



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R69:1988

**Utvärdering av
produkttegenskaper vid
fiberbetongtillverkning**

**Hans Cederqvist
Hans Persson**

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *Set*

*R
Jall*

Byggeforskningsrådet

R69:1988

UTVÄRDERING AV PRODUKTEGENSKAPER
VID FIBERBETONGTILLVERKNING

Hans Cederqvist
Hans Persson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860234-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Ekebro
International AB, Västerås.

REFERAT

Tunn-skaliga betongelement, främst balkonger har prefabricerats genom sprutning av stålfiberarmerad betong. Den använda tillverkningsmetoden är ny och unik och möjliggör speciella produkttegenskaper. Dessa har utvärderats och jämförts med uppställda krav. Det konstateras att kraven i vissa fall ej är optimala med hänsyn till funktionskraven. En utveckling av kraven föreslås därför.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R69:1988

ISBN 91-540-4928-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sida

| | | |
|-------|------------------------|----|
| 1 | INTRODUKTION | 6 |
| 1.1 | Allmänt | 6 |
| 1.2 | EKEBRO-metoden | 8 |
| 2 | PRODUKTTILLVERKNING | 11 |
| 2.1 | Balkonger | 11 |
| 2.2 | Övrigt | 11 |
| 3 | PRODUKTIONSBESEKRVNING | 12 |
| 3.1 | Sprutning | 12 |
| 3.2 | Härdning | 12 |
| 4 | INGÅENDE MATERIAL | 13 |
| 4.1 | Betong | 13 |
| 4.2 | Stålfiber | 13 |
| 5 | KVALITETSKONTROLL | 14 |
| 6 | PRODUKTEGENSKAPER | 15 |
| 6.1 | Allmänt | 15 |
| 6.2 | Matris | 16 |
| 6.2.1 | Vattenbindemedelstal | 16 |
| 6.2.2 | Tryckhållfasthet | 17 |
| 6.3 | Fibervolym | 18 |
| 6.3.1 | Uppmätt fibervolym | 18 |
| 6.3.2 | Fiberräkning | 21 |
| 6.3.3 | Fiberfördelning | 22 |
| 6.4 | Fiberbetong | 25 |
| 6.4.1 | Allmänt | 25 |
| 6.4.2 | Första spricka | 26 |

| | <u>Sida</u> | |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------|
| 6.4.3 | Böjdraghållfasthet | 29 |
| 6.4.4 | Seghetsindex | 30 |
| 6.4.5 | Sprickantal | 31 |
| 6.5 | Jämförande provning | 33 |
| 6.5.1 | CBI | 33 |
| 6.5.2 | KTH | 34 |
| 7 | UPPSKATTNING AV FELKÄLLOR | 35 |
| 7.1 | Tryckhållfasthet | 35 |
| 7.2 | Sprickspänning | 35 |
| 7.3 | Seghetsindex | 36 |
| 7.4 | Fiberinnehåll och fördelning | 37 |
| 8 | SLUTSATSER OCH DISKUSSION | 39 |
| 8.1 | Betongkvalitet | 39 |
| 8.2 | Fiberbetong | 39 |
| Bilaga 1: Produktblad Balkong | | |
| " | 2: " | " |
| " | 3: " | Fasadelement |
| " | 4: Program för kvalitetssäkring | |

Beteckningar och förkortningar

- d = stålfiberdiameter (mm)
- f_{cc} = tryckhållfasthet (MPa)
- f_{max} = kompositens maximala böjdragspänning (MPa)
- F_s = kraft vid första spricka (kN)
- f_s = betongens sprickspänning (MPa)
- I_{10} = seghetsindex
- $k_{1,2}$ osv = konstanter
- l = fiberlängd (mm)
- l_c = kritisk fiberlängd (mm)
- $\frac{l}{d}$ = slankhetstal (aspect ratio)
- V_f = volym stålfiber i matrisen (v/o)
- δ_s = deformation vid första spricka (mm)
- σ_f = stålfibers brottspänning (MPa)
- τ = vidhäftning fiber-matris (MPa)
- η_0 = fiberorienteringsfaktor
- η_1 = fiberlängdfaktor

SAMMANFATTNING

EKEBRO INTERNATIONAL AB har under åren 1985-87 bedrivit tillverkning av stålfiberarmerade produkter, främst balkonger, med en för ändamålet utvecklad teknik.

Föreliggande rapport redovisar de produkttegenskaper som uppnåtts samt utvärderar dessa gentemot uppställda krav.

Det konstateras att spridningen i data är relativt stor. Spridningen förklaras till en del med osäkerheten i använda mätmetoder. Det bör noteras att fiberfördelningen i tillverkade produkter är god.

En utveckling av de för tillverkningen uppställda produktkraven föreslås så att dessa blir bättre anpassade till funktionskraven.

1 INTRODUKTION

1.1

Allmänt

Armering av betong genom tillsättning av fibrer har utnyttjats sedan mycket lång tid tillbaka.

Genom tillsättning av stålfibrer till betong förbättras flera viktiga produkttegenskaper bland annat böjdraghållfastheten och segheten hos materialet. Den goda sprickfördelning som erhålles kan också utnyttjas för att öka produktens beständighet. Användning av stålfiber som armering möjliggör tillverkning av tunn-skaliga produkter, såsom t ex fasadelement och balkonger.

Stålfibrer är emellertid dyrare än konventionella armeringsjärn vid samma volymsprocent armering. Det är därför mycket viktigt att stålfibrerna kan utnyttjas optimalt i betongen.

Detta kräver att följande två krav är uppfyllda:

1. Stålfibrerna är väl fördelade
2. Långa stålfibrer kan utnyttjas

Konsekvensen av en felaktig eller dålig fiberfördelning är detsamma om det av ett felaktigt placerat armeringsjärn, dvs armeringseffekten uteblir eller minskar radikalt. För att kompensera detta måste en högre koncentration stålfibrer än den erforderliga användas vilket resulterar i dålig ekonomi.

En lång stålfiber utnyttjas i de flesta fall bättre än en kort därför att den kan ta upp större last per volymsprocent fiber. Fiberlängdens inverkan på

resulterande produkttegenskaper diskuteras bland annat i ref. 1, 2, 3 och 4.

Normalt användes förhållandet mellan fiberns längd och diameter för att uttrycka dess effektivitet vid armering. Följande samband gäller:

$$\frac{l_c}{d} = \frac{\sigma_f}{2\tau}$$

Den kritiska fiberlängden motsvarar den längd vid vilken fibern dras ut och går av samtidigt om en successivt ökande spänning påläggs en till halva längden inbäddad fiber i dess längdriktning.

På grund av fiberorienteringsfaktorn och det förhållande att alla fiber ej är optimalt orienterade (parallellt med dragspänningen) så kommer den optimala fiberlängden i en verklig tillämpning att vara större än den kritiska.

Fiberlängdfaktorn definieras normalt som följer.

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_1 = \frac{l_f}{2l_c} \quad l_f \leq l_c \\ \eta_1 = 1 - \frac{l_c}{2l_f} \quad l_f > l_c \end{array} \right.$$

Användning av en längre fiber är alltså att föredra. Det finns emellertid en optimal längd vid vilken en ökad fiberlängd inte förbättrar produkttegenskaperna. Denna är beroende av den använda betongmatrisen, fibertypen etc.

Den maximala böjdraghållfastheten hos kompositen kan uttryckas:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{max} = k_1 \times \eta_0 \times \eta_1 \times \sigma_f \times V_f \quad \text{för } l_f > l_c \\ f_{max} = k_2 \times \eta_0 \times \eta_1 \times \frac{2l_f}{d} \times \tau \times V_f \quad \text{för } l_f \leq l_c \end{array} \right.$$

Den maximala böjdraghållfastheten är alltså i första fallet beroende av fiberns hållfasthet medan den i det andra är en funktion av bindningsstyrkan mellan fiber och matris.

Segheten (I_{10}) är ett mått på den energi som åtgår för att åstadkomma en definierad deformation hos en struktur. För fiberbetong erfordras för erhållande av ett högt I_{10} att fibrerna dras ur betongen successivt. Detta kräver energi medan ett plötsligt fiberbrott ej är energikrävande.

1.2

EKEBRO-metoden

Den av EKEBRO INTERNATIONAL utvecklade metoden utnyttjar en speciell fiberbetongspruta, avbildad i figur 1.



FIGUR 1.1: SPRUTAN

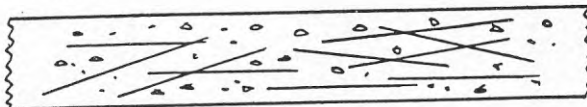
Grundprincipen är klippning av ståltråd med hög hastighet i en speciell klipp och efterföljande utsprutning av producerade fibrer från sprutmunstycket tillsammans med en koncentrisk betongstråle (våt sprutning).

Ståltråden matas kontinuerligt från de två spolarna i i sprutan. Efter att ha klippts kastas stålfibrerna genom ett rör vars diameter är mindre än fiberlängden. Fibrerna orienteras därmed parallellt med sprutmunstyckets axel och träffar produkten med en lodrät vinkel. Detta resulterar i ett litet återslag från ytan. Den unika utformningen av sprutan medför följande fördelar:

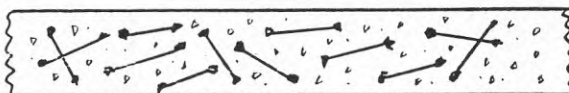
1. Variation av produktens fiberinnehåll från 0 upp till flera procent är möjlig. En högre koncentration av fibrer kan tillföras områden med höga belastningar eller ogynnsam geometri.
2. Utnyttjande av stålfibrer med upp till ca 200 mm längd är möjligt, dvs slankhetstal upp till ca 400.
3. En fördelaktig fördelning och orientering av fibrer i produkten erhålles. (Se figur 1.2).

Förutom ståltråden matas sprutan med tryckluft och med betong från en blandare via en pump. Systemets kapacitet är mellan 0.5-5 m³/h beroende på önskat fiberinnehåll i produkten.

EKEBRO FIBRER



KONVENTIONELLA (KORTA) FIBRER



FIGUR 1.2: FIBERORIENTERING

Metoden presenteras ytterligare i ref 5 och 6.

2

PRODUKTTILLVERKNING

Fiberbetongsystemet har dels använts till produkttillverkning dels för entreprenadarbeten. Denna rapport behandlar uppföljning och utvärdering av den tillverkning av prefabricerade betongelement som genomförts med systemet under 1986-87.

2.1

Balkongtillverkning

Totalt har under perioden 1984-87 1100 balkonger levererats. Ett urval av representativa balkongtyper redovisas i bilaga 1 och 2.

Balkongen är typgodkänd enligt Statens Planverks bevisnummer 7386/85. Balkongens bottenplatta innehåller konventionell armering medan sidorna och fronten endast är armerade med fibrer utom i en viss typ av upphängning.

2.2

Övriga produkter

Förutom balkonger har en del andra sprutade produkter tillverkats bl a fasadelement (se bilaga 3), odlingslådor etc.

3

PRODUKTIONSBESKRIVNING

3.1

Sprutning

I figur 3.1 visas en bild från sprutningen.



Balkongen tillverkas så att botten först gjutes i en stålform. Därpå monteras ytterligare en form på bottenplattan. På denna form sprutas stålfiberarmerad betong i tjocklek från 25-40 mm. Sprutningen börjar och avslutas med att ett 5 mm tjockt täcksikt pålägges, vilket har till uppgift att skydda stålfiberarmeringen från angrepp från den yttre miljön.

3.2

Härdning

Härdning sker i en härdkammare med 100 % relativ luftfuktighet under två dygn.

4

INGÅENDE MATERIAL

4.1

Betong

Som ballastmaterial användes sand med 0-4 mm kornstorlek som kan innehålla en viss andel krossat material.

Standard portland cement utnyttjas med tillsats av silica för att förbättra sprutbarheten och betongens täthet.

Kravet på betongkvalite sättes av det höga kravet på beständighet. Detta medför ett vbt <0.40. För att erhålla en pumpbar betong användes flytmedel.

4.2

Stålfiber

Den använda stålfibern har levererats som tråd på rulle av HÖRLE TRÅD AB och har följande data:

σ_f - 1100 MPa \pm 10 %
d - 0.5 mm

Utförande - präglad, ej galvaniserad
Normalt användes fiberlängden 48 mm.

