

Abdelrahman Bassam Abujayyab
Ahmad Sohail Habibi
Mohammad Hassan Karimi
Jawid Miri

3D-printing av betong: påvirkning av superplastiserende, silikastøv, LC3 og fiber

*3D-printing of concrete: impact of superplasticizer,
silicafume, LC3 and fiber*

Juni 2021

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingteknikk

Bacheloroppgave

2021



Abdelrahman Bassam Abujayyab
Ahmad Sohail Habibi
Mohammad Hassan Karimi
Jawid Miri

3D-printing av betong: påvirkning av superplastiserende, silikastøv, LC3 og fiber

*3D-printing of concrete: impact of superplasticizer,
silicafume, LC3 and fiber*

Bacheloroppgave
Juni 2021

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden



Kunnskap for en bedre verden

3D-printing av betong: påvirkning av superplastiserende, silikastøv, LC3 og fiber

3D-printing of concrete: impact of superplasticizer, silicafume, LC3 and fiber

Abdelrahman Bassam Abujayyab
Ahmad Sohail Habibi
Mohammad Hassan Karimi
Jawid Miri

[Gradering: Åpen]

Bachelor i ingeniørfag - bygg

Innlevert: Juni 2021

Veileder: Mohammad Hajmohammadian Baghban

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel: 3D-printing av betong: påvirkning av superplastiserende, silikastøv, LC3 og fiber.	Dato: 05.06.2021		
	Antall sider i rapporten: 153 Antall sider i vedlegg: 147		
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave x
Navn: Abdelrahman Bassam Abujayyab, Ahmad Sohail Habibi, Mohammad Hassan Karimi, Jawid Miri			
Veileder: Mohammad Hajmohammadian Baghban			

Gjennom tidene har betong vært det mest brukte byggematerialet, og det stilles derfor strengere krav for bruk av dette. Flere forskningsgrupper jobber i dag for å bearbeide og videreutvikle 3D-printing eller additiv produksjon av betong. Sammenlignet med de tradisjonelle byggeprosessene medfører 3D-printing av betong til reduksjon i kostnader og materialbruk, i tillegg til å øke produksjonshastigheten.

Formålet med denne studien er at følgende problemstilling blir undersøkt «Hva er påvirkningen av superplastiserende, silikastøv, LC3 og fiber på egenskaper for 3D-printing av betong, både i fersk og herdet tilstand?». Som en del av studien, vil bruken av maskinlæring være en viktig del av problemstillingen. Ved 3D-printing kreves det blant annet andre egenskaper til fersk og herdet tilstand enn ved tradisjonell støpt betong. I fersk tilstand er flytbarhet, byggbarhet og ekstruderbarhet tre av betongens viktigste egenskaper, mens ved herdet tilstand er de mekaniske egenskaper viktig. For å kunne sjekke disse egenskapene, skal det utvikles 88 resepter. Testmetoder som benyttes er rystebord, sylindere, green strength, penetrometer, ekstrudering og bøy- og trykkfasthet. Testresultater ble analysert ved hjelp av 2D- og 3D-grafer ved bruk av MATLAB og Excel, videre ble testresultatene plottet inn i maskinlæring for å kunne prediktere resultater fra noen utvalgte resepter.

Fra testresultatene ble det observert at superplastiserende gir økt flytbarhet og reduserer betongens byggbarhet, mens betongens mekaniske egenskaper ikke påvirkes. Silikastøv minker flytbarheten, mens byggbarheten øker. I tillegg vil betongens mekaniske egenskaper forbedres. LC3 ser ut til å ha samme effekt, hvor flytbarheten minker, samtidig som byggbarheten øker. Men påvirkningen av LC3 på betongens mekaniske egenskaper er synkende. For polypropylen fiber er det slik at flytbarheten reduseres, mens byggbarheten får en stor økning. Denne type fiber har omtrent ingen effekt på betongens mekaniske egenskaper. Resultatet fra maskinlæringen viser gode tall ved bruk av nevnt nettverk metoden. Ved utvikling av komplekse og grundig trening av maskinlæring, kan denne teknologien spille en stor rolle i bestemmelse av materialets egenskaper, uten at gjennomføring av

tester på laboratorium er nødvendig.

Stikkord:

3D-printing

Flytbarhet

Byggbarhet

Mekaniske egenskaper

Abdelrahman Bassam Abujayyab

Jawid Miri

Mohammad Hassan Karimi

Ahmad Sohail Habibi

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Gjøvik våren 2021, som er vårt avsluttende arbeid ved studieretning ingeniørfag bygg med fordypning i konstruksjonsteknikk.

Tradisjonelle byggeprosesser er både tid- og ressurskrevende, men det er store forhåpninger om at i nærmeste framtid vil additiv produksjon bidra til en mer tid- og ressursvennlig byggeprosess. Det har blitt forsket på forskjellige parametere innenfor 3D-printing av betong, men denne teknologien er fortsatt i en tidlig fase og det kreves ytterligere forskning. På bakgrunn av dette mener gruppen at studien, som tar for seg egenskapene av forskjellige proporsjoneringsblandinger ved 3d-printing, er dagsaktuelt og fremtidsrettet.

Gruppen vil benytte anledningen til å takke alle som har bidratt underveis i dette omfattende arbeidet. Med det ønsker vi å rette en stor takk til Mohammad H. Baghban, førsteamanuensis ved NTNU Gjøvik for veiledningen og tilgjengeligheten.

Videre vil vi takke Tor Kristoffer Klethagen, avdelingsingeniør og ansvarlig ved bygglabben på Mustad ved NTNU i Gjøvik, med det praktiske på lab i forbindelse med testing. Ikke minst, rettes en stor takk til Ph.d. studentene Arman Montazerian og Mohammad Abedi for hjelp med proporsjonering og maskinlæring underveis i studien.

Det settes utrolig stor pris på all hjelpen og veiledning som har nådd oss underveis i arbeidet, og vil påpeke at hver og et medlem i denne gruppen har sørget for deltagelse og gjennomføringen av bacheloroppgaven.

Gjøvik, juni 2021

Abstract

Concrete has always been the most widely used building material, and there are therefore stricter requirements for its use. There are several research groups today that are implemented to process and further develop 3D printing or additive production of concrete. 3D printing of concrete compared to the traditional construction processes leads to a reduction in costs, material use, while increasing production speed.

The purpose of this study is to investigate the following issue "What is the impact of superplasticizer, silicafume, LC3 and fiber on properties for 3D printing of concrete, both in fresh and hardened condition?". As part of this study, machine learning will be used to investigate how well this technology can predict the properties of concrete. Among other things, other properties for fresh and hardened condition than traditional cast concrete are required for 3D printing. In the fresh state, flowability and buildability are two of the most important properties of concrete, while in the hardened state, the mechanical properties are important. In order to check these properties, 88 prescriptions will be developed. The test methods that were used are flow table, cylinder, green strength, penetrometer, flexural- and compressive strength. Test results were analyzed using 2D and 3D graphs using MATLAB. Furthermore, the test results were plotted in machine learning to be able to predict the results from the selected recipes.

From the test results, it was observed that superplasticizer provides increased flowability and reduces the buildability of the concrete, while the mechanical properties of the concrete are not affected. Silicafume reduces flowability, while buildability increases. In addition, the mechanical properties of the concrete will be improved. LC3 shows to have the same effect, where the flowability decreases, at the same time as the buildability increases. However, the influence of LC3 on the mechanical properties of concrete is declining. Regards the polypropylene fibers, the flowability is reduced, while the buildability is greatly increased. This type of fiber has almost no effect on the mechanical properties of the concrete. The results from machine learning shows good results using the neural network method. In the development of complex and thorough training of machine learning, this technology can play a major role in determining the properties of the material, without the need for laboratory tests.

Innholdsfortegnelse

Forord	iv
Abstract	v
Innholdsfortegnelse	vi
Figurliste.....	xi
Tabelliste	i
Grafliste.....	iii
Forkortelser	i
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Valg av metode.....	2
1.4 Avgrensning.....	3
1.5 Samfunnsperspektiv.....	4
2 Teori	6
2.1 Bindemiddel.....	6
2.1.1 Sement.....	6
2.1.2 Silikastøv.....	9
2.1.3 Kalsinert leire	10
2.1.4 Kalkstein.....	11
2.2 Tilslag	12
2.2.1 Sand.....	12
2.3 Fiber.....	15
2.3.1 Polypropylen fiber.....	15
2.4 Tilsetning stoff.....	16
2.4.1 Superplastiserende.....	16
2.5 Python.....	17
2.5.1 Maskinlæring.....	17
2.5.2 Nevralt nettverk.....	18
2.5.3 Lineær regresjon.....	21
2.6 Additiv produksjon.....	22

2.6.1	3D-printing av betong	22
2.6.2	Konvensjonell prosess vs 3D-printing	23
2.7	Krav på betong for 3D-printing	23
2.7.1	Flytbarhet	23
2.7.2	Ekstruderbarhet	24
2.7.3	Byggbarhet	24
2.8	Tidligere studier.....	25
3	Materiale og metode.....	27
3.1	Materialer.....	27
3.2	Generelt om metode.....	28
3.2.1	Forberedelsesdel	28
3.2.2	Hoveddel	29
3.3	Siktanalyse av tilslag	30
3.4	Vanninnholdstest av tilslag	32
3.5	Pyknometertest av tilslag.....	33
3.6	Løst lagret densitet og hulrominnhold av tilslag	35
3.7	Pyknometertest av kalsinert leire.....	37
3.8	Hydrometertest av kalsinert leire.....	39
3.9	Proporsjonering	42
3.10	Blandingsprosessen.....	43
3.11	Resepter.....	45
3.11.1	Superplastiserende.....	45
3.11.2	Silikastøv	45
3.11.3	Kalkstein-kalsinert leire-sement (LC3).....	46
3.11.4	Fiber	46
3.11.5	Superplastiserende-Silikastøv	47
3.11.6	LC3-Fiber	47
3.11.7	Superplastiserende-LC3	48
3.11.8	Silikastøv-LC3	48
3.11.9	Fiber-Superplastiserende	49
3.11.10	Fiber-Silikastøv	49
3.11.11	Fiber-Masseforhold	49

3.11.12	Superplastiserende-Matriksvolum	50
3.11.13	Superplastiserende-Masseforhold.....	50
3.11.14	Silikastøv-Masseforhold	50
3.11.15	Silikastøv-Matriksvolum	51
3.11.16	Fiber-Matriksvolum.....	51
3.11.17	LC3-Masseforhold	51
3.11.18	LC3-Matriksvolum	52
3.12	Rystebordtest.....	52
3.13	Sylindertest	55
3.14	Green strength.....	57
3.15	Ekstrudering	58
3.16	Penetrometertest.....	60
3.17	Prøve støping	61
3.18	Bøyestrekfasthet.....	62
3.19	Trykkfasthet	63
3.20	Utvikling av maskinlæring.....	64
3.20.1	Nevralt nettverk.....	64
3.20.2	Lineær regresjon.....	67
4	Resultater.....	68
4.1	Rystebordtest	68
4.2	Ekstrudering.....	69
4.3	Sylindertest	71
4.4	Green strength.....	73
4.5	Penetrometer	74
4.6	Bøy- og trykkfasthet	76
4.7	Resultat fra maskinlæring.....	80
4.7.1	Rystebord	80
4.7.2	Sylinder	81
4.7.3	Green strength 0 min	82
4.7.4	Green strength 15 min	83
4.7.5	Penetrometer.....	84
4.7.6	Trykkfasthet etter 7 dager	85

4.7.7	Trykkfasthet etter 28 dager	86
4.7.8	Bøystrekkfasthet etter 7 dager	87
5	Diskusjon og analyse.....	88
5.1	Diskusjon av foretatte valg i arbeidsprosessen.....	88
5.2	Påvirkning av de ulike variablene	89
5.2.1	Rystebordtest.....	89
	Påvirkning av superplastiserende på flytbarhet.....	89
	Påvirkning av silikastøv på flytbarhet	91
	Påvirkning av LC3 på flytbarhet	92
	Påvirkning av fiber på flytbarhet.....	93
5.2.2	Ekstrudering	95
	Påvirkning av superplastiserende på ekstrudering	95
	Påvirkning av silikastøv på ekstrudering	95
	Påvirkning av LC3 på ekstrudering.....	95
	Påvirkning av fiber på ekstrudering	95
5.2.3	Sylinder test.....	96
	Påvirkning av superplastiserende på byggbarhet	96
	Påvirkning av silikastøv på byggbarhet	97
	Påvirkning av LC3 på byggbarhet.....	98
	Påvirkning av fiber på byggbarhet	100
5.2.4	Green strength	101
	Påvirkning av superplastiserende på green strength	101
	Påvirkning av silikastøv på green strength.....	103
	Påvirkning av LC3 på green strength.....	106
	Påvirkning av fiber på green strength	108
5.2.5	Penetrometer.....	110
	Påvirkning av superplastiserende på initial størkning.....	110
	Påvirkning av silikastøv på initial størkning	112
	Påvirkning av LC3 på initial størkning	113
	Påvirkning av fiber på initial størkning.....	114
5.2.6	Bøy- og trykkfasthet.....	116
	Påvirkning av superplastiserende på bøy- og trykkfasthet.....	116
	Påvirkning av silikastøv på bøy- og trykkfasthet.....	118

	Påvirkning av LC3 på bøy- og trykkfasthet	120
	Påvirkning av fiber på bøy- og trykkfasthet.....	122
5.3	Maskinlæring	124
6	Konklusjon	128
6.1	Flytbarhet.....	128
6.2	Ekstrudering.....	128
6.3	Byggbarhet.....	129
6.3.1	Ved sylinder metoden.....	129
6.3.2	Ved green strength metoden.....	129
6.4	Fasthet.....	129
6.4.1	Penetrometer.....	129
6.4.2	Trykk og bøyefasthet.....	130
6.5	Maskinlæring	130
7	Forslag til videre forskning	132
8	Litteraturliste	133
9	Vedlegg	136
	Vedlegg 1- Resultat av siktanalyse av tilslag	137
	Vedlegg 2- Resultat av vanninnholdstest av tilslag.....	138
	Vedlegg 3- Resultat av pyknometerprøve av tilslag.....	139
	Vedlegg 4- Resultat av løst lagret densitet og hulrominnhold av tilslag.....	140
	Vedlegg 5- Resultat av pyknometerprøve av kalsinert leire.....	141
	Vedlegg 6- Resultat av hydrometerprøve av kalsinert leire	141
	Vedlegg 7- Teoretisk eksempel av proporsjonering	142
	Vedlegg 8- Utførelse av støp	145
	Vedlegg 9- Selvutviklet rystebordmetode	146
	Vedlegg 10- Nevralt nettverk for flytbarhet	148
	Vedlegg 11- Lineær regresjon for flytbarhet	152
	Vedlegg 12- Resultat av alle tester utført i hoveddel.....	156
	Vedlegg 13- Datablad	272

Figurliste

Figur 1.1: Utviklingen i global temperatur (FN-Sambandet, 2019).....	4
Figur 2.1: Sementpastens sammensetning (NORCEM, u.å-b).....	8
Figur 2.2: Klassifisering av stenglighet og flisighet (Maage, 2015a)	14
Figur 2.3: Eksempel på siktkurve (SINTEF Byggforsk, 2018).....	15
Figur 2.4: Enkel illustrasjon av nevralt nettverk	19
Figur 2.5: Sammenligning av konvensjonell byggeprosess mot 3D-printing byggeprosess (Nadarajah, 2018).....	23
Figur 3.1: Fremgangsmåten for forberedelse del	28
Figur 3.2: Fremgangsmåten for hoveddel	30
Figur 3.3: Siktemaskin	31
Figur 3.4: Pyknometer med tilslag	34
Figur 3.5: Beholder benyttet i løstlagret densitet testen.....	36
Figur 3.6: Bestem av vekta til pyknometer med ulike innhold	38
Figur 3.7: Hydrometertest av kalsinert leire.....	40
Figur 3.8: Meniscus korreksjon verdi	41
Figur 3.9: Matriksfase og partikkelfase.....	43
Figur 3.10: Blandemaskin benyttet i denne studien	44
Figur 3.11: Rystebord utsyr.....	53
Figur 3.12: Eksempel på bra og dårlig flytbarhet.....	54
Figur 3.13: Sylindere og tampestang	56
Figur 3.14: Eksempel på stor og lite høydeformasjon	56
Figur 3.15: Eksempel på green strength test	57
Figur 3.16: Fugepistol brukt for ekstrudering	58
Figur 3.17: Eksempel på en ekstruderbar betong og en ikke ekstruderbar betong	59
Figur 3.18: Eksempel på en kontinuerlig ekstrudert betong	59
Figur 3.19: Eksempel på en ikke ensformig ekstrudert betong.....	60
Figur 3.20: Penetrometer med forskjellige nål størrelser	60
Figur 3.21: Stålforn benyttet i denne studien	62
Figur 3.22: Standard avstander for bøyestrek maskin (NS-EN 196-1:2016).....	63
Figur 9.1: Utregning av finstoff innhold i tilslag	137
Figur 9.2: Utregning av vanninnhold av tilslag.....	138
Figur 9.3: Utregning av partikkeldensitet av tilslag	139
Figur 9.4: Utregning av hulrominnhold av tilslag.....	140
Figur 9.5: Utregning av kornstørrelsesfordeling av kalsinert leire	141
Figur 9.6: Eksempel av proporsjonerings regneark	144
Figur 9.7: Selvutviklet rystebordmetode, kjele og stamper.	147

Tabelliste

Tabell 1.1: Avgrensninger.....	3
Tabell 2.1: Oksider i portlandsement (Maage, 2015a, s. 83)	7
Tabell 2.2: Mineraler i portlandsement (Maage, 2015a, s. 83)	7
Tabell 3.1: Liste over brukte materialer	27
Tabell 3.2: Superplastiserende resepter.....	45
Tabell 3.3: Silikastøv resepter	45
Tabell 3.4: LC3 resepter	46
Tabell 3.5: Fiber resepter	46
Tabell 3.6: SP-SF resepter.....	47
Tabell 3.7: LC3-FB resepter.....	47
Tabell 3.8: SP-LC3 resepter	48
Tabell 3.9: SF-LC3 resepter	48
Tabell 3.10: FB-SP resepter	49
Tabell 3.11: FB-SF resepter	49
Tabell 3.12: FB-WB resepter	49
Tabell 3.13 MV-SP resepter.....	50
Tabell 3.14: SP-WB resepter.....	50
Tabell 3.15: SF-WB resepter.....	50
Tabell 3.16: SF-MV resepter.....	51
Tabell 3.17: FB-MV resepter	51
Tabell 3.18: LC3-WB resepter	51
Tabell 3.19: LC3-MV resepter	52
Tabell 4.1: Resultatet av rystebordtesten	68
Tabell 4.2: Resultat av ekstrudering test	69
Tabell 4.3: Resultat av sylindertest	71
Tabell 4.4: Resultat av Green strength	73
Tabell 4.5: Resultat av penetrometer test	74
Tabell 4.6: Resultat av bøy- og trykkfasthet tester.....	76
Tabell 4.7: Maskinlæringens prediksjon av flytbarhet.....	80
Tabell 4.8: Maskinlæringens prediksjon av sylinter test.....	81
Tabell 4.9: Maskinlæringens prediksjon av Green strength 0.....	82
Tabell 4.10: Maskinlæringens prediksjon av Green strength 15.....	83
Tabell 4.11: Maskinlæringens prediksjon av Initial størkningstid.....	84
Tabell 4.12: Maskinlæringens prediksjon av trykkfasthet etter 7 dager	85
Tabell 4.13: Maskinlæringens prediksjon av trykkfasthet etter 28 dager	86
Tabell 4. 14: Maskinlæringens prediksjon av bøyestrekfasthet etter 7 dager	87
Tabell 5.1: Flytbarhet med innhold av SP	90

Tabell 5.2: Flytbarhet med innhold av SF.....	91
Tabell 5.3: Flytbarhet med innhold av LC3	93
Tabell 5.4: Flytbarhet med innhold av LC3	94
Tabell 5.5: Sylindertest med innhold av SP	96
Tabell 5.6: Sylindertest med innhold av SF	98
Tabell 5.7: Sylindertest med innhold av LC3	99
Tabell 5.8: Sylindertest med innhold av FB.....	100
Tabell 5.9: Green strength med innhold av SP.....	102
Tabell 5.10: Green strength med innhold av SF.....	104
Tabell 5.11: Green strength med innhold av LC3	106
Tabell 5.12: Green strength med innhold av FB	109
Tabell 5.13: Initial størkning med innhold av SP.....	111
Tabell 5.14: Initial størkning med innhold av SF.....	112
Tabell 5.15: Initial størkning med innhold av LC3	114
Tabell 5.16: Initial størkning med innhold av FB	115
Tabell 9.1: % tilslag som passerer hvert sjikt.....	137
Tabell 9.2: Vanninnhold %	138
Tabell 9.3: Resultat av partikkeldensitet av tilslag	139
Tabell 9.4: Resultat av hulrominnhold av tilslag	140
Tabell 9.5: Kalsinert leire densitet	141

Grafliste

Graf 5.1: Påvirkning av SP på trykk- og bøyefasthet.....	117
Graf 5.2: Påvirkning av SF på trykk- og bøyefasthet.....	119
Graf 5.3: Påvirkning av LC3 på trykk- og bøyefasthet.....	121
Graf 5.4: Påvirkning av FB på trykk- og bøyefasthet	123
Graf 5.5: Resultat fra maskinlæring på flytbarhet.....	125
Graf 5.6: Resultat fra maskinlæring på sylinder	125
Graf 5.7: Resultat fra maskinlæring på green strength 0 min	125
Graf 5.8: Resultat fra maskinlæring på green strength 15 min	126
Graf 5.9: Resultat fra maskinlæring på initial størkning.....	126
Graf 5.10: Resultat fra maskinlæring på trykkfasthet etter 7 dager	126
Graf 5.11: Resultat fra maskinlæring på trykkfasthet etter 28 dager	127
Graf 5.12: Resultat fra maskinlæring på bøyefasthet etter 7 dager.....	127
Graf 9.1: Korstørrelsesfordeling av tilslag.....	137
Graf 9.2: Kornstørrelsesfordeling av kalsinert leire.....	141

Forkortelser

Forkortelser	Forklaring
SP	Superplastiserende stoff
SF	Silikastøv
LC3	Kalkstein-Kalsinert leire-sement
FB	Fiber
MV	Matriksvolum
WB	Masseforhold
ML	Maskinlæring
KI	Kunstig intelligens
AP	Additiv produksjon

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

3D-printing teknologien kan spores tilbake til tidlig 1980-tallet, med amerikanske Chuck Hull som patent holderen for oppfinnelsen av den første 3D printer maskinen (3DINSIDER, 2020). Denne teknologien har siden hatt et enormt utvikling innenfor forskjellige retninger, som for eksempel bilproduksjon, biomedisin og luftfart. Selv om bygg industrien de siste årene har prøvd å henge seg på denne utviklingen, ligger den fortsatt et stykke bak sammenlignet med andre industrier.

De siste årene har det vært en økende interesse for bruk av denne teknologien i bygg industrien (Bos *et al.*, 2016), men til tross for en økende interesse er det fortsatt bare en begrenset forståelse av denne teknologien for storskala produksjon. Dette kan skyldes i at bygg industrien har en tendens til å være tregere til å adoptere automatisering i sammenligning til andre industri og produksjonssektorer, med andre ord er bygg industrien på den konservative siden.

3D-printing, eller additiv produksjon som det også kalles, kan innebære eliminering av kostnader for produksjon og montering av forskalingsformer og muliggjør nye smarte designløsninger (Perrot, Rangeard og Pierre, 2014). I tillegg kan denne metoden muliggjøre reduksjon av materialbruk og samtidig øke produksjonshastigheten (Nygren, 2016). Til tross for mulige kjente påvirkninger av teknologien i byggbransjen, er den fortsatt i en tidlig fase og trenger mer forskning. I dag er det mange forskningsgrupper som jobber for å forbedre og videreutvikle denne teknologien. Noen studier som er verdt å bemerke seg er gjort ved Loughborough University og University of Eindhoven (Le *et al.*, 2012).

En annen teknologi som, ved siden av additiv produksjon, har fått en oppblomstring de siste årene er maskinlæring (ML). Denne teknologien er en gren av kunstig intelligens (KI), som benyttes for å gjøre datamaskinen smartere ved å la den ta egne valg og trekke erfaring fra store mengder data. Med andre ord «lærer» maskinen i stedet for å bli fortalt hele veien.

Gruppen ser et stort forbedringspotensial ved bruk av teknologi i byggebransjen og har i samarbeid med NTNU valgt å forske på temaet 3D-printing av betong. Det er også bestemt å inkludere maskinlæring som en del av studien.

1.2 Problemstilling

Ny teknologi er i gang med å endre dagens betingelse for industriell produksjon, der 3D-printingsteknologi kommer til å være en stor del av fremtidens byggebransje. Formålet med denne studien er at følgende problemstilling med tilhørende delspørsmål blir belyst:

Hva er påvirkningen av superplastiserende, silikastøv, LC3 og fiber på egenskaper for 3D-printing av betong, både i fersk og herdet tilstand?

- Hvordan vil bruken av materialene påvirke betongens flytbarhet, byggbarhet, ekstruderbarhet og fasthet?
- Hvordan kan maskinlæring forutsi egenskaper for betong med forskjellig proporsjoneringsparametere basert på tilgjengelig data?

1.3 Valg av metode

3D-printet betong krever andre egenskaper til fersk tilstand, enn tradisjonell støpt betong. Noen av betongens viktige egenskaper som er nødvendig ved 3D-printing er flytbarhet, byggbarhet, ekstruderbarhet og fasthet. Disse egenskapene er avhengig av betongkonsistensen. Dette skal gruppen undersøke ved å teste egenskapene for noen utvalgte parametere, som er superplastiserende stoff, silikastøv, LC3 og fiber. I tillegg skal matriksvolum og masseforhold sees på som parametere i utviklingen av resepter. Betongen som printes ut må også kunne tåle forskjellige mekaniske påkjenninger, derfor skal gruppen også teste mekaniske egenskaper til blandingene.

I fersk tilstand skal flytbarheten undersøkes ved gjennomføring av rystebordmetoden, byggbarheten undersøkes ved sylindermethoden og green strength metoden. Betongens ekstruderingssevne skal også undersøkes ved å bruke en automatisk fugepistol som

ekstrudermaskin. Betongens initial størkningstid skal undersøkes ved penetrometertest. I herdet tilstand skal bøy- og trykkfastheten for hver blanding sjekkes. Testene vil gi resultater som forklarer hvordan de ulike parameterne påvirker betongen.

Det skal også utvikles en algoritme som kan ut ifra samlet data prediktere resultater av noen utvalgte resepter. Deretter vil resultatet fra maskinlæring sjekkes opp mot resultater av de utførte testene på laboratoriet.

1.4 Avgrensning

I samråd med veileder fra NTNU Gjøvik og for å ha en overkommelig arbeidsmengde er det valgt å utelukke følgende faktorer fra denne studien:

Tabell 1.1: Avgrensninger

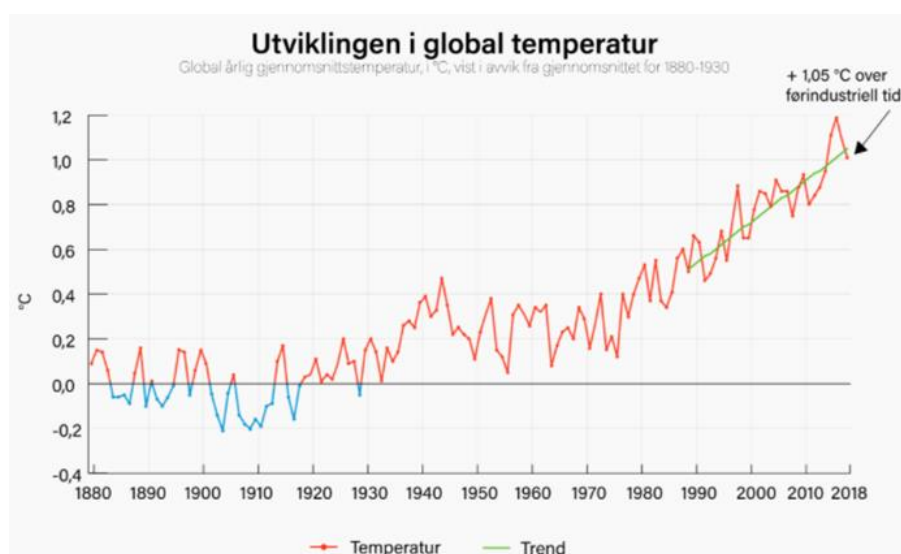
Økonomi	Alt av materialer og utstyr, som trenges for å utføre dette prosjektet, blir sponset og bestilt av universitetet. Derfor skal det økonomiske aspekter ved gjennomføring av prosjektet ikke inkluderes i besvarelsen.
Uspesifiserte parametere	Det finnes mange parametere som kan undersøkes i en betongblanding, men det er bestemt å kun velge noen spesifiserte parametere for videre analyse. Dette for å avgrense studiens omfang.
Bruk av 3D-printer	På grunn av problemer med bruk av 3D-printer og mangel på utstyr, skal i denne studien bruk av 3D-printer utelukkes.

1.5 Samfunnsperspektiv

Betong har vært det mest brukte byggematerialet gjennom tidene, derfor stilles det stadig strengere krav for bruk av betong i konstruksjoner. Det er først og fremst aktører innenfor byggebransjen og infrastruktur som merker disse endringene. Ifølge en studie av Nature Geoscience (Xi *et al.*, 2016), ble det produsert mer enn 75 milliarder tonn sement i tiden mellom 1939-2013. Dette kan sammenlignes med vekten av vannet i Mjøsa som er ca. 56 milliarder tonn (Bjørnstad, 2016). Mye av det overnevnte sementproduksjonen har blitt brukt for å produsere betong og mørtel. Til 1 m³ vanlig betong vil det normalt gå med 300-350 kg sement, som bidrar til 300 kg CO₂ utslipp.

Omtrent 5% av verdens CO₂-utslipp kommer fra sementindustrien. Mye av utslippene fra sementindustrien kommer fra produksjonsfasen, hvor kalsinering av kalkstein står for det meste og resten kommer fra oppvarming av ovnene. Transport bidrar også en god del til CO₂-utslippene (NORCEM, u.å-a).

Til tross COVID-19 og total nedstenging, har CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren hatt en økende trend. Pandemien har klart å gi en liten dipp i utslippene, men nedgangen er dessverre ikke langvarig nok til å stoppe økning av CO₂-utslippene. «Effekten av pandemien er som å skru ned på vanntilførselen til et badekar. Vannet fortsetter å stige – bare litt saktere,» mener Oksana Tarasova som er leder for World Meteorological Organization (Øystese, 2020).



Figur 1.1: Utviklingen i global temperatur (FN-Sambandet, 2019)

Den høye CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren bidrar stort med å øke den globale oppvarmingen. Som konsekvens har klodens gjennomsnittlige temperatur steget med 1°C siden den førindustrielle tiden, som figur 1.1 viser. Dette har ført til store naturkatastrofer som smelting av isbreer og stigning av havnivået. Som respons på klimaendringene, ble Parisavtalen etablert 12. desember 2015. Denne avtalen skal sørge for at alle land skal kunne bidra med å redusere klimaendringene. Målet er å begrense jordas temperaturstigning til 1,5°C (FN-Sambandet, 2020). Parisavtalen samsvarer med FNs bærekraftsmål nr.13 «Stoppe klimaendringene», som handler om å finne løsninger til klimaendringen. En av løsningene er å skape nye industrielle systemer som er mer miljøvennlig, hvor bruk av 3D-printing teknologi i byggebransjen kan være en del av løsningen.

Denne teknologien har potensial til å redusere byggeindustriens totale CO₂-utslipp. En av fordelene med bruk av 3D-printing er at det vil bli brukt betong der det er nødvendig. Bruker man mindre betong, produseres det mindre sement og kan dermed redusere utslippet av CO₂. I tillegg er det også mulig å lage blandinger som bruker mindre sement, ved å bruke 3D-printing teknologien.

2 Teori

2.1 Bindemiddel

2.1.1 Sement

Sement, et av de viktigste byggematerialer, er et bindemiddel som brukes til å binde sammen bygningsenheter som tegl, stein og murstein. Sement blandet sammen med vann fører til en kjemisk reaksjon og danner det som kalles for sementlim. Den bindende egenskapen til sementlim fører til at byggematerialer bindes sammen. Sementlimet herder til en så sterk masse at eventuelle sprekker går ofte tvers igjennom steinmaterialer i tilslaget. (Stenby, 2019; StoryboardThat, u.å)

Sement har vært i bruk i mange former siden oppblomstring av menneskets sivilisasjon, fra vulkansk aske, knust keramikk, hydrert kalk og brent gips til sementen som ble brukt av romerne i middelalderen. Arkeologiske undersøkelser viser at romerne og grekerne fra år 3650 f.Kr. blandet knust keramikk og andre brente leirematerialer med kalk til å fremstille en type sement som ble brukt som bindemiddel i bygninger (SINTEF Byggforsk, 2016). Utviklingen av sement fortsatte til det 18. århundre, med James Parker som patenterte romersk sement, men ble i 1850-tallet erstattet av verdens mest brukte sement, Portland sement (StoryboardThat, u.å).

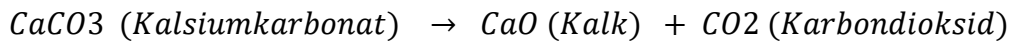
Sement deles i hovedsak i to typer: hydraulisk sement og ikke-hydraulisk sement. Sistnevnte sementtype herdes ved at eksisterende karbon i lufta binder seg sammen med materialer, dette fører til at ikke-hydraulisk sement ikke kan brukes under vann. Hydraulisk sement derimot, herdes ved tilsetning av vann. Portlandsement, som brukes i dag, er en hydraulisk sement.

Produksjon av portlandsement:

Portlandsement produseres ved at råmaterialer finpulveriseres, for å deretter forvarmes til ca. 1000 °C. I dette trinnet, som kalles for kalsinering (likning 2.1), vil kalkstein spaltes delvis ved at CO₂ drives ut. Ved neste trinn vil materialet gjennomgå en ny kalsineringsprosess

sammen med sintring, hvor kalkstein spaltes mer og delvis smeltet ved omtrent 1500 °C. Resultatet fra dette trinnet er portlandsementklinker. Klinkene blir nedmalt sammen med gips, for å kunne styre sementens størkning (Maage, 2015a, s. 81).

Likning 2.1



(Maage, 2015a, s. 44)

Kjemisk sammensetning

Sammensetningen av brent sementklinker blir regulert av oksider som vist i tabell 2.1. Disse oksidene finnes som regel som fire hoved mineraler. I rene portlandsementer utgjør de fire hoved mineralene 90-95% av sementen. Andre materialer som fri kalk, magnesiumoksid, gips og kalium og natriumoksid utgjør resterende 5-10% av sementen. Disse materialer kan ha stor påvirkning på sementens egenskaper. Gips vil kunne bidra med å styre størkningstidspunktet. Kalium og natriumoksid påvirker både tidligfasthet og bestandighet.

Endring på mengdeforholdet mellom mineraler nevnt i tabell 2.2 vil kunne gi en endring i sementens egenskaper som for eksempel varmeutvikling, fasthetsutvikling og bestandighet.

Tabell 2.1: Oksider i portlandsement (Maage, 2015a, s. 83)

Navn	Kjemisk formel	Prosentandel %
Kalsiumoksid	CaO	60-67
Silisiumoksid	SiO ₂	17-24
Aluminiumoksid	Al ₂ O ₃	4-7
Jernoksid	Fe ₂ O ₃	1,5-5
Magnesiumoksid	MgO	1-5
Svoveloksid	SO ₃	1,5-3
Kalium- og natriumoksid	K ₂ O + Na ₂ O	0,2-1,5

Tabell 2.2: Mineraler i portlandsement (Maage, 2015a, s. 83)

Navn	Kjemisk formel	Symbol
Trikalsiumsilikat	3CaO · SiO ₂	C ₃ S
Dikalsiumsilikat	2CaO · SiO ₂	C ₂ S
Trikalsiumaluminat	3CaO · Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsiumaluminatferrit	4CaO · Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Vanninnhold

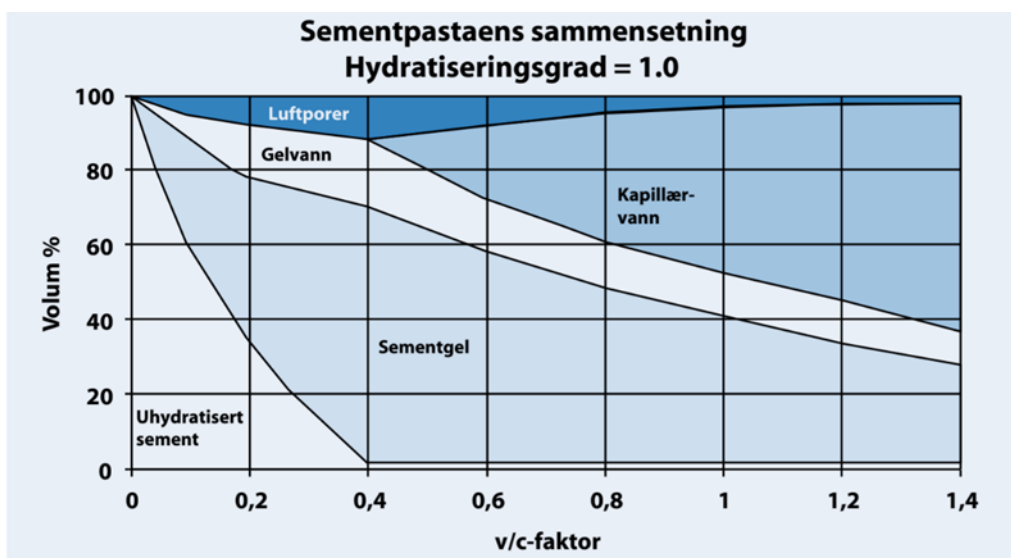
Vann-sement forholdet eller v/c-tallet i betongen påvirker tettheten og styrken til betongen i veldig stor grad. Betegnelsen v/c-tallet brukes kun når blandingen består av sement alene. Ved bruk av flere tilsetningsmaterialer i tillegg til sement, betegnes blandingsforholdet mellom vann og bindemidlet for masseforhold.

Likning 2.2

$$\text{Masseforhold} = \frac{\text{Effektiv vannmengde}}{\text{Effektiv bindemiddelmengde}}$$

(Aarstad, 2016)

Ved blanding av vann og sement dannes det sementlim, dette skjer når sementen blir hydratisert. Lavt vanninnhold vil medføre til at noen av sementkorn blir ikke hydratisert. Lavt v/c-tall blir brukt som en løsning for redusering av armeringskorrosjon. Derimot det vil bli kontinuerlige kapillærporer ved høyt vanninnhold. Ifølge NORCEM, når $v/c = 0,4$ vil alle sementkorn bli hydratisert (NORCEM, u.å-b). Betongens poresystem er sterkt avhengig av masseforholdet, som er vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Sementpastens sammensetning (NORCEM, u.å-b)

Norsk standard

Klassifisering av vanlige sementtyper skjer etter NS-EN 197-1, hvor sementtypene deles inn i fem klasser: (Standard Norge, 2011)

- CEM I: Portlandsement der klinkeren utgjør 95-100% av massen
- CEM II: Blandingssement med minst 65% klinker
- CEM III: Slaggsement
- CEM IV: Pozzolansement
- CEM V: Blandingssement med mindre enn 65% klinker

2.1.2 Silikastøv

I år 1970 ble det innført et miljøkrav, som krevde industrier å rense støvet fra røykgasser ved produksjon. Silikastøv, som er et restprodukt ved produksjon av silisium- og ferrosilisiummetall, ble tilgjengelig som tilsetningsmateriale i betong i Norge som følge av rensing av røykgasser i 1970-tallet. Billig silikastøv ble, mot slutten av 1970-tallet og utover, brukt som sementerstatning. Den lave prisen på silikastøv førte til at store mengder sement ble skiftet ut med silikastøv, men prisen har siden hatt en økende trend og doseringsmengder ligger i dag mellom 3-5% av sementmengden. (Maage, 2015a)

Silikastøv er veldig finkornet, hvor partiklene ligger i størrelsesorden 0,0001 mm og 0,0005 mm, noe som er 100 ganger mindre enn sementpartiklene. Silikastøv er mye lettere enn sement, med en densitet på ca. 2200 kg/m³ mot ren sement med densitet på ca. 3100 kg/m³. Kjemisk består silikastøv av 85-98% SiO₂ (silisiumdioksid) i amorf tilstand (Maage, 2015a).

Når ren sement blandes med vann, produseres det blant annet kalsiumhydroksid, Ca(OH)₂, tilsvarende 20-30% av sementmengden. Påvirkningen av kalsiumhydroksid på betongens styrke, stivhet og tetthet er svært lite, men står for en viktig del av betongens kjemiske egenskaper. Kalsiumhydroksid vil blant annet bidra til å holde betongens pH-nivå høyt, slik at armeringen beskyttes med et tett og sterkt sjikt av oksider på overflaten (Maage, 2015a).

Når silikastøv blir tilsatt til betongblanding, vil det oppstå kjemiskreaksjon mellom SiO₂ og Ca(OH)₂. Denne reaksjonen blir kalt for pozzolanreaksjonen, og reaksjonsproduktet er

kalsiumsilikathydrat, C-S-H, som primært er ansvarlig for betongens gode egenskaper med hensyn på tetthet, fasthet og bestandighet. Pozzolanreaksjonen skaper bedre tetthet, fasthet og bæreevne i betongen. Pozzolanreaksjonen er i større grad temperaturavhengig enn sementreaksjonen, noe som betyr at pozzolanreaksjonen går raskere ved høye temperaturer og langsomt ved lave temperaturer (Maage, 2015a).

Ved tilsetning av silikastøv vil oppførselen til den ferske betongen endres, ved at den blir litt stivere. I tillegg vil betongen som inneholder silikastøv holde bedre på vannet enn betong uten silikastøv, ettersom silikastøv har store spesifikke overflater. Dette vil føre til at betongen blir mer homogen. Homogen betong fører til en jevnere og bedre egenskap (Maage, 2015a).

Betong som inneholder silikastøv er som regel «seigere» enn betong uten, ettersom massen vil få høyere viskositet og flyteskjærspenning. For å få en fin fordeling av silikastøv partikler, må det alltid tilsettes plastiserende stoff i blandingen. Slike stoff er mer effektivt overfor silikastøv enn sement (Maage, 2015a).

NS-EN 13263-1 brukes i Norge og Europa som standard for bruk av silikastøv betong, og Nasjonalt tillegg til NS-EN 206 inneholder regelverket for bruk av silikastøv i betong (Maage, 2015a).

2.1.3 Kalsinert leire

Kalsinert leire er leire som har vært utsatt for kalsineringsprosess. Denne prosessen er en varmebehandlingsprosess hvor faste råstoffer brennes i ovn for å forbedre pozzolanske egenskaper ved stoffet. Kalsinering av leire omdanner som regel krystallstrukturen i stoffet til å bli tyngre og kjemisk motstandsdyktig.

Kalsinering får leiren til å bevege seg gjennom flere reaksjoner. Først ved temperatur opp til 150 °C vil fysisk bundet vann bli drevet av. Mellom 400 – 600 °C vil leiren bli utsatt for en reaksjon kalt dehydroksylering, som vil fjerne kjemisk bundet vann. Denne reaksjonen fører til dannelsen av kalsinert leire eller metakaolin som det også kalles. For bruk av dette stoffet til betongformål stoppes prosessen her, men man kan brenne materiale i høyere temperaturer for ulike formål (Alex Ebben og Carlson, u.å; Thomas, 2010).

Ved produksjon av sement brukes det temperaturer over 1450 °C for varmebehandlingsprosesser av kalkstein. Denne prosessen er en energikrevende prosess som står for en stor del av CO₂-utslippet ved betongproduksjon. Men kalsinert leire ses på som mye mer miljøvennlig ettersom den ikke frigjør CO₂ under varmebehandling, annet enn utslippene som kommer fra brennstoff. Men igjen er utslippene fra brennstoff ved kalsinering av leire betraktelig lavere enn kalkstein, ettersom leiren ikke trenger å varmes høyere enn 400 – 600 °C (Egge, 2016).

Bruken av kalsinert leire i betong har vist seg å ha både negative og positive effekter. Dette stoffet som er mer reaktiv enn andre pozzolanske stoffer, bidrar til å akselerere reaksjonene som herdner betongen. Kalsinert leire bidrar også til betongens langsiktige styrke og holdbarhet, ved å redusere effekten av alkali-silika reaksjoner, og øke motstandsdyktighet mot kjemiske angrep. Bruken av kalsinert leire kan øke vannbehovet under produksjon av betong med over 20% med mindre vannreducerende tilsetningsstoffer brukes (Global Cement and Concrete Association, u.å).

2.1.4 Kalkstein

I denne studien betraktes kalkstein som filler. Kalkstein er et essensielt råmateriale og har vært i bruk like lenge som mennesker har konstruert bolig og bygninger. Dette materialet finnes i varierte former og klassifiseres etter opprinnelse, struktur, kjemisk sammensetning og geologisk formasjon. Kalkstein forekommer å finne over hele verden, og er for mange bransjer en viktig råvare. NS-EN 12620 beskriver filler som tilslag der mesteparten passerer 0,063 mm sikten (Oates, 1998).

Kalkstein består i hovedsak av kalsiumkarbonat (CaCO₃), ofte i form av kalsitt. Kalkstein ses på som rent stoff med lite innhold av andre kjemiske stoff. Det vil si at omtrent 95% av kalkstein består av kalsiumkarbonat og kun 5% består av komponentene Al₂O₃, MgO Fe₂O₃ og SiO₂. Kalkstein, på grunn av innhold av fin partikkelstørrelse brukes primært som fyllmateriale i betong (Tayeh og Alem, 2019).

Påvirkning av kalkstein på betongens ferske og herde tilstander har vært tema for mange studier. Forskere har forsket på påvirkningen av varierende mengde kalkstein på betongens ferske egenskaper, mekaniske egenskaper og holdbarhet. Resultatet fra disse testene virker ikke entydig. Mens noen forskere har funnet ut at en økende kalksteintilsetning vil øke

vannbehovet for å opprettholde samme konsistensnivå for sementpastaen (Hamdy og Salem, 1995; Heikal *et al.*, 2004), har andre kommet frem til at endringen i konsistensen ikke er merkbar ved tilsetning av kalkstein (Guemmadi *et al.*, 2005).

Partikkelstørrelse og innhold av kalkstein ser ut til å ha en påvirkende effekt på betongens egenskaper. En små størrelsesfordeling av partikler vil generelt føre til høyt vannbehov, mens en breiere størrelsesfordeling vil kunne gi mindre vannbehov (Detwiler, 1995). Kalkstein males lett og dermed har en brei størrelsesfordeling av partikler som kan fylle hulrommene i sementpartiklene, noe som reduserer vannbehovet (Hawkins, Tennis og Detwiler, 1996). Kalkstein kan males sammen med sement, blandes sammen eller legges til ved blanding av sementpasta. Blanding av kalkstein med sement i de forskjellige fasene gir forskjellige effekt på betongens egenskap (Ramezaniapour, 2014).

2.2 Tilslag

NS-EN 12620 beskriver tilslag som et finkornet materiale, som brukes i byggeprosesser (Standard Norge, 2016b). Tilslag står for 65-75% av betongens volum, mens resten av betongen består av sementlimet og andre tilsetningsstoffer. Vanligvis utgjør tilslaget den sterke og stive delen av betongen. Betongens støpelighet og mekaniske egenskaper er i stor grad påvirket av tilslaget. Spesielt er betongens E-modul i stor grad avhengig av tilslagets E-modul. Tilslag fordeles i klassene fint- og grovt tilslag, hvor sand er i klassen fint tilslag (Maage, 2015a).

2.2.1 Sand

Sand er den delen av tilslaget som er finest. Vanligvis er sand i fraksjonen 0/8 mm. I Norge betegnes tilslag opp til 8 mm for sand, mens i andre europeiske land er grensen ved 4 mm. Produksjonen av tilslag består av tre hovedgrupper: knust, naturlig og resirkulert (SINTEF Byggforsk, 2012).

Naturlig sand kommer fra løsmasseforekomster som ble avsatt av breelver under nedsmelting av isen for omtrent 10 000 år siden. Isen glei over materialer fra berggrunnen som ble tatt med videre med bevegelsen. Denne bevegelsen førte til kornformer som er relativt avrundet i

kantene og glatte i overflater. Slike forekomster har som regel stor kornfordeling variasjon, ettersom løsmasseforekomstene blir i hovedsak avsatt sammen med varierende kornstørrelse (SINTEF Byggforsk, 2012).

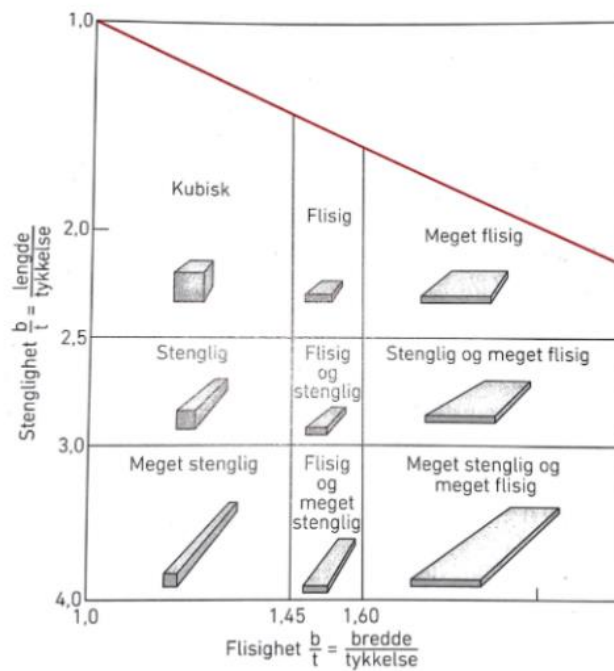
Sand fra knust tilslag betegner tilslag som har vært gjennom industriell knuseprosess. Knust tilslag kommer i hovedsak fra sprengt berg, men det brukes også naturlig tilslag fra grustak. Knuseprosessen består av opptil fire trinn, hvor materialet blir finere etter hvert trinn. Antall trinn bestemmes etter hvor fint materialet ønskes å være. Etter knusing fordeles materialet i ønskede fraksjoner ved sikting. Ved knusing av tilslag tilstrebes det mest mulig kubisk kornform. Bruken av knust tilslag og spesielt knust sand fra faste bergmasser har fått en økende trend, ettersom tilgang til gode naturlig avsatte masser blir mindre (SINTEF Byggforsk, 2012; Thue, 2019).

Resirkulert tilslag kommer fra avfall fra byggeplasser, betongproduksjon eller andre byggevirksomheter. Denne type tilslag er lite benyttet i Norge. Tilslaget brukes i steinfraksjonen som er større enn 4 mm.

Kornform

Kornformen betegnes etter forholdet mellom flisighet og stenglighet, hvor flisighet er bredde dividert på tykkelse og stenglighet er lengde dividert på tykkelse. Klassifisering av tilslagskorn fremgår av figur 2.2. Tilslagets kornform og overflate er til stor betydning for pakningsegenskaper av tilslaget, betongens støpelighet og matriksbehovet. (Maage, 2015a)

Naturlig sand er normalt kubisk formet med avrundede kanter og relativt glatte flater, mens maskinsand er mindre kubisk, med mer skarpkantede kanter og overflateruhet. Stort innhold av kantede partikler med stor ruhet vil gi en dårligere pakningsegenskap og økt hulrom som igjen fører til økt behov for matriksvolum. Kornformen har større betydning for fint tilslag (< 4 mm) enn for grovt tilslag. Men per i dag er det ingen standardiserte metoder for å bestemme kornform for fint tilslag (Maage, 2015a).

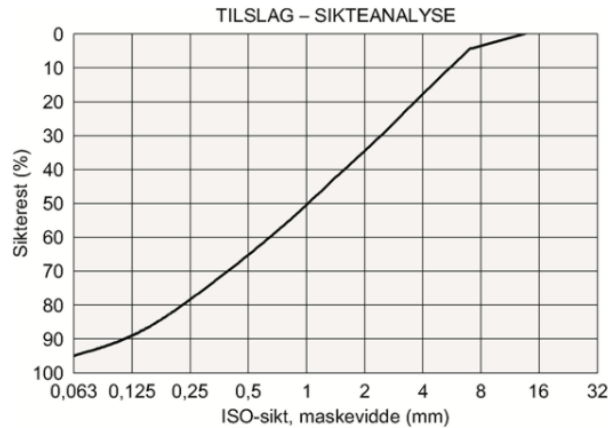


Figur 2.2: Klassifisering av stenglighet og flisighet (Maage, 2015a)

Gradering

Gradering av partikler i et tilslag påvirker primært betongens vannbehov, støpelighet, sekundært luftinnholdet og fastheten til betongen. Størrelsesfordeling (gradering) er spesielt viktig for fint tilslag, spesielt de fineste fraksjoner.

Graderingen bestemmes ved sikt analyse, hvor tilslaget siktes gjennom kvadratiske duker med standard maskevidde. Tilslaget som er liggende igjen på duken veies, og man får en siktkurve som viser vektfordelingen mellom ulike partikkelstørrelser. Figur 2.3 viser eksempel på en slik kurve. For sandtilslag foretrekkes det for det meste tilnærmet rette siktekurver. Det vil si omtrent like mye materiale vektmessig i hver fraksjon. En jevn kornfordeling vil føre til et godt pakket tilslag med lite hulrom mellom dem (SINTEF Byggforsk, 2018).



Figur 2.3: Eksempel på siktcurve (SINTEF Byggforsk, 2018)

2.3 Fiber

2.3.1 Polypropylen fiber

Fiberarmert betong i utgangspunkt er en vanlig betong som er tilsatt stålfiber, Polymerbasert fiber eller basaltfiber. Prosessen der stort antall fibre blandes inn i betongen, kalles for fiberarmering. Fiberarmert betong brukes i gulv, sprøytebetong i fjellsikring og plater på mark. Det finnes forskjellige typer fiber med forskjellige lengde, tykkelse og form, som brukes til ulike formål med varierende doseringer. Polypropylen er en av de polymerbaserte fiber typene som er laget av plastmaterialet polypropylen. Sammenlignet med stålfiber har polypropylenfiber lavere egenvekt og en densitet på 910 kg/m^3 . Polymerbaserte fibre finnes i to hovedtyper, mikrofiber og makrofiber. Dimensjon og bruksområdene til makrofibre er omtrent det samme som stålfibre, mens mikrofiber er finere med lengde 5-7 mm og diameter i størrelsesorden 20 nm (nanometer) (Maage, 2015a, s. 387; Espedal, 2015).

Den viktigste jobben for polymerfibre er å forbedre betongens brannegenskaper. Ved høy temperatur som brann vil fiberne smeltes og skaper en kanal for at vandamptrykket ikke blir for stort til å sprengne betongen. Tidligere ble polymerfibre brukt til å redusere opprissingen i betongen, men ikke lenger er de i bruk for disse områdene. En annen påvirkning av mikrofibre kan nevnes som en stabiliserende tiltaket i betongen som separerer, eksempelvis SKB. Effektiviteten av mikrofibre oppstår i en fersk betong, derfor har den ingen positiv

effekt for egenskap i herdet betong. NS-EN 14889-2 er standarden for polymerfibere og den består av definisjoner, kraver og samsvarer (Maage, 2015a, s. 387; Espedal, 2015).

Tendensen til polypropylenfibre gjør at betongblandingen holdes sammen. Dette redusere avsetning av grovt tilslag og at blødningshastigheten blir lavere. En lavere blødningshastighet fører til at tørkehastighet blir også lavere og igjen dette fører til at betongen får en mindre plastisk sprekkdannelse. Polypropylen fungerer som en sprekkstopper i betong i herdet tilstand, som sekundær armering er den ekstra effektiv til å holde betongen sammen på grunn av at de er fordelt gjennom hele betongen (Concrete Construction Staff, 1983).

I betong kan det oppstå sprekker og de dannes når strekkbelastningene i betongen overstiger i forhold til strekkfastheten, derfor brukes fiber til å holde betongen sammen. Båndet mellom fiber og pasta er avhengig av lengden til fibrene, jo lenger de er, desto sterkere bånd skapes. Ulempen med lange fiber er det blir vanskeligere å jevnfordele fiberen i betongen. Det er flere fordeler med bruk av polypropylenfiber i betong, de gir blant annet økt brannmotstand, reduserer fare for blødning, reduserer for eksplosjonsartet avskalling, økt motstand mot slag og økt betongtetthet. Det er en del regel for bruk av lange og korte fiber, for eksempel korte fiber brukes i betong med lett tilslag, men for betong med større og tyngre tilslag brukes det lange fibre (Concrete Construction Staff, 1983).

2.4 Tilsetning stoff

2.4.1 Superplastiserende

Superplastiseringsmiddel er en viktig komponent i de fleste moderne betongblandinger, som forbedrer vannreduksjon bearbeidbarheten til våt betong og reduserer mengden vann som brukes i blandingen (Hackle, 2016). Tidligere var superplastiserende basert på melaminer (SMF-stoff) og naftalener (SNF-stoff). Disse to stoffene er basert på restprodukter fra kjemisk industri og med tanke på bruk i betong er disse modifisert. Per dagsdato er ikke denne typen SP-stoff nesten i bruk i Norge på grunn av deres høye priser og siste generasjon av SP-stoff. Den nye generasjons SP-stoff, som også kalt PCE-stoff er basert på co-polymerer. De er mer effektive, og gir betongen bedre egenskaper og er billigere (Maage, 2015a).

2.5 Python

Python er et programmeringsspråk som er skapt av Guido van Rossum i 1989. Det regnes som mest brukte programmeringsspråket innenfor maskinlæring (ML). Programmet er basert på enkelt koding og syntaks, og dette gjør at det blir enkelt å lære, til de som ikke har noen bakgrunn med koding. Python hjelper med å kategorisere informasjonen, bruke mindre tid på å løse avanserte ligninger og lage modeller som forenkler komplekse utregninger. (AcademicWork, u.å).

2.5.1 Maskinlæring

Maskinlæring (ML) er en type kunstig intelligens (AI), som gir datamaskiner muligheten til å tenke, lære og finne løsninger ut ifra gitt informasjon. Maskinlæring blir mest brukt for å finne mønster i dataene som er gitt, og med noen endringer i data vil løsningen endres (Compello, u.å).

I maskinlæring blir algoritmer brukt for å bestemme mønstrene i data, og bruker deretter disse mønstrene til å lage datamodeller som kan forutsi nye data. Etter hvert som data og erfaring øker, blir resultatene av maskinlæring mer nøyaktige. Maskinlæring blir mest brukt når data blir endret eller når det er veldig avanserte matematisk utregninger (Microsoft, u.å).

Maskinlæring har en prosess som brukes til å løse problemer, og det kan bli delt i 5 steg:

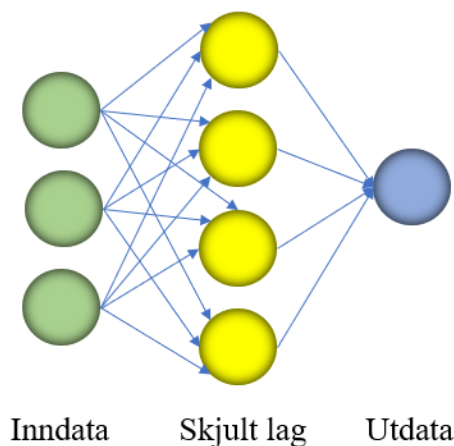
1. I starten må dataene samles, og dataene kan komme fra flere kilder. Mer data vil gi bedre og nøyaktigere resultat. Derfor kan dette steget bli regnet som det viktigste steget.
2. I neste steg må dataene forbedres og vurderes. Det er viktig å bruke god tid for å vurdere kvaliteten av dataene, og fylle manglende data.
3. Når alt data er klart, velges hvilke funksjoner eller modeller som passer for å løse problemet og for å få nøyaktige resultater. Dette steget innebærer å velge riktige algoritmer for studien.

4. Etter å ha modellen må den vurderes, siden den vil bli brukt videre i resultatet. For å sjekke om svaret er korrekt, kan man velge andre algoritmer for å se om det gir samme resultat. Man kan også justere parameterne til valgte algoritmen.
5. Siste steget er å gå gjennom alt og se om man er fornøyd med det man ha fått eller kan det forbedres? (Lejlic, 2017).

Bruken av maskinlæring øker hver eneste dag, der bedrifter og arbeidsplasser tar dette i bruk for å forbedre og utvikle produkter og tjenester. Banker bruker det for å unngå svindel og risikostyring, ved å oppdatere ML hele tiden med nye data som vil registrere sannsynligheten for svindel før den oppstår. ML blir brukt innenfor helse, som for eksempel overvåking på pasientene og varsle når det er større sjanse for sykdomsutbrudd. ML er også blant annet brukt i selvkjørende biler. Kjøpere og selgere kan ved hjelp av ML analysere tilbud, priser og kundens oppførsel, for å forbedre kundeopplevelse (Microsoft, u.å).

