



SINTEF

DARE2C - Faglunsj

Harald Justnes

SINTEF Community



DARE2C – hva er det?

- Akronym for
"Durable Aluminum Reinforced Environmentally-friendly Concrete Construction"
og skal leses "dare-to-see" fordi det handler om å "tørre å se" utover "boksen" 😊
- Det er et 4-årig NFR støttet prosjekt som startet Juli 2018. Avsluttet mai 2021.
- Partnere var Hydro, Norcem, Veidekke, Overhalla Betong og SINTEF
- NTNU også involvert via studenter

Nettopp innvilget en 3-årig fase 2 med enda flere partnere

DARE2C2 leses «dare-to-see-too»

+5; Dr. tech. Olav Olsen, Nordic, Christie, Sika, Oshaug metall. -1; Veidekke



DARE2C - lovnad

- Som navnet sier, så lover DARE2C:
 1. Bestandig betong
 - Motstår de fleste vanlige nedbrytningsmekanismer for vanlig betong
 2. Miljøvennlig betong
 - Mindre CO₂ utslipp, raskere CO₂ fangst

DARE2C – Prinsipp

- 1 av 2

- Design av bestandig, armert betong består i å hindre stål å korrodere basert på betong med lav diffusivitet og høy overdekning
- Stål er beskyttet mot korrosjon av betongens høye pH i porevannet (≈ 13)
- Karbondioksid i luft vil gradvis nøytralisere betongen, diffundere igjennom overdekningen og initiere korrosjon når nøytraliseringsfronten når stålet = den armerte betongens levetid
- Klorider kan også diffundere igjennom overdekningen og initiere korrosjon når konsentrasjonen av klorider i porevannet ved stålet blir høy nok ($\approx 0.1\%$ total Cl^- av betongvekt) = den armerte betongens levetid

DARE2C – Prinsipp

– 2 av 2

- Den gode betongkvaliteten som benyttes for å beskytte stålet gir mye høyere trykkfasthet enn hva som trengs for konstruksjonen, og vanligvis bruker man mer sement enn nødvendig for å oppnå lav v/c.
- Armering av aluminium-metall kan ikke brukes i vanlig betong siden det tæres av betongens høye pH og utvikler hydrogen-gass.
- Konseptet for DARE2C er å lage **betong med lavere pH og tilstrekkelig fasthet** for formålet som kan armeres med aluminium-metall
- Egenskapene til aluminium-metall reduseres ikke av karbonatisering eller klorider, og ikke egenskapene til betongen heller, så **lav diffusivitet trengs ikke lenger**



SINTEF

Stål motstår vanlig betong, men ikke omgivelsene

Eksempel for
korrodert armering i
bro på grunn av
klorider→



- Betong beskytter stålarmering og det er derfor vi lager den med lav porøsitet og stor overdekning i korrosivt miljø
- Stål korroderer når tilstrekkelige mengder når armeringen til tross for fortsatt høy pH i betongen
- Stål korroderer når karbonatiseringsfronten har nådd armeringen og redusert pH

