

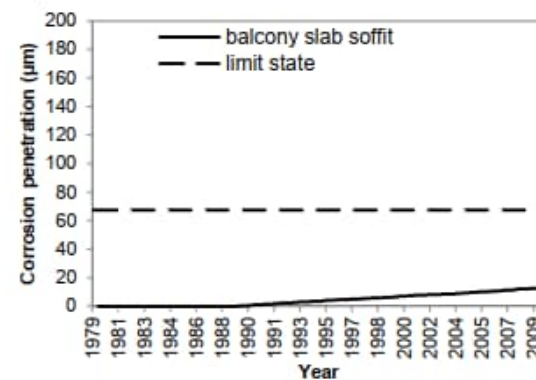
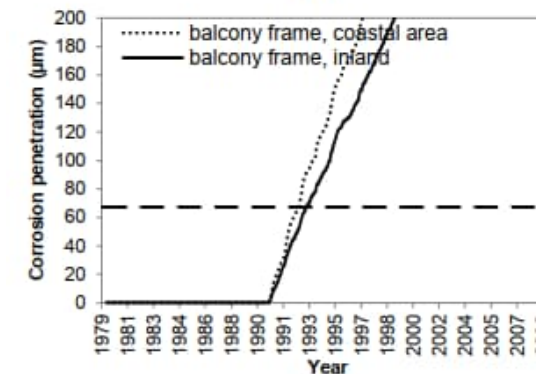
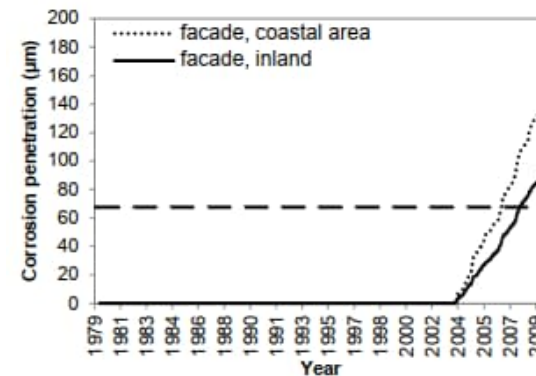
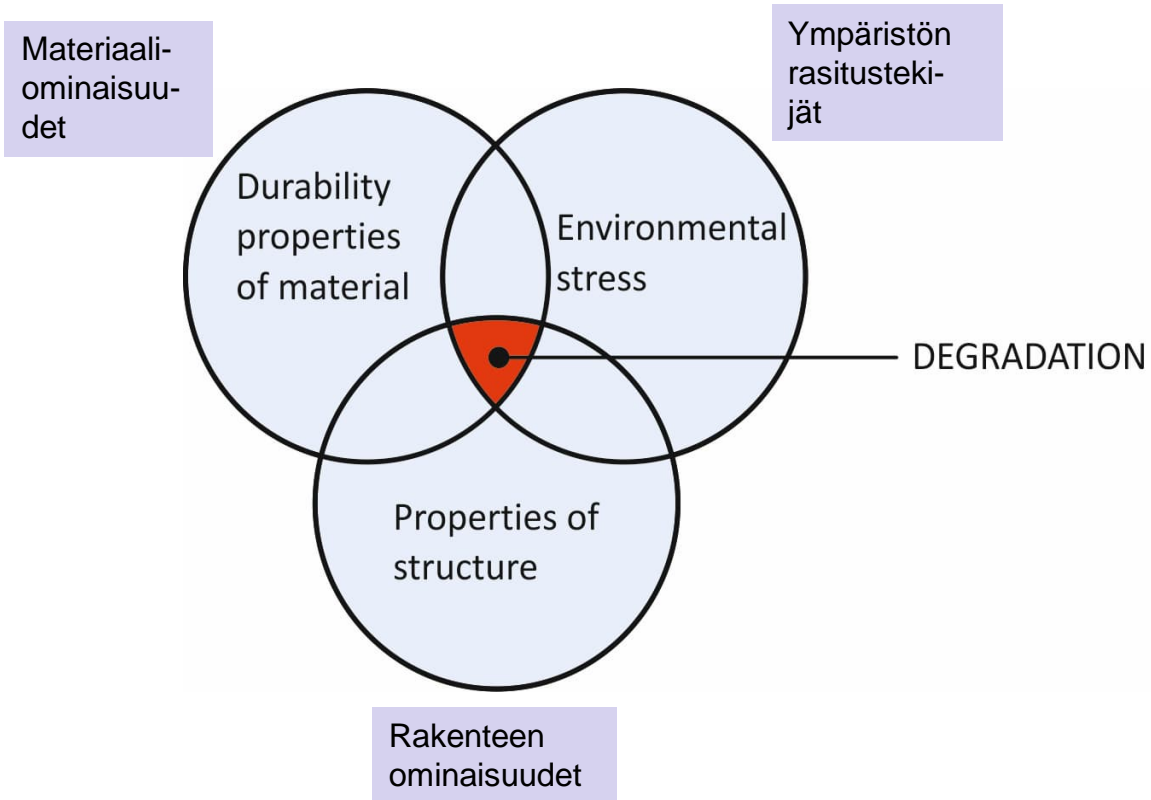


