

Rakennussementit

Betonilaborantti ja -myllärikurssi 9.1.2024
Otaniemi, Espoo

Sini Ruokonen

Finnsementti Oy



Agenda

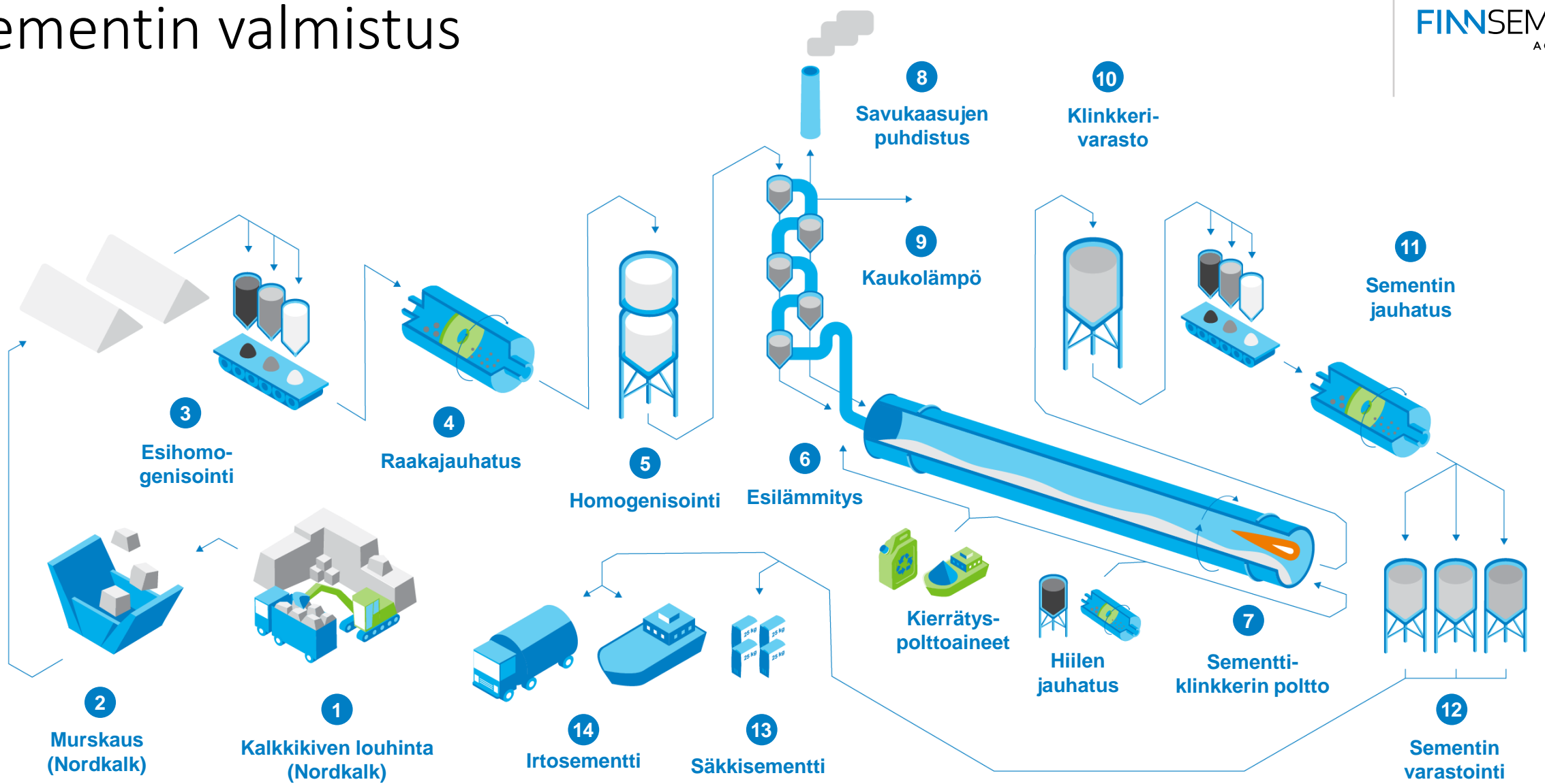
- Sementin valmistus
- Sementtityypit
- Sementin hydrataatio
- Sementti ja hiilidioksidi
- Sementit erilaisiin käyttökohteisiin



Sementin valmistus



Sementin valmistus

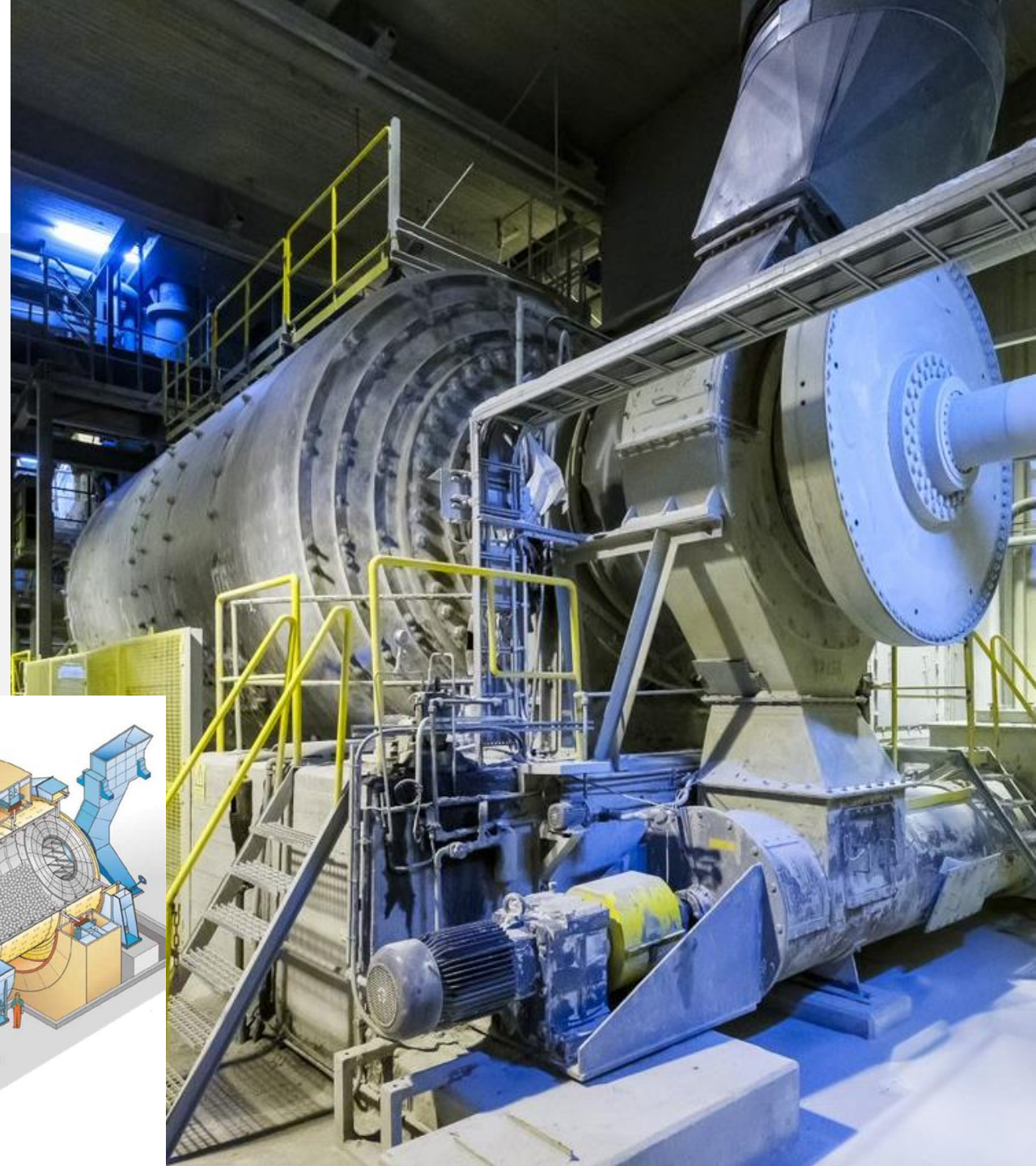
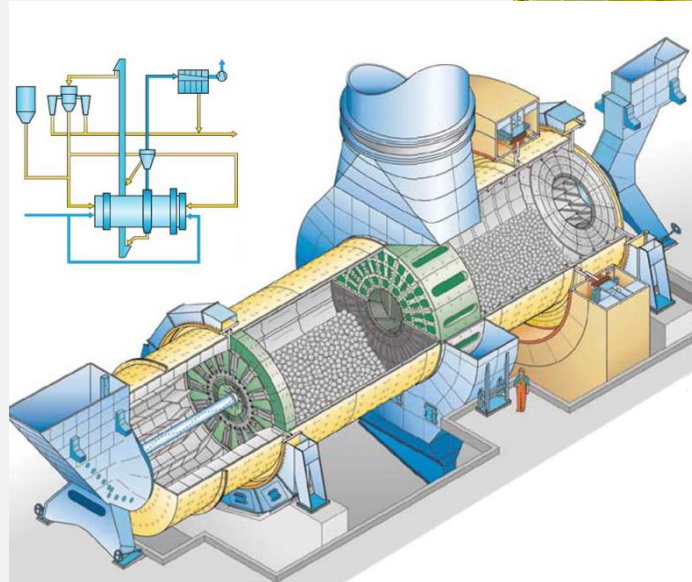


