



TEKNOLOGISK
INSTITUT



CHARBUILD

*Integration af biokul i
byggematerialer*

Dansk Betondag 2025

25-09-2025



Nina Marie Sigvardsen

Projektleder
Konsulent, Teknologisk Institut

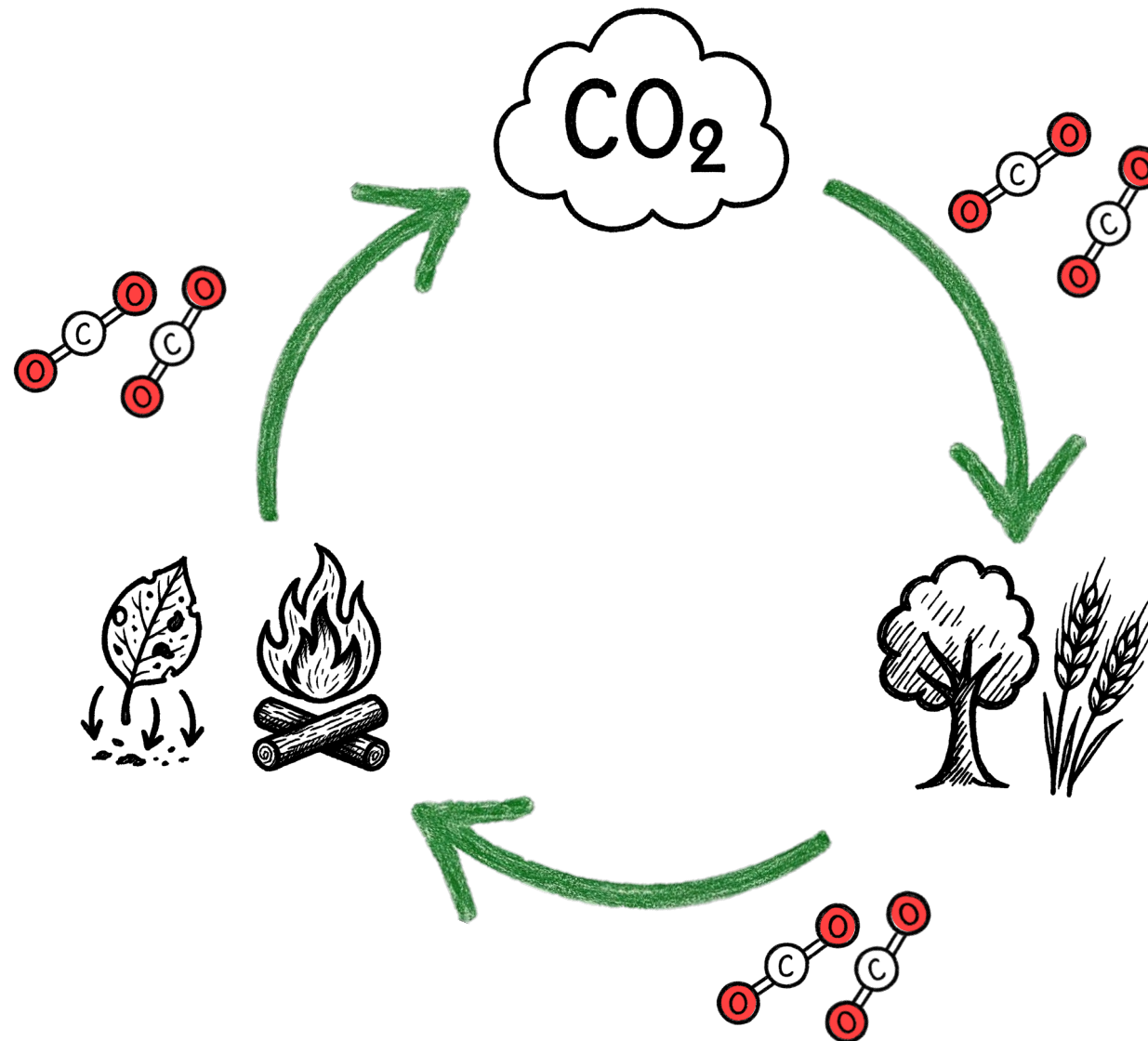


Sara Hørlyck Molbo

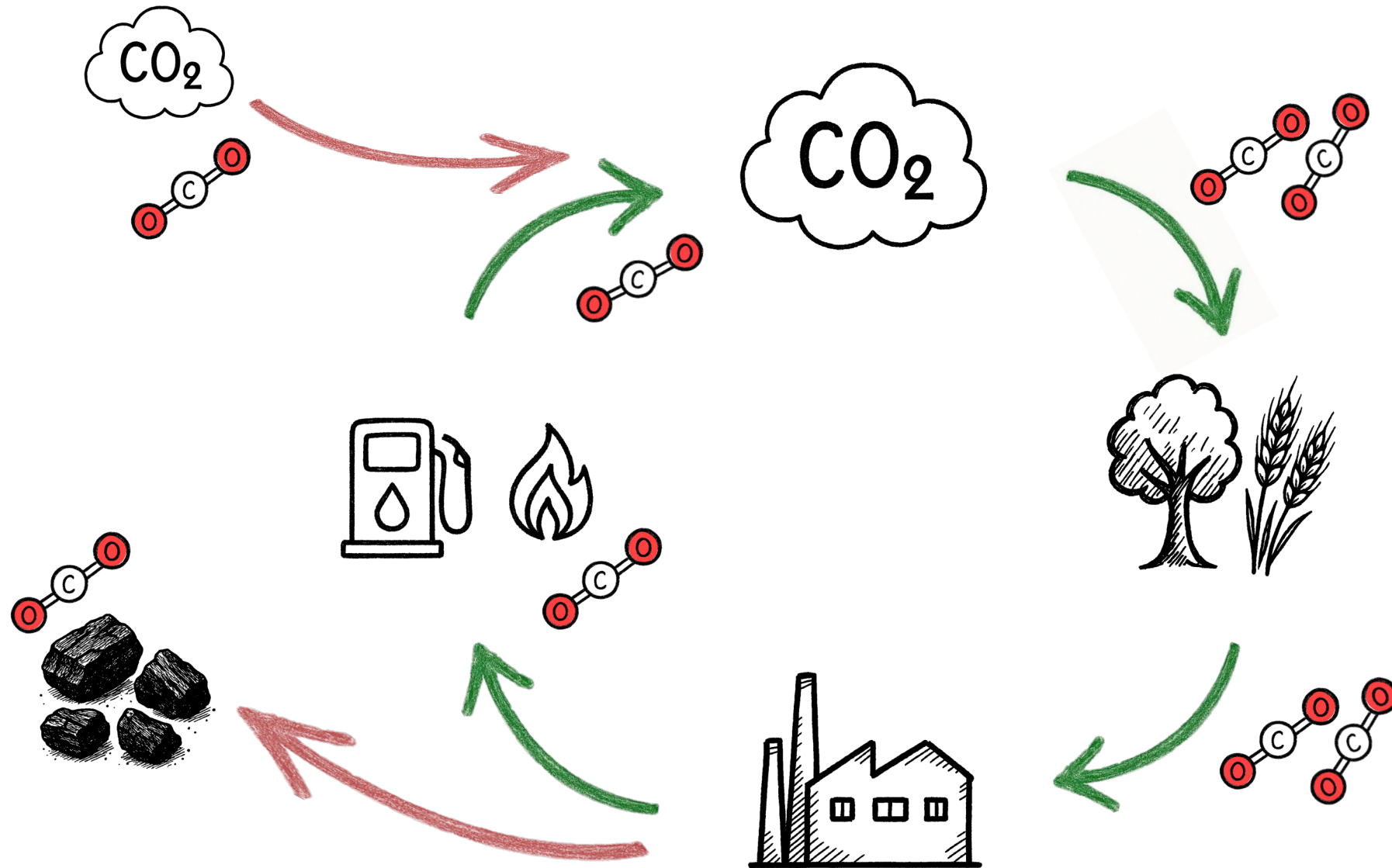
Kvalitetschef, Leth Beton A/S



Kulstofskredsløbet



Kulstofskredsløbet



Hvorfor biokul i letbeton?

Biokul: -2,3 kg CO₂ eq. / kg [Stielsdal SkyClean]

***Traditionelle letklinker:** 0,1 kg CO₂ eq. / kg, **cement:** 0,8 kg CO₂ eq. / kg*

Hypotese: 75% af letklinker + 20% af cementen

