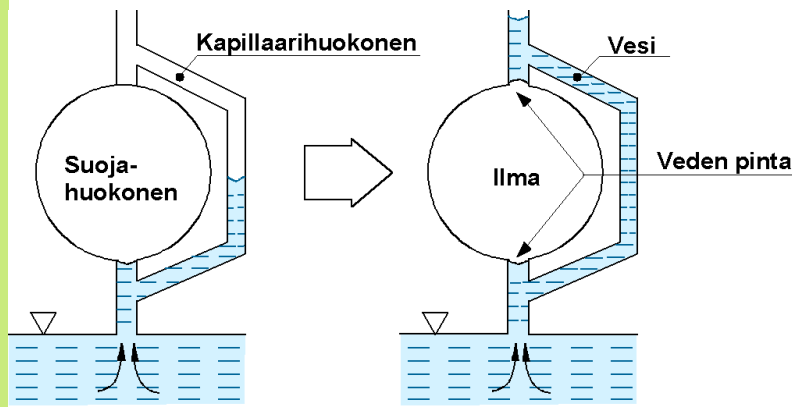
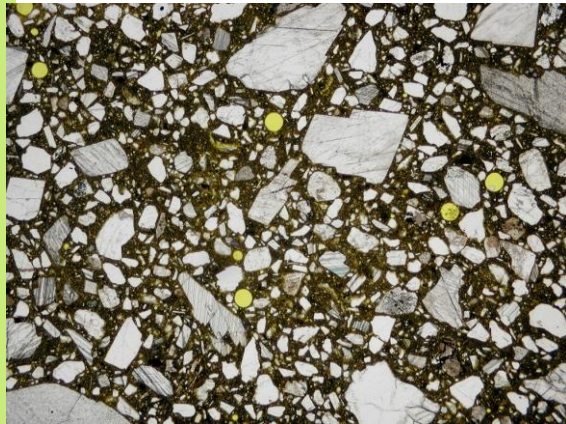


KIVIAINESPINTAISTEN JULKISIVUJEN RASITUSOLOSUHTEET

Toni Pakkala & Jukka Lahdensivu

Keskeiset vauriomekanismit

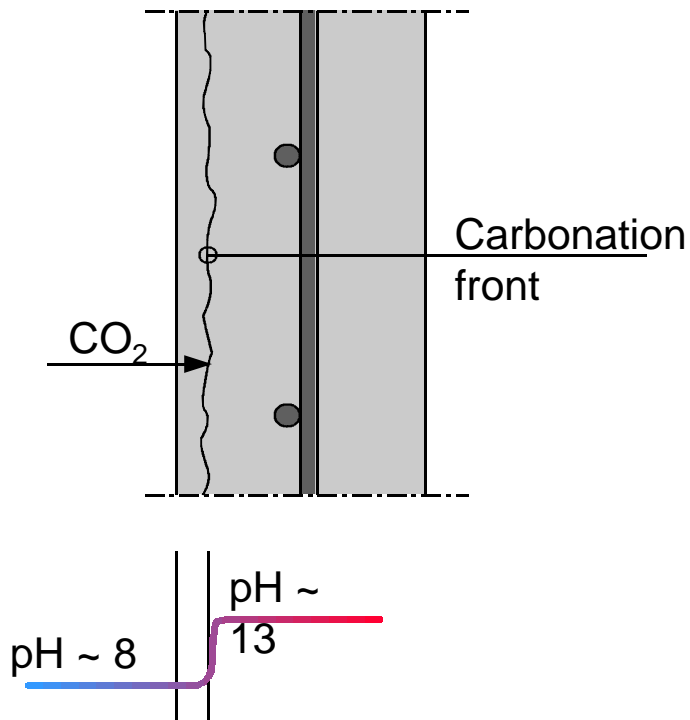
- Huokoisen materiaalin pakkasrapautuminen
- Raudotteiden korroosio karbonatisoituneessa betonissa
- Betonin alkali-kiviainesreaktio (ei mukana tutkimuksessa)



KIVIAINESPINTAISTEN JULKISIVUJEN RASITUSOLOSUHTEET

Keskeiset vauriomekanismit

- Huokoisen materiaalin pakkasrapautuminen
- Raudoitteiden korroosio karbonatisoituneessa betonissa
- Betonin alkali-kiviainesreaktio (ei mukana tutkimuksessa)



KIVIAINESPINTAISTEN JULKISIVUJEN RASITUSOLOSUHTEET

Keskeiset vauriomekanismit

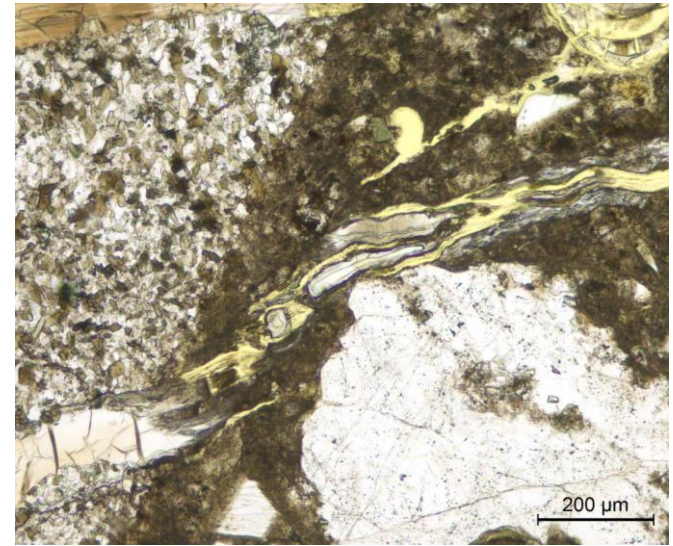
- Huokoisen materiaalin pakkasrapautuminen
- Raudoitteiden korroosio karbonatisoituneessa betonissa
- Betonin alkali-kiviainesreaktio (ei mukana tutkimuksessa)



