

Kuopion Saaristokaupungin ilmastovaikutukset

Irmeli Wahlgren, Kimmo Kuismanen & Lasse Makkonen



Tiivistelmä

Raportissa esitellään Kuopion Saaristokaupungin ilmastovaikutusten arviointi. Työssä laadittiin ennuste paikallisesta ilmastomuutoksesta ääri-ilmiöiden ja eräiden keskimääräisuuroiden muutosten osalta seuraavan noin sadan vuoden aikana. Arvion mukaan vuoden keskilämpötila nousee 4 °C, maksimilämpötila nousee 5 °C, minimilämpötila nousee 8 °C, sulamisjäätymissyklit pysyvät ennallaan, vuoden keskituulennopeus kasvaa 3 %, maksimituulennopeus pienenee 10 %, vuoden sademäärä kasvaa 15 %, 6 tunnin sademaksimi kasvaa 14 %, 5 vuorokauden sademaksimi kasvaa 56 %, 6 tunnin lumisademaksimi kasvaa 1 %, lumipeitteen maksimivesiarvo vähenee 37 % ja lumipeitteen kesto aika lyhenee 45 vrk.

Saaristokaupungin Lehtoniemen ja Rautaniemen osayleiskaavoja ja suunnitelmia analysoitiin ilmastomuutoksen kannalta. Raportissa esitetään suunnitteluohjeita ja suosituksia jatkotyöhön. Molempien osayleiskaava-alueiden suunnittelun kehittäminen voi lähteä seuraavista periaatteista: suojametsiköt säästetään, tonteilla oleva kasvillisuus säilytetään mahdollisimman laajasti ja uusissa istutuksissa huomioidaan tuulensuojan muodostaminen; matala-tiivis pienimittakaavainen rakennuskanta; mahdollisimman kapeat kadut, joilla ei ole pitkiä päätuulensuuntien suuntaisia suoria; asteittain nousevat suhteellisen tasaiset rakennuskorkeudet, tiivis aluerakenne; tuulen nostaminen kattojen yläpuolelle, ja pitäminen siellä; tuulen vaimentaminen katutilassa ja pihoilla istutuksin ja rakentein; mahdollisesti pienoismallien tuulitestausta rakennussuunnitteluvaiheessa. Suosituksia erittäin tuulisten kortteleiden suunnittelun lähtökohdiksi: rakennusten lämmöneristyksen ja tiiviyden on ylitettävä 20 % normien vaatimustaso; katto- ja piharakenteiden mitoitusluokkien on ylitettävä 20 % normien vaatimustaso; rannanpuoleisten julkisivujen kosteudenkestosta on annettava selvitys; kaavoitus ja rakennussuunnittelu tehtävä pienoismallin tuulitestausta hyväksikäyttäen.

Ilmastomuutoksen hillitsemiseen liittyen arvioitiin Saaristokaupungin toteuttamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt aikaisemman tutkimuksen tietoja hyödyntäen. Tarkasteltavina vaihtoehtoina olivat Saaristokadun toteuttamiseen liittyvä kaupunkirakennevaihtoehto VE1 ja vaihtoehto VE 0+, jossa Saaristokatua ei rakenneta. Rakenteiden tuottamisesta, käytöstä ja liikenteestä aiheutuu kasvihuonekaasujen päästöjä vaihtoehdossa Ve0+ kaikkiaan 3,4 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia ja vaihtoehdossa Ve1 selvästi vähemmän eli 2,8 miljoonaa tonnia. Suurin ero aiheutuu liikenteestä. Vaihtoehdossa 0+ rakennusten osuus vuotuisista päästöistä on 62 %, verkostojen osuus 1 % ja liikenteen osuus 37 %. Vaihtoehdossa 1 rakennusten osuus on 76 %, verkostojen osuus 1 % ja liikenteen osuus 23 %. Vaihtoehdossa 1 liikenteen päästöt ovat puolet vaihtoehdon 0+ liikenteen päästöistä. Asukasta kohden laskettuna kasvihuonekaasupäästöjä aiheutuu 4,5 CO₂-ekvivalenttitonnia/asukas vaihtoehdossa 0+ ja 3,6 CO₂-ekv.tonnina/asukas vaihtoehdossa 1. Kerrosneliometriä kohden lasketut kasvihuonekaasupäästöt ovat 106 CO₂-ekv.kg/k-m² vaihtoehdossa 0+ ja 87 CO₂-ekv.kg/k-m² vaihtoehdossa 1. Päästöt ovat liikenteen osalta vaihtoehdossa 1 noin puolet vaihtoehdon 0+ päästöistä. Saaristokadun ja siihen liittyvän kaupunkirakenteen toteuttaminen on edullista sekä talouden että ympäristön kannalta. Saaristokaupungin toteuttaminen todettiin perustelluksi sekä yhdyskuntatalouden että ympäristövaikutusten kannalta.

Tässä tutkimuksessa aikaisempaa tutkimusta täydentävä tarkastelu osoittaa, että Saaristokaupunkia tulisi kehittää edelleen ja rakentamista tulisi painottaa Saaristokaupungin alueelle kaupunkina sijaitsevien eteläisten alueiden sijasta. Näin voidaan vähentää huomattavasti kasvihuonekaasupäästöjä.

Alkusanat

Raportissa esitellään Kuopion Saaristokaupungin toteuttamisen vaikutusten arviointi ilmastomuutokseen sopeutumisen ja sen hillitsemisen kannalta.

Työ on osa Ympäristöklusterin tutkimusohjelman neljännen vaiheen 2006 – 2009: Ekotehokas yhteiskunta tutkimushanketta nro 23 ”Ilmastomuutoksen huomioiminen kaavoituksessa”. Tutkimus kuuluu myös ilmastomuutoksen sopeutumistutkimusohjelmaan (ISTO). Työstä on vastannut VTT:ssä erikoistutkija Irmeli Wahlgren. Ilmastomallin soveltamisesta on vastannut erikoistutkija Lasse Makkonen. Tutkimusharjoittelija Maria Tikanmäki on osallistunut ilmastomallin datan analysointiin. Alueellisen ilmastomallin datan on toimittanut SMHI, Ruotsi ja sen analysointiin on osallistunut Leena Ruokolainen Helsingin yliopiston fysikaalisten tieteiden laitokselta. Arkkitehti Kimmo Kuismanen on osallistunut suunnitelmien arviointiin ja suositusten laadintaan.

Lähtötietoja tutkimukseen ovat toimittaneet kaavoituspäällikkö Leo Kosonen, suunnittelija Mikko Savastola ja toimistoinsinööri Jaana Kostiainen Kuopion kaupungista. Kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa on hyödynnetty myös VTT:n aikaisempaa tutkimusta Kuopion eteläisten osien kaupunkirakennevaihtoehtojen vaikutuksista (Halme & Harmaajärvi 2003).

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat	4
Sisällysluettelo	5
1 Johdanto	7
2 Tavoite	8
3 Saaristokaupunki	9
4 Ilmastonmuutoksen simuloinnit rakentamisen ja maankäytön sovellutuksiin	17
6.1 Yleistä taustaa	17
6.2 Ilmastosimuloinnit	17
6.3 Ääriarvoanalyysi	18
5 Ennakoitu ilmastonmuutos Kuopiossa	19
6 Vedenpinnan muutokset	20
6.1 Alimman korkeusaseman laskentaan vaikuttavia tekijöitä	20
6.2 Aallonkorkeus	20
7 Ilmaston ja sen muuttumisen vaikutus kaavasuunnitteluun	21
7.1 Suomen ilmasto	21
7.2 Kuopion ilmasto kaavasuunnittelun kannalta	21
7.3 Saaristokaupungin mikroilmasto	25
7.4 Rakennettujen alueiden mikroilmaston laadun kriteerit	25
7.5 Ilmastonmuutos ja sen vaikutus Kuopiossa	26
7.6 Osayleiskaava-alueiden analyysi	30
7.6.1 Yleiskaavan tavoitteita	30
7.6.2 Lehtoniemi	30
7.6.3 Rautaniemi	30
7.6.4 Lehtoniemen ideasuunnitelma, vaihtoehto 1	31
7.6.5 Lehtoniemen ideasuunnitelma, vaihtoehto 2	33
7.7 Suunnitteluohjeita	35
7.7.1 Aluetaso	35
7.7.2 Korttelitaso	35
7.7.3 Rakennukset kaavoituksessa	38
7.7.4 Rantarakentamisen vaihtoehtoiset ratkaisut	41
7.7.5 Tuulensuojakasvillisuuden suunnittelu	41
7.7.6 Tuulitestauksen käyttäminen	43
8 Saaristokaupungin kasvihuonekaasupäästöt	44
8.1 Arviointiperiaatteet	44
8.2 Kasvihuonekaasupäästöt	45

9	Epävarmuustekijät	49
10	Johtopäätökset ja suositukset	50
	Lähteet	51

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen on tärkeä kansainvälinen ja kansallinen tavoite. Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelmassa 2006 - 2010 todetaan tärkeäksi ilmastonmuutoksen vaikutusten huomiointi jo nyt suunniteltaessa alueiden käyttöä ja yhdyskuntien rakennetta. Ilmastonmuutos on tärkeää huomioida aikaisin myös siksi, että yhdyskunnat uudistuvat hitaasti ja uusien suunnitteluperiaatteiden seuraukset näkyvät yhdyskuntien kehityksessä vasta vuosikymmenten kuluttua. Tietoa tarvitaan siitä, miten yhdyskuntien eri rakenteita voidaan muuttaa kestävämmiksi uusiin ilmasto-oloihin. Ohjelman mukaan tarvitaan selvitystä siitä, miten ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi ja sopeutumistoimet sisällytetään alueidenkäytön ja yhdyskuntien suunnitteluun käytännössä.

Ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian (2005) mukaan mahdollisia toimenpide- ja linjauksia alueidenkäytössä ja yhdyskuntasuunnittelussa ovat seuraavat: ilmastonmuutoksen vaikutuksen arviointi sisällytetään alue- ja yhdyskuntarakenteen pitkän aikavälin suunnitteluun; kaavoitusprosessiin liitetään ilmastonmuutokseen sopeutumisen lisäselvitysvaatimus erityisen haavoittuville alueille; tulvaherkät alueet ja rakenteet kartoitetaan; ääri-ilmiöiden ennakointi- ja varoitusjärjestelmiä kehitetään; selvitetään alueellisia ja paikallisia vaikutuksia ja sopeutumiskeinoja; sade- ja pintavesien johtamista parannetaan; selvitetään muutostarvetta maankäyttö- ja rakennuslakiin ja -asetukseen sekä kuntien rakennusjärjestyksiin; eri kaavatasoille annetaan tarvittaessa suosituksia.

Ilmasto- ja energiastrategian päivityksen 2003 - 2004 ympäristöministeriön sektoriraportissa todetaan, että ilmastonmuutoksen huomioon ottaminen saattaa edellyttää suunnitteluperiaatteiden tarkistamista. Erityisen tarpeellista olisi selvittää ilmastonmuutoksen alueellisia ja paikallisia vaikutuksia. Ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi sisällytetään alue- ja yhdyskuntarakenteen pitkän aikavälin suunnitteluun. Kaavoitusprosessiin liitetään ilmastonmuutokseen sopeutumisen lisäselvitysvaatimus erityisesti haavoittuville alueille. Selvitetään alueellisia ja paikallisia vaikutuksia ja sopeutumiskeinoja.

VTT osallistuu Ympäristöklusterin tutkimusohjelman neljänteen vaiheeseen 2006 - 2009: Ekotehokas yhteiskunta hankkeella nro 23 ”Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen kaavoituksessa”. Tutkimushankkeen tavoitteena on edistää ilmastonmuutokseen sopeutumista ja sen hillitsemistä kaavoituksessa ja siten mm. vähentää tulva- ja myrskytuhoja sekä kasvihuonekaasupäästöjä. Yhdyskuntien suunnitteluperiaatteita tulisi kehittää niin, että samaan aikaan voidaan ottaa huomioon sekä ilmastonmuutoksen hillitsemiseen että sopeutumiseen liittyvät tavoitteet. Hankkeessa tarkastellaan suunnitteluperiaatteita kummankin tavoitteen kannalta ja arvioidaan mahdollisten ristiriitojen ratkaisukeinoja. Tutkimuksessa tarkastellaan suunnittelua maakunta- ja yleiskaava- ja asemakaavatasoilla käytännön esimerkkien kautta. Arvioinnin pohjaksi laaditaan arviot ilmastonmuutoksen keskeisistä vaikutuksista ao. paikkakunnilla. Tuloksena saadaan suositukset ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointiin ja sopeutumistoimiin alueidenkäytön ja yhdyskuntien suunnitteluun käytännössä. Tutkimus tehdään yhteistyössä kuntien ja maakunnan liittojen kanssa.

Tämä Kuopion kaupungin kanssa yhteistyössä tehty tutkimushanke koskee Saaristokaupungin ilmastovaikutusten arviointia.

2 Tavoite

Työn tavoitteena on arvioida Kuopion Saaristokaupungin suunnitelmia ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja sen hillitsemisen kannalta.

Työssä arvioidaan ilmastonmuutoksesta tulevaisuudessa aiheutuvat keskeiset vaikutukset alueella. Arvio tehdään Ruotsin ilmatieteen laitoksen (SMHI) Rossby Centressä kehitetyillä alueilmastomallilla ja EXTREMES projekteissa VTT:ssä kehitetyillä analyysimenetelmillä. Se painottuu ääri-ilmiöiden muutoksiin noin 100 vuoden aikana.

Saaristokaupungin alueen osayleiskaavoja analysoidaan pienilmaston kannalta ottaen huomioon arvioidut ilmastonmuutoksen vaikutukset.

Lisäksi arvioidaan Saaristokaupungin toteuttamisesta aiheutuvat vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin eli ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Arvio laaditaan VTT:n aikaisempaa Kuopion kaupungille tekemää tutkimusta (Halme & Harmaajärvi 2003) hyödyntäen.

Arvioinnin perusteella laaditaan suosituksia ja ohjeita alueen jatkosuunnittelua varten.

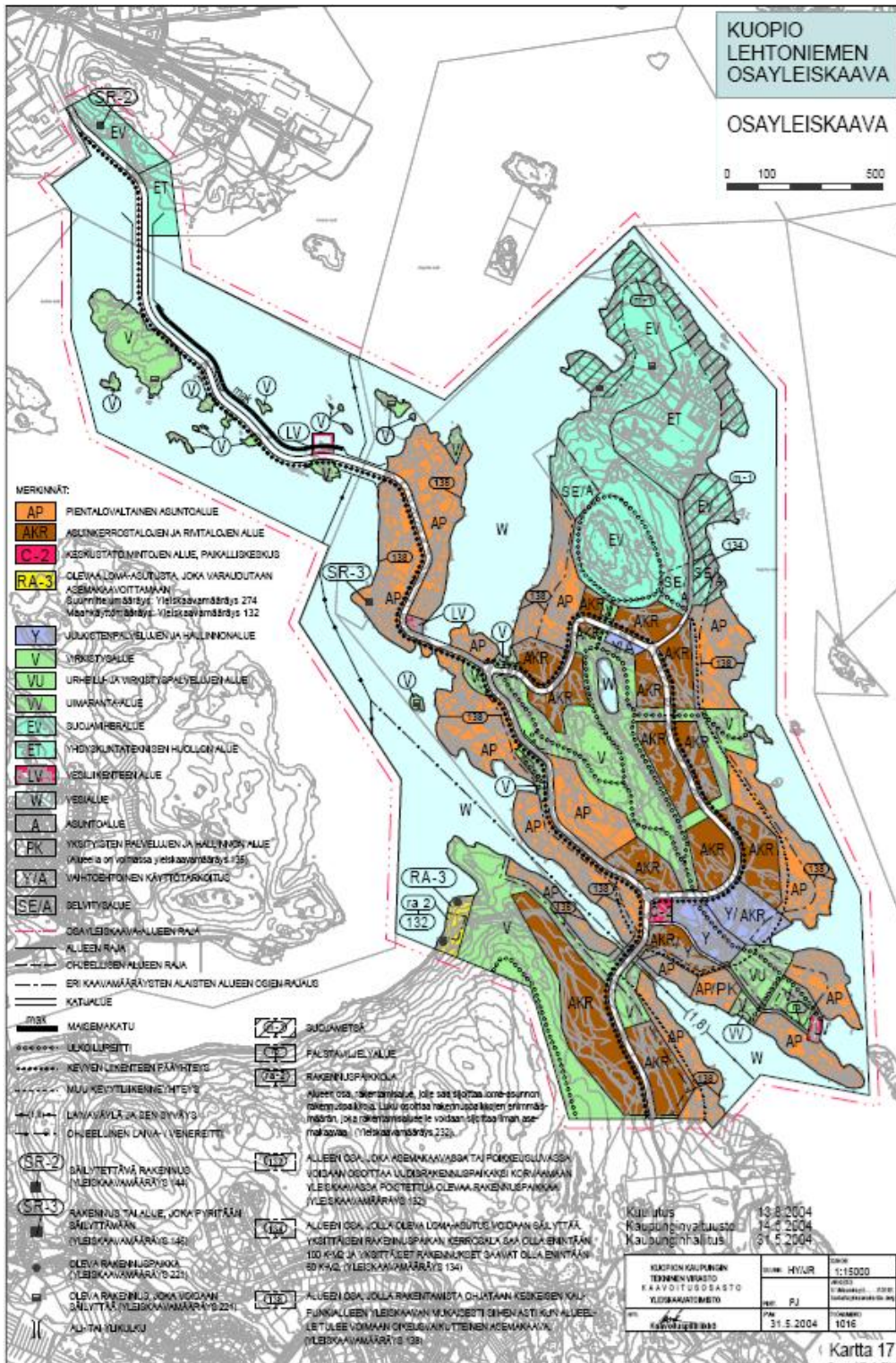
3 Saaristokaupunki

Tutkimuksen kohteena on Kuopion Saaristokaupunki. Tutkimuksessa tarkastellaan ilmastonmuutokseen sopeutumista Lehtoniemen ja Rautaniemen alueiden osayleiskaavojen avulla. Ilmastonmuutoksen hillitsemistä tarkastellaan Kuopion eteläisten osien kaupunkirakennemuutosten toteuttamisesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen kautta. Kasvihuonekaasupäästöt arvioitiin alun perin vuonna 2003 tehdyssä tutkimuksessa (Halme & Harmaajärvi 2003). Tätä tarkastelua varten tutkimusaineistoa on hyödynnetty ja muokattu soveltuvin osin. Kuvassa 1 esitetään illustraatio Saaristokadusta, joka yhdistää Saaristokaupungin Kuopion keskustaan.

