

FRAME

Tutkimuksen päätösseminaari

TTY Tietotalo 8.11.2012

Jukka Lahdensivu

Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos

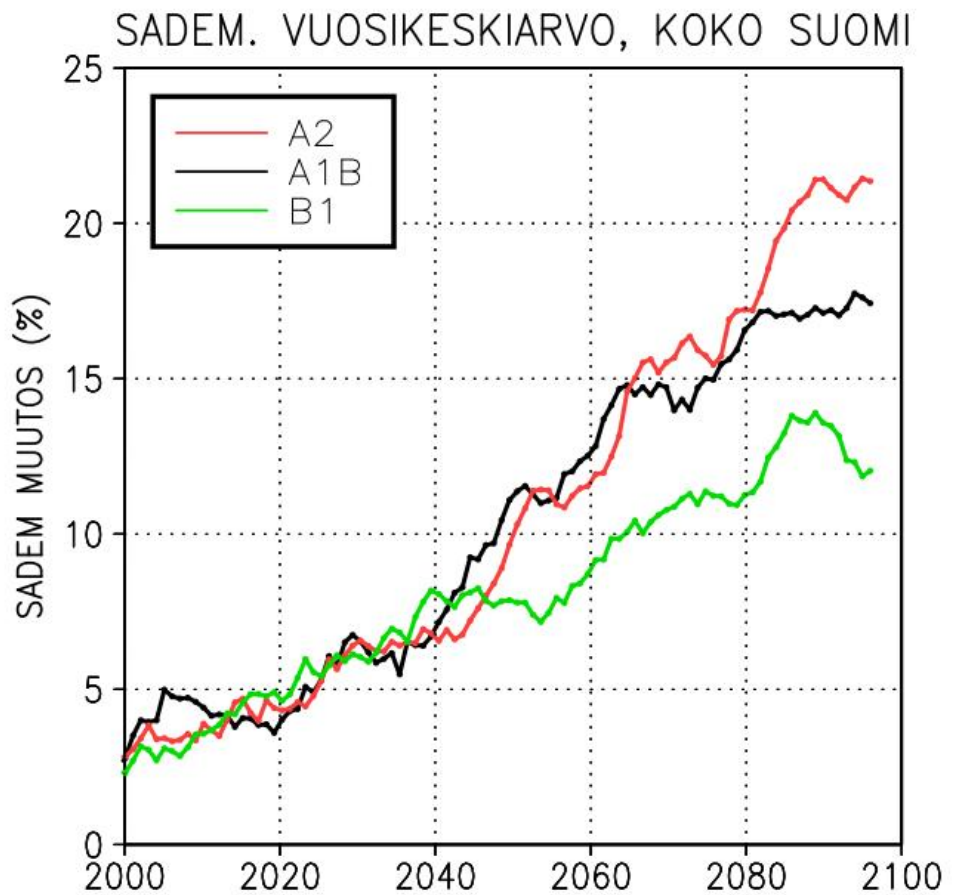
BETONIJULKISIVUJEN TOIMINTA



Betonijulkisivujen toiminta

Sisältö:

- Tutkimusaineisto
- Betonin säilyvyys ulko-olosuhteissa
- Betoniseiniä kuivuminen
- Suositukset



TUTKIMUSAINEISTO

BeKo- Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjausstrategiat 2006-2009
Betonin materiaaliominaisuudet ja todellinen vaurioituminen
Suomen ilmastossa
- 1990-luvun betonielementtirakennusten säilyvyysominaisuudet

Ilmatieteen laitoksen generoima säädata vuosille 2000, 2030, 2050 ja
2100

Sisältää mm. sademääräarviot, jäätymissulamissyklit, jne.
Tarkastelupaikkakunnat: Vantaa, Jokioinen, Jyväskylä ja
Sodankylä. Tuulitietoja myös Rovaniemi, Oulu ja Turku.

Betonirakenteiden laskennallinen kosteustekninen toimivuus ko.
ilmastoissa (Sakari Nurmi, Mikael Mäkitalo)

Useita TTY:n Rakennustekniikan laitoksella tehtyjä tutkimuksia
korjausrakentamiseen liittyen.