1. Kalkkikivien louhinta ja murskaus, esihomogenisointi ja jauhatus

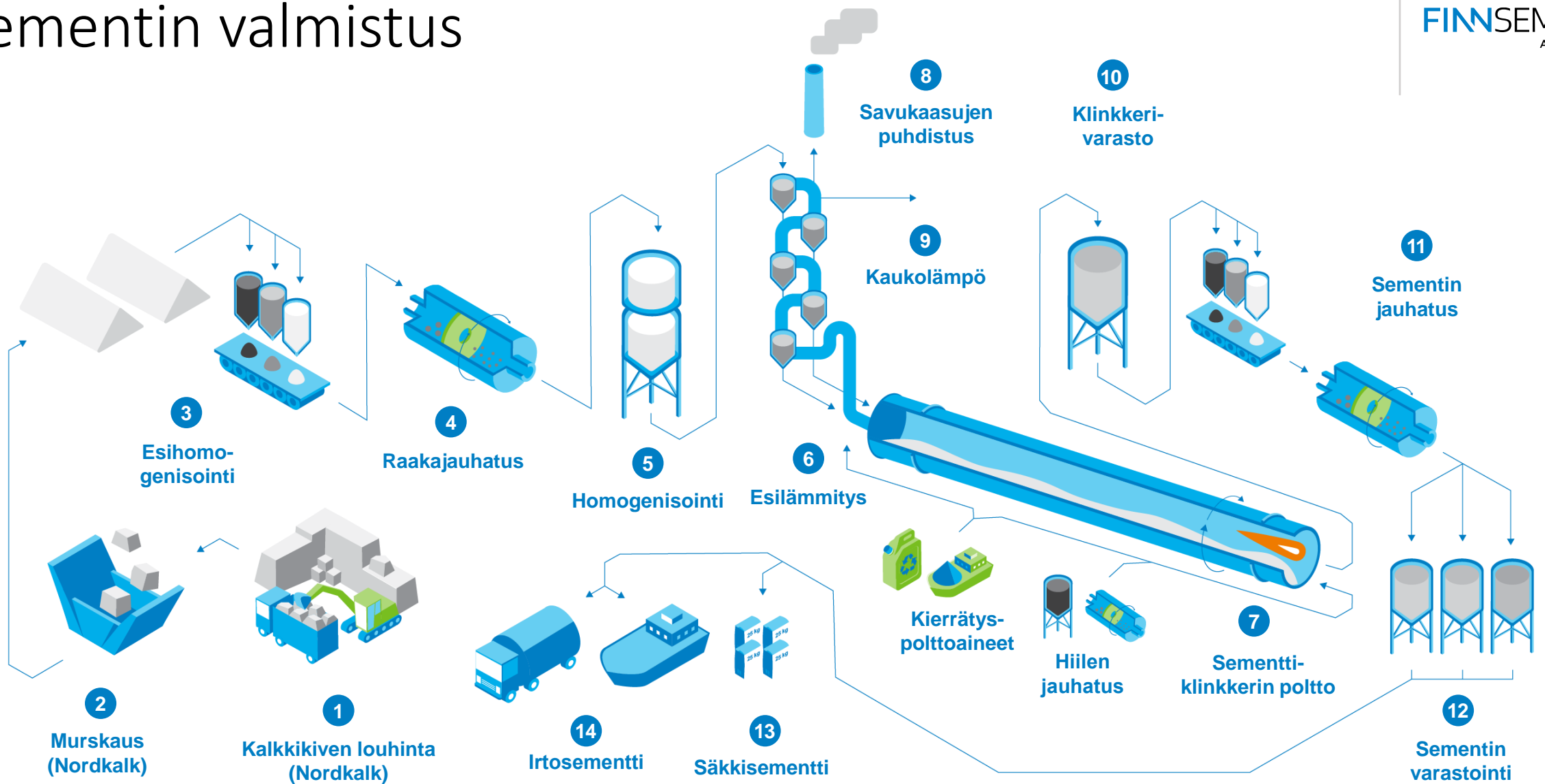


1. Raaka-jauhatus

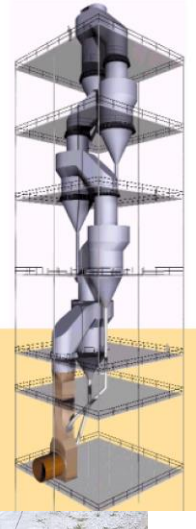
- Uunijauheen valmistuksella merkittävä rooli klinkkerin laadussa
- Syötetään alkuaineita oikeassa suhteessa:
 - Ca, Si Kalkkikivi, CaCO_3 -pitoisuus 65-80 %
Kalkkikivi, CaCO_3 -pitoisuus > 80 %
 - Al, Si Lentotuhka
 - Fe Nikkeliraekuona
 - Al, Fe Bauksiitti
 - Ca, Si, Al, Fe Kierrätysmineraali



Sementin valmistus

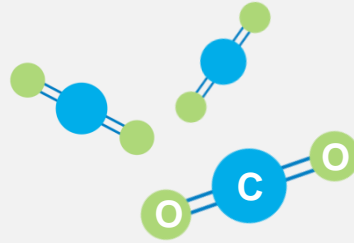


2. Uunjauheen esilämmitys ja klinkkerin poltto

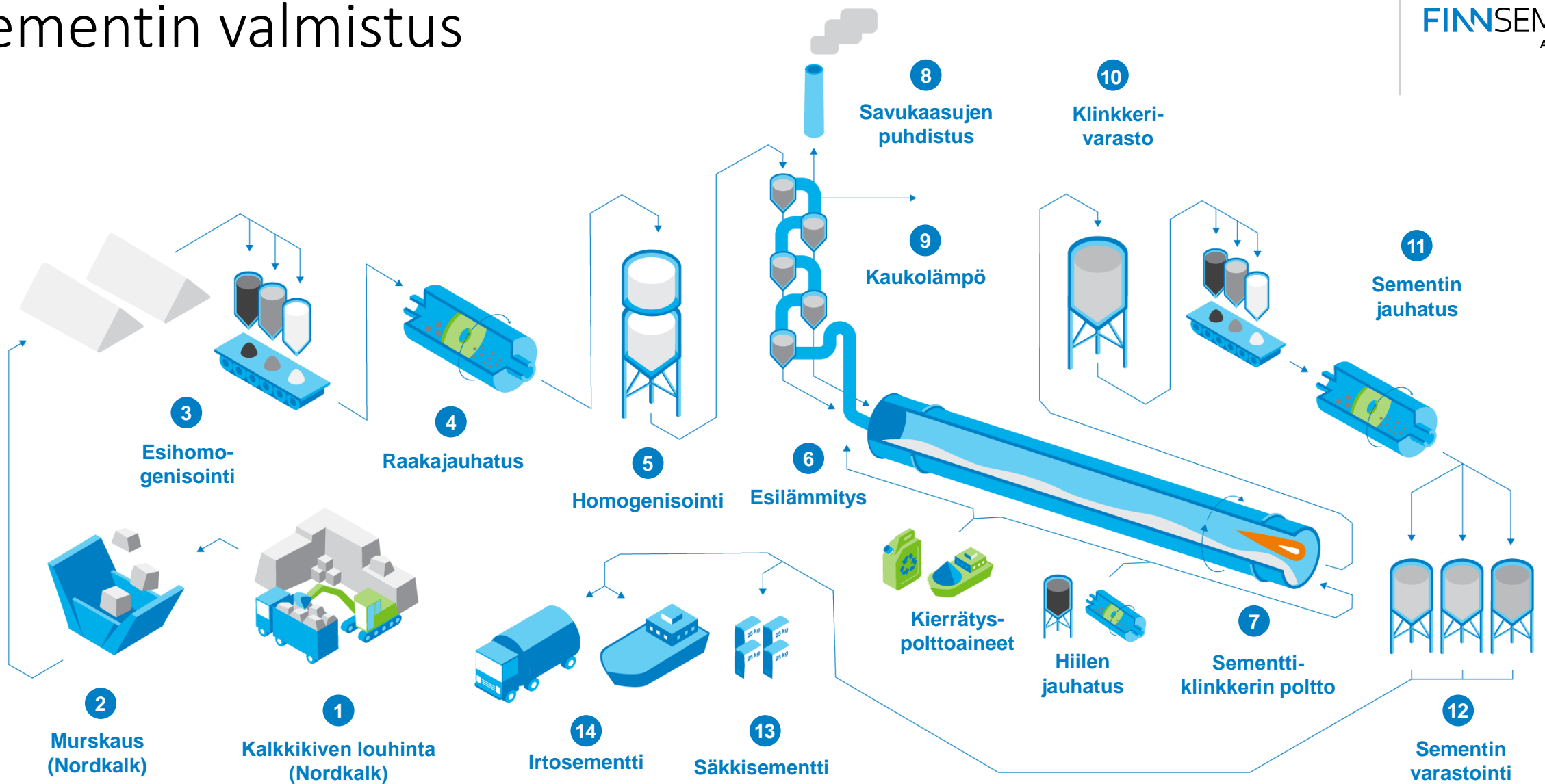


2. Klinkkerin poltto

- Kalsinointi 860 °C
 - $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} * \text{CO}_2$
- Sulan muodostuminen 1100 °C
 - Fe_2O_3 ja Al_2O_3
 - Rautaoksidi ja alumiinioksidi
- Beliitin ja aluminaattien muodostuminen 1100 °C
 - $2 \text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_2 * \text{SiO}_2$ (beliitti)
 - $3 \text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow (\text{CaO})_3 * \text{Al}_2\text{O}_3$ (aluminaatti)
 - $4 \text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow (\text{CaO})_4 * \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (ferriitti)
- Aliitin muodostuminen 1400 °C
 - $\text{CaO} + (\text{CaO})_2 * \text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_3 * \text{SiO}_2$ (aliitti)
- Nopea jäähdyttäminen

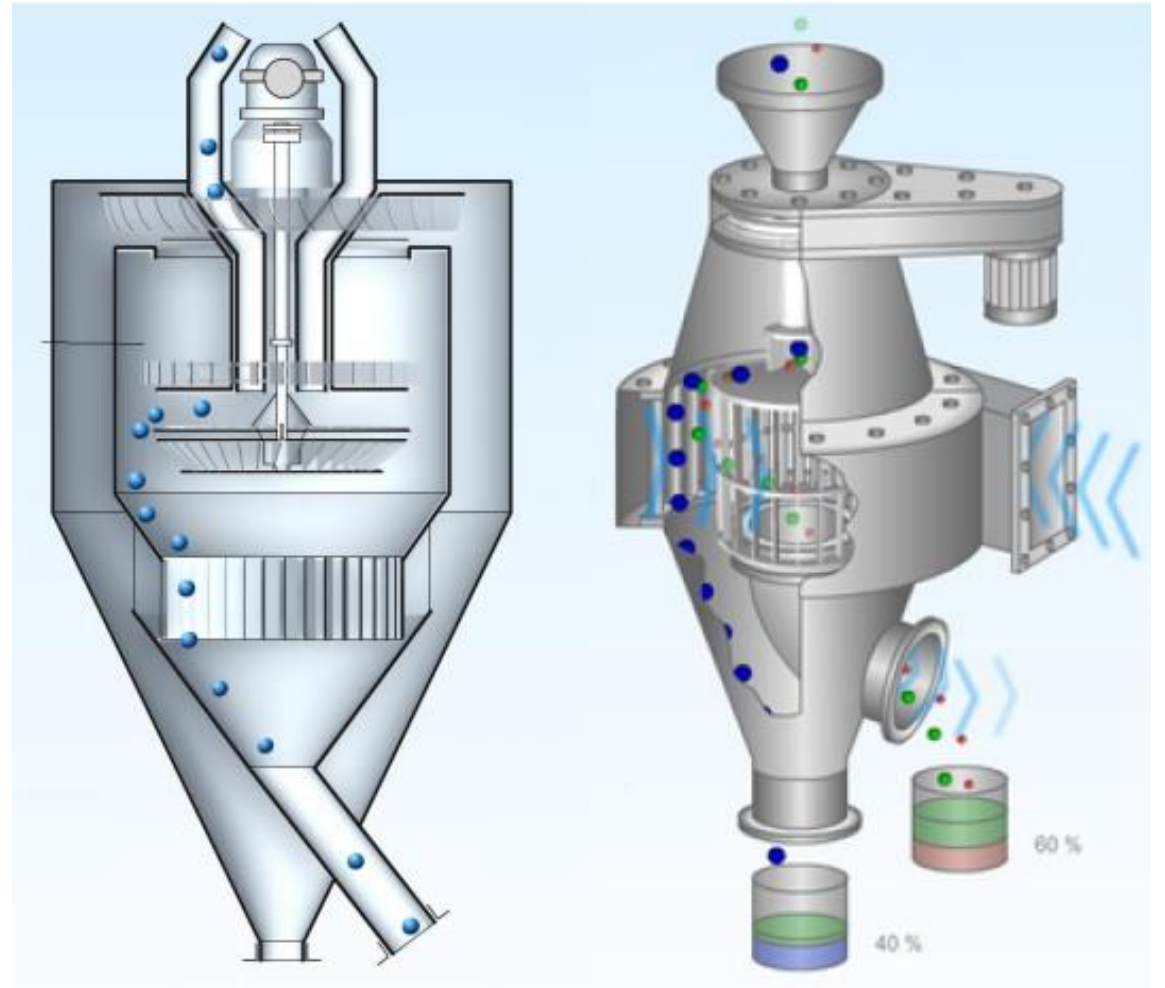
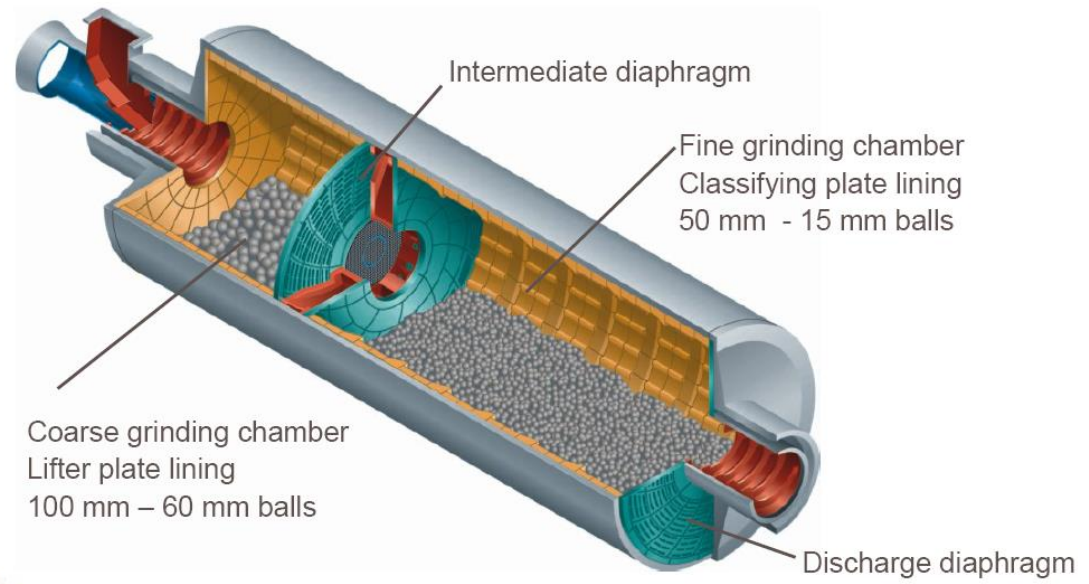