5

KVALITETSKONTROLL

Denna har som minimum följt de krav som uppställts av Statens Planverk i samband med typgodkännandet. Dessa krav bifogas som bilaga 4.

Under hösten 1987 har kvalitetskontrollen utvidgats med att bland annat ett större antal bøjprovbalkar uttagits än vad som erfordras.

6

PRODUKTEGENSKAPER

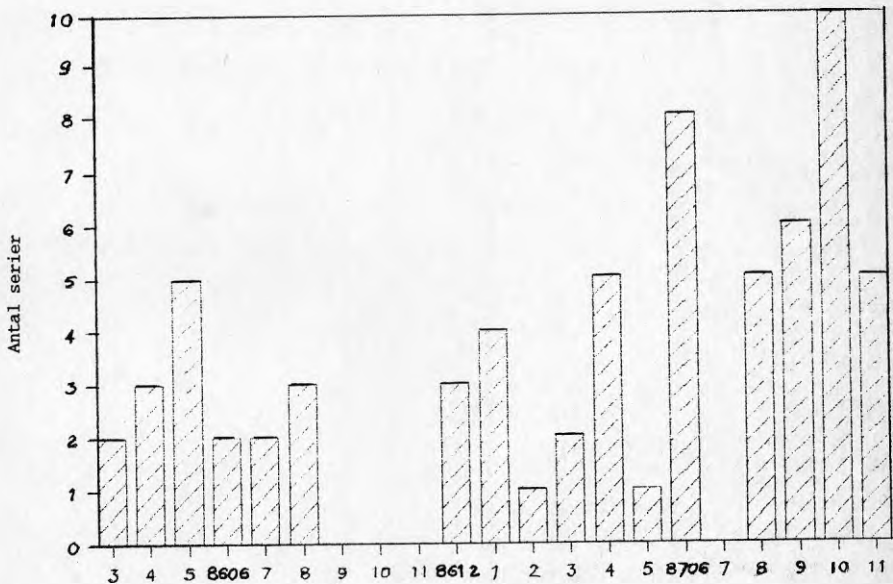
6.1

Allmänt

Föreliggande sammanställning och analys av resultat från egenkontrollen hänförs till perioden 18 mars 1986 till 20 nov 1987.

I varje provserie har i normalfallen 3 prov uttagits. Provtagningsfrekvensen har varierat under perioden såsom framgår av figur 6.1. Denna variation återspeglar beläggningssituationen. Under juni 87 och hösten 87 har provantalet hela tiden varit högt. I kvalitets-säkringsprogrammet anges att provning av böjgenskaper skall ske var 5:e produktionsdag, dvs ca 4 ggr per månad vid produktion varje veckodag.

FIGUR 6.1: ANTAL PROVSERIER



6.2

Matris

6.2.1

Vattenbindemedelstal

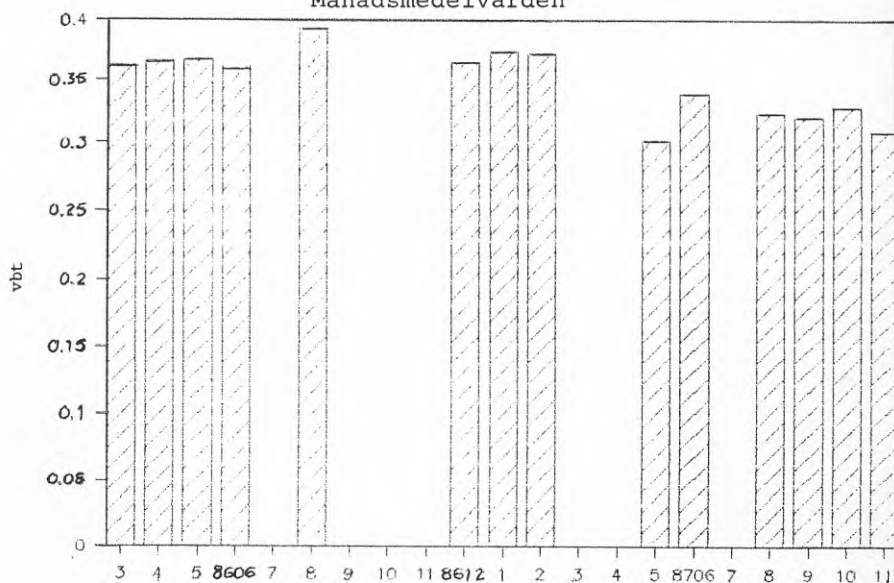
Följande data gäller för hela perioden för vbt:

| | |
|-------------------|------|
| Antal värden | 90 |
| Medelvärde | 0.35 |
| Standardavvikelse | 0.03 |
| Max.värde | 0.40 |
| Min.värde | 0.29 |

I kvalitetssäkringsprogrammet anges att vbt skall vara högst 0.40. Resultaten från egenkontrollen visar att kravet innehållits i samtliga provserier.

Månadsmedelvärden för vbt redovisas i figur 6.2. Ur figuren kan utläsas att vbt mot slutet av provperioden har sjunkit till ca 0.32, dvs ett mycket lågt värde som väsentligt understiger kravvärdet.

FIGUR 6.2: VATTENBINDEMEDELSTAL, VBT
Månadsmedelvärden



6.2.2

Tryckhållfasthet

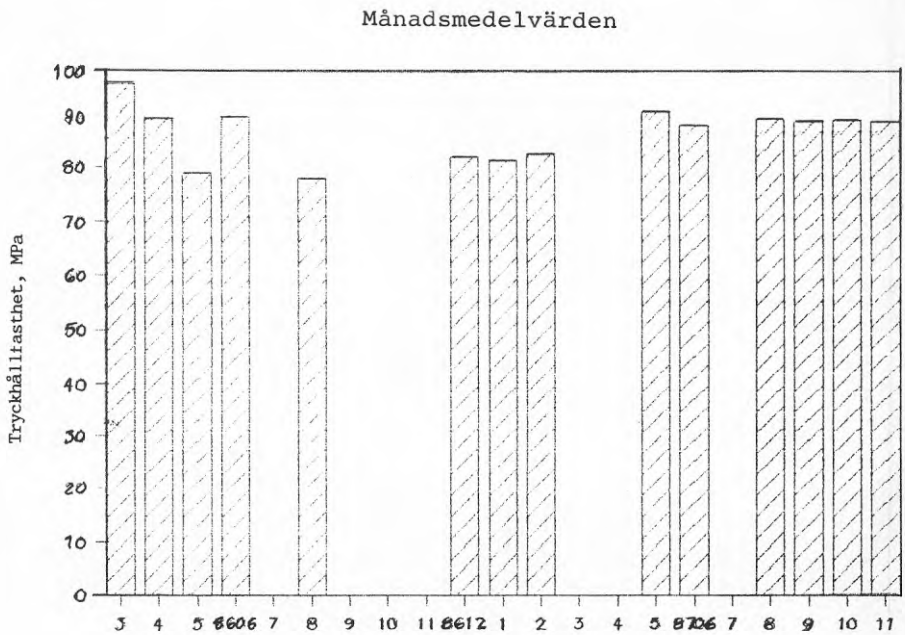
Följande data gäller för hela perioden för tryckhållfasthet:

| | <u>7 dygn</u> | <u>28 dygn</u> |
|-------------------|---------------|----------------|
| Antal värden | 38 | 103 |
| Medelvärde | 74 | 85 MPa |
| Standardavvikelse | 7.1 | 8.2 MPa |
| Max.värde | 84 | 106 MPa |
| Min.värde | 53 | 69 MPa |

I kvalitetssäkringsprogrammet anges att betongens hållfasthetsklass skall vara lägst K40. Beräknat på hela provmaterialet och utvärderat enligt BBK 79, är nedre 5%-kvartilvärdet vid 28 dygn 74 MPa, dvs väsentligt överstigande hållfasthetsklass K40.

Månadsmedelvärden för tryckhållfastheten redovisas nedan. Ur figuren 6.3 kan utläsas att hållfasthetsnivån, med några få undantag, legat på ungefär samma nivå under hela perioden. Under hösten 87 har tryckhållfastheten varit jämn med ett medelvärde av 89 MPa och en standardavvikelse av 4 MPa.

FIGUR 6.3: TRYCKHÅLLFASTHET, 28 DYGN



6.3

Fibervolym

6.3.1

Uppmätt fibervolym

Följande data gäller för hela perioden för fibervolym:

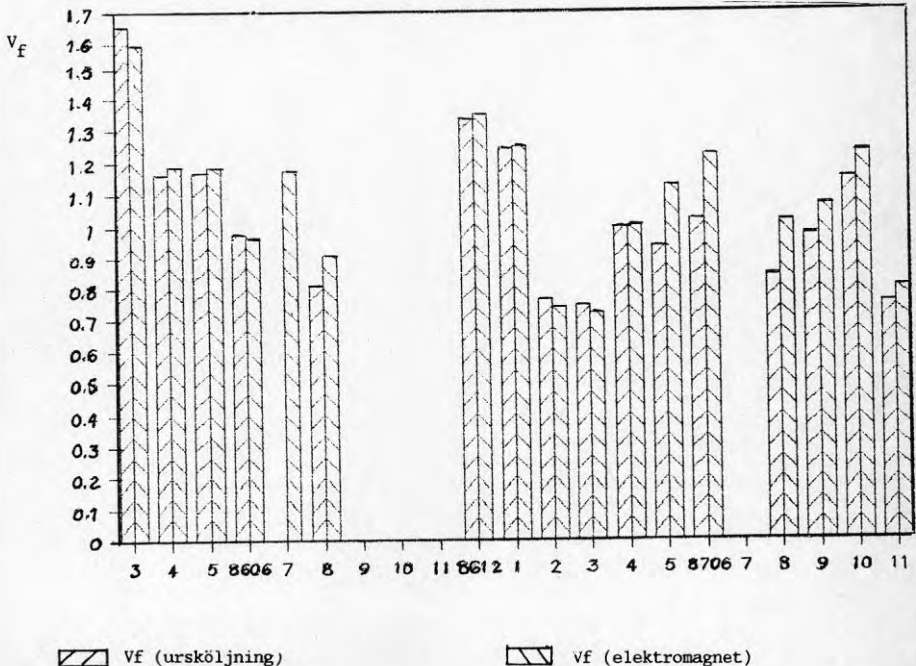
| | Vf % <u>ursköljning</u> | Vf % <u>elektromagnet</u> |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|
| Antal värden | 61 | 115 |
| Medelvärde | 1.04 | 1.14 |
| Standardavvikelse | .27 | .27 |
| Max.värde | 1.9 | 1.9 |
| Min.värde | .5 | .6 |

I kvalitetssäkringsprogrammet för balkonger anges att fibermängden i betongen skall vara minst 1 volymprocent i genomsnitt för varje mätlinje i produkten. Här har uppmätta fibermängder på provkroppar redovisats, men dessa värden förutsättes överensstämma med vad som kan återfinnas i produkterna. Det bör observeras att fiberinnehållet i samtliga produkter har uppmätts före dessa godkänts för uttransport.

Bestämning genom ursköljning kan förväntas ge den riktigaste indikationen av fibervolymer, och dessa värden visar över hela provperioden ett medelvärde på 1.04 %, således något över det föreskrivna. Mätning med elektromagnet visar på ett något högre medelvärde. Standardavvikelsen för de båda metoderna är lika.

