

## Sörnäistenranta-Hermanninranta-osayleiskaava Ilmastonmuutoksen huomioonottaminen

Irmeli Wahlgren, Kimmo Kuismanen & Lasse Makkonen





## Tiivistelmä

Raportissa esitellään Sörnäistenrannan – Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaavan vaikutusten arviointi ilmastonmuutoksen kannalta.

Työssä laadittiin ennuste paikallisesta ilmastonmuutoksesta ääri-ilmiöiden ja eräiden keskimääräisluokkien muutosten osalta seuraavan noin sadan vuoden aikana. Arvion mukaan vuoden keskilämpötila kasvaa 4 °C, maksimilämpötila kasvaa 4 °C, minimilämpötila kasvaa 16 °C, sulamis-jäätymissyklit vähenevät 40 %, vuoden keskituulennopeus kasvaa 2 %, maksimituulennopeus kasvaa 15 %, vuoden sademäärä kasvaa 15 %, 6 tunnin sademaksimi pysyy ennallaan, 5 vuorokauden sademaksimi kasvaa 15 %, vuoden lumisateen vesiarvo pienenee 60 %, 6 tunnin lumisademaksimi pysyy ennallaan, lumipeitteen maksimivesiarvo vähenee 50 %, lumipeitteen kesto aika lyhenee 70 vrk ja meren jääpeitteen kesto aika lyhenee 120 vrk. Merenpinnan korkeuden muutokset arvioitiin merentutkimuslaitoksen arvion perusteella.

Osayleiskaavaluonnosta analysoitiin ilmastonmuutoksen kannalta. Keskeisenä ilmastotekijänä on tuulisuus. Raportissa esitetään suunnitteluohjeita ja suosituksia jatkotyöhön. Kaavojen ja rakennussuunnitelmien kehittämisen päälinjat ovat seuraavat: eteläisellä osayleiskaavan osalla ulkoalueiden suojaus meren suunnalta, pohjoisella osayleiskaavan alueella ulkoalueiden suojaus pohjoisesta ja idästä, rakennusten suojaus pohjoistuulilta, energiansäästötoimenpiteiden tehostaminen erityisesti tuulen jäädyttävää vaikutusta vastaan, rakenteiden kestävyys lisääminen tuulta vastaan, rantarakennusten suojaus roiskeilta ja kosteudelta, tärkeimpien katu-tilojen suojaus tuulelta ja monitasoisten tuulensuojaistutusten toteuttaminen. Lisäksi suositellaan osayleiskaavan tuulitestausta, eräiden rantarakennusten tuulitestausta ja vihreän kadun koerakennushanketta.

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen liittyen arvioitiin osayleiskaavaluonnoksen toteuttamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Nämä arvioitiin rakennusten energiankäytön ja liikenteen osalta. Kalasataman osayleiskaavan toteuttamisesta aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä vuonna 2025 kaikkiaan 86 500 CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnia. Rakennuksista aiheutuu päästöjä 79 900 tonnia ja liikenteestä 6 600 tonnia. Päästöt ovat suhteellisen pienet johtuen alueen erinomaisesta sijainnista yhdyskuntarakenteesta ja joukkoliikennettä, erityisesti raideliikennettä, painottavasta liikennejärjestelmästä.

Tehdyn arvion mukaan Kalasatama on yhdyskuntarakenteelliselta sijainniltaan edullinen, se mahdollistaa kaukolämmityksen ja tehokkaan lämmön ja sähkön yhteistuotannon hyödyntämisellä ja raideliikennettä painottavalla liikennejärjestelmällä kasvihuonekaasupäästöjen suhteellisen pienen määrän. Kalasataman osayleiskaava tukee ilmastonmuutoksen hillitsemistä edistäviä yhdyskuntarakenteen kehittämisen periaatteita.

Osayleiskaavaluonnoksen pohjalta on mahdollista muodostaa ilmastonmuutoksen huomioon ottava alue.

## Alkusanat

Raportissa esitellään Sörnäistenrannan - Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaavan vaikutusten arviointi ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja sen hillitsemisen kannalta.

Työ on tehty VTT:ssa Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston toimeksiannosta. Työstä on vastannut erikoistutkija Irmeli Wahlgren. Ilmastomallin soveltamisesta on vastannut erikoistutkija Lasse Makkonen. Tutkimusharjoittelija Maria Tikanmäki on osallistunut ilmastomallin datan analysointiin. Arkkitehti Kimmo Kuismanen on osallistunut alikonsulttina kaavaluonnoksen arviointiin ja suositusten laadintaan.

Työ on osa Ympäristöklusterin tutkimusohjelman neljännen vaiheen 2006 – 2009: Ekotehokas yhteiskunta tutkimushanketta nro 23 ”Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa”.

Helsingin kaupungin puolesta tutkimusta ovat ohjanneet diplomi-insinööri Kaarina Laakso, diplomi-insinööri Jouni Kilpinen ja toimistopäällikkö Eija Kivilaakso.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat	4
Sisällysluettelo	5
1. Johdanto	7
2. Tavoite	8
3. Sörnäistenrannan - Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaavaluonnos	9
4. Ilmastonmuutoksen simuloinnit rakentamisen ja maankäytön sovellutuksiin	13
4.1 Yleistä taustaa	13
4.2 Ilmastosimuloinnit	13
4.3 Ääriarvoanalyysi	14
5. Ennakoitu ilmastonmuutos Helsingissä	15
6. Merenpinnan muutokset	16
6.1 Vedenkorkeusvaihteluun vaikuttavat tekijät Kruunuvuorenselällä (Kalasataman edustalla)	16
6.2 Ilmastoskenaariot ja niiden vaikutus vedenkorkeuteen	16
6.3 Vedenkorkeuden vaihtelut Helsingissä	17
6.4 Vedenkorkeuden skenaariot Helsingissä	18
6.4.1 Keskiveden skenaario	18
6.4.2 Lyhytaikaisvaihteluiden skenaariot	19
6.5 Alimman korkeusaseman laskentaan vaikuttavia tekijöitä	20
6.6 Aallonkorkeus Kruunuvuoren (Kalasataman) edustalla	21
7. Ilmaston ja sen muuttumisen vaikutus kaavasuunnitteluun	22
7.1 Suomen ilmasto	22
7.2 Helsingin ilmasto kaavasuunnittelun kannalta	22
7.3 Kalasataman alueen mikroilmasto	25
7.4 Rakennettujen alueiden mikroilmaston laadun kriteerit	25
7.5 Ilmastonmuutos ja sen vaikutus Kalasatamassa	26
7.6 Tehtyjen suunnitelmien analyysi	26
7.6.1 Osayleiskaavaluonnos	26
7.6.2 Kalasataman alueen korttelisuunnitelmat	27
7.7 Suunnitteluohjeita	30
7.7.1 Aluetaso	30
7.7.2 Korttelitaso	30
7.7.3 Rakennukset kaavoituksessa	32
7.7.4 Rantarakentamisen vaihtoehtoiset ratkaisut	34
7.7.5 Vihersuunnittelu	35

7.8 Ehdotukset	35
7.8.1 Tuulitestauksen käyttäminen	35
7.8.2 Osayleiskaavaluonnoksen kehittäminen	36
7.8.3 Vihreäkatu	36
8. Osayleiskaavaluonnoksen kasvihuonekaasupäästöt	37
8.1 Rakennukset	37
8.2 Liikenne	38
8.3 Kalasataman kasvihuonekaasupäästöt yhteensä	42
9. Tulosten tarkastelu	43
9.1 Ilmastonmuutos Helsingissä	43
9.2 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen	43
9.3 Ilmastonmuutoksen hillitseminen	43
10. Epävarmuustekijät	44
11. Johtopäätökset ja suositukset	45
Lähdeviitteet	46
Liite 1. Suunnittelusuosituksia	
Liite 2. Esimerkkejä ilmastomalliajojen analyysistä ääritapausten määrittämiseksi	

# 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 Yhdyskuntien kehitys 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 maakuntakaava-, 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 Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston kanssa yhteistyössä tehty tutkimus on ensimmäinen em. tutkimushankkeen osatutkimuksista ja koskee Sörnäistenranta-Hermanninranta (Kalasatama) -osayleiskaavan ilmastovaikutusten arviointia.

## 2. Tavoite

Työn tavoitteena on arvioida Sörnäistenrannan-Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaavan vaikutukset ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja hillitsemisen kannalta. Työssä arvioidaan ilmastonmuutoksesta tulevaisuudessa aiheutuvat keskeiset vaikutukset alueella. Arvio tehdään EXTREMES-projekteissa kehitettyjen analyysimenetelmien ja siinä tuotettujen ilmastomallitulosten avulla.

Osayleiskaavan ratkaisuja analysoidaan suhteessa ilmastonmuutoksen arvioituihin vaikutuksiin: Miten olosuhteet muuttuvat? Minkälaisilla ratkaisuilla voidaan varautua muuttuviin olosuhteisiin? Onko kaavaluonnoksessa otettu riittävästi huomioon vaikutukset? Vastaavatko kaavaluonnoksen ratkaisut arvioituja paikallisia muutoksia sää- ja ilmasto-oloissa? Pitäkö tehdyissä suunnitelmissa muuttaa jotain ja jos niin miten?

Lisäksi arvioidaan kaavaluonnoksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin eli ilmastonmuutoksen hillitsemiseen.

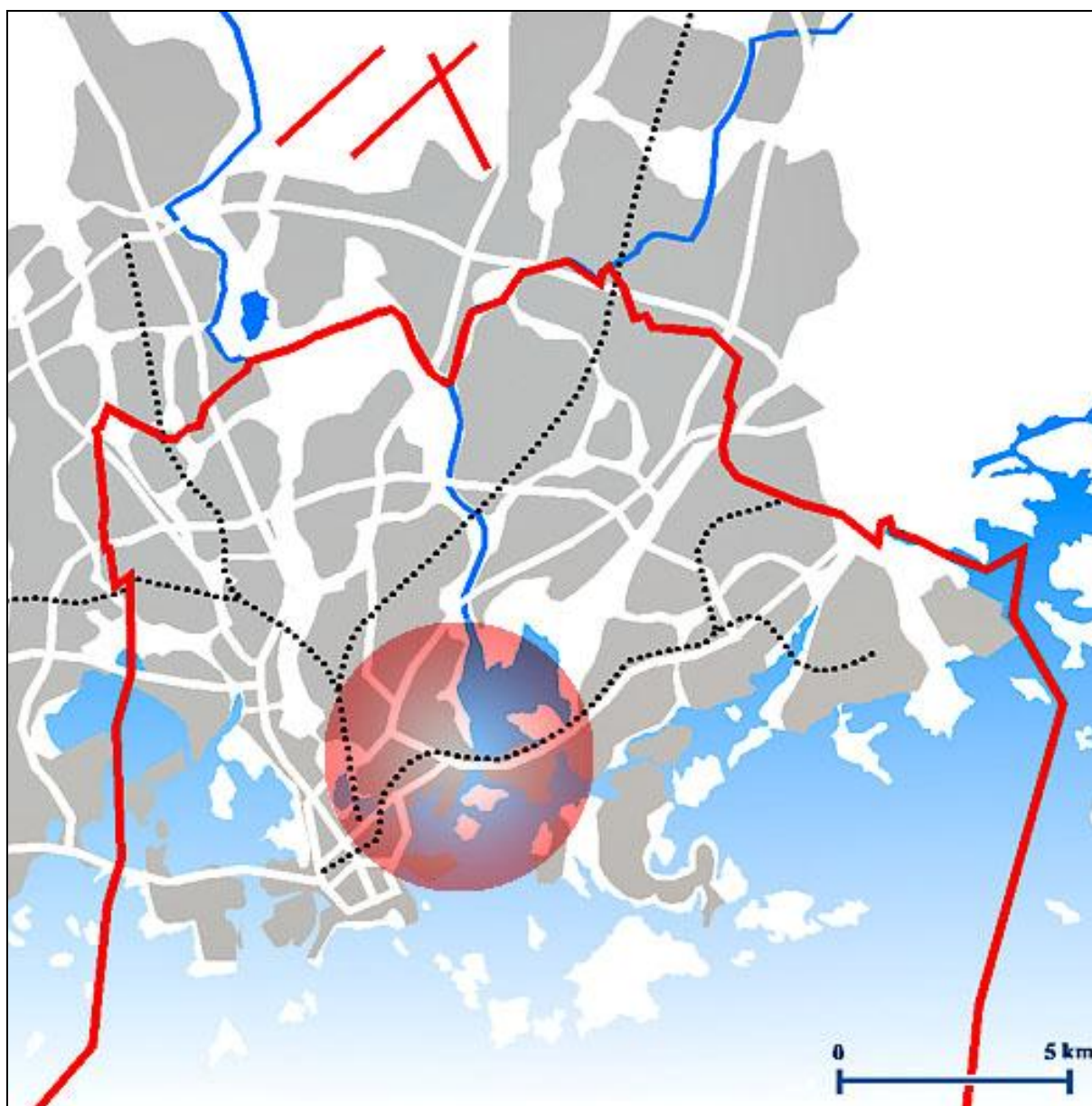
Tuloksena saadaan suositukset ja ohjeet Sörnäistenrannan-Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaavan jatkosuunnitteluun. Työtä hyödynnetään menettelyn kehittämisessä ilmastonmuutoksen huomioonottamiseksi kaavoituksessa.



### 3. Sörnäistenrannan - Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaava-alueen yleispiirteinen sijainti

Tutkimuksen kohteena on Sörnäistenranta-Hermanninranta (Kalasatama) – osayleiskaava-alue. Aluetta suunnitellaan noin 15 000 asukkaalle, mikä tarkoittaa 5 000 - 7 000 asuntoa. Työpaikkoja alueelle tulee 6 000 - 7 000. Raportissa käytetään osayleiskaava-alueesta Kalasatama-nimitystä.

Osayleiskaava-alue sijaitsee Helsingin itäisessä kantakaupungissa (kuvat 1 ja 2).

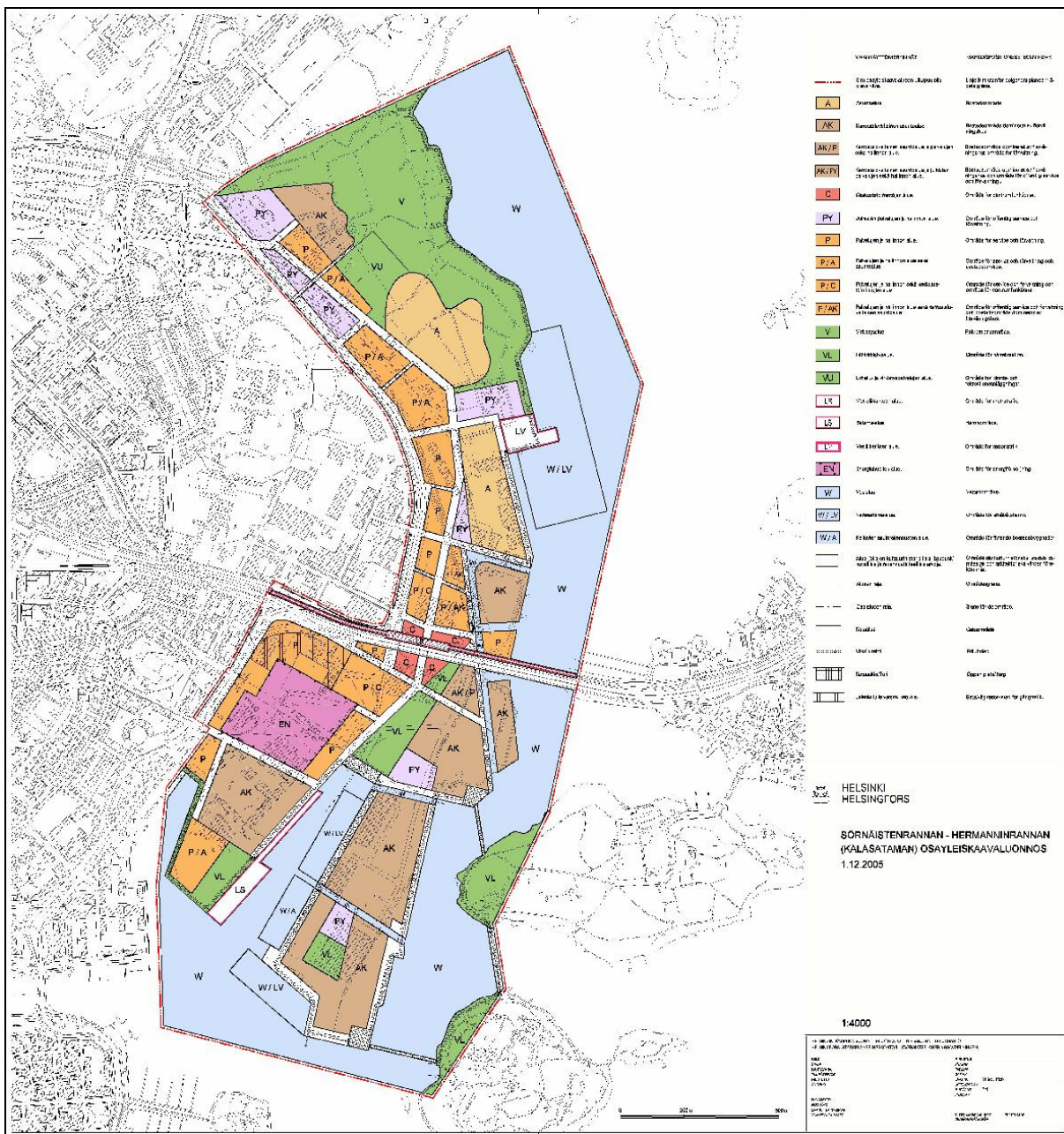


**Kuva 1.** Sörnäistenrannan-Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaava-alueen yleispiirteinen sijainti (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto).



**Kuva 2.** Sörnäistenrannan-Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaava-alueen sijainti (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto)

Osayleiskaavaluonnosta analysoidaan ilmastonmuutoksen kannalta sekä hillitsemisen että sopeutumisen osalta. Tutkimusaineistona on käytetty osayleiskaavaluonnoksen karttaa (kuva 3), illustraatiota (kuva 4), kortteli- ym. suunnitelmia, vaikutusten arviointeja ja muuta käytettävissä olevaa aineistoa.



**Kuva 3.** Sörnäistenrannan-Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaavaluonnoskartta (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto)



**Kuva 4.** Sörnäistenrannan-Hermanninrannan (Kalasataman) osayleiskaavaluonnoksen illustraatio (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto)

## 4. Ilmastonmuutoksen simuloinnit rakentamisen ja maankäytön sovellutuksiin

### 4.1 Yleistä taustaa

Meteorologiset ja geofysikaaliset ääri-ilmiöt, kuten myrskytuulet, tulvat ja ankarat lumimyrskyt voivat aiheuttaa tuhoja rakennetulle ympäristölle. Yhdyskunnat on suunniteltava kestävästi 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 - 2005 (Makkonen, 2005, 2006).

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.

Näitä laskentatuloksia voidaan tarkastella erikseen Helsingin 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).

### 4.2 Ilmastosimuloinnit

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

Tutkittava mallisysteemillä tuotettu data käsittää useita 30-vuotisia malliajoja 49 km erotuskyvyltä ja kuuden tunnin aikaresoluutiolla Pohjolan alueelle. Näistä malliajodatoista on poimittu ääritapauksia ja tehty niistä tilastollista ääriarvoanalyysia.

Tulevaisuutta simuloivat ajot pohjautuvat hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) A2- ja B2-skenaarioihin, jotka antavat kaksi vaihtoehtoista arviota kasvihuonekaasujen päästöistä tulevien 100 vuoden aikana. Alueelliset RCAO-ajot käyttävät hyväkseen reunaehtona kahden eri globaalimallin (Hadley Centre ja Max Planck Institute) tuloksia. Näin on saatu

neljä erillistä malliennustetulosta, joiden keskiarvoa voidaan tarkastella ”parhaana ennusteenä”.

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) on etsitty vertailtavaksi myös tarkasteltavien suureiden keskiarvoissa samalla mallisysteemillä lasketut ennakoitavat muutokset.

### 4.3 Ääriarvoanalyysi

Viidenkymmenen vuoden toistuvuusaikaa vastaavat arvot on analysoitu EXTREMES-projektissa kehitetyllä menetelmällä (Makkonen, 2005, 2006). 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.

Esimerkkejä analyyseistä on esitetty liitteessä 2.

## 5. Ennakoitu ilmastonmuutos Helsingissä

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 käyttäen. Tulokset muutosten osalta kuvaavat näistä saadun neljän simuloinnin keskiarvoa Helsingin kohdalla sijaitsevassa laskentapistessä, joka vastaa mallissa 50km\*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	+4 °C
Minimilämpötila	+16 °C
Sulamis-jäätymissyklit	- 40 %
Vuoden keskituulennopeus	+2 %
Maximituulennopeus	+15 %
Vuoden sademäärä	+15 %
6 tunnin sademaksimi	0 %
5 vuorokauden sademaksimi	+15 %
Vuoden lumisateen vesiarvo	-60 %
6 tunnin lumisademaksimi	0 %
Lumipeitteen maksimivesiarvo	-50 %
Lumipeitteen kesto aika	-70 vrk
Merenselän jääpeitteen kesto aika	-120 vrk

Liitteessä 2 esitetään esimerkkejä ilmastomalliajojen tuloksista.

Ilmastonmuutokseen liittyviä merenpinnan muutoksia tarkastellaan merentutkimuslaitoksen laatiman raportin perusteella luvussa 6.

## 6. Merenpinnan muutokset

Kalasadaman merenpinnan korkeuden kehityksen arviointi perustuu merentutkimuslaitoksen raporttiin ”Perusselvitys Kruunuvuorenrannan kaavoituksen merenpinnan suunnitteluohjetta varten” (Kahma & Johansson). Tämän luvun teksti on lainattu kokonaan tästä raportista.