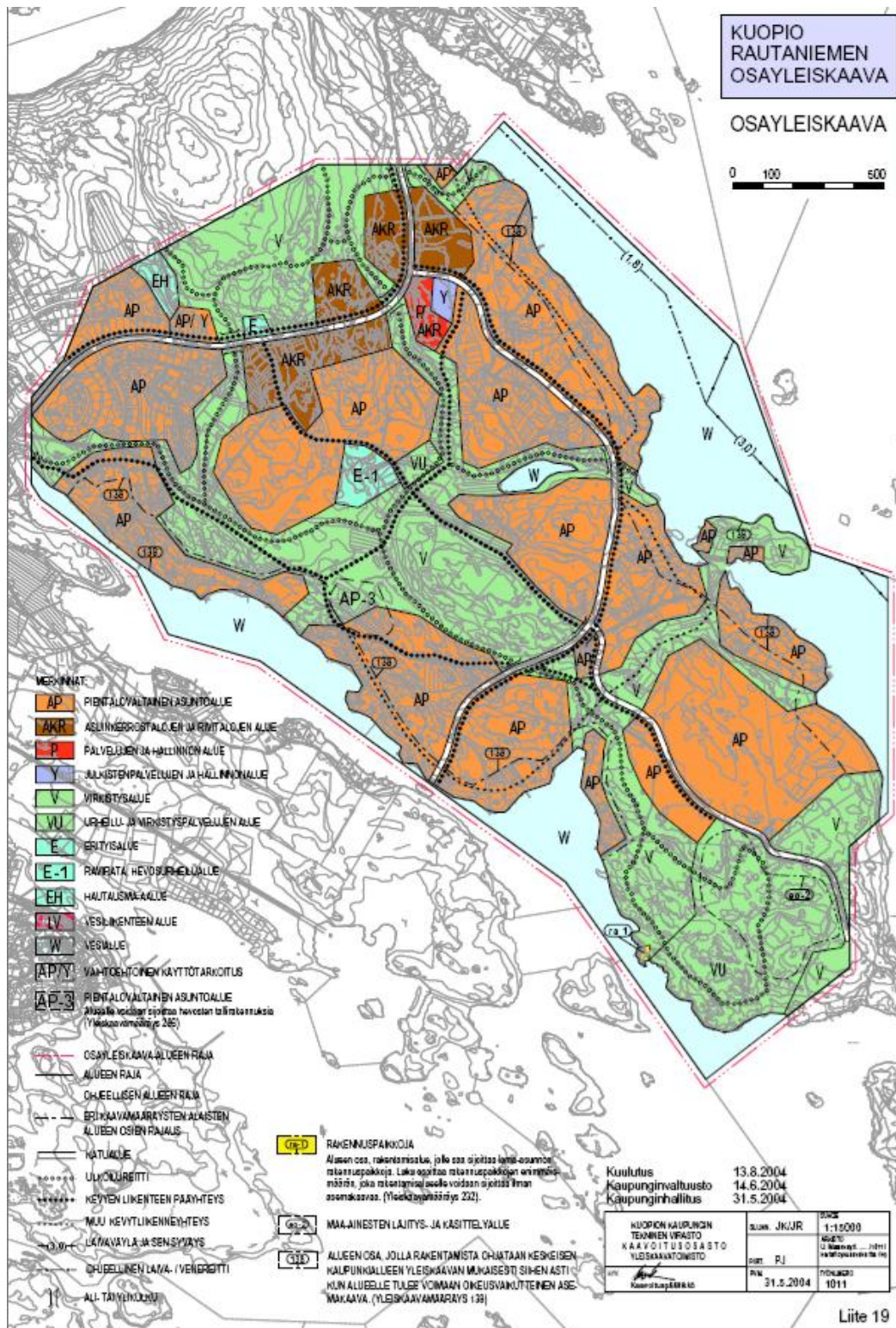


Kuva 1. Kuopion Saaristokatu. Illustraatio. (Kuva: Kuopion kaupunki).

Kuvassa 2 esitetään Lehtoniemen ja kuvassa 3 Rautaniemen osayleiskaavakartta.

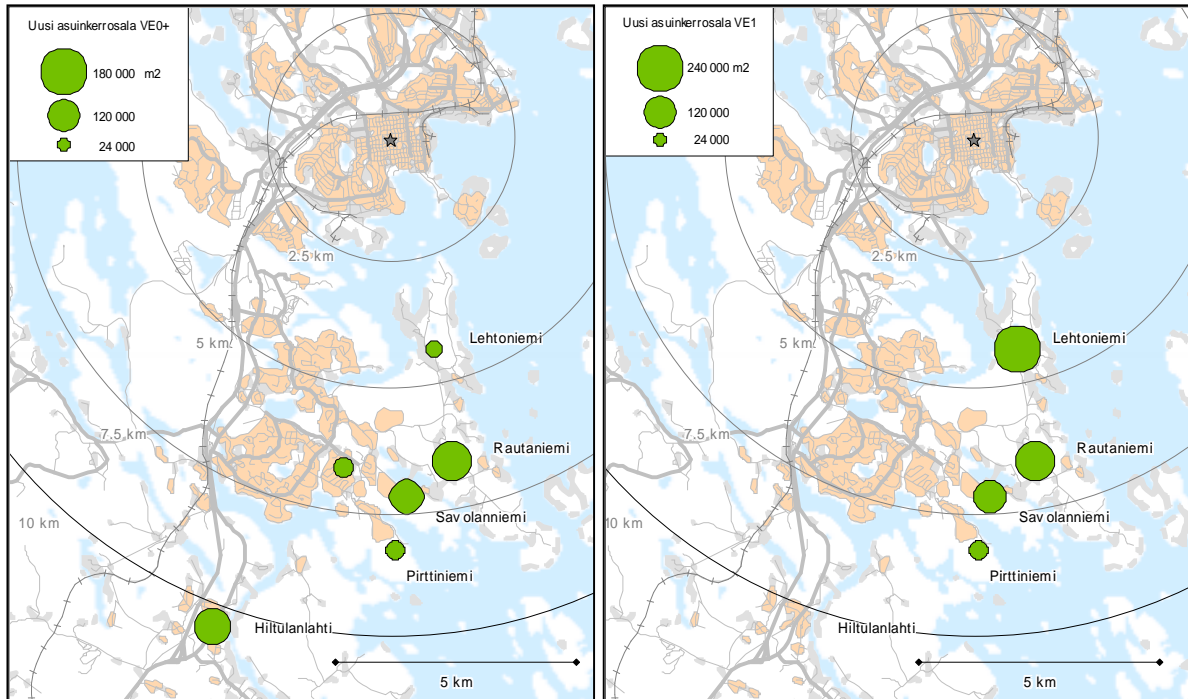


Kuva 2. Lehtoniemen osayleiskaava (Kuopion kaupunki).



Kuva 3. Rautaniemen osayleiskaava (Kuopion kaupunki).

Kuvassa 4 esitetään Kuopion eteläisten osien kaupunkirakennevaihtoehtojen VE 0+ ja VE 1 uusien alueiden asuinkerrosala ja sijoittuminen olemassa olevaan yhdyskuntarakenteeseen (Halme & Harmaajärvi 2003). Vaihtoehdossa 0+ uusi asutus painottuu etelään Hiltulanlahden suuntaan ja vaihtoehdossa VE 1 Saaristokaupunkiin.



Kuva 4. Kuopion eteläisten osien kaupunkirakennevaihtoehdot: Asutuksen sijoittuminen (Halme & Harmaajärvi 2003).

Vaihtoehtojen väliset erot ovat aluekohtaisesti seuraavat (Halme & Harmaajärvi 2003):

Lehtoniemi

- Vaihtoehto Ve0+:ssa Lehtoniemessä asuu vuonna 2020 noin 1 200 uutta asukasta.
- Vaihtoehto Ve1:ssä Lehtoniemessä asuu vuonna 2020 noin 4 600 asukasta ja Keilankannassa 1400 asukasta kerros-, pienkerros- ja rivitaloissa.

Rautaniemi

- Vaihtoehto Ve0+:ssa ja Ve1:ssä Rautaniemessä asuu noin 4 000 asukasta pääosin rivija omakotitaloissa.

Savolanniemi

- Vaihtoehto Ve0+:ssa ja Ve1:ssä Savolanniemessä asuu vuonna 2020 noin 3 300 asukasta pääosin rivitaloissa (myös pienkerros- ja ok-taloissa).

Pirttiniemi

- Vaihtoehto Ve0+:ssa ja Ve1:ssä Pirttiniemessä asuu vuonna 2020 noin 1 100 asukasta pääosin rivi- ja omakotitaloissa.

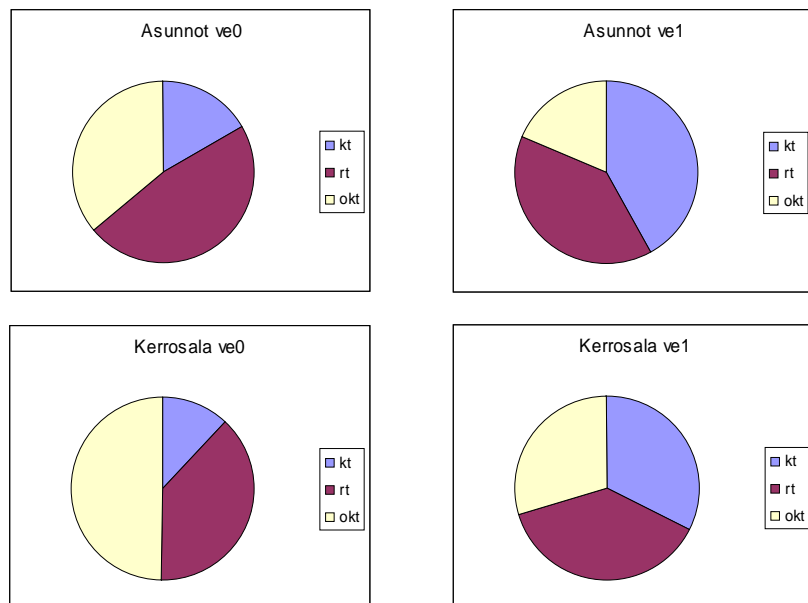
Pirtti

- Vaihtoehto Ve0+:ssa Pirtin uusissa täydennysrakentamiskohteissa asuu vuonna 2020 noin 1 300 asukasta.
- Vaihtoehto Ve1:ssä Pirttiin ei sijoiteta uutta asutusta täydennysrakentamisena.

Hiltulanlahti

- Vaihtoehto Ve0+:ssa Hiltulanlahden asukasmäärä on vuonna 2020 noin 3 600 asukasta pientalomaisena asutuksena.
- Vaihtoehto Ve1:ssä Hiltulanlahteen ei sijoiteta uutta asutusta.

Kuvassa 5 esitetään vaihtoehtojen talotyyppijakauma asuntojen ja kerrosalan suhteessa.



Kuva 5. Vaihtoehtojen Ve0+ ja Ve1 sisältämä asuntotuotannon asunto- ja kerrosalajakauma talotyyppiittäin. (Halme & Harmaajärvi 2003)



Kuva 6. Saaristokatua rakennetaan, syksy 2007. (Kuva: Irmeli Wahlgren)



Kuva 7. Saaristokatua rakennetaan, syksy 2007. (Kuva: Irmeli Wahlgren)



Kuva 8. Saaristokaupunkia syksyllä 2007. (Kuva: Irmeli Wahlgren)



Kuva 9. Saaristokaupunkia syksyllä 2007. (Kuva: Irmeli Wahlgren)



Kuva 10. Saaristokaupunkia syksyllä 2007. (Kuva: Irmeli Wahlgren)



Kuva 11. Saaristokaupunkia syksyllä 2007. (Kuva: Irmeli Wahlgren)



Kuva 12. Saaristokaupunkia syksyllä 2007. (Kuva: Irmeli Wahlgren)

4 Ilmastonmuutoksen simuloinnit rakentamisen ja maankäytön sovellutuksiin

6.1 Yleistä taustaa

Meteorologiset ja geofysikaaliset ääri-ilmiöt, kuten myrskytuulet, tulvat ja ankarat lumimyrskyt voivat aiheuttaa tuhoja rakennetulle ympäristölle. Yhdyskunnat on suunniteltava kestämään kohtuullisen usein esiintyvät luonnonilmiöt, mutta hyvin harvinaisiin ääritapauksiin vauriutuminen ei ole taloudellisesti järkevää, elleivät tapauksen vahingolliset seuraukset ole erityisen suuret (padot, voimalat, sähkönjakeluverkko, jne.). Infrastruktuurin suunnittelu perustuukin osaltaan siihen, että arvioidaan kullakin paikalla tarkasteltavalle kohteelle valitun turvallisuusrajan ylittävän ilmiön esiintymistodennäköisyys. Mitoituksessa käytettävä ääri-ilmiön arvo saadaan käänteisesti: Määritetään se ilmiön arvo, joka ylittyy tietyllä todennäköisyydellä eli toistuvuusajalla (normeissa yleensä 50 vuotta).

Toistuvuusanalyysyjä tehdään yleensä luonnonilmiöistä tehtyjen havaintojen avulla, mutta niitä voidaan tehdä myös numeerisilla ilmastomalleilla simuloidun datan avulla. Uusia menetelmiä tähän kehitettiin VTT:ssä Ympäristöklusterin rahoittamassa EXTREMES projektissa v. 2004 - 2008 (Makkonen 2005, 2006, 2008a, 2008b).

Tulevaisuudessa globaali ilmastonmuutos aiheuttaa muutoksia myös ääri-ilmiöiden toistuvuudessa. Kun rakennettu ympäristö suunnitellaan yleensä ainakin 50 vuoden käyttöikä ajatellen, ja mitoituksen perusteena on mittausaineisto esim. 30 edeltävän vuoden ajalta, on hyvin kyseenalaista ovatko suunnitteluperusteet oikeat, jos ilmastossa tapahtuu merkittäviä muutoksia. EXTREMES-hankkeessa tutkittiinkin globaalien ilmastonmuutoskenaarioiden ja alueellisen ilmastomallin avulla sitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa ääri-ilmiöiden esiintymiseen Suomessa ja muissa pohjoismaissa (Makkonen et al. 2007).

Näitä laskentatuloksia voidaan tarkastella erikseen Kuopion osalta, jolloin saadaan keskeistä perustietoa paikallisesti ilmastonmuutokseen sopeutumistoimia varten erityisesti olemassa olevan rakennuskannan riskiarvioiden ja korjaustarpeiden, rakennusnormien uusimisen ja maankäytön suunnittelun kannalta (Ala-Outinen et al., 2004).

6.2 Ilmastosimuloinnit

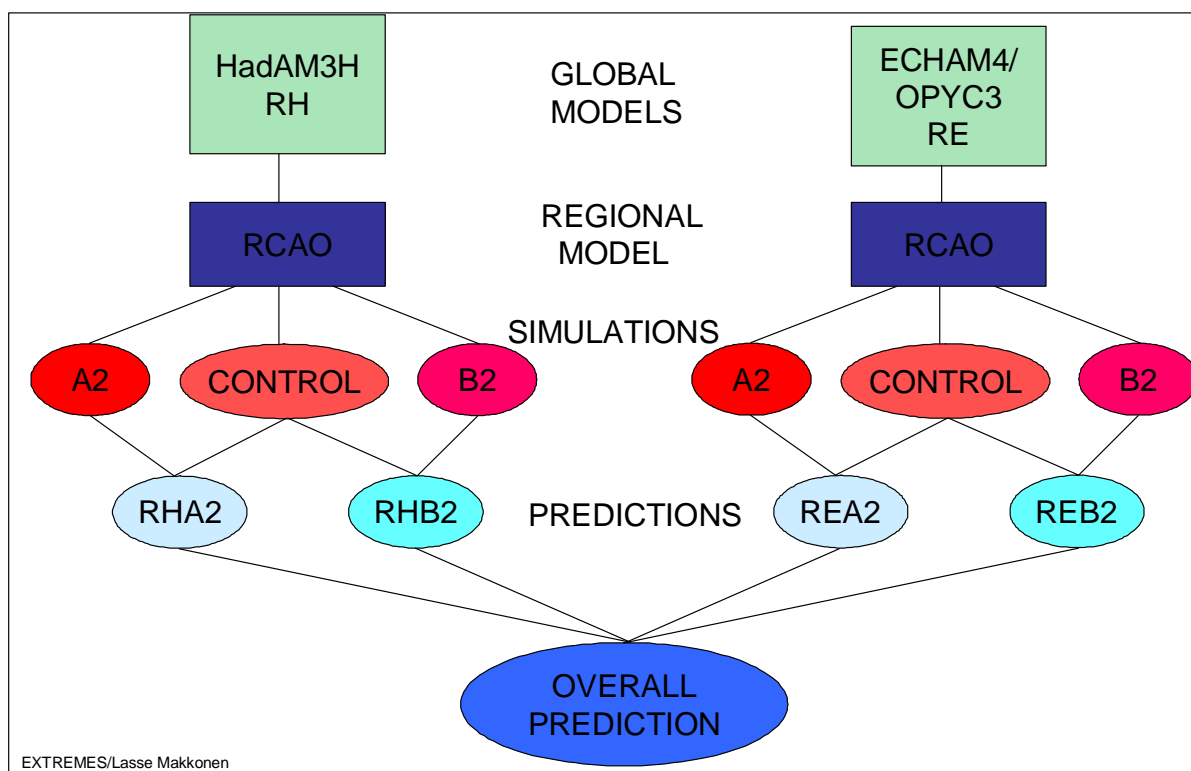
Tässä esitettävät ilmastosimulointien tulokset perustuvat mallisysteemiin, joka koostuu koko maapallon kattavasta globaalista ilmaceh /meri laskentamallista ja Pohjoismaiden aluetta kuvaavasta Ruotsin ilmatieteen laitoksen (SMHI) laskentahilaltaan tarkemmasta alueellisesta ilmastomallista RCAO (Rummukainen et al., 2001, Räisänen et al., 2004). Siinä on mukana erillinen Itämeren lämpötila- ja j  oloja simuloiva malli.

Tutkittava mallisysteemill  tuotettu data k sitt  useita 30-vuotisia malliajoja 49 km erotuskyvyl  ja kuuden tunnin aikaresoluutiolla Pohjolan alueelle. Näistä malliajodatoista on poimittu ääritapauksia ja tehty niistä tilastollista   riarvoanalyysia.

Tulevaisuutta simuloivat ajot pohjautuvat hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) A2- ja B2-skenaarioihin, jotka antavat kaksi vaihtoehtoista arviota kasvihuonekaasujen p sst ist  tulevien 100 vuoden aikana. A-skenaariot ovat kulutusyhteiskuntaskenaarioita ja B-skenaariot t ht ev t kestävään kehitykseen. Tässä käytettävät A2- ja B2-skenaariot ovat ääri-

päiden välissä. Alueelliset RCAO-ajot käyttävät hyväkseen reunaehtona kahden eri globaalimallin (Hadley Centre ja Max Planck Institute) tuloksia. Näin on saatu neljä erillistä mallienustetulosta, joiden keskiarvoa voidaan tarkastella ”parhaana ennusteena”. (Makkonen et al. 2007, kuva 13)

Vertailuajojen 1961-1990 tuloksia on verrattu ennusteajon 2071-2100 tuloksiin ja näistä laskettu prosentuaaliset muutokset kerran 50 vuodessa ylittyville arvoille. Muista julkaistuista tuloksista (Rummukainen & Räisänen, 2001, Palmer & Räisänen, 2002, Räisänen et al., 2004 sekä Merentutkimuslaitoksen jäätilastot) on etsitty vertailtavaksi myös tarkasteltavien suureiden keskiarvoissa samalla mallisysteemillä lasketut ennakoitavat muutokset.



Kuva 13. Periaatekuva mallisimuloinneista ilmastonmuutokseen liittyvien ääri-ilmiöiden esiintymisen muutoksen ennakoimiseksi.

6.3 Ääriarvoanalyysi

Viidenkymmenen vuoden toistuvuusajaa vastaavat arvot on analysoitu EXTREMES-projektissa kehitetyllä menetelmällä (Makkonen 2005, 2006, 2008a, 2008b). Tulokset perustuvat simulointijakson 15 suurimman (minimilämpötilan tapauksessa pienimmän) arvon analyysiin sovittamalla niihin GEV-jakauma siten, että sen parametrit määräytyvät empiirisesti jokaisessa tapauksessa erikseen. Sovitus on tehty minimoimalla tarkasteltavan muuttujan varianssi pienimmän neliösumman menetelmällä.

5 Ennakoitu ilmastonmuutos Kuopiossa

Tulokset perustuvat Ruotsin ilmatieteen laitoksen Rossby Centre:n maa-meri alueilmastomallin RCAO simulointeihin. Extreemien osalta analyysit on tehty Helsingin yliopiston ja VTT:n yhteistyönä. Simuloinnit on tehty kahden globaalimallin reunaehdoilla ja kahta eri Kansainvälisen Ilmastopaneelin IPCC määrittelemää päästöskenaariota A2 ja B2 käyttäen. Tulokset muutosten osalta kuvaavat näistä saadun neljän simuloinnin keskiarvoa Kuopion kohdalla sijaitsevassa laskentapistessä, joka vastaa mallissa 50 km x 50 km aluetta.