Muurattujen ja rapattujen rakenteiden kuntotutkijan pätevyys

Osa 2: Rasitusolot

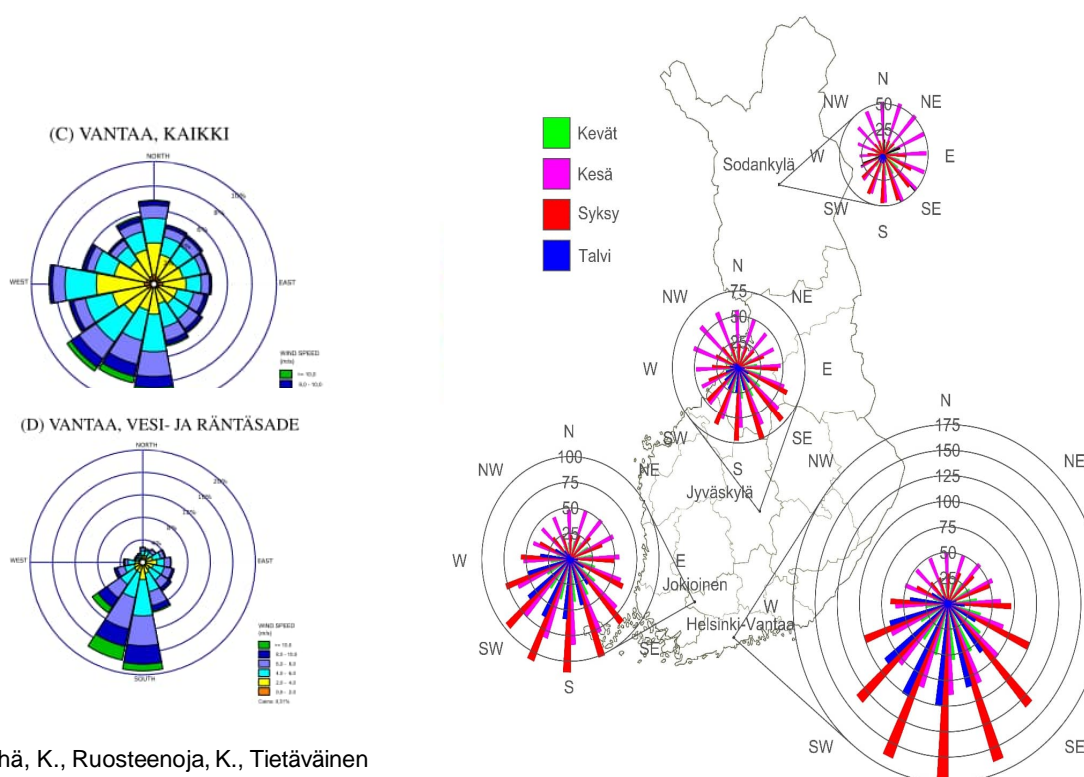
13.11.2024, Toni Pakkala

Vaurioituminen



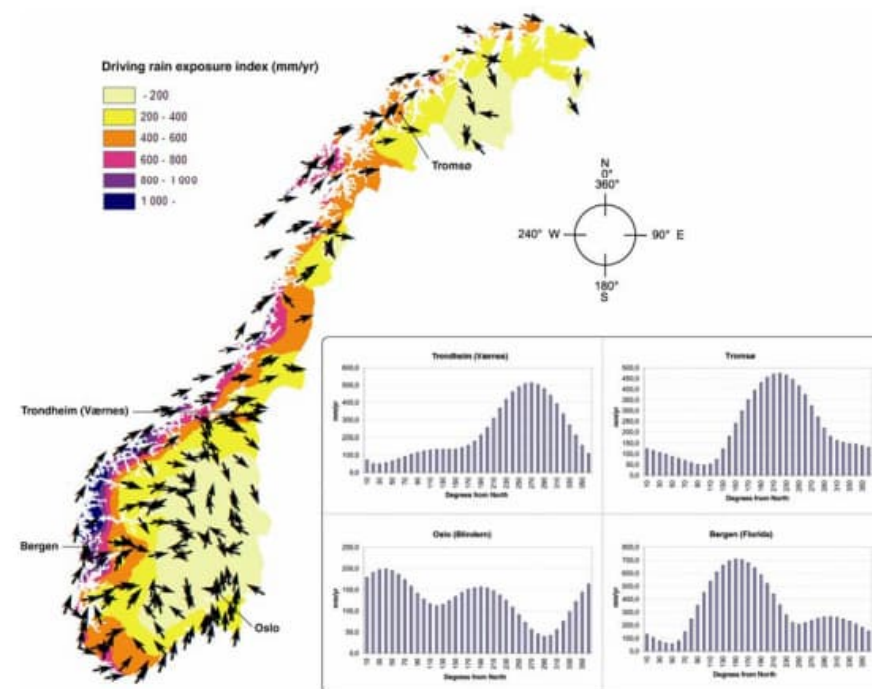
Köliö, A. 2016. Propagation of Carbonation Induced Reinforcement Corrosion in Existing Concrete Facades Exposed to the Finnish Climate. Tampere University of Technology. PhD thesis. TUT Publ. 1399. 147 p.

Rasitusolot



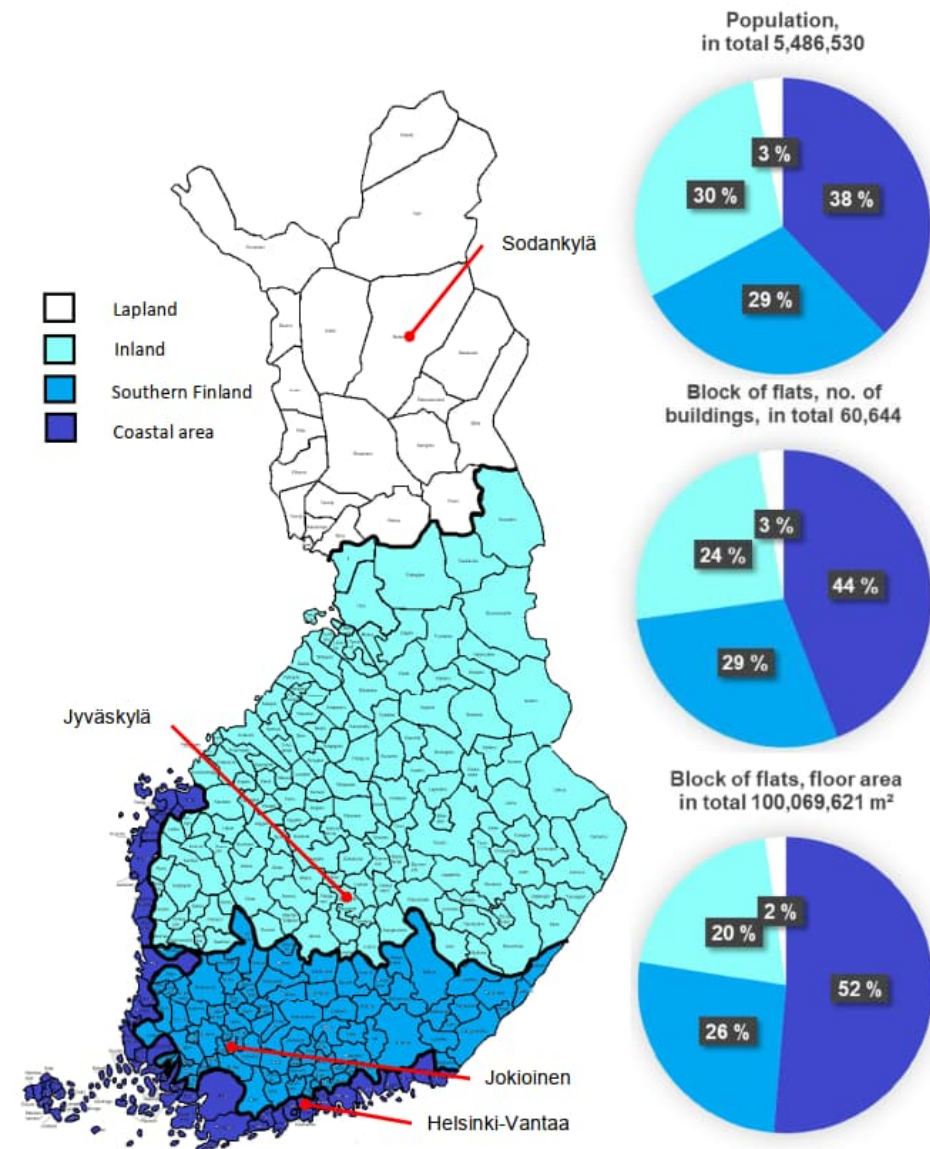
Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Tietäväinen H., et al. 2011. Rakennusfysiikan ilmastollisten testivuosien sääaineistot nykyisessä ilmastossa ja arviot tulevaisuuden muutoksista. Väiliraportti. Ilmatieteen laitos. Helsinki. 6 s. 20 liites.

Lemberg, A.M., Lahdensivu, J., Köliö, A., Paakkala, T. 2019. Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusohje [Guideline for Condition Investigation of ETICS]. Julkisivuyhdistys ry. Available: www.julkisivuyhdistys.fi/oppaat. 108 p., 2 app.

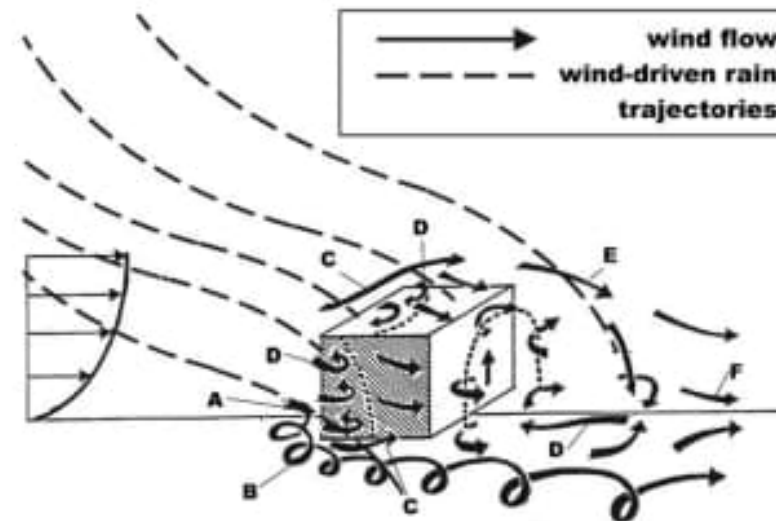
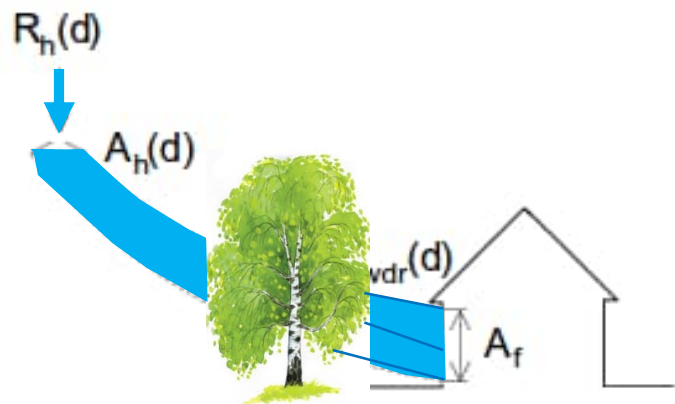


Lisø, K.R. 2006. Building envelope performance assessments in harsh climates: Methods for geographically dependent design. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology. Doctoral Theses at NTNU 185. 187 p.

