

# CHALMERS



## Tre-punkts balkförsök av fiberarmerad betong

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

**PATRIK FOLKERMANN/ANDREAS ERIKSSON**

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Betongbyggnad  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2016  
Examensarbete BOMX03-16-43



EXAMENSARBETE BOMX03-16-43

# Tre-punkts balkförsök av fiberarmerad betong

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

PATRIK FOLKERMANN/ANDREAS ERIKSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för Konstruktionsteknik*  
*Betongbyggnad*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2016



Tre-punkts balkförsök av fiberarmerad betong  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Byggingenjör*

PATRIK FOLKERMANN/ANDREAS ERIKSSON

© PATRIK FOLKERMANN/ANDREAS ERIKSSON, 2016

Examensarbete/Institutionen för bygg- och miljöteknik,  
Chalmers tekniska högskola BOMX03-16-43

Institutionen för bygg och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Betongbyggnad  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Fiberarmerad provkropp efter utförd provning.

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2016





Tre-punkts balkförsök av fiberarmerad betong  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Byggingenjör*

PATRIK FOLKERMANN/ANDREAS ERIKSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

*Betongbyggnad*

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

Fiberarmering av betong och cementlikande byggmaterial är en metod som tillämpats i över två tusen år för att förbättra byggmaterialets hållfasthet. Fiberarmering har inte alltid sett ut som den gör idag utan har haft till en början använts i olika material. Bland annat har halm, päls, plast och olika metaller använts. I dag används exempelvis ofta fibrer som är tillverkade av höghållfast stål specifikt för dess ändamål. Stålfibern är idag ofta utformad med små vågformade ändkrokar. Dessa ska öka draghållfastheten i fibern mot betongen (Färdig betongskolan, 2007).

Det saknas idag bra gemensamma beräkningsmetoder för att verifiera hållfastheten av fiberarmerade betongkonstruktioner. Många länder har tagit fram egna beräkningsmodeller. I dagsläget ligger därför stort fokus på att hitta pålitliga beräkningsmodeller och metoder för att kunna dimensionera dessa typer av konstruktioner (Färdig betongskolan, 2007). Resultatet av detta examensarbete är ett steg i att öka förståelsen för fiberarmerade betongkonstruktioners egenskaper och på så sätt förbättra beräkningsmodellerna för hållfasthet.

För att verifiera olika typer av blandningar med fibrer krävs provgjutningar och experiment med aktuell konstruktion. Detta kan vara en av anledningarna till att användningsområdet idag är relativt begränsat och används oftast i konstruktioner med låg konsekvensklass, dvs. låg risk för personskador. Fiberarmerade konstruktioner förekommer relativt ofta på plattformar till busshållplatser, i tunnlar på väggarna och i industrigolv och fibern används främst för att minimera sprickbildning inte för att öka hållfastheten i bärande konstruktioner (Färdig betongskolan, 2007).

Experimenten till detta examensarbete är utförda enligt rekommendationer från intresseorganisationen RILEM. Studien har utförts på Chalmers Tekniska Högskola enligt RILEM's provningsmetod TC 162-TDF.

Experimentet gick ut på att gjuta ett antal betongbalkar och därefter genomföra ett hållfasthetstest. Balkarna gjöts med måtten 150x150x550 mm. Innan gjutning tillsattes stålfibrer till betongblandningen. Balkarna monterades en åt gången i en rigg där balkarnas lastupptagningsförmåga testades. Ett antal givare på balkarna registrerade bland annat nedböjning och lastupptagningsförmåga i balkarna. Resultaten från samtliga sex balkar jämfördes därefter och analyserades. Samtliga sex balkar hade identiska förutsättningar.



Resultaten från experimentet visade stor spridning i lastupptagningsförmåga för alla balkar. Analys av balkarnas snitt gjordes därefter för att finna vad denna resultatsspridning kan grundas på.

Vår analys av resultatet visar att det är svårt att få en jämn fördelning av fibrerna i betongkonstruktionen och att det är detta som ligger till grund för det spridda resultatet. Trots att vi i detta experiment har haft ett berednings sätt för att lyckas få en fiberfördelning som borde vara exceptionellt bra. Vi anser därför att fibrer endast bör användas som ett komplement till konventionell armering och som sprickarmering i betongkonstruktioner. Inte som armering med syfte att öka en betongkonstruktions lastupptagningsförmåga.

Denna spridning av resultat gör att vi är något skeptiska till användningen av fiberarmerad betong. Ett problem vi ser är att det aldrig i efterhand går att kontrollera hur spridningen av fiber ser ut i konstruktionen efter gjutning. Jämfört med en traditionell armering vars placering kan kontrolleras innan gjutning.

Nyckelord: Fiberbetong, RILEM, betong, fiberbetong, fiberarmering

Three point bending test of fibre reinforced concrete  
Diploma Thesis in the Engineering Programme  
Building and Civil Engineering  
PATRIK FOLKERMANN/ANDREAS ERIKSSON  
Department of Civil and Environmental Engineering  
Structural Engineering  
Concrete Structures  
Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

Reinforcement of concrete and cement with fiber for construction is an old method for strengthening of constructions that has been used for over two thousand year. Today there is no good and united method for calculating and verifying the strength of construction made of reinforced concrete with fiber. Most of the countries using this construction method are using its own code of conducts calculations. Today several organizations are working with creating new and reliable calculation methods. The results from this thesis are one step in the way of increase the knowledge for reinforced concrete with fiber and the calculations methods.

Because of the complexity of reinforced concrete with fiber, these constructions are only used when the risk of injury of humans and material damage is limited.

In Sweden reinforced concrete is used in the foundations and in the streets in front of bus stops for example. It is not so common in supporting Constructions.

This thesis is performed according to the recommendation of the organization RILEM. The test has been done on Chalmers University of Technology and in accordance of the method TC 162-TDF.

The experimental study was to cast concrete beams reinforced with fiber and to perform a strength test of these beams. Deflection and load capability for each beam was measured and registered. The test result from the six tests was analyzed. All the beams had the same recipe for the concrete mixture. Although, the results were scattered and an analysis was made of the surface of the cuts to find out the reason for the scattered results.

The conclusion of our analysis is that it is difficult to get the fiber to spread out equally in the concrete and that is why we got the scattered result. Although we had an exceptionally good work environment to prepare the beams, which should make it quite easy to get the spread of the fiber in the concrete. Therefore, our opinion is that reinforced concrete only should be used as a complement against cracks in the concrete, not as reinforcement for increased load capacity.

A disadvantage is that it is impossible to verify the spread of the fiber after the concrete construction is cast. Compared to a traditional reinforcement that is possible to verify very easy.

Key words: RILEM, fiberbetong, betong, fiberarmering

# Innehåll

|   |          |
|---|----------|
| SAMMANFATTNING  | II       |
| DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME                       | IV       |
| ABSTRACT  | IV       |
| INNEHÅLL  | V        |
| FÖRORD  | VIII     |
| BETECKNINGAR  | IX       |
| <br>  |          |
| 1 INLEDNING   | 1        |
| 1.1 Bakgrund  | 1        |
| 1.2 Syfte och mål   | 2        |
| 1.3 Metod och avgränsning   | 2        |
| <br>  |          |
| 2 STÅLFIBERARMERAD BETONG   | 3        |
| 2.1 Bakgrund  | 3        |
| 2.2 Allmänna materialegenskaper                                   | 3        |
| 2.3 Fibrer  | 3        |
| <br>  |          |
| 3 RILEM   | 6        |
| 3.1 Organisationen RILEM  | 6        |
| 3.2 Provningsmetod RILEM TC 162-TDF                               | 6        |
| <br>  |          |
| 4 FÖRBEREDELSE OCH PROVNING                                       | 7        |
| 4.1 Förberedelse inför experimentet                               | 7        |
| 4.2 Förberedelser av balkar                                       | 8        |
| 4.2.1 Kontrollmätning av provkroppar                              | 13       |
| 4.2.2 Betongblandningen för fiberarmerade prover                  | 14       |
| 4.3 Utrustning och provning                                       | 14       |
| 4.4 Dokumentation och insamling av information                    | 16       |
| <br>  |          |
| 5 SAMMANSTÄLLNING OCH DIAGRAM                                     | 18       |
| 5.1 Fiberarmerade prover  | 18       |
| 5.1.1 Sammanställning provkroppar F1-F6.                          | 18       |
| Tabell 5.1 Sammanställning över fiberarmerade provkroppar.        | 20       |
| 5.2 Analys av brottsnitt  | 21       |
| 5.2.1 Fiberfördelning i brottsnitt                                | 21       |
| <br>  |          |
| <b>CHALMERS, Bygg- och miljöteknik, Examensarbete BOMX03-16-4</b> | <b>V</b> |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 6      | BERÄKNINGAR                                      | 23 |
| 6.1    | Fiberarmerade prover                             | 23 |
| 6.1.1  | Procedur   | 23 |
| 6.1.2  | Beräkning  | 24 |
| 6.1.3  | Resultat   | 26 |
| 7      | DISKUSSION OCH SLUTSATSER                        | 27 |
| 7.1    | Kommentarer och diskussion                       | 27 |
| 7.1.1  | Kritik mot metod                                 | 28 |
| 7.2    | Slutsatser                                       | 28 |
| 8      | FORTSATT FORSKNING                               | 30 |
| 9      | REFERENSER                                       | 31 |
| 9.1    | Tryckta referenser                               | 31 |
| 10     | BILAGOR  | 33 |
| 10.1   | Diagram över respektive balk                     | 33 |
| 10.1.1 | Provkropp F1                                     | 33 |
| 10.1.2 | Provkropp F2                                     | 34 |
| 10.1.3 | Provkropp F3                                     | 35 |
| 10.1.4 | Provkropp F4                                     | 36 |
| 10.1.5 | Provkropp F5                                     | 37 |
| 10.1.6 | Provkropp F6                                     | 38 |
| 10.2   | Fiberfördelning i balkarna                       | 39 |
| 10.2.1 | Fiberantal och placering av fibrerna i balkarna. | 39 |



## **Förord**

Detta arbete är skrivet på Chalmers Tekniska högskola och utgör den sista delen av högskoleutbildningen inom byggteknik. Vi påbörjade detta arbete redan sommaren 2012. Ingen av oss studerade längre på heltid vilket har bidragit till den utdragna processen. Genom arbetets gång har vi fått en god insikt i om hur fiberarmerad betong beter sig. Ett intressant område som tidigare var relativt okänt för oss.

Ett stort tack till vår examinator Rasmus Rempling och vår handledare David Fall på Chalmers som hjälpt och stöttat oss och gjort vårt arbete möjligt. Vi vill även tacka Lasse på Chalmers Labb som har hjälpt oss med mycket av det praktiska under provningarna.

Göteborg december 2016

Patrik Folkerman och Andreas Eriksson

## Beteckningar

|             |   |
|-------------|---|
| CMOD        | Spickbredd (crack mouth opening displacement) |
| LVDT-       | Nivågivare för nedböjning                     |
| CG          | spricköppningsmätare (Clip gauge)             |
| RH          | Relativ fukthalt                              |
| $F_{fcr}$   | Lastupptagningsförmåga för betong [kN]        |
| $F_{flu}$   | Lastupptagningsförmåga för stålfiber [kN]     |
| $M_1$       | Momentkapacitet för osprucken betong [kNm]    |
| $F_{fct,L}$ | Draghållfasthet [N/mm]                        |
| $F_{flu}$   | Residualhållfasthet [kN]                      |





# 1 Inledning

Idag används betongkonstruktioner i stor utsträckning inom byggbranschen i Sverige. Det finns därför ett stort intresse i branschen att utveckla och effektivisera denna konstruktionstyp. Om de ingående momenten kan effektiviseras så finns det många positiva effekter att vinna. Både när det gäller arbetsmiljö, tid och pengar, Bengtsson J, Sigström D (2007).

Att byta ut vissa traditionellt armerade betongkonstruktioner mot fiberarmerade konstruktioner kan vara ett steg i en mer effektiv byggprocess. Fibrerna blandas då i betongblandningen innan gjutning. Tanken är att fibrerna skall fördelas jämt i betongblandningen och att viss traditionell armering då kan uteslutas.

Stålfiberarmering kan i vissa fall vara ett väl lämpat komplement till traditionell armering. Idag används traditionellt armerade betongkonstruktioner i störst utsträckning och det finns idag viss skepsis i byggbranschen mot fiberarmerade konstruktioner. Detta är kanske inte helt obefogat då säkra beräkningsmetoder inte är färdigutvecklade, Stålfiberarmerad betong (2007).

Fibrerna i fiberarmeringen är ett komplext material då de kan anpassas för specifika ändamål beroende på vilken egenskap som önskas, Färdig betong (2007).

## 1.1 Bakgrund

Att i framtiden kunna utöka användandet av fiberarmerade betongkonstruktioner kan medföra stora positiva konsekvenser för branschen. Det behövs dock mer kunskap om dess egenskaper för att konstruktörer ska kunna utföra tillförlitliga beräkningar.

Fibrerna har utvecklats genom åren. I Bibelns gamla testamente, Exodus 5:6 kan vi läsa att Egyptierna använde sig av halmstrå i deras murstenar. Fibrerna har utvecklats med tiden och den kanske mest kända fiberprodukten är asbestplattan som användes som fasad och takmaterial från början av 1900-talet men som så småningom förbjöds på grund av hälsoskäl.

Fibrerna ska ha lagom vidhäftning mot betongen utan att fibern går av. Det är därför en balans mellan förankringsdetaljer så som ändkrokar och fibermateriallets elasticitetsmodul.

