

Kalsinert leire som sementerstatning

Calcined clay as cement replacement

Markus Bakken
Mostafa Rahimi
Jalil Alizadeh

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg
Innlevert: Mai 2019
Veileder: Mohammad Hajmohammadian Baghban

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel: Kalsinert leire som sement erstatning	Dato: 19.05.2019		
	Antall sider: 51		
	Masteroppgave		Bacheloroppgave x
Navn: Markus Bakken, Mostafa Rahimi, Jalil Alizadeh			
Veileder: Mohammad Hajmohammadian Baghban			
<h2>Sammendrag:</h2> <p>Hensikten med denne oppgaven er å vurdere hvorvidt forskjellige typer leire er egnet til å erstatte sement i en viss prosentandel. Problemstilling: Er kalsinert leire et egnet supplementerende sementmateriale og pozzolan med tanke på styrkeegenskaper? Dette er et svært viktig tema grunnet sementproduksjonens høye CO₂ utslipp og industriens behov for en naturlig pozzolan som kan brukes i betong.</p> <p>Tre av leirene som ble bruk er blandingsleirer og er laget for hobbybruk/keramikk, mens den siste leiren er hentet fra grunnen i Gjøvik-området. Leirene ble tørket, knust og siktet på labben ved NTNU Gjøvik. De knuste leirene ble kalsinert i keramikkbegre i en ovn ved 700°C i 2 timer.</p> <p>For å avgjøre om leirene er egnede pozzolaner ble prøveprismer støpt. Prøvestykkene ble delt i tre grupper. Der den første gruppen inneholdt 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement. Den andre gruppen besto av 30 % leire, 70 % sement. I den tredje gruppen var det 52,7 % leire, 36,8 % kalkstein og 10,5 % hydratkalk. Prismenes bøyestrek- og trykkfasthet ble testet etter 7 og 28 dagers herding iht NS-EN 196-1:2016. Resultatene fra fasthetsprøving ble sammenlignet med hverandre i tillegg til en referanse, for å vurdere hvorvidt leirene har bidratt til prøvenes fasthetsutvikling.</p>			

Resultatene viser at alle leirene har pozzolaniske egenskaper ved at prøvene med 30% leire har oppnådd høyere trykkfasthet enn referansen. Blåleireblandingen, rødleireblandingen og den lokale leiren har høyest trykkfasthet der sement er erstattet med 30% leire. Den hvite leiren, som har tilsetningsstoffer av kaolin, har høyest trykkfasthet i kombinasjon med 55% sement og 15% kalkstein. For blandingen uten sement har prøvestykkene vesentlig mindre fasthet, spesielt for leirene uten kaolin var fastheten veldig lav.

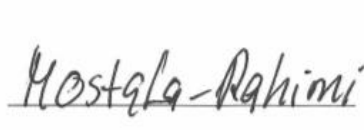
Det konkluderes med at leirene har evnen til å erstatte sement opp til 30%, uten at dette har en negativ innvirkning på trykkfastheten. Leiren som inneholder kaolin er best sammen med sement og kalkstein, mens de andre har høyere trykkfasthet uten kalkstein. Bøvestrekkfastheten er lavere for prøvene som inneholder leire, sammenlignet med referansen.

Stikkord:

Kalsinert leire
Sementerstatning
Lavkarbonbetong
Pozzolaner



Markus S.H. Bakken



Mostafa Rahimi



Jalil Alizadeh

(sign.)

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate whether different types of clays are suitable for cement replacement. Research question: Is calcined clay a suitable supplementary cementitious material and pozzolan regarding strength properties? This is an important subject due to the large amount of CO₂ emissions from cement production and the need for a natural pozzolan for use in concrete. Three of the clays used are mixes of several clays made for ceramic use, and the last one is a local clay from the Gjøvik region. The clays were dried, crushed and sieved in the lab at NTNU Gjøvik. The crushed clays were calcined in ceramic bowls in an oven at 700°C for 2 hours.

To decide whether the clays are suitable pozzolans test prisms were cast. The prisms were divided into three groups. The first contained 30% clay, 15% limestone and 55% cement. The second consisted of 30% clay and 70% cement. The third contained 52,7% clay, 36,8% limestone and 10,5% slaked lime. The prisms flexural- and compressive strength determined after 7 and 28 days of curing in accordance with NS-EN 196-1:2016. The results were compared to each other and a reference, to evaluate if the clays contributed to the strength development.

The results show that all the clays possess pozzolanic properties since the prisms with 30% clay achieved higher compressive strength than the reference. The blue clay mix, red clay mix and the local clay had the highest compressive strength were the cement is replaced by 30% clay. The white clay, which contained additives of kaolin, achieved the highest compressive strength in combination with 15% limestone and 55% cement. For the mix containing no cement, the strength was considerably lower, especially for the clays which contained no kaolin.

In conclusion the clays possess the ability to replace cement up to 30%, without it having a negative effect on the compressive strength. The clay containing kaolin achieves the best compressive strength in combination with cement and limestone, while the other clays are best without limestone. The flexural strength of prisms containing clay is lower than the reference.

Forord

Dette er en avsluttende bacheloroppgave for byggingeniørutdanningen ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Gjøvik. Oppgaven går ut på å bruke temperaturbehandlet leire som sementerstatning i betong, som et miljøtiltak. Alle forsøk og tester ble utført på laboratorier ved NTNU Gjøvik.

Temaet lavkarbonbetong er gitt av NTNU-campus Gjøvik. Dette er et tema det kontinuerlig forskes på både i Norge og mange andre land i verden. Denne oppgaven vil basere seg på forskjellige artikler som er skrevet om dette temaet blant annet hos SINTEF, der det er blitt forsket på alternative bindemidler i betong av kalsinert leire.

Flere typer leire ble kalsinert, disse vil deretter bli brukt som sementerstatning i forskjellige bindemiddelblandinger. Bøyestrek- og trykkfastheten vil deretter bestemmes og sammenlignes med hverandre samt kontrolleres mot referansen. Hensikten med dette er å avgjøre hvorvidt de forskjellige leirene er egnet som pozzolaner i betong.

Takk

Vi vil takke alle som har hjulpet oss med gjennomføringen av denne bacheloroppgaven.

Stor takk til vår veileder Mohammad Hajmohammadian Baghban, førsteamanuensis ved NTNU, avdeling Gjøvik.

Takk til Tor Kristoffer Klethagen, ansvarlig ved bygglaben på NTNU Gjøvik som hjalp oss med utstyret og testene utført på laben.

Takk til Kari Oline Øverseth, professor ved NTNU som ga oss lokal leire og hjalp oss med kalsineringen.

Takk for samarbeidet!

Innholdsfortegnelse

Sammendrag:	ii
Stikkord.....	iii
Abstract.....	iii
Forord	v
Tabeller	x
Figurliste	xi
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Kort om oppgaven	1
1.1.2 Samfunnsperspektiv	1
1.2 Problemstilling	2
1.2.1 Delproblemstillinger	2
1.3 Omfang og presisering.....	3
1.3.1 Omfang	3
1.3.2 Presisering	3
2. Definisjoner og forkortelse	4
2.1 Definisjoner	4
2.2 Forkortelser.....	5
2.3 Kjemiske forkortelser	5
3. Litteraturstudie.....	6
3.1 Sement og produksjon av sement	6
3.1.1 Hydratasjon av sement.....	7
3.2 Bruk av leire i betong	10
3.2.2 Strukturer av leire mineraler.....	11
3.3 Evaluering av pozzolanaktivitet	12
3.3.1 Pozzolaner	12
3.3.2 Pozzolanreaksjonen.....	13
3.3.3 Silikastøv.....	14
3.3.4 Flygeaske.....	14
3.4 Kalsinering.....	15
3.5 pH verdi i betong	16

4. Materialer.....	17
4.1 Sement	17
4.2 Leire.....	17
4.2.1 Blåleire.....	17
4.2.2 Lokal blåleire	19
4.2.3 Rødleire.....	21
4.2.4 Hvit leire	22
4.3 Hydratkalk	24
4.4 Kalkstein	24
4.5 SP	25
5. Metode.....	26
5.1 Anskaffelse av materiale til litteraturstudie.....	26
5.2 Tørking, bearbeiding og sikting av leire	27
5.3 Kalsineringsprossessen	28
5.4 Bestemmelse av korndensitet iht ISO 17892-3:2015.....	29
5.5 Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling	31
5.6 Blandingsprosess	32
5.6.1 Blanding basert på LC ³ sement.....	34
5.6.2 Blanding med leire og sement.....	34
5.6.3 Blanding med leire, hydratkalk og kalkstein	35
5.7 Støping av prøvelegemer (NS 12390-2)	35
5.7.1 Støpeprosess	36
5.8 Testing av prøvelegemer	36
5.8.1 Testing av bøyestrekfasthet	37
5.8.2 Testing av trykkfasthet	38
6. Resultat	40
6.1 Bøyestrekfasthet.....	40
6.1.1 Blanding LC3 (30% leire, 15% kalkstein, og 55% sement).....	41
6.1.2 Blanding med 30% leire og 70% sement.....	41
6.2 Trykkfasthet.....	42
6.2.1 Blanding LC3 (30% leire, 15% kalkstein, og 55% sement).....	42
6.2.2 Blanding 30% leire og 70% sement.....	43
6.2.3 Lokal leire	43

6.2.4 Blå leire	43
6.2.5 Rød leire	43
6.2.6 Hvit leire	44
7. Diskusjon	44
7.1 Diskusjon av metoder og utførelse	44
7.2 Diskusjon av resultater	45
7.2.1 Lokal leire	47
7.2.2 Blåleire.....	48
7.2.3 Rødleire.....	49
7.2.4 Hvit leire	50
8. Konklusjon.....	51
9. Forslag til videre forskning	51
10. Referanseliste.....	52
11. Vedlegg.....	55
Vedlegg A.1 Sikkerhetsdatablad/ spesifikasjoner for blå leire	55
Vedlegg A.2 Sikkerhetsdatablad/ spesifikasjoner for rød leire	62
Vedlegg A.3 Kjemiske analyse/ spesifikasjoner for hvit leire.	69
Vedlegg A.4 Produktdatablad/ spesifikasjoner for hydratkalk.	70
Vedlegg A.6 Sikkerhetsdatablad/ spesifikasjoner for superplaserende materiler SP.....	72
Vedlegg A.7 Produktdatablad/ spesifikasjoner for sement.	75
Vedlegg B.1 Oppdelt leire før tørking	77
Vedlegg B.2 Tørking av leire i ovnen	78
Vedlegg B.3 Leirene knuses og siktes	79
Vedlegg B.4 Kalsinering av leire.....	81
Vedlegg B.5 Blanding av materialer for å støpe prøvestykkene	82
Vedlegg B.6 Støping av prøveprismer.....	83
Vedlegg B.7 Herding i vannbad	85
Vedlegg B.8 Testing av bøyestrekfasthet	86
Vedlegg B.9 Testing av trykkfasthet og vurdering av bruddform	87
Vedlegg B.10 Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling	89
Vedlegg B.11 Bestemmelse av korndensitet	90
Vedlegg C.1 Testing av bindemiddel basert på LC ³ etter 7 dager 04.04.19.....	91
Bøyestrekfasthet for rød leire.....	99

Bøyestrekfasthet for Referanse	105
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene	106
Trykkfasthet	106
Bøyestrekfasthet	106
Vedlegg C.2 Testing av bindemiddel basert på LC ³ etter 28 dager 25.04.19	107
Bøyestrekfasthet for referanse.....	121
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene	122
Trykkfasthet	122
Bøyestrekfasthet	122
Vedlegg C.3 Testing av bindemiddel med 30% leire og 70% sement etter 7 dager. 08.04.2019	123
Blåleire med sement bøyestrektest iht NS-EN 196-1:2016 1	123
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene	135
Trykkfasthet	135
Bøyestrekfasthet	136
Vedlegg C.4 Testing av bindemiddel med 30% leire og 70% sement etter 28 dager. 29.04.2019	136
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene	149
Trykkfasthet	149
Bøyestrekfasthet	149
Vedlegg C.5 Testing av bindemiddel uten sement etter 28 dager. 14.05.2019.....	150
Trykktesting lokal leire, iht NS-EN 196-1:2016.....	151
Gjennomsnittlige trykkfasthet forblanding uten sement	161
Trykkfasthet	161
Vedlegg D.1 Bregninger for blanding 30% leire, 15% kalkstein og 55 % sement etter 7 dagerstest... 162	
Vedlegg D.2 Bregninger for blanding 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement etter 28 dagerstest.... 163	
Vedlegg D.3 Bregninger for blanding 30% leire og 70% sement etter 7 dagerstest	164
Vedlegg D.4 Bregninger for blanding 30% leire og 70% sement etter 28 dagerstest.....	166
Vedlegg D.5 Bregninger for blanding 52.7% leire, 36.8% hydratkalk og 10.5% kalkstein	167
Vedlegg D.6 Blanding skjema for blanding med 30% blå leire, 15% kalkstein og 55% sement.	168
Vedlegg D.7 Blanding skjema for blanding med 30% blå leire og 70% sement.	169
Vedlegg D.8 Blanding skjema for blanding med 52,7% blå leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk.	170
Vedlegg D.9 Blanding skjema for blanding med 30% hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement	171
Vedlegg D.10 Blanding skjema for blanding med 30% hvit leire og 70% sement	172

Vedlegg D.11 Blanding skjema for blanding med 52,7% hvit leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk.	173
Vedlegg D.12 Blanding skjema for blanding med 30% lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement....	174
Vedlegg D.13 Blanding skjema for blanding med 30% lokal leire og 70% sement.....	175
Vedlegg D.14 Blanding skjema for blanding med 52,7% lokal leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk	176
Vedlegg D.15 Blanding skjema for blanding med 30% rød leire, 15% kalkstein og 55% sement	177
Vedlegg D.16 Blanding skjema for blanding med 30% rød leire og 70% sement	178
Vedlegg D.17 Blanding skjema for blanding med 52,7% rød leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk	179
Vedlegg D.18 Blanding skjema for referanse.	180
Vedlegg D.19 Densitet test for leirene med pyknometer metode.....	181
Vedlegg D.20 kornstørrelsesfordeling for blå leire.....	182
Vedlegg D.21 kornstørrelsesfordeling for rød leire	183
Vedlegg D.22 kornstørrelsesfordeling for lokal leire	184
Vedlegg D.23 kornstørrelsesfordeling for leire hvit leire	185

Tabeller

Tabell 1: Oksider som finnes i ren portlandsement	6
Tabell 2: De fire hovedmineralene i portlandsement	7
Tabell 3: Blandingsskjema for blandinger med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement	34
Tabell 4: Blandingsskjema for blandinger med 30% leire og 70% sement	34
Tabell 5: Blandingsskjema for blandinger med 52,7% leire, 36,8% kalkstein og 10,5% hydratkalk	35
Tabell 6: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med lokal leire	47
Tabell 7: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med blåleire	48
Tabell 8: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med rødleire.....	49
Tabell 9: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med hvit leire	50

Figurliste

Figur 1: Hydratasjonshastighet for de rene hovedmineralene i sement, gjengitt tillatelse fra byggenæringens forlag (Maage, mai 2015).....	9
Figur 3: Sammenligning av kalk opptak ved kjapp og sakte avkjøling for to leirer, hentet fra åpen artikkel	16
Figur 4: Rå blåleireblanding	18
Figur 5: Kornstørrelsesfordeling kalsinert blåleire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016.....	19
Figur 6: Tørr lokal blåleire	20
Figur 7: Kornstørrelsesfordeling kalsinert lokal leire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016.....	20
Figur 8: Rå rødleireblanding.....	21
Figur 9: Kornstørrelsesfordeling kalsinert rødleire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016.....	22
Figur 10: Rå hvit leire	23
Figur 11: Kornstørrelsesfordeling kalsinert hvit leire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016.....	23
Figur 12: Bilde av siktmaskinen.....	27
Figur 13: Bilde av ovn til kalsinering.....	28
Figur 14: Bilde av leire inne i ovn.....	29
Figur 15: Bilde av pycnometer med leireeksemplar	30
Figur 16: Bilde av sylindere fylt med leireeksemplar for bestemmelse av kornstørrelsesfordeling	32
Figur 17: Figur 5 Arrangement of loading for determination of flexural strength - fra NS-EN 196-1:2016 er gjengitt av Markus Bakken, Mostafa Rahimi og Jalil Alizadeh i bacheloroppgave Kalsinert leire som sementerstatning med tillatelse fra Standard Online AS i mai 2019. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no	37
Figur 18: Figur 6 Typical jig for compressive strength testing - fra NS-EN 196-1:2016 er gjengitt av Markus Bakken, Mostafa Rahimi og Jalil Alizadeh i bacheloroppgave Kalsinert leire som sementerstatning med tillatelse fra Standard Online AS i mai 2019. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no	39
Figur 19: Bilde av godkjent bruddform, kalles for C.....	39
Figur 20: Bilde av godkjent bruddform, kalles for B.....	39

Figur 21: Bøyestrekfasthet for blandingen med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement (etter 7 og 28 dager).....	41
Figur 22: Bøyestrekfasthet for blandingen med 30% leire, og 70% sement (etter 7 og 28 dager)	41
Figur 23: Trykkfasthet for blandingen med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement (etter 7 og 28 dager)	42
Figur 24: Trykkfasthet for blandingen med 30% leire, og 70% sement (etter 7 og 28 dager).....	43

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Kort om oppgaven

Bachelorgruppen i denne 20 studiepoengs bacheloroppgaven har valgt å se på effekten av forskjellige leire som sementerstatning. Hensikten med dette er å se hvorvidt de forskjellige leirene har god nok trykkfasthet, og strekkfasthet til å erstatte sement i en viss prosentandel. En god del forskning er blitt gjort på kalsinert kaolinleire i betong og det er nå kjent at denne rene kaolinleiren egner seg i betong. Slik leire er ikke tilgjengelig i Norden, det er derfor blitt sett på muligheten for å bruke annen leire som forekommer naturlig i Norden. SINTEF har blant annet sett på muligheten til å bruke norsk leire som sementerstatning, de tror dette vil være et godt alternativ til kaolinleire.

Forfatterne i dette prosjektet har valgt å fokusere på den nordiske og norsk lokale leiren fordi den norske leiren har de fordelene at det er lett tilgjengelig, trenger lite bearbeiding, er billigere å produsere og har få konkurrerende bruksområder, slik som kaolinleire har. Leire i Norge er en ubrukt ressurs som vil kunne bli gjort nyttig i betongindustrien.

1.1.2 Samfunnsperspektiv

Sement er produsert gjennom en tett kontrollert kjemisk kombinasjon av kalsium, silisium, aluminium, jern og andre grunnstoffer. Betong er det mest brukte byggematerialet i verden, hvorav den viktigste ingrediensen er sement. På verdensbasis brukes det store mengder betong til blant annet infrastruktur og boligbygging. Produksjon av sement innebærer kalsinering av kalkstein som gir et betydelig utslipp av CO₂. Det anslås at sementproduksjon står for omtrent 5% av det globale CO₂ utslippet (Norcem, 2017). Utslippene skyldes i stor grad den kjemiske prosessen under oppvarming. Grunnet sementproduksjonens høye energiforbruk og CO₂ utslipp er det hensiktsmessig å redusere mengden sement som brukes i betongproduksjon.

Det har vært stort fokus på CO₂-utslippet i det siste og hvordan utslippet kan reduseres. Norges klimamål er å bli lavutslippssamfunn innen 2050. For å praktisere klimamålet må Norge kjøpe CO₂ utslippskvoter i utlandet. Utslippskvotene skal tilsvare alle CO₂ utslipp i Norge. Innen 2020 er altså klimamålet (Naturvernforbundet, 2014). Karbondioksid er en viktig del av atmosfæren og økende CO₂-utslipp fører til et varmere klima.

Bruk av supplerende sementmaterialer (SSMer) er til nå den mest effektive måten å redusere CO₂ utslipp fra den globale sementindustrien (Ramezani pour, 2014). De vanligste pozzolanene som silikastøv, flygeaske og slag er alle biprodukter fra annen industri, disse er kun tilgjengelig i begrensede mengder, det er derfor hensiktsmessig å finne nye SSMer for å fortsette utviklingen med mer miljøvennlig betong. Bruk av pozzolaner enten som tilsats eller som erstatning for en del av sement, er en god måte å redusere behovet for portlandsement.

Bruk av kalsinert leire vil kunne gi et mye mer miljøvennlig bindemiddel siden den ikke utslipper CO₂ under varmebehandling, og selve oppvarmingen er i stor grad mellom 600-800 °C. Denne temperaturen er cirka halvparten av den som trengs for å sintre kalkstein til produksjon av sement.

1.2 Problemstilling

Er kalsinert leire et egnet supplerende sementmateriale og pozzolan med tanke på styrkeegenskaper?

1.2.1 Delproblemstillinger

Er alle typer leire egnet til bruk i betong?

Hvilken type blanding med kalsinert leir er best med tanke på fasthet?

1.3 Omfang og presisering

1.3.1 Omfang

I dette prosjektet skal det bli stort fokus på kalsinerte leire. Omfanget av denne prosjektoppgaven er begrenset til bruk av kalsinerte leire som sementerstatning. I dette prosjektet blir fire forskjellige leirer kalsinert ved en bestemt temperatur. Det skal lages prøvestykker av flere blandinger som alle inneholder kalsinert leire. Prøvestykkenes bøyestrekfasthet og trykkfasthets testes etter 7 og 28 dager. Sammenligning av resultatene vil vise hvilken leire og blanding som er mest aktuell for videre arbeid innenfor dette temaet.

1.3.2 Presisering

Det har vært kjent i det siste årene at kalsinert kaolinleire har evne til å erstatte en del sementen i betong, opptil 30%. Noen forskere har sett på muligheten for å bruke urene leiretyper, som kan tas direkte opp fra bakken og kalsineres uten behov for omfattende bearbeiding. Dette vil være billigere å produsere og har et bredt bruksområde. Det gjenstår mye dokumentasjonsarbeid og testing før det kommer endelig svar på hvorvidt ulike typer leire har evner til å erstatte sement. Det er flere materialer som kan erstatte sement, men det er leiren som er fremtiden mener Harald Justnes SINTEF forskerne (Egge, 2016).

Det skal totalt støpes tre forskjellige blandinger med hver leire. Den første blandingen består av 30 % leire, 15 % kalkstein og 55 % sement. Den andre blandingen inneholder 30 % leire og 70 % sement. I den tredje blandingen ble det brukt 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk og 10,5 % kalkstein, dette er et bindemiddel uten sement. I tillegg lages det en referanseprøve med kun sement. For hver prøve blir det støpt to prizmer med mål 40x40x160 mm. Prøvenes bøyestrekfasthet testes først deretter testes trykkfastheten.

2. Definisjoner og forkortelse

2.1 Definisjoner

Suppleterende sementmateriale	Materialer som reagerer sammen med sement og vann og bidrar til fasthetsutvikling
Pozzolan	Materialer som inneholder silisiumdioksid eller silisiumdioksid og aluminiumoksid, som vil, når malt til fine partikler reagere med kalsiumhydroksid og vann og skape forbindelser med sementlignende egenskaper
Superplastiserende stoff	Gjør sementblandingen mer flytende
Norsk standard	Privat organisasjon som utvikler standardiserte metoder
Densitet	Tetthet eller vekt per volum enhet
Fasthet	Evne til å motstå mekaniske spenning uten brudd
Korrosjon	Skade på materialer i form av rust
Kalsinere	Varmebehandling av fast stoff, slik at det omdannes krystallstrukturen
Amorf	Formløse stoff
Filler	Tilslags materiale med partiklørrelse mindre enn 0,125mm, som reduserer mengden bindemiddel
Romtemperatur	Temperatur på 21 ± 2 °C
CO ₂ -ekvivalenter per tonn	Enhet som brukes i klimagassregnskap
Anhydritt	Et hvitt eller svakt farget mineral som består av CaSO ₄

2.2 Forkortelser

V/C	Masseforhold vann/sement
V/b	Masseforhold vann/bindemiddel
SP	Superplastiserende stoff
FA	Flyveaske
XRD	X-ray diffraction
SSM	Supplementerende sementmateriale
DPP- teknologien	Designed Performance polymers
kN	Kilo Newton, måleenhet for kraft
MPa	Mega Pascal, måleenhet for trykk
N/s	Newton per sekund, enhet for kraft per tidsenhet
AFm	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ mono-sulfat
AFt	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ tri-sulfat
LC ³	Limestone Calcined Clay Cement (sement basert på kalkstein og kalsinert leire)

2.3 Kjemiske forkortelser

Kjemisk navn	Forkortelse	Navn
CaO	C	Kalsiumoksid
SiO ₂	S	Silisiumdioksid
Al ₂ O ₃	A	Aluminiumoksid
Fe ₂ O ₃	F	Jern (III)oksid
H ₂ O	H	Vann

3. Litteraturstudie

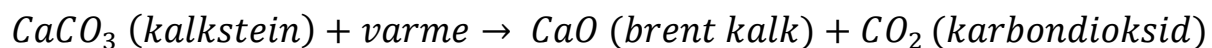
3.1 Sement og produksjon av sement

Portlandsement består hovedsakelig av kalk. Kalk inneholder kalsiumkarbonat (CaCO_3). For å produsere sement skal kalksteinen blandes sammen med mindre andeler av bauxitt, kvarts og gips. Blandingen av alle disse materialene knuses i små partikler. Deretter skal denne blandingen sintres ved en temperatur på $1450\text{ }^\circ\text{C}$. Når dette varmes opp ved den høye temperaturen, vil de komponentene splittes opp og reagere sammen. Reaksjonen mellom komponentene etter spaltning gir nye formasjoner.

Organisk brensel brukes i noen sementovner. Dette bidrar til betydelig CO_2 utslipp fra sementfabrikkene. Etter nedkjøling males sementklinkerne med gips til ferdig sement, prosessen er svært energikrevende. Dette gir også et bidrag til CO_2 utslipp.

Ren portlandsement som produseres i Norge, kg CO_2 -ekvivalenter per tonn sement. Dette er et moderat utslipp i global sammenheng, mens i andre deler av verden er tallet mye høyere, opptil 1000 kg CO_2 -ekvivalenter per tonn sement er vanlig (Maage, mai 2015).

Likningen under viser når kalkstein kalsineres ved høy temperatur:



(Betongforening, 2018)

Tabell 1: Oksider som finnes i ren portlandsement

Oksid	Kjemisk navn	Prosent %
SiO_2	Silisiumdioksid	17- 24
Al_2O_3	Aluminiumoksid	4-7
Fe_2O_3	Jernoksid	1,5-5

CaO	Kalsiumoksid	60-67
MgO	Magnesiumoksid	1-5
SO_3	Svoveltrioksid	1,5-3
$K_2O + Na_2O$	Kalium- og Natriumoksid	0,2-1,5

(Maage, mai 2015)

Tabell 2: De fire hovedmineralene i portlandsement

Navn	Kjemisk formel	symbol
Trikasiumsilikat	$3CaO * SiO_2$	C_3S
Dikalsiumsilikat	$2CaO * SiO_2$	C_2S
Trikalsiumaluminat	$3CaO * Al_2O_3$	C_3A
Tetrakalsiumaluminatferritt	$4CaO * Al_2O_3 * Fe_2O_3$	C_4AF

(Kirkemo, 2011) (Maage, mai 2015)

De fire hovedmineralene utgjør 90-95 % av portlandsementen. De hovedmineralene er dannet av oksider av grunnstoffene kalsium (Ca), silisium (Si), aluminium (Al) og jern (Fe). I tillegg til disse stoffene finnes det også oksider av grunnstoffer som mangan (Mg), svovel (s), kalium (K) og natrium (Na). Kalium og natrium inngår i gruppen alkalier.

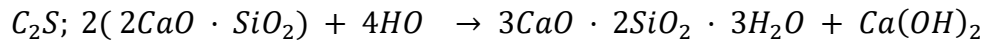
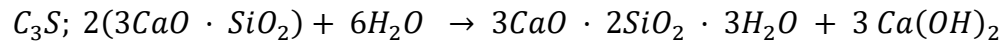
Kalium og natrium oksidene er stoffer som bidrar til økt tidlig fasthet og bestandighet. (Maage, mai 2015)

3.1.1 Hydratasjon av sement

Sement er et hydraulisk bindemiddel. Det vil si at det skjer en kjemisk reaksjon mellom sement og vann, når de kommer i kontakt. Sement i seg selv har ingen limegenskap, men når sementen blandes med vann, dannes sementlim. Den kjemiske reaksjonen mellom sement og vann kalles for

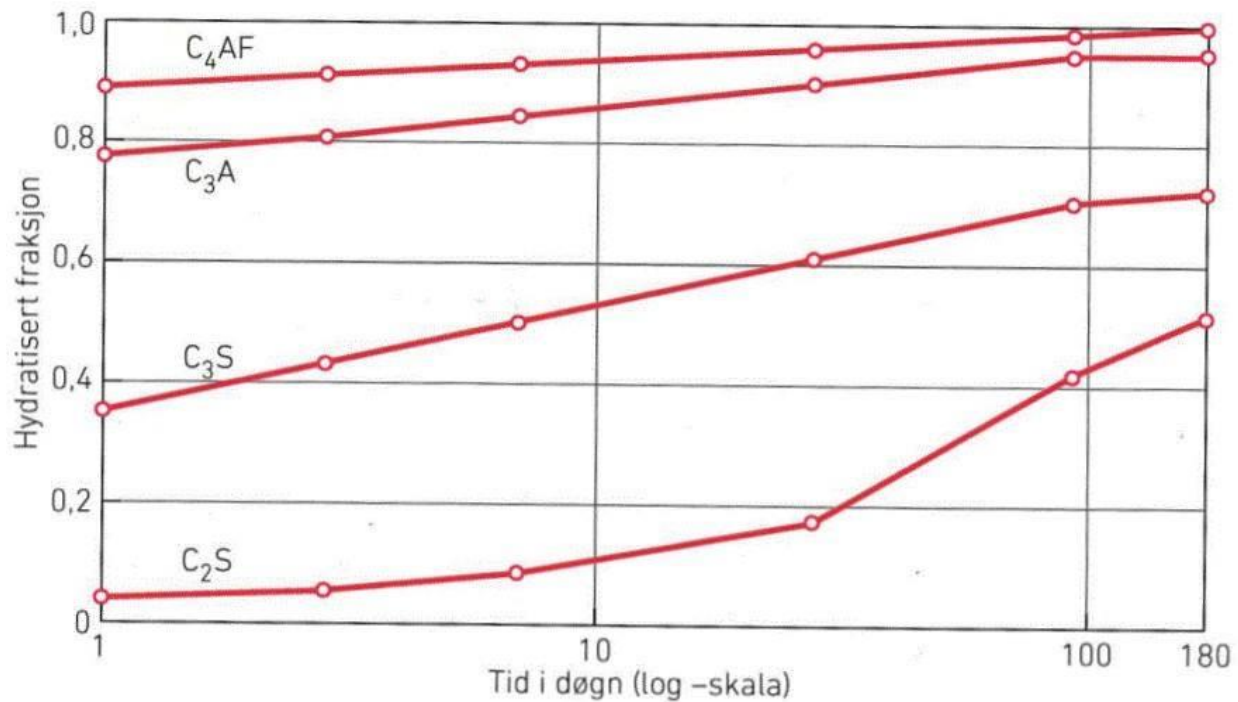
hydratasjon. Under denne kjemiske reaksjonen utvikles en del varme og dermed kalles den for eksoterm reaksjon.

Hydratasjon av sement gir fire faste resultater, CSH gel, $Ca(OH)_2$, AFm-fasen og AFt-fasen.



De to kjemiske reaksjonene over gir begge et CSH-ledd. CSH er kalsiumsilikathydrat som igjen er et reaksjonprodukt fra hydratasjonen av sement(Kirkemo, 2011).

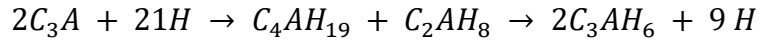
Tri-kalsiumsilikat (C_3S) er det mest omfattende og det viktigste sement-mineralet i portlandsement, noe som bidrar til utviklingen av tidlig styrke. Mye av reaksjonen for dette mineralet skjer i løpet av de første dagene. Dette medfører betydelige styrkegevinst og reduksjon i kapillær porøsitet. Hydreringsprodukt til di-kalsiumsilikat (C_2S) er samme som C_3S , men den relative mengden av CH er mye mindre enn C_3S . C_2S er mye mindre løselig enn C_3S , derav er hydratiseringshastigheten mye langsommere enn C_3S . Di-kalsiumsilikat bidrar lite til den tidlige styrken i sementen, men gir stort bidrag til styrken av moden sementpasta og betong(Maage, mai 2015).



Figur 1: Hydratasjonshastighet for de rene hovedmineralene i sement, gjengitt tillatelse fra byggenæringens forlag (Maage, mai 2015)

AFm og AFt fasene er to grupper av mineraler som forekommer i sement. En av de vanligste AFm-fasene i hydrert sement er monosulfat og den vanligste AFt-fasen er ettringitt. AFm fasen betyr at den inneholder et (m-mono) molekyl av anhydritt når det skrives som $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$. AFt fasen betyr at den inneholder tre (t-tri) molekyler av anhydritt som skrives $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32 H_2O$. De vanligste AFt- og AFm-fasene i hydrert sement er Ettringitt, Monosulfatet og Monokarbonat(Winter).

Mineraler som inneholder aluminater reagerer med vann med en rask hastighet. De raske aluminatmineralene bidrar lite til betongens langsiktige styrke, men hjelper mye med tidlig styrke(Maage, mai 2015). Hydrering av kalsiumaluminat/ferrittmineraler (C_3A og C_4AF) er noe mer komplisert enn kalsiumsilikat mineralene. I sammenligning med C_3S er C_3A meget løselig. Grunnen til at det blir brukt gips i portalsement er å utsette reaksjonen av C_3A med vann.



Reaksjon mellom C_3A og vann (Thomas and Jennings)

Når betongen herder og hydrasjonsgraden øker, reduseres kapillærporevolumet, porestrukturen blir finere og CSH-strukturen blir dermed mer kompakt. Det er disse effektene som gir økt styrke og større tetthet. Det er viktig at det vannet vi har blandet inn i betong ikke tørker ut mot omgivelsene før hydrasjonsgraden er tilstrekkelig høy. Hvis kapillæreporene tømmes for tidlig, stopper hydrasjonen opp og det dannes et stort og grovt kapillærporevolum, dette fører til redusert styrke og økt permeabilitet. (Maage, mai 2015)

3.2 Bruk av leire i betong

Definisjonen av leire ble først formalisert i 1546 av Agricola. Leire er et naturlig forekommende materiale som hovedsakelig består av finmalte mineraler, som vanligvis er plastisk ved passende vanninnhold og har svært små partikler. Partikkelstørrelsen til leire er generelt mindre enn 4 mikrometer. (Guggenheim, 1995)

Naturlige pozzolaner er ett rått eller kalsinert naturlig materiale som har pozzolaniske egenskaper. Blanding av naturlige pozzolaner og kalk ble brukt som bindende materiale for bygg av romerne og grekerne for over 2000 år siden. Slike bindemidler består av naturlige pozzolaner, kalk og sand(Ramezaniapour, 2014).

Presis klassifisering av naturlige pozzolaner kan være utfordrende fordi det inkluderer materialer som er ulike når det gjelder mineraler, kjemi og geologisk opprinnelse. Felles for alle naturlige pozzolaner er at de reagerer med kalk og at de herder over tid(Ramezaniapour, 2014).

Summen av SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 i en naturlig pozzolan som skal brukes i betong må være over 70%, de fleste leirer tilfredsstillende denne kjemiske sammensetningen. Summen av disse kjemiske stoffene er for kaolin 82%, illite 80,2%, glimmer/smektitt 88.1% og montmorillonite 86.4 % (He et al., 1995).

Metakaolin (MK) har vært kommersielt tilgjengelig siden midten av 1990-tallet og er en av de nylig utviklede SSMene til bruk i betong. Metakaolin er forskjellig fra andre SSMer, som flyveaske, silikastøv og slagg, siden det ikke er et biprodukt fra industri, men lages for et spesifikt

bruk, under kontrollerte forhold (Ramezaniapour, 2014). Metakaolin produseres ved å kalsinere ren kaolinite leire ved en spesifikk temperatur, hvor kjemisk bundet vann fjernes og ødelegger den krystallinske strukturen, dette gjør leiren til metakaolin som er et amorft aluminiumsilikat (Ding and Li, 2002).

Mye forskning er blitt gjort på bruk av metakaolin i betong. Kun to SSMer er lett tilgjengelig og kan brukes i stor skala: kalsinerte kaolin leirer og kalkstein (Avet and Scrivener, 2018). LC³ sement er et eksempel på sement hvor store deler av sement klinker er erstattet med kalsinert leire og kalkstein. LC³ sement inneholder 30% kalsinert leire, 15% kalkstein, 5% gips og 50% sement klinker (Scrivener et al., 2018).

3.2.2 Strukturer av leire mineraler

Leirepartikler består av ti til hundre tetraeder og oktaeder. Det tetraedriske arket inneholder Si⁴⁺ kationer som er omgitt av fire oksygenioner. I hvert tetraeder er tre av fire oksygenioner delt med de nærliggende enhetene for å danne et sekskantet nettverk.

De oktaedriske arkene er bygd av Al³⁺, i koordinasjon med oksygen eller (OH)⁻ grupper. Oktaedraene er sammenføyd ved å dele alle OH-gruppene sine med hverandre. Stablearrangementet for de tetraedriske og oktaedriske arkene bestemmer leirens mineralgruppe. Det skilles mellom to hovedgrupper. Den første gruppen er [TO] eller 1:1, hvor et tetraedrisk ark kombinert med et oktaedrisk ark. Leire som tilhører til denne gruppen er kaolinit, halloysitt og serpentin. I den andre gruppen er leire laget av to tetraedriske ark og et oktaedrisk ark imellom dem, dette resulterer i [TOT] eller 2:1 leire. Dette er klart den største gruppen og inneholder illitt, smektitt, vermikulitt og glimmer. Det er muligheten for en tredje gruppe, med oppbygning TOTO eller 2:1:1 leire.

Kaolinit mineraler tilhører til den 1:1 eller TO leiregruppen, det vil si at den strukturelle enheten er sammensatt av en octahedral og en tetrahedral ark. Denne strukturformelen av kaolinit er Al₂Si₂O₅ (OH)₄ og er di-oktaedrisk. Illit er en 2:1 dioktahedral leirmineral er komponert av en gibbsite-lignende oktaedrisk lag og to tetraedrisk lag som er klemt sammen. På grunn av den likheten som illit har med muskovitt kalles den ofte for glimmer. Smectite leiremineraler tilhører også 2:1 gruppen som oktaedrisk leire. (Hollanders, 2017)

3.3 Evaluering av pozzolanaktivitet

Evaluering av et pozzolans pozzolaniske aktivitet kan gjøres med en kjemisk, mekanisk eller fysisk metode. Det er to typer kjemiske evalueringer. Den første måler mengden av $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ som gjøres løsbart som følge av pozzolanreaksjonen. Den andre måler reduksjonen av kalsiumioner i en pozzolan-mettet kalk løsning (Ramezaniapour, 2014).

Ved bruk av XRD-analyse eller X-ray diffraction analysis kan den mineralogiske sammensetningen og hvor amorft en pozzolan er bestemmes. Hvor amorft et materiale er kan bestemmes ut ifra toppene på en XRD graf (Walker and Pavía, 2011). XRD har blitt brukt til å overvåke opptak av kalk i pozzolan Portlandsement som inneholder pozzolaner. Resultatene fra denne metoden indikerer stor sammenheng mellom kalk som bindes i reaksjonen og trykkfasthet av mørtel etter 6 måneder og 1 år (Ramezaniapour, 2014).

Pozzolanisk aktivitet kan også evalueres ut ifra trykkfasthet (mekanisk metode). Denne metoden ser på styrke egenskapene av betong som inneholder pozzolaner og er mer nyttig i praksis enn de tidligere nevnte kjemiske metodene. Trykkfastheten bestemmes for en kontrollblanding som sammenlignes med fastheten til en pozzolanholdig blanding (Ramezaniapour, 2014).

3.3.1 Pozzolaner

Pozzolaner er definert som materialer som inneholder silisiumdioksid eller silisiumdioksid og aluminiumoksid, som i seg selv har lite til ingen sementegenskaper men som vil, når malt til fine partikler og med fuktighet tilgjengelig, reagere med kalsiumhydroksid og kjemiske forbindelser som har sementegenskaper (Ramezaniapour, 2014).

Det eldste eksempelet av bruk av hydrauliske bindemidler, som bestod av en blanding av kalk og naturlige pozzolaner går helt tilbake til omtrent år 5000 f.Kr (Ramezaniapour, 2014).

Forskning er blitt gjort for å bestemme hvilke faktorer som er viktigst for reaktiviteten til en pozzolan. Som tidligere nevnt kan reaktiviteten bestemmes med flere forskjellige metoder, som ved hjelp av XRD analyse eller trykktesting av støpt betong som sammenlignes med en referanse uten pozzolan. I ett tilfelle er konklusjonen at hvor amorft pozzolanen er, har større betydning for reaktiviteten enn noen andre av pozzolanens egenskaper. Det spesifikke arealet av pozzolanen

bestemmer hvor mye vann som trengs i pastaen mens hvor amorf pozzolanen er bestemmer pastaens styrke (Walker and Pavía, 2011).

3.3.2 Pozzolanreaksjonen

Pozzolanreaksjon: Pozzolaner har ikke hydrauliske bindemiddelegenskaper selv, men danner bindemidler når de er i kontakt med kalsiumhydroksid (Ca(OH)_2) ved hydratisering av portlandsement, dette kalles pozzolanreaksjon (Byggforsk, 2016).

De pozzolaniske reaksjoner baserer seg på samspillet mellom aluminiumsilikat materialer, eller pozzolaner og Ca(OH)_2 i nærvær av vann. Når pozzolaniske materialer blir blandet med sement, vil de aktive alumina og silika reagere med kalsiumhydroksid (Ca(OH)_2) som var dannet under sementhydrering, og produsere ytterligere CSH-, CAH- og CASH-faser. Dette medfører at porøsiteten til sementpastaen avtar og forbedrer styrken samt holdbarheten til sluttproduktet.

pozzolanisk reaksjon: $AS + CH + H \rightarrow CSH + CAH$ (Hollanders, 2017)

Når pozzolaniske materialer blir blandet med sement

Hydrert sementpasta inneholder ca. 70 % CSH, 20 % Ca(OH)_2 , 7% sulfoaluminat og 3 % sekundære faser. Ca(OH)_2 er restproduktet til sementhydratasjon og har en negativ virkning på betongkvaliteten. Dette er på grunn av Ca(OH)_2 løser seg i vann og danner hulrom, i tillegg har den lav styrke. Dermed har anvendelsen av mineralblandinger en positiv effekt på betongkvaliteten og årsaken til det er Ca(OH)_2 reagerer med pozzolaner og danner mer CSH-gel (Oner et al., 2005)

Likningene under viser biproduktet Ca(OH)_2 til sement og dens videre reaksjon av det med pozzolaner.

