



Betonirakenteiden korjaaminen ja
tutkiminen 2026

TkT Arto Köliö

Renovatek Oy

Tampereen yliopisto, korjausrakentaminen

Betonin ominaisuudet ja kosteus

10.3.2026

Luennon tavoite

1. Ymmärtää betonin ominaisuuksien, laadun ja kosteuden merkitys betonirakenteen vaurioitumismekanismien ja säilyvyyden näkökulmasta
2. Tutustua kosteuden siirtymiseen betonissa ja sen taustateorioihin
3. Perehtyä betonin kosteuteen, kosteuslähteisiin ja kosteusrasitukseen



Luennon sisältö

- Betonin ominaisuudet, säilyvyys ja laatu
- Betonin kosteuskäyttäytyminen, kosteuden siirtyminen
- Kosteuslähteet ja kosteusrasitus
- Kosteuden suureita ja kosteuden mittaus
- Vaihtelevien lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaikutus
- Betonin vaurioituminen kosteuden vaikutuksesta

Betonin ainesosat



Sementti



Kiviaines



Vesi



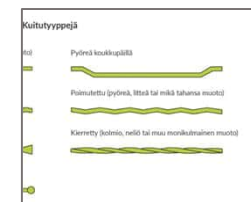
Seosaineet



Lisäaineet



Pigmentit



Kuidut

Betonin (tekniset) ominaisuudet

Mekaaniset ominaisuudet

Puristuslujuus, vetolujuus, kimmokerroin, kiviaineksen raekoko, kovuus, kulutuksenkestävyys,...

Fysikaaliset ominaisuudet

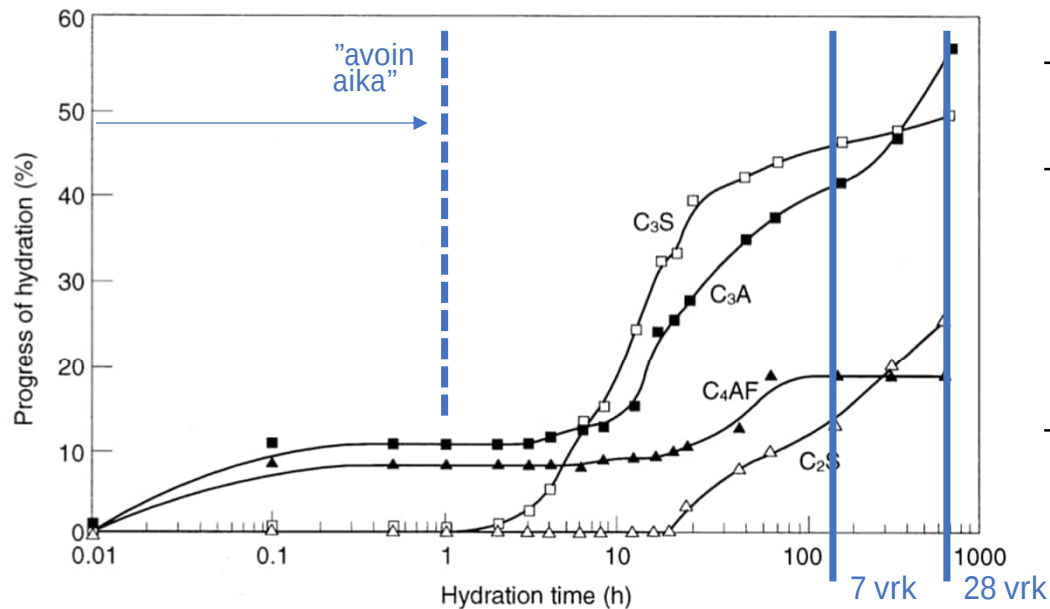
Kutistuma, huokoisuus, kapillaarisuus, vedenläpäisevyys, kaasunläpäisevyys, tiheys, pakkasenkestävyys, huokosjako,...

Kemialliset ominaisuudet

Sementtityyppi, sementtimäärä, seosaineiden tyyppi, hydrataatio ja hydrataatioaste, hydrataatiolämpötila, emäksisyys/pH-arvo, kiviaineksen laatu, kiviaineksen reaktiivisuus,...

Betonin kovettumisreaktio

- Sementti on hydraulinen sideaine, eli se reagoi veden kanssa muodostaen sementtikiveä
- Betonin lujuudenkehitys (pääyhdisteitä C_3S ja C_2S)
- Eksoterminen
- Kutistumistaipumus
- Alkalisuus (kalsiumhydroksidin $Ca(OH)_2$ muodostus)



Portlandsementin pääyhdisteet	lyhenne	koostumus
trikalsiumsilikaatti	C_3S	$3CaO \cdot SiO_2$
dikalsiumsilikaatti	C_2S	$2CaO \cdot SiO_2$
trikalsiumaluminaatti	C_3A	$3CaO \cdot Al_2O_3$
tetrakalsiumaluminaattiferriitti	C_4AF	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$

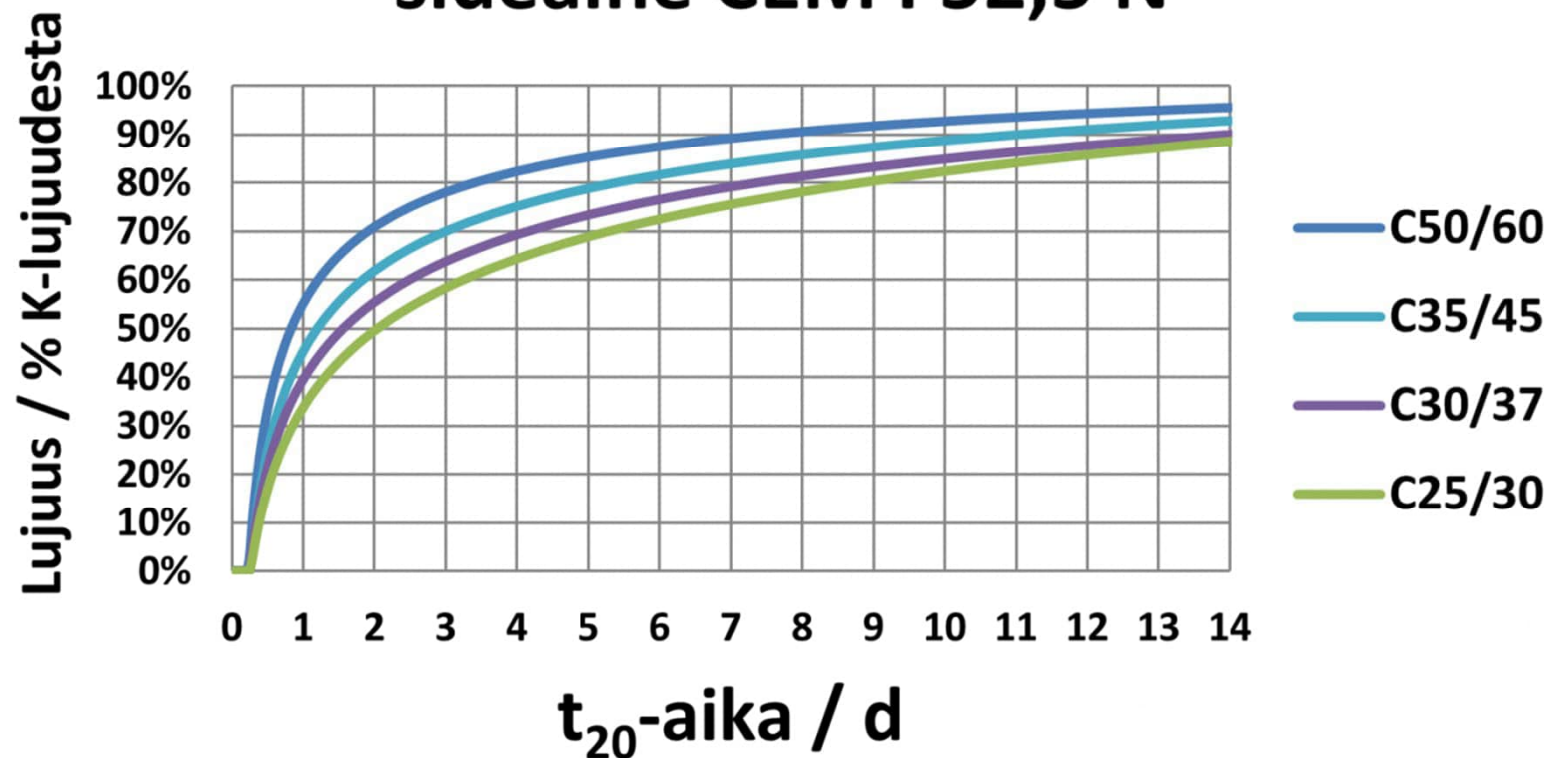
Lyhenteet:

$C = CaO$, $S = SiO_2$, $A = Al_2O_3$, $F = Fe_2O_3$, $H = H_2O$

Lähde: Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 1998

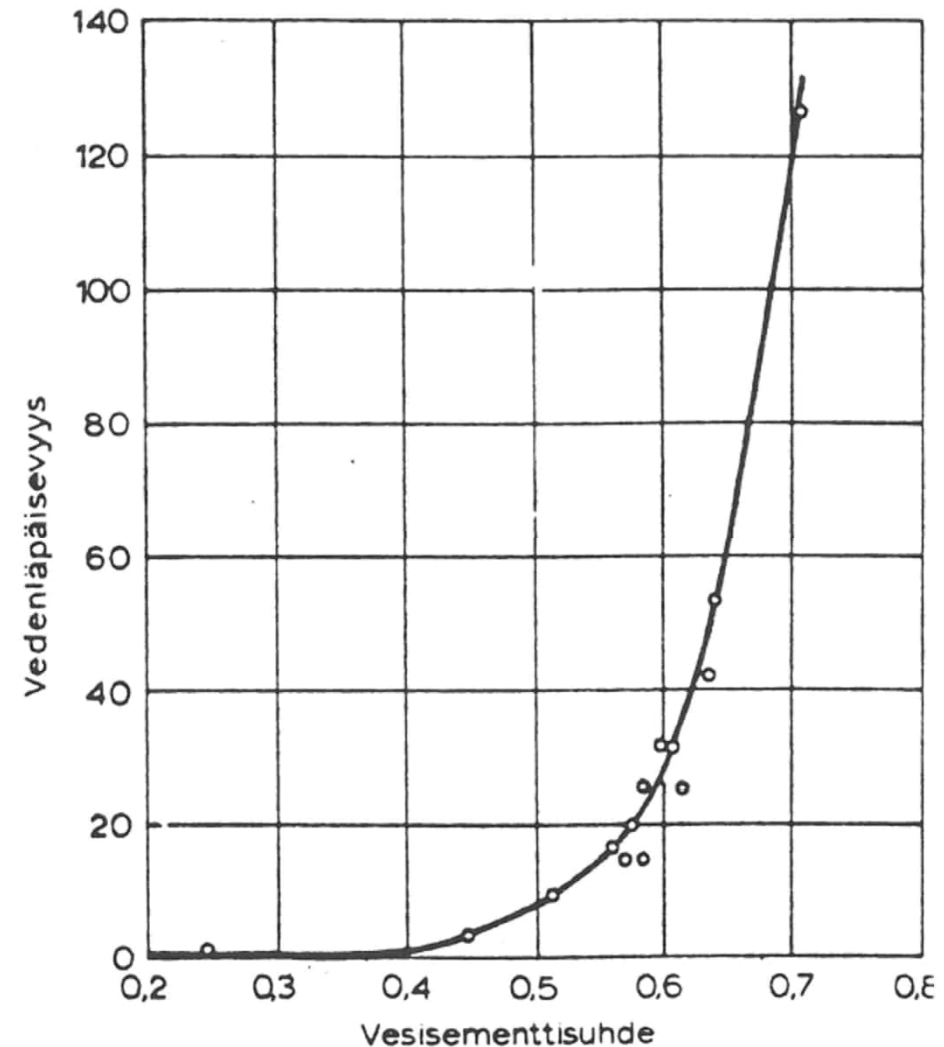
Luju

Normaalisti kovettuva betoni sideaine CEM I 52,5 N

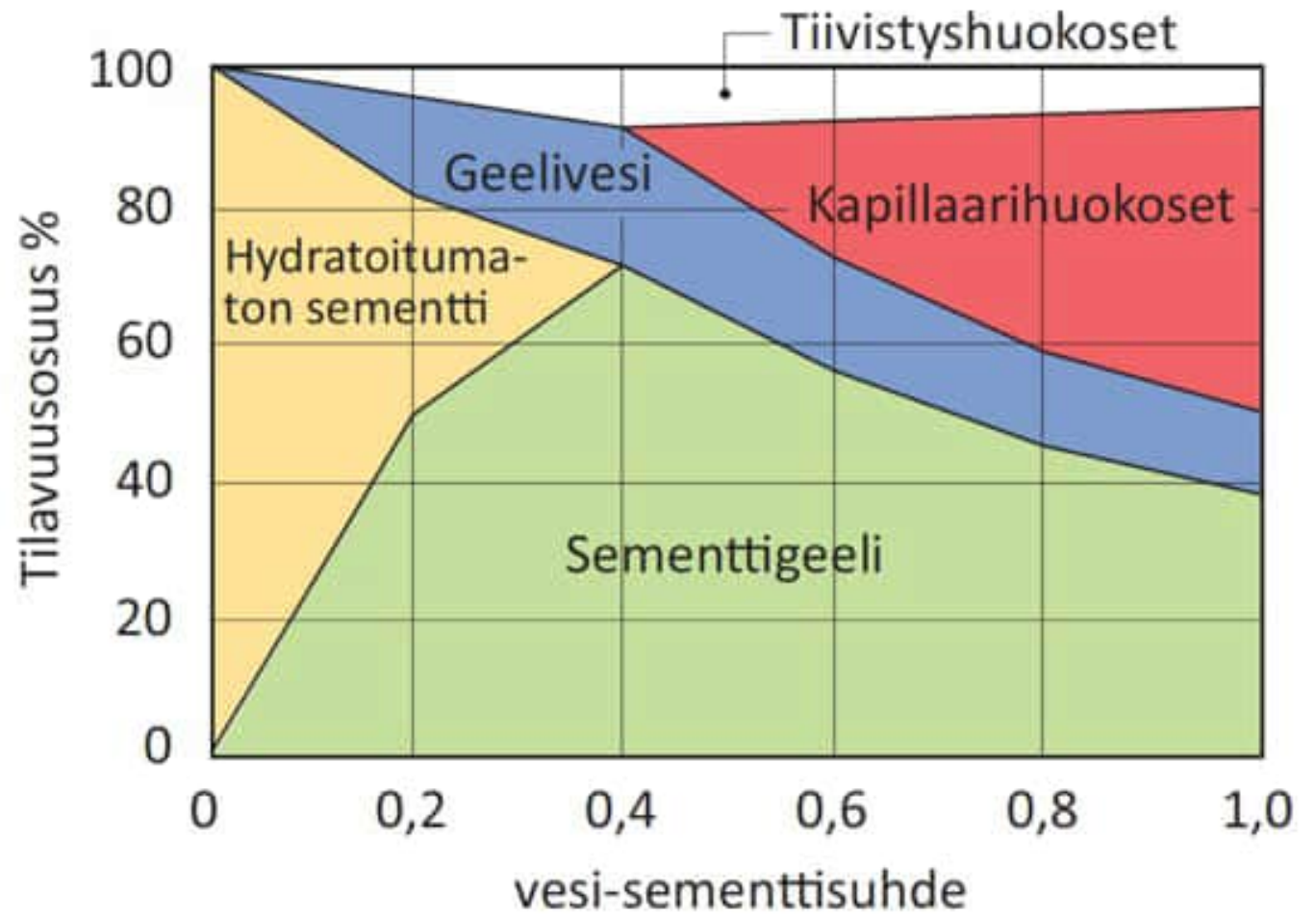


Betonin vesi-sementtisuhte

- Betonin tiiveys (läpäisemättömyys)
- Normin vaatimus vähänkään rasitetummissa olosuhteissa on alle 0,6
- Vesisementtisuhteen ollessa yli 0,7 muodostuu betoniin yhtenäinen kapillaarihuokosten verkosto.
- Yhtenäinen verkosto lisää merkittävästi betonin vedenläpäisevyyttä ja mahdollistaa mm. haitallisten aineiden kulkeutumisen syvälle betoniin.