Månadsmedelvärden för de båda mätmetoderna är redovisade i figur 6.4:

FIGUR 6.4: FIBERVOLYM
Månadsmedelvärden



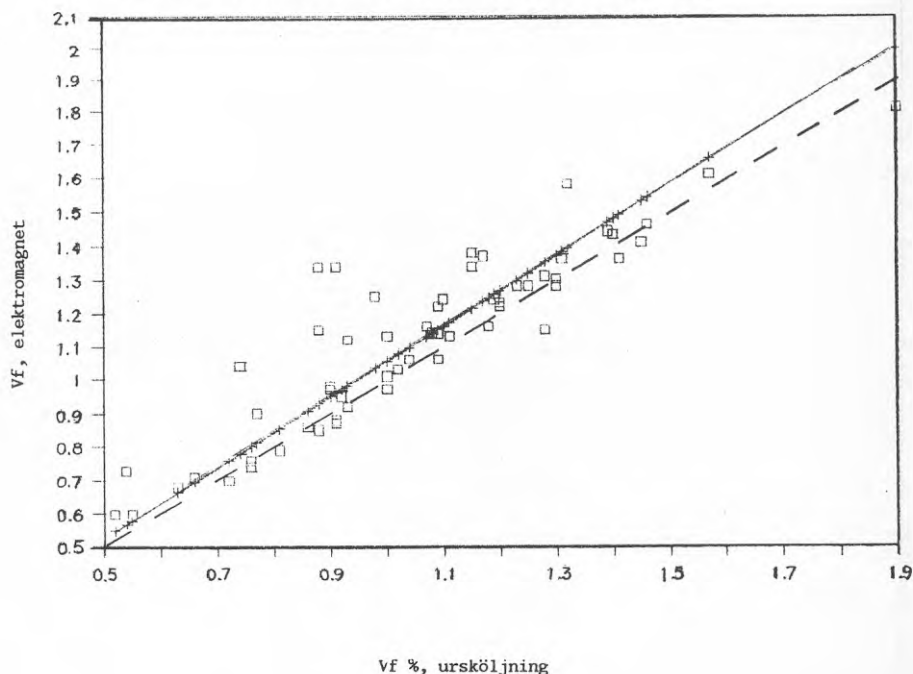
Redovisningen ovan av medelvärden och standardavvikelser för de båda använda metoderna att bestämma fibervolymer, liksom månadsmedelvärdena för respektive metod, antyder att det är en liten systematisk överskattning av volymen vid mätning med elektromagnet. Standardavvikelserna är dock jämförbara vilket kan betyda att mätning med elektromagnet kan ge samma precision som mätning genom ursköljning. Regressionsanalys på sambandet genom origo mellan fibervolymer mätt med de båda metoderna ger för hela provperioden sambandet:

$$V_f (\text{el.magn}) = 1.055 \cdot V_f (\text{ursköljning})$$

Korrelationskoefficienten är 0.89.

Regressionssambandet visas på figur 6.5. Streckad linje är 45-graderslinjen, dvs motsvarande en lutning på regressionslinjen lika med 1.00.

FIGUR 6.5: METODJÄMFÖRELSE, FIBERVOLYM



6.3.2

Fiberräkning

Följande data gäller för hela perioden för antal fibrer i brottsnitt:

| | <u>Antal</u> <u>totalt (T)</u> | <u>Antal</u> <u>dragen halva</u> (D) | <u>D/T</u> |
|-------------------|-----------------------------------|--|------------|
| Antal värden | 164 | 164 | 164 |
| Medelvärde | 55 | 24 | 0.44 |
| Standardavvikelse | 17 | 9 | 0.08 |
| Max.värde | 104 | 59 | .62 |
| Min.värde | 24 | 4 | .13 |

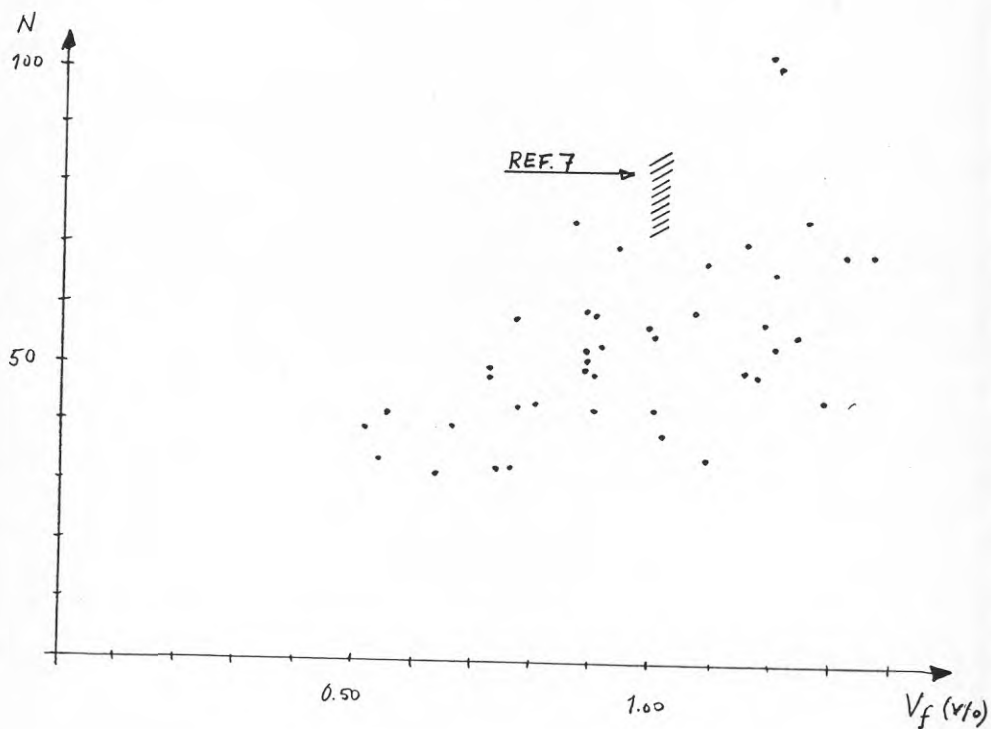
Beräkningarna visar att det finns en tendens till att fibermängden i den dragna halvan av provbalkarna är något lägre än i den tryckta (förhållande 44-56).

Orsaken till detta är förmodligen den större kompakteringen av den underliggande betongmängden. Sambandet mellan antalet uppmätta fibrer vid ursköljning och antalet totalt beräknade i brottsnittet visas i figur 6.6.

Spridningen visar svårigheten att korrekt bedöma fibermängden utgående från räkning av antalet. Detta diskuteras också i referens 7.

Det indikerade spannet visar hur många fiber som enligt referens bör återfinnas i snittet beroende av om fibrerna är 2- eller 3-dimensionellt fördelade. Underskattningen i antal fibrer kan hänföras till att brottet sker i det svagaste snittet där antalet fibrer är minst.

FIGUR 6.6: SAMBAND MELLAN ANTALET RÄKNADE
FIBRER TOTALT OCH RESULTATET VID
URSKÖLJNING



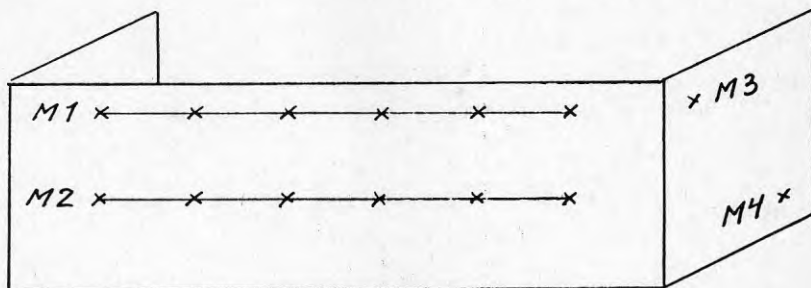
6.3.3

Fiberfördelning

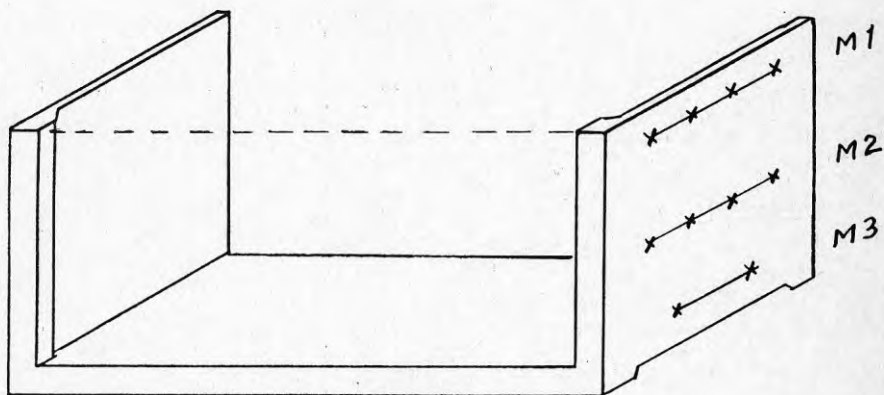
Som framgår är fiberfördelningen mycket god i de fall sprutning sker över en något större yta.

För två av balkongprojekten har fiberinnehållet utvärderats och sammanställts. Detta redovisas i figurerna 6.7 - 6.9.

FIGUR 6.7: MÄTPUNKTER FÖR FIBERINNEHÅLL

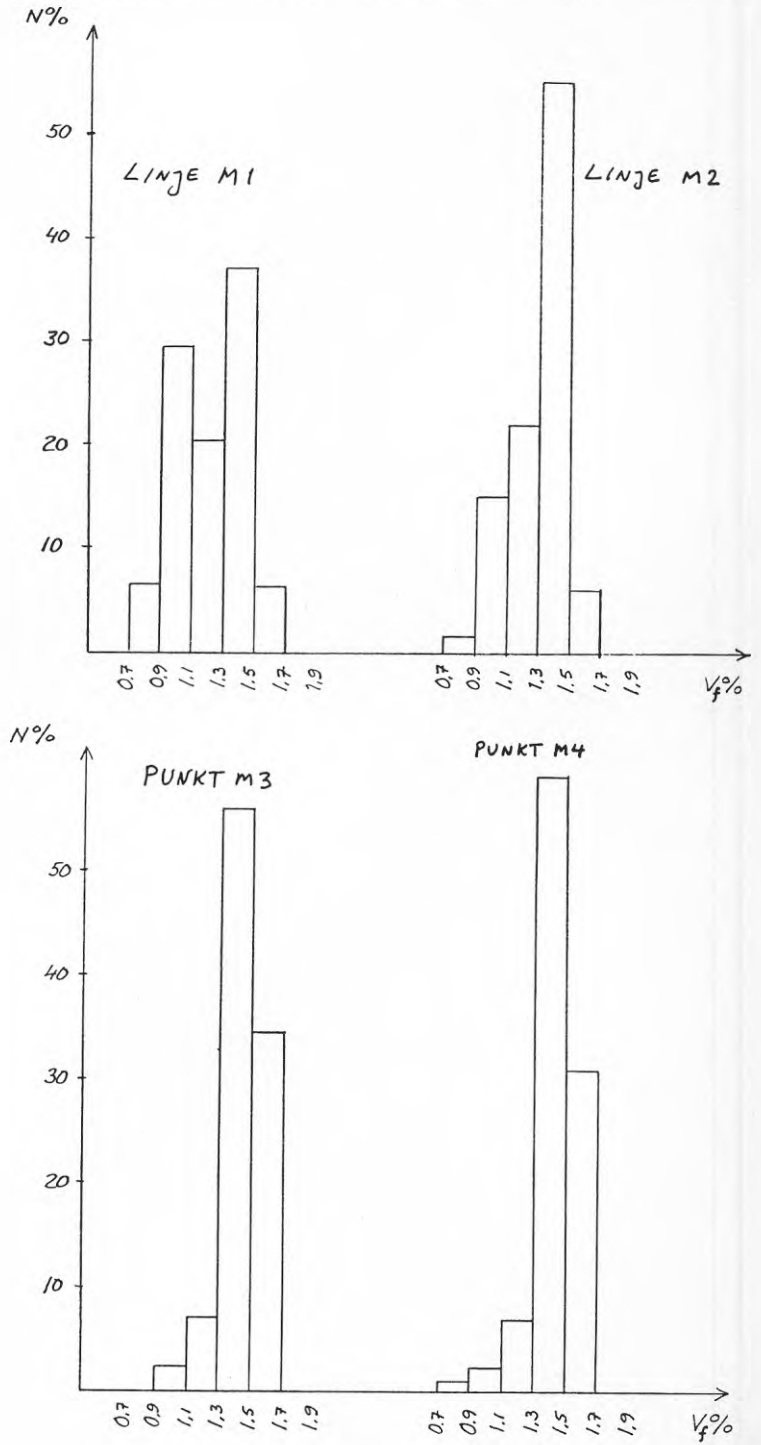


Kv. Anar. 93 st balkonger
Obs. Båda sidaskärmarna med i statistiken.