Vertailujaksona ("nykytila") on simulointijakso 1961-1990 ja skenaariojaksona ("ennuste") on simulointijakso 2071-2100.

Extreemit eli maksimit ja minimi kuvaavat keskimäärin kerran 50 vuodessa ylittyvää (alittuvaa) arvoa.

Arvioidut muutokset:

Vuoden keskilämpötila	+ 4 °C
Maksimilämpötila	+ 5 °C
Minimilämpötila	+ 8 °C
Sulamis-jäätymissyklit	0 %
Vuoden keskituulennopeus	+ 3 %
Maximituulennopeus	- 10 %
Vuoden sademäärä	+ 15 %
6 tunnin sademaksimi	+ 14 %
5 vuorokauden sademaksimi	+ 56 %
6 tunnin lumisademaksimi	+ 1 %
Lumipeitteen maksimivesiarvo	- 37 %
Lumipeitteen kesto aika	- 45 vrk

6 Vedenpinnan muutokset

6.1 Alimman korkeusaseman laskentaan vaikuttavia tekijöitä

Merentutkimuslaitoksen tutkimuksen “Alimmat suositeltavat rakennuskorkeudet Pohjanlahden, Saaristomeren ja Suomenlahden rannikoilla” (Kahma et al. 1998) mukaan alin suositeltava rakennuskorkeus Kuopion alueella on 1,55 m N60-järjestelmän nollakohdan yläpuolella. Tämä on keskimäärin kerran vuoteen 2200 mennessä saavutettava vedenkorkeus, ja siihen sisältyy minimiaaltoiluvara 30 cm. Suositus perustuu seuraaviin rakennuksia koskeviin oletuksiin:

- Rakennuskorkeuden enintään metrin luokkaa oleva nosto ei mainittavasti muuta rakennuskustannuksia tai vähennä rakennuksen käyttöarvoa.
- Tulvimisen aiheuttamat vauriot ja esimerkiksi homevaurioiden korjaus aiheuttavat merkittäviä kustannuksia rakennuksen kokonaiskustannuksiin verrattuna.
- Tulvavesi saa saavuttaa alimman suositeltavan tason rakennuksen käyttöaikana todennäköisimmin vain kerran ja korkeintaan muutamia kertoja, mutta ei toistuvasti.
- Rakennuspaikan edessä olevalle rannalle ei pääse aaltoja.

Alimman rakennuskorkeuden määrittelyyn vaikuttavat:

- Aallokko ja roiskeet.
- Hyväksyttävä ylityksen todennäköisyys, joka riippuu tulvimisen aiheuttaman vahingon laadusta ja laajuudesta.
- Rakennuskorkeuden noston kustannukset ja korkeudesta riippuva käyttöarvo.
- Käyttöikä. (Kahma & Johansson)

6.2 Aallonkorkeus

Rantaan kohdistuvan aallokon korkeuteen vaikuttavat saaristo, rannan muoto ja rantaveden mataluus. Pääsääntöisesti tarkastelualueen rannoilla laineet ovat suhteellisen matalia, mutta korkeampaa aallokkoa voi syntyä koillis- ja itämyrskyillä, jolloin se kohdistuu Lehtoniemen ja Rautaniemen itärannoille. Näillä kohdin on syytä varautua noin 60 cm aallonkorkeuteen, minkä lisäksi tulevat pärskeet. (Ollila)

7 Ilmaston ja sen muuttumisen vaikutus kaava-suunnitteluun

7.1 Suomen ilmasto

Ilmastoa voidaan tarkastella kolmella eri tasolla: suurilmasto, keski-ilmasto ja itse alueella vallitseva mikroilmasto. (Mattson 1979)

Suomen suurilmasto on lounaasta vuorotellen tulevien atlanttisten matalapaine- ja korkeapainejärjestelmien hallitsema. Säännöllisesti esiintyy myös muutaman vuorokauden pituisia kylmiä pohjoistuulia, lämpimiä etelätuulia sekä ajoittain mantereisia kaakkoistuulia, jotka yleensä ovat kesäisin lämpimiä, talvisin kylmiä, ja joiden mukana monesti tulee runsaita sateita.

Vuotuisten maksimi- ja minimilämpötilojen ero on Suomessa suuri. Rakennuksen julkisivun lämpötila voi talvella olla -25°C ... -45°C , kesäisin auringossa $+50^{\circ}\text{C}$... $+80^{\circ}\text{C}$, mikä tarkoittaa yli 100 asteen lämpötilaeron räsitusta julkisivumateriaaleille. (Mattson 1979, Tilastoja)

7.2 Kuopion ilmasto kavasuunnittelun kannalta

Kuopion alueen ilmastoa on havainnoitu lähellä kaupunkia lentoasemalla olevalla mittausasemalla, jonka lisäksi mittauksia on saatu Puijonlaaksossa olleelta mittausasemalta (kuvat 14 ja 15).

Riittävän pitkäaikaisen havaintoaineiston saamiseksi ilmastollisina lähtökohtatietoina on käytetty Ilmatieteen laitoksen ilmastotilastoja vuosilta 1961 - 1990. Koska tavanomaiset ilmastotilastot eivät sisällä riittävää informaatiota suunnittelun pohjaksi, on tuulisuus jaettu neljälle vuodenaikalle, ja tältä pohjalta on laadittu kuvaus Kuopion ilmastosta kaavoituksen ja arkkitehtisuunnittelun kannalta. Ilmastonmuutoksen ennuste perustuu luvuissa 4 ja 5 kuvattuun alueellisen ilmastomallin simulointiin ja sen tuloksiin. (Tilastoja)

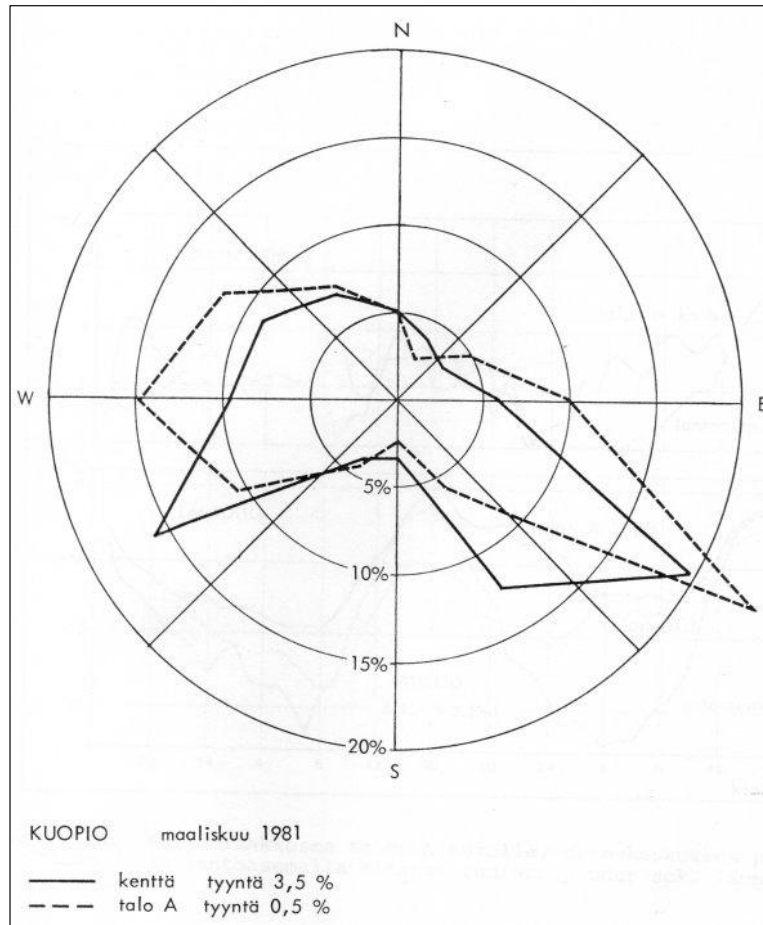
Eri vuodenaikoina esiintyvät tuulensuunnat ja niiden keskimääräinen nopeus lentoaseman sääasemalla on esitetty kaavioissa (kuvat 16 - 19).

Kuopio rajoittuu idässä vesistöön, mistä syystä tuulet pääsevät kaupunkiin sieltä päin suu-remmalla voimalla kuin muista suunnista.

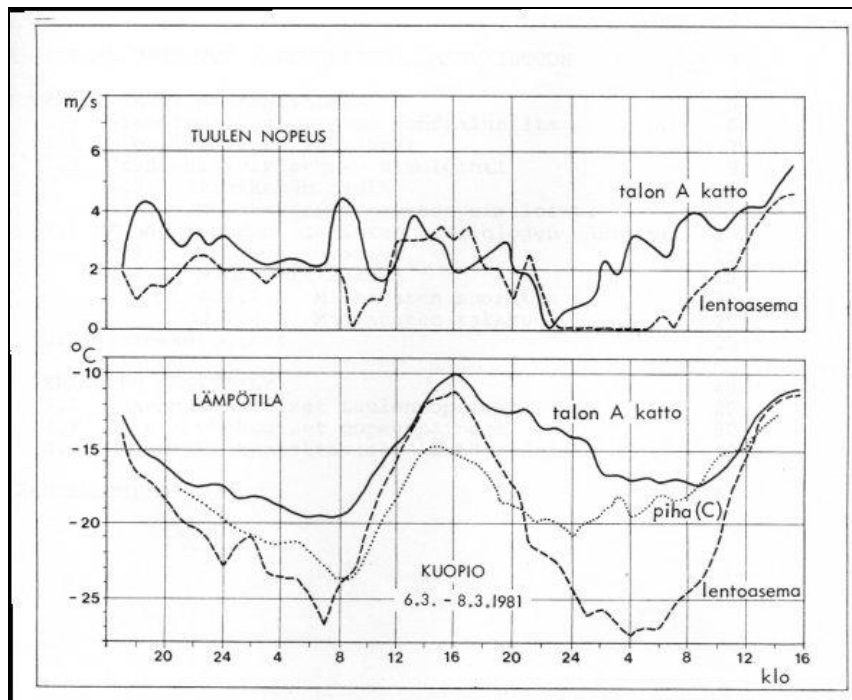
Kuopiossa esiintyy kaikkina vuodenaikoina keskituulennopeuksia, jotka edellyttävät suunnittelun kannalta huomioimista:

- § Kevät: itä-etelä sektori ja länsi.
- § Kesä: etelä, itä sekä länsi-luode sektori.
- § Syksy: etelä-länsi sektori sekä kaakko ja luode.
- § Talvi: etelä, länsi-luode sektori ja kaakko.

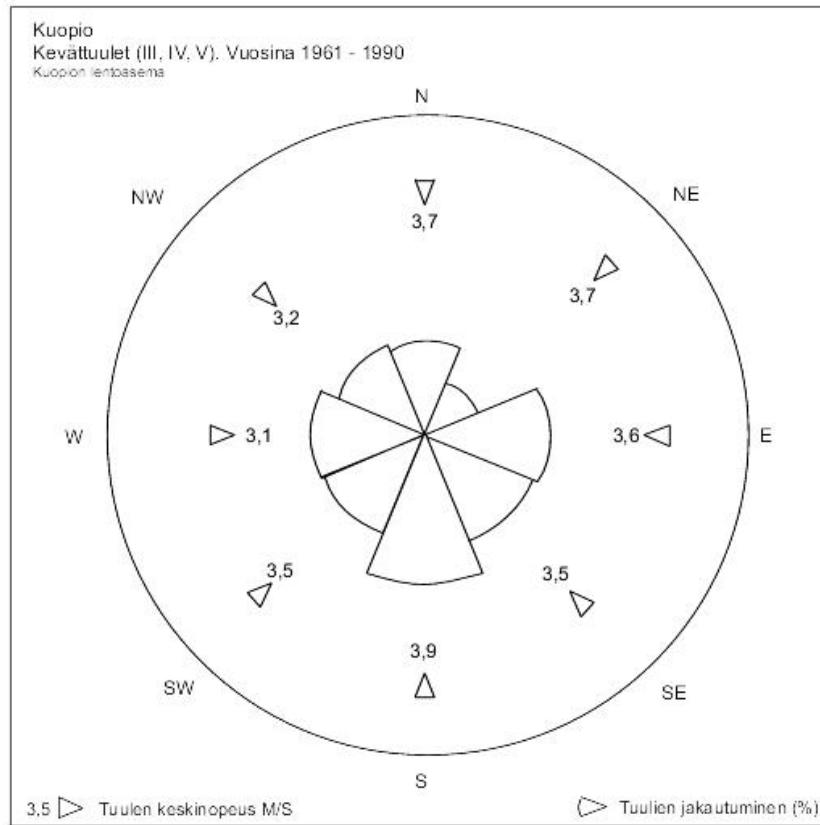
Yleisesti ottaen pihojen ja oleskelualueiden suojauksen kannalta tärkeimmät tuulensuunnat Kuopiossa ovat etelä-itä ja länsi-lounas sektorit sekä energiansäästön puolesta etelä-kaakko ja länsi-luode sektorit. (Mattson, Tilastoja)



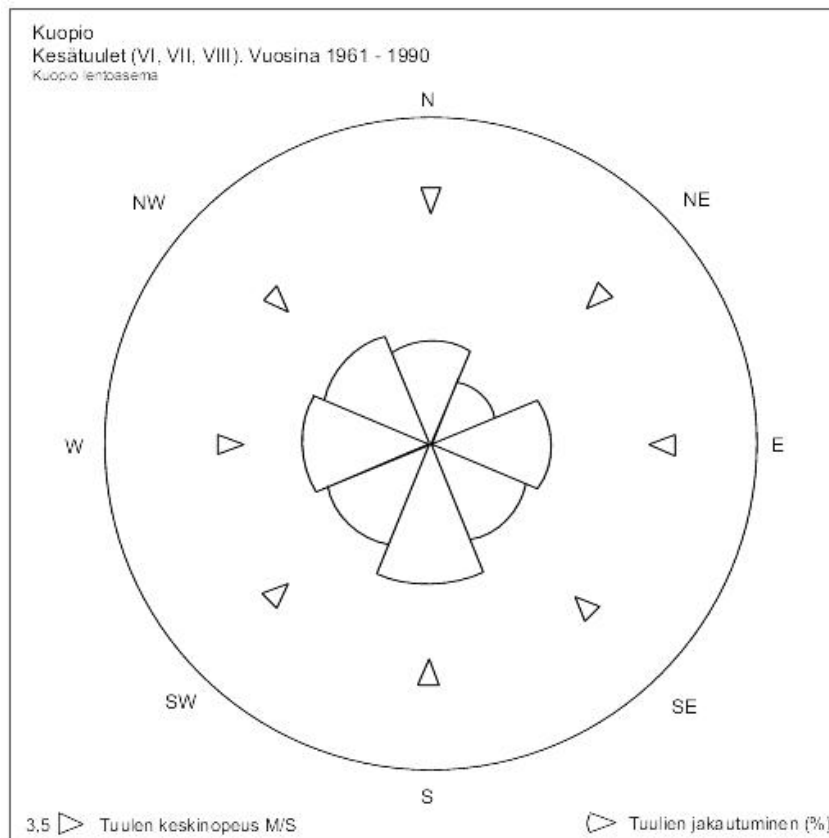
Kuva 14. Samanaikaisista mittauksista Kuopion lentoasemalta ja erään Puijonlaaksossa sijaitsevan kerrostalon katolta saadut mittaustulokset vastaavat suhteellisen hyvin toisiaan. (Kivistö, liite 3/47)



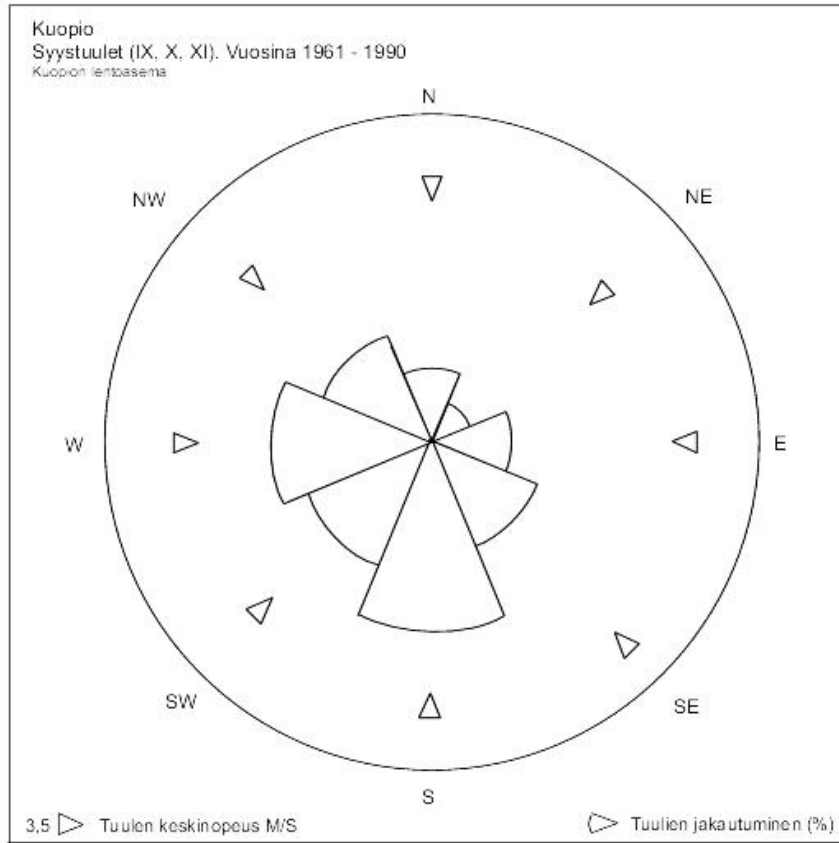
Kuva 15. Puijonlaaksossa sijaitsevan talon A katolta, ostoskeskuksen pihalta ja lentoasemalta mitatut tuulennopeudet ja lämpötilat. Tuulennopeudet vastaavat suhteellisen hyvin toisiaan, kun taas lämpötiloissa on suurempi ero sijainnista riippuen. (Kivistö, liite 3/48)



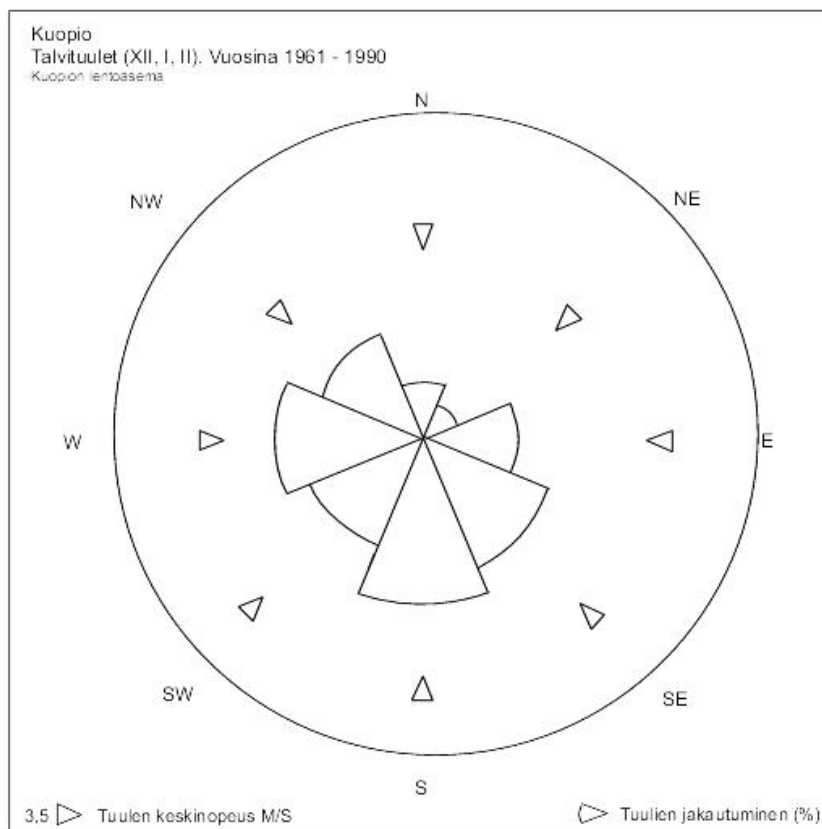
Kuva 16. Tuulen keskinopeus ja jakautuminen keväällä Kuopion lentoasemalla 1961 -1990.



