

Betonin kiviainekset

Kiviaineksen geometriset, mekaaniset, fysikaaliset
ja kemialliset ominaisuudet ja niiden testaus
Kiviaineksen valmistus, varastointi, kuormaus, ja
kuljetuskalusto

Betonilaborantti- ja myllärikurssi,
9.1.2024

Kim Johansson

Erityisasiantuntija , DI

Suomen Betoniyhdistys ry



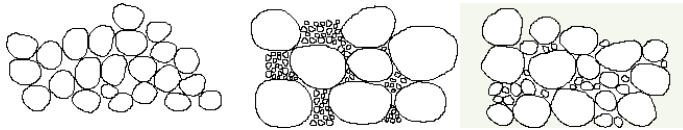
Yleistä

- ▶ Kiviaines muodostaa 60 – 70 % betonin tilavuudesta
- ▶ Kiviaineksen laatu ja ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi tuoreen ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin ja ilman hyvälaatuista kiviainesta on hyvin vaikea valmistaa hyvää laadukasta betonia
- ▶ Huono kiviaines kasvattaa yleensä betonin vedentarvetta
 - Sementin määrää joudutaan lisäämään verrattuna hyvään kiviainekseen samalla lujuustasolla
 - Kutistuma kasvaa
 - Pakkasenkestävyys voi heikentyä

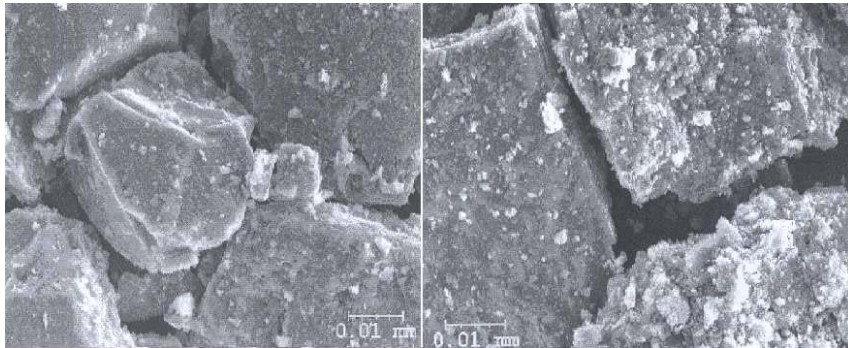


Kiviainesominaisuuksien vaikutus betoniin

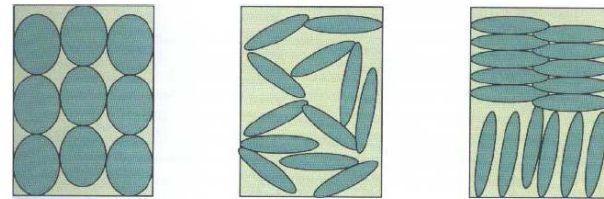
- Rakeisuuden vaikutus



- Hienoaineksen laadun vaikutus



- Raemuodon vaikutus



- Lietteen ja humuksen vaikutus
- Vedenimun ja kiintotiheyden vaikutus
- **Tärkein ominaisuus silti tasalaatuisuus! Laatu on tasalaatuisuutta.**

Ohjeet ja CE-merkintä

- Kiviainesten CE-merkintä on tullut Euroopassa pakolliseksi EU:n rakennustuoteasetuksen astumisen siirtymäajan päätyttyä 1.7.2013
- CE-merkintä tehdään harmonisoidun standardin SFS-EN 12620 ja SFS 7003 soveltamisstandardin perusteella
- Vain markkinoille saatettu (ulos myytävä) kiviaines tulee CE-merkitä
- BY 43 Betonin kiviaines sisältää laatuvaatimukset betoniin käytettävälle kiviainekselle ja standardeja SFS-EN 12620 ja SFS 7003 tarkentavat ohjeet kiviaineksen jatkuvalla laadunvalvonnalle

Tuotelajitteiden luokittelu ja nimeäminen

Taulukko 3.1. Kiviainestuotteiden luokittelu raekoon mukaan.

Tuote	Raekoko
Karkea kiviaines	$d < 4 \text{ mm}$ ja $D < 90 \text{ mm}$
Koostekiviaines ^{*)}	$d = 0$ ja $D > 4 \text{ mm}$
Hieno kiviaines	$d = 0$ ja $D \leq 4 \text{ mm}$
Fillerikiviaines	$D < 0,063 \text{ mm}$
Luonnon lajittama	0/8 mm

^{*)} Standardin SFS-EN 12620 mukaista koostekiviainesta, jonka raekoko on yli 0/8 mm, saa käyttää vain betoneissa, joiden puristuslujuusluokka $\leq C12/15$.

Kiviaineksen laadunvalvonta

Laadunvalvonta voidaan toteuttaa seuraavin järjestelyin.

- Tuote on CE-merkitty. CE-merkinnällä on tarkoitus varmentaa viranomaisvaatimusten täyttyminen. Kiviainestoimittaja vastaa laadunvalvonnasta
- Betonintekijä käyttää omaa kiviainesta, jota ei toimiteta muille. Tällöin betonin valmistaja vastaa tuotteen laadusta kolmannen osapuolen, esimerkiksi Inspecta-Sertifionti Oy:n, valvonnassa

Kiviaineksen ominaisuudet

- ▶ Geometriset ominaisuudet
 - Rakeisuus, raemuoto, hienoainesmäärä ja hienoaineksen laatu
- ▶ Mekaaniset ominaisuudet
 - Kiintotiheys, vedenimeytyminen (absorptio), kulumis- ja iskunkestävyys, pakkasenkestävyys
- ▶ Fysikaaliset ominaisuudet
- ▶ Kemialliset ominaisuudet

Rakeisuusvaatimukset

Taulukko 3.3. Kiviainestuotteiden yleiset rakeisuusvaatimukset.

Kiviaines	Koko [mm]	Läpäisyprosentti [massa-%]					Luokka
		2D	1,4D ^{1;2)}	D	d ²⁾	d/2 ^{1;2)}	
Karkea kiviaines	D/d ≤ 2 tai D ≤ 11,2 ³⁾	100	98...100	85...99	0...20	0...5	G _C 85/20
		100	98...100	80...99	0...20	0...5	G _C 80/20
	D/d > 2 ja D > 11,2 ⁴⁾	100	98...100	90...99	0...15	0...5	G _C 90/15
Hieno kiviaines	d = 0 ja D ≤ 4	100	95...100	85...99	–	–	G _F 85
Luonnon lajittama 0/8	d = 0 ja D = 8	100	98...100	90...99	–	–	G _{NG} 90
Koostekiviaines	d = 0 ja D > 4	100	98...100	85...99	–	–	GA ₈₅
		100	98...100	90...99	–	–	GA ₉₀

