

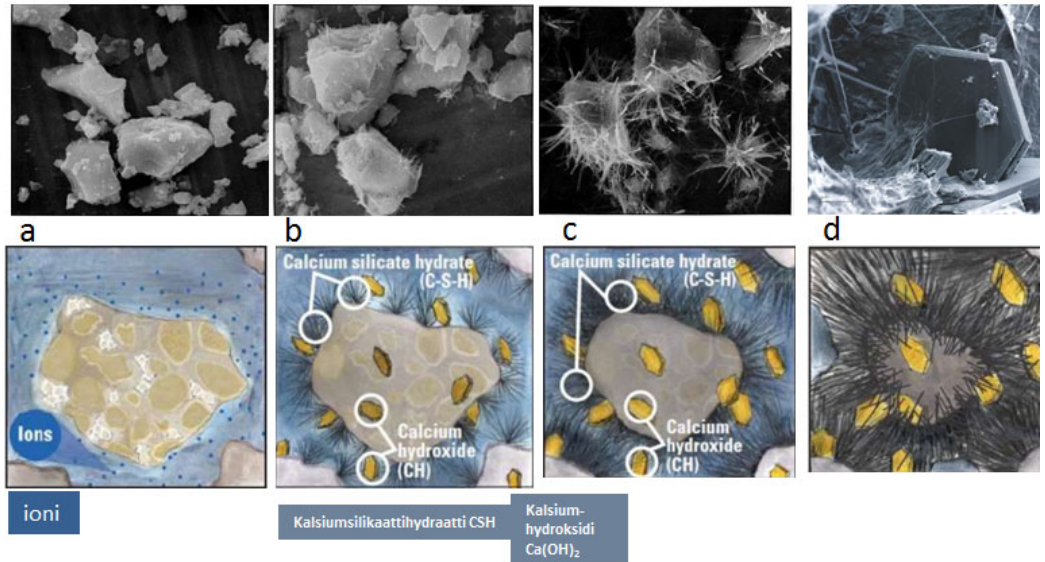


Seosaineet betonissa

Betonilaborantti- ja myllärikurssi

Sementin reaktiot veden kanssa

- ensin aluminaattiyhdisteet (kipsin kanssa)
- lujuudenkehitys: C_3S ja C_2S
- reaktiotuotteena luja ja kestävä sementtikivi



a) Välittömästi sekoituksen jälkeen sementtihiukkasen pinnasta liukenee veteen kalsiumia, silikaattia, alumiinia ja sulfaattia sekä alkalimetalleja.

b) Sementtirakeiden pintaan alkaa syntymään hydrataatiotuotteita (CSH, ettringiittiä, $Ca(OH)_2$), jotka laajenevat sementtihiukkasen pinnalta vesitilaan.

c) Muutaman tunnin kuluttua reaktiotuotteet ovat jo toisissaan kiinni ja sitoutuminen on alkanut.

b) Muutaman vuorokaud kuluttua hydrataation on edennyt pitkälle, mutta jatkuu edelleen niin kaua kuin reagoimaton sementti ja vapaata vettä riittää.

BETONINORMIT 2021

by

65

Sideaineet: seosaineet

Suomessa käytettävät betonin seosaineet ovat:

- Lentotuhka
- Masuunikuona
- Silika
- (Kalkkikivifilleri, pigmentit)

Seosaineita käytetään paitsi pienentämään sideainekustannuksia myös kun betonille tavoitellaan uusia ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia on esimerkiksi:

- sulfaatinkestävyys
- alhainen hydrataatiolämpö
- kemiallinen kestävyys
- koossapysyvyys
- vesitiiveys



Lentotuhka

Lentotuhka on hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa voimalaitoksissa syntyvä sivutuote, joka erotetaan savukaasuista.

- Voimalaitoksissa kivihiili jauhetaan hienoksi jauheeksi ja puhalletaan kattilan tulipesään. Kivihiili sisältää normaalisti n. 15 % palamattomia aineita, joista muodostuu hiilijauheen palaessa hienojakoista tuhkaa. Suurin osa tästä tuhkasta kulkeutuu savukaasujen mukana ja erotetaan joko elektrostaattisesti tai mekaanisesti kuivana, vaaleana jauheena. Tätä osaa tuhkasta kutsutaan lentotuhkaksi
- Ilmastotavoitteet energiantuotannossa vähentävät lentotuhkan saatavuutta ja sen saannin odotetaan loppuvan lähiaikoina.