Kuva 17. Tuulen keskinopeus ja jakautuminen kesällä Kuopion lentoasemalla 1961 -1990.



Kuva 18. Tuulen keskinopeus ja jakautuminen syksyllä Kuopion lentoasemalla 1961 -1990.



Kuva 19. Tuulen keskinopeus ja jakautuminen talvella Kuopion lentoasemalla 1961 -1990.

7.3 Saaristokaupungin mikroilmasto

Kaupunginosan mikroilmastoa muokkaavat vesistöt, maaston muodot, yhtenäiset metsät ja tulevaisuudessa rakennettavat kerrostalomassat. Vuoret, jyrkät rinteet, laaksot ja monimuotoiset vesistöt ohjaavat tuulta paikallisesti, ja aiheuttavat paikallisia voimakkaita tuulikanavia ja toisaalta suojaisia vyöhykkeitä. Rakennettavat suuret kerrostalomassat muokkaavat lähiympäristönsä olosuhteita, sillä niiden ympärillä esiintyy tuulikanavia sekä ylös- ja alaspäin suuntautuvia ilmavirtauksia ja turbulensseja. Myös avoimet katutilat ja viheriöt sekä suuret paikoituskentät ovat varsin tuulisia.

Voimakkaat ilmavirtaukset tekevät ulkona olemisen kylmäksi, kadulla kulkemisen vaaralliseksi, aiheuttavat vaurioita kylmänaroille kasveille ja lisäävät energiankulutusta. Toisaalta tuulet ovat sikäli hyödyksi, että ne tuulettavat pois pakokaasut ja muut ilmansaasteet.

Suunnittelualueella kasvaa sankkaa metsää, joka suojaa paikallisesti tuulilta. Rakentaessa tämä suojametsä yleensä käytännössä häviää, ja ainoastaan suuremmat yhtenäiset metsiköt voidaan huomioida tuulensuojina.

Lehtoniemessä ja Rautaniemessä on pihojen, leikkikenttien, kevyenliikenteenväylien ja linja-autopysäkkien viihtyisyyden kannalta tärkeintä suojautuminen länsi-, luoteis- ja kaakkoistuu- lia vastaan. Energian säästämiseksi rakennusten julkisivuja tulisi suojata luoteesta ja itä- kaako sektorista kohdistuvilta viimoilta. Osayleiskaava-alueiden itäisen rannat ovat erityisen avoimia kylmille tuulille, jotka tulevat koko koillinen - kaakko - sektorilta.

Olevaa rakentamista, tulevia kaava-alueita ja mikroilmastoa on seuraavissa luvuissa arvioitu TkL Kimmo Kuismanen kehittämällä CASE-menetelmällä. (Kuismanen)

7.4 Rakennettujen alueiden mikroilmaston laadun kriteerit

Ihmisen kokema tuulisuutta on tutkittu kokeellisesti useissa maissa, ja näiden selvitysten perusteella on laadittu tuulisuuden raja-arvoja jalankulun ja erilaisten ulkotoimintojen kannalta. Alla olevassa taulukossa on esitetty mikroilmaston laadukriteerit, jotka on useiden tutkimusten perusteella sovellettu Skandinavian ilmasto-olosuhteisiin (taulukko 1). (Daniels, Glaumann & Westerberg 1988)

Taulukko 1. Ulkoalueiden tuulisuuskriteerit (Glaumann & Westerberg 1988, suom. Kimmo Kuismanen)

Ulkoalueiden tuulisuuskriteerit ajallisena vallitsevuutena (%) ja koettuna tuulennopeutena. Kriteerit pätevät sekä kenttä- että tuulitunnelimittauksien tuloksiin.		
	Vaihtoehtoiset raja-arvot	
Ulkoalueet	Sen ajanjakson osuus vuodesta, jolloin tuulennopeutta 5 m/s ei saa ylittää	Tuulen vuotuinen keskiarvo m/s, jota ei saa ylittää
Kävely- ja pyörätiet - henkilövahinkojen riski	50 %	5
Lyhyen oleskelun ulkotila, esim. tori, bussipysäkki - raja hyväksyttävälle olosuhteille	20 %	3
Pitkäaikaisen ulkona olemisen alue, esim. oleskelu- ja leikkipaikat - tavoitteellinen olosuhteiden raja	0,5 %	1,5

Useilla tuulensuunnilla vapaan ilmavirtauksen keskinopeus Saaristokaupungissa ylittää 4 m sekunnissa. Eräissä kaavaluonnoksen katutiloissa ja korkeiden rakennusten ympärillä on odotettavissa jopa 6-7 m sekunnissa keskinopeuksia ja myrskyjen aikaan vaarallisia puuskia, jotka aiheuttavat henkilövahinkojen riskin. Tällaiset nopeudet edellyttävät tutkimusten ja em. kriteerien mukaan erityisiä suojaustoimenpiteitä.

7.5 Ilmastomuutos ja sen vaikutus Kuopiossa

Alueellisen ilmastomallin simuloinnin perusteella (luku 5) Kuopion ilmastossa tulee tapahtumaan useita muutoksia:

- lämpötilat tulevat nousemaan
- keskituulenoisuus nousee hieman, mutta maksiminopeudet laskevat
- vesisateet ja sateen rajuus lisääntyvät
- lumimäärät vähenevät, mutta lumimyrskyt voivat olla ankaria
- järvi on jäässä nykyistä lyhyemmän ajan, jolloin aallokko, kosteus ja roiskeet lisääntyvät.

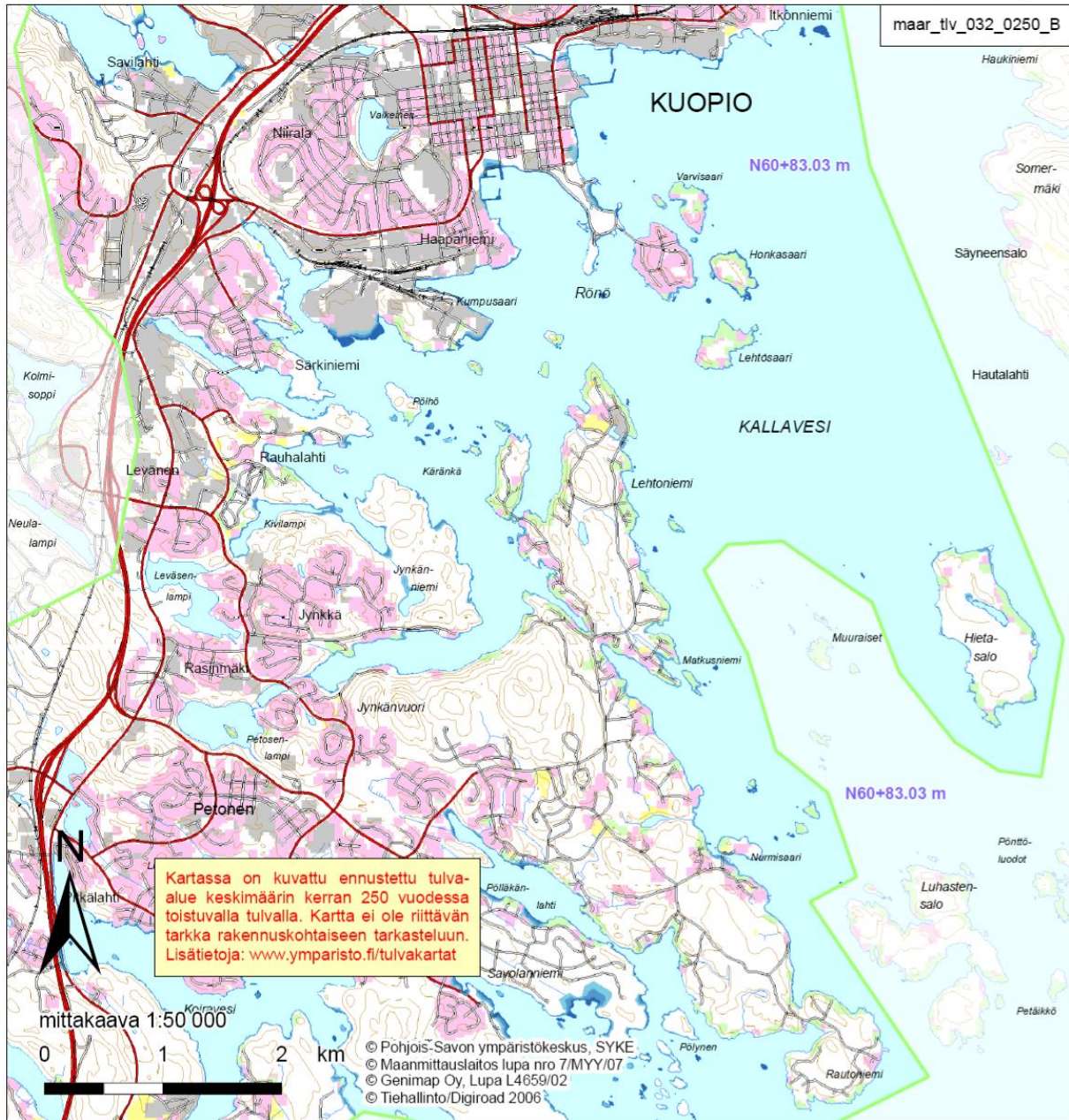
Lämpötilan nousu tulee vähentämään kylmyydestä johtuvaa lämmönkulutusta. Toisaalta koska Saaristokaupungin alueella tuulen jäähdyttävä voima on merkittävä, ei energian säästötoimenpiteistä voida tinkiä.

Vaikka tuulisuus ei tulevaisuudessa Kuopiossa nykyisestä lisäännä, rasittaa tuuli ja kosteus yhdessä nykyistä enemmän rakennuksia. Rantalaitureilla ja silloilla kulkeminen on kovalla tuulella vaikeaa, ja kattorakenteisiin, julkisivuihin, katoksiin sekä parvekelasitukseen kohdistuu paikallisesti (asemakaavoista ja suunnitteluratkaisuista riippuen) ilmavirtausten kanavoitumisesta johtuen suuria tuulikuormia. Järven pysyminen sulana kauemmin, yhdessä tuulen lievän lisääntymisen kanssa, pidentää kosteaa tuulista välivuodenaikaa. Kosteuden lisääntyminen nollalämpötilan molemmiin puolin lisää liukkautta. Rantoihin kohdistuu pidempään terävä aallokko, joka rantaa tullessaan heittää pisaroita rantarakenteille ja vesistöiden lähellä olevien rakennusten julkisivuihin.

Sateiden lisääntyminen on huomioitava sadevesiviemäreiden mitoituksessa.

Kuvassa 20 esitetään Kuopion tulvavaarakartta.

Kuopion kaupunkialueen yleispiirteinen tulvavaarakartta HW 1/250 (osa B)



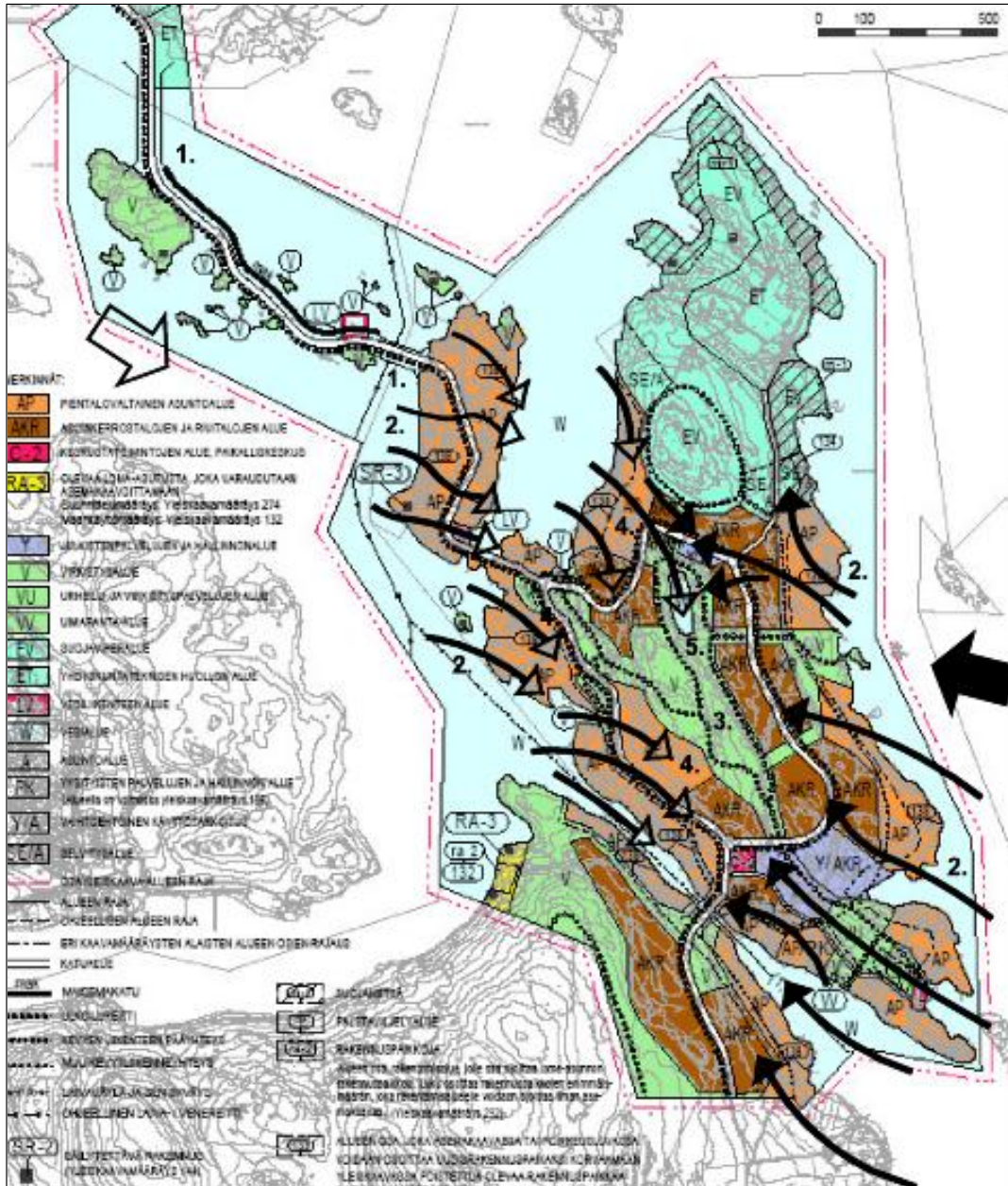
Vesisyvyys, HW 1/250

0...0,5 m	taajama	tulvavaarakartoitetun alueen rajaus
0,5...1 m	teollisuus	korkeuskäyrä, käyräväli 10 m
1...2 m	loma-asunnot	
2...3 m	pelto	
3... m	lentokenttä / satama	
vesistö		



Sijainti:	Kuopio, kaupunkialue (Vuoksen vesistöalue)	Vedenkorkeus:	N60+83,03 m NN+82,80 m
Tulvakarttatyyppi:	Yleispiirteinen tulvavaarakartta (määritetty tulva-alue)	Vedenkorkeus-havaintoasema:	0407920 Kallavesi, Itkonniemi
Toistuvuus aika, skenaario:	HW 1/250, vesistötulva	Vedenkorkeuksien määrittäminen peruste:	Vesistömallilla laskettu ja toistuvuusanalyysi (Gumbel-jakauma)
Esitysmittakaava (max.):	1:50 000		
Korkeusaineiston kuvaus:	Kunnan kantakartta (korkeustarkkuus ±50cm)		
Päivämäärä:	28.3.2007	Laatija:	PSA/AH

Kuva 20. Kuopion tulvavaarakartta (Pohjois-Savon ympäristökeskus, www.ymparisto.fi/tulvakartat).



VOIMAKAS KYLMÄ KOILLIS- TAI ITÄTUULI.



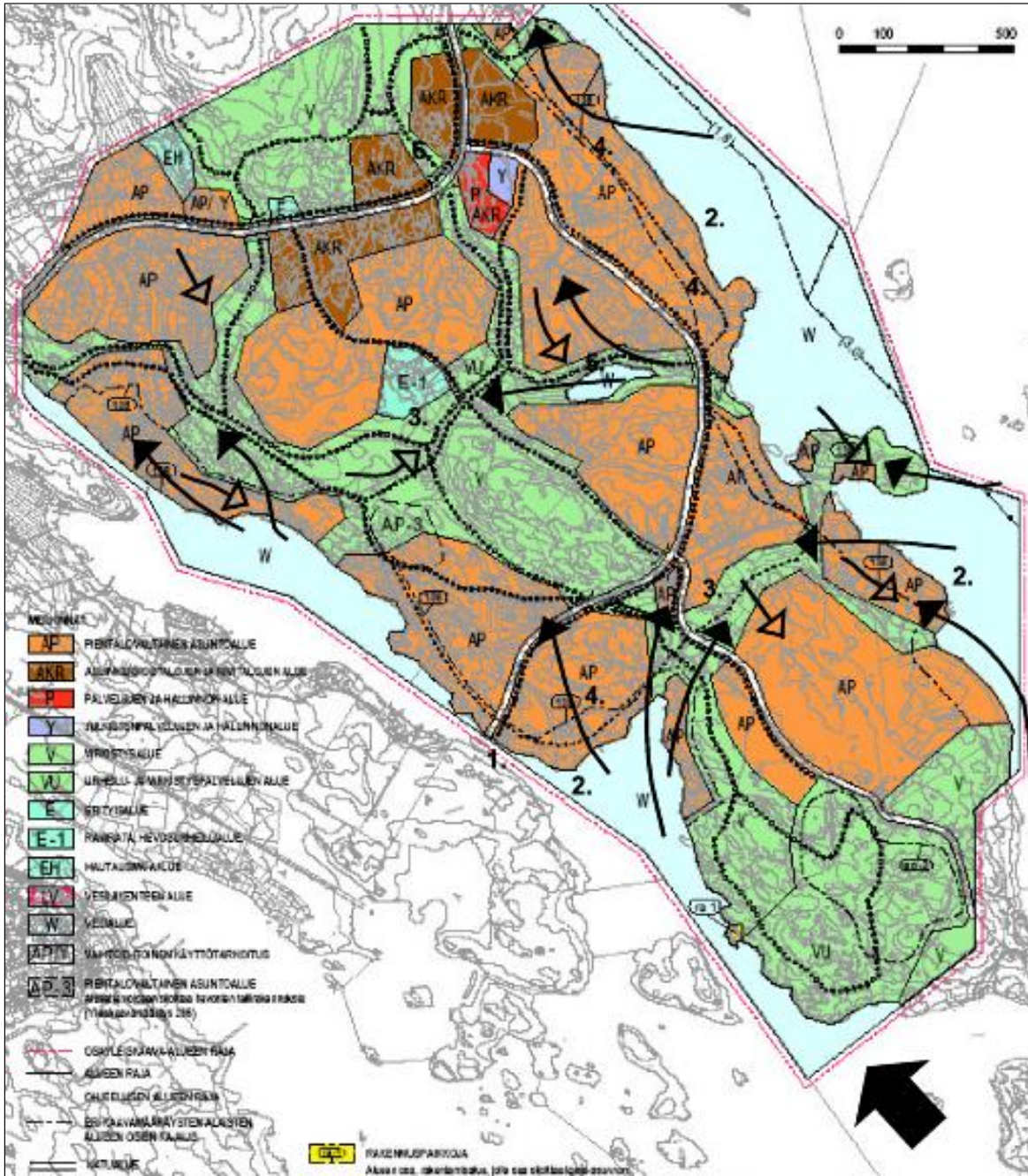
VOIMAKAS LÄNSI- TAI LOUNAISTUULI.