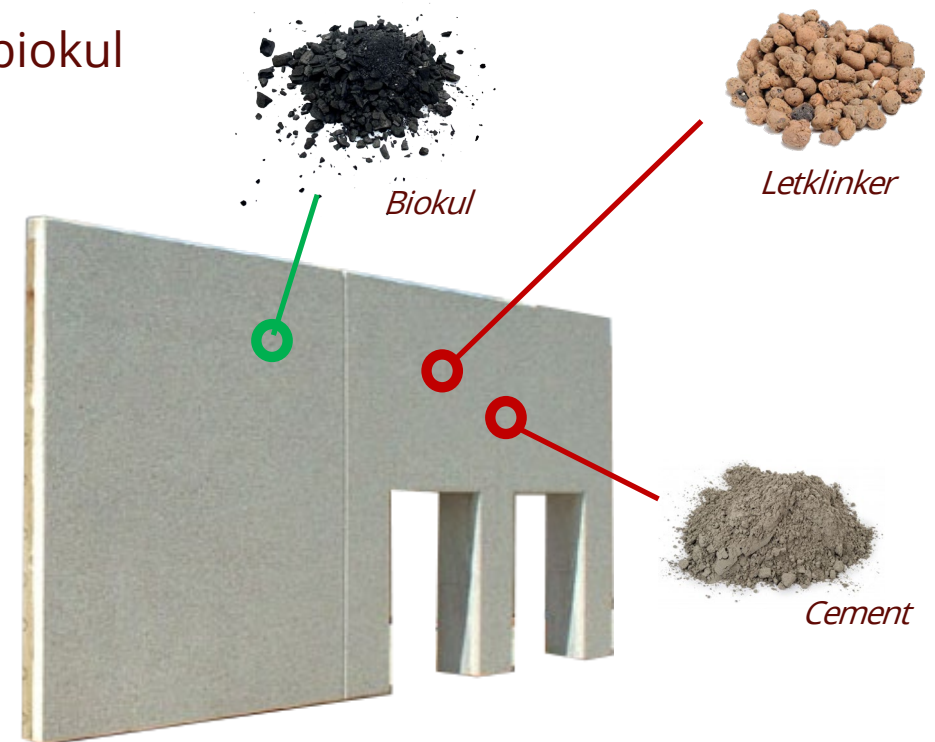
Dansk produktion af letbeton: 130.500 m³ / år [LethBeton]

Dansk potentiale: CO₂-besparelse ~ 60.000 tons / år



Projektets formål

- **Hovedformål:** Demonstrere brugen af biokul som komponent i letbeton
- **CO₂-reduktion:** Opnå betydelige CO₂-besparelser uden at gå på kompromis med betonens egenskaber
- **Ressourcebesparelse:** Erstatte naturlige råmaterialer med biokul
- **Som cementserstatning:** 5-25% erstatning af cement
- **Som letklinkerstatning:** 60-100% erstatning af konventionelle letklinker 0-4



