



## **Betonirakenteiden korjaaminen ja tutkiminen 2024**

TkT Arto Köliö

Renovatek Oy

*Tampereen yliopisto, korjausrakentaminen*

# Betonin ominaisuudet ja kosteus

# Luennon tavoite

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

# 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



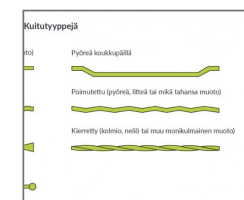
Seosaineet



Lisäaineet



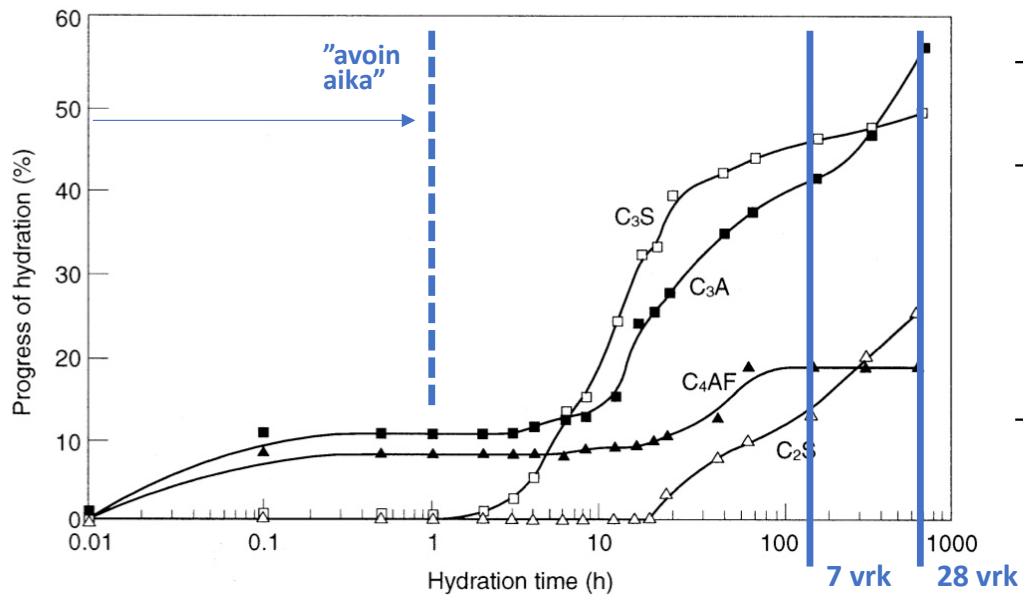
Pigmentit



Kuidut

# Betonin 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	$C_3S$	$3CaO.SiO_2$
dikalsiumsilikaatti	$C_2S$	$2CaO.SiO_2$
trikalsiumaluminaatti	$C_3A$	$3CaO.Al_2O_3$
tetrakalsiumaluminaattiferriitti	$C_4AF$	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Lyhenteet:

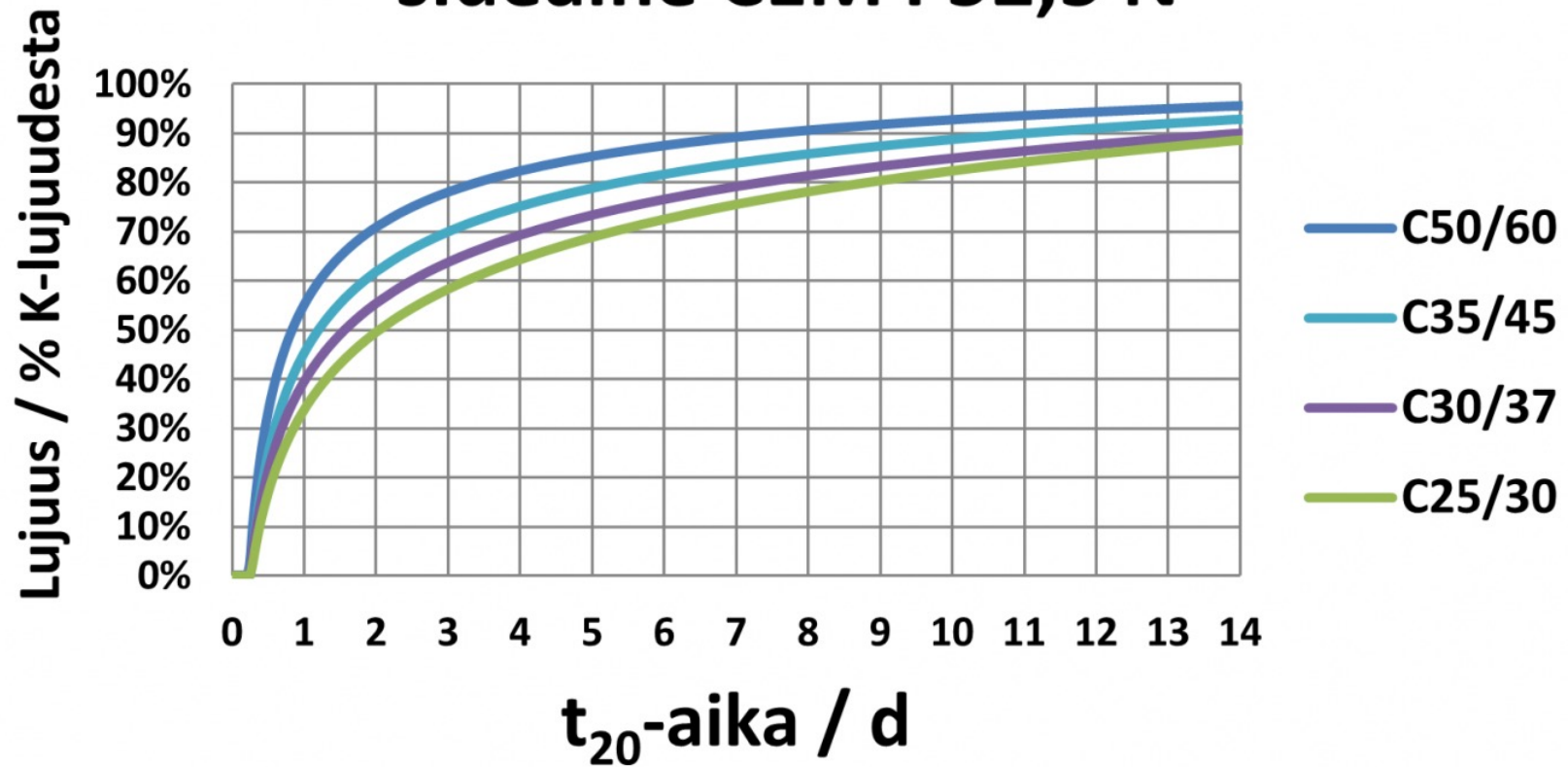
C = CaO, S=SiO, A= $Al_2O_3$ , F= $Fe_2O_3$ , H= $H_2O$

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





# Normaalisti kovettuva betoni sideaine CEM I 52,5 N



# Betonin lujuus

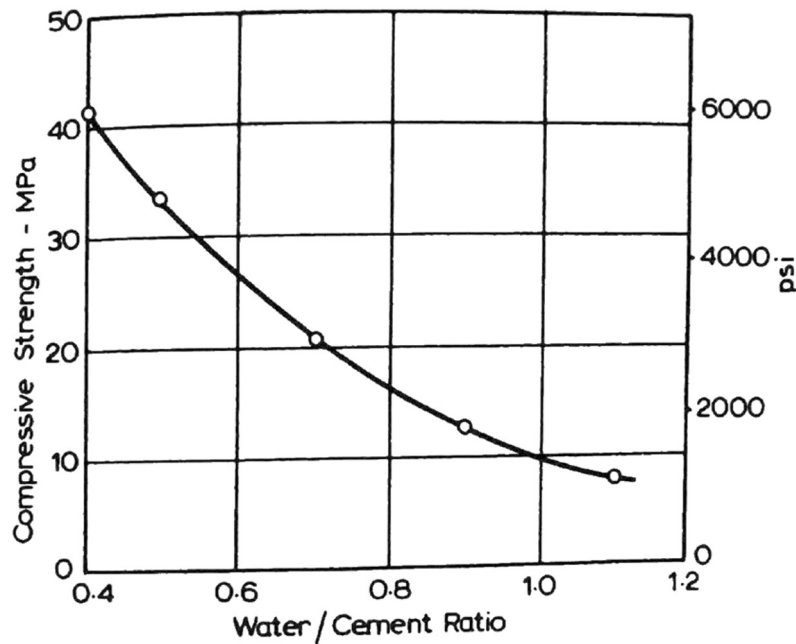


Fig. 6.2 Relation between 7-day strength and water/cement ratio for concrete made with a rapid-hardening Portland cement

Lähde: A.M. Neville. Properties of Concrete. 5th Edition. 2011

- 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-sementtisuhde
  - Sementtimäärä
  - Tiivistys
  - Kiviaineksen määrä

# Betonin sementtimäärä/seosaineet

- Kasvattamalla sementtimäärää voidaan vaikuttaa siihen, kuinka kauan betoni säilyttää alkalisuutensa (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)
  - Seosaineilla voidaan korvata osuus portlandsementistä
  - Samalla voidaan vaikuttaa betonin säilyvyysominaisuuksiin
  - Mm. alentaa pH:ta, lisätä betonin tiiviyyttä

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



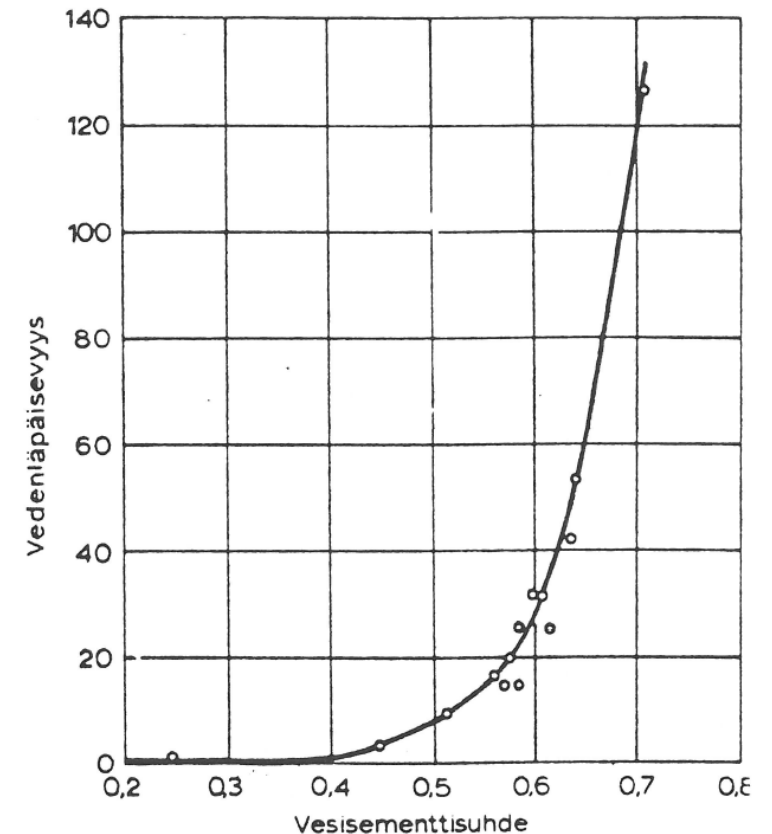
# Betonin vesi-sementtisuhde

Betonin tiiveys (läpäisemättömyys)

