

KALKSTABILISERING – TEMPERATURENS INDFLYDELSE PÅ STYRKEUDVIKLINGEN

Udarbejdet af:

Daniel Fernandez Holdt-Olesen (AU)

Jeppe Mansfield Nygaard (Hercules Fundering)

Nicolas Fernandez Holdt-Olesen (AU)

Samarbejdspartnere:

Bent Grønskov Jensen (AU)

Morten Vanggaard (Banedanmark/MVGeoteknik)

Kristian Thoustrup Brødbæk (COWI)

Michael Rosenlund Lodahl (COWI)



INDHOLD

- Generelt om kalkstabilisering og teorien bag
- Præsentation af de udførte forsøg
- Analyse af forsøgsresultater
- Videre perspektivering
- Konklusion



GENERELT OM KALKSTABILISERING

- Metode til forstærkning af blød lerholdig jord
- Bæredygtighed: spare på knappe sand- og grusmaterialer



Foto fra SR-Gruppen A/S' hjemmeside

TEORIEN BAG KALKSTABILISERING

- Lermineralogi

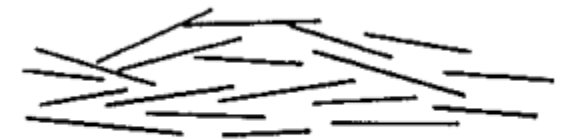
- Ler består af særlige mineraler formet som små flager/plader
- Kan både optræde tiltrækkende og frastødende kræfter

- Kalkens kemi

- Der anvendes hovedsageligt brændt kalk (CaO)
- Korttidsreaktioner
- Langtidsreaktioner



Flokkuleret struktur



Dispergeret struktur

Illustration fra "Veje og Stier" (Thagesen)

PRÆSENTATION AF CBR-FORSØG

- Undersøgelse af hærdningstemperaturens indflydelse på styrkeudviklingen i kalkstabiliseret moræneler
- Forsøg ved stuetemperatur (21 °C) og køleskabstemperatur (5 °C) for 0, 1 og 2 % kalk

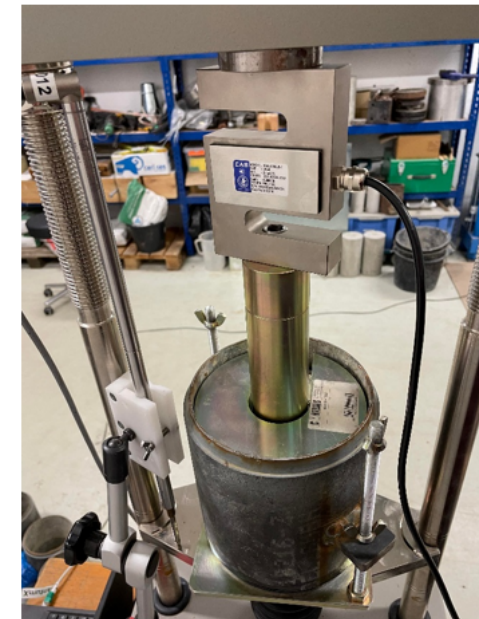
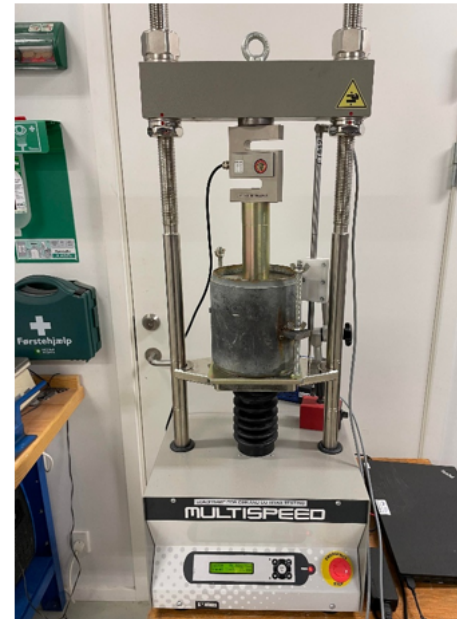
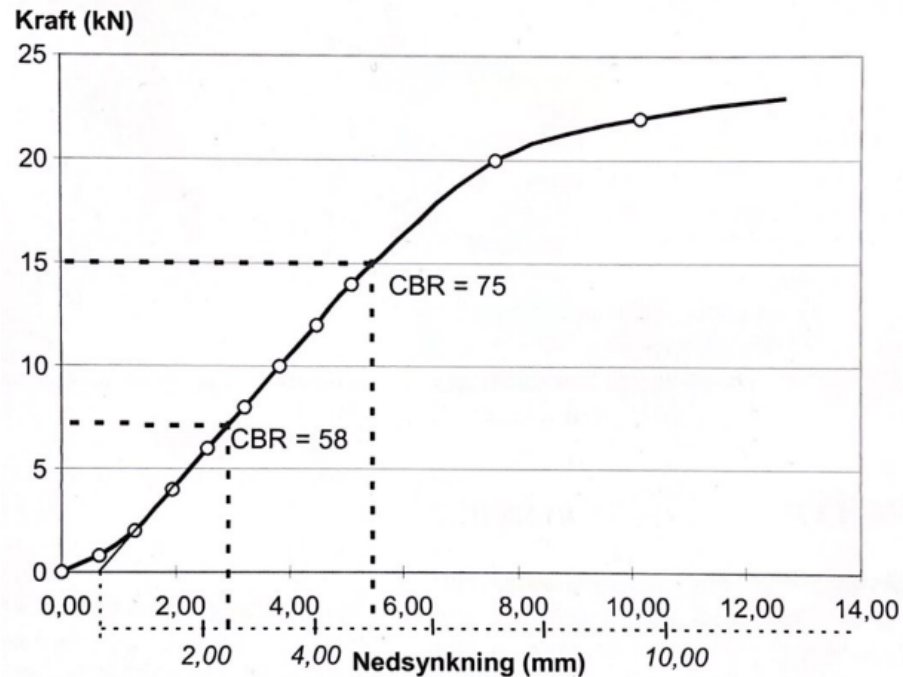
Forsøg	Testtidspunkter			
	Initial (ikke vandlagret)	4 dage (vandlagret)	1 time (ikke vandlagret)	7 dage (vandlagret)
CBR - Form 1 - Køleskab - 0 %	X	X		
CBR - Form 1 - Stue - 0 %	X	X		
CBR - Form 2 - Køleskab - 0 %			X	X
CBR - Form 2 - Stue - 0 %			X	X
CBR - Form 1 - Køleskab - 1 %	X	X		
CBR - Form 1 - Stue - 1 %	X	X		
CBR - Form 2 - Køleskab - 1 %			X	X
CBR - Form 2 - Stue - 1 %			X	X
CBR - Form 1 - Køleskab - 2 %	X	X		
CBR - Form 1 - Stue - 2 %	X	X		
CBR - Form 2 - Køleskab - 2 %			X	X
CBR - Form 2 - Stue - 2 %			X	X



