



Duktilitet av lettbetong

Lisa Bakken
Kristine Bruvik Sagosen



Bygg- og miljøteknikk (2 årig)
Innlevert: Juni 2012
Hovedveileder: Jan Arve Øverli, KT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk



MASTEROPPGAVE 2012

FAGOMRÅDE: Konstruksjonsteknikk	DATO: 07. juni 2012	ANTALL SIDER: 121 sider + 103 sider vedlegg
------------------------------------	------------------------	--

TITTEL: Duktilitet av lettbetong Ductility of lightweight aggregate concrete		
UTFØRT AV: Kristine Bruvik Sagosen Lisa Bakken		

SAMMENDRAG:

Tema i denne masteroppgaven var å studere duktilitet av lettbetongbjelker ved testing, samt å se på effekten av ulike tiltak som kan gi lettbetong økt duktilitet. Tiltakene som ble testet var tverrarmring i bjelkenes midtsone, stålfiber i betongenblandingen og en kombinasjon av disse.

I laboratoriet ble åtte bjelker produsert. Fire av dem ble laget med tverrarmring over hele lengden (dette prosjektet) og fire uten tverrarmring i midtsonen (parallelt prosjekt). Bjelkene ble laget både med og uten fiberarmert betong. Etter ca. 28 døgn ble alle bjelkene testet. Hver test ble dokumentert med bilder og logging av last, nedbøyning og tøyninger.

Litteraturstudiet ble utført med hovedvekt på lettbetong og fiberarmring. Det ble også gjort beregninger av bjelkene etter Eurokode 2 og resultatene fra laboratorietestene ble sammenlignet med de beregnede verdiene. Testresultatene fra alle åtte bjelkene ble sammenlignet med hverandre og analysert.

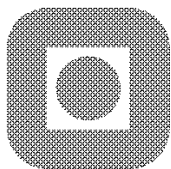
Testresultatene viste at bruddet ble mindre sprøtt for bjelkene med tverrarmring i midtsonen enn bjelkene uten og at bjelkene med fiberarmring hadde mindre sprø brudd enn bjelkene uten fiberarmring. Det viste seg også at bjelkene uten tverrarmring i midtsonen hadde mer utbytte av fiberarmring enn bjelkene med tverrarmring over hele lengden.

Man kan konkludere med at begge tiltakene hadde en positiv effekt med tanke på å øke duktiliteten av lettbetong. Resultatene ble spesielt bra ved en kombinasjon av tiltakene.

FAGLÆRER: Jan Arve Øverli

VEILEDER(E): Jan Arve Øverli

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU.



NORGES TEKNISK NATURVITENSKAPELIGE
UNIVERSITET, NTNU
Institutt for konstruksjonsteknikk

Masteroppgave i konstruksjonsteknikk 2012

for

Lisa Bakken og Kristine Sagosen

Duktilitet av lettbetong

Ductility of lightweight aggregate concrete

OPPGAVE

På grunn av lettbetong sin lave densitet vil den i en del tilfeller være gunstig å bruke i konstruksjoner. I forhold til en normal betong har lettbetong en mye sprøere bruddoppførsel på trykk. Dette gjør at lettbetong ikke kan brukes i en del sammenhenger hvor det er krav til duktil oppførsel, for eksempel i områder med jordskjelvbelastning hvor dissipasjon av energi er sentralt. I regi av instituttets deltakelse i COIN (Senter for forskningsbasert innovasjon innen betong) gjennomføres det forskning innen dette fagområdet. Oppgaven går ut på prøving av bjelker av lettbetong i laboratoriet for å studere duktiliteten og effekten av ulike tiltak for å øke duktiliteten.

Fire lettbetongbjelker med densitet 1800 kg/m³ skal produseres og lastes til brudd. Siden oppgaven fokuserer på duktilitet i trykksonen av lettbetong, overarmeres bjelkene. Bjelkenes dimensjoner og armering er helt like. To av bjelkene støpes med fiberarmering, mens de to siste uten. Av hensyn til reproduserbarhet er to og to av bjelkene helt identiske.

Opgaven kan deles opp som følger:

- Litteraturstudium om lettbetong og fiberarmert betong
- Dimensjonering av bjelker for prøving
- Produksjon av 4 bjelker som inkluderer forskaling, armering, instrumentering og støping
- Prøving av bjelker til brudd
- Rapportering av prøvingsresultater
- Vurdere effekten av fiberarmering og tverrarmering
- Detaljerte beregninger av bjelkene basert på materialdata fra forsøkene

Oppgaven skal være gjennomført innen den 11. juni 2012.

Trondheim den 21.01.2012

Jan Arve Øverli

Førsteamanuensis / Faglærer

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet for Institutt for Konstruksjonsteknikk ved fakultet for teknologi og ingeniørvitenskap – NTNU, i samarbeid med SINTEF Byggforsk. Jan Arve Øverli har vært veileder og faglærer for masteroppgaven. Oppgaven står for de siste 30 studiepoengene av mastergraden i Bygg- og Miljøteknikk.

Oppgaven er en del av et større lettbetongprosjekt hos COIN – Concrete Innovation Centre, et samarbeid mellom NTNU og SINTEF. Hensikten med masteroppgaven var å studere duktilitet av lettbetong, ved testing av bjelker i laboratoriet, og å se på effekten av ulike tiltak for å øke duktiliteten.

Først og fremst vil vi rette en stor takk til Jan Arve Øverli, for gode råd og upåklagelig veiledning. Han har alltid vært tilgjengelig når vi har hatt behov for hjelp.

Tore Myrland Jensen, fortjener også en stor takk. Han har vært vår nærmeste veileder hos SINTEF og har bidratt med mye tid og stort engasjement.

Takk til alle som arbeider i laboratoriene ved NTNU og SINTEF, spesielt Ove Loraas og Steinar Seehuus, som har vært mest involvert i prosjektet.

Vår samarbeidsgruppe, ved Fredrik Lang og Øystein Rønningen, fortjener også en takk. Gjennom hele prosjektet har vi hatt nyttige diskusjoner og et godt samarbeid, både i laboratoriet og i det videre arbeidet.

Til slutt vil vi takke Concrete Innovation Centre for finansiering av laboratorietarbeidet.

Vi godkjenner hverandres innsats ved prosjektarbeidet; Trondheim, 07.juni 2012:

Kristine Bruvik Sagosen

Lisa Bakken

Sammendrag

Tema i denne masteroppgaven var å studere duktilitet av lettbetongbjelker ved testing, samt å se på effekten av ulike tiltak som kan gi lettbetong økt duktilitet. Tiltakene som ble testet var tverrarmring i bjelkenes midtsone, stålfiber i betongenblandingen og en kombinasjon av disse.

I laboratoriet ble åtte bjelker produsert. Fire av dem ble laget med tverrarmring over hele lengden (dette prosjektet) og fire uten tverrarmring i midtsonen (parallelt prosjekt). Bjelkene ble laget både med og uten fiberarmert betong. Etter ca. 28 døgn ble alle bjelkene testet. Hver test ble dokumentert med bilder og logging av last, nedbøyning og tøyninger.

Litteraturstudiet ble utført med hovedvekt på lettbetong og fiberarmring. Det ble også gjort beregninger av bjelkene etter Eurokode 2 og resultatene fra laboratorietestene ble sammenlignet med de beregnede verdiene. Testresultatene fra alle åtte bjelkene ble sammenlignet med hverandre og analysert.

Testresultatene viste at bruddet ble mindre sprøtt for bjelkene med tverrarmring i midtsonen enn bjelkene uten og at bjelkene med fiberarmring hadde mindre sprø brudd enn bjelkene uten fiberarmring. Det viste seg også at bjelkene uten tverrarmring i midtsonen hadde mer utbytte av fiberarmring enn bjelkene med tverrarmring over hele lengden.

Man kan konkludere med at begge tiltakene hadde en positiv effekt med tanke på å øke duktiliteten av lettbetong. Resultatene ble spesielt bra ved en kombinasjon av tiltakene.

Summary

The topic of this master's thesis was to study the ductility of light-weight aggregate (LWA) concrete beams by testing, and to study the effect of different measures that might give the LWA-concrete increased ductility. The measures that were tested were transverse reinforcement in the centre of the beam, steel fiber reinforcement in the concrete mixture and a combination of the two.

In the laboratory, eight beams were produced. Four of them were made with transverse reinforcement along the whole length of the beam (this project) and the other four were made without transverse reinforcement in the centre of the beam (parallel project). The beams were made both with and without fiber reinforced concrete. After approximately 28 days, all the beams were tested. Each test was documented with pictures, and the load, deflection and stresses of the beam were logged.

The literature study was done with LWA-concrete and fiber reinforcement as the main focus areas. The calculations of the beams were done in agreement with Eurocode 2 and compared to the test values. The test results from all the eight beams were compared with each other and analysed.

By comparing the test results, one could see that the failure was less brittle for the beams with transverse reinforcement in the centre of the beam than for the ones without. The beams with steel fiber reinforcement suffered less brittle failures than the ones without steel fiber reinforcement. Tests also showed that the beams without transverse reinforcement had a greater benefit from steel fiber reinforcement than the ones with transverse reinforcement along the length of the beam.

In the end, the conclusion was that both measures had a positive effect in increasing the ductility of the LWA-concrete. The results were especially good when both of the measures were combined.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	v
Innholdsfortegnelse	vii
Figurliste.....	ix
Tabelliste	xiii
1. Innledning.....	15
2. Litteraturstudium.....	17
2.1. COIN	17
2.2. Lettbetong.....	18
2.2.1. Historie	18
2.2.2. Nå og fremtiden.....	18
2.2.3. Typer lettbetong	19
2.2.4. Lettbetong vs normalbetong.....	19
2.2.5. Regneregler og Eurokode.....	20
2.3. Fiberarmering	21
2.3.1. Historie	21
2.3.2. Nå og fremtiden.....	22
2.3.3. Typer fiberarmering	23
2.3.1. Fiberarmering og tradisjonell stangarmering.....	24
2.3.2. Regneregler og Eurokode.....	24
2.4. Betongens delmaterialer.....	25
3. Utforming og dimensjoner	27
4. Laboratoriet	33
4.1. Armeringsbinding.....	33
4.1.1. Forberedelser.....	33
4.1.2. Utførelse	34
4.2. Støp.....	36
4.2.1. Forberedelser.....	36
4.2.2. Utførelse	37
4.2.3. Etterarbeid	39
4.3. Test av bjelker	39
4.3.1. Forberedelser.....	39
4.3.2. Utførelse	41
4.4. Testing av prøvestykker	43
4.4.1. Trykkfasthet, E-modul og arbeidsdiagram.....	43
4.4.2. Bøyestrekfasthet	44
4.4.3. Armeringsjern.....	45
5. Beregning	47
5.1. Forutsetninger.....	47
5.2. Inputtdata.....	49
5.3. Bruddgrensetilstand.....	50
5.3.1. Bruddlast	51
5.3.2. Skjærkapasitet	55

5.4.	Bruksgrensetilstand	56
5.4.1.	Nedbøyning	56
5.4.2.	Tøyning	61
6.	Resultater fra testing.....	63
6.1.	Hovedresultater	63
6.2.	Bjelker	63
6.2.1.	Last og tid.....	63
6.2.2.	Nedbøyning	71
6.2.3.	Tøyninger	77
6.3.	Parametere fra prøvestykker.....	85
6.3.1.	Trykkfasthet, E-modul og arbeidsdiagram.....	85
6.3.2.	Bøystrekkfasthet	86
6.3.3.	Armeringsjern.....	86
7.	Analyse.....	91
7.1.	Effekt av tverrarmering i trykksonen og fiberarmering	91
7.1.1.	Lastkapasitet etter brudd	91
7.1.2.	Analyse av last-/forskyvningsdiagram	93
7.1.3.	Hvorfor fungerer tiltakene?	99
7.2.	Testresultat sammenlignet med beregning	101
7.2.1.	Bruddlast	101
7.2.2.	Nedbøyning	107
7.2.3.	Tøyninger	109
7.2.4.	Trykksonehøyde	114
8.	Feilkilder	115
9.	Konklusjon	117
	Bibliografi	119
	Vedleggsliste	121

Figurliste

FIGUR 1: LESERVEILEDNING.....	16
FIGUR 2: NOEN VANLIG FIBERFORMER <i>KILDE: (KANSTAD, 2011)</i>	22
FIGUR 3: BJELKENES DIMENSJONER <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	28
FIGUR 4: ARMERING, SNITT A-A FRA FIGUR 3 <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	29
FIGUR 5: ARMERING, SNITT B-B FRA FIGUR 3 <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	29
FIGUR 6: TVERRARMERING, YTRE BØYLE <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	29
FIGUR 7: TVERRARMERING INDRE BØYLE <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	29
FIGUR 8: BJELKENES LASTBILDE, SKJÆR- OG MOMENTDIAGRAM <i>KILDE: BYGGFORSK</i>	30
FIGUR 9: ARMERING, BJELKE 1A, 1B, 2A OG 2B <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	31
FIGUR 10: ARMERING, BJELKE 3A, 3B, 4A OG 4B <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	31
FIGUR 11: STREKKLAPPENES Plassering <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	33
FIGUR 12: STREKKLAPPENES Plassering (UTSNITT AV OPPRISS) <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	33
FIGUR 13: ARMERINGEN BLIR GROVSLIPT <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	33
FIGUR 14: SLIPT OMRÅDE <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	33
FIGUR 15: ARMERINGEN BLIR FINSLIPT <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	33
FIGUR 16: LIM PÅ STREKKLAPP <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	34
FIGUR 17: STREKKLAPP FESTES <i>FOTO LISA BAKKEN</i>	34
FIGUR 18: STREKKLAPPEN ER Plassert <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	34
FIGUR 19: BINDING AV BØYLER TIL TVERRARMERING <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	34
FIGUR 20: FERDIG BØYDE TVERRARMERINGSBØYLER <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	34
FIGUR 21: BINDING AV ARMERING <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	35
FIGUR 22: KONTROLL <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	35
FIGUR 23: FERDIGSTILLELSE AV ARMERING <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	35
FIGUR 24: FERDIG ARMERING UTEN TVERRSTANG <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	35
FIGUR 25: TVERRSTANG BLIR SVEIST PÅ ARMERINGEN <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	35
FIGUR 26: TVERRSTANG ER SVEIST PÅ ARMERINGEN <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	35
FIGUR 27:	36
FIGUR 28: AVSTANDSKLOSSER BLIR FESTET TIL ARMERINGEN <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	36
FIGUR 29: PRØVEBLANDING AV BETONGEN <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	36
FIGUR 30:	36
FIGUR 31: TILSLAG BLIR TØMT I BETONGBLANDEREN <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	37
FIGUR 32: PLASTISERENDE STOFF BLIR TILSATT BETONGBLANDINGEN <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	37
FIGUR 33: FIBERARMERING BLIR TILSATT BETONGBLANDINGEN <i>FOTO: LISA BAKKEN</i>	37

FIGUR 34: BETONGEN BLIR UTSTØPT MED TOBB FOTO: LISA BAKKEN	37
FIGUR 35: BETONG UTEN FIBERARMERING FOTO: LISA BAKKEN	37
FIGUR 36: BETONG UTEN FIBER BEARBEIDES FOTO: LISA BAKKEN	37
FIGUR 37: BETONGEN BLIR UTSTØPT MED TRILLEBÅR FOTO: LISA BAKKEN	38
FIGUR 38: BETONG MED FIBERARMERING FOTO: LISA BAKKEN	38
FIGUR 39: BETONG MED FIBER BEARBEIDES FOTO: LISA BAKKEN	38
FIGUR 40: STÅLFIBER FOTO: LISA BAKKEN	38
FIGUR 41: AVFORMING AV BJELKER FOTO: LISA BAKKEN.....	39
FIGUR 42: BETONGBJELKEN BLIR VANNET FOTO: LISA BAKKEN.....	39
FIGUR 43: FUKTIGE STRIESEKKER BLIR PLASSERT PÅ BJELKEN FOTO: LISA BAKKEN.....	39
FIGUR 44: TESTRIGGEN BLIR MONTERT FOTO: LISA BAKKEN	39
FIGUR 45: TESTRIGGEN BLIR MONTERT FOTO: LISA BAKKEN	39
FIGUR 46: TESTRIGGEN BLIR MONTERT FOTO: KRISTINE SAGOSEN	39
FIGUR 47: PLASSERINGEN TIL DE INDUKTIVE GIVERNE, SNITT KILDE: TORE MYRLAND JENSEN	40
FIGUR 48: PLASSERINGEN TIL DE INDUKTIVE GIVERNE KILDE: TORE MYRLAND JENSEN	40
FIGUR 49: FERDIG INSTRUMENTERT BJELKE FOTO: LISA BAKKEN.....	41
FIGUR 50: BILDE FRA KAMERA I NORD, FØR START FOTO: ØYSTEIN RØNNINGEN	42
FIGUR 51: BILDE FRA KAMERA I MIDTEN, FØR START FOTO: FREDRIK LANG.....	42
FIGUR 52: BILDE FRA KAMERA I SØR, FØR START FOTO: LISA BAKKEN	42
FIGUR 53: BILDE FRA KAMERA I NORD, VED BRUDD FOTO: ØYSTEIN RØNNINGEN.....	42
FIGUR 54: BILDE FRA KAMERA I MIDT, VED BRUDD FOTO: FREDRIK LANG	42
FIGUR 55: BILDER FRA KAMERA I SØR, VED BRUDD FOTO: LISA BAKKEN	42
FIGUR 56: TEST FOR Å FINNE TRYKKFASTHET FOTO: ØYSTEIN RØNNINGEN.....	43
FIGUR 57: PRØVESTYKKE ETTER TEST FOTO: ØYSTEIN RØNNINGEN	43
FIGUR 58: TEST FOR Å FINNE BØYESTREKKFASTHET FOTO: LISA BAKKEN.....	44
FIGUR 59: TESTMETODE, BØYESTREKKFASTHET KILDE: NS-EN 14651	44
FIGUR 60: FIBER BLIR MARKERT FOTO: LISA BAKKEN.....	44
FIGUR 61: TEST AV ARMERINGSJERN FOTO: LISA BAKKEN	45
FIGUR 62: TRYKKSPENNINGFORLØP ETTER LIGN. (3.17) OG (3.18) I EC2	51
FIGUR 63: TILNÆRMET TRYKKSPENNINGSFORLØP	51
FIGUR 64:BEREGNINGSMODELL.....	52
FIGUR 65: STATISKSYSTEM	BJELKENES TEORETISKE EGENVEKT: 1190 KG KILDE: KRISTINE SAGOSEN
FIGUR 66: FORMLER FOR NEDBØYNING	56
FIGUR 67: LAST-/NEDBØYNINGSKURVE	57
FIGUR 68: DIMENSJONER	58
FIGUR 69: BEREGNINGSMODELL	59

FIGUR 70: MÅL OG TØYNINGER	62
FIGUR 71: BELASTNING, BJELKE 1A OG 1B	65
FIGUR 72: BELASTNING, BJELKE 2A OG 2B	65
FIGUR 73: BELASTNING, BJELKE 3A OG 3B	66
FIGUR 74: BELASTNING, BJELKE 4A OG 4B	66
FIGUR 75: TEST AV BJELKE 1B	70
FIGUR 76: PLASSERINGEN TIL DE INDUKTIVE GIVERNE	71
FIGUR 77: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, UNDER LASTPUNKTENE FOR ALLE BJELKER	72
FIGUR 78: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, PÅ MIDTEN FOR ALLE BJELKER	72
FIGUR 79: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 1A	73
FIGUR 80: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 1B	73
FIGUR 81: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 2A	74
FIGUR 82: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 2B	74
FIGUR 83: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 3A	75
FIGUR 84: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 3B	75
FIGUR 85: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 4A	76
FIGUR 86: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 4B	76
FIGUR 87: STREKKLAPPENES PLASSERING <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	77
FIGUR 88: STREKKLAPPENES PLASSERING, UTSNITT AV OPPRISS <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	77
FIGUR 89: ARMERINGSTØYNING I BUNN (SL1)	78
FIGUR 90: ARMERINGSTØYNING I BUNN (SL2)	78
FIGUR 91: ARMERINGSTØYNING I TOPP (SL3)	79
FIGUR 92: ARMERINGSTØYNING I TOPP (SL4)	79
FIGUR 93: ARMERINGSTØYNING I BØYLE (SL5)	80
FIGUR 94: ARMERINGSTØYNING I BØYLE (SL6)	80
FIGUR 95: PLASSERINGEN AV DE INDUKTIVE GIVERNE <i>KILDE: TORE MYRLAND JENSEN</i>	81
FIGUR 96: BETONGTØYNING I BUNN (IG1)	82
FIGUR 97: BETONGTØYNING I BUNN (IG2)	82
FIGUR 98: BETONGTØYNING I TOPP (IG3)	83
FIGUR 99: BETONGTØYNING I TOPP (IG4)	83
FIGUR 100: TØYNINGSDIAGRAM MED PLASSERINGEN TIL STREKKLAPPER OG INDUKTIVE GIVERE	84
FIGUR 101: BRUDDTØYNINGER, ALLE BJELKER	85
FIGUR 102: TRE TESTER FOR ARBEIDSDIAGRAM (1A)	86
FIGUR 103: ARBEIDSDIAGRAM, ARMERINGSJERN $\varnothing 10$	87
FIGUR 104: ARBEIDSDIAGRAM, ARMERINGSJERN $\varnothing 32$	87
FIGUR 105: ARBEIDSDIAGRAM, ARMERINGSJERN $\varnothing 10$ OG $\varnothing 32$	88

FIGUR 106: STIGNINGSTALL = E-MODUL, 10MM	89
FIGUR 107: STIGNINGSTALL = E-MODUL, 32 MM	89
FIGUR 108: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKENE 1 OG 3	93
FIGUR 109: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKENE 2 OG 4	94
FIGUR 110: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKENE 1 OG 2	95
FIGUR 111: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKENE 3 OG 4	96
FIGUR 112: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM, BJELKE 2 OG 4	97
FIGUR 113: LAST-/FORSKYVNINGSDIAGRAM FOR ALLE BJELKENE	98
FIGUR 114: BJELKE 1A OG 1B	100
FIGUR 115: BJELKE 3B	100
FIGUR 116: BJELKE 2B	100
FIGUR 117: BJELKE 4B	100
FIGUR 118: TØYNINGER I TVERRARMERING	101
FIGUR 119: SAMMENLIGNING AV BRUDDLAST, RANGERT ETTER TRYKKFASTHET	104
FIGUR 120: SAMMENLIGNING AV TRYKKFASTHET, RANGERT ETTER TRYKKFASTHET	106
FIGUR 121: NEDBØYNING PÅ MIDTEN, BJELKE 1A (FRA TEST OG BEREGNING)	108
FIGUR 122: NEDBØYNING PÅ MIDTEN, BJELKE 1B (FRA TEST OG BEREGNING)	108
FIGUR 123: NEDBØYNING PÅ MIDTEN, BJELKE 2A (FRA TEST OG BEREGNING)	109
FIGUR 124: NEDBØYNING PÅ MIDTEN, BJELKE 2B (FRA TEST OG BEREGNING)	109
FIGUR 125: BRUDDTØYNINGER	110
FIGUR 126: ARMERINGSTØYNINGER I TOPP AV BJELKE 1A	112
FIGUR 127: ARMERINGSTØYNINGER I BUNN AV BJELKE 1A	112
FIGUR 128: BETONGTØYNINGER I TOPP AV BJELKE 1A	113
FIGUR 129: BETONGTØYNINGER I BUNN AV BJELKE 1A	113

Tabelliste

TABELL 1: OMREGNINGSFAKTORER.....	21
TABELL 2: BETONGENS DELMATERIALER.....	25
TABELL 3: BJELKENES YTRE MÅL	28
TABELL 4: ARMERINGSDIMENSJONER	29
TABELL 5: OVERSIKT OVER FORSKJELLER I BJELKENES ARMERING	31
TABELL 6: DIMENSJONER PÅ TESTSTYKKER.....	43
TABELL 7: SIKKERHETSFAKTORER FRA EUROKODE 2.....	47
TABELL 8: FORMLER FOR DIMENSJONERENDE FASTHET	47
TABELL 9: EC2[11.1.2] SPESIELLE SYMBOLER	48
TABELL 10: MODULFORHOLD MELLOM STÅLETS OG BETONGENS E-MODUL	48
TABELL 11: TABELL 3.1 OG TABELL 11.3.1 I EC2.....	49
TABELL 12: BJELKENES YTRE DIMENSJONER	49
TABELL 13: ARMERING OG BJELKENES INDRE DIMENSJONER	50
TABELL 14: FAKTORER SOM DEFINERER EFFEKTIV HØYDE PÅ TRYKKSONEN OG EFFEKTIV FASTHET	51
TABELL 15: FORMELER FOR BALANSERT ARMERINGSMENGDE	52
TABELL 16: FORMLER TIL AKSIALLIKEVEKTEN.....	53
TABELL 17: ARMERINGSTØYNINGER	53
TABELL 18: AKSIALKREFTER I FORMELEN FOR AKSIALLIKEVEKT OG TRYKKSONEHØYDEN	53
TABELL 19: MOMENTKAPASITET	54
TABELL 20: FORMLER FOR OPPLGGSLAST.....	55
TABELL 21: FORMLER FOR SKJÆRKAPASITET	55
TABELL 22: VARIABLER FOR NEDBØYNING	57
TABELL 23: VARIABLER FOR NEDBØYNING	57
TABELL 24: FORMLER FOR NEDBØYNING INNFYLT FOR A, X OGL	57
TABELL 25: FORMLER FOR TRYKKSONEHØYDE OG BØYESTIVHET	58
TABELL 26: AKSIALLIKEVEKT	60
TABELL 27: NAVIER-/BERNOULLIS HYPOTESE	60
TABELL 28: AKSIALLIKEVEKT INNSATT VERDIER OG TRYKKSONEHØYDE	60
TABELL 29: FORMLER FOR BØYESTIVHET	60
TABELL 30: RISSMOMENT OG RISSLAST	61
TABELL 31: ARMERINGSTØYNINGER	61
TABELL 32: BETONGTØYNINGER	62
TABELL 33: HOVEDRESULTATER FRA TEST	63

TABELL 34: KORREKSJON AV LASTTRINN	64
TABELL 35: OVERSIKT OVER FORSKJELLER I BJELKENES ARMERING	64
TABELL 36: BRUDDLASTER.....	64
TABELL 37: TRYKKFASTHET OG E-MODUL	86
TABELL 38: ARMERINGENS FLYTGRENSE	88
TABELL 39: ARMERINGSJERNENES E-MODUL.....	90
TABELL 40: OVERSIKT OVER FORSKJELLER I BJELKENES ARMERING	91
TABELL 41: BRUDDLASTER.....	91
TABELL 42: LASTKAPASITET ETTER BRUDD, BJELKENE 1	92
TABELL 43: LASTKAPASITET ETTER BRUDD, BJELKENE 2	92
TABELL 44: LASTKAPASITET ETTER BRUDD, BJELKENE 3	92
TABELL 45: LASTKAPASITET ETTER BRUDD, BJELKENE 4	92
TABELL 46: SAMMENLIGNING AV BRUDDLASTER.....	102
TABELL 47: TRYKKFASTHET	102
TABELL 48: TRYKKFASTHET MED OG UTEN A_{cc}	103
TABELL 49: AVVIK MELLOM BRUDDLAST MED A_{cc} OG OPPTREDENDE.....	103
TABELL 50: DENSITET OG EGENVEKT TIL BJELKENE	105
TABELL 51: BRUDDLAST MED OG UTEN EGENVEKT	105
TABELL 52: BRUDDLAST MED OG UTEN DENSITET	105
TABELL 53: AVVIK I BEREGNET OG TILPASSET TRYKKFASTHET.....	106
TABELL 54: SAMMENLIGNING AV BEREGNEDE OG OPPTREDENDE NEDBØYNINGER VED BRUDD	107
TABELL 55: BEREGNEDE OG OPPTREDENDE BETONGTØYNINGER I TRYKK VED BRUDD.....	111
TABELL 56: TRYKKSONEHØYDER UT IFRA BETONG- OG ARMERINGSTØYNINGER	114
TABELL 57: SAMMENLIGNING AV BEREGNET OG OPPTREDENDE TRYKKSONEHØYDER.....	114
TABELL 58: SAMMENLIGNING AV BRUDDLASTER.....	114

1. Innledning

Betong er et svært mye anvendt byggemateriale i verden i dag, men bruken blir begrenset på grunn av betongens høye egenvekt. Lettbetong er derfor et godt alternativ til normalbetong.

En naturlig konsekvens når man gjør betong lettere er at den blir mer porøs og får en sprøere oppførsel ved brudd. Lettbetongens sprø bruddoppførsel er ugunstig når betongen blir benyttet i konstruksjoner og man ønsker derfor en mer duktil lettbetong. Duktilitet betyr formbarhet eller evnen til å bli plastisk deformert. I en vanlig lettbetongkonstruksjon skjer et eventuelt brudd raskt og konstruksjonen kan kollapse uten forvarsel. Med en duktil lettbetong vil derimot bruddet være seigt og tregt og man rekker å evakuere.

For at lettbetong skal bli brukt i større grad enn i dag er det derfor av interesse å finne løsninger som kan gi lettbetong økt duktilitet.

Tema i denne masteroppgaven er å studere duktiliteten av lettbetongbjelker og effekten av ulike tiltak som kan gi lettbetong økt duktilitet. Hvilken påvirkning har tverrarmoring i midtsonen og fiberarmert betong på trykkbruddet? Kan bruk av begge tiltakene samtidig gi bedre resultat?

Utførelsen av dette prosjektet er delt. Den ene delen består av et laboratoriearbeid hvor bjelkene ble produsert og testet. Den andre delen av prosjektet består av beregninger og et litteraturstudium, samt en analyse av resultatene. For masteroppgavens oppbygging se figur 1.



Figur 1: Leserveiledning

2. Litteraturstudium

2.1. COIN

”I Norge ble det fra 1975 til 1995 bygd en rekke gigantiske oljeplattformer i betong – byggverk verden aldri tidligere hadde sett maken til. [...]. Men på 2000-tallet har det i miljøet bredt seg en følelse av at bevilgende myndigheter mente det ikke var mer å ta tak i. Fortsatt står imidlertid utgifter knyttet til betongarbeid for mer enn ti prosent av byggenæringens årlige omsetning på 350 milliarder kroner, og i fjor ble det støpt mer enn 3.5 millioner m³ (8 millioner tonn) betong i Norge. Når beløpene og mengdene er så store, har selv små forbedringer i produksjonsprosesser og produkt et stort økonomisk potensial. ” (SINTEF, 2008)

Concrete Innovation Centre (COIN) er et samarbeidsprosjekt mellom NTNU og SINTEF og har i følge SINTEFs nettsider mål om å bli ledende innen betongforskning i Europa. I forskningen blir blant annet materialeegenskaper, konstruksjonsteknikker, designkonsepter og miljøvennlig produksjon vektlagt. Fiberarmering i forhold til tradisjonell stangarmering og økt duktilitet av lettbetong er blant fokusområdene. COIN vil også bidra til å skape attraktive betongbygninger, med tanke på miljøeffektivitet, med betong som energisparer.

The Primary Goal

We want to fulfil our vision by bringing the development a major leap forward by more fundamental understanding of the mechanisms in order to develop:

- Advanced materials
- Efficient construction techniques
- New design concepts
- More environmentally friendly material production

(COIN, 2011)

2.2. Lettbetong

Lettbetong er betong med lav egenvekt på grunn av lav densitet. Den lave densiteten kommer av økt porøsitet som gir gode varmeisolerende egenskaper, men lav trykkfasthet. Lettbetong blir derfor hovedsakelig brukt i konstruksjoner hvor man ønsker lavere egenvekt eller økt isolasjonsevne i forhold til normalbetong.

2.2.1. Historie

Lettbetong har ikke vært blant de mest brukte byggematerialene i historien, men mennesker har lenge forstått at lav egenvekt er gunstig når man skal bygge stort og høyt. Som man kan lese i Per Jahrens bok ”Betong – historie og historier” brukte romerne en form for lettbetong i flere konstruksjoner. *”Mest kjent er antagelig Pantheonet i Roma. Her ble det porerike vulkanske tilslaget sortert etter vekt, og betongens egenvekt ble redusert etter som høyden på kuppelen øket.”* (Jahren, 2011, p. 270)

Bruken av lettbetong ble mer utbredt tidlig på 1900-tallet da man klarte å fremstille lette aggregat kunstig. I den forbindelse blir Stephen J. Hayde trukket frem som den ”moderne lettbetongens far” i Jahrens bok. *”Hayde var oppfinnsom og startet å benytte avfallet fra teglproduksjon til betongtilslag etter å ha knust det til akseptabel størrelse”* (Jahren, 2011, p. 270). Han fant ut at tegltilslaget fikk bedre egenskaper når han benyttet en roterovn i produksjonen.

2.2.2. Nå og fremtiden

I dag er det flere måter enn tidligere å fremstille lettbetong på og det blir benyttet mange forskjellige typer lette aggregat (se avnitt 1.2.3). Et mye brukt aggregat er ekspandert leire og dette blir fremdeles fremstilt ved å brenne leire i roterovn.

Til tross for mange nye teknikker er fortsatt ikke bruken av lettbetong veldig utbredt og grunnen er blant annet den lave trykkfastheten. Det blir derfor gjort forsøk for å finne ut hvilke tiltak som kan forbedre lettbetongens egenskaper, blant annet gjennom forskningsprosjekter som COIN (se avsnitt 2.1). Dermed kan lettbetong bli mer attraktivt som byggemateriale i fremtiden.

I årets (2012) første utgave av GEMINI kan man lese om en ny type lettbetong. Her ble Tor Arne Hammer, senterleder for COIN ved SINTEF, intervjuet om et nytt lettbetongtilslag som er utviklet og testet ved NTNU/SINTEF. Hammer forteller at *”dette nye tilslaget er dobbelt så sterkt som vanlige lecakuler[...] Resultatet har blitt en betong som er minst fem ganger sterkere enn en lecablokk, men har samme vekt.”* (Benjaminsen, 2012)

2.2.3. Typer lettbetong

- **Siporex** – Denne typen lettbetong blir fremstilt ved å nedmale kvarts og sand og å tilsette aluminiumspulver i sementen som derved øker porevolumet i mørtelen. Siporex brukes til isoblokker, plater og armerte gulv-, tak-, og veggelementer (Norcem A.S, 1989, p. 66).
- **Skumbetong** – Her blir finfordelte luftbobler blandet inn i betongen ved at et tensidbasert skummiddel blir tilsatt finsatsen. Skumbetong blir brukt til å fylle igjen i rørgrøfter, isolering under gulv på grunn, avrettingsmasse og påstøp (Norcem A.S, 1989, p. 66).
- **Betong med letttilslag** – Betong kan også bli lettere ved å benytte et lett tilslag. Letttilslag kan være naturlig, som for eksempel pimpstein (vulkansk) og skall fra frukten hos oljepalmer (organisk). Tilslaget kan også fremstilles kunstig. Eksempel på kunstig fremstilte tilslag er ekspandert leire, glass og slagg (Chandra & Berntsson, 2003). Betong med letttilslag kan blant annet bli brukt i blokker, plater og elementer (Norcem A.S, 1989, p. 66).

2.2.4. Lettbetong vs normalbetong

”Vanlig betong har en densitet fra 2300-2500kg/m³. Lettbetong kan lages med densitet varierende fra ca. 300-1800kg/m³, og blir brukt hvor en ønsker en lettere betong for derved å få bedre isolasjon, eller minsket belastning på konstruksjonen.” (Norcem A.S, 1989, p. 65).

Bruddform:

Brudd i lettbetong er annerledes enn i normal betong. I normal betong forekommer som regel bruddet rundt tilslaget, men i lettbetong går ofte bruddet gjennom tilslaget. Grunnen til at bruddet går gjennom tilslaget er at pastaen stort sett er like sterk eller sterkere enn aggregatet.

Styrken til lettbetong avhenger derfor av volumfraksjonen av letttilslaget (Mindess, et al., 2003, p. 550).

v/c-tall:

For å oppnå en høy styrke i betong må v/c-tallet være lavt. For lettbetong er det vanskelig å beregne det eksakte v/c-tallet til pastaen på grunn av den høye absorpsjonen til de fleste lettaggreat. For at lettbetong skal ha samme styrke som normalbetong er det derfor generelt et større behov for et høyere innhold av sement og mineraltilsetningsstoffer. De fysikalske karakteristikkene til lettbetong gjør at det ofte er behov for mer pasta for å oppnå god bearbeidelighet. (Mindess, et al., 2003, p. 550)

E-modul:

Lettbetongens E-modul er omtrent 1/3 til 2/3 av E-modulen til normalbetong (Lettbetong: E-modul ca 10-17GPa). Lettbetong har lavere E-modul på grunn av den høye porøsiteten. Den lave E-modulen til lettbetong-aggregatene gir også lavere motstand mot tidsavhengige deformasjoner som kryp og svinn. Kryp- og svinntøyningene i lettbetong er som regel større enn for normalbetong, selv om det også kan være store variasjoner i kryp og svinn for betonger med samme densitet. (Mindess, et al., 2003, p. 551)

Temperatur:

Koeffisienten for temperaturutvidelse er stort sett den samme for lettbetong som for vanlig betong. Den termiske konduktiviteten er derimot betydelig lavere for lettbetong på grunn av den store luftmengden. Den lave termiske konduktiviteten betyr at lettbetong generelt er mer motstandsdyktig mot brann enn normalbetong. (Mindess, et al., 2003, p. 551)

2.2.5. Regneregler og Eurokode

I Eurokode 2 "Prosjektering av betongkonstruksjoner" Del 1-1 er det et eget kapittel for lettbetongdimensjonering, kapittel 11 "Konstruksjoner av betong med lett tilslag". Dette kapitlet tar for seg hvilke endringer man må gjøre ved dimensjonering av betong med lett tilslag i forhold til å dimensjonere betong med vanlig tilslag. Kapitlet gjelder altså ikke for alle typer lettbetong, men bare for betonger med letttilslag.

Omfanget av kapittel 11 står beskrevet i delkapittel 11.1.1. Her står det blant annet at *”alle punkter i kapittel 1 til 10 og 12 er gyldige med mindre de erstattes av de spesielle reglene som gis i dette kapittelet.”* Det er også presisert at reglene ikke gjelder for noen form for porebetong eller lettbetonger med åpen struktur. *”Betong med lett tilslag er betong med lukket struktur og en densitet som ikke er større enn 2200kg/m³, og som består av eller inneholder en andel av kunstige eller naturlige lette tilslag med en partikkeldensitet mindre enn 2000kg/m³.”* (Standard Norge, 2008, p. 182)

Den viktigste forskjellen på lettbetong og normalbetong i EC2 er faktorene η_1 og η_E , som avhenger av betongens densitet, se tabell 1. η_1 er en faktor for å bestemme strekkfastheten til lettbetong og η_E er en faktor for å finne E-modulen, E_{lcm} , til lettbetong.

Tabell 1: Omregningsfaktorer

$\eta_1 = 0,4 + 0,6 \frac{\rho}{2200}$
$\eta_E = \left(\frac{\rho}{2200}\right)^2$

2.3. Fiberarmering

Fiberarmering er i de fleste tilfeller en tilleggsarmering til vanlig stangarmering, men blir også benyttet separat. Fiberarmering forekommer i forskjellige materialer og dimensjoner. Fiberne bidrar til å begrense rissutvikling og kan øke bæreevnen til sprø materialer.

2.3.1. Historie

Bruken av korte fiber i matriksen, for å forbedre fysikalske egenskaper, er et eldgammelt konsept i følge boken *”Fiberreinforced Cement Composites”* av Balaguru og Shah. For eksempel har det i tusener av år blitt brukt fiber laget av strå og hestehår for å forbedre mursteiners egenskaper. Den moderne bruken av fiberarmering startet tidlig på 1960-tallet og stålfiberne som ble benyttet var helt rette. Det største problemet den gangen var vanskeligheter ved miksing og støping av betongen. Fiberne hadde en tendens til å klumpe seg under miksing, spesielt ved høye volumfraksjoner av fiberarmering og ved bruk av lange

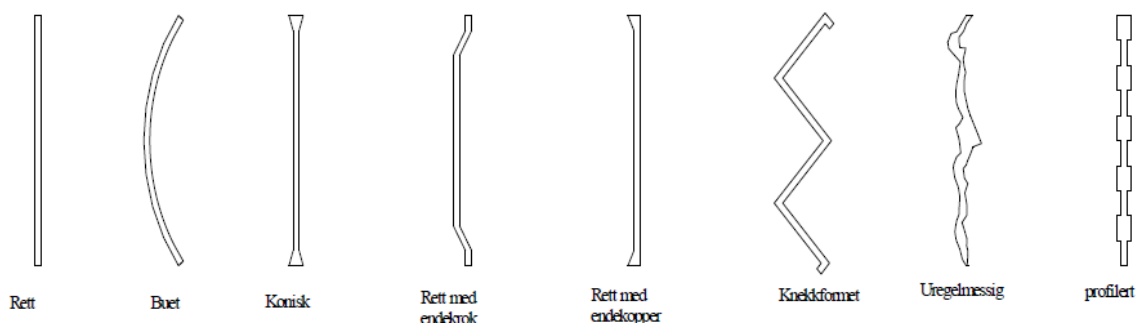
fiber. For å legge til rette for bruk av fiber og samtidig unngå at fiberne klumpet seg var det vanlig å begrense bruken av det grove tilslaget. I tillegg ble mørtelfraksjonen i betongen økt.

Senere ble det også forsket på formen til fiberne: *”Innføringen av formede fiber og svært bra fungerende vannreducerende tilsetningsstoff ga et stort løft innen bruken av fiberarmert betong. [...] fiber med krokete ender kan bli brukt med en langt lavere volumfraksjon enn rette stålfiber, og gi samme resultater for duktilitet og seighet.”* (Balaguru & Shah, 1992, p. 4)

2.3.2. Nå og fremtiden

Da dagens form for fiberarmert betong først ble tatt i bruk ble den hovedsakelig anvendt til fortauer og industrigulv. I dag har fiberarmering et langt større bruksområdet. Som man kan lese i COINs ”Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner” er fiberarmert betong aktuelt for både fundamenter, vegger, skiver, skall, flatdekker (frittstående og på grunn), rør, kulverter, bjelker og dekker. Likevel er fiberarmert betong mest brukt i gulv, plater på mark og sprøytebetong til fjellsikring.

Fremdeles benytter man formede stålfiber for å oppnå bedre heft med betongen. I dag eksisterer det stålfiber med flere ulike former (se figur 2).



Figur 2: Noen vanlig fiberformer

Kilde: (Kanstad, 2011)

Fiberarmert betong er også et av fokusområdene til COIN, på samme måte som lettbetong. COIN utfører forsøk og analyser rundt temaet, alene og i kombinasjon med vanlig armering,

for både tradisjonelle og utradisjonelle bruksområder. COINs forskning bidrar til at fiberarmert betong kan bli mer benyttet i fremtiden.

2.3.3. Typer fiberarmering

Basert på Mindess, Young og Darwins bok ”Concrete – Second Edition” s. 599-601:

- **Stålfiber** – Stålfiber blir produsert på flere måter, for eksempel ved utstøping av en smeltemasse, oppskjæring av plater eller kutting av wire. I de fleste tilfeller har stålfiber høy holdbarhet inne i betongen, men de fiberne som ligger i overflaten kan ruste. I spesielt utsatte miljø kan det derfor være gunstig å benytte rustfritt stål.
- **Glassfiber** – Vanlige glasstyper (borosilicate-glass og soda-lime-glass) er ikke egnet til bruk i betong, fordi betong har et høyt alkalisk miljø som vil bryte ned styrken til fiberne. Det har derfor blitt utviklet en spesiell type glass som er alkali-resistent. Disse fiberne blir hovedsakelig brukt i tynne betongkomponenter (for eksempel arkitektoniske paneler) og blir produsert ved at smeltet glass blir dratt gjennom en slags varm sil av platinum.
- **Syntetiske fiber** – De fleste syntetiske fibertypene har lavere elastisitetsmoduler enn betong, men har likevel blitt mer vanlig i bruk. Polypropylen er det mest brukte syntetiske materialet. Karbon- og aramidfiber er blant de syntetiske fiberne med de beste egenskapene, men bruken er blitt svært begrenset på grunn av høye kostnader.
- **Naturlige organiske fiber** – De fleste organiske fiberne har lave elastisitetsmoduler og blir ofte svekket i fuktige eller alkaliske miljø, med mindre de blir spesielt behandlet med tanke på dette. Organiske fiber har hovedsakelig blitt brukt ved bygging av rimelige boliger i utviklingsland. For eksempel har kokosfiber og fiber fra sukkerrør blitt brukt til dette. Cellulosefiber er et unntak og har mye bedre egenskaper enn de andre naturlige organiske fiberne. Denne typen fiber har derfor blitt mye brukt som erstatning for asbestfiber, men også cellulosefiber må behandles før bruk.
- **Asbestfiber** – Asbestfiber forekommer naturlig og har blitt brukt sammen med sement og vann helt siden starten av 1900-tallet. Asbestbetongen er svært slitesterk og ble mye brukt, men da de store helserisikoene forbundet med produksjon og håndtering av asbest ble oppdaget på 80-tallet ble de fleste byggematerialer med asbest byttet ut.

2.3.1. Fiberarmering og tradisjonell stangarmering.

”[...]Fiberarmert betong kan bli definert som en betong med relativt korte, enkle, diskontinuerlige fibre. Fiberne er vanligvis ikke tilsatt for å øke betongens styrke, selv om små økninger kan forekomme. I stedet er den viktigste rollen til fiberne å kontrollere utviklingen av riss i betongen og deretter å endre oppførselen til materialet etter betongmatriksen har risset. Ved å knytte over rissene etter hvert som de begynner å åpne seg gir fiberne betongen økt duktilitet etter opprissing.” (Mindess, et al., 2003, p. 599)

Fiberarmering er ingen erstatning for vanlig stangarmering. I de fleste tilfeller der fiberarmering blir anvendt er det i tillegg til vanlig armering. Når fiberarmering bli brukt alene er det som regel for å dekke andre behov. Man kan derfor ikke sette fiberarmering og stangarmering opp mot hverandre.

2.3.2. Regneregler og Eurokode

”Selv om fiber har vært brukt for rissbegrensning og til å øke bæreevnen i sprøe materialer som murverk og betong i lang tid, og omfattende forskning og materialutvikling har vært gjennomført, er det allikevel slik at regelverk og felles forståelse av hvordan fiber virker etter opprissing er en begrensning for praktisk bruk av materialet.” (Kanstad, 2011, p. 10)

Sitatet over viser at det er et stort behov for et felles regelverk for fiberarmert betong. Per i dag er det ingen regneregler for fiberarmert betong i Eurokode, men COIN har lagt frem et forslag til regelverk: ”Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner”. Forslaget skal være i samsvar med deler av flere internasjonale regelverk og tar for seg, som tittelen sier, både dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte konstruksjoner. Enkelte europeiske land har kommet frem til relativt komplette regelverk, men i følge forslaget til COIN er det likevel ikke hensiktsmessig å benytte disse direkte som regelverk for utførelse og kontroll i Norge.

2.4. *Betongens delmaterialer*

Betong er et byggemateriale sammensatt av flere delmaterialer. Avhengig av hvilke egenskaper man ønsker av fersk og/eller herdet betong blir mengden av delmaterialene tilpasset. Nedenfor følger en beskrivelse av bestanddelene i dette prosjektets betongresept, se tabell 2 (se vedlegg 1 for tabell med delmaterialmengder for hver blanding).

Tabell 2: Betongens delmaterialer

BETONGENS DELMATERIALER	
Bestanddeler	Prosjektets resept
Tilslag	Leca 2-4 mm
	Leca 800 4-8 mm
Sand	Norstone 0-8 mm
	Norstone 0-8 mm fillersand
Plastiserende stoff	Sika Visco Crete FB 2
Sement	Norcem Anlegg
Silika	Elkem Microsilica 920 D
(Fiberarmering)	Dramix 65/60 Stålfiber (1 %) (i bjelke 2A, 2B, 4A og 4B)
Vann	Vann

Sement:

En samlebetegnelse for de fleste typer sement som blir brukt i Norge i dag er portlandsement. Portlandsement blir produsert av en blanding av leire- og kalkholdige materialer. I motsetning til ren kalk er sement et hydraulisk bindemiddel, hvilket betyr at sement sammen med vann starter en kjemisk reaksjon som gir et fast reaksjonsprodukt. v/c-tallet er vektforholdet mellom effektivt vanninnhold og sement og sier noe om betongens fasthet og tetthet (Gjerp, et al., 2005).

Plastiserende tilsetningsstoff:

Plastiserende og superplastiserende tilsetningsstoffer (P/SP) har en vannreducerende effekt på betong og løser i tillegg opp klumper av finstoff og fordeler det i massen. P/SP-stoffene har

også en retarderende virkning på betongen, men denne bieffekten blir kraftig redusert ved bruk sammen med silikastøv (Gjerp, et al., 2005).

Silikastøv:

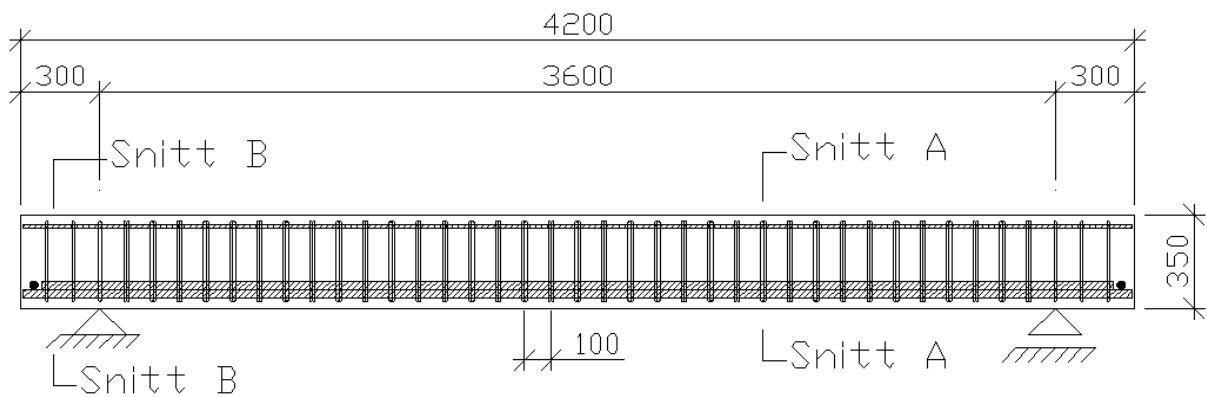
Silikastøv inngår i kjemiske forbindelser i betongen under visse forhold, men har ikke hydrauliske egenskaper i seg selv. Materialer med denne egenskapen blir kalt pozzolaner. Silikastøv blir filtrert ut fra røykgassene ved produksjon av silisium og ferrosilisium. En fersk betong vil bli seigere og stivere med silikastøv fordi silikastøv binder store mengder vann. Betongen henger dermed bedre sammen og vil kreve mer energi for å bli godt utstøpt. For å få full effekt av silikastøv skal det alltid bli brukt sammen med P/SP-stoff. (Gjerp, et al., 2005)

3. Utforming og dimensjoner

Alle bjelkene i prosjektet skal være identiske med tanke på armering og dimensjoner. De skal også overarmeres slik at betongen går til brudd før stålet når flytning. To av bjelkene skulle i tillegg til normalarmering ha fiberarmering.

Betongblandemaskinen har begrensninger for hvor mye betong som kan bli blandet i hver omgang. I tillegg til å støpe bjelkene skal det også bli støpt sylindere, for å teste E-modul og trykkfasthet, og små bjelker, for å teste bøyestrekfasthet. Dette fører til at volumet til hver bjelke ikke kan overskride 650 liter.

Bjelkens dimensjoner var i utgangspunktet 400 x 400 x 4000 mm, med lengdearmering i bunn på $\varnothing 25$, forankring på 200mm og overdekning på 35 mm. For å tilfredsstille kravet om et overarmert tverrsnitt ble lengdearmeringen i bunn økt til $\varnothing 32$. Dette gjorde at forankringslengden ble økt fra 200 mm til 300 mm. I tillegg ble overdekningen redusert fra 35 mm til 25 mm for å få plass til jernene. Videre ble tverrsnittshøyden redusert fra 400 mm til 350 mm. Reduksjonen av tverrsnittshøyden sikret et overarmert tverrsnitt, samt at trykksonehøyden ble økt i forhold til tverrsnittshøyden. Bjelkenes lengder ble økt til 4200 mm på grunn av den økte forankringslengden. Bjelkene som ble dimensjonert fikk derfor volum $350 \times 400 \times 4200 \text{ mm} = 588 \text{ liter}$, se figur 3 og tabell 3.



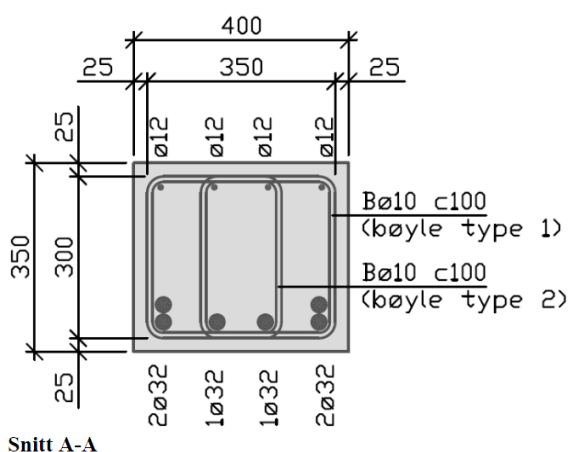
Figur 3: Bjelkenes dimensjoner

Kilde: Tore Myrland Jensen

Tabell 3: Bjelkenes ytre mål

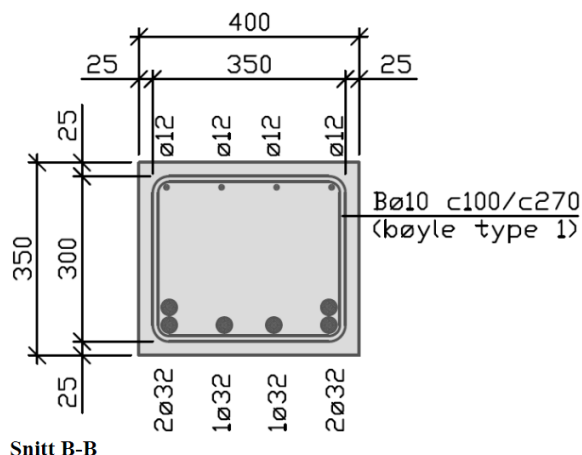
Bjelkedimensjoner		
Høyde	350	mm
Bredde	400	mm
Lengde mellom opplegg	3600	mm
Oppleggsbredde	300	mm
Total lengde	4200	mm

Bjelkene ble dimensjonert med seks $\varnothing 32$ -jern som strekkarmering i bunn av bjelkene, som vist på figur 4 og 5. De to øverste jernene i strekkarmeringen ble kortere slik at det var mulig å sveise på en tverrstang. Trykkarmeringen besto av fire $\varnothing 12$ -jern. For å sikre tilstrekkelig skjærkraftkapasitet ble det valgt 41 $\varnothing 10$ bøyler langs hver bjelke. 35 av disse bestod av indre bøyler i tillegg til de ytre bøylerne, se figur 4 til 7. Se tabell 4 for armeringsdimensjoner.



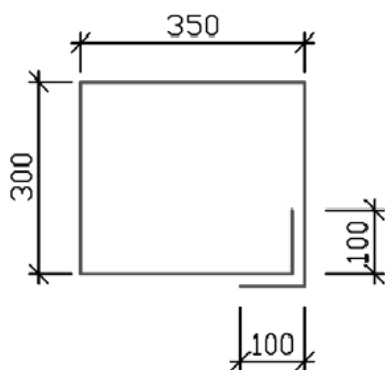
Figur 4: Armering, snitt A-A fra figur 3

Kilde: Tore Myrland Jensen



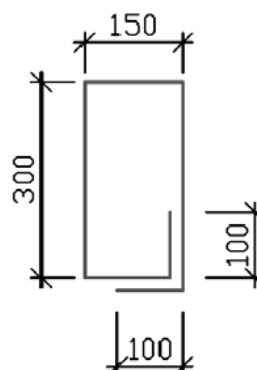
Figur 5: Armering, snitt B-B fra figur 3

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 6: Tverrarmering, ytte bøyle

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 7: Tverrarmering indre bøyle

Kilde: Tore Myrland Jensen

Tabell 4: Armeringsdimensjoner

Armeringsdimensjoner		
Diameter strekkarmering og tverrarmering	32	mm
Diameter trykkarmering	12	mm
Diameter tverrarmeringsbøyle	10	mm
Diameter tverrstang	32	mm
Lengde nederste strekkarmering og trykkarmering	4170	mm
Lengde øverste strekkarmering	4040	mm
Lengde trykkarmering	4170	mm
Lengde tverrarmeringen	380	mm
Overdekning	25	mm

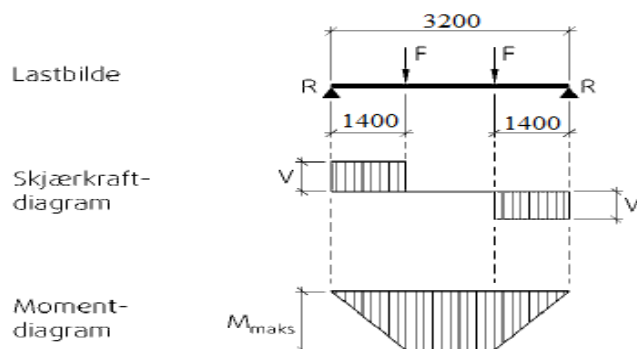
EC2 gir i dette tilfellet et minstekrav til forankringslengde på 320 mm. Forankringslenden på 300 mm strider dermed i mot kravene i EC2 og det ble derfor sveist inn tverrstenger i endene på $\varnothing 32$ -jernene for å gi bedre forankring.

Minstekravet i EC2 for overdekning er 42 mm og friavstand mellom armeringsjernene bør ikke være mindre enn 64 mm. Der det var både indre og ytre bøyer ble friavstanden mellom armeringen 57 mm og overdekningen ble 25 mm. Selv om disse målene var i strid med EC2 kunne de likevel anses som tilfredsstillende med tanke på intensjonen med bjelkeforsøkene.

I vedlegg 2 er det gjort foreløpige beregninger med de forventede verdiene.

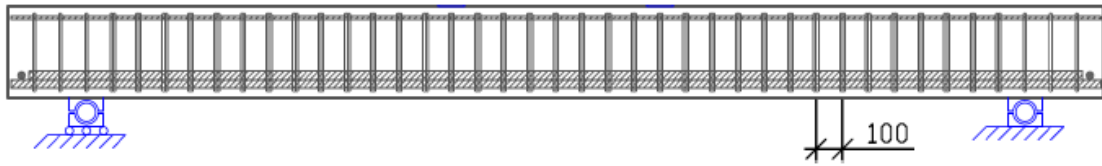
Dette prosjektet er en del av et større forskningsprosjekt med i alt åtte bjelker. De fire bjelkene i den andre oppgaven hadde samme dimensjoner og armering som bjelkene i denne oppgaven, men de hadde ikke tverrarmering i midtsonen, se figur 9 og 10 på neste side. To av disse bjelkene skulle også ha fiberarmering.

Hver bjelke ble testet med to punktlaster, hver med en avstand 400 mm fra midten. Et statisk bestemt system som dette vil gi konstant moment i midtsonen og dermed ikke skjærkrefter i dette området, se figur 8. Det var derfor ikke beregningsmessig behov for tverrarmering i midtsonen. Likevel ble fire av de åtte bjelkene laget med tverrarmering i midtsonen for å undersøke om bøyene kunne ha en eventuell omsnøringseffekt.



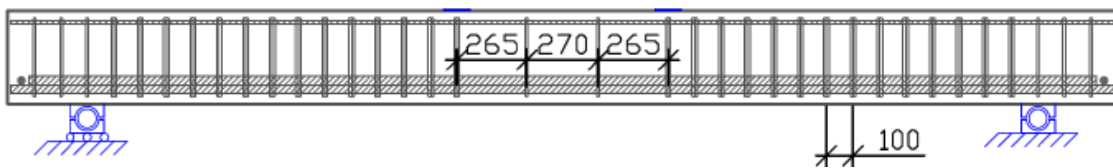
Figur 8: Bjelkenes lastbilde, skjær- og momentdiagram

Kilde: Byggforsk



Figur 9: Armering, bjelke 1A, 1B, 2A og 2B

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 10: Armering, bjelke 3A, 3B, 4A og 4B

Kilde: Tore Myrland Jensen

Bjolkene med tverrarmert i midtsonen ble kalt 1A, 1B, 2A og 2B, der bjolkene 2A og 2B hadde fiberarmert. Bjolkene uten tverrarmert i midtsonen ble kalt 3A, 3B, 4A og 4B, der bjolkene 4A og 4B hadde fiberarmert. Se tabell 5 under. Når bjolkene senere i oppgaven blir omtalt som bjolkene 1, 2, 3 og 4, menes det med "bjolkene 1" både bjelke 1A og 1B, da disse bjolkene skal være identiske med tanke på utforming. Det samme gjelder for bjolkene 2, 3 og 4.

Tabell 5: Oversikt over forskjeller i bjolkens armering

Bjelke	1 (1A og 1B)	2 (2A og 2B)	3 (3A og 3B)	4 (4A og 4B)
Tverrarmert i midtsonen	X	X		
Fiberarmert		X		X

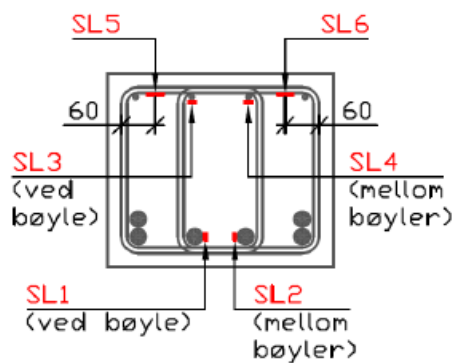
Selv om bjolkene 3 og 4 har to bøyer i midtsonen, se figur 10, ble det likevel valgt å omtale disse bjolkene som "bjolkene uten tverrarmert i midtsonen". De to tverrarmertingsbøylene er der for å måle tøyningene i tverretningen til bjolkene.

4. Laboratoriet

4.1. Armeringsbinding

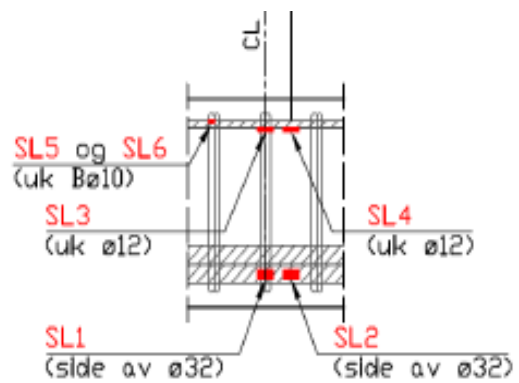
4.1.1. Forberedelser

For å måle armeringstøyninger under bjelkeprøvingene ble det montert strekkklapper på noen av armeringsjernene. Strekkklappene ble plassert som vist på figur 11 og 12. For å få plass til strekkklappene på armeringsjernene ble det slipt vekk noen armeringskammer, dette ble gjort med en grov slipemaskin, se figur 13 til 15. Området ble også finslipt og rensset med aceton slik at strekkklappene ble limt på jevne og fine flater, se figur 16 til 18.



Figur 11: Strekkklappenes plassering

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 12: Strekkklappenes plassering

(utsnitt av oppriss)

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 13: Armeringen blir grovslipt

Foto: Lisa Bakken



Figur 14: Slipt område

Foto: Lisa Bakken



Figur 15: Armeringen blir finslipt

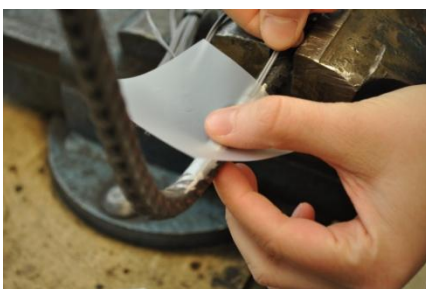
Foto: Lisa Bakken

For å hindre kontakt mellom armeringsjernet og den ubeskyttede strekklappledningen, ble det lagt en tapebit mellom ledningen og armeringsjernet. Ledningen ble også tapet fast i en sving som bøffer i tilfelle rykk i ledningen og strekklappene ble dekket med en vanntett isolasjonstape som skulle beskytte mot den ferske betongen.



Figur 16: Lim på strekklapp

Foto: Lisa Bakken



Figur 17: Strekklapp festes

Foto Lisa Bakken



Figur 18: Strekklappen er plassert

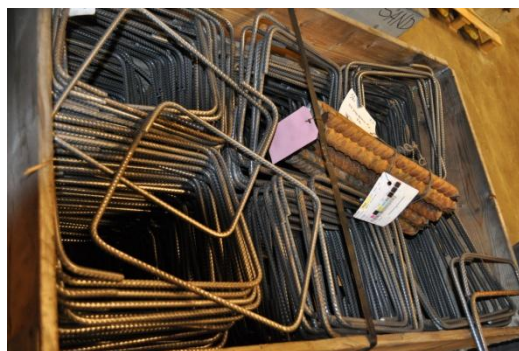
Foto: Lisa Bakken

Tverrarmeringen ble bestilt ferdig bøyd for å spare tid, se figur 20. For å sikre en mest mulig lik sammenbinding av de indre og ytre bøyene ble det brukt en mal, som vist på figur 19.



**Figur 19: Binding av bøyler til
tverrarmering**

Foto: Lisa Bakken



**Figur 20: Ferdig bøyd
tverrarmeringsbøyler**

Foto: Lisa Bakken

4.1.2. Utførelse

Bøylene ble tredd inn på to av $\varnothing 32$ -jernene og festet. Deretter ble de fire $\varnothing 12$ -jernene, som skulle være i trykksonen og de fire resterende $\varnothing 32$ -jernene i strekksonen, tredd inn og festet. For å hindre forskyvninger i armeringsskjelettet ble de ytterste armeringsstengene festet til

alle bøyene, se figur 21 til 23. Lengdearmeringen som lå inne i skjelettet ble festet til hver tredje bøy. Til slutt ble tverrstengene sveiset på de lengste $\varnothing 32$ -jernene, se figur 24 til 26.



Figur 21: Binding av armering

Foto: Lisa Bakken



Figur 22: Kontroll

Foto: Lisa Bakken



Figur 23: Ferdigstillelse av armering

armering

Foto: Lisa Bakken



Figur 24: Ferdig armering uten tverrstang

Foto: Lisa Bakken



Figur 25: Tverrstang blir sveist på armeringen

Foto: Lisa Bakken



Figur 26: Tverrstang er sveist på armeringen

Foto: Lisa Bakken

4.2. Støp

4.2.1. Forberedelser



Figur 27:

Forskalingen

Foto: Lisa Bakken



Figur 28:

Avstandsklosser blir festet til armeringen

Foto: Lisa Bakken

For å sikre riktig overdekning ble det festet avstandsklosser under og på sidene av armeringen. Deretter ble forskalingen oljet, før armeringen ble plassert i forskalingen, se figur 27 og 28. For å kontrollere at strekkledningene fungerte som de skulle ble det brukt et voltmeter til å måle motstanden. Strekkklappledningene ble merket med riktig nummer, festet langs armeringen og trukket samlet ut. Til slutt ble det gjort mål av de faktiske avstandene mellom formen og strekkledningene (se figurer med redigerte avstander i vedlegg 3).

Betongresepten ble utarbeidet av SINTEF. Resepten ble utformet på grunnlag av tester av fersk betong, beregninger og prøveblandinger, se figur 29. Vanninnholdet ble justert ut ifra det absorberte vannet i sanden og lecaen, hvilket gjorde at vanninnholdet varierte for hver betongblanding. Bestanddelene ble deretter veid opp og lagt over i egne beholdere, se figur 30, klart for å bli tømmt i betongblanderen (Se vedlegg 4 for betongresepten).



Figur 29:

Prøveblanding av betongen

Foto: Lisa Bakken



Figur 30:

Betongtilslaget blir veid opp

Foto: Lisa Bakken

4.2.2. Utførelse

Blandeprosessen startet med at sand, sement og silika ble tømt i blandemaskinen, se figur 31. Deretter ble leca tilsatt og blandingen ble tørrblandet i noen minutter før vannet ble tilsatt. Det superplastiserende stoffet ble tilsatt gradvis under våtblandingen av betongen, se figur 32. Det beregnede innholdet av plastiserende stoff ble fortløpende justert ut ifra den ferske betongens konsistens. I betongblandningene som skulle inneholde fiberarmering ble fiberne tilsatt mot slutten av blandeprosessen, mellom doseringen av det plastiserende stoffet, se figur 33.



Figur 31: Tilslag blir tømt i betongblanderen

Foto: Lisa Bakken



Figur 32: Plastiserende stoff blir tilsatt betongblandingen

Foto: Lisa Bakken



Figur 33: Fiberarmering blir tilsatt betongblandingen

Foto: Lisa Bakken

Støpeprosessen ble forskjellig for blandingene med og uten fiberarmering. For blandingene uten fiberarmering ble tobben heist opp i kranbanen for så å fordele betongen jevnt langs hele bjelkens lengde, se figur 34 til 36.



Figur 34: Betongen blir utstøpt med tobb

Foto: Lisa Bakken



Figur 35: Betong uten fiberarmering

Foto: Lisa Bakken



Figur 36: Betong uten fiber bearbeides

Foto: Lisa Bakken

For betongen med fiberarmering (se stålfiber i figur 40) ble det vanskeligere å benytte tobben i like stor grad som for betongen uten fiberarmering. For å kunne fordele betongen i jevne lag i forskalingen må åpningen til tobben være relativt liten. Med fiberbetong vil dette gi et "reir" av stålfiber ved tobbens åpning og bare finstoff vil komme igjennom. Derfor ble fiberbetongen sluppet fra tobben over i trillebårer og tippet over i forskalingen, se figur 37. Denne betongen fløt ikke like lett ut mellom armeringsstengene på grunn av fiberne og av den grunn ble fiberbetongen i større grad bearbeidet i forskalingen, se figur 38 og 39



Figur 37: Betongen blir utstøpt med trillebår

Foto: Lisa Bakken



Figur 38: Betong med fiberarmering

Foto: Lisa Bakken



Figur 39: Betong med fiber bearbeides

Foto: Lisa Bakken

Parallelt med støpingen av betongbjelkene ble det støpt ut prøvestykker til materialtestene. For hver bjelke ble det støpt ut seks sylindere for å teste trykkfasthet. I tillegg ble det for A-bjelkene støpt tre sylindere for å finne arbeidsdiagrammet og for B-bjelkene ble det støpt tre sylindere for å teste betongens E-modul. For bjelkene med fiberarmering ble det også støpt ut seks småbjelker for å teste bøyestrekfasthet.



Figur 40: Stålfiber

Foto: Lisa Bakken

4.2.3. Etterarbeid

Avforming av bjelkene ble gjort tidligst 24 timer etter at vannet ble tilsatt i den ferske betongen, se figur 41. Etter avforming ble bjelkene vannet, dekt av bløte striesekker og pakket inn i plast, se figur 42 og 43. Dette ble gjort for å sikre at overflaten på betongbjelkene ikke skulle tørke ut. En uttørking av betongen ville ført til svinntøyninger og riss kan oppstå. Ved å la bjelkene stå fuktig de første 28 dagene minsker man både uttørkningssvinn og autogent svinn. Til slutt ble forskalingen rengjort for betongrester og klargjort til neste bjelke.



Figur 41: Avforming av bjelker

Foto: Lisa Bakken



Figur 42: Betongbjelken blir vannet

Foto: Lisa Bakken



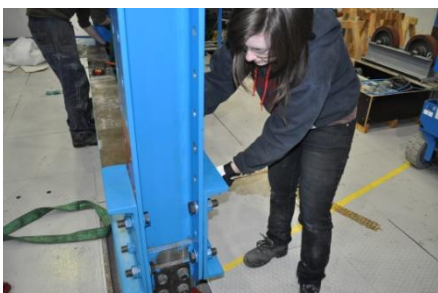
Figur 43: Fuktige striesekker blir plassert på bjelken

Foto: Lisa Bakken

4.3. Test av bjelker

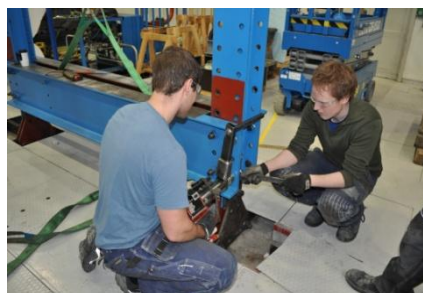
4.3.1. Forberedelser

Det ble satt opp en egen rigg tilpasset bjelkenes dimensjoner ut ifra jekkens plassering i NTNUs prøvehall, se figur 44 til 46. Opplager og fordelingsbjelke til forsøket eksisterte allerede i prøvehallen og ble brukt uten større tilpasninger.



Figur 44: Testriggeren blir montert

Foto: Lisa Bakken



Figur 45: Testriggeren blir montert

Foto: Lisa Bakken

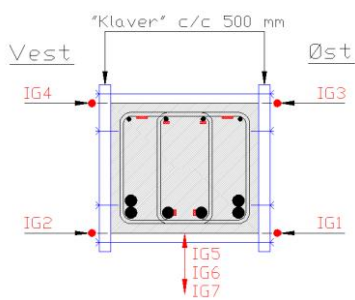


Figur 46: Testriggeren blir montert

Foto: Kristine Sagosen

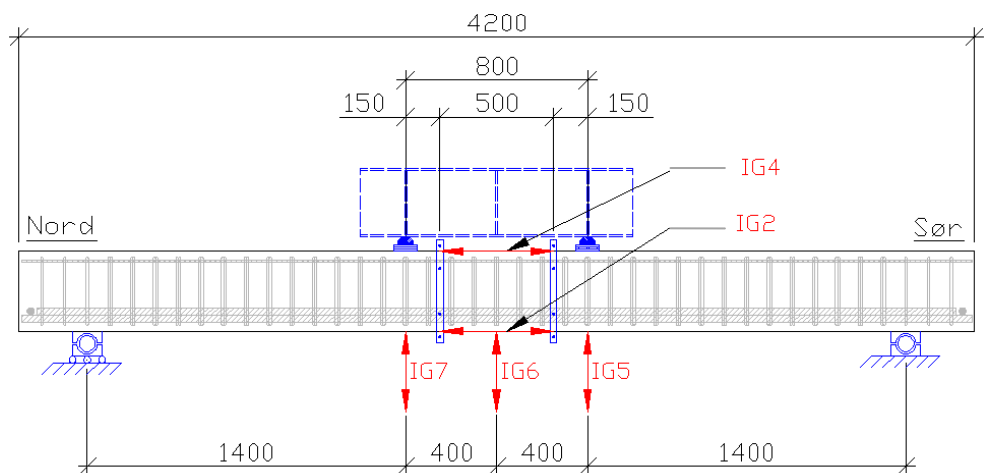
En til to dager før bjelkene ble testet ble de pakket ut av plasten og flyttet ut i prøvehallen. Betongbjelkene sto til tørk i ca. en dag før sideflatene ble malt hvite slik at det skulle bli lettere å oppdage rissdannelser under testene. I tillegg ble bjelkenes høyder og bredder kontrollert (se vedlegg 5).

Før testene ble bjelkene ble heist inn i riggen, sentrert under jekken og sentrert i forhold til opplagerne. Syv induktive givere ble montert. Tre av dem ble plassert under bjelkene for å måle forskyvninger i form av nedbøyning, se figur 48. De fire andre giverne ble plassert på klaver i topp og bunn av bjelkene, både på øst- og vestsiden, se figur 47. Klavene ble montert med en avstand på 500 mm og giverne skulle måle lengdeutvidelse i dette området, se figur 49.



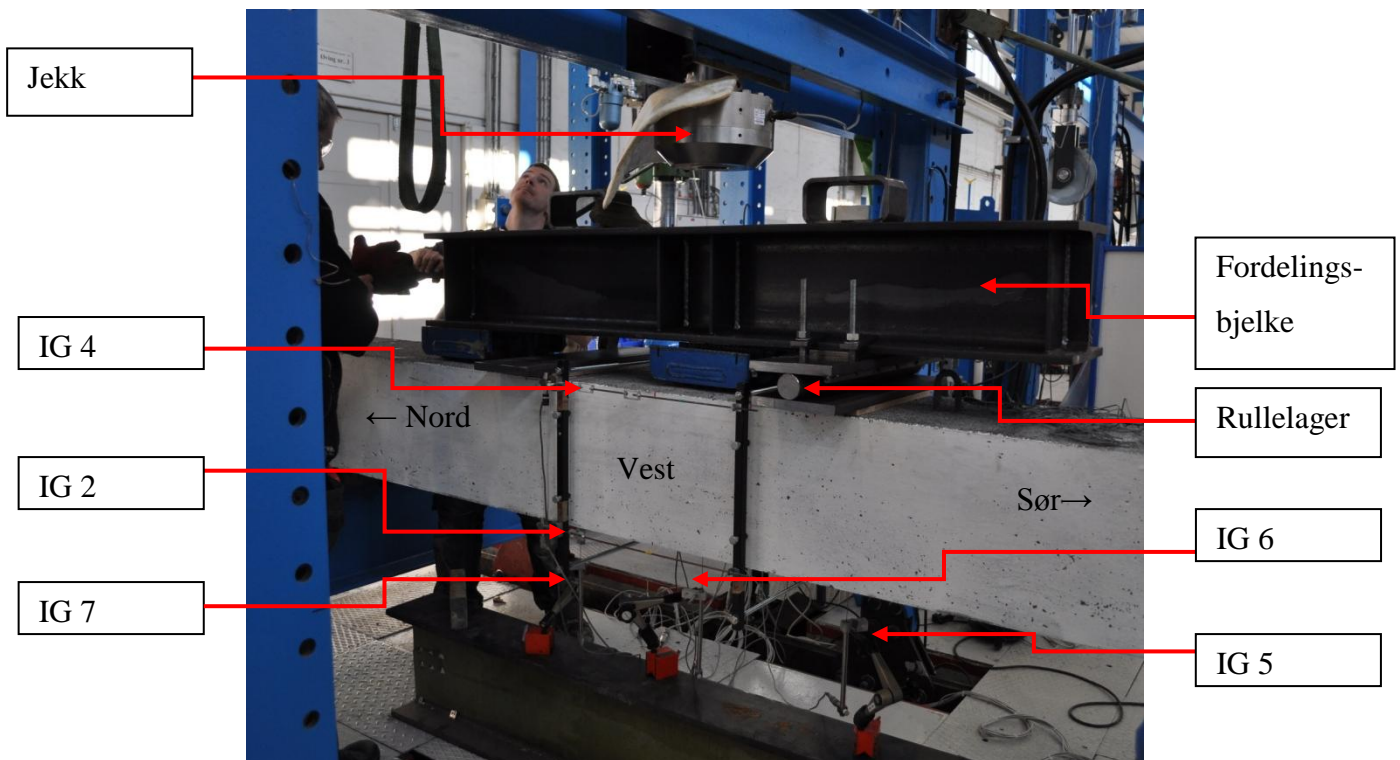
Figur 47: Plasseringen til de induktive giverne, snitt

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 48: Plasseringen til de induktive giverne

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 49: Ferdig instrumentert bjelke

Foto: Lisa Bakken

IG = Induktiv giver

4.3.2. Utførelse

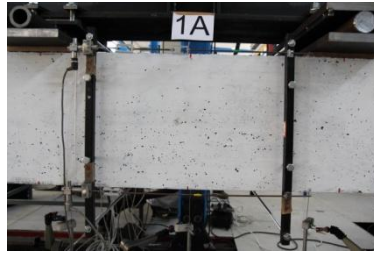
Optimalt sett skulle hver bjelke ha blitt testet det 28. døgnet etter støp. Dette ble vanskelig å overholde for alle bjelkene ettersom de ansatte ved betonglaboratoriet også hadde andre arbeidsoppgaver å forholde seg til. Det ble av den grunn bestemt at testene kunne forskyves \pm to døgn. I vedlegget 6 finnes en oversikt over støpe- og testtidspunkt.