Metrolinjan pilari
Örestad, Kööpenhamina



Vetokoekappale
Hervannan uimahalli



Ohuthie
Koestus T&T Oy

VIISTOSATEEN MÄÄRÄ JULKISIVUPINNOILLA

Vaikuttavia tekijöitä

- Rakennuksen korkeus ja sijainti
- Läheisten rakennusten sijainti
- Puuston korkeus ja sijainti
- Maastonmuodot

Julkisivulle osuvan viistosateen määrää arvioidaan yksinkertaistetusti standardin SFS-EN ISO 15927-3 (2009) mukaan:

$$I_A = \frac{2 \sum v \cdot r^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \theta)}{N}$$

- v = tuulenopeuden tuntikeskiarvo [m/s]
 r = tunnittainen kokonaissademäärä [mm]
 D = tunnittainen tuulen suunnan keskiarvo [°]
 θ = seinän suunta suhteessa pohjoiseen [°]
 N = tarkasteltavan aineiston vuosien määrä

JÄÄTYMIS-SULAMISRASITUS

Laskentatapoja

- Ei ole yksiselitteistä mallia
- 30 vuoden sääaineiston jäätymispisteen ylitykset (FCP, freezing point crossing)
 - Kaikki 0 °C alitukset
- Pakkasrapaumalle altistumisluku (FDEI, frost decay exposure index)
 - Vuotuinen viistosademäärä 2, 3 tai 4 vrk ennen jäätymistä
- Kumpikaan ei ota huomioon, että jäätymisen huokosverkostossa tapahtuu vasta -3...-5 °C
- Rannikolla alkavaa pakkasrapautumaa havaittu 307 jäätymis-sulamissyklin jälkeen
- Sisämaassa 388 syklin jälkeen

Valittu kaksi tarkastelutapaa

- Vuotuinen sademäärä 72 h ennen jäätymis-sulamissykliä, ja jäätymisen rajana -5 °C
- Keskimääräinen sademäärä ennen jäätymis-sulamissykliä, jäätymisen rajana -5 °C ja syklejä vähintään 7 kpl/vuosi

RAUDOITTEIDEN KORROOSIO

Vaikuttavia tekijöitä

- Betonin karbonatisoituminen kalsiumhydroksidin reagoidessa ilman hiilidioksidin kanssa
- Laskettu ns. neliöjuurimallilla (fib Model Code):

$$x_c = \sqrt{2 \cdot k_e \cdot k_c \cdot R_{NAC}^{-1} \cdot C_s \cdot \sqrt{t} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^w}$$

k_e ympäristötekijä [-] (vakio)

k_c on työnsuorituksesta riippuva tekijä [-] (vakio)

R_{NAC}^{-1} betonin karbonatisoitumisvastus [(mm²/vuosi)/(kg/m³)] (vakio)

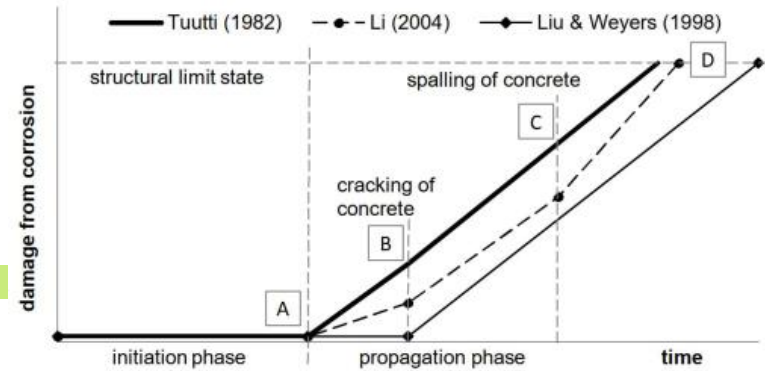
C_s ilmakehän hiilidioksidipitoisuus [kg/m³]

t aika [vuotta]

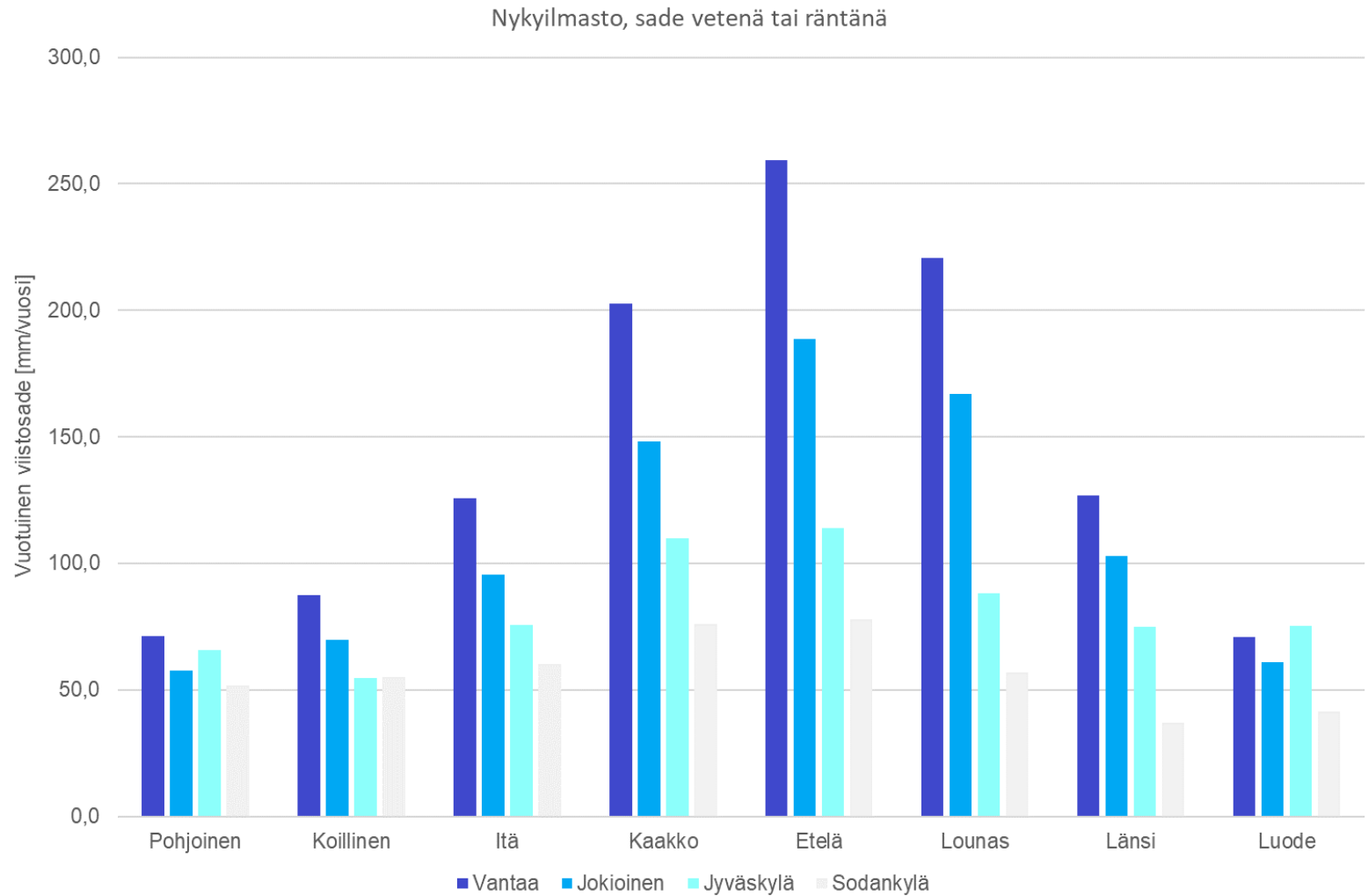
t_0 referenssiaika [vuotta]

