Kalkstabiliseret lerjord i vejkassen

Udskriftsdato: 4.2.2026 01.17.34

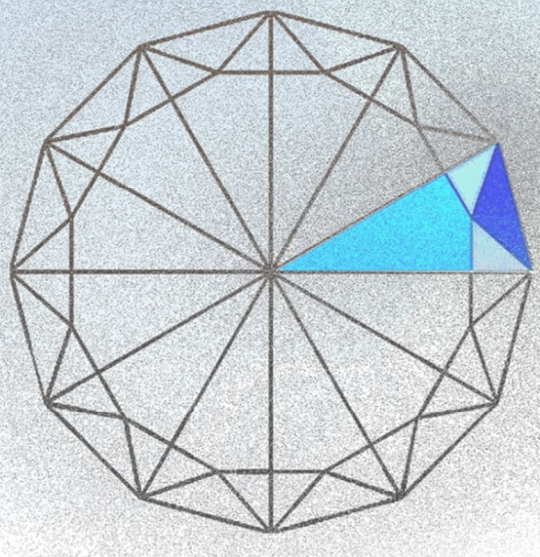
DokumentType: Viden og Dokumentation

Responsible group: Jord og grus

Publiceret: 21.2.2025

Status: Gældende

JUN HEJLESEN & HANSEN ApS | DK-1253 KØBENHAVN K | CVR nr. 42 07 47 80



Kalkstabiliseret lerjord i vejkassen

Revision: 1.0 – 2024-12-17

Projektnavn:	Kalkstabiliseret lerjord i vejkassen
Referencenummer:	202301025
Rapport udarbejdet af:	HEJ

REVISION:	DATO:	UDARBEJDET:	KONTROLLERET:	GODKENDT:	BESKRIVELSE:
1.0	2024-12-17	HEJ	HAN	TUE	Rapport til KS

JUN Hejlesen & Hansen ApS
DK-1253 København K
CVR-nr. 42 07 47 80
web: junh.dk
email: junh@junh.dk

Indholdsfortegnelse

1.0 Indledning ... 4
2.0 Litteraturstudie ... 5
2.1 Kalkstabiliseret lerjord ... 5
2.2 pH og pulveriseringsgrad ... 7
2.3 Plasticitet ... 8
2.4 Permeabilitet ... 9
2.5 Kapillær stighøjde ... 10
2.6 Styrkeudvikling ... 10
2.7 Frost/tø og genhærdning ... 12
2.8 Lineær svind ... 13
2.9 Friktionsvinkel ... 14
2.10 Delkonklusion ... 14
3.0 Forsøgsresultater ... 16
3.1 Klassifikation af leret ... 17
3.2 Plasticitet ... 18
3.3 pH-værdi og pulveriseringsgrad ... 19
3.4 Kapillær stighøjde ... 21
3.5 Permeabilitet ... 24
3.6 Proctor og CBR ... 25
3.7 Trykstyrke og frost/tø ... 27
3.8 Dynamisk E-modul ... 31
3.9 Genhærdning ... 33
3.10 Lineær svind ... 35
3.11 Delkonklusion ... 35
4.0 Kalkstabiliseret jord som bundsikring – udfordringer og løsninger ... 37
4.1 Udtørring og permeabilitet ... 37
4.2 Bæreevne ... 38
4.3 Indbygning og kontrol af kalkstabiliseret jord fra værk ... 38
4.4 Bestemmelse af pH i marken ... 39
5.0 Konklusion ... 40
6.0 Litteratur ... 41

JUN Hejlesen & Hansen ApS
DK-1253 København K
CVR-nr. 42 07 47 80
web: junh.dk
email: junh@junh.dk

1.0 Indledning

I Danmark har kalkstabilisering af lerjord været anvendt ved anlæg af mange større veje, pladser og lignende i de seneste 20 år. Dansk kendskab til kalkstabilisering af jord er dog ældre, men anvendelsen har først rigtig fundet indpas sammen med moderne udstyr, som kan sikre en god og homogen blanding.

Ude i verden har kalkstabilisering af jord været anvendt længere og i betydeligt større omfang end det har været i Danmark. Specielt i USA, Asien, Sydafrika og dele af Europa (Frankrig, Belgien og Tyskland) har kalkstabilisering være anvendt i stor stil, og der findes derfor en del litteratur om emnet. Dog er der ikke fundet eksempler på at anvende kalkstabiliseret lerjord, som en del af vejkassens materialer i områder med vejrforhold, som minder om det danske.

De seneste års problematikker med mangel på sand- og grusmaterialer, har bevirket at der skal findes alternativer. Samtidig har den grønne omstilling øget fokus på mindre transport af materialer, hvorved mindre bortkørsel/udsætning af jord og øget anvendelse/genbrug af jord i det enkelte projekt er blevet aktuelt.

Ved at kunne anvende kalkstabiliseret jord som bundsikring i veje, vil det være med til at minimere efterspørgslen på sand og grus, bidrage til mindre transport af jord, sand og grus samt give bygherre en økonomisk gevinst.

Denne rapport har samlet noget eksisterende viden om kalkstabilisering af jord, afrapporter udførte forsøg med kalkstabiliseret jord, samt kommer med løsningsforslag til hvordan udfordringer i forbindelse med kalkstabiliseret jord som bundsikring, løses.

Afrapporteringen skal danne grundlag for de kommende vejregler for kalkstabiliseret jord som bundsikring.

Projektet er finansieret af Vejregelorganisationen under Vejdirektoratet.

Forsøg er udført på AAU og DTU samt hos Eurofins (tidligere VBM).

Jordprøver er udtaget og leveret af SR-gruppen.

2.0 Litteraturstudie

For 5000 år siden blev Shersi-pyramiderne i Tibet bygget af kalkstabiliseret lerjord. Dette er i dag et af de ældste eksempler på brugen af kalkstabiliseret jord [*14*].

Litteraturstudiet er gennemført for bedre at kunne vurdere forsøgsresultaterne samt om disse er som forventet ud fra andres resultater og erfaringer.

2.1 Kalkstabiliseret lerjord

Lerpartikler er plade- eller stavformet, hvilket medfører, at ler har en laggitterstruktur. Laggitterstruktur betyder, at overfladerne af de enkelte partikler hovedsageligt er ladet med negative ioner, hvorfor ler også kaldes for kohæsionsjord [*24*].

De negativt ladede overflader på lerpartiklerne resulterer i, at lerpartiklerne frastøder hinanden, men samtidig tiltrækker positivt ladede ioner [*24*].

Når kalksten varmes op til ca. 900°C, så omdannes kalkstenen til brændt kalk (kalciumoxid) ved følgende kemiske reaktion:

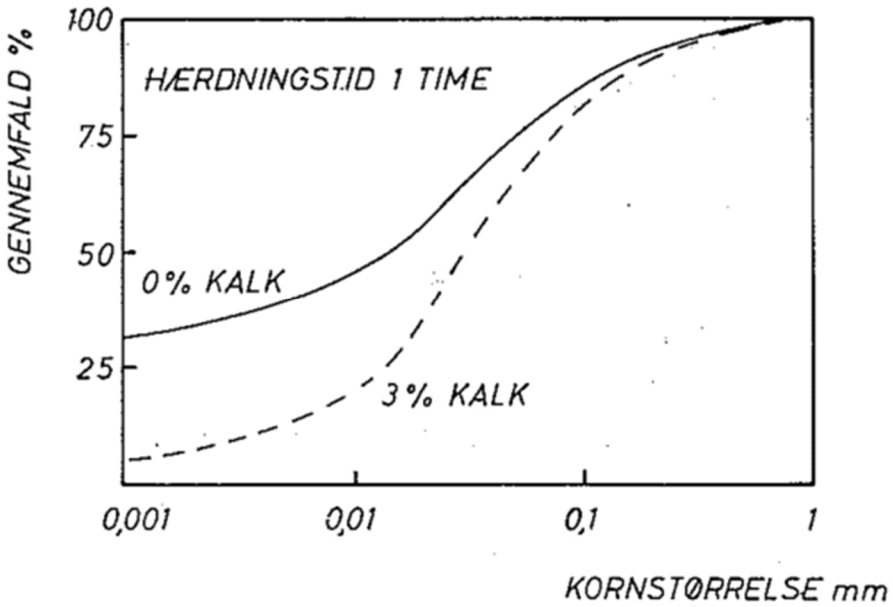
$$CO_3Ca + VARME \rightarrow CaO + CO_2$$

Når kalciumoxid (CaO) blandes med vand, sker der endnu en kemisk reaktion, hvor der frigives hydroxidioner (OH-) og calciumioner (Ca++):

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

Ved at blande våd lerjord med brændt kalk vil disse kemiske reaktioner resultere i, at der også opstår kemiske reaktioner med leret. Disse reaktioner kan opdeles i en korttidsreaktion og en langtidsreaktion.

Under korttidsreaktionen sker der en exoterm hydrering (reaktion med vand samt frigivelse af varme), hvor de positive calciumioner binder sig til lerpartiklernes negative overflader, og der dannes et diffust dobbeltlag, samtidig med at der sker en fordampning af vand. Tykkelsen af det diffuse dobbeltlag reduceres ved, at der opstår en ionbytning, hvorved bindingerne i den kalkstabiliserede lerjord forbedres. Det er også i denne proces strukturen i leret går fra dispergeret til flokkuleret, samtidig med at den flokkulerede struktur binder sammen i klumper [*1*] og [*23*]. Overordnet set betyder det, at den kalkstabiliserede lerjord får friktionsegenskaber – altså begynder at have egenskaber som sand og grus. Ændring ses også ved ændring i kornkurven fra før stabilisering med kalk til lige efter stabilisering med kalk, som illustreret i figur 2.1.



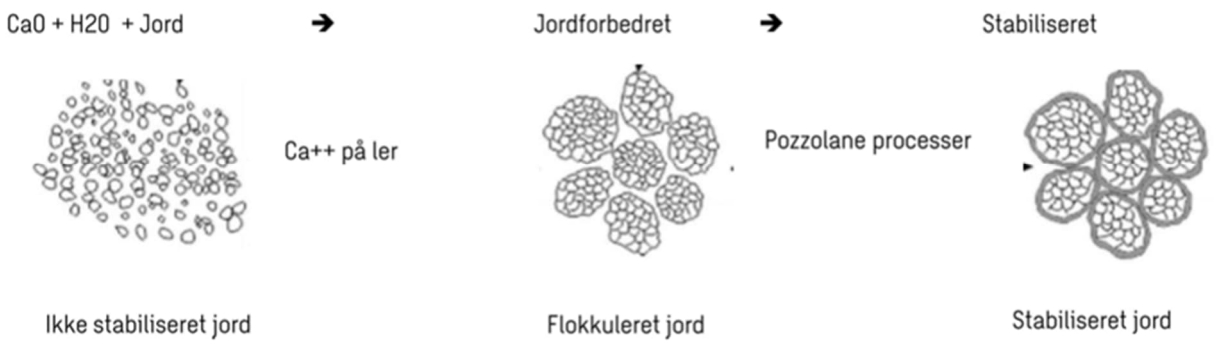
Figur 2.1: Eksempel på kornkurven før og efter stabilisering med brændt kalk, her er der anvendt 3% brændt kalk [28].

Rent praktisk medfører korttidsreaktionen en forøgelse af jordens optimale vandindhold, samt en reduktion af jordens maksimale tørdensitet. Samtidig reduceres det naturlige vandindhold ved fordampning, hvilket gør den våde klistrede lerjord bliver indbygningsegnet.

Langtidsreaktionen opstår ved, at hydroxidionerne forhøjer porevandets pH-værdi [*1*]. Den forhøjede pH-værdi medfører en delvis destruktion af de diffuse dobbeltlag, hvorved der bl.a. frigives silicium og aluminium fra lerpartiklerne. Silicium og aluminium reagerer med ilten (O) i porevandet samt calciumhydroxid og der dannes pozzolane geler i form af calcium-aluminat-hydrat (CaAH), calcium-aluminal-silikat-hydrat (CaASH) og calcium-silicat-hydrat (CaSH) [*1*] og [*36*].

De pozzolane geler, ligger mellem klumperne af flokkulerede lerpartikler, som når disse pakkes tæt (komprimeres) skaber cementholdige forbindelser. De pozzolane geler (cementholdige forbindelser) vil med tiden give en forøgelse af styrken [*23*].

I daglig tale kaldes korttidsreaktionen for jordforbedring, mens langtidsreaktionen kaldes for jordstabilisering. Figur 2.2 illustreres den samlede proces med både kort- og langtidsreaktionen, samt hvordan brændt kalk påvirker lerholdig jord [*26*].



Figur 2.2: Illustration af hvordan ubehandlet lerjord stabiliseres med brændt kalk og opnår jordforbedring ved korttidsreaktionen samt jordstabilisering ved langtidsreaktionen [26].

Langtidsreaktionen vil finde sted i den kalkstabiliserede lerjord så længe, at pH-værdien er høj (større end 10,5 - 11,0), at der findes partikler, som kan frigive silicium og aluminium, og der er vand til hærdningsprocessen [*23*].

Ved opgravning i kalkstabiliseret lerjord, er det muligt at reaktivere pozzolan geler ved genindbygning, når blot pH-værdien forsat er høj og der er vand til stede [*23*].

2.2 pH og pulveriseringsgrad

I vejreglernes AAB - Kalkstabilisering fra 2010 [*35*] anvendes pulveriseringsgraden, som en kontrol af, at der er tilsat en tilstrækkelig mængde brændt kalk, og at denne er fordelt homogent i lerjorden. Pulveriseringsgraden er således et udtryk for, at lerjorden opnår en forhøjet pH.

Når der i en del af litteraturen beskrives langtidsreaktionen, pozzolane geler og langtidsstyrke, så anvendes udtryk som:

- Optimum Lime Requirement ”OLR” [*12*]
- Determine Lime Demand ”DLD” [*21*]
- Lime Fixation Point ”LFP” [*36*]
- Lime Modification Optimum ”LMO” [*36*]

Fælles for disse udtryk er, at de alle dækker over den mængde brændt kalk, der skal til for at opnå en pH på 12,4.

I 1966 blev der i Highway Research Record 139 [*12*] udgivet en artikel, som undersøger hvor stor en mængde hydratkalk, der skal tilsættes den enkelte lertype for at sikre, at der er kalk nok til både kort- og langtidsreaktionerne. Undersøgelsen viser, at ler med mindre lerindhold og specielt lavere plasticitetsindeks (I_P) kræver en mindre mængde kalk, end ler med stort lerindhold og højt I_P for at opnå en pH på 12,4, se tabel 2.1.

Fælles for lertyperne, der undersøges i [*12*], er desuden at de alle bliver NP (non plastic), når der opnås en pH på 12,3 til 12,4.

Tabel 2.1: Sammenhæng mellem lerindhold, I_P, pH og tilsat hydratkalk [8].

Lertype	Moræneler (A-4)	Moræneler (A-6)	Ler (Porter Creek)	Skiffer (Pierre)
Lerindhold [%]	22,8	25,2	37,4	67,0
I_P [%] (lerjorden)	5,5	12,1	47,3	126,7
Hydratkalk [%]	1	3 - 5	7	9
pH	12,4	12,3 - 12,4	12,3	12,3

Undersøgelser viser, at pH-værdien i kalkstabiliseret lerjord falder med tiden, som følge af de kemiske reaktioner. Undersøgelserne viser også, at der udvikles pozzolane geler, når pH-værdien er større end 10,5 - 11,0. Det er således også mens pH-værdien er større end 10,5 - 11,0, at der sker en styrkeudvikling [*10*], [*11*], [*12*] og [*20*].

U.S. Air Force Soil Stabilization Index System har krav til jorden for at sikre, at der opnås langtidsreaktioner. Kravene er et gennemfald på min. 25% på 0,075 mm sigten og I_P på min. 10%, samt at den tilsatte mængde brændt kalk, opnår en pH på min. 12,4 jf. ASTM D-6276 [*21*].

I ASTM D-6276 er det givet, at pH-værdien på 12,4, skal måles i en opløsning bestående af jord, brændt kalk og CO_2-frit vand efter 1 time, når prøven er blevet rystet i 30 sekunder hvert 10. minut.

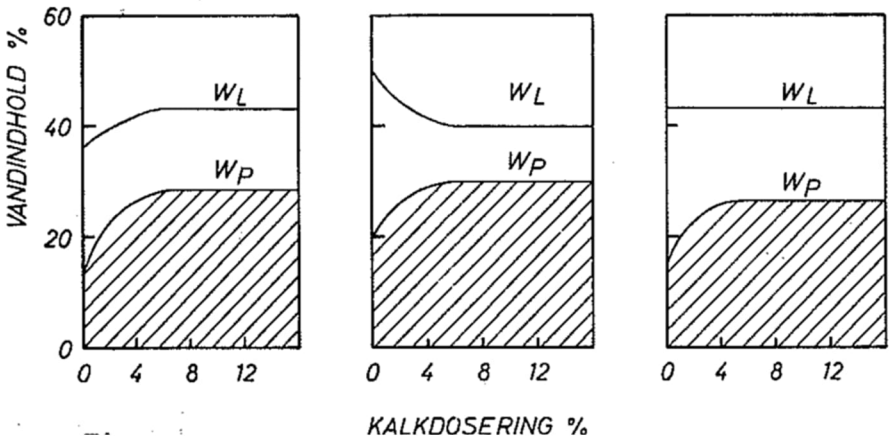
Forsøgene i litteraturen anvender ofte hydratkalk, som er brændt kalk tilsat vand, dog er vandmængden ikke større end hydratkalken stadig er et pulver. Dette betyder også, at mængder af hydratkalk ikke kan overføres direkte til mængder af brændt kalk.

I [*36*] er det givet, at der normalt er behov for 1% brændt kalk ved siltet ler med lavt I_P og op til 3% brændt kalk for "tung" ler - typisk ret fedt eller fedt ler med et lerindhold over 30%.

Undersøgelser af sammenhæng mellem pulveriseringsgraden og styrkeudviklingen har vist, at en stor pulveriseringsgrad (mange små partikler – homogen blanding) giver en større styrkeudvikling end en lille pulveriseringsgrad ved samme kalkmængde. Dette kan også omsættes til, at styrkeudviklingen er størst ved en homogen blanding [*8*].

2.3 Plasticitet

Generelt fortæller litteraturen, at kalkstabilisering af lerjord medfører et fald i I_P. Undersøgelser på danske ler i 1971 [*28*] viser dog, at I_P ved tilsætning af små kalkmængder stiger, for så efterfølgende at falde til et konstant niveau, se figur 2.3. Tilsvarende resultater blev fundet af Bell i 2003 [*5*], hvor to slags ler blev testet.



Figur 2.3: Påvirkning af I_P ift. tilsat kalkmængde. [28].

Andre undersøgelser [*4*], [*12*] og [*33*] viser, at I_P forsætter med at falde ved øget tilsætning af kalk.

Yildiz og Soğancı's forsøg fra 2012 [*32*] viser, at ler med I_P på 45% opnår en større trykstyrke end ler med I_P på 22%, når disse stabiliseres med 6% kalk og trykstyrken bestemmes inden for 1 – 28 dage. [*12*] viser dog, at styrkeudviklingen er afhængig af pH-værdien kommer op på 12,4 og forbliver over ca.11 så længe som muligt. Resultaterne viser også, at et ler med højt I_P kræver mere kalk end ler med lavt I_P for at få pH-værdien op på 12,4.

2.4 Permeabilitet

Lhoist skriver i 2018 [*36*], at hvis ler stabiliseres med en kalkmængde større end den mængde, der skal til for at opnå LFP (pH-værdi på 12,4), så vil den overskydende kalkmængde sikre, at den kalkstabiliserede ler opnår en forøget trykstyrke, forøget forskydningsstyrke, modstand mod overflade erosion, mindre permeabilitet osv. Disse påstande bekræftes dog ikke ved fremlæggelse af forsøgsresultater.

I 2008 fremsætter [*9*] en hypotese om, at permeabiliteten i kalkstabiliseret lerjord er større end i den ustabiliserede lerjord. Hypotesen bygger på, at idet densiteten i kalkstabiliseret lerjord er minde end i den ustabiliseret lerjord, så vil den kalkstabiliserede lerjord have flere porer og derved en større permeabilitet.

Forsøg udført af [*13*] viser, at permeabiliteten af kalkstabiliseret jord afhænger af om vandindholdet ved indbygning er under eller over det optimale vandindhold samt hærdningstid. Prøveemner, der indbygges med et vandindhold under det optimale vandindhold, har en større permeabilitet end prøveemner der indbygges med et vandindhold over det optimale vandindhold. Ligeledes har prøveemner med ingen eller lille hærdetid en større permeabilitet end prøveemner med en længere hærdetid.

Artiklen [*4*] har udført forsøg på svellende ler som viser, at der efter 7 og 90 dages hærdning opnås en reduktion i permeabiliteten både for en kalkmængde på 1% og 4%, mens der ved at øge kalkmængden til 10% registres et fald i permeabiliteten. Forsøgene viser, at den ustabiliserede lerjorden har en permeabilitet på $4{,}1 \cdot 10^{-8}$ m/s, som så falder til ca. $6{,}0 \cdot 10^{-23}$ m/s, efter tilsætning af kalk og hærdetid. TEM-fotos viser, at prøveemnernes porestruktur fyldes med pozzolane geler, når disse dannes. Det er således denne tillukning af porestrukturen der gør, at permeabiliteten falder.

Resultaterne i artiklerne [*1*] bekræfter, at kalkstabiliseret lerjord med tiden bliver mindre permeabelt.

Forsøg med måling af permeabilitet efter tre frost/tø påvirkninger viser, at permeabiliteten stiger efter frost/tø påvirkning [*32*].

Artiklen [*22*] konkluderede, at der opnås en forøgelse af tryk- og forskydningsstyrken samt en reduktion af permeabiliteten, hvis den tilførte kalkmængde er stor nok til at sikre langtidsreaktionerne og dermed dannelsen af pozzolane geler, dvs. pH ≥ 12,4.

French Centre d'expérimentaton et de Recherche har udført et feltforsøg over 4 år (2011 – 2015). Materialet er siltet ler med I_P på 8-9, som er stabiliseret med 2,5% brændt kalk og indbygget ved et vandindhold på 1,6%-point over det optimale vandindhold. Infiltrationsforsøg udført første gang 28 dage efter anlæg og senest 4 år efter anlæg viser at infiltrationen (permeabiliteten) under hele perioden var mindre end 10^{-8} m/s [*18*].

2.5 Kapillær stighøjde

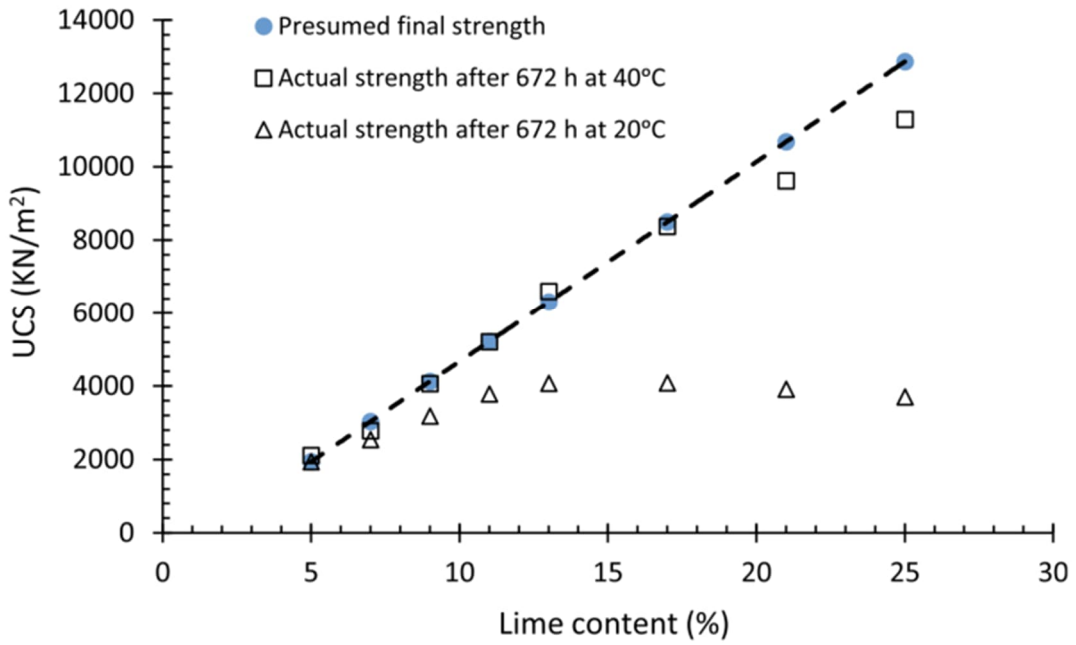
Siltholdig ler stabiliseret med henholdsvis 3% og 5% brændt kalk efterfulgt af hærdning i 60 dage ved 20°C, viser en reduktion i den kapillær stighøjde i forhold til den ustabiliserede siltholdige ler. Den kapillære stighøjde var mindst i prøveemnerne med 5% kalk, som følge af en mere kompakt struktur og derved en mindre åben porestruktur selv efter en mindre udtørring. Konklusionen var, at prøveemner med 5% kalk havde dannet flere pozzolane geler, som reducerede antallet af tørre pore, hvorved de kapillærer egenskaber mindskes [*31*].

Forsøg udført af [*7*] viser, at pulveriseringsgraden, hærdningsperioden og revnedannelse under hærdning alle har indflydelse på den kapillære stighøjde i prøveemner af kalkstabiliseret lerjord. Forsøgene blev udført med 4%, 6% og 9% kalk samt 7, 28 og 56 dages hærdning. Resultaterne viste klart, at en stor pulveriseringsgrad (mange små klumper/partikler) giver en mindre kapillær stighøjde end en lille pulveriseringsgrad (store klumper/partikler). Desuden var der en tendens til, at der var en mindre kapillær stighøjde efter 28 og 56 dages hærdning sammenlignet med 7 dages hærdning.

2.6 Styrkeudvikling

Styrkeudviklingen er den mest kendte effekt ved kalkstabilisering af kohæsionsjord.

Forsøgsresultater viser, at styrkeudviklingen opstår af to omgange, en hurtig styrkeudvikling, også omtalt som korttidsreaktionen andre steder i denne rapport, som efterfølges af en længerevarende og langsommere styrkeudvikling, også omtalt som langtidsreaktionen andre steder i denne rapport. Desuden viser resultaterne, at styrkeudviklingen under både kort- og langtidsreaktionen opstår op til 8 gange hurtigere ved en temperatur på 40˚C, sammenlignet med en temperatur på 20˚C. Udover temperaturafhængigheden, så konkluderer artiklerne, at styrkeudvikling også er afhængig af den tilsatte kalkmængde samt sammensætningen af kohæsionsjorden. I figur 2.4 er trykstyrke afbilledet i forhold til både den tilsatte kalkmængde og hærdningstemperatur på 20˚C og 40˚C [*1*] og [*2*].



Figur 2.4: Uniaxial trykstyrke efter 28 hærdningsdøgn ved hærdningstemperatur på 20˚C og 40˚C og tilsatte kalkmængde fra 5% til 25% [2].

Figur 2.4 viser desuden forfatterens konklusion om, at styrkeudviklingen ikke har en lineær forøgelse i forhold til den anvendte mængde kalk. Faktisk viser figur 2.4, at prøveemnerne hærdet ved 20˚C opnår den maksimale styrkeudvikling ved en kalkmængde på ca. 13%, hvorefter styrkeudviklingen falder svagt ved øgede kalkmængder [2].

Andre har undersøgt styrkeudviklingen ved både at måle California Bearing Ratio (CBR) og trykstyrke. Forsøgene er udført på to ler med I_P på henholdsvis 16% og 33%. Resultaterne viser, at både trykstyrken og CBR-værdien generelt stiger med en stigende kalkmængde, mens det statiske E-modul bestemt ud fra kurven for de uniaxialetrykforsøg opnår et maksimum ved omkring 4% kalk, hvorefter denne er konstant. Der er desuden også udført forsøg med hærdning ved 20˚C og 40˚C. Disse forsøg viser, at der sker en

accelereret hærdning ved 40˚C sammenlignet med 20˚C, dog sker reaktionen kun mellem 2 til 3 gange så hurtigt ved 40˚C sammenlignet med 20˚C. Artiklen konkluderer desuden, at den største styrkeudvikling kommer inden for 7 dage, hvorefter den aftager [5].

Artiklen [*25*] har også undersøgt udviklingen af trykstyrken ved forskellige kalkmængder. Forsøgene er udført på leret silt, hvor lerindholdet er 7% og I_P = 8% samt kalkmængder på 2,5%, 5% og 8%. Resultaterne viser, at den største styrkeudvikling sker inden for de første 7 hærdedøgn, hvorefter der stadig sker en stor styrkeudvikling frem til 28. hærdedøgn, hvorefter styrkeudviklingen er minimal. Forsøgene viser også, at den største styrkeudvikling er ved 2,5% kalk, mens forøgelsen til 5% kalk giver knap det dobbelte i trykstyrke og en forsat forøgelse til 8% kalk giver ca. den dobbelte i trykstyrke.

Amadi og Okeiyi har udført forsøg på ler med I_P på 27% i både ustabiliseret og stabiliseret form, hvor der er tilsat mellem 2,5% og 10% kalk. Styrkeudviklingen er målt ved CBR-forsøg på prøveemner, som er hærdet uden og under vandlagring. Resultaterne viser, at de ustabiliserede prøveemner opnår den største CBR-værdi uden vandlagring, mens alle de kalkstabiliserede prøveemner opnår den største CBR-værdi med vandlagring. Dette gælder både ved anvendelse af hydratkalk og brændt kalk (quicklime). Resultaterne viser desuden, at der opnås større CBR-værdier ved anvendelse af brændt kalk (quicklime) end ved anvendelse af hydratkalk [*3*].

I 1979 under anlæg af motorvej A3 i Tyskland, blev der opbygget en vejdæmning i kalkstabiliseret lerjord. Kalkstabilisering blev alene anvendt for at forkorte udførelsestiden for jordarbejderne, så langtidsreaktionerne blev aldrig undersøgt. I 1990 og 2013 - det vil sige 11 år og 34 år efter anlæg - blev der udtaget prøver i den 10 m høje vejdæmnings skulder for at undersøge effekten af langtidsreaktionerne [*15*].

Ved anlæg af vejdæmningen blev siltet ler med I_P mellem 11% og 18% og et naturligt vandindhold mellem 20% og 29% stabiliseret med 2,5% brændt kalk (quicklime). Den stabiliserede lerjord blev indbygget til et gennemsnit på 98,7% standard proctor. Prøveemner udtaget i en dybde fra 2,5 m til 3,3 m under terræn viste, at trykstyrken fra 1990 til 2013 var steget fra mellem 2,8 MPa og 3,4 MPa til mellem 3,8 MPa og 6,06 MPa. I samme periode var det gennemsnitlige vandindhold over sammen dybde faldet fra 21% i 1990 til 13,8% i 2013. I artiklen vurderes det, at faldet i vandindhold skyldes de kemiske langtidsreaktioner samt en mindre udtørring. Undersøgelserne i 2013 viste desuden, at 37% af den tilførte kalk, svarende til 0,93% quicklime, var anvendt ved korttidsreaktionerne, 47% af den tilførte kalk var anvendt til dannelse af pozzolane geler, svarende til 1,17% quicklime, mens 16% af den tilførte kalk, svarende til 0,4% quicklime, endnu ikke havde reageret [*15*].

2.7 Frost/tø og genhærdning

Forsøg med to forskellige ler med I_P på henholdsvis 45% og 22% viser, at trykstyrken falder mellem 10% og 15%, når prøveemner udsættes for tre frost/tø påvirkninger. Resultaterne viser ligeledes, at frost/tø påvirkning nedsætter hærdningsprocessen, men at der stadig sker en vis udvikling af pozzolane geler. Resultaterne viste også, at ler med

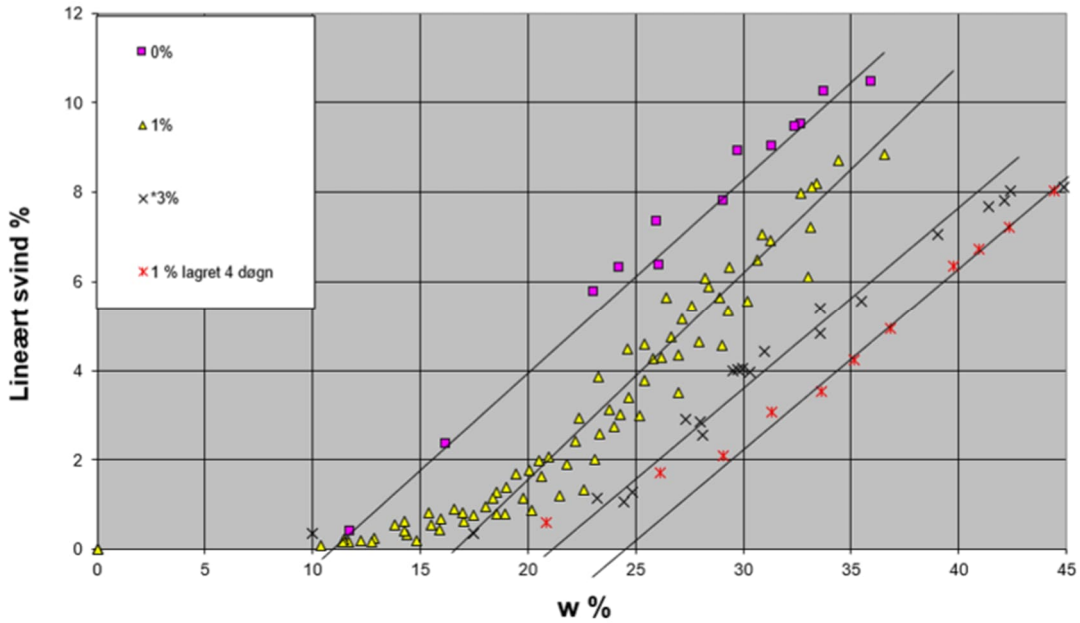
høj I_P hurtigere opnår en større trykstyrke og derved påvirkes mindst af de tre frost/tø påvirkningerne. Forfatterne bag artiklen konkluderer derfor, at udførelse af kalkstabilisering også kan foregå i kolde perioder [*32*].

I artiklen [*25*] fremlægges der resultater for prøveemner der har være udsat for 1, 4 og 8 gentagende frost/tø påvirkninger. Resultaterne viser, at de kalkstabiliserede prøveemner led det største tab af trykstyrke efter 1. frost/tø påvirkning. Ved de efterfølgende frost/tø påvirkninger var styrketabet mindre. Til sammenligning viste resultater fra prøveemner for den ustabiliserede ler, at trykstyrke nærmest var nul allerede efter 1 frost/tø påvirkning. Det konkluderes, at tabet i trykstyrke efter frost/tø påvirkning skyldes dannelse af mikrorevner under frost-delen, som bevirker at den kalkstabiliserede jords struktur er nedbrudt. Desuden registreres der en reduktion i vægt, som skyldes fordampning af vand.

Studier viser generelt, at der under gentagende frost/tø belastninger sker en reduktion i den stabiliserede jords trykstyrke. De samme studier viser også, at der sker en genhærdning efterfølgende, samt at hvis pH-værdien stadig er så høj (≥ 10,5 - 11,0), at der kan frigives aluminium, silicium m.m. så vil der også forsat kunne ske en styrketilvækst [*19*].

2.8 Lineær svind

Stockmarr's præsentation fra 2023 [*26*] viser tydeligt, at det lineære svind for kalkstabiliseret lerjord bliver mindre end for den ustabiliserede lerjord, se figur 2.5. Resultaterne viser desuden, at det lineære svind bliver mindre ved øget kalkmængde samt hvis den stabiliserede lerjord bliver lagret.



Figur 2.5: Lineært svind for ustabiliseret, stabiliseret samt stabiliseret og lagret lerjord [26].

Artiklen [*3*] understøtter resultaterne i [*26*] ved at konkludere, at svindprocenten falder fra mellem 8-9% ved stabilisering med 1% kalk til 0,5% svind ved tilsætning af 10% kalk, med begrundelse i lerets ændrede struktur ved kalkstabilisering.

2.9 Friktionsvinkel

I forbindelse med anvendelse af kalkstabilisering på udvidelsen af jernbanen på Lolland, blev der udført otte triaxialforsøg. Alle triaxialforsøg er udført på moræneler med en udrænet forskydningsstyrke på mellem 46 og 59 kN/m^2 tilsat 1% kalk. Efter indbygning har prøverne hærdet i mellem 1 til 4 døgn ved stuetemperatur (ca. 20°C) i lukket beholder. Det betyder, at korttidsreaktionen er tæt på overstået, mens langtidsreaktionen i den kalkstabiliserede lerjord kun lige er begyndt.

Seks forsøg er udført drænede med en forkonsolidering på 50 kPa (CID). Et forsøg er udført drænet med en forkonsolidering på 200 kPa og ét forsøg er udført udrænet med en forkonsolidering på 50 kPa (CIU).

Triaxialforsøgene viste, at sekantværdien af den triaxiale effektive friktionsvinkel ved maksimal forskydningsstyrke (φ'_{peak}) lå mellem 44,8° og 58,3°, mens sekantværdien af den triaxiale effektive friktionsvinkel ved maksimal aksial tøjning, residual, (φ'_{res}) lå mellem 41,0° og 50,4°, se tabel 2.2 [*30*].

Tabel 2.2: Resultater fra triaxialforsøg på moræneler stabiliseret med 1% kalk. Test 7 er kørt CIU, mens test 1-6 og 8 er kørt CID [30].

Test	Peak				Residual			
	τ [kPa]	σ'_{middel} [kPa]	εa [%]	φ'_{peak} [◦]	τ [kPa]	σ'_{middel} [kPa]	ε_a [%]	φ'_{res} [◦]
1	216	267	2,9	54,0	162	215	13,8	48,9
2	188	243	7,7	51,8	163	220	22,0	47,8
3	207	261	6,2	52,5	179	234	11,6	49,9
4	220	273	6,0	53,7	155	207	25,0	48,5
5	321	378	3,6	58,1	214	271	24,8	52,2
6	302	355	2,2	58,3	171	222	24,9	50,4
7	217	297	10,0	46,9	270	408	23,9	41,4
8	477	677	10,0	44,8	369	563	24,0	41,0

2.10 Delkonklusion

Ved blandingen af våd lerjord og brændt kalk sker der en kemisk reaktion, som kan opdeles i en korttids- og en langtidsreaktion.

Korttidsreaktionen medfører en forøgelse af jordens optimale vandindhold, en reduktion af jordens maksimale tørdensitet samt en reduktion af det naturlige vandindhold ved fordampning. Dette betyder rent praktisk, at våd klistrede lerjord bliver indbygningsegnet.

Langtidsreaktionen opstår som følge af at pH i porevandet bliver større end 10,5 - 11,0. Den høje pH bevirker bl.a. frigivelse af silicium og aluminium fra lerpartiklerne, som reagerer med ilt og calciumhydroxid, hvorved der dannes pozzolane geler. Pozzolane geler giver en forøget styrke.

Forsøg fra 1966 viser, at kalkstabiliseret lerjord med en pH på 12,4 er ideal for langtidsreaktionen. Forsøgene viser desuden, at pH-værdien i kalkstabiliseret lerjord falder med tiden, som følge af de kemiske reaktioner, og der udvikles pozzolane geler, så længe pH-værdien er større end 10,5 - 11,0.

Et lavt lerindhold og lavt I_P kræver en mindre mængde kalk end et stort lerindhold og høj I_P for at opnå en pH på 12,4.

Kalkstabiliseret lerjord, som indbygges med et vandindhold under det optimale vandindhold, har en større permeabilitet og kapillær stighøjde end kalkstabiliseret lerjord der indbygges med et vandindhold over det optimale vandindhold.

Kalkstabiliseret lerjord med ingen eller lille hærdetid har en større permeabilitet og kapillær stighøjde end kalkstabiliseret lerjord med en længere hærdetid. TEM fotos viser, at porestrukturen tillukkes af pozzolane geler, hvorved permeabiliteten og den kapillær stighøjde falder.

Forsøg viser, at styrkeudviklingen er temperaturafhængig og foregår hurtigere med stigende temperaturer, dog er der stadig en mindre styrkeudvikling ved lave temperaturer.

Både trykstyrken og CBR-værdien stigende ved øgede mængder af kalk.

Undersøgelser af kalkstabiliseret jord fra en vejdæmning efter 11 år og 34 år har vist, at der i den mellem liggende periode på 23 år skete en tilvækst i styrke, da der stadig var brændt kalk, som endnu ikke havde reageret.

Ved frostpåvirkning kan der opstå tab af trykstyrke på grund af dannelse af mikrorevner under frost. Efter frost vil der ske en genhærdning.

Lers lineære svind bliver mindre ved øget kalkmængde samt hærdetid.

Ved anvendelse af kalkstabilisering på udvidelsen af jernbanen på Lolland, er der udført otte triaxialforsøg på moræneler stabiliseret med 1% kalk. Forsøgene viser, at friktionsvinklen ved peak ligger mellem 44,8° og 58,3°, mens den residual friktionsvinkel ligger mellem 41,0° og 50,4°.

3.0 Forsøgsresultater

For at få et større kendskab til kalkstabiliseret lerjords langtidsreaktion, er der udført forsøg på 7 forskellige ler, udtaget på følgende lokaliteter:

- Buskmosevej ved Kværs, BU
- Femernlandanlæg ved Rødby, FE
- Herning, HE
- Hillerød, HI
- Horsens, HO
- Ringsted, RI
- Næstved, NÆ

Ved at udtage lerprøverne på lokaliteter forskellige steder i landet, er det forsøgt at ramme syv forskellige typer af ler, således at resultaterne fra undersøgelsen ville kunne anvendes generelt og derved danne grundlag for kommende dansk praksis.

Forsøgene er udført på tre laboratorier DTU, AAU og Eurofins. Hvert laboratorie har udført forsøg på 3 eller 4 ler, hvorfor der på nogle ler er udført to sæt forsøg.

For at sikre de ønskede forsøg udføres under samme betingelser, herunder prøvningsmetoder, er der udarbejdet et forsøgsprogram, se appendiks 5. Undervejs har det vist sig, at der har være behov for at tilrette i forsøgsprogrammet, da der f.eks. har været udfordringer med den enkelte forsøgsopsætning. Andre forsøgsopsætninger er mislykkedes, hvorfor resultater fra disse er misvisende. Data fra mislykkede forsøg vil generelt ikke blive præsenteret og vil kun delvist indgå i de endelige anbefalinger.

Ved forsøg med kalkstabiliseret ler er der generelt anvendt 1% brændt kalk med mindre anden specifikt mængde er givet i teksten. For at kunne drage en parallel til stabilisering i anlægsprojekter, er det besluttet, at 1% brændt kalk svarer til 50 g brændt kalk pr. 5 kg lerjord. Prøverne er desuden blandet ved et vandindhold på 4%-point over det optimale vandindhold for den ustabiliseret ler.

Dataene fra forsøg på den ustabiliserede lerjord samt den stabiliserede lerjord vil blive præsenteret i dette kapitel.

På AAU blev det forsøgt at udføre accelererede hærdningsforsøg ved at lade prøveemnerne hærde ved 40˚C. Dette lykkedes ikke, idet prøveemnerne tørrede ud. Disse resultater vil derfor ikke blive anvendt i denne rapport.

Alle laboratorieforsøg anvendt i denne rapport er listet/afrapporteret i Appendiks 1, 2, 3 og 4.

Appendiks 1 er resultater fra DTU, Appendiks 2 er resultater fra AAU, Appendiks 3 er resultater fra Eurofins og Appendiks 4 er undertegnedes behandling af proctor og CBR-forsøg.

3.1 Klassifikation af leret

For at have viden om hvilke ler, der anvendes til forsøgene, er der udført klassifikationsforsøg, hvor lerindhold (fraktion ≤0,002 mm), naturligt vandindhold, w_{nat}, geologisk beskrivelse og plasticitet, I_P, fastlægges

De syv ler er alle beskrevet som moræneler. To af de syv ler er beskrevet som fedt og tre er beskrevet som ret fedt. Geologisk beskrivelse er givet herunder:

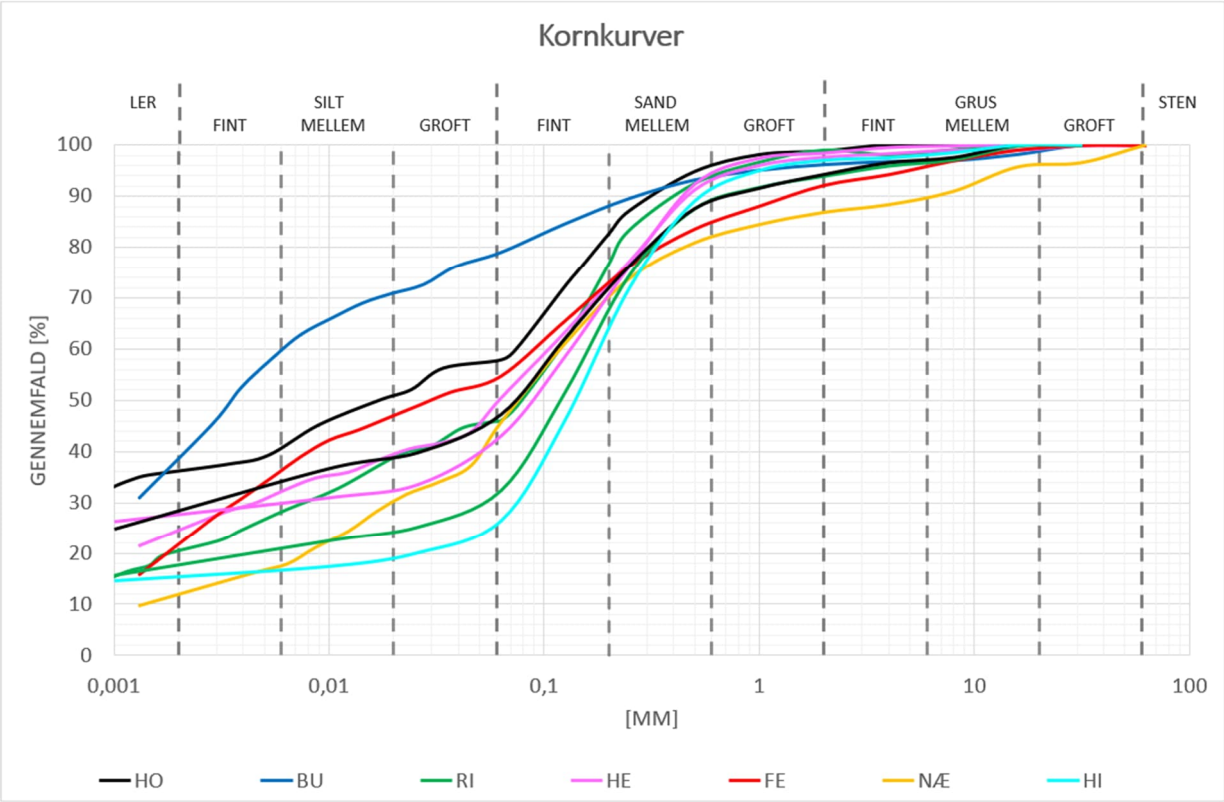
- BU: Moræneler, fedt, st. siltet, sv. sandet, enk. gruskorn, fine planterødder, gråbrun med brune striber
- FE: Moræneler, ret fedt, siltet, st. sandet, sv. gruset, grå
- HE: Moræneler, fedt, siltet, st. sandet, enk. gruskorn, få mindre organiske partikler, brungul med brune og grå striber
- HI: Moræneler, sv. siltet, st. sandet, enk. gruskorn, mørk gulbrun med brune og grå partier
- HO: Moræneler, ret fedt, sv. siltet, st. sandet, enk. gruskorn, fine planterødder, gråbrun
- RI: Moræneler, ret fedt, st. siltet, st. sandet, enk. gruskorn, brun med mørk brungule og grå partier
- NÆ: Moræneler, siltet, st. sandet, gruset, brun

De geologiske beskrivelser er iht. DGF bulletin 1 fra 2021.

Sigte- og hydrometeranalyse viser, at lerindholdet ligger mellem 12% og 38% (se tabel 3.1), mens siltindholdet ligger mellem 10% og 40%. Indeholdet af sand varierer fra 18% til 70%. Alle syv moræneler indeholder en mindre mængde grus. Kornkurver ses i figur 3.1.

Af figur 3.1 fremgår det, at BU (mørkeblå kurve) skiller sig ud i forhold til de øvrige moræneler. Dette skyldes, at moræneleret BU er st. siltet samtidig med at lerindholdet er stort. Havde de geologiske beskrivelser være udført iht. DGF bulletin 1 fra 1998, havde BU være beskrevet som senglacialt smeltevandsler.

Figur 3.1 viser desuden, at der er bestemt to kornkurver for hver af HE, HO og RI. Disse kornkurver viser, at leret er lidt forskellig, hvilket skyldes den variation, som der naturligt er i moræneler, når prøver udtages med ca. 1 m mellemrum. Afstanden mellem prøverne skyldes, at der er udtaget ca. 0,8 m^3 moræneler til hvert laboratorie.



Figur 3.1: Kornkurver for de 7 moræneler.

Af tabel 3.1 fremgår det, at det naturlige vandindhold ligger mellem 9% og 30%. Generelt er det naturlige vandindhold højest i prøverne med et stort indhold af ler og silt. Dog er vandindholdet for FE kun 9% til trods for, at lerindholdet er 22% og siltindholdet er 32%. Det lave vandindhold i FE skyldes formentligt, at FE er blåler og derved ikke kalkudvasket i modsætning til de øvrige prøver, som er enten helt eller delvist kalkudvasket (farver i brune nuancer). Prøven FE er også udtaget i en større dybde end de øvrige prøver, hvilket også kan være med til at forklare det lave naturlige vandindhold.

Tabel 3.1: Lerindhold og naturligt vandindhold.

Parameter	BU	FE	HE	HI	HO	RI	NÆ
Lerindhold [%]	38	22	24-28	16	28-36	16-20	12
Naturligt vandindhold, w_{nat} [%]	29-30	9	27	11	21	17	15

3.2 Plasticitet

Plasticitetsindekset for den ustabiliserede moræneler er for seks af de syv ler bestemt til at ligge mellem 9% og 31%. Den syvende prøve (HI) er bestemt til non plastic (NP), selv om den har et lerindhold på 15% (se tabel 3.2). Forsøg udført på HI af eksamensprojektstuderende i efteråret 2024 har dog vist et I_P på 2% for HI - altså stadig meget lavt.

Prøverne BU og HE har de højeste plasticitetsindekser på mellem 24% og 31%, svarende til fedt ler, hvilket stemmer overens med de geologiske beskrivelser.

Forsøgene i denne rapport dækker således ikke meget fedt ler.

*Tabel 3.2: Flydegrænse, plasticitetsgrænse og plasticitetsindeks for den ustabiliserede ler. *I_P er senere bestemt til 2%.*

Parameter	BU	FE	HE	HI	HO	RI	NÆ
Flydegrænse, w_L [%]	42-52	20	45-47	19	26-33	26-30	24
Plasticitetsgrænse, w_P [%]	17-21	10	19-21	NA	15	13-14	15
Plasticitetsindeks, I_P [%]	25-31	10	24-28	NP*	11-18	13-16	9

Der er også udført forsøg for bestemmelse af plasticitetsindekset efter stabilisering med 1% brændt kalk. Resultaterne fremgår af tabel 3.3.

Tabel 3.3: Flydegrænse, plasticitetsgrænse og plasticitetsindeks for kalkstabiliseret ler.

Parameter	BU	FE	HE	HI	HO	RI
Flydegrænse, w_L [%]	57-88	29	41-45	18	26-42	26-41
Plasticitetsgrænse, w_P [%]	22-50	18	18-30	NA	22-23	22
Plasticitetsindeks, I_P [%]	35-38	11	15-23	NP	3-20	4-19

Ved sammenligning mellem tabel 3.2 og 3.3, så ses det, at der sker følgende ved stabilisering med 1% kalk:

BU	I_P stiger
FE	I_P på samme niveau
HE og HO	I_P på samme niveau eller falder
RI	I_P falder i det ene forsøg og stiger det andet forsøg
HI	Forbliver NP.

Der er således ikke et klart billede af, hvordan tilsætningen af kalk påvirker plasticitetsindekset. Dette kan skyldes, at den anvendte mængde kalk kun er 1%, som det også beskrives af Tagesen i [*28*].

Vurdering

Det at I_P ikke falder, som størstedelen af litteraturen foreskriver, kan skyldes, at der kun er anvendt 1% kalk og at 1% kalk simpelthen generelt er for lidt.

3.3 pH-værdi og pulveriseringsgrad

Langtidsreaktionen og dermed dannelsen af pozzolane geler finder først sted ved en pH større end 10,5 - 11,0. Ved stabilisering i marken/under udførelse, anvendes oftest 1% brændt kalk. Det har derfor været interessant at undersøge, om der opnås en pH-værdi på 10,5 - 11,0 eller større, ved anvendelse af 1% brændt kalk. Ved disse forsøg er pH-

værdien kun undersøgt for den nyblandede kalkstabiliseret jord. Der burde have været lavet målinger af, hvordan pH-værdien ændrede sig med tiden.

AAB eller SAB-P for Jordstabilisering [*35*] stiller ikke krav om måling af pH-værdi i marken under udførelsen, men der er i SAB mulighed for at stille krav til pulveriseringsgraden. Pulveriseringsgraden viser om den kalkstabiliserede jord efter fræsning har opnået den rigtige krummestruktur.

Krummestrukturen er et samlede billede af, om der er anvendt den rigtige mængde kalk i forhold til lerindhold, I_P, lerets naturlige vandindhold samt korrekt fremdriftshastighed på fræserne. Pulveriseringsgraden er således et vikarierende krav for pH-værdien. I SAB-P for Jordstabilisering er kravet til pulveriseringsgrad sat til ≥ 60% i marken.

Tabel 3.4 angiver resultaterne for pH-værdi og pulveriseringsgraden for lerjord tilsat 1% brændt kalk. Som det ses, kommer pH-værdien op på mellem 11,8 og 12,6 ved tilsætning af 1% brændt kalk, mens pulveriseringsgraden ved laboratorieblanding kommer op på mellem 64% og 99%.

Tabel 3.4: pH-værdi og pulveriseringsgrad for ler kalkstabiliseret med 1% kalk.

Parameter	BU	FE	HE	HI	HO	RI
pH	11,8-12,4	12,5	12,3	12,8	12,6	12,5-12,6
Pulveriseringsgrad [%]	64-84	98	78-87	93	81-99	77-88

For den brændte kalk er det kemisk ikke muligt at opnå en pH over 12,4. Når der alligevel måles pH-værdier over 12,4, skyldes det, at lerjorden er svagt basisk i sig selv. På BU, HO og RI er der målt pH på selve lerjorden og disse havde pH-værdier på 9,3, 8,8 og 9,0, altså var jorden svagt basisk i sig selv.

For de tre samme ler (BU; HO og RI) er der også bestemt pH på den nystabiliserede ler ved tilsætning af 1,5% og 2% brændt kalk. Her ses det, at der kun sker en meget lille stigning i pH-værdien ved brug af 1,5% eller 2% brændt kalk i stedet for 1% brændt kalk (se tabel 3.5).

Tabel 3.5: pH-værdi for ler kalkstabiliseret med 1%, 1,5% og 2% kalk.
**Gennemsnit af værdier i tabel 3.4.*

Parameter	BU	HO	RI
pH ustabiliseret ler	9,3	8,8	9,0
pH ved 1,0% kalk	12,1*	12,6	12,6*
pH ved 1,5% kalk	-	12,6	12,8
pH ved 2,0% kalk	12,7	12,7	12,6

Resultaterne viser, at BU, som har I_P over 25%, skal have mere end 1% kalk for at pH-værdien kommen op på 12,4 eller mere, mens HO og RI, som har I_P på mellem 11 og 18, opnår en pH over 12,4 ved tilsætning af 1% kalk. Et igangværende eksamensprojekt har vist, at pH-værdien falder med tiden. Over en periode på 140 dage falder pH-værdien med lidt over 1 i ret fedt ler.

Vurdering
Med reference til litteraturstudiet og det igangværende eksamensprojekt, så bør det overvejes, om der skal stilles krav om, at pH-værdien skal være større end 12,4 efter en time fra blanding. Der skal desuden overvejes, om der skal stilles krav om en minimumsmængde brændt kalk, hvis der er behov for langtidsreaktionen. De igangværende forsøg indikerer, at der ikke bør anvendes mindre end 2% brændt kalk, hvis langtidsreaktionen ønskes.

3.4 Kapillær stighøjde

Langtidsreaktionen ved kalkstabilisering skal, i henhold til litteratur fra udlandet, give lerjorden frostforbedrende egenskaber. De frost-forbedrende egenskaber er indtil nu ikke dokumenteret for dansk ler.

Ved dimensionering af befæstelser, inddeles underbunden i tre kategorier – Frostsikker, Frosttvivlsom og Frostfarlig. Lerjord er som udgangspunkt frosttvivlsom, dog vil en st. siltet eller st. fint sandet ler kunne være frostfarlig. Kategorien frostfarlig betyder, at der i frostperioder vil være stor risiko for dannelse af islinser, mens frosttvivlsom betyder, at der i frostperioder er mindre risiko for dannelse af islinser. Islinser dannes generelt nemmest når kapillariteten er stor og permeabiliteten er lille.

I håndbog Dimensionering – Befæstelser og Forstærkningsbelægninger er der krav om, at befæstelser på frostfarlig underbund er 100 mm til 200 mm tykkere end befæstelser på frosttvivlsom underbund [*37*], så risikoen for at frosten når ned til den frostfarlige underbund nedsættes og dermed også risikoen for dannelse af islinser.

Der er generelt tre betingelser, som skal være opfyldt, for der er risiko for dannelse af islinser:

1. Der skal være vand til stede.
2. Materialet skal have en stor kapillær stighøjde.
3. Materialet skal have en lille permeabilitet.

En stor kapillær stighøjde og en lille permeabilitet er to egenskaber, som er forbundet med størrelsen af porerne i materialet. Små porer giver sugerørsvirkning, som resulterer i en stor kapillær stighøjde (op til flere meter) samtidig med at permeabiliteten (strømningshastigheden) er lille. Omvendt giver store porer en lille kapillær stighøjde og en stor permeabilitet.

Risikoen for dannelsen af islinser er således meget lille/ikke tilstede, hvis den kapillære stighøjde er lille eller der ikke er frit vand til stede.

Det er derfor undersøgt, hvad den kapillære stighøjde er for prøveemner af ustabiliseret ler samt kalkstabiliseret ler med 90 dages hærdning.

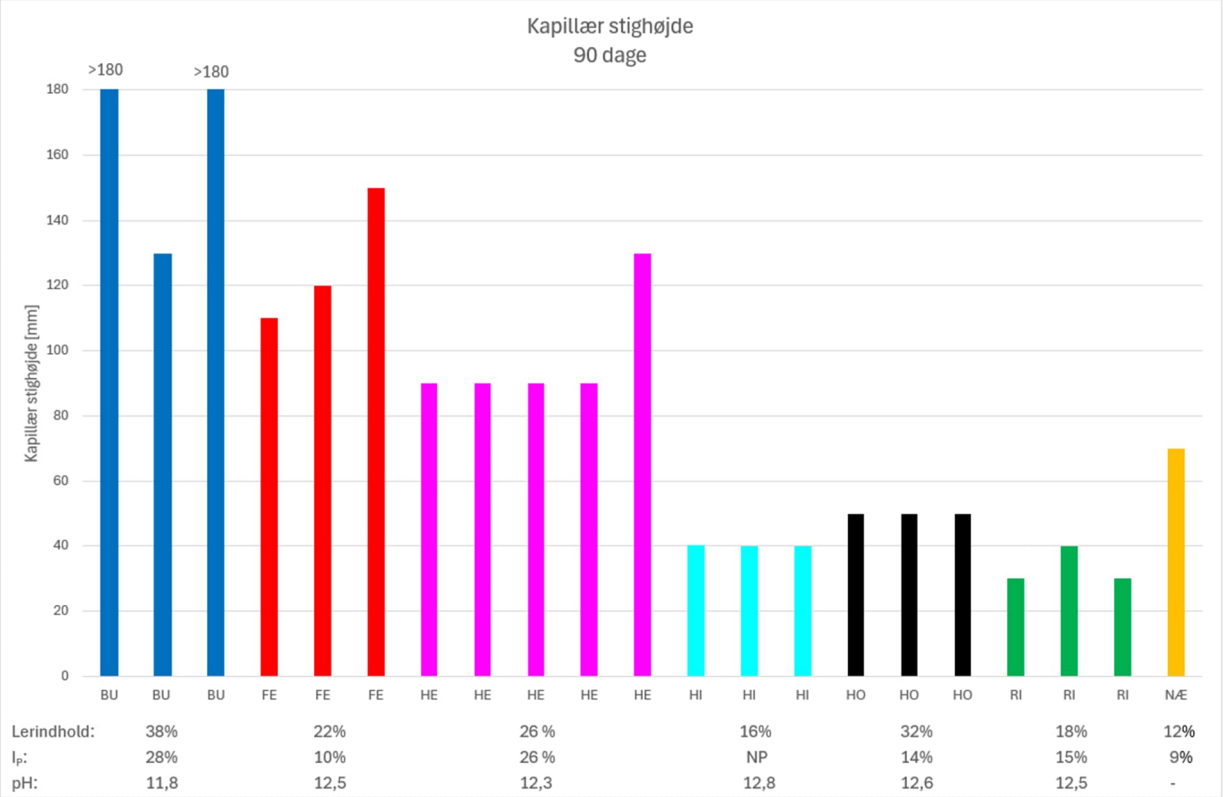
Selve forsøget er udført på prøveemner, som er indstampet som 4 lag i Proctor-form med krave, så højden bliver 160 mm eller 180 mm. Efter hærdning er prøverne pakket ind i

husholdningsfilm, så enderne er frie. Prøverne er efterfølgende placeret på en riste i en balje, så de nederste 2 cm af det enkelte prøveemne er under vand, se figur 3.2.

Figur 3.2: Eksempel på forsøgsopstilling til bestemmelse af kapillær stighøjde (foto fra AAU).

Den kapillær stighøjde blev målt på 3 prøveemner for hvert ler i både stabiliseret og ustabiliseret form.

For alle de ustabiliserede prøveemner blev den kapillærer stighøjde målt til prøveemnets højde, og sikkert større, hvis prøveemnet havde været højere. For de stabiliserede prøveemner med 90 dages hærdning er den målte kapillær stighøjde vist i figur 3.3.



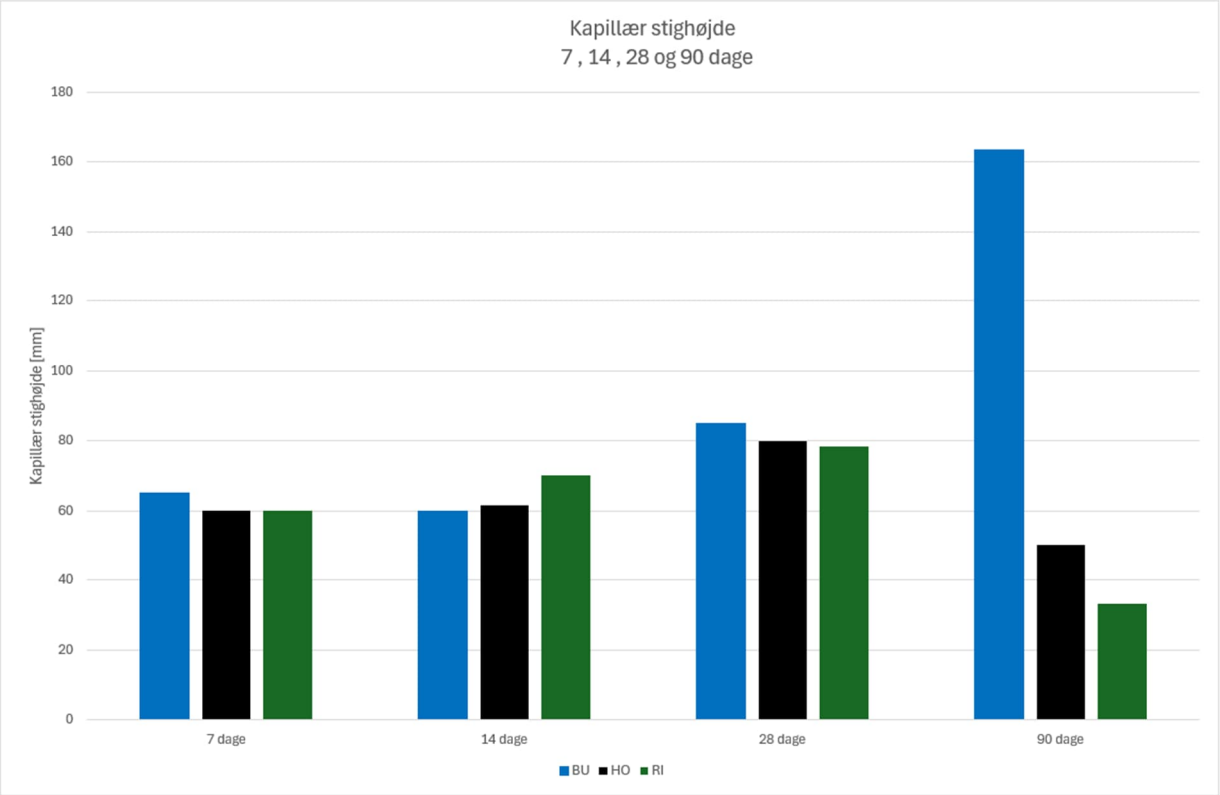
Figur 3.3: Kapillær stighøjde ved stabilisering med 1% kalk og 90 dages hærdning.

Af figur 3.3 ses det, at den kapillær stighøjde efter 90 dages hærdning er meget forskellig. To af prøverne fra BU har en kapillær stighøjde på højde med prøveemnet, mens det tredje BU prøveemne har en kapillær stighøjde på 130 mm. Prøveemnerne for HI, HO og RI har alle en kapillær stighøjde mellem 30 mm og 50 mm.

Forsøgene viser en tendens til, at ler med lav I_P (mindre end 20%) efter stabilisering med 1% kalk har en mindre kapillær stighøjde end ler med høj I_P (større end 20%). Dog falder leret FE uden for denne tendens.

Hvis pH-værdien målt ved blanding betragtes i forhold til de kapillære stighøjder, ses der et sammenfald mellem lav pH og høj kapillær stighøjde for BU. Det er derfor muligt, at BU ikke er stabiliseret med en tilstrækkelig mængde kalk, hvorfor pH-værdien ikke har været høj nok gennem hele hærdningsperioden til udvikling af pozzolane geler.

På prøveemner af kalkstabiliseret ler fra BU, HO og RI er der desuden målt kapillær stighøjde efter 7, 14 og 28 dages hærdning. Den gennemsnitlige kapillær stighøjde efter 7, 14, 28 og 90 dages hærdning fremgår at figur 3.4.



Figur 3.4: Gennemsnitlig kapillær stighøjde for BU, HO og RI efter 7, 14, 28 og 90 dages hærdning.

Af figur 3.4 ses det, at BU har den laveste kapillære stighøjde efter 14 dages hærdning, hvorefter den kapillær stighøjde stiger med længden af hærdningsperioden, mens HO og RI har en tendens til at have den største kapillær stighøjde ved 28 dages hærdning, hvorefter den kapillær stighøjde falder. Resultaterne vist i figur 3.4 indikerer, at 1% brændt kalk i et fedt ler, som BU er for lidt. Modsat viser HO og RI, at ler med I_P under

15% kan stabiliseres med 1% brændt kalk, stadig udvikler pozzolane geler efter 90 dages hærdning. pH i HO og RI må derfor stadig være større end 10,5 - 11,0 efter 90 dage.

Forsøgene med accelereret hærdning (40°C) mislykkedes, idet prøveemnerne tørrede ud under hærdning. Men forsøg med disse udtørrede prøveemner viser, at den kapillær stighøjde måles til prøveemnets højde. Dette viser, at hvis prøverne tørrer ud, så dannes der kun et begrænset antal pozzolane geler og derved er porestrukturen åben, som resulterer i en stor kapillær stighøjde. Dog viser litteraturen, at udtørrede prøveemner vil udvikle pozzolane geler, hvis de bliver lagret under vand [*3*].

Et hold igangværende eksamensprojektstuderende har fået udført frosthævningsforsøg jf. BSI 812-124, og disse forsøg viser, at frosthævningen i kalkstabiliseret jord falder med hærdningstiden og den tilsatte kalkmængde. Således opnås der kun en frosthævning på 3,7 mm i ret fedt moræneler tilsat 2% kalk, når prøveemnet har 91 dages hærdning.

Vurdering

Det er vigtigt, at den mængde brændt kalk, der anvendes, er stor nok til, at der kan udvikles pozzolane geler, så kapillariteten brydes. 1% brændt kalk er ikke nok.

Skulle der ske en udtørring, så der ikke udvikles tilstrækkelig med pozzolane geler til at bryde den kapillær stighøjde, vil der stadig ikke kunne udvikles islinser, idet der ikke er vand til dannelse af islinser.

Igangværende forsøg i forbindelse med eksamensprojekter viser ligesom forsøgene i denne rapport, at hvis pH-værdien bliver tilstrækkelig høj, så vil den kapillær stighøjde være mindre end 100 mm. Det bør derfor overvejes om lagtykkelsen af et bundsikringslag af kalkstabiliseret jord skal øges med 100 mm. På den anden side, har der i mange år været anvendt bundsikringsmaterialer af sand og grus, som har en kapillær stighøjde som er større end 100 mm, og der er lagtykkelsen ikke blevet øget.

