



Hållfasthet hos kapade Siporex balkar

EXAMENSARBETE TVBK-5047

Handledare: Robert Danewid

LUND JUNI 1990

Madelaine Davidsson

Anders Carlsson

Hållfasthet hos kapade Siporexbalkar

EXAMENSARBETE TVBK-5047

Handledare: Robert Danewid

LUND JUNI 1990

Madelaine Davidsson

Anders Carlsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Kap. 1.	Inledning.....	sid 1
2.	Sammanfattning.....	2
3.	Syftet med uppsatsen.....	3
4.	Allmänt om lättbetong.....	4
4.1.	Inledning.....	4
4.2.	Tillverkning.....	4
4.3.	Lättbetongens egenskaper.....	5
4.3.1.	Struktur/Textur/Färg.....	5
4.3.2.	Densitet/Porositet.....	6
4.3.3.	Fuktegenskaper.....	6
4.3.4.	Värmeegenskaper.....	7
4.3.5.	Ljudisoleringsförmåga.....	8
4.3.6.	Volymbeständighet.....	8
4.3.7.	Brandbeständighet.....	9
4.3.8.	Frostbeständighet.....	9
4.3.9.	Arbetstekniska egenskaper.....	9
4.4.	Hållfasthet.....	9
4.4.1.	Tryckhållfasthet.....	9
4.4.2.	Draghållfasthet.....	10
4.4.3.	Böjdraghållfasthet.....	10
4.4.4.	E-modul.....	10
4.4.5.	Skjuvhållfasthet.....	11
4.4.6.	Värmespänningar.....	11
4.4.7.	Vidhäftning.....	11
5.	Beskrivning av försöksuppställning och utförande.....	12
6.	Beräkningar på försöken.....	14
6.1.	Värmespänningar.....	14
6.2.	Böjbrott.....	15
6.3.	Böjskjuvbrott.....	18
6.3.1.	Additionsprincipen.....	19

6.3.2. Icke tvärrarmerad konstruktions bärförmåga.....	19
6.3.3. Dimensionering för tvärkraft.....	20
6.3.4. Beräkningar och förenklingar.....	21
6.4. Använda värden.....	23
6.5. Sammanställningar av utförda försök (tabeller, foto, mätdata, skisser).....	24
6.6. Vidhäftningsbrott.....	53
6.7. Märklast.....	55
7. Diskussion och slutsats.....	56
8. Bilaga med balkarnas nedböjning.....	58
9. Referenslitteratur.....	72

1. INLEDNING

Denna uppsats som är "the grand final" för oss här i Lund behandlar problemet med hållfasthet hos kapade Siporex balkar. Beräkningar har gjorts på böjning, skjuvning och vidhäftning. Vi försöker att beskriva dessa brottsfenomen teoretiskt och ger sedan en sammanställning av de resultat vi kommit fram till.

Tidvis har arbetet gått mycket långsamt och trögt framåt, så det är med stor lättnad som vi nu sitter och författar dessa rader i ett avslutande skede i uppsatsskrivandet.

Vi vill framför allt tacka vår handledare, Robert Danewid, som varit till stor hjälp för oss och med tålamod svarat på våra tidvis mer eller mindre klipska frågor. Han är väl lika glad som vi, att vi nu äntligen "kan få den här saken ur världen".

Ett tack vill vi också rikta till Gösta Dahl, vår "uppdragsgivare", som med sin stora kunskap givit oss nyttiga uppslag och ideer.

Vi är också väldigt tacksamma för den hjälp vi fått av Stig Persson och Milan Fleischhacker med material och assistans vid försöken på laboratoriet i Dalby.

Sist men inte minst vill vi tacka för det hjälpsamma och vänliga bemötandet vi fått av alla som jobbar på avdelningen för Bärande konstruktioner vid Lunds tekniska högskola.

Lund i april 1990



Madelaine Davidsson



Anders Carlsson

2. SAMMANFATTNING

Efter försök och beräkningar på kapade Siporexbalkar har vi kommit fram till att de kapade balkarna kan användas i färdiga konstruktioner.

Den bästa bärförmågan får man i balkar med påsvetsade vertikala ändförankringar, man undviker på så sätt de vidhäftningsbrott som är den avgörande brottsorsaken i balkar utan ändförankringar. Balken med förankringar kan användas till sin fulla märklast, dock med en liten reservation då vi anser vårt provningsunderlag är för litet.

De balkar som inte har någon ändförankring kan inte utnyttjas till sin fulla märklast, men vi uppnår resultat på omkring 90 % av denna vid försök. Vi föreslår därför att den får utnyttjas till ungefär 60-70 %, efter det att man gjort några undersökningar på långtidslaster.

3. SYFTET MED ARBETET

Siporex tillverkar balkar med ett längdintervall av 300 mm och har vid behov av andra balklängder varit tvungna att specialtillverka efterfrågad balklängd. Då denna tillverkning ska ske, måste ibland hela produktionen stoppas upp vilket medför förseningar och stora kostnader.

På Siporex anser man det därför önskvärt att kunna ta en balk direkt från lagret och kapa till beställd längd.

På uppdrag av Siporex har vi därför provat och räknat på bärförmågan hos kapade balkar.

Vår uppgift bestod i att kontrollera om en balk som kapas på godtyckligt ställe kan klara att bära den märklast som den är avsedd att klara.

Då balkarna inte alltid utnyttjas till sin fulla märklast i färdiga konstruktioner, kan det vara intressant att även titta på hur stor del av märklasten en kapad balk kan ta upp.

Vi har begränsat oss till att titta på de vanligaste dimensionerna, dvs de mest sålda, som är framplockade ur försäljningsstatistik. Dessa balkar är kapade i båda ändarna för att på så sätt ta det värsta fallet precis innan man kan byta ner till en mindre dimension.

4 ALLMÄNT OM LÄTTBETONG

4.1 Inledning

Den ånghärdade lättbetongen, som utvecklades i Sverige på slutet av 1920-talet, är ett finkornigt poröst material som både är värmeisolerande och bärande. Värmeisoleringsförmågan ökar med minskande densitet samtidigt som hållfastheten minskar.

4.2 Tillverkning

Siporex tillverkas huvudsakligen av cement och/eller kalk, finmalet sand material, aluminiumpulver och vatten. När aluminiumpulvret blandas ner bildas bubblor av vätgas vid reaktion med den kalciumhydroxid (Ca(OH)_2) som bildas i den färska massan. När massan styvnar fångas gasbubblorna in och bildar slutna porer. Denna jäsningsprocess äger rum sedan massan fyllts i formar.

De produkter som utförs armerade har armering med släta stänger av svetsbar kvalitet. De sammansvetsade stängerna som placeras i formarna i samband med gjutningen måste först rostskyddsbehandlas eftersom materialet är mycket poröst och därmed har liten förmåga att skydda armeringen mot korrosion. Rostskyddet utförs genom att armeringen doppas tre gånger i en cementvälling med plastinblandning, och härdas i värme kammare mellan varje doppning. Rostskyddsskiktet på armeringen växer till ett skikt på 0.7-0.8 mm. Vid behandlingen bildas små droppar på undersidan som förbättrar den mekaniska vidhäftningen. Slutligen doppas armeringen i ett bitumenbaserat bad, vilket gör att karbonatiseringen av cementet fördröjs. Det nedsätter dock vidhäftningen.

Några timmar efter gjutningen har massan en lämplig styvhet och kan då skäras eller sågas i maskiner, vanligen med tunna ståltrådar. På så sätt kan man få fram block, plattor, element och balkar som ånghärdas.

Ånghärdningen innebär att produkterna införes i en autoklav, där härdandet sker i ånga vid 8-10 at under $\frac{1}{2}$ -1 dygn. Under denna härdning reagerar kalken med kiselsyran och slutprodukten blir nästan den samma som bindemedlet i massiv betong. Materialet erhåller god volymbeständighet och dess slutliga hållfasthet. Därefter erhålles önskad dimension genom fräsning, sågning eller hyvling.

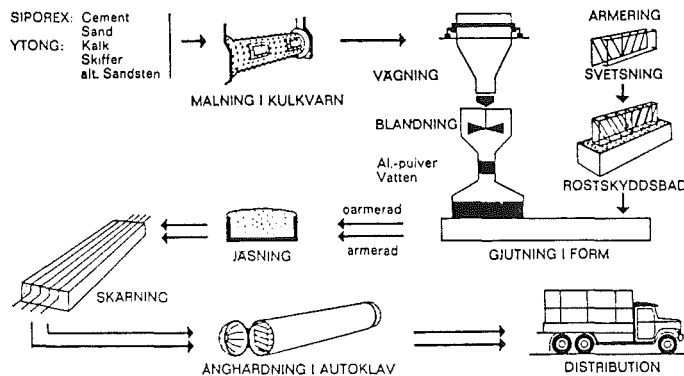


Fig 4.1. Tillverkningschema.

4.3 Lättbetongens egenskaper

4.3.1 Struktur/Textur/Färg

Strukturen på autoklaverad lättbetong är karaktäristisk med millimeter stora sfäriska porer på snittytorna. Ytan på de trådskurva sidorna är slät men något fjällig. Siporex är gråvit i färgen.

4.3.2 Densitet/Porositet

Lättbetong är ett poröst material. Den största delen av porerna utgörs av sfäriska hålrum inbördes förbundna med ett system av fina kanaler.

Porförhållandet är av stor betydelse för bl a vattenabsorptionen, fuktdiffusion, hydroskopisk fuktkvot, uttorkning, luftgenomsläpplighet, värmeisoleringsförmåga samt korrosionsrisk hos ingjuten armering.

Den totala porositeten för lättbetong, som vanligen ligger på 70-80 %, kan beräknas enligt formeln:

$$P=100(1 - \frac{d}{s}) \%$$

där P=porositeten i %

d= densiteten hos lättbetongen i kg/dm^3

s=kompakt densiteten hos lättbetongen i kg/dm^3

Densiteten hos lättbetongprodukten är också något beroende av läget i gjutformen (högre densitet i undre partiet av formen pga gjutförfarandet).

Densiteten på lättbetong ligger i området $300-1000 \text{ kg/m}^3$, vanligt för lastbärande och armerade produkter är 500 kg/m^3 eller mer.

4.3.3 Fuktegenskaper

Fuktkvoten vid leverans kan vara 20-35 vikt-%. Beroende på materialets placering i konstruktionen torkar det ut med olika hastigheter, och en jämvikt i ytterväggar uppnås med omgivande luftfuktighet, vanligen efter de första åren efter uppförandet.

Liksom andra material tar lättbetongen upp fukt såväl från den omgivande luften som vid direkt kontakt med vatten. Vid normal fuktighet tas fukt i första hand upp genom diffusion och vid ökande fuktighet övergår upptagningen till att ske

kapillärt. Vattentransporten beror av porstrukturen, produktens dimensioner, värmeledningsförmåga, temperatur, lufttryck mm.

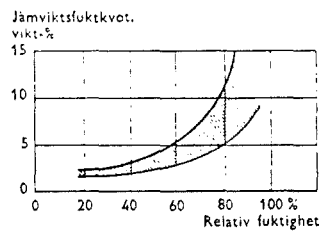


Fig 4.2. Hygroskopisk fukthalt.

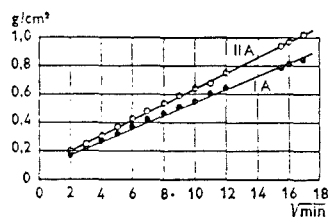


Fig 4.3. Vattenabsorption vid sugning från fri vattenyta.

4.3.4 Värmeegenskaper

*Den genom framställningen erhållna porstrukturen ger god värmeisoleringsförmåga, vars storlek beror främst av volymvikt och fukthalt.

*Längdutvidgningskoefficienten för lättbetong är omkring $8 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ vilket är något lägre än för den massiva betongen och stål.

*Det specifika värmets är ett mått på materialets kapacitet att lagra/hålla värme och beror av lättbetongens fuktighet och anges vanligen till 1.0-1.1 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ vid fuktkvoten 4-6 vikt-%.

*Värmeledningstalet för lättbetong beror främst på densiteten, men även av fuktkvot. Praktiskt tillämpbara värmeledningstal för lättbetong konstruktioner ligger mellan 0.12-0.18 W/m $^{\circ}\text{C}$ beroende på konstruktionstyp och lättbetongens densitet.

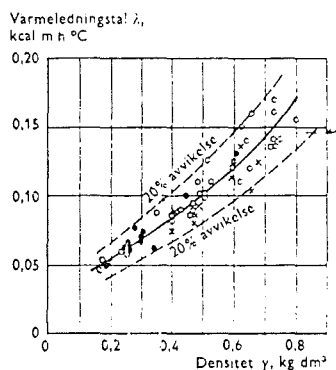


Fig 4.4. Värmeledningstal för lättbetong av olika fabrikat.

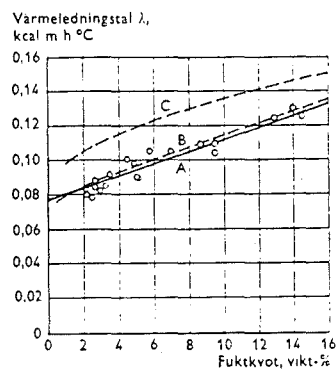


Fig 4.5. Värmeledningstal som funktion av fukthalten. Kurva B är Siporex.

Vid bestämning av värmeledningstal för praktiskt bruk måste man ta hänsyn till fukthalten och fogarnas inverkan.

4.3.5 Ljudisoleringsförmåga

Strukturen på lättbetongen ger en något bättre ljudabsorption än vanlig slipad betong. Detta ger en liten förbättring tex av industribyggnader för speciellt höga frekvenser. Ljudisoleringsförmågan hos lättbetongväggar/bjälklag är inte tillräcklig för att vanliga enkel konstruktioner ska kunna vara lägenhetsskiljande. Däremot kan dubbelkonstruktioner med lättbetong användas för väggar med detta ändamål. Lättbetongbjälklag måste förses med tilläggsisolering för att kunna godkännas som lägenhetsskiljande.

4.3.6 Volymbeständighet

Lättbetongens krympning är stor vid direkt gjutning, men nedbringas avsevärt genom ånghärdningen. Krympningen vid torkning från vattenmättat till lufttorrt tillstånd är då 0.1-0.5 mm/m.

4.3.7 Brandbeständighet

Lättbetong är obrännbart, men genom de temperaturspänningar som uppstår vid brand kan ytskiktet förstöras successivt. Sintring inträffar vid en temperatur av 1000-1200°C, men hållfastheten är dess förinnan reducerad.

4.3.8 Frostbeständighet

Risk för frostsador kan uppstå om den aktuella fuktkvoten i någon del av konstruktionen överstiger den kritiska gränsen för materialet. Erfarenhetsmässigt är lättbetongen resistent mot frost om fuktkvoten understiger 60 vikt-%.

4.3.9 Arbetstekniska egenskaper

I lättbetong kan man såga, hugga, borra och spika samt skära upp slitsar för ledningsdragningar. Eftersom materialet är skört kan skador av hörn och kanter uppstå vid transport och hantering.

4.4 Hållfasthet

4.4.1 Tryckhållfasthet

Lättbetongen är som tidigare nämnts ett sprött material, och detta gör att det framför allt är tryckhållfastheten som är av intresse. Denna bestäms genom provning på 10 cm kuber, och är påtagligt fuktberoende, särskilt vid fuktkvoter < 10 vikt-%. Provning bör därför ske vid fuktkvot av 10 vikt-%.

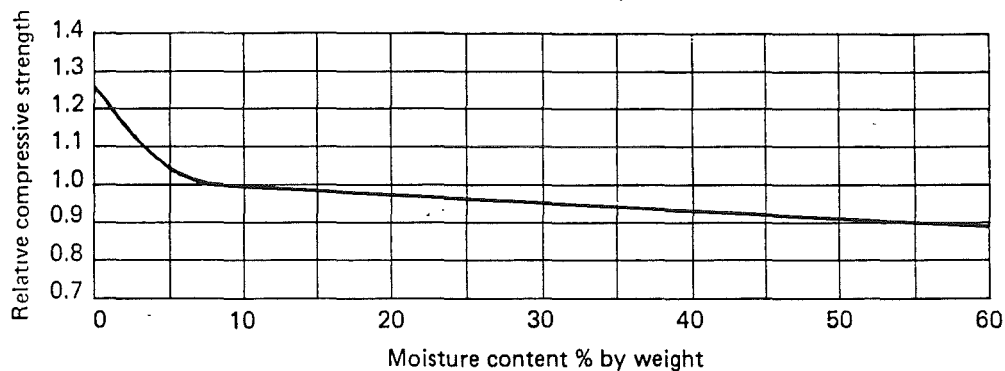


Fig 4.6. Sambandet mellan tryckhållfasthet och fuktkvoten i vikt-%.

Tryckhållfastheten minskar med volymvikten.

4.4.2 Draghållfasthet

Draghållfastheten är ungefär 1/6 av tryckhållfastheten.

