



UiT Norges arktiske universitet

UiT Norges Arktiske Universitet

Hypotese verifisering av tilslagstype innflytelse på CMOD av fiber betong

Fiber Betong

Richard-Mathias Klausen

Masteroppgave M-IB, BYG-3900, mai 2023



Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført ved UiT-Norges Arktiske Universitet i Narvik og er en avsluttende oppgave i forbindelse med masterutdanningen integrert bygningsteknologi, bygg og miljø. Oppgaven er skrevet i samarbeid med laboratorium for bygg og anlegg. Oppgaven har bidratt til å få en bredere kunnskap om betong og anvende den kompetansen som jeg har tilegnet meg igjennom studieforløpet.

Hovedmålet med denne oppgaven er å se hvordan innvirkning forskjellige typer tilslag har for fiber betong og hvordan dette påvirker restbøyestrekfastheten med å teste cmod. Oppgaven har vært oppkoblet mot publikasjon NB.38 «Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner» som stiller retningslinjer og dokumentering til hvordan fiberarmert betong kan benyttes forsvarlig i bygge og anleggsbransjen.

Oppgaven har basert seg på en prosess der det har vært benyttet samme resept der det har vært blandet betong på fire ulike steder hvorav på tre betongstasjoner og på betonglabben i Narvik. For hver plass har det blitt støpt 15 bjelker til cmod testing, og 6 kuber til trykkfasthet og 3 sylindere til emodul. Prøvene har vært brukt for å teste og analysere både for 28.dager og 56.dagers testing. Oppdragsgiveren for oppgaven er UiT ved avdeling Narvik for betong laboratoriet.

For å gjennomføre denne oppgaven og all arbeidet som har det vært lagt inn i det har det vært nødvendig med oppfølging og et laboratorium å arbeide i. Jeg så ønsker derfor å vise takknemlighet til UiT i Narvik og veileder Iveta Novakova for all hjelp og deltagelse i prosjektet.

Jeg vil også gi en stor takk til Boy-Arne Buyle og Klevis Xhura ved betonglabben for all bistand under prosjektet. Jeg ønsker også å tildele en stor takk til de ansatte på betongstasjonene ved Nordland betong i Fauske, HGB i Narvik og Betong & Entreprenør i Lofoten. Prosjektet har gitt et stort læringsutbytte for all det teoretiske og praktiske som inngår ved bruken av betong.

Sammendrag

Tilsetting av fiber i betong har vært noe som lenge har vært benyttet for å tilføre strekkeegenskaper i betongen og hindre blant annet riss i betongen. Det har i de siste årene vært et ønske om å undersøke om det er forsvarlig å bruke fiber betong i bærende konstruksjoner, og ikke kun i fundamenter og sprøytebetong som fiber har normalt sett vært benyttet til. Etter publiseringen av NB.38 i 2020 har det åpnet opp muligheter for å faktisk kunne bruke fiber betong i bærende konstruksjoner med visse retningslinjer og dokumenteringskrav. En av disse retningslinjene fra NB.38 er at for å benytte en resept må det være av samme type tilslagstype og forekomst for å kunne dokumentere til at fiber betongen er forsvarlig å bruke. Det har i den forbindelse vært utført blanding av betong med samme resept, men med forskjellig type tilslag. Dette er for å kunne verifisere om tilslaget i fiberbetongen faktisk har noe innvirkning på restbøyestrekfastheten eller ikke.

I laboratoriet ble det oppbevart, kuttet og testet for å måle restbøyestrekfastheten for betong bjelkene. Totalt ble det utført 58 tester på ulike fiber betong bjelker, 24 kuber for trykkfasthet og 12 bjelker for E-modul som var testet i to serier.

Det har vist seg at resultatene ved testing av c_{mod} at restbøyestrekfastheten for de ulike betongstasjonene er jevn gode, men med noen ulike egenskaper da det kommer til duktilitet. Det eneste unntaket var betongen som var produsert på betonglabben som hadde en svært ustabil restbøyestrekfasthet da dem etter en rissvidde på 0.5mm begynte å synke svært hurtig i mengde strekk den var i stand til å bestå. For trykkfastheten var det kun betongen fra labben som lå over grensen på 55MPa etter 28.dager. Etter 56.dager lå samtlige betongprøver med unntak av betongen fra HGB under fasthetsklassen.

Innhold

Sammendrag.....	3
Figurliste.....	3
Tabelliste.....	5
1 Innledning.....	6
1.1 Teori.....	6
1.2 Generelt	6
1.3 Bærekraft	8
1.4 Lavkarbonbetong.....	9
1.5 Innsatsmateriale	11
1.6 Fiber i betong.....	13
1.6.1 Fiber betong i praksis	14
1.7 Ulike fiber.....	14
1.7.1 Stål fiber	15
1.7.2 Polymerfiber.....	15
1.7.3 Basalt fiber	16
1.8 Regelverk.....	16
1.8.1 Konsekvenser	16
2 Mekaniske egenskaper til fiber betong.....	17
2.1.1 Heft og riss	17
2.1.2 Strekkherding fiber.....	17
2.1.3 Bindingslipp «Bond-slip»	18
2.1.4 Flytespenning	18
2.1.5 Fordeling	19
2.1.6 Fiberdosering.....	20
2.2 Testing	22
2.2.1 Fersk betong prøver.....	22

2.2.2	Synk.....	22
2.2.3	Synk-utbredelse.....	22
2.2.4	LCPS	23
2.2.5	Luftmåling.....	23
2.2.6	Fiber mengde i del av fersk betong.....	23
2.3	Sikte kurve.....	23
2.3.1	Fuller kurve	24
2.3.2	COIN	25
2.3.3	DAfStb	25
2.3.4	NB.38	25
2.3.5	NB.38 Grunnleggende krav.....	26
2.3.6	Dokumentering nivå.1 og nivå.2.....	27
2.3.7	Krav som stilles til fiber betong.....	28
2.4	Klassifisering	29
2.4.1	Eksponeringsklasse	29
2.4.2	Bestandighetsklasse.....	29
2.4.3	Fasthetsklasse	30
2.4.4	Restfasthetsklasse og duktilitetsklasse	30
3	Praktisk del.....	32
3.1	Prosess	33
3.1.1	Blandende tilslaget for de ulike betongstasjonene	33
3.1.2	Resept.....	37
3.2	Blandingsprosess	38
3.2.1	Nordland Betong Fauske.....	38
3.2.2	Lab-Berg Betong.....	40
3.2.3	HGB Narvik	41
3.2.4	Betong & Entreprenør Lofoten	42

3.3	Test utstyr	44
3.3.1	Test trykkfasthet.....	44
3.3.2	Test E-mod	44
3.3.3	Test CMOD	45
4	Resultater og diskusjon	48
4.1	Test fersk betong synk, luft, utbredelse.....	48
4.1.1	Fiber mengde i fersk betong.....	49
4.2	Trykkfasthet B45MF50 28d og 56d	50
4.3	E-modul	52
4.4	CMOD	53
4.5	Oversikt duktilitetsklasse og restfasthetsklasse.....	69
4.6	Gjennomsnitt 28.d alle prøvene.....	69
4.6.1	Gjennomsnitt 28.d justert med K-koeffisient 1.7.....	70
4.7	56.d Gjennomsnittlig for alle prøvene.....	70
4.7.1	56d gjennomsnittlig justert med k-koeffisient 1.7	71
4.8	Forklaring resultater	71
4.9	Bilde illustrere fiberfordeling.....	72
5	Konklusjon	75
	Referanseliste	77

Figurliste

Figur 1: Fordeling innhold betong. [2].....	6
Figur 2: Forhold v/c og hydratisering [4].....	7
Figure 3: Hierarkiet lov. [29]	16
Figur 4: Flytespenning [34].....	18
Figure 5: Fiber typer [35].....	18
Figur 6:Sammenheng fiber, tilslag og synk [36].....	19
Figure 7:Cmod og fiberdosering [35].....	20

Figure 8: Strekkzone i bjelke[35]	21
Figure 9: Gradering tilslag[40].....	24
Figure 10: Fuller kurve[41]	24
Figure 11: Beregning for duktilitet.....	31
Figure 12: Formel kalkulering minstekrav[6].....	32
Figure 13: Samlet siktekurve for tilslagene	34
Figure 14: Siktekurve Nordland Betong Fauske.....	35
Figure 15: Siktekurve Lab Berg Betong	35
Figure 16: Siktekurve HGB Narvik	36
Figure 17: Siktekurve Betong & Entreprenør Lofoten	36
Figure 18: Samlet siktekurve for alle betongstasjonene	37
Figure 19: Horisontal tvangsblender Fauske	39
Figure 20: Trommel og fiberdoseringsmaskin i Fauske	40
Figure 21: Tvangsblender på laboratorium i Narvik.....	41
Figure 22: Vertikal betongblender i Narvik HGB	42
Figure 23: Horisontal betongblender i Lofoten.....	43
Figure 24: Betong tobbe for å fylle formene.....	44
Figure 25: Testing av E-modul	45
Figure 26: Kutt i bjelke for å kunne gjøre Cmod.....	46
Figure 27: Bjelke i 3-punktsbøyetest utførelse av Cmod.....	47
Figure 28: Brukt magnet for å samle fiber fra fersk betong.....	49
Figure 29: Grafisk fremstilling trykkfasthet	50
Figure 30: Grafisk fremstilling E-modul.....	52
Figure 31: Graf cmod Fauske 28.d.....	53
Figure 32: Justert graf Fauske 28.d.....	54
Figure 33: Cmod graf Fauske 56.d.....	55
Figure 34: Justert graf Fauske 56.d	56
Figure 35: Graf cmod Lab 28.d.....	57
Figure 36: Justert graf LAB 28.d	58
Figure 37: Cmod graf lab 62.d.....	59
Figure 38: Graf justert 62.d.....	60
Figure 39: Cmod graf HGB 28.d	61
Figure 40: Justert graf HGB 28.d.....	62
Figure 41: CMOD HGB 62.d.....	63

Figur 42: Justert graf HGB 62.d.....	64
Figur 43: Cmod graf Lofoten 28.d.....	65
Figur 44: Justert graf Lofoten 28.d.....	66
Figur 45: Cmod graf Lofoten 56.d.....	67
Figur 46: Justert graf Lofoten 56.d.....	68
Figur 47: Gjennomsnittlig restbøystrekkfasthet for betongprøvene 28.d.....	69
Figur 48: Gjennomsnittlig justert med k-koeffisient 1.7 28.d.....	70
Figur 49: Gjennomsnitt for alle prøvene 56.d.....	70
Figur 50: Gjennomsnitt 56.d juster for k-koeffisient.....	71
Figur 51: Prøve Fauske-C-28d.....	72
Figur 52: Prøve Lab-C-28d.....	72
Figur 53: Prøve HGB I.....	73
Figur 54: Prøve LOF-F.....	73

Tabelliste

Tabell 1: Herdetid og trykkfasthet [13].....	10
Tabell 2: Dosering og trykkfasthet [35].....	21
Tabell 3: Eksponeringsklasse [43].....	29
Tabell 4: Bestandighetsklasse. [43].....	30
Tabell 5: Fasthetsklasse. [6].....	30
Tabell 6: Bestemmelse av duktilitetsklasse. [6].....	31
Tabell 7: Oversikt type tilslag ved betongstasjonene.....	34
Tabell 8: Resept.....	37
Tabell 9: Grubbs test.....	47
Tabell 10: Oversikt styrke trykkfasthet.....	50
Tabell 11: Tabell densitet.....	50
Tabell 12: E-modul 28.d og 56.d.....	52
Tabell 13: Restfasthetsklasse Nivå.1 og Nivå.2[6].....	53
Tabell 14: Oversikt duktilitetsklasse og restfasthetsklasse etter Nivå.1 og Nivå.2.....	69

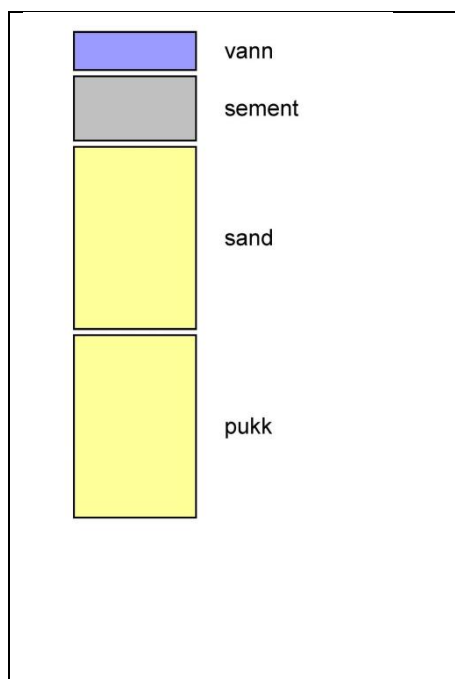
1 Innledning

Bakgrunnen for denne oppgaven er at det har vært et ønske å kontrollere for om fiber betong kan benyttes som bærendekonstruksjoner i bygge og anleggsbransjen. Det er derfor vært et ønske fra næring å gjøre teste med fiber betong for å kunne fastslå hvor trygt det er å bruke fiber betong til mer en kun fundamentering og sprøytebetong. I denne oppgaven tas det for seg hvordan lavkarbon B45MF40 presterer når tilsatt fiber og utsatt for strekk. En av hovedmålene med oppgaven er å benytte forskjellig tilslag både knust og naturlig fra forskjellige uttak og dermed undersøke hvordan dette påvirker resultatene til betongen ved å utføre trykkfasthetstest, elastisitet for emodul og restbøyestrekfasthet ved å gjøre cmod test.

1.1 Teori

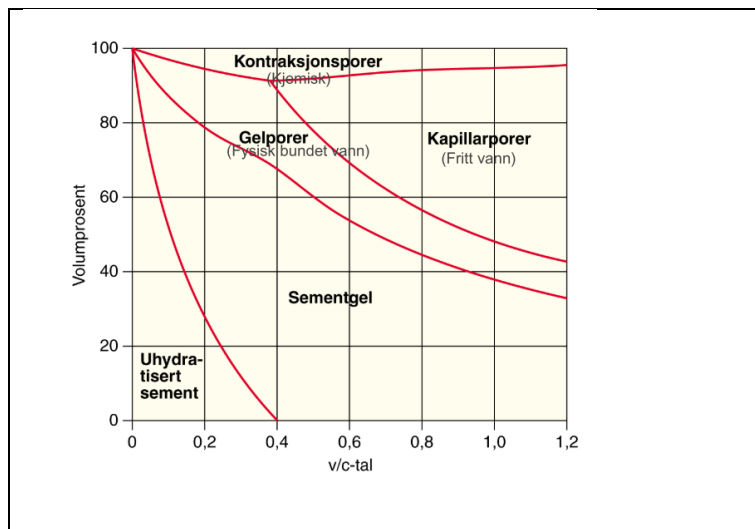
1.2 Generelt

For å forstå hvordan fiber betong skiller seg fra vanlig betong, så bestemmes det her å gjøre en enkel gjennomgang av hva som brukes av tilslag og tilsetningsstoffer i betongen. For å kunne lage betong så kreves det en blanding av sand, stein, sement, vann og tilsetningsstoffer. Hovedsakelig så består betongen mest av sand og stein som kalles for tilslag (65-75% volumandel av betongen), vann (15-20% volumandel av betongen), sement (10-15% volumandel av betongen) og de siste prosentene er som regel eventuelle tilsetningsstoff som silika, flygeaske, superplastifiserende, L-stoff. [1]



Figur 1: Fordeling innhold betong. [2]

Først og fremst så er sement en av de viktige bestanddelene i betongen. Sementen i betongen er selve «limet» for betongen som gjør slik at de forskjellige tilsetningsstoffene i blandingen holdes sammen. Sementen er framstilt ved å brenne kalkstein kvart og skifer der det knuses opp til pulver. Dette er en kostbar prosedyre da det krever mye energi for å kunne brenne steinen om til sement. [3]



Figur 2: Forhold v/c og hydratisering [4]

Hvis V/C tallet kommer under 0.4 vil betong blandingen få sement som ikke får trukket til seg nok vann til å starte hydratasjons prosessen. Betongen blir en tørrblanding og får en sandig/grusete konsistens og som også blir vanskelig å jobbe med.

Så er det den største andelen av betongblanding som kalles tilslag. Dette er sand og stein av ulike fraksjoner. En fraksjon er en definisjon for størrelsesinndelingen på tilslaget oppgitt i millimeter. Gerne så er sanden fra 0-8mm, og singelen eller pukken i fra 4-16mm i størrelse. Sistnevnte er de forskjellige tilsetningsstoffene. Dette er tilsetningsstoffer som L-stoff som er luft-stoff og SP-stoff som står for superplastifiserende.

SP-stoff har stor effekt på formbarheten for betongblanding. Dette har med å gjøre at stoffet gjør slik at sementen binder seg bedre til vannet i blandingen og man får en fullmektig blanding.

En annen viktig ting å vite for videre i denne rapporten er definisjonene for de ulike blandingene under tilsetningen av stoffer. Sementpasta er når blandingen er av sement og vann. Når man blander finstoff av fraksjon <0.125mm får man det som kalles for matriks. Når

det tilsettes sand av fraksjonen <4mm så får man til slutt blandingen som kalles for betong. [5]

For å lage fiber betong så er blandingsprosessen lik, hvor man gjerne starter med de komponentene av størst fraksjon og dermed jobber seg ned til finstoffet til slutt. Fiberne tilsettes jevnt i tvangsblender sammen med resten av betongblandinger.

På betongstasjonen kan man velge mellom å blåse fiberen inn i betongbiltrommelen, eller den kan også tilføres ved slutten i selve betongblenderen. Dette kommer an på hvilken løsning og blandere betongstasjon har.

Der viktig at fiberne tilsettes suksessivt. Når det helles store mengder med fiber i en betongblanding på engang, så hender det at fiberne sitter fast i hverandre og at fiberne ikke fordeler seg jevnt i blandingen. Betongen vil da få en ujevn strekkegenskaper ettersom det oppstår fiberklumpen i betongblandingen og at det blir en inhomogen fordeling av fiberne på blandingen. [6]

For herdet betong ligger densiteten imellom 2200kg/m^3 og 2500kg/m^3 . Hvilken mengde sement, fasthetsklasse, stein, sand og vann er alle komponenter som er med på påvirke densiteten av betongen. I en viss grad betyr høyere tetthet at betongen er sterkere og lavere tetthetstall betyr den er svakere. Det skiller mellom lettbetong og tungbetong. [7]

1.3 Bærekraft

I de siste tiårene er det blitt satt mer søkelys på klimamål og bærekraft igjennom FN sine 17 klimamål. Disse målene er et kollektivt verdensplan for blant annet å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene. Disse målene speiles dermed på bygge og anleggs bransjen som også må tenke mer bærekraftig da det kommer til materialvalg og utførelse for å handle mer klimavennlig. [8]

I dag så utgjør bygg og anleggsvirksomheten med 15% av Norges totale CO_2 klimautslipp ifølge Tekna [9]. Videre sies det også i fra forskning.no at på verdensbasis så er bygge bransjen ansvarlig for 40% av klimagassutslippene [10]. For fremtiden så betyr dette at bygge bransjen er nødt til å opptre mer bærekraftig enn det har vært gjort så langt, i form av at bygg energi optimaliseres, materialer gjenbrukes og at anleggsplassene bruker drivstoff med nøysomhet.

For betong er det i det siste vært mer utforsking på områder for å finne løsninger som kan bidra til at man kan ta i bruk mindre sement, da framstillingen av sement er selve hovedgrunnen til betongen er CO₂ uvennlig. Fra Princeton University sies det i artikkelen at 8% av karbon utslippet kommer i fra sement industrien. [11]

For å fremstille en betong blanding med et lavere karbonforbruk er det begynt å ta i bruk flygeaske som en erstatter for en mengde sement. Det er også blitt utforsket mer på å ta i bruk gammel betong fra bygninger som er destruert og bruke dette på nytt som et tilslag i en ny betongblanding.

I denne rapporten redegjøres det for hvordan fiber betong også kan tas i bruk i bygge bransjen også i bærende konstruksjoner. Fra dette er det interessant å vite om hvordan fiber betong kan være tiltak som fører industrien nærmer det bærekraftige målene som er satt igjennom FN.

1.4 Lavkarbonbetong

Lavkarbon betong er en betong mix hvor der man ønsker å minske det store karbonutslippet betong står for å lage. Karbon mengdene er hovedsakelig forårsaket ved det store energiforbruket det tar å lage sement. Lavkarbon erstatter sementen ved å bruke flygeaske, silika og slag. Dette er substitutter som har et mindre forbruk av CO₂ og gjør den totale blandingen mer miljøvennlig. [12]

Konsekvens lavkarbon

Det har vist seg at lavkarbon betong har konsekvenser for herdingen som kan skape problemer på anleggsplassene. Flygeaske og silika som begge er retarderende stoffer gjør slik at betongen bruker lengre tid på å herde. Dette kan gi konsekvenser for arbeid der det kreves at betongen skal herde til kort tid.

Table 2. Compressive strength and strength activity index for the pozzolanic replacement mixture

Cement	Fly ash	Silica Fume	SP (%) required	Compressive Strength (MPa)				Strength Activity Index (SAI) (%)			
				7 days	14 days	28 days	56 days	7 days	14 days	28 days	56 days
100	0	0	2	48,80	50,13	52,93	64,00	100,00	100,00	100,00	100,00
90	10	0	1,5	47,07	49,07	53,73	64,67	96,45	97,87	101,51	101,04
80	20	0	0,5	41,33	46,40	54,53	61,47	84,70	92,55	103,02	96,04
70	30	0	0,2	40,27	44,00	55,33	65,20	82,51	87,77	104,53	101,88
87,5	10	2,5	2	48,93	50,67	54,13	68,67	100,27	101,06	102,27	107,29
77,5	20	2,5	1	46,67	49,47	54,80	71,07	95,63	98,67	103,53	111,04
67,5	30	2,5	0,5	43,47	48,00	56,13	59,07	89,07	95,74	106,05	92,29
85	10	5	3	46,67	49,33	50,27	65,20	95,63	98,40	94,96	101,88
75	20	5	2,5	44,00	47,20	52,00	67,07	90,16	94,15	98,24	104,79
65	30	5	1	42,67	46,67	53,47	60,00	87,43	93,09	101,01	93,75
80	10	10	3,2	43,87	48,93	55,47	64,67	89,89	97,61	104,79	101,04
70	20	10	2,5	43,33	47,33	56,27	62,93	88,80	94,41	106,30	98,33
60	30	10	1,5	40,67	43,20	50,80	62,93	83,33	86,17	95,97	98,33
97,5	0	2,5	2,5	49,20	50,67	53,73	64,67	100,82	101,06	101,51	101,04
95	0	5	4,5	44,00	47,33	50,40	56,67	90,16	94,41	95,21	88,54
90	0	10	4,5	42,67	46,53	51,73	61,87	87,43	92,82	97,73	96,67

Tabell 1: Herdetid og trykkfasthet [13]

Flygeaske

Flygeaske er på lik linje med silika en pozzolan og har egenskaper som gjør som at betongen forenkles å arbeide med og øker styrken og levetiden. Det har i tillegg styrkeegenskaper som minsker i begynnelsen av herdetiden, men etter flere dager øker styrken i betongen. Kjemiske oppbyggingen for flygeaske SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . [14]

For flygeaske vises det til at styrken og arbeidsomheten øker, og for silika viser det seg at styrken også øker, men arbeidsomheten minker. Dette betyr ved bruken av silika er det hensiktsmessig å benytte mer superplastifiserende stoff ved høye mengder av silika stoff. Ved bruk av flygeasken må tenkes det vurderes hvor mye SP og vann som kan tilsettes, da betongen kan ligge i fare for å begynne å separere hvis den blir for flytende. [13]

Silika

Silika er en pozzolan som brukes i betong for å øke trykkfasthet, bøyestyrke og binding styrke. Silika har innvirkning ved at matriksen for en høyer tetthet. Fordi at silika er et ekstremt finstoff så minker dette permeabiliteten i miksen og bidrar med å akselerere hydratiseringsprosessen samt at den minker varme genereringen. [15]

Silika øker mengde vann som kreves i betongblandingen. Det interessante med silika er et at i begynnelsen av herdeprosessen (2 og 7 dager) så påvirker den trykkfastheten negativt. Men etter 28, 90 og 360 dager så kompenserer den med at styrken øker for betongen. [15]

I følge Lohtia og Joshi (1996) og Uchikawa (1986) var det observert at silika har noen grad retarderende effekt på herdetiden, da det var sammenlignet betong med og uten silika. Det var observert at betong med 15% silika med superplastifiserende hadde en økning på 60-120 min ekstra på tørketid. Mikrosilika hadde i liten grad effekt, med mindre det var benytte høye doser (20% mikrosilika). Da var det observert økende tørketid på 6-20%. [15]

1.5 Innsatsmateriale

Nedenfor begrunnes for tilslagene som er brukt i betong blandingen. Formålet med denne delen er å videre redegjøre for hvordan elementene i betongen påvirker det endelige resultatet. Det interessante er å se hvordan betong elementene påvirker betongen både fersk og herdet fase. Det vil redegjøres hvordan elementene påvirker styrke, tetthet, holdbarhet, permeabilitet og overflaten. En annen viktig faktor å få med er hvordan betongen ender opp å jobbe med og om hvilke formål den eger seg til.

Pukk

Pukken i betongen er den elementet med høyest fraksjon. Det vil si at diameter/kornstørrelsen på denne er høyest i forhold til de andre delene av miksen. For pukken så skilles det mellom grove tilslag og finere tilslag der grovt tilslag er større en 4.75mm og finere er mindre en 4.75mm. Størrelsen og grovheten på steinen samt v/c tall har effekt på styrket og hvordan blandingen er å jobbe med. [5]

Jevnere stener gjør slik at betongen blir mer flytende og lettere å jobbe med, mens en røffere overflate gir betongen mer struktur og gjør den også sterkere. Det nevnes også at størrelsen på tilslaget er nærmest proporsjonal med synk på betongen. Hvis pukksteinen også bærer med mye finstoff, risikerer man at betongblanding blir mer flytende enn beregnet og det vil øke synken. [16]

Sand

Sanden ligger på fraksjon skalaen som fra finere mellom 0-2mm, 0-4mm og 0-8mm. Sanden har samme formål som pukken med å øke trykkfastheten og strekkstyrken. Da sanden er av lavere fraksjon så er den med på å binde komponentene i betongen og gjøre blandingen mer gradert. [5]

Naturlig

Naturlig tilslag er stein tilslag som forekommer i naturen uten å ha vært behandlet med knusing eller sprenges. Steinene er derfor også rundere og har ikke spisse kanter som for eksempel knust tilslag. Dette har innvirkning på betongblandingen i fersk tilstand med at betongen blir enklere å arbeide med.[17]

Glatte overflater på naturlig sand kan redusere bindestyrken for sementpastaen og dermed redusere den totale betongstyrken, men fordelene er at i fersk fase så er betongen lettere å jobbe med[16]

Knust tilslag

Knust tilslag fremstilles ved at stener knuses med maskiner eller sprenging for å samle stener i varierte størrelser som kan brukes som tilslag i betongblandingen. Vinkelformen og overflatestrukturen blir dermed grovere enn naturlig tilslag som har blitt slipt ned av naturen. Det negative med knust tilslag er at det kommer med mere finstoff enn i naturlig tilslag. Dette betyr at blandingen kan få et større behov for mere vann og at arbeidsomheten for betongen blir påvirket.[16]

Fra et forsøk i 2008 var det gjennomført en test med høy styrke betong der det var benyttet 5 forskjellige grove tilslag (Gabbro, basalt, kvartsitt, kalkstein og sandstein). Her var det testet hvorvidt bøyestyrken og trykkstyrken ville variere for de forskjellige tilslagene. Forsøket viste at det var korrelasjon mellom stein styrken og teksturen av tilslaget når det kom til både trykkfasthet egenskaper, bøyestrekkeegenskaper og slite styrken for betongen. Altså når steinstyrken økte, så økte trykkfastheten og bøyestrekkefastheten tilsvarende.[18]

En viktig tilføyelse er å nevne at effekten av grovt tilslag har i høyere grad påvirkning med å øke styrken på høy-styrke betong på om lag 10-20%, enn på betong med lavere fasthetsklasse.[19]

L-stoff og SP-stoff

Innblanding av fiber kan påvirke luftinnholdet i betongen dette gjelder både under blanding og under transport. Dette har noe sammenheng med at tilsetning av fiber fører til at det piskes inn mer luft i betongblandingen. Fra artikkel er det testet luftinnhold for stålfiber, polyester fiber og polypropylen fiber og viser til at betongmiksen hadde 32%, 21% og 29% mer luft enn referansemiksen med helt vanlig betong. [20]

Fra NB.38 omtales det om hvordan fiber påvirker betongen og at det i tilfeller må endre på matriks, finstoff, bindemiddel og øke SP-stoff. Fra samme artikkel viser sammenligningen at referansemiksen hadde høyest synk med 13cm I motsetning til fibermiksene med 7cm 12.2cm og 10.7cm. Dette er fordi fiberne påvirker fastheten for betongen som betyr at en betongblanding med fiber krever mer SP-stoff for å oppnå en blanding som er enkel å jobbe med. [20]

Luft og styrke porøsitet

Da luftmengden økes når det tilsettes fiber i betongen. Er det interessant å vite om hvor mye dette påvirker betongen når det kommer til trykkfasthet. Det sies det at 1% økning av luftinnhold reduserer trykkfastheten med 5.5%. Samme artikkel fastslår også at bruk av mer superplastifiserende stoff kan igjen øke trykkfastheten ved bruk av luftinntrengende i betong. [21].