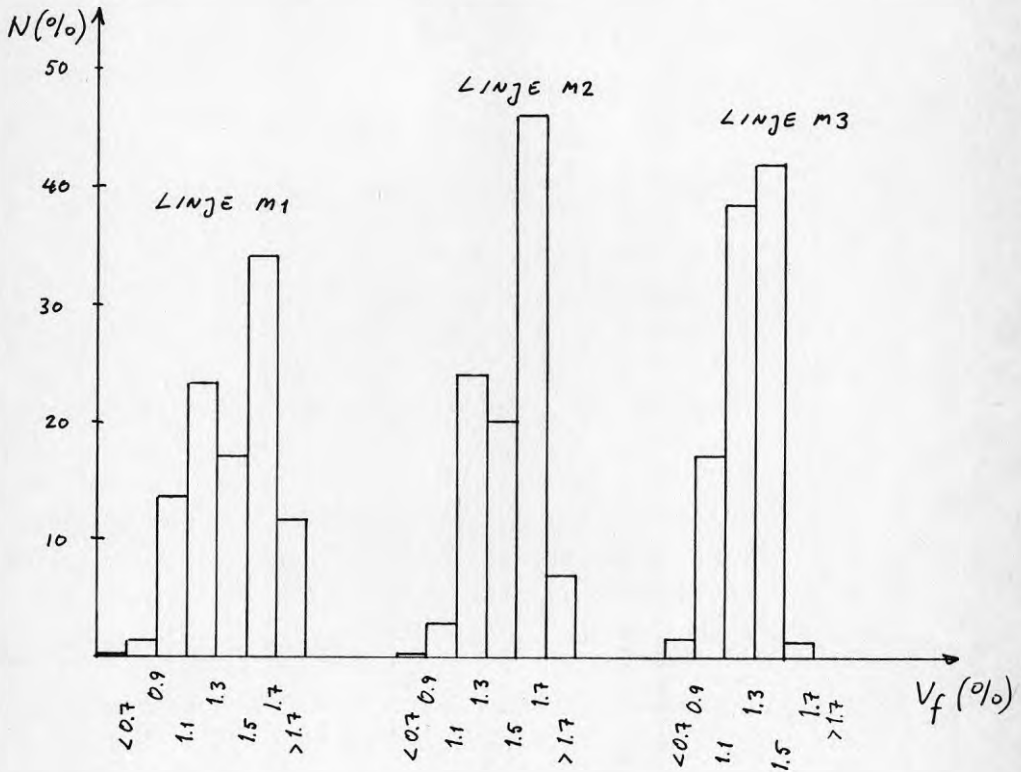


Granängsringen. 71 st balkonger
Obs. Båda skärmarna med i statistiken.

FIGUR 6.8 FIBERFÖRDELNING - KV ANAR



FIGUR 6.9: FIBERFÖRDELNING - GRANÄNGSRINGEN



6.4 Fiberbetong

6.4.1 Allmänt

Ett typiskt last-deformationsdiagram redovisas i bilaga 5.

Böjprovningsen har utförts i Arboga med en dragprovsmaskin typ "J J TENSILE TESTING MACHINE T5000".

Provning och utvärdering har utförts i enlighet med bilaga 4.

6.4.2

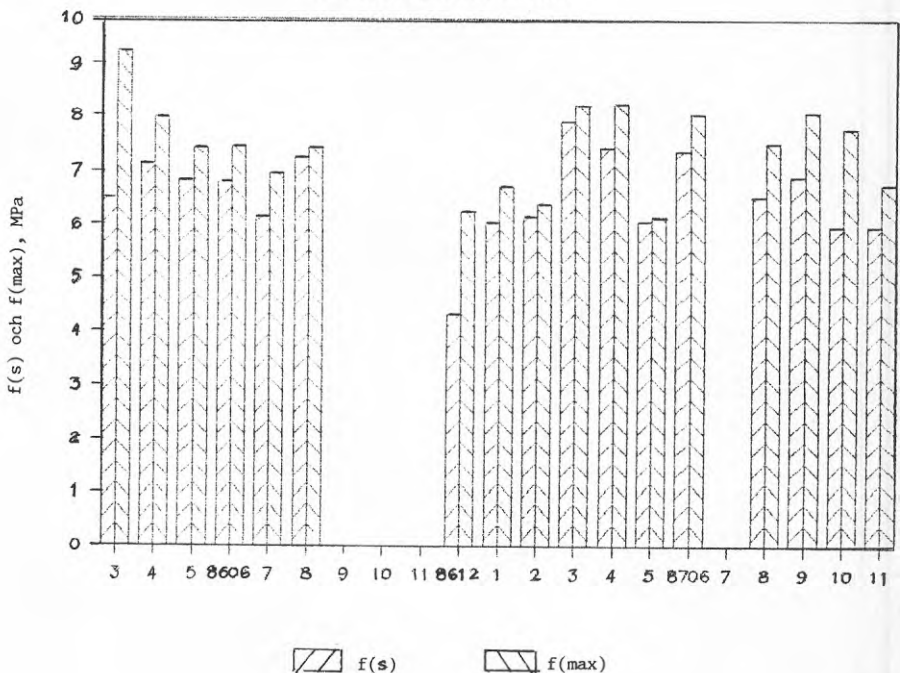
Första spricka

Följande data gäller för hela perioden för första spricka:

| | Nedböjning (σ_s , mm) | Sprickspänning (f_s , MPa) |
|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Antal värden | 188 | 188 |
| Medelvärde | .80 | 6.5 |
| Standardavvikelse | .16 | 1.3 |
| Max.värde | 1.55 | 12.3 |
| Min.värde | .42 | 2.7 |

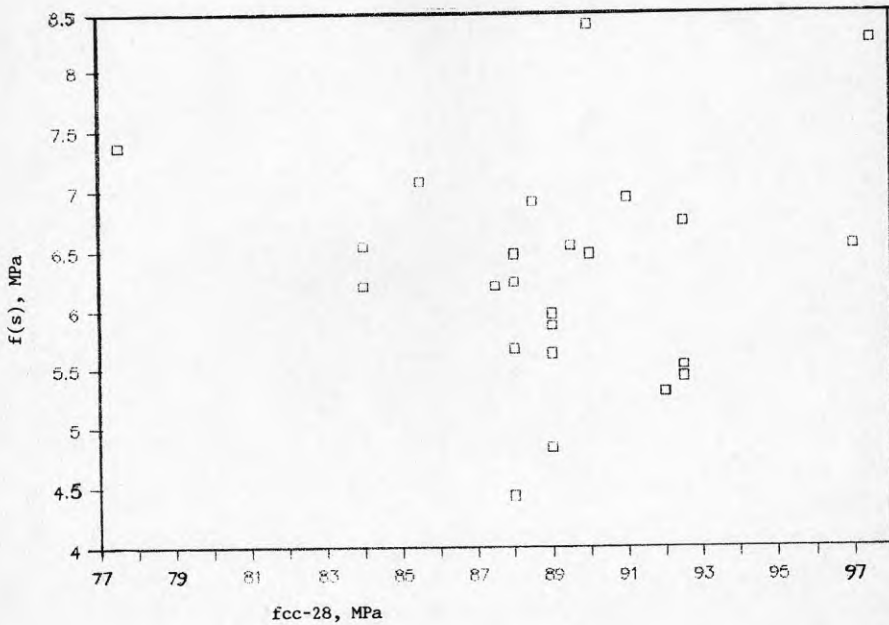
I kvalitetssäkringsprogrammet (bilaga 4) anges att 5 %-fraktilen för spänningen vid första spricka skall vara lägst 5.0 MPa. Sett över hela provperioden erhålls här ett kvartilvärde av 4.8 MPa, dvs något lägre än det specificerade. Variationen sett över hela provperioden framgår av figur 6.10, i vilken även böjdraghållfastheten angivits.

FIGUR 6.10: SPRICKSPÄNNING OCH BÖJDRAGHÅLLFASTHET
Månadsmedelvärden



Figur 6.11: SPRICKSPÄNNING/TRYCKHÅLLFASTHET

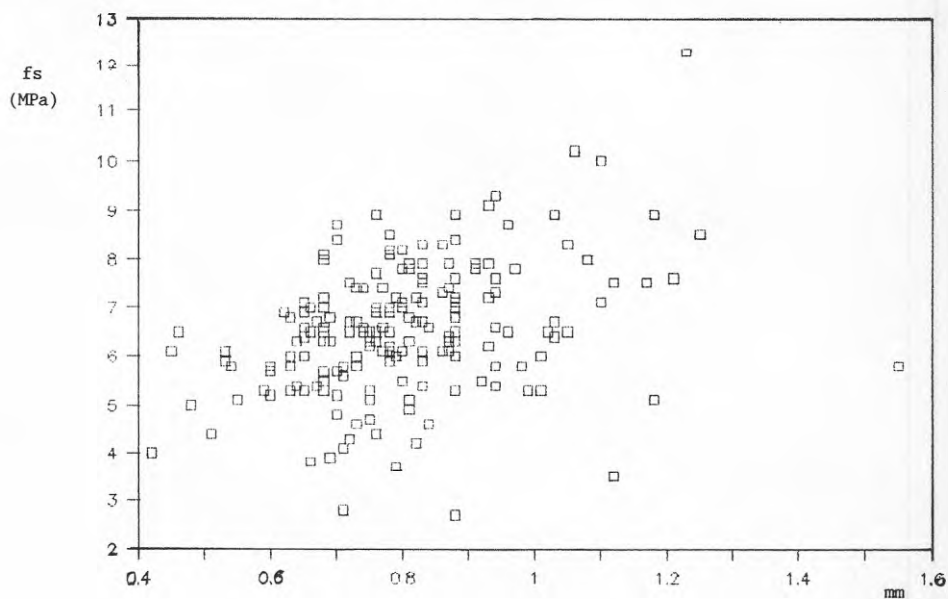
Aug - Nov 1987



Sprickspänningen kan förväntas vara en direkt indikation på matrisens kvalite.

Ett visst samband kan också skönjas trots spridningen. Det bör dock observeras att tryckhållfastheten endast varierar inom området 84-97 MPa. På grund av osäkerheten i uppskattning i t ex F_s är resultatet ej överraskande.

FIGUR 6.12: SPRICKSPÄNNING/NEDBÖJNING VID FÖRSTA SPRICKAN



Ett klart samband förefinnes vilket också kan förväntas.

.4.3

Böjdraghållfasthet

Följande data gäller för hela perioden för böjdraghållfasthet:

| | Böjdraghållfasthet (f_{\max} , MPa) |
|-------------------|---|
| Antal värden | 188 |
| Medelvärde | 7.6 |
| Standardavvikelse | 1.2 |
| Max.värde | 13.2 |
| Min.värde | 4.6 |

6.4.4

Seghetsindex

Följande data gäller för hela perioden för seghetsindex I(10):

| | Seghetsindex (I10) |
|-------------------|--------------------|
| Antal värden | 184 |
| Medelvärde | 8.4 |
| Standardavvikelse | 2.8 |
| Max.värde | 16.6 |
| Min.värde | 3.2 |

I kvalitetssäkringsprogrammet anges att seghetsindex skall vara minst 8. Baserat på hela provperioden blir medelvärdet 8.4. Det bör noteras att spridningen är mycket stor.

6.4.5

Sprickantal

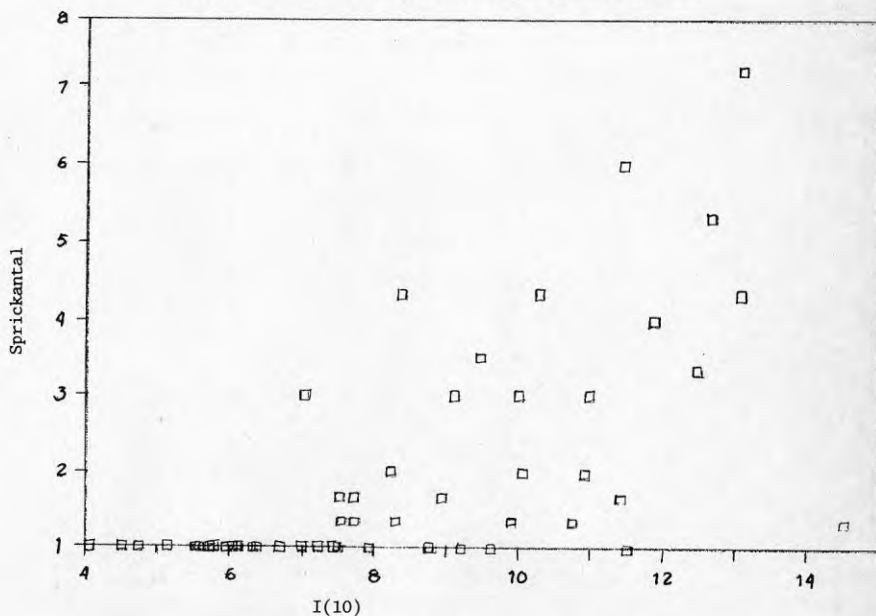
Följande data gäller för hela perioden för antal sprickor noterade vid böjdragprovnigen:

| Antal sprickor | |
|----------------|-----|
| Antal värden | 180 |
| Medelvärde | 1.9 |
| Max.värde | 8 |
| Min.värde | 1 |

Standardavvikelsen har inte beräknats då normalfördelning inte kan förväntas, men uppenbart är att spridningen är stor.