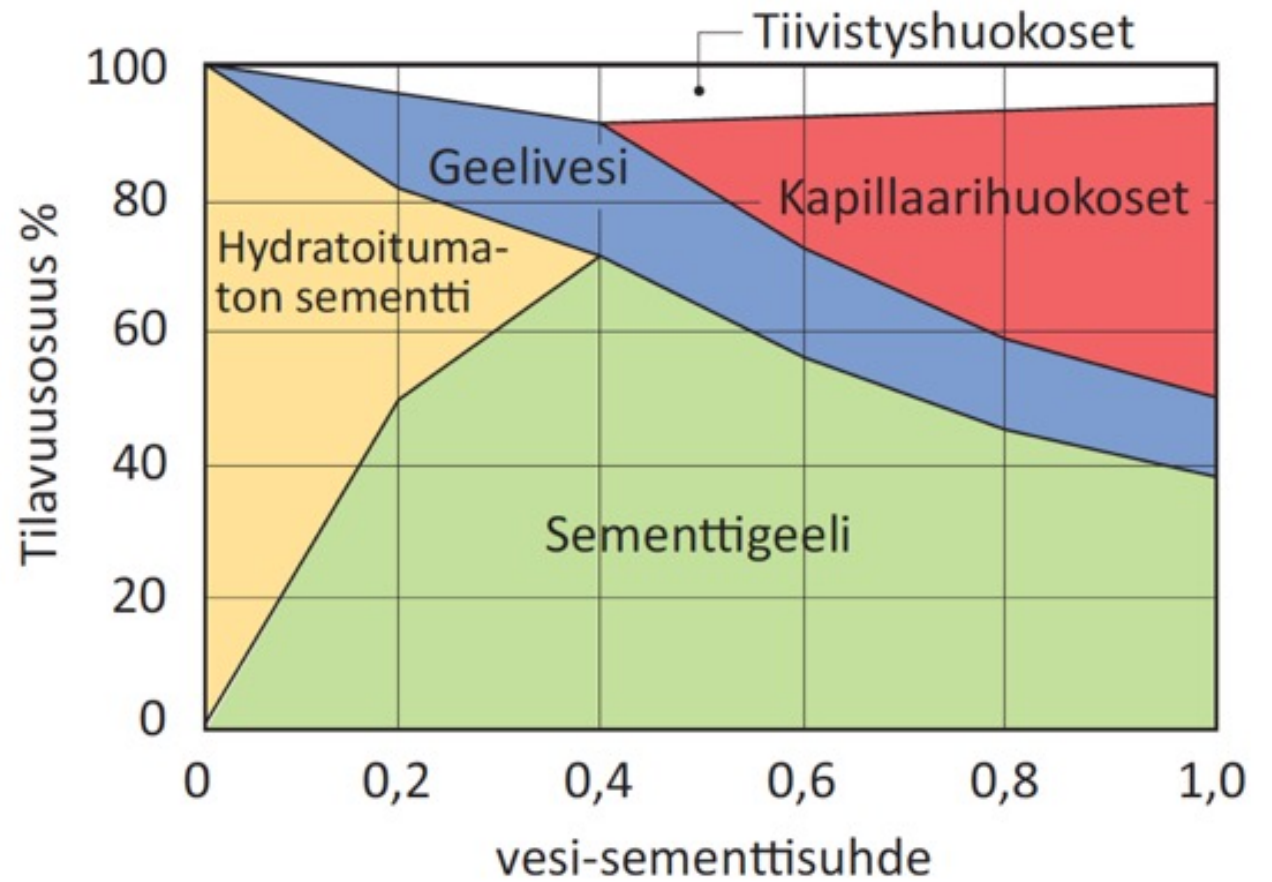
Normin vaatimus vähänkään rasitetummissa olosuhteissa on alle 0,6

Vesisementtisuhteen ollessa yli 0,7 muodostuu betoniin yhtenäinen kapillaarihuokosten verkosto.

Yhtenäinen verkosto lisää merkittävästi betonin vedenläpäisevyyttä ja mahdollistaa mm. haitallisten aineiden kulkeutumisen syväälle betoniin.

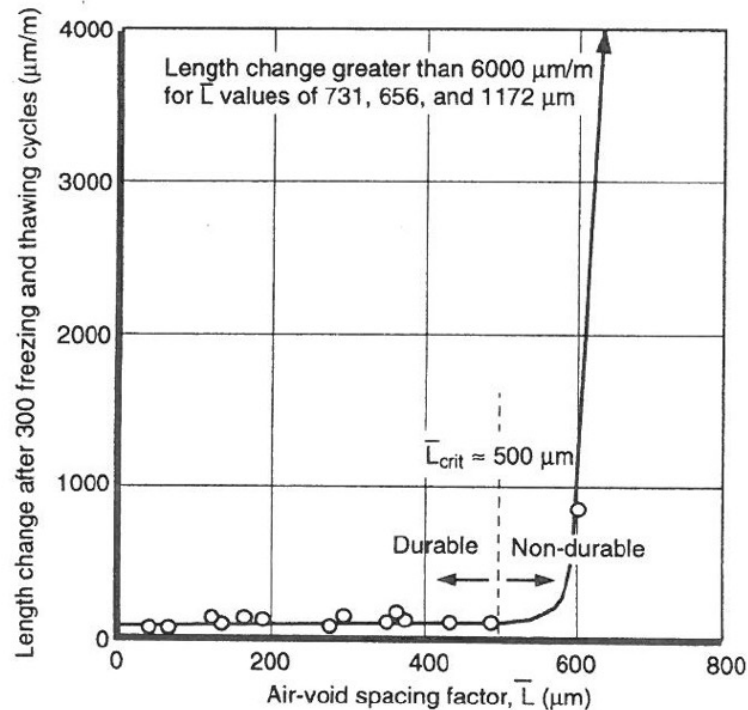


# Betonin vesi- sementtisuhde

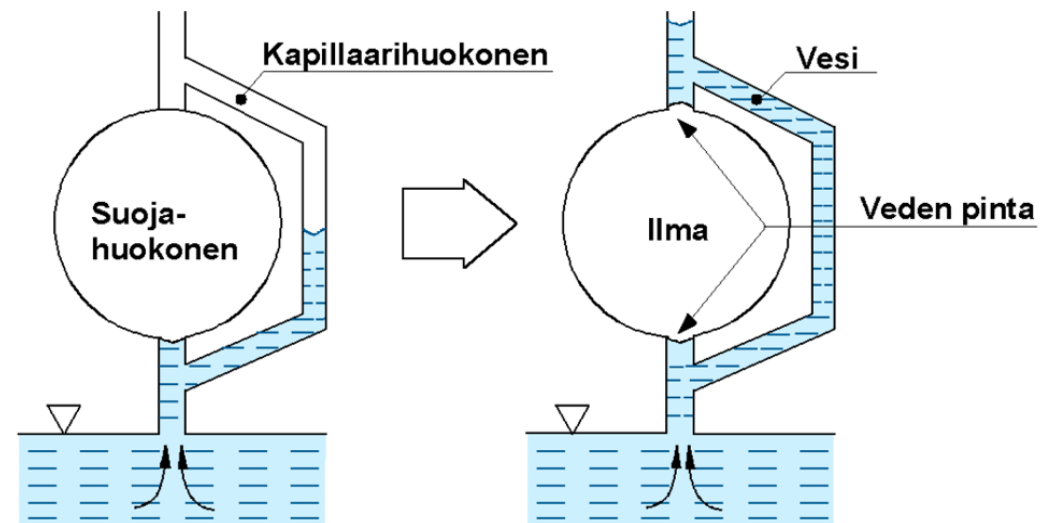


# Betonin huokostus/ilmamäärä

- Betonin kapillaarihuokonen täytty 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.



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



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

# Betonin pakkasenkestävyyden todentaminen

## By 65 Betoninormit 2021

**Taulukko 1** Kovettuneen betonin pakkasenkestävyyden vaatimukset, kun suunniteltukäyttöikä on 50, tai 100 vuotta.

Suunniteltu käyttöikä [a]	Rasitusluokka	1		2			3	
		Huokosjako VTT TEST-R003-00-2010 tai SFS-EN 480-11:2005 mukaan <sup>1)</sup>		Jäädytys-sulatuskoe, SFS 5447 <sup>3)</sup>			Laattakoe CEN/TR 15177 luokissa XF1 ja XF3 <sup>4)</sup> , CEN/TS 12390-9 luokissa XF2 ja XF4, jälkimmäisessä väliaine 3 % NaCl-liuos	
		Enimmäisarvo [mm]		Syklien lukumäärä	Taivutus- tai halkaisuvetolujuuksien suhde [%]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin γ [%]	Rapaama m [g/m <sup>2</sup> ]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin γ [%]
w/c > 0,40	w/c ≤ 0,40							
50	XF1	0,27	0,27	100	≥ 67	≥ 75	m <sub>56</sub> ≤ 500	γ <sub>56</sub> ≥ 67
	XF2	0,25	0,30	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 650	-
	XF3	0,23	0,23	300	≥ 67	≥ 75	m <sub>56</sub> ≤ 200	γ <sub>56</sub> ≥ 75
	XF4	0,25	0,30	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 350	-
100	XF1	0,25	0,25	300	≥ 67	≥ 75	m <sub>56</sub> ≤ 200	γ <sub>56</sub> ≥ 75
	XF2 <sup>2)</sup>	0,25	0,30	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 250	-
	XF3	0,22	0,22	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 100	γ <sub>56</sub> ≥ 85
	XF4 <sup>2)</sup>	0,25	0,30	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 150	-

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

- Referenssimenetelmänä käytetään VTT TEST-R003-00-2010. Huokosjako voidaan selvittää ohut- tai pintahieestä myös muulla soveltuvalla menetelmällä, jonka korrelaatio suhteessa referenssimenetelmään on todettu testauslaitosten välisellä tasokokeella.
- InfraRYL kohdan 42020.1.2 mukaiset vaatimukset.
- Vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa joko betonin vetolujuuksien tai dynaamisten kimmokertoimien perusteella, joista toisen vaatimuksen tulee täytyä.
- Rasitusluokissa XF1 ja XF3 vaatimustenmukaisuus on osoitettava sekä kimmokertoimen että pinnan rapauman osalta, joista kummankin on täyttyvä.
- Rasitusluokissa XF2 ja XF4 vaatimustenmukaisuus osoitetaan pinnan rapauman perusteella.

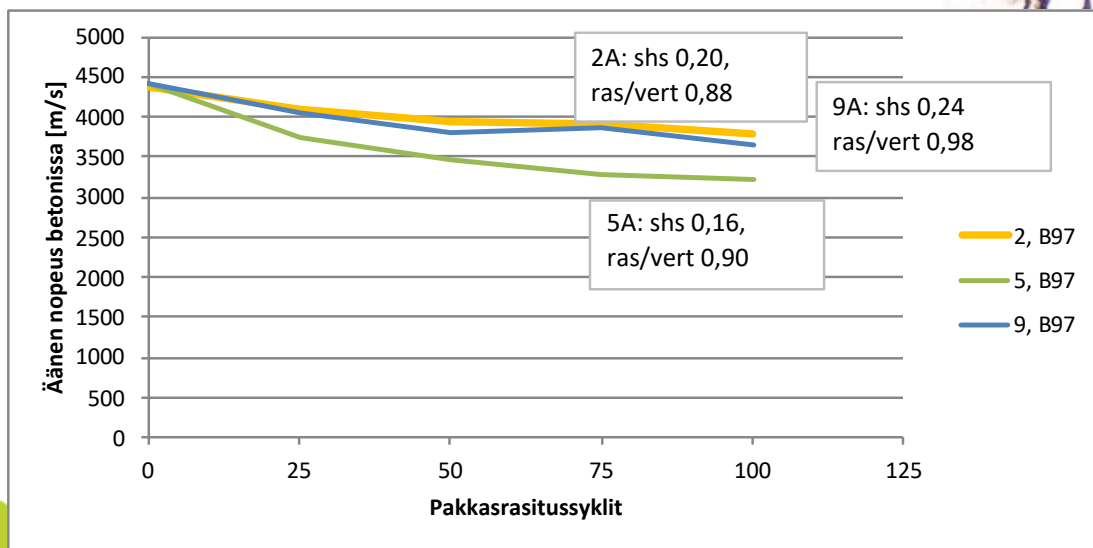
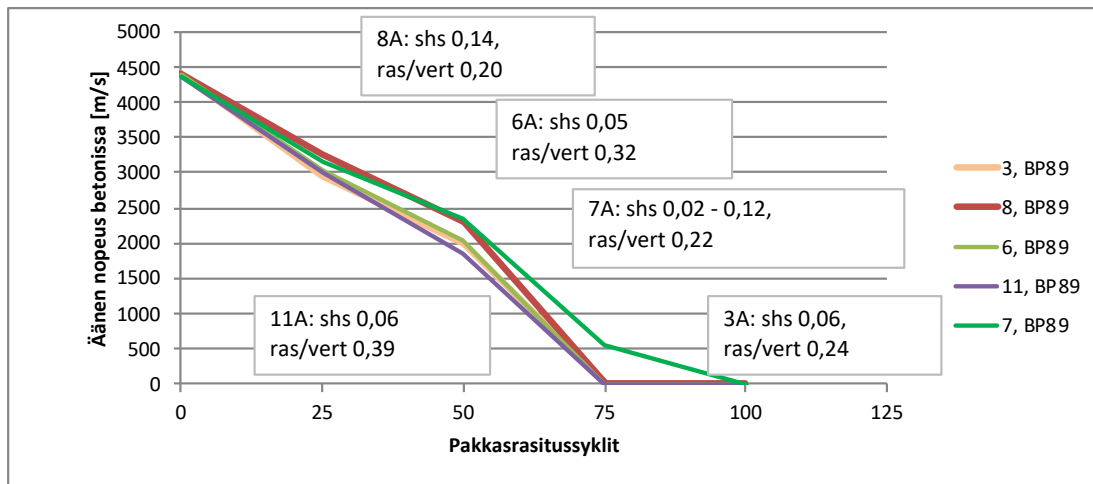
2021  
päivitykseen  
tulleita  
muutoksia

