



**Rudus**  
BETONI  
AKATEMIA

# Säänkestävät betonit

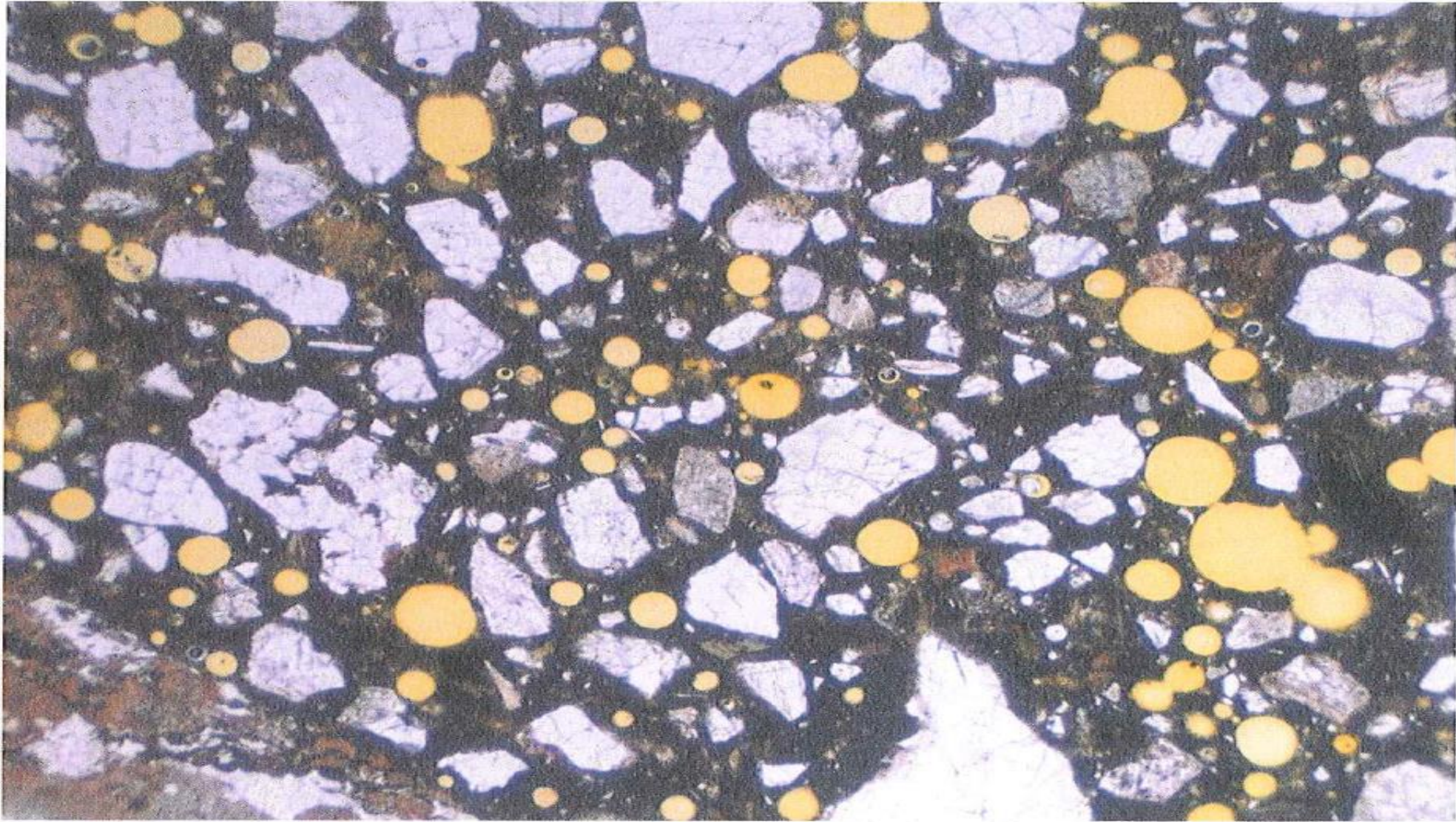
Rudus Betoniakatemia

Hannu Timonen-Nissi

25.1.2019

# Miten säänkestävyys tehdään ?

- Betoniin lisätään huokoistavaa lisäainetta, jolla saadaan muodostettua betoniin läpimitaltaan hyvin pieniä ilmakuplia eli ns. suojahuokosia.
- Betonissa olevan veden jäätyessä se pääsee laajenemaan näihin suojahuokosiin, jolloin betonin sisälle ei synny betonia rikkovaa painetta.