Sementhydratasjon: $(C_3S, C_2S) + H_2O \rightarrow CSH - gel + Ca(OH)_2$

Pozzolanisk reaksjon: $S (pozzolan) + CH + vann \rightarrow CSH - gel$

(Oner et al., 2005), (Zapata et al., 2013), (Karim et al., 2011)

3.3.3 Silikastøv

Silikastøv er et biprodukt/restprodukt fra produksjonen av silisium og ferrosilisiummetall. I 1970 kom et miljøkrav om at røykgassene må renses i spesielle filtre som fanger silikastøvet. Senere har dette materialet blitt brukt som tilsetningsmaterialer i betong. Silikastøv er et svært finkornet materiale som har partikler 100 ganger mindre enn sement og er mye lettere enn sement. Densiteten til silikastøv er 2200 kg/m^3 .

Silikastøv består for det meste av SiO_2 , cirka (85-98) %, resten er urenheter som varierer ut ifra kilden. Silikastøv har normalt krystallinsk form, men for å ha evne til å delta på pozzolanreaksjonen, må stoffet være i amorf tilstand, det skjer det ved rask avkjøling.

Produktet blir levert og brukt i tre forskjellige former:

1. Naturlig form
2. Kompakter
3. Slurry form

Det finnes begrenset silikastøv og derfor blir materialet oftest brukt i betong hvor det kreves en finere porestruktur. Silikastøv hjelper med å redusere permeabilitet for gasser og væsker og øker dermed bestandigheten til betong. Silikastøv påvirker positivt både tilslag, armering og fiber på grunn av mer homogen betong med mindre tendens til separasjon. (Maage, mai 2015) (Ali, 2011).

3.3.4 Flygeaske

Flygeaske (FA) er et restprodukt/avfallsprodukt fra rensing av røykgassene i kullfyrte varmekraftverk. Dette fanges opp i et spesielt filter. Flyveaskens egenskaper er avhengig av kull sammensetning og brenningsprosess.

Partiklene i FA er stort sett i kuleform og har omtrent samme størrelse som sementpartikler. Stoffet inneholder (40-70) % SiO_2 og resten er Al_2O_3 , FeO_3 og CaO . Formen til flygeaske er lik som silikastøv, amorf, og derfor har flygeaske samme kjemiske effekten som silikastøv. FA påvirker betong positivt mot både utvasking, sulfatangrep, syreangrep og alkalireaksjoner. Den positive effekten utvikler seg sakte og det kan ta måneder før egenskapene oppnås fullt ut. (Maage, mai 2015)

Den kjemiske reaksjonen er mindre hos flygeaske enn silikastøv, både fordi partiklene er grovere og fordi flygeaske har lavere SiO₂ innhold. Pozzolanreaksjonen ved bruk av flygeaske er temperaturavhengig. Det vil si at reaksjonshastigheten øker med økende temperatur (Maage, mai 2015) (Ali, 2011).

3.4 Kalsinering

Den vanligste metoden for å forbedre de pozzolaniske egenskapene til leire og leireminerale er ved termisk aktivering eller kalsinering. Aktivering av leire innebærer endringen av sin opprinnelige krystallinske struktur for å gjøre dem mer reaktive. (Naturvernforbundet, 2014). Ved varmebehandling av leire mistes først det absorberte vannet ved temperatur under 200 °C, og senere mellom 500-800 °C avhengig av type leire og deres mineraler, vil hydroksylgruppen blir fjernet fra strukturen (Danner and Justnes, 2018, Elimbi et al., 2011, Tobias, 2013). Den mest reaktive tilstanden er når kalsineringstemperaturen fører til et fullstendig tap av hydroksylgruppen (fjerning av kjemiske forbundet vann). Fjerning av OH-gruppen kan føre til en metastabil tilstand med lavere krystallinsk struktur og mer amorfitet.

Temperaturen og varigheten for oppvarmingen kan senke det spesifikke arealet og gjeninnføre krystallstrukturen, dette fører til lavere pozzolan aktivitet. Dette medfører at for hver pozzolan finnes det en optimal temperaturbehandling. Forskning på forskjellige naturlige pozzolaner viser at den optimale temperaturen er rundt 700-800 grader °C (Ramezani pour, 2014).

Nedkjølingshastigheten har ingen identifisert effekt på den pozzolaniske reaktiviteten.

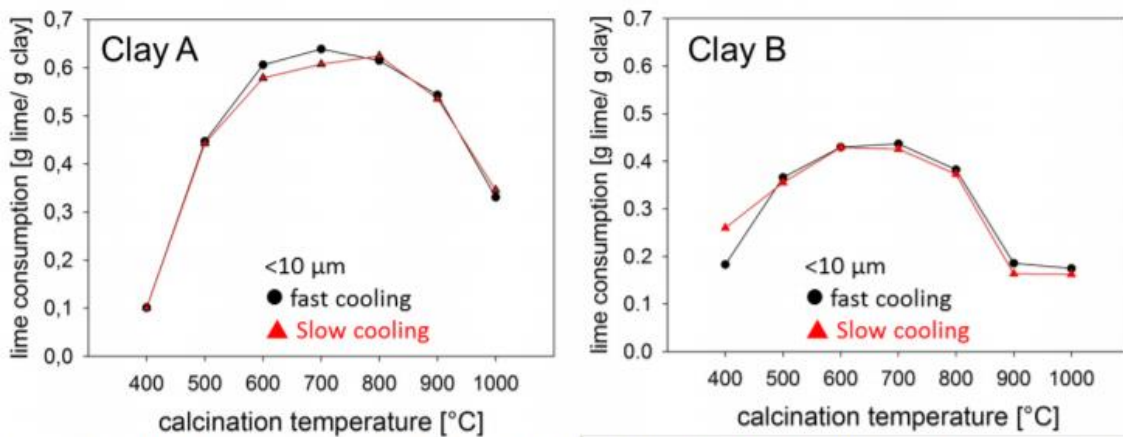


Figure 3 - Lime consumption in g lime/g clay for Clay A and Clay B burned between 400 and 1000°C with fast and slow cooling. Particle size was <10 μm.

Figur 2: Sammenligning av kalk opptak ved kjapp og sakte avkjøling for to leirer, hentet fra åpen artikkel

(Danner and Justnes, 2018)

3.5 pH verdi i betong

Den vanlige metoden for å beskytte armering er passivering, som avhengig av høy pH-verdi. Det dannes et tett og kraftig oksidsjikt på overflaten av stålet, ved et høyt pH-nivå slik at armeringen ikke korroderer. Den prosessen skjer i sement på grunn av at det finnes små mengder alkalier, natriumoksid (Na_2O) og kaliumoksid (K_2O), disse sammen med kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) danner ioner i porevannet og resultatet blir høy pH-verdi.

Beskyttelsen kan brytes ned på to forskjellige måter, enten ved redusering av pH-verdier over tid eller ved at kloridioner trenger seg inne i betongen. Når pH-verdien faller under 10-11, er ikke oksidsjiktet lenger stabilt og det blir fare for korrosjon (Maage, mai 2015)

For at leire skal bli brukt som et sementerstatningsmateriale, er det behov for videre forskning. pH-verdien til leire er av stor betydning når leire skal brukes i betong med armering. Fersk betong har en pH-verdi på (12,5-14) (Thue, 2019). Den høye pH-verdien er gunstig for armeringens holdbarhet i betong. To av de leirene som ble benyttet i denne oppgaven har pH-verdi på 7-8, se vedlegg A.1 og

A.2. Ifølge Harald Justnes er det ikke gunstig å erstatte mer enn 30% av sementen med kalsinert leire. Dette er for å sikre betongens armering mot korrosjon(Egge, 2016).

4. Materialer

4.1 Sement

Sementen som er benyttet i denne oppgaven er en SH (hurtigherdende) sement CEM I 52.5 R, dette er en ren portlandsement med maksimalt 5% sekundære bestanddeler, se vedlegg A.7.

4.2 Leire

Tre av leirene som er brukt i denne oppgaven er bestilt fra diverse hobbybutikker. Disse leirene har veldig fine partikler og er hovedsakelig produsert for bruk innenfor keramikk. Siden disse leirene er produsert med tanke på konsistens og farge er alle blitt laget ved å blande forskjellige leire for å oppnå ønskede egenskaper.

Leirmineraler er en gruppe mineraler som utgjør hovedbestanddel i leirer(Raade, 2017).

For å kunne beskrive partiklene til hver leire, ble det gjort en test med hydrometer metode iht NS-EN ISO 17892-4:2016. Denne testen viser kornstørrelsesfordelingen til hver kalsinert leire. Siden leirene allerede var siktet ble det ikke gjort en sikteanalyse.

4.2.1 Blåleire

Leiren befinner seg i kystområder og det finnes masse av de leirene i Norge, Danmark og flere andre land. De siste årene har forskerne åpnet for flere materialer for å erstatte sement, en av de er kalsinert leire som kan brukes til å erstatte sement helt opp til 50% (Egge, 2016) .

Leiren er gultbrennende med høyt innhold av kalsium. Leiren er en blandingsleire bestående av to danske leirer, rødbrennende leire hentet fra Vissenbjerg på Fyn og en gultbrennende leire fra den nordlige delen av Jylland.

Leirens utseende kan beskrives som gråblå eller gråbrun. Den ferske leiren har en pH-verdi på 7-8. Kvarts (SiO_2) er en bestanddel med partikkelstørrelse $< 5 \mu\text{m}$, se vedlegg A.1 for datablad.

Beregnet densitet av kalsinert blåleire med bruk av pyknometer metode, iht NS-EN ISO 17892-3:2015: **2,59 g/cm³** (Se vedlegg B.1 for utregning av densitet)

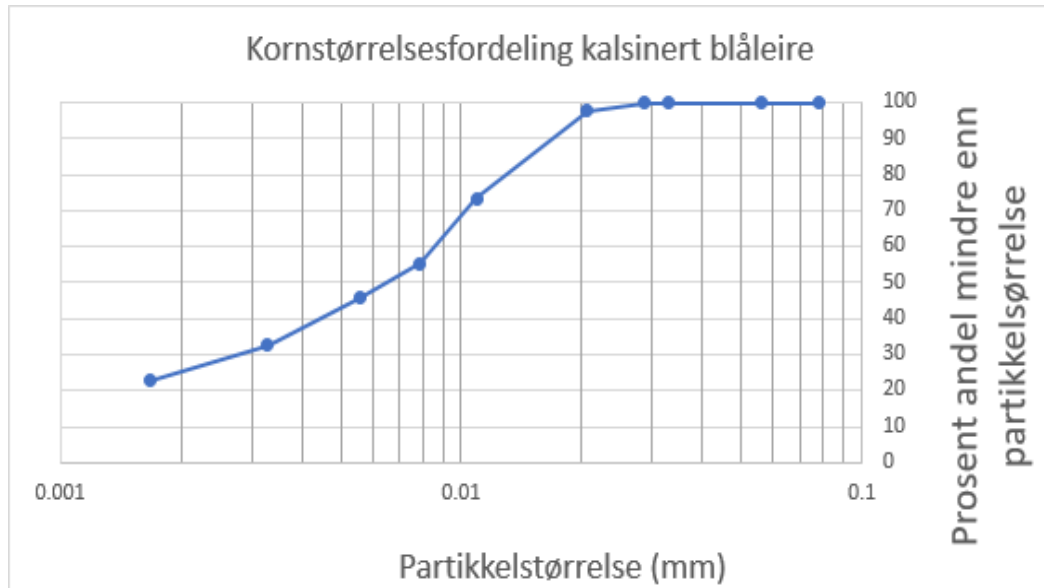
Leirens produksjon:

- Grave opp leire og lagre i separate hauger
- Miksing med flere møller for å få et finkornet og homogent produkt
- Vann legges til for spredning
- Leiren sendes gjennom en filterpresse
- Ekstruderes og pakkes

Leiren er produsert av Strøjer Ler AS som holder til i Danmark og ble bestilt fra Creativ company.



Figur 3: Rå blåleireblanding



Figur 4: Kornstørrelsesfordeling kalsinert blåleire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016

4.2.2 Lokal blåleire

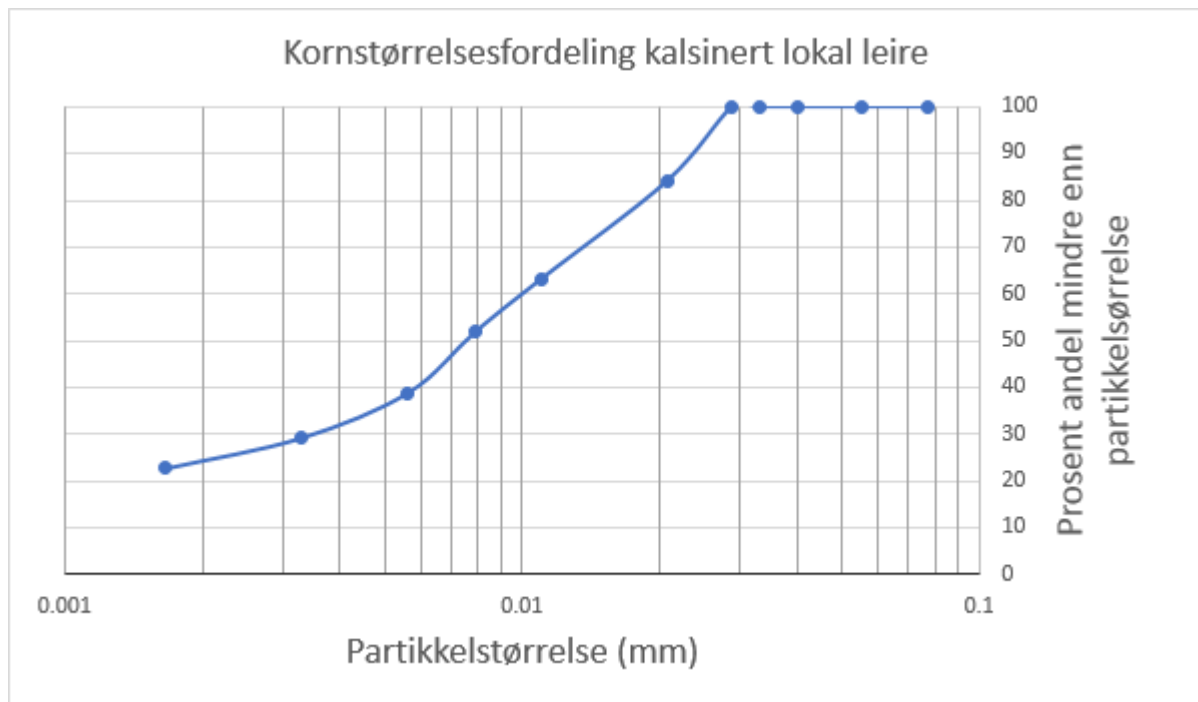
Denne lokale leiren er hentet ut i forbindelse med oppføring av et nytt bygg (Smaragd bygget) på NTNU campus Gjøvik på Kallerud. Leiren ble tatt direkte fra bakken og tørket, leiren er ikke bearbeidet på noen måte.

Beregnet densitet av kalsinert lokal blåleire med bruk av pyknometer metode, iht NS-EN ISO 17892-3:2015: **2,61 g/cm³** (Se vedlegg B.1)

Den tørre leiren hadde en lys gråfarge, og var vesentlig lettere å male til fine partikler enn de andre leirene.



Figur 5: Tørr lokal blåleire



Figur 6: Kornstørrelsesfordeling kalsinert lokal leire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016

4.2.3 Rødleire

Leiren er en rødtbrennende med lavt innhold av kalsium. Leiren er en blanding av tre forskjellige leirer: rødtbrennende leire fra Vissenbjerg, rødtbrennende leire fra Tyskland og gultbrennende leire fra nordlige delen av Jylland.

Rødleiren har gjennomgått samme produksjonssteg som blåleireblandingen. Utifra opplysningene fra produsenten virker disse leireblandingene svært like.

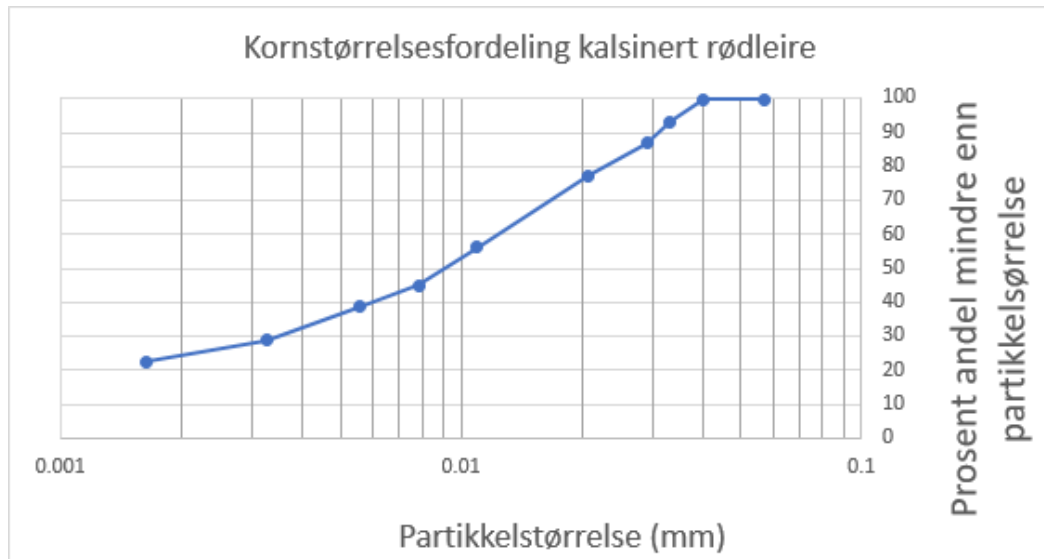
Leire kommer fra Strøjer Ler AS som holder til i Danmark.

Den rå leira har en rødbrun farge og har en pH-verdi som ligger på mellom 7-8. Kvarts (SiO_2) er en bestanddel med partikkelstørrelse $< 5 \mu\text{m}$, se vedlegg A.2 for datablad.

Beregnet densitet av kalsinert blåleire med bruk av pyknometer metode, iht NS-EN ISO 17892-3:2015: **2,64 g/cm³** (se vedlegg B.1)



Figur 7: Rå rødleireblanding



Figur 8: Kornstørrelsesfordeling kalsinert rødleire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016

4.2.4 Hvit leire

Denne leiren er en hvitbrennende stentøysleire produsert av Witgert i Tyskland og kjøpt fra Strøjer Ler AS som holder til i Danmark.

Den rå leiren hadde en beige eller hvit farge. Leiren inneholder tilsetningsstoffer av kaolin.

Beregnet densitet av kalsinert hvit leire med bruk av pyknometer metode, iht NS-EN ISO 17892-3:2015: **2,56 g/cm³** (se vedlegg B.1)

Produksjonsprosessen er utarbeidet for å lage leire til hobby- og keramisk bruk.

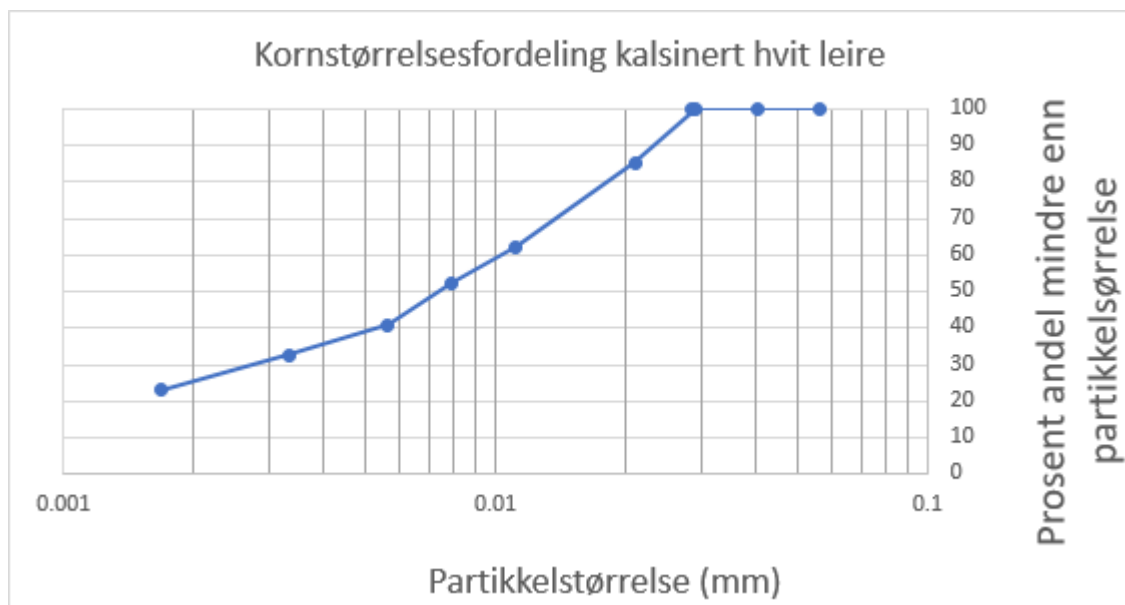
Produksjon av den hvitbrennende stentøysleiren:

- Flere leirer blandes for å oppnå ønskede egenskaper
- Leireblandingen løses opp i vann
- Oppslemmingen siktes for å fjerne basalt og pyritt (125 µm) og dehydreres med en filterpresse
- Vann blir lagt til for å oppnå ønsket konsistens
- Leirene ekstruderes med et vakuum ekstruder

Produsenten ble kontaktet angående informasjon til den hvite leiren. Se vedlegg A.3 for teknisk datablad.



Figur 9: Rå hvit leire



Figur 10: Kornstørrelsesfordeling kalsinert hvit leire. Utført iht hydrometer metoden i NS-EN ISO 17892-4:2016

4.3 Hydratkalk

Hydratkalk for bygningsformål framstilles ved brenning av kalkstein og tilsettes deretter vann. Hydratkalk har evnen til å herde under vann altså uten tilgang på luft. Denne egenskapen skyldes at brent kalk inneholder en rekke sure stoffer som lar seg løse i saltsyre. De viktige stoffene er silisiumoksid, aluminiumoksid og jernoksid (Waldum and Kjeldsen, 2006).

Hydratkalk eller lesket kalk har flere bruksområder blant annet brukes det i drikkevann til å senke pH-verdien (Øgaard, 2019).

Hydratkalken som ble brukt i denne oppgaven er produsert av Verdalskalk AS, avdeling Hylla og ble bestilt gjennom leverandør Franzefoss Minerals AS.

Se vedlegg A.4 for produktspesifikasjoner.

4.4 Kalkstein

Kalkstein eller kalsiumkarbonat (CaCO_3) er et av materialene som er blitt introdusert som en bestanddel i blandede sementer. Med kalkstein produseres det Portlandkalksteinsement, denne lages ved at sementen males sammen med kalkstein. Det er mest vanlig å bruke opp til 5% kalkstein, men sementer med opptil 40% kalkstein blir produsert i forskjellige land rundt i verden.

Den største fordelen med Portlandkalksteinsementer er at den tilsatte kalksteinen øker det totale sementvolumet, som betyr at mengde klinker som kreves for å produsere en gitt mengde sement reduseres. Dette vil kunne bidra til å redusere den nødvendige energien til sementproduksjonen og CO_2 utslippene som stammer fra produksjonen av sementklinker (Ramezani pour, 2014).

Eksperimenter og termodynamisk simulering viser at reaksjonen av kalkstein er veldig avhengig av balansen mellom aluminat og sulfat. En økning i forholdet mellom sulfat og aluminat fører til mindre reaksjonen av kalkstein (Bizzozero and Scrivener, 2015).

Egenskapene til Portlandkalksteinsementer har vært tema for mange studier. Forskere har sett på effekten av Portlandkalksteinsementer med varierende mengde kalkstein, på ferske egenskaper, mekaniske egenskaper og holdbarhet av betong. Generelt virker det som funnene er noe inkonsekvente, spesielt når mengden kalkstein er mer enn 5%. Resultatene er påvirket av kvalitet og partikkelstørrelse på den bruke kalksteinen. Om kalksteinen var malt sammen med sement,

blandet sammen eller lagt til ved blanding av sementpasta ser ut til å ha påvirkning på resultatene (Ramezaniapour, 2014).

LC³ er en nyutviklet blandingssement som er basert på kalkstein og kalsinert leire. Blanding av kalsinert leire og kalkstein gir en tilsvarende mekanisk ytelse som vanlig portlandsement. Bruk av kalkstein med kalsinert kaolinleire danner en reaktiv del av AFm (monokarboaluminat og hemikarboaluminat) som fører til en komplementær reaktivitet mellom kalkstein og kalsinert leire (Dhandapani et al., 2018).

Kalsinert leire i kombinasjon med kalkstein blir allerede brukt som SSM. Det som er så innovativt med LC³ sementen er at det brukes lavkvalitetskaolinleire som er en lett tilgjengelig ressurs, sammen med 15% kalkstein uten reduksjon i mekaniske egenskapene. Aluminiumoksid fra kaolinleiren reagerer med den malte kalksteinen, som fører til et mindre porøst materiale, og gir lik styrke med høyere grad av sementerstatning (Scrivener et al., 2018).

Kalksteinpulveret som ble brukt i denne oppgaven er bestilt fra Franzefoss Minerals AS. Kalksteinen inneholder 55.4 % kalsiumoksid, 40% kalsium og små mengder av andre stoffer som magnesium, magnesiumoksid, sulfater, og svovel. Densiteten til produktet er 2700 kg/m³ og alle partiklene er under 0,200mm. Se vedlegg A.5 for produktdatablad.

4.5 SP

Superplastiserende materialer er vannløselige, naturlige eller kunstig polymere som blir brukt i sementblandinger med høy bearbeidbarhet for enkel håndtering, plassering, komprimering og produksjon av høyfast betong med lavere vanninnhold. De tre mest brukte SP materialene er per dags dato:

1. Sulfonert melamin formaldehyd kondensat
2. Lignosulfonat
3. Sulfonert naftalen formaldehyd kondensat

I tillegg til disse tre blandingene, blir også modifiserte lignosulfonater, sulfonsyreestere og karbohydrattester brukt. SP-stoffene gir redusert viskositet i betong og øker sementarealet som er

i kontakt med vann, dermed økes hydratiseringshastigheten som fører til høyere fasthet (Yousuf et al., 1995) .

Det superplastiserende stoffet som ble brukt i dette prosjektet heter Dynamon SX-130, som er et flytende tilsetningsstoff. Produktet tilhører Dynamon-system basert på den Mapei-utvikling DPP-teknologien. Dynamon SX-130 er et superplastiserende tilsetningsstoff som brukes for å øke støpeligheten og/ eller redusere tilsatt vannmengde. Hensikten med å bruke dette produktet var å få en mer flytende og letthåndterlig blanding. Se vedlegg A.6 for teknisk datablad.

5. Metode

5.1 Anskaffelse av materiale til litteraturstudie

For å finne relevant akademiske kilder ble det brukt flere databaser:

- Compendex
- ScienceDirect
- Google Scholar

Mye brukte søkeord:

- Calcined Clay
- Supplementary cementitious materials
- Cement replacement
- Pozzolanic activity
- Pozzolanic reaction
- Cement hydration (sement hydratasjon)
- Metakaolin
- Limestone
- LC³ cement
- Sustainable concrete

Disse søkeordene ble kombinert med hverandre for å begrense søket så mye som mulig og ende opp med kun de mest relevante tekstene.

Relevante bøker ble også benyttet, blant annet fra biblioteket på NTNU Gjøvik.

5.2 Tørking, bearbeiding og sikting av leire

Etter leiren ble mottatt ble den liggende i romtemperatur i minst 24 timer, for at de skulle tines/varmes opp og dermed bli lettere å dele i mindre biter. Grunnet manglende utstyr til knusing og maling av leire ble leiren delt i tynne strimler før de ble tørket.

For at den rå leiren skulle tørkes ble den satt i varmeskap, blåleiren ble tørket på 200 grader i 3-4 timer, mens den røde og hvite leiren ble tørket på 50 grader i ca. 20 timer. Den lokale leiren var allerede tørr og kunne knuses med en gang.



Figur 11: Bilde av siktemaskinen

Knusing av leiren ble utført på diverse måter, blant annet med hammer eller betongklosser. Grunnet flere typer leire og mye tid brukt på knusing, ble prosessen effektivisert fra den første leiren til den siste. De siste leirene ble knust ved hjelp av staking med metallstav og treverk.

Ettersom leiren ble knust fint pulver, ble den siktet i en siktemaskin. Siktemaskinen har en rekke sikter med forskjellig størrelse som varierer fra 63 μm til flere centimeter. Den fineste sikten som ble benyttet var 125 μm , dette grunnet vanskeligheten med å knuse leiren til finere partikler. Den

knuste leiren ble siktet i siktemaskinen i ca. 2-4 minutter, deretter ble partiklene med størrelse mindre enn 125 μm lagt til side, og resten ble forsøkt knust ytterligere og deretter siktet igjen.

5.3 Kalsineringsprosessen

Ved kalsinering av leire fjernes det kjemiske bundne vannet. All leiren som ble kalsinert hadde partikkelstørrelse $<125 \mu\text{m}$. Kalsineringen ble utført i keramiske begre laget for å tåle høye temperaturer. Ved hver runde med kalsinering ble totalt 9 begre fylt med leire og satt i ovnen. Ovn som ble benyttet var en Naber industrieofenbau (Nabertherm).



Figur 12: Bilde av ovn til kalsinering

Kalsineringen ble utført ved først å varme leiren fra romtemperatur til 500 $^{\circ}\text{C}$ over 60 minutter. Deretter gikk ovnen opp til 700 $^{\circ}\text{C}$ med ca. 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, temperaturen ble værende på 700 $^{\circ}\text{C}$ i 120 minutter før ovnen begynte å nedkjøles.



Figur 13: Bilde av leire inne i ovn

Harald Justnes og Tobias Danners forskning indikerer at betydningen av avkjøling er svært liten, det er derfor ikke mye fokus på hvordan leiren ble avkjølt (Danner and Justnes, 2018). Leiren er blitt tatt ut fra ovnen ved noe forskjellige temperaturer, men generelt ble begrene med leire stående i ovnen til temperaturen var under 400 °C.

Begrene ble tatt ut og leiren ble tømt i et stekefat, hvor det ble liggende i romtemperatur for avkjøling.

5.4 Bestemmelse av korndensitet iht ISO 17892-3:2015

Korndensiteten ble bestemt ved metode angitt i ISO 17892-3:2015 (Geoteknisk felt- og laboratorieundersøkelser Laboratorieprøving av jord).



Figur 14: Bilde av pycnometer med leireeksemplar

Densiteten ble bestemt ved hjelp av pyknometermetoden. Pyknometeret ble vasket godt og deretter satt i varmeskap som holdt 100 grader til det var helt tørt. Deretter ble pyknometeret avkjølt i en eksikator som inneholdt tørkemiddel. For å utføre testen ble vekten av pyknometeret, pyknometer med leireeksemplar, pyknometer med leire og kontroll veske og pyknometer fylt med kontroll veske målt til nærmeste 0,01 g.

For å forsikre at vannet hadde lik temperatur ved alle innveiingene, ble et vannbad brukt med konstant temperatur (21 ± 2 °C). For å redusere tidsbruken ble kontrollvæsken plassert i vannbadet, kontrollvæsken holdt dermed konstant temperatur gjennom alle innveiingene.

Kontrollvæsken som ble benyttet var demineralisert vann. Grunnet begrenset utstyr ble testene utført ved 2 pyknometere 50 ml og 500 ml. Hver måling ble repetert 2 ganger.

- Bestemme vekt til rent og tørt pyknometer (m0)
- Fylle pyknometer med minst 10g (50 ml) eller 100g (500 ml) kalsinert leire
- Bestemme vekt av pyknometer og kalsinert leire (m2)
- Ha kontrollvæsken i pyknometeret til det leiren er dekket av ca 10-20mm vann
- La pyknometeret stå slik at leiren ble helt fuktig og fjerne luftbobler ved mekanisk agitasjon
- Fylle resten av pyknometeret, deretter la sitte i vannbad med konstant temperatur
- Ta pyknometeret ut av vannbad og tørke godt, deretter veie til nærmeste 0,01g (m3)
- Tømme og vaske pyknometer
- Fylle med kontrollvæske med samme temperatur som tidligere
- Veie pyknometer fylt med kontrollvæske (m1)

5.5 Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling

Kornstørrelsesfordelingen av de kalsinerte leirene ble bestemt ihht NS-ISO 17892-4:2016. Alle 4 leiretypene ble testet ved samme tidpunkt. Kun hydrometernmetoden ble benyttet siden leiren allerede var blitt siktet med en 125 μm sikt. Målet med denne testen er anskaffe så mye som mulig informasjon for å beskrive leirepartiklene.

Hydrometer metoden:

1. Bestemme massen av leireeksemplar
2. Blande leire med dispergeringsmiddel
3. Fylle sedimenteringssylinder med leireeksemplar og vann
4. Sette kork på sedimenteringssylinder og vende sylinderen slik at leiren er fullt suspendert i vannet
5. Starte stoppeklokke uten forsinkelse
6. Gjøre hydrometer avlesninger samt bestemme temperaturen ved gitt tidsintervaller fra 30 sekunder til 24 timer
7. Bruke formlene fra standarden til å regne ut ekvivalent partikkeldiameter og fraksjonen mindre enn den ekvivalente partikkeldiameteren

Leireksemplar ble veid til nærmeste 0,01g, ca. 50g per leire ble benyttet. Dispergeringsmiddel ble laget ved å løse 40 g/l med sodium heksametafosfat i demineralisert vann. Dispergeringsmiddelet ble deretter tilsatt leiren og blandet forsiktig i en blender for å sikre at alle partiklene skilte seg. Leiren og dispergeringsmiddelet ble deretter tilsatt sedimenteringssylinder sammen med vann slik at volumet i sylinderen var ca 1000 ml. Sylinderen ble vendt ca. 60 ganger på 2 minutter, slik at all leiren ble suspendert i vannet. Stoppeklokke ble startet og målinger ble gjort med hydrometer etter faste tidspunkt. Verdien på hydrometeret ble notert og temperaturen til hver måling ble bestemt. Deretter ble en sylinder fylt kun med demineralisert vann og en ny hydrometermåling ble gjort for å få en referanseverdi. Videre ble korreksjonsverdi for vannoverflaten bestemt, som ble brukt i beregningene.



Figur 15: Bilde av sylindere fylt med leireksemplar for bestemmelse av kornstørrelsesfordeling

5.6 Blandingsprosess

Ut ifra prøveblanding med leire og sement ble det besluttet å bruke masseforhold (v/c-tall) 0,4 for alle blandningene. Dette var fordi blandingen med 0,5 masseforhold, ble veldig våt og noe av vannet skilte seg fra det de faste stoffene.

Alle blandingene ble dimensjonert i et Excel-ark tilpasset hver blanding. Se vedlegg D.6-D.18 for blandingskjemaer.

Formlene blandeskjema er basert på:

$$V_{tot} = \sum \frac{m_i}{\rho_i}$$

$$V_{tot} = \frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_v}{\rho_v} + \frac{m_L}{\rho_L} + \frac{m_k}{\rho_k} + \frac{m_{SP}}{\rho_{SP}}$$

$$V_{tot} = m_s \left(\frac{1}{\rho_s} + \frac{K_v}{\rho_v} + \frac{K_L}{\rho_L} + \frac{K_K}{\rho_K} + \frac{K_{SP}}{\rho_{SP}} \right)$$

$$m_i = K_i * m_s$$

Bindemiddelblandingene ble blandet i en Kenwood-kjøkkenmaskin.

1. Oppveing av alle materialene med nøyaktighet på $\pm 0,1$ g
2. De tørre materialene ble tilsatt og blandet sammen i ett minutt med ballongvisp
3. Deretter ble vispen erstattet med "k-beater" som hjelper å blande alt godt sammen
4. Vannet ble tilsatt og det ble blandet i ca. ett minutt
5. Hvis noe av de tørre materialene ikke var blitt blandet inn, ble sidene av bollen skrapet slik at alt materialet ble blandet sammen
6. Etter at materialene var blandet godt, ble behovet for superplastiserende vurdert
7. Hvis blandingen var for tørr ble en liten mengde (0,3% av sementmassen) superplastiserende stoff tilsatt
8. Det superplastiserende stoffet ble blandet inn i ett minutt

5.6.1 Blanding basert på LC³ sement

Tabell 3: Blandings skjema for blandinger med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement

	Lokal leire	Blåleire	Rødleire	Hvit leire	Referanse
Sement (g)	830.1	827.1	831.4	827.3	1563.3
Leire (g)	452.806	451.171	453.467	451.248	0
Kalkstein (g)	226.403	225.585	226.733	225.624	0
Sp (g)	0	2.481	0	0	0
Vann (g)	603.7	601.6	604.6	601.7	625.3

Denne blandingen består av 30% leire, 15 kalkstein og 55% sement. Masseforholdet var 0,4. Etter de tørre stoffene var blandet med vannet, ble behovet for SP stoff vurdert. Der blandingen var for tørr og ikke flytende ble 0,3% av sementmassen med SP stoff tilsatt.

5.6.2 Blanding med leire og sement

Tabell 4: Blandings skjema for blandinger med 30% leire og 70% sement

	Lokal leire	Blåleire	Rødleire	Hvit leire	Referanse
Sement (g)	1066.8	1064.2	1068.4	1062.7	1563.3
Leire (g)	457.216	456.098	457.889	455.432	0
Sp (g)	0	4.560	0	4.554	0
Vann (g)	609.6	604.9	610.5	604.1	625.3

I dette blandings skjemaet ble det brukt 30 % leire og 70% sement, masseforholdet var 0,4. Sement og leire ble blandet sammen med vannet, dersom blandingen var tørr/ikke flytende ble det brukt 0,3% av sementmasse SP stoff for å oppnå tilstrekkelig flytende konsistens.

5.6.3 Blanding med leire, hydratkalk og kalkstein

Tabell 5: Blandings skjema for blandinger med 52,7% leire, 36,8% kalkstein og 10,5% hydratkalk

	Lokal leire	Blåleire	Rødleire	Hvit leire	Referanse
Leire (g)	736.5	731.4	369.1	366.5	0
Sement (g)	0	0	0	0	1563.3
Hydratkalk (g)	514.3	510.7	257.8	255.9	0
Kalkstein (g)	146.7	145.7	73.5	73.0	0
Sp (g)	7.3	29.2	3.7	3.66	0
Vann (g)	559.0	555.2	280.2	278.2	625.3

Denne blandingen består av 52,7% leire, 36,8% hydratkalk og 10,5% kalkstein. I utgangspunktet var masseforholdet 0,4, men der mye SP stoff er brukt er masseforholdet mindre. Spesielt gjelder dette for blandingen med blåleire, hvor mye SP stoff var nødvendig for å oppnå en flytende konsistens.

5.7 Støping av prøvelegemer (NS 12390-2)

Støping og herding av prøvelegemer ble utført iht NS-EN 12390.

Prøvelegemer ble støpt i prisme former som tilfredsstillende kravene som er beskrevet i NS-EN 12390-1:2012 Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former. Det ble brukt metallformer som er laget for å tilfredsstillende kravene i standarden. Grunnet flere prosjekter pågående på samme tid var det kun en begrenset mengde metallformer, det ble derfor i tillegg bruk former laget av treplater som er blitt brukt ved en tidligere anledning til støping av prizmer iht til standarden.

Støpingen av prøvelegemer ble gjort etter NS-EN 12390-2:2009.

Utstyr benyttet:

- Komprimeringsstav i stål
- Skuffel
- Murskje

- Blandebeholder laget av ikke absorberende materiale
- Slikkepott
- Forskalingsolje
- Prismeformer
- Hammer med gummihode

5.7.1 Støpeprosess

1. Formene ble vasket og tørket
2. Formene ble innsmurt med forskalingsolje slik at prismene var lette å ta ut fra formen
3. Formene ble først fylt ca. halvveis deretter komprimert 25 ganger jevnt over med komprimering stav laget av stål
4. Deretter ble formene fylt helt og komprimeringen med stav ble gjentatt
5. Luftbobler ble fjernet ved å slå med gummihammer på siden av formene
6. Avretting og fjerning av overflødig materiale ble gjort med en murskje
7. Til slutt ble formene dekket med plastikk
8. Prismene ble lagret i formene mellom 21-24 timer og ble merket med navn på den aktuelle blandingen

Herding av prismene ble gjort iht NS-EN 12390-2:2009. Prismene ble herdet i vannbad med en temperatur på 21 ± 2 grader °C.

5.8 Testing av prøvelegemer

Hver blanding ble testet etter 7 dager og 28 dager, både for bøyestrekfasthet og trykkfasthet. Hvert prisme ble testet for bøyestrekfasthet til det oppstod brudd, deretter ble de to halve prismene trykktestet. For de to blandingene med sement ble det støpt 4 prizmer for hver blanding, to ble testet etter 7 dager og de resterende etter 28 dager fra støpe tidspunkt. Grunnet begrenset mengde kalsinert leire ble kun støpt to prizmer per blanding av blandingen uten sement.

5.8.1 Testing av bøyestrekfasthet

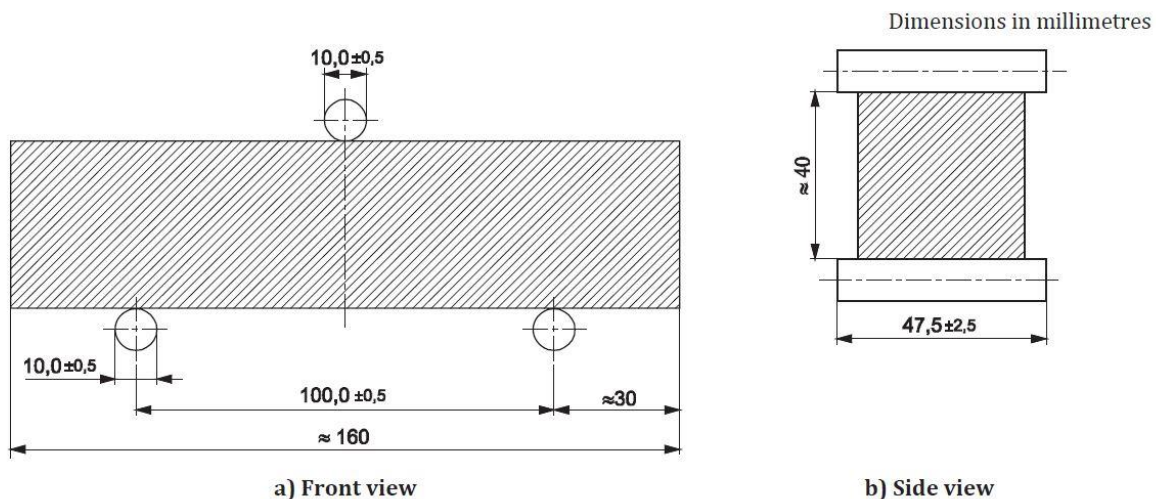
Testingen av de første prismenes bøyestrekfasthet ble gjort iht NS 12390-5. Prismene ble plassert i maskinen slik standarden illustrerer, med oppleggspullene 120 mm fra hverandre og belastningsrullen sentrisk mellom dem.

Belastningshastigheten ble bestemt ut ifra formel i standarden.