Sementin valmistus



3. Sementin jauhatus

Ball mill for dry grinding



Finnsementin sementtilaadut

Kolmos
SEMENTTI

Vähäpäästöinen
masuunikuona-
sementti

Kolmos
Bertta

Erittäin
vähäpäästöinen
masuunikuona-
sementti

Oiva
SEMENTTI

Seossementti
betonirakentamiseen ja
stabilointiin

Rapid
SEMENTTI CEMENT

Elementtituotantoon
ja talvibetonointiin

Pika
SEMENTTI CEMENT

Nopeaa muottikiertoa
vaativaan elementti-
ja betonituotantoon

SR
SEMENTTI CEMENT

Betonilattioihin,
kemiallisesti
rasitettuihin kohteisiin
ja siltabetoneihin

Ykkös
SEMENTTI

Erikoissementti,
kuivatuohteisiin ja
erityiskohteisiin

Valko
SEMENTTI CEMENT

Valkoisiin ja
värillisiin elementti-
ja betonituotteisiin

Sementin valmistus – kertaukseksi

1. Kalkkikivien louhinta, murskaus ja raakajauhatus



2. Portlandklinkkerin valmistus



3. Sementin jauhatus ja seostus



Sementtityypit



Sementtityypit SFS-EN 197-1

- Pääajit

- **CEM I** Portlandsementti
- **CEM II** Portlandseossementti
- **CEM III** Masuunikuonasementti
- CEM IV Pozzolaanisementti
- CEM V Seossementti

- Seosaineiden tunnuks

- **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 poltetu liuske

- Varhaislujuuden tunnuks

- **L^a** alhainen varhaislujuus
- **N** normaali varhaislujuus
- **R** nopea varhaislujuus

- Standardilujuusluokat (28 vrk)

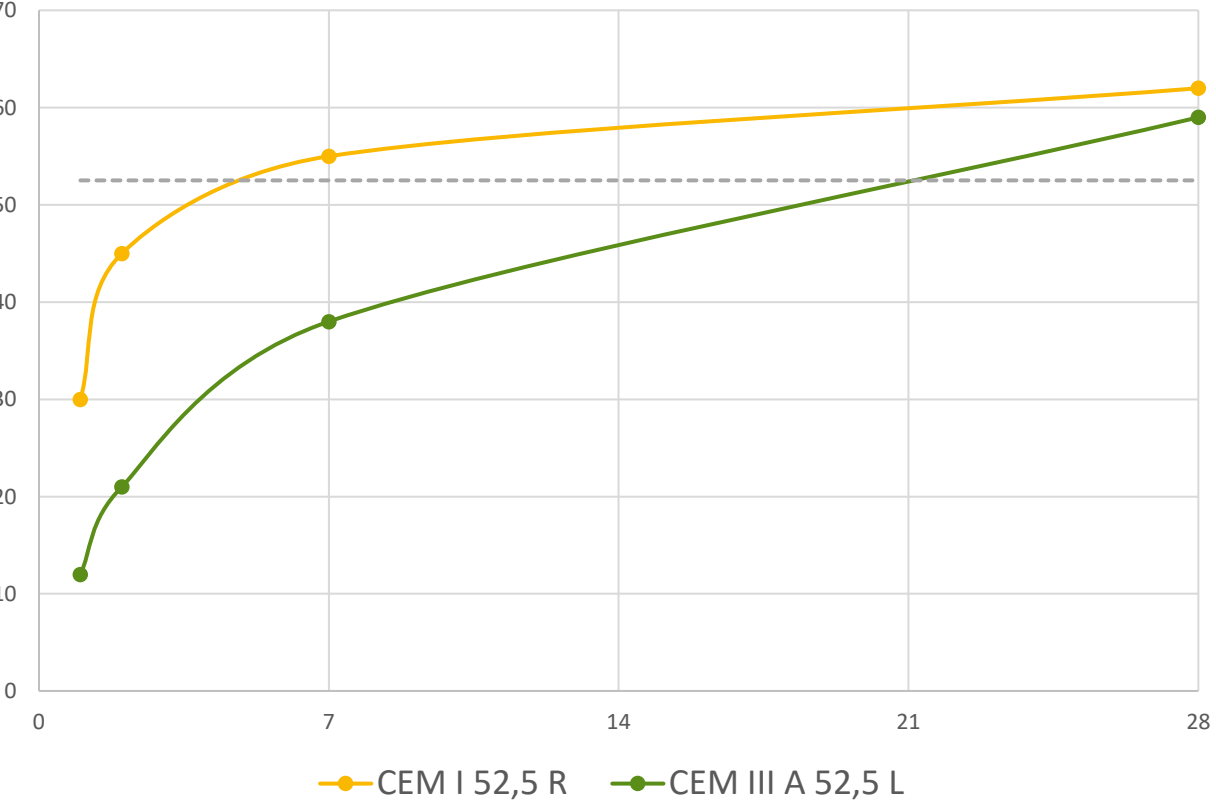
- 32,5 MPa
- **42,5 MPa**
- **52,5 MPa**

Lujuusluokka	Puristuslujuus MPa		
	Varhaislujuus		Standardilujuus
	2 vrk	7 vrk	28 vrk:n
32,5 L ^a	–	$\geq 12,0$	$\geq 32,5$ $\leq 52,5$
32,5 N	–	$\geq 16,0$	
32,5 R	$\geq 10,0$	–	
42,5 L ^a	–	$\geq 16,0$	$\geq 42,5$ $\leq 62,5$
42,5 N	$\geq 10,0$	–	
42,5 R	$\geq 20,0$	–	
52,5 L ^a	$\geq 10,0$	–	$\geq 52,5$ –
52,5 N	$\geq 20,0$	–	
52,5 R	$\geq 30,0$	–	

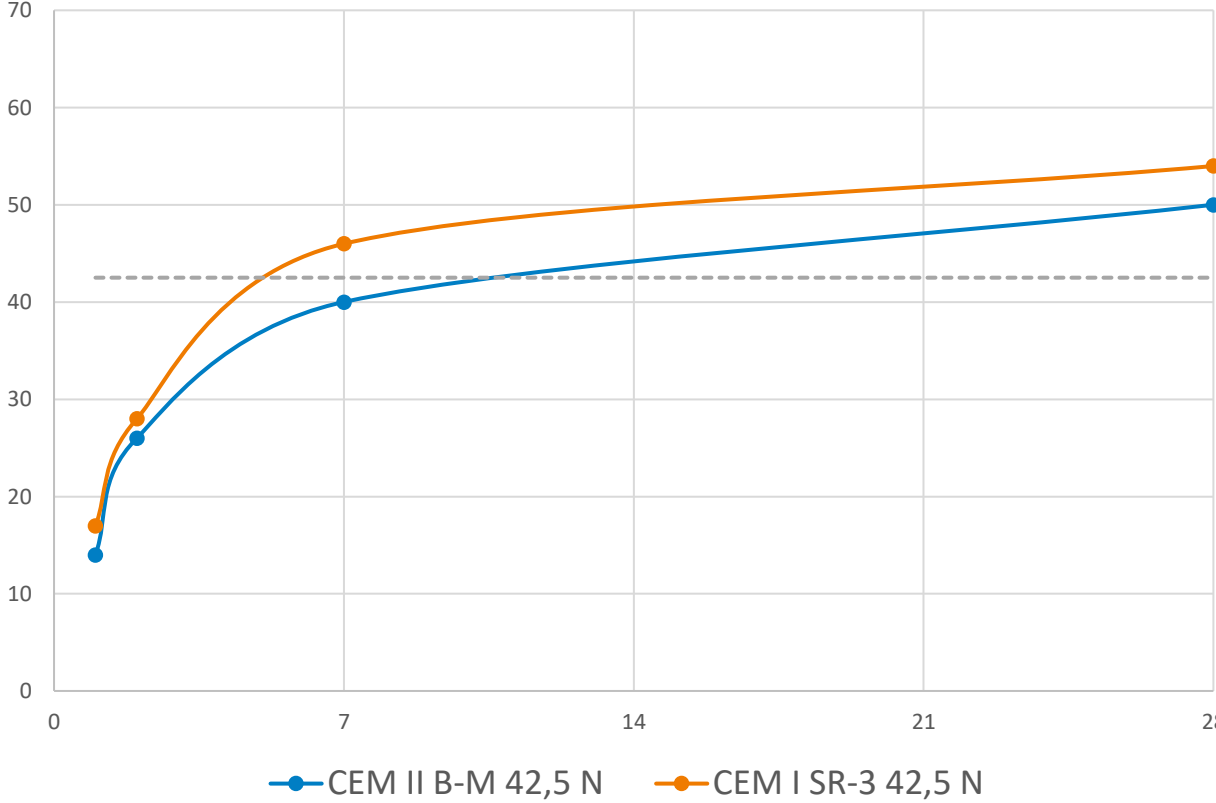
^a Lujuusluokka on määritelty vain CEM III -sementeille.

Sementin lujuudenkehitys, varhais- ja standardilujuus

Lujuusluokat **52,5 R** ja **52,5 L**



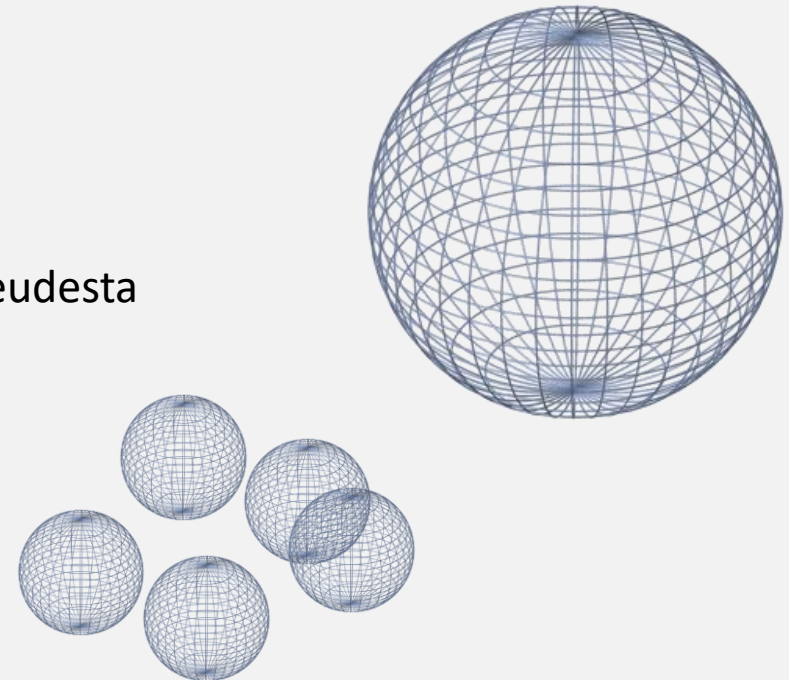
Lujuusluokka **42,5 N**



Erilaisten sementtien lujuudenkehitys

- Hydrataatioreaktio tapahtuu sementtirakeiden pinnalla
- Mitä enemmän sementtirakeen pinta-alaa yhdessä betonikuutiossa on, sitä nopeammin betoni kovettuu
 - Mitä hienommaksi sementti on jauhettu, sitä nopeammin betoni kovettuu
- Myös sementin klinkkerikemia ja sementin seosaineet vaikuttavat kovettumiseen
- Sementin nimen perässä oleva tunnus kertoo sen lujuudesta ja lujuudenkehitysnopeudesta
 - 52,5 L
 - 52,5 R

$$A = 4\pi r^2$$



Esimerkiksi

- Rapidsementti CEM II/A-LL 52,5 N
 - CEM II/A-LL Portlandkalkkikivisementti
 - II/A seosaineen osuus 6 – 20 %
 - LL seosaineena kalkkikivi
 - 52,5 Standardilujuus (28 vrk) \geq 52,5 Mpa
 - N Normaali alkulujuudenkehitys, 2 vrk \geq 20 MPa