4.4.3 Böjdraghållfastheten

Böjdraghållfastheten är ca 1/5 av tryckhållfastheten.

4.4.4 Elasticitetsmodulen

E-modulen varierar med densiteten och kubhållfastheten för de kvaliteter som vanligen användes till bärande väggar till 10 000-30 000 kg/cm².

E-modulen påverkas också av den aktuella fuktkvoten i materialet på samma sätt som tryckhållfastheten påverkas. Detta kan man ta hänsyn till genom att använda tryckhållfastheten vid aktuell fuktkvot för beräkning av E-modul.

Följande formel kan användas för beräkning av elasticitetsmodulen på lättbetong i densitetsintervallet 400-700 kg/m³ och med en fuktkvot på 3-10 volym-%:

$$E = k * d * f^{\frac{1}{2}} \quad (\text{enl CEB \#122})$$

där E = elasticitetsmodul (MN/m^2)

k = 1.5-2.0

d = densiteten i torrt tillstånd (kg/m^3)

f = tryckhållfastheten vid aktuell fuktkvot (MN/m^2)

Även om erhållna värden skiljer sig från testresultat kan de användas för att uppskatta elastiska deformationer på oarmerat material.

4.4.5 Skjuvhållfasthet

Skjuvhållfastheten kan inte exakt angivas eftersom skjuvbrott egentligen är en form av dragbrott. Resultatet är därför starkt beroende av testmetod. Normalt kan 5-10 % av tryckhållfastheten förväntas.

4.4.6 Värmespänningar

På grund av lättbetongens och armeringens olika längdutvidgning under autoklaveringen så uppstår det en förspänning i de armerade produkterna.

4.4.7 Vidhäftning

Vidhäftningen mellan armering och lättbetongen testas genom att 15 cm långa, \varnothing 8, armeringsstänger som ingjutes i Siporex trycks ut med dubb. Vidhäftningshållfastheten kan sättas till 1.2 MPa.

5. BESKRIVNING AV FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING OCH UTFÖRANDE

Arbetet börjar med att bestämma dimensionerna och vikten av balken, för beräkning av egenvikten. Därefter skissas balken upp och noteringar görs om fel och brister.

Upplagslängderna markeras på balken. Vid provning på laboratoriet i Dalby används inte de angivna värdena i Siporex Lättbetonghandbok, utan en på laboratoriet utarbetad praxis beträffande upplagslängder som ges av följande figur:

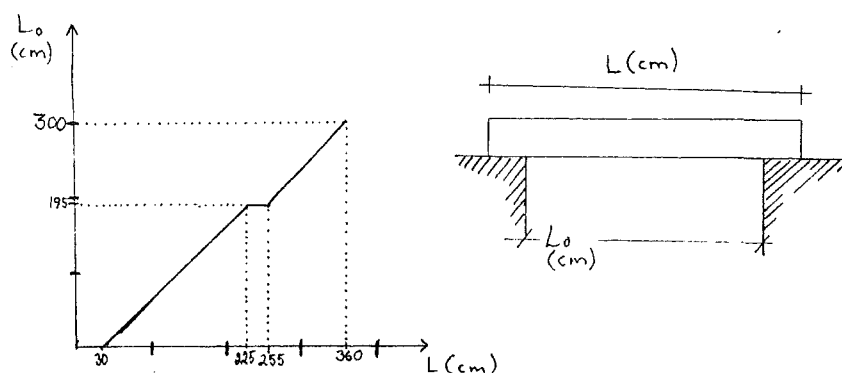


Fig 5.1. Bestämning av upplagslängder.

Fjärdedelspunkterna markeras sedan upplagslängden dragits ifrån den totala balklängden. Balken fixeras sedan i provriggen, och belastningen sker i fjärdedelspunkterna. Alla upplag är ledade.

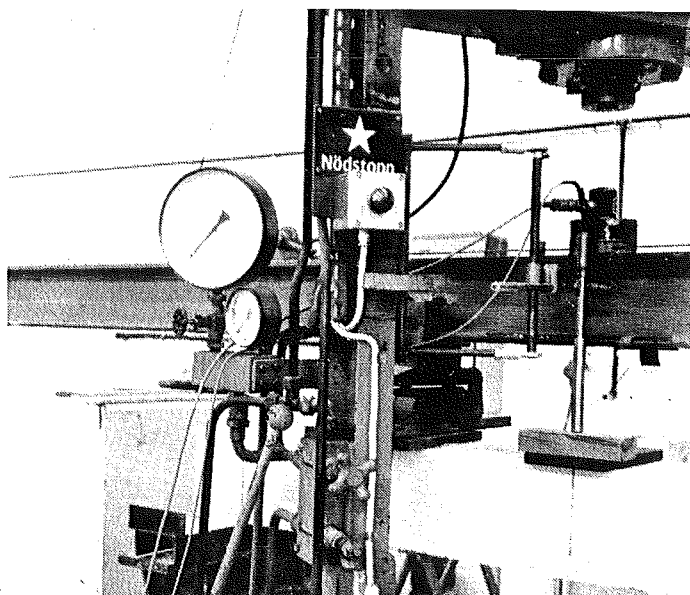


Fig 5.2. Provrigen med en balk för provning.

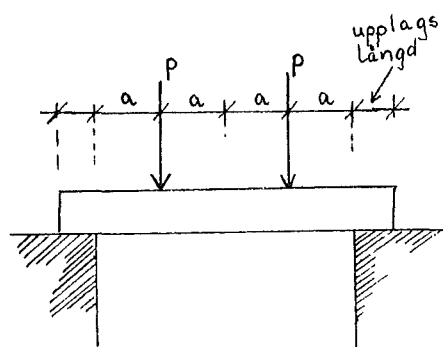


Fig 5.3. Skiss över försökuppställningen.

Provriggen utgöres av en hydraulisk anordning, där belastningshastigheten regleras manuellt.

Till riggen finns det kopplat en skrivare som registrerar kraft och nedböjning i en kurva.

Vid försöken belastas balkarna tills brott uppstår. Då den första sprickan utvecklas så markeras den på balken och motsvarande belastning noteras. Då balken belastats till brott skissas sprickmönstret upp och balken fotograferas. Sedan balken plockats bort från provriggen kontrolleras täckskiktens dimensioner. Siporex och rostskyddet knackas därefter bort från armeringen, så att dess diameter kan fastställas.

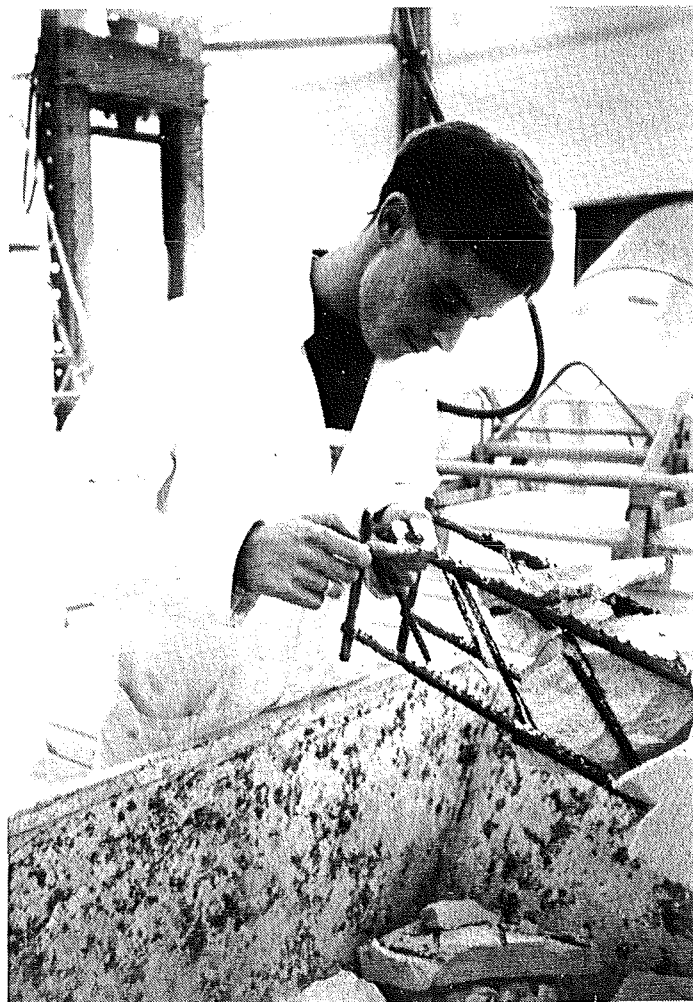


Fig 5.4. Anders kontrollerar armeringen.

6. BERÄKNINGAR PÅ FÖRSÖKEN

Vid beräkningar för dimensionering av lättbetongbalkar används en jämförelse med vanlig betong. Tyvärr så är det en del som skiljer lättbetongen från vanlig betong, så det är mera riktigt att jämföra den med förspänd betong då det vid autoklaveringen uppstår värmespänningar i materialet till följd av lättbetongens och armeringens olika längdutvidgningskoefficienter. En effekt till följd av förspänningen är att uppsprickningen fördröjs och man erhåller en högre spricklast.

I detta avsnitt beskriver vi först teoretiskt de värmespänningar, böjbrott och skjuvbrott som uppstår i balkarna. Vi redovisar sedan hur vi behandlat balkarna i våra beräkningar, vilka förenklingar vi gjort. För att ytterligare åskådliggöra resultaten av försöken presenteras i slutet av detta kapitel sammanställningar, i tabellform, av de resultat vi kommit fram till.

6.1 Värmespänningar

Då ett material uppvärms ΔT °C, utvidgas det med $a \cdot \Delta T$, där a =längdutvidgningstalet. Vid avkylning sker motsvarande sammandragning. Om sammandragningen förhindras uppstår det värmespänningar i materialet.

Armerade lättbetongprodukter är sammansatta av olika material, där längdutvidgningstalet är lägre för Siporex än för armeringen. Eftersom den totala töjningen för delmaterialen ska vara lika ger detta:

$$\sigma_1 / E_1 + a_1 \cdot \Delta T = \sigma_2 / E_2 + a_2 \cdot \Delta T$$

(enl BYGG Avd.15.)

$$\text{men } \sigma_1 \cdot A_1 + \sigma_2 \cdot A_2 = 0$$

ur ekvationerna ovan erhålles:

$$\sigma_1 = \frac{(a_2 - a_1) * \Delta T * E_1}{1 + \frac{E_1 * A_1}{E_2 * A_2}} \quad \sigma_2 = \frac{(a_1 - a_2) * \Delta T * E_2}{1 + \frac{E_2 * A_2}{E_1 * A_1}}$$

där E_1 resp E_2 utgör materialens E-moduler
 σ_1 och σ_2 är spänningen i materialen
 A_1 och A_2 är delmaterialens area i tvärsnittet

Formlerna gäller endast under förutsättning, att delmaterialens tyngdpunkter sammanfaller med sektionens tyngdpunkt. Vi gör här en liten förenkling, och räknar som om tyngdpunkterna sammanfaller.

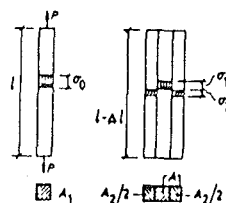


Fig 6.1. Stång sammansatt av olika material.

6.2 Böjbrott

Balken utsätts för ett böjande moment. Beräkningarna grundar sig på hypotesen att töjningsfördelningen över tvärsnittet varierar rätlinjigt.

Lättbetongstukningen vid den kant som har den största tryckpåkänningen begränsas till brottstukningen $\epsilon_{cu} = 4.5\%$.

Töjningen hos betong och armering i dragzonen bestäms på samma sätt av att töjningsfördelningen i tvärsnittet antas vara linjär.

När den yttre lasten, P , ökar så uppstår det böjsprickor i balkens dragzon. Dessa sprickor fortplantar sig upp till ungefär halva balkhöjden. Påkänningarna är fortfarande tillräckligt små för att Hookes lag ska gälla, $\sigma = E * \epsilon$. Töjningsfördelningen förutsätts vara rätlinjig och alltså blir även påkänningsfördelningen rätlinjig. Alla dragkrafter upptas av armeringen, man förutsätter alltså att lättbetongen inte kan

ta några dragpåkänningar.

Lasten P ökas sedan så att brottsstadiet uppnås. Brottsmomentet definieras av att brottstukningen ϵ_{cu} inträffar i balkens trycksida eller att $\epsilon_s = \epsilon_{lim}$.

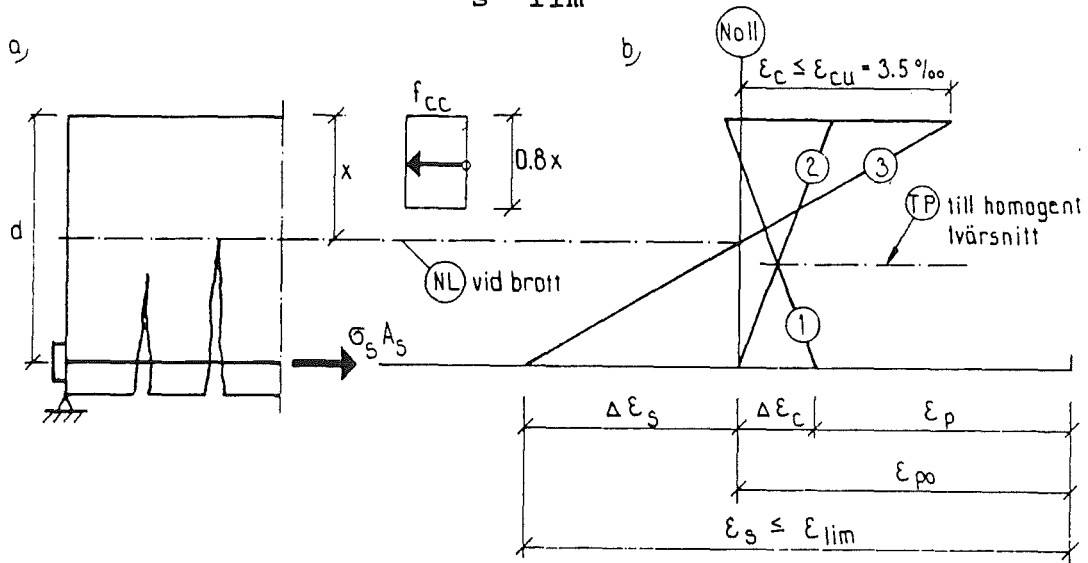


Fig 6.2a. Kraft fördelning i brottsstadiet. Yttre last ej utritad.

b. Töjningsfördelning

- ① av enbart spännkraft
- ② av last som inte ger någon töjning, dvs nolltöjningen, av lättbetongen mitt för spännarmeringen
- ③ i brottgränstillståndet

ϵ_{cu} och motsvarande ϵ_s måste beräknas från ett tillstånd då betongen är spänningsfri. Förspänningstöjningen ϵ_{po} ska alltså motsvara den sk nolltöjningsspänningen σ_{spo} i armeringen som motsvarar en nolltöjning i omgivande Siporex. En momentekvation ställs upp för att kunna beräkna x . f_{st} och f_{sc} antas vara uppnådd i armeringen i över och underkant.

$$f_{sc} A_{sö} (x - T_{ö} - \phi_{ö}/2) + f_c b 0.8x 0.6x - f_{st} A_{su} (d - x) = 0$$

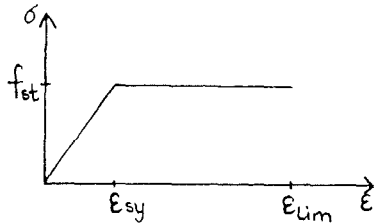
.

-----> x

Därefter kan $\Delta\epsilon_s$ beräknas med hjälp av likformiga trianglar enligt:

$$\Delta\epsilon_s = \epsilon_{cu} * \frac{d-x}{x}$$

$$\epsilon_s = \Delta\epsilon_s + \epsilon_{cu} + \epsilon_p$$



$$\begin{cases} \epsilon_{lim} = 0.6a_5 \\ \epsilon_{sy} = f_s/E_s \end{cases}$$

Fig 6.3. Armeringens arbetskurva.

Momentet i tvärsnittet kan nu beräknas:

$$M_u = f_{st} A_{su} (d-x) + f_{sc} A_{sö} (x - T_{\ddot{o}} - \phi_{\ddot{o}}/2) + f_{cc} 0.8xb0.6x$$

Den påförda brottslasten kan beräknas:

$$P = \frac{-q * \frac{1}{2} * (\text{uppl}/2 + 2a)^2 + M_u}{(\text{uppl}/2 + a)}$$

Upplag och övriga mått definieras i figuren nedan.

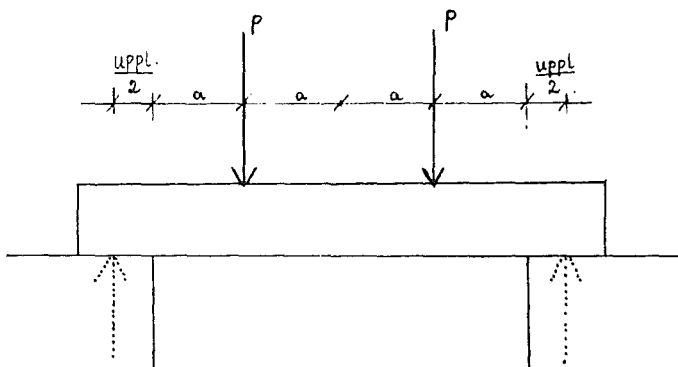


Fig 6.4. Balk med mått.