***Kuva 1.** Näyte 21. Betonin huokosrakenne. Suojahuokokset näkyvät keltaisina "palloina", kiviaines vaaleina alueina ja sementtikivi tummana matriisina. Kuvan pitkä sivu vastaa noin 4,5 mm näytteessä.*

# Säänkestävien betonien tyypillisiä piirteitä

- Sideainemäärät korkeita
- Vesimäärät pieniä
  - työstettävyyttä parannetaan notkistimilla
- Korkeat notkistinmäärät yhdessä lisähuokostuksen kanssa aiheuttavat betoniin tietynlaista herkkyyttä.
- Ilmamäärien ja notkeuden hallinta haastavaa.

# Säänkestävien betonien käyttökohteet

- Pakkasrasitetut rakenteet
  - Kohtalainen vedellä kyllästyminen
  - Suuri vedellä kyllästyminen
- Pakkas-/suolarasitetut rakenteet
  - Kohtalainen vedellä kyllästyminen
  - Suuri vedellä kyllästyminen

# Säänkestävät betonit

## Kaksi erilaista menettelytapaa:

- Betoninormien säilyvyysuunnittelun mukaiset rasitusluokat XF1...XF4
- Siltabetonien P-luku menettely
  - Silta- ja muu väylärakentaminen

## Jäätymis- / sulamisrasitus

- XF1 pystyrakenne ilman jäänsulatusaineita
- XF2 pystyrakenne ja jäänsulatusaineet
- XF3 vaakarakenne ilman jäänsulatusaineita
- XF4 vaakarakenne ja jäänsulatusaineet

# Vaatimukset

## **XF1 ja XF3**

- suurin sallittu v/s-suhde
- vähimmäissementtimäärä
- ilmamäärä vähimmäisarvo

## **XF2 ja XF4 käyttöikä 50 vuotta**

- suurin sallittu v/s-suhde
- vähimmäissementtimäärä
- ilmamäärä vähimmäisarvo

## **XF2 ja XF4 käyttöikä 100 vuotta**

- P-luku vaatimusten mukaan

## **P-lukubetonit**

- P-luku vähimmäisarvo
- suurin sallittu vesi-/sideainesuhde
- suurin sallittu tehollinen vesimäärä
- sideaineen vähimmäismäärä
- suurin sallittu hienoainemäärä
- minimi /maksimi ilmamäärä
- huokosjakovaatimus
- sallittu rapauma

# Betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta (SFS7022:2014).

KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET	RASITUSLUOKAT																	
	Ei rasitusta	SEN AIHEUTTAMA KORROOSIO				KARBONISOITUMI-KLORIDIEN AIHEUTTAMA KORROOSIO						JÄÄDYTYS-SULATUS-RASITUS				KEMIALLISESTI AGGRESSIIVISET AINEET		
		MERIVESI		KLORIDIT MUUSTA KUIN MERIVEDESTÄ														
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
SUURIN V/S SUHDE		0,90	0,80	0,60	0,60	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,60	0,50	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
VÄHIMMÄIS- LUJUUSLUOKKA	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45					C30/37	C35/45	C40/50
VÄHIMMÄIS- SEMENTTIMÄÄRÄ [KG/M³]		160	160	250	250	300	320	320	300	300	320	270	330	300	360	300	320	330
ILMAMÄÄRÄ [%]												4,0	5,0	4,0	5,5			



# Betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot, kun suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta (SFS7022:2014).

KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET	RASITUSLUOKAT																	
	Ei rasitusta	KARBONISOITUMISEN AIHEUTTAMA KORROOSIO				KLORIDIEN AIHEUTTAMA KORROOSIO						JÄÄDYTYS-SULATUS-RASITUS				KEMIALLISESTI AGGRESSIIVISET AINEET		
						MERIVESI			KLORIDIT MUUSTA KUIN MERIVEDESTÄ									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2 <sup>1)</sup>	XF3	XF4 <sup>1)</sup>	XA1	XA2
SUURIN V/S SUHDE		0,90	0,80	0,60	0,60	0,45	0,40	0,40	0,50	0,50	0,40	0,55		0,50		0,50	0,45	0,40
VÄHIMMÄIS- LUJUUSLUOKKA	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45					C30/37	C35/45	C40/50
VÄHIMMÄIS- SEMENTTIMÄÄRÄ [KG/M <sup>3</sup> ]		160	160	250	250	300	320	340	300	300	320	270		300		300	320	330
ILMAMÄÄRÄ [%]												5,5		5,5				

1) Infra RYL kohdan 42020.1.2 mukaiset vaatimukset.

Taulukossa ovat SFS 7022:2014:n mukaiset rasitusluokkien raja-arvot maksimivesi-sementtisuhteelle, minimisementtimäärälle, lujuusluokalle ja ilmamäärälle.

Eurooppalaisessa lujuusluokka merkinnässä Cxx/yy ensimmäinen merkintä (Cxx) tarkoittaa lieriölujuutta ja jälkimmäinen (yy) kuutiolujuutta.

Jälkimmäinen merkintä siis vastaa entistä suomalaista K-lujuusluokkaa (Kyy). Esimerkiksi C25/30 on entinen K30.

# Siltarakenteiden ja väylärakenteiden betonien laatuvaatimukset eri rasitusluokkaryhmissä



Adobe Acrobat  
Document

# **Betonin pakkasenkestävyyden laadunvalvonta ja vaatimuksenmukaisuuden toteaminen rasitusluokissa XF1...XF4**

## **Ennakkokeet**

- Valitaan betonin koostumus ja valmistusprosessi kokonaisuudessaan sellaiseksi, että haluttu pakkasenkestävyyden taso saavutetaan

## **Jatkuva laadunvalvonta**

- Seurataan, ettei betonimassassa tapahdu haitallisia muutoksia ja että valmistusprosessi toimii

## **Tasokokeet**

- Varmistetaan jatkuvan tuotannon tasalaatuisuus

# Kovettuneen betonin pakkasenkestävyyden vaatimukset, kun suunnittelukäyttöikä on 50 tai 100 vuotta



Adobe Acrobat  
Document

## **P-lukubetonien laadunvalvonta**

- Ennakkokokeet
- Työnaikainen laadunvalvonta

P-lukubetonien laadun varmistamisessa ilmamäärä ja ilman pysyvyys ovat oleelliset.

# Ennakkokokeet

Ennakkokokeilla varmistetaan betonimassan vaaditut ominaisuudet ja käytettävien lisäaineiden yhteensopivuus sekä lisäaineiden annostelujärjestys ja annostelutapa

Ennakkokokeet tehdään aina, kun P-luku määritetään joko

- Suhteutustietojen ja mitatun ilmamäärän avulla

tai

- Suoran pakkassuolakokeen avulla

# Ennakkokeet...

Ennakkokeilla tutkitaan betonin

- Puristuslujuus
- Tiheys
- Ilmamäärä
- Ne tekijät, joiden avulla pakkasenkestävyys lasketaan
  - Jälkihoitotekijä
  - Sideainetekijä
  - Redusoitu vesi-ilmasideainesuhde

# Ennakkokokeet...

Ennakkokoe katsotaan pakkasenkestävyyden osalta hyväksytyksi, jos

- massan koostumuksen mukaisesti laskettu P-luku täyttää vaatimuksen

ja

- kun kovettuneen betonin ennakkokokeen tulos täyttää joko suojahuokosvaatimuksen tai laattakokeessa sallitun rapauman vaatimuksen

Ennakkokokeen tulos ei saa olla vuotta vanhempi



# P-luvun määrittäminen valutyön aikana

## Ilmamäärän mittaaminen

- Kuormat 1-5 jokaisesta kuormasta
- Tämän jälkeen joka kymmenennestä kuormasta
- Mittauksia vähintään 6 kpl

Ilmamäärämittausten tulosten keskiarvon on täytettävä asetettu vaatimus. Keskiarvoon lasketaan kaikki, myös alittavat mittaustulokset.

