µg/m³) ylittyvät Turun keskustassa paikoitellen vilkkaimpien teiden varsilla ja risteysalueilla.



Kuva 2. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidipitoisuuden (NO_2) korkein vuosikeskiarvo (µg/m³). Korkeimmat vuosikeskiarvot ovat suurimmat Turun keskustan ruutukaava-alueella ja vilkkaimmin liikennöityjen katujen varsilla. Pitoisuudet ovat melko korkeita laajahkolla alueella myös keskustan pohjois- ja koillispuolella sisääntuloväylien välisillä alueilla.

Rikkidioksidi (SO_2)

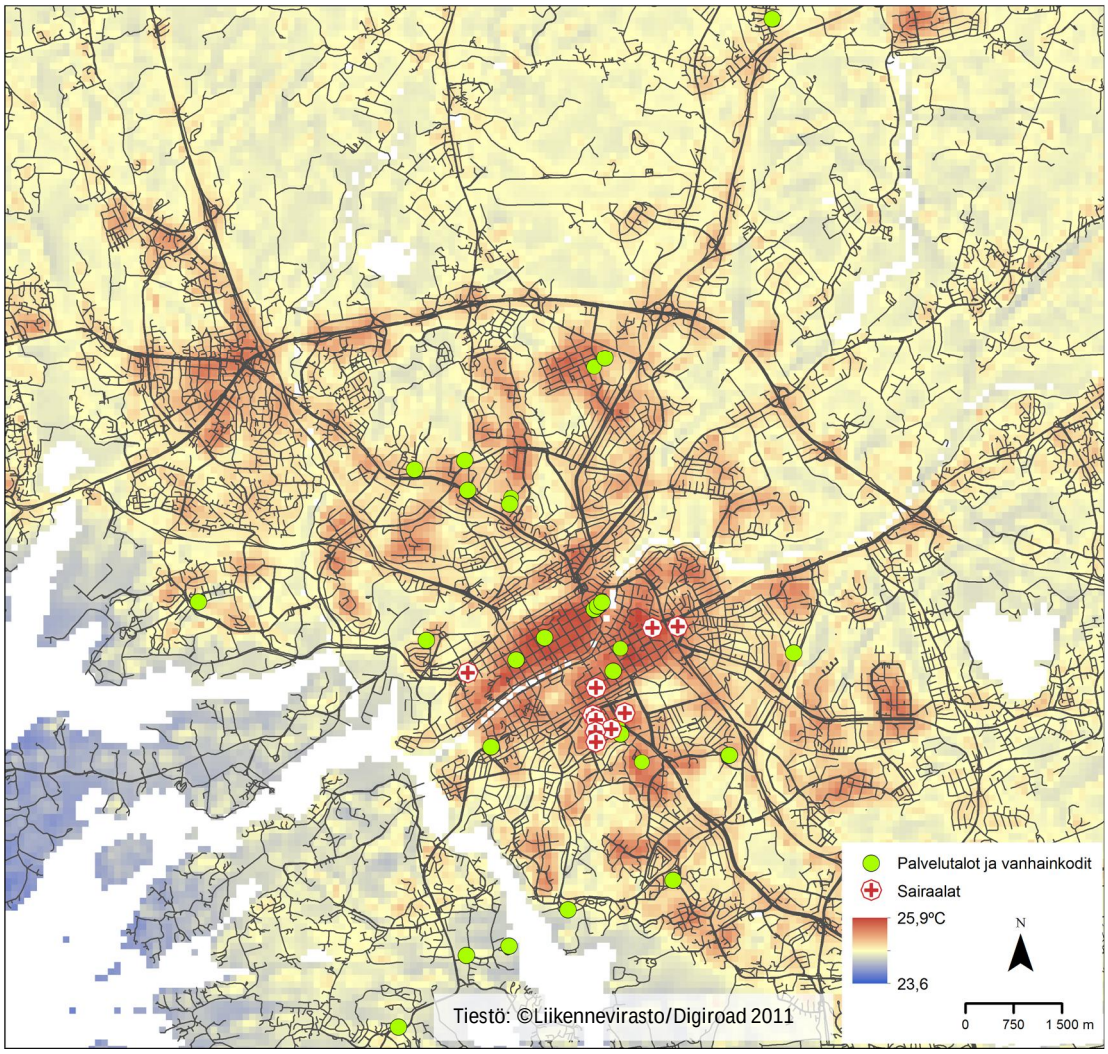
Rikkidioksidin pitoisuudet ovat suurimpia laivareittien varsilla ja lähellä satamaa (kuva 3). Sisämaassa rikkidioksidipäästöjä aiheuttavat lähinnä pistemäiset kuormituslähteet. Rikkidioksidin pitoisuudet ovat koko maassa pieniä muihin ilmansaasteisiin verrattuna, eikä Turku ole tässä suhteessa poikkeus. Suurimmat kuormittajat ovat laivaliikenne, sekä teollisuus ja energiantuotanto.