SÄILYVÄ SUOJAMETSÄ.

- 1) TUULILLE JA MYRSKYTULVILLE ALTIS KEVYEN LIIKENTEEN PÄÄVÄYLÄ.
- 2) RANNALLA MYRSKYTUULIA JA LENTÄVIÄ PISAROITA.
- 1) ASUNTOALUEELE KANAVOITUU VOIMAKKAITA ILMAVIRTAUKSIA.
- 2) LAAKSOON SIOITTUVA TUULIKANAVA.
- 3) TUULINEN RINNE.
- 4) KYLMÄNILMANPAINANNE
- 5) RUNSASTI LIIKENTEEN PÄÄSTÖJÄ.

Kuva 21. Lehtoniemen ilmasto.



VOIMAKAS KYLMÄ KOILLIS- TAI ITÄTUULI.

VOIMAKAS LÄNSI- TAI LOUNAISTUULI.

1. TUULILLE JA MYRSKYTULVILLE ALTIS KEVYEN LIIKENTEEN PÄÄVÄYLÄ.
2. RANNALLA MYRSKYTUULIA JA LENTÄVIÄ PISAROITA.
3. LAAKSOON SIOJOTTUVA TUULIKANAVA.
4. TUULINEN RINNE.
5. KYLMÄNILMANPAINANNE
6. RUNSAASTI LIIKENTEEN PÄÄSTÖJÄ.

Kuva 22. Rautaniemen ilmasto.

7.6 Osayleiskaava-alueiden analyysi

7.6.1 Yleiskaavan tavoitteita

Kuopion kehittämisen tavoitteisiin (Kaupunkirakenne 2010) kuuluu kaupunkirakenteen eheyttäminen ja rakentaminen maisemaa hyödyntäen vesistöiden läheisyyteen. Satamanlahti ja Saaristokaupunki ovat kaupunkirakenteen ja järven kohtausvyöhykettä. Rannat on pääsääntöisesti tarkoitettu säilyttää yleisessä käytössä, mutta paikoin rakennuspaikat on kaavoitettu vesistöihin asti.

7.6.2 Lehtoniemi

Alue on vesistöiden ympäröimä, maastoltaan erittäin voimakkaasti vaihteleva ja suhteellisen hyvin metsittynyt rikkonainen niemi. Lehtoniemen pohjoispää säilyy viheralueena, mikä antaa hyvän tuulensuojan pohjoiseen. Vallitseviin tuulensuuntiin nähden alue on kuitenkin avoin ja suoja puusto tulee pääasiassa häviämään, mikä asettaa hyvin korkeat vaatimukset detaljikaavoitukselle ja rakennussuunnittelulle viihtyisän mikroilmaston, kevyenliikenteen turvallisuuden, rakenteiden kestävyys ja energiankulutuksen hallinnan kannalta.

Käytännössä rakentamisen ja istutustenkin jälkeen pihat ovat vuosia avoimia tuulille, koska kookasta olevaa puustoa ei jää tuulensuojauksen kannalta riittävästi. Asuntopihat ovat suojauksilla hoidettavissa, mutta suorat katutilat ja avoimet kentät jäävät ilman erityistoimenpiteitä tuuliseksi. Mahdolliset muita korkeammat talot ohjaavat voimakkaita ilmavirtauksia katutasolle. Rantakorttelit aukeavat ulapalle, altistaen rakennukset ja pihat vallitseville tuulille ja aallokon lennättämille vesipisaroille. Ehdotetut matala-tiivis korttelit saadaan oikein suunnitelmalla helposti mikroilmastoltaan miellyttäväksi.

Osa mäkimaastoon tulevasta rakennuskannasta sijoittuu erittäin ankariin ilmasto-olosuhteisiin. Rakennusten nurkkiin, korkeiden rakennusten suojanpuolelle ja talojen sivustoille syntyy pyörteisiä ilmavirtauksia, joiden jäädyttävä vaikutus on huomattava. On odotettavissa, että lämmönkulutus ylittää jopa useilla kymmenillä prosenteilla ”normaalitason”.

Ehdotetut suorat pääliikenneväylät mahdollistavat suuret ilmavirtausten nopeudet, mutta luonnoksessa paikoin esitetyt kaarevat katulinjaukset vaimentavat tuulisuutta Suunnitellut harvat puurivit lisäävät kohdallaan hieman katutaso tuulisuutta erityisesti kesäisin ja alkusyksystä.

7.6.3 Rautaniemi

Alue on lähes vesistöiden ympäröimä, maastoltaan vaihteleva ja puoliksi metsän peittämä niemi. Rautaniemen eteläpäässä kasvaa säilyvää tuuhea metsää, joka suhteellisen hyvin suojaa kaakkoistuulilta. Myös luoteis- ja länsipuolella mäki ja metsiköt toimivat tuulensuojina, mutta varjostavat ilta-auringon lähitaloilta. Itäsuunta jää täysin suojattomaksi järvi- ja järvi- tuulilta. Lukuisat avoimet kentät ja vesialueet päästävät vallitsevat tuulet monin paikoin keskelle tulevaa asutusta..

Itäranta altistuu järveltä tuleville pohjois- ja itätuulille, jotka ovat kylmiä talvisin, ja pohjoistuulet kesäisinkin. Ulkoalueiden viihtyisyyden ja energiansäästön kannalta edellä esitetty merkitsee, että rakennusalueet rannikkokaistalla olisi suojattava tuulilta. Lounais- ja kaakkoistuulilla lumi sataa usein suhteellisen suurten nopeuksien vallitessa, mikä vaikuttaa kinostumi-

seen. Pientalojen pihojen mikroilmasto on suojaavan kasvillisuuden, piharakennusten ja aitojen ansiosta kuitenkin yleensä melko hyvä.

Molempien osayleiskaava-alueiden suunnittelun kehittäminen voi lähteä seuraavista periaatteista:

- olevan kasvillisuuden säilyttäminen
- matala-tiivis pienimittakaavainen rakennuskanta
- mahdollisimman kapeat kadut, joilla ei ole pitkiä päätuulensuuntien suuntaisia suoria
- asteittain nousevat suhteellisen tasaiset rakennuskorkeudet, tiivis aluerakenne
- tuulen nostaminen kattojen yläpuolelle, ja pitäminen siellä
- tuulen vaimentaminen katutilassa ja pihoilla istutuksin ja rakentein
- mahdollisesti pienoismallien tuulitestausta 1.500 yhteismallilla rakennussuunnitteluvaiheessa.

Suosituksia erittäin tuulisten kortteleiden suunnittelun lähtökohdiksi:

- rakennusten lämmöneristyksen ja tiiviyden on ylitettävä 20 % normien vaatimustaso
- katto- ja piharakenteiden mitoituskuormien on ylitettävä 20 % normien vaatimustaso
- rannanpuoleisten julkisivujen kosteudenkestosta on annettava selvitys
- kaavoitus ja rakennussuunnittelu tehtävä pienoismallin tuulitestausta hyväksikäyttäen.

7.6.4 Lehtoniemen ideasuunnitelma, vaihtoehto 1

Kortteleiden perusideana voidaan pitää vapaasti sijoiteltuja erilliskäytöksiä, jotka hyvin löyhästi pyrkivät luomaan jonkin asteista kortteli- ja katutilaa. Kortteleiden kulmat ja sivut ovat puoliavoimet, mikä päästää tuulet kortteihin kaikista suunnista. Rannoille on parissa paikassa sijoitettu viuhkamaisesti avautuvia kerrostaloja, joiden välissä ilmavirtaus venturi-ilmiön ansiosta saavuttaa erityisen suuren nopeuden (Glauman & Westerberg).

Muutama L-muotoinen rakennus pyrkii muodostamaan suojattua pihatilaa. Rakennusten suuntauksesta johtuen niiden parvekkeiden suunnittelu tulee olemaan haasteellinen tehtävä käyttöaikojen, lämpötilanhallinnan ja näkösuojauksen suhteen.

Mäelle suunnitellut korkeat vapaastiseisovat kerrostalot sieppaavat puuston yläpuolelta eri suunnilta puhaltavat tuulet, ja ohjaavat voimakkaat ilmavirtaukset julkisivua myöden alas pihalle aiheuttaen voimakkaita turbulenttisia puuskia sivuille ja jopa suojan puolelle.

Tässä vaihtoehdossa positiivisen mikroilmaston luominen vaatisi monissa kohdissa tarkempaa analyysiä sekä kaavallisia että arkkitehtonisia erityistoimenpiteitä (ks. suunnitteluohjeet). Kuvassa rengastetuilta alueilta tulisi tehdä suunnittelun alkaessa pienoismalli, jota kehitetään tuulitestausten antamien tulosten mukaisesti. (Kuva 23)



Luoteistuuli. Länsituulella tilanne on lähes samanlainen.
Kaakkoistuuli. Etelä- ja itätuulilla tilanne on lähes samanlainen.

Rengastetuilta alueilta tulisi tehdä pienoismallien tuulitestausta.

- 1) Ilmavirtauksia ja turbulensseja.
- 2) Alueelle suuntautuva tuulikanava.
- 3) Tuulinen katu.
- 4) Tuuli voi olla vaarallisen voimakas.
- 5) Rakennusmassat aiheuttavat voimakkaita alaspäin suuntautuvia ilmavirtauksia ja pyörteisyyttä maantasoon.
- 6) Rakennukset aiheuttavat julkisivun suuntaisen pyörrepuolen.

 Voimakas tuuli

 Pyörteinen tuuli

Kuva 23. Lehtoniemen ideasuunnitelman VE 1, tuulisuus.

7.6.5 Lehtoniemen ideasuunnitelma, vaihtoehto 2

Kortteleiden perusideana ovat vapaasti sijoitellut erillsrakennukset, jotka eivät rajaa kortteli- tai katutilaa. Korttelit ovat avoimet, mikä päästää tuulet piholle kaikista suunnista. Tutkimusten mukaan tällaisessa ”funkkiskaavassa” ei yleensä piholla ja kaduilla löydy mistään tuulensuojaisia vyöhykkeitä (Jensen, Kuismanen 2000). Rannoille on parissa paikassa sijoitettu viuhkamaisesti avautuvia kerrostaloja, joiden välissä ilmavirtaus venturi-ilmiön ansiosta saavuttaa erityisen suuren nopeuden (Glauman & Westerberg).

Rakennusten suuntaus ilmansuuntiin nähden on sattumanvarainen, mistä johtuen asuntojen aurinkoisuuden takaaminen sekä parvekkeiden suunnittelu käyttöaikojen ja lämpötilanhallinnan suhteen tulee olemaan erittäin vaikeaa.

Muutamit korkeat vapaastiseisovat kerrostalot sieppaavat puuston yläpuolelta eri suunnilta puhaltavat tuulet, ja ohjaavat voimakkaat ilmavirtaukset julkisivua myöden alas piholle aiheuttaen voimakkaita turbulenttisia puuskia sivuille ja jopa suojan puolelle. Jotkut talorivit aiheuttavat julkisivun suuntaisen pyörretuulikanavan.

Mikroilmaston kannalta ehdotus on kaikilta osin huono, eikä sovellu jatkotyön pohjaksi. (Kuva 24)



Luoteistuuli. Länsituulella tilanne on lähes samanlainen.

Kaakkoistuuli. Etelä- ja itätuulilla tilanne on lähes samanlainen.

1. Ilmavirtauksia ja turbulensseja.
2. Alueelle suuntautuva tuulikanava.
3. Tuulinen katu.
4. Tuuli voi olla vaarallisen voimakas.
5. Rakennusmassat aiheuttavat voimakkaita alaspäin suuntautuvia ilmavirtauksia ja pyörteisyyttä maantasoon.
6. Rakennukset aiheuttavat julkisivun suuntaisen pyörrepuulen.

 Voimakas tuuli

 Pyörteinen tuuli

Kuva 24. Lehtoniemen ideasuunnitelman VE 2, tuulisuus.

7.7 Suunnitteluohjeita

7.7.1 Aluetaso

Alueen yleiskaavan rakennuskortteleiden päälinjat määräytyvät rannanmuotojen, tiestön, olevan rakennuskannan ja tehtyjen täyttöjen mukaan, eikä niiden muuttaminen oleellisesti ole mahdollista. Maaston perusmuodoista ja avoimista tiloista johtuen alueelle kohdistuu useita tuulikanavia, jotka toisaalta huonontavat mikroilmastoa, mutta toisaalta tuovat merellisiä maimia. Aluetasolla ei mikroilmastolle tai ilmaston muutoksen tuomille ongelmille voida tässä tapauksessa tehdä paljoakaan.

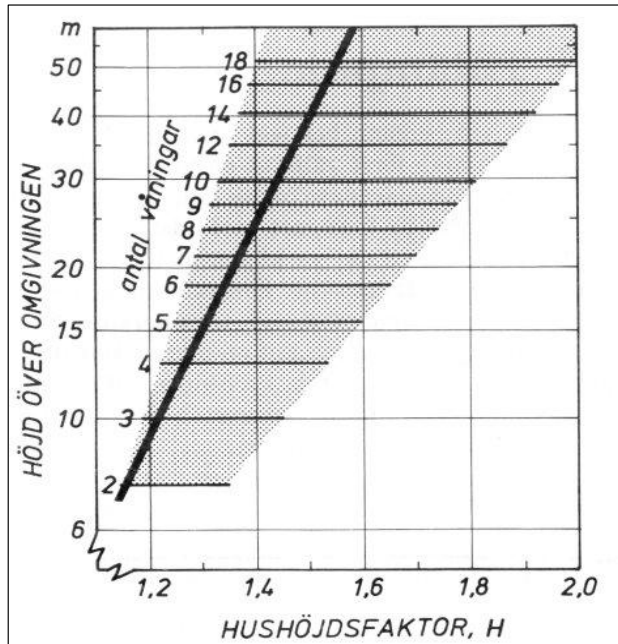
Hyvä mikroilmasto rakennettuun ympäristöön olisi ensisijaisesti luotava kaavoituksella ja rakennusten suunnittelulla sekä säilyttämällä oleva puusto. Kaavoitettavien rakennusalueiden tulisi olla mahdollisimmat tehokkaita ja tiiviitä, jotta vastaavasti voitaisiin jättää laajoja yhtenäisiä metsäalueita luonnontilaan ("tiivistä suojellaksesi"). Varsinkin saneerausten yhteydessä toteutetaan tarvittaessa myös erityisiä tuulensuojarakenteita. Viiman estämisellä voidaan parantaa myös rakennusten lämpötaloutta. Katujen tuulisuutta voitaisiin jonkun verran vähentää kaavoittamalla Camillo Sitten oppien mukaisesti vaihteleva katuverkosto.

Mikäli yhdyskuntarakennetta ja rakennuksia muotoilemalla ei saavuteta hyväksyttävää mikroilmaston tasoa, parannetaan olosuhteita tuulensuojauksella. Toimenpiteet voidaan jakaa etäsuojaukseen (*fjärrskydd*) ja lähisuojaukseen (*närskydd*). Suojaistutuskaistat, jotka vähentävät tuulisuutta koko alueella ovat esimerkki etäsuojauksesta, ja ne ovat yleensä muodoltaan korkeita ja rakenteeltaan harvoja. Lähisuojat ovat matalia ja tiiviimpiä, usein rakennusaineisia tai tiheää kasvustoa. Lähisuojat suunnitellaan suojaamaan pienehköjä ulko-oleskelualueita ja kulkuväyliä. (Glaumann & Westerberg)

Etäsuojana useat yhdensuuntaiset esteet toistensa vaikutusalueella antavat yhdessä paremman tuloksen kuin erilliset. Tehokkain yhdistelmä saadaan etäisyydeltään 8-10 kertaa esteen korkeuden verran sijaitsevilla läpäisyiltään 20 %:n suojilla. Tiheydellä 15-20 % suoja-alue muodostuu lähelle suojarakennetta. Suurin suoja-alue kohtuullisella virtausnopeudella saadaan käytettäessä 50 %:n rakennetta. Suoran suojan vaikutus jää aina huonommaksi verrattuna polveilevaan suojaan, koska tuulen suunta käytännössä vaihtelee jonkin verran. Luonnossa ei saavuteta samaa tehokkuutta kuin tuulitesteissä, koska testissä virtauksen suunta on vakio. (Glaumann & Westerberg, Kuismanen 1993)

7.7.2 Korttelitaso

Tuulisuutta ajatellen maaston muodot, suojakasvillisuus, katualueet, rakennukset ja pihat muodostavat yhdessä toimivan kokonaisuuden. Sulkemalla kortteleita ja rakentamalla suhteellisen tiheää tasakorkeaa struktuuria voidaan ilmavirtauksia vaimentaa huomattavasti varsinkin pihoilla. (Kuva 25)

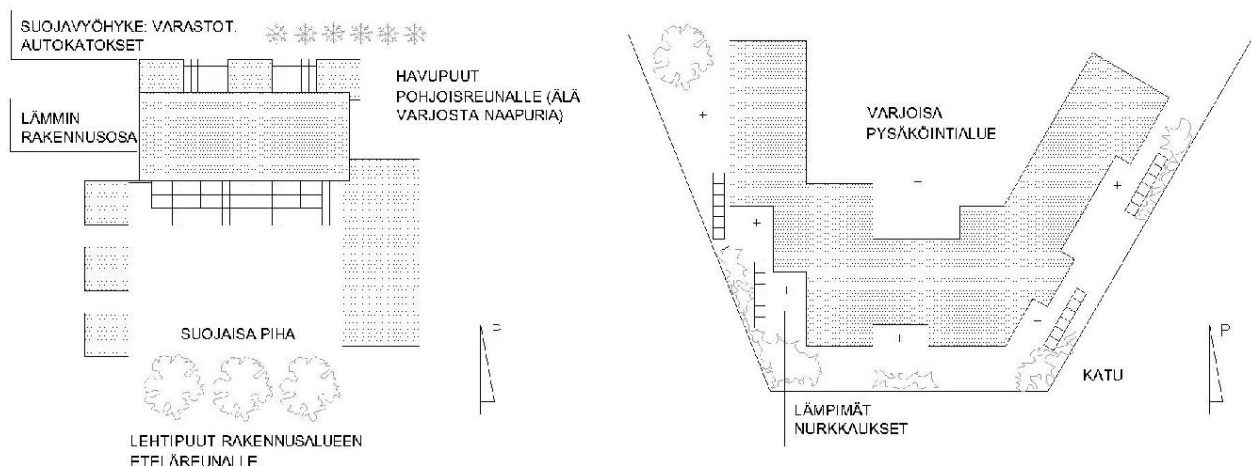


Kuva 25. Ympäristöään korkeamman rakennuksen vaikutus suhteelliseen tuulisuuteen 2 m korkeudella. Pystyakselilla ilmoitetaan rakennuksen korkeus yli ympäristönsä. Luvut alhaalla ilmaisevat paljonko rakennus lisää tuulen suhteellista nopeutta. Yleensä rakennukset sijoittuvat rasteroidulle alueelle. (Glaumann).