CBR-FORSØG (CALIFORNIA BEARING RATIO)

- CBR-værdi: relativt udtryk for jordens modstand overfor deformation

$$CBR = \frac{F_{2,5 \text{ mm}}}{13,2 \text{ kN}} \cdot 100 \% \quad CBR = \frac{F_{5 \text{ mm}}}{20 \text{ kN}} \cdot 100 \%$$



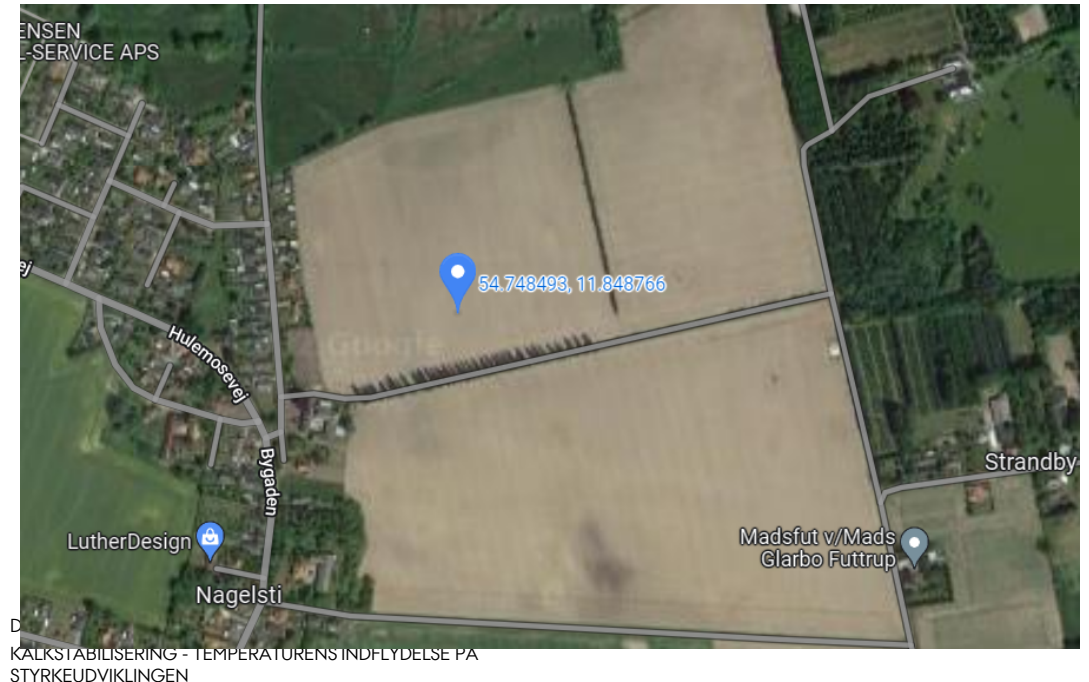
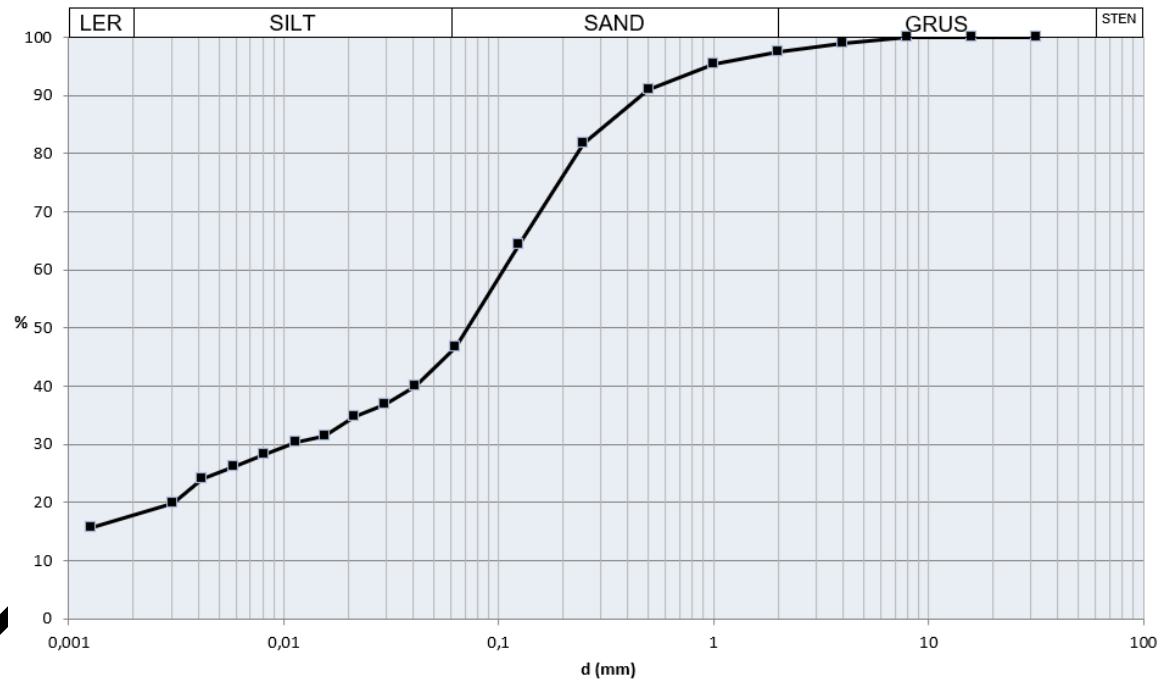
Eksempel på CBR-kurve fra "Laboratoriehåndbogen"

