



Jäätymis-sulamisrasitustasoa arvioiva indeksi

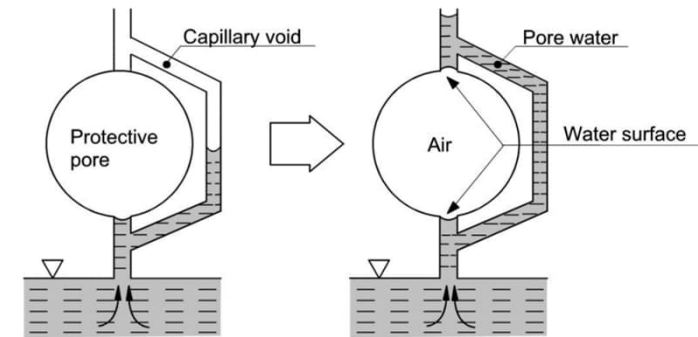
Betonitutkimusseminaari – 20.11.2024



*Toni Pakkala, TkT
Yliopistonlehtori, Tampereen yliopisto*

Taustaa

Pakkasrapautuminen



Suomen Betoniyhdistys. 1992. by 32 Betonirakenteiden säilyvysohjeet ja käyttöikämitoitus. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys ry. 66 p.

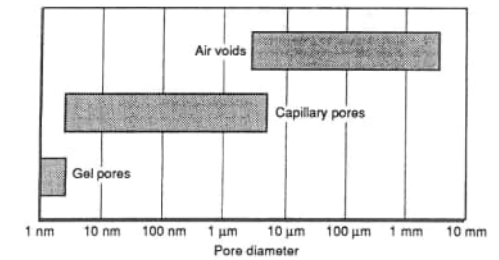


Figure 1.5 Range of pore sizes for the three basic categories of pores in concrete.

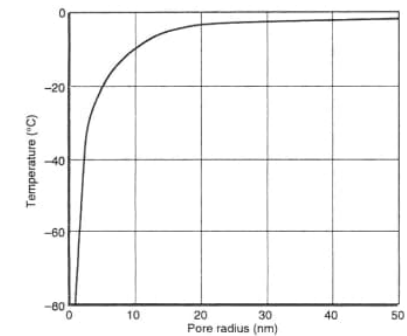


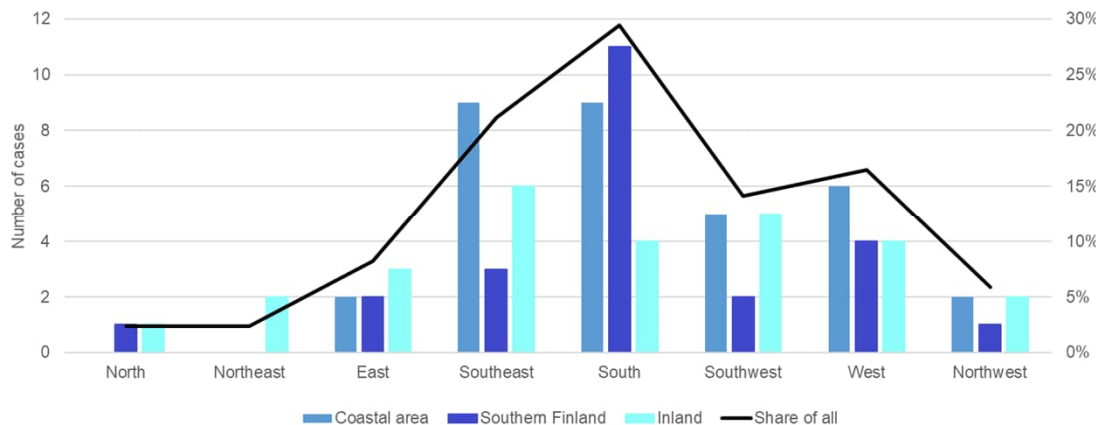
Figure 1.3 Relationship between the size of capillary pores and the temperature at which ice formation (from pure water) is possible inside these pores.

Pigeon, M., Pleau, R. 1995. Durability of concrete in cold climates. London. E & FN Spon. 244 p.