Suojaustoimien vaikutus raudotteiden korroosioon
- raudotteiden korroosionopeuden ja sademäärän yhteys



BETONIRAKENTTEEN SÄILYVYYS ULKO-OLOSUHTEISSA

Tavoitteena tarkastella ilmastonmuutoksen vaikutuksia nykyisiin betonijulkisivujen säilyvyysvaatimuksiin.

raudoitteiden korroosion suhteen
betonin pakkasenkestävyyden suhteen

Lämmöneristyksen lisäyksen vaikutuksia betonirakenteiden säilyvyyteen



BETONIRAKENTEEN SÄILYVYYS, betonin karbonatisoitumisnopeus

TIILILAATTAPINTAISET JULKISIVUT

Ulkopinnan karbonatisoitumisaika eri syvyyksille [a]

	25 mm	20 mm	15 mm	10 mm
keskiarvo 1,06	557	356	200	89
hajonta 2,37	112	71	40	18
90% fraktiili 3,26	59	38	21	9
95% fraktiili 4,11	37	24	13	6

VALKOBETONISET JULKISIVUT

Ulkopinnan karbonatisoitumisaika eri syvyyksille [a]

	25 mm	20 mm	15 mm	10 mm
keskiarvo 0,59	1805	1155	650	289
hajonta 1,29	375	240	135	60
90% fraktiili 1,74	206	132	74	33
95% fraktiili 2,17	133	85	48	21



BETONIRAKENTTEEN SÄILYVYYS, betonin karbonatisoitumisnopeus

PARVEKKEEN PIELIELEMENTIT

Ulkopinnan karbonatisoitumisaika eri syvyyksille [a]

	25	20	15	10
keskiarvo 1,50	278	178	100	44
hajonta 2,52	99	63	36	16
90% fraktiili 2,85	77	49	28	12
95% fraktiili 3,47	52	33	19	8

PARVEKELAATTAELEMENTIT

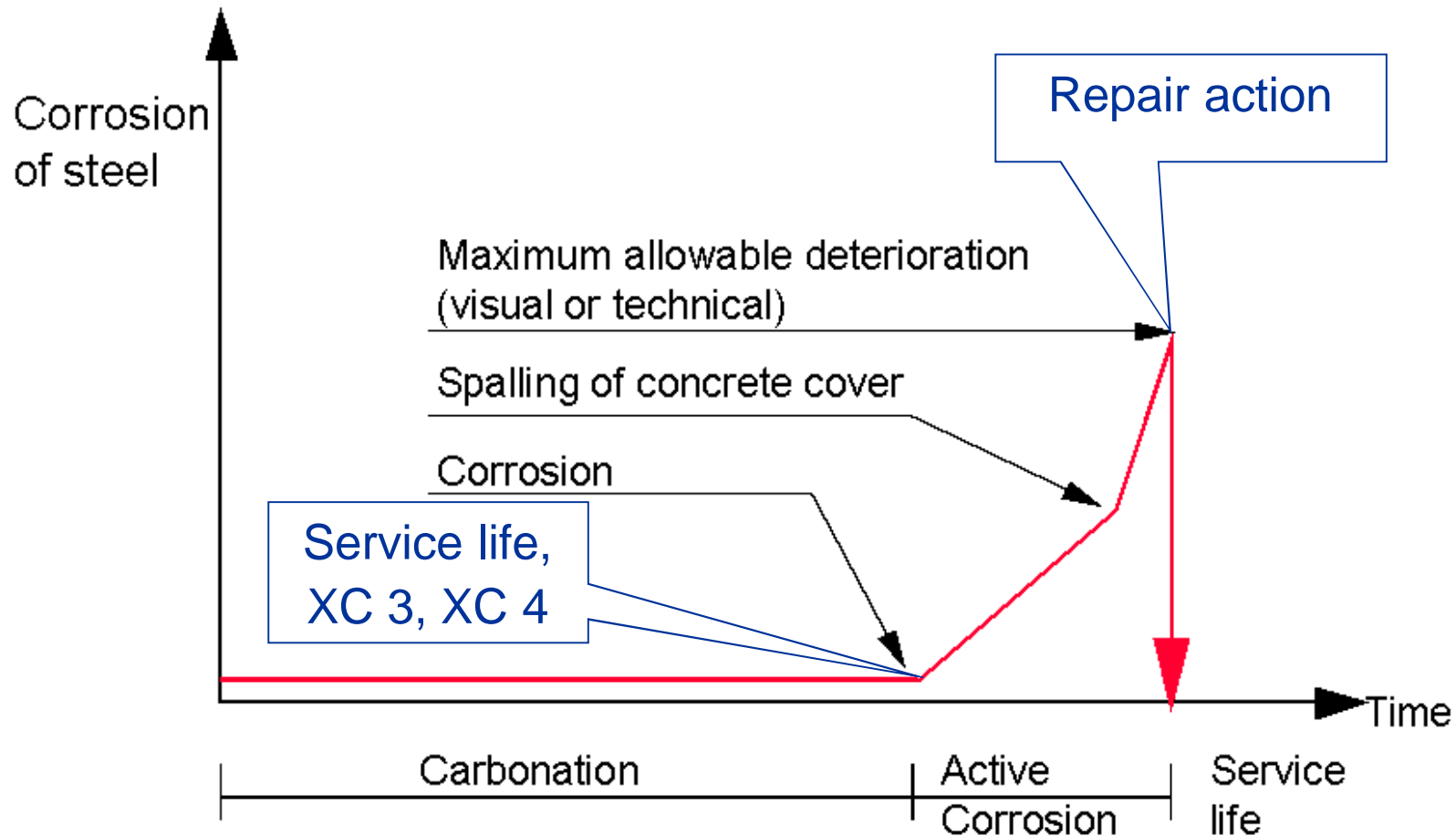
Alapinnan karbonatisoitumisaika eri syvyyksille [a]