Det anbefales, at der som minimum anvendes 2% brændt kalk, hvis kalkstabiliseret jord skal anvendes som erstatning for traditionelt bundsikringsmateriale.

3.5 Permeabilitet

Der er ikke udført permeabilitetsforsøg på DTU, idet deres apparatur gik i stykker og på AAU er der kun udført forsøg på et af de tre ler.

I tabel 3.6 er permeabiliteten for ustabiliseret ler samt nystabiliseret ler tilsat 1% kalk og ingen hærdetid givet. Det findes, at den kalkstabiliseret ler uden hærdetid har en permeabilitet, som nogle gange er lidt større og andre gange lidt mindre end permeabiliteten for den ustabiliseret ler. Dette stemmer overens med litteraturen om permeabilitet.

Tabel 3.6: Permeabilitet for ustabiliseret ler samt ler kalkstabiliseret med 1% kalk og ingen hærdetid.

**HO havde en gennemløbstid på 7 døgn, mens de andre havde en gennemløbstid på 75 min.*

Parameter	BU	FE	HE	HO*
Ustabiliseret ler [m/s]	$6{,}57 \cdot 10^{-9}$	$9{,}64 \cdot 10^{-8}$	$1{,}45 \cdot 10^{-7}$	$7{,}27 \cdot 10^{-10}$
Ler stabiliseret med 1% kalk [m/s]	$1{,}58 \cdot 10^{-6}$	$4{,}34 \cdot 10^{-8}$	$3{,}71 \cdot 10^{-8}$	$5{,}84 \cdot 10^{-10}$

For HO tilsat 1% kalk er der udført to permeabilitetesforsøg med en gennemstrømningsperiode på 7 døgn. Den ene prøve var nystabiliseret, den anden prøve havde hærdet i 7 døgn. Forsøget med HO viser, at permeabiliteten stiger ganske lidt fra den ustabiliserede lerjord til den stabiliserede prøve uden hærdning, hvilket skyldes at langtidsreaktionen endnu ikke er begyndt. Prøven med 7 dages hærdning har en permeabiliteten så lille, at vandspejlet blev registreret som stillestående, hvorfor permeabiliteten er sat til nul.

Forsøget med leret HO viser, at dannelsen af pozzolane geler lukker porerne i den stabiliseret ler, hvorved permeabiliteten falder. Samme egenskab, som gør at den kapillær stighøjde falder.

Vurdering

Lige som for den kapillær stighøjde, så er det vigtigt at leret stabiliseres med en tilstrækkelig mængde kalk til, at langtidsreaktionen kan finde sted og derved danne pozzolane geler, hvis permeabiliteten skal være lav.

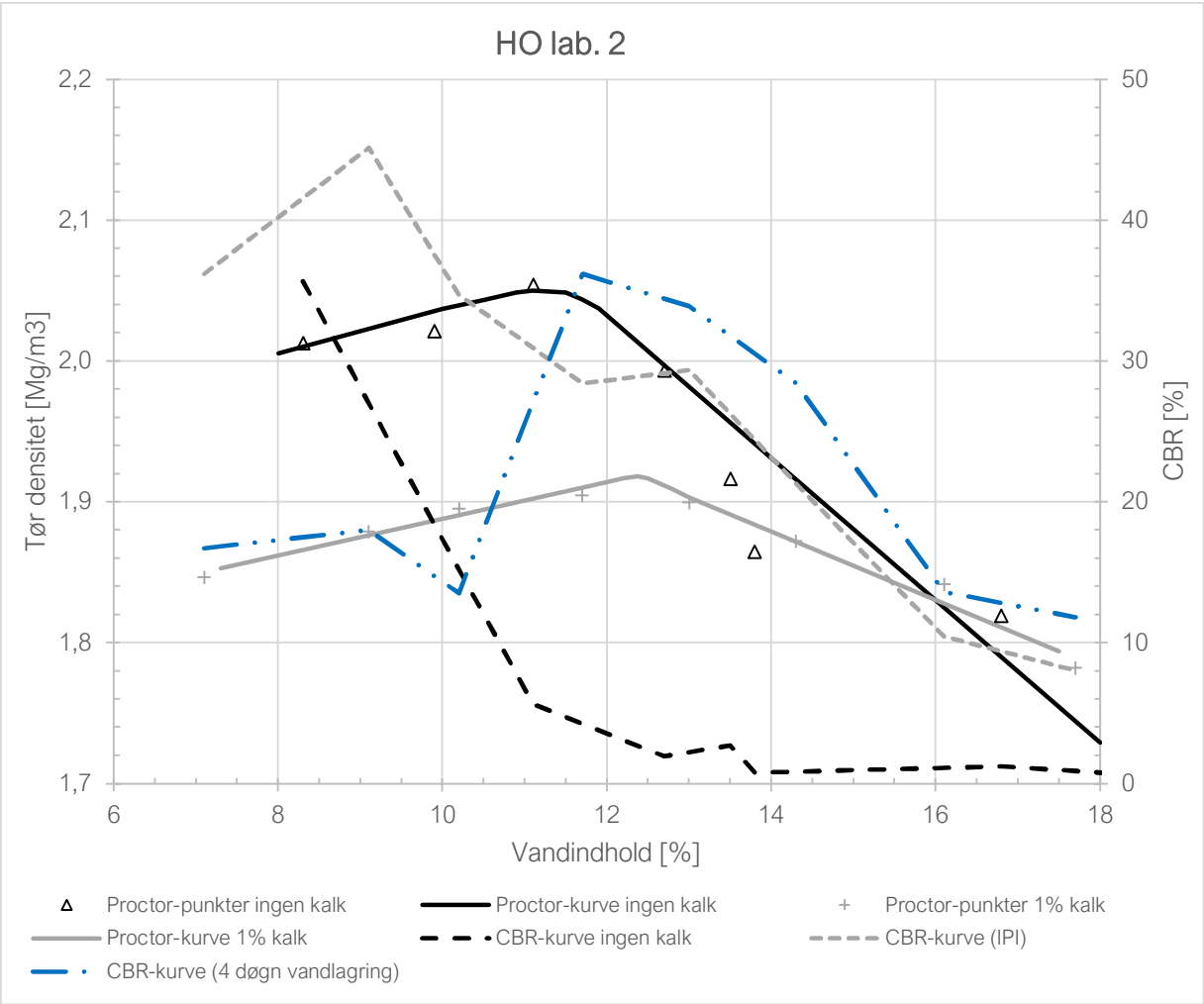
3.6 Proctor og CBR

Der er udført proctor og CBR-forsøg på ustabiliseret ler.

På stabiliseret ler er prøverne blandet ved et vandindhold 4 %-point over det optimale vandindhold for den ustabiliserede ler og 1% brændt kalk. På stabiliseret ler er der udført proctor, CBR-forsøg ved korttidsreaktionen (IPI), samt CBR-forsøg efter 4 døgns vandlagring. Resultaterne for HO fremgår af figur 3.5.

Tilsvarende kurver for proctor og CBR, for både ustabiliseret og stabiliseret ler findes for de andre ler i appendiks 4. På HE, HO og RI er der lavet dobbeltforsøg, hvorfor der er to resultater for hver af disse.

Proctorkurverne i figur 3.5 (fuldt optrukne linjer) viser, at der ved stabilisering med 1% brændt kalk, sker en reduktion i tørdensiteten samtidig med der sker en stigning i det optimale vandindhold. Helt som forventet i forhold til teorien bag kortidsreaktionen ved kalkstabilisering.



Figur 3.5: Proctor og CBR-forsøg på HO ustabiliseret og stabiliseret med 1% brændt kalk.

CBR-kurverne for lerjorden og lerjorden tilsat 1% kalk (IPI) viser, at der sker en stigning i CBR-værdien ved stabilisering og at den største stigning sker hen over proctorkurvens toppunkt samt på den våde side af proctorkurven.

CBR-forsøg udført efter 4 døgns vandlagring viser, at CBR-værdien stiger for prøver indstampet med et vandindhold omkring det optimale vandindhold eller højere. Mens CBR-værdien efter 4 døgns vandlagring falder for prøver indbygget på den tørre side. Dette viser, at indbygges stabiliseret lerjord ved et for lavt vandindhold, så der ikke opnås en tilstrækkelig komprimeingsgrad, vil en senere tilførelse af vand medføre et fald i bæreevne i den kalkstabiliseret jord. Modsat viser forsøgene også, at hvis den kalkstabiliseret jord indbygges ved et vandindhold over det optimale, så vil der ske en styrketilvækst under langtidsreaktionen. Det er selvfølgelig en forudsætning, at pH-værdien er så høj, at der sker en langtidsreaktion. Det er derfor vigtigt, at det sikres den kalkstabiliseret lerjord opnår komprimeringsgrader på niveau med de krav, der er til almindelig jordarbejder.

Resultaterne fra proctor og CBR er givet i tabel 3.7. Det ses, at der for alle forsøg sker en stigning i optimalt vandindhold, et fald i maksimal tørdensitet samt en i stigning i CBR fra den ustabiliseret ler til stabilisering med 1% kalk til efter 4 døgns vandlagring.

Tabel 3.7: Parameter for maksimal tørdensitet, optimalt vandindhold samt CBR-værdi før og efter vandlagring.
For hver af HE, HO og RI er der udført to forsøg og resultaterne for det ene forsøg er med sort tekst med resultaterne for det andet forsøg er med blå tekst.

Parameter	BU	FE	HE	HI	HO	RI	NÆ
Lerjord uden kalk, maks. tørdensitet, $\rho_{d,max}$ [Mg/m^3]	1,66	2,05	1,80 1,81	2,04	2,01 2,05	2,06 2,02	1,97
Lerjord, 1% brændt kalk, maks. tørdensitet, $\rho_{d,max}$ [Mg/m^3]	1,62	1,96	1,70 1,72	2,01	1,88 1,92	1,94 1,92	1,93
Lerjord uden kalk, optimalt vandindhold, w_{opt} [%]	16,2	8,8	13,0 14,5	9,5	10,2 11,0	9,2 10,3	10,8
Lerjord, 1% brændt kalk, optimalt vandindhold, w_{opt} [%]	19,8	11,8	17,6 15,0	9,6	11,3 12,4	10,0 11,2	10,9
Lerjord, 1% brændt kalk CBR ved $w_{opt,kalk}$ + 1,0% uden vandlagring [%]	15	7	16 35	32	25 29	27 26	26
Lerjord,1% brændt kalk CBR ved $w_{opt,kalk}$ + 1,0% med 4 døgn vandlagring [%]	27	16	24 50	43	49 34	29 51	47

Ud fra CBR-værdierne er det muligt at estimere det dynamiske E-modul. Dette beskrives nærmere i afsnit 3.8.

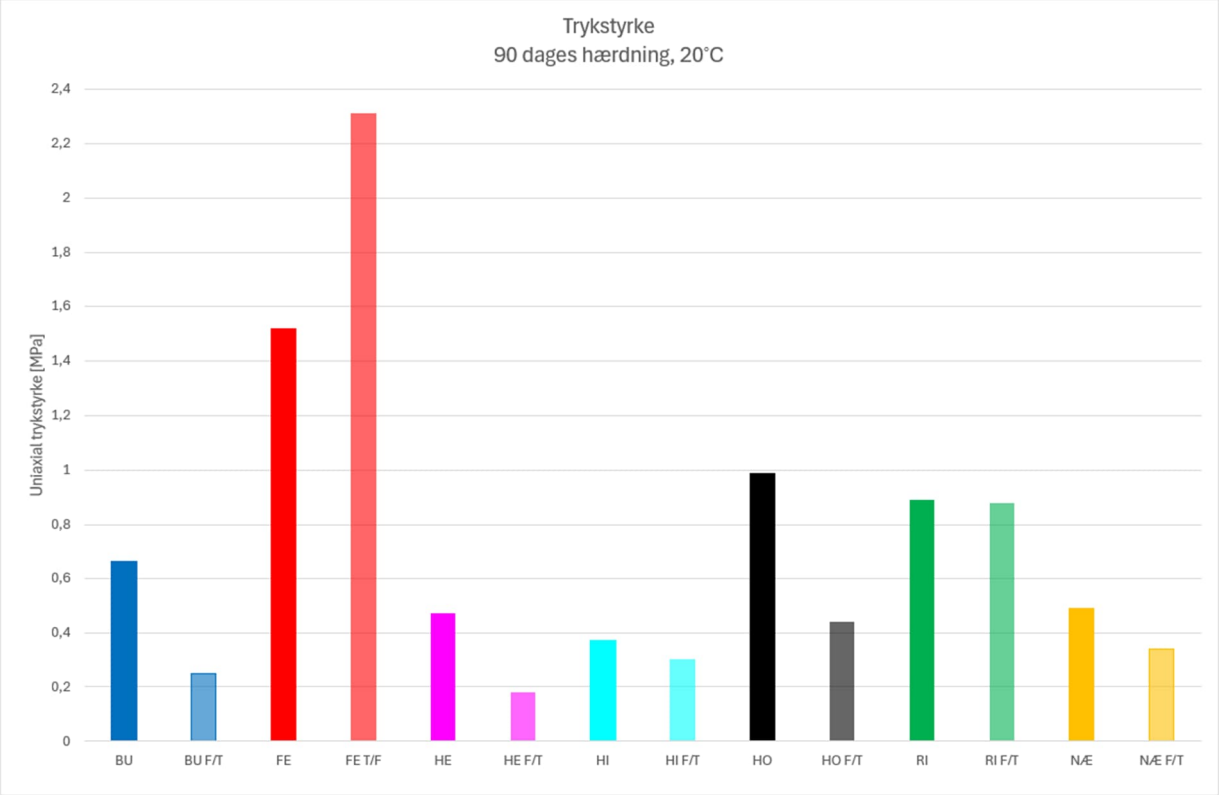
Vurdering
Proctor- og CBR-forsøgene viser, at det er vigtigt, at kalkstabiliseret jord indbygges korrekt, så der opnås en god komprimering samt at indbygning forgår ved et vandindhold over det optimale, da der ellers er risiko for, at de pozzolane geler ikke dannes på grund af mangel på vand.

3.7 Trykstyrke og frost/tø

Uniaxiale trykforsøg er udført på lerjord tilsat 1% brændt kalk. Der er lavet to sæt prøveemner - for det ene sæt prøveemner er trykstyrken bestemt efter en hærdningsperiode på 90 dage, mens trykstyrken for det andet sæt prøveemner er bestemt efter en hærdningsperiode på 90 dage efterfulgt af 10 frost/tø påvirkninger. Hærdning er foregået ved 20°C, se figur 3.6.

Resultaterne i figur 3.6 viser, at der generelt sker et fald i trykstyrken ved frost/tø påvirkningen, hvilket stemmer overens med litteraturen i [*19*], [*25*] og [*32*]. Dog er der for

FE fundet, at trykstyrken efter 10 frost/tø påvirkninger er markant større end trykstyrken før frost/tø påvirkning. FE har også en markant større trykstyrke efter 90 dages hærdning end de andre prøver. Dette kan skyldes, at der under hærdning og de efterfølgende 10 frost/tø påvirkninger er sket en udtørring. Tørt kalkstabiliseret ler bliver hårdt, hvorved der måles en større trykstyrke, fuldstændig som for ustabiliseret ler.



Figur 3.6: Uniaxial trykstyrke efter 90 dages hærdning samt 90 dages hærdning efterfulgt af 10 frost/tø påvirkninger (F/T).

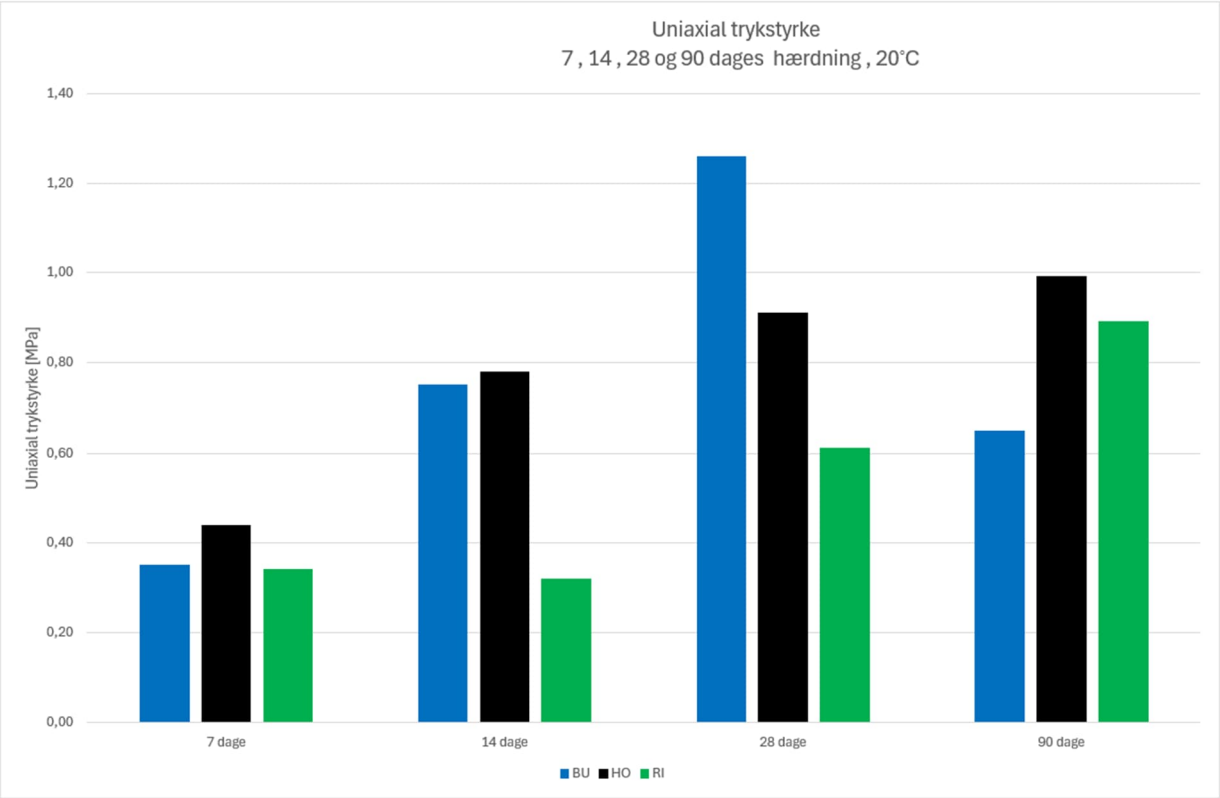
Trykstyrken efter 90 dages hærdning ligger mellem 0,37 MPa og 0,99 MPa, hvis resultatet for FE ikke tages med. Tilsvarende ligger trykstyrken efter frost/tø mellem 0,18 MPa og 0,88 MPa.

Den laveste trykstyrk registreres for HE. De største fald ses for BU og HE som har høje I_P.

Hvis der ses bort fra trykstyrkerne for FE og RI, så er reststyrken efter frost/tø påvirkningerne mellem 38% og 81%.

For BU, HO og RI er den uniaxiale trykstyrk også bestemt efter 7, 14 og 28 dages hærdning ved 20°C. Resultaterne er vist i figur 3.7 sammen med de uniaxiale trykstyrker bestemt efter 90 dages hærdning.

Af figur 3.7 ses det, at der for HO og RI sker en forøgelse i trykstyrken med længden af hærdetiden.

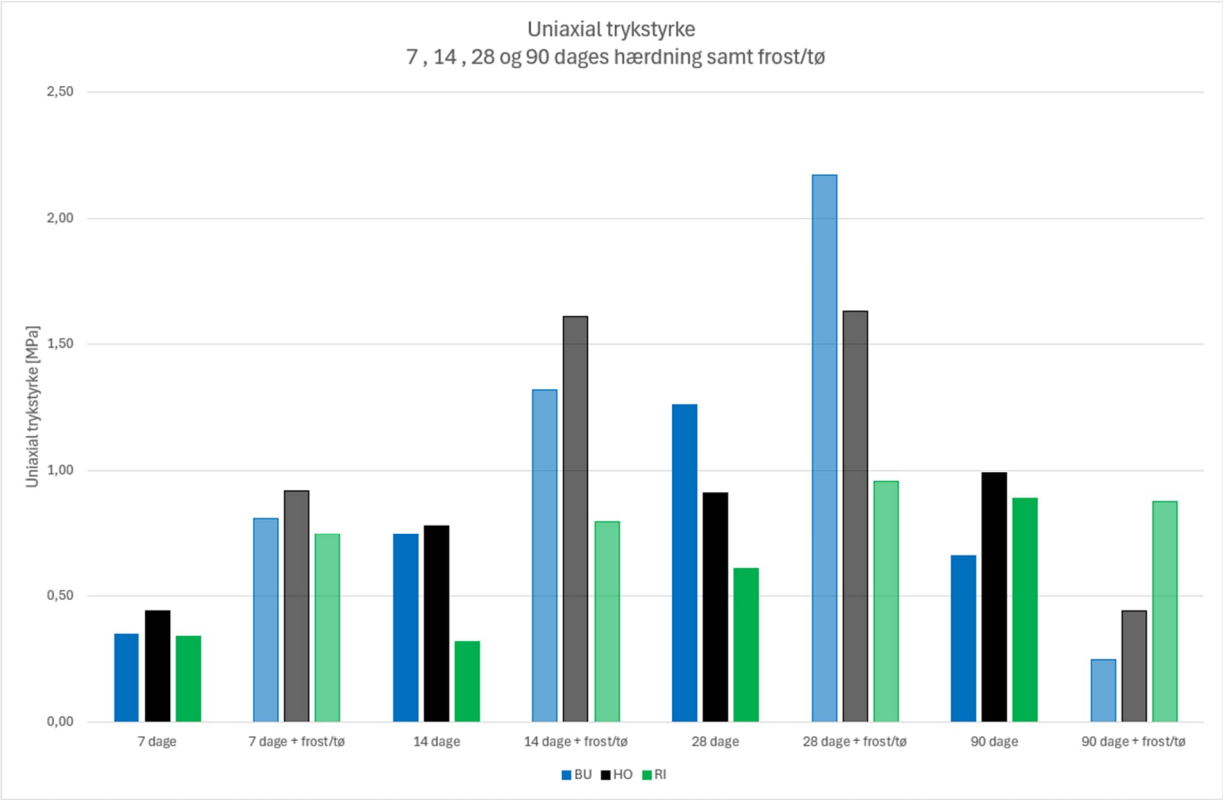


Figur 3.7: Uniaxial trykstyrke efter 7, 14, 28 og 90 dages hærdning.

For BU ses der en tilvækst i styrke inden for der første 28 dages hærdning, hvorefter trykstyrken falder ved 90 dages hærdning. Faldet ved 90 dages hærdning for BU kan skyldes, at der kun er stabiliseret med 1% brændt kalk, hvorved pH-værdien ikke har været tilstrækkelig høj til dannes af pozzolane geler gennem hele perioden. Dog burde dette have betydet, at BU havde haft samme trykstyrke efter 28 og 90 dages hærdning, ved mindre overskydende vand i prøveemnerne svækker de bindinger, som de pozzolane geler havde skabt efter 28 dages hærdning.

For BU, HO og RI er der desuden også udført frost/tø påvirkning efter 7, 14 og 28 dages hærdning ved 20°C, hvorefter der er udført uniaxiale trykforsøg. I figur 3.8 er resultaterne frost/tø vist sammen med trykstyrkerne fra figur 3.7.

Resultaterne i figur 3.8 viser, at trykstyrken efter frost/tø påvirkning bliver større ved 7, 14, 28 og 90 dage. Dette kan til dels skyldes, at der sker en hærdning under tø og til dels en udtørring under frost/tø påvirkningerne.



Figur 3.8: Uniaxial trykstyrke efter 7, 14, 28 og 90 dages hærdning samt efterfølgende 10 frost/tø påvirkninger.

Hvis der sker en fuld styrkeudvikling under frost /tø, så burde trykstyrken for 7 dages hærdning efterfulgt af frost/tø påvirkning have en trykstyke svarende til trykstyrken ved 14 dages hærdning. Ligeledes burde trykstyrken for 14 dages hærdning efterfulgt af frost/tø påvirkning have en trykstyrke svarende til eller lidt lavere end trykstyrken ved 28 dages hærdning. Og trykstyrken for 28 dages hærdning efterfulgt af frost/tø påvirkning burde have en trykstyrke lavere end trykstyrken ved 90 dages hærdning. Men generelt er trykstyrken efter frost/tø påvirkning større end for prøveemnerne med en længere hærdningsperiode. Dette kan kun skyldes, der er sket en udtørring af prøveemnerne under frost/tø påvirkningerne.

Af billedet i figur 3.9 ses prøveemnerne af HO efter de har være udsat for frost/tø påvirkning. Som det ses, er der sket der en udtørring.

Figur 3.9: Prøveemner delvis udtørret efter frost/tø påvirkning.

Ud fra trykstyrken er det muligt at estimere det dynamiske E-modul. Der vil kun blive estimeret dynamiske E-moduler ud fra trykstyrkerne bestemt efter 90 dages hærdning samt 90 dages hærdning efterfulgt af frost/tø påvirkning, se afsnit 3.8.

Vurdering

Det er muligt at stabilisere ler med lavt I_P, hvorfor der ikke forventes, at der vil være behov for at stille krav til et minimums I_P. Der vil dog anbefales, at der stilles et krav om et minimums lerindhold, så det sikres den brændte kalk har noget at reagere med, f.eks. minimum 10 % ler.

Ved stabilisering med 1% kalk kan det forventes at der opnås trykstyrker omkring 0,5 MPa og at der vil ske en reduktion i trykstyrken ved påvirkning af frost/tø, hvis den stabiliseret jord stadig er våd ved frost. De lave trykstyrker bekræfter, at der bør anvendes 2% brændt kalk ved stabilisering.

3.8 Dynamisk E-modul

Det dynamiske E-modul kan estimeres ud fra både CBR-værdien og den uniaxiale trykstyrke. Dette betyder, at den opnåede styrkeforøgelse ved kalkstabilisering kan omsættes til en brugbar værdi for brug ved dimensionering af vejbefæstelser.

CBR-værdier kan omsættes til dynamiske E-moduler ved erfaringsformlerne (1) i [*27*] og (2) i [*6*].

$$E_m \approx 10 \cdot CBR \qquad (1)$$

$$E_m \approx 17{,}6 \cdot CBR^{0{,}64} \qquad (2)$$

Ved at anvende de fundne CBR-værdier i tabel 3.7, så bestemmes det dynamiske E-modul til at ligge mellem 61 MPa og 350 MPa for de kalkstabilisede prøveemner uden

vandlagring. For prøveemnerne med vandlagring bestemmes E-modulet til mellem 104 MPa og 510 MPa. Samtlige E-moduler bestemt ud fra CBR-forsøg er givet i tabel 3.8.

Tabel 3.8: Estimeret dynamisk E-modul ud fra CBR-værdi før og efter vandlagring.

Parameter		BU	FE	HE	HI	HO	RI	NÆ
Lerjord, 1% brændt kalk E-modul, CBR uden vandlagring [MPa]	maks.	150	70	350	320	290	270	260
	min.	100	61	162	162	138	145	142
Lerjord, 1% brændt kalk E-modul, CBR efter 4 døgn vandlagring [MPa]	maks.	270	160	500	430	490	510	470
	min.	145	104	135	195	168	152	207

Af tabel 3.8 ses, at det kun er FE før vandlagring der har et estimeret dynamisk E-modul under 100 MPa. Efter vandlagring ligger det estimerede dynamiske E-modul mellem 104 MPa og 160MPa. FE's styrkeudviklingen målt ved CBR er generelt lidt mindre og langsommere end for de andre prøver, men ikke kritisk lav.

Betragtes den uniaxiale tryksstyrke svarende til den udrænede forskydningsstyrke, c_u, kan det statiske E-modul, E_{oed}, bestemmes ved erfaringsformlen (3) i [*16*] for intakt moræneler, mens erfaringsformlen (4) i [*29*] kan anvendes for ikke intakt moræneler.

$$E_{oed} = \frac{4000 \cdot c_u}{w} \qquad (3)$$

$$E_{oed} = \frac{1000 \cdot c_u}{w} \qquad (4)$$

hvor w er vandindholdet i %.

I artiklen [*7*] er der opstillet en formel (5) for bestemmelse af det statiske E-modul, E_{50}, ud fra den uniaxiale trykstyrke, som er gældende for kalkstabiliseret ler op til en trykstyrke på 1,5 MPa.

$$E_{50} = 0{,}037 q_u + 16{,}855 \qquad (5)$$

Erfaring viser, at det dynamiske E-modul er tre gange større end det statiske E-modul (E_{oed} og E_{50}), hvorfor det dynamiske E-modul kan bestemmes ved formel (6) i [*17*].

$$E = 3 \cdot E_{oed} \qquad (6)$$

Ved at anvende trykstyrkerne for prøveemner med 90 døgns hærdning samt 90 døgns hærdning efterfulgt af 10 frost/tø påvirkninger (figur 3.6), så bestemmes det dynamiske E-moduler på baggrund af formel (3), (4) og (6) til at ligge mellem 87 MPa og 1008 MPa for de kalkstabiliserede prøveemner med 90 dages hærdning. For de kalkstabiliserede prøveemner med 90 dages hærdning efterfulgt af frost/tø påvirkning bestemmes det dynamiske E-modul til at ligge mellem 33 MPa og 996 MPa. Resultaterne for FE er ikke medtaget, idet det vurderes, at FE er delvis udtørret og derved har en for stor trykstyrke.

Anvendes formlerne (5) og (6) til bestemmelse af det dynamiske E-modul, så vil det dynamiske E-modul efter 90 dages hærdning ligge mellem 92 MPa og 160 MPa. Samme hærdningsperiode efterfulgt af frost/tø påvirkning resulter i, at det dynamiske E-modul falder til mellem 71 MPa og 148 MPa. Igen er resultaterne for FE ikke medtaget.

De dynamiske E-moduler for den enkelte prøve fremgår af tabel 3.9.

Tabel 3.9: Dynamisk E-modul bestemt ud fra uniaxiale trykstyrker (UCS) efter 90 dages hærdning samt 90 dages hærdning efterfulgt af 10 frost/tø påvirkninger.

Parameter		BU	FE	HE	HI	HO	RI	NÆ
Lerjord, 1% brændt kalk E-modul, UCS, 90 dages hærdning [MPa] *(formel (3), (4) og (6))*	maks.	400	1546	346	463	1003	1008	539
	min.	100	386	87	116	251	252	135
Lerjord, 1% brændt kalk E-modul, UCS, 90 dages hærdning + frost/tø [MPa] *(formel (3), (4) og (6))*	maks.	152	2349	133	375	446	996	374
	min.	38	587	33	94	111	249	94
Lerjord, 1% brændt kalk E-modul, UCS, 90 dages hærdning [MPa] *(formel (5) og (6))*		124	219	103	92	160	149	105
Lerjord, 1% brændt kalk E-modul, UCS, 90 dages hærdning + frost/tø [MPa] *(formel (5) og (6))*		78	307	71	84	99	148	88

Tabel 3.8 og 3.9 viser at langt størstedelen af forsøgene resulter i estimerede dynamiske E-moduler mellem100 MPa og 300 MPa.

Vurdering

Når de estimerede dynamiske E-modul for kohæsionsjord stabiliseret med 1% brændt kalk efter 90 dages hærdning ligger mellem 100 og 300 MPa, så vurderes det, at kalkstabiliseret jord har elastiske egenskaber (E-modul) der kan opfylde kraven til bundsikring, idet bundsikring af sand og grus har et E-modul på mellem 100 og 150 MPa jf. [*37*]

Ved stabilisering med 2% brændt kalk må det forventes, at CBR-værdier og trykstyrker stiger, hvorved det dynamiske E-modul også forventeligt vil stige.

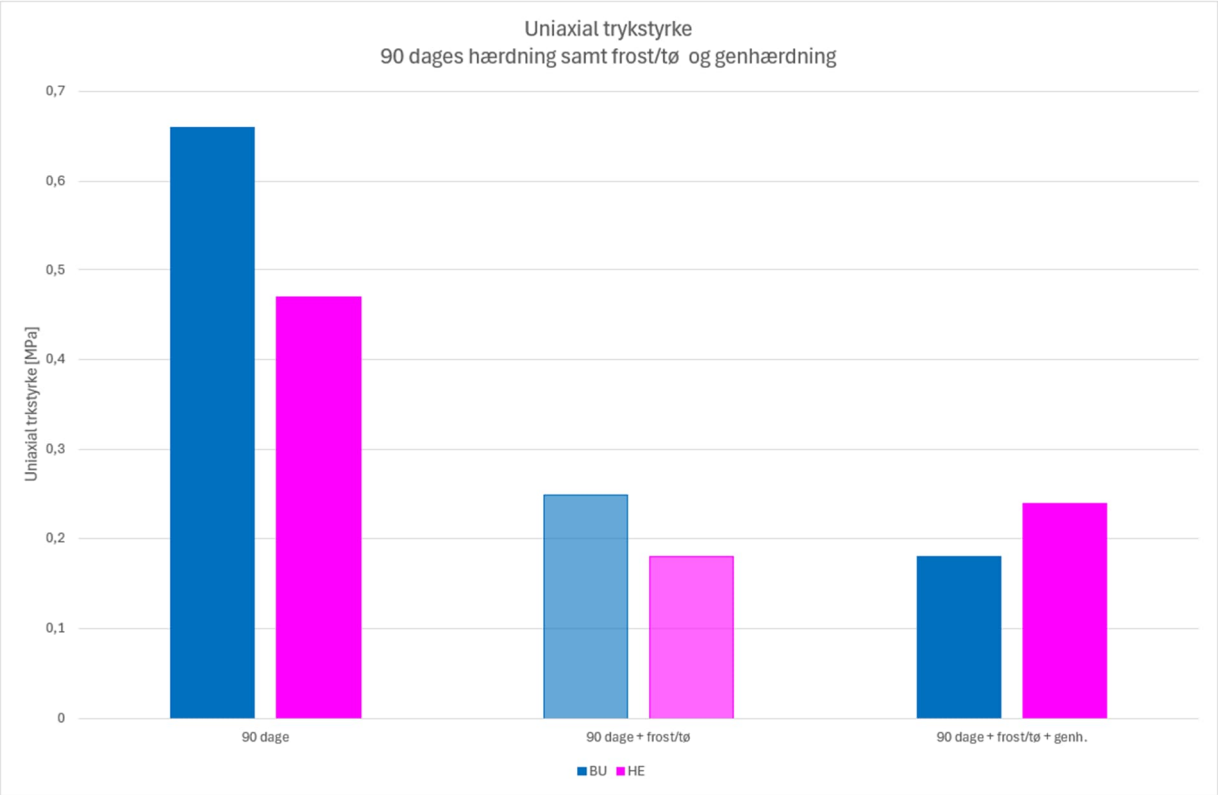
3.9 Genhærdning

Som det fremgår af afsnit 3.7 og 3.8, så sker der et tab i trykstyrke ved påvirkning af frost/tø. I litteraturen er der beskrevet en genhærdning, men dette kræver pH-værdien er høj, så der forsat kan ske en udvikling af pozzolane geler.

Der er udført genhærdningsforsøg på to prøver BU og HE. Genhærdning er udført på prøveemner som først har hærdet i 90 dag, efterfølgende er udsat for 10 frost/tø påvirkninger efter fulgt af 28 dages genhærdning ved 20°C.

Da det blev valgt at udføre genhærdningsforsøg på BU, var der ikke viden om, at BU formentligt i løbet af den første hærdningsperiode på 90 dage havde opnået et pH-niveau, som gjorde at langtidsreaktionen ikke længere kunne finde sted.

Trykstyrkerne for genhærdningsforsøgene er vist i figur 3.10.



Figur 3.10: Uniaxial trykstyrke efter 90 dages hærdning, 90 dages hærdning efterfulgt af 10 frost/tø påvirkninger samt 90 dages hærdning efterfulgt af 10 frost/tø påvirkninger og genhærdning i 28 dage.

Af figur 3.10 ses det, at både BU og HE mister styrke under frost/tø påvirkning, som beskrevet i afsnit 3.7. Ved genhærdningen falder BU's trykstyrke yderligere, hvilket bekræfter manglen af høj pH. For HE ses det, at der sker en mindre genhærdning, hvilket må betyde pH-værdien forsat er så høj, at der stadig kan ske en udvikling af pozzolane geler.

Hvis formel (5) og (6) anvendes til bestemmelse af det dynamiske E-modul, så har HE et E-modul på 77 MPa efter 28 dages genhærdning.

Vurdering

Forsøget er reelt ikke en genhærdning men en forsat hærdning. Men forsøget viser, at hvis pH-værdien forsat er høj, vil udviklingen af pozzolane geler forsætte efter frost/tø.

En genhærdning vil være en genaktivering af de pozzolane geler der allerede er dannet. Dette sker, hvis den stabiliseret jord komprimeres, mens jorden er fugtig.

3.10 Lineær svind

Der er kun udført lineært svind for den ustabiliserede og stabiliserede jord på BU, HE og RI, hvorfor det kun er resultater for disse som behandles.

Resultater fra forsøg med lineær svind (se tabel 3.10) viser, at det lineære svind er mindre for den kalkstabiliseret jord i forhold til den ustabiliserede jord, hvilket stemmer overens med resultaterne fra [*25*].

Tabel 3.10:Lineær svind for BU, HE og RI ustabiliseret samt stabiliseret med 1% brændt kalk.

Parameter	BU	HO	RI
Lineær svind, ustab [%]	8,6	8,6	5,7
Lineær svind, 1% kalk [%]	7,6	7,1	5,0

3.11 Delkonklusion

Der er udført forsøg på syv moræneler, som går fra NP til fedt ler.

Det naturlige vandindhold ligger mellem 9% og 30%.

Lerindholdet ligger mellem 12% og 38% og I_P ligger mellem 2% (NP) og 31 %. I_P falder ikke for alle prøverne ved stabilisering, hvilket indikerer, at 1% brændt kalk er for lidt i forhold til at opnå en tilstrækkelig stabilisering.

For alle prøverne, undtagen BU, kommer pH-værdien op på 12,3 eller mere ved stabilisering med 1% brændt kalk. Ved tilsætning af mere end 1% brændt kalk ses det, at pH-værdien stiger. For at sikre der sker en stabilisering bør pH-værdien være ≥ 12,4 en time efter blanding.

Der bør anvendes min. 2% brændt kalk ved stabilisering, hvis langtidsreaktionen ønskes.

For alle de ustabiliserede prøveemner var den kapillær stighøjde lig med prøveemnets højde.

For to af tre prøveemner på BU var den kapillær stighøjde lig med prøveemnets højde, hvilket indikerer, at et ler med I_P på 33% skal stabiliseres med mere end 1% brændt kalk, for at sikre, at porerummene udfyldes af pozzolane geler.

Prøverne HI, HO og RI alle med I_P på 15 eller mindre har en kapillær stighøjde på mellem 30 og 50 mm.

Ved udtørring af den stabiliserede ler vil der ikke udvikles pozzolane geler til at bryde den kapillær stighøjde, men i denne situation vil der heller ikke være vand til dannelse af islinser.

Det anbefales, at der som minimum anvendes 2% brændt kalk, hvis kalkstabiliseret jord skal anvendes som erstatning for traditionelt bundsikringsmateriale.

Permeabilitetsforsøg viser, at den nystabiliserede lerjord har cirka samme permeabilitet, som ustabiliseret jord. Efter hærdning vil de pozzolane geler lukke porerummen i den stabiliserede jord, hvorved permeabiliteten falder.

Proctor og CBR-forsøg viser, at det er vigtigt, at kalkstabiliseret ler indbygges ved et vandindhold over det optimale, da de pozzolane geler ellers ikke kan dannes på grund af mangel på vand til reaktionen.

Uniaxiale trykforsøg har vist, at der sker en forøgelse af trykstyrken som funktion af hærdningsperiodens længde. Forsøgene viser ligeledes, at der sker en svækkelse af trykstyrken, hvis den kalkstabiliserede ler, mens den stadig er fugtig, udsættes for frost/tø.

Ved udtørring af kalkstabiliserede prøver sker der en forøgelse af trykstyrken.

Ved stabilisering med 1% brændt kalk er trykstyrken fundet til omkring 0,5 MPa efter 90 døgns hærdning.

Lave trykstyrker samt svækkelsen ved frost/tø påvirkning indikerer, at der bør stabiliseres med 2% brændt kalk.

Dynamiske E-modul estimeret ud fra CBR-værdier og trykstyrker udført på ler stabiliseret med 1% brændt kalk ligger generelt mellem 100 og 300 MPa.

Bundsikring af sand og grus har et dynamisk E-modul på mellem 100 og 150 MPa.

Er pH-værdien forsat høj, vil dannelse af pozzolane geler forsætte efter frost/tø påvirkning.

De udførte forsøg viser, at kalkstabiliseret jord, kan anvendes som bundsikring, hvis der stabiliseres med min. 2% brændt kalk og pH-værdien samtidig kommer op på 12,4 eller mere.

4.0 Kalkstabiliseret jord som bundsikring – udfordringer og løsninger

Dette afsnit behandler de udfordringer der kan være ved brug af kalkstabiliseret jord som bundsikring. Afsnittet vil yderligere komme med forslag til hvordan udfordringerne løses.

De udfordringer der vurderes at være ved anvendelse af kalkstabiliseret jord som bundsikring er:

- Udtørring, så kapillarbrydende egenskaber forsvinder og manglende permeabilitet
- Bæreevne
- Indbygning og kontrol af stabiliseret jord fra værk
- Bestemmelse af pH i marken.

4.1 Udtørring og permeabilitet

Bundsikringslagets primære funktioner er at bryde underbundens kapillaritet, det vil sige at hindre vand nede fra i at trænger op i vejkassen, så der ikke dannes islinser og samtidig sikre, at vand oppe fra kan komme væk – være permeabel.

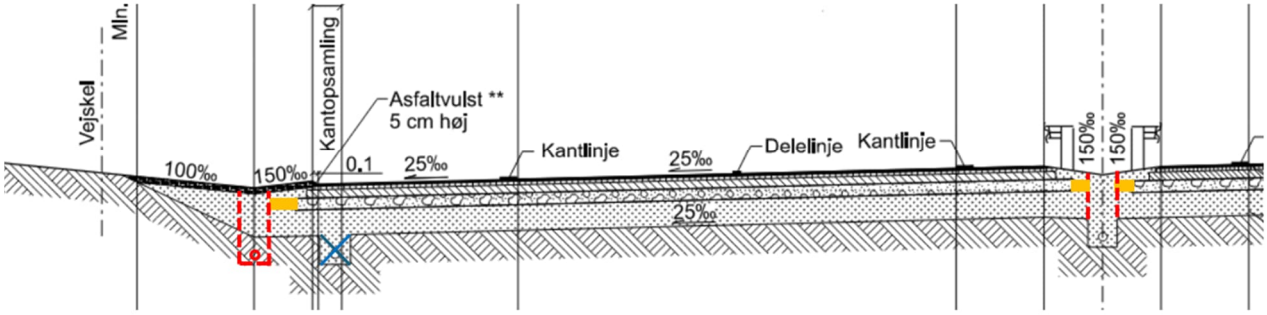
En anden funktion er, at bundsikringslaget skal kunne bære belastningen fra trafikken, som er væsentligt reduceret på grund af trykspredning ned gennem lagene af asfalt og stabilt grus.

Forsøgene viser, at den kalkstabiliseret ler vil have en kapillær stighøjde omkring 100 mm eller mindre, hvis pH-værdien er høj nok til, at der dannes pozzolane geler. De pozzolane geler vil tillukke porerummene i den kalkstabiliserede jord og derved bryde kapillariteten.

De pozzolane geler er aktive så længe, at pH-værdien er høj og den kalkstabiliserede lerjord er fugtig.

Sker der en udtørring af den kalkstabiliseret ler, vil de kapillarbrydende egenskaber forsvinde. Dette betyder samtidigt, at vand/fugt fra underbunden forsvinder, hvorved der ikke længere er behov for de kapillarbrydende egenskaber. Der vil ligeledes ikke kunne udvikles islinser.

Når den kalkstabiliseret jord's porerum er lukket med pozzolane geler, så vil permeabiliteten være tæt på nul. Dette betyder, at regnvand under anlæg eller som efterfølgende trænger ned ikke ville kunne dræne bort. Dette kan løses ved, at filtergruset omkring drænene føres op gennem den kalkstabiliseret jord til underside af stabilt gruslaget og at der skabes kontakt mellem stabilt gruslaget og filtergruset, som vist i figur 4.1.



Figur 4.1: Forslag til hvordan filtergrus føres op gennem bundsikringslaget af kalkstabiliseret ler og hvordan stabilt gruslaget forbindes til filtergruset. Original fra Vejdirektoratets standardtværsnit.

4.2 Bæreevne

Ved dimensionering af befæstelse sættes E-modulet for bundsikring normalt til 100 MPa. Forsøgene i denne rapport viser, at der opnås et E-modul omkring 100 MPa eller mere ved stabilisering med 1% brændt kalk.

For at sikre at der opnås en høj nok pH også i fedt ler, anbefales det, at der ikke stabiliseres med mindre end 2% brændt kalk. Ved stabilisering med 2% brændt kalk vil CBR-værdier og trykstyrker forøges, hvorved E-modulet også øges. En senere udtørring af den kalkstabiliseret ler vil medføre en yderligere forøgelse af CBR, trykstyrke og E-modul.

4.3 Indbygning og kontrol af kalkstabiliseret jord fra værk

Hvis den kalkstabiliseret jord stabiliseres på et værk vil det normalt ikke være muligt at nå at indbygge den kalkstabiliseret jord, mens det stadig er muligt at nå og måle mætningsgrader, hvorfor komprimeringskontrol ikke kan udføres, som ved udførelse af jordstabilisering in situ.

Komprimeringskontrol på kalkstabiliseret jord fra værk kan udføres som for jordarbejder. Dog skal den kalkstabiliserede jord ligge i en afrettet mile i min. 7 dage før den anvendes, så det sikres, at korttidsreaktionen er overstået og det er muligt at bruge proctor som referenceforsøg.

For at sikre der er vand til at de pozzolane geler binder sammen samt dannelsen af nye, så skal vandindholdet ved indbygning være større end det optimale vandindhold for den kalkstabiliserede jord.

Dette betyder, at der udføres proctorindstampning i henhold til DS/EN 13286-2 og at Tørdensitet i marken bestemmes ved isotopmetoden i henhold til prVI 99-10.

Komprimeringskravene er som i AAB – Jordarbejder [*34*], hvor 5 tilfældigt udtagne prøver, overholder følgende:

- Lodafstand til færdig overflade ≤ 2 m
  - gennemsnit ≥ 96,0%
  - mindsteværdi ≥ 93,0%

- Lodafstand til færdig overflade > 2 m
  - mindsteværdi ≥ 92,0%
  - mindsteværdi ≥ 89,0%

4.4 Bestemmelse af pH i marken

Ved anvendelse af kalkstabiliseret jord som bundsikring vil der blive behov af at kontrollere pH-værdien af den kalkstabiliserede jord i marken. For at dette tjek skal kunne foregå løbende og uden at arbejdet går i stå, så foreslås det, at pH i marken måles med lakmuspapir med en skala op til en pH på 14.

5.0 Konklusion

Ved blandingen af våd lerjord og brændt kalk sker der en korttidsreaktion og en langtidsreaktion.

Korttidsreaktionen er at våd klistrede lerjord bliver indbygningsegnet, mens der ved langtidsreaktionen dannes pozzolane geler, som medfører at styrken og bæreevnen øges, samtidig med at den kalkstabiliseret ler bliver kapillarbrydende og impermeabelt, så længe den kalkstabiliserede jord er våd.

Pozzolane geler dannes i den kalkstabiliseret jord, når mængden af brændt kalk sikrer at pH-værdien kommer op på 12,4. og forbliver højere end 10,5 - 11,0.

Litteratur og forsøg viser, at ler med høj I_P kræver en større mængde kalk end ler med lille I_P for at opnå pH på 12,4. Det vurderes, at 2% brændt kalk generelt vil være den rigtige mængde til at langtidsreaktionen finder sted.

For at sikre at den kalkstabiliserede lerjord bliver tæt, kapillarbrydende, impermeabel, samt opnår en forøget styrke og bæreevne, skal det sikres, at den kalkstabiliserede jord indbygges ved et vandindhold over det optimale.

Kalkstabiliseret lerjord, som indbygges med et vandindhold under det optimale vandindhold, har en større permeabilitet og kapillær stighøjde end kalkstabiliseret lerjord der indbygges med et vandindhold over det optimale.

Forsøgene viser, at det er muligt at kalkstabilisere med meget lille I_P (NP - I_P = 2).

Ved udtørring af den stabiliseret ler vil der ikke udvikles pozzolane geler og allerede dannede pozzolane geler vil tørre ud, så den kalkstabiliseret jord ikke længere er kapillarbrydende eller impermeabel. Dette har dog ikke nogen betydning, idet en udtørring vi betyde, at der ikke er vand i laget.

Ved udtørring vil den kalkstabiliseret jord få en øget trykstyrke og bæreevne.

Ved stabilisering med 1% brændt kalk er det dynamiske E-modul estimeret til at ligge mellem 100 MPa og 300 MPa. Det anbefales dog stadig, at der ikke stabiliseres med mindre end 2% brændt kalk.

Bundsikring af sand og grus har et dynamisk E-modul på mellem 100 og 150 MPa.

Ved udførelse anbefales det, at filtergruset omkring drænene føres op gennem bundsikringslaget af kalkstabiliseret jord, så nedsivende vand kan bortledes.

Blandes den kalkstabiliseret jord på værk, anbefales det, at den stabiliseret jord oplagres i afrettet mile i min. 7 dag før den anvendes. Ved indbygning kontrolleres komprimeringen i henhold til AAB - Jordarbejder samtidig med at det sikres at vandindholdet under indbygning er over det optimale.

Måling af pH i marken anbefales udført med lakmuspapir, så arbejder ikke går i stå.

6.0 Litteratur

[1] Ali, H. og Mohamed, M. ”The effects of lime content and environmentat temperature on the mechanical and hydraulic properties of extremely high plastic clays” Elsevier, Volume161, september 2018.

[2] Ali, H. og Mohamed, M. ”Assessment of lime treatment of expansive clays with different mineralogy at low and high temperatures”. Constructon and Building Materials vol. 228, december 2019.

[3] Al-Mukhtar, M., Khattab, S. og Alcover, J. ”Behaviour and mineralogy change in lime-treated expansive soil at 20◦C”. Applied Clay Science vol. 50 oktober 2010.

[4] Al-Mukhtar, M., Khattab, S. og Alcover, J. ”Microstructure and geotechnical properties of lime-treated expansive clayey soil”. Engineering Geology vol 139-140 juni 2012.

[5] Bell, F. G. ”Lime stabilization of clay minerals and soils”. Engineering Geology vol 42, juli 1996.

[6] Boelt, L. og Busch, C. ”Vejbefæstelsers dimensionering”. AAU 2016.

[7] Bozbey, I., Kelesoglu, M. K, Oztoprak, S., Komut, M., Comez, S., Ozturk, T., Aykan,M. og Ocal, K.

[8] Bozbey, I. og Kelesoglu, M. K. ”Effects of soil pulverization level on resilient modulus and freeze and thaw resistance of a lime stabilized clay”. Cold Regions Science and Technology vol 151, juli 2018.

[9] Cuisinier, O. og Le Borgne, T. ”Relationship between microstructure and Hydraulic conducitivity in compacted lime-treated soils”. Advances in Transportation Geotechnics, 2008.

[10] Diamond, S., White, J. L. og Dolch, W. L. ”Transformation of Clay Minerals by Calcium Hydroxide Attack”. Clay and Clay Minerals, 1963.

[11] Eades, J. L. og Grim, R. E. ”Reaction ofHydrated Lime with Pure Clay Minerals in Soil Stabilization” s. 51 – 63, HRB Bull, 1960.

[12] Eades, J. L. og Grim, R. E. ”A Quick test to Determine Lime Requirements For Lime Stabilization”. s. 61 – 72, Highway Research Record 139, 1966.

[13] El-Rawi N. M og Awad, A. A. ”Permeability of lime stabilized soils.” Journal of Transportation Engineering vol. 107, 1981.

[14] Greaves, H. M., Rogers, C. D. F., Glendinning, S. og Dixon, N. ”Lime stabilisation”, Thomas Telford. 1996

[15] Hass, s. og Ritter, H. ”Soil improvement with quicklime – long-time behaviour and Carbonation”. Road Materials ens Pavement Design, 2019.

[16] Hansen, B. ”Geoteknik og Fundering Del 1”. Danmarks Tekniske Højskole 1978.

[17] Hejlesen C. ”Jordtryk på Vægge – variation med tiden”. DTU december 2005.

[18] Herrier, G. ”Hydraulic conductvity of lime-treated solis for infrastructures: State of the art and recent progress”. Lhoist Recherche et Developpement S.A. februar 2018.

[19] Herrier, G. ”Durability of lime-treated soils for infrastructures and Testimonials pf use for railways constuction”. Lhoist Recherche et Developpement S.A. juli 2018.

[20] Hovh, S., Paniagua, P., Sætre, C., Rueslåtten, H., Størdal, I., Mengede, M. og Mevik, C. ”Lime-cement stabilisation of Trondheim clays and its impact on carbon dioxide emissions”. Soils and Foundations vol. 62, juni 2022.

[21] Little, D. N. ”Evaluation of Structural Properties of Lime Stabilized soils and Aggregates”. The National Lime Association, marts 2000.

[22] Locat, J., Trembley, H. og Leroueil, S. ”Mechanical and Hydraulic Behaviour of a Soft Inorganic Clay treated with Lime”. Canadian Geotechnical journal 33, 1996.

[23] Overgaard, T. ”Brændt kalkprodukt med lav støv-emmission” Dansk Vejtidsskrift, februar 2007.

[24] Ovesen, N. K., Fuglsang, L. Bagge, G og Krogsbøll, A. ”Lærebog i Geoteknik” 1. udgave. Polyteknisk Forlag 2007.

[25] Shirmohammadi, S., Jahromi, S. G., Payan, M. og Senetakis, K. ”Effect of Lime Stabilization and Partial Clinoptilolite Zeolite Replacement on the Behavior of a Silt-Sized Low-Plasticity Soil Subjected to Freezing–Thawing Cycles”. Coatings vol. 11, 2021.

[26] Stockmarr, P. ”Plasticitet og svind i kalkstabiliseret jord.” Præsentation ved DGF februar 2023.

[27] Tagesen, B. ”Veje og Stier”. Polyteknisk Forlag 2006

[28] Tagesen, B. ”jordforbedring med kalk ´- SV laboratorierapport 4”. Statens Vejlaboratorie 1971.

[*29*] Theill, E. V. ”Morænelersfyld Sætninger og styrker Laboratorierapport 3”. Statens Vejlaboratorium 1971.

[30] Thorsen, T. Mortensen, N. Brødbæk, K. T. og Hejlesen, C. “Vurdering af styrkeegenskaber af kalkstabiliseret fyld af K1-moræneler for Civil Works pakken på Lolland. Revision 0”. December 2021.

[*31*] Wang, S., Li, X. og Yin, S. ”Laboratory assessment of capillary rising in cement- and lime-treated engineered loess”. Canadian Journal of Civil Engineering vil. 49, oktober 2022.

[*32*] Yıldız, M. og Soğancı, A. S. ”Effect of freezing and thawing on strength and permeability of lime-stabilized clays”. Scientia Iranica vol. 19, august 2012.

[*33*] Önal, O. ”Lime Stabilization of Soils Underlying a Salt Evaporation Pond: A Laboratory Study”. Marine Georesources & Geotechnology, vil. 33, 2015.

[*34*] ”AAB - Jordarbejder”. Vejregler, februar 2018.

[*35*] ”AAB – Kalkstabilisering”. Vejregler, juli 2010.

[*36*] ”Soil treatment with lime: Information about OMC (Optimum Moisture Content) and LFP (Lime Fixation point) of soils”. Lhoist Recherche et Developpement S.A. februar 2018.

[*37*] ”Håndbog Dimensionering – Befæstelser og Forstærkningsbelægninger”. Vejregler januar 2022.

A1.1 Naturligt vandindhold

Natural Water Content

Soil type	Tare No	Mass [g]					Content [%]		Notes
		Tare	Tare + Wet soil	Tare + Dry soil	Dry soil	Moisure loss	Water Content	Water Content	
HER	A	39,217	64,048	58,703	19,486	5,345	**27,43**	**27,19**	bag well-closed
	B	41,926	64,508	59,791	17,865	4,717	**26,40**		
	C	39,112	66,969	60,921	21,809	6,048	**27,73**		
HI	A	41,201	70,144	67,135	25,934	3,009	**11,60**	**11,39**	small hole in the bag
	B	42,057	77,052	73,509	31,452	3,543	**11,26**		
	C	41,851	69,864	67,021	25,17	2,843	**11,30**		
HOR	A17	41,744	73,699	69,631	27,887	4,068	**14,59**	**14,81**	small hole in the bag
	A29	41,915	80,692	75,743	33,828	4,949	**14,63**		
	A32	43,406	74,822	70,673	27,267	4,149	**15,22**		
RI	A	39,871	64,188	60,869	20,998	3,319	15,81	**16,76**	not very well closed
	B	46,646	78,828	74,710	28,064	4,118	14,67		
	C	40,171	76,141	70,194	30,023	5,947	19,81		

A1.2 Plasticitet ustabiliseret ler, kalkstabiliseret ler og lineær svind

HE

Liquid Limit	HER											
Penetrations for different WC	1			2			3			4		
Penetrations for same WC	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Penetration value [mm]	7	7	7	9	9	8,5	11	11	10,5	13,5	14	13,5
Average penetration value	7,7			9,8			12,5			14,2		
Tare No	A		B	A		B	A		B	A		B
Tare	43,408		41,652	39,218		42,073	39,659		39,846	41,82		41,712
Wet soil + tare	65,31		64,993	65,404		65,584	61,044		66,074	68,282		66,597
Dry soil + tare	58,826		58,123	57,371		58,361	54,096		57,524	59,378		58,215
Dry soil	15,418		16,271	18,153		16,288	14,397		17,678	17,558		16,503
Moisture loss [g]	6,484		6,870	8,033		7,223	6,948		8,55	8,904		8,382
Water content [%]	42,055		42,222	44,252		44,346	48,260		48,365	50,712		50,791
Average water content [%]	**42,139**			**44,299**			**48,313**			**50,751**		

Plastic Limit	A	B
Tare [g]	41,703	41,759
Tare + Wet soil [g]	50,305	49,336
Tare + Dry soil [g]	48,884	48
Dry soil [g]	7,181	6,241
Water loss [g]	1,425	1,336
Water content [%]	19,84	21,41
Plastic Limit [%]	**20,63**	

Liquid Limit [%]	Plastic Limit [%]	Plasticity Index [%]
44,55	**20,63**	**23,92**

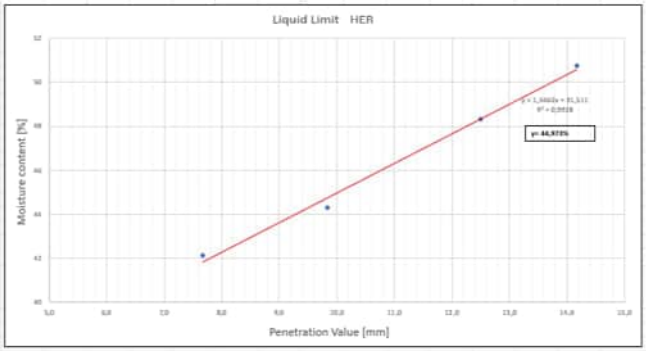
nA	9,8
nB	12,5
wA	44,30
wB	48,31
nk	10

Liquid Limit	44,55	[%]

w_k = 44,973 %

Plastic Limit - Lime	A	B
Tare [g]	39,739	41,901
Tare + Wet soil [g]	52,611	50,86
Tare + Dry soil [g]	49,579	48,79
Dry soil [g]	9,84	6,889
Water loss [g]	3,032	2,07
Water content [%]	30,81	30,05
Plastic Limit [%]	**30,43**	

Linear Shrinkage - Lime			
Mould No	Original Length L_s [mm]	Dry Length L_d [mm]	**Linear Shrinkage L_S [%]**
3	140,017	129,4	**7,6**
4	139,953	127,83	**8,7**
		Mean	**8,1**



HI

Liquid Limit	HI											
Penetrations for different WC	1			2			3			4		
Penetrations for same WC	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Penetration value [mm]	7	7	7,5	9,5	9,5	10	11	10,5	11	13	12,5	12,5
Average penetration value	7,2			9,7			10,8			12,7		
Tare No	A	B		A	B		A	B		A	B	
Tare	41,017	39,708		41,746	39,113		46,65	40,176		41,203	42,058	
Wet soil + tare	66,422	63,468		66,017	63,308		68,723	64,294		73,815	68,229	
Dry soil + tare	62,578	59,887		62,16	59,478		65,097	60,303		68,287	63,781	
Dry soil	21,562	20,179		20,404	20,365		18,447	20,127		27,084	21,723	
Water loss [g]	3,843	3,581		3,867	3,83		3,626	3,391		5,528	4,448	
Water content [%]	17,823	17,746		18,952	18,807		19,656	19,829		20,411	20,476	
Average water content [%]	17,785			18,879			19,743			20,443		

Plastic Limit	A	B
Tare [g]	-	-
Tare + Wet soil [g]	-	-
Tare + Dry soil [g]	-	-
Dry soil [g]	-	-
Water loss [g]	-	-
Water content [%]	-	-
Plastic Limit [%]	#DIVISION/0!	

Non-plastic soil

Liquid Limit [%]	Plastic Limit [%]	Plasticity Index [%]
19,13	**********	**********

nA	9,7
nB	10,8
yA	18,88
yB	19,74
nk	10

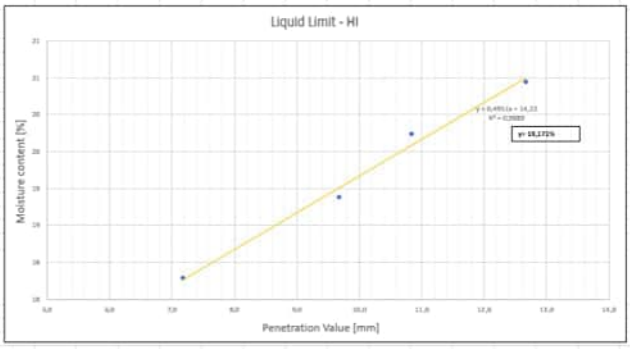
Liquid Limit:	19,13	[%]

y= 19,171 %

Plastic Limit - Lime	A	B
Tare [g]	-	-
Tare + Wet soil [g]	-	-
Tare + Dry soil [g]	-	-
Dry soil [g]	-	-
Water loss [g]	-	-
Water content [%]	-	-
Plastic Limit [%]	#DIVISION/0!	