Taustaa

Pakkasrapautuminen nykyilmastossa

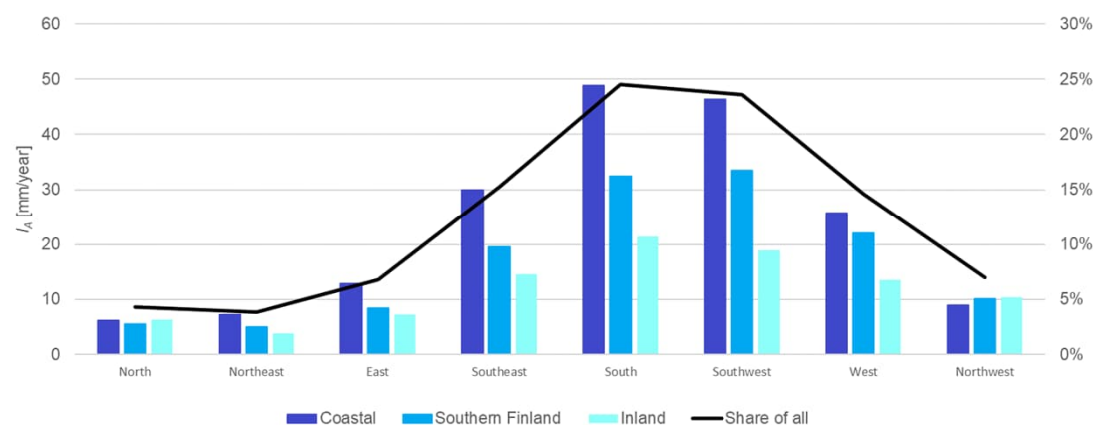
Vasaroimalla havaittu pitkälle edennyt pakkasrapautuma



	Rannikko [jäätymis- sulamissykliä määrä, $t \leq -5 \text{ }^\circ\text{C}$]	Sisämaa [jäätymis- sulamissykliä määrä, $t \leq -5 \text{ }^\circ\text{C}$]
Alkavaa pakkasrapautumaa	307	388
Pitkälle edennyttä pakkasrapautumaa	320	400

Lahdensivu, J. 2012. Durability Properties and Actual Deterioration of Finnish Concrete Facades and Balconies. Tampere University of Technology. PhD thesis. TUT Publ. 1028. 117 p.

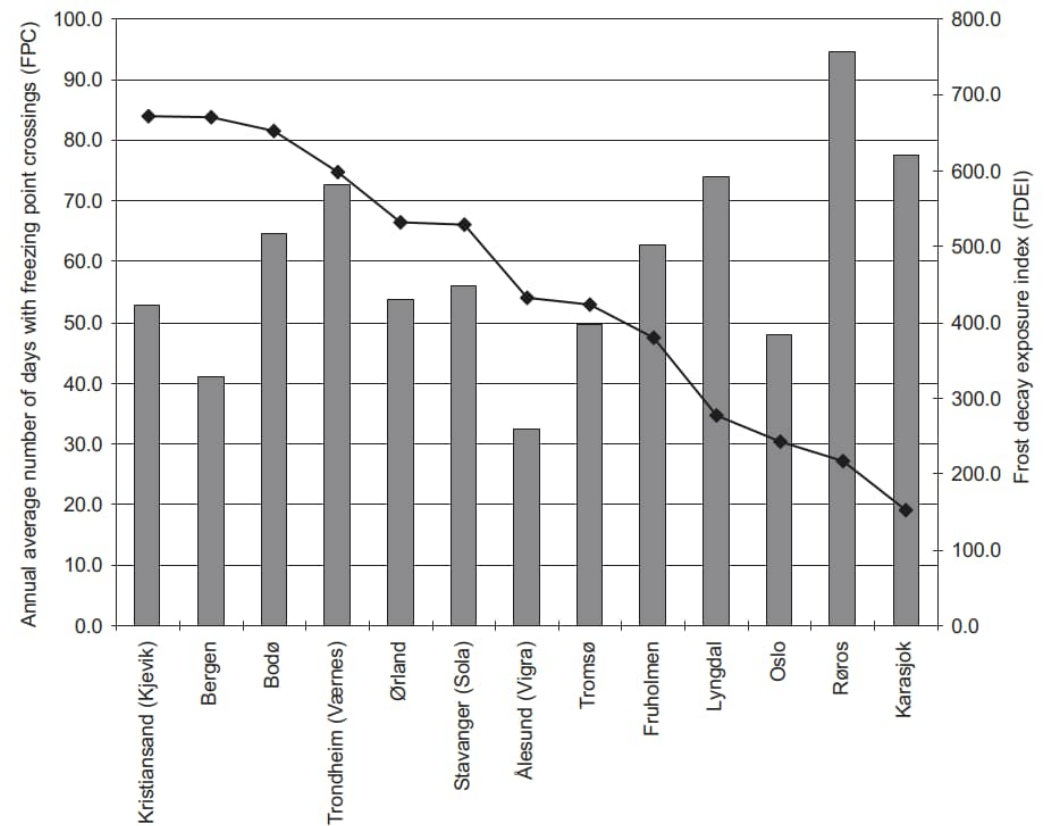
Viistosademäärä julkisivulle max. 72 h ennen pakkassykliä