### 6.1 Vedenkorkeusvaihteluun vaikuttavat tekijät Kruunuvuorenselällä (Kalasadaman edustalla)

Merentutkimuslaitoksen raportin mukaan Suomen rannikon vedenkorkeuksien pitkä- ja lyhytaikaisiin muutoksiin vaikuttavat seuraavat tekijät: maankohoaminen, valtameren pinnan nousu, Itämeren kokonaisvesibalanssi, tuuli, ilmanpaine, Itämeren ominaisheilahtelu eli seiche, sekä vuorovesi.

Helsingin edustalla maankohoamisen arvoksi on laskettu n. 3,5 mm vuodessa. Keskimääräisen vedenkorkeuden pitkäaikaisen muutoksen suunta määräytyy maankohoamisen ja valtameren pinnan nousun erosta. Tulevaisuudessa valtameren pinnan nousun ennustetaan kiihtyvän, jolloin keskimääräinen vedenkorkeus saattaa lähteä nousuun joillakin osilla rannikkoa.

Suomen rannikon vedenkorkeuden pitkäaikaiseen käyttäytymiseen vaikuttaa myös Itämeren kokonaisvesimäärä. Sitä säätelee pääasiassa veden vaihto Tanskan salmien läpi. Tanskan salmien ahtaudesta johtuen veden vaihto on hidasta, eivätkä nopeat vedenkorkeusvaihtelut tasoi- tu salmien läpi. Vesimäärän vaihtelut ovat sidoksissa länsivirtauksen voimakkuuteen.

Vedenkorkeuden pitkäaikaiset vaihtelut ovat samantapaisia koko Itämerellä. Lyhytaikaisten vaihteluiden kannalta tärkeimmät tekijät ovat tuuli ja ilmanpaine. Niiden vaikutus voi olla hyvinkin paikallinen.

Ilmanpaine vaikuttaa vedenkorkeuteen ns. käänteisen barometriefektin kautta. Korkea ilmanpaine painaa vettä alaspäin, kun taas matalapaine nostaa vedenpinnan tasoa. Teoriassa yhden millibaarin ilmanpainemuutos aiheuttaa yhden senttimetrin vedenkorkeusmuutoksen - käytännössä muutos on pienempi.

Itämeri on lähes suljettu allas, jossa esiintyy vedenkorkeuden heilahtelua altaan päästä toiseen. Vuorovesi on amplitudiltaan vain joidenkin senttimetrin luokkaa Suomen rannikolla.

Kruunuvuorenrannan paikalliset olosuhteet aiheuttavat vedenkorkeuden poikkeamisen Helsingin edustan yleisestä arvosta. Näistä tärkein on tuulen aiheuttama vedenpinnan kallistuminen Kruunuvuorenselällä. Tähän tilanteeseen aina liittyy myös aallokkoa, jonka vaikutus on selvästi suurempi. (Kahma & Johansson)

### 6.2 Ilmastoskenaariot ja niiden vaikutus vedenkorkeuteen

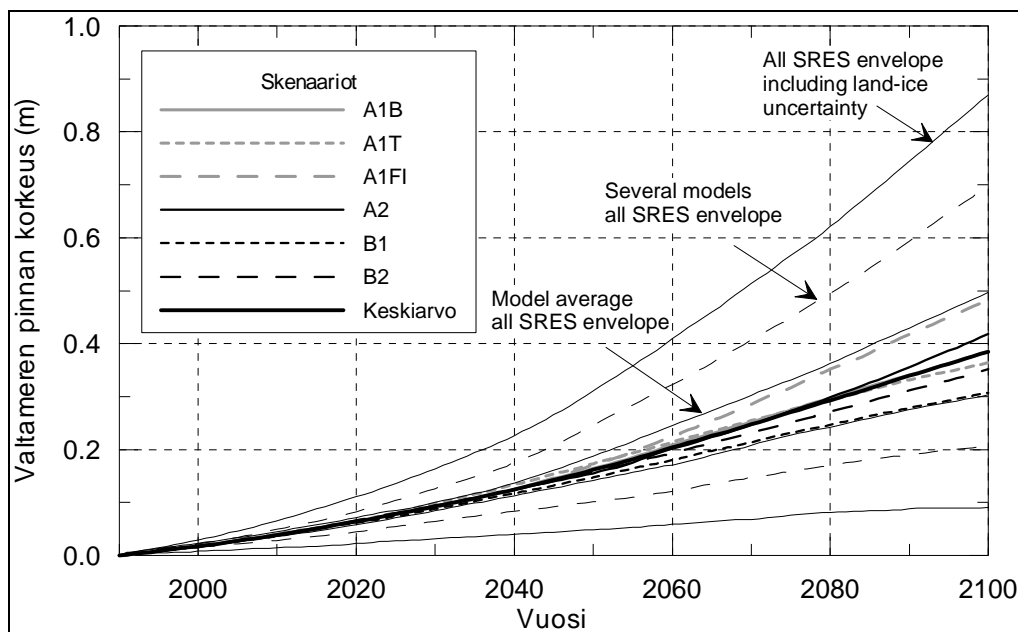
Tulevaisuudessa vedenkorkeuden käyttäytymisen voidaan ennustaa muuttuvan ilmastollisten tekijöiden muutosten vaikutuksesta. Maapallon ilmaston ennustetaan muuttuvan tulevien vuosikymmenien aikana mm. kasvihuoneilmiön vuoksi. Erityisesti maapallon keskilämpötilan ennustetaan kasvavan.



Maapallon keskilämpötilan muutos vaikuttaa valtamerien pinnankorkeuteen välillisesti useamman mekanismin kautta. Meriveden lämpölaajeneminen ja mannerjäätiköiden sekä pienempien vuoristo- ja maajäätiköiden sulaminen nostavat vedenpintaa. Toisaalta lämpötilan noususta aiheutuva lisääntynyt sademäärä saattaa myös kasvattaa Etelämantereen jäätikköä.

Kuvassa 5 on esitetty IPCC:n ennuste valtamerien keskimääräiselle pinnankorkeudelle tällä vuosisadalla. Ennusteissa on päästöskenaarioiden ja mallien eroista johtuvaa vaihtelua. Tässä selvityksessä ei tarkastella tarkemmin skenaarioiden keskinäisiä eroja. Selvityksessä käytetyt ennusteet perustuvat skenaarioiden keskiarvoon.

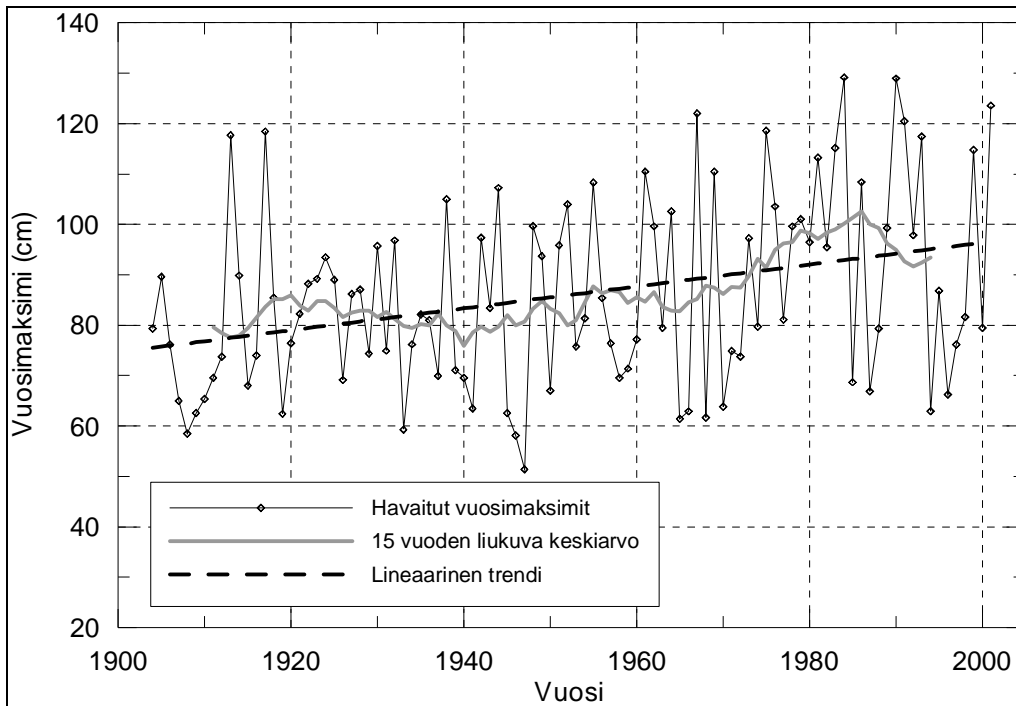
Kuvasta 5 nähdään, että valtameren pinnankorkeus nousee kaikkien skenaarioiden mukaan vuosina 1990 - 2100. Tämä ei kuitenkaan välttämättä johda meriveden korkeuden nousuun Suomen rannikolla, johtuen maankohoamisen vaikutuksesta. (Kahma & Johansson)



**Kuva 5.** Valtameren pinnan nousu, skenaariot IPCC:n mukaan. Käyrät edustavat erilaisia päästöskenaarioita, joita on tarkasteltu tarkemmin IPCC:n raportissa (Church et al. 2001). (Kahma & Johansson)

### 6.3 Vedenkorkeuden vaihtelut Helsingissä

Tämän selvityksen kannalta kiinnostavia ovat erityisesti korkeimmat vedenkorkeusarvot. Kuvassa 6 on esitetty vuosittaiset maksimi-arvot Helsingin edustalla. Kuvaan 6 on myös piirretty näihin maksimi-arvoihin sovitettu lineaarinen trendi, josta nähdään, että maksimit ovat olleet kasvussa viime vuosisadan aikana. Kuvaan piirretystä 15 vuoden liukuvasta keskiarvosta nähdään, että kasvu on ajoittunut erityisesti 1960-1980-luvuille. Myös vedenkorkeuden todennäköisyysjakauma on muuttunut samansuuntaisella tavalla kuin vuosimaksimit. (Kahma & Johansson)

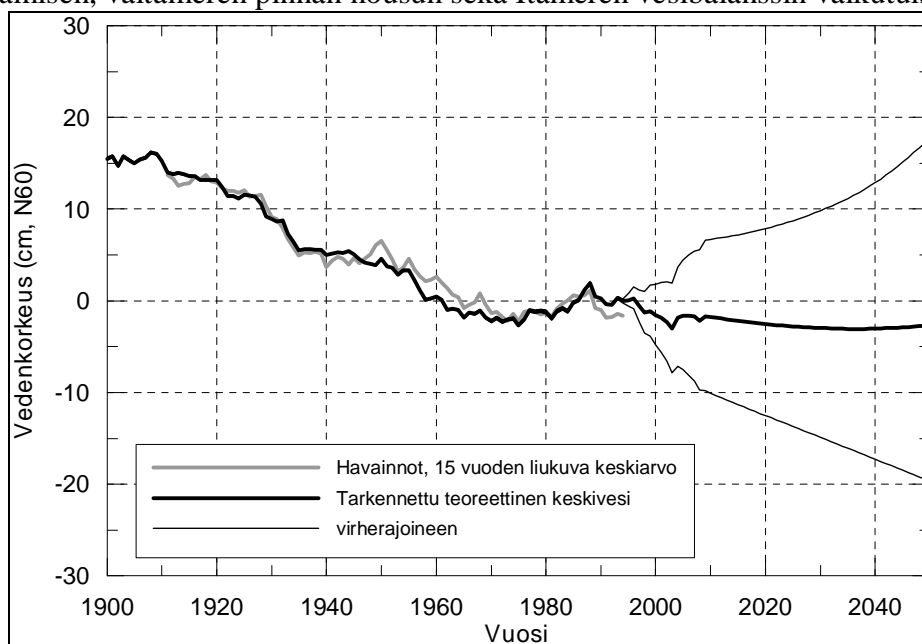


**Kuva 6.** Vedenkorkeuden vuosittaiset maksimi-arvot Helsingin edustalla tarkennetun teoreettisen keskiveden suhteen, sekä lineaarinen trendi ja 15 vuoden liukuva keskiarvo (Kahma & Johansson).

## 6.4 Vedenkorkeuden skenaariot Helsingissä

### 6.4.1 Keskiveden skenaario

Kuvassa 7 on esitetty keskiveden skenaario vuoteen 2050 asti Helsingin edustalla virherajoi-  
neen. Tarkennettu teoreettinen keskivesi on estimaatti, joka on laskettu ottamalla huomioon  
maankohoamisen, valtameren pinnan nousun sekä Itämeren vesibalanssin vaikutukset.



**Kuva 7.** Keskimääräisen vedenkorkeuden skenaario Helsingin edustalla vuosille 1900-2050. Keskiveden virherajat saadaan laskettua ottamalla huomioon valtameren pinnan nousuennusteen ja NAO-indeksin ennusteen virherajat. Virherajojen tarkkaa todennäköisyystasoa ei ole määritetty; Merentutkimuslaitoksen laskelmissa niiden katsotaan edustavan 90% rajoja. (Kahma & Johansson)

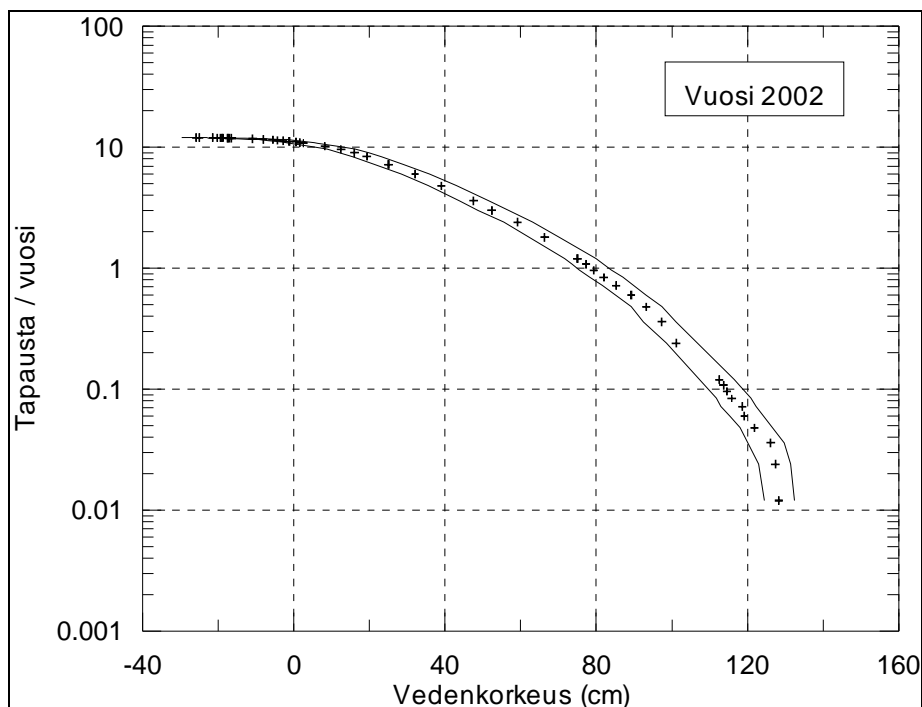
Kuvasta 7 nähdään, että keskiveden skenaarion virherajat kasvavat ajan myötä suuriksi. Yhtenä syynä tähän on valtameren pinnan nousun skenaarion epävarmuus, mikä näkyy myös kuvassa 5. NAO-indeksin ja sitä kautta vesibalanssin ennusteen epävarmuuden vaikutus on samaa suuruusluokkaa kuin valtameren pinnan nousun epävarmuuden vaikutus. (Kahma & Johansson)

#### 6.4.2 Lyhytaikaisvaihteluiden skenaariot

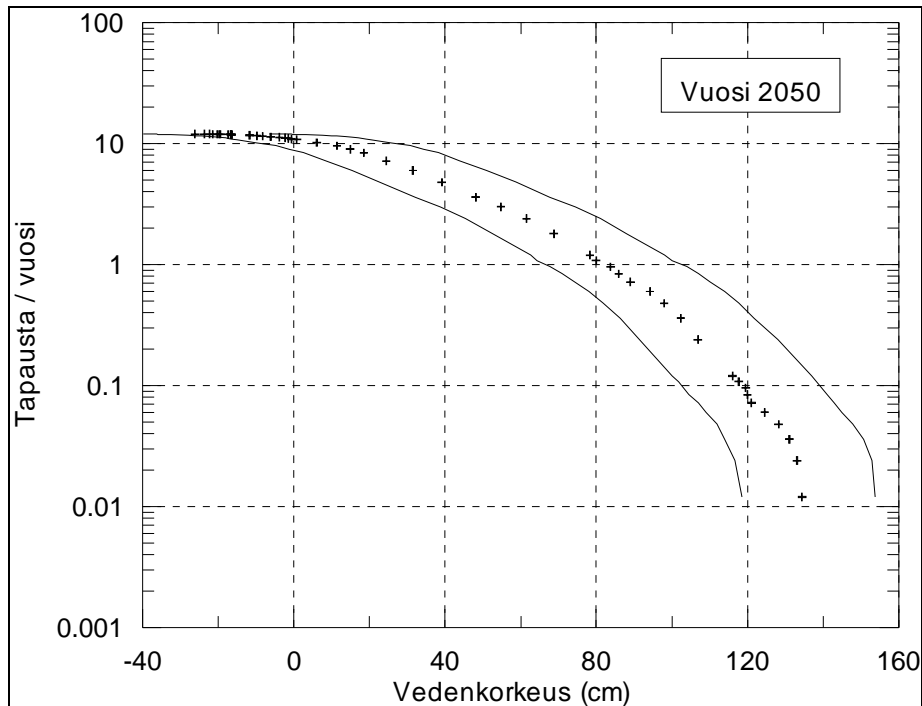
Merentutkimuslaitoksen raportin mukaan lyhytaikaisempien vaihteluiden ennustamiseksi tulevaisuuteen ei ole olemassa vastaavaa menetelmää kuin keskiveden ennustamiseen, koska lyhytaikaisvaihteluihin vaikuttavia tekijöitä ei tunneta vastaavalla tarkkuudella. Jonkinlainen arvio vaihteluiden skenaariosta saadaan, kun lasketaan lineaarinen trendi havaitusta aikasarjasta ja ekstrapoloidaan se sellaisenaan tulevaisuuteen.

Kuvaan 6 on piirretty vuosimaksimien ajallinen trendi, josta nähdään, että maksimit ovat kasvaneet 1900-luvun aikana. Ottamalla huomioon tämä maksimien trendi, voidaan käytettävissä olevan havaintoaineiston avulla laskea maksimien jakauma mielivaltaiselle vuodelle tarkennetun teoreettisen keskiveden suhteen. Kuvissa 8 ja 9 on esitetty näin lasketut kuukausimaksimien jakaumat vuosina 2002 ja 2050. Jakaumien virherajat saadaan tarkennetun teoreettisen keskiveden virherajoista.

Kuvassa 7 esitetystä liukuvasta keskiarvosta nähdään kuitenkin, että maksimien kasvu ei ole enää jatkunut lineaarisena 1980- ja 1990-luvuilla. On mahdollista, että kasvu tulevaisuudessa kääntyy laskuun, jolloin lineaarinen ekstrapolointi on eräänlainen yläraja-arvio, jota nopeammin maksimit tuskin kasvavat. (Kahma & Johansson)



**Kuva 8.** Vedenkorkeuden kuukausimaksimien jakauma N60-tasossa Helsingin edustalla vuonna 2002 (Kahma & Johansson).



**Kuva 9.** Vedenkorkeuden kuukausimaksimien jakauma N60-tasossa Helsingin edustalla vuonna 2050 (Kahma & Johansson)

## 6.5 Alimman korkeusaseman laskentaan vaikuttavia tekijöitä

Merentutkimuslaitoksen tutkimuksen “Alimmat suositeltavat rakennuskorkeudet Pohjanlahden, Saaristomeren ja Suomenlahden rannikoilla” (Kahma et al. 1998) mukaan alin suositeltava rakennuskorkeus Helsingin alueella on 2,3 m N60-järjestelmän nollokohdan yläpuolella. Tämä on keskimäärin kerran vuoteen 2200 mennessä saavutettava vedenkorkeus. Suositus perustuu seuraaviin rakennuksia koskeviin olettamuksiin:

- 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.
- Rakennuksen oletettu käyttöikä on 200 vuotta.
- Merivesi saa saavuttaa alimman suositeltavan tason rakennuksen käyttöaikana todennäköisimmin vain kerran ja korkeintaan muutamia kertoja, mutta ei toistuvasti.
- Helsingin suojapadon mahdollista rakentamista ei ole otettu huomioon.
- Rakennuspaikan edessä olevalle rannalle ei pääse aaltoja.

Nämä olettamukset vaikuttavat suositukseen koska Itämeren rannoilla meriveden tulvariskit ovat hyvin paljon riippuvia siitä, miten pitkälle tulevaisuuteen riskiä katsotaan. Esimerkiksi vuoden 2002 aikana riski saavuttaa vedenkorkeus 1,4 m N60-tason yläpuolella on noin 1/200 kuten kuvasta 8 voidaan todeta. Vaikka seuraavan kahden sadan vuoden aikana korkeus 2,3 m saavutetaan todennäköisesti kerran, se ei tarkoita, että riski saavuttaa 2,3 m olisi yhden vuoden aikana 1/200. Meriveden vaihteluiden luonne Itämerellä on sellainen, että tulvariskin epäsuhtainen kasvu ajan mukana koskee sekä vuosikymmenien, vuosien että kuukausien pituisia ajanjaksoja. Äärimmäisiin vedenkorkeuksiin saadaan ennakkovaroitus, jonka perusteella voidaan esimerkiksi rakentaa suojapatoja tai muuttaa rakenteita paremmin vettä kestäviksi. Siksi suositusta ei ole perusteltua soveltaa tapauksessa, jossa suosituksen alapuolelle rakentamisesta saavutetaan niin suurta hyötyä, että se korvaa ennakkovaroituksen perusteella tehtävät suoja- tai muutostyöt.