6.3 Böjskjuvbrott

Brottförloppet innebär vanligen en utveckling av sneda skjvsprickor utgående från böjsprickor som uppstått i balkens underkant.

Det slutliga brottet antas orsakas av krossning i betongtryckkilen ovanför skjvsprickan.

Ett sk. böjskjuvbrott uppstår. Finns det tvärarmering som korsar den sneda skjvsprickan medverkar den till att uppta tvärkraften upp till flytgränsspänning i tvärarmeringen. Man kan uppfatta tvärkraftskapaciteten som summan av konstruktionsdelens kapacitet utan tvärarmering och kapaciteten hos tvärarmeringen vid flytning enligt den sk. additionsprincipen.

Denna tvärkraftsarmering kan tillsammans med längsarmeringen betraktas som dragna stänger i ett fackverk, där den tryckta betongen i överfläsen motsvarar övre ramstänger och lutande betongtrycksträvor mellan snedsprickorna fungerar som tryckta diagonaler.

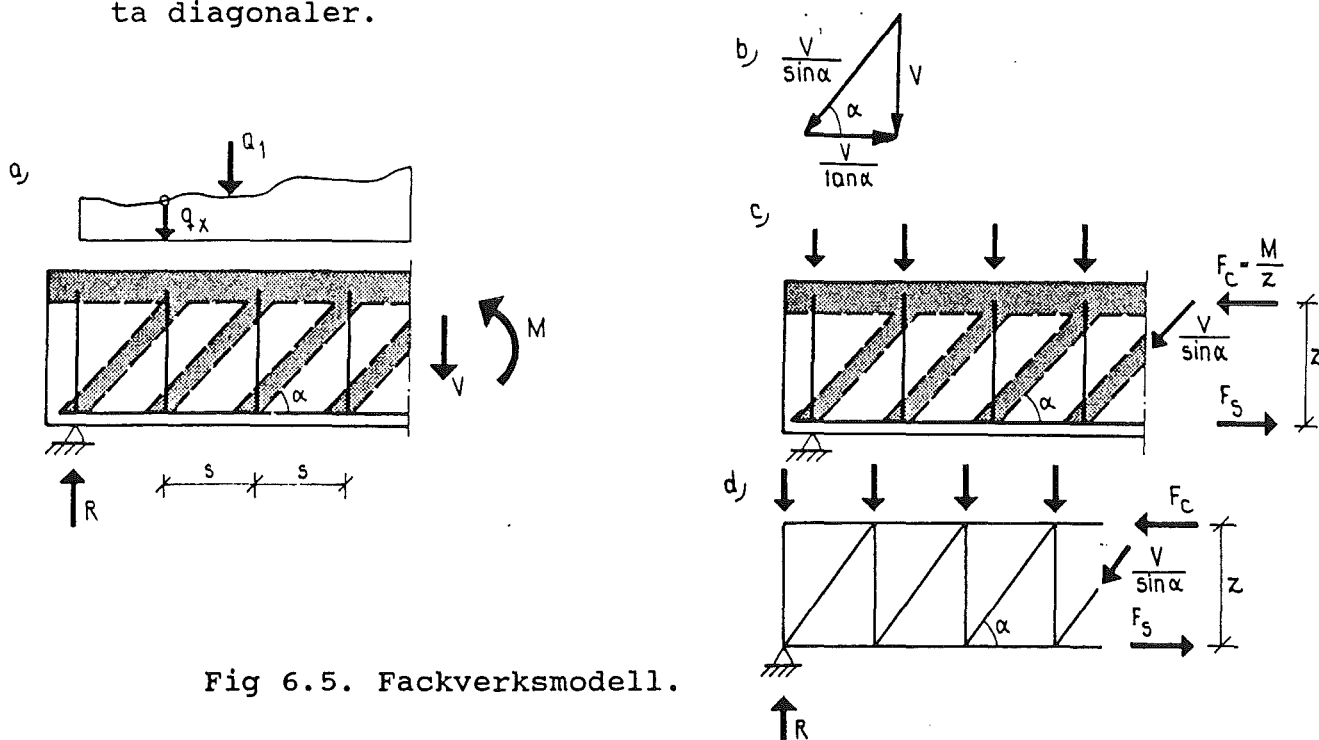


Fig 6.5. Fackverksmodell.

Ett tillskott till bärförmågan vid böjskjuvbrott ger även längsarmeringen, framförallt genom dymlingsverkan tvärs över sprickornas öppningar i balkunderkant.

6.3.1 Additionsprincipen

Den totala bärförmågan för tvärkraft hos en konstruktionsdel antas enligt additionsprincipen kunna beräknas som:

$$V_d = V_c + V_p + V_s \quad (\text{enl BK AK1})$$

där

$V_c = (b \cdot d \cdot f_v)$ är ett bidrag, som motsvarar kapaciteten hos en likadan men icke tvärrarmerad konstruktionsdel, varvid

V_p = bidrag orsakad av spännkraft eller yttre normalkraft

V_s = bidrag från en tvärrarmering

Uttrycket bygger på den i och för sig ganska tvivelaktiga hypotesen att "betongandelen" V_c kan uppskattas till samma värde i en likadan men icke skjuvarmerad balk.

Det antas vidare att inverkan av spännkraften eller av en yttre verkande normalkraft kan uppfattas som ett tillägg till kapaciteten hos en likadan konstruktionsdel utan sådan axiell inverkan.

6.3.2 Icke tvärrarmerad konstruktionsdels bärförmåga

Termen

$$V_{co} = b \cdot d \cdot f_v$$

i formel (1) motsvarar konstruktionsdelens "egen" andel av bärförmågan utan tillskott från eventuell tvärrarmering, vilket medför att f_v betraktas som en nominell böjskjuvhållfasthet hos konstruktionsdelen, beräknad på effektiv höjd d och bredden b . Man antar ovan att man enligt additionsprincipen kan studera denna term på balkar utan tvärrarmering. Förutom betongens kvalitet är det tre faktorer som antas påverka den nominella skjuvhållfastheten f_v :

- 1) Längsarmeringsinnehållet, A_{so}
- 2) Balkhöjden, d
- 3) Skjuvspannsförhållandet, a/d

6.3.3 Dimensionering för tvärkraft

Försök har visat att en balk kan överföra mycket stora tvärkrafter om lasten befinner sig nära upplag om

- 1) lasten angriper på balkens överkant
- 2) om balken är upplagd på sin undersida

I BBK 79 har man tagit hänsyn till detta genom att tillåta en viss ökning av f_v om det finns (nedåtriktade) laster (på överkant balk) inom avståndet $3d$ från upplaget. Skjuvhållfastheten f_v får ökas med faktorn $V_{do}/V_{d,red}$ dvs.

$$f_{vr} = c(1+50 \cdot A_{so}) 0,3 f_{ct} \cdot (V_{do}/V_{d,red}) < f_{ct}$$

där $c = 1.4$ då $d < 0.2$

$c = 1.6 - d$ då $0.2 < d < 0.5$

$A_{so} = \text{Tvärsnittsarean av längsarmeringen} / b \cdot d$

$f_{ct} = f_c / 6$

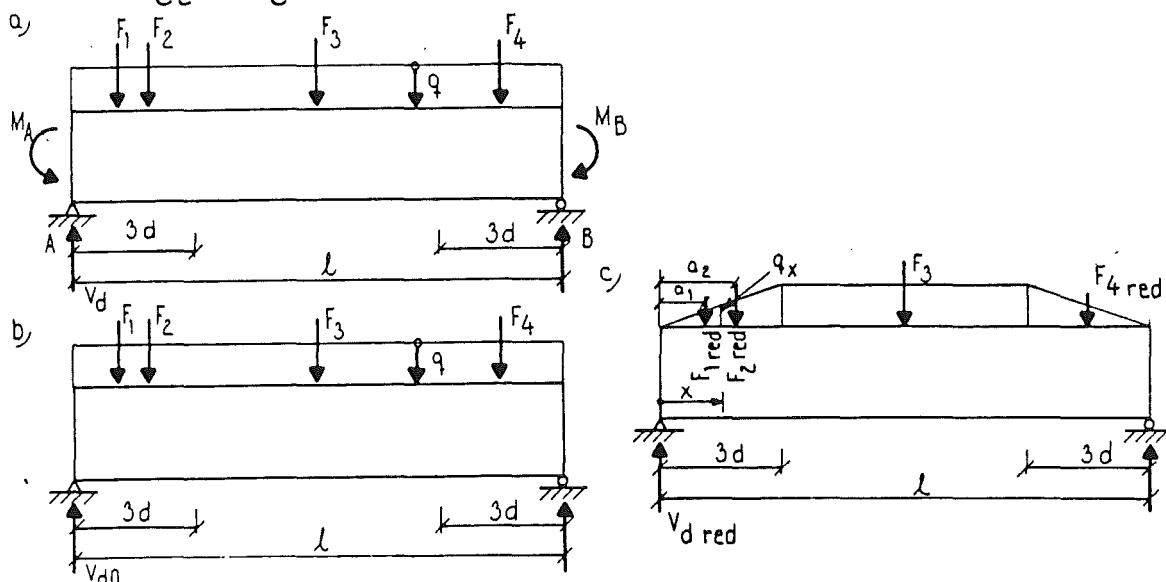


Fig 6.6. Princip för beräkning av V_{do} och $V_{d,red}$ vid beaktande av lastangrepp nära upplag.

Beräkning av ökad formell skjuvhållfasthet invid upplag enligt norm. Man sätter tvärkraftsandelens av lasterna inom skjuvspannet $3d$ lika med resultantvärdet F_{3d} av dessa laster (med begränsningen $F_{3d} \leq V_{dmax}$).

Vidare är det resultantens avstånd, a , från upplaget som påverkar reduktionsfaktorn. På detta sätt erhålls den ökade skjuvhållfastheten:

$$f_{v3d} = f_v V_{dmax} / V_{red}$$

6.3.4 Beräkningar och förenklingar

Brott uppstår som tidigare nämnts då tvärkraften, V_d , överstiger Siporexens, skjuvarmeringens och spännkraftens bidrag att kunna ta upp krafter.

Brott då $V_d > V_c + V_p + V_s$

För att förenkla beräkningarna något har vi gjort ett tvärkraftsdiagram utan hänsyn till egenvikten då den är i det närmaste försumbar.

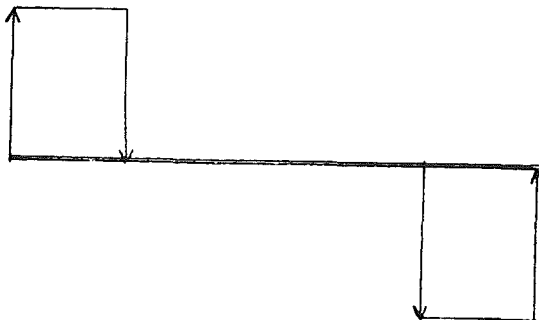


Fig 6.7. Skiss av förenklat tvärkraftsdiagram.

Då $a < 3d$:

* V_c beräknas som ovan.

* V_s bestäms av den tvärarmering som finns.

$$V_s = \frac{2n \cdot r^2 \cdot f_s \cdot 0.9d \cdot 2^{\frac{1}{2}}}{s} \quad (\text{enl. BK AK1})$$

* V_p orsakas av förspänningen som uppstår vid tillverkningen

$$V_p = \frac{M_o}{M_u} \cdot V_d \quad (\text{enl. BK FK1})$$

$$\text{där } M_o = \sigma_{sp} \cdot A_{arm} \cdot \frac{W}{b \cdot h} = \sigma_{sp} \cdot A_{arm} \cdot \frac{h}{6} = f_s \cdot A_{arm} \cdot \frac{h}{6}$$

$$V_d = V_{do} = P$$

$$V_{d,red} = \frac{a}{3d} \cdot P$$

.

.

$$*P_{teor} = \frac{V_s + V_c (3d/a + a/3d - 1)}{1 - M_o/M_u}$$

Då $a > 3d$:

$$*P_{teor} = \frac{V_c + V_s}{1 - M_o/M_u}$$

6.4 Värden som använts vid beräkningarna

Följande värden är givna av Siporex:

Siporexens E-modul, $E_c = 2200 \text{ MPa}$

tryckhållfasthet, $f_{cc} = 5 \text{ MPa}$

Armeringens E-modul, $E_s = 210 \text{ GPa}$

sträckgräns, $f_{st} = 330 \text{ MPa}$

Siporexens gränstökning, $e_{cu} = 4.5 \%$

Värde givet av Dalatråd:

$$a_5 = 37 \%$$

Värden givna av Statens Provningsanstalt:

5%-fraktilen för Siporex = 3.7 MPa

Variationskoefficient för både armering och Siporex=0.08.

I samtliga beräkningar har medelvärde använts för armeringens och Siporexens hållfasthet, som bestäms enligt:

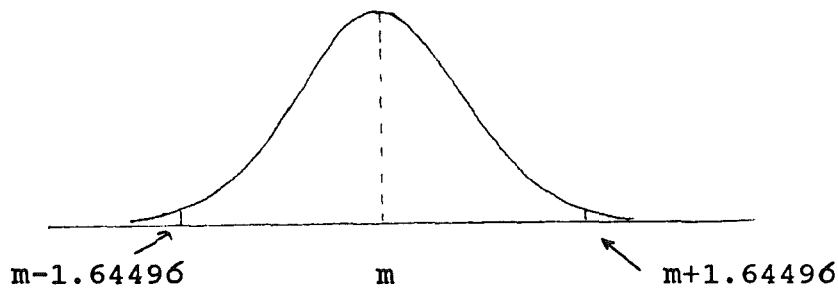


Fig 6.8. Normalfördelning med 5%-fraktil markerad.

$$\text{Siporex} 3.7 = m - 1.64496 = m - 1.6449 \cdot 0.08m$$

$$\text{---> } m = 4.26 \text{ MPa}$$

$$\text{Armeringen } 330 = m - 1.6449 \cdot 0.08m$$

$$\text{---> } m = 380 \text{ MPa}$$

6.5 Sammanställningar av utförda försök

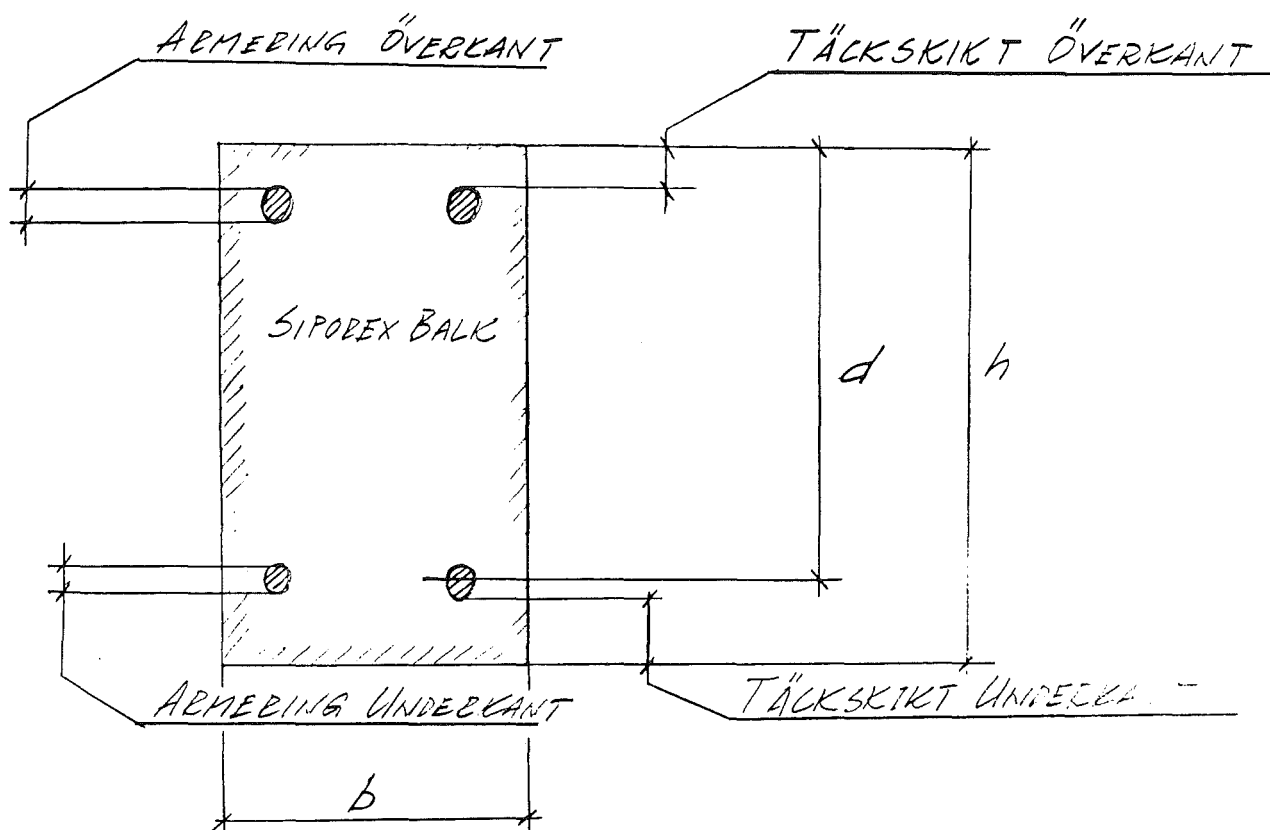
På några av följande sidor redovisas nu resultaten av försöken. Först kommer en sammanställning av balkarnas armering och dimensioner, och därefter en på böjbrott- och skjuvbrottsberäkningar.