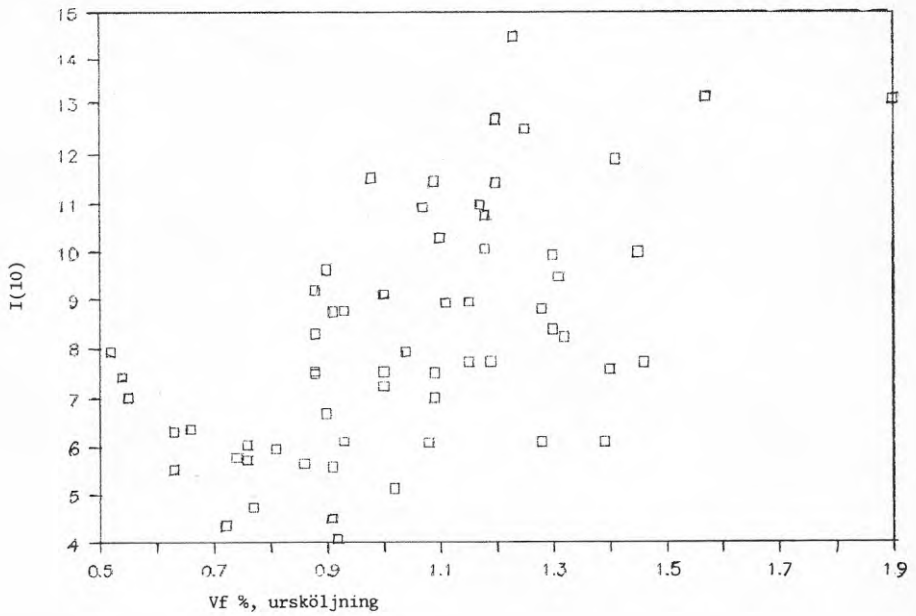
Sprickantalet skulle kunna förväntas samvariera med seghetsindex. En sådan samvariation är undersökt i figur 6.15. I den framgår att seghetsindex över ca 8 har förmått ge flertalsuppsprickning.

FIGUR 6.15: SPRICKANTAL/SEGHETSINDEX

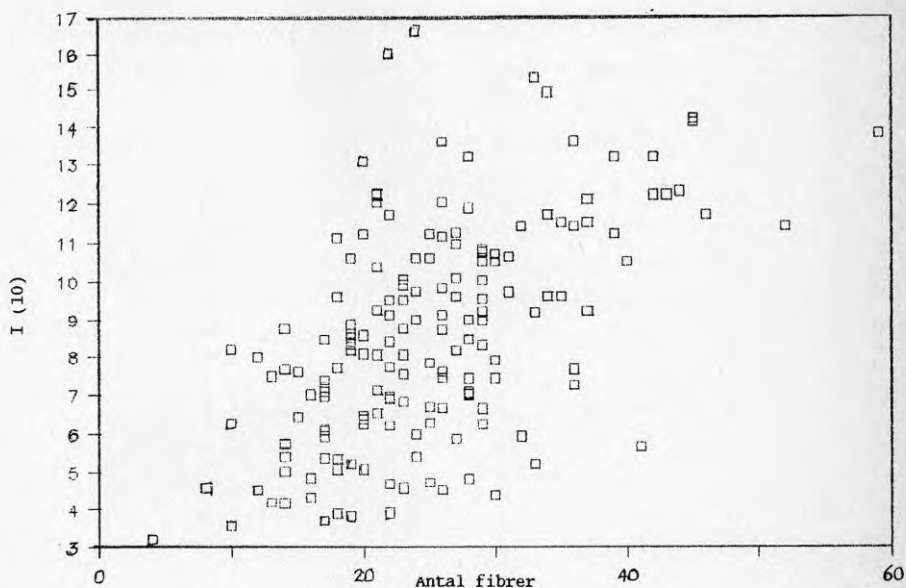


Seghetsindex kan förväntas samvariera med fibervolym. I figur 6.16 anges seriemedelvärden av seghetsindex $I(10)$ som funktion av fibervolym mätt vid ursköljning. Resultaten ger vid handen att en viss samvariation existerar. Det bör noteras att seghetsindex för oarmerad betong är nära 1.

FIGUR 6.16: SEGHTSINDEX/FIBERVOLYM



FIGUR 6.17: SEGHETSINDEX/ANTAL FIBRER DRAGEN
HALVA



Ur figur 6.16 och 6.17 kan en antydning till utplaning skönjas för sambandet mellan I_{10} och fibermängden vid högre fiberkoncentrationer. Detta överensstämmer också med slutsatserna i ref 2.

6.5

Jämförande provning

6.5.1

CBI

I enlighet med föreskrifterna i bilaga 4 har jämförande böjdragprov skett på uttagna provbalkar på CBI i Stockholm.

Under 1986 och 1987 har tre sådana prov utförts enligt överenskommelse med Kontrollrådet för Betongvaror.

Provningsen har utvärderats i enlighet med kraven i RBTK, Appendix 2.

Resultatet är att CBI:s värden är något lägre än EKEBRO INTERNATIONALS, skillnaden är ca 9 %.

Kraven enligt Statens Planverk synes dock innehållas med undantag av I10 för vilken spridningen är mycket stor.

Emellertid medför definitionen av I10, där sprickspänningen ingår i nämnaren att värdet blir beroende av dennas storlek.

Detta diskuteras vidare i kapitel 8.

6.5.2

KTH

Ett antal balkar uppsprutades och utvärderades i enlighet med den metod som är beskriven i ref. 7 och 8.

Sprutningen skedde i provlådor ur vilka senare sågades balkar med dimensioner 450x80x50. Före böjprovning försågs balkarna med en skåra i mitten.

Böjprovning och utvärdering utfördes av KTH, Institutionen för byggnadsstatik.

Resultatet var att provkroppar sprutade med det av EKEBRO INTERNATIONAL utvecklade standardreceptet erhöll god maximal böjdraghållfasthet, medelvärde 10.8 MPa för 48 mm fiber vid 1.5 v/o god fiberfördelning och hög tryckhållfasthet, ca 80 MPa.

7

FELKÄLLOR

I det följande redogöres för mätmetoder och uppskattas felkällan för de ingångsdata som utnyttjats i undersökningen.

Det bör observeras att ytterligare en "felkälla" är det faktum att materialegenskaperna kan förväntas variera avsevärt.

7.1

Tryckhållfasthet (f_{cc})

Provkroppar med dimensionen 100x100x100 mm tillverkas i Arboga. Efter härdning på specificerat sätt sker transport till och provtryckning hos EKEBRO AB i Örebro.

Felkällor

1. Icke representativt provuttag
2. Felaktig härdning
3. Fel i uppmätning av f_{cc}
4. Geometrifel pga felaktig form

Uppskattat totalfel $\pm 10 \%$

7.2

Sprickspänning (f_s)

I samband med tillverkning uppsprutas en speciell provskiva. Metodik och utvärdering är beskrivna i detalj i bilaga 4.

Felkällor

1. Icke representativt provuttag

2. Felaktig härdning
3. Variation i böjprovmaskin
4. Osäkerhet i utvärdering vid bestämning av f_s
5. Fel i uppmätning av balkens dimensioner (speciellt höjden som kommer in kvadratisk)

På basis av spridningen i bestämning av f_s på de tre utsågade provkropparna ur samma prov kan uppskattas att den slumpmässiga variationen är ca ± 15 % för punkterna 3-5.

Vidare ger CBI:s utvärdering till resultat att en viss systematisk felkälla vid bestämning av f_s synes föreligga men att överensstämmelsen mellan CBI:s och E.I:s värden på f_s är acceptabel.

7.3 Seghetsindex

Framtagning av seghetsindex beskrivs i bilaga 4.

Felkällor

1. Se 7.2
2. Bestämning av f_s (± 10 %)
3. Bestämning av arean O'ABC (± 5 %)
4. Variation i fiberinnehåll och fiberfördelning jämfört med produktionssprutning
5. Variation i fiberhållfasthet (± 10 %) och präglingsdjup

Tillsammans torde de nya felkällorna ha en uppskattad osäkerhet av minst ca ± 25 %.

Detta skall adderas till osäkerheten i f_s och medför att spridningen vid bestämning av I_{10} blir mycket stor.

7.4

Fiberinnehåll och fördelning

Fiberinnehållet har uppmätts på tre olika sätt:

- A. Elektromagnetiskt
- B. Genom urspolning
- C. Genom räkning av antalet fibrer i brottyta eller sågad yta.

FelkällorA. Elektromagnetisk mätning

1. Varierande tjocklek på mätobjektet (mätarens utslag är proportionellt mot totala fibermängden, kan uppskattas till $\pm 10 \%$ baserat på en tjocklekstolerans om ± 5 mm)

2. Fel i mätare

3. Osäkerhet i avläsning

Uppskattat totalfel: $\pm 15 \%$

B. Urspolning

1. Bortspolning av fibrer

2. Fel i vikt pga att betong härdat och fastnat på fibrer

3. Fel i vägning

Uppskattat totalfel: $\pm 5 \%$

C. Genom räkning av antalet fibrer

De två dominerade felkällorna här är

1. Antalet fibrer underskattas eftersom inte alla framträder i snittet/brottytan.
2. Antalet fibrer är inte representativt för totala fibermängden vid räkning i brottytan, eftersom denna är placerad i det svagaste snittet där fiberinnehållet kan förväntas vara lägst.

På grund av ovanstående förhållanden är en feluppskattning svår att genomföra.

En jämförelse mellan (A) och (B) har tidigare redovisats i 6.3.

En viss systematisk överskattning av fiberinnehållet erhålles vid elektromagnetisk mätning jämfört med urspolning. Spridningen resulterar i en korrelationskoefficient av 0.89 och den slumpmässiga variationen torde kunna uppskattas till ± 10 %.

I figur 6.6 redovisas sambandet mellan antalet räknade fibrer i brottytan och antalet volymprocent erhållna fiber vid ursköljning.

Som framgår är spridningen stor, till exempel ger ett räknat fiberantal av 50 en uppmätt fiberkoncentration i intervallet 0.72 - 1.17 v/o.

8

SLUTSATSER OCH DISKUSSION

8.1

Betongkvalite

För de tunnskaliga produkter som tillverkats styrs betongkvaliteten av kravet på beständighet via ett specificerat max värde på vbt.

Tryckhållfastheten har därför genomgående varit mycket hög, medelvärdet under andra halvåret 1987 ligger på 89 MPa.

I takt med ökad erfarenhet och producerad mängd har betongkvaliteten successivt förbättrats och spridningen i tryckhållfasthet minskat.

8.2

Fiberbetong

Som diskuterats under kapitel 1 bör följande samband kunna konstateras för fiberbetongen.

f_{\max} - som funktion av V_f (vid hög fiberkoncentration)

I_{10} - som funktion av V_f

I_{10} - som funktion av antalet fibrer på dragen halva

Utvärderingen försvåras av att spridningen i data är stor, såsom redovisats i föregående kapitel.

Några slutsatser kan emellertid dras beträffande de kriterier som uppställts för tillverkningen. Det bör

hållas i minnet att denna tillverkning är ny och unik och att de uppställda kraven därför inte är baserade på erfarenhet utan på ett litet antal försök ur vilka inga statistiska slutsatser kunnat dras.