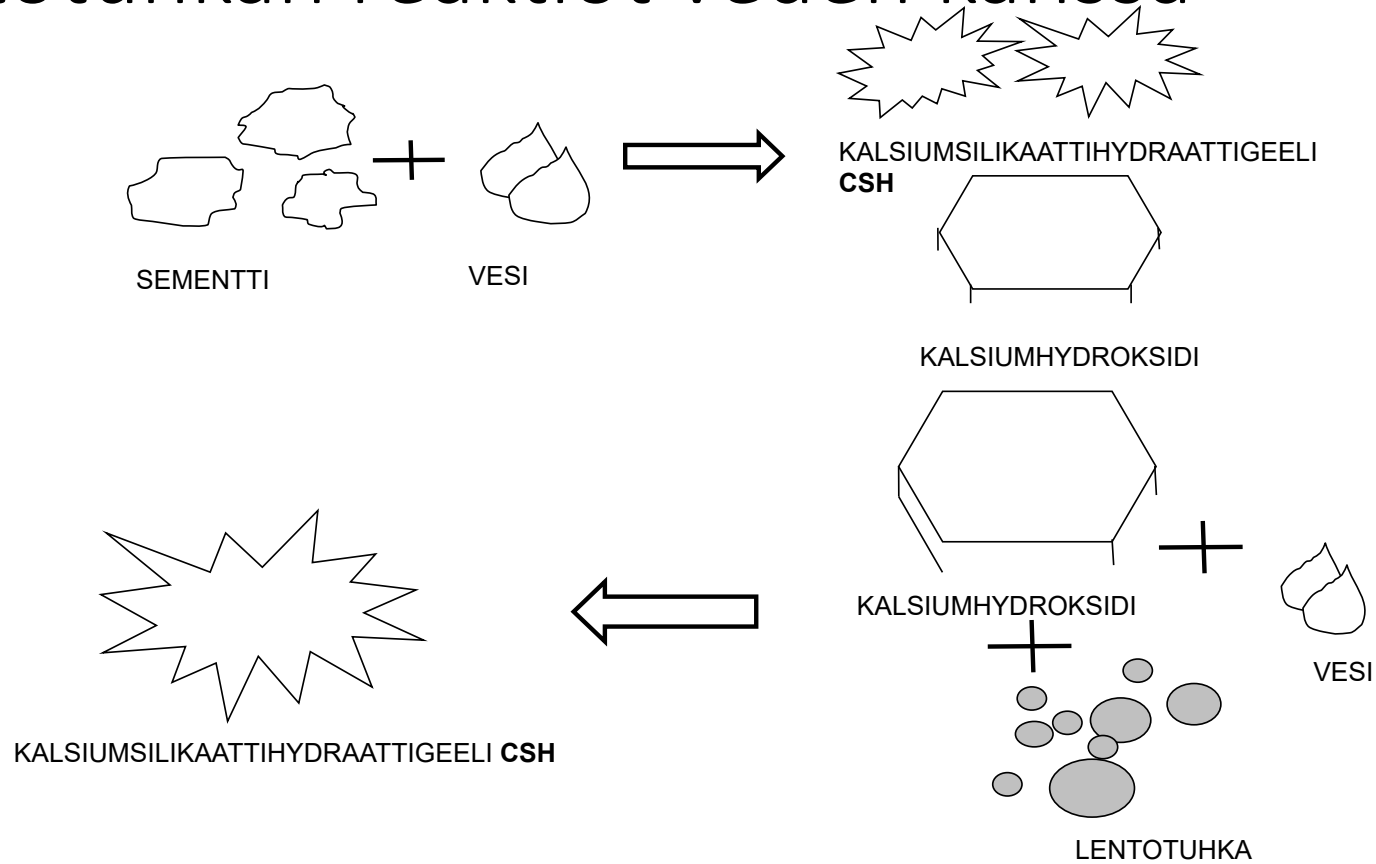
Lentotuhka

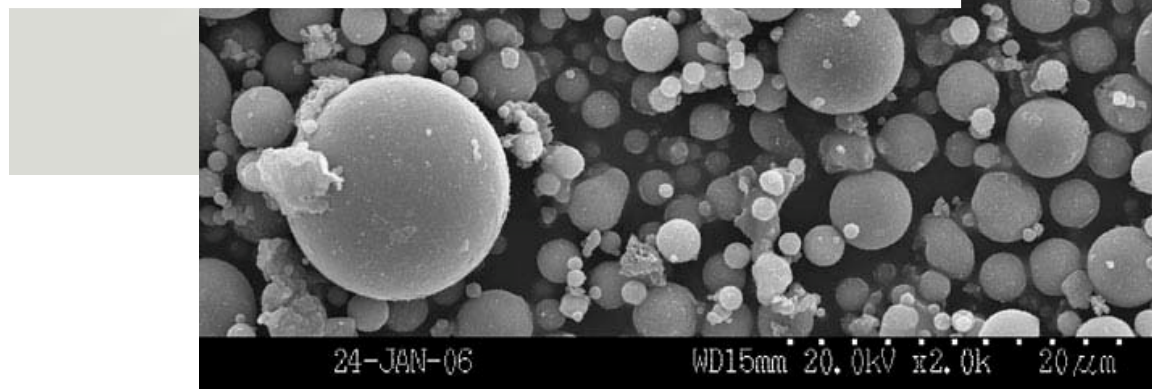
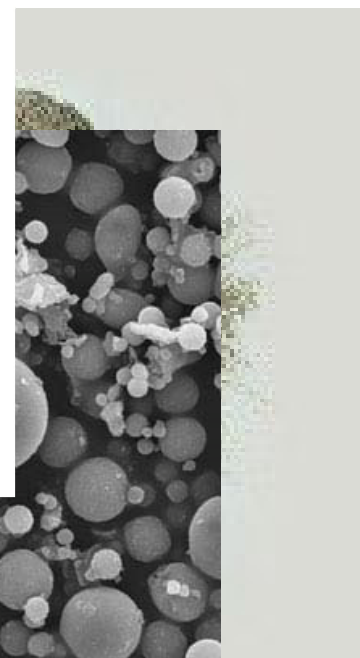
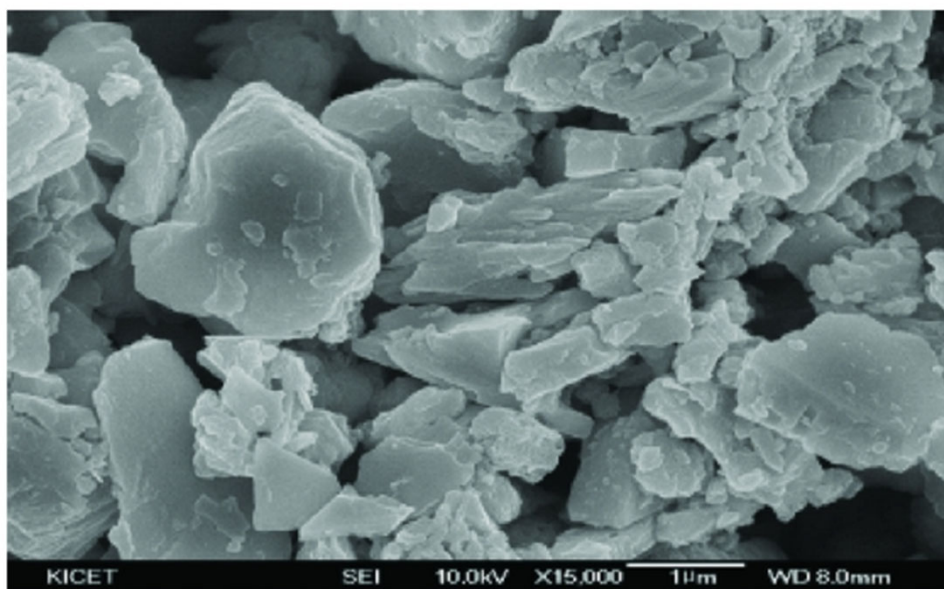
Lentotuhka toimii betonissa sekä kiviaineksena (rakeisuus 1...150 μm) että sideaineena

Lentotuhka on pozzolaaninen aine

- reagoi sementin hydrataatiossa syntyvän kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumsilikaattihydraatti -geeliä.