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

Taustaa

Menetelmiä arvioida rasiustasoa

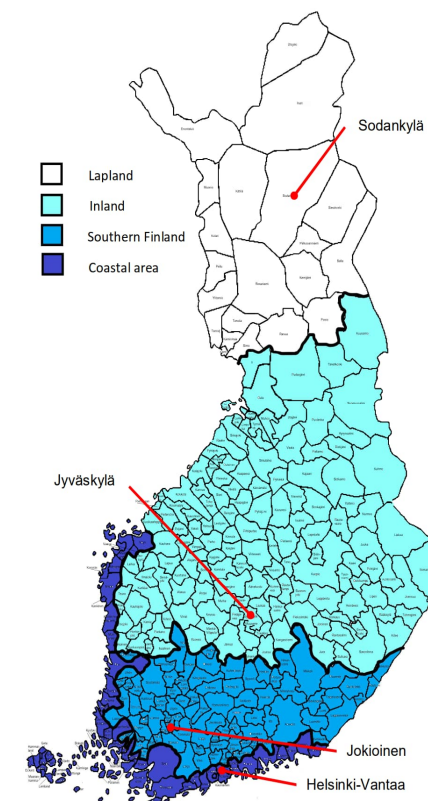


Lisø, K.R., Kvande, T., Hygen, H.O., Thue, J.V., Harstveit, K. 2007. A frost decay exposure index for porous, mineral building materials. *Building and Environment*, 42(10), Pp. 3547–3555.

Materiaali

Kuntotutkimusdata

- Hyödynnetty BeKo- (<https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-2011041510686>) ja Ramboll Finland Oy:n kuntotutkimusdataa
- Kohteet rakennettu välillä 1963...1995
 - keskimääräinen tutkimusikä 25 vuotta (min. 7 vuotta, maks. 49 vuotta)
- 325 ohuthiehavaintoa pakkasrapautumasta
 - Havainnot jaettu sijainnin ja ilmansuunnan mukaan
 - rannikko 199 havaintoa
 - eteläinen sisämaa 94 havaintoa
 - sisämaa 32 havaintoa



Materiaali

Säädata ja ilmastonmuutosennusteet

- 30 vuoden aikajaksoinan nykyilmaston data sekä tulevaisuuden 2035–2064 (2050) ja 2065–2094 (2080):
 - RCP2.6 kuvaamaan matalia kasvihuonepäästöjä
 - RCP4.5 kuvaamaan keskimääräisiä kasvihuonepäästöjä
 - RCP8.5 kuvaamaan hyvin suuria kasvihuonepäästöjä
- Nykyilmastodata kerätty joka kolmas tunti ja interpoloitu tunnittaiseksi dataksi ja projisoitu tulevaisuuden ilmastoon
- Sisältää:
 - lämpötilan
 - suhteellisen kosteuden
 - tuulennopeuden ja -suunnan
 - suoran, haja- ja kokonaisauringonsäteilyn
 - sateen

