



## Betonin peruskurssi


Johanna Tikkanen, TkT, Suomen Betoniyhdistys

# Mitä betoni on?

Rakennusaineena käytettävä, betonimassasta kovettumalla syntyvä tekoivi.

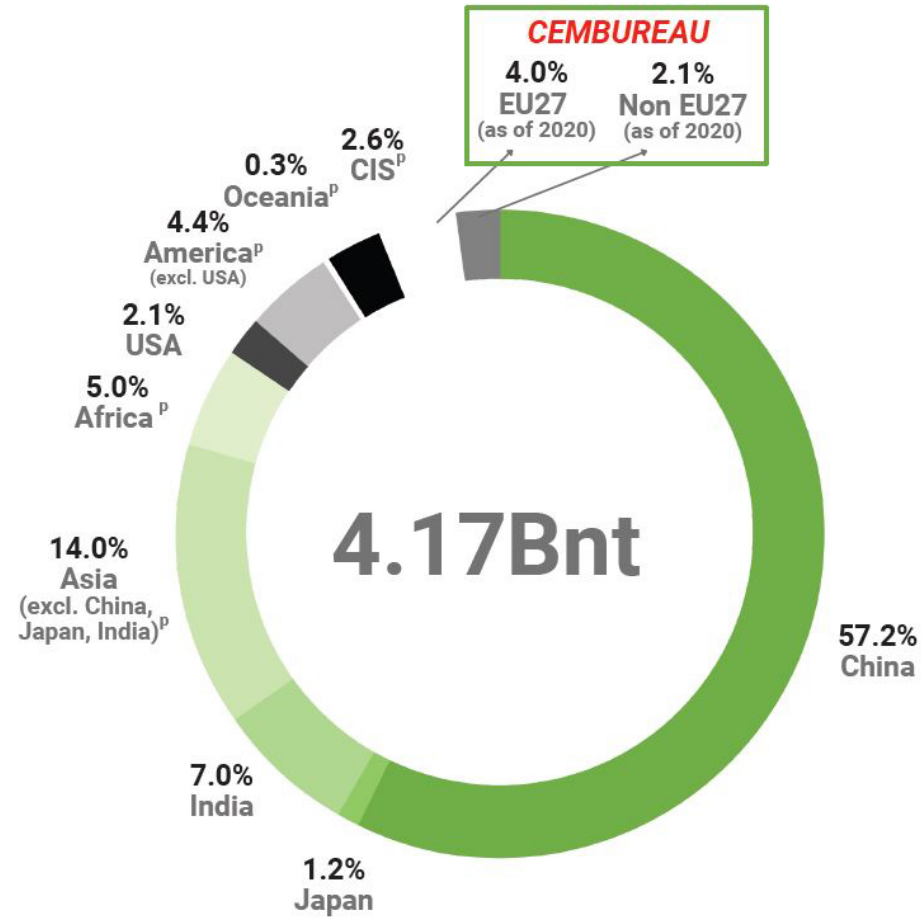
Ihmisen maailmassa eniten valmistama materiaali.

Syyt materiaalin laajaan käyttöön ovat mm:

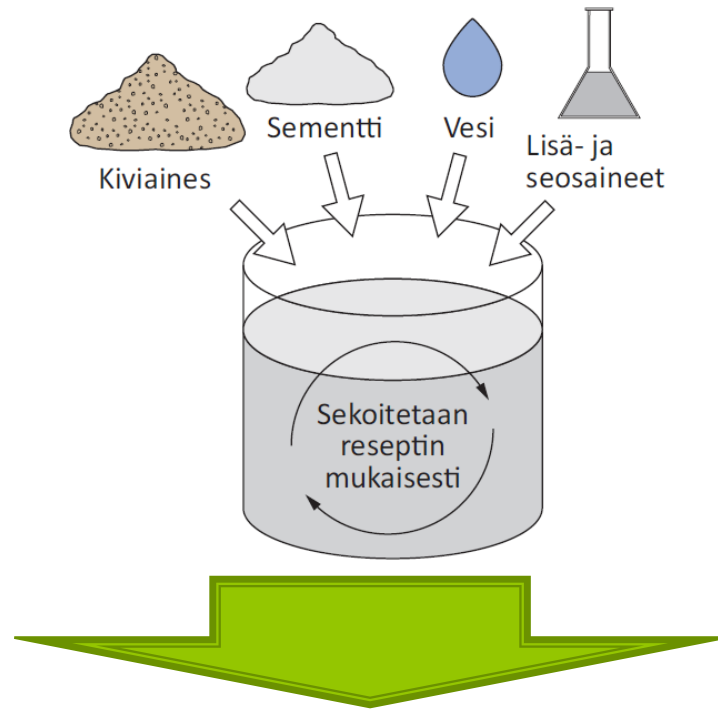
- Raaka-aineita helposti saatavissa ja valmistettavissa
  - Yksinkertaisen betonin valmistaminen ei vaadi korkeaa ammattitaitoa
  - Hyvät lujuus- ja jäykkyysominaisuudet
  - Lopputulos kestää kosteutta
- 

# Sementtiä valmistetaan maailmalla vuosittain noin 4 miljardia tonnia

World cement production 2020, by region and main countries,  
% Estimations



p = Preliminary  
Source: CEMBUREAU



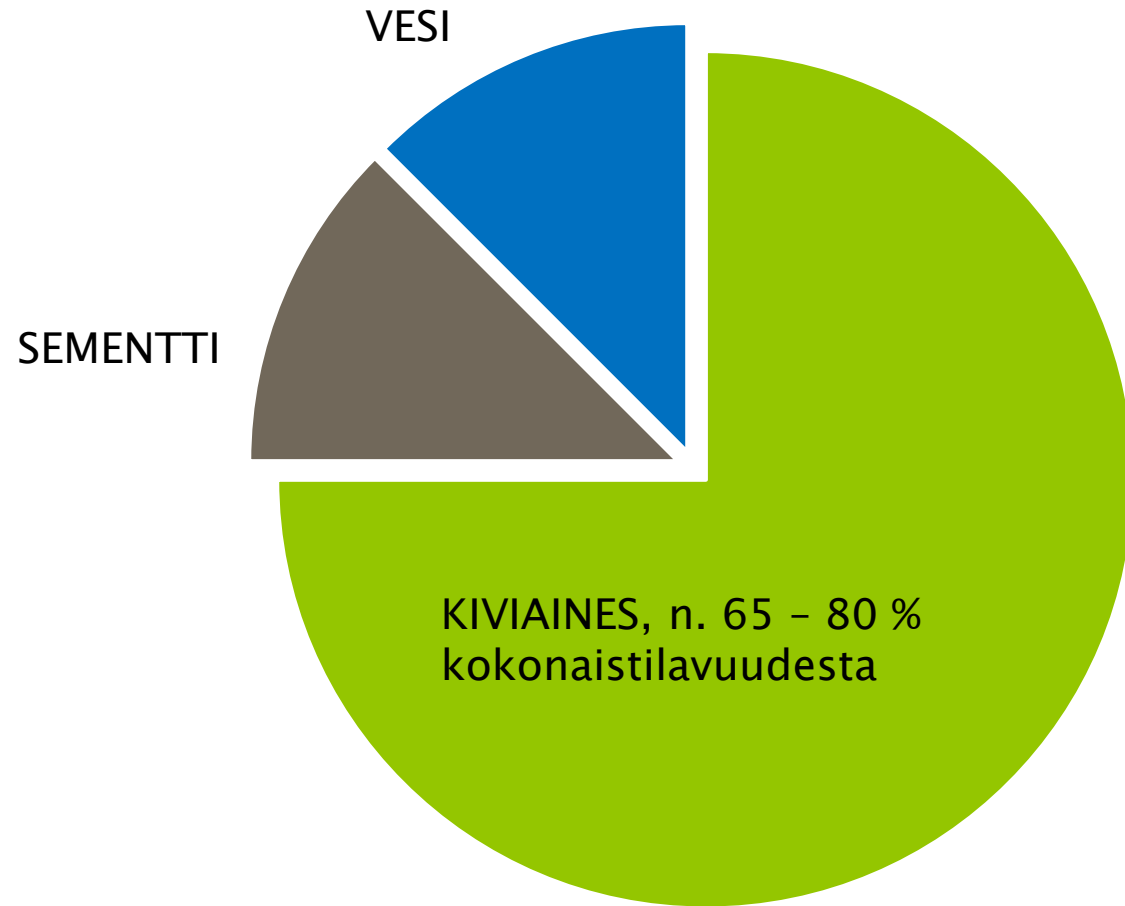
Tarkoituksena on sekoittaa betonin osa-aineet mitattuina (punnittuina) määrinä, jotta saataisiin betonimassa, joka on helppo:

- ▶ kuljettaa
- ▶ siirtää
- ▶ tiivistää
- ▶ viimeistellä

Jotka sitoutuvat ja kovettuvat halutulla tavalla halutussa ajassa sekä antavat riittävän lujuuden ja kestävyuden.

Ainesosien suhteelliset määrät vaikuttavat suoraan betonin ominaisuuksiin.

# Betonin koostumus



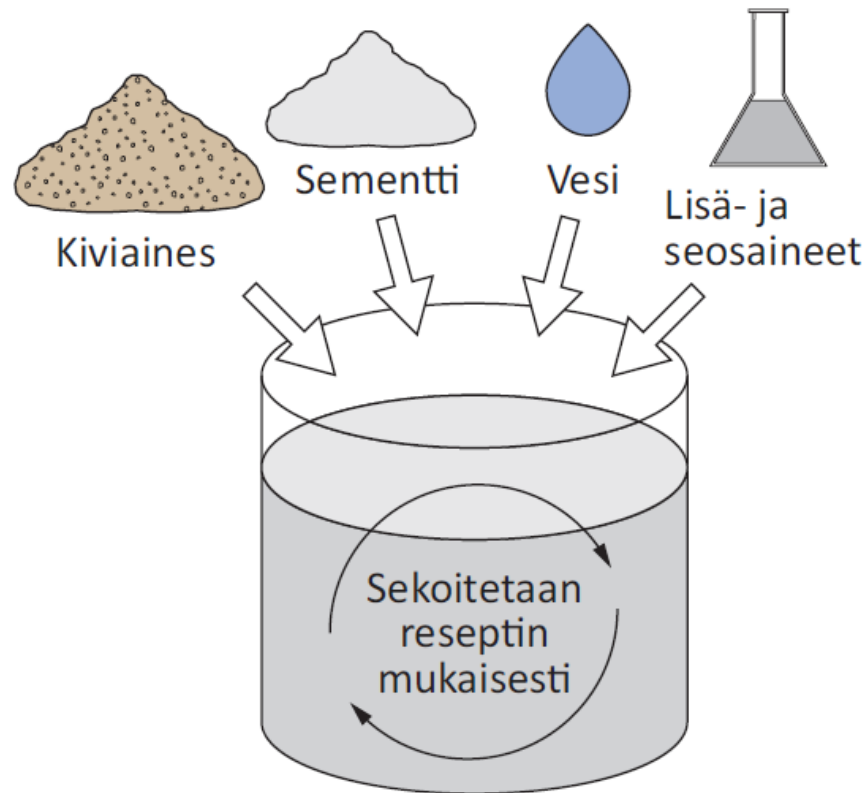
Yleisimmin betonin koostumus ilmoitetaan sementin, kiviaineksen ja veden massamäärinä ja ilman tilavuutena kuutiometriä kohden.

Koostumus voidaan esittää myös painotai tilavuusosuuksina, tai -prosentteina.

**Alla yksi esimerkki tavallisen betonin koostumuksesta kiloina, painon mukaan ja tilavuuden osuuden mukaan ilmoitettuna**

	määrä/m <sup>3</sup>	paino-%	tilavuus-%
Sementti	250 kg	10,6	8
Kiviaines	1920 kg	81,7	72
Vesi	180 kg	7,6	18
Ilma	20 dm <sup>3</sup>	–	2

# Betonin osa-aineet



- ▶ Sideaineet
  - Sementti
  - Seosaineet
- ▶ Kiviaines
- ▶ Vesi
- ▶ Lisäaineet

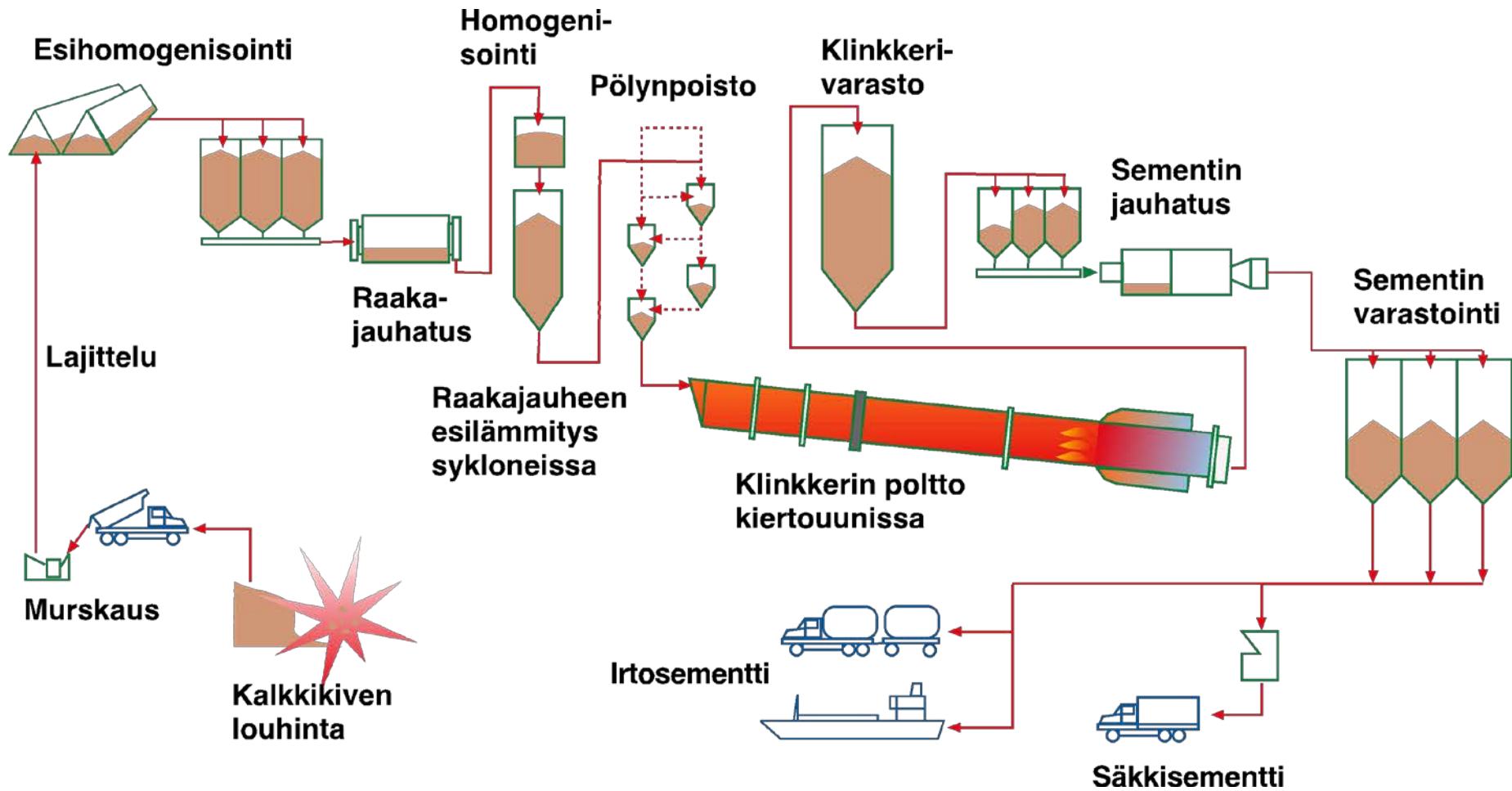


# Rakennussementit

Kalkkikivestä sementiksi



# Sementin valmistus





Kuva: Schwenk

# Sementti

Sementtistandardi ryhmittelee sementit viiteen päälajiin niiden koostumuksen perusteella:

**CEM I Portlandsementti**

**CEM II Portlandseossementti**

**CEM III Masuunikuonasementti**

**CEM IV Pozzolaaniseimentti**

**CEM V Seossementti**



# Sementti

► **Lujuusluokan tunnus**

- 32,5 , 42,5 tai 52,5

► **Varhaislujuuden tunnus**

- R tai N

Lujuusluokka	Puristuslujuus MPa				Sitoutumis ajan alku  min	Tilavuuden pysyvyys ( paisuma)  mm
	Varhaislujuus		Standardilujuus			
	2 vrk	7 vrk	28 vrk			
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5		
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-				

# Sementtien seosaineet

- ▶ S masuunikuona
- ▶ L kalkkikivi (orgaaninen hiili  $\leq 0,50\%$ )
- ▶ LL kalkkikivi (orgaaninen hiili  $\leq 0,20\%$ )
- ▶ D silika
- ▶ P, Q pozzolaanit
- ▶ V, W lentotuhka
- ▶ T poltettu liuske

## Pääsääntöisesti

- CEM I sivuosa-aineita 0...5 %
- CEM II/A seosaineita 6...20 %
- CEM II/B seosaineita 21...35 %

# Esimerkki, Oiva-sementti



**CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N**

Portlandseossementti

Kertoo seosaineen määrän

Kertoo seosaineen laadun

Lujuusluokan tunnus

Normaalisti kovettuva

# Sementin hienous

- ▶ Ilmoitetaan ominaispinta-alan mukaan (ns. Blaine)
  - 300...550 m<sup>2</sup>/kg
- ▶ Suurempi ominaispinta-ala
  - > enemmän reaktiopinta-alaa
  - > sitoutuminen ja lujuudenkehitys nopeutuu
- ▶ Vaikuttaa vedentarpeeseen

Pika ~ 530 m<sup>2</sup>/kg,

SR ~ 330 m<sup>2</sup>/kg,

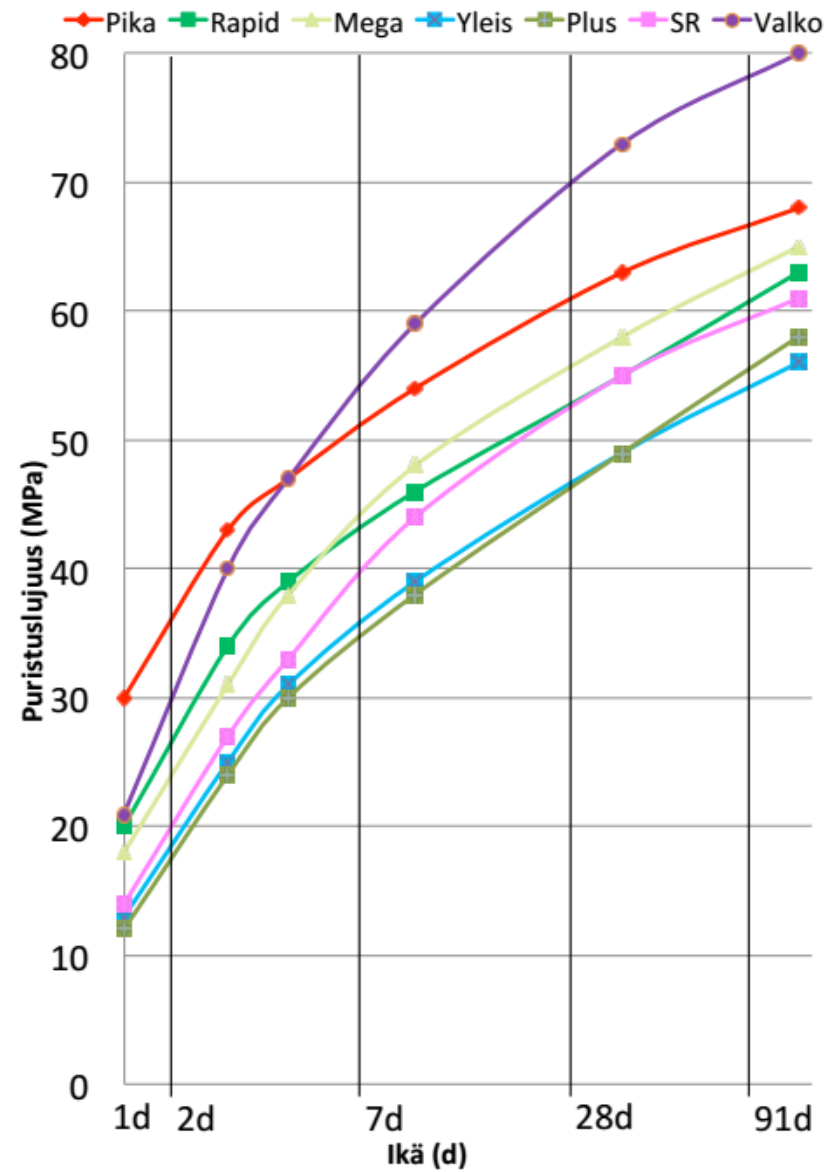
Valko ~ 400 m<sup>2</sup>/kg





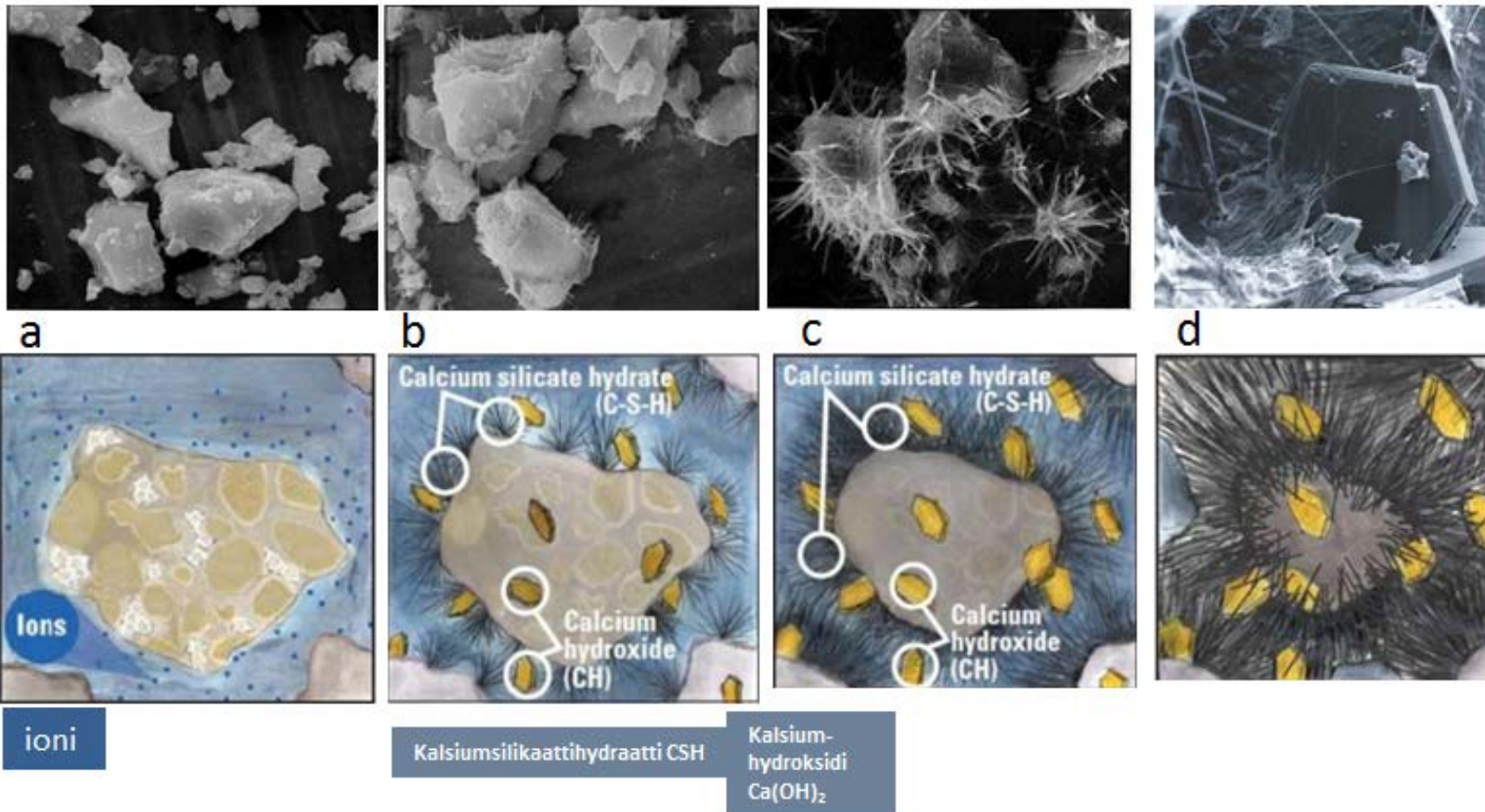
# Sementtien lujuuden kehitys

## SFS EN 196-1



# Sementin reaktiot veden kanssa

- reaktiotuotteena luja ja kestävä sementtikivi
- ensin aluminaattiyhdisteet (kipsi)
- lujuudenkehitys:  $C_3S$  ja  $C_2S$



# Sementin säilytys

- ▶ Sementti tulee aina säilyttää kuivassa paikassa
- ▶ Betonitehtailla sementti säilytetään yleensä siiloissa



Kuva: Schwenk



# Sideaineet: seosaineet

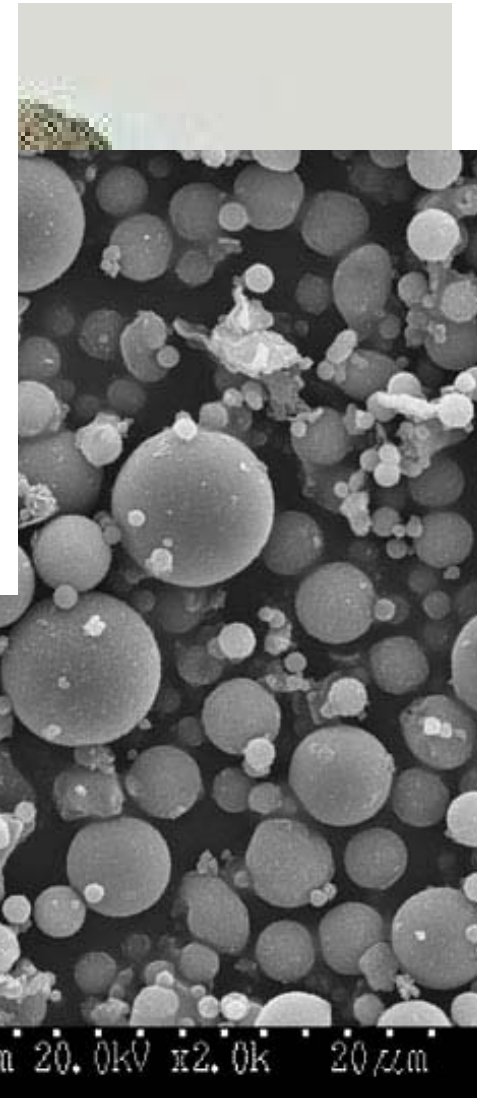
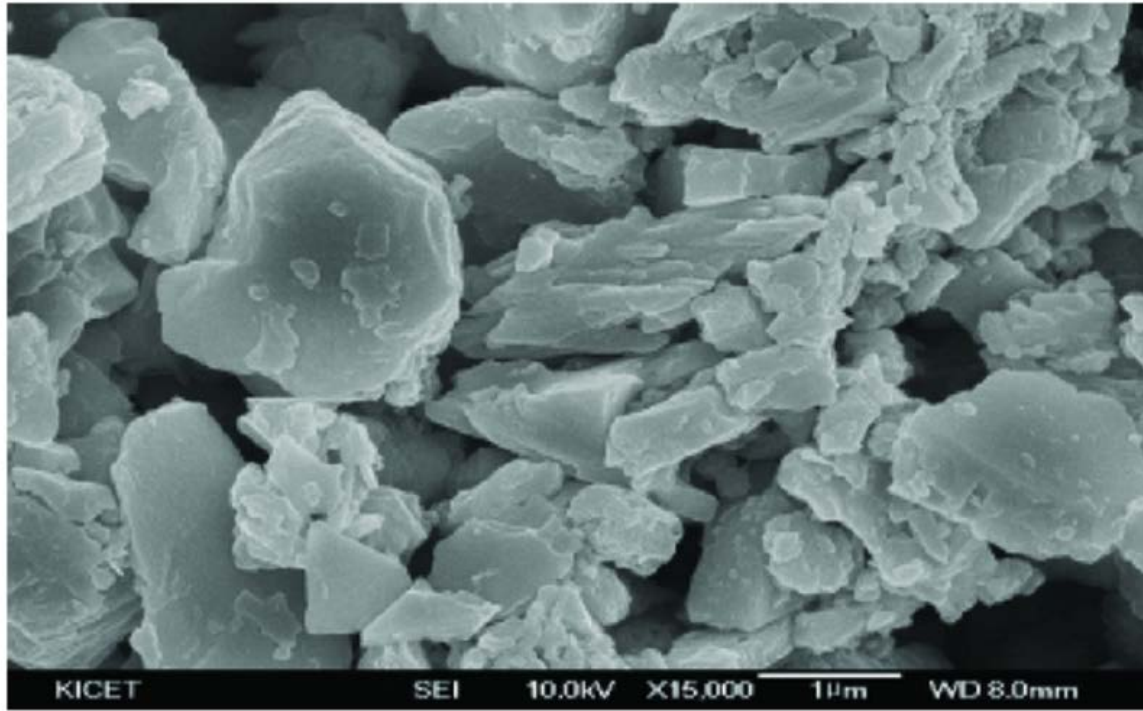
- ▶ Suomessa käytettävät betonin seosaineet ovat:
  - Lentotuhka
  - Masuunikuona
  - Silika
  - (Kalkkikivifilleri)
- ▶ Seosaineita käytetään paitsi pienentämään sideainekustannuksia myös kun betonille tavoitellaan uusia ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia on esimerkiksi:
  - sulfaatinkestävyys
  - alhainen hydrataatiolämpö
  - kemiallinen kestävyys
  - koossapysyvyys
  - vesitiiveys



# Lentotuhka



- ▶ Lentotuhka toimii betonissa sekä kiviaineksena (rakeisuus 1...150  $\mu\text{m}$ ) että sideaineena
- ▶ Lentotuhka on pozzolaaninen aine
  - reagoi sementin hydrataatiossa syntyvän kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumsilikaattihydraatti -geeliä.
- ▶ Betonin hydrataatiolämpö pienenee, kun lentotuhkaa käytetään korvaamassa sementtiä
  - Talvibetonoinnissa ja esimerkiksi lattiava-luissa lentotuhkan käyttö ei ole suosittelavaa, koska sitoutuminen ja lujittuminen hidastuvat oleellisesti.
- ▶ Pienentää betonin vedentarvetta
- ▶ LT sisältämä hiili vaikeuttaa betonin huokostamista