28. FEBRUAR 2023

DANIEL, JEPPE OG NICOLAS
KALKSTABILISERING - TEMPERATURENS INDFLYDELSE PÅ
STYRKEUDVIKLINGEN

MORÆNELER FRA BANEPROJEKT FRA LOLLAND

- Jord fra Engmosen på Lolland: udtagning af råjord til kalkstabilisering og opbygning og udvidelse af banedæmning samt blødbunds-udskiftning
- MORÆNELER, ret fedt, sandet/svagt gruset, m. enkelte sandpartier, kalkholdigt, brunt
- Lerindhold på 17,3 %



KLARGØRING OG VANDLAGRING AF PRØVER

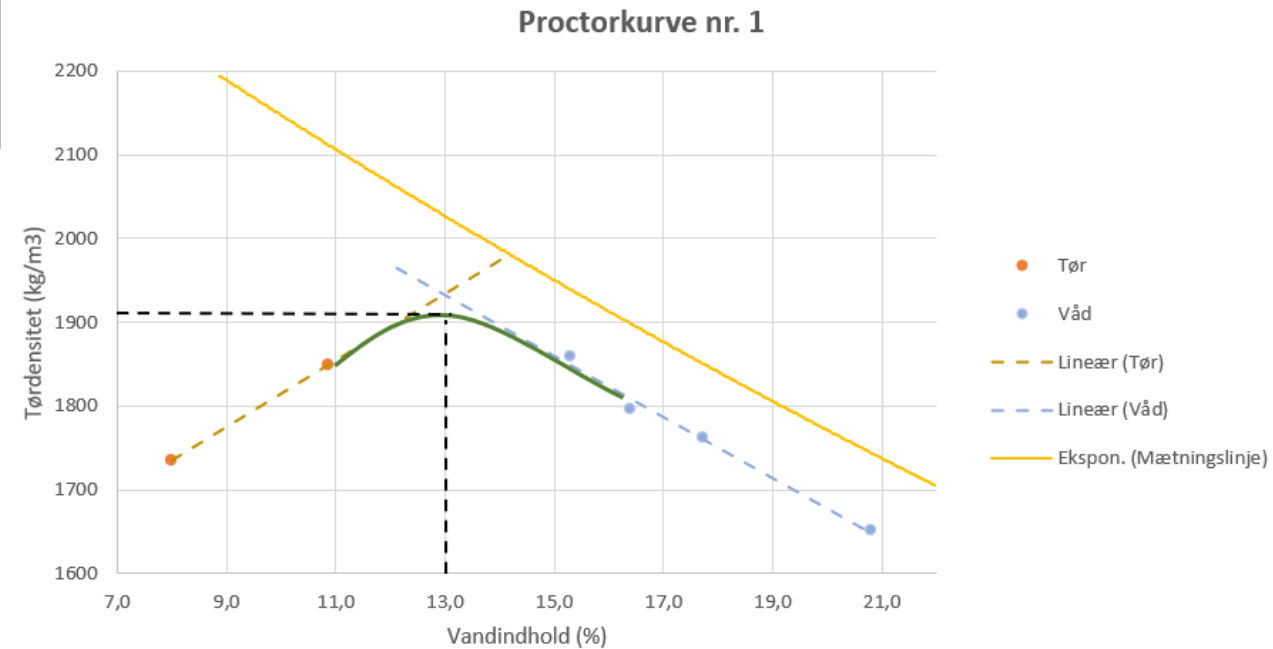
- Delprøve på ca. 6 kg – kalkindholdet regnes som en procentdel af delprøvens samlede vægt
- Kalk og ler blandes ved håndkraft til et enkelt CBR-forsøg ad gangen
- Vandlagres for at undgå udtørring af prøverne



UDFØRTE PROCTORFORSØG

- Der er udført to Standard Proctorforsøg
- For at sikre, at der kalkstabiliseres ved et vandindhold over det optimale

Forsøg	Optimalt vandindhold (%)	Maksimal tørdensitet (kg/m ³)
Proctorforsøg nr. 1	13,0	1910
Proctorforsøg nr. 2	12,9	1920



UDFØRTE BESTEMMELSER AF PLASTICITETSINDEKS

- 4 bestemmelser af plasticitetsindekset
- Forskel i vandindhold mellem flydegrænsen og plasticitetsgrænsen
- Vigtig parameter til klassifikation af kohæsionsjord

Forsøg	0 % kalk nr. 1 (%)	0 % kalk nr. 2 (%)	1 % kalk (%)	2 % kalk (%)
Plasticitetsgrænse, W_p	12,91	13,48	23,64	21,99
Flydegrænse, W_L	31,1	31,0	39,4	35,7
Plasticitetsindeks, I_p	18,2	17,5	15,8	13,7



MINIFALDLOD OG ISOTOPSONDE

- Udført på 3 forskellige felter inden for et areal på ca. 1 m²
- I samarbejde med Morten Vanggard (Banedanmark/MVGeoteknik)
- Overflademodul varierer mellem 35-38 MPa

Felt	Overflademodul (MPa)	Vandindhold (%)	Våddensitet (kg/m ³)	Tørdensitet (kg/m ³)
1	38	13,85	2214,5	1945
2	35	13,28	2206,4	1948
3	37	15,17	2157,9	1874