Yleensä matala rakentaminen ja kasvillisuus vähentävät tuulten vaikutusta, ja korkeat rakennukset voimistavat. Rakennusten nurkissa ovat ilmavirtaukset vaikeimmin hallittavissa. Suurten rakennusten aiheuttamaa turbulenssia voidaan vähentää porrastamalla korkeutta nurkissa tai liittämällä matalampia huoltorakennuksia kulmiin. Paras suojaus maanpinnan tasoon saadaan rakentamalla rakennukset umpipihan muotoon. Kulmanmuotoisilla rakennuksilla on helpompi muodostaa positiivinen mikroilmasto kuin suorakaidemassoilla. Pyöreät ja pyramidimaiset massat aiheuttavat vähemmän pyörteitä ympäristöönsä, mutta niiden suojavaikutus on myös pieni.

Pitkät suorat kadut ovat helposti tuulisia, ja viisto tuuli aiheuttaa tällaisessa katukanjonissa pitkän pyörteisen virtauksen. Yli 30 metrin mittaisilla aukeilla tuuli laskee alas maantasoon ja pääsee puhaltamaan jo voimakkaasti. Yli kolmekerroksiset ja 20 metriä pitkät rakennukset sekä tornit tai muut ympäristöään korkeammat rakennukset aiheuttavat voimakkaita turbulensseja ympärilleen. (Alberts, Børve, Evans)

Kuvassa 26 esitetään ohje rakennuksen suuntauksesta auringon suhteen.



- PASSIIVISEN AURINKOTALON PERIAATE:
 - SUUNTAUS KAAKON JA LOUNAAAN VÄLILLE
 - AURINGONHEIJASTAJAT KERÄÄVÄT MATALALLA PAISTAVAN TALVIAURINGON JA HEIJASTAVAT SEN SISÄTILOIHIN (VARJOSTAVAT KESÄLLÄ)
 - TUMMAT PUURAKENTEET OLESKELUPIHALLA KERÄÄVÄT LÄMPÖÄ
 - LEHTIPUUT VARJOSTAVAT KESÄLLÄ, MUTTA EIVÄT VARJOSTA TALVELLA
 - RAKENNUKSEN AVOIN SIVU KAAKON JA LOUNAAAN VÄLILLE
 - RAKENNUKSEN SULJETTU SIVU LUOTTEEN JA KOILLISEN VÄLILLE.
- AUTOPAIKAT TONTIN VARJOISALLA OSALLA TAI KADUN VARRELLA.
- RAKENNA TONTIN HUONOIMMALLE PAIKALLE, SÄILYTÄ PARHAAT OSAT LUONNONTILAINA.
- ÄLÄ SIJOITA RAKENNUSTA KESKELLE TONTTIA (PIHA-ALUE PIRSTOUTUU).

Kuva 26. Rakennusten suuntaus auringon suhteen (Kuismanen 2008).

Tuulen vaimentamiseksi pihat jaotellaan tarvittaessa piharakennuksin, aidoin ja istutuksin. Autopaikat tulisi sijoittaa tontin varjoisalle osalle tai kadunvarsipaikoille.

Vanhoissa kaupungeissa on runsaasti vajoja, liitereitä, katoksia ja aitauksia, joiden suojassa myös lapset löytävät loputtomasti tekemistä sekä yksin että yhdessä aikuisten kanssa. Uusilla asuntoalueilla tällaista mahdollisuutta ei yleensä ole, työ on erotettu asumisesta, ja siksi tarvitaan erityisiä leikkialueita lapsille. Monella kerrostalopihalla ei aikuisillekaan löydy mielekäs-tä tekemistä tai oleskelupaikkaa.

Leikkipaikoille asetetaan monipuolisia vaatimuksia:

- suojattu tuulilta, melulta ja liikenteeltä
- aurinkoisuus; auringon paistettava yli viisi tuntia tasauspäivänä
- vaihtelevia luontotyyppisiä ja materiaaleja; kiviä, hiekkaa, vettä, kasveja...
- rakennelmissa käytettävä terveellisiä luonnonmateriaaleja.

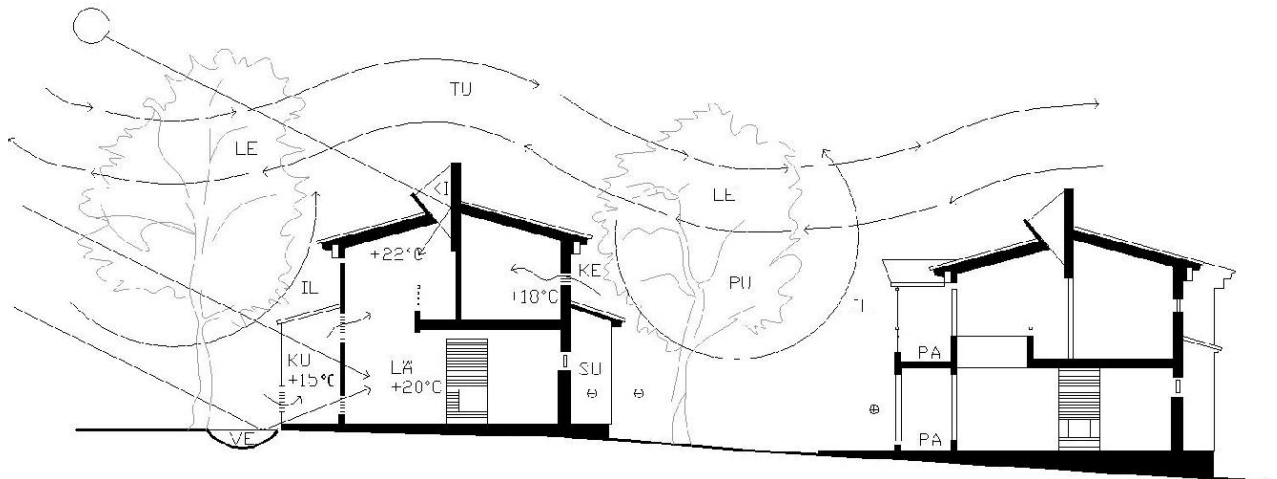
Myös aikuisille olisi suunniteltava oleskelutiloja leikkipaikkojen läheisyyteen. Kerrostalopihoillakin olisi oltava mahdollisuus oikeaan tekemiseen, kuten kasvimaan hoito, kompostointi, auton korjaus, leikkimökkien rakentelu, grillaus, liikunta jne. Nämä rakennelmat myös parantavat osaltaan mikroilmastoa jalankulkijan tasossa.

Kaavallinen sijoittelu:

- suositaan matala-tiivis-rakennetta
- vältetään suoria päätuulien suuntaisia katutiloja
- korttelien suuntaaminen aurinkoon
- pihojen suojaaminen tuulelta rakennusmassoin
- määräykset tuulensuojaistutuksista ja -rakenteista kaavoihin. (Kuismanen 2007)

7.7.3 Rakennukset kaavoituksessa

Pienilmaston kokonaisvaikutus koostuu tuulesta, aurinkoisuudesta ja rakennuspaikan lämpimyydestä. ASTA II tutkimuksen mukaan maksimi- ja minimitapausten välinen suhteellisen lämmönkulutuksen erotus on omakotitaloilla 40 kWh/k-m² (28 %), lamellitalolla runsaat 37 kWh/k-m² (27 %) ja pistetalolla 35 kWh/k-m² (28 %) vuodessa. Voidaan kuitenkin arvioida, että todellisissa tilanteissa päästään korkeintaan ehkä 20 %:n lisäykseen minimistä maksimiin. Glaumannin ja Westerbergin mukaan rakennusten lämmitystarvetta voidaan vähentää n. 10 %:a, kun tuuliolosuhteet otetaan huomioon rakenteiden ja rakennusmuodon valinnassa. (Glaumann & Westerberg, Kivistö Raportti 2)

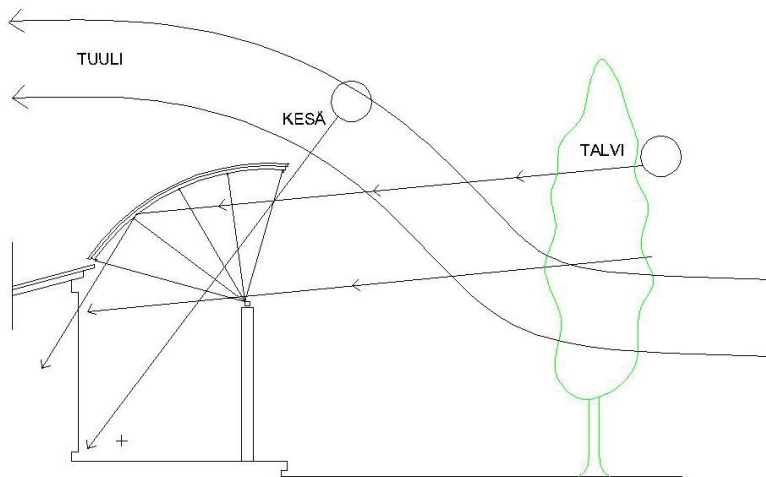


IL	VARJON JA AURINGON AIHEUTTAMA TERMINEN ILMAVIRTAUS PIHALLA
KE	KESÄLLÄ KORVAUSILMA VARJON PUOLELTA
KI	KATTOIKKUNA TUULETUSREITTINÄ KESÄLLÄ
KU	LÄMMITTÄMÄTTÖMÄLTÄ AURINKOISELTA KUISTILTA KORVAUSILMA LÄMMITYSKAUTENA
LE	LEHTIPUUT SUOJAAVAT AURINGOLTA KESÄLLÄ
LÄ	LÄMPÖÄ TUOTTAVAT TOIMINNAT KESKELLE
PA	PARVEKETTA VOI KÄYTTÄÄ KORVAUSILMAN ESILÄMMITYKSEEN
PU	PUUT PUHDISTAVAT ILMAA
SU	LÄMMITTÄMÄTTÖMIEN RAKENNELMIEN MUODOSTAMA SUOJAVYÖHYKE
TU	PIENIMITTAKAAVAINEN RAKENTAMINEN PITÄÄ TUULET KATTOJEN YLÄPUOLELLA
VE	VESILAMMIKKO HEIJASTAA VALOA JA TOIMII LUMENKERÄYSPAIKKANA TALVELLA

Kuva 27. Rakennusten sisä- ja ulkotilojen välinen vuorovaikutus

Usein esiintyvä ongelma etenkin etelä- ja länsirannikoilla on kylmän tuulen puhaltaminen samalta suunnalta auringon kanssa. Tällöin pyritään tuuli ohjaamaan pihan yli ja luomaan suojaista poukama esimerkiksi tuulen suuntaan avautuvan auran muotoisella pohjapiirroksella tai katoksella tuulen puolella (kovera muoto). Toisaalta suora tai kupera seinä tuulen puolella aiheuttaa turbulenssin, joka vähentää lumen kinostumista. Loiva pitkä katto suojan puolella vähentää suojaista aluetta ja lumen keräytymistä. Mahdollisuuksien mukaan talon ja rakennusryhmän selkä käännetään päätuulensuuntaan. Kolonnadit ja katetut jalkakäytävät suojaavat sateelta, liukkaudelta ja auringolta. (Kuva 28)

Rakennusmassat kannattaa yleensä jaotella pihan muodostamisen helpottamiseksi, ja aputilat voi usein sijoittaa omiin rakennuksiinsa tontin reunoille. Taloja ei saisi sijoittaa keskelle tonttia, ettei piha pirstoonnu. Rivitalot tulisi toteuttaa lyhyinä massoina, jotka muodostavat piha-piirin. Autotallia ei pitäisi rakentaa asuinrakennuksen runkoon, vaan erilliseksi talous- tai porttirakennukseksi. Elinkeinojen harjoittamiseen liittyvät ulko- ja varastotilat tulisi sijoittaa erilleen ja suojattava lauta-aidalla.



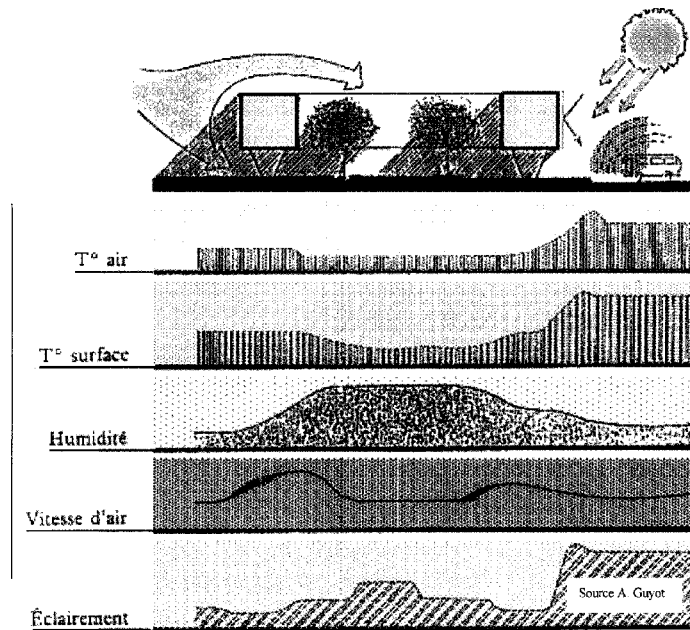
Kuva 28. Lounaistuulen puolelle rakennettu lippa, joka muodostaa tyynen oleskelualueen, varjostaa kesällä ja päästää auringon sisään talvella.

Rakennukset olisi suunniteltava muodostuvan vyöhykkeistä rakennuspaikan tuuli- ja valaisuo-
losuhteiden mukaisesti. Pohjoiseen ja tuulisiin ilmansuuntiin päin tehdään suojavyöhykkeet
kylmistä taloustiloista, luhtikäytävistä, säleiköistä jne. Kaavamääräykset ja rakennusalat on
muotoiltava siten, etteivät nämä kylmät ja puolilämpimät tilat vie varsinaista rakennusoikeut-
ta, vaan tulevat normaalitehokkuuksien lisäksi. (Kuva 29)

Sekä passiivisesti että aktiivisesti aurinkoenergiaa käyttävien talojen toteuttaminen on Kuopi-
ossa jo nykytekniikalla realistista. Rakennukset tulisi suunnitella ainakin passiivisen aurinko-
talon periaatteilla, mikä edellyttää kaavoitusvaiheessa aurinkoisuusanalyysien tekemistä. Ra-
kennus on monilla muillakin tavoin yhteydessä ulkona tapahtuviin luonnonprosesseihin ja
vaikuttaa ympäristönsä mikroilmastoon.



Kuva 29. Rakennuksen muotoilulla ja yksityiskohdilla voidaan vaikuttaa lähiympäristön tuulisuuteen ja vähentää tuulen jäähdyttävää vaikutusta. (Kuismanen 2008)



Kuva 30. Monimuotoiset rakennukset vaikuttavat rakennuspaikan ilman lämpötilaan, maanpinnan lämpötilaan, kosteuteen, ilmavirran nopeuteen ja valaisun voimakkuuteen (Ecole).

Rakennuksen kattopintojen reuna-alueet ja nurkat noin 0,5 m leveydeltä ovat erityisen alttiita tuulen painevaikutuksille. Tasakatolla vallitsee yleensä alipaine ja esiintyy erilaisia turbulensseja. Tuulenpaine muuttuu alipaineisesta ylipaineiseksi kattokulman kasvaessa. Välillä 14° - 21° voi esiintyä sekä positiivista että negatiivista kuormitusta. Harjakaton kulman ollessa vajaa 30° ovat painevaikutukset pienimmillään. Pulpettikattoa vetää alipaine kaltevuuskulmalla 0 - 15° . Yli 15° :n kallistus aiheuttaa hieman ylipainetta katon keskelle, ja noin 25° :n asennossa yli- ja alipainevoimat jakautuvat säännönmukaisesti. Kattokaltevuuksia koskevia tarkkoja sääntöjä ei voida esittää, koska tuulivoimien jakaantumiseen ja syntymiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten vesikaton alapuolisen rakennusosan korkeus ja yksityiskohdat, pinnankarkeuden vaihtelut, naapurien aiheuttamat ilmavirrat jne. (Jensen, Mattson)

Myrskytuhojen välttämiseksi räystäiden, kattojen, julkisivujen, kiinnitysten ja lasitusten lujuutta tuulikuormia vastaan on parannettava tuulisilla tonteilla nykyisiin normeihin ja käytäntöihin verrattuna arviolta 20 %.

Rakennussuunnittelu

- tiivis, matala ja pienimittakaavainen rakentaminen helpottaa hyvän mikroilmaston luomista
- korkeat rakennukset ohjaavat ilmavirtauksia maantasoon
- rakennuksen suunnittelu vyöhykkeittäin siten, että pohjoisen tai tuulten puolella on kylmien rakennelmien muodostama puskurivyöhyke, keskellä lämmin sydän, ja auringon puolella oleskeluun tarkoitettuja sisä- ja ulkotiloja
- suojautuminen tuulilta parvekkeilla tai kaksinkertaisella julkisivulla
- parvekkeet, lipat ja luhtikäytävät vähentävät alas suuntautuvia ilmavirtauksia, samoin rakennuksen viereiset kasvit, köynnössäleiköt, katokset yms.
- suositeltava kattokulma tuulen kannalta on 15° - 21°
- aerodynaamisesti oikein muotoiltu räystääs vähentää turbulensseja
- rakennusten suuntaaminen aurinkoon
- autopaikat varjoon
- lehtipuut eteläpuolelle, havupuut pohjoiseen. (Kuismanen 2000)

7.7.4 Rantarakentamisen vaihtoehtoiset ratkaisut

Periaatteessa rakennetuilla alueilla rantarakenteet voidaan tehdä kolmella eri tavalla:

1. Luiskaamalla.
2. Pystysuoralla seinämällä.
3. Kelluvalla tai kiinteällä laiturirakenteella.

Saaristokaupungin olosuhteissa todennäköisin ratkaisu on numeroiden 1) ja 3) yhdistelmä, luiskatun rannan ja siihen liittyvien laitureiden käyttäminen. Aaltojen kohdatessa jyrkän rantarakenteen aiheutuu korkea aalto ja useiden metrien korkuiset roiskeet, jotka tuuli puolestaan lennättää rantakaduille ja niiden varrella olevien rakennusten seiniin. Äärimmäisissä tilanteissa voi aallokko ja tuuli yhdessä lyödä vesipatjan rannalla sijaitseville kulkuväylille.

Järven pysyminen nykyistä pidempään sulana yhdessä tuulen voimistumisen kanssa tulee lisäämään aallokon vaikutusta rantarakenteisiin ja rannikolla sijaitseviin taloihin. Koska Kallaveden rannat ovat syvät, on aaltojen rantaan kohdistuva voima suuri. Rannalla sijaitsevien rakennusten julkisivut on suojattava roiskevedeltä, ne tulee tehdä erityisen hyvin kosteutta ja vettä kestävästä materiaaleista, rakenteiden kuivuminen on mahdollistettava ja veden virtaaminen pois pihoilta on taattava.

7.7.5 Tuulensuojakasvillisuuden suunnittelu

Tontin ja sen ympäristön luonteenomaiset kasvupaikkatyypit muodostavat lähtökohdan kasvilajeja ja kasviyhdyksuntia suunniteltaessa. Pieneliöstön ja -kasvuston on pystyttävä vaihtamaan geenejä ympäröivän luonnon kanssa viherkäytävien kautta.