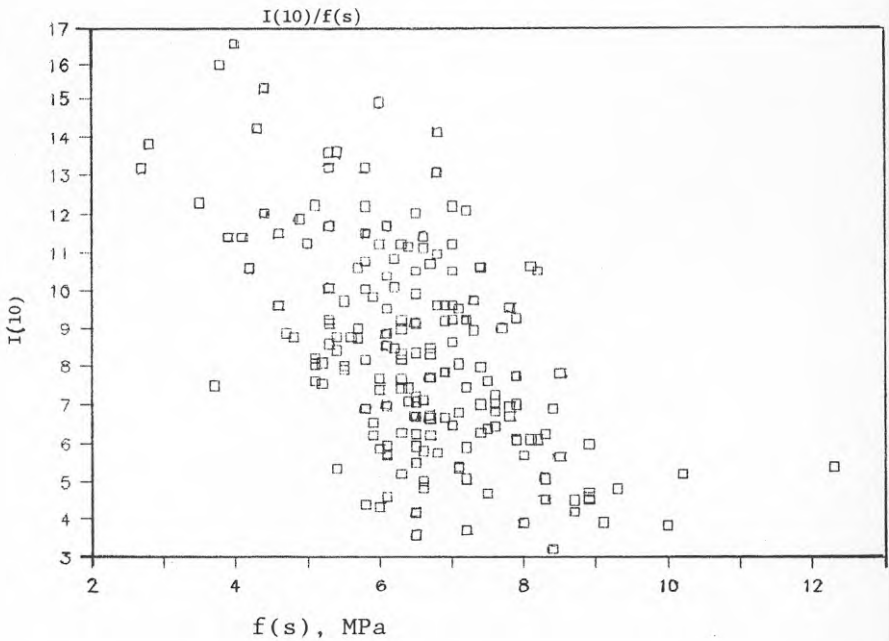
De uppställda kraven var följande (se vidare bilaga 4)

$$f_s > 5 \text{ MPa (5 \% -fraktilen)}$$

$$I_{10} > 8$$

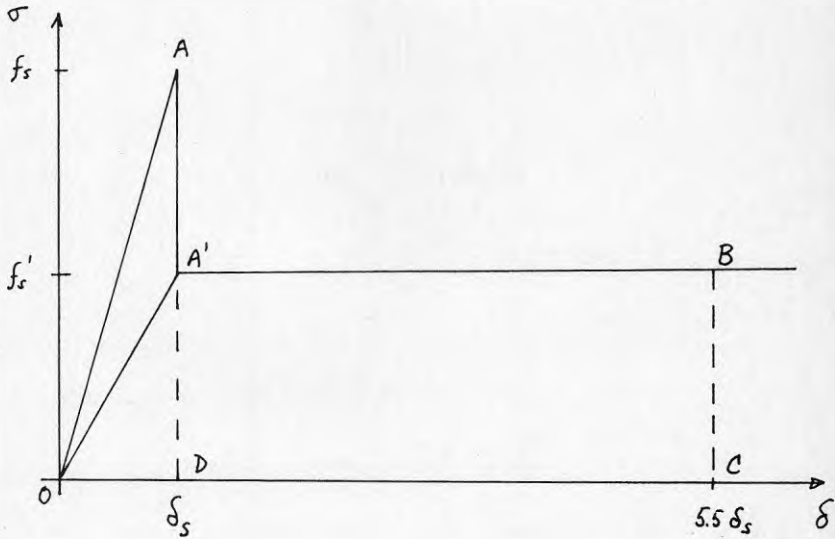
Eftersom f_s ingår i definitionen av I_{10} medför detta att ett högt värde på sprickspänningen medför ett lågt på I_{10} . Detta framgår också av figur 8.1.

FIGUR 8.1: SEGHETSINDEX / SPRICKSPÄNNING



Två olika idealiserande kurvor som beskriver problematiken är uppritade i figur 8.2.

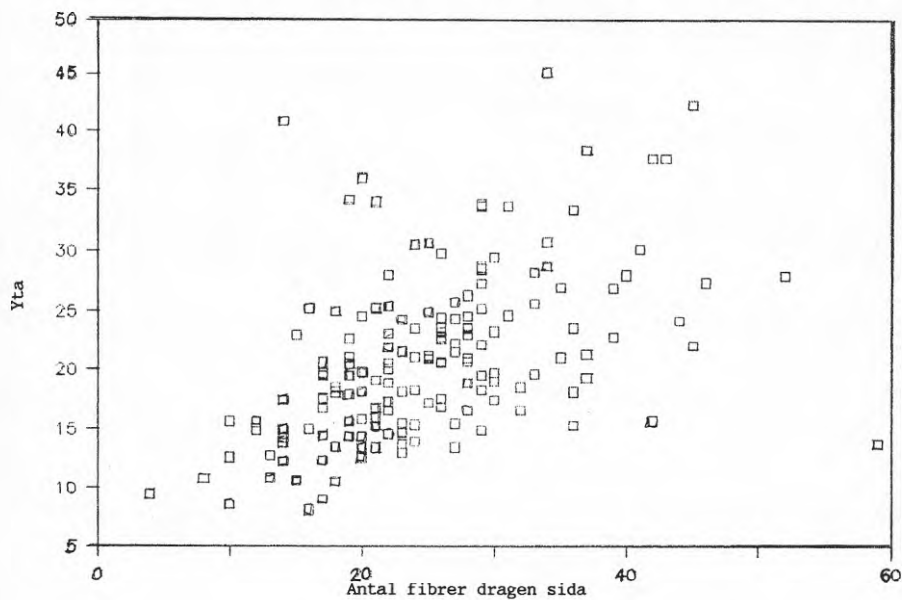
FIGUR 8.2: SAMBANDET SEGHETSINDEX/SPRICKSPÄNNING



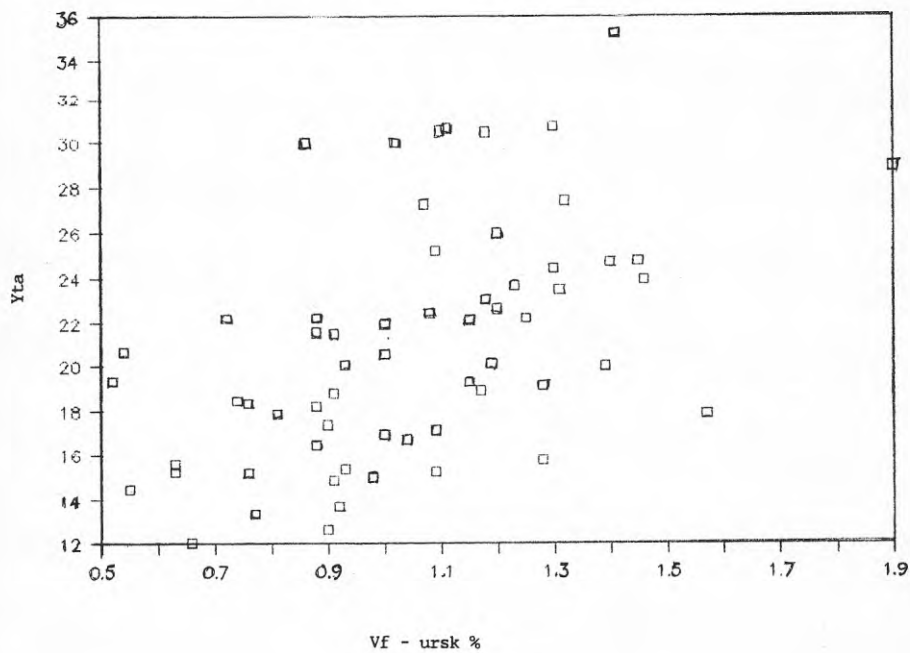
Segheten i dessa två fall bestäms av ytan $A'BCD$ och är ungefär lika i de två fallen. Beträffande seghetsindex erhålles emellertid två helt olika värden, 10 respektive 5.5, vilket beror på att f_s i det sista fallet är dubbelt så stor som i det första. Kurvan med högre f_s där alltså mer energi åtgår för kollaps av motsvarande struktur har alltså lägre seghetsindex.

I figur 8.3 och 8.4 redovisas totalytan $O(A)A'BC$ som funktion av antalet fibrer på dragen halva respektive V_f .

FIGUR 8.3 TOTALYTA LAST-NEDBÖJNING/ANTAL FIBRER



FIGUR 8.4 TOTALYTA LAST-NEDBÖJNING/FIBERVOLYM



Speciellt synes spridningen i figur 8.3 vara mindre än motsvarande i figur 6.17 där seghetsindex använts.

Eftersom den ovan redovisade totalytan bättre återspeglar hållfastheten hos den testade strukturen bör denna användas som kriterier.

Därför föreslås att vid framtida tillverkning av produkter på vilka motsvarande krav kan ställas så skall

$$f_s > A \quad (5\% \text{-fraktilen})$$

$$I(OA'BC) > B \quad (5\% \text{-fraktilen})$$

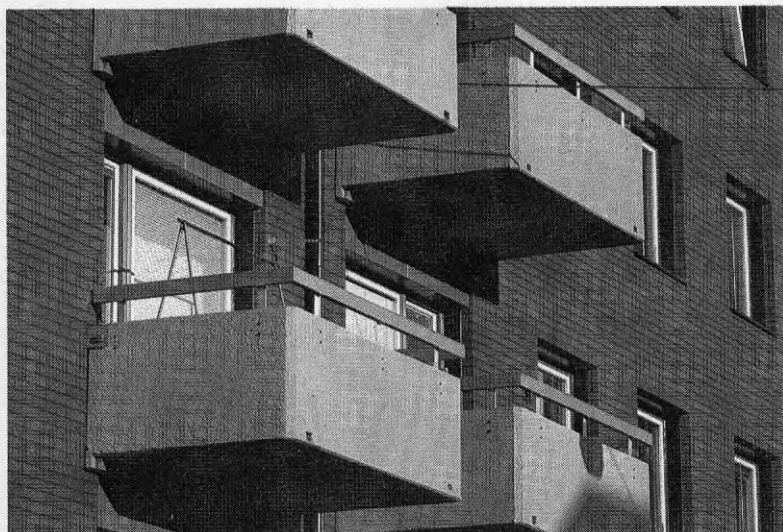
Bakgrunden är då att detta bättre motsvarar de funktionskrav som ställs på produkten och att det därför ur produktkontrollsynvinkel är lämpligare.

Vid jämförelse mellan olika fiberbetonger av mera grundläggande natur bör emellertid I_{10} - utnyttjas. Orsaken är då främst att det är ett uttryck för den armerande effekt som erhålles på grund av fiberinblandningen. Det är väsentligt att äga kännedom och kunna jämföra detta för att utveckla fiberbetongen som material.

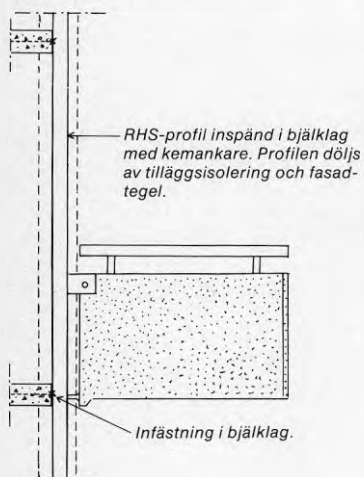
REFERENSER:

1. "Stålfiberbetong - Tillämpning och provning",
Arvo Miller, BFR Rapport R40:1985.
2. "Fiberbetong som konstruktionsmaterial"
Åke Jahlenius, BFR Rapport 780288-7 (1983)
3. "Model for Steel Fiber Concrete"
Lim, Paramasivan and Lee, ACI Materials Journal
vol. 84, No 4, July-August 1987.
4. "State-of-the-Art Report on Design with Fiber
Reinforced Concrete and Mortar"
ACI Committe 544, April 1986
5. "Steel fiber concrete" US-Sweden joint seminar
(NSF-STU) Stockholm June 3-5, 1985
Ed. Surendra Shah, Åke Skarendahl
6. "International Symposium on Fiber Reinforced
Concrete" Madras, India, December 16-19, 1987
Ed. V.S. Paramesvaran
7. "Stålfiberbetong - provning och värdering"
Jan Alemo, Jonas Holmgren, Åke Skarendahl
8. "Stålfiberarmerad Sprutbetong" 1985:088E
Examensarbete LuTH, Lars-Olof Dahlström och
Hans-Åke Mattson

FIBERBETONG



Balkonger i stålfiberarmerad betong.
 Kv Stenen Örebro
 Beställare: Lars Rehnvall, Örebro
 Entreprenör: Byggpaul AB
 Leveranstid: 1985