Rapid
SEMENTTI CEMENT

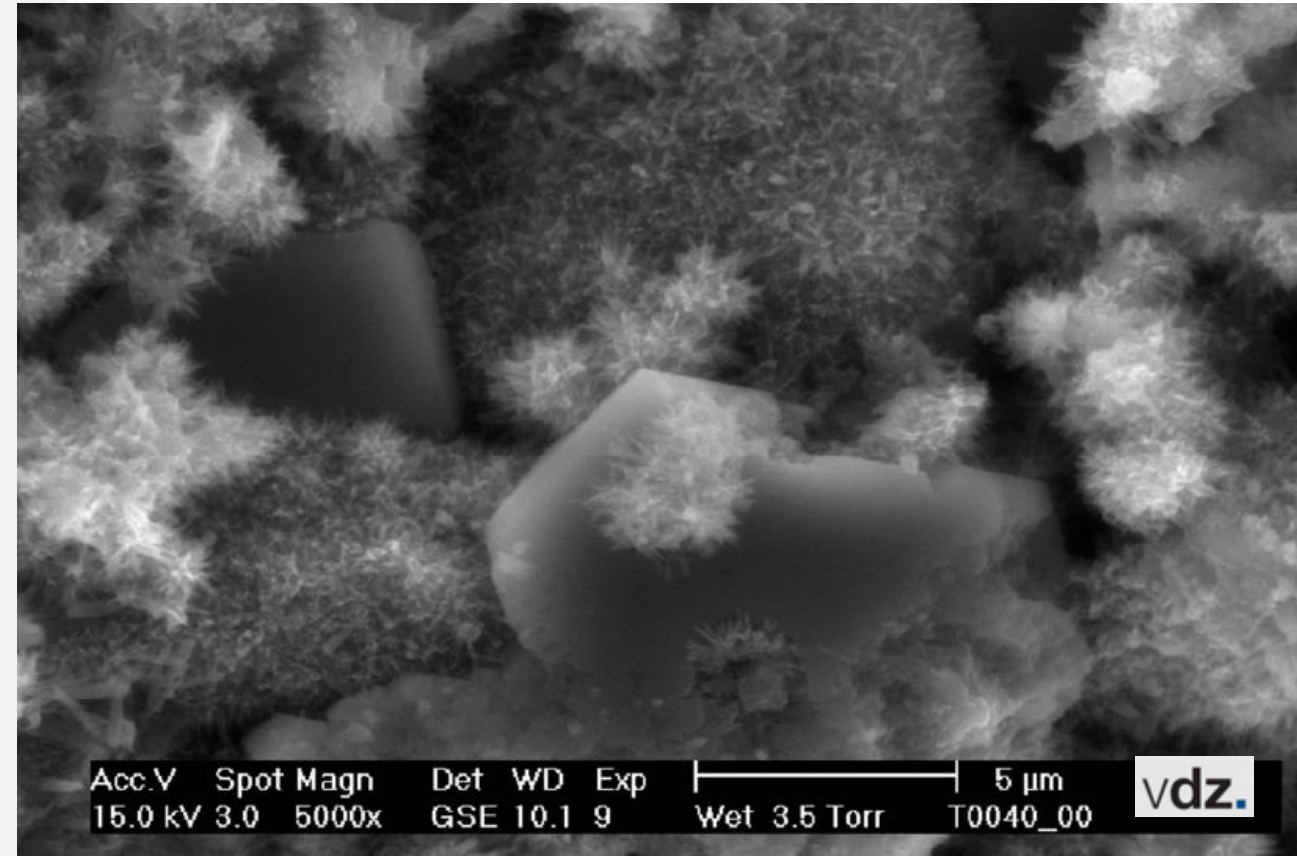


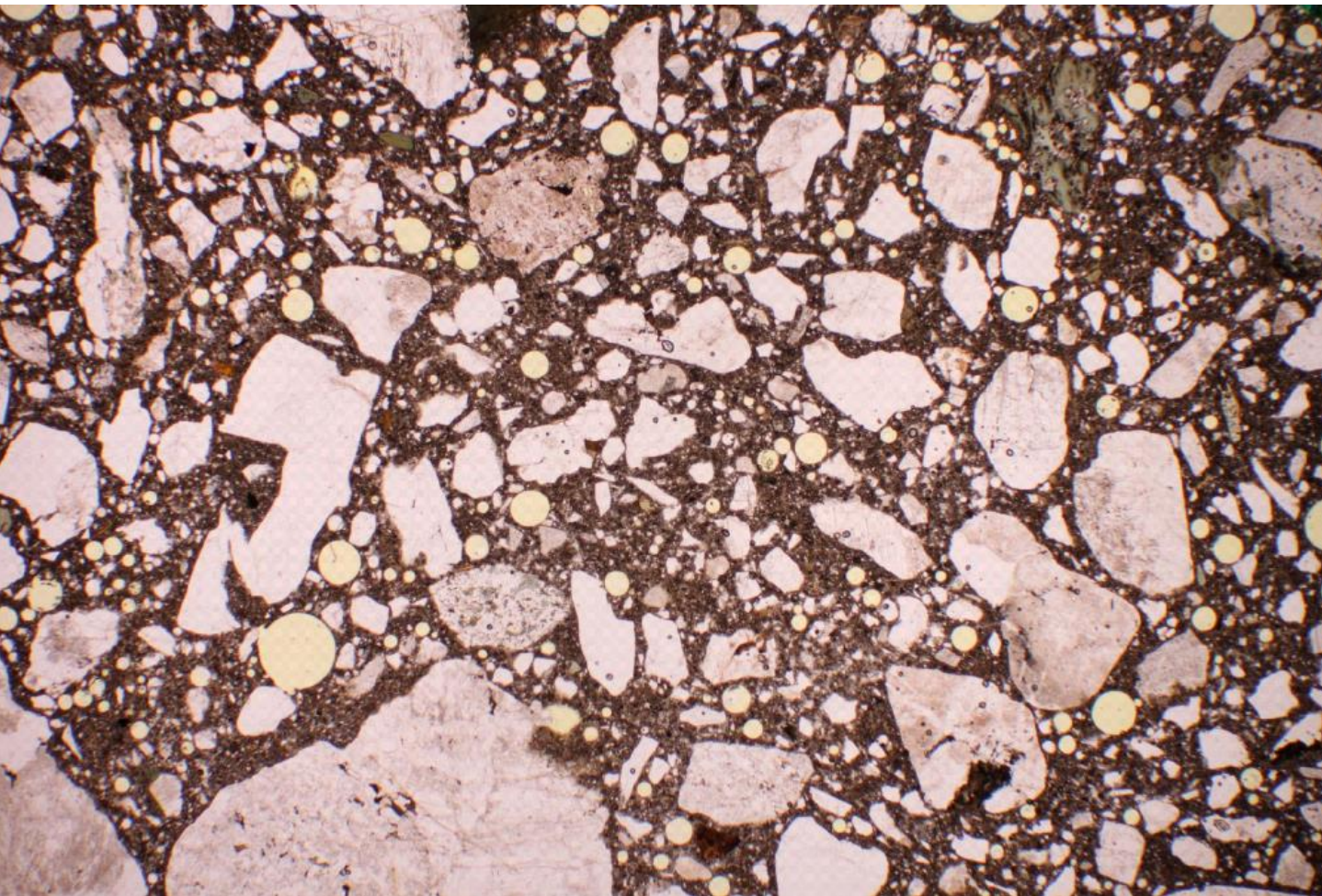
Sementin hydrataatio



Sementin hydrataatio

- Hydrataatio = reaktio, jossa molekyyliin liittyy vettä
- Sementin hydrataatiossa klinkkerimineraalit reagoivat veden kanssa ja muodostavat uusia kiinteitä aineita, hydraatteja
- Sementtirakeiden pinnalle alkaa syntyä sauvamaisista ja levymäisistä kiteistä muodostunutta massaa, joka ympäröi runkoaineet
- Syntyy kovettunutta betonia
- Reaktio on eksoterminen, reaktio tuottaa lämpöä

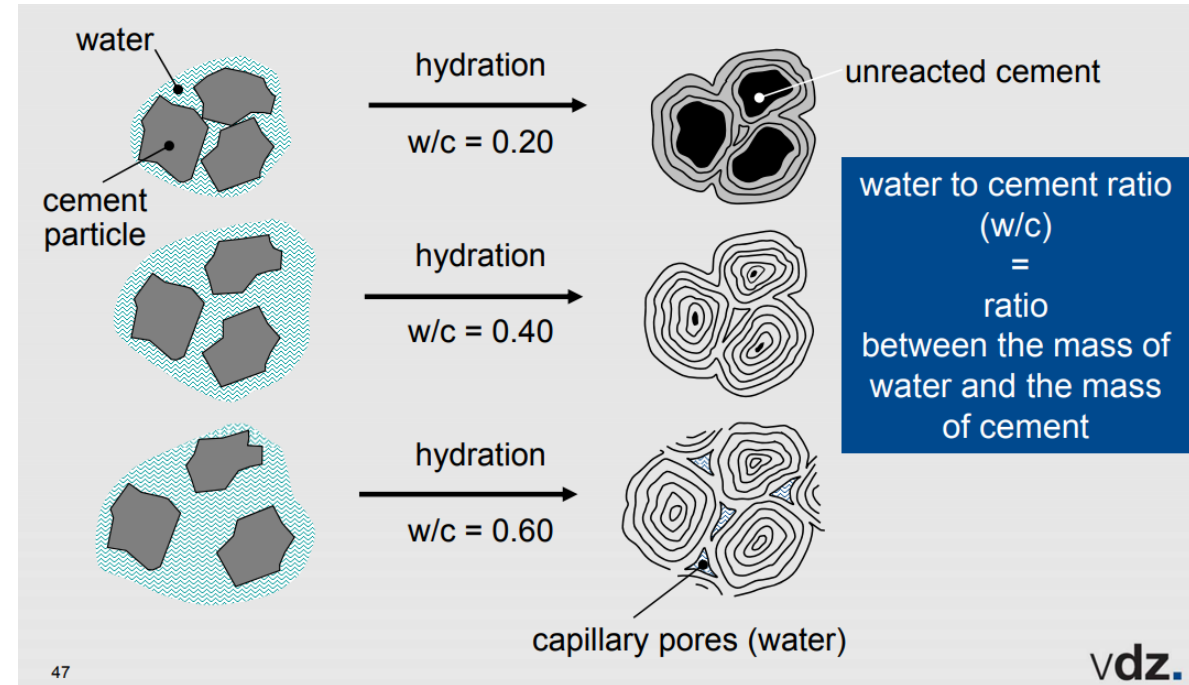




Kuvan lyhyt sivu 7 mm, Vahanen

Betonin veden ja sementin suhde (v/s-suhde)

- Mitä pienempi v/s-suhde, sitä lujempaa betonista tulee
- Tyypillisesti betonia tehdään 0,7 – 0,30 v/s-suhteilla
- Teoreettinen optimi v/s-suhteelle 0,40
 - Kaikki sementti ja vesi reagoivat
- Hydrataatio tuottaa lämpöä
 - Lämpö kiihdyttää hydrataatiota