	25	20	15	10
keskiarvo 3,21	61	39	22	10
hajonta 4,63	29	19	11	5
90% fraktiili 5,07	24	16	9	4
95% fraktiili 6,02	17	11	6	3



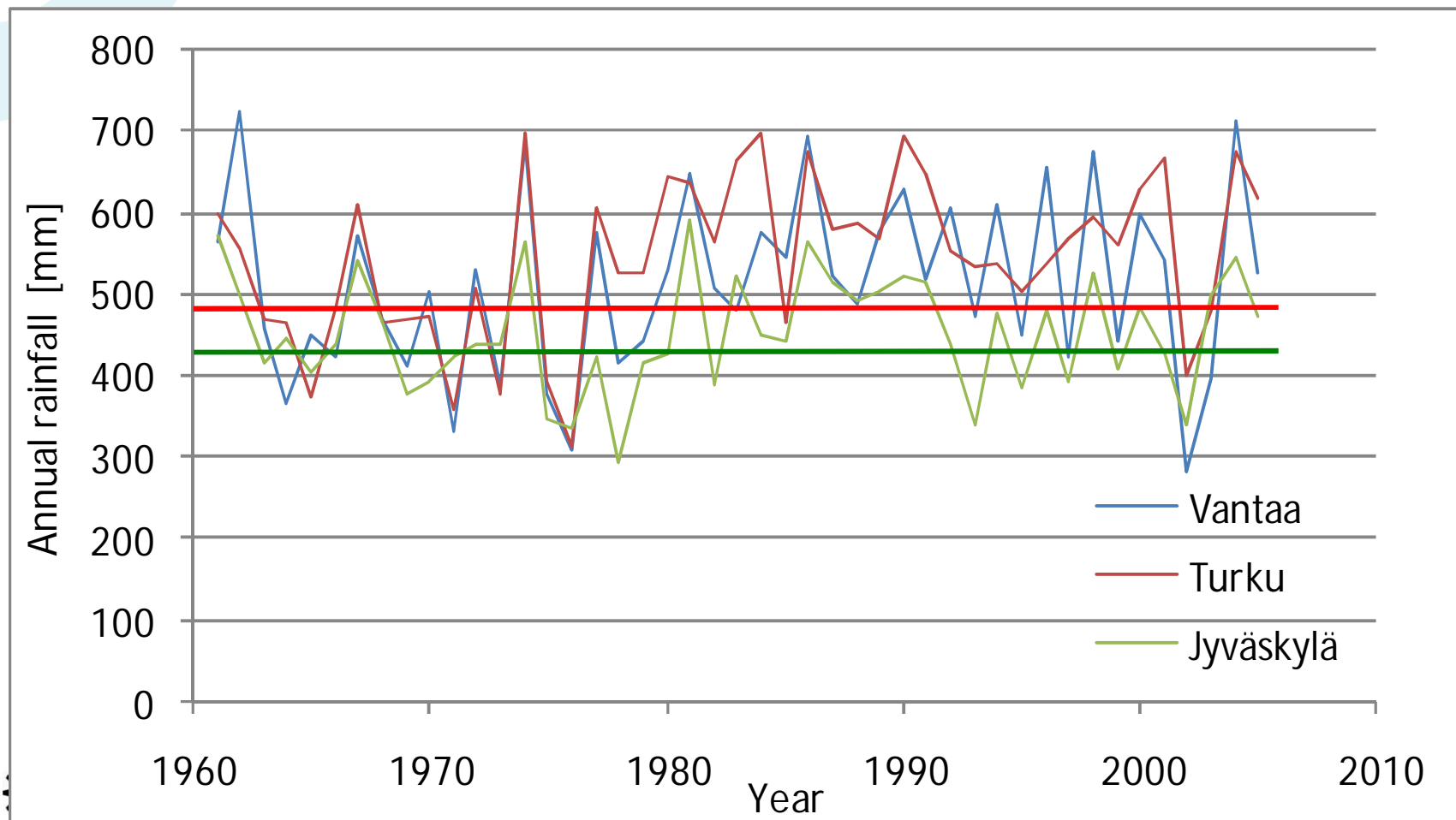
KÄYTTÖIKÄMALLEISTA

Rakenteen laskennallinen käyttöikä päättyy kun vaurioituminen voi vasta oikeasti alkaa!