Med hastighet for spenningsøkning på 0,04 MPa ble belastningshastigheten $R=14,2$ N/s

Standarden som ble brukt ved testingen av de første prismene (NS-EN 12390-5:2009) er laget for testing av herdet betong. Etter testingen av de første prismene ble det bestemt å utføre de resterende testene iht NS-EN 196-1:2016 Sementprøving. Denne standarden er mer tilpasset prøving av kun bindemiddel og ikke betong. Det ble testet to sett med referanseprismer, en til hver standard.

Hovedforskjellen mellom bestemmelse av bøyestrekfasthet etter NS-EN 12390-5:2009 og NS-EN 196-1:2016 er avstanden mellom oppleggspullene samt belastningshastigheten.



Figur 16: Figur 5 Arrangement of loading for determination of flexural strength - fra NS-EN 196-1:2016 er gjengitt av Markus Bakken, Mostafa Rahimi og Jalil Alizadeh i bacheloroppgave Kalsinert leire som sementerstatning med tillatelse fra Standard Online AS i mai 2019. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no.

Prismene ble tatt ut av vannbad cirka 15 minutter før bøyestrektesten ble utført og dekket med en fuktig klut mens de lå i romtemperatur, dette var for å forhindre uttørking av prøvene. Alle

prøvelegemene ble testet innenfor tidsrommet $7 \text{ d} \pm 2$ timer for 7 dagers test og $28 \text{ d} \pm 8$ timer for 28 dagers test fra vannet ble blandet med de tørre stoffene.

Testene ble utført med en maskin fra Form+Test, Mega 100 denne kan gjøre bøyestrek- og trykktester og er laget spesielt for testing av $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ prizmer. Testen ble utført med midtpunktbelastning og oppleggstrullene ble plassert slik som angitt i NS-EN 196-1:2016.

5.8.1.1 Prosess med testing av bøyestrekfasthet

1. Ta up prizmer av vannbad og dekke dem med en fuktig klut
2. Stille inn antall Newton per sekund prisme skal belastes med (50 N/s)
3. Kontrollere at break detection er aktiv
4. Tilpasse avstand mellom oppleggstruller (100mm)
5. Legge prisme på oppleggstrullene slik som vist i standarden
6. Starte maskinen og la oppleggs- og belastningsrullene legges seg inntil prisme uten å utøve noe kraft på prisme
7. Starte påføringen av last og la den øke til prisme går til brudd
8. Notere ned belastning og nedbøyning ved brudd
9. Legge prisme til side og dokumentere bruddlinjen
10. Dekke de delte prismene med en fuktig klut for å unngå uttørking før trykktest

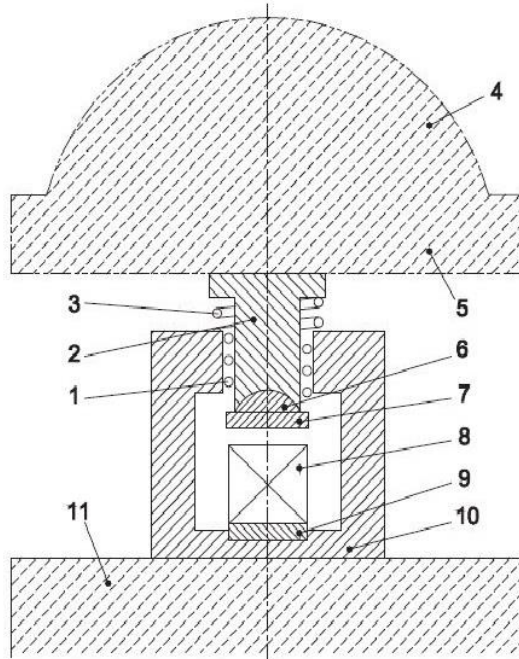
Bøyestrekfastheten til prismene ble bestemt ut ifra formel under, som er gitt i NS-EN 196-1:2016

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * l}{b^3}$$

5.8.2 Testing av trykkfasthet

Testingen av prismenes trykkfasthet ble gjort iht NS-EN 196-1:2016. Samme Form+Test maskin som for bøyestrektest ble brukt.

Testing av trykkfasthet ble utført på de to halve prismene fra bøyestrektesten, forutsatt at de ikke var blitt skadet. Belastningshastigheten ble satt til 2400 N/s slik det står skrevet i standarden.



Key

- 1 ball bearings
- 2 sliding assemble
- 3 return spring
- 4 spherical seating of machine
- 5 upper platen of machine
- 6 spherical seating of the jig
- 7 upper platen of the jig
- 8 specimen
- 9 lower platen of the jig

Figur 17: Figur 6 Typical jig for compressive strength testing - fra NS-EN 196-1:2016 er gjengitt av Markus Bakken, Mostafa Rahimi og Jalil Alizadeh i bacheloroppgave Kalsinert leire som sementerstatning med tillatelse fra Standard Online AS i mai 2019. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no.

Eksempler på godkjente bruddformer etter standard NS-EN 12390-3:2009



Figur 18: Bilde av godkjent bruddform, kalles for C



Figur 19: Bilde av godkjent bruddform, kalles for B

5.8.2.1 Prosess med testing av trykkfasthet

1. Stille inn belastningshastighet (2400 N/s)
2. Kontrollere at break detection er aktiv
3. Plassere det halve prismet sentrisk på test flaten
4. Påføre last til det halve prismet går til brudd
5. Notere ned last ved brudd
6. Fjerne prismet og kontrollere at bruddformen er tilfredsstillende

6. Resultat

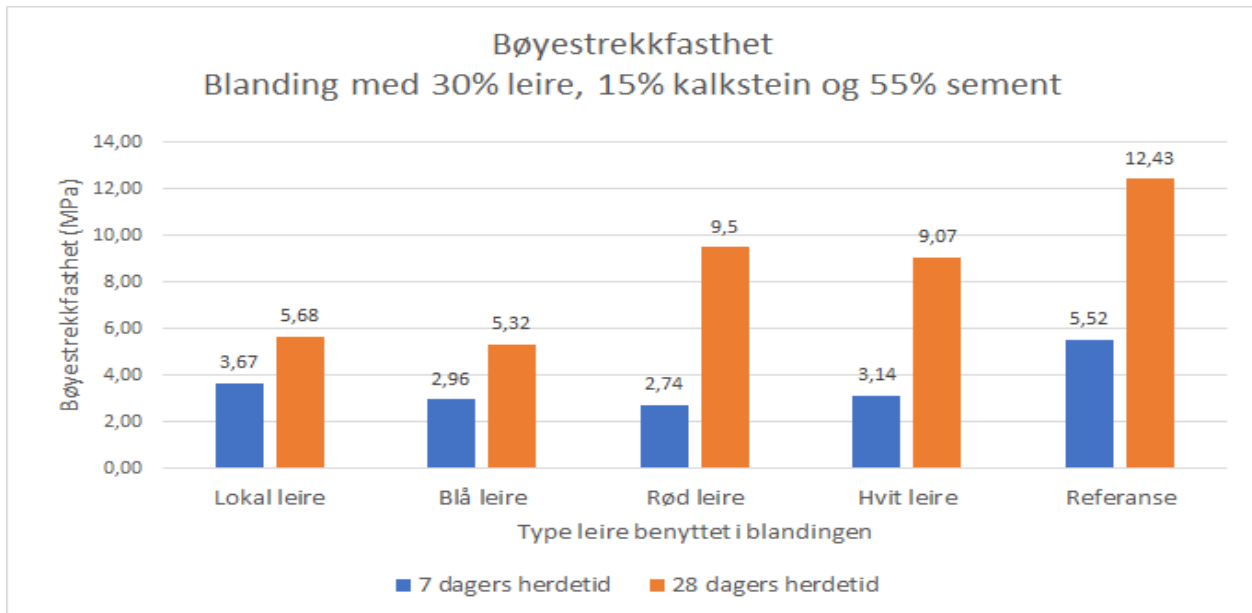
Resultatene for hver type bindemiddel ble fremstilt med et diagram for bøyestrekfasthet og et for trykkfasthet. Hvert diagram viser resultatene fra 7 og 28 dagers test, for alle leirene inkludert referanseprisme. Verdiene er gjennomsnittet av 2 prizmer.

Målinger som er utenfor intervallet gjennomsnitt $\pm 10\%$ ble utelatt, deretter ble dette gjentatt med de gjenværende resultatene, slik som det er beskrevet i NS-EN 196-1:2016.

6.1 Bøyestrekfasthet

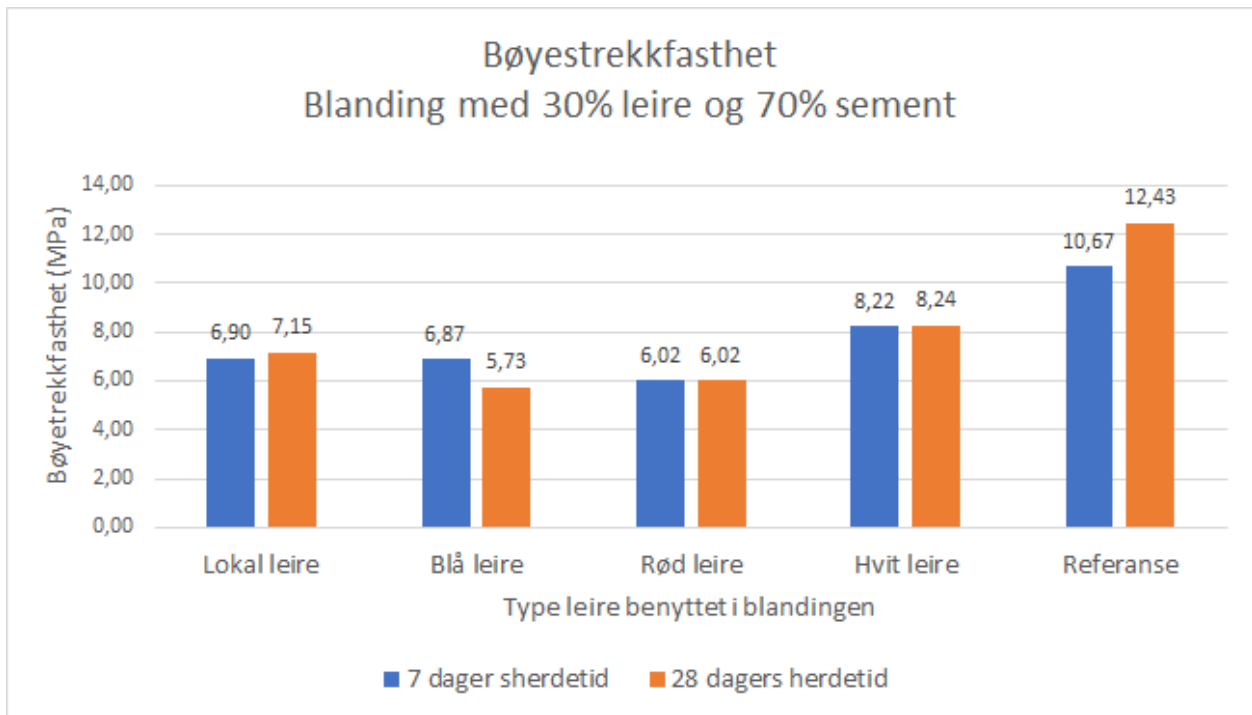
Resultatene fra bøyestrektesten viser at referansen har den høyeste bøyestrekfastheten for samtlige blandinger. Strekkkapasiteten til bindemiddelet i betong er ikke av stor betydning. Når betongkonstruksjoner dimensjoneres regner man med at betongen ikke tåler noen strekkrefter og at alle strekkreftene blir tatt opp av armeringen.

6.1.1 Blanding LC3 (30% leire, 15% kalkstein, og 55% sement)



Figur 20: Bøystrekkfasthet for blandingen med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement (etter 7 og 28 dager)

6.1.2 Blanding med 30% leire og 70% sement

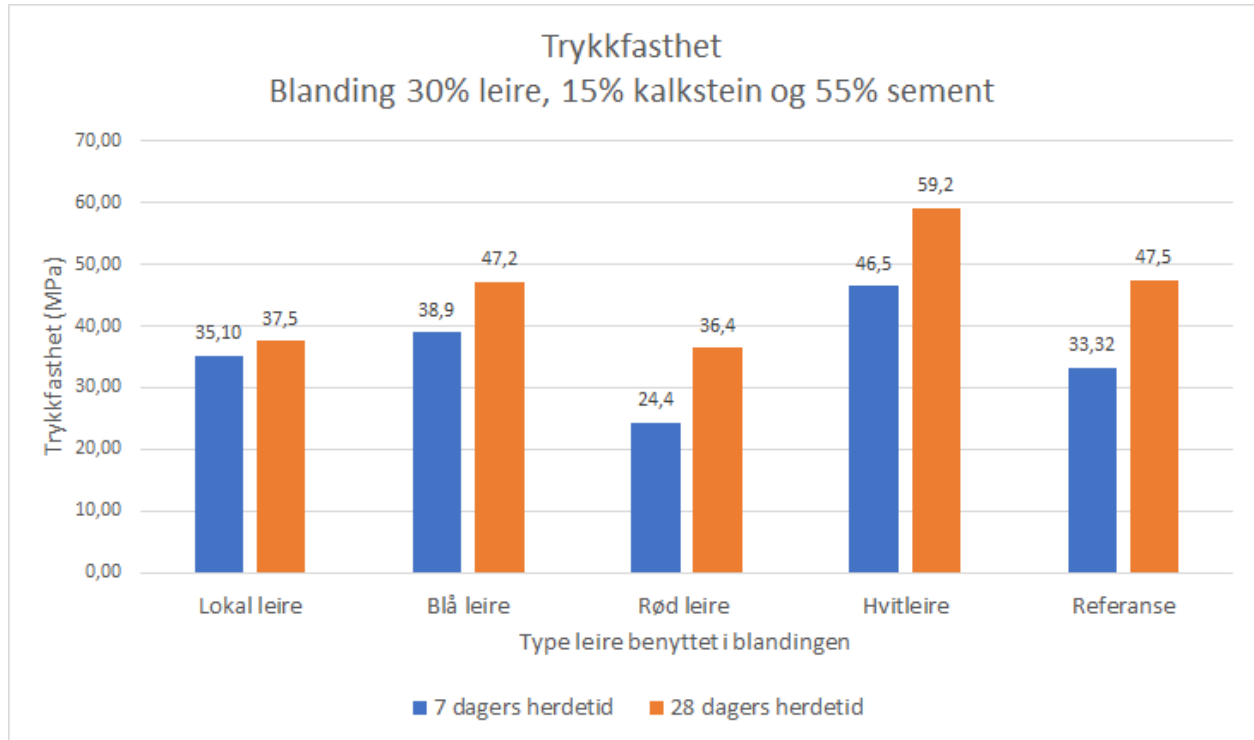


Figur 21: Bøystrekkfasthet for blandingen med 30% leire, og 70% sement (etter 7 og 28 dager)

6.2 Trykkfasthet

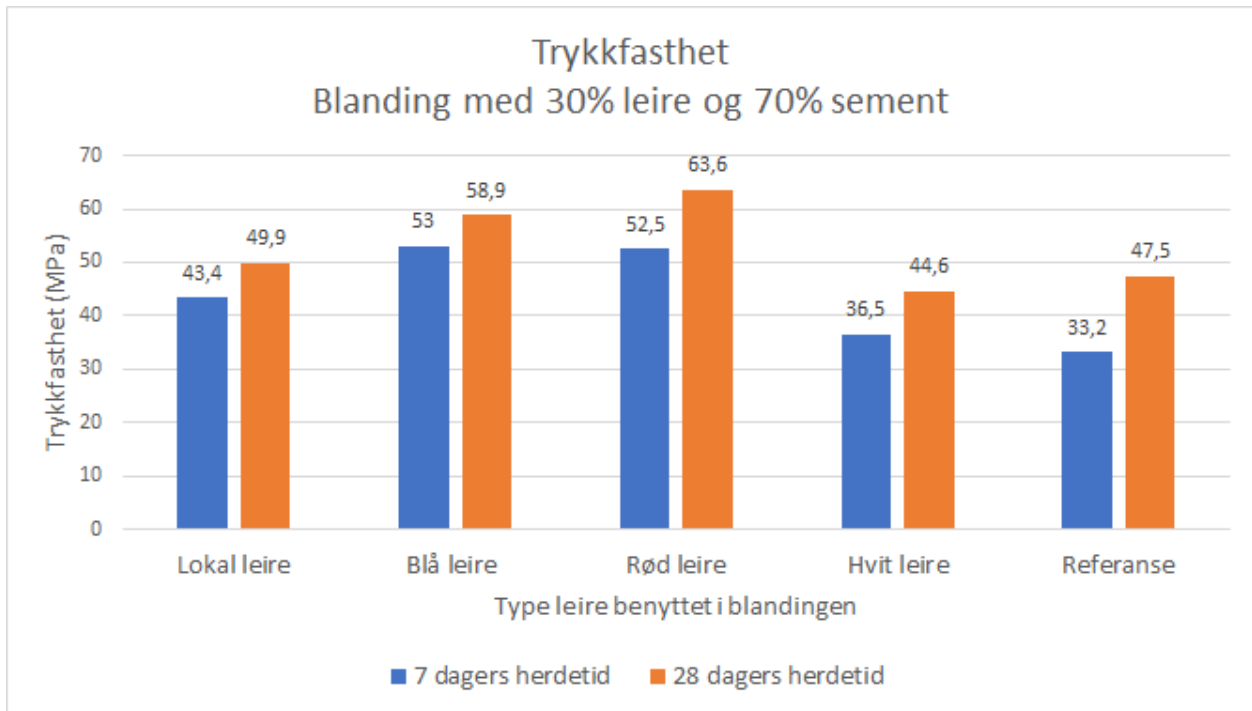
Resultatene fra trykktestene viser at alle blandingene med leirene har oppnådd høyere trykkfasthet enn referansen, for minst en av blandingene. Trykkfasthet er noe av det viktigste når man snakker om betong. Den tidlige fastheten har stor betydning for hva betong kan brukes til.

6.2.1 Blanding LC3 (30% leire, 15% kalkstein, og 55% sement)



Figur 22: Trykkfasthet for blandingen med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement (etter 7 og 28 dager)

6.2.2 Blanding 30% leire og 70% sement



Figur 23: Trykkfasthet for blandingen med 30% leire, og 70% sement (etter 7 og 28 dager)

6.2.3 Lokal leire

Trykkfastheten til blanding med lokal leire og sement er høyere enn referansen både i den tidlige og senere herdefasen. I blandingen med kalkstein har prøveprismene høyere styrke enn referansen etter 7 dager, men er omtrent 10 MPa mindre etter 28 dager.

6.2.4 Blå leire

Resultatene viser at blåleiren har høyere trykkfasthet i blanding med kun sement og leire, enn blandingen som inneholder kalkstein. Med 30% av sementen erstattet med blåleire er trykkfasthet høyere enn referansen både etter 7 og 28 dagers herdetid. Der kalkstein er med i blandingen er trykkfastheten lik som referansen.

6.2.5 Rød leire

Der leiren har erstattet 30% av sementen har prøvestykkene 15-20 MPa høyere trykkfasthet enn referansen. I den andre blandingen med kalkstein har referansen ca. 10 MPa høyere trykkfasthet.

6.2.6 Hvit leire

Der den hvite leiren erstatter 30% av sementen er trykkfastheten lik som referansen både etter 7 og 28 dagers herdetid. Sammen med kalkstein og sement oppnås meget høy trykkfasthet, ca 10-15 MPa høyere enn referansen.

7. Diskusjon

7.1 Diskusjon av metoder og utførelse

Metodene som ble brukt i denne bacheloroppgaven er gjennomført etter beste evne og er basert på norske standarder og andre kilder, som ble brukt for å få en bedre og dypere forståelse av hvordan de aktuelle oppgavene skulle utføres. Denne oppgaven baserer seg både på litteraturstudie og laboratorieundersøkelse. Litteraturstudie har lagt grunnlaget for oppgaven, det er ut ifra tidligere forskning innenfor temaet leire i betong at de forskjellige blandingene er valgt. Laboratorieundersøkelse ble brukt for å teste hypotese og finne ut hvorvidt teorien svekkes eller styrkes.

Mekanisk metode ble benyttet for å evaluere pozzolanaktiviteten til de forskjellige leirene. Andre metoder som kunne vært benyttet er; kjemisk analyse av leirene for å bestemme mengden SiO_2 og Al_2O_3 eller en XRD-analyse hvor opptaket av kalk og leirpartiklene kan undersøkes nærmere. Grunnet begrenset tilgjengelig utstyr er kun mekanisk metode benyttet, men ideelt sett burde flere metoder vært kombinert.

Knusing av leiren ble utført på forskjellige måter, blant annet ved å knuse leire med hammer eller betongklosser. Metoden for å knuse leirene var tidkrevende og det var vanskelig å knuse alle leirene i likt. Derfor har vi valgt å utføre en hydrometertest for å vise partikkelstørrelsene til hver av de kalsinerte leirene. Under utførelse av testene har det også vært nødvendig å bruke ikke-optimale løsninger på grunn av mangel på riktig utstyr, for eksempel manglet maskin for knusing av leire. Siden leirene ble knust manuelt varierte kornstørrelsesfordelingen til hver leire mer enn ønskelig.

Resultatene av hydrometer testene viser at alle leirene hadde mye mindre partikkelstørrelse enn 125 μm . Dette er trolig på grunn av at partikler har satt seg fast i siktene, slik at kun de minste partiklene har gått gjennom sikten. Det er noe usikkerhet knyttet til denne testen grunnet ingen erfaring med metoden.

Alle prøvene utenom referanse inneholder leire med forskjellige egenskaper. Dette skapte en utfordring med å lage en blanding med tilstrekkelig flytbarhet og støpelighet. Det ble gjort en prøvestøping med v/b-forholdet 0,5 og der prøvene var meget flytende og så ut til å ha overflødig vann, og derfor v/b-forholdet 0,4 er valgt for blandingen. Tilsetningsstoffet SP ble brukt ut ifra konsistensen til blandingen, og mengden ble økt gradvis til blandingen var flytende. Behovet for å bruke av SP var minimalt og i de fleste blandingene var ikke tilsetningsstoffet nødvendig.

Et blandingskjema ble utarbeidet ved bruk av de tidligere nevnte ligningene, for hver unike blanding. Siden mengden SP ble vurdert ut ifra blandingenes konsistens, oppstod det små variasjoner i blandingenes masseforhold. Disse variasjonene er så små for blandingene som inneholdt sement, og har liten til ingen betydning. Enkelte av blandingene med kun leire, kalkstein og hydratkalk, var svært tørre og krevde derfor en stor mengde SP for å bli flytende. For disse blandingene har mengden SP vært med på å senke masseforholdet. Det er kun blanding med blåleire som ikke inneholder sement, hvor mengden SP var så stor at masseforholdet var nærmere 0,39 enn 0,40.

Støpeprosessen og komprimering ble gjort ved bruk av komprimeringstav av stål. Denne metoden førte til at hver prøve kan ha forskjellige komprimeringsgrad. Siden det fantes en del luftbobler i prismene så hadde det vært bedre å bruke vibrasjonsbord istedenfor å komprimere prøvene for hånd. Vibrasjonsbordet fører til mindre luftbobler i prøvene og dette gir et større tverrsnitt.

7.2 Diskusjon av resultater

For å skrive en akademisk oppgave er det krav til å benytte metoder som gir høyest mulig validitet og reliabilitet. Dataene som ble samlet for å besvare problemstillingen har en høy validitet. Grunnen til at empirien har en høy gyldighet er at mange relevante artikler er blitt lest fra forskjellige forfattere og databaser.

Empirien har altså gitt høy reliabilitet fordi testene er gjort etter norske og europeiske standarder. Metoden gir begrenset reliabilitet, fordi de ble påvirket av små avvik under støpeprosessen og testingen. Eksempelvis en del luftbobler i prøvene, som kan ha påvirkning på resultatene.

De tre leirene, hvit-, blå-, og rødleire, som ble bestilt på nettet var rensset, men lokal leire ble hentet ut av grunnen uten rensing. Urenhetene i lokaleirene kan ha hatt en negativ innvirkning på fasthetsutviklingen. Den inngående kunnskapen om leirens mineralske og kjemiske sammensetning har vært svært begrenset. Vurderingen av blandingenes pozzolanaktivitet i denne studien vil derfor baseres på resultatene fra de mekaniske testene, hvor prismenes fasthet er en indikator på hvor reaktiv hver leire er i samspill med resten av materialene.

Bøyestrekfasthetberegningene i denne oppgaven har begrenset reliabiliteten på grunn av at hver serie ble testet med kun to prizmer/prøvelegemer og det medfører usikkerhet. Trykkfasthetberegningen gir høyere reliabiliteten på grunn av at hver serie ble testet med fire halve prizmer. Resultatene har økt reliabiliteten med økt antall prøvelegeme for hver blanding.

Et av hovedfokusene våre i denne oppgaven var på trykkfasthetegenskapen til prøvene. I denne oppgaven ble det undersøkt tre forskjellige blandinger for hver leire, for å finne ut hvilken av dem gir høyest trykkfasthet. Blå, lokal og rød leire ga bedre resultat uten kalkstein i blandingen, mens hvit leire ga en høyere trykkfasthet med kalkstein. Det tolkes slik at kalksteinen deltar i reaksjonen med hvit leire, mens den virker som filler og ikke bidrar til økt fasthet med de andre leirene. Resultatene for trykkfastheten til hver leire ble sammenlignet med en referanse med kun sement og v/c-forhold 0,4.

Herdetiden til prøvelegemene har innvirkning på fastheten. Testingen av prøvene etter 7 dagers herdetid i vann viste at det meste av fastheten oppstod tidlig. Siden herdeprosessen fortsetter ble prøvene testet etter 28 dager for å vise fasthetsutviklingen.

Siden de ferske leirene har en lavere pH-verdi enn fersk betong, vil trolig bindemiddel med leire bidra til lav pH-verdi i betong.

7.2.1 Lokal leire

Tabell 6: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med lokal leire

Blanding	Gjennomsnittlig trykkfasthet (MPa)		Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet (MPa)	
	7 dager	28 dager	7 dager	28 dager
30% leire 70% sement	43,4	51,2	6,90	7,15
30% leire, 15% kalkstein 55% sement	35,1	37,5	3,67	5,68
52,7% leire, 26,8% hydratkalk 10,5% kalkstein	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>

Resultatene viser at blandingen uten kalkstein har bedre trykkfasthet, trolig fordi kalksteinen ikke er vært med på å danne mer CSH-gel gjennom pozzolanreaksjonen. Dette kan tolkes som at kalksteinen oppfører seg som filler.

Fastheten øker minimalt fra 7 til 28 dager i blandingen med kalkstein, det meste av fastheten er oppnådd etter 7 dager.

Den lokale leiren ser ut til å være en god erstatning av opp til 30% av sementmengden i bindemiddel. Fra resultatene ser det ikke ut som forurensning i leiren har hatt noen påvirkning på trykkfastheten. Dette betyr at leiren muligens kan benyttes uten behov for bearbeiding.

Resultatene fra lokaleiren er lovende, med tanke på at leiren er norsk og ikke har blitt rensset eller bearbeidet på noen måte. Dette vil ha positiv innvirkning både med tanke på miljø og økonomi.

7.2.2 Blåleire

Tabell 7: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med blåleire

	Gjennomsnittlig trykkfasthet (MPa)		Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet (MPa)	
	7 dager	28 dager	7 dager	28 dager
Blanding				
30% leire 70% sement	53,0	58,9	6,87	5,73
30% leire, 15% kalkstein 55% sement	38,9	47,2	2,96	5,32
52,7% leire, 26,8% hydratkalk 10,5% kalkstein	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	5,50	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	1,90

Blåleiren har høyest trykkfasthet der leiren erstatter 30% av sementmengden, mens der 15% kalkstein brukes minker trykkfastheten til samme nivå som referansen. Her har trolig kalkstein kun oppført seg som filler. Dersom blåleire brukes som sementerstatning så kan det brukes både med og uten kalkstein. Med kalksteinen erstattes mer sement mens uten kalkstein oppnås høyere trykkfasthet.

7.2.3 Rødleire

Tabell 8: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med rødleire

Blanding	Gjennomsnittlig trykkfasthet (MPa)		Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet (MPa)	
	7 dager	28 dager	7 dager	28 dager
30% leire 70% sement	52,5	63,6	6,02	6,02
30% leire, 15% kalkstein 55% sement	24,4	36,4	2,74	9,50
52,7% leire, 26,8% hydratkalk 10,5% kalkstein	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	7,49	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	2,39

Rødleire ga den høyeste trykkfasthet uten kalkstein. Men derimot var det den svakest med kalkstein. Dette kan være på grunn av at rødleire reagerer best med sement, og er ikke veldig aktiv når kalksteinen er i blandingen. Kalksteinen har trolig også her oppført seg mest som filler og har ikke bidratt til å øke fastheten.

7.2.4 Hvit leire

Tabell 9: Gjennomsnittlig resultater for trykk og bøyestrekfasthet for bindemiddel med hvit leire

Blanding	Gjennomsnittlig trykkfasthet (MPa)		Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet (MPa)	
	7 dager	28 dager	7 dager	28 dager
30% leire 70% sement	36,5	44,6	8,22	8,24
30% leire, 15% kalkstein 55% sement	46,5	59,2	3,14	9,07
52,7% leire, 26,8% hydratkalk 10,5% kalkstein	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	20,34	<i>Tilnærmet ingen fasthet</i>	3,36

Resultatene fra prøvene våre viser at blanding av hvit leire med sement har en trykkfasthet lik referansen. Der 15% kalkstein er brukt er trykkfastheten vesentlig høyere.

Bakgrunnen for blandingen med kalkstein er LC³-sement hvor kaolinleire blir brukt. Siden den hvite leiren har oppnådd høyere fasthet med kalkstein har kalksteinen trolig reagert sammen med de andre materialene og vært med på fasthetsutvikling. Denne leiren inneholder tilsetningsstoffer av kaolin (se vedlegg A.3), dette kan være en av grunnene til at den har oppnådde høyere trykkfasthet enn de andre leirene og referansen.

8. Konklusjon

- De fire leirene kan alle brukes som sementerstatning i blanding med 30% leire og 70% sement
- Den hvite leiren som inneholder tilsetningsstoffer av kaolin har vesentlig høyere trykkfasthet i blandingen med, 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement enn de andre leirene og referansen
- Kalsineringen av leirene ved 700 °C i to timer har gitt leirene pozzolaniske egenskaper
- Leirene som ikke inneholder kaolin har høyere trykkfasthet i blandinger uten kalkstein
- Erstatning av en delmengde av sement med kalsinert leire fører til lavere bøyestrekfasthet

9. Forslag til videre forskning

- Se på hvordan leire påvirker pH-verdien i betong, med tanke på korrosjon av armeringsjern
- Utføre kjemisk analyse av leirene for å bestemme dens kjemiske sammensetning
- Utføre LCA analyse (Life Cycle Analysis) for bindemiddel med kalsinert leire
- Se på varmeledningsevnen til betong med kalsinert leire

10. Referanseliste

Standarder:

NS-EN 12390-1:2012 (Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former)

NS-EN 12390-2:2009 (Støping og herding av prøvelegemer for fasthetsprøving)

NS-EN 12390-5:2009 (Prøvelegemers bøyestrekfasthet)

NS-EN ISO 17892-3:2015 (Bestemmelse av korndensitet)

NS-EN 196-1:2016 (Sementprøving, Del 1: Bestemmelse av fasthet)

NS-EN ISO 17892-4:2016 (Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling)

1. ALI, Q. 2011. *Motstand mot kloridinntrengning i betong med blandingsementer, flygeaske og silikastøv*. University of Stavanger, Norway.
2. AVET, F. & SCRIVENER, K. 2018. Hydration Study of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Using Various Grades of Calcined Kaolinitic Clays. *Calcined Clays for Sustainable Concrete*. Springer.
3. BETONGFORENING, M. I. N. 2018. BETONG OG MILJØ.
4. BIZZOZERO, J. & SCRIVENER, K. L. 2015. Limestone reaction in calcium aluminate cement–calcium sulfate systems. 76, 159-169.
5. BYGGFORSK, S. 2016. *Sement. Typer, egenskaper og bruksområder* [Online]. SINTEF Byggforsk. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_bruksomraader [Accessed 11. mars 2019].
6. DANNER, T. & JUSTNES, H. 2018. The Influence of Production Parameters on Pozzolanic Reactivity of Calcined Clays.
7. DHANDAPANI, Y., SAKTHIVEL, T., SANTHANAM, M., GETTU, R. & PILLAI, R. G. 2018. Mechanical properties and durability performance of concretes with Limestone Calcined Clay Cement (LC 3). *Cement and Concrete Research*, 107, 136-151.
8. DING, J.-T. & LI, Z. 2002. Effects of metakaolin and silica fume on properties of concrete. *Acı Materials Journal* [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/279902244>.
9. EGGE, H. 2016. Lager miljøvennlig sement av norsk leire.
10. ELIMBI, A., TCHAKOUTE, H. & NJOPWOUO, D. 2011. Effects of calcination temperature of kaolinite clays on the properties of geopolymer cements. *Construction and Building Materials*, 25, 2805-2812.

11. GUGGENHEIM, S. O. M. R. T. 1995. Definition of clay and clay minerals: Joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committess. *Clays and Clay minelas*.
12. HE, C., OSBAECK, B. & MAKOVICKY, E. 1995. Pozzolan reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects. 25, 1691-1702.
13. HOLLANDERS, S. 2017. Mineralogical study of the pozzolanic properties of calcined clays.
14. KARIM, M., ZAIN, M. F. M., JAMIL, M., LAI, F. & ISLAM, M. 2011. Strength development of mortar and concrete containing fly ash: A review. *International Journal of Physical Sciences*, 6, 4137-4153.
15. KIRKEMO, J. 2011. *Kloridinntrenging i betong*. University of Stavanger, Norway.
16. MAAGE, M. mai 2015. *fasthetsutvikling Betong, regelverk, teknologi og utførelse*. Byggenæring Forlag AS.
17. NATURVERNFORBUNDET. 2014. *Norges klimamål* [Online]. Available: https://naturvernforbundet.no/klima/norsk_klimapolitikk/norges-klimamal-article31620-131.html [Accessed 30.04.2019].
18. NORCEM. 2017. *Sementproduksjon og CO2* [Online]. Available: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2> [Accessed 15.02.19].
19. ONER, A., AKYUZ, S. & YILDIZ, R. 2005. An experimental study on strength development of concrete containing fly ash and optimum usage of fly ash in concrete. 35, 1165-1171.
20. RAADE, G. 2017. *Leirmineraler* [Online]. Available: <https://snl.no/leirmineraler> [Accessed 22. februar 2019].
21. RAMEZANIANPOUR, A. A. 2014. *Cement Replacement Materials: Properties, Durability, Sustainability*, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin.
22. SCRIVENER, K., MARTIRENA, F., BISHNOI, S. & MAITY, S. 2018. Calcined clay limestone cements (LC3). *Cement and Concrete Research*, 114, 49-56.
23. THOMAS, D. J. & JENNINGS, D. H. *The Hydration Reactions* [Online]. Available: http://iti.northwestern.edu/cement/monograph/monograph5_3.html?fbclid=IwAR3Iq9jqNc5fQSy_GDbKc6z_WhQLj-xs2x9nAxAlQUdaaqu8zbOk7Hugxs [Accessed 30.04.2019].
24. THUE, J. V. 2019. *armeringskorrosjon* [Online]. snl.no Available: <https://snl.no/armeringskorrosjon> [Accessed].
25. TOBIAS, D. 2013. Reactivity og Calcined Clays. *Doctoral theses at NTNU*.
26. WALDUM, A. M. & KJELDTSEN, G. 2006. Hydraulisk kalkmørtel. Historie, egenskaper og anvendelse.
27. WALKER, R. & PAVÍA, S. 2011. Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime–pozzolan pastes. *Materials and Structures*, 44, 1139-1150.

28. WINTER, N. *Cement hydration* [Online]. Available: <https://www.understanding-cement.com/hydration.html> [Accessed 30.04.2019].
29. YOUSUF, M., MOLLAH, A., PALTA, P., HESS, T. R., VEMPATI, R. K. & COCKE, D. L. 1995. Chemical and physical effects of sodium lignosulfonate superplasticizer on the hydration of Portland cement and solidification/stabilization consequences. *Cement and Concrete Research*, 25, 671-682.
30. ZAPATA, L. E., PORTELA, G., SUÁREZ, O. M. & CARRASQUILLO, O. 2013. Rheological performance and compressive strength of superplasticized cementitious mixtures with micro/nano-SiO₂ additions. *Construction and Building Materials*, 41, 708-716.
31. ØGAARD, A. F. 2019. Strukturkalking–Effekt på aggregatstabilitet og lettløselig fosfor. *NIBIO Rapport*.

11. Vedlegg

Vedlegg A.1 Sikkerhetsdatablad/ spesifikasjoner for blå leire

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

SIKKERHETS DATABLAD

Utgitt (dato): 29-01-2018

SDS Versjon: 1.0

AVSNITT 1: Identifikasjon av stoffet / stoffblandingen og av selskapet / foretaket

1.1. Produktidentifikator

Handelsnavn: Blåleira, Rødleire, Dekorationsleire

Produkt-nr.: -

1.2. Identifiserte relevante bruksområder for stoffet eller stoffblandingen og bruk som frarådes

Anbefalt bruk: Leira for hobbybrug.

1.3. Opplysninger om leverandøren av sikkerhetsdatabladet

Selskapsopplysninger:

Creotime.com

Rasmus Færchs Vej 23

7500 Holstebro

Tlf.: +45 96 13 30 10

Kontaktperson og mail:

Tina Andresen, info@creotime.com

Sikkerhetsdatablad er forberedt og validert av:

mediator A/S, Centervej 2, DK-6000 Kolding. Konsulent: KN

1.4. Nødtelefonnummer

Giftinformasjonssentralen på tlf.nr.: 22 59 13 00

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

AVSNITT 2: Fareidentifikasjon

2.1. Klassifisering av stoffet eller stoffblandingen

Produktet er ikke merkepliktig i henhold til CLP direktiv 1272/2008.

2.2. Merkingselementer

-

Signalord:

-

2.3. Andre farer

Unngå støvutvikling. Innånding av støv kan virke irriterende på de øvre luftveiene.

Annen merkning:

-

Annet

-

AVSNITT 3: Sammensetning/opplysninger om bestanddeler

3.1./3.2. Stoffer / Stoffblandinger

Innholdsstoff	Index-nr.	CAS/EF-nr.	CLP-klassifisering	w/w %	Note
Quartz (SiO ₂) (< 5 µm)	-	14808-60-7/ 238-878-4	STOT RE 2 ;H373	<10	-

Se fullstendige H-setninger under avsnitt 16.

AVSNITT 4: Førstehjelpstiltak

4.1. Beskrivelse av førstehjelpstiltak

Innånding(Støv): Oppsøk frisk luft. Hold den skadelidende under observasjon. Oppsøk lege ved vedvarende ubehag.

Svelging: Skyll munnen grundig og drikk 1-2 glass vann i små slurker. Oppsøk lege ved vedvarende ubehag.

Hudkontakt: Vask huden med såpe og vann. Oppsøk lege ved vedvarende ubehag.

Øyekontakt: Skyll med vann (bruk helst utstyr til øyevask) inntil irritasjonen går over. Oppsøk lege hvis symptomene ikke forsvinner.

Annen informasjon: Når lege oppsøkes, må sikkerhetsdatabladet eller etiketten vises.

4.2. De viktigste symptomene og virkningene, både akutte og forsinkede

Kan virke lett irriterende på hud og øyne.

4.3. Angivelse av om umiddelbar legehjelp og spesialbehandling er nødvendig

Ingen spesiell.

AVSNITT 5: Brannslukkingstiltak

5.1. Slukningsmidler

Rundt ild: Slokk med pulver, skum, kullsyre eller vanntåke. Bruk ikke vannstråle siden det kan spre brannen.

5.2. Særlige farer knyttet til stoffet eller stoffblandingen

Produktet er ikke direkte brennbart. Unngå innånding av damp og røykgass, oppsøk frisk luft. Ved brann dannes det farlig røykgass. Utsettelse for produkter under nedbryting kan medføre helserisiko.

5.3. Råd for brannmannskap

Hvis det er risiko for eksponering for damper og røykgasser, skal det brukes åndedrettsvern med lufttilførsel.

AVSNITT 6: Tiltak ved utilsiktet utslipp

6.1. Personlige forsiktighetsregler, personlig verneutstyr og nødrutiner

Bruk personlig verneutstyr - se avsnitt 8. Unngå å puste inn og unngå kontakt med øyne.

6.2. Forsiktighetsregler med hensyn til miljø

Unngå unødvendige utslipp til omgivelsene.

6.3. Metoder og materialer for oppsamling og rensing

Søl inndemmes og oppsamles med sand eller annet absorberende materiale og overføres til egnede avfallsbeholdere. Tørk opp mindre utslipp med en klut.

6.4. Henvisning til andre avsnitt

Se avsnitt 13 for kassering.

AVSNITT 7: Håndtering og lagring

7.1. Forsiktighetsregler for sikker håndtering

Se under avsnitt 8 for opplysninger om forholdsregler ved bruk og personlig verneutstyr.

7.2. Vilkår for sikker lagring, herunder eventuelle uforenligheter

Produktet bør oppbevares forsvarlig. Under oppbevaring skal originalemballasjen holdes tett lukket. Oppbevares tørt.

7.3. Særlig(e) sluttanvendelse(r)

Se applikasjonsavsnitt 1

AVSNITT 8: Eksponeringskontroll / personlig verneutstyr

8.1. Kontrollparametre

Forskrift om tiltaks- og grenseverdier-1358,2011 med endringer:

Innholdsstoff	Grense	Anmerking
α-kvarts		
Totalstøv	0,3 mg/m ³	K
Respirabelt	0,1 mg/m ³	K

K = Stoffer som skal betraktes som kreftfremkallende.

DNEL/PNEC:

Ingen data.

8.2. Eksponeringskontroll

Det er ikke en eksponering scenario for dette produktet.

Egnede tiltak for eksponeringskontroll:

Vask hendene før pauser og før toalettbesøk, og når arbeidet er slutt.

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

Personlig verneutstyr:

Åndedrettsvern:	Ikke påkrevd.
Håndvern:	Ikke påkrevd.
Øyevern:	Ikke påkrevd.
Kroppsværn:	Ikke påkrevd.

Begrensning av eksponering av miljøet

Det skal sikres at lokale utslippsbestemmelser overholdes.

AVSNITT 9: Fysiske og kjemiske egenskaper

9.1. Opplysninger om grunnleggende fysiske og kjemiske egenskaper

Utseende:	Grå blå/Grå brun/ Brun leira
Lukt:	Luktfri
Luktterskel:	-
pH-verdi:	7-8
Smeltepunkt/frysepunkt (°C):	>600
Startkokepunkt og kokeområde (°C):	-
Flammepunkt (°C):	-
Fordampningshastighet:	-
Antennelighet (fast stoff, gass):	-
Øvre/nedre antennelighets- eller eksplosjonsgrense:	-
Damptrykk (hPa):	-
Damp tetthet (luft=1):	-
Relativ tetthet:	Ca. 2
Løselighet(er):	Ikke løselig i vann
Fordelingskoeffisient; n-oktanol/vann:	-
Selvantennelsestemperatur (°C):	-
Nedbrytningstemperatur (°C):	-
Viskositet:	-
Eksplosive egenskaper:	-
Oksidasjonsegenskaper:	-

9.2. Andre opplysninger

Fettløselighet:	-
Ledningsevne:	-

AVSNITT 10: Stabilitet og reaktivitet

10.1. Reaktivitet

Ikke reaktivt.