För att öka förståelsen, kunskapen och för att bestämma materialegenskaper om fiberarmering utförs experiment av olika slag. I vårt fall har vi använt oss av en testmetod som är utformad av organisationen RILEM och som benämns TC 162-TDF. En stor fördel med dessa typer av standardiserade testmetoder är att dessa kan jämföras med andra tester som är utförda runt om i världen efter samma metod. Det ger på så sätt en större provserie vilket ger ökad statistisk säkerhet i experimenten och gör resultatet mer tillförlitligt.

När kunskapen ökar och beräkningsmetoderna förbättras kan det medföra att fiberarmerade betongkonstruktioner kan användas i större utsträckning. Det skulle kunna innebära ett effektivare arbetssätt som kan spara både tid och pengar samtidigt som det kan innebära bättre arbetsmiljö på arbetsplatsen, Bengtsson J, Sigström D (2007).

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med detta projekt var att med hjälp av experiment av typen RILEM TC 162-TDF få bättre förståelse för fiberns inverkan på betong och ta fram materialdata. Kunskaper, som senare kan användas vid beräkningar av fiberarmerade betongkonstruktioner.

Målet är att vi ska få ett tillförlitlig materialdata så att det i framtiden kan användas för att utveckla tillförlitliga beräkningsmodeller.

## 1.3 Metod och avgränsning

Experimentet är utfört enligt RILEMs metod TC 162-TDF. Metoden är en trepunkts böjningstest. Balken läggs på två stöd och belastas med en kraft i balkens mitt. Belastningen har under hela förloppet en konstant hastighet och kraften som belastar balken varierar därför. Provserien bestod av 6st oarmerade och 6st fiberarmerade betongbalkar, alla med samma mått. De fiberarmerade balkarna gjöts från samma betongblandning. Efter utförda tester har antalet fibrer räknats i de armerade balkarnas snittyta. En verifiering av andelen fibrer i betongblandningen är också utförd i efterhand.

Litteraturstudier kring fiberarmering tillämpligt för RILEM TC 162-TDF.

Beräkningar genomförs efter förstörande provningar för att bestämma residualhållfastheten, se kapitel 6, för de aktuella provkropparna.

Detta arbete är avgränsat med litteraturstudier, förberedelse inför provning och utförande av själva experimenten. Dramix D5 var den aktuella stålfibern.

## 2 Stålfiberarmerad betong

### 2.1 Bakgrund

Fiberarmering är inget nytt påfund. Redan under Egyptiernas tid armerades leran med hästhår och halmstrån. Under modernare tid har bland annat asbestfibrer använts i olika cementprodukter för att förbättra tekniska egenskaper. Första patentet för fiberarmerad betong registrerades 1874 då A. Berard föreslog att man skulle tillsätta metallspån i betong för att tillverka en artificiell sten, Färdig betong (2007).

### 2.2 Allmänna materialegenskaper

Betong är i sig ett sprött material med låg töjbarhet. Betongen kan ta upp stora tryckkrafter men är svagt när det gäller dragkrafter. För att betongkonstruktioner ska kunna ta upp drag eller momentbelastning krävs någon form av armering. Den vanligaste armeringen är traditionell armering av stänger eller nät. Armeringen fyller också den funktionen att motverka krympsprickor i konstruktioner. Traditionellt används nätarmering för att motverka krympsprickor men alternativt kan fibrer användas.

Den traditionella nätarmeringen kan då tas bort helt eller delvis beroende på typ av betongkonstruktion och i stället ersättas av små fibrer som tillsätts i betongblandningen. Dessa fibrer fördelas jämt i betongkonstruktionen och minskar sprickbildningen. Platta på mark, betongplintar och betongväggar är exempel på typer av konstruktioner där fiberarmerad betong helt och hållet skulle kunna ersätta traditionella armeringsjärn, Ingemar Löfgren (2006). I exempelvis balkar och bjälklag av betong som utsätts för större laster krävs fortfarande traditionell armering. I dessa fall skulle dock en fiberarmerad betong kunna användas för att minska sprickbildningen.

### 2.3 Fibrer

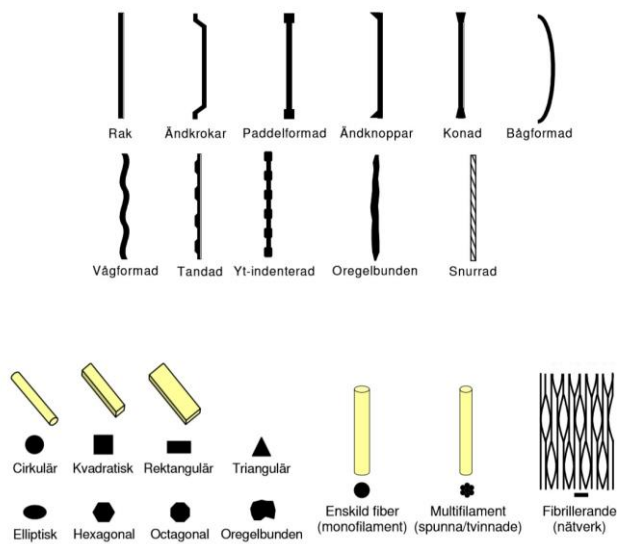
Det finns i dag en stor variation av fibrer som kan tillsättas i betong för att skapa önskad egenskap. Olika material och geometrier ger olika egenskaper som passar olika tillämpningar och önskemål. För att kunna öka drag- eller böj-belastningen tillsätts fibrer av stål eller någon typ av syntetmaterial.

Fibern gör nytta först när en mikrospricka i betongen uppkommit. Detta beror på att betongens draghållfasthet är lägre än stålets flytspänning. För att en fiber ska kunna överföra kraften över den uppkomna sprickan från den ena betongsidan till den andra krävs att fibern samverkar med betongen på ett effektivt sätt. Det krävs att fibern har god vidhäftning mot betongen samt en högre elasticitetsmodul än betongen för att hela konstruktionen ska få ett segt verkningssätt. Vidhäftningen mellan betong och fibrer kan förbättras med olika typer av strukturer och geometrier för fibern som ökar

kontaktytan mellan betong och fibern. Exempel på olika typer av utseenden, strukturer och geometrier kan utläsas ur figur 2.1 och 2.2 nedan.



Figur 2.1 Exempel på fibrer, Färdig betong (2007).



Figur 2.2 Exempel på geometrier, Färdig betong (2007).

Stålfibrer med ändkrokar är en vanligt förekommande fibertyp. Denna fiber finns i flera olika varianter och antalet bockningar i änden varierar i antal. I experimentet användes en sådan fiber. Den aktuella fibern har benämningen Dramix D5.



*Figur 2.3 Fibern Dramix D5 som vi använde i experimentet.*

## 3 RILEM

### 3.1 Organisationen RILEM

RILEM är en Fransk förkortning. Översatt till svenska betyder det Unionen för laborationer och experter för byggmaterial, system och strukturer. Inom Rilems organisation finns idag ca 70 länder representerade och ca 1200 experter är involverade.

RILEM startades i juni 1947 i Frankrike. Syftet med organisationen var från början att förnya och främja samarbetet mellan femton nationer vars samarbete hade raserats i och med andra världskriget.

Idag är syftet att främja och internationellt sprida vetenskap inom byggmaterial och konstruktioner. För att möjliggöra detta samarbetar RILEM med ett antal ledande experter inom sitt område.

RILEMs tre huvudmål.

- Att främja utvecklingen av hållbara och säkra konstruktioner, att förbättra teknisk prestanda samt att minska kostnader för samhället.
- Att stimulera nya inriktningar för forskning och främja hög kvalitet i utvecklingen av konstruktioner.
- Att gynna och främja samarbete internationellt genom allmän tillgång på organisationens kunskaper inom dess områden.

[www.rilem.org](http://www.rilem.org)

### 3.2 Provningsmetod RILEM TC 162-TDF

Denna testmetod utvärderar dels draghållfasthetsbeteende av stålfiberarmerad betong i området under last-deformationskurvan och dels bärförmåga vid en viss böjning eller spricköppning.

Testet utförs genom att en fritt upplagd balk utsätts för en så kallad tre-punktbelastning vilket innebär att balken läggs på två stöd och därefter belastas av en last i mitten av balken som angriper balken ovanifrån.

Med ett antal givare monterade på balken identifieras materialets respons under nedböjning. Om syftet med testet är att beräkna ekvivalent böj/draghållfasthet, är det nödvändigt att mäta deformationen.

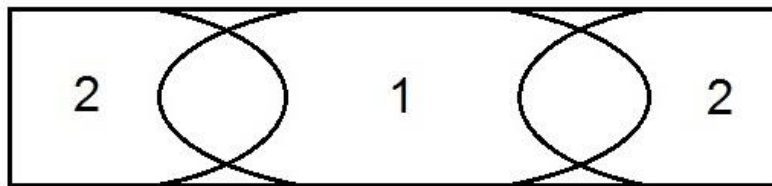
## 4 Förberedelse och provning

### 4.1 Förberedelse inför experimentet

Provkropparna gjuts i formar med måtten 150x150x550 mm (bredd x djup x höjd) enligt testmetoden Rilem TC 162-TDF.

Innan gjutning blandas fibrerna i betongen enligt angivet recept. Maximal fiberlängd är 60mm och maximal ballaststorlek 32 mm. I tabell 4.2 är receptet i sin helhet beskrivet. Uppfyllanden av betongformarna skall utföras i en viss ordning som visas i figur 4.1. Först fylls mittendelen av formen och därefter fylls båda sidorna upp med ca 90% av totalvolymen. Slutligen fylls formen upp med resterande 10% under tiden vibrering sker.

Kompaktering skall utföras av externa vibrationer. I fallet med självkompakterande stålfiberbetong skall formen fyllas i en enda gjutning och planas ut utan kompaktering.



*Figur 4.1 Gjutningsförfarande*

Formar för provkropparna tillverkas och kontrollmäts innan betonggjutning. Provkropparna gjuts sedan och täcks med plast för att betongen skall härda under kontroll av med hänsyn taget till uttorkning av betongen. Efter 24-48h flyttas provkropparna till vattenbad för att man ska kunna säkerställa fukthalten till minst 95 % RH för provkropparna fram till testillfälle. Vattenbadet skall förvaras så att temperaturen inte understiger 20 °C.



*Figur 4.2 Provkropparna placerade i vattenbad.*

## **4.2 Förberedelser av balkar**

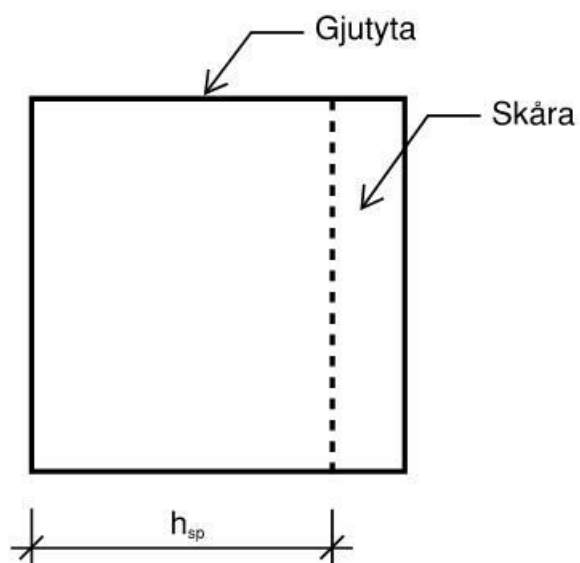
Innan experimentet kan utföras måste balkarna förberedas. Balkarna vrids 90 grader från gjutytan och det sågas en skåra med vattenkyld såg tvärs balken i fältmitt (se figur 3.2). Skåran (notch) sågas för att styra vart brottet i balken kommer att bildas. Skåran skall sågas med en bredd på max 5mm och ett djup på 25+-1mm.

Balkarna mäts också för att verifiera att alla utvändiga mått stämmer. Mätutrustning som används för kontroll av provkropparnas mått skall ha en noggrannhet på 0,1mm. Provkroppen får inte variera mer än 2mm på alla sidor. Skillnaden i totalmått på motsatta sidor av provkroppen får inte vara större än 3mm.

På balkens långsidor mot båda ändarna borrar hål så att sidostöden senare skall kunna monteras. Mot dessa stöd skall nivågivarna som mäter nedböjning sedan monteras.