Helsingin rakennusjärjestyksen pykälässä 27 todetaan: "Helsingin edustalla kerran 200 vuodessa saavutettava vedenkorkeus on +2,30 metriä." Pykälää sovellettaessa tulisi huomata, että Helsingissä paljon käytetyssä korkeusjärjestelmässä NN ilmaistuna kyseinen korkeus on 2,25 m, ja vuoden 2001 teoreettiseen keskiveteen verrattuna vastaavasti 2,37 m. Lisäksi, kuten edellä jo todettiin, kyseessä ei ole tavanomainen toistumisaika siinä mielessä, että riski tulvimisesta olisi kaikkina ajankohtina periaatteessa yhtä suuri, vaan Helsingissä riski tulvimisesta kasvaa ajan mukana.

Jos rakennuksen suunniteltu käyttöaika ei ulotu vuoteen 2200 tai jokin muu edellä esitetystä olettamuksesta ei sovellu tilanteeseen, on perusteltua tehdä tarkempi arvio alimmasta suositeltavasta rakennuskorkeudesta. Siihen vaikuttavat:

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

## 6.6 Aallonkorkeus Kruunuvuoren (Kalasataman) edustalla

Vuoden pahimmassa myrskyssä merkitsevän aallonkorkeuden Kruunuvuoren edustalla laskeaan olevan noin 0,8 m. Suurimmat yksittäiset aallot voivat olla 1,5 m korkeita. Aallokko on luonteeltaan ristiaallokkoa. Siinä on noin 80 m pitkiä ja loivia aaltoja, joiden modaaliperiodi on 9 s ja jotka tulevat suunnista 190 ja 230. Lisäksi aallokossa on lyhyitä ja jyrkkiä aaltoja, jotka tulevat tuulen suunnasta. Niiden modaaliperiodi on noin 2,3 s ja merkitsevä aallonkorkeus noin 0,5 m ja merkitsevä aallonpituus noin 8 m. Tuulen suunta tässä tilanteessa on lounaasta ja sen nopeus noin 19 m/s. Todennäköisin esiintymisaika on marras- tai joulukuu. Arvot ovat siis todennäköisimmin lieviä yliarvioita ja pitkien aaltojen osalta vain suuntaantavia. (Kahma & Johansson)

Arvion oletetaan pitävän paikkansa myös Kalasataman edustalla.

## 7. Ilmaston ja sen muuttumisen vaikutus kaava-suunnitteluun

Ilmastollisina lähtökohtatietoina on käytetty Ilmatieteen laitoksen ilmastotilastoja vuosilta 1961-1990. Koska tavanomaiset ilmastotilastot eivät sisällä riittävää informaatiota suunnittelun pohjaksi, on työssä laadittu em. tilastojen pohjalta kuvaus Helsingin ilmastosta kaavoituksen ja arkkitehtisuunnittelun kannalta (Ilmatieteen laitos, Tilastoja).

Ilmastonmuutosta Suomessa ja sen vaikutuksia rakennettuun ympäristöön ja kaavoitukseen on tarkasteltu myös VTT:n tutkimuksessa ”Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön” (Ala-Outinen et al. 2004).

Ilmastonmuutoksen ennuste perustuu luvuissa 4 ja 5 kuvattuun alueellisen ilmastomallin simulointiin ja sen tuloksiin (Makkonen 2005, 2006). Merenpinnan muutokset on arvioitu luvussa 6 kuvatun merentutkimuslaitoksen raportin perusteella (Kahma & Johansson).

Tehtyjä suunnitelmia on arvioitu kaavaluonnosten ja niiden illustraatioiden pohjalta. Arvioinnissa on käytetty arkkitehti Kimmo Kuismanen kehittämää CASE-menetelmää. (Kuismanen)

### 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  $-25^{\circ}\text{C}$ ... $-45^{\circ}\text{C}$ , kesäisin auringossa  $+50^{\circ}\text{C}$ ... $+80^{\circ}\text{C}$ , mikä tarkoittaa yli 100 asteen lämpötilaeron rasiutusta julkisivumateriaaleille. (Mattson 1979, Tilastoja)

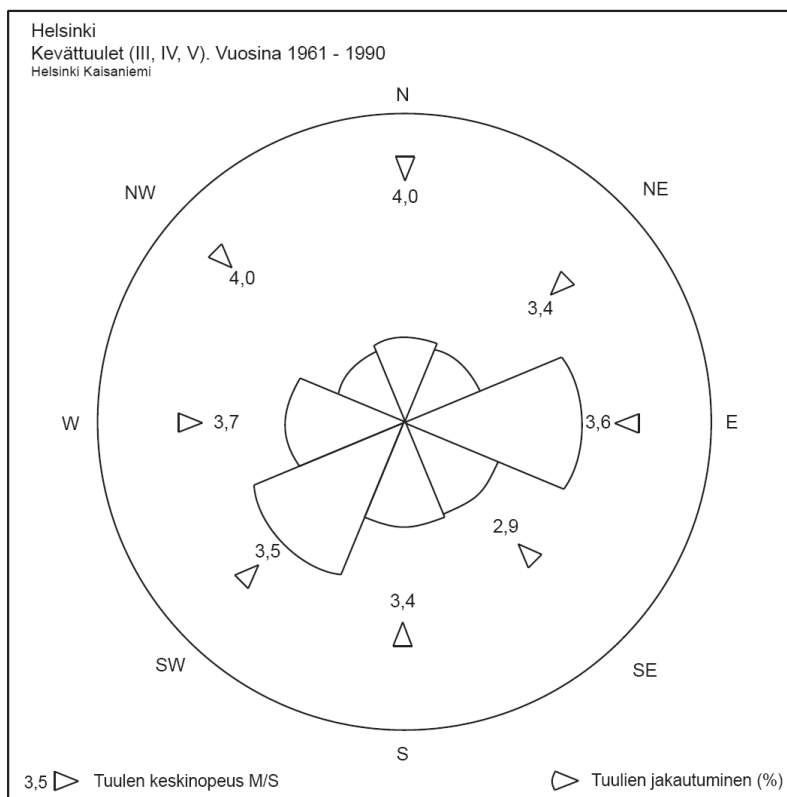
### 7.2 Helsingin ilmasto kaava-suunnittelun kannalta

Helsinkiä ympäröivät idässä, etelässä ja lounaassa suuret vesialueet, joiden ansiosta tuulet pääsevät kaupunkiin näistä suunnista suurella voimalla (kuva 1). Eri vuodenaikoina esiintyvät tuulensuunnat ja niiden keskimääräinen nopeus Kaisaniemen sääasemalla on esitetty kaavioissa (kuvat 10 - 13). Varsinkin etelä- ja lounaistuulen ympäristöä kuormittava voima on nähtävissä sekä rakennuksissa että maastosta. Merentutkimuslaitoksen raportin mukaan tuulennopeus on Kaisaniemessä pienempi kuin Kruunuvuorenselällä.

Keski-ilmastoa muokkaa voimakkaasti rannikosta johtuva vuorokautinen tuulijärjestelmä, jossa esiintyy päiväsaikaan lounainen/eteläinen merituuli ja yöaikaan pohjoinen maatuuli. Tämä rannikotuuli on yleinen erityisesti keväisin ja kesäisin aurinkoisina päivinä. (Mattson 1979, Tilastoja)

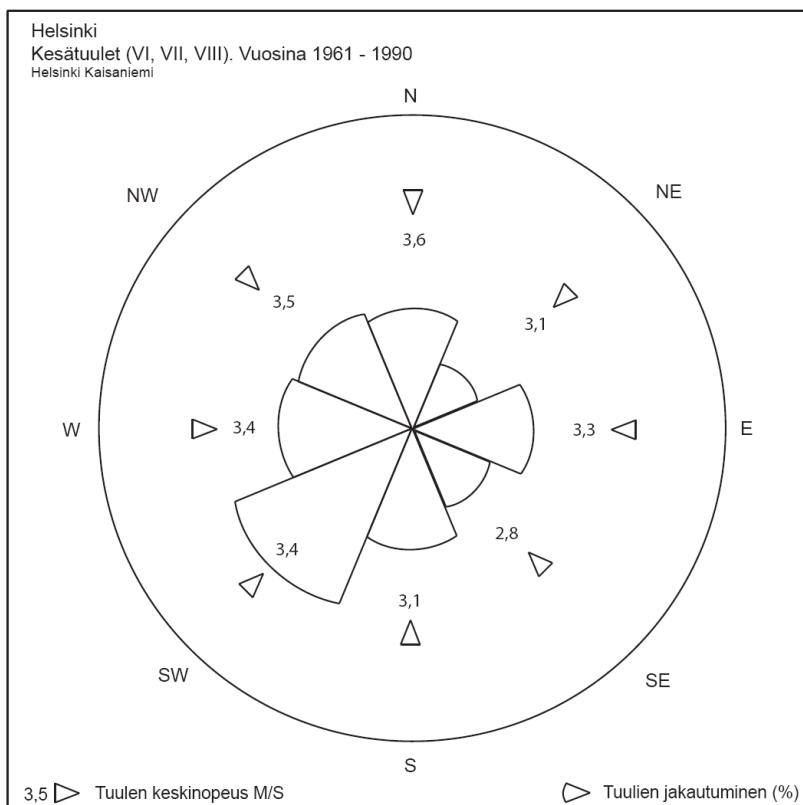
Yleisesti ottaen pihojen ja oleskelualueiden suojauksen kannalta tärkeimmät tuulensuunnat Helsingin kantakaupungissa ovat meren suunta sekä pohjoinen.

Kevät



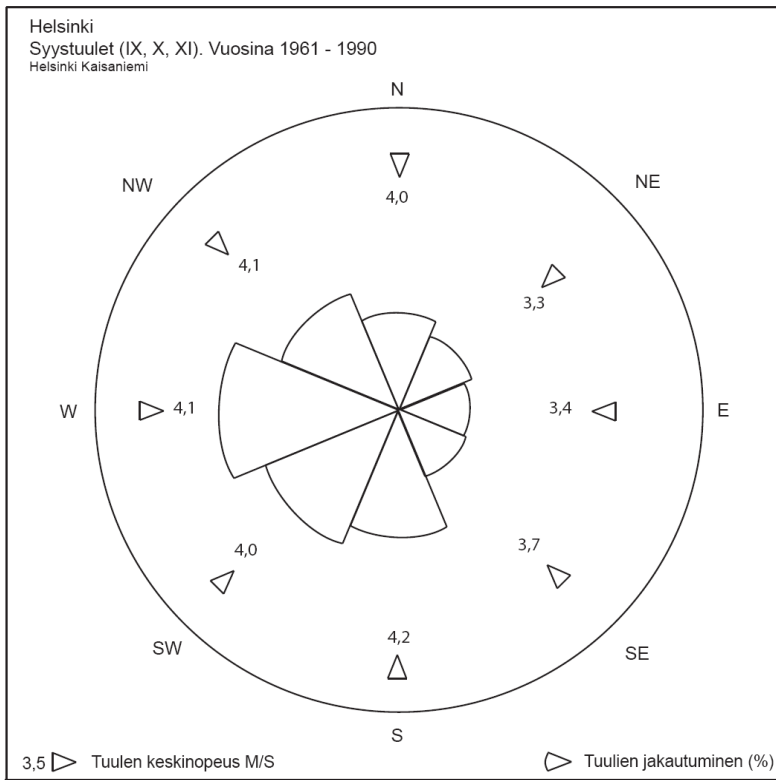
**Kuva 10.** Tuulen keskinopeus ja jakautuminen keväällä Helsingissä 1961 – 1990.

Kesä



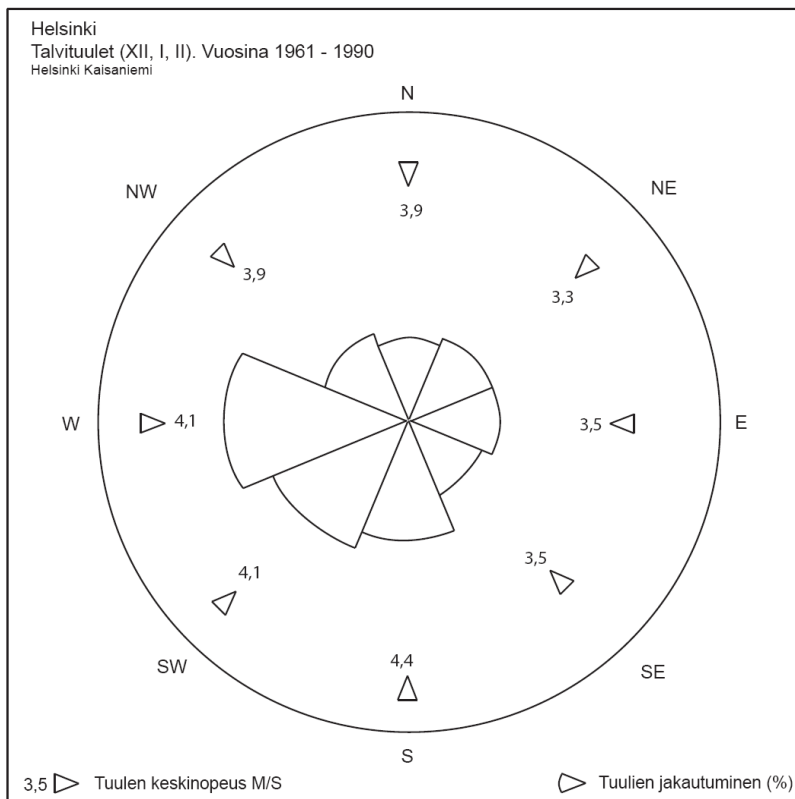
**Kuva 11.** Tuulen keskinopeus ja jakautuminen kesällä Helsingissä 1961 – 1990.

Syksy



**Kuva 12.** Tuulen keskinopeus ja jakautuminen syksyllä Helsingissä 1961 – 1990.

Talvi



**Kuva 13.** Tuulen keskinopeus ja jakautuminen talvella Helsingissä 1961 – 1990.



### 7.3 Kalasataman alueen mikroilmasto

Vallitsevia etelä- ja lounaistuulia vastaan alueen eteläinen puolisko on suojaton. Pihojen, leikkikenttien, kevyenliikenteenväylien ja linja-autopysäkkien viihtyisyyden kannalta Kalasataman eteläisellä osalla on tärkeintä suojautuminen eteläisiä, lounaisia ja kaakkoistuulia vastaan. Suunnittelualueen länsipuolella on tiivistä kerrostalorakennetta, joka ”sokkeloisuutensa” ansiosta on mikroilmastollisesti hyvä ja suojaa Kalasatamaa länsituulilta. Yleiskaava-alueen pohjoinen puolisko on avoin kylmille pohjoistuulille sekä varsinkin keväisin puhaltaville itätuulille. Energian säästämiseksi rakennusten julkisivuja tulisi suojata erityisesti pohjoisesta kohdistuvilta viimoilta.

Kaupunginosan mikroilmastoa muokkaavat vesialueet ja tulevaisuudessa rakennettavat suuret rakennusmassat, joiden ympärillä esiintyy voimakkaita tuulikanavia sekä ylös- ja alaspäin suuntautuvia turbulensseja. Myös avoimet katutilat ja viheralueet sekä suuret paikoitusalueet 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.

Harvahkoilla lehtipuukujilla ei mikroilmaston kannalta ole paljoa vaikutusta.

### 7.4 Rakennettujen alueiden mikroilmaston laadun kriteerit

Ihmisen kokemaa 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 laatuksikriteerit, jotka on useiden tutkimusten perusteella sovellettu Skandinavian ilmasto-olosuhteisiin (taulukko 2). (Daniels, Glaumann & Westerberg 1988)

Useilla tuulensuunnilla vapaan ilmavirtauksen keskinopeus Kalasatamassa 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.

**Taulukko 2.** Ulkoalueiden tuulisuuskriteerit (Glaumann & Westerberg 1988, suom. Kimmo Kuismannen)

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

## 7.5 Ilmastonmuutos ja sen vaikutus Kalasatamassa

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

- lämpötilat tulevat nousemaan
- tuulisuus ja myrskyt lisääntyvät
- vesisateet lisääntyvät
- lumimäärät vähenevät, mutta lumimyrskyt voivat olla ankaria
- meri on jäässä vain lyhyen ajan; aallokko lisääntyy.

Lämpötilan nousu tulee vähentämään kylmyydestä johtuvaa lämmönkulutusta, mutta kasvava tuulisuus toisaalta lisää rakennusten jäähtymistä. Koska Kalasataman alueella tuulen jäähdyttävä voima on merkittävä, ei energiansäästötoimenpiteistä voida tinkiä.

Maksimituulennopeuksien kasvaminen 15 prosentilla rasittaa sekä rakennuksia että vaikeuttaa kävelyä ja pyöräilyä. Rantalaitureilla ja silloilla kulkeminen tulee entistä vaikeammaksi ja toisinaan mahdollisesti vaaralliseksi. Kattorakenteisiin, julkisivuihin, katoksiin ja parvekelasiin tulee kohdistumaan nykyistä suurempia tuulikuormia.

Sateiden lisääntyminen on huomioitava sadevesiviemäreiden mitoituksessa.

Meren pysyminen sulana lähes läpi vuoden, yhdessä tuulen lisääntymisen kanssa, pidentää kosteaa tuulista välivuodenaikaa. Kosteuden lisääntyminen nollalämpötilan molemmiin puolin lisää liukkautta. Koska meri ei jäädy, kohdistuu rantoihin myös talvella terävä aallokko, joka rantaa tullessaan heittää pisaroita rantakaduille ja niiden varrella olevien rakennusten julkisivuihin.

## 7.6 Tehtyjen suunnitelmien analyysi

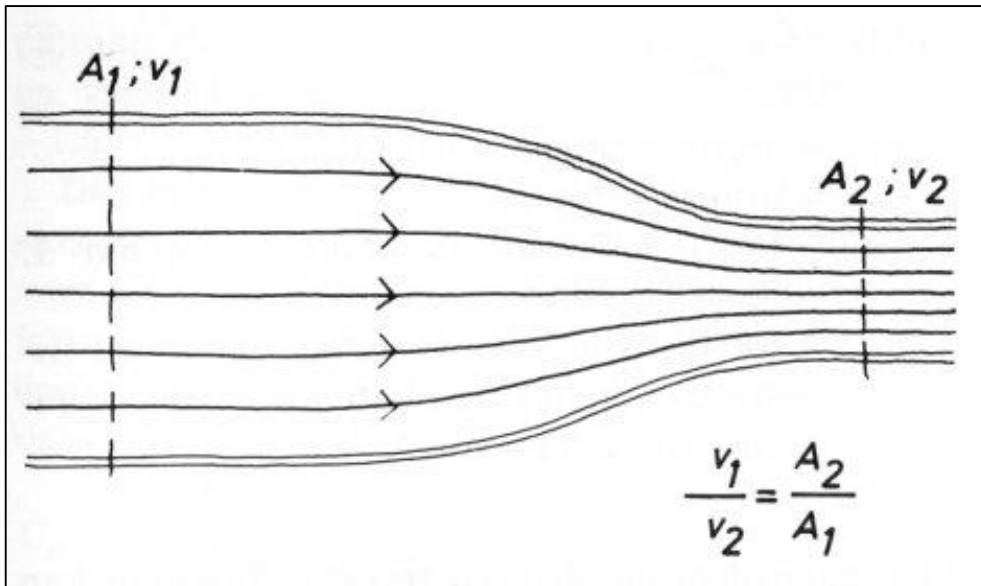
### 7.6.1 Osayleiskaavaluonnos

Suunniteltu uusi rakentaminen sijoittuu Kruunuvuorenselän ja Vanhankaupunginlahden väliin saaristoiseen vyöhykkeeseen, johon tuulet pääsevät suhteellisen voimakkaina etelästä ja koillisesta. Osayleiskaava-alueen eteläisen puoliskon rakennusmassat halkaisee lounaaseen merelle avautuva ja meren suuntaan levenevä avoin alue, jolla lounais- ja länsituulen nopeus pääsee nousemaan huomattavan korkeaksi. Rakennusten nurkkiin, korkeiden rakennusten suojanpuolelle ja katukanjoneihin syntyy pyörteisiä ilmavirtauksia.

Kaakkois- ja itätuulella ilmavirtaukset liikkuvat itä-länsi suuntaisilla kaduilla, mutta lähellä sijaitsevat saaret heikentävät jonkin verran tuulen voimakkuutta.

Kantakaupunki suojaa Kalasatamaa suorilta länsi ja pohjoistuulilta, mutta ympäristöään korkeammat rakennukset ohjaavat tällöinkin voimakkaita ilmavirtauksia alas katutasoon aiheuttaen paikallisia ongelmakohtia. Osayleiskaavan pohjoinen puolisko on altis Vanhankaupunginlahdelta tuleville pohjois- ja koillistuulille, jotka ovat kylmiä kaikkina vuodenaikoina.