2.5.2 Nevralt nettverk

Med nevralt nettverk menes det et kunstig nevralt nettverk, som simuleres av en datamaskin. Dette nettverket av nerver er inspirert av det biologiske nevralt nettverket, men fungerer helt annerledes både betingelse-, kapasitet- og funksjonsmessig. Et nevralt nettverk består av et stort antall enkle enheter, som kalles for nevroner eller nerveceller. Disse nevroner har som oppgave å motta, bearbeide og videresende signaler. De består av en cellekropp og tråder (vektorer) som forbinder nevroner med hverandre. Disse vektene er kalibrert gjennom en treningsprosess med input- og output data. Hvert nevron reagerer på signaler på en bestemt måte, noe som kan tilpasses over tid. Denne tilpasningsevnen er nøkkelen til funksjoner som minne og læring (Elements of AI, u.å).



Figur 2.4: Enkel illustrasjon av nevralt nettverk

En enkel form for et nevralt nettverk av typen forovermatet (Feed-forward network) er beskrevet i figur 2.4. Arkitekturen består av tre inngangs nevrone, fire skjulte nevrone og ett utgangs nevron. Koblingen mellom nevrone blir også kalt for vekter. Dette nettverket fungerer slik at inngangslaget sender data til nevrone i det skjulte laget via veide koblinger. Veid kobling betyr at dataene blir multiplisert opp med enkelte koblingens lagrede vekt før dataene blir sendt til nevronet i neste lag. Nevronet som mottar data har som funksjon å samle sammen alle innkommende data, som regel ved en summeringsformel. Deretter vil nevronet normalisere dataene, gjerne til en verdi mellom $[0,1]$ eller $[-1,1]$ ved hjelp av forskjellige aktiveringsfunksjoner. Noen vanlige aktiveringsfunksjoner er logaritmik sigmoid og relu. Neste steg er at resultatet sendes til utgangslaget, men man kan også bestemme en terskel verdi som må passeres for at nevronet skal sende data til utgangslaget, det kan oppnås ved å lage mer enn bare et skjult lag (Hamdahl, 2007).

Forovermatet nevralt nettverk fungerer slik at data sendes kun i en retning, nemlig fremover. Men dette kan trenes opp ved å bruke teknikken bakover propagering (backpropagation learning). Prinsippet i denne teknikken er at når utgangslaget leverer et resultat sjekkes dette mot et fasitsvar, og hvis svaret er feil vil nevrone i utgangslaget gi beskjed til sine innkoblinger bakover i systemet slik at de korrigeres. Koblingene vil deretter sende denne beskjeden videre til sine nevrone bakover i systemet. Denne prosessen kan gjenta seg til utgangslaget gir et akseptabelt resultat. Prosessen forenklet er som følgende (Hamdahl, 2007):

- Velg et datasett som inndata;

- Regn ut ønsket resultat for det nevralt nettverket;
- Juster vektorer og terskler;
- Gjenta til stopp kriterium er oppnådd.

To av hoved læringsteknikker for nevralt nettverk er kontrollert læring (supervised learning) og ukontrollert læring (unsupervised learning). Ved kontrollert læring har man med både inndata og utdata. Læringsalgoritmen vil justere nettverket til utgangslaget leverer akseptable resultater. Et eksempel på en kontrollert læringsteknikk er bakover propagering. Teknikken ved ukontrollert læring går ut på å la en algoritme sjekke inngangsdata og justere utgangsdata etter de gitte kriteriene for dataene. Slike kriterier kan for eksempel være gjennomsnittsverdi eller gruppering (Hamdahl, 2007).

Matematisk forklaring:

Hvert lag består av ett eller flere nevroner (behandlingselementer). I nettverkssystemet vil inngangslaget ha P nevroner, som vil si en for hver prediktor variabel. Hver av nevroner i inngangslaget sender signaler $x_i (i = 1, \dots, p)$ til nevroner i det skjulte laget, og hver nevron i det skjulte laget, med indeksen ($j = 1, \dots, q$), produserer en «aktivering» ($a_j = G(\sum_i w_{ij} x_i)$), hvor w_{ij} er vektorer assosiert med koblinger mellom P nevroner til inngangslaget og j nevroner i det skjulte laget. Nevroner i utgangslaget oppfører seg på en måte lik nevroner i det skjulte laget, for å produsere utdata fra nettverket (Desai og Bharati, 1998). Likning 2.3 beskriver formelen som benyttes.

Likning 2.3

$$o_k = F \left(\sum_{j=1}^q G \left(\sum_{i=1}^P w_{ij} x_i \right) w_{jk} \right), \quad k = 1, \dots, r.$$

Noen eksempler på aktiveringsfunksjoner er relu, Sigmoid og Tanh:

$$F(x) = \max(0, x) \quad F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad F(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

Vektorer kan justeres for å minske noen kriterier, som for eksempel summen av kvadratfeil funksjonen (SSE).

Likning 2.4

$$E_1 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r (y_k - o_k)^2$$

Vektjusterings likning ved bruk av bakover propagering kan uttrykkes som følgende:

Likning 2.5

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\delta E_1}{\delta w_{ij}} + \theta \Delta w_{ij}$$

Her er η en læringskoeffisient og θ er momentum. Noen heuristikker, som kan brukes for å forhindre at nettverket låser seg fast på et lokalt minimum, er presentasjon av treningsdataene i tilfeldigrekkefølge, og kumulativ oppdatering av vektorer. Sistnevnte metode vil si at vektorer ikke oppdateres etter presentasjon av hver inngang og utgangsverdier, men heller akkumuleres helt til et visst antall presentasjoner er gjort og som kalles for en «epoke».

Hvis vi kun ser på første del av likning 2.3, vil en lav læringskoeffisient gi en langsom læring, mens en høy læringskoeffisient kan produsere divergerende atferd. Den andre delen av likningen vil forsterke generelle trender, hvor svingede oppførsel blir kansellert, og en lav læringskoeffisient med en raskere læring oppnås (Desai og Bharati, 1998).

2.5.3 Lineær regresjon

Lineær regresjon er en av de mest brukte metoder for å oppdage empiriske regelmessigheter i et system. La X være vektoren av p prediktive variabler, som kan brukes til å forutsi forventet resultat på en verdi. Modellen kan se slik ut:

Likning 2.6

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Her er Y en vektor av observerte verdier av avhengig variabel. X er en matrise av radvektorer. Matrisen kalles også for designmatrisen. β er en-dimensjonal parametervektor. Elementene er kjent som regresjonskoeffisienter. ε er en vektor av verdier, kjent som feiltrykk med null gjennomsnitt og varians σ^2 .

2.6 Additiv produksjon

Additiv produksjon (AP) er en prosess hvor digitale tegninger printes ut til tre-dimensjonale objekter ved å legge materiale lag-på-lag. Materialer som blir brukt, kan for eksempel være plastikk, betong og metal. Bruk av AP teknologi inkluderer som regel bruk av 3D-modellering programvarer, som for eksempel CAD. Etter at en CAD-tegning er overført til maskinen, vil dataene bli analysert og prosessen av å legge materialet lag-på-lag begynner (Chang, 2016).

Begrepet Additiv produksjon inkluderer flere teknologiske metoder, som kan produsere liknende objekter, som Rapid Protoyoing, Layered Manufacturing, Direct Digital Manufacturing og 3D-printing. Denne studien setter søkelyset på sistnevnte teknologi.

2.6.1 3D-printing av betong

Prosesen av 3D-printing av et objekt med betong består av følgende faser: Forberedelse av data, klargjøring av betongblanding og printing av objektet. I den første fasen, en modell av valgt objekt blir opprettet i CAD-format. Deretter vil objektet, ved hjelp av et skjæringsprogram, bli gjort om til en G-kode, som 3D-printeren kan oppfatte. En G-kode er en kode som forteller maskinverktøyet hvilken type handling den skal utføre (Bos *et al.*, 2016).

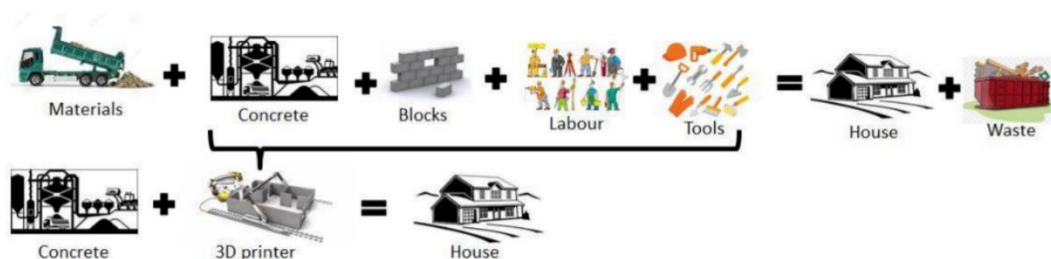
Neste trinn består av klargjøring av betongblanding og administrering av matingsalternativer av betong til 3D-printeren. Betongen mates til printeren med enten som batch blanding eller kontinuerlig blanding. En batch mikser klargjør betongen i volumer, mens en kontinuerlig mikser blander betongen og tilfører betongen til printeren kontinuerlig (Nadarajah, 2018). Siste trinn består av utpressing av betongblanding ut fra et rør. En pumpe kan brukes til å ekstrudere betongblandingen. Mer om ekstruderbarheten i kapittel 2.7.2.

2.6.2 Konvensjonell prosess vs 3D-printing

Noen fordeler ved bruk av 3D-printing av betong i en byggeprosess er listet opp som følger:

- Produksjon av mer komplekse geometriske bygninger blir lettere enn før, ettersom 3D-printing gjør det mulig å bygge bygninger som var nesten umulig å bygge før.
- Ved bruk av 3D-printing av betong, brukes det betong kun der det trengs, og dette fører til en mer økonomisk og miljøvennlig prosess.
- Produktiviteten vil øke, ettersom en 3D-printer teoretisk kan jobbe døgnet rundt, mens menneskelig arbeidskraft har et antall timer å jobbe per dag.
- Den digitale prosessen kan jobbe problemfritt med BIM-modellen.

(Tarhan og Remzi, 2019)



Figur 2.5: Sammenligning av konvensjonell byggeprosess mot 3D-printing byggeprosess (Nadarajah, 2018)

2.7 Krav på betong for 3D-printing

2.7.1 Flytbarhet

Flytbarhet er egenskapen som evaluerer flyteoppførselen til den ferske betongen i pumpesystemet. I denne studien blir pumpbarhet ikke undersøkt, ettersom pumpbar betong kan ha forskjellige egenskaper i forhold til pumping og som kan skape begrensning på hvor langt betongen kan pumpes. En god flytbarhet muliggjør jevn transport av betong fra beholder til trykknålet. Noen enkle testmetoder, som for eksempel rystebord (Flow table), kan brukes til å kvalitativt undersøke flytbarheten (Li *et al.*, 2020).

Tilsetningsstoffer, både kjemiske og mineralske og fiber, er hovedfaktorene som påvirker flytbarheten til fersk betongblanding. Kjemiske tilsetningsstoffer som for eksempel superplastiserende, blir som regel brukt for å gi betongen en bedre flyt. Tilsetning av mineralske stoffer, som flygeaske og silikastøv, vil også bidra til å kontrollere flytbarheten til fersk betong. Dette kan baseres på effekten av form, partikkelstørrelse og pozzolanisk egenskap. Det rette forholdet mellom tilslag, sement og mineraler kan oppnå en bred partikkelstørrelsesfordeling, som kan gi en god flytbarhet til den ferske betongen (Li *et al.*, 2020).

2.7.2 Ekstruderbarhet

Ekstruderbarhet kan bli definert som kapasiteten til den ferske betongen som passere seg gjennom nålet. Betongfilament med god kvalitet er en kontinuerlig betong uten noe tegn til riving og blødning, under ekstrudering.

Størrelsen på nålet spiller veldig stor rolle på ekstrudering av betong. K. El Cheikh hevdet i sin studie at et diameterforhold mellom nål diameteren og den maksimale partikkeldiameter større enn 4,25 unngår blokkering under ekstrudering (El Cheikh *et al.*, 2017). For stor diameter på nålet kan skape problemer med byggbarheten, siden lagene blir store og kan ikke bære sin egen vekt. Liten nål kan føre til separasjonen, riving av betongfilament og lavere flytbarhet. Høy sand-sement forhold kan redusere flytbarheten, som vil påvirke negativt på ekstrudering, og øke separasjonen og riving av betongfilament (Nair *et al.*, 2020).

Bortsett fra størrelsen på nålet, vil dens geometri også ha påvirkning på ekstruderingsprosessen. En rektangulær eller konisk nål vil kunne føre til henholdsvis laminær og ikke-laminær strømming. I tilfelle av laminær strømming avsettes materialet som en stiv og ikke-deformert filament, mens for den ikke-laminære tilfelle utvides materialet til tross for lettere ekstrudering enn første tilfelle (Roussel, 2018).

2.7.3 Byggbarhet

Byggbarhet kan defineres som materialets evne til å holde formen under belastning og motstå deformasjon. Byggbarheten er en viktig parameter i 3D-printing av betong, som gjør at det lett kan bygges uten forskalling. Uten forskalling må ferske materialer ha tilstrekkelig med

byggbarhet for å holde sin form, egenvekt og vekten fra de ytterste lagene. Uten god nok byggbarhet vil lagene som blir 3D-printet i vertikale og horisontale retninger risikere å kollapse (Li *et al.*, 2020).

Betongens byggbarhet kan måles ved forskjellige metoder. Det kan for eksempel være ved at flere betonglag ekstruderes opp på hverandre, hvor man måler deformasjonen på de nederste lagene. Formstabiliteten kan også måles ved at en bestemt vekt settes på en sylindereformet betongblanding i fersk tilstand, og høyde differansen måles. Denne metoden heter sylindertest metode, se kapittel 3.13.

For å finne ut av når betongprøven begynner å få god nok tidlig fasthet, kan størkningstiden måles. Størkningstiden er den tiden det kreves for avstivning av sementpasta til en definert konsistens. Det finnes to størkningstidspunkter, initial størkning hvor betongen begynner å miste sin plastisitet, og endelig størkning hvor betongen har mistet sin plastisitet helt og har oppnådd sin endelige form.

2.8 Tidligere studier

For å få en bedre forståelse og kunnskap om materialer og metoder brukt for 3D-printing, er det viktig med en grundig undersøkelse av tidligere studier. I dette delkapittelet vil et eksempel av en tidligere studie, som omhandler utvikling av betongblandinger passende for bruk i 3D-printing, presenteres.

Forskere ved Loughborough University har forsket på egenskaper av fem forskjellige fiberbaserte betongblandinger (Le *et al.*, 2012). Materialer som ble benyttet var sand, sement, flygeaske, silikastøv, vann, retarder, superplastiseringsmiddel, akselerator og polypropylen fiber. Bindemidlene som (sement, flygeaske og silikastøv) ble brukt i alle blandinger, var henholdsvis 70%, 20% og 10%. Vann-binder forholdet ble valgt til å være 0,28 i starten, men varierte etter hvert. Bruken av retarder, superplastiseringsmiddel, akselerator og polypropylen fiber varierte i blandningene for å identifisere det gunstige blandingsforholdet for 3D-printing.

Egenskaper undersøkt i denne studien var pumpbarhet, jobbbarhet, åpentid og byggbarhet. Jobbarhet og åpentid ble testet ved å se på skjærstyrken og dens endring med tiden ved hjelp

av «shane vane» test metoden. Opprinnelig, ble det satt et mål for trykkfasthet og bøyefasthet på henholdsvis 100 MPa og 12 MPa etter 28 dager.

Det gunstige betongblandingen ble funnet til å bestå av 3:2 sand-binder forhold, som utgjorde 70% sement, 20% flyge aske, 10% silikastøv og $1,2 \text{ kg/m}^3$ av 12/0,18 mm (lengde/diameter) polypropylen fiber. Denne blandingen hadde et vann-binder-forhold på 0,26, og retarder og superplastiseringsmiddel med doser på 1% og 0,5% av bindemiddel vekt. Denne blandingen ble printet ut av en 9 mm rundt nål, med opp til 61 lag opp på hverandre uten noen merkbare deformasjoner i bunnen. Open time ble målt opp til 100 min. Trykkfastheten etter 28 dager overskred målet som ble satt, og var 110 MPa.

3 Materiale og metode

3.1 Materialer

De forskjellige materialer brukt i denne studien er listet i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Liste over brukte materialer

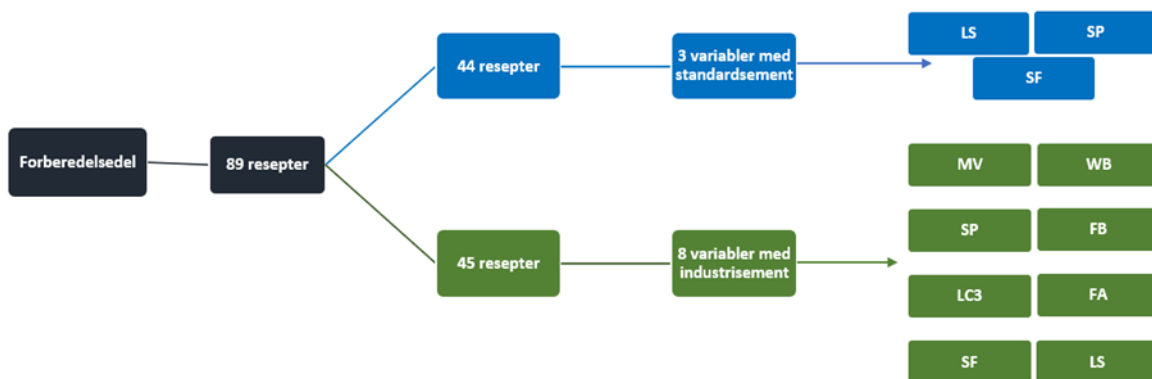
Material	Produsent	Produkt	Densitet (Kg/m ³)
FA Standard sement	Norcem	Standard sement	3000
Industri sement	Heidelberg	Industri sement	3130
Sand	Norstone	Årdal 0/2 mm nat. vask	2690
Kalkstein	Verdalskalk AS	Betofill VK 150	2700
Silikastøv	Elkem	Microsilica 920 D	2200
Flygeaske	Norcem	Flygeaske	2200
Kalsinert leire	Sibelco Deutschland	WB4107	2267
Fiber	Sika	Crackstop 6 mm	910
Superplastiserende	Mapei	Dynamon SR-N	1040

3.2 Generelt om metode

Det finnes ingen standarder for bruk av betong i 3D-printing sammenheng i Norge, og derfor måtte gruppen utvikle egendefinerte metoder for noen av tester. Valg av testmetoder og fremgangsmåten er tydelig beskrevet i denne studien.

3.2.1 Forberedelsedel

Ettersom denne studien er en del av et større prosjekt ved NTNU Gjøvik, samarbeidet bachelorgruppen med en annen gruppe i starten for å utvikle 90 resepter med innhold av forskjellige variabler. Hensikten med dette samarbeidet var å kunne få en felles forståelse for reseptutviklingsprosess, se på påvirkningen av de forskjellige materialer og bli kjent med de forskjellige testmetoder. Betongens flytbarhet og byggbarhet ble testet på disse blandingene. Ettersom utstyret for måling av flytbarhet ikke hadde ankommet i dette tidspunktet, måtte gruppen benytte tilgjengelig utstyr på labben og utvikle eget rystebordmetode med inspirasjon fra *NS-EN 12350-5:2019 Prøving av fersk betong - Del 5: Utbredelsesmål*. Se vedlegg 9. Testresultatet og reseptene fra disse 90 blandingene legges som et separat vedlegg, skal ikke være en del av analysen og er kun ment som informativt.



Figur 3.1: Fremgangsmåten for forberedelsedel

3.2.2 Hoveddel

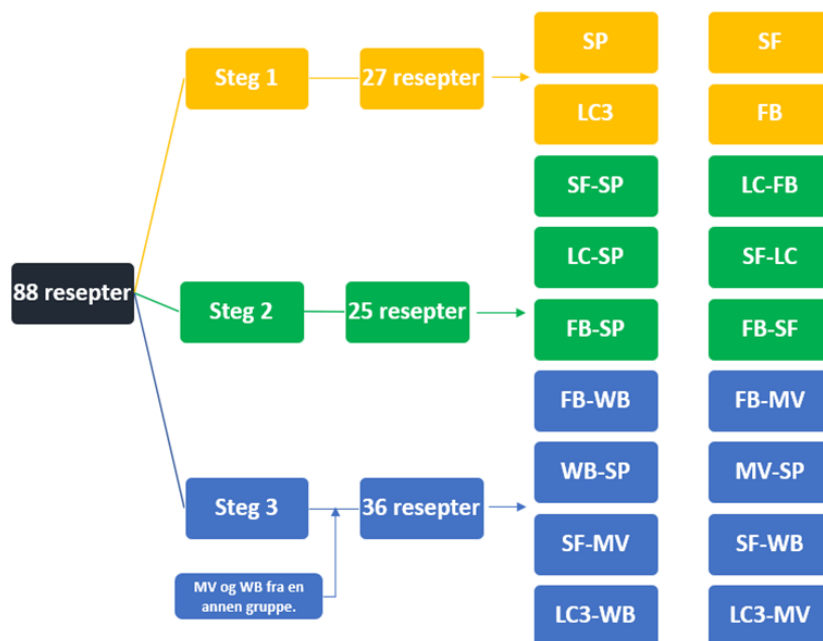
I denne delen av studien ble gruppen enig om å velge 4 parametere som undersøkes ytterligere. Parametere som ble valgt var superplastiserende (SP), silikastøv (SF), Kalkstein-kalsinert leire-ement (LC3) og fiber (FB). Her klarte gruppen å utvikle 88 resepter, hvor flytbarheten, bygbarheten, ekstruderbarheten, størkningstiden og mekaniske egenskaper ble undersøkt. Testmetoder, som ble brukt for å sjekke overnevnte egenskaper, er som følgende:

- Rystebord (Flow table)
- Sylindertest
- Green strength
- Ekstrudering
- Penetrometer
- Trykkfasthet
- Bøyefasthet

De overnevnte 88 resepter ble utviklet i 3 steger, hvor det ble utviklet 27, 25 og 36 resepter i henholdsvis steg 1, 2 og 3. Hensikten med steg 1 var å se på påvirkningen av en variabel, og hensikten med steg 2 og 3 var å se påvirkningen av to variabler samtidig. I steg 3 ble kunnskapen en annen gruppe hadde om matriksvolum (MV) og masseforhold (WB) benyttet for å kunne utvikle 36 resepter med innhold av MV og WB parametere. Testresultater av alle blandinger presenteres i kapitlet om resultater. I diskusjonskapitlet blir svarene analysert ved hjelp av 2D og 3D-grafer, ved bruk av Excel og MATLAB.

Kalsinert leire og sandens kornstørrelsesfordeling, vanninnhold, densitet og hullrominnhold ble analysert før igangsettelse av proporsjonering. Sandens vanninnhold ble sjekket ofte, for å sikre riktig proporsjonering.

Videre ble det utviklet Python koder som kan prediktere nye betongblandingers egenskaper. Ved utvikling av kodene, ble det benyttet to metoder innenfor maskinlæring, nevnt nettverk og lineær regresjon. 80% av samlet data fra de utførte tester på laboratorium ble benyttet for å trene opp programmet og resterende 20% ble benyttet som test data for å sjekke kodens validitet.



Figur 3.2: Fremgangsmåten for hoveddel

3.3 Siktanalyse av tilslag

Siktanalyse er en fremgangsmåte for å måle størrelser og typer av partikler. I henhold til NS-EN 933-1- 2012: «Prøvmåter for geometriske egenskaper for tilslag Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling Sikteanalyse» består testen av å dele og skille et materiale i flere partikkelstørrelsesklassifiseringer av synkende størrelser ved hjelp av en serie sikter. Blenderåpningens størrelse og antall sikter er valgt i samsvar med mengde av prøven og den nødvendige nøyaktigheten. Hensikten med denne testen er å få en oversikt over hvor mange prosent testprøve som passerer gjennom hver sikt på vektbasis. For resultatet av testen refereres det til vedlegg 1.

Prosedyren skal ifølge standarden plassere testdelen i en beholder og tilsette tilstrekkelig vann til å dekke testdelen, men i den gjeldende siktanalyse har det ikke vært behov for overnevnte punkter. Det ble brukt siktstørrelsen fra 4 – 0,063 mm for å se en kornstørrelsesfordeling for sanden. Kolonnen omfatter et antall sikter montert sammen og arrangert, fra topp til bunn, i avtagende. Det beholdte materialet til silen skal veies og registrere de forskjellige massene på et testdatablad.

Utstyr:

- Ventilert tørkeovn (110 ± 5) °C
- Vekt med 0,1g nøyaktighet
- Brett og skje
- Test sikter
- Siktmaskinen

Fremgangsmåte:

1. Legg tilslaget i ovnen i 24 timer for tørking, ved (110 ± 5) °C.
2. Tørket tilslag veies og noteres som M_1 , til videre analyse.
3. Legg tilslaget i beholder og vask det grundig, til vannet som er igjen i beholder ser rent ut.
4. Hell vannet forsiktig over siktet. Det blir brukt 0,063 mm sikt 2 mm sikt, slik at finstoffet i tilslaget renner ut.
5. Det er viktig å merke seg at tilslaget ikke skal heles opp i sikten, men bare vannet i beholder slik at tilslaget ikke settes seg fast i siktet.
6. Etter vasking legges tilslaget i ovnen for tørking i 24 timer, ved 110°C (± 5).
7. Vekten av tørket tilslag skal veies og måles som M_2 .
8. Tilslaget siktes i siktmaskinen med siktene 4-2-1-0,5-0,25-0,125-0,063 mm.
9. Til slutt vil vekten av hver sikt noteres for videre bruk i resultat.

Illustrasjon:



Figur 3.3: Siktemaskin

Beregning:

Beregning prosentandelen av materiale som passerer 0,063 mm sil i samsvar med det følgende ligning i henhold til NS-EN 933-1- 2012:

Likning 3.1

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} * 100$$

Hvor:

M_1 er den tørkede massen av testdelen, i kg;

M_2 er den tørkede massen av resten som er beholdt på 0,063 mm sil, i kg;

P er siktet materiale i bunnpannen, i kg.

3.4 Vanninnholdstest av tilslag

Det ble gjennomført vanninnhold test i henhold til *NS-EN 1097-5- 2008: Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 5: Bestemmelse av vanninnhold ved tørking i ventilert tørkeskap*. Denne undersøkelsen har som hensikt å bestemme vanninnholdet før og etter tørking av et material ved hjelp vektbestemmelse. For resultatet av testen refereres det til vedlegg 2.

Utstyr:

- Ventilert tørkeovn (110 ± 5) °C
- Vekt med 0,1g nøyaktighet
- Brett og skje
- Varmeresistente hansker

Fremgangsmåte:

1. Rengjør og tørk av brett, registrert massen på brettet som M_2 .
2. Legg tilslaget på brettet, og veide brettet som inneholder den fuktige tilslaget.
3. Massen av tilslaget M_1 , bli bestemt ved å trekke massen av brettet M_2 .
4. Plasser brettet med fuktig tilslag i ovnen ved (110 ± 5) °C, i 24 timer.

5. Ta ut brettet og legg den i en eksikator for avkjøling.
6. Veie den tørre tilslag og registrert massen som M_3 .

Beregning:

Beregning av vanninnholdet w med følgende ligning i henhold til NS-EN 1097-5- 2008:

Likning 3.2

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} * 100$$

Hvor:

- w er vanninnholdet i prosent;
- M_1 er massen av fuktig tilslag, i gram;
- M_3 er massen av tørket tilslag, i gram;

3.5 Pyknometertest av tilslag

Pyknometertest ble gjennomført i henhold til *NS-EN 1097-6 (2013): Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon*, for å undersøke tilslagets densitet og vannabsorpsjon. Standarden tar for seg tre generelle metoder for beregning av densitet til materialet. Disse tre metodene er avhengig av størrelsen på tilslaget. Ettersom i denne studien brukes det tilslag med maksimal kornstørrelse på 2 mm, ble det benyttet den tredje metoden «*Pyknometer method for aggregate particles passing the 4 mm test sieve and retained on the 0,063 mm test sieve*». For resultatet av testen refereres det til vedlegg 3.

Utstyr:

- Ventilert tørkeovn (110 ± 5) °C
- Vannbad (22 ± 3) °C
- Vekt med 0,1g nøyaktighet
- Termometer med nøyaktighet 0,1 °C
- Sikt med åpning 0,063 mm og 2 mm
- Brett og skje

- Pyknometer 1000 ml
- Varmeresistente hansker

Fremgangsmåte:

1. Legg tilslaget i en beholder og vask tilslaget nøye, skille vannet gjennom 2 mm sikt og 0,063 mm sikt. Dette steget må gjøres flere ganger til at vannet er veldig reint, for å fjerne finstoff som er mindre enn 0,063 mm.
2. Fyller ca. halvparten av pyknometer med tilslag, og fyller resten med vann (22 ± 3) °C.
3. Dunk forsiktig på pyknometeret for å fjerne luft som ligger mellom tilslaget.
4. Overfyll pyknometer med vann og sett på lokket.
5. Plasser pyknometeret i vannbad med (22 ± 3) °C, i ($24 \pm 0,5$) timer.
6. Vei pyknometer og registrer det som M_2 .
7. Tøm tilslaget fra pyknometer i en brett.
8. Fyll pyknometeret med kun vann og registrer vekta som M_3 .
9. Tørk tilslaget med hårføner til at den er overflate tørr, veie den som M_1 .
10. Legg brettet med tilslag i ovnen i 24 timer, og veie tørt tilslag som M_4 .

Illustrasjon:



Figur 3.4: Pyknometer med tilslag

Beregning:

Beregning av de ulike densiteter med følgende ligning i henhold til NS-EN 933-1- 2012:

Likning 3.3

$$\rho_a = \rho_w * \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

$$\rho_{rd} = \rho_w * \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$\rho_a = \rho_w * \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$WA_{24} = \frac{100 * (M_1 - M_4)}{M_4}$$

Hvor:

- ρ_a er tilsynelatende densitet (g/cm³);
- ρ_{rd} er ovenstørket densitet (g/cm³);
- ρ_{ssd} er overflatetørket densitet (g/cm³);
- ρ_w er densitet for vann (g/cm³);
- M_1 Vekt av overflatetørt tilslag;
- M_2 Vekt av pyknometer + vann + tilslag;
- M_3 Vekt av pyknometer + vann;
- M_4 Vekt av ovenstørt tilslag.

3.6 Løst lagret densitet og hulrominnhold av tilslag

Denne testen ble gjennomført for bestemmelse av densitet og hulrom for løst tilslag, som skal avgjøre mekaniske og fysiske egenskaper for tilslaget. Ved å bruke en beholder med kjent volum og fylle tilslaget i den, kan man beregne ut densitet ifra massen og volumet. I tillegg kan hulrom beregnes ved romvekt. Denne metoden er i henhold til standarden NS-EN 1097-3 (1999): *Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 3: Bestemmelse av løst lagret densitet og hulrominnhold*. For resultatet av testen refereres det til vedlegg 4.

Utstyr:

- Ventilert tørkeovn (110 ± 5) °C
- Vekt med 0,1g nøyaktighet
- Stor beholder
- Glassplate
- Skje
- Varmeresistente hansker

Fremgangsmåte:

1. Fyll beholderen med vann og sett glassplate på toppen til beholderen, for å fjerne ekstra vann.
2. Første steget er for å finne volumet til beholderen
3. Vei den tomme beholderen, og registrere det som M_1 .
4. Tørk tilslaget i tørkeovn ved (110 ± 5) °C.
5. Fyll beholderen forsiktig med tørt tilslag. Ved fylling av tilslag i beholderen må tilslaget jevnes ut uten å presse eller komprimere tilslaget.
6. Fjern ekstra tilslag over kanten, og veie beholderen med tilslaget som M_2 . Dette må utføres veldig nøye slik at sanden tilsvare volumet av beholderen så godt som mulig.

Illustrasjon:



(a) Beholder fylt med vann (b) beholder fylt med tilslag

Figur 3.5: Beholder benyttet i løstlagret densitet testen

Beregning:

Likning 3.4

$$\rho_b = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Hvor;

- ρ_b løs romvekt, i Mg/m³;
 M_2 massen til beholder og prøve, i kg;
 M_1 massen til tom beholder, i kg;
 V beholderens indre volum, i liter.

Likning 3.5

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p} * 100$$

Hvor:

- v hulrom, i prosent;
 ρ_b løs romvekt, i Mg/m³;
 ρ_p faststoffdensitet i Mg/m³ (normalt 2,65 for sand).

3.7 Pyknometerrest av kalsinert leire

Det ble gjennomført pyknometer metoden på kalsinert leire for å bestemme densitet og vannabsorpsjon til leiren. Denne metoden er i henhold til standarden, NS-EN ISO 17892-3 (2015): «Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Laboratorieprøving av jord - Del 3: Bestemmelse av korndensitet». Standarden tar for seg to forskjellige metoder for beregning av densitet til leiren. Den første metoden er *fluid metoden* og den andre er *gass metoden*. I denne studien blir *fluid metoden* benyttet for å bestemme densiteten til leiren, som vil bli brukt videre i proporsjonering regnearket. For resultatet av testen refereres det til vedlegg 5.

Utstyr:

- Vektmaskin med nøyaktighet på 0,01g
- 100 ml pyknometer
- Kalsinert leire (WB4107)
- Destillert vann
- Termometer

Fremgangsmåte:

1. Bestem vekta på et rent og tørt pyknometer (m_0).
2. Fyll opp pyknometeret med destillert vann. Tørk av pyknometeret utvendig og vei den (m_1).
3. Tøm og tørk av pyknometeret innvendig. Deretter fyll pyknometeret med 100 g kalsinert leire. Vei denne som (m_2).
4. Fyll opp pyknometeret som inneholder leire med destillert vann. Legg den i et herdekar med temperatur på $(21 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ i 1 time. Tørk pyknometeret utvendig og vei den som (m_3).

Illustrasjon:



(a) Tom Pyknometer (b) med vann (c) med kalsinert leire (d) med kalsinert leire og vann

Figur 3.6: Bestem av vekta til pyknometer med ulike innhold

Beregning:

Likning 3.6

$$m_4 = m_2 - m_0$$

Hvor

- m_4 er massen av tørr leire i pyknometer;
- m_2 er massen av pyknometer + tørr leire;
- m_0 er massen av tomt pyknometer.

Likning 3.7

$$\rho_s = \frac{m_4}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} * \rho_L$$

Hvor:

- ρ_s er densiteten av materialet i Mg/m³;
- m_0 er massen av tørt pyknometer, i g;
- m_1 er massen av pyknometer + destillert vann, i g;
- m_2 er massen av pyknometer + tørt leire, i g;
- m_3 er massen av pyknometer + leire + destillert vann, i g;
- m_4 er tørt masse av leire, i g;
- ρ_L er densiteten av vannet i 21 °C, i Mg/m³ (0,998 Mg/m³).

3.8 Hydrometertest av kalsinert leire

Det ble gjennomført hydrometer metoden til å bestemme partikkelstørrelse fordeling av kalsinert leire. Hydrometer metode måler tyngdekraften til materialet i midten av «pæren», og den tyngdekraften som ble målt er avhengig av partikkelstørrelse fordeling. Metoden ble utført i henhold til standard, NS-EN 17892-4 (2016) «Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser. Laboratorieprøving av jord. Del 4: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling». For resultatet av testen refereres det til vedlegg 6.

Ved utføring av hydrometer metoden er det veldig viktig å være nøyaktig. For å unngå feil lesing av resultat, blir det brukt en gjennomsiktig 1000 ml sedimenteringssylinder. Sylinderen må ha konstant diameter langs hele lengden, og diameteren skal være dobbel så stor som hydrometerpæren. Temperaturen i sylinderen skal være konstant gjennom hele testen, den kan variere med maks 3 grader.

Utstyr:

- Vektmaskin med nøyaktighet på 0,01 g
- Blandemaskin
- Hydrometer
- Sedimenteringssylinder

- Termometer
- Destillert vann
- Dispergeringsmiddel

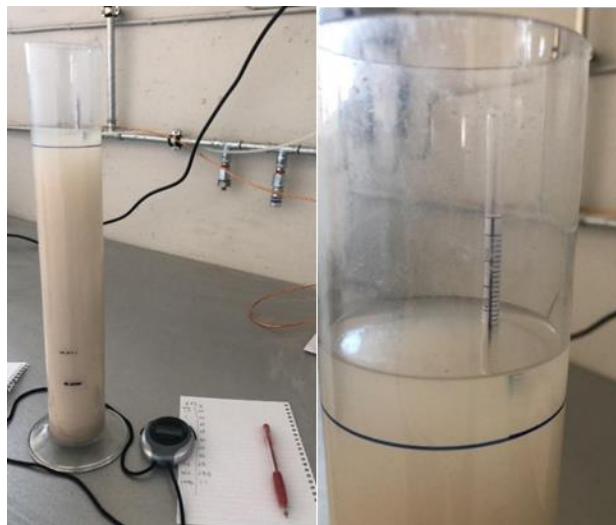
Fremgangsmåte:

1. Legg hydrometeret i en sylinder fylt med destillert vann.
2. Blande 50 g kalsinert leire med 120 ml dispergeringsmiddel i 60 sek.
3. Hell blandingen opp i en sedimenteringssylinder.
4. Fyll sedimenteringssylinderen med destillert vann helt opp til 1000 ml merket.
5. Sett på korken og blande blandingen i 60 sek til leiren er fullt suspendert i vannet.
6. Ta hydrometeret ut av destillert vann og legg den forsiktig i sylinderen som inneholder leire blandingen, og start stoppeklokke uten forsinkelse.
7. Gjør hydrometer avlesninger ved tidsintervaller fra 30 sek til 24 timer.

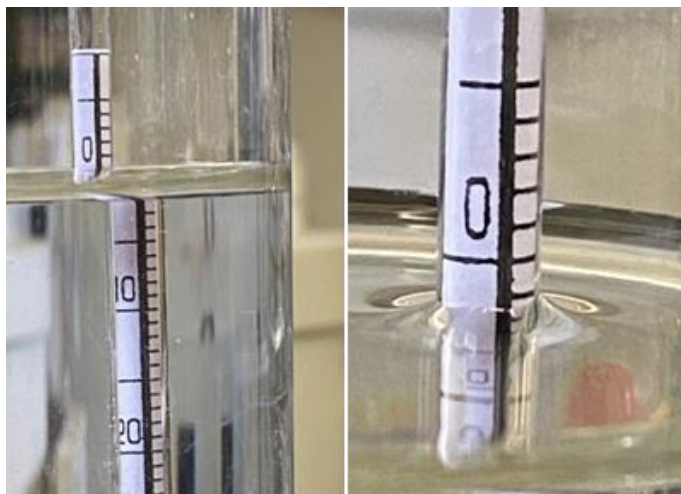
Korreksjonsverdien for vannoverflaten (Meniscus correction) ble bestemt ved følgende trinn:

1. Plasser hydrometeret i en sedimenteringssylinder som inneholder 800 ml vann.
2. Fra planet under væskeoverflaten, løft øyet til overflaten sett på som en ellipse blir til en rett linje. Marker punket hvor planet krysser hydrometerskalaen.
3. Fra planet over for væskeoverflaten, bestem punket hvor den øvre grensen for korreksjonsverdien skjærer hydrometerskalaen.
4. Differansen mellom disse to målingene er korreksjonsverdien (C_m).

Illustrasjon:



Figur 3.7: Hydrometertest av kalsinert leire



Figur 3.8: Meniscus korleksjon verdi

Beregning:

Likning 3.8

$$d_i = 0,005531 \sqrt{\frac{\eta * H_r}{(\rho_s - \rho_w) * t}}$$

Hvor:

D_i er ekvivalent partikkel diameter (mm);

η er dynamisk viskositet av vann mPa*s i test temperatur;

H_r er effektiv dybde av hydrometer (mm);

ρ_s er partikkel densitet (Mg/m³);

ρ_w er densitet av sedimentasjon fluid i temperatur av test (Mg/m³);

t er tid (min).

Likning 3.9

$$\eta = 0,02414 * 10^{\left(\frac{247,8}{T+133}\right)}$$

Hvor:

T er test temperatur (°C).

Likning 3.10

$$H_r = H + 0,5 * (h - \frac{V_h}{900} * L)$$

Hvor:

H er lengden fra pærehalsen til hydrometer avlesning (mm);

h er lengden av pære delen av hydrometer (mm);

V_h er volum av pæren (ml);

L er distansen mellom 100 ml og 1000 ml markeringen på sylindere (mm);

Likning 3.11

$$K = \frac{100 * \rho_s}{m(\rho_s - 1)} * R_d$$

Hvor:

K er fraksjonen mindre enn ekvivalent partikkel diameter (%);

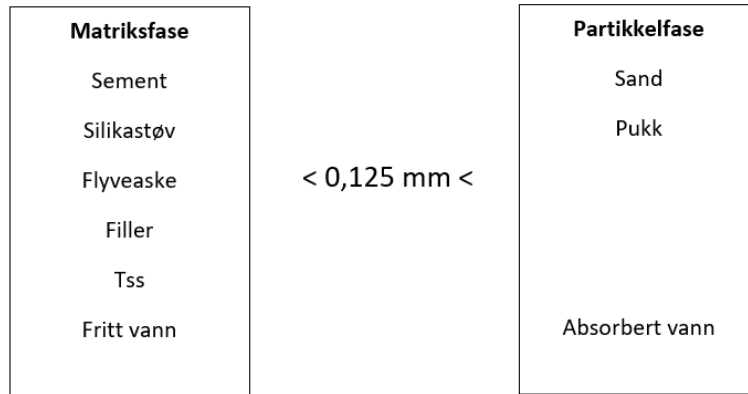
ρ_s er partikkel densitet (Mg/m³);

m er tørr masse av leire (g);

R_d er modifisert hydrometer avlesning.

3.9 Proporsjonering

Proporsjonering ble gjennomført ved bruk av partikkel-matriks modellen. Partikkel-matriks eller PM-modellen er en forenklet modell for beskrivelse av egenskaper til fersk betong, samt proporsjonering. I denne modellen blir materialet delt i to faser, matriksfase og partikkelfase. Matriksfasen består av materialer med partikkel størrelse mindre enn 0,125 mm og fritt vann, mens partikkelfasen består av materialer med størrelse større enn 0,125 mm og absorbert vann i tilslag. Volumforholdet mellom disse to fasene beskrives av PM-modellen.



Figur 3.9: Matriksfase og partikkelfase

For proporsjonering av de ulike betongblandingene basert på PM-modellen, ble det brukt Excel-ark utviklet av Skanska. For å sjekke Excel-arkets gyldighet, ble det utført teoretisk beregning av noen resepter. Et eksempel på dette er resepten med matriksvolum på 500 l/m³, masseforhold på 30% og SP prosent på 1%, se vedlegg 7. Vedlegget viser at resultatet fra den teoretiske beregningen samsvarer godt med proporsjonering Excel-arket. Formelen som Excel-arket baserer seg på er beskrevet nedenfor. Ut ifra denne formelen kan man finne sementmassen og bruke den som referanse til å finne massen til andre materialer.

Likning 3.12

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

Hvor:

m er masse (g);

ρ er densitet (kg/m³);

V_{tot} er volum (m³).

3.10 Blandingsprosessen

Blandingsprosessen ble gjennomført i henhold til NS-EN 196-1:2016. Standarden beskriver bruk av utstyr og metode for blanding og støping, samt testing av mekaniske egenskaper av

sementprøving. Blandemaskinen, Matest E092N KIT Mixmatic, som er beskrevet i standarden, ble brukt for blanding av alle resepter. Samme blandingsprosedyre ble benyttet for alle resepter, utenom resepter med innhold av fiber.

Illustrasjon:



Figur 3.10: Blandemaskin benyttet i denne studien

Blandingsprosedyre for blandinger uten fiber:

1. Veie nødvendige materialer med nøyaktighet på 0,01 g;
2. Tørrstoffene blandes i 30 sekunder i lav hastighet;
3. Vannet tilsettes gradvis, men ikke overstige 10 sekunder;
4. La innholdet blandes i totalt 90 sekunder;
5. Superplastiserendestoff tilsettes direkte i bollen og innholdet blandes i 240 sekunder;
6. Stans maskinen og skrap kantene av bollen om nødvendig;
7. La innholdet blandes i totalt 300 sekunder.

Blandingsprosedyre for blandinger med fiber:

1. Veie nødvendige materialer med nøyaktighet på 0,01 g;
2. Tørrstoffene blandes i 15 sekunder i lav hastighet;
1. Fiber tilsettes gradvis underveis til 60 sekunder er nådd;
2. Vannet tilsettes gradvis, men ikke overstige 10 sekunder;
3. La innholdet blandes i totalt 120 sekunder;

4. Superplastiserendestoff tilsettes direkte i bollen og innholdet blandes i 240 sekunder;
5. Stans maskinen og skrap kantene av bollen om nødvendig;
6. La innholdet blandes i totalt 300 sekunder.

3.11 Resepter

I dette kapitlet blir de forskjellige resepter presentert. De fire første delkapitler inneholder resepter med en variabel og resterende delkapitler inneholder resepter med to variabler. I reseptene brukes det noen forkortelser som er forklart i kapitlet om forkortelser. Mer om hvordan resepter ble utviklet i kapittel 3.9.

3.11.1 Superplastiserende

Tabell 3.2: Superplastiserende resepter

SP 7		SP 1		SP 2		SP 3	
M500-W40-S0,0		M500-W40-S0,4		M500-W40-S0,7		M500-W40-S1,0	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1357,223	Sement	1356,194	Sement	1355,42	Sement	1354,7
Sand	558,636	Sand	553,748	Sand	550,1	Sand	546,43
Vann	3164,99	Vann	3164,992	Vann	3165	Vann	3165
SP	0	SP	5,425	SP	9,49	SP	13,55

SP 4		SP 5		SP 6		SP 8	
M500-W40-S1,3		M500-W40-S1,6		M500-W40-S1,9		M500-W40-S2,2	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1353,9	Sement	1353,1	Sement	1352,347	Sement	1351,581
Sand	542,78	Sand	539,1	Sand	535,487	Sand	531,847
Vann	3165	Vann	3165	Vann	3164,992	Vann	3164,992
SP	17,6	SP	21,65	SP	25,695	SP	29,735

3.11.2 Silikastøv

Tabell 3.3: Silikastøv resepter

SF1		SF2		SF3		SF4	
M500-W40-S1-SF-5		M500-W40-S1-SF10		M500-W40-S1-SF15		M500-W40-S1-SF20	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram

Sement	1274,98	Sement	1196,77	Sement	1119,98	Sement	1044,58
Vann	541,51	Vann	536,67	Vann	531,925	Vann	527,264
Sand	3164,99	Sand	3164,99	Sand	3164,99	Sand	3164,99
SP	13,42	SP	13,3	SP	13,176	SP	13,057
SF	67,11	SF	132,97	SF	197,64	SF	261,15

3.11.3 Kalkstein-kalsinert leire-sement (LC3)

Tabell 3.4: LC3 resepter

LC3-1		LC3-2		LC3-3	
M500-W40-S1-LC10		M500-W40-S1-LC20		M500-W40-S1-LC30	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1209,076	Sement	1065,85	Sement	925,355
Vann	542,03	Vann	537,69	Vann	533,423
Sand	3164,99	Sand	3164,99	Sand	3164,992
SP	13,43	SP	13,32	SP	13,214
K.leire	88,67	K.Leir	177,2	K.Leir	264,29
Kalkstein	45,68	K.Leir	177,2	Kalkstein	132,145

LC3-4		LC3-5	
M500-W40-S1-LC40		M500-W40-S1-LC50	
Material	Gram	Material	Gram
Sement	786,453	Sement	650,104
Vann	529,234	Vann	525,103
Sand	3164,992	Sand	3164,992
SP	13,108	SP	13,002
K.Leire	348,661	K.Leir	432,97
Kalkstein	175,641	K.Leir	217,135

3.11.4 Fiber

Tabell 3.5: Fiber resepter

FB1		FB2		FB3		FB4	
M600-W40-S1,3-F0,5		M600-W40-S1,3-F1		M600-W40-S1,3-F1,5		M600-W40-S1,3-F2	
Materiale	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1696,35	Sement	1698,14	Sement	1699,92	Sement	1701,70
Vann	672,65	Vann	673,18	Vann	673,71	Vann	674,24
Sand	2472,65	Sand	2439,68	Sand	2406,71	Sand	2373,74

SP	22,05	SP	22,07	SP	22,10	SP	22,12
Fiber	10,00	Fiber	20,00	Fiber	30,00	Fiber	40,00

2FB1		2FB2		2FB3		2FB4	
M600-W50-S1-FB0,5		M600-W50-S1-FB0,7		M600-W50-S1-FB1		M600-W50-S1-FB1,2	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1490,54	Sement	1491,17	Sement	1492,11	Sement	1492,74
Vann	745,28	Vann	745,52	Vann	745,88	Vann	746,13
Sand	2472,65	Sand	2459,46	Sand	2439,68	Sand	2426,50
SP	14,90	SP	14,91	SP	14,92	SP	14,93
Fiber	10,00	Fiber	12,00	Fiber	20,00	Fiber	24,00

2FB5		2FB6	
M600-W50-S1-FB1,5		M600-W50-S1-FB2	
Material	Gram	Material	Gram
Sement	1493,68	Sement	1495,25
Vann	746,49	Vann	747,10
Sand	2406,71	Sand	2373,74
SP	14,94	SP	14,95
Fiber	30,00	Fiber	40,00

3.11.5 Superplastiserende-Silikastøv

Tabell 3.6: SP-SF resepter

FP1		FP2		FP3		FP4	
M500-W40-S0,4-SF5		M500-W40-S0,7-SF5		M500-W40-S,7-SF15		M500-W40-S1,3-SF15	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1276,41	Sement	1275,69	Sement	1120,60	Sement	1119,36
Vann	548,75	Vann	545,12	Vann	535,47	Vann	528,38
Sand	3164,99	Sand	3164,99	Sand	3165,00	Sand	3165,00
SP	5,37	SP	9,40	SP	9,23	SP	17,12
Silika	67,14	Silika	67,14	Silika	197,75	Silika	197,53

3.11.6 LC3-Fiber

Tabell 3.7: LC3-FB resepter

TB1		TB2		TB3		TB4	
M600-W50-S1-LC20-FB0,5		M600-W50-S1-LC40-FB0,5		M600-W50-S1-LC20-FB1		M600-W50-S1-LC40-FB1	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram

Sement	1175,16	Sement	868,76	Sement	1176,39	Sement	869,68
Vann	734,66	Vann	724,33	Vann	735,25	Vann	724,91
Sand	2472,65	Sand	2472,65	Sand	2439,68	Sand	2439,68
SP	14,69	SP	14,48	SP	14,70	SP	14,49
K.leire	195,37	K.leire	386,60	K.leire	195,58	K.leire	387,00
Kalk	98,42	Kalk	192,58	Kalk	98,52	Kalk	192,78
Fiber	10,00	Fiber	10,00	Fiber	20,00	Fiber	20,00

3.11.7 Superplastiserende-LC3

Tabell 3.8: SP-LC3 resepter

TP1		TP2		TP3	
M500-W40-S1,3-LC20		M500-W40-S0,7-LC20		M500-W40-S1,6-LC20	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1065,28	Sement	1066,47	Sement	1064,68
Vann	534,10	Vann	541,28	Vann	530,52
Sand	3165,00	Sand	3165,00	Sand	3165,00
SP	17,31	SP	9,33	SP	21,29
K.leire	177,10	K.leire	177,30	K.leire	177,00
Kalk	89,22	Kalk	89,32	Kalk	89,17

TP4		TP5	
M500-W40-S1,3-LC40		M500-W40-S1,6-LC40	
Material	Gram	Material	Gram
Sement	786,00	Sement	785,57
Vann	527,70	Vann	522,18
Sand	3165,00	Sand	3165,00
SP	17,03	SP	20,95
K.leire	349,77	K.leire	349,58
Kalk	174,14	Kalk	174,14

3.11.8 Silikastøv-LC3

Tabell 3.9: SF-LC3 resepter

ST1		ST2		ST3		ST4	
M500-W40-S1-SF5-LC20		M500-W40-S1-SF5-LC10		M500-W40-S1-SF10-LC20		M500-W40-S1-SF10-LC10	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	990,13	Sement	1131,37	Sement	915,77	Sement	1055,11
Vann	532,93	Vann	537,18	Vann	528,25	Vann	532,42

Sand	3165,00	Sand	3165,00	Sand	3165,00	Sand	3165,00
SP	13,20	SP	13,31	SP	13,08	SP	13,19
Silika	66,01	Silika	66,55	Silika	130,82	Silika	131,89
K.leire	175,58	K.leire	89,18	K.leire	174,00	K.leire	88,37
Kalk	88,45	Kalk	43,52	Kalk	87,65	Kalk	43,52

3.11.9 Fiber-Superplastiserende

Tabell 3.10: FB-SP resepter

BP1		BP2		BP3		BP4	
M600-W50-SP1,3-FB1,0		M600-W50-S0,7-FB1,5		M600-W50-S1,3-FB1,5		M600-W50-S0,7-FB1,0	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1491,37	Sement	1494,43	Sement	1492,94	Sement	1492,94
Vann	741,83	Vann	750,56	Vann	742,43	Vann	749,95
Sand	2439,68	Sand	2406,71	Sand	2406,71	Sand	2439,68
SP	19,39	SP	10,46	SP	19,41	SP	10,45
Fiber	20,00	Fiber	30,03	Fiber	30,00	Fiber	20,02

3.11.10 Fiber-Silikastøv

Tabell 3.11: FB-SF resepter

BF1		BF2		BF3		BF4	
M600-W50-SP1-FB1-SF5		M600-W50-SP1-FB1,5-SF5		M600-W50-SP1-FB1-SF15		M600-W50-SP1-FB1,5-SF15	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1405,94	Sement	1407,42	Sement	1237,75	Sement	1229,05
Vann	739,89	Vann	740,50	Vann	728,21	Vann	728,80
Sand	2439,68	Sand	2406,71	Sand	2439,68	Sand	2406,71
SP	14,80	SP	14,82	SP	14,56	SP	30,03
Silika	73,99	Silika	74,08	Silika	218,43	Silika	218,66
Fiber	20,00	Fiber	30,00	Fiber	20,00	Fiber	14,58

3.11.11 Fiber-Masseforhold

Tabell 3.12: FB-WB resepter

BC1		BC2		BC3		BC4	
M500-S1,3-W35-FB0,5		M500-S1,3-W35-FB1		M500-S1,3-W45-FB0,5		M500-S1,3-W45-FB1	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram

Sement	1456,65	Sement	1458,56	Sement	1267,78	Sement	1269,45
Vann	509,79	Vann	510,27	Vann	572,49	Vann	573,06
Sand	3132,02	Sand	3099,06	Sand	3132,02	Sand	3099,06
SP	18,94	SP	18,96	SP	16,48	SP	16,50
Fiber	10,01	Fiber	20,02	Fiber	10,01	Fiber	20,02

3.11.12 Superplastiserende-Matriksvolum

Tabell 3.13 MV-SP resepter

VP1		VP2		VP3		VP4	
M475-W40-S1,3		M475-W40-S0,7		M525-W40-S1,3		M525-W40-S0,7	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1268,71	Sement	1270,15	Sement	1439,06	Sement	1440,69
Vann	510,44	Vann	517,29	Vann	575,12	Vann	582,88
Sand	3329,84	Sand	3329,84	Sand	3000,15	Sand	3000,15
SP	16,49	SP	8,89	SP	18,71	SP	10,09

3.11.13 Superplastiserende-Masseforhold

Tabell 3.14: SP-WB resepter

CP1		CP2		CP3		CP4	
M500-W35-S1,3		M500-W35-S0,7		M500-W45-S1,3		M500-W45-S0,7	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1454,73	Sement	1456,51	Sement	1266,11	Sement	1267,46
Vann	509,30	Vann	517,12	Vann	571,92	Vann	578,78
Sand	3164,99	Sand	3164,99	Sand	3164,99	Sand	3164,99
SP	18,91	SP	10,20	SP	16,46	SP	8,87

3.11.14 Silikastøv-Masseforhold

Tabell 3.15: SF-WB resepter

FC1		FC2		FC3		FC4	
M500-S1,0-W35-SF5		M500-S1,0-W35-SF15		M500-S1,0-W45-SF5		M500-S1,0-W45-SF15	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1369,06	Sement	1201,00	Sement	1192,99	Sement	1049,19
Vann	508,25	Vann	498,62	Vann	570,49	Vann	561,02
Sand	3165,00	Sand	3165,00	Sand	3165,00	Sand	3165,00
SP	14,41	SP	14,13	SP	12,56	SP	12,34
Silika	72,06	Silika	211,64	Silika	62,79	Silika	185,15

3.11.15 Silikastøv-Matriksvolum

Tabell 3.16: SF-MV resepter

FV1		FV2		FV3		FV4	
W40-S1-M450-SF5		W40-S1-M450-SF15		W40-S1-M550-SF5		W40-S1-M550-SF15	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1114,56	Sement	979,06	Sement	1435,39	Sement	1260,89
Vann	476,99	Vann	468,62	Vann	606,02	Vann	595,23
Sand	3494,68	Sand	3494,68	Sand	2835,30	Sand	2835,30
SP	11,73	SP	11,52	SP	15,10	SP	14,83
Silika	58,66	Silika	172,77	Silika	75,55	Silika	222,51

3.11.16 Fiber-Matriksvolum

Tabell 3.17: FB-MV resepter

BV1		BV2		BV3		BV4	
W40-S1,3-M475-FB0,5		W40-S1,3-M475-FB1		W40-S1,3-M525-FB0,5		W40-S1,3-M525-FB1	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1270,49	Sement	1272,28	Sement	1440,84	Sement	1442,62
Vann	510,97	Vann	511,50	Vann	575,65	Vann	576,18
Sand	3296,87	Sand	3263,90	Sand	2967,18	Sand	2934,20
SP	16,51	SP	16,54	SP	18,73	SP	18,75
Fiber	10,00	Fiber	20,00	Fiber	10,00	Fiber	20,00

3.11.17 LC3-Massefohold

Tabell 3.18: LC3-WB resepter

TC1		TC2		TC3		TC4	
M500-S1,0-W35-LC10		M500-S1,0-W35-LC30		M500-S1,0-W45-LC10		M500-S1,0-W45-LC30	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1298,37	Sement	992,11	Sement	1131,25	Sement	886,39
Vann	508,76	Vann	500,13	Vann	571,00	Vann	562,50
Sand	3165,00	Sand	3165,00	Sand	3165,00	Sand	3165,00
SP	14,43	SP	14,17	SP	12,57	SP	12,37
Kalk	48,00	Kalk	141,73	Kalk	41,85	Kalk	123,77
K. leire	96,22	K. leire	283,47	K. leire	83,83	K. leire	247,54

3.11.18 LC3-Matriksvolum

Tabell 3.19: LC3-MV resepter

TV1		TV2		TV3		TV4	
W40-S1-M475-LC10		W40-S1-M475-LC30		W40-S1-M525-LC10		W40-S1-M525-LC30	
Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram	Material	Gram
Sement	1132,00	Sement	866,82	Sement	1285,12	Sement	983,21
Vann	509,74	Vann	501,68	Vann	574,31	Vann	565,17
Sand	3329,84	Sand	3329,84	Sand	3000,15	Sand	3000,15
SP	12,59	SP	12,38	SP	14,28	SP	14,05
K. leire	83,97	K leire	247,66	K. leire	95,24	K. leire	280,92
Kalk	41,92	Kalk	123,83	Kalk	47,55	Kalk	140,46

3.12 Rystebordtest

Etter leveranse av nødvendig utstyr for gjennomførelse av rystebordtest av mørtel, ble «NS-EN 1015-3:1999+A1 Prøvmingsmetoder for mørtel til murverk - Del 3: Bestemmelse av konsistensen på fersk mørtel (ved rystebord)» brukt som grunnlag for bestemmelse av utbredelsesmål av fersk betongblanding. Denne metoden ble benyttet for å sjekke betongens flytbarhet for blandinger utført i hoveddelen av studien.

Utstyr:

- Rystebord bestående av:
 - Stativ
 - Stiv bordplate og skive
 - Horisontal akse og hevarm
 - Løftespindel
- Kjegle form av rusfritt stål eller messing:
 - Høyde: 60 mm
 - Innvending bunn diameter: 100 mm
 - Innvending topp diameter: 70 mm
- Stamper:
 - Diameter: 40 mm
 - Lengde: 200 mm

- Masse: 250 g
- Skyvelære med nøyaktighet på 1 mm.
- Avrettingsbrett.

Fremgangsmåte:

1. Skiven rengjøres og tørkes før hver prøving.
2. Før hver prøving oljes overflatene med en ikke-harpiksholdig mineralsk olje med lav viskositet, evt. fuktig klut.
3. Plasser formen i midten av rystebordet, og tilsett blandingen i to lag. Hvert lag stampes med 15 korte støt. Hold formen fast på skiven under fylling.
4. Fjern overflødig mørtel og rengjør området rundt skiven.
5. Løft formen sakte vertikalt, og ryste bordet 15 ganger med en konstant frekvens på en rystelse per sekund.
6. Mål diameter i to retninger vinkelrett på hverandre.
7. Regn ut gjennomsnittlig diameter.