Suunniteltu käyttöikä [a]	Rasitusluokka	1		2			3	
		Huokosjako by 72 Betonin laadunvarmistus Osa 1 - Betonin ilmahuokosparametrien määrittämisohut- tai SFS-EN 480-11:2005 mukaan <sup>1)</sup>		Jäädytys-sulatuskoe, SFS 5447 <sup>3)</sup>			Laattakoe CEN/TR 15177 luokissa XF1 ja XF3 <sup>4)</sup> , CEN/TS 12390-9 luokissa XF2 ja XF4 <sup>4)</sup> , jälkimmäisessä väliaine 3 % NaCl-liuos	
		Enimmäisarvo [mm]		Syklien lukumäärä	Taivutus- tai halkaisuvetolujuuksien suhde [%]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin γ [%]	Rapaama m [g/m <sup>2</sup> ]	Suhteellinen dynaaminen kimmokerroin γ [%]
v/s > 0,40	v/s ≤ 0,40							
50	XF1	0,27	0,27	100	≥ 67	≥ 75	m <sub>56</sub> ≤ 500	γ <sub>56</sub> ≥ 67
	XF2	-	-	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 650	-
	XF3	0,23	0,23	300	≥ 67	≥ 75	m <sub>56</sub> ≤ 200	γ <sub>56</sub> ≥ 75
	XF4	-	-	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 350	-
100	XF1	0,25	0,25	300	≥ 67	≥ 75	m <sub>56</sub> ≤ 200	γ <sub>56</sub> ≥ 75
	XF2	-	-	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 500	-
	XF3	0,22	0,22	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 100	γ <sub>56</sub> ≥ 85
	XF4	-	-	-	-	-	m <sub>56</sub> ≤ 250	-

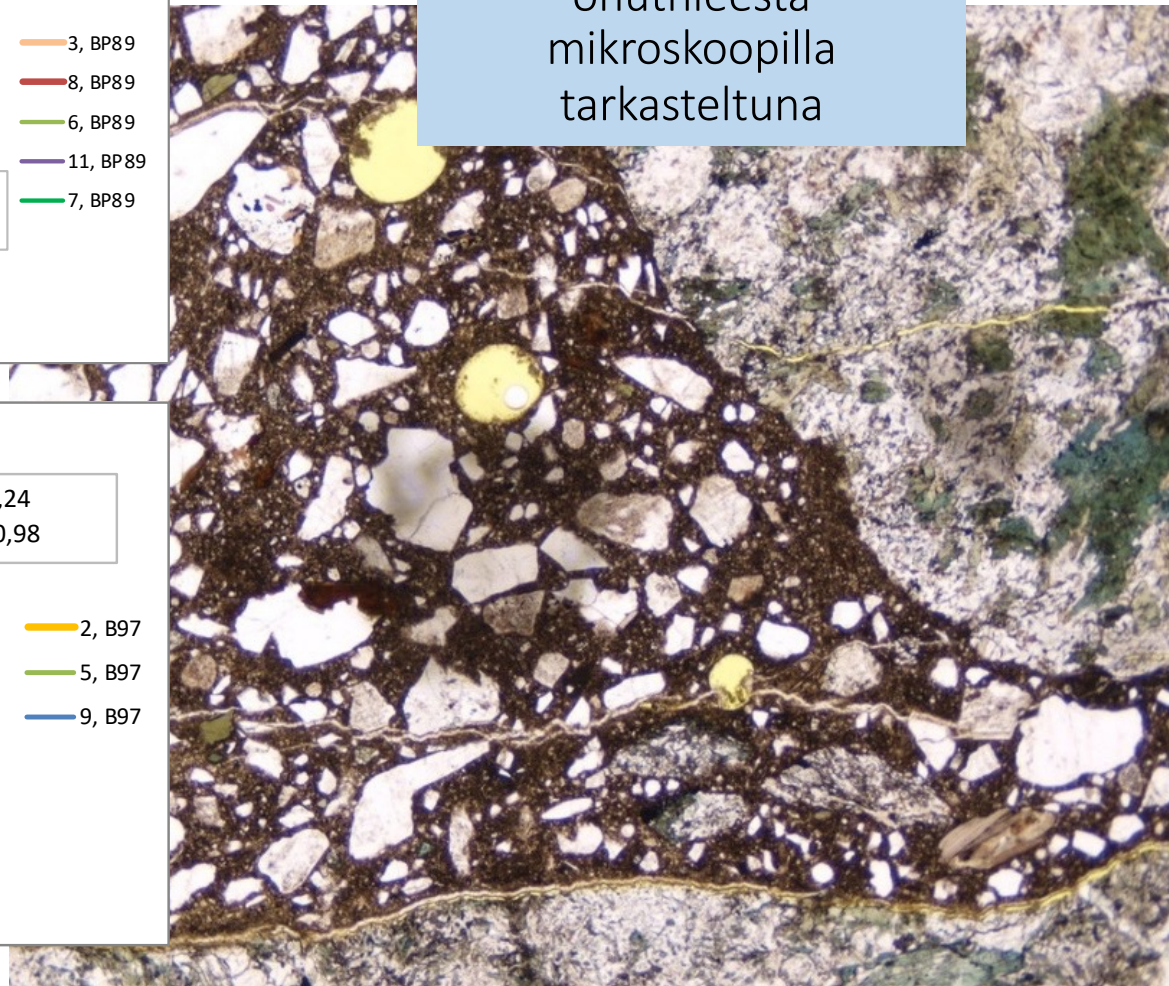
Lukuarvon puuttuminen ruudusta merkitsee, että kyseinen koemenetelmä ei sovellu rivin osoittamaan rasitusluokkaan.

- Referenssimenetelmänä käytetään by 72 Betonin laadunvarmistus Osa 1 - Betonin ilmahuokosparametrien määrittämisohut- tai pintahieestä myös muulla soveltuvalla menetelmällä, jonka korrelaatio suhteessa referenssimenetelmään on todettu testauslaitosten välisellä tasokokeella.
- Vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa joko betonin vetolujuuksien tai dynaamisten kimmokertoimien perusteella, joista toisen vaatimuksen tulee täytyä.
- Rasitusluokissa XF1 ja XF3 vaatimustenmukaisuus on osoitettava sekä kimmokertoimen että pinnan rapauman osalta, joista kummankin on täyttyvä.
- Rasitusluokissa XF2 ja XF4 vaatimustenmukaisuus osoitetaan pinnan rapauman perusteella.





Rapautunutta betonia  
ohuthieestä  
mikroskoopilla  
tarkasteltuna



# Betonin laatu

- Yleisesti vanhoissa betonirakennuksissa esiintyy laatuvaihtelua.
- Varhainen elementtirakentaminen on ollut säilyvyysominaisuuksiltaan heikkolaatuista.
- Mitä on hyvä betonin laatu?
  - Tarkoitukseen sopiva lujuus/kantavuus
  - Käyttökatavoitetta 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.	
<b>Exp. aggregate</b>	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
<b>Brushed painted</b>	31	175	59.5	13.2	736	32	109	58.9	11.2	527
<b>Clinker-clad</b>	34	175	67.2	17.6	214	44	105	67.3	11.3	70
<b>Painted form-finish</b>	32	135	65.3	19.1	204	27	111	62.7	13.0	135
<b>Unpainted form finish</b>	44	153	78.0	21.2	155					
<b>Brick panel-clad</b>	44	126	82.3	11.6	350	33	107.5	78.6	13.5	131
<b>Brushed unpainted</b>	36	84	54.8	11.8	34	44	57	50.1	4.9	7
<b>White concrete</b>	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
<b>Floated unpainted</b>	50.5	75	62.7	7.5	13		60			1

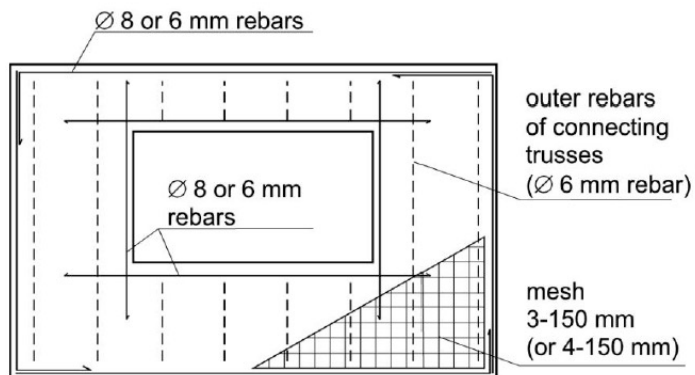


Fig. 1.3 Typical reinforcement of outer layer of a concrete (1998).

Lähde: Väitöskirja, Jukka Lahdensivu. 2012

# 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

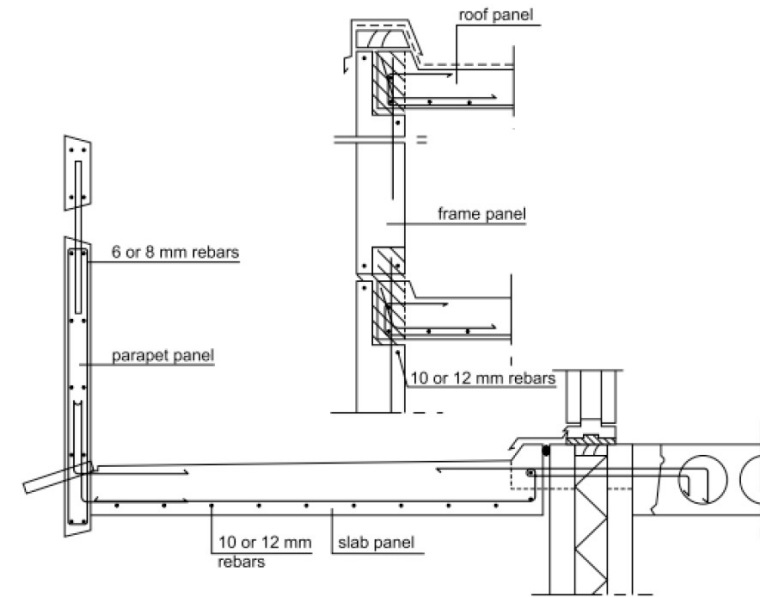


Fig. 1.4 Cross-section of a typical Finnish balcony made of precast structural members (Pentti 1994).