1.6 Fiber i betong

Fiber betong innebærer i all hovedsak at når tilslagene, vannet og sement er tilsatt og er blitt til en betong blanding så tilsettes det fiber i blandingen. Det skilles mellom de mest brukte fiberne som er stålfiber, polymerfiber og basaltfiber.

Doseringen av fiberen beregnes etter hvilken strekk styrke som ønskes å oppnå, på lik linje som med tradisjonell jernarmert betong. Per dags dato så er det slik at fiber i form av stål er den mest anvendte fibertypen. Dette har både med tilgjengelighet, men også som nevnt tidligere fra NB.38 publikasjon at det stilles videre godkjenning til strekk egenskaper for andre fibertyper. [6]

Fiber betong er blitt mer anvendt i de siste årene og har lenge vært ansett som et mindre anvendelig produkt med tanke på trykkfasthet og levetid. I tillegg har det vært flere spørsmål knyttet til hvordan dimensjoneringsgrunnlag og beregningsgrunnlag man kan ha til fiber betong.

Svinn

I betong skjer det at det oppstår svinn og riss. Dette har fiber i betong vist å ha en positiv effekt ved å minske dette. Svinnene oppstår ved tørkingen av betongen og fiberne har den effekten at det reduserer sprekkdannelsen ved å fordelen spenningen i betongen.[22]

Andre grunner til riss dannelse og sprekker er når betongen har vært utsatt for større strekkpåkjenninger enn dimensjonert. Det er flere forhold som temperaturforskjeller, nedbrytningsmekanismer i miljø, svinn og setninger.[23]

1.6.1 Fiber betong i praksis

Fiber betong har flere fordeler. Noen av disse er at det er tidsbesparende. Og kan brukes mere ved marine områder og har andre egenskaper en tradisjonell betong under herding med tanke på oppriss.

Fiber betong er tidsbesparende ved grunnarbeidet før fundamenteringen ettersom fiberarmeringen gjør slik at en slipper å benytte armerings til slakkarmering av betongen. Dette gjør det mulig å spare store mengder materialer av stål, men også at det gjøres størst besparelser når det kommer til antall timeverk som bespares. I NB.38 s.61 [6] sies det å ha spart ca. 30% i timeverk.

Fra [6] i NB.38 s.63 vises det til kalkyle beregninger der det påpekes at fiber betong får en høyere pris enn tradisjonell betong. Dette kompenseres med at antall besparte timer i arbeid, hvor utgiftene tjenes inn ved å bruke fiberarmert betong.

Marine områder

Andre anvendelighet ved fiber betong er ved marineområder, tette områder som kanaler, rør og kummer. Dette er bruksområder fiber betong egner seg mer i, enn vanlig betong da fiber betong har disse egenskapene.

Stor styrke, høy formbarhet og lang levetid. I tillegg har den mye høyere strekkfasthet. Dette gjør den mulig å forme til trange områder uten å tilsette kamstål, og faktisk forme seg lett til disse planlagt steppeområdene.[6]

1.7 Ulike fiber

Per dags dato så utforskes det med forskjellige typer fibre og hvordan slike tilsetninger i betongen kan gi ulike og bedre egenskaper enn foruten. Hovedsakelig så er de mest brukte fiberne i dag stål, ulike type plast fibre, basalt og glass. Det er derimot noen problemstillinger knyttet til de ulike fibre som det vil belyses nedenfor.

1.7.1 Stål fiber

Stålfiber er for øyeblikket den mest anvendte fibertypen på markedet og leveres av blant annet av leverandøren KrampeHarex fra Tyskland. Betong blandingen tilsettes fibre av stål som produseres i ulike former, lengder og tykkelser. Fra NB.38 s.61 [6] anbefales det med stålfiber med endeforankring har lengde mellom 30-60mm og en flytegrense på 1000N/mm².

KrampeHarex leveres fiber fra 25mm-60mm og diameter fra 0.40mm-1.00mm med en strekkstyrke på 1900N/mm² og elastisitetsmodul på 210.000N/mm². [24]

Fordelene med stålfiberne er at man slipper problemet med mekanisk nedbryting i form av rust som for eksempel med tradisjonelt jernarmert betong. Dette er fordi at stålfiberne ligger spredt i betongmassen, og kan dermed ikke lede rustoksidasjon igjennom hverandre. For tradisjonell armering er det slik at når en del av armeringen er først blitt eksponert vann og salt og begynner å oksidere. Så kan armeringen fortsette å ruste lengre inn i konstruksjonen. Fra forskningsartikkelen «corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks» var det gjennomført testing av nedbrytnings mekanisme på fiberbetong ved å utsette det for salt. Det var konkludert med at fiber betong var mindre utsatt for korrosjon, og kun fibre ved overflaten ved kuttet viste antydning til nedbrytning, og at dette i tillegg ikke hadde noen betydning for de mekaniske egenskapene. [25]

1.7.2 Polymerfiber

Polymerfiber er en plastfiber som også er veldig mye anvendt i betong. Den kommer i ulike lengder og plasseres i to ulike klasser. I NB38 nevnes det at fibernes langtidsbelastning må dokumenteres spesielt da det er vare for svekkelse på grunn av materialets lave smeltepunkt. [6]

Til motsetning for stålfiber så har polymerfiber bedre estetikk i overflaten på betongen. Da stål fiber i overflaten over tid vil ruste. Uansett så er stålfiber mer egnet i støpe prosedyrer hvor det skal støpes store mengder da det gjerne har en tendens til å magasineres høye temperaturer i medium som kan være et problem da plastfiber er mer utsatt for høye temperaturer.[6]

Et annet moment med plastfiber er at det er miljømessige problemstilling med det. Stål i naturen og har relativ lav konsekvens i sammenligning til plast og mikroplast. Ved Rogaland var det i 2018 brukt plast i sprøytebetong, problematikken oppsto når plastfiber betongen kom på avveie og endte opp i hav, mark og til slutt dyr.[26]

1.7.3 Basalt fiber

Basalt fiber er framstilt av smeltet basalt stein. Fiberne er tynnere enn både stål og polymer med 19 mikrometer i tykkelse. Basalt fiberne har høy strekkstyrke opptil 3000MPa.

Basaltfiber er en fiber type som anvendes mere til å unngå rissdannelser i betongen, fremfor å tåle større strekkbelastninger. Det skal nevnes også at basalt fiber er en fibertype som er mer ømfintlig enn både plast og stål, og knekkes lettere opp i mindre deler. [27]

1.8 Regelverk

Da denne oppgaven er knyttet opp mot NB.38 publikasjon er det derfor valgt å nevne noen av de relevante standardene for betong. I tillegg til en liten innføring av lovshierarkiet ettersom det kommer med anbefalinger og retningslinjer for hvordan fiberbetongen skal utføres og blandes. [28]

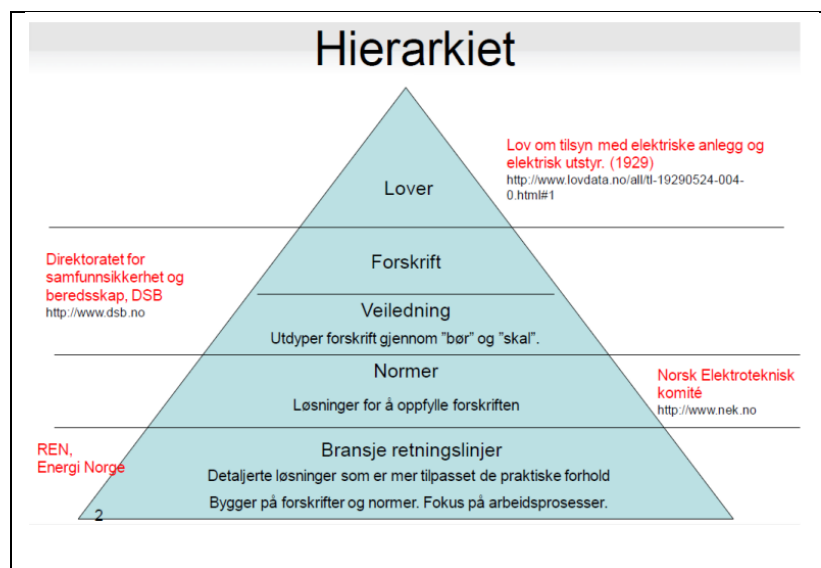


Figure 3: Hierarkiet lov. [29]

Bildet ovenfor viser til lovshierarkiet i Norge der lover ligger øverst i hierarkiet og bestemmes av stortinget. Forskrifter kommer etter lov og det fungerer slik at forskrifter må ha hjemmel i lov. De er underordnet lov og er juridisk bindene. Etter dette kommer veiledning også normer/standarder. Til forskjell så er ikke veiledning og standarder juridisk bindene, men fungerer som en utdyping og forklaring til lov. Standard gir en teknisk spesifikaasjon som er mer detaljer enn lover og forskrift, med hensikt til å øke sikkerhet produkt og utførelse. [30]

1.8.1 Konsekvenser

En av hovedmomentene med denne lille innføringen er hvordan veiledning og standarder gir ulike forsikrings kriterier ved bruk. Da NB.38 foreløpig kun er en publikasjon med anbefalte

veiledninger for hvordan det kan prosjekteres med bruk av fiber betong så gir der et større ansvar til entreprenøren med å forsikre seg at fiberbetongen faktisk opptrer som en jevn god alternativ til tradisjonell armert betong. Dette betyr at entreprenøren påtar eller gir ansvaret til byggherre ved å gå vekk fra standarden NS-EN 206. Noe som da vil ha betydning for forsikring og rett ved ulykke. Bransjen står derfor foreløpig i et veikryss ved besparelse ved bruk av fiber betong, på bekostning for å påta seg ansvar med konsekvenser for ulykke.

2 Mekaniske egenskaper til fiber betong

Ifølge NB.38 s.70 [6] så sies det at fiberne som tilsettes betongen ikke skal ha noen stor påvirkning for trykkfastheten, e-modulen eller strekkfastheten. Dette gjelder så lenge det ikke tilsettes i for høy grad mengde fiber i blandingen, den normale mengden er satt mellom 20-60kg/m³ NB.38 s.62.[6]

Etter første riss er det viktig at det styres etter heftgliding mellom betongen og fiberne. Dette er for at fiberne skal oppnå høyst mulig duktilitet som gir best strekkabsorpsjon og unngåelse av brudd. Endekroker på fiberne brukes for at å oppnå bedre heft med at fiberne «griper tak» i betongen og unngår de kun strekkes ut ifra betongen. Høy fasthet i sementpastaen og dårlig utførelse er en faktor som bidrar til brudd av fiberne, som dermed ikke gir ønsket duktilitet.[6]

2.1.1 Heft og riss

Flere fordeler med fiber betong er at den har den egenskapen at betongen har strekkegenskaper uten å måtte få tilsatt armering. Dette betyr i hovedsak at fiberbetongen vil ha mindre sannsynlighet for opprissing og sprekker. Det er også vært vist til at fibere minker mengden av riss som oppstår, og i tillegg lengden på rissene[31]. Hvor mye strekk fiberbetongen har i forhold til tradisjonell betong avhenger av doseringsmengde og hvilken fibertype. Med andre kan også fiber betong benyttes i områder der det er praktisk vanskelig å føre til armering som gjør det praktisk.

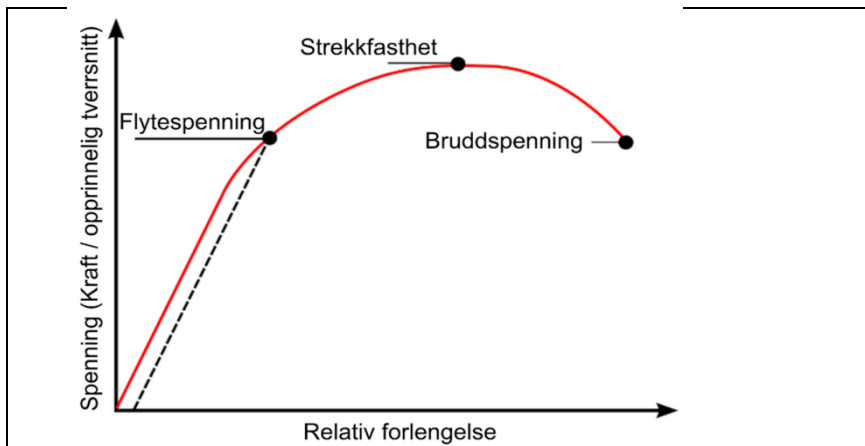
2.1.2 Strekkherding fiber

Strekkherding av fiber i betongen hender da betong prøven utsettes for strekk og fiberne sørger for å gi strekkegenskaper til betongen ved å deformeres i form av det strekkes mens det forekommer nedbøyning av prøven. Strekkherdningen gir mulighet for å betongen kan utsettes for strekk og oppnå sprekkdannelser under påsatte krefter uten at det oppstår brudd.[32]

2.1.3 Bindingslipp «Bond-slip»

Bindingslipp i fiberbetongen menes med fibernes egenskap til å binde seg til matriksen i betongen mens den utsettes for strekk. For at fiberne skal kunne tilføre strekk til betongen må det være tilstrekkelig med heft og binding til matriksen. Med for svak binding til matriksen så vil fiberne miste strekkegenskapene i form av de blir dratt ut av betongen når den utsettes for belastning.[33]

2.1.4 Flytespenning



Figur 4: Flytespenning [34]

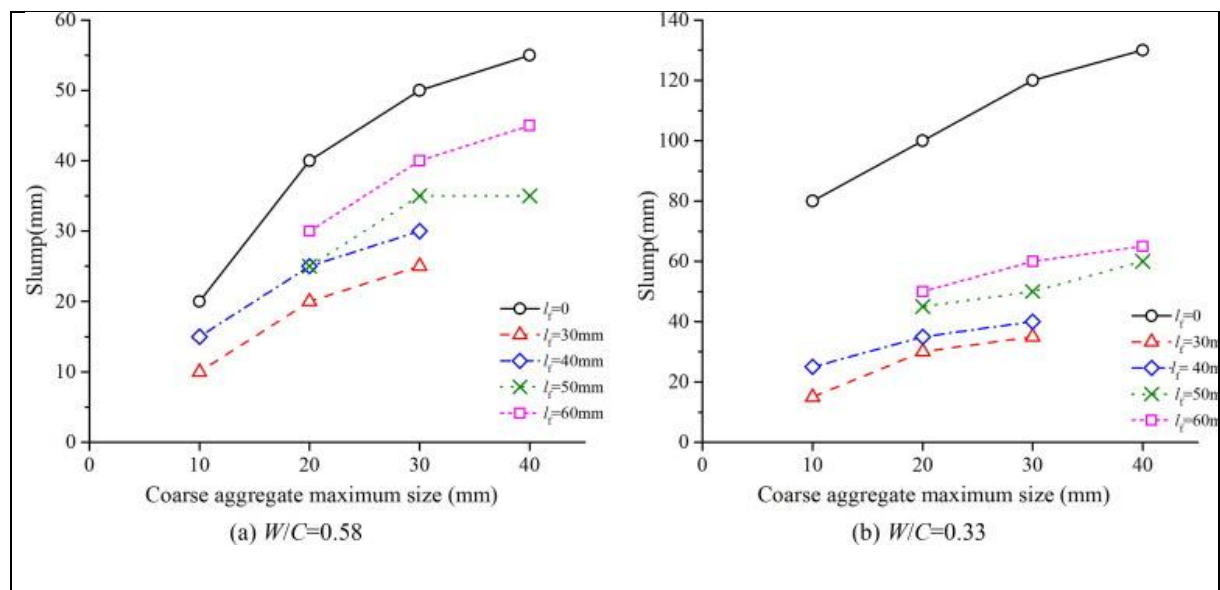
Ovenfor viser et bilde som beskriver mengde spenning før det oppstår deformasjon i form av forlengelse. Grenseverdiene viser flytespenning der metallet eller legeringen ligger i en elastisk fase, og der grafen konkave så går det inn i en plastiskfase, ved enden så oppstår det brudd. Bruddspenningen er maksimum grense for deformasjon og forlengelsen av metallet før det knekker. Duktiliteten på metallet betyr formbarheten på metallet, og i prinsippet så er duktilitet samsvarende med spennet på den plastiske grensen.[34]

Material	Shape	Shaped end		Cross - section shape
Steel	Straight	Hooked ends 3D	Button ends	Round shaped
Polypropylen	Fibers with hooked ends	4D	Deformed ends	Rectangular shaped
Nylon	Crimped (wave shaped)	5D		Irregular shaped
Glass	Defromed shaped			
...				

Figure 5: Fiber typer [35]

Ovenfor vises det en rekke forskjellige typer fibere. Det finnes fibere av typer stål, polypropylen, nylon og glass. Her vises de mest vanlige fiberformene oftest så er «hooked ends» og «straight» fiber mest anvendt. I den praktiske delen av oppgaven så er det denne som vil brukes.

Fiberne aktiveres når det dannes sprekker og har innvirkning på betong helt til fiberne enten rives eller knekkes. Når fiberen legges spredt i betongen så øker strekkfastheten, og selve formen på lastforskyvningsdiagrammet. Styrken på fiberne er ikke bare påvirket av hvilken fibertype, men også hvilken doseringsmengde.[6]



Figur 6: Sammenheng fiber, tilslag og synk [36]

Ovenfor illustreres det grafisk hvordan tilslag ved maksimum størrelse og fiberlengde har innvirkning på synk. I forskingsartikkelen påpekes det at «hooked ends» fiber påvirker negativt flytbarheten på betongen samtidig som det skjer en synk nedgang på 50% og 80%.[36]

2.1.5 Fordeling

På grunn av strenge krav til fordeling og orientering kreves det nøyaktighet til utførelse og kontroll. Det er dermed krav til utvidet kontroll NS-EN 13670 for blanding, transport og utlegging av betongen. Fiber betong har i motsetning til annen betong større spredning i reststrekkfasthet. Det vil i derfor i denne oppgaven testes en stor mengde bjelke for å kunne gi et fyllende svar over hvor stor spredning det vil forekomme i fiberbjelkene.

2.1.6 Fiberdosering

Doseringsmengden av fiber ligger normal mellom 30-50kg/m³. For å oppnå rissfordelt effekt krever dette høy dosering av fibermengde. Dette medfører problemer ved at når fiberinnholdet begynner å nærme seg 1% prosent av betongblandingen, så vil dette innvirke på støpeligheten. Det er mer praktisk å kombinere fiber betong med vanlig betong i situasjoner hvor det kreves å ta mye strekk i betongen. [6]

I 2016 var det gjennomført et forsøk med stål fiber betong bjelker for å utforske forskjeller i bøyekapasitet og styrke i forhold til trykkfasthet og fiber-dosering. Fiber-forholdene var som følgende 0.25%, 0,375% og 0,5% og trykkfasthet 25MPa, 35MPa og 45Mpa.[37]

Konklusjonen var at bjelker med 0.25% fiberinnhold sin bøyestrekkeegenskaper begynte hurtigere å miste krefter da rissviddet begynte å øke. Og bjelker med høy styrke hadde hurtig synkende styrke i etter sprekkdannelse ved følge av lav energiabsorpsjon. [37]

“The flexural tensile performance of SFRC is evaluated using the equivalent flexural strength ratio, $Re;3$, which is a function of $TD150$ and $f1$. According to correlation analysis, $f1$ was strongly correlated with the concrete strength but not with the content ratio of the fiber. In contrast, $TD 150$ was strongly correlated with the content ratio of steel fibers, but not with the concrete strength. Therefore, the experimental results showed that the $Re;3$ increased with the increase in the fiber volume fraction” [37]

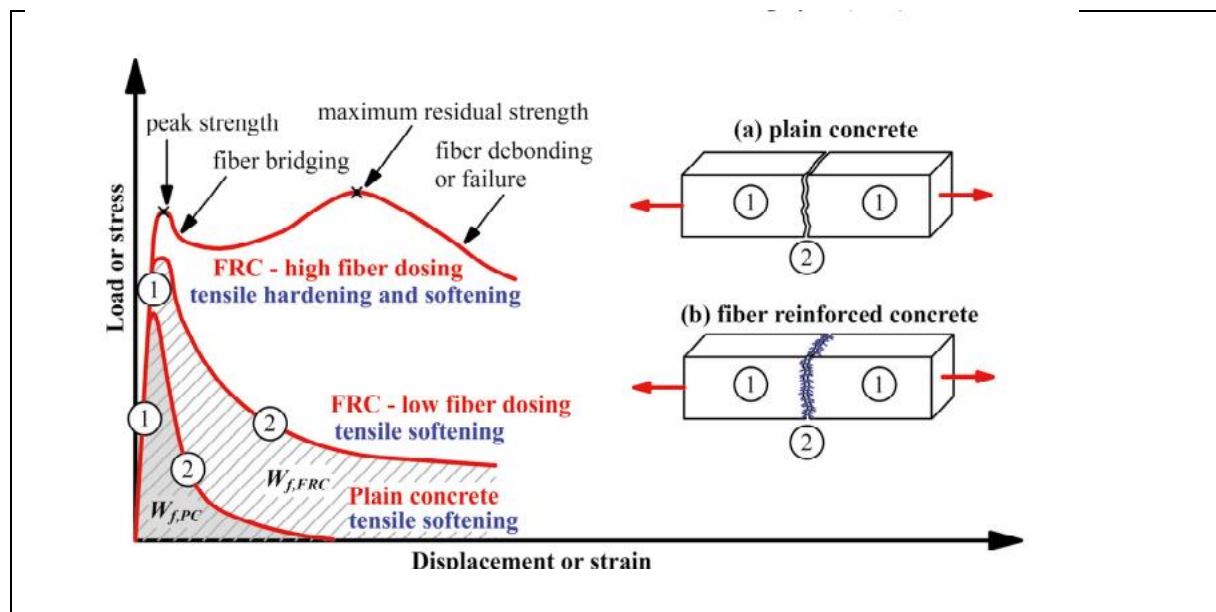


Figure 7: Cmod og fiberdosering [35]

Table 1. Basic mechanical properties fiber reinforced concrete.

Dosage [kg/m ³]	Density [kg/m ³]	Coefficient of variation [%]	Compressive strength [MPa]	Coefficient of variation [%]	Splitting tensile strength [MPa]	Coefficient of variation [%]	Bending tensile strength [MPa]	Coefficient of variation [%]
40	2248	0.86	57.10	6.18	4.18	6.55	4.58	8.23
75	2273	1.13	64.01	4.27	5.01	10.97	4.78	3.41
110	2294	1.02	59.32	4.12	5.88	5.93	5.45	5.33

Tabell 2: Dosering og trykkfasthet [35]

Dosering fra 40-110kg/m³ viser til konsekvens og fordel ved høyt og lavt fiberinnhold. I all hovedsak så vises det fra grafen at høyt fiberinnhold gir varig høy strekkfasthet og selv under rissing av bjelken. En konsekvens ved dette høye innholdet er derimot at det har noe negativ effekt for trykkfastheten ved betong som sett fra 75kg/m³ doseringsnivået. En av fordelene ved høyt fiberinnhold er at den gir et mer pålitelig tall i forhold til variasjon under testing både i styrke og strekk. Noe som må tyde på at et lavere fiberinnhold innebærer en viss fare for at fiberne ikke fordeler seg jevnt og i høy nok grad i betongen. [35]

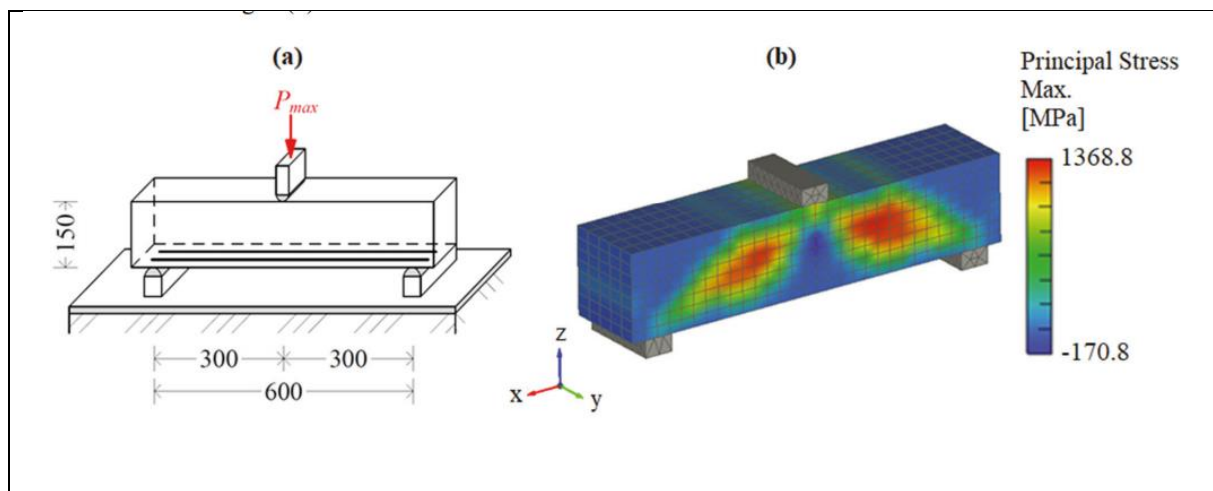


Figure 8: Strekksone i bjelke[35]

Bildet ovenfor viser soner som er spesielt utsatt for belastning. Modellen ovenfor viser i praksis for hva som skjer når bjelkene testes på labben. Igjen så viser dette til viktigheten med jevnt fordelt fibermengde og unngåelse av fiberansamling som klumper seg i dunger.