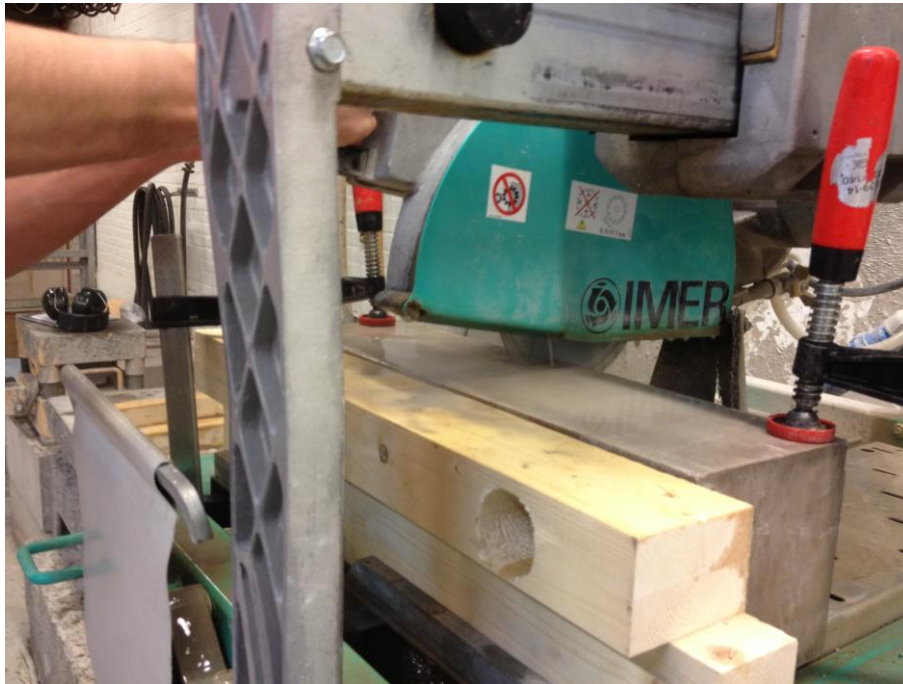
Tvärsektion provkropp  
Position under gjutning



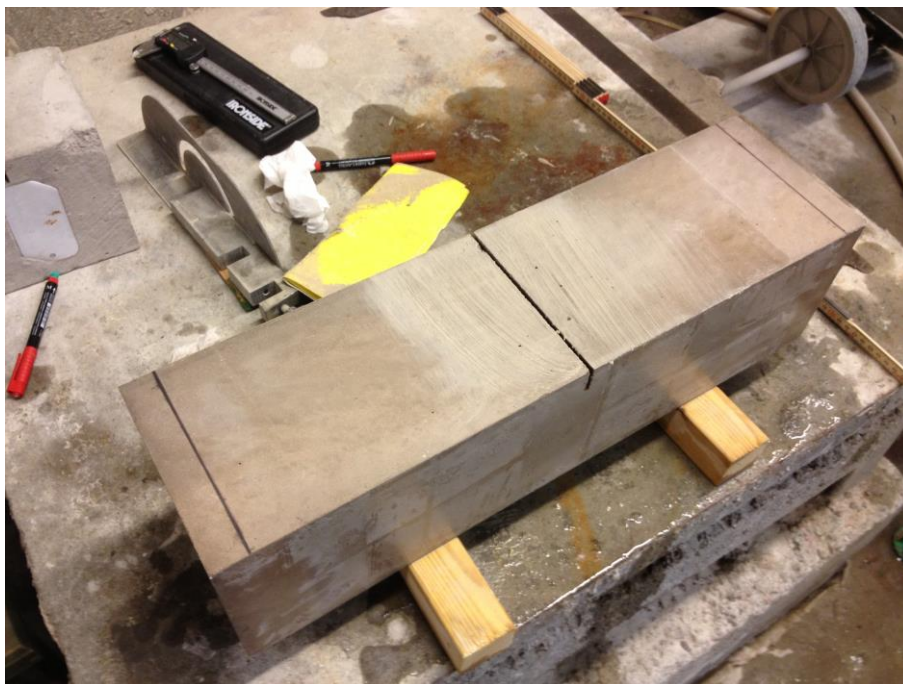
*Figur 4.3 Sektion över provkropp*

Efter sågningen av skåran och övriga förberedelser läggs provkropparna återigen i vattenbad i minst 3 dagar.

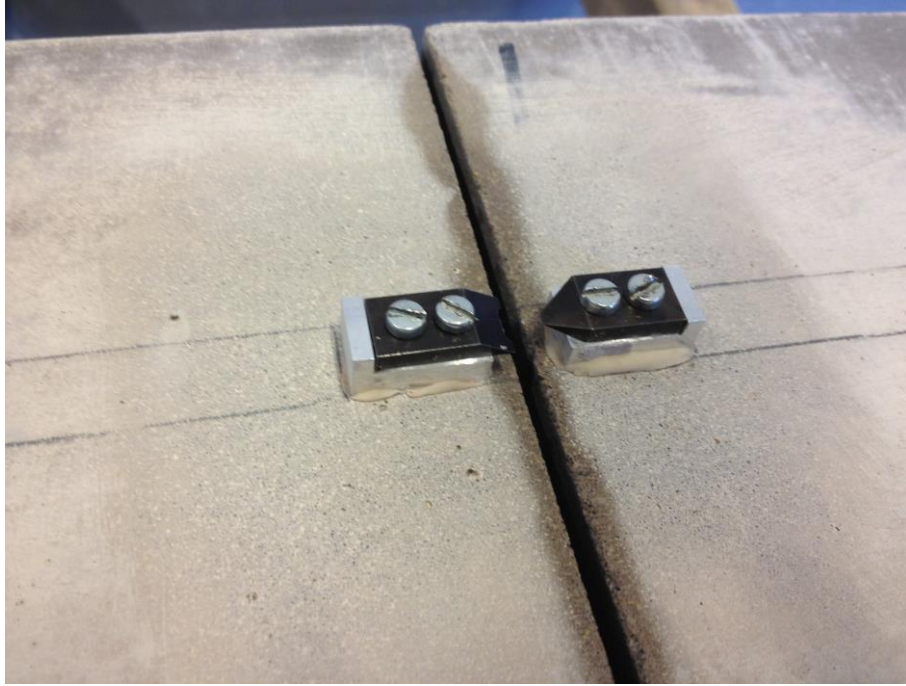
När experimentet väl skall ha utförts måste experimentet ske inom 3 timmar från att de tagits från vattenbadet. RILEM's rekommendationer är att provningen utförs efter 28 dagar från gjutningen vilket följdes i detta experiment.



*Figur 4.4 Sågning av skåra med fast vattenkyld såg.*



*Figur 4.5 Skåran är sågad och mot kortändorna har placering av upplag markerats.*

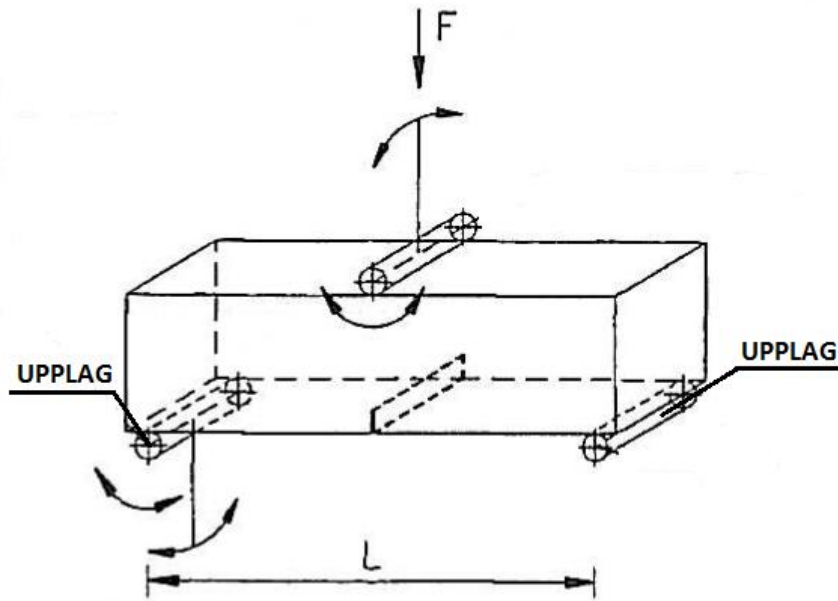


*Figur 4.6 Hållaren för extensiometern som mäter spricköppningen är nu pålimmad.*



*Figur 4.7 En provkropp är placerad i riggen, med stöd för nivågivare (LVDT).*

Vid provtillfället placeras provkroppen på två stödrullar med en diameter på 30mm och ett centrumavstånd på 500 mm. Provkroppen belastas ovanifrån på fältmitt av en cylinderformad tryckarm även den med en diameter på 30mm. På sidorna av provkroppen monteras 4st stödspolar. Dessa monteras rakt över båda upplagen och på halva balkhöjden. Stödspolarna fungerar som upplag för nivågivarna som mäter nedböjningen. Dessa nivågivare monteras på båda sidorna om balken.



Figur 4.8 Illustration av provkropp i rigg.

## 4.2.1 Kontrollmätning av provkroppar

Tabell 4.1 Måttkontroll av balkarna innan provning.

| Balk<br>[nr] | Längd<br>[mm] | Bredd<br>[mm] | Höjd<br>[mm] | Skårdj.<br>[mm] | Skårdj.<br>[mm] | Skårdj.<br>[mm] | Skårbr.<br>[mm] | Skårbr.<br>[mm] | Skårbr.<br>[mm] |
|--------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| P1           | 552           | 150           | 151          | 25,00           | 24,60           | 24,50           | 3,00            | 2,99            | 2,70            |
| P2           | 549           | 150           | 151          | 25,00           | 24,75           | 24,20           | 3,00            | 2,90            | 2,70            |
| P3           | 550           | 151           | 150          | 24,90           | 24,60           | 24,50           | 2,80            | 3,20            | 3,15            |
| P4           | 550           | 150           | 150          | 24,75           | 24,85           | 24,50           | 2,90            | 3,00            | 2,75            |
| P5           | 550           | 150           | 150          | 24,80           | 24,50           | 24,50           | 2,90            | 3,06            | 2,75            |
| P6           | 549           | 150           | 150          | 24,90           | 24,60           | 24,40           | 2,85            | 2,70            | 2,60            |
| F1           | 549           | 150           | 150          | 25,10           | 24,80           | 24,20           | 2,80            | 2,60            | 2,60            |
| F2           | 549           | 150           | 150          | 24,00           | 24,05           | 24,00           | 3,00            | 2,96            | 2,75            |
| F3           | 549           | 150           | 150          | 24,30           | 24,20           | 24,10           | 2,90            | 3,00            | 2,80            |
| F4           | 549           | 151           | 150          | 24,50           | 24,10           | 24,30           | 2,95            | 2,95            | 2,70            |
| F5           | 550           | 150           | 150          | 24,00           | 24,20           | 24,15           | 3,00            | 2,90            | 2,80            |
| F6           | 550           | 150           | 150          | 24,20           | 24,10           | 24,20           | 2,90            | 2,90            | 2,75            |

## 4.2.2 Betongblandningen för fiberarmerade prover

Tabell 4.2 Betongblandning för F1-F6.

| <b>C 30/37 16 w/c 0.55 SKB</b>        |                           |                      |     |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------|-----|
| <b>Volume mixed 3.6 m<sup>3</sup></b> |                           |                      |     |
|                                       |                           | [kg/m <sup>3</sup> ] |     |
| Cement                                | CEM II/A-LL<br>Byggcement | 322                  |     |
| Filler                                | Limus 4 Kalkstensfiller   | 178,3                |     |
| Sand                                  | 0/4 Sjösand               | 728                  |     |
| Sand                                  | 0/8 Hol (naturesand)      | 163                  |     |
| Stone                                 | 4/8 Tagene (kross)        | 123                  |     |
| Stone                                 | 8/16 Tagene (kross)       | 621                  |     |
| Superplasticizer                      | Glenium 51/18 (BASF)      | 6.41 (2%)            |     |
| Air entraining agent                  | MicroAir100 1:10 (BASF)   | 0.48 (0.15%)         |     |
| Fibre                                 | Dramix 5D                 | 35                   |     |
| Water                                 |                           | 172,9                |     |
|                                       | w/c =                     | 0,54                 |     |
|                                       | Slump flow                | Temp                 | Air |
| Plant                                 | 640                       | 16,7                 | 3,2 |
| Chalmers                              | 600                       |                      | 3,6 |

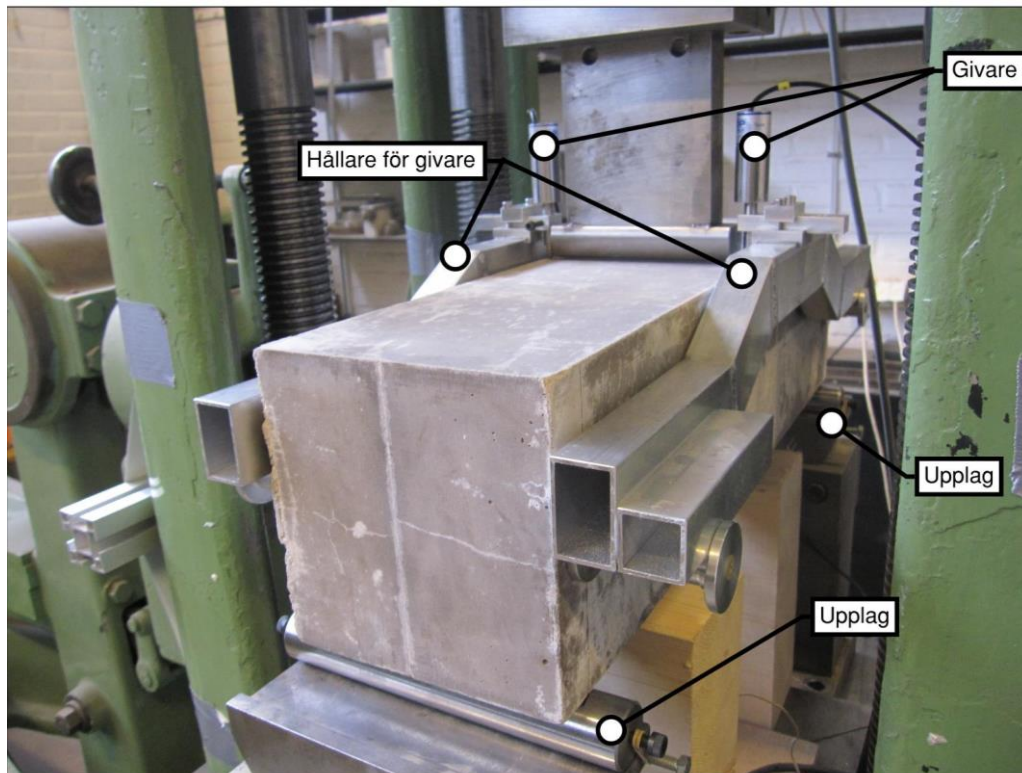
## 4.3 Utrustning och provning

Lastcell: Nedböjningshastighet 0,2 mm/min i fältmitt.