Yksi kolmesta peräkkäisestä mittaustuloksesta saa alittaa vaatimuksen enintään 20 %.

## **P-luvun määrittäminen valutyön aikana...**

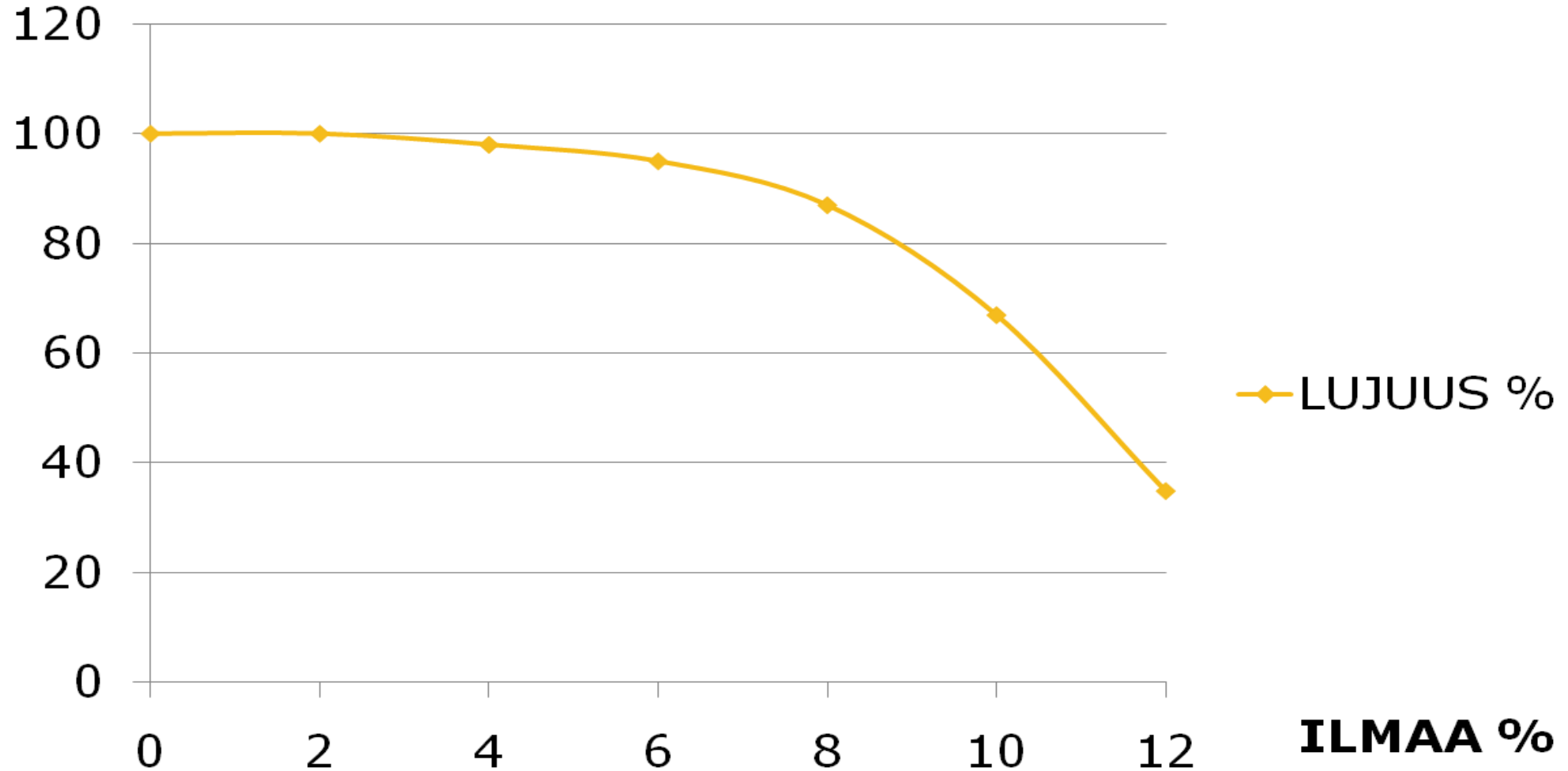
Jos jokin mittaustulos alittaa vaatimuksen yli 20 %, mitataan ilmamäärä tämän jälkeen kyseisestä kuormasta vielä kaksi kertaa.