Fra NB.38 står det beskrevet at D_{max} skal ikke være større en halv fiberlengde. Det største tilslaget brukt for å lage betong bjelkene har en fraksjon på 8-22mm. Det er under den praktiske delen valgt å bruke fiberlengden fra KrampeHarex som er på 50mm. Dette vil forklares nærmere i avsnittet nedenfor.

«The maximum size of coarse aggregate has significant effects on concrete matrix as well as on the distribution and orientation of steel fiber in concrete, which influences the mechanical properties of SFRC» [36]

Årsaken for at tilslaget ikke skal være større enn halve fiberlengden er at det har vært forsket på at tilslag med lavere fraksjon og høyere andel prosent stålfiber gir bedre bøyeprestasjoner.[36] I tillegg viser forskning fra Olivito og Zuccarell at max 22mm fraksjon D_{max} 0.5mm fiberlengde har en bestemt korrelasjon mellom for en uniform og jevnt fordelt fiberfordeling.[38] Det nevnes også fra artikkelen at tilslaget maksimalt ikke burde overgå $\frac{3}{4}$ fiberlengde og 25mm fraksjon.[36]

Det påpekes også at fiberlengde på 60mm presterer bedre enn fiberlengde på 30mm både når det gjelder bøyeg og brudd egenskaper. Det viste seg også at nedbøyningskapasiteten økte ved å øke fiberlengden fra 13mm til 19mm. I tillegg nevnes det at fiberfordelingen avhenger av type form og lengden på fiberen. Fiberfordelingen er et utrolig viktig aspekt for fiberarmert betong da fordelingen har stor innvirkning på bøyestrekfastheten i betongen. [36]

2.2 Testing

2.2.1 Fersk betong prøver

På betongstasjonene foretas det standardiserte tester som utføres på fersk betong i henhold til NS-EN-206. Testene som vil utføres er synk, synk utbredelse og luftmengdeinnhold. Det skal påpekes at når det tilsettes fiber til betongen så påvirker dette arbeidsomheten til betongen.

2.2.2 Synk

Testing av fersk fiber betong ved bruk av synk gir ikke nødvendigvis en fullmektig bilde av formbarheten på blandingen. Det er fordi at når fiberne er tilsatt blandingen så gir det inntrykk av den er vanskelig å støpe på grunn av den avstivende effekten fiberne har når det står i ro.[6] Metode for synk måling utføres ved beskrivelse fra NS-EN 12350-2. Konsistensen er følger NS-EN206+NA PKT 8.3.2.2+20mm konsistens.

2.2.3 Synk-utbredelse

Synk-utbredelse benytter plan med måling for å ta tid av utbredelsen av betongen på platen. Dette for å gi bilde av utforming av betongen sammen med å ta synk test. NS-EN 12350-8 beskriver metoden.

2.2.4 LCPS

LCPS-boks er en metode for å finne ut av fiberbetongens utbredelseslengde som brukes for å beregne betongens flyteskjærspenning. Denne testen viser hvordan utbredelsen av betongen i praksis måte, og visuelt hvordan fiberne legger seg mens de flytter på seg. Metoden går ut på å fylle en 8 liters mengde betong i et gjennomiktig rektangel form. Denne metode er egentlig en mer representativ måling for hvor formbarhet når det kommer til fiber betong da dette er en dynamisk metode, mens synk er en statisk metode. [6]

2.2.5 Luftmåling

Luftmåling er også en standardisert metode for å måle luftinnholdet i betongen NS-EN 12350-7. Obligatorisk å foreta en luftmåling av betongen når betongen er lufttilsatt f.eks. MF40. Selv for fiber betong som ikke er tilsatt L-stoff vil det uansett foretas en luftmåling av betongen for å kunne tilsi om i hvilken grad fiberne påvirker luftinnholdet og om det er innenfor et akseptabelt nivå. For frostbestandig betong (lufttilsatt) så regner man med å ligge mellom 4%-6.5% luftinnhold. For betong uten L-stoff er det normale at det ligger mellom 2%-3%.

2.2.6 Fiber mengde i del av fersk betong

Det kan testes for antall mengde fiber i fersk betong ved å ta tre mengder betong fra ulike deler steder av betongblandingen og samle dette til minst 8 liter etter NS-EN-14721. Metode for å separere fiberne fra restene er å spyle ut mengden og bruke en magnet for å få tak i alle fiberne. Mengden fiberes veies i gram og sammenlignes med andre betongstasjoner for å skape bilde av hvordan fibermengden fordeler seg og om noen betongstasjoner har høyere svinn.

2.3 Sikte kurve

En siktekurve viser fordelingen av de forskjellige tilslagene i betong fra finstoff til større fraksjon. Den viser henholdsvis kornfordelingen og prosentvis av hver fraksjon. Det gir informasjon om hvor stor steinene eller sandkornene er for et tilslag og hvor mye finstoff som er forventet å komme sammen med tilslaget.[39]

Siktekurven brukes også for å gi oversikt over forholds mengden mellom fraksjon og prosentvis-tilslag i en planlagt blanding. Siktekurve gir informasjon om den planlagte blandingen vil bli: velgradert, lite gradert og «gap graded».[40]

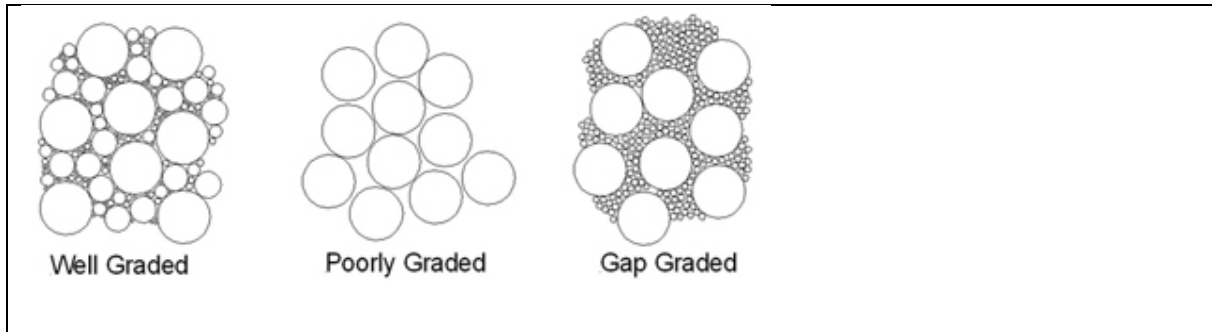


Figure 9: Gradering tilslag[40]

2.3.1 Fuller kurve

Fuller kurve er en mye anvendt kurve som er brukt som en referansekurve for å avgjøre om egen planlagt siktekurve er velgradert. Fuller kurve er slik kalkulert:

$$\text{Fuller kurve: } y = \left(\frac{d}{D_{max}} \right)^n \times 100[\%]$$

$$0-4\text{mm: } (4/16)^{1/2} = 50\%$$

$$4-8\text{mm: } (8/16)^{1/2} = 70,7\% - 50\% = 20,7\%$$

$$8-16\text{mm: } (4/16)^{1/2} = 100\% - 70,7\% = 29,3\%$$

Kurven blir noe lignende som grafen nedenfor.

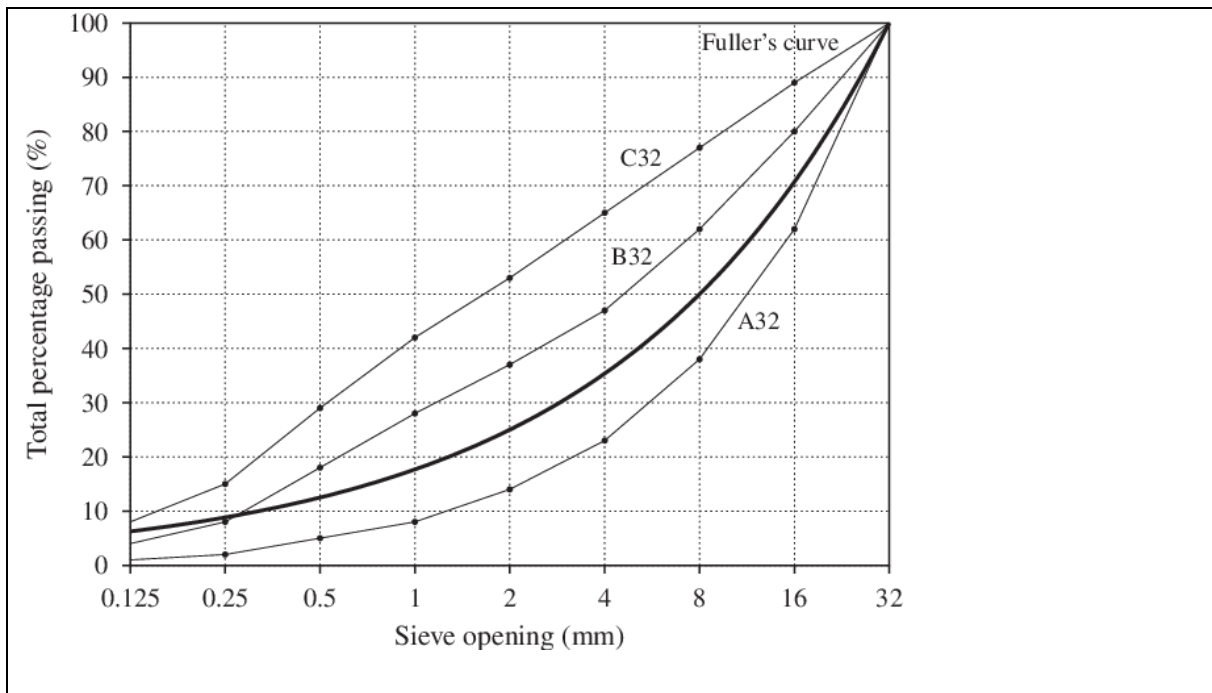


Figure 10: Fuller kurve[41]

2.3.2 COIN

COIN- Concrete innovation centre var etablert i 2007 og er et senter for forskning og innovasjon med formål å bygge opp og styrke norske forskningsgrupper som jobber i kontakt med innovative industrier og innovative offentlige virksomheter. [42]

Publikasjon i NB.38 har tatt i bruk rapporten fra COIN 29-2011, SINTEF-rapport ISBN 978-82-536-1223-2. Denne rapporten innebærer «Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmert betongkonstruksjon».

2.3.3 DAfStb

Fra «Deutscher ausschuss für stahlbeton» sies det gjennom NB.38 at stålfiber armert betong ikke brukes uten stangarmering i det strengeste eksponeringsklassene. Dette er ikke fordi at stålfiber ikke kan brukes i slike situasjoner eksponeringsrelatert, men fordi at det enda er mangler på beregningsmetoder som gjør det ansvarlig å anvende. I NB.38 gjennomgås det krav om spennberegning som oppnår mulighet for å kunne bruke fiber betong i strengere eksponeringsklasser. [6]

2.3.4 NB.38

NB.38 er en publikasjon laget av en prosjektgruppe sammensatt av fagpersoner utnevnt av en publikasjonskomite. Publikasjonen er fremstilt for å dekke behovet om bedre retningslinjer og standardiserte beregningsmetoder for fiber betong.

I NB.38 s.7 står det at det mest aktuelle fibertypene for bærende konstruksjoner er stål, polymer og basalt. Hovedsakelig så er det ønskelig at konstruksjoner som lages av fiber betong skal kunne være jevngod å anvende akkurat som for ordinær betong.

Ifølge veiledning i NB.38 så er det forskjellige egenskaper for fibertypene når det kommer til skjær påvirkning og kombinasjonsarmering. I disse to tilfellene så er det kun stålfiber som tillates. [6]

Fiber betong krever en utvidet kontroll for blanding, transport og utlevering etter NS 13670. Dette er fordi at riktig kontroll og utførelse vil sikre at fiberne er fordelt og orientert som forutsatt. For fiberarmert betong er spredningen av restfasthet som regel større.

Fiber har alene en langt mindre duktilitet (seighet) i forhold til tradisjonelt armert tverrsnitt. Det stilles nærmere krav til fiberarmert betong ved påkjenning av moment og aksialkraft. Ettersom det er i hovedsak fare for sammenbrudd i konstruksjon anbefales det å bruke både

fiber-betong sammen med stangarmering eller slakkarmering for å dokumentere sikkerhet under disse påkjenningene. [6]

NB.38 laget for å kunne gi en nærmere forklaring av hvordan beregningsmetoder for tradisjonell betong også kan benyttes for fiber betong med å dokumentere at det er like sterkt.

NB.38 siktes derfor at publikasjon skal gi mulighet for bruksområder som:

- Fundamenter
- Vegger skiver og skall
- Flatdekker
- Effekt av konsentrerte laster på plater på mark
- Rør og kulverter
- Bjelker og dekker

Fra tidligere har fiber betong vært marginalisert til kun bruk som sprøytebetong og gulv på mark. Hensikten er nå å gjøre muligheten større for bruken av fiber betong.[6]

2.3.5 NB.38 Grunnleggende krav

For at fiber betong skal kunne benyttes i bærende konstruksjoner så stilles det krav i henhold til NS-EN 206+NA. [43] Dette settes spesifikke krav til produsent fordi det enda er noe usikkerhet om fiberbetongen variasjon i forhold til styrke under forskjellige blandinger.

Det er derfor *bestemt* krav til produsent om:

Fasthetsklasse
Bestandighetsklasse
Restfasthetsklasse
Maksimal tilslagsstørrelse, D_{upper} og D_{lower}
Konsistensklasse: S1-S5

Det *kan* også spesifiseres krav til:

Utstøpingsmetode

Fibertype
Fiberens temperaturobestandighet
Minimum fiberinnhold
Sementklasse
Tilslagstype eller kategori
E-modul
Andre tekniske krav

Disse kravene vil videre i teori delen belyses igjennom forskning artikler og sett i lys av betong blandingen som er brukt i den praktiske delen. Før dette velger jeg å trekke fram noen viktige instanser til dokumentering for at fiber betong skal kunne brukes.

2.3.6 Dokumentering nivå.1 og nivå.2

Forhånds dokumentering for at en skal kunne bruke fiber betong kan gjøres på to alternative måter fra Nivå.1 og Nivå.2 som beskrevet i NB.38. Dette er fordi betongprodusenten må kunne dokumentere restfasthetsklassen $f_{R,1k}$ og duktilitetsklassen ($f_{R,3k}/f_{R,1k}$) fra a-e.

Nivå.1: Dokumenterer prøving **på den** betongen og fiberen som skal blandes og støpes

Prøvingen i dette tilfellet innebærer at det bestemmes en bestemt fibermengde og fibertyper og en satt fasthetsklasse betongen skal ha og følger prosedyren for fiber betong. Det skal dermed testes 6 bjelker per fibermengde hvor det da også må rapporteres middelvei, standardavvik samt karakteristisk verdi.

Nivå.2: Dokumentasjon basert på forsøksdata/resultater av betong med samme fasthet og fiber, men det trengs ikke å benytte samme tilslag eller produksjonsutstyr. Denne metoden krever at det skal være minst resultater fra tre prøver og minst to tilslagsforekomster. I tillegg så må også kravet $f_{R,1k}$ restbøyestrekfastheten økes med 20%.

Forskjeller:

Hovedforskjellene mellom disse er at for nivå.1 så er det mulig å endre betongsammensetningen eller lage nye betongsammensetninger.

Så lenge betingelser nedenfor er tilfredsstillt:

Tilsvarende fasthet som bestemt ved forhåndsprøving
Pasta/matriks volum økes, men ikke reduseres
<i>Det benyttes samme tilslagsforekomst</i>
Mindre D-maks kan benyttes, men ikke mindre enn 16mm
Steinreduksjon inntil >4mm utgjøre minst 50% av tilslaget
Bindemiddelkomponenten kan endres/justeres innenfor +/- 2% silikastøv og +/- 5% flygeaske/slagg
Dokumentasjon er gyldig i 36.måneder etter prøven er utstøpt

Alle betingelsene her er hentet fra NB.38 s.18 og det poengteres at det må være samme tilslagsforekomst. Om akkurat dette er nødvendig er hovedmålet for denne oppgaven å finne ut. De resterende betingelsene og kravene som nevnt ovenfor vil redegjøres og begrunnes gjennom forskningsartikler.

2.3.7 Krav som stilles til fiber betong

- Kombineres med stangarmering slakkarmering
- Kontroll NS-EN 13670 Utførelse av betongkonstruksjoner
- NS-EN 206+NA spesifisere bærende konstruksjoner som «egenskapsdefinert betong»

Standarder som inngår i NB.38:

NS standarder prøvemetoder. Nedenfor er det oppramset standardmetoder for de ulike testingsmetoder og utførelsesmetoder nevnt i NB.38. Disse vil bli fulgt under utførelse og testing av betongen i denne rapporten.

NS-EN 14651 Prøvemethode for betong med metalliske fibere -Måling av bøyestrekfasthet (proporsjonalitetstest og restfastheter)

NS-EN 14721 Prøvningsmetode for betong med metalliske fibre. -Måling av fiberinnhold i fersk og herdet betong.

NS-EN 14845-1 Prøvningsmetoder for fibre i betong -Del.1: Referanse betong

NS-EN 14845-2 Prøvningsmetoder for fibre i betong- Del.2: Effekt på styrke

NS-EN 14889-1 Fibre for betong -Del1: Stålfibre – Definisjoner, krav og samsvar.

NS-EN 14889-2 Fibre for betong – Del2: Polymerfibre -definisjoner, krav og samsvar.

NS-EN 12390-13: Prøving av herdet betong -Bestemmelser av sekantmodul for elastisitet under trykk.

2.4 Klassifisering

2.4.1 Eksponeringsklasse

Eksponeringsklasse som beskrevet fra NS-EN 206-1

Gruppe	Eksponerings-klasse	Beskrivelse av nedbrytningsmekanisme – miljøeksponering
1	X0	Ingen risiko for korrosjon eller nedbrytning
2	XC 1–4	Korrosjon framkalt av karbonatisering
3	XD 1–3	Korrosjon framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann
4	XS 1–3	Korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann
5	XF 1–4	Fryse-/tineangrep med og uten avisingsmiddel
6	XA 1–3	Kjemisk angrep
7 ¹⁾	XA4	Kjemisk angrep fra husdyrgjødsel
8 ¹⁾	XSA	Særlig aggressivt miljø

Tabell 3: Eksponeringsklasse [43]

Fra tabell er det oppramset ulike eksponeringsklasser og gitt en beskrivelse av hvilken nedbrytning det innebærer i dette miljøet.

2.4.2 Bestandighetsklasse

Eksponeringsklasser er viktig å ta høyde for slik at bestandighetsklassen og fasthetsklassen er tilpasset de typer nedbrytnings farer betongen står ovenfor.

Eksponeringsklasse	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XD1, XS1, XA1, XA2 ^a , XA4 ^b			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ^a					X	X

Tabell 4: Bestandighetsklasse. [43]

2.4.3 Fasthetsklasse

Fasthet	Fasthetsklasser (N/mm ²)							
	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65	B75
Sylinderfasthet f_{ck}	20	25	30	35	45	55	65	75
Terningfasthet $f_{ck,cube}$	25	30	37	45	55	67	80	90
Strekkfasthet (aksielt strekk) $f_{ctk,0,05}$	1,5	1,8	2,0	2,2	2,7	3,0	3,2	3,3

Tabell 5: Fasthetsklasse. [6]

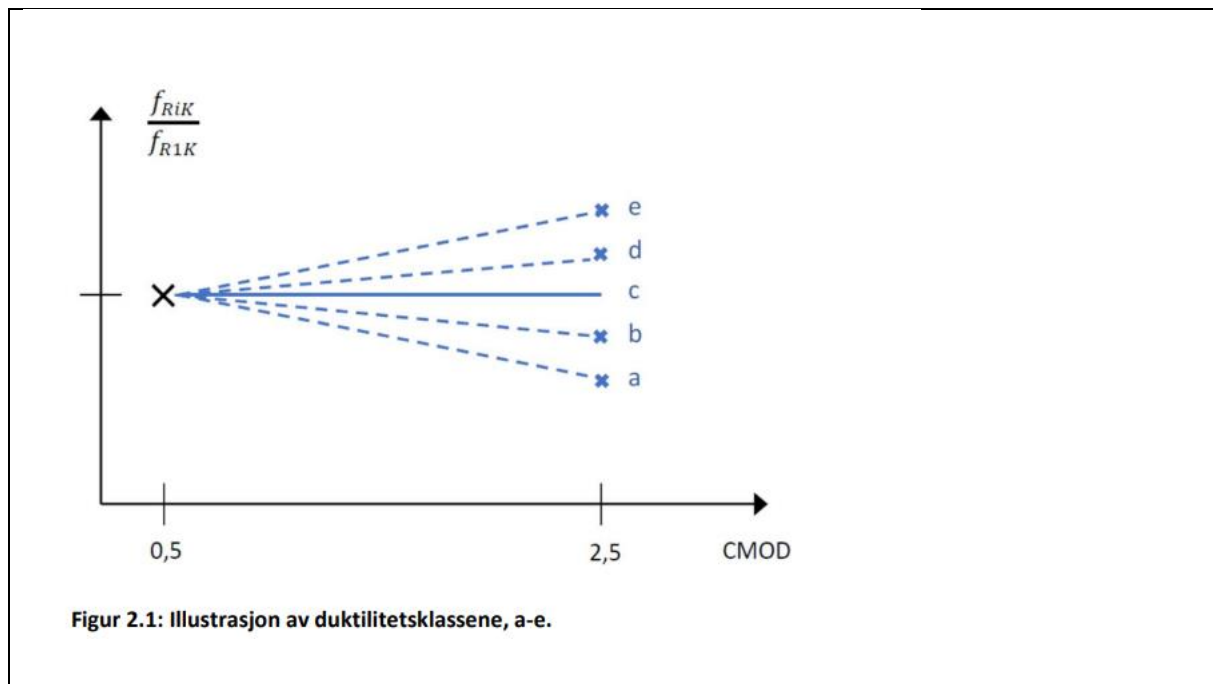
Fasthetsklassene angis på lik måte som betong uten fiber innhold. Fasthetsklassene er definert i NS-EN 1992-1-1+NA.

2.4.4 Restfasthetsklasse og duktilitetsklasse

Restfasthetsklassen anviser hvilken karakteristisk restbøystrekkfasthet og duktilitetsklassen. I tabellen måles restfasthetsklasse ved angitt rissvidde ved 0.5mm. Det benyttes dermed restfasthetsklasse for rissvidde ved 2.5mm og deler disse to verdiene for å finne duktiliteten for betongprøven. Dermed leses verdien ut fra denne tabellen for å bestemme duktilitetsklassen, hvor A klassifiseres som dårligst duktilitet og E som best.

$f_{R,1k}$ \ Duktilitetsklasse	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
a	$f_{R,3k}=0,5f_{R,1k}$									
b	$f_{R,3k}=0,7f_{R,1k}$									
c	$f_{R,3k}=0,9f_{R,1k}$									
d	$f_{R,3k}=1,1f_{R,1k}$									
e	$f_{R,3k}=1,3f_{R,1k}$									

Tabell 6: Bestemmelse av duktilitetsklasse. [6]



Figur 2.1: Illustrasjon av duktilitetsklassene, a-e.

Figure 11: Beregning for duktilitet

Ved testing vil det brukes disse to figuren for å fastslå karakteristisk restbøyestrekkefasthet og duktilitetsklasse. Den karakteristiske restfasthetsklassen angir restbøyestrekkefastheten ved 0.5mm rissvidde og duktilitetsklasse ved 2.5mm rissvidde.

$(f_{R,1K})$ = Restbøyestrekkefasthet

$(f_{R,3K})$ = Duktilitetsklassen

Et minstekrav for å kunne utnytte fiberbetongen til bærende konstruksjoner er at den karakteristiske restbøyestrekfastheten ved 0.5mm må tilsvare minst 50% av fasthetsklassens karakteristiske strekkfasthet.

$$\frac{f_{R,1k}}{f_{ctk,0.05}} \geq 0,5$$

Figur 12: Formel kalkulerer minstekrav[6]

3 Praktisk del

Denne delen av oppgaven innebærer den praktiske delen av betongblandingen. Formålet her er å framstille betong med samme resept, men med ulikt tilslag. Betongen som skal blandes er lavkarbon betong av B45MF40-NB+FA+SF med samme fiberdoserings mengde på 35kg. Ved de ulike betongstasjonene benyttes det av forskjellig tilslag som har forskjellig uttak og variere mellom å være knust tilslag og naturlig tilslag. Som en del av oppgaven er det også interesse å se om de forskjellige blandings prosedyrene og blandings maskinene kommer til å ha noen innvirkning på de endelige resultatene. Det vil også underveis reflekteres over hvordan betongen fra de ulike betongstasjonene var å behandles i fersk fase.

Det vil derfor brukes 6 150x150x150 kuber for å utføre en trykkfasthets test. Kubene skal testes etter å ha herdet og vært lagt i vann i 28.dager. Deretter skal prøvene testes etter å ha ligget å herde i vann etter 56 dager. For oppgaven er det støpet 15 bjelker totalt for hver betongstasjon.

Dette har med å gjøre at noen bjelker mulig må tas vekk fra resultater grunnet feil i fordeling eller feil som oppstår under testing. De resterende bjelkene benyttes til testing etter denne oppgaven. Det skal også støpes 3 sylindere for å kunne gjennomføre test av E-modulen for sylindere. Dimensjoner for sylindere er Ø150 og høyde 300mm.