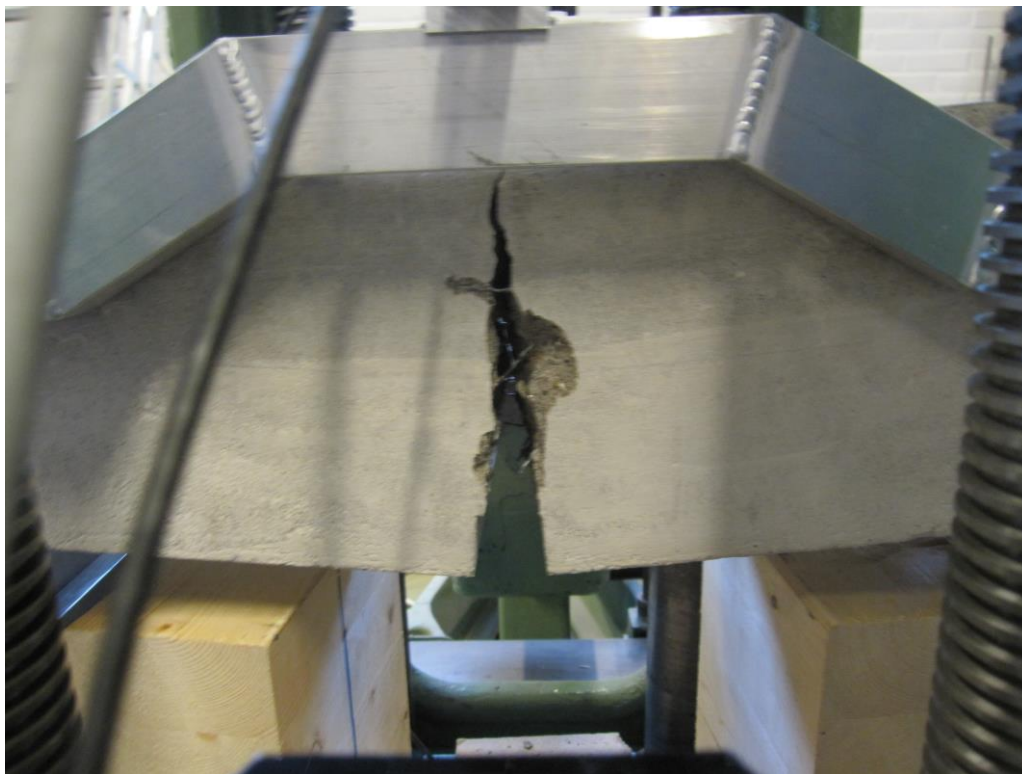
Nivågivare (LDVT-N OCH -S): Mäter nedböjning i fältmitt.

Clipgage: Mäter spricköppning i skåran.

Upplag: Ledat upplag av rundstav.



*Figur 4.9 Provkropp klar för provning*



*Figur 4.10 Balk under laboration*

## 4.4 Dokumentation och insamling av information

Enligt Rilem TC 162-TDF skall lastdata registreras i minsta frekvens 5Hz under de två första minuterna och därefter i lägst 1Hz. *I utfört experiment registrerades data i 100Hz under de två första minuterna och därefter i 20Hz, detta för att få en bättre noggrannhet.* Data registreras digitalt och används sedan i Microsoft Excel för analys av varje enskilt experiment och för att illustrera informationen med grafer och hitta exakta mätvärden.

När experimentet var slutfört analyserades samtliga brottsnittytor för att dokumentera hur spridningen av fibrer såg ut och hur många fibrer som är verksamma i brottsnittet. Denna information analyserades sedan tillsammans med de mätvärden för balkarna som samlats in under experimentet.

Då det är fibrerna som verkar under sprickbildningen är det intressant att efteråt kunna analysera hur mycket fibrer som verkligen fanns i betongblandningen som använts. Därför krossades samtliga balkar i syfte att samla upp alla fibrer för kontrollmätning av antal i jämförelse med receptet som använts och som ligger till grund för beräkningarna. För att samla upp alla fibrer användes en kraftig magnet som fångade upp alla fibrer från de sönderkrossade balkarna.



Figur 4.11 Snittytans utseende efter utfört experiment för balk F5





*Figur 4.12 Uppsamling av fibrer med hjälp av en magnet*

## 5 Sammanställning och diagram

### 5.1 Fiberarmerade prover

#### 5.1.1 Sammanställning provkroppar F1-F6.

Som man kan läsa i tabell 5.1 är lastupptagningsförmågan för betongen relativt jämn mellan de sex olika provkropparna. Ser man däremot på lastupptagningsförmågan för stålfiberarmeringen i balkarna kan man se en väldigt stor spridning vilket visar att armeringens effekt i de sex balkarna är högst varierande.

Endast en av balkarna, balk F4 visade en töjningshårdnande egenskap. Med en töjningshårdnande egenskap menas att residualhållfastheten ( $F_{flu}$ ) är högre än betongens sprickhållfasthet ( $F_{fcr}$ ). Residualhållfasthet är konstruktionens bärförmåga i sprucket tillstånd vilket är det tillstånd då fibrerna är verksamma i konstruktionen.

Endast en provkropp visade högre värde för residualhållfastheten ( $f_{flu}$ ) än för sprickhållfastheten ( $f_{fcr}$ ), detta kallas även för töjningshårdnande egenskap. Med en töjningshårdnande egenskap menas att stålfibrerna hjälper betongen att ta upp en högre last än betongen när betongen är i osprucket tillstånd.

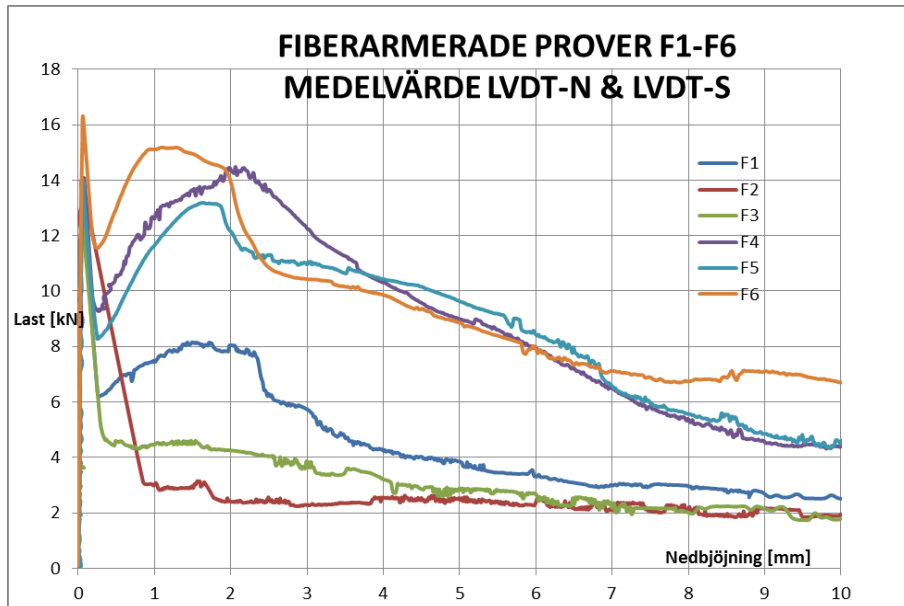
$f_{fcr}$  = Sprickhållfasthet enl. betongrapport 4

$f_{fres}$  = Residualhållfasthet enl. betongrapport 4

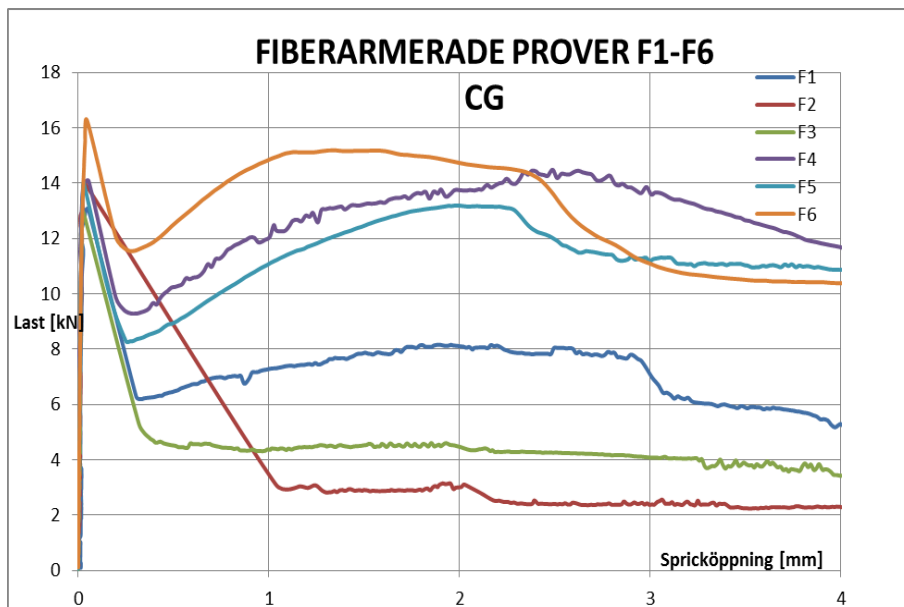
$f_{flu}$  = Brotthållfasthet enl. betongrapport 4

$f_{R,1-4}$  = Residualhållfasthet enl. EN 14651

Nedan följer diagram som visar LVDT-N och LVDT-S samt spricköppning, CG. LVDT är nedböjningen av balkarna och är uppmätt i centrum av balken. Det finns två nivågivare, N och S, en på vardera sidan av balken. Extensiometern mäter spricköppningen som uppkommer när provkroppen belastas.



Figur 5.1 Medelvärde på LVDT- för F1-F6.



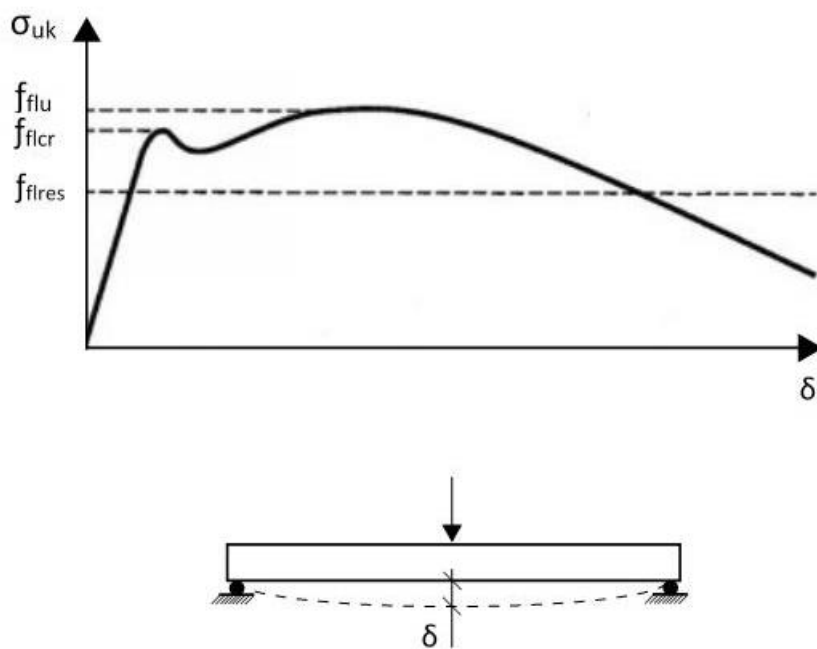
Figur 5.2 Sammanställning Extensiometer för F1-F6.

Diagrammen ovan visar en sammanställning för samtliga provkroppar. Initialt när endast betongen är verksam visar samtliga provkroppar jämförbart beteende. Stålfibrerna är verksamma först när betongen spricker och det är då skillnaderna blir tydliga. Stålfibrernas inverkan varierar stort, och detta illustreras i graferna. Resultatet för provkropp F2 och F3 avviker från målbilden. F1 & F4-F6 har ett beteende som påvisar att stålfibrerna har en positiv inverkan på lastupptagningsförmågan efter betongen spruckit. Variationerna kan bero på mängd, placering och lägningsriktning av stålfibrer i brottsnittet.

Tabell 5.1 Sammanställning över fiberarmerade provkroppar.

| Fiberarmerade balkar | Lastupptagningsförmåga [kN] |              | Momentkapacitet [kNm] | Draghållfasthet [N/mm] |
|----------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------|------------------------|
|                      | $F_{fcr}$                   | $F_{flu}$    | $M_I$                 | $f_{ct,L}$             |
| <b>F1</b>            | 13,07                       | 8,16         | 1,63                  | 4,18                   |
| <b>F2</b>            | 14,00                       | <b>3,15</b>  | 1,75                  | 4,48                   |
| <b>F3</b>            | <b>12,95</b>                | 4,61         | 1,62                  | 4,14                   |
| <b>F4</b>            | 14,07                       | 14,48        | 1,76                  | 4,50                   |
| <b>F5</b>            | 14,00                       | 13,19        | 1,75                  | 4,48                   |
| <b>F6</b>            | <b>16,23</b>                | <b>15,18</b> | 2,03                  | 5,19                   |

- $F_{fcr}$  Betongens lastupptagningsförmåga
- $F_{flu}$  Stålfibrernas lastupptagningsförmåga
- $M_I$  Momentkapaciteten för osprucken betong
- $F_{fct,L}$  Draghållfastheten för osprucken betong



Figur 5.3 Kurva för stålfiberarmerad betong med töjningshårdnande egenskaper

## 5.2 Analys av brottsnitt

### 5.2.1 Fiberfördelning i brottsnitt

När balkarna utsätts för kraftpåverkan ovanifrån kommer i första hand fibrerna i den nedre delen av konstruktionen ta upp krafterna. Det är därför intressant att utvärdera brottsnittet och hur fördelningen av fibrer ser ut i varje balk.

Efter experimenten delades provkropparna itu i brottsnittet för analys av fibrer i snittytan. Snittytan delades in i fyra lika stora fält i höjddled. Dessa fält benämns fält 1 till fält 4 i denna rapport. Fält 1 är den övre fjärdedelsytan och fält 4 är således den nedre fjärdedelen.