10.2. Kjemisk stabilitet

Produktet er stabilt når det brukes i henhold til leverandørens anvisninger.

10.3. Mulighet for farlige reaksjoner

Ingen kjente.

10.4. Forhold som skal unngås

Ingen kjente.

10.5. Uforenlige materialer

Ingen kjente.

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

10.6. Farlige nedbrytningsprodukter

Ingen ved de anbefalte oppbevaringsforhold.

AVSNITT 11: Toksikologiske opplysninger

11.1. Opplysninger om toksikologiske virkninger

Stoff	Opptaksvej	Art	Test	Resultat
Ingen data	-	-	-	-

Symptomer

Innånding: Innånding av støv kan virke irriterende på de øvre luftveiene.

Svelging: Svelging av større mengder kan gi ubehag.

Hudkontakt: Kan virke lett irriterende.

Øyekontakt: Kan virke irriterende på øyet.

Langsiktige effekter:

Ingen kjente.

AVSNITT 12: Økologiske opplysninger

12.1. Giftighet

Stoff	Testens varighet	Art	Test	Resultat
Ingen data	-	-	-	-

12.2. Persistens og nedbrytbarhet

Stoff	Nedbrytning i vannmiljøet	Test	Resultat
Ingen data	-	-	-

12.3. Bioakkumuleringsevne

Stoff	Bioakkumulasjonspotensial	LogPow	BCF
Ingen data	-	-	-

12.4. Mobilitet i jord

-

12.5. Resultater av PBT- og vPvB vurdering

Produktet tilfredsstillter ikke kriteriene for PBT eller vPvB.

12.6. Andre skadevirkninger

Ingen kjente.

AVSNITT 13: Sluttbehandling

13.1. Avfallsbehandlingsmetoder

Produktet er ikke farlig avfall i henhold til Avfallskunngjøringen. Det anbefales at spill og avfall bortskaffes via den kommunale avfallsordning med nedenstående spesifikasjoner.

Avfallskode EAL
20 03 99

Norsk avfallsstoffnummer
-

Særlig merking:

-

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

Forurennet emballasje:

Emballasje med restinnhold av produktet skal avhendes etter samme bestemmelser som produktet.

AVSNITT 14: Transportopplysninger

Produktet dekkes ikke av reglene for transport av farlig gods på vei og sjø i henhold til ADR og IMDG.
14.1 -14.4.

-

14.5. Miljøfare

-

14.6. Særskilte forholdsregler for brukeren

-

14.7. Transporteres i løs form i henhold til tillegg II av MARPOL 73/78 og IBC-koden
Ikke relevant.

AVSNITT 15: Opplysninger om regelverk

15.1. Særlige bestemmelser/særskilt lovgivning om sikkerhet, helse og miljø for stoffet eller stoffblandingen

Kilder:

Europaparlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1907/2006 av 18. desember 2006 om registrering, evaluering, autorisasjon og restriksjoner av kjemikalier (REACH), om opprettelse av et europæisk kjemikalieagentur og om endring av direktiv 1999/45/EF og opphevelse av Rådets forordning (EØF) nr. 793/93 og Kommissjonens forordning (EF) nr. 1488/94 og Rådets direktiv 76/769/EØF og Kommissjonens direktiv 91/155/EØF, 93/67/EF, 93/105/EF og 2000/21/EF, med endringer.

Forskrift 2004 nr. 922 om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter (Produktforskriften) med endringer.

Forskrift om klassifisering, merking og emballering av stoffer og stoffblandinger (CLP), 16.06.2012 nr. 622, med endringer.

Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften). 01.06 2004 nr. 930, med endringer.

Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier) 06.12.2011 nr. 1358 med endringer.

Forskrift om organisering, ledelse og medvirkning 06.12.2011 nr. 1355 med endringer.

Anvendelsesbegrensninger:

-

Krav om særlig utdanning:

-

Annen merkning:

-

15.2. Vurdering av kjemikaliesikkerhet

Ingen.

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

AVSNITT 16: Andre opplysninger

Annen informasjon:

C&L inventory.

ECHA – registered substances.

Harmonisert klassifisering - Europaparlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1272/2008 av 16. desember 2008 (CLP).

Fullstendig tekst for H-setninger som det refereres til i avsnitt 2+3:

H373 - Kan forårsake organskader ved langvarig eller gjentatt eksponering.

Annet

Opplysningene i dette sikkerhetsbladet gjelder kun produktet nevnt i avsnitt 1 og er ikke nødvendigvis gjeldende ved bruk sammen med andre produkter.

Endringer er blitt gjort i følgende avsnitt:

-

Dette databladet erstatter versjon:

-

Vedlegg A.2 Sikkerhetsdatablad/ spesifikasjoner for rød leire

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

SIKKERHETS DATABLAD

Utgitt (dato): 29-01-2018

SDS Versjon: 1.0

AVSNITT 1: Identifikasjon av stoffet / stoffblandingen og av selskapet / foretaket

1.1. Produktidentifikator

Handelsnavn: Blåleira, Rødleire, Dekorationsleire

Produkt-nr.: -

1.2. Identifiserte relevante bruksområder for stoffet eller stoffblandingen og bruk som frarådes

Anbefalt bruk: Leira for hobbybrug.

1.3. Opplysninger om leverandøren av sikkerhetsdatabladet

Selskapsopplysninger:

Creotime.com

Rasmus Færchs Vej 23

7500 Holstebro

Tlf.: +45 96 13 30 10

Kontaktperson og mail:

Tina Andresen, info@creotime.com

Sikkerhetsdatablad er forberedt og validert av:

mediator A/S, Centervej 2, DK-6000 Kolding. Konsulent: KN

1.4. Nødtelefonnummer

Giftinformasjonssentralen på tlf.nr.: 22 59 13 00

AVSNITT 2: Fareidentifikasjon

2.1. Klassifisering av stoffet eller stoffblandingen

Produktet er ikke merkepliktig i henhold til CLP direktiv 1272/2008.

2.2. Merkingselementer

-

Signalord:

-

2.3. Andre farer

Unngå støvutvikling. Innånding av støv kan virke irriterende på de øvre luftveiene.

Annen merkning:

-

Annet

-

AVSNITT 3: Sammensetning/opplysninger om bestanddeler

3.1./3.2. Stoffer / Stoffblandinger

Innholdsstoff	Index-nr.	CAS/EF-nr.	CLP-klassifisering	w/w %	Note
Quartz (SiO ₂) (< 5 µm)	-	14808-60-7/ 238-878-4	STOT RE 2 ;H373	<10	-

Se fullstendige H-setninger under avsnitt 16.

AVSNITT 4: Førstehjelpstiltak

4.1. Beskrivelse av førstehjelpstiltak

Innånding(Støv): Oppsøk frisk luft. Hold den skadelidende under observasjon. Oppsøk lege ved vedvarende ubehag.

Svelging: Skylt munnen grundig og drikk 1-2 glass vann i små slurker. Oppsøk lege ved vedvarende ubehag.

Hudkontakt: Vask huden med såpe og vann. Oppsøk lege ved vedvarende ubehag.

Øyekontakt: Skylles med vann (bruk helst utstyr til øyevask) inntil irritasjonen går over. Oppsøk lege hvis symptomene ikke forsvinner.

Annen informasjon: Når lege oppsøkes, må sikkerhetsdatabladet eller etiketten vises.

4.2. De viktigste symptomene og virkningene, både akutte og forsinkede

Kan virke lett irriterende på hud og øyne.

4.3. Angivelse av om umiddelbar legehjelp og spesialbehandling er nødvendig

Ingen spesiell.

AVSNITT 5: Brannslukkingstiltak

5.1. Slukningsmidler

Rundt ild: Slukk med pulver, skum, kullsyre eller vanntåke. Bruk ikke vannstråle siden det kan spre brannen.

5.2. Særlige farer knyttet til stoffet eller stoffblandingen

Produktet er ikke direkte brennbart. Unngå innånding av damp og røykgass, oppsøk frisk luft. Ved brann dannes det farlig røykgass. Utsettelse for produkter under nedbryting kan medføre helsesisiko.

5.3. Råd for brannmannskap

Hvis det er risiko for eksponering for damper og røykgasser, skal det brukes åndedrettsvern med lufttilførsel.

AVSNITT 6: Tiltak ved utilsiktet utslipp

6.1. Personlige forsiktighetsregler, personlig verneutstyr og nødrutiner

Bruk personlig verneutstyr - se avsnitt 8. Unngå å puste inn og unngå kontakt med øyne.

6.2. Forsiktighetsregler med hensyn til miljø

Unngå unødvendige utslipp til omgivelsene.

6.3. Metoder og materialer for oppsamling og rensing

Søl inndemmes og oppsamles med sand eller annet absorberende materiale og overføres til egnede avfallsbeholdere. Tørk opp mindre utslipp med en klut.

6.4. Henvisning til andre avsnitt

Se avsnitt 13 for kassering.

AVSNITT 7: Håndtering og lagring

7.1. Forsiktighetsregler for sikker håndtering

Se under avsnitt 8 for opplysninger om forholdsregler ved bruk og personlig verneutstyr.

7.2. Vilkår for sikker lagring, herunder eventuelle uforenligheter

Produktet bør oppbevares forsvarlig. Under oppbevaring skal originalemballasjen holdes tett lukket.

Oppbevares tørt.

7.3. Særlig(e) sluttanvendelse(r)

Se applikasjonsavsnitt 1

AVSNITT 8: Eksponeringskontroll / personlig verneutstyr

8.1. Kontrollparametre

Forskrift om tiltaks- og grenseverdier-1358,2011 med endringer:

Innholdsstoff	Grense	Anmerking
α-kvarts		
Totalstøv	0,3 mg/m ³	K
Respirabelt	0,1 mg/m ³	K

K = Stoffer som skal betraktes som kreftfremkallende.

DNEL/PNEC:

Ingen data.

8.2. Eksponeringskontroll

Det er ikke en eksponering scenario for dette produktet.

Egnede tiltak for eksponeringskontroll:

Vask hendene før pauser og før toalettbesøk, og når arbeidet er slutt.

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

Personlig verneutstyr:

Åndedrettsvern:	Ikke påkrevd.
Håndvern:	Ikke påkrevd.
Øyevern:	Ikke påkrevd.
Kroppsvern:	Ikke påkrevd.

Begrensning av eksponering av miljøet

Det skal sikres at lokale utslippsbestemmelser overholdes.

AVSNITT 9: Fysiske og kjemiske egenskaper

9.1. Opplysninger om grunnleggende fysiske og kjemiske egenskaper

Utseende:	Grå blå/Grå brun/ Brun leira
Lukt:	Luktfri
Luktterskel:	-
pH-verdi:	7-8
Smeltepunkt/frysepunkt (°C):	>600
Startkokepunkt og kokeområde (°C):	-
Flammepunkt (°C):	-
Fordampningshastighet:	-
Antennelighet (fast stoff, gass):	-
Øvre/nedre antennelighets- eller eksplosjonsgrense:	-
Damptrykk (hPa):	-
Damptetthet (luft=1):	-
Relativ tetthet:	Ca. 2
Løselighet(er):	Ikke løselig i vann
Fordelingskoeffisient; n-oktanol/vann:	-
Selvantennelsestemperatur (°C):	-
Nedbrytningstemperatur (°C):	-
Viskositet:	-
Eksplosive egenskaper:	-
Oksidasjonsegenskaper:	-

9.2. Andre opplysninger

Fettløselighet:	-
Ledningsevne:	-

AVSNITT 10: Stabilitet og reaktivitet

10.1. Reaktivitet

Ikke reaktivt.

10.2. Kjemisk stabilitet

Produktet er stabilt når det brukes i henhold til leverandørens anvisninger.

10.3. Mulighet for farlige reaksjoner

Ingen kjente.

10.4. Forhold som skal unngås

Ingen kjente.

10.5. Uforenlige materialer

Ingen kjente.

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

10.6. Farlige nedbrytningsprodukter

Ingen ved de anbefalte oppbevaringsforhold.

AVSNITT 11: Toksikologiske opplysninger

11.1. Opplysninger om toksikologiske virkninger

Stoff	Opptaksvej	Art	Test	Resultat
Ingen data	-	-	-	-

Symptomer

Innånding: Innånding av støv kan virke irriterende på de øvre luftveiene.

Svelging: Svelging av større mengder kan gi ubehag.

Hudkontakt: Kan virke lett irriterende.

Øyekontakt: Kan virke irriterende på øyet.

Langsiktige effekter:

Ingen kjente.

AVSNITT 12: Økologiske opplysninger

12.1. Giftighet

Stoff	Testens varighet	Art	Test	Resultat
Ingen data	-	-	-	-

12.2. Persistens og nedbrytbarhet

Stoff	Nedbrytning i vannmiljøet	Test	Resultat
Ingen data	-	-	-

12.3. Bioakkumuleringsevne

Stoff	Bioakkumulasjonspotensial	LogPow	BCF
Ingen data	-	-	-

12.4. Mobilitet i jord

-

12.5. Resultater av PBT- og vPvB vurdering

Produktet tilfredsstiller ikke kriteriene for PBT eller vPvB.

12.6. Andre skadevirkninger

Ingen kjente.

AVSNITT 13: Sluttbehandling

13.1. Avfallsbehandlingsmetoder

Produktet er ikke farlig avfall i henhold til Avfallskunngjøringen. Det anbefales at spill og avfall bortskaffes via den kommunale avfallsordning med nedenstående spesifikasjoner.

Avfallskode EAL
20 03 99

Norsk avfallsstoffnummer
-

Særlig merking:

-

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

Forurennet emballasje:

Emballasje med restinnhold av produktet skal avhendes etter samme bestemmelser som produktet.

AVSNITT 14: Transportopplysninger

Produktet dekkes ikke av reglene for transport av farlig gods på vei og sjø i henhold til ADR og IMDG.

14.1 -14.4.

-

14.5. Miljøfare

-

14.6. Særskilte forholdsregler for brukeren

-

14.7. Transporteres i løs form i henhold til tillegg II av MARPOL 73/78 og IBC-koden
Ikke relevant.

AVSNITT 15: Opplysninger om regelverk

15.1. Særlige bestemmelser/særskilt lovgivning om sikkerhet, helse og miljø for stoffet eller stoffblandingen

Kilder:

Europaparlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1907/2006 av 18. desember 2006 om registrering, evaluering, autorisasjon og restriksjoner av kjemikalier (REACH), om opprettelse av et europeisk kjemikalieagentur og om endring av direktiv 1999/45/EF og opphevelse av Rådets forordning (EØF) nr. 793/93 og Kommissjonens forordning (EF) nr. 1488/94 og Rådets direktiv 76/769/EØF og Kommissjonens direktiv 91/155/EØF, 93/67/EF, 93/105/EF og 2000/21/EF, med endringer.

Forskrift 2004 nr. 922 om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter (Produktforskriften) med endringer.

Forskrift om klassifisering, merking og emballering av stoffer og stoffblandinger (CLP), 16.06.2012 nr. 622, med endringer.

Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften). 01.06 2004 nr. 930, med endringer.

Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier) 06.12.2011 nr. 1358 med endringer.

Forskrift om organisering, ledelse og medvirkning 06.12.2011 nr. 1355 med endringer.

Anvendelsesbegrensninger:

-

Krav om særlig utdanning:

-

Annen merkning:

-

15.2. Vurdering av kjemikaliesikkerhet

Ingen.

Utarbeidet etter av EU forordninga 1907/2006 (REACH)

AVSNITT 16: Andre opplysninger

Annen informasjon:

C&L inventory.

ECHA – registered substances.

Harmonisert klassifisering - Europaparlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1272/2008 av 16. desember 2008 (CLP).

Fullstendig tekst for H-setninger som det refereres til i avsnitt 2+3:

H373 - Kan forårsake organskader ved langvarig eller gjentatt eksponering.

Annet

Opplysningene i dette sikkerhetsbladet gjelder kun produktet nevnt i avsnitt 1 og er ikke nødvendigvis gjeldende ved bruk sammen med andre produkter.

Endringer er blitt gjort i følgende avsnitt:

-

Dette databladet erstatter versjon:

-

Vedlegg A.3 Kjemiske analyse/ spesifikasjoner for hvit leire.




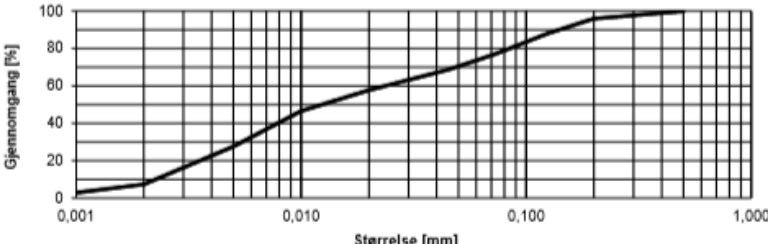
Technisches Datenblatt

Rohstoff Nr.	11 bzw. 111*	Brenntemperatur:	1000-1300°C		
Bez.:	Steinzeug-Dreh- und Stanzmasse, weiß, unschamottiert				
	1000°C	1100°C	1200°C	1300°C	Chemische Analyse (geglüht)
Brennschwindung:	-0,3 %	3,2 %	5,8 %	5,6 %	SiO ₂ 72,0 %
Gesamtschwindung:	6,0 %	9,2 %	11,6 %	11,5 %	Al ₂ O ₃ 22,9 %
Wasseraufnahme:	16,0 %	9,4 %	2,8 %	0,3 %	TiO ₂ 1,3 %
Brennfarbe:	weiß	weiß	weiß	grau-weiß	Fe ₂ O ₃ 0,9 %
Wärmeausdehnungskoeffizienten bei verschiedenen Anwendungstemperaturen in 10 ⁻⁶ m/(m x K)					CaO 0,1 %
	1000°C	1100°C	1200°C	1300°C	MgO 0,3 %
WAK _{20-400°C} :	4,4	5,1	5,6	5,4	Na ₂ O 0,1 %
WAK _{20-600°C} :	5,1	5,7	6	5,9	K ₂ O 2,4 %
WAK _{20-600°C} :	6,4	6,9	6,9	6,4	GV (6,9 %)
Trockenschwindung:	6,2 %				
Trockenbiegefestigkeit:	5,6 N/mm ²				
Anmachwassergehalt:	26,6 %				


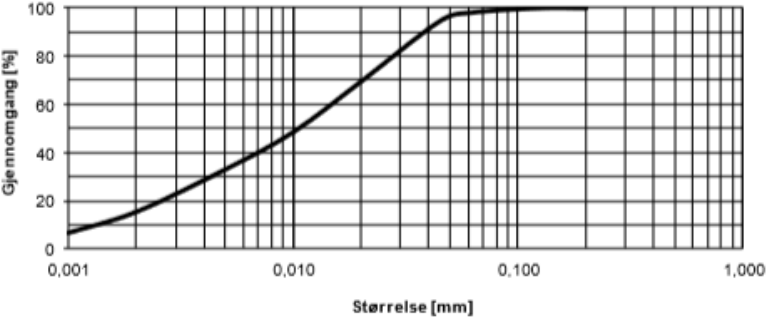
Die Masse enthält Zusätze von Kaolin.
 Die Masse ist auch mit wahlweise feinen (11 py-F) oder groben Spots (11 py-G) erhältlich.
 * Die Variante 11 wird naßaufbereitet, die Variante 111 halbnaß.

Die angegebenen Daten sind Durchschnittswerte. Verkauf erfolgt nach Muster und zu unseren Liefer- und Zahlungsbedingungen.

Vedlegg A.4 Produktdatablad/ spesifikasjoner for hydratkalk.

Produktdatablad HYDRATKALK VK						
Franzefoss Minerals AS Postboks 53 NO-1309 Rud Telefon : +47 05255 E-post, Web: post@kalk.no www.kalk.no						
Materiale: Hydratkalk Ca(OH) ₂		Produsent: Verdalskalk AS, avd Hylla Råmaterial: Kalkstein fra Tromsdalen i Verdal		Fremstilt: Brenning av CaCO ₃ til CaO (1000°C i sjaktovn) o Versjon: 1/19		
Reg.nr.: Deklarasjon - Produktregistrert 032178 REACH nr 01-2110475151-45-0048						
Anvendelse: Ulrike industriformål						
Krav: -						
Parameter	Metode	Enhet	Statistikk		Krav	
			Snitt	s	L	H
Ca(OH) ₂	Våtkjemisk	%	95	1,4	-	-
CaO total		%	74	0,5	-	-
MgO		%	0,5	0,02	-	-
SiO ₂		%	0,78	0,31	-	-
Al ₂ O ₃		%	0,49	0,2	-	-
Fe ₂ O ₃	WD-XRF	%	0,055	0,0731	-	-
MnO		%	0,001	0,0	-	-
K ₂ O		%	0,022	0,0054	-	-
S		%	0,04	0,002	-	-
Masstetthet	Pyknometer	[kg/dm ³]	2,24	-	-	-
Vanninnhold	Karl Fisher	%	0,90	0,18	-	-
Cl	Klor	Våtkjemisk	<0,005	0,0	-	-
Hg	Kvikksølv	AAS	<0,005	-	-	-
As	Arsen		4	1,1	-	-
Pb	Bly		<4	-	-	-
Cd	Kadmium		0,17	0,068	-	-
B	Bor		<20	-	-	-
Cu	Kobber	ICP-AES	2,8	1,57	-	-
Na	Natrium		<400	-	-	-
Zn	Sink		26	4,4	-	-
Ni	Nikkel		<2	-	-	-
Cr	Krom		<2	-	-	-
Se	Selen		12,0	4,47	-	-
0,001 mm		%	3	0,4	-	-
0,002 mm		%	7	1,6	-	-
0,005 mm		%	28	3,3	-	-
0,010 mm		%	47	4,7	-	-
0,020 mm		%	58	5,5	-	-
0,045 mm		%	80	5,1	-	-
0,053 mm	Microtrac	%	74	4,6	-	-
0,075 mm		%	78	4,4	-	-
0,100 mm		%	84	3,8	-	-
0,125 mm		%	88	3,2	-	-
0,200 mm		%	98	1,7	-	-
0,500 mm		%	100	0,0	-	-
Kornfordeling						
						
Råmateriale: Råmaterialet er et naturprodukt med variasjoner innenfor visse grenser						
Levering: Bulk, Storsekk, Sekk						
Volumvekt: 0,4-0,5 [kg/dm ³]						
Lagring: Produktet må lagres tørt						
SDS: Se produktets sikkerhetsdatablad for informasjon angående helse, miljø og sikkerhet. Les denne informasjonen og iverksett eventuelle sikkerhetstiltak før produktet tas i bruk.						

Vedlegg A.5 Produktdatablad/ spesifikasjoner for kalkstein.

Produktdatablad							
BETOFILL VK 50							
Franzefoss Minerals AS Postboks 53 NO-1309 Rud Telefon : +47 05255 E-post, Web: post@kalk.no www.kalk.no				 FRANZEFOSSE MINERALS			
Materiale:	Kalk CaCO ₃		Produsent:	Verdalskalk AS, avd Høvna			
Reg.nr.:	Sertifikat CPR	1111-CPR-0108	Råmateriale:	Kalkstein fra Tromsdalen i Verdal			
	Produktregistrert	-	Fremstilt:	Nedmaling av kalkstein			
	REACH nr	-	Versjon:	1/19			
Anvendelse:	Tilslag for betong (system 2+)						
Krav:	NS-EN 12620: Tilslag for betong						
Parameter	Metode	Enhet	Statistikk				Krav
			Snitt	s	L	H	
CaO	Kalsiumoksid	WD-XRF	[%]	55,5	0,26	-	-
MgO	Magnesiumoksid	WD-XRF	[%]	0,4	0,15	-	-
Ca	Kalsium	Beregnet fra	[%]	40	-	-	-
Mg	Magnesium	WD-XRF	[%]	0,2	-	-	-
Klorider			[%]	<0,005	-	-	-
Syreløselige Sulfater	Våtkjemisk		[%]	0,06	-	-	-
Totalt innhold av svovel			[%]	0,01	-	-	-
Alkali silika reaktivitet			[%]	0	-	-	-
Vanninnhold	NS-EN 12048		[%]	<0,2	-	-	-
Massetetthet	Pyknometer	[kg/dm ³]		2,7	-	-	-
0,001 mm			[%]	6,9	0,8	-	-
0,002 mm			[%]	18	1,8	-	-
0,005 mm			[%]	33	1,0	-	-
0,010 mm			[%]	49	1,2	-	-
0,020 mm	Microtrac		[%]	70	1,3	-	-
0,045 mm			[%]	95	0,8	-	-
0,063 mm			[%]	98	0,6	70	100
0,125 mm			[%]	100	0,0	85	100
0,200 mm			[%]	100	0,0	-	-
Kornfordeling							
							
Råmateriale:	Råmaterialet er et naturprodukt med variasjoner innenfor visse grenser						
Levering:	Bulk, Storsekk, Sekk						
Volumvekt:	0,95-1,05 [kg/dm ³]						
Lagring:	Produktet må oppbevares tørt						
SDS:	Se produktets sikkerhetsdatablad for informasjon angående helse, miljø og sikkerhet. Les denne informasjonen og iverksett eventuelle sikkerhetstiltak før produktet tas i bruk.						

Vedlegg A.6 Sikkerhetsdatablad/ spesifikasjoner for superplaserende materiler SP



BESKRIVELSE

Dynamon SX-130 er et svært effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymere.

Produktet tilhører **Dynamon-systemet** basert på den Mapei-utviklede DPP-teknologien (DPP = Designed Performance Polymers), der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål.

Dynamon-systemet er utviklet på basis av Mapeis egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRÅDER

Dynamon SX-130 er et superplastiserende tilsetningsstoff som brukes for å øke støpeligheten og/eller redusere tilsatt vannmengde.

Dynamon SX-130 er en **Dynamon**-variant med høyere aktiv andel polymerer som gjør at en ved normaldoseringer (0,3 - 1,2 %) får vesentlig større vannreduksjon enn andre **Dynamon**-produktene. Produktet egner seg derfor spesielt til produsenter som har større blandemaskiner kombinert med stor doseringsnøyaktighet.

Alle **Dynamon**-produktene skiller seg vesentlig fra superplastiserende tilsetningsstoffer basert på sulfonerte melaminer eller naftalener, og også fra førstegenerasjon akrylbaserte polymerer gjennom sin betydelig høyere effektivitet som vannreducerer. For høye doseringer kan medføre at betongen separerer.

Dynamon SX-130 kan gi høyere tidligfasthet også ved lavere temperaturer enn andre SP-stoffer.

Vi anbefaler alltid prøvestøper med aktuelle parametere.

Den doseringsmengde som trengs for å oppnå en bestemt støpelighet vil være vesentlig lavere for **Dynamon SX-130** enn for tidligere SP-stoffer.

Til forskjell fra konvensjonelle melamin- eller naftalenbaserte superplastiserende tilsetningsstoffer, utvikler **Dynamon SX-130** maksimal effekt uavhengig av tilsetningstidspunkt, men tilsetningstidspunktet kan påvirke nødvendig blandetid.

Vi anbefaler at **Dynamon SX-130** tilsettes etter at blandevannet er inne; dette gjør at blandetiden generelt vil være kortest. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandeutstyr.

TEKNISKE EGENSKAPER

Dynamon SX-130 er en vannløsning av aktive akrylpolymere som effektivt dispergerer (løser opp) sementklaser.

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på tre måter:

1. For å redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet. Lavere v/c-forhold gir høyere fasthet, tetthet og bestandighet i betongen.
2. For å forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme v/c-forhold. Fastheten forblir dermed den samme, men muliggjør forenklet utstøping.

Dynamon SX-130

3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Gjennom denne metoden kan en blant annet redusere kostnadene (mindre sement), redusere betongens svinnpotensial (mindre vann) og redusere faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydrasjonsvarme. Spesielt er denne siste effekten viktig ved betonger med større sementmengder.

KOMPATIBILITET MED ANDRE PRODUKTER

Dynamon SX-130 lar seg kombinere med andre Mapei tilsetningsstoffer, som f.eks styrkingsakselererende stoffer som **Mapefast** og styrkningsretarderende stoffer som **Mapetard**.

Produktet lar seg også kombinere med luftinnførende tilsetningsstoffer for produksjon av frostbestandig betong, f.eks. **Mapeair** (type luftinnførende stoff velges ut fra andre tilgjengelige delmaterialer som sementtype og tilslag).

DOSERING

Dynamon SX-130 tilsettes for å oppnå ønsket resultat (styrke, bestandighet, stopelighet, sementreduksjon) ved å variere doseringen mellom 0,3 og 1,2 % av sementmengden.

Ved øket dosering økes den åpne tiden noe (tiden betongen lar seg bearbeide). Større mengder vil kunne medføre separasjon av massen.

EMBALLASJE

Dynamon SX-130 leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat, 1000 liter IBC-tanker og i tank.

LAGRING

Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C. I lukket emballasje bevarer produktet sine egenskaper i minst 12 måneder. Hvis produktet utsettes for direkte sollys, kan det føre til variasjoner i fargetonen uten at dette påvirker egenskapene til produktet.

SIKKERHETSINSTRUKSJONER FOR KLARGJØRING OG BRUK

For instruksjon vedrørende sikker håndtering av våre produkter, vennligst se siste utgave av sikkerhetsdatablad på vår nettside www.mapei.no

PRODUKT FOR PROFESJONELL BRUK

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All overstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Vennligst referer til siste oppdaterte versjon av teknisk datablad som finnes tilgjengelig på vår webside www.mapei.no

JURIDISK MERKNAD

*Innholdet i dette tekniske databladet kan kopieres til andre prosjektrelaterte dokumenter, men det endelige dokumentet må ikke suppleres eller erstatte betingelsene i det tekniske datablad, som er gjeldende, når MAPEI-produktet benyttes. Det seneste oppdaterte datablad er tilgjengelig på vår hjemmeside www.mapei.no
**ENHVER ENDRING AV ORDLYDEN
ELLER BETINGELSER, SOM ER GITT
ELLER AVLEDET FRA DETTE TEKNISKE
DATABLADET, MEDFØRER AT MAPEI
SITT ANSVAR OPPHØRER.***

**Alle relevante referanser for
produktet er tilgjengelige
på forespørsel og fra
www.mapei.no**

Dynamon SX-130

TEKNISKE DATA (typiske verdier)

PRODUKTBESKRIVELSE

Form:	væske
Farge:	gulbrun
Viskositet (Brookfield Viscometer DV-1, LV1, 100rpm ved 20±2°C)	lettflytende; < 30 mPa·S
Tørrestoffinnhold, %:	30,0 ± 1,5
Spesifikk vekt, g/cm ³ :	1,09 ± 0,02
pH-verdi:	6,5 ± 1
Kloridinnhold, %:	< 0,05
Alkaliinnhold (Na ₂ O-ekvivalenter) %:	< 2,5

BRUKSEGENSKAPER I BETONG

Som vannreducerer (lik konsistens)	Referanse	Dynamon SX-130
Sementmengde, kg/m ³ (CEM I):	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	0,6
Masseforhold (w/c-tall):	0,59	0,43
Vannreduksjon (%):	-	27
Konsistens, mm:		
- synkmål, 5 min	220	230
- synkmål, 30 min	200	200
Trykfasthet (i N/mm ²):		
- 1 døgn	18	25
- 7 døgn	38	58
- 28 døgn	50	73

Any reproduction of texts, photos and illustrations published here is prohibited and subject to prosecution.

6915-07-2017(NO)

SH cement (Rapid hardening)

CEM I 52.5 R



CEMENT TYPE AND CEMENT CLASS

SH cement is a Type I Portland cement manufactured in Skövde and Slite. It has rapid compressive strength development and is used, for example, at early form stripping and when casting in cold weather. Technical data is on page 2 of this technical data sheet.

STANDARDS AND CONTROL

SH cement satisfies the requirements of SS-EN 197-1 Cement-Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.

SH cement Skövde is P-marked with certificate number 10 13 03 and CE-marked with certificate number 10 13 26.

SH cement Slite is P-marked with certificate number 10 13 02 and CE-marked with certificate number 10 13 25.

PACKAGING, DISTRIBUTION AND STORAGE

Delivery takes place in bulk, in 1,000 kg big bags or in 25 kg bags by Saint-Gobain Byggprodukter AB. Delivery terminals are listed in our price list. Storage in an environment that has an element of moist air or direct contact with ground moisture or water damages the cement very quickly (days, weeks).

SH cement must be stored in a dry, sealed silo for a maximum of six months after delivery, as the chromate reduction process gradually loses its effect.

Cement in bags must be stored on plastic-coated storage pallets for a maximum of six months after the packing date. It is always the buyer's responsibility to make sure and be able to show that the storage location is dry and sealed, and that the storage time is observed.

GENERAL TERMS OF DELIVERY

The delivery of SH cement is subject to ABM 92 and Cements's Special Terms and Conditions.

SAFETY DURING HANDLING

All cement must be stored out of the reach of children and is dangerous to consume. Cement in the eyes creates a risk of serious eye damage. Moist cement forms calcium hydroxide, which irritates the skin and the respiratory organs. For complete information and instructions on protection, see the Material Safety Data Sheet.

PRODUCT INFORMATION

For the latest updates to the Technical data Sheet, Material Safety Data Sheet and General Terms of Delivery, see our website www.cementa.se.

2017-06-27

Technical data

SH-cement CEM I 52,5 R

SH-cement Skövde and Slite complies with the data below.
On rare occasions the values may deviate from the specified ranges or limits..

PHYSICAL DATA

Property	Guideline value Skövde	Guideline value Slite	Range	Unit	Requirement	Current standard
Blaine finess	550	520	± 30	m ² /kg		
Setting time	110	110	± 30	min	≥ 45	EN 197-1
Compressive strength 1 d*	33	33	± 3	MPa		
Compressive strength 2 d*	45	45	± 3	MPa	≥ 30	EN 197-1
Compressive strength 7 d*	55	55	± 4	MPa		
Compressive strength 28 d*	62	62	± 4	MPa	≥ 52.5	EN 197-1
Compact density	3 125	3 125	± 20	kg/m ³		
Bulk density	1 250	1 250	± 250	kg/m ³		
Brightness	27	28	± 1	%		

*Measured on standard mortar

CHEMICAL DATA

Property	Limits Skövde	Limits Slite	Unit	Requirement	Current standard
Loss on ignition	1,5-2,5	2,0-3,0	%	≤ 5,0	EN 197-1
Insoluble residue	0-0,5	0-0,5	%	≤ 5,0	EN 197-1
Magnesium oxid MgO	1,1-1,3	2,3-2,5	%	≤ 5,0	EN 197-1
Sulfates SO ₃	3,3-4,0	3,1-3,8	%	≤ 4,0	EN 197-1
Chloride, Cl ⁻	0,02-0,04	0,03-0,08	%	≤ 0,10	EN 197-1
Alkali, equiv. Na ₂ O		0,8-1,1	%	≤ 1,1*	DS/INF 135*
Water soluble Cr ⁶⁺	0-2	0-2	ppm	≤ 2	

*Only applies to Slite

CEMENTA
HEIDELBERGCEMENT Group

Box 47210, 100 74 Stockholm
Telefon 08-625 68 00
Telefax 08-753 36 20
E-post info@cementa.se
www.cementa.se

2017-06-27

Vedlegg B.1 Oppdelt leire før tørking



Vedlegg B.2 Tørking av leire i ovnen



Vedlegg B.3 Leirene knuses og siktes

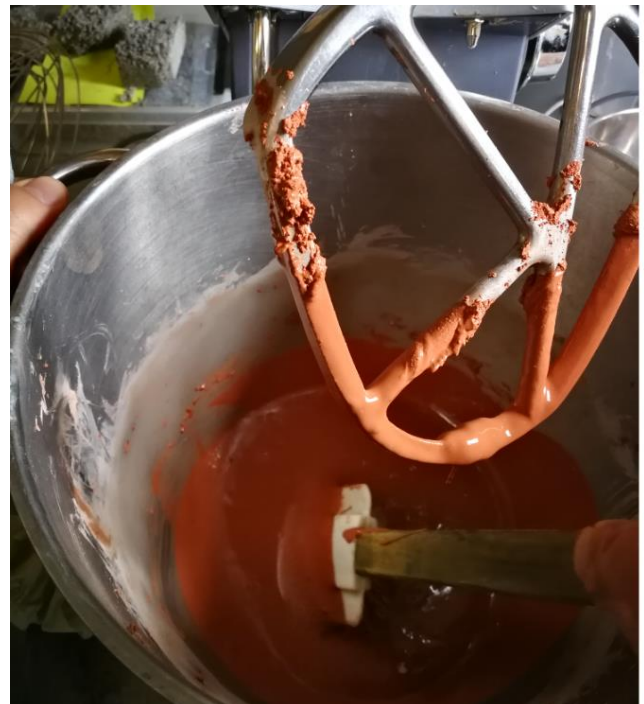




Vedlegg B.4 Kalsinering av leire



Vedlegg B.5 Blanding av materialer for å støpe prøvestykkene



Vedlegg B.6 Støping av prøveprismer





Vedlegg B.7 Herding i vannbad



Vedlegg B.8 Testing av bøyestrekfasthet



Vedlegg B.9 Testing av trykkfasthet og vurdering av bruddform



Bruddform B



Bruddform C

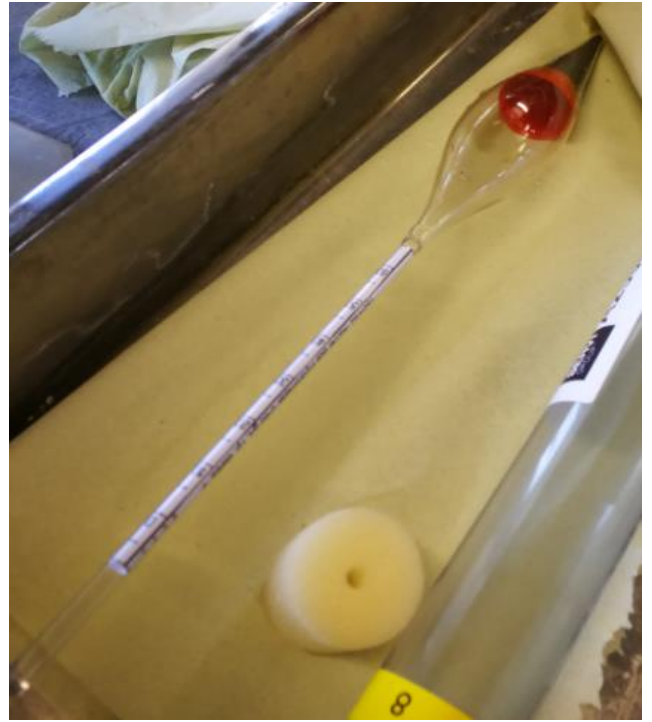


Ikke godkjent bruddform



ikke godkjent bruddform

Vedlegg B.10 Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling



Vedlegg B.11 Bestemmelse av korndensitet



Vedlegg C.1 Testing av bindemiddel basert på LC³ etter 7 dager 04.04.19

Lokal leire med kalkstein og sement. Bøyestrekktest (NS-EN 12390-5:2009)

- a) Blanding med 30% lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 1,782 KN
- h) Bøyestrekfasthet: 3,34 MPa
- i) Bruddets plassering: bruddet oppstod 8,6mm fra den ene siden, dvs bruddet var 6mm fra belastningsrullen. Relativt rett bruddlinje.
- j) Avvik fra standard metoder: Uten break detection
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: testet 13:12 alder: Ca 7 dager og 1 time
- l) Nedbøyning: 0,15mm

Kommentar: 21 N/s belastning

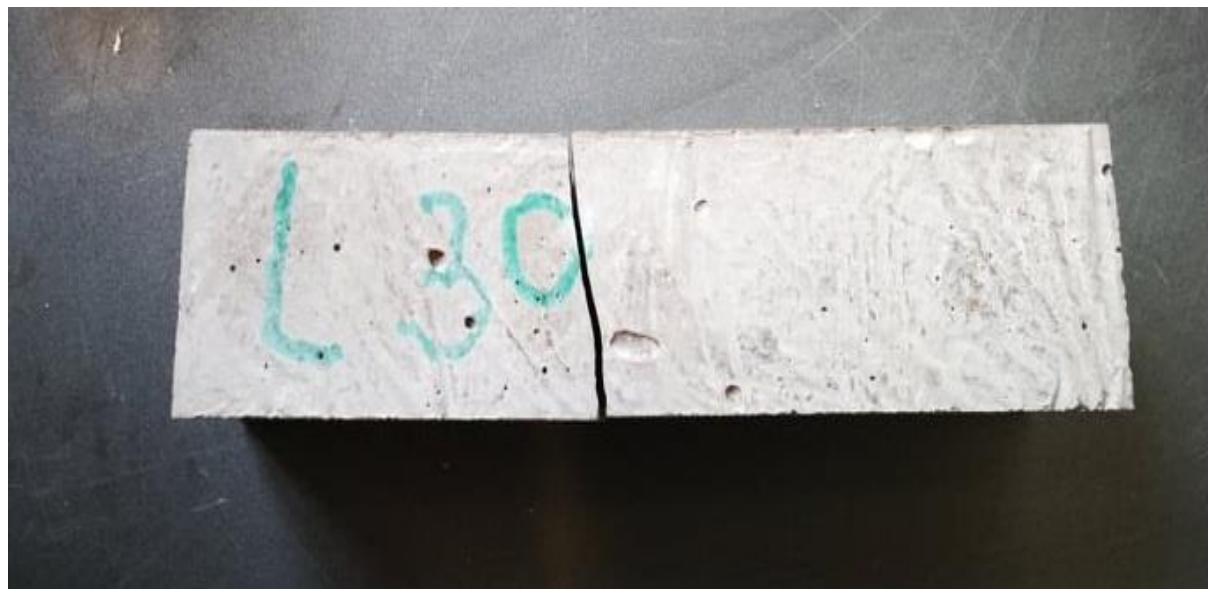


Bilde c.1.1: Prisme 1, blanding 30 % lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Lokal leire med kalkstein og sement (30+15+55) Bøyestrekktest (NS-EN 12390-5:2009)

- a) Blanding med 30% lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 2,133 kN
- h) Bøyestrekkefasthet (nærmeste 0,1 MPa): 4,00 MPa
- i) Bruddets plassering: bruddet oppstod 9 mm fra belastningspunkt. Relativt rett bruddlinje.
- j) Avvik fra standard metoder: Uten break detection
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: kl 13:15 alder: 7 dager og 1 time
- l) Nedbøyning: 0,18mm

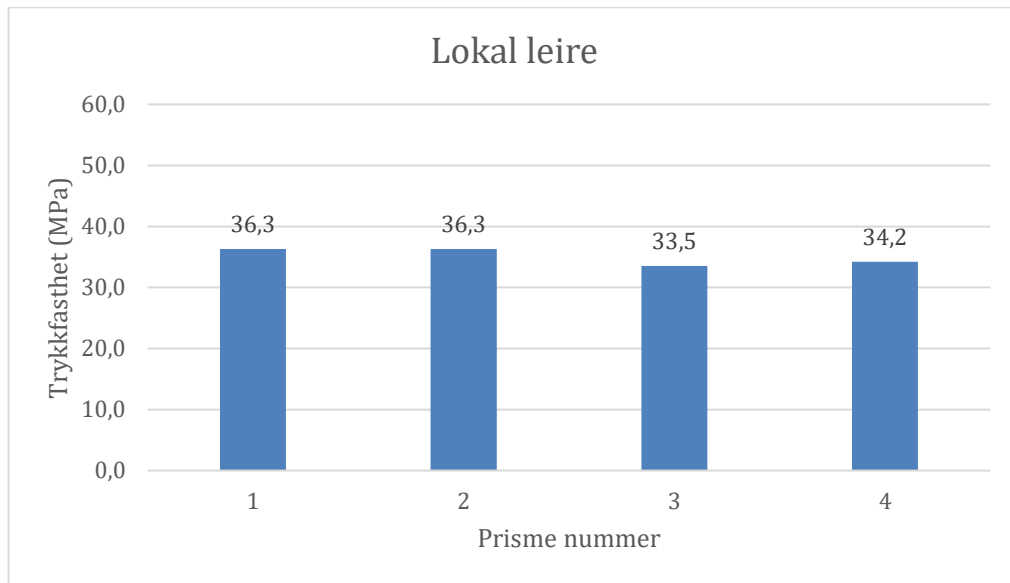
Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.2: Prisme 2, blanding 30 % lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest (2400 N/s) Lokalleire (Break detection 10 promille)

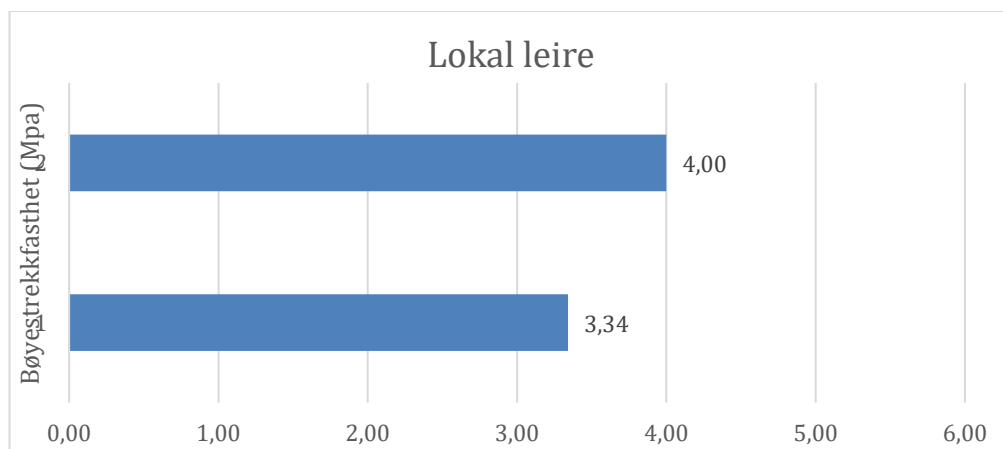
1. 58,05 kN
2. 58,06 kN
3. 53,65 kN (BD satt på)
4. 54,71 kN



Graf c.1.1: Trykkfasthet for blanding 30% lokal leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnitt trykkfasthet for lokal leire, 35,1 MPa

Bøystrekkfasthet for lokal leire



Graf c.1.2 bøystrekkfasthet for blanding 30% lokal leire 15% kalkstein, og 55% sement.