Navn for betongstasjonene og forkortelse:

Navn på betongstasjonene	Forkortelse
Nordland Betong Fauske	Fauske
Lab Berg Betong	Lab
HGB Narvik	HGB
Betong & Entreprenør Lofoten	BoE Lof

3.1 Prosess

Blandingen som skal lages er en B45 MF40 betong. Den utføres med å dra til 3 betongstasjoner og der den siste utføres på betonglabben her i UiT Narvik. Blandingen skal være lik, men forskjellen er at det brukes 4 ulike tilslag for blandingen. Innholdet er som følgende:

- Norcem standard Fa
- Silika
- Flygeaske
- Vann
- 0-8mm Sand
- 8-16mm Pukk
- *RCA 8-22mm*
- *Crushed 4-8mm*
- Dinamon SX-23 (Superplastifiserende)
- Mapeair (Lufttilsettelse)
- Stålfiber krampeharex 50mm, d 0.75mm

3.1.1 Blandende tilslaget for de ulike betongstasjonene

RCA- Resirkulert betong

BS- Beisfjord (Naturlig)

BB-Hjelnes uttak (Naturlig)

RB- Rombak (Crushed)

AS-Austvika (Crushed)

GL- Glømmen (Naturlig)

BL-Blokken (Crushed)

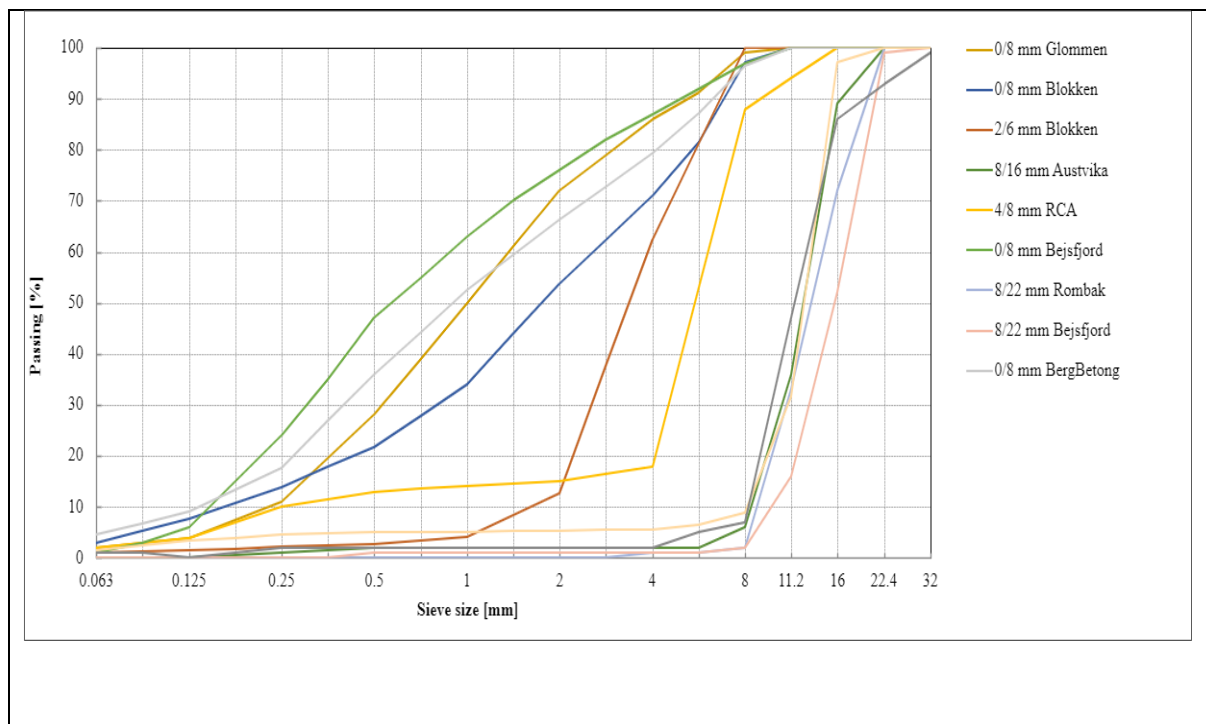
Bildet ovenfor illustrerer forholdet mellom geografi for hvor steinmassene her hentet i fra, og om tilslaget er hentet som naturlig sand eller er blitt knust og tilsatt i miksen. Dette er et av hoved elementet i oppgaven da det er ønskelig å se om det vil utspille seg forskjellige resultater eller ikke.

Oversikt over knust og naturlig tilslag for de forskjellige betongstasjonene

	Sand 0-8mm		Pukk 8-22mm		2-6mm	4-8mm
	Natural	Crushed	Natural	Crushed	Crushed	Crushed
Fauske	x (GL)			x (AS)		x (RCA)
HGB-Narvik	x (BS)		x (BS)	x (RB)	x (BL)	
Bergbetong	x (BS)		x (BB)		x (BL)	
Boe Lofoten	x (BS)	x (BL)		x (BL)	x (BL)	

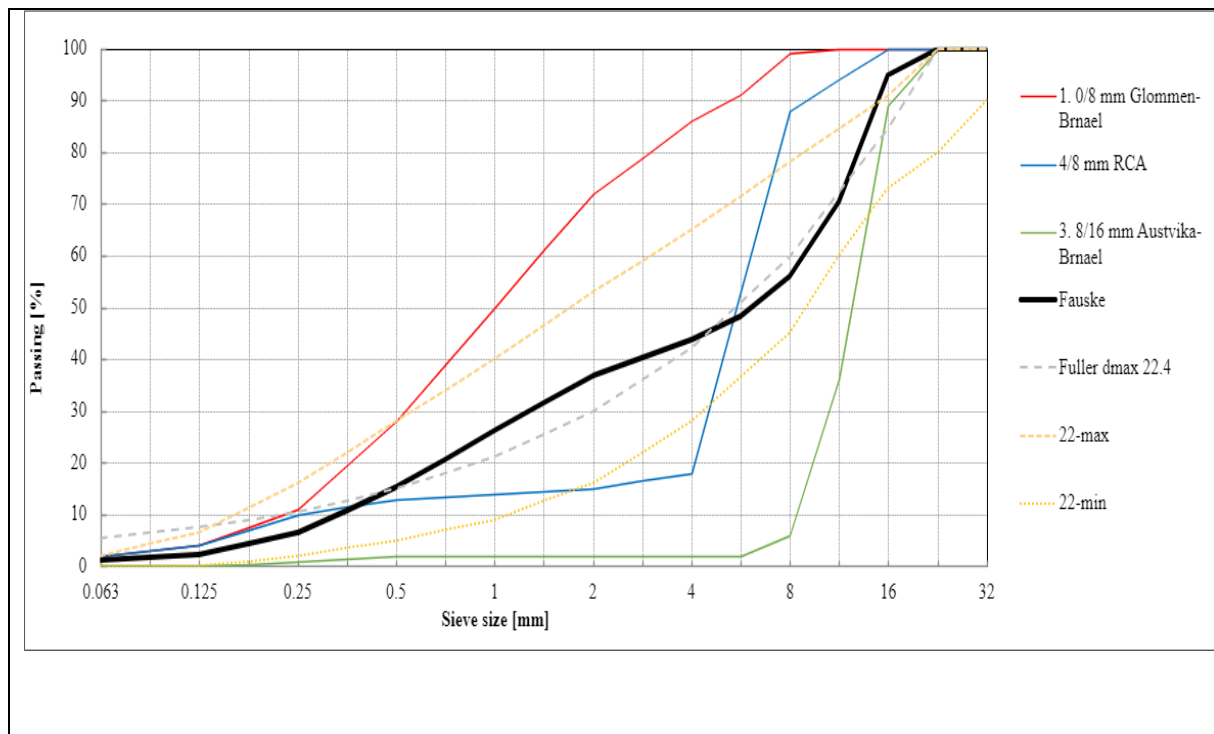
Tabell 7: Oversikt type tilslag ved betongstasjonene

Siktekurve samlet for tilslagene



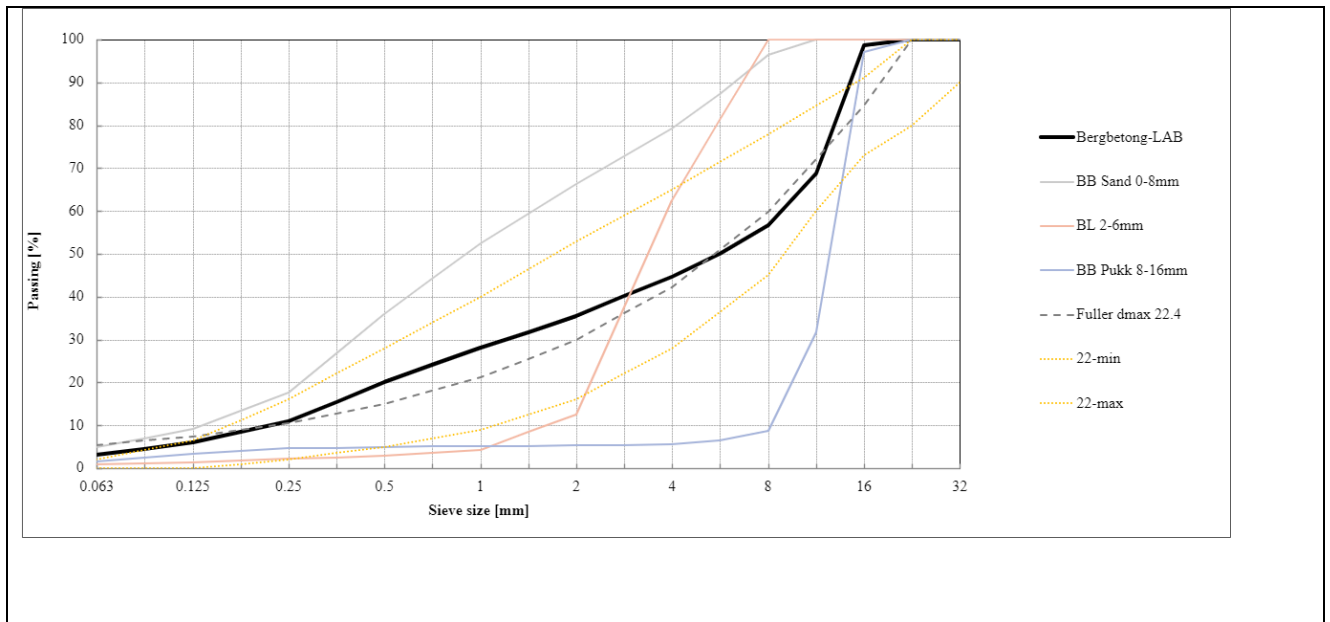
Figur 13: Samlet siktekurve for tilslagene

Nordland Betong Fauske



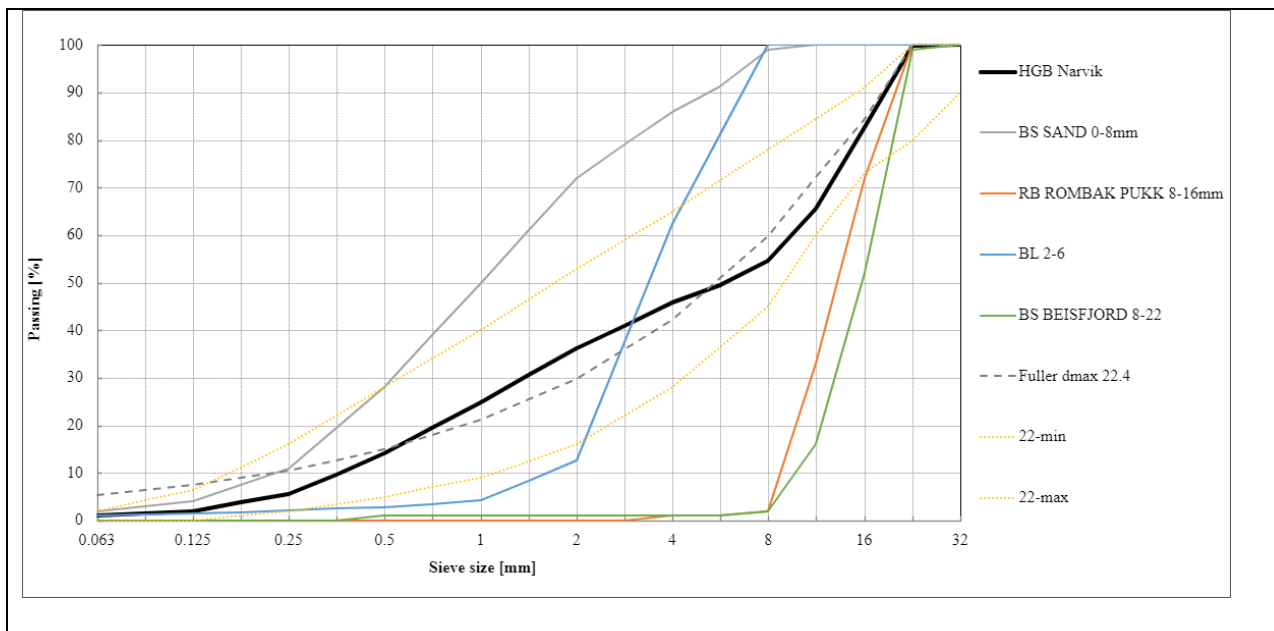
Figur 14: Siktekurve Nordland Betong Fauske

Lab Berg Betong



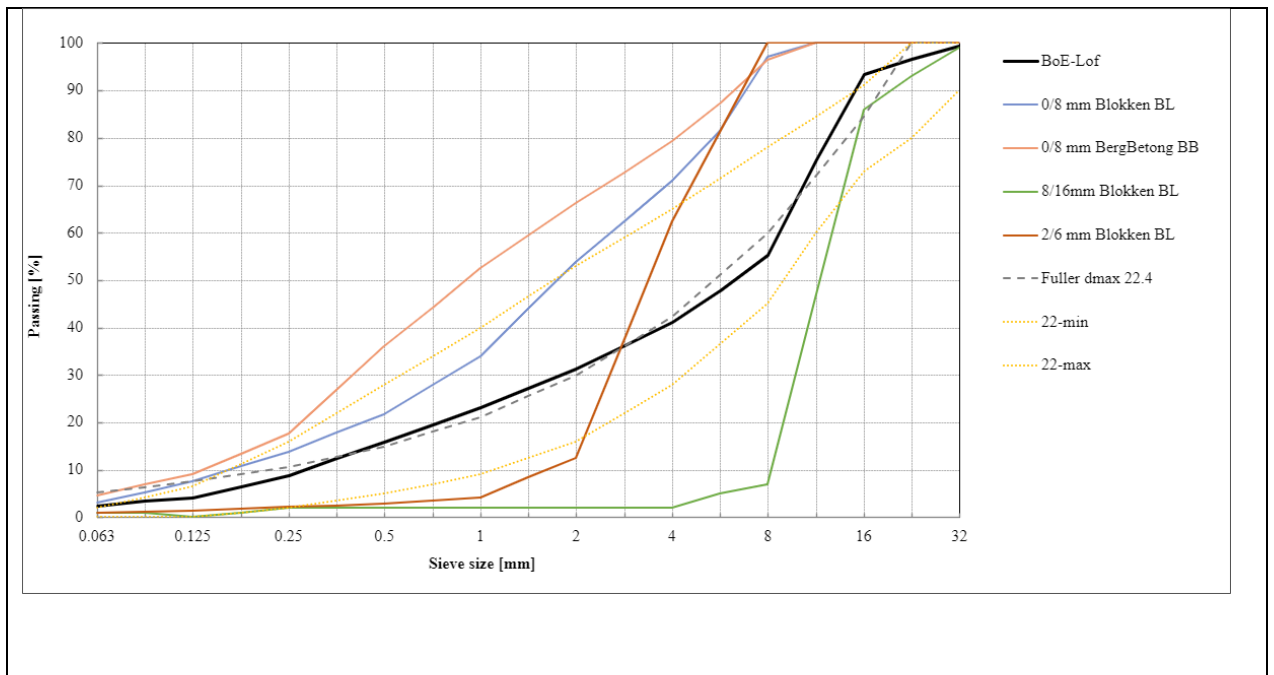
Figur 15: Siktekurve Lab Berg Betong

HGB Narvik



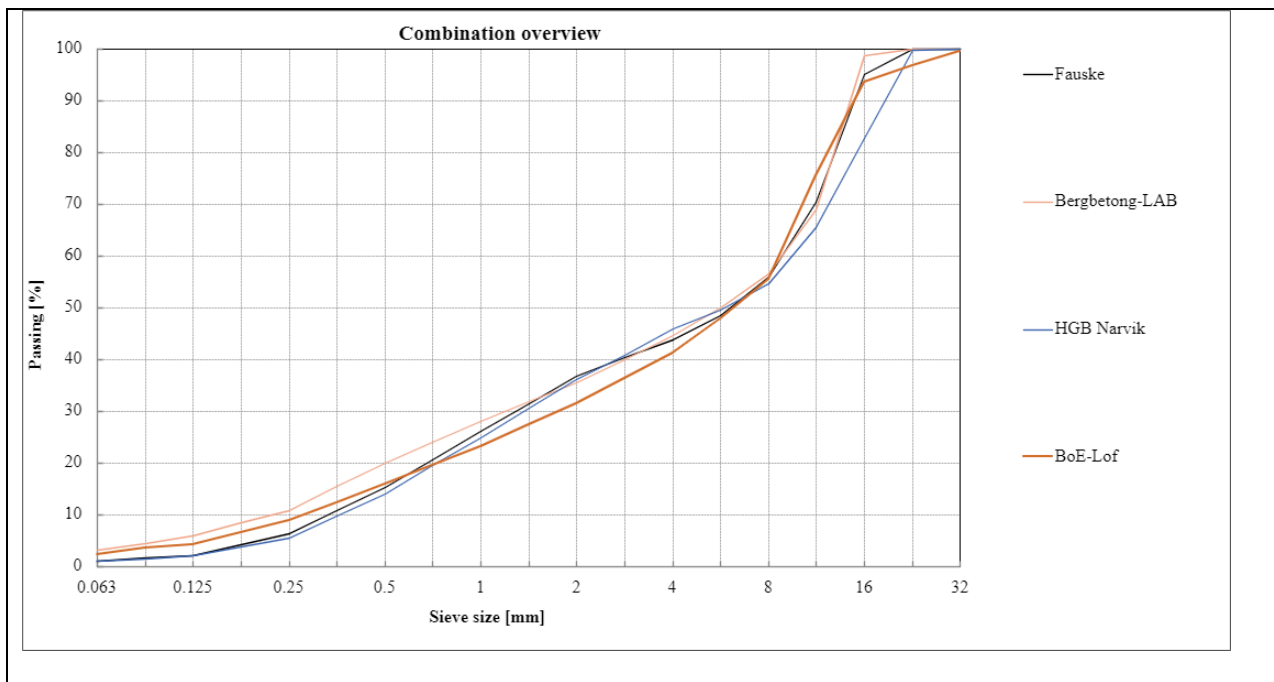
Figur 16: Siktekurve HGB Narvik

Betong & Entreprenør Lofoten



Figur 17: Siktekurve Betong & Entreprenør Lofoten

Samlet kurve for alle betongstasjonene



Figur 18: Samlet siktekurve for alle betongstasjonene

3.1.2 Resept

Material	B45MF40-NB+FA+SF			
	Fauske	Lab	HGB	B&E Lof
1.0 m3	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]
Norcem Standard FA	200,2	200,2	200,2	195
Silica fume	40,06	40,04	40,04	39,34
Flygeaske	45,76	45,76	45,76	46,65
Vann	87,61	137,168	65,4	103,3
Sand 0-8mm	993,5	942,8	968,7	324,9
Sand 0-8mm				580,5
Pukk 8-16mm	885,9	891	443,7	809,6
Pukk 8-22mm			425,7	
Knust 2-6mm (4-8mm*)	94,8*	107,6	102,7	99
Dinamon SX-23	7,436	5,92	4,89	3,681
MapeAir 25	0,572	1,144	3,003	2,192
Stål fiber	33	35	35	34

Tabell 8: Resept

3.2 Blandingsprosess

Uforutsette forandringer:

Blandingen i Fauske var tilsatt gjenbrukt tilslag da leveransen av tilslaget av knust 2-6mm var forsinket. I tillegg så var stålfiberen som var brukt i Lofoten noe annerledes enn brukt de andre stedene. Stålfiberen hadde samme form og av samme leverandør, men var av størrelsen 35mm og diameter 0.55mm.

Det skal også nevnes at de anvendte formene var noe høyere enn dimensjoneringen som er 150x150x550-600mm. Noe som ble oppdaget under kutte prosessen av bjelkene.

3.2.1 Nordland Betong Fauske

Betong ble lagt inn i Branel ut ifra betong resepten som nevnt ovenfor. Her ble alle komponentene tilsatt i en horisontal tvangsblender unntatt fiberne, hvor betongen ble videre ført inn i en betongbil med trommel. Det resirkulerte tilslaget på 53,1kg ble plassert direkte på beltebandet nedenfor og veiet før det ble tilsatt i blandingen. Betongen ble blandet to ganger hvor synkmåling og luftmåling ble testet i første omgang og om kalkulert for å oppnå ønsket synk og luftmålingsmengde. Det er verdt å nevne at luftmengdemåling ble også testet i to ulike bølter for kontroll.

Når synk målingen og luftmengden viste ønsket resultat så ble betongbilen kjørt til en fiber doseringsmaskin som blåser ønsket mengde fiber direkte inn i betongtrommelen. Fordelen med denne metoden er at en slipper å kontaminere blandemaskin med fibere som kan sette seg fast i blanderen og i tillegg at man unngår svinn med fiber som settes fast eller brykkes i tvangsblanderen. Da blanderen i Fauske blandet horisontalt, så fungerer denne metoden preventivt for at dette skjer. I tillegg så slipper man å ha personell som må bære på fiber opp og ned til blanderen for å strø fiberne manuelt i blandingen.

Når fiberne var blåst inn i trommelen så kjørt den tilbake til blandingsstasjon hvor betongen kom ut, og ble sluppet inn i former og trillebårer som gjør det mulig å begynne å fylle fra disse depotene og inn i formene.

Formene var da oljet inn og ble for hånd fylt med fiberbetongen og komprimert for hånd med stag, i tillegg til det slått med hammer for å unngå overkomprimering som kan bidra til separasjon. Det er verdt å nevne at for bjelkene så ble betongen lagt i formene på de områdene den skulle være og unngå at det ble plassert i et lag hvor det kan bevege seg utover formen.

Betong og spesielt fiber betong skal føres direkte hvor det skal være for å unngå separasjon, i dette tilfellet at fiberne i betongen fordeler seg inhomogent i formene betongstøpen.

Betongen skal i utgangpunktet tas ut av formen etter 24 timer, men ble av logistiske grunner liggende i en garasje i 3 dager før den ble lagt i vannbad. Romtemperaturen lå på omkring 18°C.



Figur 19: Horisontal tvangsblender Fauske



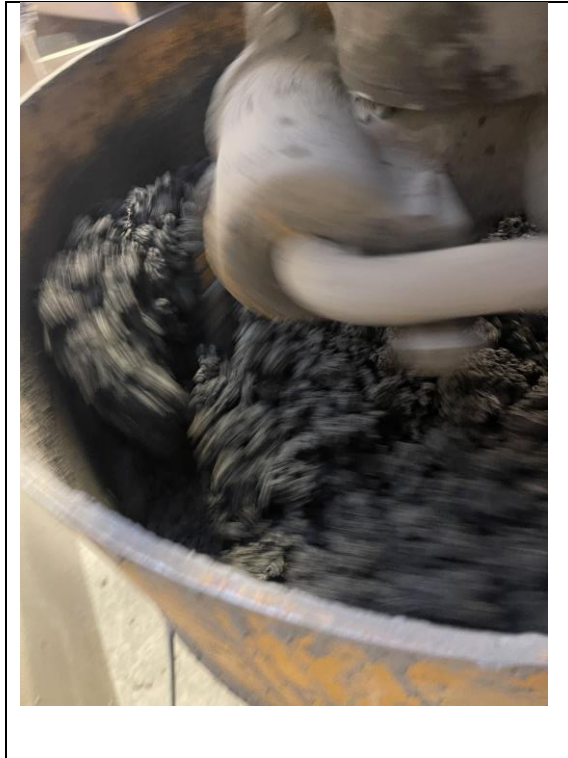
Figur 20: Trommel og fiberdoseringsmaskin i Fauske

3.2.2 Lab-Berg Betong

Fiberbetongen med tilslag fra Troms var bestemt å blandes i labben i Narvik. Her ble betongen målt opp individuelt og kontrollert at mengde finstoff og fuktighet var som ønskelig. Av praktiske grunner var fiberbetongen i dette tilfellet gjort over 3 dager. Dette var fordi at en liten tvangsblender på labben klarer maksimum å blande sammen 100 liter, og det ligger til fare for at blandingen kan stoppe hvis motstanden blir for høy. Noen av problemene som oppstår under bruken av denne typen blender var at fiberne satte seg fast mellom rotorbladene og «veggen». Dette viser til problemstillingen ved bruk av horisontale blandere at det både kan oppstå uventet brudd, bøy og svinn.

Etter klarert synk og luftmåling så var betongen som tidligere plassert i de ulike formene og lagt plast emballasje over for å hindre uttørking. I motsetning til tidligere så ble disse prøvene tatt ut av formene etter 24 timer og lagt inn i vannbad.

Den siste prøven oppstår den noen avvik med tanke på herding under de første 24 timene. Her var betongen etter 24 timer fortsatt ikke herdet, og måtte derfor ligge i formen i 48 timer. Det er uvisst om det kan ha vært for kaldt inne på betonglabben grunnet et åpent vindu som kan ha forårsaket dette.



Figur 21: Tvangsblander på laboratorium i Narvik

3.2.3 HGB Narvik

På betongstasjonen i Narvik var betongblandingen utført på lik linje som i Fauske bare med noen endringer. Selv om det var maskin for dosering av fiber dirkete i trommel, så var det av praktiske årsaker bestemt å ikke bruke denne. Dette har med at det ble mere jobb å rengjøre en trommel samtidig som å måtte rengjøre blandemaskinen på stasjonen. I tillegg så var blandemaskin i Narvik annerledes enn i Fauske, da denne var av vertikal utgave som har noen fordeler. Når fiberne var tilsatt blandingsmaskinen så unngikk man at bladene på blanderen ødela fiberne med å skrape dem ved gulvflaten i blanderen. Denne blandemaskin gjør det enklere å spare seg for tid med tanke på å måtte behandle betongen to forskjellige steder.

Ved HGB i Narvik så var det innforstått om at det var en stor mengde finstoff i pukken som kunne bidra med utskeielse i forhold til planlagt synk på 200-220mm. I tillegg så er det slik i fra resepten at det brukes i høy grad mye mer superplastifiserende stoff en det normalt gjøres (noe som også ga utslag på inndataføring i Branel). Det skal nevnes at grunnen til superplastifiserende er høy i resepten er fordi fiberen i betong innvirkning på synken og utbredelsen av betongen. Kombiner dette med mye finstoff så gir dette en betongblanding så blir veldig flytende og også ga en synk 220mm.

Av denne grunnen så var blandingen i Narvik i motsetning til Fauske mye enklere å jobbe med og det var i dette tilfelle mulig å flytte betongen med spade oppi formene. En slik flyende

betong kan være i grenseland å jobbe med da noe høyere synk enn dette var i faresone for å gi separasjon fra finstoffene og bindemiddelet til pukkesteinene.

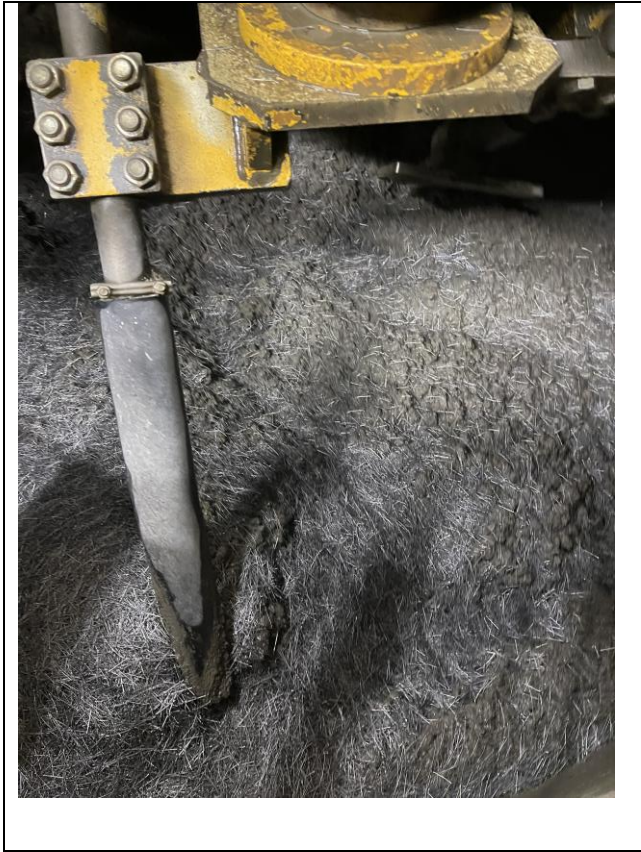


Figur 22: Vertikal betongblander i Narvik HGB

3.2.4 Betong & Entreprenør Lofoten

I Lofoten så var det fulgt samme prosedyre som de andre betongstasjonene med noen endringer. Hos B&E ble det brukt samme fibertype og form, men i en forminskert utgave. Her ble det gjennomført slik at fiberne ble jevnt fordelt i tvangsblenderen når alle komponentene var blandet inn. En problemstilling her var at fiberne kan ha vært utsatt for brudd og svinn i form av det har kilt seg fast mellom blandingsbladene i tvangsblenderen. Her var også betongen testet noen ganger og justert før det ble oppnådd riktig synk og luftmengde. Betongen var dermed ført over i en tobbe som ble kjørt over til et lager hvor det ble jevnt fordelt i formene fra tobben i tre forskjellige lag og dermed komprimert/hamret på formene.