Lentotuhkan reaktiot veden kanssa





Lentotuhka

Betonin hydrataatiolämpö pienenee, kun lentotuhkaa käytetään korvaamassa sementtiä

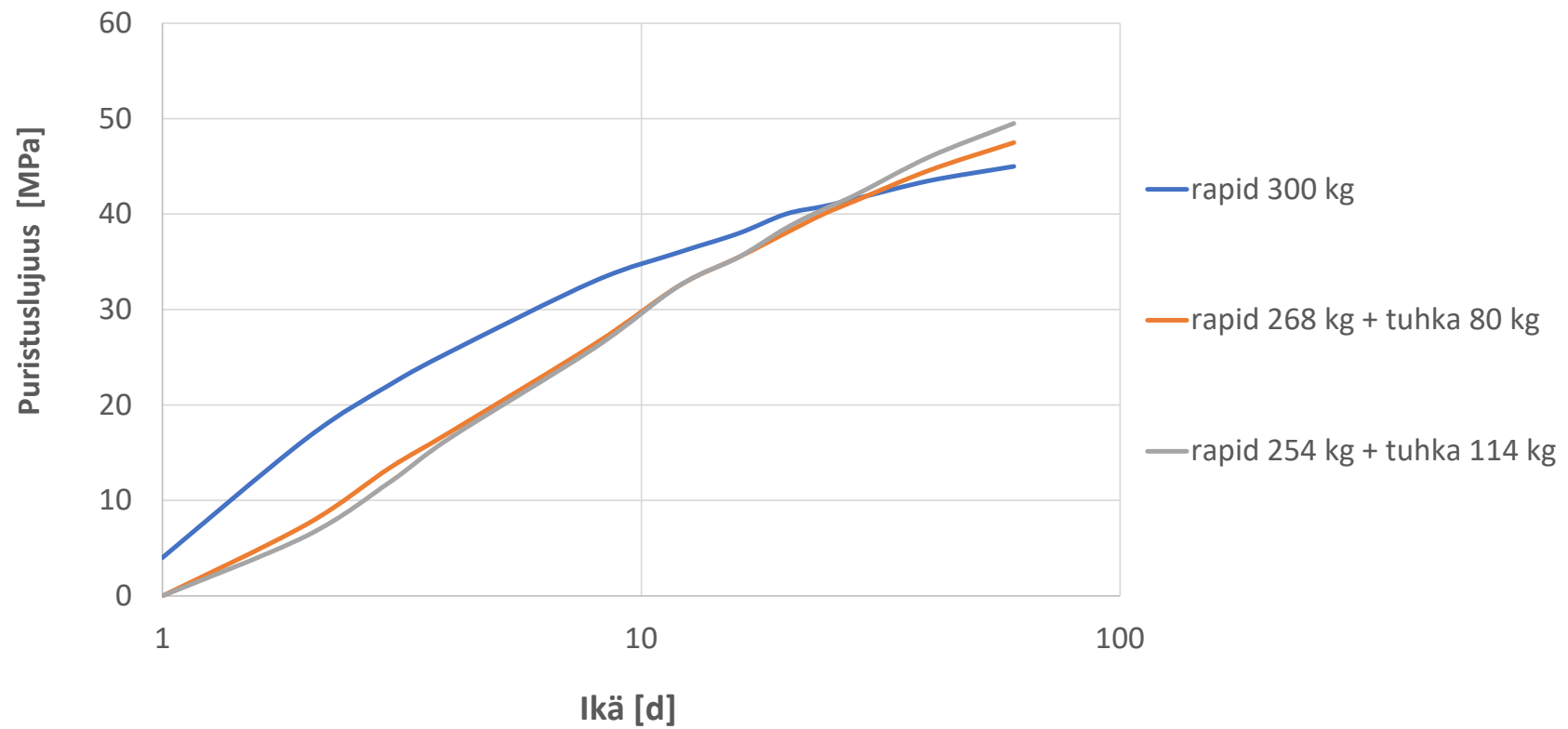
- Talvibetonoinnissa ja esimerkiksi lattiavaluissa lentotuhkan käyttö ei ole suositeltavaa, koska sitoutuminen ja lujittuminen hidastuvat oleellisesti.