Efter sammanställningarna finns de foton vi tog i samband med försöken. Här kan man ganska tydligt se de sprickmönster som utvecklats i samband med belastningen. Sprickmönstern finns också uppskissade vid fotona.

Då en del av balkarna har haft skador eller varit anmärkningsvärt felarmerade så är det noterat i slutet av detta kapitel.

Observera att balkarna 1-14, 17-19 och 22-24 är kapade!

På balkarna 11-14 har vi sedan svetsat på ändförankringar. Balkarna 15-16, 20-21 och 25-31 är okapade och utgör tillsammans med de balkar med påsvetsade ändförankringar ett jämförelsematerial.

BETECKNINGAR

FÖRKLARINGAR

σ_{sp} = Spänning i stål pga. förspänning.

ϵ_p = Töjning av förspänning.

σ_{cp} = Spänning i SIPOREX pga. förspänning.

ϵ_s = Töjning i brottstadiet.

x = Avstånd, balk ök. till neutrala lagret

ϵ_c = Töjning av enbart spännkraft.

ϵ_s = Totaltöjning.

M_u = Maxmoment.

P_t = Teoretiskt framtagna kraft.

P_p = Praktiskt framtagna kraft.

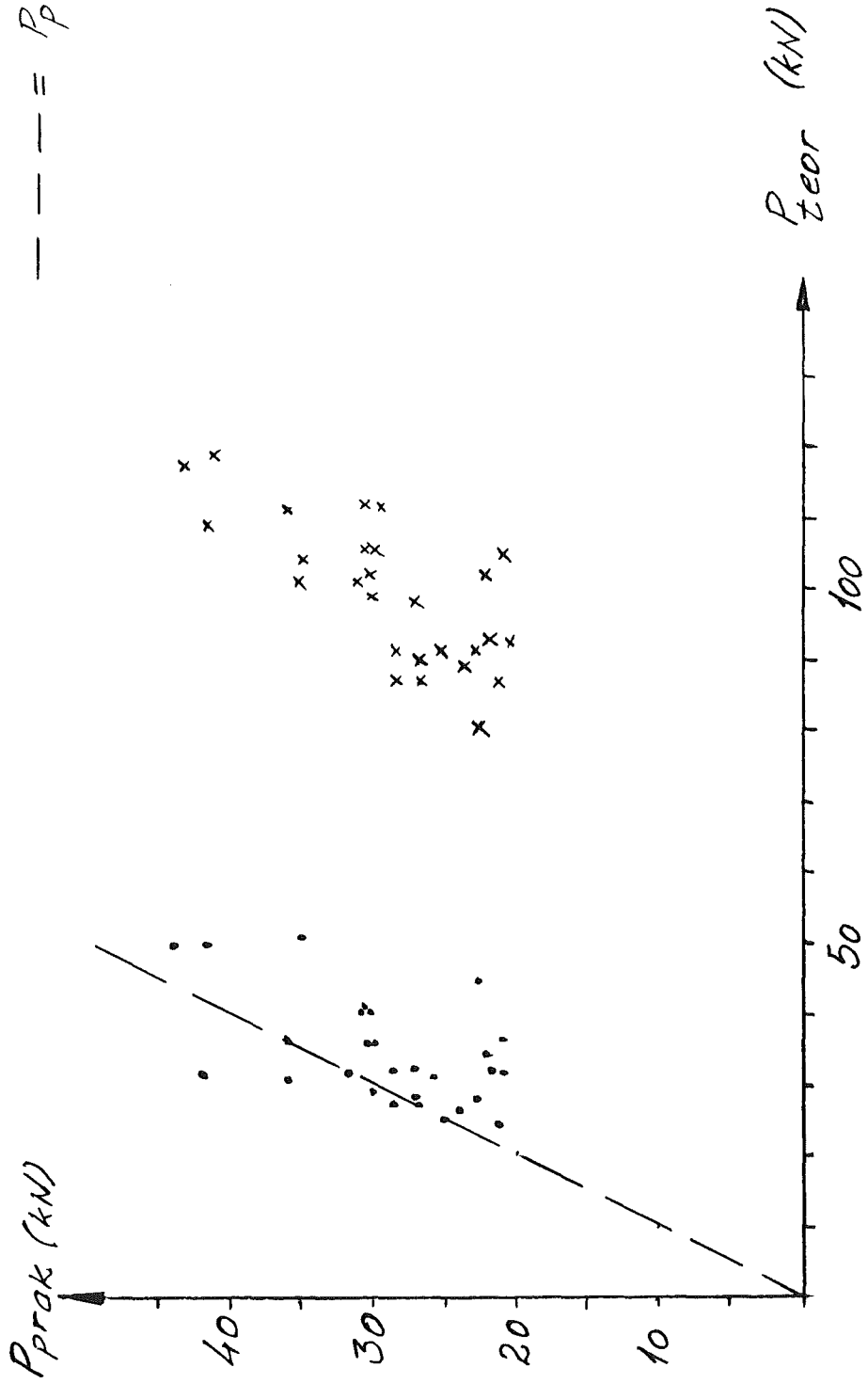
f_v = Nominella skjuvhållfastheten.

V_c = Är ett bidrag, som motsvarar kapaciteten hos en likadan men icke tvärrarmerad balk.

V_s = Bidrag från en tvärrarmering.

SAMBAND MELLAN $P_{prakt.}$ & $P_{teor.}$

x = SKJUYNING
 • = BÖJNING
 - - - = $P_{prakt} = P_{teor}$



SAMMANSTÄLLNING AV BALKARNAS ARMERING OCH DIMENSIONER

Prov nr	l (mm)	b*h (mm)	Arm.ök (mm)	Arm.uk (mm)	Täck.ök (mm)	Täck.uk (mm)	d (mm)	Anmärkningar
1	1840	150*200	2ø12	2ø12	25	20	174	Kapad 2*130mm
2	1838	150*200	2ø14	2ø12	23	19	175	Kapad 2*131mm
3	1835	150*200	2ø14	1ø12 1ø14	29.4	17.5	176	Kapad 2*132mm
4	2135	150*200	2ø14	2ø16.2	28	18	175	Kapad 2*132.5mm
5	2135	150*200	2ø14	2ø16.1	33	17	175	Kapad 2*132.5mm
6	2135	150*200	2ø14.1	2ø16.2	33	16	176	Kapad 2*132.5mm
7	2460	150*250	2ø14	2ø16.1	19	22	220	Kapad 2*120mm
8	2460	150*250	2ø14	1ø16.1	18	22	220	Kapad 2*120mm
9	2460	150*250	2ø14	2ø16.1	17	23	220	Kapad 2*120mm
10	1845	200*200	2ø14.1	2ø16.2	22.5	20	172	Kapad 2*128mm
11	1845	200*200	2ø12	2ø12	31	21	163	Kapad 2*128mm
12	1850	200*200	2ø12	2ø12	32	13	162	Kapad 2*125mm
13	1845	200*200	2ø12	2ø12	23	27	171	Kapad 2*128mm
14	1845	200*200	2ø12	2ø12	28	19	166	Kapad 2*128mm
15	1800	150*200	2ø9.1	2ø12.0	34	23	171	
16	1800	150*200	2ø9.1	2ø12.0	30	20	174	
17	1550	150*200	2ø9.0	2ø12.0	30	20	174	Kapad 2*125mm
18	1550	150*200	2ø9.0	2ø12.0	30	20	174	Kapad 2*125mm
19	1550	150*200	2ø9.0	2ø12.0	30	20	174	Kapad 2*125mm
20	1800	150*250	2ø9.0	2ø9.1	20	23	222	Felarmerad
21	1800	150*250	2ø10.0	2ø10.0	25	25	220	

Sammanställning av balkarnas armering och dimensioner (forts.)

Prov nr	L (m)	B*H (m)	Arm.ök (mm)	Arm.uk (mm)	T _{ök} (mm)	T _{uk} (mm)	d (mm)	Anmärkningar
22	1550	150*250	2ø10	2ø10	25	25	220	Kapad 2*125mm
23	1550	150*250	2ø10.0	2ø10.0	25	25	220	Kapad 2*125mm
24	1550	150*250	2ø10.0	2ø10.0	25	25	220	Kapad 2*125mm
25	1800	200*200	2ø10	2ø12.2	30	18	176	
26	1500	200*200	2ø9.2	2ø9.2	35	20	175	
27	1800	200*200	2ø9.0	2ø12.0	20	25	169	
28	1800	200*200	2ø9.2	2ø12.0	18	30	164	
29	1500	150*200	2ø8.8	2ø9.0	25	25	170	
30	1500	150*200	2ø10.2	2ø8.95	20	20	176	
31	1500	150*200	2ø10	2ø10	25	30	165	

SAMMANSTÄLLNING AV BALKARNAS BÖJNING

Prov nr	σ_{sp} (MPa)	ϵ_p (%)	σ_{cp} (MPa)	$\Delta\epsilon_c$ (%)	x (mm)	$\Delta\epsilon_s$ (%)	ϵ_s (%)	M_u (kNm)	P_t (kN)	P_p (kN)	P_p/P_t (%)
1	57.59	.274	0.88	.401	88.5	4.35	5.02	14.69	31.73	23.47	74.0%
2	51.92	.247	0.94	.428	81.4	5.17	5.85	16.09	34.85	24.67	70.8%
3	54.61	.260	0.91	.415	90.9	4.21	4.89	20.70	44.90	25.15	56.0%
4	42.77	.204	1.04	.471	102.4	3.06	3.74	22.20	41.32	31.14	75.4%
5	42.77	.204	1.04	.471	104.1	3.07	3.74	22.66	40.36	30.18	74.8%
6	42.77	.204	1.04	.471	104.6	3.07	3.75	21.82	40.68	31.14	76.5%
7	73.8	.35	0.712	.32	119.6	3.78	4.45	30.68	49.57	42.39	85.5%
8	73.8	.35	0.712	.32	119.3	3.80	4.47	30.78	49.74	44.07	88.6%
9	73.8	.35	0.712	.32	118.9	3.83	4.50	30.89	49.91	42.15	84.4%
10	75.5	.36	0.692	.31	96.2	3.55	4.22	23.17	50.01	35.92	71.8%
11	90.76	.43	0.534	.24	83.4	4.29	4.96	13.68	29.41	30.66	104.2%
12	90.76	.43	0.534	.24	83.4	4.24	4.91	13.50	28.95	27.30	94.3%
13	90.76	.43	0.534	.24	83.4	4.73	5.40	15.05	32.40	32.35	99.8%
14	90.76	.43	0.534	.24	83.4	4.46	5.13	14.19	30.53	36.40	119.2%
15	66.02	.31	0.79	.36	74	5.90	6.57	11.73	25.88	25.20	97.4%
16	66.02	.31	0.79	.36	73	6.23	6.90	12.18	26.88	24.72	92.0%
17	66.02	.31	0.79	.36	73	6.23	6.90	12.18	31.27	27.36	87.5%
18	66.02	.31	0.79	.36	73	6.23	6.90	12.18	31.27	26.52	84.8%
19	66.02	.31	0.79	.36	73	6.23	6.90	12.18	31.27	26.16	83.7%
20	85.42	.41	0.59	.27	95	6.02	6.69	12.3	27.13	21.60	79.6%
21	78.47	.37	0.66	.30	100	5.40	6.08	14.4	31.79	42.60	134.0%
22	78.47	.37	0.66	.30	100	5.40	6.08	14.4	36.98	36.36	98.0%
23	78.47	.37	0.66	.30	100	5.40	6.08	14.4	36.98	31.92	86.3%

Sammanställning av balkarnas böjning (forts.)

Prov nr	σ_{sp} (MPa)	ϵ_p (%)	σ_{cp} (MPa)	$\Delta\epsilon_c$ (%)	x (mm)	$\Delta\epsilon_s$ (%)	ϵ_s (%)	M_u (kNm)	P_t (kN)	P_p (kN)	P_p/P_t (%)
24	78.47	.37	0.66	.30	100	5.40	6.08	14.4	36.98	30.48	82.4%
25	72.99	.35	0.72	.33	95	3.84	4.51	14.4	31.75	21.62	68.1%
26	86.50	.41	0.58	.26	92	4.06	4.74	10.3	27.27	27.1	99.4%
27	76.58	.36	0.68	.31	91	3.86	4.53	13.4	29.57	28.32	95.8%
28	76.01	.36	0.69	.31	88	3.89	4.56	13.0	28.66	27.36	95.5%
29	78.82	.38	0.66	.30	80	5.06	5.74	8.7	23.04	21.60	93.8%
30	73.30	.35	0.72	.33	75	6.06	6.74	9.8	25.99	29.82	114.7%
31	70.52	.34	0.75	.34	81	4.67	5.34	10.0	26.53	23.62	89.0%

SAMMANSTÄLLNING AV BALKARNAS SKJUVNING

Prov nr.	f_v (kPa)	V_c (kN)	V_s (kN)	M_o (kNm)	a<3d	l (m)	P_{teor} (kN)	$\frac{P_{prak}}{P_{teor}}$	
1	523,04	13,65	43,18	5,73	OK	1,690	93,52	25,1%	
2	601,55	15,79	43,43	6,76	OK	1,688	102,60	24,0%	
3	553,70	14,62	43,68	5,73	OK	1,685	80,99	31,0%	
4	701,48	18,41	43,43	8,99		1,985	103,94	30,0%	
5	701,48	18,41	43,43	8,99		1,985	105,73	28,5%	
6	699,19	18,46	43,68	8,99		1,985	105,67	29,5%	
7	610,15	20,13	54,60	11,2	OK	2,205	118,10	35,9%	
8	610,15	20,13	54,60	11,2	OK	2,205	117,86	37,4%	
9	610,15	20,13	54,60	11,2	OK	2,205	117,64	35,8%	
10	605,95	20,84	42,69	8,99	OK	1,695	104,25	34,4%	
11	505,74	16,44	40,45	5,73	OK	1,695	98,00	31,3%	
12	505,74	16,44	40,20	5,73	OK	1,700	98,48	27,7%	
13	495,43	16,94	42,44	5,73	OK	1,695	96,21	33,6%	
14	501,37	16,65	41,20	5,73	OK	1,695	97,21	37,4%	
15	503,64	12,92	42,41	4,48	OK	1,650	87,87	28,0%	
16	500,10	13,05	43,15	4,48	OK	1,650	89,35	27,7%	
17	500,10	13,05	43,15	4,48	OK	1,400	90,73	30,2%	
18	500,10	13,05	43,15	4,48	OK	1,400	90,73	29,2%	
19	500,10	13,05	43,15	4,48	OK	1,400	90,73	28,8%	
20	405,66	13,51	55,06	4,07	OK	1,650	105,62	20,5%	
21	433,86	14,32	54,56	4,97	OK	1,650	108,43	39,3%	
22	433,86	14,32	54,56	4,97	OK	1,400	111,50	32,6%	

Sammanställning av balkarnas skjuvning (forts.)