Non-plastic soil

Linear Shrinkage - Lime			
Mould No	**Original Length L_0 [mm]**	Dry Length L_D [mm]	**Linear Shrinkage L_S [%]**
3	140,017	137,057	2,1
5	139,976	137,137	2,0
		Mean	2,1



HO

Liquid Limit	HOR											
Penetrations for different WC	1			2			3			4		
Penetrations for same WC	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Penetration value [mm]	7	7	7	9	9	8,5	11	11	10,5	13,5	14	13,5
Average penetration value	7,0			8,8			10,8			13,7		
Tare No	A	B		A	B		A	B		A	B	
Tare	42,057	41,852		39,705	40,172		41,016	41,917		42,073	39,114	
Wet soil + tare	63,553	64,607		60,277	62,612		62,17	64,668		65,649	61,721	
Dry soil + tare	59,600	60,417		56,232	58,191		57,768	59,914		60,549	56,828	
Dry soil	17,543	18,565		16,527	18,019		16,752	17,997		18,476	17,714	
Moisture loss [g]	3,953	4,190		4,045	4,421		4,402	4,754		5,100	4,893	
Water content [%]	22,567	22,569		24,475	24,535		26,277	26,416		27,603	27,622	
Average water content [%]	22,568			24,505			26,346			27,613		

Plastic Limit	A	B
Tare [g]	41,928	41,203
Tare + Wet soil [g]	51,286	50,292
Tare + Dry soil [g]	50,075	49,139
Dry soil [g]	8,147	7,936
Water loss [g]	1,211	1,153
Water content [%]	14,86	14,53
Plastic Limit [%]	14,70	

Liquid Limit [%]	Plastic Limit [%]	Plasticity Index [%]
25,58	14,70	10,88

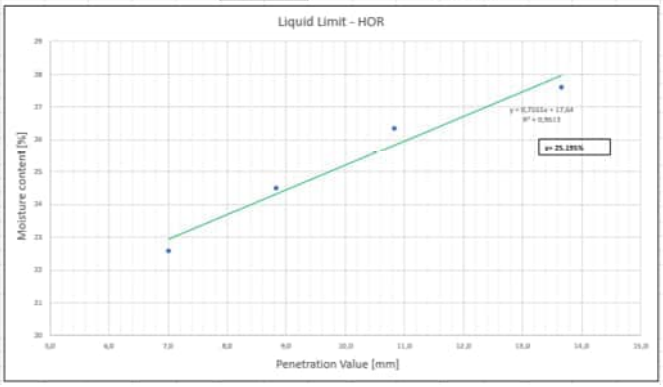
nA	8,8
nB	10,8
yA	24,51
yB	26,35
nk	10

Liquid Limit:	25,58	[%]

y= 25,195 %

Plastic Limit - Lime	A	B
Tare [g]	39,947	39,809
Tare + Wet soil [g]	49,568	51,91
Tare + Dry soil [g]	47,767	49,66
Dry soil [g]	7,82	9,851
Water loss [g]	1,801	2,25
Water content [%]	23,03	22,84
Plastic Limit [%]	22,94	

Linear Shrinkage - Lime			
Mould No	Original Length L_0 [mm]	Dry Length L_D [mm]	**Linear Shrinkage L_S [%]**
1	139,927	128,13	8,43
2	139,900	127,5	8,86
		Mean:	8,65



RI

Liquid Limit	RI											
Penetrations for different WC	1			2			3			4		
Penetrations for same WC	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Penetration value [mm]	7	7	7	9	9	8,5	11	11	10,5	13,5	14	13,5
Average penetration value	8,6			9,0			11,4			13,2		
Tare No	A		B	A		B	A		B	A		B
Tare	39,698		39,846	43,407		39,867	41,46		43,987	39,872		39,805
Wet soil + tare	60,345		61,191	63,186		62,359	66,185		65,885	63,356		61,533
Dry soil + tare	56,304		57,017	59,175		57,822	60,969		61,256	57,437		57,565
Dry soil	16,606		17,171	15,768		17,955	13,509		17,269	17,565		17,76
Moisture loss [g]	4,041		4,174	4,011		4,537	5,216		4,629	5,919		3,968
Water content [%]	24,335		24,308	25,438		25,269	26,736		26,805	33,698		22,342
Average water content [%]	24,322			25,353			26,771			28,020		

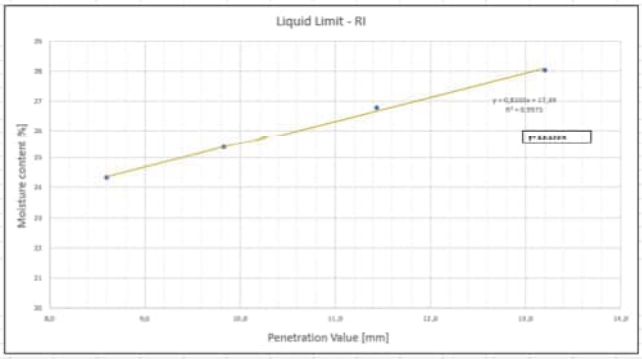
Plastic Limit	A	B
Tare [g]	39,217	45,744
Tare + Wet soil [g]	48,121	57,374
Tare + Dry soil [g]	47,076	56,046
Dry soil [g]	7,859	10,302
Water loss [g]	1,045	1,328
Water content [%]	13,30	12,89
Plastic Limit [%]	13,09	

Liquid Limit [%]	Plastic Limit [%]	Plasticity Index [%]
25,50	13,09	12,41

xA	9,8
xB	11,4
yA	25,35
yB	26,77
ak	10

Liquid Limit	25,50	[%]

y= 25,195 %



Plastic Limit - Lime	A	B
Tare [g]	39,991	40,202
Tare + Wet soil [g]	54,71	53,030
Tare + Dry soil [g]	52,166	51,246
Dry soil [g]	12,175	11,044
Water loss [g]	2,544	2,45
Water content [%]	20,90	22,18
Plastic Limit [%]	21,54	

Linear Shrinkage - Lime			
Mould No	Original Length L_0 [mm]	Dry Length L_D [mm]	**Linear Shrinkage L_S [%]**
5	139,376	133,81	**4,41**
6	139,933	133,54	**4,57**
		Mean	4,49

A1.4 pH

Temperature:	25°C
Initial Soil mass:	25g
Water volume:	100 ml

	Lime percentage	Soil + Lime pH
HE	1%	**12,35**
	1,5%	**12,63**
	Lime percentage	Soil + Lime pH
HI	1%	**12,72**
	1,5%	**12,77**
	Lime percentage	Soil + Lime pH
HO	1%	**12,64**
	1,5%	**12,73**
	Lime percentage	Soil + Lime pH
RI	1%	**12,65**
	1,5%	**12,75**

A1.5 Pulveriseringsgrad

HER	Tare [g]	Mass before [g]	Tare after [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	Degree of pulverization, p [%]
Sieve	996,77	1650	1120	653,23	123,23	78%
Collector	1978,08	4225	4780	2246,92	2801,92	
HI	Tare [g]	Mass before [g]	Tare after [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	Degree of pulverization, p [%]
Sieve	997,77	1230	1065	232,23	67,23	93%
Collector	1987,86	4515	4680	2527,14	2692,14	
HOR	Tare [g]	Mass before [g]	Tare after [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	Degree of pulverization, p [%]
Sieve	997,77	1640	1195	642,23	197,23	81%
Collector	1987,86	4060	4540	2072,14	2552,14	
RI	Tare [g]	Mass before [g]	Tare after [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	Degree of pulverization, p [%]
Sieve	996,77	1705	1160	708,23	163,23	77%
Collector	1978,08	4035	4585	2056,92	2606,92	

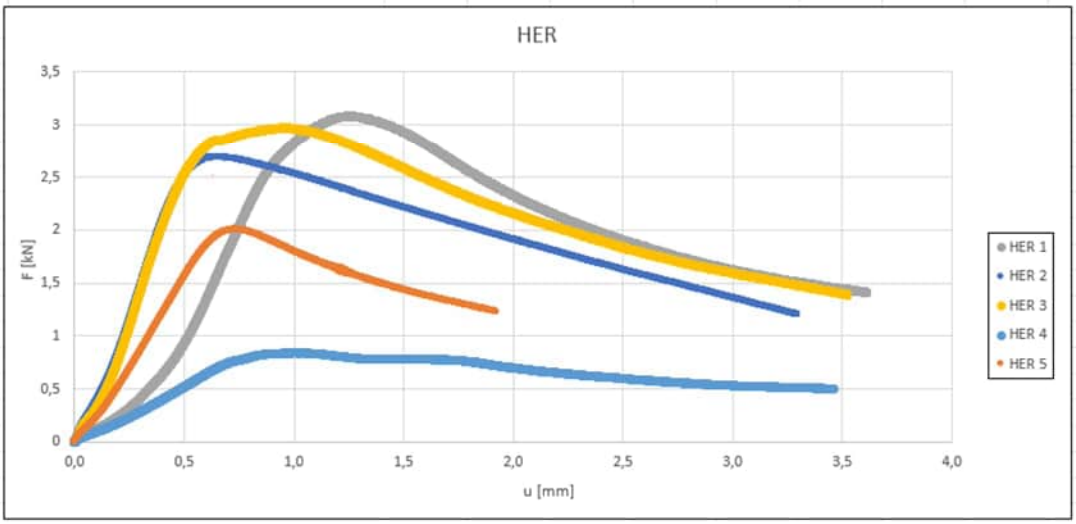
A1.6 Kapillær stighøjde ustabiliseret og kalkstabiliseret ler

	Capillarity heigh					
	0 % Lime [mm]			1 % Lime [mm]		
	1	2	3	1	2	3
HE	160	160	160	130	90	-
HI	160	160	160	40	40	40
HO	160	160	160	50	50	50
RI	160	160	160	30	40	30

A1.7 Uniaxial trykstyrke 90 dages hærdning

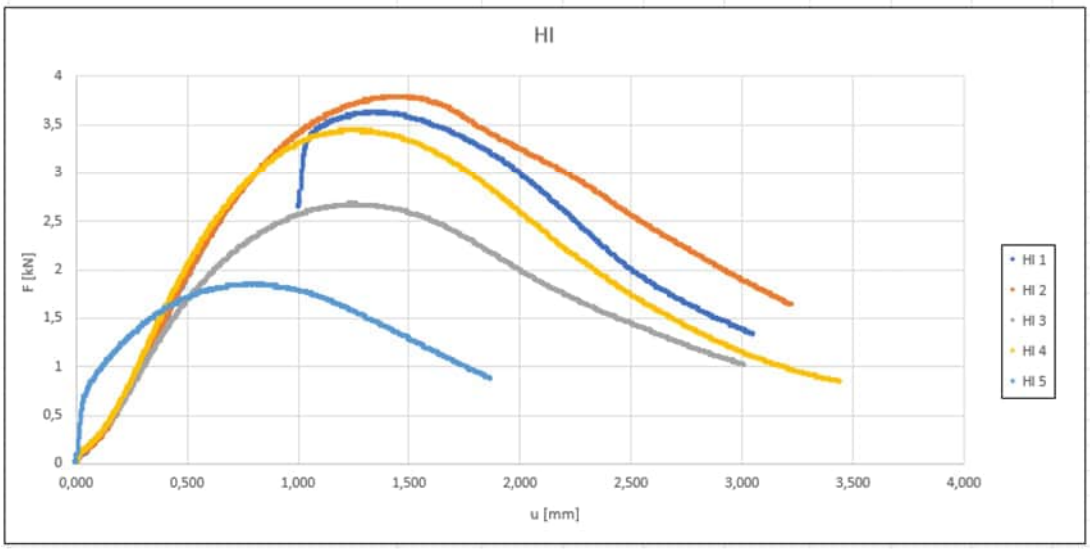
HE

HER	1	2	3	4	5
Max Force, Pmax [kN] :	3,1	2,7	3,0	0,8	2,0
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	377,3	332	363,9	102,8	243
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	188,7	166	181,9	51,4	122
Strain at failure, ε_v [-]:	0,011	0,006	0,008	0,009	0,006
Water Content [%]:	-	-	-	-	16,29
Bulk Density [g/cm^3]:	1,97	1,96	1,92	1,96	1,94



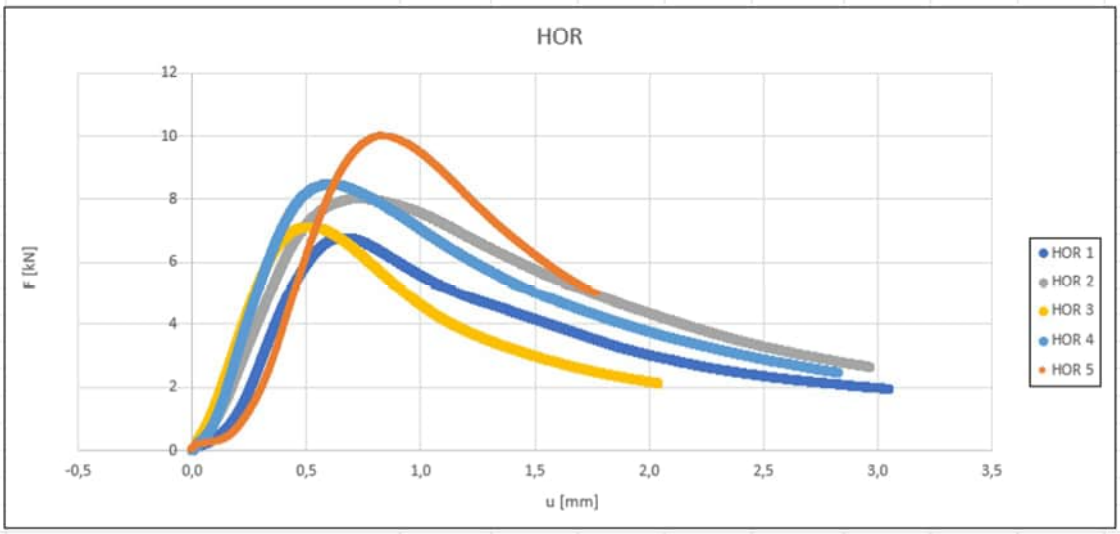
HI

HI	1	2	3	4	5
Max Force, Pmax [kN] :	3,6	3,8	2,7	3,4	1,8
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	439,8	460,4	324,4	414,3	226,4
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	219,9	230,2	162,2	207,2	113,2
Strain at failure, ε_v [-]:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Water Content [%]:	-	-	-	-	9,39
Bulk Density [g/cm^3]:	2,17	2,17	2,13	2,11	2,13



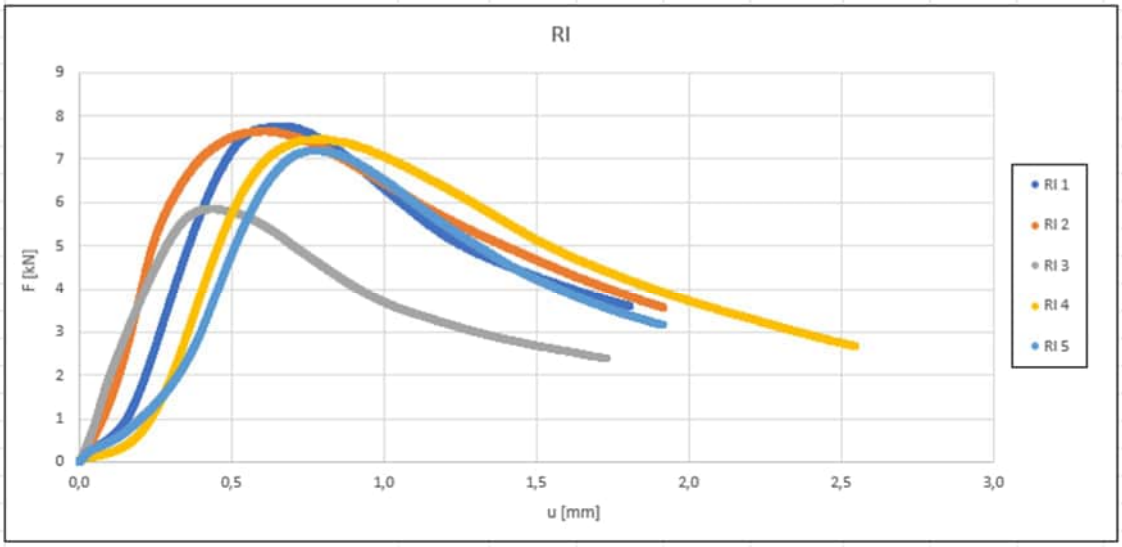
HO

	1	2	3	4	5
Max Force, Pmax [kN] :	6,8	8,0	7,1	8,5	10,0
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	834,9	988,7	881,8	1044,9	1224,1
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	417,4	494,4	440,9	522,4	612,1
Strain at failure, ε_v [-]:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Water Content [%]:	-	-	-	-	10,54
Bulk Density [g/cm^3]:	2,09	2,05	2,10	2,03	2,01



RI

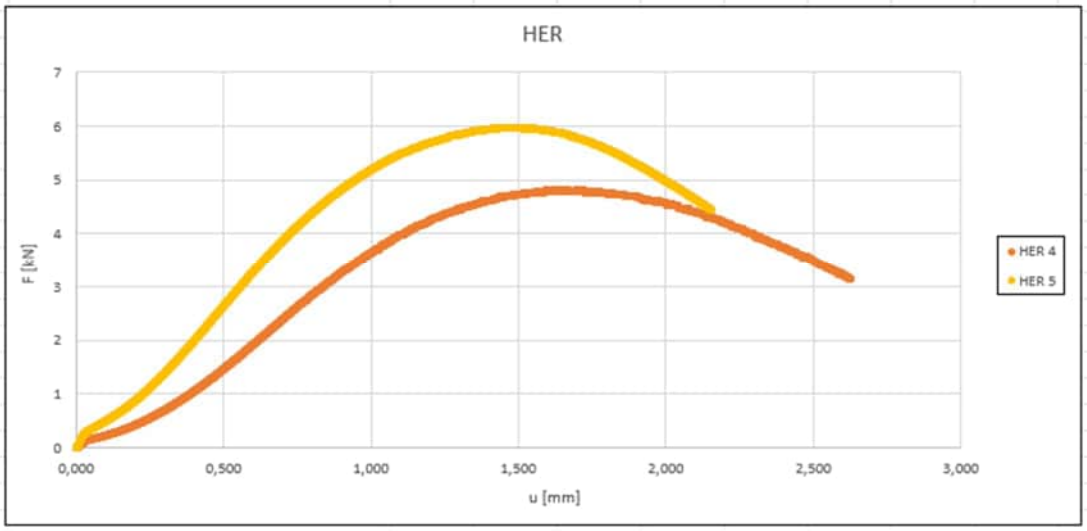
RI	1	2	3	4	5
Max Force, Pmax [kN] :	7,8	7,7	5,9	7,5	7,2
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	962,9	942,8	721,4	911,5	890,4
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	481,4	471,4	360,7	455,8	445,2
Strain at failure, ε_v [-]:	0,006	0,005	0,004	0,007	0,007
Water Content [%]:	10,84	10,66	11,07	10,51	10,85
Bulk Density [g/cm^3]:	2,05	2,02	2,06	2,00	2,01



A.9 Uniaxial trykstyrke 90 dages hærdning, 10 frost/tø påvirkninger

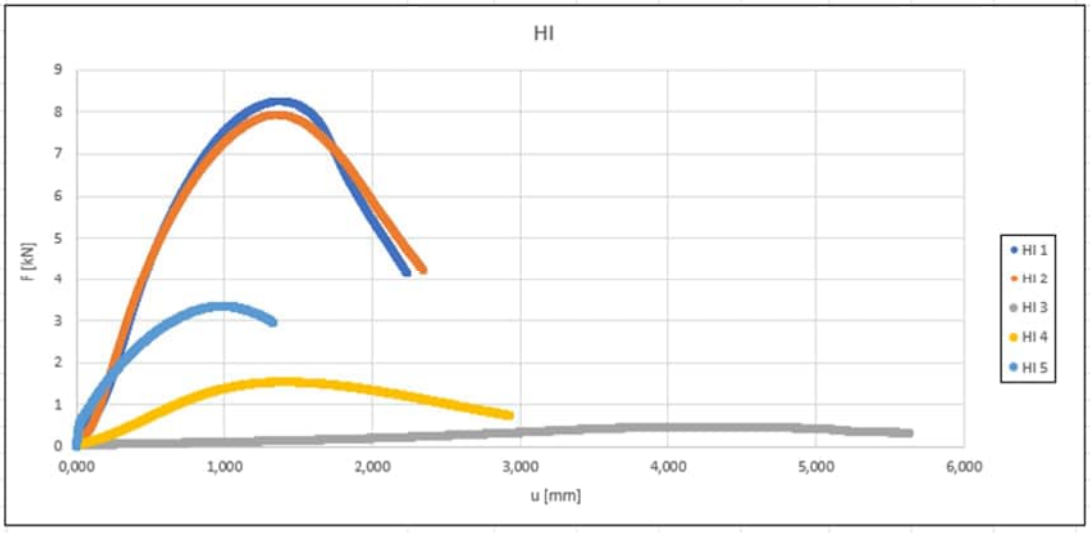
HE

HER	1	2	3	4	5
Max Force, Pmax [kN] :	1,7	1,6	1,4	4,8	6,0
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	208,6	191	169,3	585,3	726
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	104,3	95	84,7	292,7	363
Strain at failure, ε_v [-]:	0,0	0,0229	0,0	0,0	0,0125
Water Content [%]:	16,03	15,66	15,60	8,07	6,66
Bulk Density before chamber [g/cm^3]:	0,00	0,00	0,00	1,94	1,92
Bulk Density after chamber [g/cm^3]:	1,93	1,91	1,93	1,81	1,81



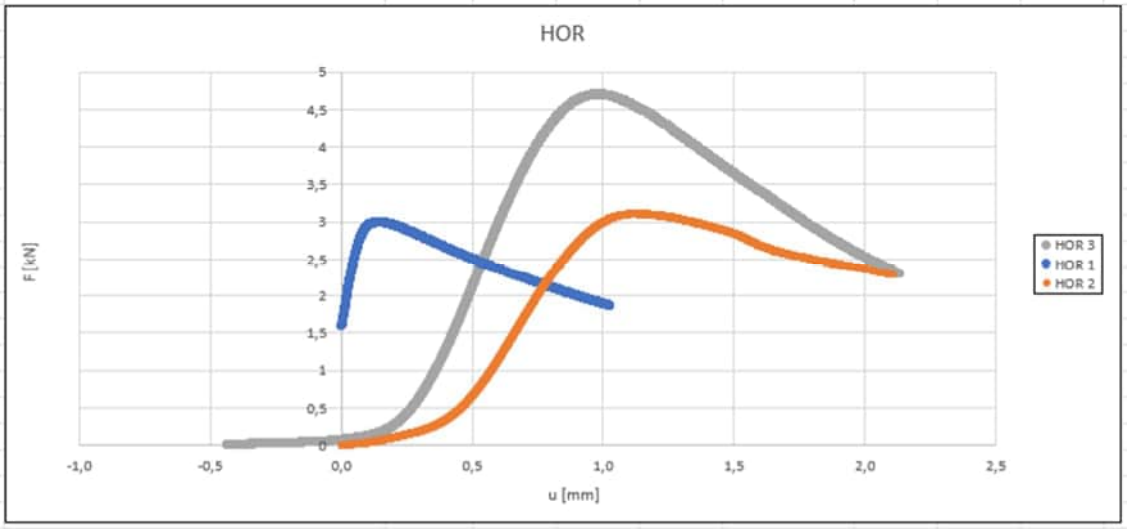
HI

HI	1	2	3	4	5
Max Force, Pmax [kN] :	8,3	7,9	0,5	1,5	3,3
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	1013,3	977,3	55,0	185,7	407,9
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	506,6	488,7	27,5	92,9	203,9
Strain at failure, ε_v [-]:	0,012	0,011	0,038	0,012	0,008
Water Content [%]:	-	-	-	-	2,92
Bulk Density before chamber [g/cm^3]:	2,12	2,11	2,12	2,10	2,13
Bulk Density after chamber [g/cm^3]:	1,99	1,98	2,07	2,08	2,00



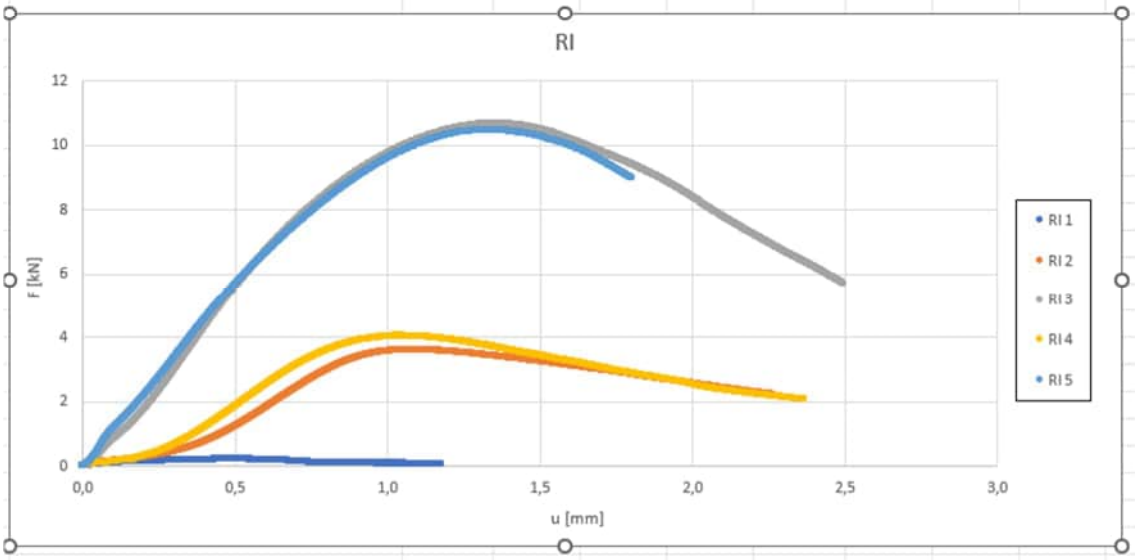
HO

	Curing 88days				Curing 90 days
	1	2	3		5
Max Force, Pmax [kN] :	3,0	3,1	4,7		10,9
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	369,9	378	574,4		1338
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	184,9	189	287,2		669
Strain at failure, ε_v [-]:	0,0	0,0135	0,0		0,0099
Water Content [%]:	12,03	11,58	9,89		5,30
Bulk Density before chamber [g/cm^3]:	########	########	########		1,99
Bulk Density after chamber [g/cm^3]:	2,06	2,04	2,03		1,91



RI

	1	2	3	4	5
Max Force, Pmax [kN] :	0,2	3,6	10,7	4,0	10,5
Unconfined Compressive Strength, qu [kPa] :	26,5	445,6	1307,5	492,1	1279,5
Undrained Shear Strength cu [kPa] :	13,2	222,8	653,7	246,1	639,7
Strain at failure, ε_v [-]:	0,004	0,009	0,012	0,009	0,012
Water Content [%]:	14,71	11,48	5,83	0,0	5,35
Bulk Density before chamber [g/cm^3]:	2,01	2,03	2,00	2,05	2,01
Bulk Density after chamber [g/cm^3]:	-	2,01	1,89	1,99	1,90



A Klassifikationsforsøg

Dette bilag indeholder resultater fra klassifikationsforsøg foretaget på ler fra tre forskellig lokaliteter, alle forsøgene er foretaget i overensstemmelse med gældende standarder. Hver enkelt ler er trippelbestemt ved de forskellige forsøg. Udover de forskellige klassifikationsforsøg er der også blevet undersøgt for pH samt pulveriseringsgraden for forskellige kalkprocenter indblandet i de forskellige lermaterialer.

A.1 Geologisk prøvebeskrivelse

Tabel A.1. Geologisk prøvebeskrivelse for HO,BU og RI

Ler	Hoved-betegnelse	Korn-størrelse	Sotering	Underordnede korn-fraktioner	Andre bi-komponenter	Farve	Kalk-indhold	Trivial-betegnelser	Dannelses-miljø	Alder
HO	Moræneler	Ret fedt siltet/sandet	Usorteret	Gruset	Planterødder	Grå/ brun	Kalkholdig (kode:2)	Lokal-moræne	Gletcher (Gl)	Glacial (Gc)
BU	Moræneler	Ret fed, siltet	Usorteret	(sv.) siltet, (sv.) gruset (enk.) gruset	Planterødder	Grå/ brun	Kalkholdig (kode:2)	Lokal-moræne	Gletcher (Gl)	Glacial (Gc)
RI	Moræneler	Stærkt siltet/ stærkt sandet	Usorteret	(st.)siltet, (sv.)gruset, (enk.) gruset	X	Brun	Stærk Kalkholdig (kode:3)	Lokal-moræne	Gletcher (Gl)	Glacial (Gc)

A.2 Naturligt vandindhold

Det naturligt vandindhold er bestemt ud fra poseprøver fra de tre forskellige lokalitationer. Standard DS/EN ISO 17892-1:2014 er benyttet.

Tabel A.2. Naturligt vandindhold for HO.

HO				
Prøve nr.	1	2	3	Gennemsnit
skål+W [g]	62,7	66,41	51,63	
skål+W_s [g]	53,38	56,52	42,01	
skål [g]	3,88	3,87	3,18	
w%	**18,83**	**18,78**	**24,77**	**20,8**

Tabel A.3. Naturligt vandindhold for BU

BU				
Prøve nr.	1	2	3	Gennemsnit
skål+W [g]	48,4	49,1	51,8	
skål+W_s [g]	38	38,8	40,6	
skål [g]	3,2	3,87	3,87	
w%	**29,86**	**29,47**	**30,70**	**30,0**

Tabel A.4. Naturligt vandindhold for RI

RI				
Prøve nr.	1	2	3	Gennemsnit
skål+W [g]	43,67	46,36	47,81	
skål+W_s [g]	38,01	39,94	41,66	
skål [g]	3,16	3,18	3,82	
w%	**16,24**	**17,46**	**16,25**	**16,65**

A.3 Kornvægtfylde

Ved klassifikationsforsøget for kornvægtfylden bestemmes lermaterialets relative densitet som er nødvendig at kende, for at kunne bestemme den enkelte lertypes kornkurve. Standard DS/EN ISO 17892-3 er benyttet.

Tabel A.5. Kornvægtfylde for HO

HO							
Prøve [nr]	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	Gennemsnit
Pyknometer	3	4	5	2	4	7	
W_1 [g]	959,50	957,57	956,95	945,825	951,095	946,570	
Temperatur t [°C]	21,1	20,2	20,4	20,4	20,4	20,5	
W_2 [g]	923,48	924,89	921,42	919,495	924,890	920,505	
Bægerglas nr.	708	704	705	704	705	708	
$W_{bgr-glas} + W_s$ [g]	529,71	594,92	543,18	584,625	529,870	515,560	
$W_{bgr-glas}$ [g]	474,45	543,04	488,415	543,040	488,415	474,450	
Tørstof W_s [g]	55,26	51,88	54,77	41,585	41,455	41,110	
Vands densitet $\rho_w^t[g/ml]$	0,99780	0,998188	0,998146	0,998146	0,998146	0,998125	
Relativ densitet, d_s	2,70	2,71	2,73	2,72	2,71	2,73	**2,72**

Tabel A.6. Kornvægtfylde for BU

BU				
Prøve [nr]	1,1	1,2	1,3	Gennemsnit
Pyknometer	2	3	4	
W_1 [g]	946,745	950,675	952,325	
Temperatur t [°C]	20,6	21	20,6	
W_2 [g]	919,5	923,42	924,89	
Bægerglas nr.	702	703	705	
$W_{bgr-glas} + W_s$ [g]	505,28	529,68	531,39	
$W_{bgr-glas}$ [g]	462,97	487,07	488,405	
Tørstof W_s [g]	42,31	42,61	42,99	
Vands densitet $\rho_w^t[g/ml]$	0,998104	0,998104	0,998104	
Relativ densitet, d_s	2,80	2,77	2,76	**2,78**

Tabel A.7. Kornvægtfylde for RI

RI				
Prøve [nr]	1,1	1,2	1,3	Gennemsnit
Pyknometer	7	5	100	
W_1 [g]	948,455	948,150	643,340	
Temperatur t [°C]	20,7	20,7	20,7	
W_2 [g]	920,51	920,95	616,01	
Bægerglas nr.	106	704	708	
$W_{bgr-glas} + W_s$ [g]	565,97	586,56	517,79	
$W_{bgr-glas}$ [g]	522,32	543,04	474,45	
Tørstof W_s [g]	43,65	43,525	43,35	
Vands densitet $\rho_w^t[g/ml]$	0,998083	0,998083	0,998083	
Relativ densitet, d_s	2,78	2,66	2,70	**2,71**

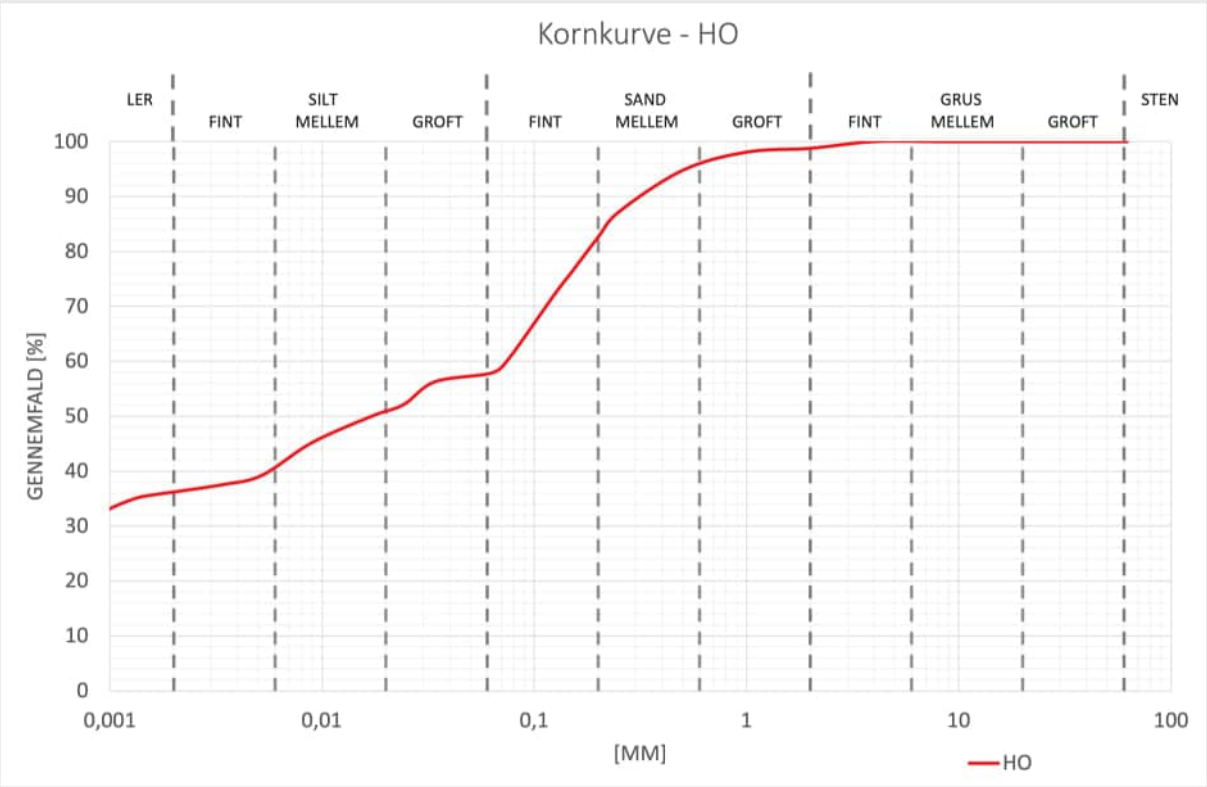
Tabel A.8. Kornvægtfylde for brændt kalk

Kalk							
Prøve [nr]	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	Gennemsnit
Pyknometer	3	4	5	3	5	100	
W_1 [g]	960,820	962,365	958,570	960,070	957,290	653,505	
Temperatur t [°C]	20,3	20,5	20,0	20,0	20,3	20,0	
W_2 [g]	923,415	924,890	920,945	923,415	920,945	616,005	
Bægerglas nr.	106	702	703	106	702	703	
$W_{bgr-glas}$ + W_s [g]	589,53	530,1	554,81	587,995	528,445	554,440	
$W_{bgr-glas}$ [g]	522,410	462,945	486,950	522,365	462,910	486,920	
Tørstof W_s [g]	67,115	67,115	67,855	65,630	65,535	67,520	
Vands densitet $\rho_w^t[g/ml]$	0,998167	0,998125	0,99823	0,99823	0,998167	0,99823	
Relativ densitet, d_s	2,25	2,26	2,24	2,26	2,24	2,25	**2,25**

A.4 Kornstørrelsesfordeling

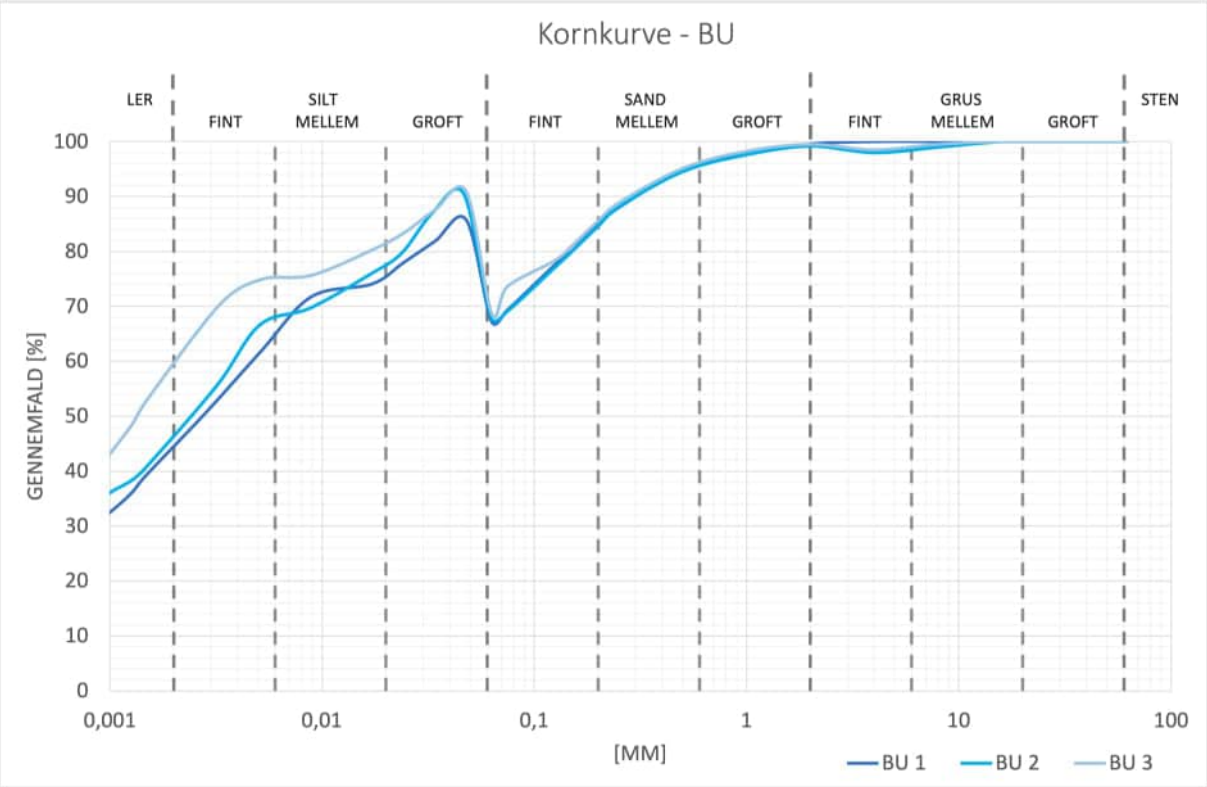
Kornstørrelsesfordeling er bestemt ud fra DS/EN ISO 17892-4:2016. Der er på baggrund af sigtning og hydrometeranalyse udført kornkurver for den enkelte jordprøve. Standard DS/EN ISO 17892-4:2016 er benyttet til udførelsen af forsøgene.

På figur A.1 er kornkurven for HO illustreret. Kornstørrelsesfordelingen for HO-jorden blev til at starte med udført som trippelforsøg, men da data fra alle tre forsøg ikke var tilfredsstillende og antydede at der var sket fejl i processen under hydrometeranalysen, blev der udført et 4. kornstørrelsesfordelingsforsøg fra HO-jorden. Resultaterne fra dette forsøg giver følgende kornkurve:

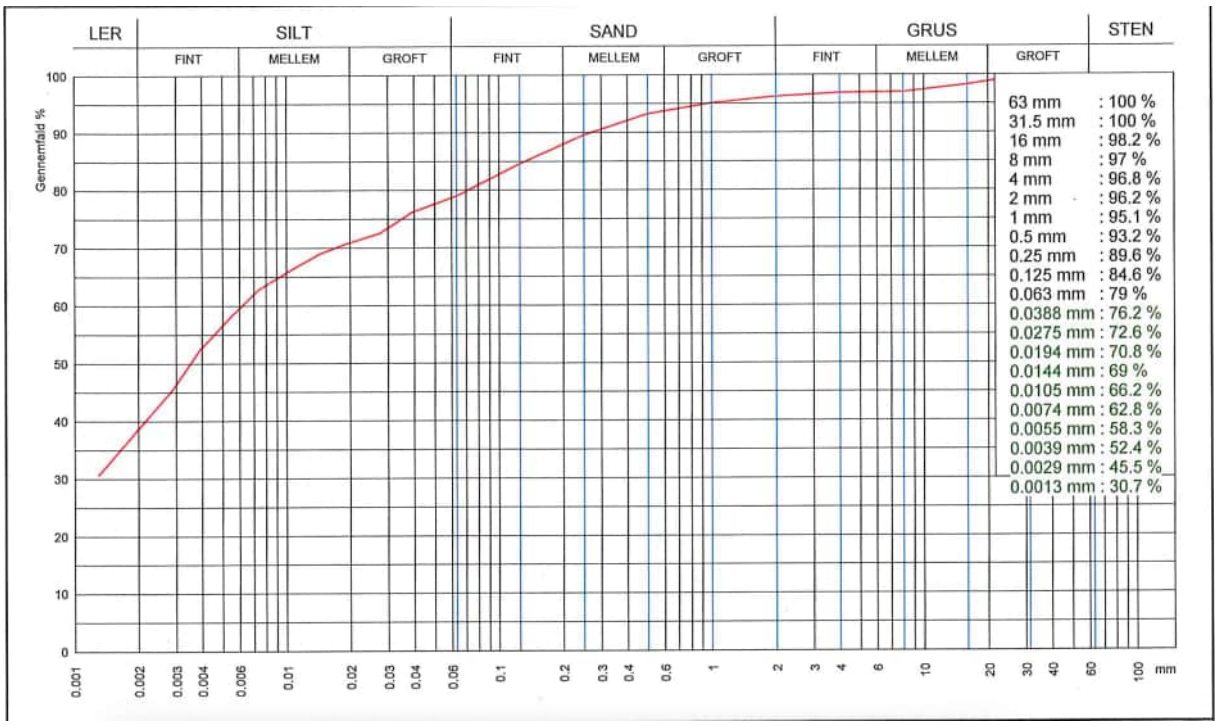


Figur A.1. Kornkurve for HO

Resultaterne for hydrometeranalysen for BU-jorden har ikke været tilfredsstillende efter gennemgående databehandling. Det må konkluderes, at der er sket fejl under forsøgsprocessen, på trods af at resultaterne fra de udførte trippelforsøg viser den samme tendens. På figur A.2 illustreres kornkurverne for de udførte trippelforsøg, som tydeligt indikere, at der er sket en fejl i processen for hydrometerforsøgene. Resultater for BU-jordens kornkurve udført hos VBM Laboratoriet er derfor lånt. Denne er illustreret på figur A.3



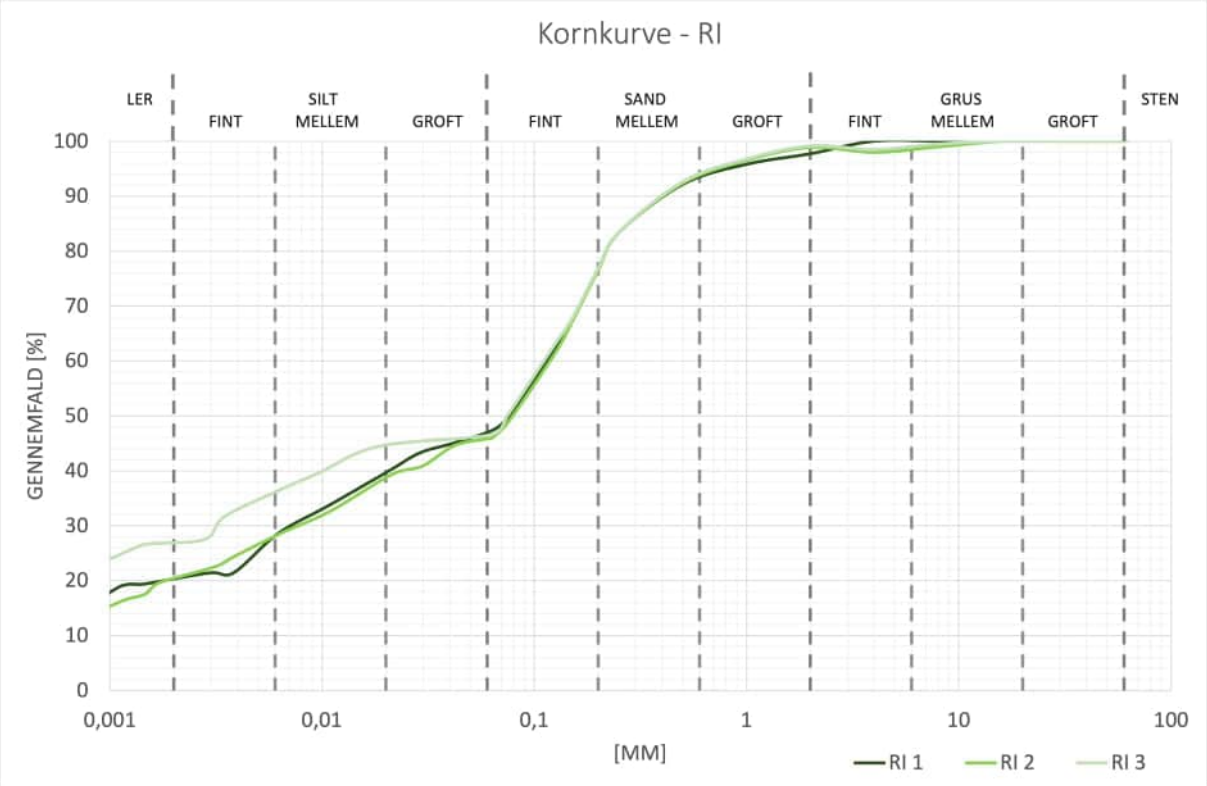
Figur A.2. Kornkurve for BU på baggrund af trippelforsøg



Figur A.3. Kornkurve for BU fra VBM Laboratoriet

Resultaterne for kornstørrelsesfordelingen for RI-jorden har givet tilfredsstillende resultater, hvor den samme tendens ses for de udførte trippelforsøg. På figur A.4 illustreres

kornkurverne for RI-jorden.



Figur A.4. Kornkurver for RI på baggrund af trippelforsøg

A.5 Flyde- og plasticitetsgrænser uden kalk

Konsistensgrænserne er bestemt for det rå lermateriale. Efterfølgende er konsistensgrænserne igen bestemt med tilføjelsen af 1 % brændt kalk, for at bestemme dennes effekt på lermaterialet. Standard DS/EN ISO 17892-12 e benyttet til udførelsen af forsøgene.

Tabel A.9. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) 1.Forsøg

HO					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	5094	2030	10084	2020	4026
Skål [g]	3,16	3,2	3,19	3,18	3,22
Skål+W [g]	12,34	9,22	14,78	18,35	23,09
Skål+W_s [g]	10,24	7,81	12,02	14,52	17,97
w%	29,66	30,59	31,26	33,77	34,71
Nedsynkning [mm]	8	9,5	10,1	12	12,5

Tabel A.10. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) 2.Forsøg

HO					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	5058	4011	10130	5047	10067
Skål [g]	3,18	3,17	3,18	3,18	3,2
Skål+W [g]	12,71	18,1	29,98	14,3	38,13
Skål+W_s [g]	10,76	14,42	23,18	11,47	28,84
w%	25,73	32,71	34,00	34,14	36,23
Nedsynkning [mm]	6	6,3	9	9,9	11,8

Tabel A.11. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) 3.Forsøg

HO					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	4088	5065	3092	4044	5089
Skål [g]	3,15	3,18	3,23	3,19	3,16
Skål+W [g]	13,01	18,74	22,84	20,22	21,7
Skål+W_s [g]	10,71	15,09	18,05	15,98	16,98
w%	30,42	30,65	32,32	33,15	34,15
Nedsynkning [mm]	7,8	9	10	11,5	12

Tabel A.12. Plasticitetsgrænse 1.Forsøg

HO			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	3058	21	2046
Skål [g]	3,16	3,16	3,19
Skål+W [g]	14,5	14,39	14,82
Skål+W_s [g]	13,26	12,92	13,4
w%	12,28	15,06	13,91

Tabel A.13. Plasticitetsgrænse 2.Forsøg

HO			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	12008	10005	10033
Skål [g]	3,86	3,82	3,86
Skål+W [g]	12,54	11,62	14,57
Skål+W_s [g]	11,46	10,68	13,25
w%	14,21	13,70	14,06

Tabel A.14. Plasticitetsgrænse 3.Forsøg

HO			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10083	4013	12012
Skål [g]	3,18	3,17	3,83
Skål+W [g]	19,02	23,02	17,3
Skål+W_s [g]	16,89	20,18	15,49
w%	15,54	16,70	15,52

Tabel A.15. Konsistensgrænser

HO				
	Forsøg 1	Frosøg 2	Forsøg 3	**Gennemsnit**
Flydegrænse w_L [%]	31,67	34,64	32,19	**32,84**
Plasticitetsgrænse w_P [%]	13,75	13,99	15,92	**14,55**
Plasticitetsindeks I_P [%]	17,92	20,65	16,27	**18,28**
Konsistensindeks I_C	0,61	0,67	0,7	**0,66**

Tabel A.16. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) Forsøg 1

BU					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	789	10134	5014	4058	2046
Skål [g]	3,08	3,16	3,16	3,21	3,19
Skål+W [g]	21,48	18,13	25,68	21,19	28,78
Skål+W_s [g]	16,75	14,13	19,28	15,78	20,96
w%	34,60	36,46	39,70	43,04	44,01
Nedsynkning [mm]	6,5	8	9,6	12,1	12,3

Tabel A.17. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) Forsøg 2

BU					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	10098	2093	4062	2061	3010
Skål [g]	3,18	3,15	3,19	3,16	3,18
Skål+W [g]	18,27	24,1	21,93	29,95	43,79
Skål+W_s [g]	14,08	17,98	16,19	21,59	30,72
w%	38,44	41,27	44,15	45,36	47,46
Nedsynkning [mm]	8,5	8,7	10,1	11,2	12,9

Tabel A.18. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) Forsøg 3

BU					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	10049	10029	4088	2030	21
Skål [g]	3,17	3,87	3,16	3,2	3,14
Skål+W [g]	25,34	29,52	33,4	33,27	40,48
Skål+W_s [g]	19,48	22,29	24,62	24,29	29,19
w%	35,93	39,25	40,91	42,58	43,34
Nedsynkning [mm]	7,2	9,5	10,2	11,9	12,4

Tabel A.19. Plasticitetsgrænse, forsøg 1

BU			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10015	12008	5094
Skål [g]	3,87	3,87	3,16
Skål+W [g]	16,16	13,51	12,79
Skål+W_s [g]	14,54	12,15	11,39
w%	15,18	16,43	17,01

Tabel A.20. Plasticitetsgrænse, forsøg 2

BU			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10005	4011	10125
Skål [g]	3,83	3,18	3,16
Skål+W [g]	15,98	16,07	17,26
Skål+W_s [g]	14,14	14,22	15,26
w%	17,85	16,76	16,53

Tabel A.21. Plasticitetsgrænse, forsøg 3

BU			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	5058	5065	4044
Skål [g]	3,19	3,18	3,18
Skål+W [g]	12,49	10,68	9,98
Skål+W_s [g]	11,06	9,62	9,05
w%	18,17	16,46	15,84

Tabel A.22. Konsistensgrænser

BU				
	Forsøg 1	Frosøg 2	Forsøg 3	**Gennemsnit**
Flydegrænse w_L [%]	40,44	43,04	40,32	**41,27**
Plasticitetsgrænse w_P [%]	16,21	17,04	16,82	**16,69**
Plasticitetsindeks I_P [%]	24,23	26	23,5	**24,58**
Konsistensindeks I_C	0,43	0,5	0,44	**0,46**

Tabel A.23. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) forsøg 1

RI					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	4013	3058	4026	5047	10062
Skål [g]	3,17	3,16	3,22	3,17	3,17
Skål+W [g]	13,46	19,97	22,08	28,52	37,3
Skål+W_s [g]	11,19	16,04	17,58	22,12,98	28,61
w%	28,30	30,51	31,34	33,77	34,16
Nedsynkning [mm]	7	9	9,7	12,1	12,9

Tabel A.24. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) forsøg 2

RI					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	5089	3092	10067	10033	1006
Skål [g]	3,15	3,24	3,19	3,85	3,88
Skål+W [g]	36,22	49,7	38,33	49,56	42,11
Skål+W_s [g]	28,96	38,97	30,21	38,67	32,83
w%	28,13	30,03	30,05	31,28	32,06
Nedsynkning [mm]	7	10	10,6	11,9	12,3

Tabel A.25. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) forsøg 3

RI					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	3019	12004	3028	12014	10001
Skål [g]	3,18	3,84	3,18	3,83	3,86
Skål+W [g]	25,77	26,29	24,52	31,98	43,33
Skål+W_s [g]	22,23	21,43	19,5	25,21	33,64
w%	18,58	27,63	30,76	31,67	32,54
Nedsynkning [mm]	6,8	8	10,5	11,8	12,4

Tabel A.26. Plasticitetsgrænse, Forsøg 1

RI			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10084	10083	2020
Skål [g]	3,2	3,19	3,2
Skål+W [g]	13,24	16,55	16,86
Skål+W_s [g]	11,97	14,8	15,05
w%	14,48	15,07	15,27

Tabel A.27. Plasticitetsgrænse, Forsøg 2

RI			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	13	22	1200
Skål [g]	3,16	3,16	3,84
Skål+W [g]	16,32	17,04	17
Skål+W_s [g]	15,29	14,63	15,38
w%	8,49	21,01	14,04

Tabel A.28. Plasticitetsgrænse, Forsøg 3

RI			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10075	3066	10032
Skål [g]	3,16	3,18	3,84
Skål+W [g]	14,17	10,47	17,01
Skål+W_s [g]	12,81	9,62	15,23
w%	14,09	13,20	15,63

Tabel A.29. Konsistensgrænser

RI				
	Forsøg 1	Frosøg 2	Forsøg 3	**Gennemsnit**
Flydegrænse w_L [%]	31,71	30,2	28,97	**30,29**
Plasticitetsgrænse w_P [%]	14,94	14,51	14,31	**14,59**
Plasticitetsindeks I_P [%]	16,77	15,69	14,66	**15,71**
Konsistensindeks I_C	0,90	0,86	0,84	**0,87**

A.6 Flyde- og plasticitetsgrænser med kalk

Tabel A.30. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) 1.Forsøg

HO		
Prøve [nr]	1	2
Skål [nr]	5014	2030
Skål [g]	3,15	3,19
Skål+W [g]	31,93	51,56
Skål+W_s [g]	23,47	37,3
w%	41,63	41,81
Nedsynkning [mm]	10	10,5

Tabel A.31. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) 2.Forsøg

HO				
Prøve [nr]	1	2	3	4
Skål [nr]	2093	10098	3010	12014
Skål [g]	3,14	3,18	3,18	3,83
Skål+W [g]	35,25	31,21	36,71	40,17
Skål+W_s [g]	25,88	22,82	26,71	28,59
w%	41,20	42,72	42,50	46,77
Nedsynkning [mm]	8,1	10	10,4	13,2

Tabel A.32. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) 3.Forsøg

HO				
Prøve [nr]	1	2	3	4
Skål [nr]	3019	3058	5047	5094
Skål [g]	3,17	3,17	3,17	3,16
Skål+W [g]	44,86	42,59	38,32	43,61
Skål+W_s [g]	32,94	30,83	27,68	31,1
w%	40,04	42,52	43,41	44,77
Nedsynkning [mm]	8,5	10,5	11,1	11,5

Tabel A.33. Plasticitetsgrænse 1.Forsøg

HO			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	4088	4062	10033
Skål [g]	3,16	3,2	3,85
Skål+W [g]	6,64	6,19	9,75
Skål+W_s [g]	6,09	5,69	8,78
w%	18,77	20,08	19,68

Tabel A.34. Plasticitetsgrænse 2.Forsøg

HO			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	4013	3028	10006
Skål [g]	3,17	3,18	3,88
Skål+W [g]	5,52	8,4	12,42
Skål+W_s [g]	5,1	7,46	10,96
w%	21,76	21,96	20,62

Tabel A.35. Plasticitetsgrænse 3.Forsøg

HO			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	12004	10134	4026
Skål [g]	3,83	3,16	3,22
Skål+W [g]	8,83	9,97	11,44
Skål+W_s [g]	7,87	8,68	9,87
w%	23,76	23,37	23,61

Tabel A.36. Konsistensgrænser

HO				
	Forsøg 1	Frosøg 2	Forsøg 3	**Gennemsnit**
Flydegrænse w_L [%]	41,63	42,99	42,22	**42,28**
Plasticitetsgrænse w_P [%]	19,51	21,45	23,58	**21,51**
Plasticitetsindeks I_P [%]	22,12	21,55	18,64	**20,77**
Konsistensindeks I_C	0,94	1,03	1,15	**1,04**

Tabel A.37. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) Forsøg 1

BU				
Prøve [nr]	1	2	3	4
Skål [nr]	10110	4075	5051	10104
Skål [g]	3,21	3,23	3,21	3,19
Skål+W [g]	13,39	14,28	18,18	17,12
Skål+W_s [g]	8,93	9,24	11,05	10,35
w%	77,97	83,86	90,94	94,55
Nedsynkning [mm]	6	8	10,5	14

Tabel A.38. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) Forsøg 2

BU			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	3028	4088	3058
Skål [g]	3,18	3,17	3,21
Skål+W [g]	14,38	16,47	22,44
Skål+W_s [g]	9,34	10,33	13,35
w%	81,82	85,75	89,64
Nedsynkning [mm]	8	9,2	11,4

Tabel A.39. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) Forsøg 3

BU		
Prøve [nr]	1	2
Skål [nr]	4062	3019
Skål [g]	3,21	3,2
Skål+W [g]	18,65	20,82
Skål+W_s [g]	12,81	14,05
w%	60,83	62,40
Nedsynkning [mm]	10	11,5

Tabel A.40. Plasticitetsgrænse, forsøg 1

BU			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10082	4013	10033
Skål [g]	3,18	3,16	3,85
Skål+W [g]	5,78	6,48	4,88
Skål+W_s [g]	4,99	5,34	4,53
w%	43,65	52,29	51,47

Tabel A.41. Plasticitetsgrænse, forsøg 2

BU			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10134	10006	12004
Skål [g]	3,17	3,88	3,84
Skål+W [g]	7,62	9,93	9,47
Skål+W_s [g]	6,11	7,83	7,57
w%	51,36	53,16	50,94

Tabel A.42. Plasticitetsgrænse, forsøg 3

BU			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	4026	2030	10098
Skål [g]	3,22	3,23	3,32
Skål+W [g]	5,77	3,87	7,9
Skål+W_s [g]	5,15	3,71	6,77
w%	32,12	33,33	32,75

Tabel A.43. Konsistensgrænser

BU				
	Forsøg 1	Frosøg 2	Forsøg 3	**Gennemsnit**
Flydegrænse w_L [%]	88,59	87,01	60,83	**87,8**
Plasticitetsgrænse w_P [%]	49,14	51,82	32,74	**50,48**
Plasticitetsindeks I_P [%]	39,45	35,19	28,09	**37,32**
Konsistensindeks I_C	1,48	1,62	1,1	**1,55**

Resultaterne fra 3. forsøg for konsistensgrænserne for BU afviger kraftigt fra forsøg 1 og forsøg 2, og derfor er disse undladt fra BU's samlede gennemsnit.

Tabel A.44. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) forsøg 1

RI					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	2016	29	10119	10042	4054
Skål [g]	3,19	3,17	3,17	3,21	3,23
Skål+W [g]	30,43	40,28	44,19	35,76	44,16
Skål+W_s [g]	22,97	29,96	32,46	26,23	31,96
w%	37,71	38,52	40,05	41,40	42,46
Nedsynkning [mm]	8,5	9	10,1	11,1	12,5

Tabel A.45. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) forsøg 2

RI					
Prøve [nr]	1	2	3	4	5
Skål [nr]	10092	4066	5052	2064	4079
Skål [g]	3,19	3,2	3,19	3,19	3,22
Skål+W [g]	28,15	31,05	34,63	33,09	40,39
Skål+W_s [g]	21,33	23,11	25,62	24,36	29,27
w%	37,60	39,88	40,17	41,24	42,69
Nedsynkning [mm]	8	9,7	10,1	11	12,3

Tabel A.46. Flydegrænse med faldkegle (Fall Cone) forsøg 3

RI				
Prøve [nr]	1	2	3	4
Skål [nr]	745	5063	10131	5062
Skål [g]	3,13	3,2	3,18	3,18
Skål+W [g]	34,3	35,88	39,66	45,97
Skål+W_s [g]	25,47	26,21	28,78	32,71
w%	39,53	42,03	42,5	44,9
Nedsynkning [mm]	8,1	9,8	10,2	11,9

Tabel A.47. Plasticitetsgrænse, Forsøg 1

RI			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	10034	10035	748
Skål [g]	3,86	3,85	3,1
Skål+W [g]	8,14	8,92	8,21
Skål+W_s [g]	7,36	7,96	7,32
w%	22,29	23,36	21,09

Tabel A.48. Plasticitetsgrænse, Forsøg 2

RI			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	3053	10090	3014
Skål [g]	3,2	3,2	3,2
Skål+W [g]	10,04	12,15	10,98
Skål+W_s [g]	8,74	10,35	9,45
w%	23,47	25,17	24,48

Tabel A.49. Plasticitetsgrænse, Forsøg 3

RI			
Prøve [nr]	1	2	3
Skål [nr]	5072	10124	10020
Skål [g]	3,18	3,16	3,87
Skål+W [g]	12,43	15,79	16,65
Skål+W_s [g]	10,85	13,62	14,42
w%	20,6	20,75	21,14

Tabel A.50. Konsistensgrænser

RI				
	Forsøg 1	Frosøg 2	Forsøg 3	**Gennemsnit**
Flydegrænse w_L [%]	39,85	40,18	42,37	**40,80**
Plasticitetsgrænse w_P [%]	22,24	24,37	20,83	**22,48**
Plasticitetsindeks I_P [%]	17,61	15,8	21,54	**18,32**
Konsistensindeks I_C	1,32	1,49	1,19	**1,33**

A.7 Kapillær stighøjde

Forsøgsprocedure er angivet i afsnit 4.3, mens illustrationer af resultaterne er angivet i bilag C.

Tabel A.51. Kapillær stighøjde

Temperatur Tid	20°C 7 [Døgn]	20°C 14 [Døgn]	20°C 28 [Døgn]	40°C 7 [Døgn]	40°C 28 [Døgn]
HO [mm]					
1. prøve	50	50	75	+160	+160
2. prøve	60	70	85	+160	+160
3. prøve	70	65	80	+160	+160
BU [mm]					
1. prøve	60	60	75	+160	+160
2. prøve	70	60	85	+160	+160
3. prøve	65	60	95	+160	+160
RI [mm]					
1. prøve	55	60	75	+160	+160
2. prøve	55	80	75	+160	+160
3. prøve	70	70	85	+160	+160

A.8 Hydraulisk ledningsevne

Hydraulisk ledningsevne ved falling head (DCE Lecture Notes No. 56).

Tabel A.52. Faling head

Rå HO ler			
Parameter	1. Gennemløb	2. Gennemløb	Genemsnit
Tværsnitsareal Permeameter m^2	0,000804	0,000804	
Tid for vandmætning [min]	60	60	
Standrør diameter nominel d [m]	0,004	0,004	
Standrør areal nominel a [m2]	0,000013	0,000013	
Trykniveau højde h1 [m] h1 [m]	2	2	
Trykniveau højde h2 [m]	0,8	0,8	
Trykniveau højde $\sqrt{h1 \cdot h2}$ [cm]	1,26	1,26	
Prøvens længde, gennemsnit L [m]	0,067	0,067	
Temperatur T_0 [°C]	19,6	19	
Temperatur T_u [°C]	19,6	19,2	
Strømtid t1 [s]	691.200	1.036.800	
Strømtid t2 [s]	345.600	777.600	
Hydraulisk ledningsevne Kt [m/s]	$9{,}25 \cdot 10^{-10}$	$5{,}29 \cdot 10^{-10}$	$7{,}27 \cdot 10^{-10}$

Tabel A.53. Faling head

Rå RI ler	
Parameter	1. Gennemløb
Tværsnitsareal af permeameter [m^2]	0,000804
Tid for vandmætning [min]	60
Standrør diameter nominel d [m]	0,004
Standrør areal nominel a [m2]	0,000013
Trykniveau højde h1 [m]	2
Trykniveau højde h2 [m]	0,8
Trykniveau højde $\sqrt{h1 \cdot h2}$ [cm]	1,26
Prøvens længde, gennemsnit L [m]	0,067
Temperatur T_0 [°C]	19,6
Temperatur T_u [°C]	19,6
Strømtid t1 [s]	864.000
Strømtid t2 [s]	950.400
Hydraulisk ledningsevne Kt [m/s]	$5{,}29 \cdot 10^{-10}$

Tabel A.54. Faling head

1 % kalk tilført HO		
Parameter	1. Gennemløb	2. Gennemløb
Tværsnitsareal Permeameter m^2	0,000804	0,000804
Tid for vandmætning [min]	60	60
Standrør diameter nominel d [m]	0,004	0,004
Standrør areal nominel a [m2]	0,000013	0,000013
Trykniveau højde h1 [m] h1 [m]	2	2
Trykniveau højde h2 [m]	0,8	0,8
Trykniveau højde $\sqrt{h1 \cdot h2}$ [cm]	1,26	1,26
Prøvens længde, gennemsnit L [m]	0,067	0,067
Temperatur T_0 [°C]	19,6	19
Temperatur T_u [°C]	19,6	19,2
Strømtid t1 [s]	172.800	0
Strømtid t2 [s]	1.468.800	0
Hydraulisk ledningsevne Kt [m/s]	$5{,}84 \cdot 10^{-10}$	0

A.9 Lineær svind

Lineært svind (BS 1377).

Tabel A.55. Lineært svind

HO					
Prøve nr	1, uden kalk	2, med kalk	3, med kalk	4, med kalk	Gennemsnit, kalk
L_0 [mm]	140	140	140	140	
LD [mm]	128	130	130	130	
Svind[%]	8,57	7,14	7,14	7,14	7,14

Tabel A.56. Lineært svind

BU					
Prøve nr	1, uden kalk	2, med kalk	3, med kalk	4, med kalk	Gennemsnit, kalk
L_0 [mm]	140	140	140	140	
LD [mm]	128	130	129	129	
Svind[%]	8,57	7,14	7,86	7,86	7,62

Tabel A.57. Lineært svind

RI					
Prøve nr	1, uden kalk	2, med kalk	3, med kalk	4, med kalk	Gennemsnit, kalk
L_0 [mm]	140	140	140	140	
LD [mm]	132	133	133	133	
Svind[%]	5,71	5	5	5	5

A.10 pH-værdi

Til bestemmelse af pH-værdien for materialet er forsøgsbeskrivelsen WTW InoLab pH/Cond 720 benyttet.

Tabel A.58. Bestemmelse af pH for den rå lerjord, lerjorden tilsat 1 % kalk samt lerjorden tilsat 2 % kalk.

Type	HO	BU	RI
Rå ler	8,8	9,3	9
Ler, med 1% kalk	12,6	12,4	12,5
Ler, med 2% kalk	12,71	12,7	12,6

A.11 Pulveriseringsgrad

Til bestemmelse af pulveriseringsgraden er Standard DS/EN 13286-48:2006 benyttet.

Tabel A.59. Pulveriseringsgraden for HO, BU og RI balandet i lynhakker med 1% kalk.

Parameter	HO	BU	RI
Prøvestørelse [g]	1.000	1.000	1.000
Kalk [g]	10	10	10
m_1 [g]	1.010	1.010	1.010
m_2 [g]	19,5	329,3	262,3
m_3 [g]	9,8	200,3	166,3
Sig 5,6 mm [g]	489,7	-	-
Bund [g]	336,7	-	-
Pulveriseringsgrad [%]	99,03	84,07	88,62

B Beregnings bilag

Indstampnings energi til proctor-forsøg

Dette bilag indeholder udregning for den specifikke energi der er tilført ved standart proctor forsøget. Beregningen er udført henhold (DS/EN 13286-2:2011) hvor den specifikke energi der skal tilføres skal ligge i intervallet 0,56-0,63 MJ/m^3, ifølge standarten skal udregningen ske ud fra ligning B.1.

$$e = \frac{MH \cdot F \cdot AS \cdot L \cdot g}{V} \tag{B.1}$$

Tegn	Beskrivelse	Enhed
e	Specifik energi	$[\frac{MJ}{m^3}]$
MH	Masse af hammer	[Kg]
F	Faldhøjde	[mm]
AS	Antal slag pr. lag	[-]
L	Antal lag	[-]
g	Tyngdeaccelerationen	$[\frac{m}{s^2}]$
V	Volumen af form	[m^3]

Tabel B.1.

Eftervisning af proctor B formen med målene (Højde 177 mm, Brede 75 mm)

$$e = \frac{2,5 \cdot 457,2 \cdot 56 \cdot 3 \cdot 9,82}{(177 \cdot 75^2) \cdot \pi} = 0.603 \tag{B.2}$$

Eftervisning af proctor B formen til vandlagring, med målene (Højde 150 mm, Brede 75 mm)

$$e = \frac{2,5 \cdot 457,2 \cdot 48 \cdot 3 \cdot 9,82}{(150 \cdot 75^2) \cdot \pi} = 0.610 \tag{B.3}$$

Eftervisning af proctor A formen, indbygget i 3 lag, med målene (Højde 113 mm, Brede 51 mm)

$$e = \frac{2,5 \cdot 304,8 \cdot 25 \cdot 3 \cdot 9,82}{(113 \cdot 51^2) \cdot \pi} = 0.608 \tag{B.4}$$

Eftervisning af proctor A formen, indbygget i 4 lag, med målene (Højde 160 mm, Brede 51 mm)

$$e = \frac{2,5 \cdot 304,8 \cdot 25 \cdot 4 \cdot 9,82}{(160 \cdot 51^2) \cdot \pi} = 0.572 \tag{B.5}$$

C Resultater

C.1 Proctor og CBR resultater

Til bestemesle af proctor og CBR resultater er følgende standarder andvendt Proctor på ler (DS/EN 13286-2:2011) samt CBR på ler (DS/EN 13286-47:2021). De røde markeret værdier indikere atypisk data.

Tabel C.1. Proctor for HO, uden kalk

HO								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
Vådvægt [g]	123,3	121,8	151,6	209,1	123,4	172	191,9	192,8
Tørvægt [g]	113,9	110,8	136,4	185,6	108,7	151,2	164,3	162,9
Vandindhold [%]	**8,3**	**9,9**	**11,1**	**12,7**	**13,5**	**13,8**	**16,8**	**18,4**
From+jord+vand [g]	13.457	13.591	13.782	12.484	12.264	13.279	12.107	13.055
Form [g]	6.641	6.641	6.641	5.460	5.460	6.641	5.460	6.641
Jord+vand [g]	6.816	6.950	7.141	7.024	6.804	6.638	6.647	6.414
Jord [g]	6.296	6.322	6.425	6.235	5.993	5.835	5.691	5.419
Densitet [Mg/m^3]	**2,01**	**2,02**	**2,05**	**1,99**	**1,92**	**1,87**	**1,82**	**1,73**

Tabel C.2. Proctor for HO, med kalk

HO								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
Vådvægt [g]	103,7	114,1	138,4	224	170,3	209,2	175,4	192,5
Tørvægt [g]	96,8	104,6	125,6	200,5	150,7	183,1	151,1	163,5
Vandindhold [%]	**7,1**	**9,1**	**10,2**	**11,7**	**13**	**14,3**	**16,1**	**17,7**
From+jord+vand [g]	12.829	13.052	13.174	12.117	12.175	13.333	12.148	13.200
Form [g]	6.641	6.641	6.641	5.460	5.460	6.641	5.460	6.641
Jord+vand [g]	6.188	6.411	6.533	6.657	6.715	6.692	6.688	6.559
Jord [g]	5.776	5.877	5.929	5.959	5.942	5.857	5.761	5.574
Densitet [Mg/m^3]	**1,85**	**1,88**	**1,895**	**1,9**	**1,8997**	**1,87**	**1,84**	**1,78**

Tabel C.3. Proctor for BU, uden kalk

BU								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
Vådvægt [g]	126,3	99,7	150,9	120,9	143	204,6	160,8	93,8
Tørvægt [g]	116,9	92,2	137,1	108,9	125,7	178,1	138,1	79,2
Vandindhold [%]	**8**	**8,1**	**10,1**	**11**	**13,8**	**14,9**	**16,4**	**18,4**
From+jord+vand [g]	12.439	11.398	12.702	11.663	13.229	12.010	13.222	11.944
Form [g]	6.641	5.460	6.641	5.460	6.641	5.460	6.641	5.460
Jord+vand [g]	5.798	5.938	6.061	6.203	6.588	6.550	6.581	6.484
Jord [g]	5.366	5.491	5.507	5.587	5.791	5.702	5.652	5.475
Densitet [Mg/m^3]	**1,72**	**1,7555**	**1,7605**	**1,7862**	**1,8513**	**1,8228**	**1,8069**	**1,75**

Tabel C.4. Proctor for BU, med kalk

BU								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
Vådvægt [g]	207,5	150,1	192,9	126,7	129,8	177,6	97,7	85
Tørvægt [g]	196	140,2	177,1	115,1	115,1	155,9	84,7	72,4
Vandindhold [%]	**5,9**	**7,1**	**8,9**	**10,1**	**12,8**	**13,9**	**15,3**	**17,4**
From+jord+vand [g]	12.406	11.392	12.684	11.694	12.904	11.727	12.878	11.607
Form [g]	6.641	5.460	6.641	5.460	6.641	5.460	6.641	5.460
Jord+vand [g]	5.765	5.932	6.043	6.234	6.263	6.267	6.237	6.147
Jord [g]	5.445	5.541	5.548	5.663	5.554	5.501	5.407	5.236
Densitet [Mg/m^3]	**1,74**	**1,7713**	**1,7737**	**1,81**	**1,78**	**1,76**	**1,73**	**1,67**

Tabel C.5. Proctor for RI, uden kalk

RI								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
Vådvægt [g]	219,3	175,7	131,6	219,2	191,3	265,2	262,6	212,4
Tørvægt [g]	205,4	163,5	120,7	200,2	171,1	233,2	229,2	182,1
Vandindhold [%]	**6,8**	**7,5**	**9,0**	**9,5**	**11,8**	**13,7**	**14,6**	**16,6**
From+jord+vand [g]	13.130	13.297	13.707	13.597	13.572	13.464	13.348	13.234
Form [g]	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641
Jord+vand [g]	6.489	6.656	7.066	6.956	6.931	6.823	6.707	6.593
Jord [g]	6.078	6.194	6.481	6.353	6.199	5.99	5.853	5.652
Densitet [Mg/m^3]	**1,94**	**1,98**	**2,07**	**2,03**	**1,98**	**1,92**	**1,87**	**1,80**

Tabel C.6. Proctor for RI, med kalk

RI								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
Vådvægt [g]	161	179	193,4	220	185	207	207	94
Tørvægt [g]	151	168	178	202	166	183	181	81
Vandindhold [%]	**6,2**	**7**	**8,7**	**9,2**	**11,8**	**12,9**	**14,4**	**16**
From+jord+vand [g]	12.639	12.831	13.180	13.167	13.298	13.265	13.270	13.150
Form [g]	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641	6.641
Jord+vand [g]	5.998	6.190	6.539	6.526	6.657	6.624	6.629	6.509
Jord [g]	5.647	5.786	6.015	5.977	5.956	5.867	5.794	5.611
Densitet [Mg/m^3]	**1,81**	**1,85**	**1,92**	**1,9109**	**1,9040**	**1,88**	**1,85**	**1,79**

Udregning af CBR uden kalk, hvor penteratione ved 2,5 mm har en reference værdi på 13,2 kN, mens penetrationen ved 5 mm har en reference værdi 20 kN. Ligning C.1 og C.2 angiver metoden til at finde den pågældende CBR værdi i %.

$$CBR = (\frac{x_1}{13,2}) \cdot 100 \tag{C.1}$$

$$CBR = (\frac{x_2}{20}) \cdot 100 \tag{C.2}$$

Symbol	Beskrivelse
x_1	kæft ved 2,5 mm penetration [kN]
x_2	kæft ved 5 mm penetration [kN]

Tabel C.7, C.8 og C.9 angiver CBR resultaterne for HO, hvor værdierne markeret med grøn angiver de anvendte værdier. Tabel C.10 angiver de anvendte CBR værdier for CBR uden kalk, CBR med kalk samt CBR med kalk vandleret i 4 døgn. Her indikere de røde tal, at der forkommer atypisk data.