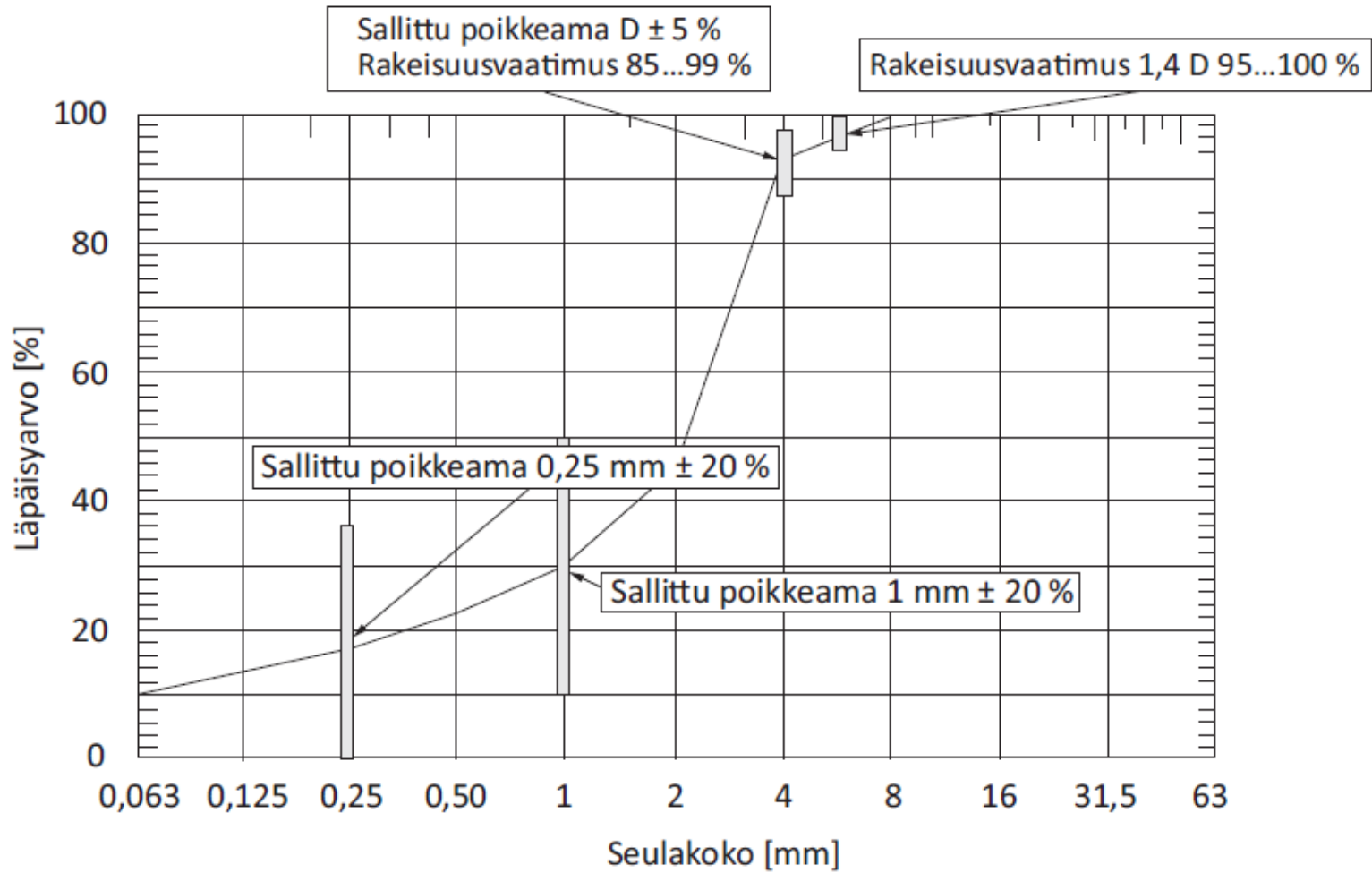
1) Milloin seulat 1,4D ja d/2 eivät ole ISO 565:1990 R20:n mukaisia seulakokoja, valitaan seuloiksi niitä lähinnä olevat seulakoot.

2) Epäjatkuvan rakeisuuskäyrän betonille tai muuhun erikoiskäyttötarkoitukseen voidaan antaa lisävaatimuksia.

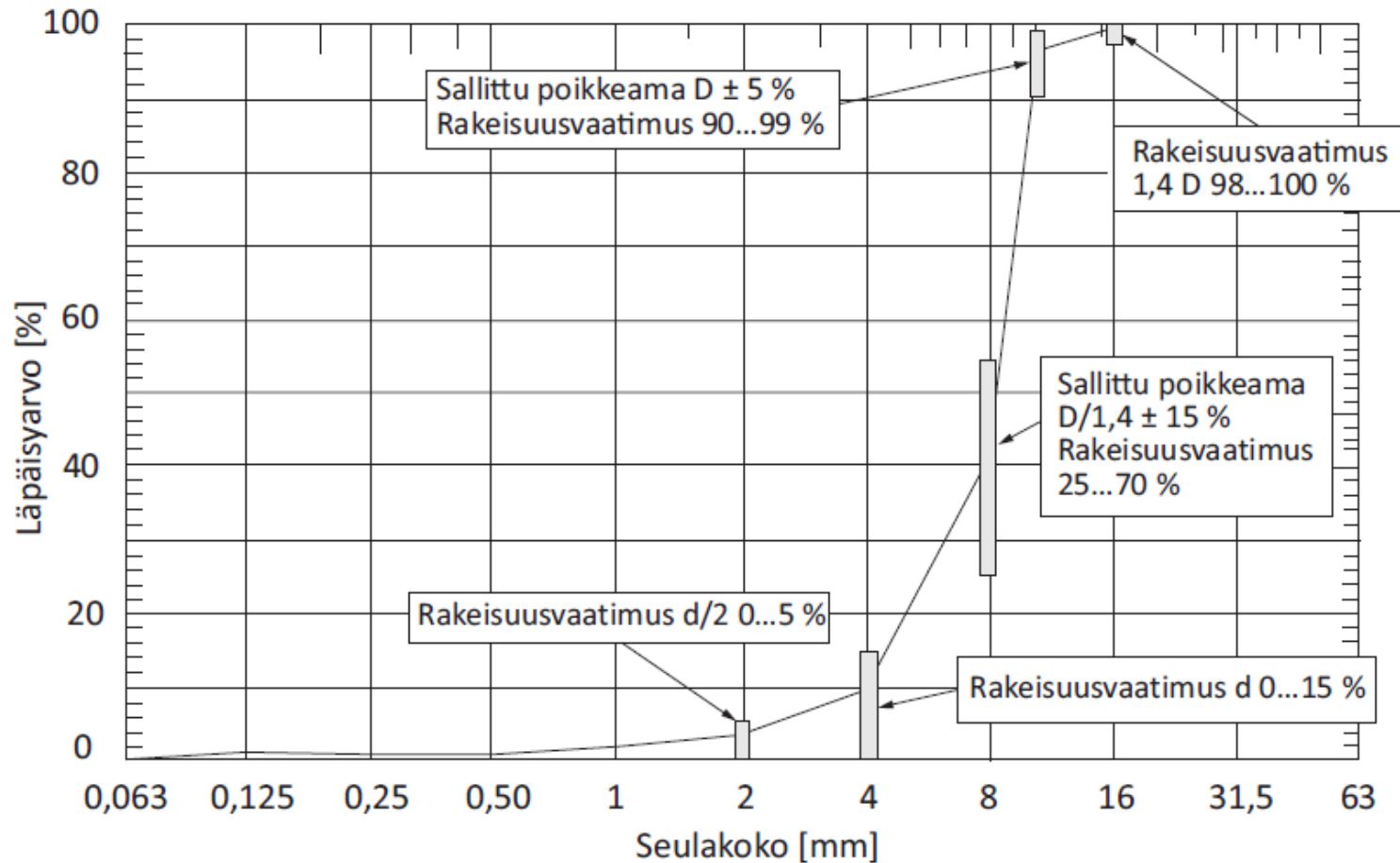
3) Esimerkiksi 8/16 mm ja 4/8 mm.