Pienentää betonin vedentarvetta

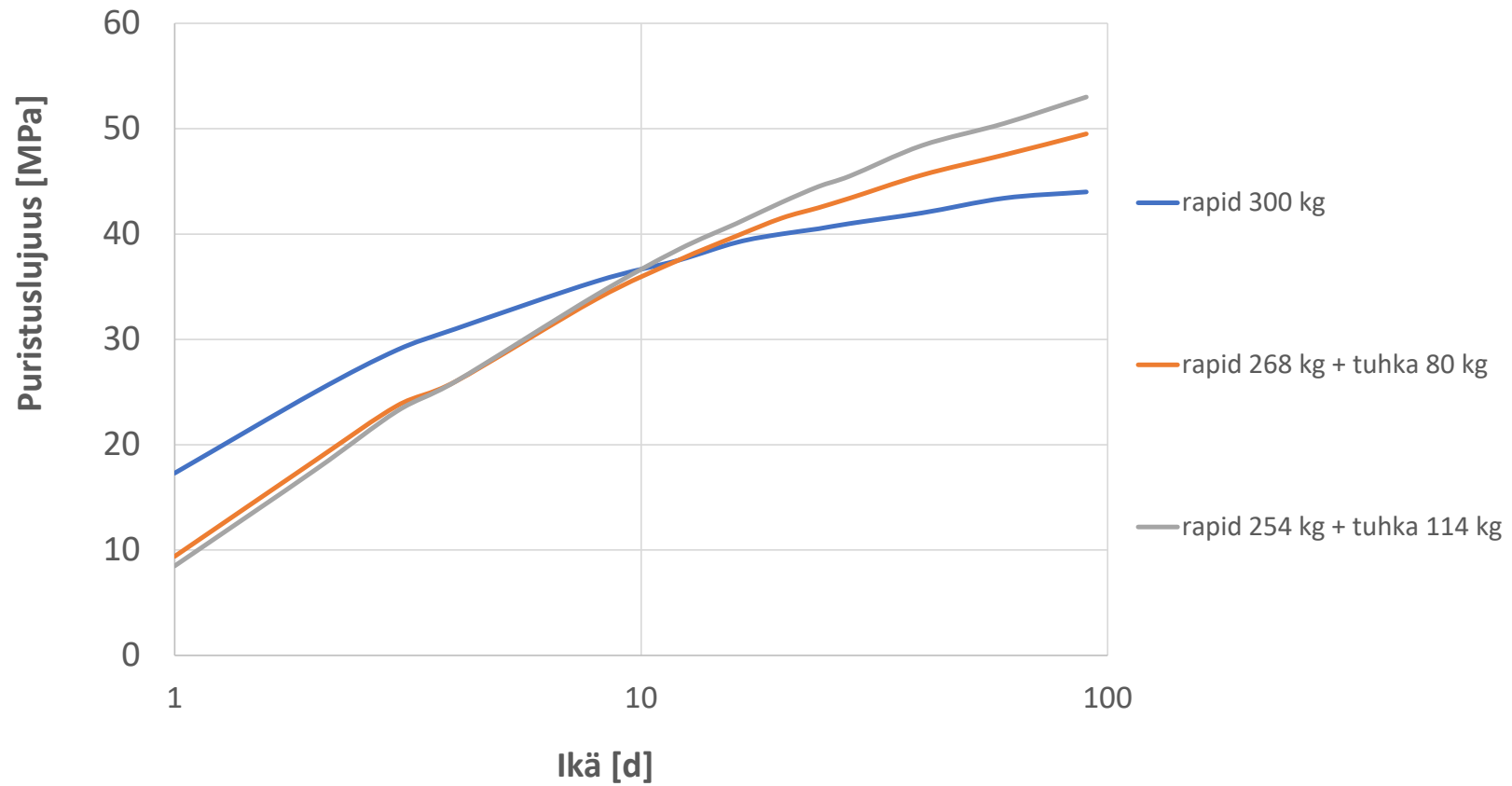
LT sisältämä hiili vaikeuttaa betonin huokostamista

Sementtimäärää laskettaessa LT lasketaan 0 % ...100 % sementiksi lentotuhkan määrästä ja rasisluokasta riippuen.