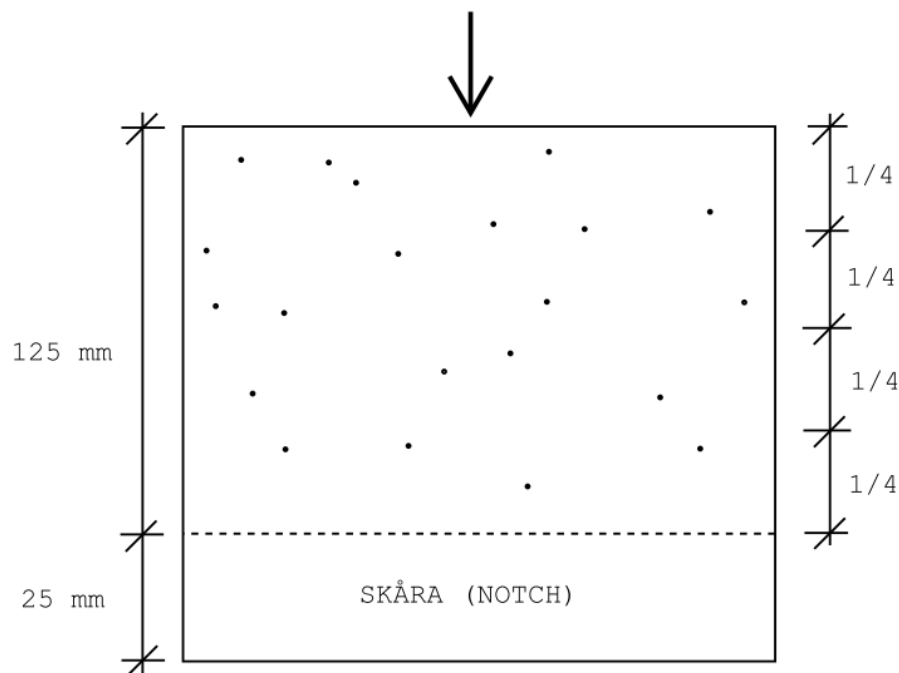
I tabell 5.2 kan balkarnas lastupptagningsförmåga utläsas. Det finns även en sammanställning av fördelningen av fibrer i varje fjärdedel var för sig, en summering för övre och en för undre halvan av tvärsnittet samt en totalsummering av balken. Även verkligt, uppmätt fiberinnehåll finns i tabellen för att kunna verifiera fiberinnehållet.

I tabell 10.2 finns underlagen för denna tabell. Där kan även utläsas hur fibrerna var uppdelade, hur många som var sammansatta med varandra i par eller fler osv.

Området i sprickanvisningen har inte redovisats då dessa fibrer inte är verksamma i balken. Analysen redovisas i tabell 5.2.

Tabell 5.2 Fiberfördelning i brottsnitt. Fält 1 är den övre ytan och fält 4 är den nedre ytan i snittet.

|   | F1                      | F2                      | F3                      | F4                      | F5                      | F6                      |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Lastupptagningsförmåga armering                             | 8,16kN                  | 3,15kN                  | 4,16kN                  | 14,48kN                 | 13,19kN                 | 15,18kN                 |
| Fält 1 (övre fält)  | 7st                     | 12st                    | 14st                    | 13st                    | 17st                    | 13st                    |
| Fält 2  | 25st                    | 8st                     | 21st                    | 31st                    | 22st                    | 12st                    |
| <b>Sum. Övre halva (procentuell fördelning)</b>             | <b>32st<br/>(65,3%)</b> | <b>20st<br/>(70,0%)</b> | <b>35st<br/>(76,1%)</b> | <b>44st<br/>(48,9%)</b> | <b>39st<br/>(56,5%)</b> | <b>25st<br/>(47,2%)</b> |
| Fält 3  | 9st                     | 6st                     | 5st                     | 22st                    | 15st                    | 9st                     |
| Fält 4 (nedre fält)   | 8st                     | 3st                     | 6st                     | 24st                    | 15st                    | 19st                    |
| <b>Sum. Nedre halva (procentuell fördelning)</b>            | <b>17st<br/>(34,7%)</b> | <b>9st<br/>(30,0%)</b>  | <b>11st<br/>(23,9%)</b> | <b>46st<br/>(51,1%)</b> | <b>30st<br/>(43,5%)</b> | <b>28st<br/>(52,8%)</b> |
| <b>Summa stålfibrer</b>                                     | <b>49st</b>             | <b>29st</b>             | <b>46st</b>             | <b>90st</b>             | <b>69st</b>             | <b>53st</b>             |
| Verifierat antal gram fibrer i balk,<br>(% av tänkt recept) | 452.64g<br>(105%)       | 414.30g<br>(96%)        | 364.22g<br>(84%)        | 381.91g<br>(86%)        | 392.22g<br>(90%)        | 372.25g<br>(86%)        |



Figur 5.4 Brottsnitt för kontroll av stålfibermängd.

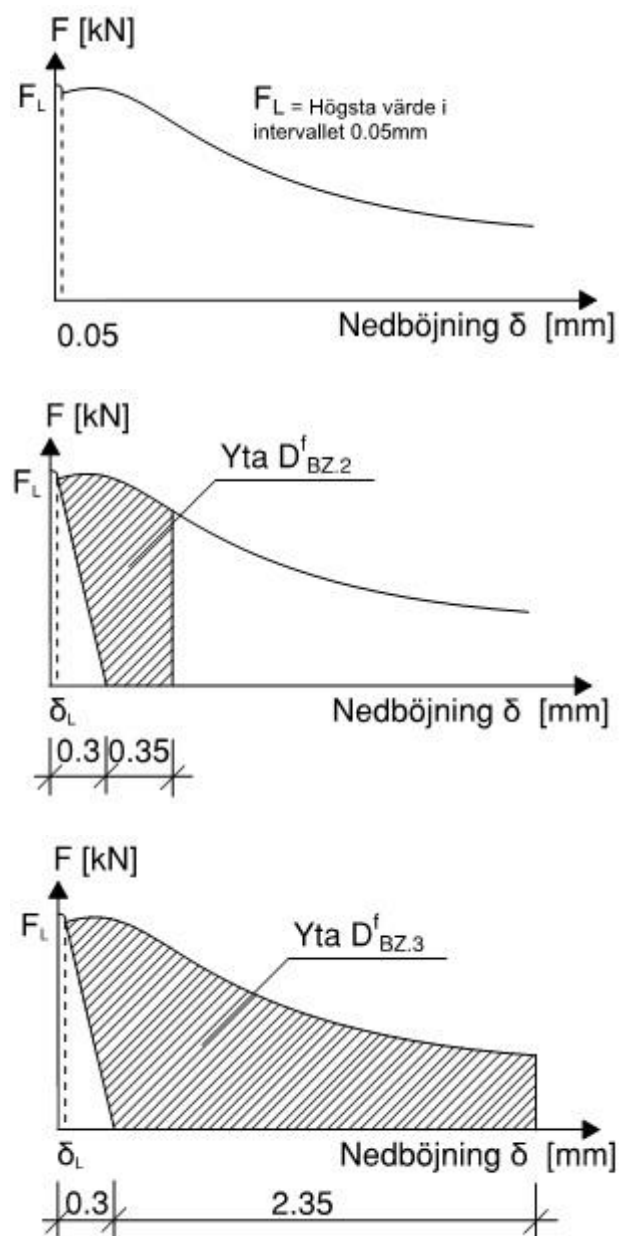
## 6 Beräkningar

### 6.1 Fiberarmerade prover

#### 6.1.1 Procedur

Provutrustningen skall vara uppställd så att resultatet ska resultera i en nedböjning i fältmitt på 0,2mm/min till önskad nödböjning är uppnådd. Se kap. 4.2.

Maximal last i intervallet  $\delta=0,05\text{mm}$  ger  $F_L$ .

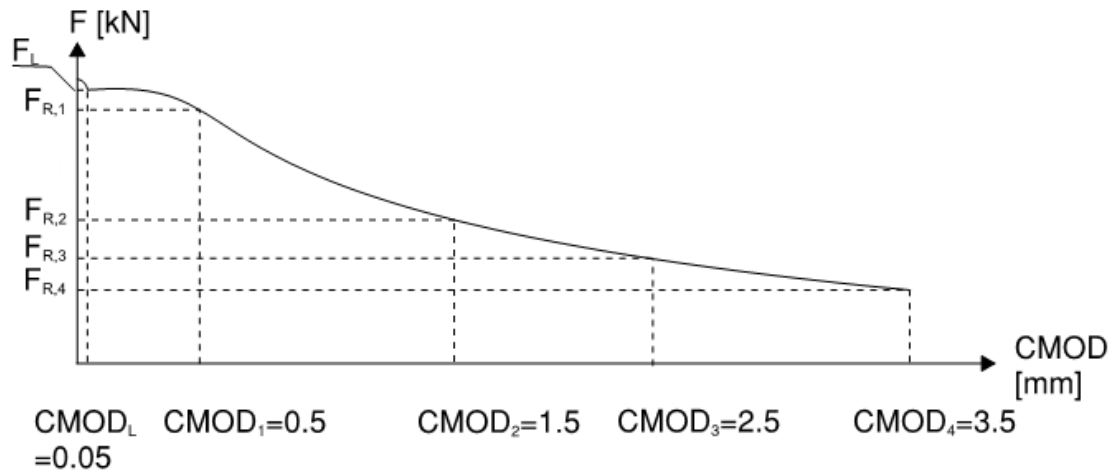


Figur 6.1 Last-Nedböjnings diagram

## 6.1.2 Beräkning

Proportionalitetsgränsen bestäms från det högsta värdet för spricköppningen (CMOD) vid 0.5, 1.5, 2.5, 3.5mm.

Lastupptagningsförmågan tas ut vid CMOD (spricköppning) 0.5, 1.5, 2.5, 3.5mm.



Figur 6.2 Last-CMOD diagram

Antagen spänningsfördelning i fig. 6.3 Residualhållfastheten  $f_{ct,L}$  kan beräknas enl. följande ekv. <sup>aaa</sup> <sub>bbb</sub>

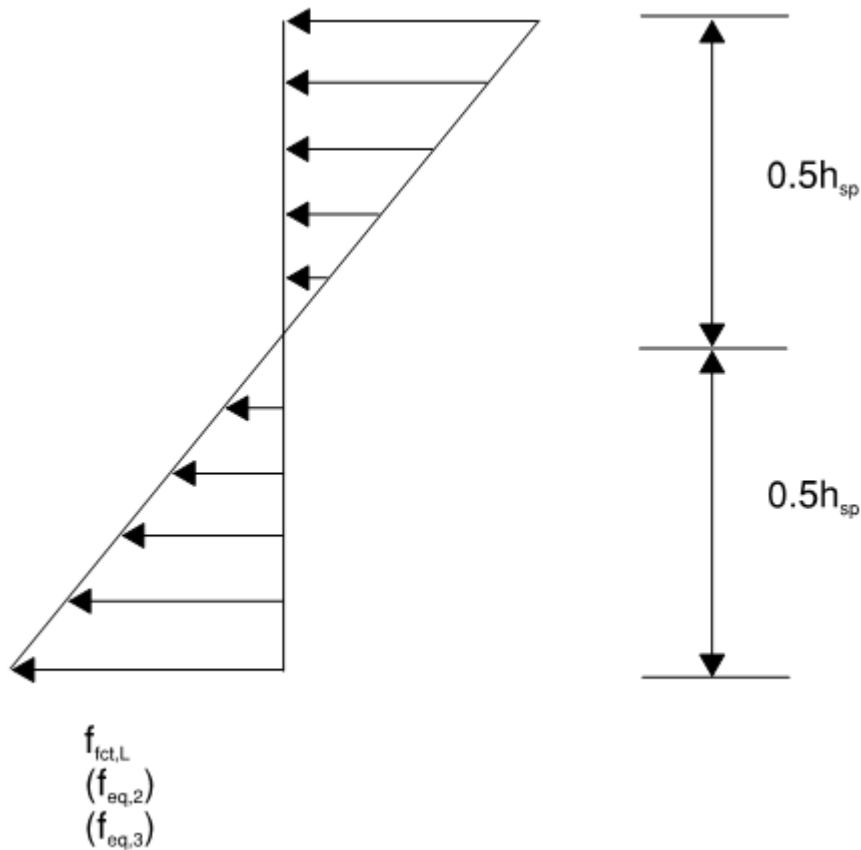
$$f_{fct,L} = \frac{3F_L L}{2 b h_{SP}^2}$$



Där  $b$  är bredden på provkroppen (mm).

$H_{sp}$  är höjden från skåran till översida provkropp (mm)

Energi upptagningsförmågan för stålfibrer  $D_{BZ,2}^f$  och  $D_{BZ,3}^f$  (Nmm).