4) Esimerkiksi 6/16 mm ja 4/12 mm.

Sallitut poikkeamat 0/4



Sallitut poikkeamat 4/12



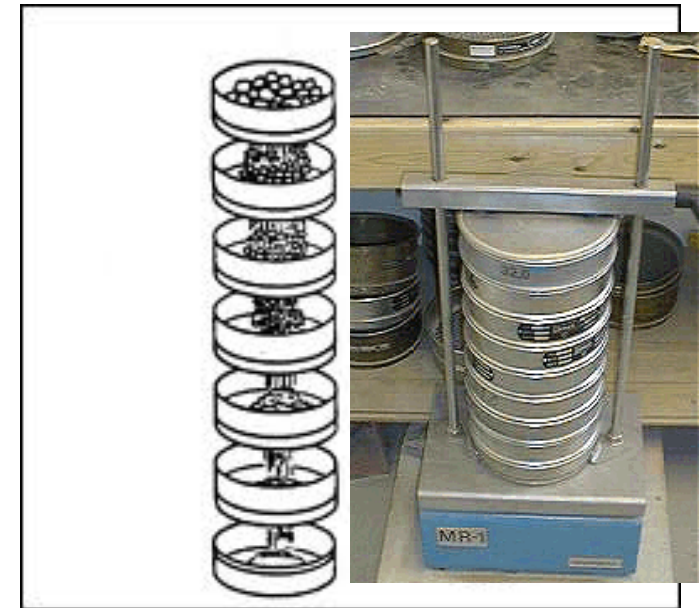
Rakeisuuden vaikutus betoniin

- ▶ Vaatimukset ovat melko väljät betonin valmistajan näkökulmasta.
- ▶ Rakeisuusvaihtelut etenkin hienoainespäässä vaikuttavat betonin vedentarpeeseen
- ▶ Seurauksena on betonin lujuuden hajonnan kasvu joka vaatii suurempaa suhteituslujuutta ja enemmän sementtiä
- ▶ Myös notkeusvaihtelut ja notkeusvirheet kasvavat
- ▶ Ohjeita tiukemmat rajat voi yrittää sopia kiviainestoimittajan kanssa

Rakeisuuden vaikutus

- ▶ Rakeisuusluvun muutos +30 yksikköä
- ▶ Betonin vedentarve kasvaa 10 l/m³
- ▶ V/s-suhde kasvaa + 0,03 yksikköä
- ▶ Lujuus laskee n. 2 MPa
- ▶ (Pastamäärä kasvaa -> kuivumiskutistuma kasvaa)

Esimerkki		Resepti 1	Resepti 2	Resepti 3
Sementti	kg/m ³	320	320	335
Vesi	kg/m ³	210	220	220
V/s-suhde		0,66	0,69	0,66
H-luku		540	570	570
Pastamäärä	kg/m ³	530	540	555
28 vrk lujuus	MPa	35	33	35
Notkeus		Vakio	Vakio	Vakio

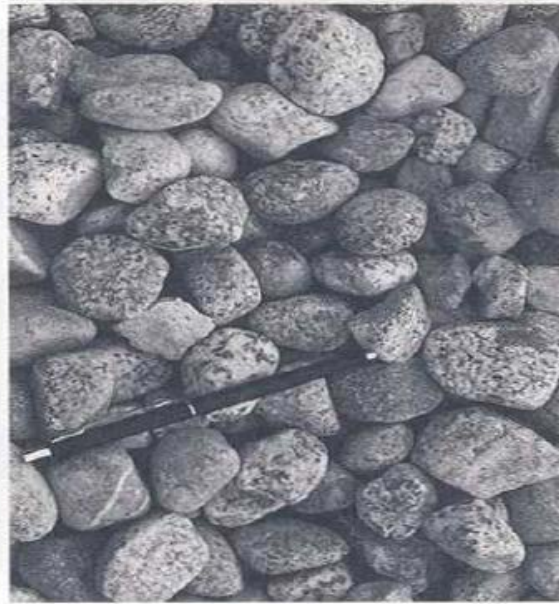
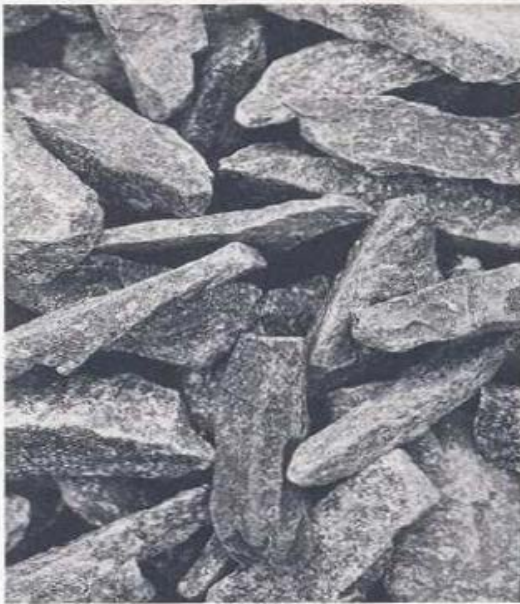