Aluminium motstår ikke vanlig betong, men omgivende miljø

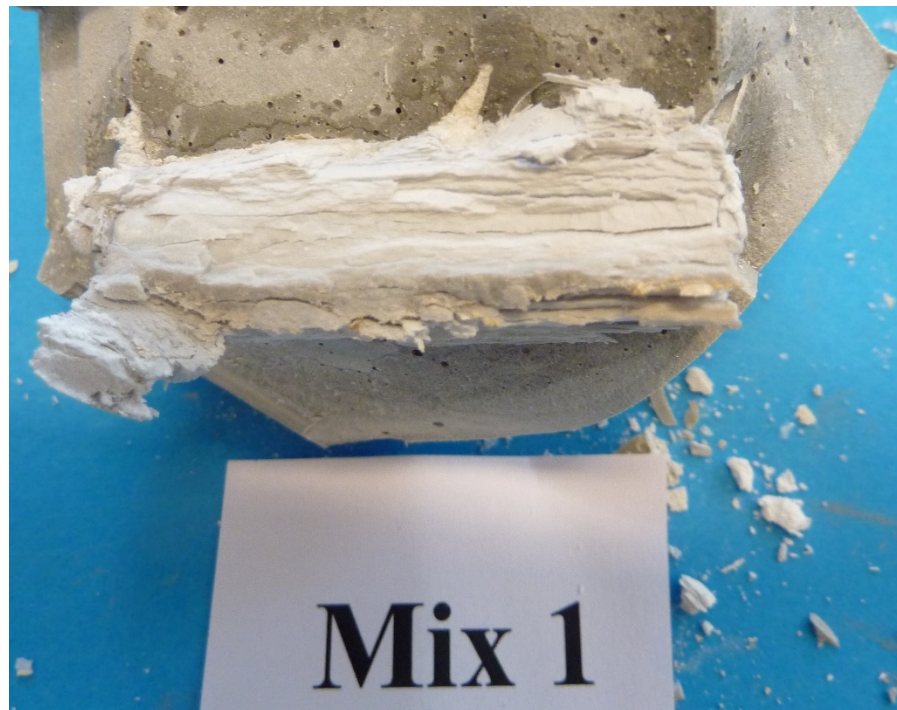


Ekstrudert aluminiumstang

Aluminium liker ikke høy pH



Korroderer under utvikling av H_2 gass

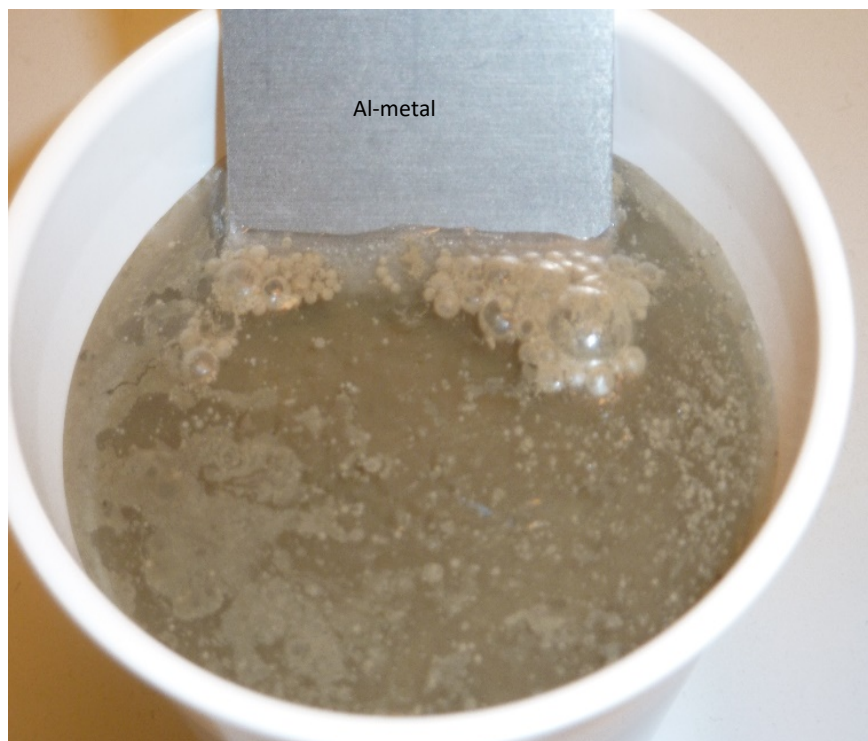


Restene av aluminiumstang etter 8 måneder i sementpasta

Pozzolan må bruke opp all kalsiumhydroksid

- Sement produserer kalsiumhydroksid som gir $\text{pH} = 12,5$
- I tillegg 0.6-1.2% alkalioksider i sement som løfter pH til >13
- Må finne et billig pozzolan som tilsettes i en så stor mengde at det spiser opp all kalsiumhydroksid slik at alle alkalihydroksider ender opp som alkali-aluminater og –silikater
- Det billigste pozzolan som finnes i stor nok mengde er brent "blåleire"
- Den brennes "som den er"; spadd opp av bakken med alle urenheter, ved ca 800°C
- Ofte bare 50% leiremineral i naturlig «blåleire», resten er mer eller mindre inerte partikler av kvarts, feltspat, kalsiumkarbonat..