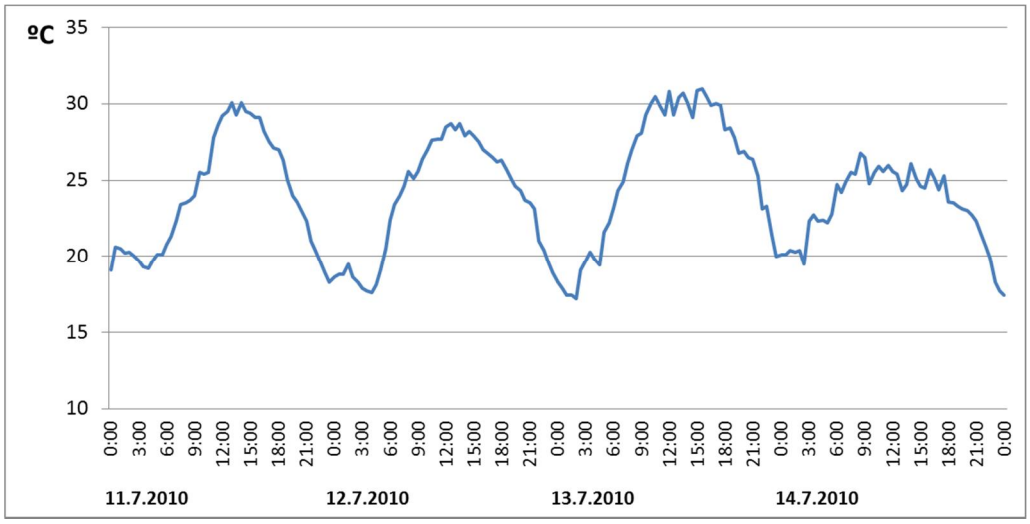
Kuva 3. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden (SO_2) korkein vuosikeskiarvo (µg/m³). Päästöt ovat suurimmat Turun satamaan johtavan laivaväylän läheisyydessä Ruissalon eteläosissa. Alueella on myös muutamia pienialaisia pistekuormituksen lähteitä.

Ilman lämpötilan vaikutus

Huono ilmanlaatu yhdistettynä korkeisiin lämpötiloihin on omiaan lisäämään terveyshaittoja kesällä. Turun alueella esimerkkinä käytetyllä vuoden 2010 heinäkuun hellejaksolla korkeimmat yksittäiset lämpötilat mitattiin keskustan ulkopuolella (kuvat 4 ja 5), mutta vuorokauden keskilämpötila oli korkein keskustassa. Lämpötilojen osalta hellejaksojen keskilämpötilaa voidaan pitää Turun alueella vuorokauden maksimilämpötilaa relevantimpana lämpöstressin indikaattorina, etenkin kun maksimilämpötilojen osalta erot ovat hyvin pieniä. Talvella terveyshaittoja aiheuttavat erityisesti ilmanlaadun ongelmat, mutta myös myrskyillä sekä talvisella liukkaudella voi olla vaikutusta ihmisten terveyteen.



Kuva 4. Ilman keskilämpötila jaksolla 11.7–14.7.2010. Mallissa on huomioitu maankäytön, korkeuserojen ja vesialueiden vaikutus lämpötiloihin. Lämpötila on korkein Turun keskustassa sekä tiheästi rakennetuissa lähiöissä, kuten Runosmäessä ja Varissuolla.