Betonin koostumus/lopputuotteet v/c-suhteen funktiona



Betonin vesi-sementtisuhde

Betonin lujuus

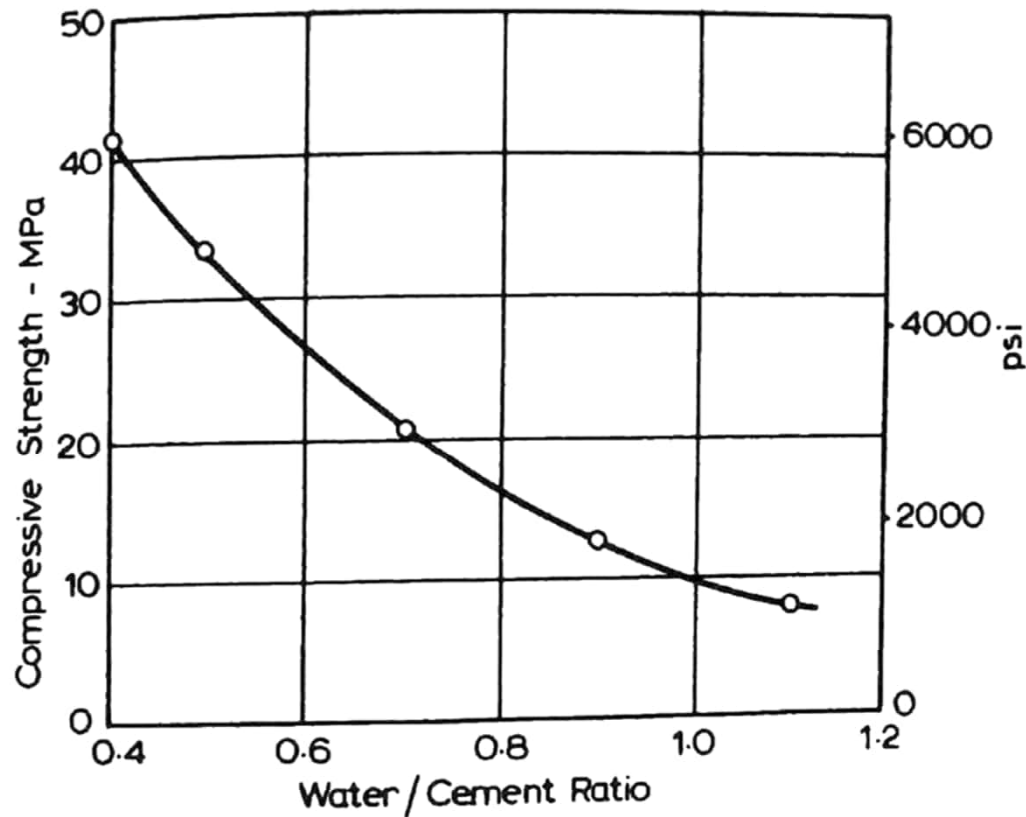


Fig. 6.2 Relation between 7-day strength and water/cement ratio for concrete made with a rapid-hardening Portland cement

- Betonin lujuus $\neq$ betonin laatu
 - Betonin lujuus kuvaa sen mekaanisia ominaisuuksia rakenteiden suunnittelussa. Laatuun vaikuttavat lisäksi säilyvyys ja tiiveys.
- Usein korkean lujuuden betonilla on kuitenkin myös hyvä laatu
- Betonin lujuuteen vaikuttavat
 - Vesi-sementtisuhte
 - Sementtimäärä
 - Tiivistys
 - Kiviaineksen laatu ja määrä

Betonin sementtimäärä/seosaineet

- Kasvattamalla sementtimäärää voidaan vaikuttaa siihen, kuinka kauan betoni säilyttää emäksisyytensä (korkea pH).
 - Säilyttää mm. raudotteiden korroosiosuojan pidempään
 - Korkea lujuus, tiiviimpi betoni, haitalliset aineet tunkeutuvat betoniin hitaammin
 - Voi olla haitallisiakin vaikutuksia mm. AKR
- Sementin seosaineet (lentotuhka, silika, masuunikuona) muuttavat säilyvyysominaisuuksia
 - Seosaineilla voidaan korvata osuus portlandsementistä
 - Samalla vaikutetaan betonin säilyvyysominaisuuksiin
 - Vaikutus voi olla esimerkiksi pH:ta alentava tai betonin tiiviyttä lisäävä

Lentotuhka



Masuunikuonajauhe



Taulukko 2.1.3. Suomessa sallittujen sementtien koostumukset.

Sementti-laji	Koostumusvaatimukset [%]					
	klinkkeri	kuona	silika	lentotuhka	kalkkikivi	muut
CEM I	95...100	–	–	–	–	0...5
CEM II/A-S	80...94	6...20	–	–	–	0...5
CEM II/B-S	65...79	21...35	–	–	–	0...5
CEM II /A-D	90...94	–	6...10	–	–	0...5
CEM II/A-V	80...94	–	–	6...20	–	0...5
CEM II/B-V	65...79	–	–	21...35	–	0...5
CEM II/A-LL	80...94	–	–	–	6...20	0...5
CEM II/A-M	80...88	12...20				0...5
CEM II/B-M	65...79	21...35				0...5
CEM III/A	35...64	36...65	–	–	–	0...5
CEM III/B	20...34	66...80	–	–	–	0...5

Betonin huokoisuus

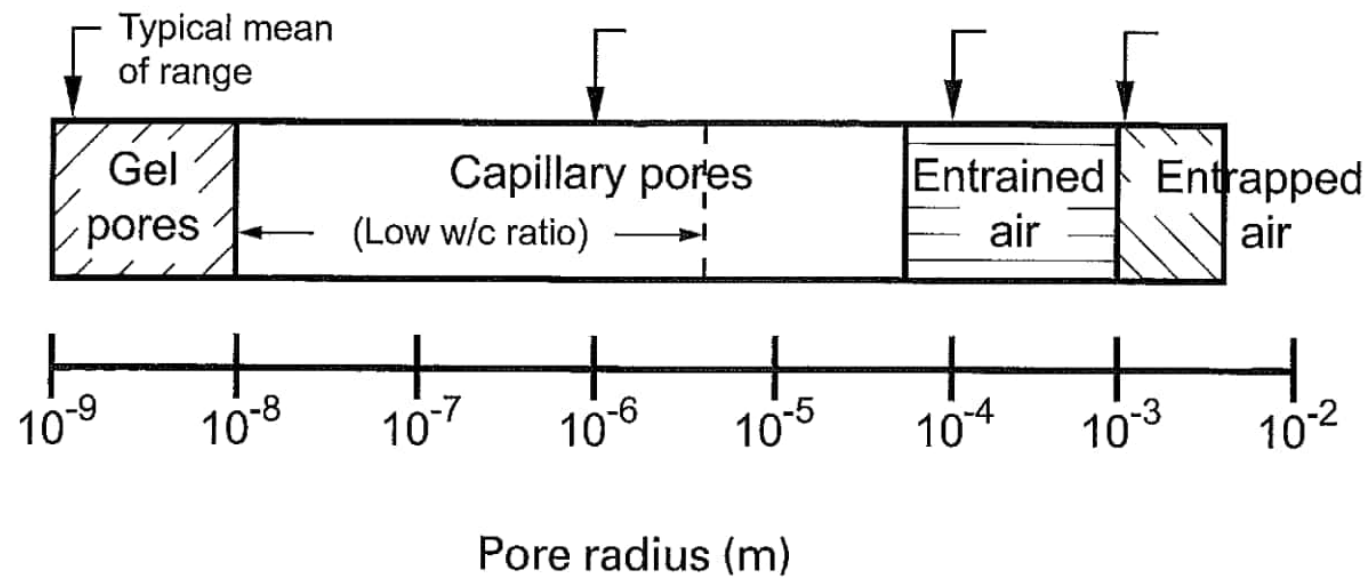
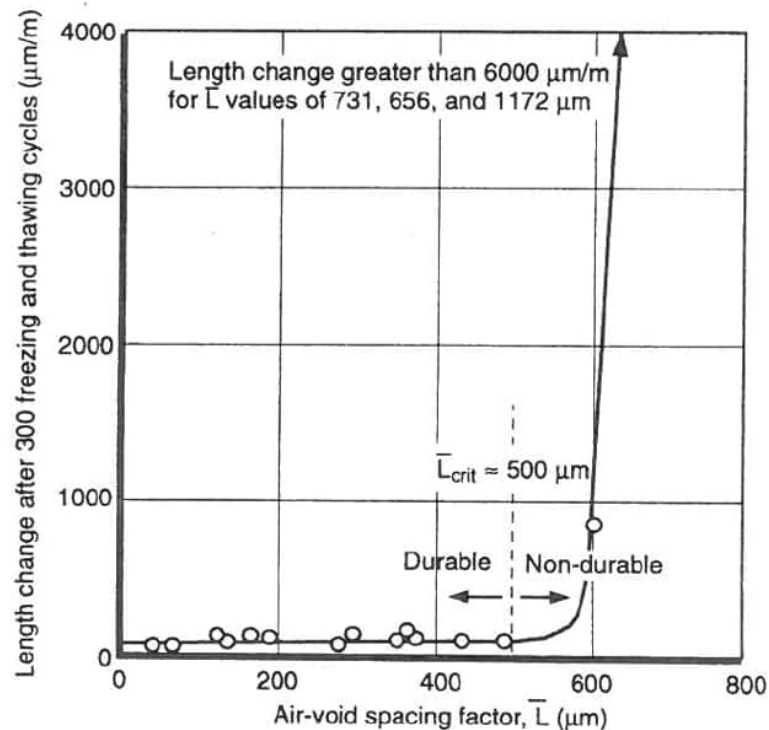


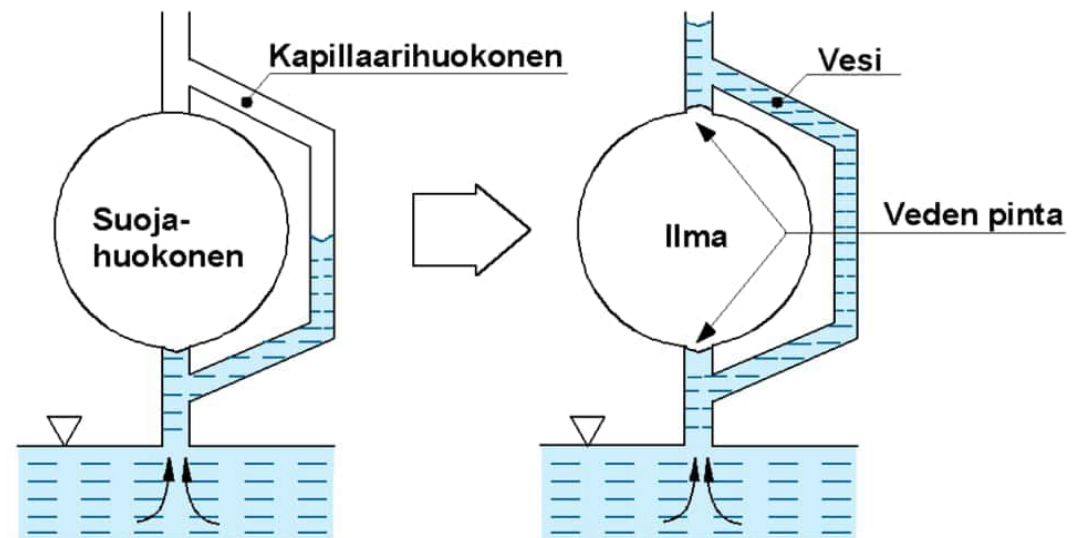
Figure 3.3 Relative size of the pore types found in concrete

Betonin huokostus/ilmamäärä



Lähde: Pigeon & Pleau. Durability of Concrete in Cold Climates

- Betonin kapillaarihuokonen täyttyy nopeasti vedellä.
- Suojahuokokset jäävät sopivan kokonsa takia ilmatäytteisiksi, koko n. 0,2 mm (0,05 – 0,5 mm)
- Normaalin betonin ilmapitoisuus n. 2% ja suojahuokostetun 3,5 – 7 % määritettynä painekokeella.



**Tasainen suojahuokostus,
huokosten välinen etäisyys < 0,5 mm**

Betonin pakkasenkestävyyden todentaminen By 65 Betoninormit 2025

	Suunniteltu käyttöikä [a]	Rasitusluokka	1		2			3	
			Huokosjako by 72 Betonin laadunvarmistus Osa 1 - Betonin ilmahuokosparametrien määrittäminen ohuthieistä tai SFS-EN 480-11:2005 mukaan ^{1a}		Jäädytys-sulatuskoe, SFS 5447 ^{1b}			Laattakoe CEN/TR 15177 luokissa XF1 ja XF3 ^{1c} , CEN/TS 12390-9 luokissa XF2 ja XF4 ^{1d} , jälkimmäisessä väliaine 3 % NaCl-liuos	
			Enimmäisarvo [mm]		Sykkien lukumäärä	Taivutus- tai halkaisu- vetolujuuksien suhde [%]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin, γ [%]	Rapauksen määrä [g/m ²]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin, γ [%]
			v/s > 0,40	v/s ≤ 0,40					
50	XF1		0,27	0,27	100	≥ 67	≥ 75	$m_{50} \leq 500$	$\gamma_{50} \geq 67$
	XF2		-	-	-	-	-	$m_{50} \leq 650$	-
	XF3		0,23	0,23	300	≥ 67	≥ 75	$m_{50} \leq 200$	$\gamma_{50} \geq 75$
	XF4		-	-	-	-	-	$m_{50} \leq 350$	-
100	XF1		0,25	0,25	300	≥ 67	≥ 75	$m_{50} \leq 200$	$\gamma_{50} \geq 75$
	XF2		-	-	-	-	-	$m_{50} \leq 500$	-
	XF3		0,22	0,22	-	-	-	$m_{50} \leq 100$	$\gamma_{50} \geq 85$
	XF4		-	-	-	-	-	$m_{50} \leq 250$	-

Lukuarvon puuttuminen ruudusta merkitsee, että kyseinen koemenetelmä ei sovellu rivin osoittamaan rasitusluokkaan.

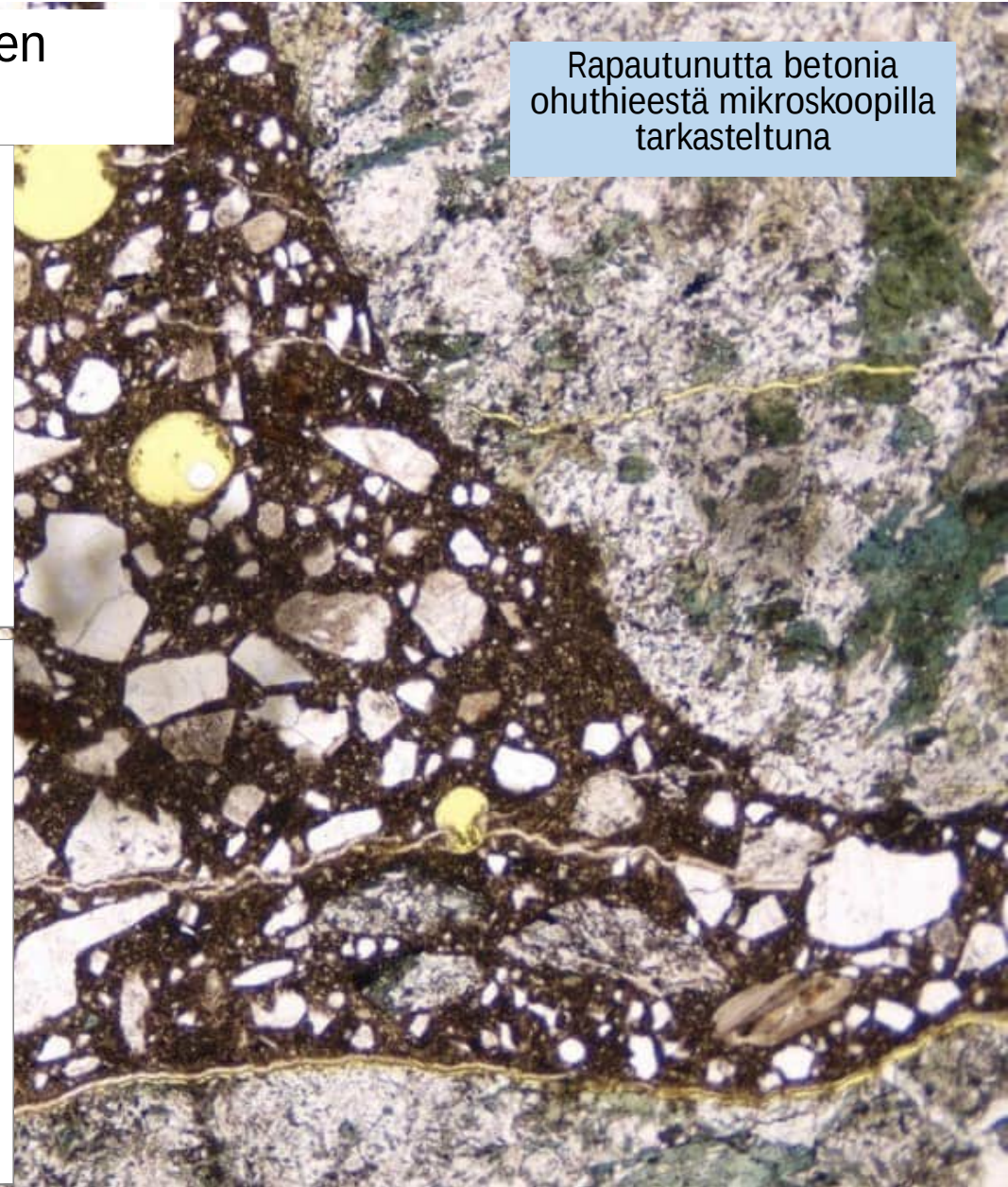
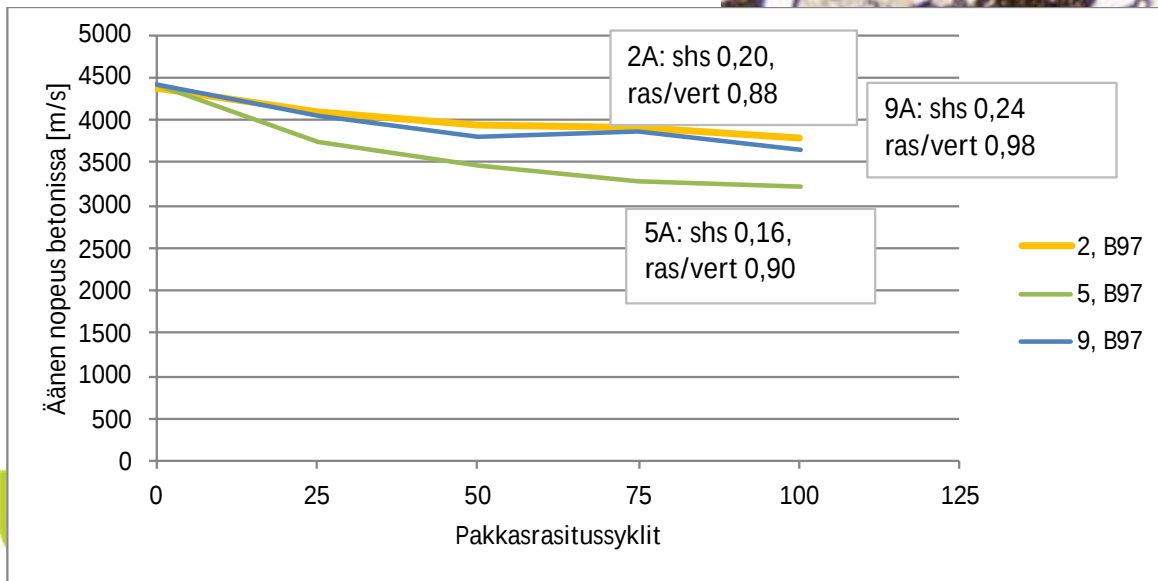
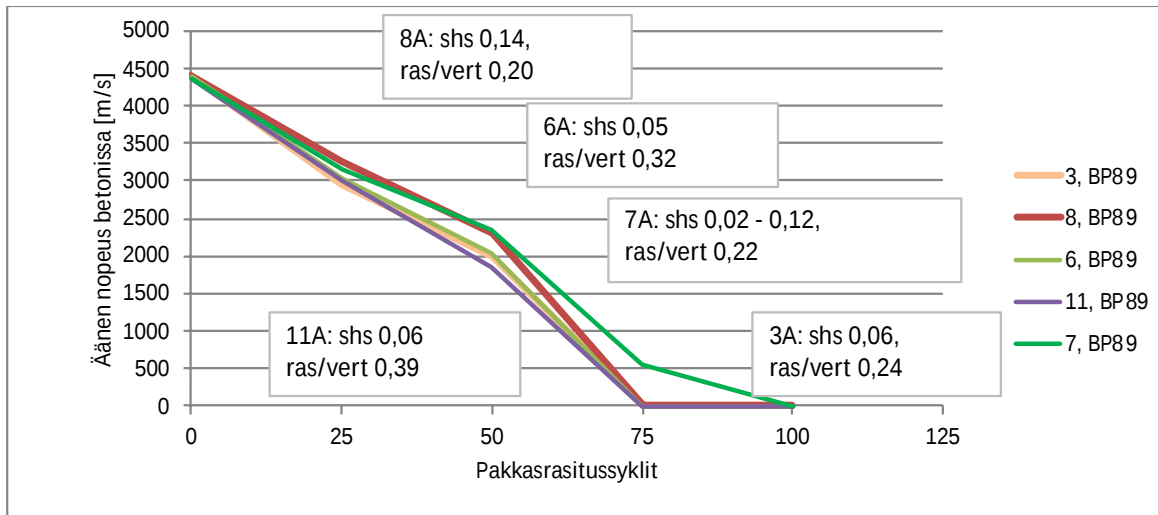
^{1a} Referenssimenetelmänä käytetään by 72 Betonin laadunvarmistus Osa 1 - Betonin ilmahuokosparametrien määrittäminen ohuthieistä. Huokosjako voidaan selvittää ohut- tai pintahieistä myös muulla soveltuvalla menetelmällä, jonka korrelaatio suhteessa referenssimenetelmään on todettu testauslaitosten välisellä tasokokeella.