Tabel C.7. CBR uden kalk

HO				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	4,7	6,4	35,7	32
2	2,4	3,7	18	18,4
3	0,7	1,1	5,1	5,6
4	0,3	0,4	2	1,9
5	0,4	0,5	2,7	2,67
6	0,105	0,15	0,8	0,75
7	0,17	0,18	1,3	0,9
8	0,08	0,1	0,6	0,5

Tabel C.8. CBR med kalk

HO				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	4,8	6,8	36	34
2	6	8,9	45	44
3	4,6	6,3	35	31
4	4	6	28,4	27,6
5	4	5	29	27
6	2,8	4	21,3	20
7	1,4	2	10,5	10,3
8	0,9	1,6	6,8	8

Tabel C.9. CBR med kalk og 4 døgns vandlaring.

HO				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	2,2	3,3	16,7	16,4
2	2,4	2,8	18	14
3	1	2,7	7,9	14
4	4,8	4,1	36	21
5	4,5	5,4	34	27
6	4	4,6	28,4	23
7	1,5	2,7	11,3	13,6
8	1,6	2,1	11,8	10,7

Tabel C.10. Anvendte CBR-værdier for HO

HO								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
CBR-værdi uden kalk [%]	36	18	6	2	3	1	1	1
CBR-værdi med kalk [%]	36	45	35	28	29	21	11	8
CBR-værdi efter vandlagring [%]	17	18	14	36	34	28	14	12

Tabel C.11, C.12 og C.13 angiver CBR resultaterne for BU, hvor værdierne markeret med grøn angiver de anvendte værdier. Tabel C.14 angiver de anvendte CBR værdier for CBR uden kalk, CBR med kalk samt CBR med kalk vandleret i 4 døgn. Her indikere de røde tal, at der forkommer atypisk data.

Tabel C.11. CBR uden kalk

BU				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	4,6	7,3	35,2	36,7
2	4,6	6,5	34,7	32,3
3	4,4	5,6	33,4	28,1
4	4,3	5,3	32,2	27
5	3	3,8	22	19
6	1,7	2,4	13	12
7	1	1,3	7,8	6,7
8	0,5	0,7	3,7	3,5

Tabel C.12. CBR med kalk

BU				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	4,6	7,2	34,8	36
2	5,4	8	41	40
3	2,1	4,5	16,1	22,2
4	4,4	6,5	33,3	32,4
5	4,7	6,6	35,6	32,9
6	3	4	23	20
7	2,6	3,7	20	18
8	3,3	4,4	25	22

Tabel C.13. CBR med kalk og 4 døgns vandlaring.

BU				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	1	1,5	7,2	7,7
2	0,9	1,5	6,8	7,7
3	1,2	2,2	9,4	10,8
4	1	1,8	7,6	9
5	1,8	2,7	13,6	13,3
6	2,6	3,2	19,8	15,8
7	1,9	2	14,4	10,4
8	2,3	2,6	17	13

Tabel C.14. Anvendte CBR-værdier for BU

BU								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
CBR-værdi uden kalk [%]	37	35	33	32	22	13	8	4
CBR-værdi med kalk [%]	36	41	22	33	36	23	20	25
CBR-værdi efter vandlagring [%]	8	8	11	9	14	20	14	17

Tabel C.15, C.16 og C.17 angiver CBR resultaterne for RI, hvor værdierne markeret med grøn angiver de anvendte værdier. Tabel C.18 angiver de anvendte CBR værdier for CBR uden kalk, CBR med kalk samt CBR med kalk vandleret i 4 døgn. Her indikere de røde tal, at der forkommer atypisk data.

Tabel C.15. CBR uden kalk

RI				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	4,6	6,3	34,6	32
2	4,2	5,8	32	29
3	0,8	1,5	5,7	7,5
4	1,1	1,9	8,5	9,6
5	0,4	0,7	3,1	3,4
6	0,2	0,3	1,5	1,4
7	0,07	0,1	0,5	0,53
8	0,09	0,1	0,7	0,5

Tabel C.16. CBR med kalk

RI				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	4	6,2	30,54	31
2	2,4	5,3	18	27
3	5,7	8,3	43	42
4	5,5	8	42	40
5	3,9	6,2	29,5	31
6	3,6	5,3	27	26,3
7	1	2	8	11
8	0,5	1	3,5	5

Tabel C.17. CBR med kalk og 4 døgns vandlaring.

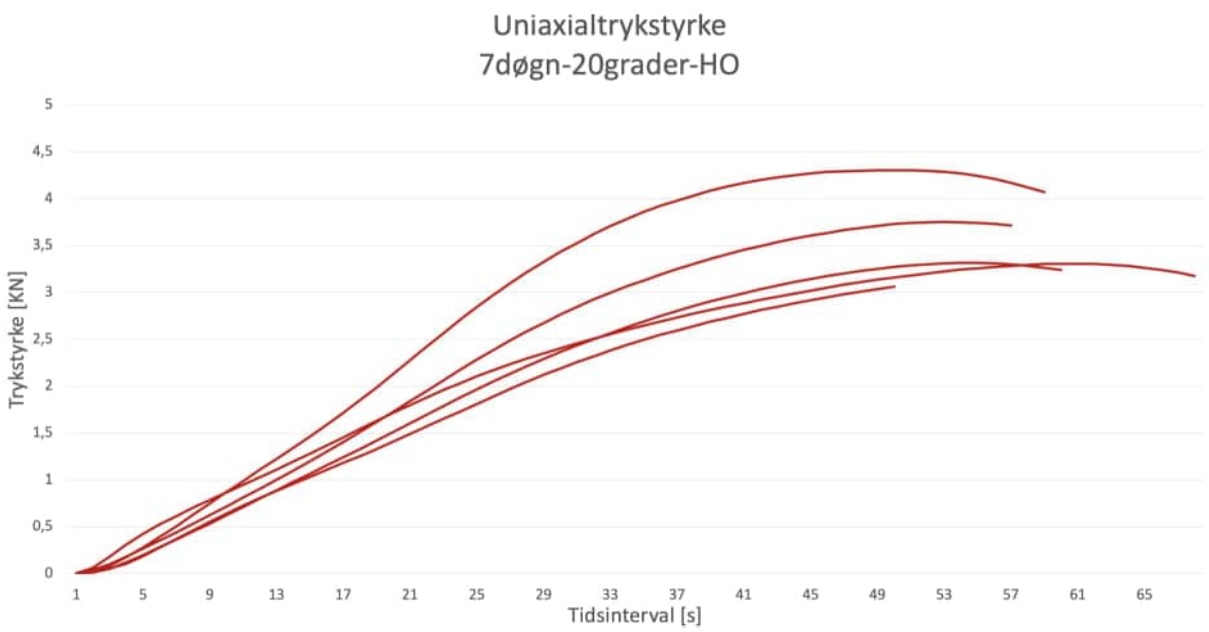
RI				
Prøve nr.	penetration 2,5mm [kN]	penetration 5mm [kN]	CBR 2,5mm [%]	CBR 5mm [%]
1	1,1	2,3	8,6	12
2	1,7	4	13	20
3	2,3	2,6	17	13
4	1,1	2,3	8,3	12
5	4,7	6,2	35	31
6	3,8	4,3	29	21
7	2,4	3,5	18	17
8	0,6	1	4	5

Tabel C.18. Anvendte CBR-værdier for RI

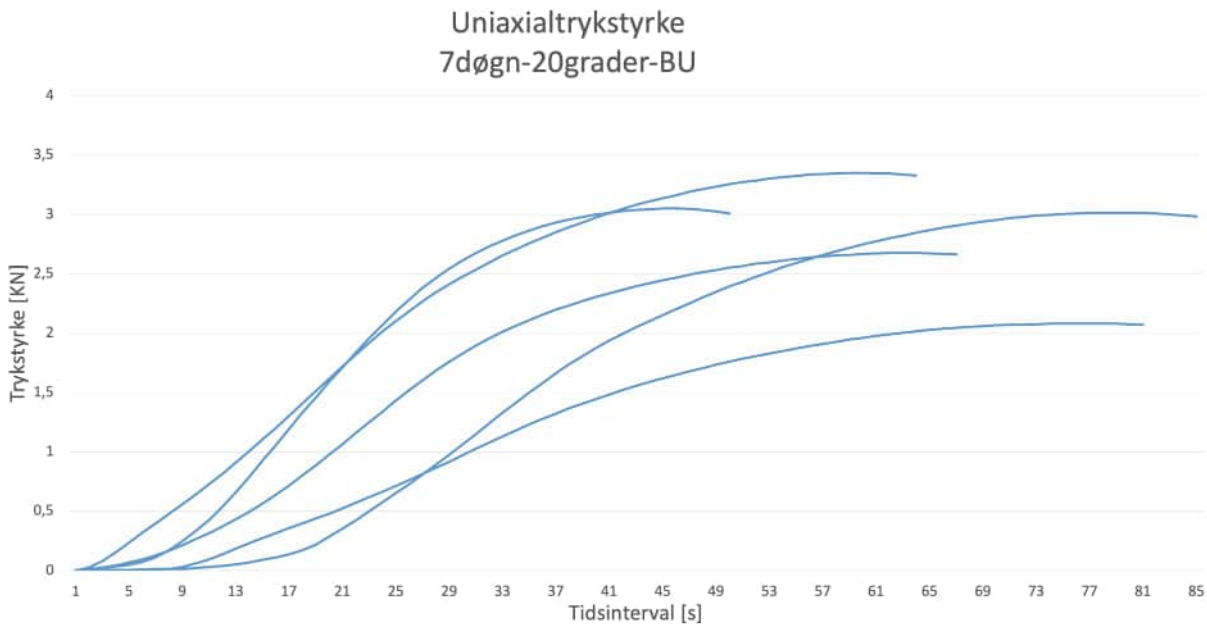
RI								
Prøve [nr]	1	2	3	4	5	6	7	8
CBR-værdi uden kalk [%]	35	32	8	10	3	2	1	1
CBR-værdi med kalk [%]	31	27	43	42	31	27	11	5
CBR-værdi efter vandlagring [%]	12	20	17	11	35	29	18	6

C.2 Uniaxial trykstyrke resultater

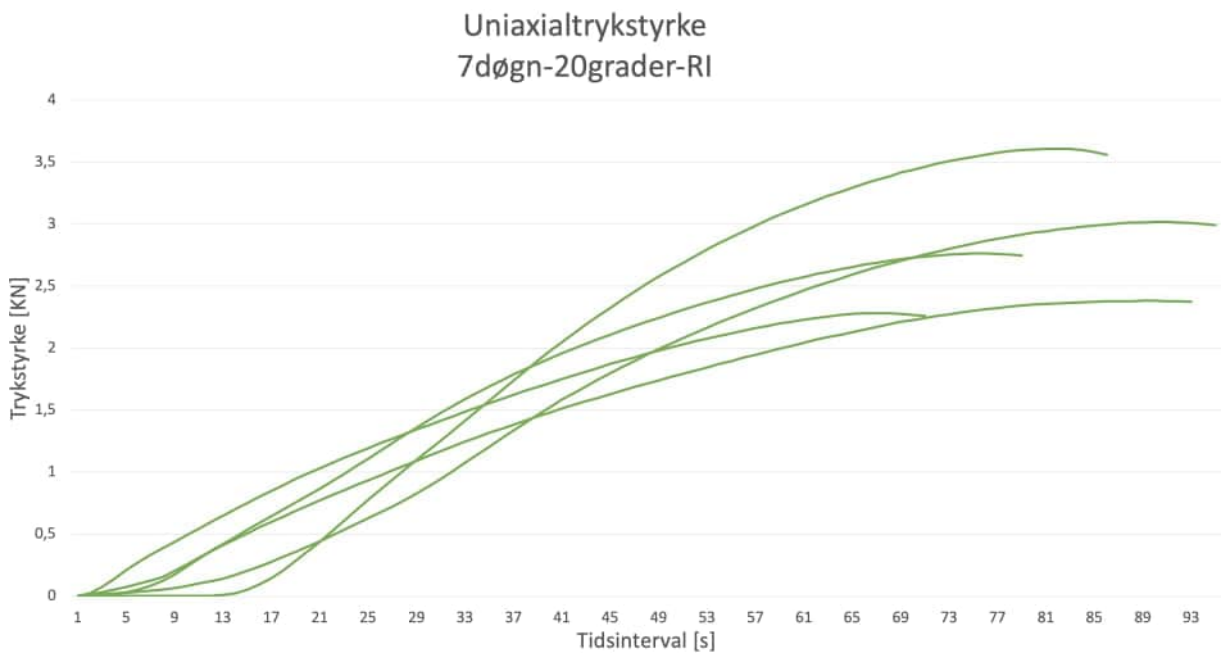
Afsnittet angiver resultaterne for de uniaxialtrykstyrker for de enkelte prøveemner. Her angiver hver graf respektive 5 prøveremner for hver ler til den givende hærdningsperiode samt temperatur. Forsøgende er udført jævnfør specifikationerne fra Uniaxial trykstyrke (DS/EN13286-41:2003).



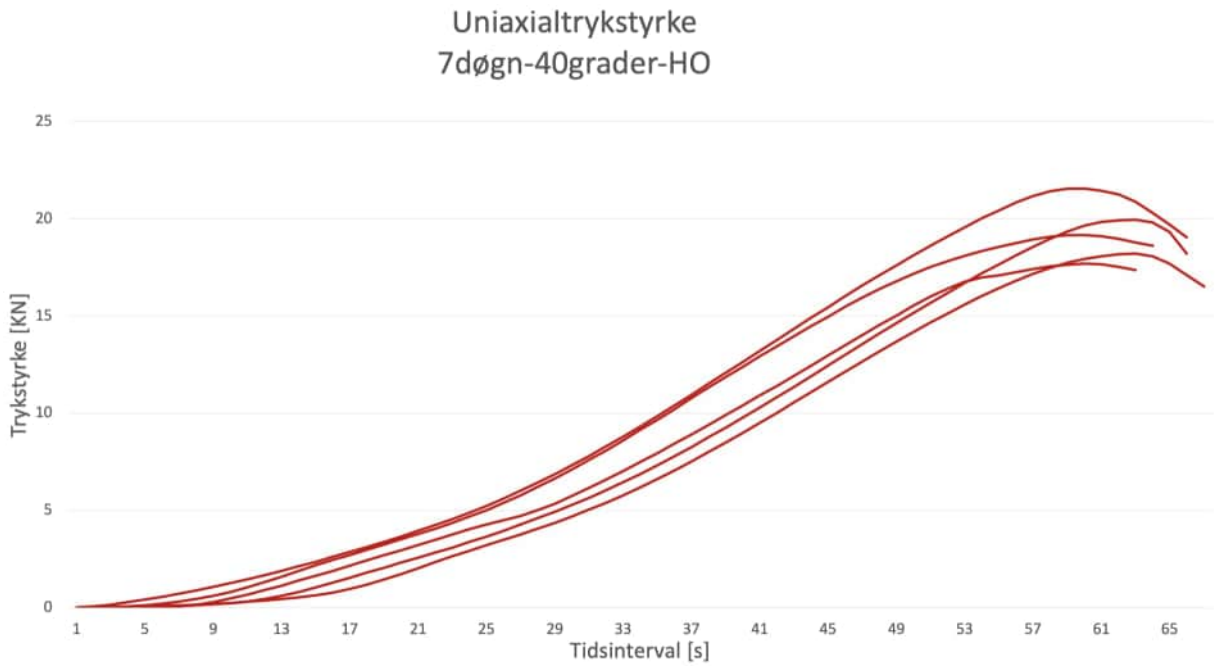
Figur C.1.



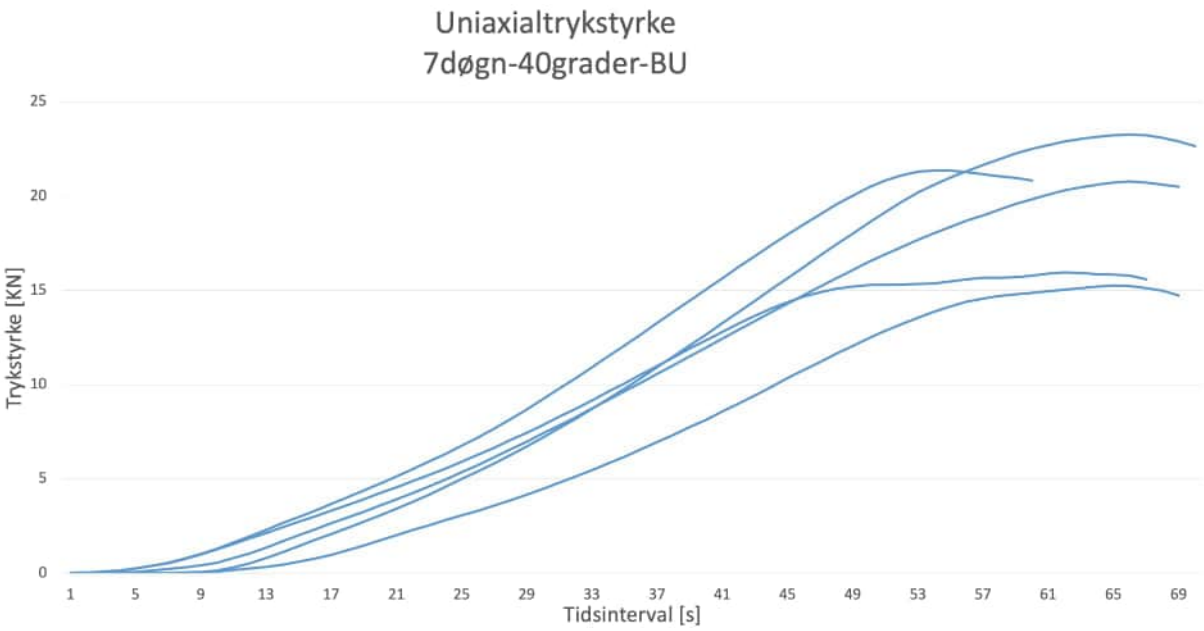
Figur C.2.



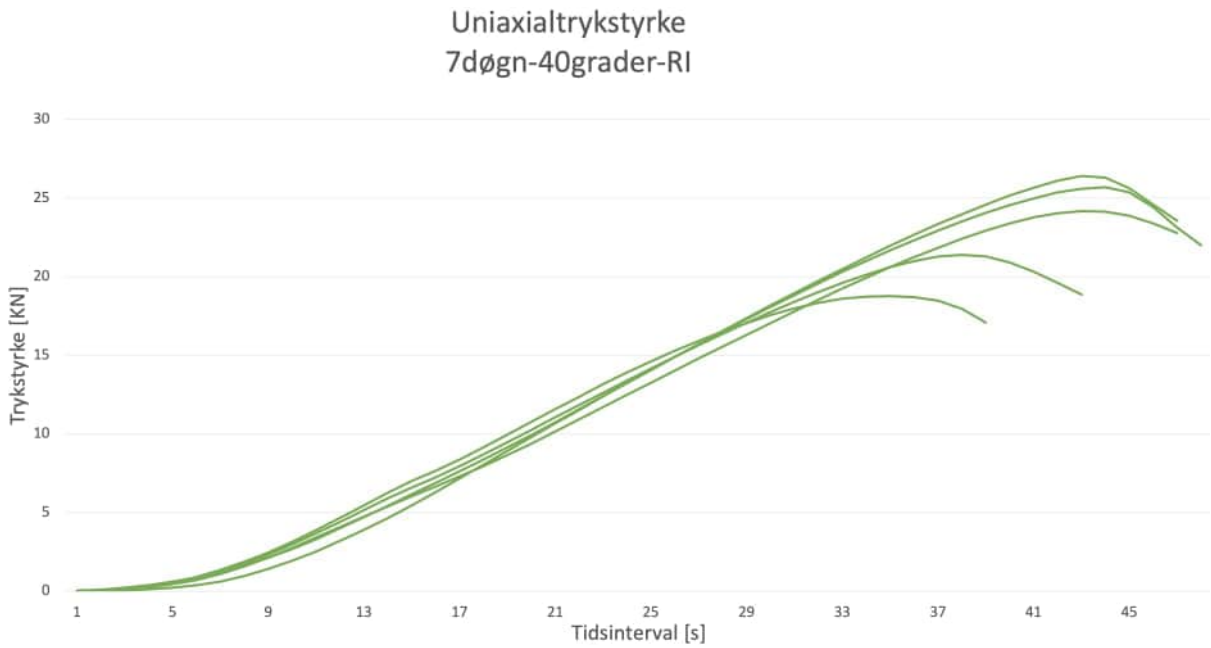
Figur C.3.



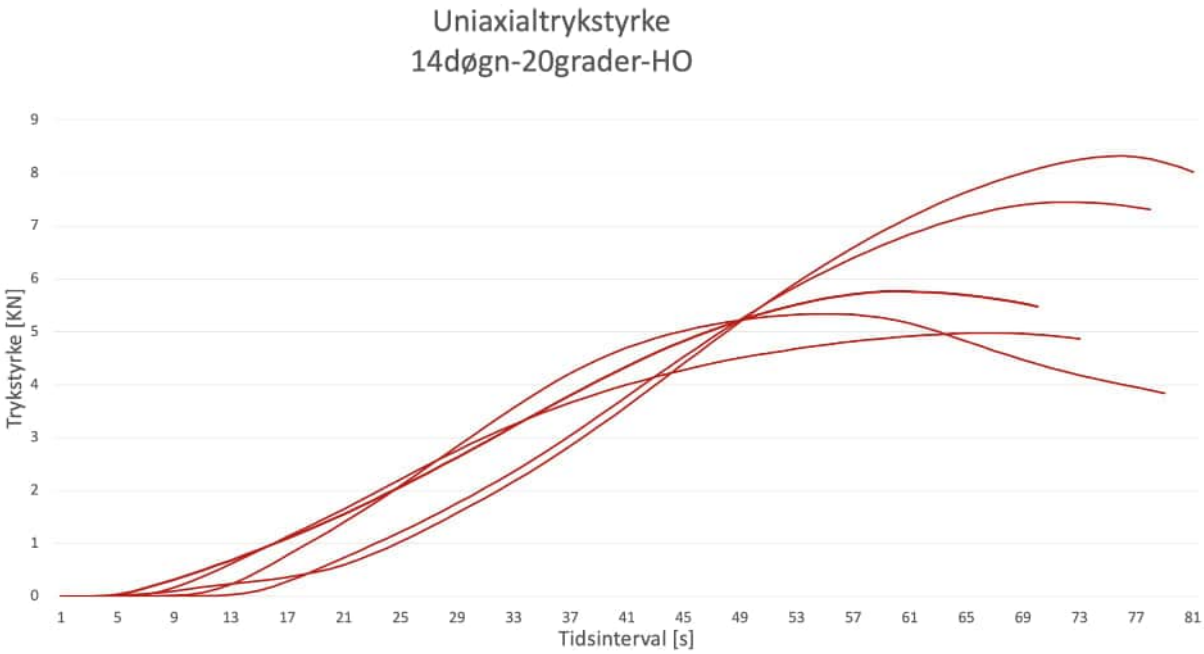
Figur C.4.



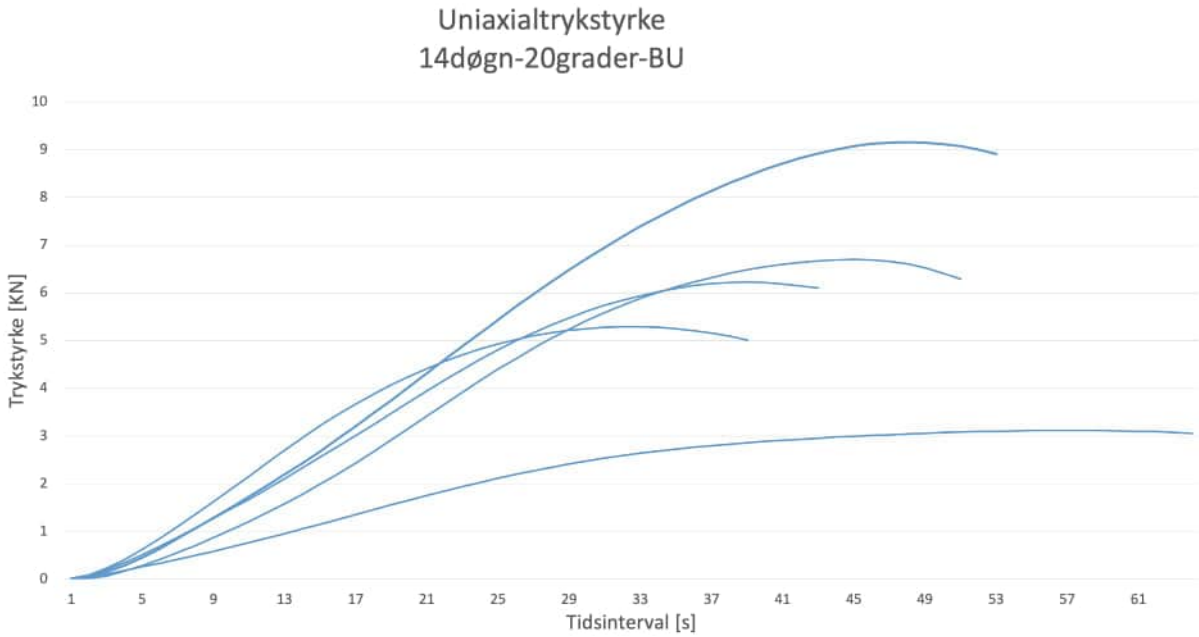
Figur C.5.



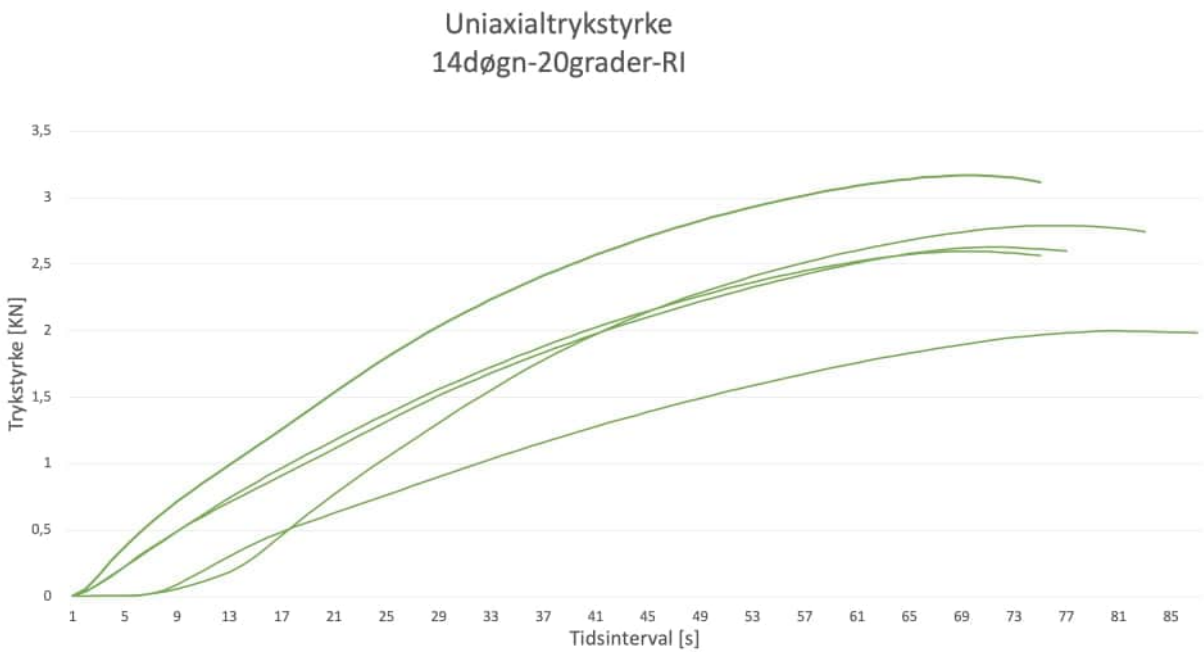
Figur C.6.



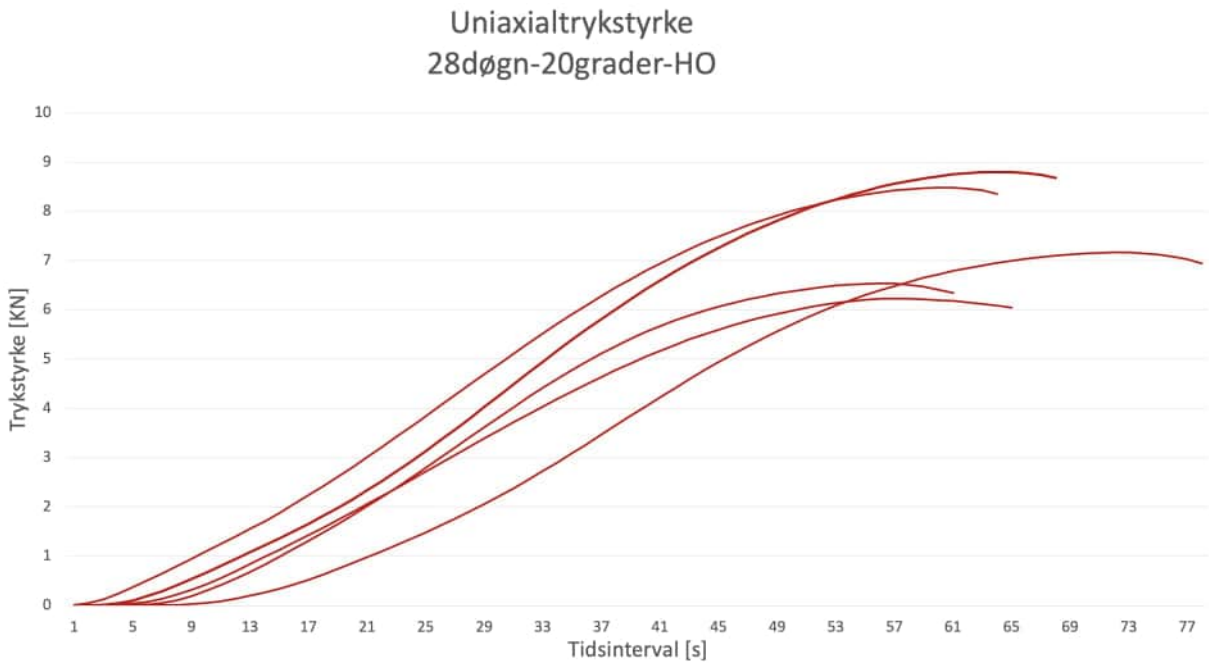
Figur C.7.



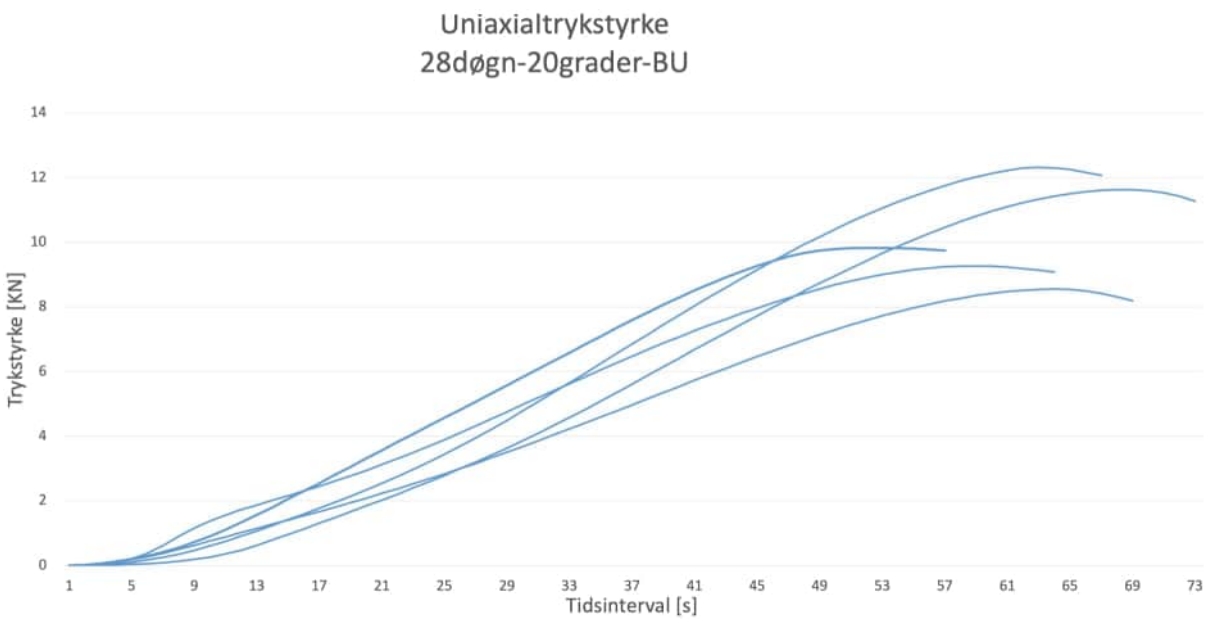
Figur C.8.



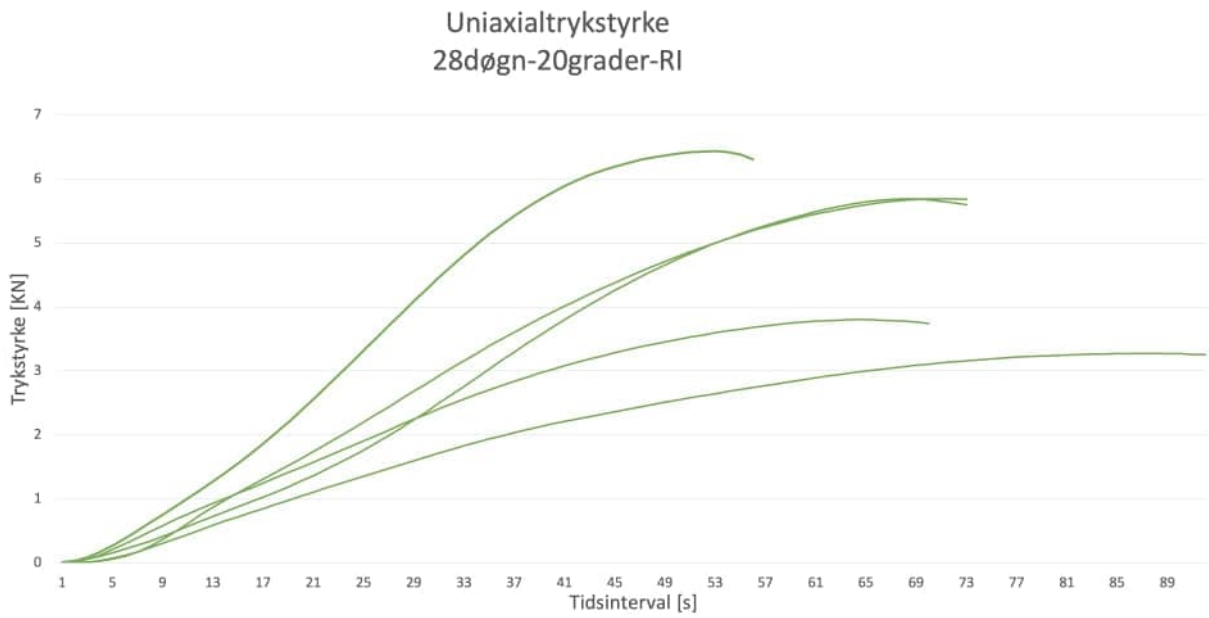
Figur C.9.



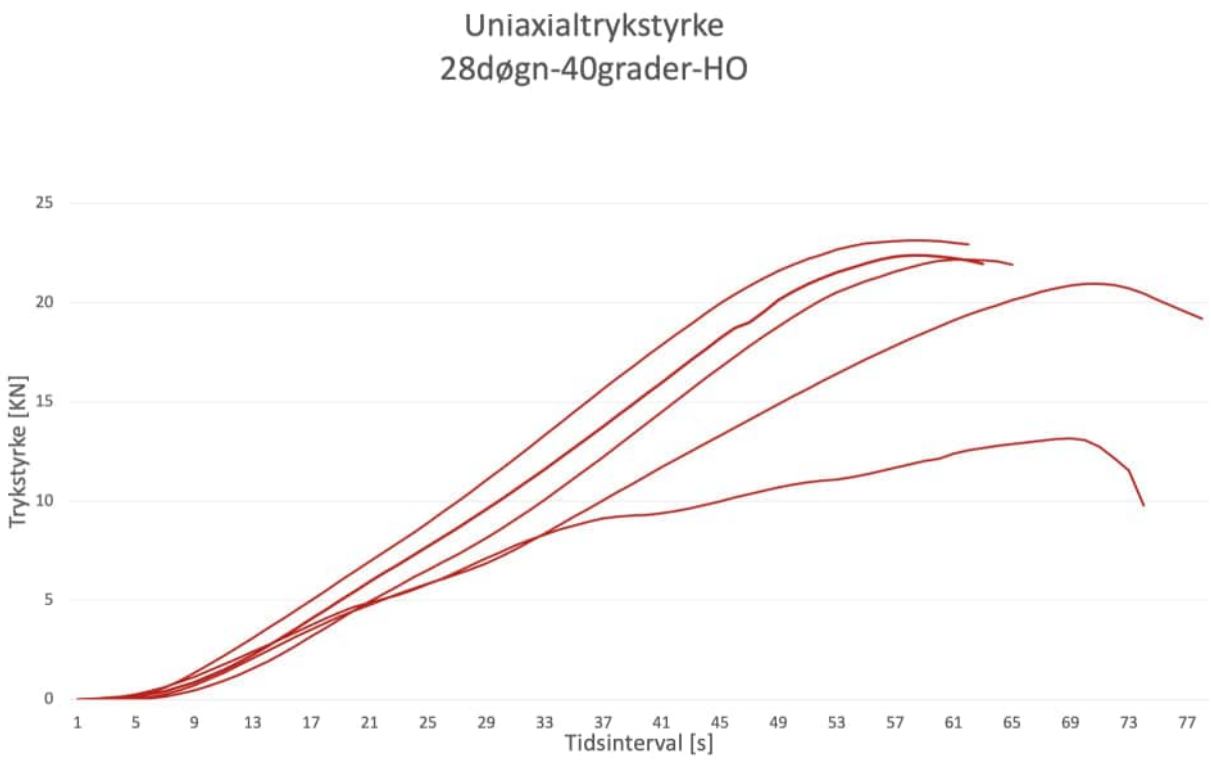
Figur C.10.



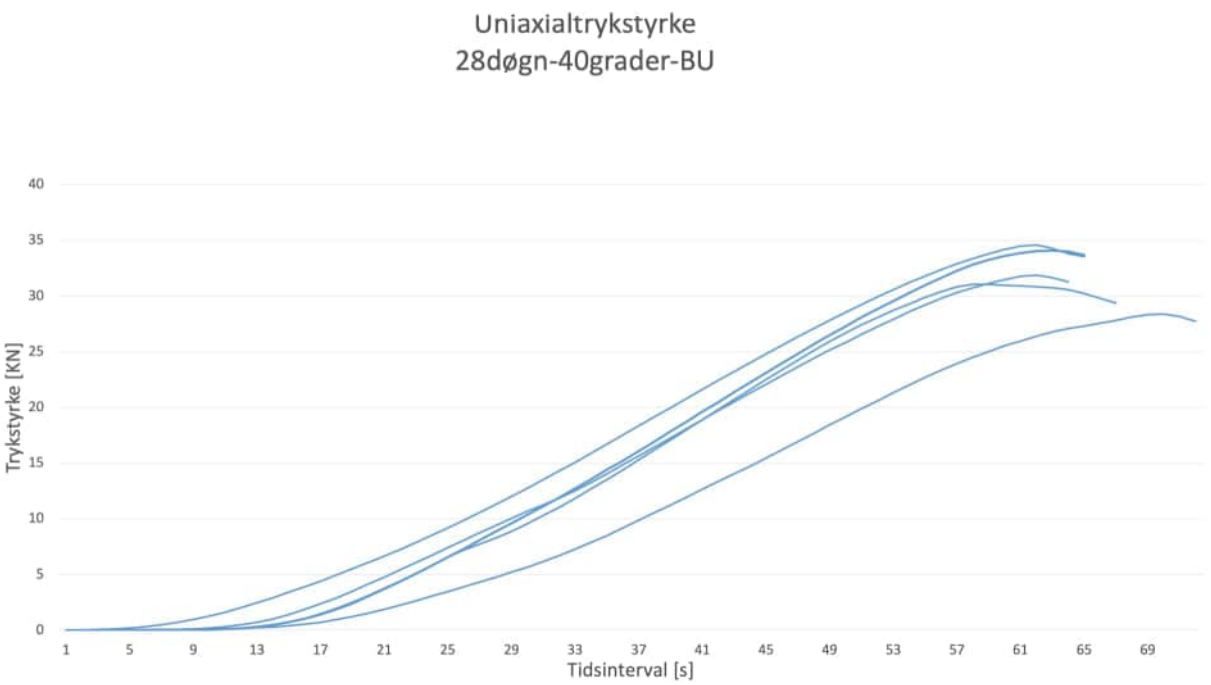
Figur C.11.



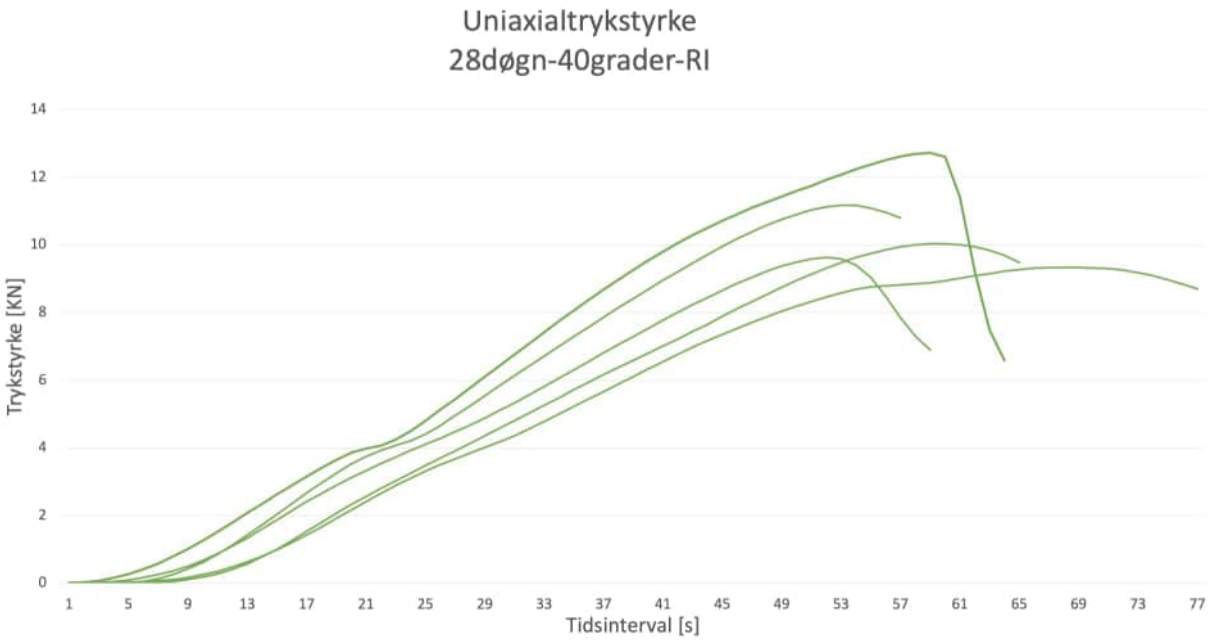
Figur C.12.



Figur C.13.

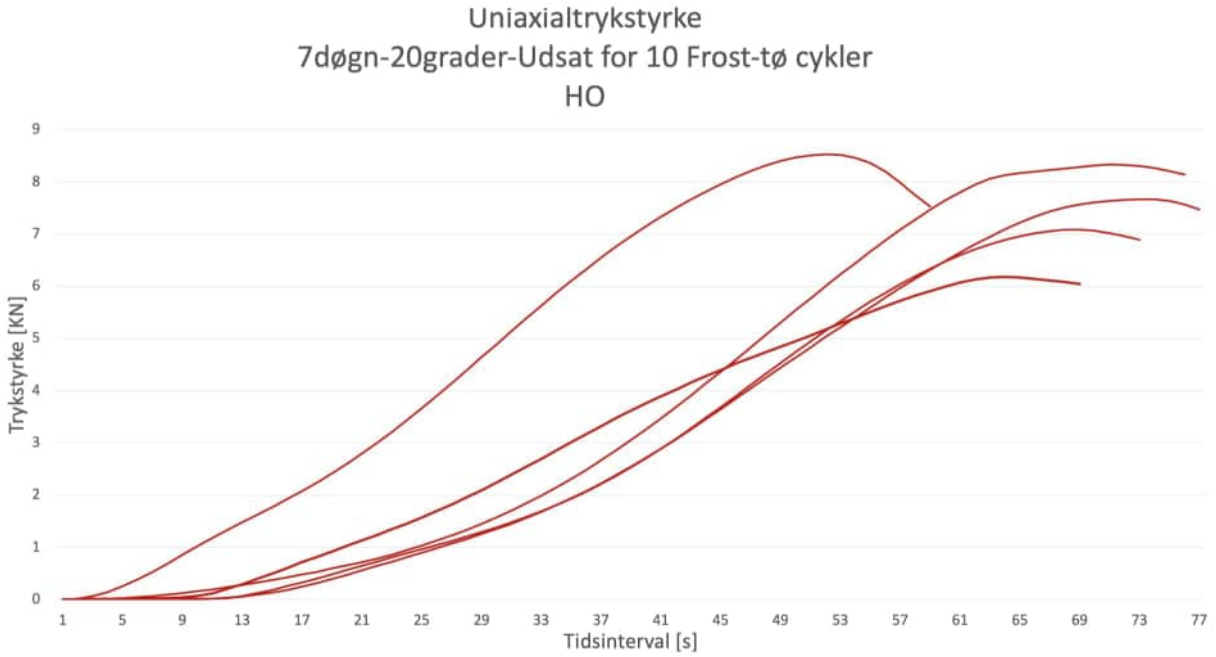


Figur C.14.

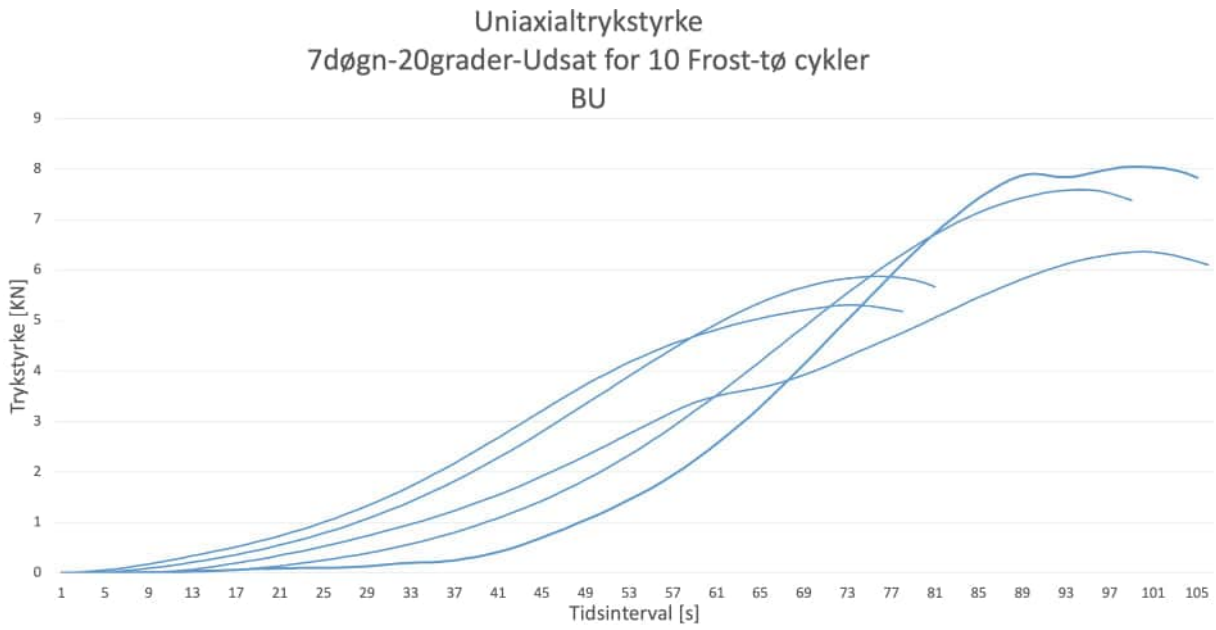


Figur C.15.

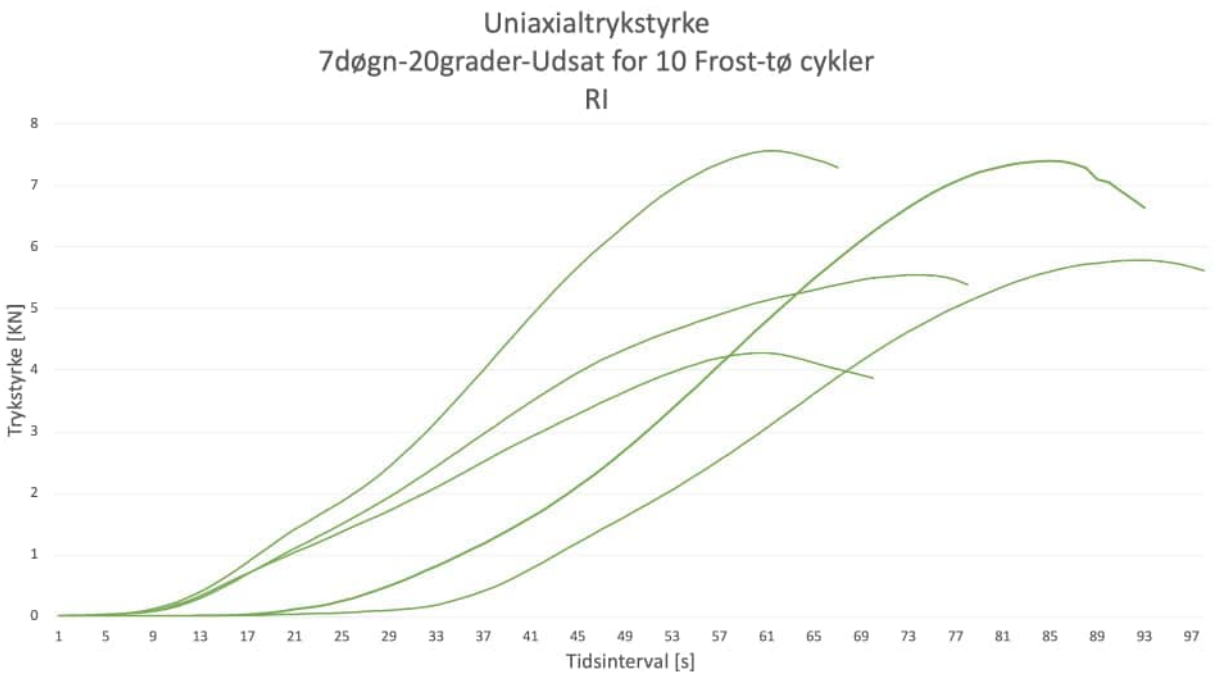
C.3 Frost/tø-cyklusser resultater



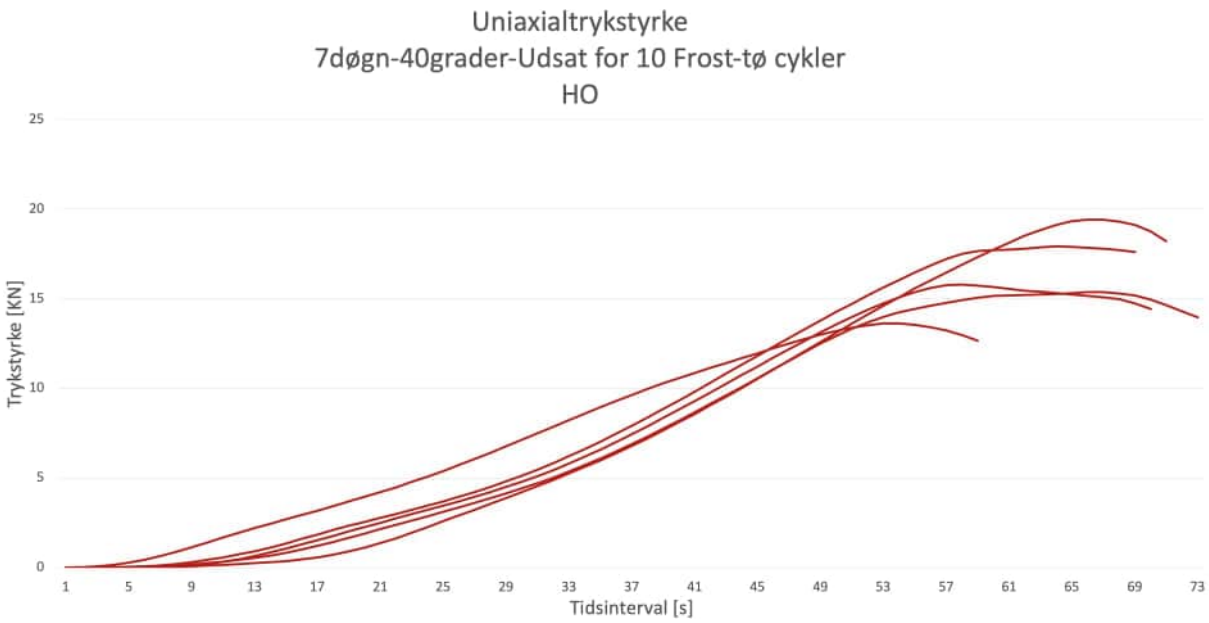
Figur C.16.



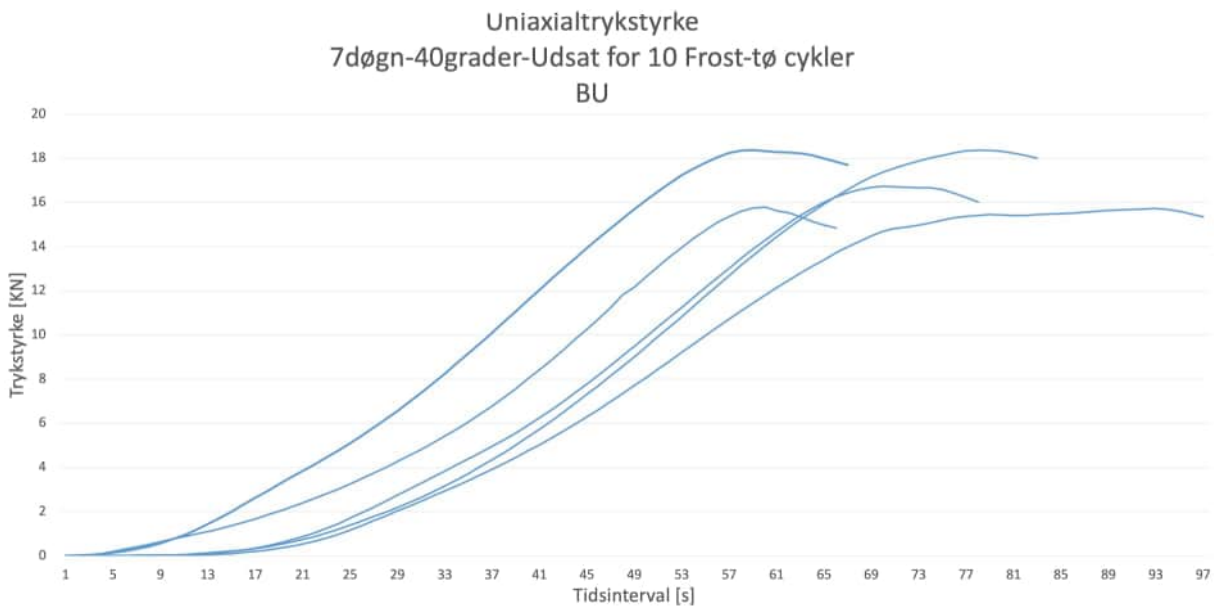
Figur C.17.



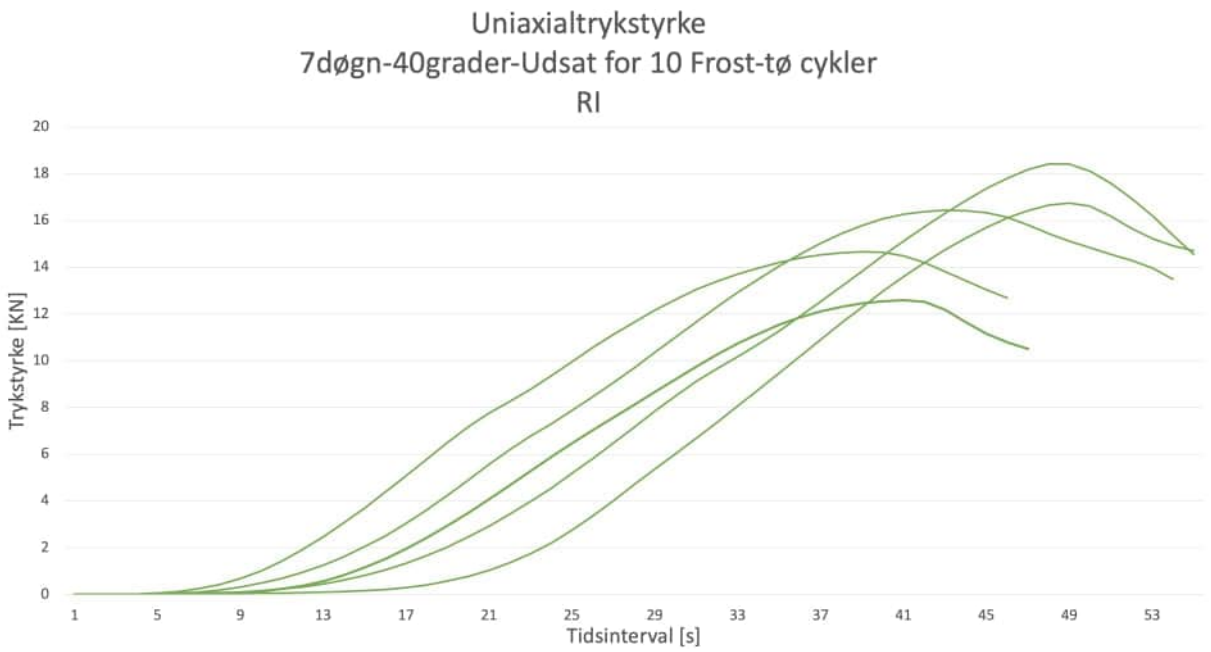
Figur C.18.



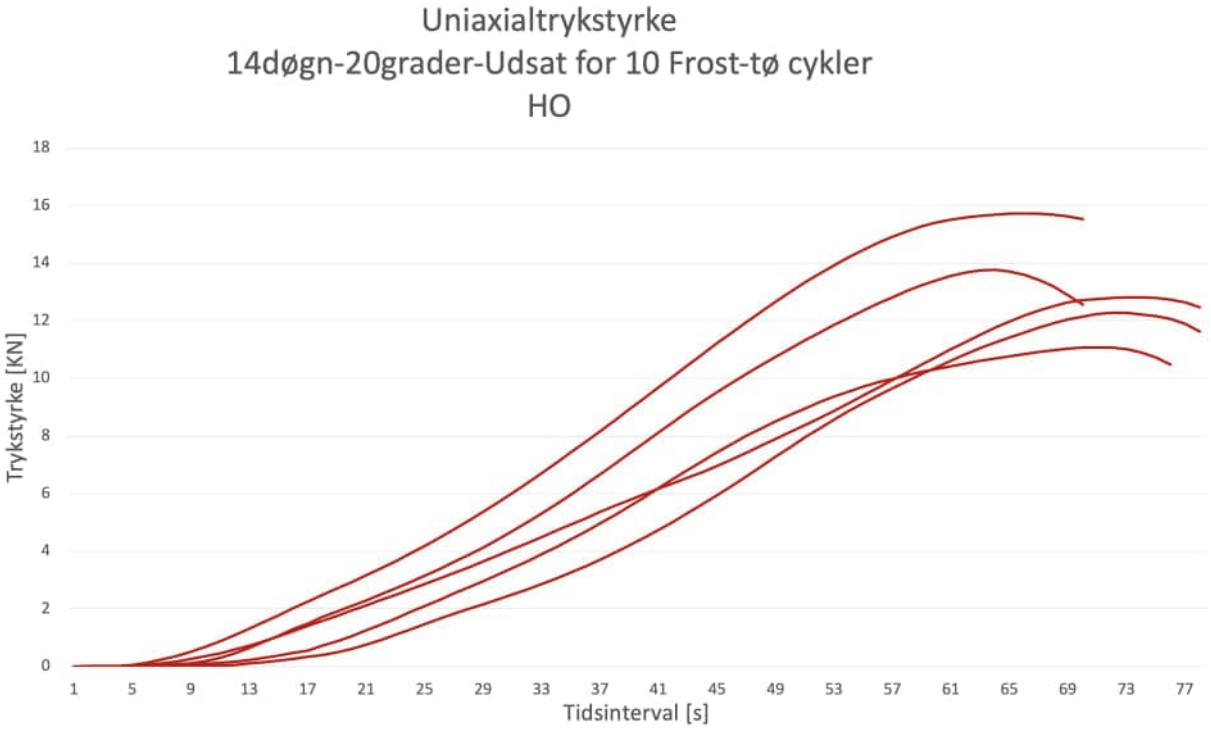
Figur C.19.



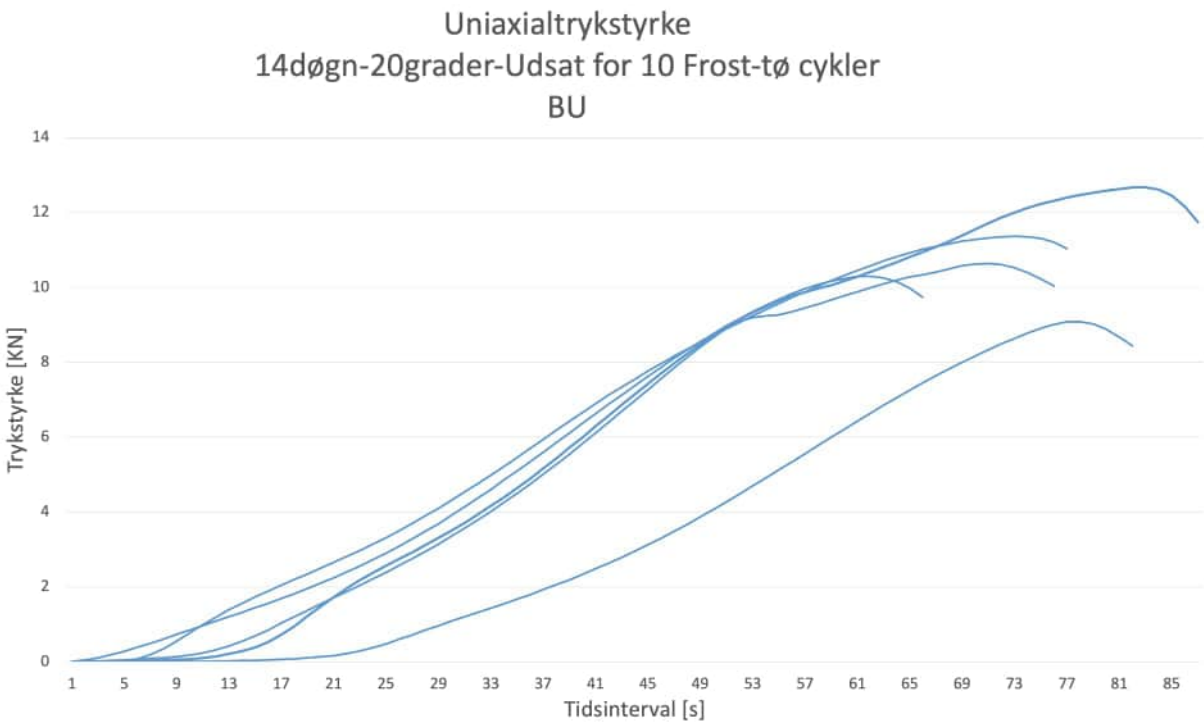
Figur C.20.



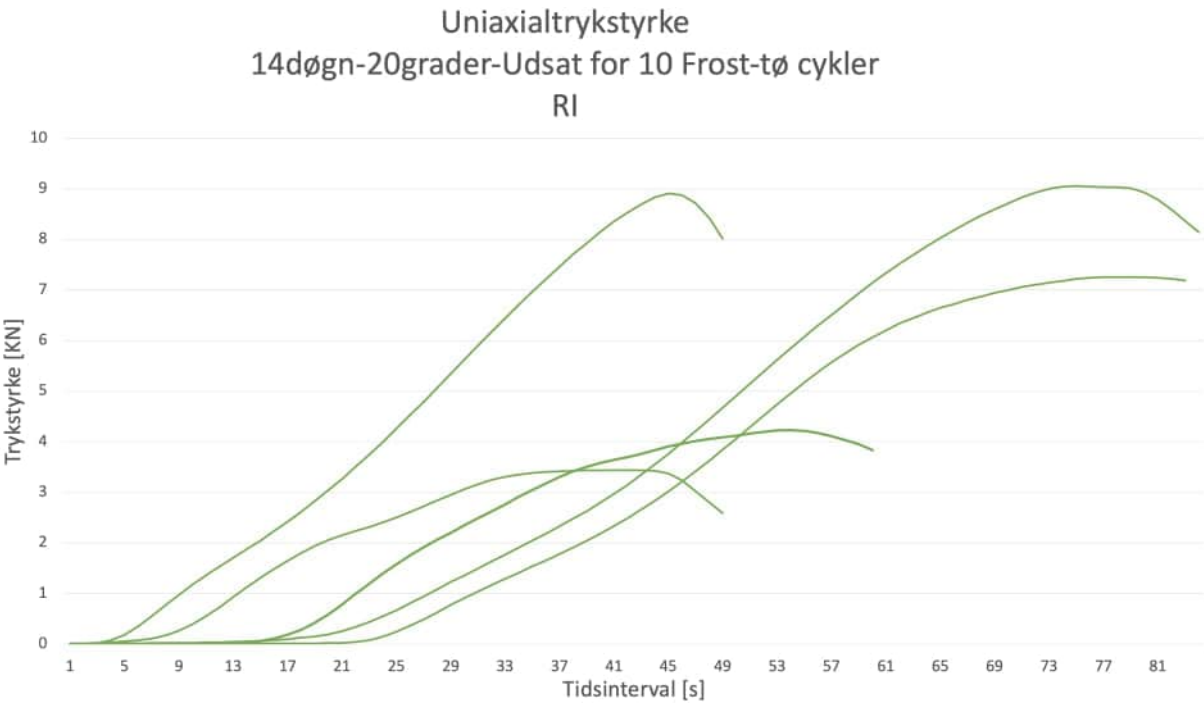
Figur C.21.