Raemuoto

Kiviaineen raemuoto ilmoitetaan litteyslukuna

Litteysluku	Litteyslukuluokka (FI)
≤ 10	FI ₁₀
≤ 15	FI ₁₅
≤ 20	FI ₂₀
≤ 35	FI ₃₅

Raemuoto eli litteysluku



Tero Virtanen / Rudus Oy

Raemuoto eli litteysluku



Tero Virtanen / Rudus Oy

Litteysluvun määrittäminen

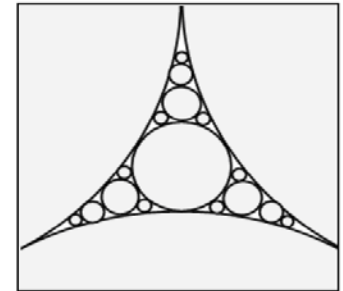
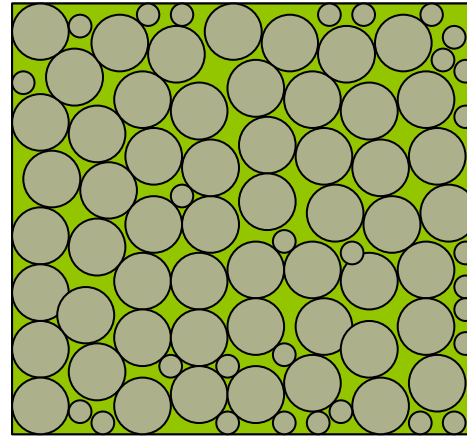
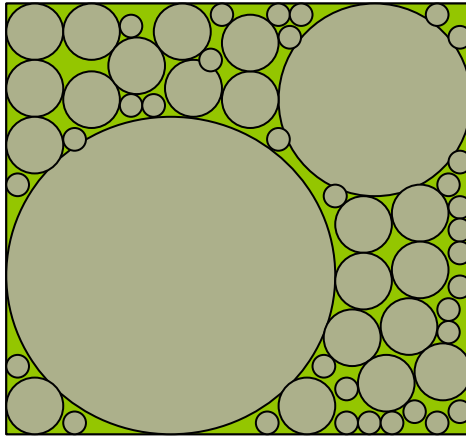
- ▶ Litteysluku määritetään standardin SFS-EN 933-3 mukaan seuraavasti:
- ▶ Esim: 20 mm seulan läpäissyt ja 16 mm seulalle jäänyt lajite seulotaan 10 mm välppäseulalla. Välppäseulan läpäissyt osa kasvattaa litteyslukua.
- ▶ Samalla tavalla seulotaan koko näyte välillä 4...80 mm

Muodon vaikutus betoniin

- ▶ Pyöreä tai lähes pyöreä muoto on paras
 - Helppo tiivistää ja pakkautuu hyvin kun rakeisuuskäyrä on hyvä
- ▶ Puikkomainen ja litteä kiviaines
 - Pakkautuu huonosti ja betoni vaatii enemmän tiivistystä
 - Vaatii enemmän vettä samaan notkeuteen kuin pyöreä kiviaines
- ▶ Huonon muotoarvon omaavalla kiviaineksella valmistetun betonin kutistuma on suurempi kuin hyvällä kiviaineksella valmistetun saman lujuusluokan betonin. Syynä on suurempi vedentarve jonka seurauksena myös sementtiä joutuu käyttämään enemmän. Eli pastan määrä kasvaa
- ▶ Puikkomaisesta ja litteästä kiviaineksesta valmistetun betonin pumppaaminen on myös vaikeampaa

Kiviainesominaisuuksien vaikutus betoniin

- ▶ Betonin runkoaine ei kutistu
 - Sementtipastan määrä suurempi hienoilla suhteituksilla
 - Kutistuma kasvaa



Raemuodon vaikutus

Muutos				Työstettävyys vakiona	Työstettävyys ja lujuus vakio
Kiviaineksen raemuodon vaihtelu Litteysluku kasvaa					
	A	B	C		
Filleri	5 (luonnon)	5 (luonnon)	5 (luonnon)	Vedentarve kasvaa B massalla noin +3 l/m ³ ja C massalla noin 16 l/m ³	Vedentarve kasvaa B massalla noin +3 l/m ³ ja C massalla noin 16 l/m ³
0/8 mm	5 (luonnon)	5 (luonnon)	20 (mursk.)	Kuivumiskutistuma kasvaa C massalla	Kuivumiskutistuma kasvaa C massalla merkittävästi.
8/16 mm	5 (luonnon)	20 (mursk.)	20 (mursk.)	Lujuus alenee C massalla 4 MPa	Sementtiä tulee lisätä noin 28 kg/m ³

BY 43 suosituksia

- ▶ Tavalliselle betonituotannolle, jossa sekä valmistettava betonityyppi että betonin käyttökohteet sekä siirtomenetelmät vaihtelevat, suositellaan valittavaksi litteysluku luokka Fl_{15} .
- ▶ Pumpattavissa betoneissa suositellaan kuitenkin käytettäväksi luokkaa Fl_{10} .
- ▶ Fl_{10} -luokka saattaa olla tarpeen esimerkiksi korkealujuusbetonia tai itsestään tiivistyvää betonia valmistettaessa.
- ▶ Mahdollisesti myös betonointikoneet ja -menetelmät saattavat asettaa erityisen tiukkoja vaatimuksia kiviaineksen raemuodolle. Litteysluku- luokka Fl_{20} soveltuu käytettäväksi puristuslujuudeltaan keskitasoisten betoniin valmistamiseen, jossa betonia ei pumpata.
- ▶ Puristuslujuudeltaan toisarvoisiin kohteisiin, kuten maabetoniin, voidaan valita litteysluku luokka Fl_{35} . Murskaamattomille luonnon-soratuotteille ei yleensä tarvitse asettaa raemuotovaatimusta. Pyöreä tai lähes pyöreä muoto on paras.

Hienoaines

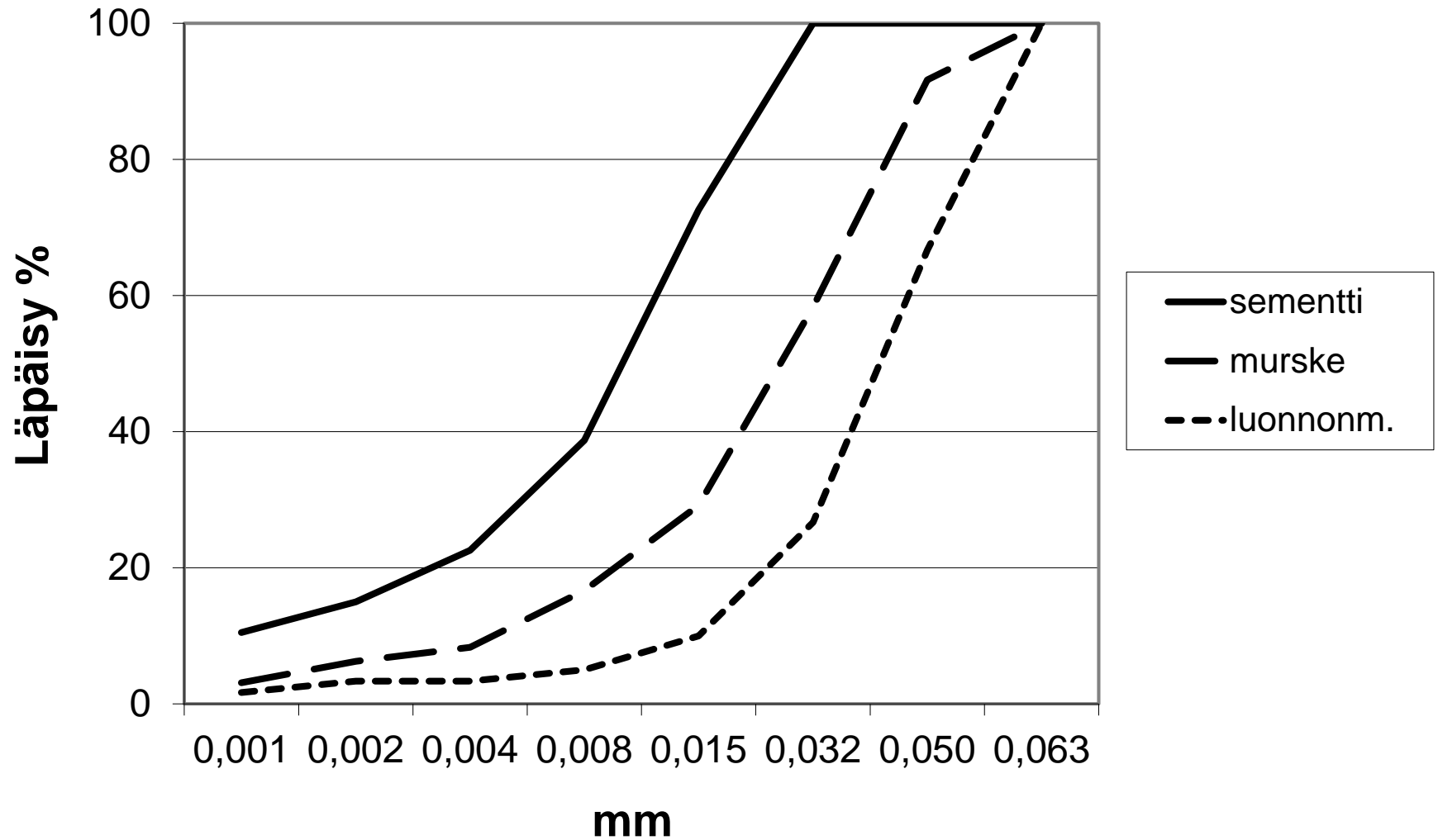
- ▶ Kiviaineksen hienoainesmäärä määritetään pesuseulonnalla standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti
- ▶
- ▶ Tuloksena ilmoitetaan 0,063 mm seulan läpäisevän kiviaineksen määrä