Illustraatioissa esitettyjen umpikortteleiden pihojen mikroilmasto on hyvä, mutta rakennusristöihin jätetyt aukot aiheuttavat paikallisesti voimakkaita ilmavirtauksia. (Kuva 15)



**Kuva 14.** Bernollin yhtälö kuvaa sitä, miten suppenevassa tilassa tuulen nopeus kasvaa (Glaumann & Westerberg 1988).

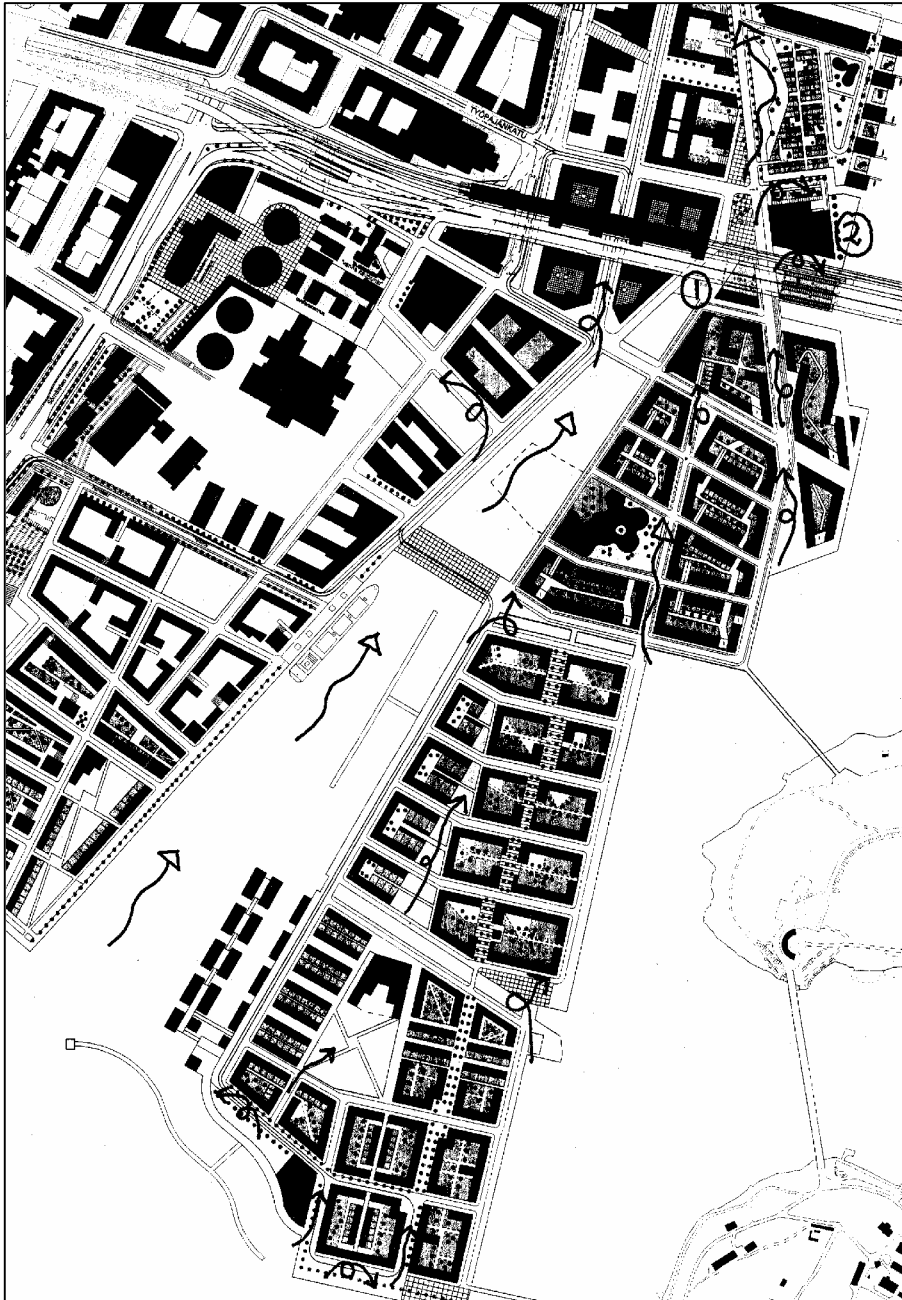
### 7.6.2 Kalasataman alueen korttelisuunnitelmat

Aloituskortteli ”Paja” sijaitsee Kulosaarensillan pohjoispuolella, suhteellisen hyvin suojassa etelätuulilta, mutta avoimena pohjoiseen. Sillan eteläpuolella oleva avoin alue ohjaa voimakkaan etelätuulen kohti korttelia. Asuntokortteli on kuitenkin suojauksilla helposti hoidettavissa, mutta katualue jäänee tuuliseksi. Pohjoistuulilta aluetta suojaa pitkä rakennusmassa, mutta rakennusrivissä olevasta aukosta ilmavirtaus pääsee katutilaan. Korttelin itälaidassa olevat korkeat pistetalot yhdessä ”Kraanan” kanssa ohjaavat voimakkaita ilmavirtauksia katutasolle.

Arkkitehtonisesti monimuotoinen ”Kraana” yhdessä Kulosaarensillan kanssa on vaikeasti hallittava kokonaisuus mikroilmastollisesti (sillan kohta on suunnitelmista vaikeasti luettavissa, mikä tekee mikroilmastoanalyysin tässä vaiheessa näiltä osin epävarmaksi). ”Kraanan” rakennusmassa ohjaa katutasoon, mahdollisille kattotasanteille ja naapurikortteliin asti ilmavirtauksia, jotka paikoin ovat vaarallisen voimakkaita.

Kortteli ”Telakka” aukeaa etelään, altistaen sisäpihat vallitseville tuulille ja aallokon lennättämille vesipisaraille. Suunnitellut pitkät julkisivut ja siltamaiset rakenteet osaltaan vielä lisäävät tuulen voimakkuutta, ellei tuulienergiaa sidota riittävästi. (Kuva 16)

Esitetyt harvat puurivit lisäävät kohdallaan hieman katutason tuulisuutta erityisesti kesäisin ja alkusyksystä. Suunnitelmien mukaiset matala-tiivis korttelit ovat mikroilmastoltaan positiivisia.



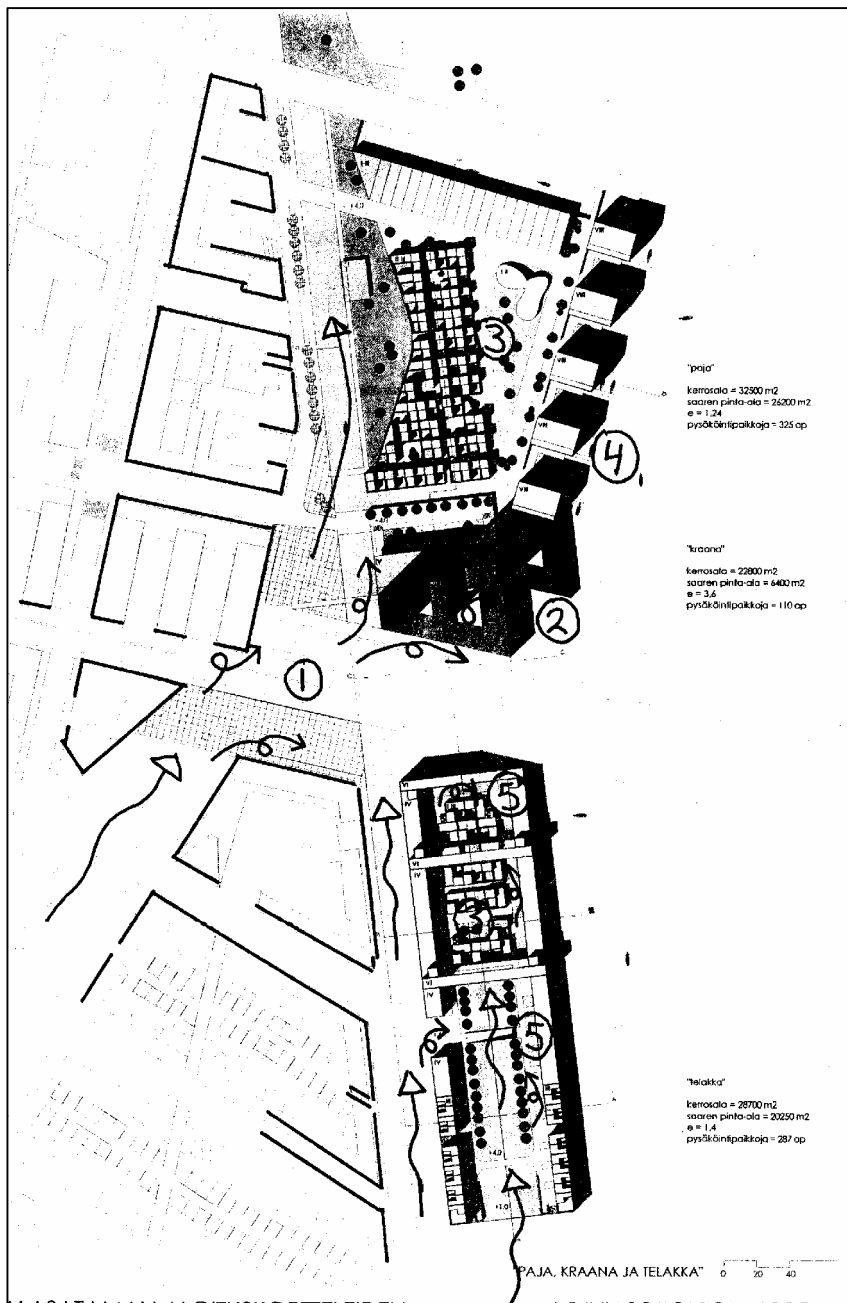
Voimakas tuuli



Pyörteinen tuuli

- 1) Merelle aukeava kapeneva laaja suppilomainen aukea kiihdyttää tuulennopeuden huomattavasti perustuulennopeutta suuremmaksi. Sillan alla tuuli voi olla vaarallisen voimakas.
- 2) Korkea rakennus ja siinä olevat solat aiheuttavat vaikeasti ennakoitavia ilmavirtauksia ja turbulensseja, jotka voivat edellyttää erityistoimia jalankulun turvallisuuden varmistamiseksi.

**Kuva 15.** Kalasataman osayleiskaavan eteläisen puoliskon tuulisuus lounaistuulella. Etelätuulella tilanne on lähes samanlainen.



 Voimakas tuuli

 Pyörteinen tuuli

- 1) Tuuli voi olla vaarallisen voimakas
- 2) Vaikeasti ennakoitavia ilmavirtauksia ja turbulensseja
- 3) Suhteellisen matalaa ja pienimittakaavaista rakentamista, millä alueella ilmavirtaukset pysyvät kattojen yläpuolella.
- 4) Korkeat rakennusmassat aiheuttavat voimakkaita alaspäin suuntautuvia ilmavirtauksia ja pyörteisyyttä katutasoon.
- 5) Pitkät ja korkeat seinämät tuulelle avoimessa tilassa aiheuttavat julkisivun suuntaisen pyörretuulen.

**Kuva 16.** Kalasataman aloituskorttelien tuulisuus etelätuulella. Lounaistuulella tilanne on lähes samanlainen.

## 7.7 Suunnitteluohjeita

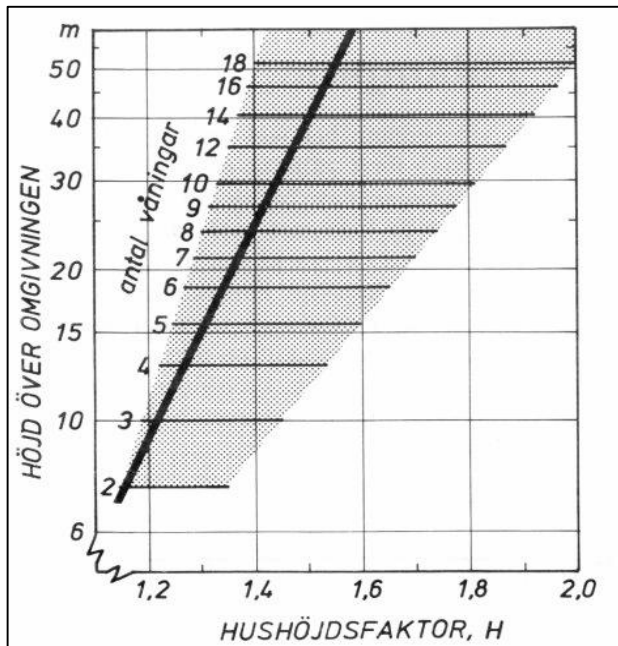
### 7.7.1 Aluetaso

Kalasadaman osayleiskaavan rakennuskortteleiden päälinjat määräytyvät rannanmuotojen ja tehtyjen täyttöjen mukaan, eikä niiden muuttaminen juurikaan ole mahdollista. Perusmuodosta johtuen alueelle kohdistuu useita tuulikanavia, jotka toisaalta huonontavat mikroilmastoa, mutta toisaalta tuovat merellisiä maisemia asutuksen keskelle.

Aluetasolla ei mikroilmastolle tai ilmaston muutoksen tuomille ongelmille voida tässä tapauksessa tehdä paljoakaan. Katujen tuulisuutta voitaisiin jonkun verran vähentää kaavoittamalla Camillo Sitten oppien mukaisesti vaihteleva katuverkosto, kuten Etu-Töölössä ja osittain Kattajanokalla on tehty.

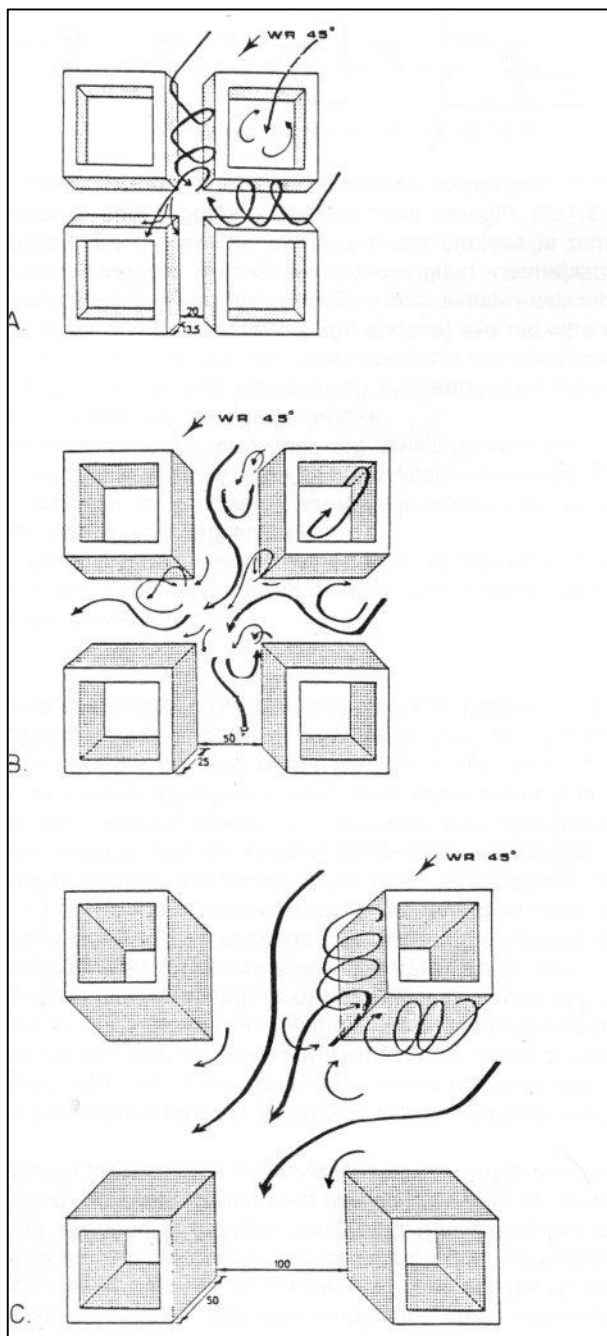
### 7.7.2 Korttelitaso

Tuulisuutta ajatellen katualueet, rakennukset ja pihat muodostavat yhdessä toimivan kokonaisuuden. Sulkemalla kortteleita ja rakentamalla suhteellisen tiheää tasakorkeaa struktuuria voidaan ilmapirtauksia vaimentaa huomattavasti varsinkin pihoilla.



**Kuva 17.** 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 & Westerberg 1988).

Pitkät suorat kadut ovat helposti tuulisia, ja viisto tuuli aiheuttaa tällaisessa katukanjonissa pitkän pyörteisen virtauksen (kuva 18). 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 (kuva 18). (Alberts 1982, Børve 1987, Evans 1991)



**Kuva 18.** Albertsin pienoismallitestaukset tuulen käyttäytymisestä umpikorttelirakenteessa. (Alberts 1982)

Tuulen vaimentamiseksi pihat jaotellaan tarvittaessa piharakennuksin, aidoin ja istutuksin.

Autopaikat tulisi sijoittaa tontin varjoisalle osalle tai kadunvarsipaikoille. Parkkialueilla ja kaduilla voidaan ilman laatua parantaa kierrättämällä ilmaa termisesti puuston lävitse (kuva 19, kohdat IL ja PU).

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 (ei esim. arsenikilla tai raskasmetalleilla painekyllästettyä puuta)

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 parantavat osaltaan mikroilmastoa jalankulkijan tasossa.

### 7.7.3 Rakennukset kaavoituksessa

Istutuksilla, piharakennuksilla ja julkisivujen muotoilulla voidaan tuuliolosuhteita parantaa suurtenkin talojen ympärillä (Børve 1987):

- parvekkeet ja luhtikäytävät vähentävät alas suuntautuvia ilmavirtauksia, samoin rakennuksen viereiset kasvit, köynnössäleiköt, katokset yms.
- suositeltava kattukulma tuulen kannalta on 15°C-21°C
- aerodynaamisesti oikein muotoiltu räystääs vähentää turbulensseja (liite 1).

Räystäiden, kattojen, julkisivujen ja lasitusten lujuutta tuulikuormia vastaan on parannettava nykyisiin normeihin ja käytäntöihin verrattuna arviolta 20 %.

#### Rakennuksen vyöhykkeisyys

Rakennukset olisi suunniteltava muodostuvan vyöhykkeistä rakennuspaikan tuuli- ja valaisuolosuhteiden mukaisesti. Pohjoiseen ja tuulisiin ilmansuuntiin päin tehdään suojavyöhykkeet kylmistä taloustiloista, luhtikäytävistä, säleikoista jne.

Rakennuksen vyöhykkeet

- I. Tuulensuojaksi kylmät varastot ja katokset; erityisesti nurkat suojattava tuulelta.
- II. Makuuhuoneet muodostavat viileän vyöhykkeen sisälle (+ 18°C).
- III. Lämpöä tuottavat tilat, kuten keittiöt, saunat ja kylpyhuoneet, keskelle taloa (+ 22°C).
- IV. Oleskelutilat auringon puolelle (päivällä + 22°C, yöllä + 18°C).
- V. Suojaisia ulko-oleskelu ja sisäänkäynnit aurinkoiselle puolelle.

#### Passiivisen aurinkotalon periaate

Sekä passiivisesti että aktiivisesti aurinkoenergiaa käyttävien talojen toteuttaminen on Helsingissä jo nykytekniikalla realistista. Rakennukset tulisi suunnitella ainakin passiivisen aurinkotalon periaatteilla:

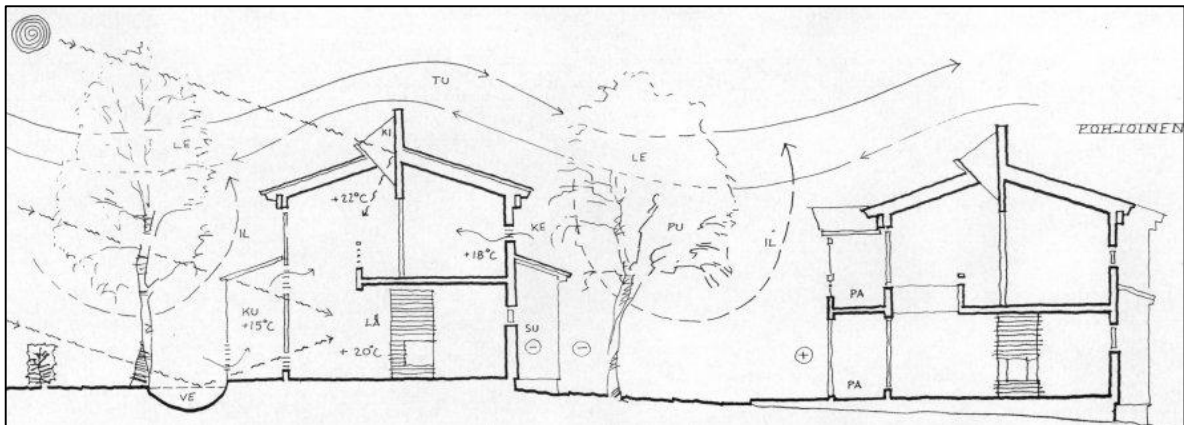
- suuntaus kaakon ja lounaan välille
- suljettu sivu luoteen ja koillisen välille
- auringonheijastajat, kattoikkunat tai pergolat keräävät matalalla paistavan syksy-, talvi- ja kevätauringon säteitä ja heijastavat valoa talon sisätiloihin (varjostaminen kesällä)
- tumma puujulkisivu oleskelupaikalla kerää lämpöä
- lehtipuut varjostavat kesällä, mutta eivät talvella.



Rakennuksen oikealla suuntauksella, hyvällä eristyksellä ja tiivistyksellä sekä uusilla ikkuna- ja ovirakenteilla voidaan päästä lähes puoleen nykyisestä energian kulutuksesta normaalien kustannusten puitteissa.