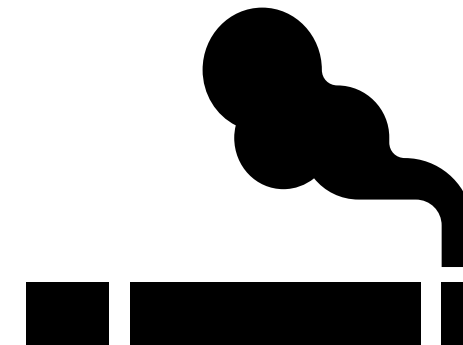
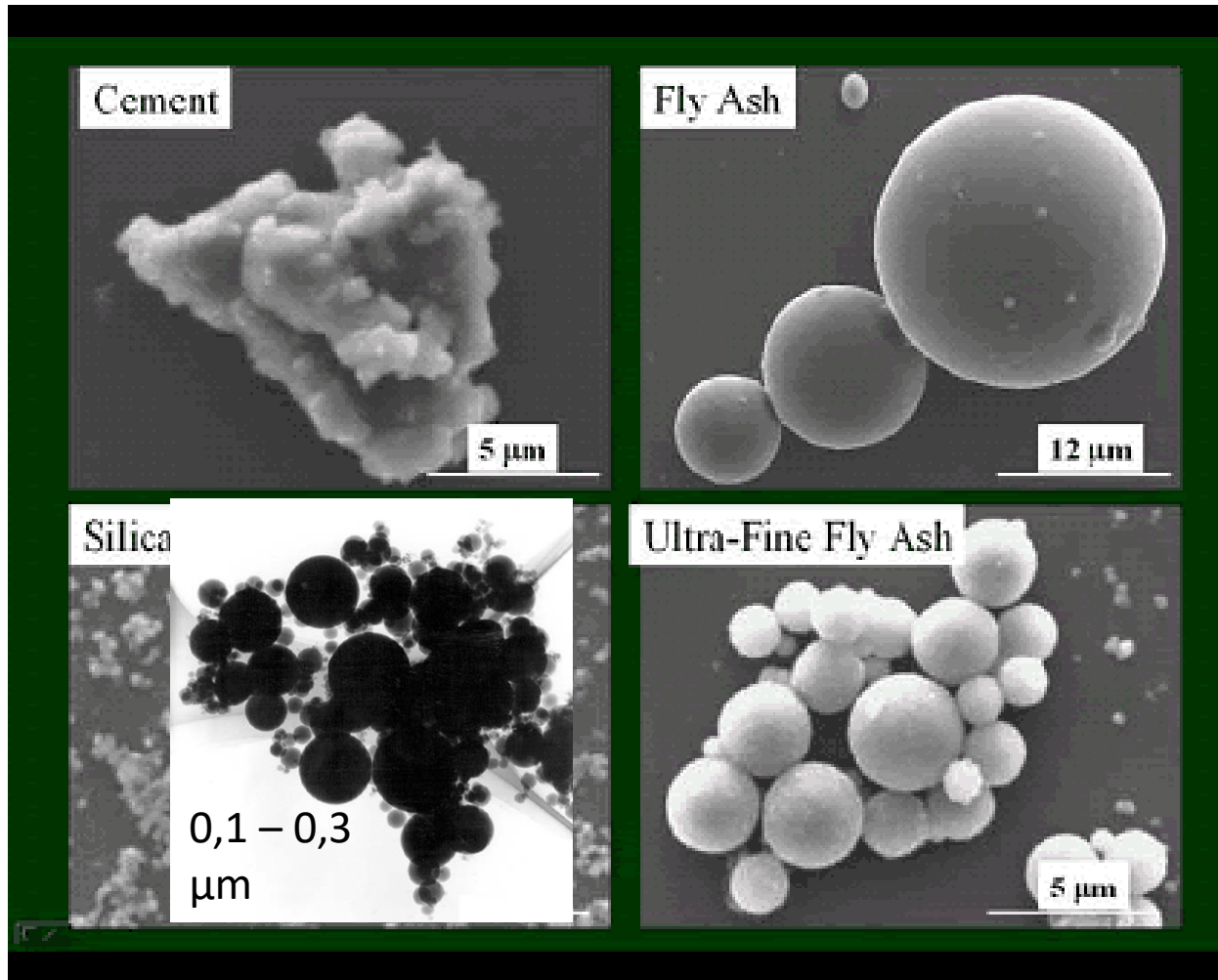


Cem



# Silika

- ▶ Silikaa syntyy piin ja ferropiin valmistuksen yhteydessä, kun prosessissa syntyvää  $\text{SiO}_2$ -kaasua kiinteytetään. Se on erittäin hienojakoista amorfista piidioksidia ja on kuten lentotuhka pozzolaani.
- ▶ Betonitekniikassa Suomessa silikaa on käytetty ”perinteisesti” korkealujuuksisten betonien valmistamisessa.
  - Parantaa betonin lujuutta, kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä
- ▶ Silikan käyttö kasvattaa betonin vedentarvetta ja sen kanssa on aina käytettävä notkistavia lisäaineita.





# Masuunikuona

- ▶ Masuunikuonaa syntyy raakaraudan valmistuksen sivutuotteena.
- ▶ Kuonan sideaineominaisuudet riippuvat paitsi kuonan kemiallisesta koostumuksesta niin varsinkin sulan kuonan jäähdytystavasta.
  - Nopeasti veden avulla jäähdytetyllä, eli granuloidulla, kuonalla on sementtisiä ominaisuuksia

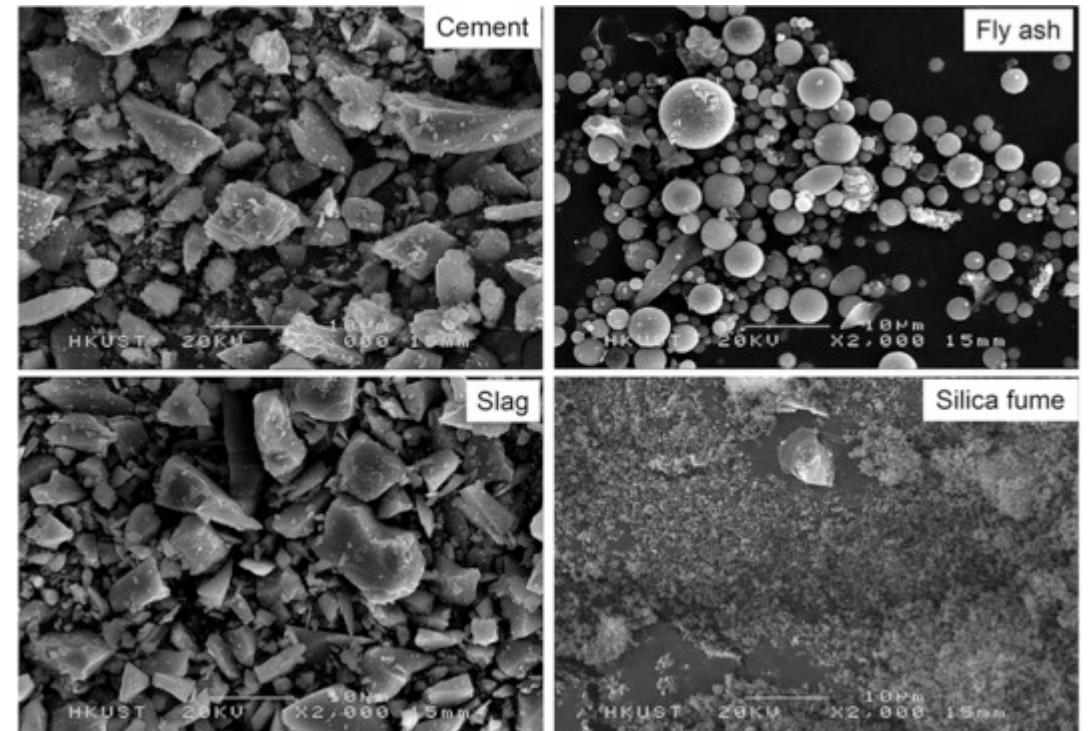


# Masuunikuona

- ▶ Masuunikuonajauheen vedentarve on pieni, eli se notkistaa betonia.
- ▶ Vähentää huomattavasti betonin hydrataatiolämpöä, minkä vuoksi sitä käytetään usein massiivisten rakenteiden valuissa.
- ▶ Masuunikuonan käyttö kasvattaa myöhäisiä lujuuksia, mutta yleensä alentaa varhaislujuuksia.
- ▶ Masuunikuonajauhe parantaa betonin sulfaatinkestävyyttä. Jos kuonajauheen osuus on yli 70 % sideaineesta, sideaineyhdistelmä luokitellaan sulfaatinkestäväksi.
- ▶ Masuunikuonajauheen käyttö lisää jonkin verran betonin virumaa ja karbonatisoitumisnopeutta sekä heikentää betonin pakkas-suolakestävyyttä.

# Seosaineiden tyypillisiä hienouksia (ominaispinta-ala Blaine)

Sementti	350 – 600	m <sup>2</sup> /kg
Kuona	400	m <sup>2</sup> /kg
Lentotuhka	250	m <sup>2</sup> /kg
Silika	20 000	m <sup>2</sup> /kg



# Väri



# Kiviaines

- ▶ Koska kiviainesta tarvitaan betonin valmistukseen paljon, sitä tulee olla riittävästi ja helposti saatavilla eivätkä sen kustannukset saa olla korkeat.
  - Idea betonin valmistuksessa onkin juuri se, että betoni sisältää mahdollisimman paljon kiveä, joka sitten liimataan sementtiliimalla kiinni toisiinsa.
- ▶ Kiviaineksen tulee olla puhdasta (savi, siltti, orgaaninen aines...)
- ▶ Kiviaineksena voidaan käyttää myös keinotekoisia tai kierrätettyjä materiaaleja, kuten kevytkiviaineksia (kevytsoraa), ferrokromikuonaa, masuunikuonaa eri muodoissa, lentotuhkaa, tiili- tai betonimursketta



Kuva Tero Virtanen, Rudus

# Kiviaines

Betonissa käytetyt kiviainekset ovat joko luonnon muovaamaa tai kalliosta tai sorasta murskattua ja seulottua kivimateriaalia.

Betonia valmistettaessa kiviaineesta on tiedettävä:

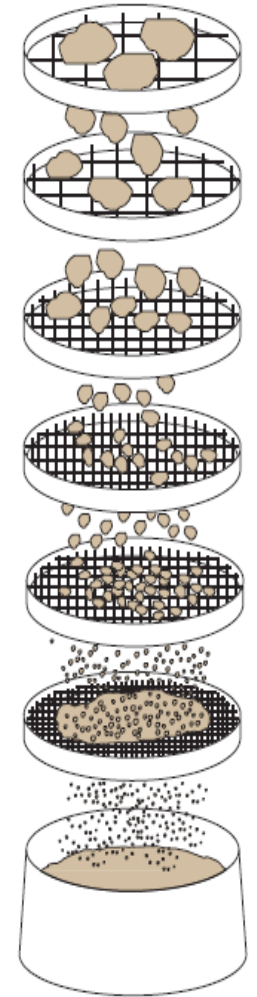
- ▶ Rakeisuus (raekokojakauma)
- ▶ Kiintotiheys
- ▶ Vedenimu
- ▶ Kosteus



Kuva Tero Virtanen, Rudus

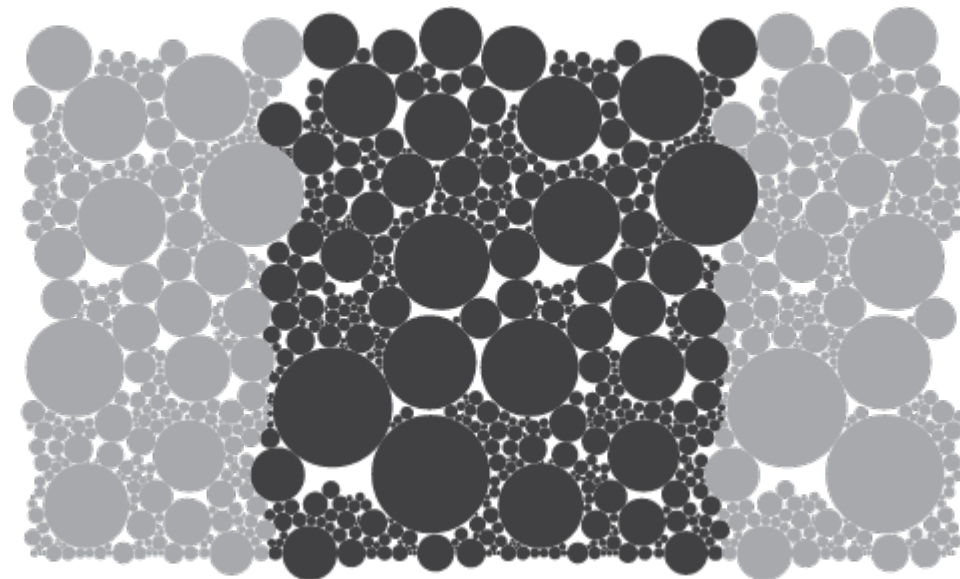
# Kiviaines eli runkoaines

- ▶ Jaotellaan raekoon mukaan.
- ▶ Rakeisuus kuvaa kiviaineksen rakeiden kokojakaumaa. Rakeisuus määritetään seulomalla.



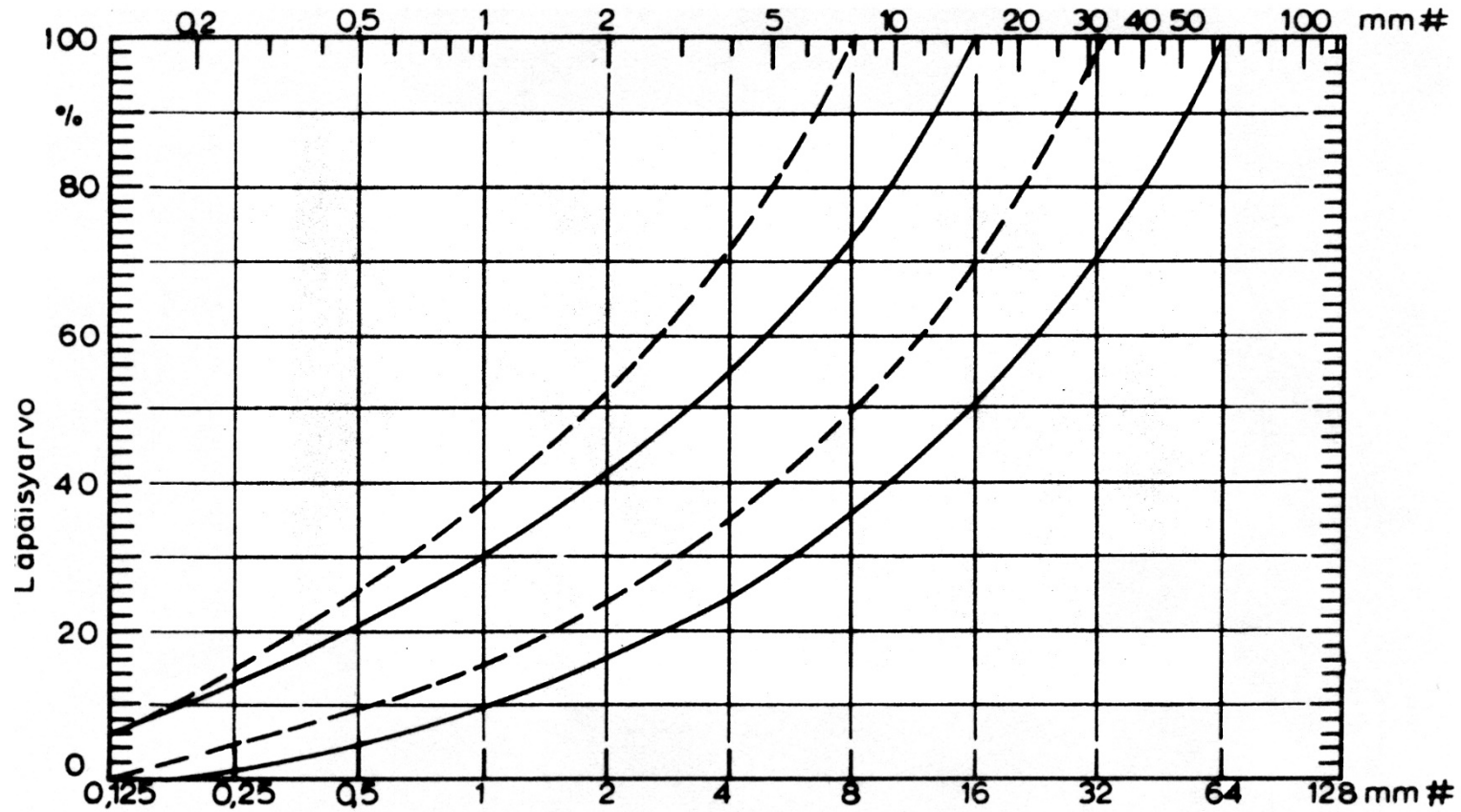
# Rakeisuus

Kiviaineksen suuren tilavuusosuuden saamiseksi tulee kiviaineksen olla hyvin pakkautuvaa, eli raekooltaan sellaista, että tiivistämisen jälkeen kiviainesrakeiden välissä on mahdollisimman vähän tyhjää tilaa