Menetelmät

Säädata

- Julkisivurakenteiden pakkasrasituksen tasoa on arvioitu kolmen eri indeksin avulla:
 1. Jäätymis-sulamissykliä määrä (freezing point crossings, **FPC**): jäätymis-sulamissykliä (-5 °C) maksimissaan 72 tuntia sateen jälkeen
 2. Vuotuinen jäätymis-sulamisasitus (an annual freeze-thaw exposure, **AFTE**): keskimääräinen vuotuinen viistosademäärä maksimissaan 72 tuntia ennen jäätymis-sulamissykliä (FPC)
 3. jäätymis-sulamisasituksen intensiteetti (intensity of the freeze-thaw exposure, **IFTE**): keskimääräinen viistosademäärä maksimissaan 72 tuntia ennen jäätymis-sulamissykliä (FPC)
- Viistosadelaskennassa on käytetty standardinmukaista viistosadelaskentaa (vapaa viistosade, airfield annual index I_A)
- Vain sadehetket, kun lämpötila on yli 0 °C, on huomioitu

$$I_A = \frac{2 \sum vr^{\frac{8}{9}} \cos(D-\theta)}{9N} \quad \text{SFS-EN ISO 15927-3 2009}$$
$$I_A^{IFTE} = \frac{2 \sum vr^{\frac{8}{9}} \cos(D-\theta)}{9N_C}$$

, missä N_C on jäätymis-sulamistapausten (FPC) määrä 30 vuoden säädatasta

Menetelmät

Suhteellinen pakkasrasitusindeksi (RFE)

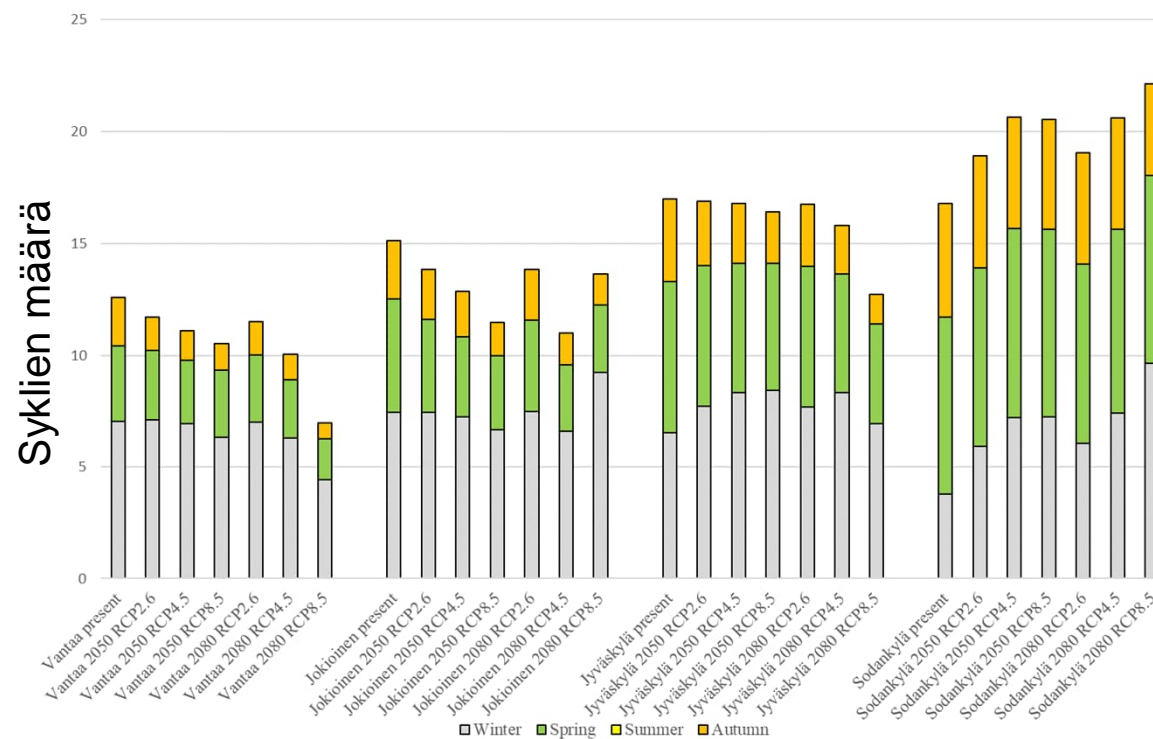
- Multilineaarinen regressio, jossa muuttujina (sijaintiriippuvaisina)
 - FPC
 - I_A^{AFTE}
 - I_A^{IFTE}
 - Pakkasrapautumahavainnot (selitettävä muuttuja)