Belastningen av bjelkene var deformasjonsstyrt med en hastighet på 1mm/minutt og dataloggingen foregikk med én registrering pr. sekund (= 1 Hz). Belastningen opp til 100kN ble utført med lasttrinn på 25kN. Deretter var lasttrinnene på 50kN frem til bjelkene gikk til brudd. Lasttrinnene ble målt ut ifra oppleggslasten, altså halvparten av jekklasten. Ved hvert lasttrinn ble jekken stoppet i fem minutter, slik at lasten var tilnærmet konstant. I pausene ble synlige riss markert med tusj for at rissene skulle bli synlig på bilder. Ved første synlige riss ble risslasten notert, se vedlegg 23. Da bjelkene gikk til brudd ble det påført en jevn last, uten lasttrinn, frem til avlastning.

Undersøkelsene av bjelkene ble konsentrert om vestsiden, der observasjonsmulighetene var best. For å dokumentere endringer ved hvert lasttrinn, ble det satt opp tre kamera, ett i sørvest, ett i nordvest og et ved senterlinjen til bjelkene, se figur 50 til 55. Da bjelkene nærmet seg brudd ble kameraet ved senterlinjen brukt til å filme midtsonen til bjelkene.



Figur 50: Bilde fra kamera i nord, før start
Foto: Øystein Rønningen



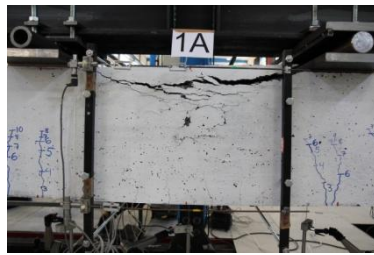
Figur 51: Bilde fra kamera i midten, før start
Foto: Fredrik Lang



Figur 52: Bilde fra kamera i sør, før start
Foto: Lisa Bakken



Figur 53: Bilde fra kamera i nord, ved brudd
Foto: Øystein Rønningen



Figur 54: Bilde fra kamera i midt, ved brudd
Foto: Fredrik Lang



Figur 55: Bilder fra kamera i sør, ved brudd
Foto: Lisa Bakken

Under hele testen ble det foretatt logging av kraften i jekken, nedbøyning under bjelkene, tøyning i armeringen og lengdeutvidelse i de induktive givene. Alle dataene ble lagret for senere bruk (Se vedlegg 7 - 10 for rådata og korrigert data for hver bjelke ved hvert lasttrinn).

4.4. Testing av prøvestykker

4.4.1. Trykkfasthet, E-modul og arbeidsdiagram

Testingen av sylindreprøvestykkene ble foretatt ved SINTEFSs Betong og natursteinslaboratorium, etter SINTEFSs faste prosedyrer. Både trykkfasthet, E-modul og arbeidsdiagrammet ble testet i en Losenhausen 5000kN trykkpresse, se figur 56. Prøvestykkene ble instrumentert med induktive givere og strekkklapper.



Figur 56: Test for å finne trykkfasthet

Foto: Øystein Rønningen



Figur 57: Prøvestykke etter test

Foto: Øystein Rønningen

For å bestemme betongens trykkfasthet ble seks sylindere testet for hver bjelke. For A-bjelkene ble det i tillegg testet tre sylindere for å finne betongens arbeidsdiagram. For B-bjelkene ble det testet tre sylindere for å bestemme betongens E-modul. Se dimensjoner i tabell 6 og testet prøvestykke i figur 57.

Tabell 6: Dimensjoner på teststykker

	Diameter [mm]	Høyde [mm]
Trykkfasthet	100	200
Arbeidsdiagram	100	300
E-modul	100	300

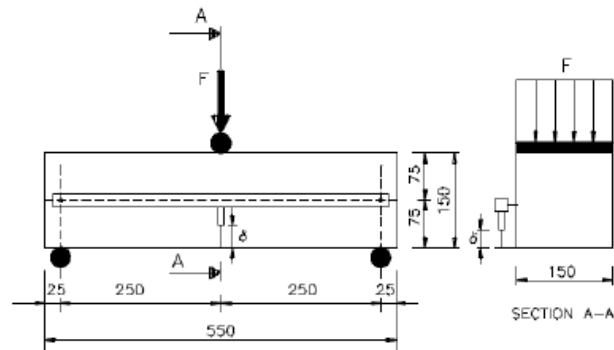
4.4.2. Bøyestrekfasthet



Figur 58: Test for å finne bøyestrekfasthet

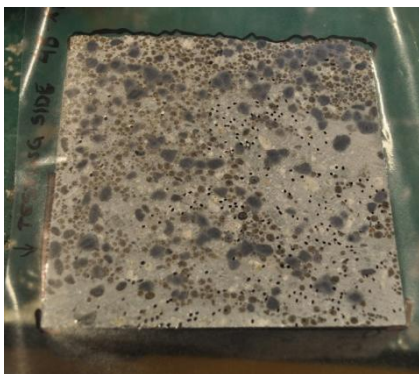
Foto: Lisa Bakken

Småbjelkene ble testet ved SINTEFs Materiallaboratorium, etter NS-EN 14651:2005+A1:2007. Bjelkene (550mm x 150mm x 150mm) ble instrumentert med to induktive givere for å måle nedbøyning, én på hver langsida. Bjelkene ble testet med ett lastpunkt på midten og opplager 250mm fra senter, se figur 58 og 59.



Figur 59: Testmetode, bøyestrekfasthet

Kilde: NS-EN 14651



Figur 60: Fiber blir markert

Foto: Lisa Bakken

Til slutt ble det foretatt en fibertelling av småbjelkene. For at fiberne skulle bli synlige ble bjelkene delt. Det ble lagt en plastfilm over tverrsnittet og hver fiber ble markert med tusj, se figur 60. Deretter ble filmen flyttet over på et ark og sendt videre til maskinell telling.

4.4.3. Armeringsjern

Testingen av armeringsjernene ble utført ved SINTEFs Materiallaboratorium, etter NS-EN ISO 15630-1. Formålet med testen var å få ut armeringens fasthet og tøyning ved oppnådd flytekraft (flytgrensen) og armeringens strekkfasthet og tøyning ved største kraft (bruddgrense). Armeringsjern med diameter på 10 mm og 32 mm ble testet, se figur 61.



Figur 61: Test av armeringsjern

Foto: Lisa Bakken

5. Beregning

Beregning av bjelkenes kapasitet er utført etter ”Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger” (EC2) og boken ”Betongkonstruksjoner” (BK) av Svein Ivar Sørensen. I EC2 er det et eget kapittel som omhandler lettbetong: kapittel 11 ”Konstruksjoner av betong med lett tilslag”. Dette kapitlet gir tilleggsregler for betong med lett tilslag EC2[11.1(1)P]. ”Alle punkter i kapittel 1 til 10 og 12 er gyldig med mindre de erstattes av de spesielle reglene som gis i dette kapitlet.” (Standard Norge, 2008)

5.1. Forutsetninger

I et prosjekt som dette er det viktig å komme frem til mest mulig nøyaktige resultater. Sikkerhetsfaktorene i EC2 ble derfor satt til 1, se tabell 7.

Tabell 7: Sikkerhetsfaktorer fra Eurokode 2

Partialfaktor for betong	γ_C	1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_S	1
Partialfaktor for egenvekt	γ_G	1
Partialfaktor for nyttelast	γ_P	1
Koeffisient som tar hensyn til langtidslast og ugunstig last påførelse	α_{cc}	1

Når sikkerhetsfaktorene blir satt til 1 blir den dimensjonerende trykkfastheten den samme som den karakteristiske trykkfastheten, se tabell 8.

Tabell 8: Formler for dimensjonerende fasthet

Dimensjonerende trykkfasthet	$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_C} = f_{ck}$	EC2 (3.15)
Dimensjonerende armeringsfasthet	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = f_{yk}$	EC3

I tillegg til faktorene for normalbetong er det noen faktorer som blir brukt spesielt for lettbetong, se tabell 9.

Tabell 9: EC2[11.1.2] Spesielle symboler

Omregningsfaktor for å beregne E-modul	η_E	$(\rho / 2200)^2$	EC2 (11.2)
Faktor for å bestemme strekkfastheten	η_1	$0,40+0,60 \rho / 2200$	EC2 (11.1)

I ”Betongkonstruksjoner” kan man lese at svinn kommer av uttørking av betong i herdeprosessen og uttørkingen gjør at betong krymper. Bjelkene ble liggende fuktig under hele herdeprosessen, hvilket gjorde at svinntøyningene ble veldig små og de ble derfor neglisjert. Videre i boken står det at ”betong som påkjennes av trykk over lang tid vil fortsette å trykkes sammen utover den momentane sammentrykningen når lasten påføres. Denne tilleggsdeformasjonen kalles kryp” (Sørensen, 2010). Bjelkene ble kun belast i én til to timer og kryp ble derfor sett bort fra i beregningen.

”EC2[11.1.2(1)P]: For de mekaniske egenskapene brukes en tilleggsindeks l (lett)” (Standard Norge, 2008). Dette gjør for eksempel at trykkfastheten heter f_{lck} og E-modulen heter E_{lcm} for lettbetong.

Som man kan lese i ”Samvirkekonstruksjoner i stål og betong” av Per Kristian Lasen kan man ved en elastisk dimensjonering transformere betongens eller stålets tverrsnittsareal til et ekvivalent stål-/betongtverrsnitt ved å bruke et modulforhold η mellom stålets og betongens E-modul. Et betongtverrsnitt med armering kan dermed bli behandlet som et homogent betongtverrsnitt, se tabell 10.

Tabell 10: Modulforhold mellom stålets og betongens E-modul

Modulforhold	$\eta = \frac{E_s}{E_{lcm}}$
Betong til stål	A_c / η
Stål til betong	$A_s \cdot \eta$

5.2. Inputtdata

Beregningene ble utført på grunnlag av de fastsatte dimensjoner og armeringsmengder og de forventede verdier av trykkfastheten og densiteten til betongen. Tabell 11 viser en oversikt over forventet trykkfasthet og faktorer som avhenger av denne trykkfastheten.

I beregningene for hver enkelt bjelke, vedlegg 11 – 18, er data fra materialtestene brukt.

Tabell 11: Tabell 3.1 og tabell 11.3.1 i EC2.

Lettbetongens sylindrefasthet	f_{lck}	40	MPa	EC2 [Tab 11.3.1]
Middelverdi av lettbetongens sylindrefasthet	$f_{lcm} = f_{lck} + 8(\text{MPa})$	48	MPa	EC2 [Tab 11.3.1]
Middelverdi av normalbetongens aksialtrekkfasthet	$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{\frac{2}{3}}$	3,51	MPa	EC2 [Tab 3.1]
Middelverdi lettbetongens aksialtrekkfasthet	$f_{lctm} = f_{ctm} \eta_1$	3,13	MPa	EC2 [Tab 11.3.1]
Normalbetongens E-modul	$E_{cm} = 22 \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3}$	35220,46	MPa	EC2 [Tab 3.1]
Lettbetongens E-modul	$E_{lcm} = E_{cm} \eta_E$	23577,33	MPa	EC2 [Tab 11.3.1]

Alle bjelkene var identiske med tanke på lengdearmering og bjelkedimensjoner, se tabell 12 og 13, som viser variablene som er brukt i beregningene.

Tabell 12: Bjelkenes ytre dimensjoner

Bjelkedimensjoner [mm]			
Høyde	h		350
Bredde	b		400
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - \frac{1,5\phi_{ls}}{2}$	291
Effektiv høyde	h'	$h - 2c - 2\phi_b - \frac{1,5\phi_{ls}}{2} + \left(\frac{\phi_{lt}}{2}\right)$	250
Effektiv høyde	d'	$c + b + \frac{\phi_{lt}}{2}$	41

Tabell 13: Armering og bjelkenes indre dimensjoner

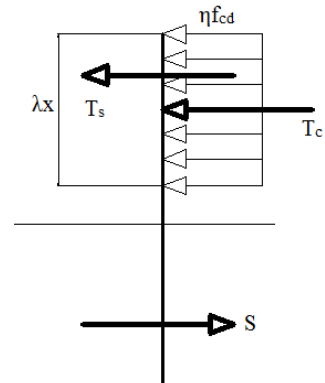
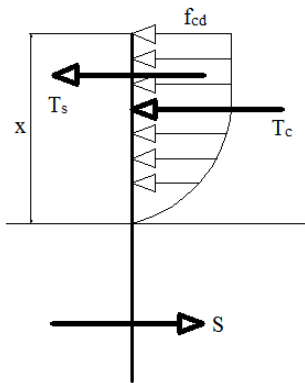
Indre dimensjoner			
Diameter tverrarmeringsbøyer	ϕ_b	10	mm
Diameter lengdearmering	ϕ_{ls}	32	mm
	ϕ_{lt}	12	mm
Strekkarmering	A_s	4825,5	mm ²
Trykkarmering	$A_{s'}$	452,4	mm ²
Betong overdekning	c	25	mm

5.3. Bruddgrensetilstand

Bruddgrensetilstand ble dimensjonert etter ”Betongkonstruksjoner” kapittel 4 og EC2 kapittel 6. Følgende beregningsforutsetninger er gitt i EC2, [6.1(2)]:

- Plane tverrsnitt forblir plane
- Full heft mellom betong og armering
- Det blir sett bort fra betongens strekkfasthet
- Spennings- og tøyningsegenskaper til betongen, etter EC2[3.1.7]
- Spennings- og tøyningsegenskaper til stålet, etter EC2[3.2.8]

Den forenklete rektangulære spenningsfordelingen, som vist på figuren 63, kan bli benyttet dersom den tilsvarer eller er mer konservativ enn det som er definert i EC2, se figur 62.



Figur 62: Trykkspenningforløp etter lign. (3.17) og (3.18) i EC2

Kilde: Eurokode 2

Figur 63: Tilnærmet trykkspenningsforløp

Kilde: Betongkonstruksjoner

”Den rektangulære tilnærmelsen er gyldig kun når trykksonen er fullt utnyttet, det vil si når tøyningen på trykkrand er lik grensetøyningen ε_{cu} ”. (Sørensen, 2010).

Faktoren λ , definerer den effektive høyden for trykksonen, og faktoren η , definerer den effektive fastheten, se tabell 14.

Tabell 14: Faktorer som definerer effektiv høyde på trykksonen og effektiv fasthet

λ	0,8	EC2(3.19)
η	1	EC2(3.21)

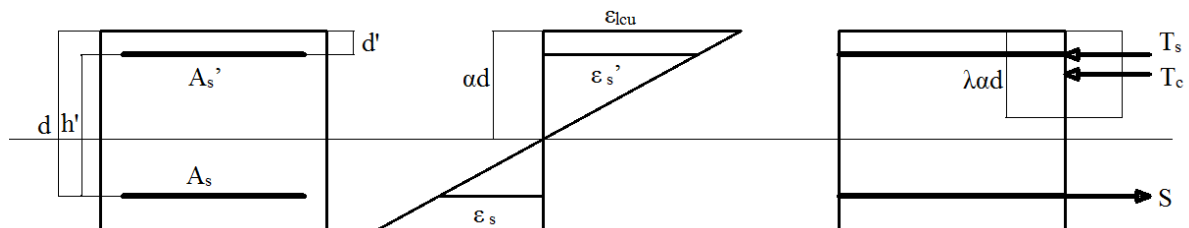
5.3.1. Bruddlast

For å finne bjelkenes momentkapasitet må det først bli bestemt om tverrsnittet er over- eller underarmert. Dette kan bli gjort ”ved å bestemme den balanserte armeringsmengden, $A_{s,b}$, og sammenligne den aktuelle A_s med denne” (Sørensen, 2010). Den balanserte armeringsmengden er grensetilfellet mellom overarmert og underarmert tverrsnitt, se tabell 15.

Tabell 15: Formler for balansert armeringsmengde

Armeringstøyning	$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$		0,0029	
Betongtøyning	$\epsilon_{lcu} = 3,5\eta_1$		0,00312	
BK(4.20)	$\frac{(1 - \alpha_b)d}{\epsilon_{yd}} = \frac{\alpha_b d}{\epsilon_{lcu}}$	$\alpha_b = \frac{\epsilon_{lcu}}{(\epsilon_{lcu} + \epsilon_{yd})}$	0,519	
Balansert armeringsmengde BK(4.21)	$\lambda\eta f_{lcd} b d \cdot \alpha_b - f_{sd} A_s = 0$	$A_{s,b} = \lambda\eta \left(\frac{f_{lcd}}{f_{yd}} \right) b d \alpha_b$	3152,02	mm ²
$A_s = 4825,5 > A_{s,b} \Rightarrow$ Overarmert tverrsnitt				

For et overarmert tverrsnitt finner man trykksonehøyden ved aksiallikevekt for de indre kreftene i tverrsnittet, se figur 64 for beregningsmodell.



Figur 64: Beregningsmodell

Kilde: *Betongkonstruksjoner* (Sørensen, 2010)

Aksiallikevekt: $T_c + T_s' - S = 0$

Strekresultanten, S, avhenger av armeringstøyningene. Resultanten av trykkarmeringen, T_s , avhenger også av armeringstøyningene, men man må trekke fra bidraget fra trykkapasiteten til betongen i det snittet hvor armeringen ligger. Trykkresultanten til betongspenningen i trykksonen, T_c , er trykkfastheten til betongen multiplisert med arealet som spenningene virker over. Se tabell 16 for formler for S, T_s og T_c .

Tabell 16: Formler til aksiallikevekten

Trykkresultanten av betongspenningene i trykksonen	BK(4.13a)	$T_c = \lambda \eta f_{1cd} \alpha db$
Kraft i strekkarmeringen	BK(4.15)	$S = \sigma_s \cdot A_s = E_s \varepsilon_s A_s$
Kraft i trykkarmeringen	BK(5.35)	$T_s = E_s \varepsilon'_s A'_s - E_{lcm} \varepsilon'_s A'_s$

Armeringstøyningene finner man ved å bruke reglene for formlike trekkanter. Da blir ε_s og ε'_s uttrykt ved α og ε_{cu} , se tabell 17. ε_{cu} er tøyningsgrensen for trykk i betongen fra EC2[Tab11.3.1].

Tabell 17: Armeringstøyninger

Tøyninger i strekkarmering	$\varepsilon_s \frac{1}{(d-\alpha d)} = \frac{1}{\alpha d} \varepsilon_{1cu}$	$\varepsilon_s = \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \varepsilon_{1cu}$
Tøyninger i trykkarmering	$\varepsilon'_s \frac{1}{(\alpha d - d')} = \varepsilon_{1cu} \frac{1}{\alpha d}$	$\varepsilon'_s = \frac{(\alpha d - d')}{\alpha d} \varepsilon_{1cu}$

Ved å sette aksialkreftene T_c , T_s og S og armeringstøyningene ε_s og ε'_s inn i formelen for aksiallikevekt får man et andregradsuttrykk, uttrykt ved α , som blir løst med abc-formelen, se tabell 18.

Tabell 18: Aksialkrefter i formelen for aksiallikevekt og trykksonehøyden

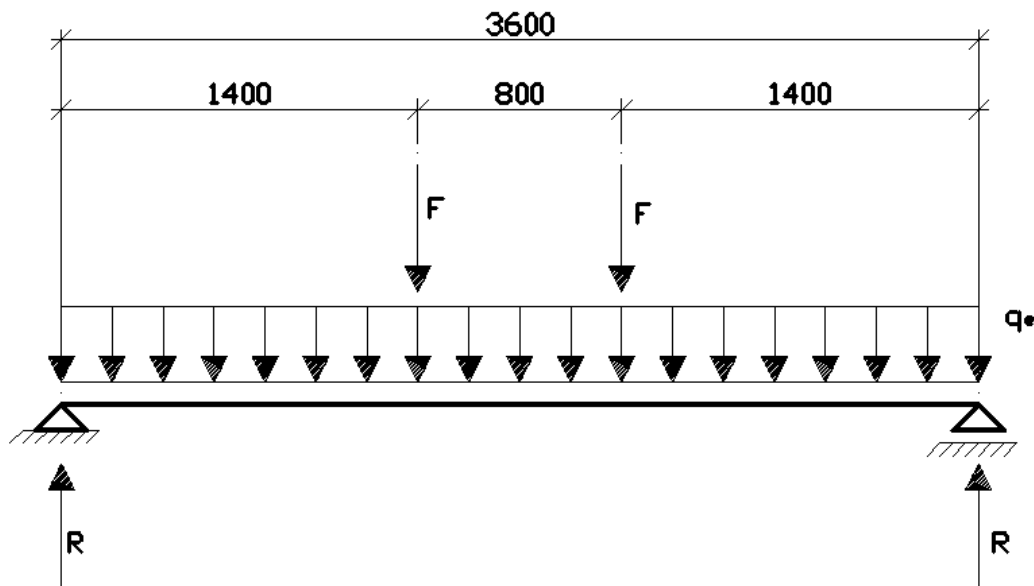
Aksiallikevekt	$\lambda \eta f_{1cd} \alpha db + E_s \frac{(\alpha d - d')}{\alpha d} \varepsilon_{1cu} A'_s - E_{lcm} \frac{(\alpha d - d')}{\alpha d} \varepsilon_{1cu} A'_s - E_s \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \varepsilon_{1cu} A_s = 0$
Formel omgjort til andregradsligning	$(\lambda \eta f_{1cd} b d^2) \alpha^2 + (E_s \varepsilon_{1cu} A'_s d - E_{lcm} \varepsilon_{1cu} A'_s d + E_s \varepsilon_{1cu} A_s d) \alpha + (-E_s \varepsilon_{1cu} A'_s d' + E_{lcm} \varepsilon_{1cu} A'_s d' - E_s \varepsilon_{1cu} A_s d) = 0$
Trykksonehøyden	$d\alpha = 162,6 \text{ mm}$

Sørensen skriver i boken "Betongkonstruksjoner" at "momentet av indre krefter uttrykker betongtrykksoneens momentkapasitet, M_{Rd} ". For å finne momentkapasiteten ble det tatt moment om strekkarmeringen, se tabell 19.

Tabell 19: Momentkapasitet

Moment om strekkarmeringen	$T_c \cdot z + T_s \cdot h' = M_{Rd}$		
Momentkapasitet BK(4.14)	$M_{Rd} = \lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{lcd} b d^2$ $+ \frac{E_s (\alpha d - d')}{\alpha d} \epsilon_{lcu} A_s' h'$ $- \frac{E_{lcm} (\alpha d - d')}{\alpha d} \epsilon_{lcu} A_s' h'$	514E+6	Nmm

Oppleggslasten ble bestemt ut ifra momentkapasiteten og figur 65, se tabell 20.



Figur 65: Statisksystem

Bjelkenes teoretiske egenvekt: 1190 kg

Kilde: Kristine Sagosen

Jevntfordelt egenvekt	q_e	$\frac{1190(kg) \cdot 10(\frac{m}{s^2})}{4200(mm)}$	2,83	N/mm
Oppleggslast	R	$q_e \cdot 1,4(m) \cdot \frac{1,4(m)}{2} - R \cdot 1,4(m) = M_{Rd}$	365,3E+3	N

Tabell 20: Formler for oppleggslast

5.3.2. Skjærkapasitet

Skjærkapasitet ble beregnet etter EC2[6.2.3] og [11.6.2] ”Konstruksjonsdeler med beregningsmessig behov for skjærarmering”, se tabell 21.

Tabell 21: Formler for skjærkapasitet

EC2(NA.6.7aN)	$1,0 \leq \cot\theta \leq 2,5 \quad (45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ)$	1	
Senteravstand mellom bøylene	s	100	mm
Skjærarmeringens tverrsnittsareal	$A_{sw} = 4 \cdot \phi_b^2 \cdot \frac{\pi}{4}$	314,15	mm ²
Innvendig momentarm	$z = 0,9d$	261,9	mm
Fasthetsreduksjonsfaktor EC2(11.6.6N)	$v_1 = 0,5(1 - \frac{f_{lck}}{250})$	0,45	
Koeffisient som tar hensyn til spenningstilstanden i trykkgurten EC2(NA.6.11aN)	α_{cw}	1,00	
Opptredende skjærkapasitet	$V_{Ed} = R$	365E+3	N
Skjærkraftkapasitet EC2(6.8)	$V_{Rd,s} = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) z f_{ywd} \cot(\theta)$	452,5E+3	N
Skjærkraftkapasitet EC2(6.9)	$V_{Rd,max}$ $= \alpha_{cw} b z v_1 f_{lck} \frac{1}{(\cot\theta + \tan\theta)}$	2200E+3	N
$V_{Ed} < V_{Rd,s}$ og $V_{Rd,max} \Rightarrow$ Skjærkraft er ikke dimensjonerende			

5.4. Bruksgrensetilstand

Bruksgrensetilstand blir dimensjonert etter EC2 kapittel 7 og Betongkonstruksjoner kapittel 5.

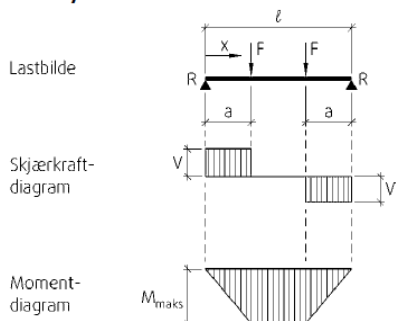
5.4.1. Nedbøyning

Formlene som ble brukt ble hentet fra Svein Ivar Sørensen bok Betongkonstruksjoner 2 med noen tilpasninger.

Bjelkers nedbøyning kan man finne ved enhetslastmetoden. Denne metoden går ut på å ”*tenke seg en virtuell enhetslast plassert der nedbøyningen skal beregnes, på et statisk bestemt undersystem, virkende i nedbøyningens retning [...] Prinsipp om virtuelt arbeid, forlanger at ytre virtuelt arbeid skal være lik indre virtuelt arbeid.*” (Sørensen, 2010).

I tilfeller med to like punktlaster plassert symmetrisk på en bjelke finner man ferdige formler for nedbøyning i byggforskserien, ”Statikkformler for bjelker, 421.051”, se figur 66.

26 To like punktlaster som er plassert symmetrisk



$$\begin{aligned}
 R = V & \dots\dots\dots = F \\
 M_{maks} \text{ (mellom laster)} & \dots\dots\dots = Fa \\
 M_x \text{ (når } x < a) & \dots\dots\dots = Fx \\
 d_{maks} \text{ (på midten)} & \dots\dots\dots = \frac{Fa}{24EI} (3\ell^2 - 4a^2) \\
 d_x \text{ (når } x < a) & \dots\dots\dots = \frac{Fx}{6EI} (3\ell a - 3a^2 - x^2) \\
 d_x \text{ (når } x > a \text{ og } x < (\ell - a)) & \dots\dots\dots = \frac{Fa}{6EI} (3\ell x - 3x^2 - a^2)
 \end{aligned}$$

Figur 66: Formler for nedbøyning

Foto: Statikkformler for bjelker

Det ble ikke gjort beregninger for nedbøyning på grunn av egenvekt fordi bjelkene allerede var belastet med egenvekt da målingene ved bjelkeprøvingene startet. Nedbøyning ble målt under lastpunktene og i senter av bjelkene og ble derfor beregnet for de samme punktene, se tabell 22 til 24.

Tabell 22: Variabler for nedbøyning

Nedbøyning på midten		
a	1400	mm
x	1800	mm
l	3600	mm

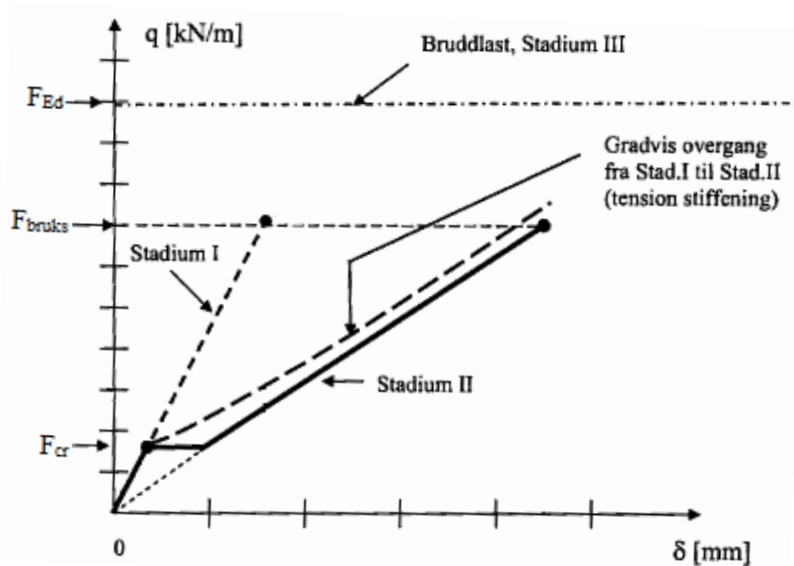
Tabell 23: Variabler for nedbøyning

Nedbøyning under lastene		
a	1400	mm
x	1400	mm
l	3600	mm

Tabell 24: Formler for nedbøyning innfylt for a, x og l

Nedbøyning på midten	$1810666667 \frac{F}{EI}$
Nedbøyning under last	$1698666667 \frac{F}{EI}$

Bøyestivheten til bjelker varierer avhengig av om bjelkene er uopprisset (Stadium I) eller opprisset (Stadium II). Begge stadiene ble bestemt for å finne en mest mulig nøyaktig nedbøyning. Risslasten blir bestemt for å finne overgangene mellom stadiene, se figur 67.



Figur 67: Last-/nedbøynings-kurve

Kilde: Betongkonstruksjoner (Sørensen, 2010)

STADIUM I

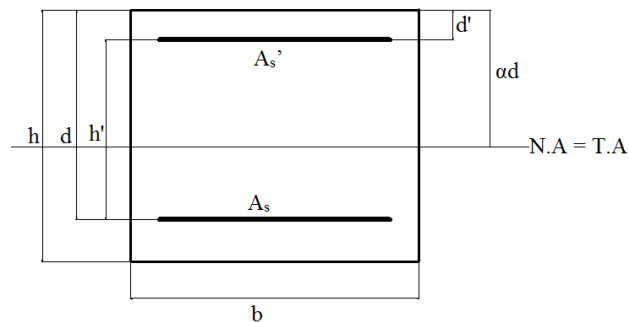
Et tverrsnitt er uopprisset når belastning er lavere enn risslasten. Et uopprisset tverrsnitt har strekkspenninger mindre enn strekkfastheten til betongen. I uopprisset tilstand er nøytralaksen

(N.A) og tyngdepunktsaksen (T.A) sammenfallende, se figur 78, og for å finne trykksonehøyden ble formelen for arealsenteret brukt.

$$\text{Arealcenter: } y_c = \frac{1}{A} \int_A y dA = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i}$$

Bjelketverrsnittet består av betong og armering. For å kunne regne på tverrsnittet som et homogent betongtverrsnitt ble modulfaktoren η brukt. Det ble ikke tatt hensyn til "hull" i betongen der armeringen lå. For å finne bjelkenes bøyestivheter ble formlene i tabell 25 brukt. Steiners teorem ble brukt for å finne tverrsnittets 2. arealmoment.

$$\text{Steiners teorem: } I_{x'} = I_x + Aa^2$$



Figur 68: Dimensjoner

Kilde: Kristine Sagosen

Tabell 25: Formler for trykksonehøyde og bøyestivhet

Trykksonehøyden	$\alpha d = \frac{A_c \cdot \frac{h}{2} + \eta A_s d + \eta A'_s d'}{A_c + \eta A_s + \eta A'_s}$	197,04	mm
Betongens bidrag til arealtrehetsmomentet	$I_c = \frac{bh^3}{12} + bh \left(\alpha d - \frac{h}{2} \right)^2$	1,50E+9	mm ⁴
Strekkarmeringens bidrag	$I_s = \frac{1}{4} \pi r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	4,27E+9	mm ⁴
Trykkarmeringens bidrag	$I_t = \frac{1}{4} \pi r^4 + A'_s (\alpha d - d)^2$	1,10E+7	mm ⁴
Bøyestivhet	$EI = E_{lcm} I_c + E_s (I_s + I_t)$	45,5E+12	Nmm ²

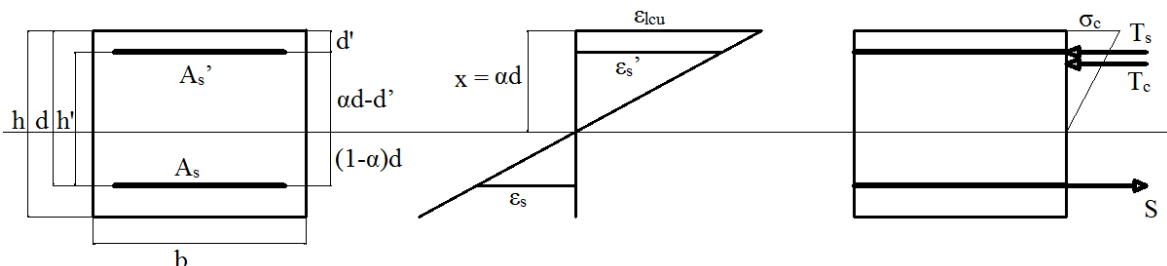
STADIUM II

Når tverrsnittet får en belastning høyere en risslasten vil strekkspenningen være høyere en strekkfastheten til betongen og tverrsnittet vil risse opp.

I beregningsmodellen ble det gjort noen antagelser:

- Betong i trykk og stål er lineært elastisk materiale som følger Hookes lov.
- Betongen antas å ikke ha strekkfasthet, det vil si spenningsløs betong i strekksonen for fullstendig opprissing
- Navier/Bernoulli's hypotese om plane tverrsnitt forblir plane og normale til aksen under bøyning gjelder. Naviers/Bernoullis hypotese: $\varepsilon = \kappa \cdot y$ (Sørensen, 2010)

Trykksonehøyden finner man ved aksiallikevekt, se figur 69 for beregningsmodell.



Figur 69: Beregningsmodell

Kilde: *Betongkonstruksjoner* (Sørensen, 2010)

De indre aksialkreftene ble utledet på samme måte som for momentkapasiteten, se tabell 26. Armerings- og betongtøyningene er uttrykt ved Naviers/Bernoullis hypotese, se tabell 27. Aksialkreftene og armerings- og betongtøyningene ble satt inn i likevektsligningen og α ble uttrykt ved et andregradsuttrykk, se tabell 28.

Tabell 26: Aksiallikevekt

T_c	$\frac{1}{2} E_{lcm} \varepsilon_{lc} \alpha db$
S	$E_s \varepsilon_s A_s$
T_s'	$E_s \varepsilon_s' A_s' - E_{lcm} \varepsilon_s' A_s'$

Tabell 27: Navier-/Bernoullis hypotese

ε_{lc}	$\kappa \cdot \alpha d$
ε_s'	$\kappa \cdot (\alpha d - d')$
ε_s	$\kappa \cdot (1 - \alpha)d$

Tabell 28: Aksiallikevekt innsatt verdier og trykksonehøyde

Aksiallikevekt, innsatt for ε_s og ε_s'	$\frac{1}{2} E_{lcm} \kappa \cdot \alpha^2 d^2 b + E_s \kappa \cdot (\alpha d - d') A_s' - E_s \kappa \cdot (\alpha d - d') A_s' - E_s \kappa \cdot (1 - \alpha) d A_s = 0$
Formel omgjort til andregradsligning	$(\frac{1}{2} E_{lcm} \kappa \cdot d^2 b) \alpha^2 + (E_s d A_s' - E_{lcm} d A_s' + E_s d A_s) \alpha - E_s d' A_s' + E_{lcm} d' A_s' - E_s d A_s = 0$
Trykksonehøyden	$\alpha d = 156,2 \text{ mm}$

For å finne bøyestivheten til bjelkene må bidraget til arealtrehetsmomentet fra betongtrykksonen og armeringen ble beregnet, se tabell 29.

Tabell 29: Formler for bøyestivhet

Betongens bidrag til arealtrehetsmomentet BK(5.41)	$I_c = \frac{b(\alpha d)^3}{12} + b \cdot \alpha d \left(\frac{\alpha d}{2}\right)^2$	5,08E+8	mm ⁴
Strekkarmeringens bidrag BK(5.43)	$I_s = \frac{1}{4} \pi r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	8,78E+7	mm ⁴
Trykkarmeringens bidrag BK(5.44)	$I_t = \frac{1}{4} \pi r^4 + A_s' (\alpha d - d')^2 - \frac{E_{cm}}{E_s} \left(\frac{1}{4} \pi r^4 + A_s' (\alpha d - d')^2\right)$	5,25E+6	mm ⁴
Bøyestivhet BK(5.45)	$EI = E_c I_c + E_s (I_s + I_t)$	2,96E+13	Nmm ²

RISSLAST

Risslasten definerer overgangen mellom uopprikket og opprikket tilstand for betongtverrsnittet. Man finner rissmomentet ved å benytte formelen for elastisk bøyespennning og Hookes lov, se tabell 30. Bøyestivheten, EI, og trykksonehøyden, αd , er fra Stadium I.

$$\sigma = \frac{M}{I} y \Rightarrow M = EI_I \frac{\varepsilon_c}{h - \alpha d}$$

Normalt oppnås det beste estimatet for nedbøyning når midlere strekkfasthet f_{ctm} etter tabell 3.1 i Eurokode 2 benyttes, dette gir $\sigma_{lc} = f_{lctm}$, EC2[7.4.3(4)]. I dette prosjektet er f_{lctm} fra tabell 11.3.1.

Tabell 30: Rissmoment og risslast

M_{cr}	$\frac{\varepsilon_{lc} E_{lcm} (I_c + \eta I_s + \eta I_t)}{h - \alpha d} = \frac{(I_c + \eta I_s + \eta I_t)}{h - \alpha d} f_{lctm}$	39,4E+6	Nmm
F_{cr}	$q_e \cdot 1,4(m) \cdot \frac{1,4(m)}{2} - R \cdot 1,4(m) = M_r$	26,19E+3	N

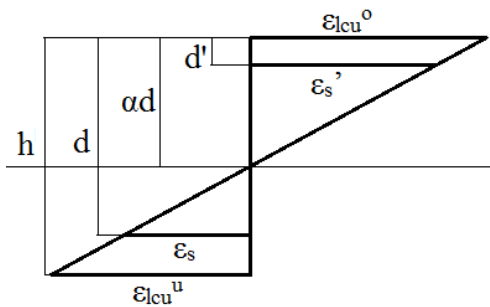
5.4.2. Tøyning

For å beregne tøyningene i armeringen ble Hookes lov og formler for elastisk bøyespennning benyttet, se tabell 31. Bøyestivheten, EI, og trykksonehøyden, αd , er fra stadium II.

Tabell 31: Armeringstøyninger

ε_s	$\varepsilon_s = \frac{M}{EI} (1 - \alpha) d$
ε_s'	$\varepsilon_s' = \frac{M}{EI} (\alpha d - d')$

Betongtøyningene ble funnet med formler for formlike trekkanter, se tabell 32 og figur 70:



Figur 70: Mål og tøyninger

Kilde: Betongkonstruksjoner

Tabell 32: Betongtøyninger

$\frac{\varepsilon_{lcu}^o}{\alpha d} = \frac{\varepsilon_s'}{\alpha d - d'}$	$\varepsilon_{lcu}^o = \frac{\alpha d}{\alpha d - d'} \varepsilon_s'$
$\frac{\varepsilon_{lcu}^u}{h - \alpha d} = \frac{\varepsilon_s}{d - \alpha d}$	$\varepsilon_{lcu}^u = \frac{h - \alpha d}{d - \alpha d} \varepsilon_s$

Beregningene i dette kapittelet er utført for alle de åtte betongbjelkene. COINs forslag til regelverk for fiberarmert betong ble ikke benyttet i beregningene da forslaget enda ikke er et fullstendig regelverk godkjent av Standard Norge.

Hovedberegningene for alle bjelkene finnes i vedlegg 11 - 18.

6. Resultater fra testing

6.1. Hovedresultater

I tabell 33 er hovedresultater fra bjelkeprøvingen kort oppsummert.

Tabell 33: Hovedresultater fra test

	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Bruddlast [kN]	290,5	279,8	250,8	272,5	281,8	292,1	282,0	279,9
2. lasttopp [kN]	294,8	279,2	281,8	299,3			283,8	285,9
Nedbøyning på midten ved brudd [mm]	26,4	23,9	21,5	18,5	24,8	25,9	23,9	23,1
Armeringstøyning ved brudd, i bunn (strekk) [%]	2,12	3,21	1,71	1,87	2,09	3,07	2,28	2,79
Betongtøyning ved brudd, i topp (trykk) [%]	-2,66	-2,75	-2,45	-2,50	-2,98	-2,93	-2,95	-2,79

6.2. Bjelker

6.2.1. Last og tid

Som nevnt tidligere ble bjelkene belastet i lasttrinn. Belastning opp til 100 kN ble gjort med lasttrinn på 25 kN. Fra 100 kN og opp til bruddlasten var lasttrinnene på 50 kN. På grunn av en feilkalibrering av lastcellen var lasten som ble logget forskjellig fra lasten bjelkene egentlig ble belastet med. Korreksjonsfaktoren ble funnet til å være 1,5. For å finne den egentlige lasten ble logget last delt på korreksjonsfaktoren. Lasttrinnene ble da 16,7 kN på de fire første trinnene og deretter på 33,3 kN. All rådata er korrigert for feilen, men feilen ble oppdaget etter alle testene var gjennomført og lasten på bildene stemmer derfor ikke med den virkelige belastningen. Nedenfor følger tabell 34 med en oversikt over den virkelige lasten på hvert av lasttrinnene. Tabell 35 viser en oversikt over hvilke tiltak som ble gjort for hver bjelke.

Tabell 34: Korreksjon av lasttrinn

KORRIGERING AV OPPLEGGSLAST (korr.faktor 1,5)										
Lasttrinn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ønsket last [kN]	25	50	75	100	150	200	250	300	350	400
Virkelig last [kN]	16,7	33,3	50,0	66,7	100,0	133,3	166,7	200,0	233,3	266,7

Tabell 35: Oversikt over forskjeller i bjelkenes armering

Bjelke	1 (1A og 1B)	2 (2A og 2B)	3 (3A og 3B)	4 (4A og 4B)
Tverrarmering i midtsonen	X	X		
Fiberarmering		X		X

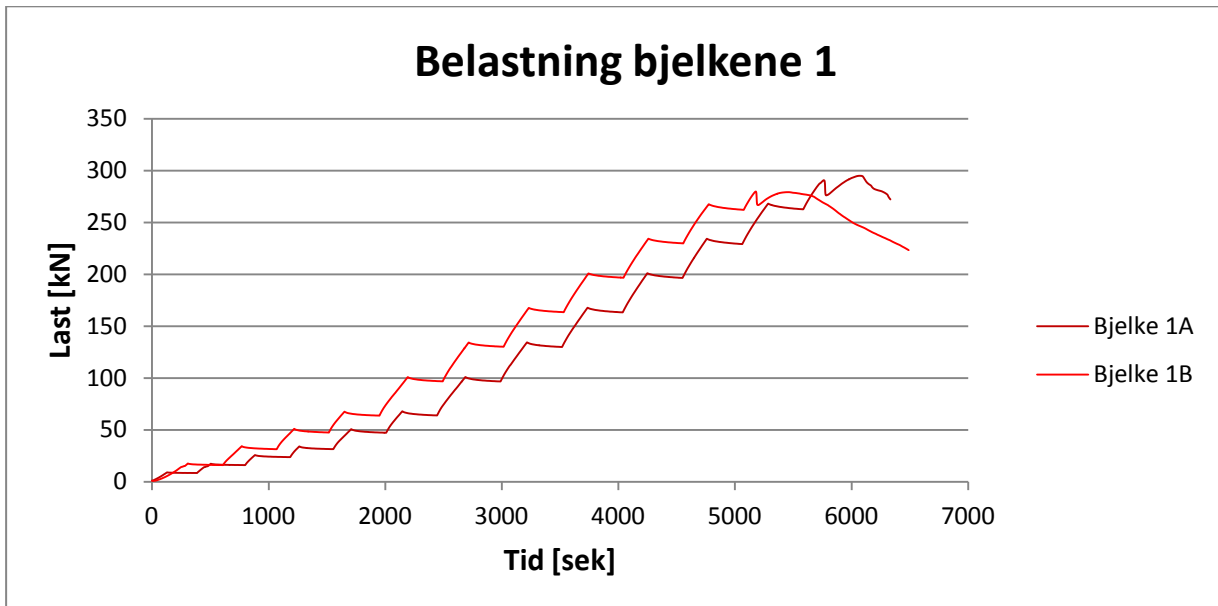
Grafene i figur 71 til 74 viser hvordan bjelkene ble belastet over tid. I diagrammene er de like bjelkene satt opp mot hverandre (se tabell 35 for oversikt over bjelkene). Opp til bruddlasten har grafene til bjelkene trappeform, fordi bjelkene ble belastet i lasttrinn. Bjelkene ble belastet med en deformasjonsstryt hastighet på 1 mm/minutt. Det vil si at belastningen ble tilpasset nedbøyningen bjelkene hadde til en hver tid.

Under testen av bjelke 1A og 1B ble dataloggingen avsluttet før bjelkene ble avlastet. På grafene for de andre bjelkene kan man se avlastningen som et dropp i last.

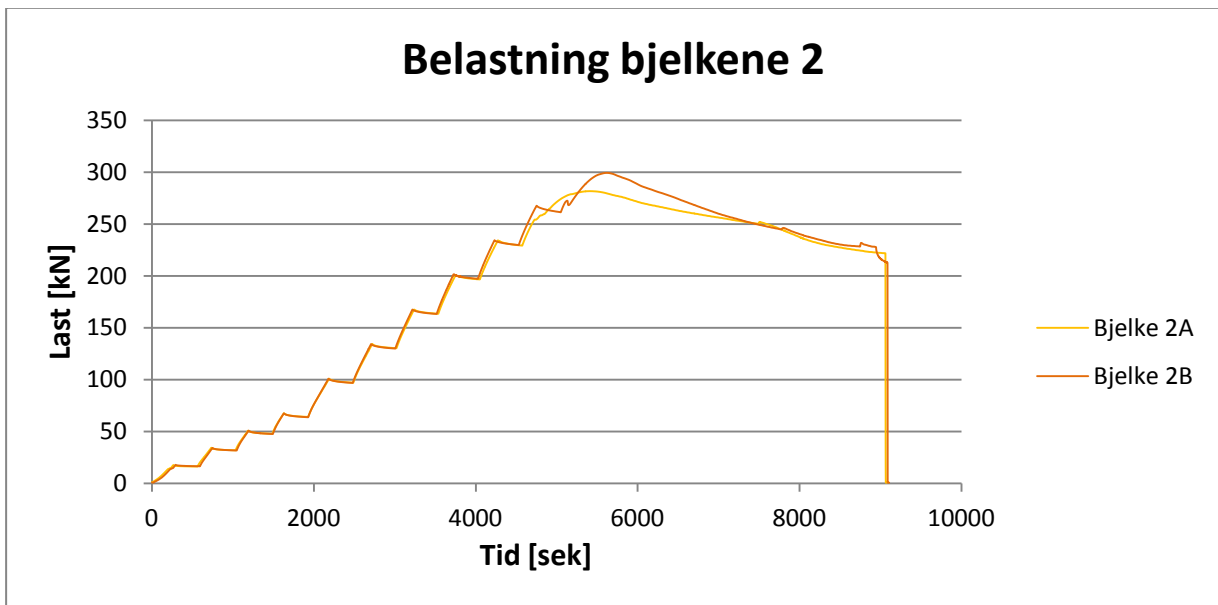
Diagrammene for bjelkene 1, 2 og 4 (figur 71, 72 og 74) viser at bjelkene først nådde enbruddlast, men etter litt tid tok bjelkene seg opp igjen og nådde en ny ”lasttopp”. Deretter sank lasten frem til testen ble avsluttet, se tabell 36 for bruddlaster.

Tabell 36: Bruddlaster

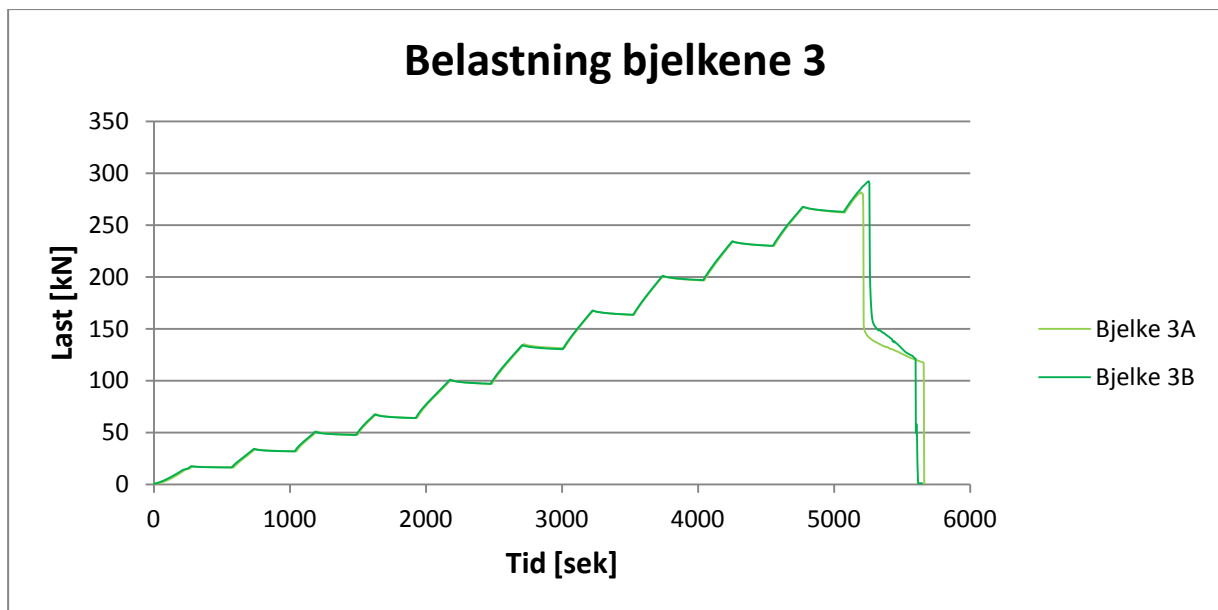
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Bruddlast [kN]	290,5	279,8	250,8	272,5	281,8	292,1	282,0	279,9
2. lasttopp [kN]	294,8	279,2	281,8	299,3			283,8	285,9



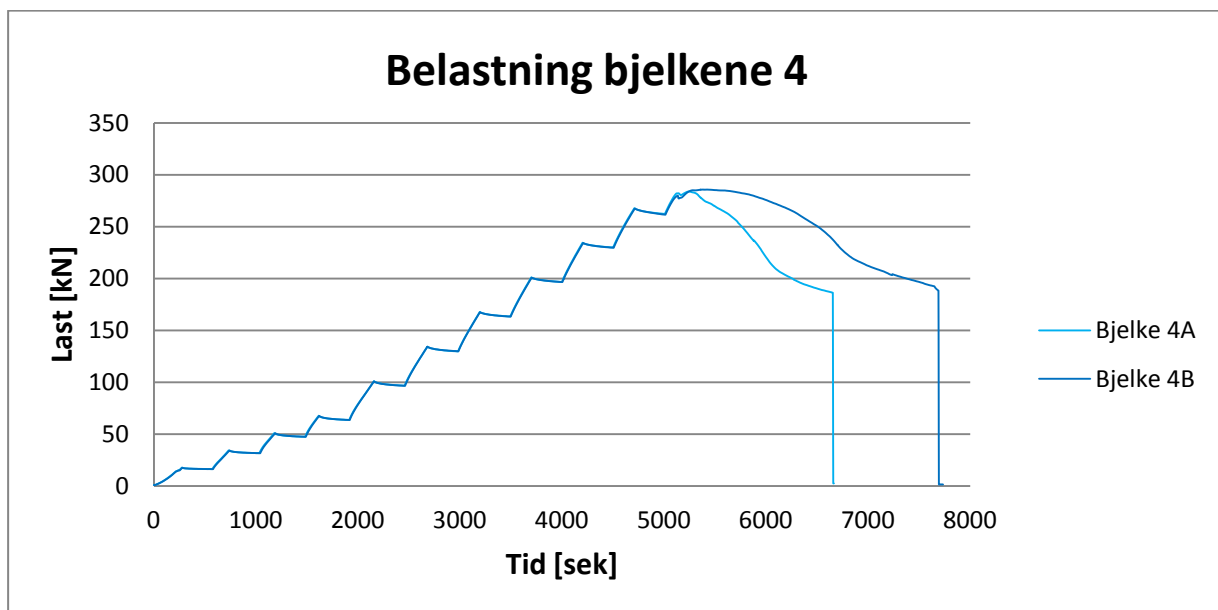
Figur 71: Belastning, bjelke 1A og 1B



Figur 72: Belastning, bjelke 2A og 2B



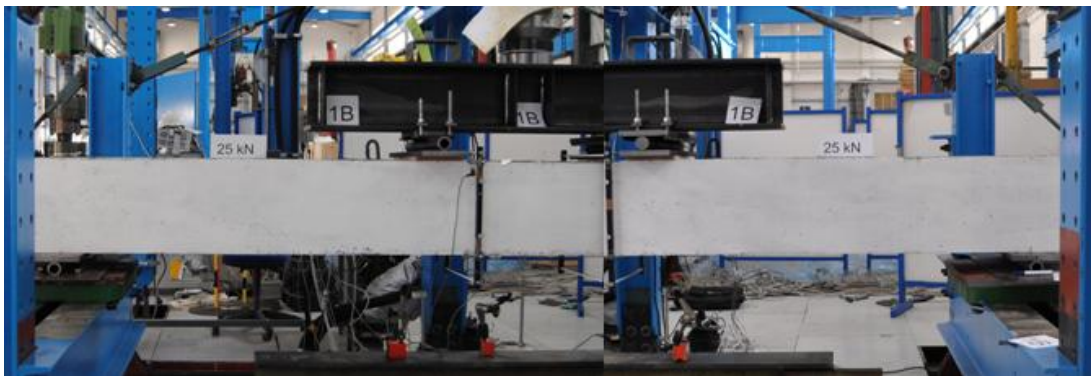
Figur 73: Belastning, bjelke 3A og 3B



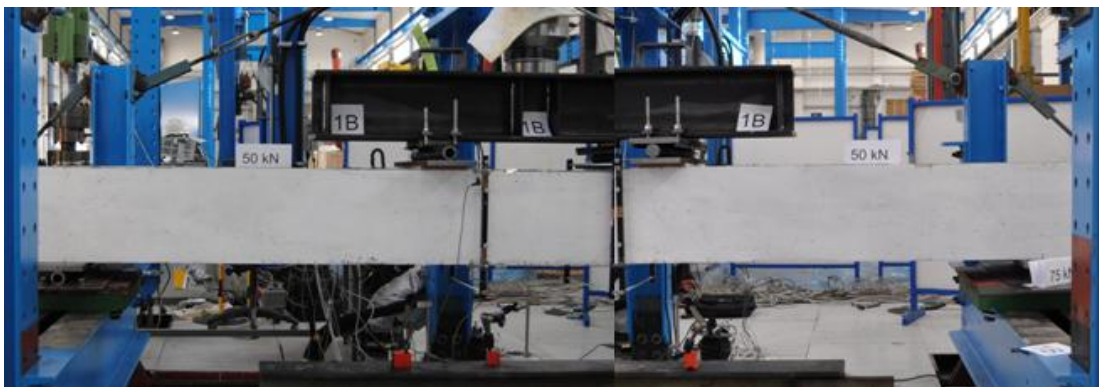
Figur 74: Belastning, bjelke 4A og 4B

Grafene til bjelke 1A og 1B, se figur 71, går ikke samlet opp til bruddlast fordi de tre første lastrinnene til bjelke 1A ble avlest fra jekklasten og ikke fra oppleggslasten, slik de andre testene ble avlest. Grafen er derfor slakere i begynnelsen for bjelke 1A, men grafene for bjelkene 1 er like fra lastrinn fire, bare forskjøvet i tid.

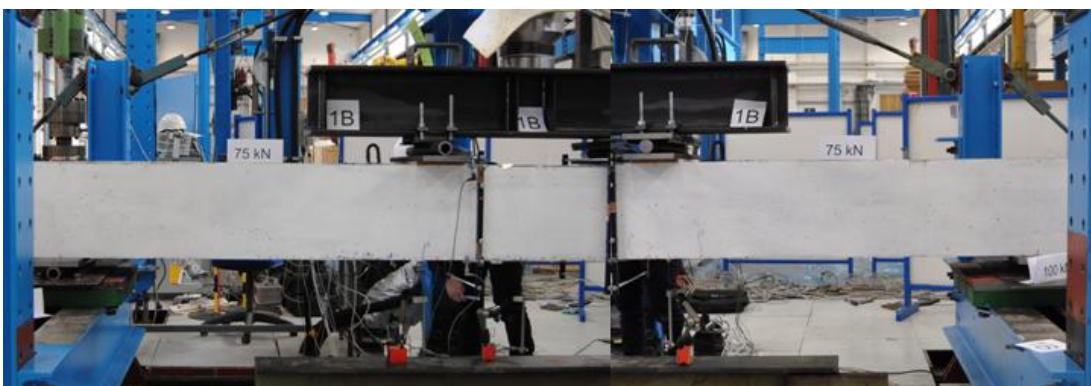
Nedenfor følger bildene fra testingen av bjelke 1B, se figur 75 under. Lasten på bildene er som nevnt ikke korrigert. Bildene viser hvert lasttrinn og rissene. Alle de følgende bildene av lasttrinnene er satt sammen av et bilde tatt av Øystein Rønningen (venstre side) og et bilde tatt av Lisa Bakken (høyre side).



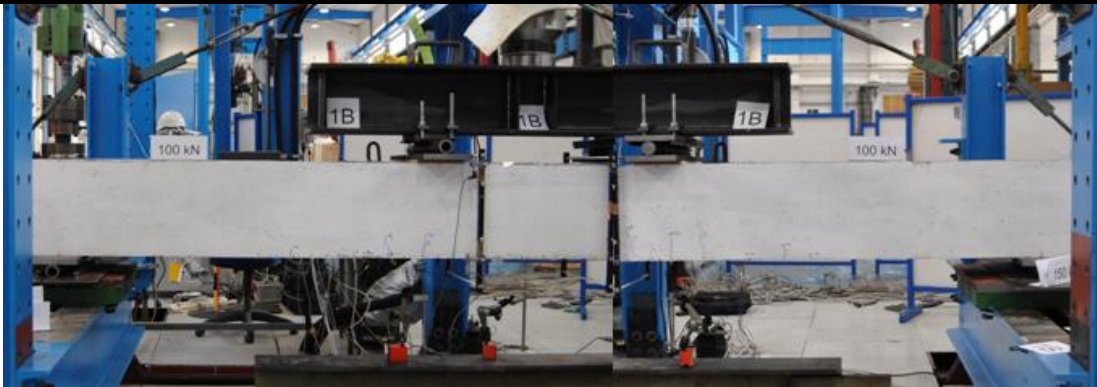
Lasttrinn 1



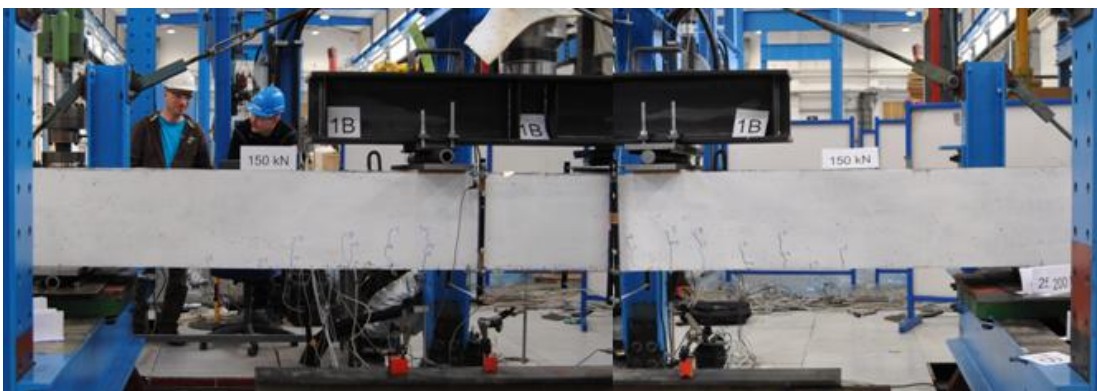
Lasttrinn 2



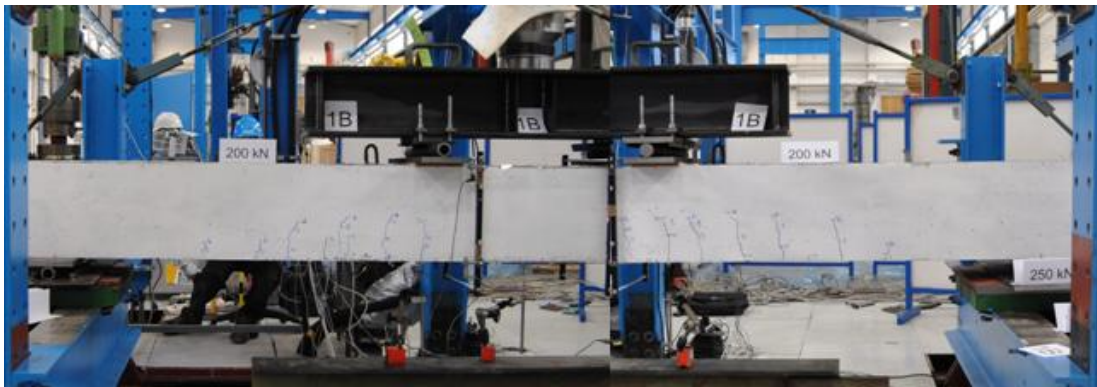
Lasttrinn 3



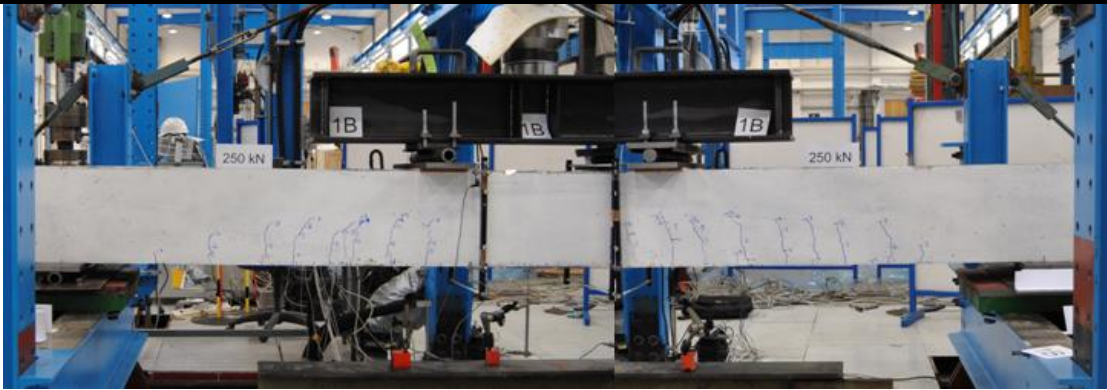
Lasttrinn 4



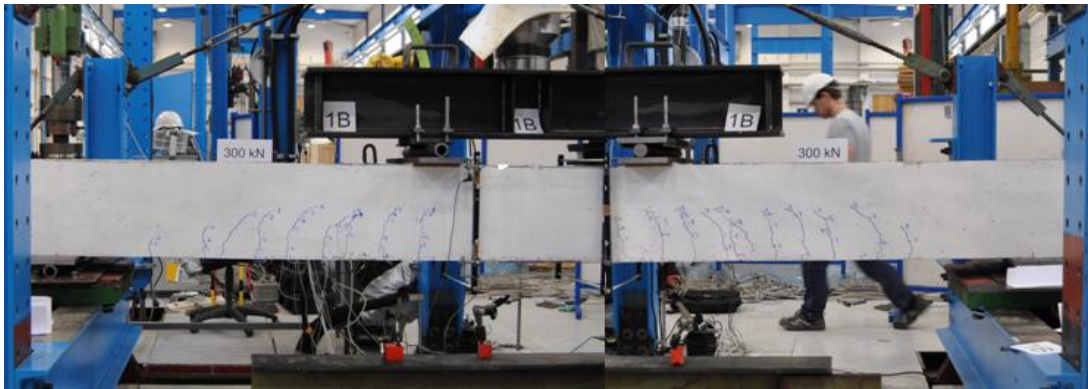
Lasttrinn 5



Lasttrinn 6



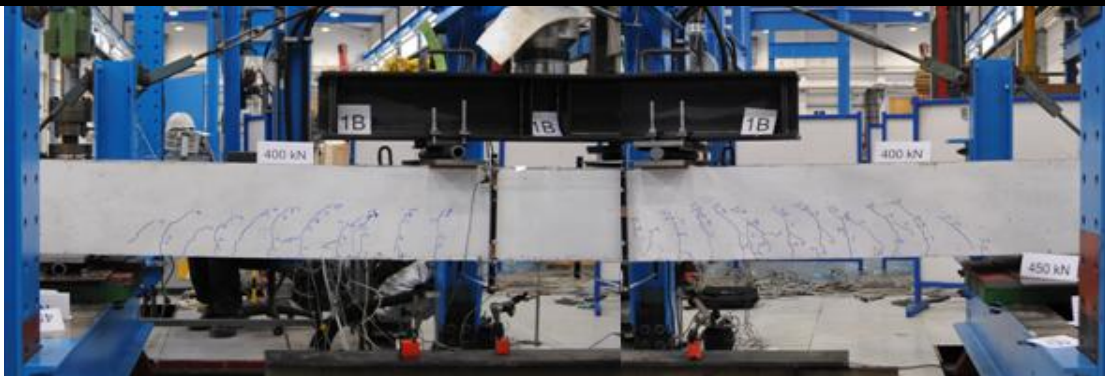
Lasttrinn 7



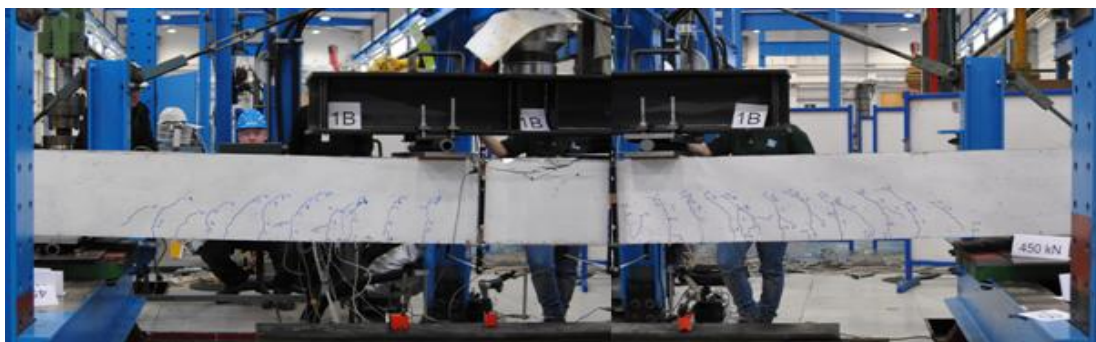
Lasttrinn 8



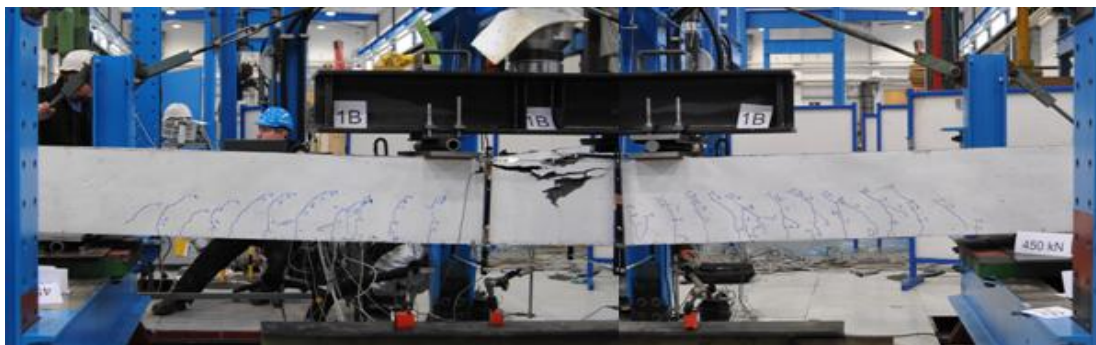
Lasttrinn 9



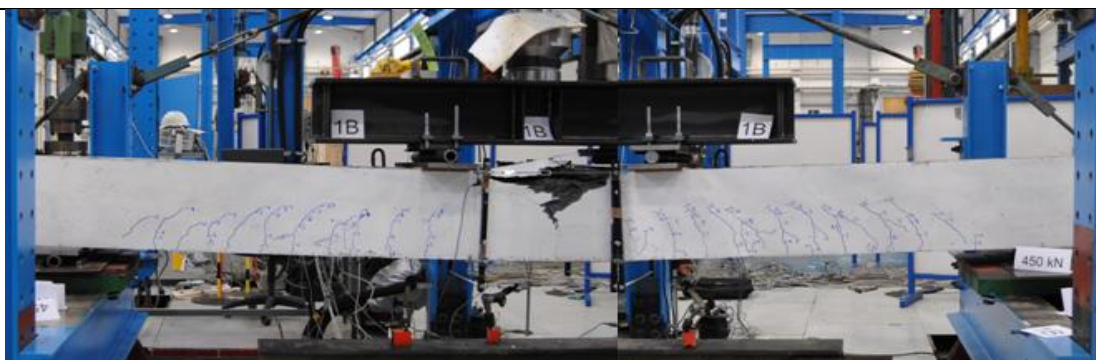
Lasttrinn 10



Brudd



Etter brudd

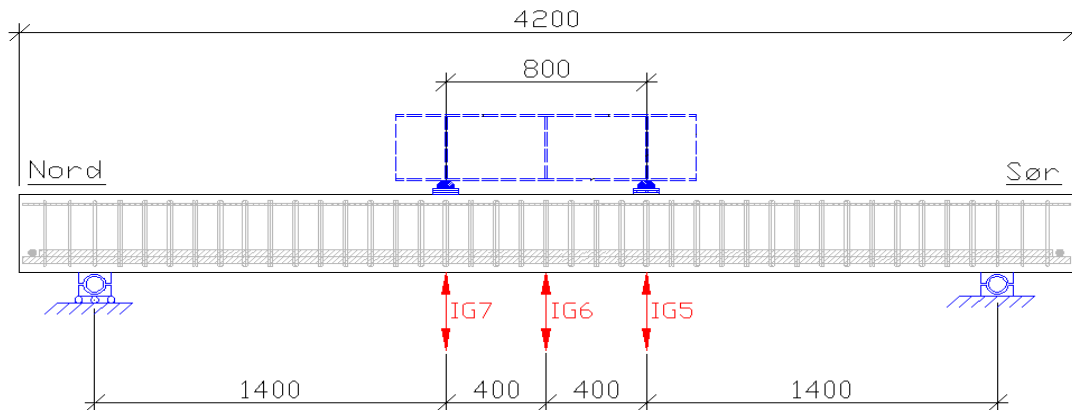


Etter brudd 2

Figur 75: Test av bjelke 1B

6.2.2. Nedbøyning

Nedbøyningen til bjelkene ble funnet ved at tre induktive givere (IG) ble limt til undersiden av betongbjelkene, én i senter av bjelkene og én under hvert lastpunkt, se figur 76.



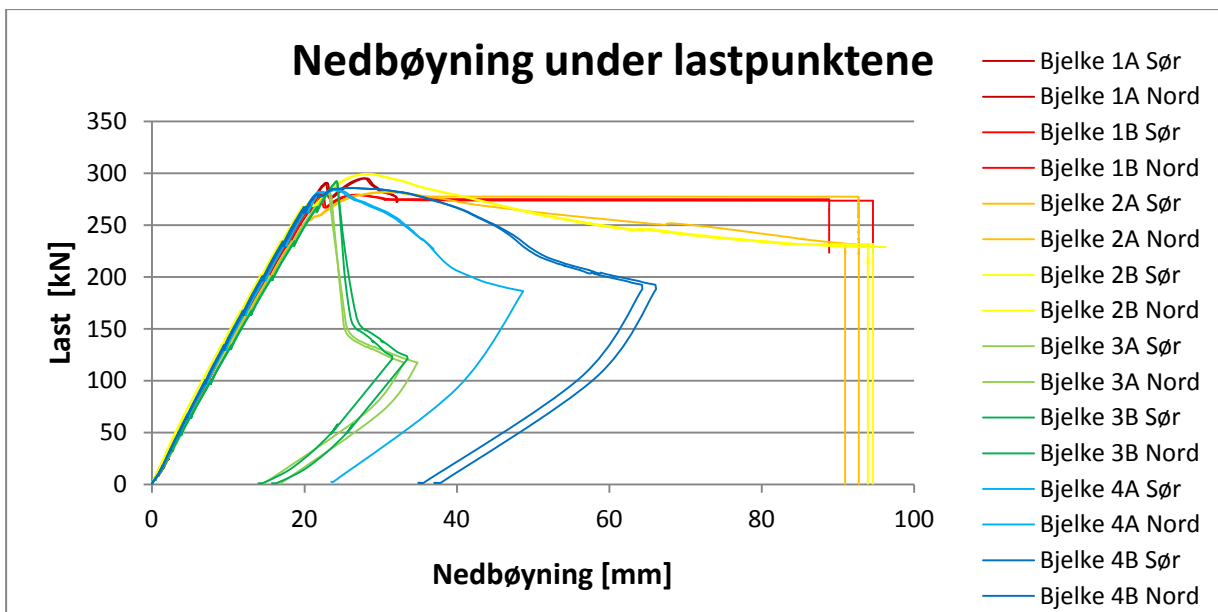
Figur 76: Plasseringen til de induktive giverne

Kilde: Tore Myrland Jensen

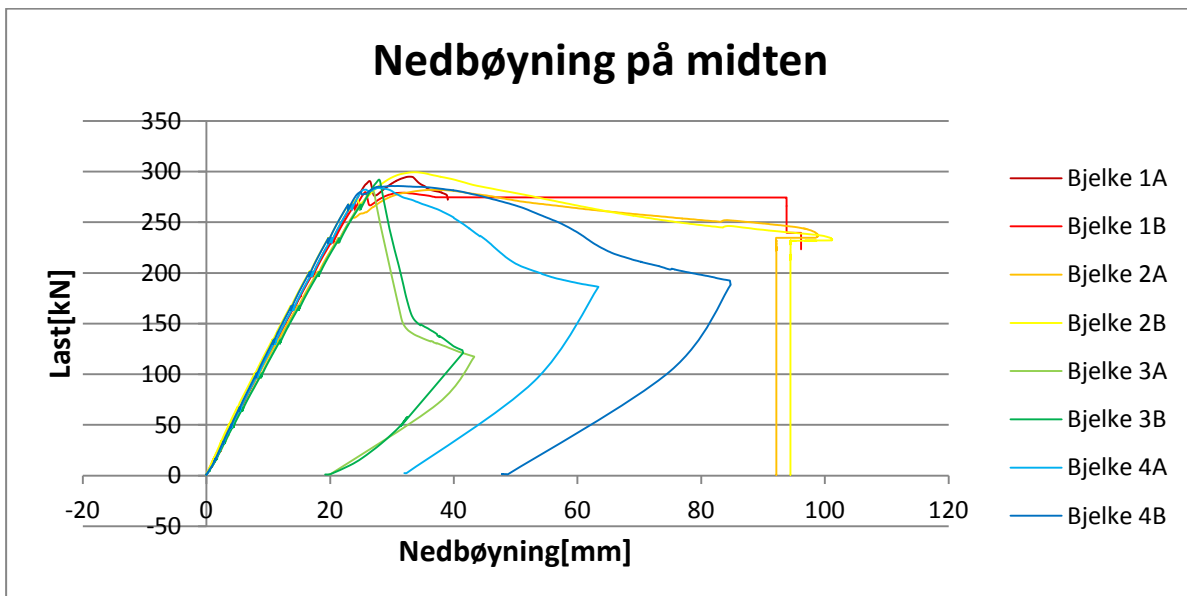
I diagrammene under vises nedbøyningen for hver bjelke, se figur 79 til 86, og samlet, se figur 77 og 78. Nedbøyningen er beskrevet i forhold til belastningen. Grafene til alle bjelkene har en jevnt stigende nedbøyning til bjelkene går til brudd.

Grafene til bjelkene 1B, 2A Nord og 4A Nord får ett dropp i nedbøyningen, dette fordi de induktive giverne ble koblet fra bjelkene og giverne falt ned til en nedbøyning på ca. 90 mm. Bjelke 2A senter og 2B senter har en jevnt økende nedbøyning til ca. 100 mm, men her får grafene en sving tilbake. Svingen kommer trolig av at bjelkene har fått en så stor nedbøyning at da giverne ble koblet fra bjelkene hoppet giveren opp til sin naturlige stilling på ca. 90 mm.