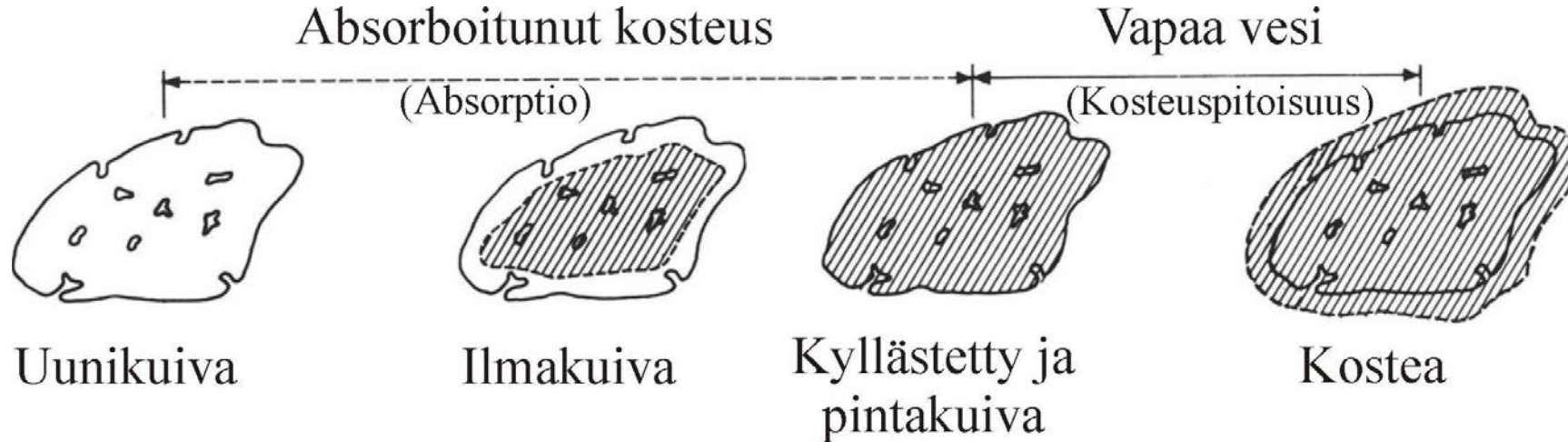


# Rakeisuusikäyrä

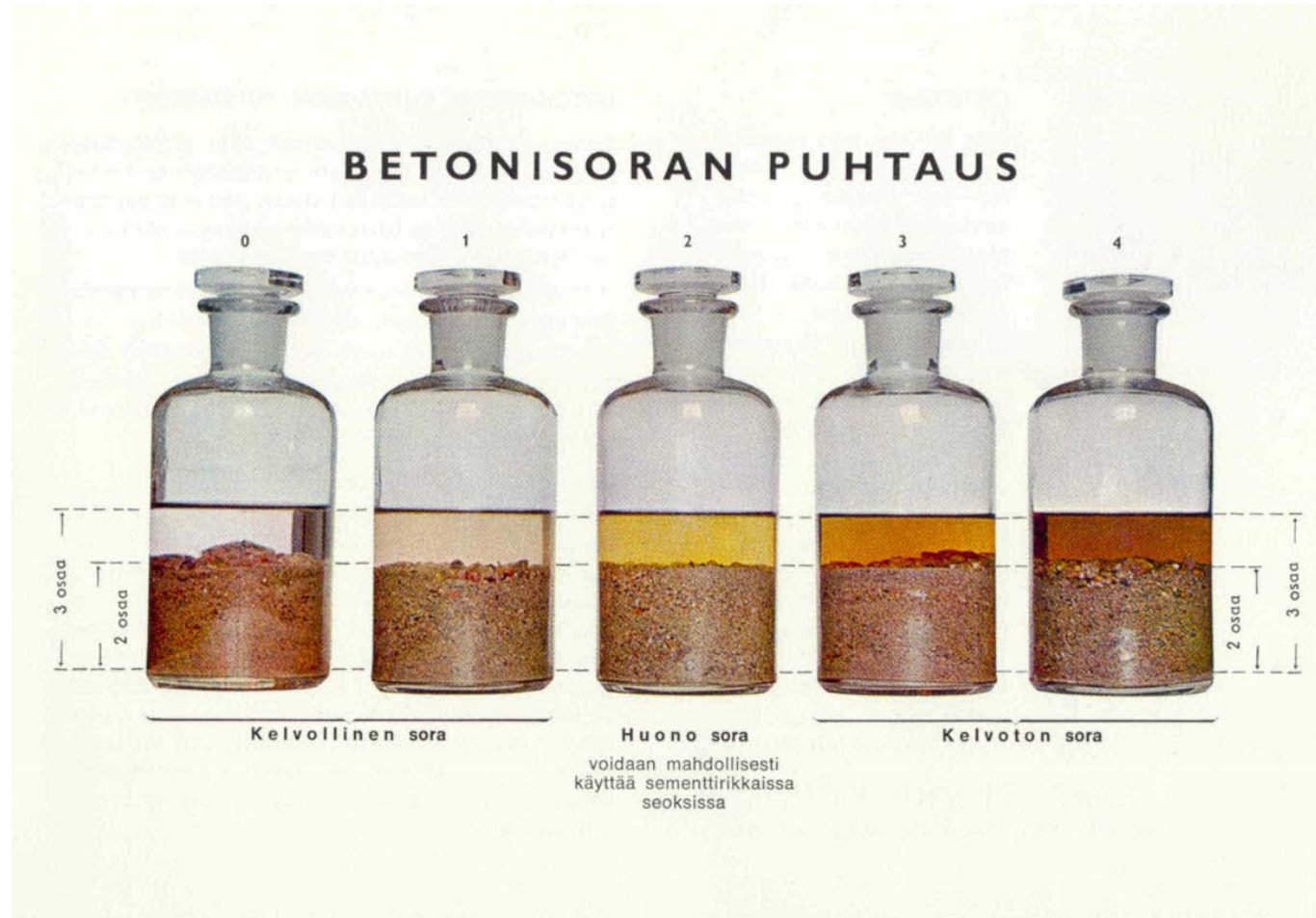


# Kiintotiheys ja vedenimeytyminen

Määritetään standardin SFS-EN 1097-6 mukaan



# Humuskoe natriumhydroksidiliuoksella



# Vesi

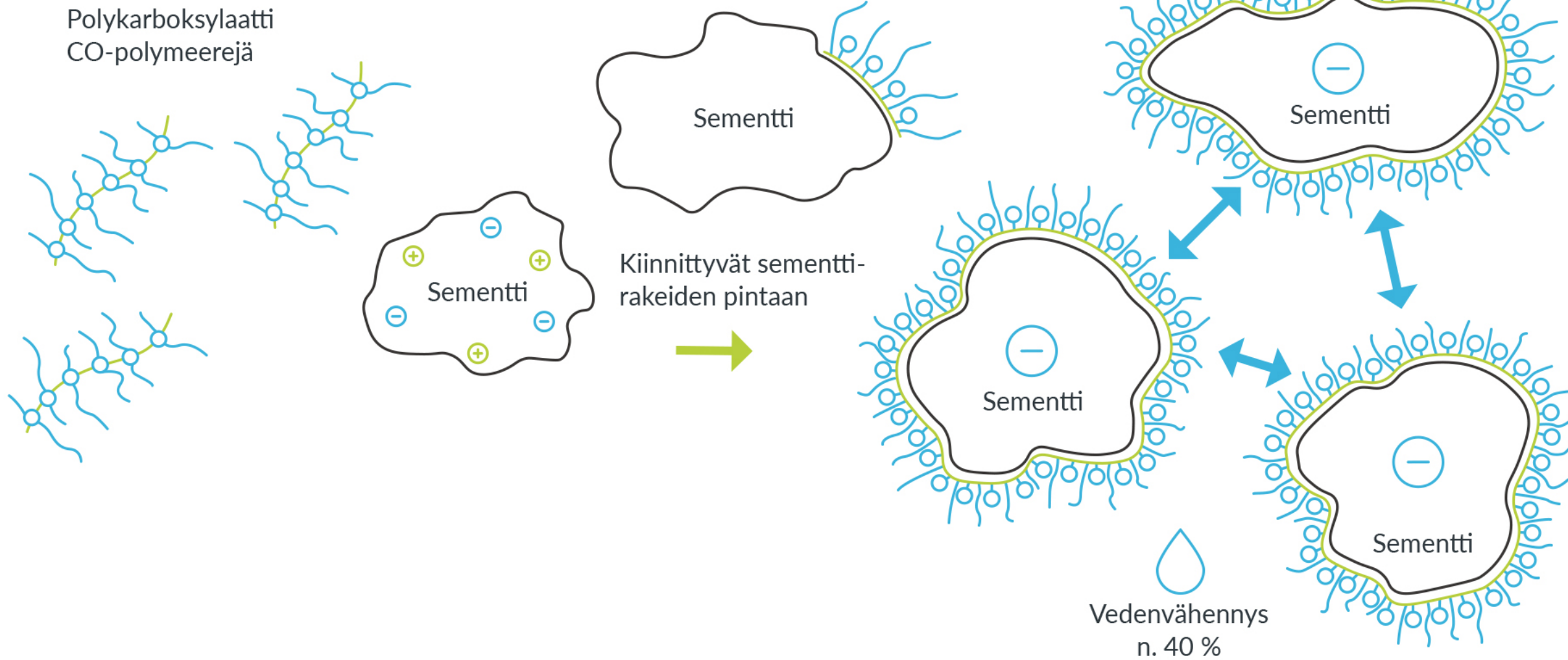


- Jos vesi näyttää puhtaalta eikä se haise tai maistu pahalta, sitä voi yleensä käyttää betonin valmistamiseen (talousvesi aina OK)
- Betoniteollisuuden kierrätysvesi, luonnon pinta- ja pohjavedet ja muun teollisuuden jätevedet soveltuu usein, mutta ne on aina testattava
- **Viemärivedet eivät sovellu koskaan betonin raaka-aineeksi**
- Betonointiin käytettävä vesi ei saa vaahdota eikä sisältää paljoa levää tai muita pieneliöitä

# Lisäaineet

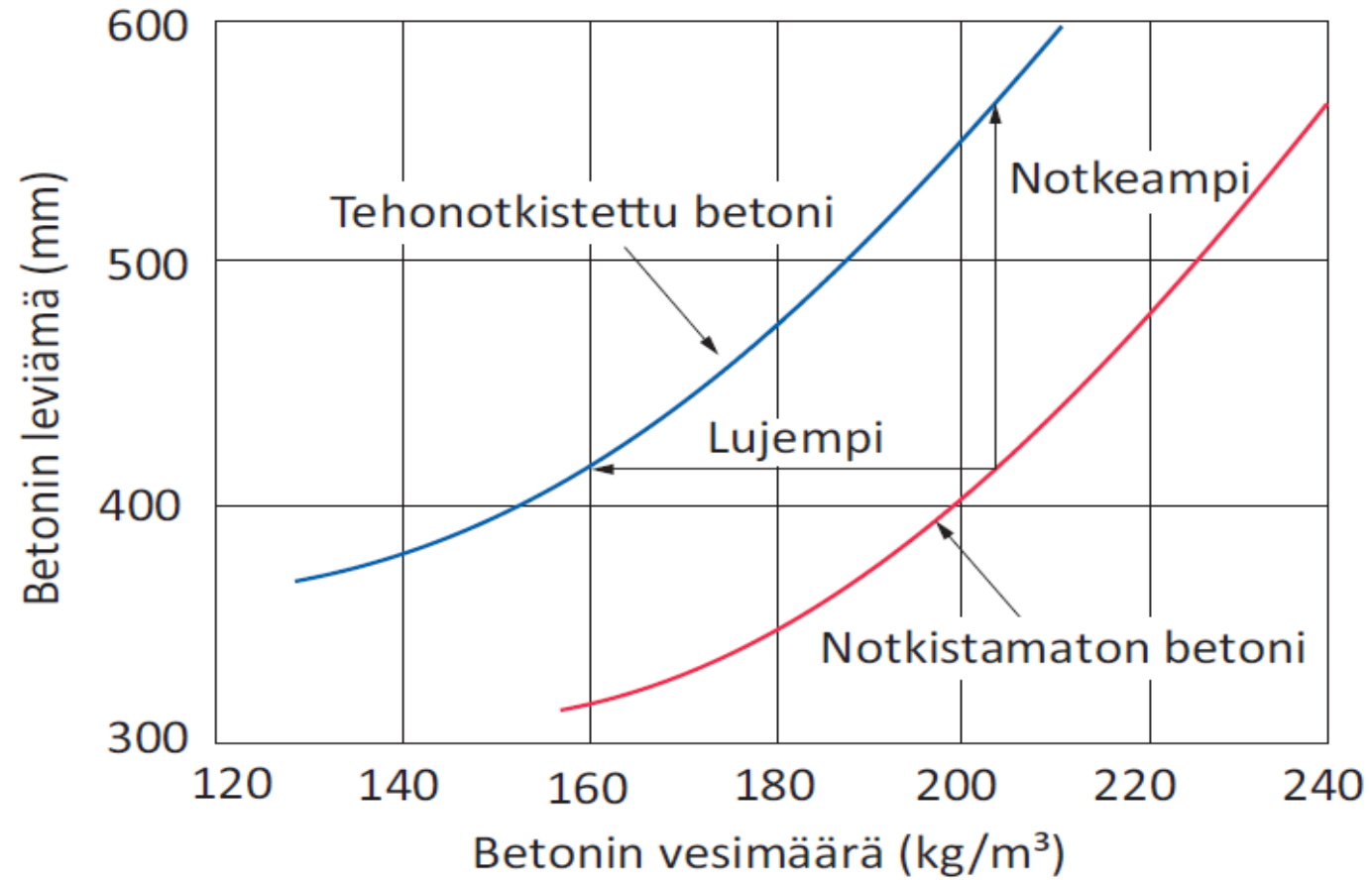
- ▶ Notkistimet
- ▶ Tehonotkistimet ja nesteyttimet
- ▶ Huokostimet
- ▶ Kiihdyttimet
- ▶ Hidastimet
- ▶ Tiivistysaineet
- ▶ Injektioaineet
- ▶ Muut