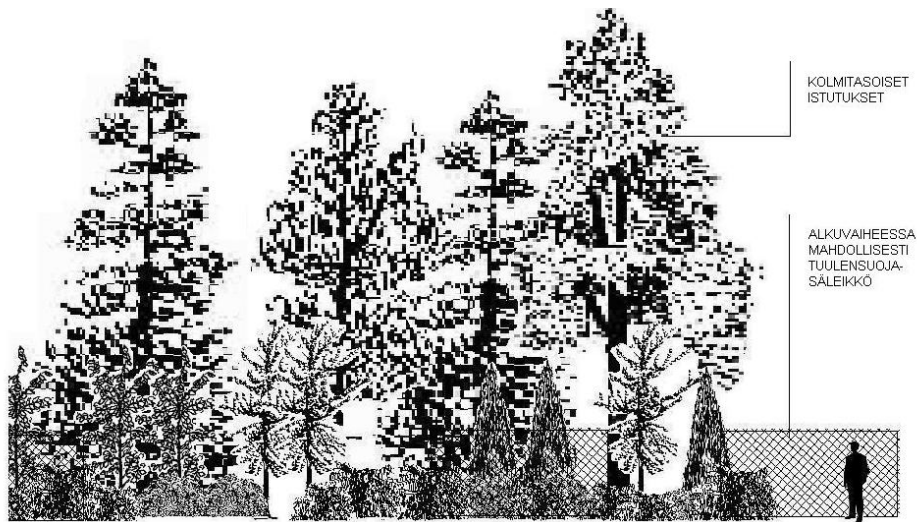
Luonnonmukaisten helppohoitoisten tuulensuojaistutusten lähtökohtana ovat maaperän ja ilmaston mukaiset kasvustot. Perusta puutarhasuunnitelmalle saadaan luontoanalyysistä, jossa määritellään mm. rakennuspaikan luontotyyppi. Tämä antaa jo suunnan tuleville vihertöille ja kasvivalinnoille. Selkeän lähtökohdan suunnittelulle antaa Alangon ja Kahilan esittämä jako:

1. Harjupuutarha.
2. Kallio- ja kivikkopuutarha.
3. Metsäpuutarha.
4. Rodo- eli alppirusupuutarha.(Alanko)

Lehtipuiden vaikutus tuulennopeuteen vaihtelee vuodenajoittain lehvästön vähentäessä tuulisuutta 20 - 30 %. Korkeat puut rakennusryhmän keskellä vähentävät tuulisuutta tehokkaasti. Puuston suojaava vaikutus ulottuu aivan latvuston tasalle, ja siksi on tärkeää, että tuulisella seudulla rakennuksia ei uloteta latvuksien yläpuolelle. Suojattavat alueet mieluummin ympäröidään suojaistutuksin ja vältetään istutuslinjojen säännönmukaisuutta, koska tuulensuunta voi usein vaihdella jopa 90°, vaikka keskisuunta säilyisikin samana. Puuston valmistelu ja harventaminen kestäväyden lisäämiseksi olisi tehtävä viitisen vuotta ennen rakentamista. Harvahkoilla lehtipuukujilla ei mikroilmaston kannalta ole paljoa vaikutusta. (Maaninen, Miller)

Parkkialueilla ja kaduilla voidaan ilman laatua parantaa kierrättämällä ilmaa termisesti puuston lävitse (kuva 27, kohdat IL ja PU).

Monissa kohdissa oikein tehty vihersuunnittelu on hyvä keino aktiivisesti parantaa mikroilmastoja. Tehokkaimmat tuulensuojat syntyvät kolmitasoisista istutuksista, ja istutuksissa on käytettävä samalta tai pohjoisemmalla kasvuvyöhykkeeltä peräisin olevia taimia. (Kuva 32)



- ISTUTUSTEN PERIAATE:
 - MAANTASOSSA 0,5-1,5 M KORKEAT TIHEÄT PENSAIKOT
 - VÄLITASOSSA 1,5-3 M KORKEAT PENSAAT JA PUUT, JOTKA OVAT LÄPÄISEVYYDELTÄÄN 30-50 %:A
 - YLÄTASOSSA PUUSTO; LÄPÄISEVYYDELTÄÄN YLI 50 %:A.
- ERIKORKUISET ISTUTUKSET SEKOITETTUINA ANTAVAT PARHAAN SUOJAN TUULTA VASTAAN.
- HAVUPUUT SUOJAAVAT TALVELLA PARHAITEN.
- VARSINKIN ALKUVUOSINA ISTUTUKSIA ON HYVÄ TÄYDENTÄÄ TUULENSUOJASÄLEIKÖIN (LÄPÄISY 30%-60%).
- IKIVIHREITÄ KASVEJA TULISI SUOSIA.

Kuva 32. Kolmitasoiset istutukset.

Aluetasolla tuulisuudeltaan ongelmallinen on tarkastelualueen itäranta, joka suuntautuu avointa järvenulappaa kohti. Myös Lehtoniemen länsirannalle kohdistuu erittäin voimakkaat tuulet, joita maaston muodot vielä paikoin lisäävät. Tilannetta voidaan helpottaa voimakkaiden oikien muotoiltujen istutusmassojen avulla.

Pihojen tuulisuutta voidaan vähentää istutuksilla. Toisaalta tämä kuitenkin on vaikeaa, jollei samalla haluta menettää järvimaisemaa, ja siksi jouduttaneen miettimään pihojen maisema-arkkitehtuuria (esim. *ha-ha* rakenteet), lasirakenteita ja julkisivujen detaljointia keinoina estää kiusallisen voimakkaat ilmavirtaukset.

Suunnitteluohjeita:

- valitse puutarhan peruslinja ja kasvilajit rakennuspaikan maaperän ja luontotyypin mukaan
- vältä turhaa tasaamista ja käytä maamassat tontin muotoiluun
- käytä tiheitä monilajisia istutuksia
- suosi kosteikkoja ja vesiaiheita
- säilytä kalliot mahdollisuuksien mukaan koskemattomina.
- suosi paikalla luonnostaan kasvavia lajeja
- vältä suuria ruohikoita, ellei tarvitse pallokenttää tms.
- käytä luonnollisia maanpeitekasveja

- keto puhdistaa ilmaa monikymmenkertaisesti verrattuna leikattuun nurmikkoon
- suosi ikivihreitä kasveja; täydennä istutuksia kukkivilla lajeilla
- vältä suuria asfalttipintoja; käytä materiaaleja, jotka eivät estä sadeveden imeytymistä maahan
- kerää pintaturve rakennuspaikalta, varastoi se ja käytä tontin viherrakentamiseen
- itsehoitavat istutusryhmät (ekologinen puutarha) vähentävät kiinteistön hoitokuluja
- eri vuodenaikojen kukat ja värit sommitelmina. (Kuismanen 2007)

7.7.6 Tuulitestauksen käyttäminen

Sisämaassa tuulennopeudet ovat yleensä kohtuullisia. Tuulen kanavoitumisen vuoksi Saaris-
tokaupungin alueen tuulennopeudet ylittävät joissain paikoissa kynnyksen, jonka jälkeen tut-
kimusten mukaan olisi kaava- ja rakennussuunnittelua tehtäessä suoritettava mikroilmasto-
analyysit ja käytettävä tuulitestausta (taulukko 2).

Tässä raportissa on tehty suuntaa antava mikroilmastoanalyysi ja laadittu kokemukseen perus-
tuvat suunnitteluohjeet. Mikäli halutaan suurempi varmuus tulevan kaupunginosan mikroil-
maston hyvästä laadusta, olisi tehtävä tärkeimmistä osa-alueista pienoismallit, jotka tuulitesta-
taan. Testauksen perusteella voidaan antaa tarkempia suosituksia kaavan kehittämiseksi.
Myös suurempien rantarakennusten ja korkeiden kerrostalojen tuulitestausta rakennussuunnit-
telun yhteydessä on syytä harkita.

Taulukko 2. Tuulen keskinopeuden luonnehdinta ja tarvittavat suunnittelutoimenpiteet (Glaumann & Westerberg 1980, suom. Kimmo Kuismanen)

KESKINOPEUS 2 M KORKEUDES- SA M/S	TUULISUUDEN LUONNEHDINTA	SUUNNITTELUTOIMENPITEITÄ
yli 5,5	Hyvin tuulinen	Rakennukset ja alueet vaa- tivat suojaamista. Tuulitun- nelitestausta voidaan edel- lyttää.
4,0 - 5,5	Tuulinen	Oleskelu- ja kevyen liikent- teen väylät sijoitettava suo- jaan ja varustettava tuulen suojauksella
2,5 - 4,0	Hieman tuulinen	Pihat ja parvekkeet tarvit- sevat suojausta
alle 2,5	Suojaisa	Tuuli ei ole ongelma, ja suojausta tarvitaan vain joissain erikoistapauksissa

8 Saaristokaupungin kasvihuonekaasupäästöt

8.1 Arviointiperiaatteet

Kasvihuonekaasupäästöjen arviointi perustuu Kuopion eteläisten osien kaupunkirakennemuutostoehtoja koskevaan tutkimukseen (Halme & Harmaajärvi 2003).

Taulukossa 3 esitetään asuntotuotanto vaihtoehdoissa. Vaihtoehdossa 1 voidaan hyödyntää olemassa olevia palveluja paremmin ja uusia palvelurakennuksia tarvitaan vähemmän kuin vaihtoehdossa 0+.

Taulukko 3. Asuntotuotanto Ve0+ ja Ve1:ssä (asumisväljyys laskettu kerrosalaa kohti vain uusilta alueilta). (Halme & Harmaajärvi 2003)

VE0+		Yht	kt	rt	okt
Yhteensä	k-m2	597220	67200	231700	298320
	asunnot	4969	840	2317	1812
	asukkaat	14532	1670	6352	6510
As.kuntakoko v 2020		2.92	1.99	2.74	3.59
As.väljyysv. 2020		41.39	40.24	36.48	45.82

VE1		Yht	kt	rt	okt
Yhteensä	k-m2	588340	190800	223300	174240
	asunnot	5674	2385	2233	1056
	asukkaat	14598	4757	6094	3746
As.kuntakoko v 2020		2.57	1.99	2.73	3.55
As.väljyysv. 2020		40.30	40.11	36.64	46.51

Työmatkojen ja muiden matkojen keskimääräinen pituus on arvioitu mittaamalla matkapituuksien liikenneväyliä pitkin osa-alueittain Kuopion keskustaan kummassakin vaihtoehdossa ja painottamalla se asukasmäärillä. Vaihtoehdossa Ve0+ keskimääräisenä matkapituutena käytetään 11,8 km ja vaihtoehdossa Ve1 7,2 km. Saaristokadun toteuttaminen lyhentää huomattavasti keskustaan suuntautuvia matkoja.

Aikaisemmassa tutkimuksessa arvioitiin vaihtoehtojen yhdyskuntataloudelliset ja ekologiset vaikutukset elinkaaritarkasteluna (elinkaaren pituus 50 vuotta) käyttämällä VTT:n EcoBalance-arviointimallia (Harmaajärvi, Wahlgren). Vaikutukset arvioitiin maanhankinnan, asuinrakennusten, koulujen ja päiväkotien, liikenneverkon, vesihuollon, energihuollon, televerkon, puistojen ja kenttien sekä asukkaiden liikenteen osalta. Arvioituja vaikutuksia olivat yhdyskuntakustannukset, energiankulutus, raaka-aineiden kulutus, kasvihuonekaasupäästöt ja muut päästöt.

Tässä tutkimuksessa aineistosta hyödynnettiin kasvihuonekaasupäästöjä koskevia tietoja ja muokattiin niistä muuta tutkimusaineistoa vastaavasti käytönaikaisten vuotuisten vaikutusten arviointiaineisto.

Rakennusten lämmityksen ja sähkönkäytön energiankulutus on arvioitu keskimääräisen kulutuksen perusteella olettaen kuitenkin, että lämmön ominaiskulutus on nykyistä keskimääräistä tasoa alempi ja että sähkön ominaiskulutus on pienempi kuin arvioitu kulutus tulevassa rakennuskannassa. Lämmitysenergian kulutukseksi on arvioitu asuinrakennuksissa 130 kWh ja palvelurakennuksissa 200 kWh kerrosneliometriä kohden vuodessa ja taloussähkön kulutuk-

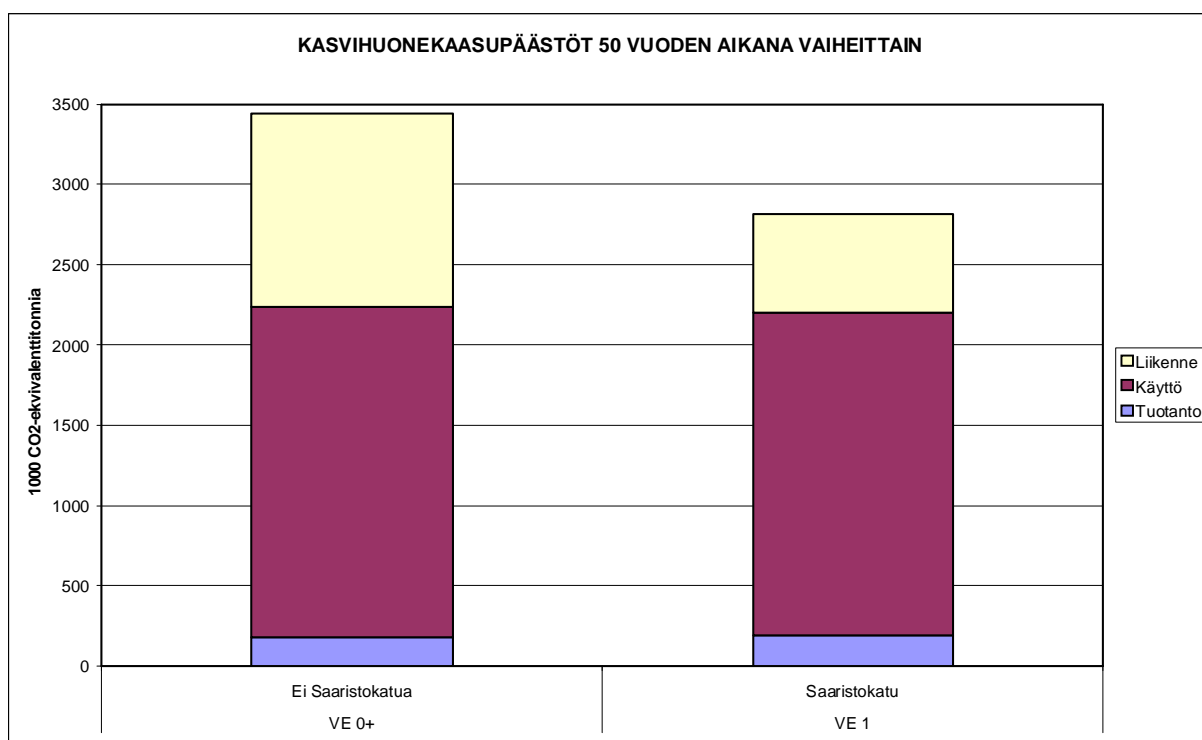
seksi asuinrakennuksissa 42 kWh ja palvelurakennuksissa 100 kWh kerrosneliometriä kohden vuodessa. Kaikki rakennukset on oletettu lämmitettäväksi kaukolämmöllä.

Energiantuotanto perustuu Kuopion Energian lämmön ja sähkön tehokkaaseen yhteistuotantoon. Energiantuotannon polttoainejakaumaksi on oletettu seuraava: turve 77 %, puuaines 17 % ja öljy 6 %. Sähkön osalta on oletettu, että 70 % on omaa tuotantoa ja 30 % ostosähköä. Energiantuotannon päästöissä on otettu huomioon myös alkupään vaikutus eli energialähteiden tuotannon, jalostuksen ja jakelun vaikutukset. Nämä on arvioitu Imatran Voima Oy:ssä 1990-luvun alussa laaditun selvityksen perusteella. Alkupään osuus primäärienergiasta on sähkön osalta 19 %, kaukolämmön osalta 8 % ja öljylämmityksen osalta 12 %.

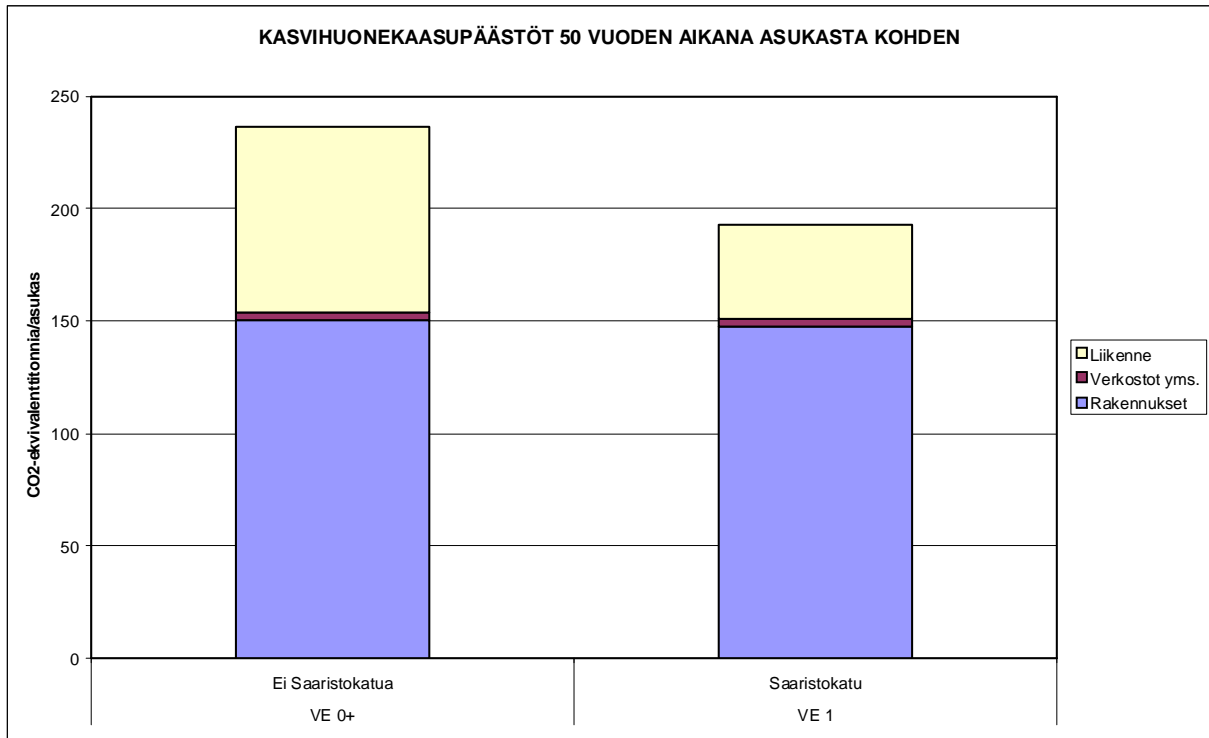
8.2 Kasvihuonekaasupäästöt

Kuvassa 33 esitetään koko elinkaaren aikaiset, 50 vuoden aikana aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt jaettuna tuotantovaiheeseen, käyttöön ja liikenteeseen ja kuvassa 34 elinkaaren aikaiset päästöt asukasta kohden laskettuna.