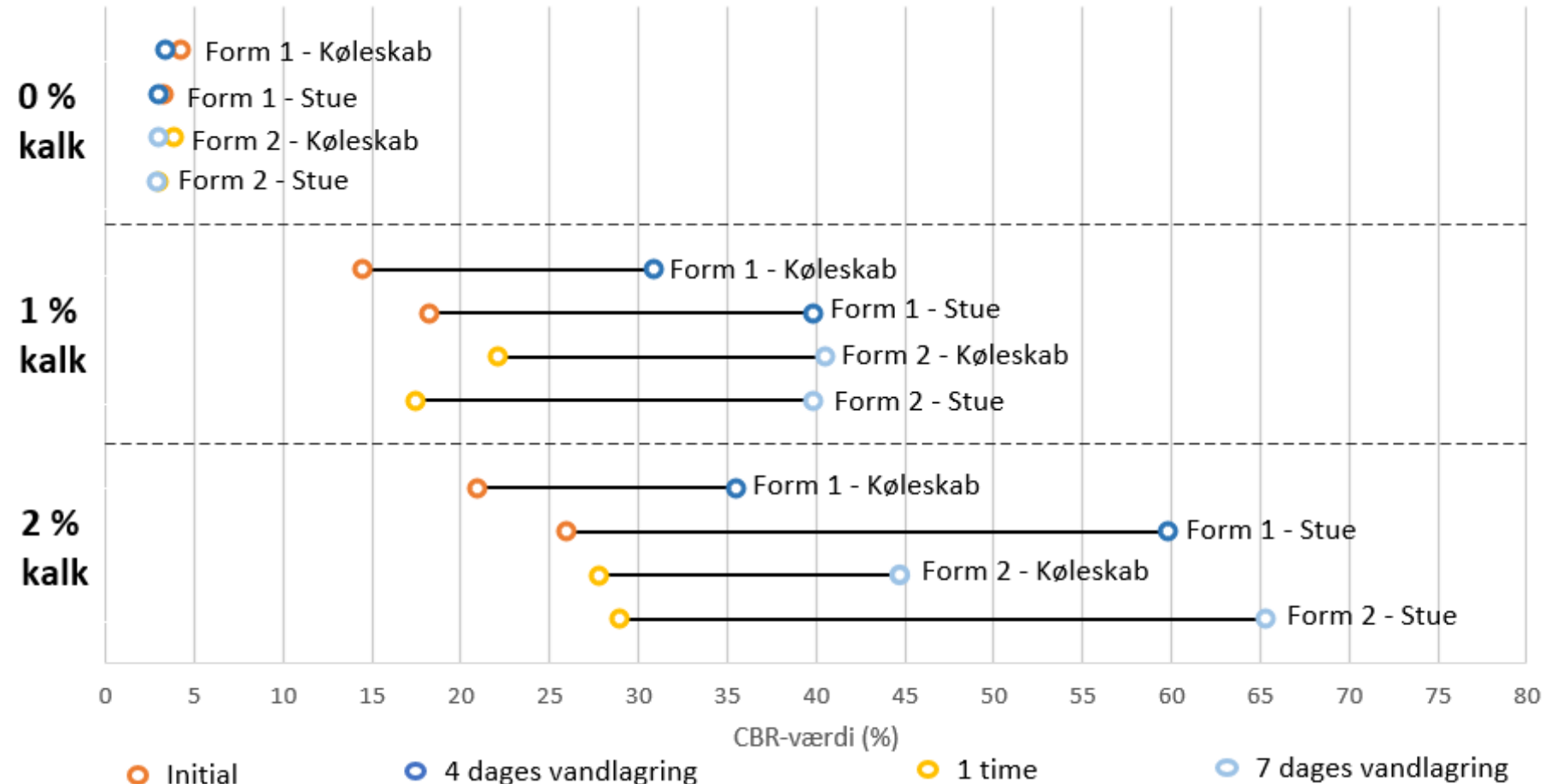
VINGEFORSØG

- Udført på samme 3 felter ved dybderne 0,2 m – 0,4 m - 0,6 m
- A-vinge (HVA)
- $c_u > 80 \text{ kPa} \rightarrow \text{K2 jord}$
- Kalkstabiliseres, da styrken reduceres ved genindbygning

	Felt 1		Felt 2		Felt 3	
Dybde (m)	c_{fv} (kN/m ²)	c_{vr} (kN/m ²)	c_{fv} (kN/m ²)	c_{vr} (kN/m ²)	c_{fv} (kN/m ²)	c_{vr} (kN/m ²)
0,2	141	72	167	86	141	72
0,4	181	100	194	100	127	72
0,6	194	113	207	127	194	100