Figur 6.3 Antagen spänningsfördelning

$F_2$  och  $F_3$  är medelkraft i ytan  $D_{BZ,2}^f$  och  $D_{BZ,3}^f$

$$F_2 = \frac{D_{BZ,2}^f}{0,5}$$

$$F_3 = \frac{D_{BZ,3}^f}{2,5}$$

Fältmomentet som korresponderar med  $F_2$  och  $F_3$  fås av:

$$M_2 = \frac{D_{BZ,2}^f L}{0,5 \cdot 4}$$

$$M_3 = \frac{D_{BZ,3}^f L}{2,5 \cdot 4}$$

Böjdraghållfastheten kan fastställas av följande:

$$f_{eq,2} = \frac{3 D_{BZ,2}^f}{2} \frac{L}{0,5 bh_{SP}^2}$$

$$f_{eq,3} = \frac{3 D_{BZ,3}^f}{2} \frac{L}{2,5 bh_{SP}^2}$$

### 6.1.3 Resultat

| Area | $D_{BZ,2}^f$ | $D_{BZ,3}^f$ |
|------|--------------|--------------|
| F1   | 3,66         | 16,88        |
| F2   | 1,71         | 6,40         |
| F3   | 2,57         | 9,98         |
| F4   | 5,72         | 28,60        |
| F5   | 5,14         | 25,79        |
| F6   | 7,09         | 31,26        |

|    | $F_2$ | $F_3$ | $M_2$ | $M_3$ | $f_{eq,2}$        | $f_{eq,3}$        |
|----|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|
| F1 | 7,32  | 6,75  | 0,92  | 0,84  | 2,34              | 2,16              |
| F2 | 3,43  | 2,56  | 0,43  | 0,32  | 1,10              | 0,82              |
| F3 | 5,14  | 3,99  | 0,64  | 0,50  | 1,65              | 1,28              |
| F4 | 11,44 | 11,44 | 1,43  | 1,43  | 3,66              | 3,66              |
| F5 | 10,27 | 10,32 | 1,28  | 1,29  | 3,29              | 3,30              |
| F6 | 14,19 | 12,50 | 1,77  | 1,56  | 4,54              | 4,00              |
|    | kN    | kN    | kNm   | kNm   | N/mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup> |

Residualhållfastheten vid specifik sprickbredd. Testprovet förkastas om sprickan inte uppkommit i skåran.

$f_{R,i} =$

|    | CMOD <sub>1</sub> | CMOD <sub>2</sub> | CMOD <sub>3</sub> | CMOD <sub>4</sub> |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| F1 | 2,08              | 2,52              | 2,58              | 1,88              |
| F2 | 0,92              | 0,76              | 0,73              | 0,74              |
| F3 | 1,44              | 1,45              | 1,37              | 1,23              |
| F4 | 3,28              | 4,24              | 4,54              | 4,04              |
| F5 | 2,87              | 3,99              | 3,81              | 3,53              |
| F6 | 4,04              | 4,86              | 4,21              | 3,36              |

## 7 Diskussion och slutsatser

### 7.1 Kommentarer och diskussion

Stålfibrer kan mycket väl vara ett bra komplement till traditionell armering men då som armering mot sprickbildning eller för konstruktioner med mycket låga säkerhetsklasser. Det finns en stor nackdel i och med att det i dagsläget saknas bra metoder för att verifiera dess hållfasthet samt att det efter gjutning inte går att säga exakt var fibrerna har hamnat, riktning och läge. Dessa tillkortakommanden visar att det behövs mer forskning på dimensionering och strukturell respons av fiberarmerad betong.

Att man inte med säkerhet kan påverka armeringens placering och orientering så att en homogenitet uppnås medför en osäkerhet. Detta bekräftades tydligt med den stora spridningen vi fick i testresultaten. Detta tar man hänsyn till och adderar därför en stor mängd fibrer. Det medför också stor skepsis i branschen då det inte går att verifiera med beräkningar utan ytterligare hållfasthetsexperiment.

Byggbranschen är generellt en något konservativ bransch och ett visst motstånd kan finnas för nya produkter och metoder. En anledning att fiberarmerade betongkonstruktioner än så länge inte är speciellt vanligt förekommande kan vara just att det idag inte finns säkra beräkningsmetoder. Byggbranschen önskar troligen mer evidens innan fiberarmering ersätter traditionella armeringsstänger.

Efter vi utfört experimenten krossades betongbalkarna för att vi på så sätt skulle kunna få sortera ut alla armeringsfibrer. Detta gjorde vi för att vi skulle kunna verifiera mängden fibrer i balkarna jämfört med receptet. I vårt testförsök visade det sig att det verkliga fiberinnehållet endast var 91% av den angivna mängden jämfört med receptet. Stålfibrerna i vårt experiment har högre sträckgräns (över 2000Mpa mot 500Mpa för vanlig armering) än vanlig armering. En betongplatta som armerats med lösarmering utnyttjar armeringen på ett mycket bättre och säkrare sätt än fiberarmering.

Ett jämförelsetest med traditionellt armerad balk med motsvarande mängd konventionell armering i vikt som placerats optimalt i konstruktionen skulle ge avsevärt större lastupptagningsförmåga jämfört med balkarna i vårt experiment.

När fibrerna tillverkas ligger de ihopklistrade med varandra. Detta gjorde att vissa stålfibrer satt ihop även efter fibrerna blandats i betongsmeten. Hur man skall kunna behålla fullständig separation av stålfibrerna kan utredas för att få bättre spridning i provkropparna vilket troligen förbättrar den enskilda fiberns möjlighet att föra last över sprickan. I utförda experiment satt 29 % av stålfibrerna i brottsnittet ihop 2 eller flera.

Verklig mängd i vikt stålfiber visade sig som vi tidigare nämnt vara 91% av den mängd som skulle användas i blandningen enligt fabriken anvisning. Detta kan bero på att limmet mellan stålfibrerna kan inkluderas i vikten på förpackningarna av stålfibrer. Limmet som binder ihop fibrerna skulle då utgöra 9% av vikten av den paketerade produkten. Vi hade velat testa en förpackning för leverantören och lösa

upp limmet och kontrollmäta stålfibrerna efter för att få en kontroll på vikten stålfibrer som verkligen levereras.

Provkropparnas storlek tror vi kan ha påverka resultatet, vi spekulerar i att stålfibrerna kan påverkas av formarna och få en lägningsriktning längs formsidorna istället för tvärs som om bredden på provet hade varit större. D.v.s. kontakten med gjutformens kontaktytor påverkar stålfibrernas lägningsriktning. Vi anser att ett mer verklighetstroget test hade varit att dels ha en bredare och längre provkropp och att man sågar ut provkroppen ur en större gjutning. Detta för att få en mer naturlig orientering av stålfibrerna utan att gjutformens kanter påverkar lägningsriktningen. Detta tror vi kan medföra något lägre resultat för lastupptagningsförmågan jämfört med vad vi fick för resultat i vårt experiment.

### **7.1.1 Kritik mot metod**

Vi tror att användandet av små provkroppar kan påverka testresultatet så att det inte är jämförbart med större betongkonstruktioner. Anledningen är att fibrerna borde kunna påverkas i små gjutformar så att fibrerna i större utsträckning lägger sig tvärs brottsnittet. Detta skulle kunna påverka resultatet positivt. För att ta bort denna påverkan skulle man skära ut gjutkropparna från större betongkonstruktion. Fibrerna skulle då inte kunna ha påverkats av gjutformarnas sidor. Dock skall provkropparna tillverkas på detta sätt enligt Rilem TC 162-TDF.

## **7.2 Slutsatser**

Vi ser fiberarmerad betong som ett väldigt osäkert materialval när det gäller konstruktioner. Då resultatet är så varierat som det är så är det svårt att se ett givet samband hur fibrer fördelar sig i betongen och hur dessa fibrer påverkar hållfastheten i konstruktionen.

För Rilem TC 162-TDF krävs att man utför förstörande testförsök innan dimensioneringen. Det gör det svårt att använda denna metod för beräkning av konstruktioner som ska byggas då man ibland måste byta betongkvalitet sent in i projekt m.h.t. uttorkningstider och tillsatser i betongen mm.

Resultaten vi fått i dessa experiment är väldigt spridda och vi har svårt att se den verkliga orsaken till sambanden varför spridningen är så pass stor med tanke på hur jämförelsen ser ut för antalet fibrer i den nedre halvan av balken. Balk F2 hade 9st fibrer i den nedre halvan av balken och hade 3,15 kN i lastupptagningsförmåga. Balk F4 hade 46st fibrer i nedre halvan av balken och hade 14,48kN i lastupptagningsförmåga. Balk F6 hade 28st fibrer i den nedre halvan av balken och hade 15,18 kN i lastupptagningsförmåga. Det är en väldigt stor spridning på lastupptagningsförmågan och antal fibrer i snitten men provkropp F1-3 med minst

antal fibrer i nedre halvan av provkroppen hade också lägst lastupptagningsförmåga. Fibrernas placering i höjddled och fiberriktning känns därför lika viktig som mängden fibrer. Vi anser att receptet måste innehålla en så pass stor andel fibrer så att man kan säkerställa att ogynnsamma förhållanden av dessa två parametrar beaktats.

Konstruktioner med fiberarmerad betong är som vi ser det riskabla konstruktioner som inte bör användas där det finns risk för personskador. Fiberarmering är mer en armering som ska användas som sprickarmering i grundplattor och andra liknande konstruktioner.

Vi tror att för små formar skulle kunna bidra till att fibrernas läge blir längs form dvs. ett gynnsammare resultat än i verkligheten. Något som kanske skulle kunna utnyttjas i verkligheten.

Enligt receptet ska fiberandelen vara 35kg per kubikmeter betong vilket också är det angivna fiberinnehållet enligt leverantören av betong. Verifieringen av innehållet visar att balkarna i verkligheten innehöll 84-105 % av vad som är tänkt enligt receptet.

Om andelen fibrer i verkligheten varierar 20 % jämfört med det teoretiska behovet som är föreskrivet i receptet frågar vi oss hur utförandet kan kvalitetssäkras och hur man ska kunna ta fram tillförlitliga teoretiska beräkningsmodeller.

## 8 Fortsatt forskning

Vi hade gärna sett provförsök med bredare provkroppar alt. att man hade sågat ut 150mm breda provkroppar ur en större provkropp för att få ett bättre resultat. Även att utföra experiment med ökad respektive minskad andel fibrer hade vart intressant att följa.

## 9 Referenser

### 9.1 Tryckta referenser

**RILEM TC 162-TDF (2002):** TEST AND DESIGN METHODS FOR STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE, Materials and Structures, Vol. 35, November 2002, pp 579-582.

**Svenska Betongföreningen (1997):** *stålfiberbetong – rekommendationer för konstruktion, utförande och provning*, Elanders Gotab, Betongrapport nr.4, ISBN 91-971755-8-7, Stockholm, Sweden.

**Löfgren I. (2006):** fiberarmerad betong – materialprovning och strukturanalys baserad på beottnemekanik. Artikeln publicerades i Bygg och Teknik nr. 7, 2006.

**Löfgren I. (2006):** Fiberarmerad betong – för ett industrialiserat platsgjutet byggande. Artikeln publicerades i VÄG- OCH VATTENBYGGAREN nr. 5, s. 34-38, 2006.

**Löfgren I. (2006):** Nya möjligheter med fiberarmerad betong – avhandling Betong 1/06, Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för bygg- & miljöteknik, avdelningen för konstruktionsteknik.

**Bengtsson J, Sigström D. (2007):** Stålfiberarmerad betong – en ekonomisk jämförelse, Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för bygg- & miljöteknik, avdelningen för konstruktionsteknik.

**Svenska Betongföreningen (2008):** Industrigolv – Rekommendationer för projektering, materialval, produktion, drift och underhåll. Rapporten utarbetad av Svenska Betongföreningens kommitté för betonggolv. Betongrapport nr. 13, ISBN 91-973445-7-5, Stockholm, Sweden.

**Crocetti, R. (2001):** On some Fatigue Problems Related to Steel Bridges. Ph.D. Thesis. Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology, Publication No. 01:2, Göteborg, Sweden, 2001, 152 pp.

**Bathe, K.-J. (1996):** Finite Element Procedures. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

**Boverket (1994):** Boverkets handbok om betongkonstruktioner BBK 94, Band 1, Konstruktion, Boverket, Byggavdelningen, Karlskrona, Sweden, 185 sid.