Gjennomsnitt bøystrekkfasthet for lokal leire, 3,67 MPa

Blå leire med kalkstein og sement (30+15+55) Bøyestrekktest (NS-EN 12390-5:2009) 1

- a) Blanding med 30% blå leire, 15% kalkstein og 55% sement. 0,3% av sementvekt Superplastiserende middel. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 1,716 kN
- h) Bøyestrekfasthet (nærmeste 0,1 MPa): 3,22 MPa
- i) Bruddets plassering: Brudd oppstod 4 mm fra midten, bruddlinje relativt rett.
- j) Avvik fra standard metoder: Uten break detection
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:19, alder: 7 dager og 20 min
- l) Nedbøyning: 0,12 mm

Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.3: Prisme 1, blanding 30 % blå leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Blå leire med kalkstein og sement (30+15+55) Bøyestrekkttest (NS-EN 12390-5:2009) 2

- a) Blanding med 30% blå leire, 15% kalkstein og 55% sement. 0,3% av sementvekt Superplastiserende middel. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 1,444 kN
- h) Bøyestrekkefasthet (nærmeste 0,1 MPa): 2,71 MPa
- i) Bruddets plassering: Brudd oppstod under belastningspunkt, bruddlinje rett. Den ene halvdel er blitt knust i flere biter.
- j) Avvik fra standard metoder: Uten break detection, kan ha vært med å forårsake at den ene halvdel knuste.
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:23, alder: 7 dager og 20 min
- l) Nedbøyning: 0,11 mm

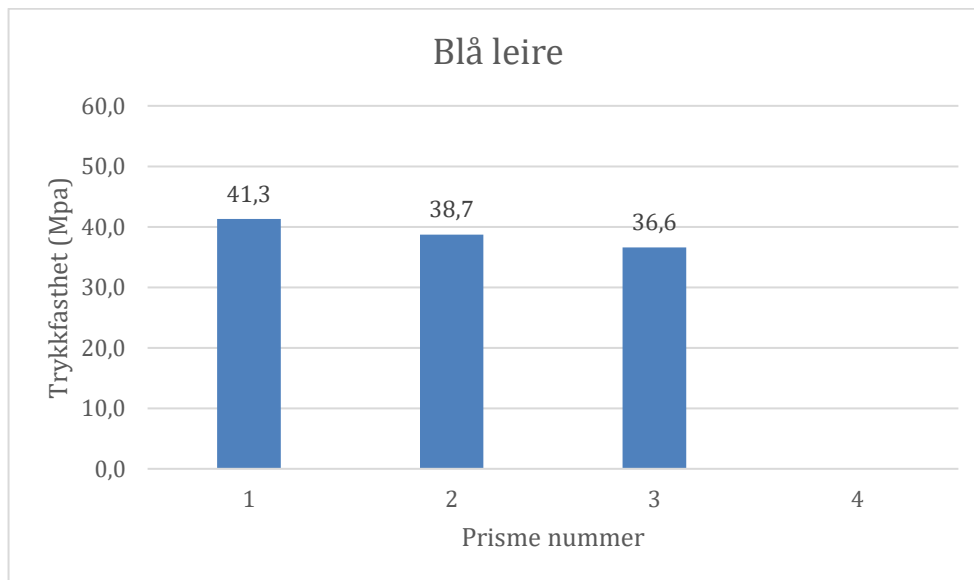
Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.4: Prisme 2, blanding 30 % blå leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest (2400 N/s) Blåleire (break detection 50 promille)

1. **66,08 kN**
2. **61,97 kN**
3. **58,57 kN**
4. **Siste prøvestykke var knust/skadet**

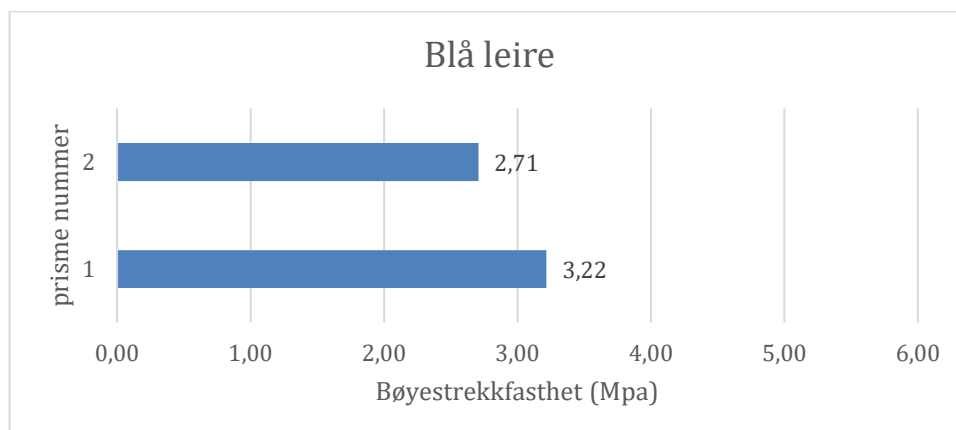


Graf c.1.3: Trykkfasthet for blanding 30% blå leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnitt trykkfasthet for blå leire, 38,9 MPa

Prisme nummer 4 er ødelagt under trykktesten.

Bøyestrekfasthet for blå leire



Graf c.1.4 Bøyestrekfasthet for blanding 30% blå leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for blå leire 2,96 MPa

Rød leire med kalkstein og sement (30+15+55) Bøyestrekktest (NS-EN 12390-5:2009) 1

- a) Blanding med 30% rød leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 1,229 kN
- h) Bøyestrekfasthet (nærmeste 0,1 MPa): 2,30 MPa
- i) Bruddets plassering: Brudd oppstod nærme belastning punkt. Den ene halvdel ble knust.
- j) Avvik fra standard metoder: Uten break detection. Dette kan være en av årsakene til at den ene halvdel knuste.
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:31, alder: 7 dager
- l) Nedbøyning: 0,10mm

Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.5: Prisme 1, blanding 30 % Rød leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Rød leire med kalkstein og sement (30+15+55) Bøyestrekkttest (NS-EN 12390-5:2009) 2

- a) Blanding med 30% rød leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 1,689 kN
- h) Bøyestrekfasthet (nærmeste 0,1 MPa): 3,17 MPa
- i) Bruddets plassering: Bruddet oppstod under belastning punkt. Bruddlinjen var rett.
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:34, alder: 7 dager
- l) Nedbøyning: 0,27mm

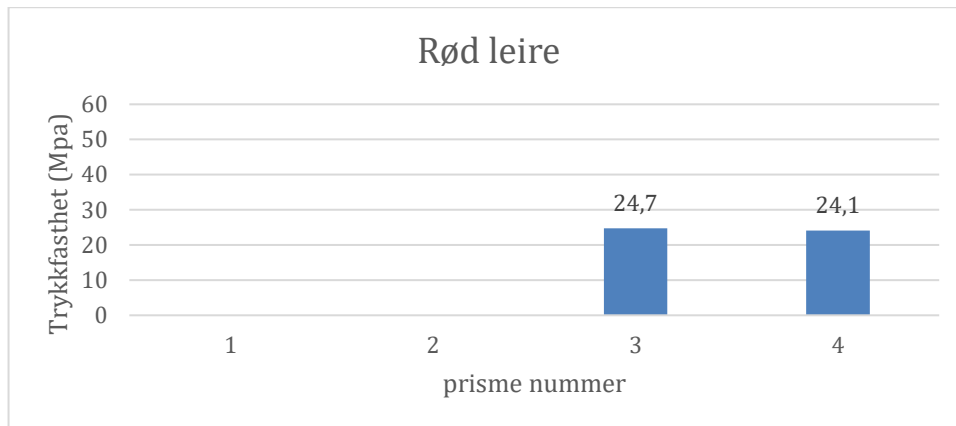
Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.6: Prisme 2, blanding 30 % Rød leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest (2400 N/s) Rødleire (break detection 50 promille)

1. 23,20 kN (muligens skadet under bøyestrekktest)
2. ødelagt under bøyestrekktest
3. 39,51 kN (bruddform B)
4. 38,59 kN (bruddform B)

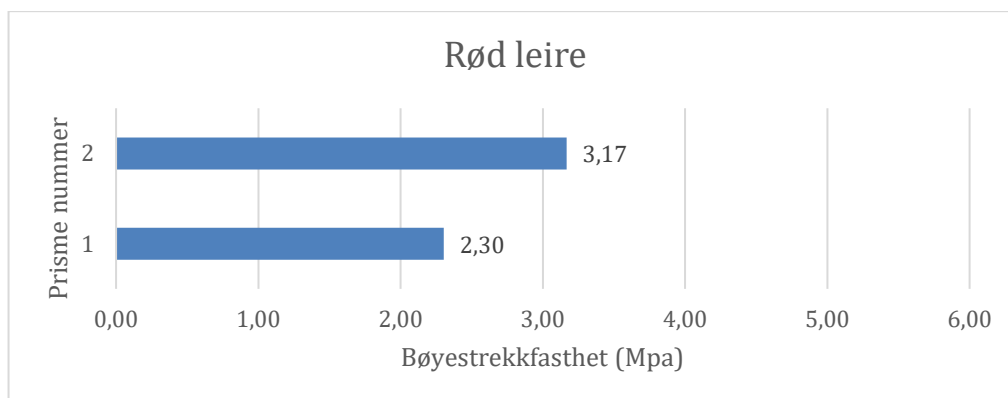


Graf c.1.5: Trykkfasthet for blanding 30% Rød leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlig trykkfasthet for rød leire 24,4 MPa.

Prisme nummer 1, og 2 ble ødelagt under trykk testen.

Bøyestrekktfasthet for rød leire



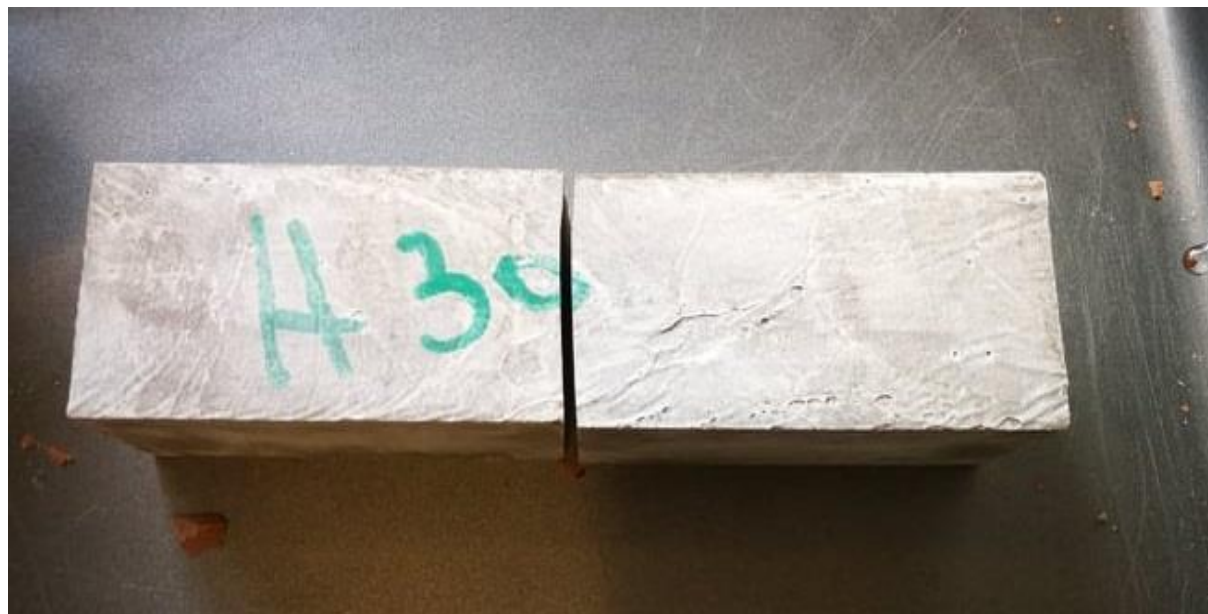
Graf c.1.6: Bøyestrekktfasthet for blanding 30% Rød leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekktfasthet for rød leire 2,74 MPa

Hvit leire med kalkstein og sement (30+15+55) Bøyestrekkttest (NS-EN 12390-5:2009) 1

- a) Blanding med 30% hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 1,109 kN
- h) Bøyestrekkefasthet (nærmeste 0,1 MPa): 2,08 MPa
- i) Bruddets plassering: Brudd oppstod rett under belastnings punkt. Bruddet var rett.
- j) Avvik fra standard metoder
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:37, alder: rett i underkant av 7 dager
- l) Nedbøyning: 0,13mm

Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.7: Prisme 1, blanding 30 % hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Hvit leire med kalkstein og sement (30+15+55) Bøyestrekktest (NS-EN 12390-5:2009) 2

- a) Blanding med 30% hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement, masseforhold: 0,4
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 2,237 kN
- h) Bøyestrekfasthet (nærmeste 0,1 MPa): 4,19 MPa
- i) Bruddets plassering: Brudd oppstod like under belastnings punkt. Bruddet var rett.
- j) Avvik fra standard metoder
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:39, alder: rett i underkant av 7 dager
- l) Nedbøyning: 0,22 mm

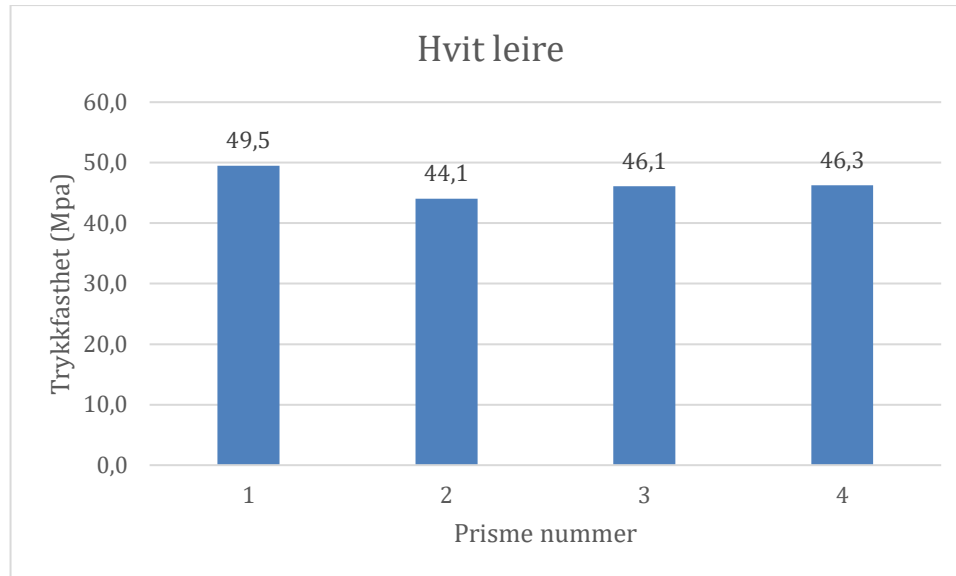
Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.8: Prisme 2, blanding 30 % hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest (2400 N/s) hvit leire (break detection 50 promille)

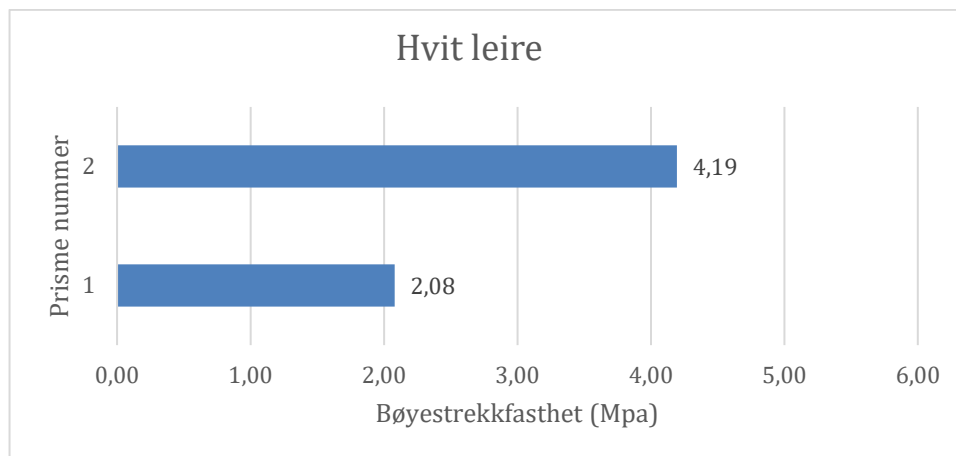
1. **79,18 kN (tilfredstillende bruddform B)**
2. **70,51 kN (tilfredstillende bruddform B)**
3. **73,76 kN (tilfredstillende bruddform C)**
4. **74,00 kN (tilfredstillende bruddform C)**



Graf c.1.7: Trykkfasthet for blanding 30% hvit leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlig trykkfasthet for hvit leire, 46,5 MPa.

Bøyestrekfasthet for hvit leire



Graf c.1.8: Bøyestrekfasthet for blanding 30% hvit leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet for hvit leire 3,14 MPa.

Referanse Bøyestrekktest (NS-EN 12390-5:2009) 1

- a) Referanse blanding med sement og vann. v/c-tall 0,4
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 3,189 kN
- h) Bøyestrekfasthet (nærmeste 0,1 MPa): 5,98 MPa
- i) Bruddets plassering: Brudd oppstod 3 mm fra belastnings punkt. Bruddlinjen var noe buet.
- j) Avvik fra standard metoder
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:42, alder: 6 dager 22 timer
- l) Nedbøyning: 0,28 mm

Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.9: Prisme 1, Referanse.

Referanse Bøyestrekkttest (NS-EN 12390-5:2009) 2

- a) Referanse blanding med sement og vann. v/c-tall 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann før prøving slik at overflaten er tørr
- f) Dato: 04.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 2,699 kN
- h) Bøyestrekkefasthet (nærmeste 0,1 MPa): 5,06 MPa
- i) Bruddets plassering: Brudd oppstod 3 mm fra belastnings punkt. Rett bruddlinje.
- j) Avvik fra standard metoder
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: Testet kl 13:46, alder: 6 dager 22 timer
- l) Nedbøyning: 0,24 mm

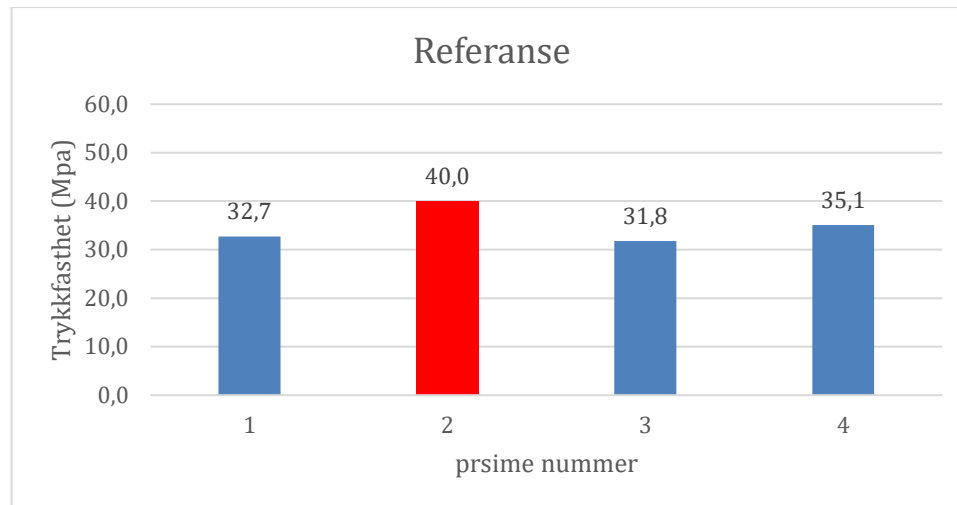
Kommentar: 21 N/s belastning



Bilde c.1.10: Prisme 2, Referanse.

Trykktest (2400 N/s) Referanse (break detection 50 promille)

1. **52,35 kN (tilfredstillende bruddform B)**
2. **63,95 kN (tilfredstillende bruddform B)**
3. **50,86 kN (tilfredstillende bruddform B)**
4. **56,17 kN (tilfredstillende bruddform B)**

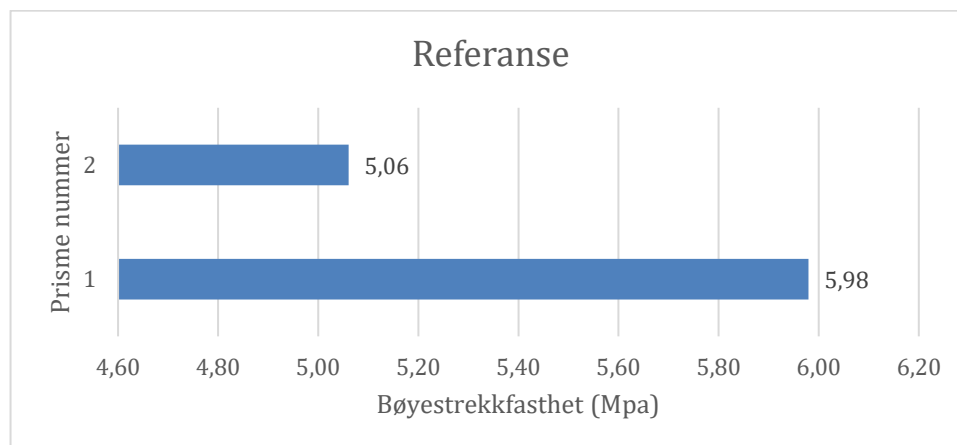


Graf c.1.9: Trykkfasthet for Referanse

Gjennomsnittlige trykkfasthet, 33,2 MPa.

Prisme nummer er 2 er godkjent etter standarden.

Bøyestrekfasthet for Referanse

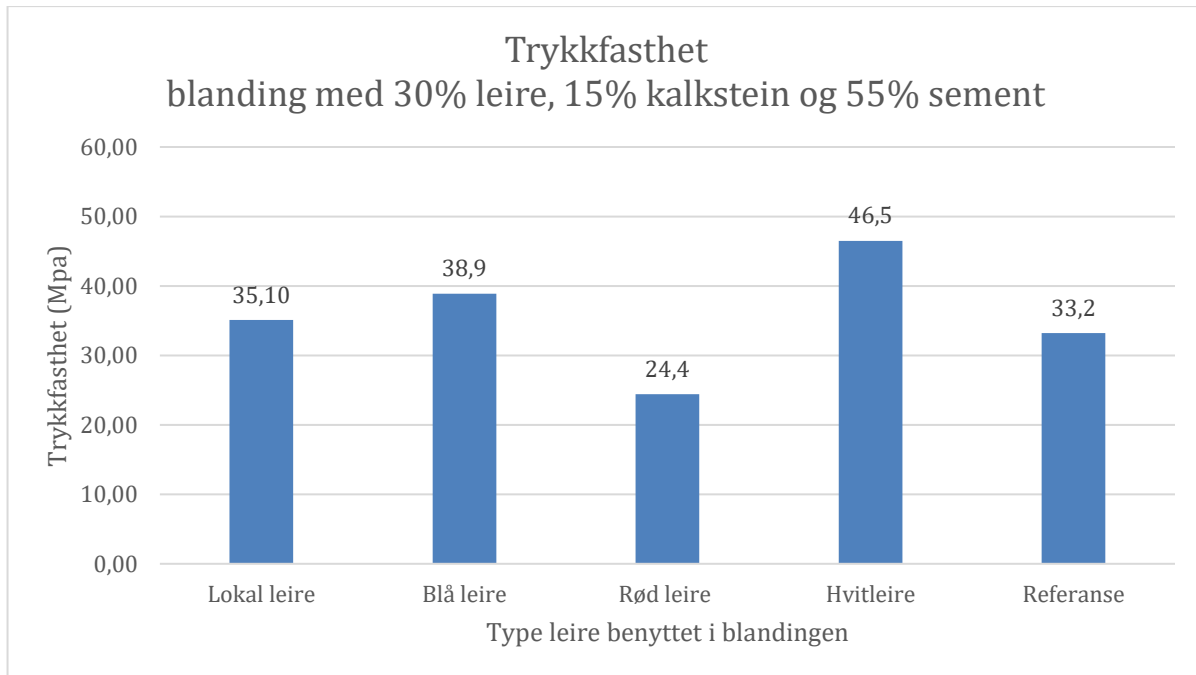


Graf c.1.10: Bøyestrekfasthet for referanse

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for referanse 5,52 MPa

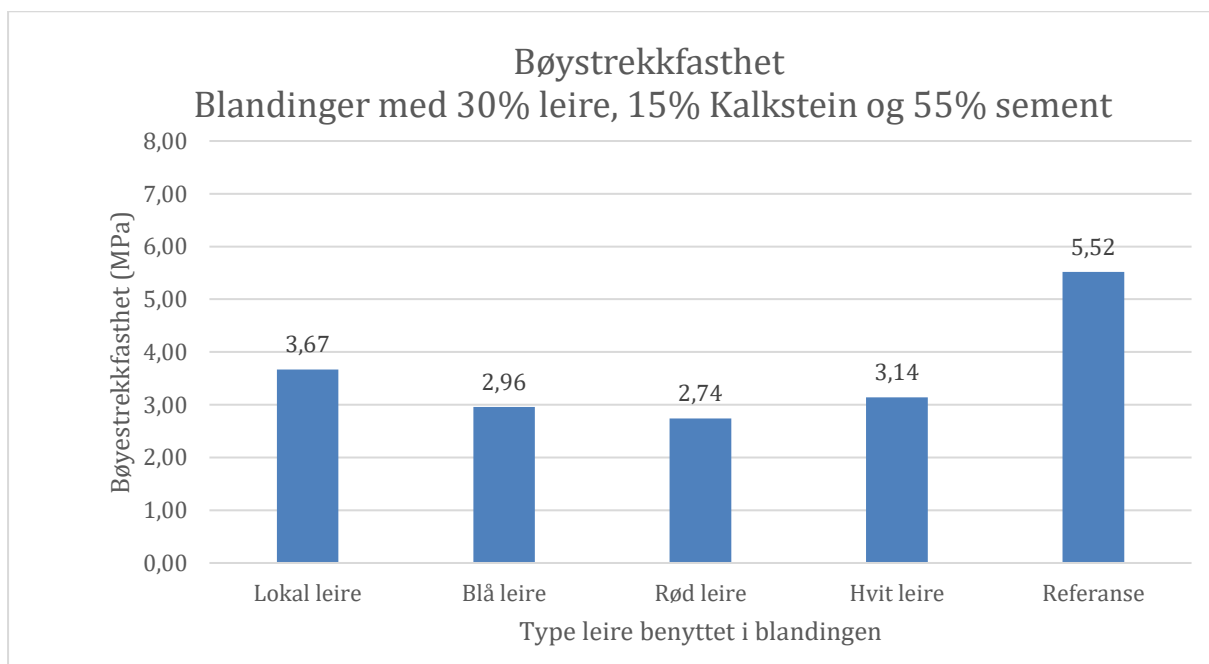
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene

Trykkfasthet



Graf c.1.11: trykkfasthet for 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement

Bøyestrekfasthet



Graf c.1.12: Bøyestrekfasthet for 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement

Vedlegg C.2 Testing av bindemiddel basert på LC³ etter 28 dager 25.04.19

Lokal leire med kalkstein og sement. Bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 1

- m)** Blanding med 30% lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- n)** Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- o)** Midtpunktsbelastning
- p)** Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- q)** Dato: 25.04.19
- r)** Største last ved brudd: 2,933 kN
- s)** Bøyestrekfasthet:
- t)** Bruddets plassering: ca på midten
- u)** Eventuelle avvik: Noe luftbobler på i tverrsnittet der bruddet oppstod
- v)** Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager, 50 minutter
- w)** Nedbøyning: 0,15mm



Bilde c.2.1: Prisme 1, blanding 30 % lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Lokal leire med kalkstein og sement. Bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 2

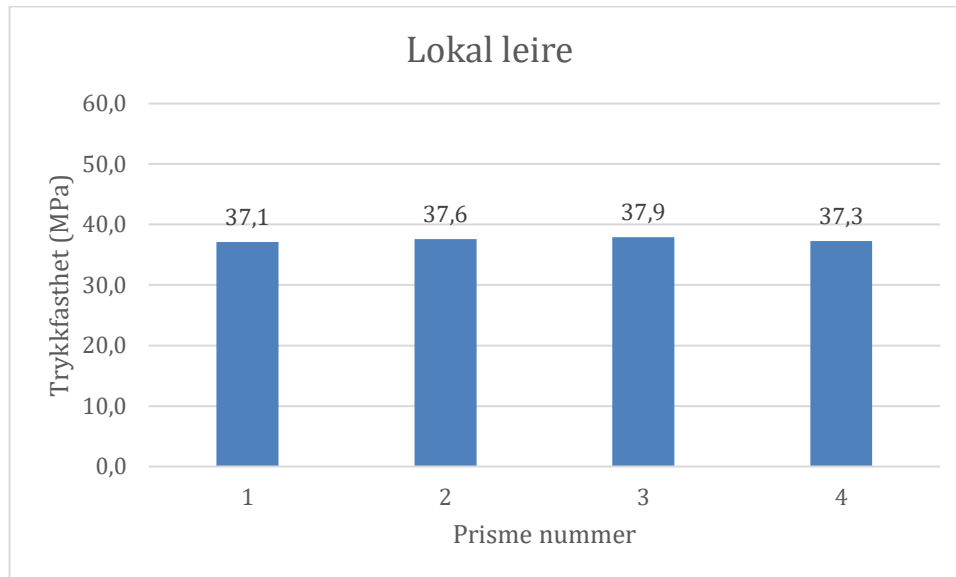
- a) Blanding med 30% lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd (kN): 1,915 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: på midten
- i) Eventuelle avvik: En boble der bruddet oppstod.
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager, 1 time
- k) Nedbøyning: 0,13mm



Bilde c.2.2: Prisme 2, blanding 30 % lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest av blanding med lokal leire iht NS-EN 196-1:2016

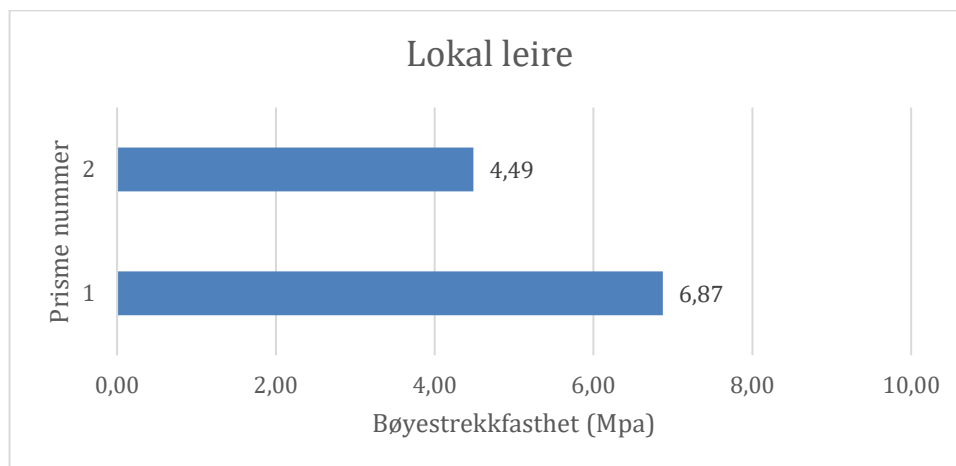
1. 59,38 kN (bruddform B)
2. 60,18 kN (bruddform B)
3. 60,69 kN (bruddform B)
4. 59,61 kN (bruddform B)



Graf c.2.1: Trykkfasthet for blanding 30% lokal leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnitt 37,5 MPa.

Bøyestrekfasthet for lokal leire



Graf c.2.2: bøyestrekfasthet for blanding 30% lokal leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for lokal leire 5,68 MPa.

Blåleire med kalkstein og sement. Bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 30% blåleire, 15% kalkstein, 55% sement og 0,3% (av sementmasse) SP. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca. 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd: 2,455 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: på midten
- i) Eventuelle avvik: En del luftbobler i tverrsnitt der brudd oppstod.
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager
- k) Nedbøyning: 0,16mm



Bilde c.2.3: Prisme 1, blanding 30 % blå leire leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Blåleire med kalkstein og sement. Bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 2

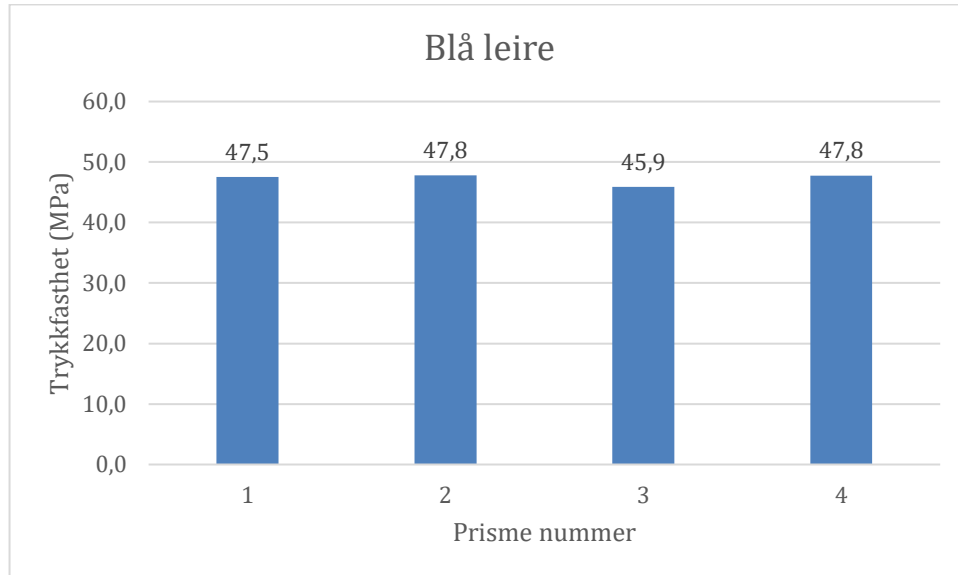
- a) Blanding med 30% blåleire, 15% kalkstein, 55% sement og 0,3%(av sementmasse) SP. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd: 2,086 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: brudd noe forskjøvet fra midten
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager
- k) Nedbøyning: 0,15mm



Bilde c.2.4: Prisme 2, blanding 30 % blå leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest av blanding med blåleire iht NS-EN 196-1:2016

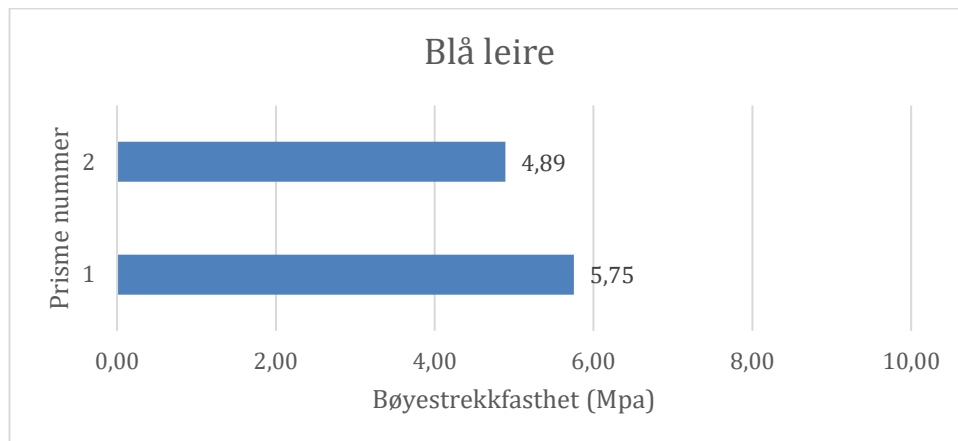
1. 76,04 kN (bruddform C)
2. 76,48 kN (bruddform C)
3. 73,39 kN (bruddform C)
4. 76,43 kN (bruddform B)



Graf c.2.3: Trykkfasthet for blanding 30% blå leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnitt, 47,8 MPa.

Bøyestrekfasthet for blå leire



Graf c.2.4: bøyestrekfasthet for blanding 30% blå leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for blå leire, 5,32 MPa.

Rødleire med kalkstein og sement. Bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 30% rødleire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd: 3,787 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: litt forskjøvet fra midten
- i) Eventuelle avvik: Noe luftbobler i tverrsnitt
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager
- k) Nedbøyning: 0,35mm



Bilde c.2.5: Prisme 1, blanding 30 % rød leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Rødleire med kalkstein og sement. Bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 2

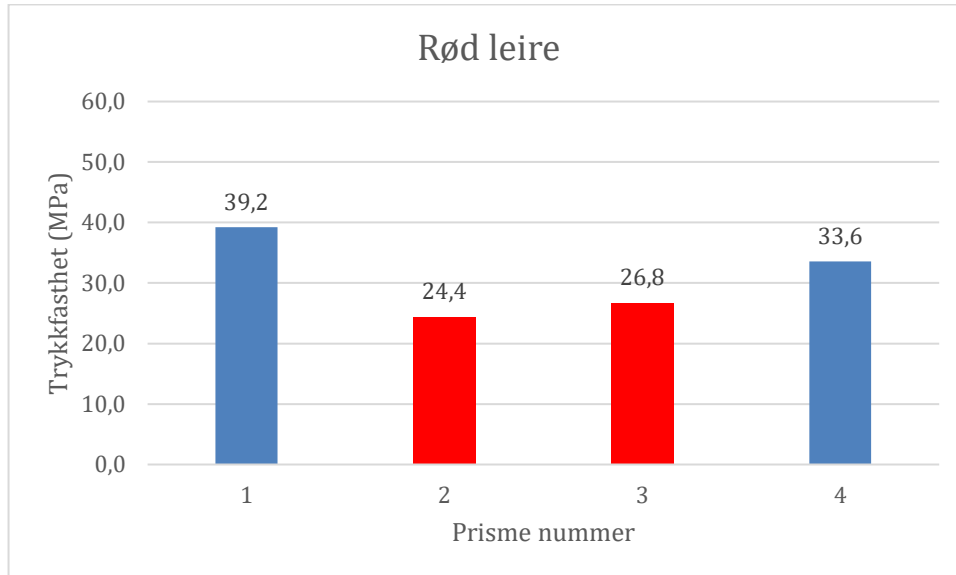
- a) Blanding med 30% rødleire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd: 4,317 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: på midten
- i) Eventuelle avvik: noen store luftbobler
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager
- k) Nedbøyning: 0,38mm



Bilde c.2.6: Prisme 2, blanding 30 % rød leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest av blanding med rødleire iht NS-EN 196-1:2016

1. 62,74 kN (bruddform C)
2. 39,08 kN (ikke tilfredsstillende bruddform)
3. 42,81 kN (ikke tilfredsstillende bruddform)
4. 53,68 kN (bruddform B)

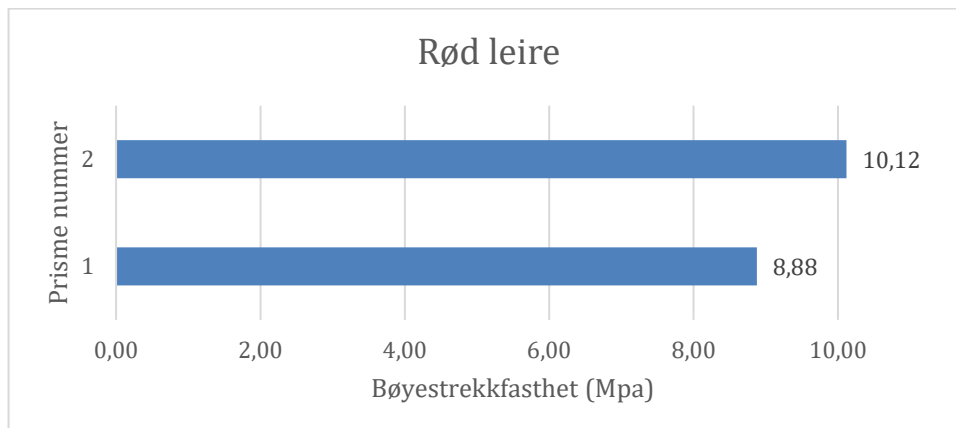


Graf c.2.5: Trykkfasthet for blanding 30% rød leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnitt, 36,4 MPa.

