



- En solid framtid -

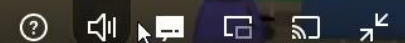
Lavkarbonbetong

Tomas Lea og Mari Bønnsdalen Eide, teknologer

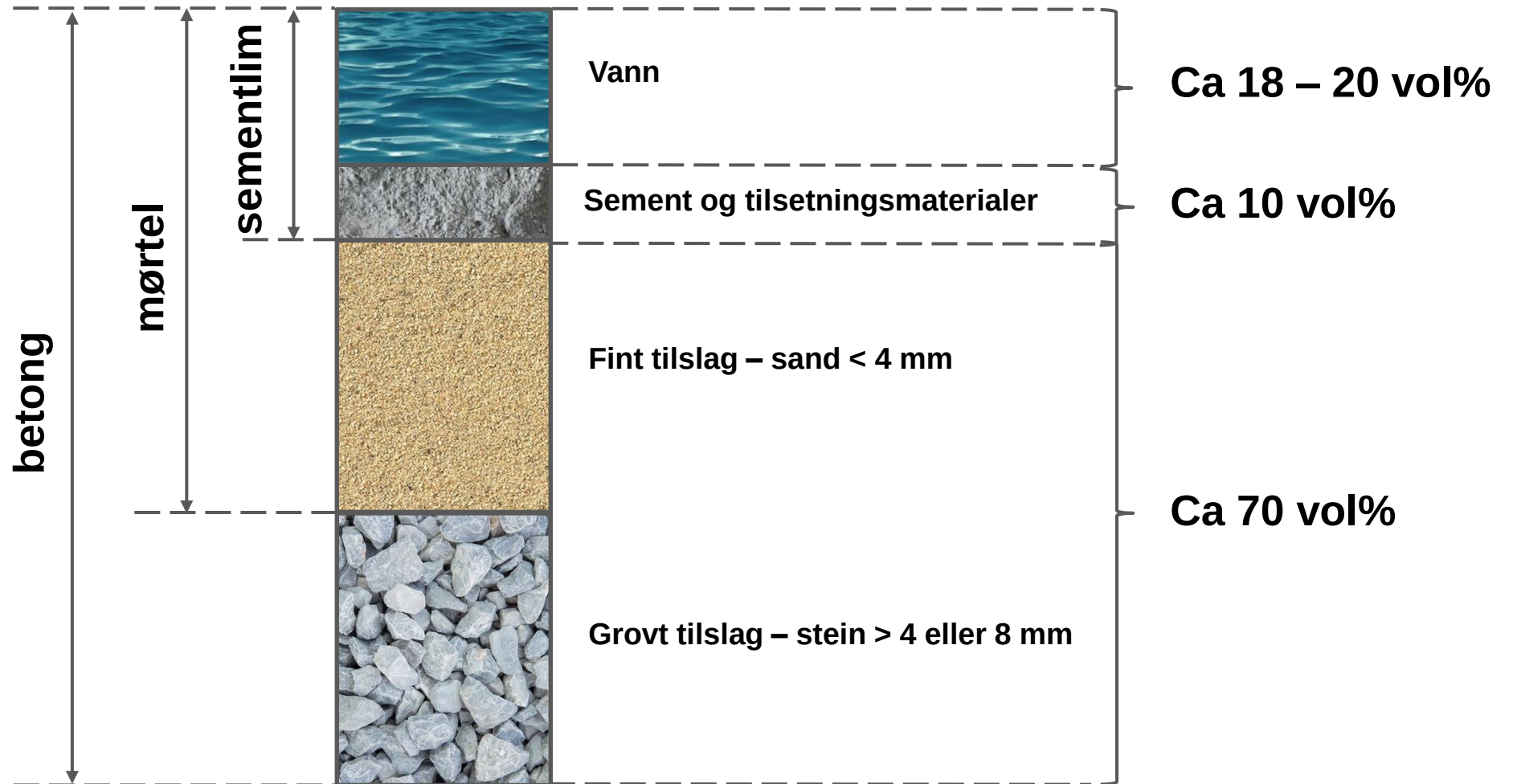


03:53

01:07



Volum av bestanddeler i M60-betong

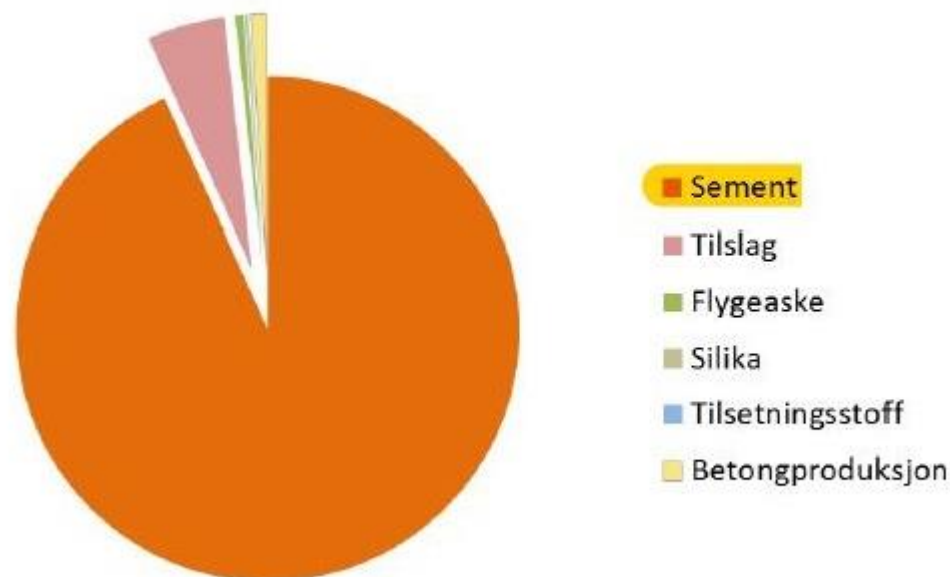


Hvilke materialer bidrar mest til CO₂-regnskapet?

Uten tvil, sement! På verdensbasis bidrar sementproduksjon med 6-8% av det menneskeskapte CO₂-utslippet

Tilslag utgjør ca 70% av volumet i betong, men bidrar normalt med ca 6% i det totale klimagassregnskapet.

Sementen utgjør ca 10% av volumet i betong, men bidrar normalt med ca 90% i de totale klimagassregnskapet.



Cement production Norcem – YouTube



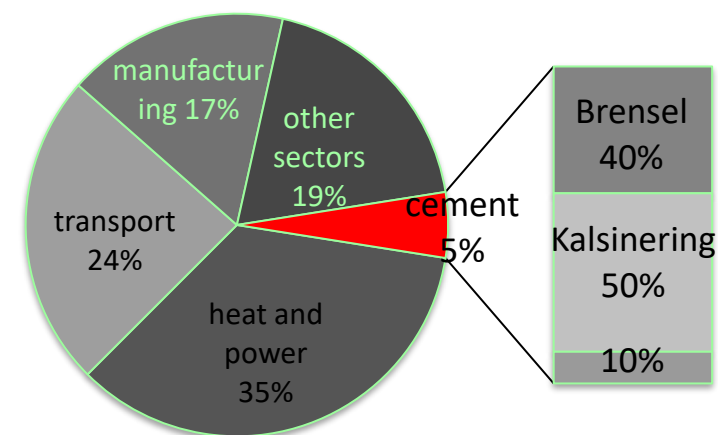
En solid framtid

Sementproduksjon

Står for 6-8% av menneskeskapte CO₂-utslipp

Hvor kommer CO₂ utslippene ifra?