Jako rakennuskannan ja rasitusolojen perusteella

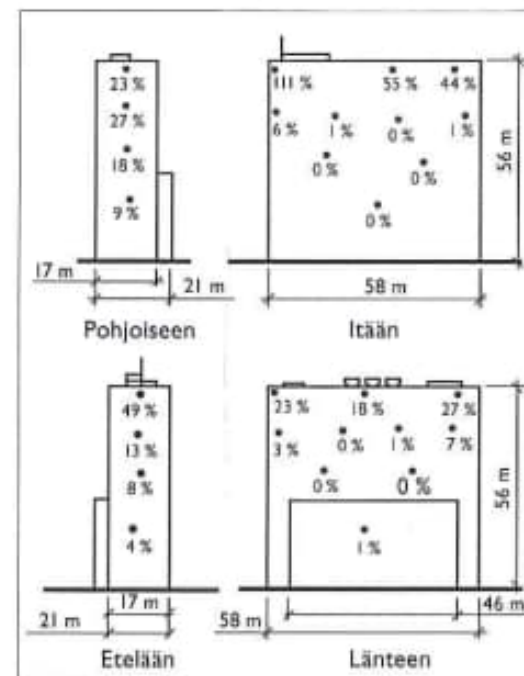
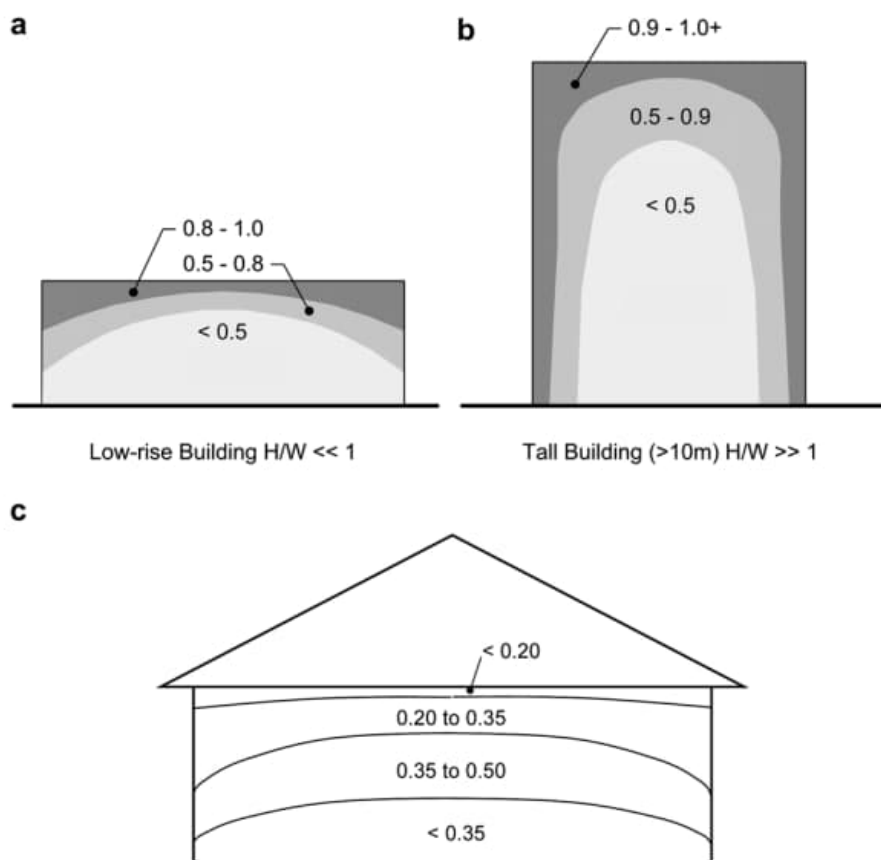


Rasitusolot - viistosade



Blocken, B., Carmeliet, J. 2004. A review of wind-driven rain research in building science. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 92, Issue 13. Pp. 1079-1130.

Rasitusolot - viistosade



Blocken, B., Carmeliet, J. 2010. Overview of three state-of-the-art wind-driven rain assessment models at comparison based on mod theory. Building and Environment, Volume 45 (2010). Pp. 691–703.

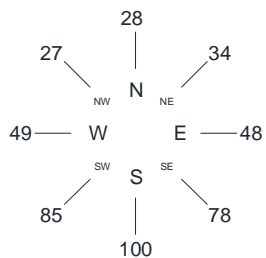
Jerling, A., Schechninger, B. 1983. Fogars beständighet. Byggeforskningsrådet. Rapport R89:1083. Stockholm. 172 p. (in Swedish)