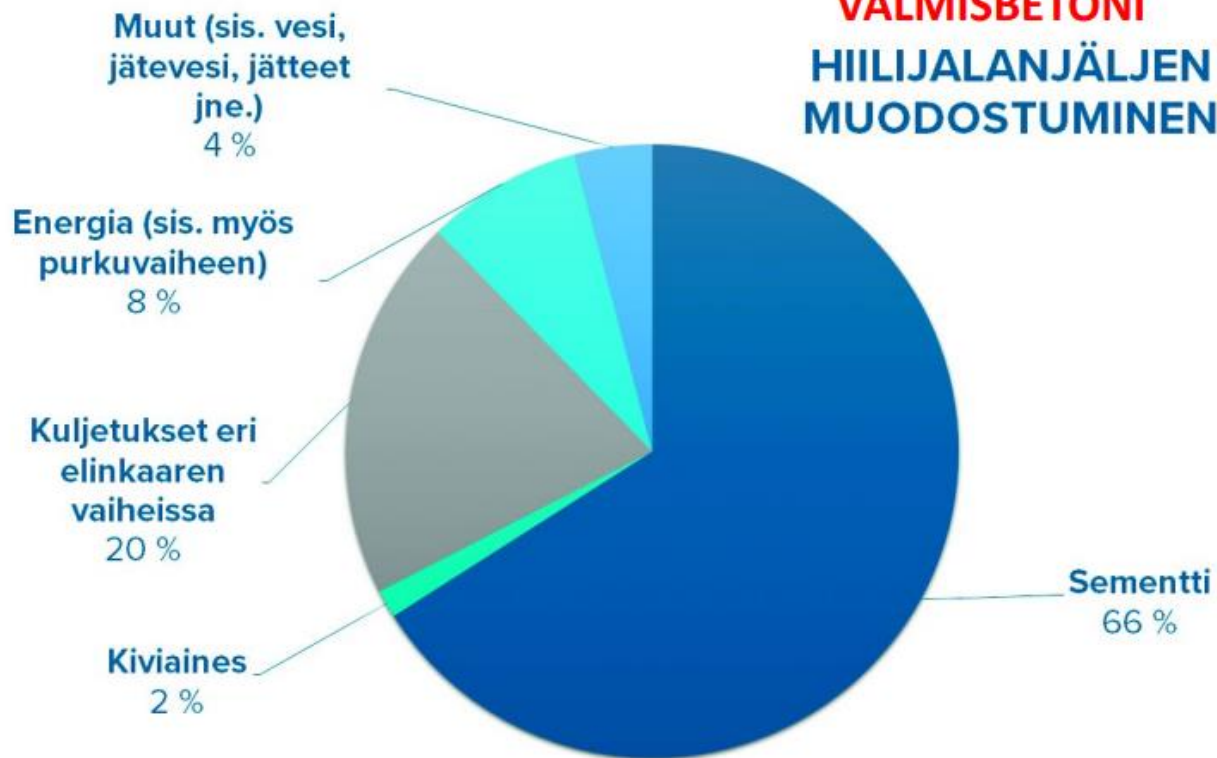


Sementti ja hiilidioksidi

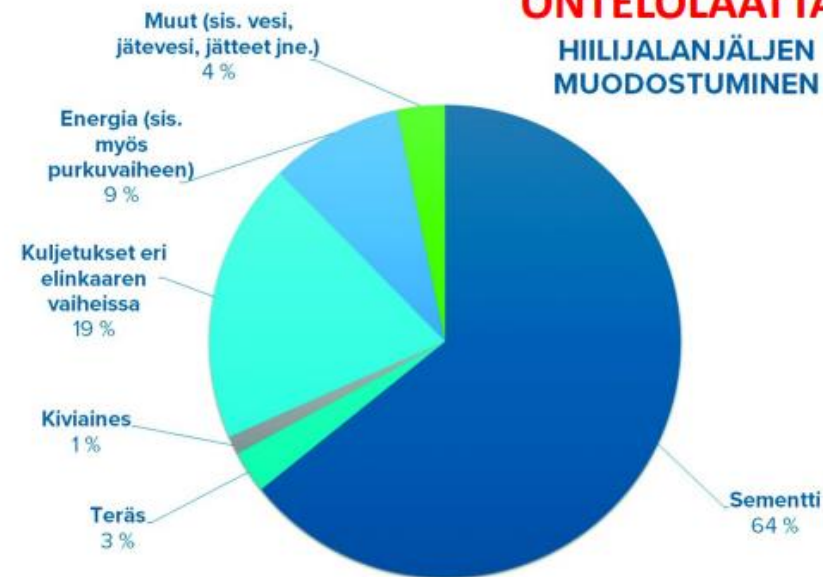


Mistä CO₂-päästöt syntyvät?

VALMISBETONI HIILIJALANJÄLJEN MUODOSTUMINEN



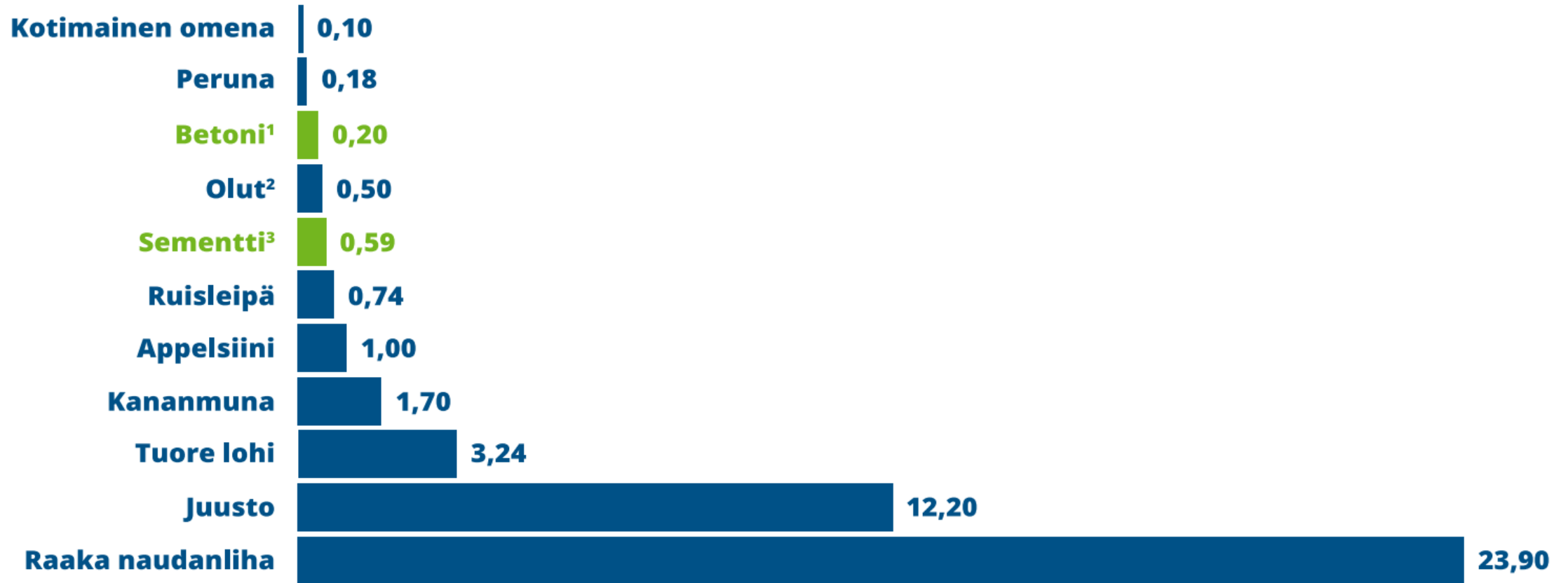
ONTELOLAATTA HIILIJALANJÄLJEN MUODOSTUMINEN



SANDWICH-ELEMENTTI HIILIJALANJÄLJEN MUODOSTUMINEN



Hiilidioksidipäästöt CO₂/kg



Aalto-yliopisto, Cvijeta Miljak / Jouni Punkki

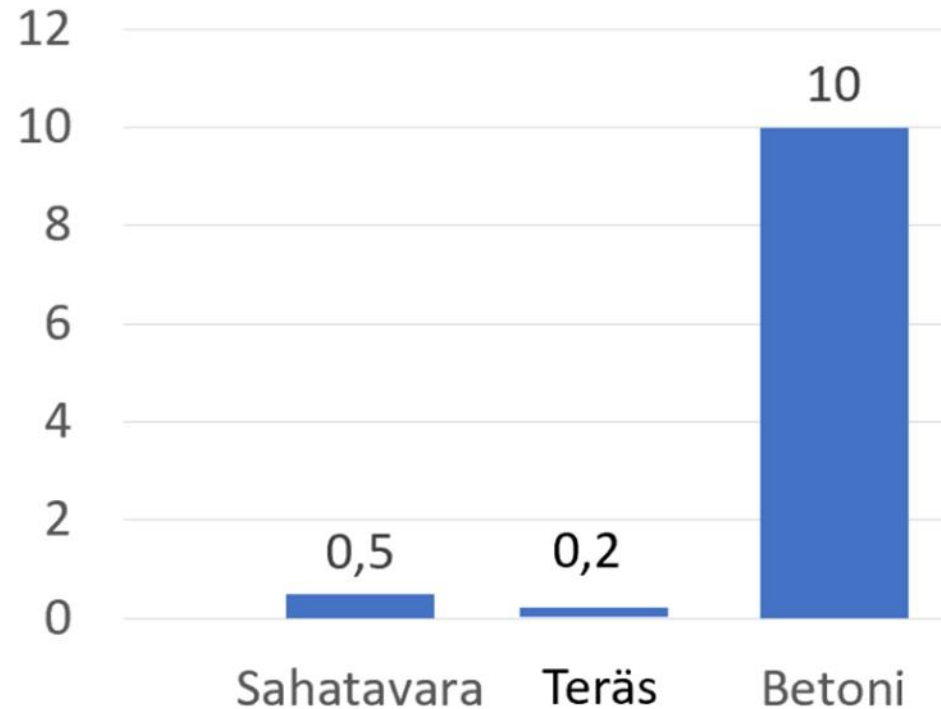
Source: <https://www.unileverfoodsolutions.fi/teemat-ja-ratkaisut/tyokalu/co2-laskuri.html>

¹ Typical ready-mix concrete in Finland

² Pia Karjalainen, The carbon foot print of the Finnish beverage industry for years 2000- 2012 as calculated with CCaLC. University of Helsinki, 2013

³ Finnsementti. Environmental report 2019.

Materiaalien globaalit tuotantomäärät, mrd m³/v



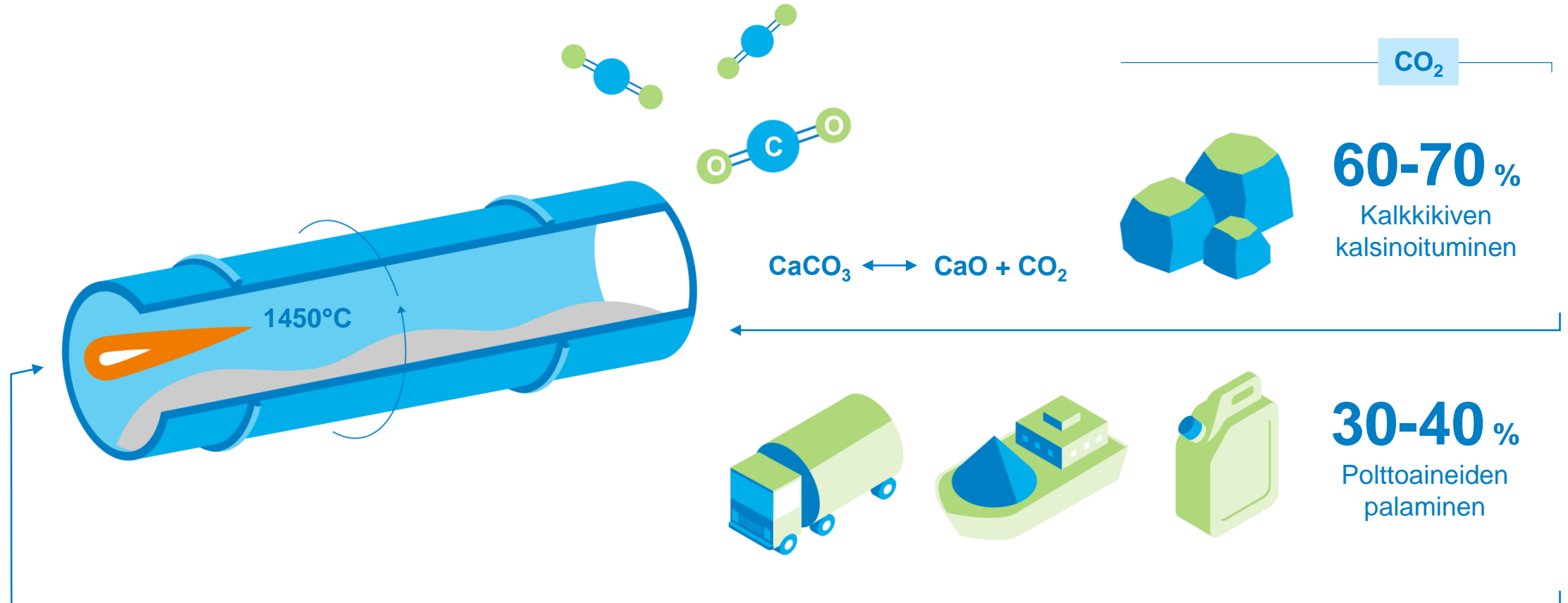
Betonia ei ole mahdollista korvata muilla materiaaleilla. Rakentamisen materiaalipäästöjä pienennetään alentamalla betonirakentamisen päästöjä.