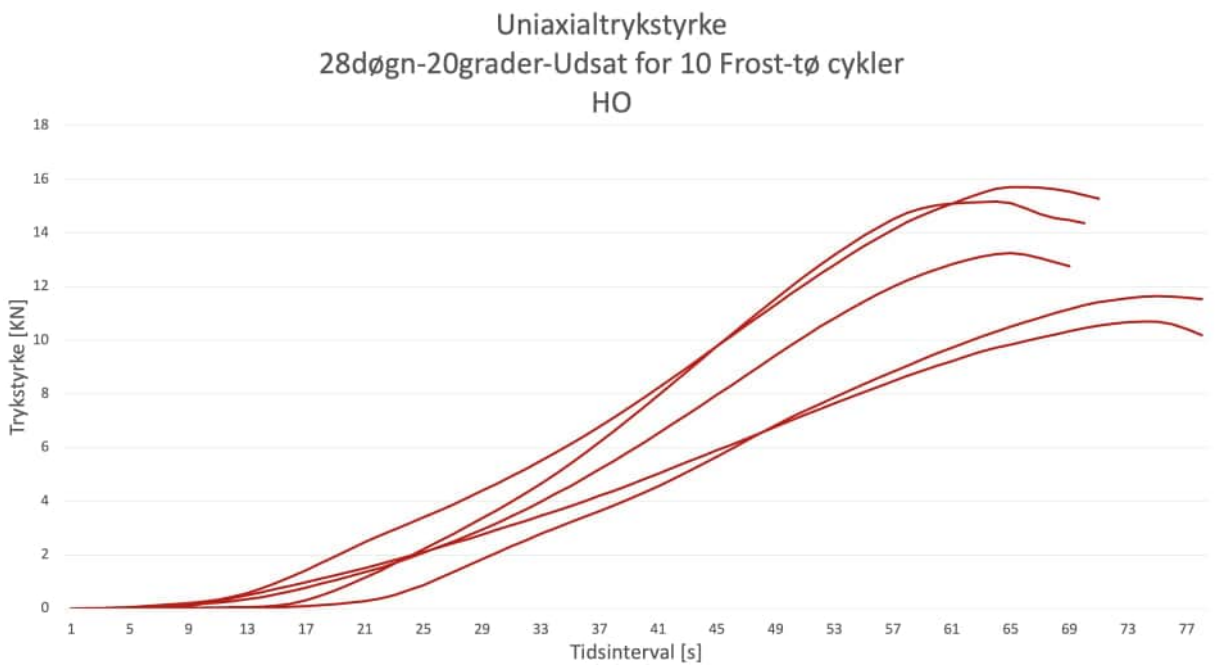
Figur C.22.



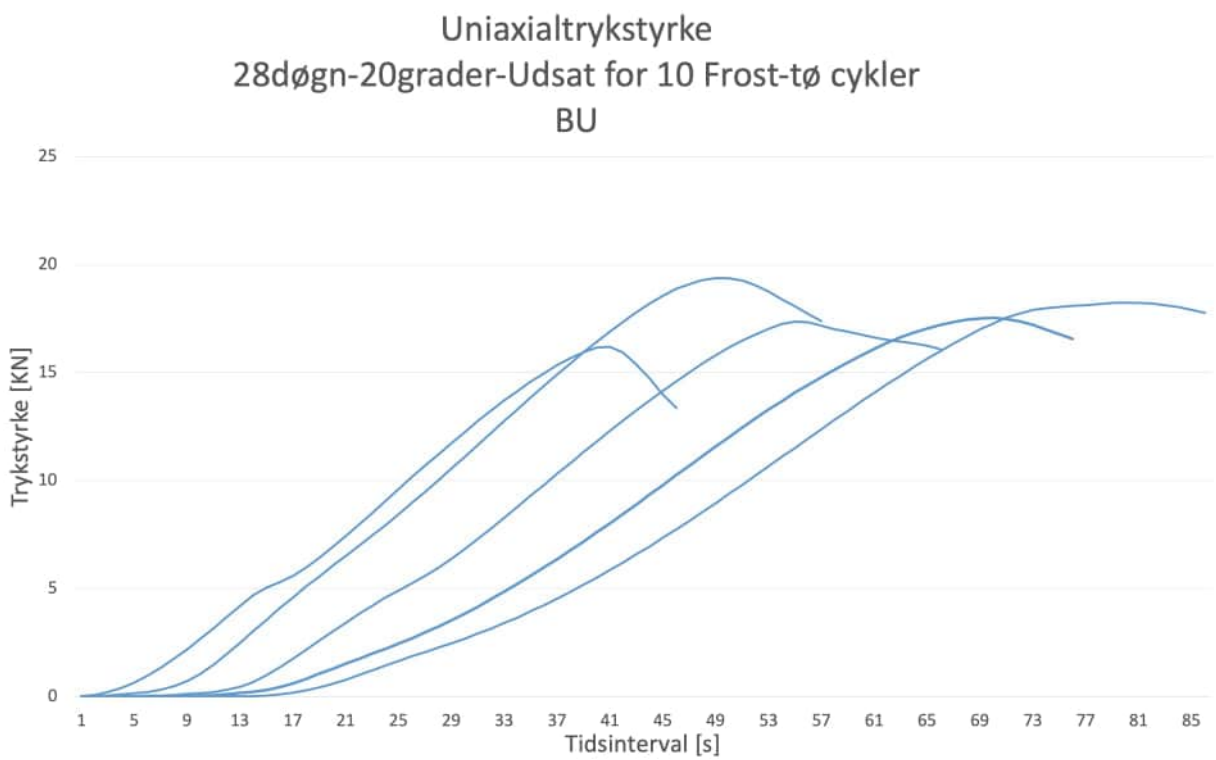
Figur C.23.



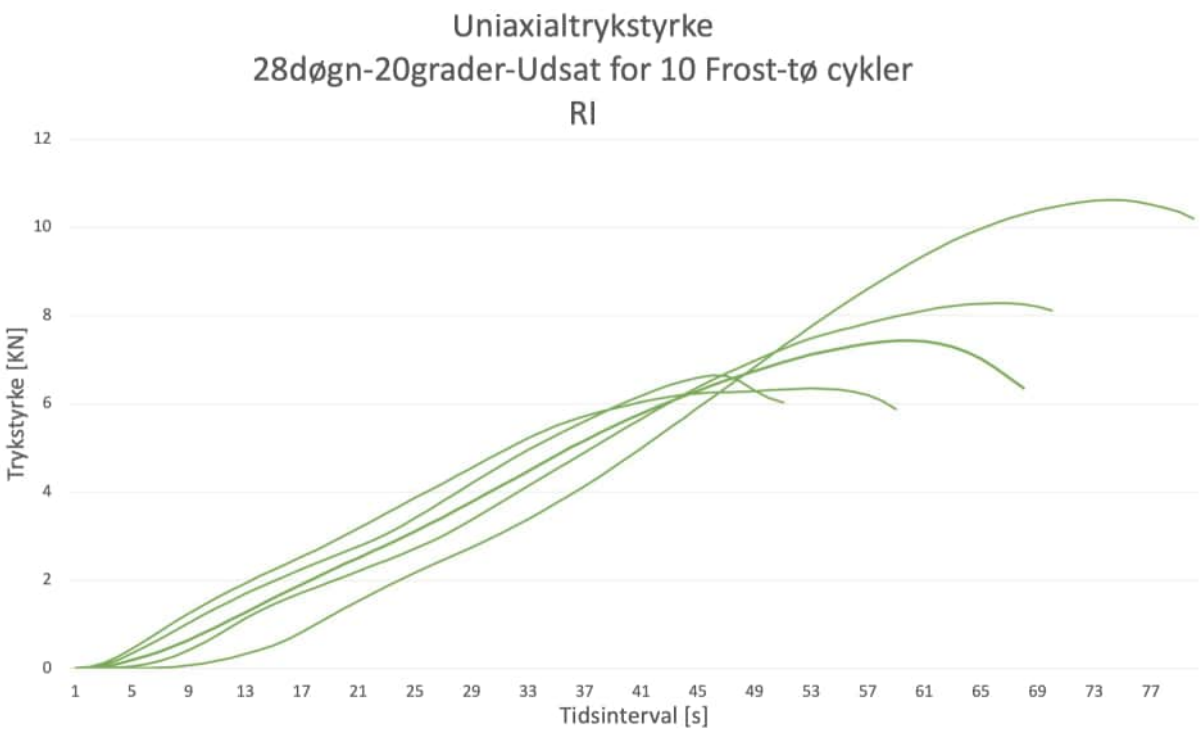
Figur C.24.



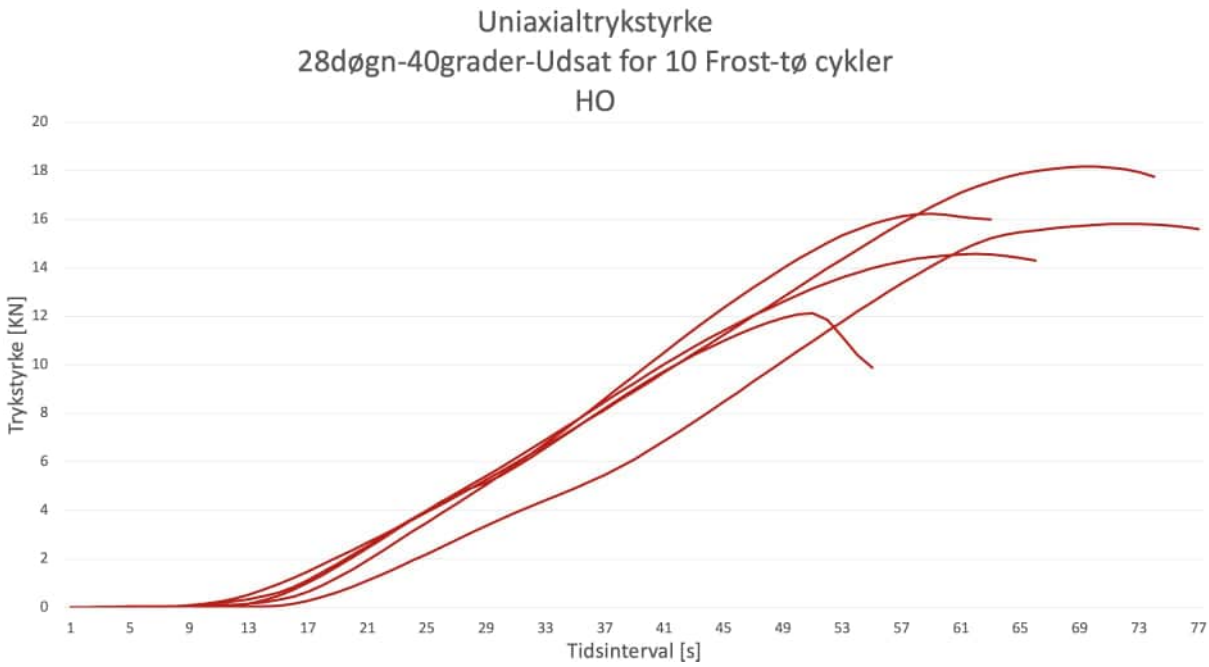
Figur C.25.



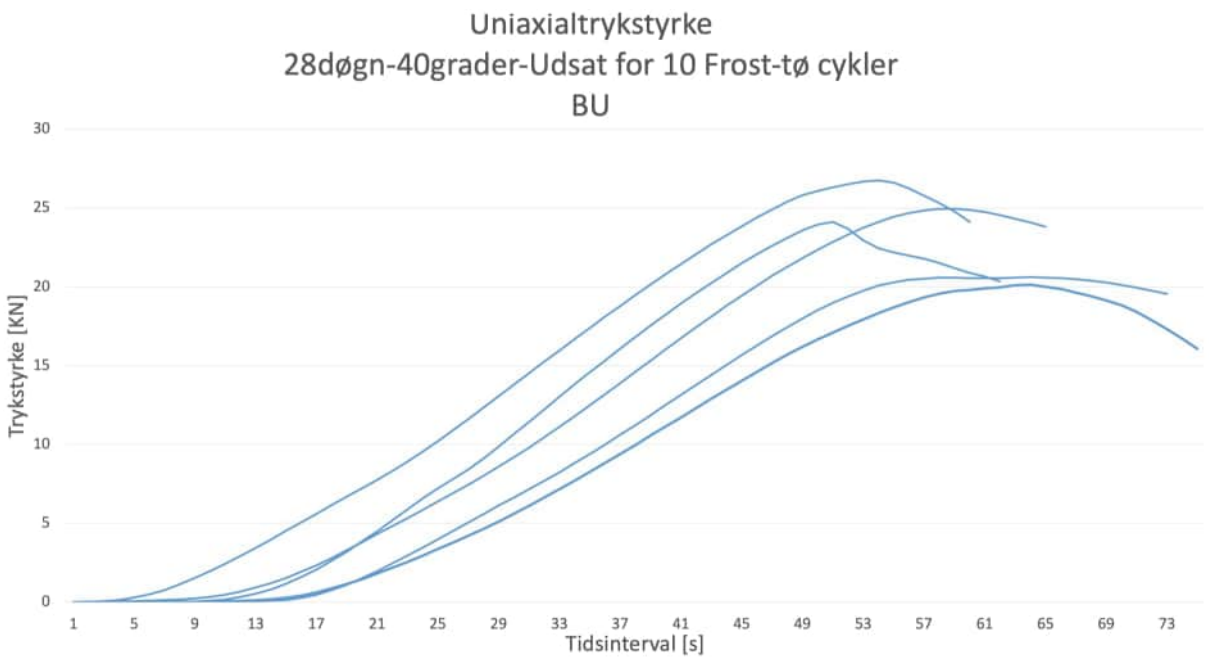
Figur C.26.



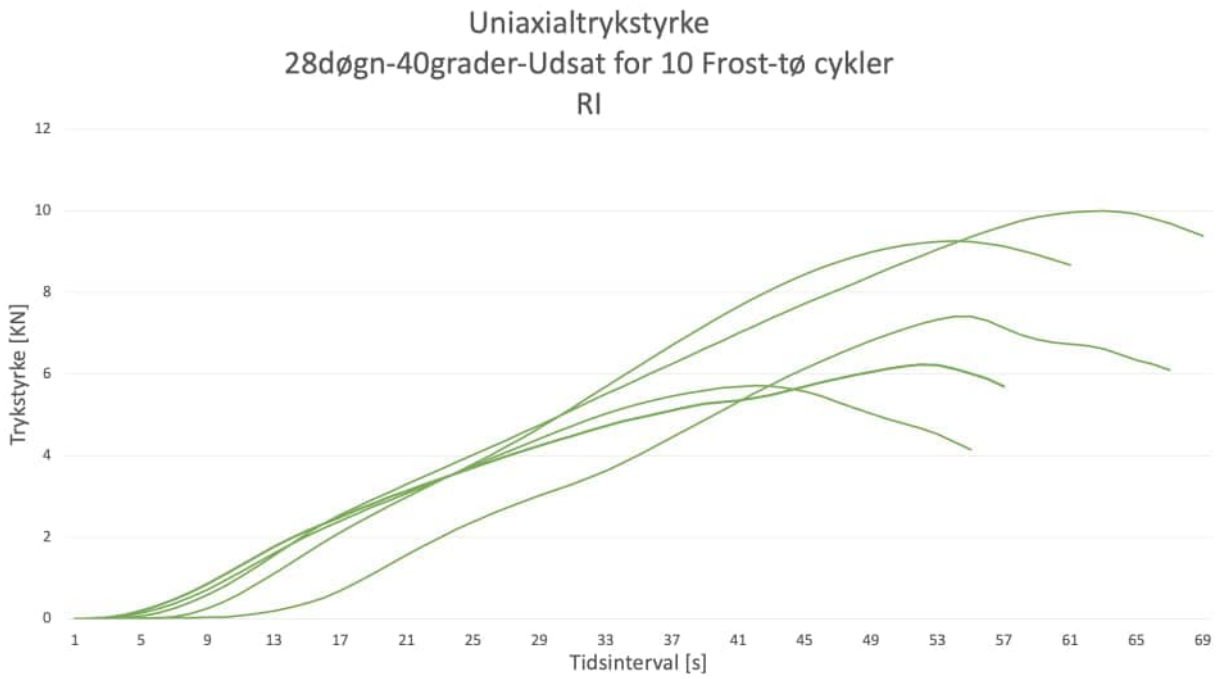
Figur C.27.



Figur C.28.



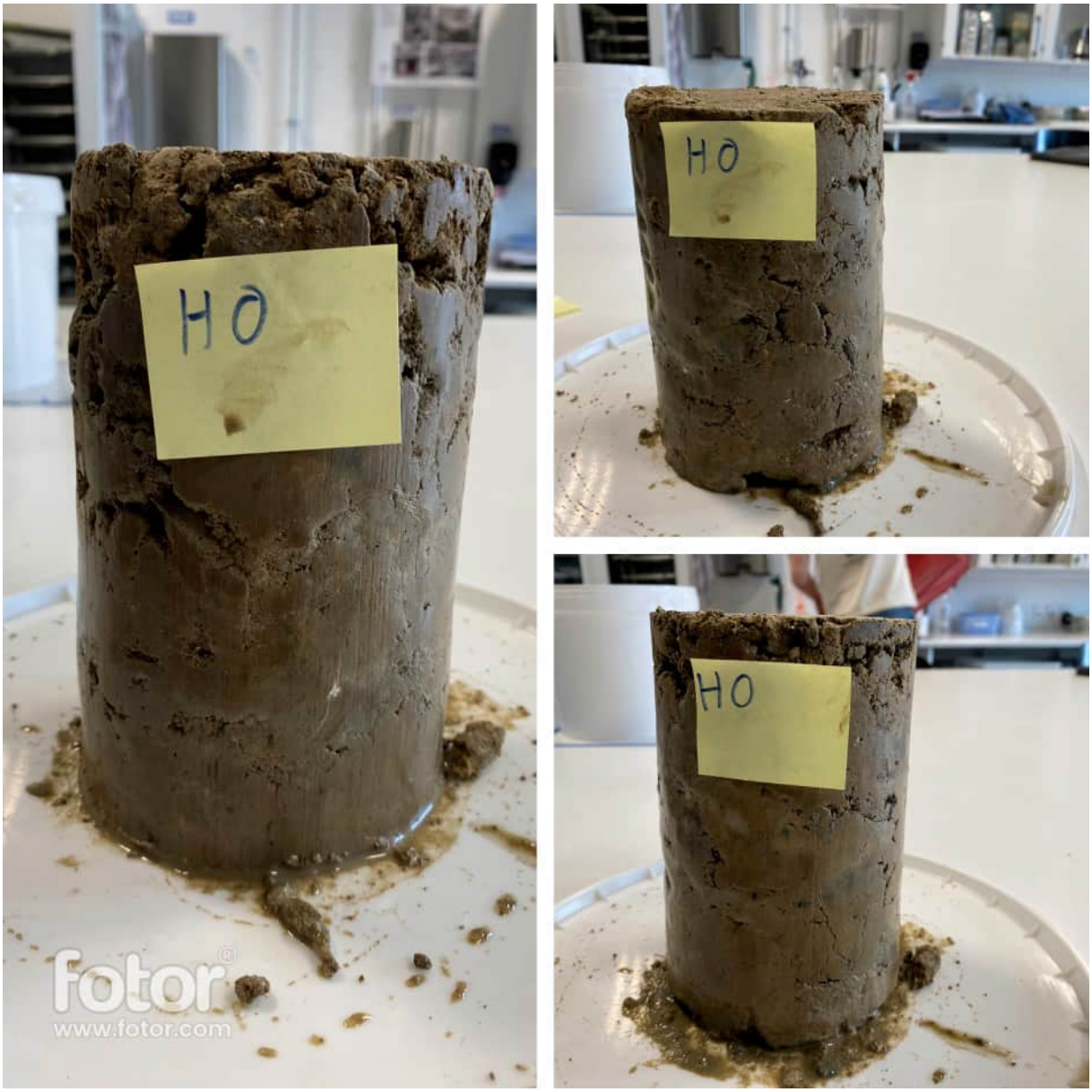
Figur C.29.



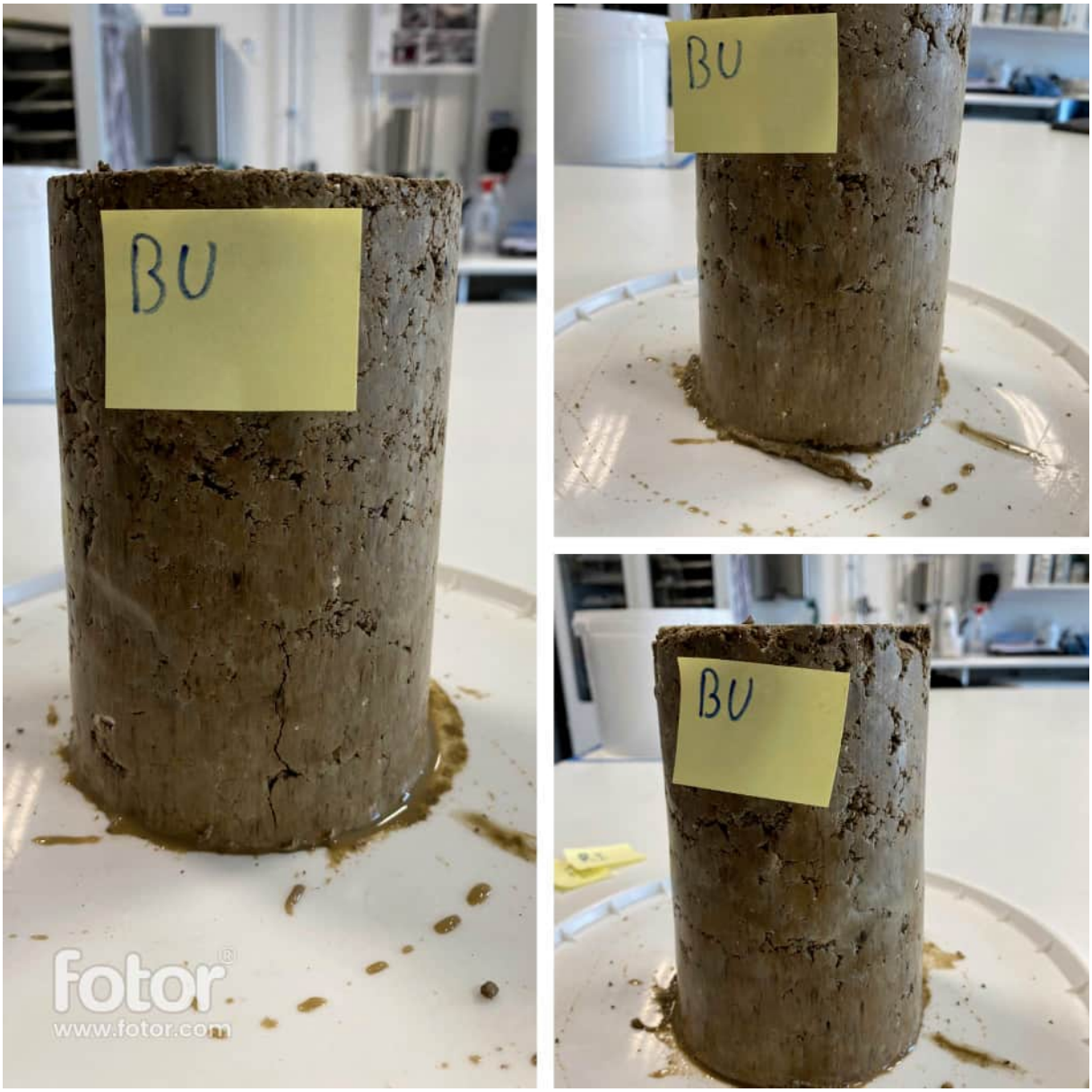
Figur C.30.

C.4 Kapillær stighøjde resultater

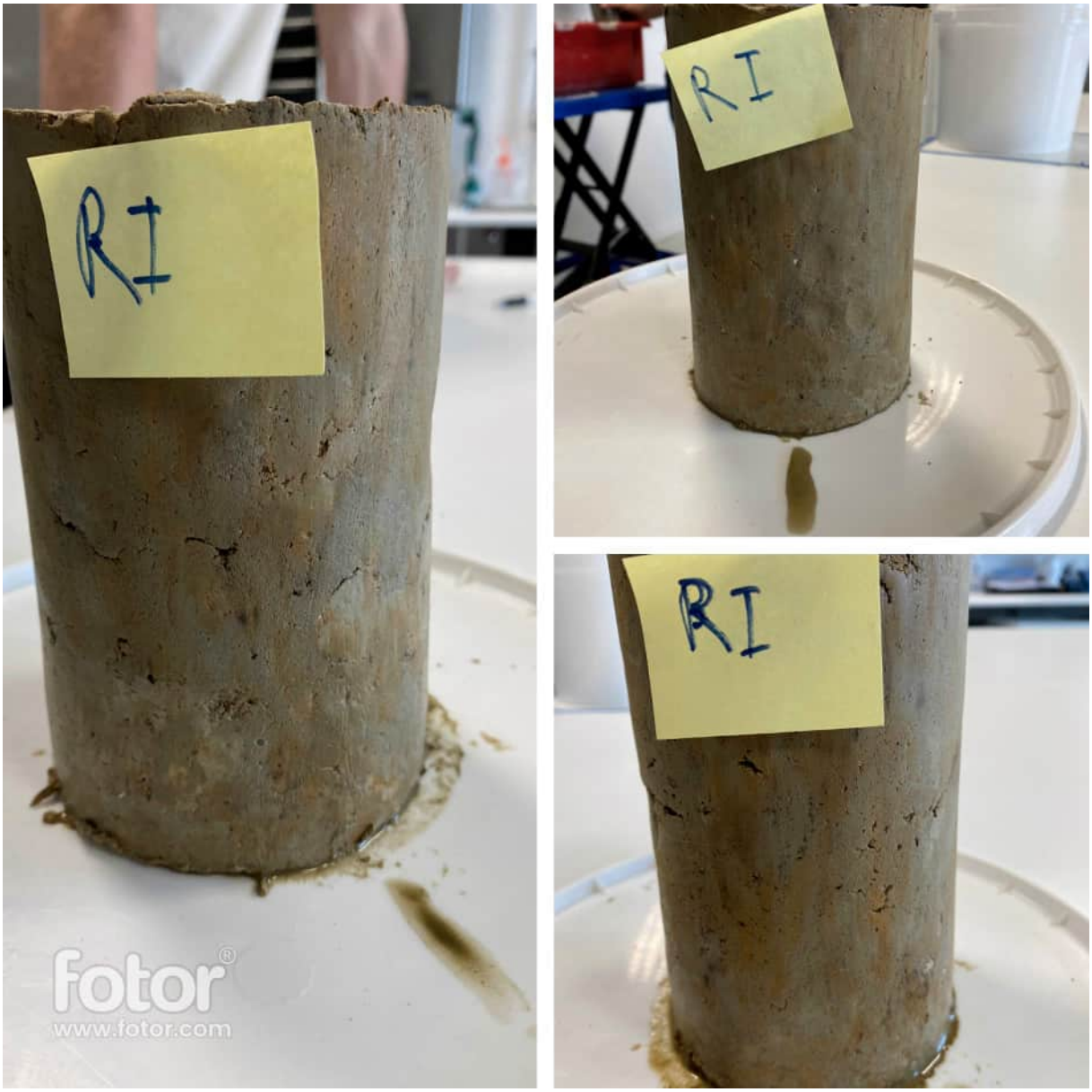
Afsnittet angiver dokumentation for den kapillær stighøjde for de enkelte prøveemner. Figur C.31, C.32 og C.33 angiver den kapillær stighøjde for den rå-lerjord henholdsvis for HO, BU og RI. De resterende figurer fremstår med der respektive hærdnings periode samt hærdningstempratur



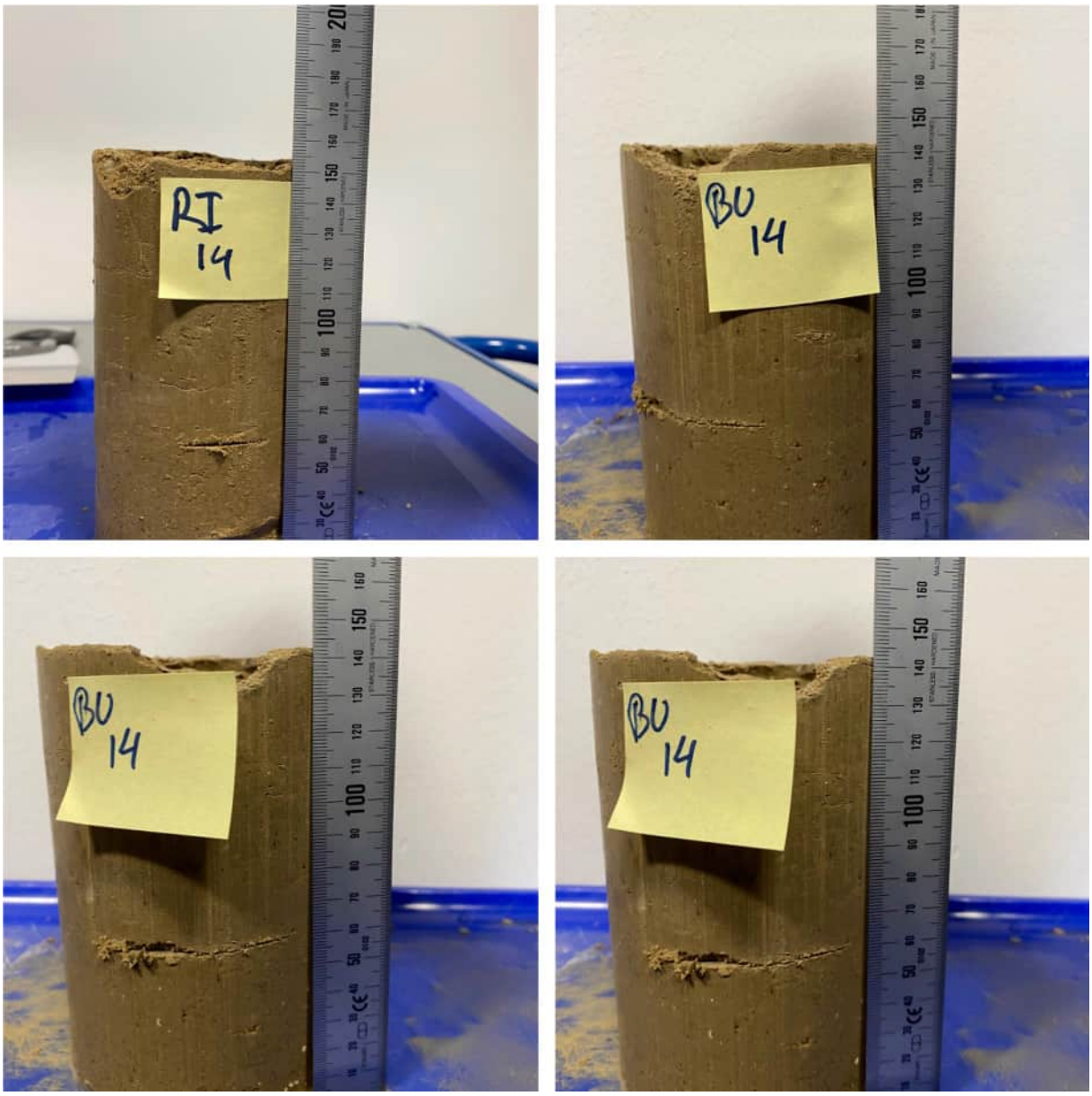
Figur C.31. Den kapillær stighøjde for den rå-lerjord.



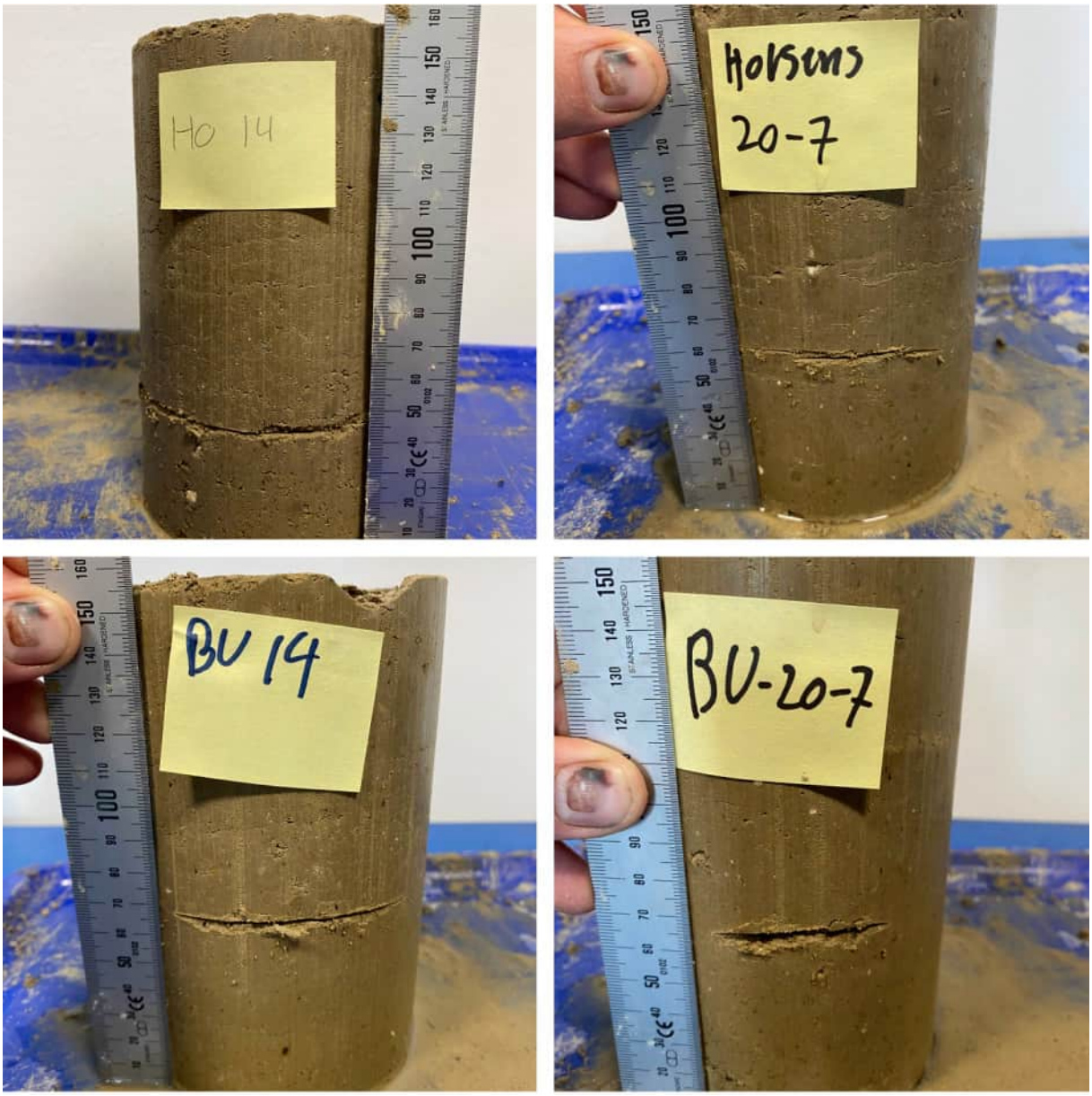
Figur C.32. Den kapillær stighøjde for den rå-lerjord



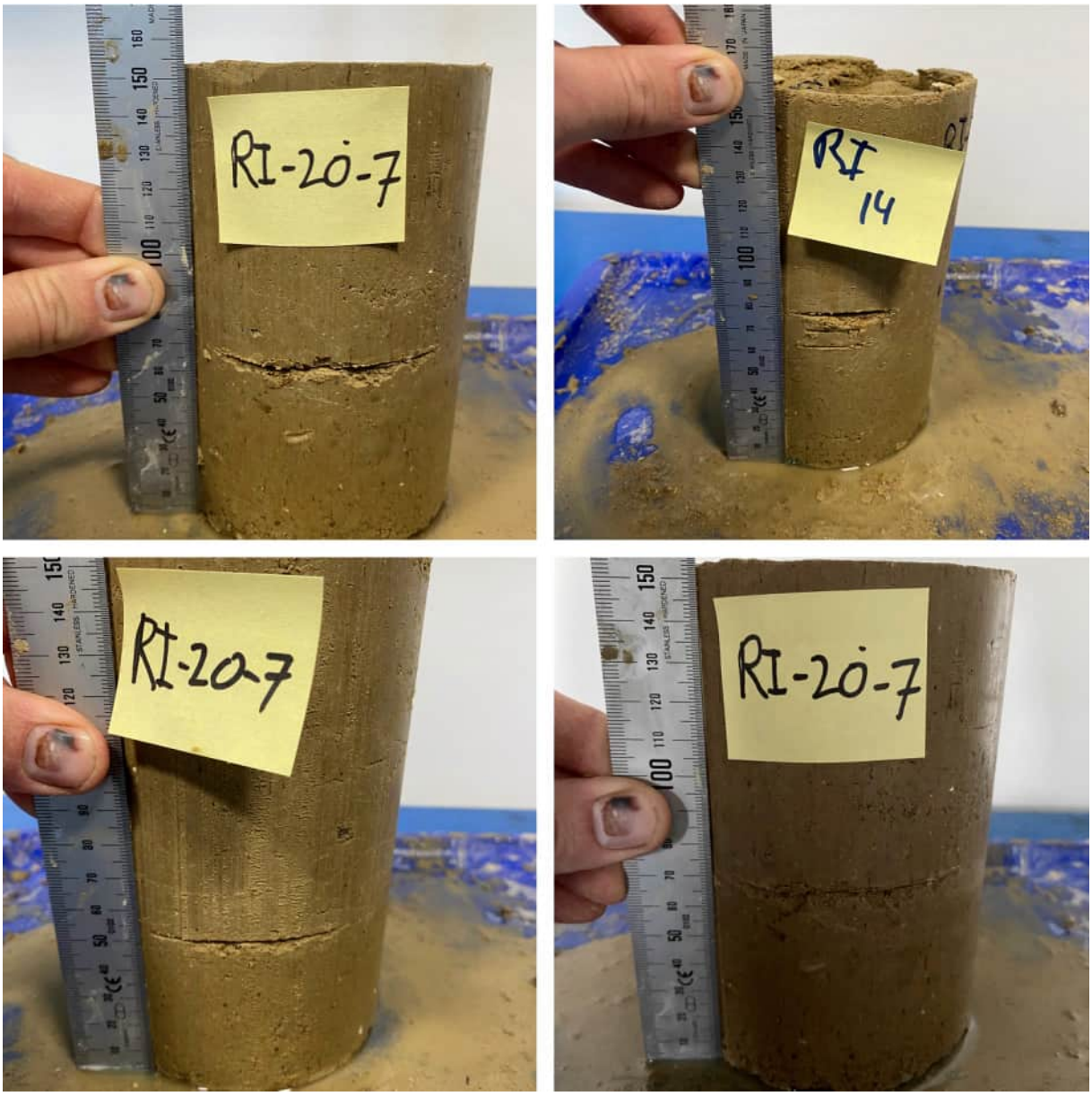
Figur C.33. Den kapillær stighøjde for den rå-lerjord



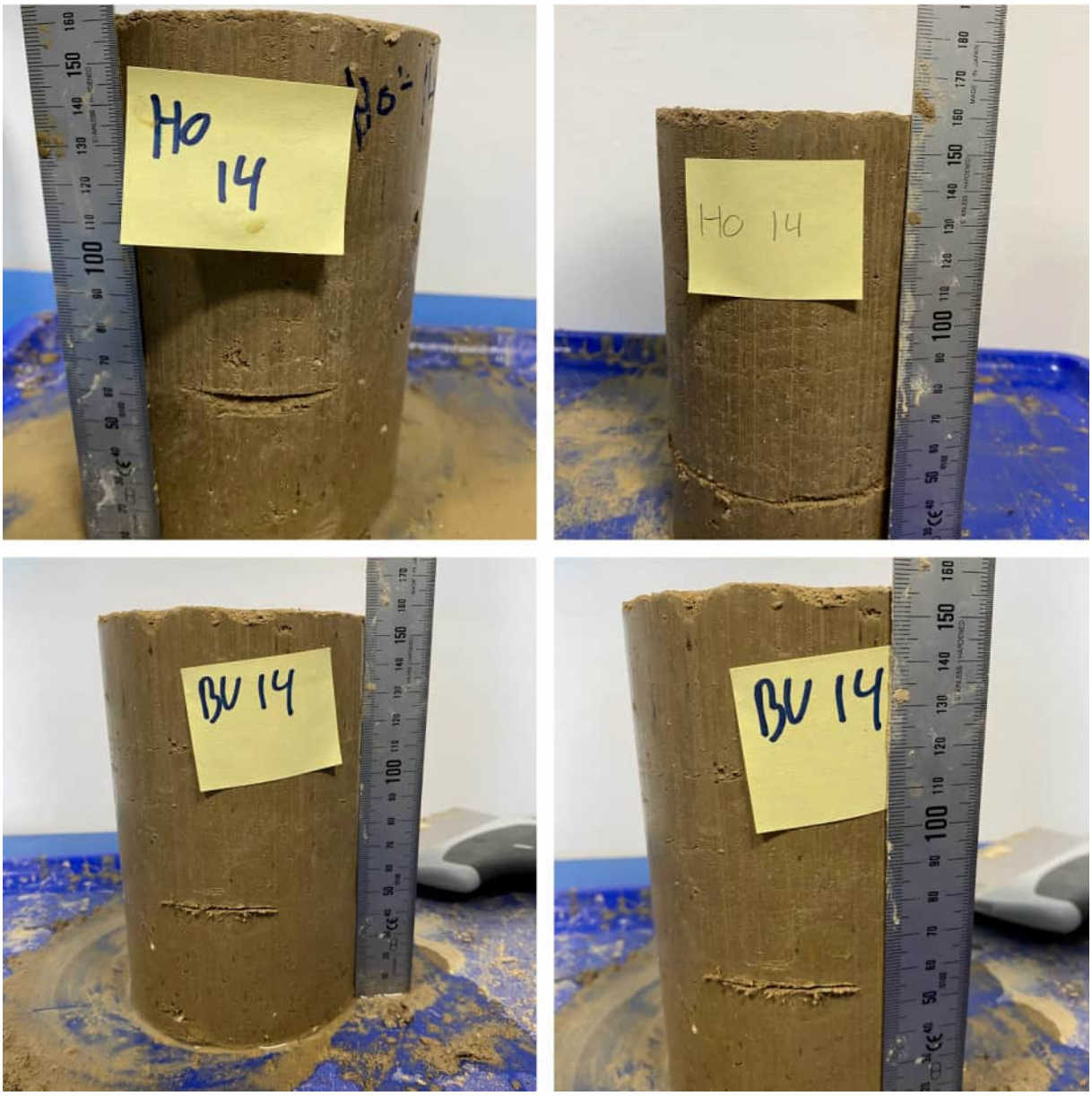
Figur C.34.



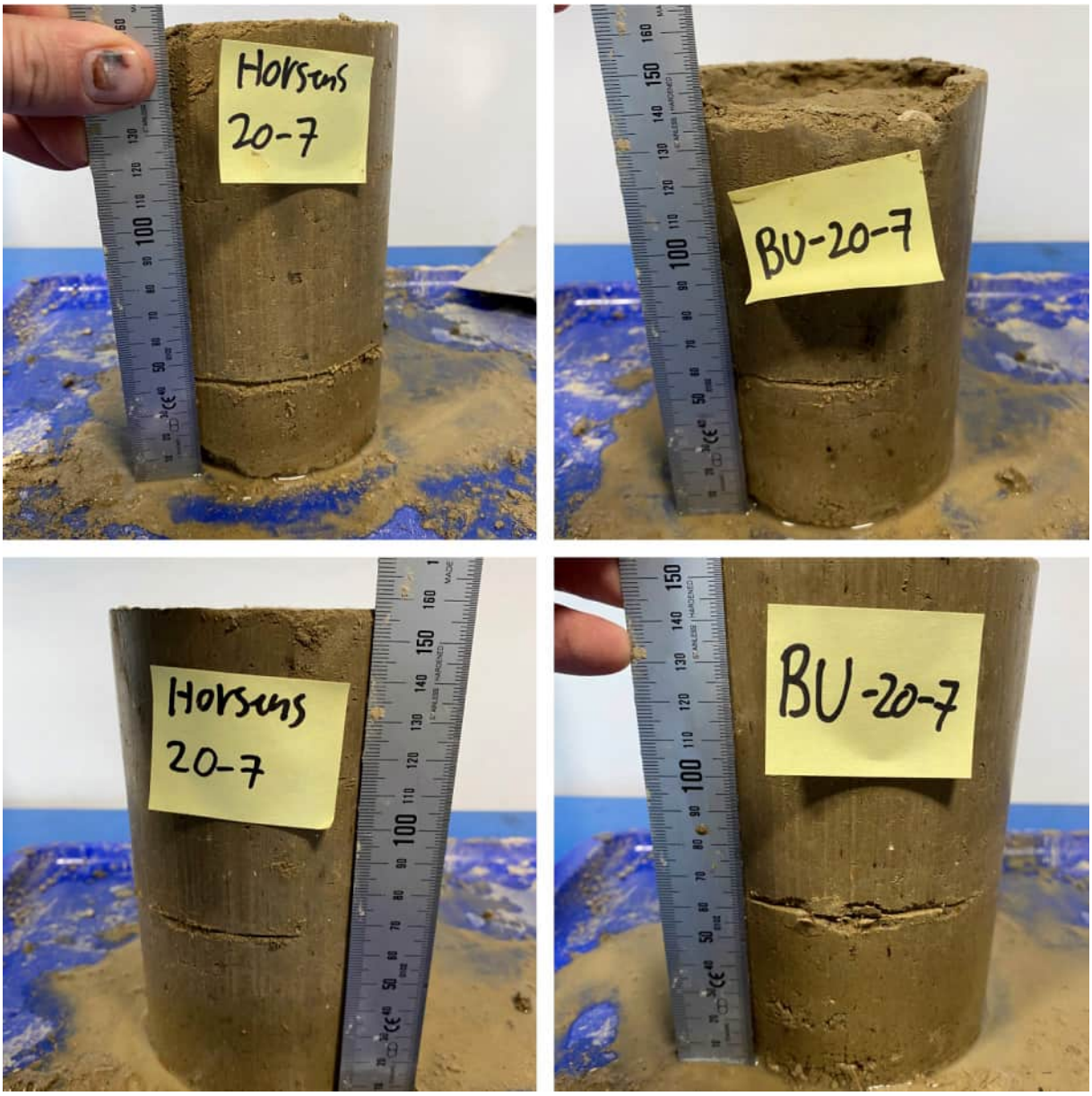
Figur C.35.



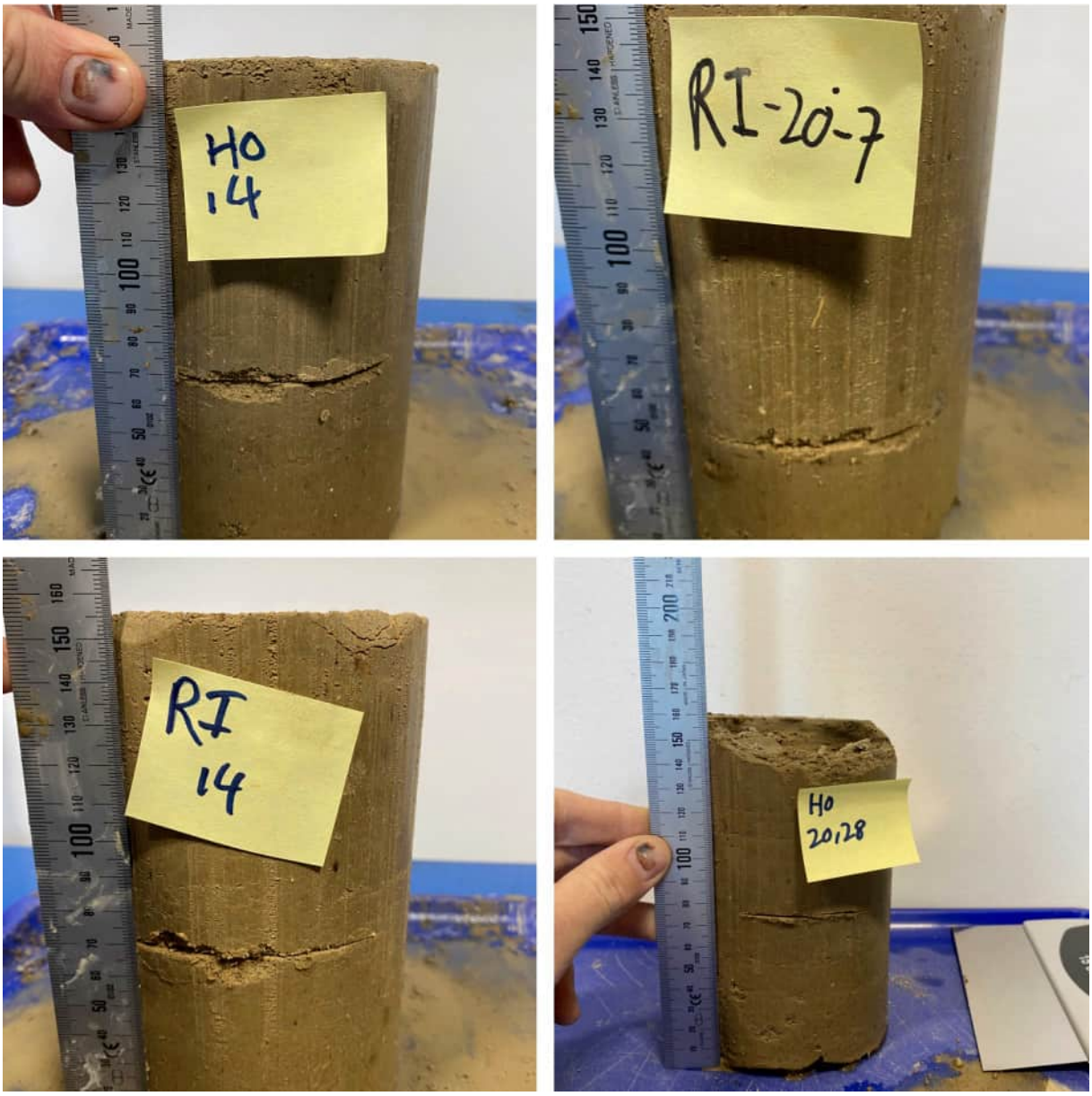
Figur C.36.



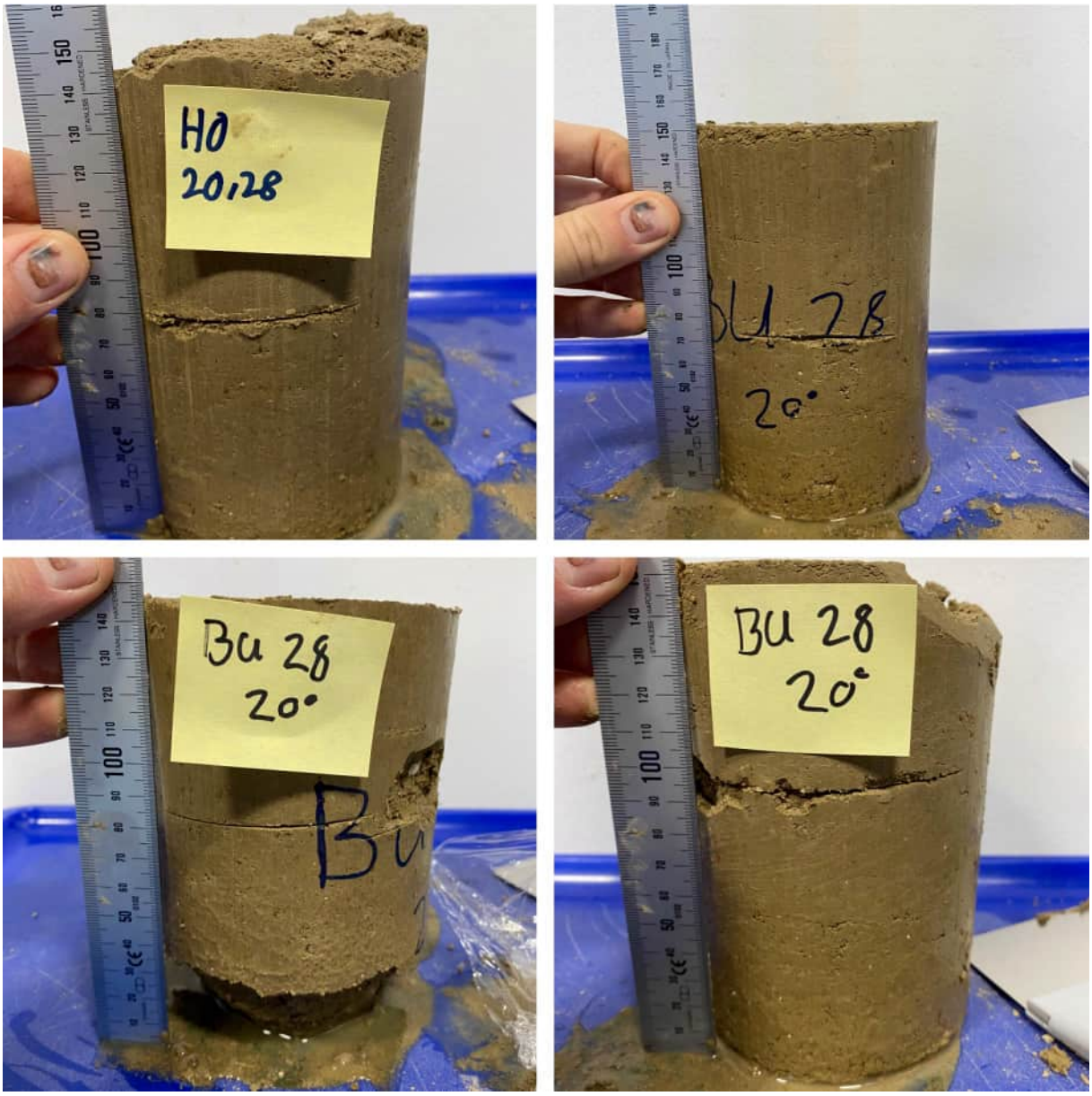
Figur C.37.



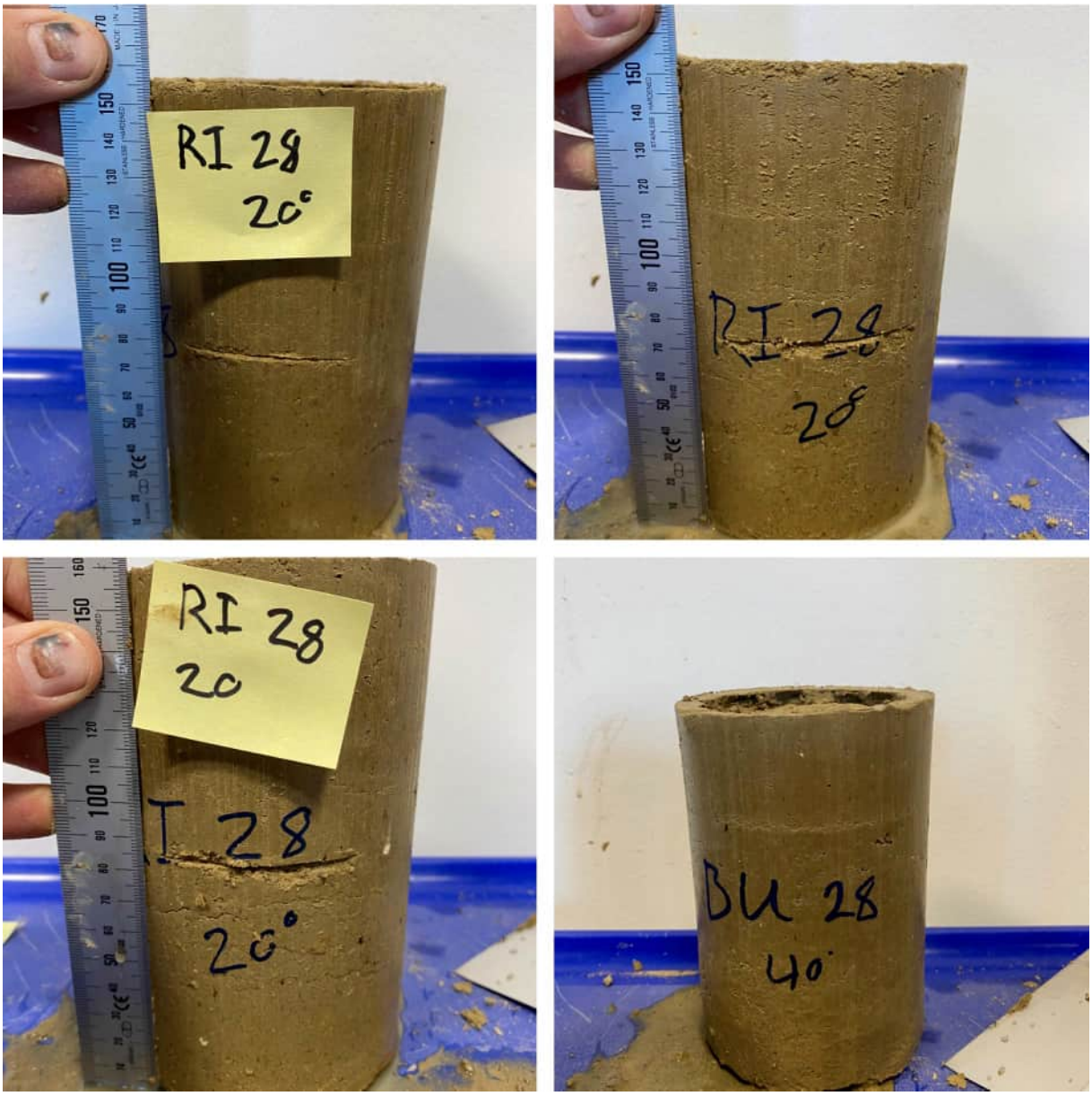
Figur C.38.



Figur C.39.



Figur C.40.



Figur C.41.

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ GUNNEKÆR 26
DK-2610 RØDOVRE
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 20. april 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-1596A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-1596A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ler og råjord, laboratorieprøvning

Materialer

Ler

Prøvningsperiode

Start 12. april 2023 **Slut** 20. april 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
--	Permeabilitetskoefficient bestemt ved gennemstrømning (ikke akk.)
DS/CEN ISO/TS	17892-4 Bestemmelse af fordelingen af partikelstørrelser (2016)
DS/EN 1097-5	Vandindhold (2013)
DS/EN ISO - 17892-1	Bestemmelse af flyde- og plasticitetsgrænser (2018)

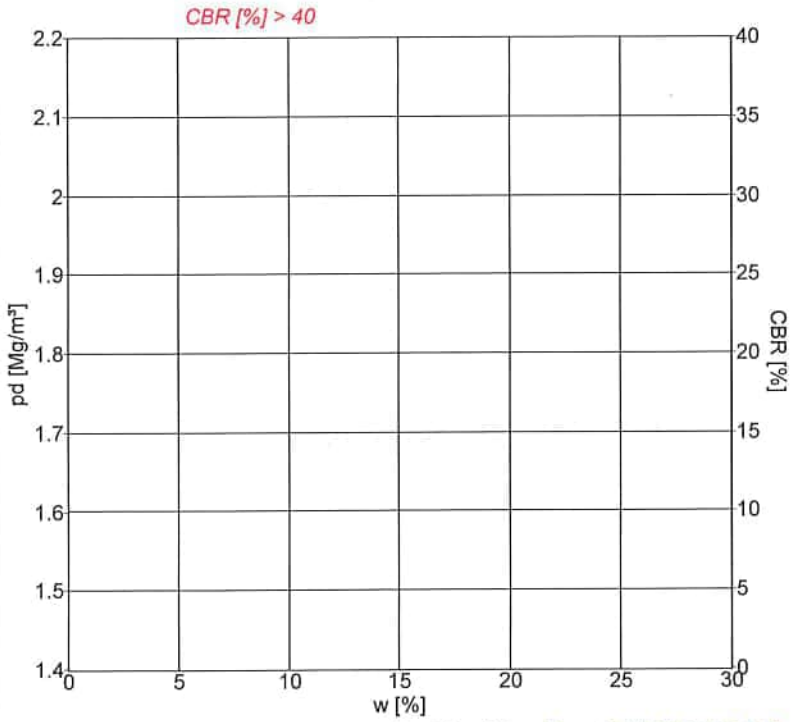
Rapport bemærkning

- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m^3 er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Martin C Andersen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.



Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³		
w_{opt} %		
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.063 mm		79 %	Frasigtet > 16 mm	s	1.8 %	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L	52 %	Plasticitetsgrænse	w_P	21 %	Plasticitetsindeks	I_P 31 %
Korndensitet(0-0.063mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	Lerindhold <0,002 mm	ca. 39 %
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold			Permeabilitet	6,57E-09 m/sek
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	29.1 %		

Prøvebeskrivelse: Ler
Rap. nr R-23-1596A

Mrk. Buskmosevej, Kværs
Udt. 12-04-23

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 1596A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 12-04-2023	Tegn.: Y8RS	Godk.: 20/4-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ GUNNEKÆR 26
DK-2610 RØDOVRE
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DI

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 20. april 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-1598A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-1598A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ler og råjord, laboratorieprøvning

Materialer

Ler

Prøvningsperiode

Start 12. april 2023 **Slut** 20. april 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
--	Permeabilitetskoefficient bestemt ved gennemstrømning (ikke akk.)
DS/CEN ISO/TS	17892-4 Bestemmelse af fordelingen af partikelstørrelser (2016)
DS/EN 1097-5	Vandindhold (2013)
DS/EN ISO - 17892-1	Bestemmelse af flyde- og plasticitetsgrænser (2018)

Rapport bemærkning

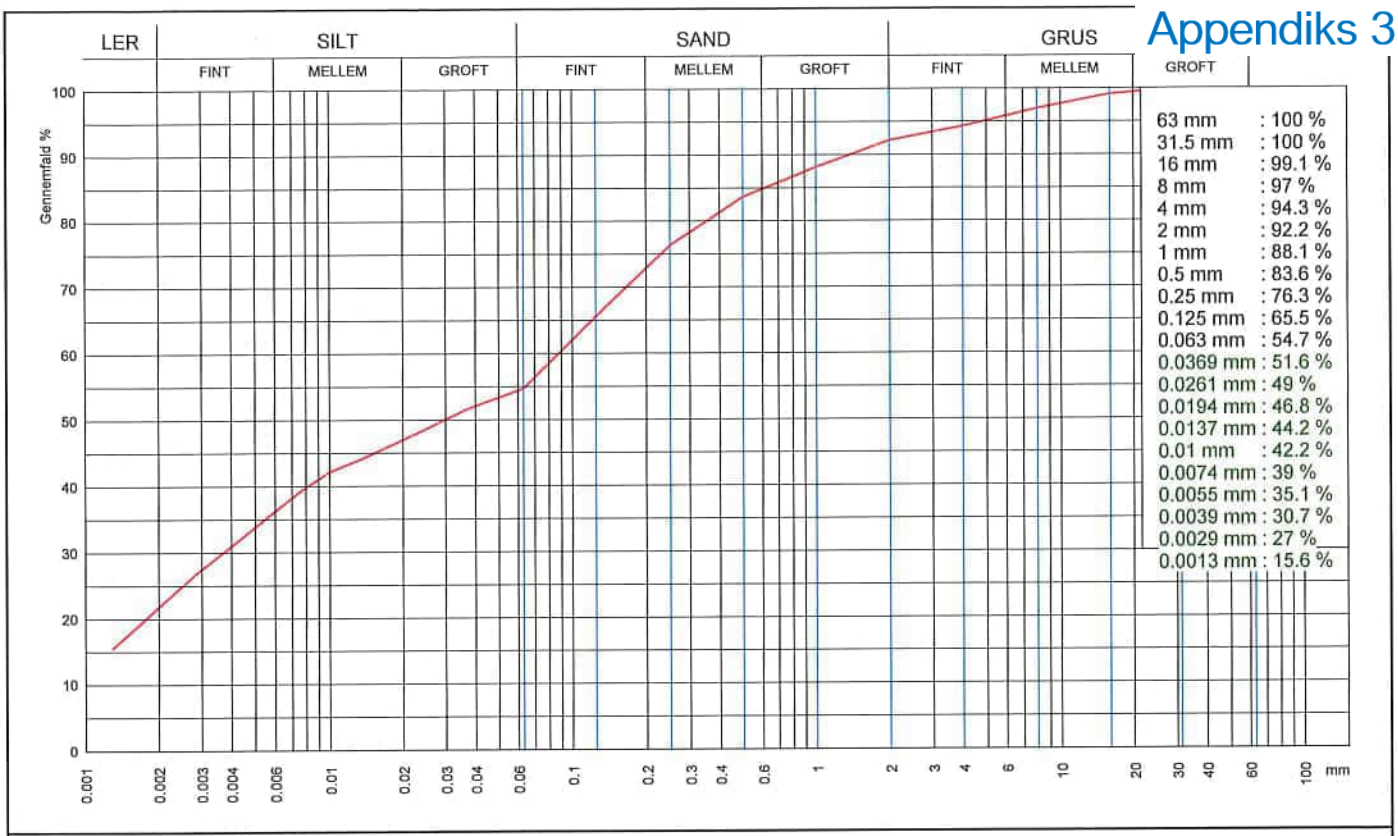
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m^3 er antaget.