Jos molemmat tulokset täyttävät vaatimuksen, katsotaan kyseinen kuorma kelvolliseksi

Jos ilmamäärämittausten keskiarvo ylittää suhteituksen mukaisen ilmamäärän yli 2 %-yksikköä, tulee ilmamäärän vaikutus betonin puristuslujuuteen selvittää aina rakenteesta poratuista koekappaleista



# Betonin puristuslujuus ilmamäärän funktiona



# P-luvun määrittäminen valutyön aikana...

P-luku määritetään suhteitustietojen, jälkihoidon ja työmaalla mitattujen ilmamäärien perusteella seuraavalla kalvolla olevalla kaavalla

P-lukujen keskiarvon on täytettävä suunnitelmassa esitetty vaatimus

Yksi kolmesta peräkkäisestä P-luvusta saa alittaa vaatimuksen enintään 20 %

$$P = \frac{46 \cdot k_{jh} \cdot k_{sid}}{\frac{10 \cdot (WAS)^{1,2}}{\sqrt{a}} - 1} \quad (1)$$

jossa  $k_{jh}$  on jälkihoitotekijä (kaava 2)  
 $t_{jh}$  on jälkihoitoaika (vrk)  
 $k_{sid}$  on sideainetekijä (kaava 3)  
 WAS on redusoitu vesi-ilmasideainesuhde (kaava 5)  
 a on ilmamäärä (%).

$$k_{jh} = 0,85 + 0,17 \cdot \text{LOG}_{10}(t_{jh}) \quad (2)$$

$$k_{sid} = 1 - \left( \frac{Q_{vesi}}{Q_{sid}} \right)^{1,5} \times (0,05 \times \text{sil} + 0,02 \times \text{kuona} + 0,01 \times \text{lt}) \quad (3)$$

jossa sil on silikan, kuona masuunkuonan ja lt lentotuhkan osuus sideaineen kokonaismäärästä (%)  
 $Q_{vesi}$  on tehollinen vesimäärä ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $Q_{sid}$  on tehollinen sideaineen kokonaismäärä ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$Q_{sid}$  lasketaan kaavasta

$$Q_{sid} = Q_{sem} + 2,0 * Q_{sil} + 0,8 * Q_{kuona} + 0,4 * Q_{lt} \quad (4)$$

jossa  $Q_{sem}$  on seosainekertoimella  $k_A$  (lasketaan taulukon 5 kertoimilla) kerrottu sementin määrä ( $kg/m^3$ ). Portlandsementillä (CEM I)  $k_A$  on 1.  
 $Q_{sil}$  on lisätyn silikajauheen määrä ( $kg/m^3$ )  
 $Q_{kuona}$  on lisätyn masuunikuonan määrä ( $kg/m^3$ )  
 $Q_{lt}$  on lisätyn lentotuhkan määrä ( $kg/m^3$ )

Redusoitu vesi-ilmasideainesuhde WAS lasketaan kaavasta

$$WAS = \frac{Q_{vesi} + 10 \cdot (a - 2)}{Q_{sid}} \quad (5)$$

jossa  $a$  on ilmamäärä (%).

