



— 70 years —
1950-2020

FREMTIDENS BETONG – ET FORSKERPERSPEKTIV

Harald Justnes

SINTEF Community, Trondheim

Fremtiden = Sement med lavere klinkerandel

- Det må finnes andre klinkererstatninger enn dagens **masovnslagg** (alt i Europa tatt i bruk) og **flygeaske** (opphører når kullfyrte kraftverk legges ned).
- Hvis klinker-erstatningen har pozzolan natur, så er erstatningsnivået begrenset til < 35% for stålmert betong til utendørs bruk.
- Det finnes sementer definert i EN 197-1 som tillater opp til 55% pozzolan, CEM IV/B men da til uarmert bruk. Kan vel brukes til ikke-korrosiv armering
- Masovnslagg er ikke pozzolan og EN 197-1 definerer sement opp til 95% masovnslagg (CEM III/C) og bare 5% klinker

Hvor mye klinker kan vi erstatte?

- Dagens globale klinkerfaktor i blandingssementer er 0.78 (2016)
- IEA/WBCSD målsetning for 2050 er 0.72
- UNEP-2016 sier 0.60 er mulig i 2050
- Hvis > 0.35 av klinker er erstattet med noe som forbruker kalsiumhydroksid (pozzolan) så er ikke lenger stålarmering beskyttet mot korrosjon
- Men globalt er andel sement som er armert bare 25%!
- Så er fremtiden en egen sement med lite klinker for uarmert betong eller ikke-korrosiv armering???

Kommende klinker-erstatninger

- **Avfall** som masovnslagg og flygeaske regnes med 0% CO₂ utslipp
- Naturlig leire aktivert ved 750-850°C, men kan vi regne 0% CO₂ hvis man bruker biobrennstoff? Nok leire i verden til å dekke behov.
- Bauksitt-residu er et **avfall** fra produksjon av alumina som råstoff for aluminium metall fremstilling. **175 Mt** produseres per år globalt.
- I tillegg er det store lager av bauksitt-residu flere steder
- Mindre avfallsstrømmer kan bety noe lokalt, og sementindustrien leter med stor entusiasme.

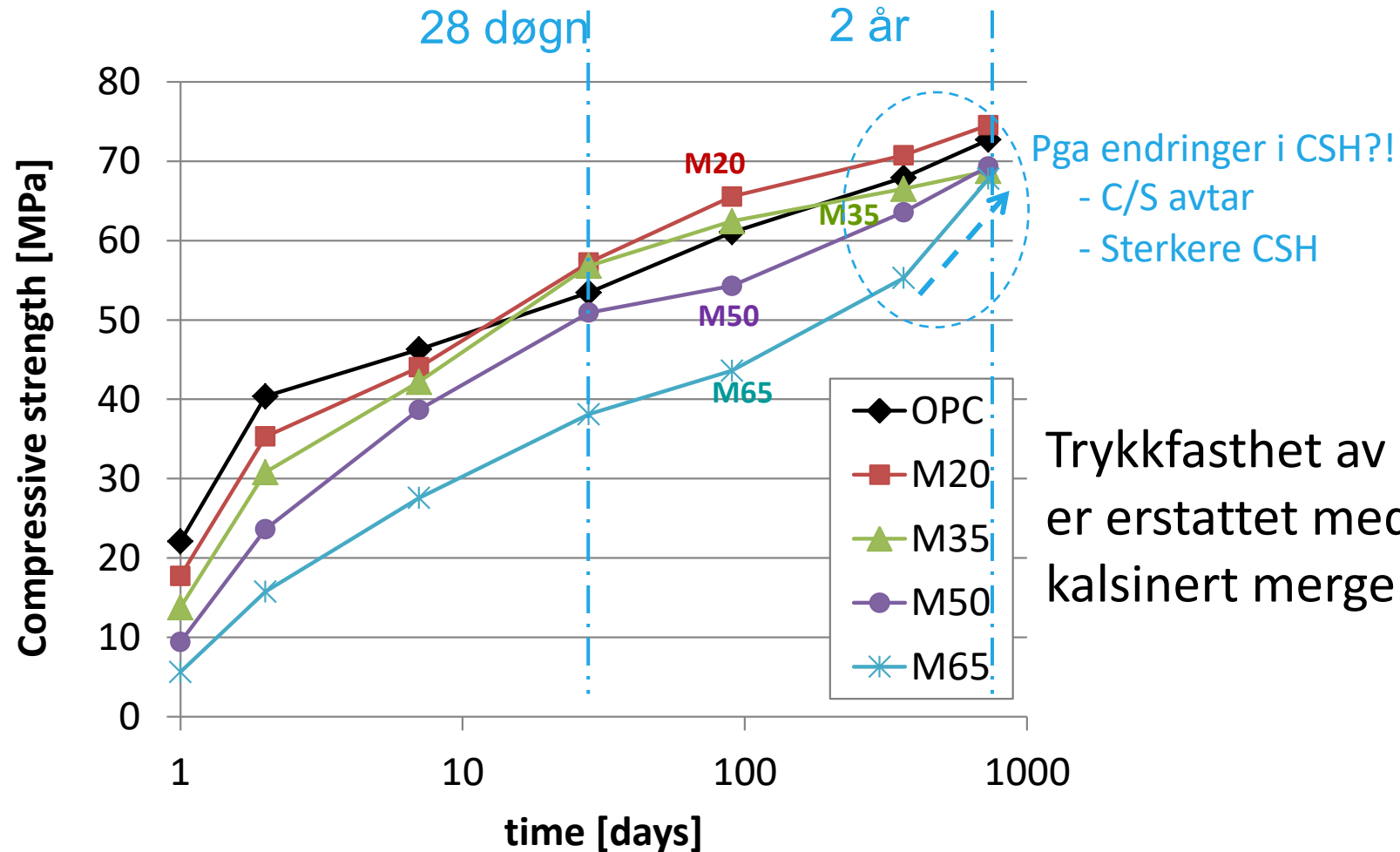
LC³-50 (www.lc3.ch)