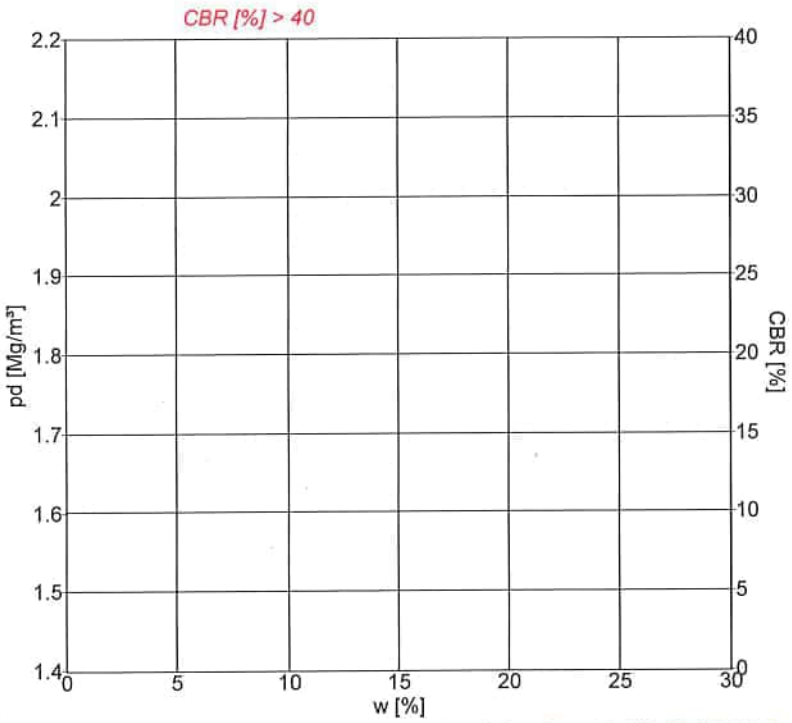
Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Martin C Andersen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

Appendiks 3





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³		
w_{opt} %		
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.063 mm		54.7 %	Frasigtet > 16 mm	s	.9 %	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L	20 %	Plasticitetsgrænse	w_P	10.5 %	Plasticitetsindeks I_P	9.5 %
Korndensitet(0-0.063mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	Lerindhold <0,002 mm	ca. 22 %
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold			Permeabilitet	9,64E-08 m/sek
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	9.2 %		

Prøvebeskrivelse: Ler
Rap. nr R-23-1598A

Mrk. Femern
Udt. 12-04-23

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 1598A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 12-04-2023	Tegn.: Y8RS	Godk.: 20/4-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ GUNNEKÆR 26
DK-2610 RØDOVRE
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 20. april 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-1597A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-1597A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ler og råjord, laboratorieprøvning

Materialer

Ler

Prøvningsperiode

Start 12. april 2023 **Slut** 20. april 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
--	Permeabilitetskoefficient bestemt ved gennemstrømning (ikke akk.)
DS/CEN ISO/TS	17892-4 Bestemmelse af fordelingen af partikelstørrelser (2016)
DS/EN 1097-5	Vandindhold (2013)
DS/EN ISO - 17892-1	Bestemmelse af flyde- og plasticitetsgrænser (2018)

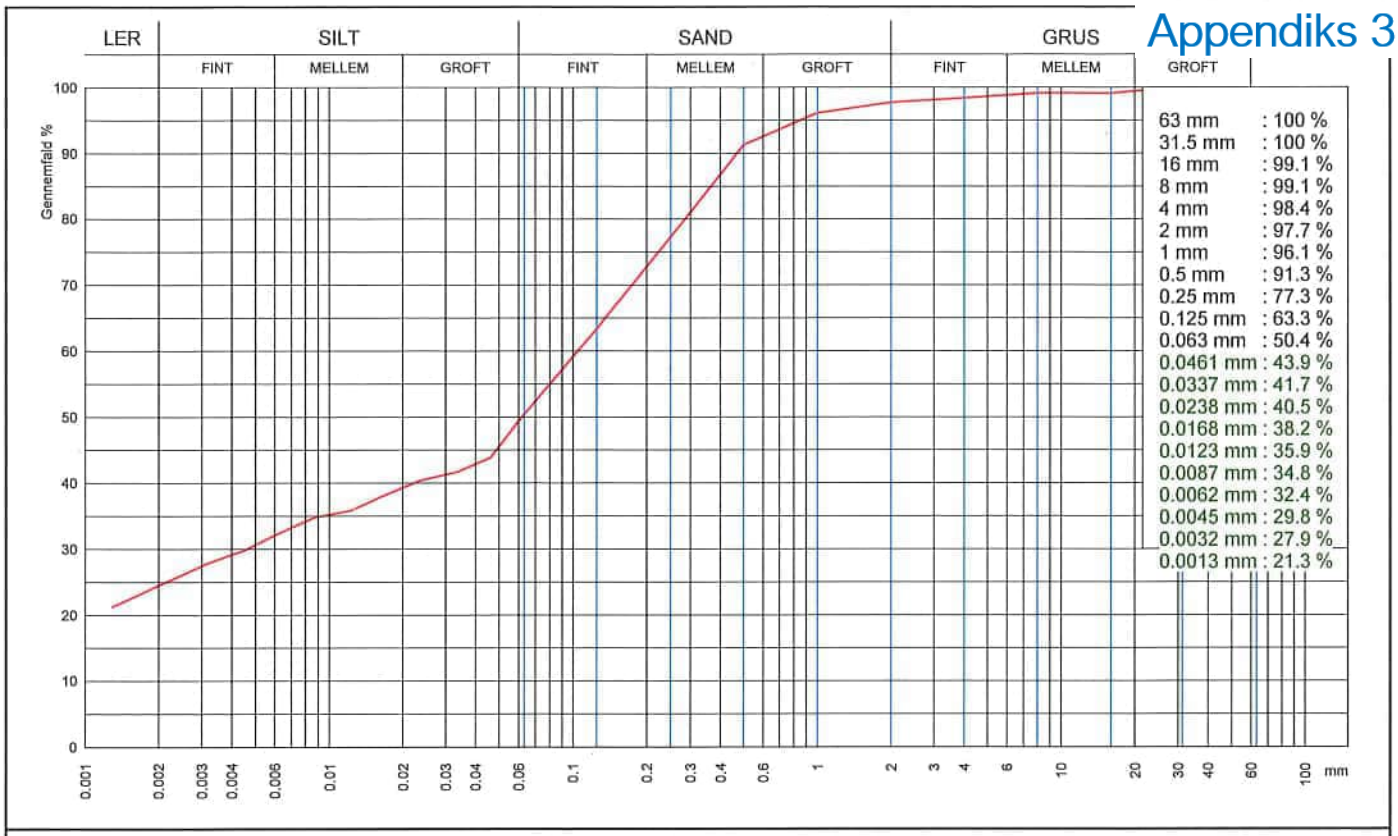
Rapport bemærkning

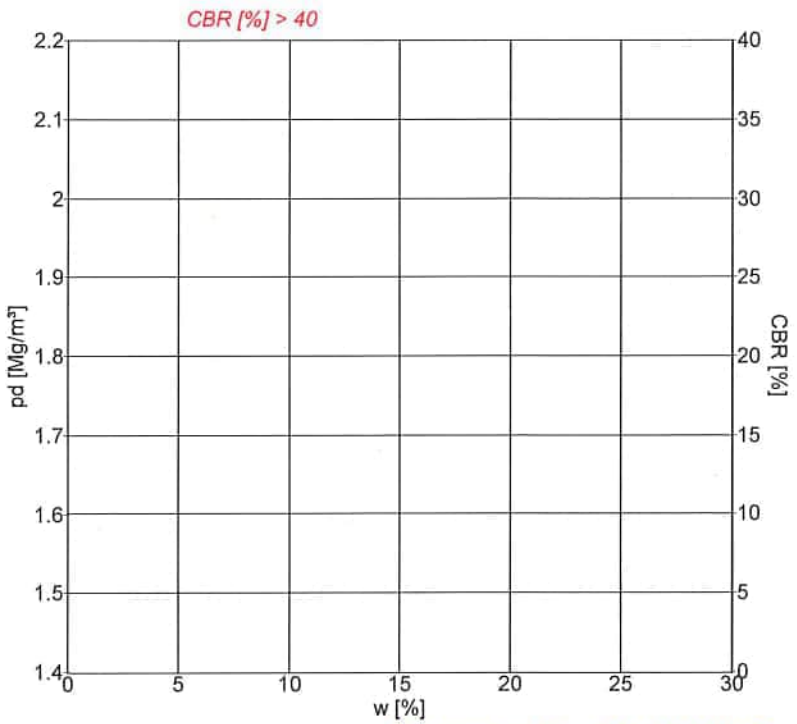
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m^3 er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Martin C Andersen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³		
w_{opt} %		
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.063 mm		50.4 %	Frasigtet > 16 mm	s	.9 %	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L	47 %	Plasticitetsgrænse	w_P	19.5 %	Plasticitetsindeks I_P	28 %
Korndensitet(0-0.063mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	Lerindhold <0,002 mm	ca. 24 %
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold			Permeabilitet	1,45E-07 m/sek
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	26.6 %		

Prøvebeskrivelse: Ler
Rap. nr R-23-1597A

Mrk. Topsøe, Herning
Udt. 12-04-23

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 1597A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 12-04-2023	Tegn.: Y8RS	Godk.: 20/4-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ GUNNEKÆR 26
DK-2610 RØDOVRE
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DI

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

SR-Gruppen A/S
Fittingvej 3

DK-6623 Vorbasse

Att: Morten Larsen

Dato: 18. oktober 2022
VBM sag: 4327 5 V R-22-6067A
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-22-6067A

Rekvirent

SR-Gruppen A/S - Kalkstabiliseringsprojekt

Rapport indhold

Prøvning af ler og råjord, laboratorieprøvning

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Ler

Prøvningsperiode

Start 14. oktober 2022 **Slut** 18. oktober 2022

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/CEN ISO/TS	17892-4 Bestemmelse af fordelingen af partikelstørrelser (2016)
DS/EN 1097-5	Vandindhold (2013)
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011)
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2012)
DS/EN ISO - 17892-1	Bestemmelse af flyde- og plasticitetsgrænser (2018)

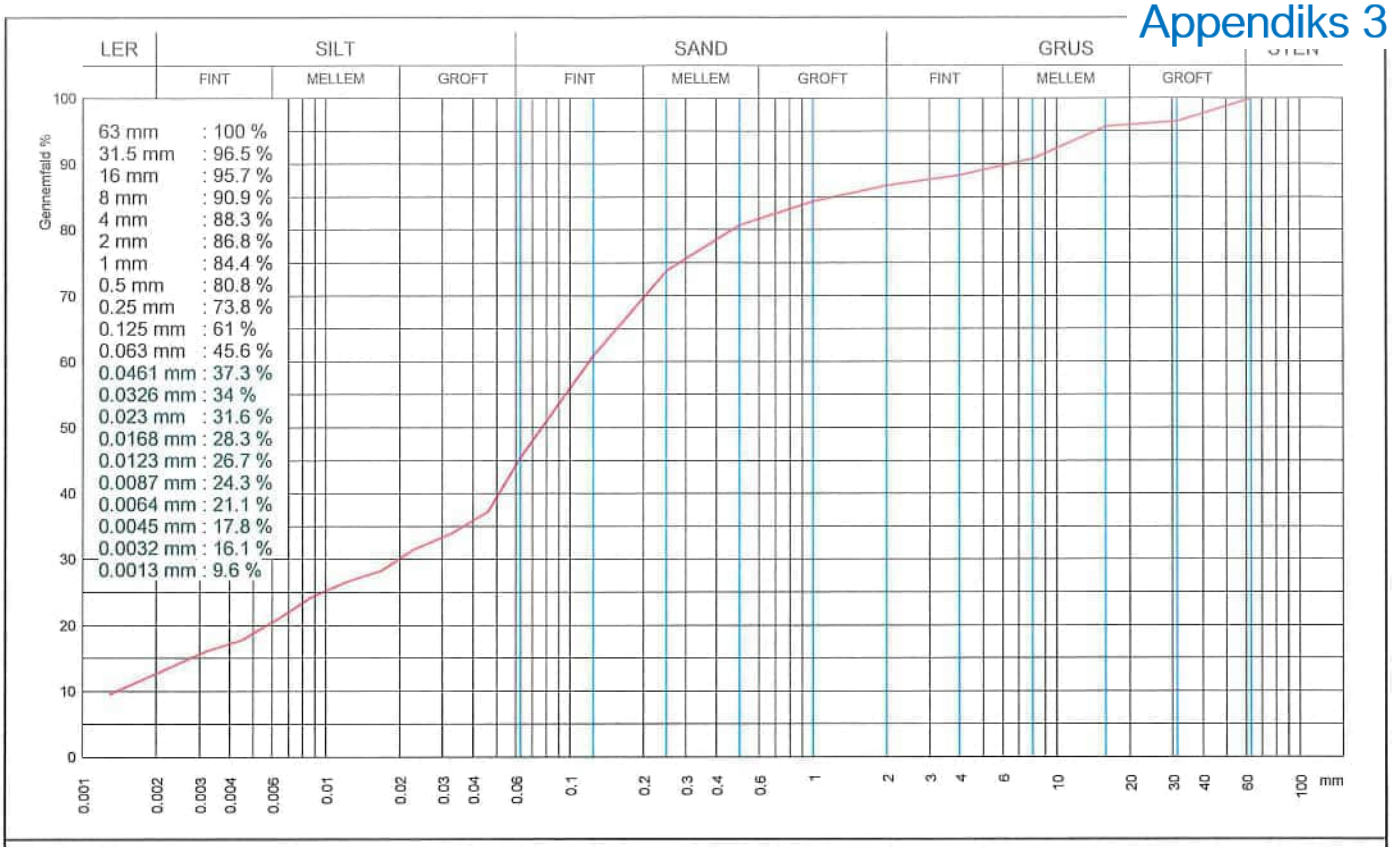
Rapport bemærkning

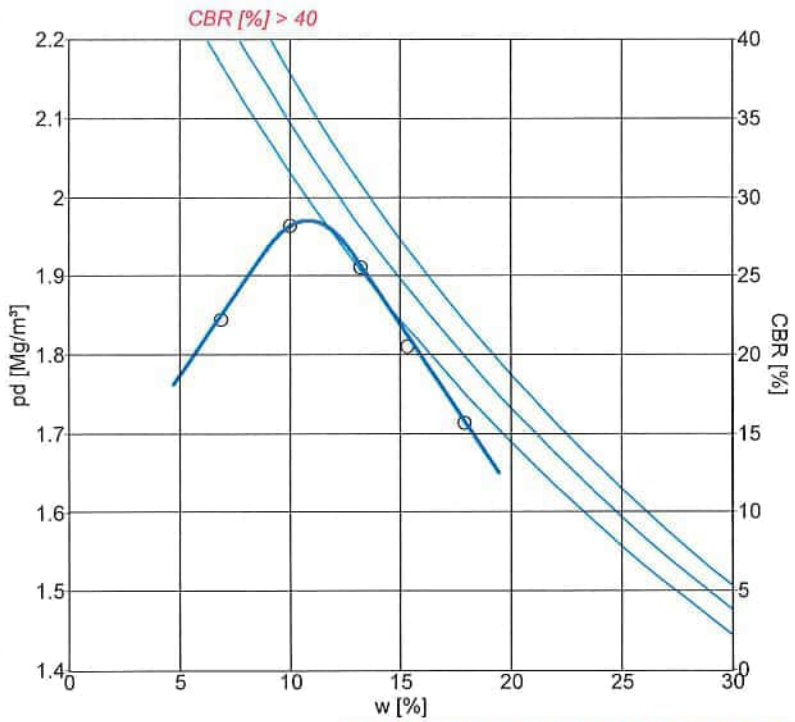
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m^3 er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	1.97	
w_{opt}	%	10.8	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³	1.99	
$w_{opt\ korr.}$	%	10.5	

Vibrationsforsøg

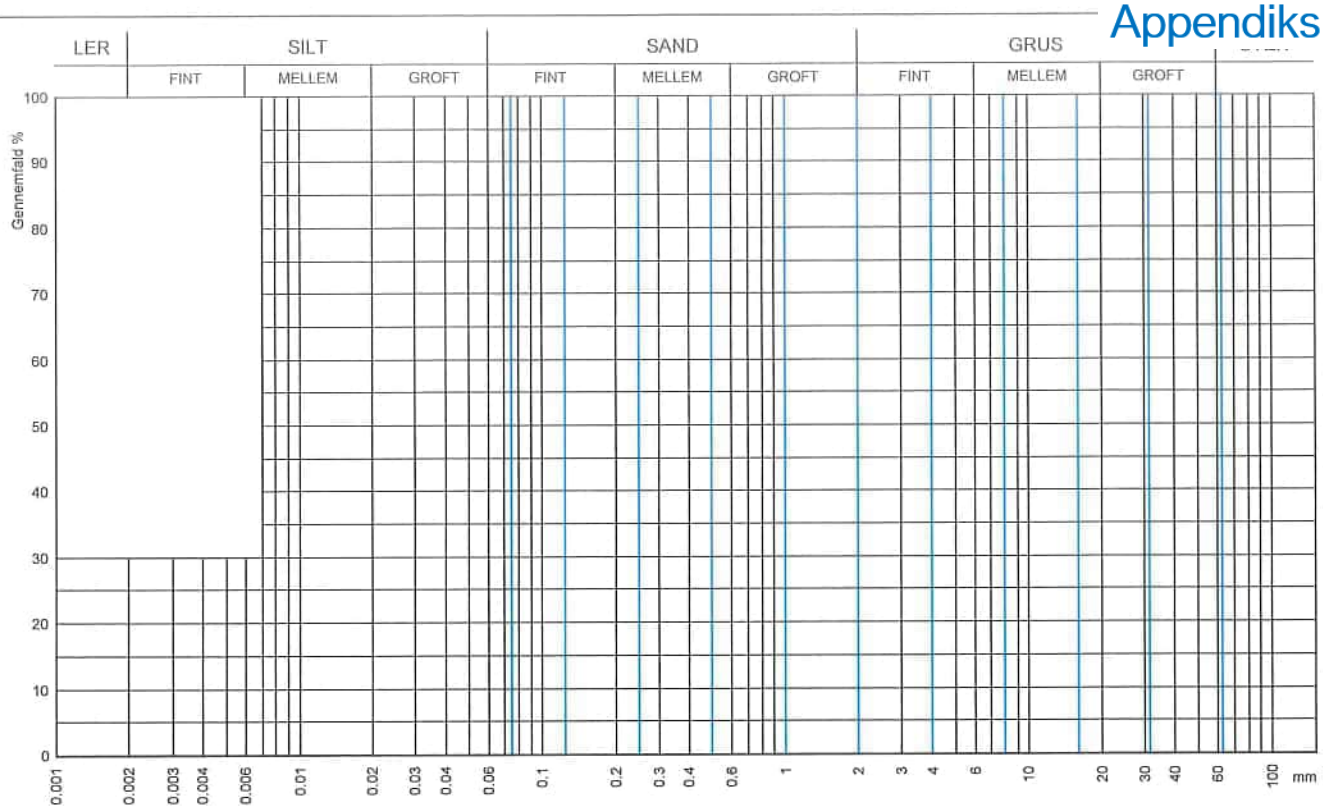
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

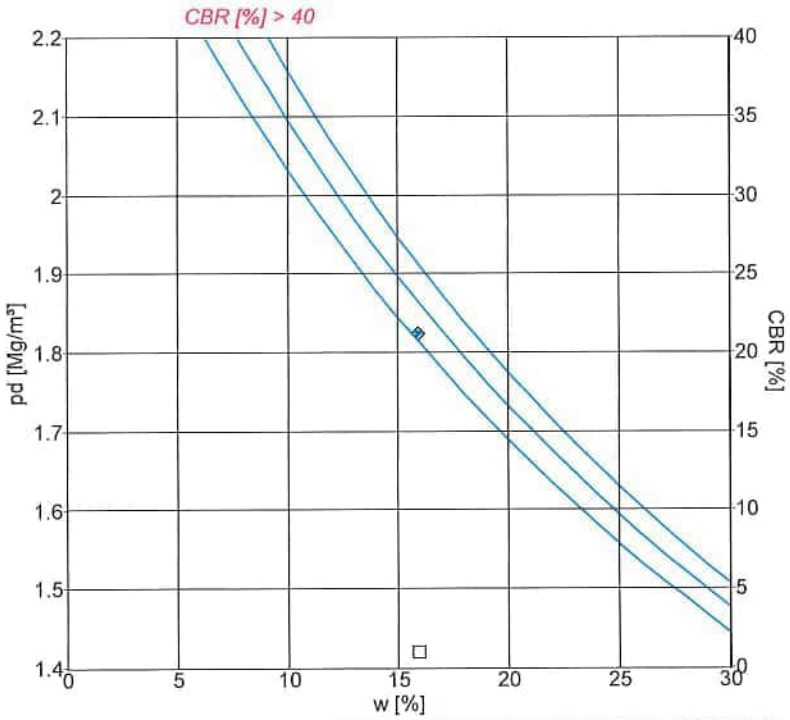
Gennemfald 0.063 mm		45.6 %	Frasigtet > 16 mm	s	4.3 %	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L	24 %	Plasticitetsgrænse	w_P	15 %	Plasticitetsindeks	I_P 9 %
Korndensitet(0-0.063mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	Lerindhold < 0,002 mm	ca. 13 %
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	15.2 %		

Prøvebeskrivelse: Ler
Rap.nr. R-22-6067A

Rekvirent: SR-Gruppen A/S		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: Kalkstabiliseringsprojekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 6067A-1
Udt. d.: 22-06-2022	Modt. d.:	Tegn.: GF6U	Godk.: 18/10-22	Sag nr.: 224327005	Bilag/side nr.: 2/3

www.drive-it.dk





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	1.83	
w_{opt} %	16.0	
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse w_L		Plasticitetsgrænse w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.075mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)SE_4	%	Humusindhold			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Ler
Rap.nr. R-22-6067A

Rekvirent: SR-Gruppen A/S		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: Kalkstabiliseringsprojekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 6067A-2
Udt. d.: 22-06-2022	Modt. d.:	Tegn.: BVT2	Godk.: 18/10-2022	Sag nr.: 224327005	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5618A
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-23-5618A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ler og råjord, laboratorieprøvning

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 27. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
BS 1377-2	Lineært svind (pkt. 6.5, 1990)
DS 287	pH
DS/CEN ISO/TS.	17892-11 Bestemmelse af permeabilitet (2004)
DS/EN 13286-48	Pulveriseringsgrad (2006)
DS/EN ISO - 17892-1	Bestemmelse af flyde- og plasticitetsgrænser (2018)

Rapport bemærkning

- Temperatur ved pH-måling var 21 °C

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Martin C Andersen

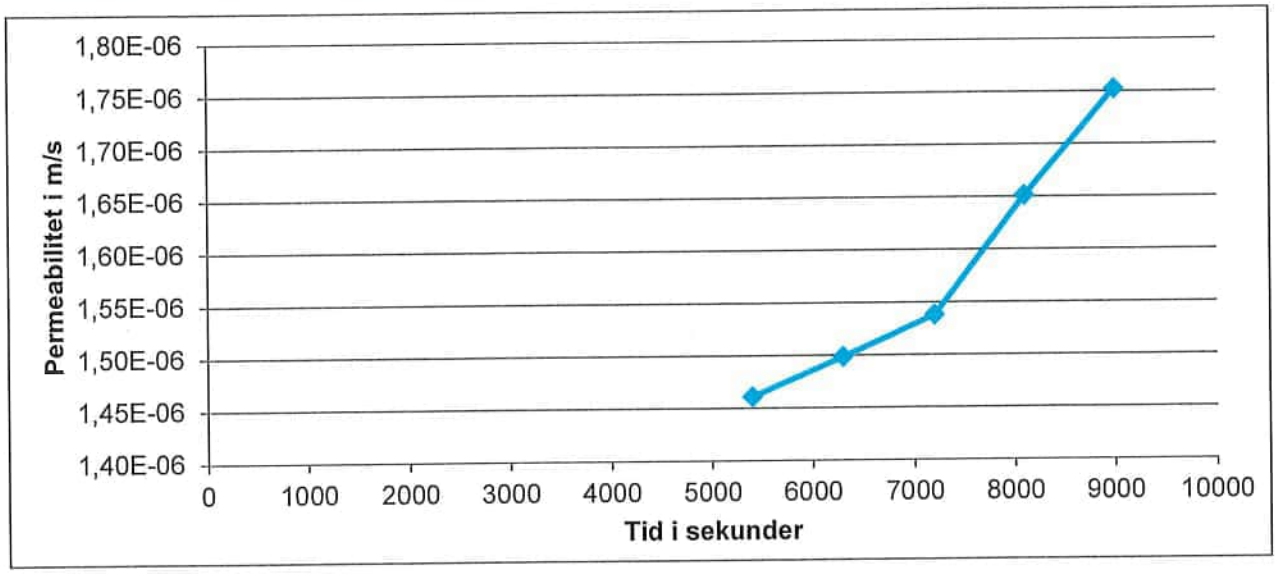
Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

eurofins | VBM Laboratoriet

Prøvningsrapport nr: R-23-5618A
Permeabilitetsforsøg: DS/CEN ISO/TS 17892-11:2004

Rekvirent:	Vejdirektoratet	Dato:	13-12-2023
Lokation	V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring	VBM sag:	231742011
Mrk:	Kværs	Modtaget dato:	27-11-2023
		Udført af:	BVT2

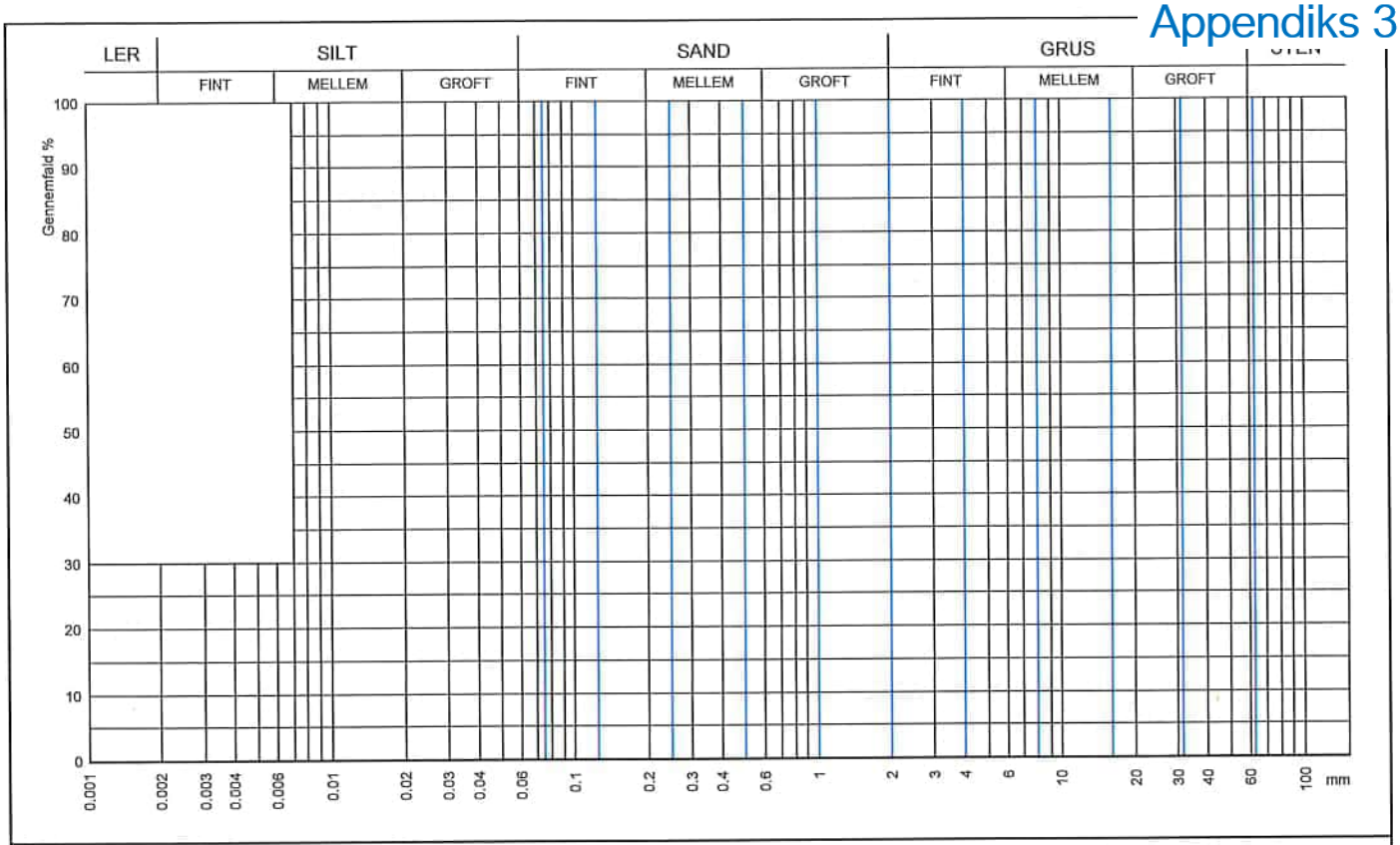
Diameter af rør (m), d	0,08
Diameter af prøve (m), D	0,19
Højde (m), l	0,19
Højde mellem bund af rør og top af prøve (m), hk	0,12

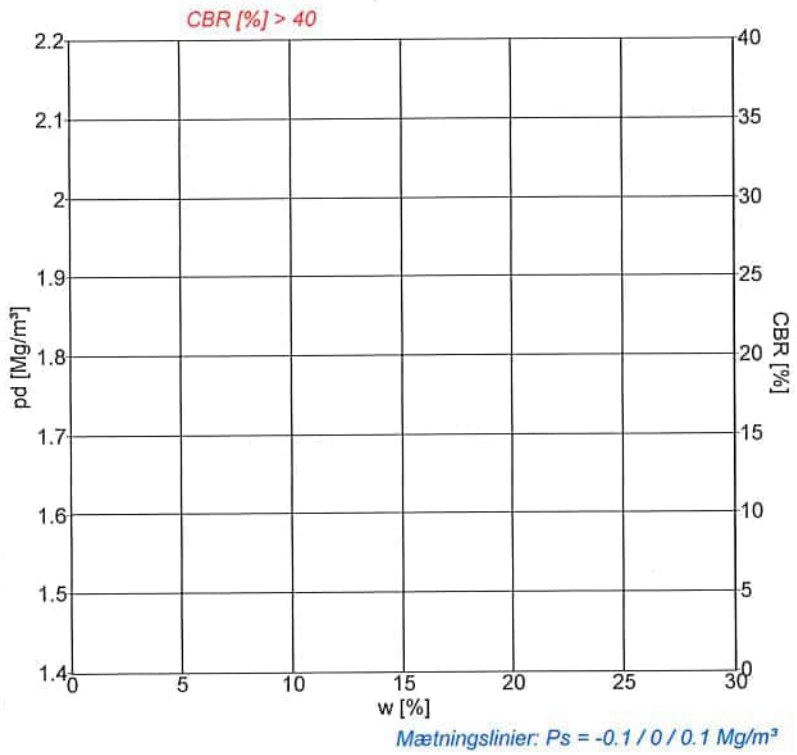


Måling nr	Tid (sek)	højde på rør (cm)	ln (h1/h2)	k (m/s)
0	4500	173,5		
1	5400	166,4	0,039	1,46E-06
2	6300	159,4	0,040	1,50E-06
3	7200	152,5	0,041	1,54E-06
4	8100	145,4	0,044	1,65E-06
5	9000	138,2	0,047	1,75E-06

Permeabilitetskoefficient, k

k (m/s)	1,58E-06





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³		
w_{opt} %		
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L	57 %	Plasticitetsgrænse	w_P	22 %	Plasticitetsindeks	I_P 35 %
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	pH-værdi	11,8
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold			Pulveriseringsgrad	64 %
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%	Lineært svind	16 %

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord

Mrk. Kværs

Rap.nr. R-23-5618A

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5618A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 27-12-2023	Tegn.: EI5N	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5617A
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-23-5617A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ler og råjord, laboratorieprøvning

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 27. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
BS 1377-2	Lineært svind (pkt. 6.5, 1990)
DS 287	pH
DS/CEN ISO/TS.	17892-11 Bestemmelse af permeabilitet (2004)
DS/EN 13286-48	Pulveriseringsgrad (2006)
DS/EN ISO - 17892-1	Bestemmelse af flyde- og plasticitetsgrænser (2018)

Rapport bemærkning

- Temperatur ved pH-måling var 21 °C

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

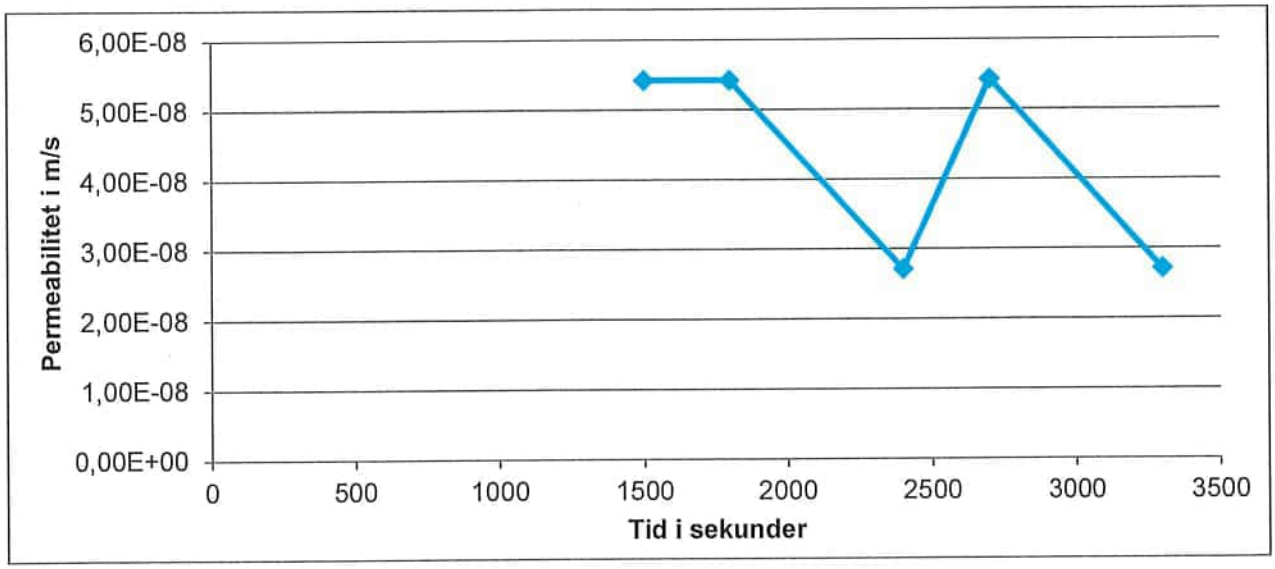
Martin C Andersen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

eurofins | VBM Laboratoriet

Prøvningsrapport nr: R-23-5617A		Dato:	13-12-2023
Permeabilitetsforsøg: DS/CEN ISO/TS 17892-11:2004		VBM sag:	231742011
Rekvirent:	Vejdirektoratet	Modtaget dato:	27-11-2023
Lokation	V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring	Udført af:	BVT2
Mrk:	Femern		

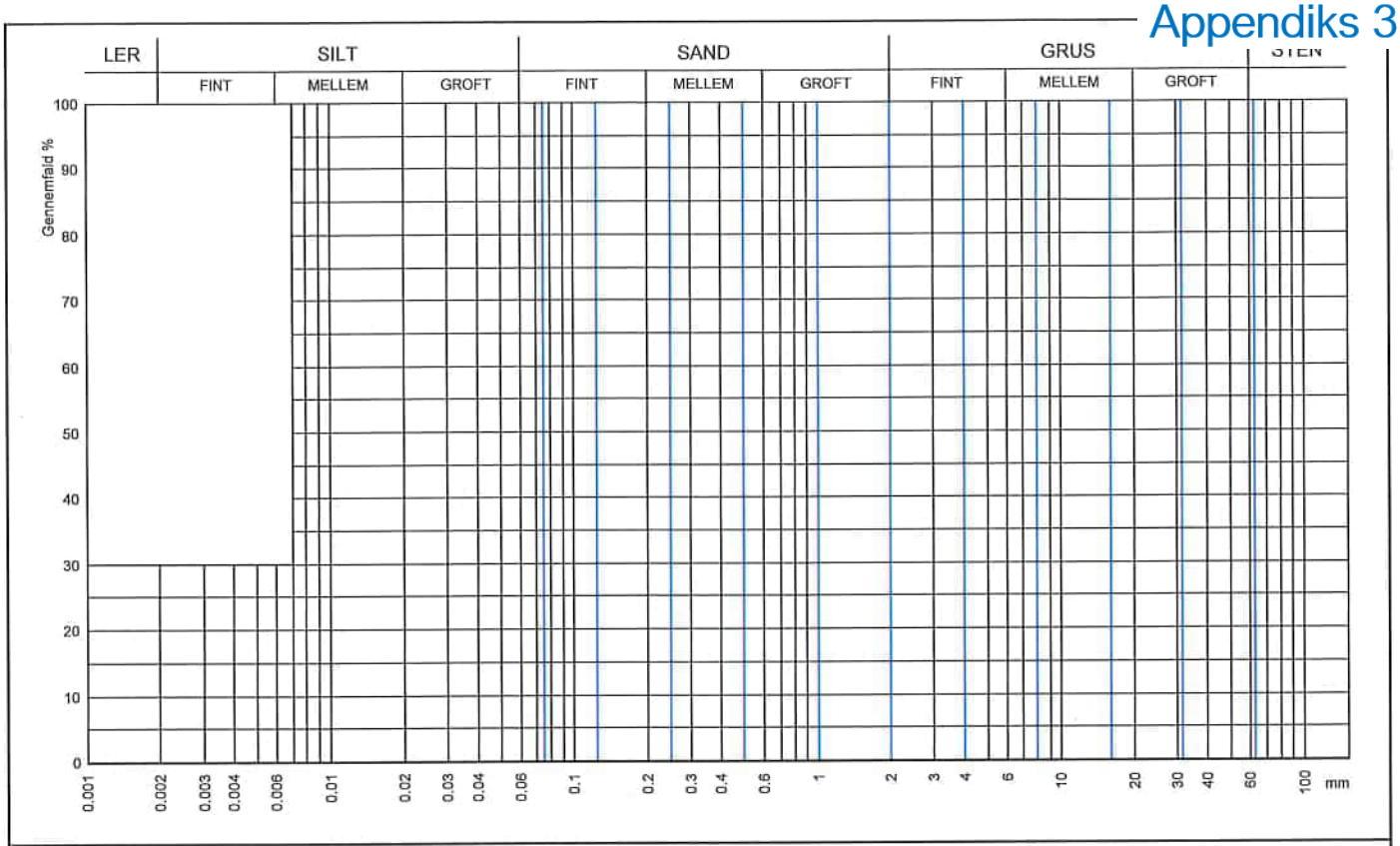
Diameter af rør (m), d	0,08
Diameter af prøve (m), D	0,19
Højde (m), l	0,19
Højde mellem bund af rør og top af prøve (m), hk	0,12

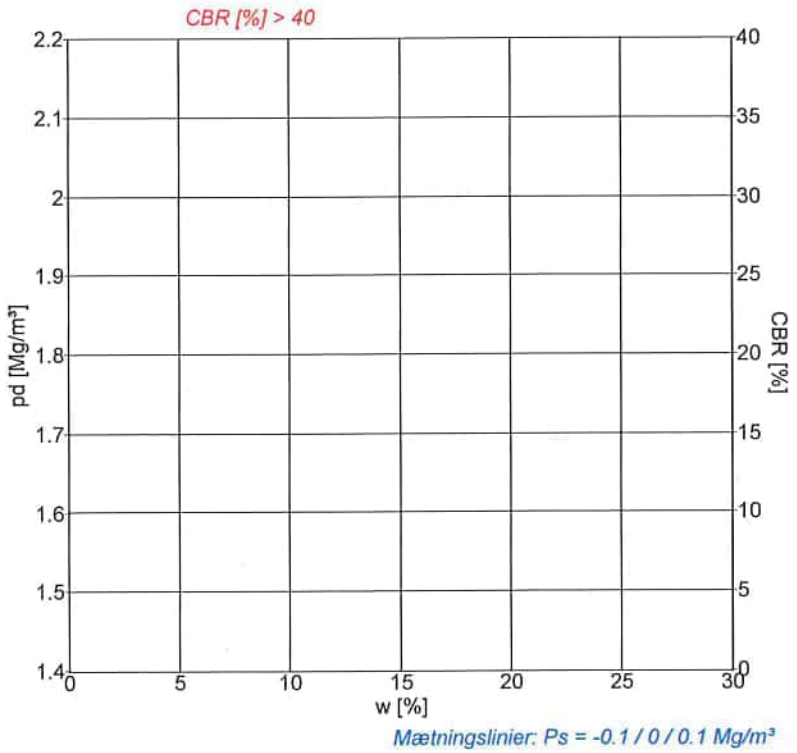


Måling nr	Tid (sek)	højde på rør (cm)	ln (h1/h2)	k (m/s)
0	1200	195		
1	1500	194,9	0,000	5,43E-08
2	1800	194,8	0,000	5,43E-08
3	2400	194,7	0,000	2,72E-08
4	2700	194,6	0,000	5,43E-08
5	3300	194,5	0,000	2,72E-08

Permeabilitetskoefficient, k

k (m/s)	4,34E-08





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³		
w_{opt} %		
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L	29 %	Plasticitetsgrænse	w_P	18 %	Plasticitetsindeks	I_P 11 %
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	pH-værdi	> 12
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold			Pulveriseringsgrad	98 %
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%	Lineært svind	7 %

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord

Mrk. Femern

Rap.nr. R-23-5617A

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5617A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 27-12-2023	Tegn.: EI5N	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5616A
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-23-5616A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ler og råjord, laboratorieprøvning

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 27. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
BS 1377-2	Lineært svind (pkt. 6.5, 1990)
DS 287	pH
DS/CEN ISO/TS.	17892-11 Bestemmelse af permeabilitet (2004)
DS/EN 13286-48	Pulveriseringsgrad (2006)
DS/EN ISO - 17892-1	Bestemmelse af flyde- og plasticitetsgrænser (2018)

Rapport bemærkning

- Temperatur ved pH-måling var 20 °C

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Martin C Andersen

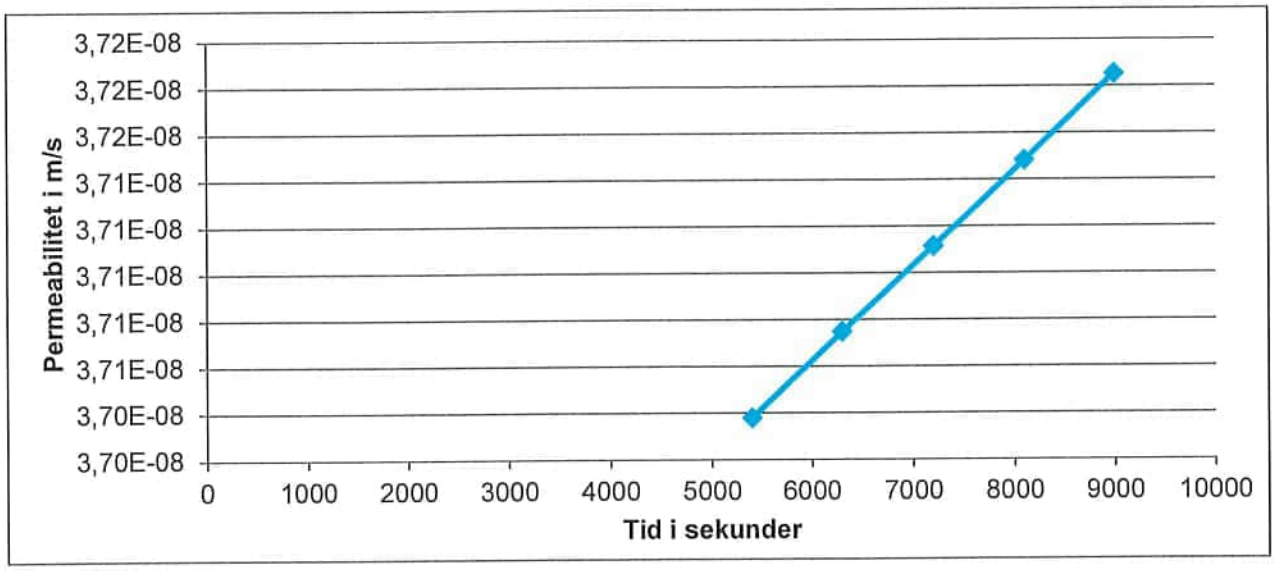
Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

eurofins | VBM Laboratoriet

Prøvningsrapport nr: R-23-5616A
Permeabilitetsforsøg: DS/CEN ISO/TS 17892-11:2004

Rekvirent:	Vejdirektoratet	Dato:	13-12-2023
Lokation	V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring	VBM sag:	231742011
Mrk:	Topsøe	Modtaget dato:	27-11-2023
		Udført af:	BVT2

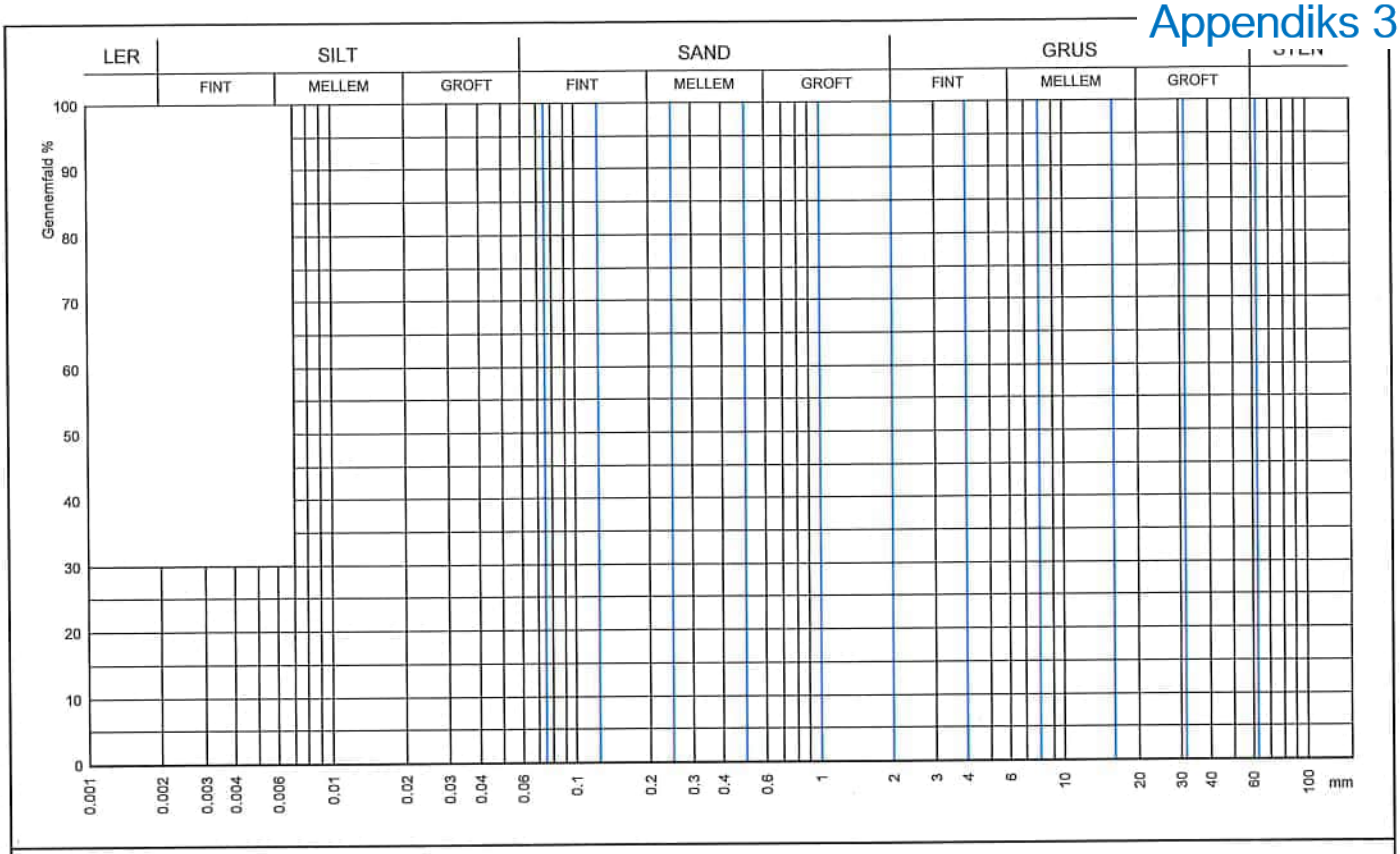
Diameter af rør (m), d	0,08
Diameter af prøve (m), D	0,19
Højde (m), l	0,19
Højde mellem bund af rør og top af prøve (m), hk	0,12

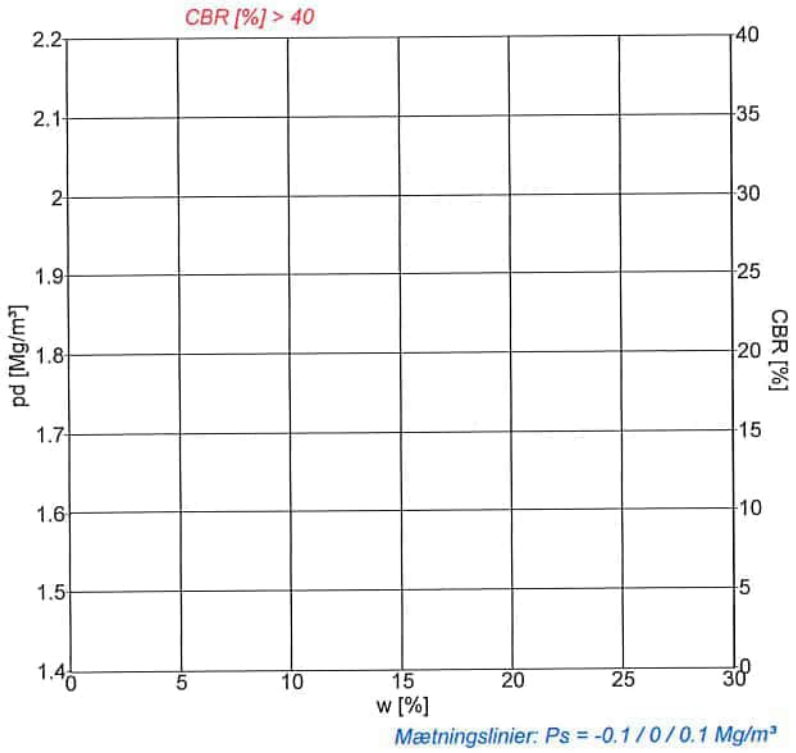


Måling nr	Tid (sek)	højde på rør (cm)	ln (h1/h2)	k (m/s)
0	4500	190,2		
1	5400	190	0,001	3,70E-08
2	6300	189,8	0,001	3,71E-08
3	7200	189,6	0,001	3,71E-08
4	8100	189,4	0,001	3,71E-08
5	9000	189,2	0,001	3,72E-08

Permeabilitetskoefficient, k

k (m/s)	3,71E-08





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³		
w_{opt} %		
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L	41 %	Plasticitetsgrænse	w_P	18 %	Plasticitetsindeks	I_P 23 %
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	pH-værdi	> 12
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold			Pulveriseringsgrad	87 %
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%	Lineært svind	11 %

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord

Mrk. Topsøe

Rap.nr. R-23-5616A

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5616A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 27-12-2023	Tegn.: EI5N	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 28. november 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-4183A
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-23-4183A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Råjord

Prøvningsperiode

Start 5. september 2023 **Slut** 28. november 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
----	Kapillaritetsbestemmelse
DS/CEN ISO/TS.	17892-11 Bestemmelse af permeabilitet (2004)
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)

Rapport bemærkning

- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.
- Kapillariteten er bestemt på tre prøveemner. Den fundne kapillaritet er begrænset af prøveemnernes højde, som er 18 cm.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Martin C Andersen

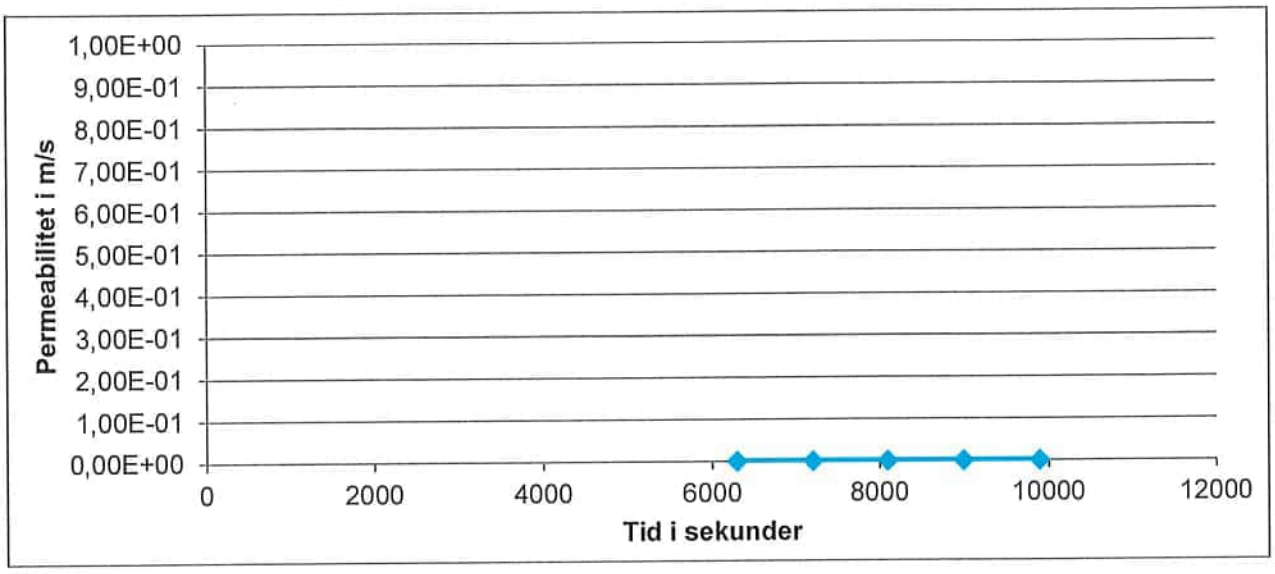
Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

eurofins | VBM Laboratoriet

Prøvningsrapport nr: R-23-4183A
Permeabilitetsforsøg: DS/CEN ISO/TS 17892-11:2004

Rekvirent:	Vejdirektoratet	Dato:	16-11-2023
Lokation	V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring	VBM sag:	231742011
Mrk:	Buskmosevej, Kværs	Modtaget dato:	05-09-2023
		Udført af:	BVT2

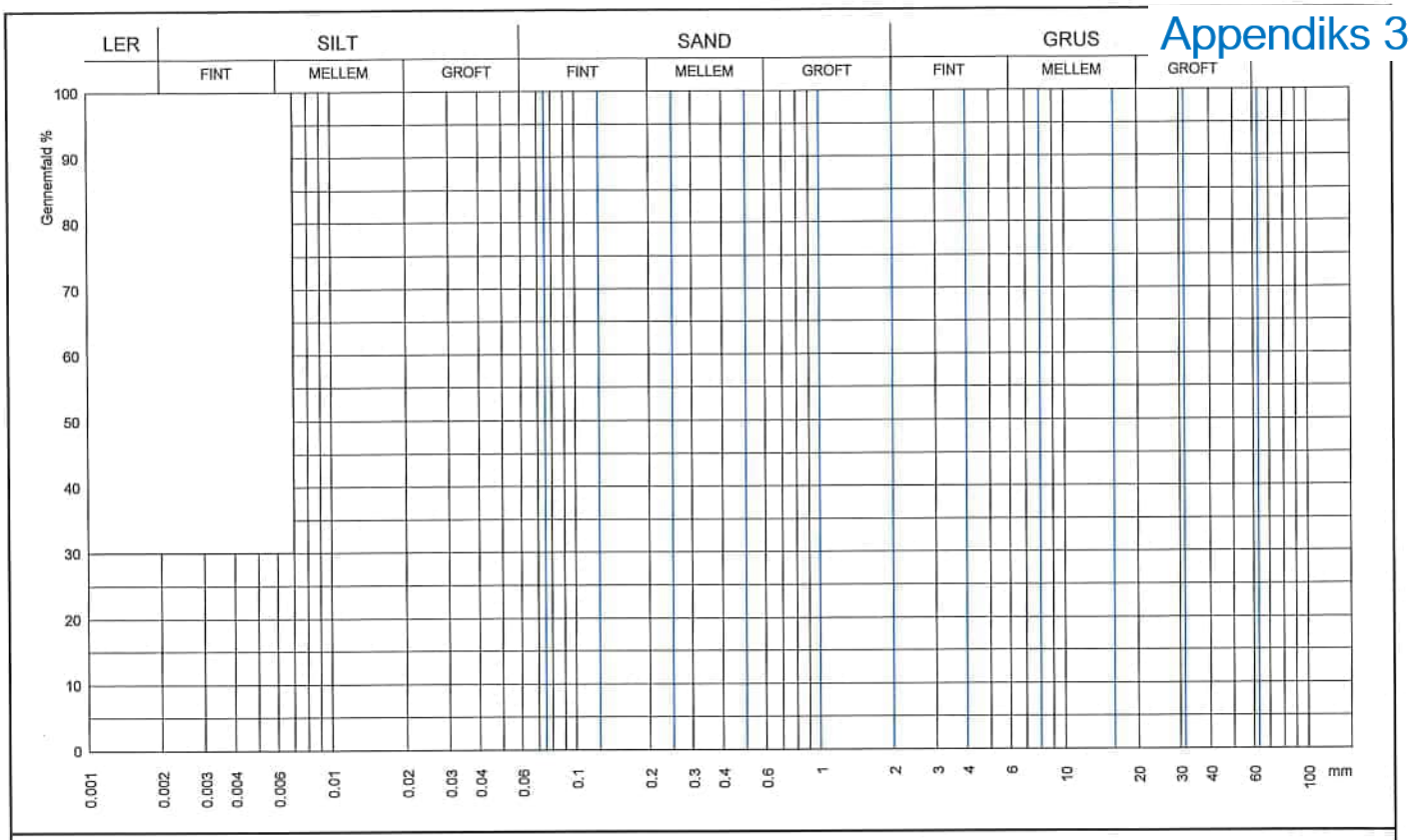
Diameter af rør (m), d	0,08
Diameter af prøve (m), D	0,19
Højde (m), l	0,19
Højde mellem bund af rør og top af prøve (m), hk	0,12

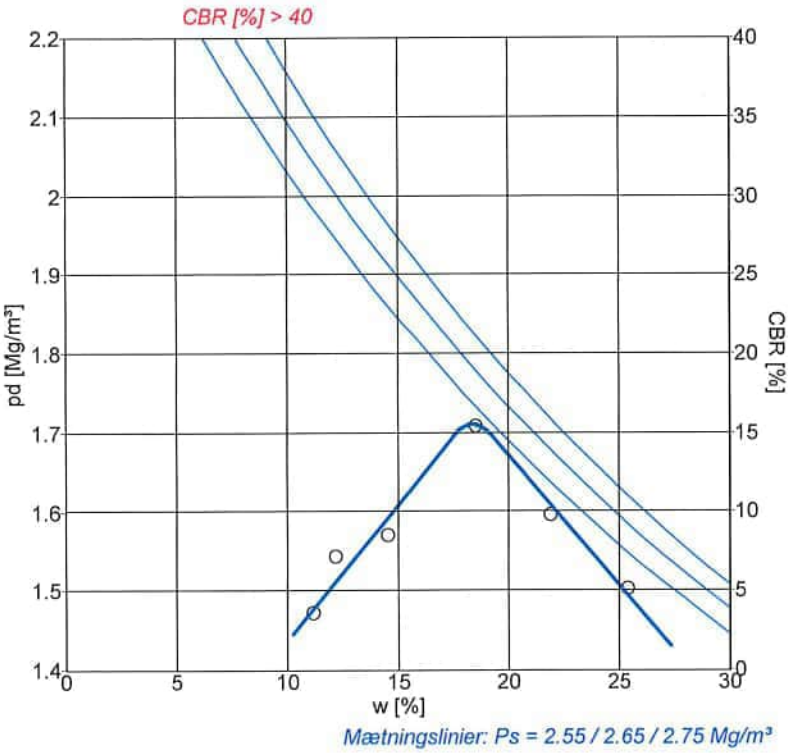


Måling nr	Tid (sek)	højde på rør (cm)	ln (h1/h2)	k (m/s)
0	5400	196,3		
1	6300	196,3	0,000	0,00E+00
2	7200	196,3	0,000	0,00E+00
3	8100	196,3	0,000	0,00E+00
4	9000	196,3	0,000	0,00E+00
5	9900	196,3	0,000	0,00E+00

Permeabilitetskoefficient, k

k (m/s)	0





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg			
Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	1.71	
w_{opt}	%	18.4	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³	1.71	
$w_{opt\ korr.}$	%	18.3	

Vibrationsforsøg		
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	0,4 %	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L		Plasticitetsgrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_P
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	Kapillær stighøjde	> 18 cm
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Råjord

Rap. nr. R-23-4183A

Mrk. Buskmosevej, Kværs

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 4183A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 05-09-2023	Tegn.: MQH3	Godk.: 12-12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 28. november 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-4184A
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-23-4184A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Råjord

Prøvningsperiode

Start 5. september 2023 **Slut** 28. november 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
----	Kapillaritetsbestemmelse
DS/CEN ISO/TS.	17892-11 Bestemmelse af permeabilitet (2004)
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)

Rapport bemærkning

- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.
- Kapillariteten er bestemt på tre prøveemner. Den fundne kapillaritet er begrænset af prøveemnernes højde, som er 18 cm.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

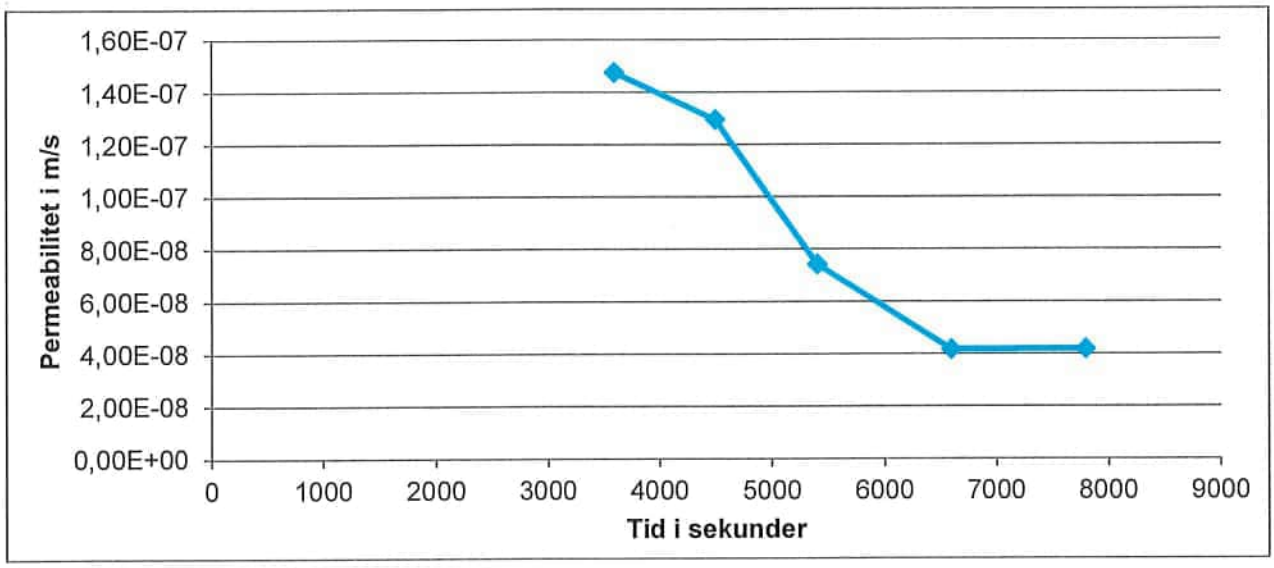
Martin C Andersen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

eurofins | VBM Laboratoriet

Prøvningsrapport nr: R-23-4184A		Dato:	16-11-2023
Permeabilitetsforsøg: DS/CEN ISO/TS 17892-11:2004		VBM sag:	231742011
Rekvirent:	Vejdirektoratet	Modtaget dato:	05-09-2023
Lokation	V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring	Udført af:	BVT2
Mrk:	Femern		

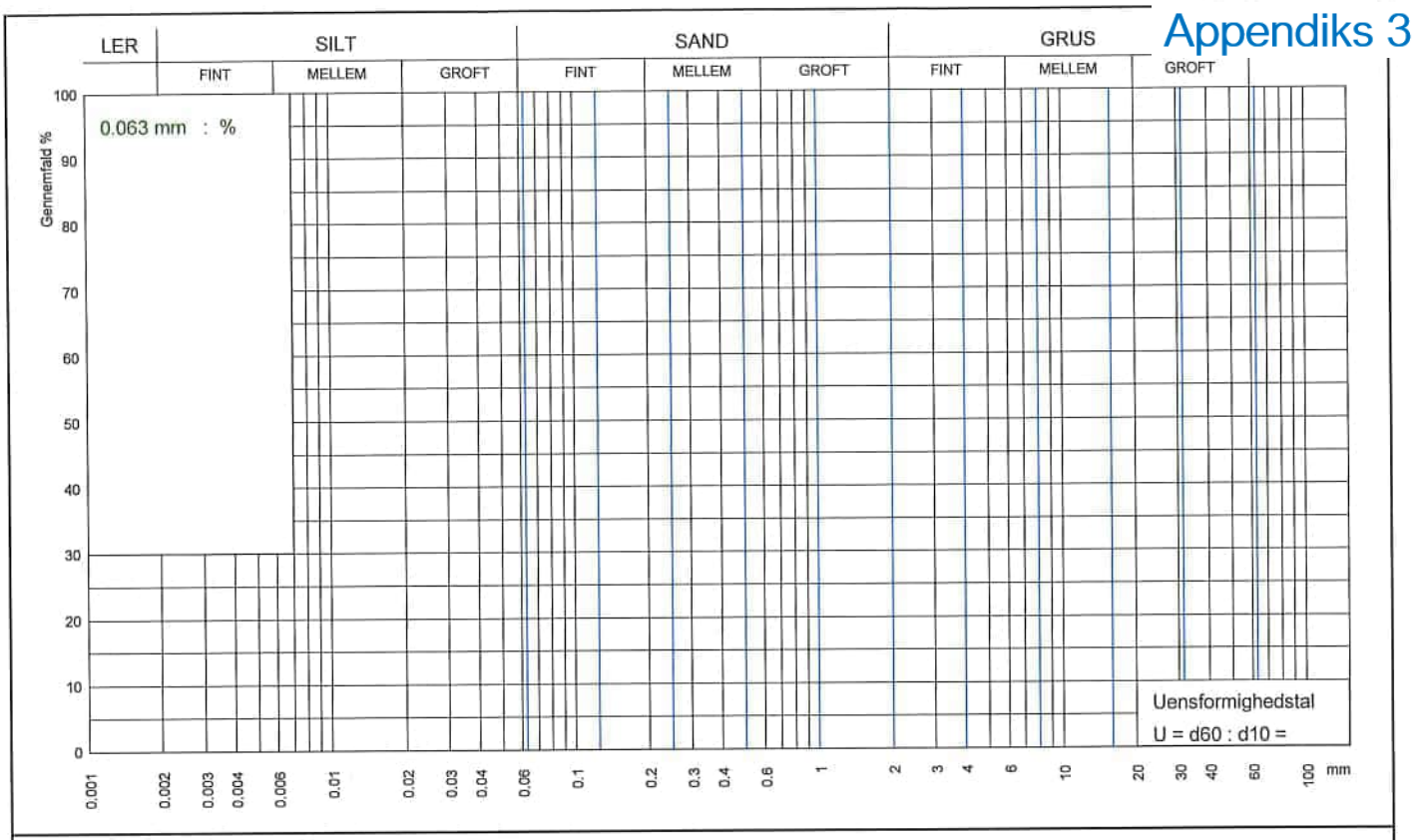
Diameter af rør (m), d	0,08
Diameter af prøve (m), D	0,19
Højde (m), l	0,19
Højde mellem bund af rør og top af prøve (m), hk	0,12

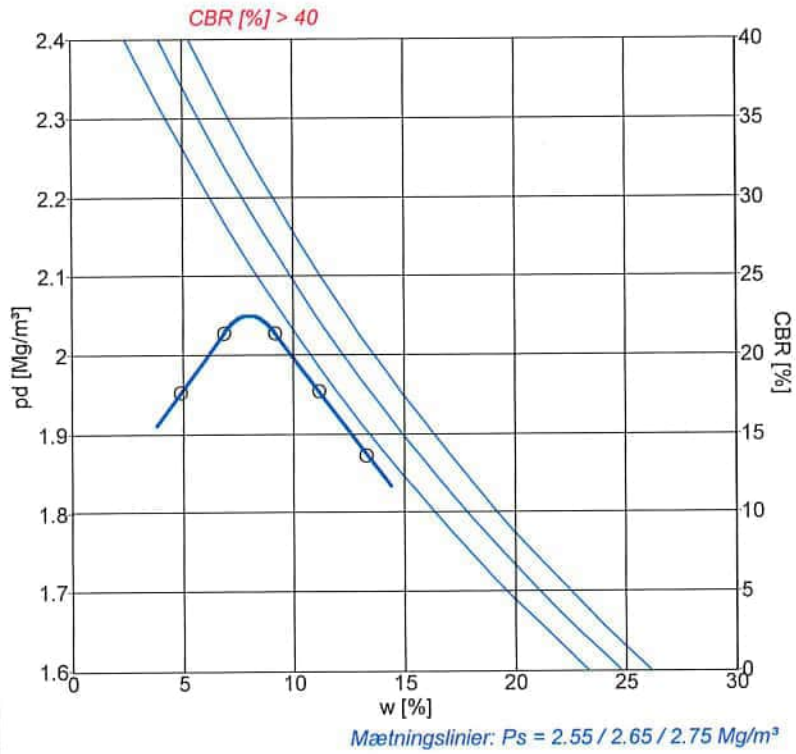


Måling nr	Tid (sek)	højde på rør (cm)	ln (h1/h2)	k (m/s)
0	2700	191,3		
1	3600	190,5	0,004	1,48E-07
2	4500	189,8	0,003	1,30E-07
3	5400	189,4	0,002	7,43E-08
4	6600	189,1	0,001	4,18E-08
5	7800	188,8	0,001	4,19E-08

Permeabilitetskoefficient, k

k (m/s)	8,70E-08





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	2.05	
w_{opt}	%	8.0	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³	2.06	
$w_{opt\ korr.}$	%	7.9	

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.063 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	1,3 %	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L		Plasticitetsgrænse	w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.063mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Råjord

Rap. nr. R-23-3184A

Mrk. Femern

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 4184A
Udt. d.:	Modt. d.: 05-09-2023	Tegn.: BVT2	Godk.:	Sag nr.: 231742011-1	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 28. november 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-4223A
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-23-4223A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Råjord

Prøvningsperiode

Start 7. september 2023 **Slut** 28. november 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
----	Kapillaritetsbestemmelse
DS/CEN ISO/TS.	17892-11 Bestemmelse af permeabilitet (2004)
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)

Rapport bemærkning

- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.
- Kapillariteten er bestemt på tre prøveemner. Den fundne kapillaritet er begrænset af prøveemnernes højde, som er 18 cm.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Martin C Andersen

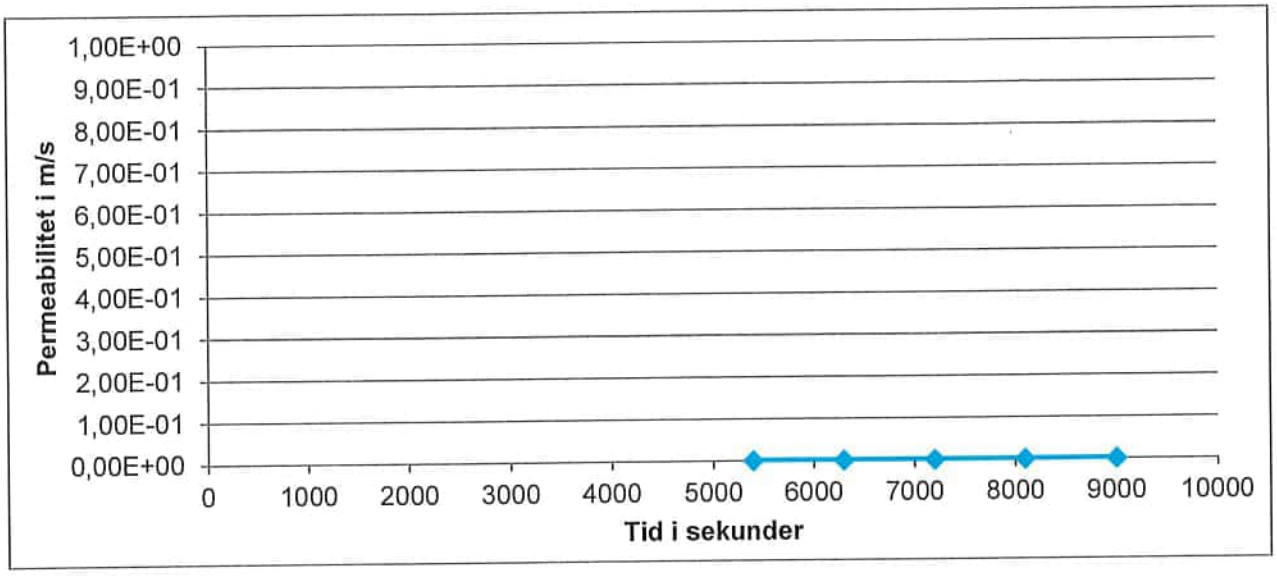
Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

eurofins | VBM Laboratoriet

Prøvningsrapport nr: R-23-4223A
Permeabilitetsforsøg: DS/CEN ISO/TS 17892-11:2004