Illustrasjon:



Figur 3.11: Rystebord utsyr



(a) Betong med bra flytbarhet

(b) Betong med dårlig flytbarhet

Figur 3.12: Eksempel på bra og dårlig flytbarhet

Beregninger:

Likning 3.15

$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Hvor:

D er betongens gjennomsnittlige diameter;

d1 er den største diameter på betongen parallelt med den ene sidekanten på bordet;

d2 er den største diameter på betongen parallelt med den andre sidekanten på bordet.

Likning 3.15

$$f = \frac{D - K_d}{K_d} * 100$$

Hvor:

f er betongens flytbarhet i %;

D er betongens gjennomsnittlige diameter;

K_d er diameter ved bunnen av hull kjegle.

3.13 Sylindertest

Sylinderstabilitetstest er en testmetode for formstabilitetsvurdering av de forskjellige blandningene. Denne metoden ble gjennomført iht. en studie gjennomført ved University of Southern California, Los Angeles, CA, USA: *Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratorytesting of fresh printing mixture*. Ifølge studien, viser testresultatene at sylinderstabilitet test rangerer formstabiliteten til de forskjellige blandningene i en lignende rekkefølge som «layer settlement test». (Kazemian *et al.*, 2017).

Utstyr:

- Ramme
- Målebånd
- 5 kg vekt
- Beholder
- Sylinder form av 3D-printet ABS-plast
 - Høyde: 10 cm
 - Innvendig diameter: 10 cm
- Tampestang:
 - Diameter: 40 mm
 - Lengde: 60 mm
 - Masse: 260 g

Fremgangsmåte:

1. Plassere sylinder på et Brett.
2. Sette blandingen i to lag (5 cm).
3. Bruker tampestang for å jevne ut laget ved stanging 15 ganger.
4. Den samme prosedyren gjentas for andre lag og overflatebehandlet betong fjernes fra toppen med en linjal. En godt komprimert fersk betongsylinder med en total høyde på 10 cm oppnås.
5. Sylinderen løftes opp og fjernes forsiktig.
6. En belastning på 5 kg (6,2 kPa) påføres, og den resulterende deformasjonen i den ferske betongflasken måles og registreres når det gjelder høydeendring.

Illustrasjon:



Figur 3.13: Sylinder og tampestang



(a) betong med stor høydedeformasjon (b) betong med ingen høydedeformasjon

Figur 3.14: Eksempel på stor og lite høydeformasjon

Beregning:

Likning 3.16

$$\Delta H = H1 - H2$$

Hvor:

ΔH er endring i høyde etter belastning;

$H1$ er høyde før belastning;

$H2$ er høyde etter belastning.

3.14 Green strength

Green strength test er en testmetode for å undersøke fersk betongs byggbarhet, ved å gradvis tilsette last på en vibrert sylinderformet betong. Samme betongblanding ble testet to ganger, en ved 0 minutter etter blanding og en ved 15 minutter. Dette for å se utviklingen av betongens fasthet etter 15 minutter. Denne testen ble gjennomført i henhold til en tidligere studie ved Southeast University i Kina.

Utstyr:

- Vekt med nøyaktighet på 0,01 g
- Sylinder, diameter 100 mm og høyde 100 mm
- Vibrasjonsbord
- Sylindrisk bølge
- Sand

Fremgangsmåte:

1. Sylinder settes på vibrator og fylles med betongprøven;
2. Innholdet vibreres i 30 sekunder;
3. Ekstra betong fjernes fra toppen av sylinder og området rundt sylinder rengjøres;
4. Fjern sylindere forsiktig i løpet av noen sekunder;
5. Bøtten settes på midten av betongprøves, og sand tilføres jevnt over hele bøtten;
6. Dette gjøres til merkbar deformasjon oppdages;
7. Sanden veies og gjøres om til green strength verdi.

Illustrasjon:



(a) Green strength etter 0 minutter (b) Green strength etter 15 minutter

Figur 3.15: Eksemepl på green strength test

Beregning:

Likning 3.17

$$G = \frac{F * 9,81}{\pi * 50^2} * 1000$$

Hvor:

G er green strength verdi, i kPa;

F er på ført last, i kg.

3.15 Ekstrudering

For utførelse av ekstruderingsstest ble det tatt inspirasjon fra tidligere forskning (Khalil *et al.*, 2017; Rubio, Sonebi og Amziane, 2017) , hvor de har brukt nesten samme fremgangsmåte som beskrevet i dette kapittelet. Betongens ekstruderingssevne ble simulert i labben ved å bruke en batteridrevet fugepistol, se figur 3.16. Denne pistolen har 6 forskjellige hastighetsinnstillinger, hvor i dette eksperimentet ble det brukt hastighet 3 i alle prøver. I enden av pistolen er det en nål med 3 cm diameter i starten og 1,5 cm ved enden, slik at det muliggjør ekstrudering av en blanding som inneholder sandpartikler mindre enn eller lik 2 mm. Som beskrevet i kapittel 2.7.2 bør diameterforholdet på $D_{nål}/D_{partikkel}$ være større enn 4,25 for at ingen blokkering skal oppstå under ekstrudering.



Figur 3.16: Fugepistol brukt for ekstrudering

Et lag på omtrent 30 cm ble ekstrudert i en horisontal overflate, med en hastighet på 1,5 cm/sekund, dette for å få et jevnt fordelt lag. For å sjekke betongens ekstruderingssevne, ble det sett på tre faktorer:

- **Ekstruderbar:** Kan betongen ekstruderes gjennom nålet?



(a) Vellykket ekstrudering

(b) ikke vellykket ekstrudering

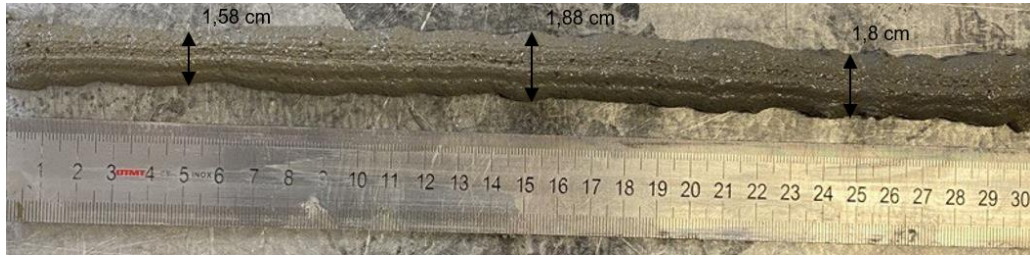
Figur 3.17: Eksempel på en ekstruderbar betong og en ikke ekstruderbar betong

- **Kontinuerlig:** Er betongen som er ekstrudert, kontinuerlig uten noe form for brutt eller sprekker?



Figur 3.18: Eksempel på en kontinuerlig ekstrudert betong

- **Ensformig:** Målinger av bredden ved 5, 15 og 25 cm. Maks tillatt forskjell mellom tre målinger på 0,2 cm. Er betongens diameter ensformig?



Figur 3.19: Eksempel på en ikke ensformig ekstrudert betong.

3.16 Penetrometertest

Størkningstiden for de forskjellige betongblandinger ble sjekket ved penetrometer metoden. Denne metoden ble gjennomført iht. *ASTM C403/C403M:16 Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance* (Standard Norge, 2016a). Ifølge standardarden, har betongen oppnådd initial størkning ved en penetrasjonsmotstand på 3,5 MPa, og endelig størkning ved 27,6 MPa. Ved plotting av penetrasjonsmotstanden og forløpt tid i en graf, kan man bestemme tidspunktene for initial og endelig størkning. For 3D-printing av betong er den initiale størkningen viktig, derfor skal denne studien kun se på den initiale størkningen av betong.

Utstyr:

- Forskaling med dimensjon 150 x 60 x 140 mm.
- Penetrometer med nåler på 0,65, 0,32 og 0,16 cm².
- Stamper.

Illustrasjon:



Figur 3.20: Penetrometer med forskjellige nål størrelser.

Fremgangsmåte:

Betongprøven plasseres i en forskaling i tre like lag, hvor hvert lag stemples 5 ganger med stamper. Ved regelmessige tidsintervaller måles betongens motstand mot penetrasjon, ved å presse penetrometeret med standard nål størrelser i en dybde på 25 +/- 2 mm. Tidsintervallene er avhengige av betongens konsistens. Ved normal konsistens kan første måling gjennomføres etter 3 timer og 30 minutter etter at vannet er tilsatt i blandingen. Ved tørr betong kan den første målingen gjennomføres tidligere. Deretter skal hver måling gjennomføres etter 30 min, 60 min, 90 min, 120 min etter første måling, alt etter betongens tilstand. Avstand mellom hvert testpunkt må ikke være mindre enn to nål diameter, eller 13 mm, og avstanden til kantene må ikke være mindre enn 25 mm.

Beregning:

Likning 3.18 (Penetrasjonsmotstand i MPa)

$$P = \frac{K * \Delta}{A} * 0,098$$

Hvor:

P er penetrasjonsmotstand i MPa;

K er fjærkonstanen (1 kg/mm);

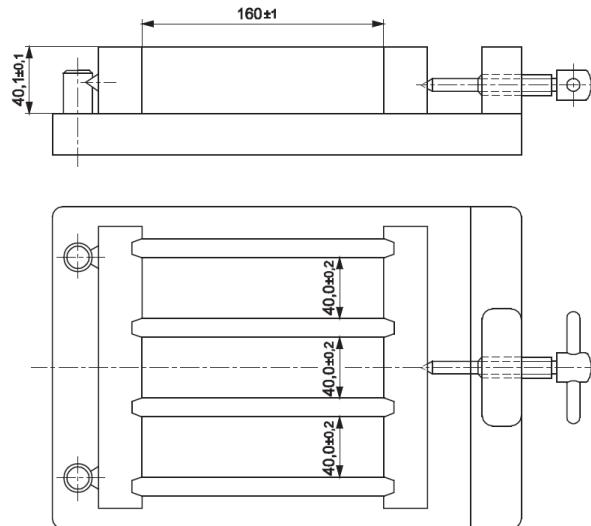
Δ avlesning i penetrometer, i mm;

A areal av det brukte nålet, i cm².

3.17 Prøve støping

I denne studien har det blitt utført mange betongblandinger, hvor noen har vært tørre og noen våte. Ved en tørr blanding ble støpeformen fylt i to like lag, mens en våt blanding ble støpt i et lag. Dårlig støping og dårlig form på støpeformer kan påvirke testresultater i en stor grad. For å unngå feil resultat ble støping utført i henhold til NS-EN 12390-2:2019. Vibrasjonsbord ble brukt for å vibrere betongen, med hensikt å fjerne luftbobler i betongen.

Hver betongblanding ble støpt i stålformer, som utgjør tre separate prizmer. Hvert prisme har en dimensjon på 160 x 40 x 40 mm, se figur 3.21. Dimensjonen på formen tilfredsstiller kravene gitt i NS-EN 196-1:2016, pkt.4.5.

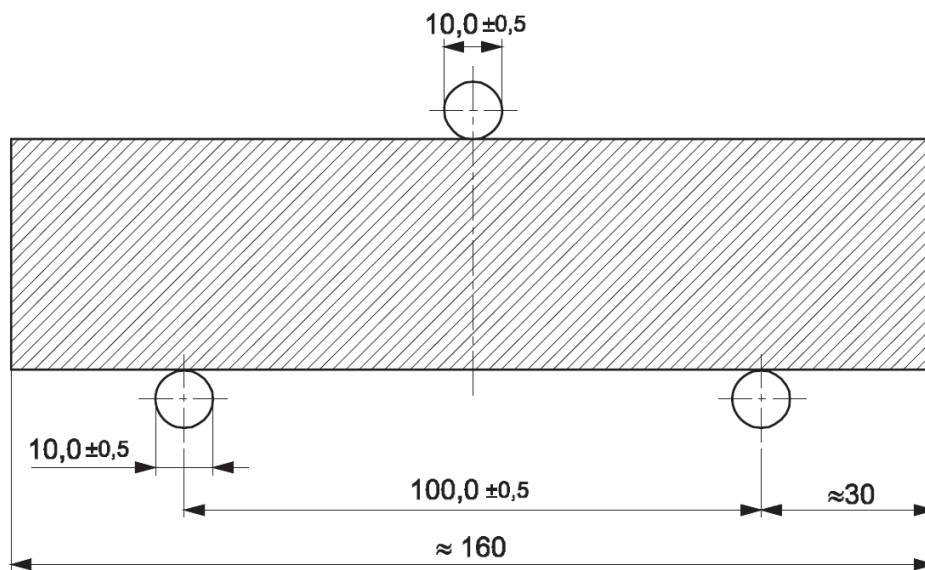


Figur 3.21: Stålform benyttet i denne studien

Formen er laget slik at det er lett å løse veggene fra hverandre og sette de tilbake sammen, uten å utføre noen skade på betongen. Veggene bli festes godt til bunnplaten, for å unngå lekkasje under støping. Etter støping starter herdeprosessen av prismen. Prismene herdes i 24 timer ved $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, ved å pakke de inn i plastfolie. Det er veldig viktig at formene er beskyttet mot vibrasjoner og dehydrering. Prismene tas ut etter 24 timer og legges i vannbad ved en temperatur på $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$. Prismene tas ut fra vannbadet etter 7 og 28 dager for å utføre bøy- og trykktester.

3.18 Bøyestrekfasthet

Testprøvene har størrelse 160 x 40 x 40 mm. Bøyestrekfasthet ble gjennomført i henhold til *NS-EN 196-1:2016: Sementprøving. Del 1: Bestemmelse av fasthet*. For utførelse av denne testen ble det brukt MEGA 100-200-10-DM1-S, som er en kombinert bøy- og trykk maskin. Maskinen er utstyrt med to opplegg i form av stålstav, som prismet skal ligge på. Den tredje stålstaven er plassert mellom de to andre stålstaver, staven vil påføre kraften på bjelken. Stålstaver har samme diameter på 10 mm, og samme lengde på 50 mm. Ifølge standarden skal avstand mellom oppleggene være 100 mm, og belastningshastigheten må være på 50 N/s. Testprøver må bevares i en fuktig klut, og ikke være ute av vannet i mer enn 15 minutter. Denne testen gir oss informasjon om hvor mye kraft kan betongen belastes med før det oppstår brudd.



Figur 3.22: Standard avstander for bøyestrek maskin (NS-EN 196-1:2016)

Beregning:

Likning 3.19

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

Hvor:

- R_f er bøyestrekfasthet, MPa;
- b er bredden på den kvadratiske side, i millimeter;
- F_f er totale last ved brudd i N_d, i newton;
- L er avstanden mellom stålstaver, i millimeter.

3.19 Trykkfasthet

Denne testen ble gjennomført i henhold til *NS-EN 196-1:2016: Sementprøving. Del 1: Bestemmelse av fasthet*. Samme testmaskin nevnt i kapittel 3.18 blir brukt for trykkfasthet test. Bredden og lengden på øvre og nedre platen er 40 mm. Belastningshastigheten bør ifølge standarden være på 2400 N/s.

Hensikten med denne testen er å observere oppførselen til betongen ved belastning fra trykk maskinen. Dette vil bidra til bedre forståelse av betongblandinger, og måten forskjellige

innhold av parametere påvirker betongfastheten. Det er viktig å rengjøre platene før hver prøving, og se over evt. feil og sprekker i prøvedelen. Terningen plasseres mellom platene, slik at belastningsretningen blir vinkelrett på støperetningen.

Trykkfastheten for hver betongblanding, er gjennomsnittresultatet fra tre prøvedeler. Dersom en prøvedel har en forskjell i verdi mer enn 10% fra resten av prøvedeler, forkastes prøvedelens resultat.

Beregning:

Likning 3.20

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

Hvor:

R_f er trykkfasthet, MPa;

F_c er last ved brudd, i N;

A er arealet av platene (40 mm × 40 mm), i mm².

3.20 Utvikling av maskinlæring

Både nevral nettverk metoden og lineær regresjons metoden ble utviklet, for å sjekke hvilket av disse to metoder gir bedre resultat på de forskjellige egenskapene av betong.

3.20.1 Nevral nettverk

For å sjekke om hvilken metode som gir beste tilnærming, ble det gjennomført tester både med lineær regresjonsmetoden og nevral nettverk metoden. For begge av disse metodene ble følgende moduler og biblioteker benyttet:

```
import pandas
import numpy
import math
from keras.models import Sequential
```



```
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error, r2_score
from keras.layers import Dense
import os
import random
```

Her er «pandas» en åpenkilde bibliotek, som brukes for det meste til dataanalyse og maskinlæring. «Pandas» har funksjoner som brukes for utforskning, transformering og visualisering av data. Den er bygd på toppen av en annen bibliotek, «Numpy», som støtter flerdimensjonale matriser. «Math» modulen gir tilgang til matematiske funksjoner.

«Keras» er også en åpenkilde bibliotek, som brukes for utvikling og evaluering av modeller for maskinlæring. «Keras» lar deg definere og trene opp nevralt nettverkssystemer i kun noen få linjer. Fra «Keras» importeres det «Sequential» modell som lar deg ha flere lineære lag etter hverandre, slik som nevralt nettverk med et inngangslag etterfulgt av en eller flere skjulte lag og til slutt utgangslag.

«Sklearn» biblioteket inneholder flere klassifisering, regresjon og grupperings algoritmer, og brukes for utvikling av maskinlæring i Python. «Train_test_split» er en funksjon innen «Sklearn» som brukes for å splitte data i to grupper, en for trening og en for testing av data. «StandardScaler» vil transformere dataene slik at fordelingen får en gjennomsnittsverdi på 0 og standardavvik på 1. I tilfelle ved stor datamengde med mange variasjon i data, vil dette være til stor hjelp. «Mean_square_error» måler den gjennomsnittlige kvadratdifferansen mellom de estimerte verdier og den ekte verdien. Den er en risikofunksjon, er aldri negativ og verdier nær null er bedre. «R2_score» eller bestemmelseskoefisient er mengden av variasjonen i det utgangsavhengige attributtet som er forutsigbar fra inngangsuavhengige variabler.

```
os.environ['PYTHONHASHSEED'] = '0'
random.seed(123)
seed = 7
numpy.random.seed(seed)
```

«Random_seed()» vil generere tilfeldige tall opptil 7, kun en gang slik at samme tilfeldige tallene genereres neste gang programmet kjøres.

```
x_train,x_test,y_train,y_test=train_test_split(x,y,test_size=0.3,random_state=123)
```

Denne linjen tar ut 20% tilfeldig data fra inndata og bruker det til å teste modellen. Resterende 80% brukes som treningsdata for modellen.

```
x_train_scaled=x_scalar.fit_transform(x_train)
```

```
x_test_scaled=x_scalar.transform(x_test)
```

```
y_train=y_train.reshape(-1,1)
```

```
y_test=y_test.reshape(-1,1)
```

```
y_train_scaled=y_scalar.fit_transform(y_train)
```

```
y_test_scaled=y_scalar.transform(y_test)
```

«fit_transform()» brukes på treningsdata slik at vi kan skalere treningsdata og lære skaleringsparametere for disse dataene.

```
model=Sequential()
```

```
model.add(Dense(40,input_dim=7,activation='linear',kernel_initializer='normal',  
bias_initializer='normal'))
```

```
model.add(Dense(20,activation='relu',kernel_initializer='normal', bias_initializer='normal'))
```

```
model.add(Dense(1,kernel_initializer='normal', bias_initializer='normal'))
```

```
model.compile(optimizer='adam',loss='mean_squared_error',metrics=['accuracy'])
```

```
model.fit(x_train_scaled,y_train_scaled,batch_size=10,epochs=100,validation_data=(x_test_s  
caled,y_test_scaled))
```

Disse linjer trener opp modellen. Vi har 6 parametere til sammen. Disse er matriksvolum, masseforhold, SP, fiber, LC3 og silikastøv. Disse parametere settes inn i et inngangslag med 40 nevroner, og lineær aktiveringsfunksjon brukes på dem. Fordelingen av verdiene er normalfordeling. Videre i den skjulte laget er det 20 nevroner med aktiveringsfunksjonen «relu». Til slutt er det en nevron i utgangslaget. Batch størrelsen er antall prøver behandlet før

modellen oppdateres, og antall epoker er antall fullstendige passeringer gjennom treningsdatasettet.

3.20.2 Lineær regresjon

Lineær regresjon koden har omtrent samme kode som nevralt nettverk koden. Det er bare treningsdelen som er litt annerledes, derfor nevnes kun treningsdelen her.

```
model=LinearRegression()

model.fit(x_train_scaled,y_train_scaled)

y_pred_scaled=model.predict(x_test_scaled)
y_pred=y_scalar.inverse_transform(y_pred_scaled)
```

Denne modellen er noe enklere enn nevralt nettverk. Kun en lineær regresjons modell brukes på de dataene som tidligere ble opprettet med 30% som testdata og 70% treningsdata. Den nye modellen brukes da til å forutsi andre data.

4 Resultater

Resultatet av de forskjellige tester presenteres i dette kapitlet. Navnet som brukes her er forkortelser av resept navner som vises i kapittel 3.11.

4.1 Rystebordtest

Tabell 4.1: Resultatet av rystebordtesten

Navn	Flyt i cm	Navn	Flyt i cm
SP1	13,3	BP2	13,93
SP2	14,98	BP3	14,25
SP3	15,5	BP4	15,75
SP4	15,7	BF1	15,5
SP5	15,9	BF2	13,4
SP6	16,7	BF3	14,58
SP7	10	BF4	13
SP8	19,3	BC1	-
SF1	17,2	BC2	-
SF2	13,95	BC3	13,8
SF3	13,3	BC4	-
SF4	12,5	VP1	14,5
LC1	14,6	VP2	12,35
LC2	13,6	VP3	17,9
LC3	12,2	VP4	15,8
LC4	12,2	AP1	16,8
LC5	10,5	AP2	15,1
FB1	16,56	AP3	18,75
FB2	13,7	AP4	16,5
FB3	12,28	CP1	12,77
2FB1	19,6	CP2	11,25

2FB2	17,5	CP3	18,45
2FB3	16,5	CP4	17,3
2FB4	15,9	FC1	11,58
2FB5	14,8	FC2	10,7
2FB6	12,6	FC3	17,3
FP1	12,33	FC4	15
FP2	14,2	FV1	11,6
FP3	11,9	FV2	10,4
FP4	13,3	FV3	17,5
TB1	19,6	FV4	15,34
TB2	19,5	BV1	11,78
TB3	17,25	BV2	10,35
TB4	14,9	BV3	14,4
TP1	16	BV4	11,6
TP2	13,1	TC1	11,8
TP3	16,6	TC2	10,2
TP4	14,3	TC3	17,7
TP5	14,68	TC4	15,6
ST1	13,78	TV1	12,7
ST2	13,9	TV2	11,4
ST3	12,9	TV3	16,55
ST4	13,65	TV4	14,1
BP1	16,6		

4.2 Ekstrudering

Tabell 4.2: Resultat av ekstrudering test

Navn		Navn	
SP1	Feilet	BP2	Feilet
SP2	Gjennomført	BP3	Feilet

SP3	Gjennomført	BP4	Feilet
SP4	Gjennomført	BF1	Feilet
SP5	Gjennomført	BF2	Feilet
SP6	Gjennomført	BF3	Feilet
SP7	Feilet	BF4	Feilet
SP8	Gjennomført	BC1	-
SF1	Gjennomført	BC2	-
SF2	Gjennomført	BC3	Feilet
SF3	Gjennomført	BC4	-
SF4	Gjennomført	VP1	Feilet
LC1	Gjennomført	VP2	Feilet
LC2	Feilet	VP3	Gjennomført
LC3	Feilet	VP4	Gjennomført
LC4	Feilet	AP1	Gjennomført
LC5	Feilet	AP2	Gjennomført
FB1	Gjennomført	AP3	Gjennomført
FB2	Feilet	AP4	Gjennomført
FB3	Feilet	CP1	Gjennomført
2FB1	Feilet	CP2	Gjennomført
2FB2	Feilet	CP3	Gjennomført
2FB3	Feilet	CP4	Gjennomført
2FB4	Feilet	FC1	Feilet
2FB5	Feilet	FC2	Feilet
2FB6	Feilet	FC3	Gjennomført
FP1	Gjennomført	FC4	Gjennomført
FP2	Gjennomført	FV1	Feilet
FP3	Gjennomført	FV2	Feilet
FP4	Gjennomført	FV3	Gjennomført
TB1	Feilet	FV4	Gjennomført
TB2	Feilet	BV1	Feilet
TB3	Feilet	BV2	Feilet
TB4	Feilet	BV3	Feilet

TP1	Gjennomført	BV4	Feilet
TP2	Feilet	TC1	Feilet
TP3	Gjennomført	TC2	Feilet
TP4	Gjennomført	TC3	Gjennomført
TP5	Gjennomført	TC4	Gjennomført
ST1	Gjennomført	TV1	Feilet
ST2	Gjennomført	TV2	Feilet
ST3	Gjennomført	TV3	Gjennomført
ST4	Gjennomført	TV4	Gjennomført
BP1	Feilet		

4.3 Sylindertest

Tabell 4.3: Resultat av sylindertest

Navn	ΔH i mm	Navn	ΔH i mm
SP1	18	BP2	30
SP2	30	BP3	40
SP3	55	BP4	55
SP4	70	BF1	55
SP5	70	BF2	25
SP6	75	BF3	45
SP7	14	BF4	25
SP8	80	BC1	-
SF1	65	BC2	-
SF2	20	BC3	35
SF3	20	BC4	-
SF4	10	VP1	50
LC1	45	VP2	10
LC2	15	VP3	50
LC3	10	VP4	50

LC4	10	AP1	55
LC5	5	AP2	40
FB1	65	AP3	45
FB2	40	AP4	55
FB3	17	CP1	15
2FB1	90	CP2	5
2FB2	85	CP3	55
2FB3	77	CP4	50
2FB4	55	FC1	7
2FB5	55	FC2	50
2FB6	20	FC3	60
FP1	18	FC4	45
FP2	22	FV1	5
FP3	10	FV2	1
FP4	16	FV3	51
TB1	50	FV4	50
TB2	50	BV1	5
TB3	40	BV2	0
TB4	40	BV3	45
TP1	58	BV4	15
TP2	50	TC1	7
TP3	60	TC2	0
TP4	30	TC3	55
TP5	55	TC4	55
ST1	13	TV1	11
ST2	10	TV2	4
ST3	20	TV3	58
ST4	20	TV4	15
BP1	50		

4.4 Green strength

Green strength verdien etter 0 minutter og 15 minutter for samme materiale presenteres i tabell 4.4.

Tabell 4.4: Resultat av Green strength

Navn	GS 0 (kPa)	GS 15 (kPa)	Navn	GS 0 (kPa)	GS 15 (kPa)
SP1	15,95	19,36	BP2	11,20	17,86
SP2	14,41	18,86	BP3	10,12	13,53
SP3	13,12	17,99	BP4	8,12	14,46
SP4	4,25	6,37	BF1	4,96	7,08
SP5	2,50	3,96	BF2	8,54	19,98
SP6	3,65	5,75	BF3	7,38	16,55
SP7	19,25	38,72	BF4	19,65	22,98
SP8	2,27	4,28	BC1	-	-
SF1	3,5	4	BC2	-	-
SF2	9,99	15,49	BC3	15,15	18,24
SF3	16,99	18,24	BC4	-	-
SF4	19,86	20,86	VP1	11,24	18,57
LC1	9,99	16,36	VP2	26,04	27,08
LC2	11,12	23,48	VP3	2,36	3,06
LC3	24,23	28,35	VP4	4,97	9,99
LC4	25,61	29,23	AP1	5,87	7,19
LC5	28,73	29,85	AP2	8,51	10,05
FB1	2,44	2,75	AP3	1,31	2,00
FB2	9,99	15,74	AP4	4,60	5,37
FB3	19,61	25,73	CP1	34,97	38,72
2FB1	0	0	CP2	37,47	38,72
2FB2	0	0	CP3	2,12	2,64
2FB3	3,53	4,26	CP4	4,76	5,37
2FB4	9,01	14,55	FC1	30,10	38,72
2FB5	10,5	11,82	FC2	38,72	38,72

2FB6	23,73	30,6	FC3	2,79	4,62
FP1	14,99	19,49	FC4	6,58	14,83
FP2	11,05	13,5	FV1	31,54	38,72
FP3	19,95	22,86	FV2	38,72	38,72
FP4	14,58	14,99	FV3	2,14	3,12
TB1	1,75	2,16	FV4	4,43	7,91
TB2	2,87	3,42	BV1	33,7	38,72
TB3	5,86	8,31	BV2	38,72	38,72
TB4	8,03	12,27	BV3	9,03	13,94
TP1	3,76	6,68	BV4	26,23	38,72
TP2	20,73	26,85	TC1	32,26	38,72
TP3	3,66	4,47	TC2	34,35	38,72
TP4	7,67	10,78	TC3	2,25	3,37
TP5	9,06	13,12	TC4	5,37	8,24
ST1	13,58	17,24	TV1	17,94	27,23
ST2	15,81	18,11	TV2	33,72	38,72
ST3	20,23	26,11	TV3	3,96	8,33
ST4	17,36	19,61	TV4	13,41	20,08
BP1	4,15	6,79			

4.5 Penetrometer

Tabellen 4.5 viser resultatet av penetrometer test utført på blandinger. Eksakte verdier for initial størkning ble funnet hjelp av interpolering.

Tabell 4.5: Resultat av penetrometer test

Navn	Initial størkningstid i min.	Navn	Initial størkningstid i min.
SP1	192	BP2	254
SP2	246	BP3	359
SP3	319	BP4	278
SP4	339	BF1	333

SP5	360	BF2	282
SP6	366	BF3	336
SP7	177	BF4	259
SP8	460	BC1	-
SF1	305	BC2	-
SF2	239	BC3	293
SF3	229	BC4	-
SF4	219	VP1	228
LC1	223	VP2	196
LC2	176	VP3	304
LC3	147	VP4	252
LC4	141	AP1	305
LC5	135	AP2	250
FB1	301	AP3	359
FB2	247	AP4	276
FB3	191	CP1	202
2FB1	386	CP2	155
2FB2	375	CP3	352
2FB3	365	CP4	258
2FB4	343	FC1	186
2FB5	308	FC2	182
2FB6	258	FC3	290
FP1	149	FC4	266
FP2	190	FV1	177
FP3	212	FV2	189
FP4	271	FV3	264
TB1	359	FV4	188
TB2	265	BV1	189
TB3	350	BV2	103
TB4	216	BV3	253
TP1	237	BV4	188
TP2	181	TC1	166

TP3	266	TC2	143
TP4	196	TC3	277
TP5	307	TC4	235
ST1	221	TV1	198
ST2	182	TV2	141
ST3	164	TV3	229
ST4	187	TV4	196
BP1	383		

4.6 Bøy- og trykkfasthet

Tabell 4.6: Resultat av bøy- og trykkfasthet tester

Navn	Bøy i MPa (7d)	Trykk i MPa (7d)	Trykk i MPa (28d)
SP1	7,96	62,46	64,96
SP2	8,25	60,17	65,99
SP3	8,57	64,60	68,94
SP4	8,75	67,91	70,90
SP5	9,33	66,69	69,88
SP6	9,13	63,33	71,96
SP7	8,32	60,83	61,17
SP8	9,48	69,88	72,76
SF1	9,14	63,53	68,33
SF2	8,93	64,63	75,73
SF3	8,36	67,71	77,68
SF4	8,34	62,66	73,03
LC1	8,92	57,83	66,17
LC2	7,46	55,33	60,43
LC3	7,66	47,39	49,73
LC4	7,02	42,66	46,17
LC5	5,55	26,85	35,05

FB1	9,49	60,45	66,12
FB2	7,59	53,56	56,80
FB3	7,65	58,04	61,43
2FB1	7,50	32,99	36,86
2FB2	6,69	44,06	45,19
2FB3	6,53	45,92	50,84
2FB4	7,78	34,37	35,69
2FB5	6	34,74	36,59
2FB6	7,19	37,69	41,45
FP1	7,97	60,06	63,46
FP2	8,72	62,69	69,01
FP3	8,76	67,05	79,76
FP4	8,97	68,53	80,13
TB1	7,09	43,95	49,37
TB2	5,88	34,56	37,48
TB3	4,01	20,39	24,12
TB4	5,58	30,12	34,63
TP1	7,86	57,57	61,33
TP2	7,58	51,95	55,22
TP3	8,94	49,29	55,61
TP4	7,52	44,99	48,71
TP5	7,11	44,77	49,13
ST1	9,23	54,48	58,60
ST2	9,33	55,38	61,47
ST3	8,40	53,19	64,88
ST4	7,85	52,51	60,98
BP1	6,72	46,99	53,93
BP2	6,43	45,31	50,95
BP3	6,98	41,90	48
BP4	6,75	38,18	41,93
BF1	6,03	44,30	54,35
BF2	6,91	46,33	56,57

BF3	6,65	46,29	61,91
BF4	6,33	53,70	67,13
BC1	-	-	-
BC2	-	-	-
BC3	8,89	59,55	65,26
BC4	-	-	-
VP1	9,35	62,70	70,84
VP2	7,88	61,04	66,10
VP3	10,24	65,76	72,49
VP4	9,61	64,95	69,53
AP1	9,68	63,79	66,99
AP2	9,35	52,38	56,06
AP3	8,99	47,08	58,03
AP4	8,47	47,27	51,60
CP1	11,81	60,55	69,19
CP2	9,99	57,43	60,46
CP3	9,21	52,34	60,79
CP4	7,99	46,83	51,26
FC1	10,6	66,90	81,66
FC2	9,66	71,25	78,74
FC3	8,28	58,54	69,91
FC4	7,98	57,93	71,90
FV1	8,33	58,39	69,48
FV2	8,21	63,66	76,21
FV3	9,18	60,24	63,63
FV4	9,07	55,71	65,49
BV1	9,25	52,31	61,24
BV2	9,44	52,61	55,26
BV3	10,77	51,85	56,76
BV4	9,67	52,38	54,23
TC1	11,11	57,68	60,42
TC2	8,12	48,74	58,97

TC3	8,46	56,82	59,54
TC4	6,54	45,86	50,77
TV1	8,31	57,54	62,46
TV2	6,66	47,15	51,44
TV3	8,66	61,75	63,16
TV4	7,13	50,35	54,39

4.7 Resultat fra maskinlæring

I dette kapitlet vises resultatet fra maskinlæringen av 18 tilfeldige valgte blandinger, sammenlignet med resultatet av tester utført på labben av samme blandinger. Nevralt nettverk programmet ble kjørt 3 ganger, hvor resultat med den høyeste R²-verdi ble valgt. Differansen mellom R²-verdi for de 3 forsøkene var på maksimalt 0,3.

4.7.1 Rystebord

Tabell 4.7: Maskinlæringens prediksjon av flytbarhet

Navn		Nevralt nettverk for flytbarhet R ² =0,875 MSE=0,904	Lineær regresjon for flytbarhet R ² =0,844 MSE=1,010	Resultater fra labben
SP04	M500-W0,4-S1,3	16.62	15.86	15,70
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	17.25	18.27	18,75
WB03	M500-W0,4-S0,8	14.68	14.46	14,25
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	12.65	12.95	13,10
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	13.97	12.89	14,25
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	12.24	12.30	11,90
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	10.94	10.97	10,40
VP3	M525-W0,4-S1,3	17.31	16.95	17,90
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	16.11	15.49	16,55
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	16.62	17.43	15,90
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	12.34	12.54	12,90
SF01	M500-W0,4-S0,4	14.70	14.39	17,20
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	15.75	15.32	15,34
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	11.25	12.44	11,80
FP4	M500-W0,4-S1,3-SF15	14.34	13.99	13,30
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	12.77	12.07	11,60
WB04	M500-W0,45-S0,8	17.98	16.42	17,52

TC2	M500-S1-W0,35-LC30	10.19	11.21	10,20
------------	--------------------	-------	-------	-------

4.7.2 Sylinder

Tabell 4.8: Maskinlæringens prediksjon av sylinder test

Navn		Nevralt nettverk for sylindertest $R^2=0,677$ MSE=167	Lineær regresjon for sylindertest $R^2=0,613$ MSE=200	Resultater fra labben
SP04	M500-W0,4-S1,3	52.75	47.82	70.0
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	59.19	68.48	45.0
WB03	M500-W0,4-S0,8	40.95	36.39	20.0
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	18.44	20.16	5.0
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	28.24	28.11	40.0
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	9.14	11.09	10.0
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	0	0	1.0
VP3	M525-W0,4-S1,3	56.99	57.67	50.0
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	49.10	43.84	58.0
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	58.16	62.67	55.0
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	11.45	11.67	20.0
SF01	M500-W0,4-S0,4	35.95	33.29	65.0
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	39.26	37.64	50.0
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	7.38	19.19	7.0
FP4	M500-W0,4-S1,3-SF15	23.57	24.80	16.0
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	25.80	18.26	15.0
WB04	M500-W0,45-S0,8	61.02	51.19	40.8
TC2	M500-S1-W0,35-LC30	0	5.24	0.0

4.7.3 Green strength 0 min

Tabell 4.9: Maskinlæringens prediksjon av Green strength 0

Navn		Nevralt nettverk for GS 0	Lineær regresjon for GS 0	Resultater fra labben
		$R^2= 0.94$ MSE= 8.13	$R^2= 0.7158$ MSE= 38.91	
SP04	M500-W0,4-S1,3	6.95	10.28	4.25
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	0.17	0	1.31
WB03	M500-W0,4-S0,8	12.25	14.80	15.26
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	18.50	19.28	20.73
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	13.63	17.25	10.12
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	19.89	20.85	19.95
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	35.17	28.62	38.72
VP3	M525-W0,4-S1,3	1.94	5.04	2.36
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	4.71	9.54	3.96
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	6.54	3.17	9.01
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	19.70	20.00	20.23
SF01	M500-W0,4-S0,4	12.32	14.70	3.50
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	2.00	7.65	4.43
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	31.15	20.38	32.26
FP4	M500-W,4 - S1,3-SF15	13.52	15.42	14.58
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	24.79	23.66	26.23
WB04	M500-W0,45-S0,8	4.03	9.20	3.50
TC2	M500-S1-W0,35-LC30	36.19	23.95	34.35

4.7.4 Green strength 15 min

Tabell 4.10: Maskinlæringens prediksjon av Green strength 15

Navn		Nevralt nettverk for GS 15	Lineær regresjon for GS 15	Resultater fra labben
		R ² = 0.823 MSE= 30.0	R ² = 0.693 MSE= 51.99	
SP04	M500-W0,4-S1,3	12.18	13.44	6.37
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	2.17	0	2.00
WB03	M500-W0,4-S0,8	20.38	19.94	17.15
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	26.34	25.04	26.85
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	16.74	22.20	13.53
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	24.00	24.69	22.86
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	33.09	32.28	38.72
VP3	M525-W0,4-S1,3	6.16	7.70	3.06
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	12.23	13.50	8.33
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	7.58	5.82	14.55
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	22.74	23.44	26.11
SF01	M500-W0,4-S0,4	17.76	18.49	4.00
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	7.19	9.30	7.91
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	35.89	26.21	38.72
FP4	M500-W0,4-S1,3-SF15	14.16	16.89	14.99
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	25.75	28.86	38.72
WB04	M500-W0,45-S0,8	7.18	12.97	6.80
TC2	M500-S1-W0,35-LC30	39.63	30.00	38.72

4.7.5 Penetrometer

Tabell 4.11: Maskinlæringens prediksjon av Initial størkningstid

Navn		Nevralt nettverk for Penetrasjon	Lineær regresjon for Penetrasjon	Resultater fra labben
		$R^2=0,703$ MSE=1505	$R^2=0,687$ MSE=1587	
SP04	M500-W0,4-S1,3	308	292	339
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	325	346	359
WB03	M500-W0,4-S0,8	226	235	242
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	167	169	181
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	272	265	359
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	198	184	212
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	178	159	189
VP3	M525-W0,4-S1,3	337	322	304
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	258	260	229
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	345	351	343
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	190	177	164
SF01	M500-W0,4-S0,4	237	245	305
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	260	278	188
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	162	185	166
FP4	M500-W0,4-S1,3-SF15	245	252	271
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	240	224	188
WB04	M500-W0,45-S0,8	303	280	276
TC2	M500-S1-W0,35-LC30	137	130	143

4.7.6 Trykkfasthet etter 7 dager

Tabell 4.12: Maskinlæringens prediksjon av trykkfasthet etter 7 dager

Navn		Nevralt nettverk for Trykkfasthet	Lineær regresjon for Trykkfasthet	Resultater fra labben
		$R^2= 0.780$ MSE= 18.619	$R^2= 0.795$ MSE= 17.348	
SP04	M500-W0,4-S1,3	60.78	61.48	67.91
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	51.36	51.31	47.08
WB03	M500-W0,4-S0,8	59.21	58.95	61.17
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	49.51	49.77	51.95
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	47.26	47.31	41.90
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	62.08	62.49	67.05
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	64.08	65.29	63.66
VP3	M525-W0,4-S1,3	60.25	60.84	65.76
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	56.38	54.98	61.75
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	40.34	41.13	34.37
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	56.11	53.98	53.19
SF01	M500-W0,4-S0,4	60.90	61.31	63.53
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	61.97	62.72	55.71
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	59.82	59.12	57.68
FP4	M500-W0,4-S1,3-SF15	63.96	65.52	68.53
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	54.64	53.11	52.38
WB04	M500-W0,45-S0,8	56.38	55.46	57.83
TC2	M500-S1-W0,35-LC30	51.75	50.44	48.74

4.7.7 Trykkfasthet etter 28 dager

Tabell 4.13: Maskinlæringens prediksjon av trykkfasthet etter 28 dager

Navn		Nevralt nettverk for Trykkfasthet	Lineær regresjon for Trykkfasthet	Resultater fra labben
		$R^2= 0.765$ MSE= 27,469	$R^2= 0,752$ MSE= 28,97	
SP04	M500-W0,4-S1,3	67.01	66.87	70.90
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	55.86	55.51	58.03
WB03	M500-W0,4-S0,8	64.00	63.78	63.00
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	52.09	53.31	55.22
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	49.69	50.38	48.00
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	72.33	72.25	79.76
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	75.38	75.24	76.21
VP3	M525-W0,4-S1,3	66.39	66.30	72.49
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	60.24	59.52	63.16
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	48.79	49.98	35.69
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	63.66	61.23	64.88
SF01	M500-W0,4-S0,4	68.18	68.05	68.33
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	72.90	72.97	65.49
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	64.63	63.54	60.42
FP4	M500-W0,4-S1,3-SF15	75.95	75.96	80.13
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	61.88	61.42	54.23
WB04	M500-W0,45-S0,8	60.80	60.33	60.00
TC2	M500-S1-W0,35-LC30	52.87	53.69	58.97

4.7.8 Bøystrekkfasthet etter 7 dager

Tabell 4. 14: Maskinlæringens prediksjon av bøystrekkfasthet etter 7 dager

Navn		Nevralt nettverk for Bøyefasthet	Lineær regresjon for Bøyefasthet	Resultater fra labben
		R ² = 0.338 MSE= 0.580	R ² = 0.213 MSE= 0.690	
SP04	M500-W0,4-S1,3	9.34	9.33	8.75
AP3	M500-W0,4-S1,3-FA15	9.48	9.47	8.99
WB03	M500-W0,4-S0,8	8.75	8.76	8.28
TP2	M500-W0,4-S0,7-LC20	7.46	7.60	7.58
BP3	M600-W0,5-S1,3-FB1,5	7.15	7.38	6.98
FP3	M500-W0,4-S0,7-SF15	8.39	8.42	8.76
FV2	W0,4-S1-M450-SF15	8.94	9.02	8.21
VP3	M525-W0,4-S1,3	9.24	9.20	10.24
TV3	W0,4-S1-M525-LC10	8.36	8.34	8.66
2FB4	M600-W0,5-S1-FB1,2	6.54	6.51	7.78
ST3	M500-W0,4-S1-SF10-LC20	8.04	7.79	8.4
SF01	M500-W0,4-S0,4	8.90	8.91	9.14
FV4	W0,4-S1-M550-SF15	8.55	8.50	9.07
TC1	M500-S1-W0,35-LC10	9.04	8.88	11.11
FP4	M500-W,4 - S1,3-SF15	9.09	9.10	8.97
BV4	W0,4-S1,3-M525-FB1	8.49	8.25	9.67
WB04	M500-W0,45-S0,8	8.30	8.35	8.17
TC2	M500-S1-W0,35-LC30	7.76	7.83	8.12

5 Diskusjon og analyse

5.1 Diskusjon av foretatte valg i arbeidsprosessen

I studiens problemstilling rettes fokuset mot påvirkning av proporsjoneringsparametere på 3D-printing av betong i både fersk og herdet tilstand. De viktigste betong egenskapene ved 3D-printing er flytbarhet, byggbarhet, ekstruderbarhet og fasthet, som er avhengige av betongens konsistens. Til inspirasjon for hvilke parametere som var viktige og som skulle inkluderes i testene, ble det benyttet forskninger som allerede er utført med relevante materialer som denne studien oppfatter og veilederens anbefalinger.

Arbeidsprosessen bestod av forberedelsesdel og hoveddel, der hensikten med forberedelsesdelen var å få en forståelse for reseptutvikling og fremgangsmåten for de ulike testene. I hoveddelen tok gruppen for seg 4 variabler; superplastiserende (SP), silikastøv (SF), kalkstein-kalsinert leire-ement (LC3) og fiber (FB), og utarbeidet 88 resepter av disse. For hver av reseptene ble det undersøkt flytbarhet, byggbarhet, ekstruderbarhet og mekaniske egenskaper. Gruppen kunne også velge andre materialer for å undersøke videre, men anså de fire valgte materialer som de viktigste og ble enig om å gå videre med dem.

Det finnes foreløpig ingen standarder i Norge som gjelder for bruk av betong i 3D-printing. Dette medførte at gruppen hentet metoder fra tidligere studier for noen av testene, som byggbarhet og ekstruderbarhet. Det finnes flere metoder for å sjekke byggbarhet på, og det ble valgt å gå videre med sylindertest og green strength metoden ut ifra tilgjengelige utstyr på laboratorium. Disse testmetodene ble gjennomført iht. tidligere studier ved University of Southern California i USA og Southeast University i Kina. For ekstruderingsstest ble det hentet inspirasjon fra tidligere forskning (Khalil, 2017), som ble utført med nesten samme framgangsmåte.

Det er mye som kan påvirke testresultater fra støpeprosessen, der dårlig støping og form kan være noen av faktorene. Støpeprosessen og komprimering ble gjort ved bruk av vibrasjonsbord fremfor komprimeringsstav, ettersom komprimeringsstav fører til forskjellig

komprimeringsgrad og etterlater luftbobler i prismene. Mens vibrasjonsbord fører til at det blir mindre luftbobler i testprøvene, og gir dermed et større tverrsnitt.

Gruppen utelukker ikke eventuelle avvik i noen av testresultatene, ettersom oppførselen av de valgte materialer var forskjellig fra hverandre. For eksempel var det vanskelig å definere kollaps ved gjennomføring av green strength testen for blanding med innhold av fiber, noe som kan ha ført til litt varierte svar.

5.2 Påvirkning av de ulike variablene

Dette kapittelet inneholder analyse av påvirkningen av de forskjellige variablene alene og ved kombinasjon med hverandre. Først analyseres påvirkningen av de forskjellige variablene på flytbarheten ved rystebordmetoden, deretter kommer påvirkningen på byggbarhet ved sylindertest og green strength, og til slutt kommer påvirkningen på initial størkningstid og mekaniske egenskaper.

For hver graf finnes det en førstegrads likning, som beskriver grafens utvikling. Likningen kan brukes til å finne nøyaktige verdier for den valgte testen. For hver graf følger det også en R²-verdi, som er en bestemmelseskoeffisient, et tall fra 0 til 1. Verdien på R² viser hvor nært de beregnede verdiene er i forhold til de virkelige dataene, for trendlinjen og kurven. Jo nærmere tallet 1, desto bedre er resultatet. For kurvene er det også en SSE- og en RMSE-verdi, hvor SSE er summen av kvadratrot feil, og et tall nærmere 0 indikerer bedre passform. RMSE er kvadratisk gjennomsnittsfeil.

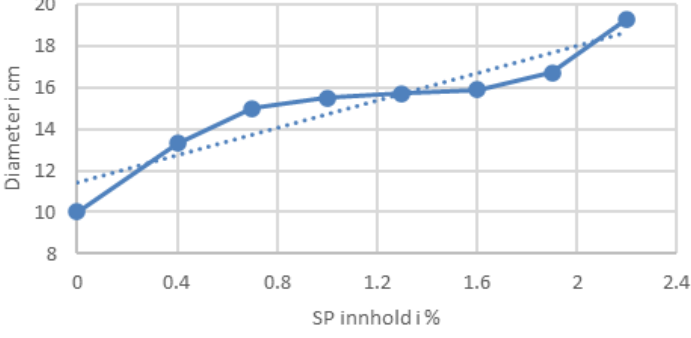
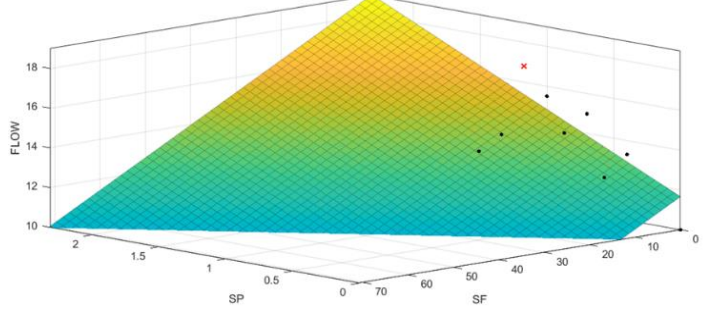
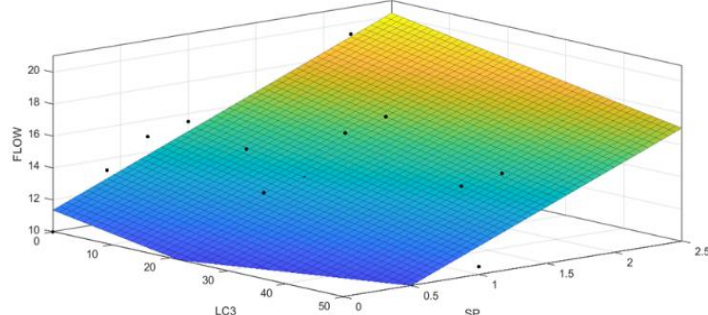
5.2.1 Rystebordtest

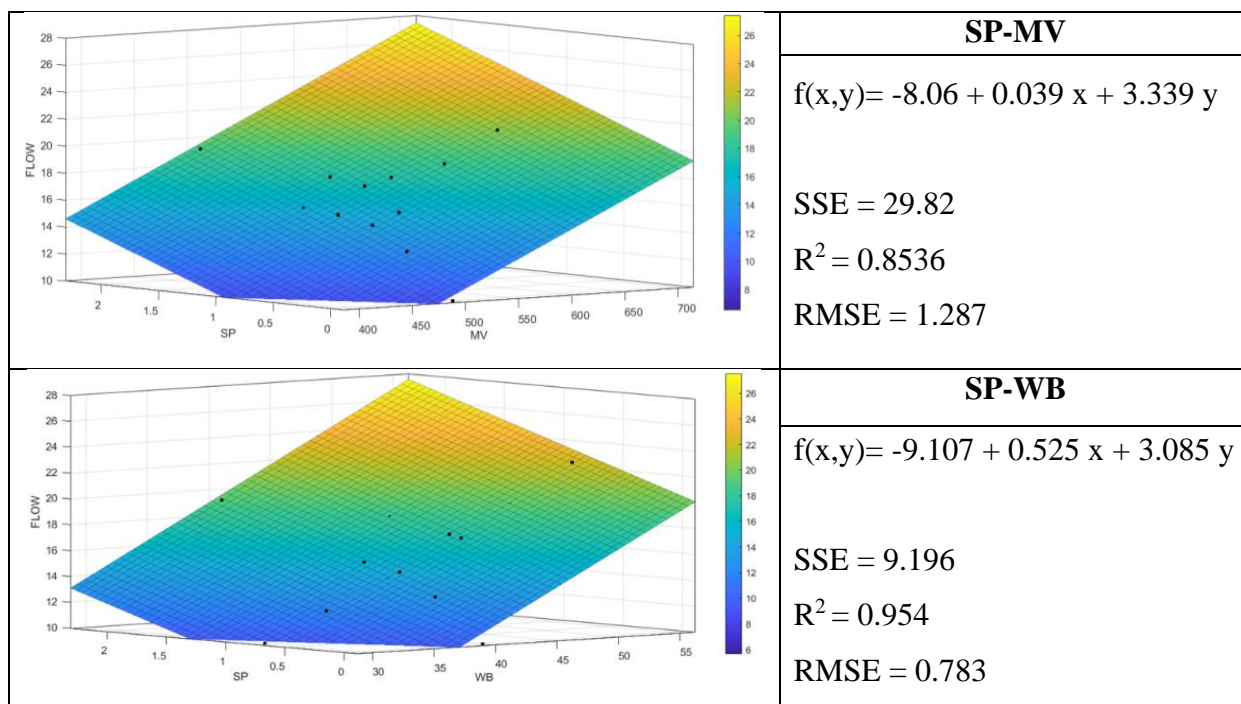
Påvirkning av superplastiserende på flytbarhet

Tabell 5.1 viser grafer for blandinger med en og to variabler, med deres påvirkning på flytbarhet. Grafen for kun SP-blandinger viser at flytbarheten for blandinger fra 0 til 2,2% SP, gir en økende flytbarhet fra 10 til 20 cm. Ifølge 2D-grafen for SP er påvirkningen av SP størst ved økning fra 0 til 0,4%, mens påvirkningen avtar fra 0,4% til 1,6%, for å deretter øke igjen ved tilsetning av SP > 1,6%.

Ved kombinasjon av SP med SF, vil 20% økning av SF føre til 2,5 cm mindre flytbarhet, mens 1% økning av SP fører til 1,5 cm mer flytbarhet. Ved kombinasjon av SP med LC3 vil dette være omvendt, hvor 20% økning av LC3 fører til 1,2 cm mindre flytbarhet, mens 1% økning av SP fører til 3,5 cm mer flytbarhet. Ved økning av SP og MV samtidig, vil 100 l/m³ økning av MV gi 4 cm økning av flytbarhet, mens 1% økning av SP gir 3,3 cm økning. Det samme gjelder ved økning av SP og WB samtidig, hvor 5% økning i WB gir 2,5 cm mer flytbarhet, mens 0,5% økning i SP gir 1,5 cm mer flytbarhet.

Tabell 5.1: Flytbarhet med innhold av SP

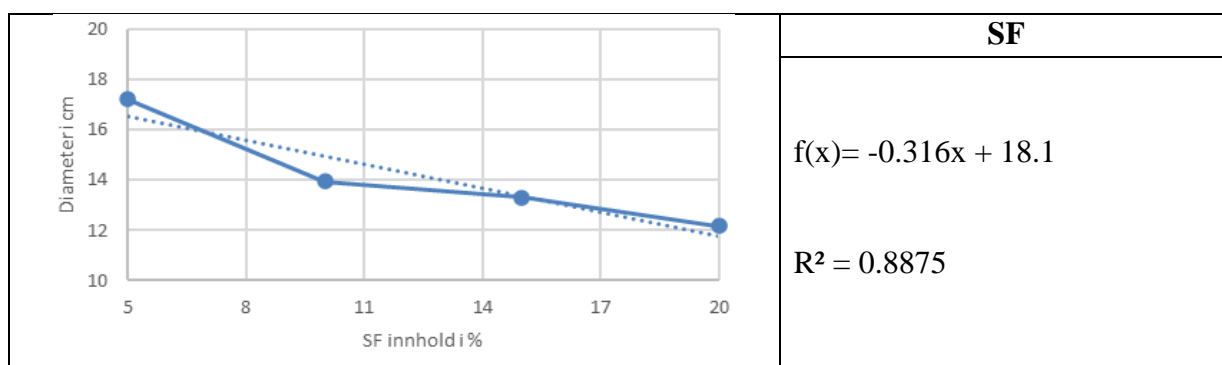
	<p style="text-align: center;">SP</p> $f(x) = 3.3201x + 11.396$ $R^2 = 0.8714$
	<p style="text-align: center;">SP-SF</p> $f(x,y) = 11.66 + 3.178 x - 0.126 y$ $SSE = 8.224$ $R^2 = 0.887$ $RMSE = 0.8279$
	<p style="text-align: center;">SP-LC3</p> $f(x,y) = 11.36 + 3.535 x - 0.062 y$ $SSE = 12.85$ $R^2 = 0.8574$ $RMSE = 0.9255$

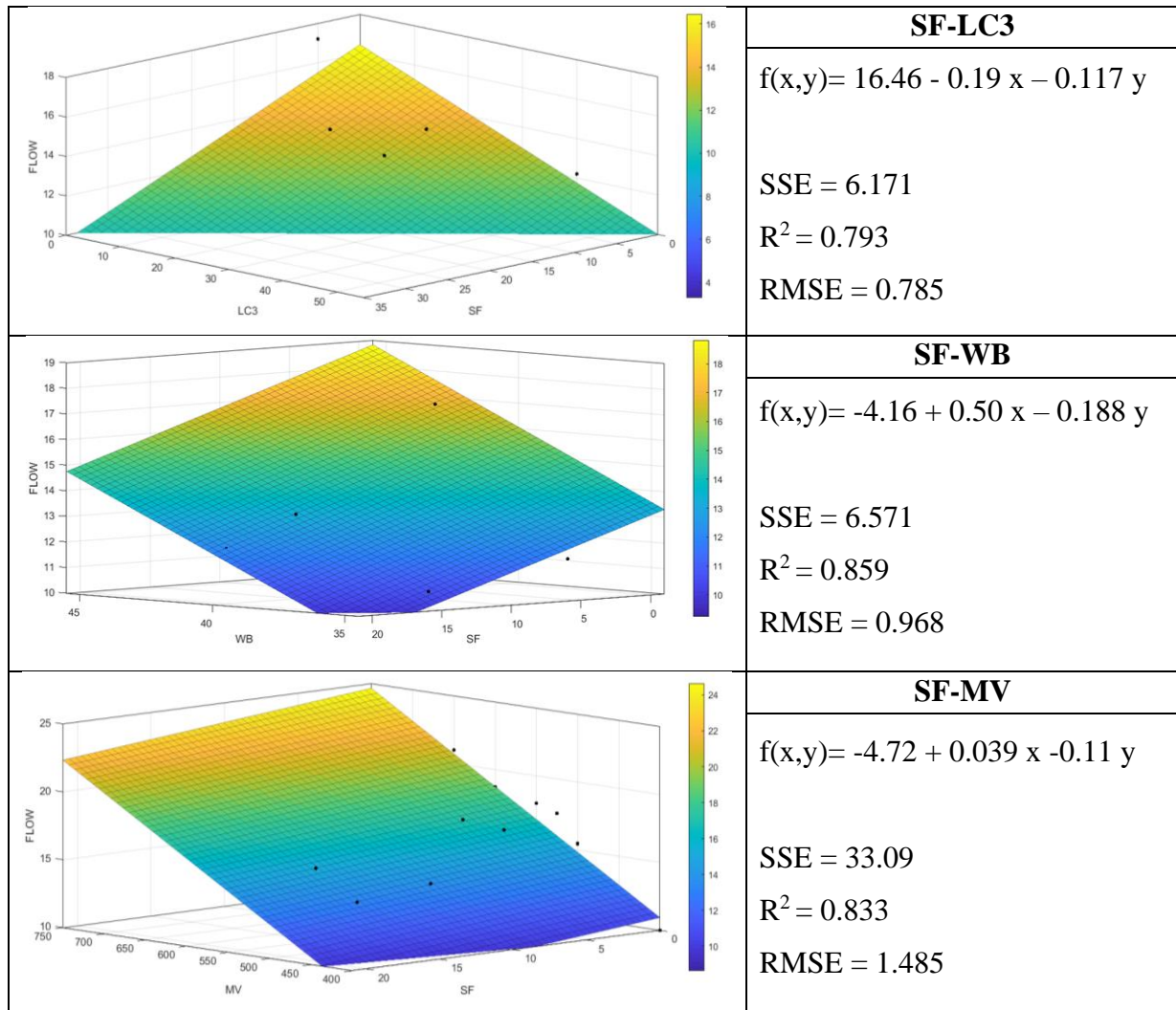


Påvirkning av silikastøv på flytbarhet

Tabell 5.2 viser grafer for blandinger med en og to variabler, med deres påvirkning på flytbarhet. Utviklingen i flytbarheten har en synkende trend ved økning av silikastøv (SF). Trendlinjen på 2D-grafen i tabell 5.2, bekrefter en jevn nedgang i flytbarhet med en R^2 -verdi 0,887. Ved kombinasjon av SF med LC3 vil en gunstig verdi for flytbarhet på 50-70% oppnås ved bruk av 0-15% SF og 0-10% LC3. Ved økning av SF og WB samtidig, vil 5% økning av SF gi 1 cm mindre flytbarhet, mens 5% økning av WB vil øke flytbarheten med 2,5 cm. Ved økning av MV og SF samtidig, vil påvirkningen av 100 l/m³ MV være 2,5 ganger mer enn 10% økning av SF.