- Per tonn klinker produseres det omkring 0.9 tonn CO₂
CO₂ kommer hovedsakelig fra:
 - Kjemisk (kalsinering): $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
 - Oppvarming av ovn til ca. 1450 °C
- Betong er det mest brukte materialet utenom vann - 3 tonn / (pers*år)



(WBCSD, 2009)

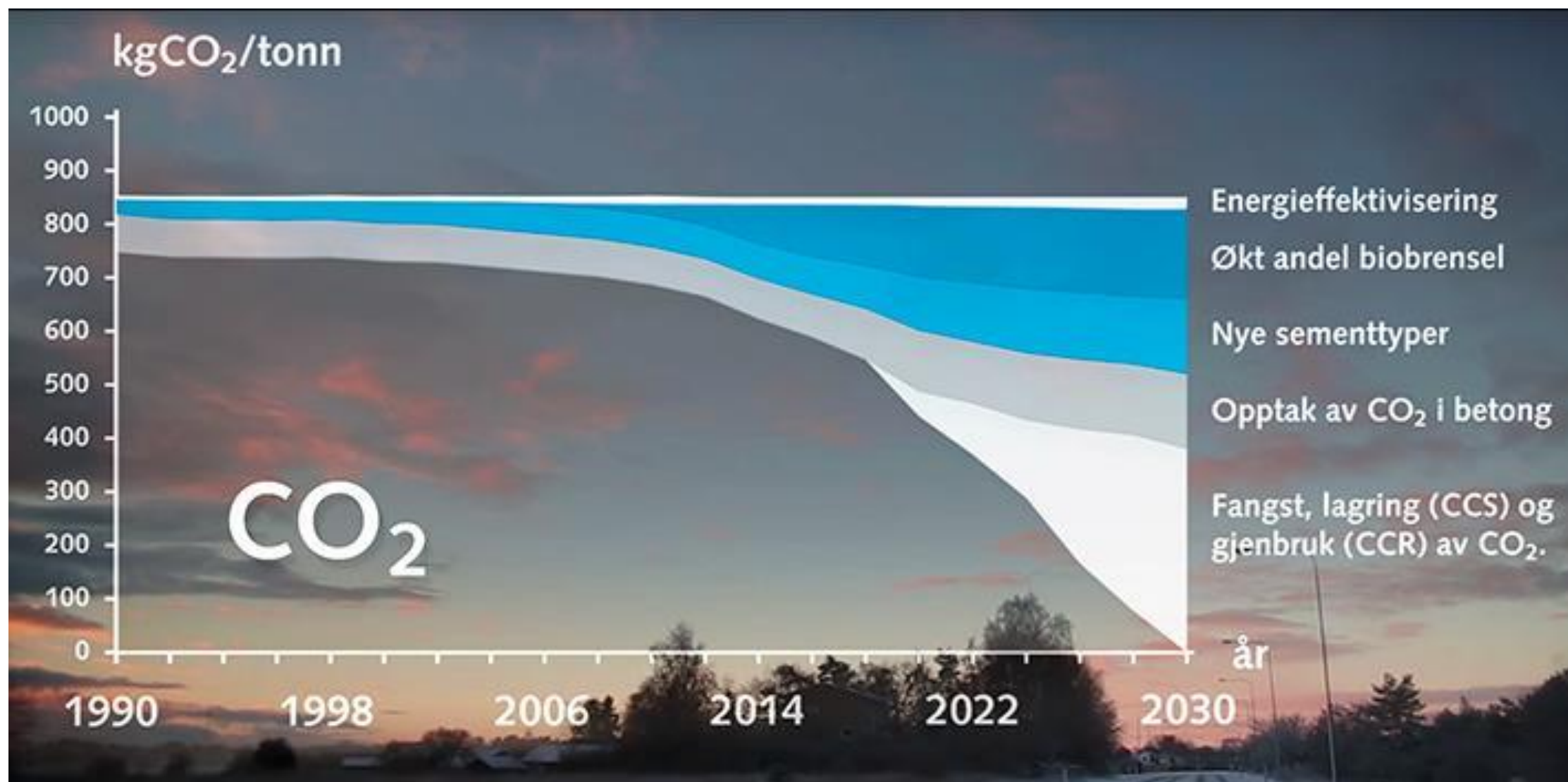
En solid framtid

Sementproduksjon

Hvordan redusere CO₂-utslippene?

- Gjenvinne varme i prosessen (f.eks. sykkloner) **V**
- Redusere andel fossil brensel (f.eks. biomasse, husholdningsavfall) **V**
- Redusere andel klinker i sement (f.eks flygeaske, slagg eller ..) **V**
- ..





Sementproduksjon

CO₂-fangst fra sementproduksjon

Webkamera for å følge byggeprosessen:
<https://ccsnorway.com/no/fangst-norcem/>

Regjeringen satser på CO₂-fangst i Brevik og CO₂-lager i Nordsjøen

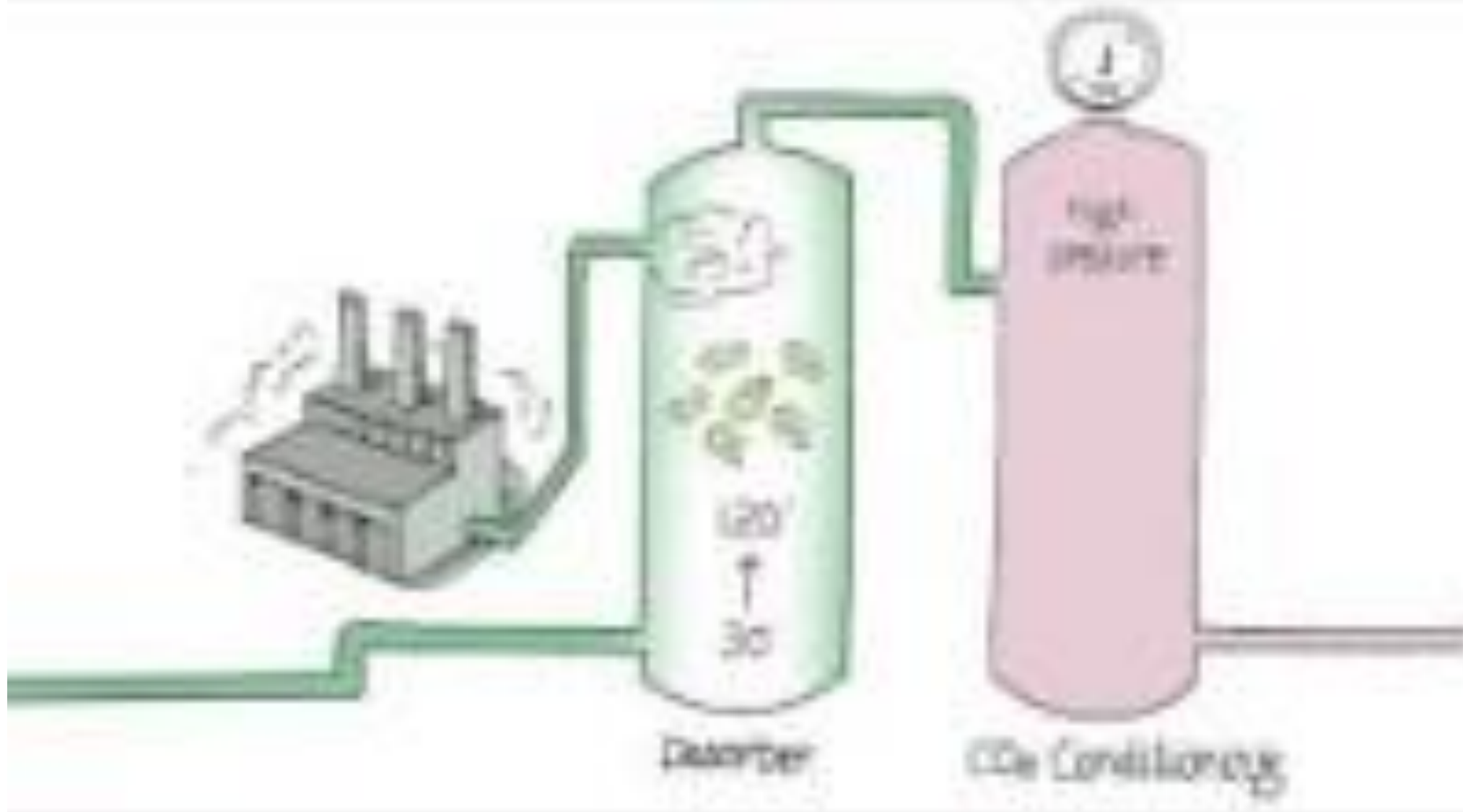
– Dette er det største klimaprojektet i norsk industrihistorie noensinne, sier olje- og energiminister Tina Bru (H).