$$RFE = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

R^2	β_0 (intercept)	β_{FPC}	$\beta_{I_A^{AFTE}}$	$\beta_{I_A^{IFTE}}$
0.83	8.412	-0.045	-0.134	0.471

Tulokset

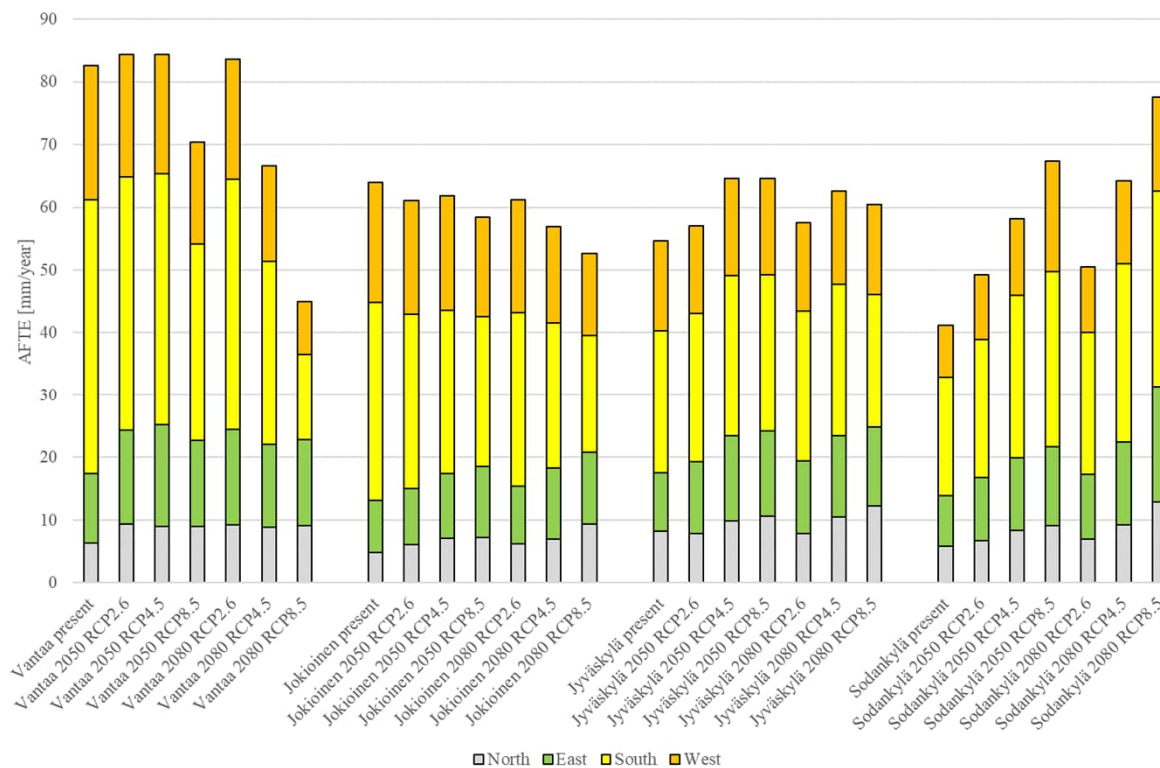
Sateen jälkeiset jäätymis-sulamissyklit (FPC)