Rekvirent:	Vejdirektoratet	Dato:	17-11-2023
Lokation	V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring	VBM sag:	231742011
Mrk:	Topsøe Herning	Modtaget dato:	07-09-2023
		Udført af:	BVT2

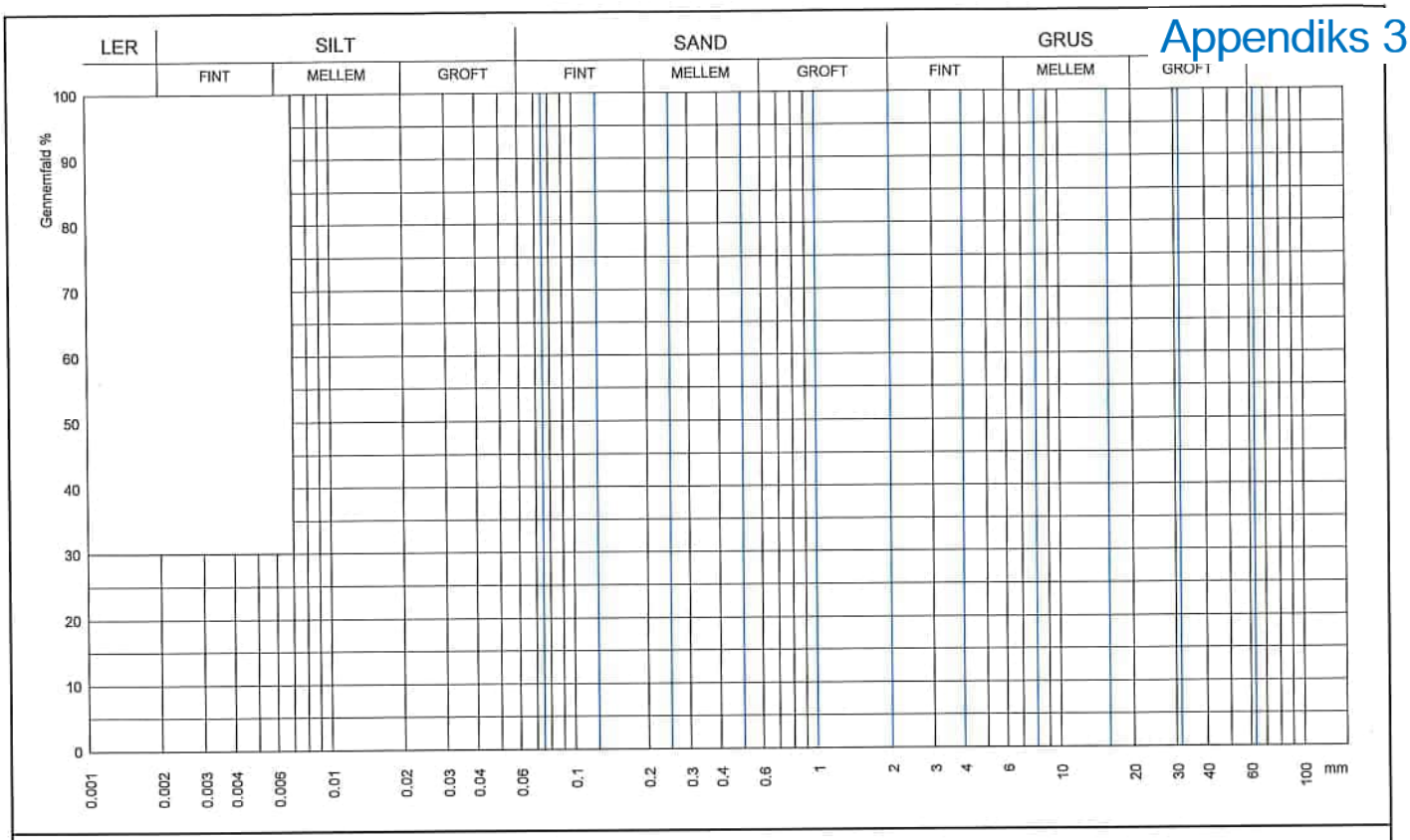
Diameter af rør (m), d	0,08
Diameter af prøve (m), D	0,19
Højde (m), l	0,19
Højde mellem bund af rør og top af prøve (m), hk	0,12

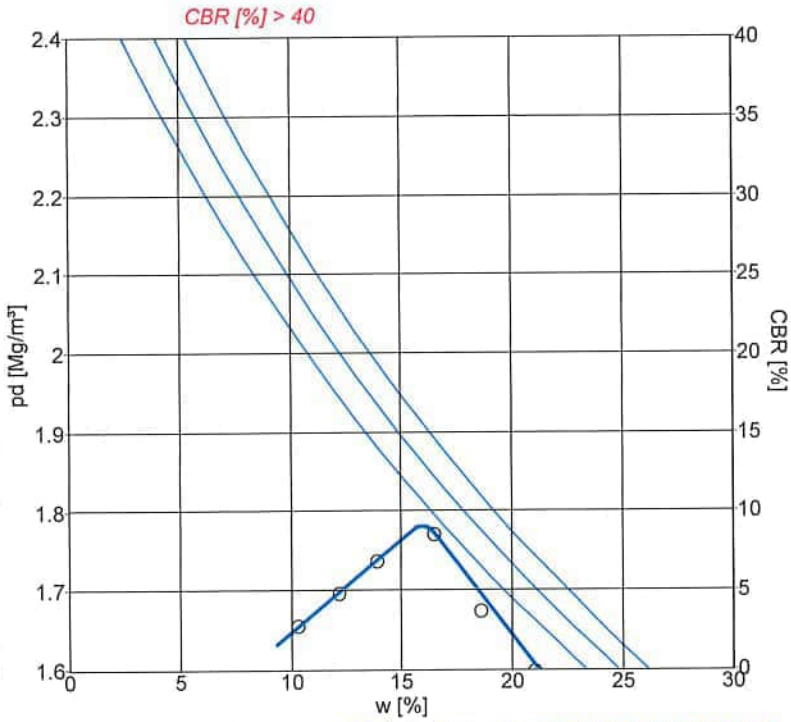


Måling nr	Tid (sek)	højde på rør (cm)	ln (h1/h2)	k (m/s)
0	4560	190,6		
1	5400	190,6	0,000	0,00E+00
2	6300	190,6	0,000	0,00E+00
3	7200	190,6	0,000	0,00E+00
4	8100	190,6	0,000	0,00E+00
5	9000	190,6	0,000	0,00E+00

Permeabilitetskoefficient, k

k (m/s)	0,00E+00





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	1.78	
w_{opt}	%	15.9	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$	%		

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L		Plasticitetsgrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_P
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	Kapillær stighøjde	> 18 cm
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Råjord
Rap.nr R-23-4223A

Mrk. Topsøe Herning
Udt. 07-09-23

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 4223A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 07-09-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 20/13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5599A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5599A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

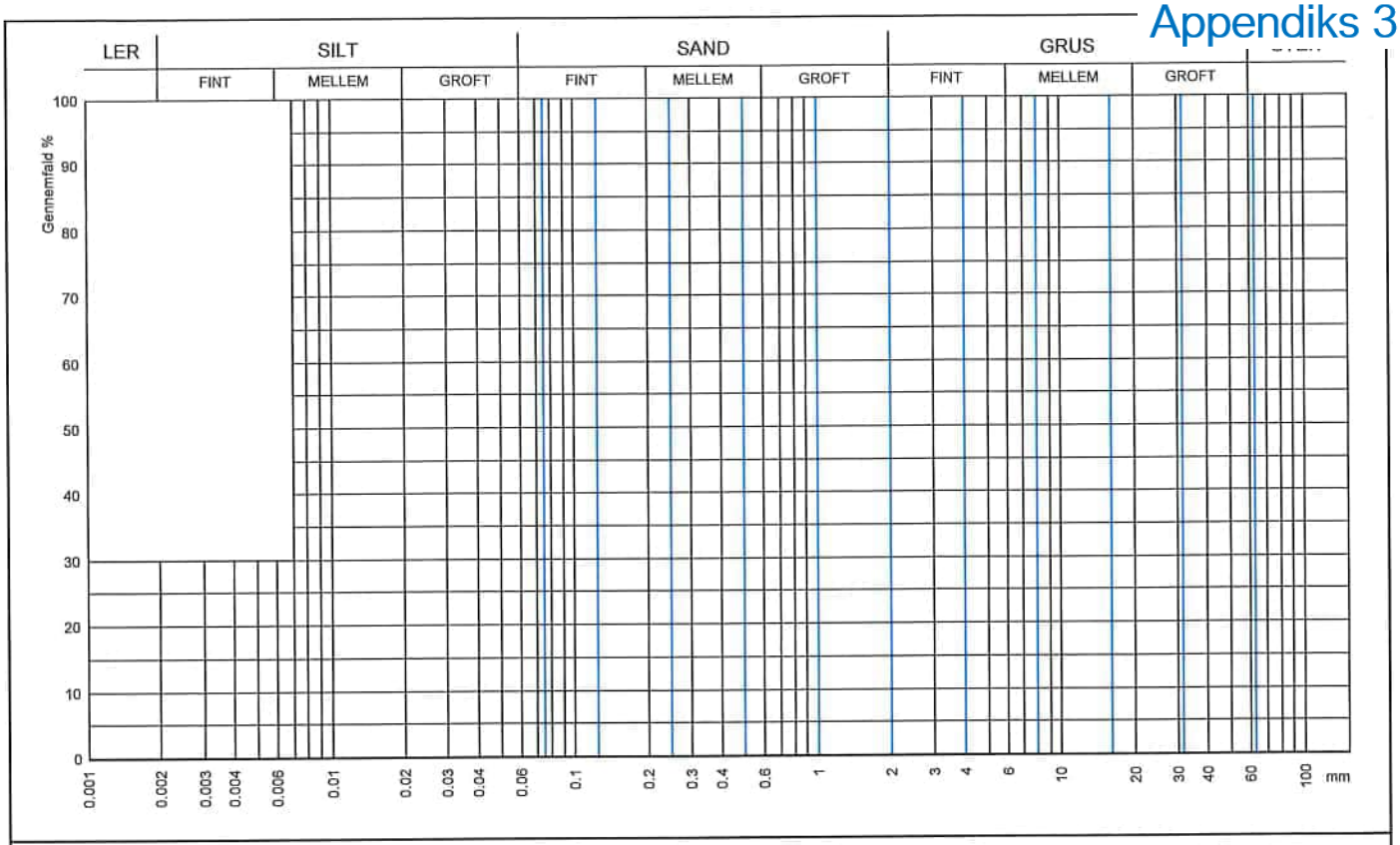
Rapport bemærkning

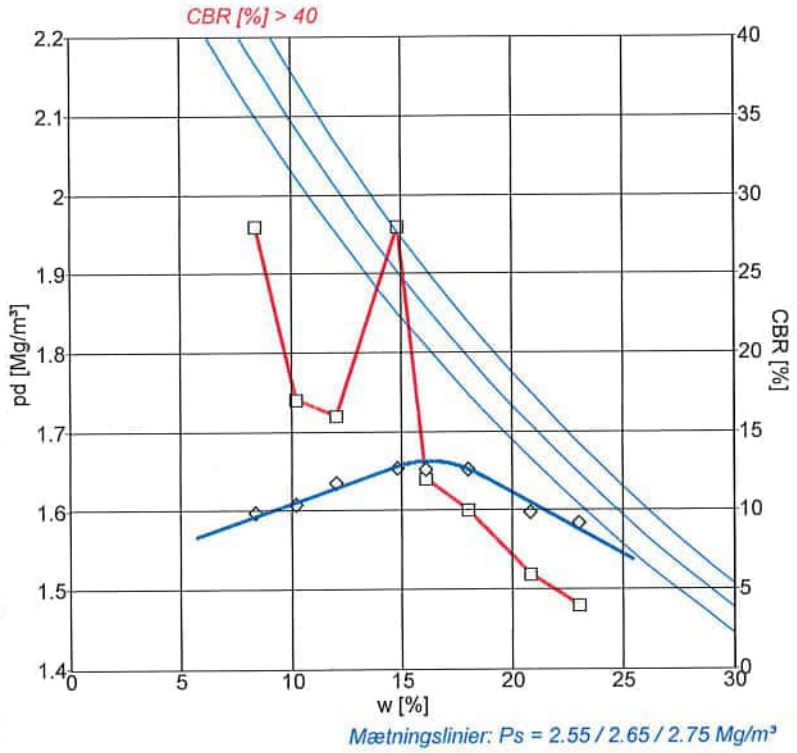
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	1.66	
w_{opt}	%	16.2	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$	%		

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L		Plasticitetsgrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_P
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Råjord

Rap.nr. R-23-5599A

Mrk. Kværs - uden Kalk

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5599A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5601A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5601A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

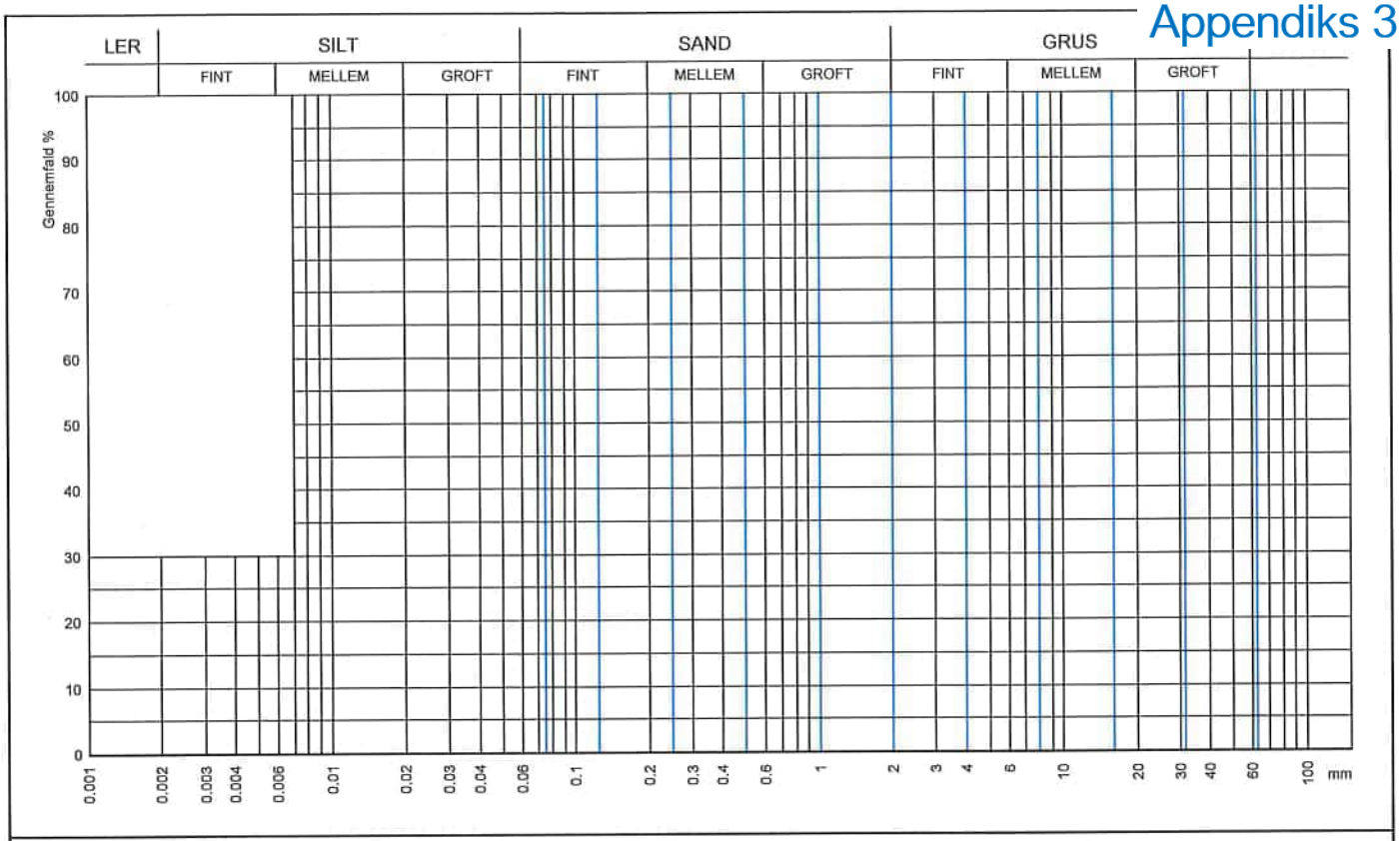
Rapport bemærkning

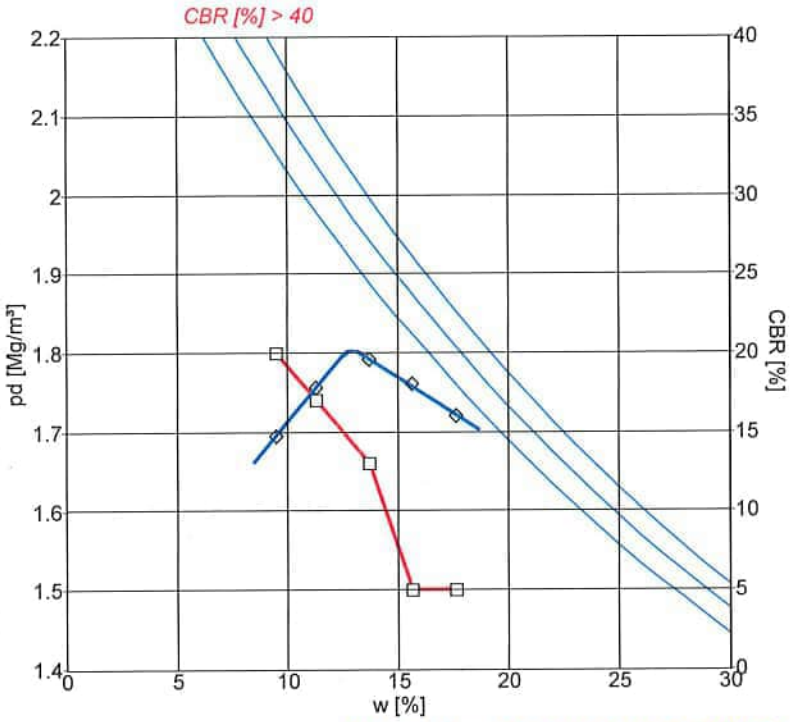
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer

Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg

Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	1.80	
w_{opt}	%	13.0	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$	%		

Vibrationsforsøg

$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L		Plasticitetsgrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_P
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Råjord

Rap.nr. R-23-5601A

Mrk. Topsøe - uden kalk

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5601A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5600A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5600A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

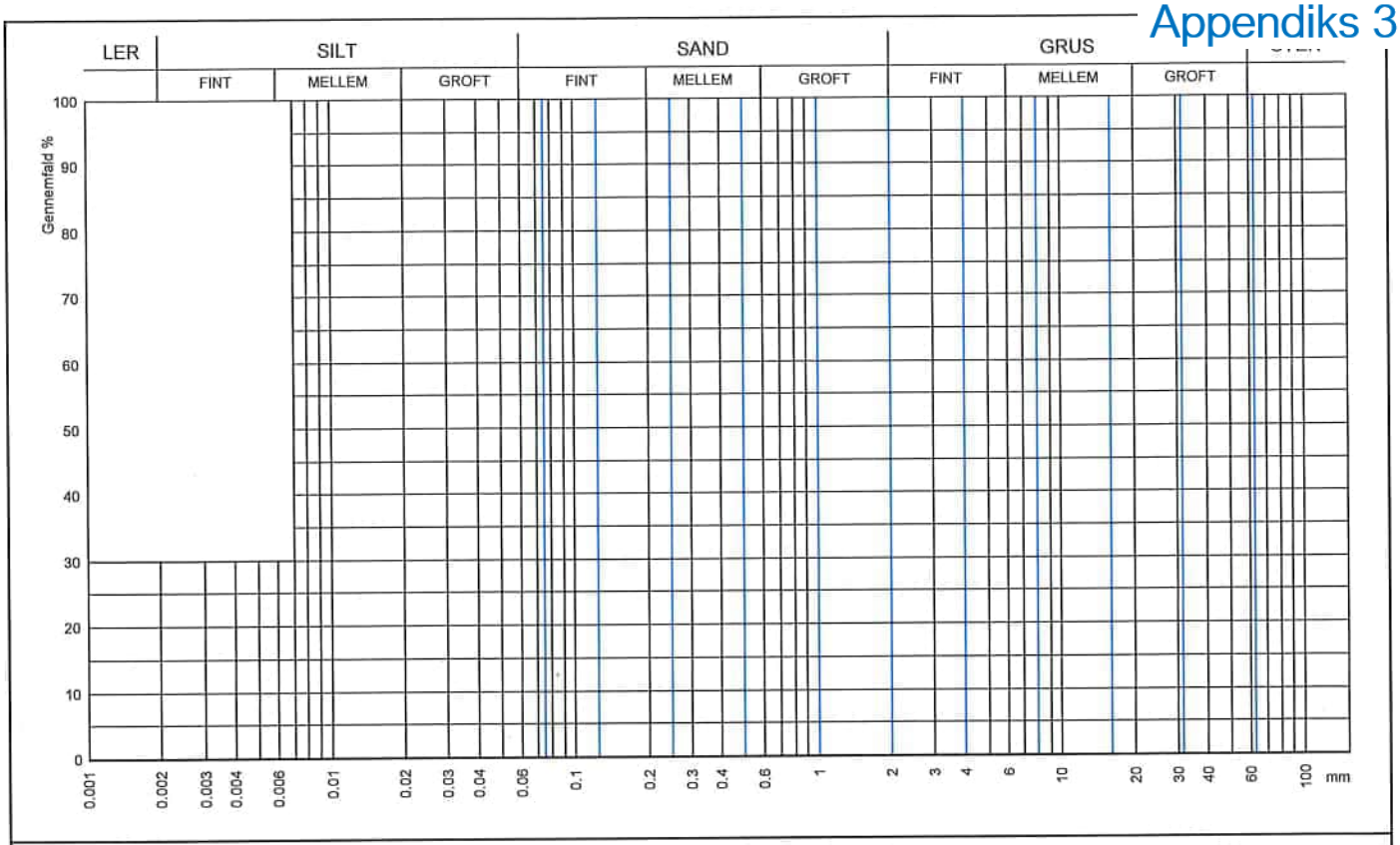
Rapport bemærkning

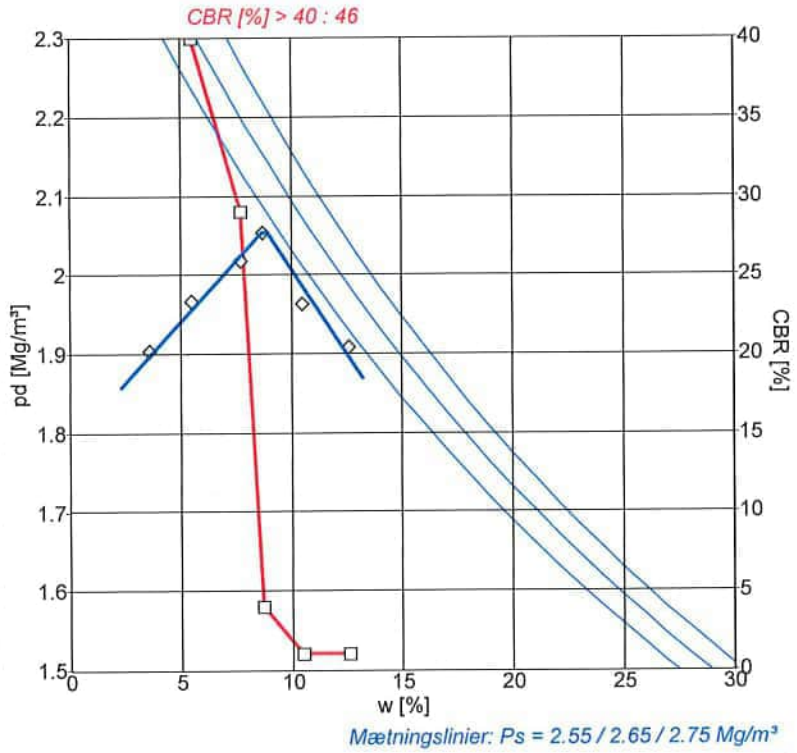
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	2.05	
w_{opt} %	8.8	
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse w_L		Plasticitetsgrænse w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.075mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)SE_4	%	Humusindhold			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Råjord

Mrk. Femern - uden kalk

Rap.nr. R-23-5600A

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5600A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5602A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5602A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

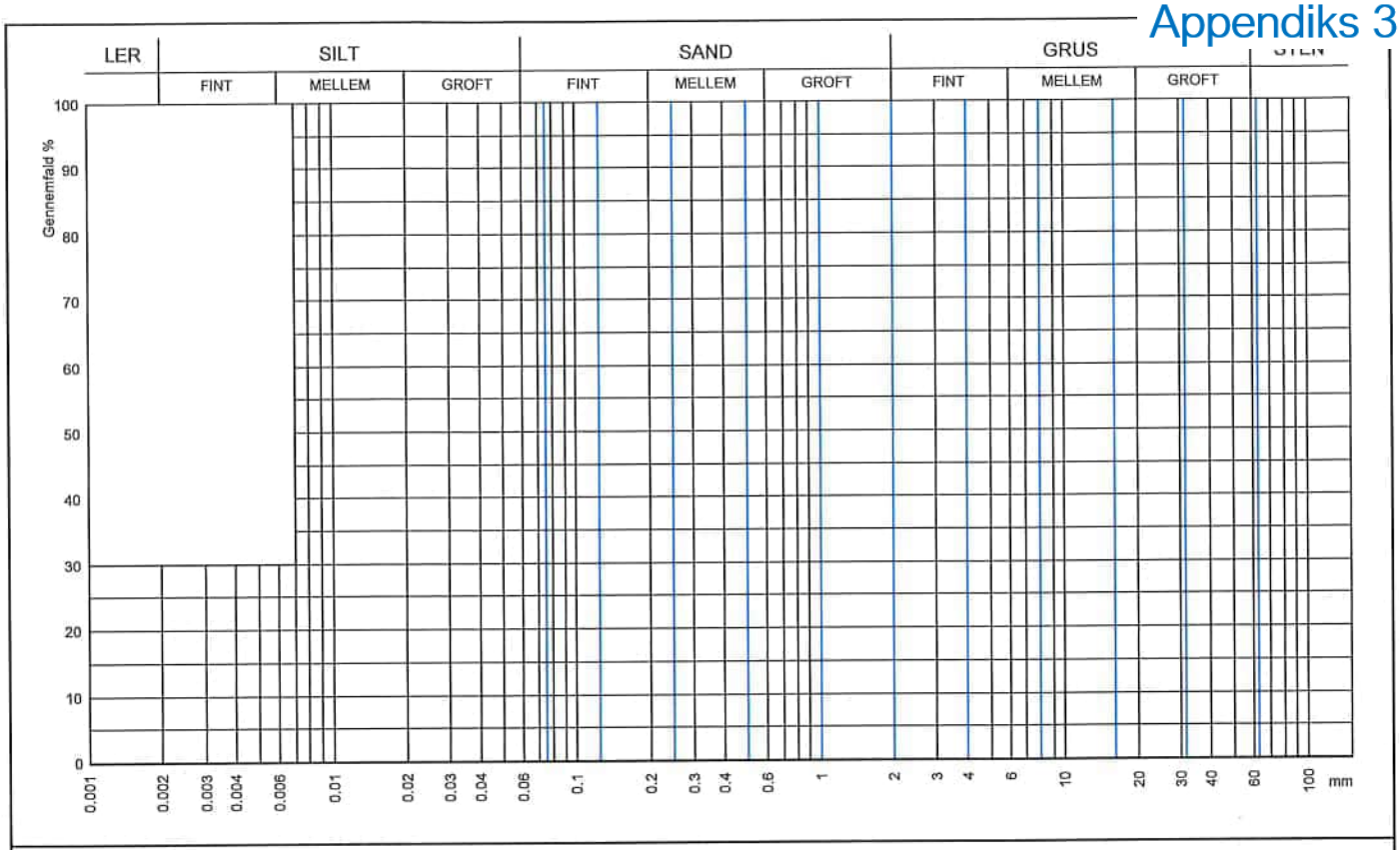
Rapport bemærkning

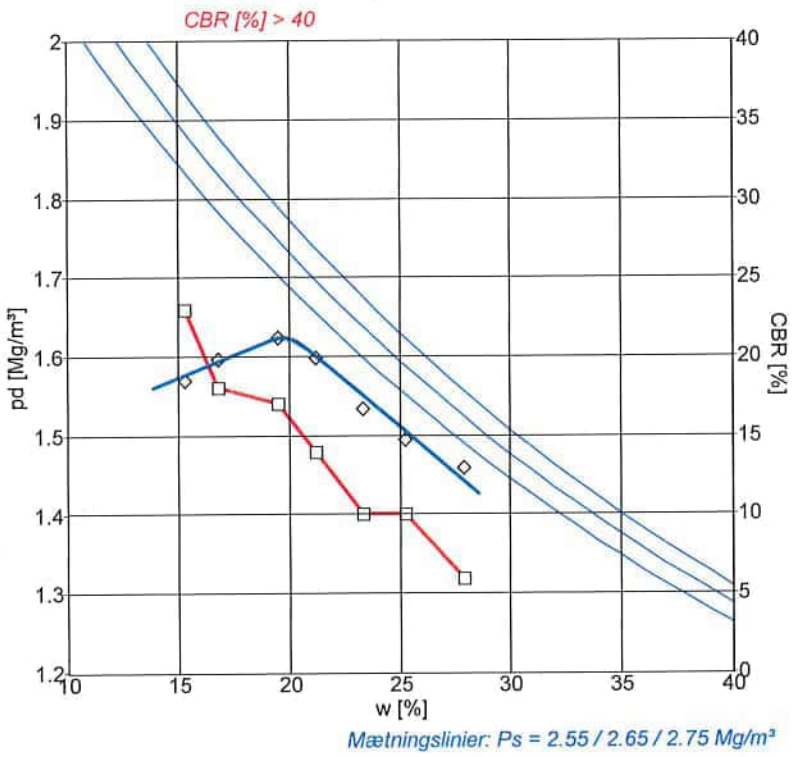
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	1.62	
w_{opt} %	19.7	
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L		Plasticitetsgrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_P
Korndensitet(0-0.075mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord

Mrk. Kværs, 1% kalk

Rap.nr. R-23-5602A

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5602A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5603A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5603A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret lerjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

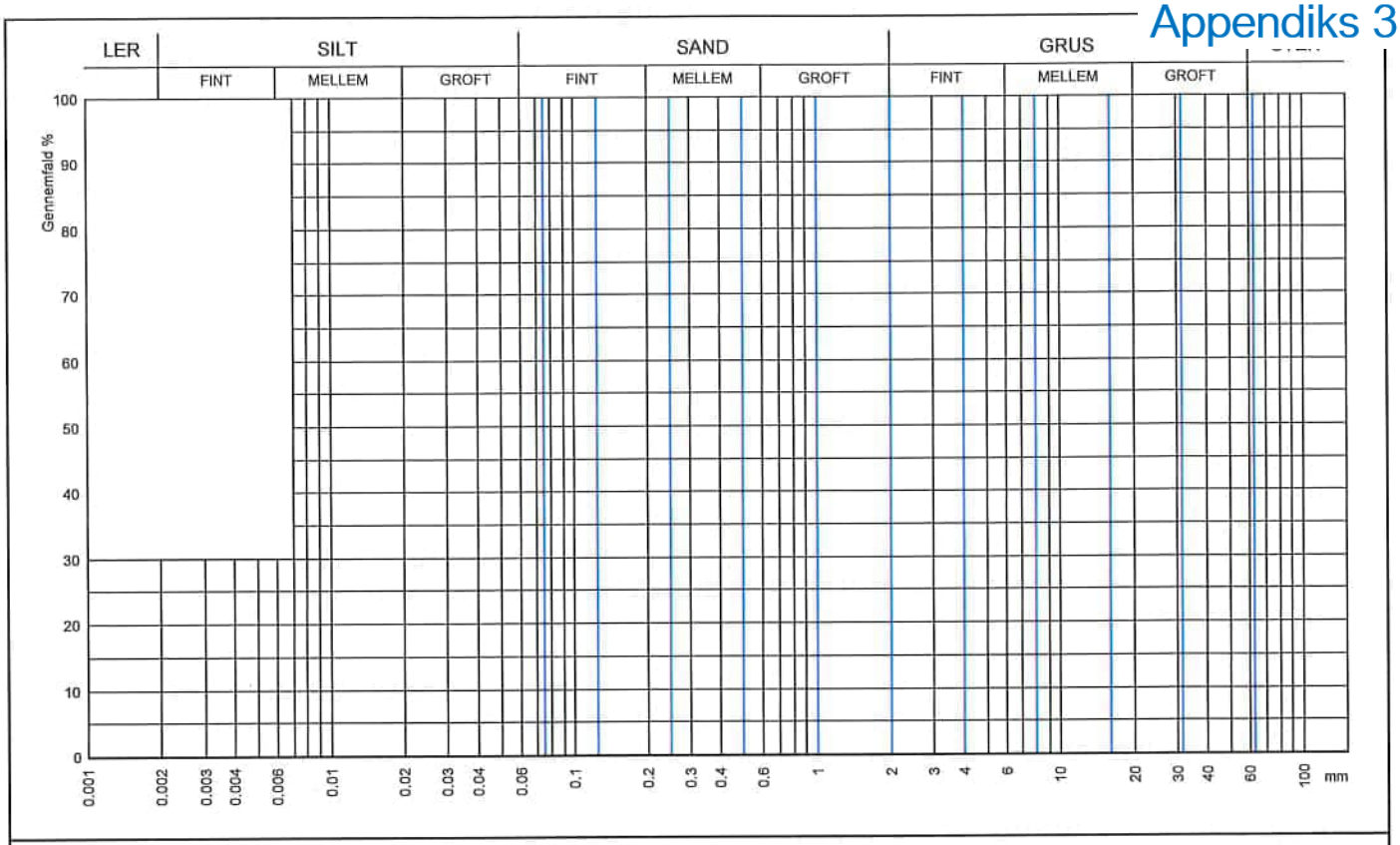
Rapport bemærkning

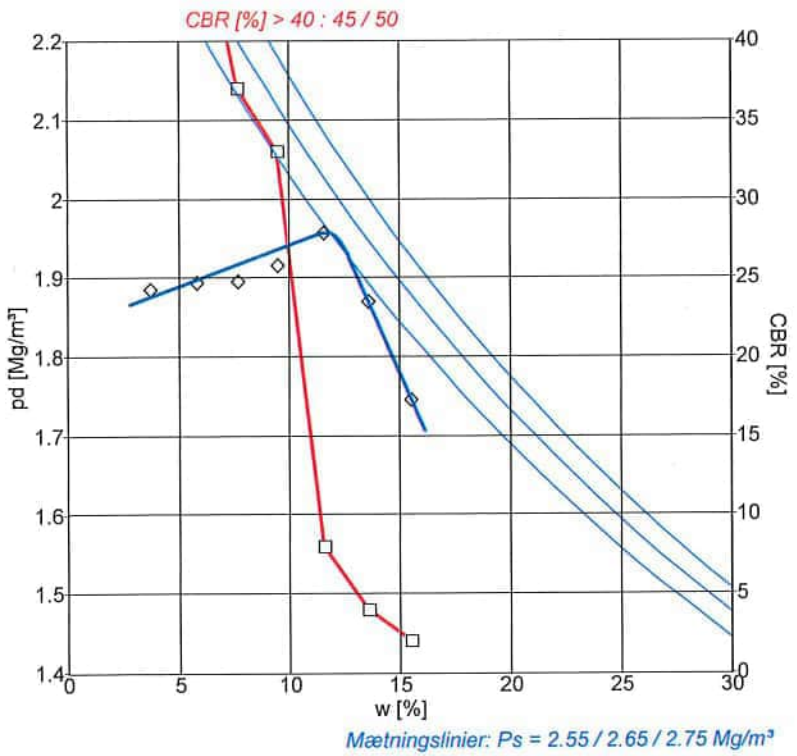
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	1.96	
w_{opt} %	11.7	
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse w_L		Plasticitetsgrænse w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.075mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)SE_4	%	Humusindhold			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord

Mrk. Femern, 1% kalk

Rap.nr. R-23-5603A

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5603A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5604A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5604A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

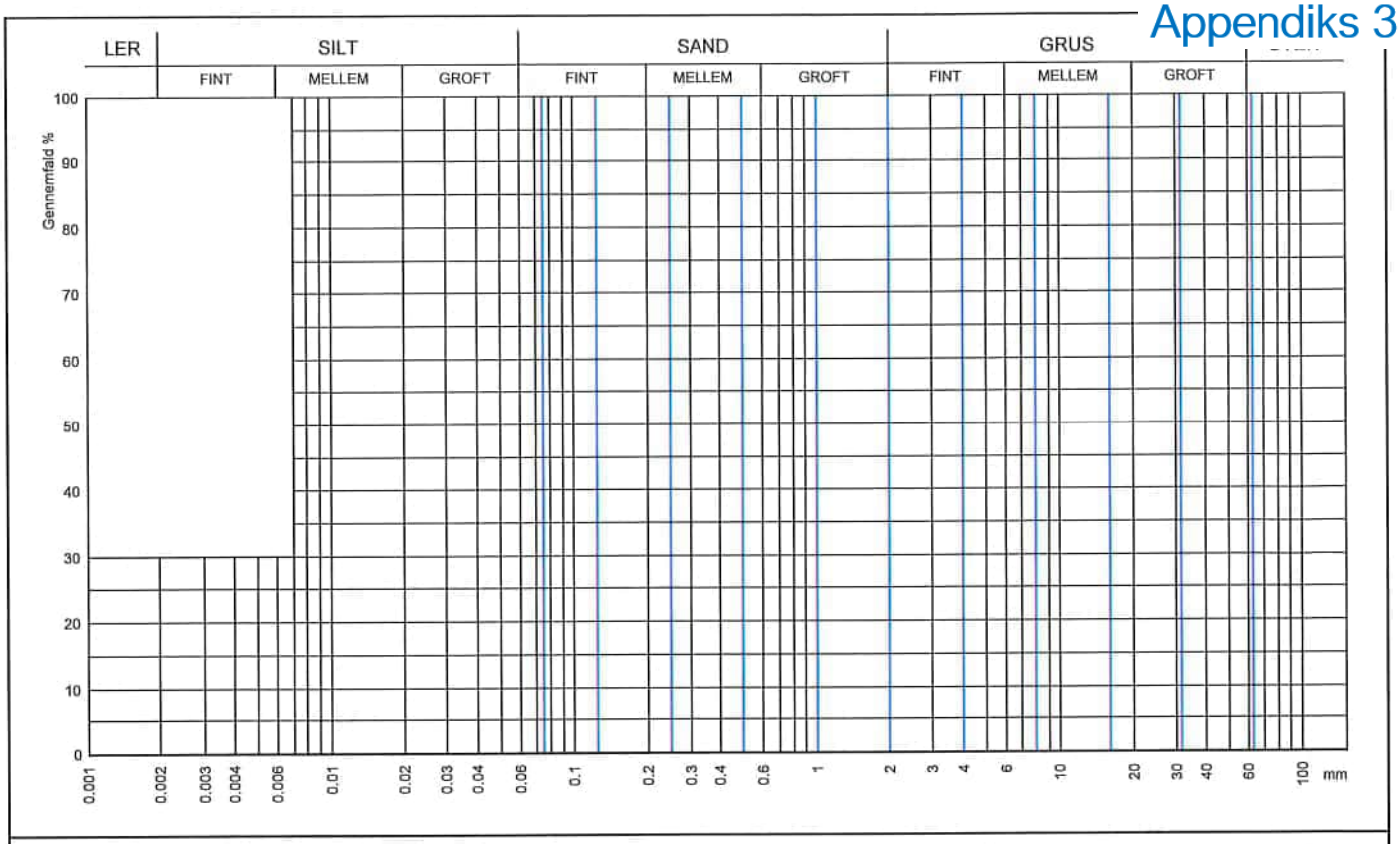
Rapport bemærkning

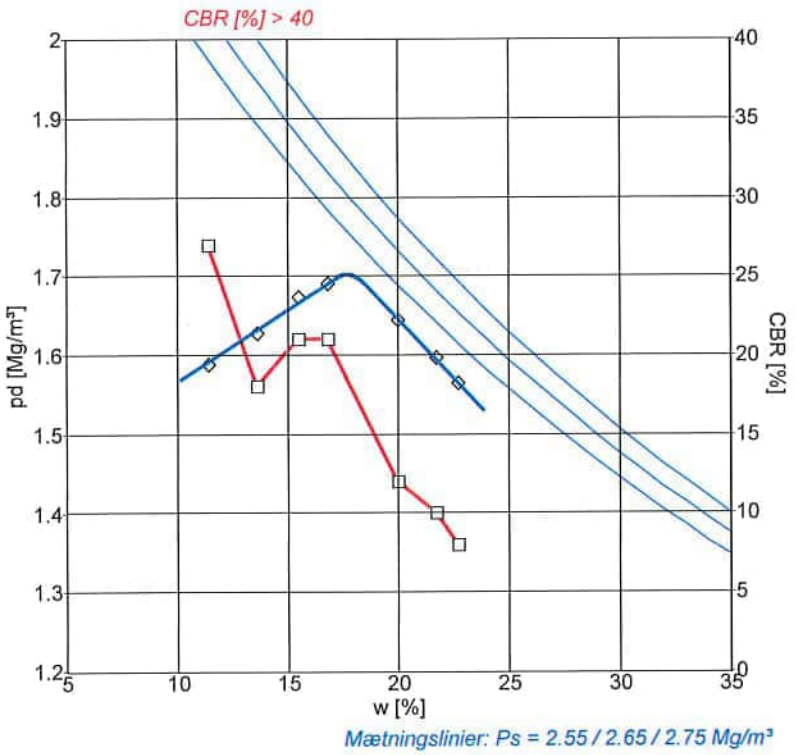
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m^3 er antaget.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	1.70	
w_{opt} %	17.7	
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse w_L		Plasticitetsgrænse w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.075mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)SE_4	%	Humusindhold			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord

Mrk. Topsøe, 1% kalk

Rap.nr. R-23-5604A

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5604A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5605A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5605A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

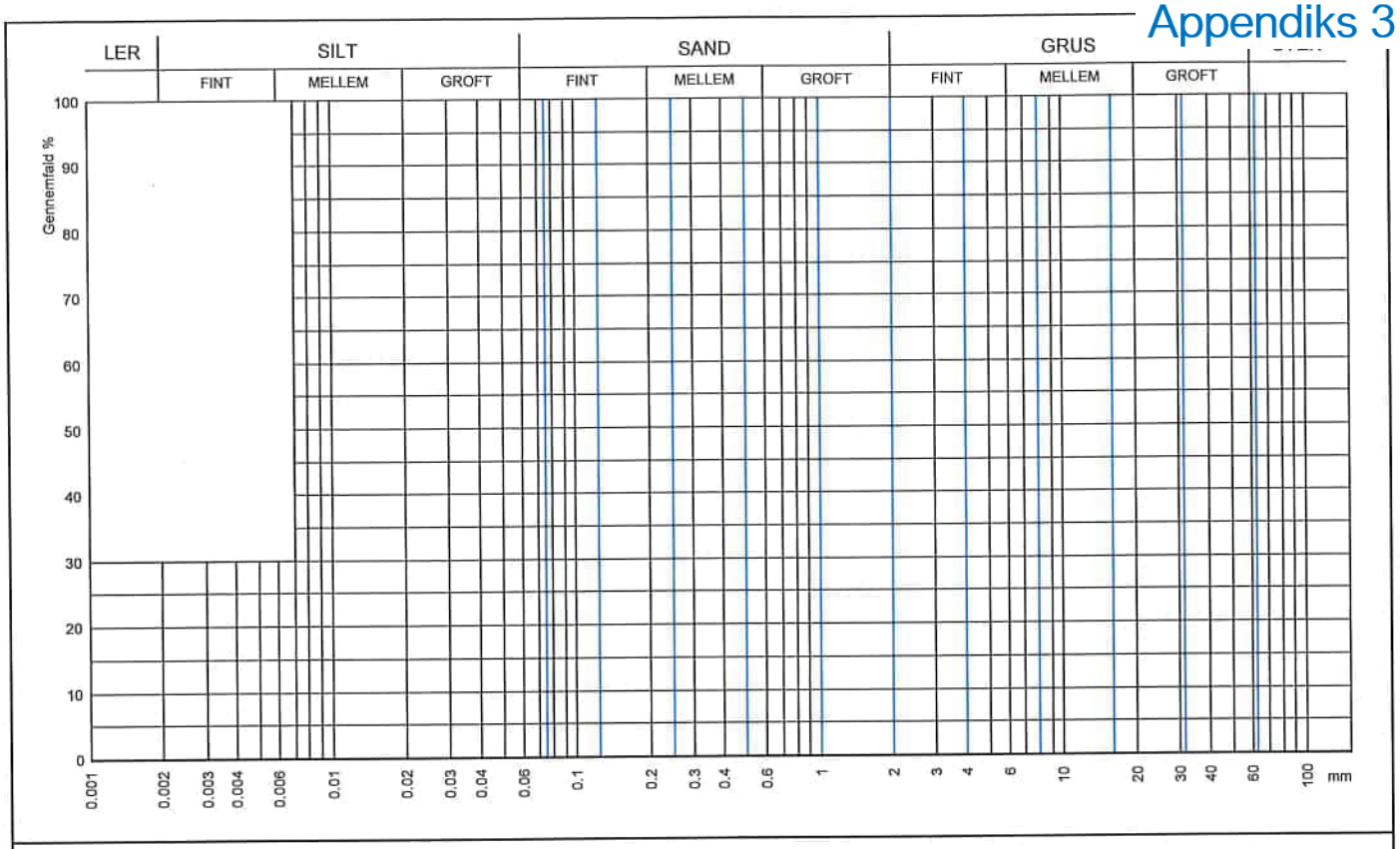
Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

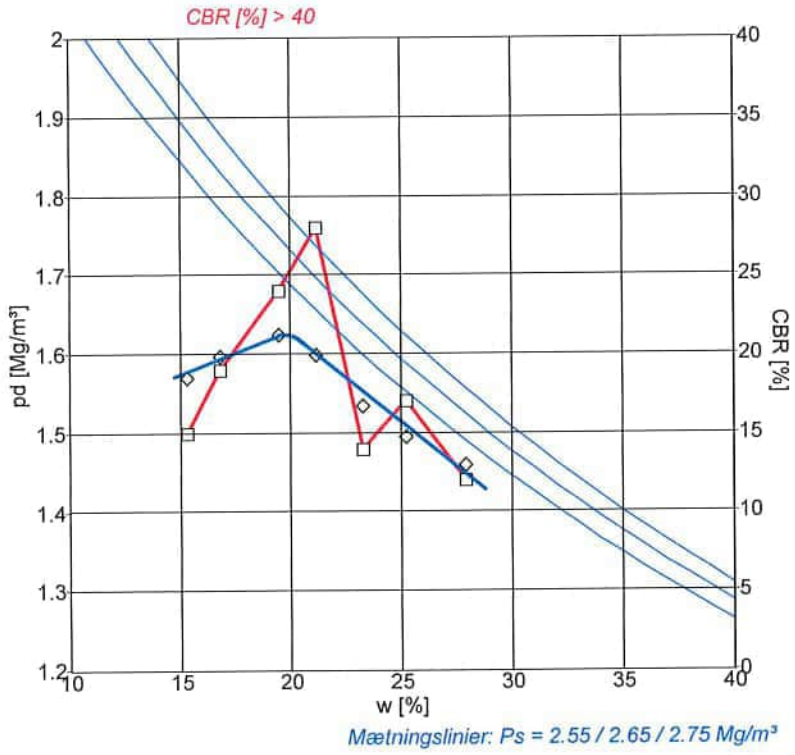
Rapport bemærkning

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	1.62	
w_{opt} %	19.8	
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse w_L		Plasticitetsgrænse w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.075mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)SE_4	%	Humusindhold			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord
Rap.nr. R-23-5605A

Mrk. Kværs, 1% kalk,
Vandlagret 4 døgn

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5605A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK
TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5606A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5606A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

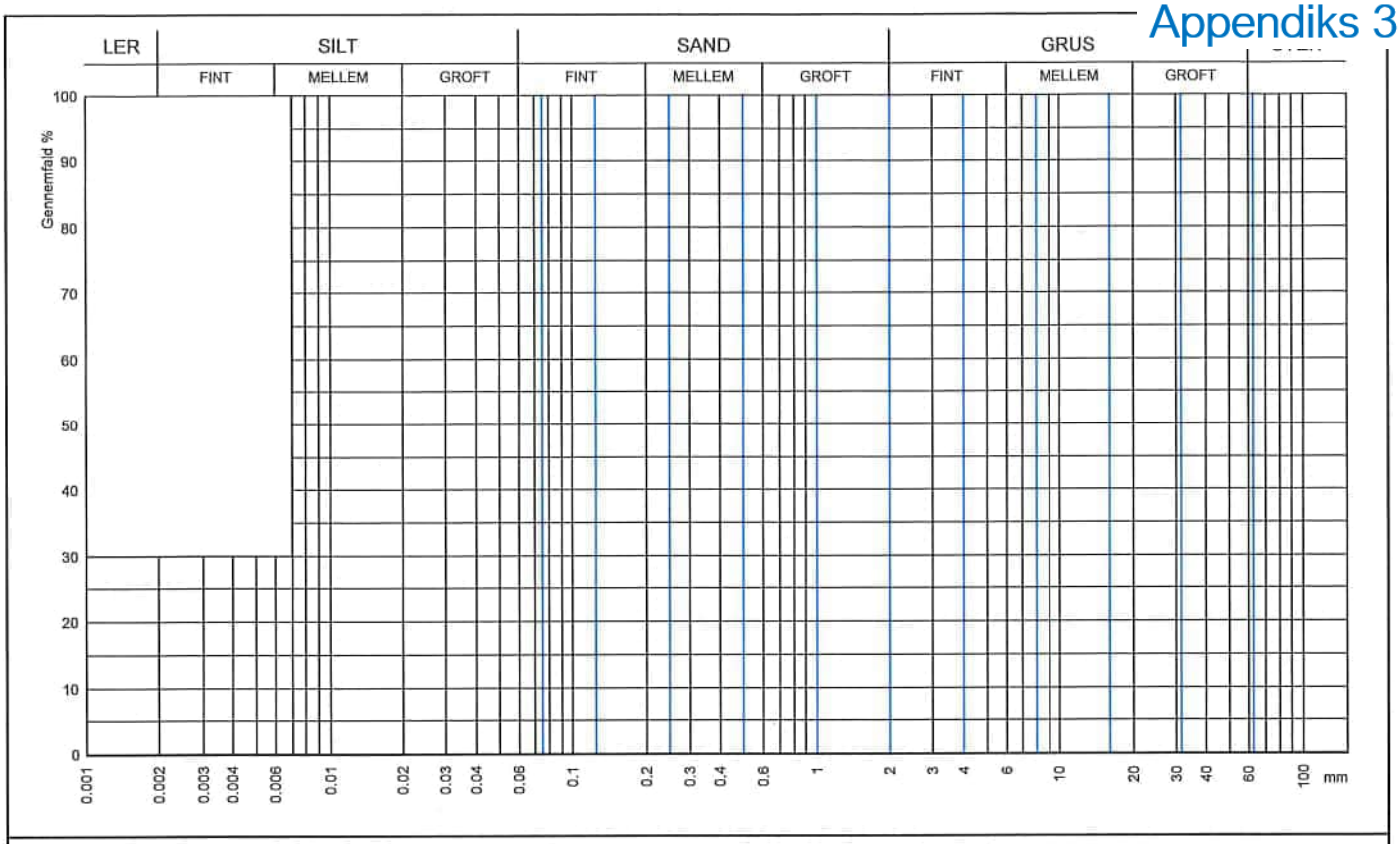
Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

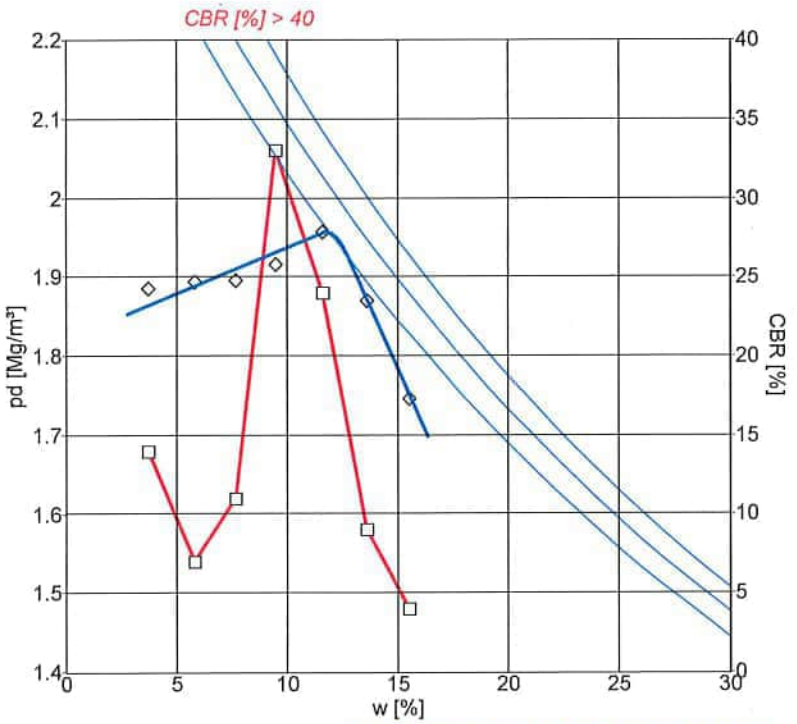
Rapport bemærkning

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg			
Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	1.96	
w_{opt}	%	11.8	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$	%		

Vibrationsforsøg		
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse w_L		Plasticitetsgrænse w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.075mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)SE_4	%	Humusindhold			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord
Rap.nr. R-23-5606A

Mrk. Femern, 1% kalk
Vandlagret 4 døgn

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5606A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 13. december 2023
VBM sag: 1742 11 V R-23-5607A
Side: 1 af 2

Prøvningsrapportnr.: R-23-5607A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Kalkstabiliseret råjord

Prøvningsperiode

Start 24. november 2023 **Slut** 13. december 2023

Anvendte metode referencer

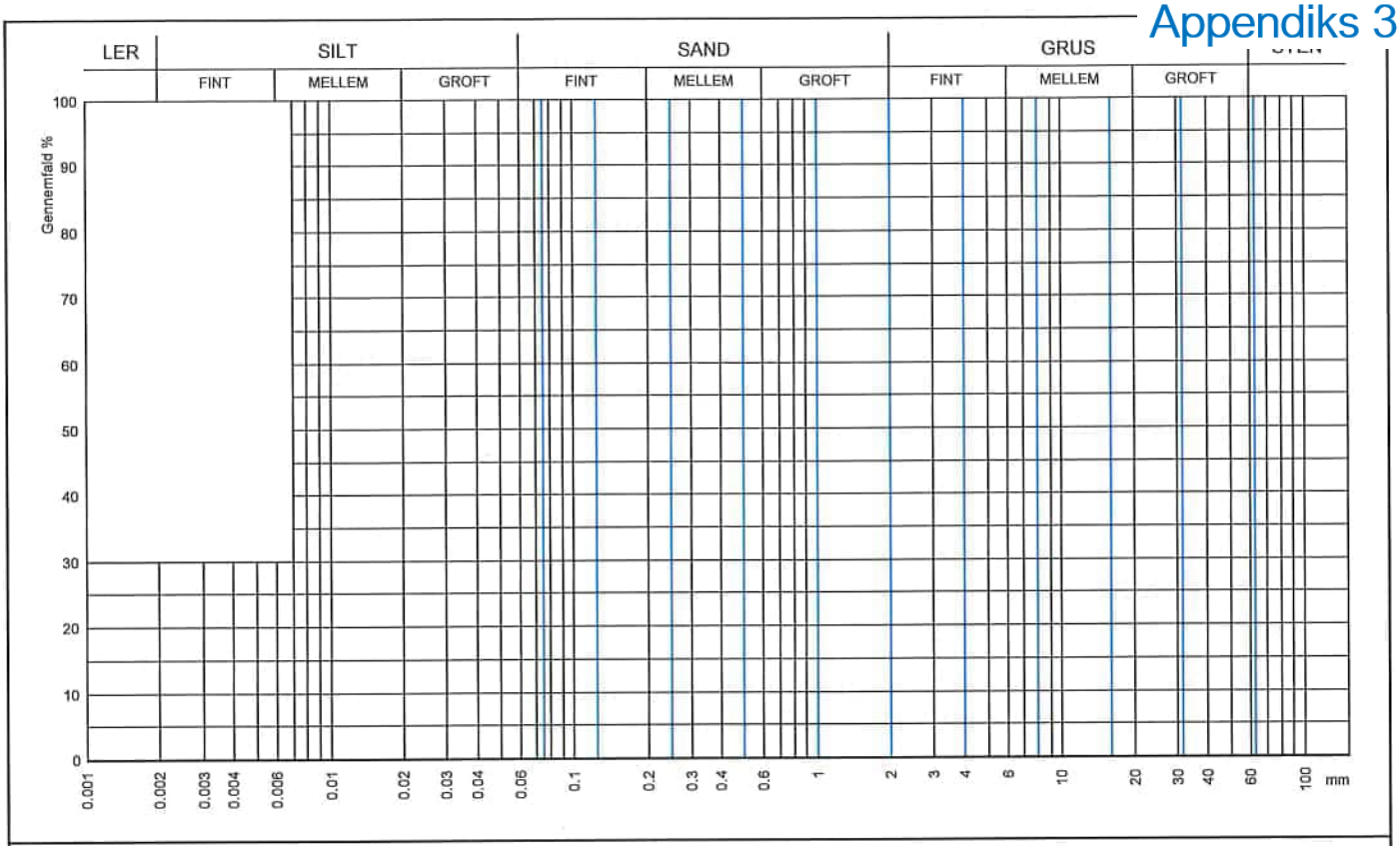
Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 13286-47	CBR, bestemmelse af bæreevne (2021)

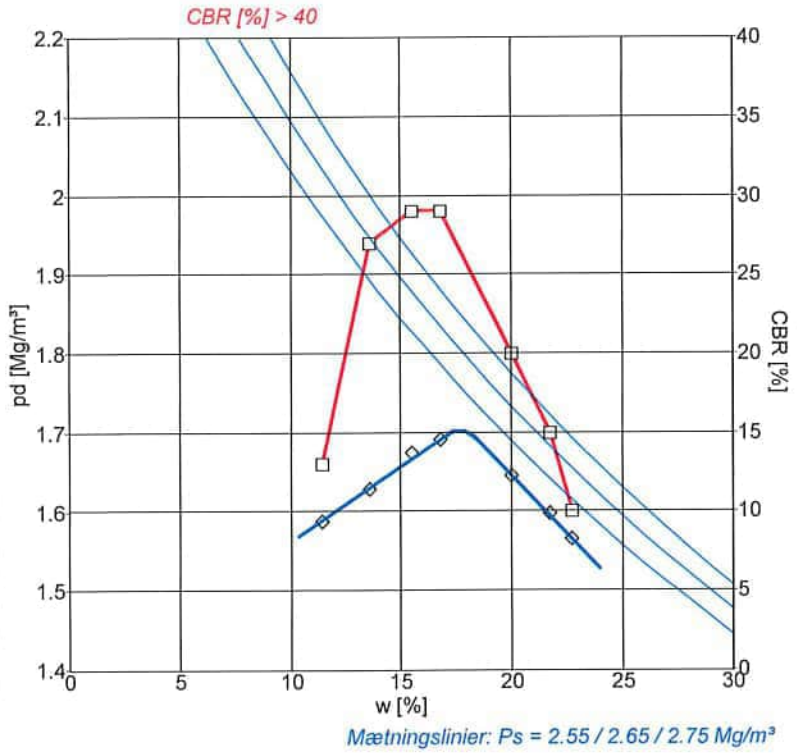
Rapport bemærkning

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg		
Indstampning	Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	1.70	
w_{opt} %	17.6	
$\rho_{d,max\ korr.}$ Mg/m³		
$w_{opt\ korr.}$ %		

Vibrationsforsøg	
$\rho_{d,max}$ Mg/m³	
w %	

Gennemfald 0.075 mm	%	Frasigtet > 16 mm s	%	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse w_L		Plasticitetsgrænse w_P		Plasticitetsindeks I_P	
Korndensitet(0-0.075mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm) ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler ρ_f	Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm) ka	%	Kalkindhold(0-16mm) ka	%	Kalkindhold(>16mm) ka	%
Glødetab gl	%	Glødetab reduceret gl_{red}	%		
Sandækvivalent (0-4mm)SE_4	%	Humusindhold			
Vurderet frostfare		Vandindhold in situ w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Kalkstabiliseret råjord
Rap.nr. R-23-5607A

Mrk. Topsøe, 1% kalk
Vandlagret 4 døgn

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 5607A-1
Udt. d.:	Modt. d.: 24-11-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 13/12-23	Sag nr.: 231742011	Bilag/side nr.: 2/2

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

Vejdirektoratet
Carsten Nieburhsgade 43, 5. sal
DK-1577 København V
Att.: Henrik Majlund

18. januar 2024

Vedhæftet er resultat for trykstyrkeprøvning på kerner af kalkstabiliseret råjord. Kernerne er fremstillet med 1 % kalk og et vandindhold 4 % over det optimale og trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41 af underleverandør.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet A/S

Martin Andersen

eurofins | VBM Laboratoriet

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Trykstyrkeprøvning
DS/EN 13286-41:2003

Udført for: Vejdirektoratet.

Mærkning: TOPSØE

Kerner støbt den 28.09.2023 og efterfølgende lagret ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne.
Tryktest udført den 03.01.2024 (97 dage).

Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale og kernerne er blevet trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41:2003 hos underleverandør.

Prøve nr.	Beskrivelse	Vægt (g)	Diameter (mm)	Højde (mm)	Areal (dm^2)	Densitet (kg/l)	Kraft (kN)	Trykstyrke (Mpa)
1	Topsøe	6288,0	152,4	177,7	1,823	1,941	7,21	0,4
2	Topsøe	6258,5	152,4	177,3	1,823	1,936	8,90	0,5
3	Topsøe	6294,4	152,4	177,4	1,824	1,945	8,90	0,5
4	Topsøe	6274,4	152,4	177,4	1,823	1,940	8,41	0,5
5	Topsøe	6269,1	152,4	177,4	1,823	1,939	9,34	0,5

eurofins | VBM Laboratoriet

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Trykstyrkeprøvning
DS/EN 13286-41:2003

Udført for: Vejdirektoratet.

Mærkning: Femern

Kerner støbt den 05.10.2023 og efterfølgende lagret ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne.
Tryktest udført den 08.01.2024 (95 dage).

Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale og kernerne er blevet trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41:2003 hos underleverandør.

Prøve nr.	Beskrivelse	Vægt (g)	Diameter (mm)	Højde (mm)	Areal (dm^2)	Densitet (kg/l)	Kraft (kN)	Trykstyrke (Mpa)
1	Femern	6678,0	152,7	177,4	1,830	2,057	25,62	1,4
2	Femern	6834,0	152,5	177,4	1,827	2,108	26,24	1,4
3	Femern	6803,0	152,6	178,2	1,828	2,089	27,76	1,5
4	Femern	6853,0	152,6	177,7	1,828	2,109	28,11	1,5
5	Femern	6749,0	152,5	177,6	1,827	2,080	31,27	1,7

eurofins | VBM Laboratoriet

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Trykstyrkeprøvning

DS/EN 13286-41:2003

Udført for: Vejdirektoratet.

Mærkning: Kværs

Kerner støbt den 10.10.2023 og efterfølgende lagret ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne.
Tryktest udført den 10.01.2024 (92 dage).

Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale og kernerne er blevet trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41:2003 hos underleverandør.