Biokul



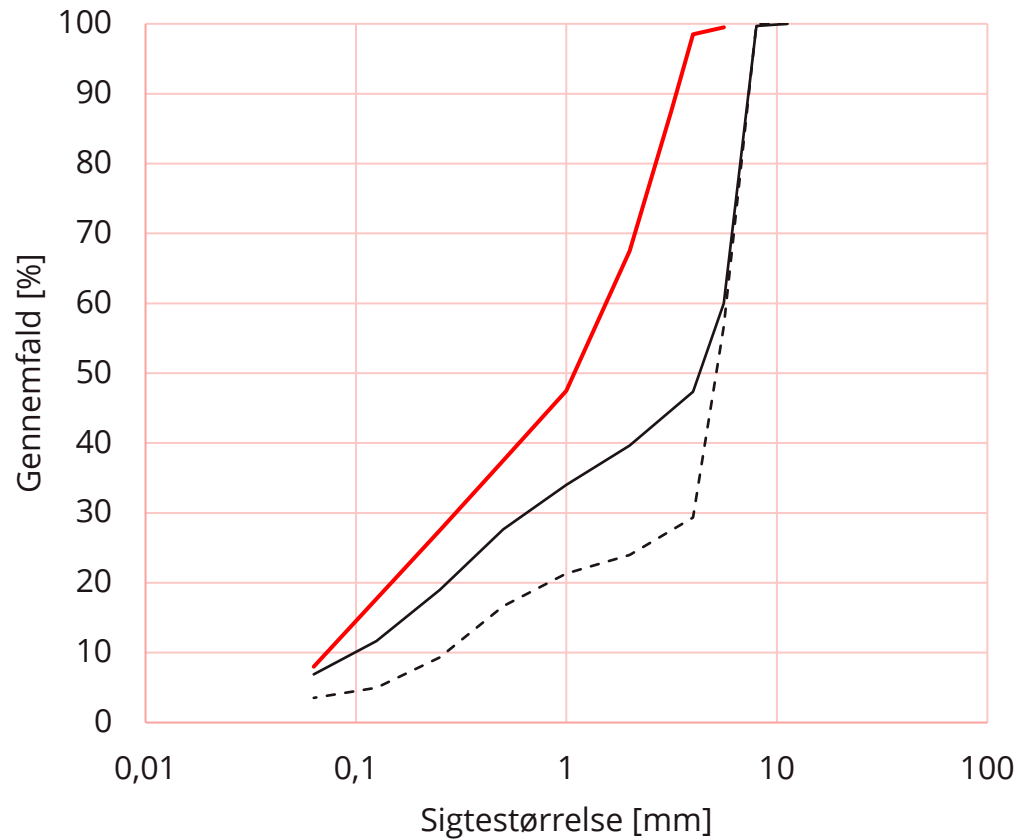
Biokul



BIOKUL FRA HALM

- Biokul: -2,3 kg CO₂ eq. / kg (fra halm, Stiesdal SkyClean)
- Letklinker 0-4: 0,1 – 0,2kg CO₂ eq. / kg
- Høj porøsitet
- Bulk densitet ~ 260 – 430 kg/m³
- Letklinker 0-4 ~ 360 kg/m³

Partikelstørrelsesfordeling



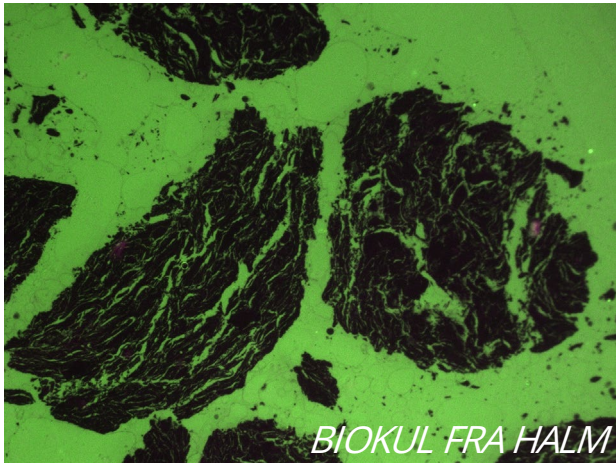
— Gennemsnit, biokul fra halm

---- Gennemsnit, biokul fra træ

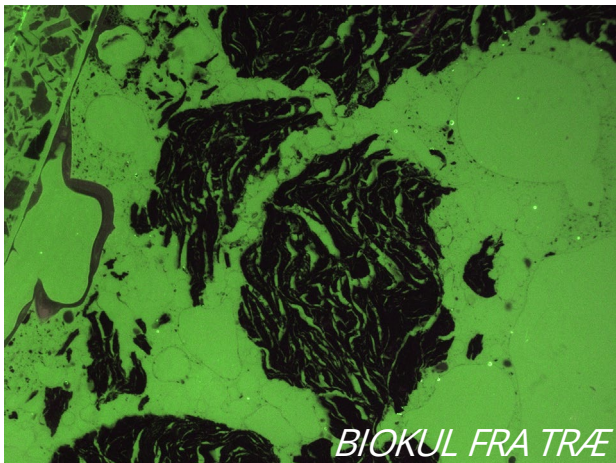
— Letklinker 0-4

Partikelstørrelse	< 63µm	< 4mm	< 8mm
Biokul fra halm	7%	47%	~ 100%
Biokul fra træ	4%	29%	~ 100%
Letvægtstilslag 0-4	14%	~ 100%	

Struktur og kemiske parametre



- Høj porøsitet med porestørrelse varierende 0,001 – 0,2mm
- Høj porøsitet giver lav densitet, hvilket er afgørende for brugen af biokul som let tilslag



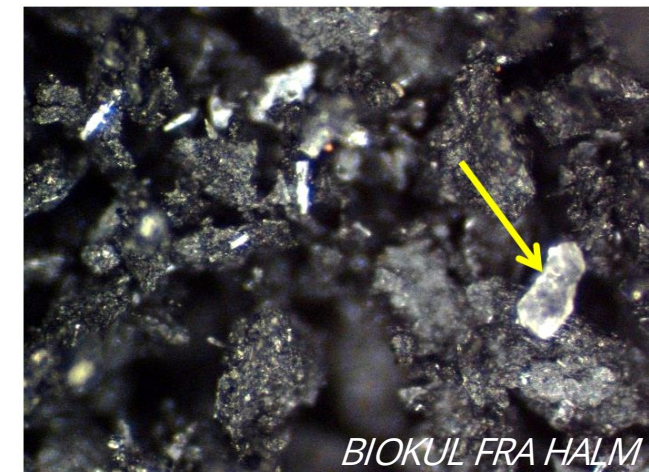
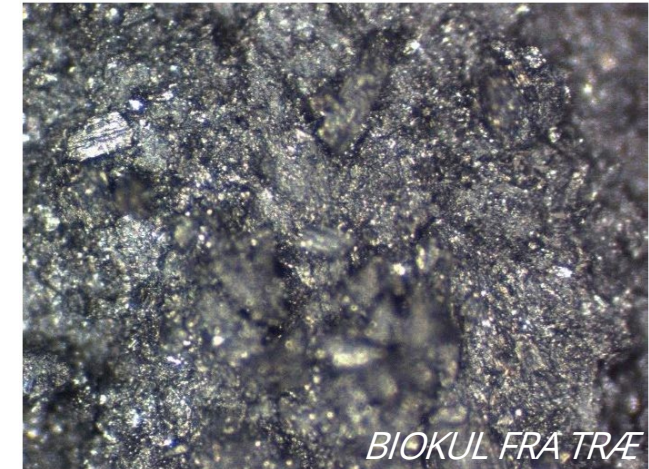
*Tyndslib af biokul
Billedbredde svarer til 11mm*

	Biokul fra halm	Biokul fra træ
Total karbon [% (w/w), d.b.]	75,6	90,7
Organisk karbon [% (w/w), d.b.]	75,3	90,5
Hydrogen [% d.b.]	1,8	1,9
Oxygen [% d.b.]	4,4	4,6
Askeindhold [550°C, % d.b.]	18,2	3,1

Kemiske parametre

Oxider målt med boratoplukning af aske 550°C (DIN 51729-11)