Hienoaineksen enimmäismäärät eri kiviainestuotteille

Taulukko 3.9. Kiviaineksen hienoaineksen enimmäismäärät eri kiviainestuotteille (SFS-EN 933-1).

Kiviaines	Seulan 0,063 mm läpäisevä hienoainesmäärä [massa-%]	Luokka [f]
Hieno kiviaines	≤ 3	f ₃
	≤ 5	f ₅
	≤ 7	f ₇
	≤ 10	f ₁₀
	≤ 16	f ₁₆
Karkea kiviaines	≤ 1,5	f _{1,5}
	≤ 2	f ₂
	≤ 4	f ₄
Luonnon lajittama 0/8	≤ 3	f ₃
	≤ 5	f ₅
	≤ 7	f ₇
	≤ 10	f ₁₀
Koostekiviaines	≤ 3	f ₃
	≤ 5	f ₅
	≤ 7	f ₇
	≤ 11	f ₁₁

Hienoaineen hienous



Hienoaineksen määrän ja laadun vaikutus betoniin

- ▶ Oikea hienoainesmäärä parantaa betonin tiiviyyttä ja koossapysyvyyttä etenkin alhaisilla sideainemäärillä
- ▶ Suuri hienoainesmäärä lisää yleensä vedentarvetta. Jos hienoaineksen määrä on alle 3 massa-% ei sen haitallisuutta tarvitse yleensä selvittää
- ▶ Hienoaines ei yleensä ole ongelma, mutta sen suuri vaihtelu on haitallista
 - Betonin vedentarve vaihtelee (suuri hajonta notkeudessa ja lujuudessa)
- ▶ Korkealujuusbetoneilla ja itsetiivistyvällä betonilla voi olla tarpeen rajoittaa hienoaineksen vaihteluväli ± 1 %.
- ▶ Tärkeää on hienoainesmäärän hallinta

Hienoaineksen laatu

- ▶ Hienoaineksen laatua voidaan arvioida monella tapaa
- ▶ Hienoaines on betonille haitallista, jos hienoaineksessa on runsaasti suuren ominaispinta-alan omaavia tuotteita kuten savea ja kiillettä.
- ▶ Kovan ja hienojakoisen hienoaineksen vaikutus voi taas olla positiivinen betonin ominaisuuksiin
- ▶ Hienoaineksen laadun tarkkailuun soveltuu standardin SFS-EN 933-8 hiekkaekvivalenttisesti jossa mitataan kiviaineksen lietteen kokoonpuristuvuutta.

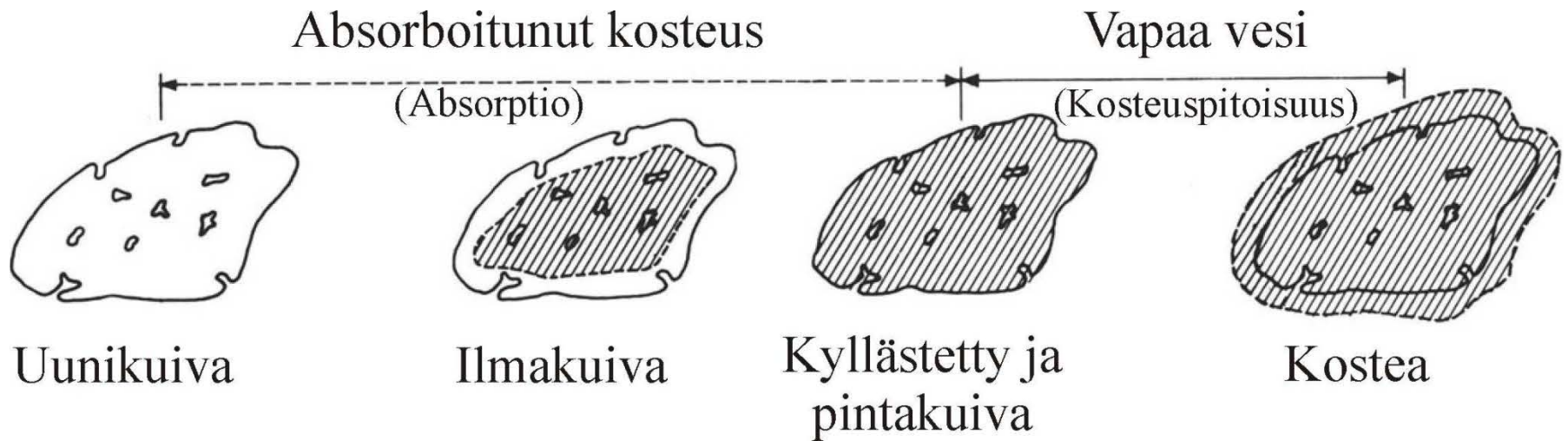
Hienoaineksen vaikutus

- ▶ Hienoaineksen laatu muuttuu
- ▶ Ominaispinta-ala kasvaa hyvästä rapautuneeksi
 - Hyväksi voidaan luokitella esim. $< 3000 \text{ m}^2/\text{kg}$
 - Kelvolliseksi $3000\text{--}7000 \text{ m}^2/\text{kg}$
 - Rapautuneella hienoaineksella ominaispinta ala voi olla jo $15\ 000 \text{ m}^2/\text{kg}$