w on säättekijä.

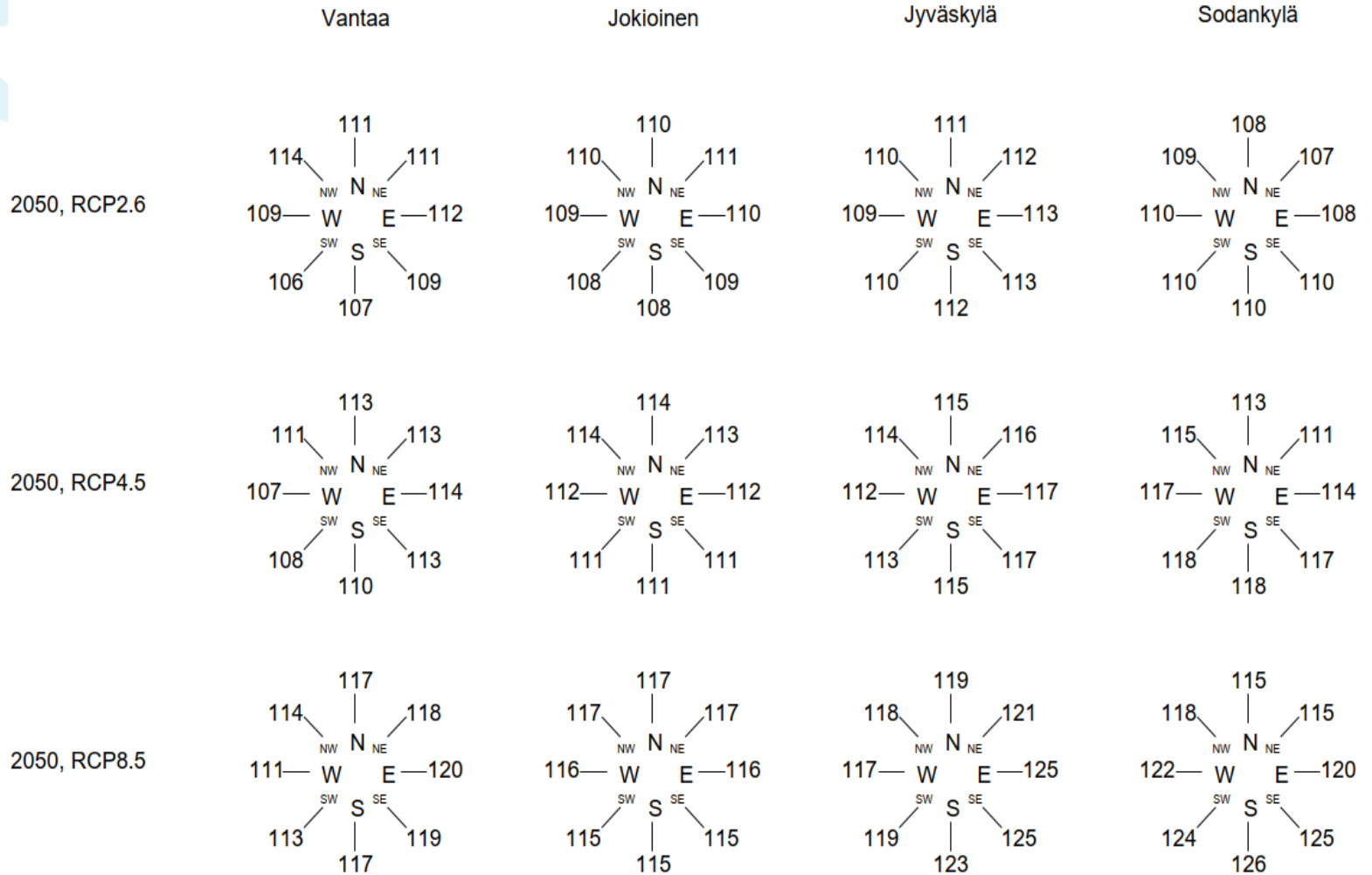
Laskennassa ilmakehän hiilidioksidipitoisuus määritellään käytetyn ennusteen mukaisesti, ja säättekijä riippuu mm. sadepäivien lukumäärästä ja siten sijainnista sekä käytetystä ennusteesta. Muut käytetyistä parametreista ovat vakioita, jotka on määritetty nykybetonin ominaisuuksien mukaan.



ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS VIISTOSADEMÄÄRÄÄN

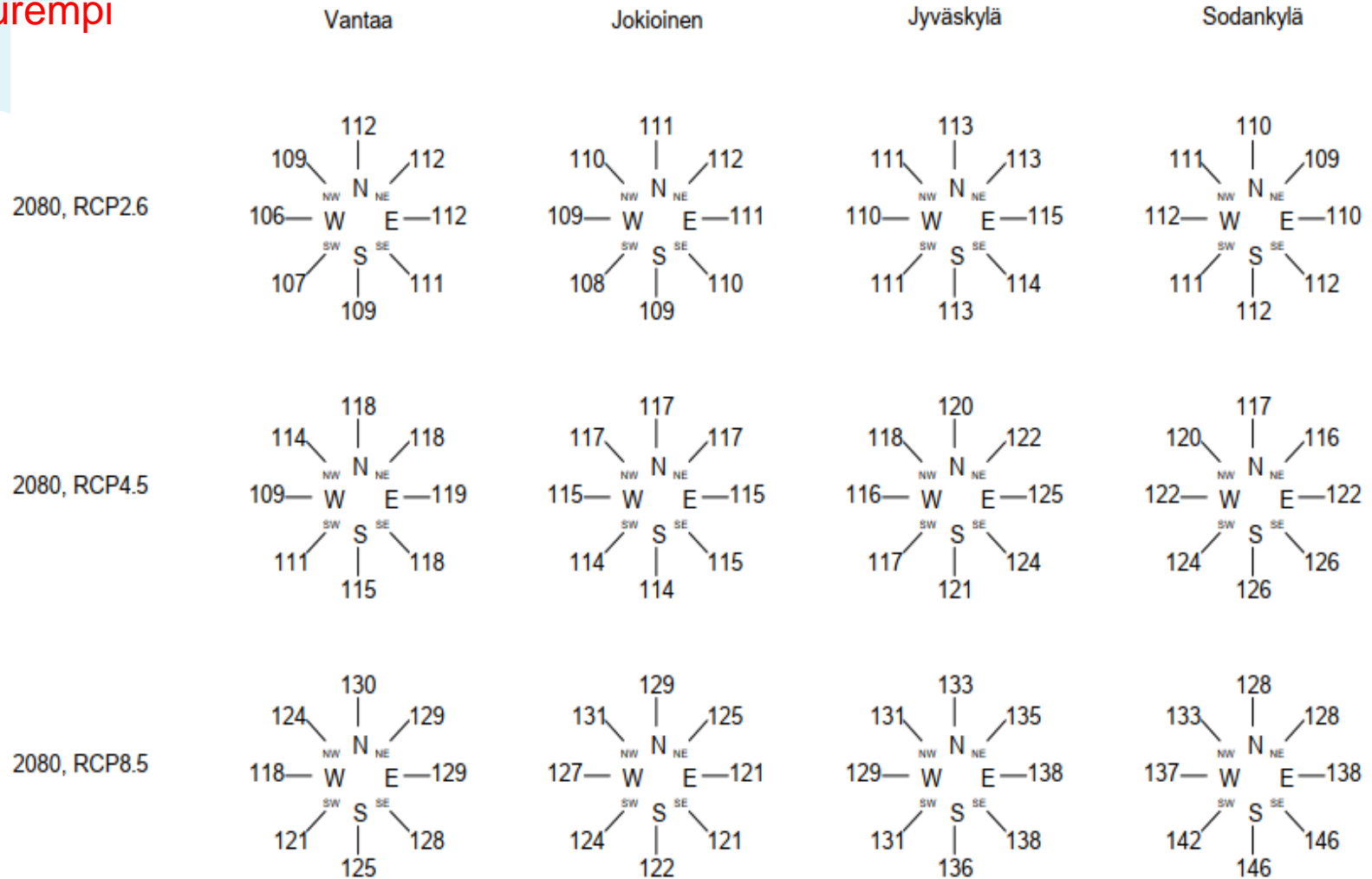


ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS VIISTOSADEMÄÄRÄÄN

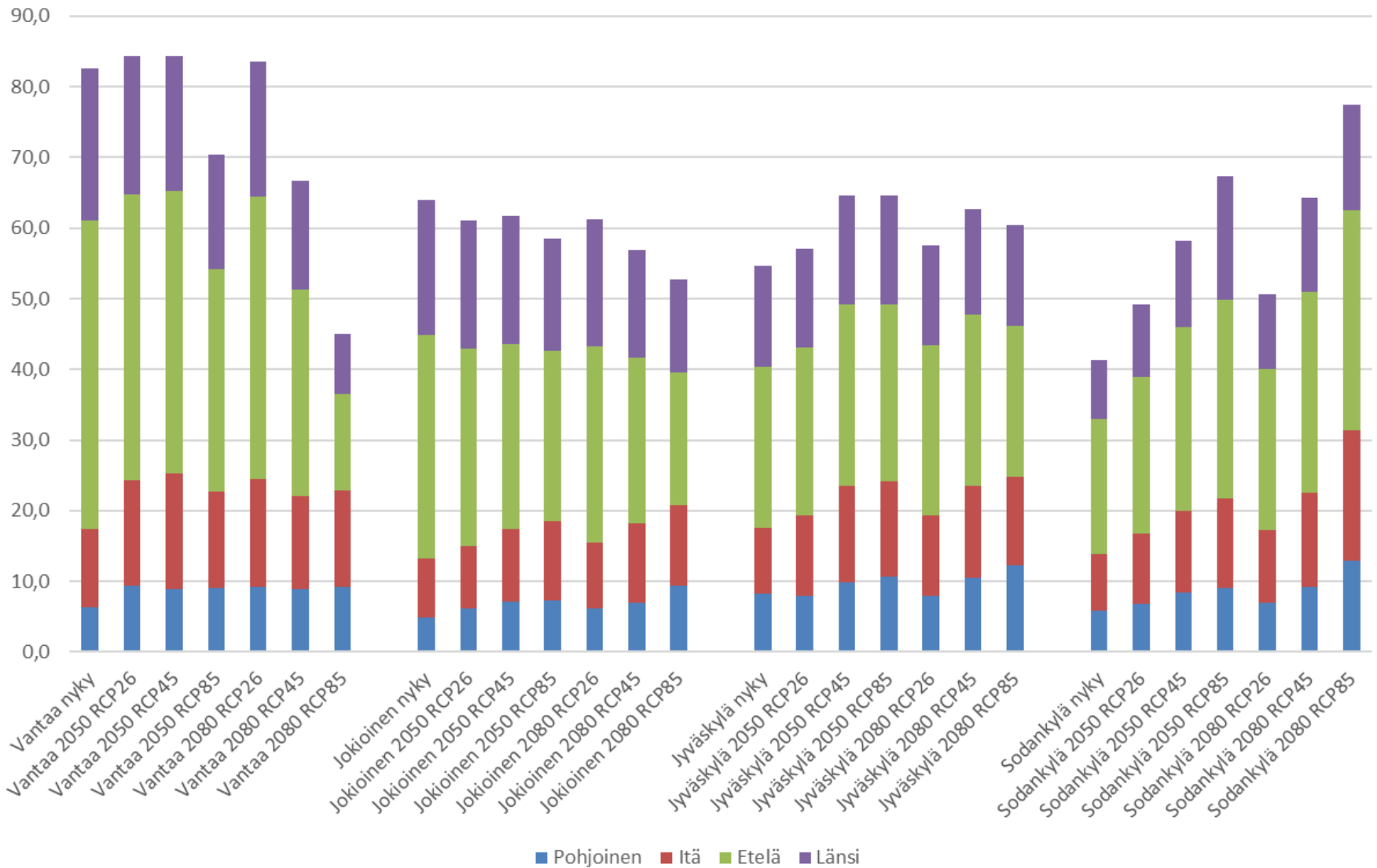


ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS VIISTOSADEMÄÄRÄÄN

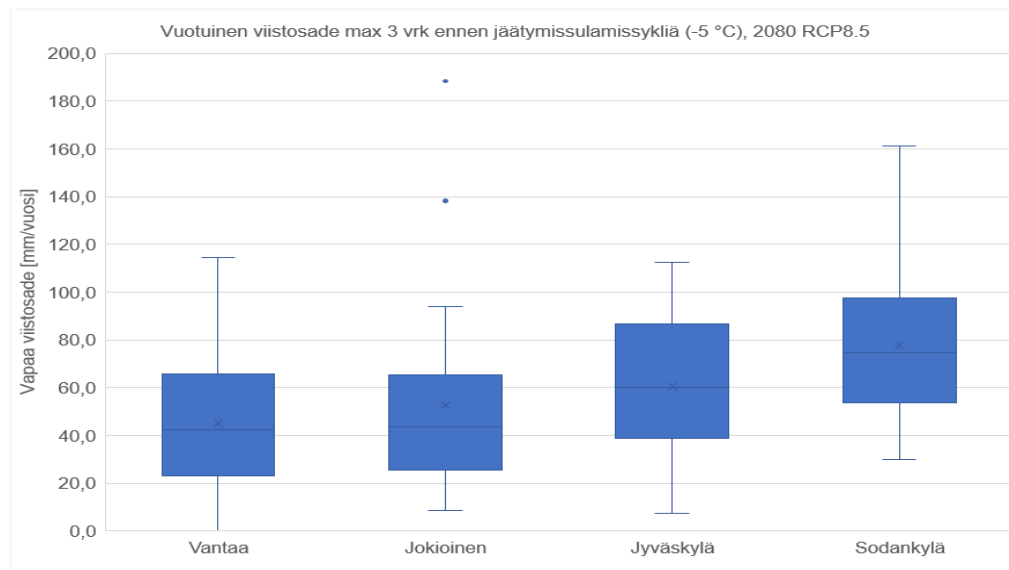
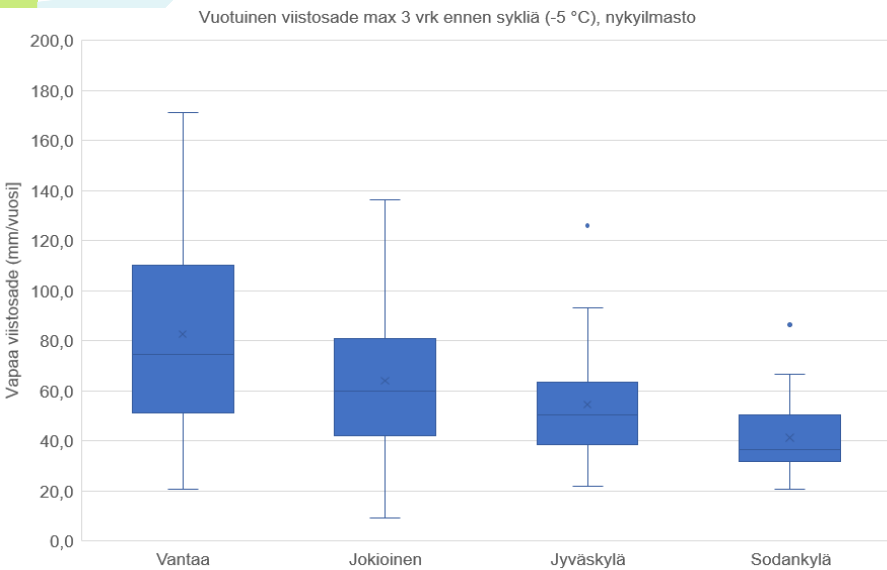
Huom.! Vaikka sademäärät kasvavat suhteellisesti eniten Lapissa ja sisämaassa, niin kokonaissademäärä rannikolla on kuitenkin huomattavasti suurempi