	Biokul fra halm	Biokul fra træ
SiO ₂ [% (w/w), d.b.]	9,3	0,9
Fe ₂ O ₃ [% (w/w), d.b.]	0,2	0,0
CaO [% (w/w), d.b.]	2,3	0,6
MgO [% (w/w), d.b.]	0,5	0,1
SO ₃ [% (w/w), d.b.]	0,3	0,0
K ₂ O [% (w/w), d.b.]	3,3	0,7
Na ₂ O [% (w/w), d.b.]	0,3	0,1
P ₂ O ₅ [% (w/w), d.b.]	0,4	0,1
Rest	1,6	0,6



*Billeder af biokul med stereomikroskop
Billedbredde svarer til 1,8mm*

Biokul som cementserstatning

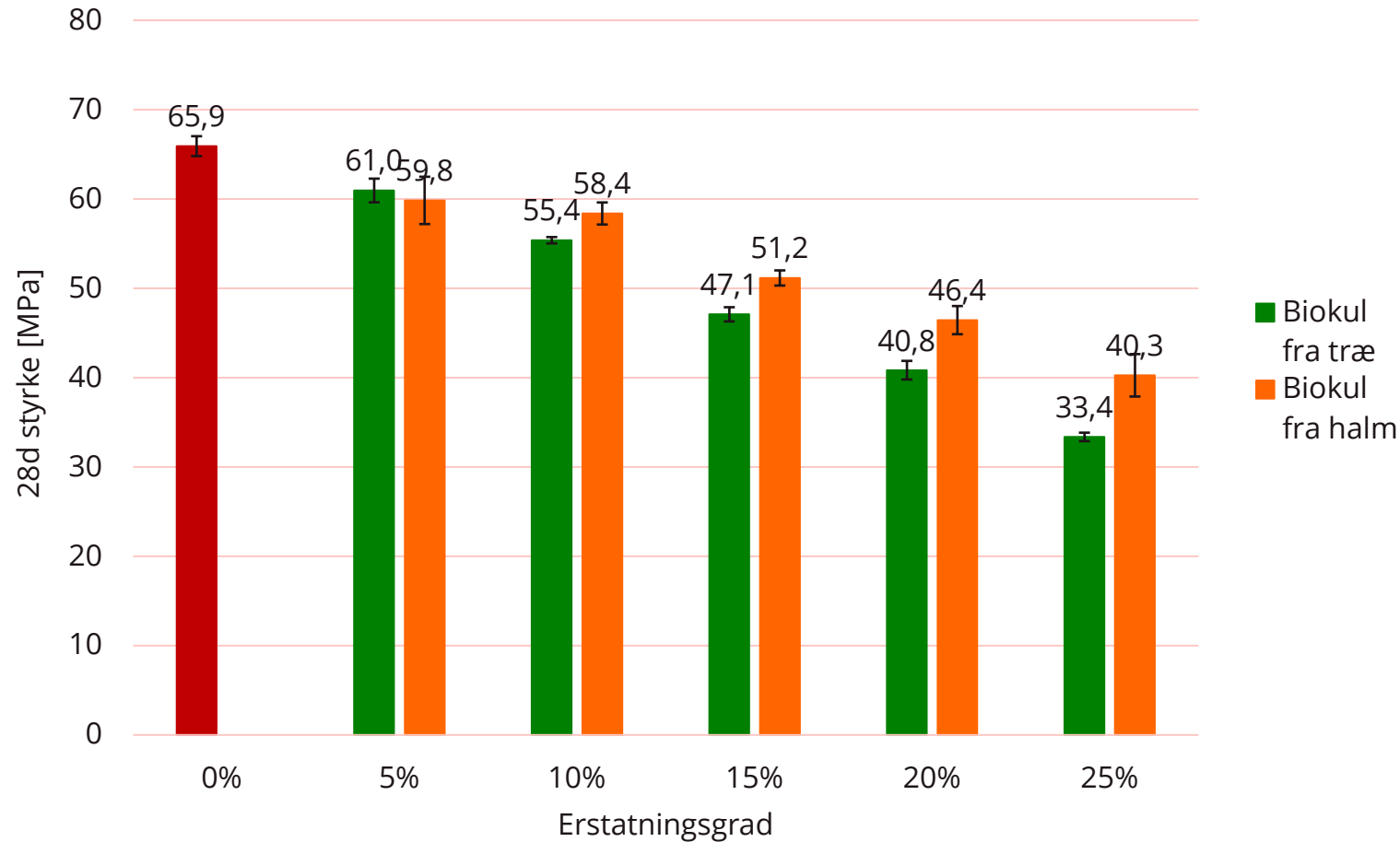
Biokul nedknust til fillerstørrelse (partikler under 0,25mm iht. DS 2426).

ERSTATNINGSGRADER

- 5 vægt% erstatning af cement
- 10 vægt% erstatning af cement
- 15 vægt% erstatning af cement
- 20 vægt% erstatning af cement
- 25 vægt% erstatning af cement