Test med 50% brent leire som SCM



H₂ bobler i vanlig OPC pasta



Ingen H₂ bobler observer ved 50% erstatning med brent leire

$$v/b = 0.60$$



SINTEF

CEM I erstattet med 55% brent leire – 28 døgn



CEM I hadde 0.6% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$

Bit av Al-stang neddykket i pasta i en kopp av den type vi bruker for å måle mengde H_2 -gass

God heft til pasta – måtte meisle åpen

Ingen tegn til hvite korrosjonsprodukt i avtrykket til Al-stanga

Ingen hulrom som kan skyldes tidlig H_2 -gass

Hulrommene er innførte luftbobler ved blanding. Bruker en mikser med høy skjæreenergi.

Første resept for Al-armert betong

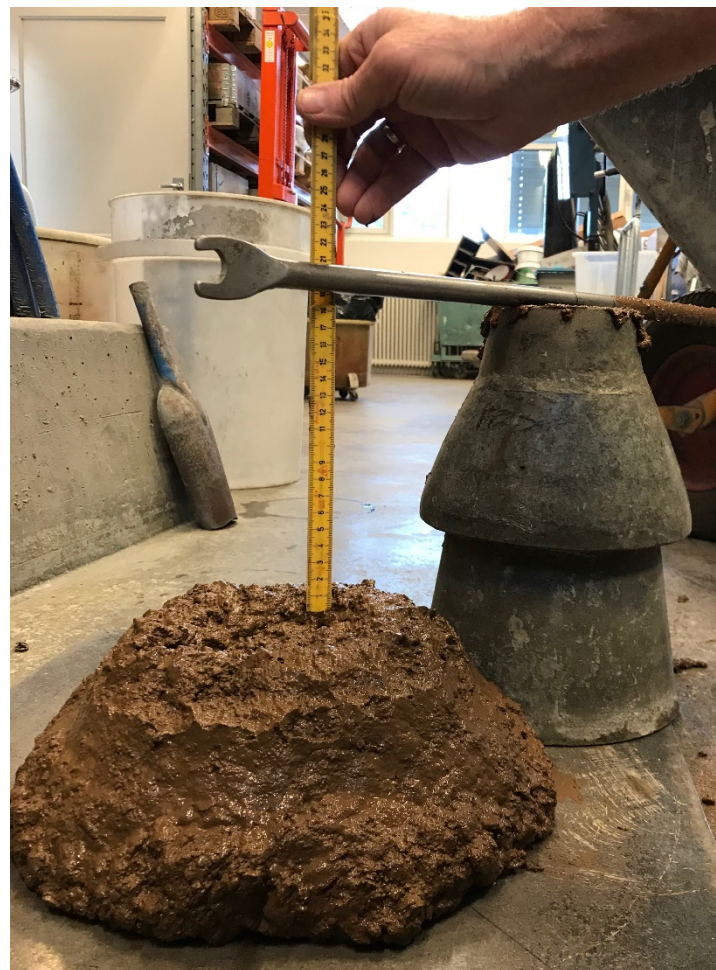
Komponent	Masse (kg/m ³)
CEM I	143.9
Brent leire	175.9
Fritt vann	223.9
Adsorbert vann	5.7
0-8 mm Granitt sand	970.9
8-16 mm Granitt pukk	702.4
SIKA Viscocrete RMC-315	1.92

Vann-pulver forhold = 0.70! og 0.6% SP (20% tørrstoff)



SINTEF

Sement erstattet med 55% brent leire



↑ Skulle sveises, men han som skulle utføre dukket ikke opp. Så vi måtte bare binde sammen med jerntråd.