^{1b} Vaatimuksenmukaisuus voidaan osoittaa joko betonin vetolujuuksien tai dynaamisten kimmokertoimien perusteella, joista toisen vaatimuksen tulee täytyä.

^{1c} Rasitusluokissa XF1 ja XF3 vaatimuksenmukaisuus on osoitettava sekä kimmokertoimen että pinnan rapauksen osalta, joista kummankin on täyttyvä.

^{1d} Rasitusluokissa XF2 ja XF4 vaatimuksenmukaisuus osoitetaan pinnan rapauksen perusteella.

Oikeanlainen (määrä ja koko) huokoisuus on kriittisen tärkeää betonin pakkasenkestävyyden kannalta.



Betonin laatu

- Yleisesti vanhoissa betonirakennuksissa esiintyy laatuvaihtelua.
- Varhainen elementtirakentaminen on ollut säilyvyysominaisuuksiltaan heikkolaatuista.
- Mitä on hyvä betonin laatu?
 - Tarkoitukseen sopiva lujuus/kantavuus
 - Käyttöikätaavoitetta vastaavat säilyvyysominaisuudet
 - Betonin työstettävyys
- Betonin valmistus on tasalaatuista ja toistettavissa
- Betonilta vaadittavat ominaisuudet on varmennettu kokeellisesti
- Betonin valmistus ja laadunvarmistus on dokumentoitu
- Rakenne on valettu suunnitelmien mukaisena
- Rakenteen muiden komponenttien laatu (mm. raudoituksen sijainti)



Vanhoja julkisivurakenteita BeKo -tutkimusaineistossa

Table 5.1 Thickness of outer layer of precast sandwich panels based on length of samples of condition investigations.

	Bearing panel					Non-bearing panel				
	Length [mm]				No.	Length [mm]				No.
	Min.	Max.	Av.	Std. dev.		Min.	Max.	Av.	Std. dev.	
Exp. aggregate	26	100	62.2	11.1	552	37.5	95	63.2	9.7	339
exp. agg. layer	2	79	26.6	10.3	335	9	85	27.2	11.4	224
backing con. layer	0	75	35.1	13.1	335	0	71.5	36.2	14.2	223
Brushed painted	31	175	59.5	13.2	736	32	109	58.9	11.2	527
Clinker-clad	34	175	67.2	17.6	214	44	105	67.3	11.3	70
Painted form-finish	32	135	65.3	19.1	204	27	111	62.7	13.0	135
Unpainted form finish	44	153	78.0	21.2	155					
Brick panel-clad	44	126	82.3	11.6	350	33	107.5	78.6	13.5	131
Brushed unpainted	36	84	54.8	11.8	34	44	57	50.1	4.9	7
White concrete	46	118	69.0	14.9	48	59	89	69.5	8.9	31
white con. layer	11	55	24.7	11.2	20	11	62	33.1	16.2	15
backing con. layer	21	58	39.6	10.3	20	0	62	37.6	21.5	15
Floated unpainted	50.5	75	62.7	7.5	13		60			1

Lähde: Väitöskirja, Jukka Lahdensivu. 2012

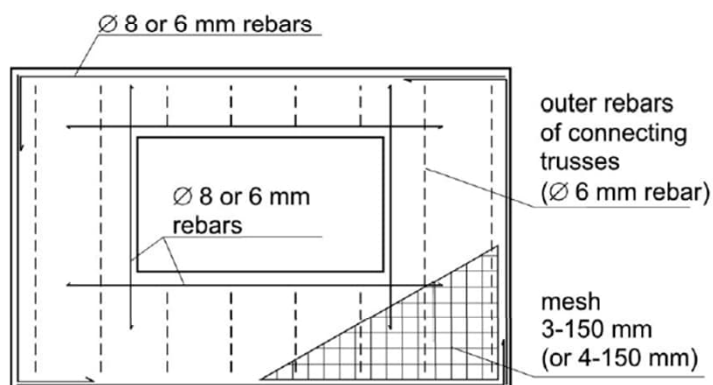


Fig. 1.3 Typical reinforcement of outer layer of a concrete panel (1998).

Vanhoja julkisivurakenteita

"Normit on kuitenkin laadittu lähinnä paikallarakentamista varten. Kun elementeissä pyritään keveisiin ja taloudellisiin rakenteisiin ja raudoituksiin, joudutaan normeista usein poikkeamaan. Toisaalta normien rakenteellisia määräyksiä pyritään kehittämään entistä väljemmiksi siten, että niissä otetaan huomioon myös elementtirakenteet." RIL 115 Betonielementtirakenteet 1977

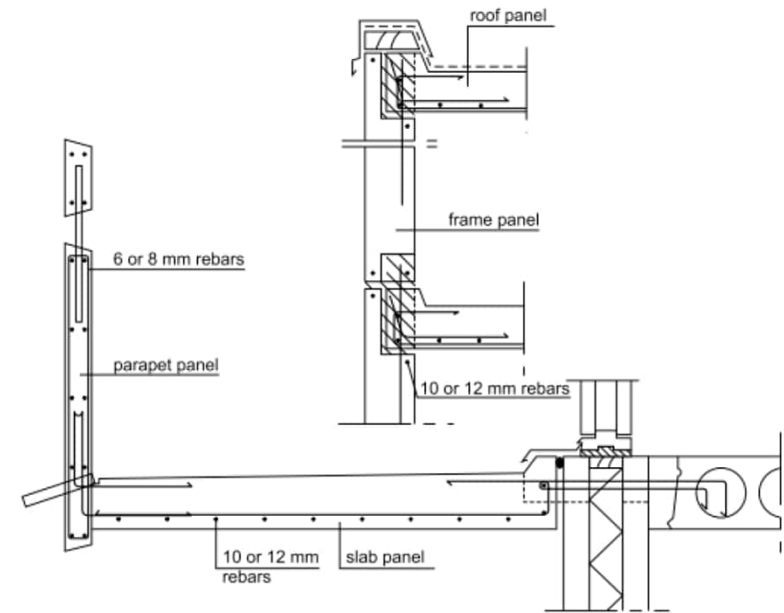


Fig. 1.4 Cross-section of a typical Finnish balcony made of precast structural members (Pentti 1994).

Table 5.7 Shares of reinforcement cover depths by cover depth categories based on field measurements of balcony panels.

		Share by cover depth category [%]				n [kpl]
		0-4 mm	5-9 mm	10-14 mm	15-19 mm	
Side panel	outer surf.	0.06	3.84	5.47	15.10	32 540
Slab	top	0.01	3.64	5.45	13.60	12 957
	soffit	0.04	3.69	5.65	14.41	42 628
Parapet	outer surf.	0.01	1.90	4.12	11.49	26 636
	inner surf.	0.19	7.53	10.01	20.59	18 665

Lähde: Väitöskirja, Jukka Lahdensivu. 2012. TTY Julkaisu 1028

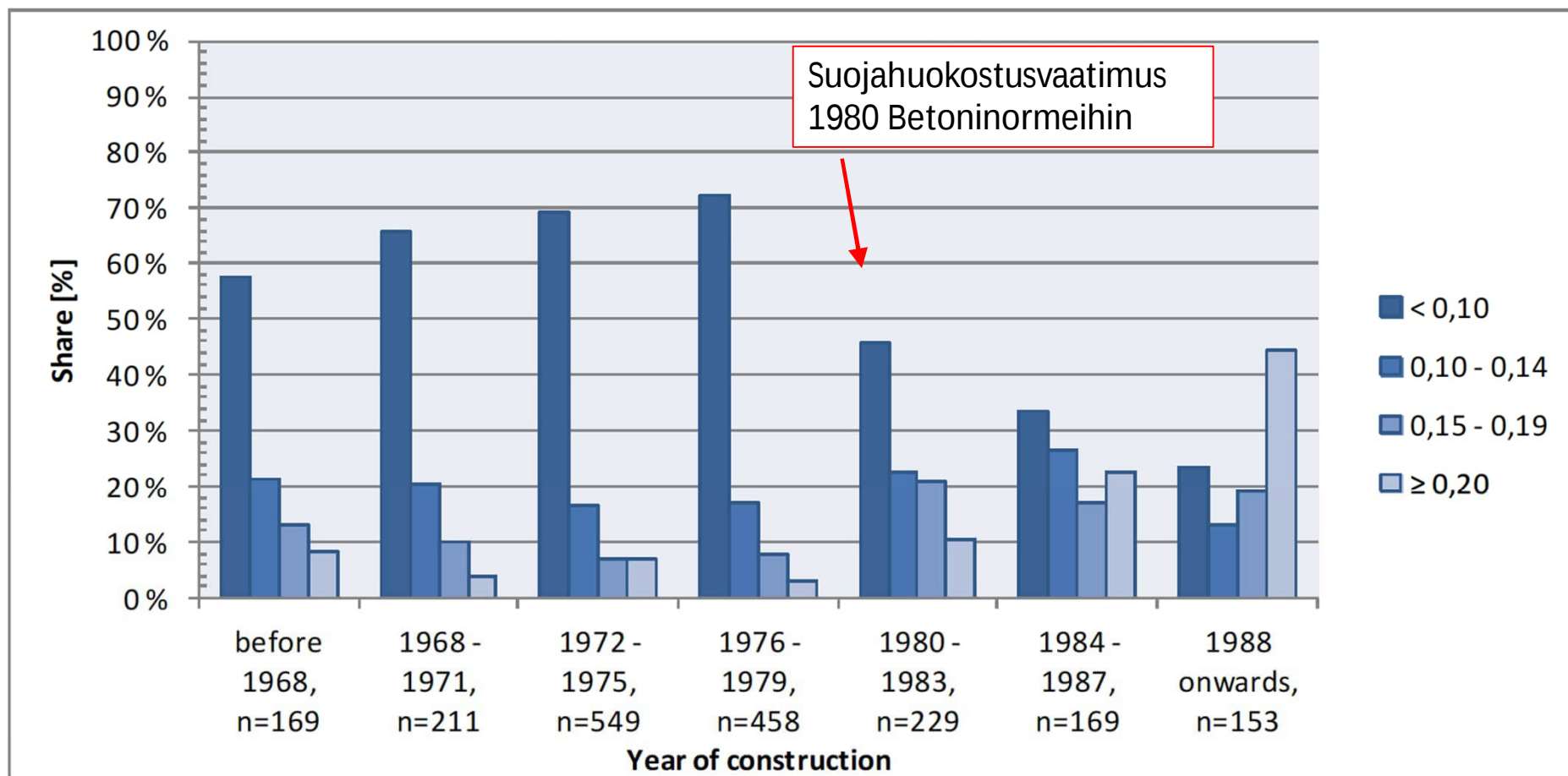


Fig. 5.21 *Distribution of protective pore ratios of all balcony panels by four-year periods. Number of samples, n, is 1 938.*

Karbonatisoitumisen eteneminen

- Nopeutta kuvaavassa kertoimessa (k, karbbiskerroin, carbonation coefficient) on vanhoissa rakenteissa huomattavaa hajontaa
- 1960- ja 1970-lukujen ulkobetonirakenteet ovat olleet keskimäärin nopeasti karbonatisoituvia

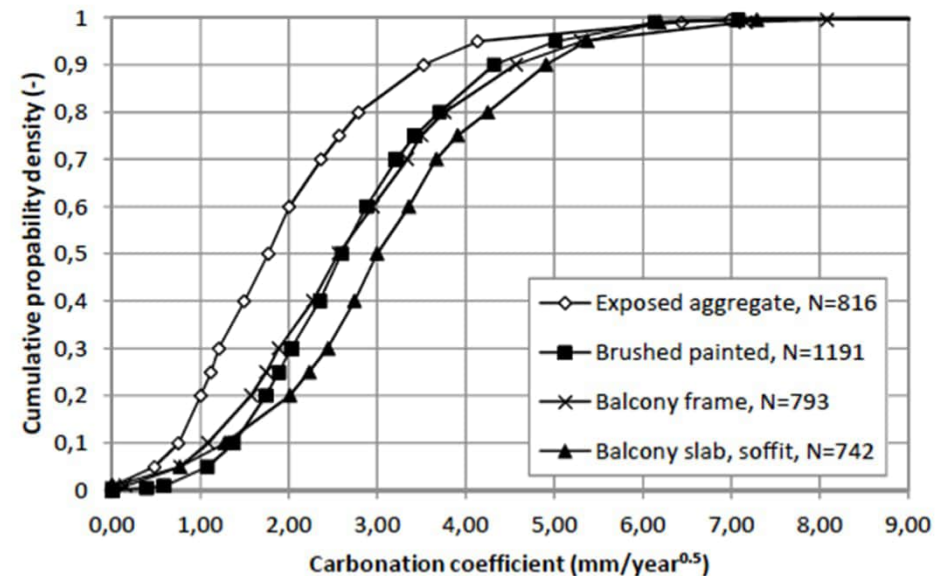


Figure 1.2 The carbonation resistance presented as the carbonation coefficient of different existing concrete facades and balcony structures manufactured in 1965–1989

Kapillaari- imeytyspitoisuuksia

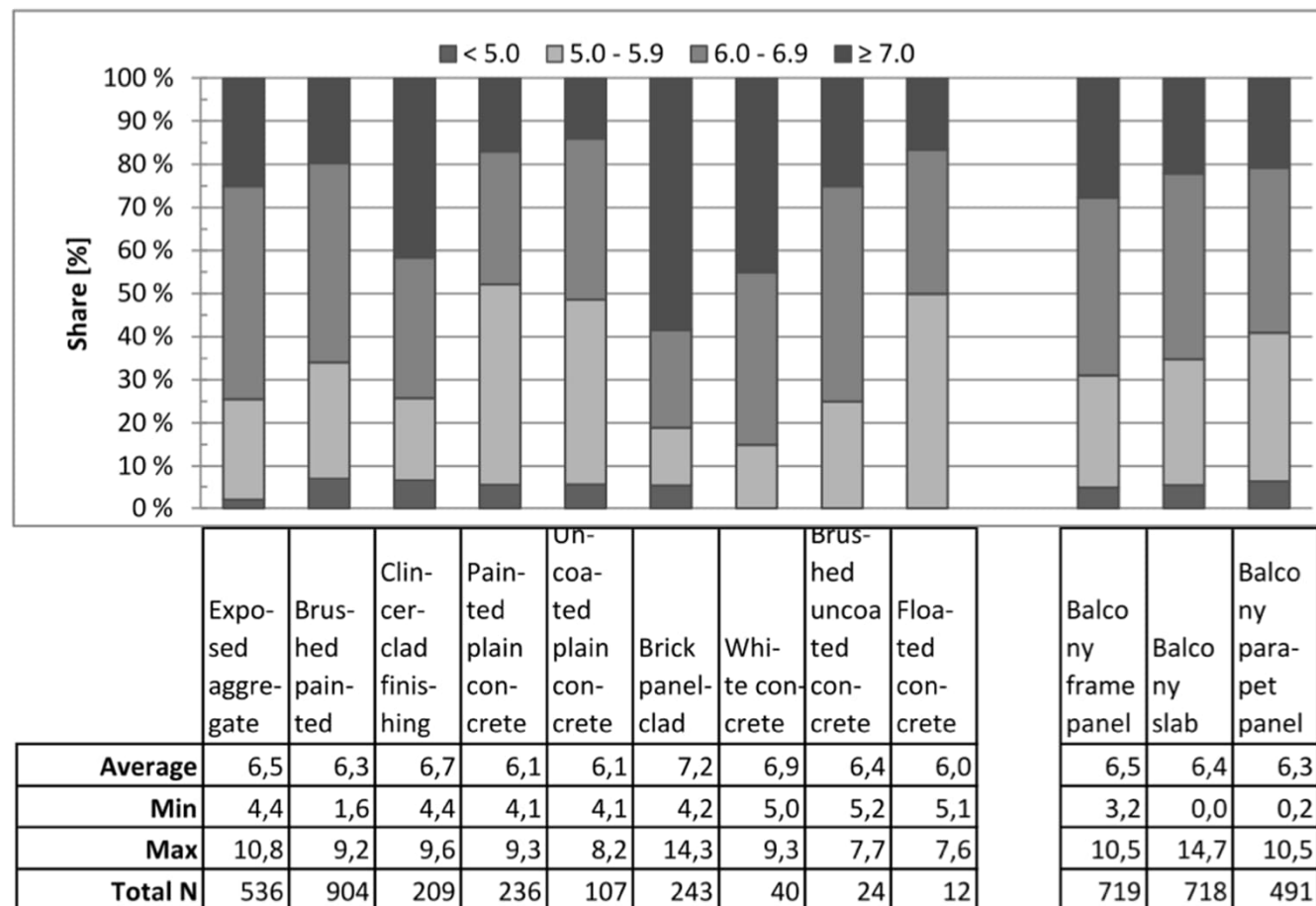


Fig. 5.1 Degree of capillary saturation of concrete by classes.