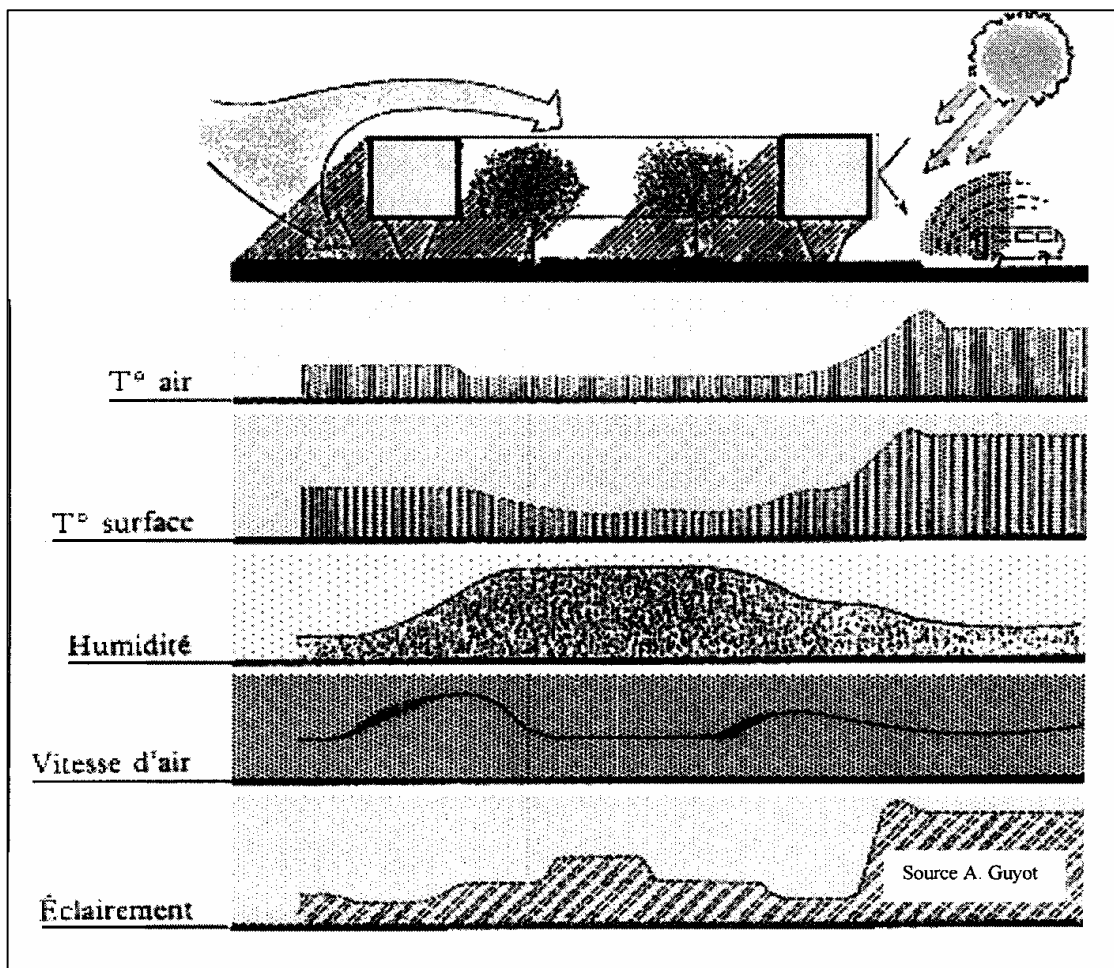
### Sisä- ja ulkotilojen yhteistoiminta

Rakennus on monilla tavoin yhteydessä ulkona tapahtuviin luonnonprosesseihin. Varsinkin kesällä rakennus voi avautua ympäristöönsä.



**Kuva 19.** Sisä- ja ulkotilojen yhteistoiminta.

IL	VARJO JA AURINKO SAAVAT AIKAAN PAINOVOIMAISEN ILMAVIRTAUKSEN PIHALLA
KE	VIILEÄ KORVAUSILMA OTETAAN KESÄLLÄ VARJON PUOLELTA
KI	KATTOIKKUNASTA SAADAAN VALOA TALVELLA; LÄPITUULETUS KESÄLLÄ
KU	LÄMMITTÄMÄTÖN KUISTI, JOSTA OTETAAN KORVAUSILMAA LÄMMITYSKAUDELLA
LE	LEHTIPUUT SUOJAAVAT KESÄLLÄ
LÄ	LÄMPÖÄTUOTTAVAT TOIMINNAT SIOITETAAN RAKENNUKSEN KESKELLE LÄMPIMÄKSI SYDÄMEKSI (MUURI VOI VARASTOIDA LÄMPÖÄ)
PA	LASITETTU PARVEKE TOIMII SYKSYLLÄ, TALVELLA JA KEVÄÄLLÄ KORVAUSILMAN ESILÄMMITTIMENÄ
PU	LEHDET JA NEULASET PUHDISTAVAT ILMAA
SU	LÄMMITTÄMÄTTÖMIEN TILOJEN MUODOSTAMA SUOJAVYÖHYKE
TU	PIENIMITTAKAAVAINEN JA TIIVIS RAKENTAMINEN PITÄÄ TUULET KATTOJEN YLÄPUOLELLA
VE	VESIPINTA HEIJASTAA VALOA; LAMMIKKO TOIMII TALVELLA LUMENKERÄYSPAIKKANA



**Kuva 20.** Monimuotoiset rakennukset vaikuttavat rakennuspaikan ilman lämpötilaan, maanpinnan lämpötilaan, kosteuteen, ilmavirran nopeuteen ja valaisun voimakkuuteen (Ecole)

#### 7.7.4 Rantarakentamisen vaihtoehtoiset ratkaisut

Periaatteessa rakennetuilla alueilla rantarakenteet voidaan tehdä kolmella eri tavalla (ks. myös Kahma & Johansson):

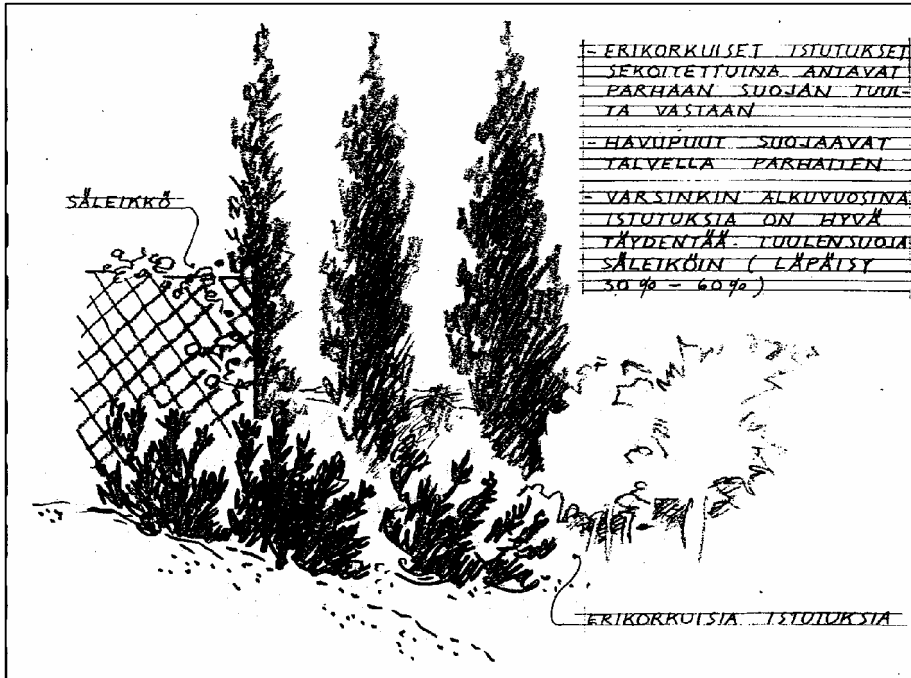
- 1) Luiskaamalla.
- 2) Pystysuoralla seinämällä.
- 3) Kelluvalla tai kiinteällä laiturirakenteella.

Kalasadaman olosuhteissa todennäköisin ratkaisu on numero 2), pystysuoran seinämän käyttäminen. Aaltojen kohdatessa rantarakenteen pystymuuri aiheuttaa korkean aallon ja useiden metrien korkuiset roiskeet, jotka tuuli puolestaan lennättää rantakaduille ja niiden varrella olevien rakennusten seiniin. Äärimmäisissä tilanteissa aallokko ja tuuli voivat yhdessä lyödä vesipatjan rantarakennuksiin saakka. Tällainen vesipatja voi huuhtoa rantakadulla kulkijan mereen ja vahingoittaa rakenteita ja rakennuksia.

Maailmanlaajuisesti merenpinta on kohoamassa, mutta Helsingissä tämä osittain kompensoituu maanpinnan kohoamisella (ks. myös luku 6, merentutkimuslaitoksen raportti, Kahma & Johansson). Merenpinnan mahdollinen kohoaminen yhdessä tuulen voimistumisen kanssa tulee lisäämään aallokon vaikutusta rantarakenteisiin ja rannikolla sijaitseviin taloihin. Rannalla sijaitsevien rakennusten julkisivut on suojattava roiskevedeltä, ne tulee tehdä erityisen hyvin kosteutta ja vettä kestävästä materiaaleista, rakenteiden kuivuminen on taattava ja veden virtaaminen pois pihoilta on taattava.

### 7.7.5 Vihersuunnittelu

Monissa kohdissa Kalasataman kaupunginosassa oikein tehty vihersuunnittelu on lähes ainoa keino aktiivisesti parantaa mikroilmastoa. Tehokkaimmat tuulensuojat syntyvät kolmitasoisista istutuksista (kuva 21).



Kuva 21. Istutukset.

Aluetasolla tuulisuudeltaan ongelmallinen avoin kiila, joka suuntautuu lounaasta kohti ”Kraanaa”, on hallittavissa voimakkaiden oikein muotoiltujen istutusmassojen avulla.

Kaikkien kolmen aloituskorttelin pihojen tuulisuutta voidaan vähentää istutuksilla. ”Telakka” korttelissa tämä kuitenkin on vaikeaa, jollei samalla haluta menettää merimaisemaa, ja siksi siellä jouduttaneen miettimään rantavallin muotoilua, pihan maisema-arkkitehtuuria ja julkisivujen detaljointia keinoina estää kiusallisen voimakkaat ilmavirtaukset.

## 7.8 Ehdotukset

### 7.8.1 Tuulitestauksen käyttäminen

Kalasataman alueen tuulennopeudet ylittävät useissa paikoissa kynnyksen, jonka jälkeen tutkimusten mukaan olisi kaava- ja rakennussuunnittelua tehtäessä suoritettava mikroilmastoanalyysit ja käytettävä tuulitestausta (taulukko 3).

Tässä raportissa on tehty suuntaa antava mikroilmastoanalyysi ja laadittu kokemukseen perustuvat suunnitteluohjeet. Mikäli halutaan suurempi varmuus tulevan kaupunginosan mikroilmaston hyvästä laadusta, olisi tehtävä osayleiskaavaluonnoksen illustraation tai myöhemmän suunnitteluvaiheen mukainen pienoismalli, joka testataan tuulitunnelissa. Tällöin testattavan alueen laajuus ja mallin mittakaava ovat tärkeitä seikkoja. Sen lisäksi tulisi ottaa ympäröivä alue huomioon. Testauksen perusteella voidaan antaa tarkempia suosituksia kaavan kehittämi-

seksi. Myös kortteleiden ”Kraana” ja ”Telakka” tuulitestausta rakennussuunnittelun yhteydessä on syytä harkita.

**Taulukko 3.** Tuulen keskinopeuden luonnehdinta ja tarvittavat suunnittelutoimenpiteet (Glaumann & Westerberg 1988, suom. Kimmo Kuismanen)

Keskinopeus 2 m korkeudessa m/s	Tuulisuuden luonnehdinta	Suunnittelutoimenpiteitä
yli 5,5	Hyvin tuulinen	Rakennukset ja alueet vaativat suojaamista. Tuulitunnetestausta voidaan edellyttää.
4,0 - 5,5	Tuulinen	Oleskelu- ja kevyen liikenteen väylät sijoitettava suojaan ja varustettava tuulen suojauksella
2,5 - 4,0	Hieman tuulinen	Pihat ja parvekkeet tarvitsevat suojausta
alle 2,5	Suojaisa	Tuuli ei ole ongelma, ja suojausta tarvitaan vain joissain erikoistapauksissa

### 7.8.2 Osayleiskaavaluonnoksen kehittäminen

Osayleiskaavaluonnoksen ja jatkotyössä asemakaavojen kehittämisessä suositellaan käytettäväksi kohdassa 7.7 esitettyjä ohjeita sekä mahdollisen tuulitestauksen tuomia lisätietoja.

### 7.8.3 Vihreäkatu

Useissa tutkimuksissa on tullut esiin mahdollisuus parantaa katuilman laatua uudella termillä ilmaston ja vihersuunnittelun yhdistävällä katumiljööllä. Tällaisen kehityshankkeen toteuttamista Kalasataman kaupunginosaan ehdotetaan.

## 8. Osayleiskaava-alueuunnoksen kasvihuonekaasupäästöt

Kalasadaman osayleiskaava-alueuunnoksen toteuttamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu yleispiirteisesti alueen valmistuttua vuoden 2025 tilanteessa rakennusten energiankäytön ja sen edellyttämän energiantuotannon sekä liikenteen osalta. Arviointi perustuu osayleiskaava-aineistoon ja Helsingin yleiskaavan 2002 ilmastovaikutusten arvioinnissa käytettyihin lähtöoletuksiin (Harmaajärvi 2002).

### 8.1 Rakennukset

Osayleiskaavan kokonaismitoitus on:

Asuminen	600 000 k-m <sup>2</sup>
Toimitilat	485 000 k-m <sup>2</sup>
Alueelliset palvelut	30 000 k-m <sup>2</sup>
Seudulliset palvelut	30 000 k-m <sup>2</sup>
<b>Yhteensä</b>	<b>1 145 000 k-m<sup>2</sup></b>

Rakennusten lämmitykseen arvioidaan kuluvan energiaa vuoden 2025 tilanteessa asuinrakennuksissa 132 kWh kerrosneliometriä kohden ja toimitiloissa 198 kWh kerrosneliometriä kohden. Sähkön ominaiskulutuksen arvioidaan olevan asuinrakennuksissa 52 kWh kerrosneliometriä kohden ja toimitiloissa keskimäärin 163 kWh kerrosneliometriä kohden. Energiantuotannon kasvihuonekaasujen ominaispäästön arvioidaan olevan 260 CO<sub>2</sub>-ekv. g/kWh.

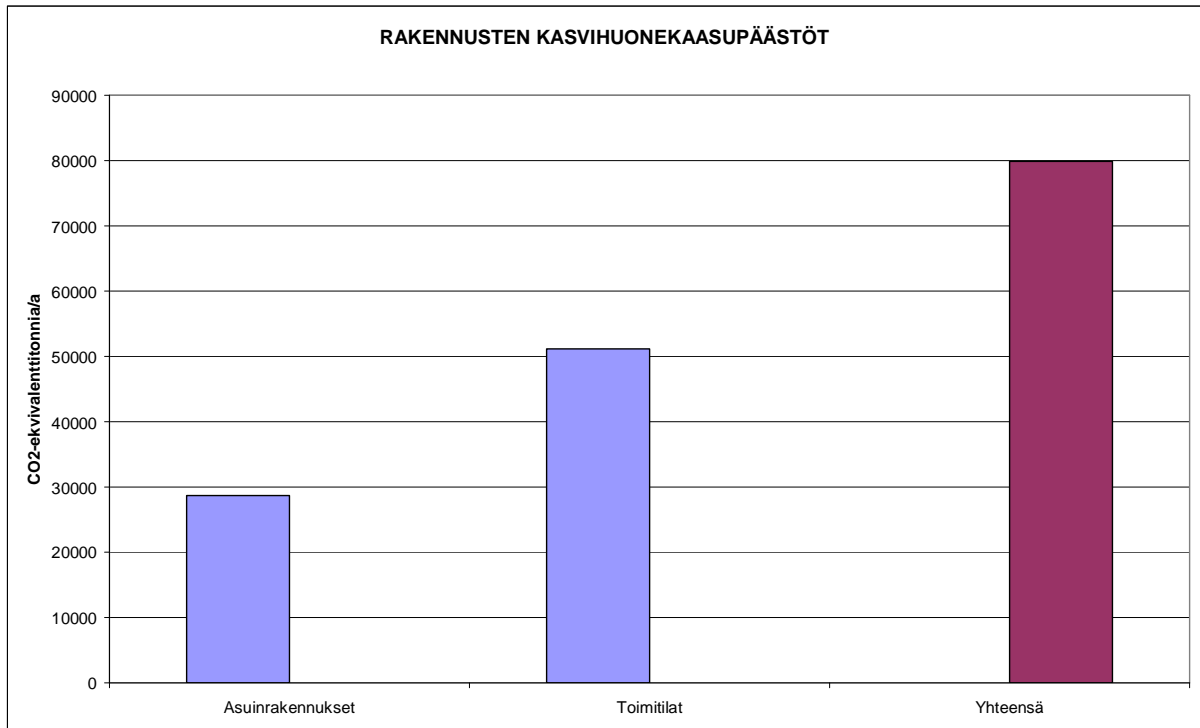
Kalasadaman rakennusten energiankäytöstä arvioidaan aiheutuvan kasvihuonekaasupäästöjä kaikkiaan 79 900 CO<sub>2</sub>-ekv.tonnia vuodessa. Asuinrakennusten osuus päästöistä on 28 700 CO<sub>2</sub>-ekv.tonnia ja toimitilojen osuus 51 200 CO<sub>2</sub>-ekv.tonnia (kuva 22).

Kalasadaman kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 10 % Helsingin yleiskaavan 2002 uusien rakennusten energiankulutuksesta aiheutuvista päästöistä vuoden 2025 tilanteessa (Harmaajärvi 2002).

Kalasadaman arvioidut kasvihuonekaasupäästöt ovat rakennusten osalta 5,3 tonnia/asukas.

Pääkaupunkiseudun lämmityksestä ja sähkönkulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2003 Uudenmaan liiton ja YTV:n tekemän arvion mukaan 6 573 900 tonnia (Huuska 2006). Aasukasta kohden laskettuna päästöt olivat 6,7 tonnia/asukas. Uudenmaan lämmityksestä ja sähkönkulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2003 saman arvion mukaan 8 636 000 tonnia, mikä vastaa 6,5 tonnia/asukas.

Asukasta kohden lasketut päästöt riippuvat mm. rakennuskannan ominaisuuksista, asuinrakennusten ja toimitilojen keskinäisestä suhteesta ja asumisväljyydestä sekä energiantuotantotavasta.



**Kuva 22.** Kalasataman rakennusten energiankäytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt.

## 8.2 Liikenne

Kalasataman synnyttämän ulkoisen liikenteen arvioidaan olevan vuonna 2025 32 000 autoa vuorokaudessa eli 36 000 henkilöautoyksikköä (raskaan liikenteen osuus 7 %). Kalasataman metroaseman päivittäinen matkustajamäärä on vuonna 2007 noin 6 000 matkustajaa ja sen ennustetaan kasvavan noin 25 000 matkustajaan vuonna 2025. Osayleiskaava-alueen läpi metroaseman vieritse suunnitellaan kulkeväksi uusi raitiolinja. Kävely ja pyöräily perusliikennemuotona ovat tärkeässä asemassa aluetta suunniteltaessa. Alueelle rakennetaan myös vesatamia.