Rasitusolot

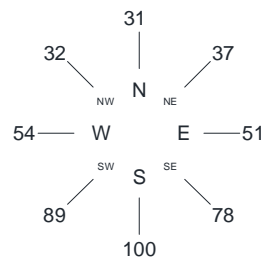
Vapaa viistosademäärä suhteessa etelään

– nykyilmasto

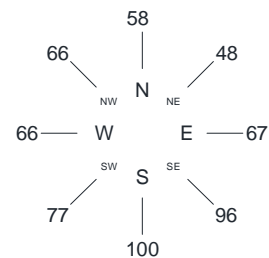
Vantaa



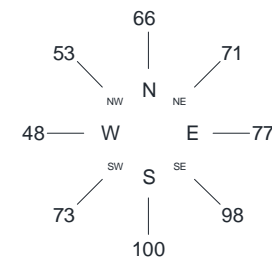
Jokioinen



Jyväskylä

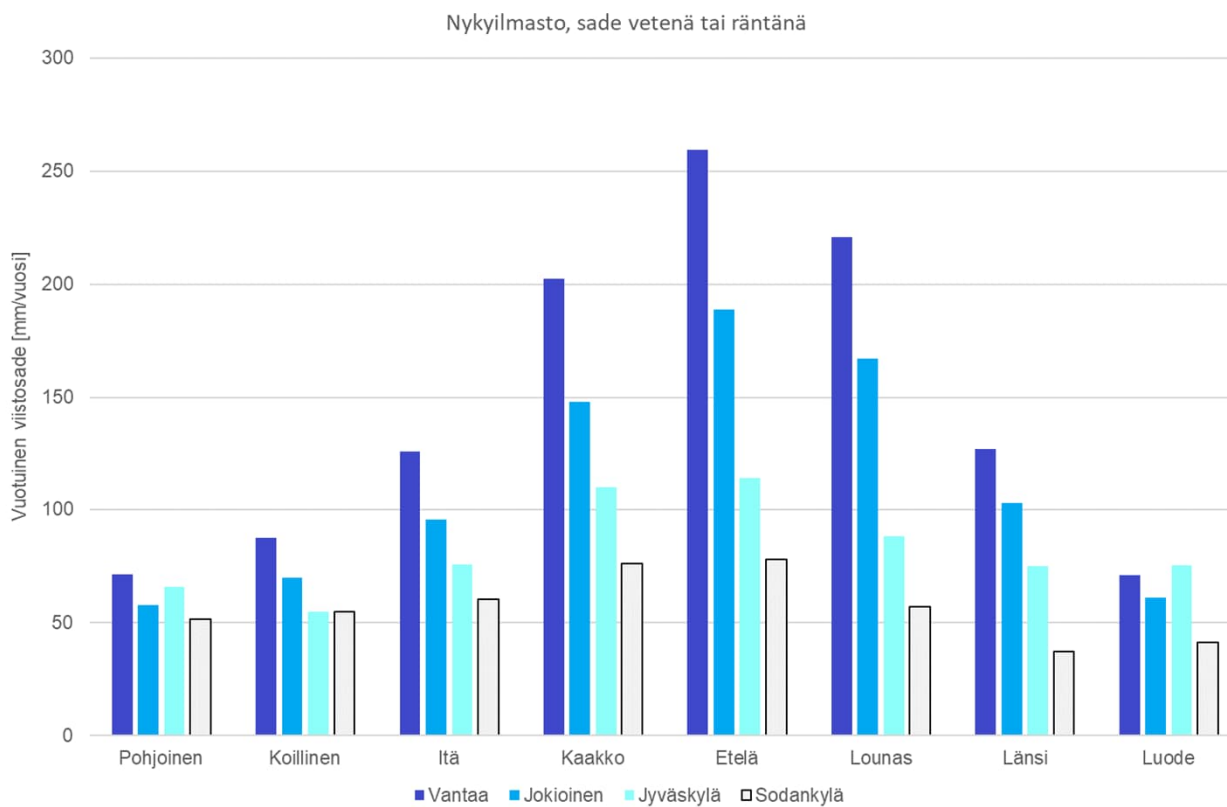


Sodankylä



Rasitusolot

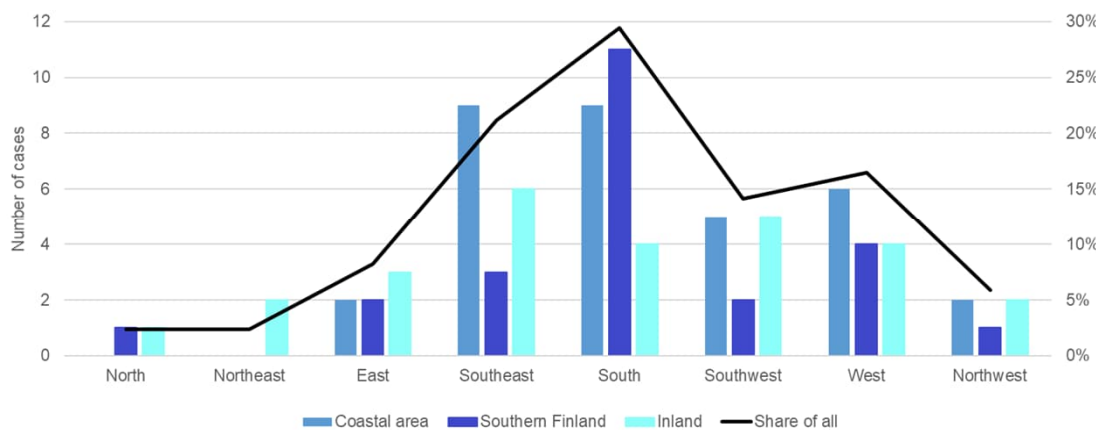
Vapaa viistosademäärä - nykyilmasto



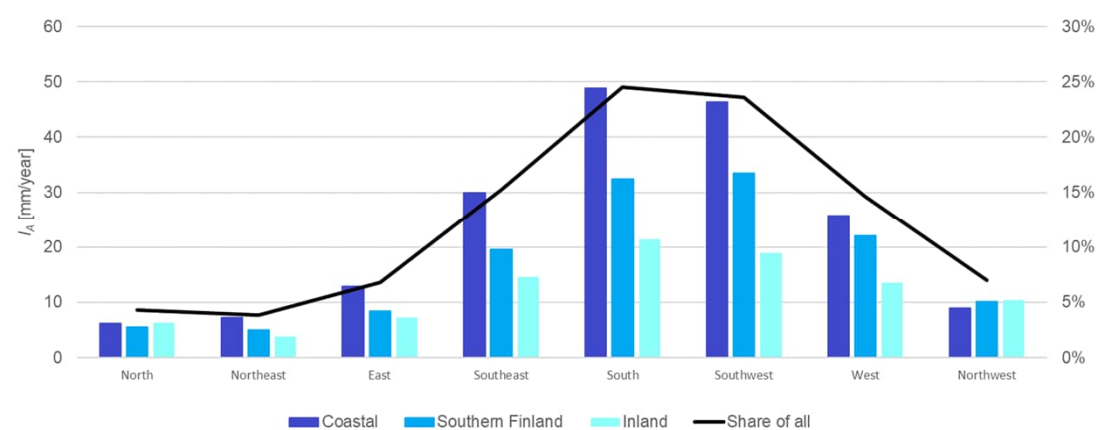
Tulokset

Viistosademäärä vs. pakkasrapautuma

Vasaroimalla havaittu pitkälle edennyt pakkasrapautuma



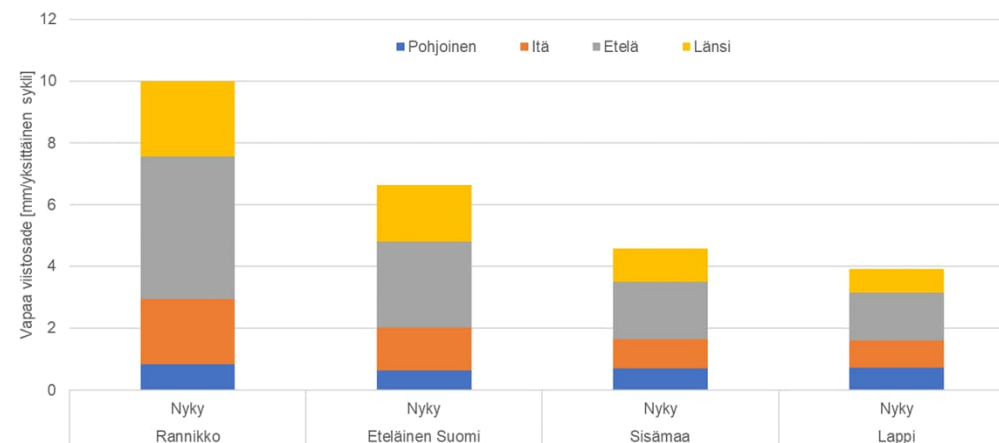
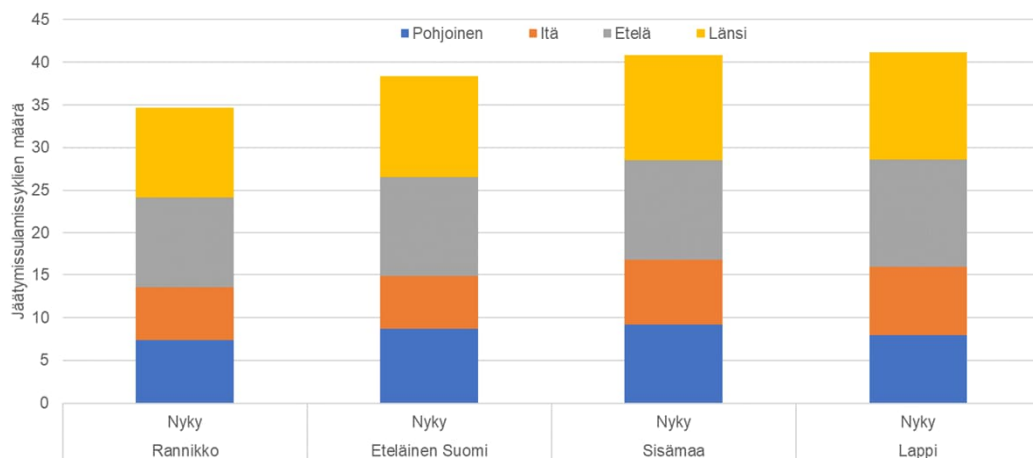
Viistosademäärä julkisivulle max. 72 h ennen pakkassykliä



Pakkala, T. A., Lahdensivu, J. Huuhka, P., Kivioja, H., Lemberg, A.-M. 2019. Freeze-thaw Damage Dependence on Wind-driven Rain of Outdoor Exposed Concrete – A Case Study. *Nordic Concrete Research*, Publication no. 61 2/2019