Tulokset

Keskimääräinen vuotuinen viistosademäärä maksimissaan 72 tuntia ennen

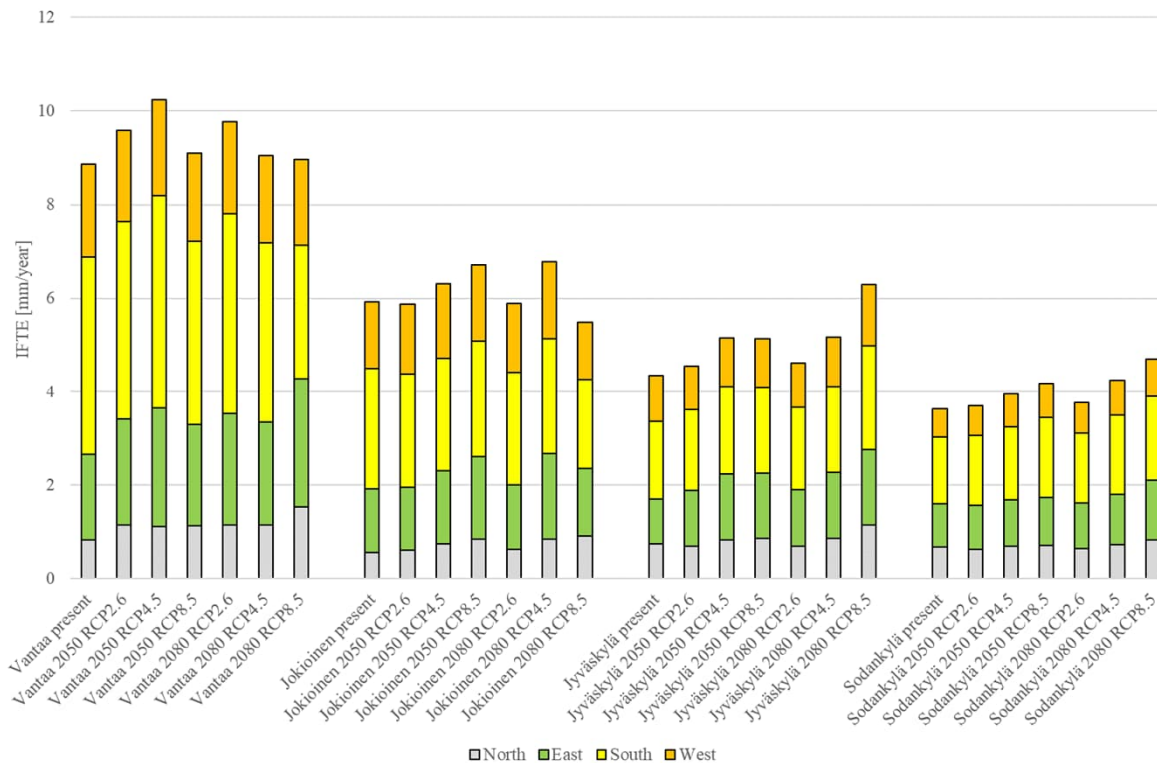
jäätymis-sulamissykliä I_A^{AFTE}



Tulokset

Keskimääräinen viistosademäärä maksimissaan 72 tuntia ennen yksittäistä

jäätymis-sulamissykliä, I_A^{IFTE}



Tulokset – RFE-indeksi



Johtopäätökset

- Pakkasrasitustaso säilyy korkeimpana rannikolla huolimatta käytetystä ilmastonmuutosskenaariosta
 - rasitustaso myös nousee nykytilanteeseen nähden riippumatta skenaariosta
- Pakkasrasituksen intensiteetillä eli sademäärällä ennen yksittäistä sykliä on merkittävin vaikutus rasitustasoon
- Rannikolla ja eteläisessä Suomessa pakkasrasitustaso nousee etelää enemmän itä- ja länsisuunnista eli rasitustaso tasaantuu hieman
 - eteläsuunta säilyy edelleen raskaimmin rasitettuna suuntana
- Suojautuminen rasitustasoa vastaan?
 - **Edelleen pakkasenkestävää betonia**

Kiitos!

toni.pakkala@tuni.fi

toni.pakkala@renovatek.fi

Thesis: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1423-1>