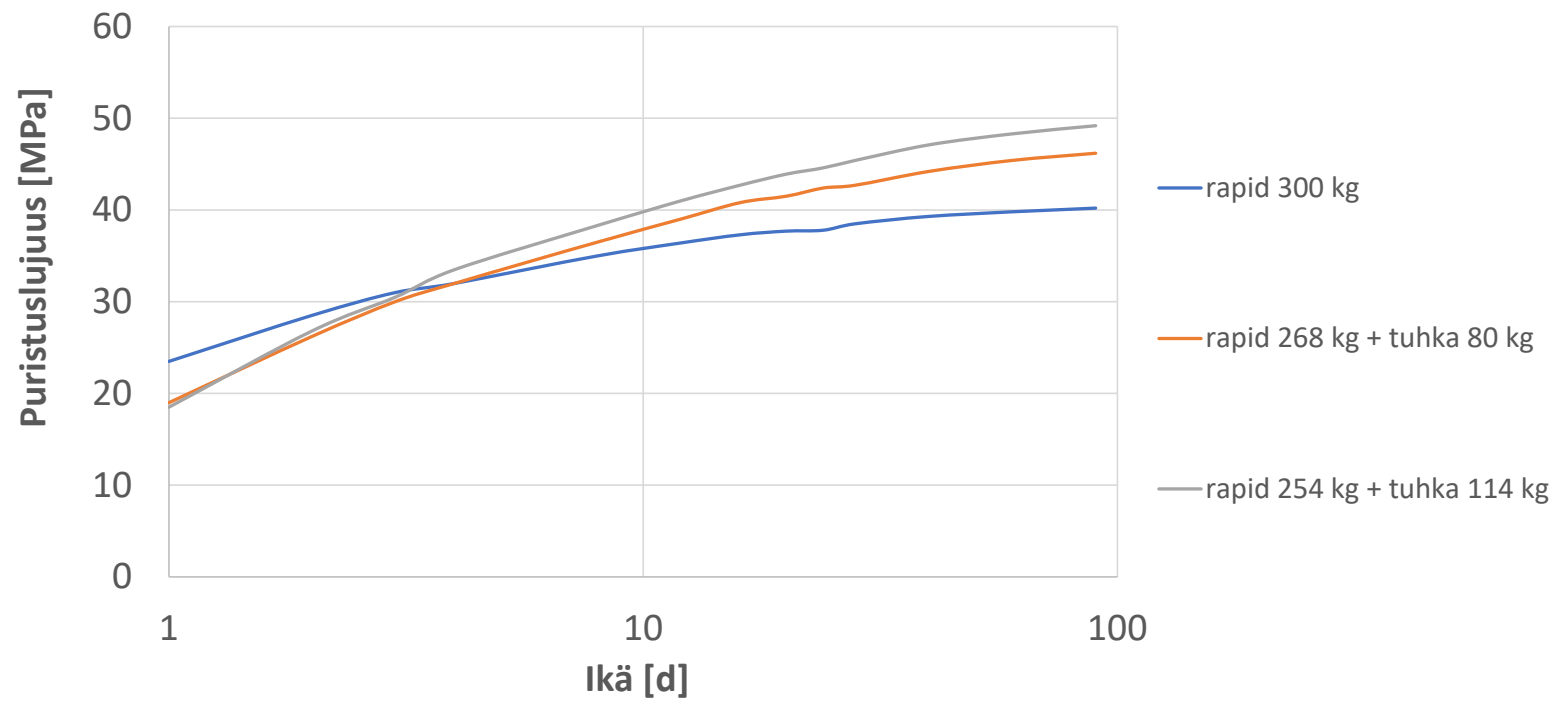
Lujuudenkehitys +5:ssä, vesimäärä 180 l/m³



Lujuudenkehitys +20 C:ssa, vesimäärä 180 l/m³



Lujuudenkehitys +40 C:ssa, vesimäärä 180 l/m³



Lentotuhkan käytön edut ja haitat

Etuja:

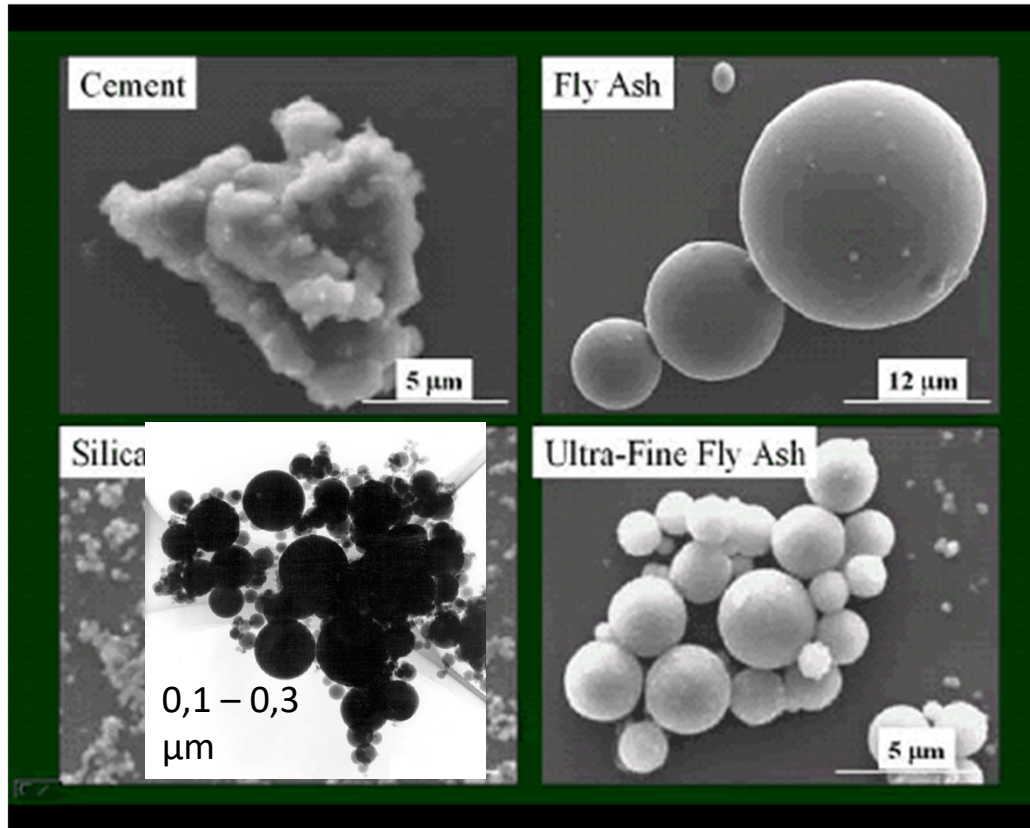
- reaktiivinen filleri
- parantaa työstettävyyttä
- alhainen hydrataatiolämpö
- edullista lujuutta
- CO₂-päästöjen vähentäminen