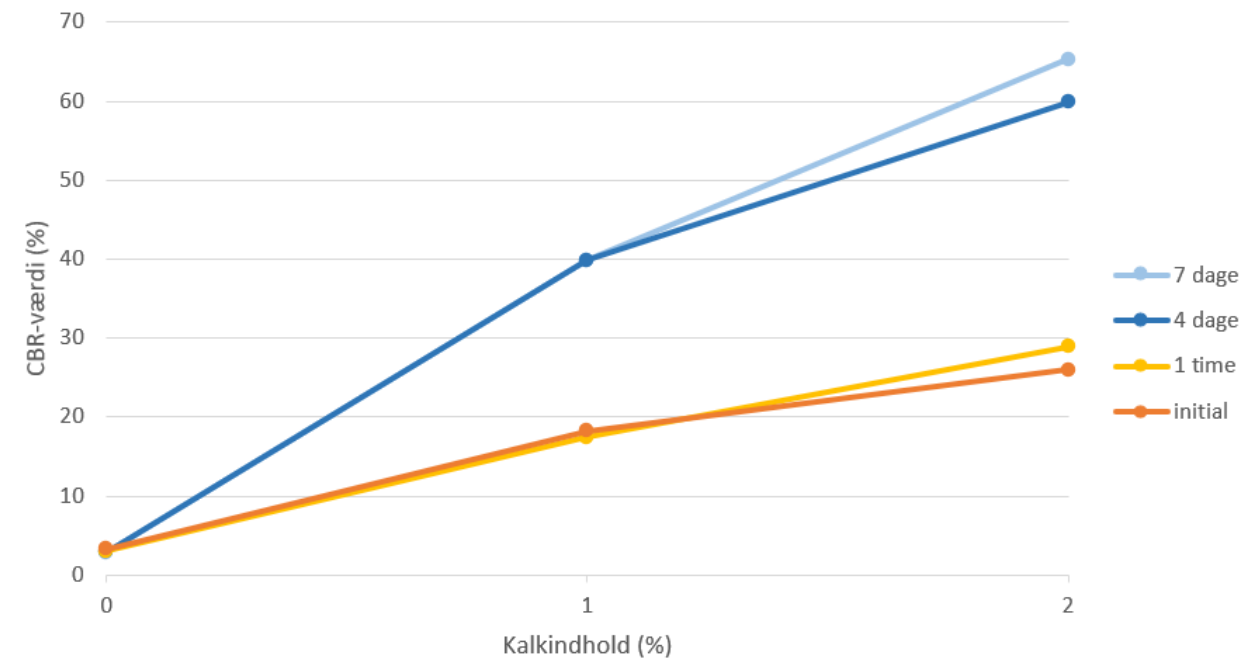


ANALYSE AF FORSØGSRESULTATER – CBR-VÆRDIER

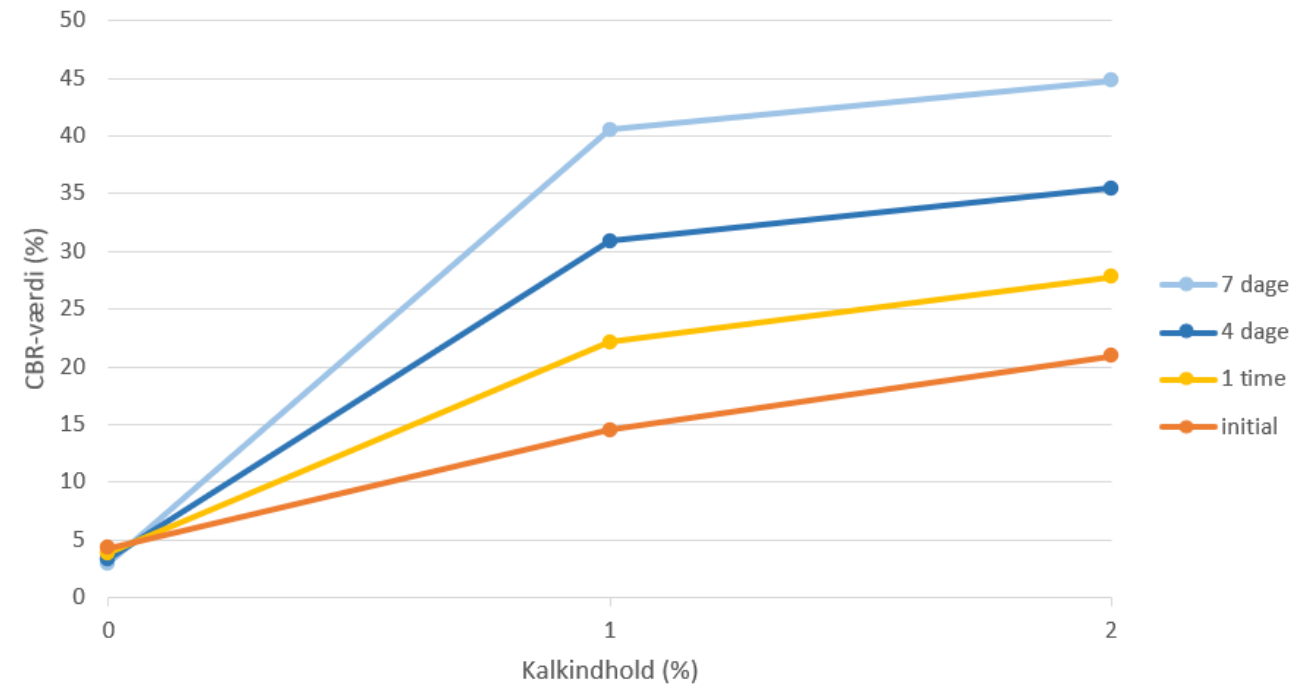


KALKPROCENTENS OG HÆRDNINGSTIDENS BETYDNING FOR STYRKEUDVIKLINGEN