Prov nr	f_v (kPa)	V_c (kN)	V_s (kN)	M_o (kNm)	a<3d	l (m)	P_{teor} (kN)	$\frac{P_{prak}}{P_{teor}}$	
23	433,86	14,32	54,56	4,97	OK	1,400	111,50	28,6%	
24	433,86	14,32	54,56	4,97	OK	1,400	111,50	27,3%	
25	463,8	16,33	43,65	4,95	OK	1,650	92,03	23,5%	
26	411,5	14,40	43,40	3,37	OK	1,350	88,35	30,7%	
27	454,1	15,35	41,91	4,48	OK	1,650	86,35	32,8%	
28	461,4	15,26	40,67	4,55	OK	1,650	86,23	31,7%	
29	443,7	11,31	42,16	3,15	OK	1,350	85,51	25,3%	
30	462,4	12,21	43,65	3,68	OK	1,350	91,76	32,5%	
31	487,4	12,06	40,92	3,98	OK	1,350	89,56	26,4%	

SAMMANSTÄLLNING AV BALKARNAS BÖJNING OCH SKJUVNING

Prov nr	BÖJNING			SKJUVNING		
	P_p (kN)	P_t (kN)	P_p/P_t (%)	P_t (kN)	P_p/P_t (%)	
1	23.47	31.73	74.0%	93.52	25.1%	
2	24.67	34.85	70.8%	102.60	24.0%	
3	25.15	44.90	56.0%	80.99	31.0%	
4	31.14	41.32	75.4%	103.94	30.0%	
5	30.18	40.36	74.8%	105.73	28.5%	
6	31.14	40.68	76.5%	105.67	29.5%	
7	42.39	49.57	85.5%	118.1%	35.9%	
8	44.07	49.74	88.6%	117.86	37.4%	
9	42.15	49.91	84.4%	117.64	35.8%	
10	35.92	50.01	71.8%	104.25	34.4%	
11	30.66	29.41	104.2%	98.00	31.3%	
12	27.30	28.95	94.3%	98.48	27.7%	
13	32.35	32.40	99.8%	96.21	33.6%	
14	36.40	30.53	119.2%	97.21	37.4%	
15	25.20	25.88	97.4%	89.87	28.0%	
16	24.72	26.88	92.0%	89.35	27.7%	
17	27.36	31.27	87.5%	90.73	30.2%	
18	26.52	31.27	84.8%	90.73	29.2%	
19	26.16	31.27	83.7%	90.73	28.8%	
20	21.60	27.13	79.6%	105.62	20.5%	
21	42.60	31.79	134.0%	108.43	39.3%	
22	36.36	36.98	98.3%	111.50	32.6%	

Sammanställning av balkarnas böjning och skjuvning (forts.)

Prov nr	BÖJNING			SKJUVNING		
	P_p (kN)	P_t (kN)	P_p / P_t (%)	P_t (kN)	P_p / P_t (%)	
23	31.92	36.98	86.3%	111.50	28.6%	
24	30.48	36.98	82.4%	111.50	27.3%	
25	21.62	31.75	68.1%	92.03	23.5%	
26	27.10	27.27	99.4%	88.35	30.7%	
27	28.32	29.57	95.8%	86.35	32.8%	
28	27.36	28.66	95.5%	86.23	31.7%	
29	21.60	23.04	93.8%	85.51	25.3%	
30	29.82	25.99	114.7%	91.76	32.5%	
31	23.62	26.53	89.0%	89.56	26.4%	

INTERNATIONELLA
SIPOREX AB
Centrallaboratoriet

TILLVERKNINGSKONTROLL, DALBYFABRIKEN År 1989
BÖJPROVNING enl. PFS 1980:3
Sammanställning av provningsresultat

Provn.nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Provn.datum	22/6	22/6	22/6	22/6	22/6	22/6	26/6	26/6
Prod.typ	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15
Dim: H (mm)	200	200	200	200	200	200	250	250
B (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150
L (mm)	1840	1838	1835	2135	2135	2135	2460	2460
Fri spännvidd (mm)	1540	1538	1535	1835	1835	1835	1950	1950
Bruksmärklast (kN/m)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Egentyngd, g_k (kN/m)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.29	0.29
Märklast, q_m (kN/m)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Bärförmåga (kN/m) $f_d=1.3(g_k+1.3q_m)$	29.03	29.03	29.03	29.03	29.03	29.03	29.11	29.11
PROVNINGSRESULTAT								
Armering ö.k	2ø12	2ø14	2ø12	2ø14	2ø14	2ø14,1	2ø14	2ø14
Armering u.k	2ø12	2ø12	1ø12 1ø14	2ø16,2	2ø16,1	2ø16,2	2ø16,1	2ø16,1
Vid brottlast: Egentyngd (kN/m)	0.28	0.27	0.27	0.28	0.29	0.29	0.32	0.32
Påförd brottlast på fri spännvidd(kN/m)	30.48	32.08	32.77	33.93	32.89	33.93	43.48	45.20
BÄRFÖRMÅGA (kN/m)	30.76	32.35	33.04	34.21	33.18	34.22	43.80	45.52
$f_d/0.84$	34.56	34.56	34.56	34.56	34.56	34.56	34.65	34.65
bärförm./ [$f_d/0.84$]	89%	94%	96%	99%	96%	99%	126%	131%

INTERNATIONELLA SIPOREX AB Central- laboratoriet	TILLVERKNINGSKONTROLL, DALBYFABRIKEN						År 1989
	BÖJPROVNING enl. PFS 1980:3						
	Sammanställning av provningsresultat						
Provn.nr.	9	10	11	12	13	14	
Provn.datum	26/6	11/7	11/7	11/7	12/7	12/7	
Prod.typ	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	
Dim: H (mm)	250	200	200	200	200	200	
B (mm)	150	200	200	200	200	200	
L (mm)	2460	1845	1845	1850	1845	1845	
Fri spännvidd (mm)	1950	1545	1545	1550	1545	1545	
Bruksmärklast (kN/m)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
Egentyngd, g_k (kN/m)	0.29	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	
Märklast, q_m (kN/m)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	
Bärförmåga (kN/m) $f_d=1.3(g_k+1.3q_m)$	29.11	29.13	29.13	29.13	29.13	29.13	
PROVNINGSRESULTAT							
Armering ö.k	2ø14	2ø14,1	2ø12	2ø12,2	2ø12	2ø12,2	
Armering u.k	2ø16,1	2ø16,2	2ø12	2ø12,2	2ø12	2ø12	
Vid brottlást: Egentyngd (kN/m)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	
Påförd brottlást på fri spännvidd(kN/m)	43.23	46.50	39.68	35.23	41.88	47.12	
BÄRFÖRMÅGA (kN/m)	43.55	46.82	40.00	35.55	42.20	47.44	
$f_d/0.84$	34.65	34.68	34.68	34.68	34.68	34.68	
bärförm./ [$f_d/0.84$]	126%	135%	115%	102%	122%	137%	

INTERNATIONELLA
SIPOREX AB
Centrallaboratoriet

TILLVERKNINGSKONTROLL, DALBYFABRIKEN År 1988
BÖJPROVNING enl. PFS 1980:3
Sammanställning av provningsresultat

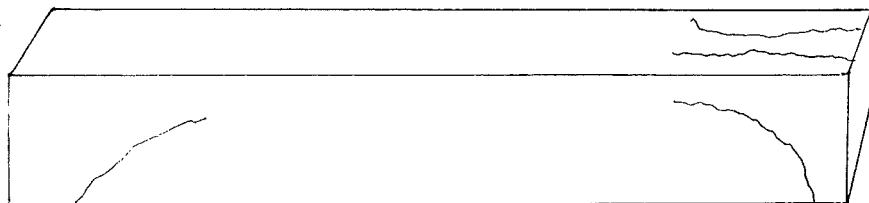
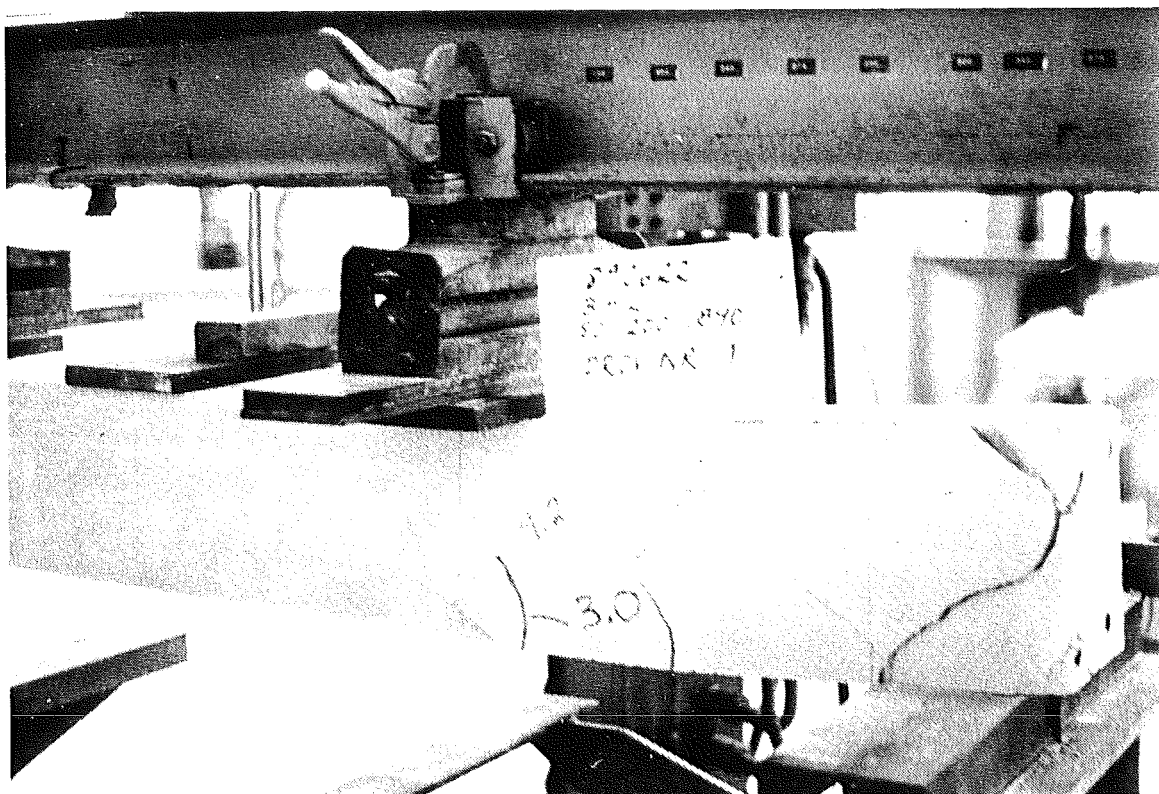
Provn.nr.	15	16	17	18	19	20	21	22
Provn.datum	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8
Prod.typ	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15
Dim: H (mm)	200	200	200	200	200	250	250	250
B (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150
L (mm)	1800	1800	1550	1550	1550	1800	1800	1550
Fri spännvidd (mm)	1500	1500	1250	1250	1250	1500	1500	1250
Bruksmärklast (kN/m)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Egentyngd, g_k (kN/m)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.29	0.29	0.29
Märklast, q_m (kN/m)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Bärförmåga (kN/m) $f_d=1.3(g_k+1.3q_m)$	29.03	29.03	29.03	29.03	29.03	29.11	29.11	29.11
PROVNINGSRESULTAT								
Armering ö.k	2ø9.1	2ø9.1	2ø9.0	2ø9.0	2ø9.0	2ø9.0	2ø10,0	2ø10,0
Armering u.k	2ø12,0	2ø12,0	2ø12,0	2ø12,0	2ø12,0	2ø9.1	2ø10,0	2ø10,0
Vid brottlast: Egentyngd (kN/m)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27	0.28
Påförd brottlast på fri spännvidd(kN/m)	33.60	32.96	43.78	42.43	41.86	28.80	56.80	58.17
BÄRFÖRMÅGA (kN/m)	33.85	33.21	44.03	42.68	42.11	29.07	57.07	58.45
$f_d/0.84$	34.56	34.56	34.56	34.56	34.56	34.65	34.65	34.65
bärförm./ [fd/0.84]	98%	96%	127%	123%	122%	84%	165%	169%

INTERNATIONELLA SIPOREX AB Centrallaboratoriet	TILLVERKNINGSKONTROLL, DALBYFABRIKEN BÖJPROVNING enl. PFS 1980:3 Sammanställning av provningsresultat	År 1988 1986*
--	---	------------------

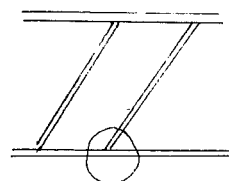
Provn.nr.	23	24	25	26	27	28	29	
Provn.datum	12/8	12/8	10/7*	26/11*	20/3*	20/3*	20/3*	
Prod.typ	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	MB15	
Dim: H (mm)	250	250	200	200	200	200	200	
B (mm)	150	150	200	200	200	200	150	
L (mm)	1550	1550	1800	1500	1800	1800	1500	
Fri spännvidd (mm)	1250	1250	1500	1200	1500	1500	1200	
Bruksmärklast (kN/m)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
Egentyngd, g_k (kN/m)	0.29	0.29	0.31	0.31	0.31	0.31	0.24	
Märklast, q_m (kN/m)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	
Bärförmåga (kN/m) $f_d=1.3(g_k+1.3q_m)$	29.11	29.11	29.13	29.13	29.13	29.13	29.04	
PROVNINGSRESULTAT								
Armering ö.k	2ø100	2ø100	2ø100	2ø9.2	2ø9.0	2ø9.2	2ø8.8	
Armering u.k	2ø100	2ø100	2ø122	2ø9.2	2ø120	2ø120	2ø9.0	
Vid brottlast: Egentyngd (kN/m)	0.28	0.28	0.33	0.33	0.33	0.36	0.26	
Påförd brottlast på fri spännvidd(kN/m)	51.07	48.77	28.82	36.13	37.76	36.48	36.00	
BÄRFÖRMÅGA (kN/m)	51.35	49.05	29.15	36.46	38.09	36.84	36.26	
$f_d/0.84$	34.65	34.65	34.68	34.68	34.68	34.68	34.57	
bärförm. / [$f_d/0.84$]	148%	142%	84%	106%	110%	106%	105%	

INTERNATIONELLA SIPOREX AB Centrallaboratoriet	TILLVERKNINGSKONTROLL, DALBYFABRIKEN År 1988 BÖJPROVNING enl. PFS 1980:3 Sammanställning av provningsresultat	
Provn.nr.	30	31
Provn.datum	19/5	28/6
Prod.typ	MB15	MB15
Dim: H (mm)	200	200
B (mm)	150	150
L (mm)	1500	1500
Fri spännvidd (mm)	1200	1200
Bruksmärklast (kN/m)	15.0	15.0
Egentyngd, g_k (kN/m)	0.23	0.23
Märklast, q_m (kN/m)	17.0	17.0
Bärförmåga (kN/m) $f_d=1.3(g_k+1.3q_m)$	29.03	29.03
PROVNINGSRESULTAT		
Armering ö.k	2Ø100	2Ø100
Armering u.k	2Ø100	2Ø100
Vid brottlast: Egentyngd (kN/m)	0.23	0.23
Påförd brottlast på fri spännvidd(kN/m)	49.71	39.37
BÄRFÖRMÅGA (kN/m)	49.94	39.60
$f_d/0.84$	34.56	34.56
bärförm. / [$f_d/0.84$]	145%	115%

Balk 1 :

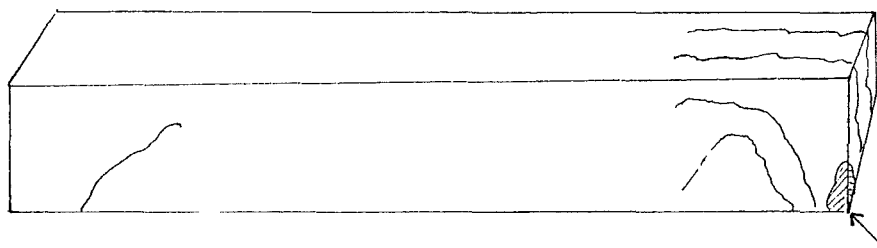
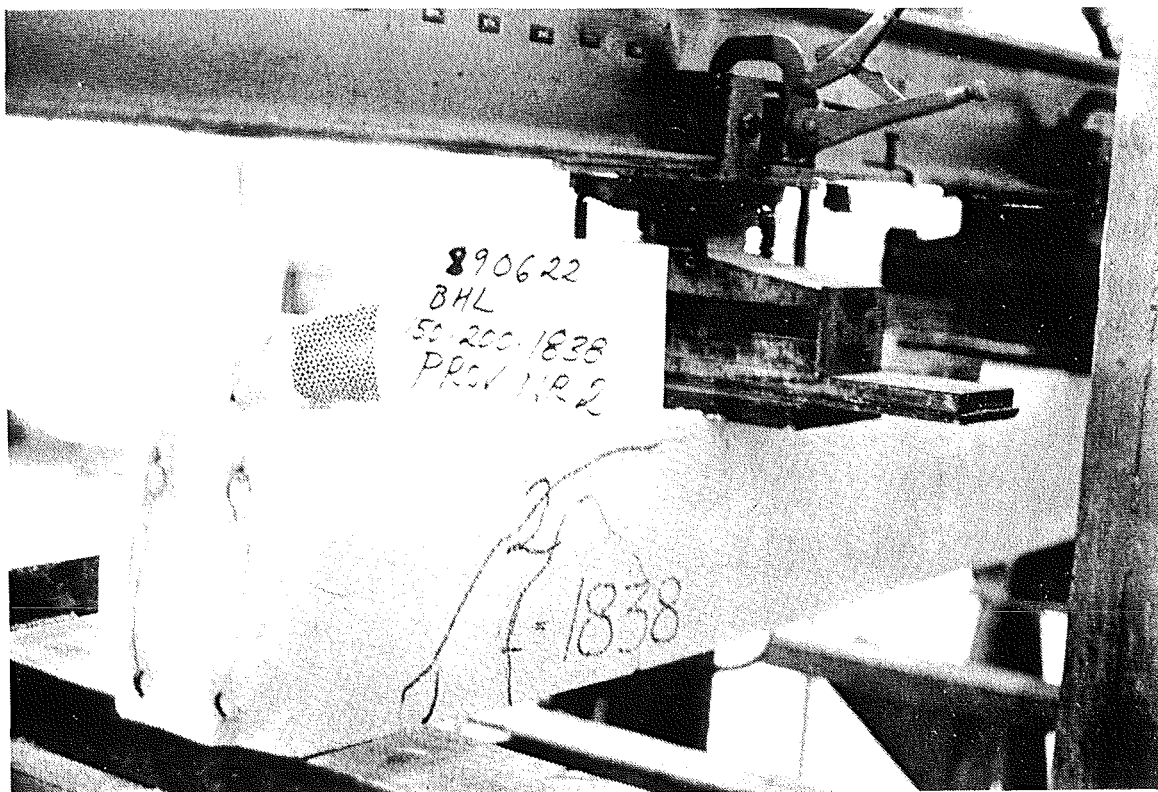


Felarmerad i underkant.