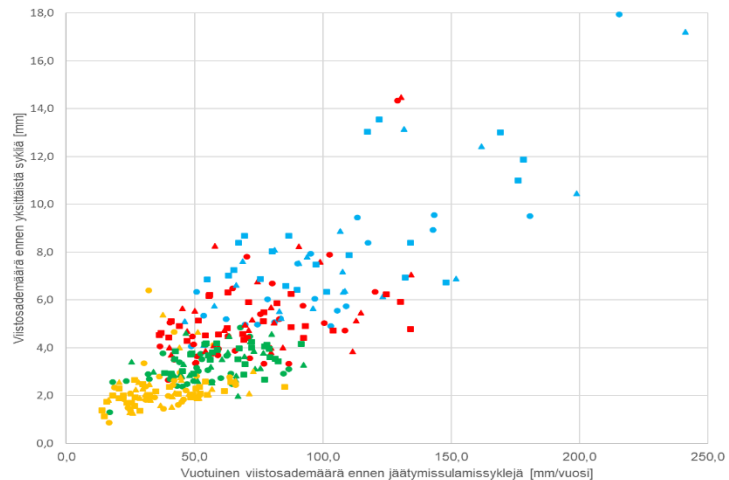
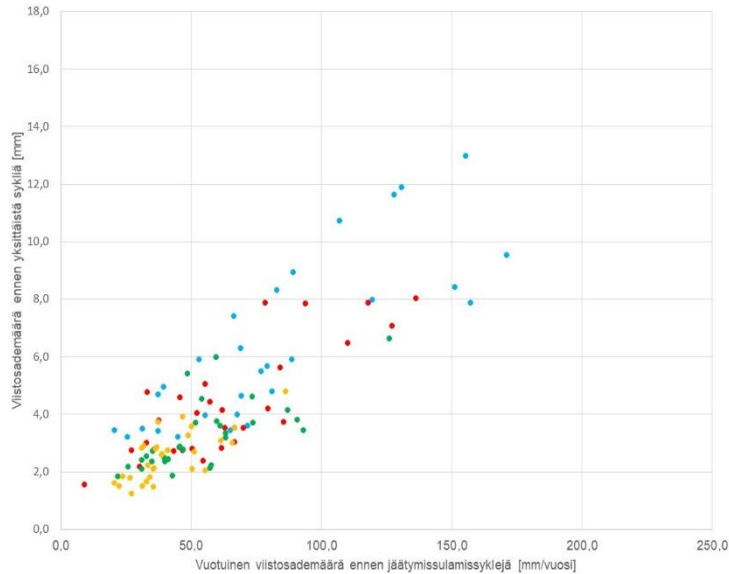
ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS JÄÄTYMIS-SULAMISRASITUKSEEN



ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS JÄÄTYMIS-SULAMISRASITUKSEEN



ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS JÄÄTYMIS-SULAMISRASITUKSEEN

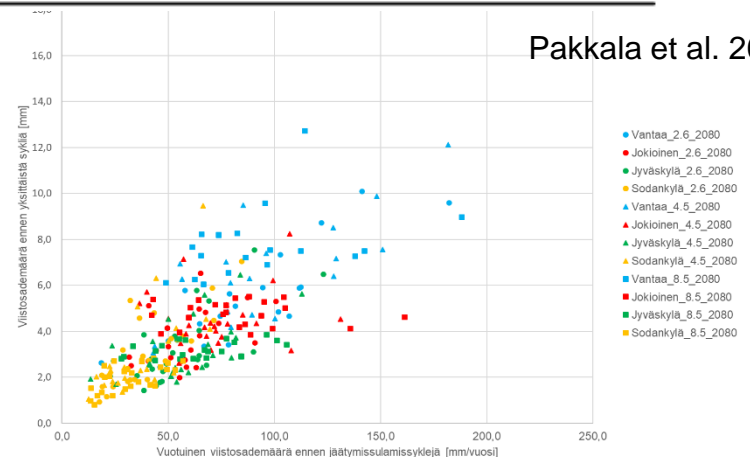


12 kriittisintä vuotta
jäätymissulamisasituksen mukaan =>
Vantaan ilmastossa kriittisimmät vuodet

Table 3

Number of annual freeze-thaw cycles at four different observation stations a maximum of 2 days after rain or sleet events. The calculations are by FMI [46].

Year and place	Temperature under (a max. of 2 days after rain or sleet)			
	0 °C	-2 °C	-5 °C	-10 °C
Helsinki-Vantaa (southern coastal area)				
2000	37.8	23.5	11.7	4.0
2030	25.9	15.2	7.7	2.3
2050	21.4	12.9	6.1	1.8
2100	14.5	9.4	3.9	0.4
Jyväskylä (inland)				
2000	30.4	20.2	10.4	4.2
2030	25.4	17.5	9.6	3.3
2050	24.8	17.0	9.4	3.2
2100	19.8	13.9	7.2	2.1



Pakkala et al. 2014

RAUDOITTEIDEN KORROOSIO

Betonin karbonatisoituminen

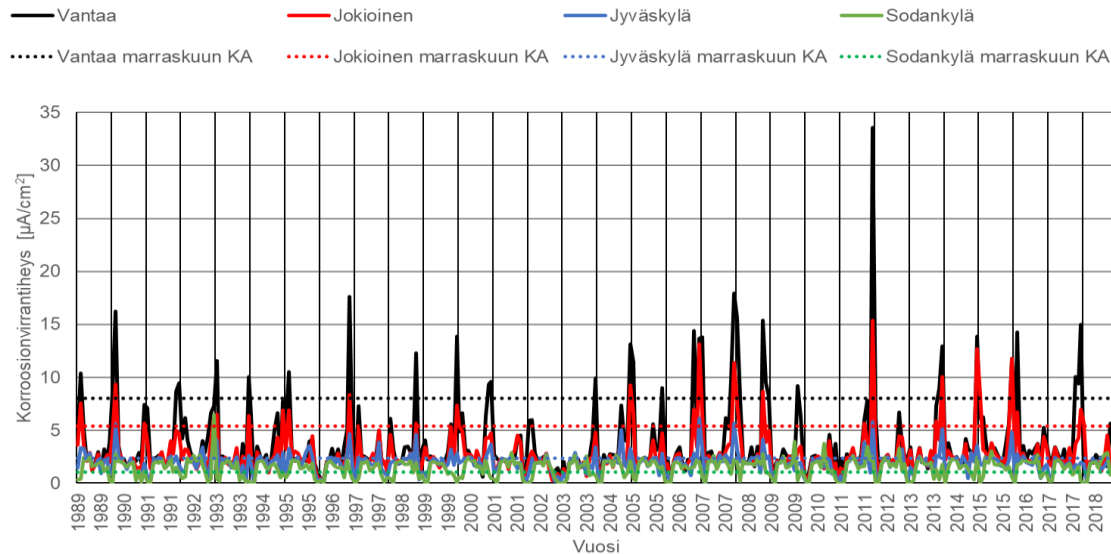
- Ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvu nopeuttaa betonin karbonatisoitumista
- Raudoitteiden suojabetonipeitevaatimus 25 mm tai enemmän vuodesta 1978 lähtien
- Nykybetoneilla karbonatisoituminen ei saavuta teräksiä 100 vuoden aikana millään ilmastoennusteella
- 15 mm peitepaksuus saavutetaan alla olevan taulukon mukaan (RCP8.5)