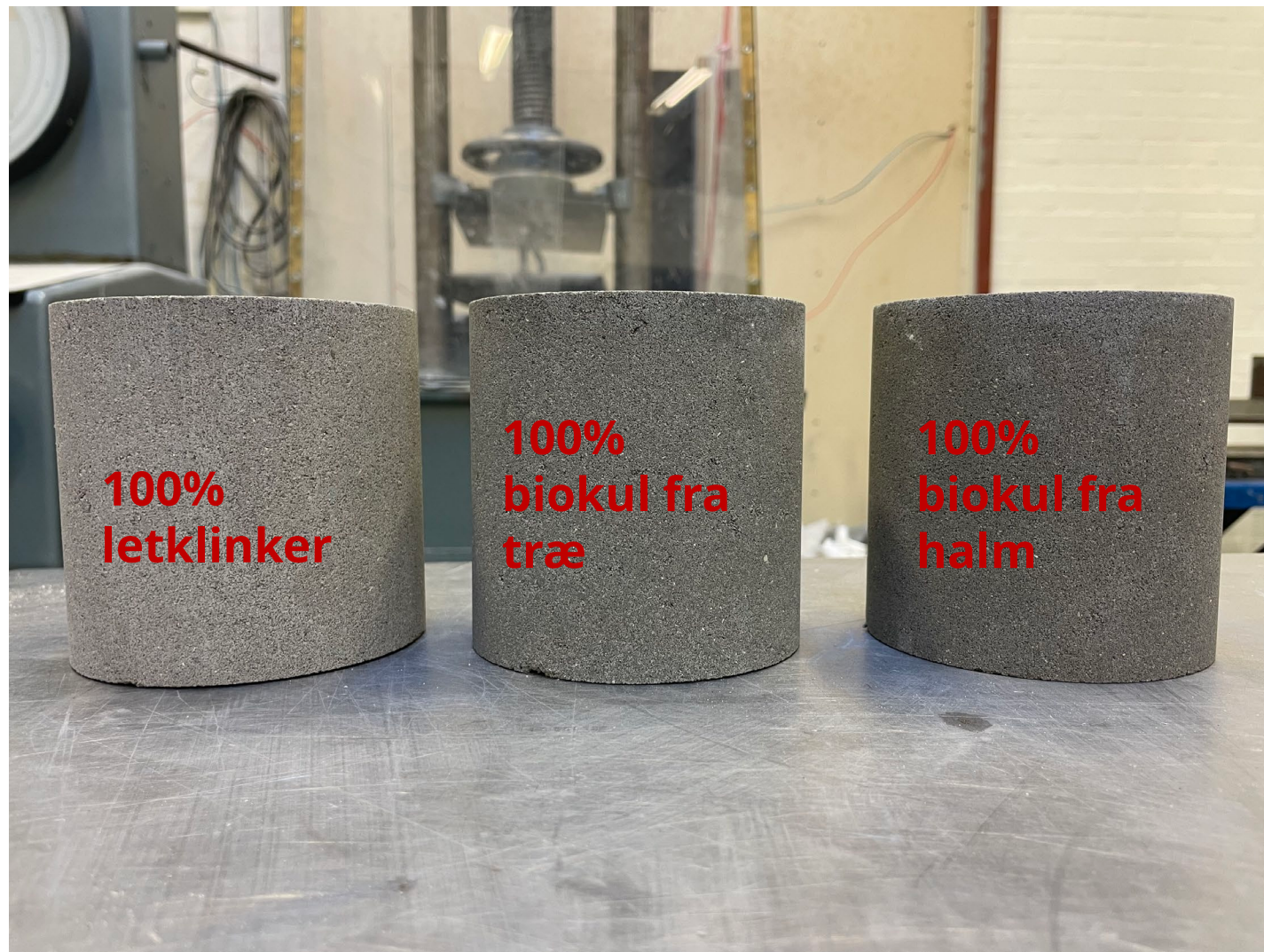
Biokul som cementerstatning



Strength Activity Index	28 d	90 d
Biokul fra halm	61%	69%
Biokul fra træ	51%	64%
450-1	≤ 75%	≤ 85%

- Ikke nævneværdigt kemisk bidrag.
- Biokul fra halm: amorft silica
- Har et meget begrænset fysisk bidrag (filler).
- Nedknusning er en stor udgift.

Biokul som letklinkerestatning

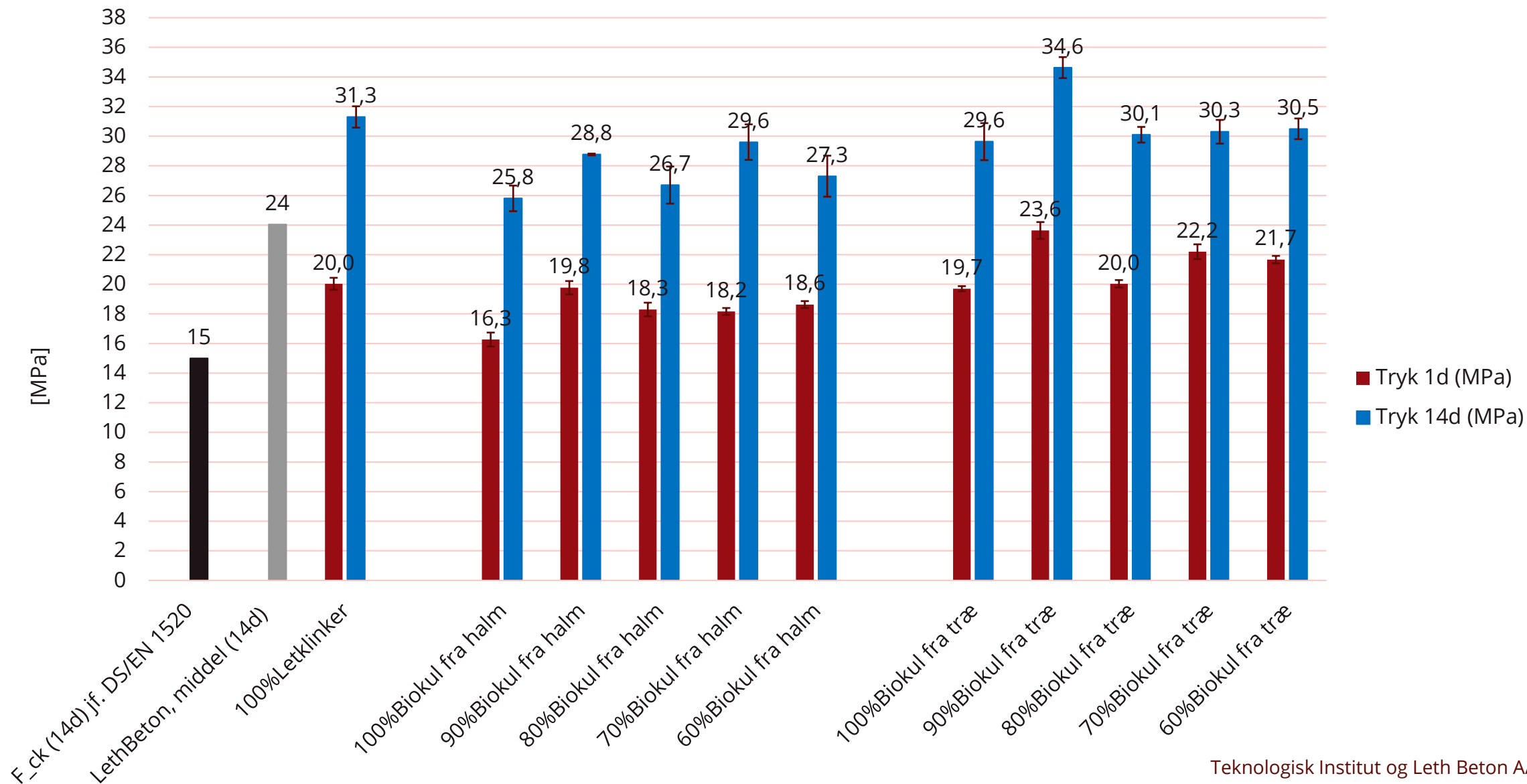


ERSTATNINGSGRADER

- 100 vol% erstatning af letklinker
- 90 vol% erstatning af letklinker
- 80 vol% erstatning af letklinker
- 70 vol% erstatning af letklinker
- 60 vol% erstatning af letklinker