Alueelta alkavien ja alueelle päättyvien matkojen arkivuorokauden suoritteet ovat seuraavat (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, liikennesuunnitteluosasto):

	2003	2025	Muutos	
Henkilöauto ajon.km	260986	477465	216479	83 %
Pakettiauto ajon.km	19455	21898	2443	13 %
Kuorma-auto ajon.km	67559	43558	-24001	-36 %
Joukkoliikenne matkustajakm	225540	379340	153800	68 %

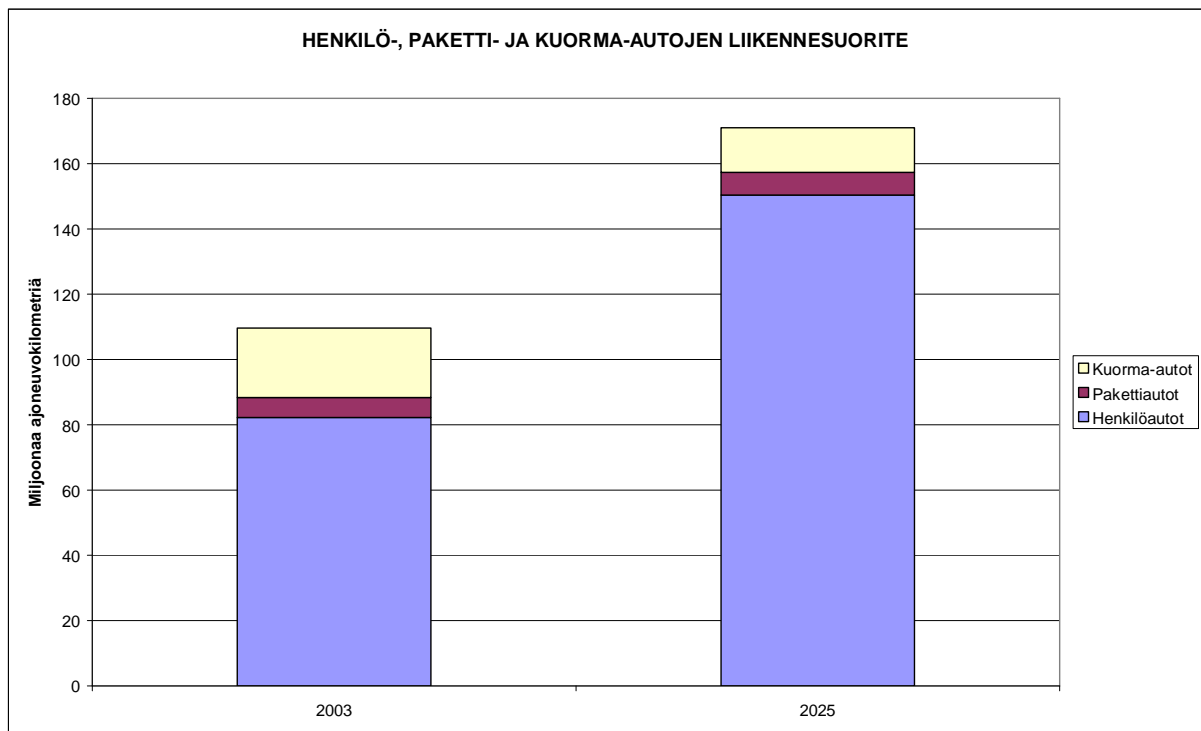
Arkivuorokauden suoritteet on muutettu vuotuisiksi suoritteiksi kertomalla ne luvulla 315 (Harmaajärvi & Huhdanmäki 1999). Henkilö- paketti- ja kuorma-autojen vuotuiset suoritteet ovat seuraavat (ajoneuvokilometriä):

	2003	2025	Muutos	
	Milj. ajon.km	Milj. ajon.km	Milj. ajon.km	%
Henkilöautot	82	150	68	83
Pakettiautot	6	7	1	13
Kuorma-autot	21	14	-8	-36
Yhteensä	110	171	61	56

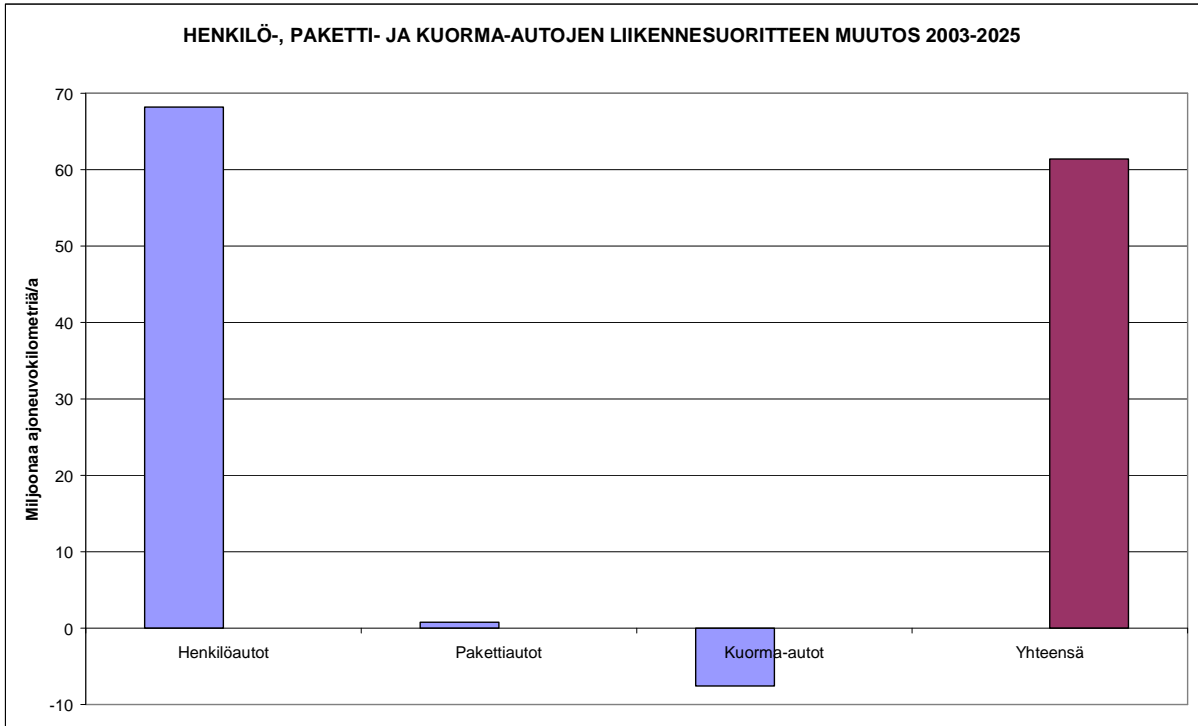
Joukkoliikenteen matkustajakilometrisuoritteiden jakautuminen eri joukkoliikennemuotoihin on arvioitu HKL:n nykyisen jakautuman ja Helsingin yleiskaavan 2002 arvioiden perusteella (Harmaajärvi 2002). Suoritteiden lisäyksen arvioidaan kohdistuvan metroon ja raitiotieliikenteeseen. Vuotuiset suoritteet ovat seuraavat (matkustajakilometriä):

Joukkoliikenne	2003		Muutos		2000-2025
	Milj. matk.km	Milj. matk.km	2003-2025	Milj. matk.km	%
Bussi	28	28	0	0	0
Metro	33	73	40	124	
Raitio	10	18	8	80	
Yhteensä	71	119	48	68	

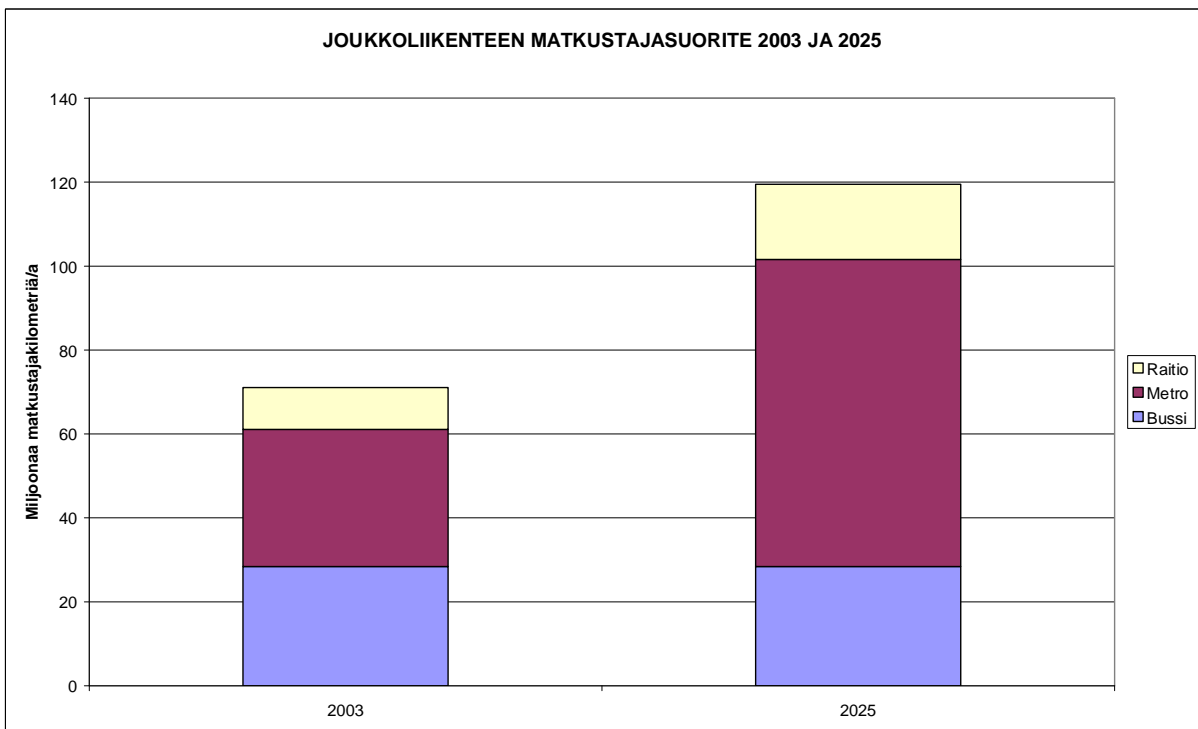
Kalasadaman vaikutusta liikenteeseen kuvataan suoritteiden muutoksena henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen osalta kuvissa 23 ja 24 ja joukkoliikenteen osalta kuvissa 25 ja 26.



**Kuva 23.** Kalasataman henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen liikennesuorite vuonna 2003 ja 2025.

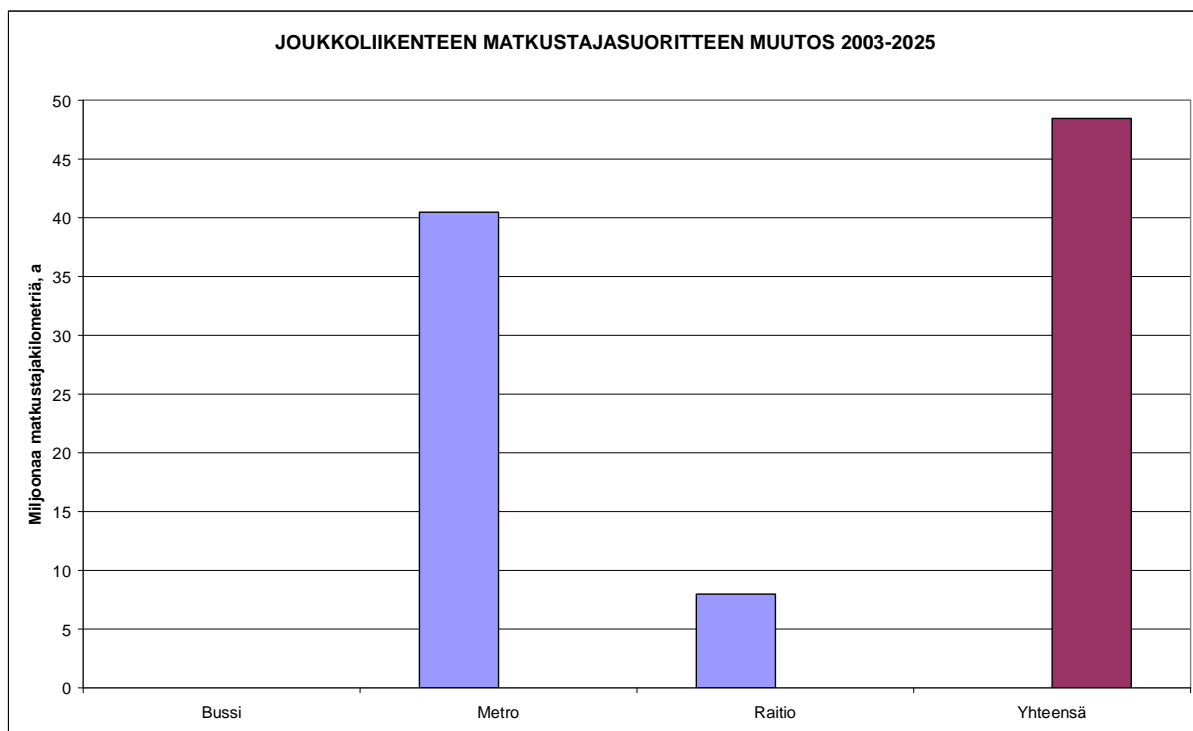


**Kuva 24.** Henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen suoritteen muutos, ajoneuvokilometriä vuodessa.



**Kuva 25.** Joukkoliikenteen suorite, matkustajakilometriä vuodessa.





**Kuva 26.** Joukkoliikenteen suoritteiden muutos, matkustajakilometriä vuodessa.

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa on käytetty seuraavia yksikköpäästöjä (CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnia):

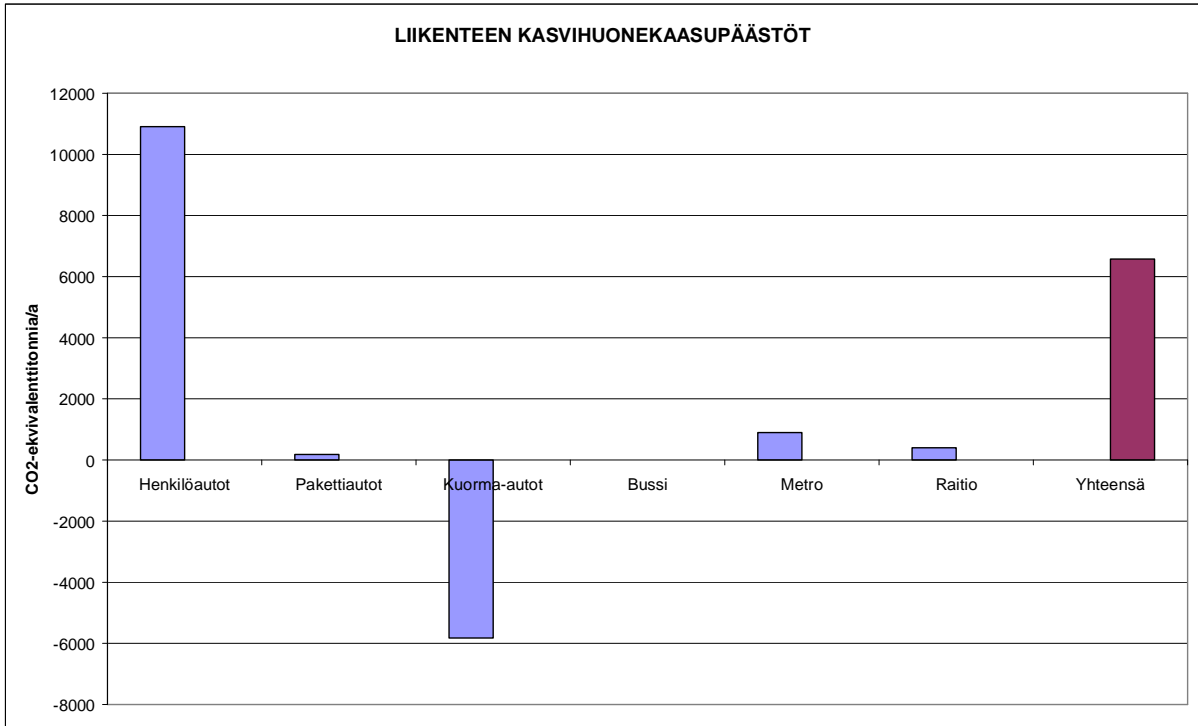
Henkilöauto	160 g/ajon.km
Pakettiauto	240 g/ajon.km
Kuorma-auto	770 g/ajon.km
Bussi	54 g/matkustajakm
Metro	22 g/matkustajakm
Raitio	51 g/matkustajakm

Yksikköpäästöt ovat henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen osalta noin 17 % pienemmät kuin vuoden 2000 tilanteessa ja joukkoliikenteen osalta noin 14 % pienemmät kuin vuoden 2005 tilanteessa.

Kalasadaman osayleiskaavan toteuttamisesta arvioidaan vuonna 2025 aiheutuvan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä kaikkiaan 6 600 CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnia vuosittain (kuva 27). Päästöjä aiheuttaa uutta asukasta kohden laskettuna 0,4 tonnia/asukas.

Kalasadaman liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 7 % Helsingin yleiskaavan 2002 arvioituista liikenteen päästöistä.

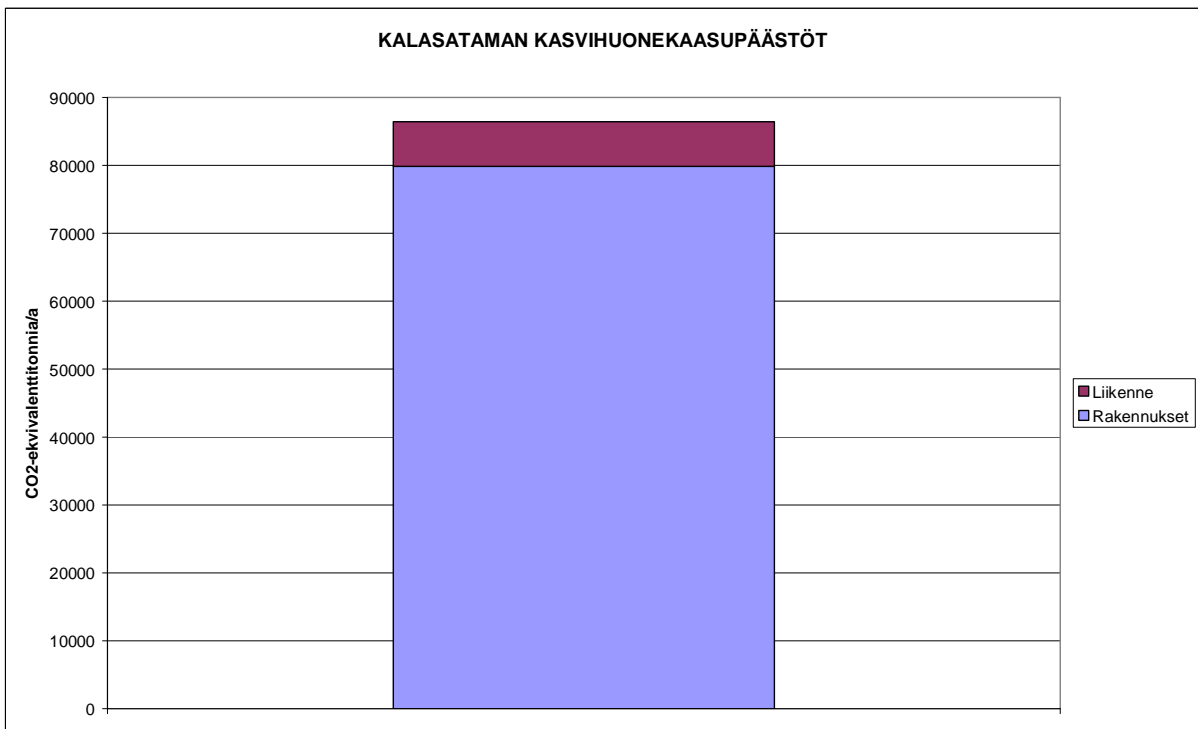
Uudenmaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2003 2 548 000 tonnia eli 1,9 tonnia/asukas ja pääkaupunkiseudun liikenteen päästöt 1 488 800 tonnia eli 1,5 tonnia/asukas (Huuska 2006).



**Kuva 27.** Kalasataman osayleiskaavan toteuttamisesta aiheutuvat liikenteen kasvihuonekaasupäästöt.

### 8.3 Kalasataman kasvihuonekaasupäästöt yhteensä

Kalasataman osayleiskaavan toteuttamisesta aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä vuonna 2025 kaikkiaan 86 500 CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnia (kuva 28). Rakennuksista aiheutuu päästöjä 79 900 tonnia ja liikenteestä 6 600 tonnia.



**Kuva 28.** Kalasataman toteuttamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2025.

## 9. Tulosten tarkastelu

### 9.1 Ilmastonmuutos Helsingissä

Ilmastomalliajojen perusteella arvioidut muutokset ekstreemeissä ovat suhteellisen suuret erityisesti minimilämpötilan nousun, sulamis-jäätymissykliä vähentymisen, maksimituulennopeuden kasvun, vuoden sademäärän kasvun, 5 vuorokauden sademaksimin kasvun, vuoden lumisateen vesiaron pienenemisen, lumipeitteen maksimivesiarvon pienenemisen, lumipeitteen kestoajan lyhenemisen ja meren jääpeitteen kestoajan lyhenemisen osalta.

Arvioiduilla muutoksilla on merkitystä aluesuunnittelussa kaavoituksesta toteutukseen. Toteutussuunnittelun mitoitusperusteita jouduttaneen osin uudistamaan nykyisestä.

### 9.2 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Tehdyn arvion mukaan Kalasataman osayleiskaavaluonnoksen ratkaisut voivat yleisesti ottaen vastata ilmastonmuutoksen aiheuttamia tulevia muutoksia olosuhteissa. Erityisen haastavia ovat tuuliolosuhteiden muutokset. Osayleiskaavaa kehitettäessä ja asemakaavoituksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota tuulisuuden lisääntymiseen. Raportissa on esitetty suosituksia alueen jatkosuunnitteluun.

### 9.3 Ilmastonmuutoksen hillitseminen

Kalasataman osayleiskaavasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu rakennusten ja liikenteen osalta. Rakennusten ominaisenergiankulutuksen on arvioitu olevan samanlaista kuin keskimäärin Helsingissä. Lämmön ominaiskulutuksen arvioidaan yleensä laskevan energiatehokkuuden kasvaessa, kun taas sähkön ominaiskulutuksen arvioidaan kasvavan ilman energiansäästötoimenpiteitä. Ilmastonmuutoksesta aiheutuva lämpötilan nousu vähentää lämmönkulutusta, mutta Kalasataman kasvava tuulisuus lisää rakennusten jäähtymistä. Energiantuotanto on Helsingissä tehokasta sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, jonka vaikutukset riippuvat mm. käytetyistä polttoaineista. Maakaasu on kasvihuonekaasupäästöjen kannalta edullisin fossiilinen polttoaine. Osayleiskaava osoittaa Hanasaaren voimalan nykyisestä siirtyvän ja pienentyvän laitosaluevarauksen, mutta ei ota kantaa polttoainevalintaan. Kalasataman alue sijaitsee keskeisesti yhdyskuntarakenteessa ja mahdollistaa kaukolämmön hyödyntämisen.

Kalasatama sijaitsee liikenteellisesti hyvin edullisesti. Alueen toteuttaminen edistää joukko liikenteen hyödyntämistä erityisesti raideliikenteen osalta. Alueella on hyvät mahdollisuudet kävelyyn ja pyöräilyyn.

Osayleiskaava edistää ilmastonmuutoksen hillitsemistä sekä rakennusten että liikenteen osalta..

## 10. Epävarmuustekijät

Tämä tutkimus on ensimmäinen, 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 ensimmäiset, 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.

Kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu yleispiirteisesti, mutta arvio antaa riittävän kuvan niiden suuruusluokasta.

Arviointi perustuu sitä tehtäessä käytettävissä olleeseen suunnitteluaineistoon, joka on osittain kehittynyt ja muuttunut.

## 11. Johtopäätökset ja suositukset

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen edellyttää kaavoituksessa ilmastotietoisien suunnittelun periaatteiden korostamista. Ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta on oleellista arvioida suunnitelman toteuttamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ja muuttaa suunnitelmia tarvittaessa.

Tutkimus osoittaa, että ilmastonmuutos voidaan ottaa huomioon kaavoituksessa sekä sopeutumisen että hillitsemisen kannalta. Arviointi edellyttää riittäviä lähtötietoja. Ilmastomalliajosten tulokset toimivat hyvänä lähtökohtana arvioinnille. Osayleiskaavaluonnoksen aineistot ovat riittävät arvioinnin tekemiselle. Tehty arviointi toimii esimerkkinä osayleiskaavatason arvioinnista.