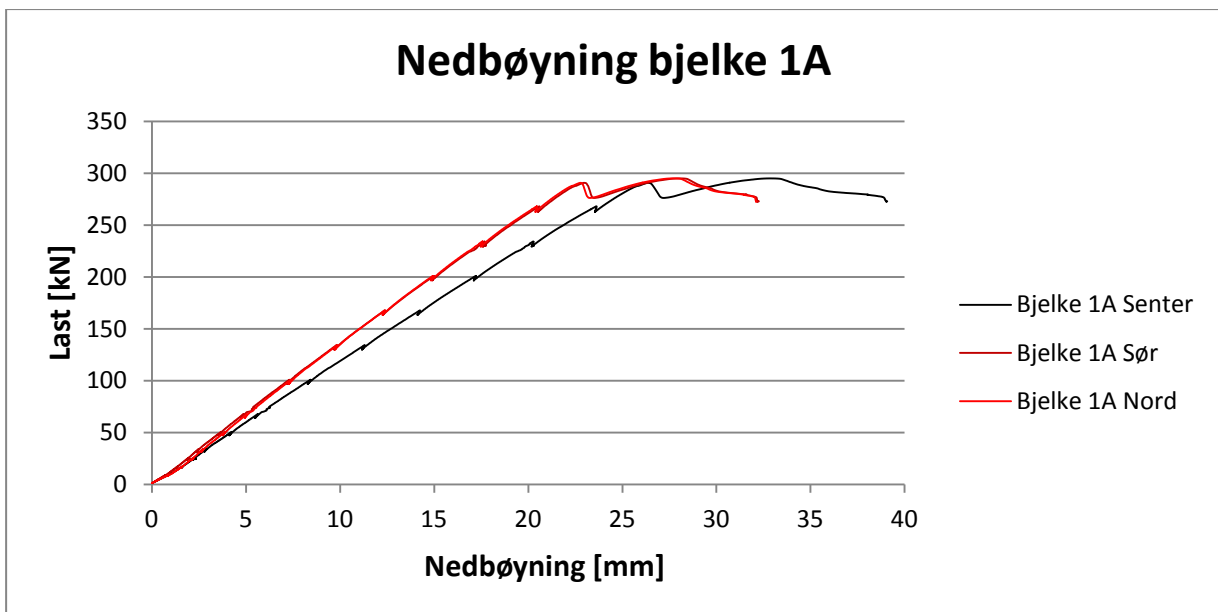
Måling av nedbøyningen til bjelkene 1 ble avsluttet før bjelkene ble avlastet. Giverne som målte nedbøyning til bjelkene 2 ble koblet fra bjelkene før bjelkene ble avlastet, men det ble gjort målinger under avlastning. For bjelkene 3 og 4 var giverne koblet til bjelkene under hele testen, også under avlastning. Da bjelkene var avlastet hadde bjelkene fortsatt en del nedbøyning.



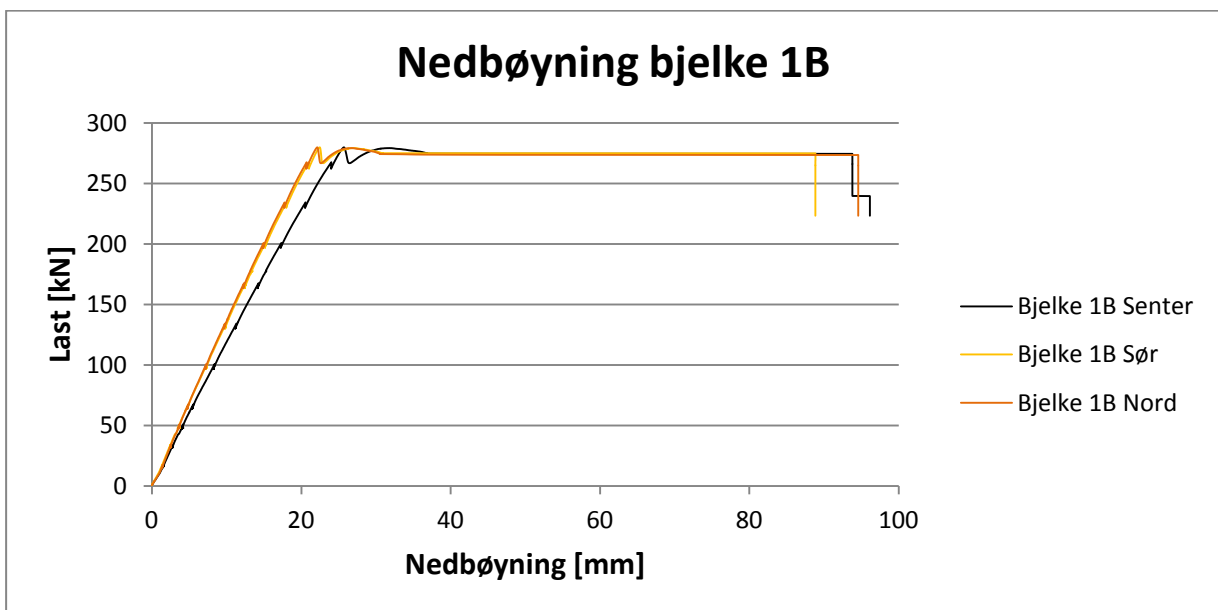
Figur 77: Last-/forskyvningsdiagram, under lastpunktene for alle bjelker



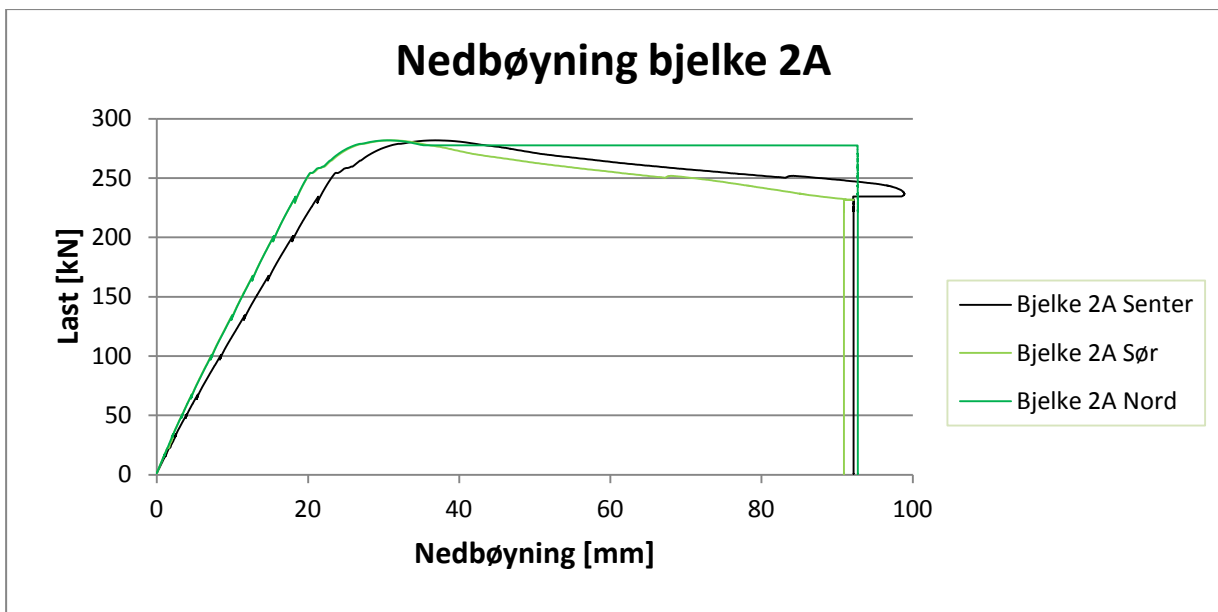
Figur 78: Last-/forskyvningsdiagram, på midten for alle bjelker



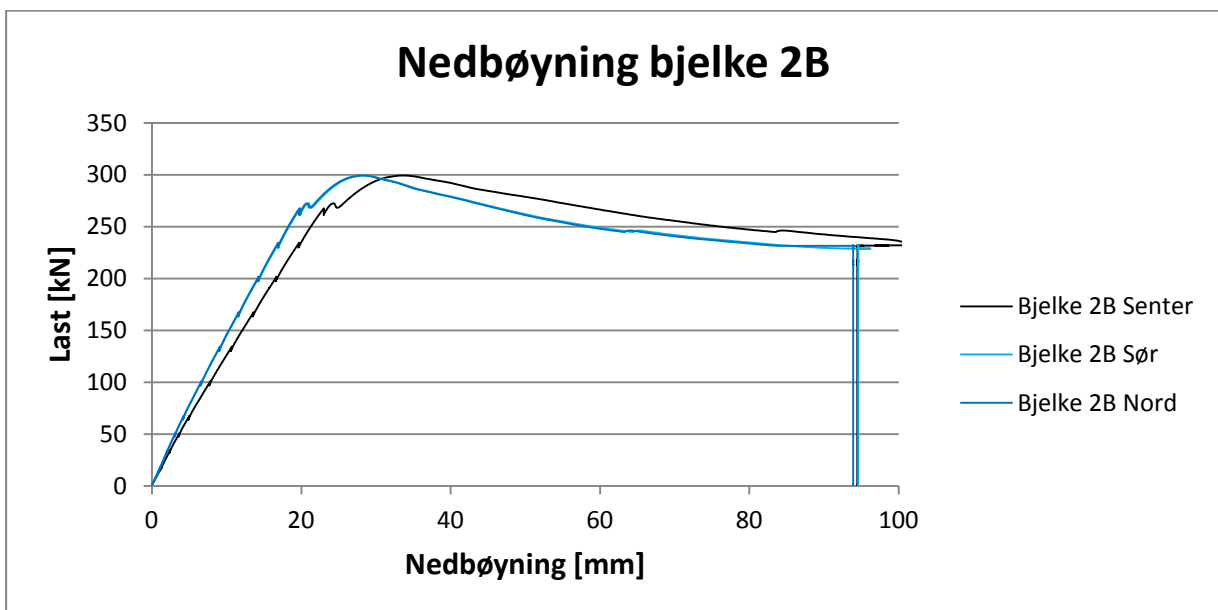
Figur 79: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 1A



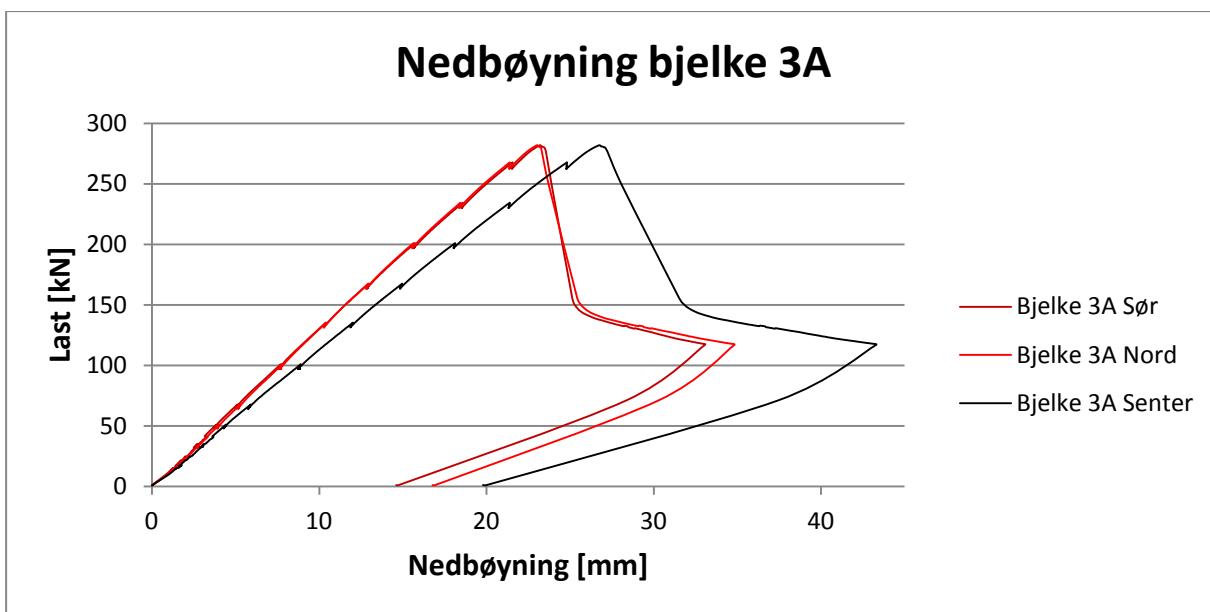
Figur 80: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 1B



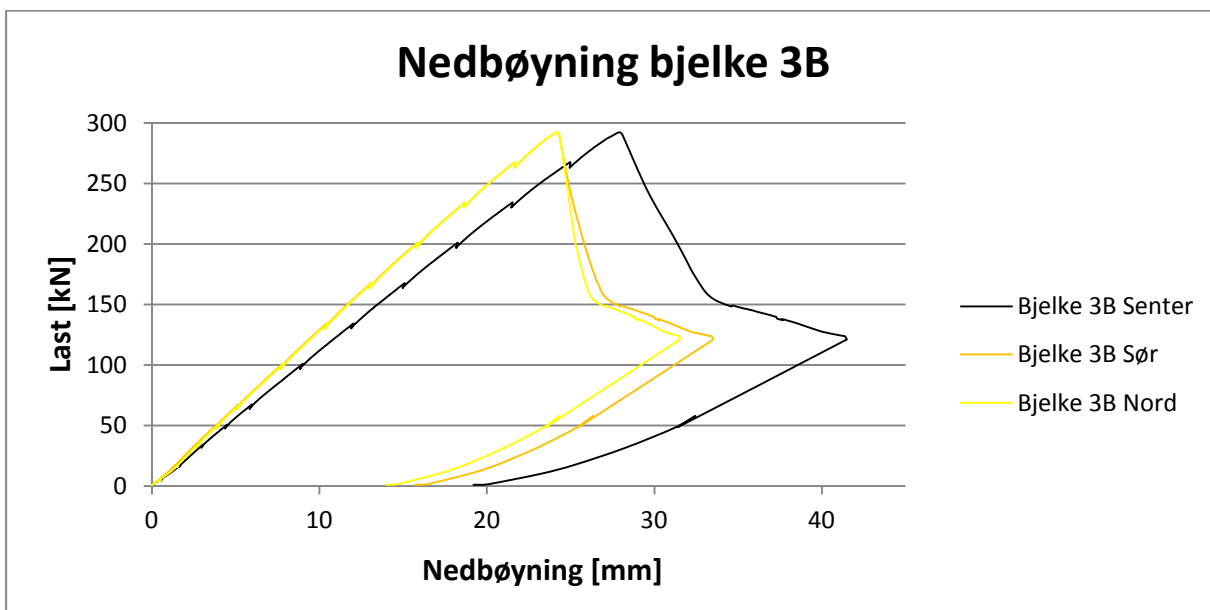
Figur 81: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 2A



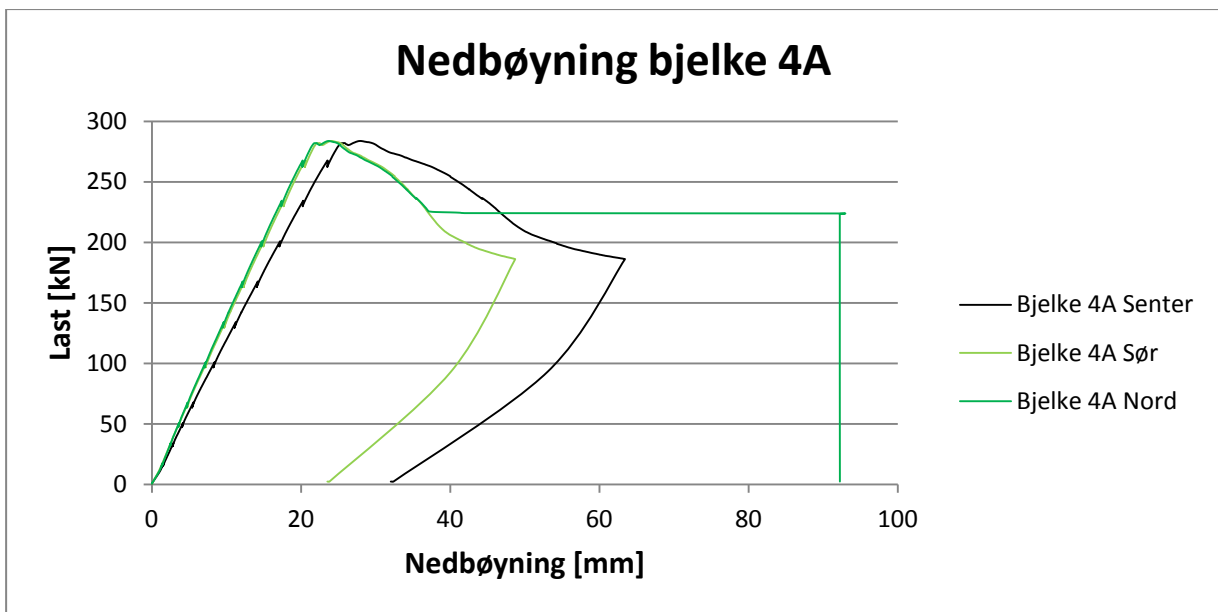
Figur 82: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 2B



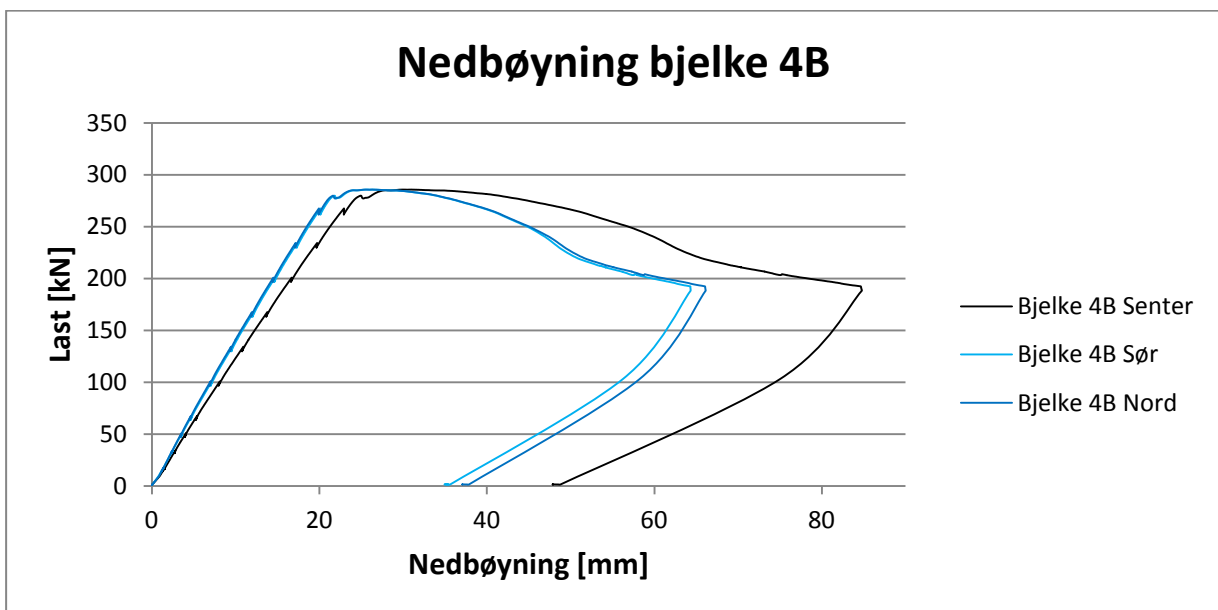
Figur 83: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 3A



Figur 84: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 3B



Figur 85: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 4A

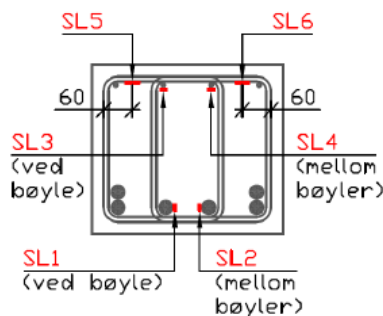


Figur 86: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 4B

6.2.3. Tøyninger

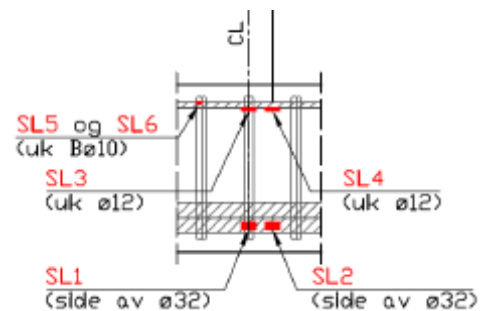
Armeringstøyninger

Tøyningene i armeringen ble målt ved hjelp av strekkklapper (SL) som var limt på armeringsstålet. Figur 87 og 88 viser hvor strekkklappene ble plassert.



Figur 87: Strekkklappenes plassering

Kilde: Tore Myrland Jensen



Figur 88: Strekkklappenes plassering, utsnitt av oppriss

utsnitt av oppriss

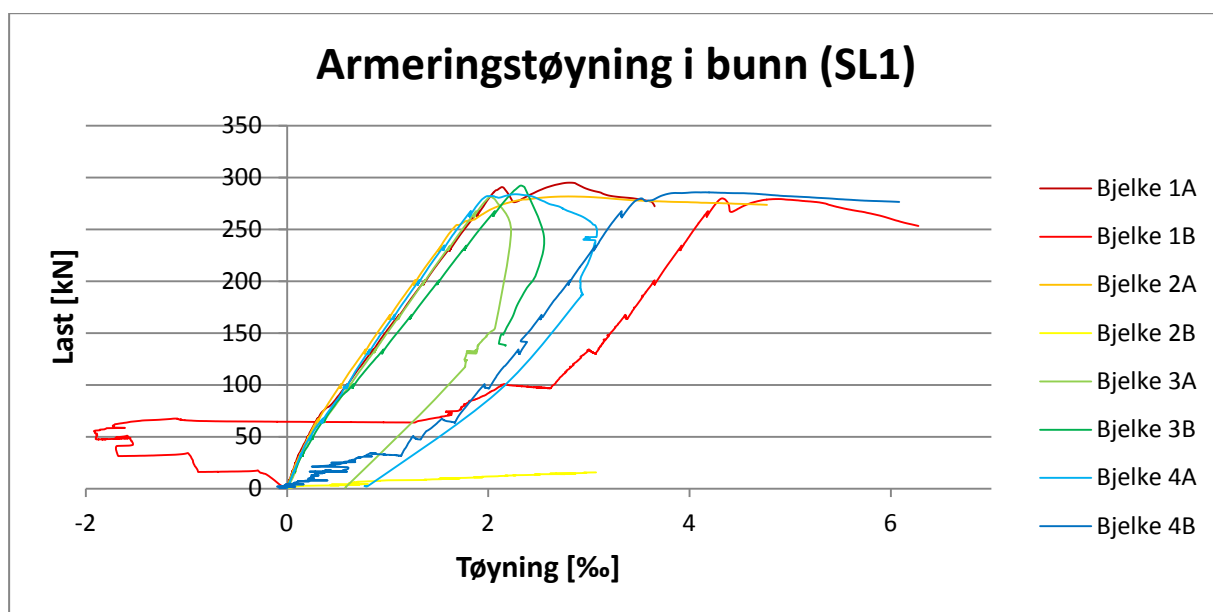
Kilde: Tore Myrland Jensen

Grafene på neste side viser tøyningene i armeringen gitt i forhold til belastningen, se figur 89 til 94. Strekkklappene SL1 og SL2 var plassert på strekkarmeringen og har derfor positive verdier. Strekkklappene SL3 og SL4 var plassert på trykkarmeringen og har derfor negative verdier. SL5 og SL6 var plassert på armeringsbøylene, disse ble også utsatt for strekk og viser derfor positive verdier.

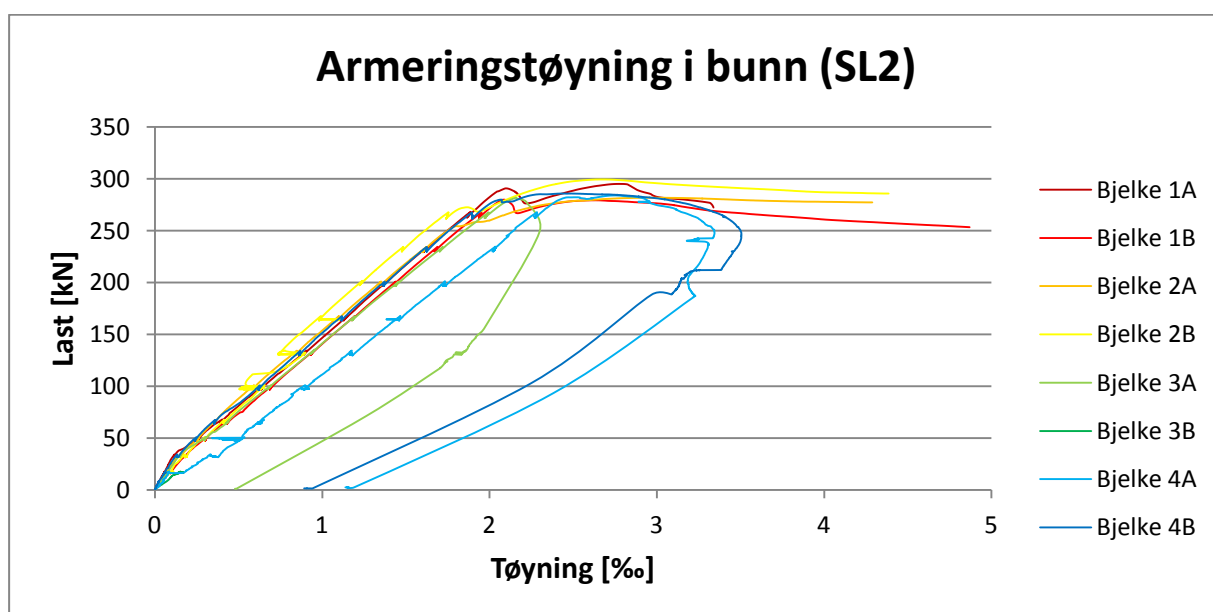
Grafene som viser svært unormale verdier gjør dette på grunn av en feil ved strekkklappen eller ledningen. Mulige årsaker til feilen kan være at strekkklappen ikke ble festet godt nok under montering, at de har fått for store belastninger og røyk underveis i testen, eller de kan ha fått en ugunstig belastning da betongen ble fylt i forskalingen. Grafene til disse strekkklappene ble likevel tatt med i diagrammene.

Noen av grafene til strekkklappene i diagrammet under er kuttet tidligere enn andre. Noen grafer er kuttet fordi testen ble avsluttet. For andre grafer kan strekkklappene ha sluttet å virke og de ga da verdier langt utenfor måleområdet. Ved å kutte disse grafene før feilen oppstår gir det et bedre bilde av de strekkklappene som virket videre i testen.

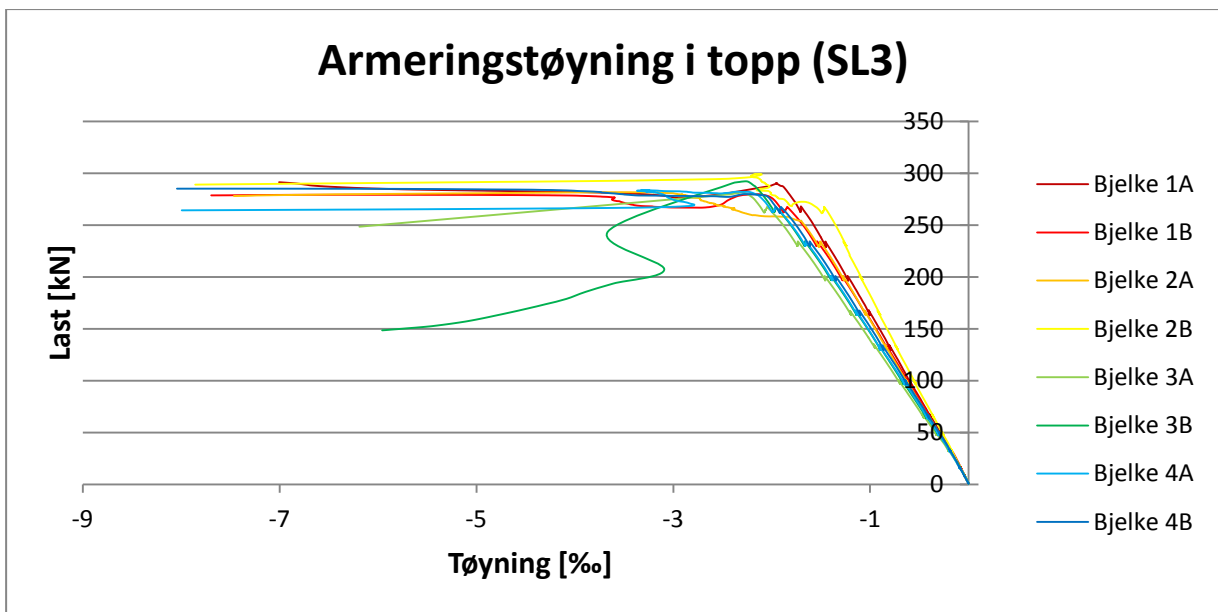
Strekklappene til bjelkene 3 og 4 målte under hele testen, også under avlastningen. Dette gjør at grafene for disse bjelkene først går opp i en topp og deretter buer seg ned igjen. Flere strekkklapper røyk under testene og strekkklapp SL3 og SL4 røyk for alle bjelkene før testen var ferdig.



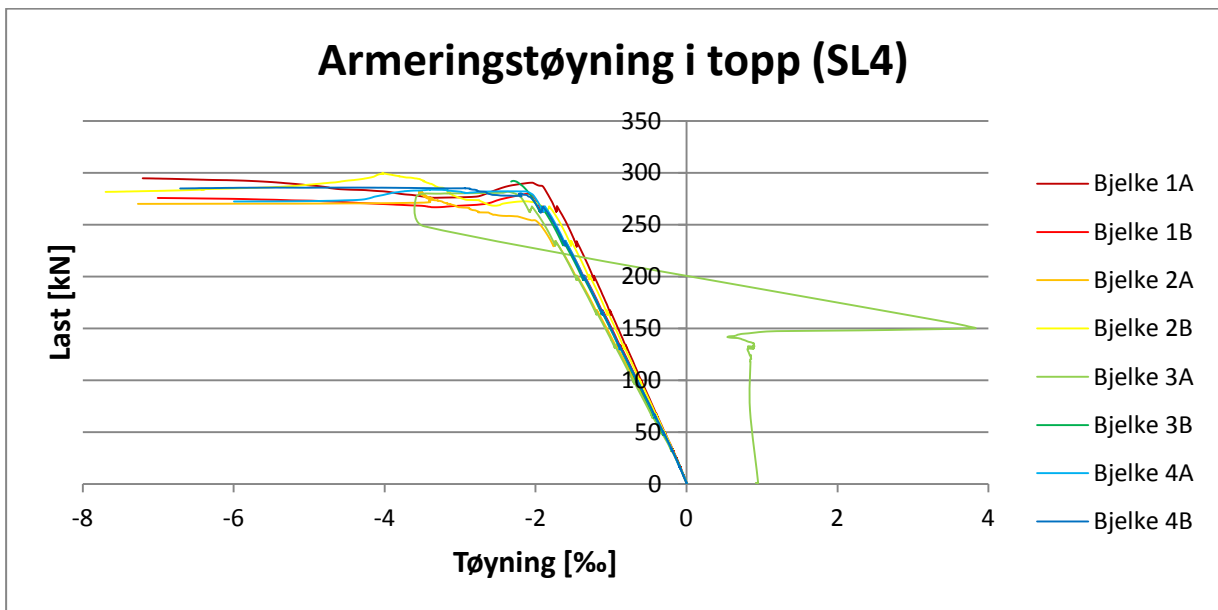
Figur 89: Armeringstøyning i bunn (SL1)



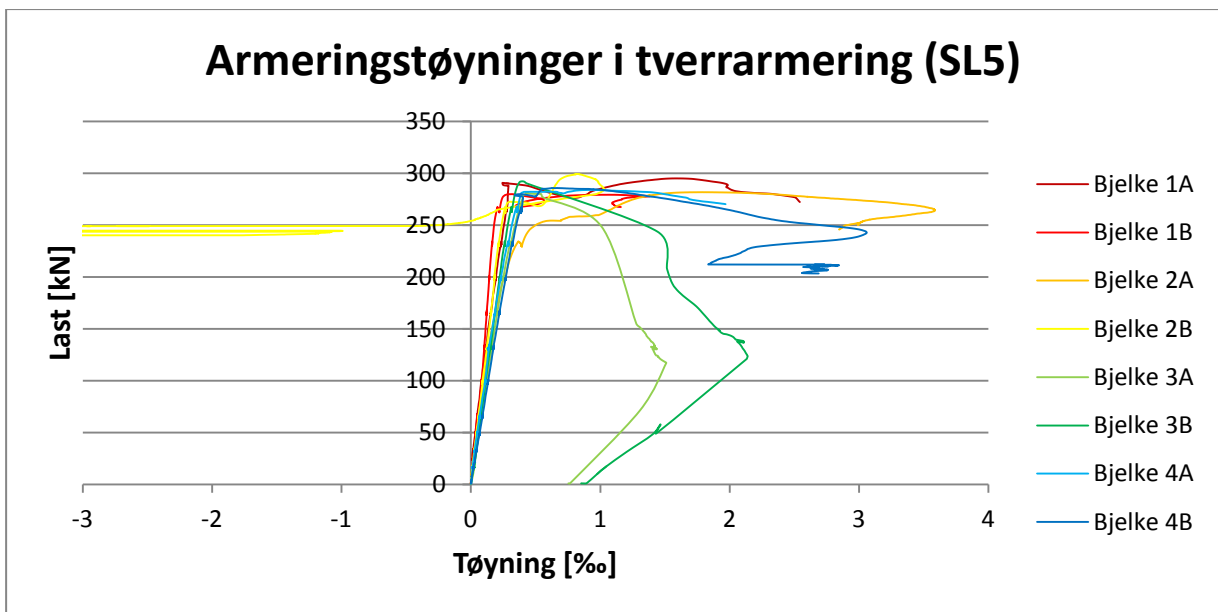
Figur 90: Armeringstøyning i bunn (SL2)



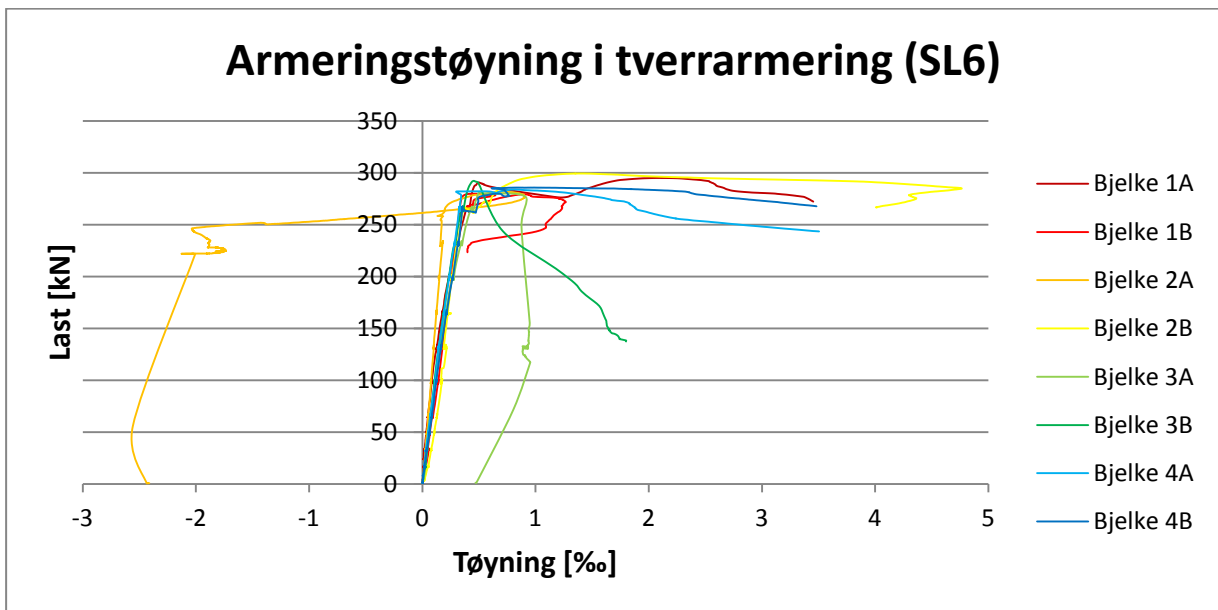
Figur 91: Armeringstøyning i topp (SL3)



Figur 92: Armeringstøyning i topp (SL4)



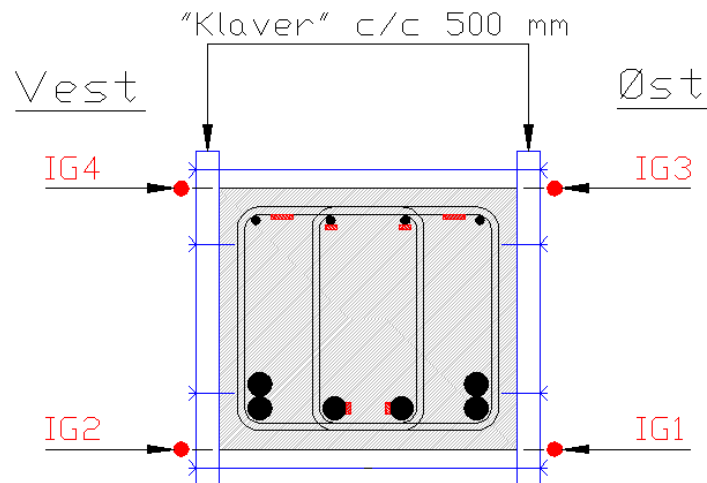
Figur 93: Armeringstøyning i bøyte (SL5)



Figur 94: Armeringstøyning i bøyte (SL6)

Betongtøyninger

Tøyningene i betongen ble funnet ved hjelp av de induktive giverne (IG). Disse var plassert på utsiden av bjelkene, som vist på figur 95.

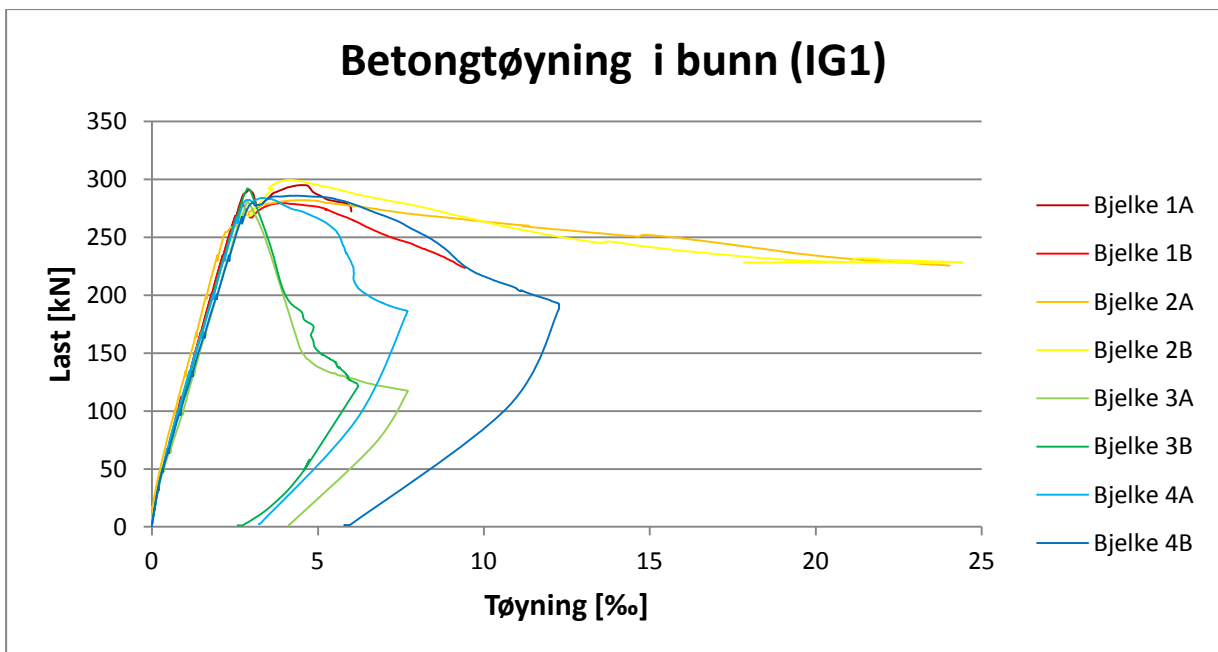


Figur 95: Plasseringen av de induktive giverne

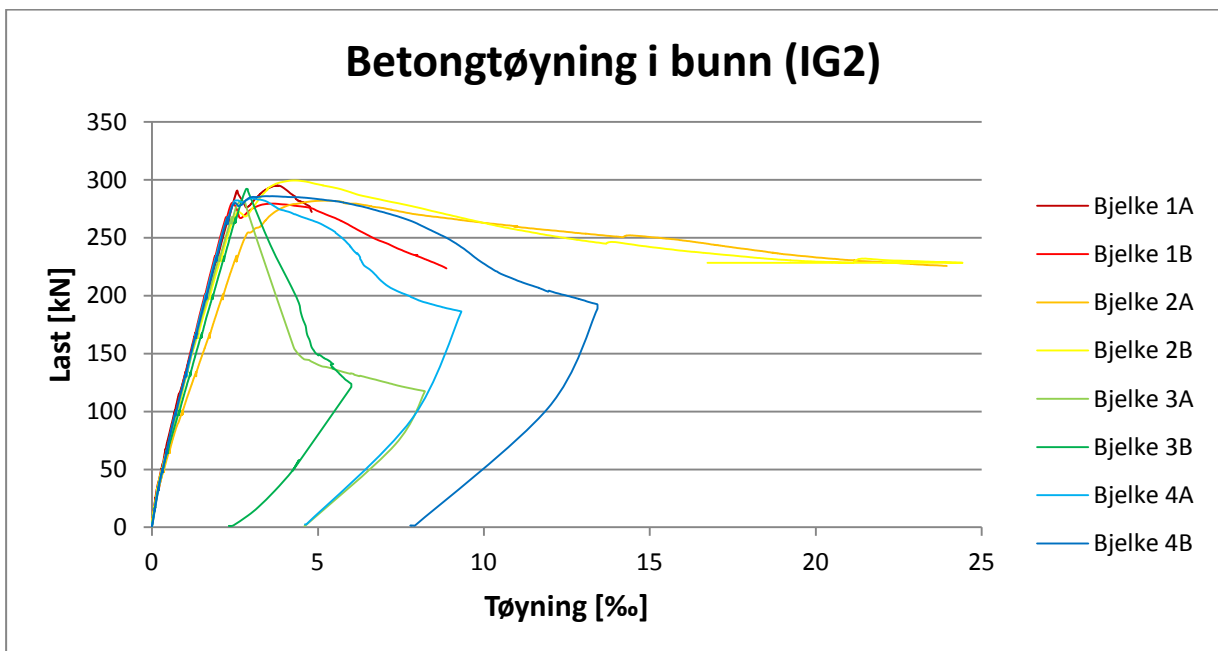
Kilde: Tore Myrland Jensen

Grafene for tøyningene i betongen blir vist på de neste sidene, se figur 96 til 99. Tøyningene er gitt i forhold til belastningen. IG1 og IG2 var plassert parallelt med undersiden av bjelkene. Disse giverne måler lengdeutvidelsen i bunnen, som gir positive verdier i grafene under. IG3 og IG4 var plassert parallelt med toppen av bjelkene og måler derfor negativ lengdeutvidelse av betongen. Disse har derfor negative verdier i grafene under.

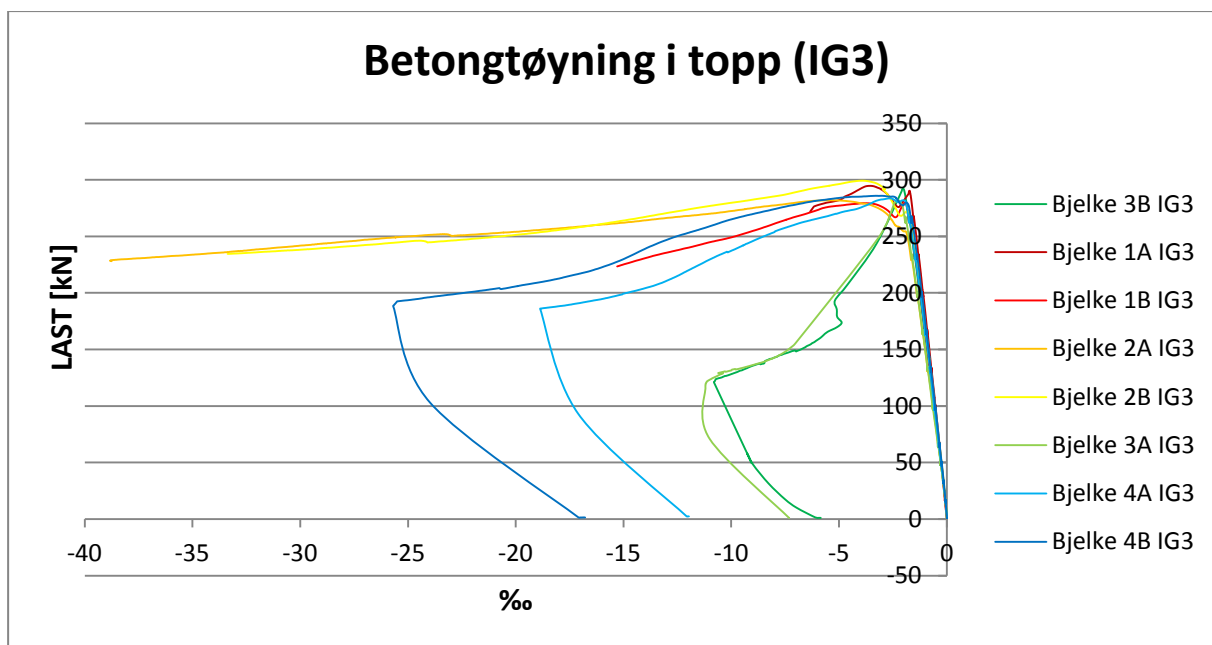
Lengden på grafene varierer avhengig av testenes varighet. For bjelkene 3 og 4 ble det gjort målinger under hele testen også under avlastningen. Bjelkene 2 ble testet mye lenger enn de andre bjelkene og oppnår derfor mye større tøyninger.



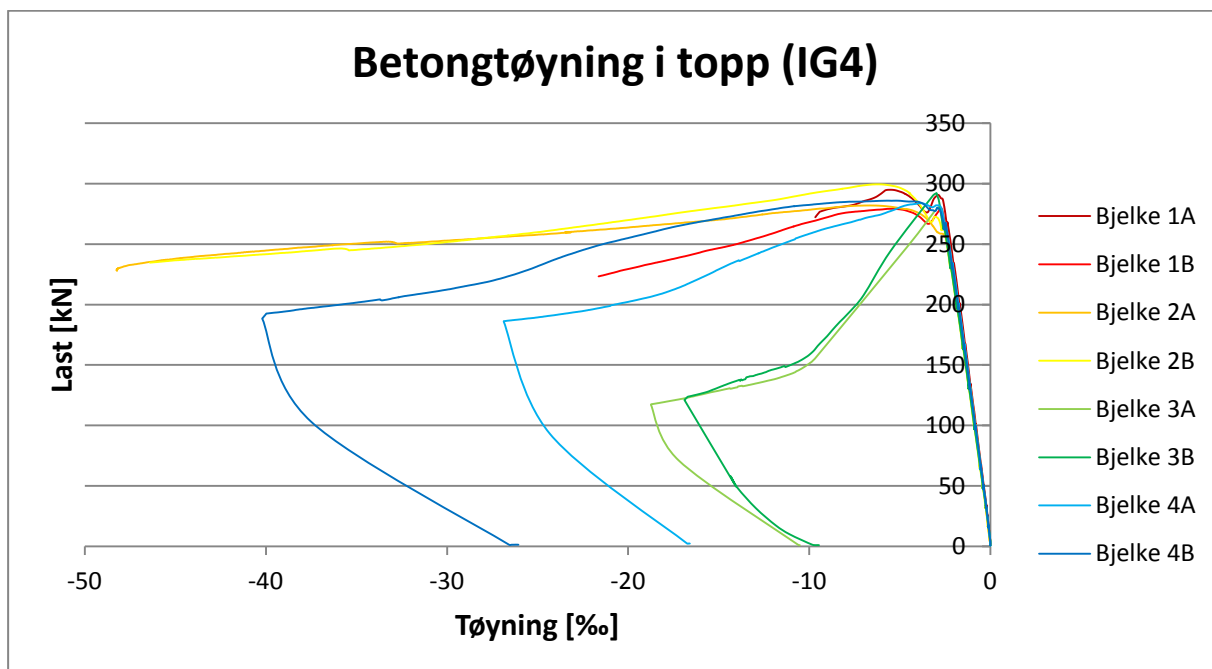
Figur 96: Betongtøyning i bunn (IG1)



Figur 97: Betongtøyning i bunn (IG2)



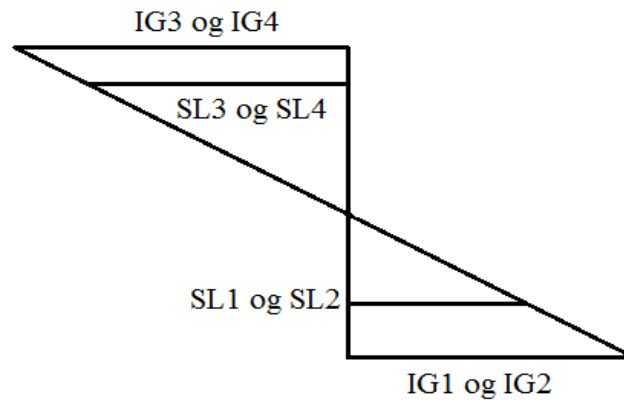
Figur 98: Betongtøyning i topp (IG3)



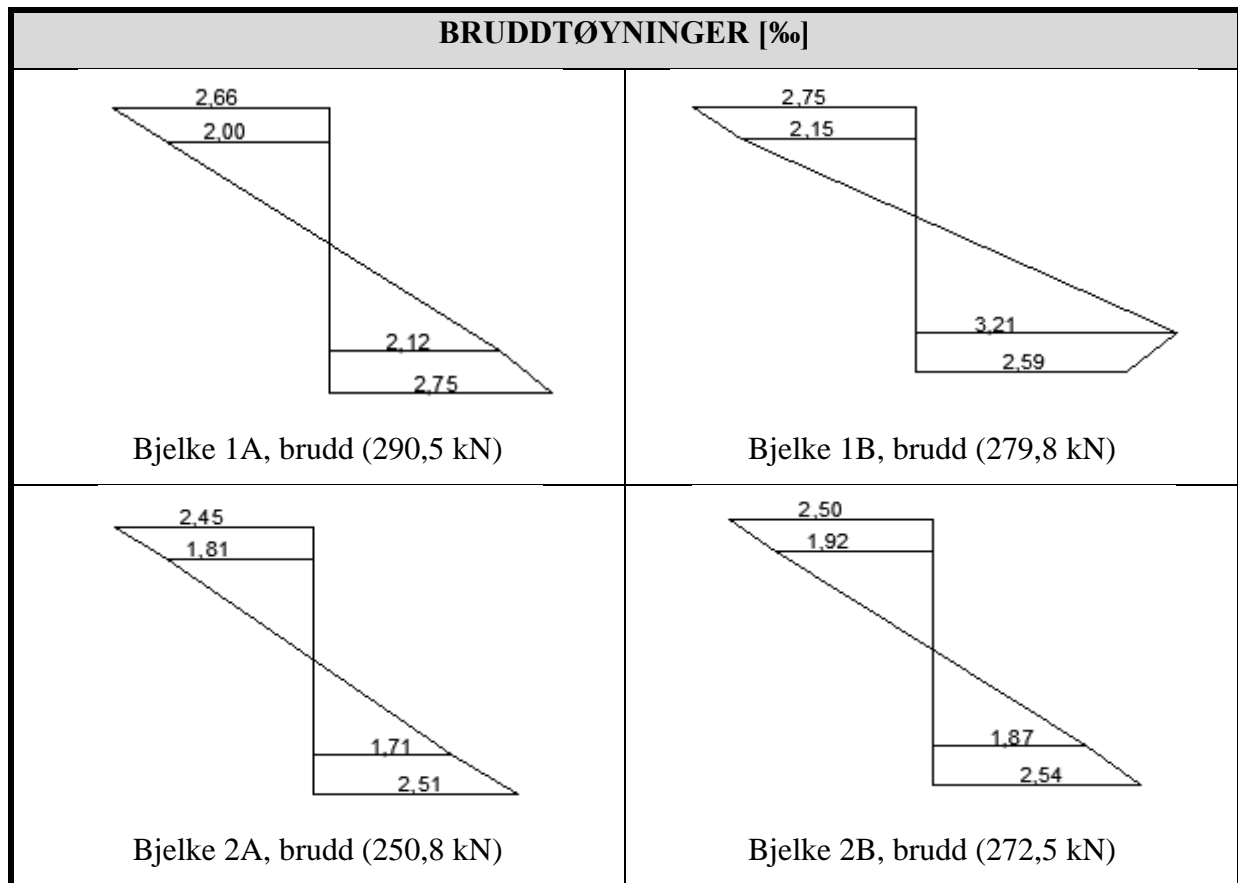
Figur 99: Betongtøyning i topp (IG4)

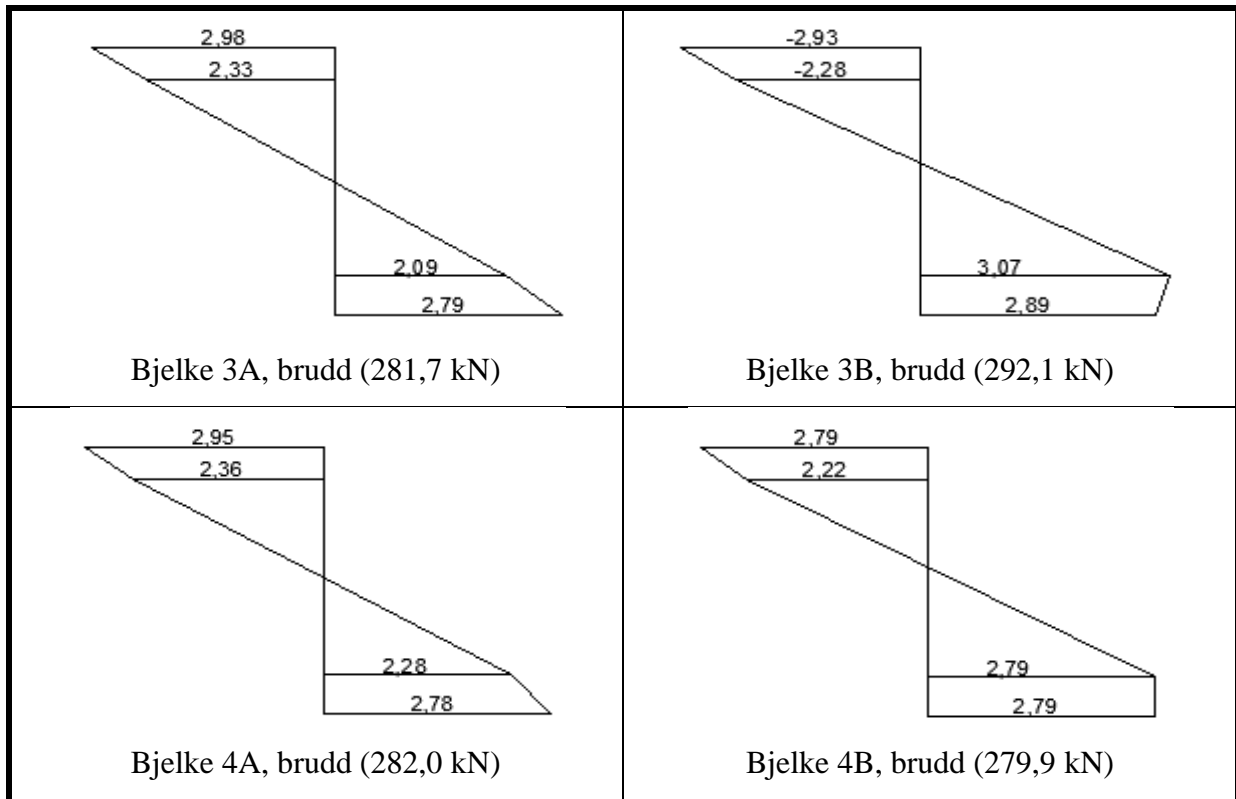
Bruddtøyninger:

Figur 101 viser sammenheng mellom betongtøyningene og armeringstøyningene for hver av bjelkene ved brudd. Dette er illustrert med et tøyningsdiagram for hver av bjelkene. Tøyningene er et gjennomsnitt for strekkklappene eller givene i de forskjellige punktene, se figur 100 og vedlegg 19 for beregning.



Figur 100: Tøyningsdiagram med plasseringen til strekkklapper og induktive givere





Figur 101: Bruddtøyninger, alle bjelker

Figuren 101 viser at det for de fleste bjelkene er en god sammenheng mellom tøyningene i armeringen og betongen, med unntak av strekkarmeringen for noen av bjelkene.

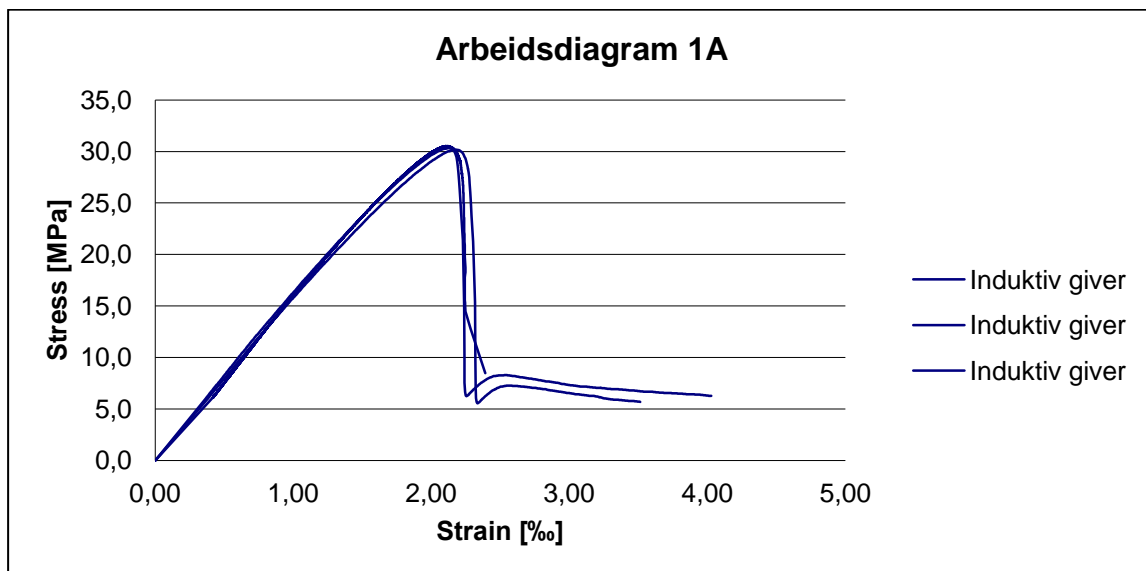
6.3. Parametere fra prøvestykker

6.3.1. Trykkfasthet, E-modul og arbeidsdiagram

Under følger resultatene fra materialprøvingen av betongen. I tabell 37 er alle fastheter og E-moduler fra test gitt (i beregningene er det brukt en E-modul beregnet ut ifra trykkfastheten). I figur 102 er arbeidsdiagrammet for betongen til bjelke 1A vist.

Tabell 37: Trykkfasthet og E-modul

BETONGPARAMETERE								
Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Trykkfasthet f_{lcm} [MPa]	34,4	34,6	27,4	40,5	36,9	39,8	35,9	39,5
E-modul E_{lcm} [GPa]	20,0	20,0	18,4	18,4	25,7	25,7	18,8	18,8
Densitet ρ_{lcm} [kg/m ³]	1803	1847	1785	1835	1765	1823	1840	1880



Figur 102: Tre tester for arbeidsdiagram (1A)

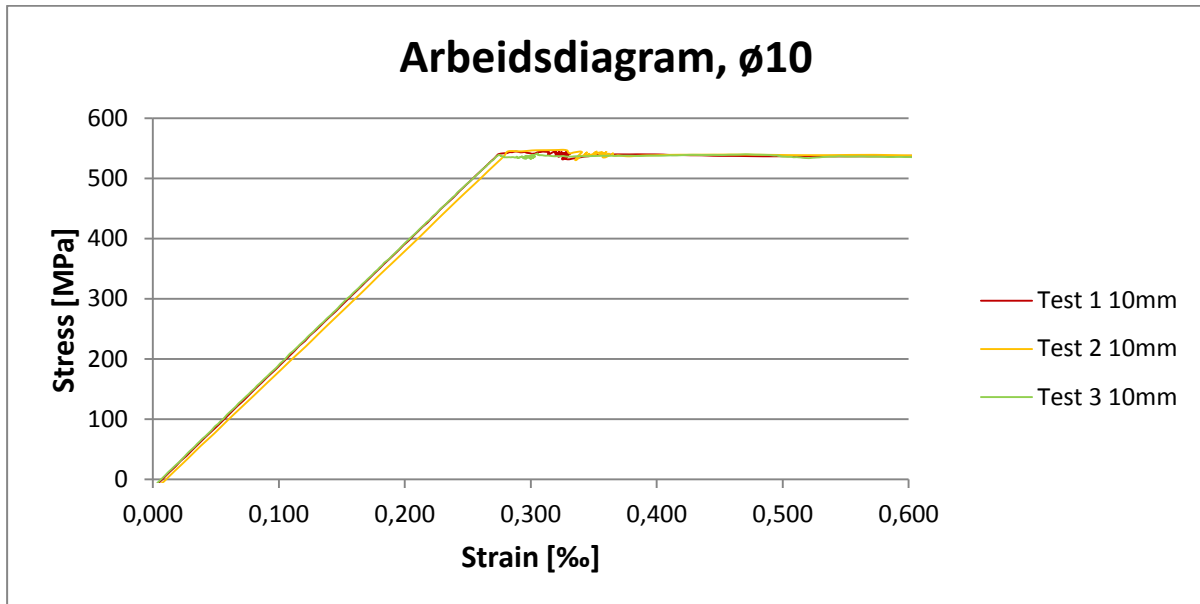
6.3.2. Bøystrekkfasthet

Det var ikke behov for å bruke resultatene fra test av bøystrekkfastheten i dette prosjektet og de er av den grunn ikke behandlet her. Resultatene er likevel i vedlegg 20.

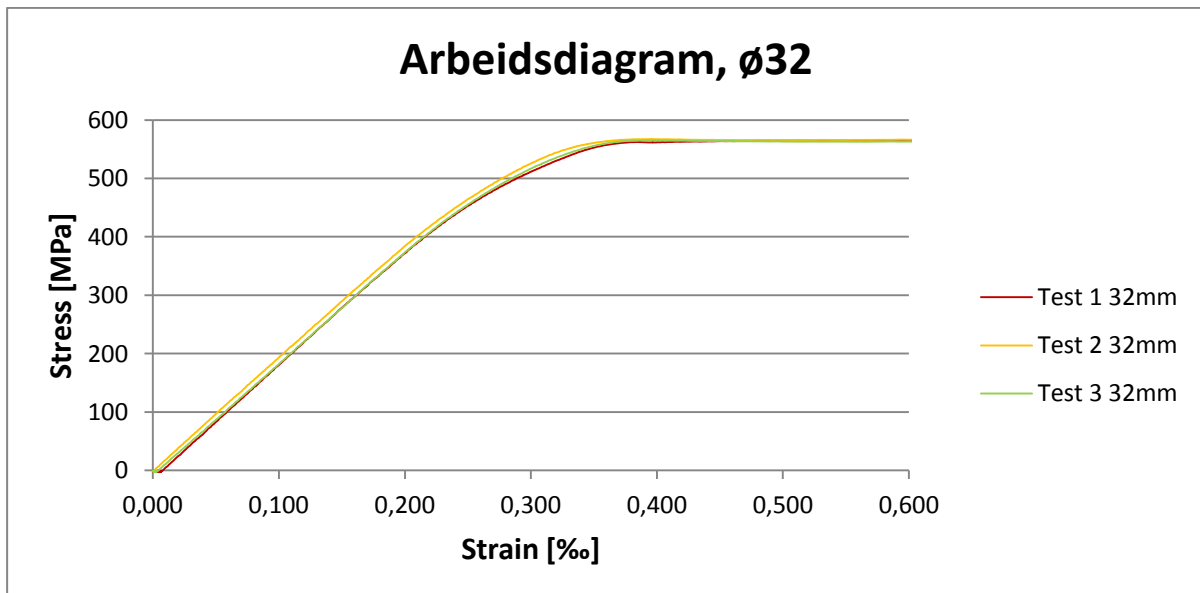
6.3.3. Armeringsjern

Rådata fra test av armeringsjern ble bearbeidet og satt sammen til arbeidsdiagram. Under blir arbeidsdiagrammene vist for $\varnothing 10$ og $\varnothing 32$ hver for seg og samlet, se figur 103 til 105. Det ble

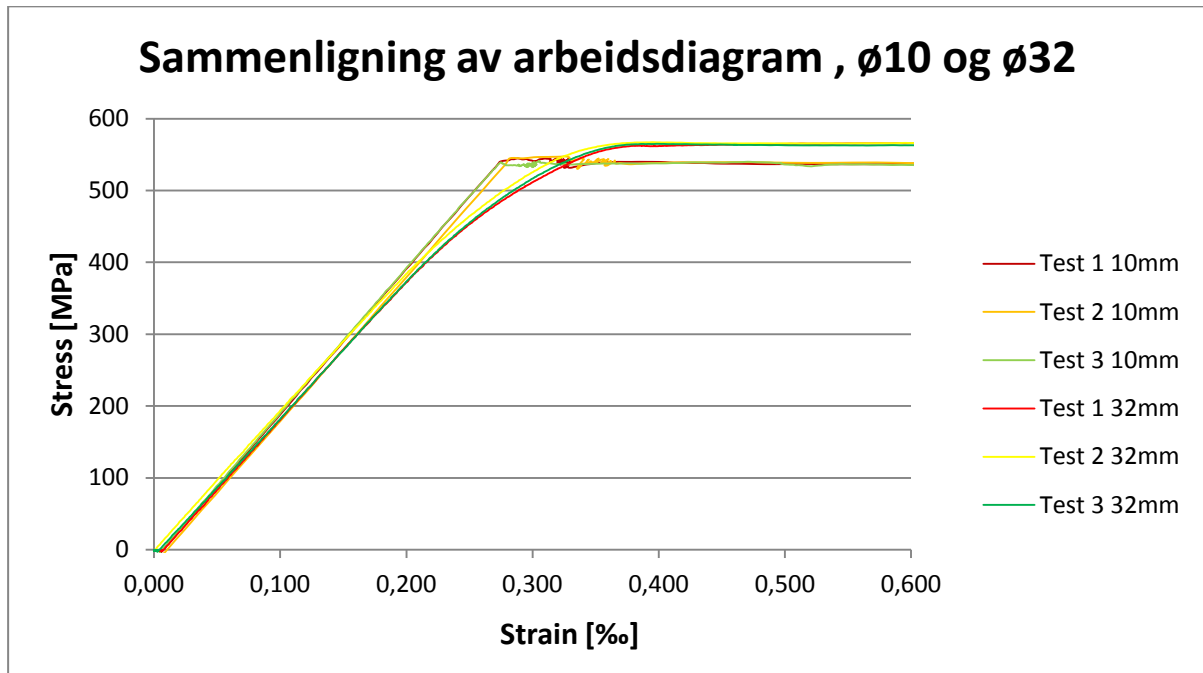
gjort tre tester av hvert jern. Tabell 38 viser ved hvilken tøyning armeringsjernene flyter. Til slutt er det vist hvordan E-modulene ble funnet.



Figur 103: Arbeidsdiagram, armeringsjern ø10



Figur 104: Arbeidsdiagram, armeringsjern ø32

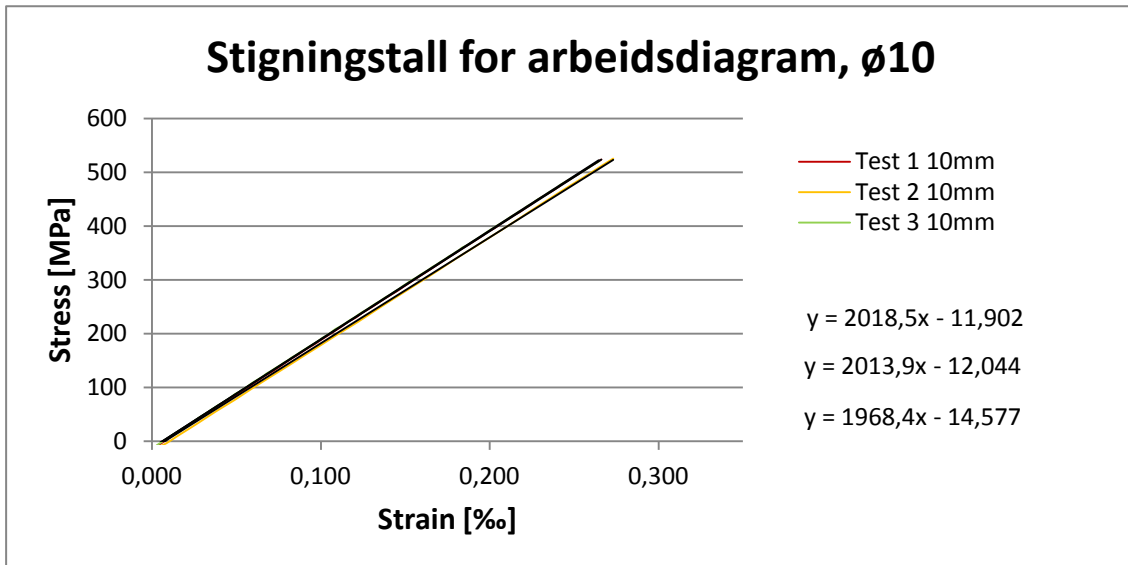


Figur 105: Arbeidsdiagram, armeringsjern ø10 og ø32

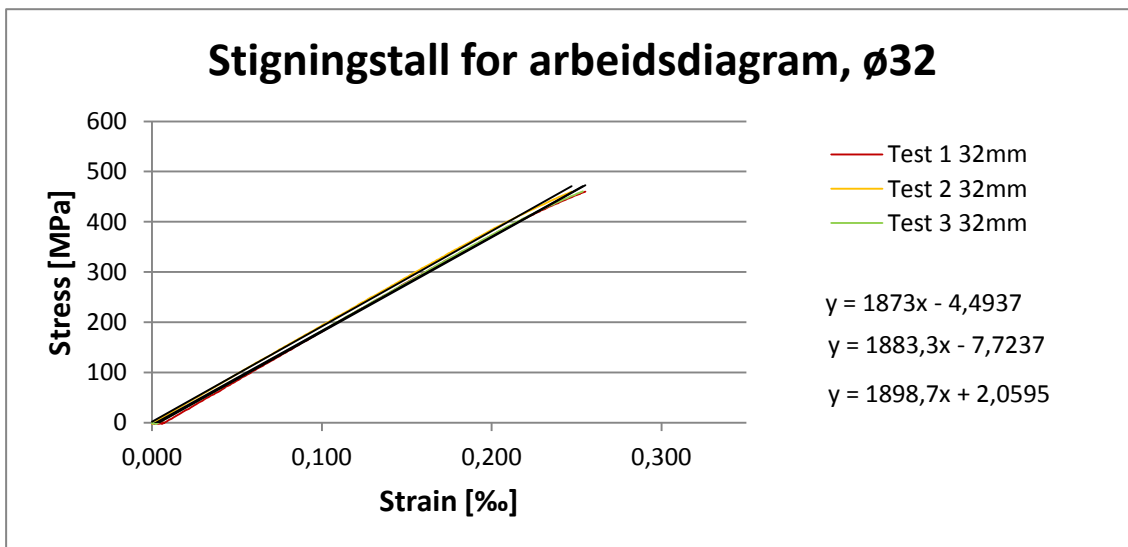
Tabell 38: Armeringens flytgrense

Flyttøyning i armering	
ø10	2,7 ‰
ø32	3,5 ‰

Armeringsjernenes E-modul ble bestemt ved å finne stigningstallet til den lineære delen av arbeidsdiagrammet, se figur 106 og 107. For best mulig tilpasning ble det brukt et snitt av de tre armeringstestene, se tabell 39.



Figur 106: Stigningstall = E-modul, 10mm



Figur 107: Stigningstall = E-modul, 32 mm

Tabell 39: Armeringsjernenes E-modul

ARMERINGENS E-MODUL			
	ø10	ø32	
Test 1	2018,5	1873,0	GPa
Test 2	2013,9	1883,3	GPa
Test 3	1968,4	1898,7	GPa
Gjennomsnitt	<i>200 027</i>	<i>188 500</i>	<i>MPa</i>
	<u>≈200 000</u>	<u>≈190 000</u>	<u>MPa</u>

Tabell 39 viser at E-modulene fra testingen ble 200 000 MPa for ø10-jernene og 190 000 MPa for ø32-jernene. E-modulen for ø32-jernene ble lavere enn forventet, da det i forberedelsene ble regnet med E-modul på 200 000 MPa, som gitt i Eurokode 2.

7. Analyse

I dette kapittelet blir resultatene fra alle bjelkene analysert og bjelketiltakene vurdert. Kapittelet inneholder også sammenligninger mellom testresultat og beregnede verdier.

Tabell 40 viser en oversikt over hvilke tiltak som ble gjort for hver bjelke. Tabell 41 repeterer bruddlastene. Bruddlastene til bjelkene varierer fra 250,8 kN til 290,5 kN, dette er små variasjoner.

Tabell 40: Oversikt over forskjeller i bjelkenes armering

Bjelke	1 (1A og 1B)	2 (2A og 2B)	3 (3A og 3B)	4 (4A og 4B)
Tverrarmering i midtsonen	X	X		
Fiberarmering		X		X

Tabell 41: Bruddlaster

	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Bruddlast [kN]	290,5	279,8	250,8	272,5	281,8	292,1	282,0	279,9
2.lasttopp [kN]	294,8	279,2	281,8	299,3			283,8	285,9

7.1. Effekt av tverrarmering i trykksonen og fiberarmering

7.1.1. Lastkapasitet etter brudd

Målet i dette prosjektet var å oppnå et mer duktilt trykkbrudd i lettbetong. For å kunne vurdere om tiltakene ga lettbetongen et mindre sprøtt trykkbrudd ble det sett på lastkapasiteten til bjelkene like etter brudd. Tabellene 42 til 45 viser bjelkenes lastkapasitet ca. 6 minutt etter brudd.

Tabell 42: Lastkapasitet etter brudd, bjelkene 1

	Bjelke 1A		Bjelke 1B	
Tid etter brudd [sek]	0	371 (6,2min)	0	371 (6,2min)
Kraft [kN]	290,5	272,1	279,8	278,0
Avvik fra bruddlast	$\frac{272,1}{290,5} * 100 = \mathbf{94} \%$		$\frac{278,0}{279,8} * 100 = \mathbf{99} \%$	

Tabell 43: Lastkapasitet etter brudd, bjelkene 2

	Bjelke 2A		Bjelke 2B	
Tid etter brudd [sek]	0	371 (6,2min)	0	371 (6,2min)
Kraft [kN]	250,8	275,2	272,5	297,1
Avvik fra bruddlast	$\frac{275,2}{250,8} * 100 = \mathbf{110} \%$		$\frac{297,1}{272,5} * 100 = \mathbf{109} \%$	

Tabell 44: Lastkapasitet etter brudd, bjelkene 3

	Bjelke 3A		Bjelke 3B	
Tid etter brudd [sek]	0	371 (6,2min)	0	371 (6,2min)
Kraft [kN]	281,8	121,8	292,1	129,0
Avvik fra bruddlast	$\frac{121,8}{281,8} * 100 = \mathbf{43} \%$		$\frac{129,0}{292,1} * 100 = \mathbf{44} \%$	

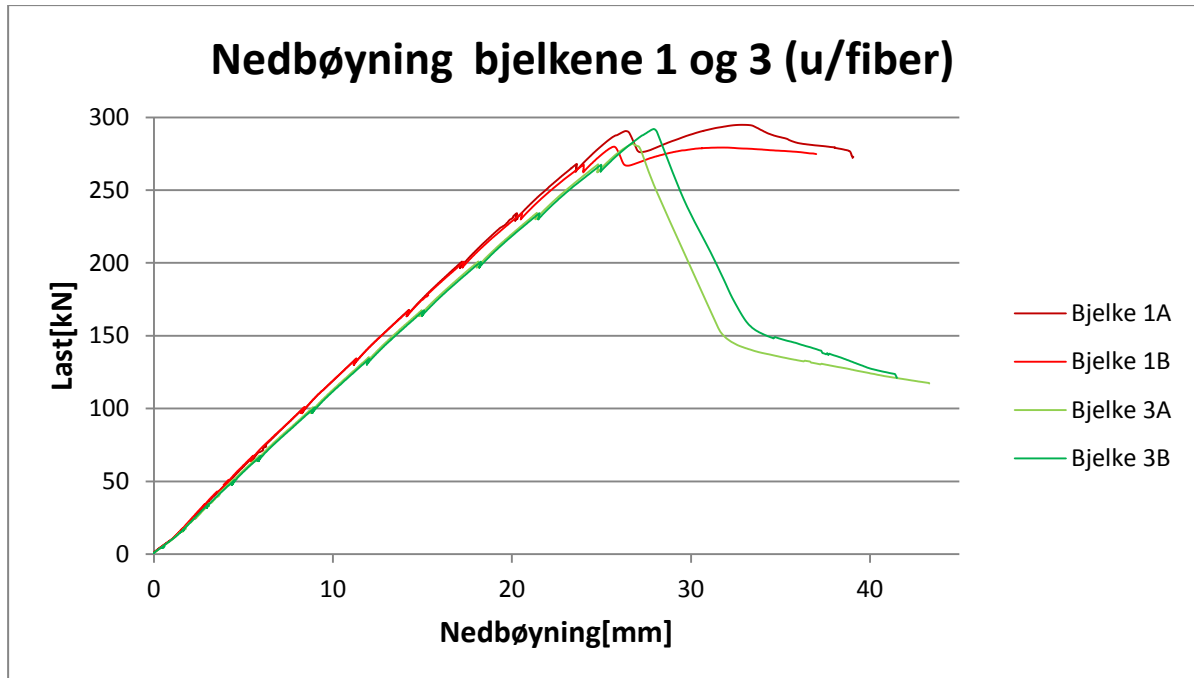
Tabell 45: Lastkapasitet etter brudd, bjelkene 4

	Bjelke 4A		Bjelke 4B	
Tid etter brudd [sek]	0	371 (6,2min)	0	371 (6,2min)
Kraft [kN]	282,0	268,7	279,9	285,4
Avvik fra bruddlast	$\frac{268,7}{282,0} * 100 = \mathbf{95} \%$		$\frac{285,4}{279,9} * 100 = \mathbf{102} \%$	

Resultatene viser at bjelkene med fiberarmering og bjelkene med tverrarmering i midtsonen mer eller mindre opprettholdt bruddlasten 6 minutt etter brudd. Bjelkene med både tverrarmering i midtsonen og fiberarmering hadde en høyere lastkapasitet 6 minutt etter brudd enn ved bruddet. Bjelkene uten tiltak hadde derimot en langt lavere lastkapasitet 6 minutt etter bruddet. Dette kan tyde på at tiltakene gjør trykkbruddet til lettbetongen mer duktilt.