Muutos			Työstettävyys vakiona	Työstettävyys ja lujuus vakio
Hienoaineksen laadun vaihtelu Ominaispinta-ala kasvaa				
	A	B		
Filleri	$2\ 000 \text{ m}^2/\text{kg}$	$3\ 000 \text{ m}^2/\text{kg}$	Vedentarve kasvaa massalla B $+8 \text{ l/m}^3$	Vedentarve kasvaa massalla B $+8 \text{ l/m}^3$
(alle 0,063 osuus on 15,0 %)			Kuivumiskutistuma kasvaa	Kuivumiskutistuma kasvaa
0/8 mm	$2\ 000 \text{ m}^2/\text{kg}$	$15\ 000 \text{ m}^2/\text{kg}$	Lujuus alenee 1-2 MPa	Sementtiä tulee lisätä 12 kg/m^3
(alle 0,063 osuus on 2,5 %)				
8/16 mm	$2\ 000 \text{ m}^2/\text{kg}$	$15\ 000 \text{ m}^2/\text{kg}$		
(alle 0,063 osuus on 0,5 %)				

Kiintotiheys ja vedenimeytyminen


- Määritetään standardin SFS-EN 1097-6 mukaisesti



Kiintotiheys

- ▶ Kiintotiheys tulee tietää ja aika ajoin tarkistaa
- ▶ Jos kiintotiheys muuttuu eikä sitä korjata suhteituksessa, ei valmistettu betoniannos ole oletetun kokoinen.
- ▶ Kiintotiheyden muuttuessa 150 kg/m^3 vastaa se normaalibetonilla jossa on noin 1750 kg kiviainesta / betoni- m^3 noin 35 litran virhettä tilavuudessa.

Kulutuskestävyyteen vaikuttavat tekijät

- ▶ Tekstuuri
 - ▶ Mineraalikoko
 - ▶ Mineraalikoostumus
 - ▶ Rapautuneisuus
- 

Kulutuskestävyyden mittaus

- ▶ Kiven iskunkestävyyttä kuvaa parhaiten **Los Angeles – koe**, jossa raskaat teräskuulat putoavat tutkittavan kiven päälle myllyssä
- ▶ Hiertävää kulutusta mittaa **kuulamyllykoe** tai (uudempi micro – Deval), jossa pienet teräskuulat hiertävät veden kanssa näytettä

Kulutuskestävyyden mittaus

Taulukko 4.1. Luokitus kiviaineksen iskunkestävyyden enimmäisarvolle (SFS-EN 1097-2).

Iskunkestävyys [LA]	Luokka
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀

Taulukko 4.2. Luokitus kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyyden enimmäisarvolle (SFS-EN 1097-9).

Nastarengaskulutuskestävyys [A _N]	Luokka
≤ 7	A _N 7
≤ 10	A _N 10
≤ 14	A _N 14
≤ 19	A _N 19

Kulutuskestävyyden mittaus

- ▶ Hyvää iskunkestävyyttä vaaditaan korkealujuusbetoneissa ja kovan rasituksen alaisissa lattiabetoneissa
- ▶ Kovapyöräinen trukkiliikenne edellyttää LA₂₀- luokkaa ja normaali ajoneuvoliikenne LA₃₀-luokkaa.
- ▶ Pysäköintilaitoksissa ja tie- ja piha-alueilla ohjeellinen vaatimus on A_N10-luokka.
- ▶ Betonikoe jossa iskun- ja kulutuskestävyys testataan asianomaisella betonilla ja soveltuvalla kokeella on suositeltavaa vaativissa kohteissa.

Pakkasenkestävyys

- ▶ Jos vedenimeytyminen on alle 1 %, voidaan kiviaineksen olettaa olevan jäädytys-sulatusrasituksen kestävä
- ▶ Jos vedenimeytyminen on yli 1 % tai jos on muutoin aihetta epäillä kiviaineksen pakkasenkestävyyttä, määritetään kiviaineksen jäädytys-sulatuskestävyys standardin SFS-EN 1367-1:1999 liitteen B mukaisesti. Raja-arvo on tällöin 1,0 % NaCl-liuoksessa mitattuna

Radioaktiivisuus

- Kaikki kiviainesperäiset rakennusmateriaalit sisältävät pieniä määriä luonnon radioaktiivisia aineita.
- Määriin vaikuttaa eniten raaka-aineena käytetty kiviaines, mutta myös seos- tai lisäaineena käytetty aines kuten lentotuhka tai masuunikuona voi lisätä rakennusmateriaalin aktiivisuuspitoisuuksia.
- Säteilyturvakeskus (STUK) on antanut rakennusmateriaalien radioaktiivisuutta koskevat toimenpidearvot ohjeessa ST 12.2 "Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuus".
- Rakennusmateriaalien tuottajat ja maahantuojat ovat velvollisia huolehtimaan, että markkinoille saatettavat materiaalit täyttävät ohjeen vaatimukset.

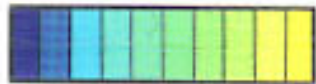
- Kiviaineksen radioaktiivisuusmittauksessa määritetään ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , (Kalium, Radium ja Thoriumin) radioaktiivipitoisuudet [Bq/kg]. Alkuainekohtaisten pitoisuuksien avulla lasketaan aktiivisuusindeksit (I) eri käyttötarkoituksiin:
 - 1) I_1 , talonrakennustuotantoon käytettävät materiaalit
 - 2) I_2 , katujen, teiden ja vastaavien rakentamiseen käytettävät materiaalit
 - 3) I_3 , maatyttöön ja maisemarakentamiseen käytettävät materiaalit
- Jos aktiivisuusindeksi $I \leq 1$, ei materiaalille aseteta kyseiseen käyttötarkoitukseen radioaktiivisuuden johdosta käyttörajoituksia. Jos aktiivisuusindeksi $I > 1$, tulee osoittaa, ettei toimenpidearvo ylity.

Radioaktiivisuus tulee tutkia kaikilta sora- ja kallioalueilta, jotka ovat punaisella tai tumman oranssilla alueella kuvan 4.1 kartassa. Rajan ulkopuolelle sijoittuvista alueista ei tarvitse tutkia radioaktiivisuutta muuta kuin erikseen sovittaessa ja epäiltäessä.

Säteilyturvakeskus

Maaperän luonnollisen radioaktiivisuuden aiheuttama annosnopeus ilmassa kesäaikana