Rasitusolot

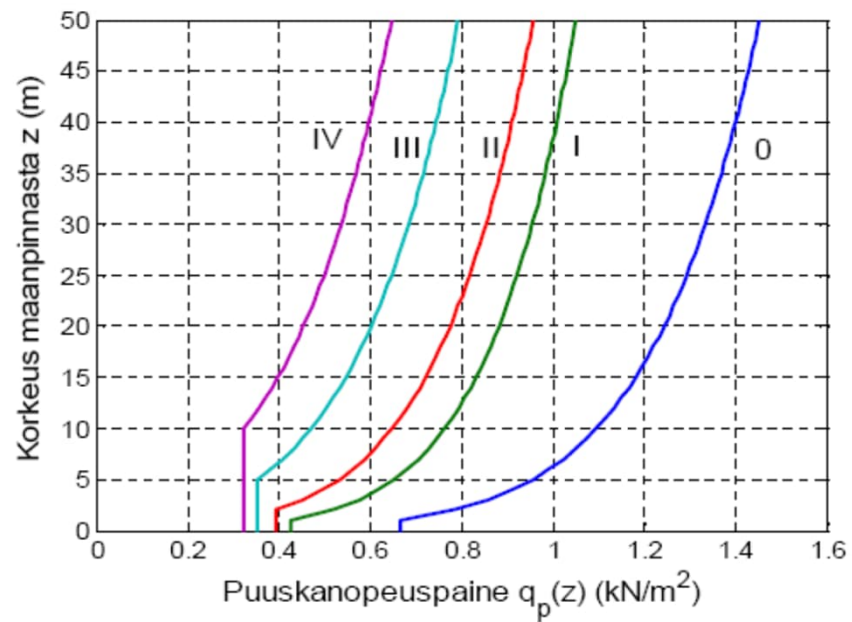
Jäätymis-sulamirasitus



Sateen jälkeisten jäätymissulamissyklien määrä nykyilmastossa eri sijainneilla ja erisuuntaisten sateiden jälkeen. Sadetilanteeksi on laskettu enintään 72 h ennen sykliä satanut vesi- tai räntäsade. Jäätymissulamissykliksi on laskettu -5 °C:een alitus.

Yksittäistä jäätymissulamissykliä edeltävä sademäärä nykyilmastossa eri sijainneilla ja erisuuntaisten sateiden jälkeen. Sademäärään on laskettu enintään 72 h ennen sykliä sataneen vesi- tai räntäsateen määrän keskiarvo. Jäätymissulamissykliksi on laskettu -5 °C:een alitus.

Rasitusolot Tuuli



<https://twitter.com/lupelastus/status/1710597551957721148>

Rasitusolot Ilman epäpuhtaudet

- Hiilidioksidi
 - edistää lujuuden kehitystä kalkki- ja sementtilaasteilla
 - sementtipohjaisten laastien pH laskee (karbonatisoituminen) -> teräksiä suojaava vaikutus heikkenee
- Rikkidioksidi
 - reagoi veden kanssa muodostaen rikkihappoa, joka reagoi muuntaen kalkkilaastien kalkkia kipsiksi
 - reagoi laastin rautaoksidien kanssa aiheuttaen värimuutoksia ja paisumisilmiöitä



Toivonen, T. 2019. Julkisivun metamorfoosi: rakennuksen muuttuvan hahmon arvo. Diplomityö, Oulun yliopisto, 96 s.

Ilmastonmuutosennusteet

Hiilidioksiidi suurin saastuttaja

San Francisco (UPI)

TIEDEMIEHET esittivät varoituksen ihmiskunnalle, että saastuminen voisi muuttaa valtameren lämpötilaa ja maan ilmastoa. E. D. Goldberg, valtameriä tutkiva kemisti, kertoi Amerikan geofysikaalisen liiton kokouksessa, että ihminen muuttaa ympäristöään melkein yhtä paljon kuin luonto itse. --

Goldberg kehotti aloittamaan koulutusohjelman, jotta voitaisiin mitata sellaisten kemikaalien kuten lyijyn, elohopean ja petroolin aiheuttamia kasvavia vahinkoja.

J. O. Fletcher, fyysikkotiedemies Santa Monicasta, Kaliforniasta, sanoi, että ihmisellä on vain muutamia vuosikymmeniä aikaa saastumisen aiheuttaman ongelman ratkaisemiseen.

"Erittäin tärkeitä muutoksia on tapahtunut meidän elin-aikanamme" Fletcher sanoi.

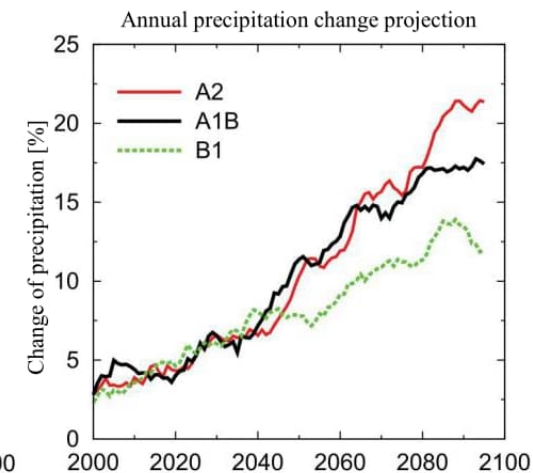
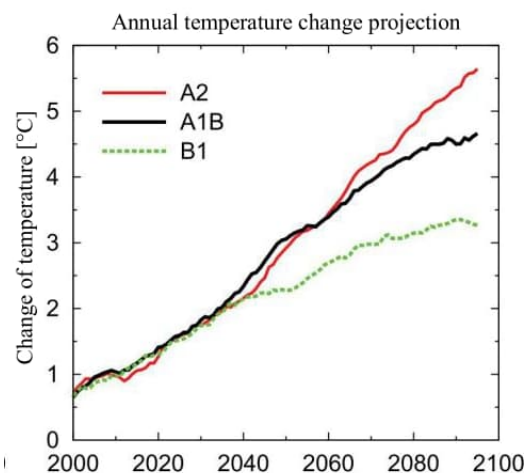
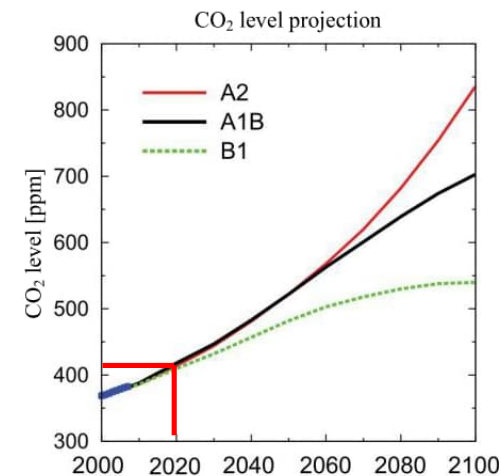
"Ei ole olemassa mitään todisteita siitä, että ihmisen

vaikutus olisi pienempi kuin luonnon. Kuitenkin jo seuraavan sukupolven aikana ihmistä tulee tärkeä, ja hiilidioksiidisaastutuksesta kaikkein tärkein."

Hiilidioksiidilla, joka on aiheuttanut lähes puolet maapallon lämmön noususta 20. vuosisadan alkupuolella, on ollut paljon suurempi vaikutus kuin pölyllä, lialla ja savulla.

Maapallon lämpö voisi aiheuttaa maan jääpeitteen sulamista ja vaikuttaa sen ilmastoon.

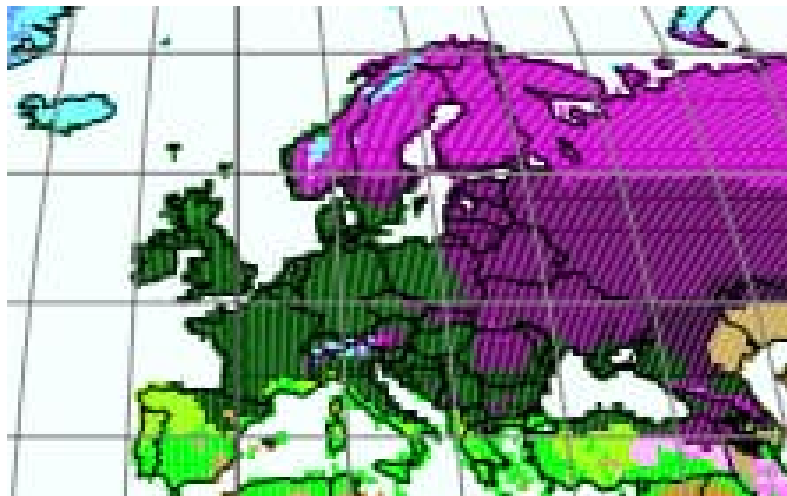
Helsingin Sanomat.
27.12.2019, "HS 50 vuotta sitten". Saatavilla:
<https://www.hs.fi/historia/art-2000006353435.html>



Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S., Seitola, T. 2009. The changing climate in Finland: estimates for adaption studies. ACCLIM project report 2009. Finnish Meteorological Institute. Reports 2009:4. Helsinki. 78 p. 36 app.