¹ FAO

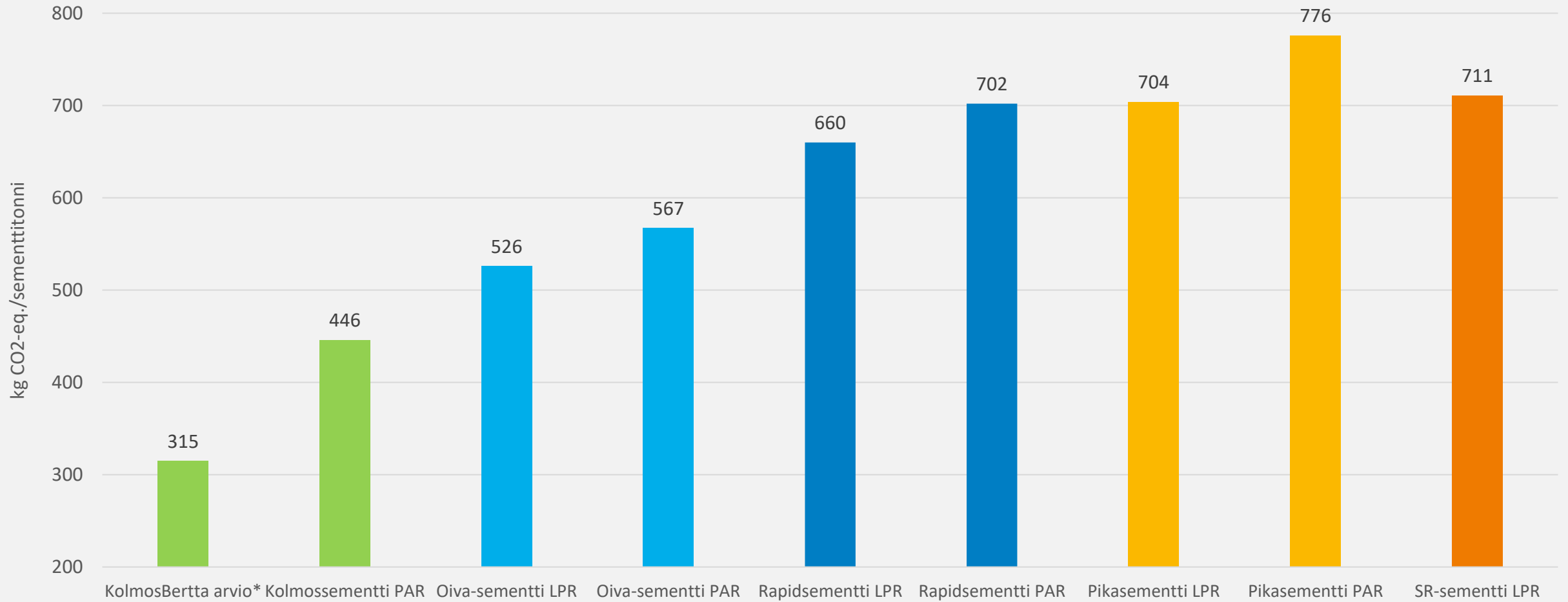
² World Steel Association

³ International Energy Agency IEA

Näin sementin päästöt syntyvät



Sementin CO₂-päästöt [kg CO₂-eq./t] eli GWP-arvot



Sementit erilaisiin
käyttökohteisiin



Sementit eri rasitusluokissa (SFS 7022)

LUONNOS

Taulukko 2 -FI Betonin sideaineelle asetettavat vaatimukset

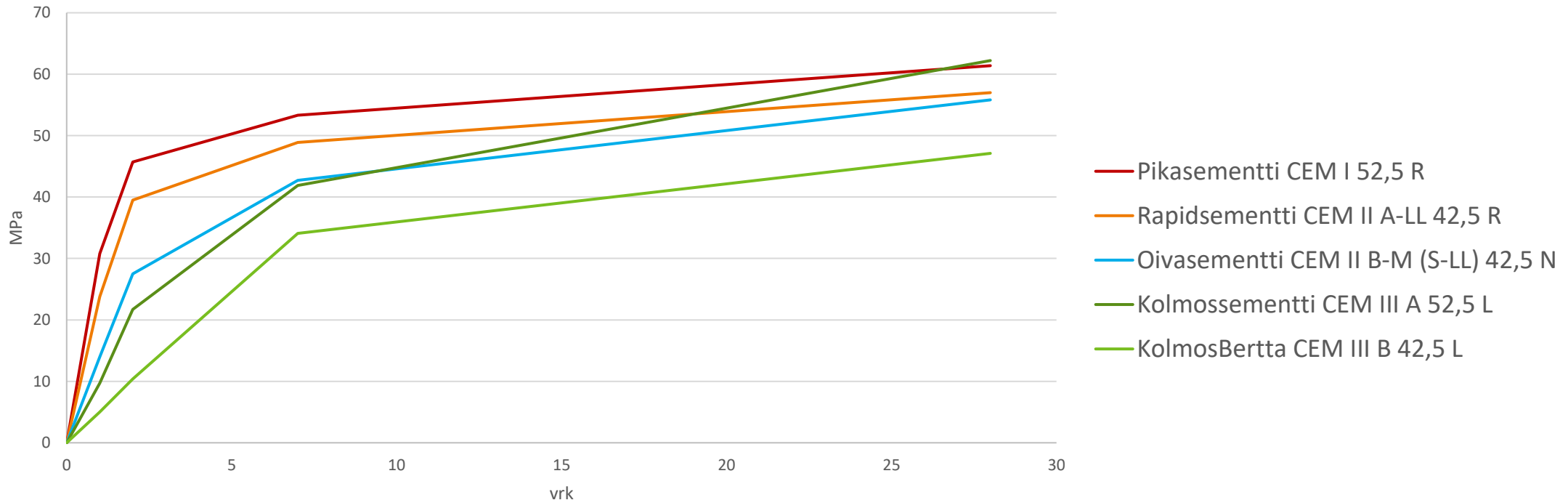
	Rasitusluokat																	
	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio				Kloridien aiheuttama korrosio						Jäädytys-sulatusrasitus				Aggressiivinen kemiallinen rasitus		
						Merivesi			Kloridit muusta kuin merivedestä									
X0	XC 1	XC 2	XC3	XC 4	XS1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Sallitut sementtityypit	Ei säilyvyyden aiheuttamia rajoituksia	I	I	I	I ¹⁾	I ¹⁾	I ¹⁾	I ¹⁾	I ¹⁾	I ¹⁾	I	I	I	I	I	2) 3)	2) 3)	
		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		
	Kaikki standardin SFS-EN 197-1 mukaiset sementit ovat sallittuja	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-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/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-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M	II/A-M		
		II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾	II/B-M ⁴⁾		
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 ⁵⁾	III/A	III/A ⁵⁾	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			
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			2,00		1,00	1,00	1,00	1,00		2,00		
Lentotuhka ⁶⁾	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		

⁵⁾ Masuunikuonan osuus saa olla korkeintaan 50 massa-% sideaineen kokonaismäärästä. Tällöin masuunikuonamäärään lasketaan mukaan myös sementin sisältämä masuunikuona.

Nopeita sementtejä elementteihin ja vb:n talvivaluihin

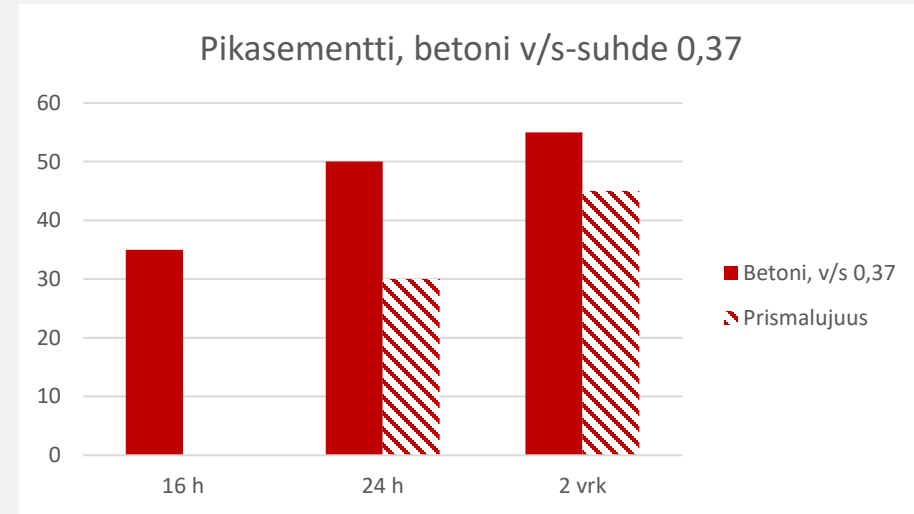
- Nopeita sementtejä, kun tarvitaan nopeaa lujuudenkehitystä

Sementtien prismaljuuudet (v/s-suhde 0,50)