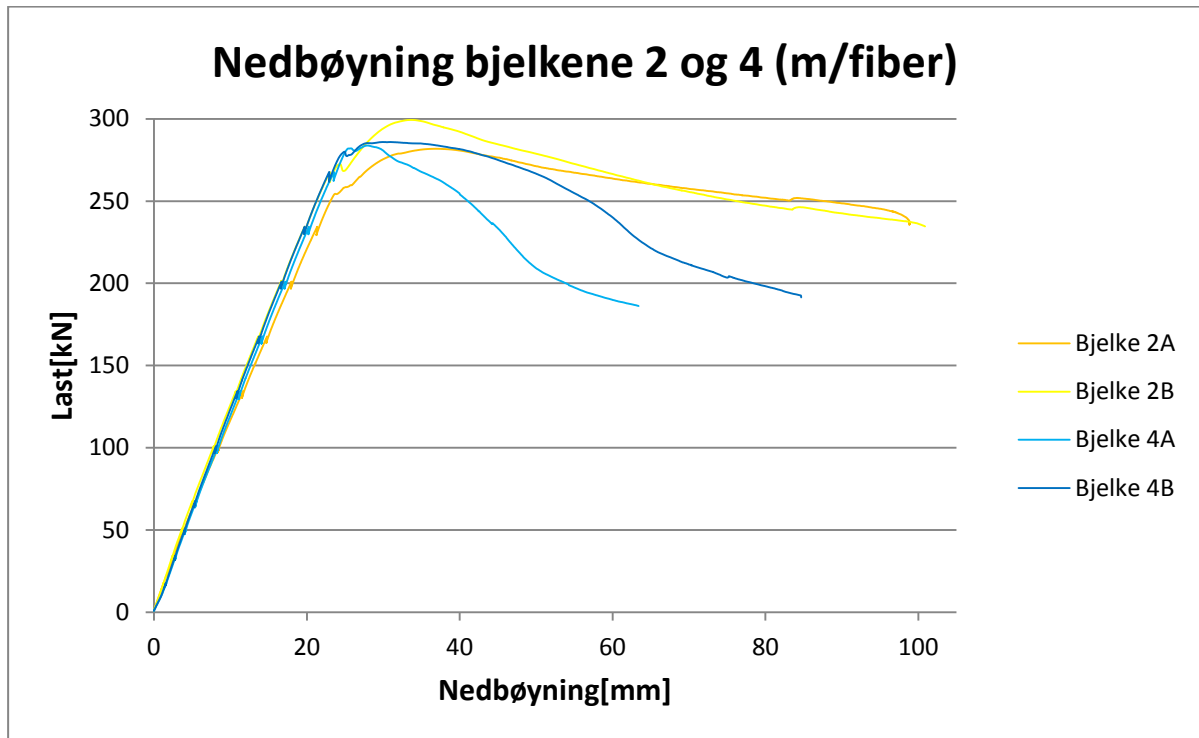
7.1.2. Analyse av last-/forskyvningsdiagram

Under følger last-/forskyvningsdiagrammene for alle bjelkene, både samlet og delt etter armeringstyper, se figur 108 til 112. Grafene er kuttet før avlastning.



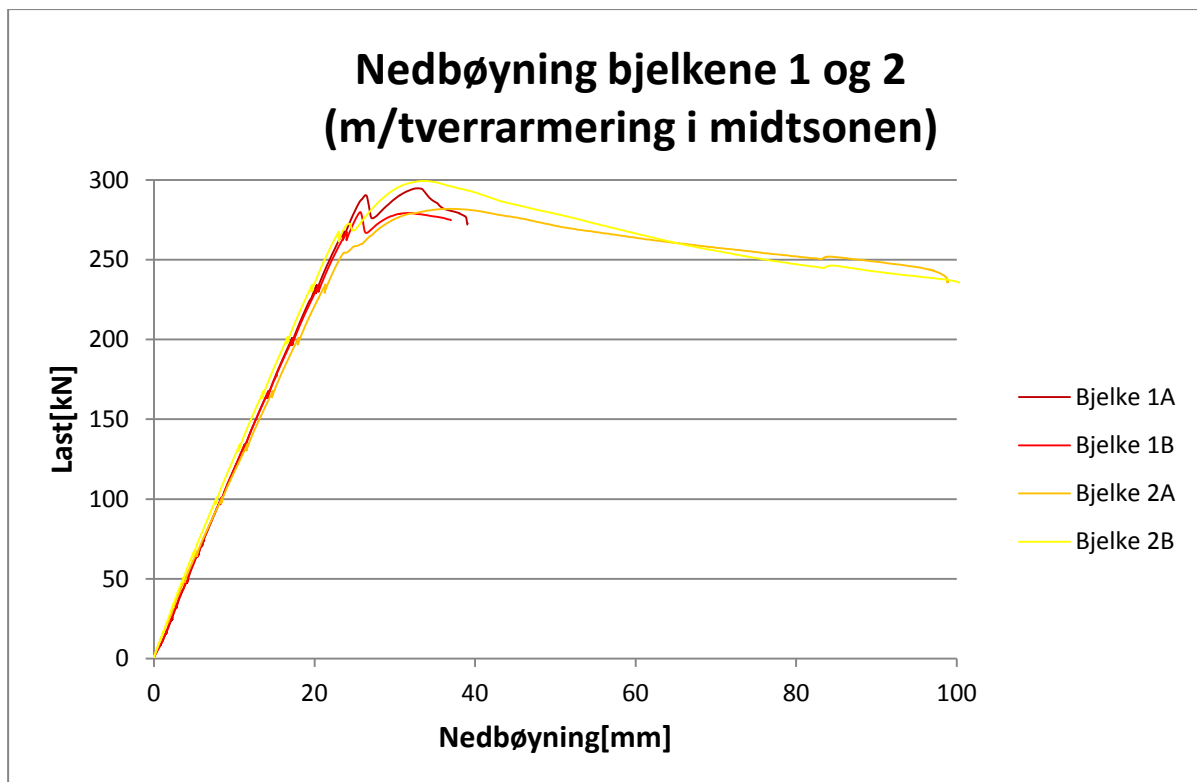
Figur 108: Last-/forskyvningsdiagram, bjelkene 1 og 3

Både bjelkene 1 og 3 var uten fiberarmering, forskjellen var at bjelkene 1 hadde tverrarmering i midtsonen. Av figur 108 kan man se at alle bjelkene nådde omtrent den samme bruddlasten, men grafene til bjelkene 1 faller ikke brått ned etter brudd slik som grafene for bjelkene 3. Figuren viser også at bjelke 1A og 1B hentet seg inn igjen etter brudd og nådde en ny topplast. Dette gir grunn til å tro at tverrarmering i midtsonen innvirker mye på hvordan bjelkene oppfører seg etter brudd.



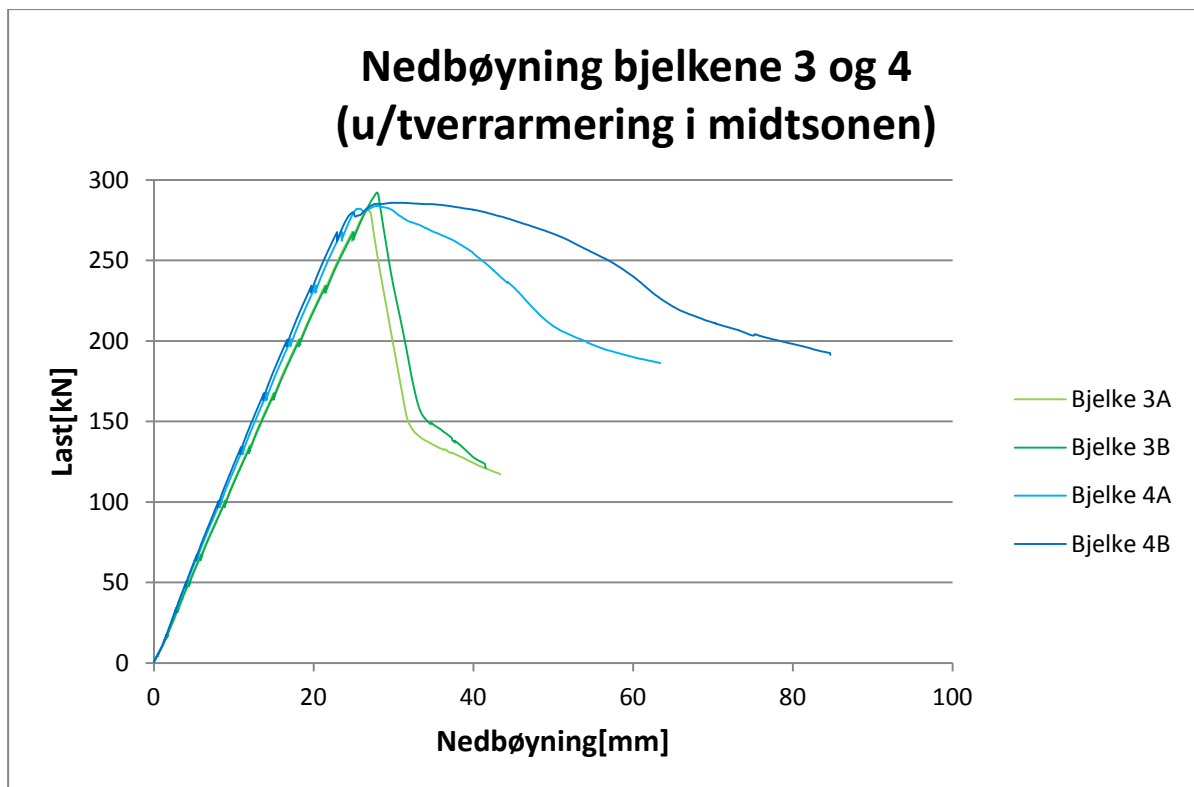
Figur 109: Last-/forskyvningsdiagram, bjelkene 2 og 4

Bjelkene 2 og 4 ble laget med fiberarmering, men bjelke 2A og 2B hadde i tillegg tverrarmering i midtsonen. Diagrammet over (figur 109) viser at også her holdt bjelkene med tverrarmering i midtsonen en høyere last etter brudd enn bjelkene uten. Forskjellen er likevel ikke like stor som for bjelkene uten fiberarmering, se figur 108. Dette tyder på at tverrarmering i midtsonen har mindre betydning når det er fiberarmering i betongen.



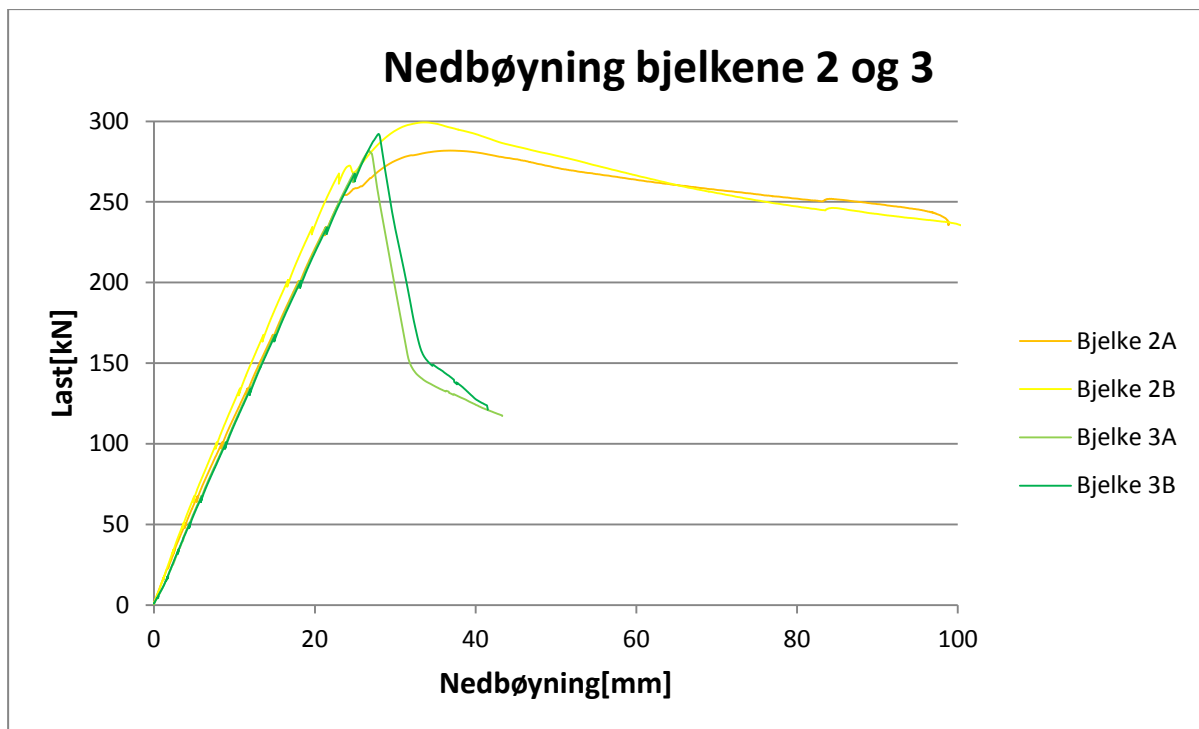
Figur 110: Last-/forskyvningsdiagram, bjelkene 1 og 2

Bjelkene 1 og 2 hadde tverrarming i midtsonen, bjelkene 2 hadde også fiberarming. Det var liten forskjell i bruddlastene for bjelkene. Figur 110 viser at bjelke 1A og 1B mistet en del lastkapasitet ved brudd, mens bjelke 2A og 2B ikke hadde det samme lastdroppet. Bjelkene 2 hadde en relativ jevn stigning i lastkapasitet forbi bruddet og opp til lasttoppen. Figuren viser også en tendens til at bjelkene 1 ville fortsatt med en lavere last etter brudd enn bjelkene 2, hvis testene hadde vart like lenge. Det ser dermed ut til at bruddet til bjelkene med fiberarming er noe seigere enn for bjelkene uten.



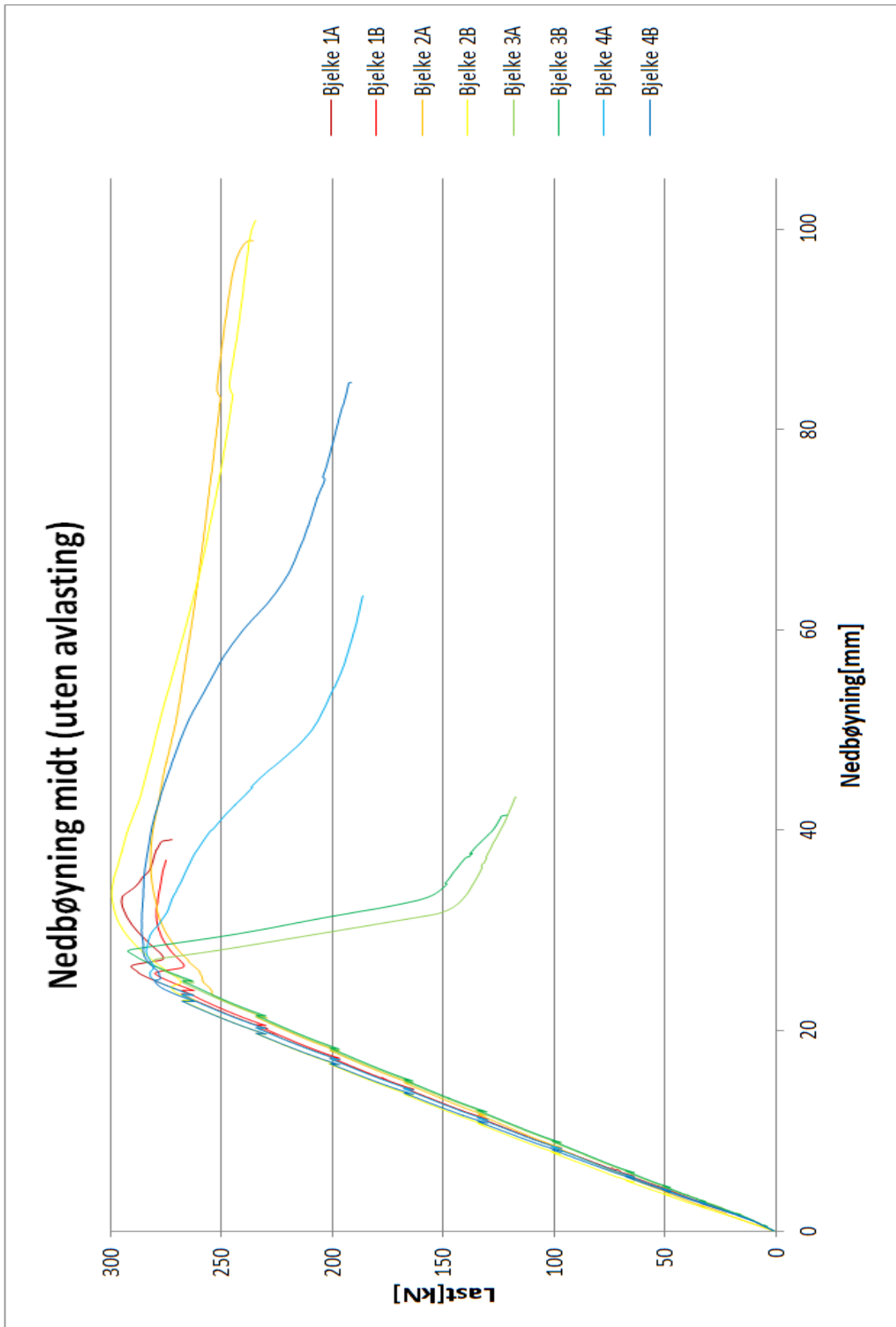
Figur 111: Last-/forskyvningsdiagram, bjelkene 3 og 4

For bjelkene uten tverrarmoring i midtsonen, bjelkene 3 og 4, kan man se stor forskjell på hvordan bjelkene med og uten fiberarmoring oppførte seg etter brudd, se figur 111. Etter brudd hadde bjelkene 4 en slak nedgang i lastkapasiteten, i motsetning til bjelkene 3 hvor lastkapasiteten falt brått. Figur 111 viser at fiberarmoringen utgjorde store forskjeller for hvordan bjelkene oppførte seg etter brudd. Bjelker uten tverrarmoring i midtsonen, ser med andre ord ut til å ha mye større utbytte av fiberarmoring enn bjelker med tverrarmoring i midtsonen.



Figur 112: Last-/forskyvningsdiagram, bjelke 2 og 4

Figur 108 til 111 viser at bjelkene 2, som hadde fiberarmering og tverrarmering i midtsonen, hadde de beste testresultatene og bjelkene 3, uten tiltak, hadde de dårligste testresultatene. I figur 112 blir disse bjelken stilt opp mot hverandre og man kan tydelig se at bjelketiltakene utgjorde store forskjeller med tanke på duktilitet ved trykkbrudd.



Figur 113: Last-/forskyvningsdiagram for alle bjelkene

Om man til slutt ser på alle grafene samtidig, se figur 113, kan man se at bjelkene med tverrarmering i midtsonen hadde bedre resultater enn bjelkene uten tverrarmering. Figuren viser også at bjelkene med fiberarmering hadde bedre resultater enn bjelkene uten fiberarmering med tanke på duktilitet i lettbetong. Bjelkene uten tverrarmering i midtsonen hadde også mer utbytte av fiberarmering enn bjelkene med tverrarmering i midtsonen. En grunn til dette kan være at tverrarmering alene er et svært godt tiltak med tanke på duktilitet i lettbetong, noe som vil si at effekten av fiberarmering blir minimert når fiberarmering blir benyttet sammen med tverrarmering i midtsonen. Bjelker uten tverrarmering hadde derimot ingen andre faktorer som virket inn og fiberarmeringen kunne utgjøre en mye større forbedring.

7.1.3. Hvorfor fungerer tiltakene?

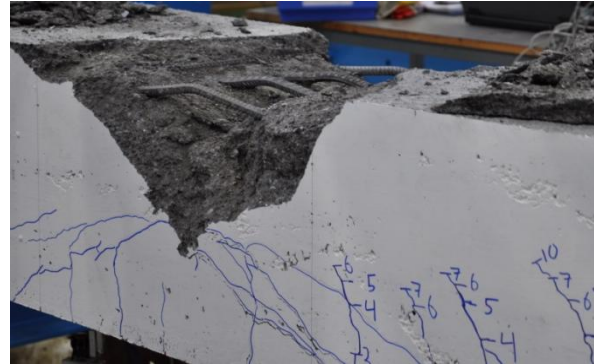
Da bjelkene gikk til brudd så man en avskalling øverst i bjelkenes trykksone og bjelkene hadde derfor et redusert tverrsnitt i belastningen etter brudd. For bjelkene med tverrarmering i midtsonen ble avskallingen ikke tykkere enn overdekningen fordi bøyene begrenset avskallingen (se figur 114 og 116). Bjelkene uten tverrarmering i midtsonen hadde ingen bøyler som begrenset avskallingen og de fikk dermed en ujevn høyde på det reduserte tverrsnittet. Avskallingen var også større enn overdekningen, altså ble det reduserte tverrsnittet mindre for disse bjelkene (se figur 115 og 117). Fiberarmeringen virket også inn på betongens avskalling. For bjelkene med fiberarmering kunne man ved brudd se at fiberne delvis holdt igjen avskallingen og det reduserte tverrsnitt ble derfor ikke like redusert som for bjelkene uten fiberarmering. (se figur 116 og 117).

Avskalling for bjelker uten fiberarmering:



Figur 114: Bjelke 1A og 1B
(m/tverrarmering i midtsonen, u/fiber)

Foto: Lisa Bakken



Figur 115: Bjelke 3B
(u/tverrarmering i midtsonen, u/fiber)

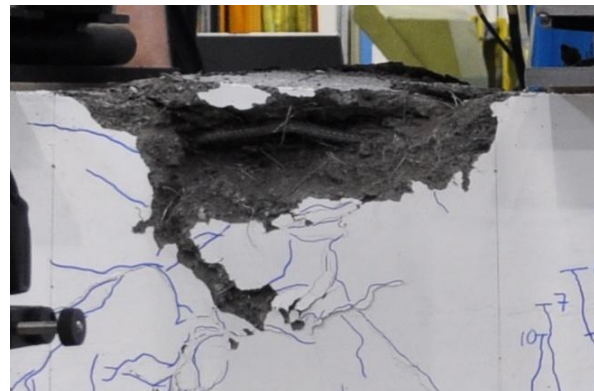
Foto: Lisa Bakken

Avskalling for bjelker med fiberarmering:



Figur 116: Bjelke 2B
(m/tverrarmering i midtsonen, m/fiber)

Foto: Øystein Rønningen

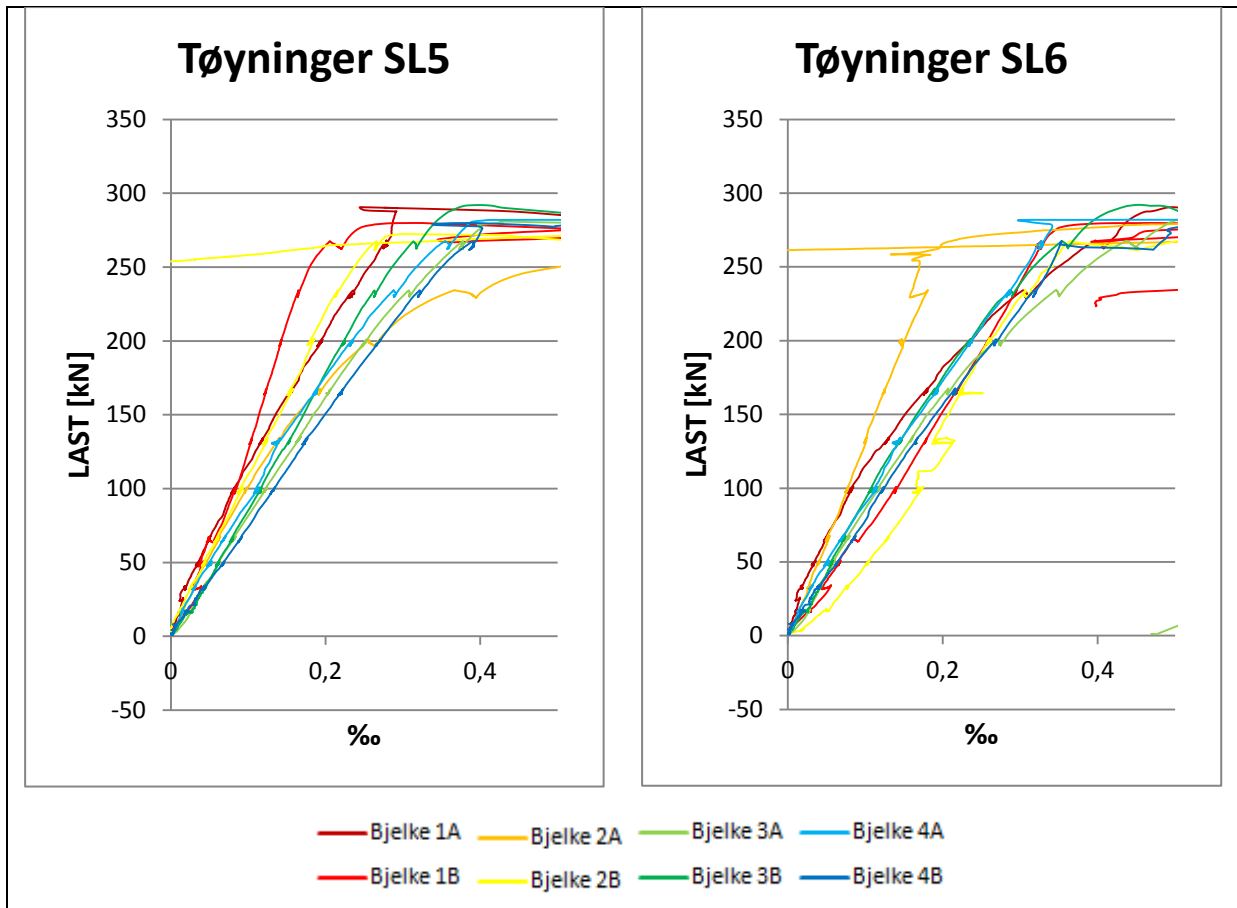


Figur 117: Bjelke 4B
(u/tverrarmering i midtsonen, m/fiber)

Foto: Lisa Bakken

Tverrarmeringen kan, i tillegg til å påvirke størrelsen til det reduserte tverrsnittet, også bidra til å forhindre tverrutvidelse av betongen, ved en omsnøringsseffekt. Dersom tverrarmeringen begrenser en tverrutvidelse av betongen vil det være høyere tøyninger i tverrarmeringen for bjelkene uten tverrarmering i midtsonen, bjelkene 3 og 4, enn for bjelkene med tverrarmering i midtsonen, bjelkene 1 og 2. Last-/tøyningsdiagrammene, figur 118, viser tøyningene i tverrarmeringen, fra strekkklapp SL5 og SL6 (se figur 11 i kapittel 4.1.1 for plassering). Av figuren kan man se at bjelkene 1 og 2, med tverrarmering i midtsonen, hadde lavere tøyninger enn bjelkene 3 og 4, uten tverrarmering i midtsonen. Altså kan det se ut til at

tverrarmeringsbøylene kan ha hatt en viss omsnøringseffekt. Dette er mest tydelig for strekkklapp SL5.



Figur 118: Tøyninger i tverrarmering

7.2. Testresultat sammenlignet med beregning

7.2.1. Bruddlast

Tabell 46 viser variasjonene mellom beregnede og opptredende bruddlast. Fremgangsmåte for å beregne bruddlasten er gitt i kapittel 5.3.1.

Tabell 46: Sammenligning av bruddlaster

Bjelke	Beregnet bruddlast [kN]	Opptredende bruddlast [kN]	Avvik fra beregnet %	
1A	270,4	290,5	6,9	$\frac{290,5 - 270,4}{290,5}$
1B	272,7	279,8	2,5	$\frac{279,8 - 272,7}{279,8}$
2A	215,4	250,8	14,1	$\frac{250,8 - 215,4}{250,8}$
2B	314,8	272,5	-15,5	$\frac{272,5 - 314,8}{272,5}$
3A	287,8	281,7	-2,1	$\frac{281,7 - 287,8}{281,7}$
3B	309,6	292,1	-6,0	$\frac{292,1 - 309,6}{292,1}$
4A	282,0	282,0	0	$\frac{282,0 - 282,0}{282,0}$
4B	309,0	279,9	-10,4	$\frac{279,9 - 309,0}{279,9}$

Trykkfastheten, f_{lck} , varierte for bjelkene. Bjelke 2A var den eneste bjelken med trykkfasthet under 20 MPa og bjelke 2B, 3B og 4B hadde trykkfasthet over 30 MPa, se tabell 47.

Tabell 47: Trykkfasthet

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
f_{lck} [MPa]	26,4	26,6	19,4	32,5	28,9	31,8	27,9	31,5

Tabell 46 viser at avvikene mellom de opptredende og de beregnede bruddlastene er både positive og negative. Det er derfor ikke mulig å bestemme én faktor som vil gjøre avvikene mindre for alle bjelkene. Trykkfastheten kan derimot multipliseres med en faktor som er mindre enn 0 og dermed gjøre alle bruddlastene mindre enn de opptredende bruddlastene. I Eurokode 2 bruker man en slik faktor ved dimensjonering av konstruksjonsbetong, α_{cc} . Ved å multiplisere de opprinnelige trykkfasthetene med α_{cc} får man trykkfastheter som vist i tabell 48. Bruddlaster basert på trykkfastheter multiplisert med α_{cc} kan man finne i den samme tabellen.

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

Tabell 48: Trykkfasthet med og uten α_{cc}

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Trykkfasthet * α_{cc} [MPa]	22,5	22,6	16,5	27,6	24,6	27	23,7	26,8
Bruddlast (med α_{cc}) [kN]	240,5	242,0	192,0	279,6	256,0	275,0	250,3	274,5

I tabell 49 er bruddlastene beregnet med faktoren α_{cc} sammenlignet med de opptredende bruddlastene. Alle de beregnede bruddlastene blir nå mindre enn de opptredende bruddlastene, med unntak av bjelke 2B hvor avviket har blitt mindre. Altså er det konservativt å benytte faktoren α_{cc} ved prosjektering.

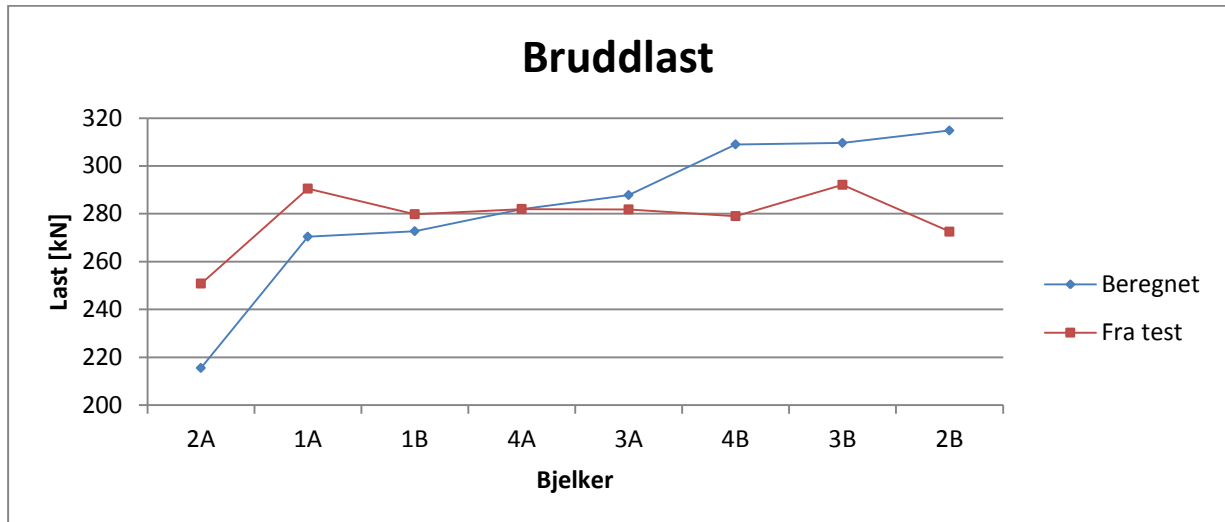
Hvis beregningene for bjelke 2B også skal bli konservative må trykkfastheten multipliseres med en faktor 0,81.

Tabell 49: Avvik mellom bruddlast med α_{cc} og opptredende

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Bruddlast (med α_{cc}) [kN]	240,5	242,0	192,0	279,6	256,0	275,0	250,3	274,5
Opptredende bruddlast [kN]	290,5	279,8	250,8	272,5	281,8	292,1	282,0	280,0
Avvik [%]	17,2	13,5	23,4	-2,6	9,2	5,9	11,3	1,9

Figur 119 viser en illustrasjon av den beregnede bruddlasten og bruddlasten fra bjelketestene i forhold til hverandre. Bjelkene er rangert etter trykkfasthet, der diagrammet begynner med

bjelke 2A, som har lavest trykkfasthet, og avslutter med bjelke 2B som har høyest trykkfasthet.



Figur 119: Sammenligning av bruddlast, rangert etter trykkfasthet

Diagrammet viser at alle bjelkene hadde bruddlast på rundt 280 kN. Bjelke 2A, som har lavest trykkfasthet, har også lavest bruddlast på 250,8 kN og er den som skiller seg mest ut. Bjelke 2B, som har høyest trykkfasthet, har derimot ikke høyest bruddlast. Selv om det er en sammenheng mellom beregnet bruddlast og trykkfasthet fra materialtest ser det ikke ut til å være en sammenheng i samme grad mellom trykkfastheten fra materialtesten og opptredende bruddlast. Det blir derfor sett på hvilken innvirkning egenvekten og densiteten til bjelkene har på bruddlasten.

For å finne sammenhengen mellom opptredende bruddlast og trykkfastheten fra materialtest ble det vurdert hvordan egenvekten og densiteten (se tabell 50) til de forskjellige bjelkene påvirket bruddlasten. Det ble derfor beregnet bruddlast til bjelkene uten disse variablene og de ble sammenlignet med bruddlastene som inneholdt variablene, se tabell 51 og 52. Tabell 50 viser at det er lite variasjon i densiteten og egenvekten til bjelkene.

Tabell 50: Densitet og egenvekt til bjelkene

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
ρ_m [kg/m ³]	1803,3	1846,7	1785	1835	1765	1823,3	1840	1880
Vekt [kg]	1240	1230	1260	1240	1190	1200	1270	1270

Egenvektene til bjelkene er jevnt fordelte belastninger. I tabell 51 ser man at egenvektene har liten innvirkning på bruddlastene til bjelkene.

Tabell 51: Bruddlast med og uten egenvekt

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Bruddlast med egenvekt [kN]	270,4	272,7	215,5	314,8	287,8	309,6	282,0	309,0
Bruddlast uten egenvekt [kN]	272,5	274,8	217,6	316,9	289,8	311,6	284,2	311,2
Avvik [%]	-0,8	-0,8	-1,0	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7

Når man fjerner egenvektene fra beregningene gir det en økt lastkapasitet. Bruddlastene øker med ca. 0,75 % for alle bjelkene, med unntak av bjelke 2A som har en økning på over 1 %.

E-modulene til bjelkene ble beregnet ut ifra trykkfasthetene til betongen og faktoren η_E , som avhenger av densiteten ρ . For at bruddlasten ikke skal være avhengig av densiteten ble ”bruddlast uten densitet” i tabell 52 beregnet med faktoren $\eta_E = 1$.

$$E_{lcm} = 22 \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3} \cdot \eta_E$$

Tabell 52: Bruddlast med og uten densitet

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Bruddlast med densitet [kN]	270,4	272,7	215,5	314,8	287,8	309,6	282,0	309,0
Bruddlast uten densitet [kN]	268,7	271,2	213,7	313,2	286,0	307,9	280,4	307,6
Avvik [%]	0,6	0,6	0,8	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5

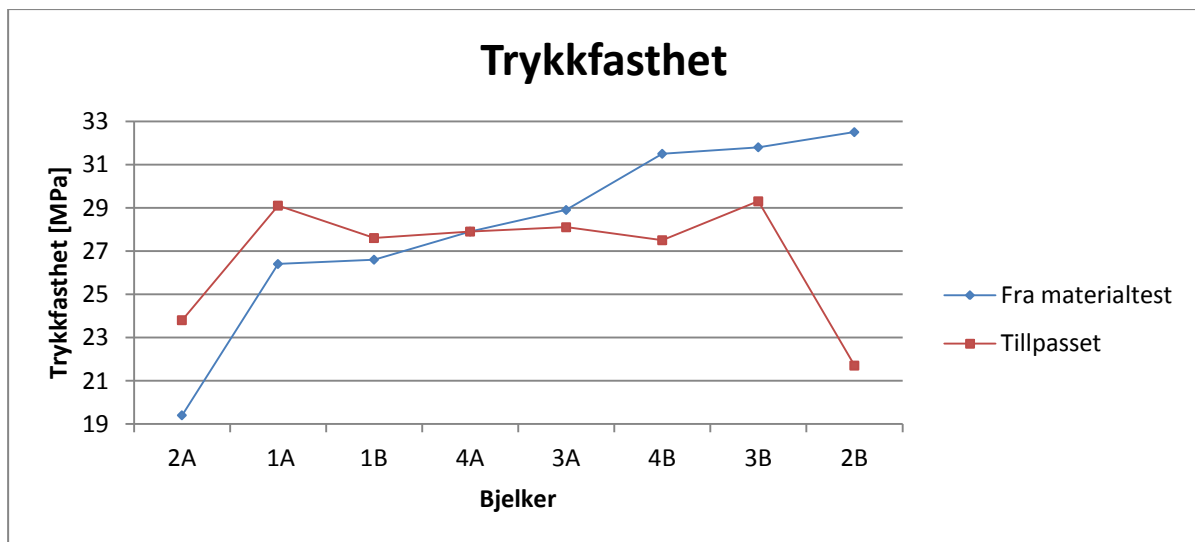
Når man ser bort fra bidraget fra densiteten blir lastkapasiteten til bjelkene lavere. Kapasitetstapet er relativt jevnt, mellom 0,5 % og 0,8 % for alle bjelkene.

Dette viser at både densiteten og egenvekten har en relativt jevn og liten innvirkning på bruddlasten. Sammenheng mellom trykkfasthet fra materialtest og opptredende bruddlast til bjelkene er svært lite påvirket av at vekten og densiteten varierer.

For å vise sammenhengen mellom trykkfasthet og bruddlast ble det beregnet en tilpasset trykkfasthet. Ved å bruke den tilpassede trykkfastheten i beregningene skulle det gi den samme bruddlasten som bjelkene oppnådde ved test, se tabell 53. Tilpasset trykkfasthet og trykkfast fra materialtestene hadde, som forventet, avvik som ligner på avvikene mellom beregnet og oppnådd bruddlast, se figur 120.

Tabell 53: Avvik i beregnet og tilpasset trykkfasthet

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Trykkfasthet fra materialtest [MPa]	26,4	26,6	19,4	26,7	28,9	31,8	27,9	31,5
Tilpasset trykkfasthet [MPa]	29,1	27,6	28,0	30,3	28,1	29,3	27,9	27,5
Avvik [%]	-2,7	-1	-8,,6	-3,6	0,8	2,4	0,00	4



Figur 120: Sammenligning av trykkfasthet, rangert etter trykkfasthet

Som tidligere nevnt er det altså i mindre grad sammenheng mellom opptredende bruddlast og trykkfasthet fra materialtest enn mellom beregnet bruddlast og trykkfasthet fra materialtest.

Det er derfor stor grunn til å anta at forskjellen mellom bjelkene er på grunn av tiltakene som ble gjort for å øke duktiliteten i lettbetong

Dersom man tar for seg bjelketiltakene viser figur 120 at bjelkene med tverrarmering i midtsonen hadde større tilpasset trykkfasthet enn trykkfastheten fra materialtesten, med unntak av bjelke 2B. Dette gjør at disse bjelkene også hadde høyere bruddlast enn forventet. Bjelkene uten tverrarmering hadde mindre tilpasset trykkfasthet enn trykkfasthet fra materialtest. For bjelkene med fiberarmering derimot ser man liten sammenheng mellom resultatene.

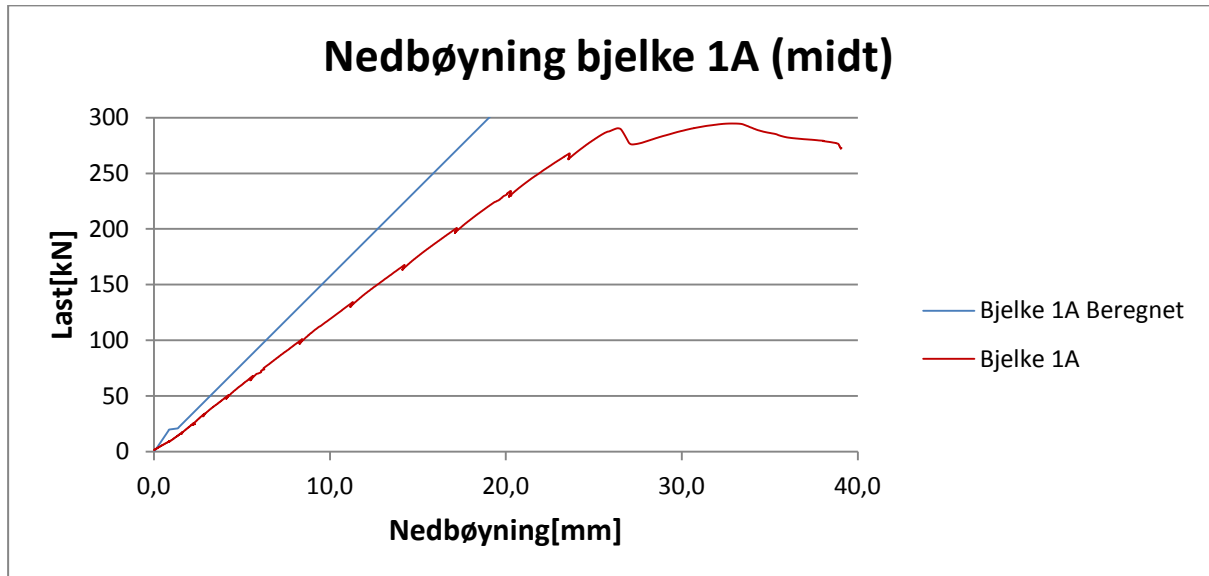
7.2.2. Nedbøyning

I tabell 54 er beregnet og opptredende nedbøyning ved brudd sammenlignet. Fremgangsmåte for beregning av nedbøyning er gitt i kapittel 5.3.1. Avvikene er mellom 23 % og 32 %. Dette er store avvik og verdiene er ikke konservative. Med parameterne fra materialtestene ble bjelkene altså beregnet som stivere enn de egentlig var, se også figur 121 til 124.

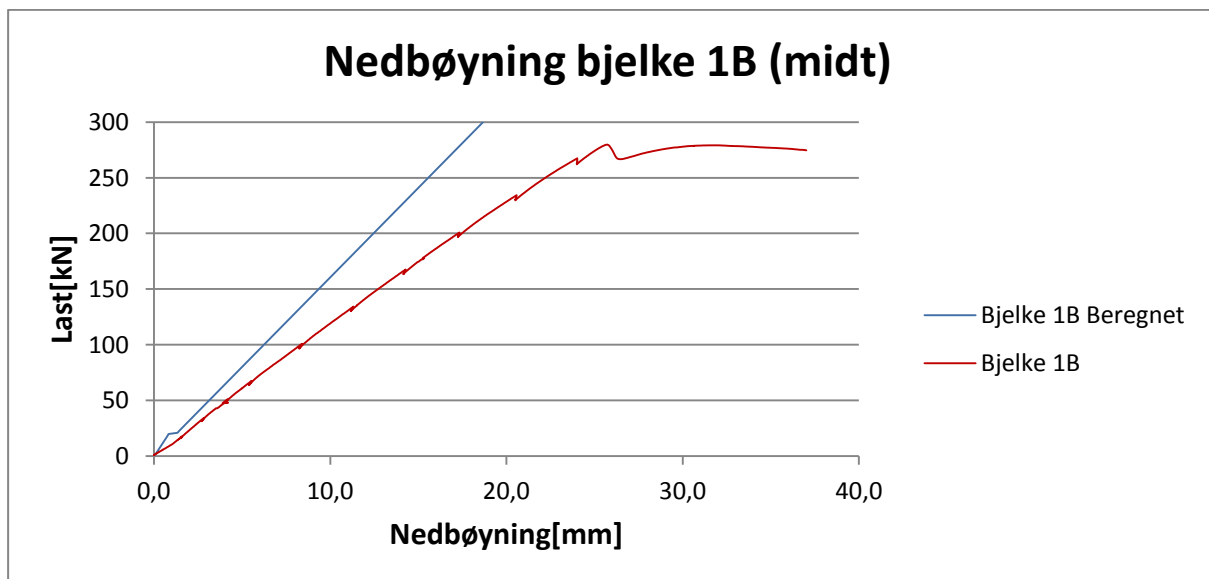
Tabell 54: Sammenligning av beregnede og opptredende nedbøyninger ved brudd

BRUDD	Beregnet nedbøyning (midt)	Nedbøyning (midt)	Avvik fra beregnet	Beregnet nedbøyning (under last)	Nedbøyning (under last)	Avvik fra beregnet
Bjelke	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[%]
1A	18,4	26,3	30,0	17,2	23,1	25,5
1B	17,4	23,9	27,2	16,4	22,9	28,4
2A	16,5	21,5	23,3	14,6	20,5	28,8
2B	16,7	22,6	26,1	15,7	21,4	26,6
3A	18,0	24,8	27,4	16,9	23,7	28,7
3B	18,1	25,9	30,1	16,9	24,8	31,9
4A	17,5	23,9	26,8	16,4	22,8	28,1
4B	16,8	23,1	27,3	15,8	22,3	29,1

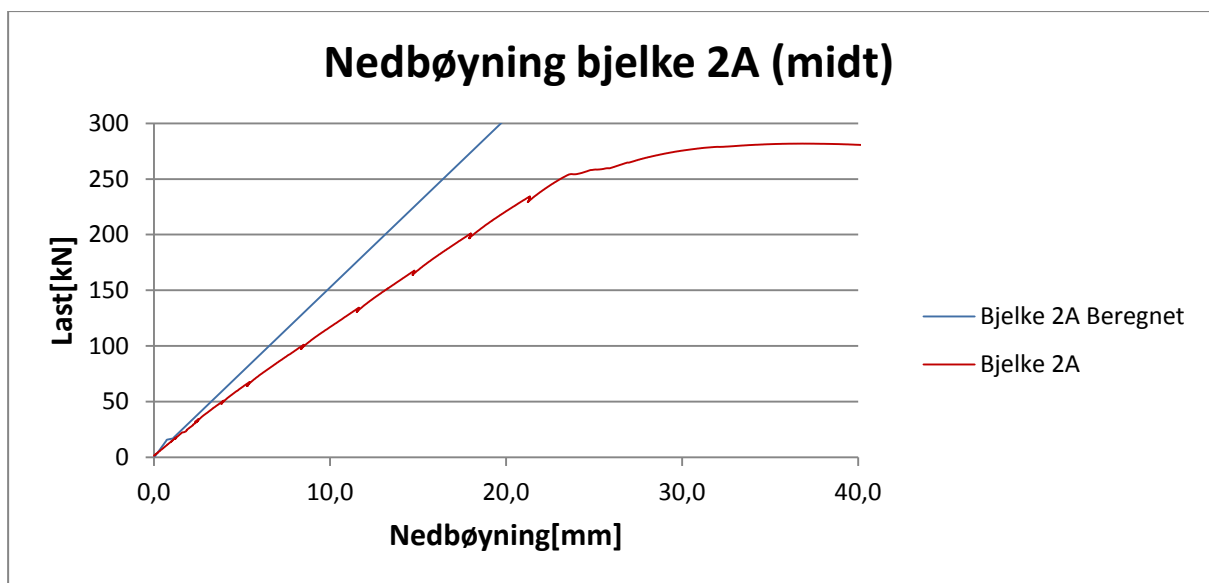
Figur 121 til 124 viser en sammenligning av beregnet nedbøyning og nedbøyning fra testene for bjelkene 1 og 2. De beregnede nedbøyningene er basert på ”Stadium I”-beregninger frem til bjelkene nådde risslast og deretter på ”Stadium II”-beregninger (se trinn helt i starten av grafene). Man finner sammenligning av nedbøyningen under lastpunktene i vedlegg 21 og risslastene i vedlegg 23.



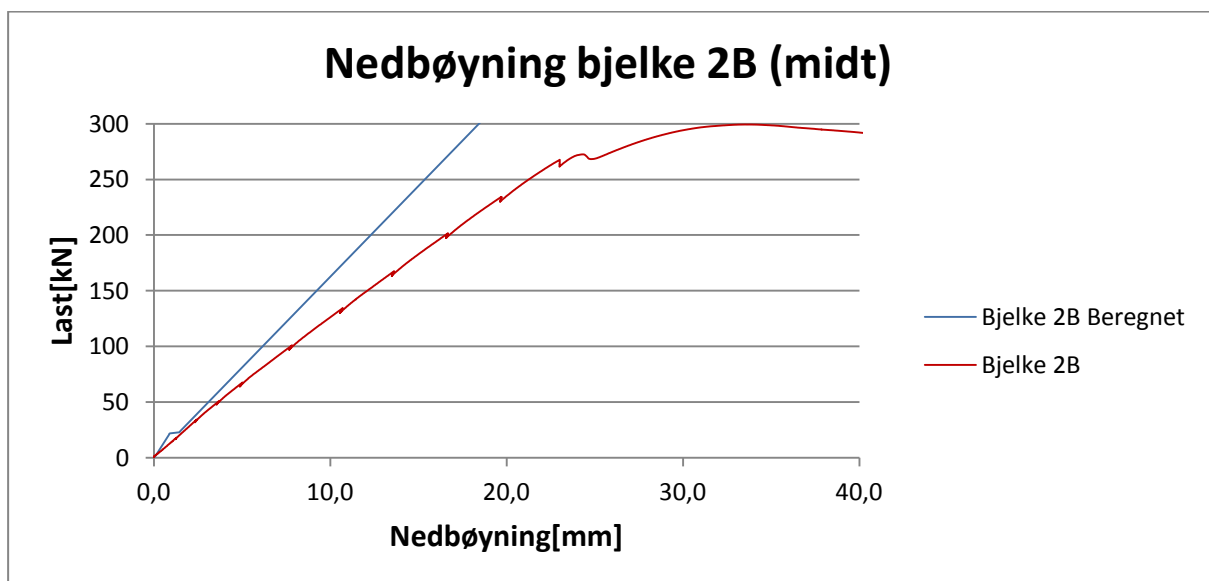
Figur 121: Nedbøyning på midten, bjelke 1A (fra test og beregning)



Figur 122: Nedbøyning på midten, bjelke 1B (fra test og beregning)



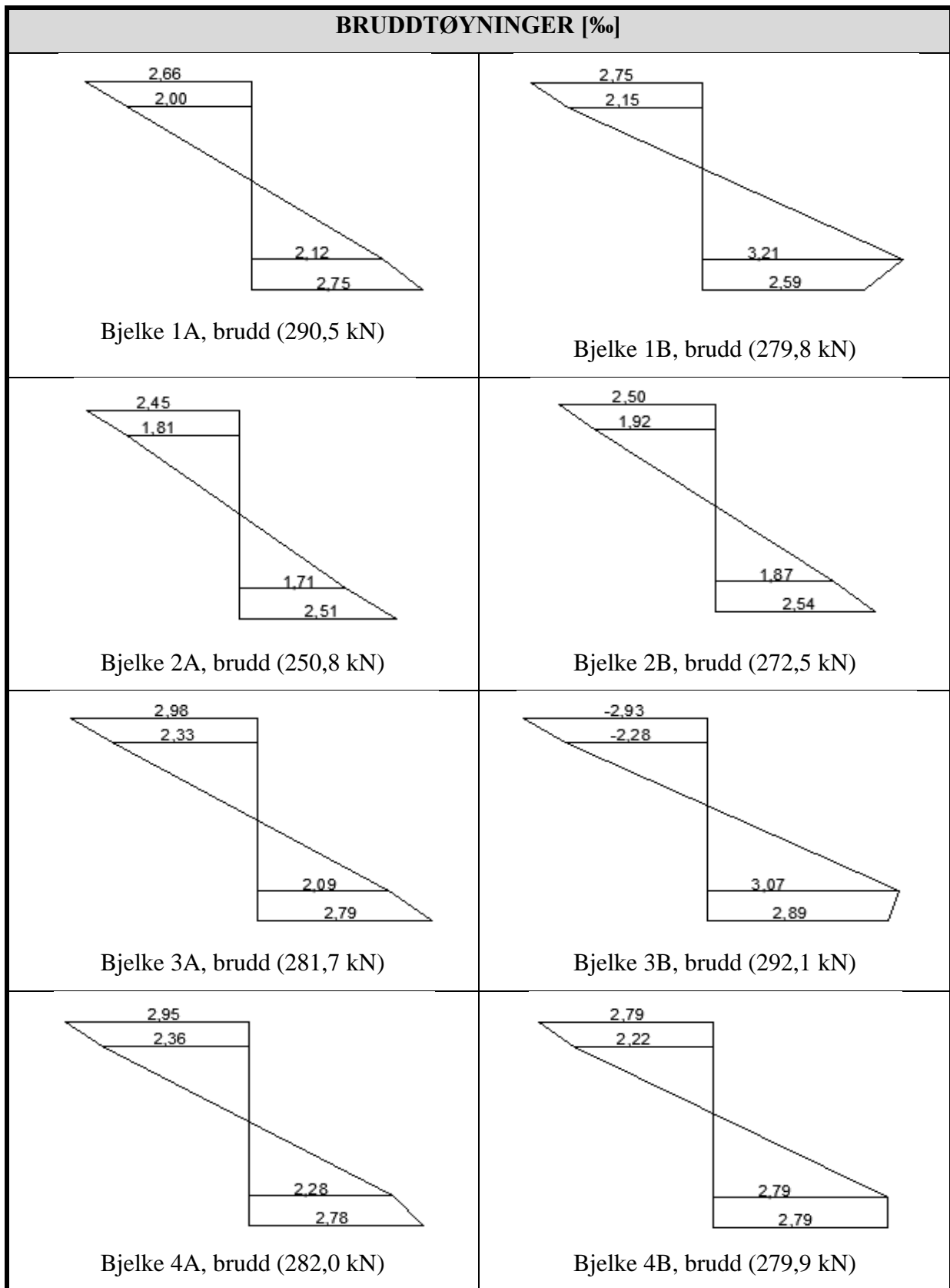
Figur 123: Nedbøyning på midten, bjelke 2A (fra test og beregning)



Figur 124: Nedbøyning på midten, bjelke 2B (fra test og beregning)

7.2.3. Tøyninger

I figur 125 blir alle tøyingsdiagrammene for bjelkene ved brudd gjentatt. Tøyningene er et gjennomsnitt av strekkklappene eller giverne i de forskjellige punktene. Se vedlegg 19 for beregning av bruddlast.



Figur 125: Bruddtøyninger

Resultatene fra testene av armeringsjernene viser at $\varnothing 10$ -jernene nådde flytning ved ca. 2,7 ‰ og $\varnothing 32$ -jernene nådde flytning ved ca. 3,5 ‰, se kapittel 6.3.3. Ved testene i dette prosjektet var det viktig at strekkarmeringen ikke nådde flytning før brudd i betongen, fordi hensikten var å oppnå trykkbrudd i betongen. Figur 125 viser at strekkarmeringen ikke flyter ved brudd for noen av bjelkene.

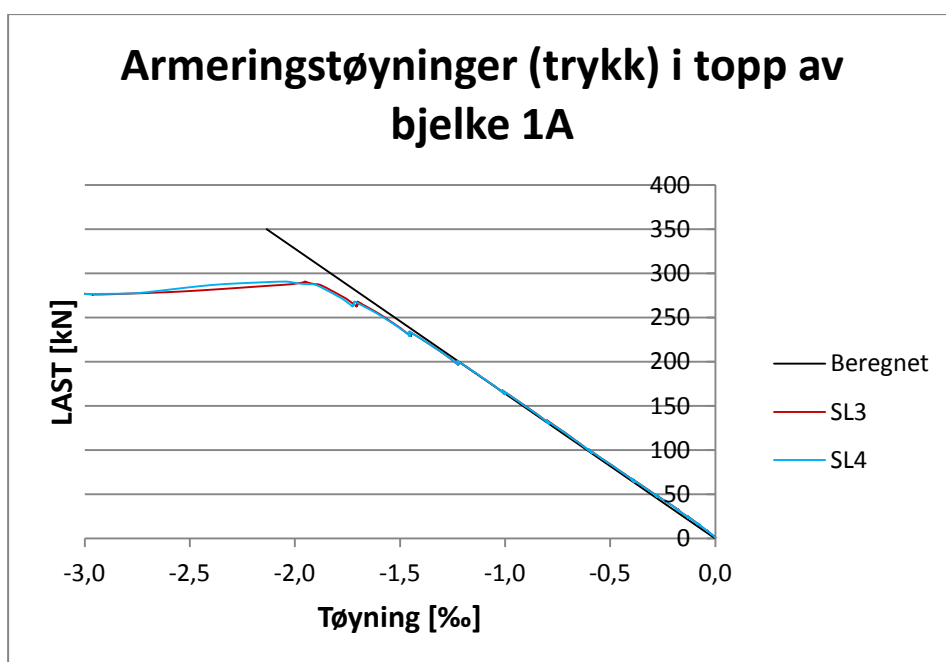
Tøyningsgrensen for trykk i lettbetong er avhengig av densiteten og trykkfastheten og ligger for betongene i dette prosjektet mellom 3,08 ‰ og 3,19 ‰. I tøyningsdiagrammene, figur 125, kan man se at ingen av bjelkene har betongtøyninger som overskrider tøyningsgrensen for trykk i lettbetong ved brudd. Betongtøyningene til bjelkene var også lavere enn forventet ut ifra beregningene, se tabell 55. Altså er beregningene konservative i dette tilfellet.

Tabell 55: Beregnede og opptredende betongtøyninger i trykk ved brudd

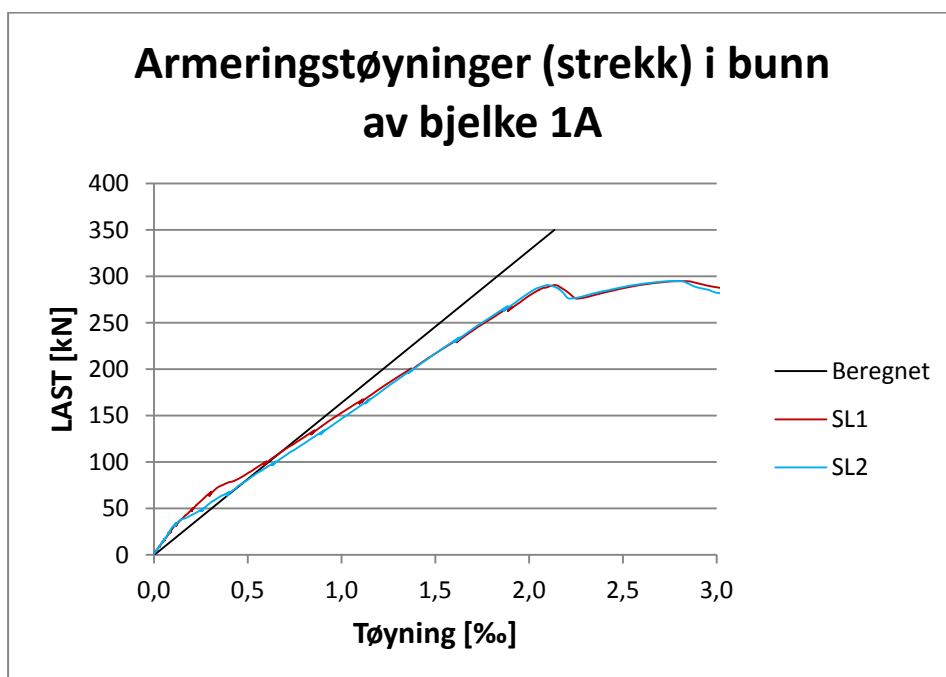
Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Opptredende [‰]	2,65	2,75	2,45	2,50	2,98	2,93	2,95	2,79
Beregnet, ϵ_{cu} [‰]	3,12	3,16	3,10	3,15	3,08	3,14	3,16	3,19
Differanse	0,52	0,46	0,65	0,65	0,10	0,21	0,21	0,40

Av tabellen 55 kan man se at bjelkene 3, uten noen tiltak, hadde høyere bruddtøyninger enn bjelkene med ett eller begge tiltakene. Bjelkene 2, som hadde begge tiltakene, hadde de minste bruddtøyningene av alle bjelkene. Bjelkene med samme tverrarmering hadde lavere tøyninger når det var fiberarmering i betongen. Dette tyder på at fiberarmering ikke har positiv innvirkning på betongen før brudd.

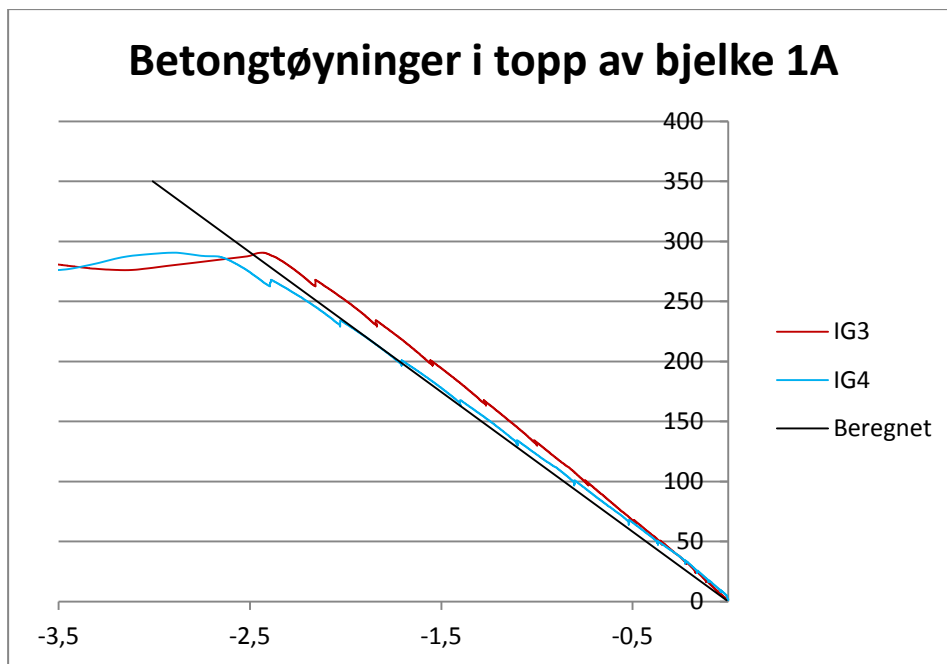
Sammenhengen mellom beregnede og opptredende tøyninger er illustrert i figur 126 til 129 (for bjelke 1A). Fremgangsmåten for beregning av tøyninger er beskrevet i kapittel 5.4.2 og beregningene er avhengige av bøyestivheten til bjelkene. Estimater for bøyestivhet gir svært gode resultater for tøyningene, i motsetning til ved beregningen av nedbøyningen hvor teori og praksis ikke stemte like godt.



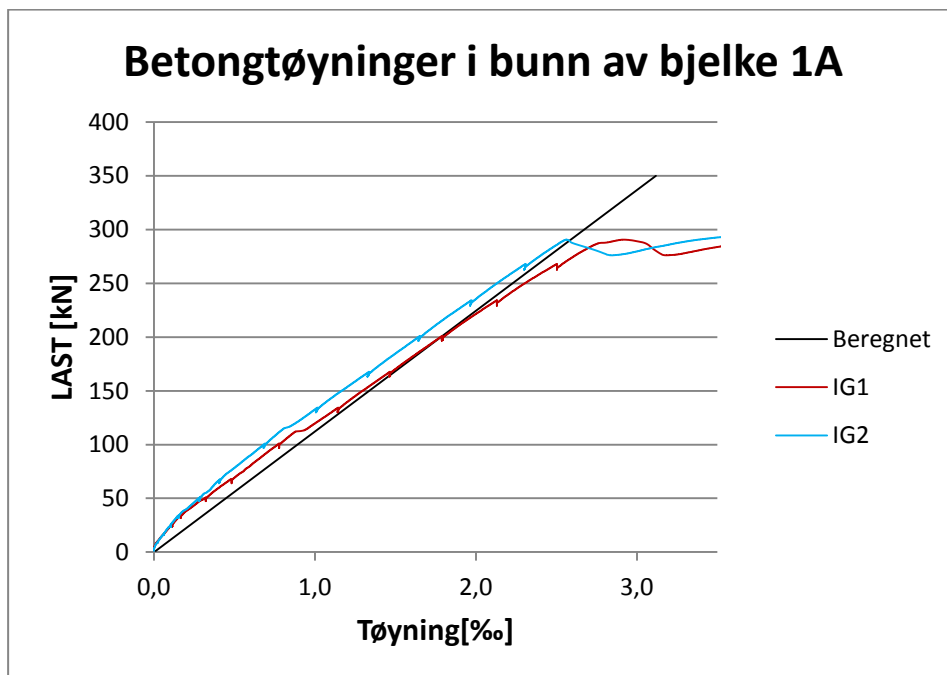
Figur 126: Armeringstøyninger i topp av bjelke 1A



Figur 127: Armeringstøyninger i bunn av bjelke 1A



Figur 128: Betongtøyninger i topp av bjelke 1A



Figur 129: Betongtøyninger i bunn av bjelke 1A

7.2.4. Trykksonehøyde

Det ble funnet trykksonehøyder ut ifra betong- og armeringstøyningene som ble målt under bjelketestene, se tabell 56.

Tabell 56: Trykksonehøyder ut ifra betong- og armeringstøyninger

Opptredende trykksonehøyder								
Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
[mm]	166,4	144,6	182,8	179,1	177,1	150,9	172,3	155,3

Forholdet mellom trykksonehøyden fra bjelketestene og de beregnede trykksonehøydene er vist i tabell 57. Tabellen viser at trykksonehøydene fra test er lavere enn beregnet, med unntak av for bjelke 3A, som har lik trykksonehøyde. Dette gir også at bruddlastene som blir beregnet med opptredende trykksonehøyde blir mindre enn forventet beregnet bruddlast.

Tabell 57: Sammenligning av beregnet og opptredende trykksonehøyder

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Opptredende trykksonehøyde [mm]	166,4	144,6	173,4	171,7	177,1	150,9	172,3	155,3
Beregnet trykksonehøyde [mm]	181,7	182,0	195,2	172,8	177,1	173,7	179,8	174,8
Avvik [%]	-9,2	-25,9	-12,6	-0,1	0,0	-15,1	-4,4	-12,6

Tabell 58: Sammenligning av bruddlaster

Bjelke	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Bruddlast ut i fra opptredende tøyninger [kN]	255,4	233,7	207,2	322	287,8	281,5	274,4	285,4
Bruddlast fra test [kN]	290,5	279,8	250,8	272,5	281,8	292,1	282,0	279,9
Avvik[%]	12,1	16,5	17,4	-18,2	-2,1	3,6	2,7	-2

Av tabell 58 ser man at det altså er liten sammenheng mellom trykksonehøyden ved brudd og opptredende lastkapasitet for bjelkene med tverrarmering i midtsonene (bjelkene 1 og 2). For bjelkene uten tverrarmering i midtsonene (bjelkene 3 og 4) er derimot sammenhengen større.

8. Feilkilder

Mulige feilkilder i prosjektet:

- Forskjell i tilslagets fuktinnhold (kan ha blitt målt feil i blanding 1).
- To forskjellige typer sand ble benyttet.
- Forskjellig densitet på betongene.
- Noen av betongene hadde antydning til separasjon.
- Forskjellig støpemåte og etterarbeid med og uten fiberarmering.
- Eventuelle unøyaktigheter ved påliming av strekkklapper.
- Unøyaktige avlesninger.
- Unøyaktig oppmåling av tilslag.
- Usikkerhet rundt last- og giverkorreksjoner.
- Små avvik i bjelkedimensjoner.
- Varierende herdetid.

9. Konklusjon

Tema i denne masteroppgaven var å studere duktiliteten av lettbetongbjelker ved testing, samt å se på effekten av ulike tiltak som kan gi lettbetongen økt duktilitet. Tiltakene som ble testet var tverrarmering i midtsonen, stålfiber i betongen og en kombinasjon av disse.

Ved sammenligning av testresultatene til bjelkene kunne man se at bruddet ble mindre sprøtt for bjelkene med tverrarmering i midtsonen enn for bjelkene uten tverrarmering. Bjelkene med fiberarmering fikk også mindre sprø brudd enn bjelkene uten fiberarmering. Det viste seg at bjelkene uten tverrarmering i midtsonen hadde større utbytte av fiberarmeringen enn de med tverrarmering. Altså var det størst forskjell i resultatene til bjelke 2, med både fiberarmering og tverrarmering, og bjelke 3, med verken fiberarmering eller tverrarmering.

Det var også en sammenheng mellom hvor stort det reduserte tverrsnittet til bjelkene var etter brudd og hvor duktil bjelkens oppførsel var.

Man kan konkludere med at begge tiltakene hadde en positiv effekt med tanke på å øke duktiliteten av lettbetongen og resultatene ble spesielt bra ved en kombinasjon av tiltakene.

I tillegg til testingen ble det utført beregninger av bjelkene og det var derfor av interesse å sammenligne resultatene fra testingen og beregningene. Beregningene av bruddlasten stemte godt, med unntak av for bjelke 2B. Betong og armeringstøyingene stemte også bra med beregningene, men nedbøyingene hadde derimot store avvik.

Basert på det arbeidet som er gjort og resultatene forsøkene har gitt vil det i et eventuelt videre arbeid anbefales å utføre flere tester av hver bjelketype for å kunne se tendensene tydeligere.

Bibliografi

- Balaguru, P. & Shah, S., 1992. *Fiberreinforced cement composites*. 1. utgave red. New York: McGraw-Hill, Inc..
- Benjaminsen, C., 2012. Ny superlett betong. *GEMINI - Forskningsnyheter fra NTNU og Sintef*, Februar, III(1), p. 7.
- Chandra, S. & Berntsson, L., 2003. *Lightweight Aggragate Concrete*. Norwich: Noyes Publications / William Andru Publishing.
- COIN, 2011. *coinweb.no*. [Internett]
Available at: <http://www.coinweb.no/>
[Funnet 26 01 2012].
- Gjerp, P., Opsahl, M. & Smeplass, S., 2005. *Grunnleggende betongteknologi*. 2. utgave red. Lillestøm: Byggenæringens Forlag AS.
- Jahren, P., 2011. *BETONG Historie og historier*. 1. red. Trondheim: Tapis Akademisk Forlag.
- Kanstad, T. e. a., 2011. *Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner*, Trondheim: SINTEF Building and Infrastructure.
- Larsen, P. K., 2011. *Samvirkekonstruksjoner i stål og betong*. Trondheim: NTNU.
- Mindess, S., Young, J. F. & Darwin, D., 2003. *Concrete*. 2. utgave red. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc..
- Norcem A.S, 1989. *Betong ABC*. s.l.:Norcem.
- SINTEF, 2008. *Sintef.no*. [Internett]
Available at: <http://www.sintef.no/Presserom/Pressemeldinger/Startskudd-for-nasjonale-forskningscentre-i-Trondheim/COIN--Concrete-Innovation-Centre-SINTEF/>
[Funnet 26 01 2012].
- Sørensen, S. I., 2010. *Betongkonstruksjoner*. 1. red. Trondheim: tapir akademisk forlag.
- Standard Norge, 2008. *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. s.l.:Standard Norge.

Vedleggsliste

- Vedlegg 1** Mengder delmaterialer
- Vedlegg 2** Beregninger med forventede verdier
- Vedlegg 3** Kommentarer til bjelken
- Vedlegg 4** Betongresepten
- Vedlegg 5** Kontroll av ytre dimensjoner
- Vedlegg 6** Støpe og testtidspunkt
- Vedlegg 7** Lasttrinn bjelken 1A og 1B
- Vedlegg 8** Lasttrinn bjelken 2A og 2B
- Vedlegg 9** Lasttrinn bjelken 3A og 3B
- Vedlegg 10** Lasttrinn bjelken 4A og 4B
- Vedlegg 11** Hovedberegninger for bjelke 1A
- Vedlegg 12** Hovedberegninger for bjelke 1B
- Vedlegg 13** Hovedberegninger for bjelke 2A
- Vedlegg 14** Hovedberegninger for bjelke 2B
- Vedlegg 15** Hovedberegninger for bjelke 3A
- Vedlegg 16** Hovedberegninger for bjelke 3B
- Vedlegg 17** Hovedberegninger for bjelke 4A
- Vedlegg 18** Hovedberegninger for bjelke 4B
- Vedlegg 19** Bruddtøyninger
- Vedlegg 20** Bøyestrekkttest, små bjelker
- Vedlegg 21** Sammenligning av nedbøyning under last
- Vedlegg 22** Tøyninger ved hver strekkklapp/induktiv giver
- Vedlegg 23** Risslast, -avstand,-bredde og -høyde
- Vedlegg 24** Materialdata betong
- Vedlegg 25** Armeringstøyninger, sammenlignet (bjelkene 1 og 2)
- Vedlegg 26** Betongtøyninger, sammenlignet (bjelkene 1 og 2)
- Vedlegg 27** Trykkfastheter

VEDLEGG 1: MENGDER DELMATERIALER – 1/1

Mengder delmaterialer i hver betong [kg/m ³]								
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Norcem Anlegg	430,0	430,0	428,5	430,5	428,1	428,1	428,8	428,8
Elkem Microsilica	38,7	38,7	38,6	38,7	38,5	38,5	38,6	38,6
Kalksteinsmel	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Fritt vann	192,8	192,8	192,1	193,0	192,0	192,0	192,3	192,3
Absorbert vann	36,9	36,9	6,5	6,5	2,3	2,3	2,3	2,3
Leca 2-4mm	148,9	148,9	173,5	173,1	179,4	179,4	176,3	176,3
Leca 800 4-8mm	198,6	198,6	236,9	236,3	239,2	239,2	235,1	235,1
Norstone 0/8mm (A- 3865)	571,7	571,7	661,5	659,7	625,9	625,9	615,3	615,3
Norstone 0/8mm Fillersand	136,1	136,1	0,0	0,0	149,0	149,0	146,5	146,5
Årdal 0-2mm (A-3322)	0,0	0,0	106,3	106,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Silika Viscocrete FB-2	7,7	7,7	6,2	6,2	4,7	4,7	4,7	4,7
Stålfiber (Dramix65/69)	0,0	0,0	78,0	78,0	0,0	0,0	78,0	78,0

VEDLEGG 2: BEREGNING MED FORVENTEDE VERDIER - 1/3

Beregning etter Eurokode 2 med forventede verdier

GEOMETRI			
Høyde	h		350 mm
Bredden	b		400 mm
Lengde	l		3600 mm
Oppleggsbredde			300 mm
Total lengde			4200 mm
Lastavstand			800 mm
Arealversnitt	A		140000 mm ²
Volum	V		588000000 mm ³
Densitet			1800 kg/mm ³
Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1
Partialfaktor for egenvekt	γ_g		1
Partialfaktor for nyttelest	γ_q		1
Koeffisient som tar hensyn til læggtidlast	α_c		1
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60 \cdot (\rho/2200)$	0,891
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,669
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1			
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat dimensjonerende	f_{cm}		48,00
betongtrykkfasthet	f_{ck}		40,00 N/mm ²
	f_{cd}	$\alpha_c \cdot (f_{ck}/\gamma_c)$	40,00 N/mm ²
aksialtrekkfasthet	f_{ctm}	$0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$	3,51 MPa
	f_{ctm}	$f_{ctm} \cdot \eta_1$	3,13 MPa
middelverdi av aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0.05}$	$0,7 \cdot f_{ctm}$	2,46 MPa
	$f_{ctk,0.05}$	$f_{ctk,0.05} \cdot \eta_1$	2,19 MPa
	E_{cm}	$22 \cdot [(f_{cm})/10]^{0.3}$	35220,46 GPa
	E_{lcm}	$E_{cm} \cdot \eta_E$	23577,33 MPa
trykkøyning betong	ϵ_{lu}	$3,5 \cdot \eta_1$	0,00312
Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 N/mm ²
	f_{yd}	f_{yk}/γ_s	550 N/mm ²
	E_s		190000 N/mm ²
E-modul:	E_{yd}	f_{yd}/E_s	0,0029
Overdekning	$C = c_1$		25 mm
Diameter bøyer	ϕ_b		10 mm
Antall "brede" bøyer			41,0 stk
Antall "smale" bøyer			35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$	157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$		157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$	314,2 mm ²
Senteravstand bøyer	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,s}$	32 mm
		-topp, $\phi_{l,t}$	12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn	804,2 mm ²
		-topp	113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	A_s'		452,4 mm ²
Avstand mellom lengdearmingen	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5 \phi_{l,b}/2$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5 \phi_{l,b}/2 + (\phi_{l,t}/2)$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm
Betong			
Densitet fra testresultat	ρ		1800,000 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1190,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg
			1362,000 kg

VEDLEGG 2: BEREGNING MED FORVENTEDE VERDIER - 2/3

Maks bruddlast					
Balansert arm. mengde					
(3.19)	η		1		For $f_{ck} \leq 50$ MPa
(3.21)	λ		0,8		for $f_{ck} \leq 50$ MPa
BK(4.20)	α_b	$\epsilon_{icu}/(\epsilon_{icu} + \epsilon_{ye})$	0,519		
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$:	$\lambda \cdot \eta \cdot (f_{cd}/f_{yd}) \cdot b \cdot d \cdot \alpha_b$	3512,02	mm ²	
Bjelke tverrsnittet blir Overarmert					
Finne α (ved brudd)					
		$(\lambda \eta f_{td} b d^2) \alpha^2 + (E_s \epsilon_{cu} A_s' d - E_{cm} \epsilon_{cu} A_s' d + E_s \epsilon_{cu} A_s d) \alpha + (-E_s \epsilon_{cu} A_s' d' + E_{cm} \epsilon_{cu} A_s' d' - E_s \epsilon_{cu} A_s d) = 0$			
		$E_s \cdot A_s' \cdot \epsilon_{icu} \cdot d$	831934458,9		
		$E_s \cdot A_s' \cdot \epsilon_{icu} \cdot d$	77993855,52		
		$E_s \cdot A_s' \cdot \epsilon_{icu} \cdot d'$	10988825		
		$E_{cm} \epsilon_{cu} A_s' d$	9678353,693		
		$E_{cm} \epsilon_{cu} A_s' d'$	1363616,843		
a		$\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2$	1083916800		
b			900249960,7		
c			-841559667		
		abc-formel	0,558818423		
	α		-1,389371064		
			0,558818423		
Momentkapasitet					
Trykksonehøyde	x	$\alpha \cdot d$	162,62	mm	
Momentkapasiteten til betongen	M_{Rd}	$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{cd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / (\alpha d) \cdot \epsilon_{cu} A_s' h' - E_{cm} (\alpha d - d') / (\alpha d) \cdot \epsilon_{icu} A_s' h'$	514,2E+6	Nmm	
BK(4.14)	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) \cdot \epsilon_{icu}$	0,00246	< ϵ_{yd}	OK
Størrelsen på M_{ed}					
Egenvekt	q_e		2,83E+0	N/mm	
Maksoppleggkraft	F	$q_e \cdot 1,4m \cdot 1,4m / 2 - F \cdot 1,4m = M_{Rd}$	365,31E+3	N	
Skjærarmering					
(NA.6.7aN)	$\cot(\theta)$	$1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5$ ($45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$)	1		
	s		100	mm	
	A_{sw}	$4 \cdot \phi b^2 \cdot \pi / 4$	314,1592654	mm	
	z	$0,9 \cdot d$	261,9	mm	
	V_{Ed}	R	365,3E+3	N	
(6.8)	V_{Rdc}	$(A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)$	452,5E+3	N	
(11.6.6N)	v_1	$0,5 \cdot (1 - f_{ctd}) / 250$	0,42		
(NA.6.11aN)	α_{cw}		1,00		
(6.9)	V_{Rdc}	$\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{ctd} / (\cot \theta + \tan \theta)$	2,2E+6	N >	365,3E+3 N
Minimum s					
(NA.9.5N)	$\rho_{w,min}$	$0,1 \cdot (f_{cm} \cdot 0,5 / f_{ym})$	0,0011		
	(A_{sw}/s)	$\rho_{w,min} \cdot b$	0,460		
	s_{min}	$A_{sw} / (A_{sw}/s)$	683,00	mm >>	100 mm

VEDLEGG 2: BEREGNING MED FORVENTEDE VERDIER – 3/3

Forankringslengde forenklet metode

Verdier fra Tabell 8.2					
Virkning av stengenes form	α_1			1	Rett
	c_d	$\min\{a/2, c_1, c\}$	25		
Virkning av betong- overdekning	α_2	$0,7 \leq 1-0,15(c_d-\phi)/\phi \leq 1,0$	1,00		Rett
Tverrsnittsareal av minste tverrarmring	$\Sigma(A_{st,min})$	0,25A _s			
Tverrsnittsareal for tverrarmring langs den dimensjonerende forankringslengden	$\Sigma(A_{st})$				
	λ	$(\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min})/A_s$			
	K			0	
Virkning av tverrarmring	α_3	1-K* λ		1	
Virkning av tverrstenger	α_4			0,7	
Virkning av trykk på tvers av spalteplanet	α_5	1-0,4*p			
(6.7N)	$\cot\theta$	$1,0 \leq \cot\theta \leq 2,5$ ($45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$)		2,5	N
	$\cot\alpha$			0,0	
(6.18)	ΔF_{td}	$0,5 * V_{es} * (\cot\theta - \cot\alpha)$	456,6E+3		N
dimensjonerende spenning i armeringsstangen	σ_{sd}	$\Delta F_{td}/A_s$	94,63		
(3.16)	f_{ctd}	$\alpha_c f_{ctk,0,05}/\gamma_c$	2,19		
	η_2		1		
	η_1		1		
(8.2)	f_{bd}	$2,25\eta_1\eta_2f_{ctd}$	4,92		
(8.3)	$l_{b,rqd}$	$(\phi/4)(\sigma_{sd}/f_{bd})$	153,8		mm
Dimensjonerende forankringslengde (8.4)	l_{bd}	$\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$	107,63		mm
Minsteforankringslengde (8.6)	$l_{b,min}$	$\max\{0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm}\}$	320		mm
Opgitt forankringslengde	l_{for}			285	mm
Forankring med sveiste stenger					
[8.6(2)]	x	$2(c/\phi_r)+1$	2,56		
[8.6(2)]	y	$0,015+0,14 * e^{-0,18x}$	0,10		MPa
Trykk i betongen vinkelrett på stengene [8.6(2)]	σ_{cm}				MPa
[8.6(2)]	σ_{td}	$(f_{ctd} + \sigma_{cm})/\gamma \leq 3 * f_{ctd}$	30,27		mm
Lengden av tverrarmingsstangen	l_t			380	mm
[8.6(2)]	l_{td}	$1,16 * \phi * (f_{td}/\sigma_{td})^{0,5} \leq l_t$	42,67		
Forankringskapasitet (8.8N)	$F_{t,b}$	$l_{td} * \phi * \sigma_{td}$	41,3E+3		N
(6.7N)	$\cot\theta$	$1,0 \leq \cot\theta \leq 2,5$ ($45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$)		2,5	
	$\cot\alpha$			0,0	
(6.18)	ΔF_{td}	$0,5 * V_{es} * (\cot\theta - \cot\alpha)$	456,6E+3		N
dimensjonerende spenning i armeringsstangen	σ_{sd}	$\Delta F_{td}/A_s - F_{t,b}/A_s$	86,07		N/mm ²
(3.16)	f_{ctd}	$\alpha_c f_{ctk,0,05}/\gamma_c$	2,19		
	η_2		1		
	η_1		1		
(8.2)	f_{bd}	$2,25\eta_1\eta_2f_{ctd}$	4,92		
(8.3)	$l_{b,rqd}$	$(\phi/4)(\sigma_{sd}/f_{bd})$	139,8		mm
Dimensjonerende forankringslengde (8.4)	l_{bd}	$\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$	139,84		mm
Minsteforankringslengde (8.6)	$l_{b,min}$	$\max\{0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm}\}$	320		mm
Opgitt forankringslengde	l_{for}			285	mm

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 1A – 1/12

Tid etter vanntilsetning	Ca 20 min	Ca 40 min
Synk (mm)	600	630
Kommentar	Litt lav, fordi testen ble tatt fra toppen av blandingen	
Densitet (kg/m ³)	1837	1811
Kommentar		
Vekt	1190 kg	

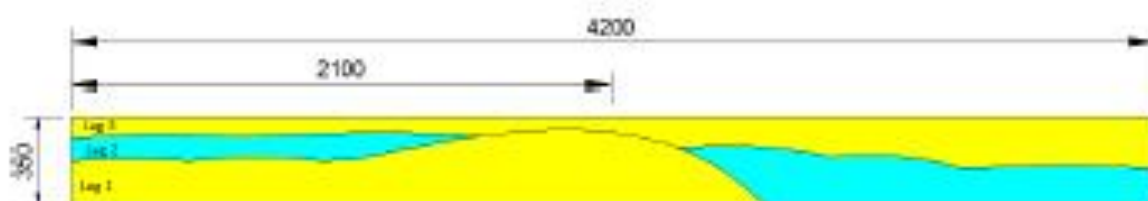


Figur 1: Synkmål
Foto: Lisa Bakken



Figur 2: Synkmål
Foto: Lisa Bakken

Bjelke 1A ble støpt slik:



Figur 3: Støpe lag
Foto: Lisa Bakken

Lag 1 ble støpt fra nord til sør, men det ble ikke støpt hele veien bort til enden i sør. Det ble heller en klump ca på midten av bjelken.