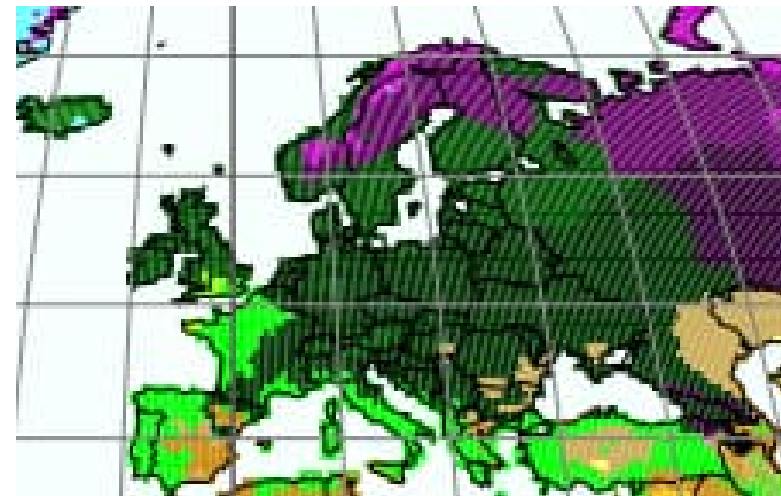
Ilmastomuutosennusteet

Main climates	Precipitation	Temperature	
A: equatorial	W: desert	h: hot arid	F: polar frost
B: arid	S: steppe	k: cold arid	T: polar tundra
C: warm temperate	f: fully humid	a: hot summer	
D: snow	s: summer dry	b: warm summer	
E: polar	w: winter dry	c: cool summer	
	m: monsoonal	d: extremely continental	



1951 to 2000

Kottek, M., Grieser, J., Beck C., Rudolf, B, Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), Pp. 259–263.



period 2076 - 2100

Rubel, F, Kottek, M.. 2010. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift* 19(2), Pp. 135–141.

Rasitusolot

Ilmastonmuutoksen vaikutus viistosademäärään

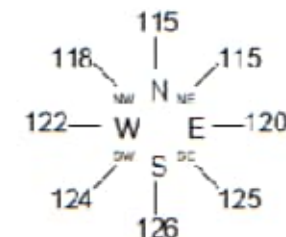
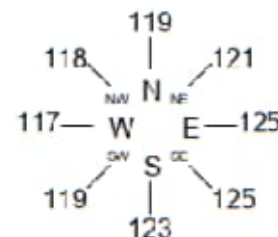
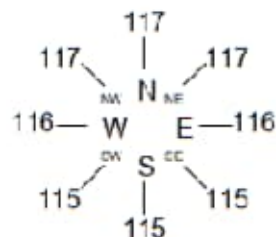
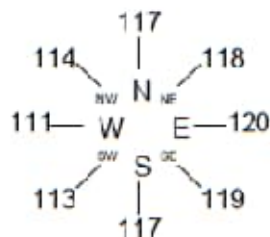
Rannikko

Eteläinen Suomi

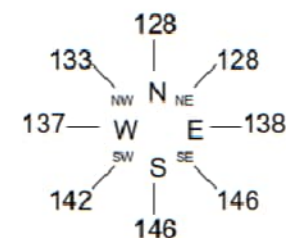
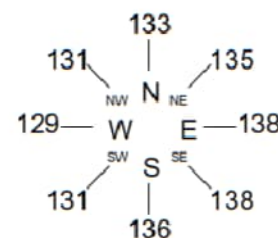
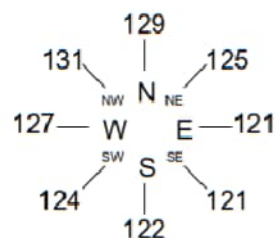
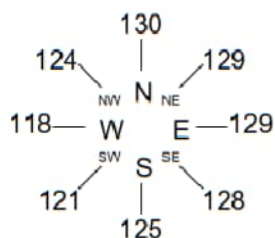
Sisämaa

Lappi

2050, RCP8.5



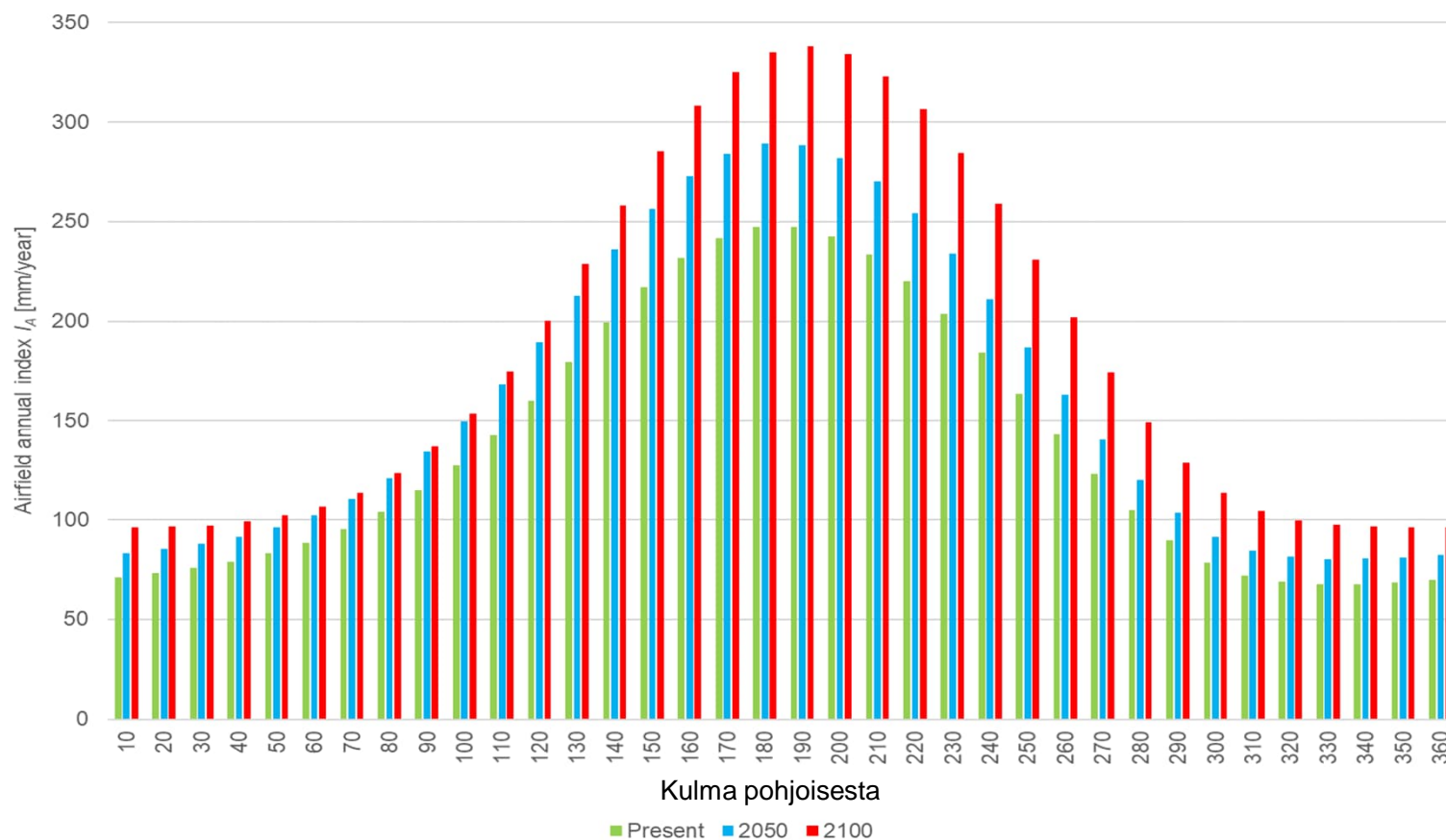
2080, RCP8.5



Laukkarinen, A., Jokela, T., Vinha, J., Pakkala, T., Lahdensivu, J., Lestinen, S., Jokisalo, J., Kosonen, R., Lindfors, A., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. 2022. Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoituolosuhteet – RAMI-hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto, Rakennustekniikka, Tutkimusraportti 3. Tampere. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>

Rasitusolot

Ilmastonmuutoksen vaikutus viistosademääriin



Pakkala, T. A., Lemberg, A.-M., Lahdensivu, J., Pentti, M. 2016. Climate change effect on wind-driven rain on facades. *Nordic Concrete Research*, Publication 54 1/2016. Pp. 31–49.