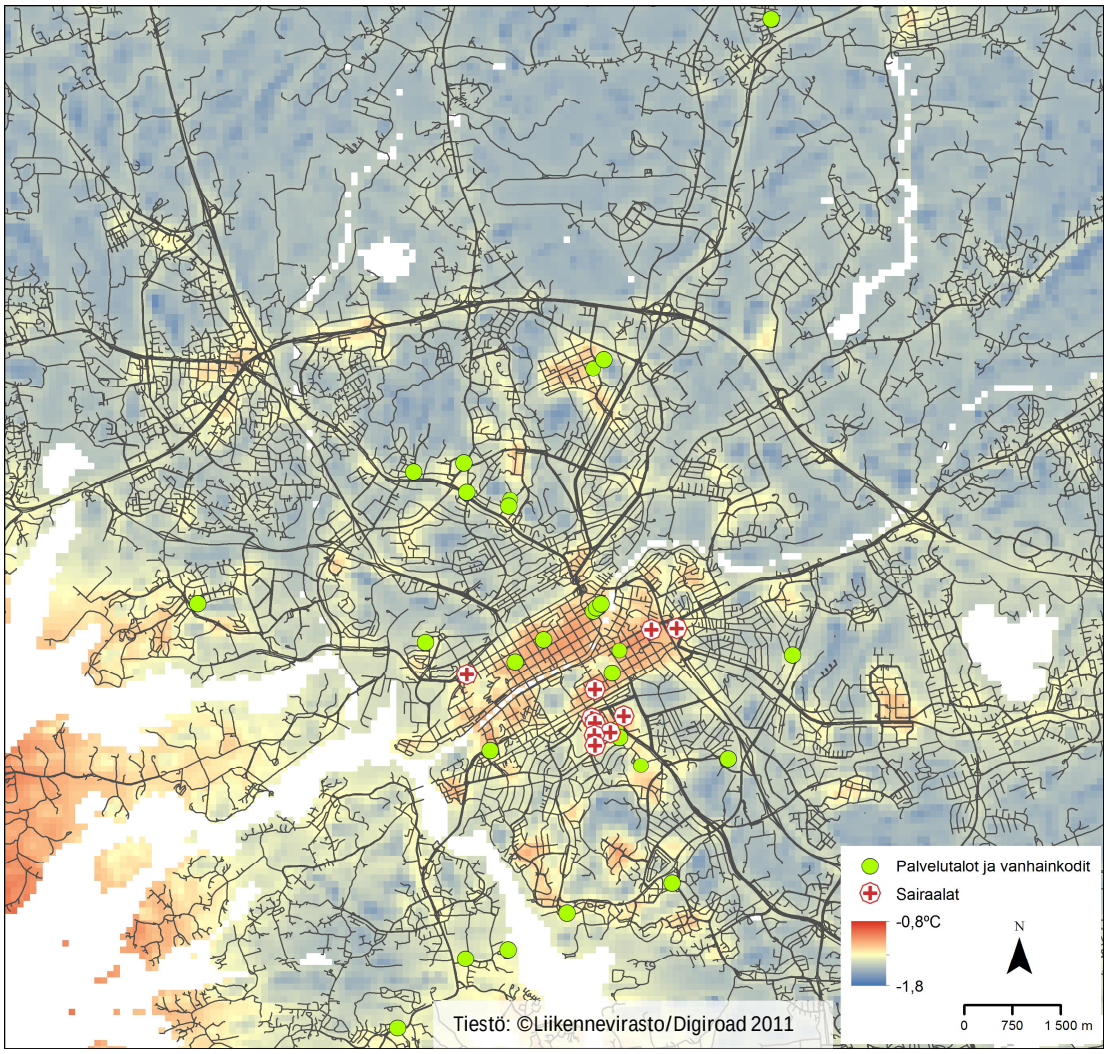


Kuva 5. Ilman lämpötila Ilmatieteen laitoksen Kaarinan Yltöisten säähavaintoasemalla jaksolla 11.7–14.7.2010. Säähavaintoaineisto: Ilmatieteen laitos, avoin data.