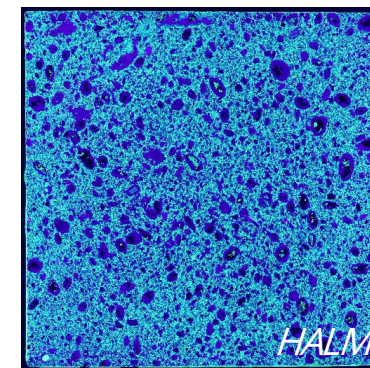
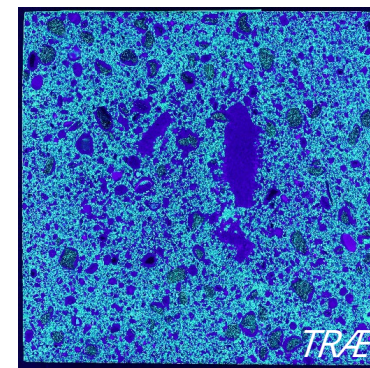
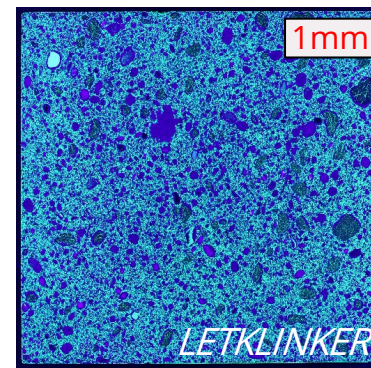
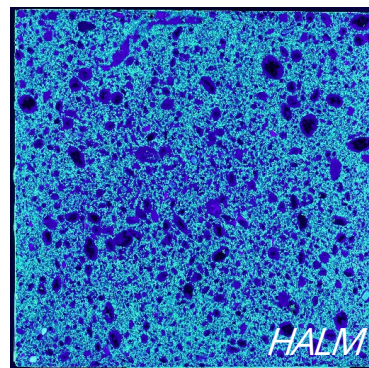
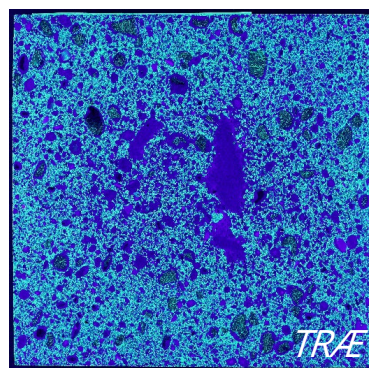
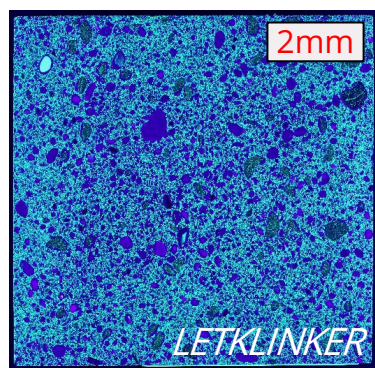
Densitet $< 2000 \text{ kg/m}^3$ og blandet efter recepter fra LethBeton LAC2000.

Biokul som letklinkerstatning



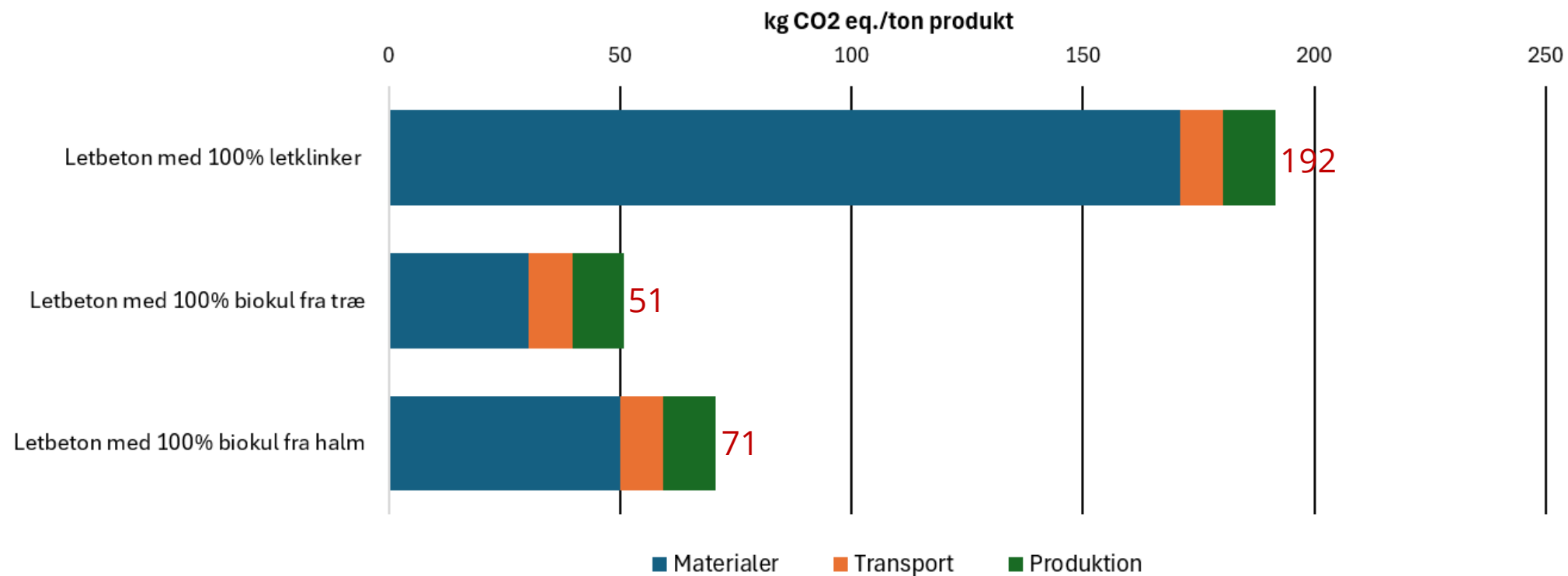
Biokul som letklinkerstatning

- **God vedhæftning** mellem alle tilslag og cementpasta
- **Fuld omslutning** af partikler med cementpasta
- **Generelt en homogen fordeling** af tilslag (kun lokale inhomogeniteter).
- **Højere porøsitet** i letbeton med biokul (14-17%) vs. letbeton med letklinker (10%)



Makroanalyse

Livscyklusanalyse



LCA A1-A3 (materialer, transport og produktion)