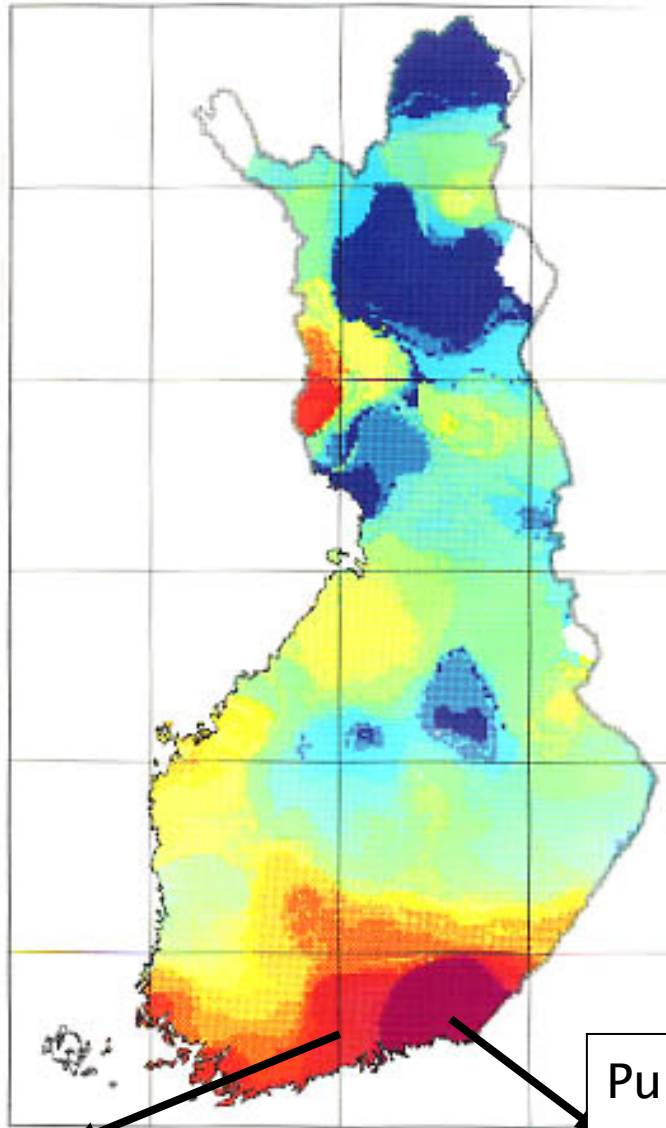
Liukuva mediaani, nGy/h



47 56 67



68 79 92



Punainen

Tumma oranssi

Betonin sitoutumis- ja kovettumis- nopeuksiin vaikuttavat aineet

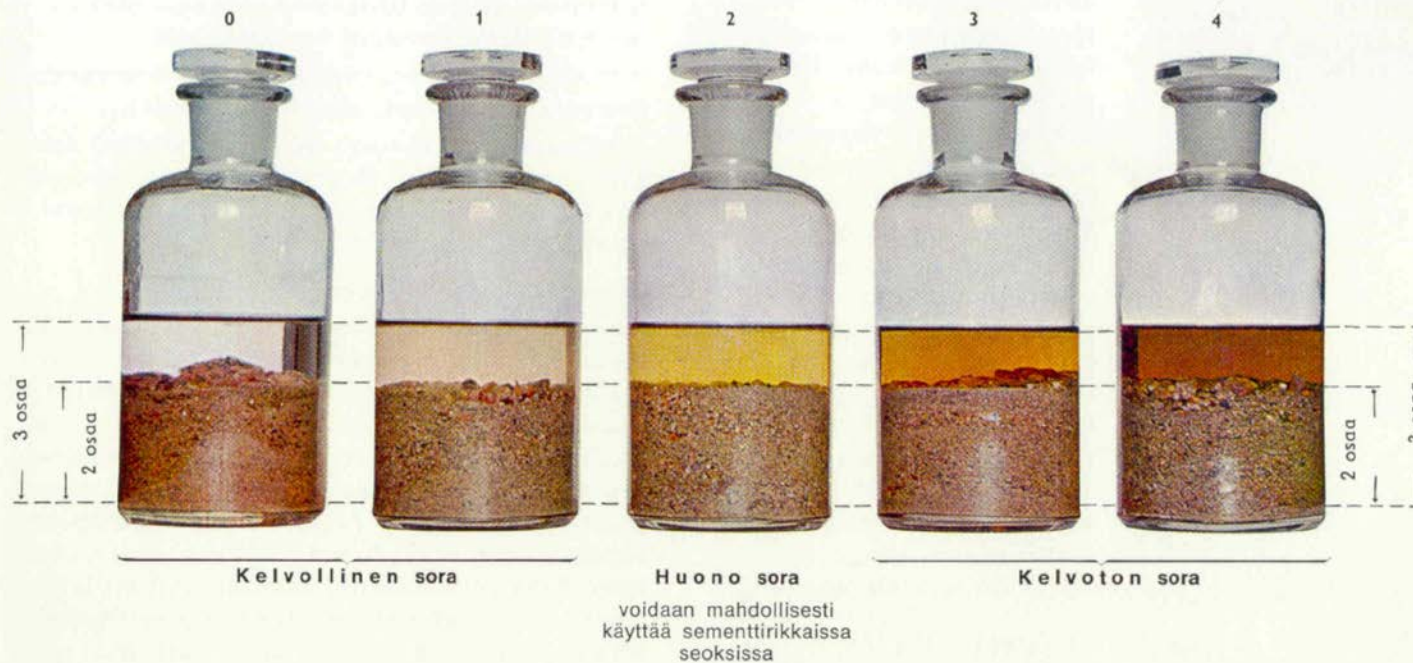
Humus

- Humus on yleisnimitys kasviperäisen orgaanisen aineen hajoamistuotteille
- Humuksen läsnäolo betonissa johtaa käytännössä betonin kovettumisen hidastumiseen ja usein tämä johtaa betonin vaurioitumiseen, koska ylipitkiin jälkihoitoaikoihin ei yleensä varauduta

- Kiviaineksen humuspitoisuus määritellään standardin
- SFS-EN 1744-1:1998, luvun 15.1 mukaan
- Testi on identtinen SFS 5277 vuodelta 1987 kanssa, paitsi että moniportainen luokitus on poistunut ja väriä verrataan nyt standardiliuoksen väriin
- Testi soveltuu rakeisuudeltaan 0...8 mm olevan luonnonkiviaineksen humuksen arvioimiseksi
- Testin periaate on, että kiviainenäytettä säilytetään 24 tuntia 3% lipeä-liuoksessa (natriumhydroksidi; NaOH)
- Humushapot muuttavat lipeäliuoksen värilliseksi.
- Testi kertoo humuksen määrän, mutta ei niiden vaikutusta betonin ominaisuuksiin.

Vanha, mutta havainnollinen esitys humusmittaustuloksen arvioinnista

BETONISORAN PUHTAUS



Täältä ei kiviainesta pidä betoniin ottaa



Teräskorroosiota aiheuttavat aineet

Kloridi

- Kiviaineksen kloridipitoisuus määritellään standardin SFS-EN 1744-1:198, luvun 7 mukaan vesiliukoisena kloridina
- Betoniin käytettävän kiviainesyhdistelmän vesiliukoisten kloridien määrä ei saa ylittää **0,02%**
- Merikiviainesten kloridipitoisuus tulee aina määrittää. Kloridipitoisuus ilmoitetaan 0,001 % tarkkuudella

Paisumista aiheuttavat aineet

Sulfaatit

Happoliukoisten sulfaattien määrä määritetään standardin SFS-EN 1744-1:1998, luku 12, mukaisesti.