BETONIRAKENTEEN SÄILYVYYS, raudoitteiden aktiivinen korroosio

Korroosionopeus karbonatisoituneessa betonissa on riippuvainen betonirakenteen saamasta saderasituksesta



BETONIRAKENTEEN SÄILYVYYS, raudoitteiden aktiivinen korroosio

Korroosioaika karbonatisoituneessa betonissa
kriittiseen rajaan 50 μm vuosina [a]

	HKI-VAN	JOK	JYV	SOD
Nykyilmasto	5,7	6,1	8,2	37,5
2030	5,5	5,7	7,8	37,5
2050	5,3	5,5	7,4	37,5
2100	5,3	5,1	6,1	19,7

Korroosionopeus keskimäärin vuodessa [$\mu\text{m}/\text{a}$]

	HKI-VAN	JOK	JYV	SOD
Nykyilmasto	8,8	8,2	6,1	1,3
2030	9,1	8,8	6,4	1,3
2050	9,4	9,1	6,7	1,3
2100	9,4	9,7	8,2	2,5



BETONIRAKENTEEN SÄILYVYYS, raudoitteiden aktiivinen korroosio

Tyypilliset betonielementeissä käytetyt raudoitteet ovat halkaisijaltaan melko pieniä, verkko 4 mm, pieliteräkset 6-8 mm, parvekkeet 10-12 mm.

Vain lähellä ulkopintaa, tyypillisesti alle 10 mm, olevat raudoitteet aiheuttavat betonipeitteen lohkeamisen korroosion seurauksena.

- ➔ Raudoitteiden peitepaksuuksien ollessa normien vaatimalla tasolla näkyvät korroosioauriot ovat hyvin harvinaisia, vaikka karbonatisoituminen olisi edennyt raudoitteiden syvyydelle.
- ➔ Erityisesti parvekelaattojen alapinnoissa aktiivinen korroosio on hyvin hidasta, koska ei suoraa saderasitusta.



BETONIRAKENTTEEN SÄILYVYYS, betonin pakkasenkestävyys

Vaatimustaso esitetty huokosjakona

XF 1: $\leq 0,27$ mm (50 a), $\leq 0,25$ mm (100 a), $\leq 0,23$ mm (200 a)

XF 3: $\leq 0,23$ mm (50 a), $\leq 0,22$ mm (100 a), $\leq 0,20$ mm (200 a)

Vanha vaatimus:

suojahuokossuhde $\geq 0,20$

ohuthietarkastelussa kriteeri on ollut huokosjako $\leq 0,27$ mm



Helsinki-Vantaa						
	Alle 0°C	Alle -2°C	Alle -5°C	Alle -10°C	Alle -15°C	Alle -20°C
2000	37,8	23,5	11,7	4	1,3	0,2
2030	25,9	15,1	7,7	2,1	0,5	0
2050	21,3	12,8	5,9	1,6	0,3	0
2100	15,5	9,7	4,2	0,6	0	0
Jokioinen						
	Alle 0°C	Alle -2°C	Alle -5°C	Alle -10°C	Alle -15°C	Alle -20°C
2000	34,6	22,3	11,1	4,2	1,3	0,4
2030	26,5	15,7	8	2,7	0,9	0,1
2050	24	14,6	7,4	2,4	0,5	0
2100	17,6	11,5	5,6	1,3	0	0
Jyväskylä						
	Alle 0°C	Alle -2°C	Alle -5°C	Alle -10°C	Alle -15°C	Alle -20°C
2000	25,6	15,8	8,4	3,6	1,4	0,4
2030	21,9	14,6	8,4	2,9	1,1	0,3
2050	21,1	14	8,2	2,8	0,8	0,2
2100	17,2	11,7	6	1,8	0,2	0
Sodankylä						
	Alle 0°C	Alle -2°C	Alle -5°C	Alle -10°C	Alle -15°C	Alle -20°C
2000	23,4	18,1	10,4	5	2,7	0,8
2030	20,5	15,4	9,6	4,3	2,2	0,6
2050	21,9	16,1	10,9	5,2	2,3	0,9
2100	25,4	19,7	13,1	5,7	1,5	0

Säätiedoista on mallinnettu vuosittainen jäätymissulamissyklimäärä

2 vrk sisällä vesi- tai räntäsateesta ilman lämpötila laskenut pakkaselle



BETONIRAKENTEEN SÄILYVYYS, jäätymissulamissyklit

Pakkasenkestävässä betonissa ei ole havaittu rapautumavauriota vielä yli 500 luonnonolosuhteissa tapahtuvan jäätymissulamissyklin jälkeen

Pakkasenkestävyyteen vaikuttavat merkittävästi mm. betonin vedellätyttymisaste sekä jäätymisnopeus.