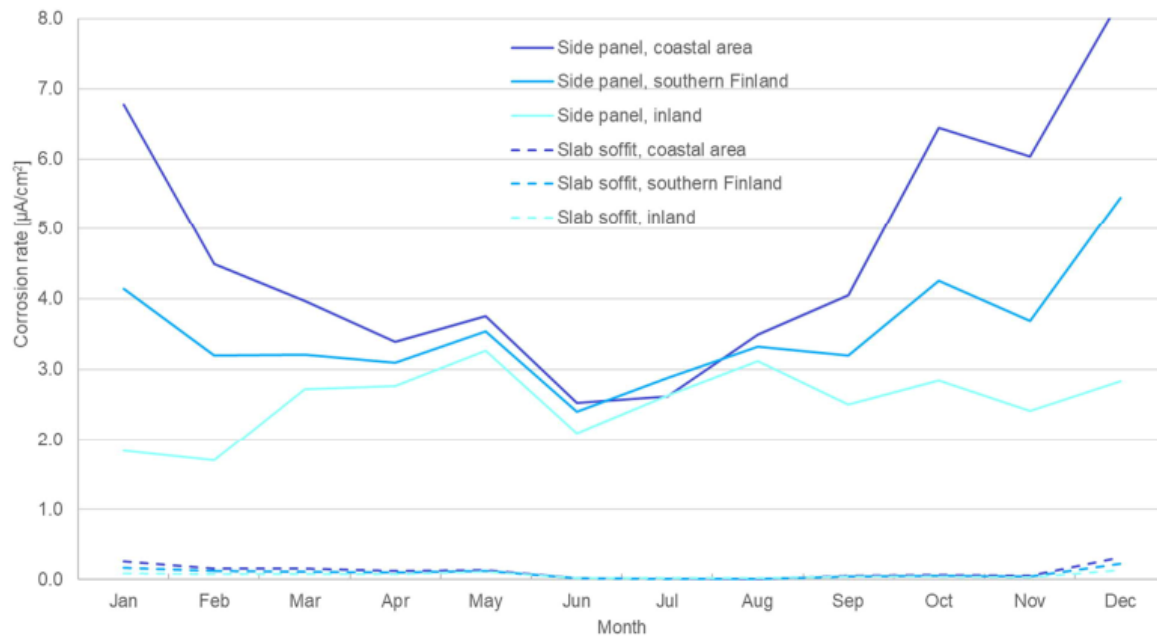
	Nykyilmasto [vuotta]	RCP8.5 2050 [vuotta]	RCP8.5 2080 [vuotta]
Vantaa	96	70	45
Jokioinen	<100	79	52
Jyväskylä	93	73	49
Sodankylä	73	70	51

RAUDOITTEIDEN KORROOSIO

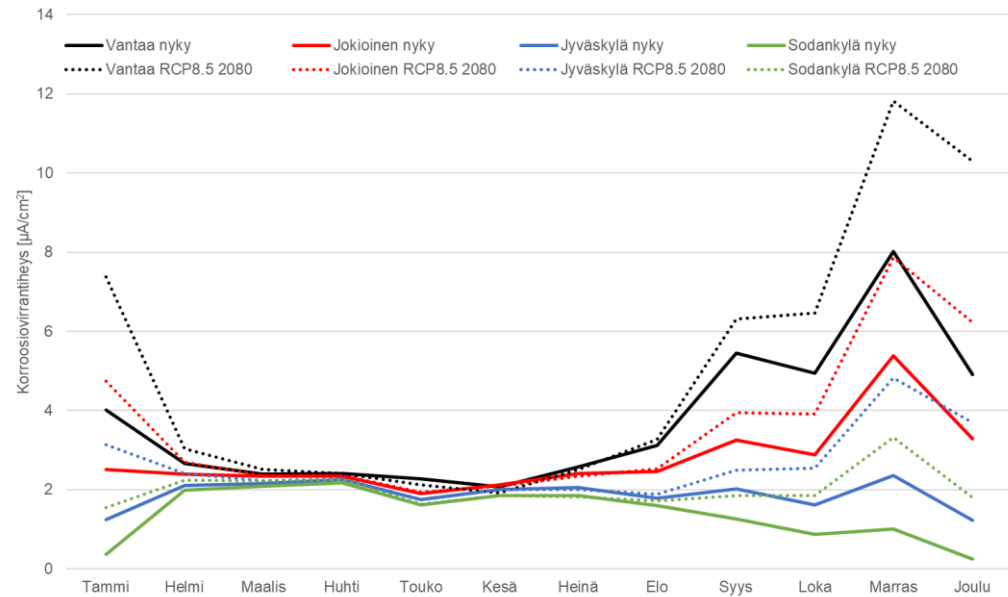
Aktiivinen korroosio karbonatsoituneessa betonissa

- Edellyttää kumuloituvaa kosteuskertymää betonirakenteessa
- Kesän rankatkin sateet kuivuvat nopeasti eivätkä aiheuta korroosiota
- Viistosaderasitetuilla julkisivuilla aktiivinen korroosioaika ennen betonipeitteen halkeamista on:
 - 6-10 vuotta nykyilmastossa
 - 5-8 vuotta 2050 ilmastossa (RCP8.5)
 - 4-7 vuotta 2080 ilmastossa (RCP8.5)