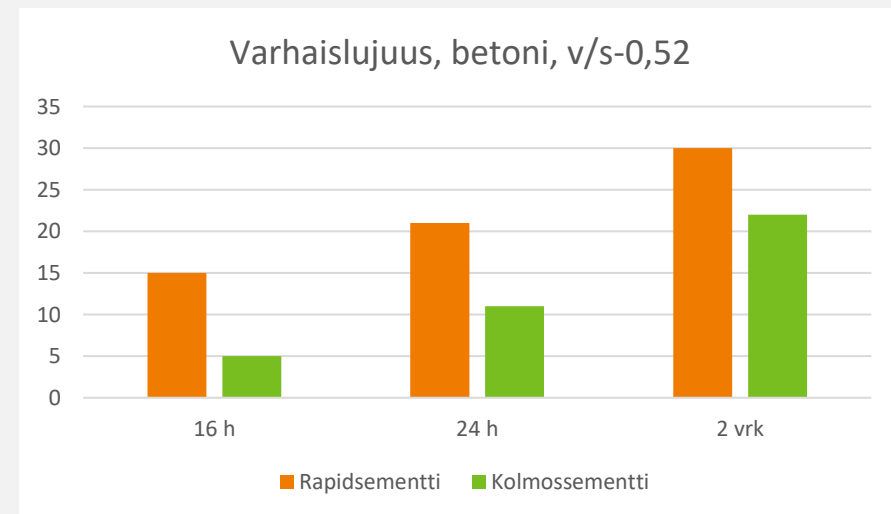


Elementtituotanto – Nopea lujuudenkehitys eduksi

- Esijännitettyjen elementtien laukaisulujuusvaatimus n. 35...40 MPa

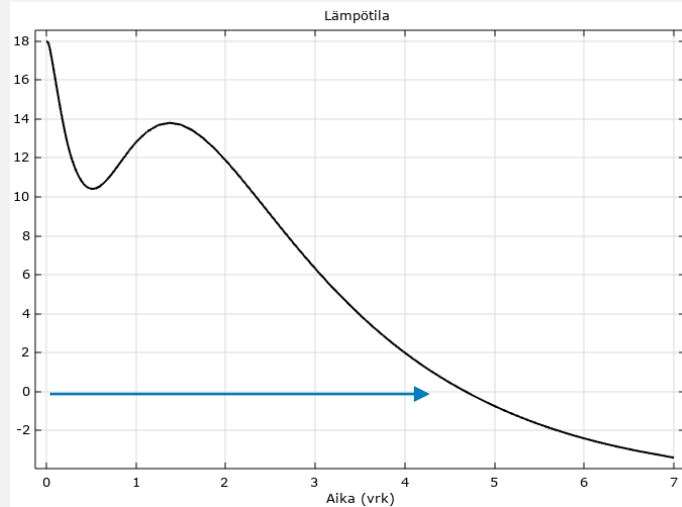


- Seinäelementtien nostolujuusvaatimus n. 15...20 MPa



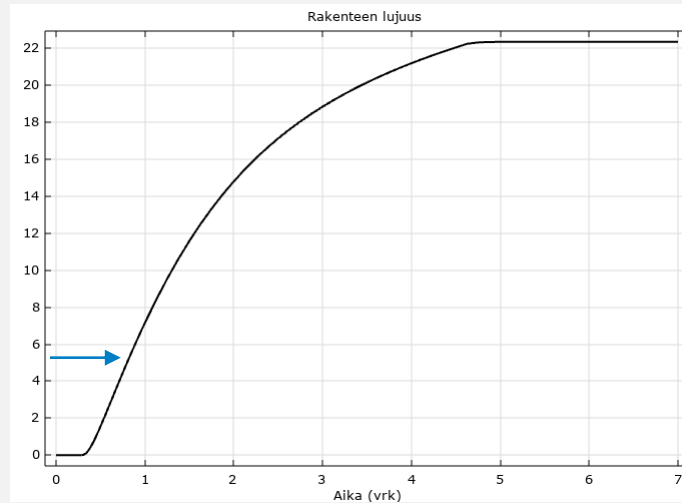
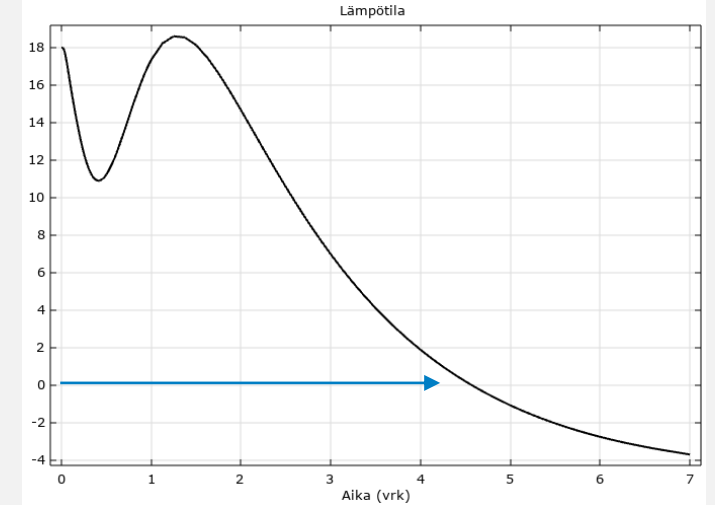
Talvibetonointi – Nopea lujuudekehitys eduksi

Antura 500 x 300 mm
Olosuhde -5 C



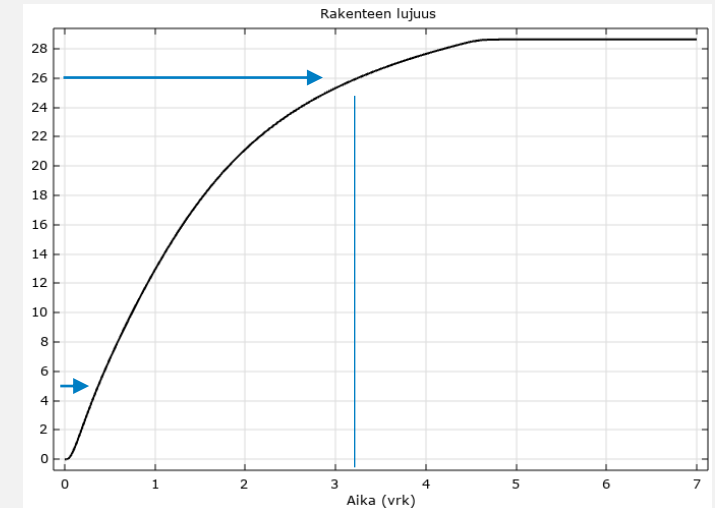
C30/37
Oivasementti
v/s-0,58

C30/37
Rapidsementti
v/s-0,58



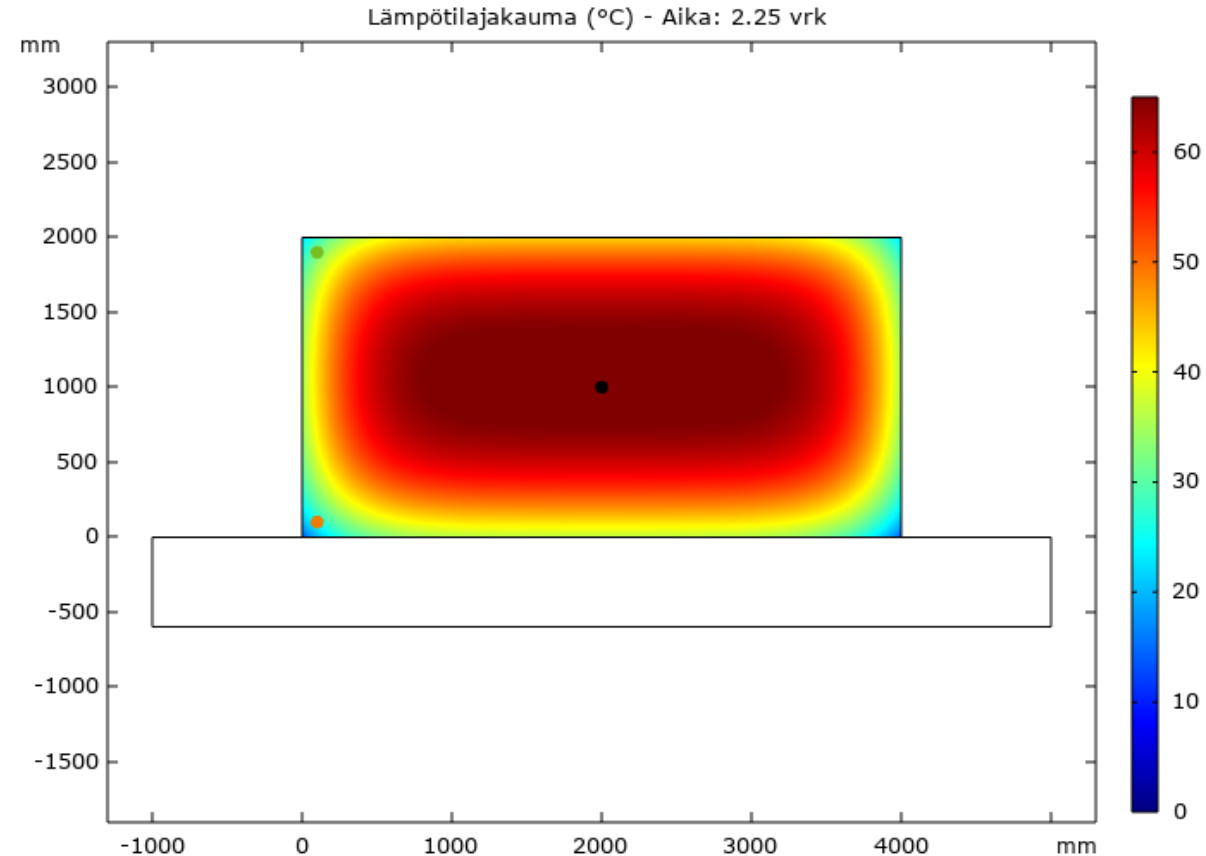
Purkulujuus 26 MPa

Jäätymislujuus 5 MPa



Massiiviset rakenteet – matala lämmöntuotto eduksi

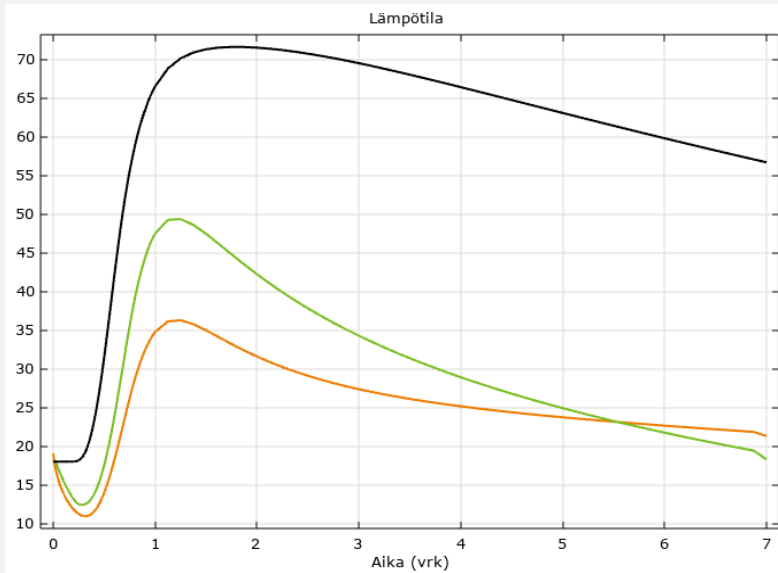
- Sementin hydrataatioreaktiot tuottavat lämpöä betoniin
- Lämpötilan noustessa yli 60 asteeseen, betonin lujuuden kehitys voi häiriintyä ja osa lujuudesta jäädä saavuttamatta
 - Lujuuskato
- Betoni laajenee lämmitessään, jolloin suuret lämpötilaerot rakenteen eri osien välillä aiheuttavat rakenteeseen vetojännityksiä
 - Halkeiluriski
- Rakenteen lämmönkehitystä on syytä tarkkailla, kun
 - rakenteen kapein kohta ≥ 1000 mm ja
 - betonin v/s-suhdevaatus $\leq 0,50$
- Paksut pohjalaatat, paksut holvit, paksut pilarit, sillan kannet yms.