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	
<b>Side panel</b>	outer surf.	0.06	3.84	5.47	15.10	32 540
<b>Slab</b>	top	0.01	3.64	5.45	13.60	12 957
	soffit	0.04	3.69	5.65	14.41	42 628
<b>Parapet</b>	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

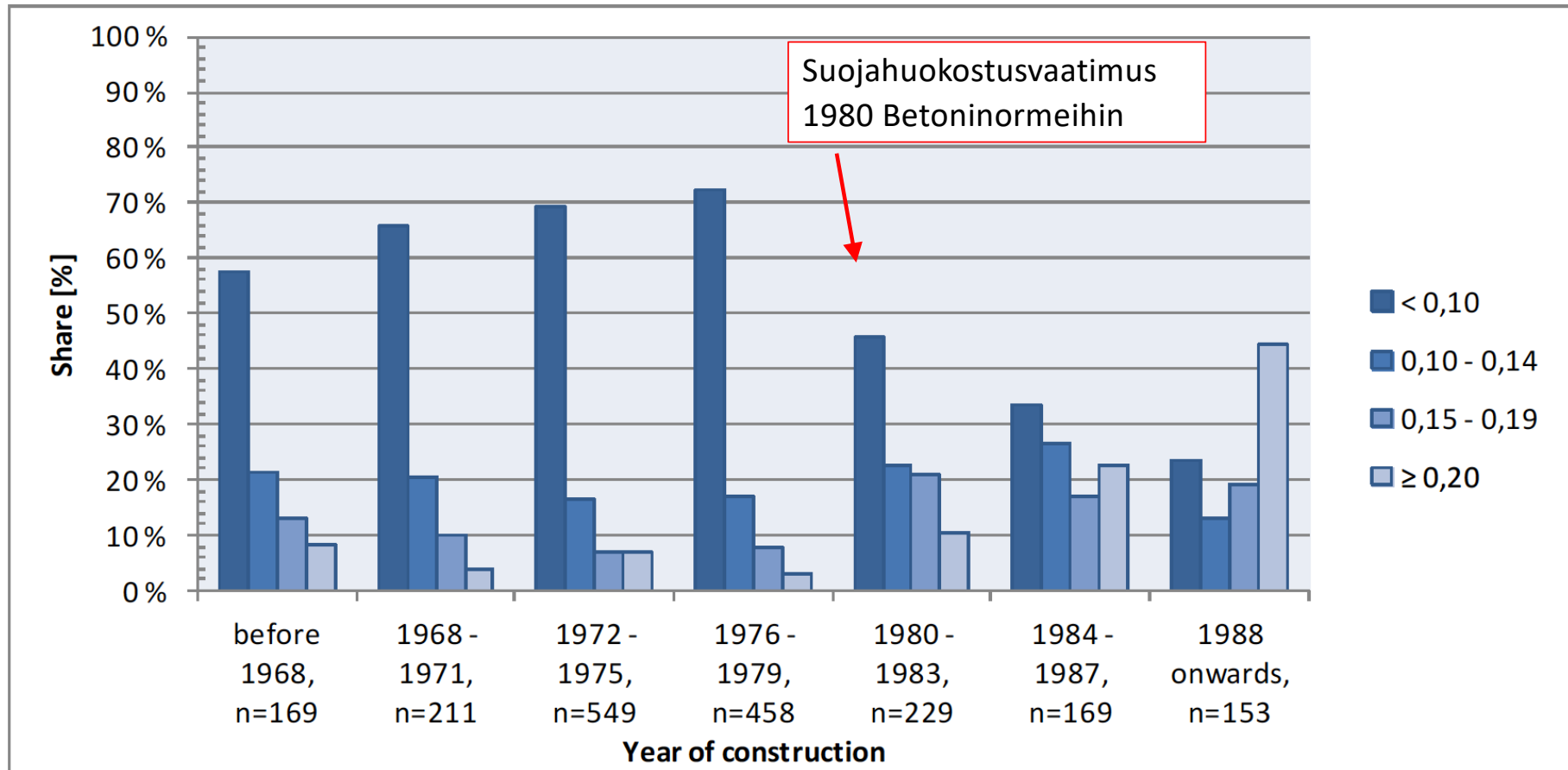


Fig. 5.21 Distribution of protective pore ratios of all balcony panels by four-year periods. Number of samples,  $n$ , is 1 938.

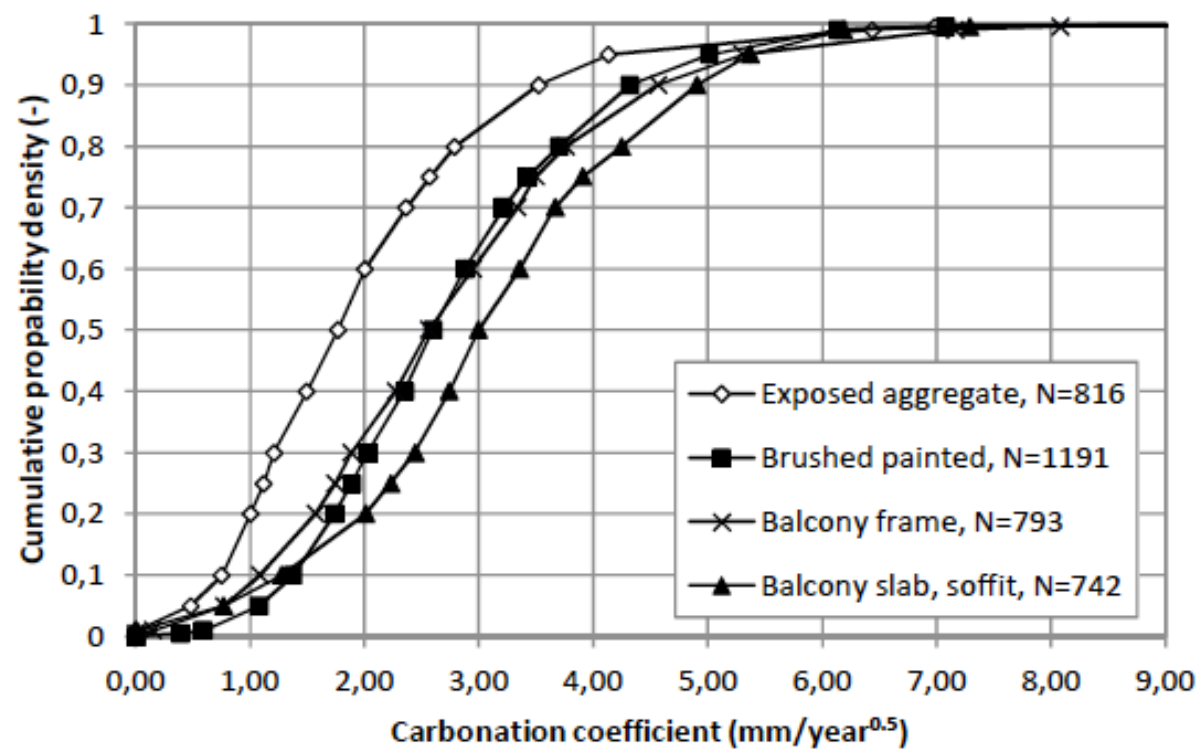


Figure 1.2 The carbonation resistance presented as the carbonation coefficient of different existing concrete facades and balcony structures manufactured in 1965–1989

# Kapillaari- imeytyspitoisuuksia

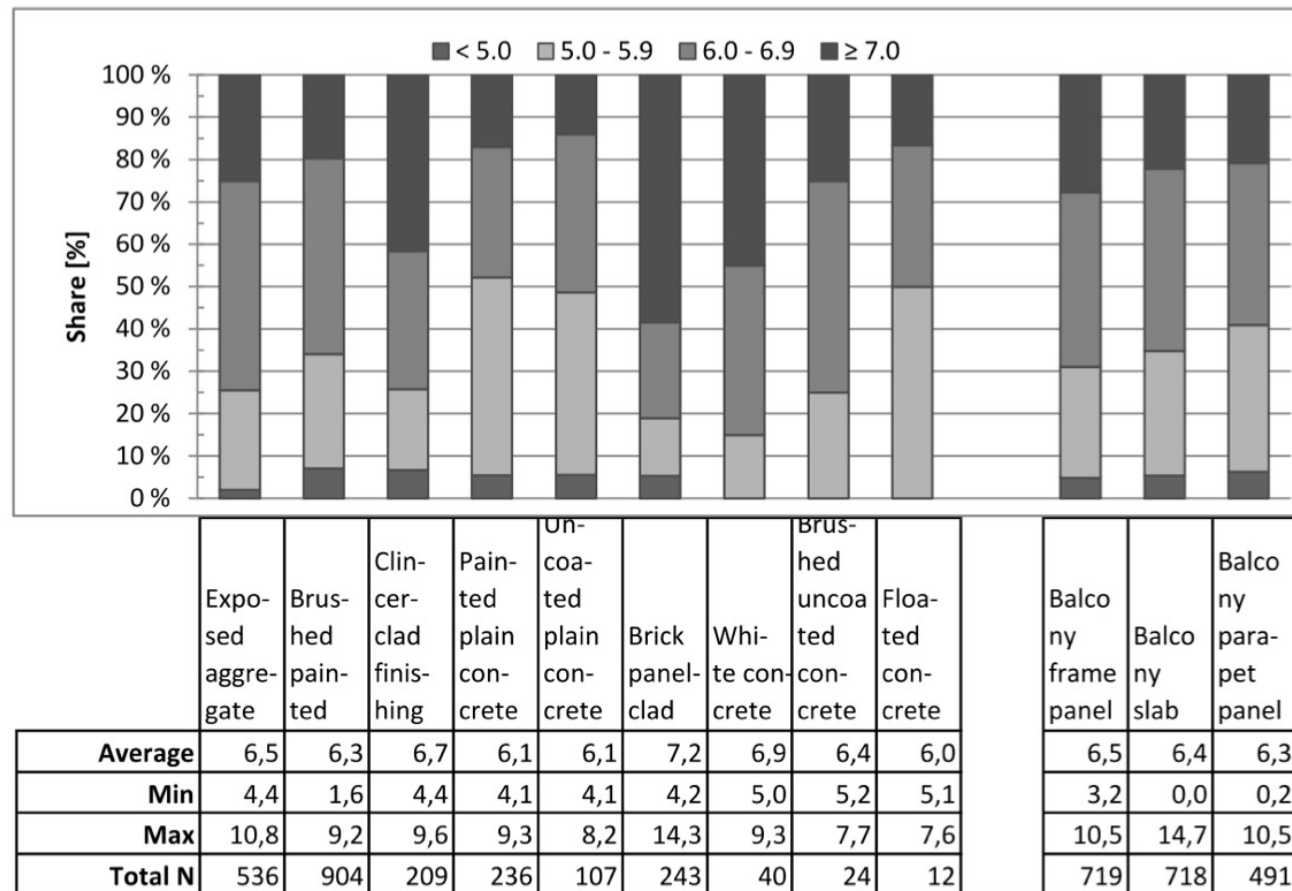


Fig. 5.1 Degree of capillary saturation of concrete by classes.