Mekaniske egenskaper for betongsylindre

Egenskaper ved 28 døgn	Antall sylindre	Verdi
Egenvekt (kg/m^3)	12 fra 2 blandinger	2328 ± 16
Trykkfasthet (MPa)	8 fra 2 blandinger	22.3 ± 0.9
Spaltestrekkfasthet (MPa)	4 fra 2 blandinger	2.3 ± 0.2
Dynamisk E-modul (GPa)	4 fra 2 blandinger	20.3 ± 0.9

Sylindre herdet innpakket i våt strie omgitt av tett plastikk

Egenskaper ved 3 år	Antall	Verdi
Egenvekt (kg/m^3)	2	2325 ± 1
Trykkfasthet (MPa)	2	32.3 ± 0.3
Spaltestrekkfasthet (MPa)	3	3.1 ± 0.3
Dynamisk E-modul (GPa)	3	31.3 ± 0.5

...men når kom 50%-økningen i fasthet?.... 56 dg? 180 dg?

Tilstand for Al-armering etter 40 dager → ingen tegn til korrosjon!!!!

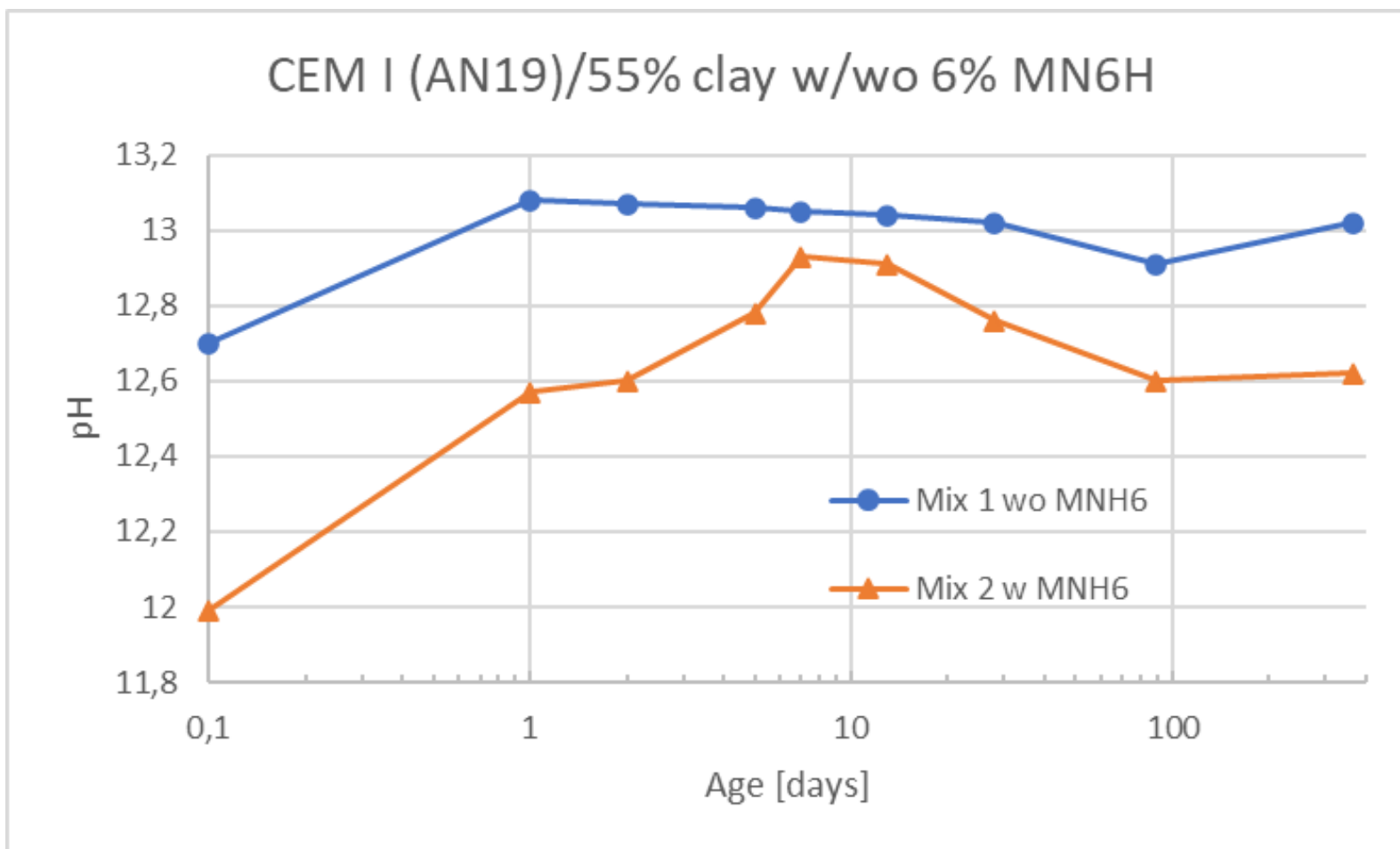


Rent avtrykk for Al-armering ↑
Heftbrudd bjelke, lager nå med ribber...



SINTEF

pH fremdeles høy – så hva skjer?

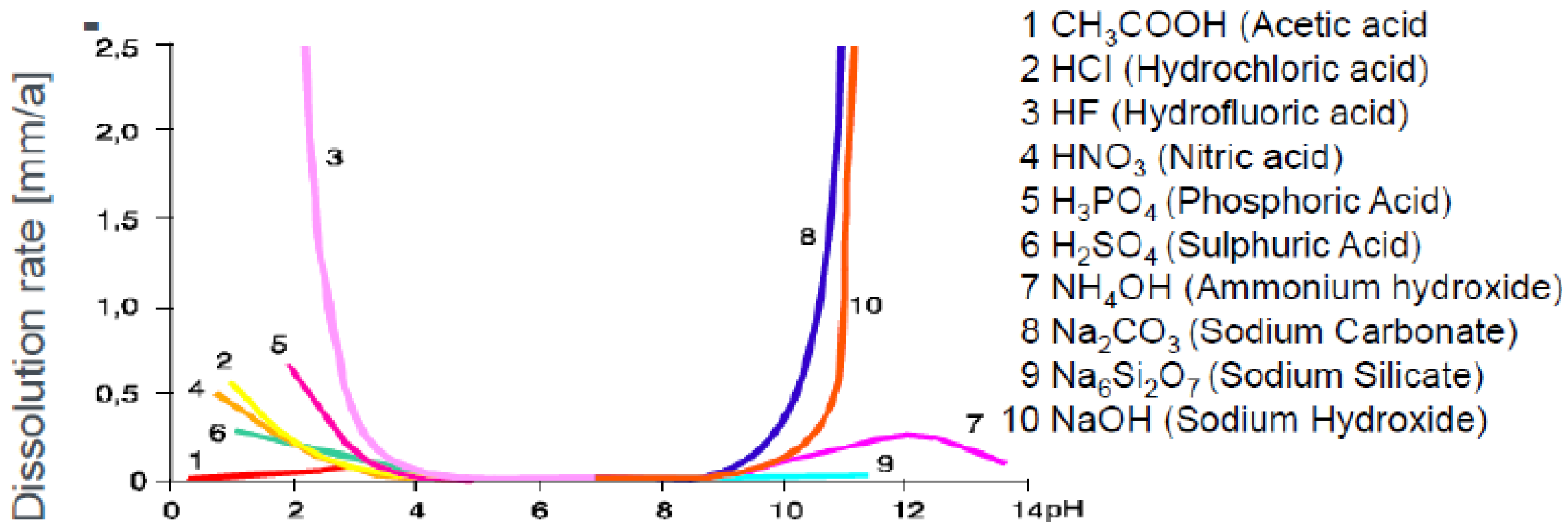


Dette er forseglet herding – pH vil falle pga raskere karbonatisering..