Standardin mukaisessa jäädytyskulatuskokeessa (100 tai 300 sykliä) rasitus huomattavasti luonnonolosuhteita ankarampi (suurempi jäätymisnopeus ja korkea vedellätyttymisaste).

 Onnistunut lisähuokostus takaa betonin pakkasenkestävyyden myös tulevaisuuden ilmastossa, vaikka sademäärät nousevatkin



BETONIRAKENTEEN SÄILYVYYS, jäätymissulamissyklit

Pakkasenkestävyydeltään puutteellinen betoni vaurioituu jo nykyisissä luonnonolosuhteissa.

Ohuthieessä havaittavaa alkavaa pakkasrapautumaa
[vuotta valmistumisesta]

	Helsinki-Vantaa		Jyväskylä	
	Alle -5°C	Alle -10°C	Alle -5°C	Alle -10°C
2000	26	35	46	53
2030	40	67	46	66
2050	52	88	47	68
2100	73	233	65	106



BETONIRAKENTEEN SÄILYVYYS, lämmöneristepaksuuden vaikutus

Mitatut lämmöneristysten paksuusjakaumat rakennuksen valmistumisvuoden mukaan



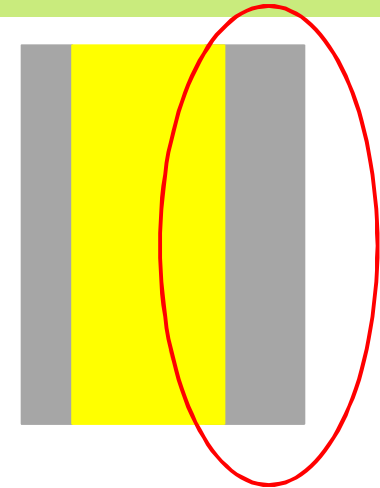
Period	Thickness of thermal insulation [mm]	Calculated U-value [W/m ² K]	Requirement of U-value [W/m ² K]
1963-1975	60	0,63	
1963-1975	83	0,47	0,70 (north) or 0,81 (south) (1969)
1976-1985	109	0,37	0,40 (1976), 0,29 (1978)
1986-1996	131	0,31	0,28 (1985)

BETONISANDWICH-ULKOSEINÄN KUIVUMINEN

Ulkokuori 70 mm

Sisäkuori 150 mm

Lämmöneriste:	mineraalivilla	240 mm ja 420 mm
	EPS 60 S	240 mm ja 320 mm
	XPS	240 mm
	PU	150 mm ja 240 mm.



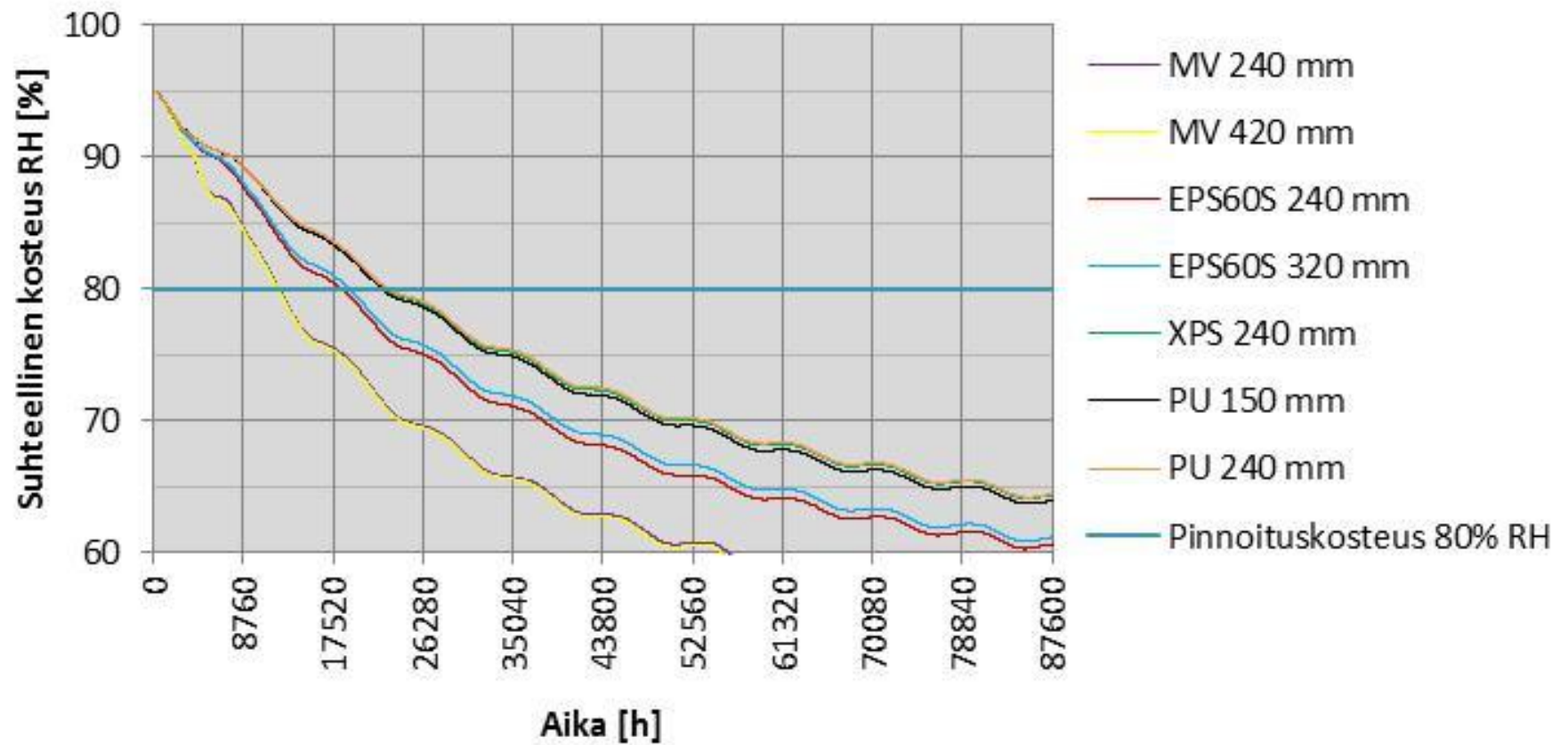
Tarkastelu sisäkuoressa 0,4 d syvyydellä sisäpinnasta