Rasitusolot

Ilmastonmuutoksen vaikutus viistosademääriin

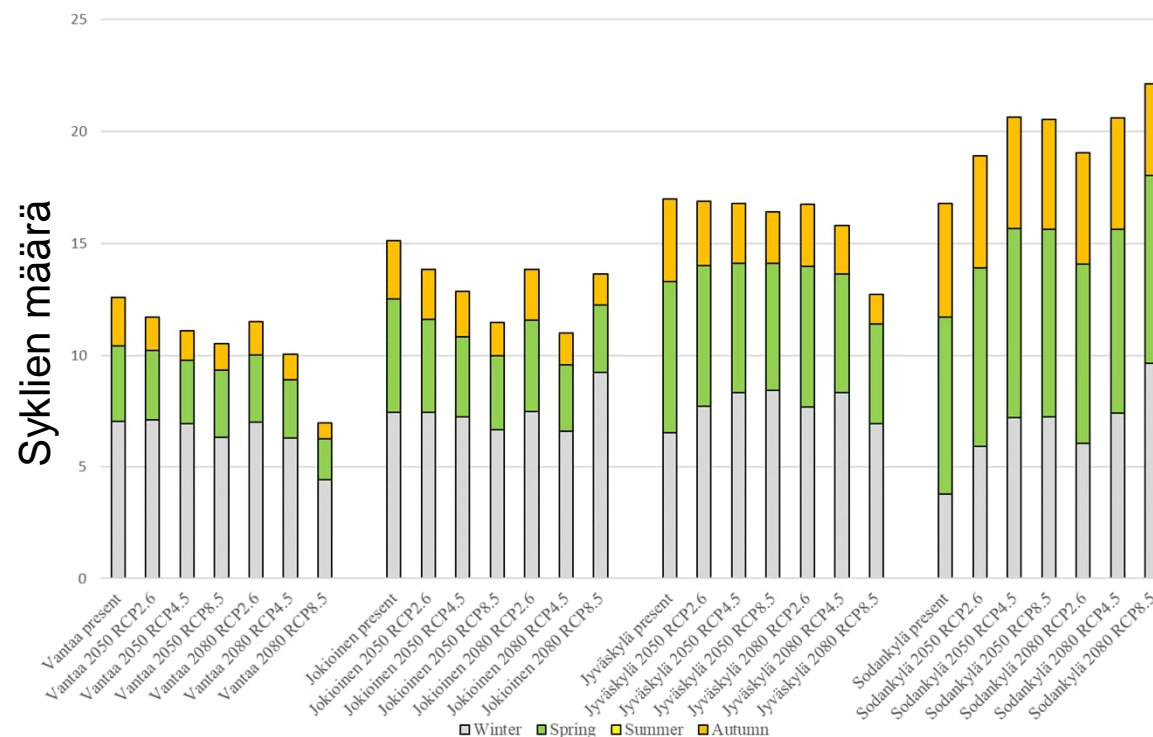
Sijainti	Nyky-ilmasto [mm/vuosi]	2050 [mm/vuosi]			2080 [mm/vuosi]		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Rannikko	583	635	646	676	638	668	729
Eteläinen sisämaa	445	484	497	514	487	512	551
Sisämaa	331	369	380	401	372	398	443
Lappi	227	248	262	275	251	277	313

Lahdensivu, J., Pakkala, T., Pikkuvirta, J., Räsänen, A., Alastalo, S., Karvonen, A., Täubel, M., Pekkanen, J., Juntunen, M., Velashjerdi Farahani, A., Jokisalo, J., Kosonen, R., Jylhä, K., Lanki, T., Leino, O., Kollanus, V. 2023. *Rakennusten kosteusvauriot ja yllämpeneminen muuttuvassa ilmastossa – RAIL*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:2. 190 s.

Keskimääräiset vuotuiset viistosademäärät (vetenä) eri sijainneilla nyky- ja tulevaisuuden ilmastossa. Keltaisella on merkitty määrät, jotka ylittävät 400 mm/vuosi, jota on pidetään Norjassa rajana a) kuorimuurin tuuletusaukkojen lisäämisen tarpeelle (Kvande ja Lisø 2009) sekä b) ohutrappaus-eristejärjestelmän käytön suositukselle (Kvande ym. 2018), ks. ed. kappaleet.

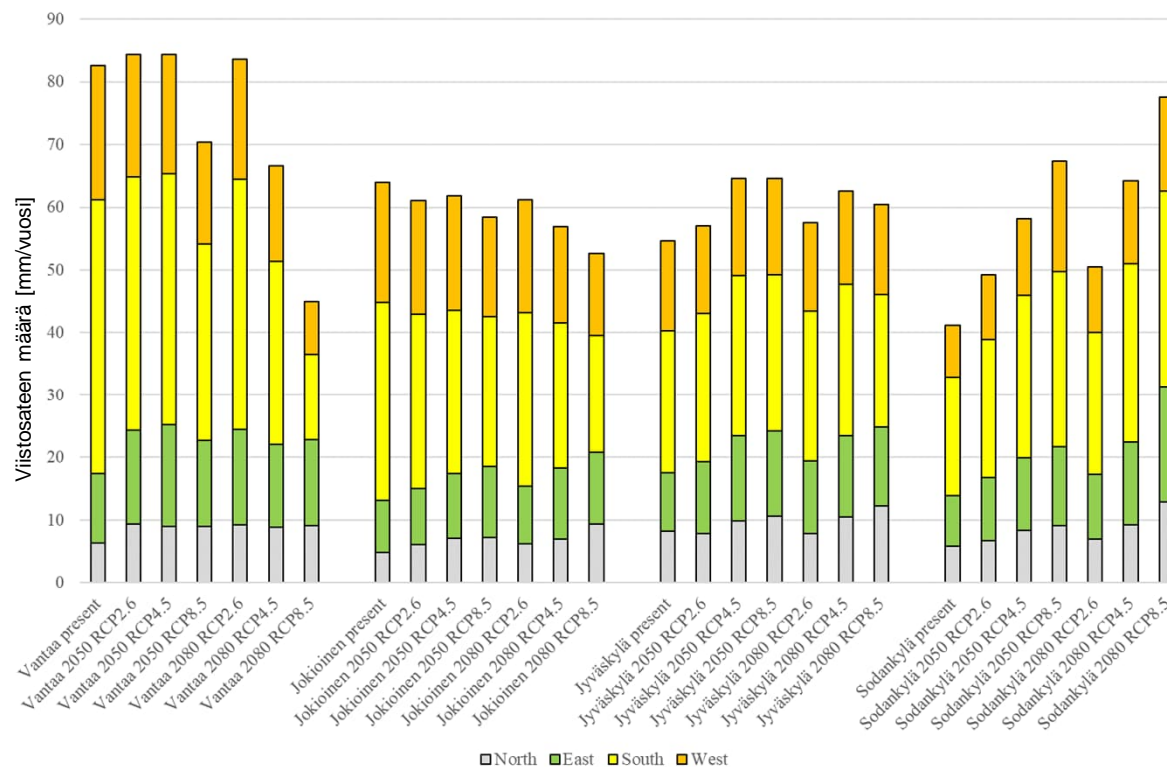
Rasitusolot

Ilmastonmuutoksen vaikutus sateen jälkeisten (max. 72 h)
jäätymissulamissykliä (-5 °C) määrään