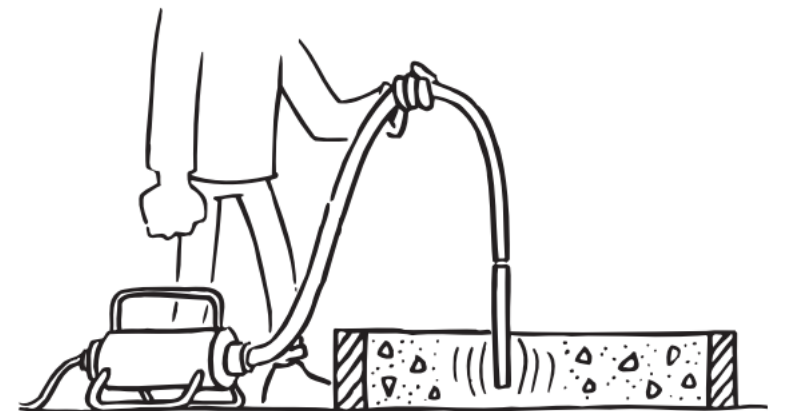
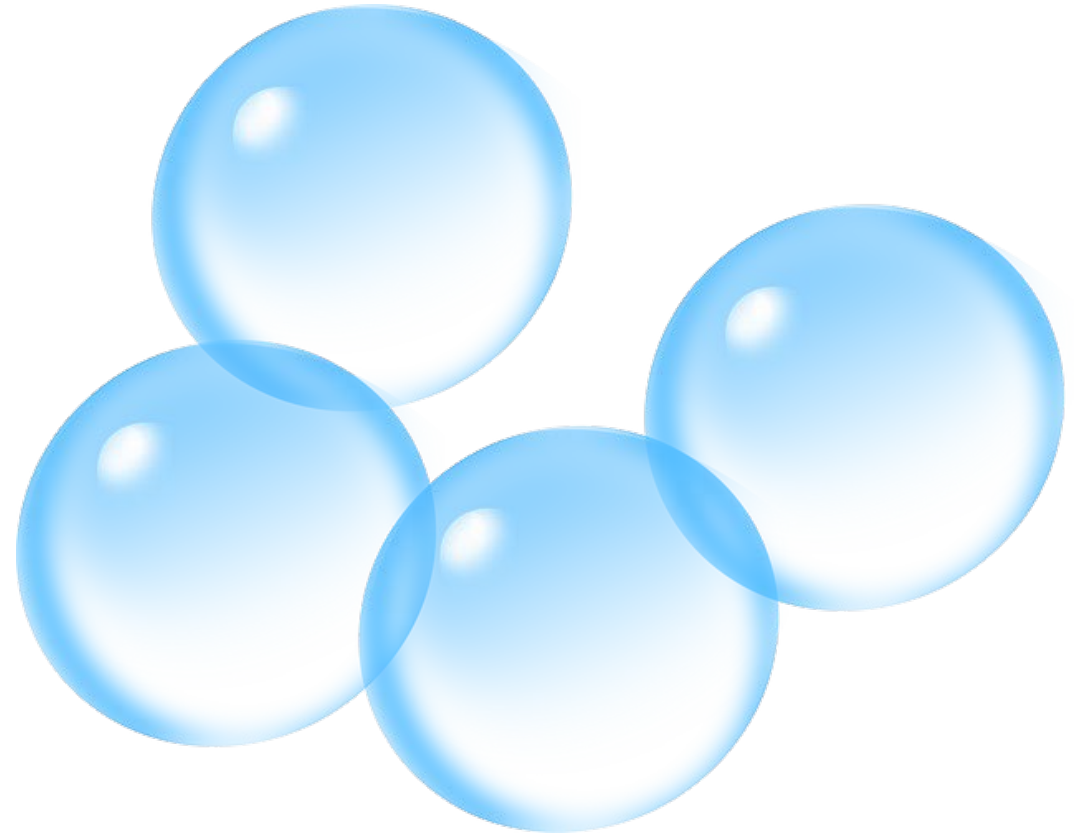
**Tehonotkistimen toiminta (polykarboksylaatit)**

# Tehonotkistimen käyttö



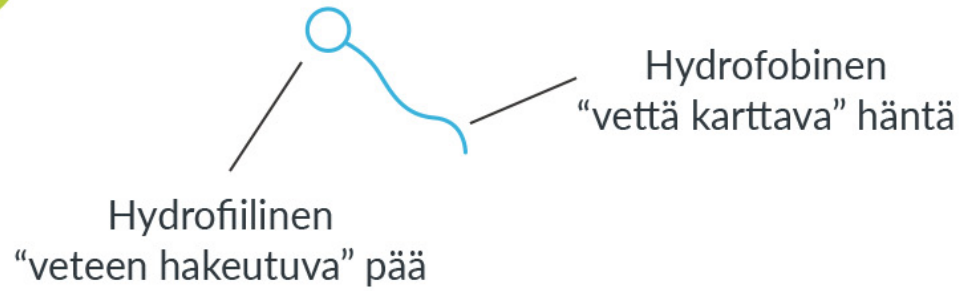
# Huokostimet

- ▶ Lisäävät betoniin pieniä ilmakuplia eli suojahuokosia
  - Ilmakuplat syntyvät betonia sekoitettaessa, huokostin pitää kuplat kasassa
  - Huomaa ero betoniin jääneen ilman ja huokostetun ilman välillä!
- ▶ Ilmakuplat ovat tasaisesti jakautuneet betoniin

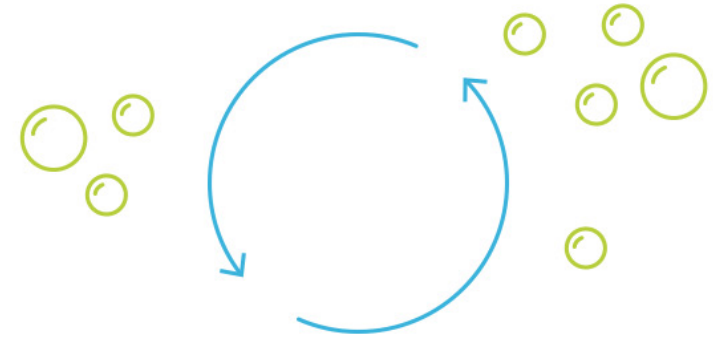




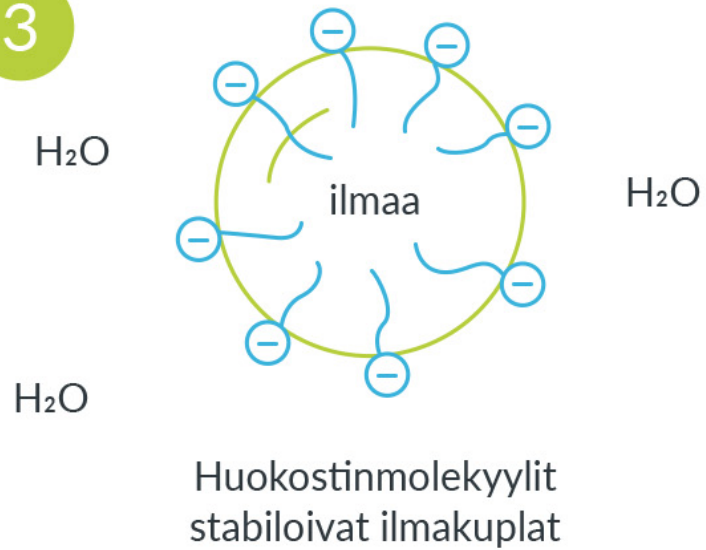
1



2



3

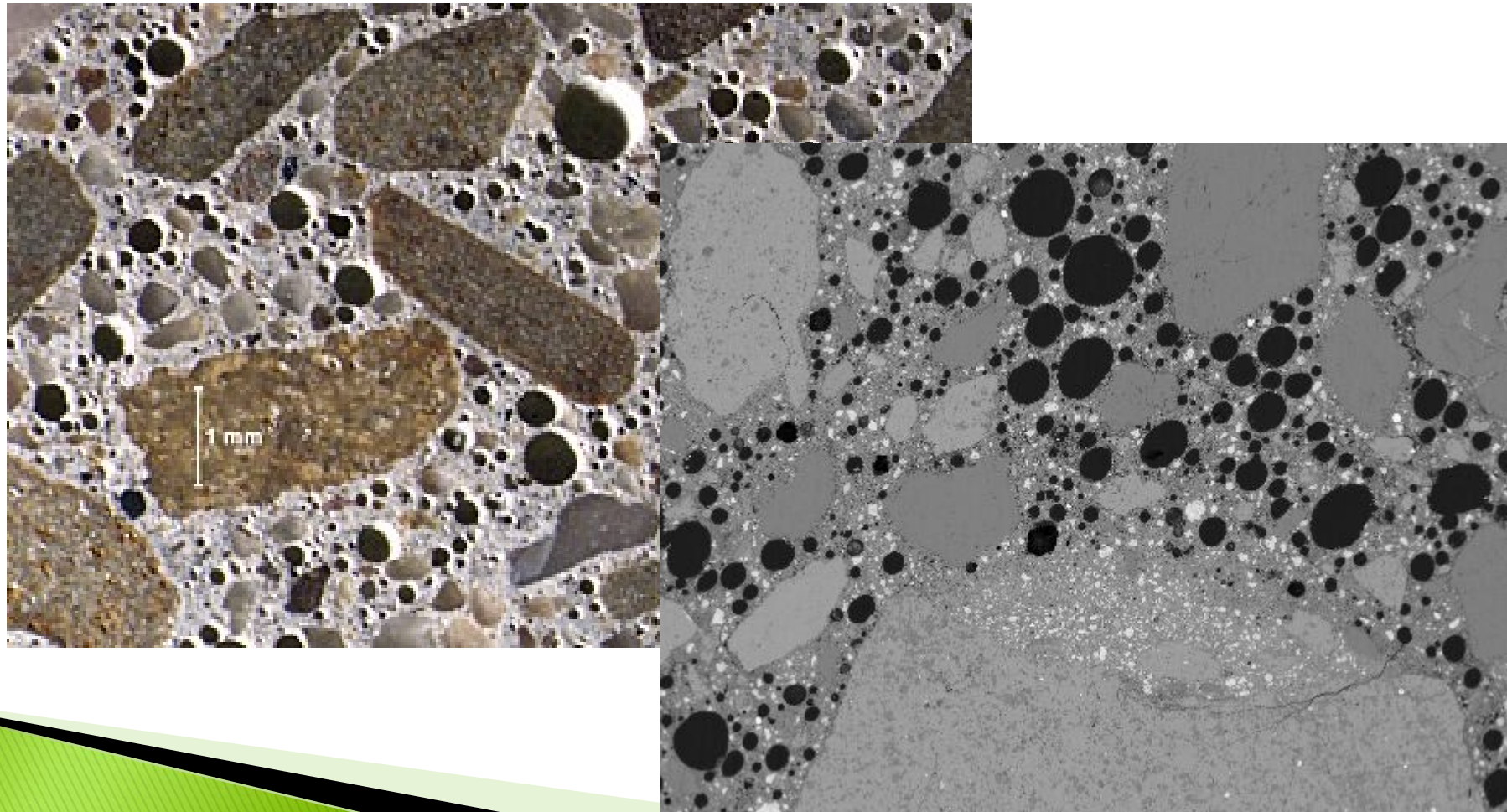


4



## Huokostimien toiminta

Huokostavia lisäaineita käyttämällä sementtikiveen saadaan syntymään läpimitaltaan noin 0,01...0,5 mm olevia suojahuokosia, jotka eivät kapillaarisen imun vaikutuksesta täyty vedellä.



# Betonin ominaisuudet ja vaatimukset

Kaikkea Suomessa valmistettavan betonin ja betonielementtien laatua valvotaan kolmannen osapuolen toimesta (yleisimmin Inspecta-Sertifiointi)

Betonin osalta tutkittavia ominaisuuksia ovat etenkin

- puristuslujuus
- notkeus
- pakkasenkestävyys

Rakenteiden tulee olla suunnitelmanmukaisia.

Tärkeä seikka on terästen suojabetonipeitteen paksuus.



# Betonin ominaisuudet

- ▶ Betonilla on kolme olomuotoa:
  - Plastinen
  - Kovettuva
  - Kovettunut

# Betonin ominaisuudet

- ▶ Betonilla on kolme olomuotoa:
  - Plastinen
  - Kovettuva
  - Kovettunut



# Betonin ominaisuudet

- ▶ Betonilla on kolme olomuotoa:
  - Plastinen
  - Kovettuva
  - Kovettunut



# Betonin ominaisuudet

- ▶ Betonilla on kolme olomuotoa:
  - Plastinen
  - Kovettuva
  - Kovettunut



# Betonin ominaisuudet

- ▶ Betonimassan, eli sementin, runkoaineen, veden ja mahdollisten lisäaineiden ennen kovettumistaan muodostaman seoksen, keskeinen ominaisuus on työstettävyys.
- ▶ Riittävä notkeus takaa hyvän työstettävyyden.
- ▶ Notkeus määritetään yleensä:
  - painumana
  - leviämänä tai
  - muodonmuutosaikana
- ▶ Lisäksi itsetiivistyvällä betonilla on omat notkeusluokitukset

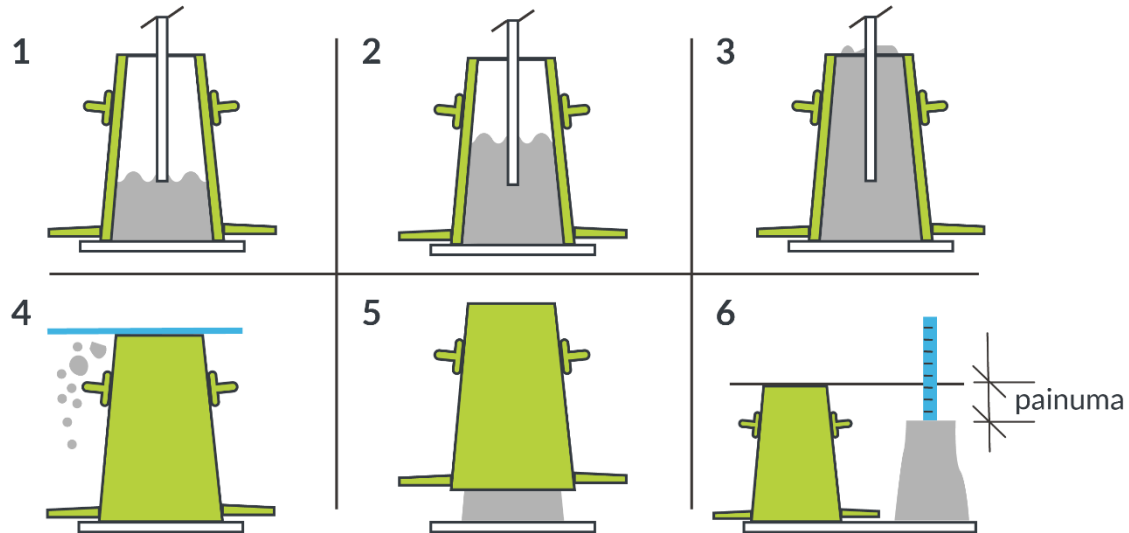


Luokka	Standardin SFS-EN 12350-2 mukaisesti määritetty painuma mm
S1	10...40
S2	50...90
S3	100...150
S4	160...210
S5 <sup>a)</sup>	≥ 220
Luokka	Standardin SFS-EN 12350-5 mukaisesti määritetty leviämä mm
F1 <sup>a)</sup>	≤ 340
F2	350...410
F3	420...480
F4	490...550
F5	560...620
F6 <sup>a)</sup>	≥ 630

<sup>a)</sup> Koska tiettyjen notkeusarvojen ulkopuolella testausmenetelmät eivät ole tarkkoja, suositellaan käytettäväksi muita menetelmiä.

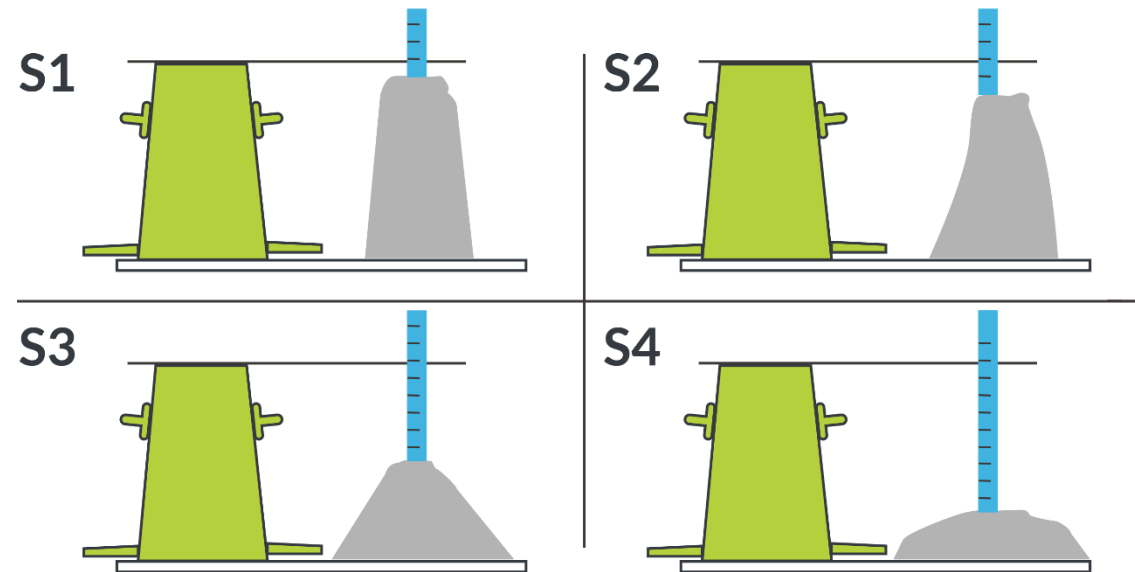
# Painumakoe

1. Täytetään 1/3 kartiosta betonilla ja tiivistetään sulloinsauvalla
2. Täytetään seuraava 1/3 kartiosta ja tiivistetään
3. Täytetään loput kartiosta (1/3) ja tiivistetään
4. Tasataan pinta
5. Nostetaan kartio varovasti ylöspäin
6. Mitataan massan painuma



Betonin notkeuden määrittäminen painumatestillä (SFS-EN 12350-2)

# Painumakoe



Eri notkeusluokan betoneja painumakokeessa

# Työstettävyys

Betonimassan työstettävyyteen vaikuttavat mm.