Tabell 5.2: Flytbarhet med innhold av SF

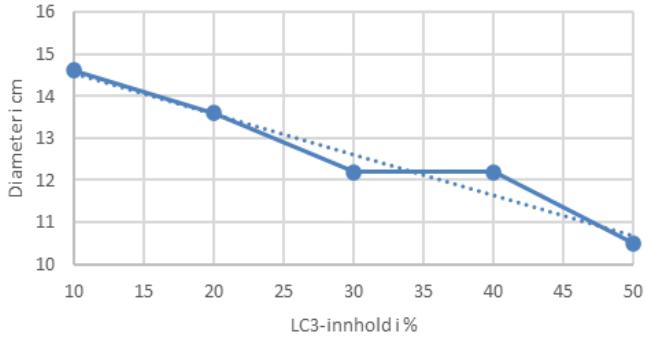
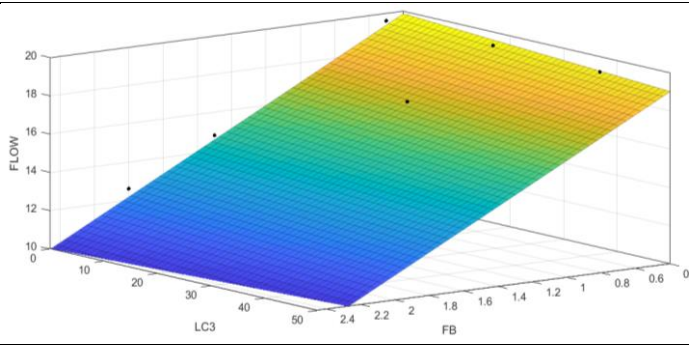
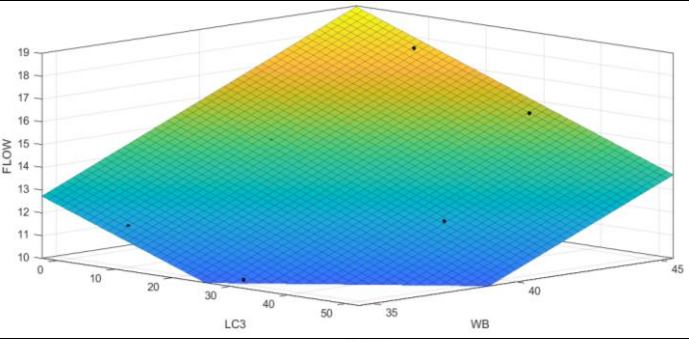
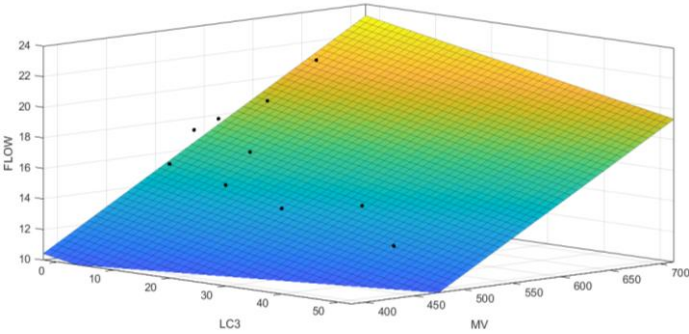




Påvirkning av LC3 på flytbarhet

Tabell 5.3 viser grafer for blandinger med en og to variabler, med deres påvirkning på flytbarhet. Påvirkning av LC3 i blandinger med LC3-innhold fra 10 til 50% gir en tørr betong. For et mer økende innhold av LC3, vil betongen få en mindre flytbarhet. En kombinasjon av LC3 med FB vil gi en tørrere betong, hvor påvirkningen av FB er mye mer enn LC3. Ved økning av LC3 og WB samtidig vil påvirkningen av WB være litt mer enn LC3, hvor 5 økning av WB fører til 3 cm økt flytbarhet, mens 20% økning av LC3 gir 2 cm mindre flytbarhet. Økning av LC3 med MV vil ha samme påvirkning, hvor 100 l/m³ økning av MV vil gi 3 ganger mer flytbarhet enn 20% økning av LC3.

Tabell 5.3: Flytbarhet med innhold av LC3

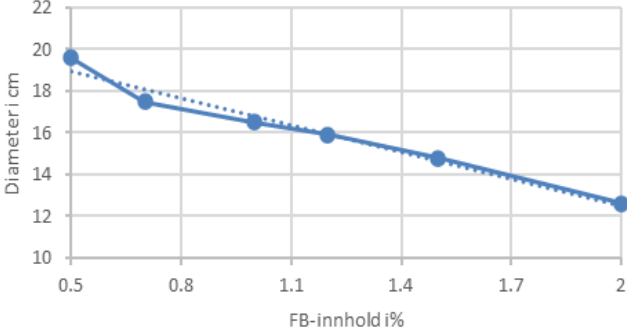
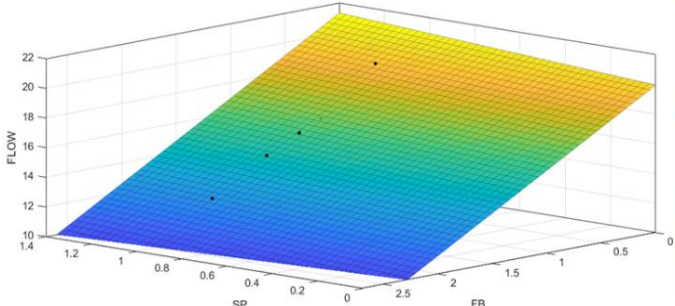
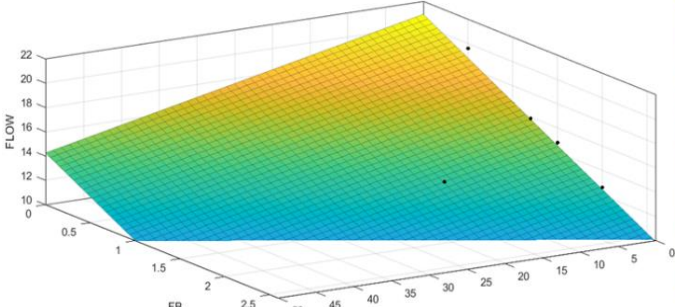
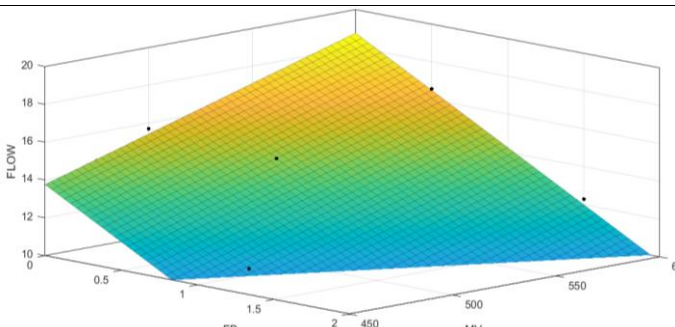
	<p style="text-align: center;">LC3</p> $f(x) = -0.096x + 15.5$ $R^2 = 0.9474$
	<p style="text-align: center;">LC3-FB</p> $f(x,y) = 21.77 - 4.8x - 0.017y$ $SSE = 4.649$ $R^2 = 0.907$ $RMSE = 0.815$
	<p style="text-align: center;">LC3-WB</p> $f(x,y) = -7 - 0.096x + 0.565y$ $SSE = 0.733$ $R^2 = 0.986$ $RMSE = 0.323$
	<p style="text-align: center;">LC3-MV</p> $f(x,y) = -4.688 - 0.07x + 0.038y$ $SSE = 24.46$ $R^2 = 0.8768$ $RMSE = 1.277$

Påvirkning av fiber på flytbarhet

Tabell 5.4 viser grafer for blandinger med en og to variabler, med deres påvirkning på flytbarhet. Grafen for innhold kun av FB viser en lineær oppførsel av flytbarheten, hvor flytbarheten reduseres med en relativt konstant hastighet. Det vil si at for hver 0,5% økning av FB, vil flytbarhet reduseres med omtrent 2 cm. Ved økning av FB og SP samtidig, er

påvirkningen av 0,5% økning av FB omtrent 4 ganger mer enn 0,5% økning av SP. Ved kombinasjon av FB med SF, vil påvirkningen av 0,5% økning av FB være 2 ganger mer enn 10% økning av SF. For blanding med innhold av FB, vil 100 l/m³ økning av MV, føre til økning av flytbarhet med 3 cm.

Tabell 5.4: Flytbarhet med innhold av LC3

	<p style="text-align: center;">FB</p> $f(x,y) = -4.2843x + 21.077$ $R^2 = 0.968$
	<p style="text-align: center;">FB-SP</p> $f(x,y) = 19.94 + 0.975 x - 4.348 y$ $SSE = 1.793$ $R^2 = 0.949$ $RMSE = 0.506$
	<p style="text-align: center;">FB-SF</p> $f(x,y) = 20.91 - 0.133 x - 4.236 y$ $SSE = 1.675$ $R^2 = 0.960$ $RMSE = 0.489$
	<p style="text-align: center;">FB-MV</p> $f(x,y) = -1.18 - 4.507 x + 0.033 y$ $SSE = 1.031$ $R^2 = 0.969$ $RMSE = 0.414$

5.2.2 Ekstrudering

Påvirkning av superplastiserende på ekstrudering

Lav flytbarhet fører til mislykket ekstrudering, dersom det ønskes å få en gjennomførbar ekstrudering må blandingene ha en riktig mengde av parameterne. SP-innhold på mindre enn 0,7% vil gi mislykket ekstrudering, ettersom blandingene med 0 til 0,4% SP-innhold gav lavt flytbarhet. Blanding med SF-innhold på 5% med en SP-innhold på minst 0,4% vil muliggjøre en ekstrudering, men dersom SF-innhold økes til 15% må SP økes til minst 0,7% for å kunne få en gjennomførbar ekstrudering. I blanding SP-LC3 må innholdet av SP være minst 1% for å muliggjøre ekstrudering med LC3 på 20%, dersom LC3 økes til 40% må SP økes til 1,3% for en gjennomførbar ekstrudering. Ved bruk av SP 0,7% må MV være minst 500 l/m³ for å få til ekstrudering. Ved WB på 35% må SP være på minst 1,3%, mens ved å bruke WB 40% kan SP 0,7% også brukes. For resultat av ekstrudering henvises det til kapittel 4.2.

Påvirkning av silikastøv på ekstrudering

Ved bruk av 5% SF kan ekstrudering gjennomføres ved minst 0,4% SP, WB 40% og MV 500. Ved økning av SF til 20% må SP økes til minst 1%. Ved kombinasjon av SF og LC3, kan opptil 10% SF og opptil 20% LC3 brukes, uten noe problem for ekstrudering. For resultat av ekstrudering henvises det til kapittel 4.2.

Påvirkning av LC3 på ekstrudering

For å kunne ekstrudere en blanding med innhold av 10% LC3, må MV være minst 500, WB 40% og SP 1%. Økes MV-innhold til 525 l/m³, kan man bruke opptil 30% LC3 for godkjent ekstrudering. Ved kombinasjon av LC3 med FB var det ikke mulig å ekstrudere. MV øktet til 600 l/m³ og WB til 50%, men fremdeles var ekstrudering ikke mulig, ettersom fiber ville blokkere dysen. For resultat av ekstrudering henvises det til kapittel 4.2.

Påvirkning av fiber på ekstrudering

For alle blandinger som inneholdt FB var det ikke mulig å ekstrudere betongen, selv om betongen var veldig bløt. Fiber gjør betongen klumpete og ekstrudering gjennom en 1,5 cm dyse er ikke mulig, viser resultatene. For ekstruderingsresultater av blandinger med betong, henvises det til kapitlet om resultater. For resultat av ekstrudering henvises det til kapittel 4.2.

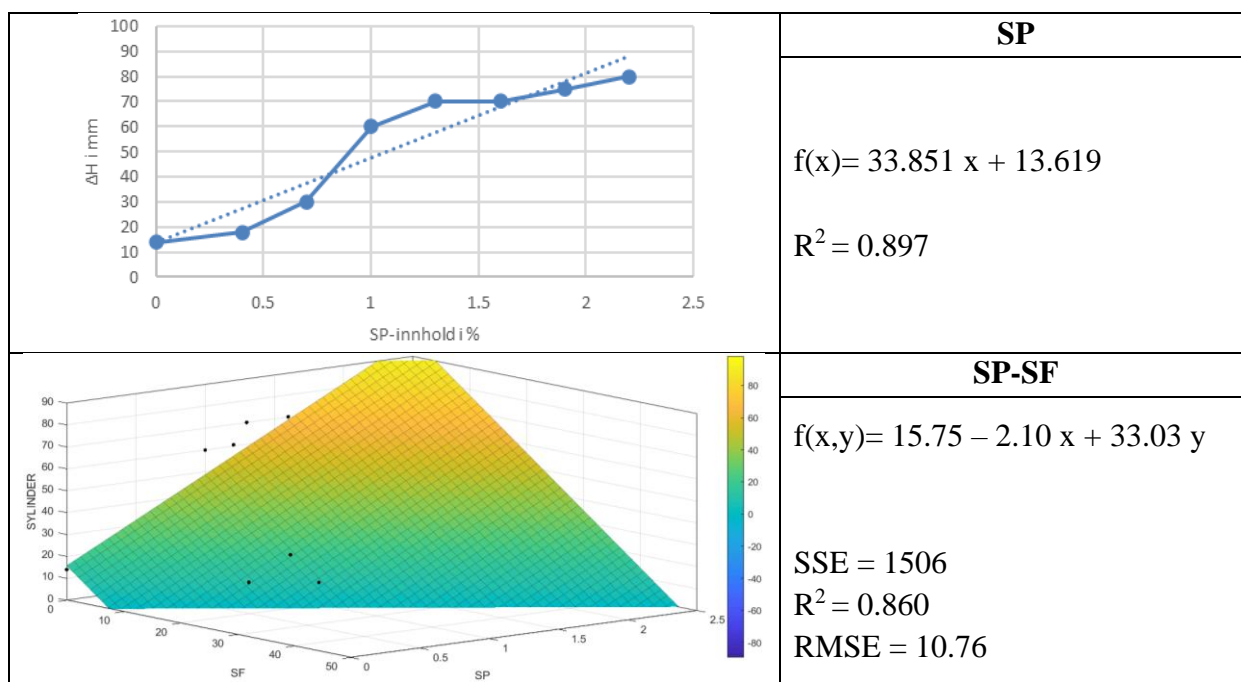
5.2.3 Sylindertest

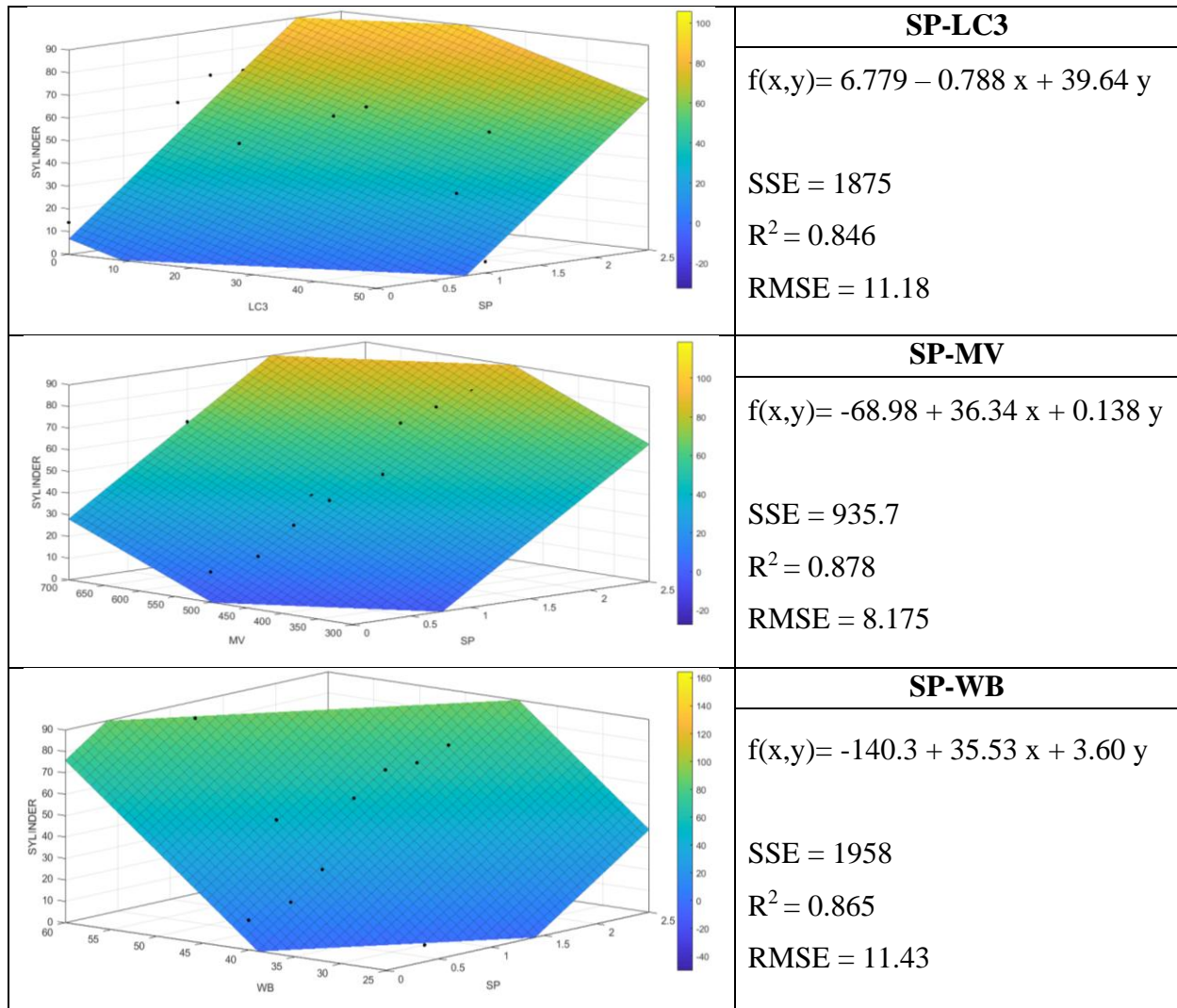
Påvirkning av superplastiserende på byggharhet

Grafen for sylindertest som inneholder kun superplastiserende stoff (SP) viser at et økende SP fører til at betongen får mer deformasjon. Dette kan vises ved å se på blanding med 0% SP-innhold hadde en deformasjon på 15 mm, mens blandingen med 1% SP hadde en deformasjon på 60 mm. Tilsetning av 10% SF fører til en reduksjon av deformasjon med 20 mm. Påvirkningen av 10% økning av SF på høydeformasjon er omtrent 1,2 ganger mer enn påvirkningen av 0,5% økning av SP. Ved kombinasjon av SP med LC3, vil 10% økning av LC3 føre til omtrent 10 mm mindre deformasjon, mens 0,5% økning av SP fører til 20 mm mer deformasjon.

Ved økning av SP og MV samtidig, vil økning av 100 l/m³ MV føre til 14 mm økning i høydedeformasjon. Dette vil si at 100 l/m³ økning av MV vil påvirke sylindrestabiliteten med omtrent like mye deformasjon som 0,5% økning av SP. Ved økning av SP og WB samtidig, vil påvirkningen være omtrent lik, hvor 0,5% økning av SP og eller 5% økning av WB gir 20 mm økende høydedeformasjon.

Tabell 5.5: Sylindertest med innhold av SP

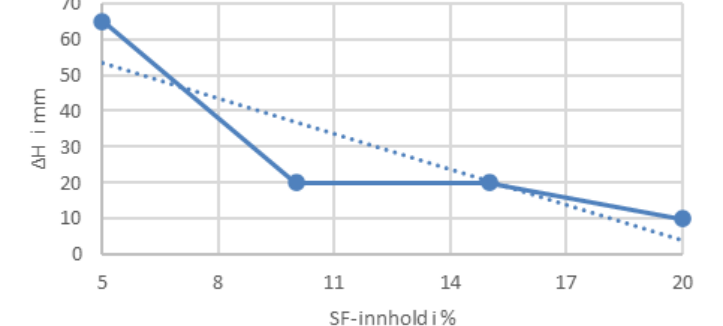
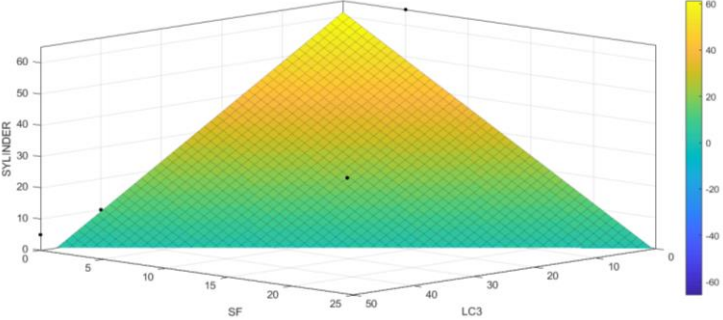
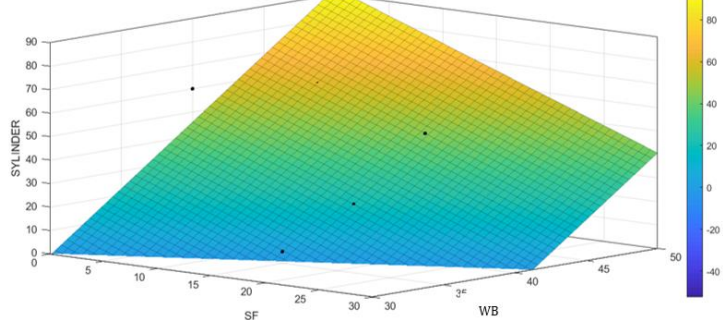
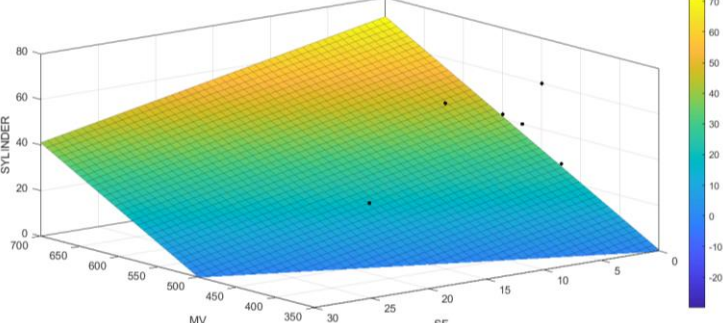




Påvirkning av silikastøv på byggbarhet

SF i blandingen gir en bedre fasthet for betongen. Grafen SF-2D viser en økende mengde av SF gir mindre deformasjon. For 5% innhold av SF hadde betongen en deformasjon på 65 mm, men for 10% SF hadde den en deformasjon på 20 mm. Dette viser ved å tilsette kun 10% SF, vil betongen få en bedre formstabilitet. Effekten av LC3 på SF vil føre til at begge gir en bedre formstabilitet. Ved å se på 10% SF og 20% LC3 vil det gi en deformasjon på 25 mm, og 10% LC3 med 20% SF vil ha en deformasjon på mindre enn 10 mm. WB har store effekt på SF blanding, hvor 40% WB med 5% SF gir 40 mm deformasjon, mens 30% WB med 5% SF gir ingen deformasjon. MV 700 l/m³ med 30% SF gir en deformasjon på 40 mm, mens MV 500 l/m³ med 30% SF gir ingen deformasjon.

Tabell 5.6: Sylindertest med innhold av SF

	<p style="text-align: center;">SF</p> $f(x) = -3.3x + 70$ $R^2 = 0.748$
	<p style="text-align: center;">SF-LC3</p> $f(x,y) = 61.31 - 2.487x - 1.3y$ $SSE = 717.7$ $R^2 = 0.775$ $RMSE = 10.13$
	<p style="text-align: center;">SF-WB</p> $f(x,y) = -140.2 - 1.72x + 4.65y$ $SSE = 443.4$ $R^2 = 0.885$ $RMSE = 8.597$
	<p style="text-align: center;">SF-MV</p> $f(x,y) = -70.4 + 0.202x - 1.015y$ $SSE = 1565$ $R^2 = 0.771$ $RMSE = 11.42$

Påvirkning av LC3 på byggbarhet

Grafen for LC3 viser at økende mengde av LC3 vil gi mindre deformasjon for betongen. 10% LC3 hadde en deformasjon på 45 mm, mens 20% LC3 hadde en deformasjon på 15 mm. Grafen LC3-FB viser påvirkning av FB på LC3, der 1% FB med 10% LC3 vil ha en deformasjon på 60 mm og 2% FB med 10% LC3 vil ha en deformasjon på 20 mm. Dette viser

at økende mengde av FB vil påvirke LC3 blandingene. Grafen LC3-WB viser at 10% LC3 med 40% WB vil ha en deformasjon på 40 mm, men samme LC3 innhold med 50% WB vil gi en deformasjon på 85 mm. Grafen LC3-MV viser påvirkning av MV på LC3, blandingen med 10% LC3 og 700 l/m³ MV vil ha en deformasjon på 65 mm, men 10% LC3 med 500 l/m³ MV vil gi deformasjon på 40 mm.

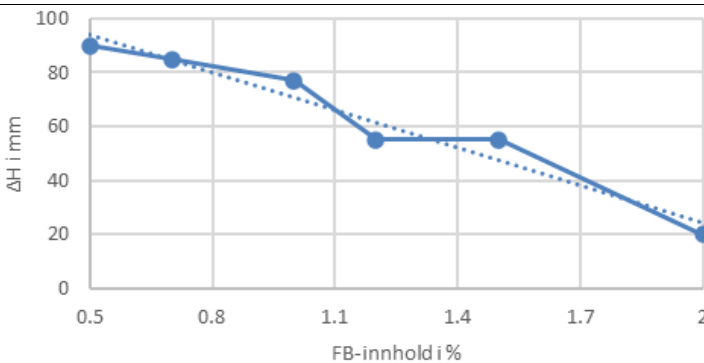
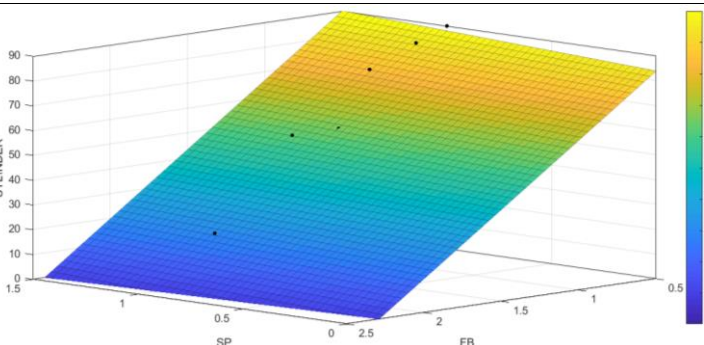
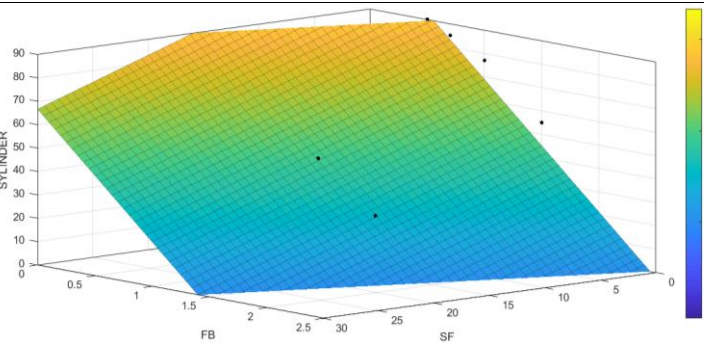
Tabell 5.7: Sylindertest med innhold av LC3

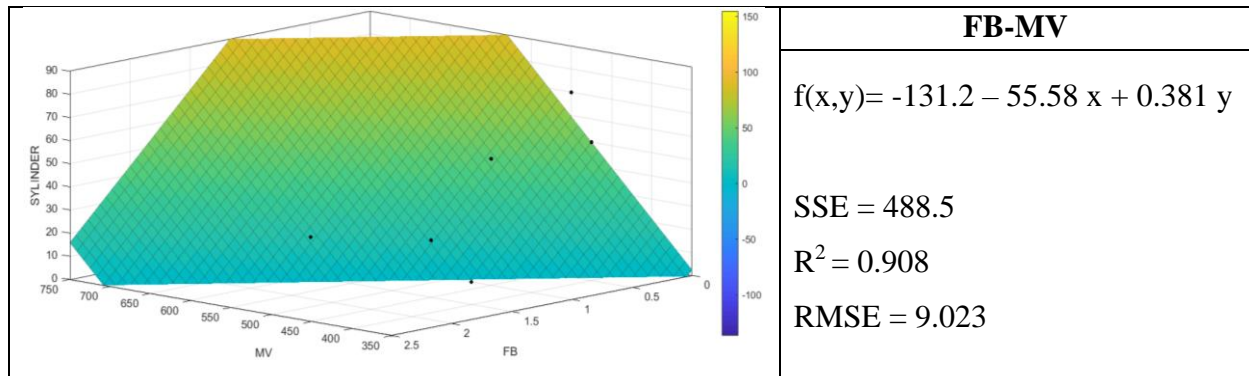
	<p style="text-align: center;">LC3</p> $f(x) = -0.85x + 42.5$ $R^2 = 0.7015$
	<p style="text-align: center;">LC3-FB</p> $f(x,y) = 107.1 - 39.5x - 0.963y$ $SSE = 753.1$ $R^2 = 0.823$ $RMSE = 10.37$
	<p style="text-align: center;">LC3-WB</p> $f(x,y) = -164.8 + 5.15x - 0.735y$ $SSE = 511.8$ $R^2 = 0.873$ $RMSE = 9.236$
	<p style="text-align: center;">LC3-MV</p> $f(x,y) = -68.46 + 0.195x - 0.537y$ $SSE = 909.6$ $R^2 = 0.857$ $RMSE = 8.061$

Påvirkning av fiber på byggharhet

Grafen FB viser at økende FB vil fører til bedre stabilitet. 0.5% FB hadde en deformasjon på 90 mm, mens 1.2% vil ha en deformasjon på 55 mm, noe som er halvert på deformasjonen og 2% FB gir 20 mm deformasjon. Påvirkning av SP på FB vises på grafen FB-SP, det er tydelig at SP har ikke så mye påvirkning på FB og det er FB som er dominerende effekten i denne blandingen. Påvirkning av SF på FB vises på FB-SF grafen, 1% FB med 10% SF vil gi en deformasjon på 50 mm, men 1% FB med 20% SF gir en deformasjon på 20 mm. Sammenligne disse med 1.5% FB vil gir 25-30 mm på 10% SF og 5-10 mm på 20% SF. Påvirkning av MV på FB vises på grafen FB-MV, der økende MV gir høyere deformasjon. 1% FB med 450 l/m³ MV gir null deformasjon, men 1% FB med 700 l/m³ MV gir en deformasjon på 50 mm.

Tabell 5.8: Sylindertest med innhold av FB

	<p style="text-align: center;">FB</p> $f(x) = -46.355x + 116.97$ $R^2 = 0.9495$
	<p style="text-align: center;">FB-SP</p> $f(x,y) = 107.3 + 4.167x - 46.82y$ $SSE = 819.5$ $R^2 = 0.8258$ $RMSE = 10.82$
	<p style="text-align: center;">FB-SF</p> $f(x,y) = 116.4 - 1.66x - 47.54y$ $SSE = 389.7$ $R^2 = 0.931$ $RMSE = 7.462$



5.2.4 Green strength

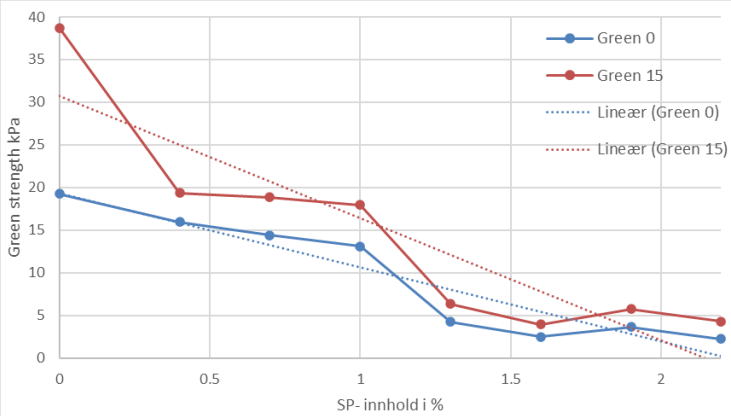
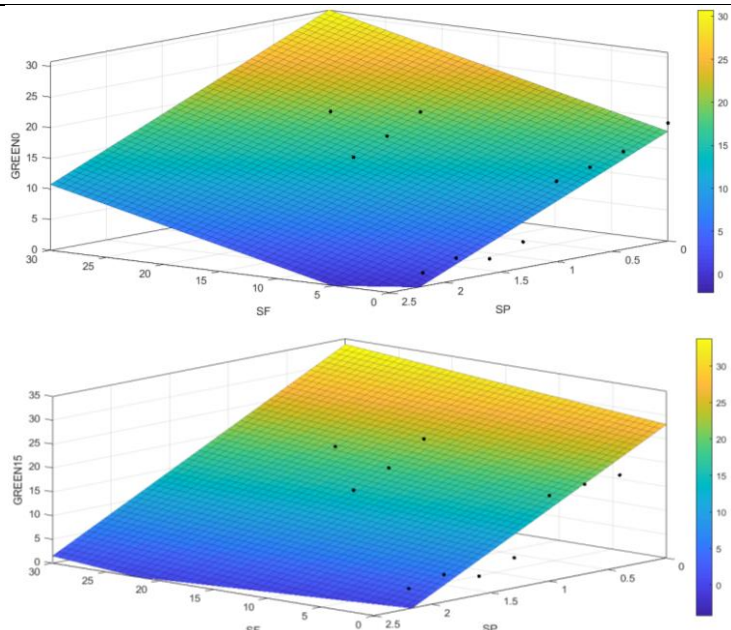
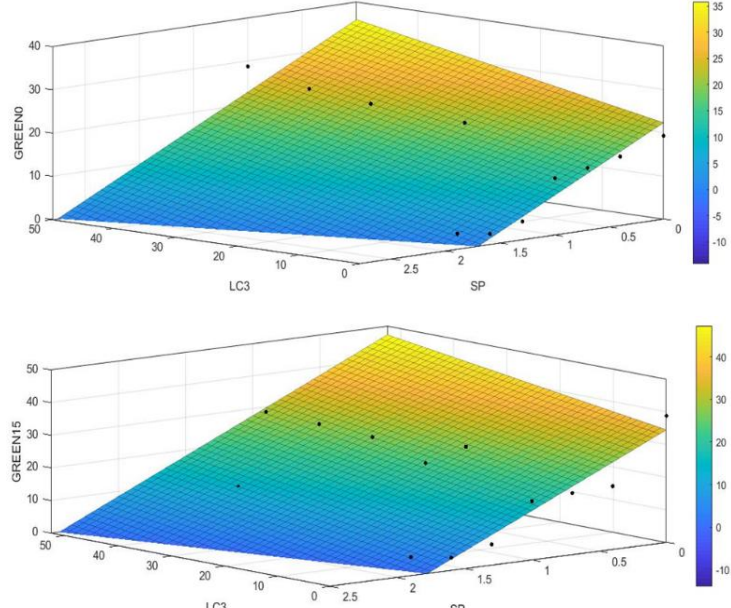
Påvirkning av superplastiserende på green strength

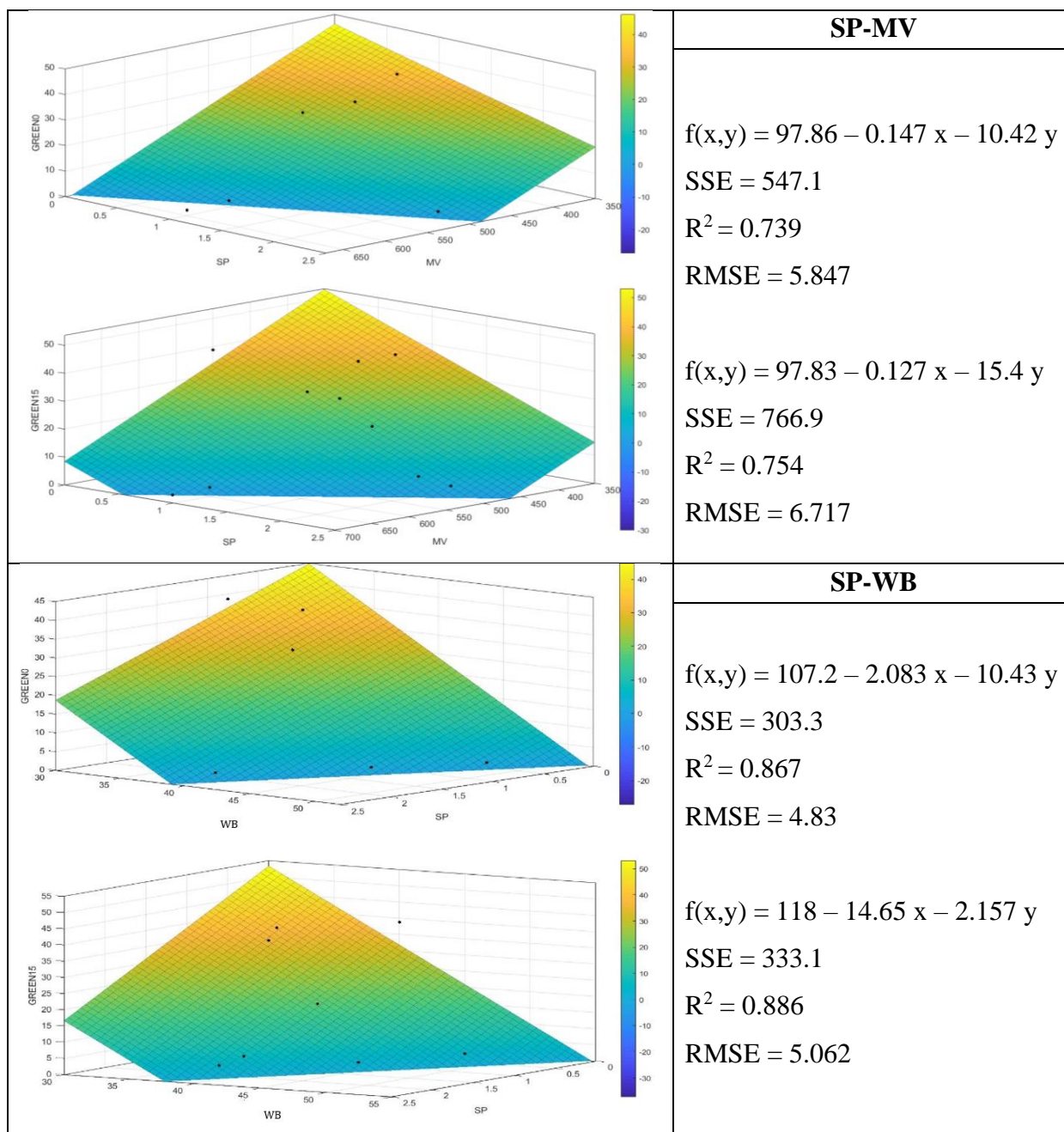
Tabellen 5.9 viser grafer for blandinger med SP-innhold, grafer har både en og to variabler. Ved å se på grafen for kun SP-blandinger, er det ganske tydelig at økende SP-innhold vil redusere betongens byggbarhet. Med høy SP-innhold vil det føre til lav fasthetsutvikling i løpet av 15 minutter, og det er pga. betongen med høy SP stoff trenger mer enn 15 minutter for å bli tørr. Ved å se på tabell 4.4 kan man se at fasthetsutvikling på blanding med SP 0% er 19,5 kPa, mens fasthetsutvikling på blanding med SP 2,2% er 2 kPa.

Ut ifra green strength 0 for SP-SF kan man se at effekten av 0,5% SP økning vil redusere betongens byggbarhet med 5 kPa, men effekten for 5% SF vil øker betongens byggbarhet med 3 kPa. Dette viser at SP har større effekt på byggbarhet en SF. SP har også mye høyre effekt en LC3, ved å øke LC3 med 10% vil betongens byggbarhet økes kun med 3 kPa. Ved økning 5% av WB vil betongens byggbarhet minker med 10 kPa, det samme vil skje hvis MV økes med 60 l/m³. Mens det trenges kun 1% av SP for å oppnå det samme effekten, 10 kPa.

Green strength 15 minutt til SP-SF viser at fasthetsutviklingen er mye mindre med SF økning på 5% og konstant SP, enn hvis vi holder SF konstant og øker SP med 0,5%. Det samme viser grafen til SP-LC3, endring av SP-innhold har en større påvirkning på fasthetsutvikling enn endring av LC3-innhold. Mens grafen SP-MV viser at SP og MV har den samme påvirkningen på fasthetsutvikling. SP-WB grafen viser at SP og WB har nesten den samme påvirkningen, mens SP har litt mer påvirkning enn WB.

Tabell 5.9: Green strength med innhold av SP

	<p style="text-align: center;">SP</p> <p>Green 0: $f(x) = -8.6841 x + 19.302$ $R^2 = 0.8951$</p> <p>Green 15: $f(x) = -14.316 x + 30.696$ $R^2 = 0.82$</p>
	<p style="text-align: center;">SP-SF</p> <p>$f(x,y) = 17.88 + 0.429 x - 8.017 y$ SSE = 77.04 $R^2 = 0.862$ RMSE = 2.534</p> <p>$f(x,y) = 28.04 + 0.19 x - 12.9 y$ SSE = 265.2 $R^2 = 0.762$ RMSE = 4.701</p>
	<p style="text-align: center;">SP-LC3</p> <p>$f(x,y) = 22.28 + 0.271 x - 13.03 y$ SSE = 342.5 $R^2 = 0.70$ RMSE = 4.946</p> <p>$f(x,y) = 34.45 + 0.244 x - 19.36 y$ SSE = 374 $R^2 = 0.79$ RMSE = 5.169</p>



Påvirkning av silikastøv på green strength

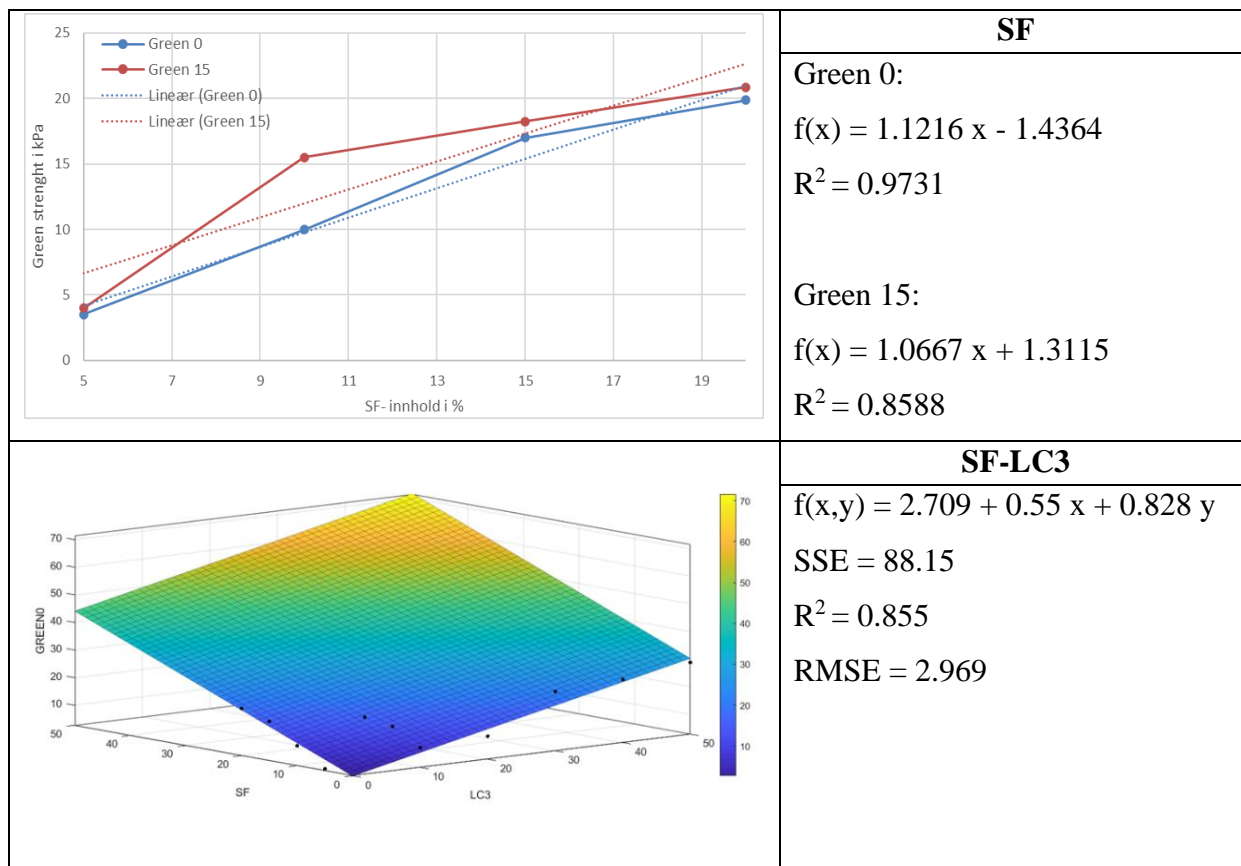
Tabellen 5.10 viser grafer for blandinger med SF-innhold, grafene har både en og to variabler. Ved å se på grafen for kun SF-innhold, viser at blanding med 20% av SF-innhold vil tåle mer vekt enn blanding med 5% av SF-innhold. Dette viser at SF som tilsetningsstoff gjør betongens byggharhet bedre, dersom vi øker mengden av stoffet. Fasthetsutvikling er ikke så stor etter 15 minutter, og den er nesten lik i de 4 blandinger. Ved å se på tabell 4.4 kan man se

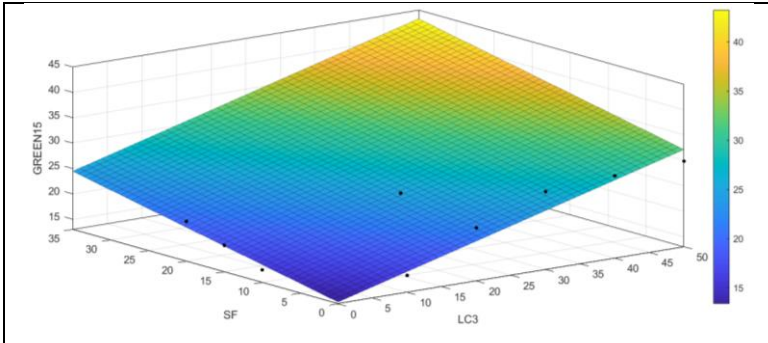
at fasthetsutvikling på blanding med SF 5% er 0,5 kPa, og fasthetsutvikling på blanding med SF 20% er 1 kPa.

Ut ifra green strength 0 for SF-LC3 kan man se både økende mengde av LC3 og SF vil øke betongens byggbarhet. Økning med 10% SF vil øke betongens byggbarhet med 6 kPa, og økning med 10% LC3 vil øker betongens byggbarhet med 8 kPa. Dette viser at LC3 har større effekt på betongens byggbarhet. Ved å se på grafen til SF-WB kan vi se at effekten til SF har blitt redusert. WB har mye store effekt på byggbarheten enn SF, ved å øke WB med 10% vil byggbarheten reduseres med 25 kPa. MV har også stor påvirkning på betongens byggbarhet sammenlignet med SF, ved å øke MV med 50 l/m³ vil byggbarhet reduseres med 12 kPa.

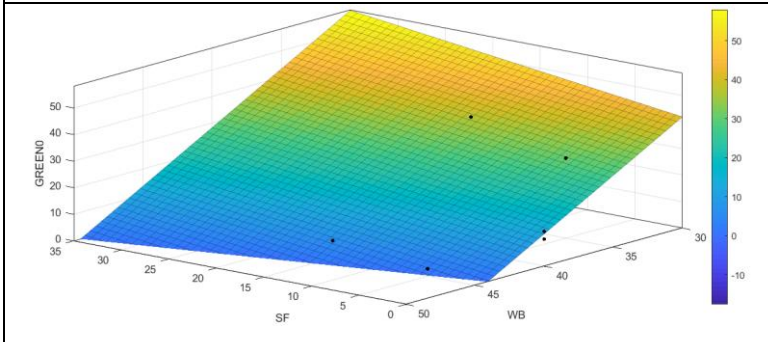
Green strength 15 minutter til SF-LC3 blanding viser at SF og LC3 har nesten samme påvirkning på fasthetsutvikling. Mens blandinger med høy WB innhold vil ha veldig lite fasthetsutvikling, siden blanding med høy WB trenger mer tid for å bli tørr. SF-MV grafen viser veldig lite fasthetsutvikling, og ved økende MV mengden vil fasthetsutvikling reduseres.

Tabell 5.10: Green strength med innhold av SF



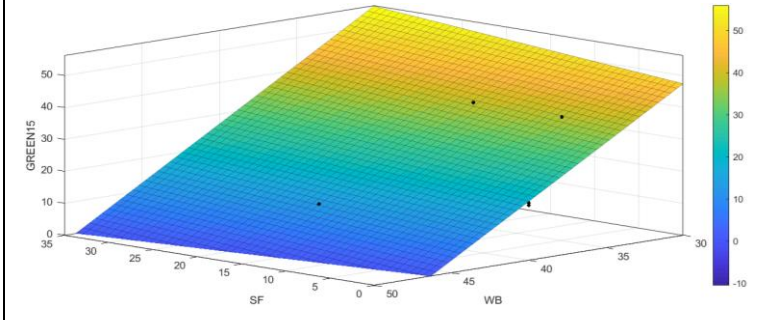


$f(x,y) = 13.35 + 0.376 x + 0.317 y$
 $SSE = 61.93$
 $R^2 = 0.798$
 $RMSE = 2.623$

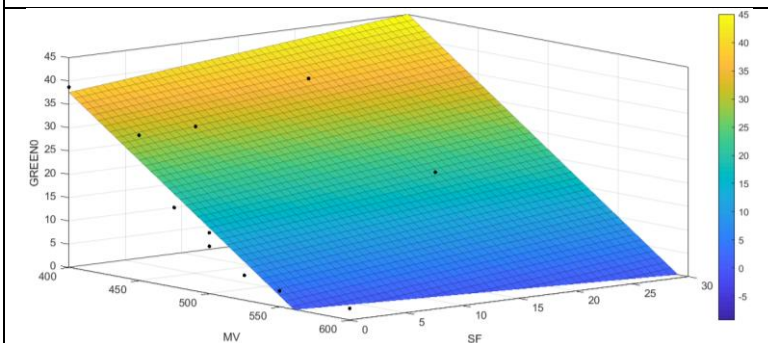


SF-WB

$f(x,y) = 131 + 0.461 x - 2.973 y$
 $SSE = 96.52$
 $R^2 = 0.91$
 $RMSE = 4.011$

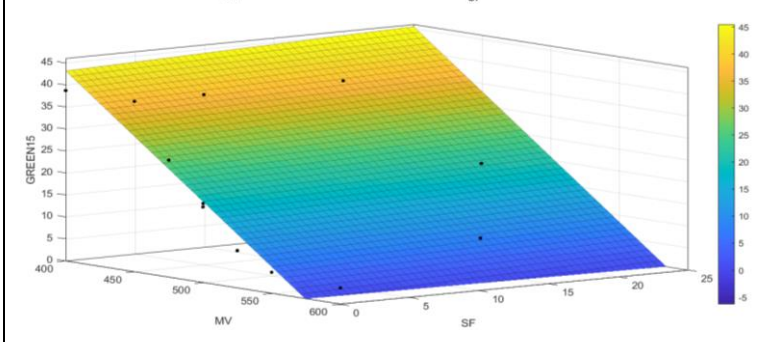


$f(x,y) = 134.4 + 0.243 x - 2.9 y$
 $SSE = 129.6$
 $R^2 = 0.869$
 $RMSE = 4.648$



SF-MV

$f(x,y) = 131.2 - 0.234 x + 0.248 y$
 $SSE = 499.1$
 $R^2 = 0.803$
 $RMSE = 6.196$



$f(x,y) = 142.2 - 0.247 x + 0.091 y$
 $SSE = 553.8$
 $R^2 = 0.80$
 $RMSE = 6.527$

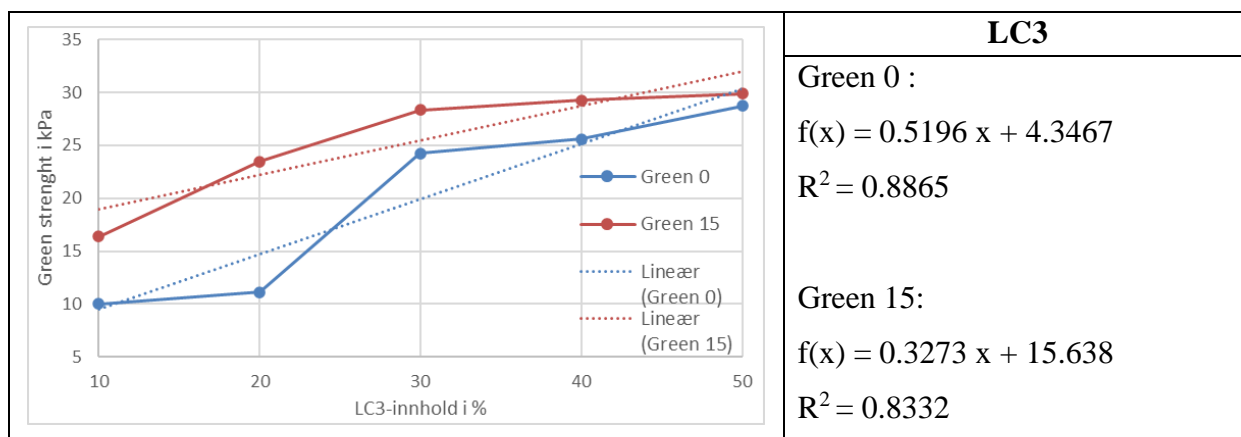
Påvirkning av LC3 på green strength

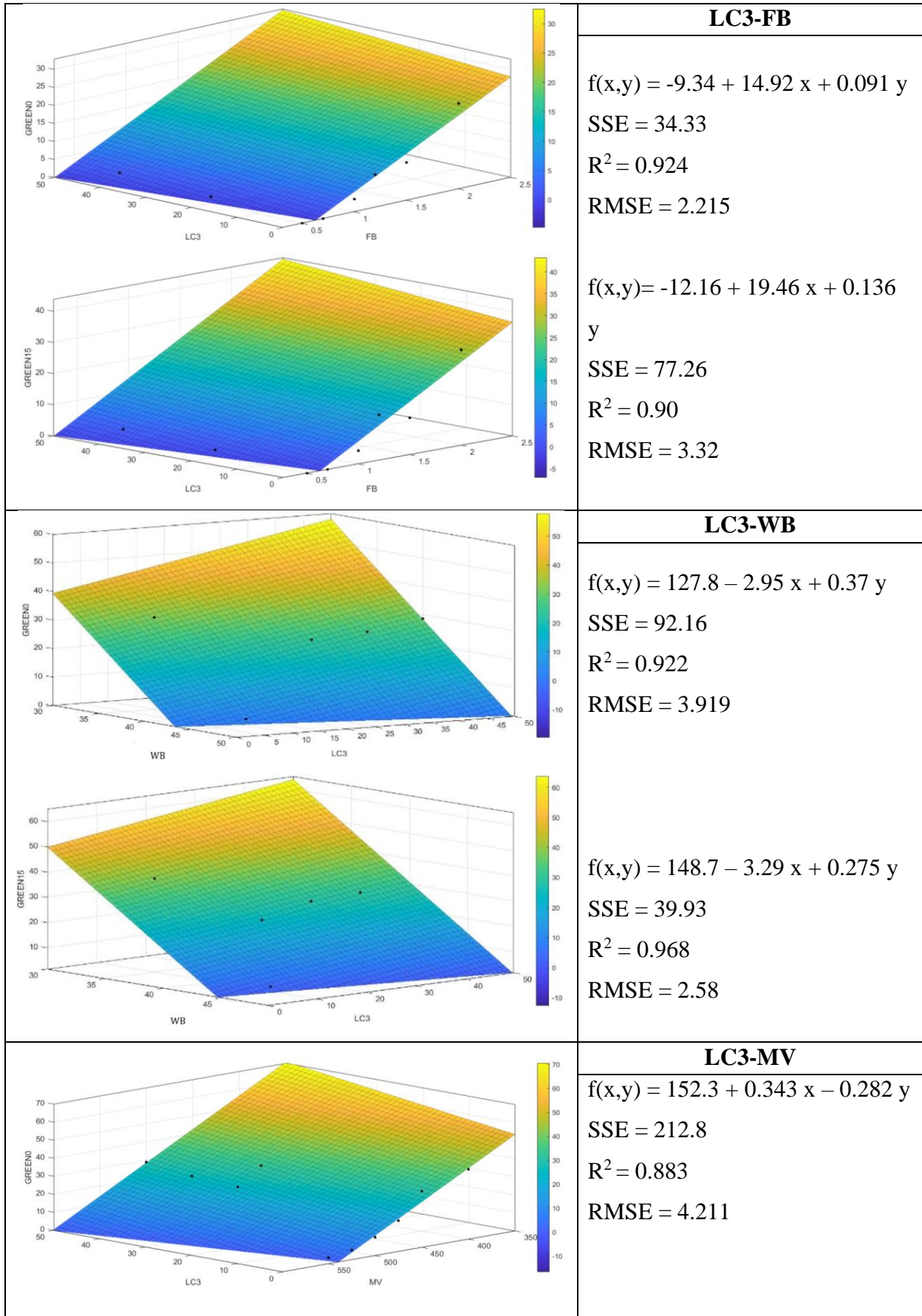
Tabell 5.11 viser grafer for blandinger med LC3-innhold, grafer har både en og to variabler. Ved å se på grafen for kun LC-blandinger, er det ganske tydelig at økning av LC3-innhold vil betongen få en bedre stabilitet og tåler mer vekt. Med 10-20% LC3-innhold vil det gi mer fasthetsutvikling etter 15 minutter enn 40-50% LC3-innhold, som grafen viser. Ved å se på tabell 4.4 kan man se at fasthetsutvikling på blanding med LC3 10% er 6 kPa, mens fasthetsutvikling på blanding med LC3 50% er 1 kPa.

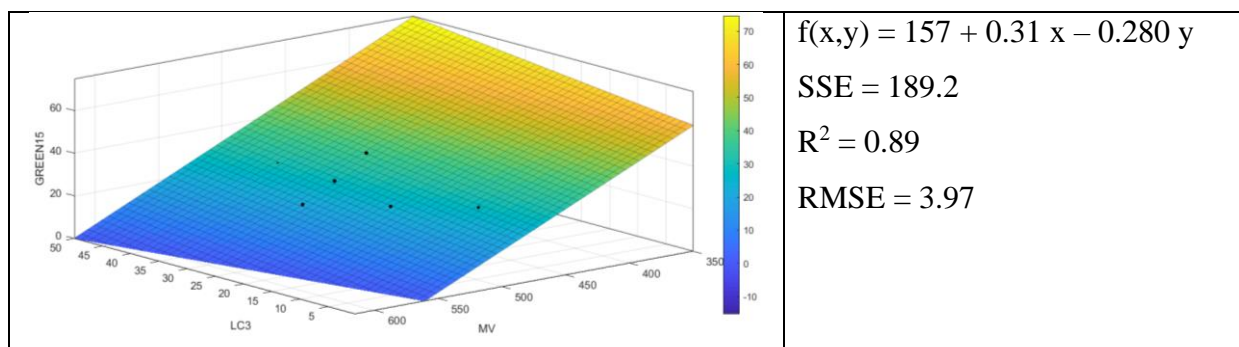
Ut ifra green strength 0 for LC3-FB kan man se at effekten av 1% FB økning vil øke betongens byggbarhet med 15 kPa, men effekten for 10% LC3 økning vil betongens byggbarhet øker med kun 1 kPa. LC3 har nesten ingen påvirkning på betongens byggbarhet sammenlignet med FB. WB har også større påvirkning enn LC3, ved å øke WB med 5% vil betongens byggbarhet reduseres med 15 kPa. Betongens byggbarhet vil også reduseres med 15 kPa ved å øke MV med 50 l/m³, som grafen LC3-MV viser.