Haittoja:

- väri
- kovettuminen kylmissä oloissa

Silika

- Silikaa syntyy piin ja ferropiin valmistuksen yhteydessä, kun prosessissa syntyvää 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.



Silikan aktiivisuusindeksi

Mikäli silikaa halutaan käyttää normaalilujuuksisen betonin valmistamisessa, voidaan silikan aktiivisuusindeksinä käyttää arvoa 2,5. Tämä tarkoittaa, että 1 kg silikaa nostaa lujuutta yhtä paljon kuin 2,5 kg sementtiä.

Vesi-sementtisuhdetta laskettaessa aktiivisuus on

2,0, kun betonin $v/s \leq 0,45$

1,0, kun betonin $v/s > 0,45$ (rasitusluokissa XC ja XF)

Masuunikuona

Masuunikuonaa syntyy raakaraudan valmistuksen sivutuotteena kolmea eri tyyppiä:

- granuloitua masuunikuonaa
- pelletoitua masuunikuonaa
- kappalekuonaa

Kuonan sideaineominaisuudet riippuvat paitsi kuonan kemiallisesta koostumuksesta niin varsinkin sulan kuonan jäähdystavasta.

- 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.



Masuunikuona

Masuunikuonajauhe parantaa betonin sulfaatinkestävyyttä.

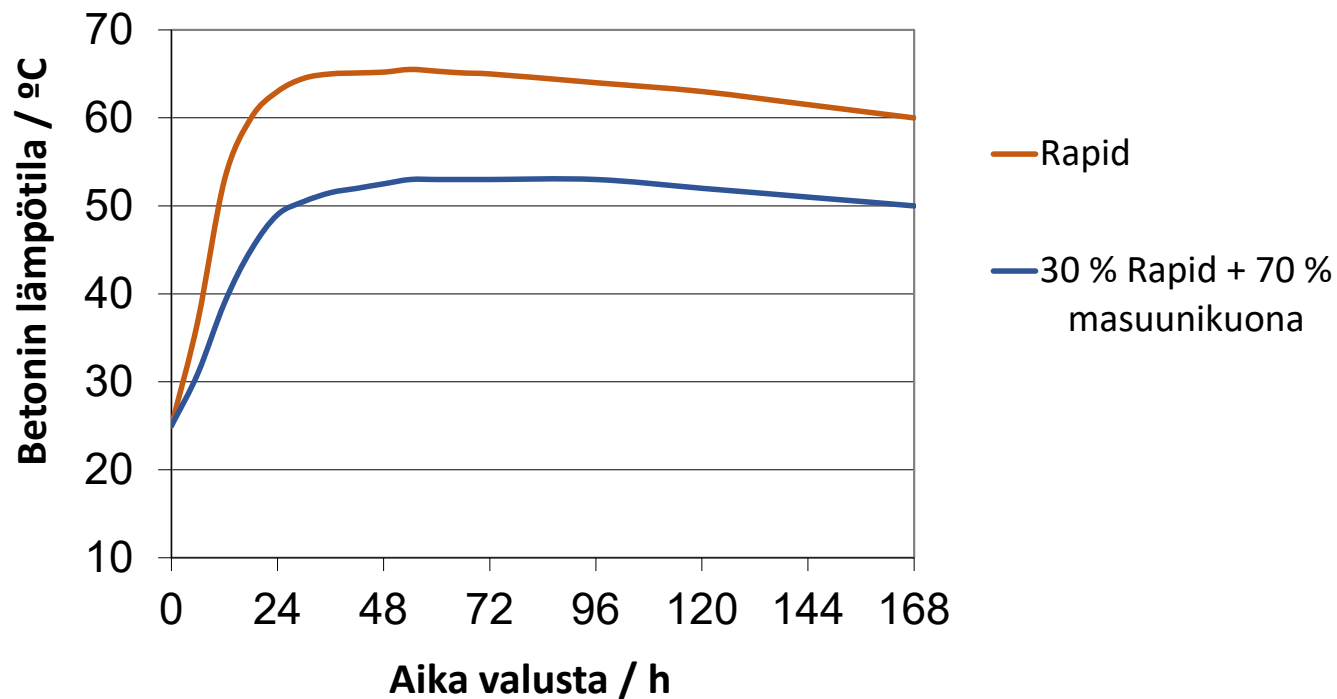
- Jos kuonajauheen osuus on yli 70 % sideaineesta, sideaineyhdistelmä luokitellaan sulfaatinkestäväksi.