Neste dag da betongen var i gang med herdefasen så ble bilen lastet med betongen og kjørt over til Narvik for å tas ut av formene og legges i vannbad. På veien til Narvik så oppstod det bil problemer, og bilen med prøvene ble sendt til nærmeste verksted i Sortland. Prøvene ble stående i lager og noe utendørs i de to første ukene, og har dermed avvik i form av herdeforhold.



Figur 23: Horisontal betongblander i Lofoten

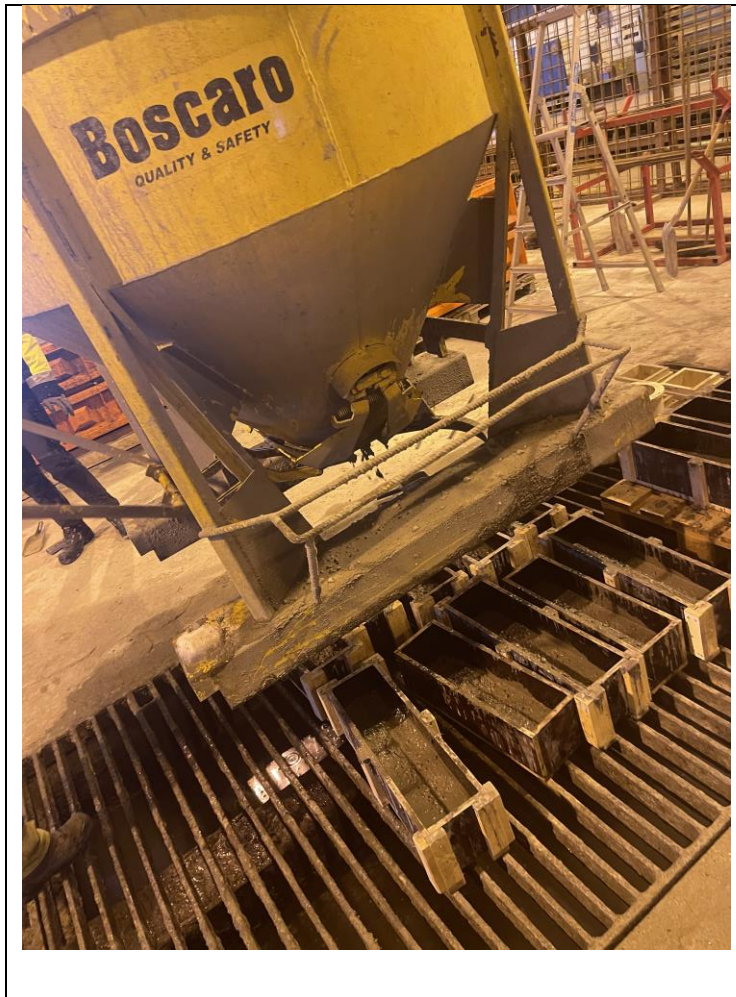


Figure 24: Betong tobbe for å fylle formene

3.3 Test utstyr

For å gjøre testene er det benyttet utstyr fra Toni Technik.

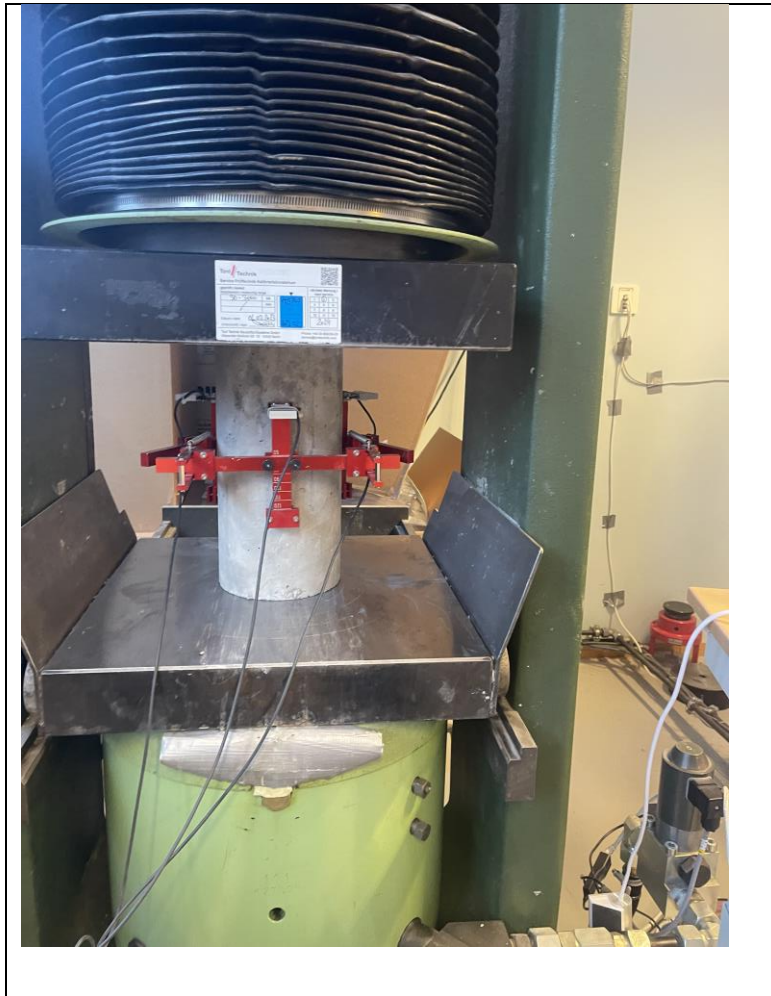
3.3.1 Test trykkfasthet

Testing av kubene for å finne trykkfasthet utføres etter NS-EN 12390-3:2019 *Prøving av herdet betong*. Da betongen er av fasthetsklasse B45 så er det kravet å oppnå 55MPa. Kubene er av 150x150x150 dimensjoner grunnet det er tilsatt fiber. Det testes 3 kuber 28.d periode og 3 igjen på 56d periode. Prøvene måles og veies før de settes i pressen og den totale informasjonen ligger i textpert.

3.3.2 Test E-mod

Elastisiteten til betongen utføres etter NS-EN 12390-13: 2021 Bestemmelse av sekantmodul for elastisitet under trykk. Sylinderne testes henholdsvis også tre ganger. Samme prøven settes inn i maskin to ganger for å gi presist resultat da utstyr er ømfintlig og gir fort varierende svar. «Upper load» og «pre load step» er hentet ved beregning fra trykkfastheten

av kubene som testes først. Denne informasjonen settes inn i Young-modulen før at i det hele tatt testen starter.



Figur 25: Testing av E-modul

3.3.3 Test CMOD

Testing av bjelkene er gjennomført ifølge Standard *NS-EN 14651:2005+A1:2007* som gir veiledning til hvordan testingen skal riktig utføres.

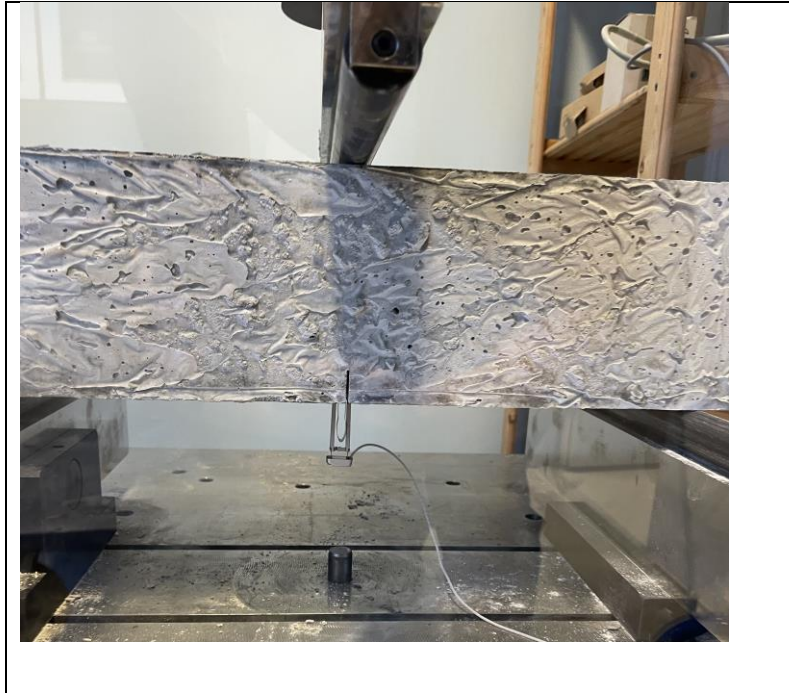
Da støpingen er gjennomført så må bjelkene snittes med et kutt sentrert midt på bjelken. Det stilles krav til at kuttingen må være gjennomført i tidsrommet mellom 7-25 dager. Dette er for å gi nok tid til å ha herdet godt nok.



Figur 26: Kutt i bjelke for å kunne gjøre C_{mod}

Før testingen så er det viktig å gi tid til bjelkene for å tørke, og dermed pusse over overflaten for å skape heft og ha tørr overflate for stålplatene som limes på betongen. I stålplatene festet skrues det inn en svart stålbit med slipt kant som selve sensoren fra Toni Technik klemmes imellom.

Bjelken settes på en 3-punkts test maskin opplagret på begge sider og påføres trykk i midten ved et stempel trykker ned og måler hvor mye forflytting som skjer i bjelken på grunn av strekkraftene som oppstår i bjelken. Bøyestrekkspenningene måles med at stempelet og sensorene fungerer mellom seg og gir en graf som viser forholdet riss vidden og lasten. Prosessen varer i ca.20 minutter og sprekk vidden starter fra 0mm og påføres krefter til det er nådd 3.5mm riss.



Figur 27: Bjelke i 3-punktsbøyetest utførelse av C_{mod}

Grubbs test

For å avgjøre om de ulike prøvene er tilnærmet like og ikke har store variasjoner i prestasjoner. Så brukes denne testen for å oppdage uteliggere i datasettet som betyr i hovedsak for denne oppgaven å fjerne de bjelkene som ligger langt over eller under restbøyestrek resultatmessig. Verdier hentet fra LibreText.[44]

Grubbs test	
Antall prøver	$\alpha=0.05$
5	1,715
6	1,887
7	2,02
8	2,126
9	2,215

Tabell 9: Grubbs test

4 Resultater og diskusjon

4.1 Test fersk betong synk, luft, utbredelse

	Synk	Utbredelse	Luft
Fauske	210	440x450	5% og 8%
Lab (4 blandinger)	200/200/200/205	420x400 /ikke tatt/ 420x320/420x410	5.9% / 3.5%/ 5%/ 4.8%
HGB	220	590x530	5.8%
LOF	200	---	8%

Det er i gjort målinger med to luftbøtter i Fauske, en luftbøtte på labben og samme luftbøtte i Narvik-HGB som var nylig kalibrert og i Lofoten testet med et apparat. Vanligvis så har luftmengde innvirkning på styrken. Oppgitt t luftmengde for betongen som er laget på labben har lavest luftmåling og er derfor en bidragsyter for det sterke resultatet på trykkfastheten.

4.1.1 Fiber mengde i fersk betong



Figur 28: Brukt magnet for å samle fiber fra fersk betong

I laboratoriet under blanding av betong ble det mindre mengder av betong igjen. Det var nok til å fylle en kube på 150x150x150. Betongen ble skylt forsiktig med vann til det kun var stein og fibre igjen, dermed ble det brukt en magnet for å samle fiberne. Dette tilsvarte 106,8 gram fiber på 3,375 liter fersk betong. Justert for 8 liter gir $(8/3.375) \times 106.8g = 253.1g$ fiber.

Ved av test av fibermengde på HGB var det beregnet frem til 181 gram fiber på en 8 liter betong. Betongen fra labben var 39% rikere på fibre ut fra denne testen.

4.2 Trykkfasthet B45MF50 28d og 56d

Navn	28 dager [MPa]	56 dager [MPa]	Δ
Fauske	49,27	58,59	18,91 %
LAB	58,36	64,49	10,51 %
HGB	41,77	52,42	25,49 %
Lof	44,75	56,71	26,74 %

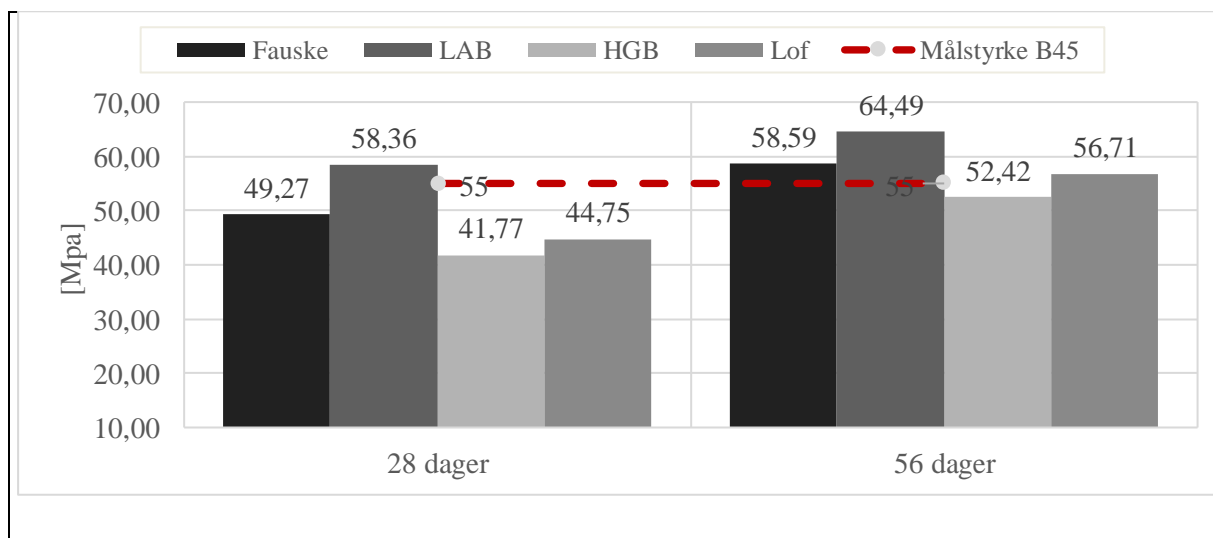
Tabell 10: Oversikt styrke trykkfasthet

Densitet

28 dager trykkfasthet		
Navn	Densitet [kg/m ³]	Styrke [MPa]
Fau	2359	49,27
Lab-Berg Be	2480	58,36
HGB	2349	41,77
Lof	2320	44,75

56 dager trykkfasthet		
Navn	Densitet [kg/m ³]	Styrke [MPa]
Fau	2367	58,59
Lab-Berg Be	2484	64,49
HGB	2368	52,42
Lof	2349	56,71

Tabell 11: Tabell densitet



Figur 29: Grafisk fremstilling trykkfasthet

Ovenfor er det oppført trykkresultatet for betong kubene. Det er tatt høyde for vekt, lengde og densitet og beregnet gjennomsnittlig trykkfasthet for de 6 kubene som var testet for hver plass. For 28.d test Nordland betong i Fauske så var gjennomsnittlig trykkfasthet på 49,27MPa og for 56.d test ga den 58,59MPa. Dette gir en økning på 19% i styrke. Dette er på grunn av mengder med silika og flygeaske som opptrer som retarderende for betongen. Som nevnt i teorien har det stor effekt i begynnelsen av herdetiden, men også en stor med enda ekstra herdetid. Fra teorien viste det seg at betong med silika og flygeaske hadde noen grad svakere trykkfasthet, men etter 28 og 56 dager utførte denne betongen best ved test av trykkfasthet.

Til å starte med har betongen 6MPa lavere enn fastsatt fasthetsklasse. Dette skyldes ikke fibermengden da fra teorien har fibermengde mellom 20-60kg/m³ har marginal innvirkning på betongen. Det vises også at all betongen med unntak for den betongen som var blandet på lab var av tilfredsstillende fasthetsklasse. Noe som også viser til ubetydeligheten av lavere fibermengde da denne betongen også hadde 1-2kg/m³ mer fiber innhold enn de andre betongblandingene.

Fra resultatene vises det også at densiteten for betongen var desidert høyest for lab testene med 2.4kg/m³, mens resterende lå omkring 2.3kg/m³. Det er korrelasjon mellom densiteten og trykkfastheten. Mulig at trykkfastheten og densiteten er høyere da betongblandingen blir mer «presis» etter bestemt blandingsforhold etter resepten. Som har medført til en mer velgradert betong som minker porer og svakhetsoner i betongen.

Resultatene viser også at test prøvene fra HGB var svakest ved trykktest. Dette var også den betongen som var enklest å jobbe med grunnet høyest synk og størst utbredelse som gjorde den veldig enkel å arbeide med. HGB betongen var den betongen der det også var mest tilslag av naturlig tilslag som kjent fra teorien har innvirkning med at betongen oppnår noe svakere trykkfasthet. Mye finstoff kan også være grunnen til denne lavere prestasjonen enn samtlige prøver. HGB OG LAB mest lik hverandre da det kommer til tilslagsforekomst, men har uansett prestert helt ulikt for trykkfastheten. Dette kan være forankret i at tilslaget har svært forskjellige trykkegenskaper som i teorien har er særdeles stor effekt på om betongen vil prestere bra eller dårlig.

Det som kan trekkes frem er at HGB og Lab betongen kan sammenlignes når det kommer til hvordan det var å jobbe med betongen da disse to var helt klart de enkleste betongblandingene

å jobbe med. Grunnet at det naturlige tilslaget med slipte kanter gjorde betongen mer dynamiske og dermed enklere å arbeide med, sammenlignet med Fauske-betong og Lofoten betong. Komprimeringen var også enklere for betongen med mest tilslag av naturstein.

Fra resultatene for trykkfasthet så er et faktisk kun LAB betongen som oppnår tilfredsstillende styrke innen 28.dager, men etter 56.dager så skjer det en markant økning i styrke for betongen som presterte det dårlig ved 28.dagers testene. Etter 56 dager så ligger 3 av 4 av betongblandingene innfor nødvendig krav.

4.3 E-modul

28 dager og 56 dager Emod			
Mix name	Ec,s	Ec,s	Økning i prosent
	[GPa]		
Fau	27,43	29,37	7,05 %
Lab-trom	30,43	32,15	5,64 %
HGB	26,08	27,88	6,90 %
Lof	30,57	32,58	6,60 %

Tabell 12: E-modul 28.d og 56.d

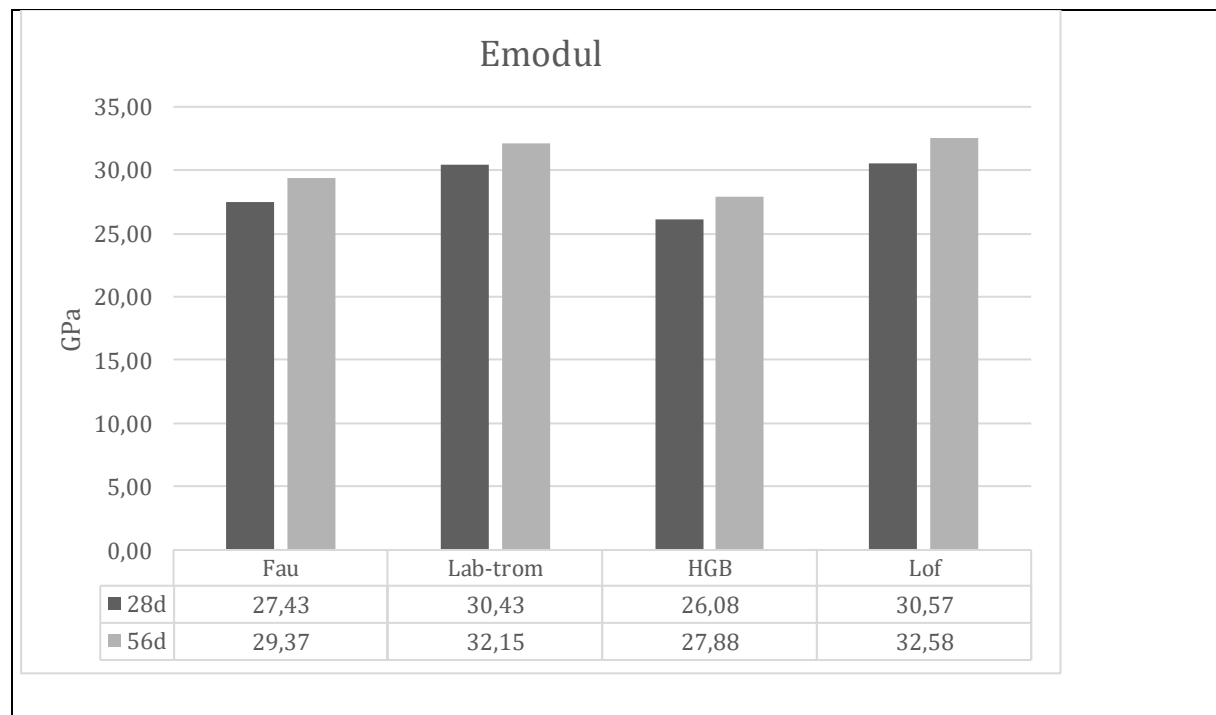


Figure 30: Grafisk fremstilling E-modul

Oversikt over emodul testene som tatt er trykktest. Emodulen korrelerer med trykkfastheten for de ulike betongprøvene.

4.4 CMOD

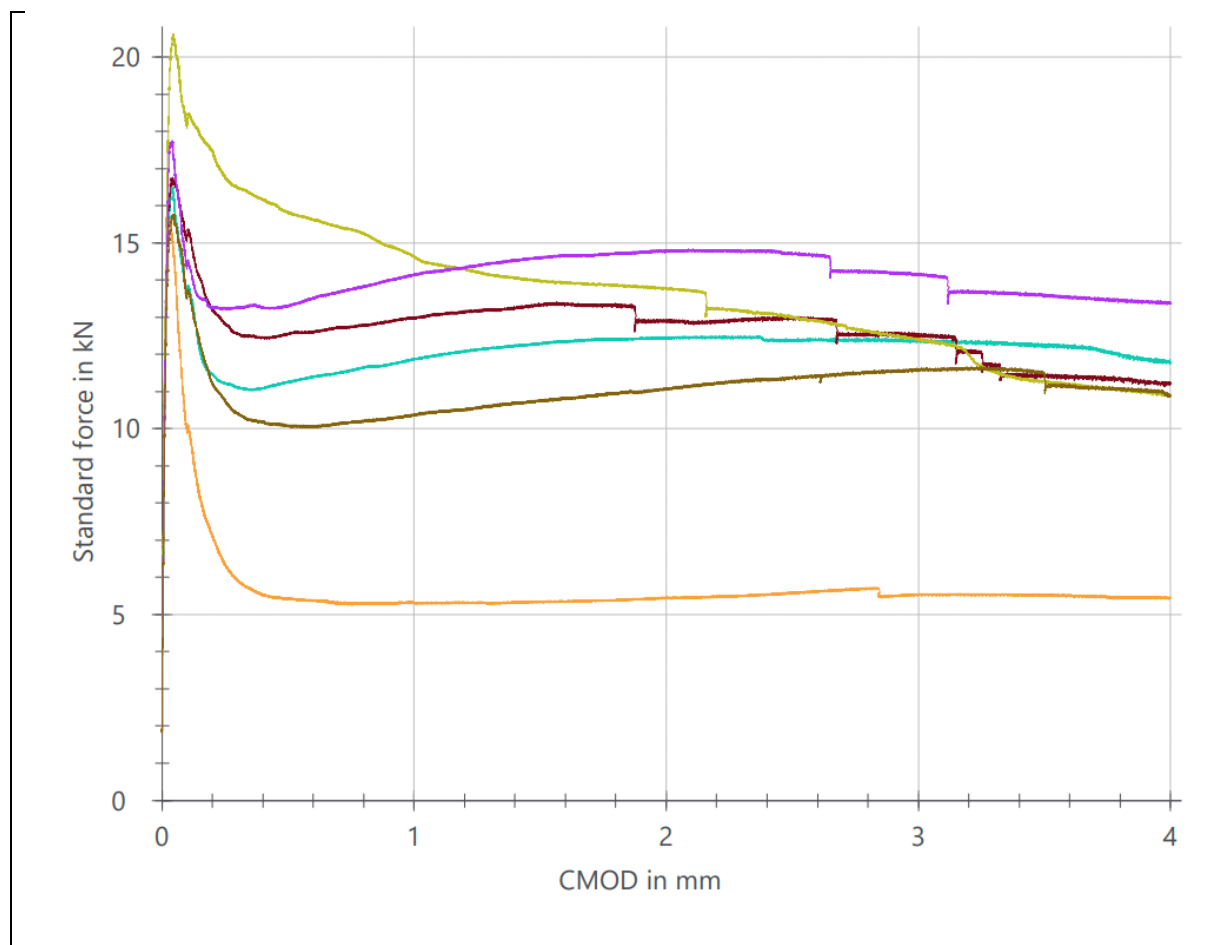
Restfasthetsklasse for nivå.1 og Nivå.2. Som anvist i fra tabellen krever metode for nivå.2 20% høyere restfasthetsklasse og det betyr i praksis at det er strengere krav. Dette er en sikkerhetsmargin ettersom nivå.2 metoden brukes for å kunne ender resepten slik at flere har mulighet for å fremstille tilsvarende resept, men med annerledes tilslag.