Green strength 15 minutter for blanding LC3-FB viser at fasthetsutviklingen er mye mindre ved å holde FB konstant og øke LC3 med 10%, enn å holde LC3 konstant og øker FB med 1%. Grafen til LC3-WB viser med minkende LC3 eller økende WB vil det gi mindre fasthetsutvikling, siden betongen vil bli veldig våt og trenger mer tid for å tørke. Med økende mengde av MV vil det også gi mindre fasthetsutviklingen, som vist i grafen av LC-MV.

Tabell 5.11: Green strength med innhold av LC3







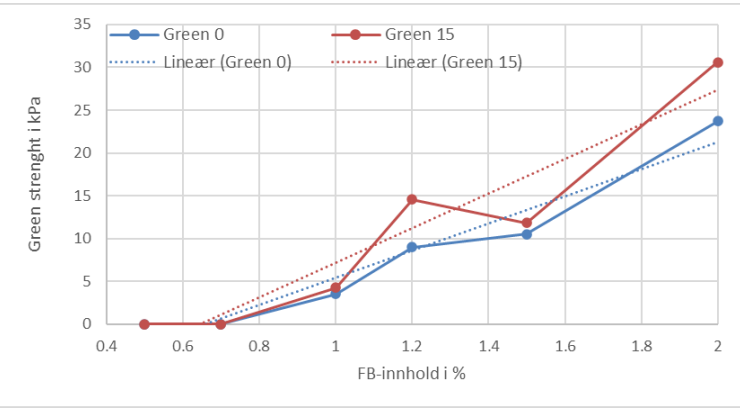
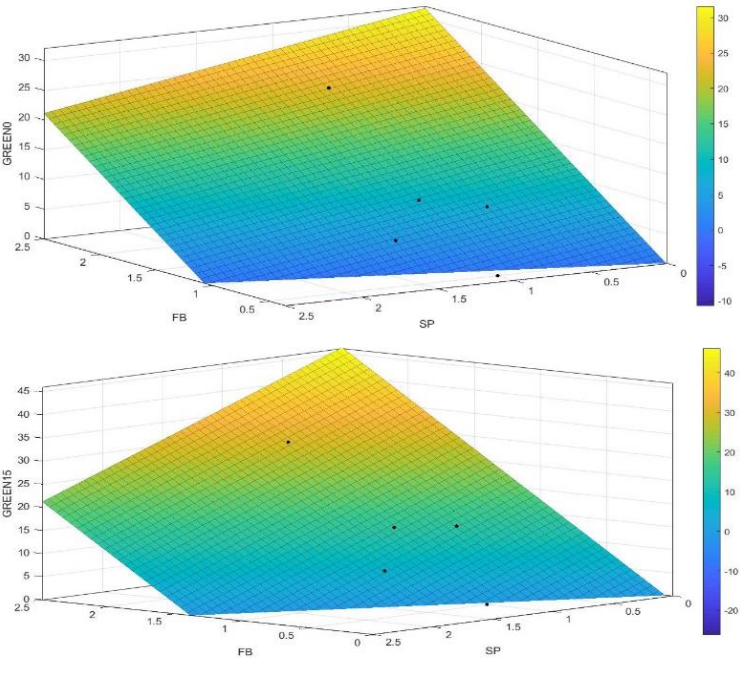
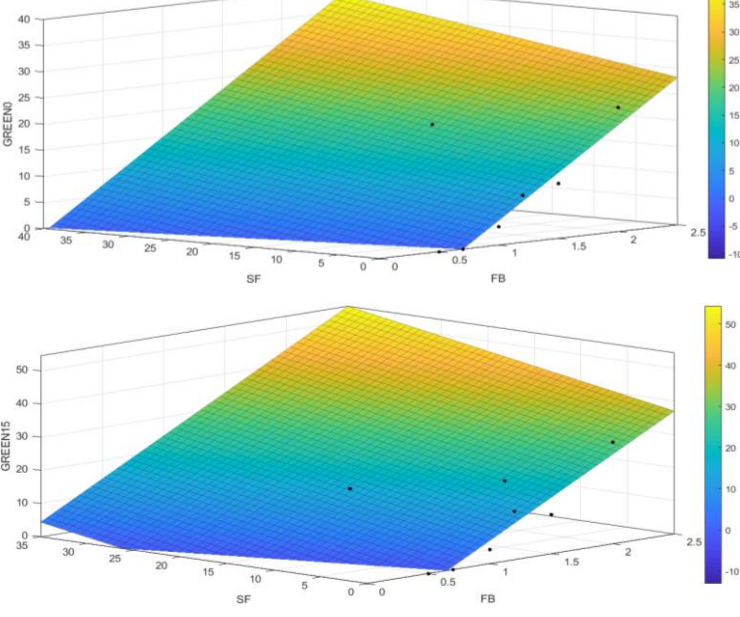
Påvirkning av fiber på green strength

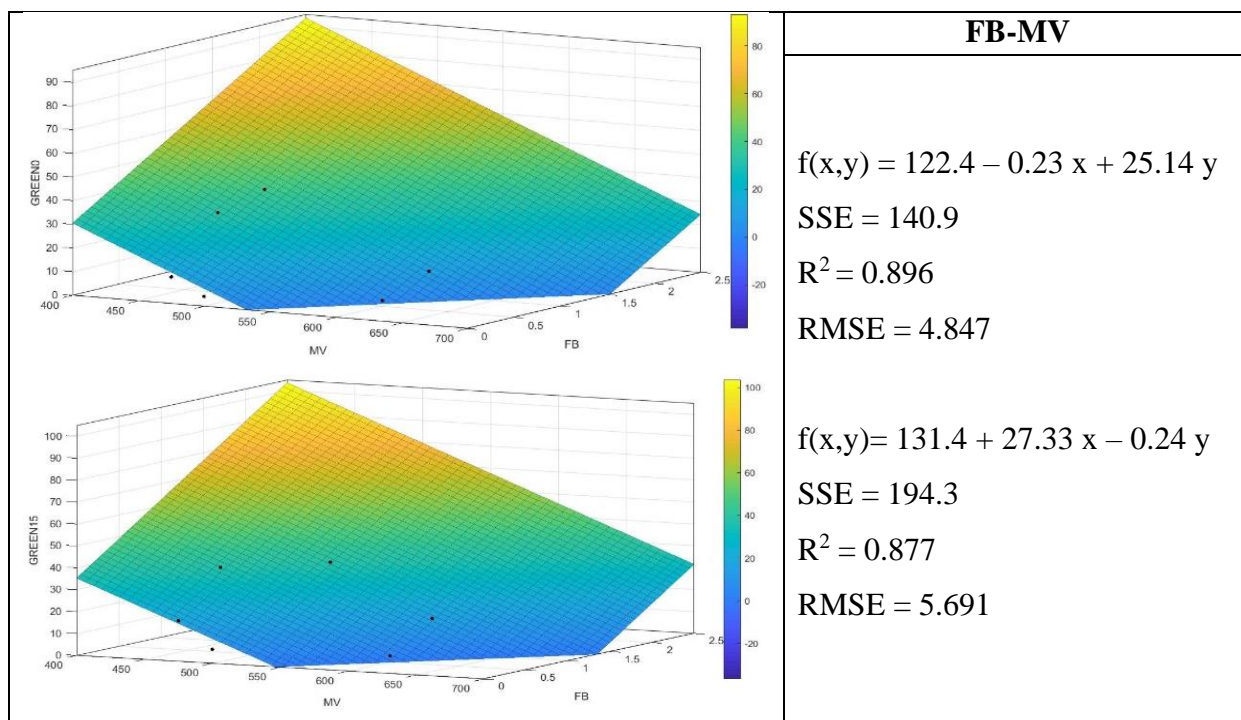
Tabellen 5.12 viser grafer for blandinger med FB-innhold, hvor grafene har både en og to variabler. Ved å se på grafen for kun FB-blandinger, er det tydelig at øking av FB-innhold vil øker betongens byggbarhet. Fasthetsutviklingen etter 15 minutter for blandinger med et fiberinnhold mindre enn 1% er lite merkbar. Men utover dette er det en klar fasthetsutvikling mellom 0 og 15 minutter, med en økende trend for begge.

Ut ifra green strength 0 for blanding FB-SP kan man økende mengde av SP vil betongens byggbarhet reduseres og økende mengde FB vil øke betongens byggbarhet. Ved å øke FB med 1% vil betongens byggbarhet økes med 15 kPa, og ved å øke SP med 1% vil betongens byggbarhet reduseres med 5 kPa. Dette viser at FB har større påvirkning på betongens byggbarhet enn SP. Både økning av FB og SF vil forbedre betongens byggbarhet, men SF har lite påvirkning i forhold til FB. Økning SF med 5% vil forbedre betongens byggbarhet med kun 2 kPa. Og økende MV med 50 l/m³ vil redusere med 11 kPa.

Green strength 15 minutt til FB-SP blanding viser at FB har mindre påvirkning på fasthetsutvikling enn SP, endring av SP-innhold vil påvirke betongens fasthetsutvikling i stor grad. vil være veldig liten og LC3 har nesten samme påvirkning på fasthetsutvikling. Mens FB-SF grafen viser at FB har større påvirkning på betongens fasthetsutvikling, enn SF. Både SF og MV har nesten lik påvirkning på betongens fasthetsutvikling, som den siste grafen i tabell 5.12 viser.

Tabell 5.12: Green strength med innhold av FB

	<p style="text-align: center;">FB</p> <p>Green 0: $f(x) = 15.899 x - 10.488$ $R^2 = 0.939$</p> <p>Green 15: $f(x) = 20.225 x - 13.054$ $R^2 = 0.8978$</p>
	<p style="text-align: center;">FB-SP</p> <p>$f(x,y) = -5.363 + 14.8 x - 4.208 y$ $SSE = 38.61$ $R^2 = 0.911$ $RMSE = 2.349$</p> <p>$f(x,y) = -1.135 + 18.93 x - 10 y$ $SSE = 96.89$ $R^2 = 0.8736$ $RMSE = 3.72$</p>
	<p style="text-align: center;">FB-SF</p> <p>$f(x,y) = -10.9 + 15.65 x + 0.253 y$ $SSE = 68.87$ $R^2 = 0.873$ $RMSE = 3.137$</p> <p>$f(x,y) = -13.03 + 20 x + 0.497 y$ $SSE = 82.49$ $R^2 = 0.9107$ $RMSE = 3.433$</p>



5.2.5 Penetrometer

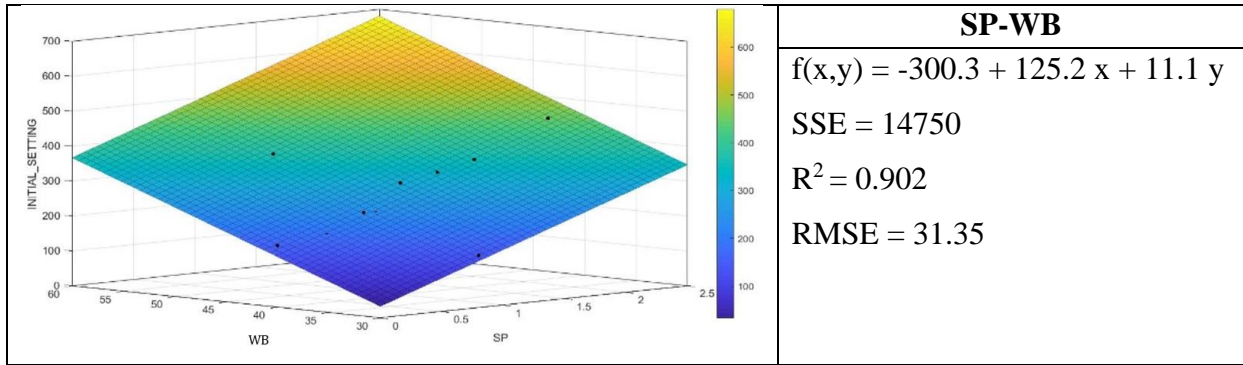
Påvirkning av superplastiserende på initial størkning

Tabell 5.13 inneholder grafer for blandinger med en og to variabler. Grafen for kun SP-blandinger viser at den initiale størkningen, for blandinger fra 0 – 2,2% SP, oppnås etter 180 – 450 minutter. Ved tilsetning av 10% SF vil tiden reduseres med omtrent 50 minutter, mens ved tilsetning av 10% LC3 vil tiden reduseres med omtrent 30 minutter. Ved å øke MV med 100 l/m³ vil den initiale størkningstiden økes med omtrent 50 minutter.

Den initiale størkningen påvirkes mye mer ved økning av SP, enn ved økning av SF, LC3 eller MV. Ved å øke SP med 0,5% vil størkningstiden økes med omtrent 75 minutter, mens ved økning av 5% SF reduseres det med kun 25 minutter. Økning av 10% LC3 eller 100 l/m³ MV ser ut til å gi samme påvirkning som SF. Økning av WB og SP ser ut til å gi samme effekt, hvor 5% økning i WB og eller 0,5% økning i SP gir samme økning av initial størkningstid.

Tabell 5.13: Initial størkning med innhold av SP

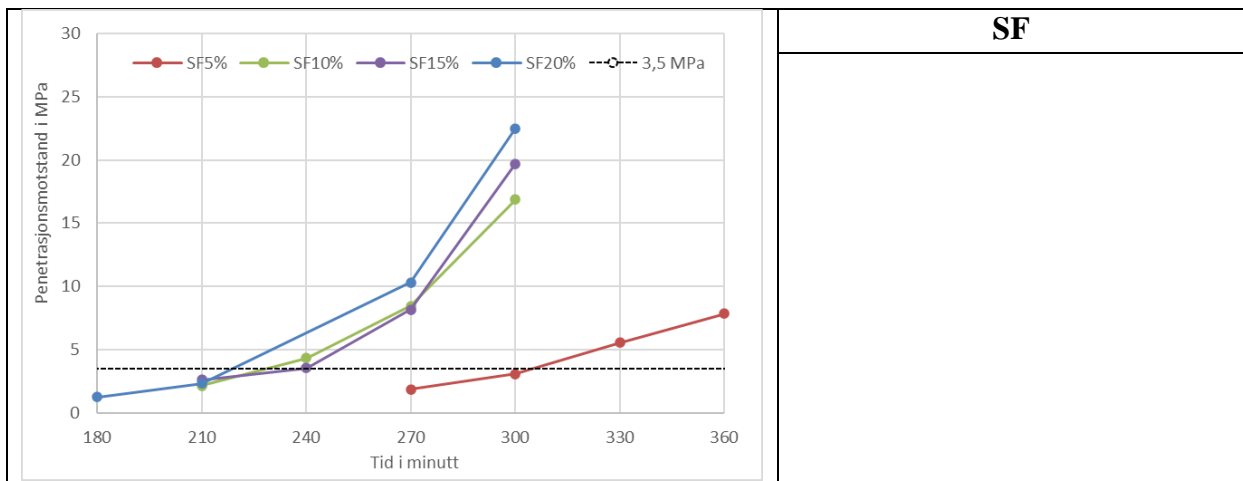
	<p>SP</p>
	<p>SP-SF</p> $f(x,y) = 154.7 + 128.2 x - 3.33 y$ <p>SSE = 11480 $R^2 = 0.888$ RMSE = 29.72</p>
	<p>SP-LC3</p> $f(x,y) = 159.6 - 3.06 x - 118.3 y$ <p>SSE = 15820 $R^2 = 0.875$ RMSE = 33.61</p>
	<p>SP-MV</p> $f(x,y) = -97.42 + 0.51 x + 118.4 y$ <p>SSE = 14710 $R^2 = 0.841$ RMSE = 29.42</p>

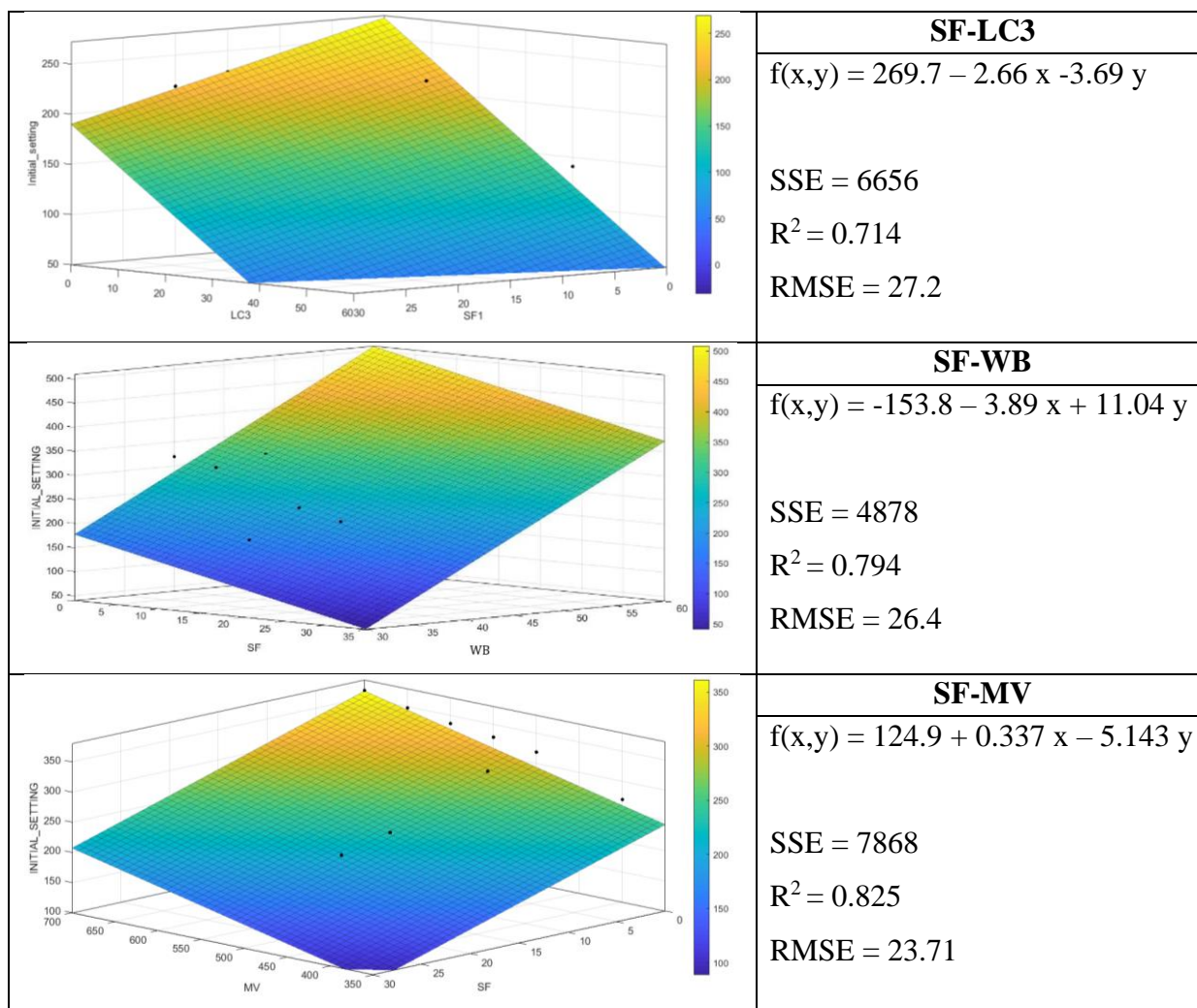


Påvirkning av silikastøv på initial størkning

Tabell 5.14 inneholder grafer for blandinger med en og to variabler. Grafen for kun SF-blandinger viser at den initiale størkningen, for blandinger fra 5 – 20% SF, oppnås etter 200 – 300 minutter. Ved kombinasjon av LC3 med SF vil initial størkning ha en synkende trend, hvor påvirkningen av LC3 vil være mer enn SF. Ved å øke WB og SF samtidig, ser det ut som påvirkningen av WB er dobbelt så mye som SF, hvor 5% økning av WB øker den initiale størkningstiden med 50 minutter, mens 5% økning av SF minker tiden med 25 minutter. Økning av 50 l/m³ ser ut til å gi omtrent samme effekt som 5% økning av SF, men motsatt rettet.

Tabell 5.14: Initial størkning med innhold av SF





Påvirkning av LC3 på initial størkning

Tabell 5.15 inneholder grafer for blandinger med en og to variabler. Grafen for kun LC3-blandinger viser at den initiale størkningen, for blandinger fra 10 – 50% LC3, oppnås etter 130 – 220 minutter. Ved kombinasjon av LC3 med FB vil påvirkningen være omtrent det samme, hvor 0,5% økning av FB vil minke tiden med 34 minutter, mens 10% økning av LC3 vil minke tiden med 31 minutter. Ved økning av LC3 og WB samtidig, kan man se at påvirkningen av WB på den initiale størkningstiden er dobbelt så mye som LC3. Mens ved økning av MV og LC3 er påvirkning lik.

Tabell 5.15: Initial størkning med innhold av LC3

<p>Penetrasjonsmotstand i MPa</p> <p>Tid i minutt</p> <p>Legend: LC50% (blue), LC10% (red), LC20% (green), LC30% (purple), LC40% (cyan), 3,5 MPa (dashed line)</p>	<p>LC3</p>
<p>INITIAL_SETTING</p> <p>LC3</p> <p>FB</p>	<p>LC3-FB</p> $f(x,y) = 430.5 - 52.67 x - 3.375 y$ <p>SSE = 3304</p> $R^2 = 0.8536$ <p>RMSE = 33.19</p>
<p>INITIAL_SETTING</p> <p>LC3</p> <p>WB</p>	<p>LC3-WB</p> $f(x,y) = -154.9 - 2.7 x + 10.13 y$ <p>SSE = 1869</p> $R^2 = 0.916$ <p>RMSE = 17.65</p>
<p>INITIAL_SETTING</p> <p>MV</p> <p>LC3</p>	<p>LC3-MV</p> $f(x,y) = 45.71 + 0.457 x - 3.11 y$ <p>SSE = 14210</p> $R^2 = 0.84$ <p>RMSE = 30.78</p>

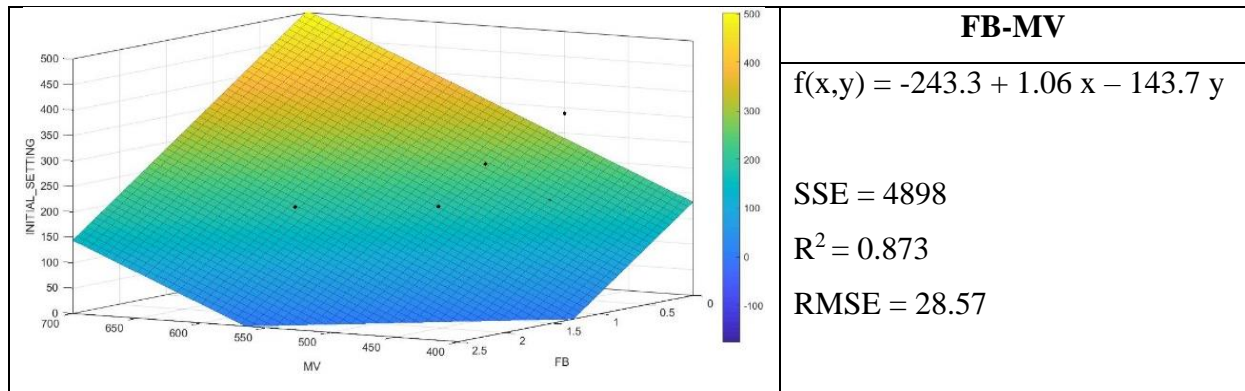
Påvirkning av fiber på initial størkning

Tabell 5.16 inneholder grafer for blandinger med en og to variabler. Grafen for kun FB-blandinger viser at den initiale størkningen, for blandinger fra 0,5– 2% FB, oppnås etter 260 –

390 minutter. Grafen for FB-SP viser at påvirkningen av FB på initial størkning er halvparten så mye som påvirkningen av SP. 0,5% økning av FB minker størkningstiden med 40 minutter, mens 0,5% økning av SP øker størkningstiden med 80 minutter. Motsatt er påvirkningen av FB på størkningstiden 1,5 ganger mer enn SF. Ved økning av MV og FB samtidig vil det være lite forskjell på påvirkningen av disse to parametere, hvor påvirkningen av MV er 28% mer enn FB.

Tabell 5.16: Initial størkning med innhold av FB

	<p>FB</p>
	<p style="text-align: center;">FB-SP</p> $f(x,y) = 253.8 - 83 x + 175.8 y$ <p>SSE = 1119 $R^2 = 0.954$ RMSE = 12.64</p>
	<p style="text-align: center;">FB-SF</p> $f(x,y) = 444.8 - 93.6 x - 2.22 y$ <p>SSE = 1129 $R^2 = 0.941$ RMSE = 12.7</p>



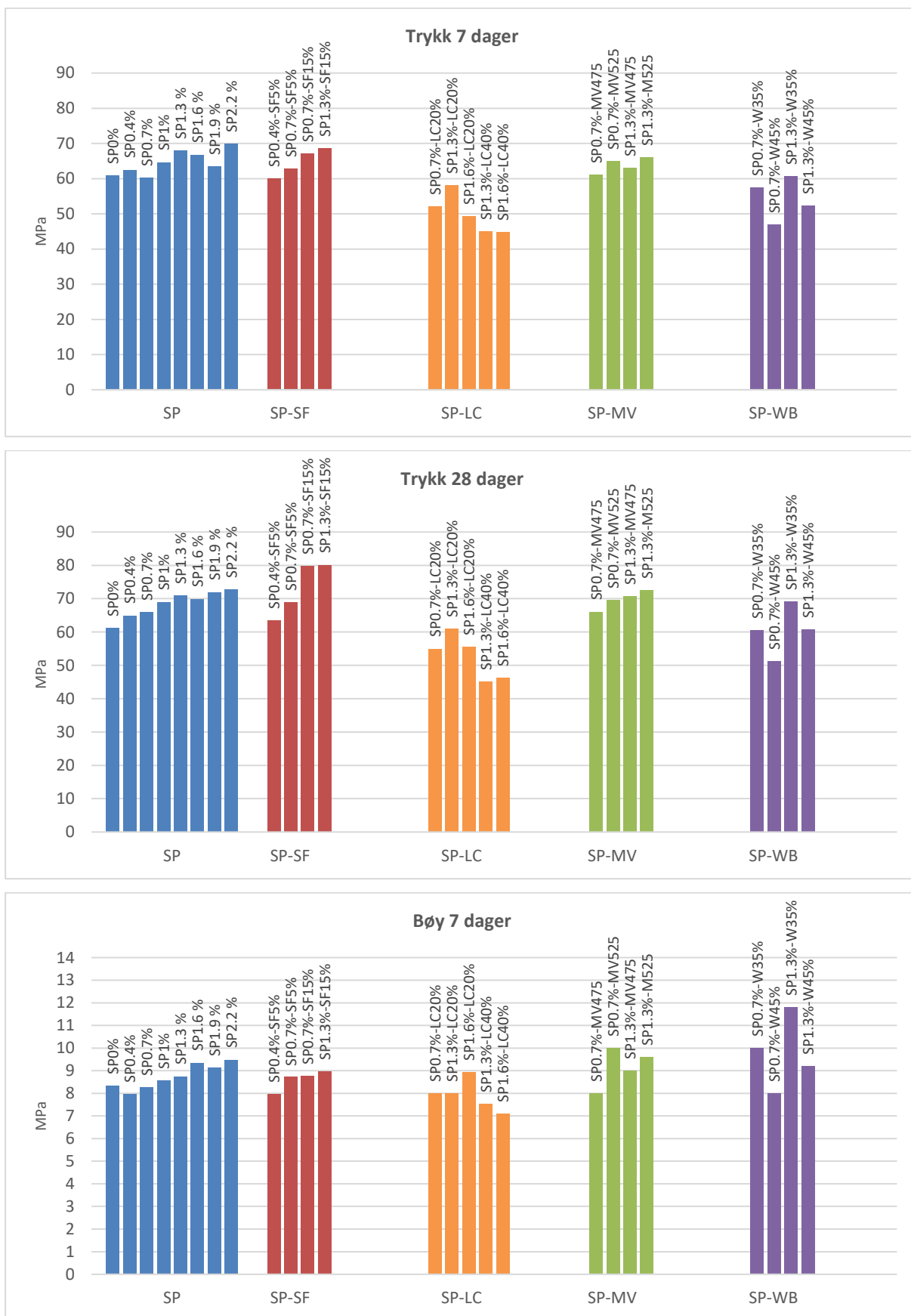
5.2.6 Bøy- og trykkfasthet

Påvirkning av superplastiserende på bøy- og trykkfasthet

Et SP-innhold fra 0-1,3% ser ut til å gi kontinuerlig økende trykkfasthet. Dette viser grafene for trykkfasthet etter 7 dager og 28 dager i graf 5.1. Kun SP 0,7% etter 7 dager ser ut til å gi avvik, noe som kan ha skjedd under testing av prismene. Fra SP 1,6-2,2% ser ut til ikke å gi et entydig (økende eller minkende) stigningstall. Dette vil si at maksimum verdi for SP dosering, hvor trykkfastheten øker, er 1,3%. Samme prinsipp gjelder for bøyefasthet, hvor SP-innhold fra 0,4-1,6% vil gi økende bøyefasthet. Men det som er verdt å merke seg er at 0 % SP-innhold ser ut til å gi større bøyefasthet enn 0,4% SP-innhold.

Tilsetting av SF ser ut til å gi økende trykkfasthet, hvor et SP-innhold på 0,7% eller 1,3% sammen med SF 15% gir stor økning i trykkfasthet etter 28 dager. Det motsatte gjelder ved tilsetting av LC3, hvor økning av LC3 medfører til lavere trykkfasthet. Ved 20% LC3 vil bruken av 1,3% SP gi omtrent 60 MPa trykkfasthet etter 28 dager, mens SP dosering mer eller mindre enn 1,3% gir lavere verdi. Bøyefastheten for en blanding med SP 1,6% og LC3 20% vil gi 9 MPa i bøyefasthet, mens blandinger med økende eller minkende verdier for SP og LC3 vil gi bøyefasthet mindre enn 8 MPa.

Økning av MV og SP samtidig vil gi økende trykkfasthet, hvor påvirkningen av 50 l/m³ MV økning er mer enn påvirkningen av 0,6% SP økning. Bøyefasthets grafen viser at en økning av MV fra 475 til 525 og konstant SP på 0,7% gir en bøyefasthet på henholdsvis 8 MPa og 10 MPa. Ved økning av WB og SP samtidig, vil effekten av disse to motvirke hverandre, hvor 10% økning av WB reduserer trykkfastheten med omtrent 10 MPa, mens ved 0,6% økning av SP øker trykkfastheten med omtrent 10 MPa. Samme effekt gjelder også bøyefastheten.



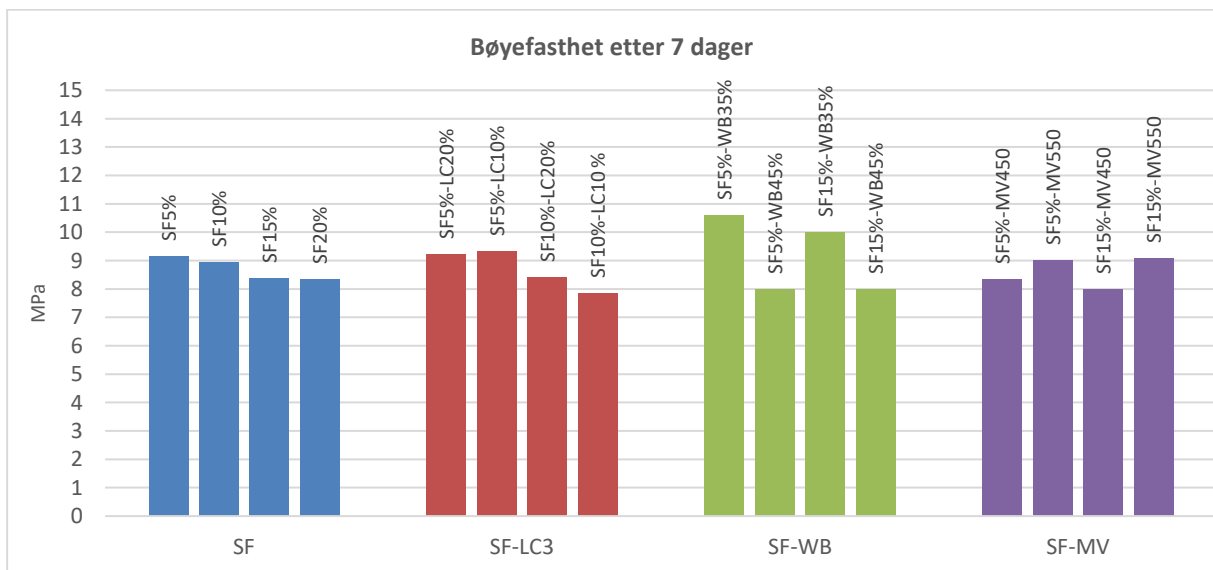
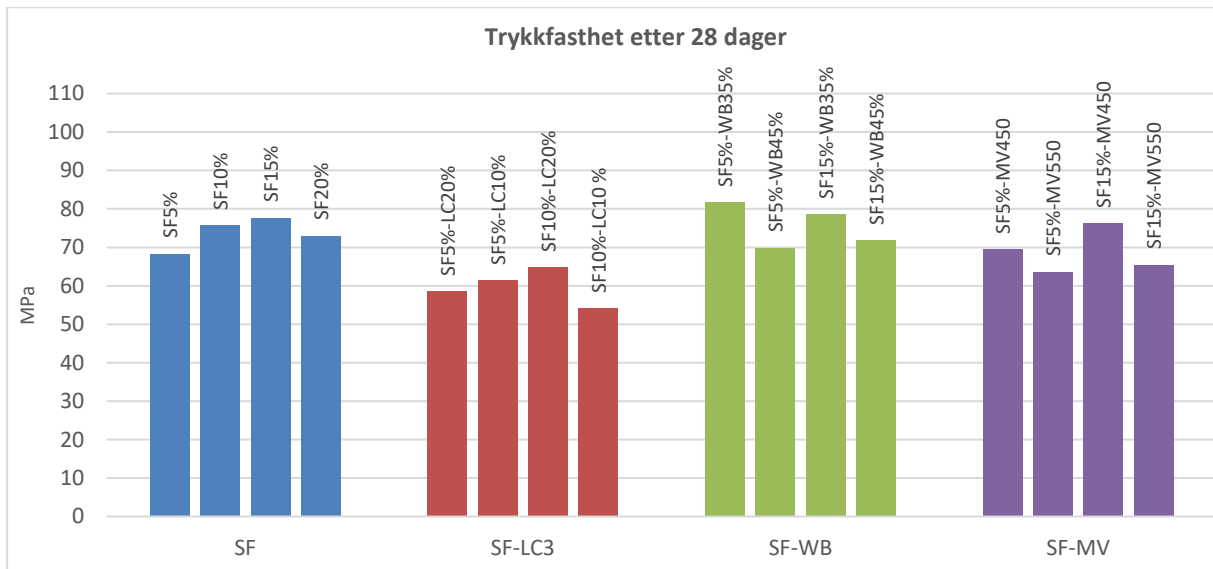
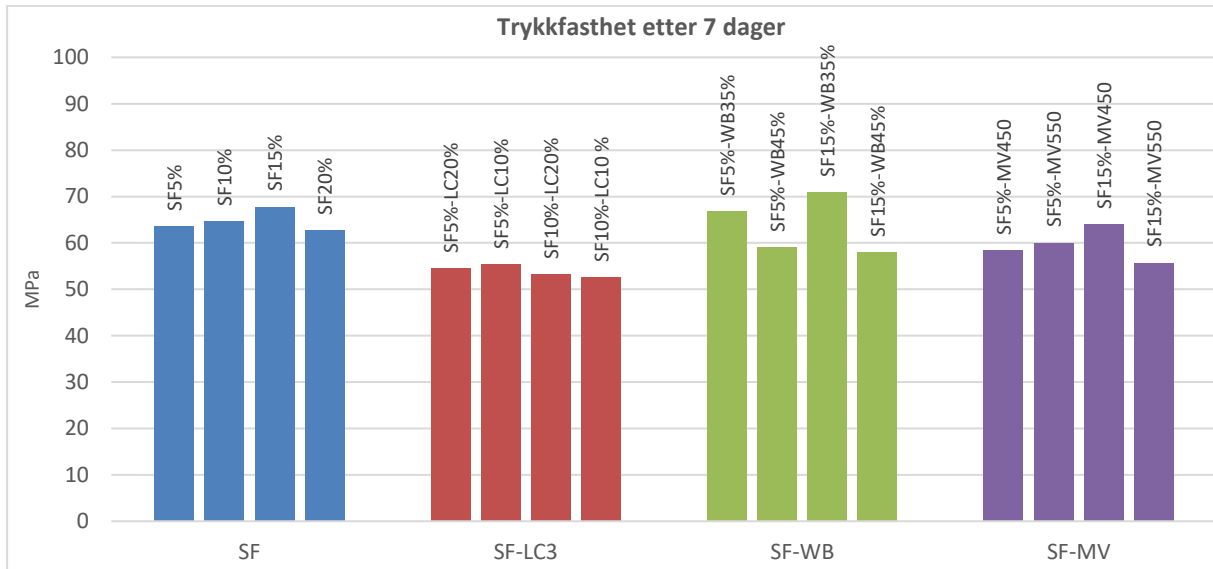
Graf 5.1: Påvirkning av SP på trykk- og bøyefasthet

Påvirkning av silikastøv på bøy- og trykkfasthet

Trykk og bøyefasthet grafer vises i graf 5.2 nedenfor. Ved økning av kun SF fra 5-15 % vil trykkfastheten ha en økende trend, men ved bruk av SF 20% vil trykkfastheten minkes. Dette vil si at opptil 15% innhold av SF i en blanding vil kunne bidra til mer trykkfasthet.

Bøyefastheten ser ut til å ha en minkende trend ved økning av SF fra 5 – 20%, med verdier fra 9 – 8 MPa. Kombinasjonen av SF med LC3 ser ut til å gi litt variert resultat, ettersom 20% økning i LC3 ved konstant SF på 10% ser ut til å gi omtrent 10 MPa mer trykkfasthet. Men 20% økning av LC3 ved konstant SF på 5% vil gi mindre trykkfasthet etter 28 dager. Generelt vil tilsetning av LC3 på en blanding med SF, gi mindre trykkfasthet enn en blanding med kun SF. Bøyefastheten ser ikke ut til å bli påvirket ved tilsetning av LC3 med SF.

50 l/m³ økning av MV ved konstant SF på 5% eller 15%, ser ut til å gi minkende trykkfasthet etter 28 ved begge tilfeller. Det motsatte gjelder bøyefasthet, hvor 50 l/m³ økning av MV og konstant SF fører til omtrent 1 MPa økning av bøyefasthet. Ved økning av WB og SF, vil økning av 10% WB og konstant SF føre til en reduksjon av trykkfasthet etter 28 dager på omtrent 10 MPa. Det samme gjelder bøyefastheten, bortsett fra at reduksjonen i bøyefastheten er på 2 MPa.

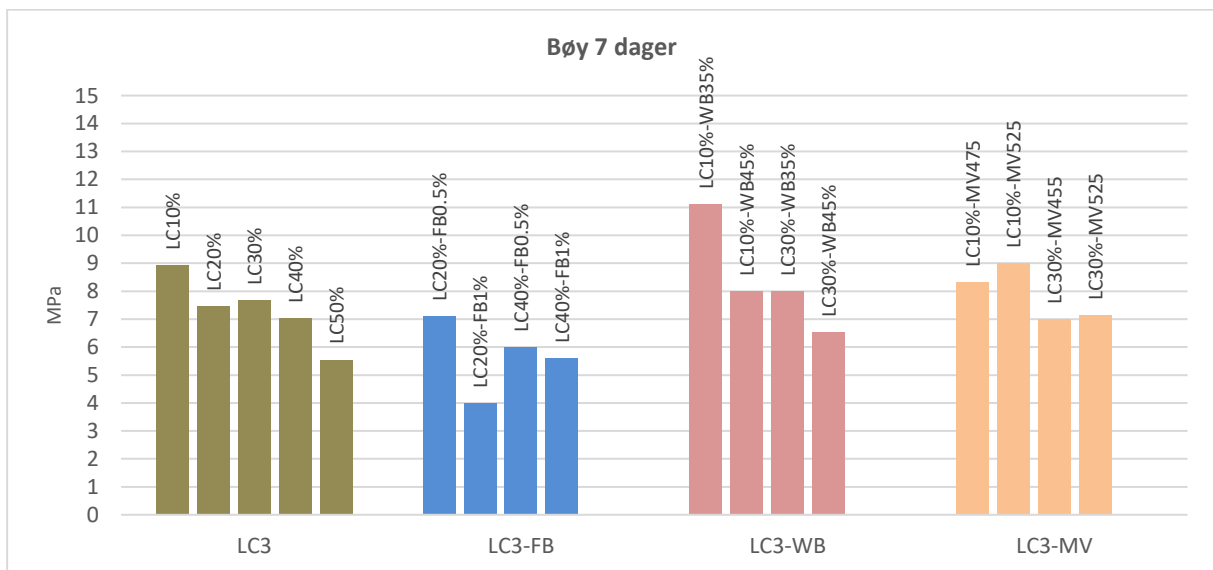
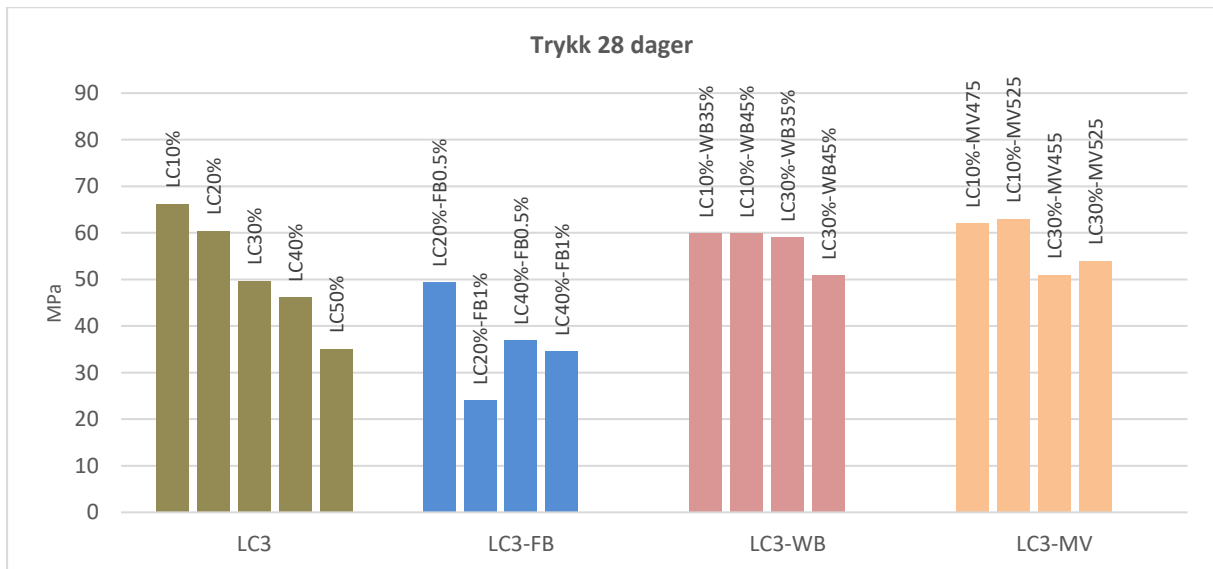
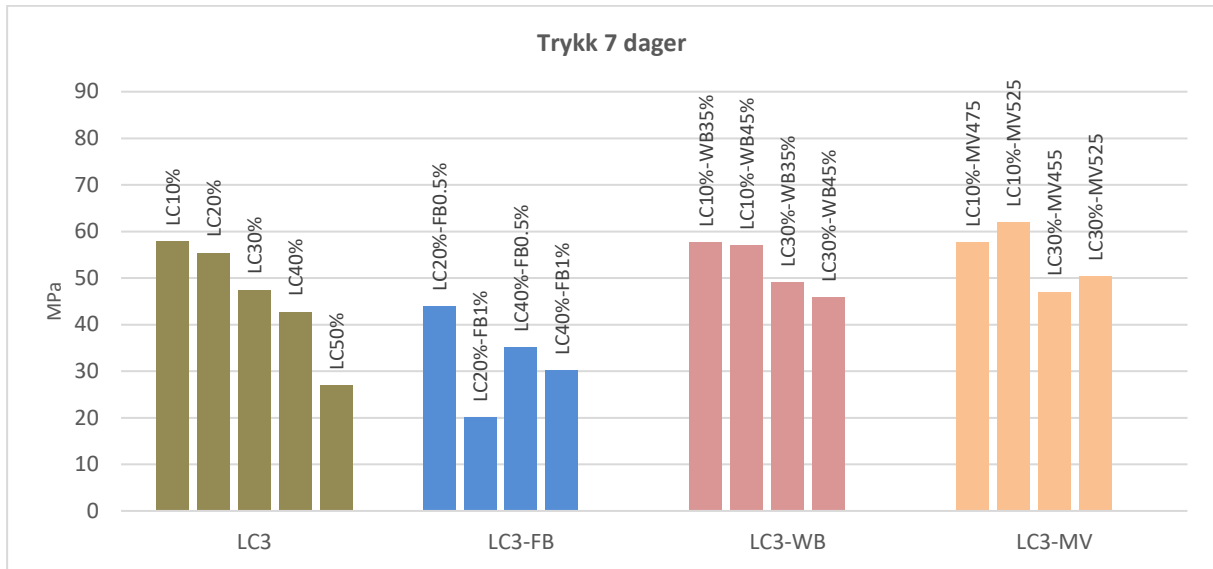


Graf 5.2: Påvirkning av SF på trykk- og bøyefasthet

Påvirkning av LC3 på bøy- og trykkfasthet

Økning av kun LC3 fra 10-50% fører til redusert trykkfasthet etter 28 dager hvor verdien synker fra 65 – 35 MPa. Ved kombinasjon av LC3 med FB vil en trykkfasthet etter 28 dager på 50 MPa oppnås ved bruk 20% LC3 og 0,5% FB. Det samme gjelder bøyefastheten hvor 7 MPa bøyefasthet oppnås ved 20% LC3 og 0,5% FB. Mer enn 20 % innhold av LC3 eller 0,5% innhold av FB medfører en reduksjon av trykkfasthet etter 28 dager og bøyefasthet.

Ved økning av WB fra 35% til 45% og konstant LC3 på 10% vil trykkfastheten reduseres med 10 MPa. Men begge blandinger når 60 MPa trykkfasthet etter 28 dager. Dette vil si at for blandinger med LC3 vil få en trykkfasthet på omtrent 60 MPa etter 28 dager. Økning av 10% WB med konstant LC3 fører til bøyefasthet reduksjon på 3 MPa. Ved økning av 50 l/m³ MV med konstant LC3 på 10% vil ha samme effekt som LC3-WB, hvor fastheten er mindre ved økning av MV, men begge oppnår en trykkfasthet på 60 MPa etter 28 dager. Bøyefastheten ser ut til å forbedres ved økning av 50 l/m³ MV med konstant LC3 på 10%, men ved å bruke 30% LC3 vil 50 l/m³ av MV ikke ha noe effekt på bøyefastheten.

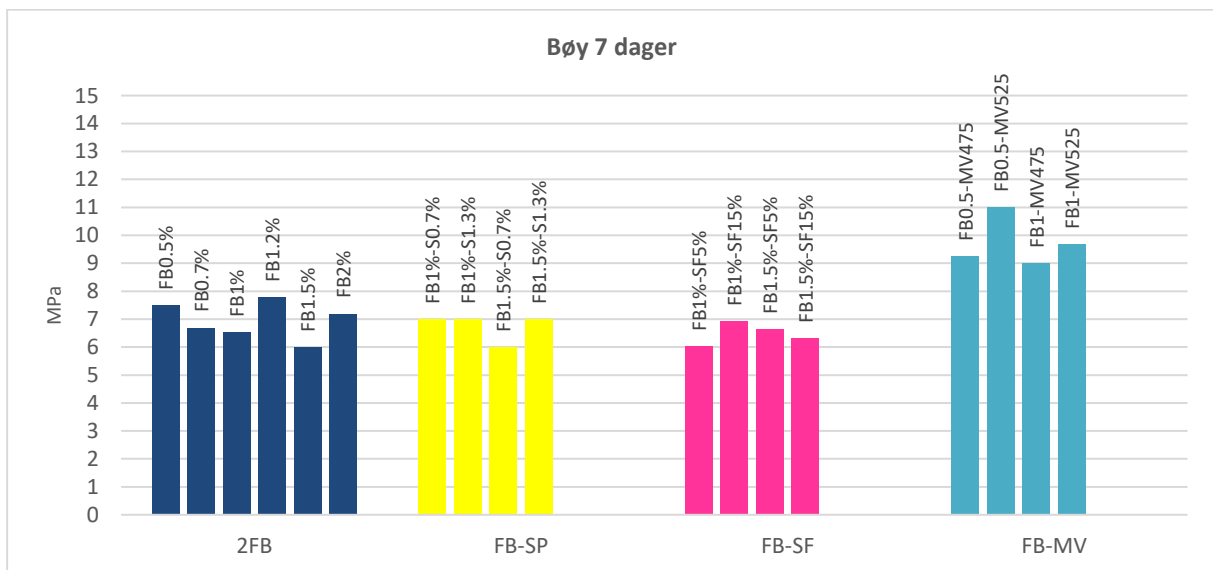
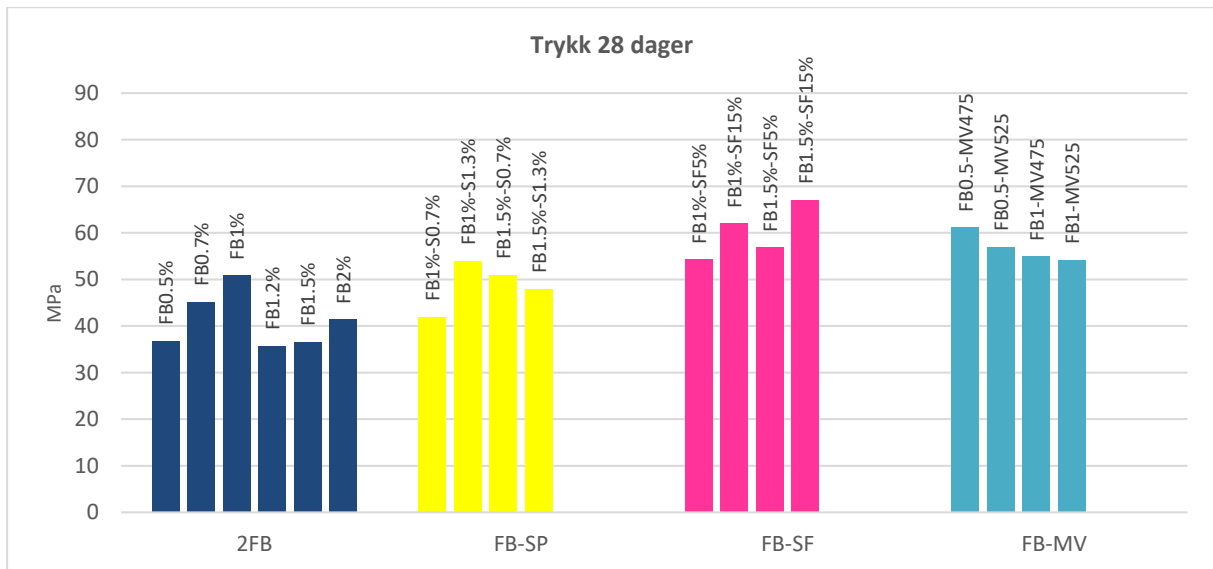
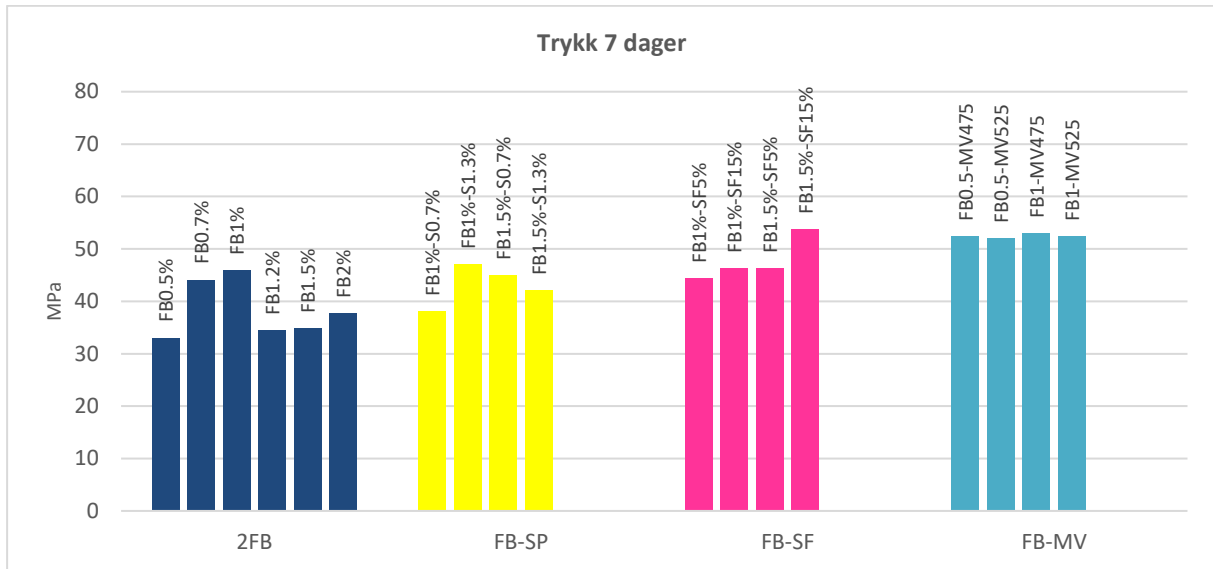


Graf 5.3: Påvirkning av LC3 på trykk- og bøyefasthet

Påvirkning av fiber på bøy- og trykkfasthet

FB innhold opptil 1% ser ut til å gi økende trykkfasthet, med trykkfasthet etter 28 dager på 50 MPa for blanding med FB 1%. Bøyefasthet ser ikke ut til å ha sammenheng med økende FB, ettersom verdiene er veldig forskjellige. Med 1,3% SP kan blanding med FB 1% få økt trykkfastheten litt over 50 MPa, men ved økende FB reduseres fastheten til under 50 MPa. Dette vil si at for blandinger med kun FB og SP, vil en 1% FB være optimalt.

Ved kombinasjon av 1,5% FB med 15% SF kan en trykkfasthet på omtrent 70 MPa oppnås etter 28 dager. Mindre SF eller FB-innhold vil gi mindre fasthet. Bøyefastheten ser ikke ut til å bli påvirket mye selv med 15% innhold av SF. Påvirkningen av 50 l/m³ MV økning med konstant FB på 0,5% er ikke merkbar. Dette vil si at økning av MV sammen med FB ikke har stor påvirkning på trykkfastheten. Bøyefastheten kan økes til 11 MPa ved økning av 50 l/m³ MV fra 475 til 525 og konstant FB på 0,5%. Ved økning av FB til mer enn 0,5% minker bøyefastheten.



Graf 5.4: Påvirkning av FB på trykk- og bøyefasthet

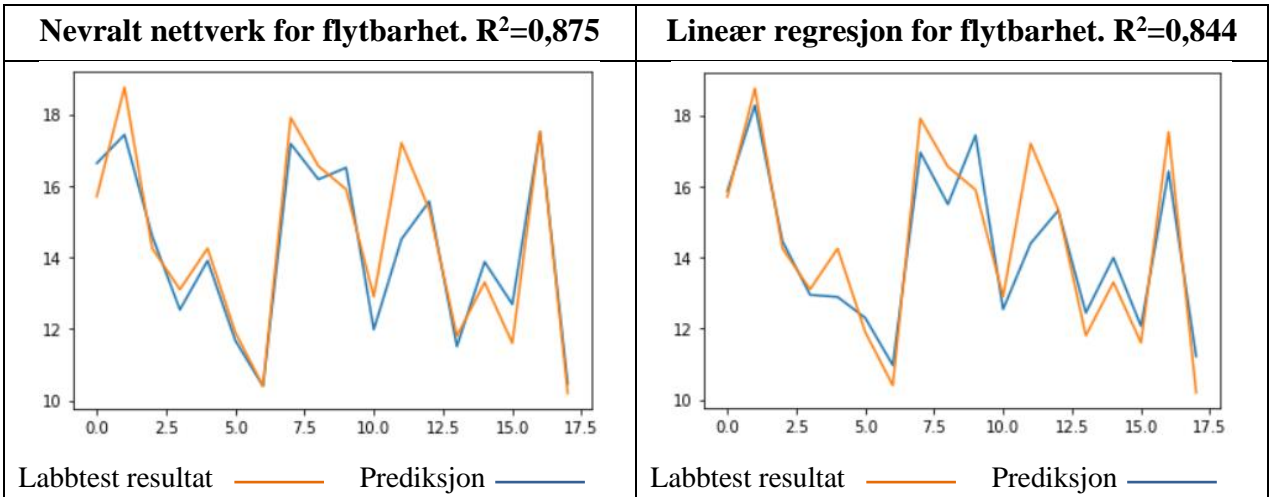
5.3 Maskinlæring

Grafene nedenfor viser maskinlæringens prediksjon (blå) sammenlignet med resultatet fra utførte tester (oransje). Grafen for flytbarhet ved begge metodene (nevralt nettverk og lineær regresjon) viser en god prediksjon av svarene, med en god R²-verdi. Ved å sammenligne resultatet for flytbarhet med sylinder (graf 5.5 og 5.6) ser man at prediksjonen er mye lavere ved sylindertest. Dette kan skyldes at avviket for rystebordmetoden for flytbarhet er mindre enn sylindertest for byggbarhet, ettersom sylindertest krever nøye påføring av påkjenning.

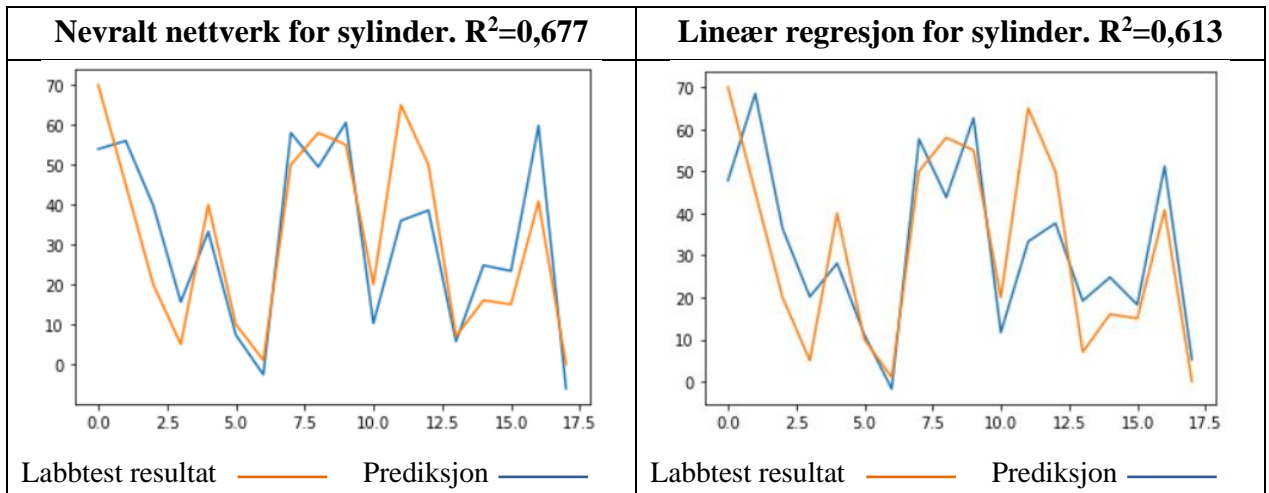
Nevralt nettverk for green strength etter 0 og 15 minutter (graf 5.7 og 5.8) viser en god prediksjon av green strength verdien, mens lineær regresjonsmetoden for begge testene viser dårligere prediksjon. Dette betyr at nevralt nettverk er en bedre indikator for green strength verdien enn lineær regresjon. Det samme gjelder penetrasjon (graf 5.9), hvor nevralt nettverk ser ut til å gi litt bedre resultater enn lineær regresjon.

Trykkfasthet etter 7 og 28 dager ser ut til å gis en akseptabel prediksjon ved både nevralt nettverk og lineær regresjon, med en nøyaktighet på rundt 0,7, se graf 5.10 og 5.12. For bøyefasthet er det slik at både nevralt nettverk og lineær regresjon gir dårlig prediksjon, med en nøyaktighet på 0,2-0,3, se graf 5.12. Det er ikke lett å si hva grunnen til den store forskjellen mellom prediksjonen av trykkfasthet og bøyefasthet er, men et mulig scenario kan være avvik i testprosessen av bøyefasthet. Det kan også være slik at sementbaserte materialer ikke er egnet for bøyefasthet, og dermed vil det ikke være forutsigbar når materiale mister sin bøyefasthet.