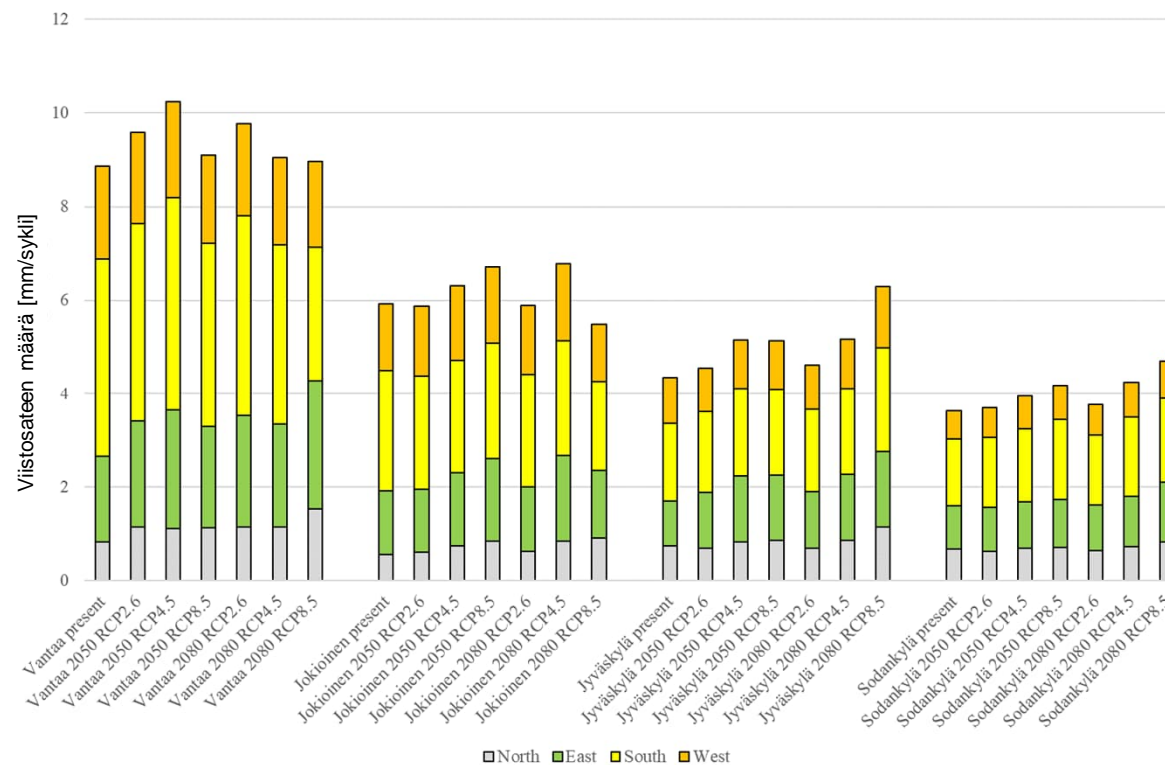
Rasitusolot

Ilmastonmuutoksen vaikutus vuotuisen viistosademäärään
max. 72 h ennen jäätymissulamissykliä (-5 °C)



Rasitusolot

Ilmastonmuutoksen vaikutus viistosademäärään max. 72 h ennen yksittäistä jäätymissulamissykliä (-5 °C)



Rasitusolot

Ilmastonmuutoksen vaikutus aktiivisen korroosion nopeuteen

Ilmasto	Rannikko [vuotta]	Eteläinen Suomi [vuotta]	Sisämaa [vuotta]	Lappi [vuotta]
Nyky	5.7	6.1	8.2	37.5
2050	5.3	5.5	7.4	37.5
2100	5.3	5.1	6.1	19.7

Köliö A., Pakkala T. A., Lahdensivu J., Kiviste M. 2014. Durability demands related to carbonation induced corrosion for Finnish concrete buildings in changing climate. Engineering Structures, 62-63 (2014). Pp. 42–52.

	RCP8.5 2050	RCP8.5 2080
Vantaa	21 %	34 %
Jokioinen	18 %	29 %
Jyväskylä	25 %	39 %
Sodankylä	23 %	42 %

Laukkarinen, A., Jokela, T., Vinha, J., Pakkala, T., Lahdensivu, J., Lestinen, S., Jokisalo, J., Kosonen, R., Lindfors, A., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. 2022. Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet – RAMI-hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto, Rakennustekniikka, Tutkimusraportti 3. Tampere. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>



<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-278-7>

Homeindeksin vuoden maksimiarvo [M] 30-vuoden tarkastelussa	Riski homeenkasvulle rakenteessa	Värikoodi
Mediaani > 3	Erittäin merkittävä	
Ylin 75 persentti > 2	Merkittävä	
Mediaani > 2	Kohtalainen	
Ylin 75 persentti > 1	Vähäinen	
Mediaani > 1	Erittäin vähäinen	
Mediaani < 1	Epätodennäköinen	

Rakenne	Nykyilmasto	Tulevaisuuden ilmasto
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja erittäin homeutumisherkkä (HHL1)	 	
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2)	 	
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja erittäin homeutumisherkkä (HHL1) (suojattu tuulensuojavillalla)	 	
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusvälissä laastipurseita, tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2) (suojattu tuulensuojavillalla)	 	
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 200 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL1)	 	
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 100 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL1)	 	
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 200 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2)	 	
Tiilimuurattu puurunkoinen pientalo, tuuletusväli avoin, eristepaksuus 100 mm tuulensuoja homeutumisherkkä (HHL2)	 	
Tiili-villa-tiili/betoni, matalat kerrostalot, ei tuuletusväliä	 	
Tiili-villa-tiili, matalat kerrostalot eristepaksuus 250 mm, tuuletusvälissä laastipurseita	 	
Tiili-villa-tiili, matalat kerrostalot eristepaksuus 60-100mm, tuuletusvälissä laastipurseita	 	
Tiili-villa-tiili, pientalot, ei tuuletusväliä	 	
Hyvin suurella vesihöyrynvastuksella pinnoitettu betonisandwich-rakenne ilman tuuletusuria	 	
Betonisandwich-rakenteet ilman tuuletusuria, vedenimuominaisuuksilta hyvin voimakkaat betonit (esim. pesubetoni)	 	
Betonisandwich-rakenteet heikoilla tuuletusurilla, vedenimuominaisuuksilta hyvin voimakkaat betonit (esim. pesubetoni)	 	
Betonisandwich-rakenteet ilman tuuletusuria, vedenimuominaisuuksilta voimakkaat betonit (esim. C20/25)	 	
Tuulettumaton purulla eristetty omakoti talo huonosti vesihöyryä läpäisevällä maalilla	 	

Yhteenveto kosteus- ja mikrobivaurioiden lisääntymisestä tulevaisuuden ilmastossa

- Suurin osa Suomessa yleisesti käytettävistä ulkoseinärakenteista toimii rakennusfysikaalisesti hyvin sekä nykyisessä että tulevassa ennustetussa ilmastossa
 - Jos toimii nykyilmastossa, lähtökohtaisesti toimii myös tulevaisuuden ilmastossa
- Hyvän rakennusfysikaalisen toimivuuden edellytyksiä ovat
 - ulkoverhouksen takana oleva avoin tuuletusrako
 - viistosadetta heikosti läpäisevä julkisivupinta
 - heikosti homehtuvat materiaalit
- Korkean homehtumisriskin rakenteita yhdistää mm. seuraavat piirteet:
 - päästävät viistosadetta lävitseen ja pidättävät vettä rakenteen huokosverkostossa (tiili, läpäisevä betoni)
 - rakenteen tuuletus on heikkoa
 - jonkin rakenneosan homehtumisherkkyysluokka on matala (HHL1)

Julkisivumateriaalien säilyvyys tulevaisuuden ilmastossa

- Huokoisten kiviainespohjaisten materiaalien (betoni, tiili, rappaus) säilyvyysmielessä olosuhteet
 - heikkenevät korroosiovaurioiden kannalta
 - kevenevät pakkasrasituksen kannalta(?)
 - heikkenevät leväkasvustojen kannalta
- Muuratuilla rakenteilla korostuu muurauskivien ja laastin laatu (pakkasenkestävyys) ja tuuletuksen toimivuus
- Kovalle alustalle rapatuilla rakenteilla korostuu rappauksen laatu (pakkasenkestävyys, tartunta) ja halkeilukäyttäytyminen
- Eristerappausjärjestelmillä korostuu rappauksen laadun lisäksi detaljien toimivuus sekä työmaatoteutus

Kiitos!

toni.pakkala@tuni.fi

toni.pakkala@renovatek.fi

[Väitöskirja: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1423-1](http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1423-1)

www.julkisivuyhdistys.fi