Sementfabrikken til Norcem i Brevik har den laveste prislappen av de to fangstprosjektene. (Foto: Aker Solutions)

INA ANDERSEN ELLEN SYNNEVE VISETH ENERGI 21. SEP. 2020 - 12:12

Carbon Capture at Norcem Brevik - YouTube



En solid framtid

Hvilke tilsetningsmaterialer kan vi bruke for å erstatte sementklinker?

Silikastøv - Biprodukt ved framstilling av silisium og ferrosilisium

Flyveaske - Forbrenningsrest i kullfyrte kraftverk

Slagg - Finmalt råjernsslagg (biprodukt fra jern- og stålproduksjon)

Kalkmel

Pozzolaner (romersk sementkjemi)

Definisjon: Amorfe (ikke-krystallinske, glassaktige) silika- og aluminaholdige materialer (SiO_2 og Al_2O_3) som reagerer med kalsiumhydroksid og danner produkter med bindemiddelegenskaper

Sementhydratisering



Pozzolanreaksjon



Portlandsement + Pozzolan gir:

- Mer bindemiddel (lim)
- Sterkere betong
- Tettere betong
- Mer bestandig betong

Men: Pozzolanreaksjonen går sakte!

Slagg er ikke et pozzolan

Finmalt råjernsslagg (biprodukt fra jern- og stålproduksjon)

Har **hydrauliske** egenskaper, **likner Portlandsement!**

Reagerer kjemisk med vann og danner produkter med bindemiddelegenskaper.

Pozzolan

SiO_2 , $(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$

Lite CaO

Ikke hydraulisk

Portlandsement

SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3

Mye CaO

Hydraulisk

Slagg

SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3

Mye CaO

Hydraulisk

Pozzolaner og slagg

⇒

Tilsettes betong enten som

- separat komponent (pulvertilsats) **Ikke vanlig i Norge**
- eller indirekte som bestanddel i sement



Produsent	Produktnavn	Bestanddelar som ikke er klinker
Norcem	Standardsement FA	18% flygeaske + 5% kalkstein
Norcem	Industrisement	/
Norcem	Anleggsement FA	17% flygeaske
Schwenk	Miljøsement	30% slagg
Schwenk	Lavvarmesement	70% slagg
Schwenk	Rapid sement	/
Aalborg	Portland white	/
Aalborg	Portland Rapid	/



Publikasjon nr. 37

Lavkarbonbetong

NB37: Lavkarbonbetong (2020)

DEL A SPESIFIKASJONER

A.1 Lavkarbonklasser

Lavkarbonbetong defineres som konstruksjonsbetong produsert i samsvar med reglene i NS-EN 206 +NA /1/, der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet. Klimagassutslippet defineres og målsettes i denne sammenhengen som CO₂ – ekvivalenter, der bidraget fra andre gasser enn CO₂ er vektet iht. GWP (Global Warming Potential) /2/.

Denne publikasjonen definerer klassegrenser for klimagassutslippet for fire ulike nivåer av lavkarbonbetong:

Lavkarbon B – kan vanligvis oppnås med ordinære resepttekniske tiltak

Lavkarbon A - krever ofte bruk av spesielle resepttekniske tiltak

Lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem – krever bruk av spesielle bindemiddelsammensetninger som ikke kan forventes å være allment tilgjengelige, ei heller godkjent for bruk i alle bestandighetsklasser.

Klassesystem og grenseverdier

Fasthetsklasse ¹⁾ og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv. pr m ³ betong]							
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370	380
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300	310
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230	240
Lavkarbon Pluss ²⁾			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem ²⁾			110	120	130	140	150

Klassesystemet og klassegrensene gjelder ikke for spesialbetonger som AUV-betong, lettbetong og sprøytebetong (og annen finsats). Lavkarbon sprøytebetong er definert og omtalt i kapittel 8.

Tabell 4. Sementer produsert av Schwenk

Produktnavn	Hvitesement	Lavvarmesement	Miljøsement	Rapidsement
Produsent	Schwenk	Schwenk	Schwenk	Schwenk
Type iht. NS-EN 197-1:2011 /9/	CEM I 52,5 R	Cem III/B 42,5 L-LH/SR (na)	Cem II/B-S 52,5 N	Cem I 52,5 R (ft)
CO2 utslipp (GWP, A1-A4) (kgCO2-ekv/tn) *	1240	347	570	799
Produksjonssted	Bunol, Spania	Eisenhüttenstadt, Tyskland	Rüdersdorf, Tyskland	Rudersdorf, Tyskland
Leveringsstatus	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt
Tilgjengelighet *	°	Østlandet og Vestlandet	Østlandet og Vestlandet	Østlandet og Vestlandet
Normal anvendelse	Bygg/Element	Anlegg	Alt	Bygg/Element
Bestandighetsklasser iht. NS-EN 206+NA	Alle	M40, M45, M60, M90	Alle	Alle

Schwenk Miljø
545kg CO₂

Norcem Standard FA
589kg CO₂

Tabell 5. Sementer produsert av Norcem

Produktnavn	Norcem Anleggsement FA	Norcem Industrisement	Norcem Industrisement	Norcem Lavkarbonsement	Norcem Standardsement FA	Norcem Standardsement FA	Flygeaske
Produsent	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem	Norcem *
Type iht. NS-EN 197-1:2011	CEM II/A-V 42,5N	CEM I 52,5R	CEM I 52,5R	CEM II/B-V 42,5N	CEM II/B-M 42,5R	CEM II/B-M 42,5R	NS-EN 450-1:2012 Category A
CO ₂ utslipp (GWP, A1-A3) (kgCO ₂ -ekv/tn) *	637	748	774	503	604	625	-
Produksjonssted	Brevik, Norge	Brevik, Norge	Kjøpsvik, Norge	Brevik, Norge	Brevik, Norge	Kjøpsvik, Norge	Hamburg, Tyskland
Leveringsstatus	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Prosjektsement °	Ordinært produkt	Ordinært produkt	Ordinært produkt
Tilgjengelighet *	Hele landet	Østlandet Sørlandet Sør-Vestlandet	Nord-Vestlandet Midt-Norge Nord-Norge	°	Østlandet Sørlandet Sør-Vestlandet	Nord-Vestlandet Midt-Norge Nord-Norge	Hele landet
Normal anvendelse	Anlegg	Bygg/Element	Bygg/Element	Bygg/Element	Alt	Alt	Alt
Bestandighetsklasser iht. NS-EN206+NA	Alle	Alle	Alle	Alle	Alle	Alle	Alle