# 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

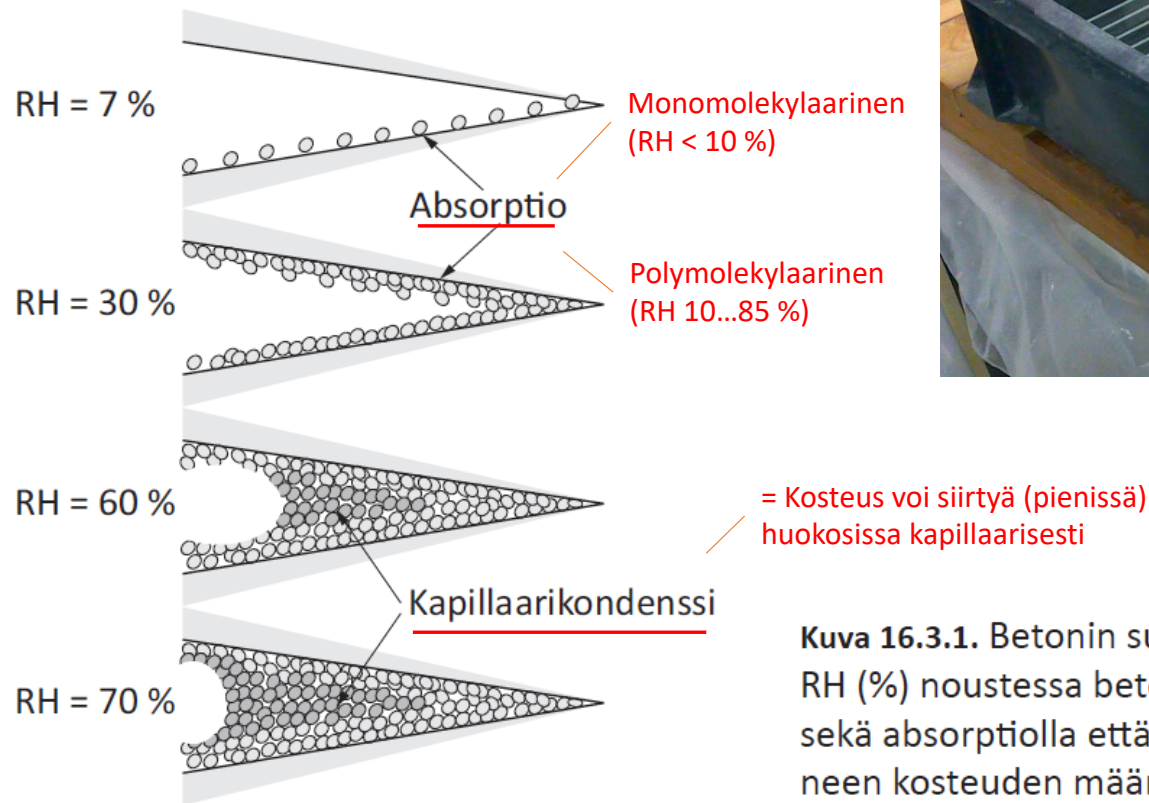




# Betonirakenteiden kosteudesta

- 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 tasaantamalla rakenteen sisäosien ja ympäristön kosteuspitoisuuserojen vaikutuksesta
- Betonia joudutaan monissa sovelluksissa kuivattamaan = *fysikaalisesti sitoutuneen veden* poistamista
  - Päälystettävyys
  - Kosteudelle herkkien pintamateriaalien asennus
  - Merkittävä aikatauluvaikutus
- Arvioidaan laskennallisesti (kerroinmenetelmä, Merikallio 2002; by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio) ja päälystettävyys varmistetaan kosteusmittauksin

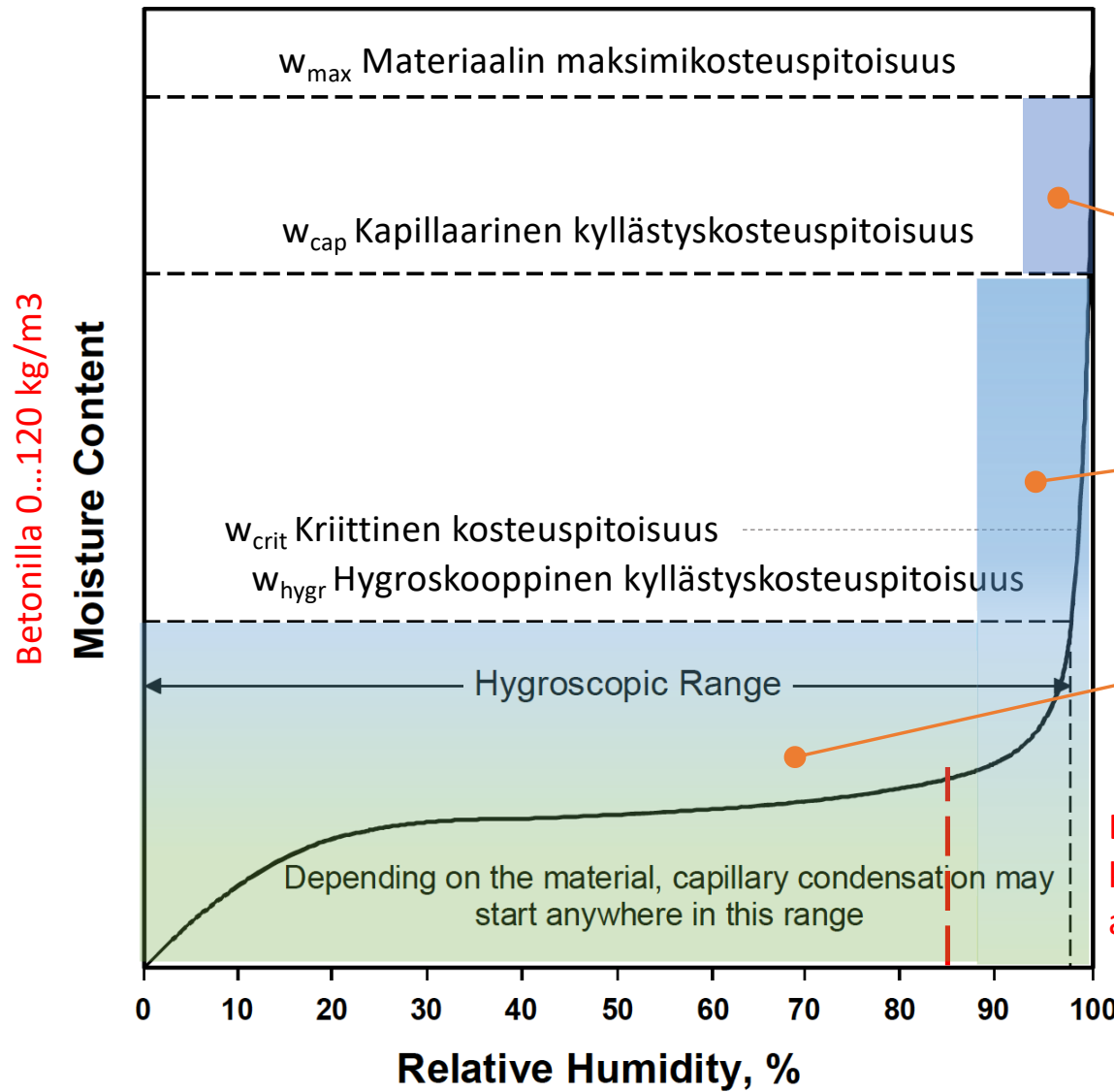
# Betonin kosteus



**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

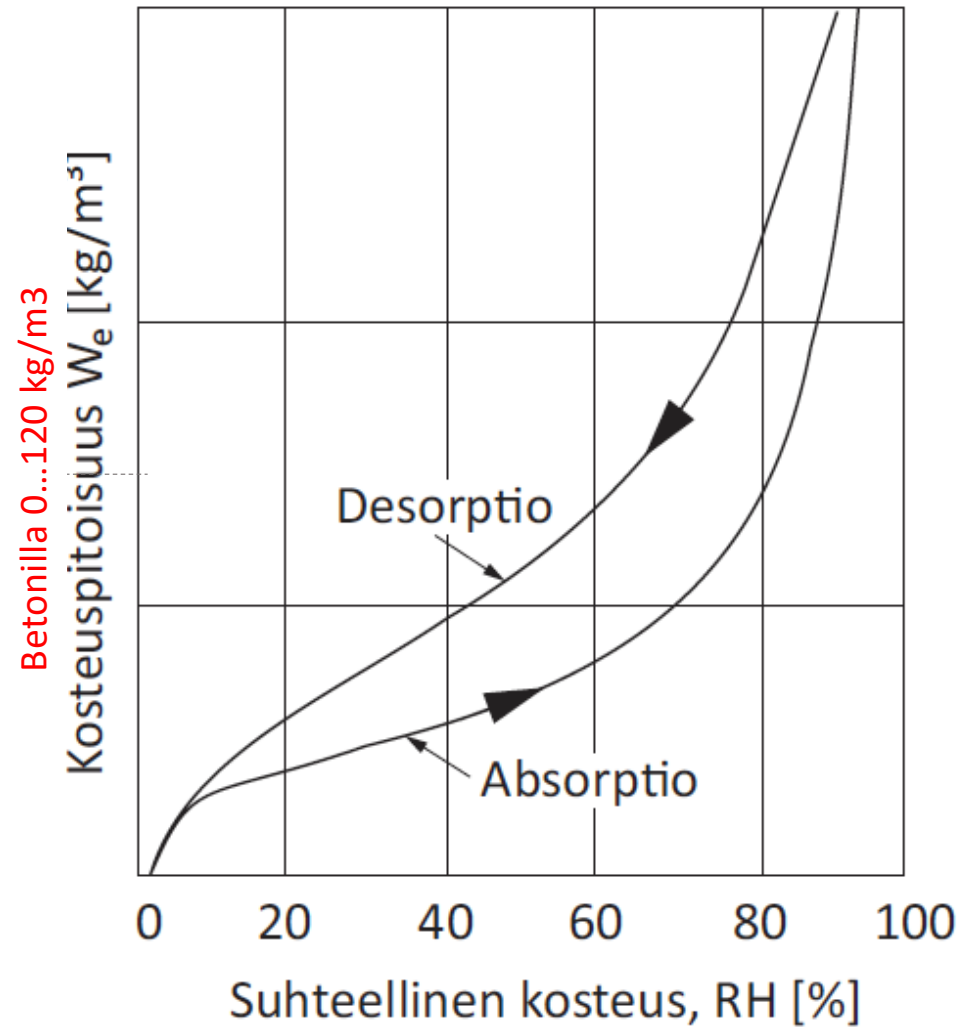
Kosteus siirtyy pääasiassa kapillaarisesti

Kosteus siirtyy pääasiassa hygroskooppisesti (=ilman välityksellä)