Lag 2 ble støpt fra nord mot sør, og det som ikke ble fylt av lag 1 i enden mot sør ble etterfylt.

Lag 3 etterfylte det som trengtes, fra nord mot sør.

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 1A – 2/12



Figur 4: Lag 1
Foto: Lisa Bakken

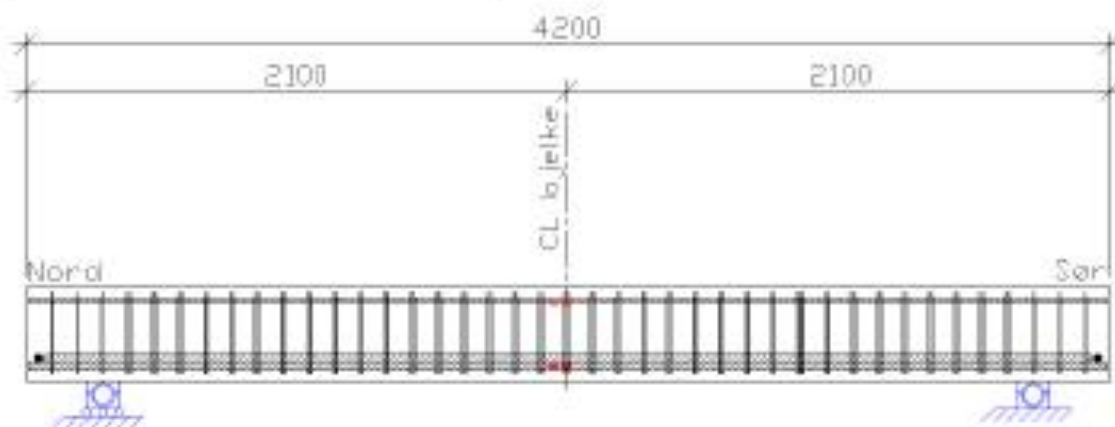


Figur 5: Lag 2
Foto: Lisa Bakken



Figur 6: Lag 3
Foto: Lisa Bakken

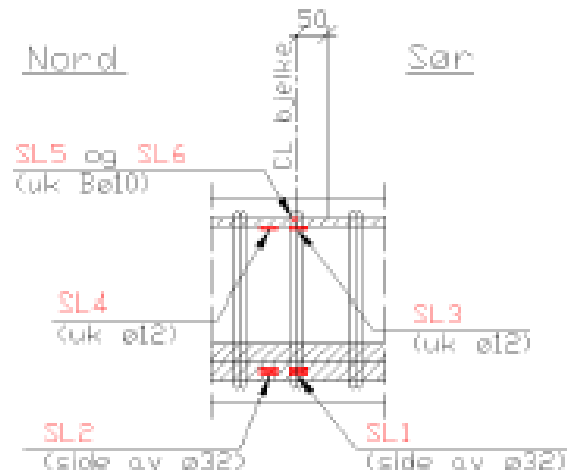
Plassering av strekkklapper for bjelke 1A:



Figur 7: Oppriss
Fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen

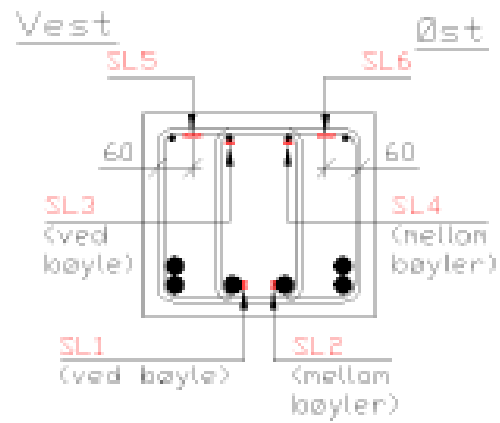
VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 1A – 3/12

Plassering av strekkklapper for bjelke 1A:



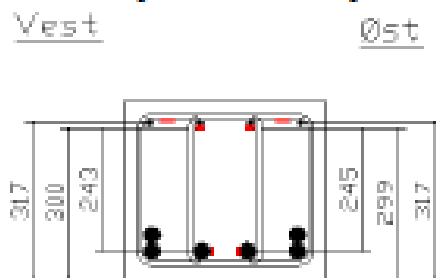
Figur 8: Utsnitt av oppriss

Original fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 9: Tverrsnitt

Original fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 10: Tverrsnittsmål

Original fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 1B – 4/12

Tid etter vanntilsetning	Ca 25 min	Ca 54 min
Synk (mm)	710	300
Kommentar	10mm pøstetrand	
Densitet (kg/m ³)	1886	1795
Kommentar		
Vekt	1190 kg	

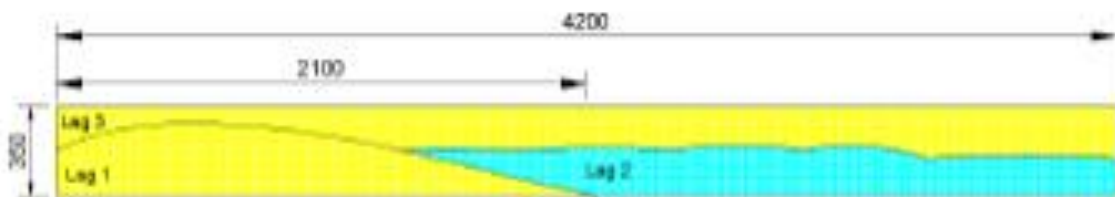


Figur 1: Synkmål
Foto: Lisa Bakken



Figur 2: Synkmål
Foto: Lisa Bakken

Plassering av strekkklapper for bjelke 1B:



Figur 3: Støpelag
Tegnet av Kristine B Sagosen

Lag 1 ble støpt fra nord til sør. Her ble det bare fylt helt i nordenden og mens vi ventet på lag to begynte betongen å separere seg og det rant noe vann og finstoff mot midten.

Lag 2 begynte der lag 1 sluttet og fortsatte helt til enden i sør.

Lag 3 ble fordelt på toppen, fra nord til sør. Pga separasjon ble betongen stampet med en stålstang. Dette for at betongen skulle fordele seg mellom armeringen.

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 1B – 5/12



Figur 4: Lag 1
Foto: Lisa Bakken

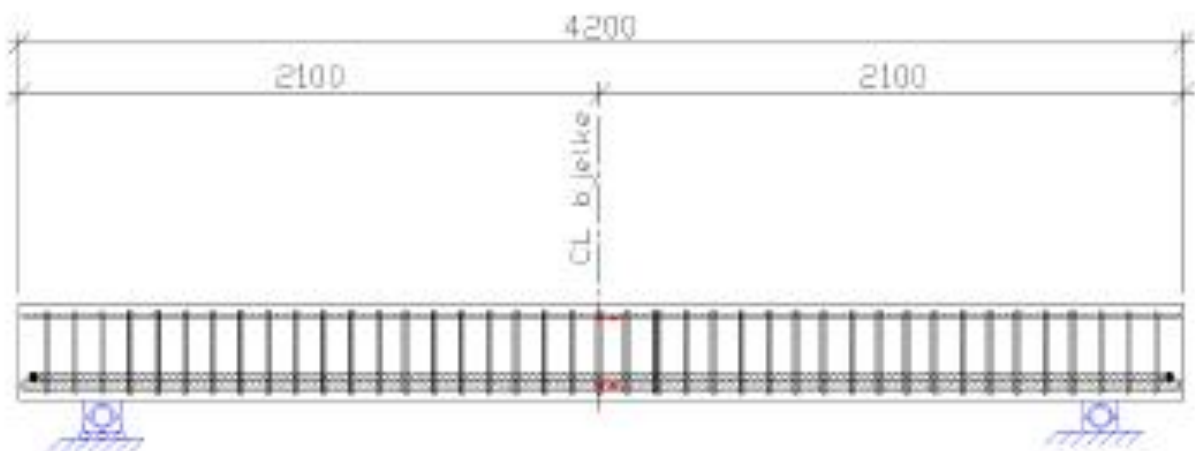


Figur 5: Lag 2
Foto: Lisa Bakken



Figur 6: Lag 3
Foto: Lisa Bakken

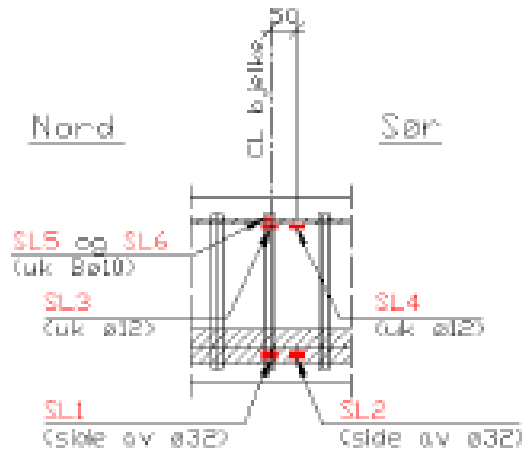
Plassering av strekkklapper for bjelke 1B:



Figur 7: Oppriss
Fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 1B – 6/12

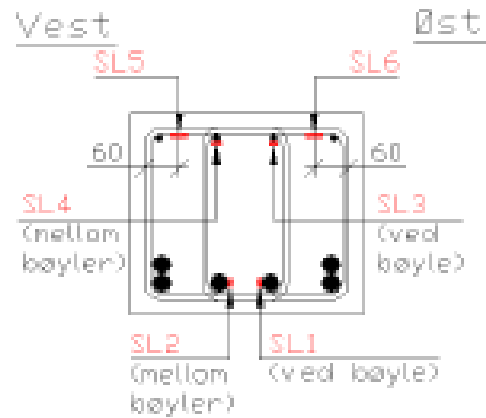
Plassering av strekkklapper for bjelke 1B:



Figur 8: Utsnitt av oppriss

Fra laboratoriebeskrivelse av Tone Myrland Jensen

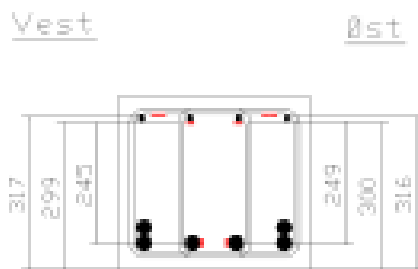
Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 9: Tverrsnitt

Fra laboratoriebeskrivelse av Tone Myrland Jensen

Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 10: Tverrsnitt mål

Fra laboratoriebeskrivelse av Tone Myrland Jensen

Redigert av Kristine B Sagosen

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 2A – 7/12

Tid etter vanntilsetning	Ca 16 min	Ca 49 min
Synk (mm)	330	330
Kommentar		
Densitet (kg/m ³)	1780	1702
Kommentar		
Vekt	1230 kg	

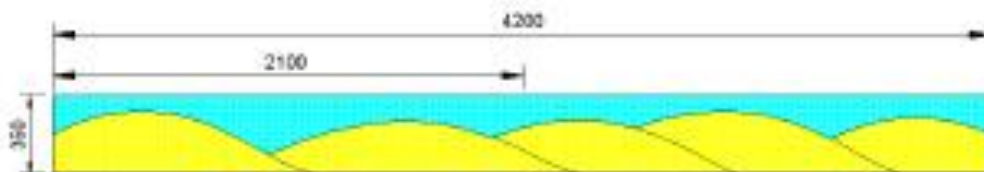


Figur 1: Synkmål
Foto: Lisa Bakken



Figur 2: Synkmål
Foto: Lisa Bakken

Bjelke 1B blei støpt slik:



Figur 3: Støpelag
Tegnet av Kristine B Sagosen

Bjelke 2A blei støpt fra nord mot sør. Siden det var en bjelke med fiberarmering var det vanskelig å bruke betongtobben uten å måtte åpne den helt og tømme all betongen på en plass. Det ble derfor brukt trilleborer og spade for å støpe disse bjelkene. Det er da veldig vanskelig å legge tre like lag med betong. Støpen så derfor ut som vist over, der det blei sluppet "hauger" med betong oppi formen. Etter hvert som haugene med betong ble tørt i formen, måtte det stampes med en stålstang, for å få ut eventuell luft som var blitt pakket inn i betongen og for å fordele det fine og det grove stoffet. Etter at det første laget (gult) var plassert ble det etterfylt med betong der det trengtes. Dette ble også gjort fra nord mot sør.

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 2A – 8/12



Figur 4: Lag 1
Foto: Lisa Bakken



Figur 5: Lag 2
Foto: Lisa Bakken



Figur 6: Lag 3
Foto: Lisa Bakken

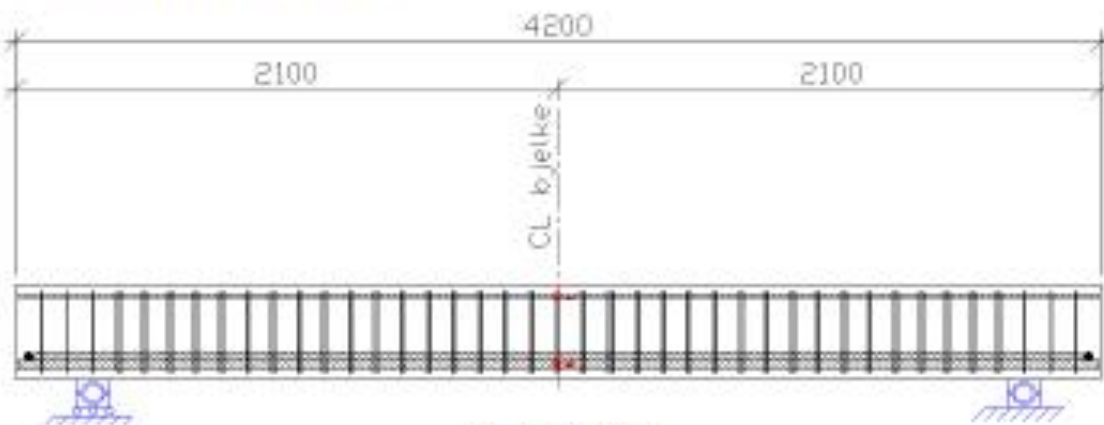


Figur 7: Bearbeiding av betongen
Foto: Lisa Bakken



Figur 8: Bearbeiding av betongen
Foto: Lisa Bakken

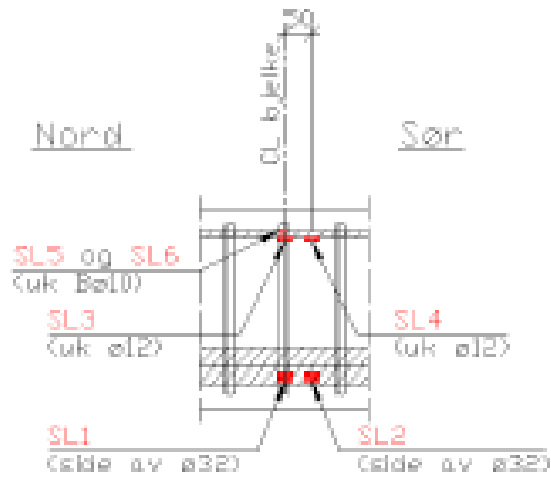
Plassering av strekkklapper for bjelke 2A:



Figur 9: Oppriss
Fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 2A – 9/12

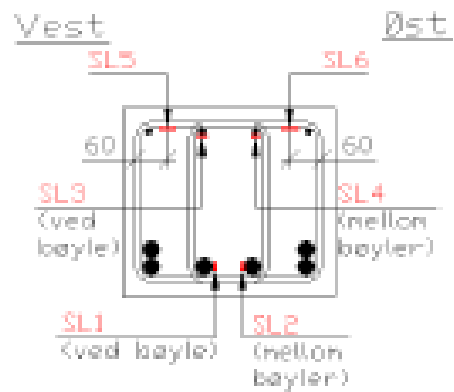
Plassering av strekkklapper for bjelke 2A:



Figur 10: Utsnitt av oppriss

Fra laboratoribeskrivelse av Tore Myrland Jensen

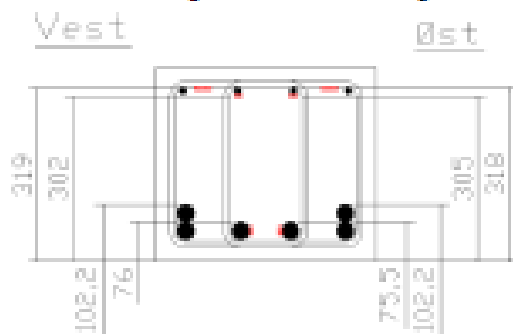
Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 11: Tverrsnitt

Fra laboratoribeskrivelse av Tore Myrland Jensen

Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 12: Tverrsnitt mål

Fra laboratoribeskrivelse av Tore Myrland Jensen

Redigert av Kristine B Sagosen

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 2B – 10/12

Tid etter vanntilsetning	Ca 15 min	Ca 55 min
Synk (mm)	440	350
Kommentar		
Densitet (kg/m ³)	1777	1750
Kommentar		
Vekt	1250 kg	

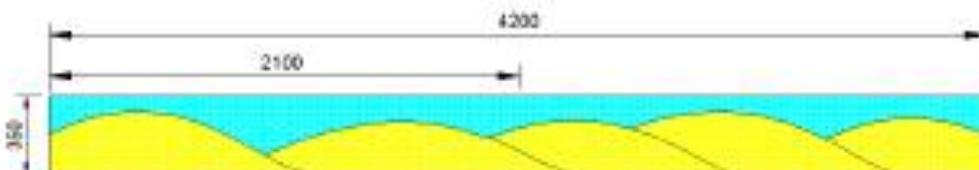


Figur 1: Synkmål
Foto: Lisa Bakken



Figur 2: Separasjon i betongen
Foto: Lisa Bakken

Bjelke 1B ble støpt slik:



Figur 3: Støpelag
Tegnet av Kristine B Sagosen

Bjelke 2B ble støpt likt som Bjelke 2A og ble støpt fra nord mot sør. Siden det var en bjelke med fiberarmering, var det vanskelig å bruke betongtobben uten å måtte åpne den heilt og plassere all betongen på en plass. Derfor ble det brukt trillebårer og spader for å støpe disse bjelkene og det er da veldig vanskelig å legge tre like lag med betong. Støpen så derfor ut som vist over, der det ble sluppet hauger med betong oppi forma. Etter hvert som "haugene" med betong ble fylt i forma måtte det stamper med stålstang for å få ut eventuell luft som var blitt pakket inn i betongen og for å fordele det fine og grove stoffet. Etter det første laget (gult) var plassert ble det etter fylt med betong der det trengtes. Det ble også gjort fra nord mot sør.

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 2B – 11/12



Figur 4: Støp av betongbjelke
Foto: Lisa Bakken



Figur 5: Støp av bjelken
Foto: Lisa Bakken

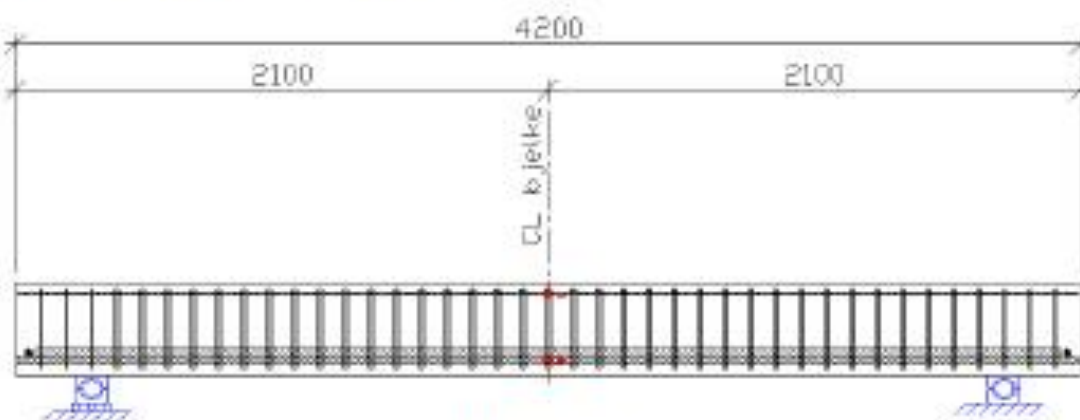


Figur 6: Støp av bjelken
Foto: Lisa Bakken



Figur 7: Staking av betongen
Foto: Lisa Bakken

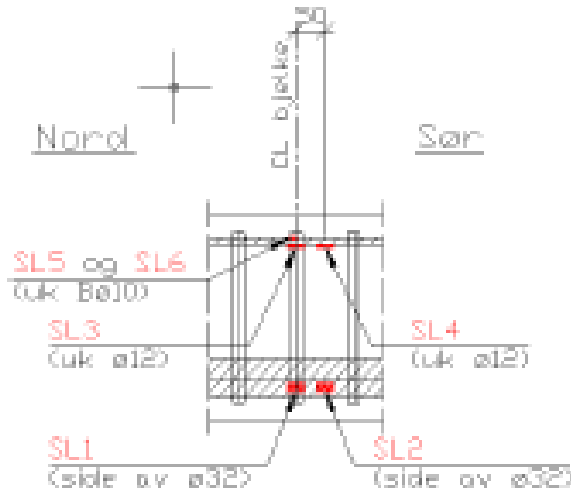
Plassering av strekkklapper for bjelke 2B:



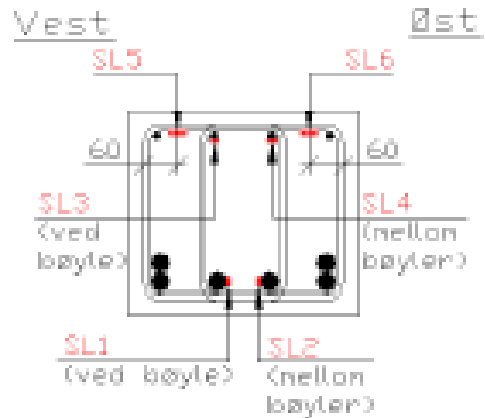
Figur 8: Oppriss
Fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen

VEDLEGG 3: KOMMENTARER TIL BJELKENE 2B – 12/12

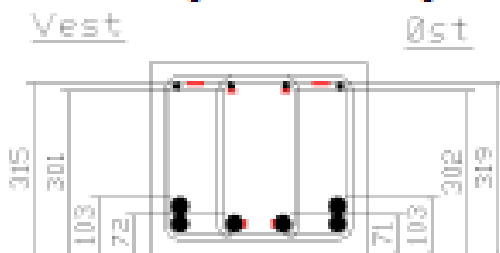
Plassering av strekkklapper for bjelke 2B:



Figur 9: Utsnitt av oppriss
Fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 10: Tverrsnitt
Fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen



Figur 11: Tverrsnitt mål
Fra laboratoriebeskrivelse av Tore Myrland Jensen
Redigert av Kristine B Sagosen

VEDLEGG X: BETONGRESEPTEN – 1/4

Project:	LC 1800 - Mix 1A
----------	------------------

Batch volume:	700 litre
Date:	2012-02-09 uten fiber
Time of water addition	10:35
Responsible:	Lervik
Executed by:	

Materials	Recipe kg/m ³	Batch kg	Moist* %	Corr. kg	Weighed** kg
Norcem Anlegg	430,0	301,006			301,006
Elkem Microsilica 920 D	38,7	27,091	0	0,000	27,091
Kalksteinsmel	8,6	6,020	0	0,000	6,020
Free water	192,8	134,971		-79,635	55,336
Absorbed water	36,9	25,814			25,814
Årdal 0-8 mm (A-3475)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 0-2 mm (A-3322)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Leca 2-4 mm (inst. sandloft)	148,9	104,259	14,0	14,596	118,856
Leca 800 4-8 mm (A-3690)	198,6	139,013	27,4	38,089	177,102
Norstone 0/8mm (A-3865)	571,7	400,198	3,6	14,407	414,605
Norstone 0/8mm Fillersand (	136,1	95,285	8,5	8,099	103,385
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2 (A-386	7,7	5,418	82	4,443	5,418
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Steel fibre (Dramix 65/60)	0,0	0,000			0,000
PP-fibre (Barship)	0,0	0,000			0,000

81,150

*Se footnote på sheet "Proportioning"

** NB! Wet quantities, also for pozzolanes and fillers

Fresh concrete					
Time after water addition	20 min	45 min			
Slump					
Slump flow	600	630			
Air					
Density	1837	1811			

Specimens (number)					
Time of casting	10:55 - 11:20				
Hovedbjelke	1 stk. merket "1A"				
100x300 cylinders	3 stk. merket "1A-7 -> 1A-9, 9/2"				arb. diagram
100x200 cylinders	6 stk. merket "1A-1 -> 1A-6, 9/2"				trykkfasthet
Bøyestrekkebjelke					
Mengde SP tilsatt totalt	7,029				

VEDLEGG X: BETONGRESEPTEN – 2/4

Project: LC 1800 - Mix 1B

Batch volume:	700 litre
Date:	2012-02-09 uten fiber
Time of water addition	14:27
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Recipe kg/m ³	Batch kg	Moist* %	Corr. kg	Weighed** kg
Norcem Anlegg	430,0	301,006			301,006
Elkem Microsilica 920 D	38,7	27,091	0	0,000	27,091
Kalksteinsmel	8,6	6,020	0	0,000	6,020
Free water	192,8	134,971		-69,942	65,029
Absorbed water	36,9	25,814			25,814
Årdal 0-8 mm (A-3475)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 0-2 mm (A-3322)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Leca 2-4 mm (inst. sandloft)	148,9	104,259	11,9	12,407	116,666
Leca 800 4-8 mm (A-3690)	198,6	139,013	22,4	31,139	170,151
Norstone 0/8mm (A-3865)	571,7	400,198	3,7	14,807	415,006
Norstone 0/8mm Fillersand (	136,1	95,285	7,5	7,146	102,432
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2 (A-386	7,7	5,418	82	4,443	5,418
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Steel fibre (Dramix 65/60)	0,0	0,000			0,000
PP-fibre (Barship)	0,0	0,000			0,000

*Se footnote på sheet "Proportioning"

** NBI Wet quantities, also for pozzolanes and fillers

Fresh concrete					
Time after water addition	25 min	54 min			
Slump					
Slump flow	710 *	500			
Air	(* 10 mm pastarand)				
Density	1887	1796			

Specimens (number)					
Time of casting					
Hovedbjelke					
100x300 cylinders	3 stk merket "1B -17 -> 1B-19, 9/2"				E-modul
100x200 cylinders	6 stk merket "1B -11 -> 1B-16, 9/2"				Fc
Bøyestrekkebjelke					
Mengde SP tilsatt totalt					

VEDLEGG X: BETONGRESEPTEN – 3/4

Prosj./id.: LC 1800 - Mix 2A

Blandeolum:	700 liter
Dato:	2012-02-28
Tidspunkt for vanntilsetning	09:55
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Anlegg	428,5	299,965			299,965	
Elkem Microsilica 920 D	38,6	26,997	0	0,000	26,997	
Kalksteinsmel	8,6	5,999	0	0,000	5,999	
Fritt vann	192,1	134,504		-25,483	109,022	113,549
Absorbert vann	6,5	4,528			4,528	
Leca 2-4 mm	173,5	121,479	0,0	0,000	121,479	
Leca 800 4-8 mm	236,9	165,859	2,7	4,478	170,337	
Norstone 0/8mm (A-3865)	661,5	463,016	3,0	13,890	476,907	
Norstone 0/8mm Fillersand (	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 0-2 mm (A-3322)	106,3	74,413	4,8	3,572	77,985	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	6,2	4,319	82	3,542	4,319	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber (Dramix 65/69)	78,0	54,600			54,600	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NBI Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning	16 min	49 min			
Synkmål					
Utbredelsesmål	530	530			
Luft					
Densitet	1780	1702			

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre	3 stk. merket "2A-7 -> 2A-9, 28/2"				arb. diagr.
100x200 sylindre	6 stk. merket "2A-1 -> 2A-6, 28/2"				
100x200 sylindre	3 stk. merket "2A-21 -> 2A-23, 28/2" (reserve)				
Totalt tilsatt SP	4,944				

VEDLEGG X: BETONGRESEPTEN – 1/1

Prosj./id.: LC 1800 - Mix 2B

Blandevolum:	770 liter
Dato:	2012-02-28
Tidspunkt for vanntilsetning	14:10
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg	429,7	330,831			330,831
Elkem Microsilica 920 D	38,7	29,775	0	0,000	29,775
Kalksteinsmel	8,6	6,617	0	0,000	6,617
Fritt vann	192,7	148,344		-35,761	112,584
Absorbert vann	6,5	4,973			4,973
Leca 2-4 mm	173,3	133,425	0,0	0,000	133,425
Leca 800 4-8 mm	236,6	182,169	2,7	4,919	187,088
Norstone 0/8mm (A-3865)	389,7	300,044	5,6	16,802	316,846
Norstone 0/8mm Fillersand (	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 0-2 mm (A-3322)	106,1	81,731	5,0	4,087	85,818
Årdal 0-8 mm A-3746	270,8	208,505	2,9	6,047	214,551
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	6,2	4,764	82	3,906	4,764
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber (Dramix 65/69)	78,0	60,060			60,060
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NBI Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning	15 min	55 min			
Synkmål					
Utbredelsesmål	440	365			
Luft					
Densitet	1777	1750			

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
100x300 sylindre	3 stk.	merket "2B-17 -> 2B-19, 28/2"			arb. diagr.
100x200 sylindre	6 stk.	merket "2B-11 -> 2B-16, 28/2"			
	3 stk.	merket "2B-31 -> 2B-33, 28/2"			reserve
150x150x550 bjelker	6 stk.	merket "2B-X1 -> 2B-X6"			

VEDLEGG 5: KONTROLL AV YTTRE DIMENSJONER– 1/1

Faktiske ytre dimensjoner [mm]										
		Opplegg sør	Last sør	Klave sør	Senter	Klave nord	Last nord	Opplegg nord	Gjennomsnitt	
1A	Bredde	Topp	401	400	401	400	401	401	400,6	
		Bunn	399	401	401	401	401	400	400,6	
	Høyde	Vest	353	354	355	355	354	355	354,4	
		Øst	351	354	355	355	355	353	354,0	
1B	Bredde	Topp	400	400	399	399	400	401	400,0	
		Bunn	400	399	399	398	398	398	398,6	
	Høyde	Vest	349	351	351	350	350	348	349,9	
		Øst	349	352	352	351	352	350	351,1	
2A	Bredde	Topp	402	403		403		400	402,0	
		Bunn	398	399		400		399	399,2	
	Høyde	Vest	350	356		357		351	353,6	
		Øst	350	352		350		350	350,8	
2B	Bredde	Topp	398	402		403		402	401,6	
		Bunn	399	399		397		397	397,6	
	Høyde	Vest	359	359		358		351	356,8	
		Øst	355	360		354		355	356,2	

VEDLEGG 6: STØPE- OG TESTTIDSPUNKT – 1/1

Bjelke	Stopedato	Testdato	Herdet i
1A	09. feb. 2012	08. mars 2012	28 døgn
1B	09. feb. 2012	09. mars 2012	29 døgn
2A	28. feb. 2012	29. mars 2012	30 døgn
2B	28. feb. 2012	29. mars 2012	30 døgn
3A	15. feb. 2012	15. mars 2012	29 døgn
3B	15. feb. 2012	16. mars 2012	30 døgn
4A	21. feb. 2012	21. mars 2012	29 døgn
4B	21. feb. 2012	21. mars 2012	29 døgn

VEDLEGG 7: LASTTRINN BJELKE 1A OG 1B – 1/3

BJELKE	Lasttrinn	Ønsket last	Korrigert last	TID	Jekklast	Faktisk oppleggslast	Δ JEKK	STREKKLAPPER						
								1	2	3	4	5	6	
		Ønsket last	Korrigert last	s	kN	kN	mm	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
					1.5									
1A	1	25	16,67	505,00002	35	17,5	-4,02583	58,05714	56,45715	-87,31429	-87,77143	10,74286	10,97143	
1A	2	50	33,33	1264,00006	68,33333333	34,1666667	-6,77132	121,82858	115,65715	-186,51429	-187,2	17,82858	18,05714	
1A	3	75	50	1709,00008	101,56	50,78	-9,36721	209,37144	267,42858	-290,28573	-292,57144	36,11429	35,88572	
1A	4	100	66,67	2147,0001	135,986667	67,9933333	-11,71671	304,22858	402,5143	-398,85716	-400,9143	51,20001	51,88572	
1A	5	150	100	2688,00013	201,933327	100,966663	-15,84373	599,77145	650,97146	-603,4286	-604,57145	82,28572	84,57143	
1A	6	200	133,33	3216,00015	268,70666	134,35333	-19,69357	855,77147	907,88576	-805,48575	-807,54289	118,85715	130,51429	
1A	7	250	166,67	3736,00018	335,42666	167,71333	-23,40701	1114,97148	1149,94291	-1013,71433	-1014,40004	156,34287	180,34287	
1A	8	300	200	4249,0002	401,879993	200,939997	-26,99286	1371,42863	1385,14292	-1228,80005	-1228,11434	195,65716	236,1143	
1A	9	350	233,33	4759,00023	468,279987	234,139993	-30,53471	1634,9715	1626,74293	-1455,08578	-1456,22863	235,42859	304,00001	
1A	10	400	266,7	5285,00025	535,93332	267,96666	-34,30095	1906,2858	1886,40009	-1703,54293	-1717,25722	278,40002	397,25716	
1A		BRUDD		5760,00027	581,079987	290,539993	-37,27082	2133,25724	2095,77152	-1955,65723	-2041,82866	245,48573	494,17145	
1A		Topp 2		6066,00029	589,639987	294,819993	-42,4758	2800,00013	2765,71441	-1001188,34	-1001303,31	1571,42865	2059,88581	
1B	1	25	16,67	308,03101	35,1866667	17,5933333	-5,20937	-290,74287	89,82857	-85,71429	-91,42857	20,80001	29,02858	
1B	2	50	33,33	769,38104	68,4666667	34,2333333	-7,93286	-985,1429	192,68572	-181,02858	-193,37143	39,31429	56,00001	
1B	3	75	50	1220,63206	102,066667	51,0333333	-10,50235	-1589,94293	310,17144	-302,17145	-319,54287	41,82858	68,34286	
1B	4	100	66,67	1650,29308	135,053333	67,5266667	-12,75945	-1123,42862	435,88573	-413,48574	-437,02859	49,14286	86,62858	
1B	5	150	100	2193,0531	201,693327	100,846663	-16,88208	2157,25724	701,94288	-623,31432	-655,08574	83,20001	139,88572	
1B	6	200	133,33	2715,82413	268,54666	134,27333	-20,67032	2999,08585	948,80004	-837,25719	-880,00004	104,91429	179,88573	
1B	7	250	166,67	3232,64515	335,18666	167,59333	-24,34416	3361,14301	1193,82862	-1056,4572	-1112,00005	123,42858	219,42859	
1B	8	300	200	3743,82518	401,74666	200,87333	-27,95201	3653,02874	1439,08578	-1286,17149	-1352,00006	143,08573	259,42859	
1B	9	350	233,33	4256,8462	468,786653	234,393327	-31,57746	3921,37161	1689,3715	-1538,9715	-1608,45721	164,80001	295,54287	
1B	10	400	266,67	4774,35723	535,21332	267,60666	-35,2953	4183,54305	1952,22866	-1842,51437	-1893,25722	205,48573	327,54288	
1B		BRUDD		5178,86725	559,639987	279,819993	-37,06842	4330,05734	2088,6858	-2189,94296	-2113,60009	325,7143	480,2286	
1B		Topp 2		5454,02826	558,49332	279,24666	-41,74983	4877,71451	2629,7144	-6245,25743	-999999,086	1057,37148	900,11433	

VEDLEGG 7: LASTTRINN BJELKE 1A OG 1B – 2/3

		INDUKTIVE GIVERE						TØYNINGER (Strekklapper)					
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	
nr. 16633	nr. 16626	nr. 16638	nr. 16621	nr. 35957	nr. 11649	nr. 11230	%	%	%	%	%	%	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm							
1,00255	1,00375	1,18695	1,00385	1,0106	0,9637	1,0153							
0,03125951	0,03165828	-0,05647508	-0,05096546	-1,39006009	-1,62114766	-1,60397912	0,05805714	0,05645715	-0,08731429	-0,08777143	0,01074286	0,01097143	
0,08336203	0,07650583	-0,11295016	-0,11212001	-2,53953674	-2,88643769	-2,72190486	0,12182858	0,11565715	-0,18651429	-0,1872	0,01782858	0,01805714	
0,16151081	0,14246224	-0,17833924	-0,18602344	-3,75583426	-4,24397634	-3,88843692	0,20937144	0,26742858	-0,29028573	-0,29257144	0,03611429	0,03588572	
0,24226621	0,20841865	-0,24670756	-0,25991684	-4,97214189	-5,6278925	-5,05496897	0,30422858	0,4025143	-0,39885716	-0,4009143	0,05120001	0,05188572	
0,39075389	0,34824103	-0,37450646	-0,40262416	-7,45820779	-8,42206081	-7,40018714	0,59977145	0,65097146	-0,6034286	-0,60457145	0,08228572	0,08457143	
0,57571434	0,51181213	-0,50826386	-0,55297077	-10,0244749	-11,3084985	-9,84261795	0,85577147	0,90788576	-0,80548575	-0,80754289	0,11885715	0,13051429	
0,73722514	0,67274336	-0,63904201	-0,70076761	-12,6442027	-14,2476601	-12,3579533	1,11497148	1,14994291	-1,013171433	-1,01440004	0,15634287	0,18034287	
0,90134258	0,83103474	-0,77874603	-0,85365396	-15,3040211	-17,2131784	-14,921895	1,37142863	1,38514292	-1,22880005	-1,22811434	0,19565716	0,2361143	
1,07067327	0,99195594	-0,92140555	-1,01419969	-18,040407	-20,2709557	-17,5587511	1,6349715	1,62674293	-1,45508578	-1,45622863	0,23542859	0,30400001	
1,25823033	1,16343659	-1,07893755	-1,19512358	-21,0246538	-23,6186884	-20,450783	1,9062858	1,88640009	-1,70354293	-1,71725722	0,27840002	0,39725716	
1,46142716	1,29006969	-1,21566232	-1,44230156	-23,4305286	-26,3469648	-22,7473949	2,13325724	2,09577152	-1,95565723	-2,04182866	0,24548573	0,49417145	
2,25857472	1,88893705	-2,4818531	-2,75973423	-28,5496824	-32,778842	-27,63222466	2,80000013	2,76571441	-1001,18834	-1001,30331	1,57142865	2,05988581	
0,03125951	0,03956783	-0,06538908	-0,06370432	-1,39006009	-1,46887154	-1,51564999	-0,29074287	0,08982857	-0,08571429	-0,09142857	0,02080001	0,02902858	
0,08596866	0,09761469	-0,12781078	-0,1325082	-2,5261665	-2,61948116	-2,6179409	-0,9851429	0,19268572	-0,18102858	-0,19337143	0,03931429	0,05660001	
0,16411744	0,17148065	-0,19022061	-0,1987623	-3,74246403	-3,88026095	-3,82044191	-1,58994293	0,31017144	-0,30217145	-0,31954287	0,04182858	0,06834286	
0,24747947	0,24798648	-0,25858893	-0,27010592	-4,95877166	-5,14104075	-4,99789547	-1,12342862	0,43588573	-0,41348574	-0,43702859	0,04914286	0,08662858	
0,4115969	0,37197971	-0,41017431	-0,42300231	-7,51166853	-7,79724852	-7,49057881	2,15725724	0,70194288	-0,62331432	-0,65508574	0,08320001	0,13988572	
0,57832097	0,50917226	-0,5617597	-0,57589871	-10,1180261	-10,5024122	-10,0709536	2,99908585	0,94880004	-0,83725719	-0,88000004	0,10491429	0,17988573	
0,73983177	0,65426433	-0,71632433	-0,7287951	-12,7778546	-13,2565416	-12,7014233	3,36114301	1,19382862	-1,0564572	-1,11200005	0,12342858	0,21942859	
0,90394921	0,80464615	-0,87384446	-0,88678101	-15,5178742	-16,0963534	-15,4195845	3,65302874	1,43908578	-1,28617149	-1,35200006	0,14308573	0,25942859	
1,07588653	0,9576578	-1,03732308	-1,05241626	-18,4049259	-19,0952915	-18,3005794	3,92137161	1,6893715	-1,5389715	-1,60845721	0,16480001	0,29554287	
1,26083696	1,1212289	-1,22457632	-1,24098949	-21,4790903	-22,3023212	-21,3444082	4,18354305	1,95222866	-1,84251437	-1,89325722	0,20548573	0,32754288	
1,36764863	1,22147341	-1,36428033	-1,38113698	-22,9627117	-23,8935923	-22,8350108	4,33005734	2,0886858	-2,18994296	-2,11360009	0,3257143	0,4802286	
1,9876456	1,83354009	-2,68991357	-2,78266216	-27,6407993	-29,4875335	-27,5197573	4,87771451	2,6297144	-6,24525743	-999,999086	1,05737148	0,90011433	

VEDLEGG 7: LASTTRINN BJELKE 1A OG 1B – 3/3

1	TØYNINGER (IG)				Differanseforskyvning mot jekken		
	2	3	4	5	6	7	
%	%	%	%	mm	mm	mm	
BUNN	TOPP	Sør	Midt	Nord			
0,06251902	0,06331655	-0,11295016	-0,10193093	2,63576991	2,40468234	2,42185088	
0,16672407	0,15301165	-0,222590032	-0,22424001	4,23178326	3,88488231	4,04941514	
0,32302161	0,28492448	-0,35667848	-0,37204689	5,61137574	5,12323366	5,47877308	
0,48453242	0,4168373	-0,49341512	-0,51983368	6,74456811	6,0888175	6,66174103	
0,78150778	0,69648205	-0,74901293	-0,80524832	8,38552221	7,42166919	8,44354286	
1,15142868	1,02362425	-1,01652772	-1,10594155	9,6690951	8,3850715	9,85095205	
1,47445029	1,34548673	-1,27808402	-1,40153522	10,7628073	9,15934994	11,0490567	
1,80268516	1,66206948	-1,55749205	-1,70730793	11,6888389	9,77968162	12,070965	
2,14134655	1,98391188	-1,84281109	-2,02839939	12,4906693	10,2637543	12,9759589	
2,51646065	2,32687318	-2,1578751	-2,39024716	13,2762962	10,6822616	13,850167	
2,92285432	2,58013938	-2,43132464	-2,88460313	13,8402914	10,9238552	14,5234251	
4,51714943	3,7778741	-4,96370621	-5,51946846	13,9261176	9,69695804	14,84355534	
0,06251902	0,07913565	-0,13077815	-0,12740864	3,81930991	3,74049846	3,69372001	
0,17193733	0,19522938	-0,25562155	-0,2650164	5,4066935	5,31337885	5,3149191	
0,32823487	0,3429613	-0,38044121	-0,3975246	6,75988597	6,62208905	6,68190809	
0,49495894	0,49597295	-0,51717785	-0,54021184	7,80067834	7,61840925	7,76155453	
0,82319381	0,74395943	-0,82034862	-0,84600463	9,37041147	9,08483149	9,39150119	
1,15664194	1,01834453	-1,12351939	-1,15179741	10,5522939	10,1679078	10,5993664	
1,47966355	1,30852865	-1,43264865	-1,4575902	11,5663054	11,0876184	11,6427367	
1,80789842	1,6092923	-1,74768892	-1,77356203	12,4341358	11,8556566	12,5324255	
2,15177307	1,9153156	-2,07464617	-2,10483253	13,1725341	12,4821685	13,2768806	
2,52167391	2,2424578	-2,44915263	-2,48197897	13,8162097	12,9929788	13,9508918	
2,73529727	2,44294683	-2,72856066	-2,762727397	14,1057083	13,1748277	14,2334092	
3,97529121	3,66708018	-5,37982714	-5,56532432	14,1090307	12,2622965	14,2300727	

VEDLEGG 8: LASTTRINN BJELKE 2A OG 2B – 1/3

BJELKE	Lastrinn	Ønsket last	Korrigert last	TID	Jekklast		Faktisk oppleggslast	Δ JEKK	STREKKLAPPER								
					s	kN			1	2	3	4	5	6			
						mm	µm/m										
					1,5												
2A	1	25	16,67	263,71101	35,4374533	17,7187267	-4,27358	63,08571	69,02857	-91,88572	-96,45715	16,45714	15,31429				
2A	2	50	33,33	734,27103	68,88816	34,44408	-7,10796	139,42857	151,54286	-194,05715	-206,17144	31,77143	29,25714				
2A	3	75	50	1187,40206	101,645307	50,8226533	-9,64746	218,05715	262,85715	-305,60001	-327,77144	46,4	40,68572				
2A	4	100	66,67	1630,32208	135,442793	67,7213967	-12,04173	316,57144	364,80002	-417,82859	-450,74288	64	54,17143				
2A	5	150	100	2188,4331	202,210827	101,105413	-16,34611	539,20002	592,2286	-636,80003	-692,57146	98,74286	78,17143				
2A	6	200	133,33	2720,91413	268,685427	134,342713	-20,21038	780,80003	847,77147	-847,77147	-937,60004	140,11429	101,94286				
2A	7	250	166,67	3239,54515	335,320087	167,660043	-23,83258	1024,91433	1099,65719	-1056,91433	-1188,57148	192,22858	125,71429				
2A	8	300	200	3752,35518	402,08812	201,04406	-27,40196	1274,28577	1351,31435	-1278,17149	-1454,1715	255,54287	147,42858				
2A	9	350	233,33	4275,6262	468,776127	234,388063	-31,12099	1535,08578	1623,54293	-1507,65721	-1737,37151	367,77145	180,57144				
2A	10	400	266,67														
2A	BRUDD			4700,12722	501,693327	250,846663	-33,19836	1650,9715	1756,11436	-1673,60007	-1949,4858	510,40002	169,37144				
2A	Topp 2			5412,10826	563,686493	281,843247	-45,09485	2799,31441	2979,20013	-3525,94302	-3523,6573	1789,4858	706,97146				
2B	1	25	16,67	291,80101	36,0243133	18,0121567	-4,58166	4458,51449	103,08572	-93,25715	-97,82858	10,97143	49,14286				
2B	2	50	33,33	746,46104	68,5947333	34,2973667	-7,12996	6393,37172	179,88573	-179,65715	-192,22858	26,74286	76,8				
2B	3	75	50	1193,29206	102,01876	51,00938	-9,57704	6807,54316	296,9143	-275,42859	-298,97145	44,57143	104,45714				
2B	4	100	66,67	1630,06308	135,149367	67,5746833	-11,81726	7011,88603	415,31431	-369,82859	-405,94288	61,02858	129,82857				
2B	5	150	100	2180,2431	202,0241	101,01205	-15,972	7248,2289	656,45718	-561,60003	-622,85717	93,48572	175,31429				
2B	6	200	133,33	2706,82413	268,765453	134,382727	-19,72184	-999929,829	776,91432	-746,74289	-838,40004	125,25715	204,80001				
2B	7	250	166,67	3217,19515	335,186707	167,593353	-23,2076	-999929,829	990,85719	-925,02862	-1056,45719	157,94287	226,74286				
2B	8	300	200	3725,82618	403,021747	201,510873	-26,65815	-999929,829	1238,17149	-1106,97148	-1289,14292	185,60001	260,80001				
2B	9	350	233,33	4230,7462	468,536047	234,268023	-30,03389	-999929,829	1483,88578	-1272,22863	-1527,54293	215,77144	306,5143				
2B	10	400	266,67	4751,93723	535,250727	267,625363	-33,68689	-999929,829	1754,2858	-1467,65721	-1819,65723	265,60001	366,40001				
2B	BRUDD			5129,99824	544,907153	272,453577	-34,98965	-999929,829	1865,60009	-1686,85722	-2140,8001	301,48573	565,25717				
2B	Topp 2			5615,47827	598,57766	299,28883	-43,04828	-999929,829	2665,8287	-2125,02867	-4016,91447	816,91432	1384,91435				

VEDLEGG 8: LASTTRINN BJELKE 2A OG 2B – 2/3

INDUKTIVE GIVERE						TØYNINGER (Strekkklapper)						
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
nr. 16633	nr. 16626	nr. 16638	nr. 16621	nr. 35957	nr. 11649	nr. 11230						
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
1,00255	1,00375	1,18695	1,00385	1,0106	0,9637	1,0153						
0,01041649	0,03692796	-0,05645134	-0,0662541	-1,09600581	-1,16285824	-1,1022909	0,06308571	0,06902857	-0,09188572	-0,09645715	0,01645714	0,01531429
0,06251902	0,10024451	-0,12479592	-0,12995842	-2,21875209	-2,36243345	-2,24216821	0,13942857	0,15154286	-0,19405715	-0,20617144	0,03177143	0,02925714
0,12764467	0,18203006	-0,20502187	-0,1987623	-3,43504961	-3,68441784	-3,48224548	0,21805715	0,26285715	-0,30560001	-0,32777144	0,0464	0,04068572
0,19537694	0,2717352	-0,2882152	-0,2726557	-4,73154835	-5,05535819	-4,79748541	0,31657144	0,36480002	-0,41782859	-0,45074288	0,064	0,05417143
0,35167449	0,46431468	-0,45461372	-0,42045253	-7,40473694	-7,90740906	-7,51563641	0,53920002	0,59222286	-0,63680003	-0,69257146	0,09874286	0,07817143
0,51058869	0,67009346	-0,62695886	-0,57079915	-10,1581267	-10,8084255	-10,2964213	0,78080003	0,84777147	-0,84777147	-0,93760004	0,14011429	0,10194286
0,67470612	0,87851211	-0,79929213	-0,73134488	-12,9649773	-13,746159	-13,1147925	1,02491433	1,09965719	-1,05691433	-1,18857148	0,19222858	0,12571429
0,82580044	1,07901118	-0,97460465	-0,88933079	-15,7985582	-16,720619	-15,9456825	1,27428577	1,35131435	-1,27817149	-1,4541715	0,25554287	0,14742858
0,98991787	1,28478996	-1,17071252	-1,06515512	-18,7791713	-19,8419662	-18,9143587	1,53508578	1,62354293	-1,50765721	-1,73737151	0,36777145	0,18057144
1,08630303	1,41934265	-1,29847582	-1,15434719	-20,3830845	-21,5311685	-20,5176901	1,6509715	1,75611436	-1,67360007	-1,9494858	0,51040002	0,16937144
2,26638458	2,61707738	-3,81224601	-3,36111065	-31,637217	-34,2368784	-31,4779957	2,79931441	2,97920013	-3,52594302	-3,5236573	1,7894858	0,70697146
0,041676	0,03692796	-0,05348397	-0,07135366	-1,09600581	-1,17509723	-1,13987731	4,45851449	0,10308572	-0,09325715	-0,09782858	0,01097143	0,04914286
0,0911719	0,08705524	-0,10993531	-0,13760776	-2,09845026	-2,25226327	-2,15448691	6,39337172	0,17988573	-0,17965715	-0,19222858	0,02674286	0,0768
0,15629755	0,15301165	-0,17827989	-0,21915049	-3,19446618	-3,4273605	-3,25677781	6,80754316	0,2969143	-0,27542859	-0,29897145	0,04457143	0,10445714
0,23706297	0,22951748	-0,24959185	-0,29814345	-4,34393272	-4,66365268	-4,40917377	7,01188603	0,41531431	-0,36982859	-0,40594288	0,06102858	0,12982857
0,40377701	0,39044871	-0,39518313	-0,45612936	-6,78990811	-7,27089485	-6,8517622	7,24822289	0,65645718	-0,56160003	-0,62285717	0,09348572	0,17531429
0,5809276	0,53555081	-0,53483967	-0,61157554	-9,34280499	-9,9393416	-9,38202179	-999,929829	0,77691432	-0,74674289	-0,83840004	0,12525715	0,20480001
0,75024827	0,69912191	-0,6834102	-0,77466101	-11,9358025	-12,6445053	-11,9749152	-999,929829	0,99085719	-0,92502862	-1,05645719	0,15794287	0,22674286
0,92999546	0,87851211	-0,83791548	-0,94539581	-14,6490917	-15,4720782	-14,6930764	-999,929829	1,23817149	-1,10697148	-1,28914292	0,18560001	0,26080001
1,10193278	1,05263263	-0,99242076	-1,11867036	-17,3356505	-18,2874121	-17,3987088	-999,929829	1,48388578	-1,27222863	-1,52754293	0,21577144	0,3065143
1,29730973	1,23994241	-1,17664727	-1,32253222	-20,3028934	-21,3720327	-20,3548562	-999,929829	1,7542858	-1,46765721	-1,81965723	0,26560001	0,36640001
1,41975116	1,31381841	-1,2925292	-1,53913294	-21,4256295	-22,5838469	-21,4195709	-999,929829	1,86560009	-1,68685722	-2,1408001	0,30148573	0,56525717
2,07882753	2,15275266	-2,7514688	-3,10629336	-28,9239278	-31,1522482	-28,9727836	-999,929829	2,6658287	-2,12502867	-4,01691447	0,81691432	1,38491435

VEDLEGG 8: LASTTRINN BJELKE 2A OG 2B – 3/3

TØYNINGER (IG)				Differanseforskyvning mot jekken		
1	2	3	4	5	6	7
BUNN		TOPP		Sør	Midt	Nord
%	%	%	%	mm	mm	mm
0,02083299	0,07385593	-0,11290268	-0,1325082	3,17757419	3,11072176	3,1712891
0,12503804	0,20048903	-0,24959185	-0,25991684	4,88920791	4,74552655	4,86579179
0,25528933	0,36406013	-0,41004375	-0,3975246	6,21241039	5,96304216	6,16521452
0,39075389	0,5434704	-0,5764304	-0,5453114	7,31018165	6,98637181	7,24424459
0,70334898	0,92862935	-0,90922744	-0,84090507	8,94137306	8,43870094	8,83047359
1,02117738	1,34018693	-1,25391772	-1,1415983	10,0522533	9,40195447	9,91395872
1,34941225	1,75702423	-1,59858426	-1,46268976	10,8676027	10,086421	10,7177875
1,65160087	2,15802235	-1,94920929	-1,77866158	11,6034018	10,681341	11,4562775
1,97983574	2,56957993	-2,34142505	-2,13031024	12,3418187	11,2790238	12,2066313
2,17260605	2,8386853	-2,59695164	-2,30869438	12,8152755	11,6671915	12,68067
4,53276916	5,23415475	-7,62449202	-6,72222129	13,457633	10,8579716	13,6168543
0,08335201	0,07385593	-0,10696793	-0,14270732	3,48565419	3,40656277	3,44178269
0,18234379	0,17411048	-0,21987062	-0,27521552	5,03150974	4,87769673	4,97547309
0,31259509	0,3060233	-0,35655978	-0,43830099	6,38257382	6,1496795	6,32026219
0,47412595	0,45903495	-0,49918369	-0,5962869	7,47332728	7,15360732	7,40808623
0,80755403	0,78089743	-0,79036627	-0,91225873	9,18209189	8,70110515	9,1202378
1,1618552	1,07110163	-1,06967934	-1,22315107	10,379035	9,7824984	10,3398182
1,50049653	1,39824383	-1,3668204	-1,54932201	11,2717975	10,5630947	11,2326848
1,85999091	1,75702423	-1,67583097	-1,89079163	12,0090583	11,1860718	11,9650736
2,20386556	2,10526525	-1,98484153	-2,23734073	12,6982395	11,7464779	12,6351812
2,59461945	2,47988483	-2,35329455	-2,64506444	13,3839966	12,3148573	13,3320338
2,83950231	2,62763683	-2,58505841	-3,07826587	13,5640205	12,4058031	13,5700791
4,15765505	4,30550533	-5,50293759	-6,21258673	14,1243522	11,8960318	14,0754964

VEDLEGG 9: LASTTRINN BJELKE 3A OG 3B – 1/3

BJELKE	Lastrinn	Ønsket last	Korrigert last	TID	Jekklast	Faktisk oppleggslast	STREKKLAPPER							
							1	2	3	4	5	6		
				s	kN	kN	Δ J.EKK	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
				1,5			mm							
3A	1	25	16,67	287,85001	35,24	17,62	-4,7342	84,57143	79,31428	-93,94287	-96,45715	27,88571	29,02857	
3A	2	50	33,33	747,19104	68,7066667	34,3533333	-7,44888	148,8	152,68572	-211,20001	-212,34287	44,11428	43,42857	
3A	3	75	50	1198,71206	102,173333	51,0866667	-10,02717	234,05715	304,9143	-341,71431	-341,71431	63,31428	60,8	
3A	4	100	66,67	1634,17208	135,4	67,7	-12,37227	377,82859	445,48573	-470,17145	-470,40003	84,11429	80,22857	
3A	5	150	100	2184,8831	201,773327	100,886663	-16,61809	630,17145	693,71431	-712,45718	-713,82861	124,57143	119,08572	
3A	6	200	133,33	2719,82413	270,599993	135,299997	-20,63512	884,57147	953,82861	-963,42862	-964,57148	168	162,05715	
3A	7	250	166,67	3228,75415	334,946666	167,47333	-24,23857	1122,05719	1196,34291	-1205,48577	-1206,40006	206,85715	207,31429	
3A	8	300	200	3744,06518	401,74666	200,87333	-27,88602	1367,54292	1456,91435	-1461,71436	-1462,62864	252,34286	271,77144	
3A	9	350	233,33	4257,3862	468,65332	234,32666	-31,48946	1617,82864	1721,14293	-1735,0858	-1736,6858	307,65715	346,74287	
3A	10	400	266,67	4775,10723	535,266653	267,633327	-35,19411	1877,25723	1994,74294	-2047,54295	-2050,05724	377,14287	437,25716	
3A		BRUDD		5195,95725	563,586653	281,793327	-37,20482	2017,82866	2157,25724	-2300,57154	-2362,97154	438,40002	503,08573	
3A		Topp 2												
3B	1	25	16,67	273,92101	35,16	17,58	-4,5802	72,91429	148,11429	-94,40001	-94,4	23,08572	22,17143	
3B	2	50	33,33	735,33103	68,68	34,34	-7,34328	161,14287	319,08573	-198,85716	-199,54286	45,94286	43,65714	
3B	3	75	50	1186,69206	101,773333	50,8866667	-9,91718	259,88573	566,85717	-321,60002	-322,05715	62,62858	58,28571	
3B	4	100	66,67	1624,25308	135,16	67,58	-12,26228	373,94288	925,9429	-442,74288	-441,37144	80,68572	74,51428	
3B	5	150	100	2177,1131	201,746666	100,87333	-16,55209	662,17146	83,42857	-678,17146	-672,68574	117,25715	109,48572	
3B	6	200	133,33	2708,15413	268,46666	134,23333	-20,48113	958,40005	2382,17154	-911,31433	-901,94289	154,74287	147,65715	
3B	7	250	166,67	3225,13515	335,10666	167,55333	-24,20337	1238,40006	2740,34298	-1150,17149	-1135,31433	189,25716	189,94286	
3B	8	300	200	3738,51518	401,933327	200,966663	-27,85962	1511,7715	3041,14299	-1398,85721	-1378,51434	225,14287	235,65715	
3B	9	350	233,33	4251,9362	468,466653	234,233327	-31,48066	1781,02866	3303,54301	-1663,77151	-1636,11436	263,08573	288,00001	
3B	10	400	266,67	4771,58723	535,026653	267,513327	-35,22205	2066,05724	3582,62873	-1957,02866	-1925,25723	313,60002	354,28573	
3B		BRUDD		5253,08825	584,199987	292,099993	-38,31797	2325,02868	3821,48589	-2262,17154	-2295,31439	398,17145	453,48573	
3B		Topp 2												

VEDLEGG 9: LASTTRINN BJELKE 3A OG 3B – 2/3

INDUKTIVE GIVERE			TØYNINGER (Strekklapper)									
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
nr. 16633	nr. 16626	nr. 16638	nr. 16621	nr. 35957	nr. 11649	nr. 11230	%	%	%	%	%	%
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
1,00255	1,00375	1,18695	1,00385	1,0106	0,9637	1,0153	0,08457143	0,07931428	-0,09394287	-0,09645715	0,02788571	0,02902857
0,04688926	0,04748741	-0,05349584	-0,05605498	-1,61728339	-1,65247566	-1,67849396	0,1488	0,15268572	-0,21120001	-0,21234287	0,04411428	0,04342857
0,09899179	0,10025455	-0,12186416	-0,12740864	-2,79848031	-2,86428987	-2,91857123	0,23405715	0,3049143	-0,34171431	-0,34171431	0,06331428	0,0608
0,18235382	0,16884079	-0,20509309	-0,21150116	-3,91622659	-4,11283068	-4,14612985	0,37782859	0,44548573	-0,47017145	-0,47040003	0,08411429	0,08022857
0,28134561	0,24007693	-0,29425677	-0,29304389	-5,22608546	-5,49601965	-5,44884097	0,63017145	0,69371431	-0,71245718	-0,71382861	0,12457143	0,11908572
0,47411592	0,38253916	-0,46664939	-0,44849006	-7,85918355	-8,26238796	-8,02920561	0,88457147	0,95382861	-0,96342862	-0,96457148	0,168	0,16205715
0,64344662	0,53555081	-0,63309539	-0,61157554	-10,6125734	-11,1511558	-10,734838	1,12205719	1,19634291	-1,20548577	-1,20640006	0,20685715	0,20731429
0,81017068	0,68593264	-0,79359477	-0,76701167	-13,2456613	-13,8930461	-13,3277314	1,36754292	1,45691435	-1,46171436	-1,46262864	0,25234286	0,27177144
0,98991787	0,85213356	-0,96896663	-0,9351967	-16,0658821	-16,8307796	-16,1210451	1,61782864	1,72114293	-1,7350858	-1,7366858	0,30765715	0,34674287
1,15923854	1,02625408	-1,147294	-1,11357081	-18,9796541	-19,8664442	-19,0145587	1,87725723	1,99474294	-2,04754295	-2,05005724	0,37714287	0,43725716
1,34419899	1,20828414	-1,35238709	-1,30724359	-22,013728	-23,048996	-22,0583976	2,01782866	2,15725724	-2,30057154	-2,36297154	0,43840002	0,50308573
1,44840404	1,34019696	-1,55450094	-1,42955267	-23,6844721	-24,8361102	-23,7368916	0,07291429	0,14811429	-0,09440001	-0,0944	0,02308572	0,02217143
0,04428263	0,04484755	-0,05647508	-0,05351524	-1,44352083	-1,5667931	-1,6033313	0,161114287	0,31908573	-0,19885716	-0,19954286	0,04594286	0,04365714
0,09899179	0,09497483	-0,12483153	-0,12740864	-2,65982846	-2,8275729	-2,81836112	0,25988573	0,56685717	-0,32160002	-0,32205715	0,06262858	0,05828571
0,16411744	0,16620093	-0,20211385	-0,21150116	-3,9563272	-4,17403526	-4,09602479	0,37394288	0,9259429	-0,44274288	-0,44137144	0,08068572	0,07451428
0,24226621	0,24534661	-0,27939616	-0,29049411	-5,27955631	-5,5572146	-5,41125456	0,66217146	0,08342857	-0,67817146	-0,67268574	0,11725715	0,10948572
0,41420353	0,4168373	-0,43098155	-0,44849006	-7,9527449	-8,36030951	-8,09183947	0,95840005	2,38217154	-0,91131433	-0,90194289	0,15474287	0,14765715
0,58613083	0,58831795	-0,57959955	-0,60647598	-10,6393037	-11,1756434	-10,8099905	1,23840006	2,74034298	-1,15017149	-1,13531433	0,18925716	0,18994286
0,7528549	0,75715874	-0,73118494	-0,76702171	-13,3659531	-14,0154553	-13,5406703	1,5117715	3,04114299	-1,39885721	-1,37851434	0,22514287	0,23565715
0,92218559	0,92599953	-0,88871694	-0,9351967	-16,1861738	-16,9654277	-16,3715602	1,78102866	3,30354303	-1,66377151	-1,63611436	0,26308573	0,28800001
1,09411289	1,10012004	-1,05516294	-1,11103106	-19,0865857	-20,0010924	-19,2901416	2,06605724	3,58262873	-1,95702866	-1,92525723	0,31360002	0,35428573
1,27646671	1,27160069	-1,23349031	-1,30214403	-22,14739	-23,2081221	-22,3590178	2,32502868	3,82148589	-2,26217154	-2,29531439	0,39817145	0,45348573
1,44840404	1,43781165	-1,42372279	-1,50090633	-24,7002868	-25,9255249	-24,9519214						

VEDLEGG 9: LASTTRINN BJELKE 3A OG 3B – 3/3

1	TØYNINGER (IG)			Differanseforskjvning mot jekken		
	2	3	4	5	6	7
%o	TOPP			Sør	Midt	Nord
	%o	%o	%o	mm	mm	mm
0,09377853	0,09497483	-0,10699167	-0,11210997	3,11691661	3,08172434	3,05570604
0,19798357	0,2005091	-0,24372831	-0,25481728	4,65539969	4,58459013	4,53030877
0,36470764	0,33768158	-0,41018618	-0,42300231	6,11094341	5,91433933	5,88104016
0,56269121	0,48015385	-0,58851355	-0,58608778	7,14618454	6,87625035	6,92342903
0,94823184	0,76507833	-0,93329879	-0,89698013	8,75890645	8,35570204	8,58888439
1,28689323	1,07110163	-1,26619078	-1,22315107	10,0225466	9,4839642	9,90028203
1,62034136	1,37186528	-1,58718954	-1,53402334	10,9929087	10,3455239	10,9108386
1,97983574	1,70426713	-1,93793327	-1,8703934	11,8201379	11,0552404	11,7649749
2,31847708	2,05250815	-2,294588	-2,22714161	12,5098059	11,6230158	12,4749013
2,68839798	2,41656828	-2,70477418	-2,61448717	13,180382	12,145114	13,1357124
2,89680807	2,68039393	-3,10900187	-2,85910534	13,5203479	12,3687098	13,4679284
0,08856527	0,0896951	-0,11295016	-0,10703049	3,13667917	3,0134069	2,9768687
0,19798357	0,18994965	-0,24966306	-0,25481728	4,68345154	4,5157071	4,52491888
0,32823487	0,33240185	-0,40422769	-0,42300231	5,9608528	5,74314474	5,82115521
0,48453242	0,49069323	-0,55879232	-0,58098823	6,98272369	6,7050654	6,85102544
0,82840707	0,8336746	-0,86196309	-0,89698013	8,5993451	8,19178049	8,46025053
1,17226166	1,1766359	-1,15919911	-1,21295196	9,84182627	9,30548658	9,67113952
1,50570979	1,51431748	-1,46236988	-1,53404342	10,8374169	10,1879147	10,6626997
1,84437118	1,85199905	-1,77743389	-1,8703934	11,6734462	10,8941923	11,4880598
2,18822578	2,20024008	-2,11032588	-2,22206213	12,3940743	11,4795676	12,1905184
2,52933342	2,54320138	-2,46698062	-2,60428806	13,07311	12,0123779	12,8614822
2,89680807	2,8756233	-2,84744557	-3,00181266	13,6176832	12,3924451	13,3660486

VEDLEGG 10: LASTTRINN BJELKE 4A OG 4B – 1/3

BJELKE	Lastrinn	Ønsket last	Korrigert last	TID	Jekklast	Faktisk oppleggslast	Δ JEKK	STREKKLAPPER						
								1	2	3	4	5	6	
				s	kN	kN	mm	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
					1.5									
4A	1	25	16,67	273,54001	35,4212733	17,7106367	-4,53181	70,85715	83,88572	-98,74286	-98,74286	-98,74286	16,45714	16,22857
4A	2	33,33	33,33	732,54103	68,56264	34,28132	-7,25089	141,25715	330,05716	-203,20001	-202,28573	-202,28573	32,45714	32,22857
4A	3	75	50	1179,84106	101,94396	50,97198	-9,75438	232,9143	533,0286	-317,7143	-313,60002	-313,60002	52,8	53,02858
4A	4	100	66,67	1615,21208	135,405273	67,7026367	-12,02469	357,7143	649,60003	-436,80002	-431,77145	-431,77145	70,85715	71,77143
4A	5	150	100	2157,5031	201,954627	100,977313	-16,15171	601,37146	896,45718	-668,80003	-658,97146	-658,97146	114,28572	115,88572
4A	6	200	133,33	2680,18313	268,5573	134,27865	-19,93995	821,48575	1175,31434	-912,22861	-898,51433	-898,51433	141,48572	145,14287
4A	7	250	166,67	3194,97415	335,4266	167,7133	-23,5522	1069,25719	1465,82864	-1144,22862	-1122,97148	-1122,97148	189,48572	194,28572
4A	8	300	200	3699,88518	401,975947	200,987973	-27,03245	1314,0572	1733,25722	-1391,08578	-1359,31435	-1359,31435	235,42858	238,85716
4A	9	350	233,33	4202,6462	468,871913	234,435957	-30,47311	1562,9715	2034,28581	-1656,45722	-1603,65722	-1603,65722	288,00001	286,40001
4A	10	400	266,67	4709,83622	535,314613	267,657307	-33,99296	1826,97151	2283,20011	-1961,37152	-1878,62866	-1878,62866	354,74287	327,3143
4A	BRUDD			5142,53724	564,05668	282,02834	-36,25886	2042,05724	2523,65726	-2352,45725	-2375,54297	-2375,54297	644,80003	534,17145
4A	Topp 2			5247,67725	567,522793	283,761397	-38,04079	2279,08582	2757,0287	-3315,65729	-3398,17159	-3398,17159	949,25719	822,40004
4B	1	25	16,67	277,72001	35,1813133	17,5906567	-4,57581	441,37145	60,57143	-96,00001	-98,28571	-98,28571	19,2	17,82858
4B	2	33,33	33,33	740,81104	68,4826467	34,2413233	-7,33009	827,88575	132,8	-193,37144	-198,62858	-198,62858	43,65715	40,91429
4B	3	75	50	1187,80206	101,783987	50,8919933	-9,81599	1254,40006	247,08572	-301,02859	-309,48572	-309,48572	69,02858	65,60001
4B	4	100	66,67	1620,86208	135,085327	67,5426633	-12,05549	1541,02864	359,3143	-415,08574	-425,14287	-425,14287	91,88572	88,00001
4B	5	150	100	2156,8631	201,794647	100,897323	-16,08572	1963,8858	627,88574	-644,57146	-657,37145	-657,37145	134,62858	124,1143
4B	6	200	133,33	2681,38413	268,53064	134,26532	-19,80796	2300,57153	869,94289	-876,57147	-892,34289	-892,34289	176,68573	167,77144
4B	7	250	166,67	3195,79515	335,319947	167,659973	-23,39821	2530,74297	1117,71433	-1109,48577	-1124,3429	-1124,3429	222,62859	216,22859
4B	8	300	200	3702,58518	401,89596	200,94798	-26,88726	2811,65727	1373,71434	-1351,31435	-1361,82863	-1361,82863	271,08573	268,80002
4B	9	350	233,33	4207,3862	468,791927	234,395963	-30,35432	3067,42871	1624,68578	-1613,02865	-1613,71435	-1613,71435	321,37145	318,62859
4B	10	400	266,67	4714,57722	535,341273	267,670637	-33,89617	3326,40015	1895,31437	-1905,37152	-1903,0858	-1903,0858	389,48574	353,82859
4B	BRUDD			5132,93724	559,87068	279,93534	-35,91568	3519,77159	2066,51438	-2262,85725	-2181,71438	-2181,71438	378,51431	657,60003
4B	Topp 2			5424,05826	571,708787	285,854393	-40,86107	4159,0859	2489,14297	-999996,114	-5436,11453	-5436,11453	669,02861	986,28576