Vesi sulaa ja jäätyy

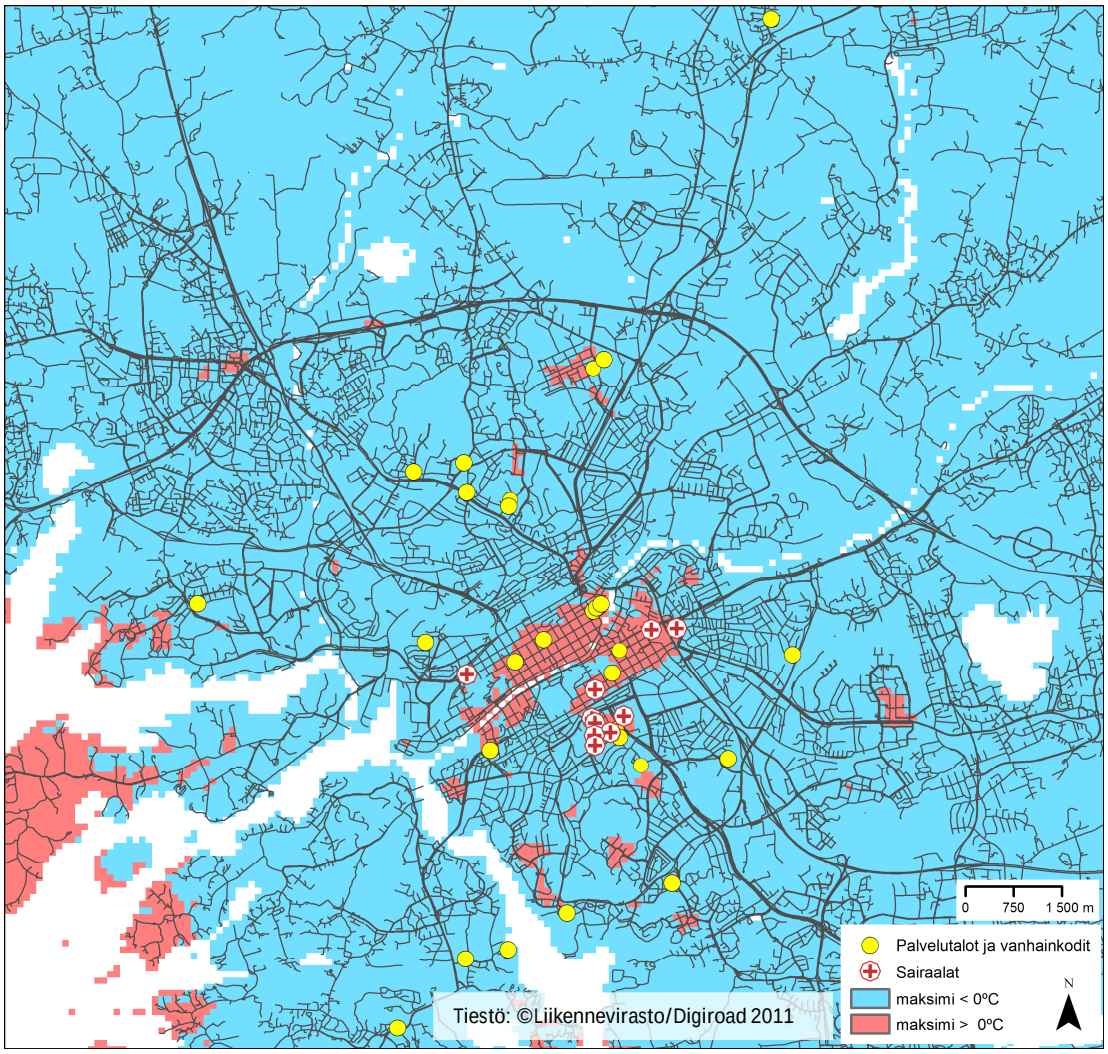
Talvella kaikkein hankalimmat keliolosuhteet syntyvät, kun lämpötila vaihtelee nollan molemmin puolin. Tällöin osa lumesta väistämättä sulaa jäätyäkseen pian uudelleen. Jäätyneet pinnat, sekä jäätynyt sohjo muodostavat etenkin jalankulkijoille ja pyöräilijöille vaaralliset liikkumisolosuhteet, mikä näkyy heti myös kaupungin ensiavussa. Sulamisen ja jäätymisen vaihtelua voidaan arvioida ns. nollapistepäivien lukumäärällä. Nollapistepäivillä tarkoitetaan päiviä, jolloin vuorokauden aikana on sekä pakkasta että suojaa. Ennusteiden mukaan nollapistepäivien määrä tulee Etelä-Suomessa ilmastonmuutoksen edetessä aluksi lisääntymään, mutta vuosisadan loppupuolelle tultaessa niiden määrä kääntyy kuitenkin laskuun kevään ja syksyn nollapistepäivien käydessä harvemmiksi.