Kriteerinä RH 80 % betonissa



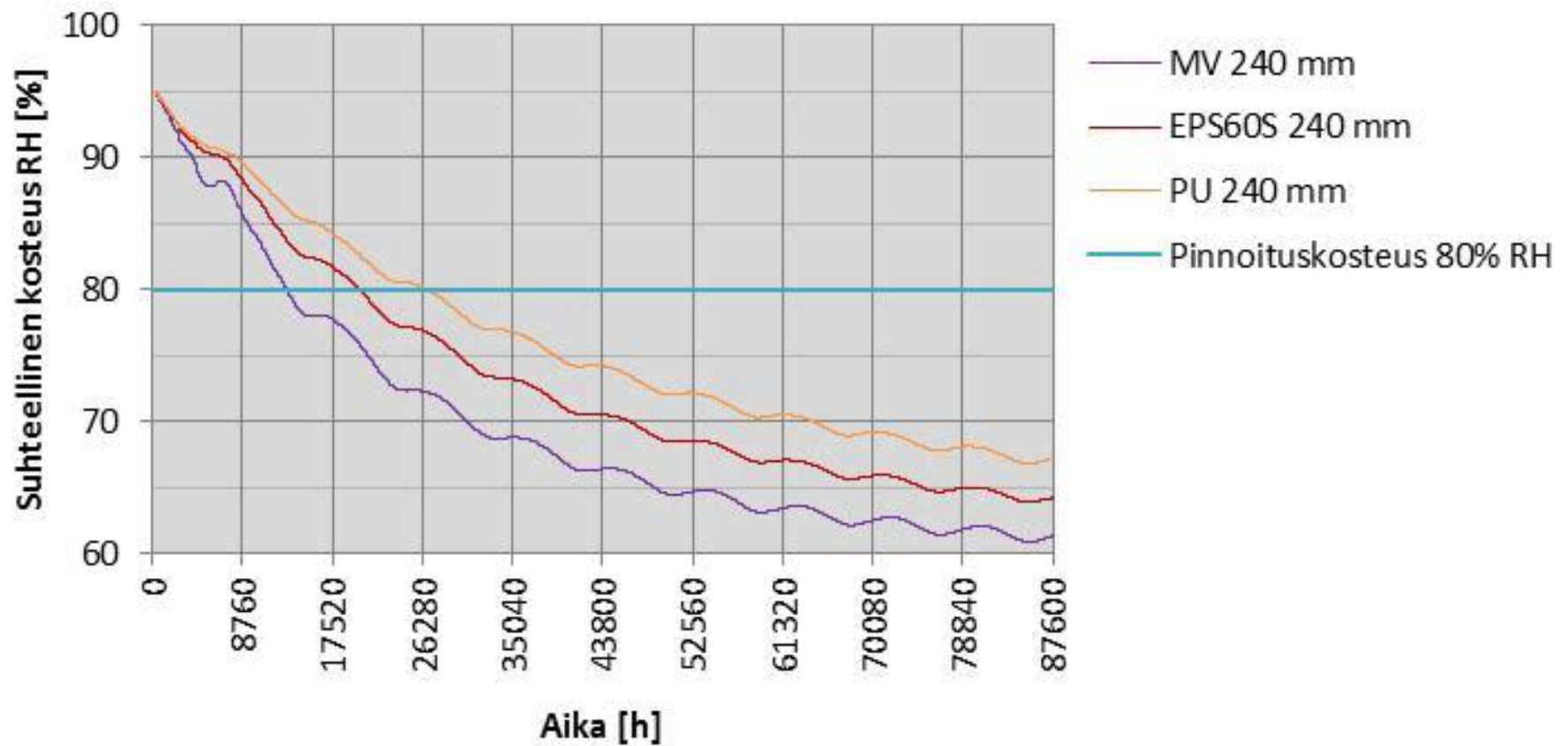
BETONISANDWICH-ULKOSEINÄN KUIVUMINEN

Vuoden 2000 ilmasto



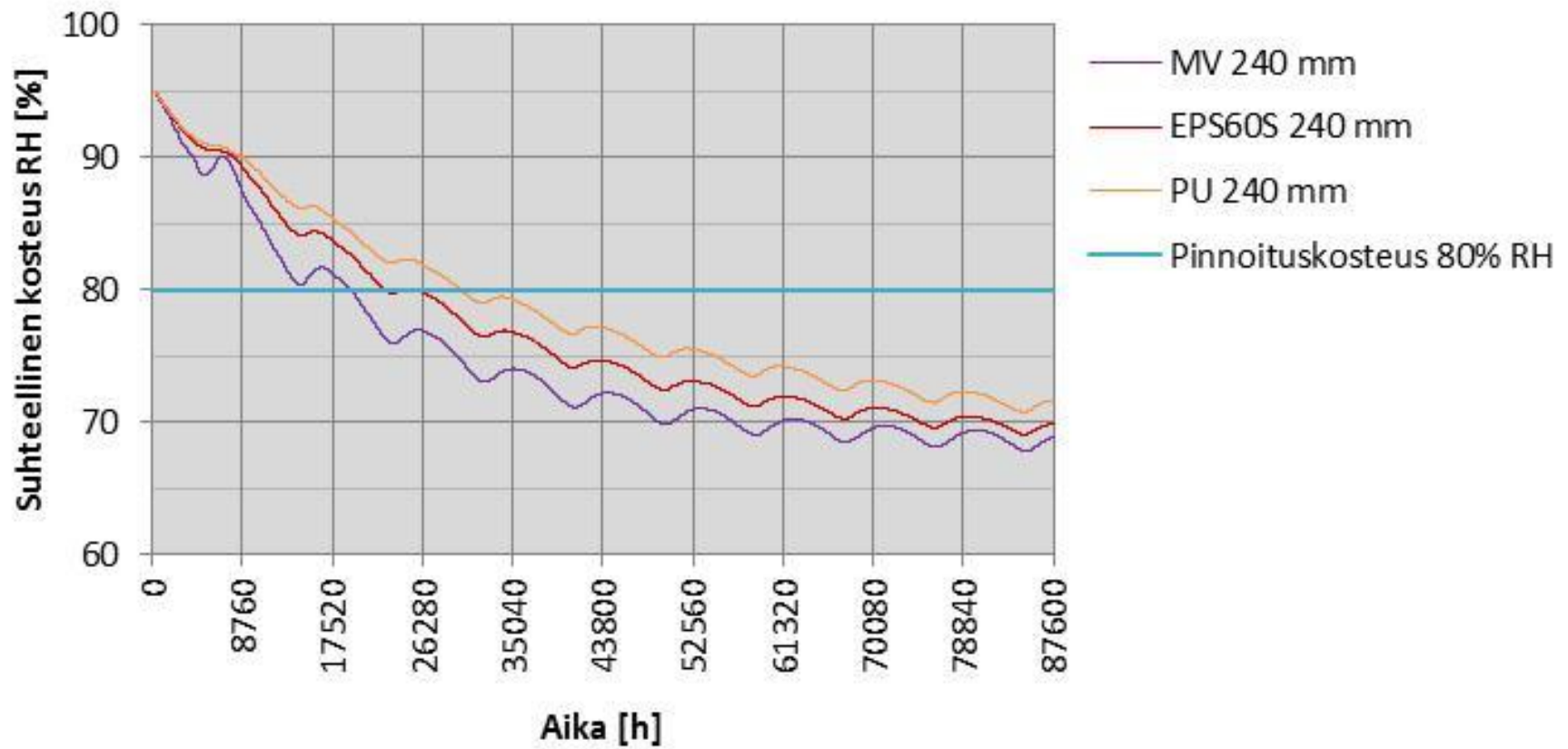
BETONISANDWICH-ULKOSEINÄN KUIVUMINEN

Vuoden 2050 ilmasto



BETONISANDWICH-ULKOSEINÄN KUIVUMINEN

Vuoden 2100 ilmasto



BETONISANDWICH-ULKOSEINÄN KUIVUMINEN

	Mineraali villa 240 mm [vrk]	EPS 60 S 240 mm [vrk]	PUR 240 mm [vrk]
2000	510	761	949
2050	543	840	1108
2100	800	945	1247

Tulevaisuuden ilmastossa kuivumisajat pitenevät mineraalivilloilla 20-40 %
solumuovieristeillä 40-60 %.