R		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
$f_{R,k1}$	Nivå1	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
(N/mm ²)	Nivå2	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0

Tabell 13: Restfasthetsklasse Nivå.1 og Nivå.2[6]

Deler karakteristisk restbøyestrekfastheten med karakteristisk strekkfastheten og kontrollerer om den ligger over 50%. Dette er et minstekrav for å avgjøre om fiberbetongen kan benyttes i konstruksjon

CMOD Fauske 28.d



Figur 31: Graf cmod Fauske 28.d

Fauske 28.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse

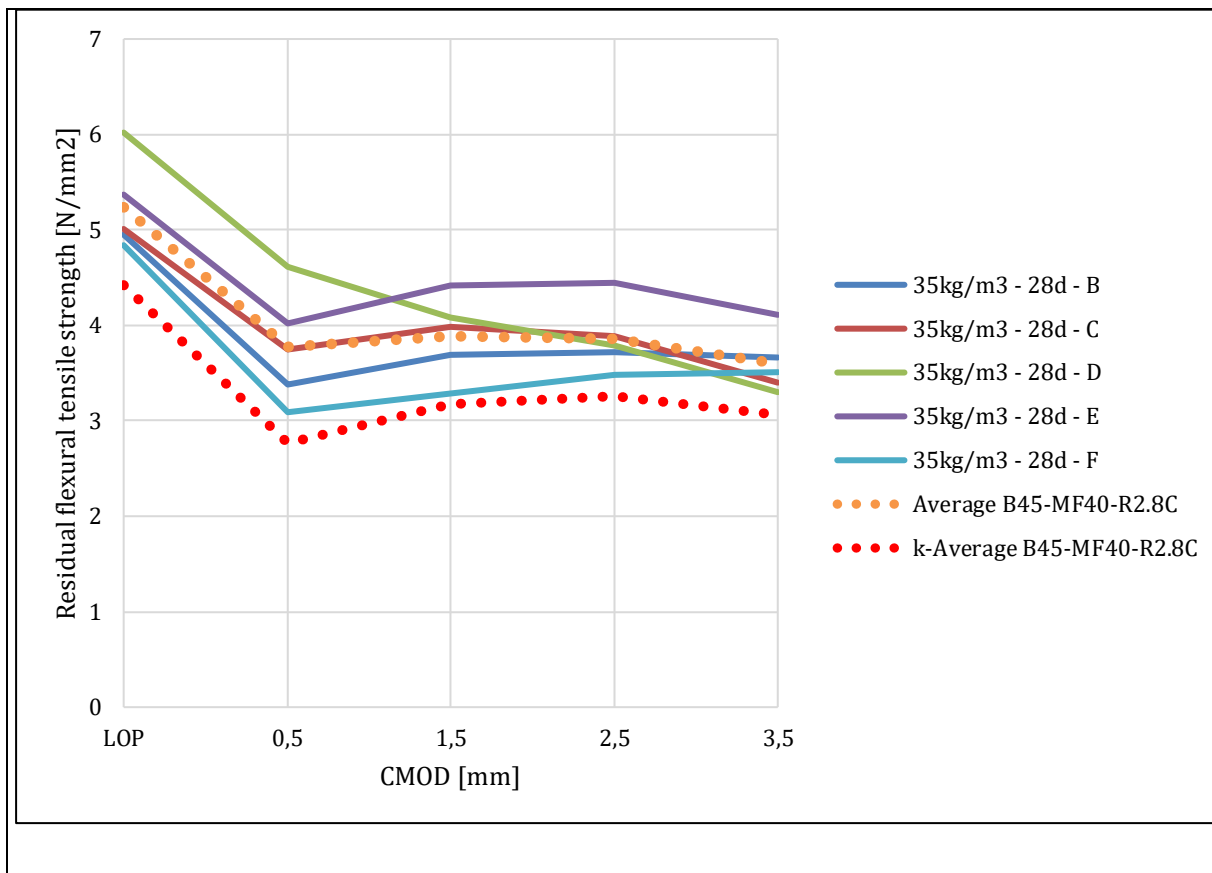


Figure 32: Justert graf Fauske 28.d

$$f_{R,1k}=2.8$$

$$f_{R,3k}=3.3$$

$f_{R,3k}/f_{R,1k} \rightarrow 1.2$ Duktilitetsklasse C

$$\text{Nivå.1 (R)} = 2.5\text{N/mm}^2.$$

$$\text{Nivå.2 (R)} = 2.0\text{N/mm}^2.$$

CMOD Fauske 56.d

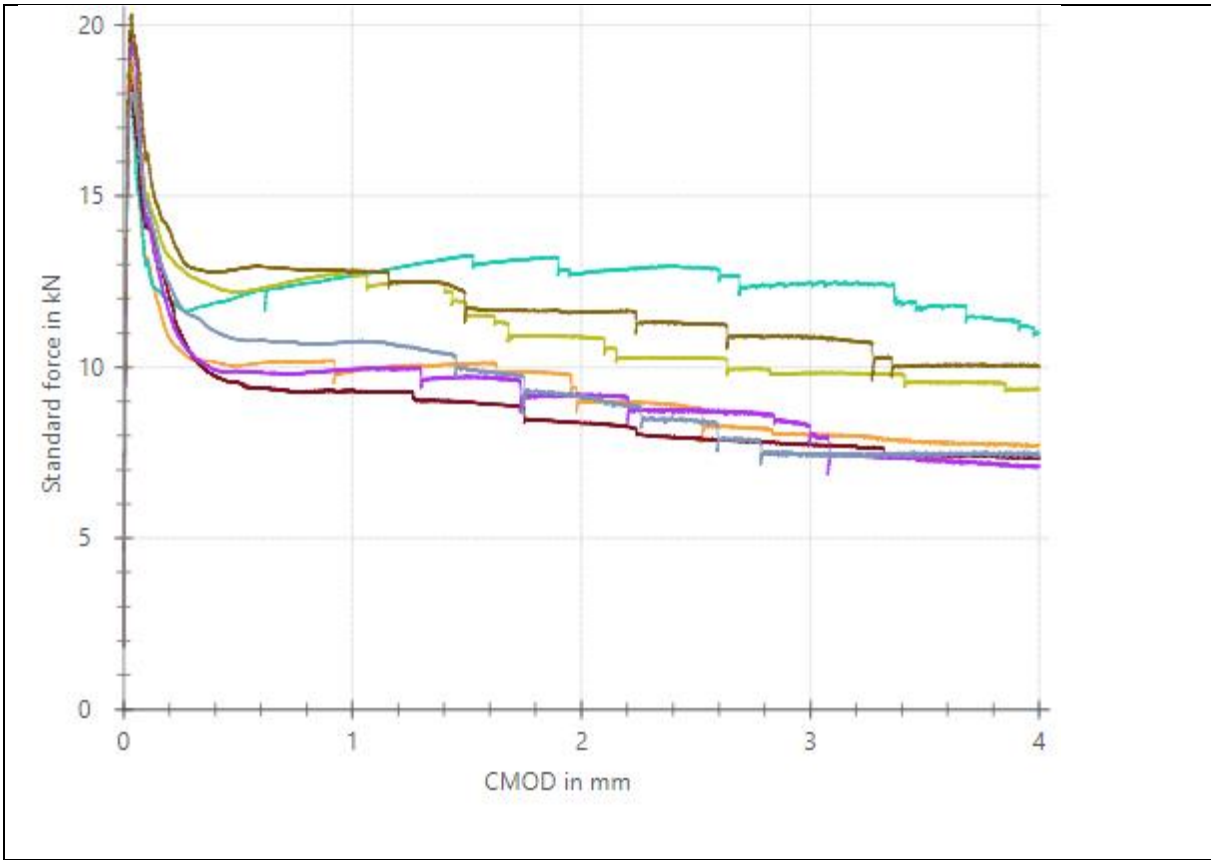
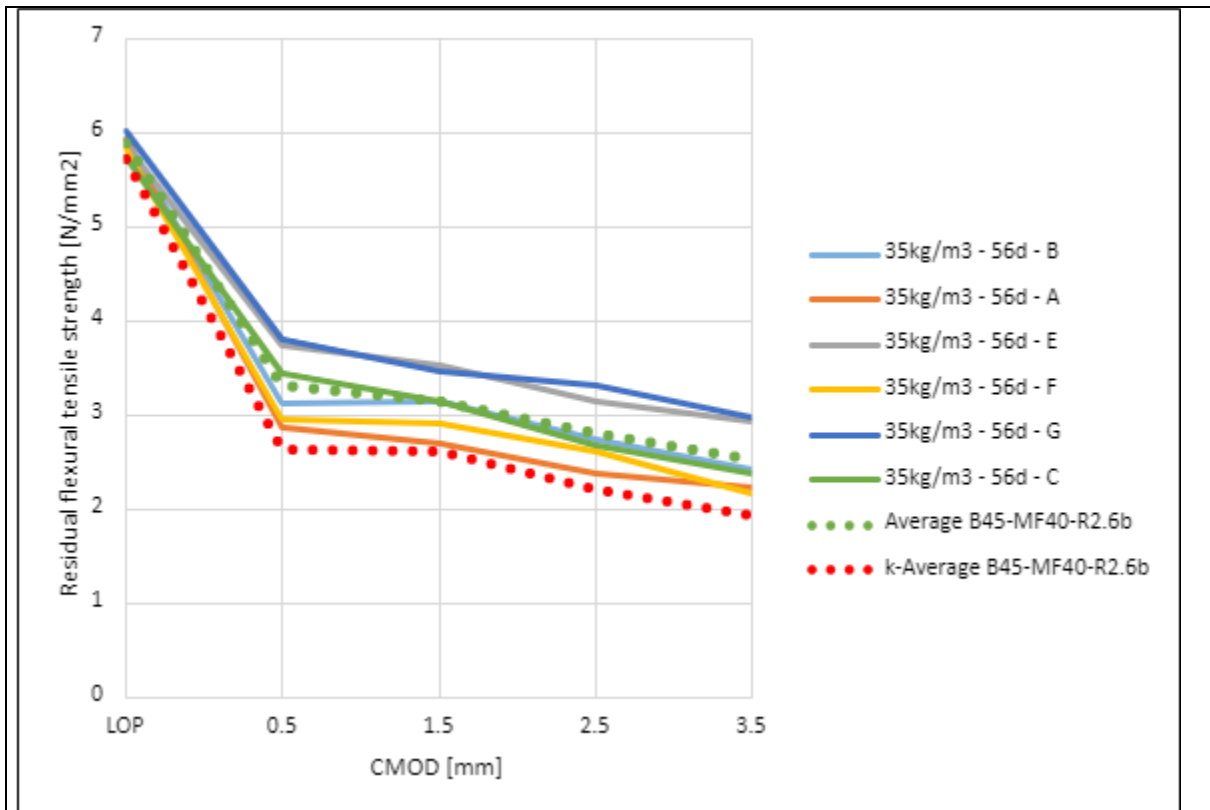


Figure 33: Cmod graf Fauske 56.d

Fauske 56.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse



$f_{R,1k}=2.6$

$f_{R,3k}=2.2$

$f_{R,3k}/f_{R,1k} \rightarrow 0.9$ Duktilitetsklasse B

Nivå.1 (R) = 2.5

Nivå.2 (R) = 2.0

Figure 34: Juster graf Fauske 56.d

CMOD LAB 28.d

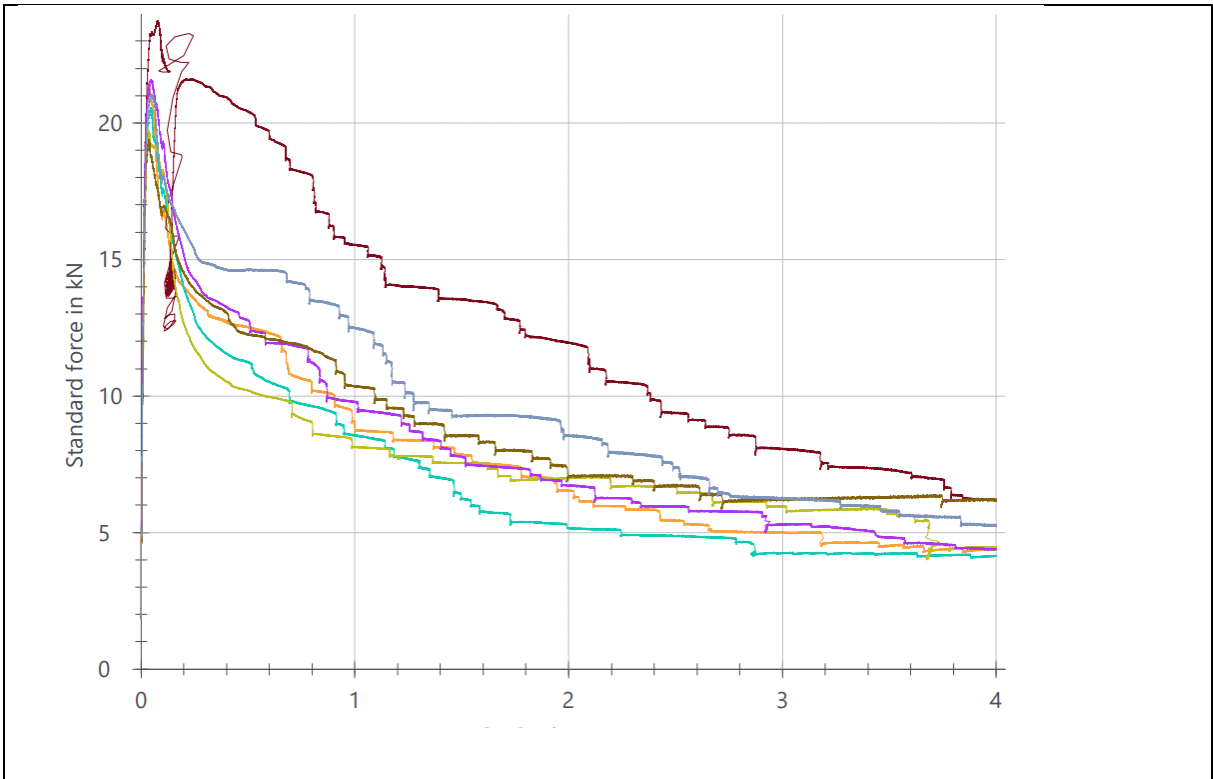
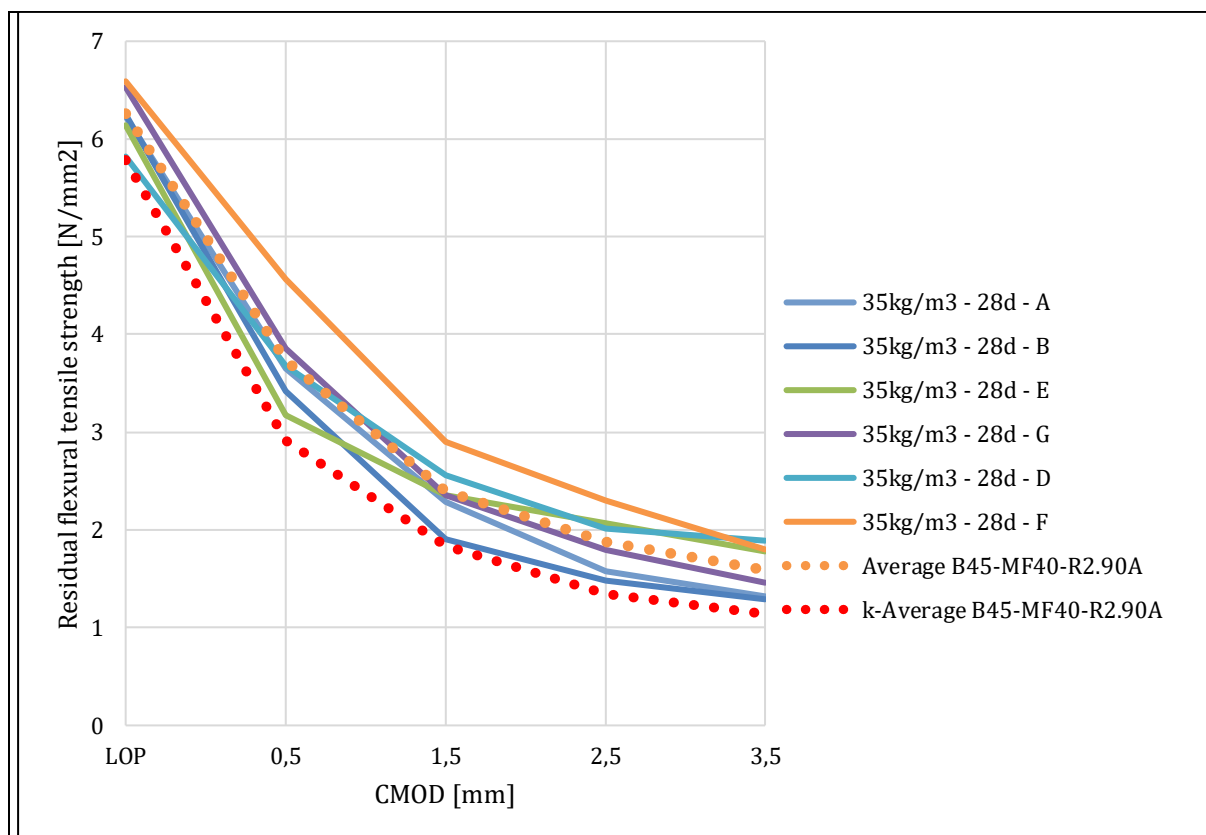


Figure 35: Graf cmod Lab 28.d

LAB 28.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse



$f_{R,1k}=2.9$

$f_{R,3k}=1.3$

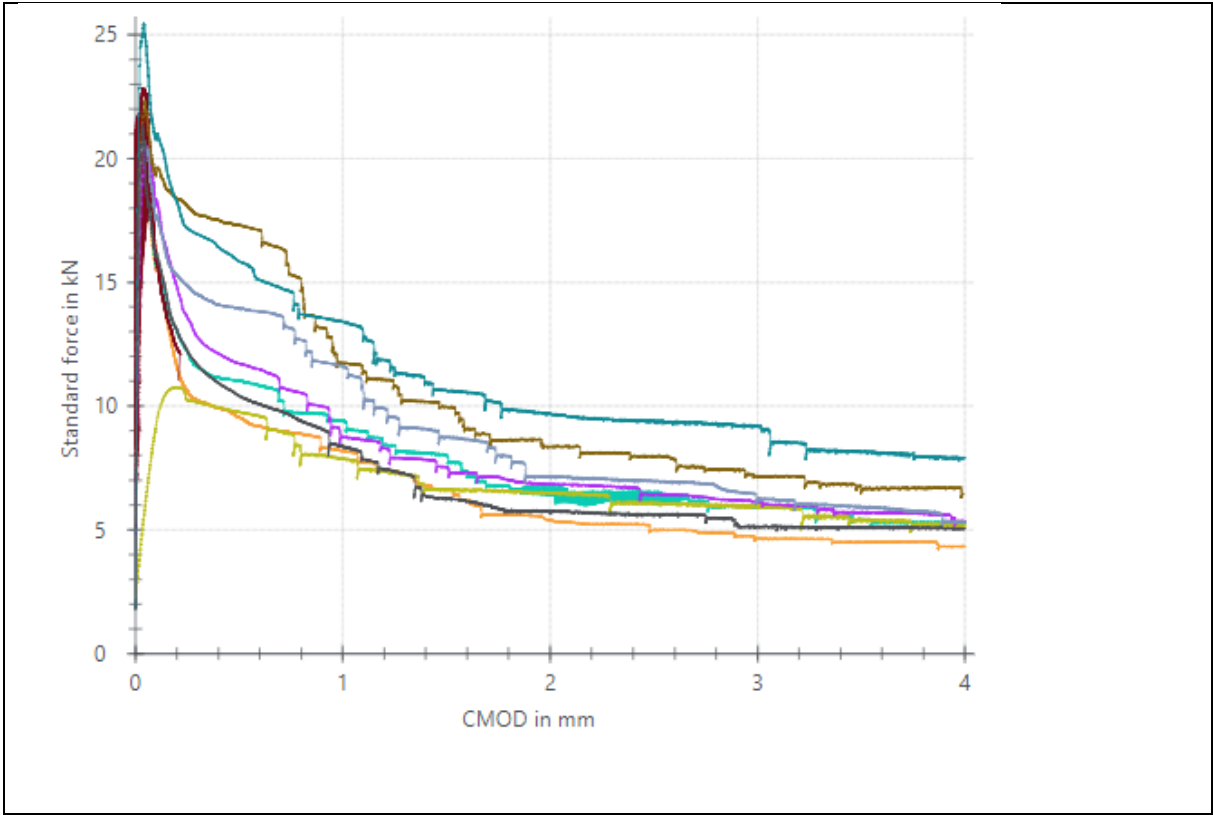
$f_{R,3k}/f_{R,1k} \rightarrow 0.5$ Duktilitetsklasse. A

Nivå.1 (R)= 2.5 N/mm²

Nivå.2 (R)=2.0N/mm²

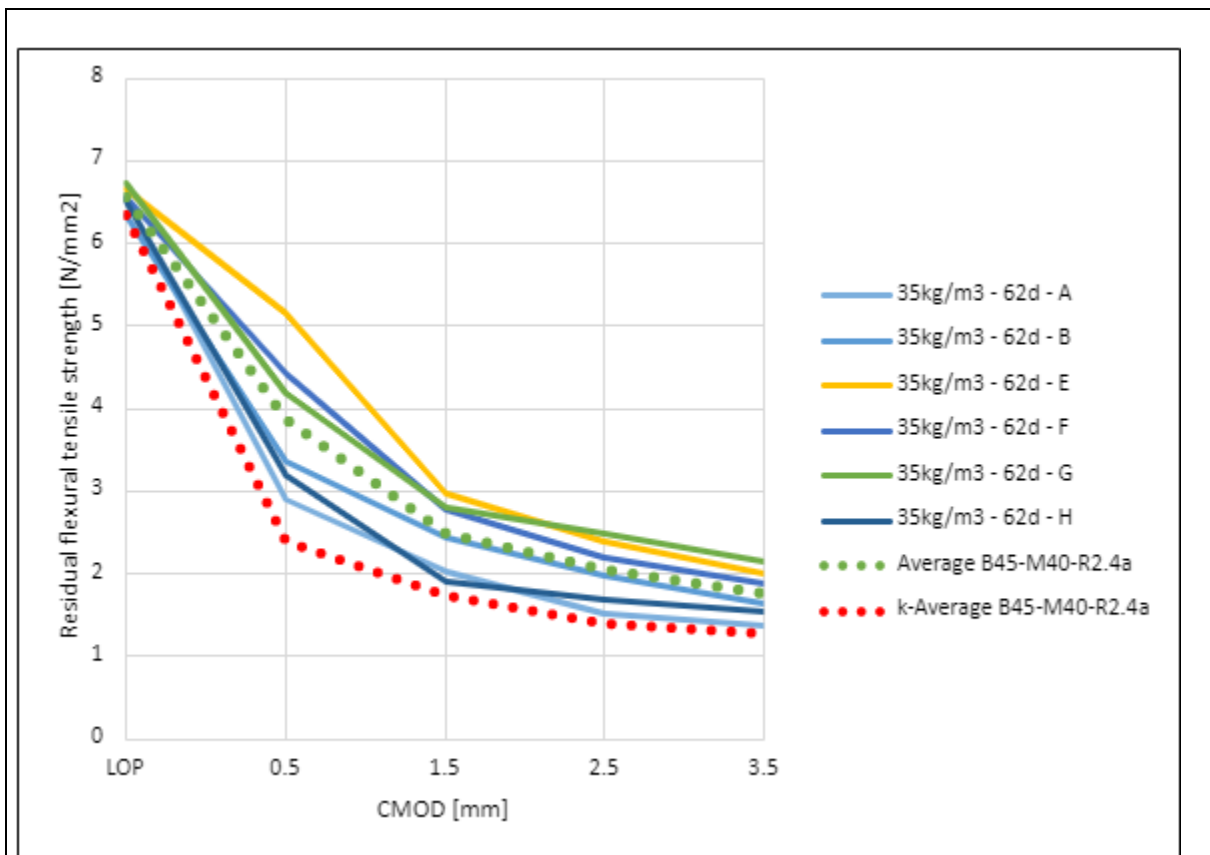
Figure 36: Justert graf LAB 28.d

CMOD Lab 62.d



Figur 37: Cmod graf lab 62.d

LAB 62.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse



$$f_{R,1k}=2.4$$

$$f_{R,3k}=1.4$$

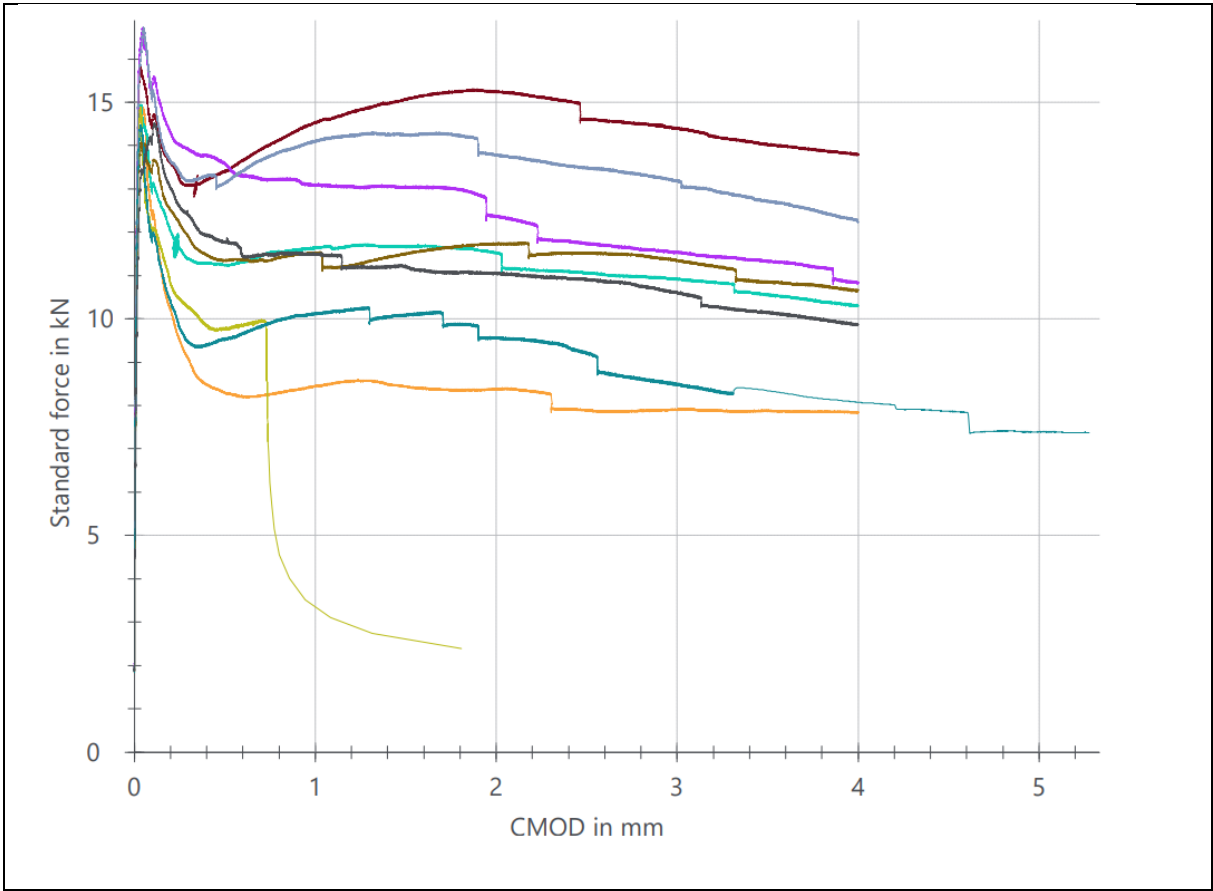
$f_{R,3k}/f_{R,1k} \rightarrow 0.6$ Duktilitetsklasse A