Svetsen mellan tvärpinnen och den längsgående armeringen i underkant gick av.

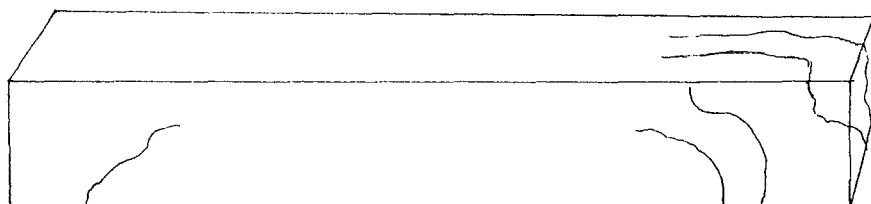
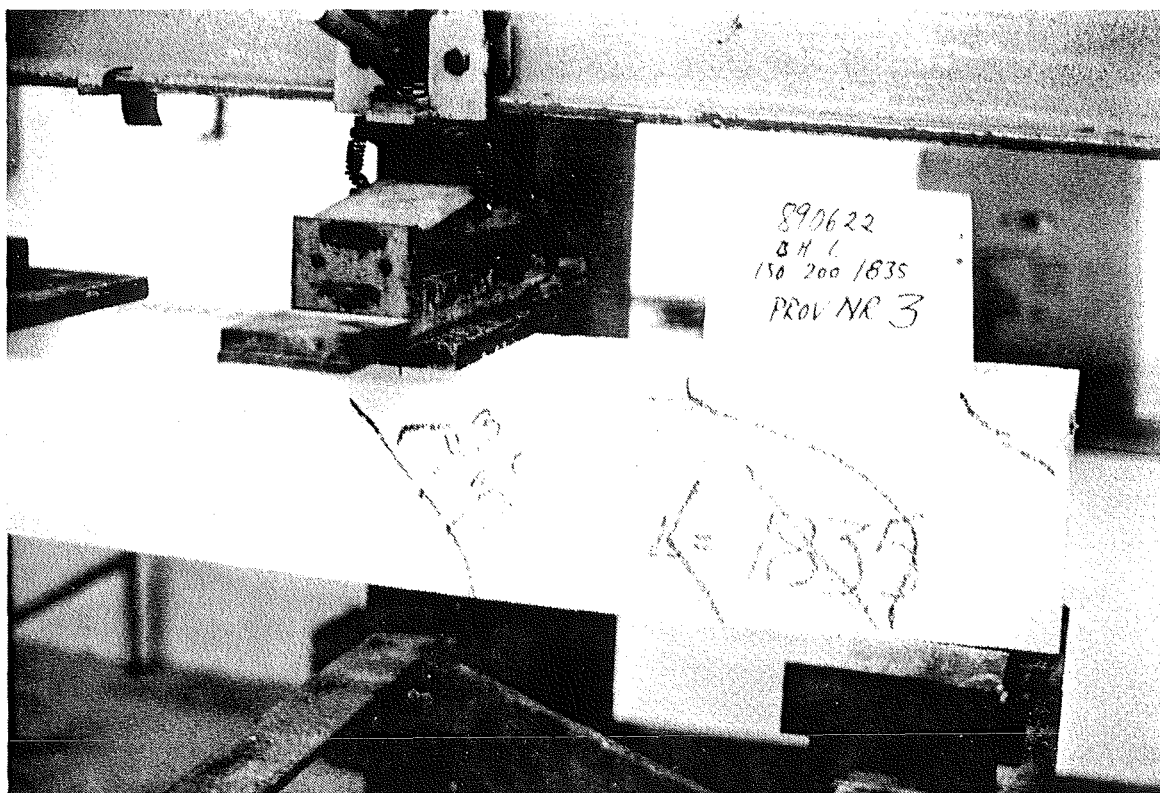
Balk 2:



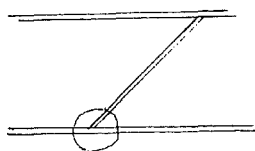
Skadad.

Felarmerad.

Balk 3:

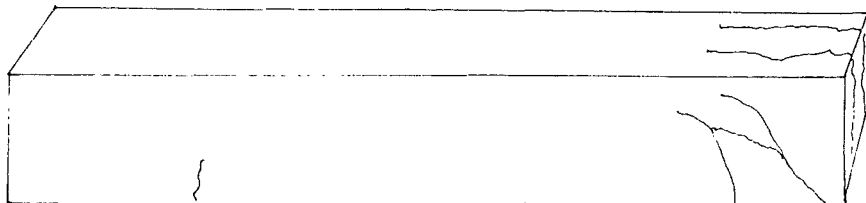


Felarmerad.

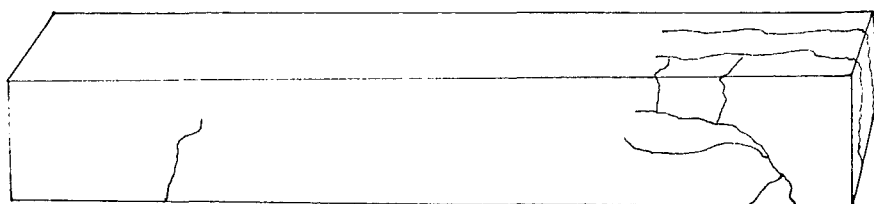


Svetsen mellan tvärpinnen och den längsgående armeringen gick av vid försöket.

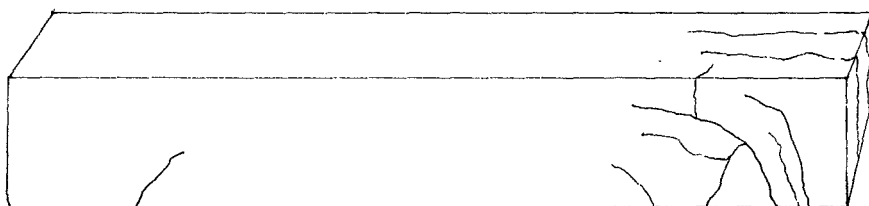
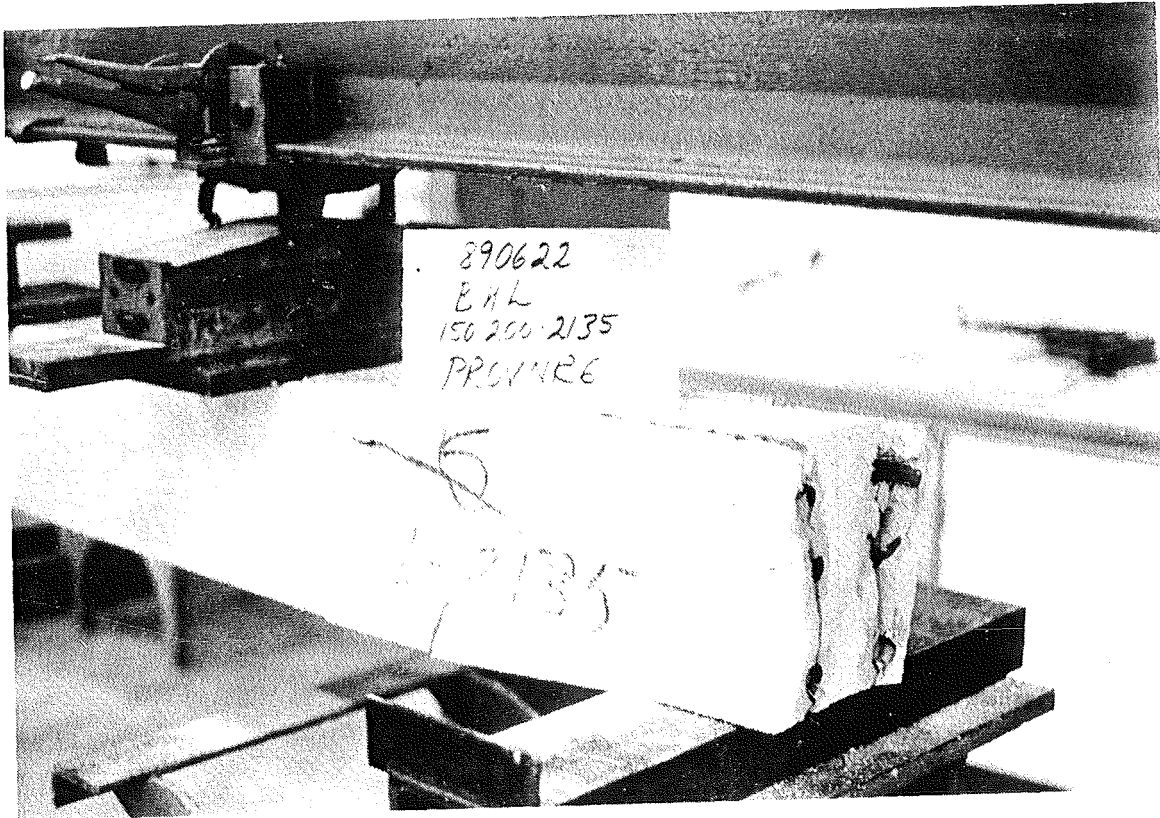
Balk 4:



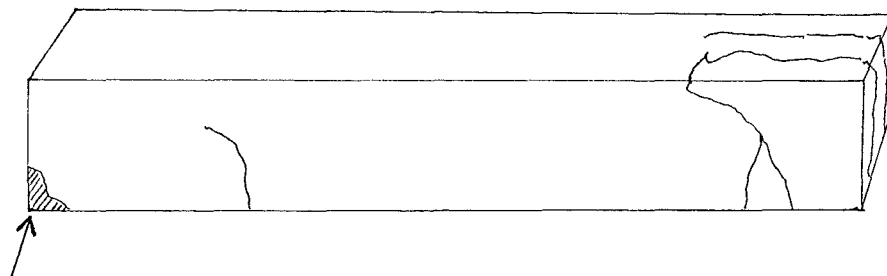
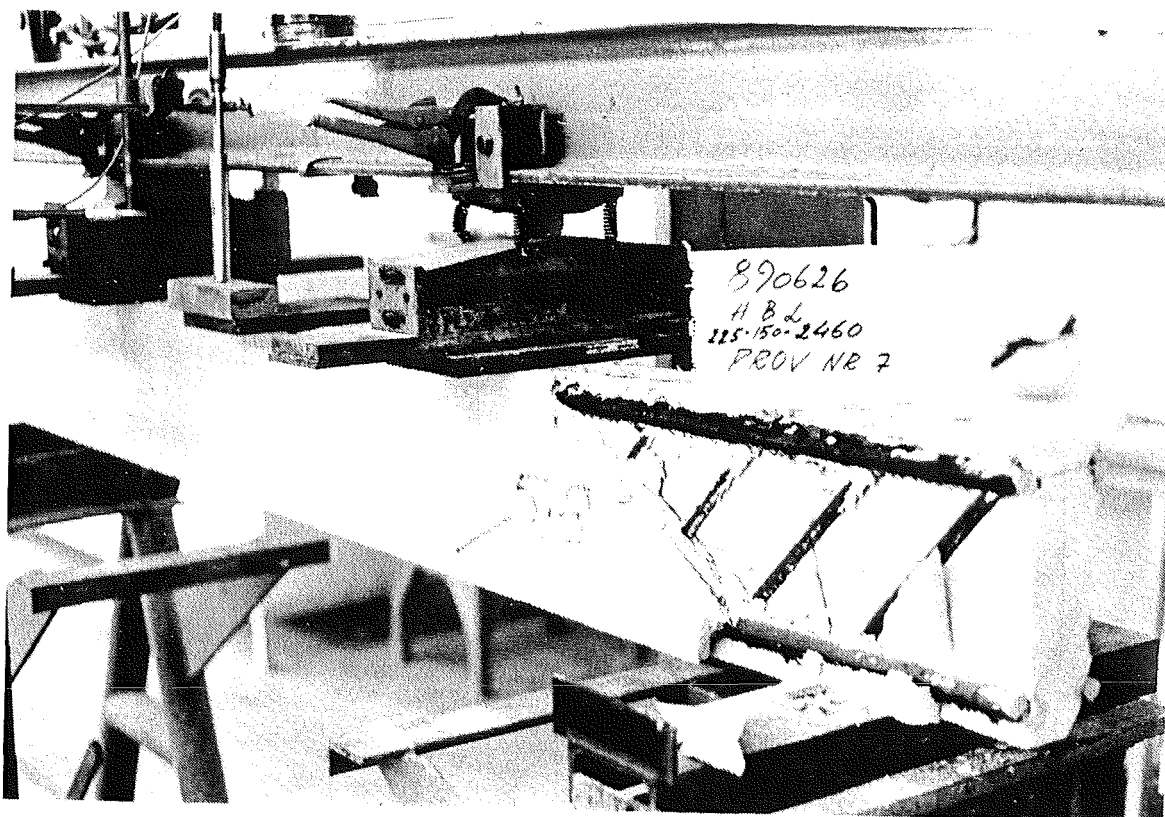
Balk 5:



Balk 6:

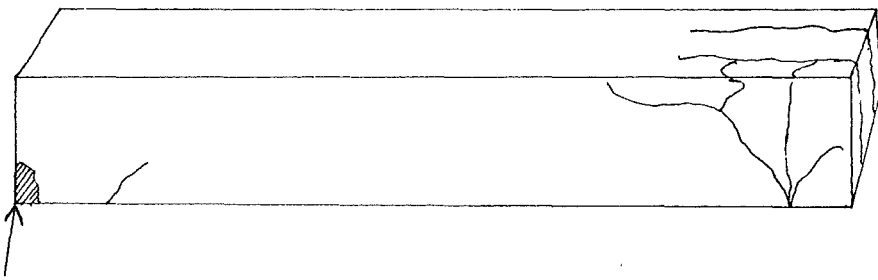
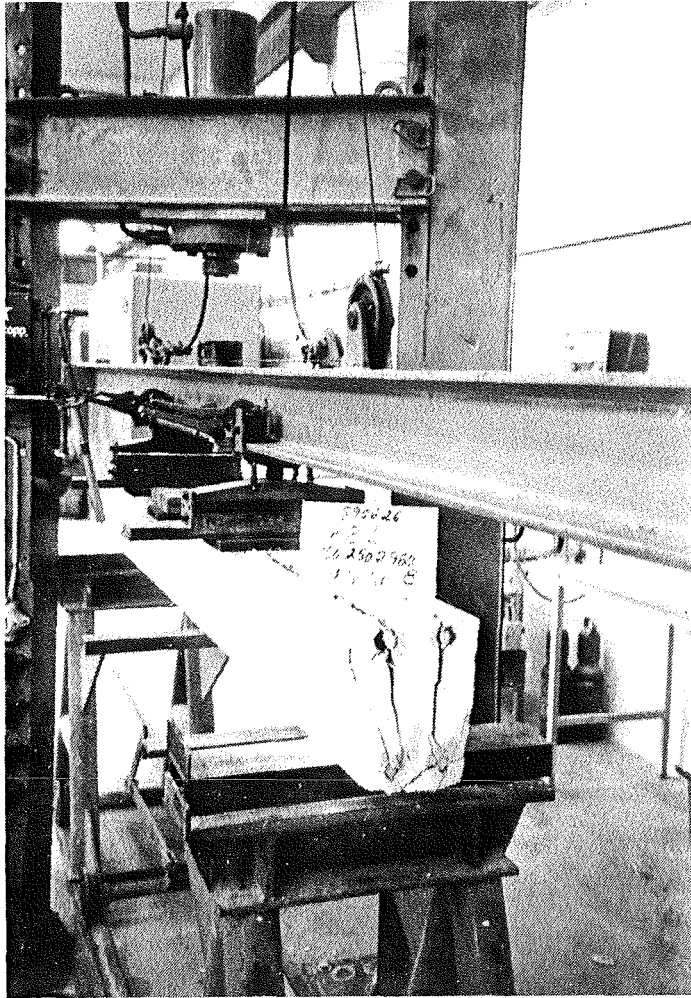


Balk 7:



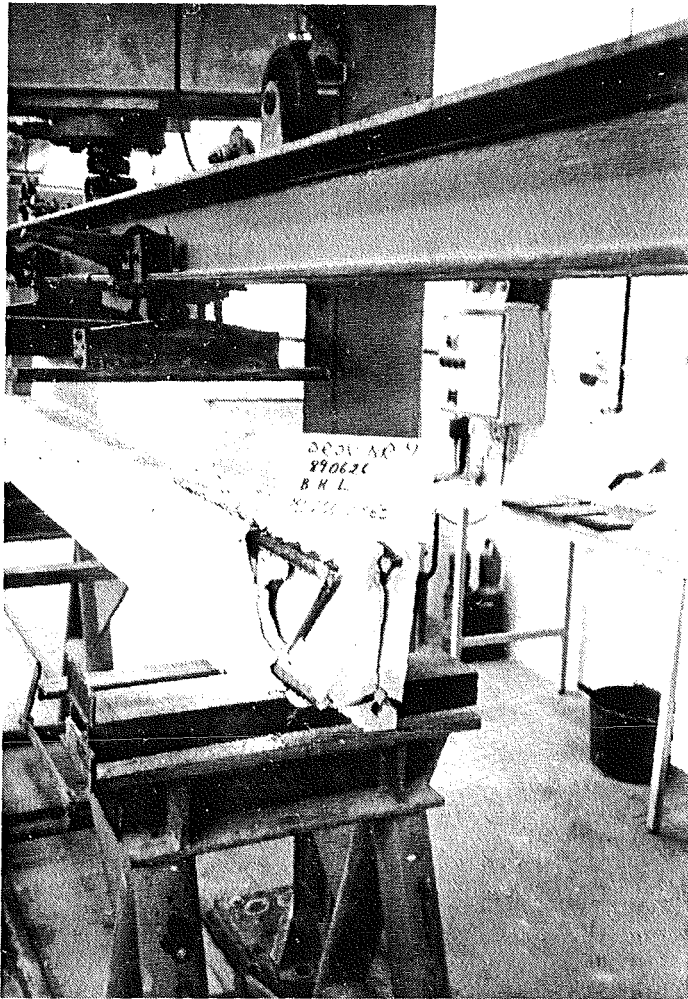
Skadad.