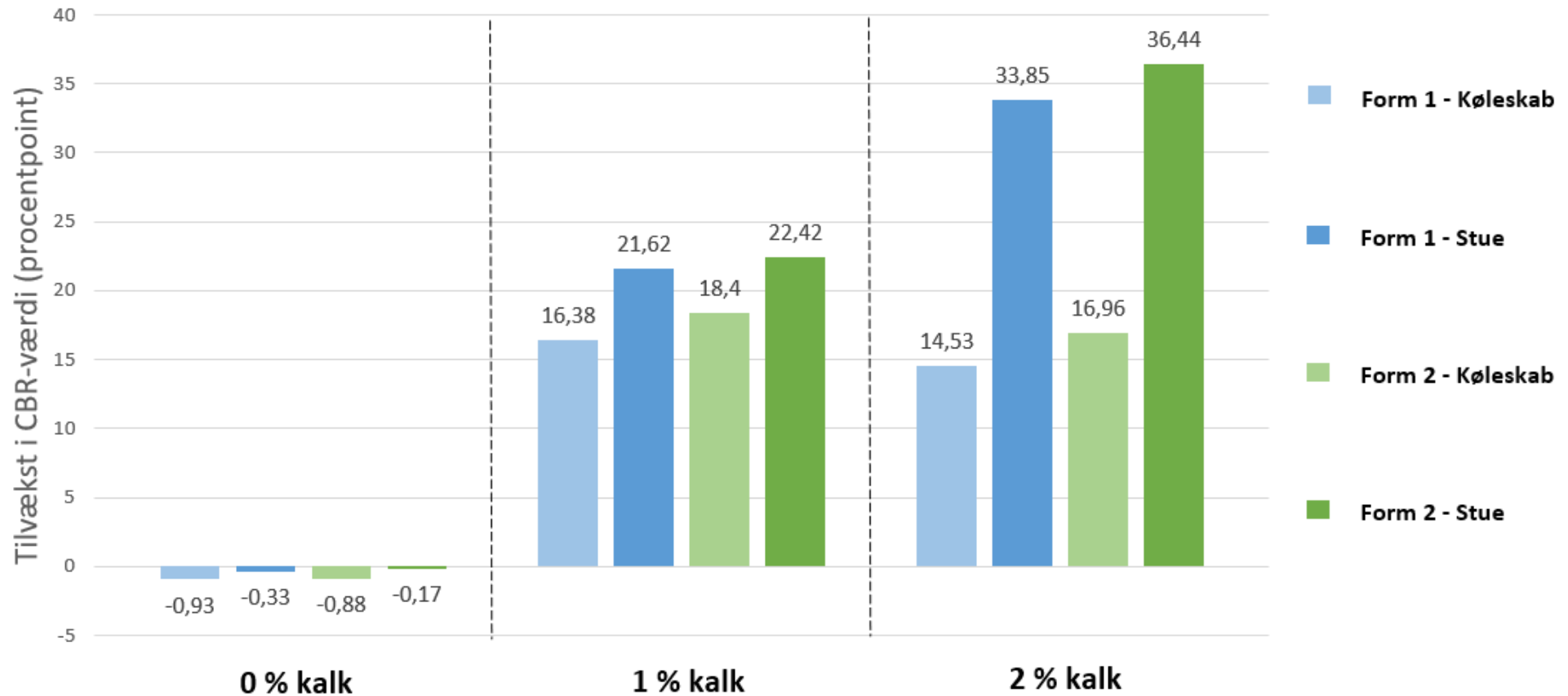
Prøver hærdet ved stuetemperatur (21 °C)



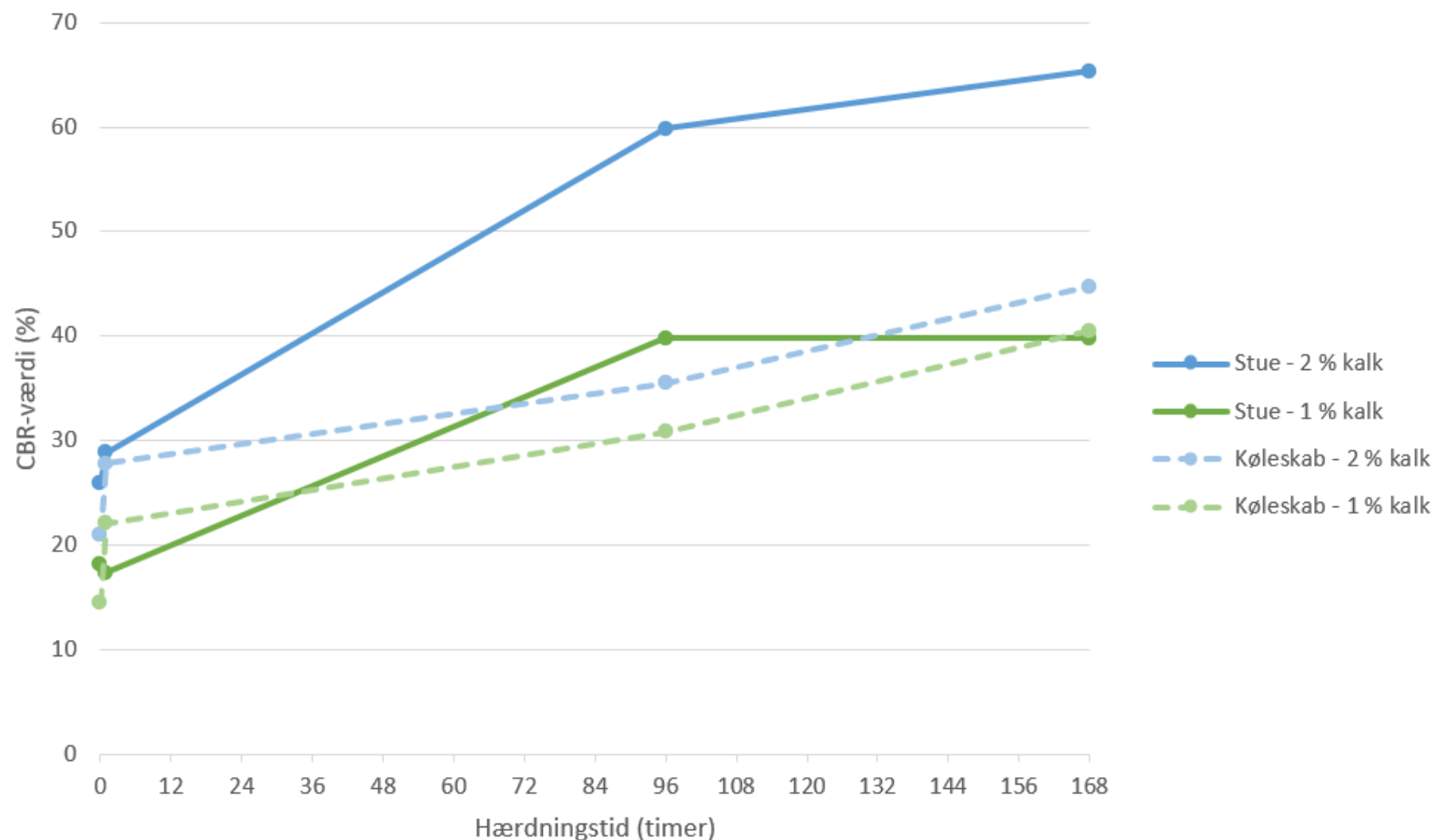
Prøver hærdet ved køleskabstemperatur (5 °C)