$$\text{Nivå.1 (R)} = 2.0$$

$$\text{Nivå.2 (R)} = 2.0$$

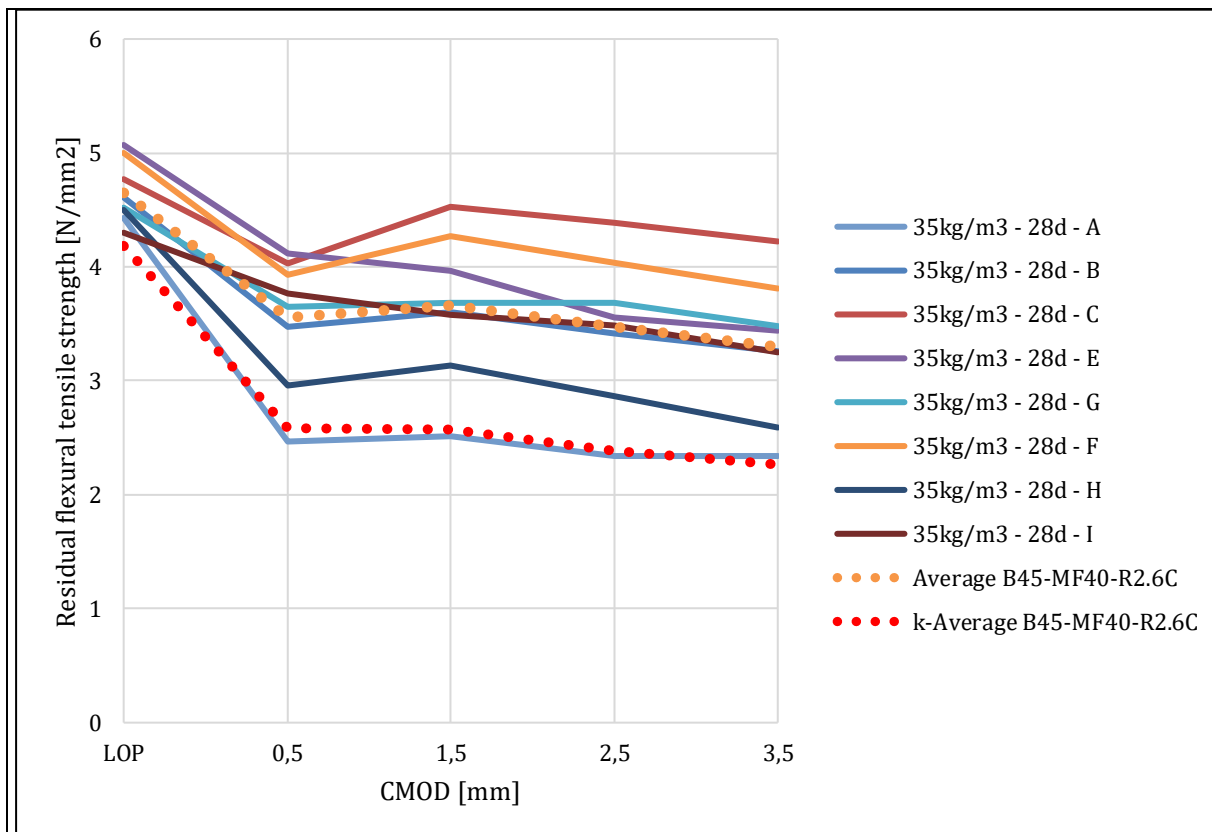
Figur 38: Graf justert 62.d

CMOD HGB 28.d



Figur 39: Cmod graf HGB 28.d

HGB 28.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse



$f_{R,1k}=2.6$

$f_{R,3k}=2.4$

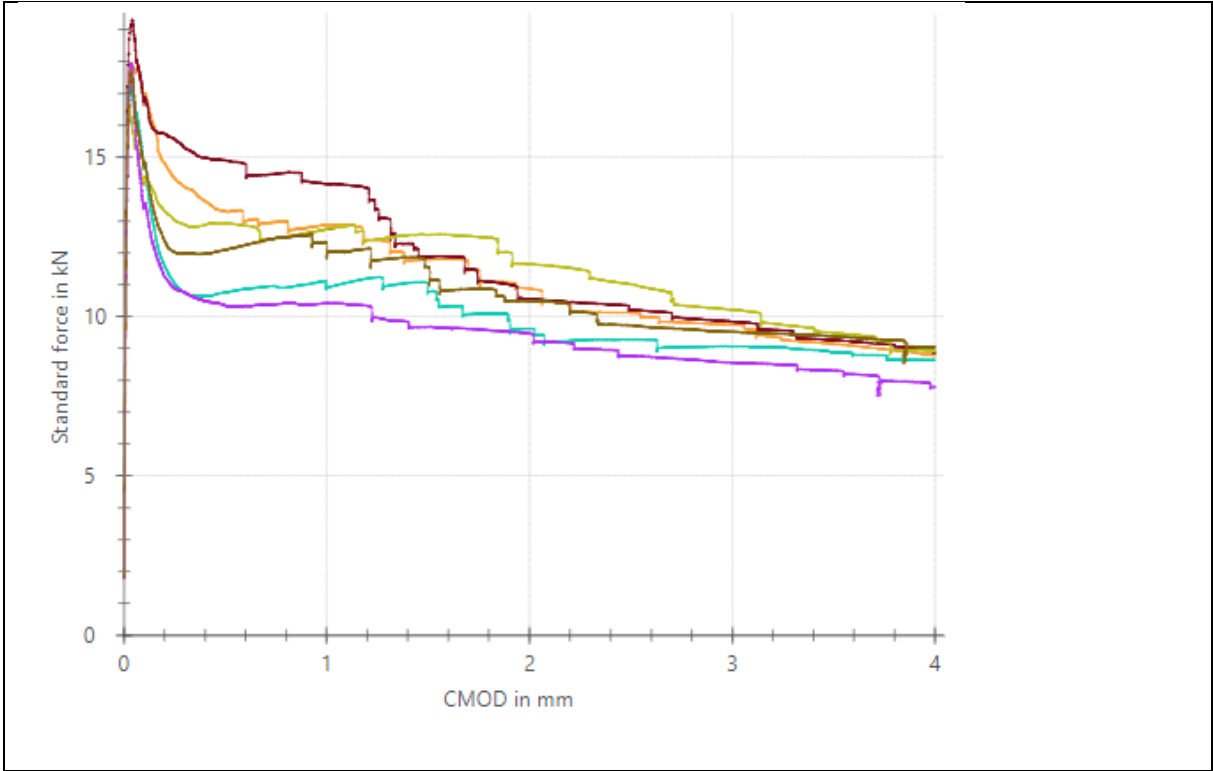
$f_{R,3k}/f_{R,1k} \rightarrow 0.9$ Duktilitetsklasse C

Nivå.1 (R) = 2.5

Nivå.2 (R) = 2.0

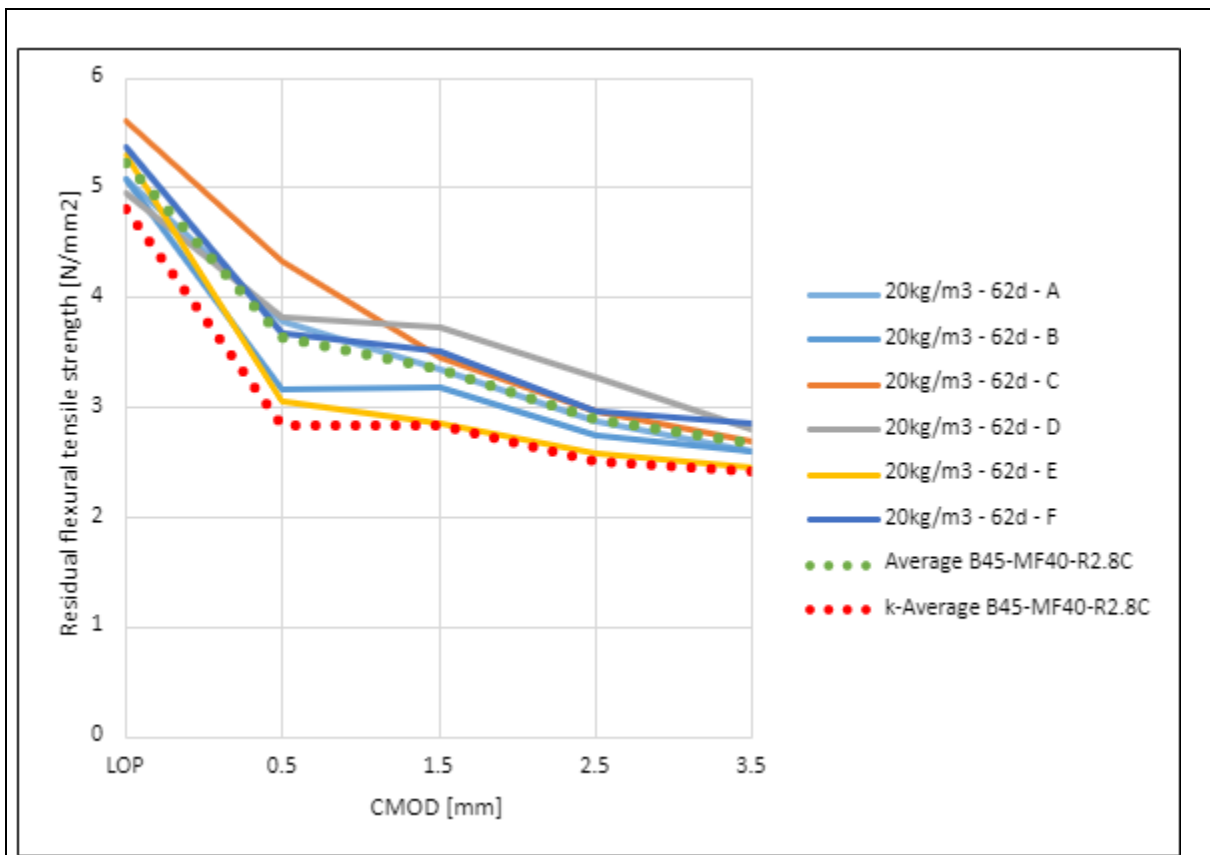
Figur 40: Justert graf HGB 28.d

CMOD HGB 62.d



Figur 41: CMOD HGB 62.d

HGB 62.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse



$$f_{R,1k}=2.8$$

$$f_{R,3k}=2.5$$

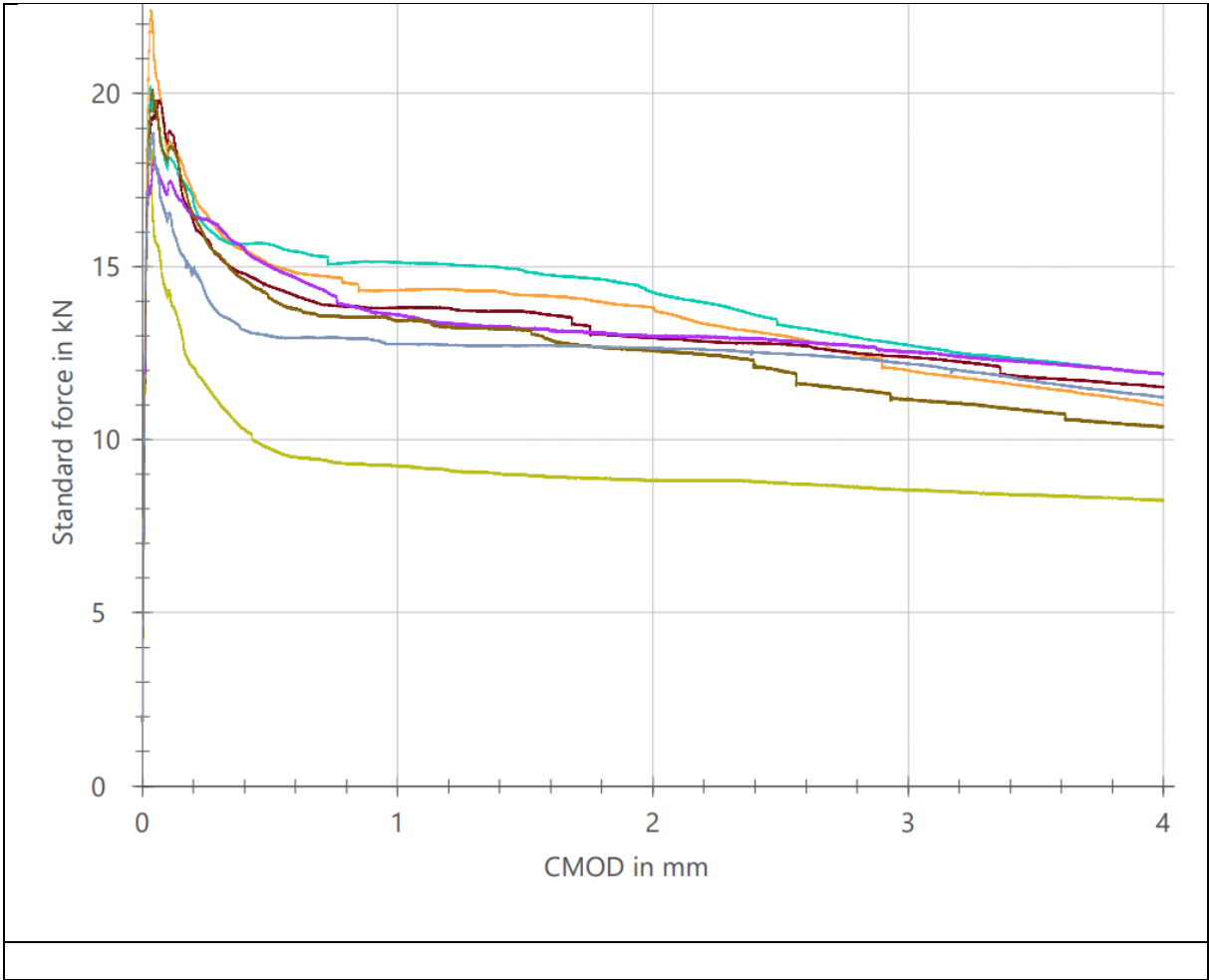
$$f_{R,3k}/f_{R,1k} \rightarrow 0.9 \text{ Duktilitetsklasse C}$$

$$\text{Nivå.1 (R)} = 2.5$$

$$\text{Nivå.2 (R)} = 2.0$$

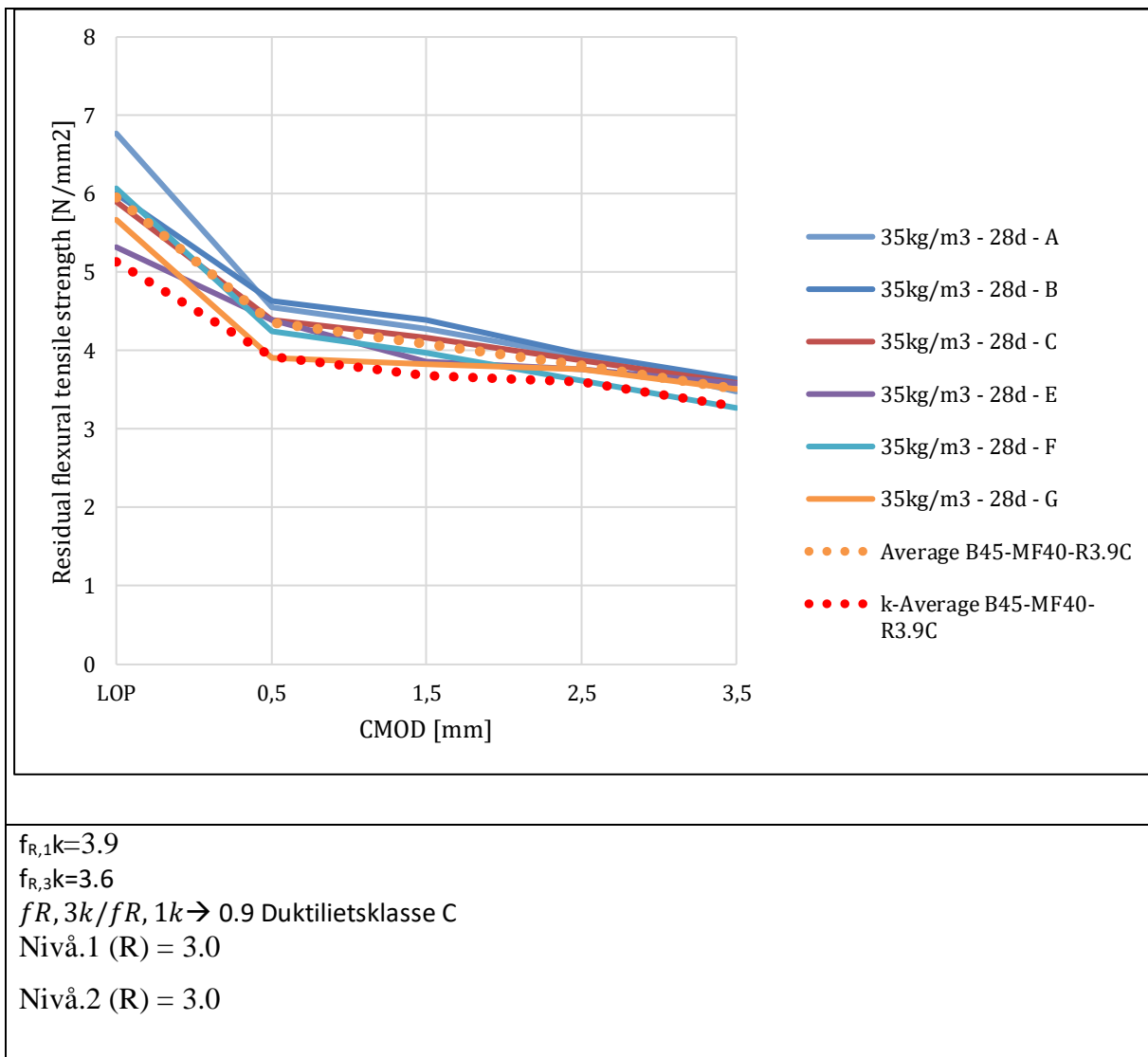
Figur 42: Justert graf HGB 62.d

CMOD Lofoten 28.d



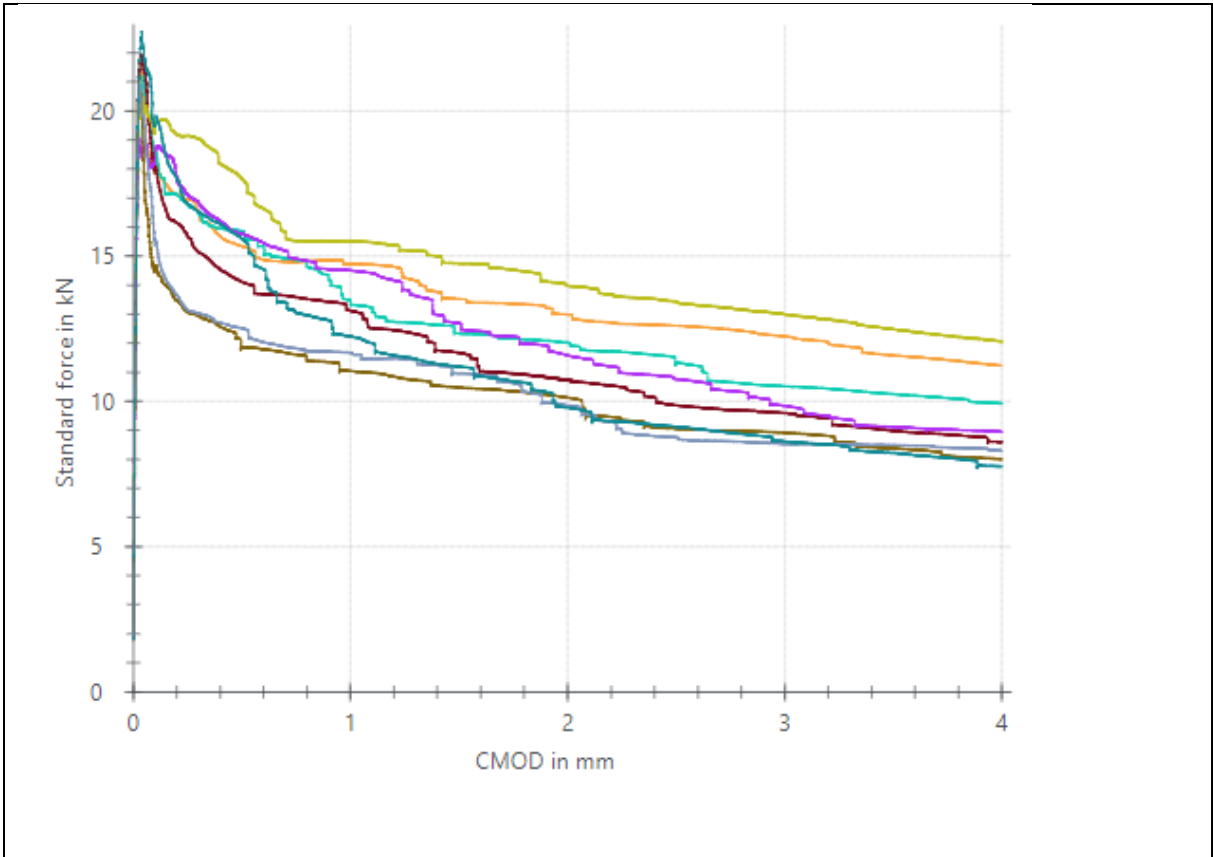
Figur 43: Cmod graf Lofoten 28.d

Lofoten 28.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse



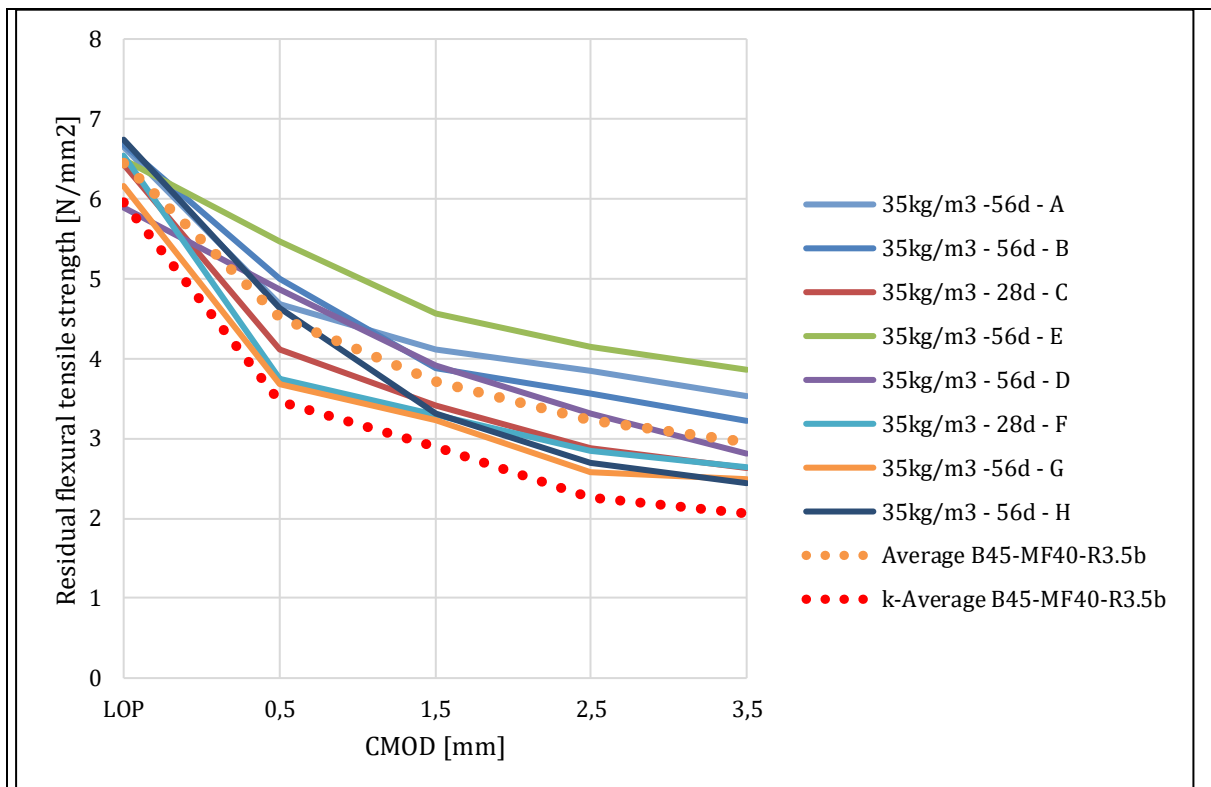
Figur 44: Justert graf Lofoten 28.d

CMOD Lofoten 56.d



Figur 45: Cmod graf Lofoten 56.d

Lofoten 56.d Duktilitetsklasse og restfasthetsklasse



$f_{R,1k}=3.5$

$f_{R,3k}=2.3$

$f_{R,3k}/f_{R,1k} \rightarrow 0.7$ Duktilitetsklasse B

Nivå.1 (R) = 3.0

Nivå.2 (R) = 2.5

Figur 46: Justert graf Lofoten 56.d

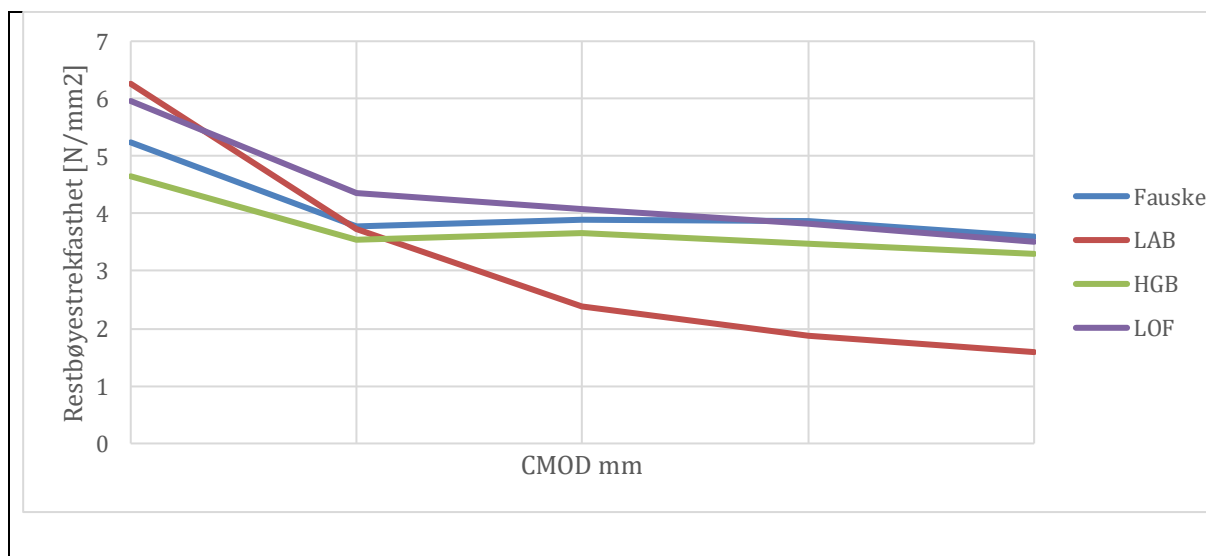
4.5 Oversikt duktilitetsklasse og restfasthetsklasse

28 dager test cmod			
	Duktilitetsklasse	Nivå.1 (R)	Nivå.2 (R)
Fauske	C	2,50	2
Lab	A	2,5	2
HGB	C	2,5	2
Lof	C	3	3
56 dager test cmod			
	Duktilitetsklasse	Nivå.1 (R)	Nivå.2 (R)
Fauske	B	2,5	2
Lab	A	2	2
HGB	C	2,5	2
Lof	B	3	2,5

Tabell 14: Oversikt duktilitetsklasse og restfasthetsklasse etter Nivå.1 og Nivå.2

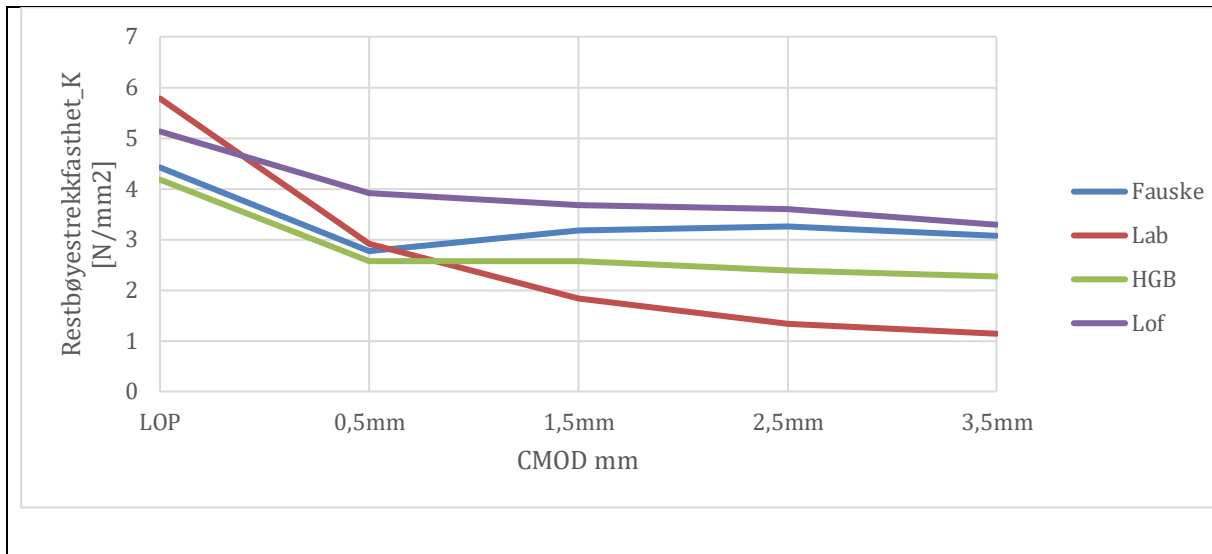
Fra resultatene viser det til at duktilitetsklasse ble dårligere etter 56.dager kontra 28.dager og at restfasthetsklassen for det meste forble uforanderlig med herdetiden. For 28 dager viser det til at betongen fra betong stasjonene prestere jevn godt når det gjelder duktilitetsklassen.