Fasthetsutvikling, temperaturfølsomhet og vinterstøp

Bruk av tilsetningsmaterialer som flygeaske og slagg gir en mer langsom fasthetsutvikling enn betonger uten disse materialene. Dette kan være ugunstig der det er lagt opp til korte produksjonssykluser, f. eks. i elementindustrien. Når tilsetningsmaterialene males inn som en del av sementen er det vanlig å øke finmalingsgraden på det ferdige sementproduktet for delvis å kompensere for den langsomme fasthetsutviklingen. Ved tilsetning av flygeaske eller slagg direkte i betongproduksjonen er det ikke mulig å kompensere for langsom fasthetsutvikling uten å senke masseforholdet, og dermed øke bindemiddelinholdet. Det er som regel uaktuelt å øke bindemiddelinholdet når hensikten er å oppnå lavkarbonbetong. I praksis er det likevel bare i lavkarbon A, lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem at effekten på fasthetsutviklingen er så stor at den vil kunne påvirke rivingstiden og produksjonssyklusene.

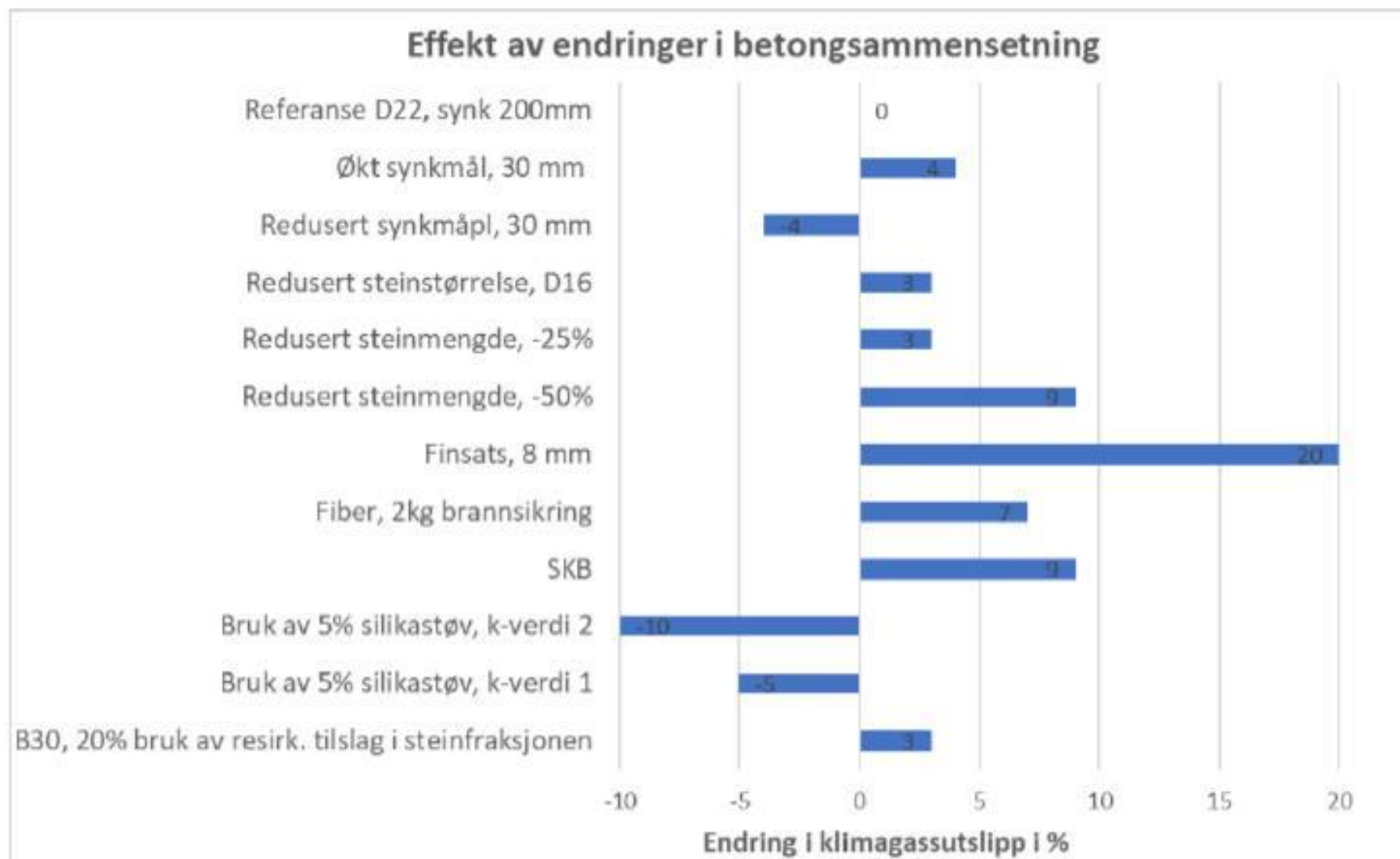
Selv om betong med flygeaske alltid har en mer langsom fasthetsutvikling, er den mindre temperaturfølsom ved lave temperaturer enn vanlig konstruksjonsbetong. Det vil si at forskjellen i fasthetsutvikling mellom betonger med og uten flygeaske er mindre ved lave temperaturer enn ved høye.

Lavkarbonbetong har altså ikke spesielt ugunstige egenskaper for vinterbruk. Lavkarbon B kan brukes som vinterbetong med helt ordinære tiltak. Betong i klasse Lavkarbon A vil kunne gi behov for ekstra tiltak som økt bruk av isolasjonsmaterialer. Hvis redusert varme- og fasthetsutvikling skal kompenseres med fyring, økt temperatur i fersk betong eller andre energikrevende tiltak, er det viktig at dette tas med i det totale karbonregnskapet for prosjektet. Dersom vintertiltakene inkluderer endringer i betongsammensetningen, som f. eks. bruk av størknings- eller herdeakselerator, skal dette tas med i betongens EPD.