P-luvun laskennassa käytetään seosaineille taulukon 5 mukaisia aktiivisuuskertoimia.

*Taulukko 5. Seosaineiden seosainekertoimet P-lukua laskettaessa.*

Seosaine	Seosainekerroin
Masuunikuona (II-luokan seosaine)	0,8 1,0 standardin SFS-EN 206:n mukaisissa XA-rasitusluokissa
Lentotuhka (II-luokan seosaine)	0,4 lentotuhka-sementtisuhde $\leq 0,33$ 0,0 lentotuhka-sementtisuhde $> 0,33$
Silika (II-luokan seosaine)	2,0 vesi-sementtisuhde $\leq 0,45$ 1,0 vesi -sementtisuhde $> 0,45$
(I-luokan seosaine)	0,0

## 4.4 P-luvun määrittäminen suoralla pakkauskokeella

P-luku voidaan määrittää myös standardin CEN/TS 12390-9 mukaisen 56 kierroksen pakkassuolakokeen ja suhteitustietojen perusteella kaavan 6 avulla.

$$P = k_{sid} \cdot \frac{3000}{(m_{56})^{0,74}} \quad (6)$$

jossa

$k_{sid}$  on sideainekerroin (kaava 3)

$m_{56}$  on standardin CEN/TS 12390-9 mukaisen 56 kierroksen pakkassuolakokeen rapautuma [ $\text{g}/\text{m}^2$ ].

Koska sideainekertoimessa  $k_{sid}$  ei oteta huomioon kalkkifilleriä sementin seosaineena, kalkkikiveä sisältävillä sementeillä sideainekerrointa korjataan laskennallisten P-lukujen lisäkertoimella  $P_{red}/P_{Ksid=1}$ .  $P_{red}$  lasketaan olettaen, että sementin kalkkikiviosuus ei toimi sementtinä ollenkaan ja  $P_{Ksid=1}$  lasketaan olettaen myös kalkkikiven toimivan sementtinä täysimääräisenä.

## 5 Kelpoisuuden osoittaminen

P-luku lasketaan suhteitustietojen, jälkihoitoajan ja ilmamäärän perusteella käyttäen kohdassa 4.3 esitettyä kaavaa (1) tai kohdan 4.4 mukaisesti. P-lukujen keskiarvon on täytettävä suunnitelmassa asetettu vaatimus. Yksi kolmesta peräkkäisestä P-luvusta saa alittaa vaatimuksen enintään 20 %.

Kovettuneen betonin kelpoisuutta pakkasenkestävyyden suhteen ei tarvitse erikseen osoittaa, jos betonimassa on todettu tältä osin kelvolliseksi. Tällöin edellytetään kuitenkin, että puristuslujuus on ennakkokokeiden mukainen, massa on tiivistynyt hyvin ja betoni on suojattu ja jälkihoidettu hyväksyttävällä tavalla.

Elleivät kaikki edellä luetellut ehdot täyty, tilaaja harkitsee tapaus tapaukselta täydentävien tutkimusten tarpeellisuuden. Täydentävät tutkimukset tehdään Liikenneviraston ohjeiden mukaan rakenteesta irrotetuista näytteistä. Täydentävistä tutkimuksista laaditaan hyväksyttävä suunnitelma julkaisun by 65 Betoninormit 2016 kohdan 5.2.4 mukaisesti. Poranäytteiden paikat valitaan siten, että tutkittavan rakenteen osan betonista saadaan mahdollisimman kattava ja oikea kuva.

Täydentävän tutkimuksen perusteella määritettyjen P-lukujen keskiarvon on täytettävä suunnitelmassa asetettu vaatimus. Korkeintaan yksi kolmesta peräkkäisestä tuloksesta saa alittaa vaatimuksen enintään 20 %.



# Hannu Timonen-Nissi

[hannu.timonen-nissi@rudus.fi](mailto:hannu.timonen-nissi@rudus.fi)

[www.rudus.fi](http://www.rudus.fi)



**Rudus** BETONIAKATEMIA

**Rudus**  
A CRH COMPANY