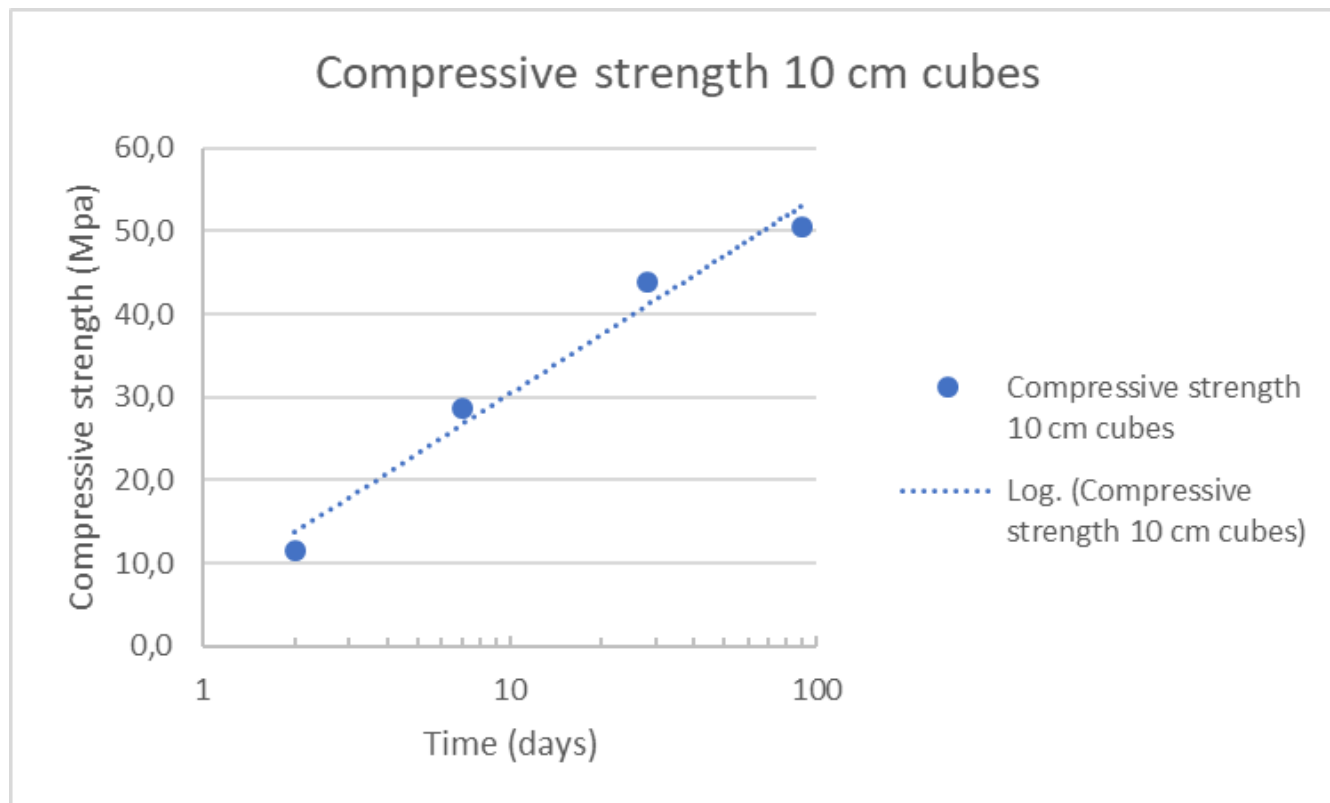


SINTEF

Silikat-kompleks beskytter?