Betonirakenteiden kosteudesta

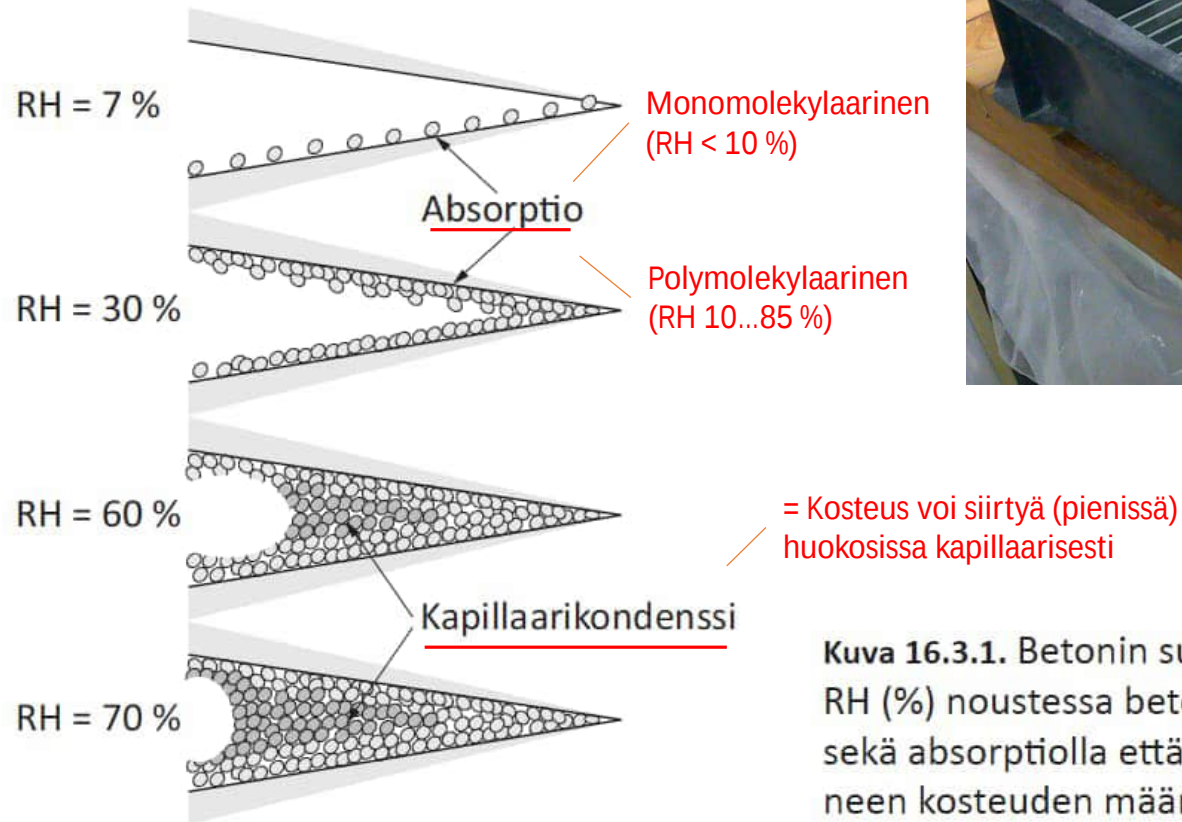
- Betoni sisältää aina kosteutta
- Betoni pyrkii kosteustasapainoon ympäristön kanssa, *hygroσκοoppinen materiaali*
- Betonin sisältämä kosteus on perusedellytys betonissa tapahtuville kemiallisille ja fysikaalisille ilmiöille
- Kosteudesta ei ole itse betonille haittaa,
- mutta:
 - Ympäröivät kosteudelle herkät materiaalit voivat vaurioitua ja aiheuttaa sisäilmahaittaa
 - Pinnoitettavuus, kosteutta joudutaan mittaamaan/seuraamaan
 - Voi kuljettaa haitallisia aineita
 - Voi jäätyessään aiheuttaa vaurioita
 - Mahdollistaa sähkökemiallisen korroosion etenemisen
- Toisin sanoen kosteus on mukana kaikissa merkittävässä betonirakenteen vauriomekanismeissa



Betonirakenteiden alkukosteus ja kuivuminen

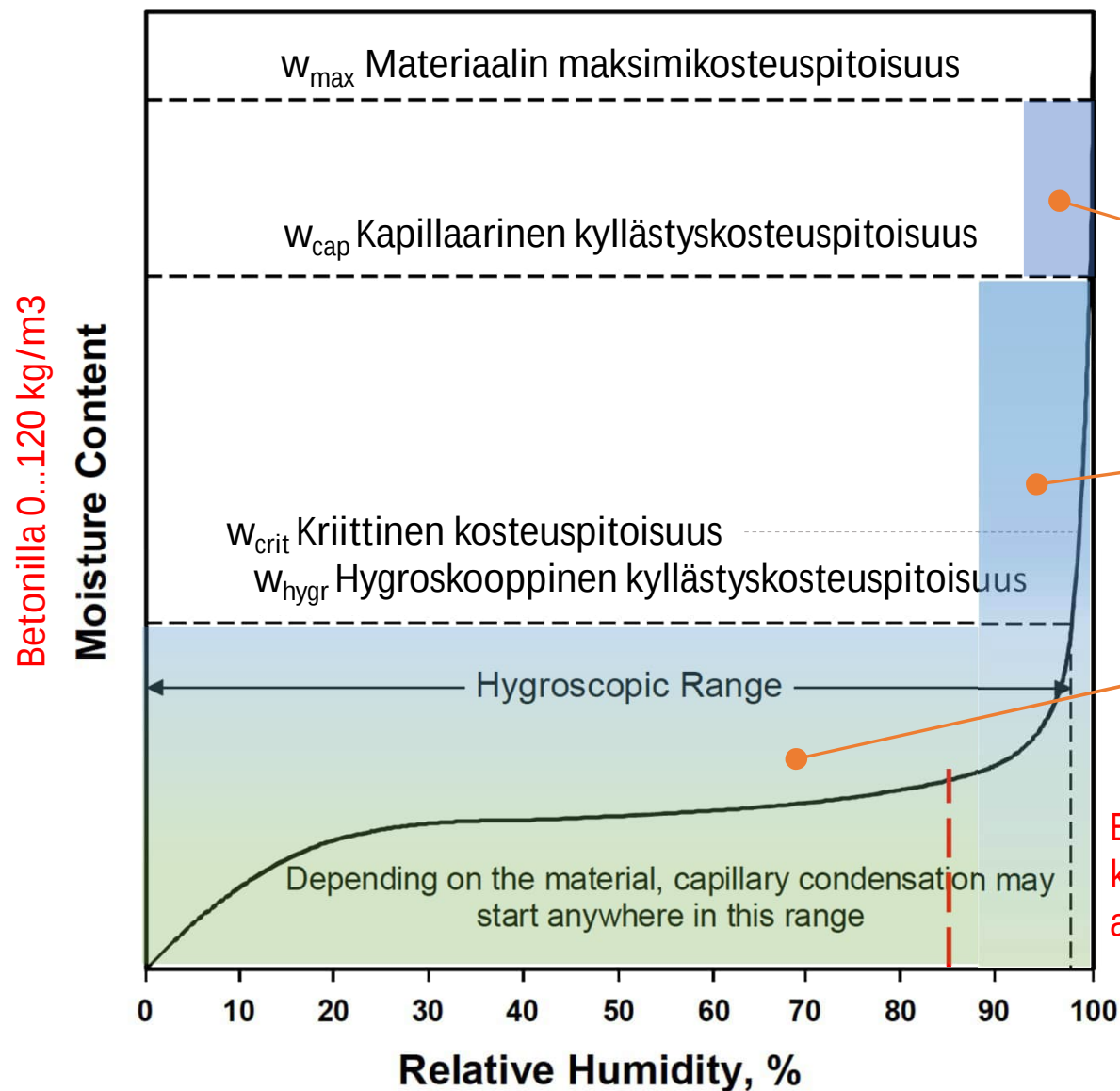
- Valuvaiheessa tuoreen betonin suhteellinen kosteus on RH 100 % (w_{max} , vastaava paino-% riippuen betonikoostumuksesta 4...10 p-%)
- Osa kosteudesta poistuu *kemiallisen kuivumisen* kautta betonin hydratoitumisreaktiossa. Määrä riippuu mm. vesi-sideainesuhteesta
- Lopullinen rakenteen kuivuminen tapahtuu *haihtumiskuivumisena*. Kuivuminen on hidasta, koska se tapahtuu tasaantumalla rakenteen sisäosien ja ympäristön kosteuspitoisuuserojen vaikutuksesta
- Betonia joudutaan monissa sovelluksissa kuivattamaan = *fysikaalisesti sitoutuneen* veden poistamista
 - Päälystettävyyys
 - Kosteudelle herkkien pintamateriaalien asennus
 - Merkittävä aikatauluvaikutus
- Arvioidaan laskennallisesti (kerroinmenetelmä, Merikallio 2002; by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio) ja päälystettävyyys varmistetaan kosteusmittauksin

Betonin kosteus



Kuva 16.3.1. Betonin suhteellisen kosteuden RH (%) noustessa betonin huokosseinämiin sekä absorptiolla että kapillaarisesti sitoutuneen kosteuden määrä kasvaa.

Lähde: By 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018



Materiaalin kosteus vs. betonin kosteus

Kosteus siirtyy paineen alaisena/paineistettuna

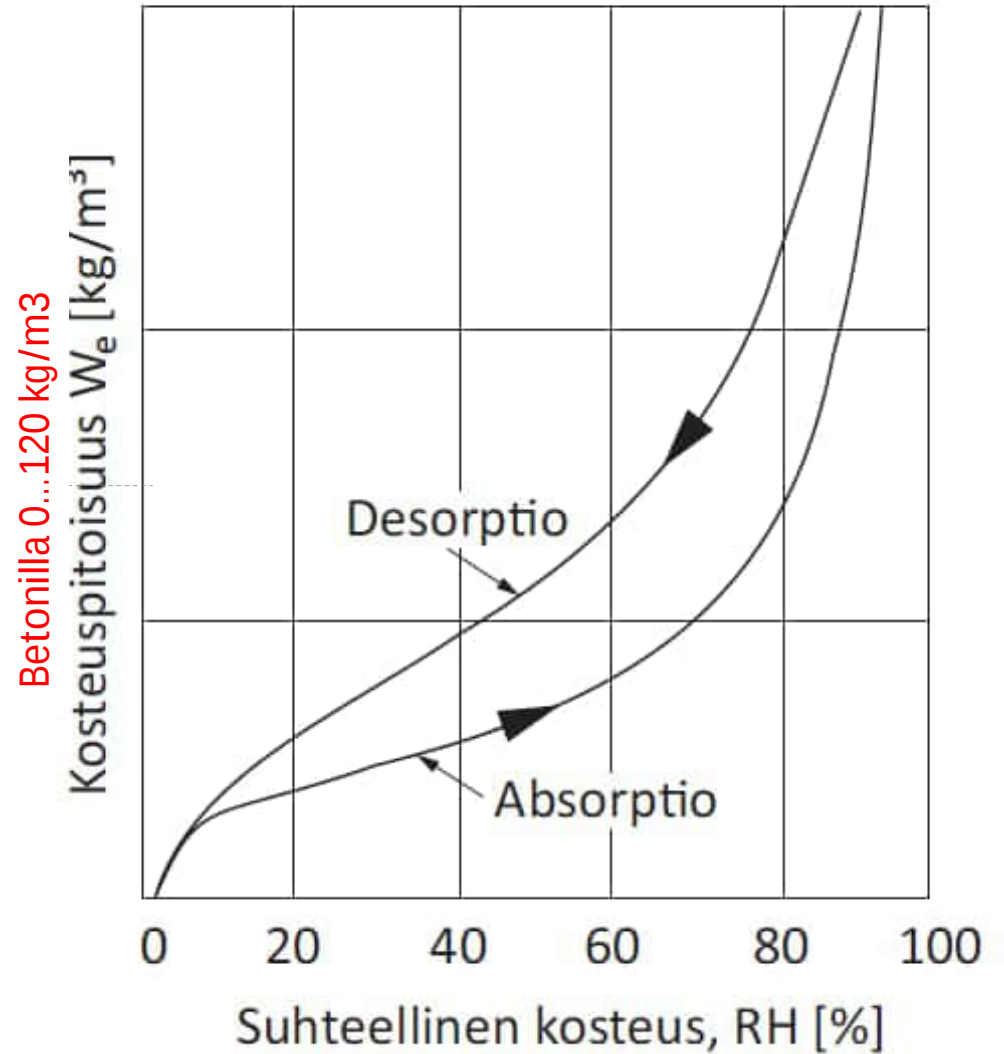
Kosteus siirtyy pääasiassa kapillaarisesti

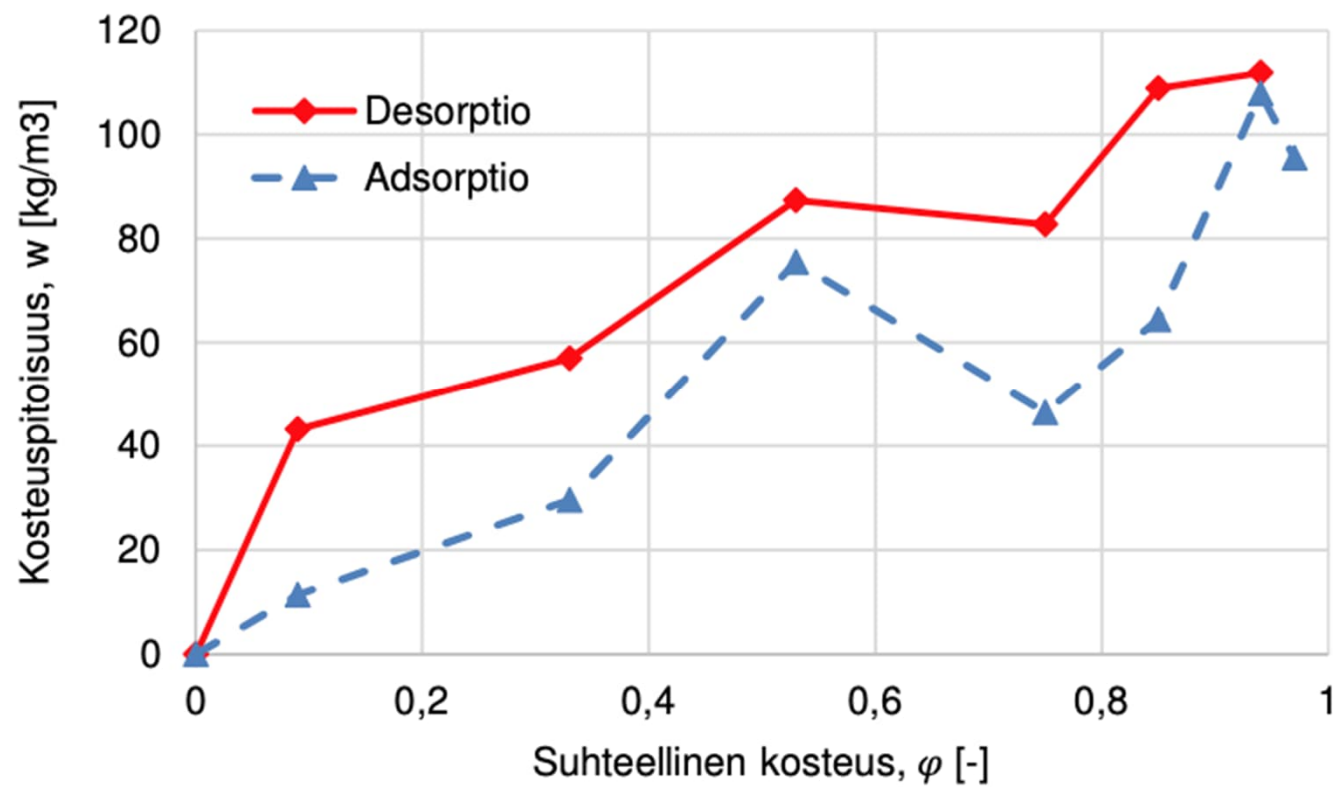
Kosteus siirtyy pääasiassa hygroσκοoppisesti (=ilman välityksellä)