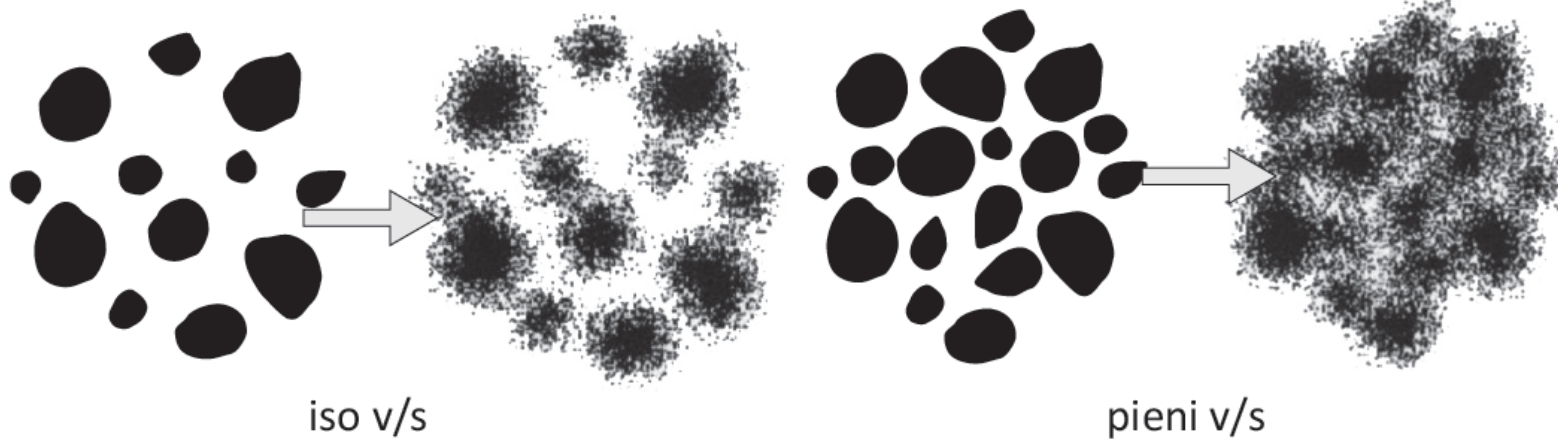
- Sementtipastan (eli sementti + vesi -seoksen) määrä
- Runkoaineen rakeisuus ja raemuoto
- Lisäaineiden käyttö

*Betonia ei tulisi notkistaa vain lisäämällä vettä, sillä se alentaa betonin lujuutta ja säilyvyyttä!*

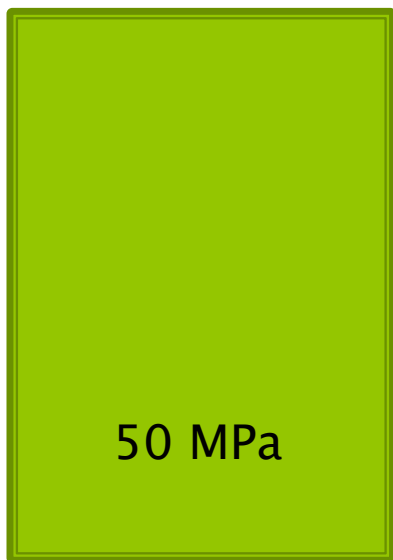


## Vesi/sementti -suhde (v/s)

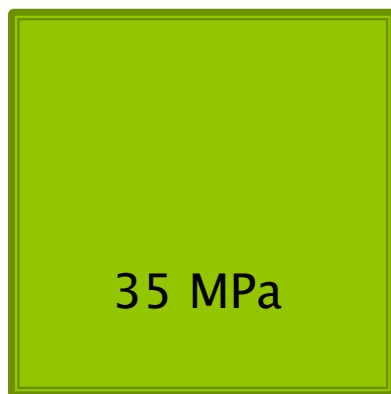
$$\frac{v}{s} = \frac{\text{Vesi}}{\text{Sementti}} \quad \text{esim.} \quad \frac{180 \text{ kg (litraa)}}{250 \text{ kg}} = 0,72$$



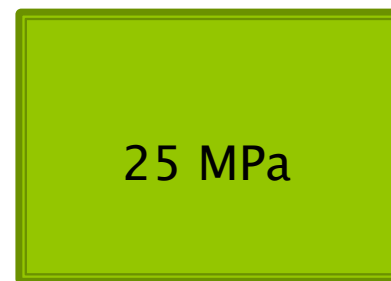
v/s suhde = 0,4



v/s suhde = 0,6



v/s suhde = 0,8



# Lujuus

Kovettuneen betonin ominaisuuksista lujuus on eniten seurattu.

Puhekielessä lujuus = puristuslujuus

Betonin luokitellaan nimellislujuutensa mukaan:

- esim. C30/37 = 30 MN/m<sup>2</sup> (MPa) lieriöllä määritettynä ja 37 MN/m<sup>2</sup> (MPa) 150 mm kuutiolla määritettynä

Myös muita lujuuksia mitataan ja vaaditaan, kuten esimerkiksi taivutus- tai halkaisulujuuksia



# Lujuusluokat

Lujuusluokka mukaan	Alin 150 mm x 300 mm lie-riöllä määrätty ominaislujuus (C) $f_{ck,cyl}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Alin 150 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus (K) $f_{ck,cube}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Alin 100 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus $f_{ck,cube}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
C12/15	12	15	15,5
C16/20	16	20	20,6
C20/25	20	25	25,8
C25/30	25	30	30,9
C30/37	30	37	38,1
C35/45	35	45	46,4
C40/50	40	50	51,5
C45/55	45	55	56,6
C50/60	50	60	61,8
C55/67	55	67	69,0
C60/75	60	75	77,2
C70/85	70	85	87,6
C80/95	80	95	97,8
C90/105	90	105	108,2



# Lujuus

Betoni kestää puristusta hyvin.

Perusbetonista (C25/30) voitaisiin puristuslujuuden perusteella tehdä yli kilometrin korkuinen tasapaksu torni.

Betonilla on huono vetolujuus.

Kuorma-auton pyörä riittää katkaisemaan lujan epätasaisesti tuetun laatan helposti.

Tämän vuoksi betoni joudutaan yleensä raudoittamaan



# Puristuslujuuden valvonta

Vaatimukset on annettu

- yksittäiselle koetulokselle
- jokaiselle betonilaadulle (ns. jäsenelle)
- ko. betonityypin koko tuotannolle  
("betoniperheelle")



# Lujuus valetuista koekappaleista by 65:n mukaan

Betonin puristuslujuus  
normikokein betoniperheittäin

Betonin vaatimustenmukaisuuden  
osoittamista varten betonin valmistaja  
muodostaa tuotannostaan  
betoniperheitä. Betoniperhe koostuu  
perheenjäsenistä eli eri  
betonikoostumuksista



# Lujuus valetuista koekappaleista by 65:n mukaan

Betonin puristuslujuus  
normikokein betoniperheittäin

Yhdeksi perheenjäseneksi katsotaan  
betonikoostumus, jonka ominaisuuksia,  
kuten tavoitelujuutta ja -notkeutta,  
pyritään pitämään mahdollisimman  
vakiona arvostelujakson ajan.

Betoniperheen muodostaminen tehdään  
tehdaskohtaisesti





### **Perhe 1** Normaalisti kovettuva rakennebetoni

Arvosteluikä 28 vuorokautta

Sideaine: PLUS –sementti

Lujuusluokat C20/25 ... C50/60

Kiviaineksen ylänimellisraja 8...32 mm

Notkeusluokat S1...S4



### **Perhe 2** Hitaasti kovettuva betoni

Arvosteluikä 91 vuorokautta

Sideaine: Kolmossementti + masuunikuona

Lujuusluokat C30/37 ... C50/60

Kiviaineksen ylänimellisraja 16...32 mm

Notkeusluokat S1...S4



### **Perhe 3** Normaalisti kovettuva IT-betoni

Arvosteluikä 28 vuorokautta

Sideaine: Rapid –sementti + lentotuhka

Lujuusluokat C30/37 ... C50/60

Kiviaineksen ylänimellisraja 8...32 mm

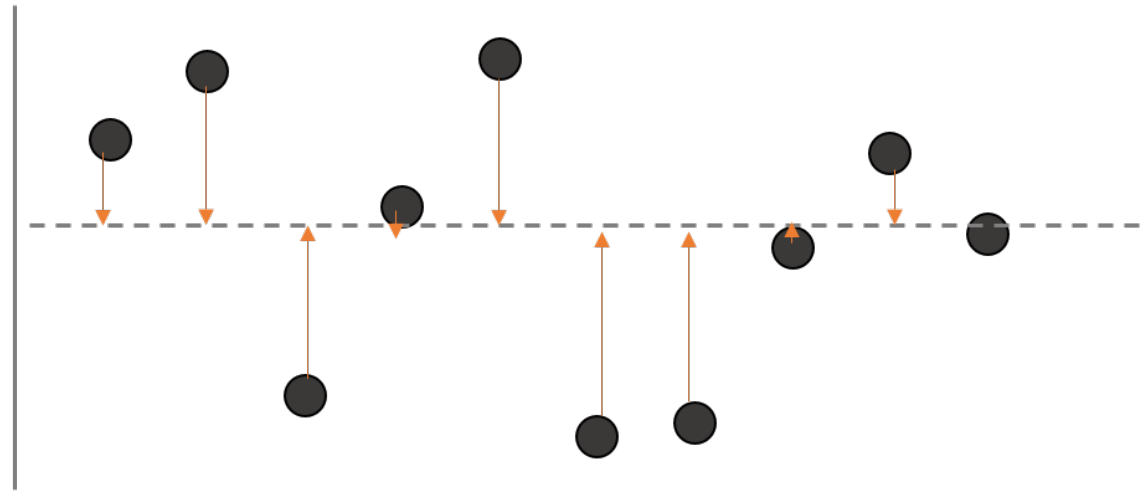
Samaan  
betoniperheeseen  
voidaan sijoittaa

betonireseptejä, joiden

- sementtilaji on sama
- kiviainekset ovat toiminnallisilta ominaisuuksiltaan samankaltaisia
- seosaine(et) on sama
- lisäaineet eivät merkittävästi vaikuta lujuuteen
- arvosteluikä on sama
- lujuusluokat eivät liiaksi poikkea toisistaan

# Miksi betoniperheitä käytetään?

Betoniperheen käytöllä on tarkoitus tehostaa betonin valmistuksen laadunvalvontaa. Siksi on tärkeää, että yhdessä betoniperheessä tapahtuvat laatumuutokset ovat riippuvaisia mahdollisimman harvoista tekijöistä. Näin perheen tulosten *hajonta* on mahdollisimman pieni ja mahdollisten muutosten syyt voidaan tunnistaa.

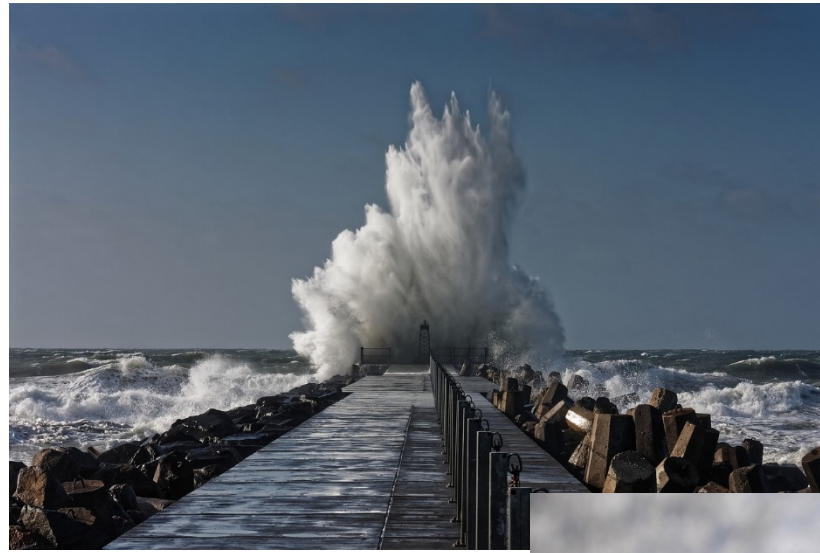


# Säilyvyys

Mekaanisten kuormien lisäksi, betoni joutuu myös ympäristörasituksille alttiiksi.

Suomessa merkittävät betonin elinikää rajoittavat rasitukset johtuvat

- pakkasesta
- ilman hiilidioksidin ja sementin hydrataatiotuotteiden välisistä reaktioista, jotka johtavat betoniterästen ruostumiseen



# Pakkasrasitus



Betonissa syntyy pakkasvaurioita, kun huokosissa oleva vesi jäätyy. Koska jään tilavuus on vettä suurempi, synnyttää jäätyvä vesi painetta, joka rikkoo ympäröivää betonia.

Betonin valmistamisessa käytetty vesi on kovettuneessa betonissa kolmessa eri muodossa:

- kemiallisesti sitoutuneena sementtiin
- geelihuokosissa
- kapillaarihuokosissa



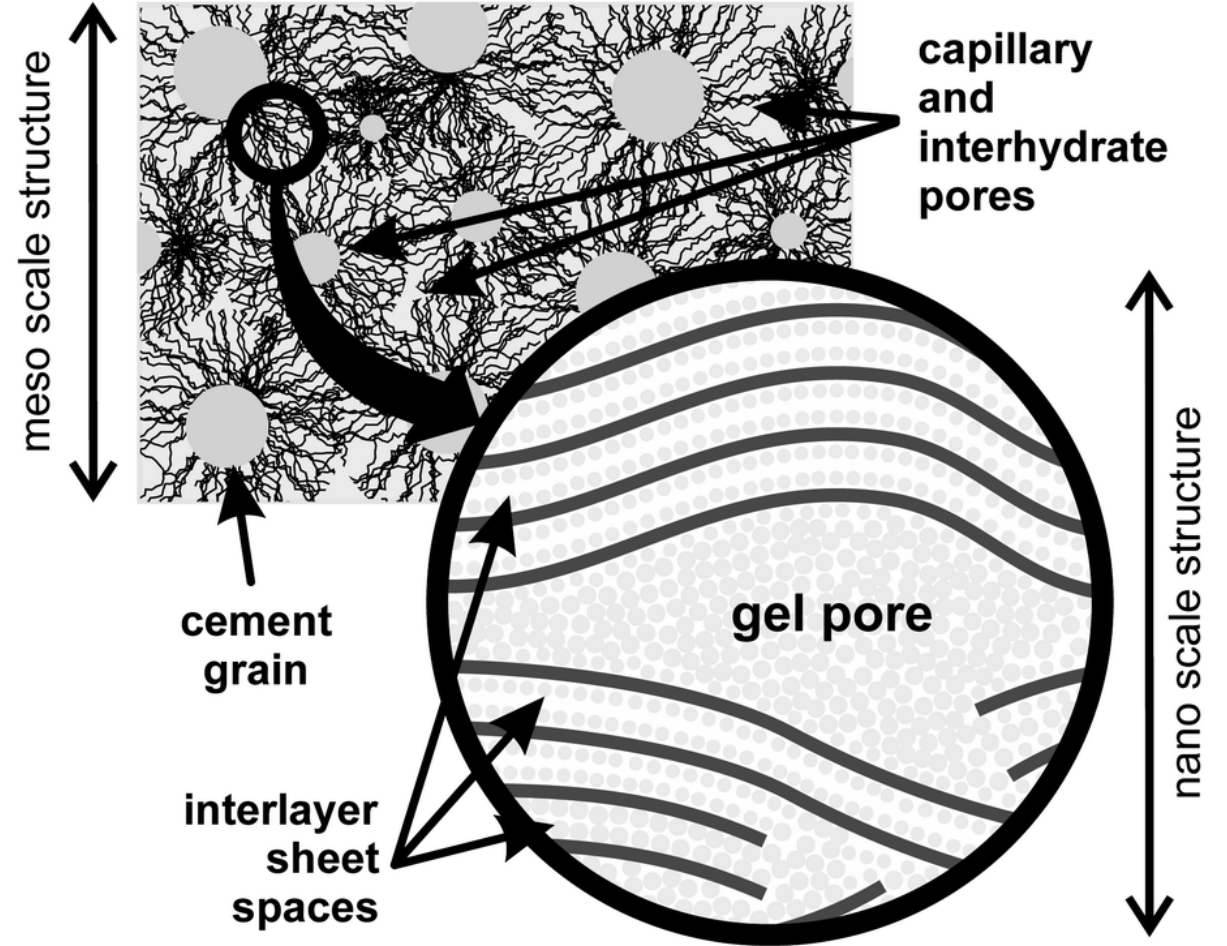


# Geelihuokokset

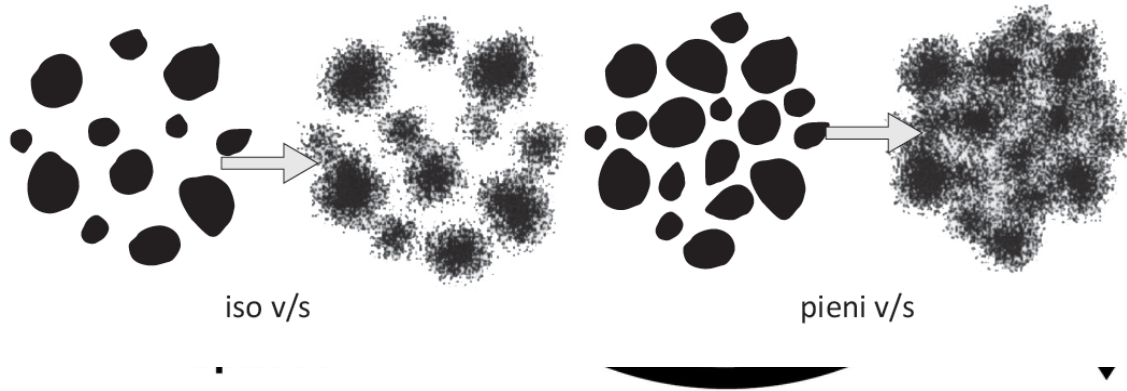
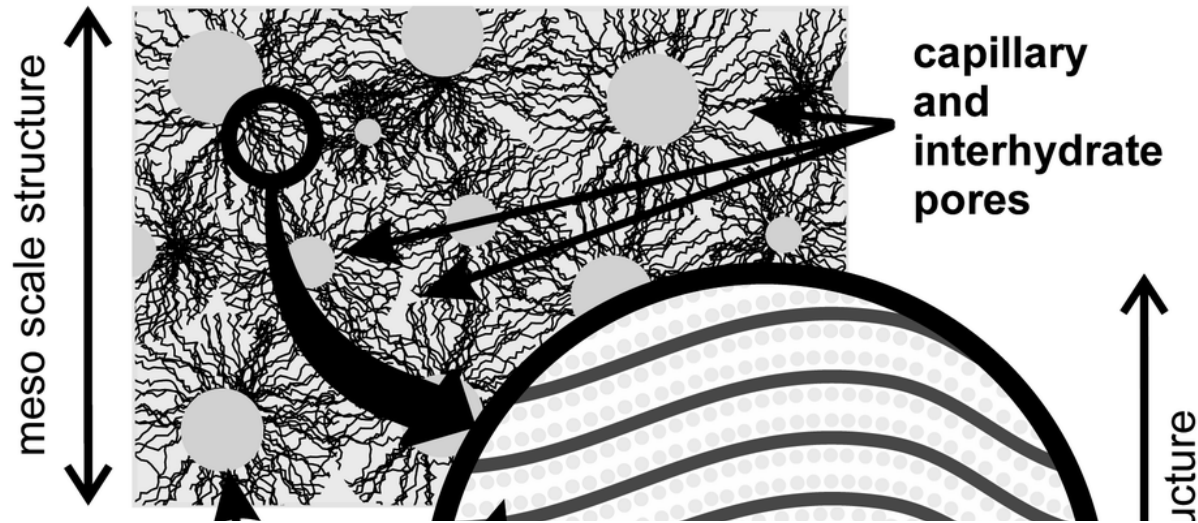
Geelihuokosia syntyy hydrataation sivutuotteena. Niiden tilavuus koko sementtigeelin tilavuudesta on noin neljännes.

Geelihuokokset ovat kooltaan erittäin pieniä, läpimitaltaan vain noin 0,1...5 nm. Geelihuokokset ovat normaaliolosuhteissa aina veden täyttämiä.

- Siitä huolimatta ne ovat pakkasenkestävyyden kannalta ongelmattomia, sillä niissä esiintyvä vesi ei huokoskoon pienuuden vuoksi yleensä jäädy normaaleissa ulko-olosuhteissa.



# Kapillaarihuokokset



Sementti tarvitsee täydelliseen hydrataatioon noin 45% painostaan vettä, eli

- 25% kemiallisesti sitoutuneena
- 20% geelihuokosten täytteeksi

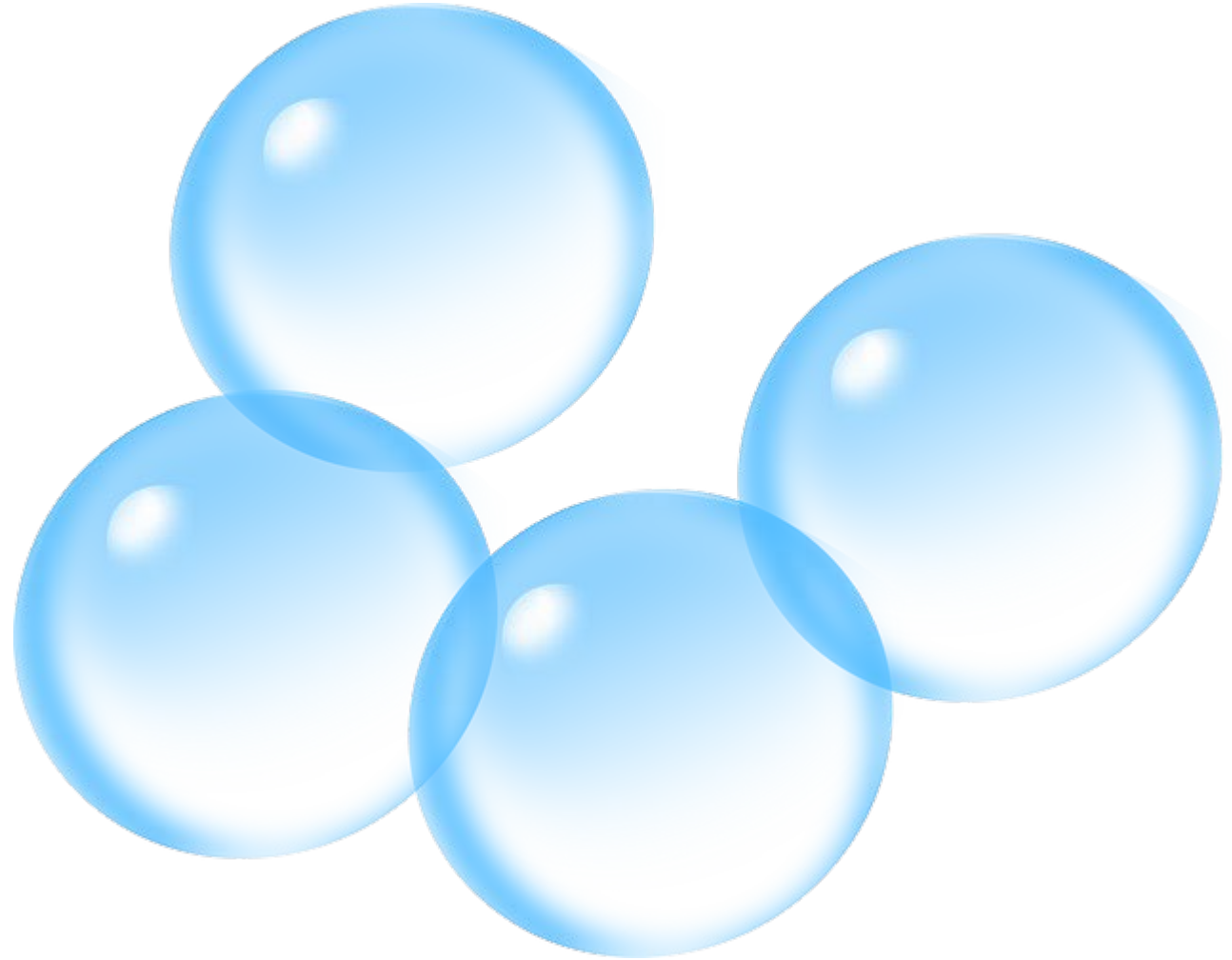
Loput sekoitusvedestä muodostavat kapillaarihuokosia.

Korkea vesi-sementtisuhte saa aikaan betonissa suuren kapillaarihuokoisuuden.

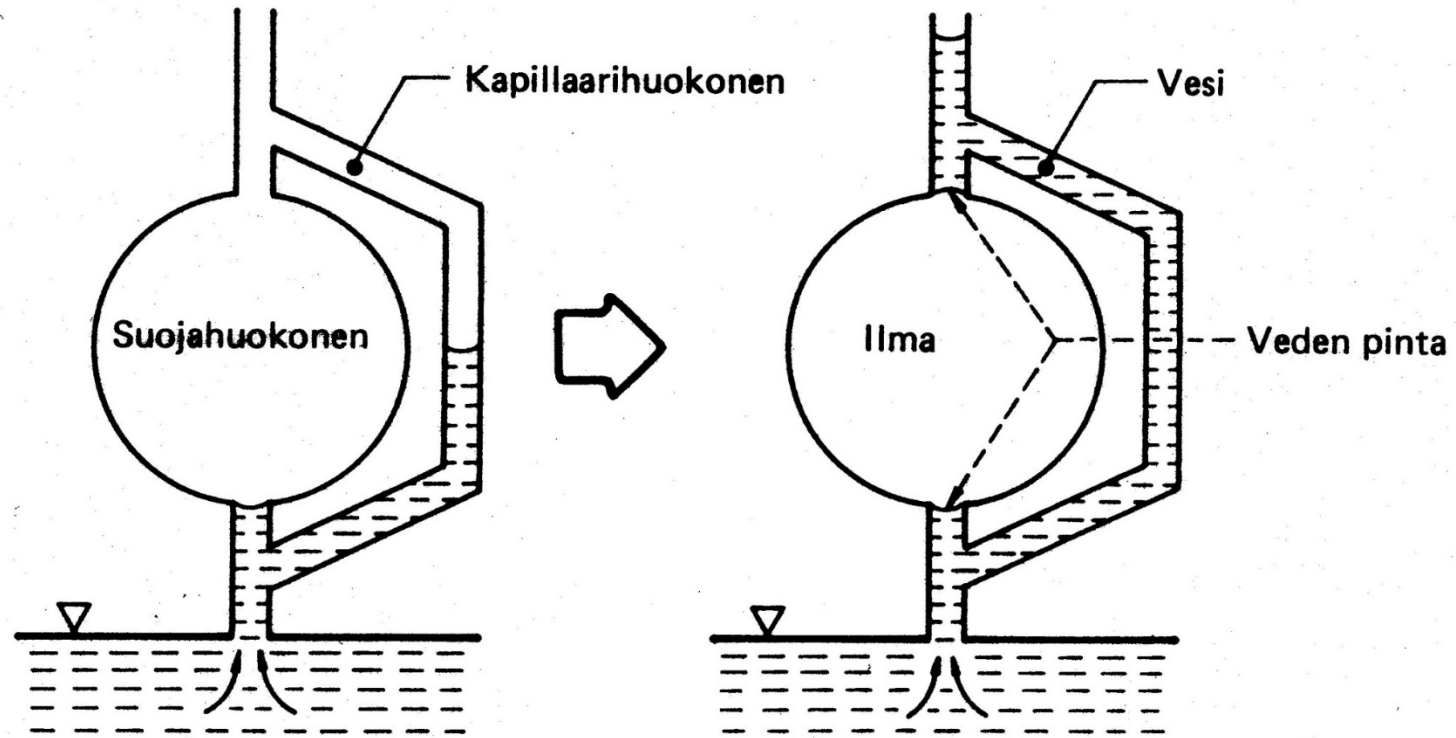
# Betonin pakkasenkestävyyden parantaminen

Tehokkain tapa vaikuttaa betonin pakkasenkestävyyteen on betonin lisähuokostaminen.

Näihin täyttymättömiin ilmahuokostiloihin kapillaarihuokosissa olevan veden jäätyessä syntyneiden jääkiteiden kasvun aiheuttama paine pääsee purkautumaan.



# Suojahuokosten toiminta



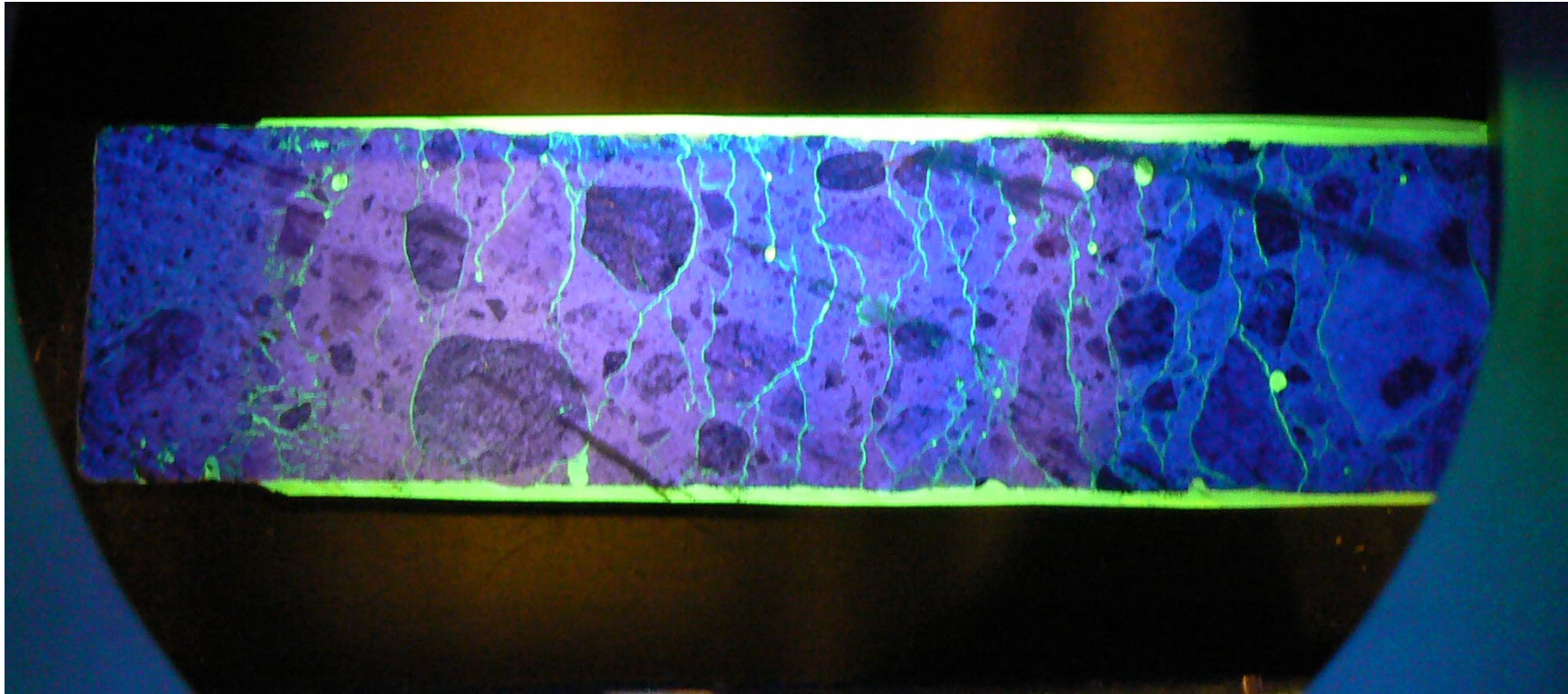
# Pakkasrapauma



# Pakkas- suolarapauma



# Pakkasvaurio uv-valossa



# Pakkasenkestävyys

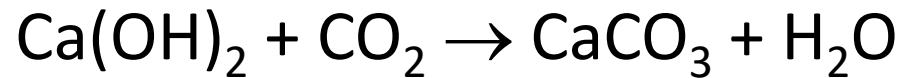
Pakkasenkestävyys todetaan seuraavasti:

1. Muodostetaan samantapaisista betoneista arvosteluerä
2. Betonille tehdään ennakkokokeet
3. Laatu valvotaan tuotannon aikana
4. Määräajoin tehdään tasokokeet



# Karbonatisoituminen

Sementtikiven karbonatisoituminen voidaan yksinkertaisesti esittää reaktioyhtälöllä:



Näin emäksinen kalsiumhydroksidi muuttuu neutraaliksi kalsiumkarbonaatiksi.