HÆRDNINGSTEMPERATURENS BETYDNING FOR STYRKEUDVIKLINGEN



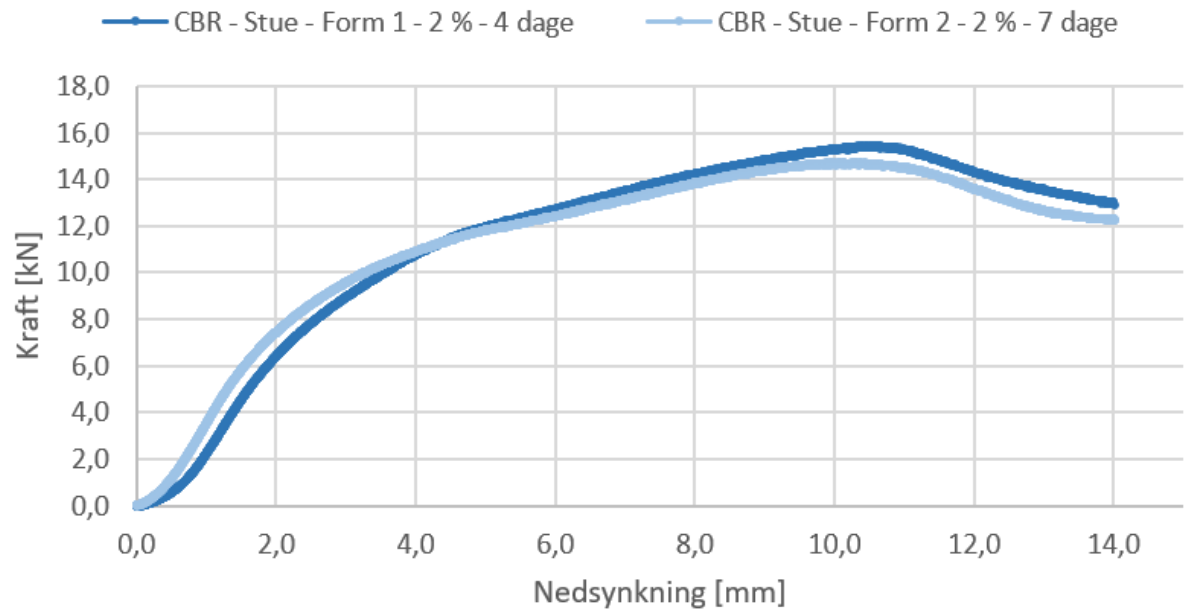
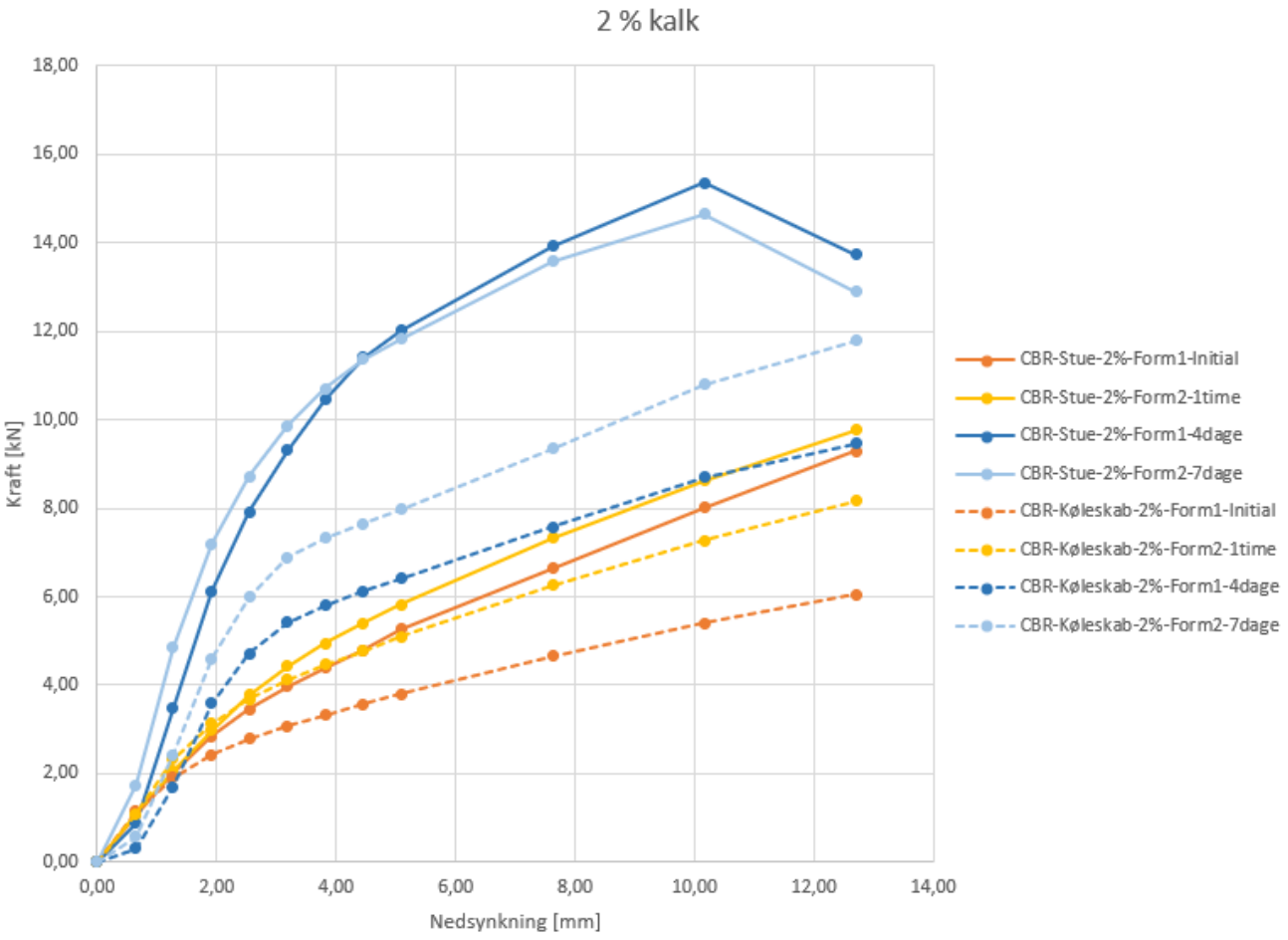
TEMPERATURENS INDFLYDELSE PÅ HÆRDNINGSPROCESSEN