Balk 8:

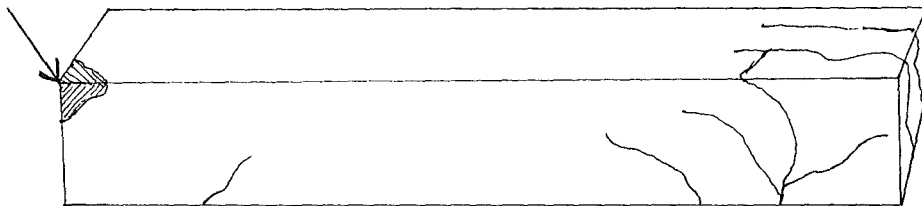


Skadad.

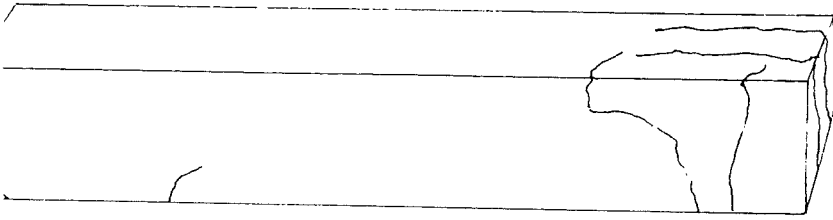
Balk 9:



skadad.

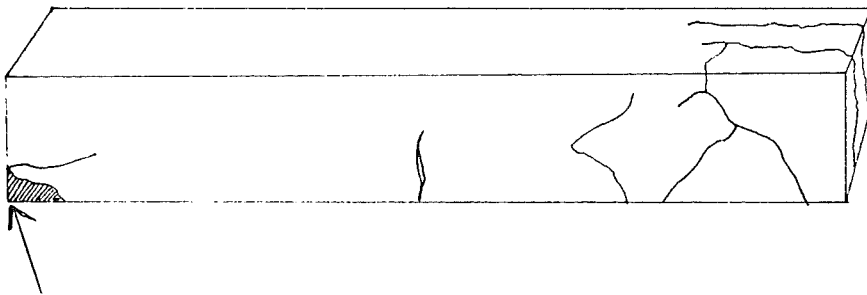


Balk 10:



Skadad.

Balk 11:

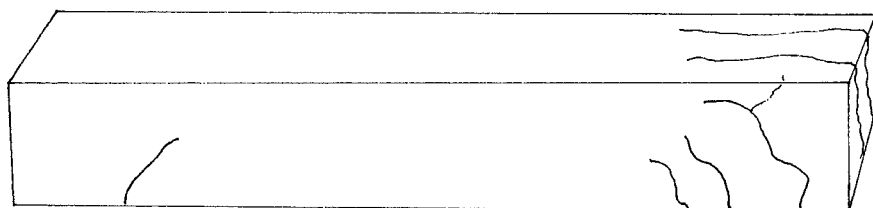
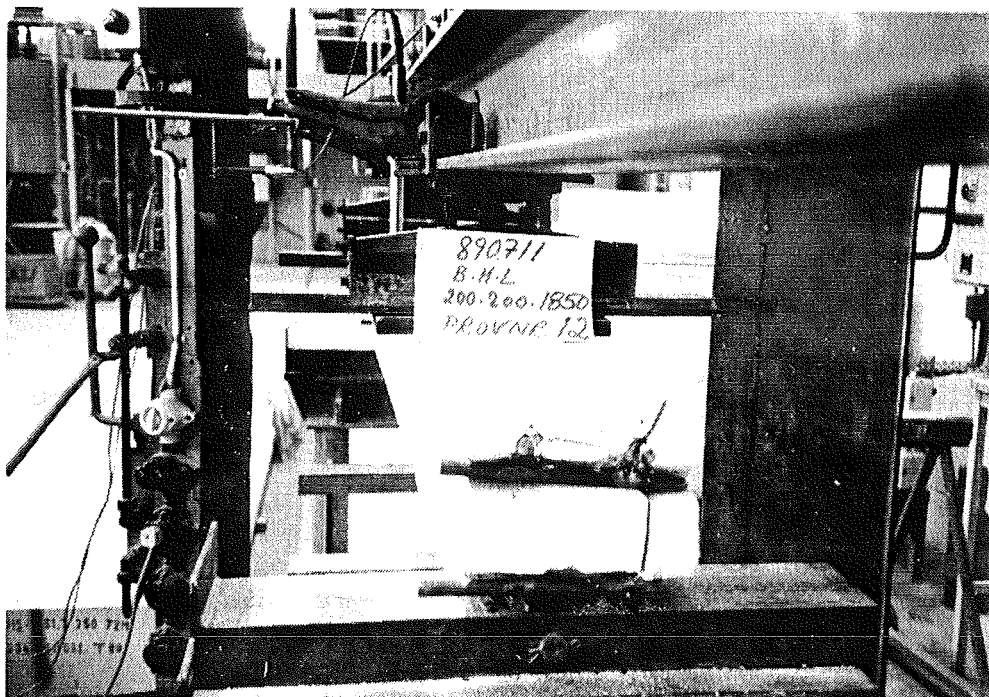


Båda hörnorna på balkens underkant
var avstötta.

Horisontella ändförankringar
var påsvetsade.

Felarmerad.

Balk 12:

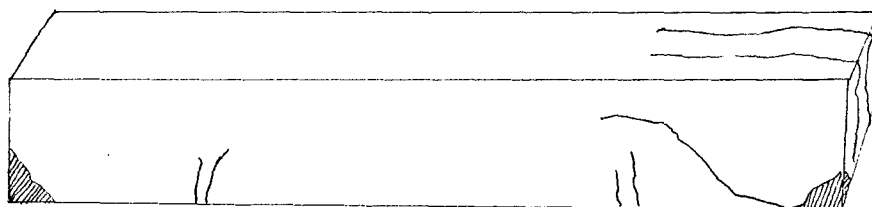
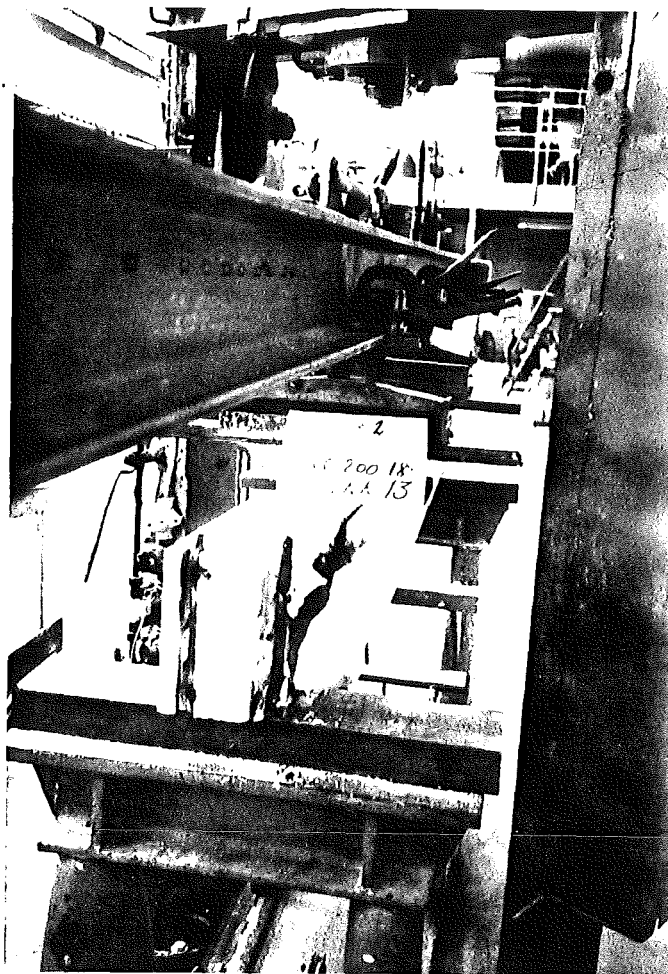


Skadad i underkant.

Felarmerad i underkant.

Horisontella ändförankringar
var påsvetsade.

Balk 13:

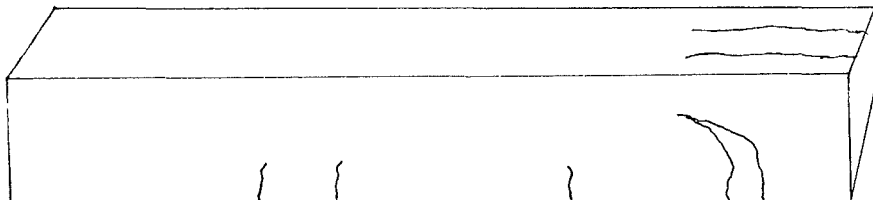
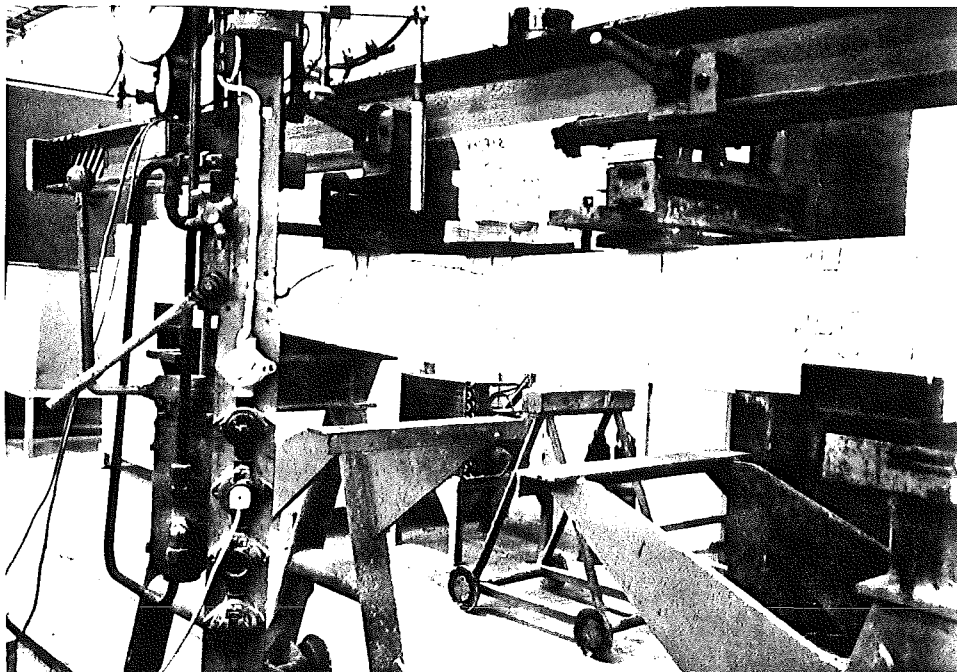


Hörnorna avslagna.

Vertikala förankringar påsvetsade.

Felarmerad i underkant.

Balk 14:



Vertikala ändförankringar
var påsvetsade.

Felmarkerad i underkant.

6.6. Vidhäftningsbrott

Mycket tyder på att det är vidhäftningsbrott som är den avgörande brottsorsaken i de balkar där förankringen av armeringen endast sker genom vidhäftning, dvs i de kapade balkar som inte har någon ändförankring. Det visade sig tydligt vid försöken då armeringen drogs in i Siporex och lämnade ett litet hålrum vid kortändarna. De beräkningar som utförts visar också att skjuvhållfastheten endast utnyttjas till ca 30 % innan brottet uppstår, så ett förankringsbrott inträffar innan de andra dimensionerande brottfenomenen.

Vidhäftning orsakas av en adhesionskraft som uppträder i armeringens kontaktyta och ger upphov till vidhäftningsspänningar. Då denna adhesionshållfasthet överskrids uppstår ett vidhäftningsbrott och man får ett värde på vidhäftningshållfastheten, f_b . Vidhäftningshållfastheten som för Siporex bestäms enligt kapitel 4.4.7 är 1.2 MPa. Beskrivningen ovan gäller för släta armeringsstänger. Armeringen i Siporex balkar är från början slät, men då de behandlas med rostskyddsmedel uppstår droppar på armeringsstängerna som ger en något kamstångsartad yta, och vidhäftningen blir alltså inte enbart beroende av adhesionskrafter, utan också av direkta kontaktspänningar. Detta visar sig också på de testade balkarna där en viss spjälkning uppstår.

Vi har på några olika sätt försökt att bevisa detta, men då det inte finns några modeller för kapade balkar med armering som är ett mellanting av slät stång och kamstång så har det varit väldigt svårt.

Vi presenterar nedan några av de funderingar och ideer vi haft beträffande vidhäftningsbrotten. Vi började med att följa BBKs förenklade beräkningsmetod, men insåg ganska snart att denna modell inte passade speciellt bra. Vi fick resultat där förankringslängden av armeringen i vissa fall skulle överskrida balklängden. Dessa resultat beror till viss del på vårt val av koefficienter, då skillnaden mellan slät stång och kamstång blir mycket stor. De följande stegen

i våra försök att komma på ett sätt att göra beräkningar på vidhäftningen blev inte mycket bättre. Vi tittade lite på vilken inverkan tvärarmeringen har och kom i detta skede fram till en förankringslängd på uppemot metern.

Några tappra försök på beräkningar enligt BBKs "Vidhäftning vid spännarmering" gjordes också, men dessvärre inte speciellt framgångsrikt.

Efter konsultation med vår handledare, Robert, satte vi slutligen upp en fackverksmodell.

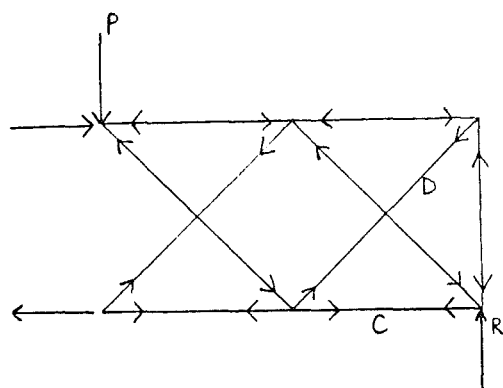


Fig 6.9. Fackverksmodell för beräkning av vidhäftningsbrott.

Denna modell gav resultatet att kraften i den dragna stängen D, för en armeringsstege är $D = P/2^{\frac{1}{2}}$, och att kraften i stång C är noll. Detta gav oss en teoretisk brottslast, som utgjorde ungefär 35 % av den praktiska brottslasten.

Vidare funderingar över denna modell ledde oss till den vidhäftningsfördelning vi tror kan vara en hyfsad uppskattning av verkligheten. Vi antar att dragkraften i armeringen förankras upp i tvärarmeringen och i den avslutande delen av armeringen i underkant. Beräkningar på detta gav en teoretisk last som var omkring 75 % av den praktiska. Då dessa beräkningar gjordes har ingen hänsyn tagits till att tvärarmeringen förankras upp i den tryckta zonen av balken och alltså borde öka vidhäftningen.