Prisme nummer 2, og 3 hadde ikke godkjent bruddform etter standarden.

Bøystrekkfasthet for rød leire

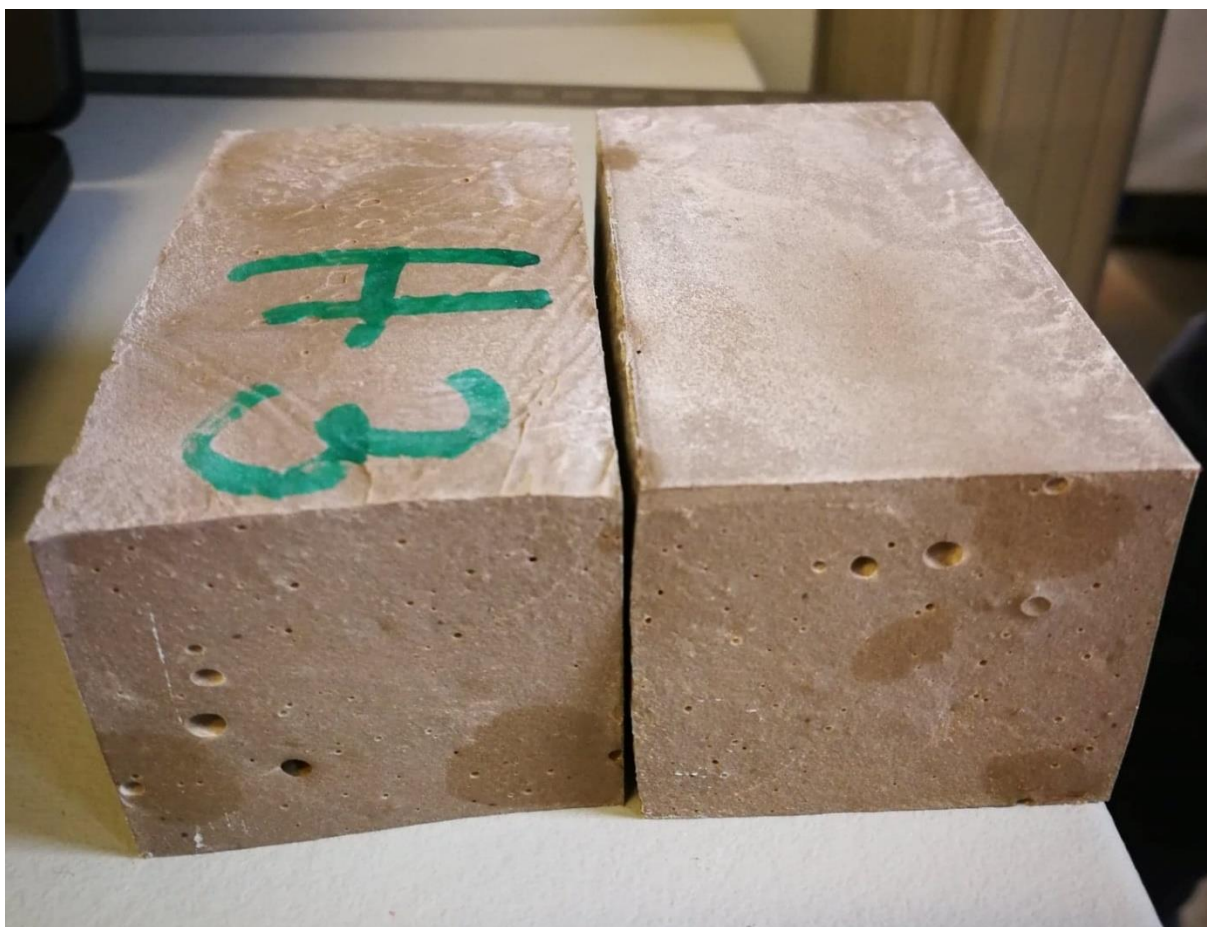


Graf c.2.6: bøystrekkfasthet for blanding 30% hvit leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlige bøystrekkfasthet for rød leire, 9,50 MPa.

Hvit leire med kalkstein og sement. Bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 30% hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd: 4,038 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: på midten
- i) Eventuelle avvik: Luftbobler i tverrsnitt
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager
- k) Nedbøyning: 0,28mm



Bilde c.2.7: Prisme 1, blanding 30 % hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Hvit leire med kalkstein og sement. Bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 2

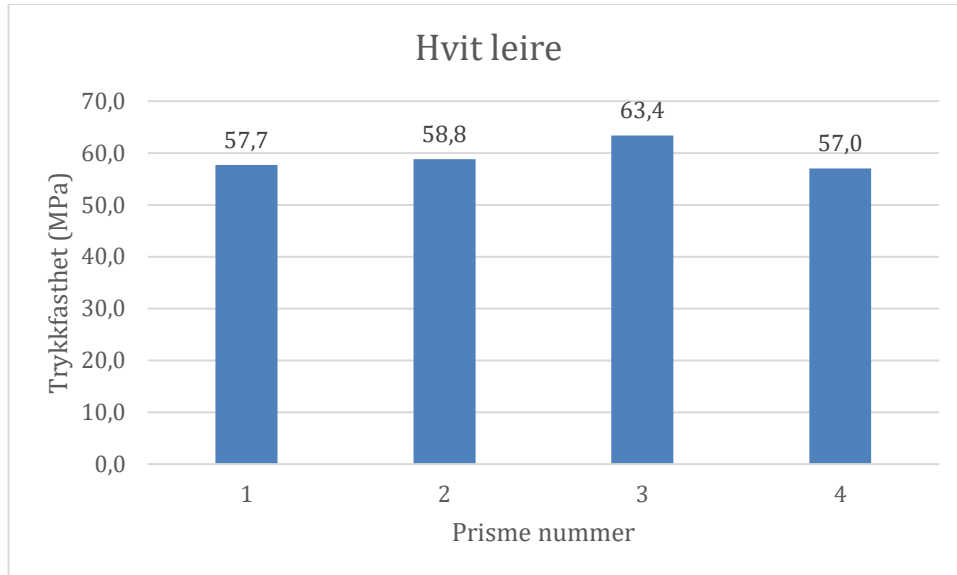
- a) Blanding med 30% hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd (kN): 3,701 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: midten
- i) Eventuelle avvik: En del luftbobler i tverrsnitt
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 28 dager
- k) Nedbøyning: 0,26mm



Bilde c.2.8: Prisme 2, blanding 30 % hvit leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Trykktest hvit leire

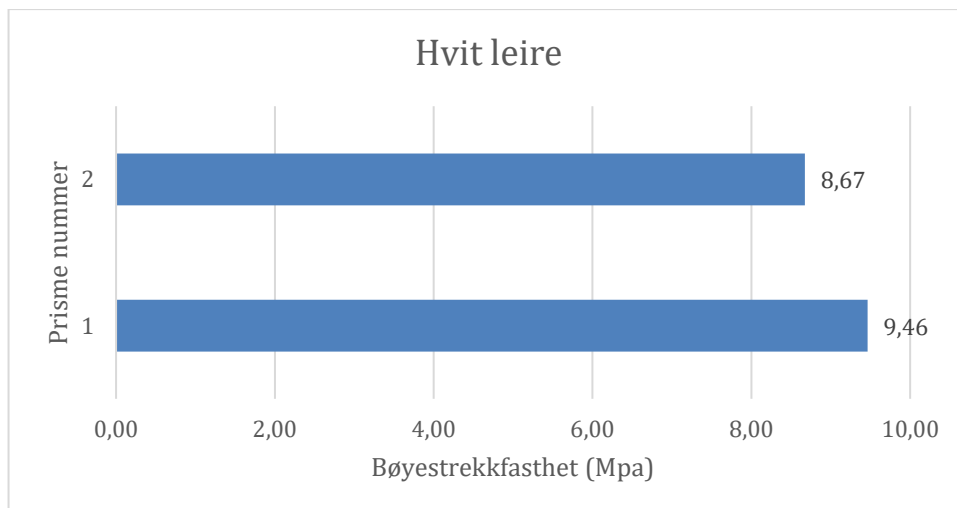
1. 92,27 kN (bruddform C)
2. 94,04 kN (bruddform B)
3. 101,40 kN (bruddform B)
4. 91,22 kN (bruddform C)



Graf c.2.7: Trykkfasthet for blanding 30% hvit leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnitt, 59,9 MPa.

Bøyestrekfasthet for hvit leire



Graf c.2.8: Bøyestrekfasthet for blanding 30% hvit leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet for hvit leire, 9,07 MPa.'

Referanse bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Referanse med kun sement og vann. v/c-forhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd: 4,971 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: på midten
- i) Eventuelle avvik: Noen luftbobler i tverrsnitt
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager, 23 timer
- k) Nedbøyning: 0,50mm



Bilde 2.9: Prisme 1, referanse

Referanse bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 2

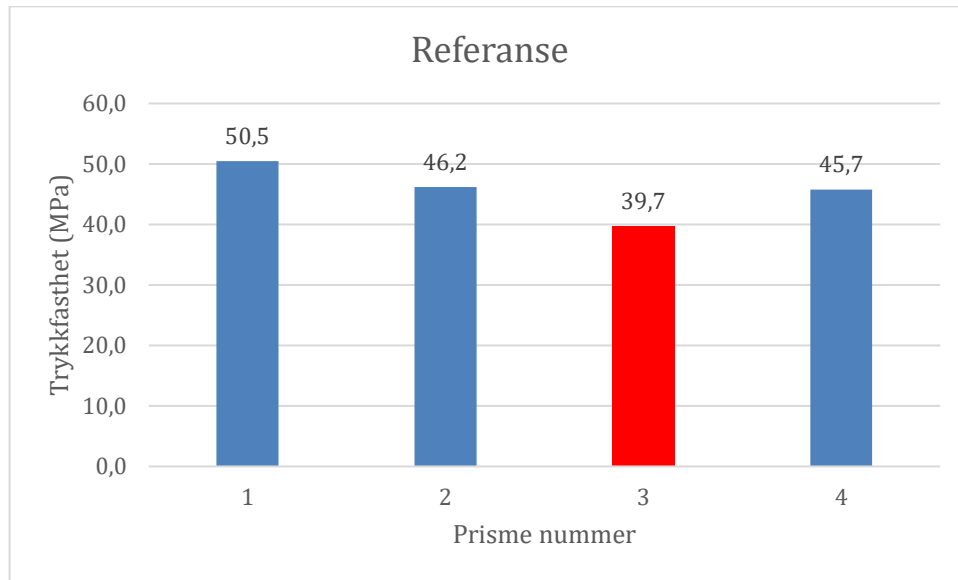
- a) Referanse med kun sement og vann. v/c-forhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Prismene tatt opp av vann ca 20 min før testing og lå dekket med en fuktig klut før tester ble påbegynt og mellom bøyestrek og trykktst.
- e) Dato: 25.04.19
- f) Største last ved brudd: 5,634 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering: noe forskjøvet fra midten, buet bruddlinje.
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager, 23 timer
- k) Nedbøyning: 0,51mm



Bilde c.2.10: Prisme 2, referanse

Trykktest referanse

1. 80,72 kN (bruddform C)
2. 73,93 kN (bruddform B)
3. 63,53 kN (bruddform B)
4. 73,18 kN (bruddform B)

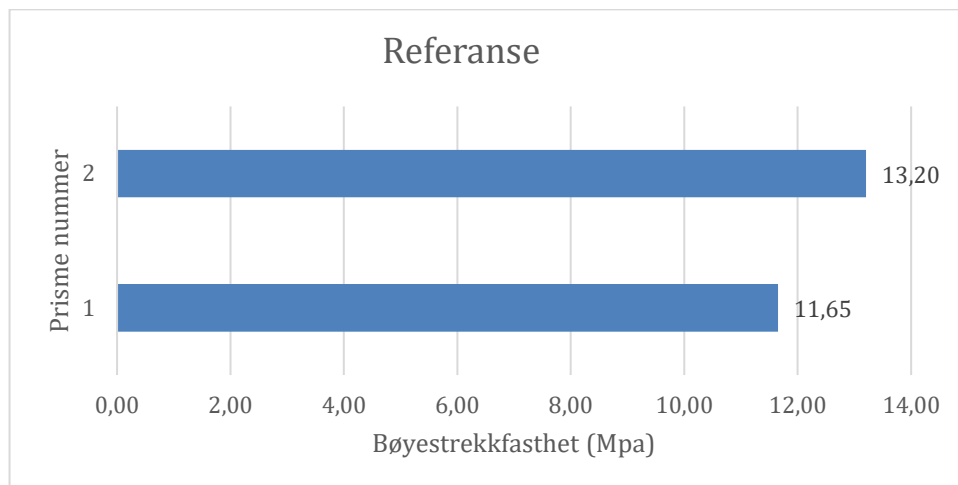


Graf c.2.9: Trykkfasthet for referanse

Gjennomsnitt, 46,0 MPa.

Prisme nummer 3 er ikke godkjent etter standarden.

Bøyestrekfasthet for referanse

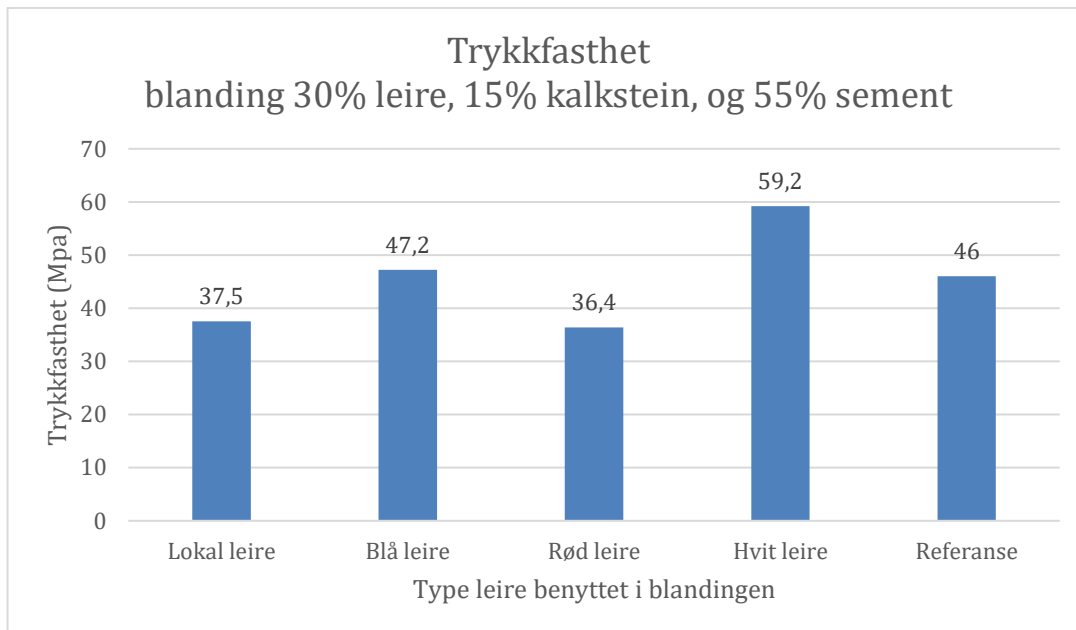


Graf c.2.10: bøyestrekfasthet for referanse

Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet for referanse, 12,43 Mpa.

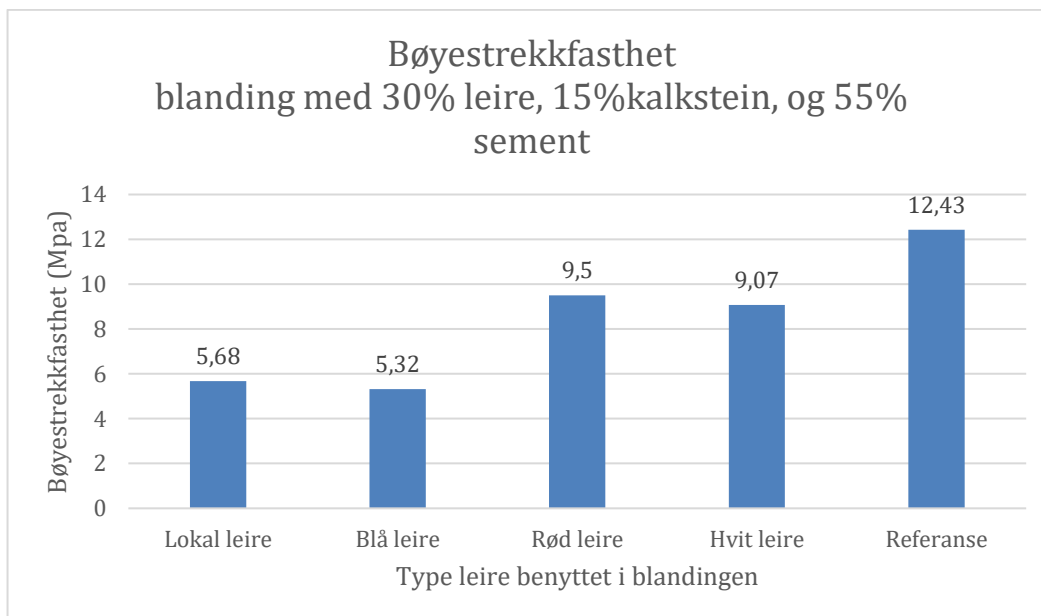
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene

Trykkfasthet



Graf c.2.11: Trykkfasthet for blanding 30% leire, 15% kalkstein, og 55% sement

Bøystrekkfasthet



Vedlegg C.3 Testing av bindemiddel med 30% leire og 70% sement etter 7 dager. 08.04.2019

Blåleire med sement bøyestrektest iht NS-EN 196-1:2016 1

- x) Blanding med 30% blå leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- y) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- z) Ingen sliping nødvendig
- æ) Midtpunktsbelastning
- ø) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- å) Dato: 08.04.19
- aa) Største last ved brudd (kN): 3,09 kN
- bb) Bøyestrekfasthet:
- cc) Bruddets plassering:
- dd) Avvik fra standard metoder:
- ee) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 7 dager og 1,5 timer
- ff) Nedbøyning: 0,25 mm



Bilde c.3.1: Prisme 1, blanding 30 % blå leire, 70% sement.

Blåleire med sement bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 2

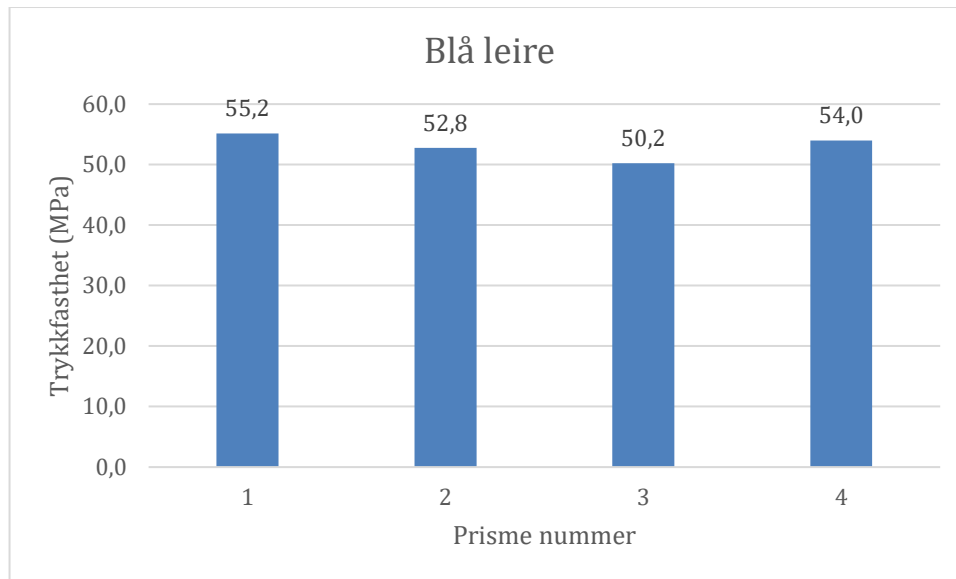
- a) Blanding med 30% blå leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- f) Dato: 08.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 2,775 kN
- h) Bøyestrekfasthet:
- i) Bruddets plassering:
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: støpt: 7 dager og 90 minutter
- l) Nedbøyning: 0,32 mm



Bilde c.3.2: Prisme 2, blanding 30 % blå leire, 70% sement.

Blåleire trykkfasthet

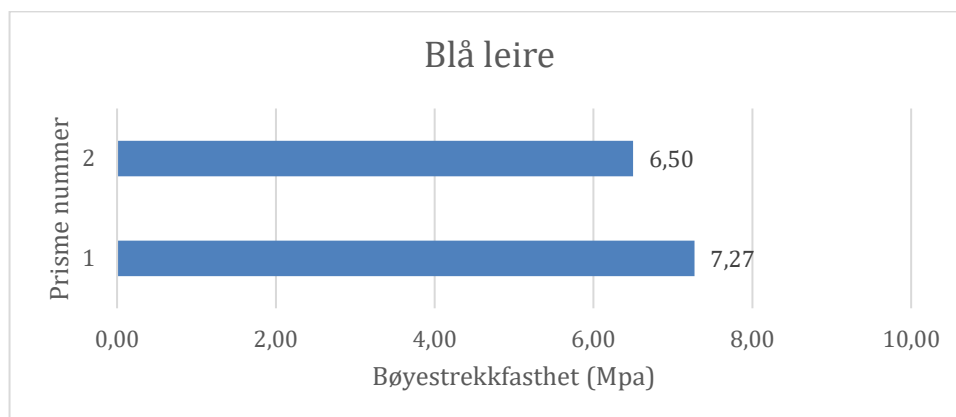
1. 88,26 kN (bruddform B)
2. 84,40 kN (bruddform B)
3. 80,34 kN (bruddform C)
4. 86,09 kN (bruddform C) (prøvestykket delte seg før det gikk til brudd)



Graf c.3.1: Trykkfasthet for blanding 30% hvit leire, og 70% sement

Gjennomsnitt: 37,5 MPa.

Bøyestrekfasthet for blå leire

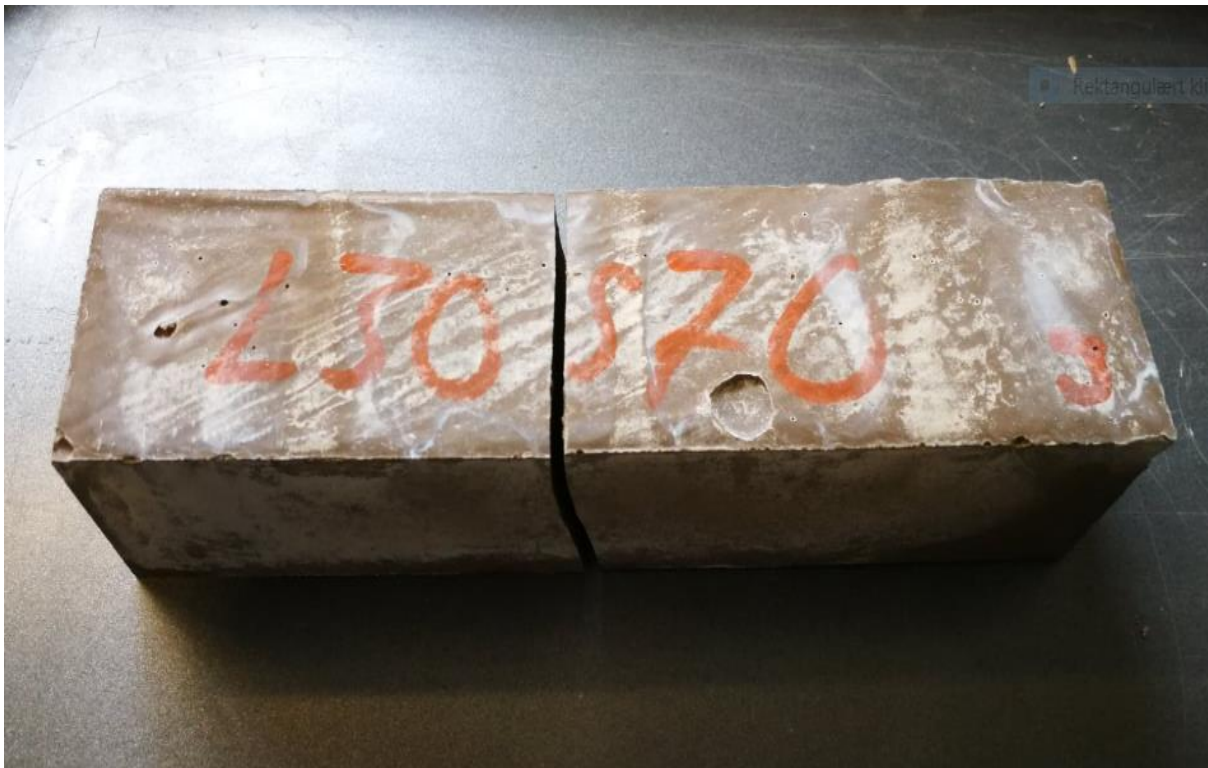


Graf c.3.2: Bøyestrekfasthet for blanding 30% blå leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for blå leire, 6,87 MPa.

Lokal leire med sement bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 30% lokal leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- f) Dato: 08.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 3,333 kN
- h) Bøyestrekfasthet:
- i) Bruddets plassering:
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 7 dager og 1 time
- l) Nedbøyning: 0,4mm



Bilde c.3.3: Prisme 1, blanding 30 % lokal leire, 70% sement.

Lokal leire med sement bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 2

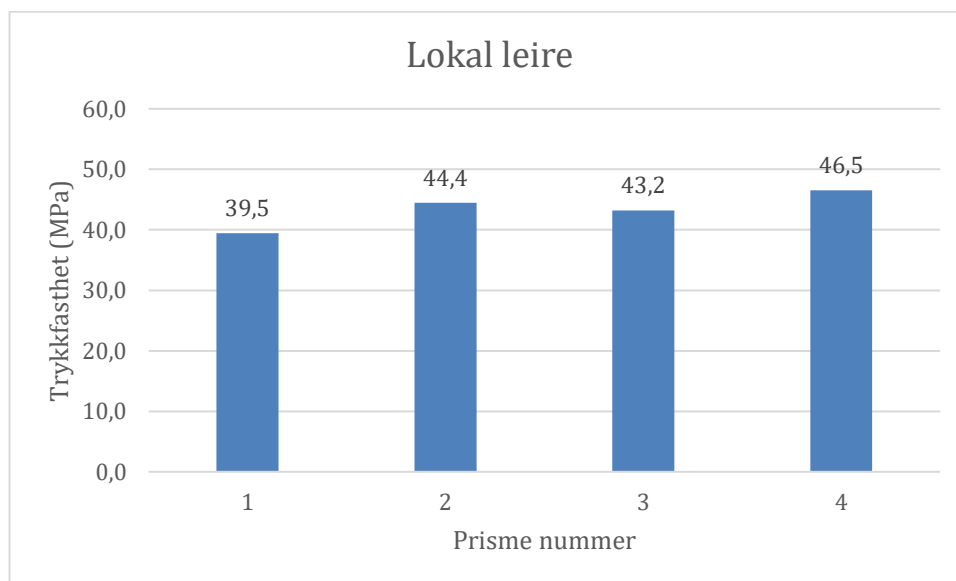
- a) Blanding med 30% lokal leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- f) Dato: 08.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 2,556 kN
- h) Bøyestrekfasthet:
- i) Bruddets plassering:
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 7 dager og 1 time
- l) Nedbøyning: 0,17 mm



Bilde c.3.4: Prisme 2, blanding 30 % lokal leire, 70% sement.

Lokal leire trykkfasthet

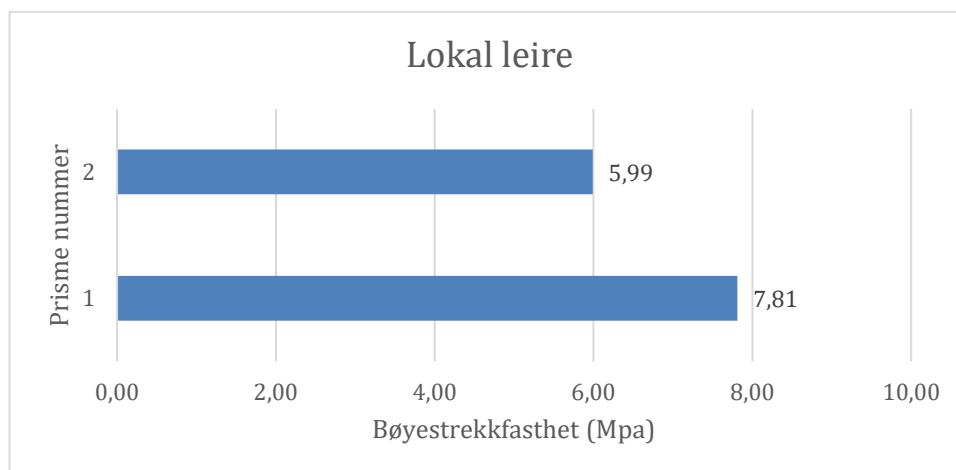
1. 63,14 kN (bruddform B)
2. 71,11 kN (bruddform B)
3. 69,08 kN (bruddform B)
4. 74,41 kN (bruddform B)



Graf c.3.3: Trykkfasthet for blanding 30% lokal leire, og 70% sement

Gjennomsnitt: 69,43 kN

Bøyestrekfasthet for hvit leire

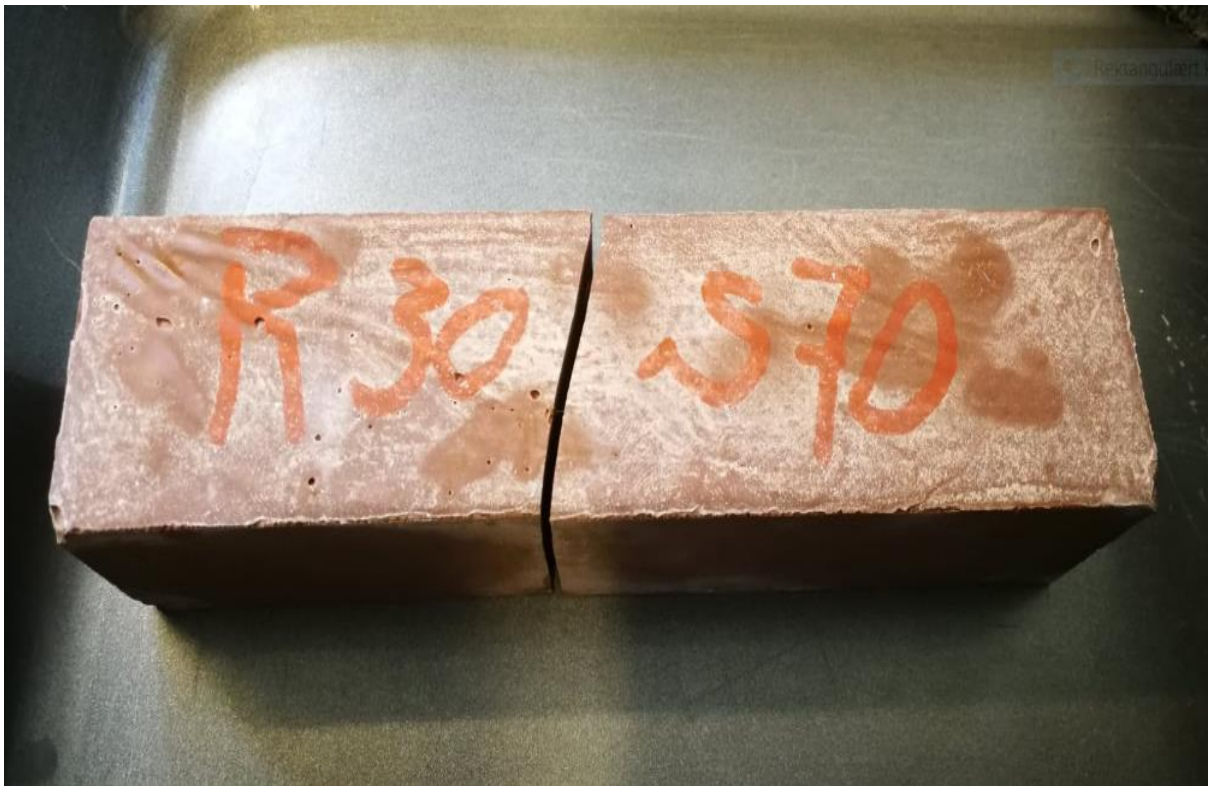


Graf c.3.4: Bøyestrekfasthet for blanding 30% lokal leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for lokal leire, 6,90 MPa.

Rød leire med sement bøyestrektest iht NS-EN 196-1:2016 1

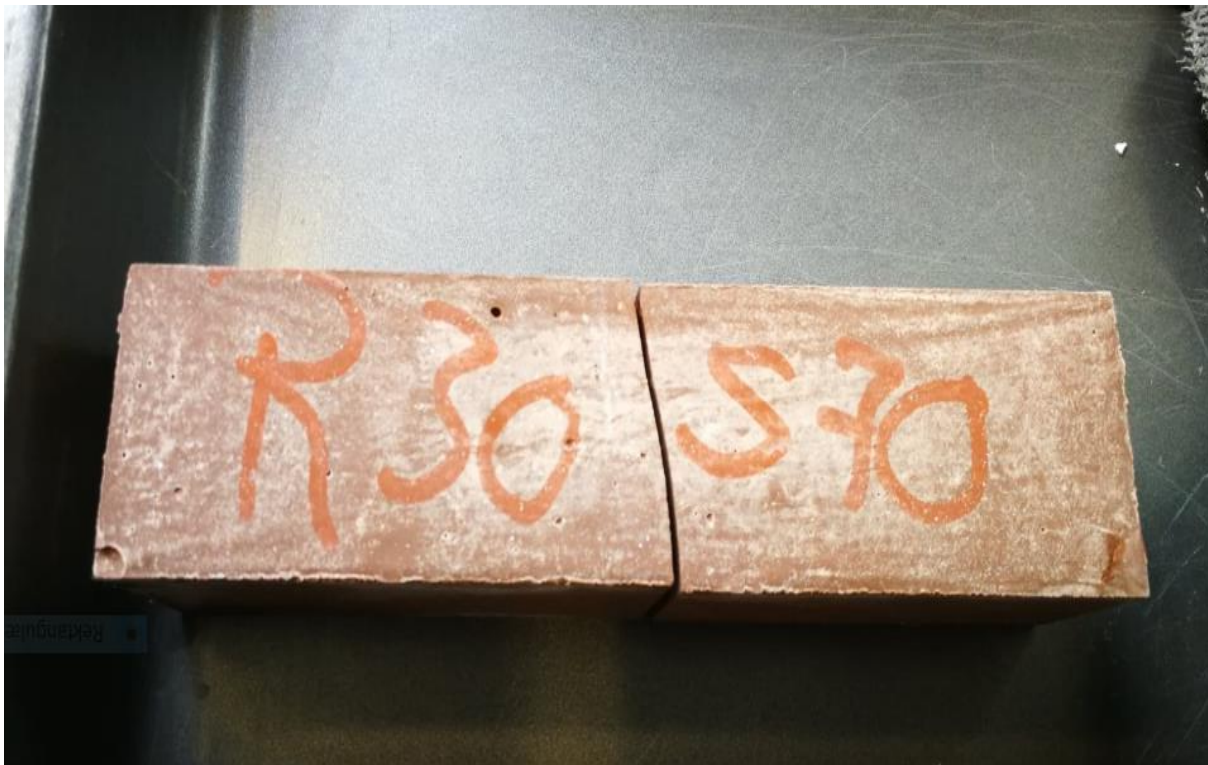
- a) Blanding med 30% rød leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- f) Dato: 08.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 2,414 kN
- h) Bøyestrekfasthet:
- i) Bruddets plassering:
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: støpt: 7 dager 30 min
- l) Nedbøyning: 0,15 mm



Bilde c.3.5: Prisme 1, blanding 30 % rød leire, 70% sement.

Rød leire med sement bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 2

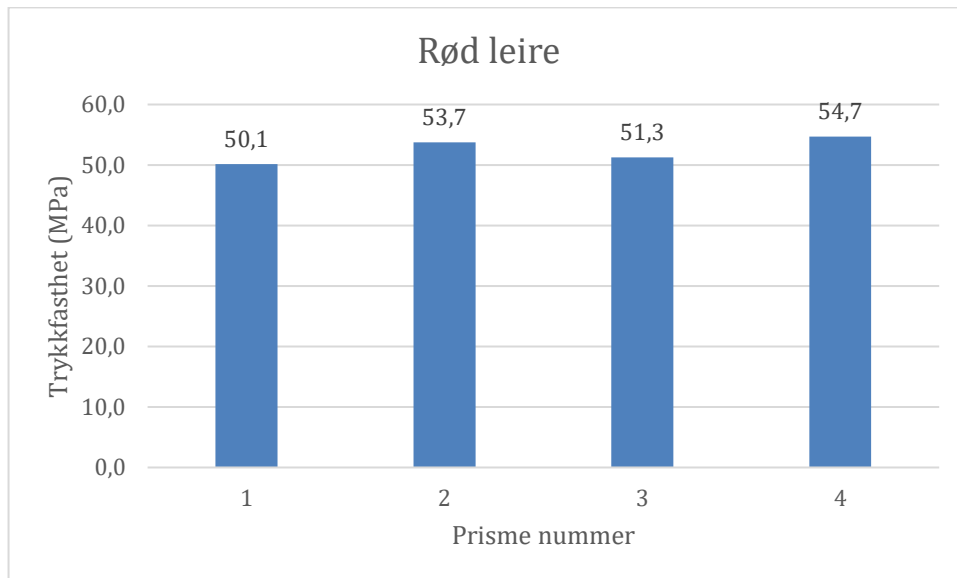
- a) Blanding med 30% rød leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- f) Dato: 08.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 2,726 kN
- h) Bøyestrekfasthet:
- i) Bruddets plassering:
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 7 dager og 40 min
- l) Nedbøyning: 0,19 mm



Bilde c.3.6: Prisme 2, blanding 30 % rød leire, 70% sement.

Rød leire trykkfasthet

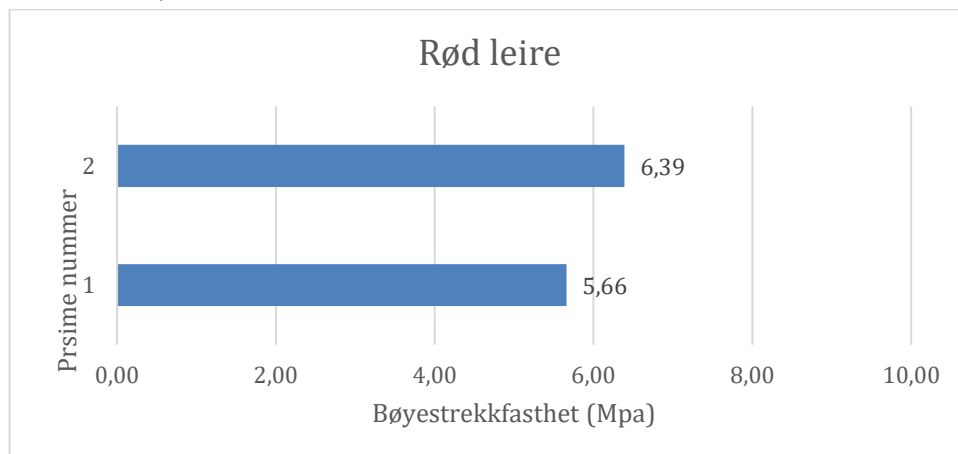
1. 80,20 kN (bruddform B)
2. 85,98 kN (bruddform C)
3. 82,01 kN (bruddform B)
4. 87,49 kN (bruddform C)



Graf c.3.5: Trykkfasthet for blanding 30% rød leire, og 70% sement

Gjennomsnitt: 83,92 kN

Bøyestrekfasthet for rød leire

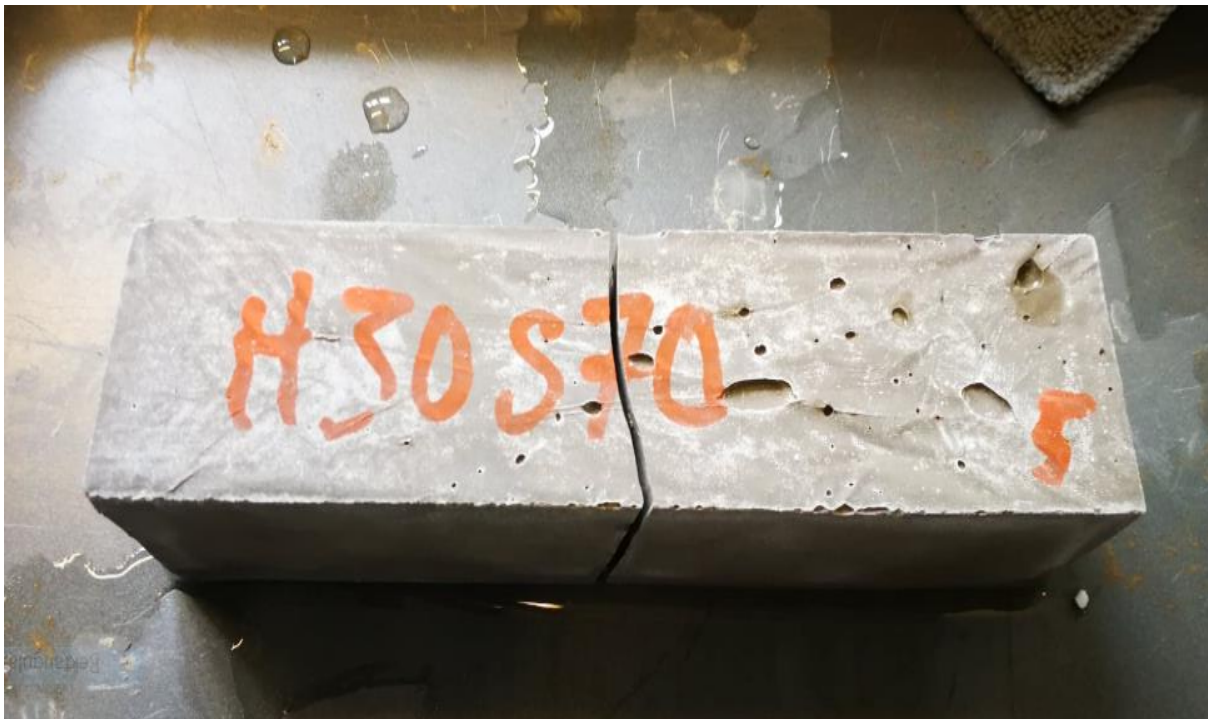


Graf c.3.6: Bøyestrekfasthet for blanding 30% rød leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for rød leire, 6,02 MPa.