- Typisk sammensetning:
 - 50% klinker, 25% kalsinert leire, 20% kalksteinsfiller og 5% gips
- Den kalsinerte leire er rik (ca 50%) på kaolin, resten feltspat etc
- Fullskala feltforsøk i både India og på Kuba
- I 2020 forventes kommersiell produksjon i Sør-Amerika
- Dette fordi denne sement-typen er godkjent i ASTM som brukes i Sør-Amerika
- Et av hindrene for å ta i bruk ny teknologi er standardverket

Ikke-korrosiv armering for $> 35\%$ pozzolan?

- Kommersiell komposittarmering (fiberarmert resin), f eks basalt-fiber armert epoksy $\rightarrow$
- Forskning gjøres på aluminium-legeringer for betong basert på bindemiddel uten kalsiumhydroksid





Trykkfasthet av mørtel hvor sement er erstattet med 0, 20, 35, 50 og 65% kalsinert mergel

- 20 og 35 % erstatning høyere trykkfasthet enn for referanse ved 28 døgn
- 50% erstatning gir samme fasthet som 100% sement ved 28 døgn
- 65% erstatning er for mye → all CH er fjernet tidlig..... Men styrken øker til 2 år!

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



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 (ennå ikke testet)
 6. Utmerket motstand mot sulfat-angrep
- Resultatet er "uendelig" levetid !!

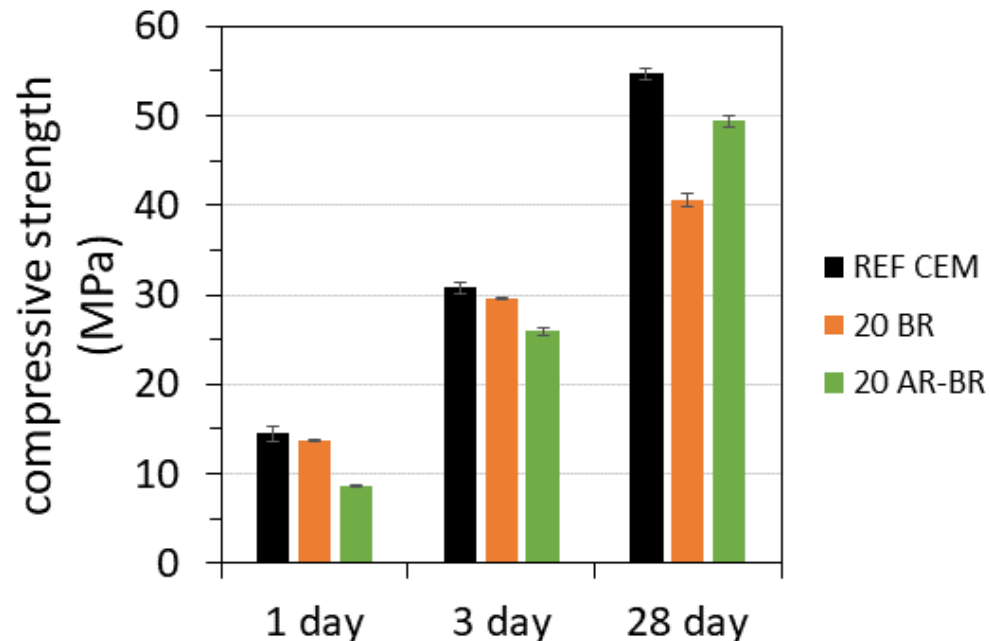
Bauksitt-residu (BR)