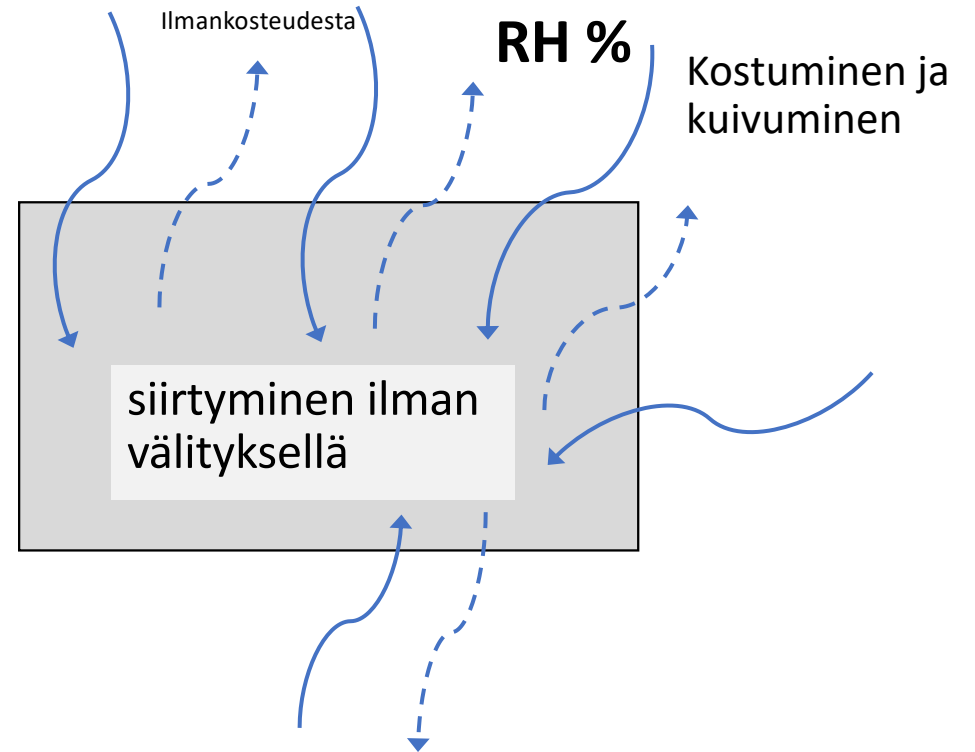
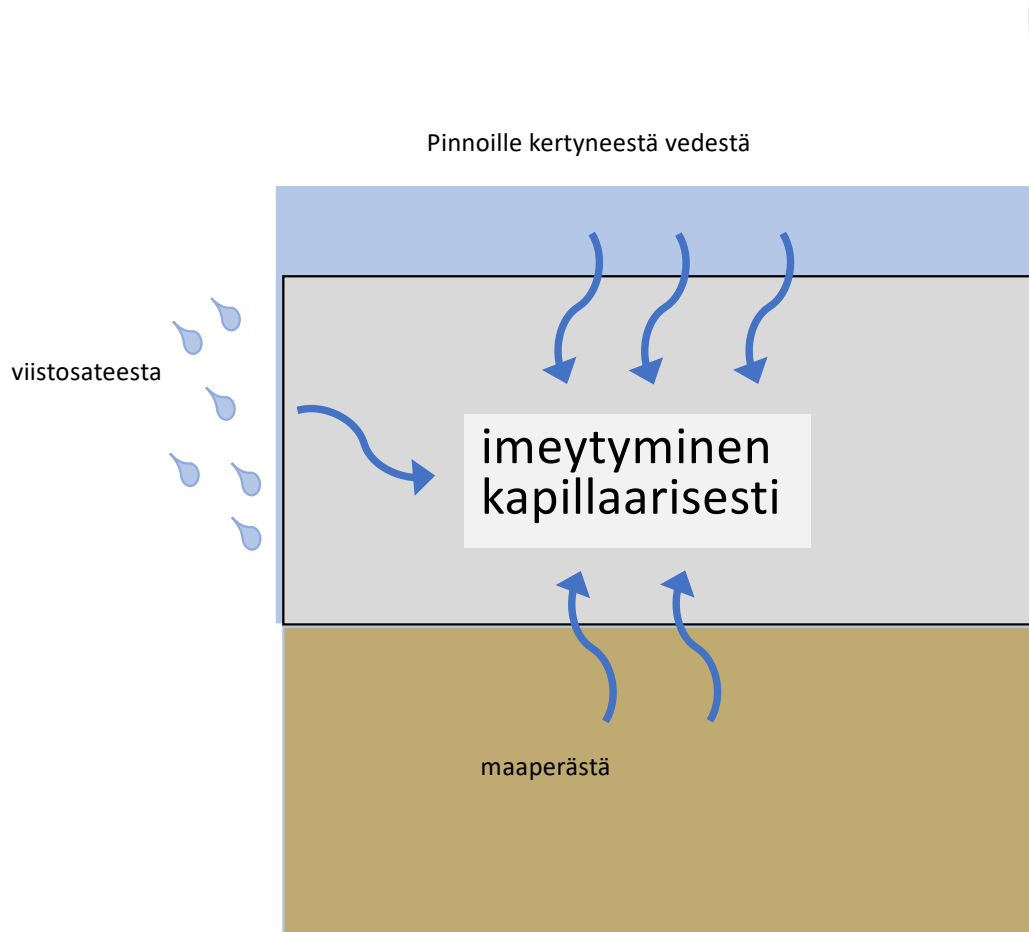
Betonilla kapillaarikondenssin alue noin  $\geq$  RH 85 %

## Hystereesi

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



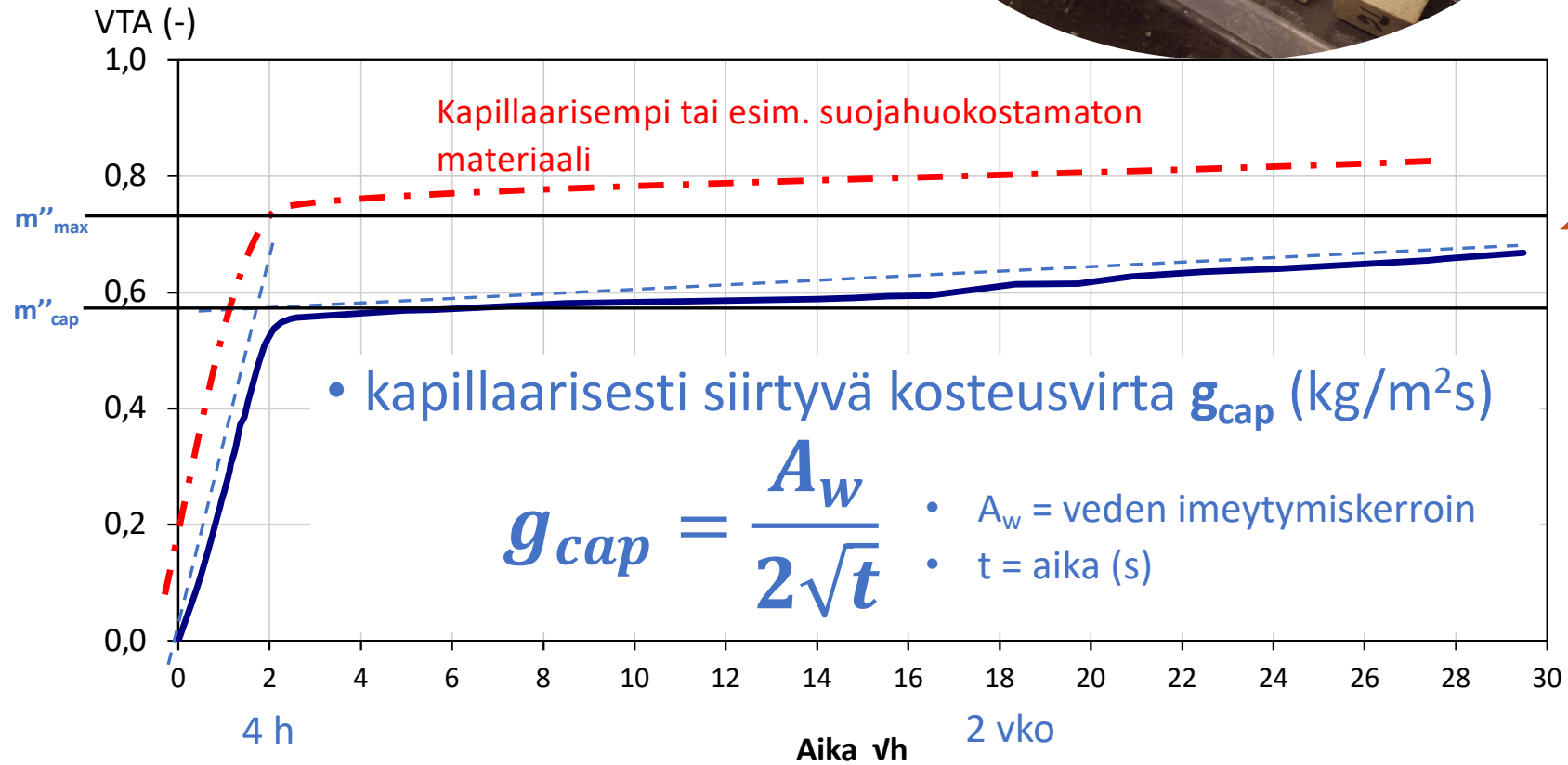
# Kosteuden siirtyminen



# Kapillaarinen kosteus



Vedelläytymisaste





# Kosteuden diffuusio

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

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

- $\delta$  = materiaalin vesihöyrynläpäisevyys
- $dv$  = vesihöyrypitoisuusero
- $dx$  = rakennekerroksen paksuus, jonka yli tarkastelu tehdään

- Käytännössä kosteusvirtaan vaikuttaa siis materiaalin tiiveys, kuinka syväälle rakenteeseen mennään ja kuinka suuri vesihöyrypitoisuuden ero on pinnalla ja rakenteen sisällä

Aika, vh

Syvyys rakenteen pinnasta, dx

# Diffuusioon 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 <sup>2</sup> ·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 <sup>2</sup> sPa/kg	$Z_p = 1 / W_p$
Vesihöyrynläpäisevyys	$\delta_v$	m <sup>2</sup> /s	$\delta_v = W_v \cdot d$
Vesihöyrynläpäisevyys	$\delta_p$	kg/(m·s·Pa)	$\delta_p = W_p \cdot d$
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	$\mu$	-	$\mu = \delta_{p, ilma} / \delta_p$

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

missä

g

kosteusvirran tiheys (kg/(m<sup>2</sup>·s))

R

yleinen kaasuvakio 8314,3 J/(kmol·K)

$M_v$

vesihöyryn 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)

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

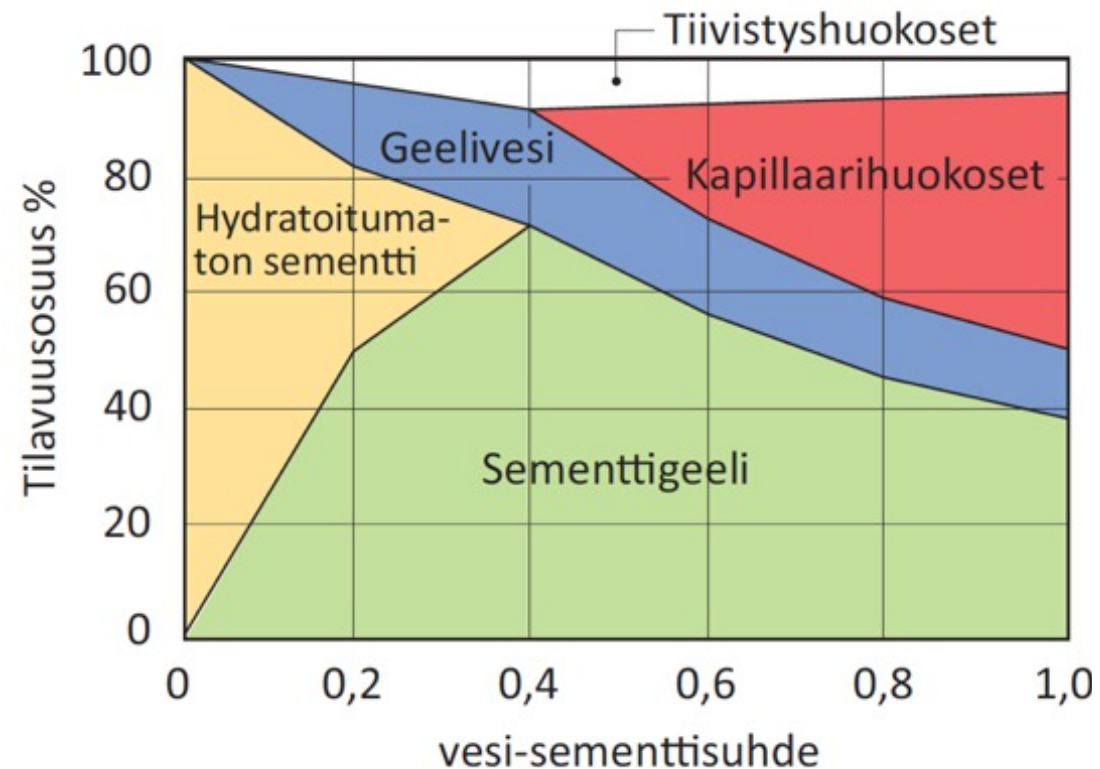
- a. Betonin valmistukseen käytettävä
- b. Kosteuslähteet työmaalla

## 2. Käytön aikainen kosteus

# Valmistuksen aikainen kosteus

cem kg/m <sup>3</sup>	sekoitusvesimäärä litraa/m <sup>3</sup>		
	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  $W_n = 0,25 \cdot \alpha \cdot C$  ( $\alpha = \text{hydratoitumisaste}$ ,  $C = \text{sementtimäärä, kg}$ )
- Loppu jää huokosrakenteeseen haihtumiskykyiseksi vedeksi ( $W_e$ )





- Ilmatäytteiset huokokset
- Haihtumiskykyinen vesi (fysikaalisesti sitoutunut,  $W_e$ )
- Kemiallisesti sitoutunut vesi ( $W_n$ )
- Kiinteä aine

### FYSIKAALISESTI SITOUTUNUT VESI

300 kg/m<sup>3</sup>,  $v/c=0,4$

Sekoitusvesimäärä =  $300 \cdot 0,4 = 120$  kg

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

$W_e = 120 - 75 = 45$  kg

250 kg/m<sup>3</sup>,  $v/c=0,6$ ,  $\alpha=0,8$

Sekoitusvesimäärä =  $250 \cdot 0,6 = 150$  kg

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

$W_e = 150 - 50 = 100$  kg

### HUOKOSILMAN RH

Betonin huokoisuus n. 10 %

Ilmatäytteisiä huokosia.