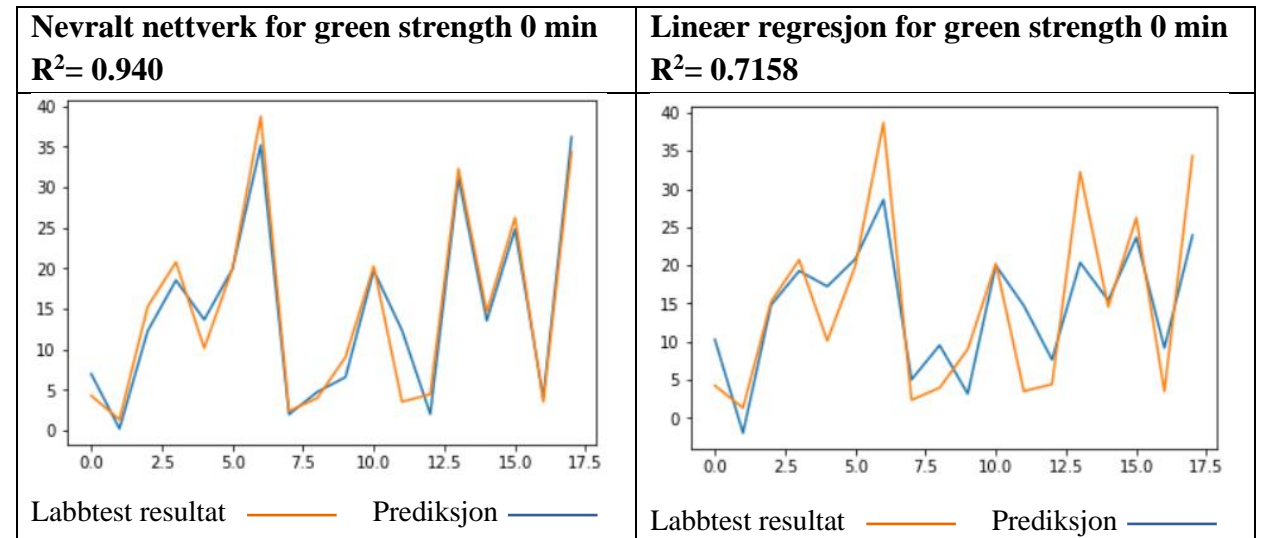
Generelt ser det ut som nevralt nettverk er en bedre prediksjonsmetode for rystebordtest, sylinder, green strength, penetrometer, og bøyefasthet enn lineær regresjon. Mens ved trykkfasthet kan lineær regresjon også gi akseptable svar.



Graf 5.5: Resultat fra maskinlæring på flytbarhet

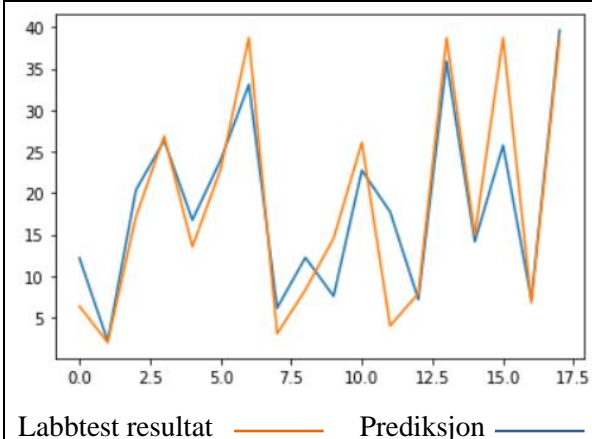


Graf 5.6: Resultat fra maskinlæring på sylinder

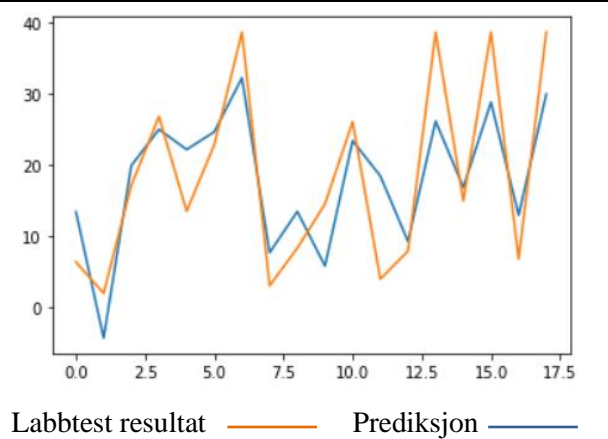


Graf 5.7: Resultat fra maskinlæring p  green strength 0 min

Nevralt nettverk for green strength 15 min. $R^2= 0.823$

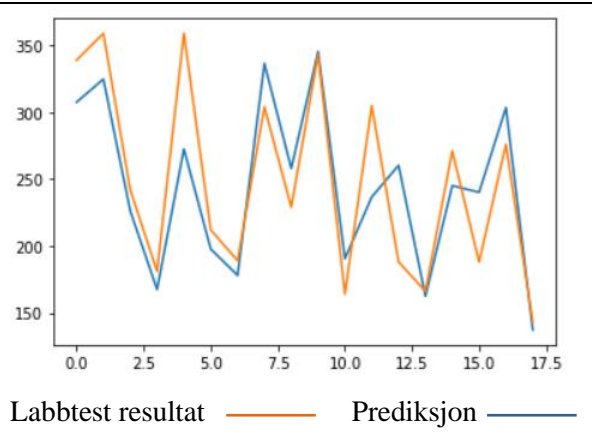


Lineær regresjon for green strength 15 min. $R^2= 0.693$

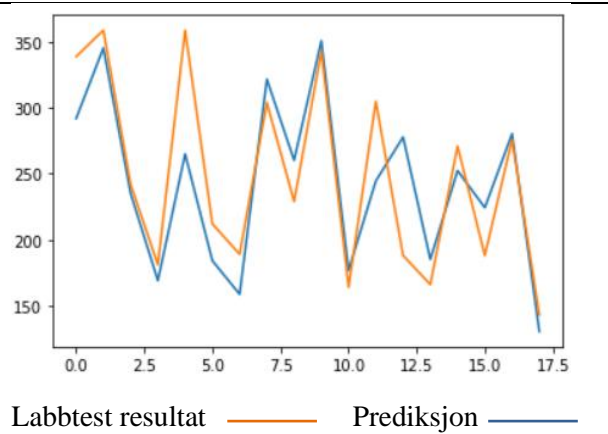


Graf 5.8: Resultat fra maskinlæring p  green strength 15 min

Nevralt nettverk for penetrasjon. $R^2=0,703$

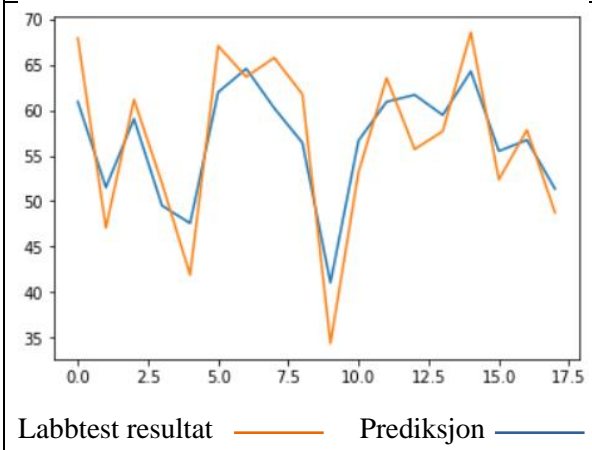


Line r regresjon for penetrasjon. $R^2=0,687$

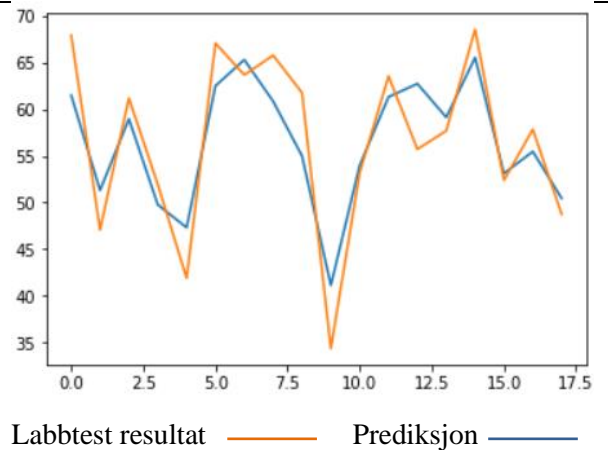


Graf 5.9: Resultat fra maskinl ring på initial størkning

Nevralt nettverk for trykkfasthet (7) $R^2= 0.780$

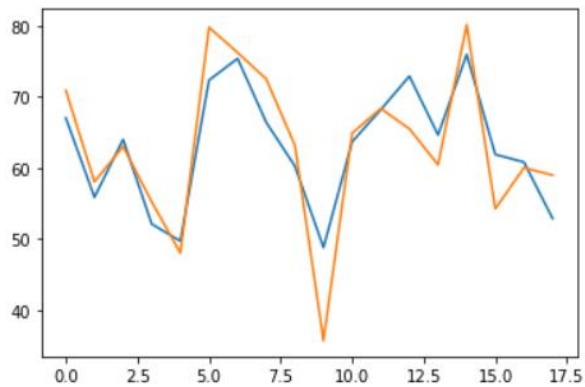


Lineær regresjon for trykkfasthet (7) $R^2= 0.795$



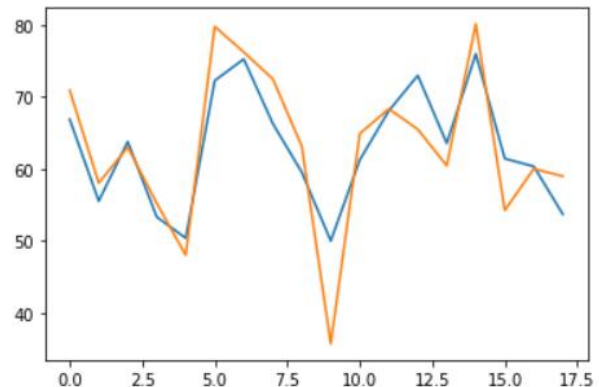
Graf 5.10: Resultat fra maskinlæring på trykkfasthet etter 7 dager

Nevralt nettverk for trykkfasthet (28)
 $R^2= 0.765$



Labttest resultat — Prediksjon

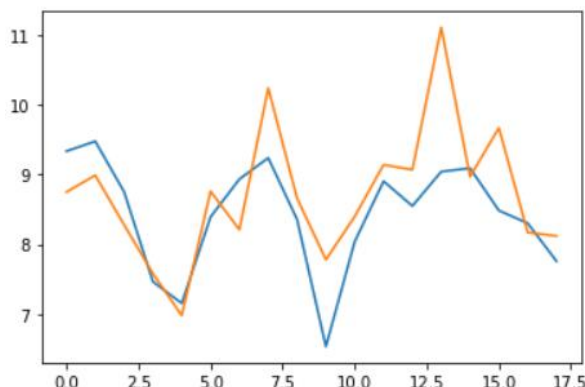
Lineær regresjon for trykkfasthet (28)
 $R^2= 0.752$



Labttest resultat — Prediksjon

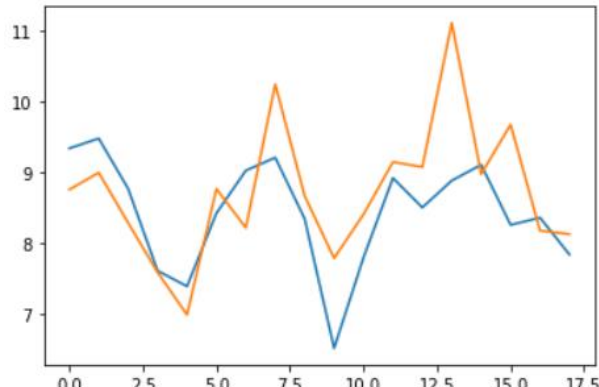
Graf 5.11: Resultat fra maskinlæring på trykkfasthet etter 28 dager

Nevralt nettverk for Bøyefasthet
 $R^2= 0.338$



Labttest resultat — Prediksjon

Lineær regresjon for Bøyefasthet
 $R^2= 0.213$



Labttest resultat — Prediksjon

Graf 5.12: Resultat fra maskinlæring på bøyefasthet etter 7 dager

6 Konklusjon

Formålet med denne studien var å undersøke påvirkningen av superplastiserende, silikastøv, LC3 og fiber på egenskaper for 3D-printing av betong, både i fersk og herdet tilstand. Her ble betongens flytbarhet, byggbarhet, ekstruderbarhet og fasthet, som er de viktigste egenskaper for en betongblanding for bruk i 3D-printing, undersøkt. Basert på testresultatene kan følgende viktige konklusjoner trekkes:

6.1 Flytbarhet

Analysen av testresultater for en betongblanding med innhold av kun superplastiserende stoff (SP), viser at økning i innhold av SP medfører større flytbarhet. Mens en kombinasjon av SP med SF gir mindre flytbarhet. Det samme gjelder for kombinasjoner av SP-LC3 og SP-FB. Analysen av blandinger med innhold av kun SF, viser at flytbarheten har en synkende trend ved økning av stoffet. Ved kombinasjon av SF med LC3, vil økning av begge stoffene føre til mindre flytbarhet. Analysen av blandinger med innhold av kun LC3, viser at flytbarheten minker ved økning av LC3-innhold, det samme gjelder også ved tilsetning av FB i en LC3-blanding. Påvirkningen av FB på flytbarheten er mer enn påvirkningen av SF, ved økning av begge stoffene. Som forventet, ble en økende flytbarhet oppnådd for alle blandinger med økende mengde av MV og WB.

6.2 Ekstrudering

Etter gjennomføring av ekstruderings tester på alle blandinger, konkluderes det med at blandinger med innhold av FB fører til blokkering av blandingen i nålet. Dette gjør at FB som tilsetningsstoff fører til vanskeligheter med ekstrudering. Det samme gjelder ved bruk av store mengder av LC3, hvor enten MV eller WB måtte økes for å kunne gjennomføre ekstrudering. I de fleste tilfeller gav SF veldig gode resultater på ekstrudering.

6.3 Byggbarhet

6.3.1 Ved sylinder metoden

Ved å analysere testresultatene av sylinder metoden, konkluderes med at blandinger med økende innhold av SP fører til mindre byggbarhet. Ved tilsetning av SF, LC3 og FB kombinert med SP, vil en økning av innholdet føre til bedre byggbarhet, ettersom betongen får tørrere konsistens ved økning av overnevnte materialer. En blanding med stigende mengde av SF-LC3 og LC3-FB fører til bedre formstabilitet, hvor påvirkningen av FB på LC3 er større enn påvirkning av SF på LC3. Samme effekt oppnås ved blanding av SF-FB. Økning av MV og WB i alle blandinger fører til dårligere byggbarhet, ettersom betongens konsistens blir bløtere.

6.3.2 Ved green strength metoden

Økende mengde av SP har en negativ påvirkning på green strength verdien, hvor byggbarhet utviklingen også reduseres ved økende SP. Tilsetning av SF eller LC3 fører til økning av byggbarheten ved at green strength verdien øker, men påvirkningen av SP på fasthetsutviklingen i løpet av 15 minutter er fremdeles mer enn SF og LC3. En blanding med innhold av SF-LC3 gir en økende green strength verdi, men fastheten øker ikke så mye etter 15 minutter. Derimot vil FB i en blanding med innhold av LC3-FB, føre til stor økning av fasthet i løpet av 15 minutter. Det samme gjelder også SF-FB hvor betongen vil kunne tåle mer med økende FB-innhold.

6.4 Fasthet

6.4.1 Penetrometer

Den initiale størkningen påvirkes mye mer ved økning av SP, enn ved økning av SF, LC3 eller MV. Ved kombinasjon av LC3 med SF er effekten av LC3 på størkningstiden mer enn SF, hvor økning av LC3 fører til tidligere initial størkningstid. Ved kombinasjon av LC3 med FB, er effekten av begge materialene like stor, mens ved bruk av FB med SF er effekten av

FB større enn SF. Både MV og WB fører til økning av den initiale størkningstiden, i alle blandinger.

6.4.2 Trykk og bøyefasthet

Maksimum verdi for SP dosering, hvor trykkfastheten øker, er 1,3%. Samme prinsipp gjelder for bøyefasthet. Tilsetning av SF opptil 15% ser ut til å gi økende trykkfasthet, mens bøyefastheten minker. Det motsatte gjelder ved tilsetning av LC3, hvor økning av LC3 medfører til lavere trykkfasthet. Generelt vil tilsetning av LC3 på en blanding med SF, gi mindre trykkfasthet enn en blanding med kun SF. Bøyefastheten ser ikke ut til å bli påvirket ved tilsetning av LC3 med SF. Økning av MV og SP samtidig vil gi økende trykkfasthet. Ved økning av WB og SP samtidig, vil effekten av disse to motvirke hverandre.

Kombinasjon av en viss mengde av LC3 med FB vil kunne gi gunstig resultat på fastheten. FB innhold opptil 1% ser ut til å gi økende trykkfasthet. Bøyefastheten påvirkes ikke av FB. Ved kombinasjon av 1,5% FB med 15% SF kan en trykkfasthet på omtrent 70 MPa oppnås etter 28 dager. Bøyefastheten ser ikke ut til å bli påvirket mye selv med 15% innhold av SF.

6.5 Maskinlæring

Bruken av både nevralt nettverk og lineær regresjon for bestemmelse av flytbarhet gir et gunstig resultat med høy nøyaktighet, ettersom rystebordtest metoden er en standard metode hvor sannsynligheten for avvik er minimalt. Nevralt nettverk gir litt bedre R2-verdi enn lineær regresjon, noe som vil si at nevralt nettverk er en bedre metode for bestemmelse av flytbarhet enn lineær regresjon.

Bruken av maskinlæring for bestemmelse av byggbarhet ved sylindertest metoden vil ikke fungere optimalt, ettersom både nevralt nettverk og lineær regresjon gir dårlig score. Men bestemmelse av byggbarhet ved green strength metoden fungerer mye bedre ved bruk av nevralt nettverk enn ved bruk av lineær regresjon.

For bestemmelse av initial størkningstid er nevralt nettverk en bedre metode enn lineær regresjon. Men det motsatte gjelder for trykkfasthet, hvor lineær regresjon predikterer bedre enn nevralt nettverk. Ved tilfelle av bøyefasthet gir begge testmetoder veldig dårlig score.

Modellene som er brukt i denne studien er relativt enkle, men ved utvikling og opplæring av mer komplekse modeller kan maskinlæring være et godt verktøy for prediksjon av forventet betong egenskap både i fersk og herdet tilstand. For utvikling av betong i 3D-printing sammenheng, kan utvikling av maskinlæring være til stor hjelp.

7 Forslag til videre forskning

I løpet av arbeidsprosessen ble det observert noen detaljer som burde settes i rampelyset for å studeres videre og forbedres i fremtidige studier. Gjennomføring av greens strength test på blandinger med innhold av fiber ser ut til å være utfordrende, ettersom fiber holder igjen betongens struktur ved belastning. Dette medførte at definering av kollaps var en stor utfordring. I tillegg var det utfordringer med testing av initial størkningstid på blandinger med innhold av fiber på grunn av fibres ujevne fordeling på formen.

I denne studien ble det tatt bøyestrekfasthet av 3 prismer av hver betongblanding. Bruk av flere prismer for gjennomføring av bøyestrekfasthet testen kan forbedre reliabiliteten av resultatet. Det ble også observert noen avvik i testresultater av trykkfasthet. En god komprimering av blandinger og testing av flere testlegemer kan minske avviket.

Denne studien gir en overfladisk forståelse for påvirkningen av noen utvalgte parametere på betongens egenskaper. Men det anbefales en dypere forskning på hver parameter og deres påvirkning på betongens fersk og herdet tilstand.

8 Litteraturliste

- 3DINSIDER (2020). *A Detailed History of 3D Printing*. Tilgjengelig fra: <https://3dinsider.com/3d-printing-history/#:~:text=The%20first%203D%20printer%20ever,latest%20watchword%20in%20technological%20innovation>. (Hentet: 20.02.2021 2021).
- Aarstad, K. (2016). *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraa_der (Hentet: 14.02 2021).
- AcademicWork (u.å). *Hvorfor er Python et så populært programmeringsspråk?* Tilgjengelig fra: <https://www.academicwork.no/karriere/python>.
- Alex Ebben og Carlson, C. (u.å). *The Calcination Of Kaolin Clay*. Tilgjengelig fra: <https://feeco.com/the-calcination-of-kaolin-clay/> (Hentet: 18.02 2021).
- Biørnstad, L. (2016). *Kan vi bruke betong med god klimasamvittighet?* Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248> (Hentet: 27.01 2021).
- Bos, F. *et al.* (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing, *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), s. 209-225. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
- Chang, S. H. (2016). *Exploring the evolution of additive manufacturing industry: a study of stakeholder requirements and architectural analysis of Desktop three-dimensional printing Segment*, Massachusetts Institute of Technology.
- Compello (u.å). *Maskinlæring*. Tilgjengelig fra: <https://www.compello.com/no/ordbok/maskinlaering/>.
- Concrete Construction Staff (1983). *CONCRETE REINFORCED WITH POLYPROPYLENE FIBERS*. Tilgjengelig fra: https://www.concreteconstruction.net/how-to/materials/concrete-reinforced-with-polypropylene-fibers_o (Hentet: 28.02 2021).
- Desai, V. S. og Bharati, R. (1998). A comparison of linear regression and neural network methods for predicting excess returns on large stocks, *Annals of Operations Research*, 78, s. 127-163.
- Detwiler, R. J. (1995). *Effects of cement on high efficiency separators*.
- Egge, H. (2016). *Lager miljøvennlig sement av norsk leire*. Tilgjengelig fra: <https://gemini.no/2016/02/lager-miljoevennlig-sement-av-norsk-leire/> (Hentet: 18.02 2021).
- El Cheikh, K. *et al.* (2017). Numerical and experimental studies of aggregate blocking in mortar extrusion, *Construction and Building Materials*, 145, s. 452-463.
- Elements of AI (u.å) *Prinsippene for nevrale nettverk*. Tilgjengelig fra: <https://course.elementsofai.com/no/5/1> (Hentet: 01.05.2021 2021).
- Espedal, J. E. (2015). *Fiberarmert betong*. Master, UiS.
- FN-Sambandet (2019). *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer> (Hentet: 09.02.2021 2021).
- FN-Sambandet (2020). *Parisavtalen*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (Hentet: 09.02.2021 2021).
- Global Cement and Concrete Association (u.å). *Calcined clays*. Tilgjengelig fra: <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/health-safety-cement->

- [innovation/clinker-substitutes/calced-clays/#:~:text=Metakaolin%20is%20produced%20by%20heating,C%20and%20750%C2%B0C](#) (Hentet: 18.02 2021).
- Guemmadi, Z. *et al.* (2005). Influence of limestone fillers on the mechanical performances of cement pastes, i *Cement Combinations for Durable Concrete: Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK on 5–7 July 2005*. Thomas Telford Publishing, s. 339-350.
- Hackle, A. (2016). What Makes Superplasticizers Super? (b. 2021). Tilgjengelig fra: <https://blog.marketresearch.com/what-makes-superplasticizers-super>.
- Hamdahl, S. (2007). *Kan sosiale nettsteder benyttes til opplæring av nevralt nettverk?*
- Hamdy, E.-D. og Salem, T. (1995). Limestone as a retarder and filler in limestone blended cement, *Ceramics*, 39, s. 15-19.
- Hawkins, P., Tennis, P. D. og Detwiler, R. J. (1996.) *The use of limestone in Portland cement: a state-of-the-art review*. Portland Cement Association.
- Heikal, M. *et al.* (2004). Electrical properties, physico-chemical and mechanical characteristics of fly ash-limestone-filled pozzolanic cement, *Ceramics Silikaty*, 48(2), s. 49-58.
- Kazemian, A. *et al.* (2017). Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture, *Construction and Building Materials*, 145, s. 639-647.
- Khalil, N. *et al.* (2017). Use of calcium sulfoaluminate cements for setting control of 3D-printing mortars, *Construction and Building Materials*, 157, s. 382-391.
- Le, T. T. *et al.* (2012). Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete, *Materials and structures*, 45(8), s. 1221-1232.
- Lejlic, E. (2017). Hva er maskinlæring? Tilgjengelig fra: <https://blog.innofactor.com/no/maskinlaering-kort-forklart>.
- Li, Z. *et al.* (2020). Fresh and Hardened Properties of Extrusion-Based 3D-Printed Cementitious Materials: A Review, *Sustainability*, 12(14), s. 5628. Tilgjengelig fra: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5628/htm>.
- Microsoft (u.å). *Hva er maskinlæring?* Tilgjengelig fra: <https://azure.microsoft.com/nb-no/overview/what-is-machine-learning-platform/#benefits>.
- Maage, M. (red.) (2015a). *Betong Regelverk, teknologi og utførelse* Byggenæringens Forslag.
- Nadarajah, N. (2018). Development of concrete 3D printing.
- NORCEM (u.å-a). *Sementproduksjon og CO2*. Tilgjengelig fra: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2> (Hentet: 09.02.2021 2021).
- NORCEM (u.å-b). *GOD BETONG ER BESTANDIG*. Tilgjengelig fra: https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/godbetongerbestandig_web.pdf (Hentet: 14.02 2021).
- Nygren, P. C. (2016). *MÖJLIGHETER & HINDER MED 3D-PRINT AV BETONG*. Tilgjengelig fra: https://www.cementa.se/en/system/files_force/assets/document/mojligheter_hinder_med_3d-print_av_betong_0.pdf?download=1 (Hentet: 06.02.2021).
- Oates, J. A. H. (1998). *Production of Limestone Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses*. Weinheim: WILEY-VCH.
- Perrot, A., Rangeard, D. og Pierre, A. (2014). *Structural built-up of cement-based materials used for 3Dprinting extrusion techniques*. Springerlink.com. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-015-0571-0> (Hentet: 06.02.2021).
- Ramezaniapour, A. A. (2014). Cement replacement materials, *Springer Geochemistry/Mineralogy, DOI*, 10, s. 978-973.

- Roussel, N. (2018). Rheological requirements for printable concretes, *Cement and Concrete Research*, 112, s. 76-85.
- Rubio, M., Sonebi, M. og Amziane, S. (2017). 3D printing of fibre cement-based materials: fresh and rheological performances, *Academic Journal of Civil Engineering*, 35(2), s. 480-488.
- SINTEF Byggforsk (2012). 572.115 Tilslagsmaterialer for betong. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer_for_betong (Hentet: 11.02 2021).
- SINTEF Byggforsk (2016). 572.204 Sement. Typer, egenskaper og bruksområder. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_bruksomraader#i3 (Hentet: 23.02 2021).
- SINTEF Byggforsk (2018). 520.024 Naturlig tilslag i betong. Egenskaper og dokumentasjon. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/284/naturlig_tilslag_i_betong_egenskaper_og_dokumentasjon#i43 (Hentet: 17.02.2021 2021).
- Standard Norge (2011). *NS-EN 197-1:2011 Sement Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=507733> (Hentet: 24.02 2021).
- Standard Norge (2016a). *ASTM C403/C403M:16 Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=876608> (Hentet: 15.04 2020).
- Standard Norge (2016b). *NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 Tilslag for betong*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=866016> (Hentet: 11. februar 2021).
- Stenby, O. C. (2019). *Begreper om betong - ord du har hørt, men kanskje ikke vet hva betyr*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/mur/artikler/begreper-i-betong> (Hentet: 22.02 2021).
- StoryboardThat (u.å). *Sement*. Tilgjengelig fra: <https://www.storyboardthat.com/no/innovations/sement> (Hentet: 16.02 2021).
- Tarhan, Y. og Remzi, S. (2019). Developments of 3D concrete printing process, i *International Civil Engineering and Architecture Conference*.
- Tayeh, M. K. og Alem, S. F. (2019). *Indre Hydrofobering av leirbasert bindemiddel*. Bacheloroppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Thomas, R. E. (2010). *High Temperature Processing of Kaolinitic Materials*. Doctor of engineering, The University of Birmingham. Tilgjengelig fra: <https://core.ac.uk/download/pdf/33528378.pdf>.
- Thue, J. V. (2019). *Betong*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/betong>.
- Xi, F. et al. (2016). Substantial global carbon uptake by cement carbonation, *Nature Geoscience*, 9(12), s. 880-883. <https://doi.org/10.1038/ngeo2840>
- Øystese, K. Å. (2020). *Rekordhøy CO2-konsentrasjon i atmosfæren*. Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/nyhet/fem-paa-fredag/rekordhoy-co2-konsentrasjon-i-atmosfaeren/> (Hentet: 09.02.2021 2021).

9 Vedlegg

- Vedlegg 1-** Resultat av siktanalyse av tilslag
- Vedlegg 2-** Resultat av vanninnholdstest av tilslag
- Vedlegg 3-** Resultat av pyknometerprøve av tilslag
- Vedlegg 4-** Resultat av løst lagret densitet og hulrominnhold av tilslag
- Vedlegg 5-** Resultat av pyknometerprøve av kalsinert leire
- Vedlegg 6-** Resultat av hydrometerprøve av kalsinert leire
- Vedlegg 7-** Proporsjonering eksempel
- Vedlegg 8-** Utførelse av støp
- Vedlegg 9-** Selvutviklet rystebordmetode
- Vedlegg 10-** Nevralt nettverk for flytbarhet
- Vedlegg 11-** Lineær regresjon for flytbarhet
- Vedlegg 12-** Resultat av alle tester utført i hoveddel
- Vedlegg 13-** Datablad

Vedlegg 1- Resultat av siktanalyse av tilslag

Prosentandelen av finstoffet som har passert gjennom 0,063 mm sikt er 6,8%.

Wet and dry seiving method data sheet according to EN 933-1				
	Benevning/utregning	Vekt (g)		
Tørr masse etter første tørking	M ₁	1000		
Tørr masse etter vasking	M ₂	962,7		
Tørr masse av finstoffer fjernet i vas	M ₁ -M ₂	37,3		
Siktens trådmellomrom (mm)	Massen tilbakeholdt av tilslag R _i	Massen tilbakeholdt av tilslag R _i (g)	Percentage of material retained by mass) $100 * \frac{R_i}{M_1}$	Cumulative percentage passing $100 - \sum (100 * \frac{R_i}{M_1})$
4	R ₁	0	0,0	100,0
2	R ₂	1,7	0,2	99,8
1	R ₃	300,9	31,3	68,5
0,5	R ₄	284	29,5	39,0
0,25	R ₅	206,7	21,5	17,5
0,125	R ₆	102	10,6	6,9
0,063	R ₇	56,1	5,8	1,10
0	P	10,6	1,10	0,00
sum		962		
$\sum R_i + P$		962	Remarks:	
$\frac{M_2 - (\sum R_i + P)}{M_2} * 100 < 1\%$		0,07	Sum of Ri +P are 0,07 of M2.	
Prosentandel av finstoffer passert gjennom 0,063 mm sikt		4,98	Prosentage of filler stoff passing 0,063 mm sieve is 6,8%.	
$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_2} * 100$				

Figur 9.1: Utregning av finstoff innhold i tilslag

Tabell 9.1: % tilslag som passerer hvert sjikt

Sikt	andel passering %
0	0.0
0.063	1.1
0.125	6.9
0.25	17.5
0.5	39.0
1	68.5
2	99.8
4	100.0



Graf 9.1: Kornstørrelsesfordeling av tilslag

Vedlegg 2- Resultat av vanninnholdstest av tilslag

Verdien av vanninnholdet (w), den er uttrykt som en prosentandel av massen til den tørre tilslaget.

Tabell 9.2: Vanninnhold %

Vanninnhold (w)	Resultat (%)
Tilslag 0-2 mm	0,15

Vanninnhold ved tørking i ventilert tørkeskap i henhold til NS-EN1097-5

Vanninnholdet for tilslag mindre 2 mm			Temperatur (°C)
Prøve	Benevning	Vekt (g)	
Brettet uten tilslaget	M ₂		-----
Brettet med tilslaget	M ₁	520	-----
Brettet med tørket tilslaget	M ₃	519,2	110(+5)
	$w =$	0,154	

Figur 9.2: Utregning av vanninnhold av tilslag

Vedlegg 3- Resultat av pyknometerprøve av tilslag

Tabell 9.3: Resultat av partikkeldensitet av tilslag

Densitet	Resultat (Mg/m ³)
ρ_a	2,71
ρ_{rd}	2,64
ρ_{ssd}	2,67

Partikkeldensitet og vannabsorpsjon i henhold til NS-EN1097-6			
Pyknometermetode for tilslag passert gjennom 2 mm sikt			Temperatur (°C)
	Benevnning	Vekt (g)	
Prøve			-----
Pyknometer + tilslag + vann	M ₂	2052	22
Pyknometer + vann	M ₃	1739	22
Overflatetørr prøve	M ₁	500	-----
Ovnstørr prøve	M ₄	495	-----
	Formel	Resultater	
Vannets densitet (Mg/m ³)	ρ_w	0,997	
Tilsynelatende partikkeltetthet (Mg/m ³)	$\rho_a = \rho_w * \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$	2,71	
Ovnstørket partikkeltetthet (Mg/m ³)	$\rho_{rd} = \rho_w * \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$	2,64	
Mettet og overflatetørket partikkeltetthet (Mg/m ³)	$\rho_{ssd} = \rho_w * \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$	2,67	
Vannabsorpsjon (%)	$WA_{24} = \frac{(M_1 - M_4)}{M_4} * 100$	1,010	

Figur 9.3: Utregning av partikkeldensitet av tilslag

Vedlegg 4- Resultat av løst lagret densitet og hulrominnhold av tilslag

Tabell 9.4: Resultat av hulrominnhold av tilslag

ρ_b	1,62 Mg/m ³
v	38 %

Løst lagret densitet og hulrominnhold i henhold til NS-EN1097-3			
Hulrominnhold for tilslag mindre 2 mm			Temperatur
	Benevning	Vekt (kg)	(°C)
Prøve			
Tørket tilslag med beholder	M ₂	28,39	110(-+5)
Tom beholder	M ₁	6,71	-----
Vektet til vannet	V	13,37	-----
	ρ_b	1,62	
	P _p	2,65	
	v	38,81	

Figur 9.4: Utrekning av hulrominnhold av tilslag

Vedlegg 5- Resultat av pyknometerprøve av kalsinert leire

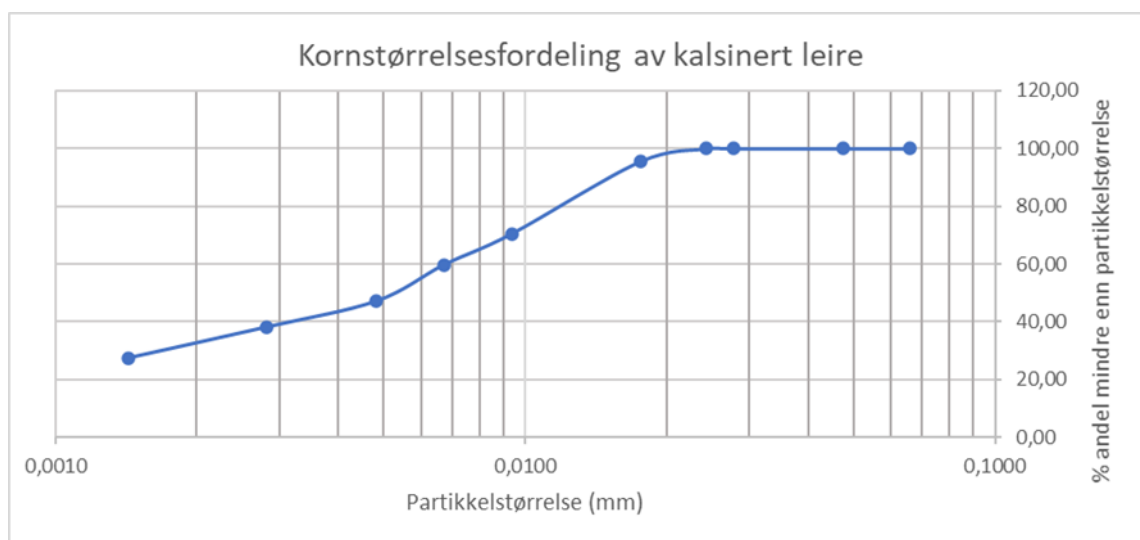
Tabell 9.5: Kalsinert leire densitet

Materiale	Resultat (Kg/m ³)
WB4107	2267

Vedlegg 6- Resultat av hydrometerprøve av kalsinert leire

Tidspunkt (min)	R'd	Rd	d _i (mm)	temperatur	ρ _s (Mg/m ³)	ρ _w (Mg/m ³)	H	Hr (mm)	η (mPa*s)	ekvivalent partikkel diameter d _i (mm)	K (%)
0,5	40	40,7	19,3	24	2,267	0,99733	29,3	98,46	0,9143	0,0659	145,65
1	35,5	36,2	23,8	24	2,267	0,99733	33,8	102,96	0,9143	0,0476	129,54
3	33	33,7	26,3	24	2,267	0,99733	36,3	105,46	0,9143	0,0278	120,60
4	31	31,7	28,3	24	2,267	0,99733	38,3	107,46	0,9143	0,0243	113,44
8	26	26,7	33,3	24	2,267	0,99733	43,3	112,46	0,9143	0,0176	95,55
30	19	19,7	40,3	24	2,267	0,99733	50,3	119,46	0,9143	0,0094	70,50
60	16	16,7	43,3	23,9	2,267	0,99736	53,3	122,46	0,9164	0,0067	59,76
120	12,5	13,2	46,8	23,7	2,267	0,99741	56,8	125,96	0,9207	0,0048	47,24
360	10	10,7	49,3	23,4	2,267	0,99748	59,3	128,46	0,9271	0,0028	38,29
1440	7	7,7	52,3	23	2,267	0,99757	62,3	131,46	0,9358	0,0014	27,55

Figur 9.5: Utrekning av kornstørrelsesfordeling av kalsinert leire



Graf 9.2: Kornstørrelsesfordeling av kalsinert leire

Vedlegg 7- Teoretisk eksempel av proporsjonering

Blandingen i dette eksemplet består av et matriksvolum på 500 l/m³, vann-binder-forhold på 0,3 og SP-innhold på 1 %.

M500-W40-S1

- Matriksvolum: 500 l/m³
- Partikkelvolum: 480 l/m³
- Luftinnhold: 2% = 20 l/m³ (forventet)
- Totalt volum: 1000 l/m³

Partikkelvolum

- Partikkelstørrelse >0,125 mm
- Årdal sand 0/2 mm
- Ifølge siktekurve: 89,5 % > 0,125 mm

$$\rho_{\text{sand}} = 2670 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{480}{1000} = \frac{\text{sand}}{\rho_{\text{sand}}} * \frac{97,87}{100}$$

$$\text{Sand} = \frac{\frac{480}{100} * \rho_{\text{sand}}}{\frac{89,5}{100}} = 1431,9 \text{ kg/m}$$

Matriksvolum

- Partikkelstørrelse < 0,125 mm
- Norcem industri FA
- Mapei Dynamon SR-N
- Vann
- Ifølge siktekurve: 10,5 % sand <0,125 mm

$$\rho_c = 3130 \text{ kg/m}^3 \quad \rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad P_{sp} = 1040 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{500}{1000} = \frac{C}{\rho_c} + \frac{V}{\rho_v} + \frac{SP}{\rho_{sp}} + \frac{Sand * \frac{10,5}{100}}{\rho_{sand}}$$

$$C = \frac{\frac{500}{1000} - sand * \frac{10,5}{100 * \rho_{sand}}}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{0,3}{\rho_v} + \frac{0,001}{\rho_{sp}}} = 715 \text{ kg/m}^3$$

$$SP = \frac{1\%}{100} * C = 7,15 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 0,3 * C = 214,5 \text{ kg/m}^3$$

Resultat fra Excel:

Prosjekt	3D-printing betong blanding						
Reseptnummer	M500-W30-S1						
Tilsett kvalitet	M						
Utført av	Bachelor gruppe 16						
Dato	10.03.2021						

Initialparametre	Verdi						
m = v/(c+Σkp)	0,30						
Luftinnhold	2,0 %						

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m ³]	Alkalier	Klorider
	0,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industry FA	100,0 %	96,0 %	0,0 %	0,0 %	3130	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m ³]	Alkalier	Klorider
		0,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %
		0,0 %	1,0	2200	0,0 %	0,0 %
		0,0 %	0,6	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m ³]	Tørrstoff	[kg/m ³ TS]	Alkalier	Klorider
SP	1,0 %	1040	17,5 %	1282	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	2700	100,0 %	2700	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m ³]
	0,0 %	910
	0,0 %	1000

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m ³]	500
Oppnådd matriksvolum [l/m ³]	500
Klinkerandel i bindemiddel	96,0 %
Total FA- andel av bindemiddel	0,0 %
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %
Volum sementlim [l/m ³]	443,9
Effektivt vanninnhold [l/m ³]	214,5
v/p	0,25
Effektivt bindemiddel [kg/m ³]	715
Totalt bindemiddel [kg/m ³]	715

Materialer	kg/m ³
	0
Norcem Industry FA	714,9
	0,0
	0,0
	0,0
Fritt vann	214,5
Absorbert vann	14,3
	0
Årdal 0/2 mm nat. vask	1431,5
	0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
SP	7,15
0,0	0,00
	0,00
	0,00
0,0	0,0
	0,0
	0,0
Prop. betongdens. (kg/m ³)	2376

Figur 9.6: Eksempel av proporsjonerings regneark

Vedlegg 8- Utførelse av støp

Denne metoden ble gjennomført iht. NS-EN 12390-2:2019. *Prøving av herdnet betong Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving.* Denne metoden ble gjennomført for å utføre støping på riktig måte.

Navn: Utførelse av støp

Hensikt: Å støpe betongen uten noe feil, for å teste egenskaper til herdet betongen etter 7 og 28 dager.

Utstyr:

- Murskje
- Blandingsbeholder
- Forskalingsolje
- Prisme former
- Vibrator
- Slikkepott

Fremgangsmåte:

1. Klargjør formene for bruk, ved å rense de og smøre med forskalingsolje. Forskalingsolje gjør det enkelt å ta ut prismene fra formen.
2. Støp betongen i formen, vibrere formen i noen sekund for å fjerne luftbobler i betongen.
3. Avrett betongen og fjern ekstra betongen på toppen av formen med murskje.
4. Testprøvene skal merkes tydelig, uten å skade prismene.
5. Sett plastfolie rundt formen og sett formen på et beskyttet sted med temperatur på (20 ± 5) °C.
6. Etter 24t ta prismene ut fra formen, og legg det i vannbad med (20 ± 2) °C.
7. Bøy- og trykkfasthet test tas etter 7 og 28 dager fra støpet dagen.

Vedlegg 9- Selvutviklet rystebordmetode

På grunn av manglende utstyr og lang ventetid på leveranse av utstyr for gjennomføring av rystebordtest av mørtel, ble det utviklet en egen prøvingsmetode basert på *NS-EN 12350-5:2019 Prøving av fersk betong - Del 5: Utbredelsesmål*. Den selvutviklede metoden ble benyttet for å sjekke betongens flytbarhet for blandinger utført i forberedelsesdelen av studien. Den metoden ligner mye på metoden beskrevet i overnevnte standard. De eneste forskjellene er fallbordet (den veier mye mindre og er mindre i størrelse i forhold til fallbordet brukt i standarden), mindre fallhøyde og mindre kjegle. Den selvutviklede metoden ble benyttet for å sjekke betongens flytbarhet for blandinger utført i forberedelsesdelen av studien.

Utstyr:

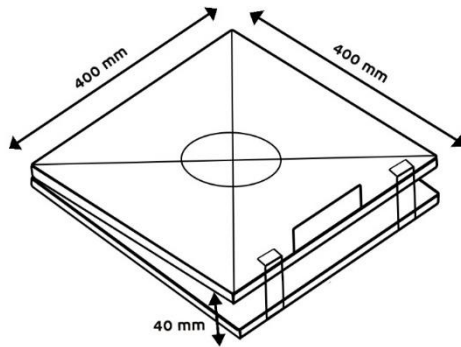
- Fallbord (metallplate) med håndtak.
 - 40 x 40 x 0,2 cm.
- Hul kjegle.
 - Diameter ved bunn: 9 cm.
 - Diameter ved topp: 4 cm.
- Stamper:
 - Diameter: 2,5 cm.
 - Vekt: 290 gram.
- Målebånd.
- Fuktig klut.
- Avrettingsbrett.

Fremgangsmåte:

1. Plasser fallbordet på en horisontal og flat flate.
2. Rengjør og fukt umiddelbart før hver prøving, men unngå for mye fuktighet.
3. Plasser kjeglen midt på bordplaten.
4. Fyll kjeglen med betong i to like lag, og jevn ut hvert lag med 15 stampinger med komprimeringsstøteren. Kjeglen må holdes på plass mens betongen fylles.
5. Tilsett om nødvendig mer betong på toppen av det andre laget, slik at formens toppflate fylles.
6. Avrett betongoverflaten ved hjelp av avrettingsbrett, og fjern overflødig betong fra bordplaten.
7. Løft kjeglen vertikalt.
8. Hev bordet sakte til det når den øverste stopperen på en slik måte at bordplaten ikke slår hardt mot den øverste stopperen.
9. Slipp håndtaket og la bordplaten falle fritt.
10. Gjenta denne syklusen 15 ganger.
11. Mål betongens diameter i to retninger parallelt med bordkantene.

12. Regn ut gjennomsnittlig diameter.

Illustrasjon:



Figur 9.7: Selvutviklet rystebordmetode, kjege og stamper.

Beregninger:

Likning 3.13

$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Hvor:

D er betongens gjennomsnittlige diameter;

d1 er den største diameter på betongen parallelt med den ene sidekanten på bordet;

d2 er den største diameter på betongen parallelt med den andre sidekanten på bordet.

Likning 3.14

$$f = \frac{D - K_d}{K_d} * 100$$

Hvor:

f er betongens flytbarhet i %;

D er betongens gjennomsnittlige diameter;

K_d er diameter ved bunnen av hull kjege.

Vedlegg 10- Nevralt nettverk for flytbarhet

In [47]:

```
import pandas
import numpy
import math
from keras.models import Sequential
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error, r2_score
from keras.layers import Dense
import matplotlib.pyplot as plt
import os
import random
```

In [48]:

```
os.environ['PYTHONHASHSEED'] = '0'
random.seed(123)
seed = 7
numpy.random.seed(seed)
```

In [49]:

```
data=pandas.read_csv('Python_data.csv')
```

In [50]:

```
data1_value=data.values
x=data1_value[:,1:8]
y=data1_value[:,17]
```

In [51]:

```
x_scalar=StandardScaler()
y_scalar=StandardScaler()
```

In [52]:

```
x_train,x_test,y_train,y_test=train_test_split(x,y,test_size=0.2,random_state=123)
```

In [53]:

```
x_train_scaled=x_scalar.fit_transform(x_train)
x_test_scaled=x_scalar.transform(x_test)
```

In [54]:

```
y_train=y_train.reshape(-1,1)
y_test=y_test.reshape(-1,1)
```

In [55]:

```
y_train_scaled=y_scalar.fit_transform(y_train)
y_test_scaled=y_scalar.transform(y_test)
```

In [56]:

```

model=Sequential()
model.add(Dense(40,input_dim=7,activation='linear',kernel_initializer='normal', bias_initializer='normal'))
model.add(Dense(20,activation='relu',kernel_initializer='normal', bias_initializer='normal'))
model.add(Dense(1,kernel_initializer='normal', bias_initializer='normal'))
model.compile(optimizer='adam',loss='mean_squared_error',metrics=['accuracy'])

```

In [57]:

```

model.fit(x_train_scaled,y_train_scaled,batch_size=10,epochs=32,validation_data=(x_test_scaled,

```

```

Epoch 1/100
8/8 [=====] - 1s 25ms/step - loss: 0.8874 - accuracy: 0.0000e+00 - val_loss: 1.0212 - val_accuracy: 0.0000e+00
Epoch 2/100
8/8 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.8361 - accuracy: 0.0000e+00 - val_loss: 1.0102 - val_accuracy: 0.0000e+00
Epoch 3/100
8/8 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.9541 - accuracy: 0.0000e+00 - val_loss: 0.9972 - val_accuracy: 0.0000e+00
Epoch 4/100
8/8 [=====] - 0s 6ms/step - loss: 1.0068 - accuracy: 0.0000e+00 - val_loss: 0.9805 - val_accuracy: 0.0000e+00
Epoch 5/100
8/8 [=====] - 0s 6ms/step - loss: 0.9141 - accuracy: 0.0000e+00 - val_loss: 0.9565 - val_accuracy: 0.0000e+00
Epoch 6/100
8/8 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.8500 - accuracy: 0.0000e+00 - val_loss: 0.9257 - val_accuracy: 0.0000e+00
Epoch 7/100
8/8 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.8100 - accuracy: 0.0000e+00 - val_loss: 0.9100 - val_accuracy: 0.0000e+00

```

In [58]:

```

y_pred_scaled=model.predict(x_test_scaled)
y_pred=y_scalar.inverse_transform(y_pred_scaled)

```

In [59]:

```

result=pandas.DataFrame(y_pred,columns=['y_pred'])
result['Flow Table']=y_test

```

In [60]:

```

mean_squared_error(y_test,y_pred)

```

Out[60]:

0.8178725591411206

In [61]:

```

math.sqrt(mean_squared_error(y_test,y_pred))

```

Out[61]:

0.9043630682094004

In [62]:

```
r2_score(y_test,y_pred)
```

Out[62]:

```
0.875086542529893
```

In [63]:

```
math.sqrt(r2_score(y_test,y_pred))
```

Out[63]:

```
0.9354606044777584
```

In [64]:

```
result
```

Out[64]:

	y_pred	Flow Table
0	16.296265	15.7
1	17.284189	18.75
2	14.683130	14.25
3	12.751038	13.1
4	13.416036	14.25
5	12.204513	11.9
6	10.231175	10.4
7	17.411551	17.9
8	16.249092	16.55
9	15.122322	15.9
10	12.462448	12.9
11	14.726334	17.2
12	16.432291	15.34
13	11.817748	11.8
14	14.445197	13.3
15	12.676668	11.6
16	17.388437	17.52
17	10.607023	10.2

In [65]:

```
data['x_all']=x.tolist()  
result['x_all']=x_test.tolist()
```

In [66]:

```
def joins(s):
    a=''
    for i in s:
        a=a+str(i)+","
    return a
```

In [67]:

```
result['x_all']=result['x_all'].apply(joins)
data['x_all']=data['x_all'].apply(joins)
```

In [68]:

```
final=pandas.merge(result,data,how='inner',on='x_all')
```

In [69]:

```
final.iloc[:, :4]
```

Out[69]:

	y_pred	Flow Table	x_all	Mix Design
0	16.296265	15.7	500,40,1.3,0.0,0,0,0,	SP-04-M500-W.4-S - 1.3
1	17.284189	18.75	500,40,1.3,0.0,0,0,15,	AP3-M500-W.4-S1.3-FA15
2	14.683130	14.25	500,40,0.8,0.0,0,0,0,	WB-03-M500-W.4-S.8
3	12.751038	13.1	500,40,0.7,0.0,20,0,0,	TP2-M500-W.4-S.7-LC20
4	13.416036	14.25	600,40,1.3,1.5,0,0,0,	FB3-M600-W.4-S1.3-FB-1.5
5	13.416036	14.25	600,40,1.3,1.5,0,0,0,	BP3-M600-WB.5-S1.3-FB1.5
6	12.204513	11.9	500,40,0.7,0.0,0,15,0,	FP3-M500-W.4 - S.7-SF15
7	10.231175	10.4	450,40,1.0,0.0,0,15,0,	FV2-W.4-S1-M450-SF15
8	17.411551	17.9	525,40,1.3,0.0,0,0,0,	VP3-M525-W.4-S1.3
9	16.249092	16.55	525,40,1.0,0.0,10,0,0,	TV3-W.4-S1-M525-LC10

In []:

Vedlegg 11- Lineær regresjon for flytbarhet

31.5.2021

1.Linear Regression-for flow - Jupyter Notebook

In [50]:

```
import pandas
import numpy
import math
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error, r2_score
import matplotlib.pyplot as plt
import os
import random
```

In [51]:

```
os.environ['PYTHONHASHSEED'] = '0'
random.seed(123)
seed = 7
numpy.random.seed(seed)
```

In [52]:

```
data=pandas.read_csv('Python_data.csv')
```

In [53]:

```
data1_value=data.values
x=data1_value[:,1:8]
y=data1_value[:,17]
```

In [54]:

```
x_scaler=StandardScaler()
y_scaler=StandardScaler()
```

In [55]:

```
x_train,x_test,y_train,y_test=train_test_split(x,y,test_size=0.2,random_state=123)
```

In [56]:

```
x_train_scaled=x_scaler.fit_transform(x_train)
x_test_scaled=x_scaler.transform(x_test)
```

In [57]:

```
y_train=y_train.reshape(-1,1)
y_test=y_test.reshape(-1,1)
```

In [58]:

```
y_train_scaled=y_scaler.fit_transform(y_train)
y_test_scaled=y_scaler.transform(y_test)
```


In [59]:

```
model=LinearRegression()
```

In [60]:

```
model.fit(x_train_scaled,y_train_scaled)
```

Out[60]:

```
LinearRegression()
```

In [61]:

```
y_pred_scaled=model.predict(x_test_scaled)  
y_pred=y_scalar.inverse_transform(y_pred_scaled)
```

In [62]:

```
result=pandas.DataFrame(y_pred,columns=['y_pred'])  
result['Flow Table']=y_test
```

In [63]:

```
mean_squared_error(y_test,y_pred)
```

Out[63]:

```
1.0214146915095839
```

In [64]:

```
math.sqrt(mean_squared_error(y_test,y_pred))
```

Out[64]:

```
1.0106506278183296
```

In [65]:

```
r2_score(y_test,y_pred)
```

Out[65]:

```
0.8439996070277619
```

In [66]:

```
math.sqrt(r2_score(y_test,y_pred))
```

Out[66]:

```
0.9186945123531336
```

In [67]:

```
data['x_all']=x.tolist()
```

In [68]:

```
result['x_all']=x_test.tolist()
```

In [69]:

```
def joins(s):  
    a=''  
    for i in s:  
        a=a+str(i)+","  
    return a
```

In [70]:

```
result['x_all']=result['x_all'].apply(joins)
```

In [71]:

```
data['x_all']=data['x_all'].apply(joins)
```

In [72]:

```
final=pandas.merge(result,data,how='inner',on='x_all')
```

In [73]:

```
final.iloc[:, :4]
```

Out[73]:




	y_pred	Flow Table	x_all	Mix Design
0	15.863412	15.7	500,40,1.3,0.0,0,0,0,	SP-04-M500-W.4-S - 1.3
1	18.274855	18.75	500,40,1.3,0.0,0,0,15,	AP3-M500-W.4-S1.3-FA15
2	14.455283	14.25	500,40,0.8,0.0,0,0,0,	WB-03-M500-W.4-S.8
3	12.946819	13.1	500,40,0.7,0.0,20,0,0,	TP2-M500-W.4-S.7-LC20
4	12.886320	14.25	600,40,1.3,1.5,0,0,0,	FB3-M600-W.4-S1.3-FB-1.5
5	12.886320	14.25	600,40,1.3,1.5,0,0,0,	BP3-M600-WB.5-S1.3-FB1.5
6	12.298829	11.9	500,40,0.7,0.0,0,15,0,	FP3-M500-W.4 - S.7-SF15
7	10.969859	10.4	450,40,1.0,0.0,0,15,0,	FV2-W.4-S1-M450-SF15
8	16.950335	17.9	525,40,1.3,0.0,0,0,0,	VP3-M525-W.4-S1.3
9	15.492038	16.55	525,40,1.0,0.0,10,0,0,	TV3-W.4-S1-M525-LC10
10	17.434306	15.9	600,50,1.0,1.2,0,0,0,	2FB4-M600-W.5 - SP1-FB1.2
11	12.541810	12.9	500,40,1.0,0.0,20,10,0,	ST3-M500-W.4-S1-SF10-LC20
12	14.393592	17.2	500,40,1.0,0.0,0,5,0,	SF-01-M500-W.4-S1-SF5
13	15.317552	15.34	550,40,1.0,0.0,0,15,0,	FV4-W.4-S1-M550-SF15
14	12.441162	11.8	500,35,1.0,0.0,10,0,0,	TC1-M500-S1.0-W.35-LC10
15	13.988583	13.3	500,40,1.3,0.0,0,15,0,	FP4-M500-W.4 - S1.3-SF15
16	12.067145	11.6	525,40,1.3,1.0,0,0,0,	BV4-W.4-S1.3-M525-FB1
17	16.419236	17.52	500,45,0.8,0.0,0,0,0,	WB-04-M500-W.45-S.8
18	11.214323	10.2	500,35,1.0,0.0,30,0,0,	TC2-M500-S1.0-W.35-LC30

Vedlegg 12- Resultat av alle tester utført i hoveddel

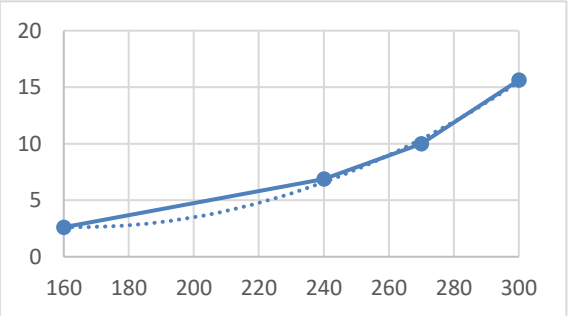
SP

SP7: M500-W0,4-S0,0

Material	Vekt
Sement	1357,223
Vann	558,636
Sand	3164,99
SP	0



Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	10	
	Flytbarhet (%)	0	
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	1,4	
Green strength	0 min	15,4	


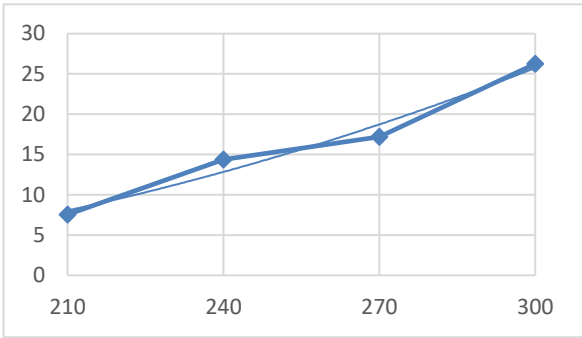
Green strength	15 min	30+	-
Ekstruderbarhet	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min i min	180
		Penetrasjon i MPa	2,62
	2	Tid i min i min	240
		Penetrasjon i MPa	6,88
	3	Tid i min	270
		Penetrasjon i MPa	10
	4	Tid i min	300
		Penetrasjon i MPa	15,63



SP1: M500-W0,4-S0,4

Material	Vekt
Sement	1356,194
Vann	553,748
Sand	3164,992
SP	5,425




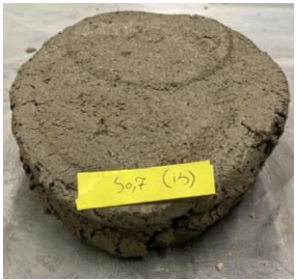

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	13,3	
	Flytbarhet (%)	33	
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	1,8	

Green strength		0 min (kg)	12,77	
Green strength		15 min (kg)	15,5	
Ekstruderbarhet		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	3,53	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	14,38	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	17,19	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	26,25	

SP2: M500-W0,4-S0,7

Material	Vekt
Sement	1355,42
Vann	550,1
Sand	3165
SP	9,49

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	14,98	



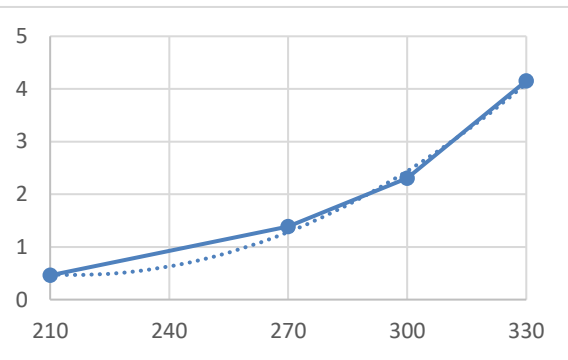
		Flytbarhet (%)	49,8	
Sylinder 5 kg		Høydereduksjon (cm)	3	
Green strength		0 min (kg)	11,54	
Green strength		15 min (kg)	15,1	
Ekstruderbarhet		Ekstruderbar?	Ja	
		Kontinuerlig?	Ja	
		Bredde ved 5 cm	1,43	
		Bredde ved 15 cm	1,46	
		Bredde ved 25 cm	1,50	
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	2,46	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	3,08	
	3	Tid i min	270	

		Penetrasjon i MPa	5,23	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	8,75	

SP3: M500-W0,4-S1,0


Material	Vekt
Sement	1354,7
Vann	546,43
Sand	3165
SP	13,55


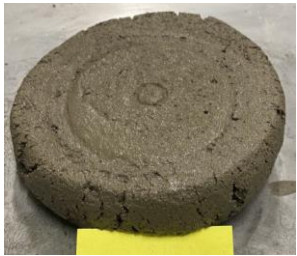
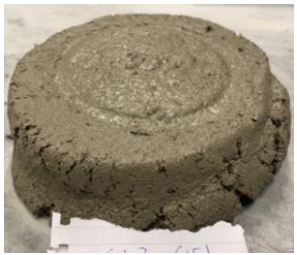