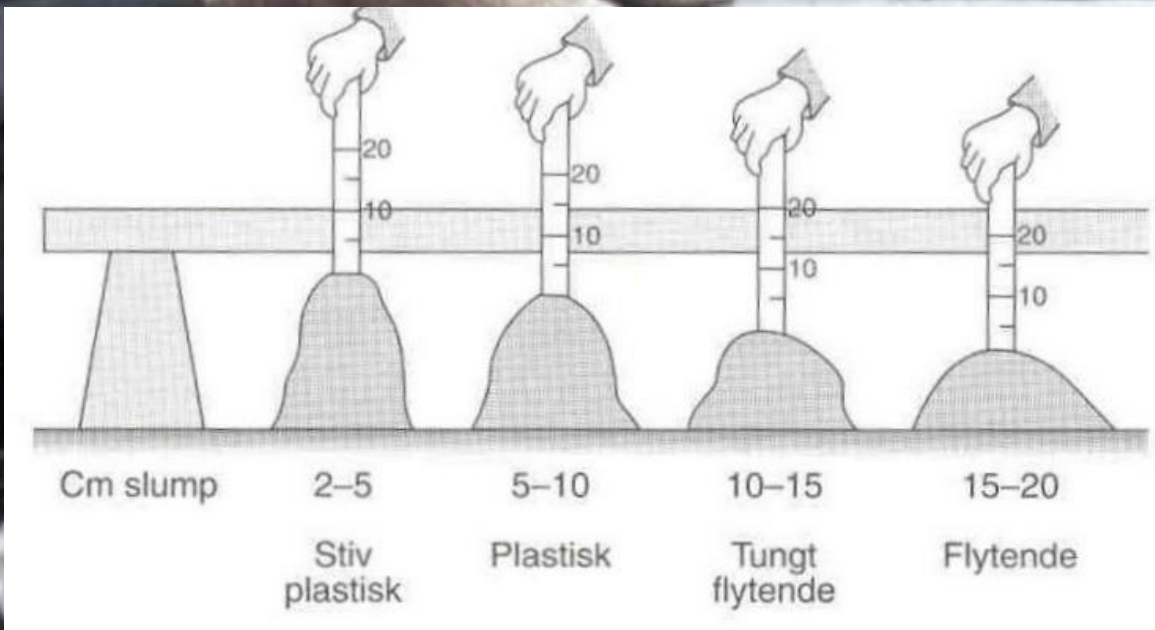
Ved bruk av betong i klassene Lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem må det påregnes spesielle tiltak ved vinterproduksjon, f. eks. kombinasjon av tildekking med isolasjonsmaterialer og fyring.

Bruk av flygeaske som tilsetningsmateriale gir redusert total varmeutvikling, og betong med mer enn 30 % flygeaske brukes derfor også som lavvarmebetong. Dette er gunstig med tanke på begrensing av maksimumstemperaturen i grove konstruksjoner, og bidrar også til å redusere faren for opprissing når temperaturtøyningene er fastholdt i støpeskjøter, eller ved kontaktstøp mot fjell.

Ulike typer slagg har ulik effekt på varmeutviklingen, men de fleste typene gir en mindre markert effekt på varmeutviklingen enn flygeaske. For å oppnå lavvarmebetong basert på slagg må andelen slagg ofte være større enn 50 % av det totale bindemidlet. Man oppnår da også en svært langsom varmeutvikling, som i seg selv bidrar til å redusere maksimaltemperaturen i konstruksjonen. Betonger med slaggsement kan ha et relativt høyt autogent svinn. Dette kan delvis oppheve den gunstige effekten av lav varmeutvikling på tendensen til opprissing pga. fastholdt termisk dilatasjon.

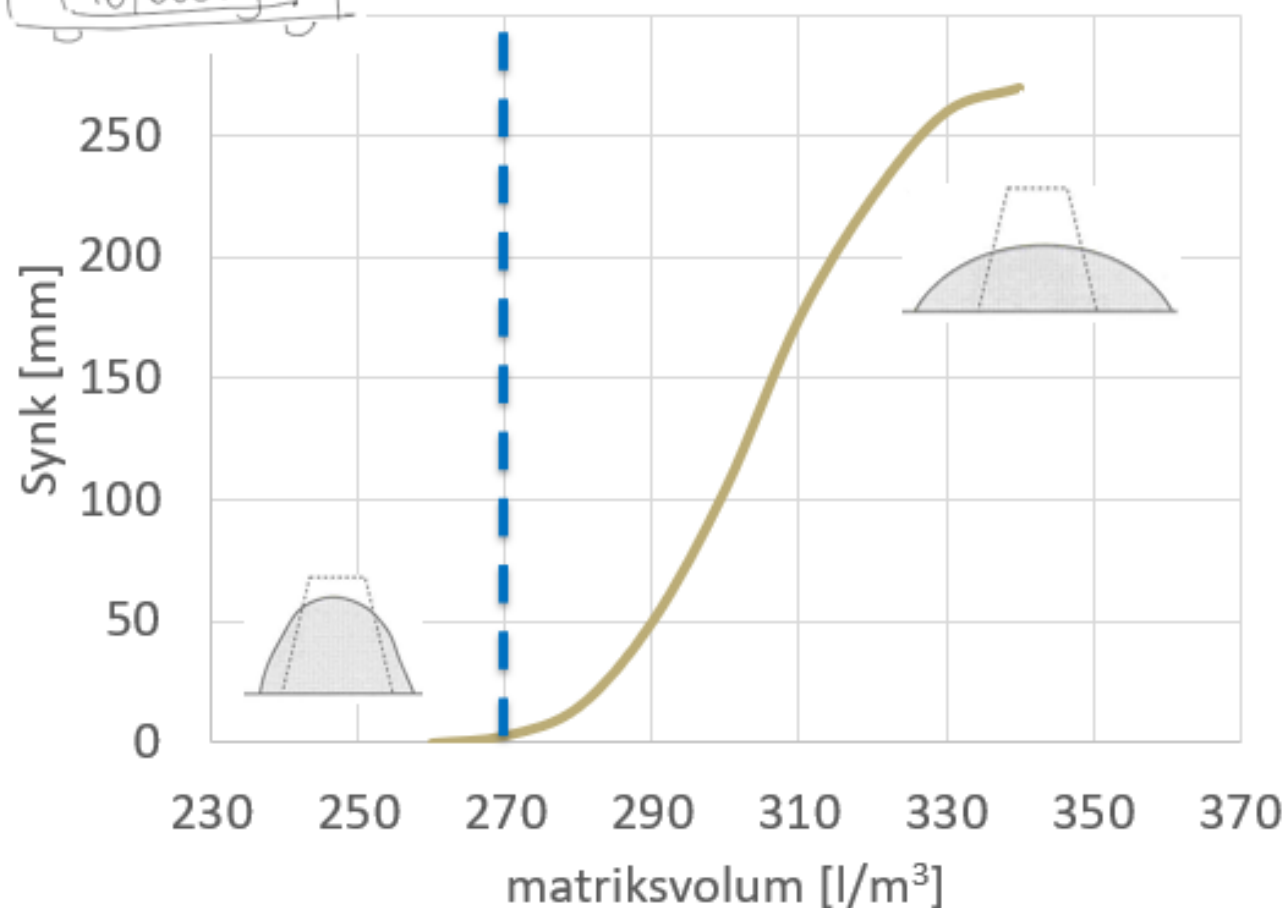
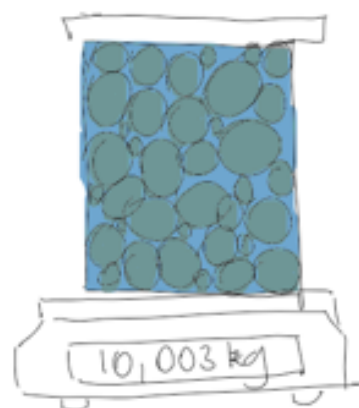


Betongens støpelighet



Synkmål: Reduksjon i høyden på betongkjeglen (i cm eller mm) etter at vi tar bort formen.

Partikkel-matriksmodell



Matriksvolumet der synken begynner å øke er

det volumet som trenges for å fylle hulrommet i tilslaget.