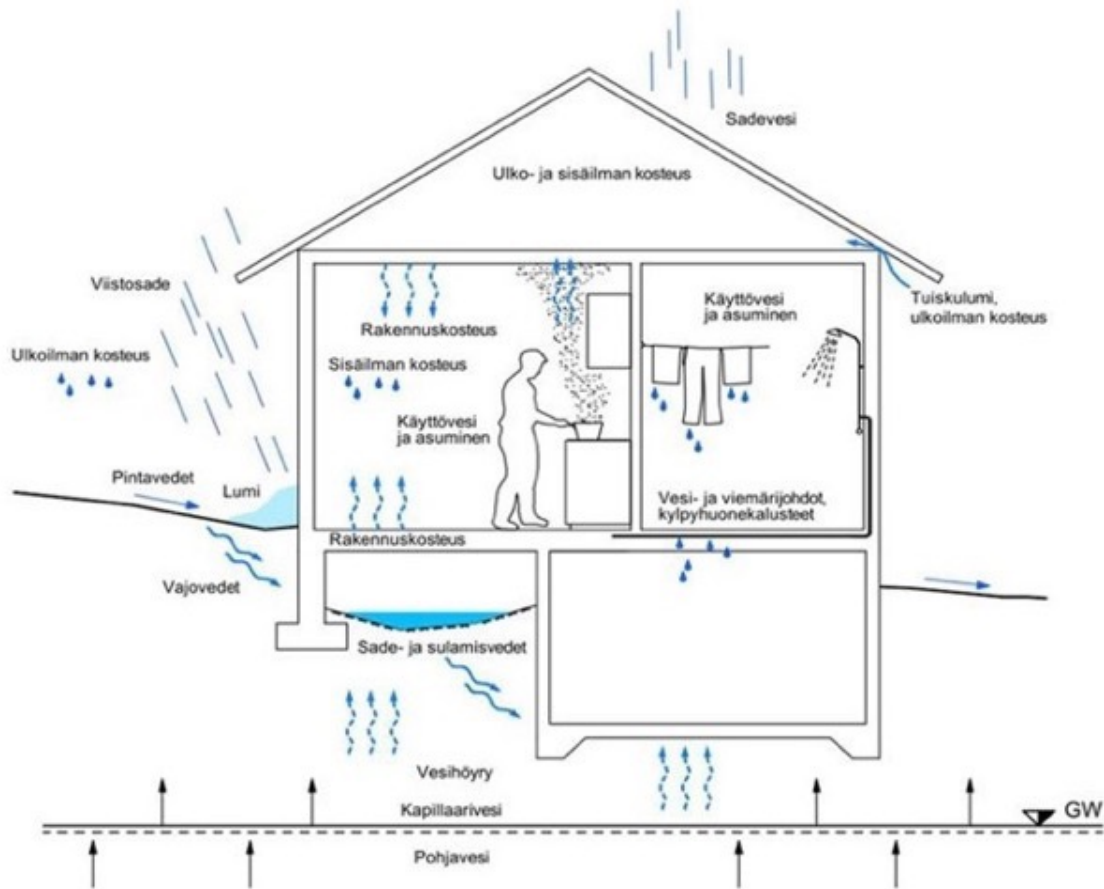
Huokosilman RH 65 % (20 °C) vastaa

$0,65 \cdot 17,29$  g/m<sup>3</sup> = 11,24 g/m<sup>3</sup>

Betonikuutiossa →  $0,1 \cdot 11,24 = 1,12$  g/m<sup>3</sup>

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

# 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/m<sup>3</sup>) TAI osapaineena  $p_v$  (Pa)
- Tietyssä lämpötilassa ilmatilavuuteen mahtuu neste-höyrytasapainosta johtuen kyllästyskosteuspitoisuuden tai kyllästyspaineen verran kosteutta  $v_{sat}$  tai  $p_{v,sat}$
- Kyllästyskosteuspitoisuuteen suhteutettuna, suhteellisena kosteutena

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

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

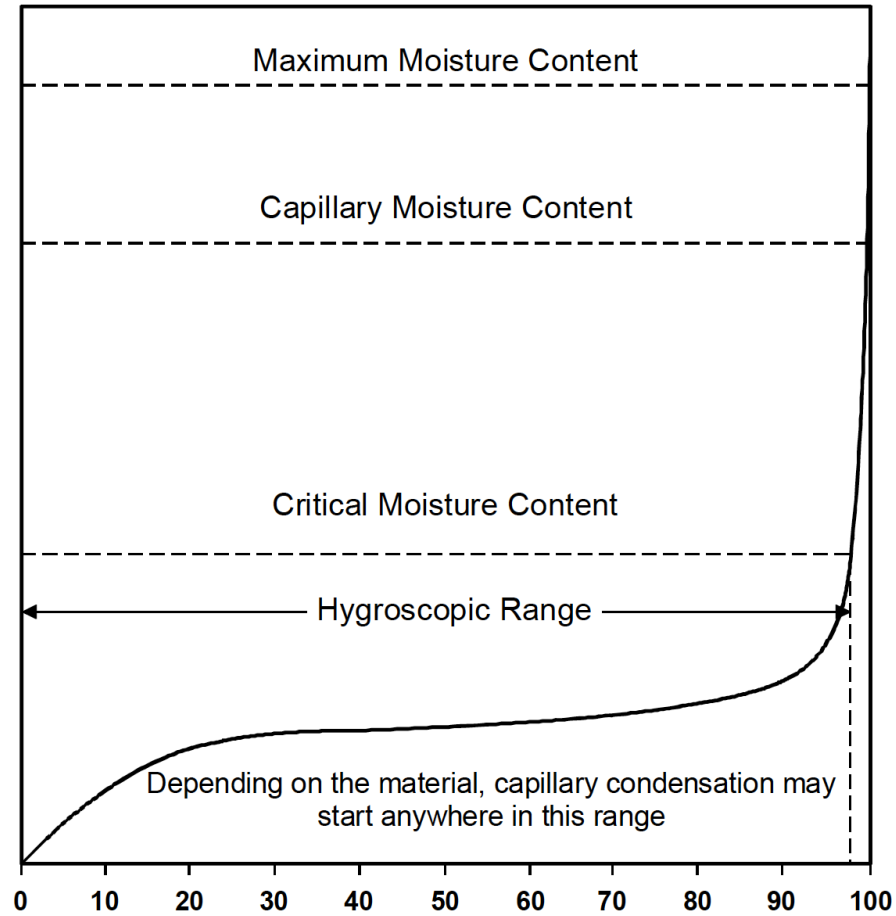
# Betonin kosteus

- **betonin kosteuspitoisuus** esitetään suhteutettuna materiaalin kuivapainoon (kg/kg) tai materiaalin tilavuuteen (kg/m<sup>3</sup>). Tämä kertoo betoniin fyysikaalisesti sitoutuneen vesimäärän.
- Kosteuspitoisuuden tasapaino riippuu ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta, jolloin puhutaan tasapainokosteuspitoisuudesta  $w(\varphi)$  [kg/m<sup>3</sup>]
- 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  $\varphi$ .
- Betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen käytetään ilmatilan suhteellisen kosteuden mittalaitteita. a) porareikämittaus, b) näytepalamenetelmä
- HUOM! Kyllästyskosteuspitoisuuteen vaikuttaa myös ilman lämpötila



# Betonin kosteus

**betonin kosteuspitoisuus**



**betonin suhteellinen kosteus**



# Betonin kosteuden mittaamiseen liittyviä “tutkimusongelmia”

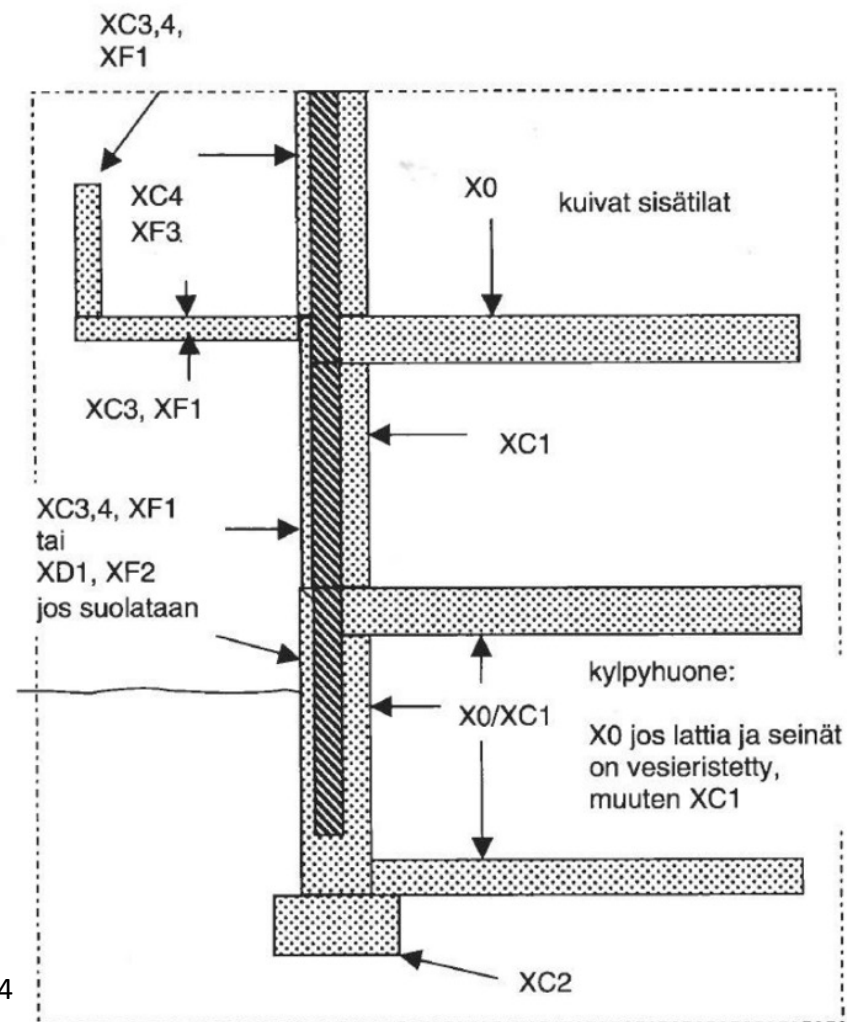
- Mittausmenetelmä on epäsuora
  - Mitataan suhteellista kosteutta, mutta vaikutukset ilmenevät kosteuspitoisuudesta
  - Raja-arvot esitetään suhteellisena kosteutena
- Mittausmenetelmän valinta
  - RT 103333 (2021) ”Porareikämenetelmä” ja ”näytepalamenetelmä”
- Mittaussyvyyksien valinta
  - Arviointisyvyys (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