Rakenteiden tuottamisesta, käytöstä ja liikenteestä aiheutuu kasvihuonekaasujen päästöjä vaihtoehdossa Ve0+ kaikkiaan 3,4 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia ja vaihtoehdossa Ve1 selvästi vähemmän eli 2,8 miljoonaa tonnia. Suurin ero aiheutuu liikenteestä. (Kuvat 35 ja 36)



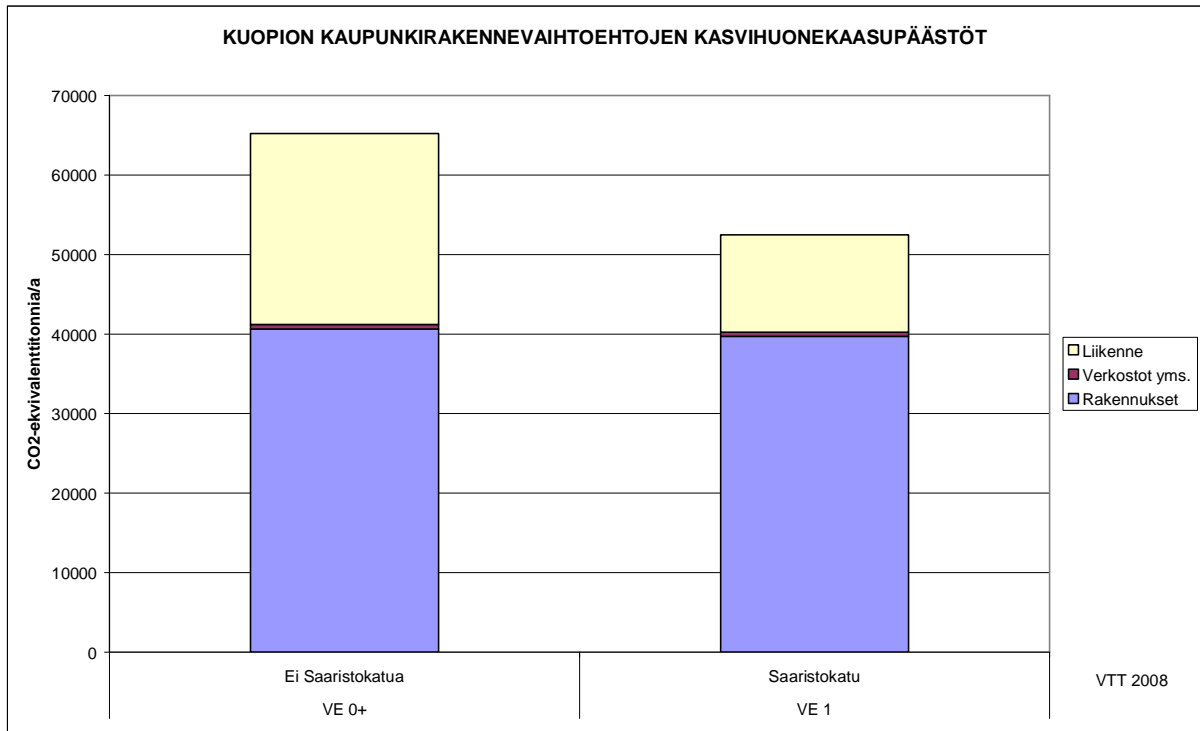
Kuva 33. Kasvihuonekaasupäästöt vaiheittain. (Halme & Harmaajärvi 2003)



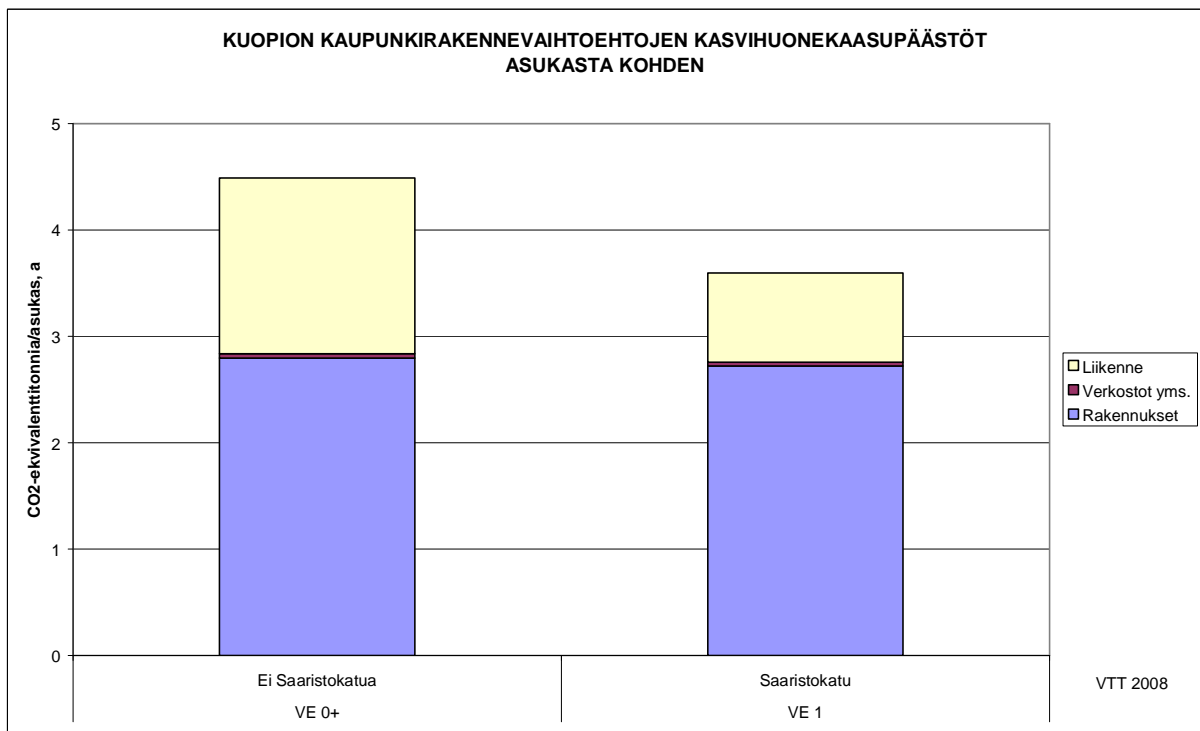
Kuva 34. Kasvihuonekaasupäästöt asukasta kohden. (Halme & Harmaajärvi 2003)

Kuvassa 35 esitetään rakennusten energiankäytöstä ja liikenteestä vuosittain aiheutuvat päästöt ja kuvassa 36 asukasta kohden lasketut vuosittaiset päästöt. Päästöjä aiheutuu vaihtoehdossa 0+ kaikkiaan 65,2 miljoonaa CO₂-ekvivalentttonnia ja vaihtoehdossa 1 52,5 miljoonaa CO₂-ekvivalentttonnia. Vaihtoehdossa 0+ rakennusten osuus vuotuisista päästöistä on 62 %, verkostojen osuus 1 % ja liikenteen osuus 37 %. Vaihtoehdossa 1 rakennusten osuus on 76 %, verkostojen osuus 1 % ja liikenteen osuus 23 %. Vaihtoehdossa 1 liikenteen päästöt ovat puolet vaihtoehdon 0+ liikenteen päästöistä.

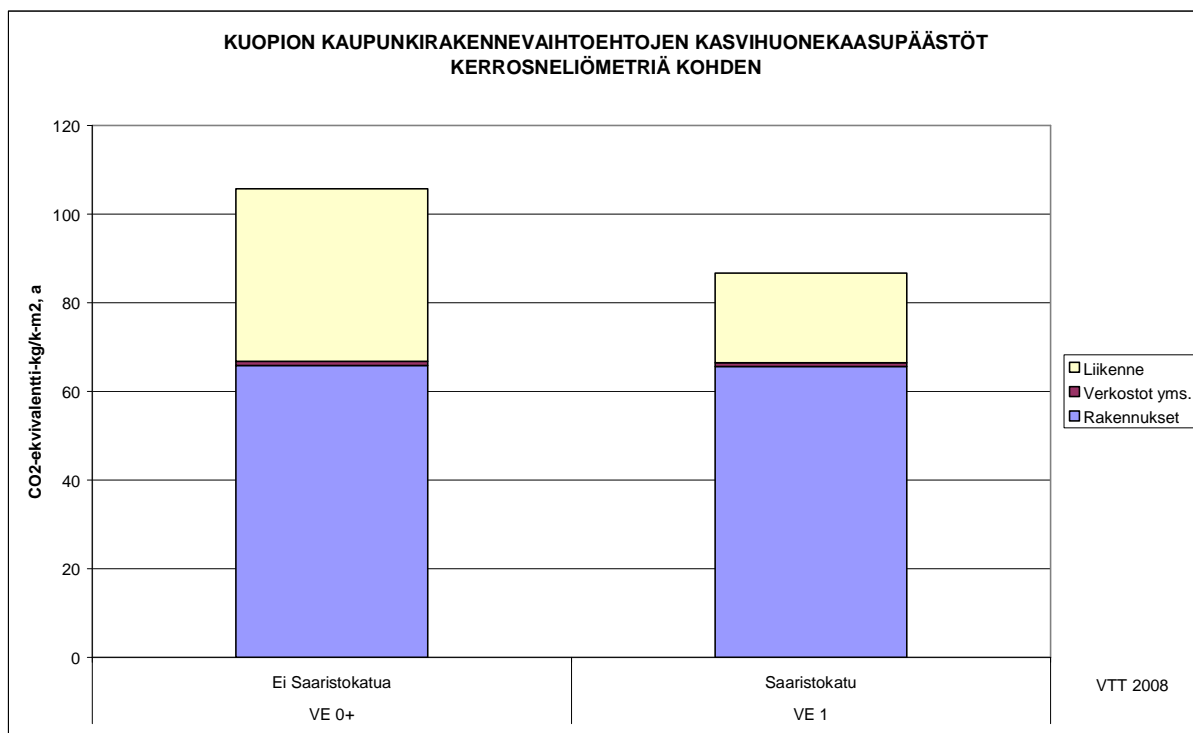
Asukasta kohden laskettuna kasvihuonekaasupäästöjä aiheutuu vaihtoehdossa 0+ 4,5 CO₂-ekvivalentttonnia/asukas ja vaihtoehdossa 1 3,6 CO₂-ekv.tonnia/asukas (kuva 36). Kerrosneiliometriä kohden lasketut kasvihuonekaasupäästöt ovat 106 kg/k-m² vaihtoehdossa 0+ ja 87 kg/k-m² vaihtoehdossa 1 (kuva 37). Päästöt ovat liikenteen osalta vaihtoehdossa 1 noin puolet vaihtoehdon 0+ päästöistä.



Kuva 35. Vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt.



Kuva 36. Vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt asukasta kohden.



Kuva 37. Vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt kerrosneliömetriä kohden.

9 Epävarmuustekijät

Tämä tutkimus on ensimmäisiä, jossa tarkastellaan ilmastonmuutoksen huomioon ottamista kaavoituksessa sekä sopeutumisen että hillitsemisen kannalta. Tutkimus on siten pilottityyppinen ja muodostetut arviointimenetelmät vaativat osittain edelleen kehittämistä.

Tehdyt arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista ovat ensimmäisiä, joissa on arvioitu paikallisia muutoksia globaalien ilmastomallien ja skenaarioiden perusteella. Arvio sisältää epävarmuuksia, jotka pienenevät tulevaisuudessa menetelmää kehitettäessä. Arvioituja muutoksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavina ja suhteellisen luotettavina.

Arviointi perustuu sitä tehtäessä käytettävissä olleeseen suunnitteluaineistoon, joka kehittyy ja muuttuu.

10 Johtopäätökset ja suositukset

Kaavoituksessa suositellaan mm. säästämään kasvillisuutta niiltä osin kuin mahdollista, matala-tiivis-rakennetta, kapeita katuja, tiivistä rakennetta sekä tuulen haitallisten vaikutusten minimoimista. Sateiden lisääntyminen on otettava huomioon sadevesiviemärien mitoituksessa.

Saaristokadun ja siihen liittyvän kaupunkirakenteen toteuttaminen todettiin aikaisemmassa tutkimuksessa (Halme & Harmaajärvi 2003) edulliseksi sekä rakennusten että verkostojen ja liikenteen suhteen kaikkien vaikutusten osalta. Vaihtoehto Ve1 on arvion perusteella edullisempi kuin vaihtoehto Ve0+. Saaristokadun ja siihen liittyvän kaupunkirakenteen toteuttaminen on edullista sekä talouden että ympäristön kannalta. Saaristokaupungin toteuttaminen todettiin perustelluksi sekä yhdyskuntatalouden että ympäristövaikutusten kannalta.

Tässä tutkimuksessa aikaisempaa tutkimusta täydentävä tarkastelu osoittaa, että Saaristokaupunkia tulisi kehittää edelleen ja rakentamista tulisi painottaa Saaristokaupungin alueelle kaupan sijaitsevien eteläisten alueiden sijasta. Näin voidaan vähentää huomattavasti kasvi-huonekaasupäästöjä.

Lähteet

Alanko, P. & Kahila, P. 2004. Luonnonmukainen puutarha. Tammi, Helsinki

Ala-Outinen, T., Harmaajärvi, I., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuhola, M. & Törnqvist, J., 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Tiedotteita 2227.

Alberts, W., 1982. Modelling the wind in the town planning process, in Bitan A (Ed), The impact of climate on planning and building, Elsevier Sequoia.

Børve, A. B., 1987. Hus og husgrupper i klimautsatte, kalde strøk. Utforming og virkemåte. Bodø. Arkitekthøgskolen i Oslo.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007. Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.)

Daniels, K. Simulationen im Windkanal und im Klimalabor, kirjassa Oswald, Wohltemperierete Architektur.

Ecole d'Architecture Marseille Luminy, 2006. Mécanisme microclimatique à propos d'une cour urbaine. www-sivut 2.11.2006.

Evans B. H., 1991. Natural Air Flow around Buildings. Artikkelit 1972, Working 1991.

Glaumann, M. & Westerberg, U., 1988. Klimatplanering, vind, AB Svensk Byggtjänst, Åkersberga.

Halme, T. & Harmaajärvi, I. 2003. Kuopion yhdyskuntatalousselvitys. Eteläisten osien kaupunkirakennevaihtoehdot. Kuopion kaupunki, YK 2003:10.

Harmaajärvi, I., 2000. EcoBalance model for assessing sustainability in residential areas and relevant case studies in Finland. Environmental Impact Assessment Review 20 (2000) 373-380. Elsevier Science Inc. UK.

Harmaajärvi, I., 2002. Helsingin yleiskaava 2002, vaikutusten arviointi. Luonnoksen ilmasto-vaikutukset. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2002:13, 19.12.2002.

Harmaajärvi, I., Huhdanmäki, A., Lahti, P., Mäkelä, K., Niskanen, S., Rosenberg, M., Räsänen, J. & Tuominen, H.T., 2002. Maankäytön ja liikenteen suunnittelun keinoja ilmansuojelun ja meluntorjunnan edistämiseksi. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2002:9, Helsinki.

Harmaajärvi, I. & Huhdanmäki, A., 1999. Pääkaupunkiseudun yhdyskuntarakennevaihtoehtojen vaikutukset hiilidioksidipäästöihin. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1999:16.

Harmaajärvi, I., Huhdanmäki A. & Lahti P., 2001. Yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Ympäristöministeriö, Suomen ympäristö 522. Helsinki.

Ilmasto- ja energiastrategian päivitys 2003 - 2004 (2005). Ympäristöministeriön sektoriraportti. Ympäristöministeriön moniste 144.

Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia (2005). MMM:n julkaisuja 1/2005.

IPCC, 2007. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli. Neljäs arviointiraportti. Useita osaraportteja: Luonnontieteellinen perusta, vaikutukset, hillitseminen.

Jensen, M., Frank N. Model-Scale Tests in Turbulent Wind, Part I and II, København, 1964 & 1965.

Kahma, K. & Johansson, M. Perusselvitys Kruunuvuorenrannan kaavoituksen merenpinnan suunnitteluohjetta varten. Merentutkimuslaitos.

Kahma K., Pettersson H., Boman H., Seinä A. 1998. Alimmat suositeltavat rakennuskorkeudet Pohjanlahden, Saaristomeren ja Suomenlahden rannikoilla. Merentutkimuslaitos.

Kansallinen ilmasto-ohjelma – Ympäristöministeriön sektoriselvitys (2001). Suomen ympäristö 473.

Kansallinen ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 27.3.2001. VNS 1/2001 vp.

Kivistö T. & Rauhala K. 1982, 1987. Asuntoalueiden kaavoitus- ja käyttökustannukset (ASTA II), Raportti I ja Raportti 2: Aluekohtaiset tulokset ja johtopäätökset, YM Kaavoitus- ja rakennusosasto, 7/1982 ja 2/1987.

Kosonen, L. 2007. Kuopio 2015. Jalankulku-, joukkoliikenne- ja autokaupunki. Ympäristöministeriö. Suomen Ympäristö 36/2007. Helsinki.

Kuismanen, K. 2008. Climate conscious architecture - design and wind testing method for changing climates, Oulun Yliopisto, Arkkitehtiosasto, Oulu.

Kuismanen, K. (ed.) 2007. Eco-House North – Ecological Wooden House Handbook. Pohjois-Pohjanmaan liiton julkaisusarja B:44. Oulu.

Kuismanen K. 2000. Ilmastotietoinen suunnittelu ja pienoismallien tuulitestauslaite, Oulun Yliopiston Arkkitehtuurin osaston julkaisu A28. Oulu.

Kuismanen K. 1993. Tervolan koetalon suunnitelmat ja mallitestauksen tutkimusraportti. Oulu.

Kuopion kaupunki, 2003. Lehtoniemen osayleiskaava. YK 2003:1.

Kuopion kaupunki, 2003. Rautaniemen osayleiskaava. YK 2003:2.

Kuopion kaupunki. Saaristokaupungin suunnitteluaineistoa.

LIPASTO. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. VTT. <http://lipasto.vtt.fi>

Maaninen, A. Kylmän ilmanalan rakentaminen, raportti, s.a.

Makkonen, L. 2005. A new approach to estimating return periods of extreme events. IABSE Report "Structures and Extreme Events", Vol. 90, 382-383 & CD Rom.

Makkonen, L. 2006. Plotting positions in extreme value analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45(2), 334-340.

Makkonen, L. 2008. Problems in the extreme value analysis. *Structural Safety* (painossa).

Makkonen, L. 2008b. Bringing closure to the plotting position controversy, *Communications in Statistics – Theory and Methods* 37(3), 460-467.

Makkonen, L., Ruokolainen, L., Räisänen, J. & Tikanmäki, M. 2007. Regional Climate model estimates for changes in Nordic extreme event. *Geophysica* 43 (1-2): 19-42.

Mattson J. O. 1979. Mikro- och lokalklimatologin. Malmö.

Miller, F., Reite, A. 1993. *Levende hus - om miljø- og ressursvennlig bygging*. Oslo.

Ollila M. (toim.), 2002. Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa, Suomen Ympäristökeskus, Ympäristöopas 52, Helsinki.

Palmer, T.N. & Räisänen, J., 2002. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, 415, 512-514.

Rummukainen, M. & Räisänen, J., 2001. A regional climate model for northern Europe: model description and results from the downscaling of two GCM control simulations. *Climate Dynamics*, 17, 339-359

Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelsson, P. & Willén, U., 2004: European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, 22, 13-31.

Swedish Meteorological and Hydrological Institute. Sea Level Change Affecting the Spatial Development in the Baltic Sea Region, Geological Survey of Finland, Special Paper 41.

Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelsson, P. & Willén, U., 2004: European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, 22, 13-31.

Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. Ilmatieteen laitos, Helsinki 1990.

Wahlgren, I., 2007. Eco Efficiency of Urban Form and Transportation. ECEEE 2007 Summer Study, Saving Energy - Just do it! 4-9 June 2007, La Colle sur Loup, France, Conference proceedings, cd-rom. ECEEE. La Colle sur Loup, France (2007), 1679-1690.

Wahlgren, I., 2006. Ilmastonmuutoksen haasteet kaavoitukselle. Maankäyttö (2006) No: 2, s. 6 – 10.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – tapauskohtaisia tarkasteluja. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03986-08. Espoo. 173 s.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Kokkolan Vanhansatamanlahden yleiskaavan ilmastovaikutukset. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03981-08. Espoo. 61 s.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Nilsiä Tahkon kehittämissuunnitelmien ilmastovaikutukset. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03984-08. Espoo. 42 s.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Sodankylän raviradan asuntoalueen ilmastovaikutukset. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03985-08. Espoo. 47 s.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2007. Sörnäistenranta-Hermanninranta-osayleiskaava. Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen. VTT Tutkimusraportti VTT-R-00471-07. Espoo. 57 s.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Uudenmaan maankäytön kehityskuvavaihtoehtojen ilmastovaikutukset. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03982-08. Espoo. 89 s.