Turun alueen paikallisilmastoaineistossa vuorokauden keskimääräiset maksimilämpötilat ovat havaintojen perusteella olleet koko havaintoverkoston osalta yleensä pakkasella tammi- ja helmikuussa (kuva 6). Vuorokauden minimilämpötilat taas ovat kaikissa havaintopisteissä pakkasella joulukuussa, tammikuussa, helmikuussa ja maaliskuussa. Maaliskuu ja joulukuu ovat kuukausia, jolloin vuorokauden minimilämpötilat ovat kaikkien havaintopisteiden osalta pakkasella, mutta maksimilämpötilat plussan puolella. Tästä päätellen vuoroittaista sulamista ja jäätymistä tapahtuu Turun alueella eniten joulu – ja maaliskuussa, mikäli lumi- ja kosteusolot sen sallivat. Huhtikuu ja marraskuu ovat kuukausia, jolloin vuorokauden minimilämpötilat alittavat osassa havaintopisteitä nollan asteen rajan, mutta ovat osassa havaintopisteitä plussan puolella.



Kuva 6. Vuorokauden maksimilämpötilojen keskiarvo Turun seudulla tammikuussa.

Kun sekä minimi- että maksimilämpötilojen ennustetaan ilmastonmuutoksen seurauksena kohoavan, tulee nollapistepäivien määrä lisääntymään aluksi tammi- ja helmikuussa. Tällöin vuorokauden keskimääräinen maksimilämpötila kohoaa nollan yläpuolelle, mutta minimilämpötilojen oletetaan edelleen olevan pakkasella. Alueellisesti tämä näkyy ensimmäisenä kaupungin keskustassa, jossa vuorokauden maksimilämpötilat ovat talvikuukausina kaikkein korkeimmat (kuva 7). Näin ollen kaupungin keskustan ja suurimpien lähiöiden voidaan katsoa lähivuosikymmeninä olevan selvimmin sulamis-jäätymissyklien muutoksille alttiita alueita. On kuitenkin syytä huomioida, että alueelliset liukkaudentorjuntatoimet sekä sääolosuhteet saattavat muuttaa tilannetta siitä, mitä pelkästään lämpötilojen perusteella voisi olettaa. Esimerkiksi jo pienetkin lämpötilamuutokset voivat saada aikaan sen, että lumisade muuttuu vesisateeksi ja päinvastoin. Tällä taas on isoja vaikutuksia teiden kunnossapitoon ja sen kustannuksiin.



Kuva 7. Alueet, joiden sulamis-jäätymissyklissä on odotettavissa ensimmäisenä muutoksia lämpötilojen kohotessa. Esimerkissä tammikuun vuorokauden maksimilämpötilojen oletetaan kohoavan 1,2 °C. Punaisilla alueilla ns. nollapistepäivien määrä lisääntyy, kun vuorokauden keskimääräinen maksimilämpötila kohoaa nollan yläpuolelle.

Toimintojen sijainnin merkitys

Toimintojen sijoittelulla on mahdollista vaikuttaa liikenteen määrään, millä on vaikutusta erityisesti ilmanlaatuun. Keskimäärin korkeimpien lämpötilojen ja huonoimman ilmanlaadun alueilla Turun keskustassa on sekä asumisen että liiketoiminnan alueita. Yksi lämpöstressin ja huonon ilmanlaadun kannalta relevantti erityistapaus on vanhuspalvelujen sijainti. Turussa pääosa vanhainkodeista, palvelutaloista ja pitkäaikaissairaanhoidon yksiköistä sijaitsee tiheimmin rakennetun ydinkeskustan ulkopuolella (kuvat 1-3). Toisaalta palvelutaloja on Turun ydinkeskustassakin, jossa vallitsee yleensä korkein lämpötila ja huonoin ilmanlaatu. Suuri osa keskusta-alueen ulkopuolisista vanhainkodeista ja palvelutaloista sijaitsee käytännössä suurehkojen liikenneväylien varsilla. Tämän seurauksena ilmanlaatu voi olla kyseisissä paikoissa huonompi kuin muissa vastaavalla etäisyydellä kaupungin keskustasta sijaitsevissa paikoissa. Toisaalta hyvä saavutettavuus on yksi sairaaloiden ja vanhainkotien sijainnin edellytys.