Betonilla kapillaarikondenssin alue noin $\geq$ RH 85 %

Hystereesi

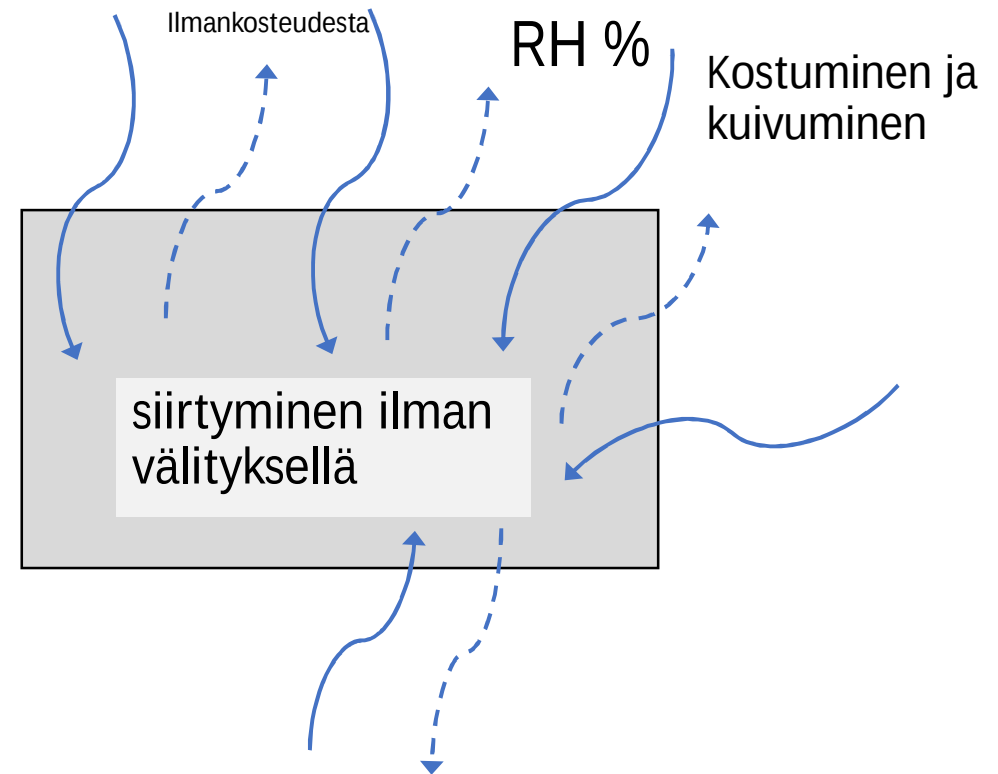
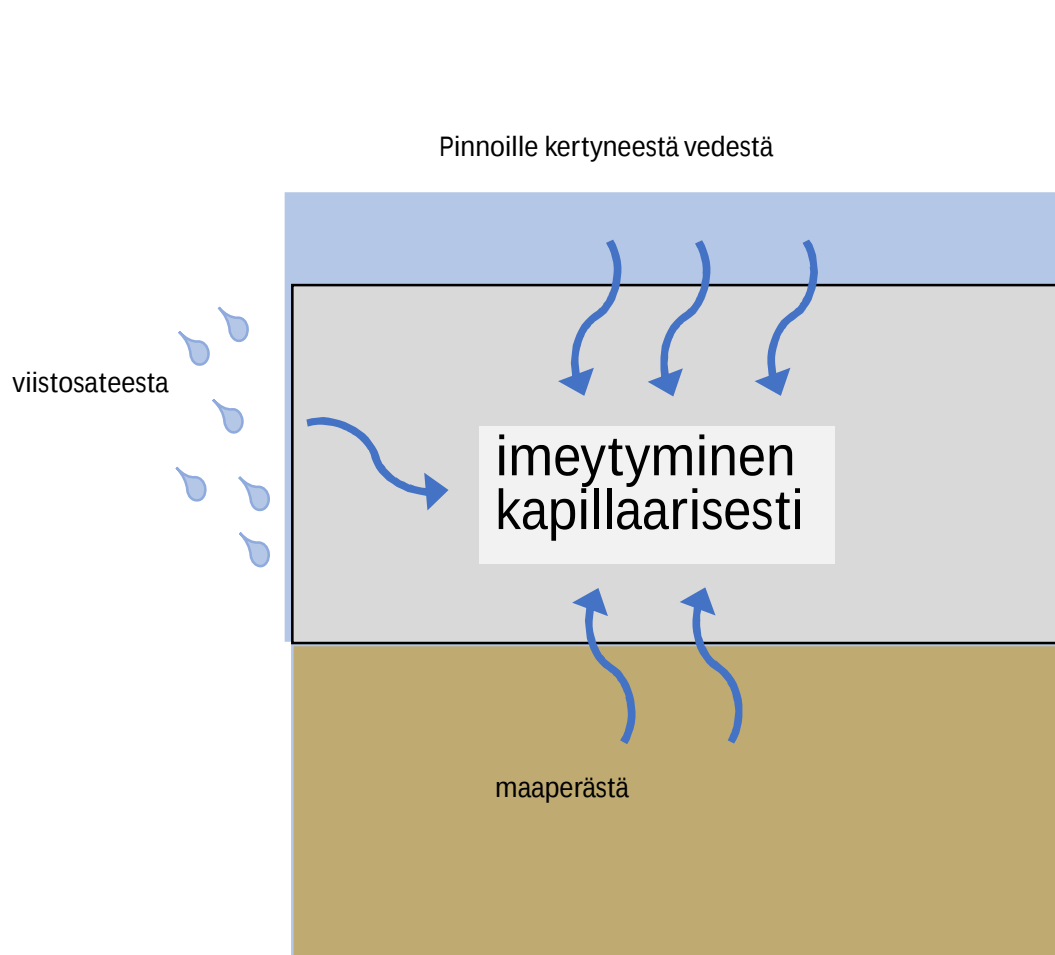
- Tasapainokosteuden pitoisuus riippuu materiaalin aiemmasta kosteustilasta
- Kastuva (absorptio) materiaali tasapainottuu matalampaan kosteuspitoisuuteen
- Kuivuva (desorptio) materiaali tasapainottuu korkeampaan kosteuspitoisuuteen
- Huokosten kapillaarivoimien vaikutuksesta





Yhden betonilaadun adsorptio – desorptiokuvaaja,
Lähde: diplomityö Vääntinen 2017

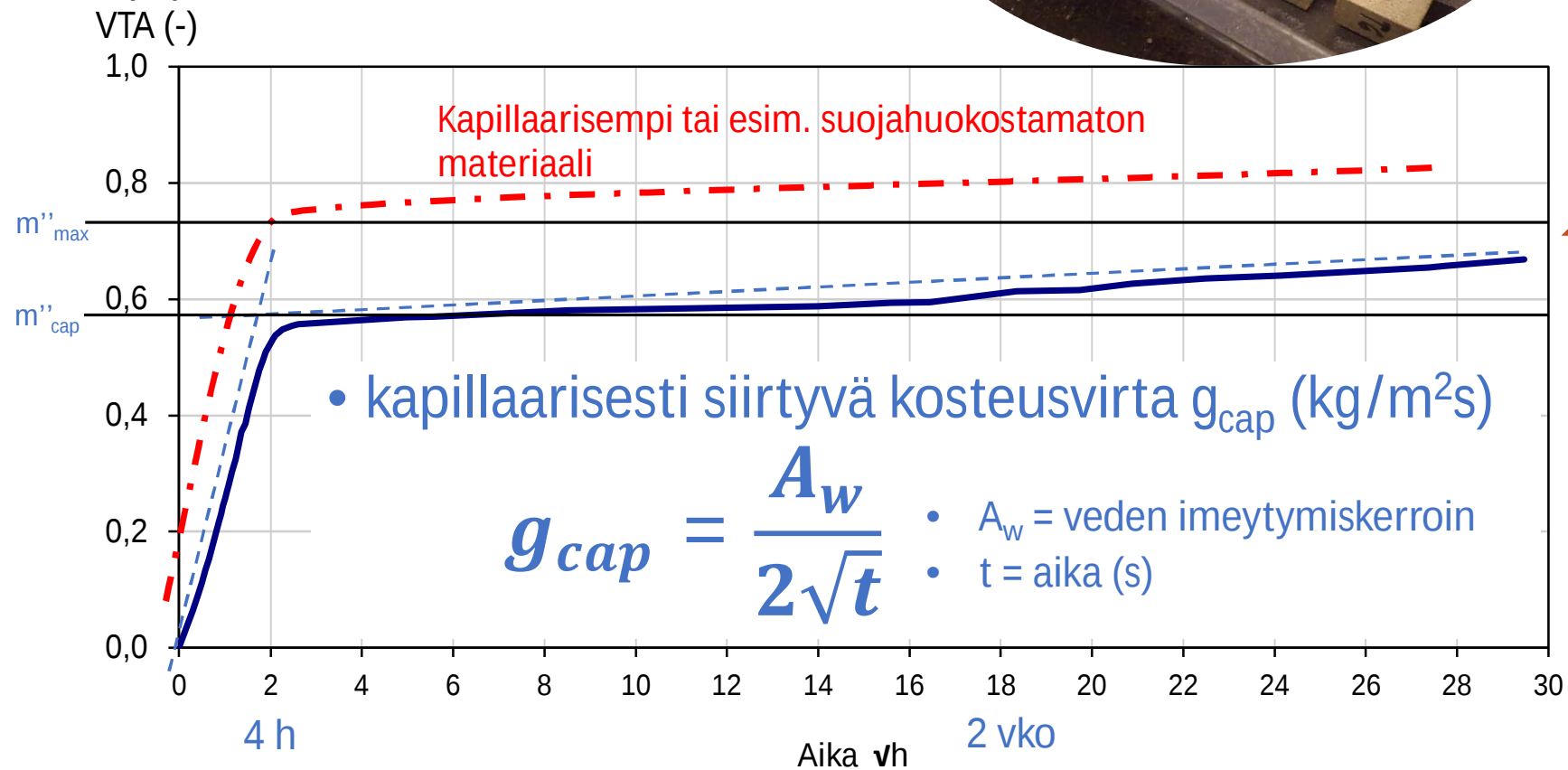
Kosteuden siirtyminen



Kapillaarinen kosteus



Vedellätytymisaste



Kosteuden diffuusio

- Diffuusiolla siirtyvä kosteusvirta g ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

$$g = -\delta_x \cdot \frac{dv}{dx}$$

- δ = materiaalin vesihöyrynläpäisevyys
- dv = vesihöyrypitoisuusero
- dx = rakennekerroksen paksuus, jonka yli tarkastelu tehdään

- Käytännössä kosteusvirtaan vaikuttaa siis materiaalin tiiveys, kuinka syvälle rakenteeseen mennään ja kuinka suuri vesihöyrypitoisuuden ero on pinnalla ja rakenteen sisällä
- Diffuusio on tärkeä käsite kastumisen kannalta, mutta oleellinen rakenteen kuivumisen kannalta!

Syvyys rakenteen pinnasta, dx

Aika, vh

Diffuusioonon liittyvät materiaaliominaisuudet

Taulukko 5.2

Lasketut vesihöyrynläpäisevyyden yksiköt.

Vesihöyrynläpäisykerroin	W_v	m/s	$W_v(\Delta v) = \partial g / \partial(\Delta v)$
Vesihöyrynläpäisykerroin	W_p	kg/(m ² ·s·Pa)	$W_p = W_v / (R / M_v) \cdot (273,15 + t)$
Vesihöyrynvastus	Z_v	s/m	$Z_v = 1 / W_v$
Vesihöyrynvastus	Z_p	m ² sPa/kg	$Z_p = 1 / W_p$
Vesihöyrynläpäisevyys	δ_v	m ² /s	$\delta_v = W_v \cdot d$
Vesihöyrynläpäisevyys	δ_p	kg/(m·s·Pa)	$\delta_p = W_p \cdot d$
Vesihöyrynen diffuusiovastuskerroin	μ	-	$\mu = \delta_{p, ilma} / \delta_p$

Lähde: Vinha et al. 2005. Rakennusmateriaalien rak.fys. Ominaisuudet... TTY tutkimusraportti 129

missä

g

kosteusvirran tiheys (kg/(m²·s))

R

yleinen kaasuvakio 8314,3 J/(kmol·K)

M_v

vesihöyrynen molekyylipaino 18,02 kg/kmol

t

lämpötila (°C)

d

materiaalin paksuus (m)

$\delta_{p, ilma}$

seisovan ilman vesihöyrynläpäisevyys (kg/(m·s·Pa)) (kaava 5.13)

$$\delta_{p, ilma} = \frac{2,0 \cdot 10^{-7} \cdot T^{0,81}}{P_{ilma}}$$

Suhteellinen diffuusiovastus (kuinka paksun ilmakerroksen vesihöyrynvastusta tietty materiaalikerros vastaa)

S_d

$$S_d = \mu \cdot d$$

Mistä betonin kosteus on peräisin?

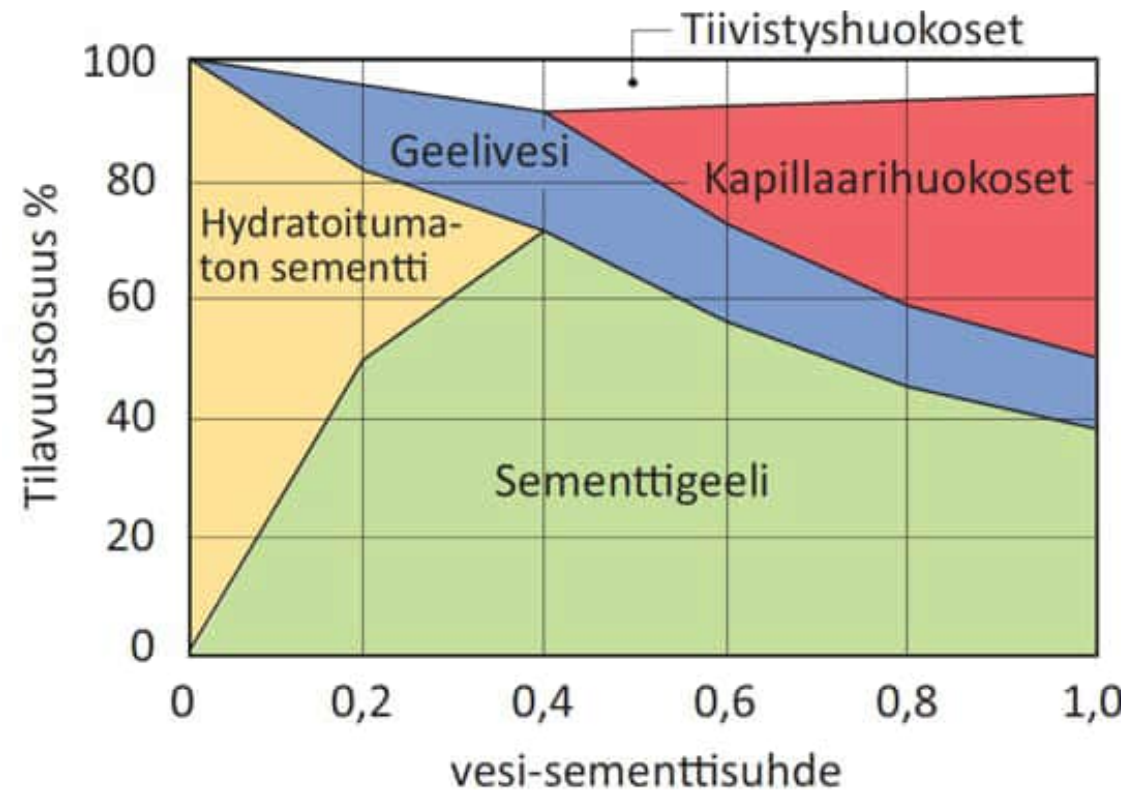
1. Rakentamisen aikainen kosteus
 - a. Betonin valmistukseen käytettävä
 - b. Kosteuslähteet työmaalla

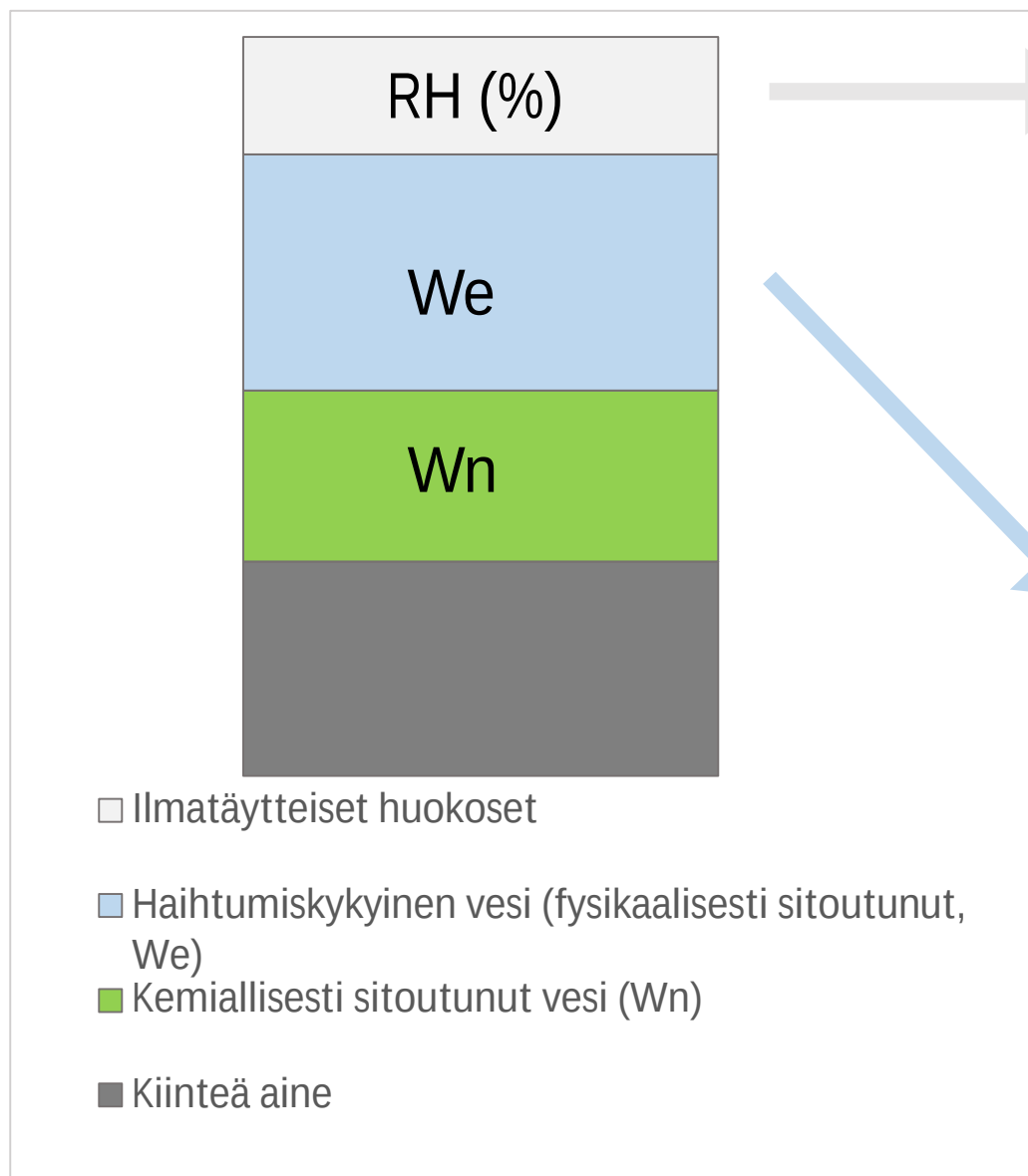
2. Käytön aikainen kosteus

Valmistuksen aikainen kosteus

cem kg/m ³	sekoitusvesimäärä litraa/m ³		
	v/c 0,4	v/c 0,5	v/c 0,6
250	100	125	150
300	120	150	180
350	140	175	210
400	160	200	240

- Kemiallisesti sitoutuva vesimäärä voidaan arvioida $W_n = 0,25 \cdot \alpha \cdot C$ (α = hydratoitumisaste, C = sementtimäärä, kg)
- Loppu jää huokosrakenteeseen haihtumiskykyiseksi vedeksi (W_e)





HUOKOSILMAN RH

Betonin huokoisuus n. 10 % ilmatäytteisiä huokosia.
Huokosilman RH 65 % (20 °C)

vastaa

Ilmatilavuudessa: $0,65 \cdot 17,29 \text{ g/m}^3 = 11,24 \text{ g/m}^3$

Betonikuutiossa: $0,1 \cdot 11,24 = 1,12 \text{ g/m}^3$

HUOM! Tässä vaiheessa betonissa on myös kapillaarista kosteutta...