Ilman hiilidioksidipitoisuus on noin 0,3 ‰

# Karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen

Karbonatisoitumisnopeuteen vaikuttaa merkittävästi

- Betonin tiiveys
- Betonin kosteustila



Kuva: Ositum

# Karbonatisoitumisnopeus

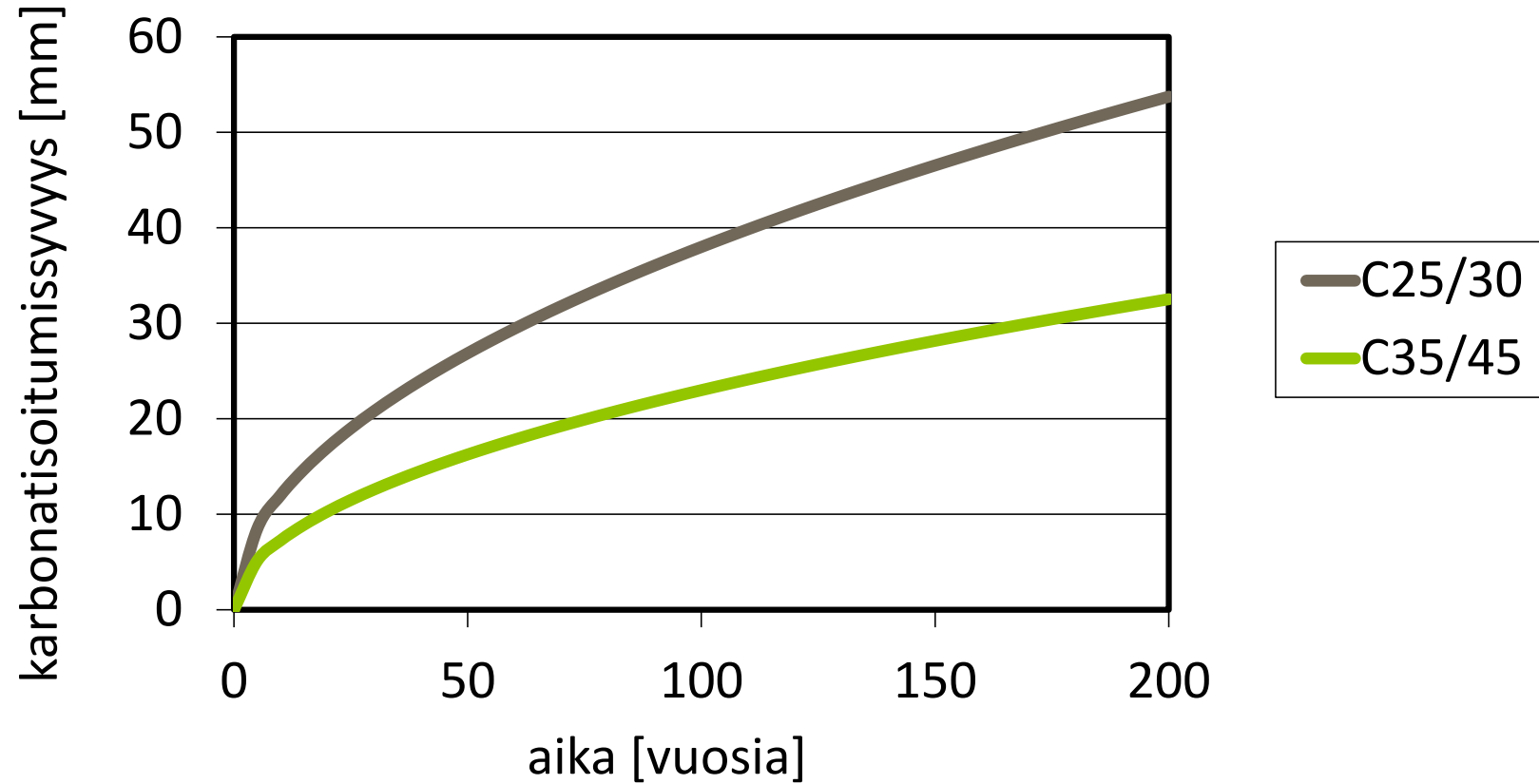
Betonin tiiveyttä kuvaa parhaiten vesisementtisuuhde, (käytännöllisistä seikoista johtuen normeissa käytetään mittarina kuitenkin lujuutta)

Karbonisoituminen on nopeaa silloin, kun kapillaarihuokokset ovat ilmatäytteisiä, eli käytännössä sateelta suojassa olevissa rakenteissa.

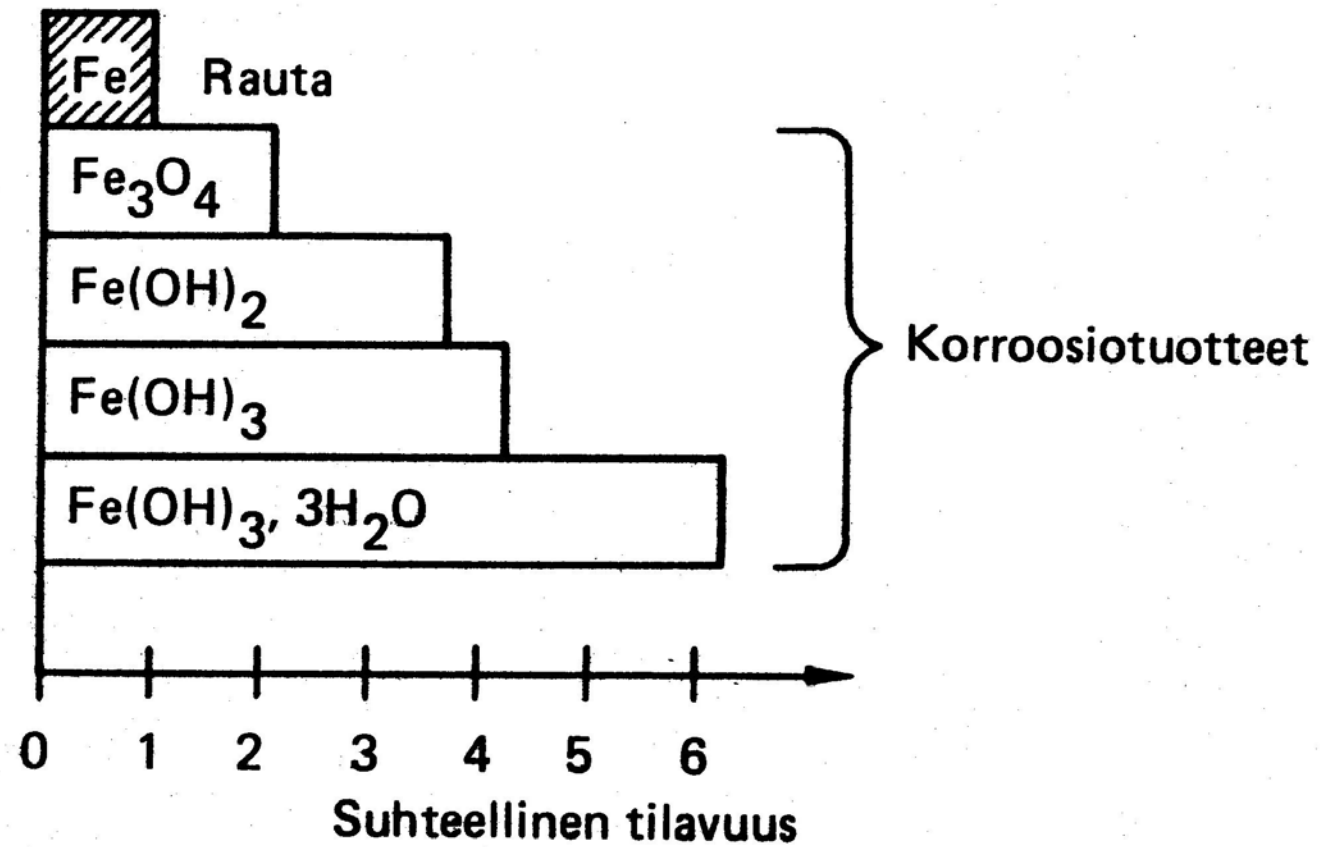
Nopeimmillaan karbonisoituminen on noin 50% suhteellisessa kosteudessa.



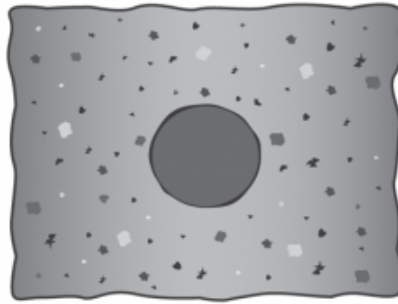
# Karbonatisoitumissyvyys vs. aika



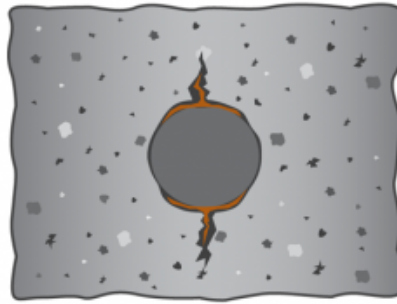
# Korroosiotuotteet



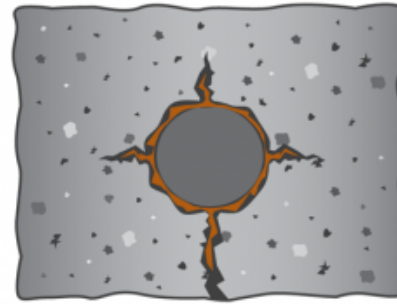
# Korroosion eteneminen



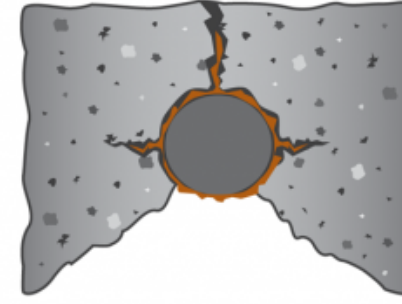
ALKUTILANNE



KORROOSIO-  
TUOTTEITA ALKAA  
MUODOSTUA



KORROOSIO ETENEE.  
PINTAAN MUODOSTUU  
HALKEAMIA JA  
RUOSTETAHROJA



LOPULTA PINTA  
LOHKEAA IRTI JA  
RAUDOITUSTANKO  
PALJASTUU

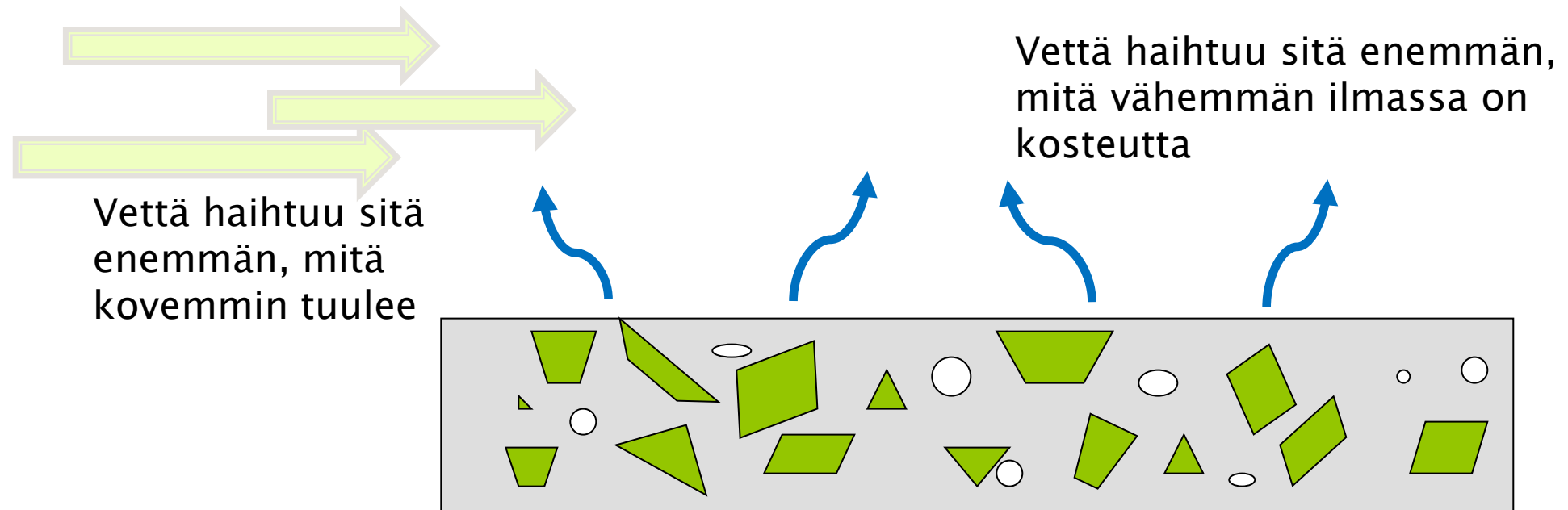
# Vesi valun jälkeen

- ▶ Betonin kovettuminen perustuu sementin ja veden reaktioon, siksi on tärkeää, että betoni ei valun jälkeen kuivu, vaan pidetään kosteana = **jälkihoito**
- ▶ Vaadittava jälkihoitoaika riippuu betonin lämpötilasta ja betonille asetettavista vaatimuksista.
- ▶ *Erityisen vahingollista on, mikäli vesi haihtuu betonin pinnalta betonin ollessa vielä plastisessa tilassa!*

# Plastinen kutistumahalkeilu

Määritelmä:

Plastinen kutistumahalkeilu alkaa, kun tuoreen betonimassan pinnalta haihtuu enemmän vettä kuin betonista erottuu



Vettä haihtuu sitä enemmän, mitä **lämpimämpää** betoni on





# Suuret vesimäärät

Liian suuri vesimäärä betonin valmistamisessa johtaa usein rakenteen halkeiluun:

- kuivumiskutistuma
- massiivisten rakenteiden lämmönkehityksestä, koska vesimäärän kasvaessa myös sementtiä on lisättävä betonimassaan lujuuden säilyttämiseksi

# Kuivumiskutistuma

Kuivumiskutistuma on seurausta ylimääräisen veden haihtumisesta kovettuneesta betonista.

Kutistuma on sitä suurempi mitä enemmän betonin valmistamiseen on käytetty vettä

Suuret kutistumat johtavat betonin halkeiluun



**KIITOS!**  
**Kysymyksiä?**

Kuva: Schwenk