VEDLEGG 10: LASTTRINN BJELKE 4A OG 4B – 2/3

INDUKTIVE GIVERE			TØYNINGER (Strekklapper)									
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
nr. 16633	nr. 16626	nr. 16638	nr. 16621	nr. 35957	nr. 11649	nr. 11230	%	%	%	%	%	%
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
I.00255	I.00375	I.18695	I.00385	I.0106	0,9637	I.0153						
0,04428263	0,04484755	-0,05349584	-0,05606502	-1,41679046	-1,49334952	-1,49060254	0,07085715	0,08388572	-0,09874286	-0,09874286	0,01645714	0,01622857
0,09638516	0,09761469	-0,11889678	-0,11976934	-2,55289687	-2,65620776	-2,59289345	0,14125715	0,33005716	-0,20320001	-0,20228573	0,03245714	0,03222857
0,16411744	0,16093124	-0,19319985	-0,1987623	-3,72910389	-3,88026095	-3,73277076	0,2329143	0,5330286	-0,3177143	-0,31360002	0,0528	0,05302858
0,23445634	0,22688765	-0,26750292	-0,2726557	-4,95877166	-5,14104075	-4,92274297	0,3577143	0,64960003	-0,43680002	-0,43177145	0,07085715	0,07177143
0,39857378	0,36671003	-0,41908831	-0,42300231	-7,47156792	-7,78499989	-7,40290766	0,60137146	0,89645718	-0,66880003	-0,65897146	0,11428572	0,11588572
0,56529784	0,52236154	-0,5617597	-0,57079915	-10,037835	-10,4412077	-9,92063844	0,82148575	1,17531434	-0,91222861	-0,89851433	0,14148572	0,14514287
0,75806816	0,66746364	-0,71334508	-0,72114576	-12,6575629	-13,1708494	-12,5260607	1,06925719	1,46582864	-1,14422862	-1,12297148	0,18948572	0,19428572
0,93520872	0,81519556	-0,87384446	-0,88169149	-15,3441217	-15,9494663	-15,1941168	1,3140572	1,73325722	-1,39108578	-1,35931435	0,23542858	0,23885716
1,10714604	0,97348694	-1,04030233	-1,05241626	-18,0841413	-18,8259951	-17,9373254	1,5629715	2,03428581	-1,65645722	-1,60365722	0,28800001	0,28640001
1,2947031	1,14496759	-1,22755556	-1,24608904	-20,9711829	-21,8494208	-20,8183204	1,82697151	2,28320011	-1,96137152	-1,87862866	0,35474287	0,3273143
1,47184366	1,30325896	-1,44749739	-1,50345611	-22,909251	-23,9425579	-22,7348007	2,04205724	2,52365726	-2,35245725	-2,37554297	0,64480003	0,53417145
1,67504049	1,52223706	-1,88739293	-1,95449595	-24,6468261	-25,9989684	-24,4884573	2,27908582	2,7570287	-3,31565729	-3,39817159	0,94925719	0,82240004
0,04428263	0,04748741	-0,04756109	-0,05351524	-1,37668985	-1,43214493	-1,40292123	0,44137145	0,06057143	-0,09600001	-0,09828571	0,0192	0,01782858
0,09638516	0,10025455	-0,1040243	-0,11721956	-2,51279626	-2,58276419	-2,49268334	0,82788575	0,1328	-0,19337144	-0,19862858	0,04365715	0,04091429
0,16672407	0,15829138	-0,17239262	-0,19366274	-3,66227292	-3,77009077	-3,63255049	1,25440006	0,24708572	-0,30102859	-0,30948572	0,06902858	0,06560001
0,25789596	0,22951748	-0,24372831	-0,26756618	-4,85184007	-5,00639259	-4,79747525	1,54102864	0,3593143	-0,41508574	-0,42514287	0,09188572	0,08800001
0,43243992	0,36671003	-0,38045308	-0,42046257	-7,29780536	-7,52795219	-7,21500608	1,9638858	0,62788574	-0,64457146	-0,65737145	0,13462858	0,1241143
0,61479374	0,51972168	-0,52312447	-0,57589871	-9,81061173	-10,1351944	-9,73274702	2,30057153	0,86994289	-0,87657147	-0,89234289	0,17668573	0,16777144
0,79974416	0,67537319	-0,66876324	-0,73389466	-12,3768687	-12,7791535	-12,300593	2,53074297	1,11771433	-1,10948577	-1,1243429	0,22262859	0,21622859
0,98470461	0,8310247	-0,81738125	-0,89698013	-14,9965966	-15,4965562	-14,9435915	2,81165727	1,37371434	-1,35131435	-1,36182863	0,27108573	0,26880002
1,1727169	0,98667621	-0,97193401	-1,0677049	-17,723256	-18,3118901	-17,6742713	3,06742871	1,62468573	-1,611302865	-1,61371435	0,32137145	0,31862859
1,365042	1,14760745	-1,15027325	-1,25372834	-20,5702072	-21,2985891	-20,5552663	3,32640001	1,89531437	-1,90537152	-1,9030858	0,38948574	0,35382859
1,52915944	1,26369114	-1,31671924	-1,47287884	-22,2676817	-23,1346786	-22,2838653	3,51977159	2,06651438	-2,26285725	-2,18171438	0,37851431	0,65760003
2,19084244	1,82826036	-2,31837448	-2,87440401	-26,9457693	-28,7653367	-27,1439744	4,1590859	2,48914297	-999,996114	-5,43611453	0,66902861	0,98628576

VEDLEGG 10: LASTTRINN BJELKE 4A OG 4B – 3/3

TØYNINGER (IG)				Differansforskryvning mot jekken		
1	2	3	4	5	6	7
BUNN		TOPP		Sør	Midt	Nord
%	%	%	%	mm	mm	mm
0,08856527	0,0896951	-0,10699167	-0,11213005	3,11501954	3,03846048	3,04120746
0,19277031	0,19522938	-0,23779356	-0,23953869	4,69799313	4,59468224	4,65799655
0,32823487	0,32186248	-0,3863997	-0,3975246	6,02527611	5,87411905	6,02160924
0,46891269	0,4537753	-0,53500584	-0,5453114	7,06591834	6,88364925	7,10194703
0,79714756	0,73342005	-0,83817661	-0,84600463	8,68014208	8,36671011	8,74880235
1,13059569	1,04472308	-1,12351939	-1,1415983	9,90211497	9,49874235	10,01931116
1,51613631	1,33492728	-1,42669016	-1,44229153	10,8946371	10,3813506	11,0261393
1,87041743	1,63039113	-1,74768892	-1,76338299	11,6883283	11,0829837	11,8383332
2,21429208	1,94697388	-2,08060466	-2,10483253	12,3889687	11,6471149	12,5357846
2,58940619	2,28993518	-2,45511112	-2,49217809	13,0217771	12,1435392	13,1746396
2,94368731	2,60651793	-2,89499479	-3,00691221	13,349609	12,3163021	13,5240593
3,35008098	3,04447413	-3,77478587	-3,9089919	13,3939639	12,0418216	13,5523327
0,08856527	0,09497483	-0,09512217	-0,10703049	3,19912015	3,14366507	3,17288877
0,19277031	0,2005091	-0,2080486	-0,23443913	4,81729374	4,74732582	4,83740666
0,33344813	0,31658275	-0,34478524	-0,38732548	6,15371708	6,04589923	6,18343951
0,51579192	0,45903495	-0,48745663	-0,53513236	7,20364993	7,04909741	7,25801475
0,86487983	0,73342005	-0,76090617	-0,84092515	8,78791464	8,55776781	8,87071392
1,22958747	1,03944335	-1,04624895	-1,15179741	9,99734827	9,67276565	10,075213
1,59948832	1,35074638	-1,33752648	-1,46778932	11,0213413	10,6190565	11,097617
1,96940922	1,6620494	-1,6347625	-1,79396026	11,89066634	11,3907038	11,9436685
2,34454338	1,97335243	-1,94386802	-2,1354098	12,631064	12,0424299	12,6800487
2,73008401	2,2952149	-2,30054649	-2,50745668	13,3259628	12,5975809	13,3409037
3,05831888	2,52738228	-2,63343849	-2,94575767	13,6479983	12,7810014	13,6318147
4,38168488	3,65652073	-4,63674896	-5,74880803	13,9153007	12,0957333	13,7170956

VEDLEGG 11: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1A – 1/5

BJELKE 1A Beregning etter Eurokode 2				
Geometri				
Høyde	h		350 mm	
Bredde	b		400 mm	
Lengde	l		3600 mm	
Oppleggsbredde			300 mm	
Total lengde			4200 mm	
Lastavstand			800 mm	
Arealversnitt	A		140000 mm ²	
Volum	V		588000000 mm ³	
Fra materialtest				
Trykkfasthet f_{cm}	1A-1		33,7 MPa	
	1A-2		33,9 MPa	
	1A-3		35,3 MPa	
	1A-4		33,3 MPa	
	1A-5		34,7 MPa	
	1A-6		35,6 MPa	
	(gjennomsnitt)	f_{cm}		34,42 MPa
Densitet	1A-1		1800 kg/m ³	
	1A-2		1810 kg/m ³	
	1A-3		1820 kg/m ³	
	1A-4		1790 kg/m ³	
	1A-5		1800 kg/m ³	
	1A-6		1800 kg/m ³	
	(gjennomsnitt)	ρ_m		1803,33 kg/m ³
E-modul	1B-17		18,80 GPa	
	1B-18		21,90 GPa	
	1B-19		19,30 GPa	
	(gjennomsnitt)	E_{cm}		20000,00 GPa
	Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1	
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1	
Partialfaktor for egenvekt	γ_G		1	
Partialfaktor for nyttelast	γ_F		1	
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1	
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,892	
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,672	
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1				
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat dimensjonerende betongtrykkfasthet	f_{cm}		34,42	
	f_{ick}	$f_{cm}-8(\text{MPa})$	26,42 MPa	
	f_{icd}	$\alpha_{ic}*(f_{ick}/\gamma_c)$	26,42 MPa	
	$f_{ctk,0,05}$	$0,7f_{ctm}$	1,86 MPa	
	aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0,05}$	$f_{ctk,0,05}*\eta_1$	1,66 MPa
f_{ctm}		$0,3*f_{ck}^{(2/3)}$	2,66 MPa	
middelverdi av aksialtrekkfasthet	f_{ctm}	$f_{ctm}*\eta_1$	2,37 MPa	
	E_{cm}	$22[(f_{cm})/10]^{0,3}$	31,88 GPa	
	E_{cm}	$E_{cm}*\eta_E$	21417,07 MPa	
	E_{yd}	f_{yd}/E_s	0,0029	
trykktyning betong	ϵ_{ku}	$3,5*\eta_1$	0,00312	

VEDLEGG 11: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1A – 2/5

Armering				
Fasthet	f_{yk}			550 MPa
	f_{yd}	f_{yk}/γ_s		550 MPa
E-modul:	E_s			190000 N/mm ²
Overdekning	$c = c_1$			25 mm
Diameter bøylar	ϕ_b			10 mm
Antall "brede" bøylar				41,0 stk
Antall "smale" bøylar				35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$		157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$			157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$		314,2 mm ²
Senteravstand bøylar	s			100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,s}$		32 mm
		-topp, $\phi_{l,t}$		12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn		804,2 mm ²
		-topp		113,1 mm ²
Antall jern bunn				6 stk
Antall jern topp				4 stk
	A_s			4825,5 mm ²
	A_s'			452,4 mm ²
Avstand mellom lengdearmeringen	a			65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2$		291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2 + (\phi_{l,t}/2)$		250 mm
	d'			41 mm
Forankringslengde				285 mm
Betong				
Densitet fra testresultat	ρ			1803,333 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken				1240,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør				172,000 kg
Maks bruddlast				
Balansert arm. mengde (3.19)	η	for $f_{ck} \leq 50$ MPa		1
(3.21)	λ	for $f_{ck} \leq 50$ MPa		0,8
BK(4.20)	α_b	$\epsilon_{icu} / (\epsilon_{icu} + \epsilon_{yd})$		0,519
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$	$\lambda * \eta * (f_{icd}/f_{yd}) * b * d * \alpha_b$ overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$		2320,53 mm ² Overarmert
Finne α (ved brudd)				
		$(\lambda \eta f_{icd} b d^2) \alpha^2 + (E_s \epsilon_{icu} A_s' d - E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d + E_s \epsilon_{icu} A_s d) \alpha + (-E_s \epsilon_{icu} A_s' d' + E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d' - E_s \epsilon_{icu} A_s d) = 0$		
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d$		832783371,6
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d$		78073441,08
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d'$		11000038,09
		$E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d$		8800547,716
		$E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d'$		1239939,713
a		$\lambda * \eta * f_{icd} * b * d^2$		715836720
b				902056264,9
c				-842543469,9
		abc-formel		0,62451828
	α			-1,884660767
				0,62451828
Momentkapasitet				
Trykksonehøyde	x	$\alpha * d$		181,73 mm
Momentkapasiteten til betongen BK(4.14)	M_{rd}	$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{icd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d * \epsilon_{icu} A_s' h' - E_{icm} (\alpha d - d') / \alpha d * \epsilon_{icu} A_s' h'$		381,5E+6 Nmm
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) * \epsilon_{icu}$		0,00188 < ϵ_{yd}

VEDLEGG 11: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1A – 3/5

Størrelsen på M_{Ed}	q_e		2,95 N/mm
Egenvekt	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = MRd$	270,41E+3 N
Maksoppleggkraft			
Bruddlast med trykksonhøyde fra tøyninger			
Trykksonhøyde			166,400 mm
Momentkapasitet			360,6E+6 Nmm
Bruddlast			255,5E+3 N
Bruddlast uten egenvekt			
Trykksonhøyde			181,73 mm
Momentkapasitet			381,5E+6 Nmm
Bruddlast			272,5E+3 N
Skjærarmering			
(NA.6.7aN)	$\cot(\theta)$	$1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5$ ($45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$)	1
	s		100 mm
	A_{sw}	$4 * \phi * b^2 * \pi / 4$	314,1592654 mm
	z	$0,9 * d$	261,9 mm
	V_{Ed}	F	270,4E+3 N
(11.6.6N)	v_1	$0,5 * (1 - \text{rick} / 250)$	0,45
(NA.6.11aN)	α_{cw}		1,00
(6.8)	V_{Rdc}	$(A_{sw} / s) * z * f_{ywd} * \cot(\theta)$	452,5E+3 N
(6.9)	V_{Rdc}	$\alpha_{cw} * b * z * v_1 * f_{icd} / (\cot \theta + \tan \theta)$	1,5E+6 N
		$V_{Ed} < V_{Rdc}$ OK	
Minimum s			
(NA.9.5N)	$\rho_{w,min}$	$0,1 * (f_{cm}^{0,5} / f_{ym})$	0,0009
	(A_{sw} / s)	$\rho_{w,min} * b$	0,374
	s_{min}	$A_{sw} / (A_{sw} / s)$	840,45 mm
		$s_{min} > s$ OK	
Nedbøyning			
Rissmoment og risslast	M_{cr}	$(I_c + \eta(I_{s1} + I_{s2})) / (h - \alpha d) * f_{ctm}$	30,9E+6 Nmm
BK(5.20)	F_{cr}	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F_{cr} * 1,4m = M_{cr}$	20,04E+3 N
Maks risslast opplegg			
Stadium I			
	η	E_{sk} / E_{icm}	8,87
	A_c	$b * h$	140000,0000 mm ²
	αd	$(A_c * 0,5h + \eta * A_s * d + \eta A_s * d') / (A_c + \eta A_s + \eta A_s')$	198,70 mm
	I_c	$bh^3 / 12 + bh * (\alpha d - h / 2)^2$	1507816179,67 mm ⁴
	I_s	$1/4 * \pi * r^4 + A_s(d - \alpha d)^2$	4,12E+07 mm ⁴
	I_t	$1/4 * \pi * r^4 + A_s'(\alpha d - d')^2$	1,13E+07 mm ⁴
Bøystivhet EI	EI	$E_c * I_c + E_s * (I_s + I_t)$	42,3E+12

VEDLEGG 11: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1A – 4/5

Nedbøyning	Ømidt	1810666667*F/EI	Ømidt	Øforskyvet
	Øforskyvet	1698666667*F/EI		
	Opplagslast			
Last trinn 1	16,7E+3 N		0,72 mm	0,67 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,43 mm	1,34 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		2,14 mm	2,01 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		2,86 mm	2,68 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		4,29 mm	4,02 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		5,71 mm	5,36 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		7,14 mm	6,70 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		8,57 mm	8,04 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		10,00 mm	9,38 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		11,43 mm	10,72 mm

Stadium II

		$(1/2E_{icm} \cdot d^2 b) \alpha^2 + (E_s d A_s' - E_{icm} d A_s' + E_s d A_s) \alpha - E_s d' A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s d A_s = 0$		
	a	$(1/2E_{icm} d^2 b)$	3,62724E+11	
	b	$(E_s d A_s' - E_{icm} d A_s' + E_s d A_s)$	2,88994E+11	
	c	$-E_s d' A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s d A_s$	-2,69928E+11	
		abc-formelen	0,55182563	-1,348559546
	α		0,55182563	
	αd		160,58 mm	
BK(5.41)	lc	$b(\alpha d)^3 / 12 + b \alpha d^3 (\alpha d / 2)^2$	552107067 mm ⁴	
BK(5.43)	Is	$1/4 \pi r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	8,21E+07 mm ⁴	
BK(5.44)	It	$1/4 \pi r^4 + A_s (\alpha d - d)^2 + E_{icm} / E_s (1/4 \pi r^4 + A_s (\alpha d - d)^2)$	5,74E+06 mm ⁴	
BK(5.45)	EI	$E_{icm} I_c + E_s (I_s + I_t)$	2,85196E+13 Nmm ²	

Nedbøyning	Ømidt	1810666667*F/EI	Ømidt	Øforskyvet
	Øforskyvet	1698666667*F/EI		
	Opplagslast			
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,06 mm	1,0 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,12 mm	2,0 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,17 mm	3,0 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,23 mm	4,0 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,35 mm	6,0 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,47 mm	7,9 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,58 mm	9,9 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		12,70 mm	11,9 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		14,81 mm	13,9 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		16,93 mm	15,9 mm

Tøyninger

Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/EI) \cdot M \cdot (1-\alpha) \cdot d$		
---> armeringstøyning	ϵ_s	$M/EI \cdot (1-\alpha) \cdot d$		
	ϵ_s'	$M/EI \cdot (\alpha d - d')$		
	EI	Fra stadium II	2,85196E+13	
	α	Fra stadium II	0,55182563	
	a		1400	

	Kraft (N)	Moment (Nmm) (Kraft*a)	ϵ_s Bunn	ϵ_s' Topp
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00010
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00020
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00029
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00043	0,00039
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00059
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00085	0,00078
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00107	0,00098
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00128	0,00117
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00149	0,00137
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00171	0,00157

VEDLEGG 11: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1A – 5/5

Betongtøyninger					
topp	ϵ_{cu}		$\alpha d / (\alpha d - d') * \epsilon_s'$		
bunn	ϵ_{cu}		$(h - \alpha d) / (d - \alpha d) * \epsilon_s$		
	Kraft (N)			ϵ_{cu} Bunn	ϵ_{cu} Topp
Last trinn 1	16,7E+3			0,00016	0,00013
Last trinn 2	33,3E+3			0,00031	0,00026
Last trinn 3	50,0E+3			0,00046	0,00039
Last trinn 4	66,7E+3			0,00062	0,00053
Last trinn 5	100,0E+3			0,00093	0,00079
Last trinn 6	133,3E+3			0,00124	0,00105
Last trinn 7	166,7E+3			0,00155	0,00131
Last trinn 8	200,0E+3			0,00186	0,00158
Last trinn 9	233,3E+3			0,00217	0,00184
Last trinn 10	266,7E+3			0,00248	0,00210

VEDLEGG 12: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1B – 1/4

BJELKE 1B Beregning etter Eurokode 2			
Geometri			
Høyde	h		350 mm
Bredde	b		400 mm
Lengde	l		3600 mm
Oppleggsbredde			300 mm
Total lengde			4200 mm
Lastavstand			800 mm
Arealversnitt	A		140000 mm ²
Volum	V		588000000 mm ³
Fra materialtest			
Trykkfasthet f_{cm}	1B-1		36,5 MPa
	1B-2		33,5 MPa
	1B-3		37,2 MPa
	1B-4		34,6 MPa
	1B-5		33,1 MPa
	1B-6		32,8 MPa
	(gjennomsnitt)	f_{cm}		34,62 MPa
Densitet	1B-1		1830 kg/m ³
	1B-2		1880 kg/m ³
	1B-3		1910 kg/m ³
	1B-4		1840 kg/m ³
	1B-5		1800 kg/m ³
	1B-6		1820 kg/m ³
	(gjennomsnitt)	ρ_{cm}		1846,67 kg/m^{3}
E-modul	1B-17		18,80 GPa
	1B-18		21,90 GPa
	1B-19		19,30 GPa
	(gjennomsnitt)	E_{cm}		20000,00 GPa
Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1
Partialfaktor for egenvekt	γ_G		1
Partialfaktor for nyttelast	γ_Q		1
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1
(11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,904
	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,705
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1			
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat dimensjonerende	f_{cm}		34,62
	f_{ck}	$f_{cm}-8(\text{Mpa})$	26,62 MPa
aksialstrekkfasthet	$f_{ctk,0.05}$	$\alpha_{ct}*(f_{ck}/\gamma_c)$	26,62 MPa
	$f_{ctm,0.05}$	$0,7*f_{cm}$	1,87 MPa
middelverdi av aksialstrekkfasthet	f_{ctm}	$f_{ctk,0.05}*\eta_1$	1,69 MPa
	E_{cm}	$0,3*f_{ck}^{(2/3)}$	2,67 MPa
	E_{lcm}	$f_{ctm}*\eta_1$	2,42 MPa
	E_{yc}	$22[(f_{cm})/10]^{0.3}$	31,93 GPa
	E_{lcu}	$E_{cm}*\eta_E$	22497,79 MPa
trykktøyning betong	ϵ_{yd}	f_{yk}/E_s	0,0029
	ϵ_{lcu}	$3,5*\eta_1$	0,00316

VEDLEGG 12: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1B – 2/4

Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 MPa
	f_{yd}	f_{yk}/γ_s	550 MPa
E-modul:	E_s		190000 N/mm ²
Overdekning	$c = c_1$		25 mm
Diameter bøyler	ϕ_b		10 mm
Antall "brede" bøyler			41,0 stk
Antall "smale" bøyler			35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$	157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$		157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$	314,2 mm ²
Senteravstand bøyler	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, ϕ_{ls}	32 mm
		-topp, ϕ_{lt}	12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn	804,2 mm ²
		-topp	113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	A_s'		452,4 mm ²
Avstand mellom	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{ls}/2$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{ls}/2 + (\phi_{lt}/2)$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm
Betong			
Densitet fra testresultat	ρ_{cm}		1846,667 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1230,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg
Maks bruddlast			
Balansert arm. mengde (3.19)	η	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	1
(3.21)	λ	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	0,8
BK(4.20)	α_b	$E_{icu}/(E_{icu} + E_{yd})$	0,522
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$	$\lambda * \eta * (f_{cd}/f_{yd}) * b * d * \alpha_b$ overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$	2352,91 mm ² Overarmert
Finne α (ved brudd)			
		$(\lambda \eta f_{cd} b d^3) \alpha^2 + (E_s E_{icu} A_s' d - E_{icm} E_{icu} A_s' d + E_s E_{icu} A_s d) \alpha + (-E_s E_{icu} A_s' d + E_{icm} E_{icu} A_s' d - E_s E_{icu} A_s d) = 0$	
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	843819236,8
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	79108053,45
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d'$	11145808,22
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d$	9367139,983
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d'$	1319768,864
		$\lambda * \eta * f_{cd} * b * d^2$	721256304
a			913560150,3
b			-853645276,2
c			0,625511946
		abc-formel	-1,892135399
	α		0,625511946
Momentkapasitet			
Trykksonehøyde	x	$\alpha * d$	182,02 mm
Momentkapasiteten til betongen BK(4.14)	M_{Rd}	$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{cd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h' - E_{icm} (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h'$	384,7E+6 Nmm
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) * E_{icu}$	0,00189 < ϵ_{yd} OK
Størrelsen på M_{Ed}			
Egenvekt	q_e		2,93 N/mm
Maksoppleggkraft	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = M_{Rd}$	272,73E+3 N
Bruddlast med trykksonehøyde fra tøyninger			
Trykksonehøyde			144,600 mm
Momentkapasitet			330,1E+6 Nmm
Bruddlast			233,7E+3 N
Bruddlast uten egenvekt			
Trykksonehøyde			182,02 mm
Momentkapasitet			384,7E+6 Nmm
Bruddlast			274,8E+3 N

VEDLEGG 12: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1B – 3/4

Skjærarmering			
(NA.6.7aN)	cot(θ)	$1,0 \leq \cot\theta \leq 2,5$ ($45^\circ \leq \theta \leq 21,8^\circ$)	1
	s		100 mm
	Asw	$4 \cdot \phi b^2 \cdot \pi / 4$	314,1592654 mm
	z	$0,9 \cdot d$	261,9 mm
	V _{Ed}	F	272,7E+3 N
(11.6.6N)	v1	$0,5 \cdot (1 - f_{ctd} / 250)$	0,45
(NA.6.11aN)	α _{cw}		1,00
(6.8)	V _{Rdc}	$(A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)$	452,5E+3 N
(6.9)	V _{Rdc}	$\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v1 \cdot f_{ctd} / (\cot\theta + \tan\theta)$	1,5E+6 N
V _{Ed} < V _{Rd} OK			
Minimum s			
(NA.9.5N)	p _{w,min}	$0,1 \cdot (f_{cm} \wedge 0,5 / f_{ym})$	0,0009
	(A _{sw} /s)	p _{w,min} · b	0,375
	s _{min}	A _{sw} / (A _{sw} /s)	837,29 mm
s _{min} > S OK			
Nedbøyning			
Rissmoment og risslast BK(5.20)	M _{cr}	$(I_{ei} + \eta(l_{s1} + l_{s2})) / (h - \alpha d) \cdot f_{ctm}$	31,0E+6 Nmm
Maks risslast opplegg	F _{cr}	$q_e \cdot 1,4m \cdot 1,4m / 2 - F_{cr} \cdot 1,4m = M_{cr}$	20,08E+3 N
Stadium I			
	η	E _{s1} /E _{icm}	8,45
	A _c	b · h	140000,0000 mm ²
	αd	$(A_c \cdot 0,5h + \eta \cdot A_s \cdot d + \eta \cdot A_s' \cdot d') / (A_c + \eta \cdot A_s + \eta \cdot A_s')$	197,84 mm
	I _c	$bh^3 / 12 + bh \cdot (\alpha d - h/2)^2$	1502189184,76 mm ⁴
	I _s	$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	4,19E+07 mm ⁴
	I _t	$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s' (\alpha d - d')^2$	1,11E+07 mm ⁴
Bøyestivhet EI	EI	E _c · I _c + E _s · (I _s + I _t)	43,9E+12
Nedbøyning	δ _{midt}	1810666667 · F / EI	
	δ _{forskyvet}	1698666667 · F / EI	
	Oppleggslast		δ _{midt} δ _{forskyvet}
Last trinn 1	16,7E+3 N		0,69 mm 0,65 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,38 mm 1,29 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		2,06 mm 1,94 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		2,75 mm 2,58 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		4,13 mm 3,87 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		5,50 mm 5,16 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		6,88 mm 6,45 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		8,25 mm 7,74 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		9,63 mm 9,03 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		11,00 mm 10,32 mm
Stadium II			
		$(1/2 E_{icm} \cdot d^2 \cdot b) \alpha^2 + (E_s \cdot d A_s' - E_{icm} \cdot d A_s' + E_s \cdot d A_s) \alpha - E_s \cdot d' \cdot A_s' + E_{icm} \cdot d' \cdot A_s' - E_s \cdot d A_s = 0$	
	a	$(1/2 E_{icm} \cdot d^2 \cdot b)$	3,81027E+11
	b	$(E_s \cdot d A_s' - E_{icm} \cdot d A_s' + E_s \cdot d A_s)$	2,88852E+11
	c	$-E_s \cdot d' \cdot A_s' + E_{icm} \cdot d' \cdot A_s' - E_s \cdot d A_s$	-2,69908E+11
		abc-formelen	0,544018232 -1,302106049
	α		0,544018232
	αd		158,31 mm
BK(5.41)	I _c	$b(\alpha d)^3 / 12 + b \cdot \alpha d \cdot (\alpha d / 2)^2$	529002918 mm ⁴
BK(5.43)	I _s	$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	8,50E+07 mm ⁴
BK(5.44)	I _t	$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s' (\alpha d - d')^2 + E_{icm} / E_s (1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s' (\alpha d - d')^2)$	5,49E+06 mm ⁴
BK(5.45)	EI	E _{icm} · I _c + E _s · (I _s + I _t)	2,90968E+13 Nmm ²
Nedbøyning	δ _{midt}	1810666667 · F / EI	
	δ _{forskyvet}	1698666667 · F / EI	

VEDLEGG 12: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 1B – 4/4

	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,04 mm	1,0 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,07 mm	1,9 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,11 mm	2,9 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,15 mm	3,9 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,22 mm	5,8 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,30 mm	7,8 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,37 mm	9,7 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		12,45 mm	11,7 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		14,52 mm	13,6 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		16,59 mm	15,6 mm

Tøyning			
Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/E_c) * M * (1-\alpha) * d$	
---> armeringstøyning	ϵ_s	$M/E_c * (1-\alpha) * d$	
	ϵ_s'	$M/E_c * (\alpha d - d')$	
	EI	Fra stadium II	2,90968E+13
	α	Fra stadium II	0,544018232
	a		1400

	Kraft (N)	Moment (Nm) (Kraft*a)	ϵ_s Bunn	ϵ_s' Topp
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00009
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00019
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00028
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00043	0,00038
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00056
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00085	0,00075
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00106	0,00094
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00128	0,00113
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00149	0,00132
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00170	0,00151

Betongtøyninger			ϵ_{lcu} Bunn	ϵ_{lcu} Topp
topp	ϵ_{lcu}	$\alpha d / (\alpha d - d') * \epsilon_s'$		
bunn	ϵ_{lcu}	$(h - \alpha d) / (d - \alpha d) * \epsilon_s$		
	Kraft (N)			
Last trinn 1	16,7E+3		0,00015	0,00013
Last trinn 2	33,3E+3		0,00031	0,00025
Last trinn 3	50,0E+3		0,00046	0,00038
Last trinn 4	66,7E+3		0,00061	0,00051
Last trinn 5	100,0E+3		0,00092	0,00076
Last trinn 6	133,3E+3		0,00123	0,00102
Last trinn 7	166,7E+3		0,00154	0,00127
Last trinn 8	200,0E+3		0,00184	0,00152
Last trinn 9	233,3E+3		0,00215	0,00178
Last trinn 10	266,7E+3		0,00246	0,00203

VEDLEGG 13: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2A – 1/4

BJELKE 2A Beregning etter Eurokode 2			
Geometri			
Høyde	h		350 mm
Bredde	b		400 mm
Lengde	l		3600 mm
Oppleggsbredde			300 mm
Total lengde			4200 mm
Lastavstand			800 mm
Arealversnitt	A		140000 mm ²
Volum	V		588000000 mm ³
Fra materialtest			
Trykkfasthet f_{cm}	2A-1		27,9 MPa
	2A-2		26,2 MPa
	2A-3		27 MPa
	2A-4		27,5 MPa
	2A-5		29,4 MPa
	2A-6		26,1 MPa
	(gjennomsnitt)	f_{cm}		27,35 MPa
Densitet	2A-1		1790 kg/m ³
	2A-2		1780 kg/m ³
	2A-3		1790 kg/m ³
	2A-4		1760 kg/m ³
	2A-5		1800 kg/m ³
	2A-6		1790 kg/m ³
	(gjennomsnitt)	ρ_m		1785,00 kg/m^{3}
E-modul	2B-17		19,50 GPa
	2B-18		17,30 GPa
	(gjennomsnitt)	E_{cm}		18400,00 GPa
Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1
Partialfaktor for egenvekt	γ_{gs}		1
Partialfaktor for nyttelast	γ_p		1
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,887
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,658
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1			
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat	f_{cm}		27,35
dimensjonerende	f_{ick}	$f_{cm}-8(\text{Mpa})$	19,35 MPa
	f_{icd}	$\alpha_{ic}*(f_{ic}/\gamma_c)$	19,35 MPa
aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0.05}$	$0,7f_{ctm}$	1,51 MPa
	$f_{ctk,0.05}$	$f_{ctk,0.05}*\eta_1$	1,34 MPa
middelverdi av aksialtrekkfasthet	f_{ctm}	$0,3*f_{ck}^{(2/3)}$	2,16 MPa
	f_{ctm}	$f_{ctm}*\eta_1$	1,92 MPa
	E_{cm}	$22[(f_{cm})/10]^{0,3}$	29,75 GPa
trykkøying betong	E_{cm}	$E_{cm}*\eta_E$	19585,78 MPa
	E_{yd}	f_{yd}/E_s	0,0029
	E_{icu}	$3,5*\eta_1$	0,00310

VEDLEGG 13: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2A – 2/4

Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 MPa
	f_{yd}	f_{yk}/γ_s	550 MPa
E-modul:	E_s		190000 N/mm ²
Overdekning	$c = c_1$		25 mm
Diameter bøylar	ϕ_b		10 mm
Antall "brede" bøylar			41,0 stk
Antall "smale" bøylar			35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$	157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$		157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$	314,2 mm ²
Senteravstand bøylar	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,b}$ -topp, $\phi_{l,t}$	32 mm 12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn -topp	804,2 mm ² 113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	A_s'		452,4 mm ²
Avstand mellom	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2 + (\phi_{l,t}/2)$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm

Betong			
Densitet fra testresultat	ρ		1785,000 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1260,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg

Maks bruddlast			
Balansert arm. mengde (3.19)	η	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	1
(3.21)	λ	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	0,8
BK(4.20)	α_b	$E_{icu}/(E_{icu} + E_{yd})$	0,517
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$	$\lambda * \eta * (f_{icd}/f_{yd}) * b * d * \alpha_b$ overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$	1695,17 mm ² Overarmert

Finne α (ved brudd)			
		$(\lambda \eta f_{icd} b d^2) \alpha^2 + (E_s E_{icu} A_s' d - E_{icm} E_{icu} A_s' d + E_s E_{icu} A_s d) \alpha + (-E_s E_{icu} A_s' d' + E_{icm} E_{icu} A_s' d' - E_s E_{icu} A_s d) = 0$	
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	828114351,6
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	77635720,47
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d'$	10938366,11
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d$	8002928,669
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d'$	1127560,397
a		$\lambda * \eta * f_{icd} * b * d^2$	524344752
b			897747143,4
c			-837925157,4
		abc-formel	0,670659838
	α		-2,382791293 0,670659838

Momentkapasitet			
Trykksonehøyde	x	$\alpha * d$	195,16 mm
Momentkapasiteten til betongen BK(4.14)	M_{Rd}	$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{icd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h' - E_{icm} (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h'$	304,6E+6 Nmm
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) * E_{icu}$	0,00152 < ϵ_{yd} OK

Størrelsen på M_{ed}			
Egenvekt	q_e		3,00 N/mm
Maksoppleggkraft	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = M_{Rd}$	215,45E+3 N

Bruddlast med trykksonehøyde fra tøyninger			
Trykksonehøyde			182,800 mm
Momentkapasitet			293,0E+6 Nmm
Bruddlast			207,2E+3 N

Bruddlast uten egenvekt			
Trykksonehøyde			195,16 mm
Momentkapasitet			304,6E+6 Nmm
Bruddlast			217,6E+3 N

VEDLEGG 13: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2A –3/4

Skjærarmering			
(NA.6.7aN)	cot(θ)	1,0scotθ≤2,5 (45°≥θ≥21,8°)	1
	s		100 mm
	Asw	4*φb ² *π/4	314,1592654 mm
	z	0,9*d	261,9 mm
	V _{ed}	F	215,5E+3 N
(11.6.6N)	v ₁	0,5*(1-rcx/250)	0,46
(NA.6.11aN)	α _{cw}		1,00
(6.8)	V _{rdc}	(Asw/s)*z*f _{ywd} *cot(θ)	452,5E+3 N
(6.9)	V _{rdc}	α _{cw} *b*z*v ₁ *f _{icd} /(cotθ+tanθ)	1,2E+6 N
V _{ed} < V _{rdc} OK			
Minimum s			
(NA.9.5N)	p _{w.min}	0,1*(f _{cm} ^{0,5} /f _{ym})	0,0008
	(Asw/s)	p _{w.min} *b	0,320
	s _{min}	Asw/(Asw/s)	982,00 mm
S _{min} > S OK			
Nedbøyning			
Rissmoment og risslast BK(5.20)	M _{cr}	(I _{ci} +η(I _{si} +I _{sz}))/(h-αd)*f _{ctm}	25,8E+6 Nmm
Maks risslast opplegg	F _{cr}	q _e *1,4m*1,4m/2-F _{cr} *1,4m=M _{cr}	16,35E+3 N
Stadium I			
	η	E _{sk} /E _{icm}	9,70
	Ac	b*h	140000,0000 mm ²
	αd	(Ac*0,5h+η*As*d+ηAs*d')/(Ac+ηAs+ηAs')	200,32 mm
	I _c	bh ³ /12+bh*(αd-h/2) ²	1518953936,89 mm ⁴
	I _s	1/4*π*r ⁴ +As(d-αd) ²	3,97E+07 mm ⁴
	I _t	1/4*π*r ⁴ +As'(αd-d') ²	1,15E+07 mm ⁴
Bøystivhet EI	EI	E _c *I _c +E _s (I _s +I _t)	39,5E+12
Nedbøyning	δ _{midt}	1810666667*F/EI	
	Øforskyvet	1698666667*F/EI	
	Oppleggslast		
Last trinn 1	16,7E+3 N		δ _{midt} 0,77 mm Øforskyvet 0,72 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,53 mm 1,43 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		2,29 mm 2,15 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		3,06 mm 2,87 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		4,59 mm 4,30 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		6,12 mm 5,74 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		7,64 mm 7,17 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		9,17 mm 8,61 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		10,70 mm 10,04 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		12,23 mm 11,47 mm
Stadium II			
		(1/2E _{icm} *d ² b) α ² + (E _s dA _s ' - E _{icm} dA _s ' + E _s dA _s) α - E _s d'A _s ' + E _{icm} d' A _s ' - E _s dA _s = 0	
	a	(1/2E _{icm} *d ² b)	3,31709E+11
	b	(E _s dA _s ' - E _{icm} dA _s ' + E _s dA _s)	2,89235E+11
	c	-E _s d'A _s ' + E _{icm} d' A _s ' - E _s dA _s	-2,69962E+11
		abc-formelen	0,565984756 -1,437940546
	α		0,565984756
	αd		164,70 mm
BK(5.41)	I _c	b(αd) ³ /12+b*αd*(αd/2) ²	595705905 mm ⁴
BK(5.43)	I _s	1/4*π*r ⁴ +As(d-αd) ²	7,70E+07 mm ⁴
BK(5.44)	I _t	1/4*π*r ⁴ +As'(αd-d') ² +E _{icm} /E _s (1/4*π*r ⁴ +As'(αd-d') ²)	6,21E+06 mm ⁴
BK(5.45)	EI	E _{icm} *I _c +E _s (I _s +I _t)	2,74818E+13 Nmm ²
Nedbøyning	δ _{midt}	1810666667*F/EI	
	Øforskyvet	1698666667*F/EI	

VEDLEGG 13: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2A – 4/4

Nedbøyning	δ_{midt} $\delta_{\text{forskyvet}}$	1810666667*F/EI 1698666667*F/EI		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{\text{forskyvet}}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,10 mm	1,0 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,20 mm	2,1 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,29 mm	3,1 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,39 mm	4,1 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,59 mm	6,2 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,78 mm	8,2 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,98 mm	10,3 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		13,18 mm	12,4 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		15,37 mm	14,4 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		17,57 mm	16,5 mm

		Tøyninger	
Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/E_I)*M*(1-\alpha)*d$	
→ armeringstøyning	ϵ_s	$M/E_I*(1-\alpha)*d$	
	ϵ_s'	$M/E_I*(\alpha d-d')$	
	EI	Fra stadium II	2,74818E+13
	α	Fra stadium II	0,565984756
	a		1400

	Kraft (N)	Moment (Nmm) (Kraft*a)	ϵ_s Bunn	ϵ_s' Topp
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00011
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00021
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00032
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00043	0,00042
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00063
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00086	0,00084
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00107	0,00105
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00129	0,00126
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00150	0,00147
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00172	0,00168

Betongtøyninger		$\alpha d / (\alpha d - d') * \epsilon_s'$	
	Kraft (N)	$(h - \alpha d) / (d - \alpha d) * \epsilon_s$	
topp	ϵ_{cu}		
bunn	ϵ_{cu}		
Last trinn 1	16,7E+3	0,00016	0,00014
Last trinn 2	33,3E+3	0,00031	0,00028
Last trinn 3	50,0E+3	0,00047	0,00042
Last trinn 4	66,7E+3	0,00063	0,00056
Last trinn 5	100,0E+3	0,00094	0,00084
Last trinn 6	133,3E+3	0,00126	0,00112
Last trinn 7	166,7E+3	0,00157	0,00140
Last trinn 8	200,0E+3	0,00189	0,00168
Last trinn 9	233,3E+3	0,00220	0,00196
Last trinn 10	266,7E+3	0,00252	0,00224

VEDLEGG 14: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2B – 1/4

BJELKE 2B Beregning etter Eurokode 2			
Geometri			
Høyde	h		350 mm
Bredde	b		400 mm
Lengde	l		3600 mm
Oppleggsbredde			300 mm
Total lengde			4200 mm
Lastavstand			800 mm
Arealversnitt	A		140000 mm ²
Volum	V		588000000 mm ³
Fra materialtest			
Trykkfasthet f_{cm}	2B-1		40,7 MPa
	2B-2		41,4 MPa
	2B-3		39,5 MPa
	2B-4		39 MPa
	2B-5		41,6 MPa
	2B-6		40,6 MPa
	(gjennomsnitt)	f_{cm}		40,47 MPa
Densitet	2B-1		1850 kg/m ³
	2B-2]		1850 kg/m ³
	2B-3		1830 kg/m ³
	2B-4		1820 kg/m ³
	2B-5		1840 kg/m ³
	2B-6		1820 kg/m ³
	(gjennomsnitt)	ρ_m		1835,00 kg/m^{3}
E-modul	2B-17		19,50 GPa
	2B-18		17,30 GPa
(gjennomsnitt)	E_{cm}		18400,00 GPa
Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1
Partialfaktor for egenvekt	γ_G		1
Partialfaktor for nyttelast	γ_Q		1
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,900
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,696
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1			
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat	f_{cm}		40,47
	f_{ck}	$f_{cm}-8(\text{Mpa})$	32,47 MPa
dimensjonerende	f_{cd}	$\alpha_{cc}*(f_{ck}/\gamma_c)$	32,47 MPa
	$f_{ctk,0,05}$	$0,7f_{ctm}$	2,14 MPa
aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0,05}$	$f_{ctk,0,05}*\eta_1$	1,92 MPa
middelverdi av aksialtrekkfasthet	f_{ctm}	$0,3*f_{ck}^{(2/3)}$	3,05 MPa
	f_{ctm}	$f_{ctm}*\eta_1$	2,75 MPa
	E_{cm}	$22[(f_{cm})/10]^{0,3}$	33,46 GPa
	E_{cm}	$E_{cm}*\eta_E$	23279,77 MPa
trykktøyning betong	ϵ_{yd}	f_{yd}/E_s	0,0029
	ϵ_{cu}	$3,5*\eta_1$	0,00315

VEDLEGG 14: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2B – 2/4

Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 MPa
E-modul:	E_s	f_{yk}/γ_s	550 MPa
Overdekning	$c = c_1$		190000 N/mm ²
Diameter bøyer	ϕ_b		25 mm
Antall "brede" bøyer			10 mm
Antall "smale" bøyer			41,0 stk
			35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$	157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$		157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$	314,2 mm ²
Senteravstand bøyer	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,s}$	32 mm
		-topp, $\phi_{l,t}$	12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn	804,2 mm ²
		-topp	113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	A_s'		452,4 mm ²
Avstand mellom	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2 + (\phi_{l,t}/2)$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm
Betong			
Densitet fra testresultat	ρ		1835,000 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1240,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg
Maks bruddlast			
Balansert arm. mengde (3.19)	η	for $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$	1
(3.21)	λ	for $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$	0,8
BK(4.20)	α_b	$E_{icu}/(E_{icu} + E_{yd})$	0,521
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$	$\lambda * \eta * (f_{icd}/f_{yd}) * b * d' * \alpha_b$	2865,21 mm ²
		overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$	Overarmert
Finne α (ved brudd)			
		$(\lambda \eta \epsilon_{icu} b d')^2 \alpha^2 + (E_s \epsilon_{icu} A_s' d - E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d + E_s \epsilon_{icu} A_s d) \alpha + (-E_s \epsilon_{icu} A_s' d + E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d - E_s \epsilon_{icu} A_s d) = 0$	
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d$	840848042,3
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d$	78829503,97
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d'$	11106562,41
		$E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d$	9658593,288
		$E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d'$	1360832,731
	a	$\lambda * \eta * f_{icd} * b * d'^2$	879779136
	b		910018953
	c		-850593772
		abc-formel	0,593808065
	α		-1,628180121
			0,593808065
Momentkapasitet			
Trykksonehøyde	x	$\alpha * d$	172,80 mm
Momentkapasiteten til betongen BK(4.14)	M_{red}	$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{icd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d * \epsilon_{icu} A_s' h' - E_{icm} (\alpha d - d') / \alpha d * \epsilon_{icu} A_s' h'$	443,7E+6 Nmm
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) * \epsilon_{icu}$	0,00216 < ϵ_{yd} OK
Størrelsen på M_{red}			
Egenvekt	q_e		2,95 N/mm
Maksoppleggkraft	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = MR_d$	314,83E+3 N
Bruddlast med trykksonehøyde fra tøyninger			
Trykksonehøyde			179,100 mm
Momentkapasitet			454,0E+6 Nmm
Bruddlast			322,2E+3 N
Bruddlast uten egenvekt			
Trykksonehøyde			172,80 mm
Momentkapasitet			443,7E+6 Nmm
Bruddlast			316,9E+3 N

VEDLEGG 14: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2B – 3/4

Skjærarmering			
(NA.6.7aN)	cot(θ)	1,0scotθs2,5 (45°≥θ≥21,8°)	1
	s		100 mm
	Asw	4*φb ² +π/4	314,1592654 mm ²
	z	0,9*d	261,9 mm
	V _{Ed}	F	314,8E+3 N
(11.6.6N)	v ₁	0,5*(1-flck/250)	0,44
(NA.6.11aN)	α _{cw}		1,00
(6.8)	V _{Rdc}	(Asw/s)*z*f _{ywd} *cot(θ)	452,5E+3 N
(6.9)	V _{Rdc}	α _{cw} *b*z*v ₁ *f _{lck} /(cotθ+tanθ)	1,8E+6 N
V _{Ed} < V _{Rd} OK			
Minimum s			
(NA.9.5N)	ρ _{w,min}	0,1*(f _{cm} ^{0,5} /f _{ym})	0,0010
	(Asw/s)	ρ _{w,min} *b	0,414
	s _{min}	Asw/(Asw/s)	758,11 mm
s _{min} > s OK			
Nedbøyning			
Rissmoment og risslast BK(5.20)	M _{cr}	(I _{ct} +η(I _{s1} +I _{s2}))/(h-αd)*f _{ctm}	34,8E+6 Nmm
Maks risslast opplegg	F _{cr}	q _e *1,4m*1,4m/2-F _{cr} *1,4m=M _{cr}	22,81E+3 N
Stadium I			
	η	E _{sk} /E _{icm}	8,16
	A _c	b*h	140000,0000 mm ²
	αd	(A _c *0,5h+η*As*d+η*As'*d')/(A _c +ηAs+ηAs')	197,25 mm
	I _c	bh ³ /12+bh*(αd-h/2) ²	1498485916,56 mm ⁴
	I _s	1/4*π*r ⁴ +As(d-αd) ²	4,25E+07 mm ⁴
	I _t	1/4*π*r ⁴ +As'(αd-d') ²	1,10E+07 mm ⁴
Bøyestivhet EI	EI	E _c *I _c +E _s (I _s +I _t)	45,1E+12
Nedbøyning	δ _{midt}	1810666667*F/EI	
	δ _{forskyvet}	1698666667*F/EI	
	Oppleggslast		δ _{midt} δ _{forskyvet}
Last trinn 1	16,7E+3 N		0,67 mm 0,63 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,34 mm 1,26 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		2,01 mm 1,89 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		2,68 mm 2,51 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		4,02 mm 3,77 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		5,36 mm 5,03 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		6,70 mm 6,28 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		8,04 mm 7,54 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		9,38 mm 8,80 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		10,72 mm 10,05 mm
Stadium II			
		(1/2E _{icm} *d ² b) α ² + (E _s dA _s ' - E _{icm} dA _s + E _s dA _s) α - E _s d'A _s ' + E _{icm} d' A _s ' - E _s dA _s = 0	
	a	(1/2E _{icm} d ² b)	3,94271E+11
	b	(E _s dA _s ' - E _{icm} dA _s + E _s dA _s)	2,88749E+11
	c	-E _s d'A _s ' + E _{icm} d' A _s ' - E _s dA _s	-2,69893E+11
		abc-formelen	0,538598873 -1,270961104
	α		0,538598873
	αd		156,73 mm
BK(5.41)	I _c	b(αd) ³ /12+b*αd*(αd/2) ²	513350541 mm ⁴
BK(5.43)	I _s	1/4*π*r ⁴ +As(d-αd) ²	8,70E+07 mm ⁴
BK(5.44)	I _t	1/4*π*r ⁴ +As'(αd-d') ² +E _{icm} /Es(1/4*π*r ⁴ +As'(αd-d') ²)	5,32E+06 mm ⁴
BK(5.45)	EI	E _{icm} *I _c +E _s (I _s +I _t)	2,94995E+13 Nmm ²
Nedbøyning	δ _{midt}	1810666667*F/EI	
	δ _{forskyvet}	1698666667*F/EI	

VEDLEGG 14: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 2B – 4/4

	Opplaggslast		Ømidt	Øforskyvet
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,03 mm	1,0 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,05 mm	1,9 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,07 mm	2,9 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,09 mm	3,8 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,14 mm	5,8 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,18 mm	7,7 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,23 mm	9,6 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		12,28 mm	11,5 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		14,32 mm	13,4 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		16,37 mm	15,4 mm

		Tøyninger	
Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/EI)*M*(1-\alpha)*d$	
---> armeringstøyning	ϵ_s	$M/EI*(1-\alpha)*d$	
	ϵ_s'	$M/EI*(\alpha-d')$	
	EI	Fra stadium II	2,94995E+13
	α	Fra stadium II	0,538598873
	a		1400

	Kraft (N)	Moment (Nmm) (Kraft*a)	ϵ_s Bunn	ϵ_s' Topp
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00009
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00018
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00027
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00042	0,00037
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00055
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00085	0,00073
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00106	0,00092
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00127	0,00110
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00149	0,00128
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00170	0,00146

Betongtøyninger		ϵ_{cu}	
topp	ϵ_{cu}	$\alpha d / (\alpha d - d') * \epsilon_s'$	
bunn	ϵ_{cu}	$(h - \alpha d) / (d - \alpha d) * \epsilon_s$	
	Kraft (N)	ϵ_{cu} Bunn	ϵ_{cu} Topp
Last trinn 1	16,7E+3	0,00015	0,00012
Last trinn 2	33,3E+3	0,00031	0,00025
Last trinn 3	50,0E+3	0,00046	0,00037
Last trinn 4	66,7E+3	0,00061	0,00050
Last trinn 5	100,0E+3	0,00092	0,00074
Last trinn 6	133,3E+3	0,00122	0,00099
Last trinn 7	166,7E+3	0,00153	0,00124
Last trinn 8	200,0E+3	0,00183	0,00149
Last trinn 9	233,3E+3	0,00214	0,00174
Last trinn 10	266,7E+3	0,00245	0,00198

VEDLEGG 15: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3A – 1/4

BJELKE 3A Beregning etter Eurokode 2			
Geometri			
Høyde	h		350 mm
Bredde	b		400 mm
Lengde	l		3600 mm
Oppleggsbredde			300 mm
Total lengde			4200 mm
Lastavstand			800 mm
Arealversnitt	A		140000 mm ²
Volum	V		588000000 mm ³
Fra materialtest			
Trykkfasthet f_{cm}	3A-1		36 MPa
	3A-2		38,2 MPa
	3A-3		36,3 MPa
	3A-4		37,7 MPa
	3A-5		36,3 MPa
	3A-6		36,8 MPa
	(gjennomsnitt)	f_{cm}		36,88 MPa
Densitet	3A-1		1770 kg/m ³
	3A-2		1780 kg/m ³
	3A-3		1760 kg/m ³
	3A-4		1760 kg/m ³
	3A-5		1760 kg/m ³
	3A-6		1760 kg/m ³
	(gjennomsnitt)	ρ_m		1765,00 kg/m^{3}
E-modul	3B-17		29,00 GPa
	3B-18		29,00 GPa
	3B-19		18,90 GPa
	(gjennomsnitt)	E_{cm}		25633,33 GPa
Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1
Partialfaktor for egenvekt	γ_G		1
Partialfaktor for nyttelast	γ_Q		1
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,881
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,644
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1			
Sylindretykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat dimensjonerende	f_{cm}		36,88
	f_{ck}	$f_{cm}-8(\text{MPa})$	28,88 MPa
aksialtrekkfasthet	f_{cd}	$\alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$	28,88 MPa
	$f_{ctk,0,05}$	$0,7 f_{cm}$	1,98 MPa
middelverdi av aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0,05}$	$f_{ctk,0,05} * \eta_1$	1,74 MPa
	f_{ctm}	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$	2,82 MPa
	f_{ctm}	$f_{ctm} * \eta_1$	2,49 MPa
	E_{cm}	$22[(f_{cm})/10]^{0,3}$	32,54 GPa
trykkøying betong	E_{cm}	$E_{cm} * \eta_E$	20946,71 MPa
	E_{yd}	f_{yd} / E_s	0,0029
	E_{ku}	$3,5 * \eta_1$	0,00308

VEDLEGG 15: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3A – 2/4

Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 MPa
E-modul:	E_s	f_{yk}/γ_s	550 MPa
Overdekning	$c = c_1$		190000 N/mm ²
Diameter bøyer	ϕ_b		25 mm
Antall "brede"bøyer			10 mm
Antall "smale"bøyer			41,0 stk
			35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$	157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$		157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$	314,2 mm ²
Senteravstand bøyer	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,s}$	32 mm
		-topp, $\phi_{l,t}$	12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn	804,2 mm ²
		-topp	113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	$A_{s'}$		452,4 mm ²
Avstand mellom	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{l,b}/z$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{l,b}/z + \{\phi_{l,t}/2\}$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm
Betong			
Densitet fra testresultat	ρ		1765,000 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1190,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg
Maks bruddlast			
Balansert arm. mengde (3.19)	η	for $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$	1
(3.21)	λ	for $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$	0,8
BK(4.20)	α_b	$E_{icu}/(E_{icu} + E_{yd})$	0,516
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$	$\lambda * \eta * (f_{icd}/f_{yd}) * b * d * \alpha_b$ overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$	2522,81 mm ² Overarmert
Finne α (ved brudd)			
		$(\lambda \eta f_{icd} b d^2) \alpha^2 + (E_s E_{icu} A_s' d' - E_{icm} E_{icu} A_s' d + E_s E_{icu} A_s d) \alpha + (- E_s E_{icu} A_s' d' + E_{icm} E_{icu} A_s' d' - E_s E_{icu} A_s d) = 0$	
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	823020875,4
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	77158207,07
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d'$	10871087,59
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d$	8506370,879
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d'$	1198492,117
	a	$\lambda * \eta * f_{icd} * b * d^2$	782678256
	b		891672711,5
	c		-832693470,8
		abc-formel	0,608666233
	α		-1,747924548
			0,608666233
Momentkapasitet			
Trykksonehøyde	x	$\alpha * d$	177,12 mm
Momentkapasiteten til betongen BK(4.14)	M_{Rd}	$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{icd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h' - E_{icm} (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h'$	405,7E+6 Nmm
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) * E_{icu}$	0,00198 < ϵ_{yd} OK
Størrelsen på M_{Ed}			
Egenvekt	q_e		2,83 N/mm
Maksoppleggkraft	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = M_{Rd}$	287,82E+3 N
Bruddlast med trykksonehøyde fra tøyninger			
Trykksonehøyde			177,100
Momentkapasitet			405,7E+6 Nmm
Bruddlast			287,8E+3 N
Bruddlast uten egenvekt			
Trykksonehøyde			177,12 mm
Momentkapasitet			405,7E+6 Nmm
Bruddlast			289,8E+3 N

VEDLEGG 15: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3A – 3/4

Nedbøyning				
Rissmoment og risslast BK(5.20)	Mcr	$(I_c + \eta(I_{s1} + I_{s2})) / (h - \alpha d) * f_{ctm}$	32,7E+6	Nmm
Maks risslast opplegg	Fcr	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F_{cr} * 1,4m = M_{cr}$	21,38E+3	N
Stadium I				
	η	Esk/Eicm	9,07	
	Ac	b*h	140000,0000	mm ²
	αd	$(A_c * 0,5h + \eta * A_s * d + \eta A_s' * d') / (A_c + \eta A_s + \eta A_s')$	199,10	mm
	Ic	$bh^3 / 12 + bh * (\alpha d - h / 2)^2$	1510470291,08	mm ⁴
	Is	$1/4 * \pi * r^4 + A_s(d - \alpha d)^2$	4,08E+07	mm ⁴
	It	$1/4 * \pi * r^4 + A_s'(\alpha d - d')^2$	1,13E+07	mm ⁴
Bøystivhet EI	EI	$E_c * I_c + E_s * (I_s + I_t)$	41,5E+12	
Nedbøyning	δ_{midt}	1810666667 * F / EI		
	$\delta_{forskyvet}$	1698666667 * F / EI		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		0,73 mm	0,68 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,45 mm	1,36 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		2,18 mm	2,04 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		2,91 mm	2,73 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		4,36 mm	4,09 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		5,81 mm	5,45 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		7,26 mm	6,82 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		8,72 mm	8,18 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		10,17 mm	9,54 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		11,62 mm	10,90 mm
Stadium II				
		$(1/2 E_{icm} * d^2 b) \alpha^2 + (E_s d A_s' - E_{icm} d A_s' + E_s d A_s) \alpha - E_s d' A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s d A_s = 0$		
	a	$(1/2 E_{icm} d^2 b)$	3,54758E+11	
	b	$(E_s d A_s' - E_{icm} d A_s' + E_s d A_s)$	2,89056E+11	
	c	$-E_s d' A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s d A_s$	-2,69937E+11	
		abc-formelen	0,555346013	-1,370145116
	α		0,555346013	
	αd		161,61	mm
BK(5.41)	Ic	$b(\alpha d)^3 / 12 + b * \alpha d * (\alpha d / 2)^2$	562741157	mm ⁴
BK(5.43)	Is	$1/4 * \pi * r^4 + A_s(d - \alpha d)^2$	8,08E+07	mm ⁴
BK(5.44)	It	$1/4 * \pi * r^4 + A_s'(\alpha d - d')^2 + E_{icm} / E_s (1/4 * \pi * r^4 + A_s'(\alpha d - d')^2)$	5,86E+06	mm ⁴
BK(5.45)	EI	$E_{icm} * I_c + E_s(I_s + I_t)$	2,82605E+13	Nmm ²
Nedbøyning	δ_{midt}	1810666667 * F / EI		
	$\delta_{forskyvet}$	1698666667 * F / EI		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,07 mm	1,0 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,14 mm	2,0 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,20 mm	3,0 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,27 mm	4,0 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,41 mm	6,0 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,54 mm	8,0 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,68 mm	10,0 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		12,81 mm	12,0 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		14,95 mm	14,0 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		17,09 mm	16,0 mm

VEDLEGG 15: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3A – 4/4

		Tøyninger			
Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/EI)^*M*(1-\alpha)*d$			
--> armeringstøyning	ϵ_s	$M/EI*(1-\alpha)*d$			
	ϵ_s'	$M/EI*(\alpha d-d')$			
	EI	Fra stadium II	2,82605E+13		
	α	Fra stadium II	0,555346013		
	a			1400	
	Kraft (N)	Moment (Nmm) (Kraft*a)	ϵ_s Bunn	ϵ_s' Topp	
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00010	
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00020	
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00030	
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00043	0,00040	
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00060	
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00085	0,00080	
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00107	0,00100	
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00128	0,00119	
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00150	0,00139	
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00171	0,00159	
Betongtøyninger					
topp	ϵ_{cu}	$\alpha d / (\alpha d - d') * \epsilon_s'$			
bunn	ϵ_{cu}	$(h - \alpha d) / (d - \alpha d) * \epsilon_s$			
	Kraft (N)		ϵ_{cu} Bunn	ϵ_{cu} Topp	
Last trinn 1	16,7E+3		0,00016	0,00013	
Last trinn 2	33,3E+3		0,00031	0,00027	
Last trinn 3	50,0E+3		0,00047	0,00040	
Last trinn 4	66,7E+3		0,00062	0,00053	
Last trinn 5	100,0E+3		0,00093	0,00080	
Last trinn 6	133,3E+3		0,00124	0,00107	
Last trinn 7	166,7E+3		0,00156	0,00133	
Last trinn 8	200,0E+3		0,00187	0,00160	
Last trinn 9	233,3E+3		0,00218	0,00187	
Last trinn 10	266,7E+3		0,00249	0,00213	

VEDLEGG 16: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3B – 1/4

BJELKE 3B Beregning etter Eurokode 2			
Geometri			
Høyde	h		350 mm
Bredde	b		400 mm
Lengde	l		3600 mm
Oppleggsbredde			300 mm
Total lengde			4200 mm
Lastavstand			800 mm
Arealversnitt	A		140000 mm ²
Volum	V		588000000 mm ³
Fra materialtest			
Trykkfasthet f_{cm}	3B-1		40,1 MPa
	3B-2		40,6 MPa
	3B-3		38,7 MPa
	3B-4		38,2 MPa
	3B-5		40,9 MPa
	3B-6		40 MPa
	(gjennomsnitt)	f_{icm}		39,75 MPa
Densitet	3B-1		1850 kg/m ³
	3B-2		1840 kg/m ³
	3B-3		1820 kg/m ³
	3B-4		1790 kg/m ³
	3B-5		1830 kg/m ³
	3B-6		1810 kg/m ³
	(gjennomsnitt)	ρ_m		1823,33 kg/m^{3}
E-modul	3B-17		29,00 GPa
	3B-18		29,00 GPa
	3B-19		18,90 GPa
	(gjennomsnitt)	E_{icm}		25633,33 GPa
Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1
Partialfaktor for egenvekt	γ_{se}		1
Partialfaktor for nyttelast	γ_p		1
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,897
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,687
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1			
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat dimensjonerende	f_{icm}		39,75
aksialtrekkfasthet	f_{icd}	$f_{icm} \cdot \alpha_{ic} \cdot (\gamma_c / \gamma_s)$	31,75 MPa
	$f_{ctk,0,05}$	$0,7 \cdot f_{icm}$	2,11 MPa
middelverdi av aksialtrekkfasthet	f_{icm}	$f_{ctk,0,05} \cdot \eta_1$	1,89 MPa
	f_{icm}	$0,3 \cdot f_{icd}^{(2/3)}$	3,01 MPa
	f_{icm}	$f_{icm} \cdot \eta_1$	2,70 MPa
trykkøying betong	E_{cm}	$22 \cdot [(f_{icm}) / 10]^{0,3}$	33,28 GPa
	E_{icm}	$E_{cm} \cdot \eta_E$	22861,81 MPa
	E_{yd}	f_{yd} / E_s	0,0029
	e_{icu}	$3,5 \cdot \eta_1$	0,00314

VEDLEGG 16: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3B – 2/4

Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 MPa
	f_{yd}	f_{yk}/γ_s	550 MPa
E-modul:	E_s		190000 N/mm ²
Overdekning	$c = c_1$		25 mm
Diameter bøylar	ϕ_b		10 mm
Antall "brede" bøylar			41,0 stk
Antall "smale" bøylar			35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$	157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$		157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$	314,2 mm ²
Senteravstand bøylar	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,s}$	32 mm
		-topp, $\phi_{l,t}$	12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn	804,2 mm ²
		-topp	113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	A_s'		452,4 mm ²
Avstand mellom	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2 + (\phi_{l,t}/2)$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm
Betong			
Densitet fra testresultat	ρ		1823,333 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1200,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg
Maks bruddlast			
Balansert arm. mengde			
(3.19)	η	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	1
(3.21)	λ	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	0,8
BK(4.20)	α_b	$\epsilon_{icu}/(\epsilon_{icu} + \epsilon_{yd})$	0,520
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$	$\lambda * \eta * (f_{cd}/f_{yd}) * b * d * \alpha_b$	2797,21 mm ²
		overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$	Overarmert
Finne α (ved brudd)			
		$(\lambda \eta f_{ck} \phi_b d^3) \alpha^2 + (E_s \epsilon_{icu} A_s' d - E_{kcm} \epsilon_{icu} A_s' d + E_s \epsilon_{icu} A_s d) \alpha + (-E_s \epsilon_{icu} A_s' d' + E_{kcm} \epsilon_{icu} A_s' d' - E_s \epsilon_{icu} A_s d) = 0$	
		$E_s * A_s * \epsilon_{icu} * d$	837876847,8
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d$	78550954,49
		$E_s * A_s' * \epsilon_{icu} * d'$	11067316,61
		$E_{kcm} \epsilon_{icu} A_s' d$	9451668,213
		$E_{kcm} \epsilon_{icu} A_s' d'$	1331678,339
a		$\lambda * \eta * f_{cd} * b * d^2$	860358960
b			906976134,1
c			-847612486,1
		abc-formel	0,596745638
			-1,650929039
	α		0,596745638
Momentkapasitet			
Trykksonehøyde	x	$\alpha * d$	173,65 mm
Momentkapasiteten til betongen BK(4.14)	M_{rd}	$\eta \lambda \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{cd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d * \epsilon_{icu} A_s' h' - E_{kcm} (\alpha d - d') / \alpha d * \epsilon_{icu} A_s' h'$	436,2E+6 Nmm
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) * \epsilon_{icu}$	0,00212 < ϵ_{yd} OK
Størrelsen på M_{rd}			
Egenvekt	q_e		2,86 N/mm
Maksoppleggkraft	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = M_{rd}$	309,58E+3 N

VEDLEGG 16: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3B – 3/4

Bruddlast med trykksonhøyde fra
tøyninger

Trykksonhøyde	150,900 mm
Momentkapasitet	396,8E+6 Nmm
Bruddlast	281,5E+3 N

Bruddlast uten egenvekt

Trykksonhøyde	173,65 mm
Momentkapasitet	436,2E+6 Nmm
Bruddlast	311,6E+3 N

Nedbøyning

Rissmoment og risslast

BK(5.20)

M_{cr}

$$\frac{(I_c + \eta(I_{s1} + I_{s2})) / (h - \alpha d) \cdot f_{ctm}}{q_e \cdot 1,4m \cdot 1,4m / 2 - F_{cr} \cdot 1,4m} = M_{cr}$$

34,4E+6 Nmm

Maks risslast opplegg

F_{cr}

$$q_e \cdot 1,4m \cdot 1,4m / 2 - F_{cr} \cdot 1,4m = M_{cr}$$

22,57E+3 N

Stadium I

η	E_{sk} / E_{icm}	8,31
A_c	$b \cdot h$	140000,0000 mm ²
αd	$(A_c \cdot 0,5h + \eta \cdot A_s \cdot d + \eta A_s' \cdot d') / (A_c + \eta A_s + \eta A_s')$	197,56 mm
I_c	$bh^3 / 12 + bh \cdot (\alpha d - h / 2)^2$	1500429278,15 mm ⁴
I_s	$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	4,22E+07 mm ⁴
I_t	$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s' (\alpha d - d')^2$	1,11E+07 mm ⁴

Bøyestivhet EI

EI

$$E_c \cdot I_c + E_s \cdot (I_s + I_t)$$

44,4E+12

Nedbøyning

δ_{midt}

$$1810666667 \cdot F / EI$$

$\delta_{forskyvet}$

$$1698666667 \cdot F / EI$$

Last trinn

Oppleggslast

Last trinn	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		0,68 mm	0,64 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,36 mm	1,27 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		2,04 mm	1,91 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		2,72 mm	2,55 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		4,08 mm	3,82 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		5,43 mm	5,10 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		6,79 mm	6,37 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		8,15 mm	7,65 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		9,51 mm	8,92 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		10,87 mm	10,20 mm

Stadium II

$$\frac{1}{2} E_{icm} \cdot d^2 \cdot b \cdot \alpha^2 + (E_s \cdot d A_s' - E_{icm} \cdot d A_s + E_s \cdot d A_s) \alpha - E_s \cdot d' A_s' + E_{icm} \cdot d' A_s - E_s \cdot d A_s = 0$$

VEDLEGG 16: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 3B – 4/4

	a	$(1/2 E_{icm} d^2 b)$	3,87192E+11	
	b	$(E_s d A_s' - E_{icm} d A_s' + E_s d A_s)$	2,88804E+11	
	c	$-E_s d' A_s' + E_{cm} d' A_s' - E_s d A_s$	-2,69901E+11	
		abc-formelen	0,541472366	-1,287365779
	α		0,541472366	
	αd		157,57	mm
BK(5.41)	lc	$b(\alpha d)^3/12 + b \alpha d (\alpha d/2)^2$	521610826	mm ⁴
BK(5.43)	ls	$1/4 \pi r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	8,60E+07	mm ⁴
BK(5.44)	lt	$1/4 \pi r^4 + A_s (\alpha d - d')^2 + E_{icm} / E_s (1/4 \pi r^4 + A_s (\alpha d - d')^2)$	5,41E+06	mm ⁴
BK(5.45)	EI	$E_{icm} lc + E_s (ls + lt)$	2,92858E+13	Nmm ²
Nedbøyning	δ_{midt}	1810666667*F/EI		
	$\delta_{forskyvet}$	1698666667*F/EI		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,03 mm	1,0 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,06 mm	1,9 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,09 mm	2,9 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,12 mm	3,9 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,18 mm	5,8 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,24 mm	7,7 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,30 mm	9,7 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		12,37 mm	11,6 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		14,43 mm	13,5 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		16,49 mm	15,5 mm
Tøyninger				
Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/EI) * M * (1 - \alpha) * d$		
--> armeringstøyning	ϵ_s	$M/EI * (1 - \alpha) * d$		
	ϵ_s'	$M/EI * (\alpha d - d')$		
	EI	Fra stadium II	2,92858E+13	
	α	Fra stadium II	0,541472366	
	a		1400	
	Kraft (N)	Moment (Nmm) (Kraft*a)	ϵ_s Bunn	ϵ_s' Topp
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00009
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00019
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00028
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00043	0,00037
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00056
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00085	0,00074
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00106	0,00093
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00128	0,00111
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00149	0,00130
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00170	0,00149
Betongtøyninger				
topp	ϵ_{lcu}	$\alpha d / (\alpha d - d') * \epsilon_s'$	ϵ_{lcu} Bunn	ϵ_{lcu} Topp
bunn	ϵ_{lcu}	$(h - \alpha d) / (d - \alpha d) * \epsilon_s$		
	Kraft (N)			
Last trinn 1	16,7E+3		0,00015	0,00013
Last trinn 2	33,3E+3		0,00031	0,00025
Last trinn 3	50,0E+3		0,00046	0,00038
Last trinn 4	66,7E+3		0,00061	0,00050
Last trinn 5	100,0E+3		0,00092	0,00075
Last trinn 6	133,3E+3		0,00123	0,00100
Last trinn 7	166,7E+3		0,00153	0,00126
Last trinn 8	200,0E+3		0,00184	0,00151
Last trinn 9	233,3E+3		0,00215	0,00176
Last trinn 10	266,7E+3		0,00245	0,00201

VEDLEGG 17: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4A – 1/4

BJELKE 4A Beregning etter Eurokode 2				
Geometri				
Høyde	h		350 mm	
Bredde	b		400 mm	
Lengde	l		3600 mm	
Oppleggsbredde			300 mm	
Total lengde			4200 mm	
Lastavstand			800 mm	
Arealversnitt	A		140000 mm ²	
Volum	V		588000000 mm ³	
Fra materialtest				
Trykkfasthet f_{cm}	4A-1		38,4 MPa	
	4A-2		37,4 MPa	
	4A-3		34,8 MPa	
	4A-4		35,9 MPa	
	4A-5		36,2 MPa	
	4A-6		32,7 MPa	
	(gjennomsnitt)	f_{cm}		35,90 MPa
Densitet	4A-1		1850 kg/m ³	
	4A-2		1870 kg/m ³	
	4A-3		1860 kg/m ³	
	4A-4		1820 kg/m ³	
	4A-5		1850 kg/m ³	
	4A-6		1790 kg/m ³	
	(gjennomsnitt)	ρ_m		1840,00 kg/m ³
E-modul	4B-17		18,00 GPa	
	4B-18		18,90 GPa	
	4B-19		19,70 GPa	
	(gjennomsnitt)	E_{cm}		18866,67 GPa
	Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1	
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1	
Partialfaktor for egenvekt	γ_{gs}		1	
Partialfaktor for nyttelast	γ_p		1	
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1	
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,902	
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,700	
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1				
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat dimensjonerende	f_{ck}		35,90	
aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0.05}$	$f_{cm}-8(\text{Mpa})$	27,90 MPa	
	$f_{ctk,0.05}$	$\alpha_{ctk}*(f_{ck}/\gamma_c)$	27,90 MPa	
middelverdi av aksialtrekkfasthet	f_{ctm}	$0,7f_{ctm}$	1,93 MPa	
	f_{ctm}	$f_{ctk,0.05}*\eta_1$	1,74 MPa	
	f_{ctm}	$0,3*f_{ck}^{(2/3)}$	2,76 MPa	
	f_{ctm}	$f_{ctm}*\eta_1$	2,49 MPa	
trykktøyning betong	E_{cm}	$22[(f_{cm})/10]^{0.3}$	32,28 GPa	
	E_{cm}	$E_{cm}*\eta_E$	22580,90 MPa	
	E_{td}	f_{yd}/E_s	0,0029	
	E_{lcu}	$3,5*\eta_1$	0,00316	

VEDLEGG 17: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4A – 2/4

Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 MPa
	f_{yd}	f_{yk}/γ_s	550 MPa
E-modul:	E_s		190000 N/mm ²
Overdekning	$c = c_1$		25 mm
Diameter bøylar	ϕ_b		10 mm
Antall "brede" bøylar			41,0 stk
Antall "smale" bøylar			35,0 stk
	$A_{sw, brede}$	$A_{sw, opplager}$	157,1 mm ²
	$A_{sw, smale}$		157,1 mm ²
	A_{sw}	$A_{sw, brede} + A_{sw, smale}$	314,2 mm ²
Senteravstand bøylar	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,b}$	32 mm
		-topp, $\phi_{l,t}$	12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn	804,2 mm ²
		-topp	113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	A_s'		452,4 mm ²
Avstand mellom	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2 + (\phi_{l,t}/2)$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm
Betong			
Densitet fra testresultat	ρ		1840,000 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1270,000 kg
egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg
Maks bruddlast			
Balansert arm. mengde			
(3.19)	η	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	1
(3.21)	λ	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	0,8
BK(4.20)	α_b	$E_{icu}/(E_{icu} + E_{yd})$	0,522
Balansert arm. mengde BK(4.21)	$A_{s,b}$	$\lambda * \eta * (f_{icd}/f_{yd}) * b * d * \alpha_b$	2463,98 mm ²
		overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$	Overarmert
Finne α (ved brudd)			
		$(\lambda \eta f_{icd} b d^3) \alpha^2 + (E_s E_{icu} A_s' d - E_{icm} E_{icu} A_s' d + E_s E_{icu} A_s d) \alpha + (-E_s E_{icu} A_s' d' + E_{icm} E_{icu} A_s' d' - E_s E_{icu} A_s d) = 0$	
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	842121411,4
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	78948882,32
		$E_s * A_s' * E_{icu} * d$	11123382,05
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d$	9382826,481
		$E_{icm} E_{icu} A_s' d'$	1321978,989
	a	$\lambda * \eta * f_{icd} * b * d^2$	756031968
	b		911687467,2
	c		-851922814,5
		abc-formel	0,617866312
	α		-1,823751124
			0,617866312
Momentkapasitet			
Trykksonehøyde	x	$\alpha * d$	179,80 mm
Momentkapasiteten til betongen		$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{icd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h' - E_{icm} (\alpha d - d') / \alpha d * E_{icu} A_s' h'$	397,8E+6 Nmm
BK(4.14)	M_{Rd}		0,00195 < E_{yd} OK
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) * E_{icu}$	
Størrelsen på M_{Ed}			
Egenvekt	q_e		3,02 N/mm
Maksoppleggkraft	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = M_{Rd}$	282,04E+3 N
Bruddlast med trykksonehøyde fra tøyninger			
Trykksonehøyde			172,300 mm
Momentkapasitet			387,2E+6 Nmm
Bruddlast			274,4E+3 N
Bruddlast uten egenvekt			
Trykksonehøyde			179,80 mm
Momentkapasitet			397,8E+6 Nmm
Bruddlast			284,2E+3 N

VEDLEGG 17: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4A – 3/4

Nedbøyning				
Rissmoment og risslast BK(5.20)	M_{cr}	$(l_c + \eta(l_{s1} + l_{s2})) / (h - \alpha d) * f_{ctm}$	31,9E+6	Nmm
Maks risslast opplegg	F_{cr}	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F_{cr} * 1,4m = M_{cr}$	20,64E+3	N
Stadium I				
	η	E_{sk} / E_{icm}	8,41	
	A_c	$b * h$	140000,0000	mm ²
	αd	$(A_c * 0,5h + \eta * A_s * d + \eta A_s' * d') / (A_c + \eta A_s + \eta A_s')$	197,77	mm
	l_c	$bh^3 / 12 + bh * (\alpha d - h / 2)^2$	1501781676,04	mm ⁴
	l_s	$1/4 * \pi * r^4 + A_s(d - \alpha d)^2$	4,20E+07	mm ⁴
	l_t	$1/4 * \pi * r^4 + A_s'(\alpha d - d')^2$	1,11E+07	mm ⁴
Bøyestivhet EI		$E_c * l_c + E_s * (l_s + l_t)$	44,0E+12	
Nedbøyning	δ_{midt}	1810666667 * F / EI		
	$\delta_{forskyvet}$	1698666667 * F / EI		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		0,69 mm	0,64 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,37 mm	1,29 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		2,06 mm	1,93 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		2,74 mm	2,57 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		4,11 mm	3,86 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		5,49 mm	5,15 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		6,86 mm	6,43 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		8,23 mm	7,72 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		9,60 mm	9,01 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		10,97 mm	10,29 mm
Stadium II				
		$(1/2 E_{icm} d^2 b) \alpha^2 + (E_s d A_s' - E_{icm} d A_s + E_s d A_s) \alpha - E_s d' A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s d A_s = 0$		
	a	$(1/2 E_{icm} d^2 b)$	3,82435E+11	
	b	$(E_s d A_s' - E_{icm} d A_s + E_s d A_s)$	2,88841E+11	
	c	$-E_s d' A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s d A_s$	-2,69906E+11	
		abc-formelen	0,543433366	-1,298702402
	α		0,543433366	
	αd		158,14	mm
BK(5.41)	l_c	$b(\alpha d)^3 / 12 + b * \alpha d * (\alpha d / 2)^2$	527298583	mm ⁴
BK(5.43)	l_s	$1/4 * \pi * r^4 + A_s(d - \alpha d)^2$	8,52E+07	mm ⁴
BK(5.44)	l_t	$1/4 * \pi * r^4 + A_s'(\alpha d - d')^2 + E_{icm} / E_s (1/4 * \pi * r^4 + A_s'(\alpha d - d')^2)$	5,47E+06	mm ⁴
BK(5.45)	EI	$E_{icm} * l_c + E_s(l_s + l_t)$	2,91402E+13	Nmm ²
Nedbøyning	δ_{midt}	1810666667 * F / EI		
	$\delta_{forskyvet}$	1698666667 * F / EI		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,04 mm	1,0 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,07 mm	1,9 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,11 mm	2,9 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,14 mm	3,9 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,21 mm	5,8 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,28 mm	7,8 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,36 mm	9,7 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		12,43 mm	11,7 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		14,50 mm	13,6 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		16,57 mm	15,5 mm