FYSIKAALISESTI SITOUTUNUT VESI

300 kg/m³, $v/c=0,4$

Sekoitusvesimäärä = $300 \cdot 0,4 = 120 \text{ kg}$

$W_n = 0,25 \cdot 1 \cdot 300 = 75 \text{ kg}$

$W_e = 120 - 75 = 45 \text{ kg}$

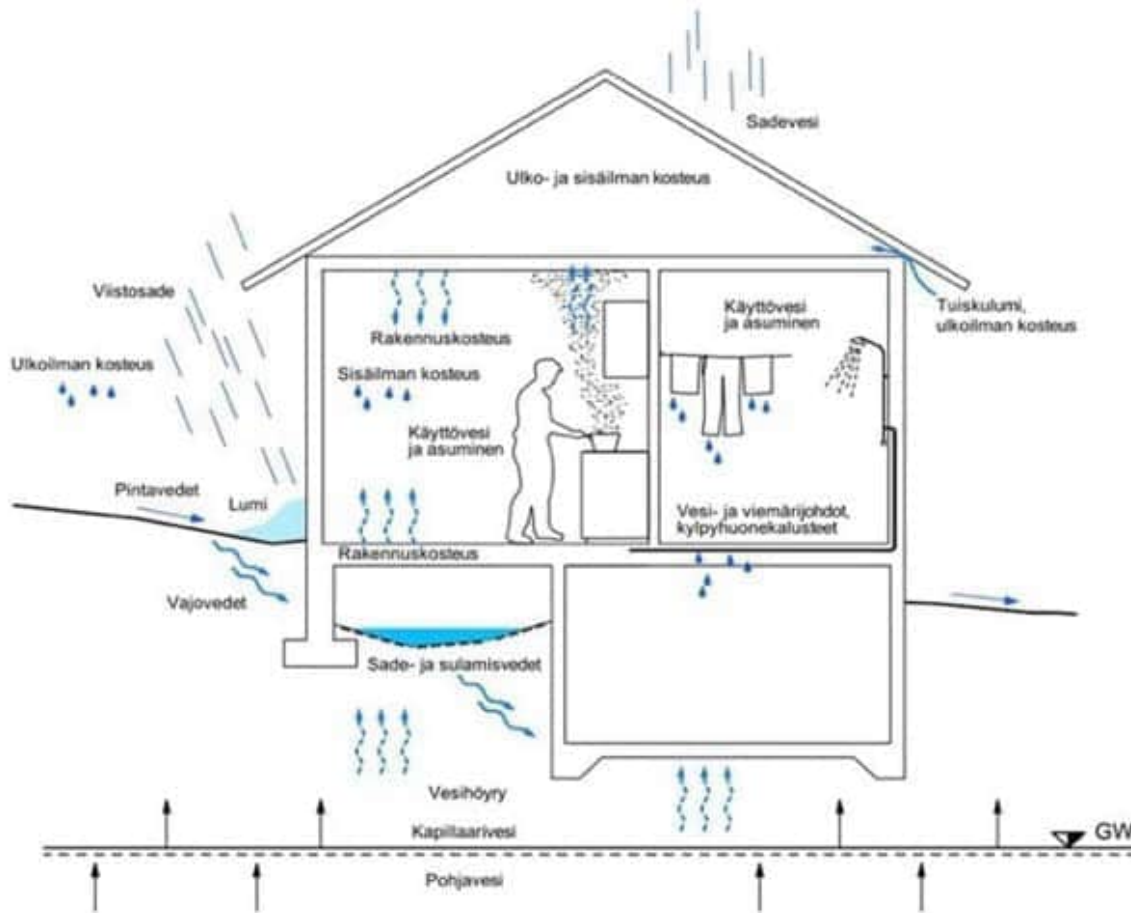
250 kg/m³, $v/c=0,6$, $\alpha=0,8$

Sekoitusvesimäärä = $250 \cdot 0,6 = 150 \text{ kg}$

$W_n = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 250 = 50 \text{ kg}$

$W_e = 150 - 50 = 100 \text{ kg}$

Käytönaikaiset kosteuslähteet



kuvalähde: Rakennustyömaan kosteudenhallintakoulutuksen materiaali

- Sade, viistosade, tuulen kuljettama sadevesi, lumi
- Sisäilman kosteus
- Ulkoilman kosteus
- Tiivistyvä kosteus
- Maaperän kosteus, pohjavesi, vajovesi, kapillaarivesi
- Käyttövesi
- Vuotovesi
- Pintavesi, makeavesi, merivesi
- Roiskevesi
- Jätevedet
- Prosessivedet

Ilman kosteus

- Ilman kosteus on tietyssä ilmatilavuudessa olevaa vesihöyryä
- Vesihöyryn määrä voidaan ilmaista joko *vesihöyrypitoisuutena* tai vesihöyryn *osapaineena*
- Ilman kosteuspitoisuus voidaan esittää:
 - vesihöyrypitoisuutena, v (g/m³) TAI osapaineena p_v (Pa)
 - Tietyssä lämpötilassa ilmatilavuuteen mahtuu neste-höyrytasapainosta johtuen kyllästyskosteuspitoisuuden tai kyllästyspaineen verran kosteutta v_{sat} tai $p_{v,sat}$
- Kyllästyskosteuspitoisuuden suhteutettuna, suhteellisena kosteutena

$$\varphi = \frac{v}{v_{sat}} = \frac{p_v}{p_{v,sat}}$$

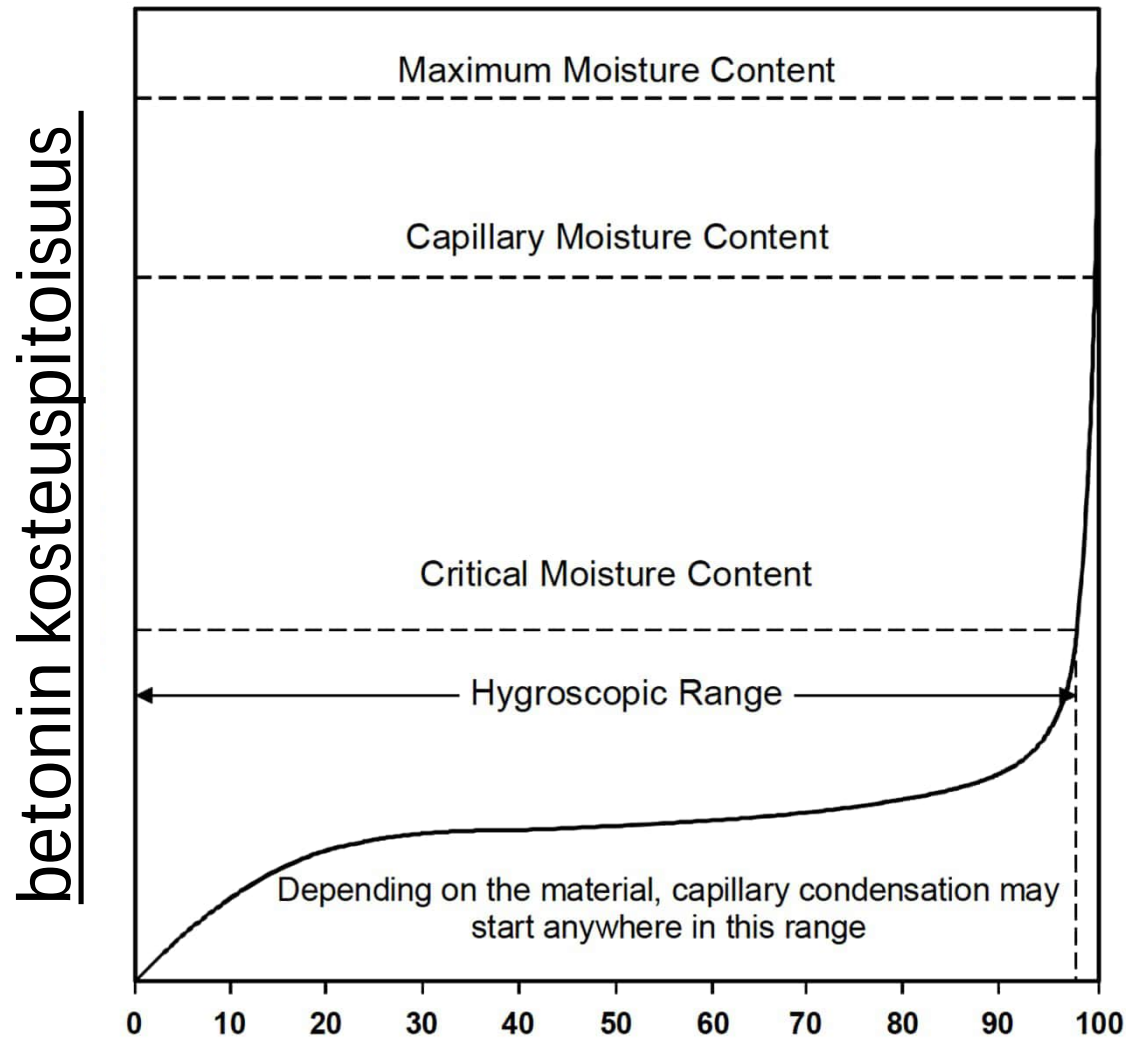
$$RH = \frac{v}{v_{sat}} \cdot 100 \text{ (\%)} = \frac{p_v}{p_{v,sat}} \cdot 100 \text{ (\%)}$$



Betonin kosteus

- betonin kosteuspitoisuus esitetään suhteutettuna materiaalin kuivapainoon (kg/kg) tai materiaalin tilavuuteen (kg/m^3). Tämä kertoo betoniin fysikaalisesti sitoutuneen vesimäärän.
- Kosteuspitoisuuden tasapaino riippuu ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta, jolloin puhutaan tasapainokosteuspitoisuudesta $w(\varphi)$ [kg/m^3]
- suurin kosteuspitoisuus, kun kaikki betonin huokokset ovat vedellä täyttyneitä. Voidaan erotella kapillaarisesti täyttynyt ja paineellisesti täytetty huokostila.
- betonin suhteellinen kosteus = betonin huokostiloissa olevan ilman suhteellinen kosteus φ .
- Betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen käytetään ilmatilan suhteellisen kosteuden mittalaitteita. a) porareikämittaus, b) näytepalamenetelmä
- HUOM! Kyllästyskosteuspitoisuuteen vaikuttaa myös ilman lämpötila





betonin suhteellinen kosteus

Betonin kosteuden mittaamiseen liittyviä “tutkimusongelmia”

- Mittausmenetelmä on epäsuora
 - Mitataan suhteellista kosteutta, mutta vaikutukset ilmenevät kosteuspitoisuudesta
 - Raja-arvot esitetään suhteellisena kosteutena
- Mittausmenetelmän valinta
 - RT 103333 (2021) ”Porareikämenetelmä” ja ”näytepalamenetelmä”
- Mittaussyvyyksien valinta
 - Arviointisyvyys (0,2/0,4 x d)
 - Pinnassa ja 10...30 mm syvyydellä (0,4 x A)
- Raja-arvojen valinta
 - Mahdollistetaan betonin kosteuden tasaantuminen suunnitellusti (arviointisyvyyden kosteuteen)
- Mittaustulos ja tarvittava virhemarginaali

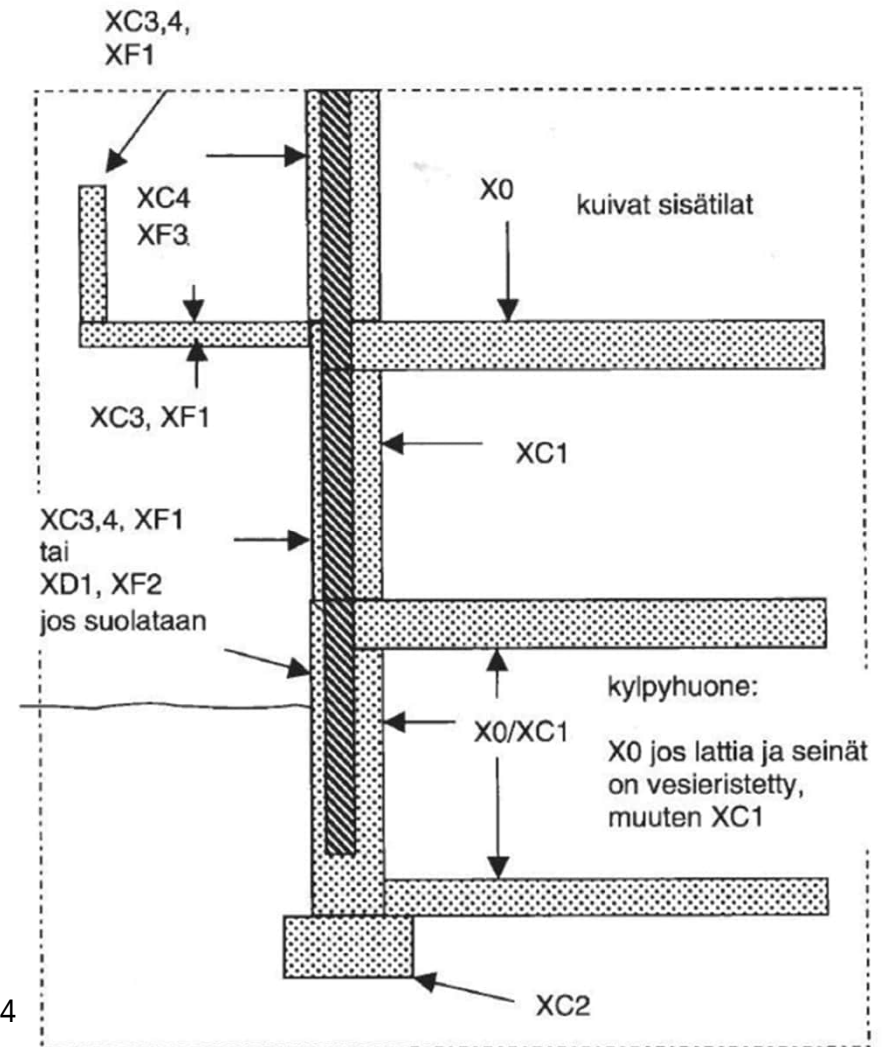
Arvioi näitä:

- Mittalaitteen epätarkkuus
- Mittapään asennuksen epätarkkuus
- Rakennekerrosten ja rakennepaksuuksien vaihtelu
- Betonimateriaalin epähomogeenisyys
- Sekoitusvesimäärä ja betoniresepti
- Mittausolosuhteet (lämpötila)
- Valun kypsyysajan arviot
- Tarvittavien rinnakkaisten mittausten ja hajautuksen määrä