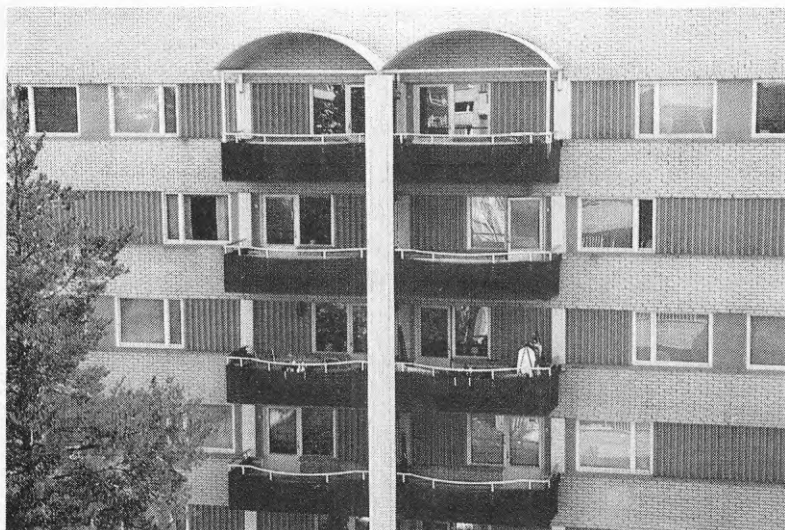


Data:

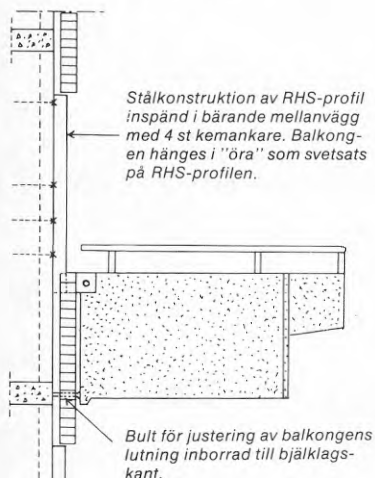
Produktion: ROT-objekt
 Antal: 12 st
 Mått: 1500×2700 mm
 Infästning: Konsol enl. figur
 Färg: Gul
 Vikt: 1065 kg
 Övrigt: Handledare av aluminium
 Ekebrobalkongen är typgodkänd av Statens Planverk 7386/85

**För information och försäljning, ring: Stockholm 08-37 37 11
 Örebro 019-14 02 80**

FIBERBETONG



Balkonger i stålfiberarmerad betong.
 Flogsta bostadsområde i Uppsala. Etapp 1.
 Beställare: Byggn. AB Astur, Västerås
 Entreprenör: Byggpaul AB
 Leveranstid: 1985–86

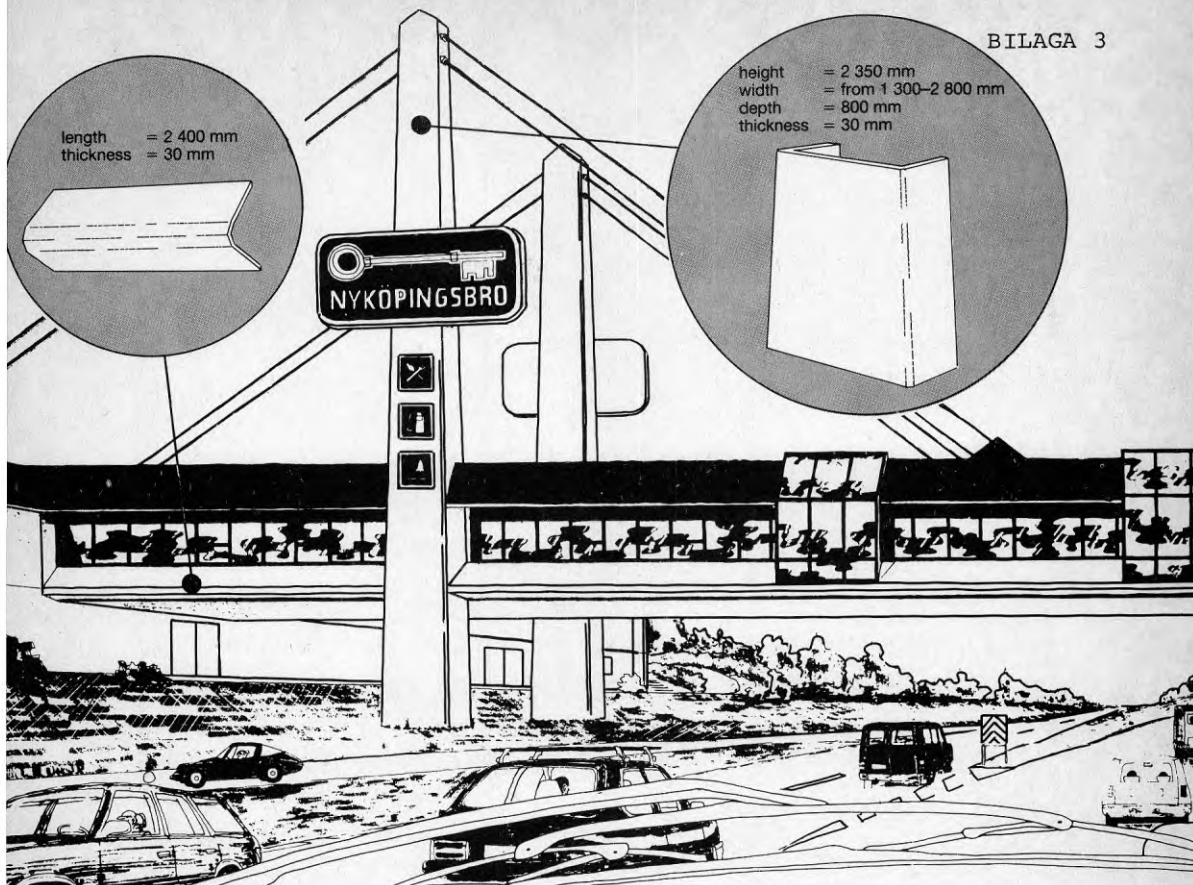


Data:

Produktion: ROT-objekt
 Antal: 56 st
 Mått: 1500×3600 mm
 Infästning: Konsol enl. figur
 Färg: Röd genomfärgad betong
 Vikt: 1330 kg
 Övrigt: Handledare av aluminium samt fönster av härdat glas i fronten. Frontens övre del är svängd. (Se bild).

Ekebrobalkongen är typgodkänd av Statens Planverk 7386/85.

**För information och försäljning, ring: Stockholm 08-37 37 11
 Örebro 019-14 02 80**



Advanced use of steel-fibre shotcrete

The façade elements of the two columns and the bridge are made of steel-fibre reinforced shotcrete. These structures have been manufactured at the Ekebro factory in Sweden by utilizing the Ekebro Fibre Shotcrete System. Ekebro is a subsidiary of the Paul Anderson Group.

The picture shows a service centre situated on the E4 highway just outside the town of Nyköping in Sweden, about 100 km south of Stockholm. The contractor is Byggpaul, another subsidiary of the Paul Anderson Group.

The structure consists of two buildings, one on each side of the road, connected together by a bridge which crosses the E4. The bridge structure, which is supported by prestressed tendons resting on two columns and anchored in the bedrock, accommodates a restaurant. The construction period runs from June 1985 to June 1986.

@ndersons
Paul Anderson Group

Telephone: +46 21 155000

Street address:
Saltängsvägen 34, Västerås, Sweden

Postal address:
Box 704, S-721 20 Västerås, Sweden
Telex: 40609 aros s. Telefax: +46 21 132436

PREFABRICERADE BALKONGER I STÅLFIBERBETONG

PROGRAM FÖR KVALITETSSÄKRING VID TILLVERKNING

1 KARAKTERISTIKA HOS BALKONGERNA

Balkongplattan är såväl fiberarmerad som statistiskt armerad med nät.

Betongskärmarna är enbart fiberarmerade men inspända i plattan genom armering som sticker upp ur denna.

Balkongräcket är endast infäst i fiberbetong.

Fiberarmeringens uppgift är att förbättra betongens motståndsförmåga mot slag och stötar samt att ge ett segare brott.

Fiberdiametern är 0,4-0,5 mm och fiberlängden ≥ 45 mm.

2 KVALITETSKRAV

Fibermängden i betongen skall vid angivna fiberdimensioner vara i genomsnitt minst 1,0 volym-% för varje mätlinje i balkongskärmen, jfr 3.6.2. För enstaka mätpunkt accepteras 0,7%.

Täckskikt utan fibrer skall finnas på båda sidor. Täcksiktet skall vara 5 mm.

Matrisens vattenbindemedelstal, vbt, skall vara högst 0,40.

Vbt beräknas ur
$$vbt = \frac{V}{C+kxS}$$

där V, C och S är mängden vatten, cement och tillsatsmaterial (kiselstoft, flygaska) resp i kg/m^3 . Värdet på k är för kiselstoft = 1,0, för flygaska klass A = 0,3 och för flygaska klass B = 0.

Betongens hållfasthetsklass skall vara minst K40.

Vid böjprovning av fiberbetong enligt 3.6.1 och BILAGA 1 skall följande krav uppfyllas:

- 1 5%-fraktilen för böjspänningen vid spricka skall vara minst 5,0 MPa. Värdering sker enligt BBK 79, 7.3.3.2.
- 2 Seghetsindex I_{10} skall vara minst 8,0. Värdering enligt ovan.

3 EGENKONTROLL

3.1 Allmänt

Tillverkaren skall upprätta en plan för kontrollverksamheten med angivande av vem som är ansvarig för respektive kontrollmoment. Erforderliga instruktioner för provtagning och provning skall finnas.

3.2 Kontroll av material

- 3.2.1 Matrisens delmaterial - cement, sand, tillsatsmaterial och tillsatsmedel - kontrolleras på det sätt och i den omfattning som framgår av Tillämpningsbestämmelser för tillverkning av fabriksbetong (FAB).
- 3.2.2 Om vid tillverkningen används torrbruk (cement, sand, tillsatsmaterial) skall av leverantören för varje leverans begäras dokumentation av sammansättning och ballastgradering. Denna dokumentation skall granskas av mottagaren och arkiveras.
- 3.2.3 Kontroll av stålfibern sker genom granskning av följesedel.
- 3.2.4 Kontroll av armering och externtillverkat ingjutningsgods sker genom
 - granskning av följesedel
 - okulärbesiktning av varje enhet i samband med ingjutning.

När det gäller svetsade detaljer skall kontrolleras att leverantör av sådana har erforderlig kompetens enligt byggsvetsnormerna StBK-N2. Vid egentillverkning gäller för beräkning, utförande och kontroll i tillämpliga delar StBK-N2 (se även BBK 79, 8.2.2.4).

3.3 Fiberbetong

3.3.1 Matrisens konsistens

Konsistensen mäts med sättkon en gång varje tillverkningsdag och dessutom varje gång prov tas ut för bestämning av tryckhållfasthet.

Fortlöpande kontroll av konsistensen sker okulärt.

3.3.2 Vattenbindemedelstal (vbt)

Vbt kontrolleras varje tillverkningsdag genom beräkning ur uppvägda mängder. Då prov tas ut för tryckhållfasthetsprovning bör bestämningen göras för den sats där proven tas.

I de fall vatten inte vägs utan tillsätts på basis av konsistensen bestäms vbt genom snabb uttorkning av den färska betongen.

3.3.3 Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten bestäms på kuber med kantlängden 100 eller 150 mm. Kuberna lagras normenligt. Provningsålder 7 dygn.

Tryckhållfastheten bestäms med tre kuber för var 5:e tillverkningsdag. Kuberna tas ur olika satser.

Resultaten utvärderas kvartalsvis enligt reglerna i BBK 79, 7.3.3.2.

3.3.4 Fiberinnehåll

Fiberätgängen kontrolleras fortlöpande genom vägning av stål-fiberrullar före och efter sprutning av balkongskärmens olika delar (sidor resp framsida). Mängderna jämförs med teoretiskt beräknade.

På grund av fiberspill vid sprutningen kan man inte räkna med överensstämmelse mellan vägda och beräknade mängder. Åtgärden har trots detta ett visst värde som "grovkontroll".

Fibermängden bestäms på färsk betong i samband med tillverkning av prov för böjdragprovning. Bestämningen sker genom ursköljning av matrisen samt vägning av den torkade fibern.

3.4 Tillverkning

Innan sprutning påbörjas kontrolleras väsentliga formmått och placering av ingjutningsgods gentemot gällande ritningar. Kontrollens omfattning bestäms med hänsyn till risken för felaktigheter, som hänger samman med formens uppbyggnad, fixeringsanordningar o.a.

Under sprutningen tillses att jämnast möjliga fiberfördelning erhålls. Särskilt kontrolleras att eventuell armering och ingjutningsdetaljer blir ordentligt kringgjutna. Undvik anhopning av fibrer.