Tehdyn arvion mukaan Kalasatama on yhdyskuntarakenteelliselta sijainniltaan edullinen, se mahdollistaa kaukolämmityksen ja tehokkaan lämmön ja sähkön yhteistuotannon hyödyntämisellä ja raideliikennettä painottavalla liikennejärjestelmällä kasvihuonekaasupäästöjen suhteellisen pienen määrän. Kalasataman osayleiskaava tukee ilmastonmuutoksen hillitsemistä edistäviä yhdyskuntarakenteen kehittämisen periaatteita.

Kaavojen ja rakennussuunnitelmien kehittämisen päälinjat ovat seuraavat:

- eteläisellä osayleiskaavan osalla ulkoalueiden suojaus tuulilta meren suunnalta
- pohjoisella osayleiskaavan alueella ulkoalueiden suojaus tuulilta pohjoisesta ja idästä
- rakennusten suojaus pohjoistuulilta
- energiansäästötoimenpiteiden tehostaminen erityisesti tuulen jäähdyttävää vaikutusta vastaan
- rakenteiden kestävyuden lisääminen tuulta vastaan
- rantarakennusten suojaus roiskeilta ja kosteudelta
- tärkeimpien katutilojen suojaus tuulelta
- monitasoisten tuulensuojaistutusten toteuttaminen.

Lisäksi suositellaan:

- osayleiskaavan tuulitestausta
- eräiden rantarakennusten tuulitestausta
- vihreän kadun koerakennushanketta.

## Lähdeviitteet

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. Arkitektshøgskolen i Oslo.

Church J.A., Gregory J.M., Huybrechts P., Kuhn M., Lambeck K., Nhuan M.T., Qin D., Woodworth P.L., 2001: Changes in Sea Level. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Daniels, K. Simulationen im Windkanal und im Klimalabor, kirjassa Oswalt, Wohltemperierte 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.

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

Harmaajärvi, I., 2002. Pääkaupunkiseudun kasvihuonekaasupäästöihin merkittävästi vaikuttavat hankkeet – Päästöjen vähentämismahdollisuudet. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2002:6. Helsinki.

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.

- Huuska, P., 2006. Uudenmaan kasvihuonekaasupäästöt 1990 ja 2003. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Uudenmaan liitto. Uudenmaan liiton julkaisuja C 53 -2006.
- Ilmasto- ja energiastrategian päivitys 2003 - 2004 (2005). Ympäristöministeriön sektoriraportti. Ympäristöministeriön moniste 144.
- Ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia (2005). MMM:n julkaisuja 1/2005.
- 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.
- Kuismanen K., 2000. Ilmastotietoinen suunnittelu ja pienoismallien tuulitestauslaitte, Oulun Yliopiston Arkkitehtuurin osaston julkaisu A28, Oulu.
- 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.
- Mattson J. O., 1979. Mikro- och lokalklimatologin. Malmö.
- 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.
- Sörnäistenranta-Hermanninranta (Kalasatama) osayleiskaavaluonnos. Aineistot 2006.
- Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. Ilmatieteen laitos, Helsinki 1990.
- Wahlgren, I., 2006. Ilmastomuutoksen haasteet kaavoitukselle. Maankäyttö (2006) No: 2, s. 6 – 10.
- Wahlgren, I., 2006. Ilmastomuutoksen huomioiminen kaavoituksessa. Ympäristöklusterin tutkimushanke 23. Tutkimussuunnitelma 20.1.2006, 14.6.2006.





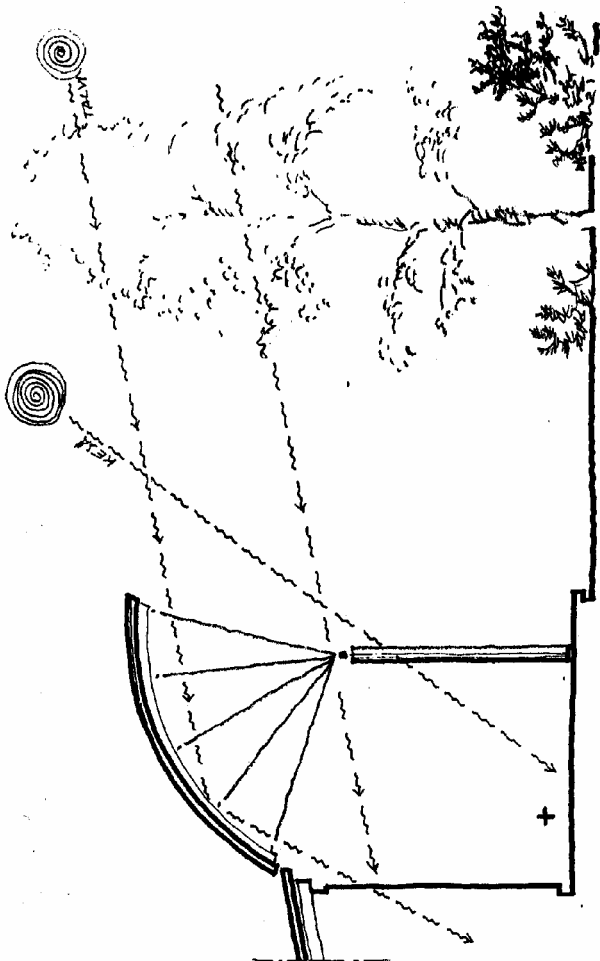
# LIITTEET

# Liite 1. Suunnittelusuosituksia

15

RAKENNUS SUOSTUKSET :

- PASSIIVISEN AURINKOTALON PERIAATE :
- SUUNTAUS KAAKON JA LOUNAAN VÄLILLE
- AURINGONHELIÄSTÄJÄT KERÄÄVÄT MATALALLA
- PAISTAVAN TÄLVIAURINGON JA HEIJASTAVAT
- SEN SISÄTILOIHIN ( VAKJOSTAVAT KEVÄLLÄ )
- TUUMIA PUU OLESKELUPIHALLA KERÄÄ LÄMPÖÄ
- LEHTIPUUT VAKJOSTAVAT KESÄLLÄ, MUTTA EI-
- VÄT VAKJOSTA TAEVELELLÄ
- RAKENNUKSEN AVOIN SIVU KAAKON JA LOUT-
- NAAN VÄLILLE
- RAKENNUKSEN SULJETTU SIVU LUOTTEEN JA
- KOULISEN VÄLILLE



SUOJAVYÖHYKE : VAKASTOJ;  
AUTOKATOKSET

HAVIPUUT POHJOIS-  
REUNALLE (ÄÄ VAKJOSTA  
NAAPURIA )

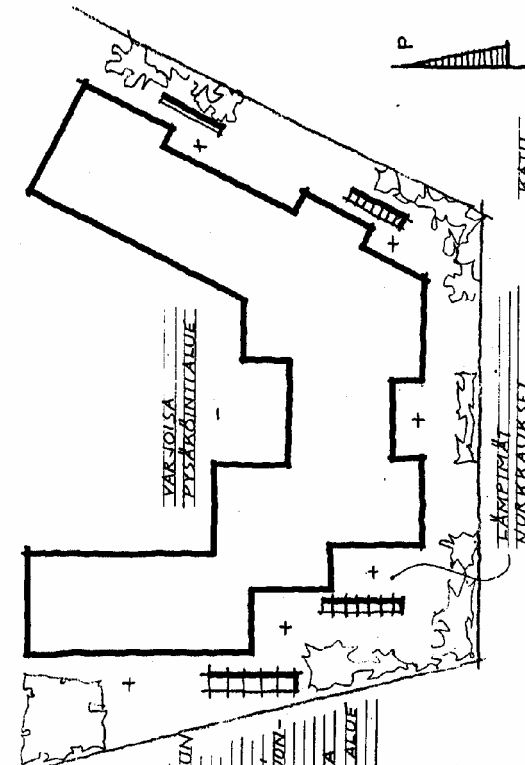
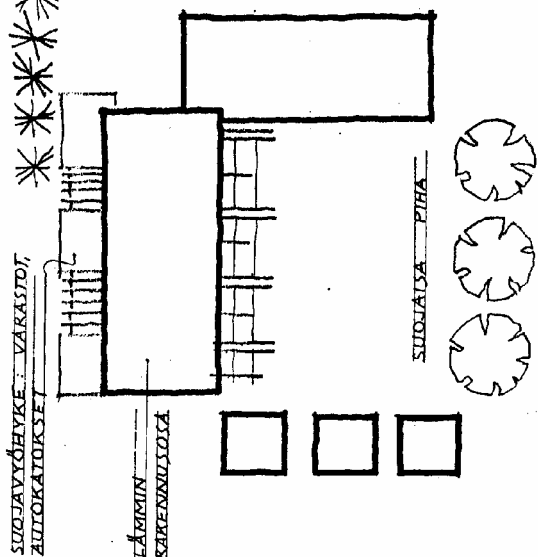
LEHTIPUUT RAKENNUSALUEEN  
ETEKREUNALLE

LÄHEIN  
KARENNUSOJA

AUTOPAIKAT IONTIN VAK-  
SISÄLLÄ OYALLA TAI KADUN  
VAKRELLA

KARENNA IONTIN  
HUONOIMALLE PAIKALLE,  
SÄÄYÄ PAREMAT OSAI IONN-  
NONIILAININA

ÄÄ SJIDIA RAKENNUSIA  
REKELLE IONTIA (PIHA-ALUE  
PIKSTOITUA)

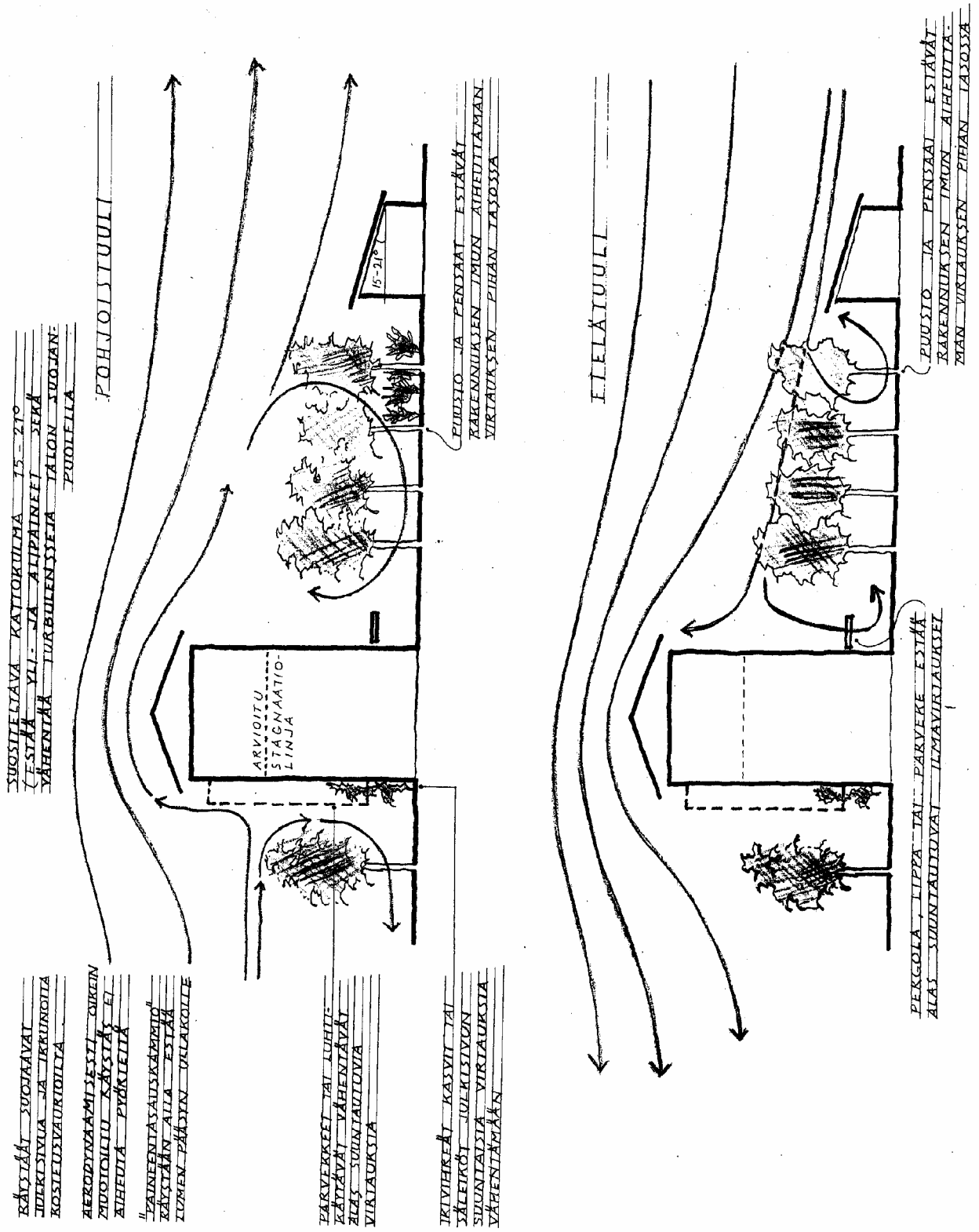


ARKKITEHTITOIMISTO  
KIMMO KUJUMANEN

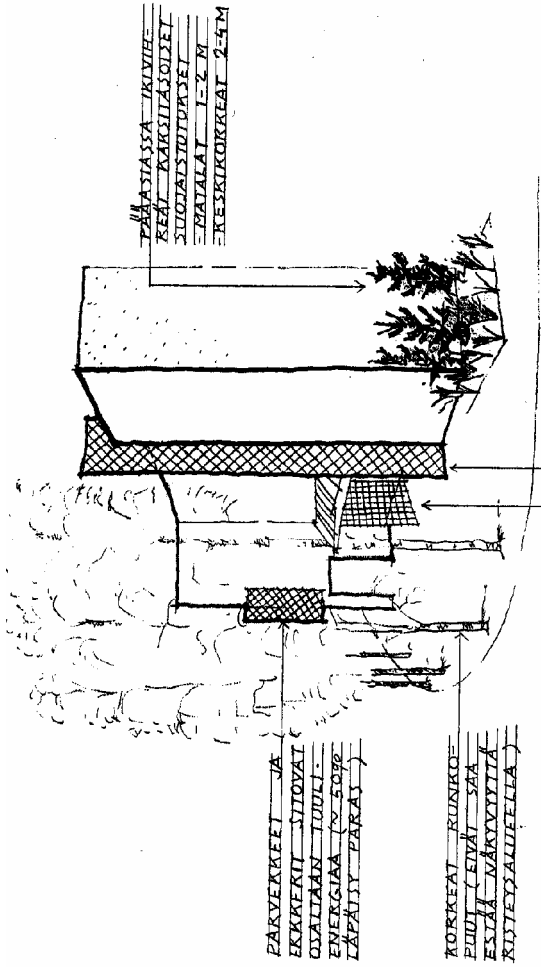
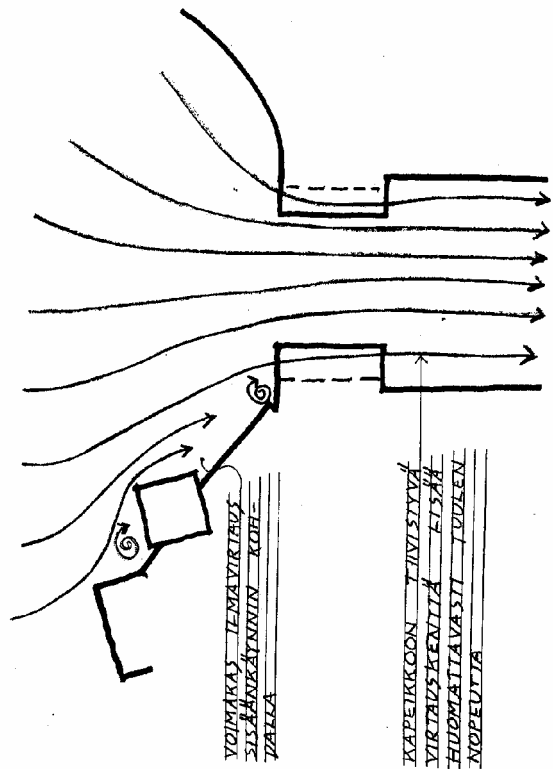
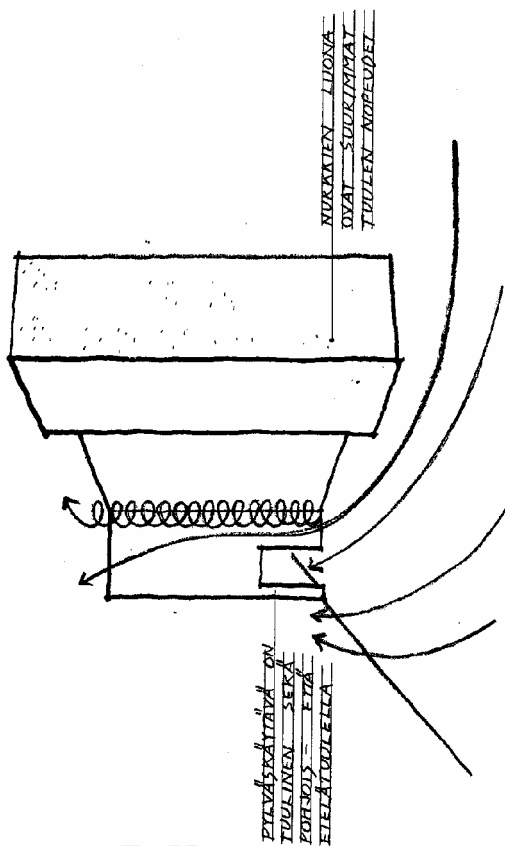
LEHTIPUUT RAKENNUSALUEEN  
ETEKREUNALLE

TÄMPIMÄT  
SUOKKAKUUSI

KATU



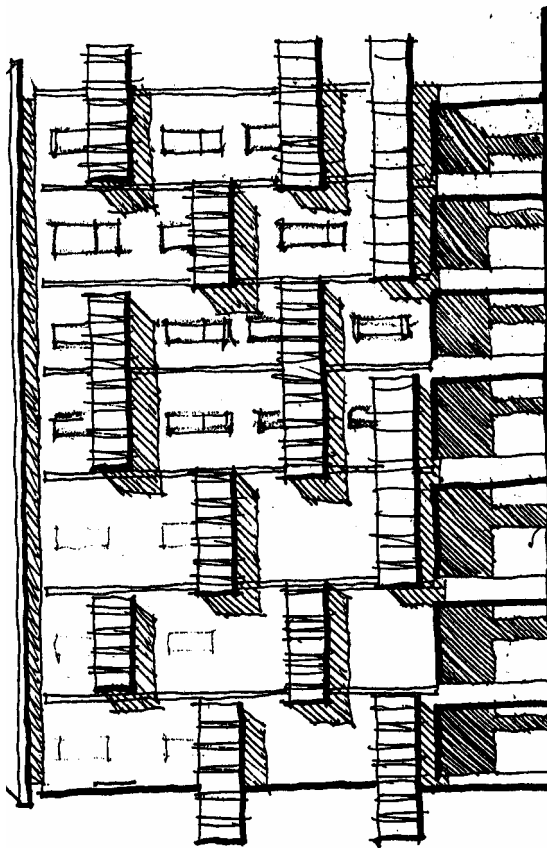
POHJOISPUOLI / TUULISUUS RISTEYSALUEELLA



PYSYVUUNTALSEN YÄRIKÖI  
 TOIDEN KÄPÄISEVYYS ~50%  
 SUOJAKÄYNNITÄTÖJ  
 PUUSAA  
 PYSYVUUNTALSIETA VIRTAK-SIETA  
 KATOKSEN YHTEYTEEN OISI JEH-  
 TÄVÄ NYÖS TUULENSUOJAÄÄLETRÖIÄ  
 VAKATUULEIA VASTAAN

TOIMENPITEITÄ MIKROILMASTION PARANTAMISEKSI  
RISTEYSAALUEELLA

- PARVEKKEILLA VOI SUOJATA  
 KOKO JULKISIVUN  
 - PARVEKKEET TAI LIPAT  
 ESTÄVÄT ALAS SUUNTAUTTAVIA  
 TUURBULENSSEJÄ  
 - KAKSINKERTAINEN TAI  
 KERROKSELLINEN JULKI-  
 SIVU VÄHENTÄÄ ENERGIAN-  
 KULUTUSTA (TUULEN JÄÄH-  
 DYTÄVÄ VAIKUTUS VÄHENNEE)  
 - SEINÄLLÄ KASVAVAT KÖYNI-  
 NÖKSET TAI MUU KASVIEN-  
 SUUS VÄHENTÄVÄT ENER-  
 GIANKULUTUSTA (5 CM:N  
 KASVILLISUUSKERROS PA-  
 RANILAA K-ARVOA 0,30:STA  
 0,27:ÄÄN). JULKISIVUNSA-  
 LEIKÖILLÄ ON SAMANSUUN-  
 TAINEN VAIKUTUS  
 - KATUJASOSSA NYMÄLÖITÄ  
 TAI MUITA TYÖPAIKKOJA