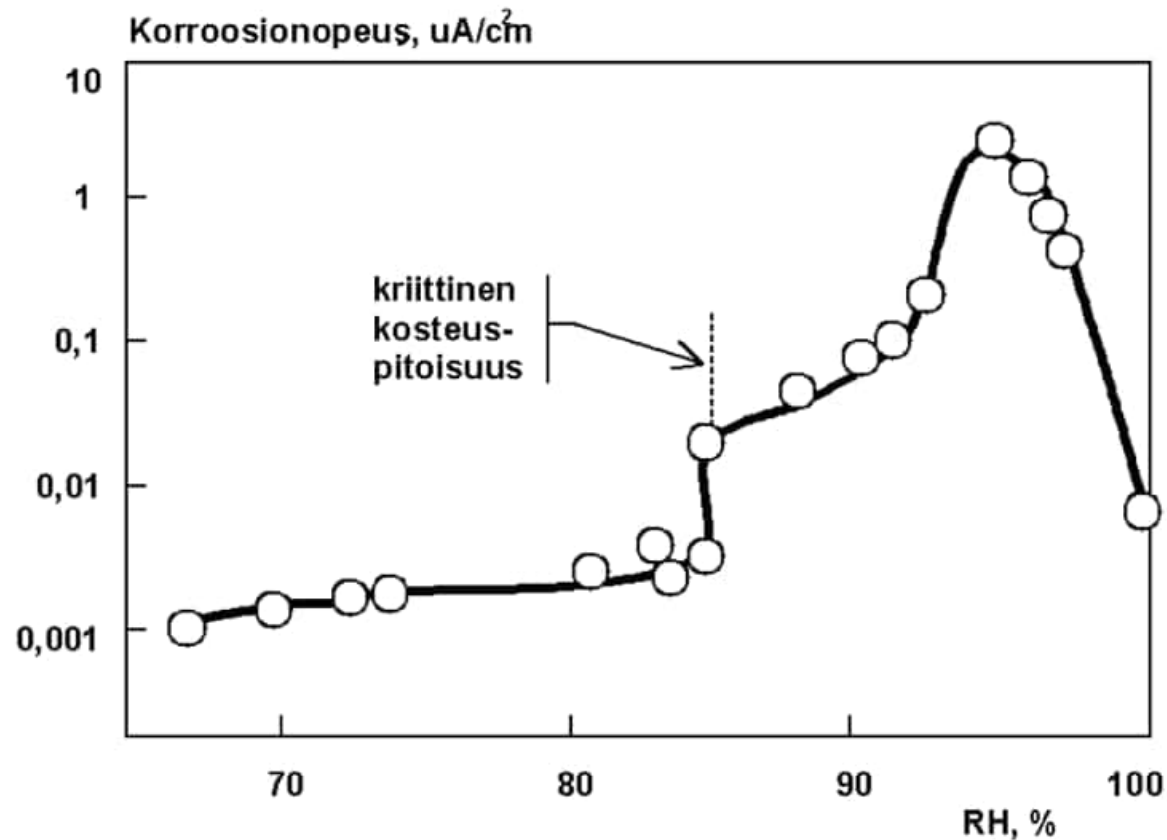
Vaihtelevien lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaikutus

- Kosteusrasitus muodostuu:
 - Vaihtelevista sääolosuhteista
 - Maantieteellisestä sijainnista
 - Rakenteen suojaisuudesta
 - Valumavesien ohjauksen toimivuudesta
- Rasitusolosuhteet luokitellaan EN-206 mukaisesti (jotta niitä voidaan suunnittelussa hallita)
- Rakenteen kosteusrasitukselle ja kosteuspitoisuudelle on olemassa rajoja.

Lähde: By 50 Betoninormit 2004



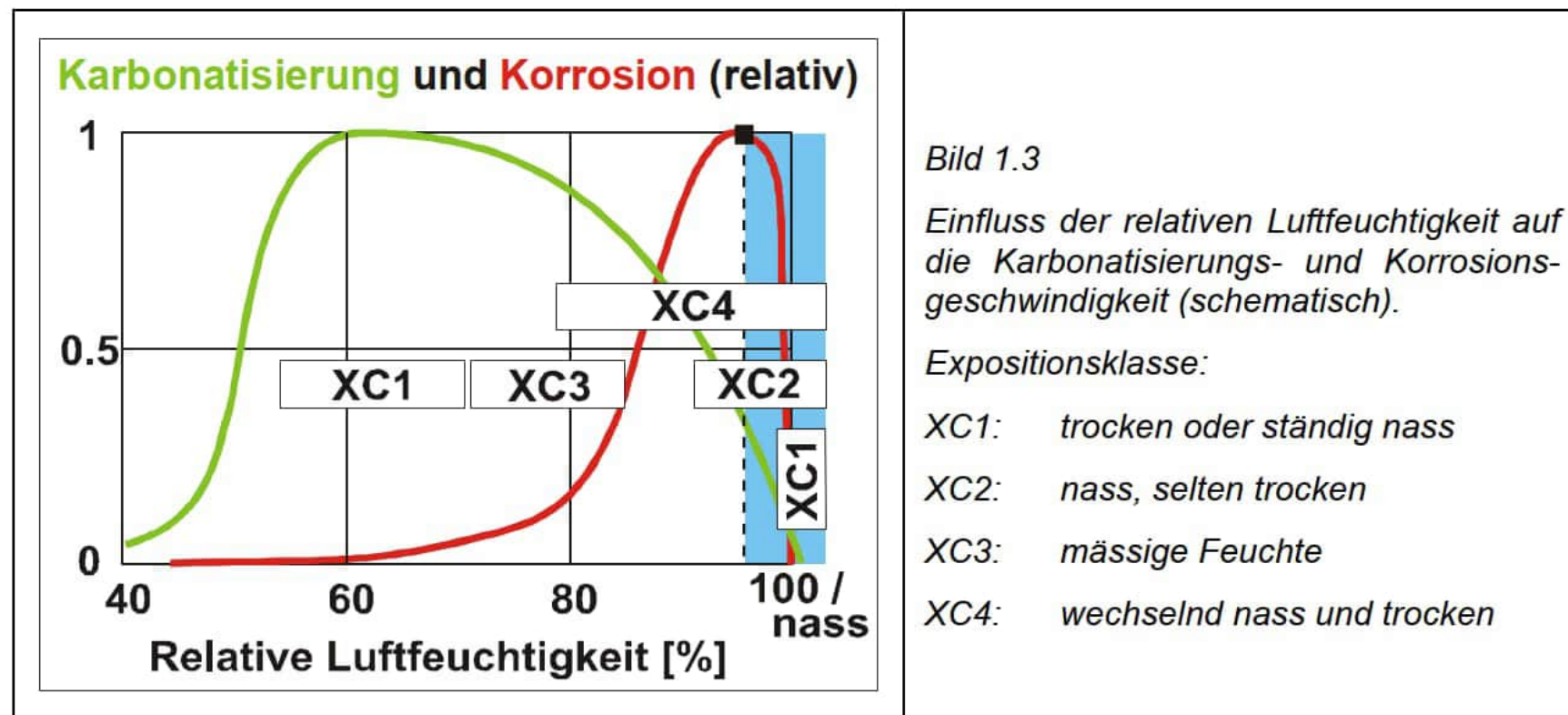
Kriittinen kosteuspitoisuus korroosion suhteen



Lähde: K. Tuutti 1982 CBI

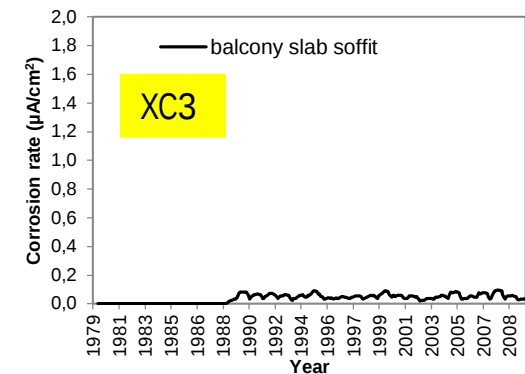
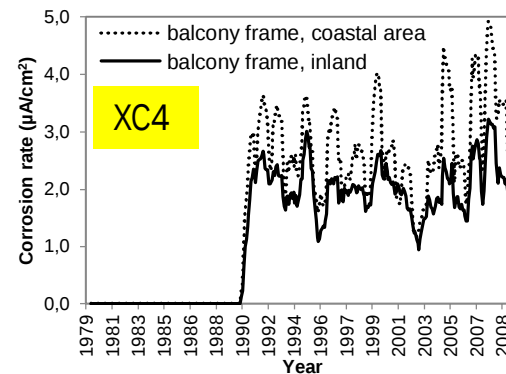
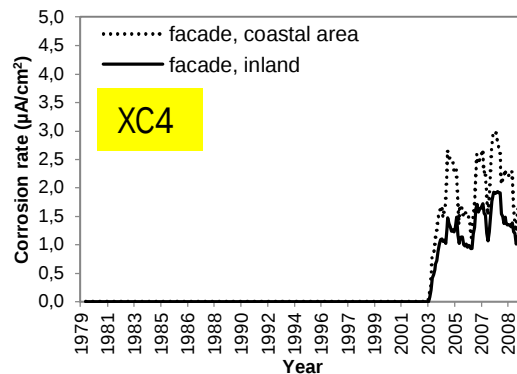
Kuva 2.9 Karbonatisoituneessa betonissa olevan teräksen korroosionopeuden riippuvuus suhteellisesta kosteudesta.

Korroosion ja karbonatisoitumisen olosuhteet



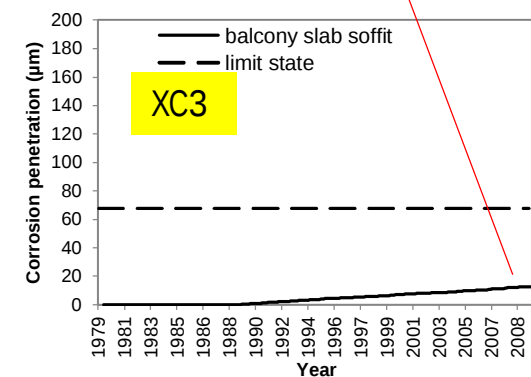
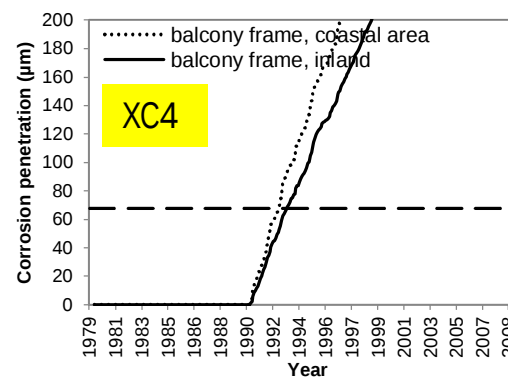
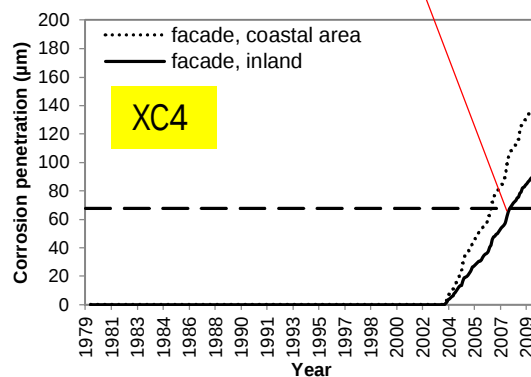
Lähde: Hunkeler, F. 2012. Requirements for the Carbonation Resistance of Concrete Mixes

Esimerkki rasitusolosuhteesta: Raudoitteiden korroosion aiheuttama halkeilu

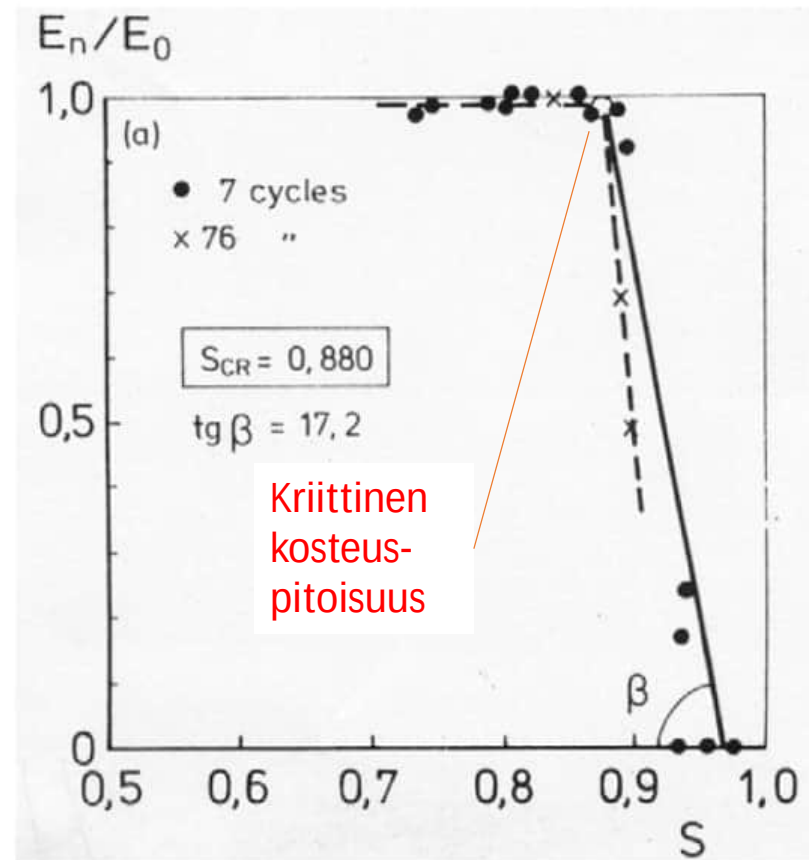


Käytännössä aika korroosion käynnistymisestä näkyvän vaurion syntyyn voi olla muutamia vuosia (2...10 vuotta)

...tai useita kymmeniä vuosia hyvin sateelta suojattuna



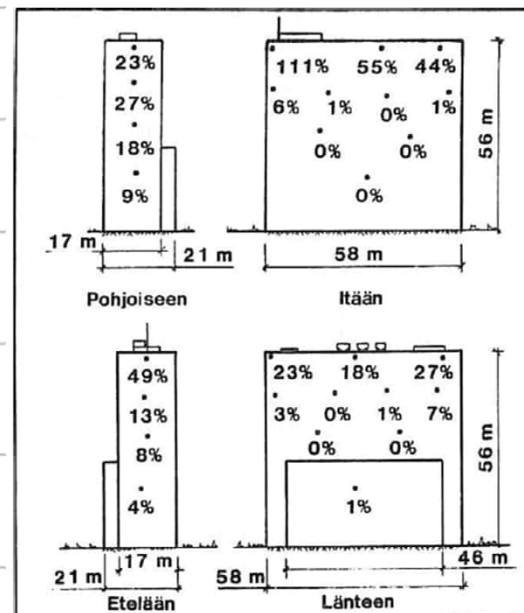
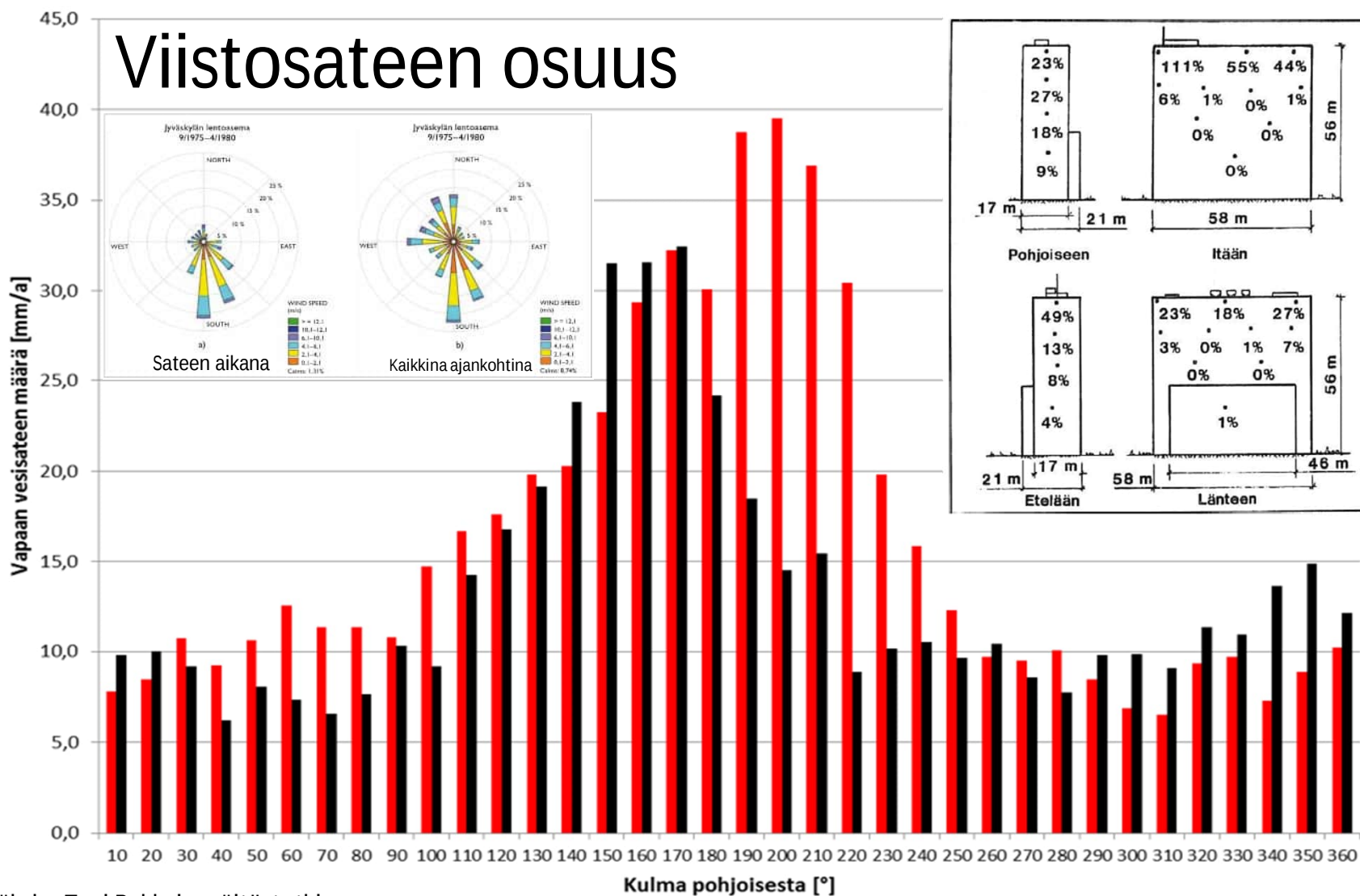
Kriittinen kosteuspitoisuus pakkasrapautumisen suhteen