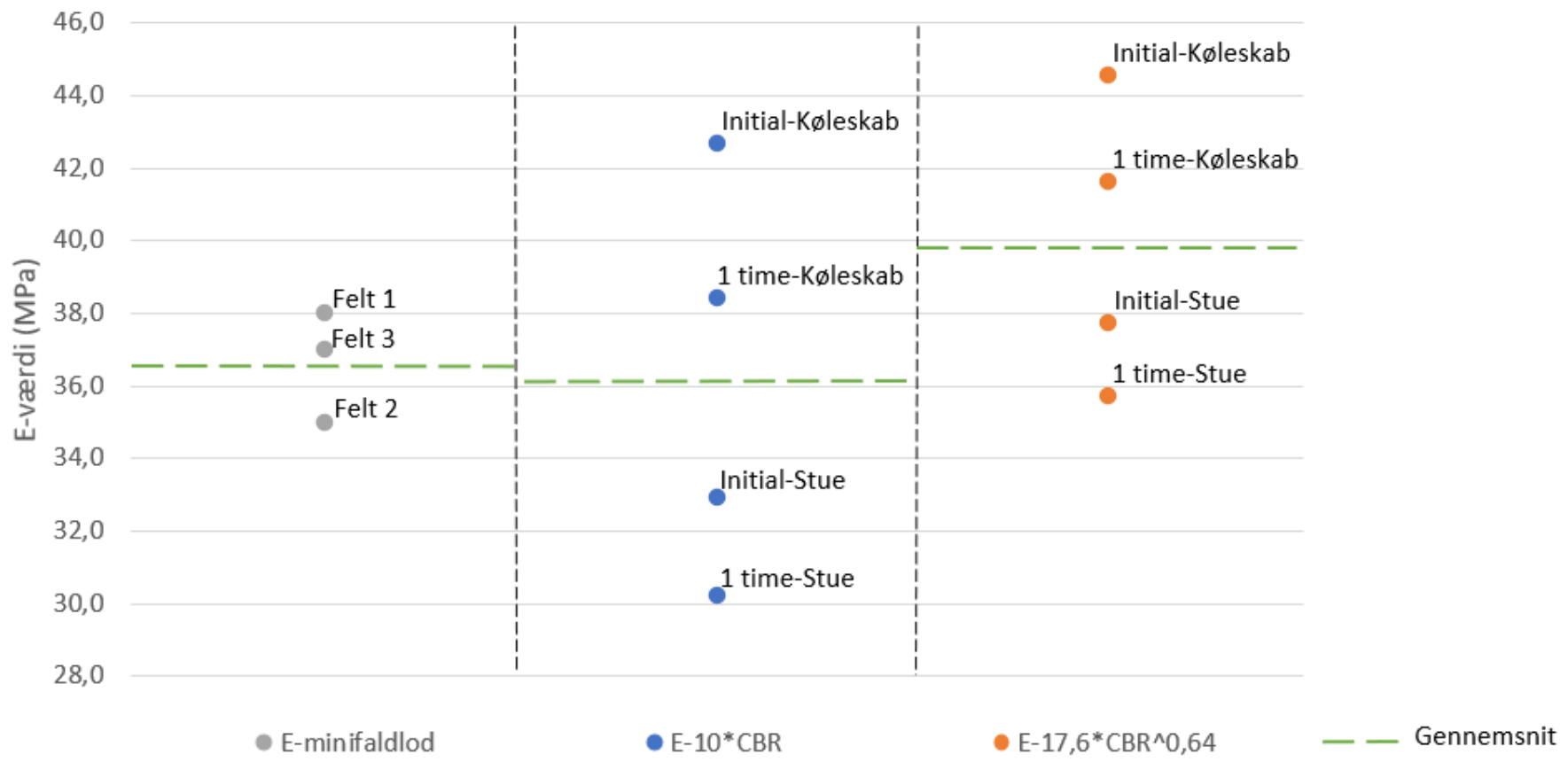
28. FEBRUAR 2023

DANIEL, JEPPE OG NICOLAS
KALKSTABILISERING - TEMPERATURENS INDFLYDELSE PÅ
STYRKEUDVIKLINGEN

SAMMENLIGNING AF CBR-KURVER – PEAK OPFØRSEL



SAMMENHÆNG MELLEM CBR-VÆRDI OG OVERFLADEMODUL MÅLT VED MINIFALDLOD



VIDERE PERSPEKTIVERING

- Udbygge datagrundlaget med flere hærdningstemperaturer, hærdningstider og kalkprocenter
- Sammenhæng mellem CBR-værdi og overflademodul målt ved minifaldlod
- Sammenhæng mellem CBR-værdi og vingestyrke/udrænet forskydningsstyrke

KONKLUSION

- Metode til forstærkning af blød lerholdig jord → mindske koblingshøjden inden for vejbygning
- Bæredygtighed: spare på knappe sand- og grusmaterialer
- Undersøgt hærdningstemperaturens indflydelse på styrkeudviklingen
- Størst tilvækst i styrke for prøverne hærdet ved stuetemperatur
- Hærdningsprocessen stopper ikke ved 5 °C, men foregår blot i et langsommere tempo end 21 °C
- Sandsynligvis muligt at kalkstabilisere i de koldere perioder på året → kan være nødvendigt med længere hærdningstider for at opnå de samme styrker





AARHUS
UNIVERSITET