Når vi øker matriksvolumet ytterligere øker flyten.

Betongresept B35 M45 D22

Materialer	Masse [kg]	CO2 [kg]	Volum [liter]
Sement	380	207	124
Erstatningsmateriale	0	0	0
Vann	164	0	164
Tilslag	1855	0,91	713
Tilsetningstoff	3,8	7,28	4
	2402,8	215,19	1006

Hvor mye flygeaske?

Tabell NA.9 – k-verdi ved innblanding av flygeaske, avhengig av sementtype og bestandighetsklasse

Sementtype	Bestandighetsklasse ^{a, b, c}					
	M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
CEM I	1,0	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7
CEM II/A-V, CEM II/A-S ^d , CEM II/A-L ^d , CEM II/A-LL ^d CEM II/A-D ^d , CEM II/A-M ^{e, d}						
CEM II/B-V, CEM II/B-S ^d , CEM II/B-M ^{e, d}						
Øvrige sementer				-	-	-

a Innblanding av flygeaske kan medregnes ved beregning av masseforhold og minste effektive bindemiddelmengde i henhold til kravene i tabell NA.12.

b "-" i tabellen betyr at Norsk Standard ikke gir regler for dette i denne kombinasjonen av sementtype og bestandighetsklasse. Det henvises også til NA.5.3.2(902).

c Verdiene gjelder for sement med en styrkeklasse på minst 42,5. For lavere styrkeklasser reduseres verdiene med 0,1.

d For andre bestandighetsklasser enn M90 benyttes *k*-verdien for mengden tilsatt flygeaske inntil andel Portlandsementklinker (K) er redusert til 50 % av bindemiddelmengden.

e Regelen omfatter sementtypene CEM II/A-M og CEM II/B-M som kun er basert på hovedkomponentene klinker (K), flygeaske (V), slagg (S) og kalksteinfiller (L og LL).

Betongresept B35 M45 D22

Materialer	Masse [kg]
Sement	380
Erstatningsmateriale	0
Vann	164
Tilslag	1855
Tilsetningstoff	3,8
	2402,8

← Sementen vår inneholder allerede 30% erstatningsmateriale.

For å da finne ut hvor mye erstatningsmateriale vi kan tilsette, må dette utregnes.

Sementen blir da 71% og tilsatt flygeaske 29% for å oppnå en blanding på 50/50.

Betongresept B35 M45 D22

Materialer	Masse [kg]	CO2 [kg]	Volum [liter]
Sement	296	162	124
Erstatningsmateriale	121	9,9	53
Vann	164	0	164
Tilslag	1710	0,91	658
Tilsetningstoff	3,8	7,28	4
	2294,8	180,09	1002

Begrensninger for å benytte betong tilsatt mye erstatningsmaterialer

- Ikke lov i bestandighetsklasse MF45 og MF40 – Frostbestandighet
 - Grunnen til det er at dette må dokumenteres ekstra og prøvingsregimet er strengt, prøvene når ikke mål.
- Fasthetsutviklingen er langsom.
 - Dette påvirker produksjonshastigheten, spesielt på vinteren.
 - Kan kreve ekstra tiltak (Godt beskrevet i NB37 😊)
- Ofte begrensninger på konsistens
 - Entreprenøren må bearbeide betongen mer.
 - Begrensninger på konstruksjonsgeometri.



SUS2023 (Omdøpt til Nye SUS)

- **Nytt sykehus bygges i Stavanger.**
- **Opprinnelig ble prosjektet kalla SUS2023 men omdøpt Nye SUS når det ble klart at byggetrinnet står ferdig tidligst 2024.**
- **Ikke budsjettsprekk eller forsinkelser, men grunnet finansiering til å bygge mer, dermed kan mer behandlingstilbud flyttes fra gamle Våland sykehus til Nye SUS. Det ble planlagt en strålebunker, som skal huse utstyr til røntgen og strålemaskiner til behandling av kreftsykdommer.**

Vi vil fortelle litt om materialet som ble brukt til dette!