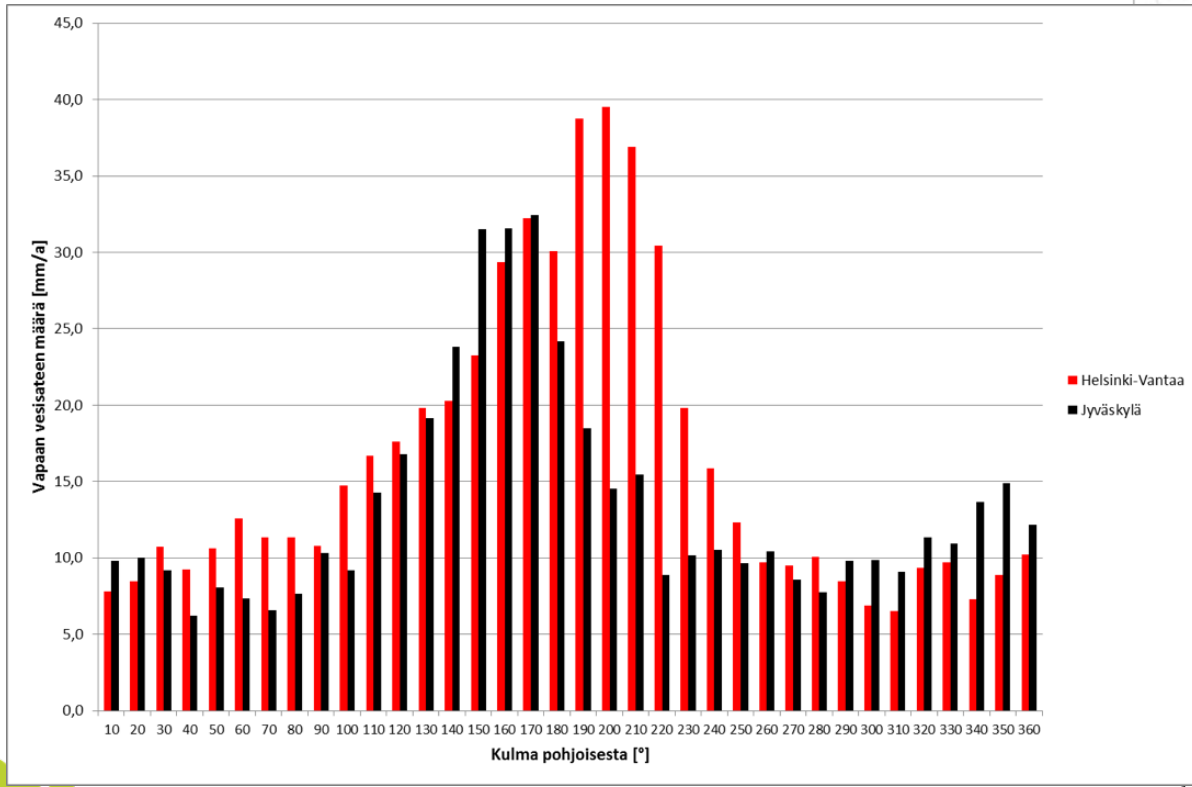
- Kosteusrasitus muodostuu:
  - Vaihtelevista sääolosuhteista
  - Maantieteellisestä sijainnista
  - Rakenteen suojaisuudesta
  - Valumavesien ohjauksen toimivuudesta
- Ilmastonmuutoksesta
- Rasitusluokat EN-206



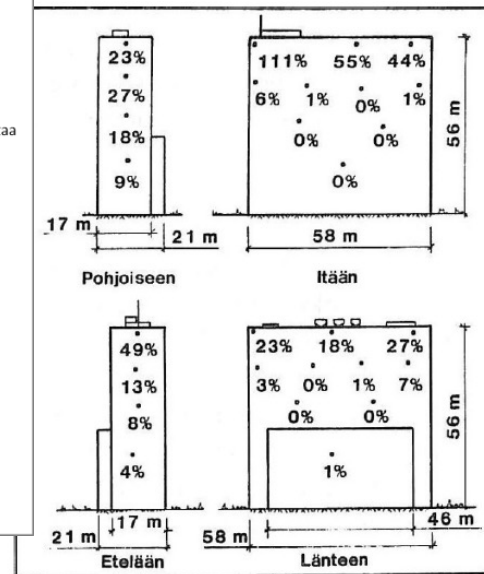
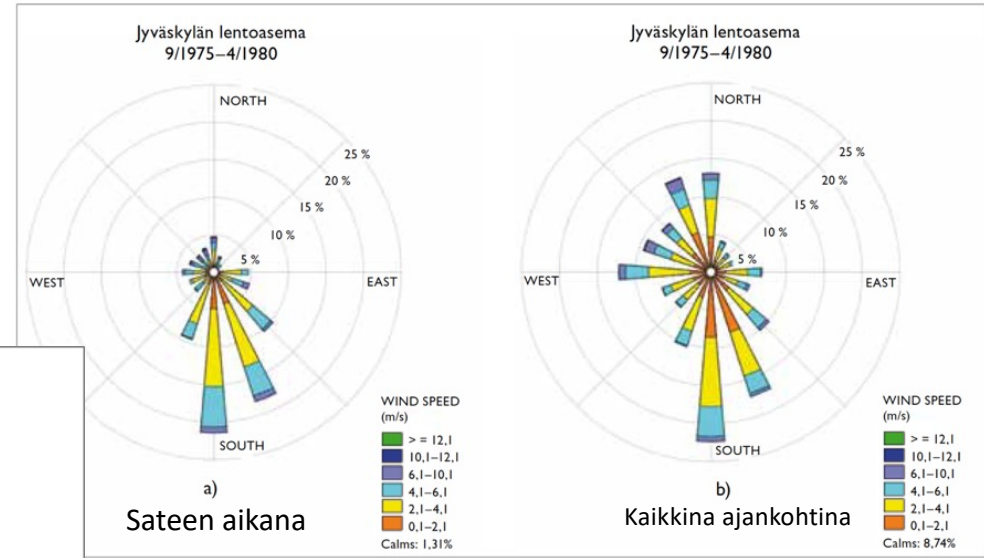
Lähde: By 50 Betoninormit 2004

# Viistosateen osuus

Tilastot osoittavat, että etelä- ja länsisuunnat ovat rasitetuimpia

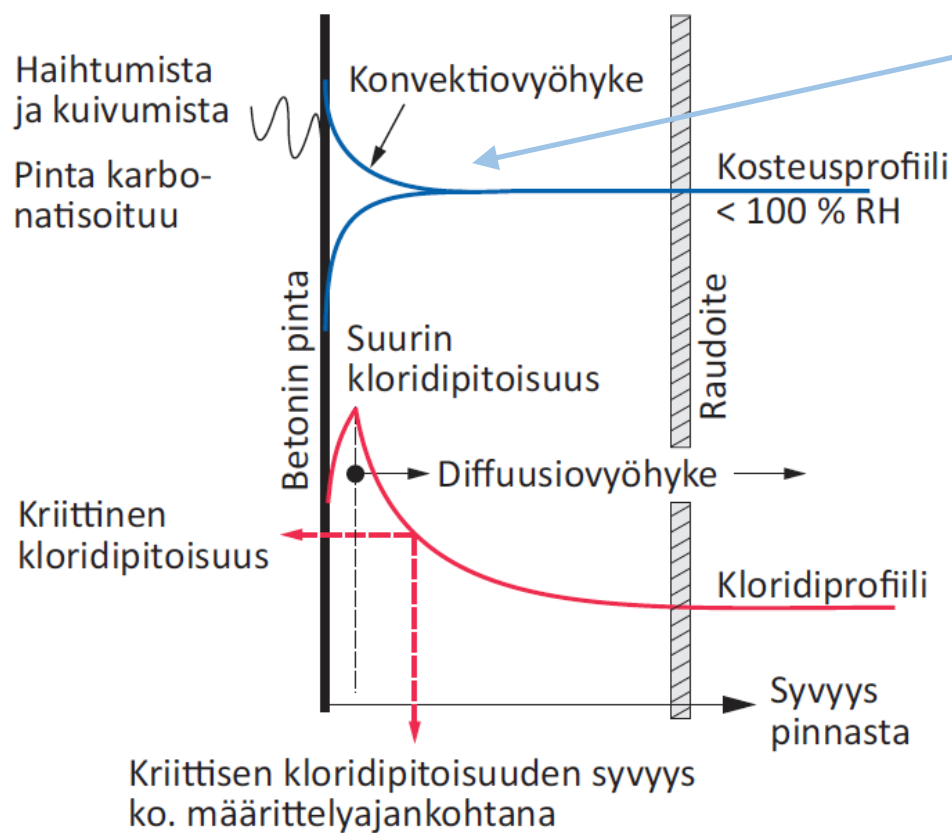


Lähde: Toni Pakkala, väitöstutkimus



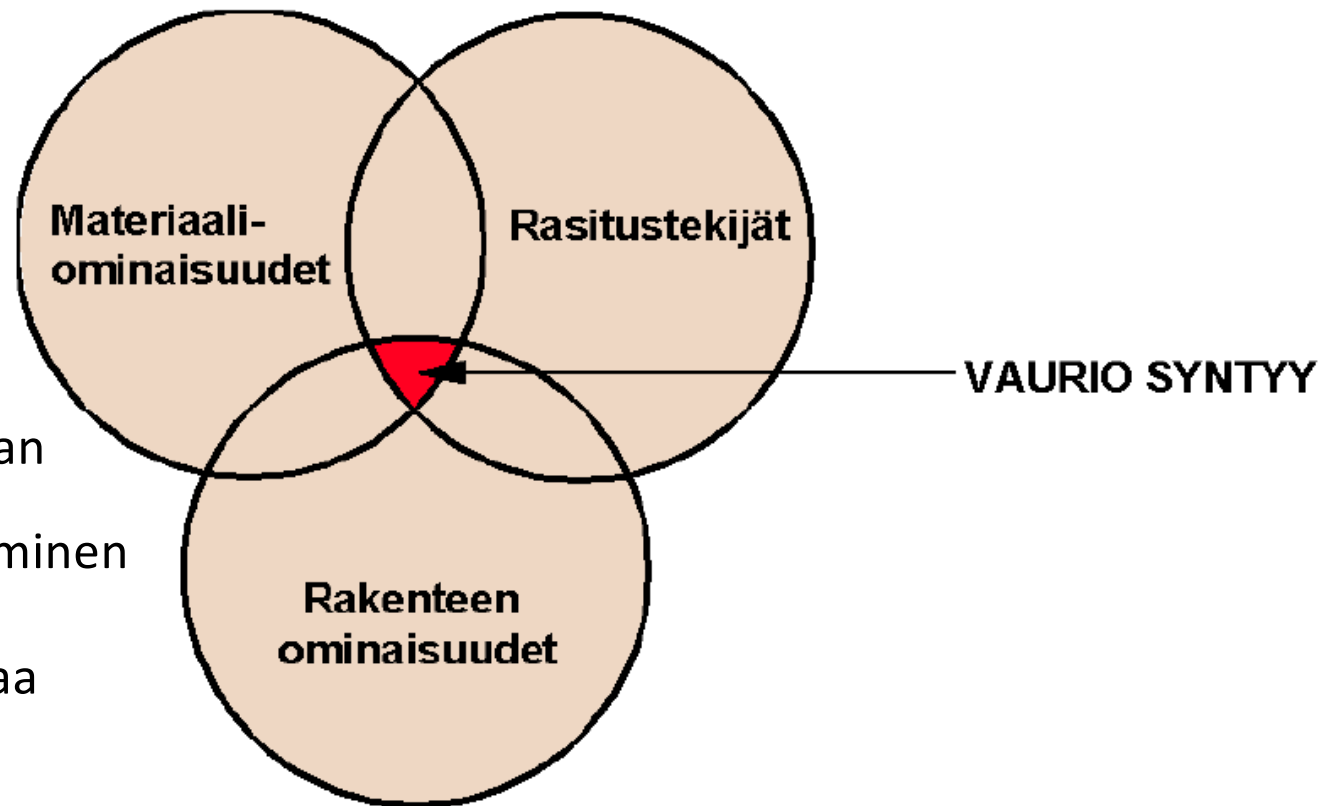


# Vaihtelevien lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaikutus



olosuhteiden vaikutus korostuu betonirakenteen pintaosissa

**Kuva 4.4.1.** Periaatekuva kloridien tunkeutumisesta betoniin. Betonin pintaosaan kloridit voivat tunkeutua myös veden mukana, mutta syvemmälle betoniin ne etenevät hitaasti diffuusiolla eli väkevyyserojen tasoittumisen kautta.



- 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.

Lopetus dia