4.6 Gjennomsnitt 28.d alle prøvene



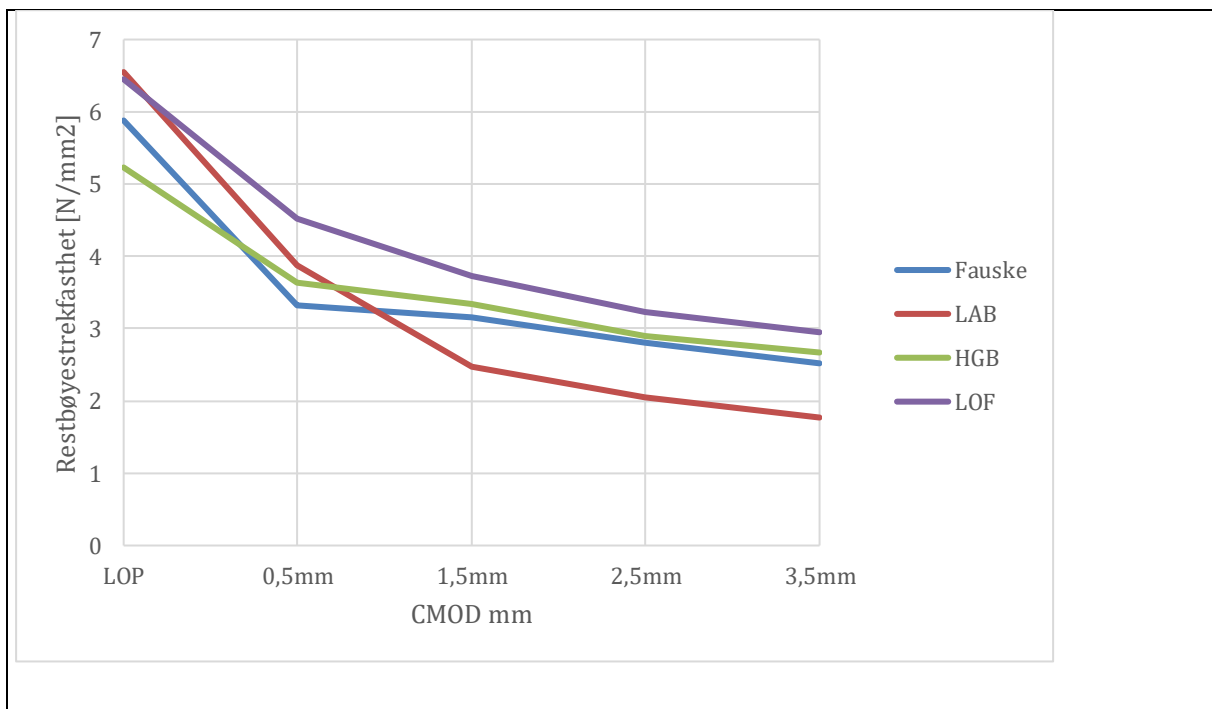
Figur 47: Gjennomsnittlig restbøystrekkfasthet for betongprøvene 28.d

4.6.1 Gjennomsnitt 28.d justert med K-koeffisient 1.7



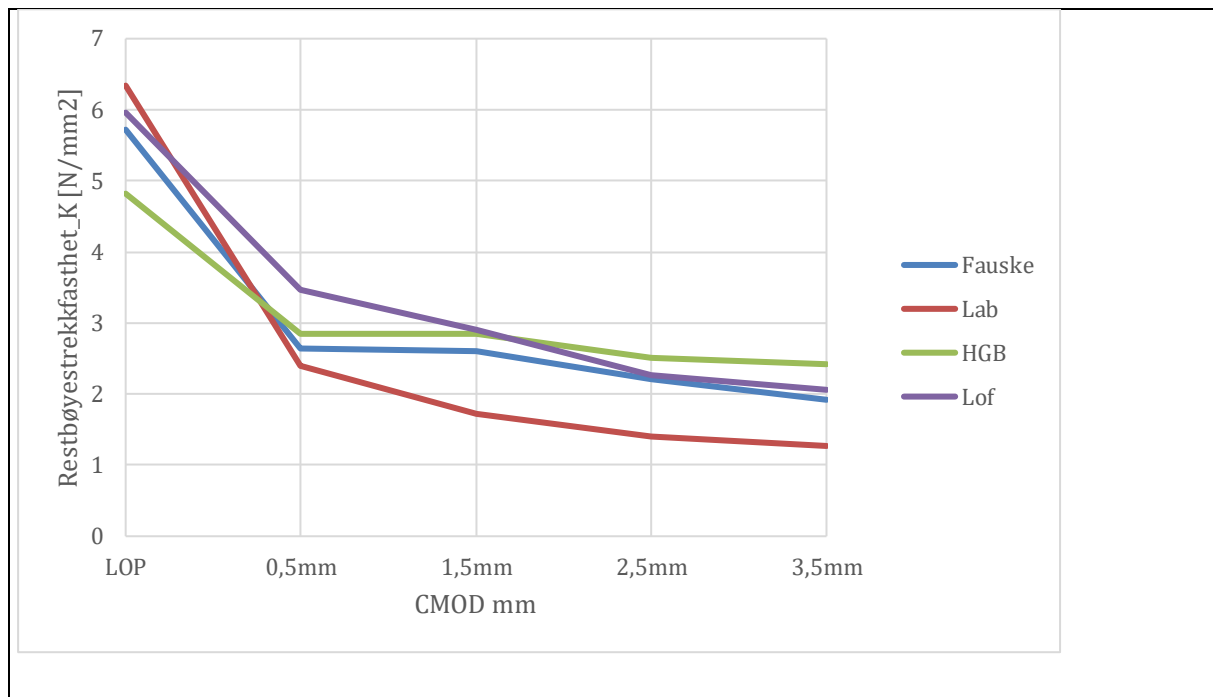
Figur 48: Gjennomsnittlig justert med k-koeffisient 1.7 28.d

4.7 56.d Gjennomsnittlig for alle prøvene



Figur 49: Gjennomsnitt for alle prøvene 56.d

4.7.1 56d gjennomsnittlig justert med k-koeffisient 1.7



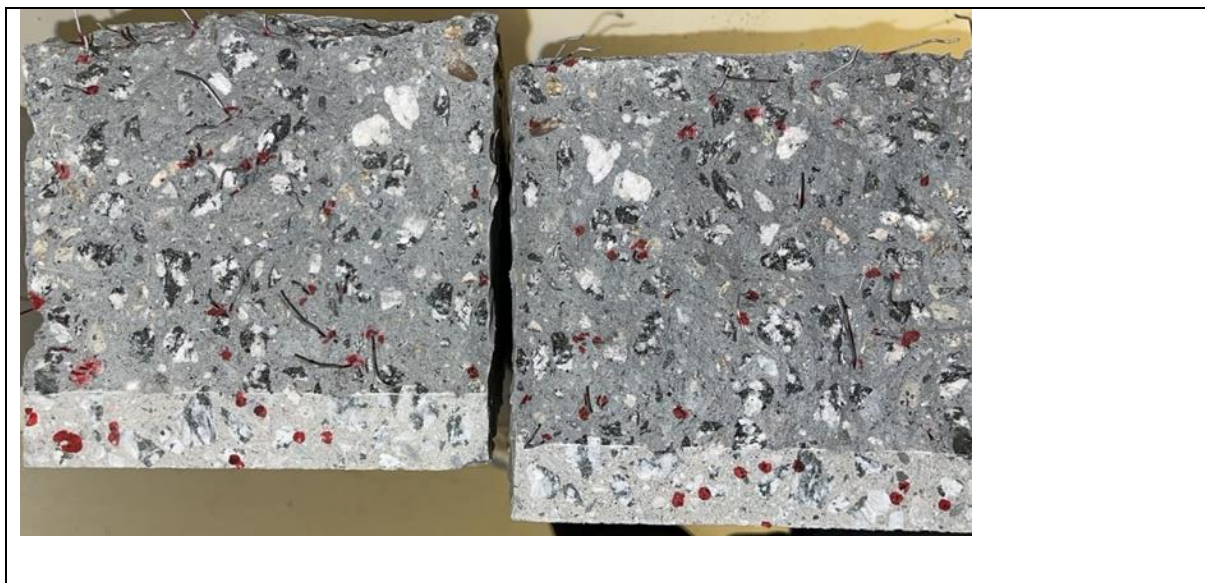
Figur 50: Gjennomsnitt 56.d juster for k-koeffisient

4.8 Forklaring resultater

Fra resultatene viser det til med at resultatene fra de ulike betongstasjonene er ganske like. Dette med unntak av den betongen som ble produsert på betonglabben. Det er brukt samme type resept, og restbøyestrekfastheten ser ut til å være ganske lik for betongen i fra Nordland betong i Fauske, HGB i Narvik og Betong og entreprenør i Lofoten. Fra resultatene antydes det til at det ikke har i noen høy grad å si for hvilken type tilslag som er brukt og om det er naturlig, knust og uttak hentet i fra.

Ut ifra teorien og NB.38 så var det anbefalt å bruke grovt tilslag og fibere som er av dobbel lengde som D_{max} . Da dette skulle gi aller best resultater for trykk og restbøyestrekfasthet. Det som kan sies om det er at betongen fra BoE Lofoten har tilslag som er mest grovt noe som har hatt positiv innvirkning på restbøyestrekfastheten også gitt fra teorien. Samtidig så var det anbefalt tilslaget ikke skal være større enn halve fiberlengden. Uansett så syntes det ikke til at fiberlengden spilte noe rolle for restbøyestrekfastheten, men at heller fiberdoseringen må være høy nok.

4.9 Bilde illustrere fiberfordeling



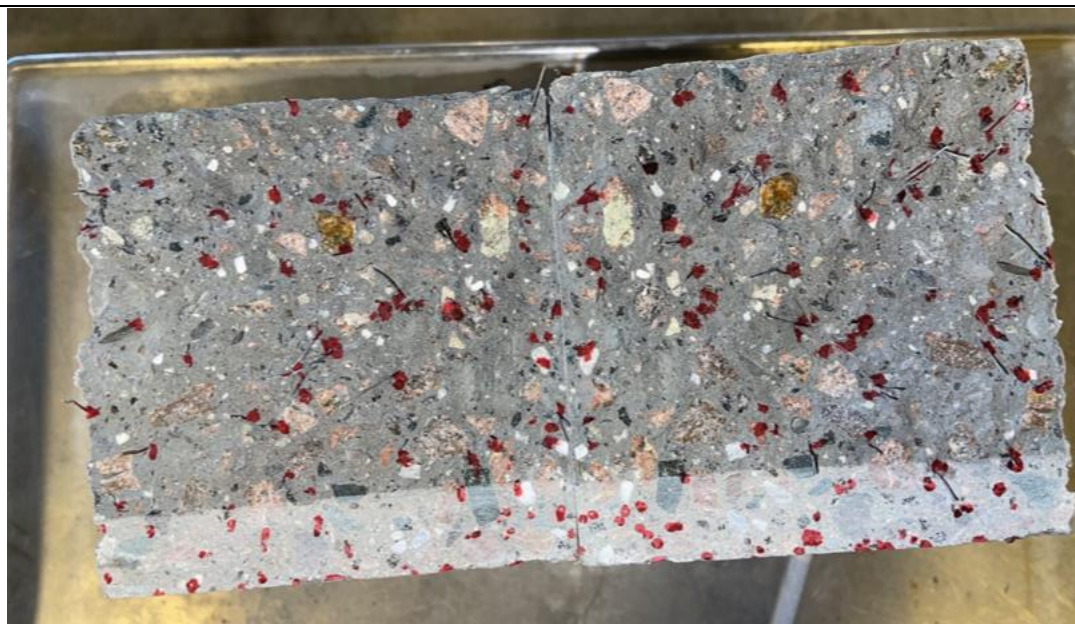
Figur 51: Prøve Fauske-C-28d



Figur 52: Prøve Lab-C-28d



Figur 53: Prøve HGB I



Figur 54: Prøve LOF-F

Bildene ovenfor i dokumentet viser hvordan fiberne i betongen har fordelt seg i bjelken. For å observere dette enkelt er det markert med rødtusj. Disse resultatene viser ganske tydelig at bjelken LOF-F har den mest jevne fordelingen av fibere samt at både prøvene HGB-I og Fauske-C har også ganske jevnt fordelingen. Unntaket her er prøven LAB-C som ble blandet og støpt på labben. Her har det plassert seg mest fiber ved kuttet i bjelken og ensidig i bjelken. Dette viser til at små tvangsblendere i gjør en fullverdig blandingsprosess med å

fordele fiberne homogent i betongen. Det beviser også at type betongblandemaskin eller tilsetnings metode for fibre ved betongstasjonene har i all hovedsak liten betydning. Dette gir også en større trygghet for at fiberne faktisk fordeler seg jevnt med riktig resept.

Ovenfor er det også valgt å trekke frem lab-c bjelken ettersom denne prøven presterte bra i begynnelsen med påsatt belastning. Men etter hvert observertes det at når rissvidden økte, så ga fiberne fort etter med at de ble enten dratt ut av betongen eller det ble forårsaket brudd. Det har vært reflektert over at fiberne som var anvendt var av eldre variant som ikke har de samme egenskapene som nyere fibre.

Fiberne som brukt i lab betongen var også en eldre utgave fra KrampeHarex. Ut ifra test diagrammet viser det til mye fall i kurven mens risvidden øker. Mens dette skjer kan det høres under testingen at fiberne fra gir fortere etter og knekkes. Det er en mulighet for at denne fiberen rett og slett har dårligere mekaniske egenskaper som gir så store kontraster resultatmessig.

Bjelken LOF-F har langt flere markerte punkter i bjelken, dette har med å gjøre at betongen fra betong og entreprenør i Lofoten har større antall fibre enn i de andre blandingene. Da det var brukt fibre som var både tynnere og kortere som gir høyere antall fibre ut i fra doseringen.

5 Konklusjon

Hovedmålet med denne oppgaven har vært å besvare om tilslaget i fiber betong har noe betydning for restbøyestrekfastheten. Det har også vært en del av oppgaven å undersøke om tilslaget har hatt innvirkning på arbeidsomheten på betongen, og om blandedutstyret og ulike metoder for å blande og tilføre fiberne i betongen har medført en vesentlig innflytelse på restbøyestrekfastheten.

Fra resultatene for de ulike betongstasjonene så er det noen forskjeller, men mest likheter. Duktilitetsklassen var lik for alle betongstasjonene ved 28.dager og restfasthetsklassen var også helt lik med unntak for B&E. Ved 56.dagers testen så var det kun LAB betongen som forandret restfasthetsklassen. Derimot ble duktilitetsklassen dårligere for samtlige betong prøver foruten om HGB. Det synes også til at det er korrelasjon mellom trykkfastheten og restbøyestrekfastheten i begynnelsen av testing for c_{mod} og at det kun er i begynnelsen de forskjellige betongprøvene skiller seg ut.

Grafisk sett er det lite som skiller restbøyestrekfastheten etter 0.5mm rissvidde under c_{mod} testingen. Etter dette nærmer betongprøvene seg grafisk og følger hverandre parallelt til maks rissvidde.

Det kan konkluderes resultatene at den betongen med best restbøyestrekfasthet var den betongen fra Lofoten som også hadde kortest fiberlengde. Selv om anbefalingen om dobbel fiberlengde enn tilslaget. Det skal også på pekes at betongen med mest knust tilslag var også betongen fra Lofoten. Så dermed kan indikere på at grovere tilslag kan ha positiv innvirkning restbøyestrekfasthet. Men forskjellene ved maksimum rissvidde er så marginale at dette er ikke en direkte betydning for at knust tilslag gir bedre evner for restbøyestrek.

Som forventet gjorde betongen det bedre på trykkfasthet etter 56.dager i forhold til 28.dager. Dette er ikke tilfellet ved c_{mod} testingen. Grafisk sett så lå alle betong prøvene fra betongstasjonene imellom 3.5N/mm² og 4N/mm² etter 28.dager. Etter 56.dager var det kun betongen fra Lofoten som lå 3N/mm² ved maksimum rissvidde, mens resterende betong lå under dette. Restbøyestrekfastheten ble altså dårligere ved tiden.

Det kan avslutningsvis nevnes at ifølge resultatene så ser det ikke ut til at tilslaget er av betydning for restbøyestrekfastheten. Det ser heller ikke ut til at forskjellige blandemaskiner horisontal eller vertikal, eller direkte eller blåsing av fiber inn i betongmiksen har noen

betydning for om fiberne fordeles jevnere og utfallet av restbøyestrekfastheten skiller seg ut bedre eller dårligere.

Referanseliste

- [1] Prasad, «Concrete Ingredients and Important Aspects», *Structural Guide*.
- [2] J. Seehusen, «Foreslår pukkverk under byen», *Teknisk Ukeblad*, 16. november 2011.
- [3] H. Materials, «Sementproduksjon og CO2», *Heidelberg materials*.
<https://www.sement.heidelbergmaterials.no/no/sementproduksjon-co2> (åpnet 24. april 2023).
- [4] Kristiansen Bernt, «Åpent-faglig-møte-18.09.18._Betong-svinn»,
Bindemiddelkombinasjoner, aktiv bruk av M40 betong og svinnreducerende tilsetningsstoffer er noen av stikkordene for å takle de ulike typene svinn man har i betong, s. 1–173, 2018, Åpnet: 24. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
https://betong.net/wp-content/uploads/%C3%85pent-faglig-m%C3%B8te-18.09.18._Betong-svinn.pdf
- [5] O. C. Stenby, «Begreper om betong», *Bygg og bevar*, mai 2021, Åpnet: 24. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/mur/artikler/begreper-i-betong>
- [6] T. Kanstad, Å. L. Døssland, A. Vatnar, og A. E. Mathisen, «Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner», mar. 2020.
- [7] «LETT ELLER TUNG BETONG », *Unicon*. <https://www.unicon.no/produkter-tjenester/spesialbetong/lett-eller-tung/> (åpnet 15. mai 2023).
- [8] F. Nasjoner, «FNs bærekraftsmål», *FN-sambandet*, apr. 2023.
- [9] «Aktuell forskning innenfor bygg- og anleggsbransjen», *Tekna*, mar. 2022, Åpnet: 24. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/aktuell-forskning-innenfor-bygg--og-anleggsbransjen/>
- [10] T. B. Mosland, «Hvordan redusere CO2-utslipp», *Tekna*, 17. januar 2017.
<https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/hvordan-reducere-co2-utslipp> (åpnet 24. april 2023).

- [11] K. Ramsden, «CEMENT AND CONCRETE: THE ENVIRONMENTAL IMPACT», *Princeton*, 3. november 2020. <https://psci.princeton.edu/tips/2020/11/3/cement-and-concrete-the-environmental-impact> (åpnet 24. april 2023).
- [12] N. P. Borvik, «Bærekraftige bygningsmaterialer Nye miljøvennlige betongmaterialer », *Skanska*, jun. 2017, Åpnet: 14. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.tekna.no/contentassets/b3957c1bd5cb4f3c8b25ccb73e2ac2c5/nye-miljc3b8vennlige-betongmaterialer.pdf>
- [13] Antoni, L. Chandra, og D. Hardjito, «The Impact of Using Fly Ash, Silica Fume and Calcium Carbonate on the Workability and Compressive Strength of Mortar», *Procedia Eng*, bd. 125, s. 773–779, jan. 2015, doi: 10.1016/J.PROENG.2015.11.132.
- [14] S. S. Alterary og N. H. Marei, «Fly ash properties, characterization, and applications: A review», *J King Saud Univ Sci*, bd. 33, nr. 6, s. 101536, sep. 2021, doi: 10.1016/J.JKSUS.2021.101536.
- [15] «Silica Fume - an overview | ScienceDirect Topics». <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/silica-fume> (åpnet 25. april 2023).
- [16] «Penn state university», «The effect of aggregate properties on concrete», *Penn state university*. <https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/materials/aggregate/aggregatesmain.htm> (åpnet 15. mai 2023).
- [17] «Aggregates», *PCA-The portland cement association*. <https://www.cement.org/cement-concrete/concrete-materials/aggregates> (åpnet 15. mai 2023).
- [18] A. Kılıç *mfl.*, «The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete», *Cem Concr Compos*, bd. 30, nr. 4, s. 290–296, apr. 2008, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.05.011.
- [19] K.-R. Wu, B. Chen, W. Yao, og D. Zhang, «Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete», *Cem Concr Res*, bd. 31, nr. 10, s. 1421–1425, okt. 2001, doi: 10.1016/S0008-8846(01)00588-9.

- [20] H. Bolat, O. Şimşek, M. Çullu, G. Durmuş, og Ö. Can, «The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete», *Compos B Eng*, bd. 61, s. 191–198, mai 2014, doi: 10.1016/j.compositesb.2014.01.043.
- [21] A. Nowak-Michta, «Impact analysis of air-entraining and superplasticizing admixtures on concrete compressive strength», *Procedia Structural Integrity*, bd. 23, s. 77–82, 2019, doi: 10.1016/j.prostr.2020.01.066.
- [22] T. Rahmani, B. Kiani, M. Bakhshi, og M. Shekarchizadeh, «Application of Different Fibers to Reduce Plastic Shrinkage Cracking of Concrete», Arizona state University, 2012, s. 635–642. doi: 10.1007/978-94-007-4566-7_62.
- [23] Ø. Bjøntegaard, «Volumendringer og risstendens i betong», *Statens Vegvesen*, sep. 2009, Åpnet: 15. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på:
https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/194017/volumendringer_og_risstendens_i_betong.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [24] K. Harex, «Steel fibres – on the way to the future», *KrampeHarex*, 23. mars 2021.
<https://www.krampeharex.com/en/blog/steel-fibers-on-the-way-to-the-future> (åpnet 24. april 2023).
- [25] J.-L. Granju og S. Ullah Balouch, «Corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks», *Cem Concr Res*, bd. 35, nr. 3, s. 572–577, mar. 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.06.032.
- [26] M. R. Evensen og J. M. Laugaland, «På hver nye strand de sjekker, finner de denne plasten», *NRK, Rogaland*, 2. mai 2018. Åpnet: 24. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.nrk.no/rogaland/pa-hver-nye-strand-de-sjekker_-finner-de-denne-plasten-1.14025276
- [27] X. Deng, M. S. Hoo, Y. W. Cheah, og L. Q. N. Tran, «Processing and Mechanical Properties of Basalt Fibre-Reinforced Thermoplastic Composites», *Polymers (Basel)*, bd. 14, nr. 6, s. 1220, mar. 2022, doi: 10.3390/polym14061220.
- [28] E. Boe, «Lov», *Store norske leksikon*, feb. 2009, Åpnet: 24. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/lov>

- [29] E. Masvik, «Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap», nov. 2015. Åpnet: 24. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.standard.no/Global/PDF/Elektro-NEK/Lavspenning/Elsikkerhetskonferansen%202015/1415-1445%20-%20IV%20-%20Den%20nye%20NEK%20440%20mv%20-%20Espen%20Masvik.pdf>
- [30] «Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap», *Import og omsetning av elektriske produkter*, mar. 2016, Åpnet: 24. april 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.dsb.no/lover/produkter-og-forbrukertjenester/tema/import-og-omsetning-av-elektriske-produkter/#regelverk>
- [31] N. Banthia, C. Yan, og S. Mindess, «Restrained shrinkage cracking in fiber reinforced concrete: A novel test technique», *Cem Concr Res*, bd. 26, nr. 1, s. 9–14, jan. 1996, doi: 10.1016/0008-8846(95)00186-7.
- [32] A. P. Fantilli, H. Mihashi, og P. Vallini, «Multiple cracking and strain hardening in fiber-reinforced concrete under uniaxial tension», *Cem Concr Res*, bd. 39, nr. 12, s. 1217–1229, des. 2009, doi: 10.1016/J.CEMCONRES.2009.08.020.
- [33] K. Halvax og É. Lublóy, «Investigation of steel fibers bond strength in mortar matrix», *Pollack Periodica*, bd. 8, nr. 3, s. 101–110, des. 2013, doi: 10.1556/Pollack.8.2013.3.10.
- [34] O. Lohne, «Flytegrense», *Store norske leksikon*, jun. 2020, Åpnet: 15. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/flytegrense>
- [35] Z. Marcalikova, P. Mateckova, M. Racek, og D. Bujdos, «Study on Shear Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Small Beams», *Procedia Structural Integrity*, bd. 28, s. 957–963, jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROSTR.2020.11.069.
- [36] J. Han, M. Zhao, J. Chen, og X. Lan, «Effects of steel fiber length and coarse aggregate maximum size on mechanical properties of steel fiber reinforced concrete», *Constr Build Mater*, bd. 209, s. 577–591, jun. 2019, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.03.086.
- [37] J. H. Lee, B. Cho, og E. Choi, «Flexural capacity of fiber reinforced concrete with a consideration of concrete strength and fiber content», *Constr Build Mater*, bd. 138, s. 222–231, mai 2017, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.01.096.

- [38] R. S. Olivito og F. A. Zuccarello, «An experimental study on the tensile strength of steel fiber reinforced concrete», *Compos B Eng*, bd. 41, nr. 3, s. 246–255, apr. 2010, doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2009.12.003.
- [39] S. Vegvesen, «Laboratorieundersøkelser», *Statens Vegvesen*, mai 2005, Åpnet: 15. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2500954/HB-014-2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [40] «The Role of Aggregate in Concrete Countertop Mix Designs», *concrete countertop institute*, Åpnet: 15. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: <https://concretecountertopinstitute.com/free-training/the-role-of-aggregate-in-concrete-countertop-mix-designs/>
- [41] P. Wriggers, «Fuller and limiting grading curves», *Reserachgate*, apr. 2006, Åpnet: 15. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.researchgate.net/figure/Fuller-and-limiting-grading-curves_fig2_223029627
- [42] T. A. M. Hammer, «Concrete Innovation Centre - COIN», *Sintef*.
- [43] S. Norge, «NS-EN 206:2013+A2+NA -Betong Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar», *Standard Norge*, bd. 1. Standard Norge, Lysaker, s. 1–128, 4. november 2022.
- [44] D. Harvey, «Appendix 07: Critical Values for Grubb's Test», *LibreText*, Åpnet: 15. mai 2023. [Online]. Tilgjengelig på: https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Reference/Reference_Tables/Analytic_References/Appendix_07%3A_Critical_Values_for_Grubbs_Test