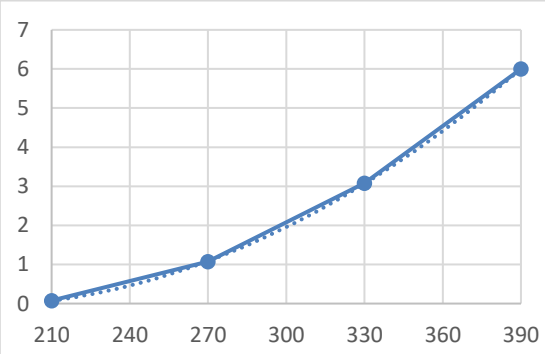
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	15,5	
	Flytbarhet (%)	55	
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	6	
Green strength	0 min (kg)	10,5	

Green strength		15 min (kg)	14,4	
Ekstruderbarhet		Ekstruderbar?	Ja	
		Kontinuerlig?	Ja	
		Bredde ved 5 cm	1,52	
		Bredde ved 15 cm	1,63	
		Bredde ved 25 cm	1,58	
Penetrometer	1	Tid i min i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,46	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	2,31	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	4,15	

SP4: M500-W0,4-S1,3

Material	Vekt
Sement	1353,9
Vann	542,78
Sand	3165
SP	17,6

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	15,7	
	Flytbarhet (%)	57	

Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	7		
Green strength	0 min (kg)	3,4		
Green strength	15 min (kg)	5,1		
Ekstruderbarhet	Ekstruderbar?	Ja		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,44		
	Bredde ved 15 cm	1,43		
	Bredde ved 25 cm	1,44		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,08	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,08	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	3,08	
	4	Tid i min	390	
		Penetrasjon i MPa	6	


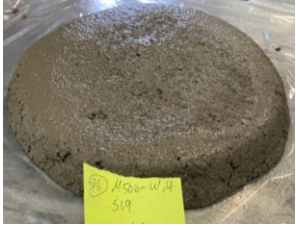



SP5: M500-W0,4-S1,6

Material	Vekt
Sement	1353,1
Vann	539,1
Sand	3165
SP	21,65

Testresultat			Illustrasjon	
Rystebord	Diameter (cm)	15,9		
	Flytbarhet (%)	59		
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	7		
Green strength	0 min (kg)	2		
Green strength	15 min (kg)	3,17		
Ekstruderbarhet	Ekstruderbar?	Ja		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,72		
	Bredde ved 15 cm	1,65		
	Bredde ved 25 cm	1,63		
Penetrometer	1	Tid i min i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	0,92	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	2	
	4	Tid i min	390	
		Penetrasjon i MPa	4,62	

SP6: M500-W0,4-S1,9

Material	Vekt
Sement	1352,347
Vann	535,487
Sand	3164,992
SP	25,695



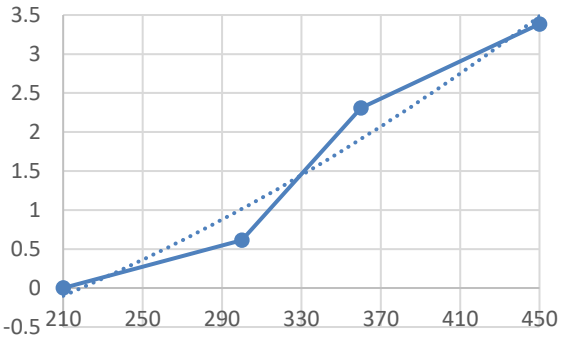
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	16,7	
	Flytbarhet (%)	67	
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	7,5	
Green strength	0 min (kg)	2,92	
Green strength	15 min (kg)	4,6	
Ekstruderbarhet	Ekstruderbar?	Ja	
	Kontinuerlig?	Ja	
	Bredde ved 5 cm	17,2	
	Bredde ved 15 cm	17,4	
	Bredde ved 25 cm	16,7	

Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,08	
	3	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	4,15	
	4	Tid i min	420	
		Penetrasjon i MPa	12,81	

SP08: M500-W,40-S2,2

Material	Vekt
Sement	1351,581
Vann	531,847
Sand	3164,992
SP	29,735


Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	19,3	-
	Flytbarhet (%)	93	
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	8	
Green strength	0 min (kg)	1,82	
Green strength	15 min	3,43	

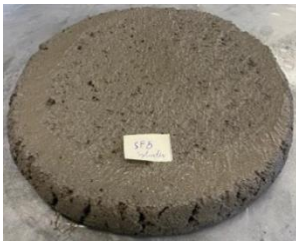



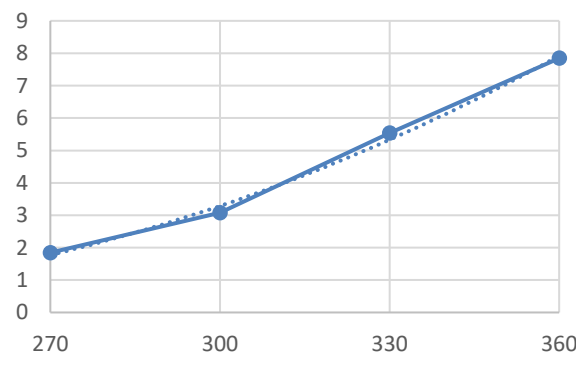
				
Ekstruderbarhet	Ekstruderbar?	Ja		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	17,4		
	Bredde ved 15 cm	18,5		
	Bredde ved 25 cm	17,9		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0	
	2	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	0,62	
	3	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	2,31	
	4	Tid i min	450	
		Penetrasjon i MPa	3,38	

SF

SF1: M500-W,40-S1-SF-5

Material	Vekt
Sement	1274,98
Vann	541,51
Sand	3164,99
SP	13,42
SF	67,11






Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	17,2	
	Flytbarhet (%)	72	

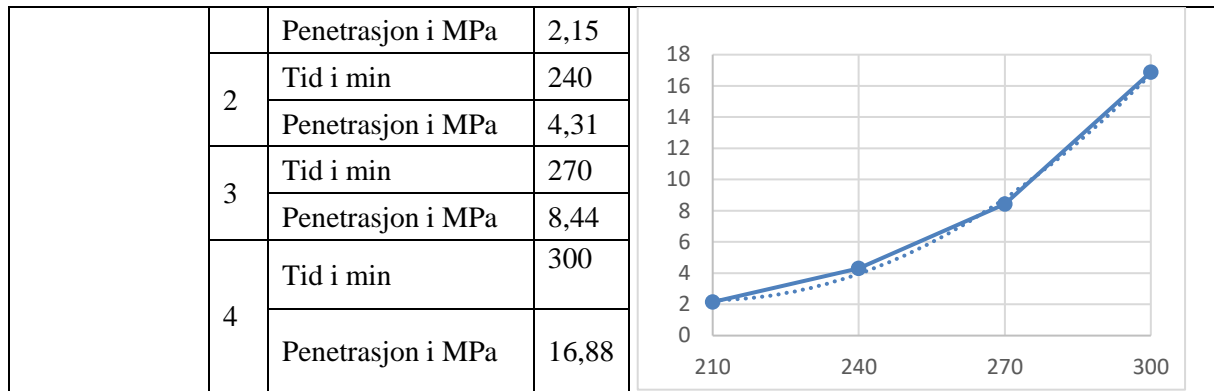
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	6,5		
Green strength	0 min (kg)	2,8		
Green strength	15 min	3,2		
Ekstruderbarhet	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,64		
	Bredde ved 15 cm	1,56		
	Bredde ved 25 cm	1,62		
Penetrometer	1	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,85	
	2	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	3,1	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	5,54	
	4	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	7,85	

SF2: M500-W,40-S1-SF10

Material	Vekt
Sement	1196,77
Vann	536,67
Sand	3164,99
SP	13,30



SF	132,97
----	--------



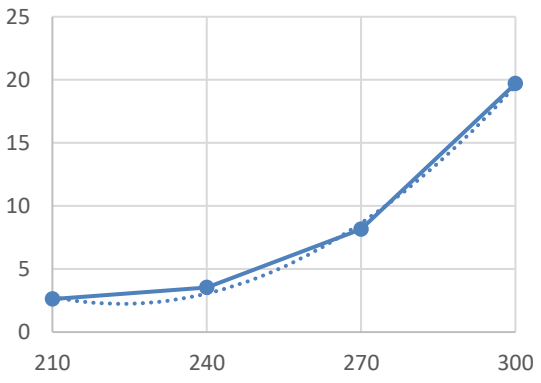
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,95	
	Flytbarhet (%)	39,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	2,0	
Green strength:	0 min (kg)	8	
Green strength:	15 min	12,4	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok	
	Kontinuerlig?	Ja	
	Bredde ved 5 cm	1,55	
	Bredde ved 15 cm	1,59	
	Bredde ved 25 cm	1,50	
Penetrometer	1	Tid i min	210



SF3: M500-W,40-S1-SF15

Material	Vekt
Sement	1119,98
Vann	531,925
Sand	3164,992
SP	13,176
SF	197,64






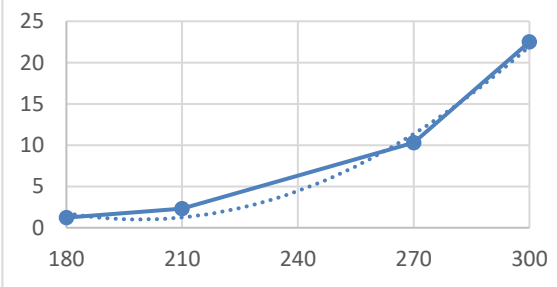
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord	Diameter (cm)	13,3	
	Flytbarhet (%)	33	
Sylinder 5 kg	Høydereduksjon (cm)	2,0	
Green strength	0 min (kg)	13,6	

														
Green strength	15 min	14,6												
Pumpbarhet	Ekstruderbar?	Ok												
	Kontinuerlig?	Ja												
	Bredde ved 5 cm	1,72												
	Bredde ved 15 cm	1,75												
	Bredde ved 25 cm	1,78												
Penetrometer	1	Tid i min	210	 <table border="1"> <caption>Data for Penetration Graph</caption> <thead> <tr> <th>Tid i min</th> <th>Penetrasjon i MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>210</td> <td>2,15</td> </tr> <tr> <td>240</td> <td>3,54</td> </tr> <tr> <td>270</td> <td>8,15</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>19,69</td> </tr> </tbody> </table>	Tid i min	Penetrasjon i MPa	210	2,15	240	3,54	270	8,15	300	19,69
		Tid i min	Penetrasjon i MPa											
	210	2,15												
	240	3,54												
	270	8,15												
	300	19,69												
	2	Tid i min	240											
		Penetrasjon i MPa	3,54											
3	Tid i min	270												
	Penetrasjon i MPa	8,15												
4	Tid i min	300												
	Penetrasjon i MPa	19,69												

SF4: M500-W,40-S1-SF20

Material	Vekt
Sement	1044,58
Vann	527,264
Sand	3164,992
SP	13,057
SF	261,15




Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------



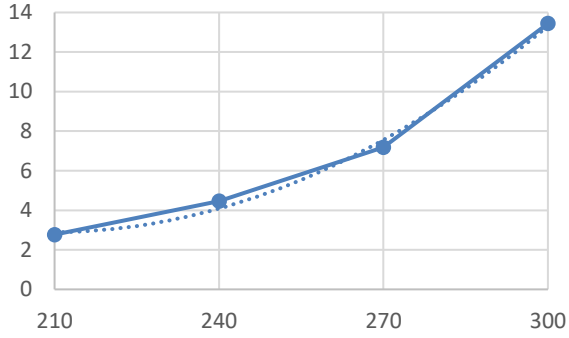
Rystebord:	Diameter (cm)	12,15		
	Flytbarhet (%)	21,5		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,0		
Green strength:	0 min (kg)	15,9		
Green strength:	15 min	16,7		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,6		
	Bredde ved 15 cm	1,7		
	Bredde ved 25 cm	1,8		
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	1,23	
	2	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	2,31	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	10,31	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	22,5	

LC3

LC1: M500-W,40-S1-LC10

Material	Vekt
Sement	1209,076
Vann	542,03
Sand	3164,99
SP	13,43
Kalsinert Leir	88,67
Kalkstein	45,68




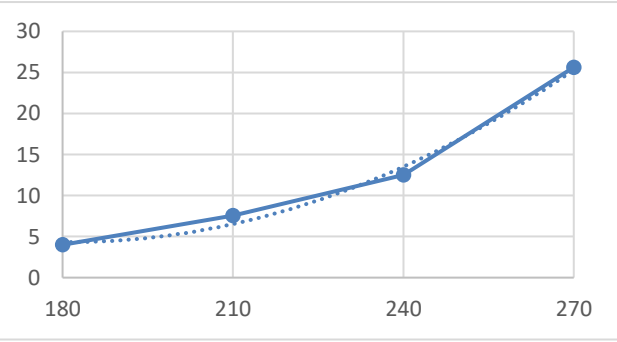
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,6	
	Flytbarhet (%)	46%	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,5 cm	
Green strength:	0 min (kg)	8 kg	
Green strength:	15 min	13,1 kg	

				
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	OK		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	17,4 mm		
	Bredde ved 15 cm	19,0 mm		
	Bredde ved 25 cm	17,9 mm		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	2,76	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	7,19	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	13,43	

LC2: M500-W,40-S1-LC20




Material	Vekt
Sement	1065,85
Vann	537,69
Sand	3164,99
SP	13,32
Kalsinert Leir	177,2
Kalkstein	89,27


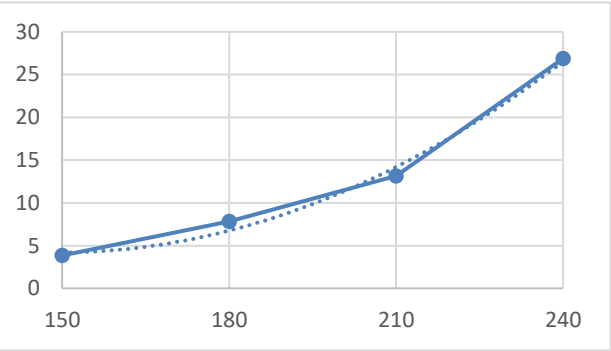
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,6 cm	
	Flytbarhet (%)	36 %	

Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,5 cm		
Green strength:	0 min (kg)	8,9 kg		
Green strength:	15 min	18,8 kg		
Ekstruderbarhet :	Ekstruderbar?	IKKE OK!		
	Kontinuerlig?	IKKE OK!		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	4	
	2	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	7,54	
	3	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	12,5	
	4	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	25,63	

LC3: M500-W,40-S1-LC30

Material	Vekt
Sement	925,355
Vann	533,423
Sand	3164,992
SP	13,214
Kalsinert Leir	264,29
Kalkstein	132,145





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	12,2 cm	
	Flytbarhet (%)	22 %	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (%)	1 cm	
Green strength:	0 min (kg)	19,4 kg	
Green strength:	15 min	22,7 kg	

				
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	IKKE OK!		
	Kontinuerlig?	IKKE OK!		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	3,84	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	7,8	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	13,13	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	26,87	

LC4: M500-W,40-S1-LC40

Material	Vekt
Sement	786,453
Vann	529,234
Sand	3164,992
SP	13,108
Kalsinert Leir	348,661
Kalkstein	175,641

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------




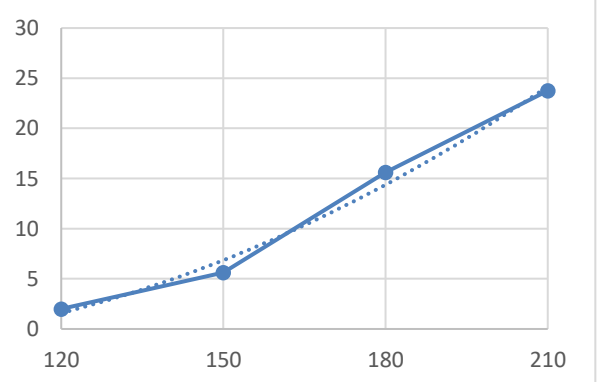
Rystebord:	Diameter (cm)	12,2 cm	
	Flytbarhet (%)	22%	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (%)	1 cm	
Green strength:	0 min (kg)	20,5 kg	
Green strength:	15 min	23,4 kg	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	IKKE OK!	
	Kontinuerlig?	IKKE OK!	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	

	Bredde ved 25 cm		-	
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	1,54	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	4,31	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	6,77	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	12,5	

LC5: M500-W,40-S1-LC50

Material	Vekt
Sement	650,104
Vann	525,103
Sand	3164,992
SP	13,002
Kalsinert Leir	432,97
Kalkstein	217,135





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	10,5 cm	
	Flytbarhet (%)	5%	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,5 cm	


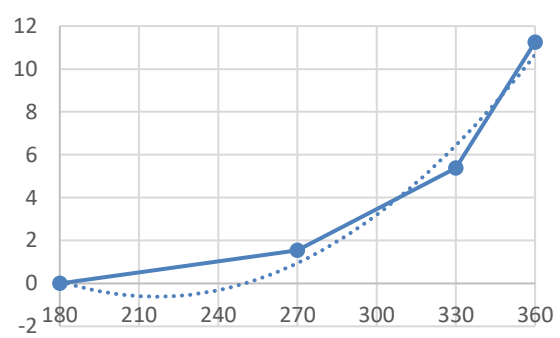
				
Green strength:	0 min (kg)	23 kg		
Green strength:	15 min	23,9 kg		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	IKKE OK!		
	Kontinuerlig?	IKKE OK!		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	2	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	5,63	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	15,65	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	23,75	

FB

FB1: M600-W,4-S1.3-FB.5



Material	Vekt
Sement	1696,357
Vann	672,651
Sand	2472,65
SP	22,053
Fiber	10,01




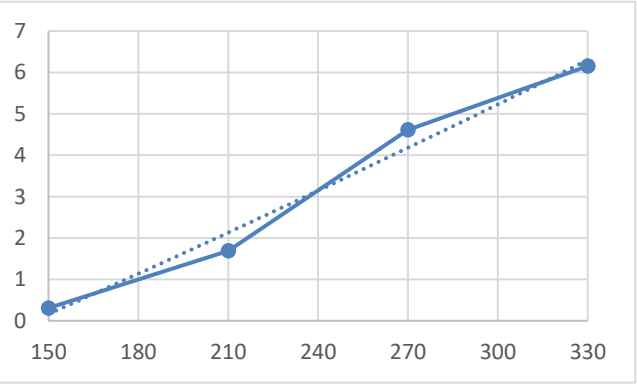
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	16,56	
	Flytbarhet (%)	65,6	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	6,5	
Green strength:	0 min (kg)	1,95	
Green strength:	15 min	2,2	

		Ekstruderbar?	Ok	
		Kontinuerlig?	Ja	
Ekstruderbarhet:		Bredde ved 5 cm	1,57	
		Bredde ved 15 cm	1,63	
		Bredde ved 25 cm	1,65	
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	0	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,54	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	5,38	
	4	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	11,25	

FB2: M600-W,4-S1.3-FB1





Material	Vekt
Sement	1698,141
Vann	673,181
Sand	2439,682
SP	22,076
Fiber	20,02

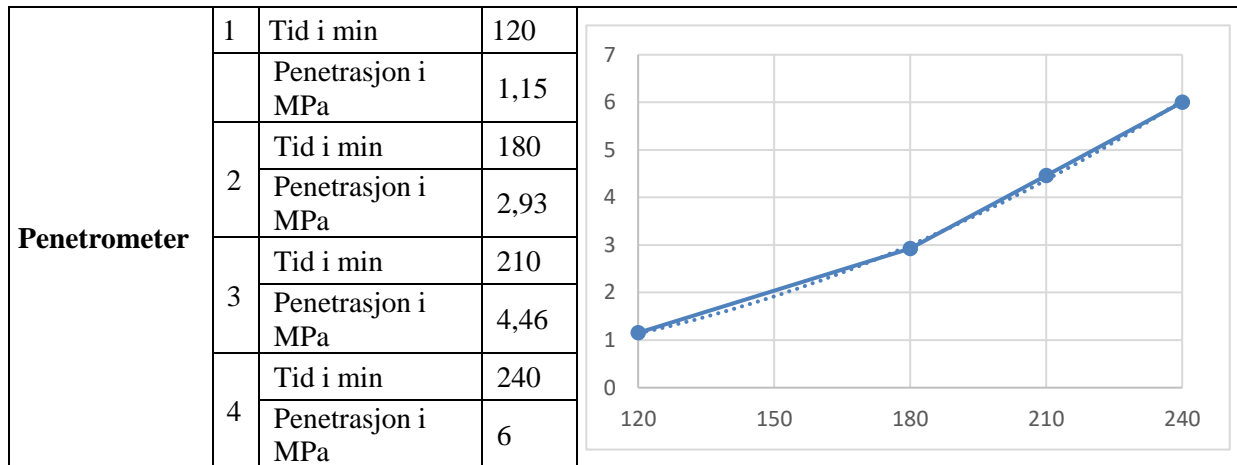
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,7	
	Flytbarhet (%)	37	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,0	
Green strength:	0 min (kg)	8	

				
Green strength:	15 min	12,6		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	0,31	
	2	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	1,69	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4,62	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	6,15	

FB3: M600-W,4-S1.3-FB1.5

Material	Vekt
Sement	1699,924
Vann	673,712
Sand	2406,712
SP	22,099
Fiber	30,03



Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	12,28	
	Flytbarhet (%)	22,8	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,7	
Green strength:	0 min (kg)	15,7	
Green strength:	15 min	20,6	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	




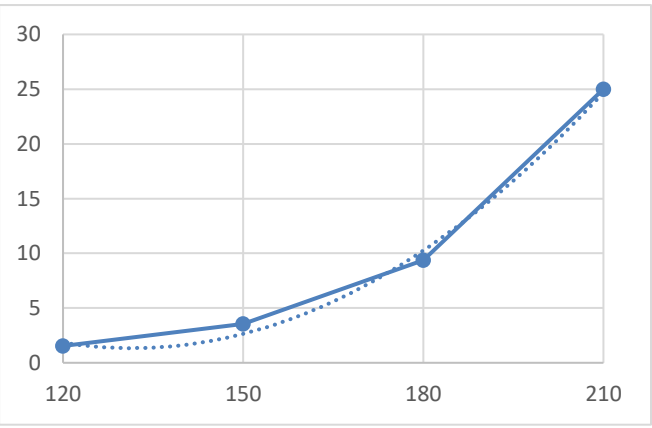


SF-SP

FP1-M500-w40 - S.4-SF5

Material	Vekt
Sement	1276,41
Vann	548,75
Sand	3164,99
SP	5,374
Silica	67,142






Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	12,33	
	Flytbarhet (%)	23,3	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,8	

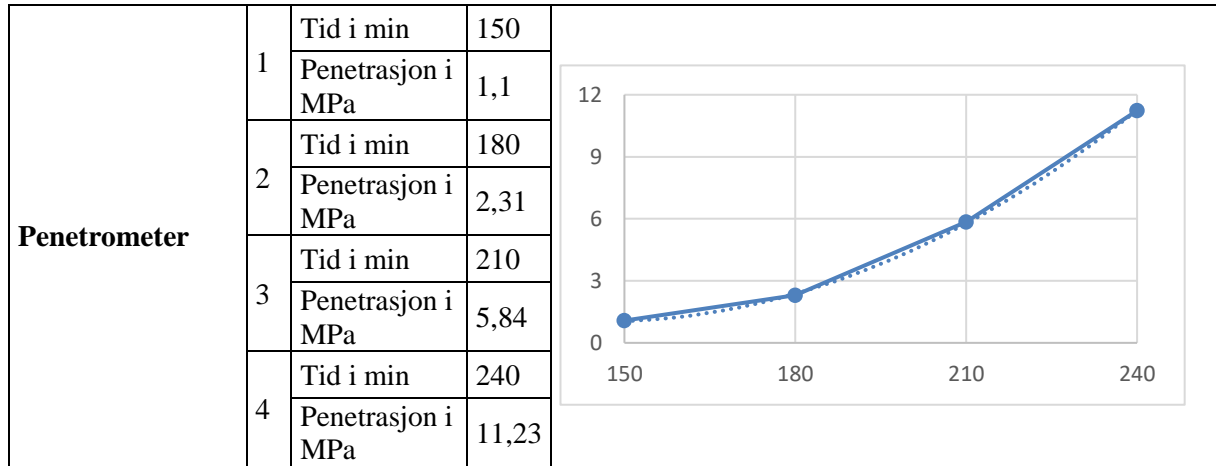
Green strength:	0 min (kg)	12		
Green strength:	15 min	15,6		
Ekstruderbarhet :	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,75		
	Bredde ved 15 cm	1,77		
	Bredde ved 25 cm	1,6		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	1,54	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	3,53	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	9,38	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	25	

FP2-M500-W40-S,7-SF5

Material	Vekt
Sement	1275,694
Vann	545,12
Sand	3164,99



SP	9,40
Silica	67,142




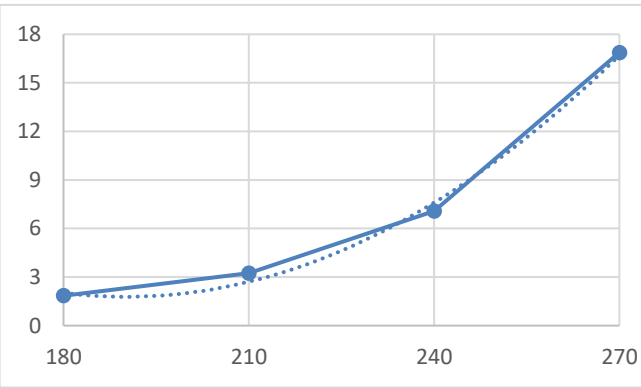
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,2	
	Flytbarhet (%)	42	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	2,2	
Green strength:	0 min (kg)	8,85	
Green strength:	15 min	10,81	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok	
	Kontinuerlig?	Ja	
	Bredde ved 5 cm	1,63	
	Bredde ved 15 cm	1,7	
	Bredde ved 25 cm	1,55	



FP3-M500-W40 - S.7-SF15


Material	Vekt
Sement	1120,599
Vann	535,473
Sand	3165
SP	9,228
Silica	197,753

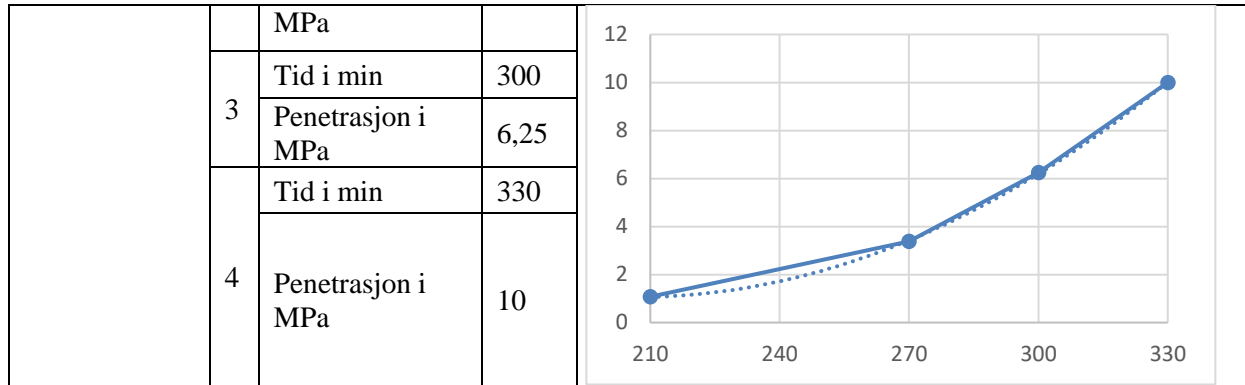
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	11,9	
	Flytbarhet (%)	19	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,0	
Green strength:	0 min (kg)	15,97	

				
Green strength:	15 min	18,3		
Ekstruderbarhet :	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,7		
	Bredde ved 15 cm	1,75		
	Bredde ved 25 cm	1,73		
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	1,84	
	2	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	3,23	
	3	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	7,1	
	4	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	16,88	

FP4-M500-W40 - S1.3-SF15

Material	Vekt
Sement	1119,361
Vann	528,381
Sand	3165
SP	17,12
Silica	197,534



Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,3	
	Flytbarhet (%)	33	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,6	
Green strength:	0 min (kg)	11,67	
Green strength:	15 min	12	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	ok	
	Kontinuerlig?	ja	
	Bredde ved 5 cm	1,67	
	Bredde ved 15 cm	1,63	
Penetrometer	1	Tid i min	210
		Penetrasjon i MPa	1,1
	2	Tid i min	270
		Penetrasjon i	3,38



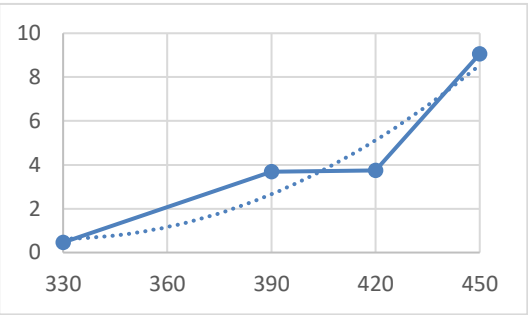


2FB

2FB1-M600-W.50 - SP1-FB.5

Material	Vekt
Sement	1490,546
Vann	745,278
Sand	2472,65
SP	14,9
Fiber	10




Testresultat			Illustrasjon
Rystabord:	Diameter (cm)	19,6	
	Flytbarhet (%)	96	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	SCC	
Green strength:	0 min (kg)	Collapse	

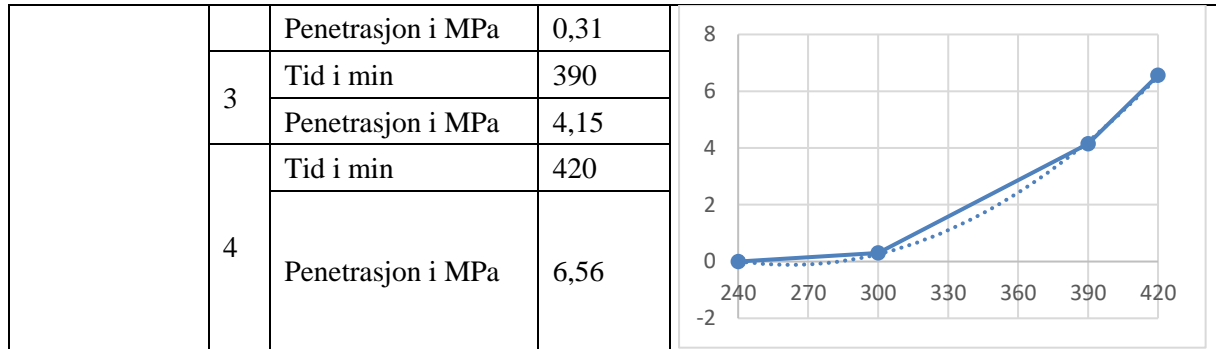
				
Green strength:	15 min	Collapse		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	0,46	
	2	Tid i min	390	
		Penetrasjon i MPa	3,69	
	3	Tid i min	420	
		Penetrasjon i MPa	3,75	
	4	Tid i min	450	
		Penetrasjon i MPa	9,06	

2FB2-M600-W.50 - SP1-FB.7

Material	Vekt
Sement	1491,173
Vann	745,521
Sand	2459,463
SP	14,91
Fiber	12



Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------



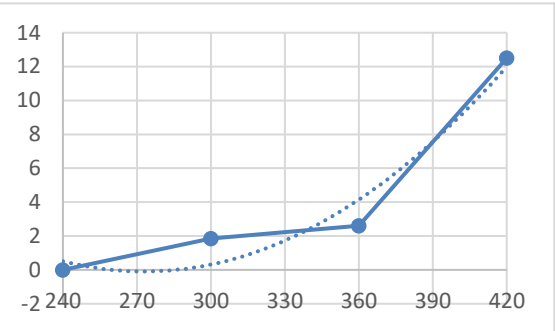
Rystebord:	Diameter (cm)	17,5	-
	Flytbarhet (%)	75	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	SCC	
Green strength:	0 min (kg)	Collapse	
Green strength:	15 min	Collapse	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	240
		Penetrasjon i MPa	0
	2	Tid i min	300



2FB3-M600-W.50 - SP1-FB1(BD5)

Material	Vekt
Sement	1492,113
Vann	745,884
Sand	2439,68
SP	14,92
Fiber	20





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	16,5	
	Flytbarhet (%)	65	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	7,7	
Green strength:	0 min (kg)	2,83	

				
Green strength:	15 min	3,41		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	0	
	2	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	1,85	
	3	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	2,62	
	4	Tid i min	420	
		Penetrasjon i MPa	12,5	

2FB4-M600-W.50 - SP1-FB1.2

Material	Vekt
Sement	1492,740
Vann	746,127
Sand	2426,49
SP	14,927
Fiber	24

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------


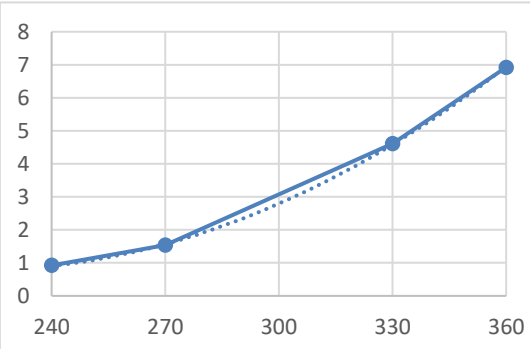
Rystebord:	Diameter (cm)	15,9		
	Flytbarhet (%)	59		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5		
Green strength:	0 min (kg)	7,21		
Green strength:	15 min	11,65		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min		
		Penetrasjon i MPa	1,69	
	2	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	3,08	
	3	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	4,07	

	4	Tid i min	390	
		Penetrasjon i MPa	9,07	

2FB5-M600-W.50 - SP1-FB51.5


Material	Vekt
Sement	1493,681
Vann	746,49
Sand	2406,71
SP	14,937
Fiber	30



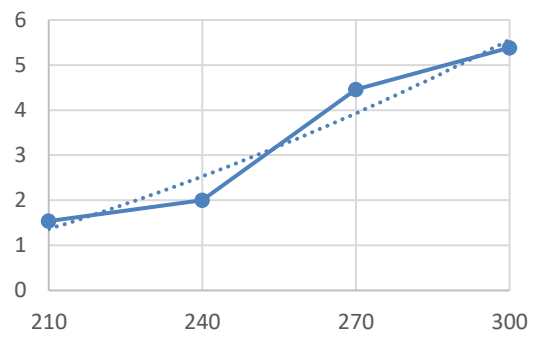
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,8	
	Flytbarhet (%)	48	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5	
Green strength:	0 min (kg)	8,41	

Green strength:		15 min	9,46	
Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	0,92	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,54	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	4,62	
	4	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	6,92	

2FB6-M600-W.50 - SP1-FB2

Material	Vekt
Sement	1495,248
Vann	747,1
Sand	2373,74
SP	14,952
Fiber	40





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	12,6	
	Flytbarhet (%)	26	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon	2,0	


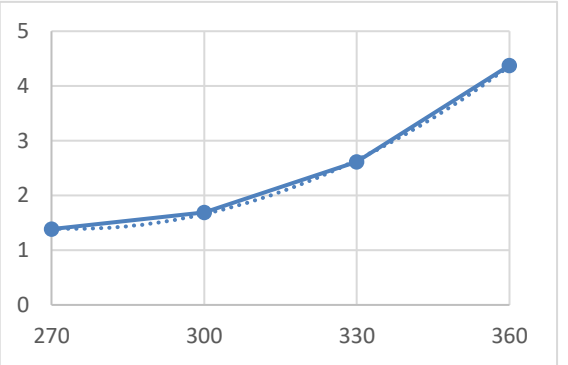
		(cm)		
Green strength:		0 min (kg)	19	
Green strength:		15 min	24,5	-
Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	1,54	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	5,38	

LC-FB

TB1-M600-W.5-S1-LC20FB.5


Material	Vekt
Sement	1175,156
Vann	734,655
Sand	2472,65
SP	14,689
K.leire	195,37
Kalk (limestone)	98,42
Fiber	10




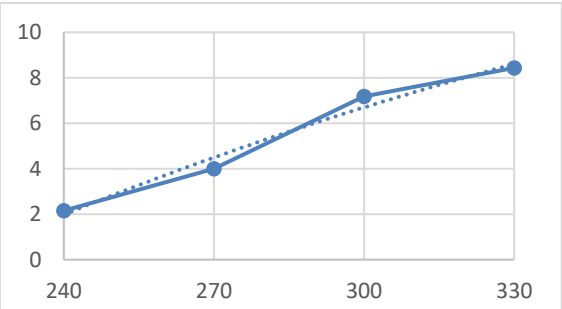
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	19,6	
	Flytbarhet (%)	96	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,0	
Green strength:	0 min (kg)	1,4	
Green strength:	15 min	1,73	

Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	2	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	1,69	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	2,62	
	4	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	4,38	

TB2-M600-W.5-S1-LC40FB.5

Material	Vekt
Sement	868,762
Vann	724,325
Sand	2472,65
SP	14,479
K.leire	386,599
Kalk (limestone)	192,576
Fiber	10






Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	19,5	
	Flytbarhet (%)	95	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon	5,0	

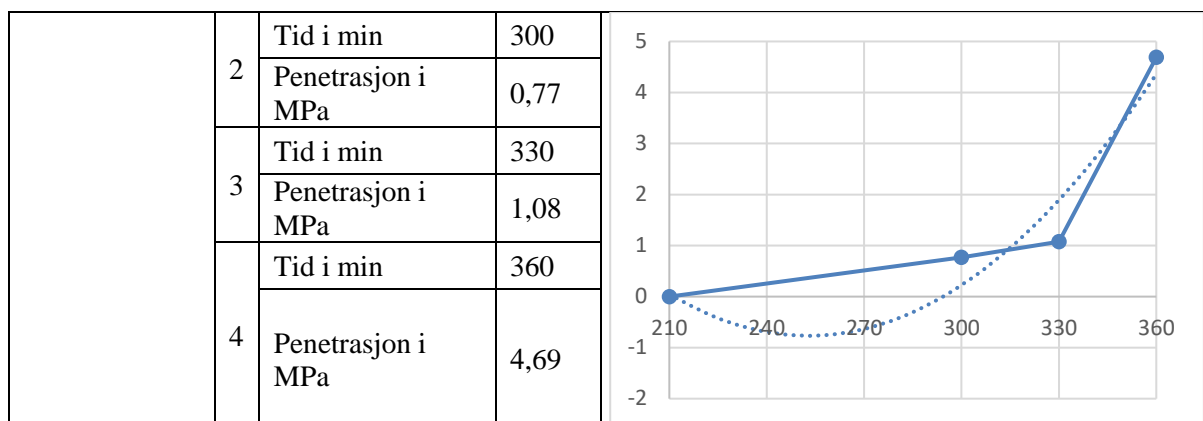
	(cm)		-	
Green strength:	0 min (kg)	2,3		
Green strength:	15 min	2,74		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Delv. ok		
	Kontinuerlig?	ja		
	Bredde ved 5 cm	1,53		
	Bredde ved 15 cm	1,75		
	Bredde ved 25 cm	1,66		
Penetrometer	1	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	7,19	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	8,44	

TB3-M600-W.5-S1-LC20FB1

Material	Vekt
Sement	1176,392
Vann	735,251
Sand	2439,682
SP	14,7
K.leire	195,575
Kalk (limestone)	98,523



Fiber	20
-------	----



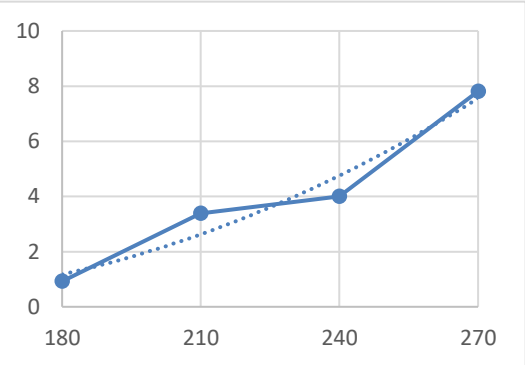
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	17,25	
	Flytbarhet (%)	72,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,2	
Green strength:	0 min (kg)	4,69	
Green strength:	15 min	6,65	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	210
		Penetrasjon i MPa	0



TB4-M600-W.5-S1-LC40FB1

Material	Vekt
Sement	869,675
Vann	724,91
Sand	2439,682
SP	14,49
K.leire	387
Kalk (limestone)	192,778
Fiber	20






Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,9	
	Flytbarhet (%)	49	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,0	
Green strength:	0 min (kg)	6,43	

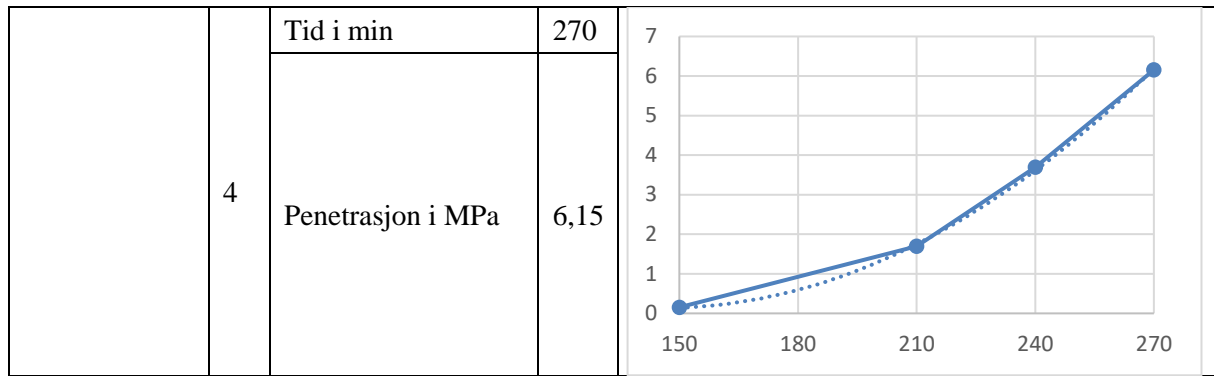
				
Green strength:	15 min	9,82		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	-		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	0,92	
	2	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	3,38	
	3	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	4	
	4	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	7,81	

LC-SP

TP1-M500-W,40-S1.3-LC20

Material	Vekt
Sement	1065,278
Vann	534,104
Sand	3165
SP	17,311
K.leire	177,103
Kalk (limestone)	89,217



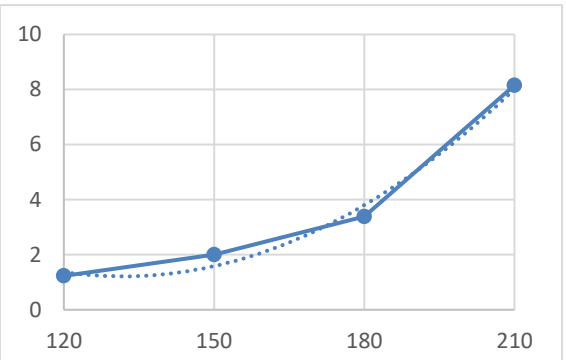
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	16	
	Flytbarhet (%)	60	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,8	
Green strength:	0 min (kg)	3,01	
Green strength:	15 min	5,35	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok	
	Kontinuerlig?	Ja	
	Bredde ved 5 cm	1,83	
	Bredde ved 15 cm	1,95	
	Bredde ved 25 cm	1,90	
Penetrometer	1	Tid i min	150
		Penetrasjon i MPa	0,15
	2	Tid i min	210
		Penetrasjon i MPa	1,69
	3	Tid i min	240
		Penetrasjon i MPa	3,69



TP2-M500-W,40-S.7-LC20

Material	Vekt
Sement	1066,47
Vann	541,283
Sand	3165
SP	9,332
K.leire	177,301
Kalk (limestone)	89,317






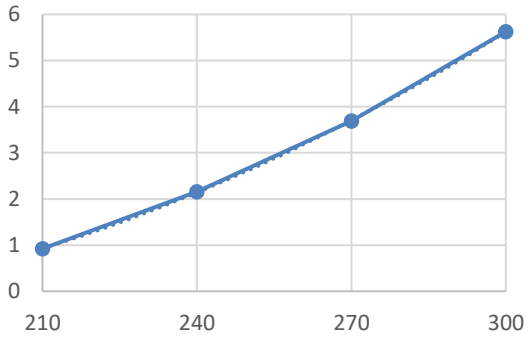
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,1	
	Flytbarhet (%)	31	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,5	
Green strength:	0 min (kg)	16,6	

				
Green strength:	15 min	21,5		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	1,23	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	2	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	3,38	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	8,15	

TP3-M500-W,40-S1.6-LC20





Material	Vekt
Sement	1064,684
Vann	530,521
Sand	3165
SP	21,294
K.leire	177
Kalk (limestone)	89,167


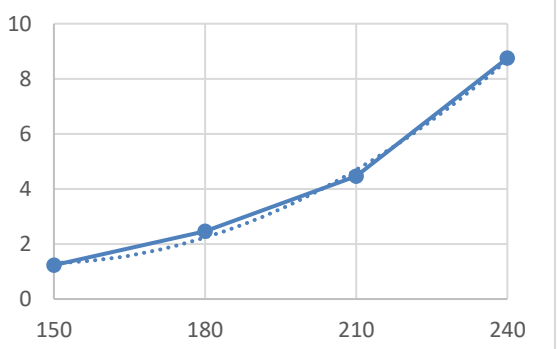
Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------

Rystebord:	Diameter (cm)	16,6		
	Flytbarhet (%)	66		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	6,0		
Green strength:	0 min (kg)	2,93		
Green strength:	15 min	3,58		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,77		
	Bredde ved 15 cm	1,69		
	Bredde ved 25 cm	1,63		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,92	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	3,69	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	5,63	

TP4-M500-W,40-S1.3-LC40



Material	Vekt
Sement	786
Vann	527,7
Sand	3165
SP	17,03
K.leire	349,773
Kalk (limestone)	174,136




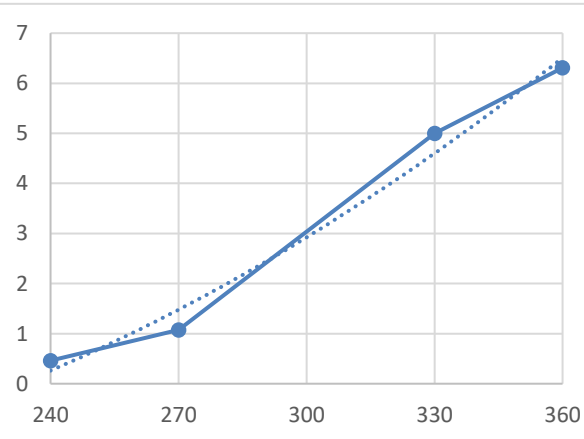
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,3	
	Flytbarhet (%)	43	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	3,0	
Green strength:	0 min (kg)	6,14	
Green strength:	15 min	8,63	

Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ok	
		Kontinuerlig?	Ja	
		Bredde ved 5 cm	1,53	
		Bredde ved 15 cm	1,59	
		Bredde ved 25 cm	1,57	
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,23	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	2,46	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	8,75	

TP5-M500-W,40-S1.6-LC40

Material	Vekt
Sement	785,574
Vann	522,180
Sand	3165
SP	20,949
K.leire	349,58
Kalk (limestone)	174,136

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,68	
	Flytbarhet (%)	46,8	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5	






Green strength:	0 min (kg)	7,25		
Green strength:	15 min	10,5		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,83		
	Bredde ved 15 cm	1,83		
Bredde ved 25 cm	1,87			
Penetrometer	1	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	0,46	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,08	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	5	
	4	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	6,31	

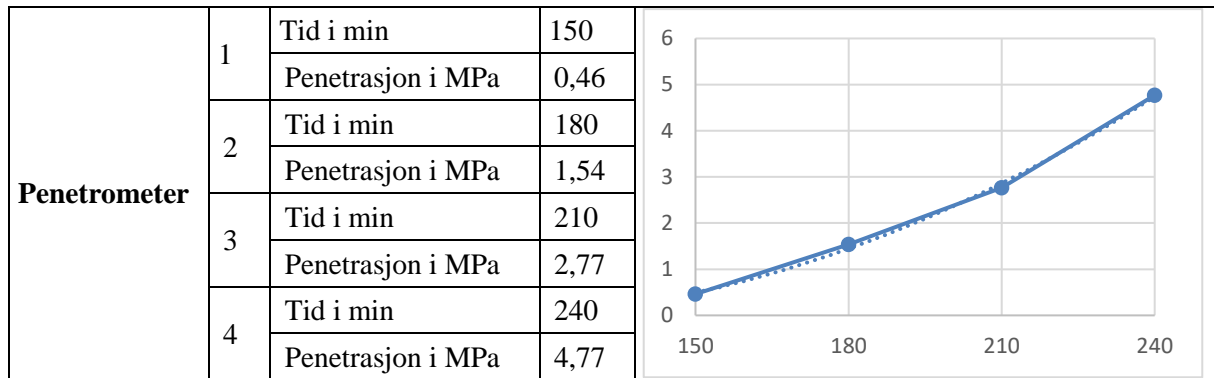
SF-LC

ST1-M500-W,40-S1-SF5-LC20

Material	Vekt
Sement	990,134
Vann	532,926
Sand	3165

SP	13,2
Silica	66,01
K.leire	175,584
Kalk (limestone)	88,452




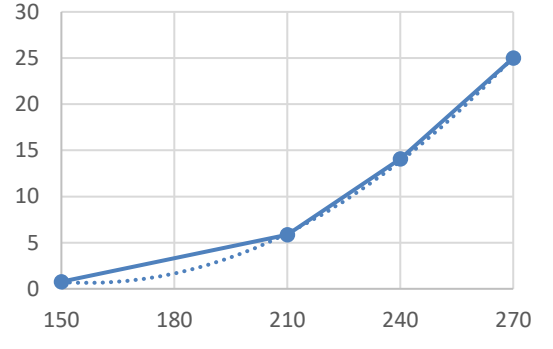
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,78	
	Flytbarhet (%)	37,8	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,3	
Green strength:	0 min (kg)	10,87	
Green strength:	15 min	13,8	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok	
	Kontinuerlig?	Ja	
	Bredde ved 5 cm	1,77	
	Bredde ved 15 cm	1,71	
	Bredde ved 25 cm	1,8	



ST2-M500-W,40-S1-SF5-LC10

Material	Vekt
Sement	1131,373
Vann	537,176
Sand	3165
SP	13,31
Silica	66,551
K.leire	89,179
Klak (limestone)	43,523






Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,9	
	Flytbarhet (%)	39	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,0	
Green strength:	0 min (kg)	12,66	

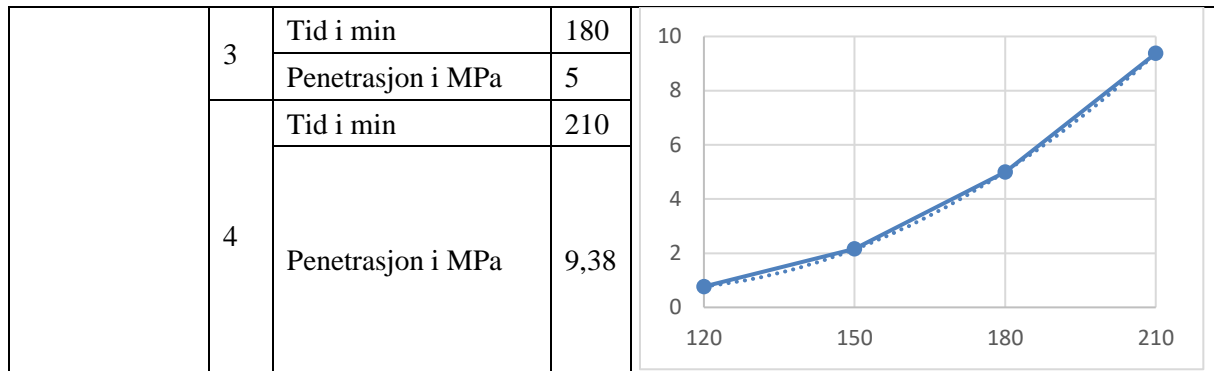
				
Green strength:	15 min	14,5		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,7		
	Bredde ved 15 cm	1,63		
	Bredde ved 25 cm	1,73		
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	0,77	
	2	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	5,85	
	3	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	14,06	
	4	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	25	

ST3-M500-W,40-S1-SF10-LC20

Material	Vekt
Sement	915,765
Vann	528,247
Sand	3165
SP	13,08
Silica	130,824
K.leire	173,995
Kalk (limestone)	87,652

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------




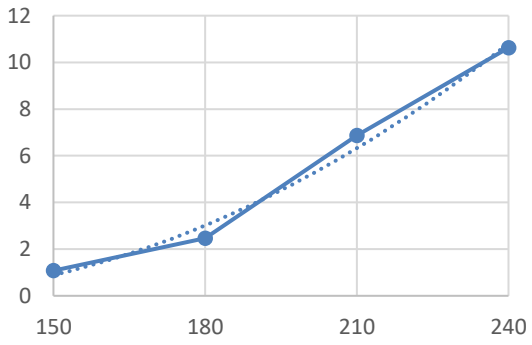
Rystebord:	Diameter (cm)	12,9	
	Flytbarhet (%)	29	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	2,0	
Green strength:	0 min (kg)	16,2	
Green strength:	15 min	20,9	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok	
	Kontinuerlig?	Ja	
	Bredde ved 5 cm	1,71	
	Bredde ved 15 cm	1,69	
	Bredde ved 25 cm	1,7	
Penetrometer	1	Tid i min	120
		Penetrasjon i MPa	0,77
	2	Tid i min	150
		Penetrasjon i MPa	2,15



ST4-M500-W,40-S1-SF10-LC10

Material	Vekt
Sement	1055,11
Vann	532,420
Sand	3165
SP	13,189
Silica	131,889
K.leire	88,365
Kalk (limestone)	43,523

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,65	
	Flytbarhet (%)	36,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	2,0	
Green strength:	0 min (kg)	13,9	






				
Green strength:	15 min	15,7		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,7		
	Bredde ved 15 cm	1,72		
	Bredde ved 25 cm	1,78		
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,08	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	2,46	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	6,88	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	10,63	

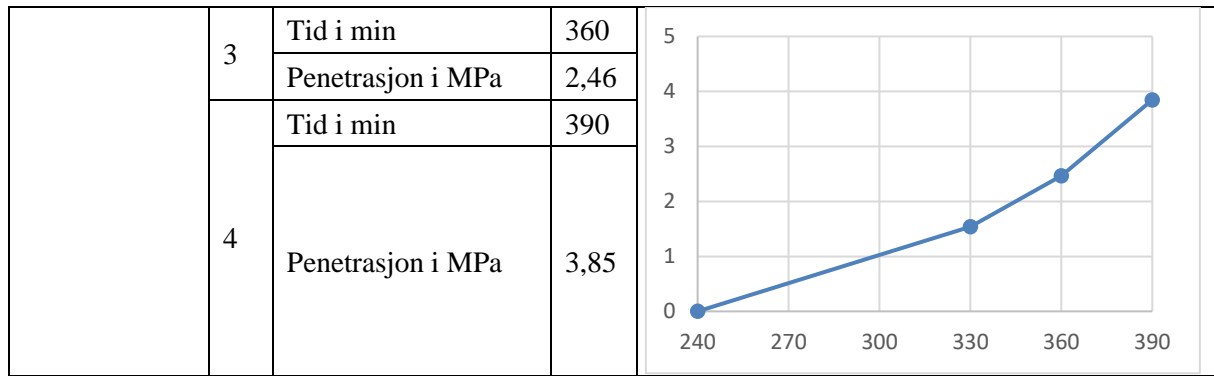
FB-SP

BP1-M600-WB.50-SP1.3-FB1.0

Material	Vekt
Sement	1491,370
Vann	741,830
Sand	2439,680
SP	19,390
Fiber	20

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------



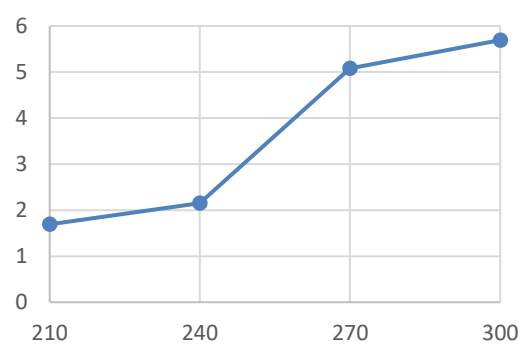
Rystebord:	Diameter (cm)	16,6	
	Flytbarhet (%)	66	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,0	
Green strength:	0 min (kg)	3,32	
Green strength:	15 min	5,44	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	240
		Penetrasjon i MPa	0
	2	Tid i min	330
		Penetrasjon i MPa	1,54



BP2-M600-WB.50-S.7-FB1.5

Material	Vekt
Sement	1494,430
Vann	750,560
Sand	2406,710
SP	10,460
Fiber	30,03





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,93	
	Flytbarhet (%)	39,3	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	3,0	
Green strength:	0 min (kg)	8,97	

				
Green strength:	15 min	14,3		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	1,69	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	5,08	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	5,69	

BP3-M600-WB.50-S1,3-FB1.5

Material	Vekt
Sement	1492,940
Vann	742,430
Sand	2406,710
SP	19,410
Fiber	30

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------



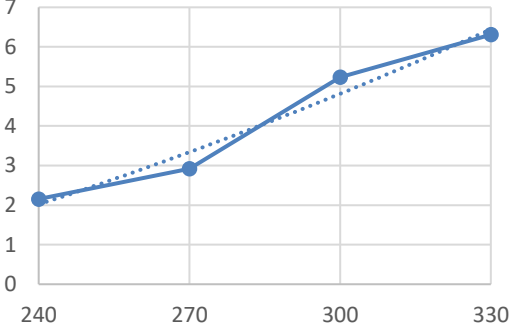
Rystebord:	Diameter (cm)	14,25		
	Flytbarhet (%)	42,5		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,0		
Green strength:	0 min (kg)	8,1		
Green strength:	15 min	10,83		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	2	
	3	Tid i min	330	

		Penetrasjon i MPa	2,46	
	4	Tid i min	390	
		Penetrasjon i MPa	4,62	

BP4-M600-WB.50-S.7-FB1,0

Material	Vekt
Sement	1492,94
Vann	749,95
Sand	2439,68
SP	10,45
Fiber	20,02

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	15,75	
	Flytbarhet (%)	57,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5	
Green strength:	0 min (kg)	6,5	





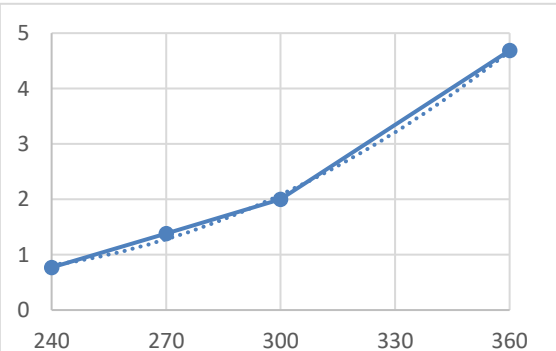
Green strength:	15 min	11,58		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	2,92	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	5,23	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	6,31	

FB-SF

BF1-M600-W.5-SP1- (FB1-SF5)




Material	Vekt
Sement	1405,940
Vann	739,890
Sand	2439,680
SP	14,8
Silica	73,99
Fiber	20


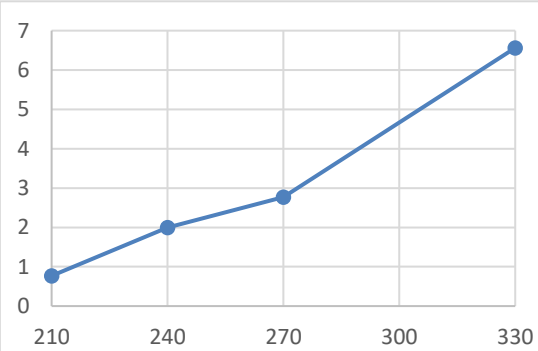
Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------

Rystebord:	Diameter (cm)	15,5		
	Flytbarhet (%)	55		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5		
Green strength:	0 min (kg)	3,97		
Green strength:	15 min	5,67		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	0,77	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	2	
	4	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	4,69	

BF2-M600-W.5-SP1- (FB1.5-SF5)


Material	Vekt
Sement	1407,420
Vann	740,5
Sand	2406,710
SP	14,82
Silica	74,08
Fiber	30




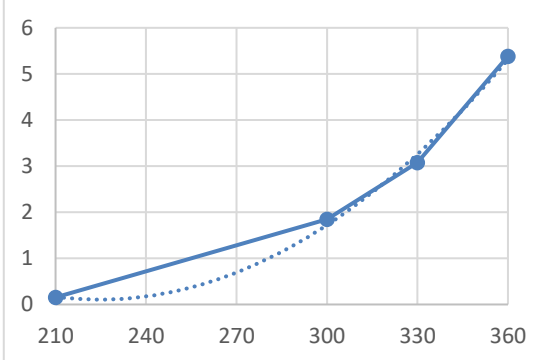
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,4	
	Flytbarhet (%)	34	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	2,5	
Green strength:	0 min (kg)	6,84	
Green strength:	15 min	16	