Pakkala 2020



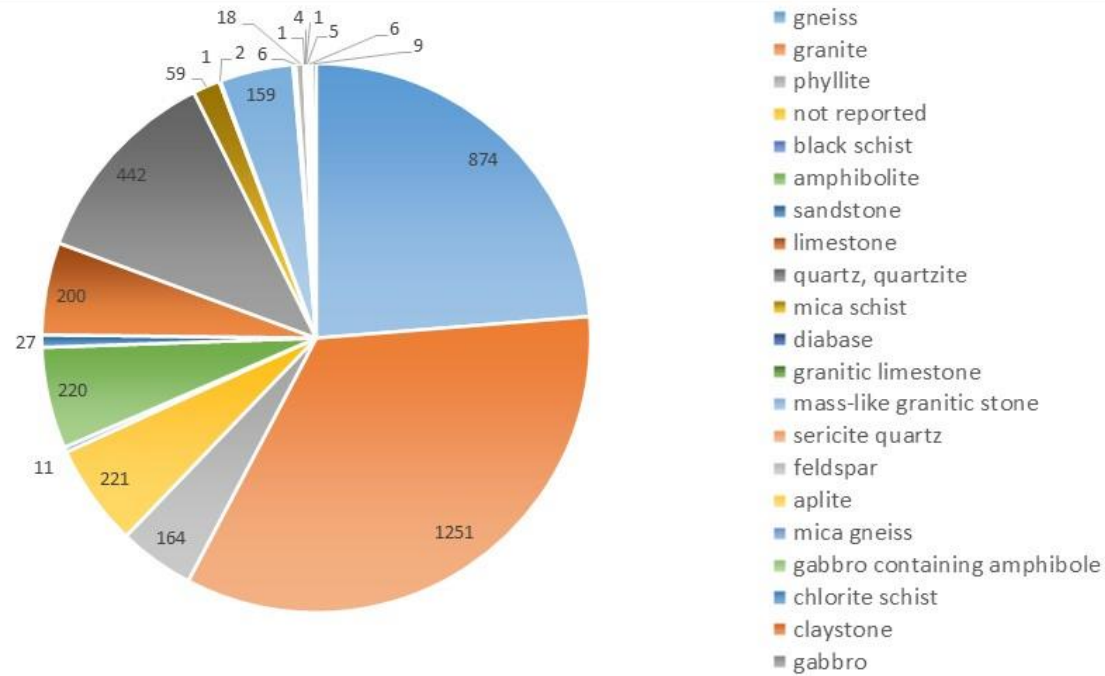
BETONIN ALKALI-KIVIAINESREAKTION POTENTIAALI

Table 1 – Alkali-reactivity classification of rocks.

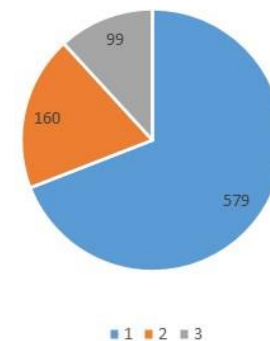
Class I	Class II	Class III
Very unlikely alkali-reactive	Alkali-reactivity uncertain	Very likely alkali-reactive
Rocks with quartz content < 15 %, e.g.	Rocks with deformed quartz, grain size < 0.2 mm and content > 15 %, e.g.	Metamorphic rocks, quartz size < 0.060 mm and content > 15 %, e.g.
<ul style="list-style-type: none"> • gabbro • diorite • diabase • alkaline vulcanite 	<ul style="list-style-type: none"> • deformed granite • deformed granitoid • deformed granodiorite • deformed tonalite 	<ul style="list-style-type: none"> • dark schists • phyllite • fine-grained rocks with high quartz content • quartzite • gneiss with fine-grained quartz
Solid plutonic rocks, quartz grain size > 0.2 mm, e.g.	Metamorphic rocks, e.g.	
<ul style="list-style-type: none"> • granite • granodiorite 	<ul style="list-style-type: none"> • gneiss • schist • metamorphic vulcanite • quartzite 	
Metamorphic rocks, quartz grain size > 0.2 mm, e.g.	Low metamorphic sedimentary rock, e.g.	
<ul style="list-style-type: none"> • mid- and coarse grain size gneiss, schist and quartzite • amphibolite 	<ul style="list-style-type: none"> • sandstone • claystone 	

Päivittyvä ohje betonin alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi (2021)

BETONIN ALKALI-KIVIAINESREAKTION POTENTIAALI



Betonin kiviainesluokat



PÄÄTELMÄT

- Ilmastonmuutos lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta ja sateisuutta ja siten nopeuttaa kaikkia betonin ja betonirakenteen vauriomekanismeja
- Muutokset ovat määrällisesti suurimpia rannikkoalueella ja Etelä-Suomessa, mutta suhteellisesti suurimpia Pohjois-Suomessa
- Nykymääräysten mukaisilla betonirakenteilla karbonatisoituminen ei etene raudoitteiden syvyydelle 100 vuoden aikana ankarimmimmissakaan skenaariossa (RCP8.5)
- Lähellä pintaa karbonatisoituneessa betonissa olevien raudoitteiden aktiivinen korroosioaika jää lyhyeksi sateella alttiilla pinnoilla
- Sateelta suojatuissa rakenteissa aktiivinen korroosioaika on kymmeniä vuosia
- Huokoisen materiaalin pakkasrapautuminen on todennäköisin vauriomekanismi myös tulevaisuuden ilmastossa, jos lisähuokostusta ei ole tehty tai se on epäonnistunut.
- Nykyinen lisähuokostus on riittävä varmistamaan pakkasenkestävyyden myös tulevaisuuden ilmastossa
- Betonin ASR-havainnot todennäköisesti lisääntyvät tulevaisuudessa, koska siirrytty laajasti murskatun kiviaineksen käyttöön