SUOSITUKSET

Betoninormit:

Betonirakenteiden käyttöikälaskentaa tulee kehittää siten, että aktiivinen vaurioitumisvaihe voidaan ottaa huomioon. Nykyisissä malleissa käyttöikä päättyy silloin, kun vaurioituminen voi vasta alkaa.



SUOSITUKSET

Betonirakenteiden valmistus:

Betonin laadulla voidaan vaikuttaa karbonatisoitumisnopeuteen (sementin määrä, vesisementtisuhte, jälkihoito, jne.)

Raudoitteiden sijainti normien ja toleranssien mukaisiksi, eli riittävästi välikkeitä! Ruostumattomien terästen käyttö julkisivuissa on suositeltavaa (erityisesti pieliteräkset). Peitepaksuusvaatimustaso on riittävä.

Parvekkeiden vedenpoiston toimivuuteen on kiinnitettävä huomiota. Karbonatisoitumisen seurauksena raudoitteiden korroosio on ensimmäisenä mahdollista laatan alapinnan teräksissä. Korroosio ei kuitenkaan etene, jos rakenne pysyy kuivana.

Pakkasenkestävyyden suhteen nykyinen vaatimustaso on riittävä myös tulevaisuudessa. Betonin lisähuokostuksen on onnistuttava aina!



SUOSITUKSET

Betonirakenteiden valmistus:

Parvekelasitus vähentää tehokkaasti parvekkeelle tulevan viistosateen määrää ja näin alentaa parvekkeen rasiustasoa. Lisäksi lasitus lisää parvekkeen hyötykäyttöä ja voi jopa vähentää rakennuksen energiankulutusta.

Liitosten ja detaljien toimivuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Näiden toiminnalla ratkaistaan koko rakenteen toimivuus!

Hydrofobisilla rakenteen kastumista vähentävillä ns. suojaavilla pinnoitteilla voidaan alentaa rakenteen kosteusrasitustasoa ja lisätä rakenteen käyttöikää silloin, kun teräkset ovat jääneet liian lähelle ulkopintaa tai betonin lisähuokostus on epäonnistunut.



SUOSITUKSET

Sandwich-elementin sisäkuoren kuivuminen:

Betonin laadulla voidaan vaikuttaa kuivumisnopeuteen (vesimäärä, vesisementtisuhte, sementin määrä, NP-betonit).

Työmaan kuivumisolosuhteilla suuri merkitys rakenteiden kuivumiseen, (nopeasti sääsuojaan, aktiivinen kuivaus, jne.)

Rakenteiden suunnittelu siten, että hitaasta kuivumisesta ei ole haittaa (tasoitteet, pinnoitteet, kalusteet, jne.)





KIITOS.
jukka.lahdensivu@tut.fi



BETONIRAKENTEIDEN KÄYTTÖIKÄMALLIT

Suomessa betonijulkisivujen käyttöikämallit esitetty julkaisuissa BY 50 ja BY 51. Käytössä taulukko- ja laskennallinen mitoitus.

Ilmaston vaikutus otetaan huomioon rasitusluokkina

XC 3, kohtalaisen kostea

XC 4, jaksollinen kastuminen ja kuivuminen

XF 1, kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita

XF 3, suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita (parv.)



BETONIRAKENTEIDEN KÄYTTÖIKÄMALLIT

Suomessa betonijulkisivujen käyttöikämallit esitetty julkaisuissa BY 50 ja BY 51. Käytössä taulukko- ja laskennallinen mitoitus.

Betonirakenteen käyttöikä lasketaan kaavasta:

$$t_L = t_{Lr} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G$$

t_L = käyttöikä

t_{Lr} = vertailukäyttöikä (50 vuotta)

A = materiaali, huokoisuus (ilmapitoisuus, w/c)

B = suunnittelu, rakenneyksityiskohdat (rak.tyyppi, pinnoite)

C = työn suoritus (jälkihoitoaika)

D = sisäilmasto

E = ulkoinen säärasitus (pakkasrasitus, ilman suunta, sijainti)

F = käyttörasitus

G = huoltotoimenpiteet (tarkastus- ja hoitoväli)