VEDLEGG 17: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4A – 4/4

		Tøyninger		
Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/E_c) \cdot M \cdot (1-\alpha) \cdot d$		
----> armeringstøyning	ε_s	$M/EI \cdot (1-\alpha) \cdot d$		
	ε_s'	$M/EI \cdot (\alpha d - d')$		
	EI	Fra stadium II	2,91402E+13	
	α	Fra stadium II	0,543433366	
	a		1400	

	Kraft (N)	Moment (Nmm) (Kraft*a)	ε_s Bunn	ε_s' Topp
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00009
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00019
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00028
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00043	0,00038
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00056
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00085	0,00075
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00106	0,00094
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00128	0,00113
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00149	0,00131
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00170	0,00150

Betongtøyninger				
topp	ε_{cu}	$\alpha d / (\alpha d - d') \cdot \varepsilon_s'$		
bunn	ε_{cu}	$(h - \alpha d) / (d - \alpha d) \cdot \varepsilon_s$		
	Kraft (N)		ε_{cu} Bunn	ε_{cu} Topp
Last trinn 1	16,7E+3		0,00015	0,00013
Last trinn 2	33,3E+3		0,00031	0,00025
Last trinn 3	50,0E+3		0,00046	0,00038
Last trinn 4	66,7E+3		0,00061	0,00051
Last trinn 5	100,0E+3		0,00092	0,00076
Last trinn 6	133,3E+3		0,00123	0,00101
Last trinn 7	166,7E+3		0,00154	0,00127
Last trinn 8	200,0E+3		0,00184	0,00152
Last trinn 9	233,3E+3		0,00215	0,00177
Last trinn 10	266,7E+3		0,00246	0,00203

VEDLEGG 18: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4B – 1/4

BJELKE 4B Beregning etter Eurokode 2			
Geometri			
Høyde	h		350 mm
Bredde	b		400 mm
Lengde	l		3600 mm
Oppleggsbredde			300 mm
Total lengde			4200 mm
Lastavstand			800 mm
Arealversnitt	A		140000 mm ²
Volum	V		588000000 mm ³
Fra materialtest			
Trykkfasthet f_{cm}	4B-1		41,4 MPa
	4B-2		36,8 MPa
	4B-3		40,2 MPa
	4B-4		41,5 MPa
	4B-5		39,9 MPa
	4B-6		37,3 MPa
	(gjennomsnitt)	f_{cm}		39,52 MPa
Densitet	4B-1		1900 kg/m ³
	4B-2		1850 kg/m ³
	4B-3		1880 kg/m ³
	4B-4		1890 kg/m ³
	4B-5		1880 kg/m ³
	4B-6		1880 kg/m ³
	(gjennomsnitt)	ρ_m		1880,00 kg/m^{3}
E-modul	4B-17		18,00 GPa
	4B-18		18,90 GPa
	4B-19		19,70 GPa
	(gjennomsnitt)	E_{cm}		18866,67 GPa
Faktorer			
Partialfaktor for betong	γ_c		1
Partialfaktor for armeringsstål	γ_s		1
Partialfaktor for egenvekt	γ_G		1
Partialfaktor for nyttelast	γ_Q		1
Koeffisient som tar hensyn til lagtidlast	α_{cc}		1
Faktor for å bestemme strekkfastheten (11.1)	η_1	$0,40+0,60*(\rho/2200)$	0,913
Omregningsfaktor for E-modul	η_E	$(\rho/2200)^2$	0,730
Fra Tab 3.1 og Tab 11.3.1			
Sylindetrykkfasthet etter 28 døgn, fra testresultat dimensjonerende	f_{cm}		39,52
aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0,05}$	$f_{cm}-8(\text{Mpa})$	31,52 MPa
	f_{ctm}	$\alpha_{ic}*(f_{ctk}/\gamma_c)$	31,52 MPa
middelverdi av aksialtrekkfasthet	$f_{ctk,0,05}$	$0,7f_{ctm}$	2,10 MPa
	f_{ctm}	$f_{ctk,0,05}*\eta_1$	1,91 MPa
	f_{ctm}	$0,3*f_{ck}^{(2/3)}$	2,99 MPa
	f_{ctm}	$f_{ctm}*\eta_1$	2,73 MPa
trykkøying betong	E_{cm}	$22[(f_{cm})/10]^{0,3}$	33,22 GPa
	E_{cm}	$E_{cm}*\eta_E$	24262,03 MPa
	E_{yd}	f_{yd}/E_s	0,0029
	ϵ_{cu}	$3,5*\eta_1$	0,00319

VEDLEGG 18: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4B – 2/4

Armering			
Fasthet	f_{yk}		550 MPa
	f_{yd}	f_{yk}/γ_s	550 MPa
E-modul:	E_s		190000 N/mm ²
Overdekning	$c = c_1$		25 mm
Diameter bøyer	ϕ_b		10 mm
Antall "brede" bøyer			41,0 stk
Antall "smale" bøyer			35,0 stk
	Asw.brede	Asw.opplager	157,1 mm ²
	Asw.smale		157,1 mm ²
	Asw	Asw.brede+Asw.smale	314,2 mm ²
Senteravstand bøyer	s		100 mm
Diameter lengdearm	ϕ_l	-bunn, $\phi_{l,s}$ -topp, $\phi_{l,t}$	32 mm 12 mm
Areal pr lengdearm.		-bunn -topp	804,2 mm ² 113,1 mm ²
Antall jern bunn			6 stk
Antall jern topp			4 stk
	A_s		4825,5 mm ²
	A_s'		452,4 mm ²
Avstand mellom	a		65 mm
Effektiv høyde	d	$h - c - \phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2$	291 mm
Høyde mellom armeringen	h'	$h - 2c - 2\phi_b - 1,5\phi_{l,b}/2 + (\phi_{l,t}/2)$	250 mm
	d'		41 mm
Forankringslengde			285 mm
Betong			
Densitet fra testresultat	ρ		1880,000 kg/m ³
Egenvekt betongbjelken			1270,000 kg
Egenvekt fordelingsbjelke med tilbehør			172,000 kg
Maks bruddlast			
Balansert arm. mengde	η	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	1
(3.19)	λ	for $f_{ck} \leq 50$ MPa	0,8
(3.21)	α_b	$\epsilon_{icu}/(\epsilon_{icu} + \epsilon_{yd})$	0,525
BK(4.20)	As.b:	$\lambda^2 \eta^2 (f_{icd}/f_{yk}) b^2 d^2 \alpha_b$	2799,39 mm ²
Balansert arm. mengde BK(4.21)		overarmert dersom $A_s > A_{s,b}$	Overarmert
Finne α (ved brudd)			
		$(\lambda \eta f_{icd} b d^2) \alpha^2 + (E_s \epsilon_{icu} A_s' d - E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d + E_s \epsilon_{icu} A_s d) \alpha + (-E_s \epsilon_{icu} A_s' d' + E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d' - E_s \epsilon_{icu} A_s d) = 0$	
		$E_s^2 A_s^2 \epsilon_{icu}^2 d$	852308364
		$E_s^2 A_s' \epsilon_{icu}^2 d$	79903909,12
		$E_s^2 A_s' \epsilon_{icu}^2 d'$	11257939,09
		$E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d$	10203320,64
		$E_{icm} \epsilon_{icu} A_s' d'$	1437581,258
	a	$\lambda^2 \eta^2 f_{icd} b^2 d^2$	854036112
	b		922008952,4
	c		-862128721,8
		abc-formel	0,600754995
			-1,680345119
	α		0,600754995
Momentkapasitet			
Trykksonehøyde	x	$\alpha^* d$	174,82 mm
Momentkapasiteten til betongen	M_{Rd}	$\lambda \eta \alpha (1 - 0,5 \lambda \alpha) f_{icd} b d^2 + E_s (\alpha d - d') / \alpha d^2 \epsilon_{icu} A_s' h' - E_{icm} (\alpha d - d') / \alpha d^2 \epsilon_{icu} A_s' h'$	435,6E+6 Nmm
BK(4.14)			0,00212 < ϵ_{yd} OK
Tøyning i stålet	ϵ_s	$((1 - \alpha) / \alpha) \epsilon_{icu}$	
Størrelsen på M_{Ed}			
Egenvekt	q_e		3,02 N/mm
Maksoppleggkraft	F	$q_e * 1,4m * 1,4m / 2 - F * 1,4m = M_{Rd}$	309,03E+3 N

VEDLEGG 18: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4B – 3/4

Bruddlast med trykksonhøyde fra

Trykksonehøyde	155,300	
Momentkapasitet	402,6E+6	Nmm
Bruddlast	285,4E+3	N

Bruddlast uten egenvekt

Trykksonehøyde	174,82	mm
Momentkapasitet	435,6E+6	Nmm
Bruddlast	311,2E+3	N

Nedbøyning

Rissmoment og risslast BK(5.20)	M_{cr}	$(I_d + \eta(I_{s1} + I_{s2})) / (h - \alpha d) \cdot f_{ctm}$	34,1E+6	Nmm
Maks risslast opplegg	F_{cr}	$q_e \cdot 1,4m \cdot 1,4m / 2 - F_{cr} \cdot 1,4m = M_{cr}$	22,27E+3	N

Stadium I

η		E_{sk} / E_{icm}	7,83	
A_c		$b \cdot h$	140000,0000	mm ²
αd		$(A_c \cdot 0,5h + \eta \cdot A_s \cdot d + \eta \cdot A_s' \cdot d') / (A_c + \eta A_s + \eta A_s')$	196,56	mm
I_c		$b h^3 / 12 + b h \cdot (\alpha d - h / 2)^2$	1494220168,16	mm ⁴
I_s		$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s (d - \alpha d)^2$	4,31E+07	mm ⁴
I_t		$1/4 \cdot \pi \cdot r^4 + A_s' (\alpha d - d')^2$	1,09E+07	mm ⁴
Bøystivhet EI	EI	$E_c \cdot I_c + E_s \cdot (I_s + I_t)$	46,5E+12	
Nedbøyning	δ_{midt}	$1810666667 \cdot F / EI$		
	$\delta_{forskyvet}$	$1698666667 \cdot F / EI$		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		0,65 mm	0,61 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		1,30 mm	1,22 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		1,95 mm	1,83 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		2,59 mm	2,43 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		3,89 mm	3,65 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		5,19 mm	4,87 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		6,49 mm	6,09 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		7,78 mm	7,30 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		9,08 mm	8,52 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		10,38 mm	9,74 mm

Stadium II

$$(1/2 E_{icm} \cdot d^2 \cdot b) \alpha^2 + (E_s d A_s' - E_{icm} d A_s + E_s d A_s) \alpha - E_s d' A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s d A_s = 0$$

VEDLEGG 18: HOVEDBEREGNINGER BJELKE 4B – 4/4

	a	$(1/2E_{icm}d^2b)$	4,10907E+11	
	b	$(E_s dA_s' - E_{icm} dA_s' + E_s dA_s)$	2,8862E+11	
	c	$-E_s d'A_s' + E_{icm} d' A_s' - E_s dA_s$	-2,69875E+11	
		abc-formelen	0,53204561	-1,234443153
	α		0,53204561	
	ad		154,83	mm
BK(5.41)	Ic	$b(\alpha d)^3/12+b*\alpha d*(\alpha d/2)^2$	494839428	mm ⁴
BK(5.43)	Is	$1/4*\pi*r^4 + A_s(d-\alpha d)^2$	8,95E+07	mm ⁴
BK(5.44)	It	$1/4*\pi*r^4 + A_s'(\alpha d-d')^2 + E_{icm}/E_s(1/4*\pi*r^4 + A_s'(\alpha d-d')^2)$	5,11E+06	mm ⁴
BK(5.45)	EI	$E_{icm}*Ic + E_s(Is+It)$	2,99887E+13	Nmm ²
Nedbøyning	δ_{midt}	$1810666667*F/EI$		
	$\delta_{forskyvet}$	$1698666667*F/EI$		
	Oppleggslast		δ_{midt}	$\delta_{forskyvet}$
Last trinn 1	16,7E+3 N		1,01 mm	0,9 mm
Last trinn 2	33,3E+3 N		2,01 mm	1,9 mm
Last trinn 3	50,0E+3 N		3,02 mm	2,8 mm
Last trinn 4	66,7E+3 N		4,03 mm	3,8 mm
Last trinn 5	100,0E+3 N		6,04 mm	5,7 mm
Last trinn 6	133,3E+3 N		8,05 mm	7,6 mm
Last trinn 7	166,7E+3 N		10,06 mm	9,4 mm
Last trinn 8	200,0E+3 N		12,08 mm	11,3 mm
Last trinn 9	233,3E+3 N		14,09 mm	13,2 mm
Last trinn 10	266,7E+3 N		16,10 mm	15,1 mm

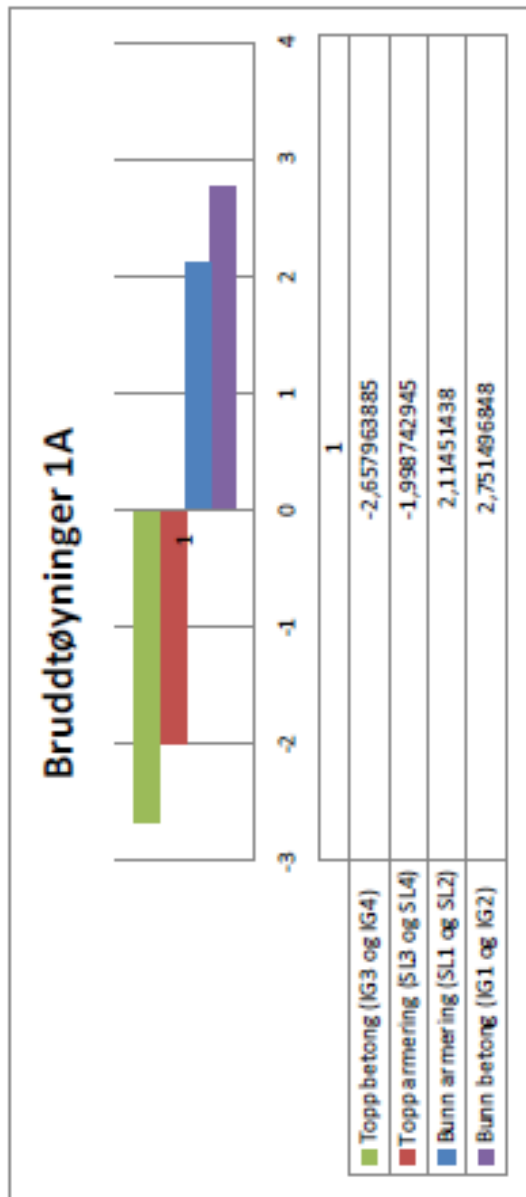
Tøyninger				
Armeringsspenning	σ_s	$(E_s/EI)*M*(1-\alpha)*d$		
--> armeringstøyning	ϵ_s	$M/EI*(1-\alpha)*d$		
	ϵ_s'	$M/EI*(\alpha d-d')$		
	EI	Fra stadium II	2,99887E+13	
	α	Fra stadium II	0,53204561	
	a		1400	

	Kraft (N)	Moment (Nmm) (Kraft*a)	ϵ_s Bunn	ϵ_s' Topp
Last trinn 1	16,7E+3	23,4E+6	0,00011	0,00009
Last trinn 2	33,3E+3	46,7E+6	0,00021	0,00018
Last trinn 3	50,0E+3	70,0E+6	0,00032	0,00027
Last trinn 4	66,7E+3	93,3E+6	0,00042	0,00035
Last trinn 5	100,0E+3	140,0E+6	0,00064	0,00053
Last trinn 6	133,3E+3	186,7E+6	0,00085	0,00071
Last trinn 7	166,7E+3	233,3E+6	0,00106	0,00089
Last trinn 8	200,0E+3	280,0E+6	0,00127	0,00106
Last trinn 9	233,3E+3	326,7E+6	0,00148	0,00124
Last trinn 10	266,7E+3	373,3E+6	0,00170	0,00142

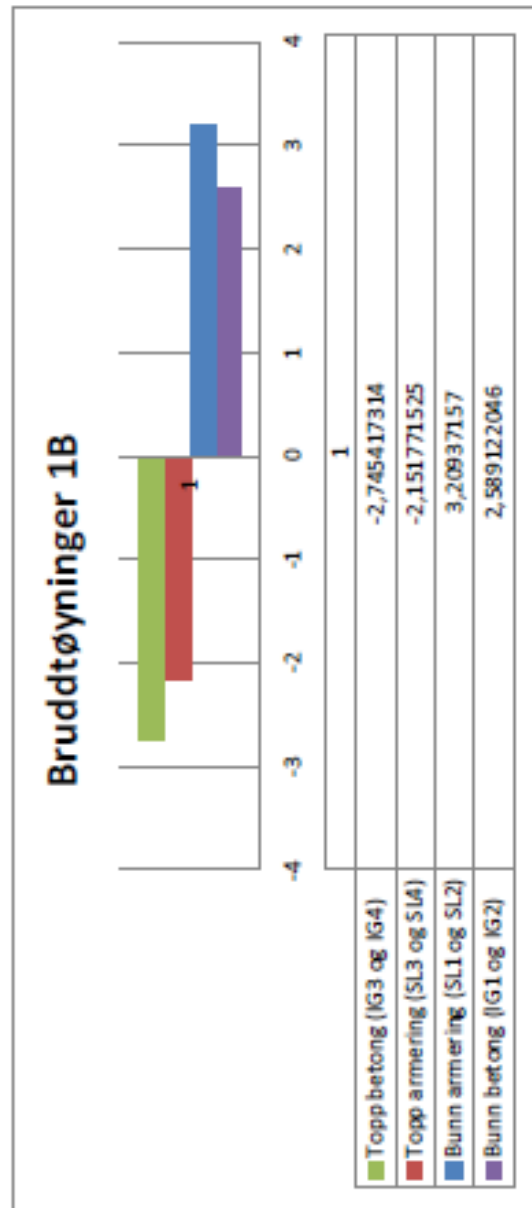
Betongtøyninger				
	Kraft (N)	$\alpha d/(ad-d')*\epsilon_s'$	$(h-\alpha d)/(d-\alpha d)*\epsilon_s$	
topp	ϵ_{icu}			
bunn	ϵ_{icu}			
	Kraft (N)	ϵ_{icu} Bunn	ϵ_{icu} Topp	
Last trinn 1	16,7E+3	0,00015	0,00012	
Last trinn 2	33,3E+3	0,00030	0,00024	
Last trinn 3	50,0E+3	0,00046	0,00036	
Last trinn 4	66,7E+3	0,00061	0,00048	
Last trinn 5	100,0E+3	0,00091	0,00072	
Last trinn 6	133,3E+3	0,00121	0,00096	
Last trinn 7	166,7E+3	0,00152	0,00120	
Last trinn 8	200,0E+3	0,00182	0,00145	
Last trinn 9	233,3E+3	0,00213	0,00169	
Last trinn 10	266,7E+3	0,00243	0,00193	

VEDLEGG 19: BRUDDTØYNINGER – 1/4

Bjelke 1A	Brudd
IG1	2,922854321
IG2	2,580139375
Snitt IG bunn	2,751496848
IG3	-2,43132464
IG4	-2,88460313
Snitt IG topp	-2,65796389
SL1	2,13325724
SL2	2,09577152
Snitt SL bunn	2,11451438
SL3	-1,95565723
SL4	-2,04182866
Snitt SL topp	-1,99874295



Bjelke 1B	Brudd
IG1	2,735297267
IG2	2,442946825
Snitt IG bunn	2,589122046
IG3	-2,72856066
IG4	-2,76227397
Snitt IG topp	-2,74541731
SL1	4,33005734
SL2	2,0886858
Snitt SL bunn	3,20937157
SL3	-2,18994296
SL4	-2,11360009
Snitt SL topp	-2,15177153

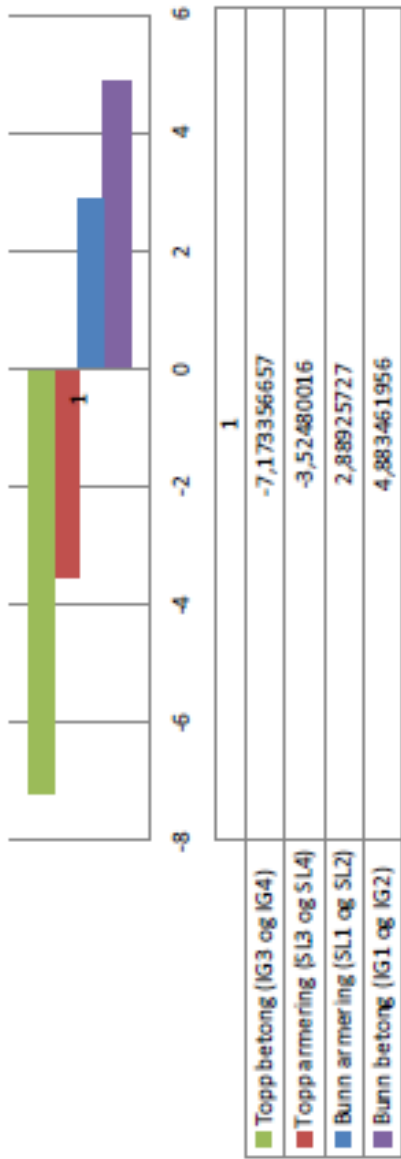


VEDLEGG 19: BRUDDTØYNINGER – 2/4

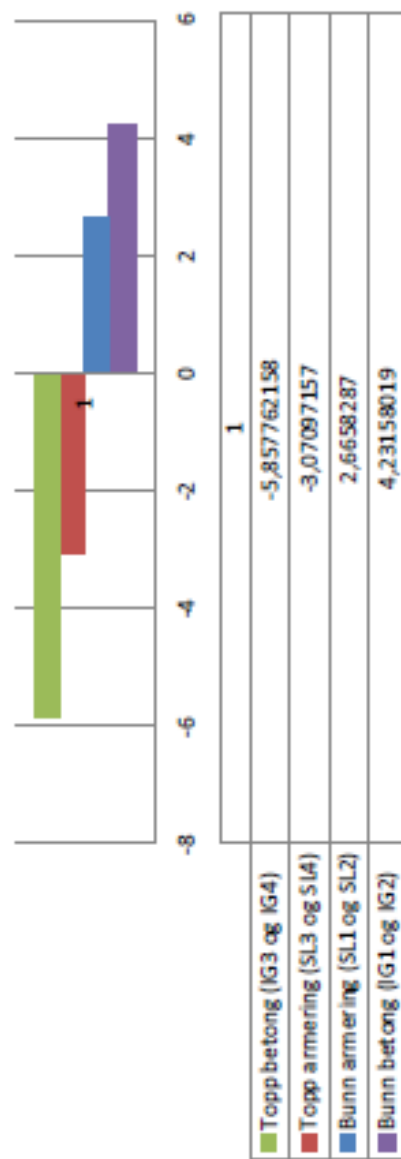
Bjelke 2A	Brudd
IG1	4,532769162
IG2	5,23415475
Snitt IG bunn	4,883461956
IG3	-7,62449202
IG4	-6,72222129
Snitt IG topp	-7,17335666
SL1	2,79931441
SL2	2,97920013
Snitt SL bunn	2,88925727
SL3	-3,52594302
SL4	-3,5236573
Snitt SL topp	-3,52480016

Bjelke 2B	Brudd
IG1	4,157655054
IG2	4,305505325
Snitt IG bunn	4,23158019
IG3	-5,50293759
IG4	-6,21258673
Snitt IG topp	-5,85776216
SL1	-999,929829
SL2	2,6658287
Snitt SL bunn	2,6658287
SL3	-2,12502867
SL4	-4,01691447
Snitt SL topp	-3,07097157

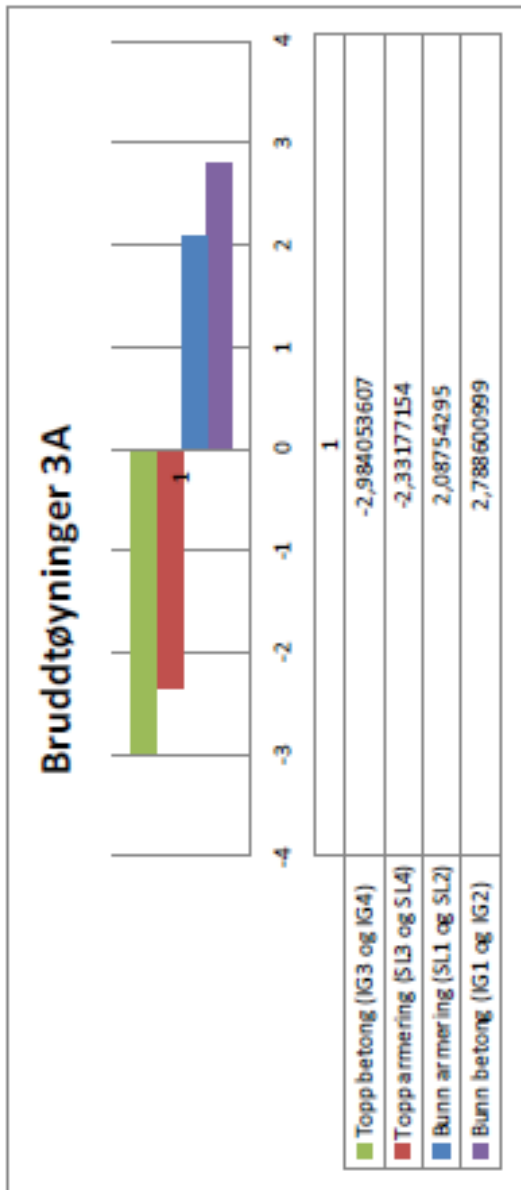
Bruddtøyninger 2A



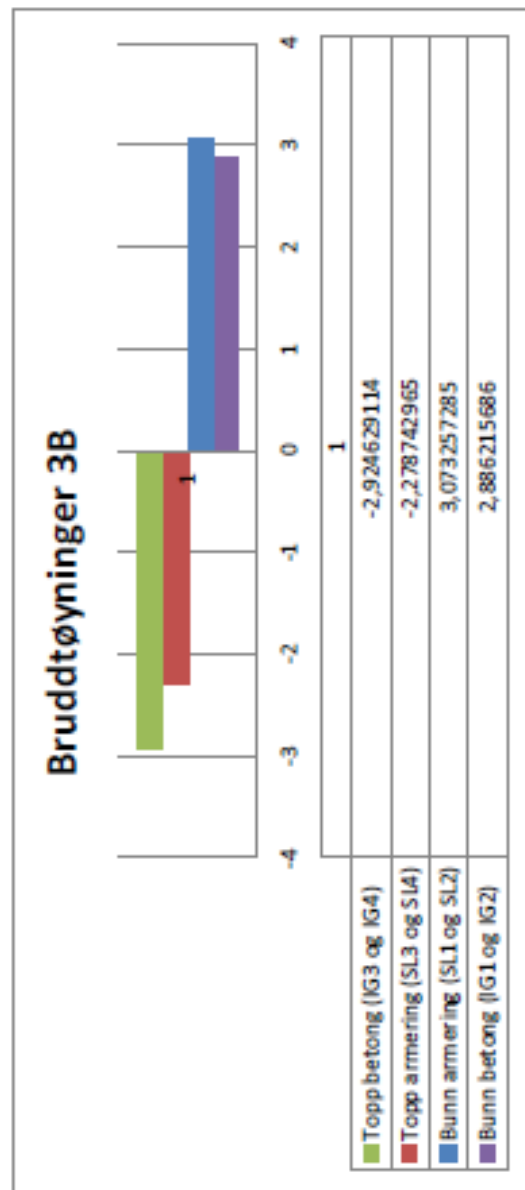
Bruddtøyninger 2B



VEDLEGG 19: BRUDDTØYNINGER – 3/4



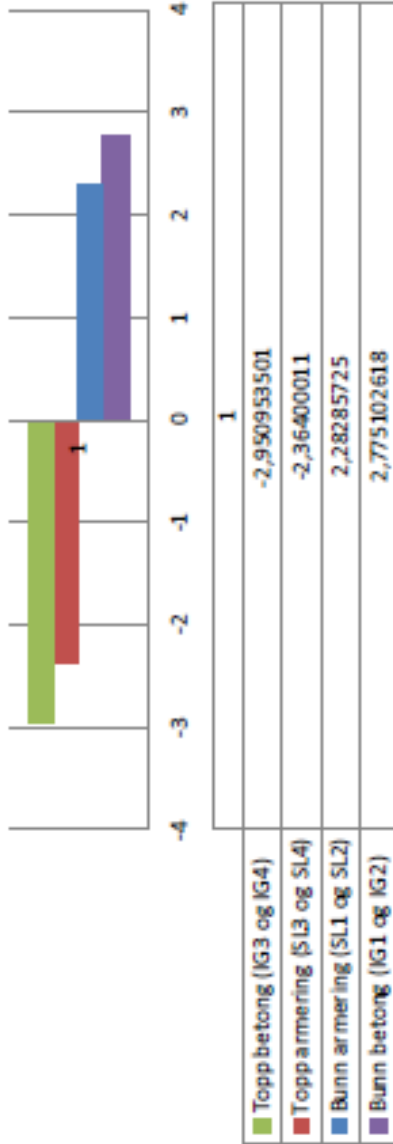
Bjelke 3A	Brudd
IG1	2,896808072
IG2	2,680393925
Snitt IG bunn	2,788600999
IG3	-3,10900187
IG4	-2,85910534
Snitt IG topp	-2,98405361
SL1	2,01782866
SL2	2,15725724
Snitt SL bunn	2,08754295
SL3	-2,30057154
SL4	-2,36297154
Snitt SL topp	-2,33177154



Bjelke 3B	Brudd
IG1	2,896808072
IG2	2,8756233
Snitt IG bunn	2,886215686
IG3	-2,84744557
IG4	-3,00181266
Snitt IG topp	-2,92462911
SL1	2,32502868
SL2	3,82148589
Snitt SL bunn	3,073257285
SL3	-2,26217154
SL4	-2,29531439
Snitt SL topp	-2,27874297

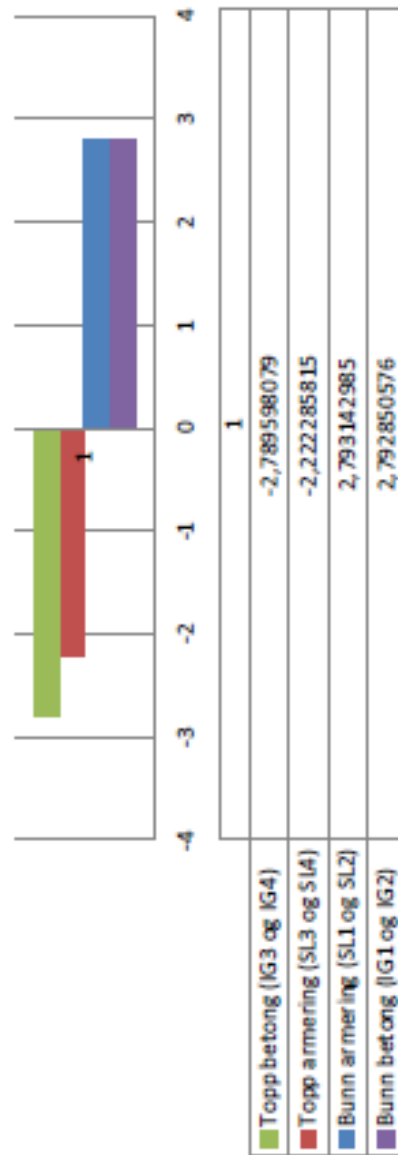
VEDLEGG 19: BRUDDTØYNINGER – 4/4

Bruddtøyninger 4A



Bjelke 4A	Brudd
IG1	2,94368731
IG2	2,606517925
Snitt IG bunn	2,775102618
IG3	-2,89499479
IG4	-3,00691221
Snitt IG topp	-2,9509535
SL1	2,04205724
SL2	2,52365726
Snitt SL bunn	2,28285725
SL3	-2,35245725
SL4	-2,37554297
Snitt SL topp	-2,36400011

Bruddtøyninger 4B

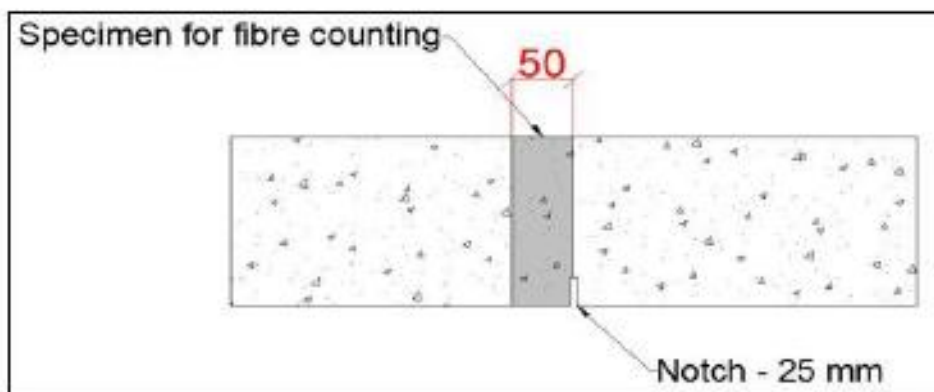
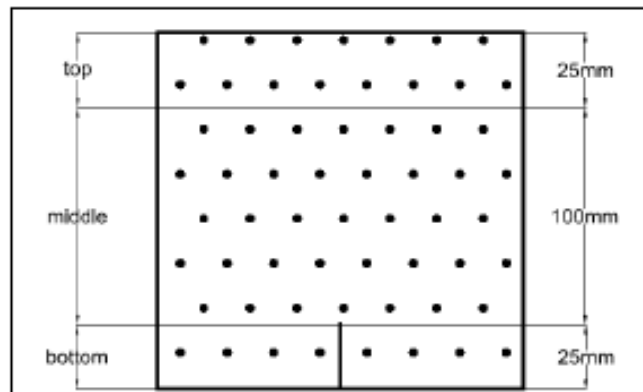


Bjelke 4B	Brudd
IG1	3,058318877
IG2	2,527382275
Snitt IG bunn	2,792850576
IG3	-2,63343849
IG4	-2,94575767
Snitt IG topp	-2,78959808
SL1	3,51977159
SL2	2,06651438
Snitt SL bunn	2,793142985
SL3	-2,26285725
SL4	-2,18171438
Snitt SL topp	-2,22228582

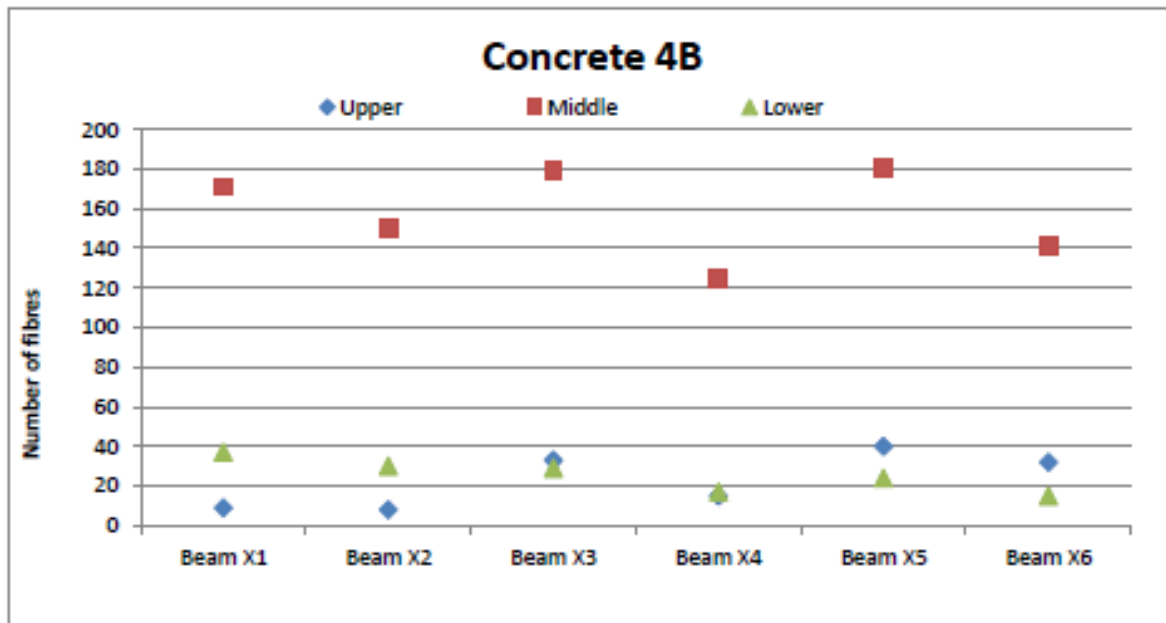
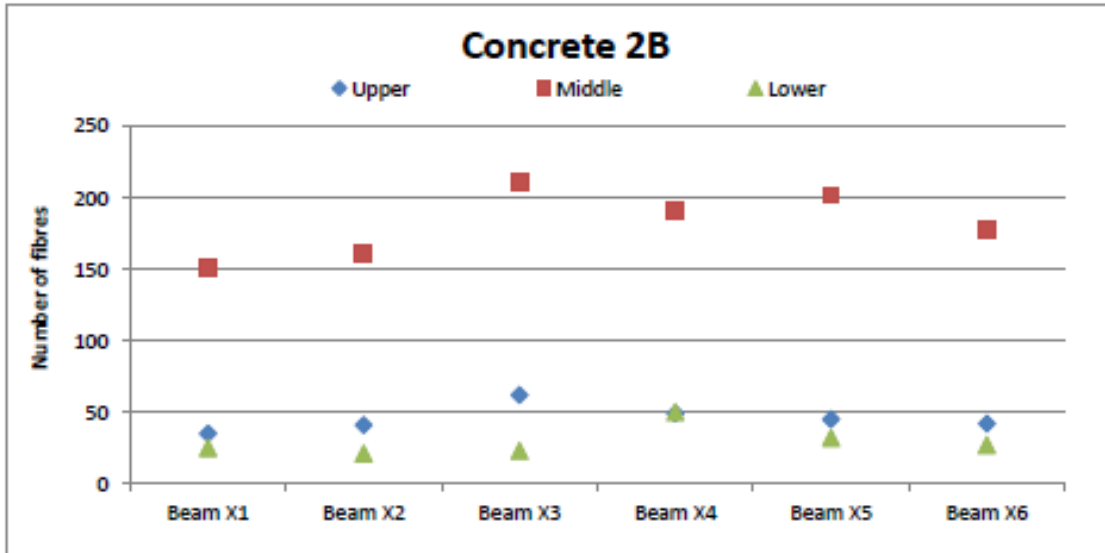
VEDLEGG 20: BØYESTREKKTEST, SMÅ BJELKER – 1/4

Fibre Counting									
LC1800 Concrete 4B									
Number of fibres									
	Beam X1	Beam X2	Beam X3	Beam X4	Beam X5	Beam X6	Average	CoV	1% Dramix 65/60
Upper (25mm)	9	8	33	15	40	32	23	60,52 %	
Middle (100mm)	171	150	179	125	181	141	158	14,39 %	
Lower (25mm)	37	30	29	17	24	15	25	32,99 %	
Total	217	188	241	157	245	188	206	16,70 %	
LC1800 Concrete 2B									
Number of fibres									
	Beam X1	Beam X2	Beam X3	Beam X4	Beam X5	Beam X6	Average	CoV	1% Dramix 65/60
Upper (25mm)	35	41	62	49	45	42	46	20,24 %	
Middle (100mm)	151	161	211	191	202	178	182	12,84 %	
Lower (25mm)	25	21	23	50	32	27	30	35,91 %	
Total	211	223	296	290	279	247	258	13,95 %	

Each slide was divided in 3 different parts to distinguish between the 25mm at the top (compression zone), 25 mm at the bottom (where the beams was notched) and 100mm in the middle zone was left

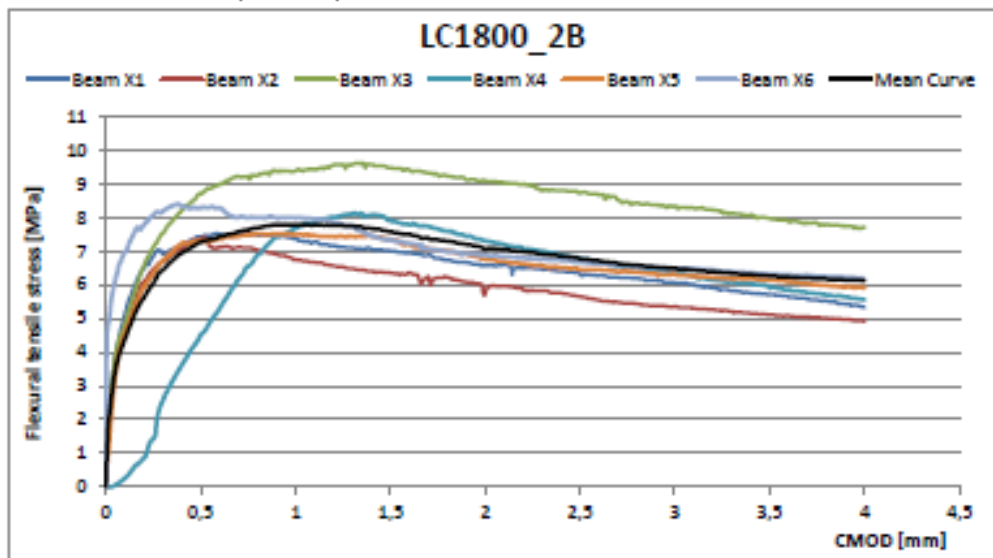
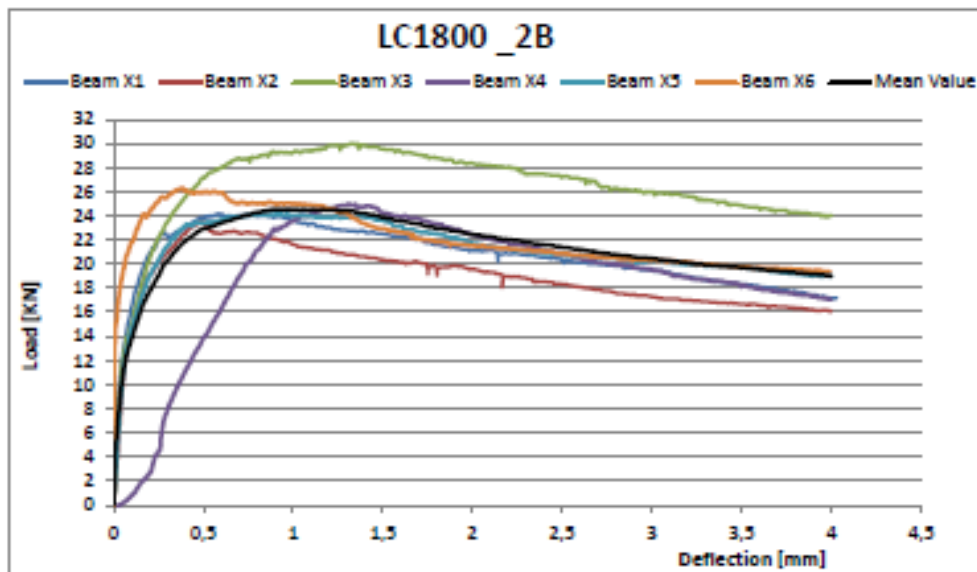


VEDLEGG 20: BØYESTREKKTEST, SMÅ BJELKER – 2/4



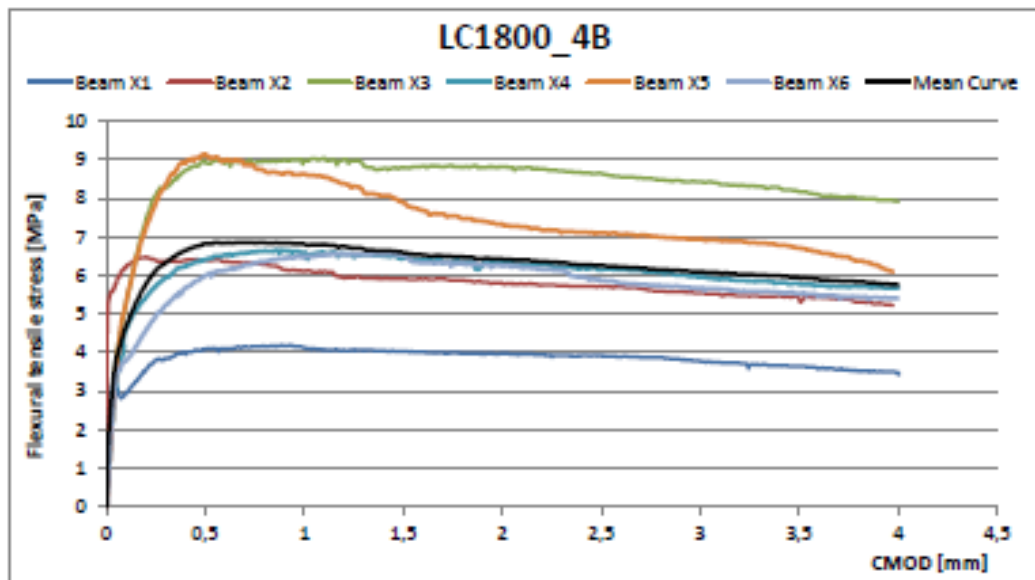
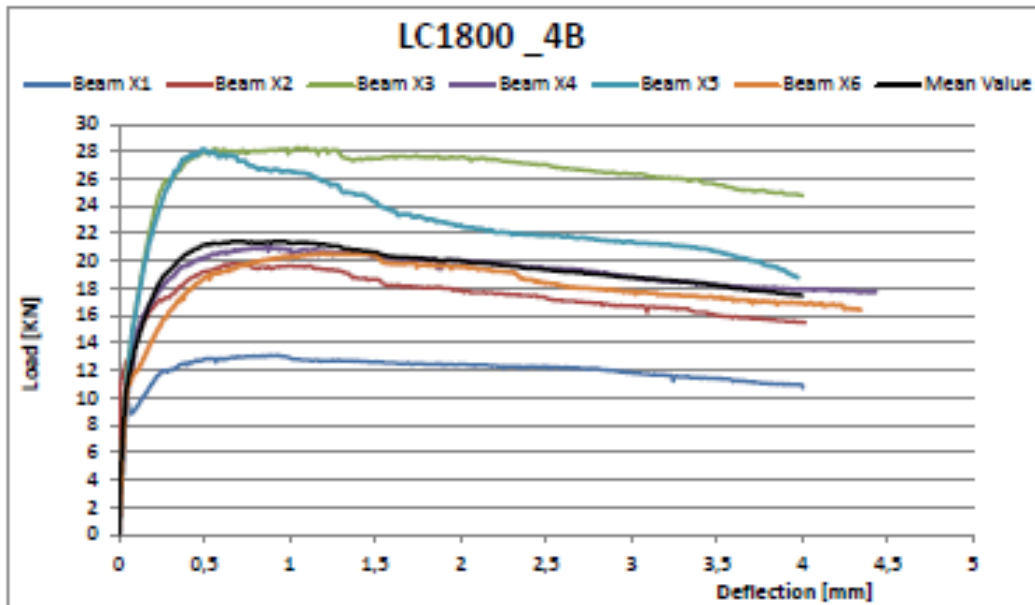
VEDLEGG 20: BØYESTREKKTEST SMÅ, BJELKER – 3/4

Summarized									
	Beam 1	Beam 2	Beam 3	Beam 4	Beam 5	Beam 6	Mean value		CoV
Average Width, b	151,5	152,5	152	152	151,5	152,5	152,0	mm	0,3%
Average high, h	126	125	124	123	126	124	125,0	mm	0,8%
Length, L	500	500	500	500	500	500	500,0	mm	0,0%
F_L	15,0	13,3	14,1	0,5	13,3	20,9	14,1	kN	6,3%
$f_{R,1}$	4,7	4,2	4,5	0,2	4,1	6,7	4,5	N/mm ²	5,9%
$f_{R,1}$	7,4	7,3	8,5	4,2	7,3	8,3	7,8	N/mm ²	8,8%
$f_{R,2}$	7,1	6,5	9,6	8,1	7,4	7,7	7,7	N/mm ²	21,2%
$f_{R,3}$	6,5	5,9	9,0	7,1	6,6	6,8	7,1	N/mm ²	23,1%
$f_{R,4}$	6,0	5,4	8,3	6,3	6,3	6,5	6,6	N/mm ²	22,7%

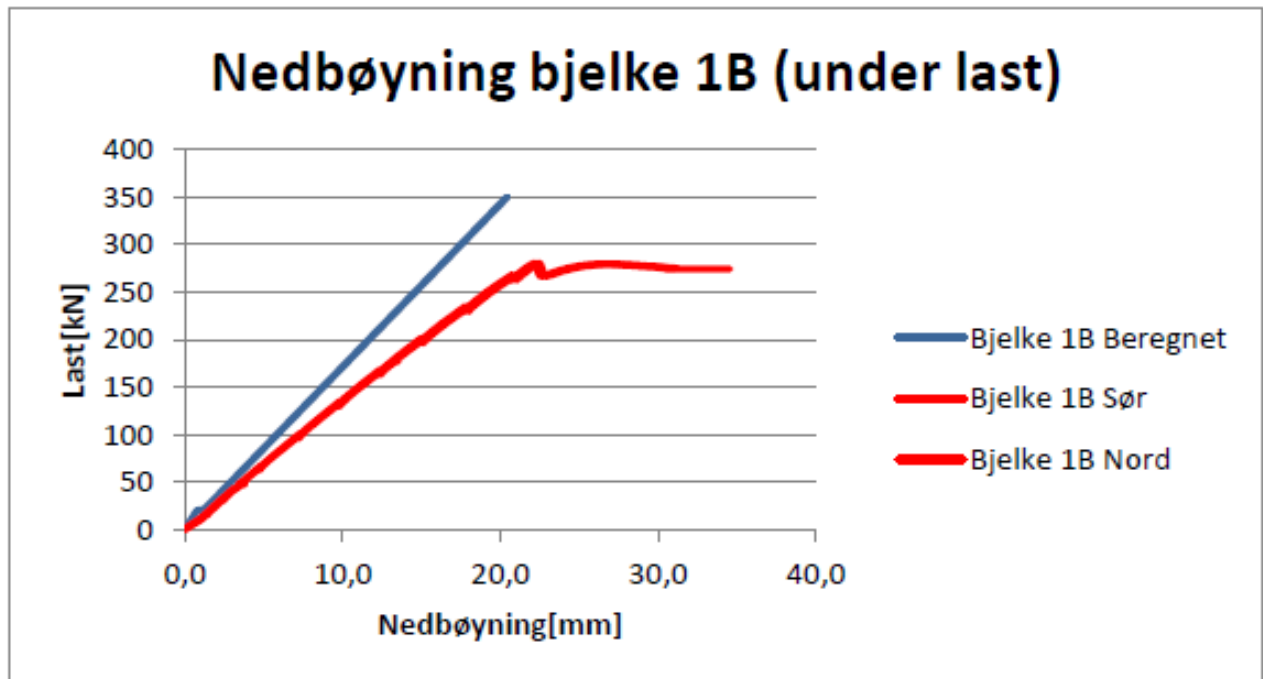
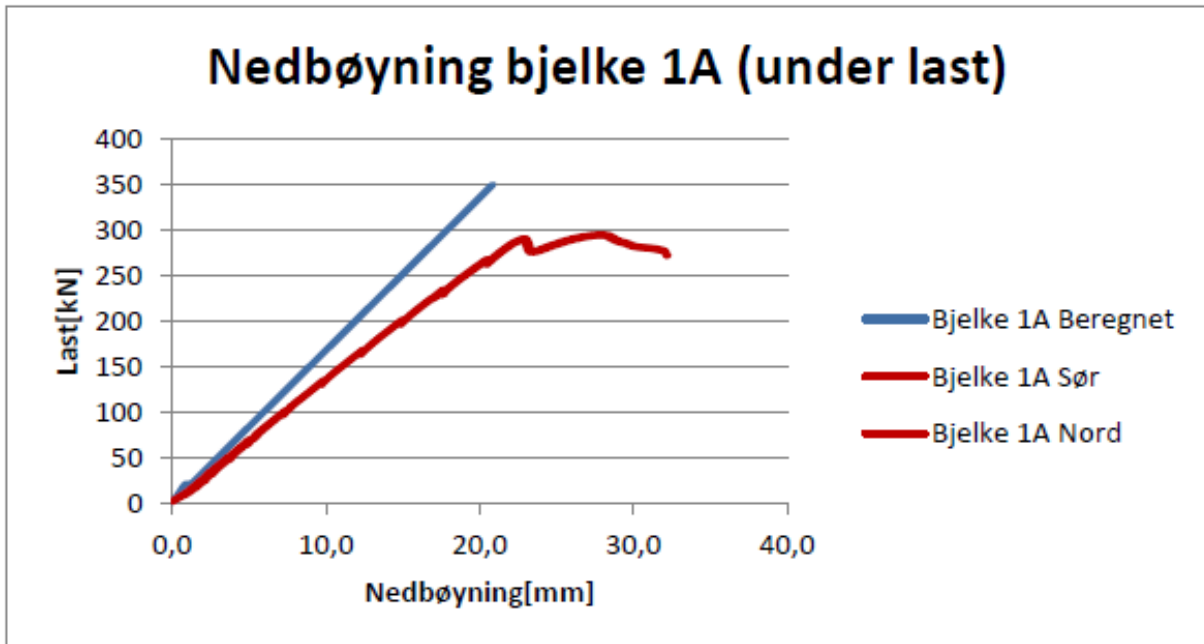


VEDLEGG 20: BØYESTREKKTEST SMÅ, BJELKER – 4/4

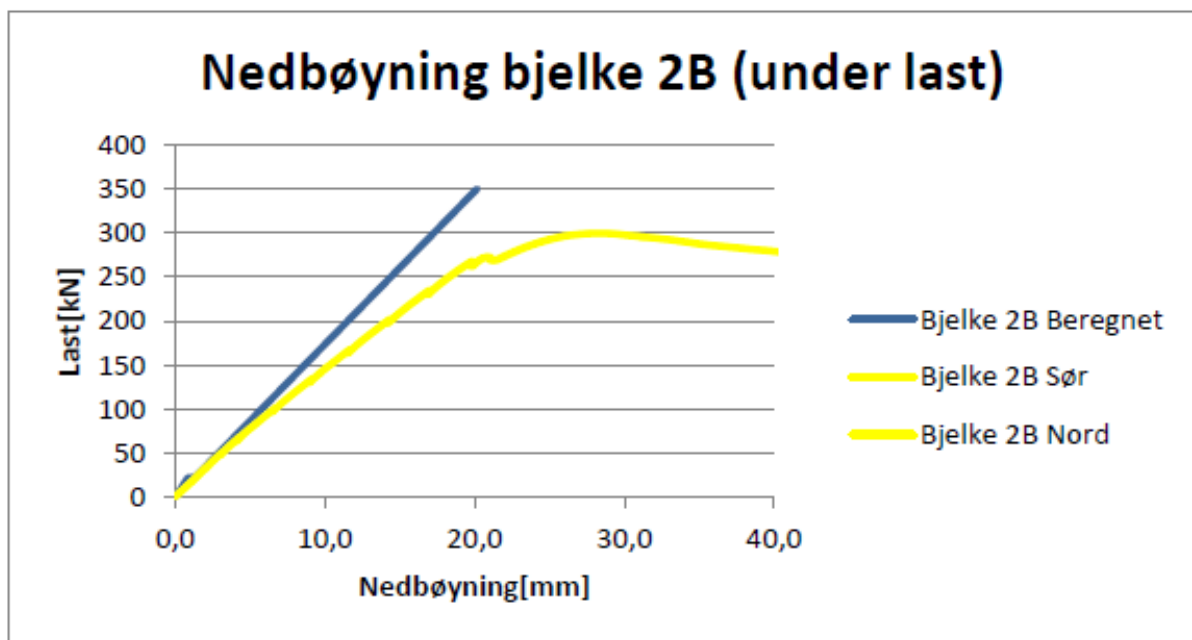
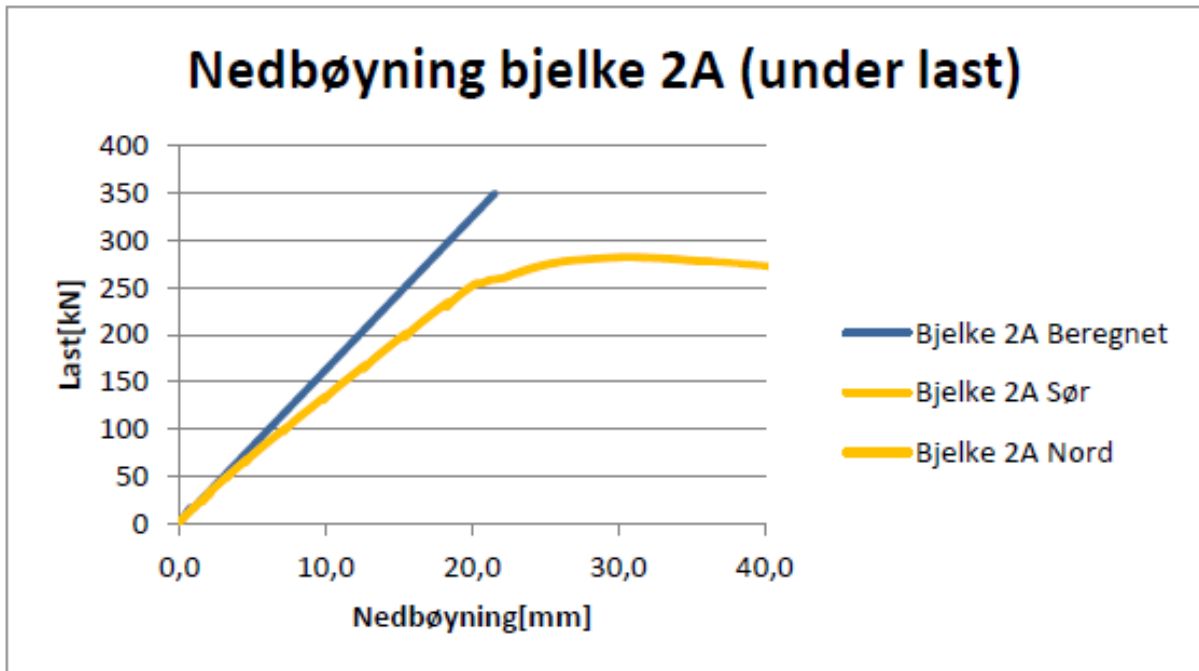
Summarized								
	Beam 1	Beam 2	Beam 3	Beam 4	Beam 5	Beam 6	Mean value	CoV
Average Width, b	149	150,5	151,5	151,5	151,5	151,5	150,3 mm	0,8%
Average high, h	125,5	123,5	124,5	125	123,5	124,5	124,5 mm	0,8%
Length, L	500	500	500	500	500	500	500,0 mm	0,0%
F_L	10,1	13,7	14,8	12,3	14,9	11,6	12,9 kN	19,2%
$f'_{d,L}$	3,2	4,5	4,7	3,9	4,8	3,7	4,1 N/mm ²	19,5%
$f_{R,1}$	4,0	6,2	8,8	6,4	9,0	5,9	6,4 N/mm ²	37,7%
$f_{R,2}$	4,1	6,3	8,8	6,5	8,1	6,5	6,4 N/mm ²	37,3%
$f_{R,3}$	3,9	5,8	8,8	6,3	7,2	6,2	6,2 N/mm ²	39,6%
$f_{R,4}$	3,8	5,5	8,4	6,0	6,9	5,7	5,9 N/mm ²	40,0%



VEDLEGG 21: SAMMENLIGNING NEDBØYNING UNDER LAST- 1/2

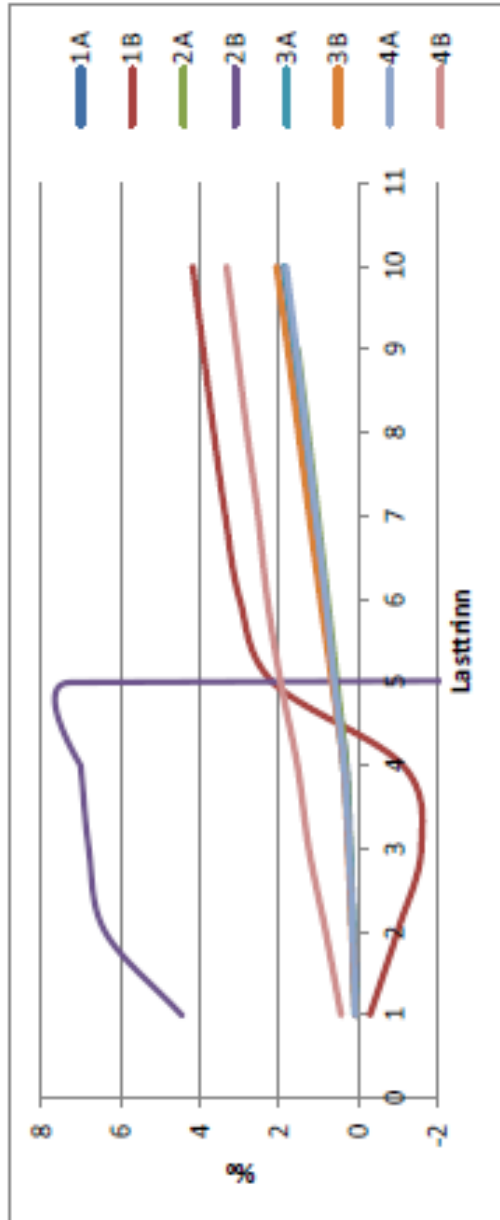


VEDLEGG 21: SAMMENLIGNING NEDBØYNING UNDER LAST – 2/2



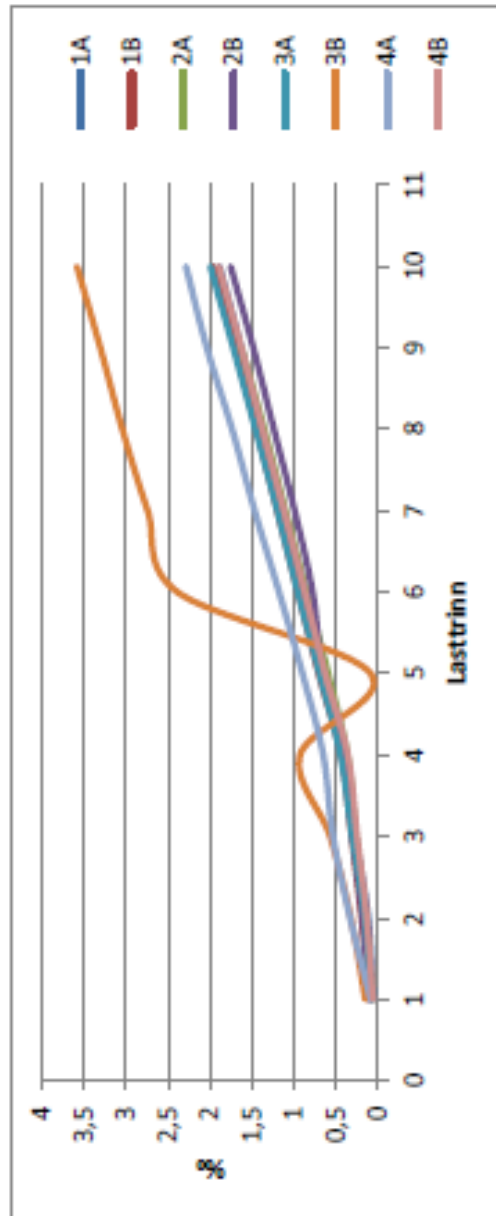
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED STREKKLAPP 1- 1/10

SL1 [%]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	0,05805714	-0,29074287	0,06308571	4,45851449	0,08457143	0,07291429	0,07085715	0,44137145
Lasttrinn 2	0,12182858	-0,9851429	0,13942857	6,39337172	0,1488	0,16114287	0,14125715	0,82788575
Lasttrinn 3	0,20937144	-1,58994293	0,21805715	6,80754316	0,23405715	0,25988573	0,2329143	1,25440006
Lasttrinn 4	0,30422858	-1,12342862	0,31657144	7,01188603	0,37782859	0,37394288	0,3577143	1,54102864
Lasttrinn 5	0,59977145	2,15725724	0,53920002	7,2482289	0,63017145	0,66217146	0,60137146	1,9638858
Lasttrinn 6	0,85577147	2,99908585	0,78080003	-999,929829	0,88457147	0,95840005	0,82148575	2,30057153
Lasttrinn 7	1,11497148	3,36114301	1,02491433	-999,929829	1,12205719	1,23840006	1,06925719	2,53074297
Lasttrinn 8	1,37142863	3,65302874	1,27428577	-999,929829	1,36754292	1,5117715	1,3140572	2,81165727
Lasttrinn 9	1,6349715	3,92137161	1,53508578	-999,929829	1,61782864	1,78102866	1,5629715	3,06742871
Lasttrinn 10	1,9062858	4,18354305		-999,929829	1,87725723	2,06605724	1,82697151	3,32640015
Brudd	2,13325724	4,33005734	1,6509715	-999,929829	2,01782866	2,32502868	2,04205724	3,51977159



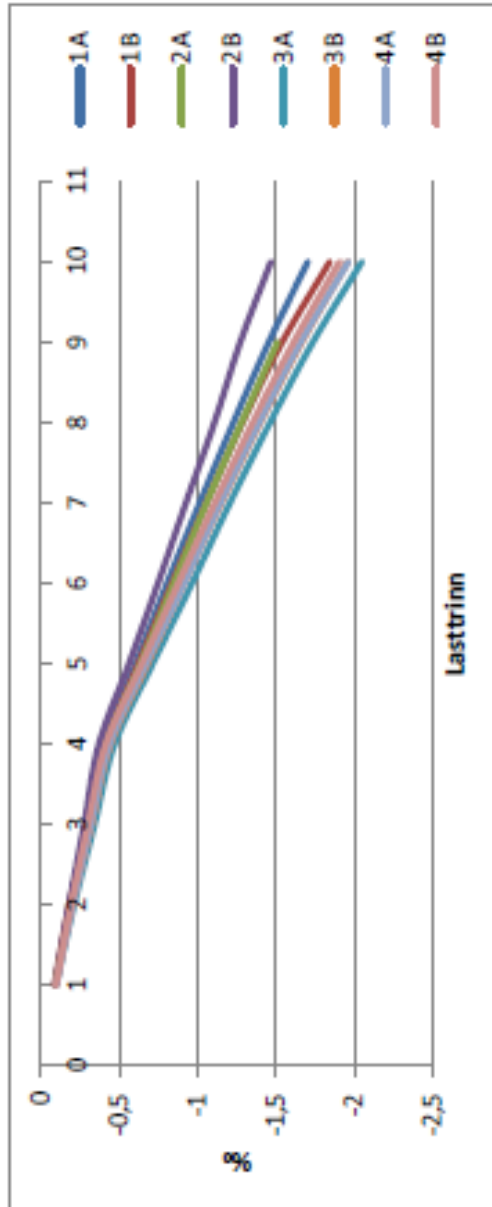
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED STREKKLAPP 2 – 2/10

SL2 [%]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	0,05645715	0,08982857	0,06902857	0,10308572	0,07931428	0,14811429	0,08388572	0,06057143
Lasttrinn 2	0,11565715	0,19268572	0,15154286	0,17988573	0,15268572	0,31908573	0,33005716	0,1328
Lasttrinn 3	0,26742858	0,31017144	0,26285715	0,2969143	0,3049143	0,56685717	0,5330286	0,24708572
Lasttrinn 4	0,4025143	0,43588573	0,36480002	0,41531431	0,44548573	0,9259429	0,64960003	0,3593143
Lasttrinn 5	0,65097146	0,70194288	0,5922286	0,65645718	0,69371431	0,08342857	0,89645718	0,62788574
Lasttrinn 6	0,90788576	0,94880004	0,84777147	0,77691432	0,95382861	2,38217154	1,17531434	0,86994289
Lasttrinn 7	1,14994291	1,19382862	1,09965719	0,99085719	1,19634291	2,74034298	1,46582864	1,11771433
Lasttrinn 8	1,38514292	1,43908578	1,35131435	1,23817149	1,45691435	3,04114299	1,73325722	1,37371434
Lasttrinn 9	1,62674293	1,6893715	1,62354293	1,48388578	1,72114293	3,30354301	2,03428581	1,62468578
Lasttrinn 10	1,88640009	1,95222866		1,7542858	1,99474294	3,58262873	2,28320011	1,89531437
Brudd	2,09577152	2,0886858	1,75611436	1,86560009	2,15725724	3,82148589	2,52365726	2,06651438



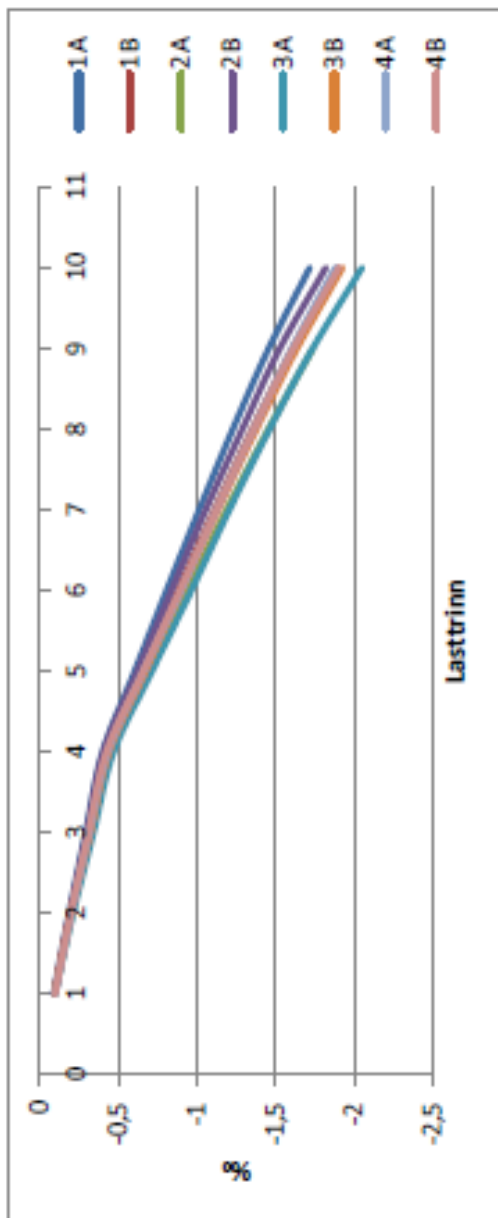
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED STREKKLAPP 3 – 3/10

SL3 [%]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	-0,08731429	-0,08571429	-0,09188572	-0,09325715	-0,09394287	-0,09440001	-0,09874286	-0,09600001
Lasttrinn 2	-0,18651429	-0,18102858	-0,19405715	-0,17965715	-0,21120001	-0,19885716	-0,20320001	-0,19337144
Lasttrinn 3	-0,29028573	-0,30217145	-0,30560001	-0,27542859	-0,34171431	-0,32160002	-0,3177143	-0,30102859
Lasttrinn 4	-0,39885716	-0,41348574	-0,41782859	-0,36982859	-0,47017145	-0,44274288	-0,43680002	-0,41508574
Lasttrinn 5	-0,6034286	-0,62331432	-0,63680003	-0,56160003	-0,71245718	-0,67817146	-0,66880003	-0,64457146
Lasttrinn 6	-0,80548575	-0,83725719	-0,84777147	-0,74674289	-0,96342862	-0,91131433	-0,91222861	-0,87657147
Lasttrinn 7	-1,01371433	-1,0564572	-1,05691433	-0,92502862	-1,20548577	-1,15017149	-1,14422862	-1,10948577
Lasttrinn 8	-1,22880005	-1,28617149	-1,27817149	-1,10697148	-1,46171436	-1,39885721	-1,39108578	-1,35131435
Lasttrinn 9	-1,45508578	-1,5389715	-1,50765721	-1,27222863	-1,7350858	-1,66377151	-1,65645722	-1,61302865
Lasttrinn 10	-1,70354293	-1,84251437	-1,46765721	-1,46765721	-2,04754295	-1,95702866	-1,96137152	-1,90537152
Brudd	-1,95565723	-2,18994296	-1,67360007	-1,68685722	-2,30057154	-2,26217154	-2,35245725	-2,26285725



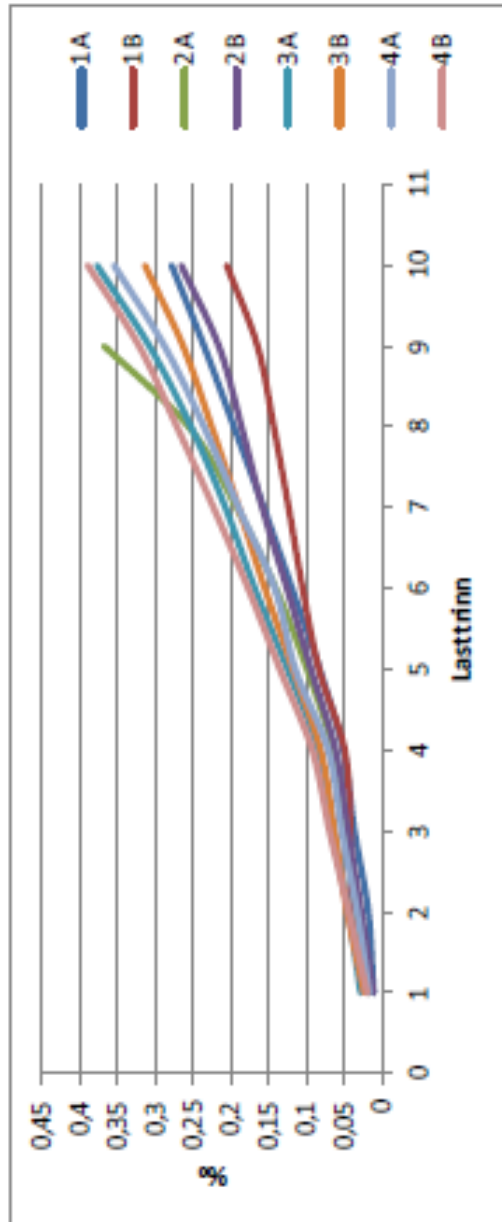
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED STREKKLAPP 4 – 4/10

SLA [%]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	-0,08777143	-0,09142857	-0,09645715	-0,09782858	-0,09645715	-0,0944	-0,09874286	-0,09828571
Lasttrinn 2	-0,1872	-0,19337143	-0,20617144	-0,19222858	-0,21234287	-0,19954286	-0,20228573	-0,19862858
Lasttrinn 3	-0,29257144	-0,31954287	-0,32777144	-0,29897145	-0,34171431	-0,32205715	-0,31360002	-0,30948572
Lasttrinn 4	-0,4009143	-0,43702859	-0,45074288	-0,40594288	-0,47040003	-0,44137144	-0,43177145	-0,42514287
Lasttrinn 5	-0,60457145	-0,65508574	-0,69257146	-0,62285717	-0,71382861	-0,67268574	-0,65897146	-0,65737145
Lasttrinn 6	-0,80754289	-0,88000004	-0,93760004	-0,83840004	-0,96457148	-0,90194289	-0,89851433	-0,89234289
Lasttrinn 7	-1,01440004	-1,11200005	-1,18857148	-1,05645719	-1,20640006	-1,13531433	-1,12297148	-1,1243429
Lasttrinn 8	-1,22811434	-1,35200006	-1,4541715	-1,28914292	-1,46262864	-1,37851434	-1,35931435	-1,36182863
Lasttrinn 9	-1,45622863	-1,60845721	-1,73737151	-1,52754293	-1,7366858	-1,63611436	-1,60365722	-1,61371435
Lasttrinn 10	-1,71725722	-1,89325722		-1,81965723	-2,05005724	-1,92525723	-1,87862866	-1,9030858
Brudd	-2,04182866	-2,11360009	-1,9494858	-2,1408001	-2,36297154	-2,29531439	-2,37554297	-2,18171438



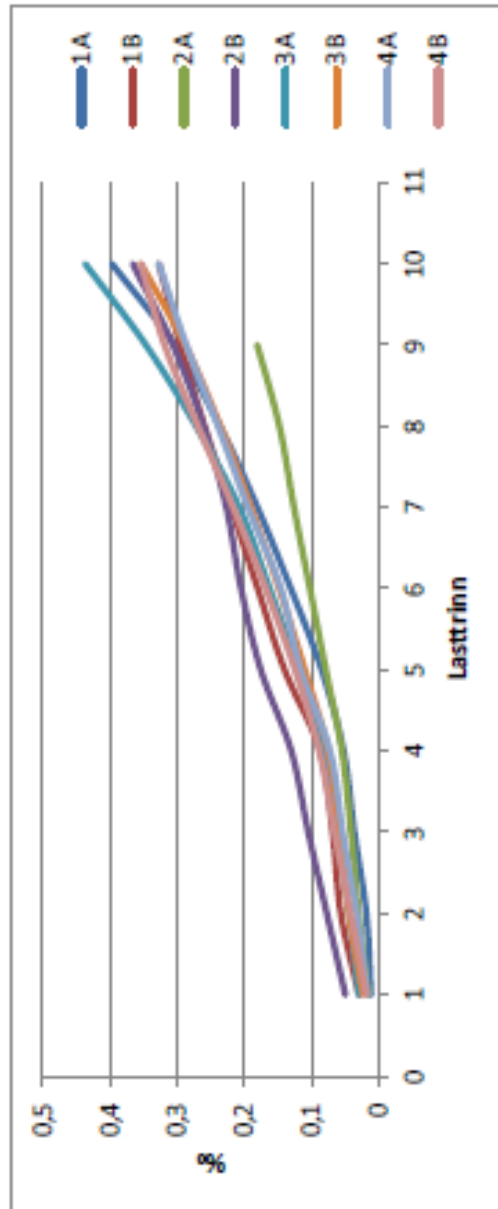
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED STREKKLAPP 5 – 5/10

SLS [% ₀]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	0,01074286	0,02080001	0,01645714	0,01097143	0,02788571	0,02308572	0,01645714	0,0192
Lasttrinn 2	0,01782858	0,03931429	0,03177143	0,02674286	0,04411428	0,04594286	0,03245714	0,04365715
Lasttrinn 3	0,03611429	0,04182858	0,0464	0,04457143	0,06331428	0,06262858	0,0528	0,06902858
Lasttrinn 4	0,05120001	0,04914286	0,064	0,06102858	0,08411429	0,08068572	0,07085715	0,09188572
Lasttrinn 5	0,08228572	0,08320001	0,09874286	0,09348572	0,12457143	0,11725715	0,11428572	0,13462858
Lasttrinn 6	0,11885715	0,10491429	0,14011429	0,12525715	0,168	0,15474287	0,14148572	0,17668573
Lasttrinn 7	0,15634287	0,12342858	0,19222858	0,15794287	0,20685715	0,18925716	0,18948572	0,22262859
Lasttrinn 8	0,19565716	0,14308573	0,25554287	0,18560001	0,25234286	0,22514287	0,23542858	0,27108573
Lasttrinn 9	0,23542859	0,16480001	0,36777145	0,21577144	0,30765715	0,26308573	0,28800001	0,32137145
Lasttrinn 10	0,27840002	0,20548573		0,26560001	0,37714287	0,31360002	0,35474287	0,38948574
Brudd	0,24548573	0,3257143	0,51040002	0,30148573	0,43840002	0,39817145	0,64480003	0,37851431