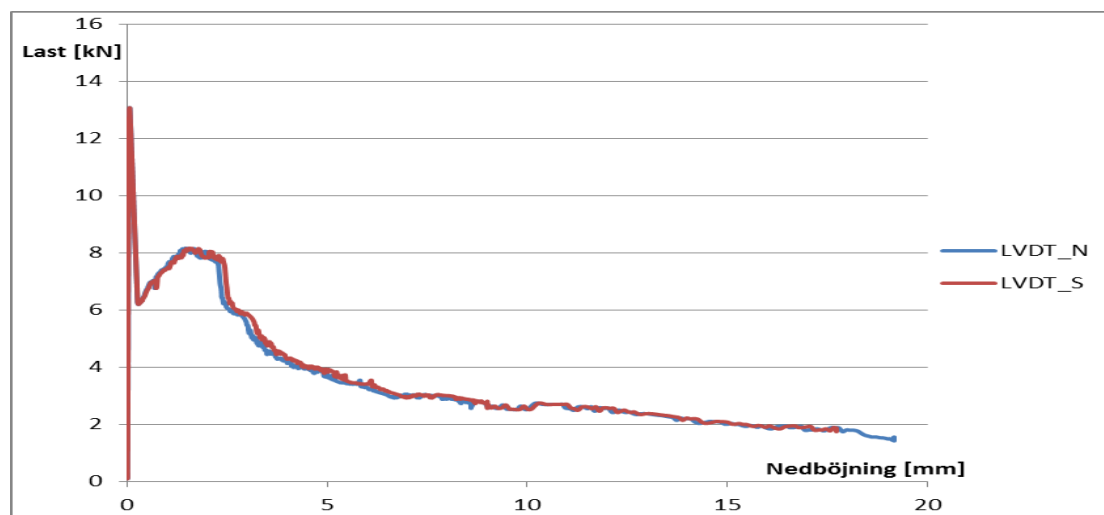




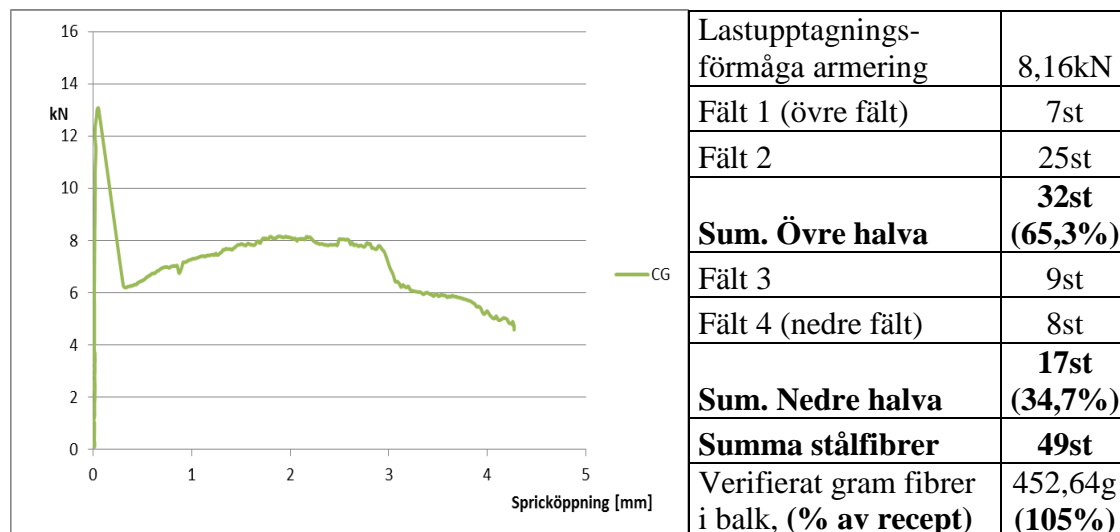
# 10 Bilagor

## 10.1 Diagram över respektive balk

### 10.1.1 Provkropp F1



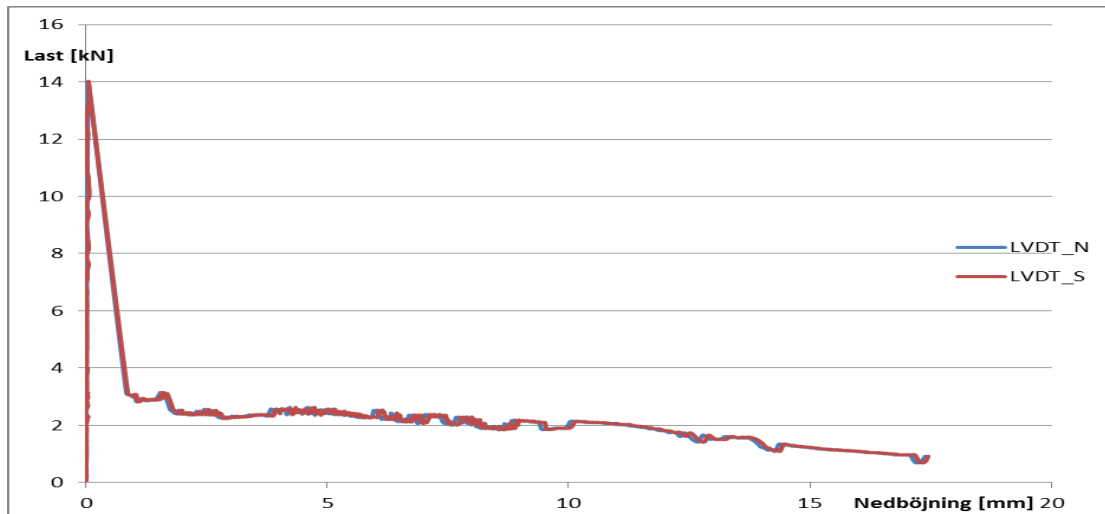
Figur 10.1. LVDT\_N och LVDT\_S provkropp F1.



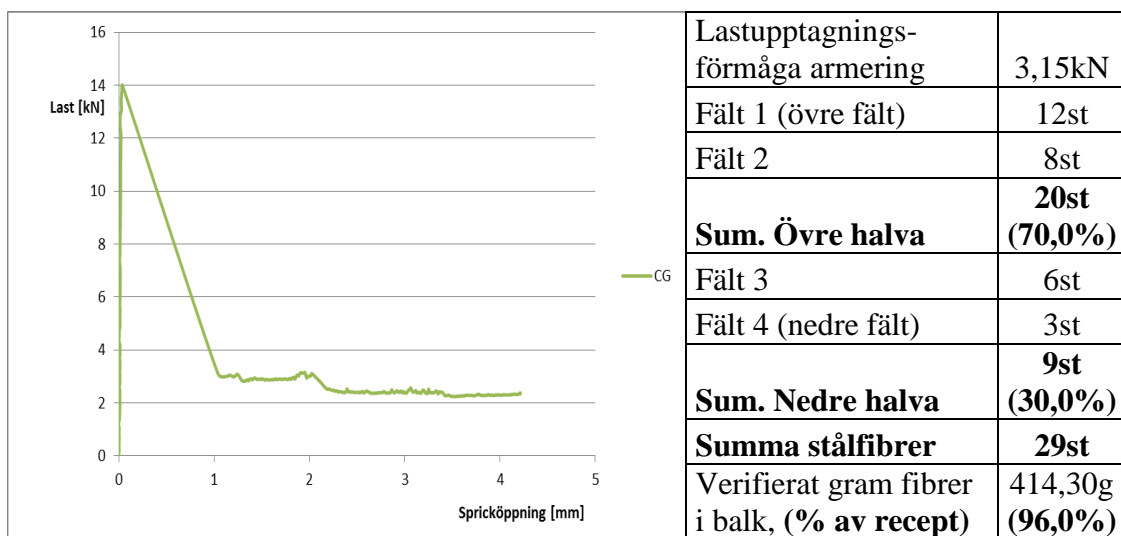
Figur 10.2 Extensiometer provkropp F1.

Provkropp F1 visar en viss lastupptagningsförmåga efter betongen spruckit. Betongen spricker vid lasten 13,07kN och en Spricköppning på 0,05mm. Stålfibrerna börjar verka efter att den fallande linjära kurvan bryts, för F1 vid spricköppning på ca 0,25mm.

## 10.1.2 Provkropp F2



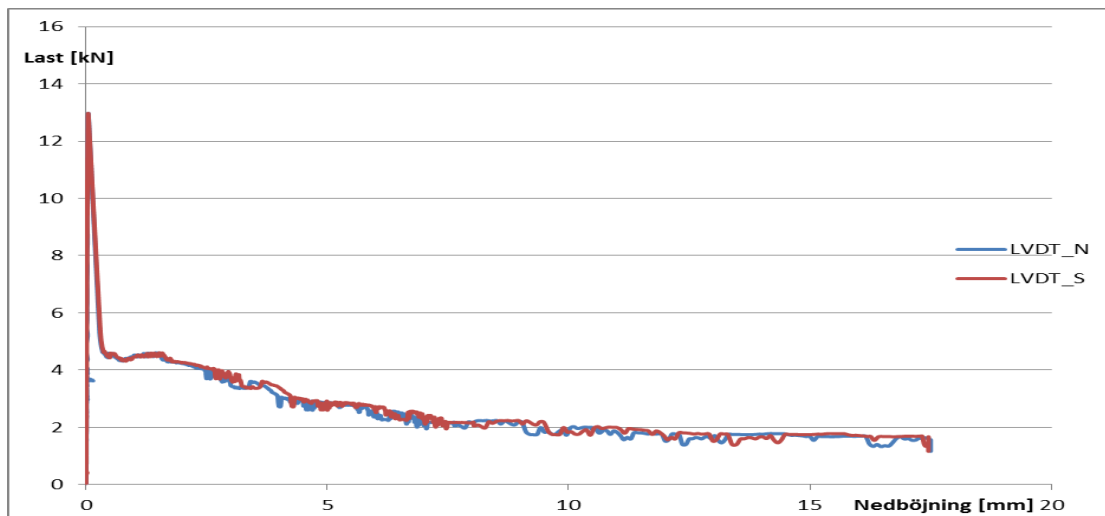
Figur 10.3 LVDT\_N och LVDT\_S provkropp F2.



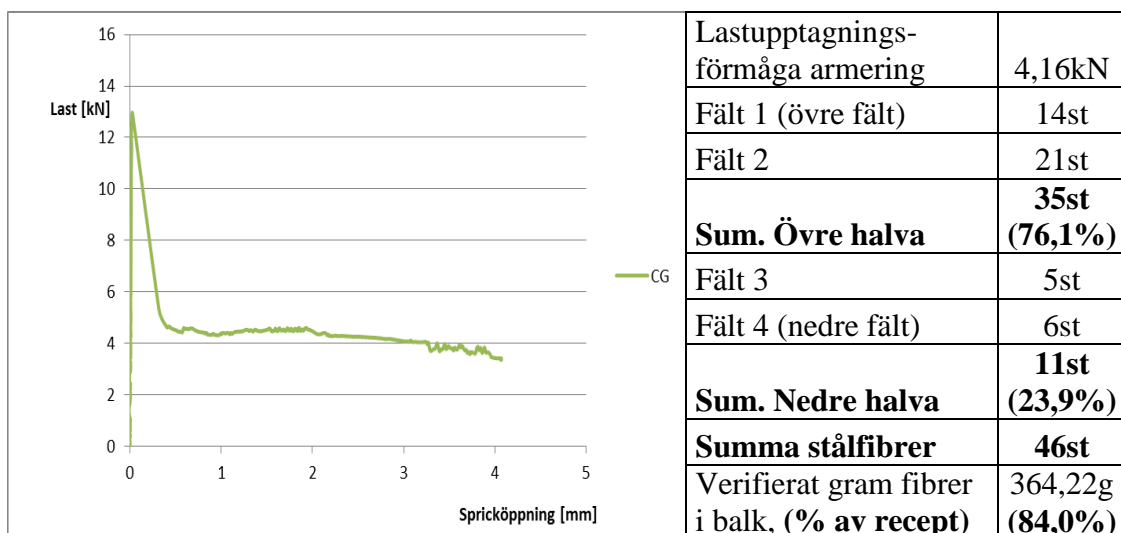
Figur 10.4 Extensiometer provkropp F2.

Provkropp F2 hade lägst residualhållfasthet. Grafen visar att den i princip är obefintlig. Armeringens lastupptagningsförmåga är i denna balk endast 3,15 kN.

### 10.1.3 Provkropp F3



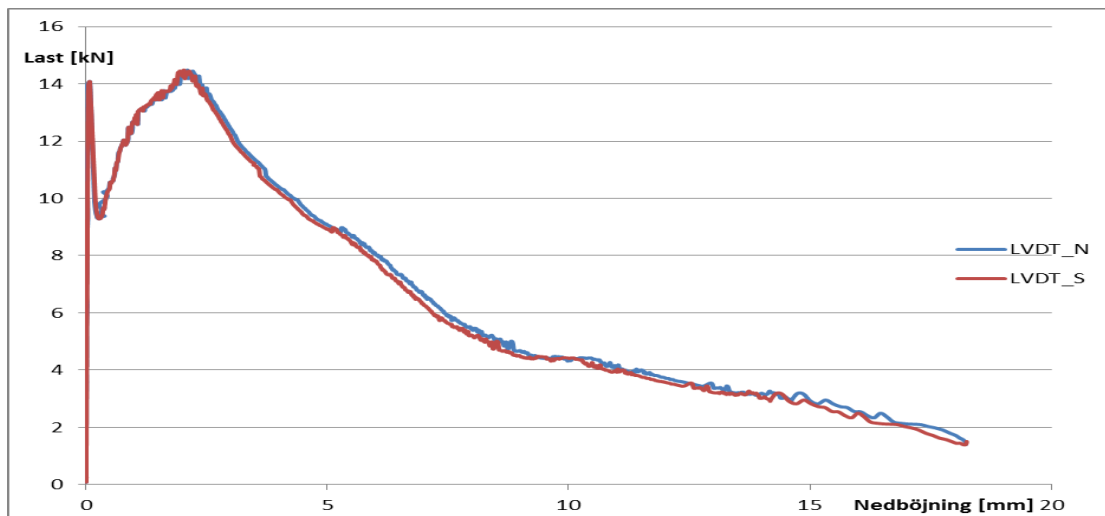
Figur 10.5 LVDT\_N och LVDT\_S provkropp F3.



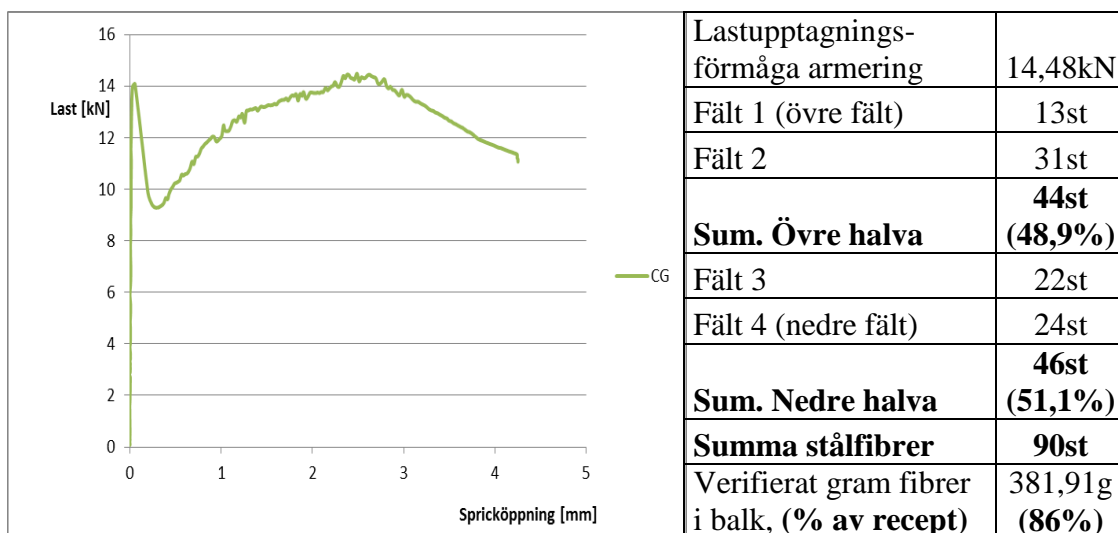
Figur 10.6 Extensiometer provkropp F3.