Tjockleken hos det fiberfria täcksiktet kontrolleras stickprovsvis flera gånger per dag med hjälp av lämplig mätsticka.

Fiberlängden kontrolleras stickprovsvis flera gånger per dag.

3.5 Härdning

Balkongerna skall efter tillverkningen fukthärdas under minst 2 dygn i fuktmättad luft, 95-100% RH.

Härdningsbetingelserna kontrolleras fortlöpande genom registrering av temperatur och relativ luftfuktighet i härdningsutrymmena. Tillverkningsrutinerna skall vara sådana att produkterna garanteras föreskriven härdningstid.

3.6 Färdig produkt

3.6.1 Bøjprovning

Bøjprovning av den hårdnade fiberbetongen för bestämning av sprickhållfasthet och seghet skall göras för var 5:e produktionsdag. Vid väsentliga förändringar i fiberbetongens sammansättning och/eller övriga produktionsbetingelser görs förundersökning varjämte provningsfrekvensen ökas till det dubbla under ca 20 produktionsdagar.

För provningen tillverkas i samband med sprutningen en speciell provskiva. Skivan sprutas utan täckskikt och skall ha tjockleken 25 mm och ytan minst 0,5 x 0,6 m. Skivan förvaras tillsammans med balkongerna under fukthärdningsperioden, se 3.5. Därefter sägas ur den tre balkar med $b = 120$ mm och $l = 350$ mm för bøjprovning. För provning och resultatvärdering finns särskild instruktion, se Bilaga 1.

3.6.2 Fibermängd

Fibermängd och fiberfördelning kontrolleras i varje balkong med hjälp av täckskiktsmätare.

Mätningar utförs såväl på sidoskärmar som på framsidan och på två nivåer. Avståndet mellan mätpunkterna på varje nivå skall vara ca 300 mm. De placeras så, att störningar från ev armering och injutningsgods undviks.

Kurvor över sambandet mellan fibermängd och apparatvärde vid olika tjocklek hos fiberbetongen skall upprättas.

3.7 Dokumentation

Över tillverkningen skall föras dagbok och/eller journaler. De skall vara överskådliga, så att uppgifterna lätt kan kontrolleras. Uppgifter i journalen skall signeras av den som är närmast ansvarig för respektive moment.

Dagböcker och journaler skall innehålla minst följande uppgifter:

- antal tillverkade och levererade balkonger
- kassationer och reparationer med angivande av orsak
- temperatur- och väderleksförhållanden
- inkommande materialleveranser
- datum för personalförändringar, för användning av nya material och nya betongsammansättningar samt för andra väsentliga förändringar i produktionsförhållandena.
- väsentliga besked från myndighet, beställare o a
- uppgift om besiktningar och andra externa kontroller på fabriken
- intyg över utförda kontroller av väggar och provningsutrustning
- resultat från utförda kontroller och provningar vid tillverkningen

Provningsresultat skall regelbundet sammanställas och värderas på sådant sätt, att produktionens kvalitet kan bedömas. Viss redovisning skall ske till kontrollerande institution, se 4.

4 ÖVERVAKANDE KONTROLL

- 4.1 Den övervakande kontrollen handhas av Cement och Betong Institutet, CBI. Samordning bör ske med KRB:s fortlöpande kontroll av berörd fabrik.

Kontrollen omfattar

- besiktningar, se 4.2
- granskning av provningsresultat som fabriken regelbundet skall rapportera, se 4.3
- jämförande provning av fiberbetong, se 4.4.

- 4.2 Besiktning av fabriken skall ske minst 2 gånger per år. Vid besiktningarna, som görs utan avisering
- kontrolleras ritningars giltighet
 - följs och kontrolleras tillverkningens alla moment, inklusive härddningen
 - avsynas färdiga produkter. Vid behov görs stickprovsvisa kontrollmätningar
 - kontrolleras utförandet av föreskrivna provningar
 - granskas dagböcker, följesedlar, provningsjournaler etc.

Vid besiktningen skrivs besiktningsrapport av vilken företaget och besiktningsmannen erhåller var sitt exemplar. I rapporten noteras i vilka avseenden tillverkningen inte uppfyller gällande bestämmelser. Rapporten skall undertecknas av besiktningsmannen och fabriken representant, som regel ansvarige driftsledaren.

- 4.3 Fabriken skall kvartalsvis till CBI insända resultaten av följande mätningar och provningar
- provningar enligt 3.3
 - böjprovning enligt 3.6.1
 - fiberhalt i färdiga balkonger, 3.6.2

Blanketter för denna redovisning bör utarbetas.

- 4.4 Jämförande böjprovning enligt 3.6.1 utförs 2 gånger per år och dessutom när erhållna resultat vid den fortlöpande provningen avviker från det normala. Vid provningen jämförs resultaten från provning vid fabriken med resultat som erhålls vid provning på CBI. Denna provning, som får inräknas i fabriken fortlöpande provning, utförs enligt nedan.

För provningen tillverkas ur en och samma betongsats fyra provskivor enligt 3.6.1. Provskivorna numreras i tillverkningsföljd. Ur varje skiva sågas tre provkroppar som numreras 1-3 med nr 2 i mitten. Varje provkropp märks, förutom med erforderliga identifieringsuppgifter, med skivans nummer och provnummer i skivan, exempelvis 21, 22 och 23 ur skiva 2. Varannan provkropp (exempelvis 11, 13, 22, 31, 33, 42) provas hos tillverkaren, varannan hos CBI.

Provkropparna förvaras vid fabriken enligt Bilaga 1, pkt 3.1 under minst 21 dygn varefter CBI's provkroppar sänds till CBI.

Provning skall ske samtidigt vid de två laboratorierna varvid 28 dygns provningsålder eftersträvas. Tillverkaren sänder sina provningsresultat till CBI som gör en utvärdering, i princip enligt de regler som gäller för jämförande provning enligt RTBK.

BÖJPROVNING AV HÅRDNAD FIBERBETONG

1 SYFTE

Syftet med böjprovningen är att bestämma materialets

- 1) böjdragspänning vid första spricka
- 2) böjdragspänning vid maxlast (ev)
- 3) deformationsförmåga efter första sprickan, här benämnd seghet.

Provningsmetoden bygger i princip på ASTM C 1018-85.

2 PRINCIP. DEFINITIONER

Provbalkar av materialet böjprovas med belastning i tredjedelspunkterna. Nedböjningen uppmäts under pålastningen, så att last-nedböjningskurvan kan ritas upp, se FIG 1.

Last vid första spricka, F_S , definieras som den last, där nedböjningskurvan tydligt avviker från rätlinjighet. Motsvarande böjdragspänning beräknas (f_S).

Ytan under nedböjningskurvan används som mått på materialets seghet. Materialets seghet karakteriseras här genom ett seghetsindex I , som är förhållandet mellan hela ytan fram till en viss deformation, δ_U , och ytan under kurvan fram till deformationen δ_S vid spricklasten, se FIG 1.

Seghetsindex betecknas I_x , där x beror på förhållandet mellan δ_U och δ_S (x anger ytförhållandet vid idealplastiskt material).

Tills vidare arbetas med två alternativ för δ_U , nämligen $3 \times \delta_S$ och $5,5 \times \delta_S$. Motsvarande seghetsindex betecknas I_3 resp I_{10} .

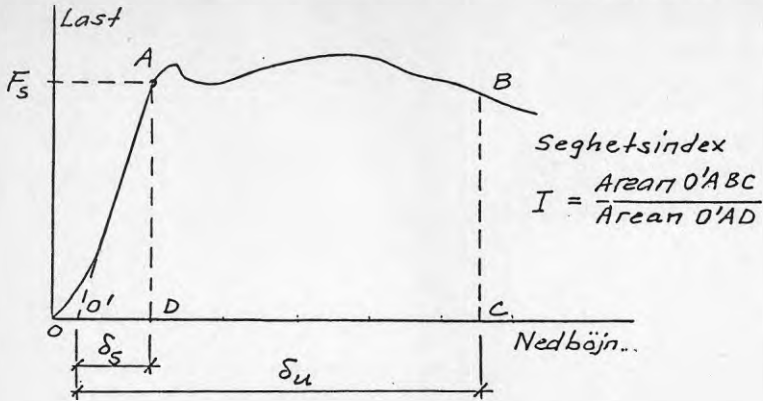


FIG 1. Beräkning av seghetsindex I.

3 UTFÖRANDE

3.1 Tillverkning av provkroppar

Provkropparna har dimensionerna $l \times b \times h = 350 \times 120 \times 25 \text{ mm}^3$. De sågas ur provskivor tillverkade i samband med sprutningen av balkongerna.

Provskivorna skall minst ha måtten $500 \times 600 \text{ mm}$ och ha lutande kanter (25 mm höga), så att man undviker "skuggbildning" vid dessa under sprutningen. Skivorna skall sprutas utan täckskikt och kan därför behöva skyddas med plast när täckskiktet sprutas på balkongen.

Provskivorna härddas tillsammans med balkongerna under deras fukthärdning (2 dygn) och provskiva/provkroppar förvaras därefter vid $+20^\circ\text{C}$ och 40-80% RH fram till provningen.

Ur varje provskiva sågas tre provkroppar, ingen närmare kanten än 50 mm. Sågningen bör göras inom en vecka från tillverkningen.

Före utsågning av provkropparna bestäms fiberhalten i provskivan med hjälp av täckskiktsmätare. (Fibermängden i provskivan bestäms även på den färska betongen, se 3.3.4 i kvalitetssäkringsprogrammet).

Provkropparna märks, så att de kan identifieras.

3.2 Provning

Provning skall som regel ske efter 28 dygn men provningsåldrar upp till 35 dygn kan accepteras.

Provkropparna belastas i tredjedelspunkterna på en spännvidd av 300 mm. Lasten påförs i sprutriktingen. Vid behov avjämnas upplags- och belastningslinjer, så att god anliggning erhålls.

Lasten påförs kontinuerligt eller stegvis med en nedböjningshastighet i intervallet 0,5-1,0 mm/min tills minst önskad slutdeformation enligt FIG 1 erhållits.

Nedböjningen mäts i mittpunkten eller upplagspunkterna (medelvärde). Om nedböjningen inte registreras automatiskt görs avläsningar med så täta intervall att kurvan kan ritas med tillräcklig noggrannhet.

Nedböjningarna skall korrigeras för deformationer i upplag m m. Dessa ger sig tillkänna genom att kurvan är krökt nära origo, se FIG 1. Korrigering görs enligt figuren (linjen A0¹).

Provkroppens höjd och bredd vid brottsnittet mäts efter avslutad provning och anges i mm, höjden med en decimal, bredden utan decimal.

Brottets läge på spännvidden noteras. Om det ligger utanför belastningspunkt mäts medelavståndet till närmaste upplag (a) på 1 mm när. Om det ligger mer än 15 mm (0,05 x spännvidden) utanför belastningspunkten kasseras provet.

3.3 Beräkningar

Ur nedböjningskurvan bestäms F_s enligt FIG 1 med hjälp av linjal. Böjdragspänningen f_s beräknas enligt

$$f_s = \frac{3 \times l \times F_s}{bh^2} \text{ MPa}$$

l är avståndet från upplag till belastningslinje. Om sprickan uppstår utanför den senare insätts värdet a enligt 3.2

F_S är i N och alla mått i mm. Böj^{drag}spänningen f_S anges med en decimal.

Ytorna för bestämning av seghetsindex I_5 och I_{10} mäts på lämpligt sätt. Därefter beräknas I som anges med en decimal.

(Ev beräknas även böjdragspänningen vid maxlast enligt ekv ovan.)

3.4 Provningsprotokoll

Protokoll från provningen skall innehålla följande uppgifter.

1. Provkropparnas märkning
2. Tillverknings- och provningsdatum samt ålder
3. Bredd och höjd i brottsnitt
4. Spännvidd och andra uppläggningsmått om de avviker mer än 2 mm från avsedda.
5. Last vid första spricka (och ev max.last)
6. Nedböjning δ_S och δ_U enligt FIG 1.
7. Beräknad böjdragspänning vid första spricka (f_S) och ev max.last (f_{max})
8. Seghetsindex I_5 och I_{10}
9. Fiberhalt i provskivan
10. Defekter i provkroppen och avvikelser från provningsrutinen.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860234-0
från Statens råd för byggnadsforskning till
Ekebro International AB, Västerås.**

R69: 1988

ISBN 91-540-4928-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708069

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 36 kr exkl moms