Hvit leire med sement bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 1

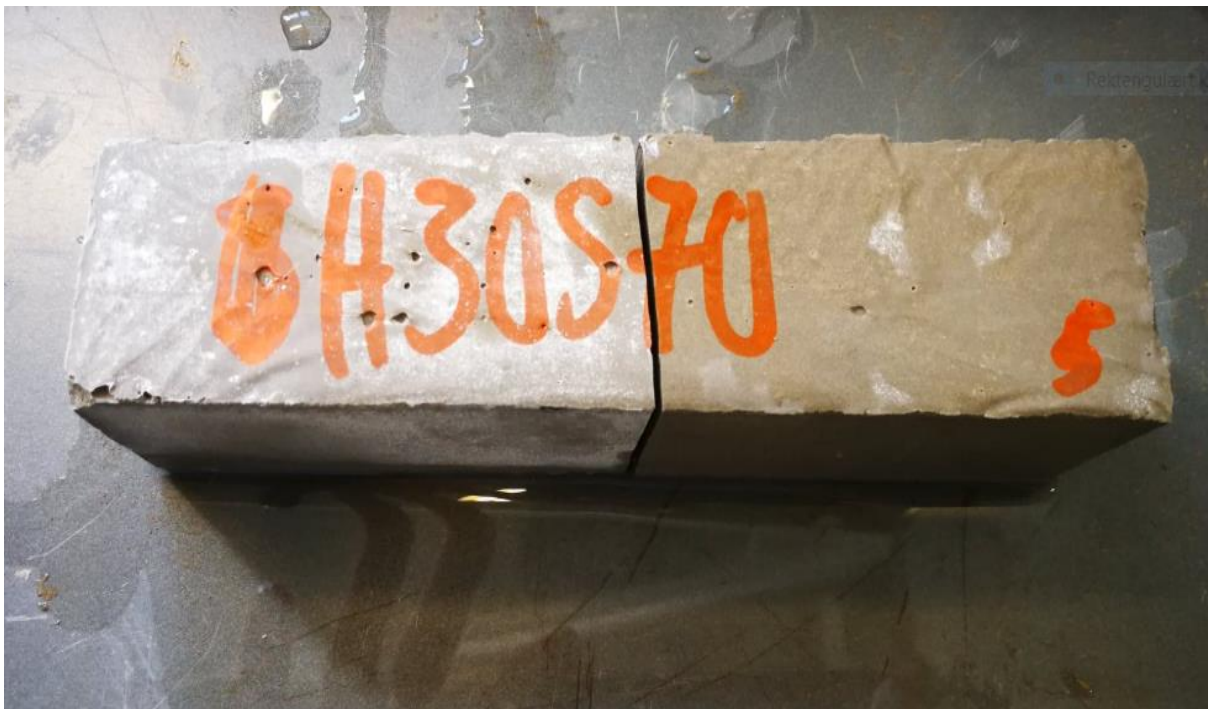
- a) Blanding med 30% hvit leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- f) Dato: 08.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 3,316 kN
- h) Bøyestrekfasthet:
- i) Bruddets plassering:
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 7 dager og 20 min
- l) Nedbøyning: 0,24 mm



Bilde c.3.7: Prisme 1, blanding 30 % hvit leire, 70% sement.

Hvit leire med sement bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 2

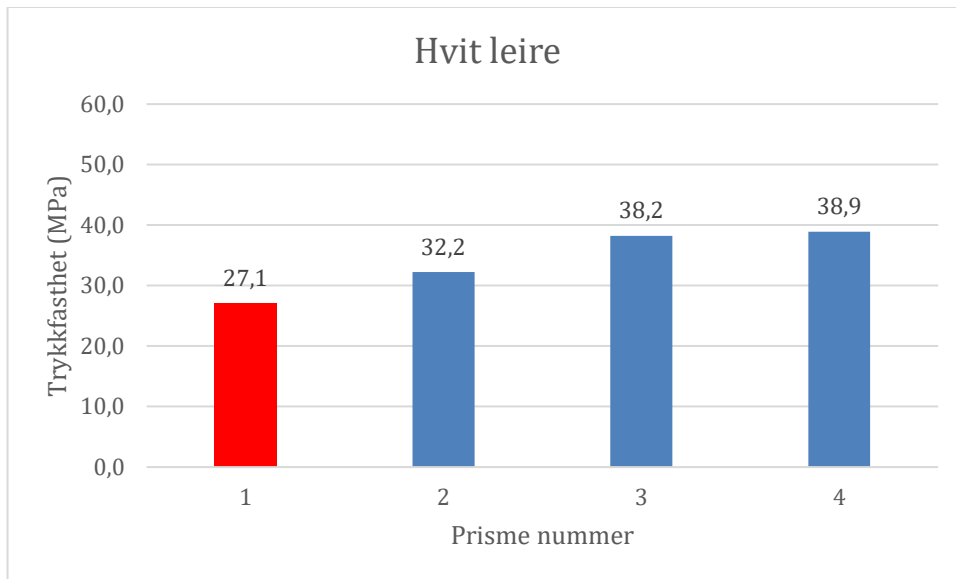
- a) Blanding med 30% hvit leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Ingen sliping nødvendig
- d) Midtpunktsbelastning
- e) Legemene tatt opp av vann maks 15 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mens de ligger i romtemperatur.
- f) Dato: 08.04.19
- g) Største last ved brudd (kN): 3,697 kN
- h) Bøyestrekfasthet:
- i) Bruddets plassering:
- j) Avvik fra standard metoder:
- k) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: støpt: 7 dager og 20 min
- l) Nedbøyning: 0,58 mm



Bilde c.3.8: Prisme 2, blanding 30 % hvit leire, 70% sement.

Hvit leire trykkfasthet (break detection 50 promille)

1. 43,34 kN (bruddform B)
2. 51,58 kN (bruddform B)
3. 61,18 kN (bruddform B)
4. 62,28 kN (bruddform B)

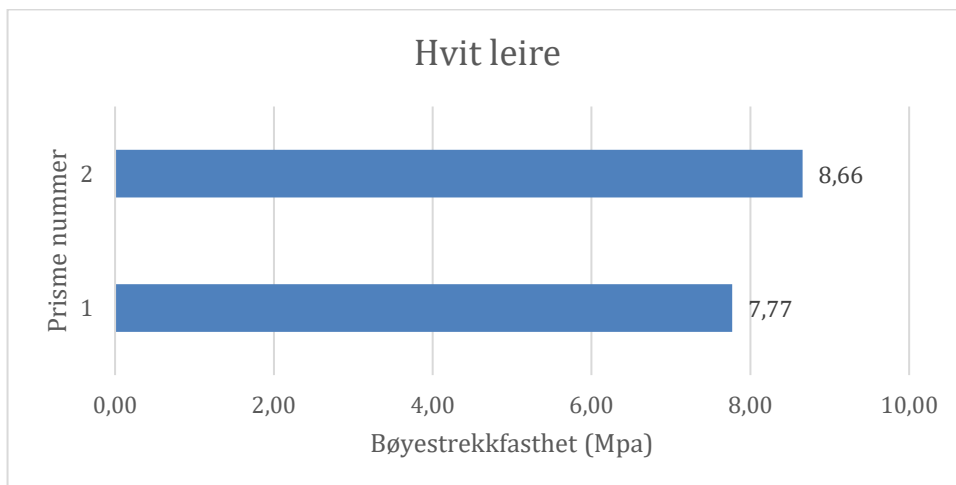


Graf c.3.7: Trykkfasthet for blanding 30% hvit leire, og 70% sement

Gjennomsnitt: 54,59 kN

Prisme nummer 1 er ikke godkjent etter standarden.

Bøyestrekfasthet for hvit leire

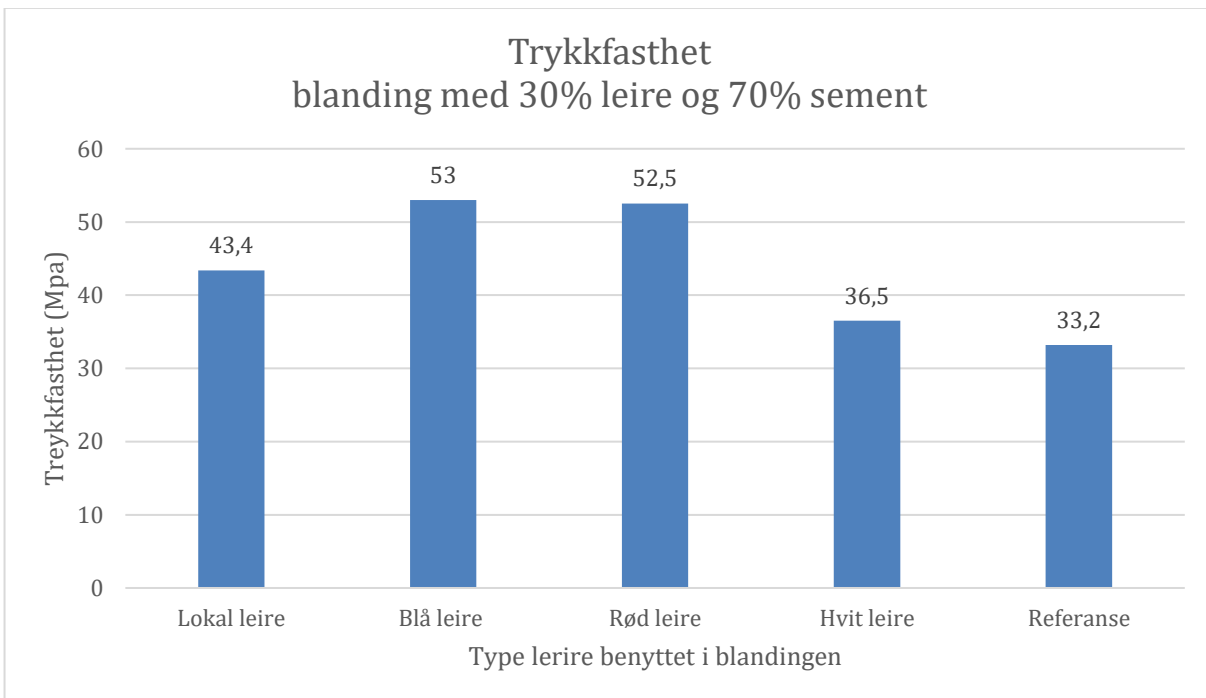


Graf c.3.8: Bøyestrekfasthet for blanding 30% hvit leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for hvit leire, 8,22 MPa

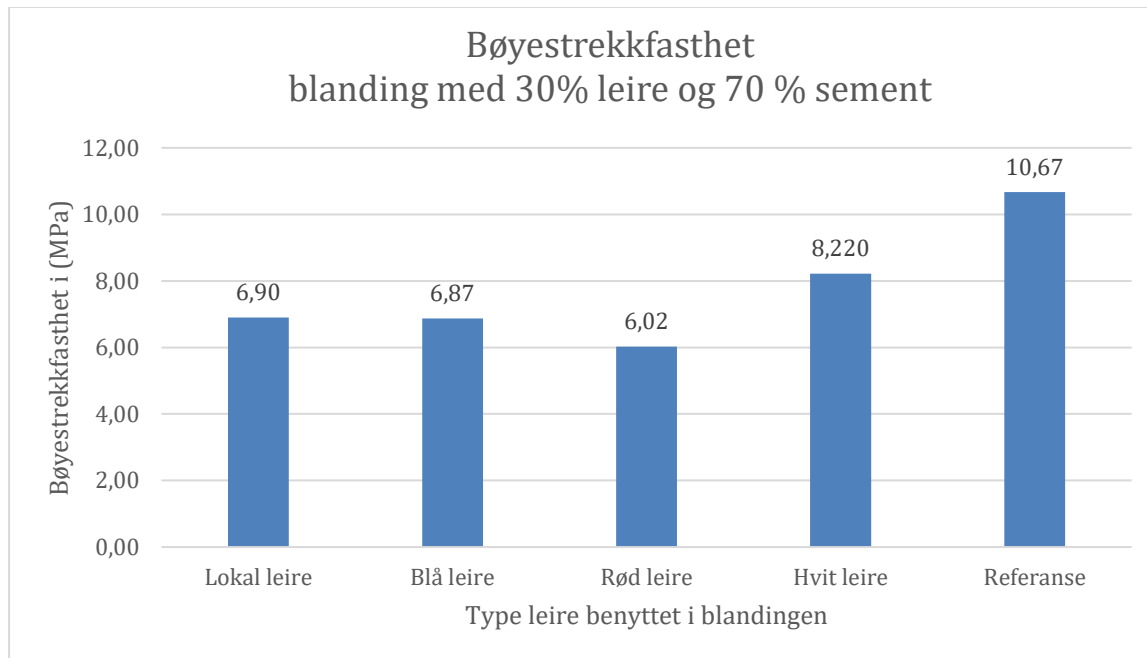
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene

Trykkfasthet



Graf c.3.9: Trykkfasthet for blanding 30% leire, og 70% sement

Bøyestrekfasthet



Graf c.3.10: Bøyestrekfasthet for blanding 30% leire, og 70% sement

Vedlegg C.4 Testing av bindemiddel med 30% leire og 70% sement etter 28 dager. 29.04.2019

Blåleire med sement bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 1

gg) Blanding med 30% blå leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.

hh) Målte dimensjoner: 40x40x160mm

ii) Midtpunktsbelastning

jj) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.

kk) Dato: 29.04.19

ll) Største last ved brudd: 2,512 kN

mm) Bøyestrekfasthet: 5,89 MPa

nn) Bruddets plassering:

oo) Eventuelle avvik: noe luftbobler

pp) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager og 23 timer

qq) Nedbøyning: 0,18mm



Bilde c.4.1: Prisme 1, blanding 30 % blå leire, 70% sement.

Blåleire med sement bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 2

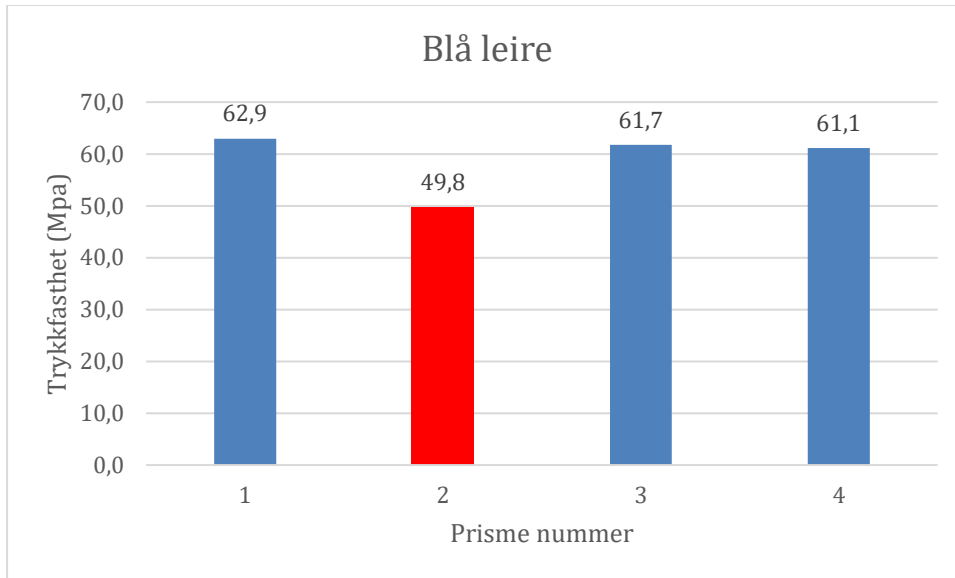
- a) Blanding med 30% blå leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrekkt og trykktest.
- e) Dato: 29.04.19
- f) Største last ved brudd: 2,377 kN
- g) Bøyestrekkefasthet: 5,57 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik: noe store luftbobler i bruddsnitt
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager og 23 timer
- k) Nedbøyning: 0,16mm



Bilde c.4.2: Prisme 2, blanding 30 % blå leire, 70% sement.

Blåleire trykkfasthet

1. 100,69 kN (bruddform C)
2. 79,64 kN (bruddform B)
3. 98,77 kN (bruddform C)
4. 97,78 kN (bruddform C)

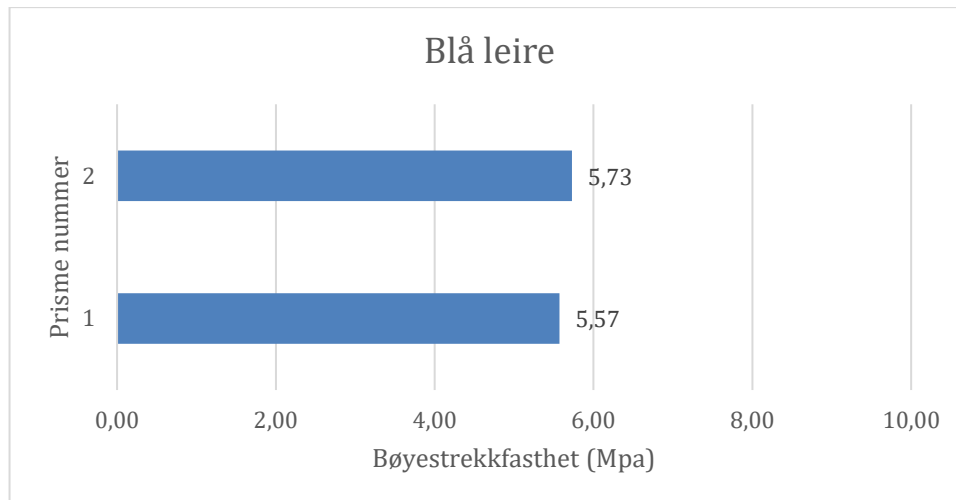


Graf c.4.1: Trykkfasthet for blanding 30% hvit leire, og 70% sement

Gjennomsnitt: 61,1 MPa.

Prisme nummer 2 er ikke godkjent etter standarden.

Bøyestrekfasthet for blå leire



Graf c.4.2: Bøyestrekfasthet for blanding 30% blå leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for blå leire, 5,73 MPa.

Lokal leire med sement bøyestrektest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 30% lokal leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.

- e) Dato: 29.04.19
- f) Største last ved brudd: 2,892 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 6,78 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager, 22 timer og 30 minutter
- k) Nedbøyning: 0,18mm



Bilde c.4.3: Prisme 1, blanding 30 % lokal leire, 70% sement.

Lokal leire med sement bøyestrekkttest iht NS-EN 196-1:2016 2

- a) Blanding med 30% lokal leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.

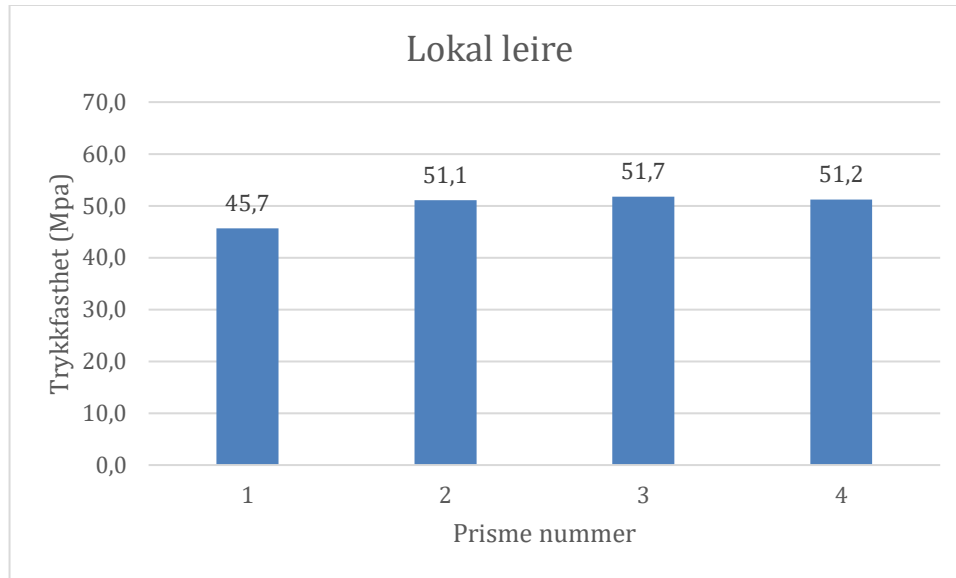
- e) Dato: 29.04.19
- f) Største last ved brudd: 3,210 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 7,52 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager, 22 timer og 30 minutter
- k) Nedbøyning: 0,22mm



Bilde c.4.4: Prisme 2, blanding 30 % lokal leire, 70% sement.

Lokal leire trykkfasthet

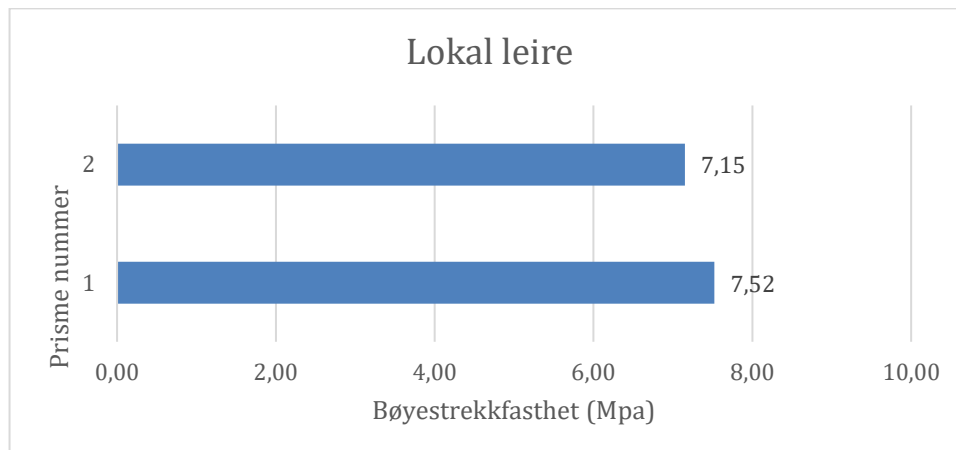
1. 73,08 kN (bruddform B)
2. 81,75 kN (bruddform B)
3. 82,79 kN (bruddform B)
4. 81,94 kN (bruddform B)



Graf c.4.3: Trykkfasthet for blanding 30% lokal leire, og 70% sement

Gjennomsnitt, 51,2 MPa.

Bøystrekkfasthet for lokal leire



Graf c.4.4: Bøystrekkfasthet for blanding 30% lokal leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøystrekkfasthet for lokal leire, 7,15 MPa.

Rødleire med sement bøystrekktest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 30% rødleire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning

- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrekking og trykktest.
- e) Dato: 29.04.19
- f) Største last ved brudd: 2,141 kN
- g) Bøyestrekkefasthet: 5,02 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik: Noen luftbobler på overflate og i brudd
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager og 22 timer
- k) Nedbøyning: 0,14mm



Bilde c.4.5: Prisme 1, blanding 30 % rød leire, 70% sement.

Rødleire med sement bøyestrekkingstest iht NS-EN 196-1:2016 2

- a) Blanding med 30% rødleire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm

- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrekk og trykktest.
- e) Dato: 29.04.19
- f) Største last ved brudd: 2,993 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 7,01 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager og 22 timer
- k) Nedbøyning: 0,20 mm

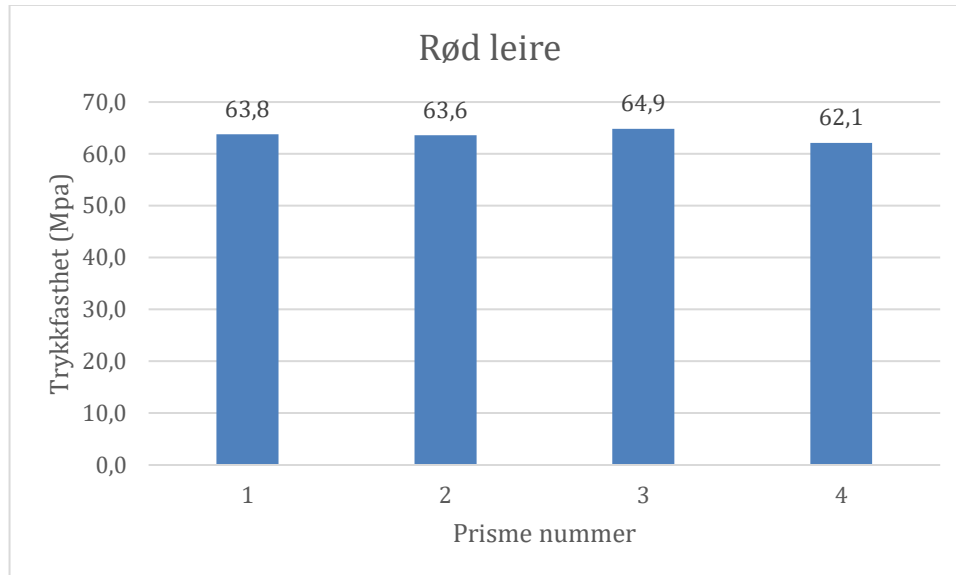


Bilde c.4.6: Prisme 2, blanding 30 % rød leire, 70% sement.

Rødleire trykkfasthet

1. 102,03 kN (bruddform C)
2. 101,76 kN (bruddform C)
3. 103,77 kN (bruddform C)

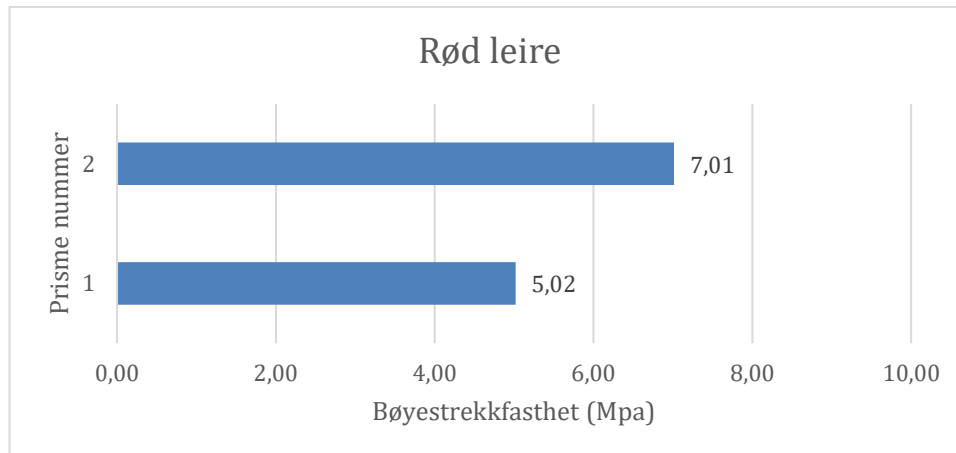
4. 99,42 kN (bruddform C)



Graf c.4.5: Trykkfasthet for blanding 30% rød leire, og 70% sement

Gjennomsnitt, 62,1 MPa.

Bøyestrekfasthet for rød leire



Graf c.4.6: Bøyestrekfasthet for blanding 30% rød leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for rød leire, 6,02 MPa.

Hvit leire med sement bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 1

- Blanding med 30% hvit leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- Målte dimensjoner: 40x40x160mm

- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 29.04.19
- f) Største last ved brudd: 3,935 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 9,22 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager og 22 timer
- k) Nedbøyning: 0,35mm



Bilde c.4.7: Prisme 1, blanding 30 % hvit leire, 70% sement.

Hvit leire med sement bøyestrektest iht NS-EN 196-1:2016 2

- a) Blanding med 30% hvit leire og 70% sement. Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm

- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 29.04.19
- f) Største last ved brudd: 3,098 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 7,26 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik: bredden noe mindre enn 40mm
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: 27 dager og 22 timer
- k) Nedbøyning: (31,49-31,38) fikk ikke nedbøyningen fra dette prismet



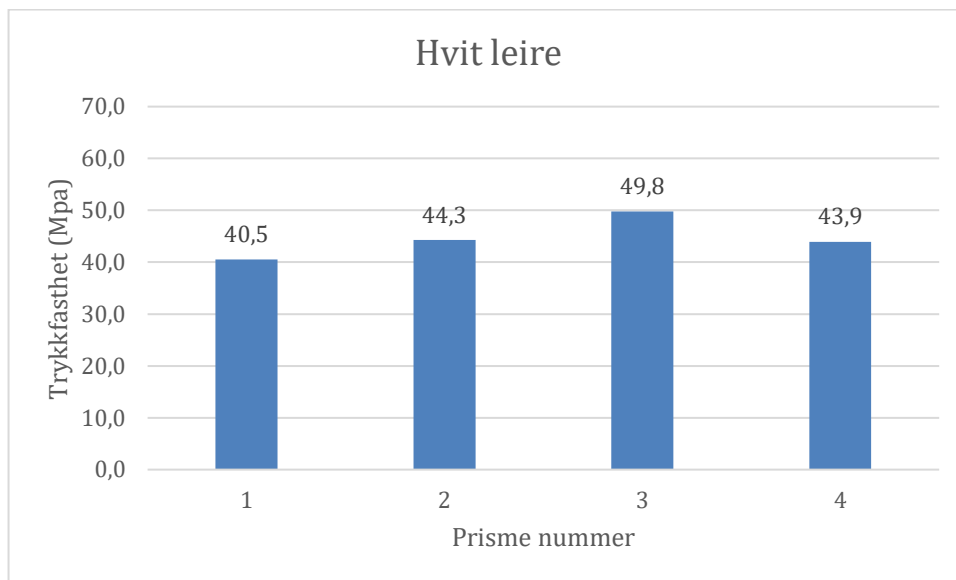
Bilde c.4.8: Prisme 2, blanding 30 % hvit leire, 70% sement.

Hvit leire trykkfasthet

Prismene virker mindre harde enn andre

1. 64,87 kN (ikke tilfredsstillende bruddform, brudd går rett nedover)
2. 70,83 kN (samme bruddform som tidligere)

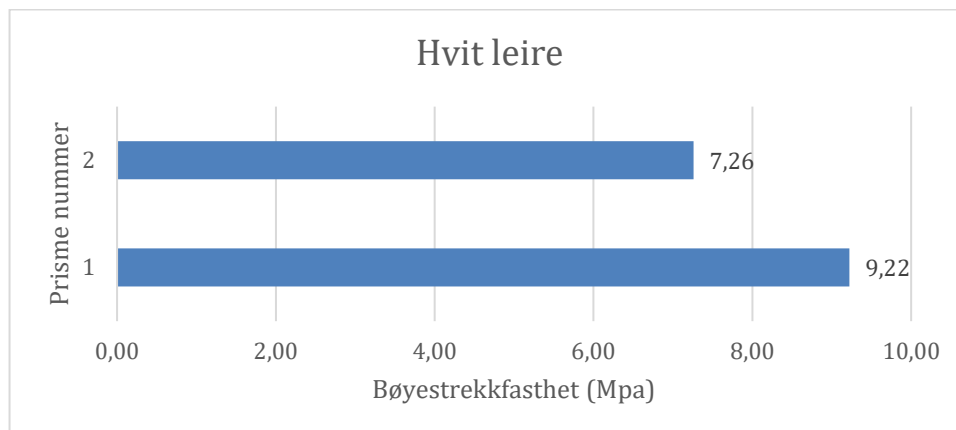
3. 79,62 kN (samme bruddform) C?
4. 70,29 kN (sammen bruddform)



Graf c.4.7: Trykkfasthet for blanding 30% hvit leire, og 70% sement

Gjennomsnitt, 44,6

Bøyestrekfasthet for hvit leire

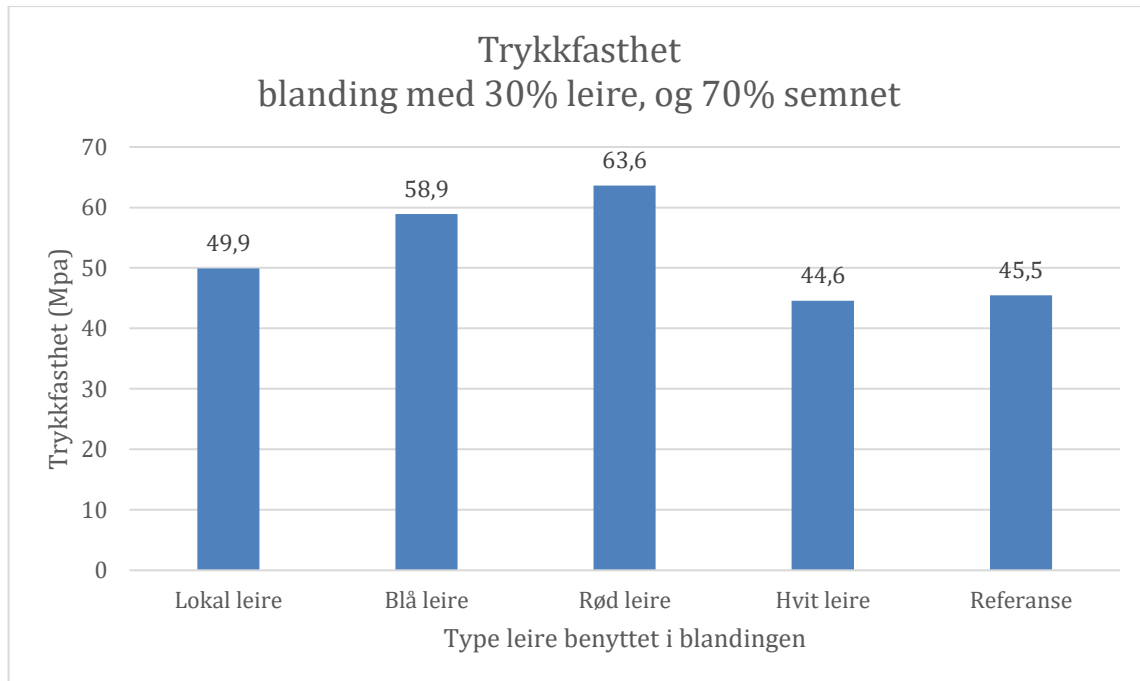


Graf c.4.8: Bøyestrekfasthet for blanding 30% hvit leire, og 70% sement

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for hvit leire, 8,24 MPa.

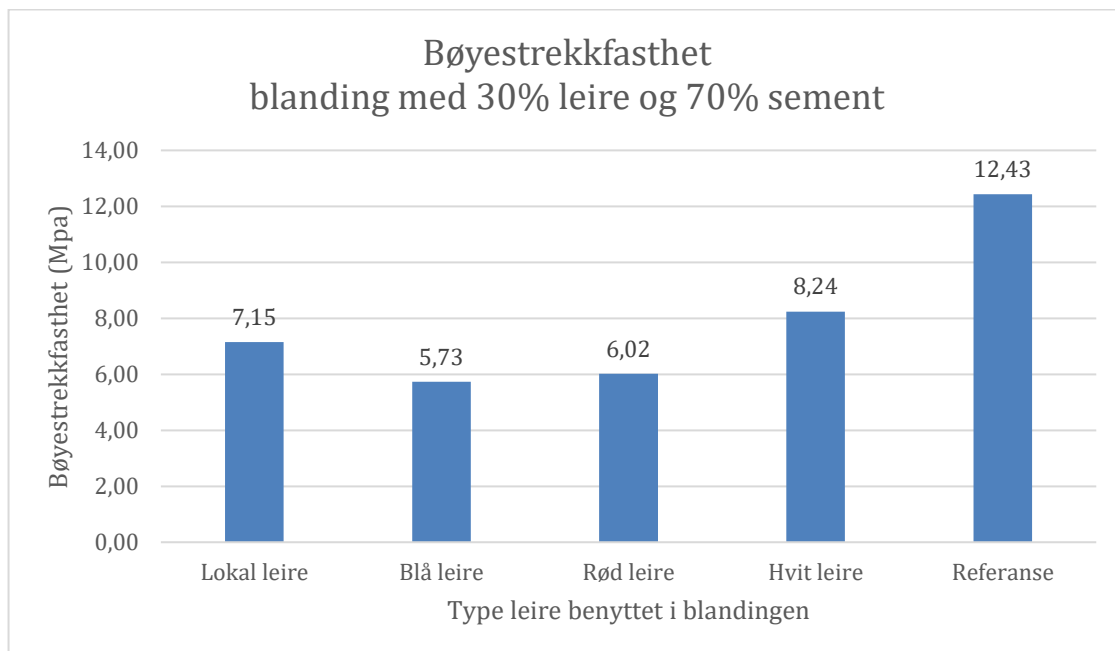
Gjennomsnittlig resultat av bindemidlene

Trykkfasthet



Graf c.4.9: Trykkfasthet for blanding 30% leire, og 70% sement (etter 28 dager)

Bøyestrekfasthet



Graf c.4.10: Bøyestrekfasthet for blanding 30% leire, og 70% sement (etter 28 dager)

Vedlegg C.5 Testing av bindemiddel uten sement etter 28 dager.

14.05.2019

Lokal leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk, 10,5 % kalkstein og 1% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: ingen fasthet, prøven er myk og smuldrer opp
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning:

Lokal leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 2

- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk, 10,5 % kalkstein og 1% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: ingen fasthet, prøven er myk og smuldrer opp
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning:

Trykktesting lokal leire, iht NS-EN 196-1:2016

Ingen trykkfasthet. Prismene er ikke harde og kan lett knuses med hånda.



Bilde c.5.1: prisme1 -2: for blanding med 52.7% loka leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Blå leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk, 10,5 % kalkstein og 4% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrekking og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: 0,77 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 1,80 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik: prismet er ikke hardt
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning: 0,16mm



Bilde c.5.2: prisme 1: med blanding 52.7% blå leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Blå leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 2

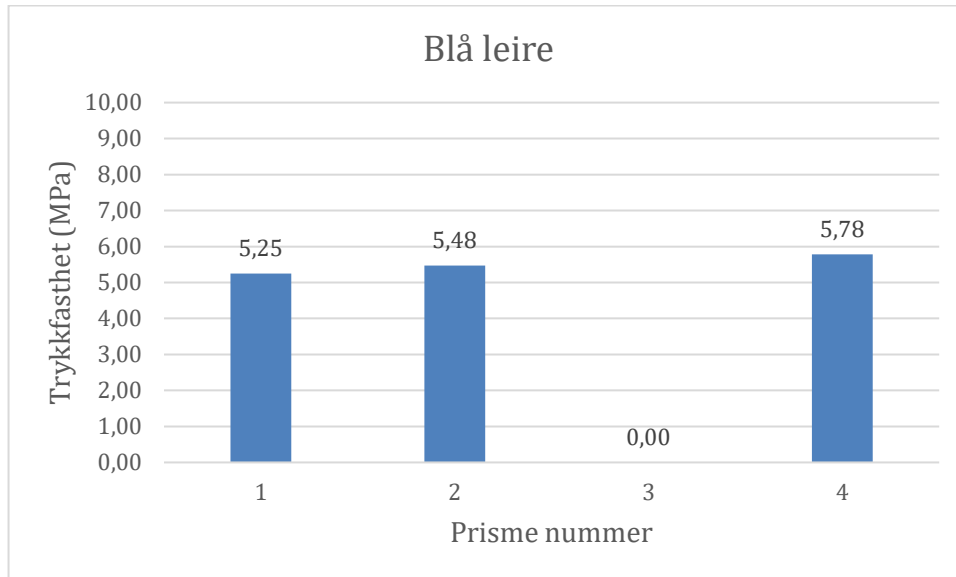
- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk, 10,5 % kalkstein og 4% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: 0,849 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 1,99 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik: prisme er ikke veldig hardt
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning: 0,18 mm



Bilde c.5.3: prisme 2: med blanding 52.7% leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Trykktesting blåleire, iht NS-EN 196-1:2016

1. 8,4 kN (ikke tilfredsstillende bruddform)
2. 8,76 kN (bruddform C)
3. ingen trykkfasthet
4. 9,25 kN (bruddform B)

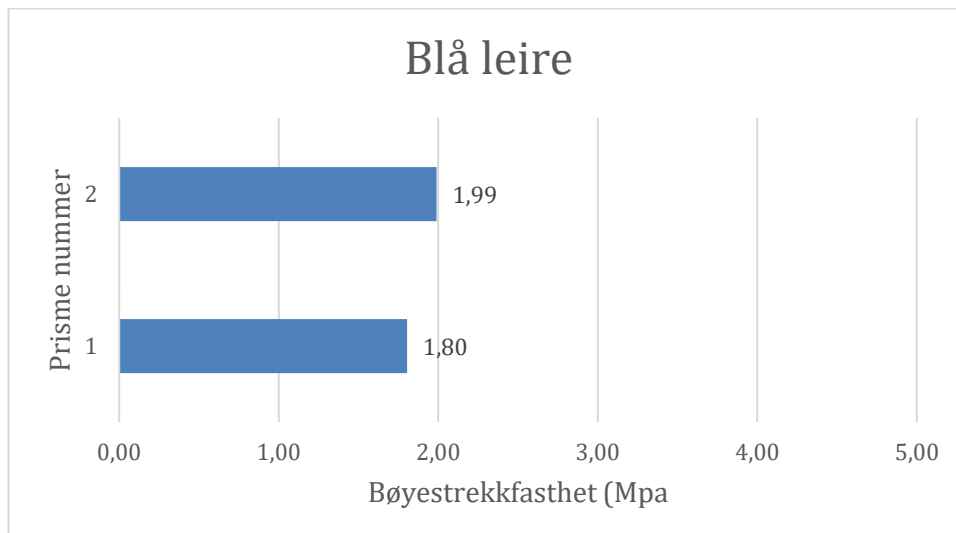


Graf c.5.1: trykkfasthet for 52.7% blå leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Gjennomsnitt: 5,50 (MPa)

Prisme nummer 3 ødelagt under trykktesting

Bøyestrekfasthet for blå leire



Graf c.5.2: Bøyestrekfasthet for 52.7% blå leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for blå leire, 1,90 MPa.