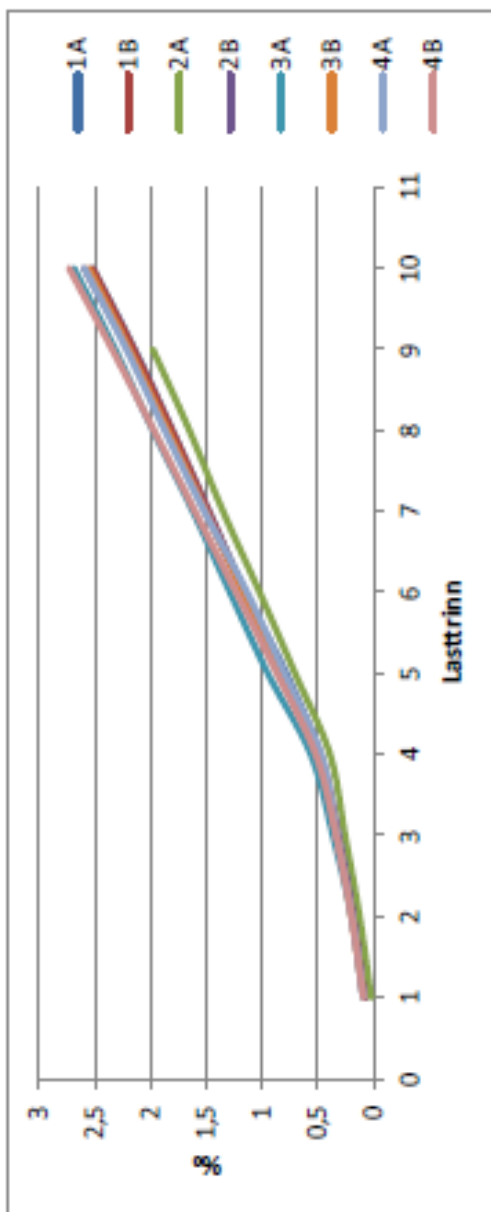
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED STREKKLAPP 6 – 6/10

SL6 [%]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	0,01097143	0,02902858	0,01531429	0,04914286	0,02902857	0,02217143	0,01622857	0,01782858
Lasttrinn 2	0,01805714	0,05600001	0,02925714	0,0768	0,04342857	0,04365714	0,03222857	0,04091429
Lasttrinn 3	0,03588572	0,06834286	0,04068572	0,10445714	0,0608	0,05828571	0,05302858	0,06560001
Lasttrinn 4	0,05188572	0,08662858	0,05417143	0,12982857	0,08022857	0,07451428	0,07177143	0,08800001
Lasttrinn 5	0,08457143	0,13988572	0,07817143	0,17531429	0,11908572	0,10948572	0,11588572	0,1241143
Lasttrinn 6	0,13051429	0,17988573	0,10194286	0,20480001	0,16205715	0,14765715	0,14514287	0,16777144
Lasttrinn 7	0,18034287	0,21942859	0,12571429	0,22674286	0,20731429	0,18994286	0,19428572	0,21622859
Lasttrinn 8	0,2361143	0,25942859	0,14742858	0,26080001	0,27177144	0,23565715	0,23885716	0,26880002
Lasttrinn 9	0,30400001	0,29554287	0,18057144	0,3065143	0,34674287	0,28800001	0,28640001	0,31862859
Lasttrinn 10	0,39725716	0,32754288		0,36640001	0,43725716	0,35428573	0,3273143	0,35382859
Brudd	0,49417145	0,4802286	0,16937144	0,56525717	0,50308573	0,45348573	0,53417145	0,65760003



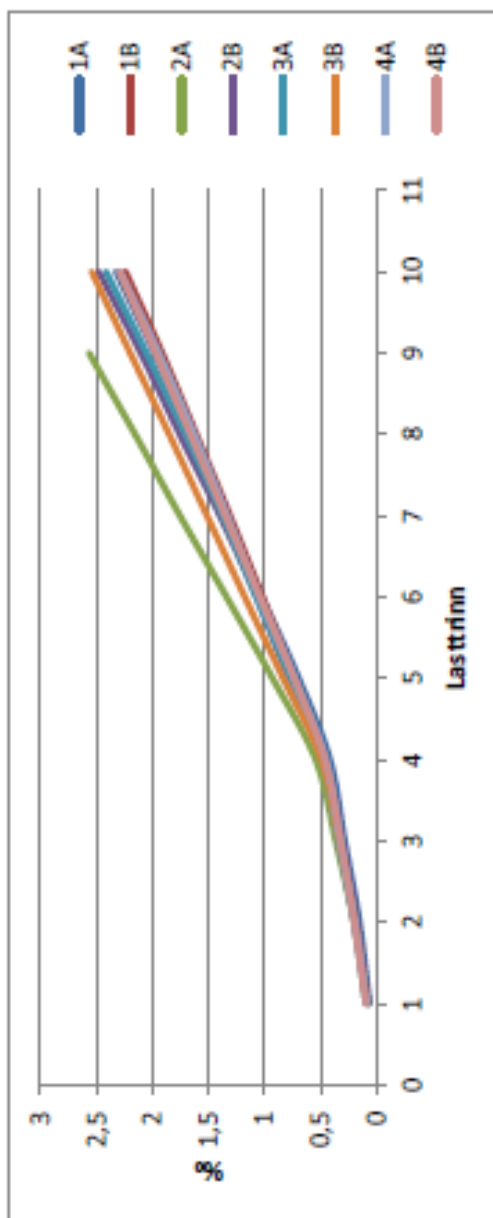
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED INDUKTIV GIVER 1 – 7/10

IG1 [%]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	0,06251902	0,06251902	0,02083299	0,083335201	0,09377853	0,08856527	0,08856527	0,08856527
Lasttrinn 2	0,16672407	0,17193733	0,12503804	0,18234379	0,19798357	0,19798357	0,19277031	0,19277031
Lasttrinn 3	0,32302161	0,32823487	0,25528933	0,31259509	0,36470764	0,32823487	0,32823487	0,33344813
Lasttrinn 4	0,48453242	0,49495894	0,39075389	0,47412595	0,56269121	0,48453242	0,46891269	0,51579192
Lasttrinn 5	0,78150778	0,82319381	0,70334898	0,80755403	0,94823184	0,82840707	0,79714756	0,86487983
Lasttrinn 6	1,15142868	1,15664194	1,02117738	1,1618552	1,28689323	1,17226166	1,13059569	1,22958747
Lasttrinn 7	1,47445029	1,47966355	1,34941225	1,50049653	1,62034136	1,50570979	1,51613631	1,59948832
Lasttrinn 8	1,80268516	1,80789842	1,65160087	1,85999091	1,97983574	1,84437118	1,87041743	1,96940922
Lasttrinn 9	2,14134655	2,15177307	1,97983574	2,20386556	2,31847708	2,18822578	2,21429208	2,34454338
Lasttrinn 10	2,51646065	2,52167391		2,59461945	2,68839798	2,55293342	2,58940619	2,73008401
Brudd	2,92285432	2,73529727	2,17260605	2,83950231	2,89680807	2,89680807	2,94368731	3,05831888



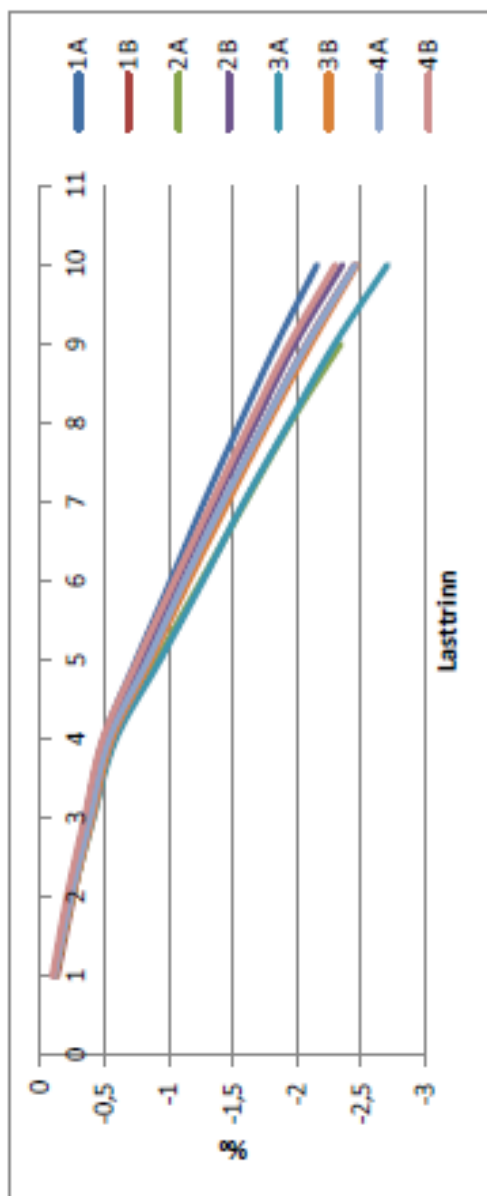
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED INDUKTIV GIVER 2– 8/10

IG2 [% ₀₀]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	0,06331655	0,07913565	0,07385593	0,07385593	0,09497483	0,0896951	0,0896951	0,09497483
Lasttrinn 2	0,15301165	0,19522938	0,20048903	0,17411048	0,2005091	0,18994965	0,19522938	0,2005091
Lasttrinn 3	0,28492448	0,3429613	0,36406013	0,3060233	0,33768158	0,33240185	0,32186248	0,31658275
Lasttrinn 4	0,4168373	0,49597295	0,5434704	0,45903495	0,48015385	0,49069323	0,4537753	0,45903495
Lasttrinn 5	0,69648205	0,74395943	0,92862935	0,78089743	0,76507833	0,8336746	0,73342005	0,73342005
Lasttrinn 6	1,02362425	1,01834453	1,34018693	1,07110163	1,07110163	1,1766359	1,04472308	1,03944335
Lasttrinn 7	1,34548673	1,30852865	1,75702423	1,39824383	1,37186528	1,51431748	1,33492728	1,35074638
Lasttrinn 8	1,66206948	1,6092923	2,15802235	1,75702423	1,70426713	1,85199905	1,63039113	1,6620494
Lasttrinn 9	1,98391188	1,9153156	2,56957993	2,10526525	2,05250815	2,20024008	1,94697388	1,97335243
Lasttrinn 10	2,32687318	2,2424578		2,47988483	2,41656828	2,54320138	2,28993518	2,2952149
Brudd	2,58013938	2,44294683	2,8386853	2,62763683	2,68039393	2,8756233	2,60651793	2,52738228



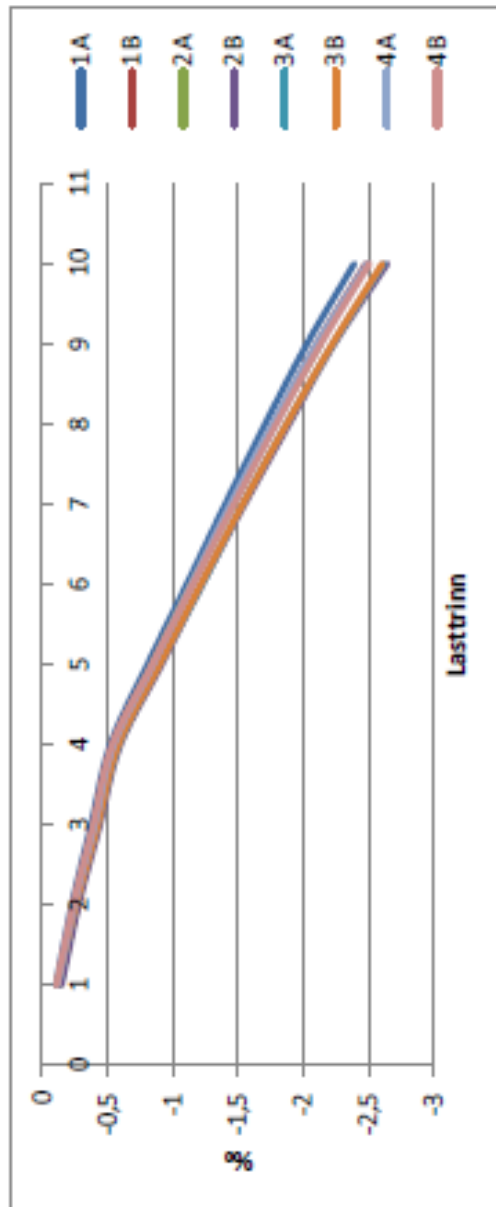
VEDLEGG 22: TØYNINGER VED INDUKTIV GIVER 3 – 9/10

IG3 [%]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	-0,11295016	-0,13077815	-0,11290268	-0,10696793	-0,10699167	-0,11295016	-0,10699167	-0,09512217
Lasttrinn 2	-0,22590032	-0,25562155	-0,24959185	-0,21987062	-0,24372831	-0,24966306	-0,23779356	-0,2080486
Lasttrinn 3	-0,35667848	-0,38044121	-0,41004375	-0,35655978	-0,41018618	-0,40422769	-0,38863997	-0,34478524
Lasttrinn 4	-0,49341512	-0,51717785	-0,5764304	-0,49918369	-0,58851355	-0,55879232	-0,53500584	-0,48745663
Lasttrinn 5	-0,74901293	-0,82034862	-0,90922744	-0,79036627	-0,93329879	-0,86196309	-0,83817661	-0,76090617
Lasttrinn 6	-1,01652772	-1,12351939	-1,25391772	-1,06967934	-1,26619078	-1,15919911	-1,12351939	-1,04624895
Lasttrinn 7	-1,27808402	-1,43264865	-1,59858426	-1,3668204	-1,58718954	-1,46236988	-1,42669016	-1,33752648
Lasttrinn 8	-1,55749205	-1,74768892	-1,94920929	-1,67583097	-1,93793327	-1,77743389	-1,74768892	-1,6347625
Lasttrinn 9	-1,84281109	-2,07464617	-2,34142505	-1,98484153	-2,294588	-2,11032588	-2,08060466	-1,94386802
Lasttrinn 10	-2,1578751	-2,44915263		-2,35329455	-2,70477418	-2,46698062	-2,45511112	-2,30054649
Brudd	-2,43132464	-2,72856066	-2,59695164	-2,58505841	-3,10900187	-2,84744557	-2,89499479	-2,63343849



VEDLEGG 22: TØYNINGER VED INDUKTIV GIVER 4 – 10/10

IG4 [% ₀]	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Lasttrinn 1	-0,10193093	-0,12740864	-0,1325082	-0,14270732	-0,11210997	-0,10703049	-0,11213005	-0,10703049
Lasttrinn 2	-0,22424001	-0,2650164	-0,25991684	-0,27521552	-0,25481728	-0,25481728	-0,23953869	-0,23443913
Lasttrinn 3	-0,37204689	-0,3975246	-0,3975246	-0,43830099	-0,42300231	-0,42300231	-0,3975246	-0,38732548
Lasttrinn 4	-0,51983368	-0,54021184	-0,5453114	-0,5962869	-0,58608778	-0,58098823	-0,5453114	-0,53513236
Lasttrinn 5	-0,80524832	-0,84600463	-0,84090507	-0,91225873	-0,89698013	-0,89698013	-0,84600463	-0,84092515
Lasttrinn 6	-1,10594155	-1,15179741	-1,1415983	-1,22315107	-1,22315107	-1,21295196	-1,1415983	-1,15179741
Lasttrinn 7	-1,40153522	-1,4575902	-1,46268976	-1,54932201	-1,53402334	-1,53404342	-1,44229153	-1,46778932
Lasttrinn 8	-1,70730793	-1,77356203	-1,77866158	-1,89079163	-1,8703934	-1,8703934	-1,76338299	-1,79396026
Lasttrinn 9	-2,02839939	-2,10483253	-2,13031024	-2,23734073	-2,22714161	-2,22206213	-2,10483253	-2,1354098
Lasttrinn 10	-2,39024716	-2,48197897		-2,64506444	-2,61448717	-2,60428806	-2,49217809	-2,50745668
Brudd	-2,88460313	-2,76227397	-2,30869438	-3,07826587	-2,85910534	-3,00181266	-3,00691221	-2,94575767



VEDLEGG 23: RISSLAST, -AVST., -BREDDER OG -HØYDER – 1/1

	Risslast	Gj.snitt rissavst.
1A	67 kN	113,28
1B	62 kN	98,12903
2A	65 kN	100,25
2B	66 kN	67,6

	Rissvidder	
	Lasttrinn 6	Lasttrinn 8
1A	0,15 mm	0,25 mm
1B	0,1 mm	0,15 mm
2A	0,1 mm	0,15 mm
2B	mm	mm

Riss høyder [mm]			
1A	1B	2A	2B
145	64	145	100
243	150	160	150
54	213	160	180
226	198	150	130
211	168	120	165
216	193	195	95
218	204	170	175
204	193	150	175
174	195	150	165
175	210	165	150
145	210	160	1350
140	185	175	185
152	120	160	148
129	165	midten	145
140	180	200	145
145	155	180	155
125	155	190	midten
180	195	220	165
180	195	140	110
175	186	200	165
170	165	185	85
140	147	150	200
200	210	170	200
176	195	170	145
192	185		195
185	155		200
192	117		175
	168		195
	133		215
			225
			150

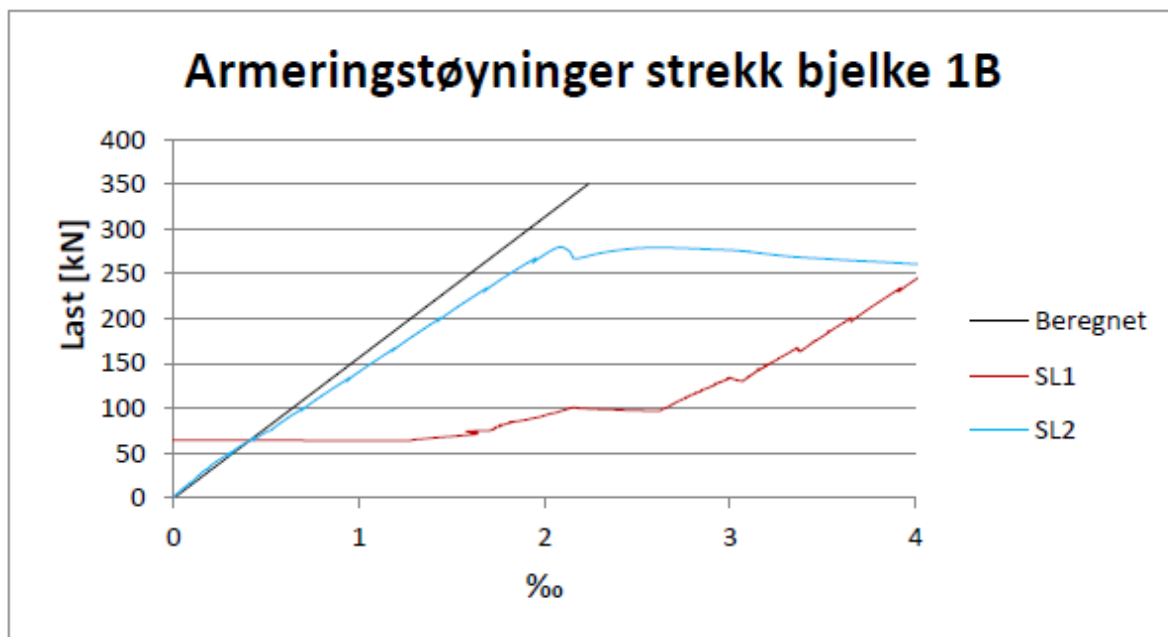
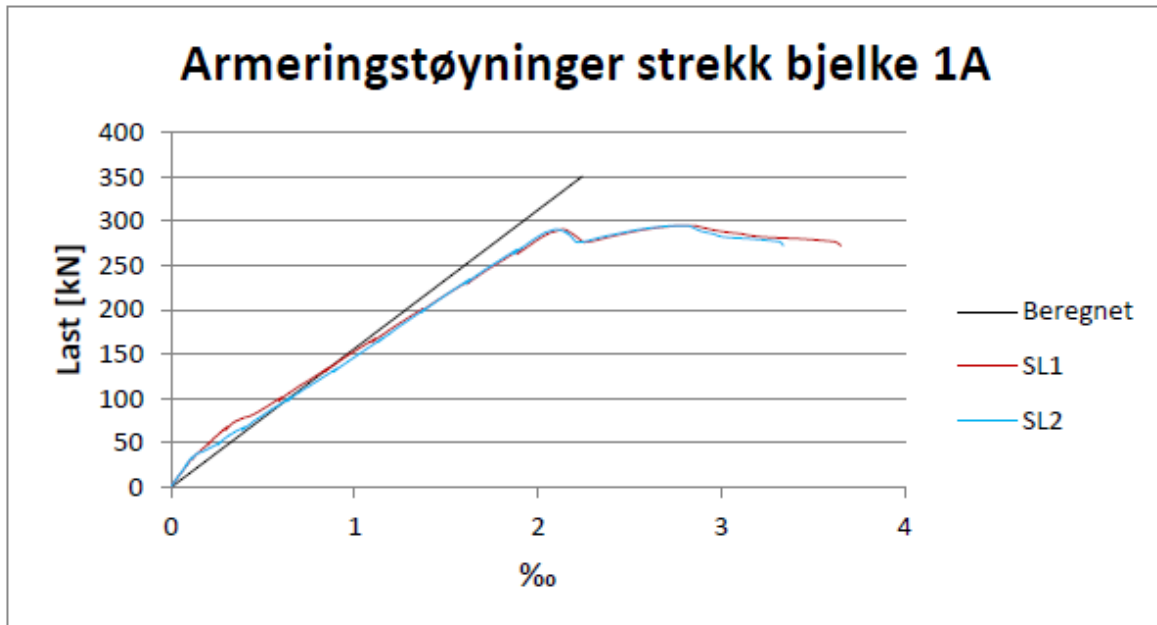
Rissavstander [mm]			
1A	1B	2A	2B
114	205	193	30
210	117	85	100
44	56	50	125
134	16	135	75
130	87	40	55
151	119	65	70
146	98	40	100
170	139	32	75
11	35	80	20
169	134	150	25
61	120	70	30
75	138	76	20
114	138	175	80
88	90	80	10
140	45	165	65
115	60	120	60
99	103	188	65
67	80	50	50
177	71	140	20
32	78	55	40
141	105	100	65
86	132	75	25
77	152	50	40
99	5	80	120
182	65	153	110
	148	105	135
	114	80	90
	134	175	33
	60		200
	119		95
	79		

VEDLEGG 24: MATERIALDATA BETONG – 1/1

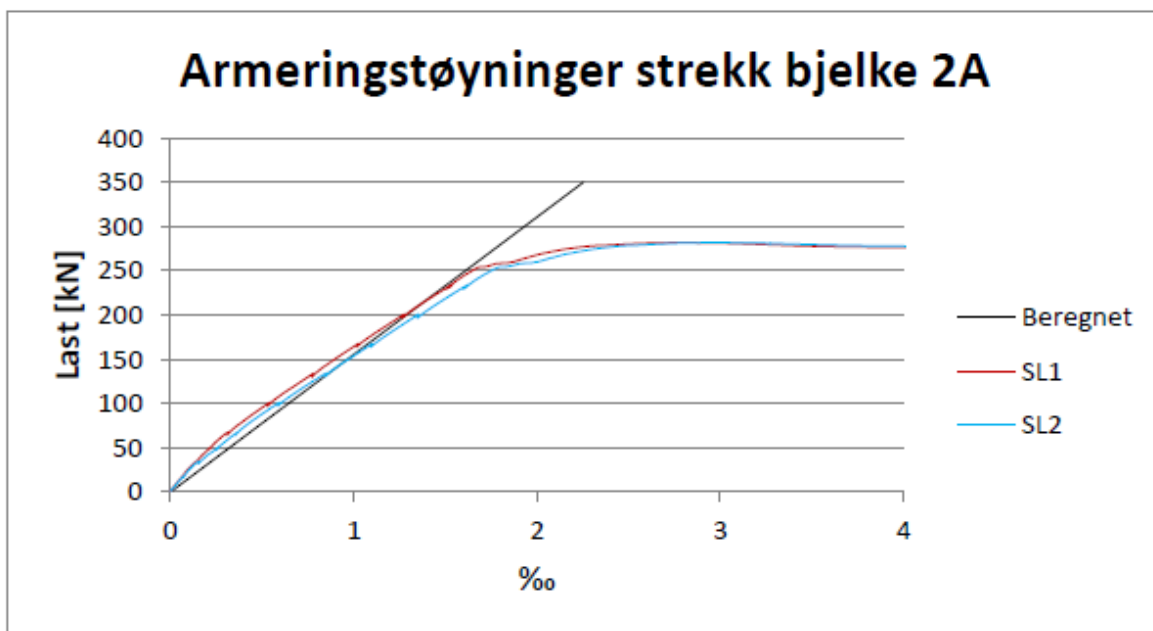
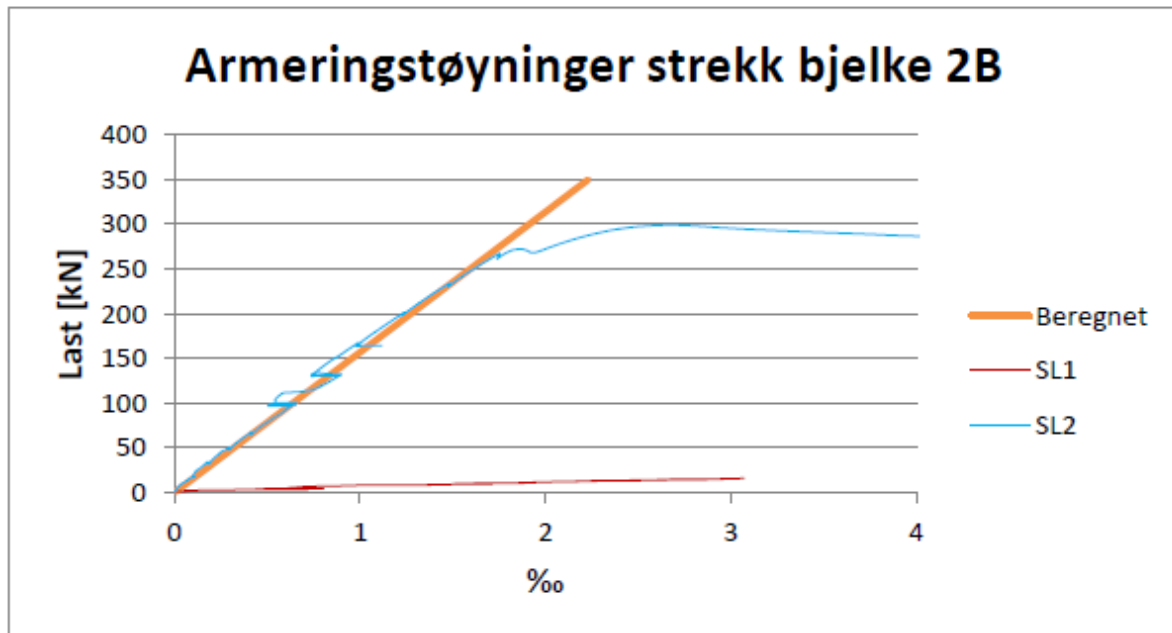
Specimen No	Test results, use of inductive gauges					Snitt		
	1A-7	1A-8	1A-9	2A-7	2A-8		2A-9	
f_c , MPa	30,5068195	30,3300862	30,180308	30,3390712	27,5273746	25,210084	27,1963331	26,6445972
ϵ_{c0} , ‰	2,03928315	2,04983235	2,09873403	2,06261651	2,04655556	1,93495238	2,04761829	2,00970874
E_{cn40} , GPa	15,8322222	16,5793379	15,9891903	16,1335835	14,8911609	14,5723029	14,7874799	14,7503146
E_{cn60} , GPa	15,9948684	16,2150499	15,71658	15,9754994	14,6274005	14,2391545	14,5214776	14,4626775
m	1,06920571	1,09587997	1,09292858	1,08600475	1,08749157	1,09289941	1,09332545	1,09123881
k_{En} , MPa0.7	5736,69277	5825,80839	5655,10856	5739,20324	5410,50389	5407,69158	5390,85565	5403,01704

Specimen No	Test results, use of surface gauges					Snitt		
	1A-7	1A-8	1A-9	2A-7	2A-8		2A-9	
f_c , MPa	30,5068195	30,3300862	30,180308	30,3390712	27,5273746	25,210084	27,1963331	26,6445972
ϵ_{c0} , ‰	1,81353564	1,80214655	1,74838203	1,78802141	1,80211067	1,80515649	1,89039855	1,83255524
E_{cn40} , GPa	18,0245816	18,8847022	19,1716181	18,693634	17,0912069	15,7862282	16,2727597	16,3833983
E_{cn60} , GPa	18,1220118	18,4662046	18,8507795	18,4796653	16,8063534	15,4535776	15,9353506	16,0650939
v_{40}	0,20916229	0,20983244	0,23568177	0,2182255	0,21499859	0,23619655	0,18684517	0,2126801
m	1,21139844	1,24802229	1,31088034	1,25676702	1,24948843	1,18611016	1,19977628	1,21179162
k_{En} , MPa0.7	6499,61046	6634,61231	6782,85002	6639,02426	6216,47304	5868,90055	5915,73237	6000,36865

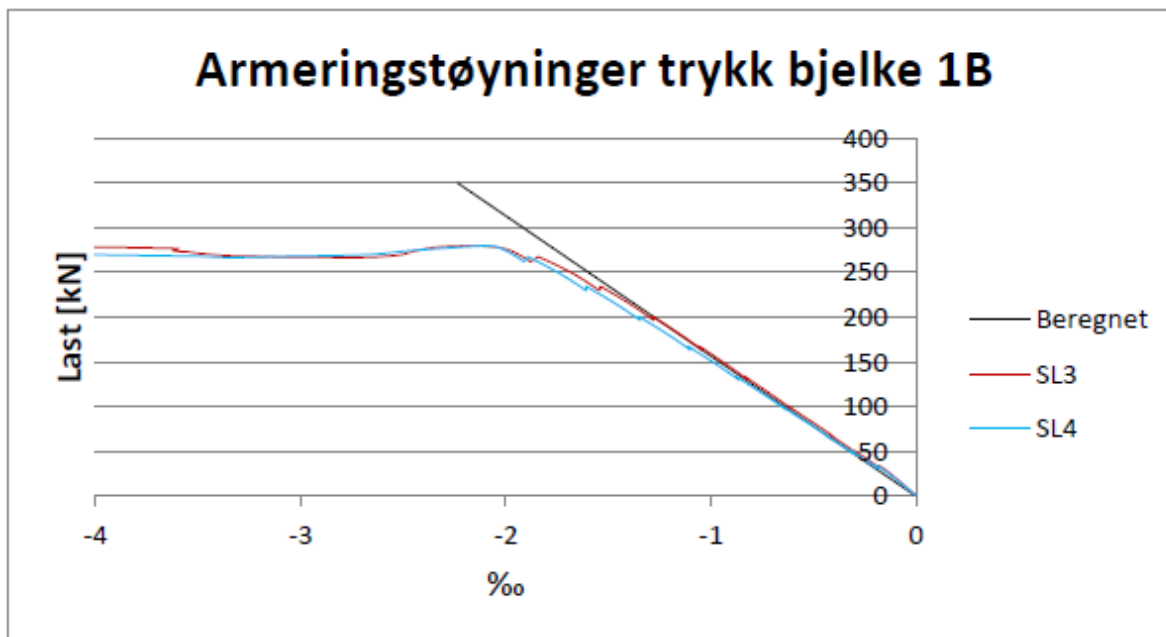
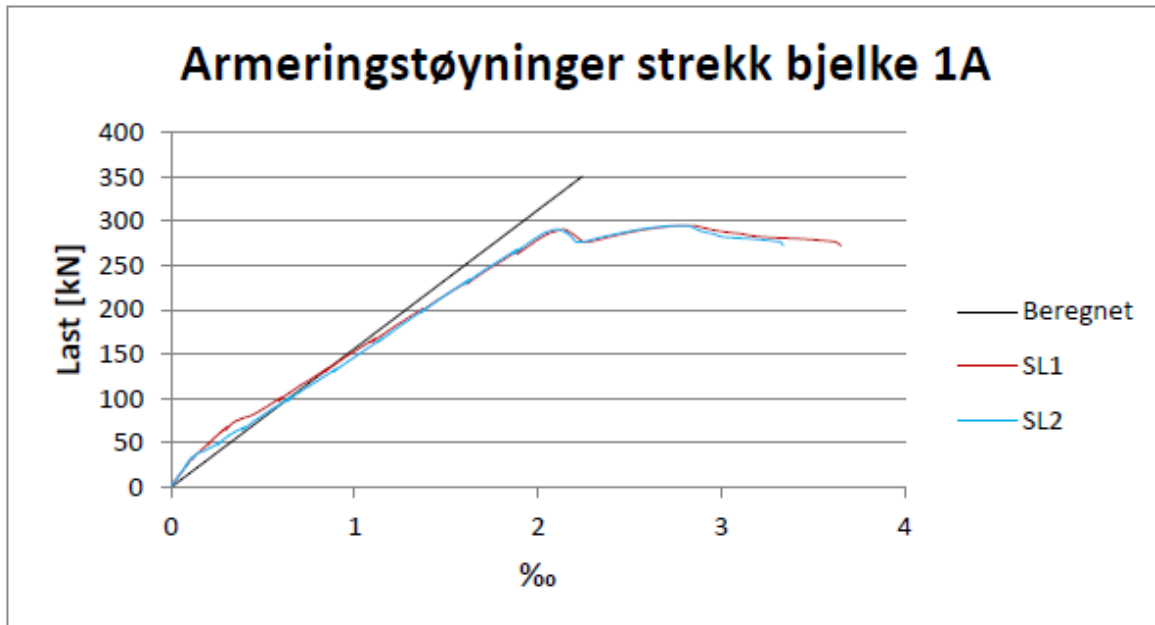
VEDLEGG 25: ARMERINGSTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 1/4



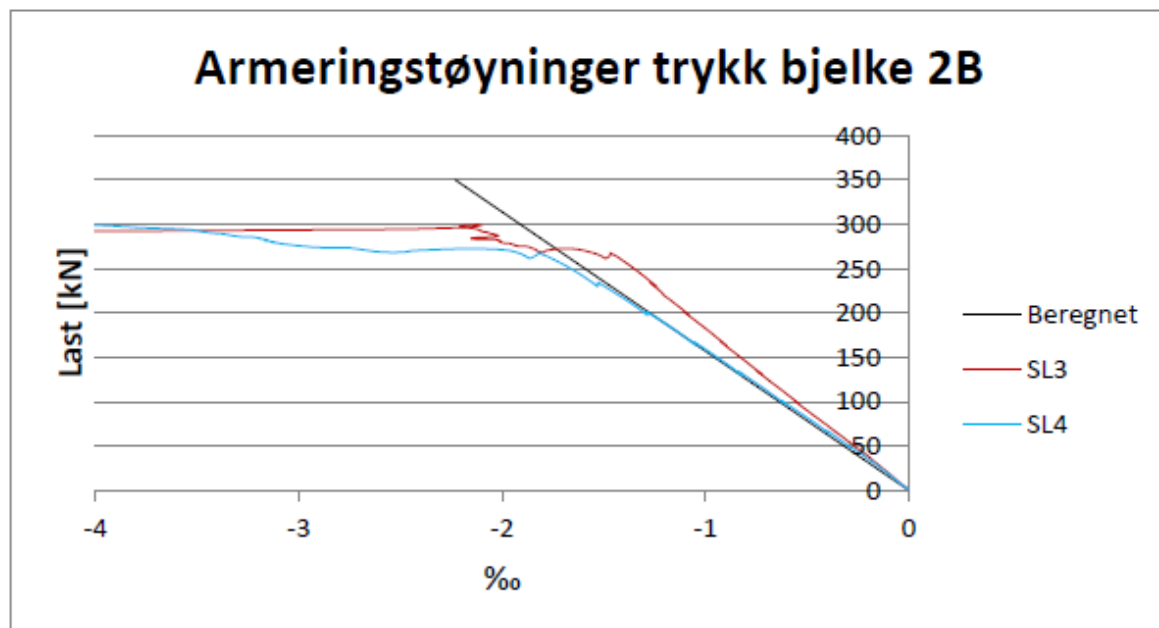
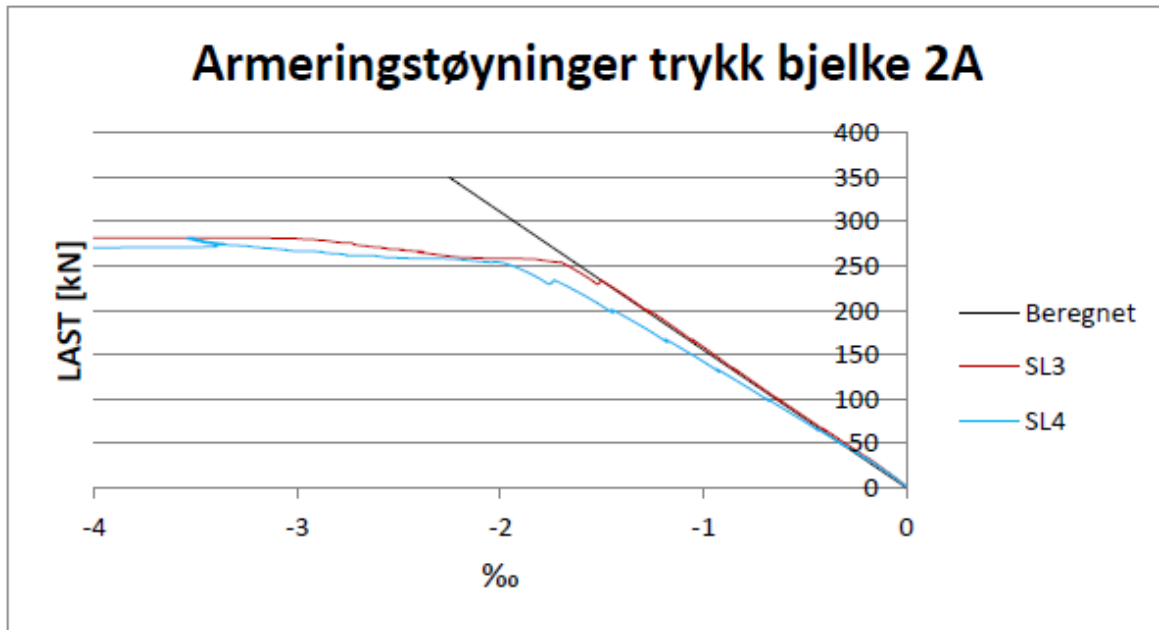
VEDLEGG 25: ARMERINGSTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 2/4



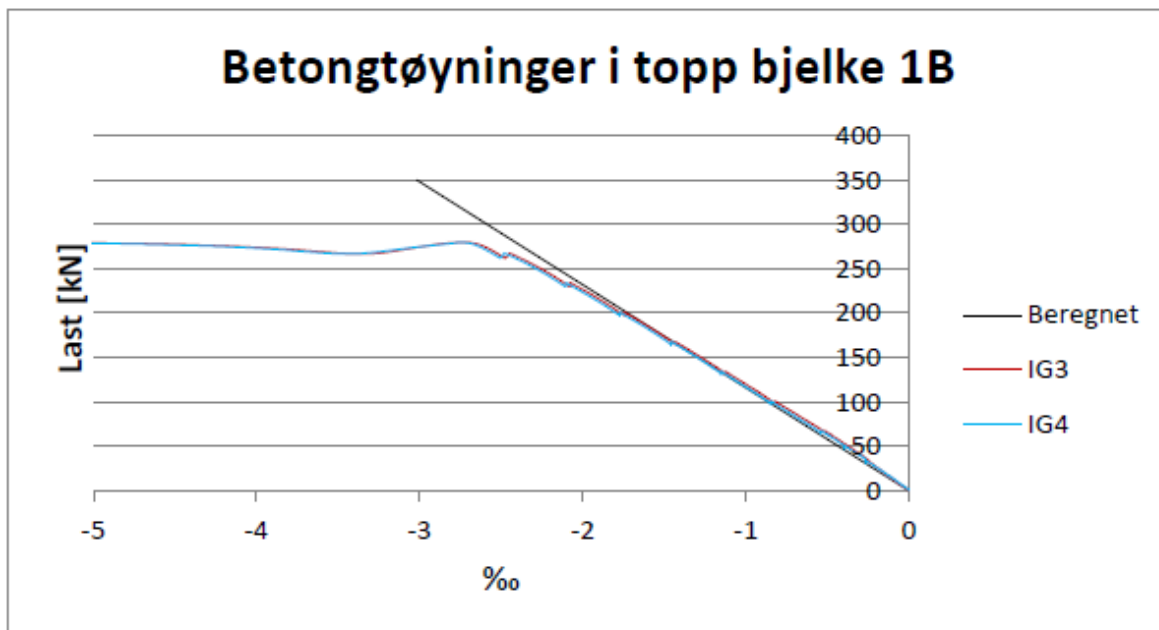
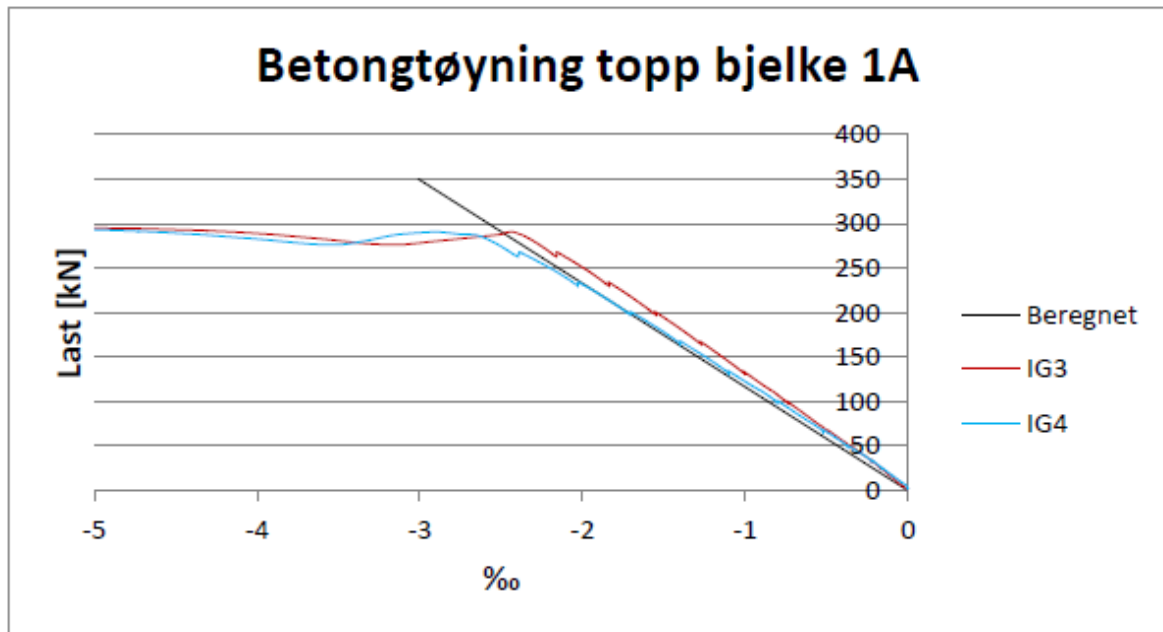
VEDLEGG 25: ARMERINGSTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 3/4



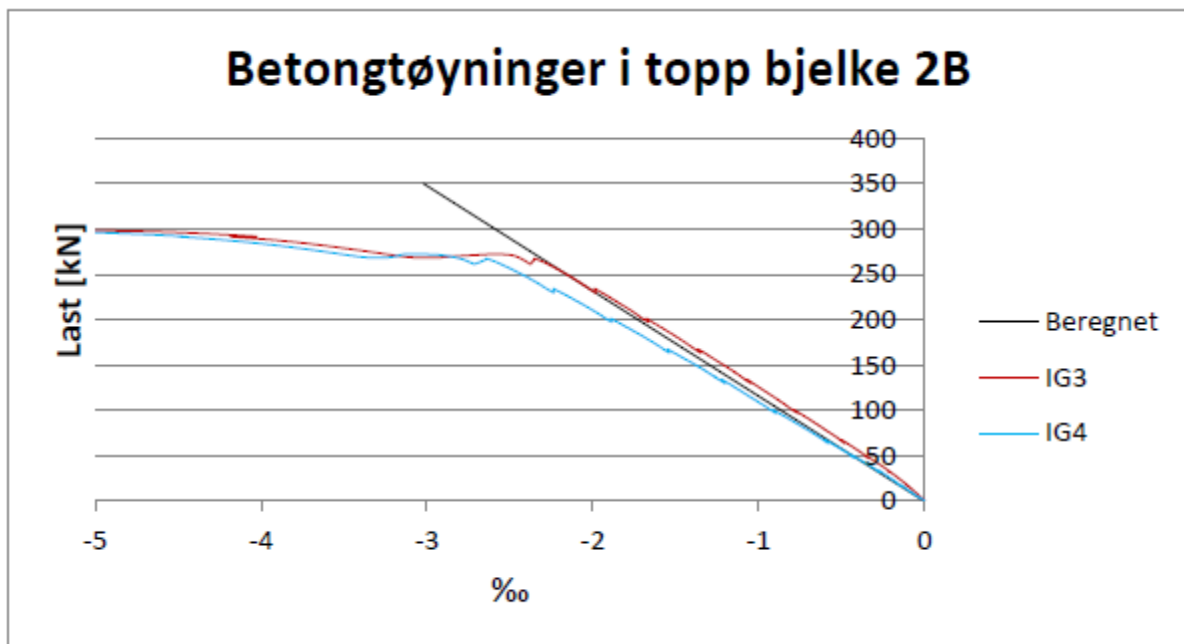
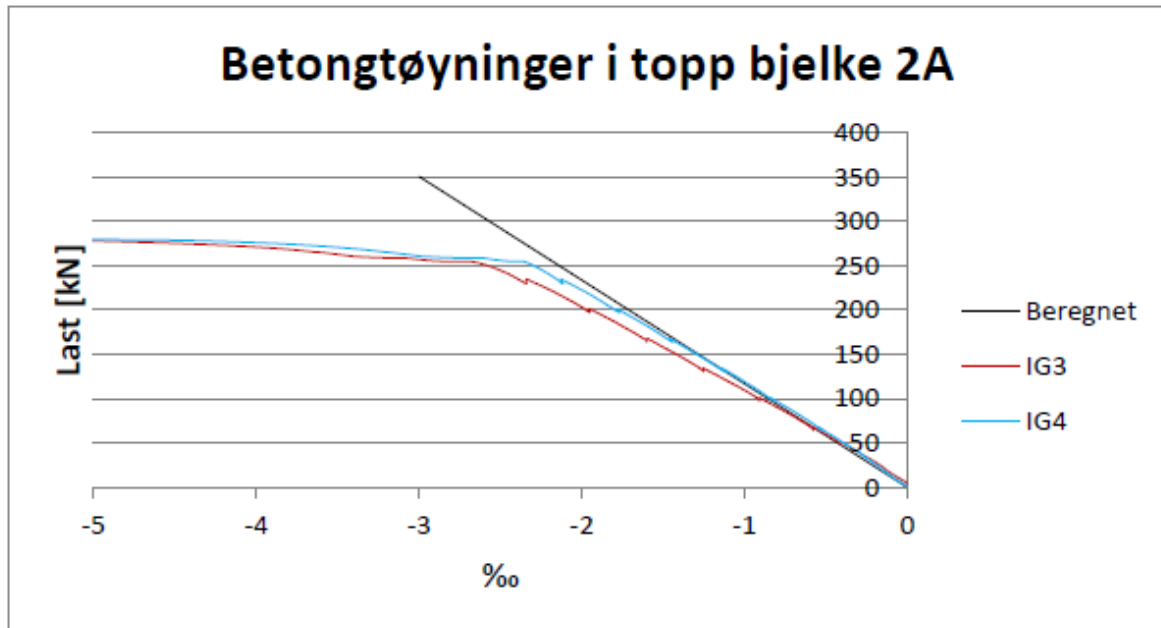
VEDLEGG 25: ARMERINGSTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 4/4



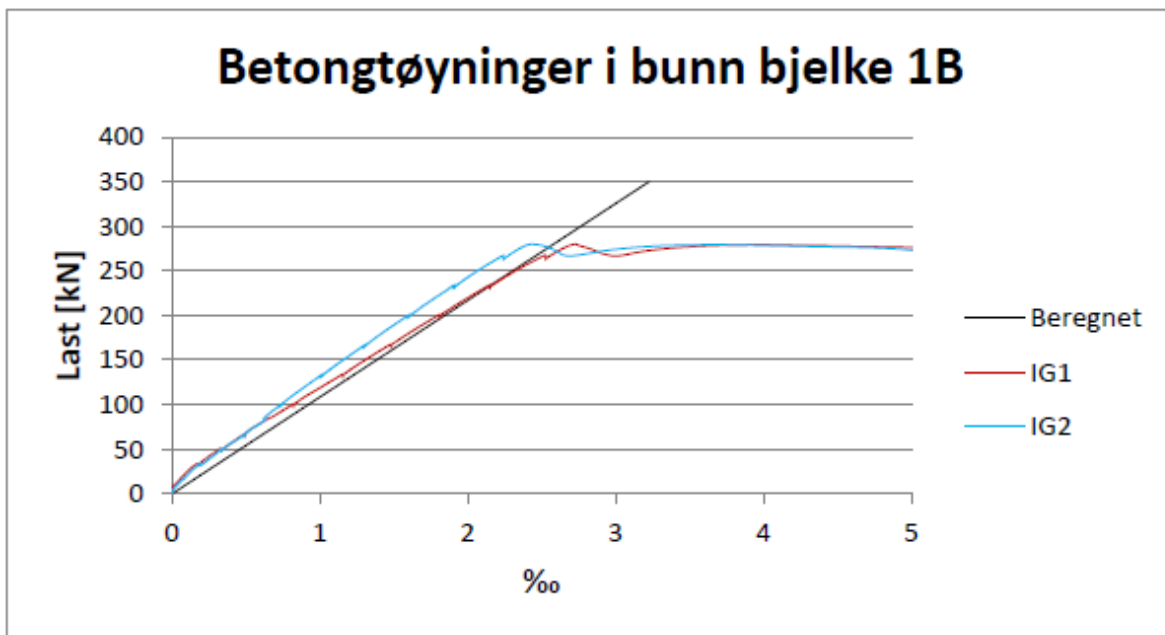
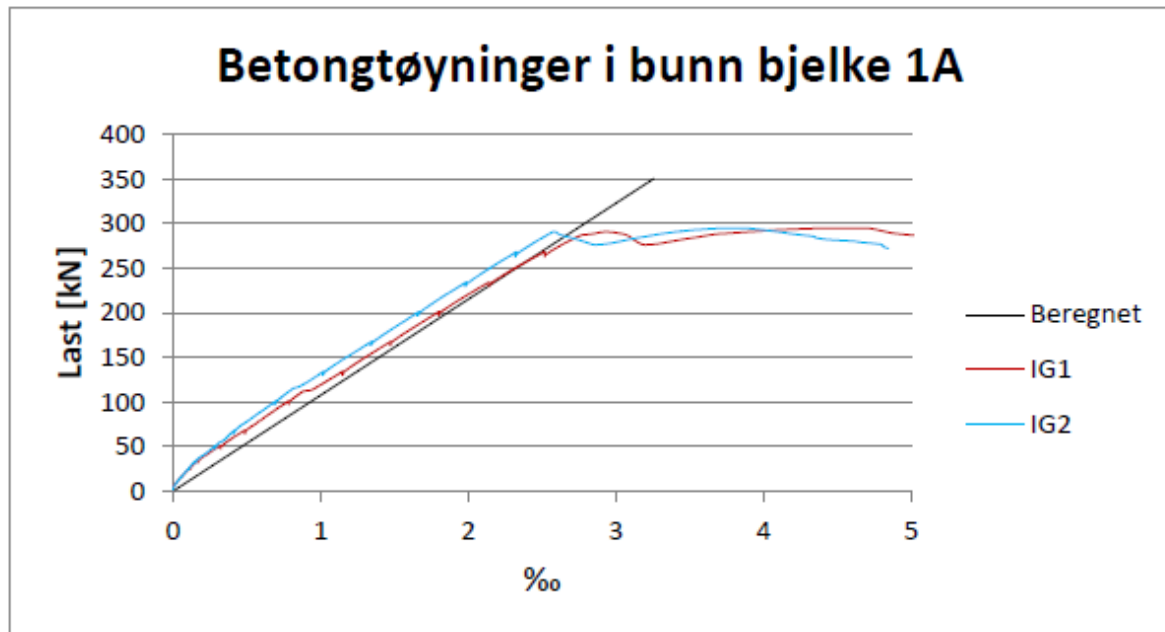
VEDLEGG 26: BETONGTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 1/4



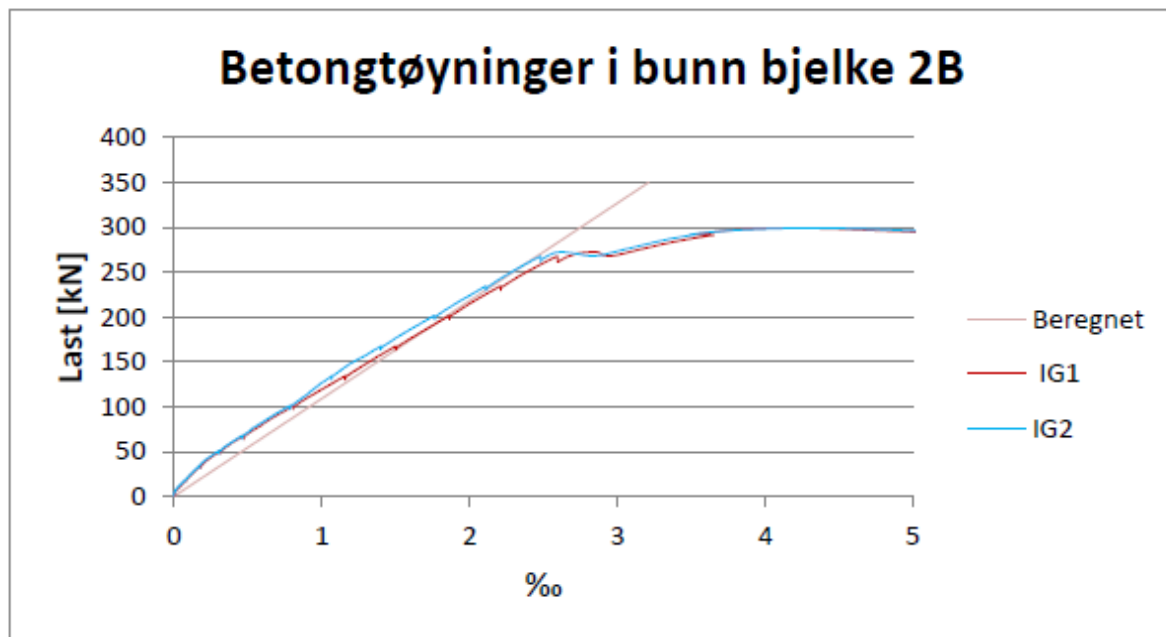
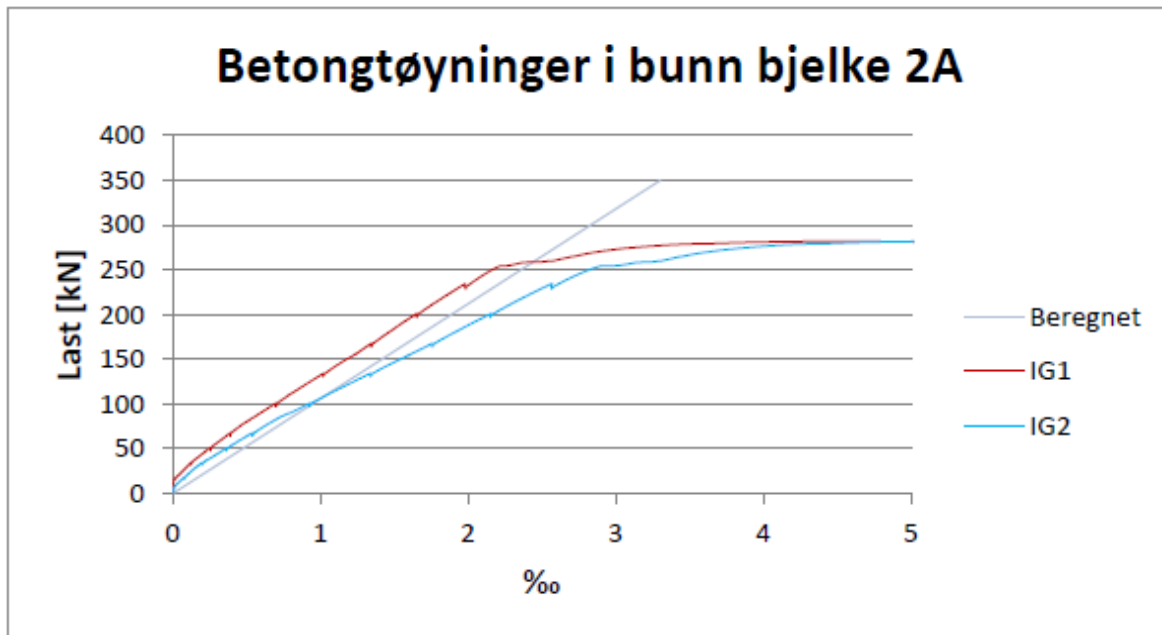
VEDLEGG 26: BETONGTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 2/4



VEDLEGG 26: BETONGTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 3/4



VEDLEGG 26: BETONGTØYNINGER, SAMMENLIGNING – 4/4



VEDLEGG 27: TRYKKFASTHETER – 1/6

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet 12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkeleiga Mix 1A 9/2-12 Prosjektnr: SD0908.60

Reg.nr. vekt: _____ Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm	mm	mm ²	g	g	dm ³	kg/m ³	kN el. kp	(se *)	mm	MPa			MPa
<i>fc</i> 1A-1	196	100	7854	1224	2758	1534	1.80	265			33,7	1,96	1,0	33,7
<i>fc</i> 1A-2	195	100	"	1236	2767	1531	1,81	266			33,9	1,95	1,0	33,9
<i>fc</i> 1A-3	196	100	"	1251	2725	1524	1,82	277			35,3	1,96	1,0	35,3
<i>fc</i> 1A-4	194	100	"	1192	2710	1518	1,79	264			33,6	1,94	0,99	33,3
<i>fc</i> 1A-5	194	100	"	1209	2724	1515	1,80	276			35,1	1,94	0,99	34,7
<i>fc</i> 1A-6	193	100	"	1214	2725	1511	1,80	283			36,0	1,93	0,99	35,6
<i>fc</i> 1A-7	279	100		/	/			243						
<i>fc</i> 1A-8	279	101		/	/			246						
<i>fc</i> 1A-9	281	101		/	/			243						

Prøvene ble lagt i vann: 1/avg. 10/2-12 Dato/sign: 9/2-12 E.F.

Trykkprøvd den 18/3-12 i Losarhøyden 322 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab.leder: 2012-03-09 K. Knutsen

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kruss** i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kode** i ruten for "Bruddform".
Kode for terring: 1 2 3 4 5 6 7 † Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: * *Syl. msk. 1A-4 → 1A-9 ble tatt opp av vannbad og lagret i under plass sammen m/ gjelke 1A den 16/2-12*

Rev. 2011-03-09 LH *Syl. msk. 1A-1 → 1A-3 vannlagret* †ISK/EMAF/PRØVELEGER FR 12390-3 Trykprøving av sylindrer og uborrel betong s.8

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet 12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkeleiga Mix 1B 9/2-12 Prosjektnr: SD0908.60

Reg.nr. vekt: _____ Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm	mm	mm ²	g	g	dm ³	kg/m ³	kN el. kp	(se *)	mm	MPa			MPa
<i>fc</i> 1B-11	195	100	7854	1271	2802	1531	1,83	287			36,5	1,95	1,0	36,5
<i>fc</i> 1B-12	195	100	"	1351	2883	1532	1,88	263			33,5	"	"	33,5
<i>fc</i> 1B-13	195	100	"	1393	2926	1593	1,91	292			37,2	"	"	37,2
<i>fc</i> 1B-14	195	100	"	1215	2828	1533	1,84	272			34,6	"	"	34,6
<i>fc</i> 1B-15	193	100	"	1219	2734	1515	1,80	262			33,4	1,93	0,99	33,1
<i>fc</i> 1B-16	195	100	"	1250	2782	1532	1,82	258			32,8	1,95	1,0	32,8
<i>fc</i> 1B-17	200	100	"	1267	2839	1572	1,81	267			34,0	2,00	1,0	34,0
<i>fc</i> 1B-18	198	100	"	1335	2886	1551	1,86	277			35,3	1,98	"	35,3
<i>fc</i> 1B-19	200	100	"	1366	2949	1583	1,86	279			35,5	2,00	"	35,5

Prøvene ble lagt i vann: 1/avg. 10/2-12 Dato/sign: 9/2-12 E.F.

Trykkprøvd den 18/3-12 i Losarhøyden 322 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab.leder: 2012-03-09 K. Knutsen

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kruss** i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kode** i ruten for "Bruddform".
Kode for terring: 1 2 3 4 5 6 7 † Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: * *Syl. msk. 1B-14 → 1B-19 ble tatt opp av vannbad og lagret i under plass sammen med gjelke 1B den 16/2-12*

Rev. 2011-03-09 LH *Syl. msk. 1B-11 → 1B-13 vannlagret* †ISK/EMAF/PRØVELEGER FR 12390-3 Trykprøving av sylindrer og uborrel betong s.8

VEDLEGG 27: TRYKKFASTHETER – 2/6

10/200 m syl. (f/c)

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet

1/2

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkestøpe Mik 2A 28/12 Prosjektnr: J00908.62 SINTEF

Reg.nr. vekt: _____ Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip mm	Diam. mm	Trykkflate mm ²	Vekt i vann g	Vekt i luft g	Volum dm ³	Romdensitet kg/m ³	Bruddlast kN el. kp	Bruddform (se *)	Største nom. steinst. mm	Trykkfasthet MPa	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet MPa
jc 2A-1	197	100	7854	1217	2756	1539	1.79	219	κ		27.9	1.97	1	27.9
282p 2A-2	194	"	"	1174	2688	1514	1.78	208			26.5	1.94	0.99	26.2
2A-3	198	"	"	1224	2765	1541	1.79	212			27.0	1.98	1	27.0
2A-4	194	"	7854	1147	2657	1510	1.76	218			27.8	1.94	0.99	27.5
jc 2A-5	197	"	"	1227	2763	1536	1.80	231			29.4	1.99	1	29.4
* 2A-6	194	"	"	1209	2739	1530	1.79	207			26.4	1.94	0.99	26.1
2A-21														
jc 2A-22														
* 2A-23														

Prøvene ble lagt i vann: 29/12 4/avformning Dato/sign: 29/12 CF 29/12 CF

Trykkprøvd den 27/12-12 i Losenhallen 3.2.2 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab.leder: _____

* Bruddform: Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kryss i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kode i ruten for "Bruddform".
Kode for tarming: 1 2 3 4 5 6 7 (Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K)

Kommentarer: * Syl. mtk. 2A-4 → 2A-6 ble tatt opp av vannbad og lagret i under plass sammen med gjelke 2A den 6/3-12
** Syl. mtk. 2A-21 → 2A-23 er elektroprøve i vannlagre i prøves etter artidele.

Rev. 2011-03-09 LH

Arbeidsdiagram 10/180 m syl.

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet

1/2

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkestøpe Mik 2A 28/12 Prosjektnr: J00908.62 SINTEF

Reg.nr. vekt: _____ Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip mm	Diam. mm	Trykkflate mm ²	Vekt i vann g	Vekt i luft g	Volum dm ³	Romdensitet kg/m ³	Bruddlast kN el. kp	Bruddform (se *)	Største nom. steinst. mm	Trykkfasthet MPa	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet MPa
2A-7	280	100	7854	/	3892			218			27.8			
2A-8	280	100	"	/	3825			200			25.5			
2A-9	287	100	"	/	3869			216			27.5			

Prøvene ble lagt i vann: 29/12 4/avformning Dato/sign: 29/12 CF

Trykkprøvd den 29/12-12 i Losenhallen 3.2.2 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab.leder: _____

* Bruddform: Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kryss i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kode i ruten for "Bruddform".
Kode for tarming: 1 2 3 4 5 6 7 (Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K)

Kommentarer: Syl. ble tatt opp av vann og lagret i under plass, sammen med gjelke 2A den 6/3-12

Rev. 2011-03-09 LH

VEDLEGG 27: TRYKKFASTHETER – 3/6

10/2000 opt. (fc)

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet

10

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjellkestøy, Mix 2B 28/2-12 Prosjektnr.: J00908.62

Reg.nr. vekt: _____ Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm													mm	mm^{2}	g	g	dm^{3}	kg/m^{3}	kN/el-kgp	(se *)	mm	MPa	MPa
fc 28g 2B-11	199	100	7854	1329	2884	1555	1.85	320			40.7	1.99	1	40.7
2B-12	196	"	"	1307	2845	1538	1.85	325			41.4	1.96	1	41.4
2B-13	199	"	"	1293	2842	1549	1.85	310			39.5	1.99	1	39.5
2B-14	198	"	"	1279 1279	2819	1548	1.82	306			39.0	1.98	1	39.0
fc * 2B-15	199	"	"	1316	2874	1558	1.84	327			41.6	1.99	1	41.6
* 2B-16	199	"	"	1264	2813	1544	1.82	319			40.6	1.99	1	40.6
2B-31														
fc ** 2B-32														
** 2B-33														

Prøvene ble lagt i vann: 29/2 4/avg Dato/sign: 28-12-07 28/2-07

Trykkprøvd den 27/5-12 i Losenhusen 3.2.2 ved innstilling 5000kN Dato/sign daglig lab.leder: 2012-02-27 V. Konič
2012-05-26 K. Konič

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kruss** i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kode** i ruten for "Bruddform".
Kode for terning: 1 2 3 4 5 6 7 † Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: * Sgl. mtk. 2B-14 → 2B-16 ble tatt opp av vannbad og lagt under plast sammen med gjøtte 2B den 16/3-12
** Sgl. mtk. 2B-31 → 2B-33 er støttestruen, vannleges i prøves etter avtale

Rev. 2011-00-09 LH I/SKJEMAERORIGINALER dobbel-EN 12390-3 Trykkprøving av sylindrer og utbredt betong etc

E-modul 10/2000 opt.

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet

10

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjellkestøy, Mix 2B 28/2-12 Prosjektnr.: _____

Reg.nr. vekt: _____ Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm													mm	mm^{2}	g	g	dm^{3}	kg/m^{3}	kN/el-kgp	(se *)	mm	MPa	MPa
E-modul 2B-17	200	101	8012	1290	2872	1582	1.82	324			40.4	1.98	1	40.4
2B-18	200	"	"	1215	2799	1584	1.77	301			37.6	1.98	1	37.6
2B-19	200	"	"	1303	2883	1580	1.82	324			40.4	1.98	1	40.4

Prøvene ble lagt i vann: _____ Dato/sign: 28-12-07

Trykkprøvd den 28-12 i Losenhusen 3.2.2 ved innstilling 5000kN Dato/sign daglig lab.leder: V. Konič 2012-05-20

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kruss** i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes **kode** i ruten for "Bruddform".
Kode for terning: 1 2 3 4 5 6 7 † Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: Sgl. ble tatt opp av vannbad og lagret under plast sammen med gjøtte 2B den 16/3-12

Rev. 2011-00-09 LH I/SKJEMAERORIGINALER dobbel-EN 12390-3 Trykkprøving av sylindrer og utbredt betong etc

VEDLEGG 27: TRYKKFASTHETER – 4/6

12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET **SINTEF**

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkestøp Hlx 3A 15/2-12 Prosjektnr: 3D0908.60
 Reg.nr. vekt: 6.2.13 Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn. faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm	mm	mm ²	g	g	dm ³	kg/m ³	kN el. kp	(se *)	mm	MPa			MPa
fc 3A-1	196	100	7854	1183	2715	1532	1.77	283			36,0	1.96	1	36,0
28/2 14/3 3A-2	195	"	"	1187	2704	1512	1.78	300			38,2	1.95	1	38,2 <u>36,8</u>
3A-3	194	101	8021	1164	2688	1524	1.76	294			36,7	1.94	0.99	36,3
3A-4	196	100	7854	1171	2702	1531	1.76	296			37,7	1.96	1	37,7
fc 3A-5	195	"	"	1159	2690	1531	1.76	285			36,3	1.95	1	36,3
3A-6	196	"	"	1161	2696	1535	1.76	289			36,8	1.96	1	36,8
15/3 29.4. 3A-7	280	101			3959			275						
* 3A-8	280	100			3892			274						
* 3A-9	280	101			3926			275						

Prøvene ble lagt i vann: 1/anf. 16/2-12 Dato/sign: 15.07.12 E7
 Trykkprøvd den 14/3-12 i Losenhausen 3.2.2 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab leder: 2012-03-14 K. Benit
2012-05-15 K. Benit

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kryss i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kode i ruten for "Bruddform".
 Kode for tarming: 1 2 3 4 5 6 7 t Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: * Sgl. msk. 3A-4 → 3A-9 ble tatt opp av vannbad og lagret under pålast sammen med gjelke 3A den 22/2-12
 Sgl. msk. 3A-1 → 3A-3 vannlagret

Rev. 2011-03-09 LH 1/SKJEMAERORIGINALER 2009-EN 12390-3 Trykkprøving av sylindere og utløst betong etc

12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET **SINTEF**

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkestøp Hlx 3B 15/2-12 Prosjektnr: 3D0908.60
 Reg.nr. vekt: 6.2.17 Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn. faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm	mm	mm ²	g	g	dm ³	kg/m ³	kN el. kp	(se *)	mm	MPa			MPa
fc 3B-11	196	100	7854	1298	2829	1531	1.85	322			41,0	1.96	1	40,1
28/2 14/3 3B-12	195	"	"	1275	2799	1524	1.84	319			40,6	1.95	"	40,6 <u>37,8</u>
3B-13	195	"	"	1257	2782	1525	1.82	304			38,7	"	"	38,7
3B-14	196	"	"	1213	2745	1532	1.79	300			38,2	1.96	1	38,2
fc 3B-15	195	"	"	1274	2805	1521	1.83	321			40,9	1.95	1	40,9 <u>39,7</u>
3B-16	195	"	"	1244	2776	1532	1.81	314			40,0	1.95	1	40,0
16/3 30.4. 3B-17	197	101	8012	1278	2829	1551	1.82	330			41,2	1.97	1	41,2
* 3B-18	198	"	"	1302	2868	1566	1.83	328			40,9	1.98	1	40,9 <u>41,1</u>
* 3B-19	198	"	"	1303	2866	1563	1.82	331			41,3	1.98	1	41,3

Prøvene ble lagt i vann: 16/2-12 1/anf. Dato/sign: 14/3 E7 16 E7
 Trykkprøvd den 14/3-12 i Losenhausen 3.2.2 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab leder: 2012-03-14 K. Benit
2012-05-15 K. Benit

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kryss i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kode i ruten for "Bruddform".
 Kode for tarming: 1 2 3 4 5 6 7 t Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: * Sgl. msk. 3B-14 → 3B-19 ble tatt opp av vannbad og lagret under pålast sammen med gjelke 3B den 22/2-12
 Sgl. msk. 3B-11 → 3B-13 vannlagret

Rev. 2011-03-09 LH 1/SKJEMAERORIGINALER 2009-EN 12390-3 Trykkprøving av sylindere og utløst betong etc

VEDLEGG 27: TRYKKFASTHETER – 5/6

10/20 cm syl. (fc)

SINTEF Byggtorsk, betong- og natursteinlaboratoriet

12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkestepps Mix 4A 21/2.12 Prosjektnr: 3D0908.60
 Reg.nr. vekt: 6.2.13 Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip mm	Diam. mm	Trykkflate mm ²	Vekt i vann g	Vekt i luft g	Volum dm ³	Romdensitet kg/m ³	Bruddlast kN el. kp	Bruddform (se *)	Sterste nom. steinst. mm	Trykkfasthet MPa	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet MPa
fc 4A-1	194	100	7854	1291	2808	1517	1.85	305			38,8	1.94	0.99	38,7
28/2 4A-2	197	"	"	1339	2876	1527	1.87	294			37,4	1.98	1	37,4
4A-3	196	"	"	1339	2874	1543	1.86	273			34,8	1.96	1	34,8
fc 4A-4	198	100	7854	1261	2808	1547	1.82	282			35,9	1.98	1	35,9
* 4A-5	197	"	"	1307	2853	1546	1.85	284			36,2	1.97	1	36,2
* 2/3 4A-6	197	"	"	1225	2770	1545	1.79	257			32,7	1.97	1	32,7
4A-21														
4A-22														
* 4A-23														

Prøvene ble lagt i vann: 22/2-1/anf. Dato/sign: 2/3 E. F. 2/3 CF
 Trykkprøvd den 20/3-12 i Loserkammer 3.2.2 ved innstilling 500kN Dato/sign daglig lab. leder: 2012-03-20 K. Kunkle

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kryss i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kode i ruten for "Bruddform".
 Kode for tømning: 1 2 3 4 5 6 7 8 Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: * Sgl. msk. 4A-4 → 4A-6 ble tatt opp av vannbad og lagret under plast sammen med gjette 4A den 22/2-12
** Sgl. msk. 4A-21 → 4A-23 er ekstra prøver i vannbad i prøver etter avtale

Rev. 2011-03-09 LH 1 SKJEMERORIGINALER OMNS-EN 12390-3 Trykkprøving av sylindere og utboret betong etc.

Arbeidsdiagram 10/30cm syl.

SINTEF Byggtorsk, betong- og natursteinlaboratoriet

12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjelkestepps Mix 4A 21/2.12 Prosjektnr: 3D0908.60
 Reg.nr. vekt: 6.2.13 Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip mm	Diam. mm	Trykkflate mm ²	Vekt i vann g	Vekt i luft g	Volum dm ³	Romdensitet kg/m ³	Bruddlast kN el. kp	Bruddform (se *)	Sterste nom. steinst. mm	Trykkfasthet MPa	Høyde/diameterforhold	Omregn.-faktor	Omregn. trykkfasthet MPa
4A-7	280	101	8012	/	4128			288			35,9			
4A-8	281	"	"	/	4042			277			35,8			
4A-9	282	"	"	/	4100			287			35,8			

Prøvene ble lagt i vann: 22/2-1/anf. Dato/sign: 2/3 E. F.
 Trykkprøvd den 2/3-12 i Loserkammer 3.2.2 ved innstilling 500kN Dato/sign daglig lab. leder: 2012-03-21 K. Kunkle

* **Bruddform:** Ved tilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kryss i ruten for "Bruddform". Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) settes kode i ruten for "Bruddform".
 Kode for tømning: 1 2 3 4 5 6 7 8 Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K

Kommentarer: Sgl. ble tatt opp av vann og lagret under plast sammen med gjette 4A den 22/2

Rev. 2011-03-09 LH 1 SKJEMERORIGINALER OMNS-EN 12390-3 Trykkprøving av sylindere og utboret betong etc.

VEDLEGG 27: TRYKKFASTHETER – 6/6

10/2000 *sgf. (fc)*

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet

12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjellartstøps Mix 4B 2 1/2-12 Prosjektnr: 300908.60

Reg.nr. vekt: 6.2-13 Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn.faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm	mm	mm ²	g	g	dm ³	kg/m ³	kN el. kp	(se *)	mm	MPa			MPa
<i>fc</i> 4B-11	196	100	7634	1392	2931	1539	1.90	325			41.4	1.96	1	41.4
<i>fc</i> 4B-12	197	"	"	1298	2831	1533	1.85	289			36.8	1.97	1	36.8
<i>fc</i> 4B-13	197	"	"	1360	2901	1541	1.88	316			40.2	1.97	1	40.2
<i>fc</i> 4B-14	198	"	7834	1377	2930	1552	1.89	326			41.5	1.98	1	41.5
<i>fc</i> 4B-15	197	"	"	1356	2902	1546	1.88	313			39.9	1.97	1	39.9
<i>fc</i> 4B-16	197	"	"	1357	2898	1541	1.88	293			37.3	1.97	1	37.3
<i>fc</i> 4B-31														
<i>fc</i> 4B-32														
<i>fc</i> 4B-33														

Prøvene ble lagt i vann: 28/2. 4/avf. Dato/sign: 26.7 26.12.07

Trykkprøvd den 20/3-12 i Losenhusen 3.2.2 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab.leder: 2012-03-21 K. Kemik

* **Bruddform:** Ved **tifredsstillende** bruddform (se s. 2) settes **kryss** i ruten for "Bruddform". Ved **utilfredsstillende** bruddform (se s. 2) settes **kode** i ruten for "Bruddform".
Kode for terning: 1 2 3 4 5 6 7 (Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K)

Kommentarer: ** Sgf. msk. 4B-14 → 4B-16 ble tatt opp av vannbad og lagret under plast sammen med gjelke 4B den 28/2-12*
** * Sgf. msk. 4B-31 → 4B-33 er skrotta prøver! Vannlagres, prøves etter avtale.*

Rev. 2011.03.00 LH I SKEMAER/ORIGINALER 004NS-EN 12390-3 Trykkprøving av sylinder og utboret betong xlx

E-modul 10/3000 *sgf.*

SINTEF Byggeforsk, betong- og natursteinlaboratoriet

12

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET

Oppdragsgiver: COIN FA 3.3 Bjellartstøps Mix 4B 2 1/2-12 Prosjektnr: 300908.60

Reg.nr. vekt: 6.2-13 Oppdragsnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Volum	Romdensitet	Bruddlast	Bruddform	Største nom. steinst.	Trykkfasthet	Høyde/diameterforhold	Omregn.faktor	Omregn. trykkfasthet
	mm	mm	mm ²	g	g	dm ³	kg/m ³	kN el. kp	(se *)	mm	MPa			MPa
<i>E-Modul</i> 4B-17	200	101	8012	1342	2916	1574	1.85	308			38.4	1.98	1	38.4
<i>E-Modul</i> 4B-18	200	"	"	1363	2943	1580	1.86	322			40.2	1.98	1	40.2
<i>E-Modul</i> 4B-19	200	100	7834	1384	2951	1567	1.88	323			41.1	2.0	1	41.1

Prøvene ble lagt i vann: _____ Dato/sign: 26-12 E.F.

Trykkprøvd den 20/3-12 i Losenhusen 3.2.2 ved innstilling 5000 kN Dato/sign daglig lab.leder: 2012-03-21 K. Kemik

* **Bruddform:** Ved **tifredsstillende** bruddform (se s. 2) settes **kryss** i ruten for "Bruddform". Ved **utilfredsstillende** bruddform (se s. 2) settes **kode** i ruten for "Bruddform".
Kode for terning: 1 2 3 4 5 6 7 (Kode for sylinder: A B C D E F G H I J K)

Kommentarer: *Sgf. ble tatt opp av vannbad og lagret under plast sammen med gjelke 4B den 28/2*

Rev. 2011.03.00 LH I SKEMAER/ORIGINALER 004NS-EN 12390-3 Trykkprøving av sylinder og utboret betong xlx