Provkropp F3 var den balk som hade lägst lastupptagningsförmåga för osprucken betong. Betongen började spricka vid 12,95 kN.

## 10.1.4 Provkropp F4



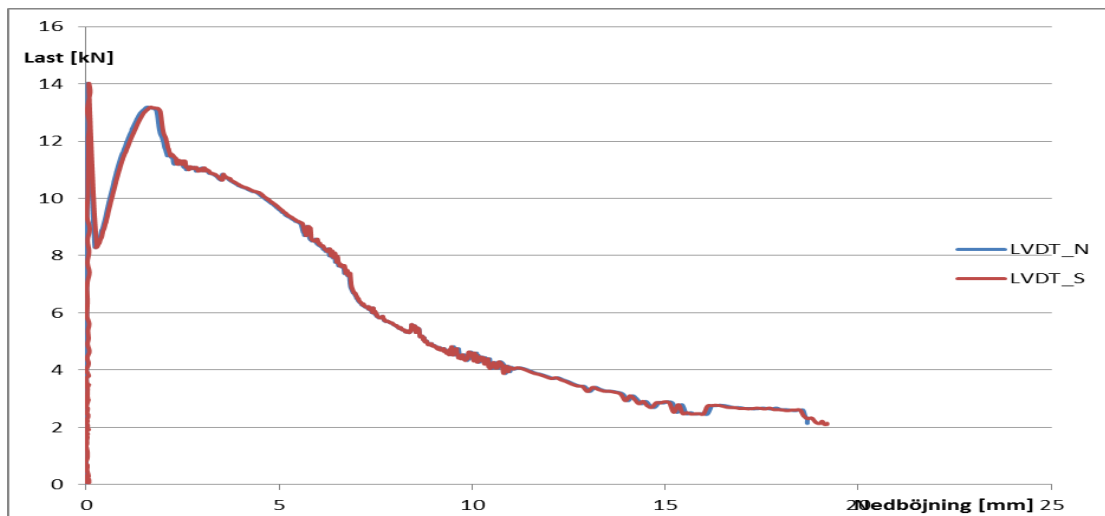
Figur 10.7 LVDT\_N och LVDT\_S provkropp F4.



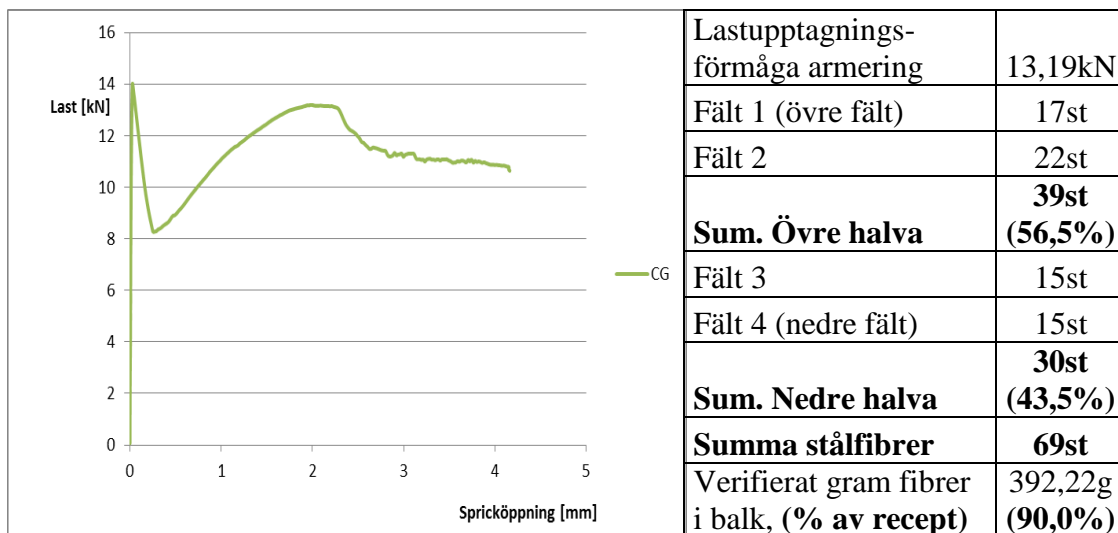
Figur 10.8 Extensiometer provkropp F4.

Balken F4 var den enda balken i experimentet som visade en töjningshårdnande egenskap. Efter det att betongen börjat spricka fortsätter balken att belastas. Efter det att betongen börjat spricka flyttas upptagningsförmågan från betongen till fiberarmeringen. I detta fall när balken har en töjningshårdnande egenskap kan armeringen ta upp mer kraft än vad betongen innan sprickorna uppkommer.

## 10.1.5 Provkropp F5



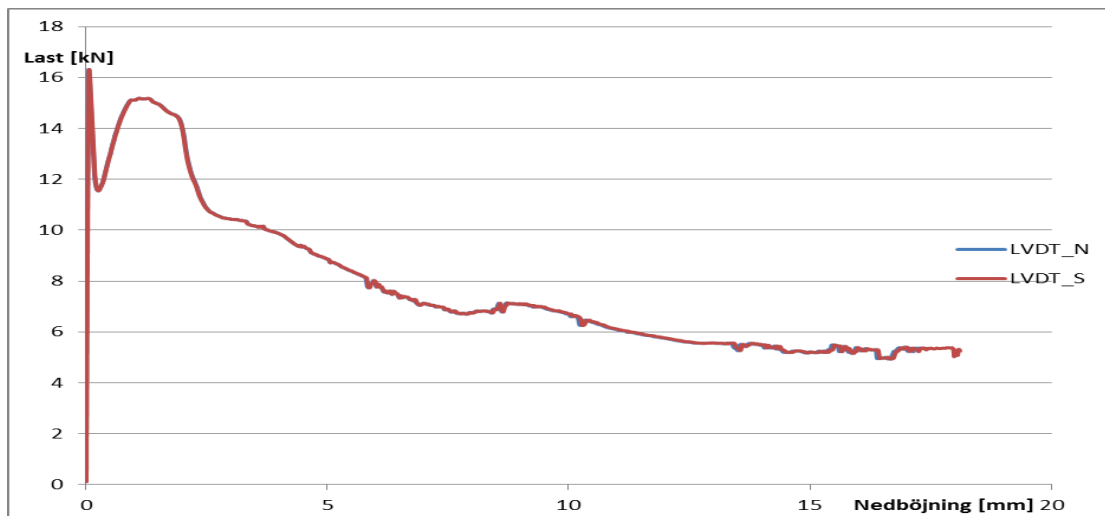
Figur 10.9 LVDT\_N och LVDT\_S provkropp F5



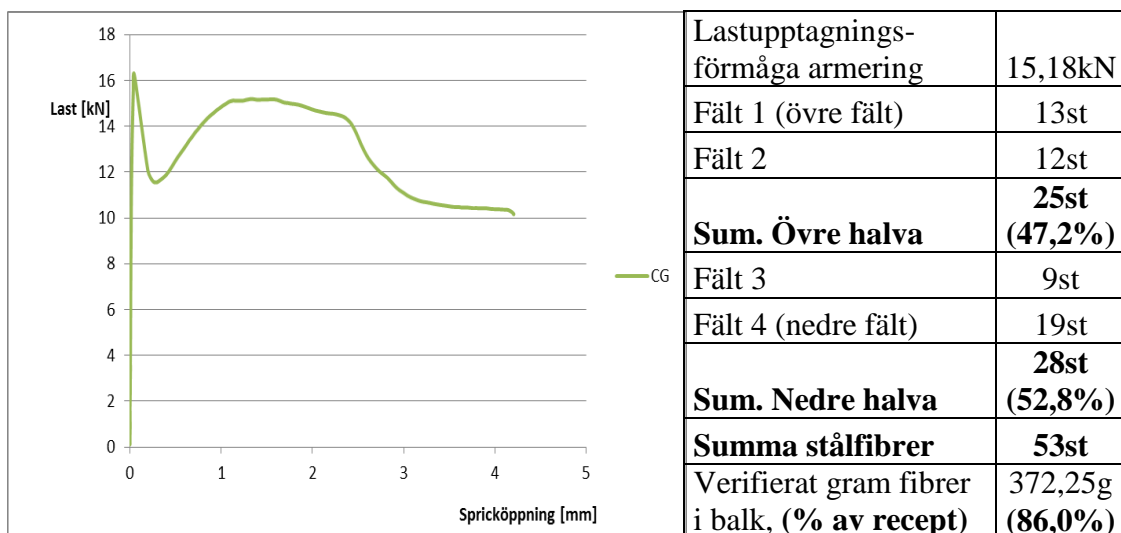
Figur 10.10 Extensiometer provkropp F5.

Provkropp F5 visar en viss lastupptagningsförmåga efter betongen spruckit. Betongen spricker vid lasten 13,19kN och en Spricköppning på 0,05mm. Stålfibrerna börjar verka efter att den fallande linjära kurvan bryts, för F5 vid spricköppning på ca 0,25mm.

## 10.1.6 Provkropp F6



Figur 10.11 LVDT\_N och LVDT\_S provkropp F6.



Figur 10.12 Extensiometer provkropp F6.

Provkropp F6 är den balk som hade störst lastupptagningsförmåga. Balken kunde belastas med 16,23 kN innan betongen började spricka.

## 10.2 Fiberfördelning i balkarna

### 10.2.1 Fiberantal och placering av fibrerna i balkarna.

| Balk F1     |               | Antal fibrer |                      |     |  |
|-------------|---------------|--------------|----------------------|-----|--|
| Del av balk | Vänster halva | Höger halva  | Totalt               |     |  |
| Övre        | 4 (3)         | 3            | 7                    | 14% |  |
| Ö. mitt     | 13 (4,2)      | 12 (3,2)     | 25                   | 51% |  |
| N.mitt      | 8 (2)         | 1            | 9                    | 18% |  |
| Nedre       | 7 (2)         | 1            | 8                    | 16% |  |
|             | 32            | 17           | Summa snitt: 49 100% |     |  |

| Balk F2     |               | Antal fibrer |                      |     |  |
|-------------|---------------|--------------|----------------------|-----|--|
| Del av balk | Vänster halva | Höger halva  | Totalt               |     |  |
| Övre        | 8 (2)         | 4            | 12                   | 41% |  |
| Ö. mitt     | 4             | 4 (2)        | 8                    | 28% |  |
| N.mitt      | 4 (3)         | 2            | 6                    | 21% |  |
| Nedre       | 2             | 1            | 3                    | 10% |  |
|             | 18            | 11           | Summa snitt: 29 100% |     |  |

| Balk F3     |               | Antal fibrer |                      |     |  |
|-------------|---------------|--------------|----------------------|-----|--|
| Del av balk | Vänster halva | Höger halva  | Totalt               |     |  |
| Övre        | 6             | 8 (2)        | 14                   | 30% |  |
| Ö. mitt     | 14 (4,2,2)    | 7 (2)        | 21                   | 46% |  |
| N.mitt      | 2             | 3            | 5                    | 11% |  |
| Nedre       | 1             | 5 (3)        | 6                    | 13% |  |
|             | 23            | 23           | Summa snitt: 46 100% |     |  |

| Balk F4     |               | Antal fibrer |                      |     |  |
|-------------|---------------|--------------|----------------------|-----|--|
| Del av balk | Vänster halva | Höger halva  | Totalt               |     |  |
| Övre        | 4             | 9 (4,2)      | 13                   | 14% |  |
| Ö. mitt     | 15 (3,2)      | 16 (4,2)     | 31                   | 34% |  |
| N.mitt      | 14 (4,2)      | 8            | 22                   | 24% |  |
| Nedre       | 12 (2,2)      | 12           | 24                   | 27% |  |
|             | 45            | 45           | Summa snitt: 90 100% |     |  |

| Balk F5     |               | Antal fibrer |                      |     |  |
|-------------|---------------|--------------|----------------------|-----|--|
| Del av balk | Vänster halva | Höger halva  | Totalt               |     |  |
| Övre        | 7 (2)         | 10 (2,3)     | 17                   | 25% |  |
| Ö. mitt     | 16 (5,4)      | 6            | 22                   | 32% |  |
| N.mitt      | 7             | 8            | 15                   | 22% |  |
| Nedre       | 9 (2)         | 6 (2)        | 15                   | 22% |  |
|             | 39            | 30           | Summa snitt: 69 100% |     |  |

| <b>Balk F6</b>     |                      | <b>Antal fibrer</b> |                             |
|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|
| <b>Del av balk</b> | <b>Vänster halva</b> | <b>Höger halva</b>  | <b>Totalt</b>               |
| <b>Övre</b>        | <b>9</b> (2)         | <b>4</b>            | <b>13</b> 25%               |
| <b>Ö. mitt</b>     | <b>9</b> (2)         | <b>3</b>            | <b>12</b> 23%               |
| <b>N.mitt</b>      | <b>3</b>             | <b>7</b> (2)        | <b>9</b> 17%                |
| <b>Nedre</b>       | <b>9</b> (2)         | <b>10</b> (3)       | <b>19</b> 36%               |
|                    | 30                   | 24                  | <b>Summa snitt: 53 100%</b> |

Gruppering av fibrer inom parentes

(5,4): en stycken gruppering med 5 st och en med 4 st fibrer i snittet.

**Antal fibrer som på något sätt satt ihop med andra fibrer**

98 st = 29%

**Antal fibrer totalt i snitten**

337 st = 71%

*Tabell 10.1 Fiberfördelning i balkarna.*