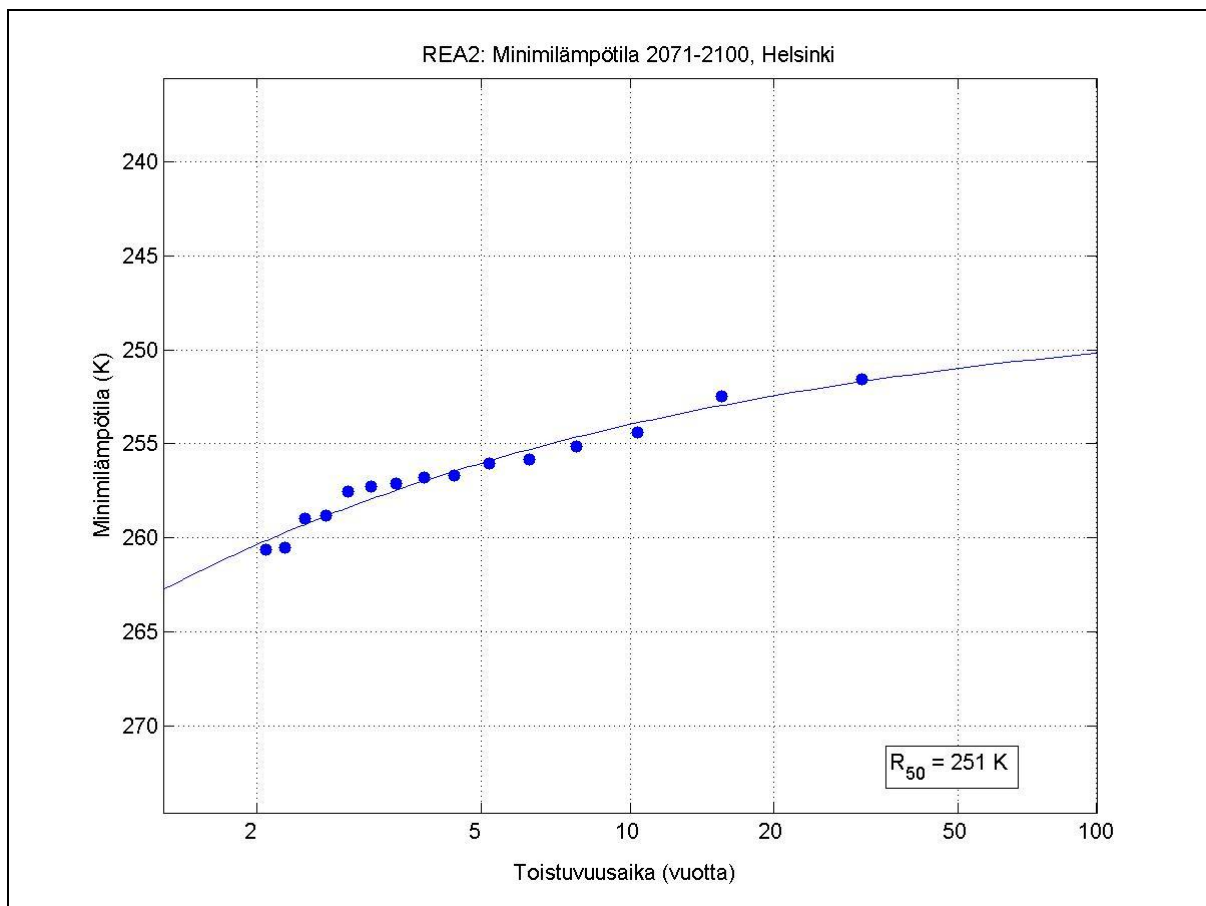
KATUJAN KULKUVAIHTOKOHDE

ARKKITEHTITOIMISTO KIMMO KUISMANEN

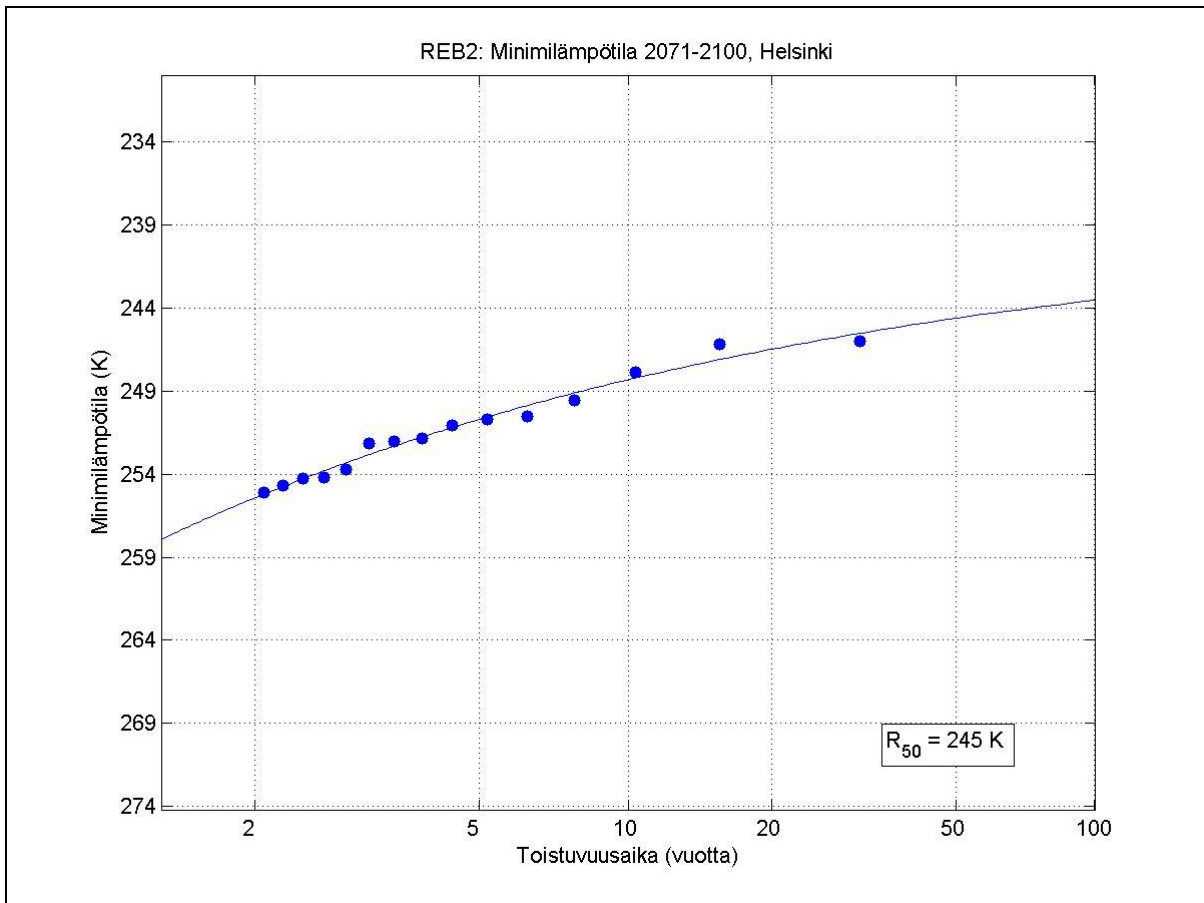
## Liite 2. Esimerkkejä ilmastomalliajojen analyysistä ääritapausten määrittämiseksi

Seuraavassa esitetään esimerkkejä ilmastomalliajojen tuloksista, esimerkkinä minimilämpötilaa koskevat malliajot (ks. kohta 4.3). Tutkimuksessa muodostetut ennusteet ovat eri globaalimalleihin ja päästöskenaarioihin perustuvien malliajojen tulosten keskiarvoja.

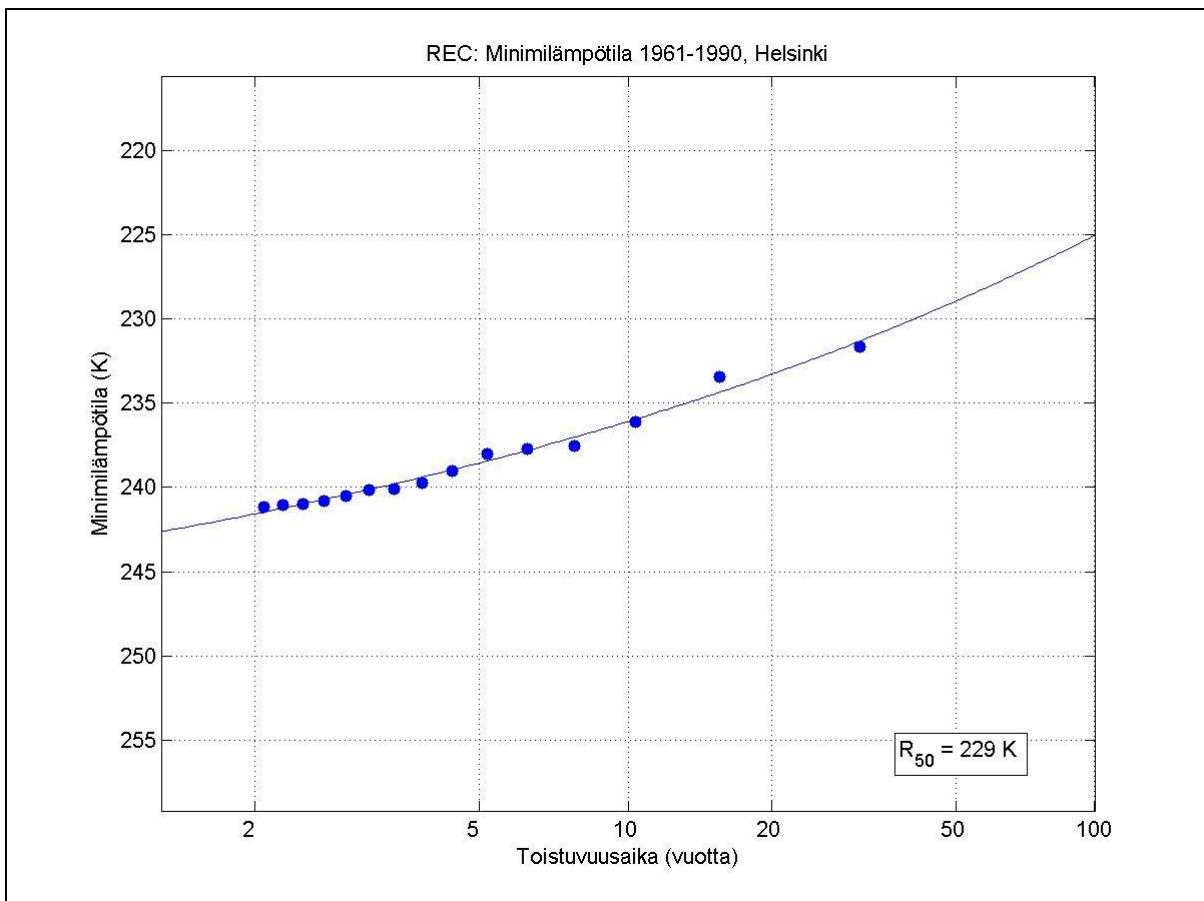
Kuvissa 50 vuoden toistuvuusajaa vastaava säämuuttujan arvo on pystyakselilla se, millä kohtaa pisteitä approksimoiva käyrä ohittaa vaakasteikolla 50 vuotta. Esimerkiksi kuvassa 1 (Minimilämpötila REA2) 50 vuoden toistuvuusajaa vastaava minimilämpötila on 251 K (-22 astetta C).



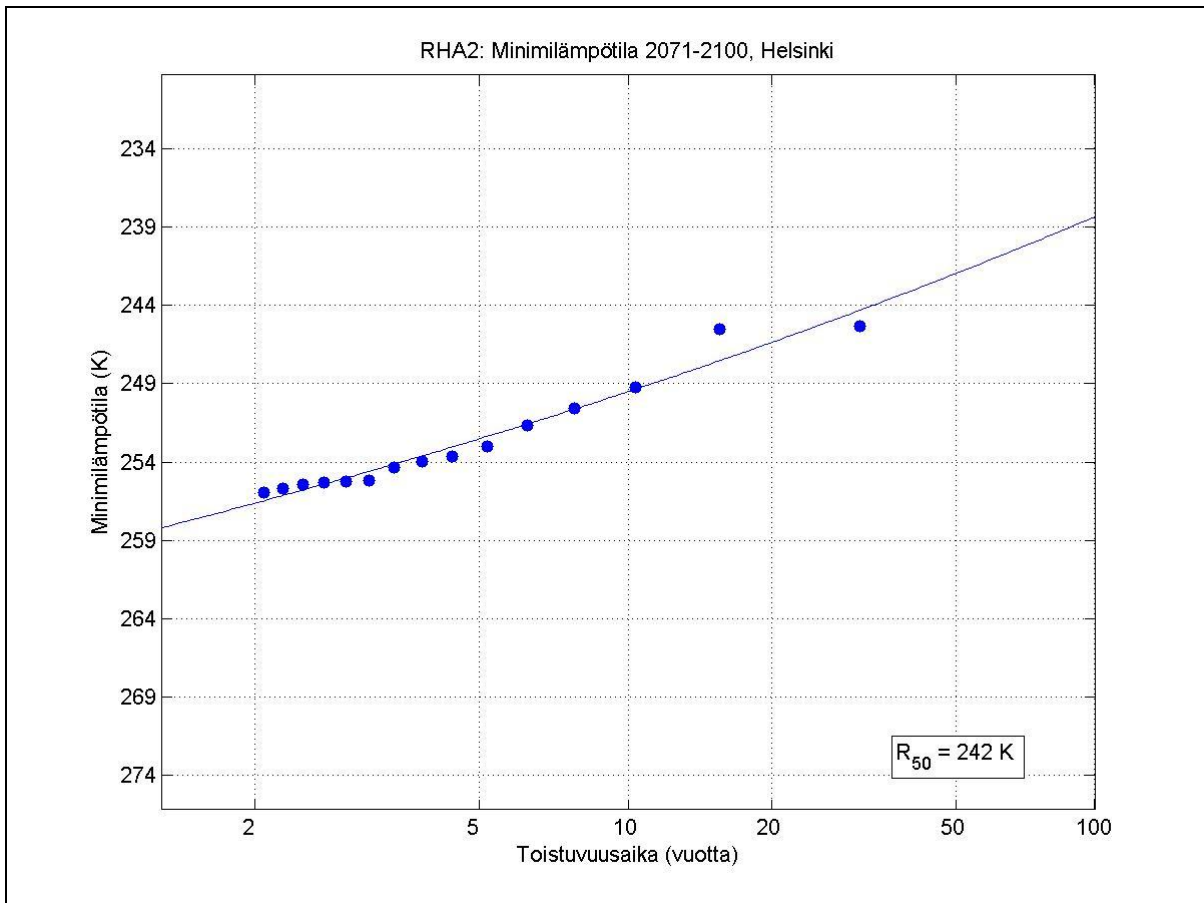
Kuva 1. Minimilämpötila (K) skenaariossa REA2.



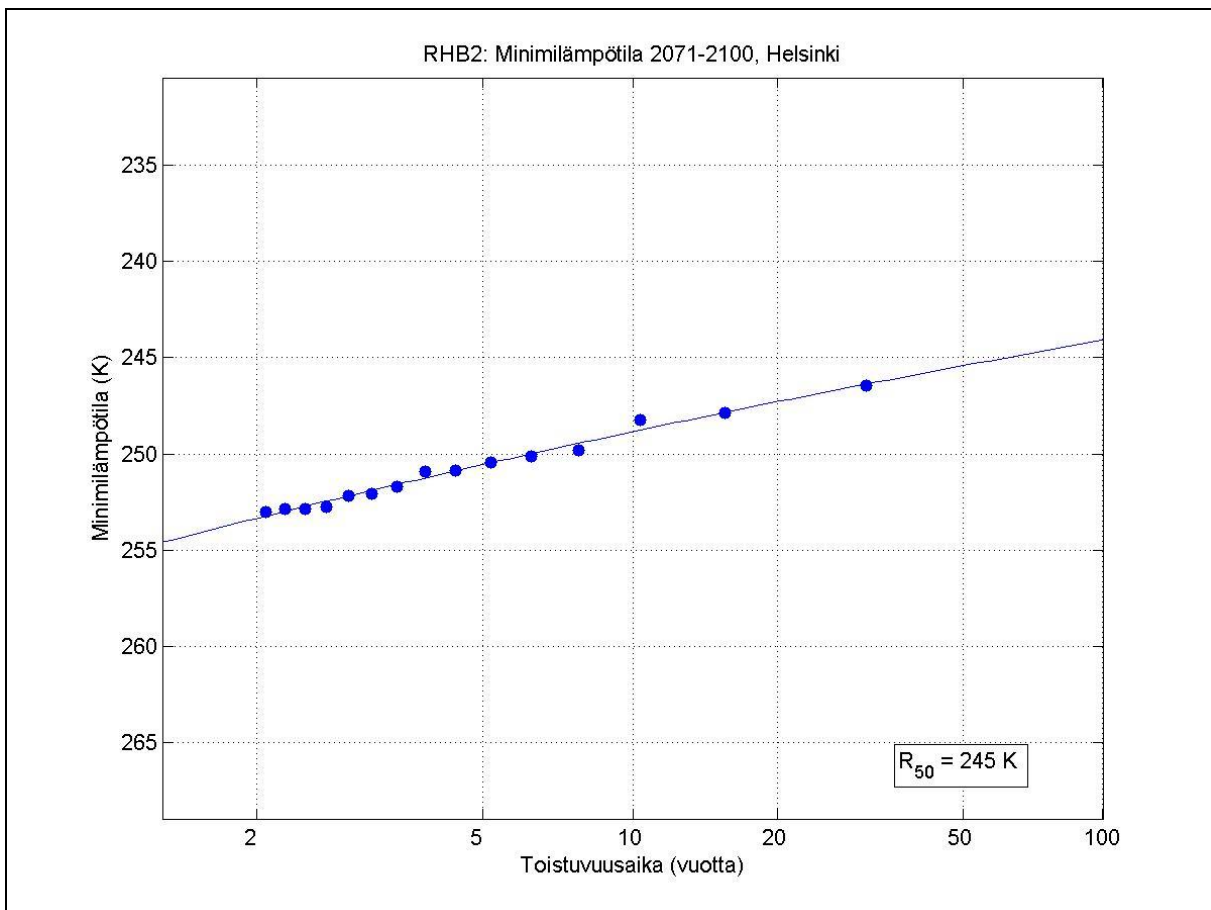
Kuva 2. Minimilämpötila (K) skenaariossa REB2.



Kuva 3. Minimilämpötila (K) vertailujaksossa REC.

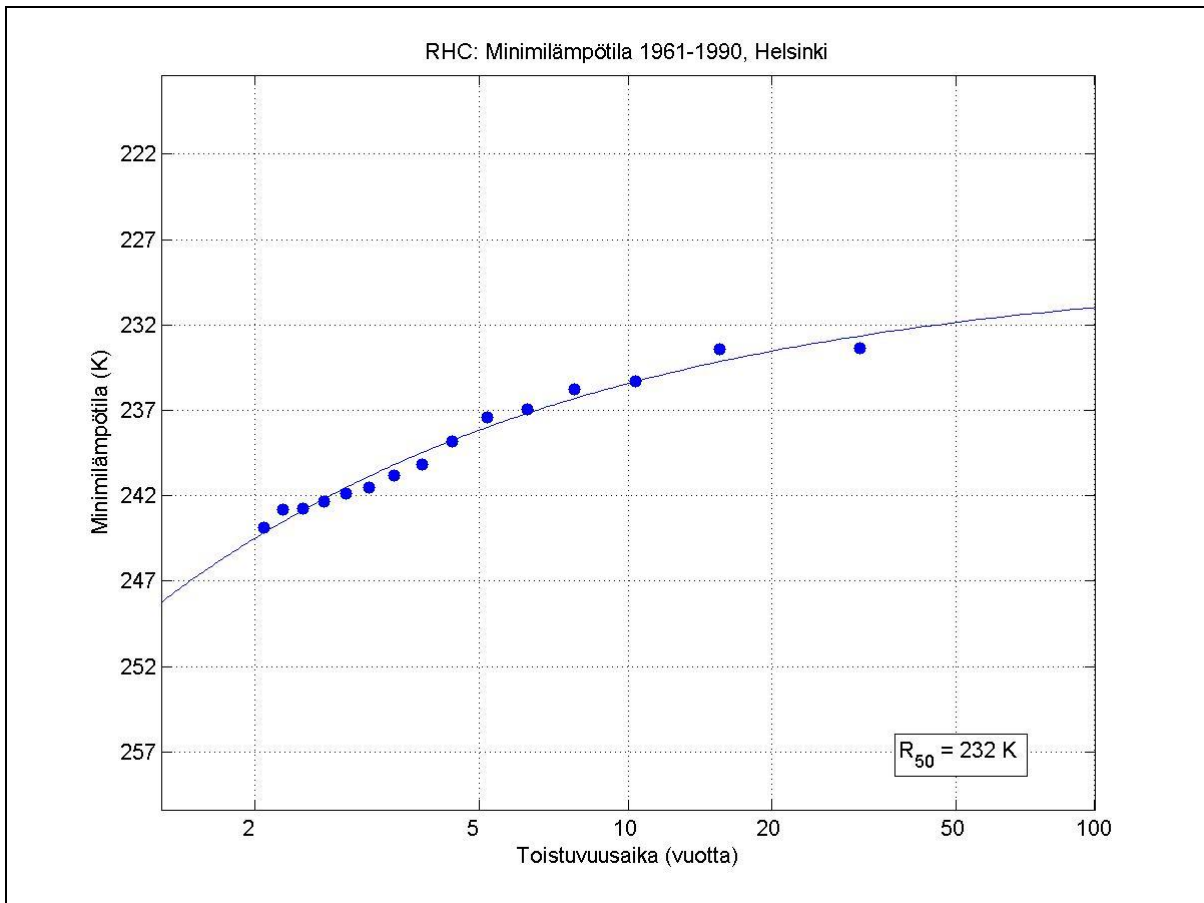


Kuva 4. Minimilämpötila (K) skenaariossa RHA2.



Kuva 5. Minimilämpötila (K) skenaariossa RHB2.





Kuva 6. Minimilämpötila (K) vertailujaksossa RHC.