Brandkrav jf. DS/EN 1520 og 13501-1

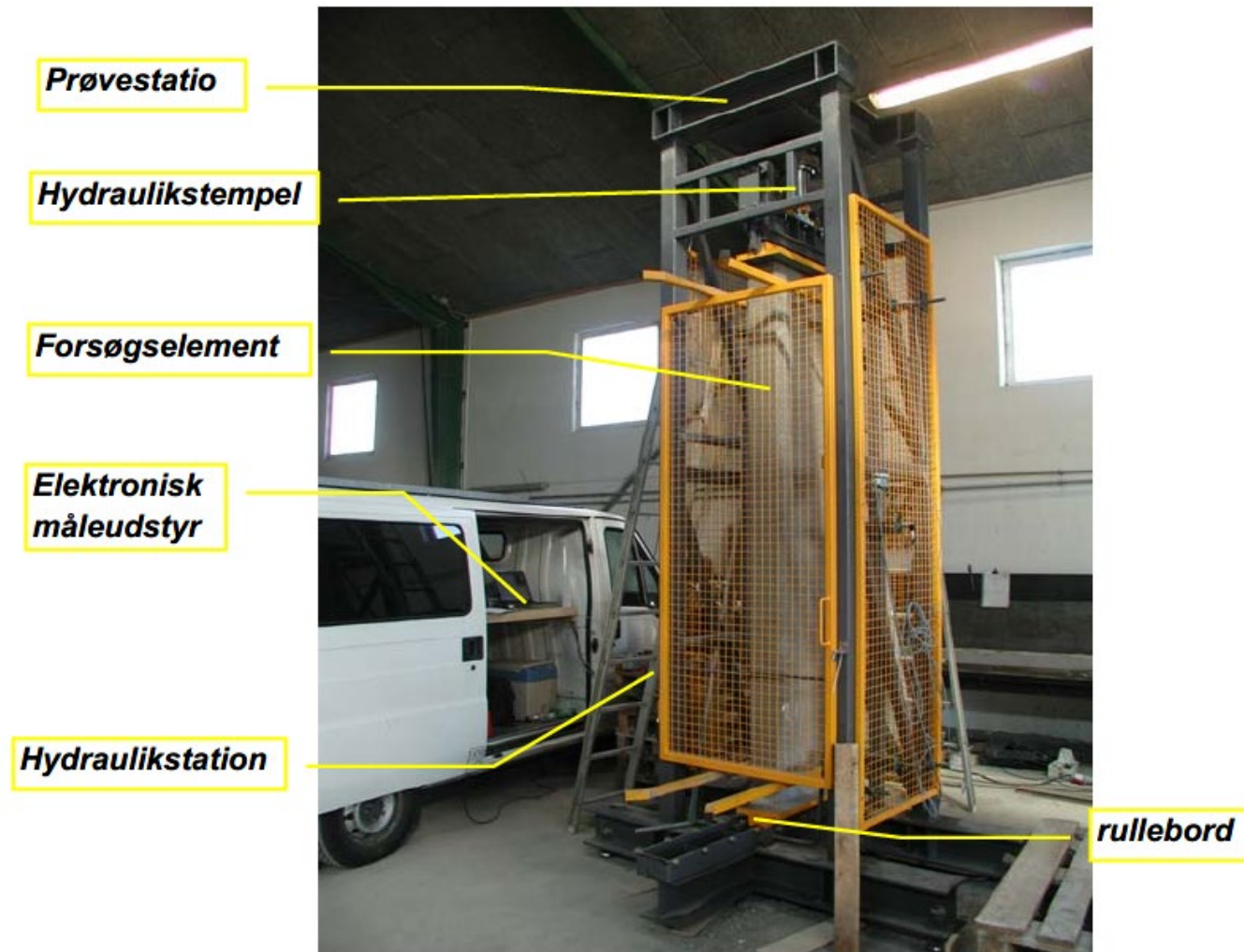
LethBeton er valgt at gå videre med biokul fra halm, da resultaterne ikke viste signifikante forskelle og biokul for halm er billigere end biokul fra træ.

DS/EN 1520, afsnit 5.1.4

"LAC-komponenter, der indeholder 1 % eller mere organisk materiale i masse eller volumen, skal testes for reaktion på brand og klassificeres i henhold til DS/EN 13501-1".

	Målt værdi	Grænseværdi Brandklasse A1
PCS (brændværdi), [MJ/kg]	$0,7 \pm 0,1$	$\leq 2,0$
ΔT (stigning i temp. over 750grader), [°C]	$0,8 \pm 0,3$	≤ 30
Δm (masseændring), [%]	$7,8 \pm 0,5$	≤ 50
t_f (efterbrandingstid), [s]	0 ± 0	0

Dokumentation af materialeegenskaber i fuld skala (iht. DS/EN 1520 og DS/EN 1740)



Introduktion til Leth Beton A/S

- Grundlagt i 1973
- Præfabrikerede elementer i normalvægtsbeton, letklinkerbeton og træ
- Hybrid byggeri
- Over 50 års erfaring med letklinkerbeton
- 1987 produceres letklinkerbeton elementer som vi kender det i dag.

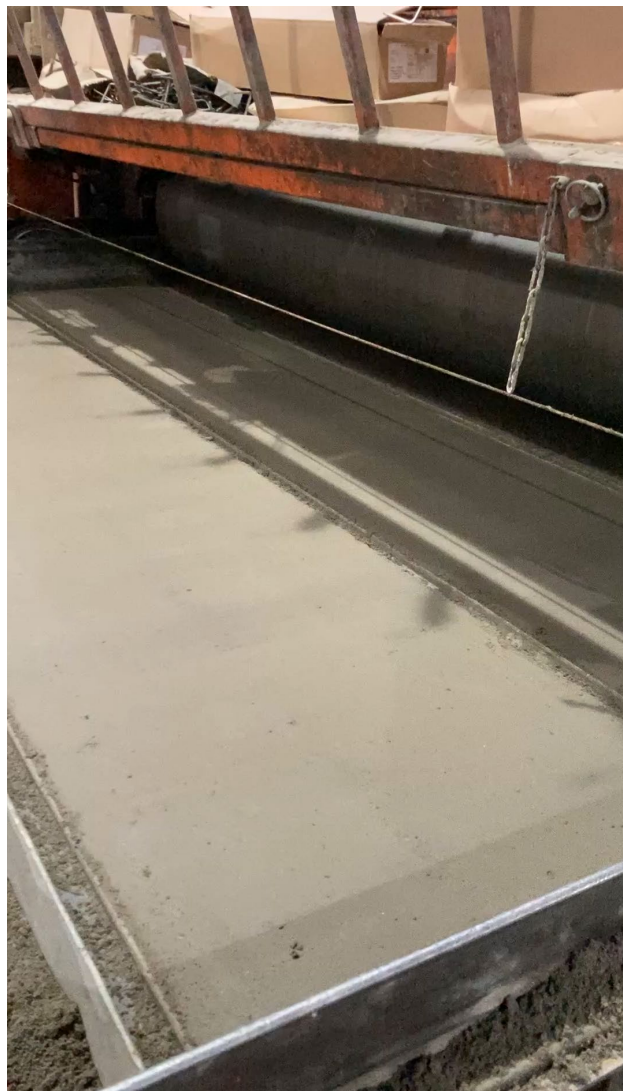


Hvorfor valgte vi at deltage i projektet?