Alkalikiviainesreaktio

- Alkali–kiviainesreaktiossa (AKR) hydratoituneen sementin ja kiviaineksen väliset reaktiot aiheuttavat paisumista betonissa
-
- AKR aiheuttaa yleensä betonin jonkin asteista vaurioitumista.
- Vaurioitumisen etenemisnopeus ja määrä riippuvat vallitsevista olosuhteista, kuten kosteudesta, lämpötilasta sekä reaktiivisen kiviaineksen ja alkalien määrästä betonissa

Alkalikiviainesreaktion aiheuttamia vaurioita Montrealissa (kuva R. Mannonen)





Alkalikiviainesreaktio

- Kiviaineksen kansallinen luokitus on esitetty BY:n julkaisussa Ohje betonin alkali–kiviainesreaktion hallitsemiseksi ja se perustuu RILEMin suositukseen AAR-7.1.
- Luokan valintaan vaikuttavat rakenteen vaurioitumisesta aiheutuvat kustannukset sekä rakennettavuus- ja turvallisuustarkastelut
- Tämän lisäksi otetaan huomioon vaurion havaitsemisen helppous, monitorointimahdollisuus, rakenteen säilymisen tärkeys sekä vaikutukset käyttäjien ja sivullisten turvallisuudelle.

Alkalikiviainesreaktio

- ▶ Alkali–piidioksidireaktion syntyyn vaaditaan kolme asiaa: reaktiivista piidioksidia sisältävää kiviainesta, korkea alkalipitoisuus huokosissa ja riittävästi kosteutta ($RH > 80\%$). Jos yksikin näistä puuttuu, reaktio ei käynnisty. Toisaalta reaktio pysähtyy, jos yksikin tekijä reaktion aikana muuttuu alle tai yli kynnysarvon.
- ▶ Suomessa mahdollinen alkali–kiviainesreaktio etenee tämänhetkisen tutkimustiedon perusteella varsin hitaasti. AKR on todettu ohuthietutkimuksessa ulkoilmassa olevissa betonirakenteissa, kuten silloissa jne., noin 30...40 vuoden iässä ja noin 30 vuoden ikäisissä lämpimissä uima-altaissa.

Alkalikiviainesreaktio

- ▶ Betonirakenteet jaetaan kolmeen rakenneluokkaan rakenteen vaurioitumisen seurauksen ja sallitun AKR:n esiintymisen mukaan:
- ▶ S1 – matala
- ▶ S2 – normaali
- ▶ S3 – korkea.
- Luokkaa S3 tulee käyttää erityisen harkiten. Luokkien kriteerit ja esimerkkejä eri luokkiin kuuluvista rakenteista on esitetty seuraavassa taulukossa

Alkalikiviainesreaktio

Taulukko | Rakenneluokitus alkali-kiviainesreaktion sallittavuuden suhteen.

Rakenneluokitus AKR sallittavuudelle	Vaurioitumisen seuraukset	AKR:n aiheuttamat muutokset rakenteessa	Esimerkkejä rakenteista
S1	Vaikutukset turvallisuuteen, kustannuksiin tai ympäristöön pieniä tai mitättömiä	Vähäistä AKR:n aiheuttamaa heikentymistä sallitaan (esimerkiksi betonin vetolujuus on alentunut)	<ul style="list-style-type: none"> • tilapäiset rakenteet, käyttöikä < 25 vuotta • dynaamisesti kuormitetut perustukset, käyttöikä < 25 vuotta (esim. tuulivoimaloiden perustukset) • helposti vaihdettavat rakennusosat • matalat enintään kaksikerroksiset asuinrakennukset (alhaiset kuormat)
S2	Joitakin vaikutuksia turvallisuuteen, kustannuksiin tai ympäristöön, jos betonissa merkittäviä vaurioita	Vähäistä AKR:n aiheuttamaa vaurioitumista sallitaan/hallittavissa (ohuthieessä havaittavaa)	<ul style="list-style-type: none"> • normaali suunnittelukäyttöikä (50...100 vuotta) • suurin osa rakenteista • vedeneristetyt lämminvesialtaat • muut vesialtaat ilman vedeneristystä • tavanomaiset sillat • paalut, maanalaiset perustukset, muut vaikeasti korvattavat rakenteet
S3	Vakavia vaikutuksia turvallisuuteen, kustannuksiin tai ympäristöön, jos betonissa vaurioita	Merkittävää vaurioitumista ei sallita	<ul style="list-style-type: none"> • pitkä suunnittelukäyttöikä (> 100 vuotta) • ydinturvallisuuteen liittyvät rakenteet • erityisen tärkeät padot, tunnelit, sillat (rakenteiden suunnittelukäyttöikä > 100 vuotta) • erittäin kriittiset rakenteet, joiden tarkastaminen tai korvaaminen mahdotonta/erittäin hankalaa • rakenteet, joiden vaurioitumista ei voida sallia

Alkalikiviainesreaktio

Taulukko X.2. Ympäristön aiheuttamien rasitusten luokitus alkali-kiviainesreaktion suhteen.

Luokka	Kuvaus	Betonin ympäristö ja esimerkkejä rakenteista
E1	Kuiva, betoni on suojattu kosteudelta	<ul style="list-style-type: none">• Kuivissa sisätiloissa olevat betonirakenteet.
E2	Betoni altistuu kosteusrasitukselle	<ul style="list-style-type: none">• Sisätiloissa olevat kosteusrasitukselle altistuvat betonirakenteet, joissa on korkea kosteuspitoisuus, kuten pesulat, uimahallit, prosessiteollisuuden rakenteet.• Betoni altistuu ulkopuoliselle kosteusrasitukselle, betoni on upotettuna veteen tai kosteus on peräisin ei-aggressiivisesta maaperästä, kuten säiliöt, uima-altaat, paalut, maanalaiset perustukset.• Massiiviset betonirakenteet (pienimmät dimensiot > 800 mm ja kuivuminen hidasta tai jopa mahdotonta), jotka altistuvat kosteusrasitukselle, kuten paksut siltakannet, maata vasten valetut ja yläpinnasta tiiviisti pinnoitetut rakenteet, jne.
E3	Betoni altistuu kosteusrasitukselle sekä reaktiota edistävillä tekijöillä	<ul style="list-style-type: none">• Ulkona oleva betonirakenne altistuu jäänsulatusaineille.• Betoni altistuu toistuvalla meriveden aiheuttamalle kastumiselle ja kuivumiselle tai suolaroiskeille, kuten maanteiden siltojen pystyrakenteet, laiturirakenteet, jne.• Betoni altistuu märkänä toistuvilla jäätymis-sulamissykleille.• Betoni altistuu märkänä pitkään korkealle lämpötilalle.• Betoni altistuu teollisuuden käyttämille suoloille ja kemikaaleille.

Kiviaineksen valmistus, varastointi, kuormaus ja kuljetuskalusto

Kiviainesta valmistettaessa ja varastoitaessa on käytettävä sellaisia menetelmiä, ettei lajittumista tai kiviainesten likaantumista pääse tapahtumaan.

Kiviaineksen valmistus

- ▶ Hieno kiviaines usein seulotaan soraharjusta
 - Soramontut kaukana
 - Luvat haastavia
 - Kestävä kehitys
- ▶ Karkea kiviaines tavallisesti murskataan kalliosta



Kiviaineksen valmistus

Varastointi

- ▶ Varastointi tärkeää
 - Tasalaatuisuus
 - Kerrokset hiekoissa ja 0-pohjaisissa
 - Ei kerroksia sepeleissä (Vältetään hienontumista)
 - Myyntikasa
 - Ei saa sekoittua esim. pohjamaanhan



Kiviaineksen varastointi kerroksittain