Turun sairaaloista lähes kaikki sijaitsevat Aurajoen itäpuolella, varsinaisen ruutukaava-alueen laitamilla, jossa ilmansaasteiden ja korkeiden lämpötilojen aiheuttamat terveysriskit eivät ole aivan niin suuria kuin ydinkeskustassa joen länsipuolella. Toisaalta Turun yliopistollinen keskussairaala sijaitsee nykyisellään osin tiiviin kaupunkirakenteen ympäröimänä, lisäksi Turku-Helsinki – moottoritie käytännössä jakaa sairaala-alueen kahteen osaan. Muutos alueella on viimeisen parinkymmenen vuoden aikana ollut etenkin liikennejärjestelyjen suhteen huomattava. Tarkastelemalla typen oksidien leviämismallia voidaan havaita, että yliopistollisen keskussairaalan ympäristössä päästöt ovat lähes samalla tasolla kuin kaupungin keskustassa. Tiivisti rakennetun keskusta-alueen mahdollinen laajeneminen ja lisääntyvä liikenne voi muuttaa tilannetta epäedullisempaan suuntaan myös niillä alueilla, joilla ilmansaastemäärät ovat toistaiseksi vähäisiä.

Ympäristötekijät ja niiden vaikutus energiatehokkuuteen

Yksi merkittävä tekijä talven lämpösaarekkeen synnyssä on rakennuksista ja liikenteestä vapautuva hukkalämpö. Kaupunkirakenteen ollessa tiivis keskimääräinen lämmitystarve vähenee, koska suurempi osa rakennuksista vapautuvasta lämmöstä vaikuttaa lähistöllä olevien rakennusten lämmitystarpeeseen. Rakennuskannan tiiviyden lisäksi myös korkokuva vaikuttaa rakennusten lämmitystarpeeseen. Etelärinteelle rakennetut rakennukset saavat hyötyvät keskimääräistä enemmän auringonsäteilyn lämmittävästä vaikutuksesta, mikä vähentää lämmitysenergian tarvetta.

Korkeuserojen vaikutus riippuu ilmakehän lämpötilakerrostuneisuudesta sekä korkeuserojen suuruudesta; ilmakehän ollessa ns. normaalitilassa laskee lämpötila ylöspäin mentäessä. Ns. inversiotilanteessa ilmakehän alimmat kerrokset ovat viileämpiä kuin niiden yläpuolella olevat kerrokset. Inversiotilanteet ovat yleisiä etenkin talvisin ja öisin, kun taas päivällä auringon lämmittäessä ilmakehä on usein normaalisti kerrostunut. Turun seudulla on havaittu keskilämpötilojen olevan korkeimpia suhteellisen korkeissa paikoissa mm. siksi, että inversiotilanteissa pystysuuntaiset lämpötilaerot ovat usein suurempia kuin normaalin ilmakehän vallitessa.

Energiatehokkuutta ajatellen ei ole kuitenkaan yksiselitteisesti perustellumpaa rakentaa korkeille paikoille, sillä ne ovat usein tuulisempia, mikä lisää lämmitystarvetta talvella. Toisaalta tuulella on kesähelteellä viilentävä vaikutus, mikä vähentää jäähdytystarvetta. Esimerkiksi meren rannalla ilman päivittäiset maksimilämpötilat ovat alhaisempia kuin sisämaassa. Toisaalta vuorokauden alimmat lämpötilat voivat olla rannikoilla huomattavastikin korkeampia kuin sisämaassa, mikä omalta osaltaan vähentää mahdollisia etuja. Talvisin rannikoilla huomattavasti lauhempaa, mutta toisaalta rannikolla tuulee sisämaata enemmän, mikä lisää kylmyyden tunnetta. Rakennusten sijoituspaikkojen merkitystä tärkeämpää on kiinnittää huomiota rakennusten yleiseen energiatehokkuuteen, etenkin kun kaupunkiympäristössä rakentamiseen vaikuttavat myös muut tekijät, kuten kaavoitus ja olemassa oleva rakennuskanta.

Lähteet

Jylhä K., Ruosteenoja K., Räisänen J., Venäläinen A., Tuomenvirta H., Ruokolainen L., Saku S. & Seitola T. (2009). Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteen laitos.

Papanastasiou, D. K. & Kittas C. (2012). Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city. Theoretical and Applied Climatology 107, 407–416.

Salmi J., Lappi S., Rasila T., Lovén K. & Hannuniemi H. (2009). Turun seudun päästöjen leviämismalliselvitys. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos.

Solantie R. & Drebs A. (2000). Keskimääräinen vuoden ylin ja alin lämpötila Suomessa 1961–1990. Raportteja 2000: 6. 32 s.

TURCLIM (2014). TURCLIM kaupunki-ilmastoprojekti, Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitos. http://www.utu.fi/en/sites/climate/climate/turclim/Pages/home.aspx [viitattu 29.9.2014]