Prøve nr.	Beskrivelse	Vægt (g)	Diameter (mm)	Højde (mm)	Areal (dm^2)	Densitet (kg/l)	Kraft (kN)	Trykstyrke (Mpa)
1	Kværs	6012,2	152,4	176,7	1,824	1,866	-	-*
2	Kværs	6000,9	152,4	176,6	1,824	1,863	10,94	0,6
3	Kværs	6033,7	152,4	176,4	1,824	1,876	10,45	0,6
4	Kværs	6168,2	152,4	175,5,7	1,824	1,927	12,85	0,7
5	Kværs	6197,3	152,4	176,5	1,824	1,925	13,61	0,7

* Trykprøvning kunne ikke gennemføres

eurofins | VBM Laboratoriet

☐ INDUSTRIVEJ 1
DK-9440 AABYBRO
TLF: +45 98 21 32 00
AABYBRO@EUROFINS.DK

☑ BALDERSHØJ 9
DK-2635 ISHØJ
TLF: +45 36 72 70 00
ROEDOVRE@EUROFINS.DK

ilac-MRA DANAK TEST Reg. nr. 179

Vejdirektoratet
Elisagårdsvej 5

DK-4000 Roskilde

Att: Henrik Majlund

Dato: 15. marts 2024
VBM sag: 1742 11 V R-23-4184B
Side: 1 af 3

Prøvningsrapportnr.: R-23-4184B

NB: Denne rapport erstatter tidligere fremsendte rapport R-23-4184A

Rekvirent

Vejdirektoratet - V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring

Rapport indhold

Prøvning af ubundne materialer, laboratorieprøvning

Materialer

Råjord

Prøvningsperiode

Start 6. september 2023 **Slut** 15. marts 2024

Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
----	Kapillaritetsbestemmelse
DS/CEN ISO/TS.	17892-11 Bestemmelse af permeabilitet (2004)
DS/EN 13286-2	Proctorforsøg (2011 + AC:2013)

Rapport bemærkning

- B-version fremsendes, da resultat for kapillær stighøjde er tilføjet rapporten.
- Den anvendte densitet 2.65 Mg/m³ er antaget.
- Kapillariteten er bestemt på tre prøveemner. Den fundne kapillaritet er begrænset af prøveemnernes højde, som er 18 cm.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen

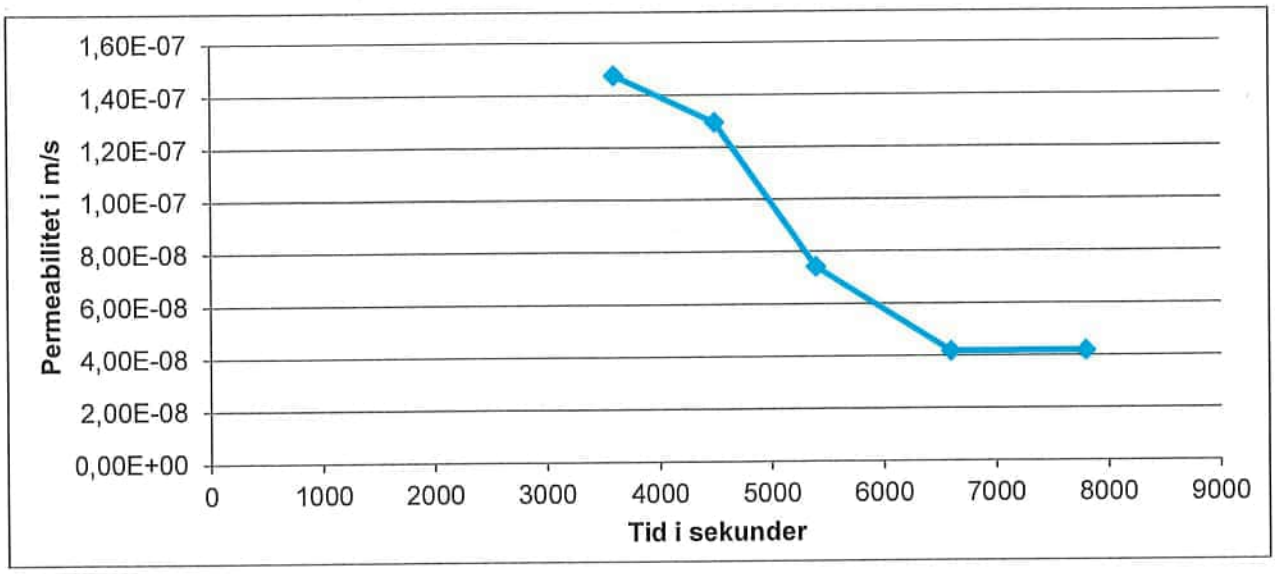
Prøvningsrapporten må kun bruges i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de prøvede emner. Med mindre andet foreligger, vil resterende prøvemateriale blive bortkastet efter 1 måned.

eurofins | VBM Laboratoriet

Prøvningsrapport nr: R-23-4184A
Permeabilitetsforsøg: DS/CEN ISO/TS 17892-11:2004

Rekvirent:	Vejdirektoratet	Dato:	16-11-2023
Lokation	V&D Projekt - stabiliseret jord som bundsikring	VBM sag:	231742011
Mrk:	Femern	Modtaget dato:	05-09-2023
		Udført af:	BVT2

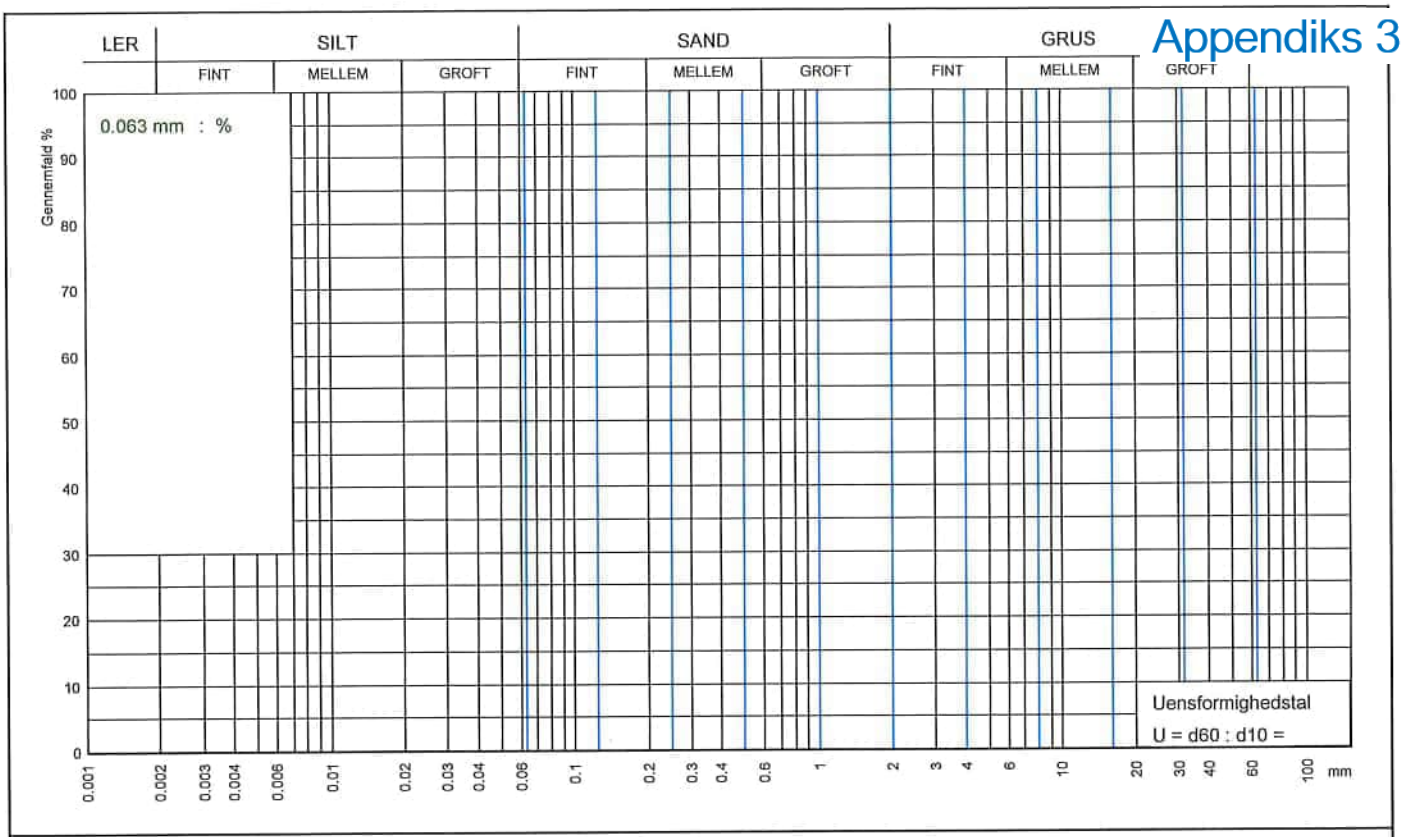
Diameter af rør (m), d	0,08
Diameter af prøve (m), D	0,19
Højde (m), l	0,19
Højde mellem bund af rør og top af prøve (m), hk	0,12

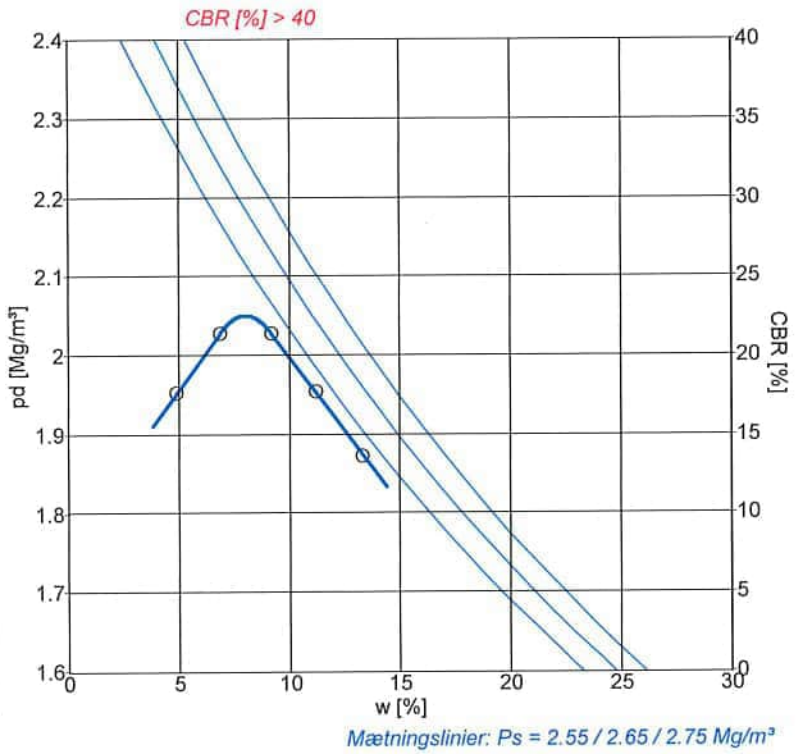


Måling nr	Tid (sek)	højde på rør (cm)	ln (h1/h2)	k (m/s)
0	2700	191,3		
1	3600	190,5	0,004	1,48E-07
2	4500	189,8	0,003	1,30E-07
3	5400	189,4	0,002	7,43E-08
4	6600	189,1	0,001	4,18E-08
5	7800	188,8	0,001	4,19E-08

Permeabilitetskoefficient, k

k (m/s)	8,70E-08





Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	✧	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.

Proctorforsøg			
Indstampning		Proctor	Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	2.05	
w_{opt}	%	8.0	
$\rho_{d,max\ korr.}$	Mg/m³	2.06	
$w_{opt\ korr.}$	%	7.9	

Vibrationsforsøg		
$\rho_{d,max}$	Mg/m³	
w	%	

Gennemfald 0.063 mm		%	Frasigtet > 16 mm	s	1,3 %	Frasigtet > 80 mm	%
Flydegrænse	w_L		Plasticitetsgrænse	w_P		Plasticitetsindeks	I_P
Korndensitet(0-0.063mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet(0-16mm)	ρ_s	Mg/m³	Korndensitet, filler	ρ_f Mg/m³
Kalkindhold(0-1mm)	ka	%	Kalkindhold(0-16mm)	ka	%	Kalkindhold(>16mm)	ka %
Glødetab	gl	%	Glødetab reduceret	gl_{red}	%	Kapillær stighøjde	> 18 cm
Sandækvivalent (0-4mm)	SE_4	%	Humusindhold				
Vurderet frostfare			Vandindhold in situ	w_{nat}	%		

Prøvebeskrivelse: Råjord

Rap. nr. R-23-3184A

Mrk. Femern

Rekvirent: Vejdirektoratet		eurofins VBM LABORATORIET		Station / Boring	Mrk.:
Sted: V&D projekt				Dybde / Kote	Lab. nr.: 4184A
Udt. d.:	Modt. d.: 05-09-2023	Tegn.: BVT2	Godk.: 15/1-24 NJ	Sag nr.: 231742011-1	Bilag/side nr.: 3/3

www.drive-it.dk

eurofins | VBM Laboratoriet

Vejdirektoratet
Carsten Nieburhsgade 43, 5. sal
DK-1577 København V
Att.: Henrik Majlund

15. april 2024

Vedhæftet er resultat for trykstyrkeprøvning på kerner af kalkstabiliseret råjord. Kernerne er fremstillet med 1 % kalk og et vandindhold 4 % over det optimale. Kernerne er lagret i minimum 90 dage og efterfølgende udsat for 10 frost/tø cykler. Kernerne er trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41 af underleverandør.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet A/S

Martin Andersen

eurofins | VBM Laboratoriet

Trykstyrkeprøvning
DS/EN 13286-41:2003

Udført for: Vejdirektoratet.

Mærkning: TOPSØE

Kerner støbt den 28.09.2023 og efterfølgende lagret ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne. Kernerne er udsat for 10 frost/tø cykler i perioden 11.01-05.02.24.
Tryktest udført den 14.02.2024*.

Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale og kernerne er blevet trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41:2003 hos underleverandør.

Prøve nr.	Beskrivelse	Vægt (g)	Diameter (mm)	Højde (mm)	Areal (dm^2)	Densitet (kg/l)	Kraft (kN)	Trykstyrke (Mpa)
6	Topsøe	6281,0	152,4	177,4	1,824	1,941	0,27	0,0
7	Topsøe	6256,0	152,5	177,7	1,827	1,926	2,98	0,2
8	Topsøe	6053,0	152,3	179,3	1,822	1,853	2,18	0,1
9	Topsøe	6299,0	152,3	178,0	1,822	1,943	3,91	0,2
10	Topsøe	6216,0	152,2	180,6	1,819	1,892	3,78	0,2

* Kernerne er uheldigvis ikke trykprøvet umiddelbart efter afslutning, men har været lagret udendørs ved underleverandøren

eurofins | VBM Laboratoriet

Trykstyrkeprøvning
DS/EN 13286-41:2003

Udført for: Vejdirektoratet.

Mærkning: Femern

Kerner støbt den 05.10.2023 og efterfølgende lagret ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne. Kernerne er udsat for 10 frost/tø cykler i perioden 05.02-05.03.24.
Tryktest udført den 08.03.2024.

Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale og kernerne er blevet trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41:2003 hos underleverandør.

Prøve nr.	Beskrivelse	Vægt (g)	Diameter (mm)	Højde (mm)	Areal (dm^2)	Densitet (kg/l)	Kraft (kN)	Trykstyrke (Mpa)
6	Femern	6589,0	152,3	176,9	1,822	2,045	44,35	2,4
7	Femern	6881,0	152,5	177,0	1,825	2,130	41,99	2,3
8	Femern	6673,0	152,5	177,4	1,827	2,059	31,14	1,7
9	Femern	6913,0	152,7	177,2	1,831	2,131	44,88	2,5
10	Femern	6945,0	152,5	176,4	1,825	2,156	48,44	2,7

eurofins | VBM Laboratoriet

Trykstyrkeprøvning

DS/EN 13286-41:2003

Udført for: Vejdirektoratet.

Mærkning: Kværs

Kerner støbt den 10.10.2023 og efterfølgende lagret ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne. Kernerne er udsat for 10 frost/tø cykler i perioden 04.03-05.04.24.
Tryktest udført den 08.04.2024.

Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale og kernerne er blevet trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41:2003 hos underleverandør.

Prøve nr.	Beskrivelse	Vægt (g)	Diameter (mm)	Højde (mm)	Areal (dm^2)	Densitet (kg/l)	Kraft (kN)	Trykstyrke (Mpa)
6	Kværs	6039,5	152,7	178,0	1,830	1,854	5,34	0,3
7*	Kværs	-	-	-	-	-	-	-
8	Kværs	6100,4	152,7	179,0	1,832	1,861	3,55	0,2
9	Kværs	5973,6	152,5	178,3	1,826	1,834	4,98	0,3
10	Kværs	6092,3	153,0	177,2	1,839	1,870	4,63	0,3

* Trykprøvning kunne ikke gennemføres

eurofins | VBM Laboratoriet

Vejdirektoratet
Carsten Nieburhsgade 43, 5. sal
DK-1577 København V
Att.: Henrik Majlund

16. april 2024

Vedhæftet er resultat for bestemmelse af kapillaritet på kerner af kalkstabiliseret råjord. Kernerne er fremstillet med 1 % kalk og et vandindhold 4 % over det optimale. Kernerne er lagret i minimum 90 dage ved 20 °C og efterfølgende test for kapillaritet.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet A/S

Martin Andersen

eurofins | VBM Laboratoriet

Kapillaritet

Udført for: Vejdirektoratet.

Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale.

Kerner støbt den 05.012.23 og efterfølgende lagret ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne.
Kapillaritet testen er udført i perioden 26.03 – 10.04.24, efter retningslinjerne i det udleverede forsøgsproram.

Prøve nr.	Beskrivelse	Højde (mm)	Kapillaritet (mm)
1	Topsøe	180	90
2	Topsøe	180	90
3	Topsøe	180	90
4	Femern	180	110
5	Femern	180	120
6	Femern	180	150
7	Kværs	180	>180
8	Kværs	180	130
9	Kværs	180	>180

eurofins | VBM Laboratoriet

Vejdirektoratet
Carsten Nieburhsgade 43, 5. sal
DK-1577 København V
Att.: Henrik Majlund

13. maj 2024

Vedhæftet er resultat for trykstyrkeprøvning på kerner af kalkstabiliseret råjord. Kernerne er fremstillet med 1 % kalk og et vandindhold 4 % over det optimale. Kernerne er lagret i minimum 90 dage, efterfølgende udsat for 10 frost/tø cykler og efterfølgende hærdet i 28 dage. Kernerne er trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41 af underleverandør.

Med venlig hilsen
Eurofins VBM Laboratoriet A/S

Martin Andersen

eurofins | VBM Laboratoriet

Trykstyrkeprøvning
DS/EN 13286-41:2003

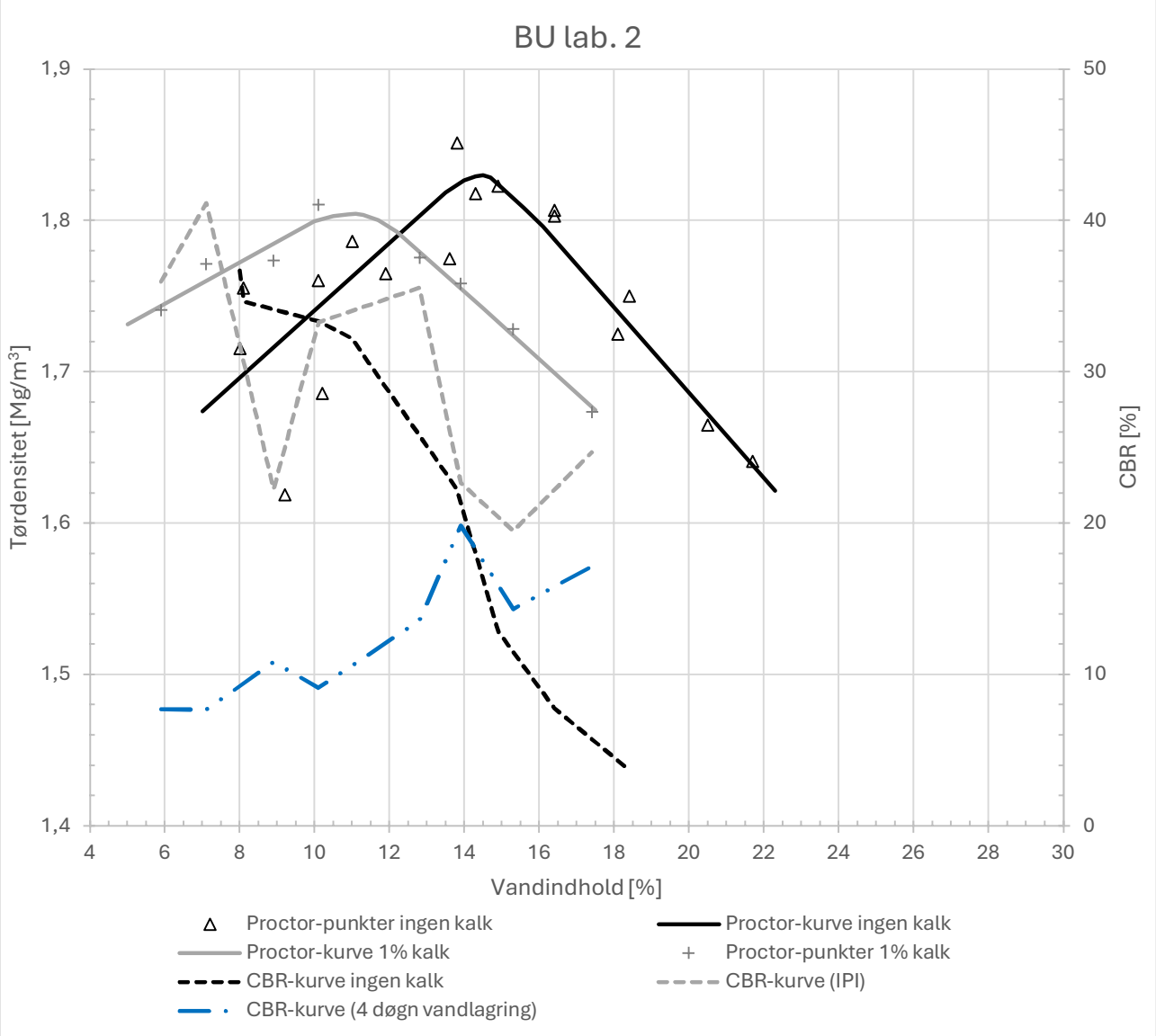
Udført for: Vejdirektoratet.

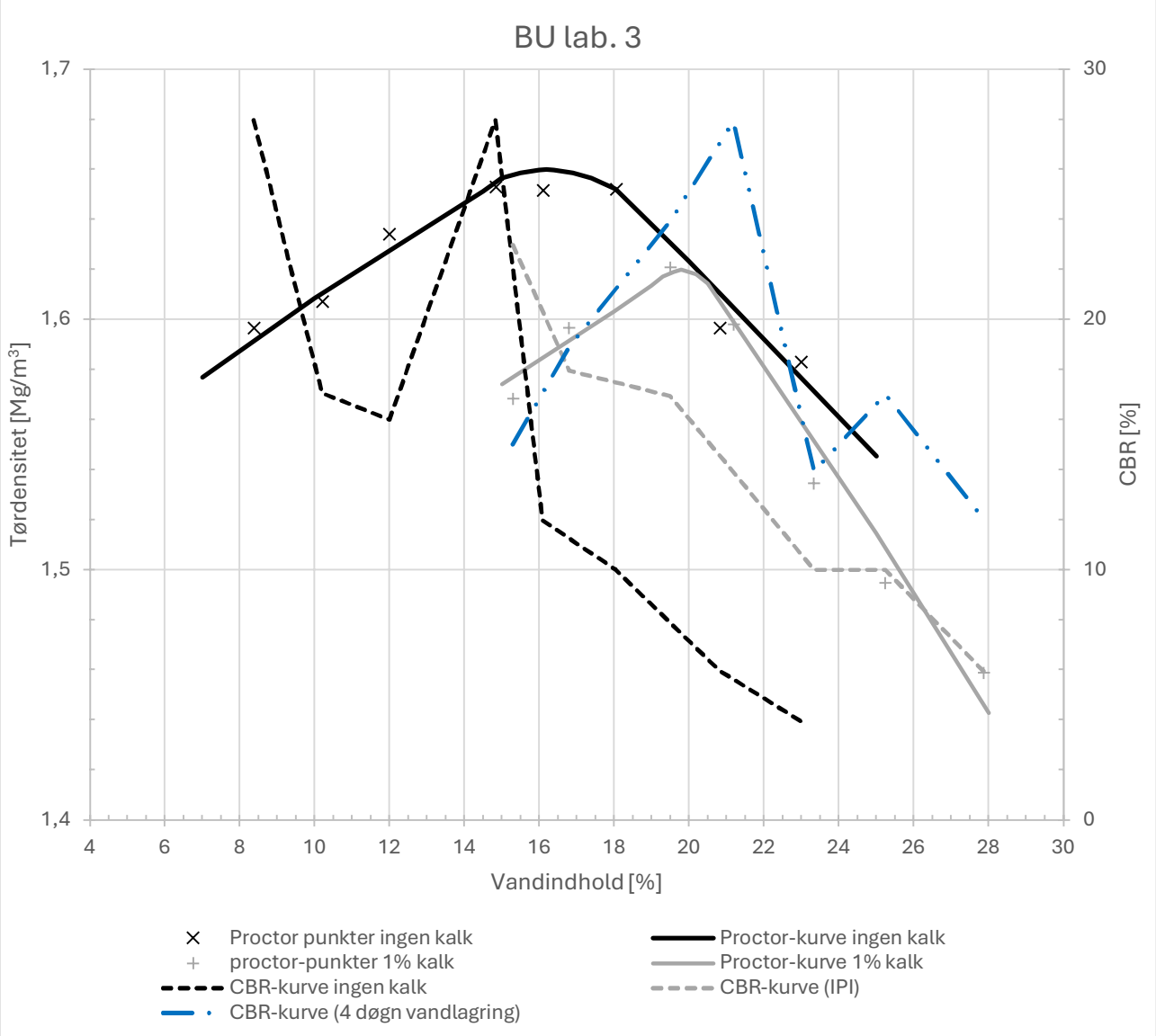
Mærkning: TOPSØE/KVÆRS

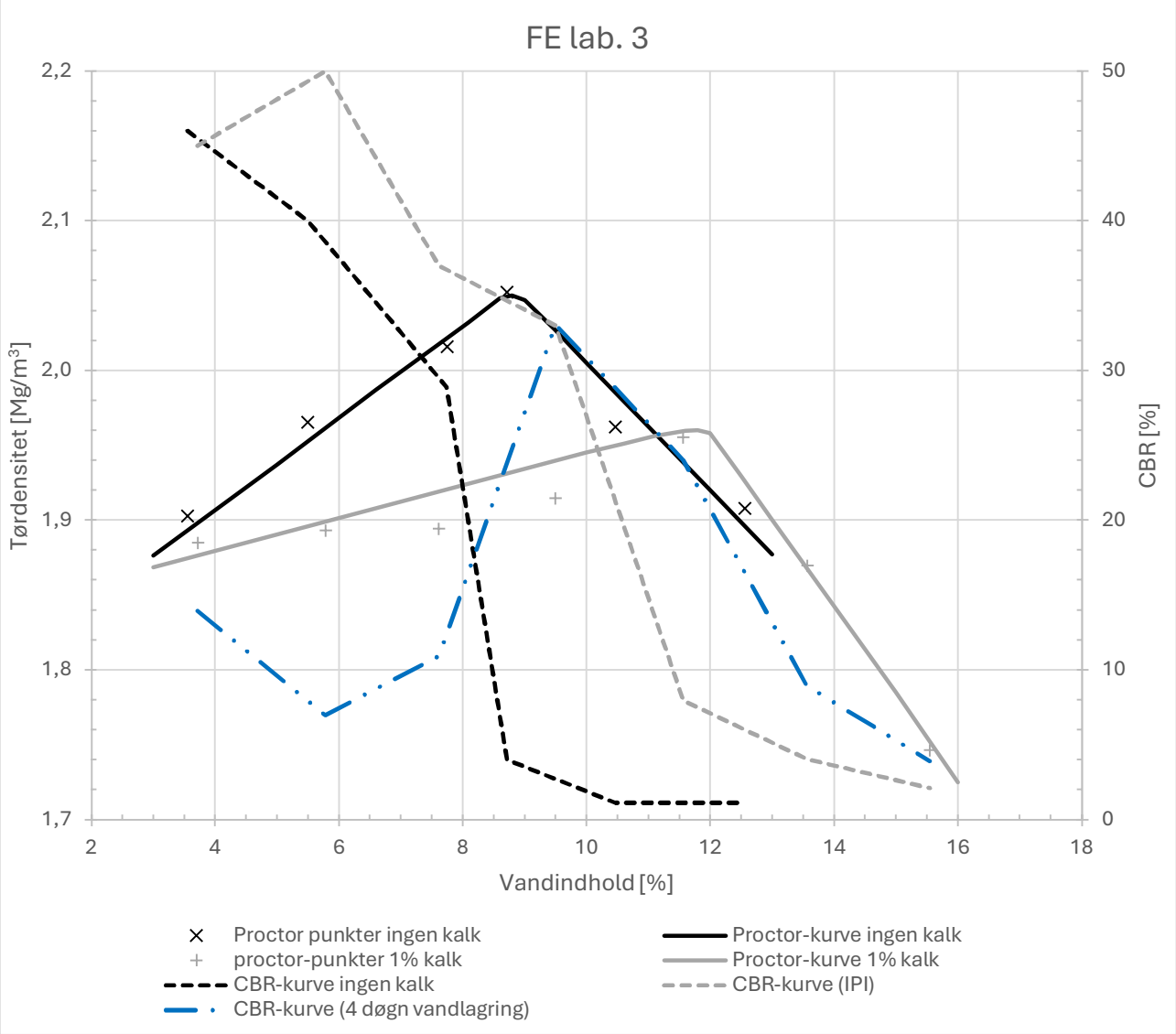
Kerner støbt den 01.12.2023 og efterfølgende lagret 90 dage ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Kluden har ikke været direkte i kontakt med kernerne. Kernerne er udsat for 10 frost/tø cykler i perioden 01.03-03.04.24, og lagret efterfølgende i 28 dage ved ca. 20 ^{0}C i pose med en vandmættet klud. Tryktest udført den 06.05.2024.

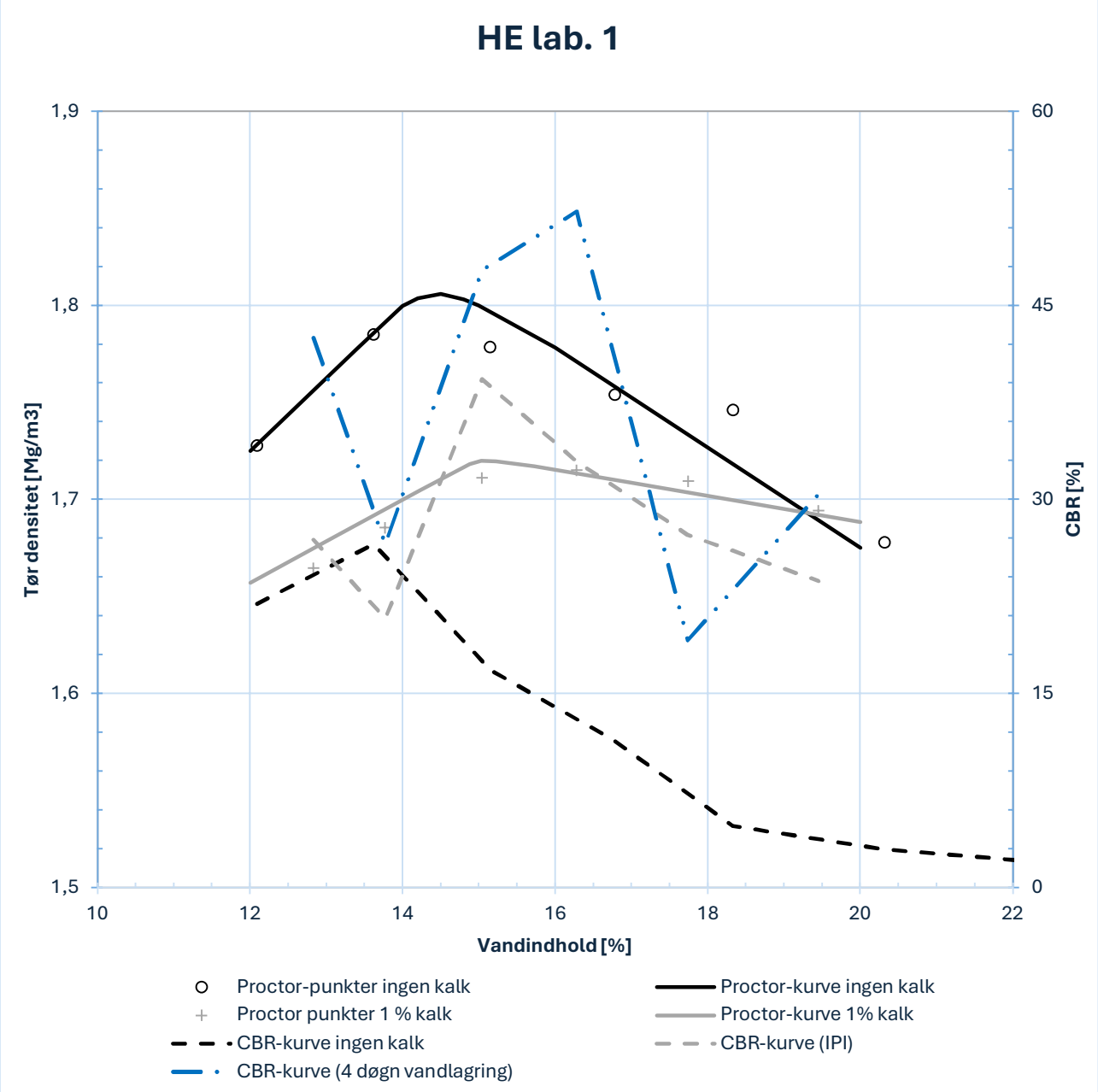
Materialetype: Kernerne er fremstillet med 1% kalk og et vandindhold på 4% over det optimale. Kernerne er trykprøvet i henhold til DS/EN 13286-41:2003 hos underleverandør.

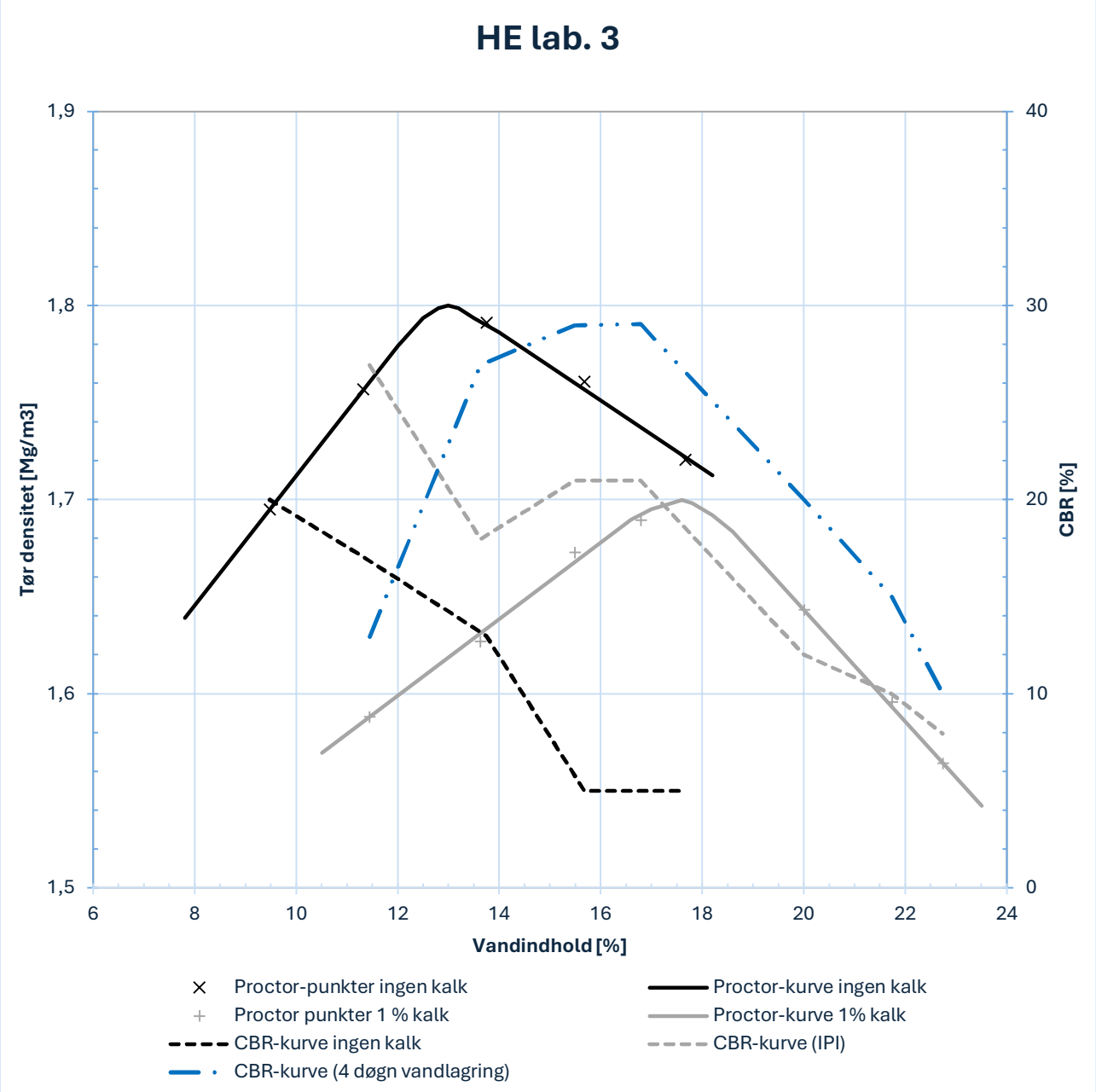
Prøve nr.	Beskrivelse	Vægt (g)	Diameter (mm)	Højde (mm)	Areal (dm^2)	Densitet (kg/l)	Kraft (kN)	Trykstyrke (Mpa)
Topsøe 1	Topsøe	6092,9	152,5	179,4	1,827	1,859	3,91	0,2
Topsøe 2	Topsøe	6091,2	152,3	177,3	1,822	1,885	5,16	0,3
Topsøe 3	Topsøe	6338,8	152,8	178,1	1,833	1,942	3,83	0,2
Kværs 1	Kværs	5864,7	152,7	176,5	1,830	1,815	1,81	0,1
Kværs 2	Kværs	6039,4	152,8	178,0	1,834	1,849	5,52	0,3
Kværs 3	Kværs	5931,0	152,8	178,5	1,833	1,813	2,45	0,1

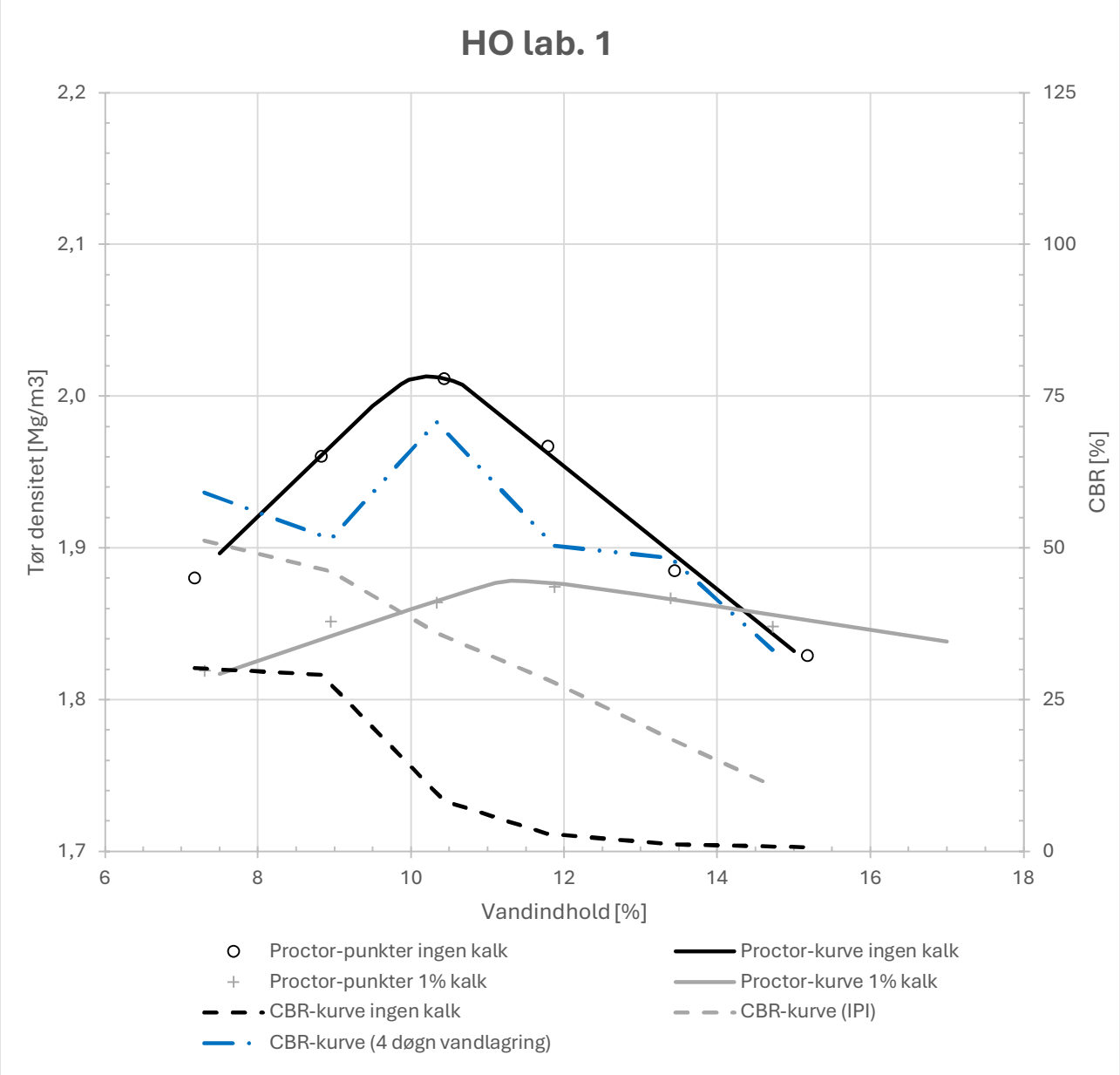

BU lab. 2
Tørdensitet [Mg/m³]
CBR [%]
Vandindhold [%]
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
50
40
30
20
10
0
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
Proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (IPI)
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)

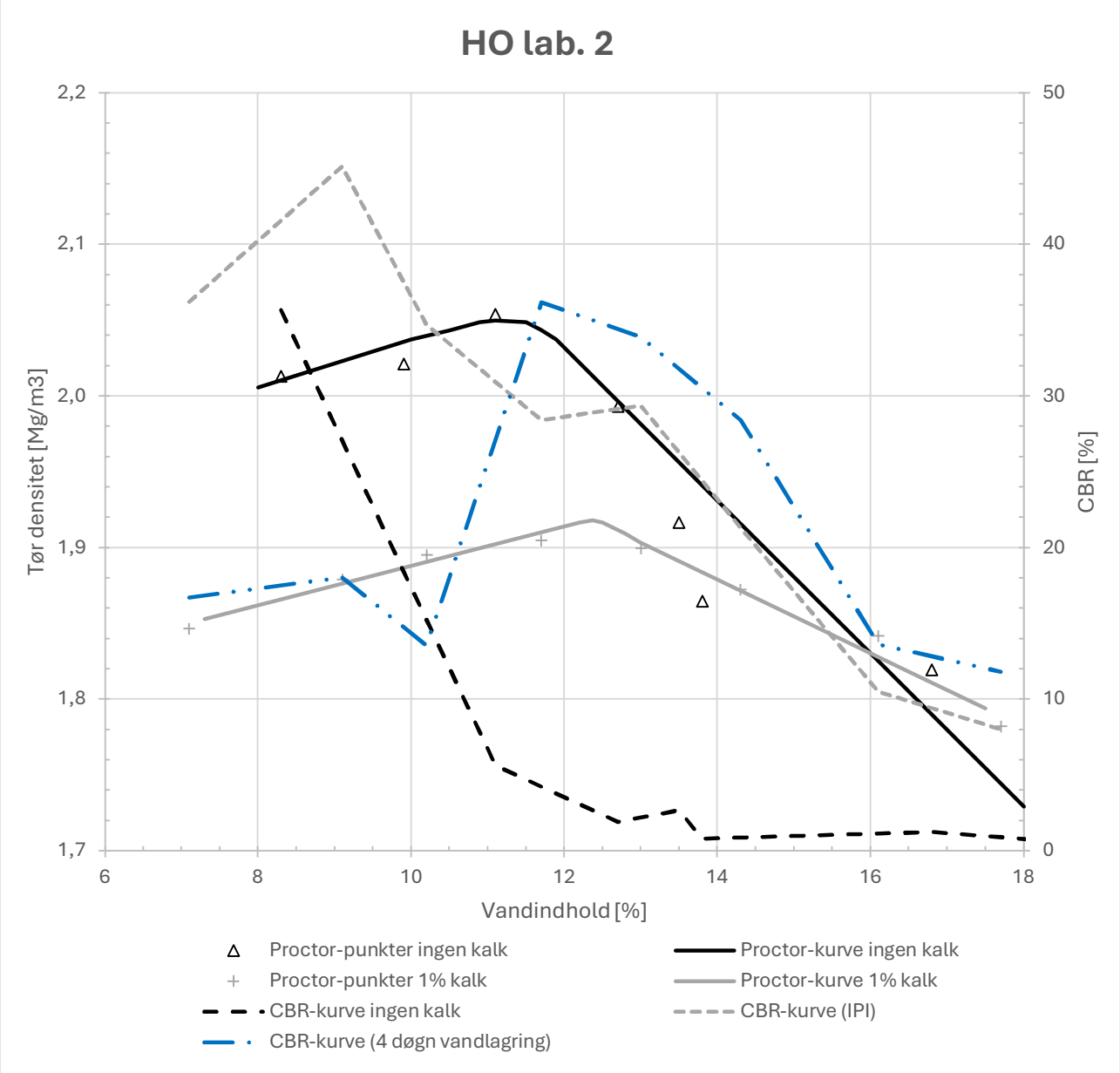

BU lab. 3
Tørdensitet [Mg/m³]
1,7
1,6
1,5
1,4
CBR [%]
30
20
10
0
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
Vandindhold [%]
Proctor punkter ingen kalk
proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)

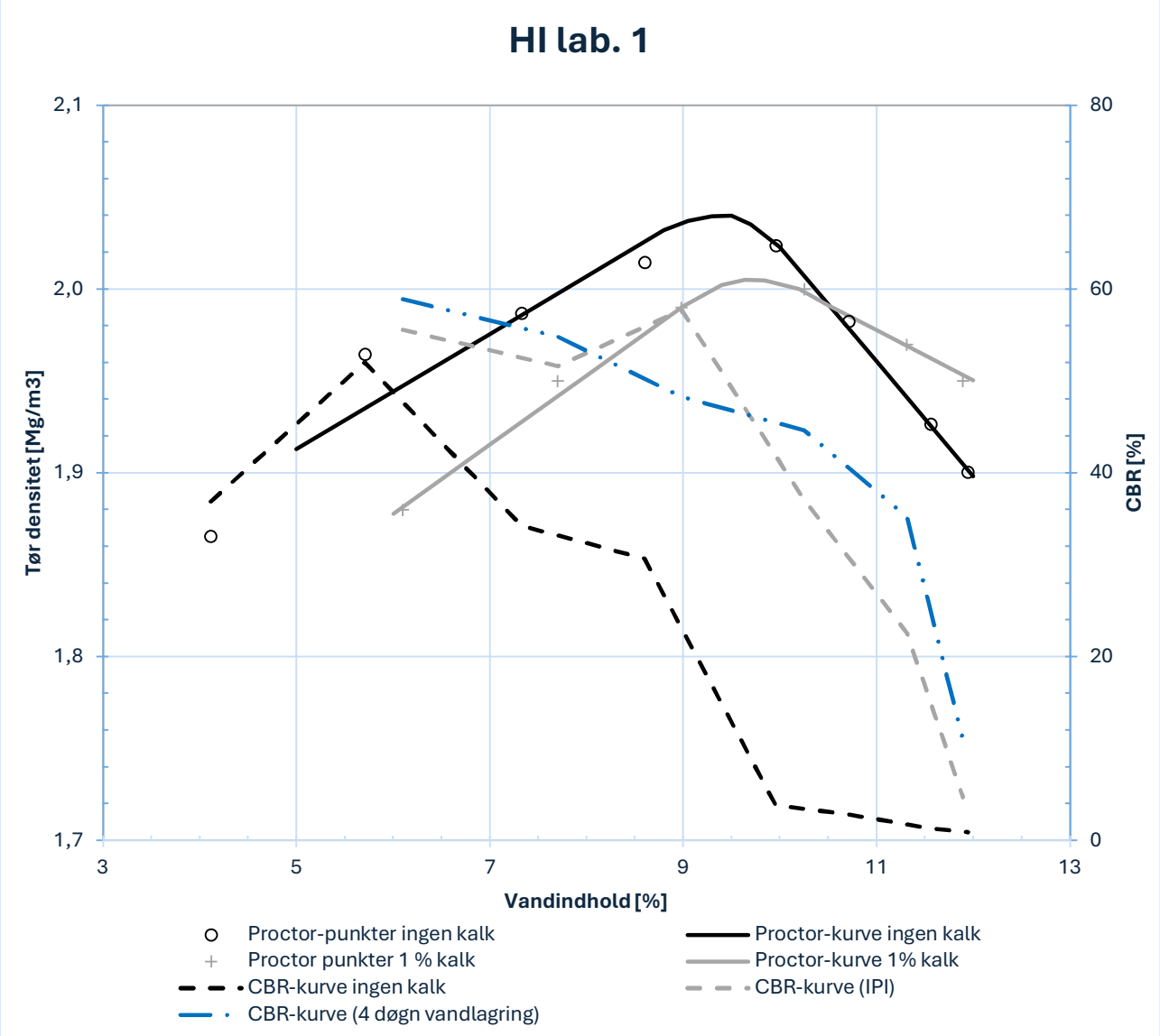

FE lab. 3
Tørdensitet [Mg/m³]
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
CBR [%]
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Vandindhold [%]
Proctor punkter ingen kalk
proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)

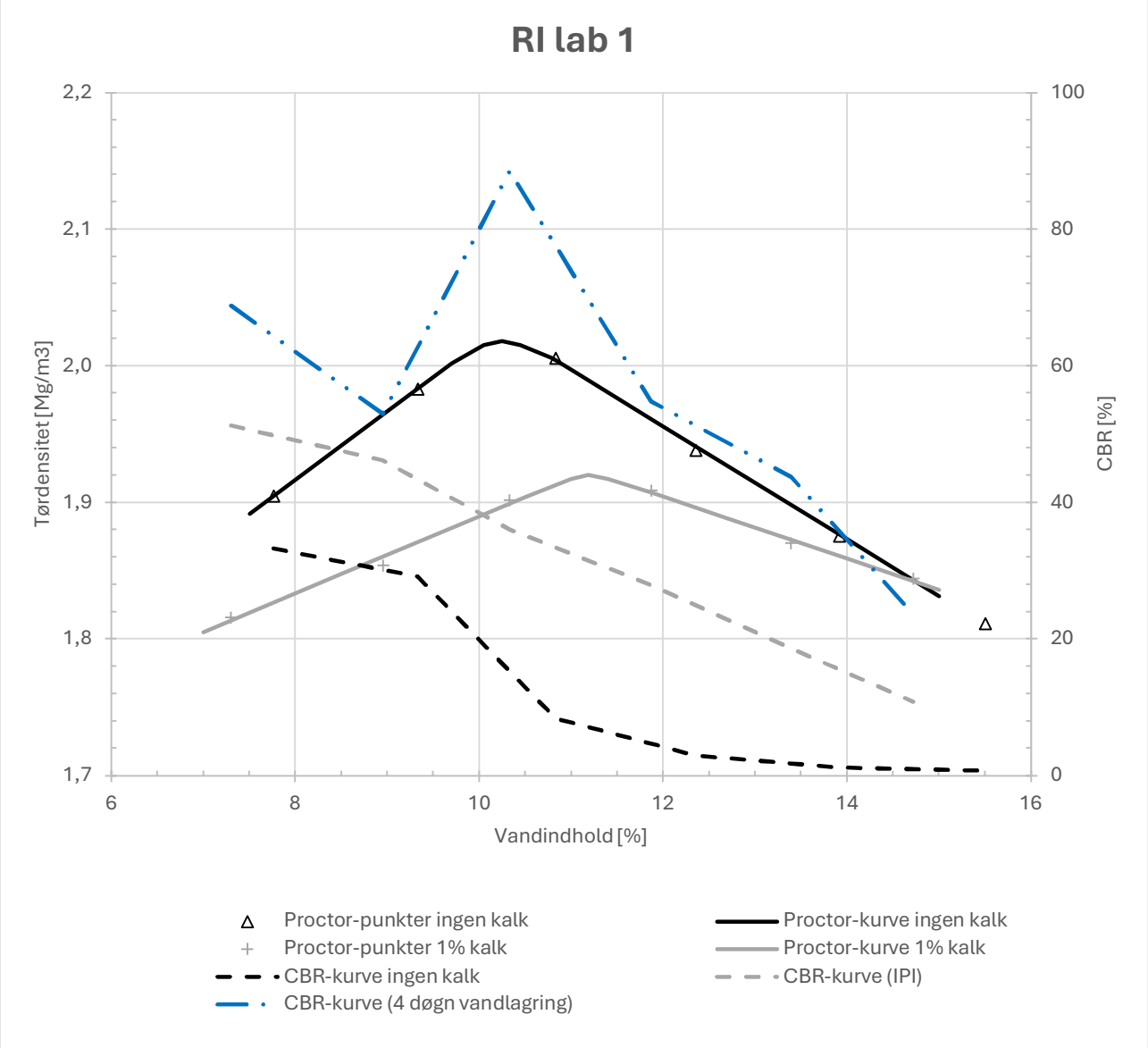

HE lab. 1
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
Tør densitet [Mg/m3]
60
45
30
15
0
CBR [%]
10
12
14
16
18
20
22
Vandindhold [%]
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor punkter 1 % kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)

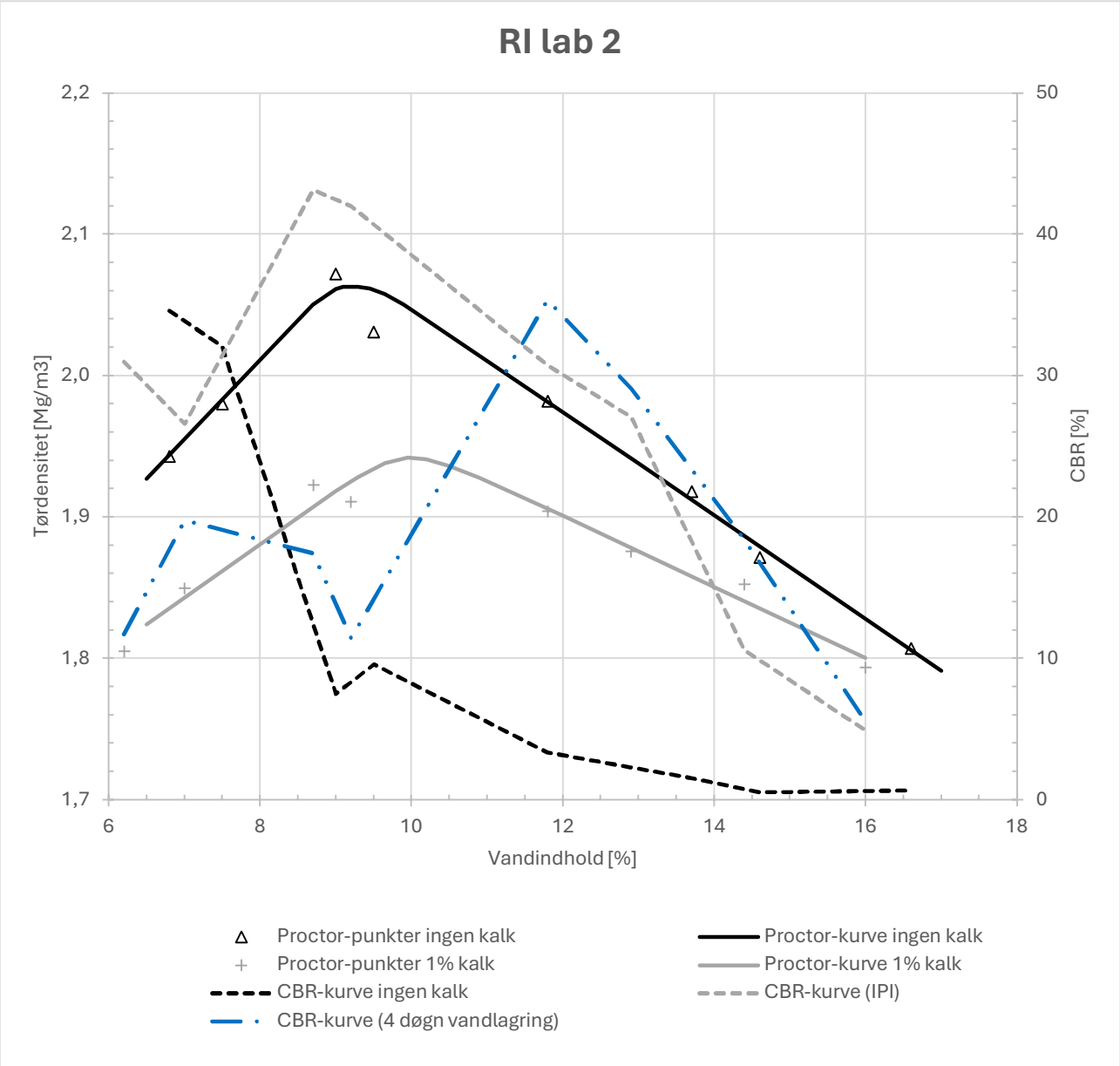

HE lab. 3
Tør densitet [Mg/m3]
CBR [%]
Vandindhold [%]
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
40
30
20
10
0
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor punkter 1 % kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)

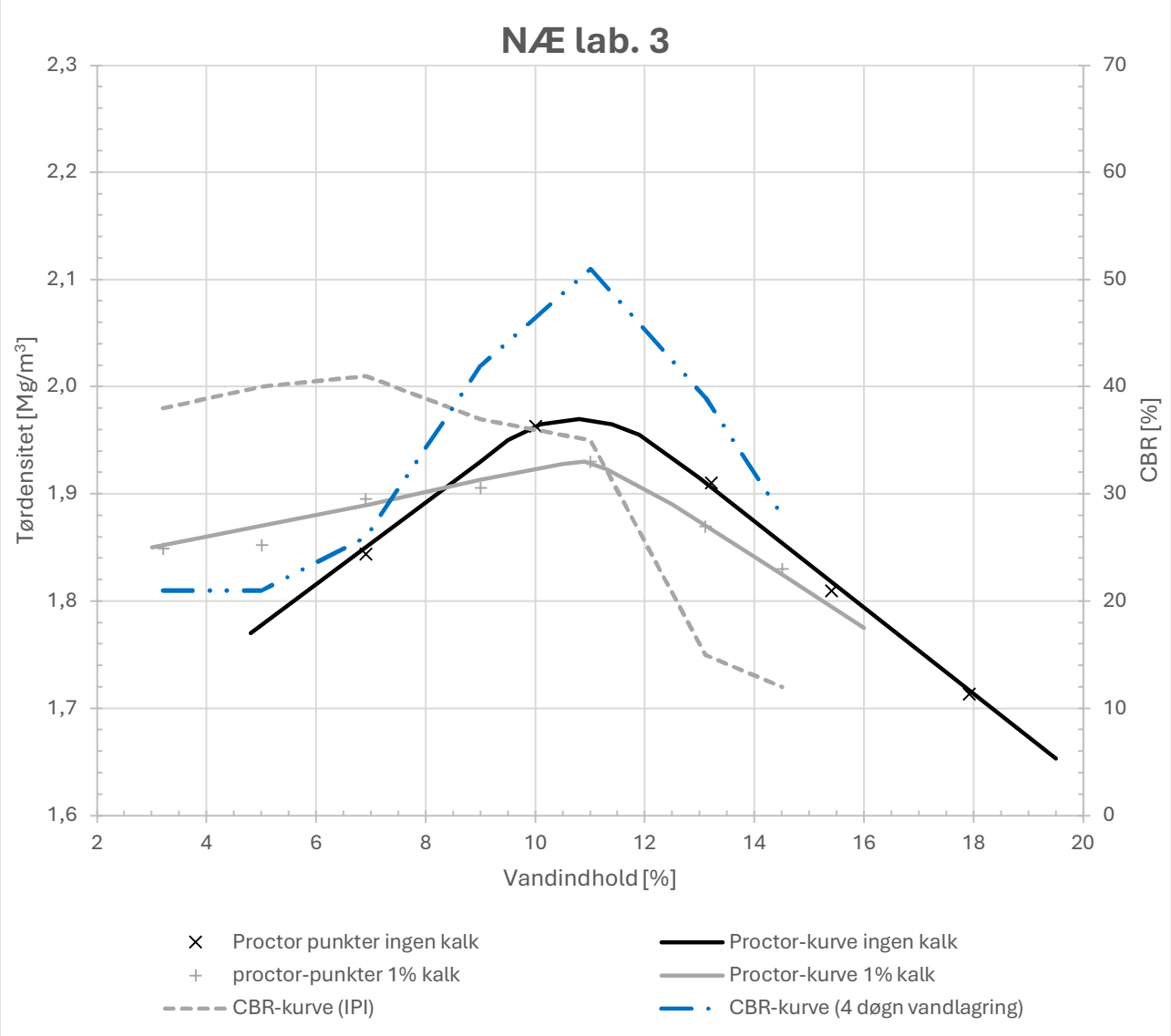

HO lab. 1
Tør densitet [Mg/m3]
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
CBR [%]
125
100
75
50
25
0
6
8
10
12
14
16
18
Vandindhold [%]
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)


HO lab. 2
Tør densitet [Mg/m3]
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
CBR [%]
50
40
30
20
10
0
6
8
10
12
14
16
18
Vandindhold [%]
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)


HI lab. 1
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
Tør densitet [Mg/m3]
80
60
40
20
0
CBR [%]
3
5
7
9
11
13
Vandindhold [%]
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor punkter 1 % kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)


RI lab 1
Tørdensitet [Mg/m3]
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
CBR [%]
100
80
60
40
20
0
6
8
10
12
14
16
Vandindhold [%]
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)


RI lab 2
Tørdensitet [Mg/m3]
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
CBR [%]
50
40
30
20
10
0
6
8
10
12
14
16
18
Vandindhold [%]
Proctor-punkter ingen kalk
Proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve ingen kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (IPI)


NÆ lab. 3
Tørdensitet [Mg/m³]
2,3
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
CBR [%]
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Vandindhold [%]
Proctor punkter ingen kalk
proctor-punkter 1% kalk
CBR-kurve (IPI)
Proctor-kurve ingen kalk
Proctor-kurve 1% kalk
CBR-kurve (4 døgn vandlagring)

Stabiliseret jord som bundsikring – Forsøgsprogram

Forsøgene skal udføres hos VBM, DTU og AAU

1 Generelle krav

- Alle prøver skal beskrives geologisk (lille prøvepose)
- Alle prøver med ler og brændt kalk skal blandes i en lynhakker.
- Alle prøver af kalkstabiliseret lerjord skal være indstampet og afrettet i Proctor-/CBR-form inden for 1 time.
- Alle prøveemner til trykforsøg opbevares i modningsperioden ved +99 % luftfugtighed. F.eks. i lukker pose eller spand med en våd klud eller lille skål vand – der må ikke være kontakt mellem vand/våd klud og prøve: Husk +99 % luftfugtighed, de første 24 timer mens prøveemnerne er i form.
- Alle prøveemner til uniaxial trykstyrke og kapillær stighøjde skal udføres på prøvemateriale der afformes efter 24 timer.
- Lagring af prøveemner skal, hvis ikke andet er angivet, ske ved temperatur 20°C (min. 19°C, maks. 23°C)
- For at sikre lagen i prøveemnerne er sammenhængende skal overfladen på de enkelte lag ridses i 10 mm dybde. Samtidig skal overfladen fugtes let ved ét enkelt sprøjt fra en blomsterforstøver. (Pilotprojekt har vist nogle af prøveemnerne kan gå fra hinanden imellem de lag, som prøveemnet er indstampet i.)

2 AAU Forsøgsprogram (3 forkellige moræneler)

Lerjord

- Sigtning og slemning (DS/EN 933-1 eller DS/EN ISO 17892-4)
- Plasticitet (DS/EN ISO 17892-12)
- Kapillær stighøjde, 3 prøveemner (prøvebeskrivelse i afsnit 4.)
- Permeabilitet (falling head)
- Naturligt vandindhold (lille pose)

Indledende forsøg på kalkstabiliseret lerjord

Forsøgene udføres ved et vandindhold 4%-point over det optimale vandindhold og som udgangspunkt med 1% brændt kalk.
Overholdes kravene til pH og pulveriseringsgrad ikke, justeres mængden af brændt kalk.
Ved behov for justering af mængden af brændt kalk, så forsættes de efterfølgende forsøg med den justerede mængde.

- pH ≥10,5
- Pulveriseringsgrad (DS/EN 13286-48) min. 60%

Proctor, CBR og IPI på lerjord og kalkstabiliseret jord

Der skal anvendes den samme prøve til bestemmelse af Proctor og CBR på ler, Proctor, CBR og CBR efter 4 døgns vandlagring.

JUN Hejlesen & Hansen ApS
DK-1253 Copenhagen K
CVR 42 07 47 80
web: junh.dk
email: junh@junh.dk

Dvs. der neddeles til f.eks. 7 analyseprøver.

Analyseprøve 1 tilsættes x % vand, der udføres Proctor og CBR. På analyseprøve 1 tilsættes der 1% kalk og der udføres Proctor og CBR (husk: Proctor og CBR skal være indstampet og afrettet i Proctor-/CBR-form inden for 1 time). Analyseprøve 1 vandlagres i 4 døgn i Proctor-/CBR-form. Efter 4 døgns vandlagring af analyseprøve 1 udføres der CBR i prøvens modsatte ende.

Analyseprøve 2 tilsættes x + (1,5 til 2) % vand og samme proces som for analyseprøve 1 gennemføres.

Analyseprøve 3 – 7 udføres efter samme princip, hvor vandindholdet hver gang øges med 1,5 til 2 %-point.

Husk der skal være min. 3 punkter på den våde gren af Proctor-kurven for både lerjorden og den kalkstabiliserede lerjord.

- Proctor på ler (DS/EN 13286-2)
- CBR på ler (DS/EN 13286-47)
- Proctor på kalkstabiliseret ler (DS/EN 13286-2)
- CBR på kalkstabiliseret ler (DS/EN 13286-47)
- CBR efter 4 døgns vandlagring på kalkstabiliseret ler

Kalkstabiliseret jord

- Lineært svind (BS 1377),
- Plasticitet (DS/EN ISO 17892-12), der er specielt vigtigt at flydegrænsen fastlægges, det et ikke sikkert af plasticitetsgrænsen kan bestemmes.
- Permeabilitet (falling head)

- Prøveemner med 7 døgns hærdning ved 20°C
  - Kapillær stighøjde (3 prøveemner indstampet i Proctor-form evt. med krave ≈160 mm og i 4 lag)
  - Uniaxial trykstyrke (DS/EN 13286-41) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)
  - Uniaxial trykstyrke efter hærdning og 10 Frost-tø cykler (DS/EN 13286-41 og DS/CEN/TS 13286-54) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)

- Prøveemner med 7 døgns accelereret hærdning ved 40°C
  - Kapillær stighøjde (9 prøveemner indstampet i Proctor-form evt. med krave ≈160 mm og i 4 lag)
  - Uniaxial trykstyrke (DS/EN 13286-41) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)
  - Uniaxial trykstyrke efter hærdning og 10 Frost-tø cykler (DS/EN 13286-41 og DS/CEN/TS 13286-54) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)
  - Triaxialforsøg (drænet forsøg, prøveemner, tre forskellige kammertryk til brud)

- Prøveemner med 14 døgns hærdning ved 20°C
  - Kapillær stighøjde (3 prøveemner indstampet i Proctor-form evt. med krav ≈160 mm og i 4 lag)

JUN Hejlesen & Hansen ApS
DK-1253 Copenhagen K
CVR 42 07 47 80
web: junh.dk
email: junh@junh.dk

  - Uniaxial trykstyrke (DS/EN 13286-41) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)
  - Uniaxial trykstyrke efter hærdning og 10 Frost-tø cykler (DS/EN 13286-41 og DS/CEN/TS 13286-54) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)

- Prøveemner med 28 døgns hærdning ved 20°C
  - Kapillær stighøjde (3 prøveemner indstampet i Proctor-form evt. med krav ≈160 mm og i 4 lag)
  - Uniaxial trykstyrke (DS/EN 13286-41) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)
  - Uniaxial trykstyrke efter hærdning og 10 Frost-tø cykler (DS/EN 13286-41 og DS/CEN/TS 13286-54) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)

- Prøveemner med 28 døgns accelereret hærdning ved 40°C
  - Kapillær stighøjde (3 prøveemner indstampet i Proctor-form evt. med krav ≈160 mm og i 4 lag)
  - Uniaxial trykstyrke (DS/EN 13286-41) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)
  - Uniaxial trykstyrke efter hærdning og 10 Frost-tø cykler (DS/EN 13286-41 og DS/CEN/TS 13286-54) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)

Kalkstabiliseret lerjord intakt prøver

Prøver fra eksisterende Buskmosevej i Sønderborg.

- Uniaxial trykstyrke (3 stk.)
- Arealkonstante cykliske triaxialforsøg med 4 mio. belastninger (udvikling af E-modul ved gentagende belastninger) (2-3 stk.)

3 DTU og VBM Forsøgsprogram (forventeligt 6 - 7 forskellige moræneler)

Lerjord

- Sigtning og slemning (DS/EN 933-1 eller DS/EN ISO 17892-4)
- Plasticitet (DS/EN ISO 17892-12)
- Kapillær stighøjde, 3 prøveemner (prøvebeskrivelse i afsnit 4.)
- Permeabilitet (falling head/constant head)
- Naturligt vandindhold (lille pose)

Indledende forsøg på kalkstabiliseret lerjord

Forsøgene udføres ved et vandindhold 4%-point over det optimale vandindhold og som udgangspunkt med 1% brændt kalk.
Overholdes kravene til pH og pulveriseringsgrad ikke, justeres mængden af brændt kalk. Ved behov for justering af mængden af brændt kalk, så forsættes de efterfølgende forsøg med den justerede mængde.

- pH ≥10,5
- Pulveriseringsgrad (DS/EN 13286-48) min 60%

JUN Hejlesen & Hansen ApS
DK-1253 Copenhagen K
CVR 42 07 47 80
web: junh.dk
email: junh@junh.dk

Proctor, CBR og IPI på lerjord og kalkstabiliseret jord

Der skal anvendes den samme prøve til bestemmelse af Proctor og CBR på ler, Proctor, CBR og CBR efter 4 døgns vandlagring.

Dvs. der neddeles til f.eks. 7 analyseprøver.

Analyseprøve 1 tilsættes x % vand, der udføres Proctor og CBR. På analyseprøve 1 tilsættes der 1% kalk og der udføres Proctor og CBR (husk: Proctor og CBR skal være indstampet og afrettet i Proctor-/CBR-form inden for 1 time). Analyseprøve 1 vandlagres i 4 døgn i Proctor-/CBR-form. Efter 4 døgns vandlagring af analyseprøve 1 udføres der CBR i prøvens modsatte ende.

Analyseprøve 2 tilsættes x + (1,5 til 2) % vand og samme proces som for analyseprøve 1 gennemføres.

Analyseprøve 3 – 7 udføres efter samme princip, hvor vandindholdet hver gang øges med 1,5 til 2 %-point.

Husk der skal være min. 3 punkter på den våde gren af Proctor-kurven for både lerjorden og den kalkstabiliserede lerjord.

-
- Proctor på ler (DS/EN 13286-2)
- CBR på ler (DS/EN 13286-47)
- Proctor på kalkstabiliseret ler (DS/EN 13286-2)
- CBR på kalkstabiliseret ler (DS/EN 13286-47)
- CBR efter 4 døgns vandlagring på kalkstabiliseret ler

Kalkstabiliseret lerjord

- Lineært svind (BS 1377),
- Plasticitet (DS/EN ISO 17892-12), der er specielt vigtigt at flydegrænsen fastlægges, det et ikke sikkert af plasticitetsgrænsen kan bestemmes.
- Permeabilitet (falling head/constant head)

- Prøveemner med 90 døgns hærdning ved 20°C
  - Kapillær stighøjde (3 prøveemner indstampet i Proctor-form evt. med krave ≈160 mm og i 4 lag)
  - Uniaxial trykstyrke (DS/EN 13286-41) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)
  - Uniaxial trykstyrke efter hærdning og 10 Frost-tø cykler (DS/EN 13286-41 og DS/CEN/TS 13286-54) (5 prøveemner indstampet i Proctor-form)

DTU: Evt. Cykliske triaxialforsøg på indstampet prøveemne og efter 90 døgns hærdning ved 20°C

4 Prøvebeskrivelse Kapillær stighøjde

Prøveemnet stampes ind i Proctor-form, med krave på, så højden bliver 16 cm i stedet for de sædvanlige 12 cm. Prøver indstampes i 4 lag i stedet for de sædvanlige 3 lag. Prøven pakkes ind i husholdningsfilm, så enderne er fri. Prøveemnet placeres på en rist (f.eks. gammel

JUN Hejlesen & Hansen ApS
DK-1253 Copenhagen K
CVR 42 07 47 80
web: junh.dk
email: junh@junh.dk

sigte) i en balje. I baljen er der vand så de nederste 2 cm af prøveemnet er undervandspejl. Der tilføres vand løbende, hvis nødvendigt.

JUN Hejlesen & Hansen ApS
DK-1253 Copenhagen K
CVR 42 07 47 80
web: junh.dk
email: junh@junh.dk