Masuunikuonajauheen käyttö lisää jonkin verran betonin virumaa ja karbonatisoitumisnopeutta sekä heikentää betonin pakkas-suolakestävyyttä.

Sementtimäärää laskettaessa kuonajauhe lasketaan 100 % sementiksi (muutos vuonna 2019).

Vaikutus lämmönkehitykseen

Betonin lämpötila 3 m paksussa laaatassa



Masuunikuonan edut ja haitat

Etuja:

- alhainen hydrataatiolämpö
- CO₂-päästöjen vähentäminen
- hidastaa kloridin tunkeutumista betoniin

Haittoja:

- heikentää betonin pakkas-suolakestävyyttä
- kovettuminen kylmissä oloissa

Seosaineiden
tyypillisiä
hienouksia
(ominaispinta-ala
Blaine)

Sementti	350 ... 600	m ² /kg
Kuona	400	m ² /kg
Lentotuhka	250	m ² /kg
Kiviaineksen <0,125 mm	100	m ² /kg
Silika	20 000	m ² /kg

Seosaineiden käyttö betonissa

	Rasitusluokat																		
	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio				Kloridien aiheuttama korroosio						Jäädytys-sulatusrasitus				Aggressiivinen kemiallinen rasitus			
						Merivesi			Kloridit muusta kuin merivedestä										
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Sallitut sementtityypit	Ei säilyvyyden aiheuttamia rajoituksia Kaikki standardin SFS-EN 197-1 & SFS-EN 197-5 mukaiset sementit ovat sallittuja	I	I	I	I ^a	I ^a	I ^a	I ^a	I ^a	I ^a	I ^a	I	I	I	I	I	b,c	b,c	
		II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S	II/A-S		
		II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S	II/B-S		
		II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D	II/A-D		
		II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P	II/A-P			
		II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q	II/A-Q				
		II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V	II/A-V		
		II/B-V	II/B-V			II/B-V				II/B-V							II/B-V		
		II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL	II/A-LL		
		II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	II/A-M ^h	
		II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	II/B-M ^d	
		III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A	III/A		
		III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B	III/B		
Seosainekertoimet																			
Silika v/s ≤ 0,45	2,00	2,00				2,00			2,00			2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			
v/s > 0,45	1,00	1,00				2,00			1,00			1,00	1,00	1,00	1,00	2,00			
Lentotuhka ^f	1,00	0,40				0,40			0,40			1,00	0,40	1,00	0,40	0,40			
Masuunikuona	1,00	1,00				1,00			1,00			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
Portland-klinkkerin vähimmäisosuus %-osuuksina sideaineen massasta	5	5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50	20	50	20	c	c	

Mitä ovat
luonnonpozzolaanit?

Luonnonpozzolaanit ovat
luontaista alkuperää olevia,
kuten tulivuoren tuhka,
(kalsinoidut/ muuten
käsittellyt) savet tai
sedimenttikivistä peräisin
olevia, joilla on sopiva
kemiallinen ja
mineraloginen koostumus
toimiakseen pozzolaanina.





Tekijä: Giovanni Paolo Panini - 1AHJFNF8OkfG9Q at Google Cultural Institute maximum zoom level, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=21996534>

Roomalaisen betonin reaktio