Rød leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk og 10,5 % kalkstein og 4% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: 0,928 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 2,18 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning: 0,22 mm



Bilde c.5.4: prisme 1: med blanding 52.7% rød leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Rød leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 2

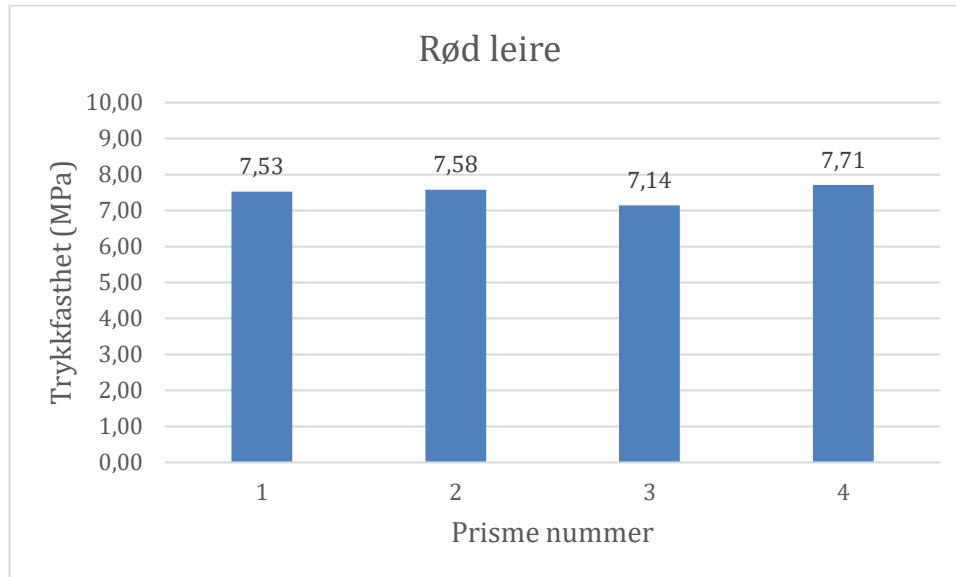
- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk, 10,5 % kalkstein og 4% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrek og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: 1,115 kN
- g) Bøyestrekfasthet: 3,55 MPa
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning: 0,23 mm



Bilde c.5.5: prisme 2: med blanding 52.7% rød leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Trykktesting rødleire, iht NS-EN 196-1:2016

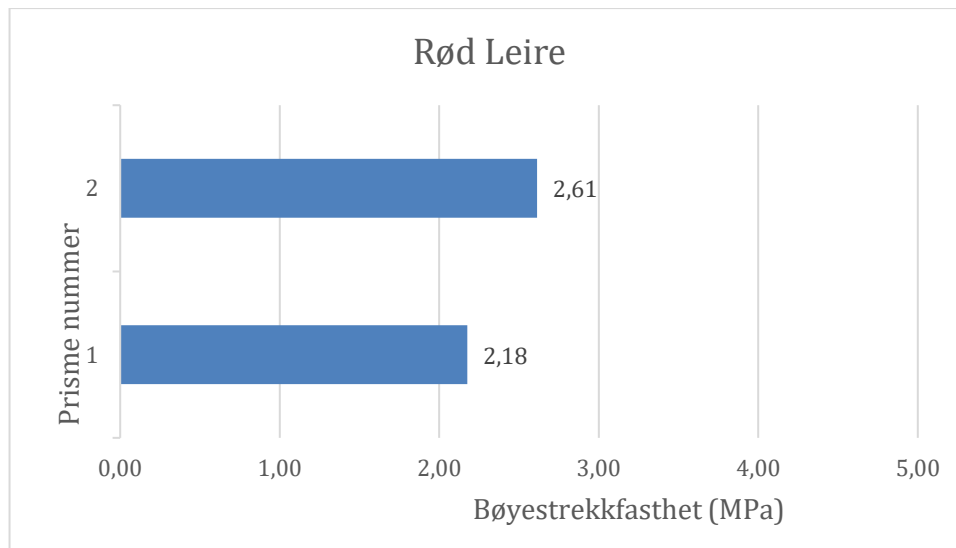
1. 12,04 kN (bruddform B)
2. 12,13 kN (bruddform B)
3. 11,43 kN (bruddform B)
4. 12,34 kN (bruddform B)



Graf c.5.3: trykkfasthet for 52.7% rød leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Gjennomsnitt, 7,49 MPa

Bøyestrekfasthet for rød leire



Graf c.5.4: Bøyestrekfasthet for 52.7% rød leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for blå leire, 1,90 MPa.

Hvit leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktest iht NS-EN 196-1:2016 1

- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk, 10,5 % kalkstein og 5% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrekking og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: 1,713 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning: 0,18mm



Bilde c.5.6: prisme 1: med blanding 52.7% hvit leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Hvit leire, bindemiddel uten sement bøyestrekktst iht NS-EN 196-1:2016 2

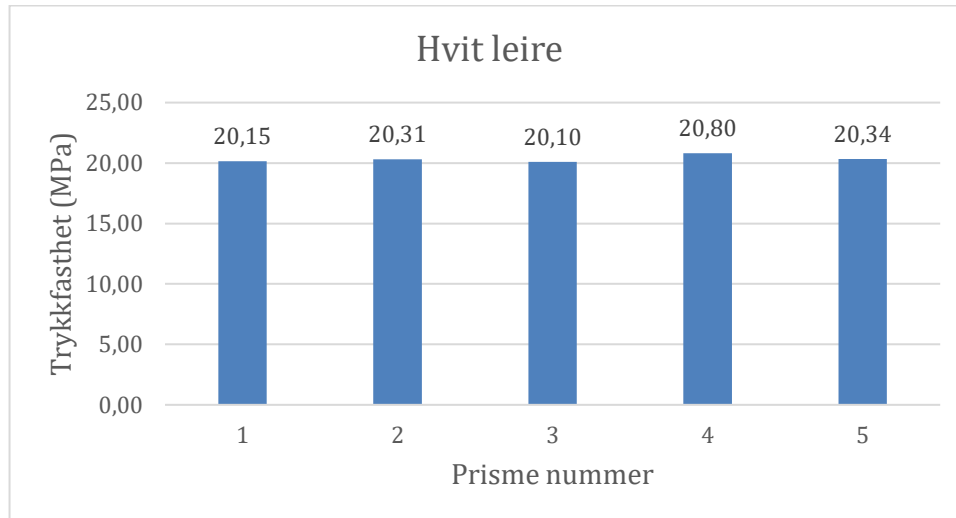
- a) Blanding med 52,7 % leire, 36,8 % hydratkalk, 10,5 % kalkstein og 4% SP (av leiremasse). Masseforhold 0,4.
- b) Målte dimensjoner: 40x40x160mm
- c) Midtpunktsbelastning
- d) Legemene tatt opp av vann ca 10 min før testing. Prøvelegemene dekkes av fuktig klut mellom bøyestrekking og trykktest.
- e) Dato: 14.05.19
- f) Største last ved brudd: 1,382 kN
- g) Bøyestrekfasthet:
- h) Bruddets plassering:
- i) Eventuelle avvik:
- j) Prøvelegemets alder på prøvetidspunkt: cirka 27 dager 20 timer
- k) Nedbøyning: 0,15mm



Bilde c.5.7: prisme 2: med blanding 52.7% hvit leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Trykktesting hvit leire, iht NS-EN 196-1:2016

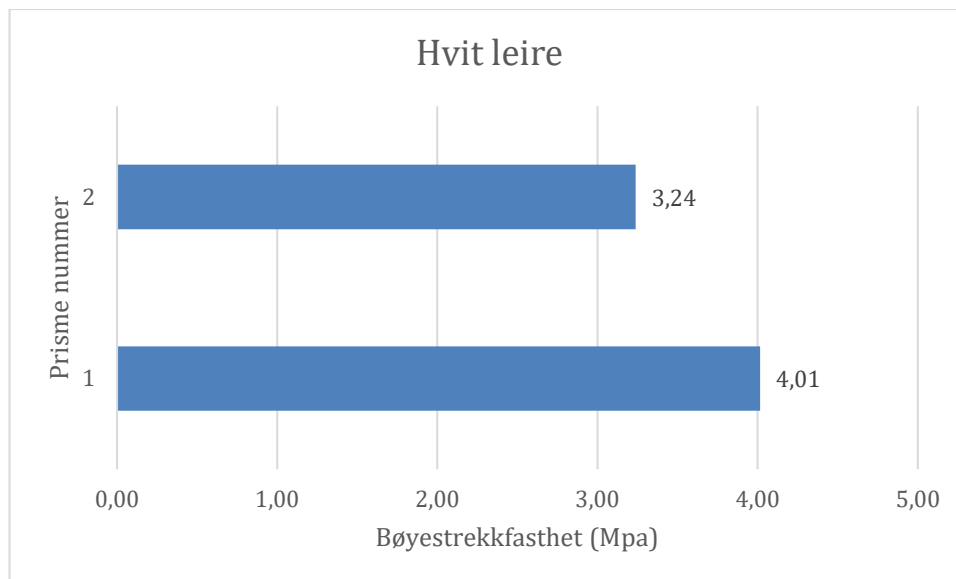
1. 32,24 kN (bruddform B)
2. 32,50 kN (bruddform B)
3. 32,16 kN (bruddform B)
4. 33,48 kN (bruddform B)



Graf c.5.5: trykkfasthet for 52.7% leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Gjennomsnitt, 20,34 Mpa

Bøyestrekfasthet for hvit leire

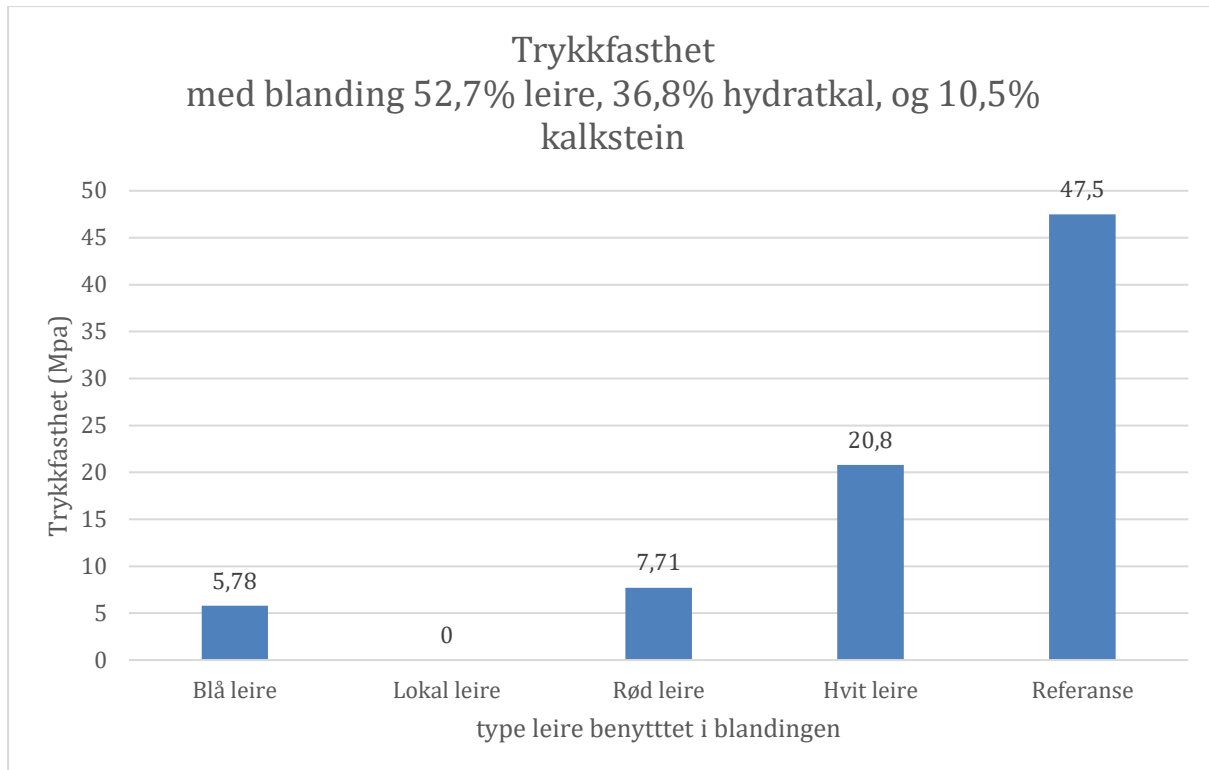


Graf c.5.6: bøyestrekfasthet for 52.7% leire, 10,5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Gjennomsnittlige bøyestrekfasthet for blå leire, 3,63 MPa.

Gjennomsnittlige trykkfasthet forblending uten sement

Trykkfasthet



Graf c.5.7: trykkfasthet for 52.7% leire, 10.5% kalkstein og 36.8% hydratkalk

Vedlegg D.1 Bregninger for blanding 30% leire, 15% kalkstein og 55 % sement etter 7 dagerstest

Trykk og strekk-fasthet for blanding 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement. Prøvene ble testet etter 7 dager.

	Trykkfasthet (MPa)						
	1	2	3	4	gjennomsnitt	Interval	gjennomsnitt ±10%
Lokal leire	36,3	36,3	33,5	34,2	35,1	38,6	31,6
Blå leire	41,3	38,7	36,6		38,9	42,8	35,0
Rød leire			24,7	24,1	24,4	26,8	22,0
Hvit leire	49,5	44,1	46,1	46,3	46,5	51,1	41,8
Referanse	32,7	40,0	31,8	35,1	33,2	36,5	29,9

Fasthet prøveprismer, LC³ blandinger

Blanding med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement

Trykkfasthet (kN)

	1	2	3	4	gjennomsnitt
Lokal leire	58,05	58,06	53,65	54,71	56,12
Blå leire	66,08	61,97	58,57		62,21
Rød leire			39,51	38,59	39,05
Hvit leire	79,18	70,51	73,76	74	74,3625
Referanse	52,35	63,95	50,86	56,17	55,8325

		Bøyestrekfasthet		NS 12390-5	
		Bruddkraft (kN)		Tverrmål (mm)	
		Prisme 1	Prisme 2	d_1	d_2
Lokal leire		1,78	2,13	40	40
Blå leire		1,72	1,44	40	40
Rød leire		1,23	1,69	40	40
Hvit leire		1,11	2,24	40	40
Referanse		3,19	2,70	40	40

		Bøyestrekfasthet (Mpa)			
Prisme 1	Prisme 2	Gjennomsnitt	Avstand mellom oppleggsruller		
3,34	4,00	3,67	l (mm)	120	
3,22	2,71	2,96			
2,30	3,17	2,74			
2,08	4,19	3,14			
5,98	5,06	5,52			

$$f_{ef} = \frac{F \times l}{d_1 \times d_2^2}$$

Vedlegg D.2 Bregninger for bladning 30% leire, 15% kalstein og 55% sement etter 28 dagerstest

Trykk og strekk-fasthet for blanding 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement. Prøvene ble testet etter 28 dager.

Blanding med 30% leire, 15% kalkstein og 55% sement					
Trykkfasthet (kN)					
	1	2	3	4	gjennomsnitt
Lokal leire	59,38	60,18	60,69	59,61	59,97
Blå leire	76,04	76,48	73,39	76,43	75,59
Rød leire	62,74	39,08	42,81	53,68	58,21
Hvit leire	92,27	94,04	101,4	91,22	94,73
Referanse	80,72	73,93	63,53	73,18	72,84

Trykkfasthet (MPa)						
	1	2	3	4	gjennomsnitt	Interval gjennomsnitt ±10%
Lokal leire	37,1	37,6	37,9	37,3	37,5	41,2 33,7
Blå leire	47,5	47,8	45,9	47,8	47,2	52,0 42,5
Rød leire	39,2	24,4	26,8	33,6	36,4	40,0 32,7
Hvit leire	57,7	58,8	63,4	57,0	59,2	65,1 53,3
Referanse	50,5	46,2	39,7	45,7	47,5	52,2 42,7

Bøyestrekfasthet iht NS-EN 196-1:2016				
	Bruddkraft (N)		Tverrmål (mm)	
	Prisme 1	Prisme 2	d_1	d_2
Lokal leire	2933	1915	40	40
Blå leire	2455	2086	40	40
Rød leire	3787	4317	40	40
Hvit leire	4038	3701	40	40
Referanse	4971	5634	40	40

Bøyestrekfasthet (Mpa)			
Prisme 1	Prisme 2	Gjennomsnitt	Avstand mellom oppleggsruller, l (mm)
6,87	4,49	5,68	100
5,75	4,89	5,32	100
8,88	10,12	9,50	100
9,46	8,67	9,07	100
11,65	13,20	12,43	100

Vedlegg D.3 Bregninger for blanding 30% leire og 70% sement etter 7 dagerstest

Trykk og strekk-fasthet for blanding 30% leire og 70% sement. Prøvene ble testet etter 7 dager.

Blanding 30% leire og 70% semnet						
	Trykkfasthet (kN)					
	1	2	3	4	Gjennomsnitt	
Lokal leire	63,14	71,11	69,08	74,41	69,44	
Blå leire	88,26	84,4	80,34	86,34	84,84	
Rød leire	80,2	85,98	82,01	87,49	83,92	
Hvit leire	43,34	51,58	61,18	62,28	54,60	
Referanse	52,35	63,95	50,86	56,17	55,83	

	Trykkfasthet (MPa)					
	1	2	3	4	Gjennomsnitt	interval gjennomsnitt ±10%
Lokal leire	39,5	44,4	43,2	46,5	43,4	47,7 39,1
Blå leire	55,2	52,8	50,2	54,0	53,0	58,3 47,7
Rød leire	50,1	53,7	51,3	54,7	52,5	57,7 47,2
Hvit leire	27,1	32,2	38,2	38,9	36,5	40,1 32,8
Referanse	32,7	40,0	31,8	35,1	33,2	36,5 29,9

Bøystrekkfasthet		NS-EN 196-1:2016			
	Bruddkraft (N)		Tverrmål (mm)		
	Prisme 1	Prisme 2	d_1	d_2	
Lokal leire	3333	2556	40	40	
Blå leire	3090	2775	40	40	
Rød leire	2414	2726	40	40	
Hvit leire	3316	3697	40	40	
Referanse	4060	5040	40	40	

Bøystrekkfasthet (Mpa)				
Prisme 1	Prisme 2	Gjennomsnitt	Avstand mellom oppleggsruller, l (mm)	
7,81	5,99	6,90	100	
7,24	6,50	6,87		
5,66	6,39	6,02		
7,77	8,66	8,22		
9,52	11,825	10,67		

Vedlegg D.4 Bregninger for blanding 30% leire og 70% sement etter 28 dagerstest

Trykk og strekk-fasthet for blanding 30% leire og 70% sement. Prøvene ble testet etter 28 dager.

Trykkfasthet (kN)					
	1	2	3	4	Gjennomsnitt
Lokal leire	73,1	81,8	82,8	81,9	79,9
Blå leire	100,7	79,6	98,8	97,8	94,2
Rød leire	102,0	101,8	103,8	99,4	101,7
Hvit leire	64,9	70,8	79,6	70,3	71,4
Referanse	80,7	73,9	63,5	73,2	72,8

Trykkfasthet (MPa)							
	1	2	3	4	Gjennomsnitt	Interval gjennomsnitt ±10%	
Lokal leire	45,7	51,1	51,7	51,2	49,9	54,9	44,9
Blå leire	62,9	49,8	61,7	61,1	58,9	64,8	53,0
Rød leire	63,8	63,6	64,9	62,1	63,6	69,9	57,2
Hvit leire	40,5	44,3	49,8	43,9	44,6	49,1	40,2
Referanse	50,5	46,2	39,7	45,7	47,5	52,2	42,7

Bøystrekkfasthet NS-EN 196-1:2016				
	Bruddkraft (N)		Tverrmål (mm)	
	Prisme 1	Prisme 2	d_1	d_2
Lokal leire	2892	3210	40	40
Blå leire	2512	2377	40	40
Rød leire	2141	2993	40	40
Hvit leire	3935	3098	40	40
Referanse	4971	5634	40	40

Bøystrekkfasthet (Mpa)			
Prisme 1	Prisme 2	Gjennomsnitt	Avstand mellom oppleggsruller, l (mm)
6,78	7,52	7,15	100
5,89	5,57	5,73	100
5,02	7,01	6,02	100
9,22	7,26	8,24	100
11,65	13,20	12,43	100 Fra første støping

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3}$$

Vedlegg D.5 Bregninger for blanding 52.7% leire, 36.8% hydratkalk og 10.5% kalkstein

Trykk og strekk-fasthet for blanding 52,7% leire, 36,8% hydrattkalk og 10,5% kalkstein. Prøvene ble testet etter 7 dager.

Trykkfasthet (MPa)					
	1	2	3	4	gjennomsnitt
Blå leire	5,25	5,48	0,00	5,78	5,50
Lokal leire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rød leire	7,53	7,58	7,14	7,71	7,49
Hvit leire	20,15	20,31	20,10	20,80	20,34
Referanse	72,72	67,90	47,59	48,99	59,30

Trykkfasthet (kN)					
	1	2	3	4	gjennomsnitt
Blåleire	8,4	8,76	0	9,25	8,80
Lokal leire	0	0	0	0	0,00
Rød leire	12,04	12,13	11,43	12,34	11,99
Hvit leire	32,24	32,5	32,16	33,28	32,55
Referanse	116,35	108,64	76,15	78,39	94,88

Bøyefasthet				
	Bruddkraft (N)		Tverrmål (mm)	
	Prisme 1	Prisme 2	d_1	d_2
Blåleire	770	849	40	40
Lokal leire	-	-	40	40
Rød leire	928	1115	40	40
Hvit leire	1713	1382	40	40
Referanse	4267	4434	40	40

Bøyestrekfasthet (Mpa)				
1	2	Gjennomsnitt	Avstand mellom oppleggsruller, l (mm)	
1,80	1,99	1,90	100	
0,00	0,00		100	
2,18	2,61	2,39	100	
4,01	3,24	3,63	100	
10,00	10,39	10,20	100	

Vedlegg D.6 Blanding skjema for blanding med 30% blå leire, 15% kalkstein og 55% sement.

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256	m ³

Volume		
Total volume	0,0011264	m ³
	1,1264	liter

Density		
SH-cement CEM I 52,5 R	3125	kg/m ³
Water	1000	kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1090	kg/m ³
Blåleire	2590	kg/m ³
Kalkstein	2700	kg/m ³

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Cement	827,1
Water	601,6
Plastic fiber	0
SP	2,481445
Blåleire	451,17181
Kalkstein	225,58591

% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,73
Superplasticizer (SP) [K2]	0,30 %	0,005454545
Sement	55,0 %	
Blåleire	30 %	0,55
Kalkstein	15 %	0,27

Oppnådd	
masseforhold	0,4009565
volum (liter)	1,1262744

Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Vedlegg D.7 Blanding skjema for blanding med 30% blå leire og 70% sement.

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256	m ³
Volum		
Total volume	0,0011264	m ³
	1,1264	liter
Densitet		
Norcem industrisement	3120	kg/m ³
Water	1000	kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1070	kg/m ³
Blåleire	2590	kg/m ³
Kalkstein	2700	kg/m ³
% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,57
Superplasticizer (SP) [K2]	0,30 %	0,004285714
Sement	70 %	
Blåleire	30 %	0,43
Kalkstein	0 %	0,00
Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Blandeskjema	
Materials	Mass [g]
Cement	1064,2
Water	604,9
Plastic fiber	0
SP	4,56098355
Blåleire	456,098355
Kalkstein	0

Oppnådd	
masseforhold	volum
	0,4
	1,1264

Vedlegg D.8 Blanding skjema for blanding med 52,7% blå leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk.

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256	m ³
Volume		
Total volume	0,0011264	m ³
	1,1264	liter
Density		
Norcem industrisement	3120	kg/m ³
Water	1000	kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1070	kg/m ³
Blåleire	2590	kg/m ³
Kalkstein	2700	kg/m ³
Hydratkalk	2240	
% av bindemiddel		
Water [K1]	40,00 %	0,76
Superplasticizer (SP) [K2]	4,00 %	0,075901328
Blåleire	52,70 %	
Hydratkalk	36,80 %	0,70
Kalkstein	10,50 %	0,20
Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Blåleire	731,4
Water	555,2
Plastic fiber	0
SP	29,2566223
Hydratkalk	510,741793
Kalkstein	145,727957

Oppnådd	
masseforhold	0,39174208
volum (liter)	1,14687964

Vedlegg D.9 Blanding skjema for blanding med 30% hvit liere, 15% kalkstein og 55% sement

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256 m ³	
Volume		
Total volume	0,0011264 m ³	
	1,1264 liter	
Density		
Norcem industrisement	3125 kg/m ³	
Water	1000 kg/m ³	
Superplasticizer (SP)	1070 kg/m ³	
Hvitleire	2566 kg/m ³	
Kalkstein	2700 kg/m ³	
% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,73
Superplasticizer (SP) [K2]	0,00 %	0
Sement	55 %	
Hvitleire	30 %	0,55
Kalkstein	15 %	0,27
Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Cement	827,7
Water	602,0
Plastic fiber	0
SP	0
Hvitleire	451,481601
Kalkstein	225,7408

Oppnådd	
masseforhold	0,4
volum (liter)	1,1264

Vedlegg D.10 Blanding skjema for blanding med 30% hvit leire og 70% sement

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256	m ³

Volum		
Total volume	0,0011264	m ³
	1,1264	liter

Densitet		
Norcem industrisement	3120	kg/m ³
Water	1000	kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1070	kg/m ³
Hvit leire	2566	kg/m ³
Kalkstein	2700	kg/m ³

Blandeskjema	
Materials	Mass [g]
Cement	1062,7
Water	604,1
Plastic fiber	0
SP	4,554324
Hvitleire	455,4324
Kalkstein	0

% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,57
Superplasticizer (SP) [K2]	0,30 %	0,004285714
Sement	70 %	
Hvit leire	30 %	0,43
Kalkstein	0 %	0,00

Oppnådd	
masseforhold	0,4
volum	1,1264

Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Vedlegg D.11 Blanding skjema for blanding med 52,7% hvit leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk.

Fundaments		
Number of samples	2	
Prism volum	0,000256 m ³	
Volume		
Total volume	0,0005632 m ³	
	0,5632 liter	
Density		
Norcem industrisement	3120 kg/m ³	
Water	1000 kg/m ³	
Superplasticizer (SP)	1070 kg/m ³	
Hvitleire	2566 kg/m ³	
Kalkstein	2700 kg/m ³	
Hydratkalk	2240 kg/m ³	
% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,76
Superplasticizer (SP) [K2]	5,00 %	0,09487666
Hvitleire	52,70 %	
Kalk	36,80 %	0,70
Kalkstein	10,50 %	0,20
Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Hvitleire	364,3
Water	276,5
Plastic fiber	0
SP	18,2149312
Hydratkalk	254,386896
Kalkstein	72,5832175

Oppnådd	
masseforhold	0,3897306
volum (liter)	0,57595045

Vedlegg D.12 Blanding skjema for blanding med 30% lokal leire, 15% kalkstein og 55% sement

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256	m ³

Volume		
Total volume	0,0011264	m ³
	1,1264	liter

Density		
Norcem industrisement	3125	kg/m ³
Water	1000	kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1090	kg/m ³
Lokal leire	2615	kg/m ³
Kalkstein	2700	kg/m ³

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Cement	830,1
Water	603,7
Plastic fiber	0
SP	0
Lokal leire	452,806943
Kalkstein	226,403472

% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,73
Superplasticizer (SP) [K2]	0,00 %	0
Sement	55 %	
Lokal leire	30 %	0,55
Kalkstein	15 %	0,27

Oppnådd	
masseforhold	0,4
volum (liter)	1,1264

Water content in additives	
Superplasticizer (SP)	70 %

Vedlegg D.13 Blanding skjema for blanding med 30% lokal leire og 70% sement

Fundaments	
Number of samples	4
Prism volum	0,000256 m ³

Volum	
Total volume	0,0011264 m ³ 1,1264 liter

Densitet	
Norcem industrisement	3120 kg/m ³
Water	1000 kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1070 kg/m ³
Lokal leire	2615 kg/m ³
Kalkstein	2700 kg/m ³

% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,57
Superplasticizer (SP) [K2]	0,00 %	0
Sement	70 %	
Lokal leire	30 %	0,43
Kalkstein	0 %	0,00

Water content in additives	
Superplasticizer (SP)	70 %

Blandeskjema	
Materials	Mass [g]
Cement	1066,8
Water	609,6
Plastic fiber	0
SP	0
Lokalleire	457,216012
Kalkstein	0

Oppnådd	
masseforhold	0,4
volum	1,1264

Vedlegg D.14 Blanding skjema for blanding med 52,7% lokal leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256	m ³
Volume		
Total volume	0,0011264	m ³
	1,1264	liter
Density		
Norcem industrisement	3120	kg/m ³
Water	1000	kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1070	kg/m ³
Lokalleire	2615	kg/m ³
Kalkstein	2700	kg/m ³
Hydratkalk	2240	
% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,76
Superplasticizer (SP) [K2]	1,00 %	0,018975332
Lokalleire	52,70 %	
Kalk	36,80 %	0,70
Kalkstein	10,50 %	0,20
Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Lokalleire	736,5
Water	559,0
Plastic fiber	0
SP	7,36546705
Hydratkalk	514,324834
Kalkstein	146,750292

Oppnådd	
masseforhold	0,39790305
volum (liter)	1,13155583

Vedlegg D.15 Blanding skjema for blanding med 30% rød leire, 15% kalkstein og 55% sement

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256 m ³	

Volume		
Total volume	0,0011264 m ³	
	1,1264 liter	

Density		
Norcem industrisement	3125 kg/m ³	
Water	1000 kg/m ³	
Superplasticizer (SP)	1090 kg/m ³	
Rødleire	2640 kg/m ³	
Kalkstein	2700 kg/m ³	

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Cement	831,0
Water	604,3
Plastic fiber	0
SP	2,49286876
Rødleire	453,248865
Kalkstein	226,624433

% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,73
Superplasticizer (SP) [K2]	0,30 %	0,005454545
Sement	55 %	
Rødleire	30 %	0,55
Kalkstein	15 %	0,27

Oppnådd	
masseforhold	0,39934109
volum (liter)	1,12814501

Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Vedlegg D.16 Blanding skjema for blanding med 30% rød leire og 70% sement

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256 m ³	

Volum		
Total volume	0,0011264 m ³	1,1264 liter

Densitet		
Norcem industrisement	3120 kg/m ³	
Water	1000 kg/m ³	
Superplasticizer (SP)	1070 kg/m ³	
Rødleire	2640 kg/m ³	
Kalkstein	2700 kg/m ³	

Blandeskjema	
Materials	Mass [g]
Cement	1068,4
Water	610,5
Plastic fiber	0
SP	0
Rødleire	457,889071
Kalkstein	0

% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,57
Superplasticizer (SP) [K2]	0,00 %	0
Sement	70 %	
Rødleire	30 %	0,43
Kalkstein	0 %	0,00

Oppnådd	
masseforhold	0,4
volum	1,1264

Water content in additives	
Superplasticizer (SP)	70 %

Vedlegg D.17 Blanding skjema for blanding med 52,7% rød leire, 10,5 kalkstein og 36,8% hydratkalk

Fundaments		
Number of samples	2	
Prism volum	0,000256 m ³	
Volume		
Total volume	0,0005632 m ³	
	0,5632 liter	
Density		
Norcem industrisement	3120	kg/m ³
Water	1000	kg/m ³
Superplasticizer (SP)	1070	kg/m ³
rødleire	2640	kg/m ³
Kalkstein	2700	kg/m ³
Hydratkalk	2240	
% av bindemiddel		
Water [K1]	40 %	0,76
Superplasticizer (SP) [K2]	4,00 %	0,075901328
Rødleire	52,70 %	
Kalk	36,80 %	0,70
Kalkstein	10,50 %	0,20
Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

Mix Form	
Materials	Mass [g]
Rødleire	367,5
Water	278,9
Plastic fiber	0
SP	14,6981021
Hydratkalk	256,589258
Kalkstein	73,2116091

Oppnådd	
masseforhold	0,39174208
volum (liter)	0,57348867

Vedlegg D.18 Blanding skjema for referanse.

Fundaments		
Number of samples	4	
Prism volum	0,000256 m ³	
Volume		
Total volume	0,0011264 m ³	
	1,1264 liter	
Density		
Norcem industrisement	3120 kg/m ³	
Water	1000 kg/m ³	
Superplasticizer (SP)	1070 kg/m ³	
Mix Form		
Materials	Mass [g]	
Cement	1563,3	
Water	625,3	
Plastic fiber	0	
SP	0	
% of cement		
Water [K1]	40 %	0,40
Superplasticizer (SP) [K2]	0,00 %	
Water content in additives		
Superplasticizer (SP)	70 %	

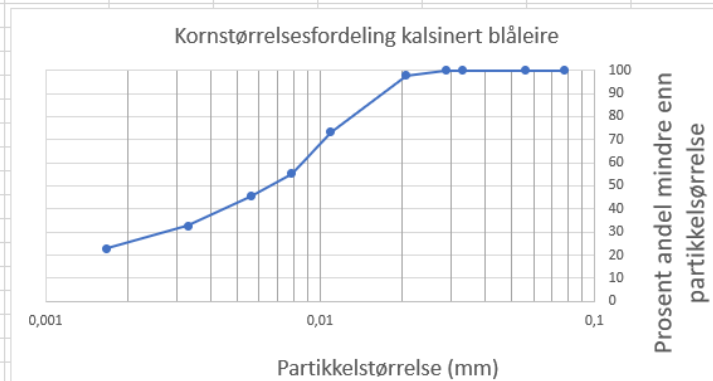
Vedlegg D.19 Densitet test for leirene med pyknometer metode.

	Leire	Blåleire	Blåleire	Rødleire	Rødleire
Volum pyknometer	Pyknometer	500 ml	50 ml	50 ml	50 ml
Temperatur vannbad og kontroll veske	Vann temp	19,8	20	20	19,8
	Test nr	1	2	1	2
Rent og tørt pyknometer	m0 (g)	196,85	33,25	33,26	33,26
Pyknometer med kontroll veske	m1 (g)	737,32	81,81	81,81	81,83
Pyknometer med leire	m2 (g)	244,32	47,06	48,28	45,46
Pyknometer med leire og kontroll veske	m3 (g)	766,42	90,32	91,11	89,45
Leire eksemplær	m4 (g)	47,47	13,81	15,02	12,2
Densitet kontroll veske	rho_w (Mg/m ³)	1,00	1,00	1,00	1,00
Densitet eksemplær	rho_s (Mg/m ³)	2,58	2,60	2,62	2,66
Gjennomsnittlig densitet	rho_s* (Mg/m ³)	2,59		2,64	
	Leire	Hvit leire	Hvit leire	Lokal leire	Lokal leire
Volum pyknometer	Pyknometer	50 ml	50 ml	500 ml	50 ml
Temperatur vannbad og kontroll veske	Vann temp	18,9	18,9	18,9	20
	Test nr	1	2	1	2
Rent og tørt pyknometer	m0 (g)	33,25	33,25	196,83	33,25
Pyknometer med kontroll veske	m1 (g)	81,81	81,81	736,95	81,81
Pyknometer med leire	m2 (g)	44,84	49	260,56	50,5
Pyknometer med leire og kontroll veske	m3 (g)	88,93	91,38	776,14	92,53
Leire eksemplær	m4 (g)	11,59	15,75	63,73	17,25
Densitet kontroll veske	rho_w (Mg/m ³)	1,00	1,00	1,00	1,00
Densitet eksemplær	rho_s (Mg/m ³)	2,59	2,54	2,59	2,64
Gjennomsnittlig densitet	rho_s* (Mg/m ³)	2,57		2,61	

Vedlegg D.20 kornstørrelsesfordeling for blå leire

meniscus correction	C_m	0,5	tørr masse	m (g)		
Blåleire						
Avlesning på hydrometer						
tidspunkt t (min)	R'd	Rd	Temperatur	roh_s (Mg/m ³)	roh_w (Mg/m ³ H)	
0,5		43	43	24,6	2,59	0,99718
1		40	40	24,6	2,59	0,99718
3		34	34	24,6	2,59	0,99718
4		33	33	24,6	2,59	0,99718
8		30	30	24,6	2,59	0,99718
30		22,50	22,5	24,6	2,59	0,99718
60		17	17	24,8	2,59	0,99713
120		14	14	25,3	2,59	0,99701
360		10	10	24,7	2,59	0,99716
1440		7	7	24	2,59	0,99733

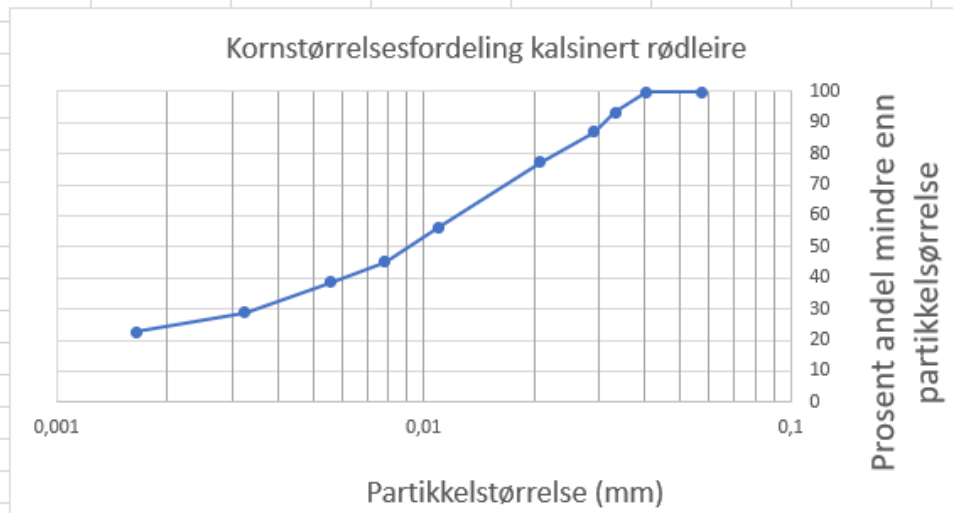
50			Hr=H + 0,5*(h-(Vh*L/900)	h (mm)	141
				Vh (ml)	52
				L (mm)	35,4
Hr	n	di	K	Største partikkelstørrelse: ca 20 µm	
35	174,4546667	0,902	0,077734409	140,0880503	100
41	180,4546667	0,902	0,055903766	130,3144654	100
49,5	188,9546667	0,902	0,033027461	110,7672956	100
51,5	190,9546667	0,902	0,028753595	107,509434	100
56	195,4546667	0,902	0,020570035	97,73584906	97,73
68	207,4546667	0,902	0,010943544	73,30188679	73,3
76	215,4546667	0,898	0,007867849	55,3836478	55,4
80	219,4546667	0,887	0,005582619	45,61006289	45,61
86	225,4546667	0,900	0,003289527	32,57861635	32,58
90	229,4546667	0,914	0,001672819	22,80503145	22,8



Vedlegg D.21 kornstørrelsesfordeling for rød leire

Rødleire tidspunkt	R'd	Rd	Temperatur	roh_s(Mg/m ³)	roh_w(Mg/m ³) H	
0,5						
1		31	31	24,4	2,64	0,99723
2		31	31	24,4	2,64	0,99723
3		29	29	24,4	2,64	0,99723
4		27	27	24,4	2,64	0,99723
8		24	24	24,4	2,64	0,99723
30		17,5	17,5	24,4	2,64	0,99723
60		14	14	24,9	2,64	0,99711
120		12	12	25	2,64	0,99708
360		9	9	24,7	2,64	0,99716
1440		7	7	24,2	2,64	0,99728

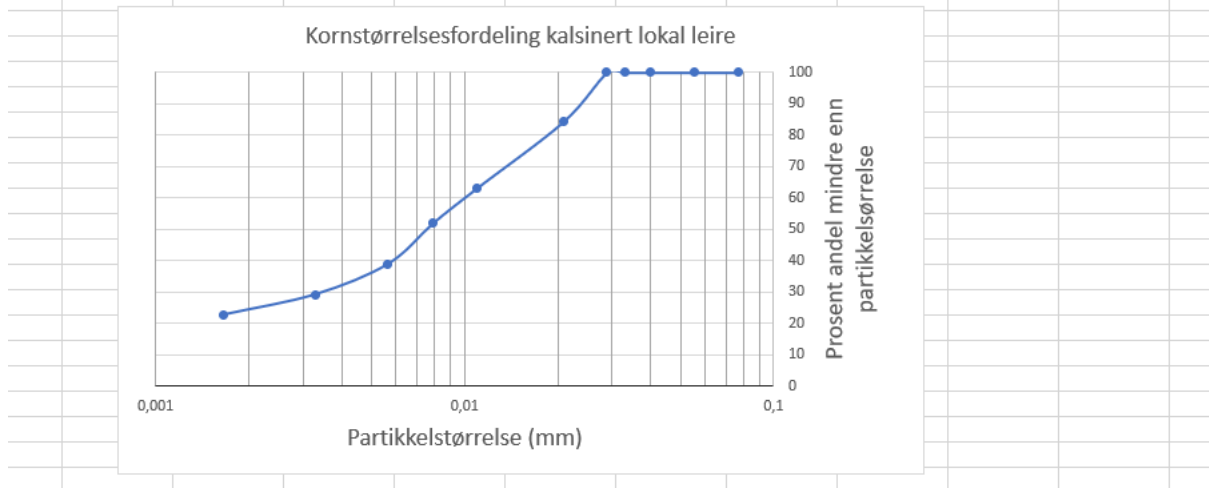
Hr	n	di	K	Største partikkelstørrelse: ca 57 µm
54	193,4546667	0,905878966	0,057126883	99,80487805
54	193,4546667	0,905878966	0,040394806	99,80487805
58	197,4546667	0,905878966	0,033321458	93,36585366
61	200,4546667	0,905878966	0,029075622	86,92682927
65	204,4546667	0,905878966	0,020763686	77,26829268
75	214,4546667	0,905878966	0,010981408	56,34146341
81	220,4546667	0,895539929	0,007827546	45,07317073
85	224,4546667	0,893494115	0,005578473	38,63414634
89	228,4546667	0,899653449	0,00326056	28,97560976
90	229,4546667	0,910066533	0,001643335	22,53658537



Vedlegg D.22 kornstørrelsesfordeling for lokal leire

Lokal leire						
tidspunkt	R'd	Rd	Temperatur	roh_s(Mg/m ³)	roh_w(Mg/m ³)	H
0,5		45	45	24,4	2,61	0,997234226
1		42	42	24,4	2,61	0,997234226
2		36,5	36,5	24,4	2,61	0,997234226
3		34	34	24,4	2,61	0,997234226
4		31	31	24,4	2,61	0,997234226
8		26	26	24,4	2,61	0,997234226
30		19,50	19,5	24,4	2,61	0,997234226
60		16	16	24,7	2,61	0,997158822
120		12	12	25	2,61	0,997082474
360		9	9	25	2,61	0,997082474
1440		7	7	24,3	2,61	0,997259151

Partikkelstørrelse (mm)					
Hr	n	di	K	Største partikkelstørrelse: ca 28 µm	
33	172,4546667	0,905878966	0,076984904	145,9006211	100
38	177,4546667	0,905878966	0,055220052	136,173913	100
46	185,4546667	0,905878966	0,039916916	118,3416149	100
50	189,4546667	0,905878966	0,032941633	110,2360248	100
54	193,4546667	0,905878966	0,02882788	100,5093168	100
63	202,4546667	0,905878966	0,020853166	84,29813665	84,3
72	211,4546667	0,905878966	0,01100528	63,22360248	63,22
79	218,4546667	0,899653449	0,007882256	51,8757764	51,88
85	224,4546667	0,893494115	0,005630113	38,9068323	38,9
89	228,4546667	0,893494115	0,003279383	29,18012422	29,18
90	229,4546667	0,907969004	0,001656624	22,69565217	22,69



Vedlegg D.23 kornstørrelsesfordeling for leire hvit leire

Hvit leire tidspunkt	R'd	Rd	Temperatur	roh_s(Mg/m ³)	roh_w(Mg/m ³ , H	
0,5						
1		40	40	24,6	2,57	0,997184062
2		35,5	35,5	24,6	2,57	0,997184062
3		33	33	24,6	2,57	0,997184062
4		31	31	24,6	2,57	0,997184062
8		26	26	24,6	2,57	0,997184062
30		19	19	24,6	2,57	0,997184062
60		16	16	25	2,57	0,997082474
120		12,5	12,5	25,6	2,57	0,99692695
360		10	10	24,6	2,57	0,997184062
1440		7	7	24,4	2,57	0,997234226

Hr	n	di	K	Største partikkelstørrelse: ca 29 µm
40,5	179,9546667	0,901721222	0,056180087	130,955414
47	186,4546667	0,901721222	0,0404364	116,2229299
	139,4546667	0,901721222	0,028553329	108,0382166
54,5	193,9546667	0,901721222	0,029162246	101,4904459
62	201,4546667	0,901721222	0,021015732	85,12101911
72,5	211,9546667	0,901721222	0,011131706	62,20382166
77	216,4546667	0,893494115	0,007917797	52,38216561
83	222,4546667	0,88137038	0,005636877	40,92356688
86	225,4546667	0,901721222	0,003314204	32,7388535
90	229,4546667	0,905878966	0,001675614	22,91719745