Sterkere betong ved lavere v/c



- Betongresept ($\approx$ B35):
 1. 42% anleggsement
 2. 48% annen brent leire
 3. 6% silikastøv
 4. 4% kalksteinsmel
 5. $w/p = 0.48$
- Tilslag/pulver = 4.8

Terningfasthet 28 d: 43.9 ± 1.2 MPa, sylinderfasthet 28 d: 36.5 ± 1.0 MPa, Spaltestrekkfasthet: 3.4 MPa
E-modul første lastpåføring: 30.9 GPa, E-modul etter tredje lastpåføring: 32.9 GPa.



SINTEF

Kan bruke kalsiumklorid akselerator!!

Trykkfasthet /egenvekt

Døgn	Referanse	3% CaCl ₂
1	5.8±0.1 2266±5	9.7±0.3 2297±14
4	-	33.8±0.6 2290±28
28	37.3±0.2 2264±6	50.3±0.3 2290±13



90% av 28 døgns fasthet etter 4 døgns ved bruk av 3% kalsiumklorid!
35% økning av 28 døgnsfasthet! B45 innen rekkevidde!

Tilsvarende resept som for denne benken



Overlevde første vinter uten luftinnføring!

Mekaniske egenskaper for armering

Material	E-modul (GPa)	Strekkfasthet (MPa)	Densitet (g/ml)
Stål	210	400	7.87 (Fe)
FRP-Glass	45	700	
FRP-Basalt	60	800	2.65 (?)
FRP-Karbon	145	2000	
Aluminium	70	110*	2.70 (Al)

*Ultimat strekkfasthet økt til nivået for stål ved å legere med 10% Mg, 274 MPa ved å legere med 5% Mg, og enda mer når den skruekstruderes

Merk: FRP har sprøtt brudd, Al metall duktilt! Viktig for sikkerhet...
FRP kan heller ikke formes på byggeplass slik metaller kan...

Termisk utvidelse for armering

Materiale	Linear termisk ekspansionskoeffisient
Betong	6 to $14 \cdot 10^{-6}$ m/m·K
Jern	$10 \cdot 10^{-6}$ m/m·K
FRP (glass fiber/polyester)	$25 \cdot 10^{-6}$ m/m·K
Aluminium*	$22 \cdot 10^{-6}$ m/m·K

* Kan reduseres ved å legere, spesielt med Si

Bestandighet av aluminiumsarmert betong

1. Karbonatisering betyr ikke noe for Al-armering eller bindemiddel
 2. Kloridinntrengning betyr ikke noe for Al-armering eller bindemiddel
 3. Mikrosprekker betyr ikke noe for Al-armering
 4. For lav pH for AAR (og for mye løselig aluminat fra leire)
 5. Frostmotstand løses ved luftinnføring som vanlig
 - Motstod vann på overflaten, men ikke salt løsning (jobber med saken)
 6. Utmerket motstand mot sulfat-angrep
- Resultatet er "uendelig" levetid !!

Implikasjoner av DARE2C konseptet

- Vedlikeholdsfri armert betong → design i hht fasthet! Ikke bestandighet!
- Bare 20 mm overdekning nødvendig, spar 30-40 mm
- Al-armert betong vil ha lavere egenvekt
- Beste akselerator, kalsiumklorid, kan igjen brukes
- Høyere v/c med mer permeable betong fører til
 1. Lettere utstøping med mindre SP?
 2. Raskere CO₂ binding fra atmosfæren, mindre C-avtrykk
 3. Mindre termisk dilatasjon i massive betongtverrsnitt



SINTEF

Inngangsparti Geitbåtmuseet – Heim kommune



Frilagt profil av Geitbåt i aluminium koplet til armering av en støpelegering

Sluttkommentar

- Uendelig levetid uten vedlikehold kan være for hånden!
- Slå romerne, nå MED armering!
- Tar gjerne spørsmål





SINTEF

Teknologi for et
bedre samfunn