- BR kan i utgangspunktet ikke brukes i sement og betong pga høyt alkali-innhold
- Vi har funnet enkel metode for å redusere alkali-innholdet med >90%
 - Alkalireduert BR (AR-BR) er reaktivt når det blandes sammen med sement i betong og bidrar til økt fasthet.
- Fasthets-bidraget kan økes ved å kombinere AR-BR med andre enkle mineraler etter kjemiske prinsipper som økt vannbinding. < 35% AR-BR kan brukes med stålarmering
- Vi har sterke indikasjoner på at 55% AR-BR kan gjøre jobben som kalsinert leire har i dag med å stabilisere aluminiumarmering i betong

Resultat for bauksitt-residu (BR)

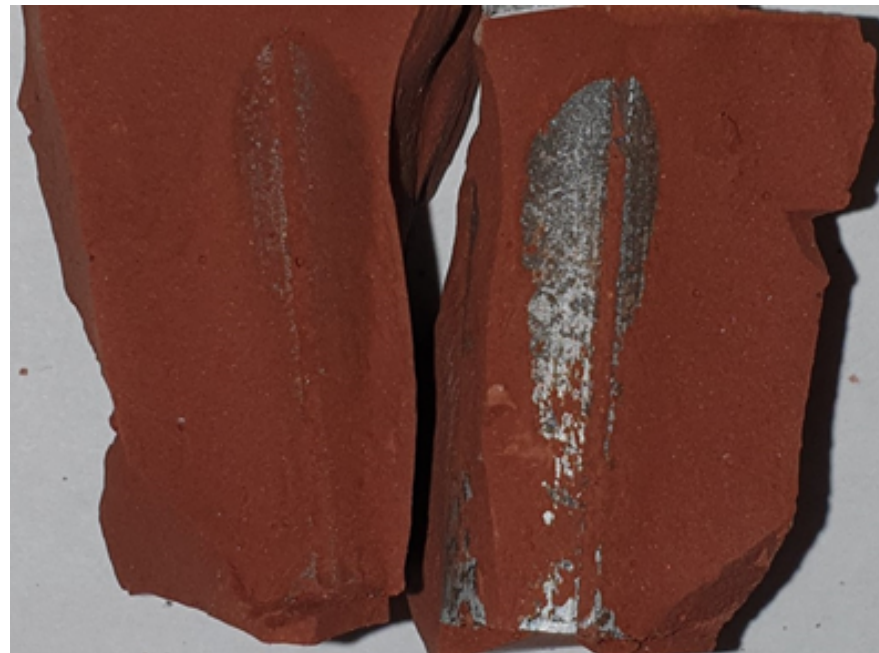
20% BR og AR-BR erstatter sement.

1 døgns fasthet for AR-BR kan forbedres ved
å tilsette 5% vanlig mineral



55% erstatning av sement med AR-BR gir en blanding

hvor aluminium er stabil etter 36 dager under våte forhold.



Kan **rød** betong være **grønn**?

Aluminium motstår ikke betong, men omgivende miljø



Ekstrudert aluminiumstang

Aluminium liker ikke høy pH



Korroderer under utvikling av H_2 gass



Rester av aluminiumstang etter 8 måneder i sementpasta

Konklusjon

1. Drivkraften for nye sementer er reduksjon av karbonavtrykk/energi
2. Betong er her for å bli, men med mindre sement/klinker per volumenhet
3. Fremtidens erstatning av klinker/sement er kalsinert leire/ kalksteinsfiller/BR
4. Erstatningsnivåene vil bli opp mot 35% av klinker med vanlig armering
5. > 35% for ikke-korrosiv armering eller uarmert – ikke én sement for alt!
6. Ikke-korrosiv armering vil komme til å bli mer vanlig
 - Det er ikke gratis å redde planeten, noen ulemper følger med:

Lavere tidligfasthet → Redusert produktivitet = forskalingen oppe lenger



—— 70 år ——
1950-2020

Teknologi for et bedre samfunn