Massiiviset rakenteet – matala lämmöntuotto eduksi

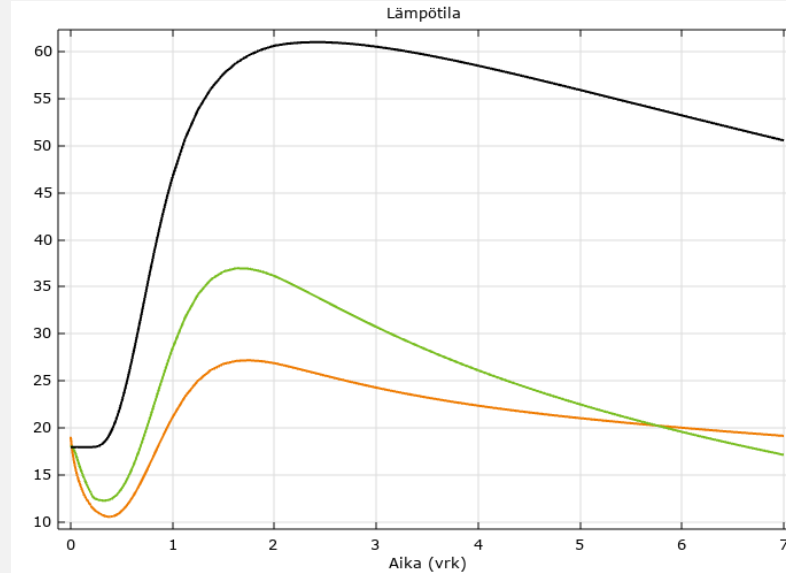
Antura 4000 x 2000 mm
Olosuhde -5 C

Pikaseementti
v/s 0,45



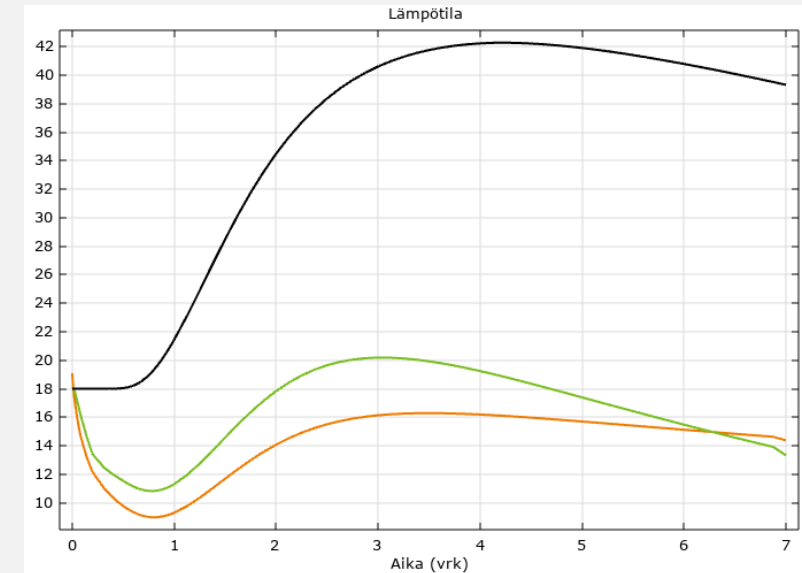
Maksimilämpötila
72 °C

Oivaseementti
v/s 0,45



Maksimilämpötila
61 °C

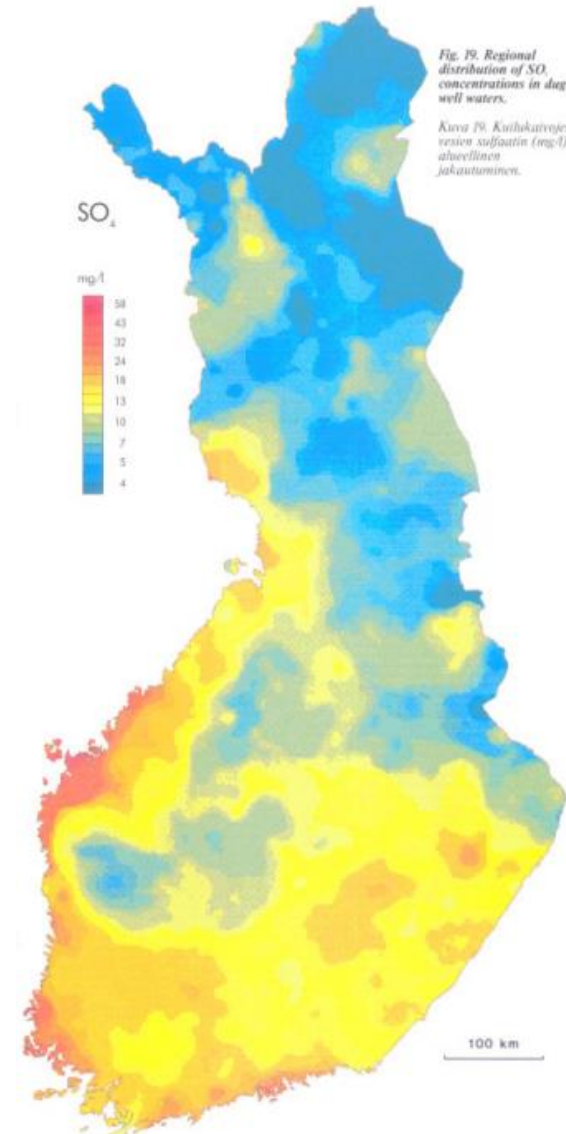
KolmosBertta
v/s 0,45



Maksimilämpötila
42 °C

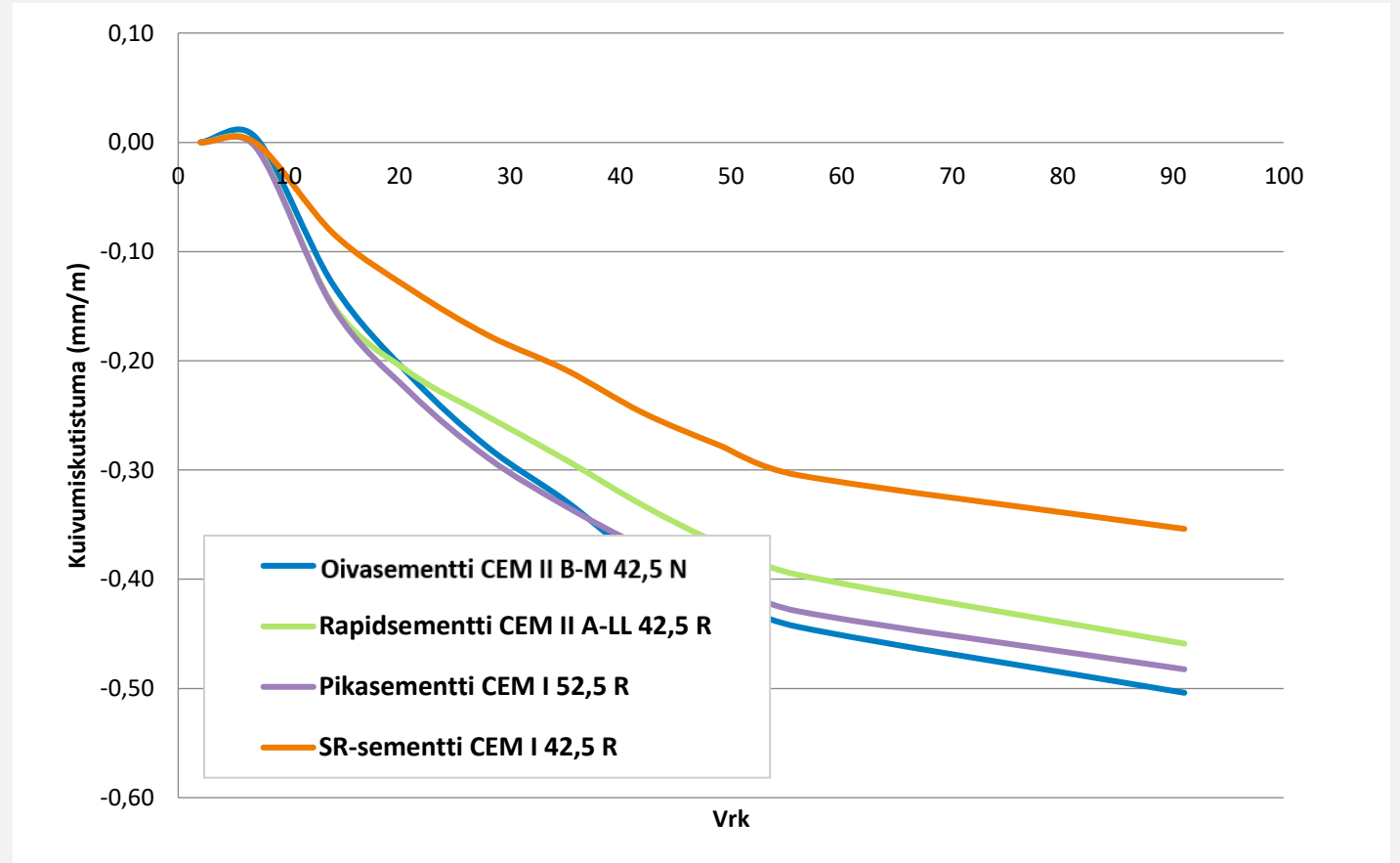
Sulfaatirasitetut rakenteet

- Hydratoitunut aluminaatti (C_3A) muodostaa sulfaattien kanssa etringiittiä, joka paisuttaa betonia
- Sulfaattilähteitä esimerkiksi
 - maaperä, pohjavesi, merivesi, jätevedet, puunjalostus- ja kemianteollisuuden päästöt
- Sideainevaihtoehdot
 - SR-sementti CEM I 42,5 N **SR-3** (aluminaatti ≤ 3 %)
 - KolmosBertta CEM III B LH/**SR** (klinkkerin osuus maks. 34 %)
 - Sideaineiden tulee sisältää ≥ 70 % masuunikuonaa koko sideainemäärästä



SR-sementtiä vaativiin lattioihin

- SR-sementin kuivumiskutistuma on hyvin pieni
- SR-sementti on karkea (Blaine n. 370 m²/kg)
 - Pieni veden tarve
 - Maltillinen sementtimäärä
 - Pieni pastamäärä -> pieni kutistuma



Kuonasementit hyviä alkalikiviainesreaktiota vastaan

- Kolmossementti soveltuu käytettäväksi AKR-ohjeen mukaan luokiteltujen I- ja II –luokan kiviainesten kanssa
 - Masuunikuonan osuus Kolmossementissä 40...46 %
- KolmosBertta soveltuu käytettäväksi AKR-ohjeen mukaan minkä tahansa kiviaineksen kanssa
 - Masuunikuonan osuus KolmosBertassa 67...77 %

Taulukko 3.5. Suositeltu lentotuhkan ja masuunikuonan vähimmäismäärä kiviaineksen reaktiivisuuden mukaan.

Kiviaineksen reaktiivisuus	Lentotuhka [%]	Rakeistettu masuunikuona (<1,5 % Na ₂ O _{EQ}) [%]
	Osuus kokonaissideainemassasta (paino-%)	
Luokka I	ei vaatimusta	ei vaatimusta
Luokka II	25	40
Luokka III	40	50

Vähähiilisiä betoneita vähähiilisillä sementeillä

- BY-Vähähiilisyysluokitus® on vapaaehtoinen, kansallinen luokitus betonin CO2-päästöjen ilmoittamiseksi
- Vähähiilisyysluokkia merkitään tunnuksella: GWP.NN.
 - GWP-tunnus tulee sanoista Global Warming Potential.
 - Tunnuksessa NN on päästötaso verrattuna referenssitason. Esimerkiksi GWP.85™ tarkoittaa, että betonin hiilidioksidipäästöt ovat korkeintaan 85 % verrattuna referenssitason

Betoni	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 - Ei huokostettu	210	180	145	115	85
C25/30 - Ei huokostettu	230	195	160	125	90
C30/37 - Ei huokostettu	255	215	180	140	100
C35/45 - Ei huokostettu	285	240	200	155	115
C40/50 - Ei huokostettu	305	260	215	170	120
C45/55 - Ei huokostettu	320	270	225	175	130
C50/60 - Ei huokostettu	340	290	240	185	135
C30/37 - Huokostettu	290	245	205	160	115
C35/45 - Huokostettu	330	280	230	180	130
C40/50 - Huokostettu	355	300	250	195	140
C45/55 - Huokostettu	375	320	265	205	150
C50/60 - Huokostettu	395	335	275	215	160
C30/37 P0	270	230	190	150	110
C30/37 P30	300	255	210	165	120
C35/45 P0	300	255	210	165	120
C35/45 P30	330	280	230	180	130
C35/45 P50	340	290	240	185	135
C45/55 P50	375	320	265	205	150

Vähähiilisiä betoneita vähähiilisillä sementeillä

- Betonitehdas pääkaupunkiseudulla
- Rakennebetoni C30/37 #16 S3, vesimäärä 180 kg/m³

- Kolmossementti 310 kg/m³ 191 kg CO₂e/m³
- Oivasementti 320 kg/m³ 242 kg CO₂e/m³
- Pikasementti 300 kg/m³ 293 kg CO₂e/m³

Betoni	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C30/37 - Ei huokostettu	255	215	180	140	100



Nopeita sementtejä elementteihin ja talviolosuhteisiin vb:ssä

Matalan lämmöntuoton sementtejä massiivirakenteisiin

SR-sementtiä sulfaattirasitusta vastaan

SR-sementtiä vaativiin lattiakohteisiin

Kuonasementtejä AKR:ää vastaan

Seossementeillä vähähiilisiä betoneita

FINNSEMENTTI
A CRH COMPANY