Lähde: G. Fagerlund 2004. Lund University

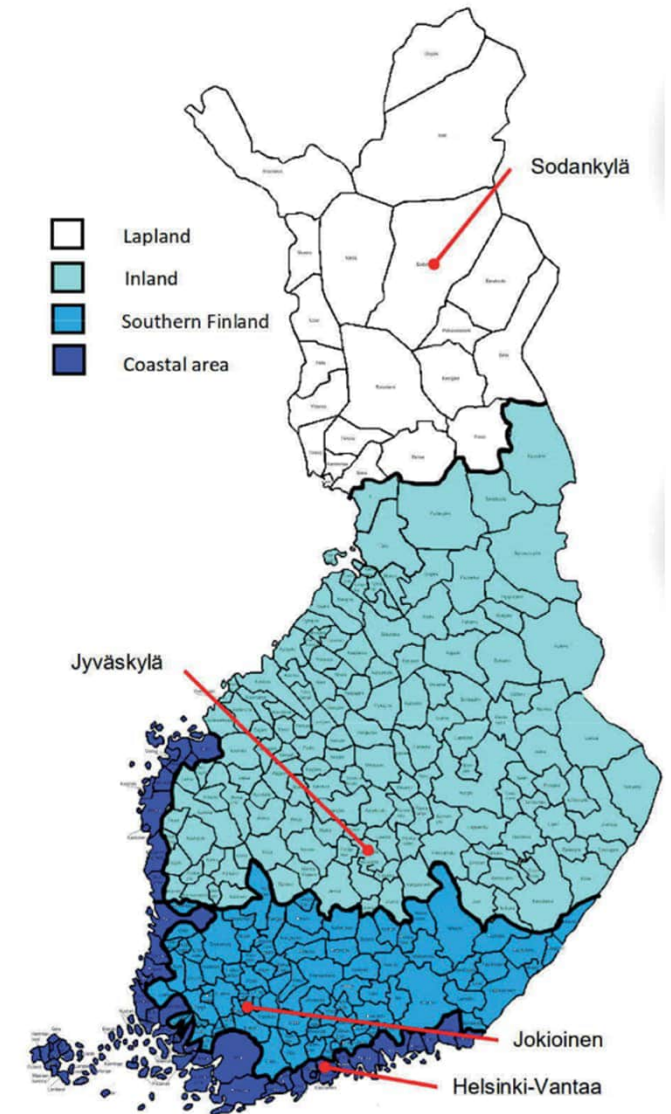
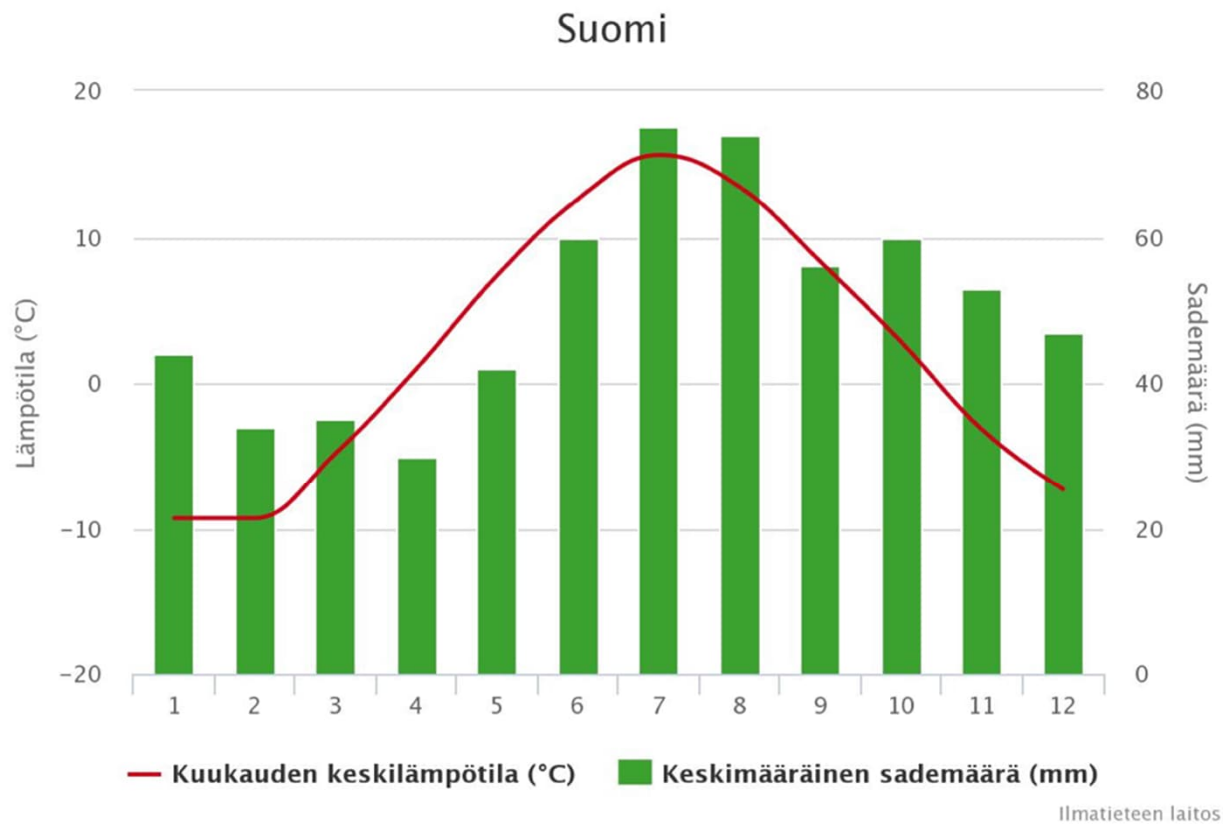
Figure 4: Determination of the critical degree of saturation from measurement of dynamic E-modulus. OPC-concrete. Air content 4.5%. w/c=0.45; (19).

Viistosateen osuus



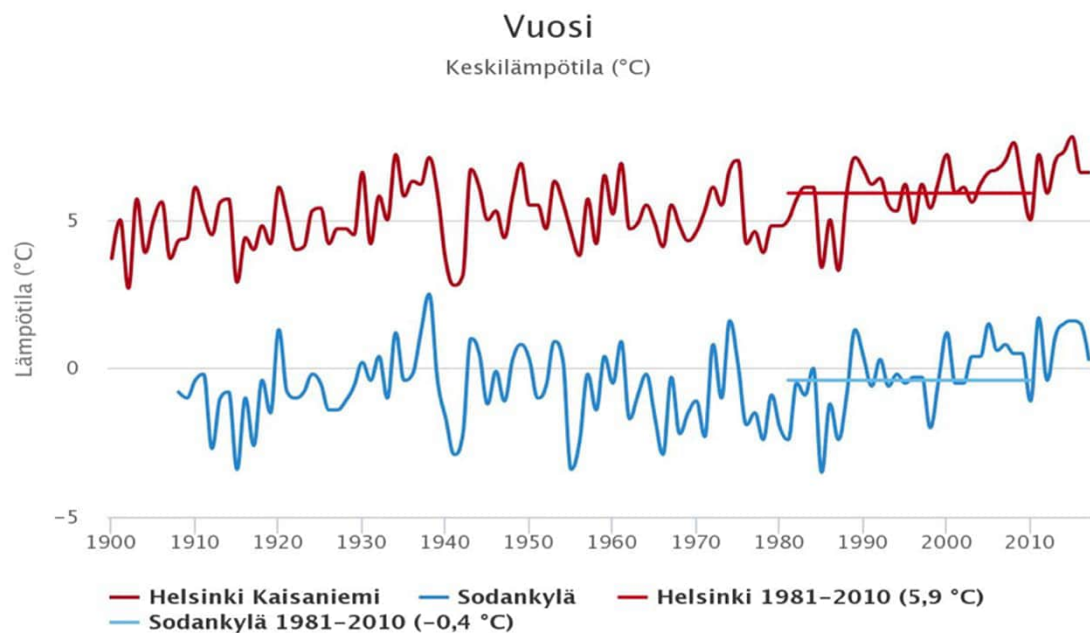
Lähde: Toni Pakkala, väitöstutkimus

Säärasitus, kuukausikeskiarvoja

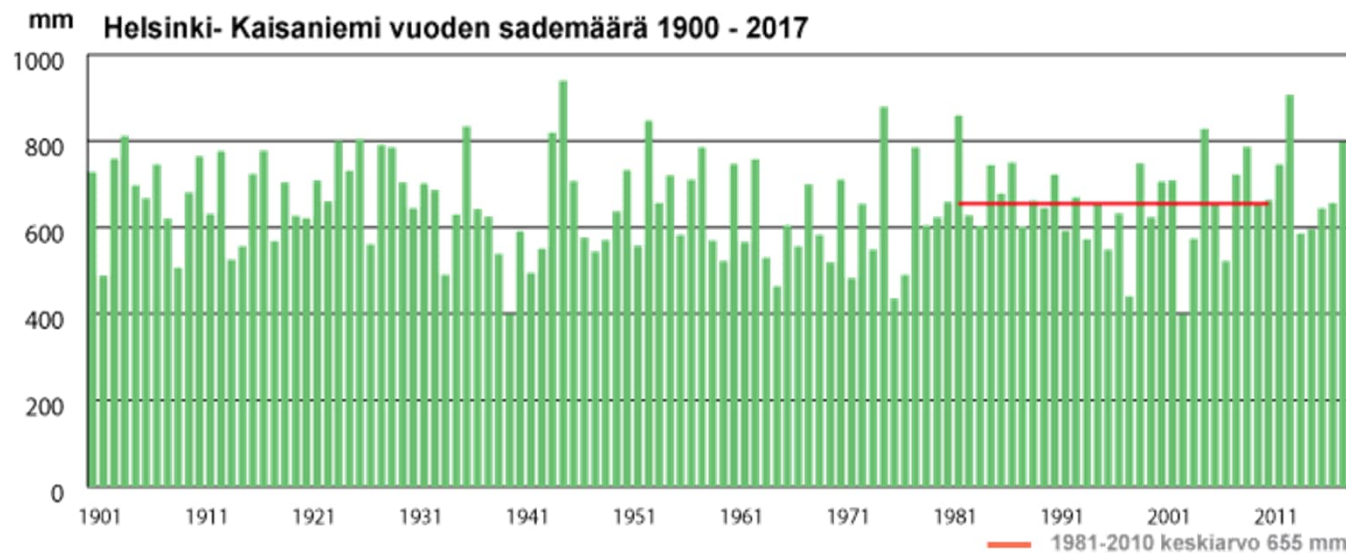


Lähde: T. Pakkala 2020. Tampereen yliopisto

Vuosikeskiarvoja

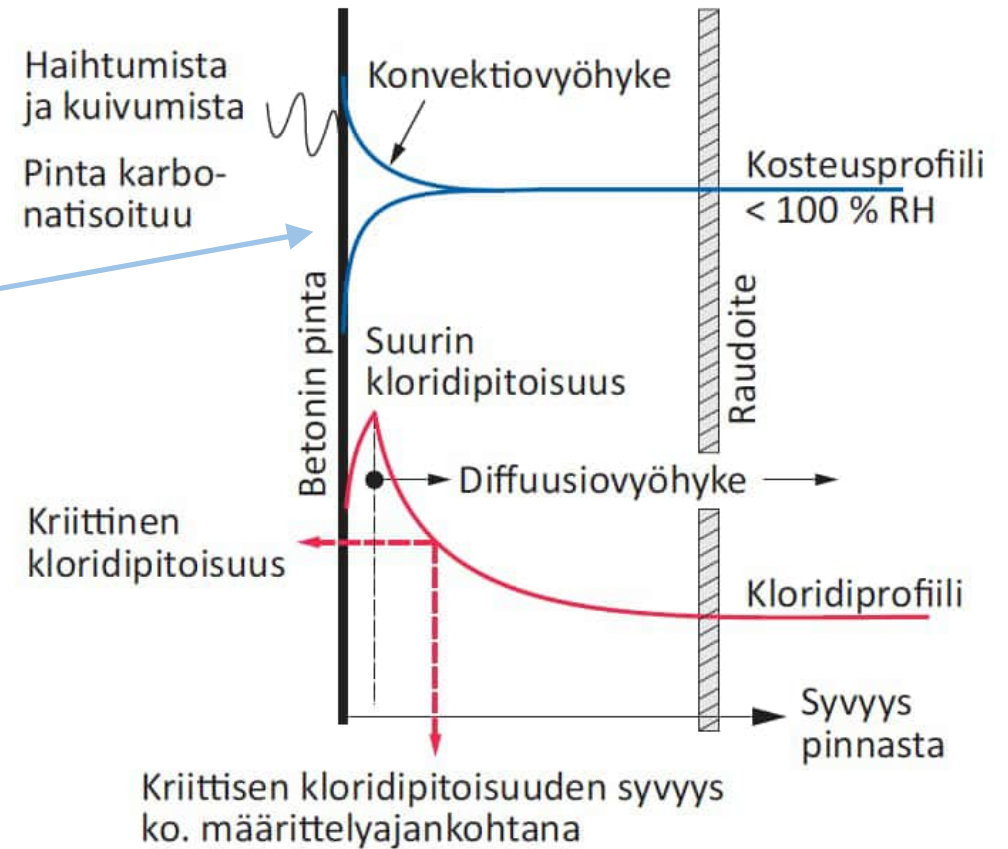


Ilmatieteen laitos

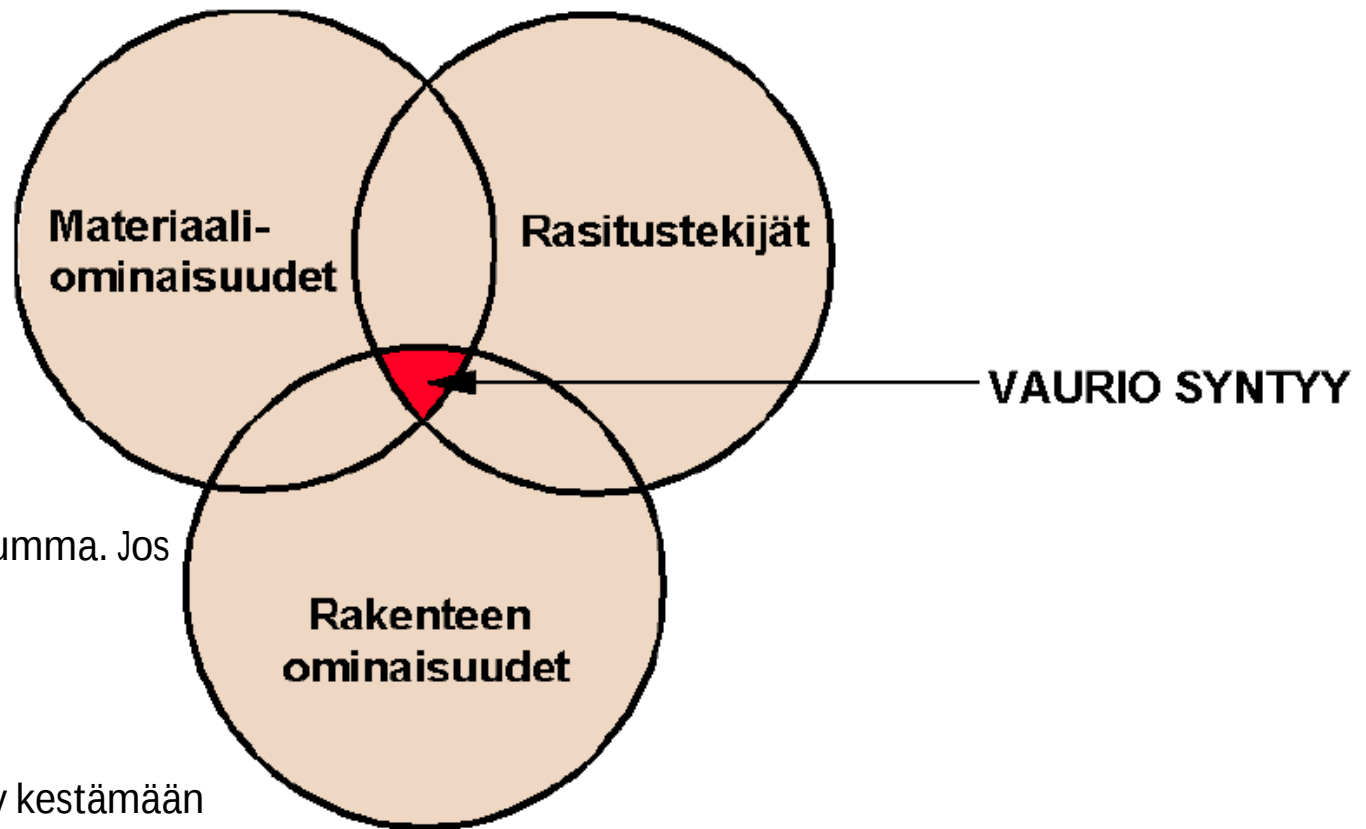


Vaihtelevien lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaikutus

olosuhteiden vaikutus korostuu betonirakenteen pintaosissa



- Pakkasrapautuminen
- Kemiallinen rapautuminen
- Raudoitteiden korroosio
- Kloridikorroosio
- Kuluminen
- Korkean lämpötilan vaikutus



- Vaurioituminen on useamman osatekijän summa. Jos jokin osatekijä puuttuu, vaurioituminen on epätodennäköisempää.
- Esimerkkinä: rasitus aiheuttaa materiaalin vaurioitumista. Kuitenkin, jos materiaalin säilyvyysominaisuudet ovat hyvät, se pystyy kestäämään rasitustekijöitä.
- Yleensä vaurioitumisen syinä ovatkin heikosti kestävä materiaali, jokin rasitusta korostava detalki/rakenteen ominaisuus sekä itse rasitustekijä (kosteusrasitus, säärasitus jne.)

Lopetus dia