- **Tungbetong!**







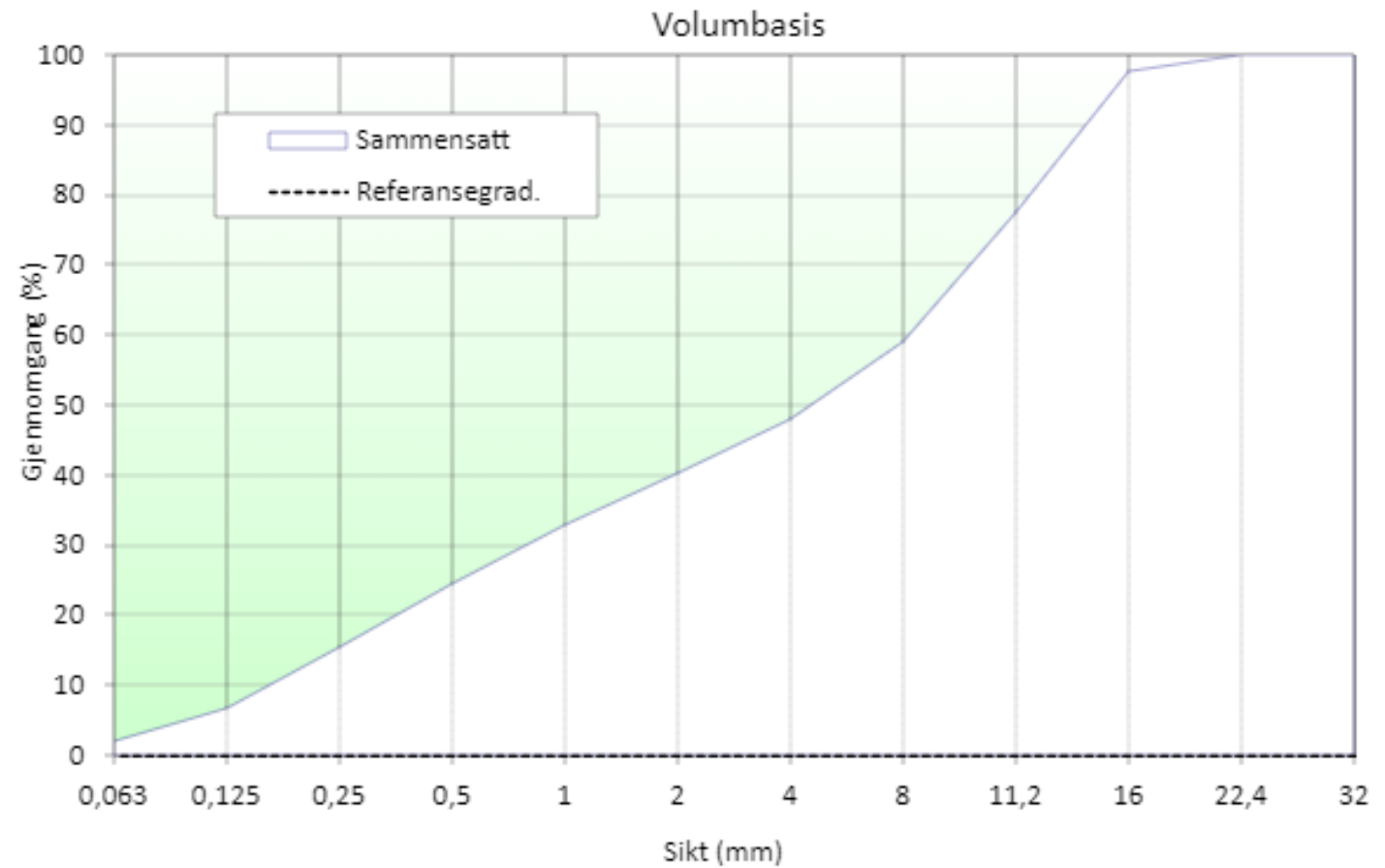
Magnadense 20s



Magnadense 8s

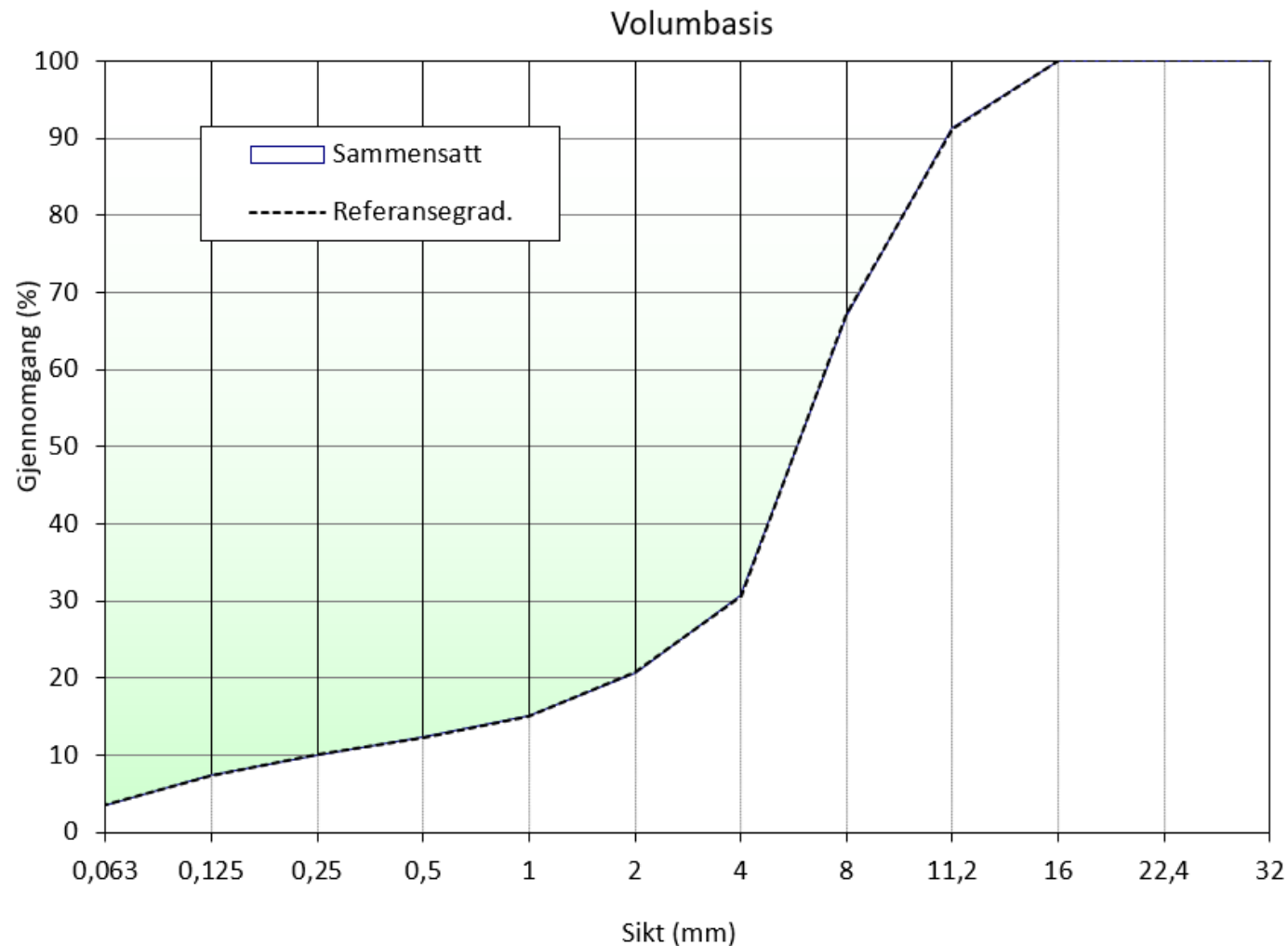
En normal tilslagskurve

- **Sammensatt tilslagskurve 40/60**

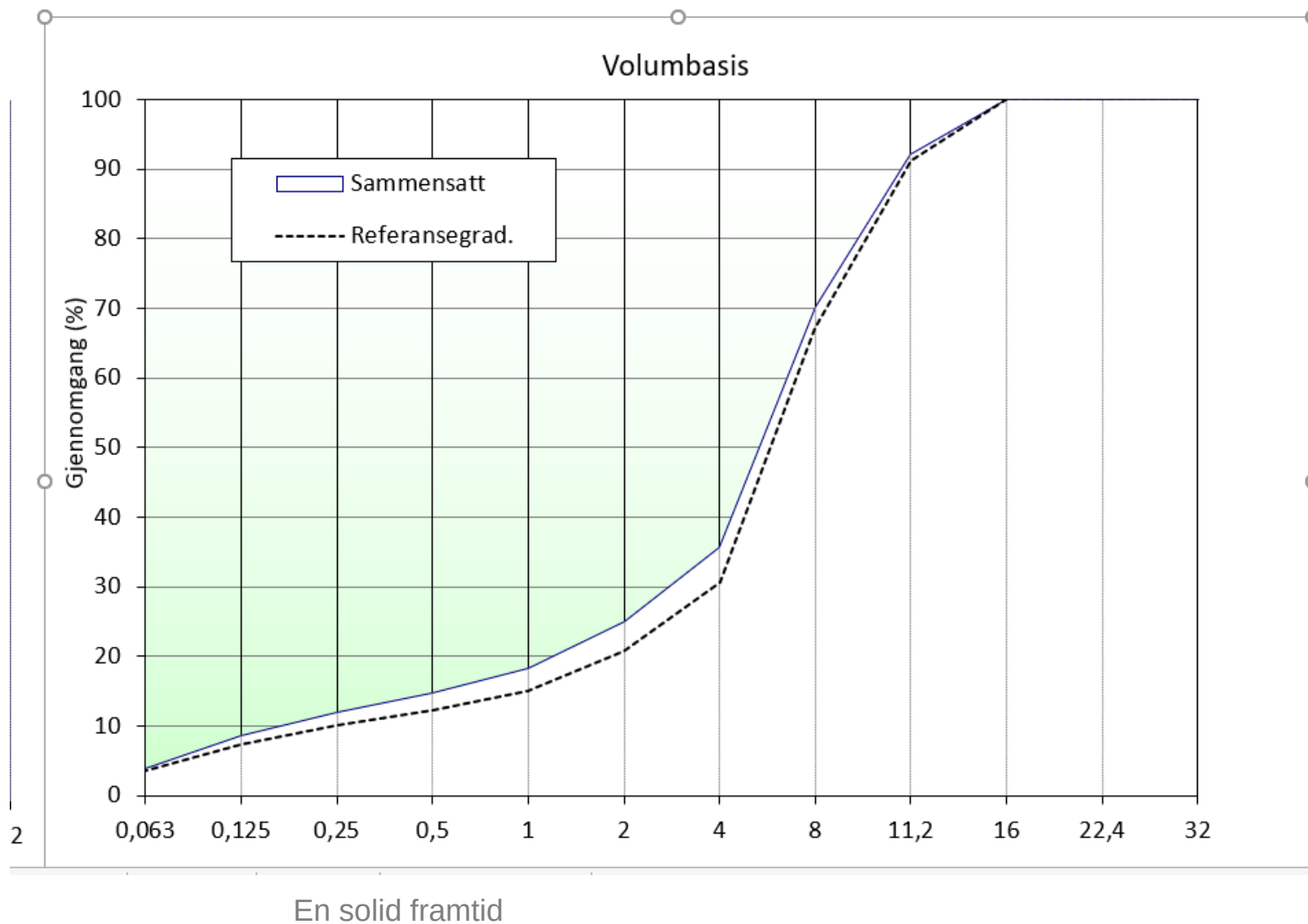


Tilslagskruven 8s og 20s

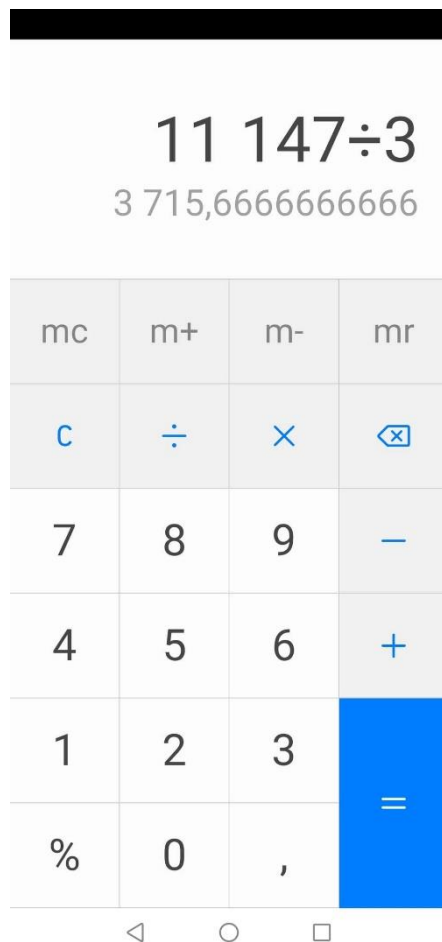
- **Sammensatt tilslagskurve 40/60**



- Vi tilsetter 12% av vår egenproduserte maskinsand.
- Tilslagsfordelingen:
- 12% 0/8
- 34% 8s
- 54% 20s



- **Prøvestøp av tungbetong.**
- Synkmåling og densitet.
- Herdekasseforsøk, temperaturlogg.



- Det er mye «motstand» i betongen når vi rører den.
- Betongen er tung 🤖

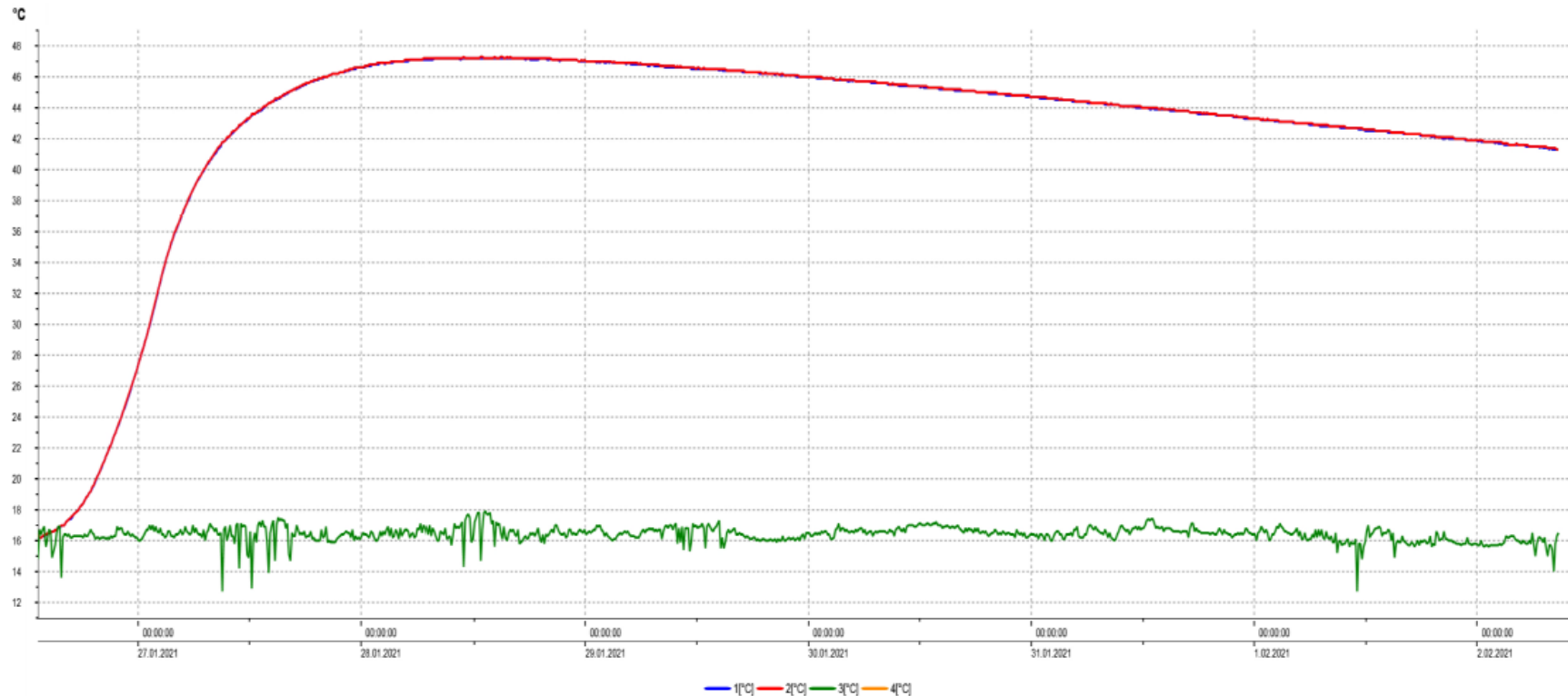


- Tungbetongen har en mye bedre konsistens enn vi først fryktet.
- Reagerer bra på vibrasjon.
- Kommentar fra entreprenør i video: «Det ser jo ut som en helt vanlig betong»
- Betongen ble støpt ut i en adiabatisk herdekasse. (SV-Standard prosesskode 2)
- Temperaturen ble logget.



- På grunn av lav makstemperatur, slipper entreprenøren kjølerør i konstruksjonen

Instrument name: 40710595		02.02.2021 10:56:56			Page 1/1
Start time: 26.01.2021 13:15:35		Minimum	Maximum	Mean value	Limit values
End time: 02.02.2021 10:45:35	1 [°C]	16,2	47,2	42,712	-195,0/400,0
Measurement channels: 4	2 [°C]	16,2	47,3	42,743	-195,0/400,0
Measured values: 994	3 [°C]	12,7	17,9	16,407	-195,0/400,0
SN 40710595	4 [°C]	----	----	----	-195,0/400,0
Jærbetong					





Støpingsarbeidet var planlagt med tobbe.

Etter et forsøk ble hele leveransen levert med pumpe.

Det var aldri et problem med pumpingen.

En solid framtid