- Den bæredygtige udvikling i byggebranchen
- Skabe et større fokus på letklinkerbeton
- Mindske risikoen for at et godt produkt går tabt
- Fordele ved Letklinkerbeton

Egenskab	Letklinkerbeton	Resultat
Materialeforbrug	Reduceret	Lavere CO2-aftryk
Vægt	Lav	Håndtering og transport er lettere
Isoleringsevne	Meget god	Lavere energiforbrug til opvarmning/køling
Brand	Meget god	A1
Lydisolering	God	Fordel i bolig- og erhvervsbyggeri
Anvendelse	Bærende og ikke-bærende vægge	Fleksibelt
Løntimeforbrug	Reduceret	Billigere produkt
Armering	Gennemgående	Højere styrke

Første fuldskala testelement



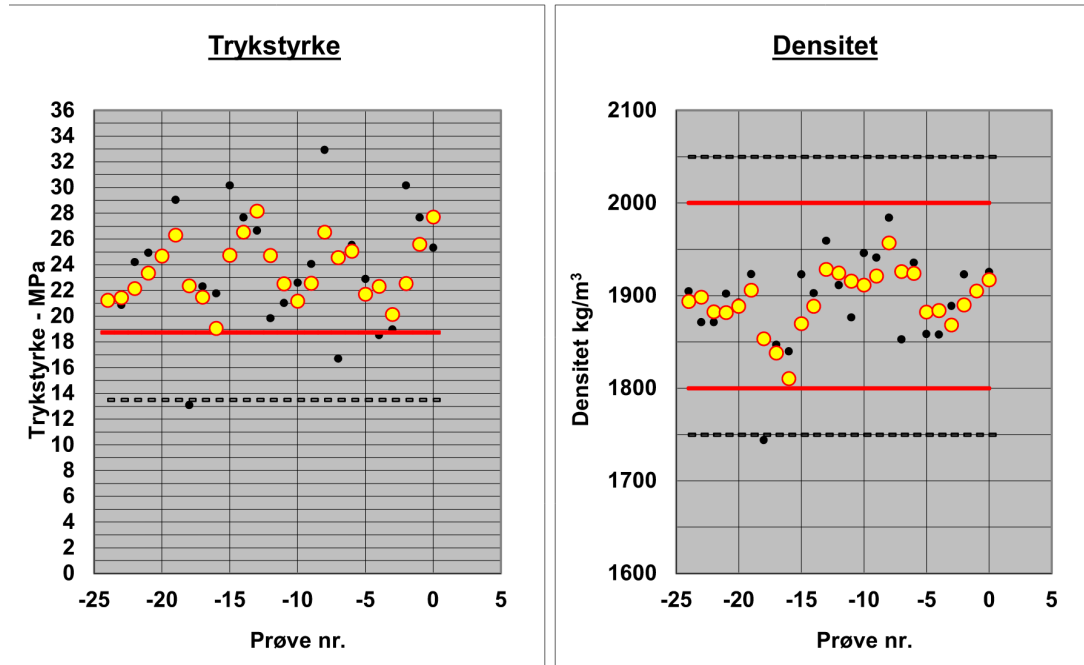
Forsøg i bord



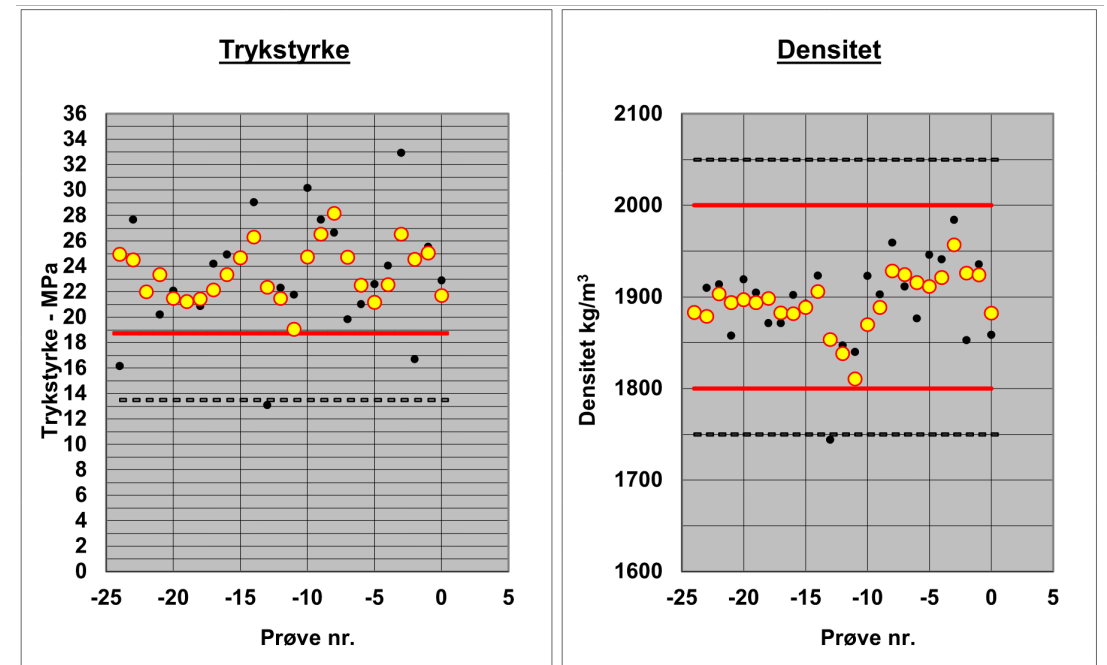
- Recept
 - Densitet, VOT og absorption
 - Ikke anvendt standard prøvningsmetode
- Udfordringer:
 - Kravspecifikation
 - Opbevaring af biokul inden/under transport
 - Måling af fugt – ikke mulighed for hurtig justering
 - Afvigelse på vægt

Delkonklusion

Biokul



Brændt ler



Delkonklusion

- Afsmitning
- Porøs overflade
 - Afformningsskader
 - Afskalninger
- Fuldskalatest



Tak for opmærksomheden

Spørgsmål?