				
Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,77	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	2,77	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	6,56	

BF3-M600-W.5-SP1- (FB1-SF15)

Material	Vekt
Sement	1237,750
Vann	728,210
Sand	2439,680
SP	14,560
Silica	218,43
Fiber	20





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,58	
	Flytbarhet (%)	45,8	

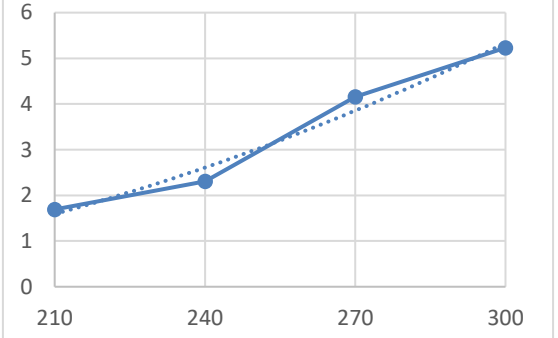
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,5		
Green strength:	0 min (kg)	5,91		
Green strength:	15 min	13,25		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,15	
	2	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	1,85	
	3	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	3,08	
	4	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	5,38	

BF4-M600-W.5-SP1- (FB1.5-SF15)

Material	Vekt
Sement	1229,050
Vann	728,800

Sand	2406,710
SP	30,03
Silica	218,66
Fiber	14,58



Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13	
	Flytbarhet (%)	30	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	2,5	
Green strength:	0 min (kg)	15,73	
Green strength:	15 min	18,4	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	



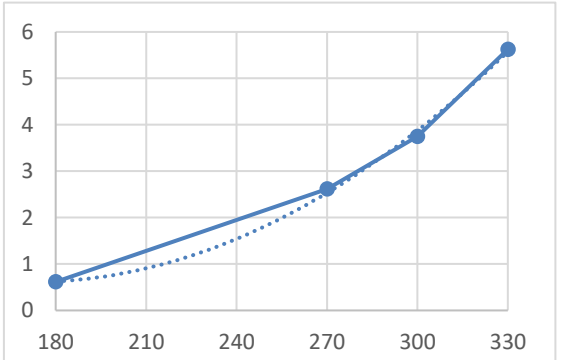
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	1,69	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,31	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4,15	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	5,23	

FB-WC

BC3-M500-S1,3-W45-FB0,5

Material	Vekt
Sement	1267,781
Vann	572,49
Sand	3132,024
SP	16,481
Fiber	10,01





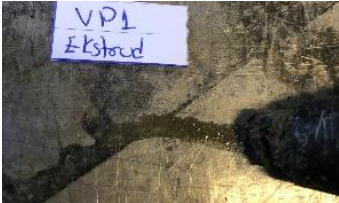
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	13,8	
	Flytbarhet (%)	38	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	3,5	
Green strength:	0 min (kg)	12,13	

				
Green strength:	15 min	14,6		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	0,62	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	2,62	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	3,75	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	5,63	

MV-SP

VP1-M475-W40-S1,3

Material	Vekt
Sement	1268,711
Vann	510,44
Sand	3329,836
SP	16,493


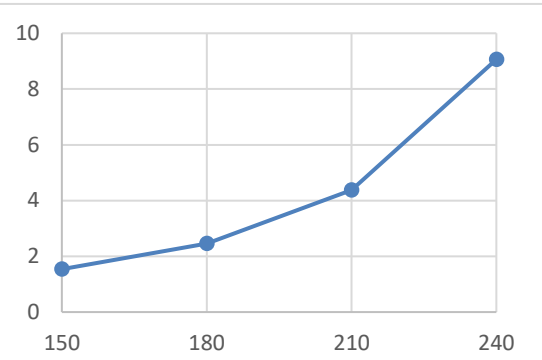
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,5	
	Flytbarhet (%)	45	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,0	
Green strength:	0 min (kg)	9	
Green strength:	15 min	14,87	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	150
		Penetrasjon i MPa	0,46
	2	Tid i min	210
		Penetrasjon i MPa	2,15
	3	Tid i min	240

		Penetrasjon i MPa	4,375	
	4	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	6,56	

VP2-M475-W40-S0,7


Material	Vekt
Sement	1270,153
Vann	517,29
Sand	3329,836
SP	8,891





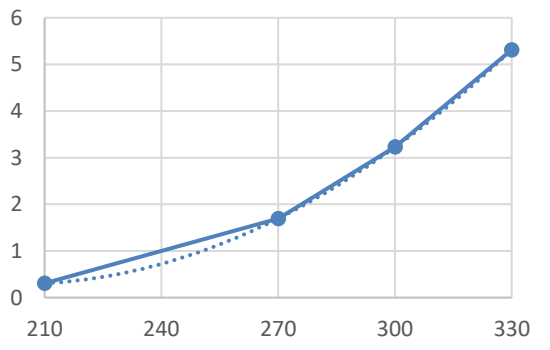
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	12,35	
	Flytbarhet (%)	23,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,0	
Green strength:	0 min (kg)	20,85	

Green strength:		15 min	21,68	
Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,54	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	2,46	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	4,38	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	9,06	

VP3-M525-W40-S1,3

Material	Vekt
Sement	1439,056
Vann	575,12
Sand	3000,149
SP	18,708






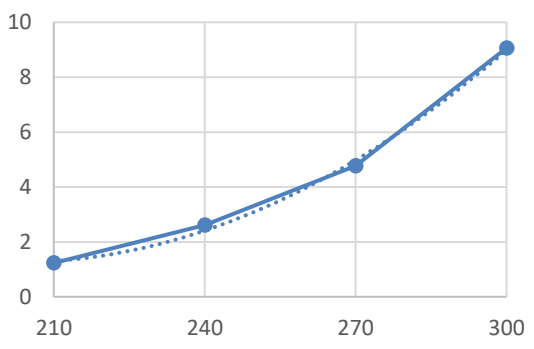
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	17,9	
	Flytbarhet (%)	79	

Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,0		
Green strength:	0 min (kg)	1,89		
Green strength:	15 min	2,45		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,83		
	Bredde ved 15 cm	1,75		
	Bredde ved 25 cm	1,89		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,31	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	1,69	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	3,23	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	5,31	

VP4-M525-W40-S0,7

Material	Vekt
Sement	1440,692
Vann	582,88
Sand	3000,149
SP	10,09





Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------


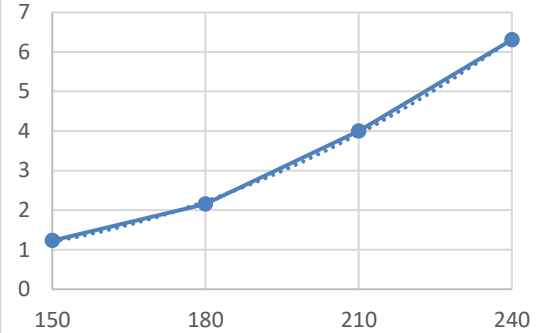
Rystebord:	Diameter (cm)	15,8		
	Flytbarhet (%)	58		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,0		
Green strength:	0 min (kg)	3,98		
Green strength:	15 min	8		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,93		
	Bredde ved 15 cm	1,87		
	Bredde ved 25 cm	1,71		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	1,23	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,62	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4,77	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	9,06	

WC-SP

CP1-M500-W35-S1,3



Material	Vekt
Sement	1454,729
Vann	509,3
Sand	3164,992
SP	18,911


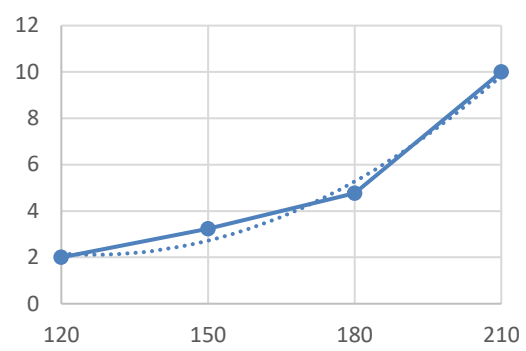
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	12,77	
	Flytbarhet (%)	27,7	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,5	
Green strength:	0 min (kg)	28	
Green strength:	15 min	31	

Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ok	
		Kontinuerlig?	Ja	
		Bredde ved 5 cm	1,55	
		Bredde ved 15 cm	1,65	
		Bredde ved 25 cm	1,56	
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,23	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	4	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	6,31	

CP2-M500-W35-S0,7


Material	Vekt
Sement	1456,507
Vann	517,12
Sand	3164,992
SP	10,196




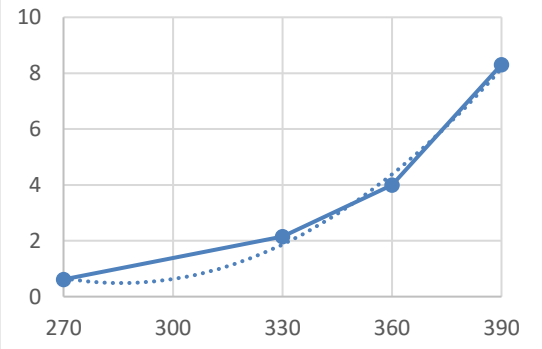
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	11,25	
	Flytbarhet (%)	12,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,5	

Green strength:		0 min (kg)	30	
Green strength:		15 min	31	
Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	2	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	3,23	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	4,77	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	10	

CP3-M500-W45-S1,3

Material	Vekt
Sement	1266,113
Vann	571,92
Sand	3164,992
SP	16,459





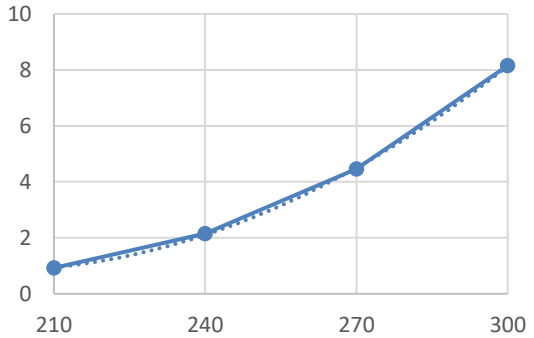
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	18,45	
	Flytbarhet (%)	84,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5	

				
Green strength:	0 min (kg)	1,7	-	
Green strength:	15 min	2,11		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,95		
	Bredde ved 15 cm	2,07		
	Bredde ved 25 cm	2,12		
Penetrometer	1	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	0,62	
	2	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	3	Tid i min	360	
		Penetrasjon i MPa	4	
	4	Tid i min	390	
		Penetrasjon i MPa	8,31	

CP4-M500-W45-S0,7

Material	Vekt
Sement	1267,459
Vann	578,78
Sand	3164,992
SP	8,872



Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------



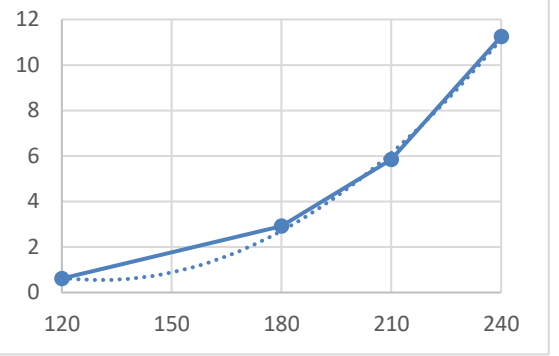
Rystebord:	Diameter (cm)	17,3		
	Flytbarhet (%)	73		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,0		
Green strength:	0 min (kg)	3,81		
Green strength:	15 min	4,3		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,72		
	Bredde ved 15 cm	1,77		
	Bredde ved 25 cm	1,93		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,92	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	8,15	

SF-WC

FC1-M500-S1,0-W35-SF5

Material	Vekt
Sement	1369,056
Vann	508,246
Sand	3165
SP	14,41
Silica	72,056





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	11,58	
	Flytbarhet (%)	15,8	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,7	
Green strength:	0 min (kg)	24,1	
Green strength:	15 min	30+	

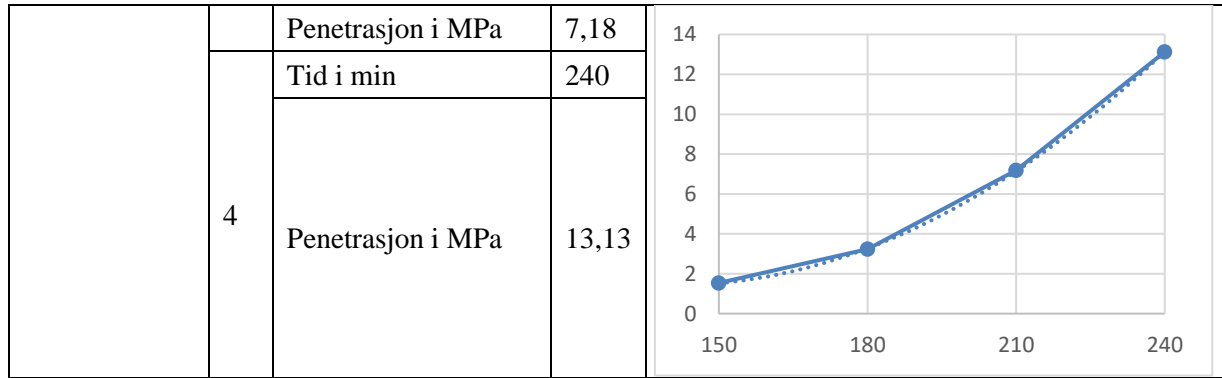
				
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	0,62	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	2,92	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	5,85	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	11,25	

FC2-M500-S1,0-W35-SF15

Material	Vekt
Sement	1201
Vann	498,62
Sand	3165
SP	14,13
Silica	211,64

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	10,7	




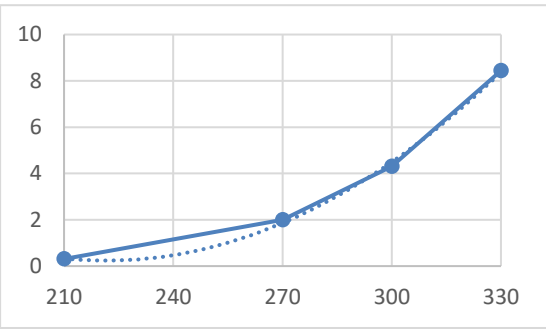
		Flytbarhet (%)	7	
Sylinder 5 kg:		Høydereduksjon (cm)	5	
Green strength:		0 min (kg)	30+	
Green strength:		15 min	30+	
Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,54	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	3,23	
	3	Tid i min	210	



FC3-M500-S1,0-W45-SF5

Material	Vekt
Sement	1192,99
Vann	570,49
Sand	3165
SP	12,558
Silica	62,79






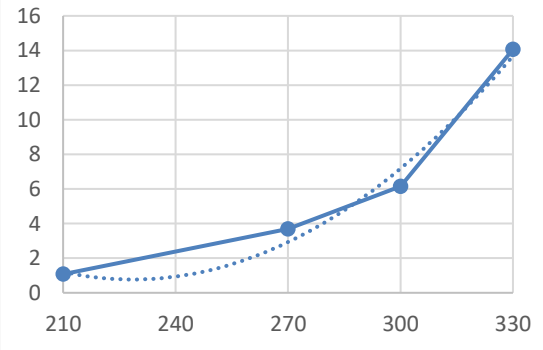
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	17,3	
	Flytbarhet (%)	73	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	6,0	
Green strength:	0 min (kg)	2,23	

				
Green strength:	15 min	3,7		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,55		
	Bredde ved 15 cm	1,73		
	Bredde ved 25 cm	1,63		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,63	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4,06	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	8,75	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	8,44	

FC4-M500-S1,0-W45-SF15

Material	Vekt
Sement	1049,194
Vann	561,02
Sand	3165
SP	12,343
Silica	185,15





Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------


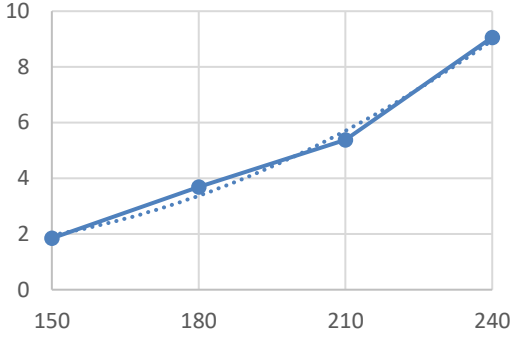
Rystebord:	Diameter (cm)	15		
	Flytbarhet (%)	50		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,5		
Green strength:	0 min (kg)	5,27		
Green strength:	15 min	11,87		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,67		
	Bredde ved 15 cm	1,52		
	Bredde ved 25 cm	1,55		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	1,08	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	3,69	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	6,15	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	14,06	

SF-MV

FV1-W40-S1-M450-SF5


Material	Vekt
Sement	1114,56
Vann	476,99
Sand	3494,68
SP	11,73
Silica	58,66




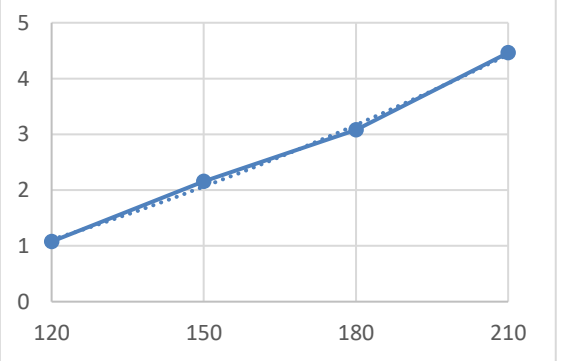
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	11,6	
	Flytbarhet (%)	16	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,5	
Green strength:	0 min (kg)	25,25	
Green strength:	15 min	30+	

Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,84	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	3,69	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	5,38	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	9,06	

FV2-W40-S1-M450-SF15





Material	Vekt
Sement	979,06
Vann	468,62
Sand	3494,68
SP	11,518
Silica	172,77


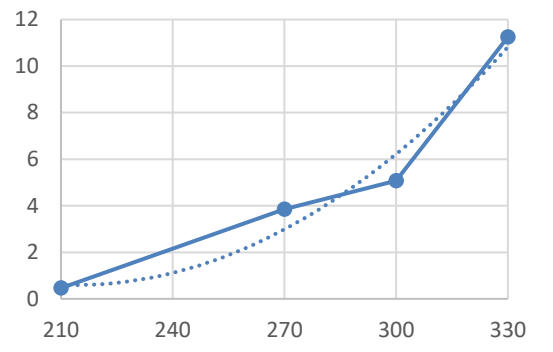
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	10,4	
	Flytbarhet (%)	4	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,1	

				
Green strength:	0 min (kg)	30+		
Green strength:	15 min	30+		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	1,08	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	3,08	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	4,46	

FV3-W40-S1-M550-SF5



Material	Vekt
Sement	1435,393
Vann	606,017
Sand	2835,3
SP	15,1
Silica	75,547




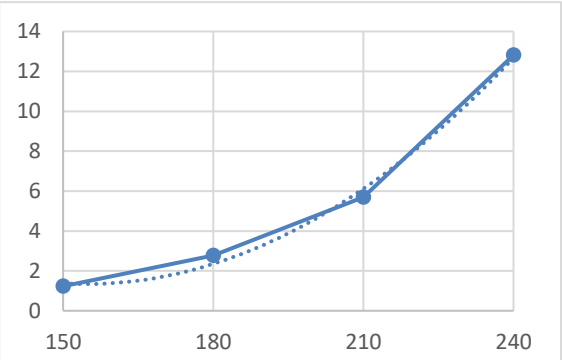
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	17,5	
	Flytbarhet (%)	75	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,1	
Green strength:	0 min (kg)	1,71	
Green strength:	15 min	2,5	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok	

		Kontinuerlig?	Ja	
		Bredde ved 5 cm	1,58	
		Bredde ved 15 cm	1,88	
		Bredde ved 25 cm	1,78	
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,46	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	3,85	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	5,08	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	11,25	

FV4-W40-S1-M550-SF15

Material	Vekt
Sement	1260,89
Vann	595,23
Sand	2835,3
SP	14,834
Silica	222,51





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	15,34	
	Flytbarhet (%)	53,4	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,0	
Green strength:	0 min (kg)	3,55	

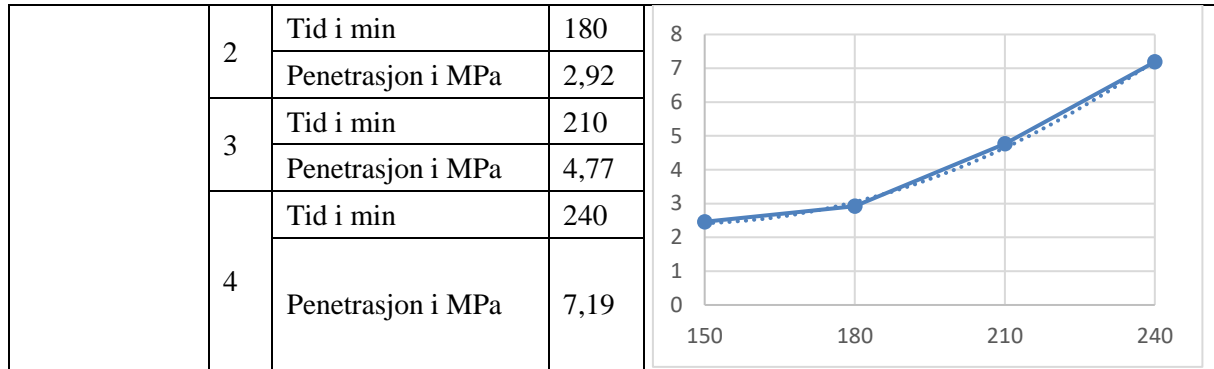
				
Green strength:	15 min	6,33		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,63		
	Bredde ved 15 cm	1,59		
	Bredde ved 25 cm	1,73		
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,23	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	2,77	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	5,69	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	12,81	

FB-MV

BV1-W40-S1,3-M475-FB0,5

Material	Vekt
Sement	1270,49
Vann	510,974
Sand	3296,867
SP	16,51
Fiber	10



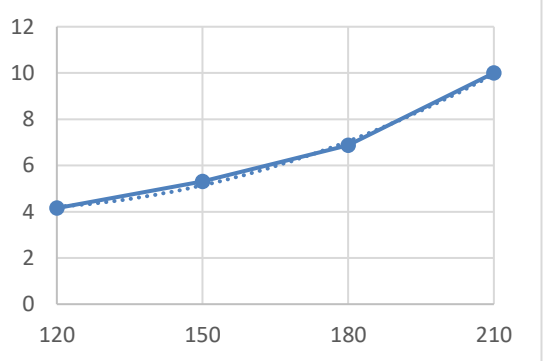
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	11,78	
	Flytbarhet (%)	17,8	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,5	
Green strength:	0 min (kg)	26,98	
Green strength:	15 min	30+	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	150
		Penetrasjon i MPa	2,46



BV2-W40-S1,3-M475-FB1

Material	Vekt
Sement	1272,278
Vann	511,5
Sand	3263,898
SP	16,54
Fiber	20





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	10,35	
	Flytbarhet (%)	3,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0	
Green strength:	0 min (kg)	30+	


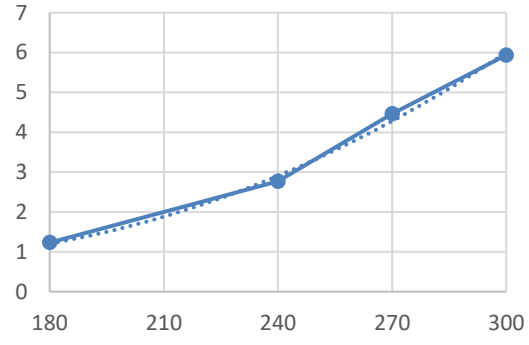
				
Green strength:	15 min	30+		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	4,15	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	5,31	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	6,88	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	10	

BV3-W40-S1,3-M525-FB0,5

Material	Vekt
Sement	1440,84
Vann	575,645
Sand	2967,18
SP	18,73


Fiber	10
-------	----




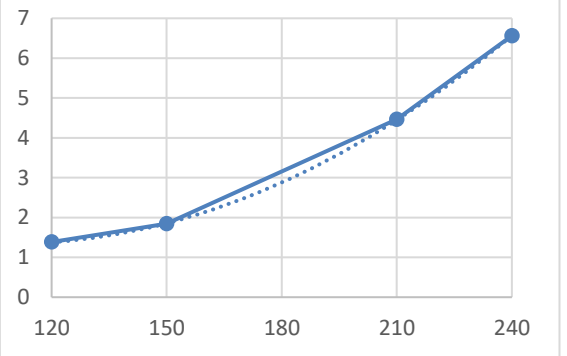
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	14,4	
	Flytbarhet (%)	44	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	4,5	
Green strength:	0 min (kg)	7,23	
Green strength:	15 min	11,16	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	

				
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	1,23	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	2,769	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	5,94	

BV4-W40-S1,3-M525-FB1

Material	Vekt
Sement	1442,62
Vann	576,175
Sand	2934,2
SP	18,754
Fiber	20




Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	11,6	
	Flytbarhet (%)	16	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,5	



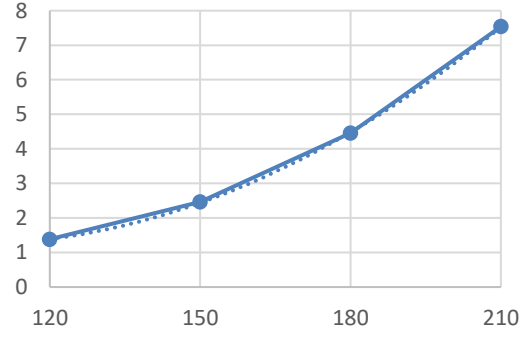
				
Green strength:	0 min (kg)	21		
Green strength:	15 min	30+		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,84	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	6,56	

LC3-WC

TC1-M500-S1,0-W35-LC10

Material	Vekt
Sement	1298,37
Vann	508,76
Sand	3165
SP	14,426
Kalk (limestone)	48
K. leire	96,22





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	11,8	
	Flytbarhet (%)	18	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,7	
Green strength:	0 min (kg)	25,83	
Green strength:	15 min	30+	

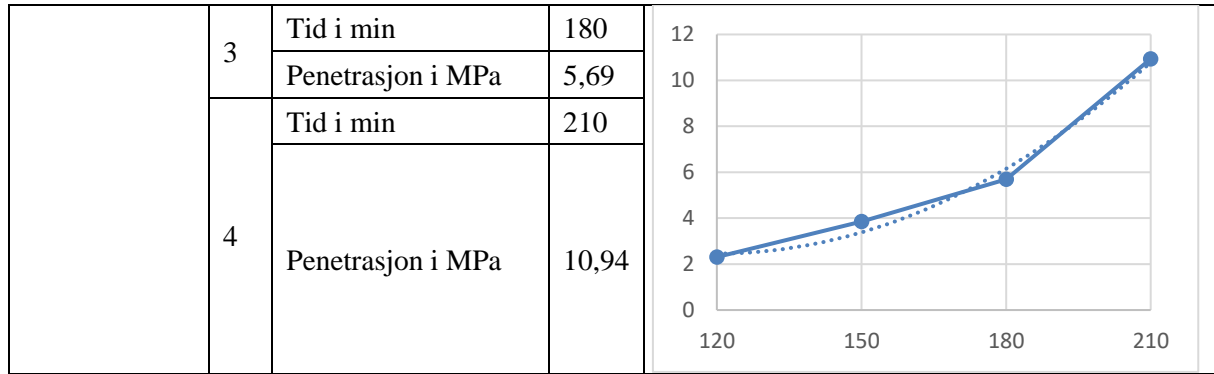
				
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	2,46	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	7,54	

TC2-M500-S1,0-W35-LC30

Material	Vekt
Sement	992,11
Vann	500,13
Sand	3165
SP	14,17
Kalk (limestone)	141,73
K. leire	283,47

Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	10,2	




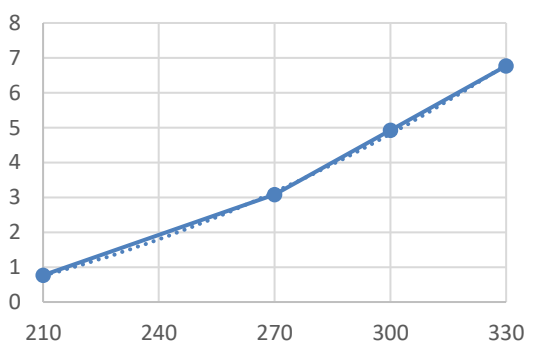
		Flytbarhet (%)	2	
Sylinder 5 kg:		Høydereduksjon (cm)	0	
Green strength:		0 min (kg)	27,5	
Green strength:		15 min	30+	
Ekstruderbarhet:		Ekstruderbar?	Ikke ok	
		Kontinuerlig?	-	
		Bredde ved 5 cm	-	
		Bredde ved 15 cm	-	
		Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	120	
		Penetrasjon i MPa	2,31	
	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	3,85	



TC3-M500-S1,0-W45-LC10

Material	Vekt
Sement	1131,25
Vann	571
Sand	3165
SP	12,57
Kalk (limestone)	41,85
K. leire	83,83





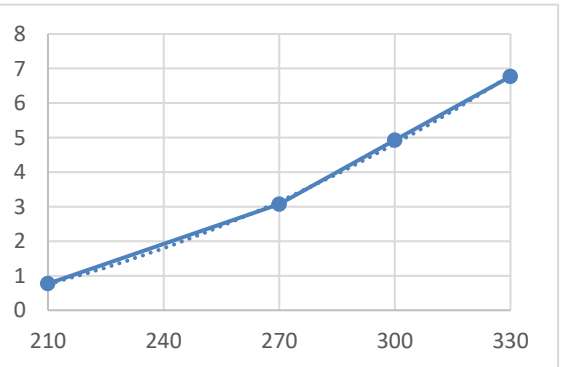
Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	17,7	
	Flytbarhet (%)	77	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5	
Green strength:	0 min (kg)	1,8	

				
Green strength:	15 min	2,7		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	2,01		
	Bredde ved 15 cm	1,78		
	Bredde ved 25 cm	1,69		
Penetrometer	1	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	0,77	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	3,08	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	4,92	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	6,77	

TC4-M500-S1,0-W45-LC30

Material	Vekt
Sement	886,39
Vann	562,5
Sand	3165
SP	12,37
Kalk (limestone)	123,77
K. leire	247,54

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------



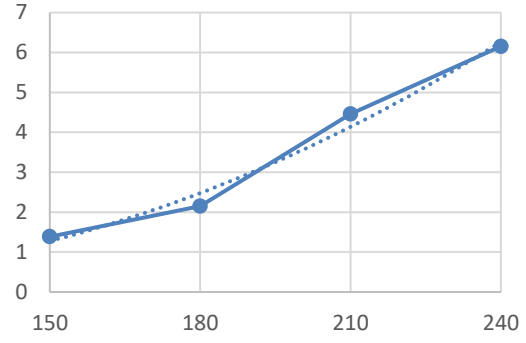
Rystebord:	Diameter (cm)	15,6		
	Flytbarhet (%)	56		
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,5		
Green strength:	0 min (kg)	4,3		
Green strength:	15 min	6,6		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,69		
	Bredde ved 15 cm	1,67		
	Bredde ved 25 cm	1,59		
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	1,08	
	2	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	5,08	
	3	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	7,85	
	4	Tid i min	330	
		Penetrasjon i MPa	12,8	

LC3-MV

TV1-W40-S1-M475-LC10

Material	Vekt
Sement	1132
Vann	509,74
Sand	3329,84
SP	12,59
K. leire	83,97
Kalk (limestone)	41,92





Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	12,7	
	Flytbarhet (%)	27	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,1	
Green strength:	0 min (kg)	14,36	
Green strength:	15 min	21,8	

				
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok		
	Kontinuerlig?	-		
	Bredde ved 5 cm	-		
	Bredde ved 15 cm	-		
	Bredde ved 25 cm	-		
Penetrometer	1	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	2	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	2,15	
	3	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	4,46	
	4	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	6,15	

TV2-W40-S1-M475-LC30

Material	Vekt
Sement	866,821
Vann	501,68
Sand	3329,84
SP	12,383
K leire	247,663
Kalk (limestone)	123,832

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------




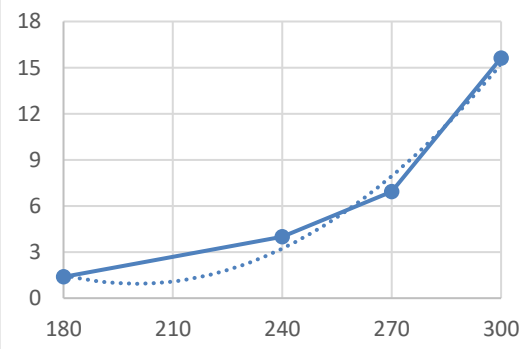
Rystebord:	Diameter (cm)	11,4	
	Flytbarhet (%)	14	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	0,4	
Green strength:	0 min (kg)	27	
Green strength:	15 min	30+	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ikke ok	
	Kontinuerlig?	-	
	Bredde ved 5 cm	-	
	Bredde ved 15 cm	-	
	Bredde ved 25 cm	-	
Penetrometer	1	Tid i min	120
		Penetrasjon i MPa	2,31

	2	Tid i min	150	
		Penetrasjon i MPa	4	
	3	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	6,46	
	4	Tid i min	210	
		Penetrasjon i MPa	9,23	

TV3-W40-S1-M525-LC10

Material	Vekt
Sement	1285,12
Vann	574,31
Sand	3000,149
SP	14,28
K. leire	95,242
Kalk (limestone)	47,549






Testresultat			Illustrasjon
Rystebord:	Diameter (cm)	16,55	
	Flytbarhet (%)	65,5	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	5,8	
Green strength:	0 min (kg)	3,17	

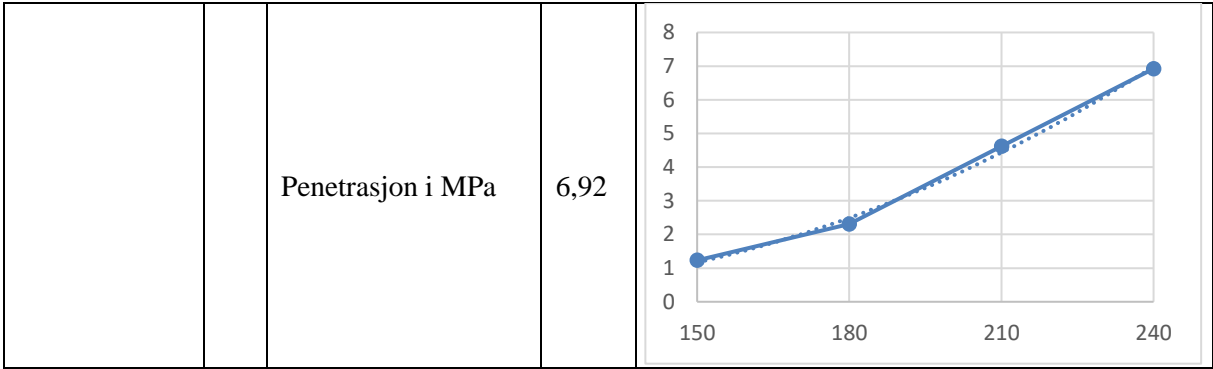
				
Green strength:	15 min	6,67		
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok		
	Kontinuerlig?	Ja		
	Bredde ved 5 cm	1,7		
	Bredde ved 15 cm	1,57		
	Bredde ved 25 cm	1,72		
Penetrometer	1	Tid i min	180	
		Penetrasjon i MPa	1,38	
	2	Tid i min	240	
		Penetrasjon i MPa	4	
	3	Tid i min	270	
		Penetrasjon i MPa	6,92	
	4	Tid i min	300	
		Penetrasjon i MPa	15,63	

TV4-W40-S1-M525-LC30

Material	Vekt
Sement	983,21
Vann	565,17
Sand	3000,15
SP	14,05
K. leire	280,92
Kalk (limestone)	140,46

Testresultat	Illustrasjon
--------------	--------------

Rystebord:	Diameter (cm)	14,1	
	Flytbarhet (%)	41	
Sylinder 5 kg:	Høydereduksjon (cm)	1,5	
Green strength:	0 min (kg)	10,74	
Green strength:	15 min	16,08	
Ekstruderbarhet:	Ekstruderbar?	Ok	
	Kontinuerlig?	Ja	
	Bredde ved 5 cm	1,53	
	Bredde ved 15 cm	14,8	
	Bredde ved 25 cm	1,39	
Penetrometer	1	Tid i min	150
		Penetrasjon i MPa	1,23
	2	Tid i min	180
		Penetrasjon i MPa	2,31
	3	Tid i min	210
		Penetrasjon i MPa	4,62
4	Tid i min	240	



Vedlegg 13- Datablad

Polypropylen fiber

Construction

Produktdatablad
Dato: 06/2006
Crackstop® 6 mm Fiber

Crackstop® 6 mm Fiber

Polypropylenfibre til brannsikring av betong

Produktbeskrivelse	<p>Crackstop 6 mm Fiber er fremstilt av foredlet polypropylen, som er bestandig mot syrer og alkalier. Fibrene utmerker seg ved sin meget store overflate på 225 m²/kg.</p> <p>Crackstop 6 mm Fiber har gjennomgått prosesser under fremstillingen som gir forbedrede dispergeringsegenskaper i fersk betong, samt optimal forankring i herdet betong eller mørtel.</p>												
Anvendelsesområder	<p>Crackstop 6 mm Fiber benyttes først og fremst til betong utsatt for brann og varmpåkjenning.</p> <p>Produktet tilfredsstiller de nye "kravene til løsninger for vann- og frostsikring i vegtunneler som inneholder brennbare materialer", gitt av Statens Vegvesen.</p> <p>Fibrene kan også benyttes i all øvrig betong der det er ønsket om å redusere plastiske svinnriss. Fibrene kan ikke erstatte tradisjonell armering eller stålfiberarmering.</p>												
Produktegenskaper	<p>Crackstop 6 mm Fiber sikrer brannmotstand i betong ved at:</p> <ul style="list-style-type: none">■ PP-fibre overlapper hverandre i et tredimensjonalt nettverk i herdet betong. Ved brannbelastning vil plastmaterialet fordampe og etterlate seg en finfordelt hulromstruktur. Dette hulrommet fungerer trykkavlastende slik at betongen ved økende branntemperatur unngår delaminering /-avskalling. <p>Betong- og mørtelblandinger tilsatt Crackstop 6 mm Fiber kan pumpes, sprøytes og utstøpes med tradisjonelle metoder.</p>												
Bruksanvisning													
Tekniske data	<table><tr><td>■ Type</td><td>100 % polypropylen, monofilament fibre</td></tr><tr><td>■ Farge</td><td>Hvit</td></tr><tr><td>■ Densitet</td><td>0,91 g/m³</td></tr><tr><td>■ Spesifikk overflate</td><td>225 m²/kg</td></tr><tr><td>■ Fiberlengde</td><td>6 mm</td></tr><tr><td>■ Anvendelsestemperatur</td><td>Maks. 145 °C</td></tr></table>	■ Type	100 % polypropylen, monofilament fibre	■ Farge	Hvit	■ Densitet	0,91 g/m ³	■ Spesifikk overflate	225 m ² /kg	■ Fiberlengde	6 mm	■ Anvendelsestemperatur	Maks. 145 °C
■ Type	100 % polypropylen, monofilament fibre												
■ Farge	Hvit												
■ Densitet	0,91 g/m ³												
■ Spesifikk overflate	225 m ² /kg												
■ Fiberlengde	6 mm												
■ Anvendelsestemperatur	Maks. 145 °C												
Dosering	Crackstop 6 mm Fiber tilsettes i mengde: 2 kg/m ³ betong eller mørtel for å sikre tilfredsstillende brannmotstand i konstruksjonsbetong/sprøytebetong.												
Doseringstidspunkt	Crackstop 6 mm Fiber tilsettes betong- og mørtelblandingen sammen med tilslaget, eller så tidlig i blandeprosessen som mulig. Dette sikrer effektiv dispergering uten vesentlig forlengelse av blandetiden. Ferdigbetong til anvendelse på byggeplass, kan etter ønske tilsettes Crackstop 6 mm Fiber på fabrikk eller direkte i automikser.												
Emballasje	Crackstop 6 mm Fiber lagerføres i 6 mm fiberlengde i kartonger à 20 vannoppløselige papirposer à 1,0 kg.												



Industri sement



TECHNICAL DATA

SH cement fulfills the Technical data below.

On rare occasions the values may deviate from the specified ranges or limits.

GUIDELINE VALUES

Property	SH Slite	SH Skövde		
Compressive strength*	Target value	Target value	Range	Requirement according to SS-EN 197-1
1 day (MPa)	33	33	± 3	
2 days (MPa)	45	45	± 3	≥ 30
7 days (MPa)	55	55	± 4	
28 days (MPa)	62	62	± 4	≥ 52,5
Setting time (min)	110	125	± 30	≥ 45

* Measured on standard mortar according to EN 196-1

OTHER TECHNICAL DATA

Property	SH Slite	SH Skövde		
	Value	Value	Range	Requirement according to SS-EN 197-1
Compact density (kg/m ³)	3125	3125	± 20	
Bulk density (kg/m ³)	1250	1250	± 250	
Blaine fineness (m ² /kg)	570	530	± 30	
Passing 32 µm (%)	94	94	± 2	
Alkali, Na ₂ O-ekv (%)	0,95	1,0	± 0,15	≤ 1,1
Sulfates, SO ₃ (%)	3,5	3,7	± 0,3	≤ 4,0
Chloride, Cl ⁻ (%)	0,06	0,03	± 0,03	≤ 0,10
Water-soluble chromium Cr ⁶⁺ (PPM) ²	0-2	0-2		≤ 2
Brightness (%)	30	25	± 1	

¹ According to DS/INF 1351. The requirement is only for SH Slite.

² Clause 47 of Annex XVII of the REACH Regulation.

2021-02-05

Tilslag



Side - 2 -

Material	Vare nr	Dato	Avdeling																
0/8	101718-115	31.03.2019	NorStone Årdal																
			Gjennomgang(%)																
			0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	56	63	90
Typisk gradering			3,0	7,0	16,0	28,0	46,0	64,0	80,0	90,0	99,0	100,0							
Min.			2,0	5,0	14,0		41,0	59,0			97,0	100,0							
Max.			5,0	8,0	18,0		51,0	69,0			100,0								



Gneis-Granitt/Naturlig Gradert 0/8 115 (101718-115)


31.03.2019	S. Tengedal
Date	Prepared by

Ytelseserklæring

I henhold til forordning (EU) nr. 305/2011 (byggevarer), vedlegg III

Side - 3 -

Ytelseserklæring nr: 101718-115 008		Vare nr: 101718-115		 NorStone Årdal NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge www.norstone.no Tlf:0047-51754200
100 Knust-Natur 0/8mm (B) Gneis-Granitt		Tilslag for betong		
Bruksområder for byggevaren(e):		System 2+		
Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse		NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016		
Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard		Kontrollrådet-1111		
Sertifiseringsorganet:		System 2+		
har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med		1111-CPD-0007		
basert på førstegangsrevisjon av produksjons-anlegget og produksjonskontrollen:				
Ytelseserklæring arkiveres i ti år.				
Harmonisert teknisk spesifisering	Standarder	Vesentlige egenskaper	Verdier	Ytelse
				Kategorier
NS EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016	NS EN 933-1	Kornstørrelse Gradering Toleransekategori		0/8 G _{NG} 90 -
	NS EN 933-3	Kornform Flisighetsindeks	-	
	NS EN 933-4	Shape indeks	-	NPD
	NS EN 1097-6	Korndensitet	2,68 Mg/m ³	2,66 Mg/m ³ - 2,70 Mg/m ³
	NS EN 1097-6 §8	Vannabsorpsjon	0,3%	WA ₂₄ 1
	NSEN 12620 F.2.3	Motstand mot frysing og tining	0,3	F ₁
		Renhet		
	NS EN 933-1	Finstoffinnhold	3 %	f ₁₀
	NS EN 933-7	Skjellinnhold		NPD
		Motstand mot knusing		
	NS EN 1097-2 §5	Los Angeles-prøving	22	LA ₃₀
	NS EN 1097-2 §6	Slagprøving		NPD
		Motstand mot polering/slitasje		
	NS EN 1097-8	Poleringsverdi		NPD
	NS EN 1097-1	Motstand mot slitasje for grovt tilslag		NPD
	NS EN 1097-9	Motstand mot piggdekkslitasje		NPD
		Sammensetning / innhold		
	NS EN 1744-1§ 7	Klorider		Cl _{0,02}
NS EN 1744-1§ 11	Totalt innhold av svovel	0,02		
NS EN 1744-1§ 12	Syreløselige sulfater	0,01	AS _{0,1}	
NS EN 1744-1§ 15	Bestanddelene som endrer størknings- og herdingstiden av betong		Lysere	
NB21	Alkalireaktivitet (sammelningsverdi)	4,8%		
ASTM C1260-14	Accelerert m,rtelprismeeekspansjon	0,01%	<0.10%	
NS-EN 932-3	Innhold av kalkstein	0,0%		
NS EN 932-3	Petrografisk beskrivelse	Sand med knuste korn fra lyssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatiske bergarter og murke bergarter. Lust belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.		
Ytelsen for denne varen som angitt ovenfor, er i samsvar med spesifikasjonene for produktet angitt i tabellen. Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, NorStone Årdal. Undertegnet for og på vegne av produsenten av:				
Årdal 31.03.2019 (Sted og utstedelsesdato)		Svein Johan Mæland, Site Manager (navn og stilling)		 (Underskrift)

 1111			
NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge			
18			
NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016			
Tilslag for betong			
Ytelseserklæring nr /		Entydig identifikasjonskode	
101718-115 008		100 Knust-Natur 0/8mm (B) Gneis-Granitt	
Standarder		Verdier	Kategorier
NS EN 933-1	Kornstørrelse Gradering Toleransekategori		0/8 G _{NG} 90 -
NS EN 933-3	Kornform Flisighetsindeks	-	
NS EN 1097-6	Kornensitet	2,68 Mg/m ³	2,66 Mg/m ³ - 2,70 Mg/m ³
NS EN 1097-6	Vannabsorpsjon	0,3%	WA ₂₄ 1
NS-EN12620 F.2.3	Motstand mot frysing og tining	0,3	F ₁
	Renhet		
NS EN 933-1	Finstoffinnhold	3%	f ₁₀
NS EN 933-7	Skjellinnhold		-
NS EN 933-5	Prosentandel knuste korn		C _{1K}
	Sammensetning / innhold		
NS EN 1744-1§ 7	Klorider		Cl _{0,02}
NS EN 1744-1§ 11	Totalt innhold av svovel	0,02	
NS EN 1744-1§ 12	Syreløselige sulfater	0,01	AS _{0,1}
NS-EN 1744-1§ 15	Bestanddel som endrer størknings- og herdingstiden av betong		Lysere
NB 21	Alkalireaktivitet (sammelningsverdi)	4,8%	
ASTM C1260-14	Accelerert m_rtelprismeeekspansjon	0,01%	<0.10%
NS EN 932-3	Petrografisk beskrivelse	Sand med knuste korn fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatiske bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.	

Elkem Silicon Materials,
PO Box 8126, Vaagsbygd,
NO-4675 Kristiansand, NORWAY



Elkem Microsilica® 920 ASTM

Concrete applications – Product data sheet

1. Description

Elkem Microsilica® 920 ASTM is a dry silica fume powder certified to ASTM C 1240 'Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures'. In use, Elkem Microsilica® 920 ASTM improves the performance of concrete and mortar formulations. It acts physically to optimise particle packing of the concrete or mortar mixture and chemically as a highly reactive pozzolan. Elkem Microsilica® 920 ASTM is available in two forms: Undensified (U), bulk density typically 200 - 350 kg/m³ & Densified (D), bulk density typically 500 - 700 kg/m³

2. Application

Suitable for all concrete and mortar applications where the benefits of silica fume are required:

- Higher compressive strength
- Increased durability - Longer service life
- Better rheology - Control segregation & bleed

Batch the product into the concrete mixer and mix thoroughly ensuring full dispersion. Dosage varies depending on application. Contact Elkem for information & advice.

3. Storage & handling

Elkem Microsilica® 920 ASTM should be stored in dry conditions and not exposed to moisture.

4. Quality assurance

Elkem Silicon Materials' management system for development, processing & supply of Elkem Microsilica® is certified to ISO 9001.

elkem.com

Elkem Microsilica® is a registered trademark. Copyright Elkem ASA

5. Chemical & physical properties

The properties of Elkem Microsilica® 920 ASTM are regularly tested in accordance with ASTM C 1240.

Property	Unit	Value
SiO ₂	%	Minimum 85.0
H ₂ O	%	Maximum 3.0
Retained on 45µm sieve	%	Maximum 10.0
Loss on ignition	%	Maximum 6.0
Specific surface area	m ² /g	Min. 15.0
Pozzolanic activity index	%	Minimum 105

6. Packing

The product is available in 25 kg bags, various other size bags and bulk road tanker. Please contact our representative for more details.

7. Health, safety & environment

Refer to Product Safety Information (PSI) document on Elkem website: elkem.com

8. Additional information

See additional Elkem data sheets and technical papers on our website: elkem.com

All data listed are reference values subject to production related tolerances. Although reasonable care has been taken in the preparation of the information contained herein, it still remains the duty of the user to prove the suitability of this material for their application.

This data sheet is property of Elkem ASA and may not be used without written permission, copied or made available to others. The receiver is responsible for every misuse.

Revised April 2020

**Dynamon
SR-N**


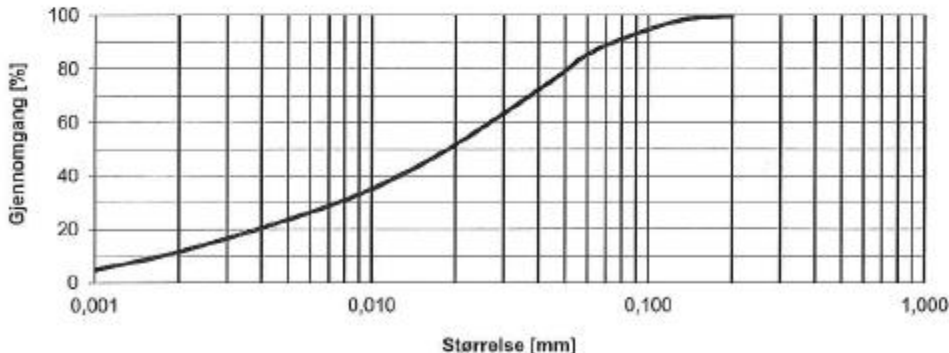
TEKNISKE DATA (typiske verdier)		
PRODUKTBEKRIVELSE		
Form:	væske	
Farge:	gulbrun	
Viskositet (Brookfield Viscometer DV-1, LV1, 100rpm ved 20±2°C):	lettflytende; < 30 mPa·S	
Tørrestoffinnhold, %:	17,5 ± 1,7	
Spesifikk vekt, g/cm³:	1,040 ± 0,02	
pH-verdi:	6,0 ± 1,0	
Kloridinnhold, %:	< 0,05	
Alkaliinnhold (Na ₂ O-ekvivalenter) %:	< 2,0	
BRUKSEGENSKAPER I BETONG		
Som vannreducerer	Referanse	Dynamon SR-N
Sementmengde, kg/m³ (Norcem standard sement):	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	1,1
Masseforhold (v/c-tall):	0,50	0,41
Trykkfasthet (i N/mm²):		
- 1 døgn	26	37
- 7 døgn	43	56
- 28 døgn	52	66
Som SP-stoff	Referanse	Dynamon SR-N
Sementmengde, kg/m³ (Norcem standard sement):	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	1,1
Masseforhold (v/c-tall):	0,49	0,49
Luftinnhold:	2,4	1,9
Konsistens, mm:		
- synkmål, 5 min	40	200
- synkmål, 30 min	30	200
- synkmål, 60 min	20	210
- synkmål, 90 min	20	180
- synkutbredelse, 5 min	200	430
- synkutbredelse, 30 min	200	340
- synkutbredelse, 60 min	200	330
- synkutbredelse, 90 min	200	320

Det er ikke tillatt å ta kopier av teksten eller bilder utgitt her.
Overneblise kan føre til rettshørløse.

6917-8-2020 (NO)



Kalkstein

Produktdatablad							
Betofill VK 150							
Franzefoss Miljøkalk AS Postboks 53 NO-1309 Rud Telefon : +47 05255 miljokalk@kalk.no Fax : +47 67 15 20 01 www.kalk.no						 FRANZEFOS MILJØKALK	
Materiale:	Kalk CaCO ₃ > 98%			Produsent:	Verdalskalk AS, avd Havna		
Reg.nr.:	CE godkjent, 1111-CPD-0108 REACH			Råmateriale:	Kalkstein fra Tromsdalen i Verdal		
				Frømtillit:	Nedmaling av kalkstein		
Anvendelse:	Tilslag for betong						
Krav:	NS-EN 12620						
Parameter	Metode	Enhet	Statistikk		Krav		Toleranse +/-
			Snitt	s	L	H	
CaO	Kalsiumoksid	WD-XRF	[%]	55,2	0,15	-	-
MgO	Magnesiumoksid	WD-XRF	[%]	0,4	0,01	-	-
Ca	Kalsium	Beregnet fra	[%]	39	-	-	-
Mg	Magnesium	WD-XRF	[%]	0,2	-	-	-
Klorider			[%]	<0,005	-	-	-
Syreløselige Sulfater	Våtkjemisk		[%]	0,03	-	-	-
Totalt innhold av svovel			[%]	0,30	-	-	-
Alkali silika reaktivitet			[%]	0	-	-	-
Vanninnhold	NS-EN 12048		[%]	<0,2	-	-	-
Massetetthet	Pyknometer	[kg/dm ³]		2,7	-	-	-
0,001 mm			[%]	4,8	0,4	-	-
0,002 mm			[%]	12	0,5	-	-
0,005 mm			[%]	24	0,7	-	-
0,010 mm			[%]	35	0,9	-	-
0,020 mm	Microtrac		[%]	52	0,8	-	-
0,045 mm			[%]	76	0,6	-	-
0,063 mm			[%]	87	0,7	70	100
0,125 mm			[%]	98	0,6	85	100
0,200 mm			[%]	100	0,3	-	-
Kornfordeling							
							
Råmateriale:	Råmaterialet er et naturprodukt med variasjoner innenfor visse grenser						
Levering:	Bulk, 1000kg sekk, 25kg sekk						
Volumvekt:	1,2 [kg/dm ³]						
Lagring:	Ingen merknad						
SDS:	Se produktets sikkerhetsdatablad for informasjon angående helse, miljø og sikkerhet. Les denne informasjonen og iverksett eventuelle sikkerhetstiltak før produktet tas i bruk.						

Leire

SNØ-HVIT PULVERLEIRE 1000-1280°C

Sikkerhetsdatablad

ifølge Forordning (EU) 2015/830

AVSNITT 3: Sammensetning/opplysninger om bestanddeler

3.1. Stoffer

Navn : WB4107 SNØ-HVIT PULVERLEIRE 1000-1280°C

Navn	Produktidentifikator	%
kaolin	(CAS-nr) 1332-58-7, 12199-37-0, 999999-99-4 (EU nr) 310-127-6, 235-374-6	100
kvarts	(CAS-nr) 14808-60-7 (EU nr) 238-878-4	
kaolin	(CAS-nr) 1318-74-7 (EU nr) 215-286-4	
mica	(CAS-nr) 12001-26-2 (EU nr) 310-127-6	

Merknader : Kaolin, glimmer og kvarts er naturlige mineralogiske bestanddeler i kaolinittleire. Leiren kan inneholde krystallinsk silica.

SNØ-HVIT PULVERLEIRE 1000-1280°C

Sikkerhetsdatablad

ifølge Forordning (EU) 2015/830

kaolin (1332-58-7, 12199-37-0, 999999-99-4)	
Norge - Grenser for arbeidseksposering	
Grenseverdier (AN) (mg/m ³)	2 mg/m ³

kvarts (14808-60-7)	
Norge - Grenser for arbeidseksposering	
Lokalt navn	α-kvarts
Grenseverdier (AN) (mg/m ³)	0,3 mg/m ³ Totalstøv. 0,1 mg/m ³ Respirabelt støv
Merknader (NO)	K7

SNØ-HVIT PULVERLEIRE 1000-1280°C

Sikkerhetsdatablad

ifølge Forordning (EU) 2015/830

Damptrykk	: Ingen data tilgjengelige
Relativ damp tetthet ved 20 °C	: Ingen data tilgjengelige
Relativ tetthet	: Ingen data tilgjengelige
Massetetthet	: 0,7 – 2,6 g/cm ³
Løselighet	: Lite oppløselig i vann.
Delingskoeffisient n-oktanol/vann (Log Pow)	: Ingen data tilgjengelige
Viskositet, kinematisk	: Ingen data tilgjengelige
Viskositet, dynamisk	: Ingen data tilgjengelige
Eksplorative egenskaper	: Ikke eksplosiv.
Brannfarlige egenskaper	: Ikke brannfarlig.
Eksplasjonsgrenser	: Ingen data tilgjengelige

Bøy- og trykkmaskin



Compression and Bending Testing Machine MEGA 100-200-10 DM1-S

- accuracy according to DIN EN ISO 7500-1, class 1
- for compression and flexure strength tests according to EN 196, EN 1015, EN 13892-2 with options also acc. EN 12504-1 and EN 993-5
- automatic load increase by digital controller **DIGIMAXX® C40** with servo valve in closed loop system with nominal-actual value comparison

Technical Data – Compression Test

- test load max.: 200 kN
- working pressure max.: 192.55 bar
- piston stroke: 50 mm
- upper pressure plate: 40 mm
- lower pressure plate: 40 mm
- hardness of pressure plates: 58-62 HRC > 600 HV
- test area height: 50 mm
- inner width of test frame: 226 mm
- measuring range: 2.00 ... 200 kN
- display area: 0 ... 200 kN

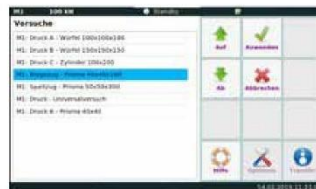
Technical Data – Bending Test

- test load max.: 10 kN
- working pressure max.: 79,57 bar
- piston stroke: 50 mm
- test area height: 50 mm
- length of bending roller: 50 mm
- bending roller Ø: 10 mm
- bending roller distance: 100 mm
- measuring range: 0.2 ... 10 kN
- display area: 0 ... 10 kN
- force measurement via electronic load cell which is insensitive to shear force
- voltage: 3x 400 Volt, 50 Hz, 3.0 kW
- weight: appr. 450 kg

made
in
Germany



1



Technical Data – Digital Controller

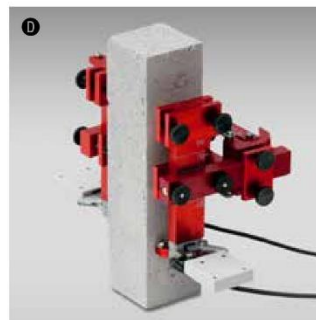
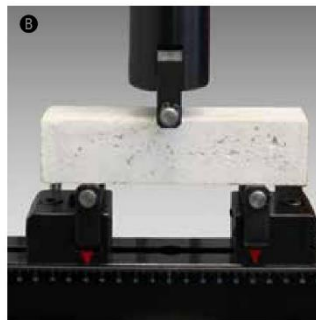
- capacitive and robust 7" touch display
- PID-controller with DSP processor
- modular system with expansion options up to 8 control and measuring channels – 18 Bit
- measuring- and control cycle 2 kHz
- transmission of measured value up to 1 kHz
- freely programmable test sequences
- real-time display of the measuring channels as well as of the specimen strengths and test speed
- authorization model with different role and access authorizations (tester, laboratory manager, service technician, administrator)
- automatic and manually zero-adjustment
- adjustable break detection
- adjustable piston back-travel time
- specimen storage for test results
- 6 digital inputs galvanically isolated
- 9 potential-free relay outputs
- USB port for data export
- Ethernet connection for communication with PC software

Options:

- larger (higher) test area
- larger pressure plates
dimensions 110 x 110 x 30 mm
dimensions Ø 210 x 40 mm
dimensions 210 x 210 x 40 mm
- Ⓐ set of pressure plates with floating axle for the bending test area
- Ⓑ bending table with adjustable bending rollers 30 ... 250 mm
- Ⓒ compression device DV 600 AZ
- Ⓓ E-modulus measuring equipment
- test software **PROTEUS^{MT}**
- transfer software

Available with following test loads:

- for compression test:
100 kN, 200 kN, 300 kN
- for bending test:
10 kN, 20 kN, 30 kN



FORM+TEST Seidner & Co. GmbH
Zwiefalter Str. 20 • D-88499 Riedlingen
phone: +49 (0) 7371 9302-20 • fax: -99
www.formtest.de
sales@formtest.de

PM M 101.06 - MEGA 100-200-10DM-S.indd - 01/2021 - Technical modifications reserved!