6.7. Märklast

Vid tillverkningskontrollen av Siporex balkar beräknas bärförmågan, f_d , enligt följande:

$$f_d = 1.3(g_k + 1.3q_m)$$

där g_k är egentyngheden, kN/m
 q_m är märklast, kN/m

Balkarna tillverkas för märklasten 17.0 kN/m. Med märklast avses den utbredda lasten som utöver elementets egentynghed ligger till grund för dimensioneringen av elementen. Brukslasten får inte överstiga 15 kN/m (SBN, avd 2A). Egentyngden beräknas från densiteten 780 kg/m^3 , vilket inkluderar armeringen.

Vid kontrollen jämföres den teoretiska bärförmågan, f_d (enligt ovan), med den verkliga bärförmågan som erhålles genom provning, dvs den påförda brottlasten plus den verkliga egentyngheden. Balken är godkänd om:

$$\text{Den verkliga bärförmågan (praktiska)} \geq \frac{f_d}{0.84}$$

Resultaten från dessa beräkningar ger att bärförmågan är omkring 90% och mer av den teoretiska, den som erfordras enligt SBNs godkännanderegler, Statens planverks författnings samling, 1980:3, Lättbetongprodukter.

7. DISKUSSION OCH SLUTSATS

Vi har, som tidigare nämnts kommit fram till att den troliga brottsorsaken är vidhäftningsbrott (detta gäller för de kapade balkarna utan ändförankring). Det intressanta i resultaten är att dessa balkar trots allt håller omkring 90 % och mer av den i PFS 1980:3 erforderliga bärförmågan. Detta kan till stor del bero på att det vid rostskyddsbehandlingen uppstår droppar på armeringen som ökar den mekaniska vidhäftningen. Armeringen förankras dessutom upp i den tryckta zonen av balken. Denna "droppbildning" är desvärre inte enbart till godo, utan ger också upphov till en större spjälkning, vilket tydligt visade sig vid försöken. Bilderna på sidorna 41-52 åskådliggör detta.

Vidhäftningen beror här av direkta kontaktspänningar, som uppstår mellan armering och Siporex och som ger upphov till tryckspänningar som går ut från stången. De utåtgående tryckspänningarna leder till dragspänningar i täckskiktet och det utvecklas en spjälkspricka. Slutligt brott inträffar då sprickorna utvecklats längs en större del av armeringens förankringslängd, i vårt fall på ovan och undersidan av balken längs med armeringen. Ett sätt att öka sammanhållningen i sektionen är att använda byglar.

De kapade balkarna kan utnyttjas i konstruktioner, men ska i så fall inte utnyttjas till hela sin bärförmåga. Resultaten från försök och beräkningar visar att de bär omkring 90 % av den märklast de är avsedda att bära. Vårt förslag är att man tillåter att de kapade balkarna belastas upptill omkring 60 % av den last en icke kapad balk skulle bära. Eventuellt bör man göra statistiska beräkningar på detta för att se om vårt förslag är rimligt. En kontroll med långtidslaster bör också utföras.

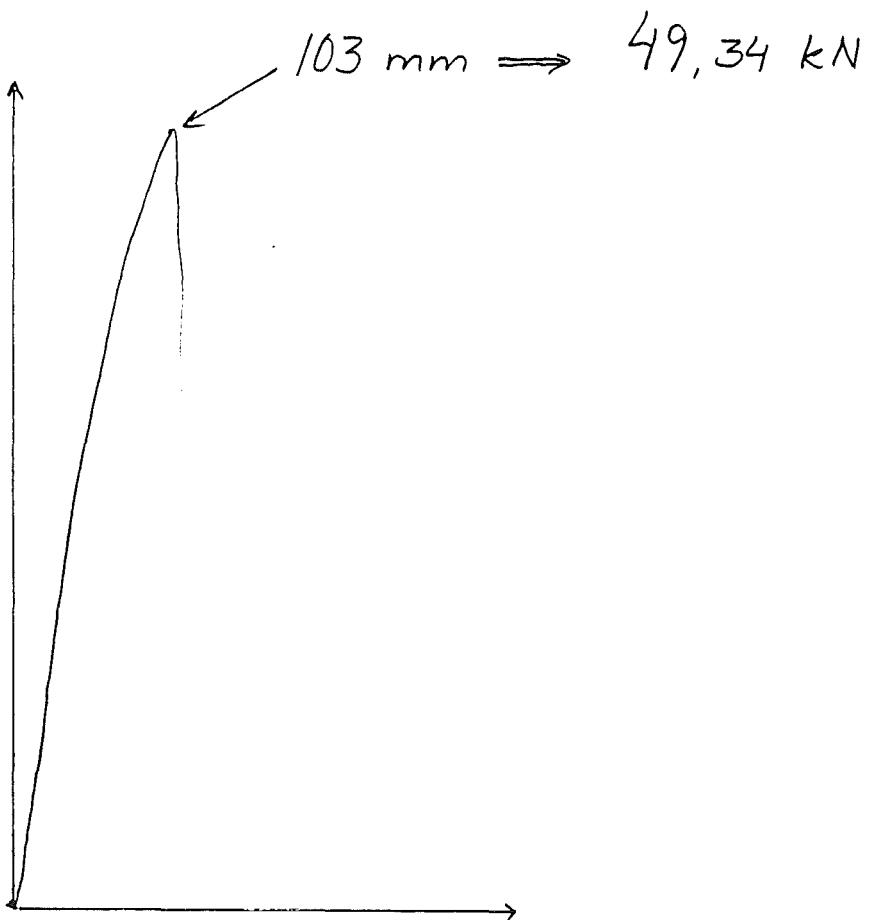
Tyvärr har många av balkarna i undersöknings materialet varit felarmerade vilket ytterligare försvårar tydandet av resultaten. Vi ser dock att balkarna med påsvetsade vertikala ändförankringar håller bra i provningarna och att det

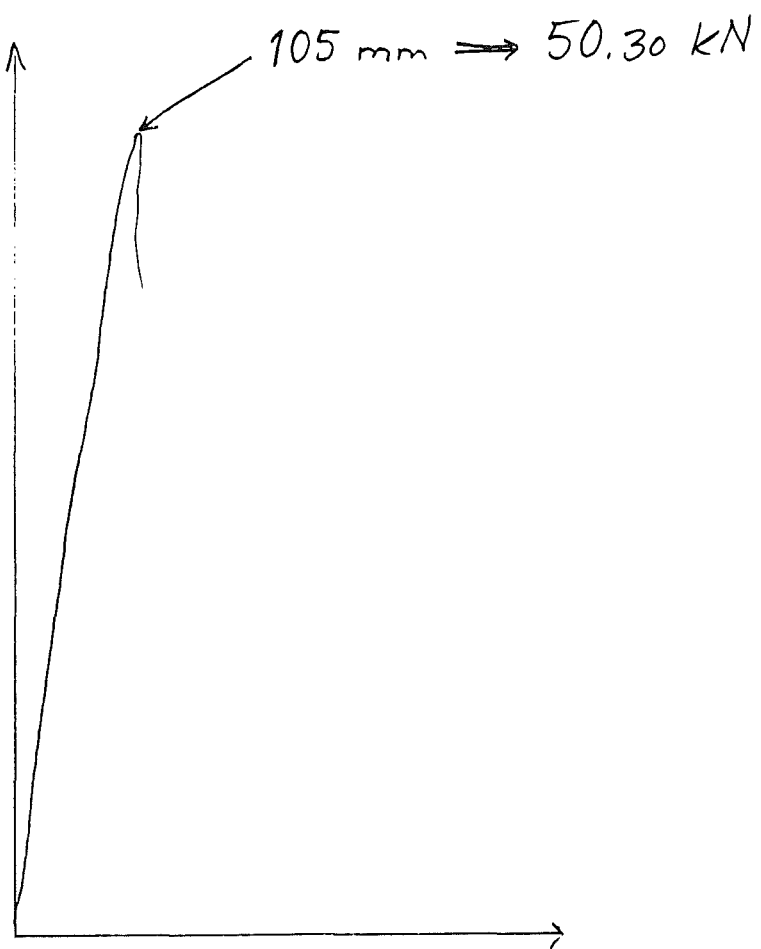
inte är några förankringsbrott som inträffar. Dessa kan enligt oss användas på samma sätt som en icke kapad balk. Vi har inte testat så många balkar av det slaget, så för en större säkerhet i resultaten bör man nog kontrollera ett par till.

BALK 1

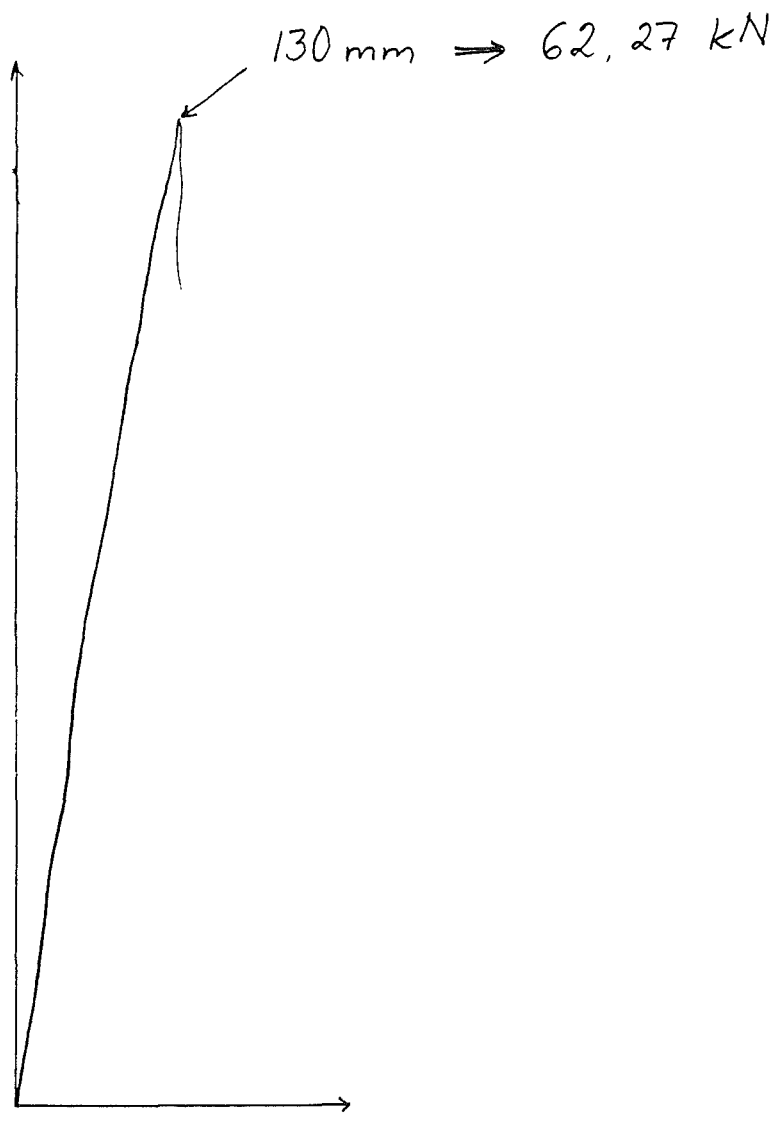
1mm: 479 kN

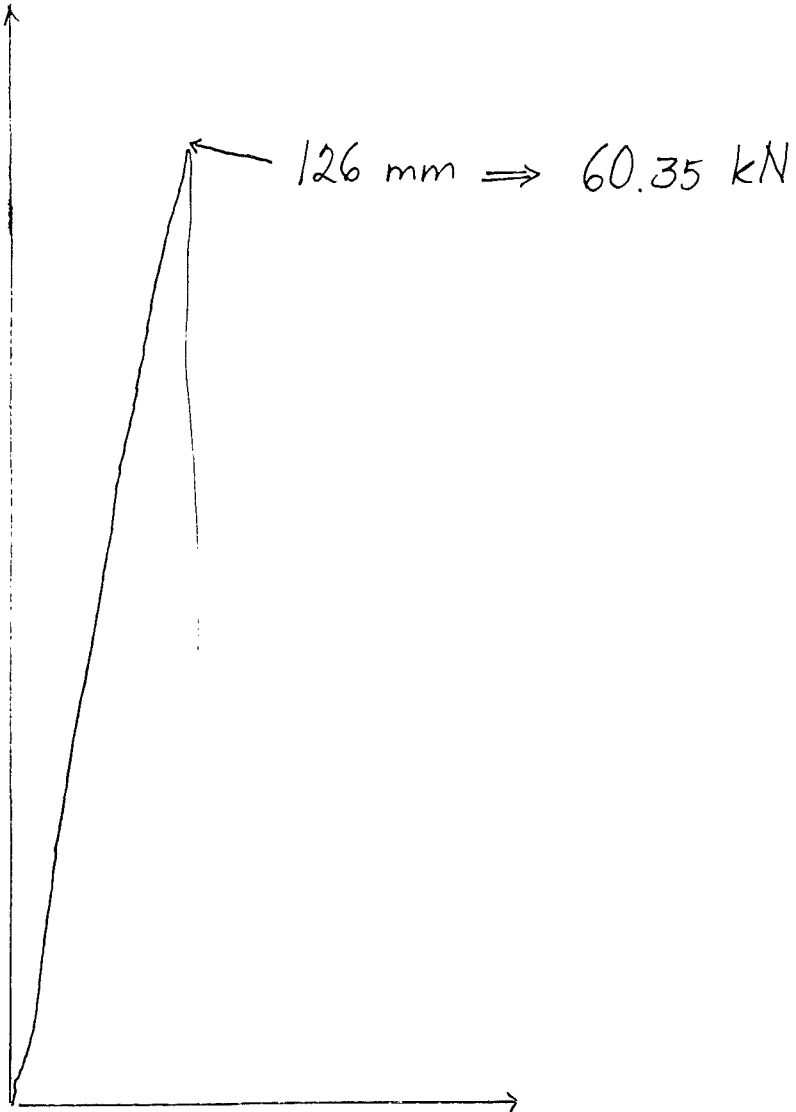


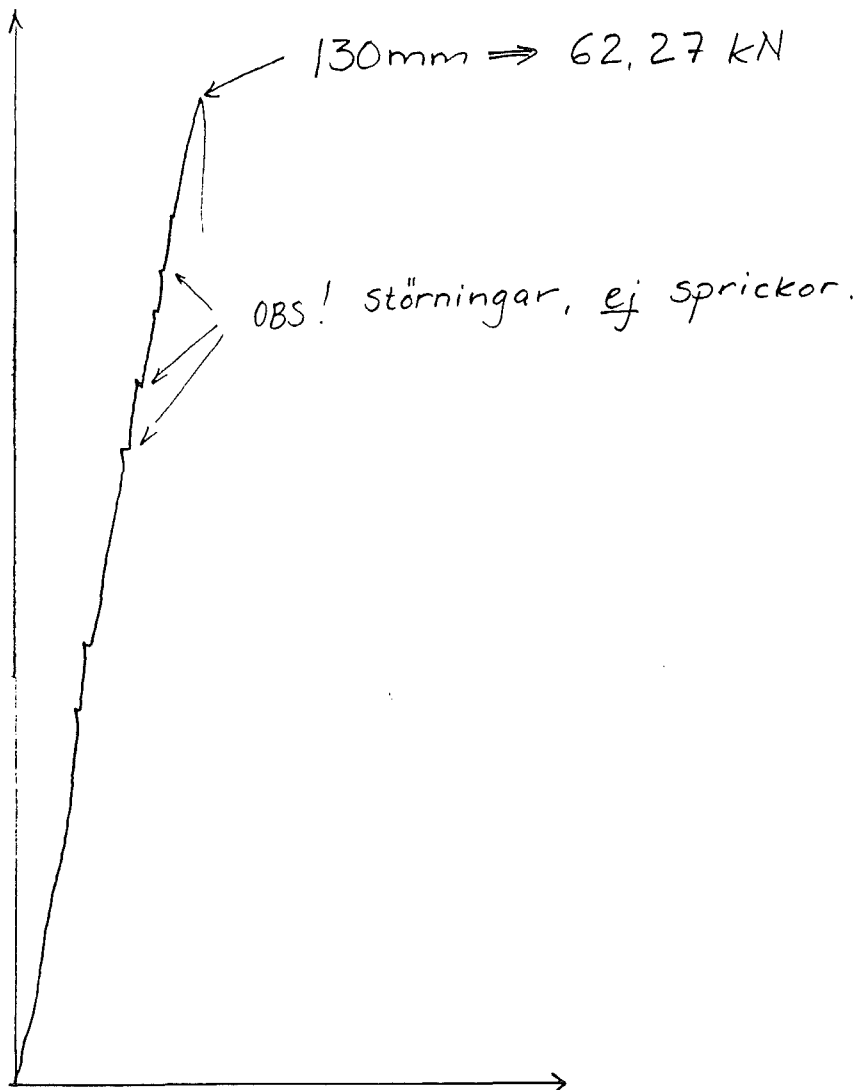
BALK 2

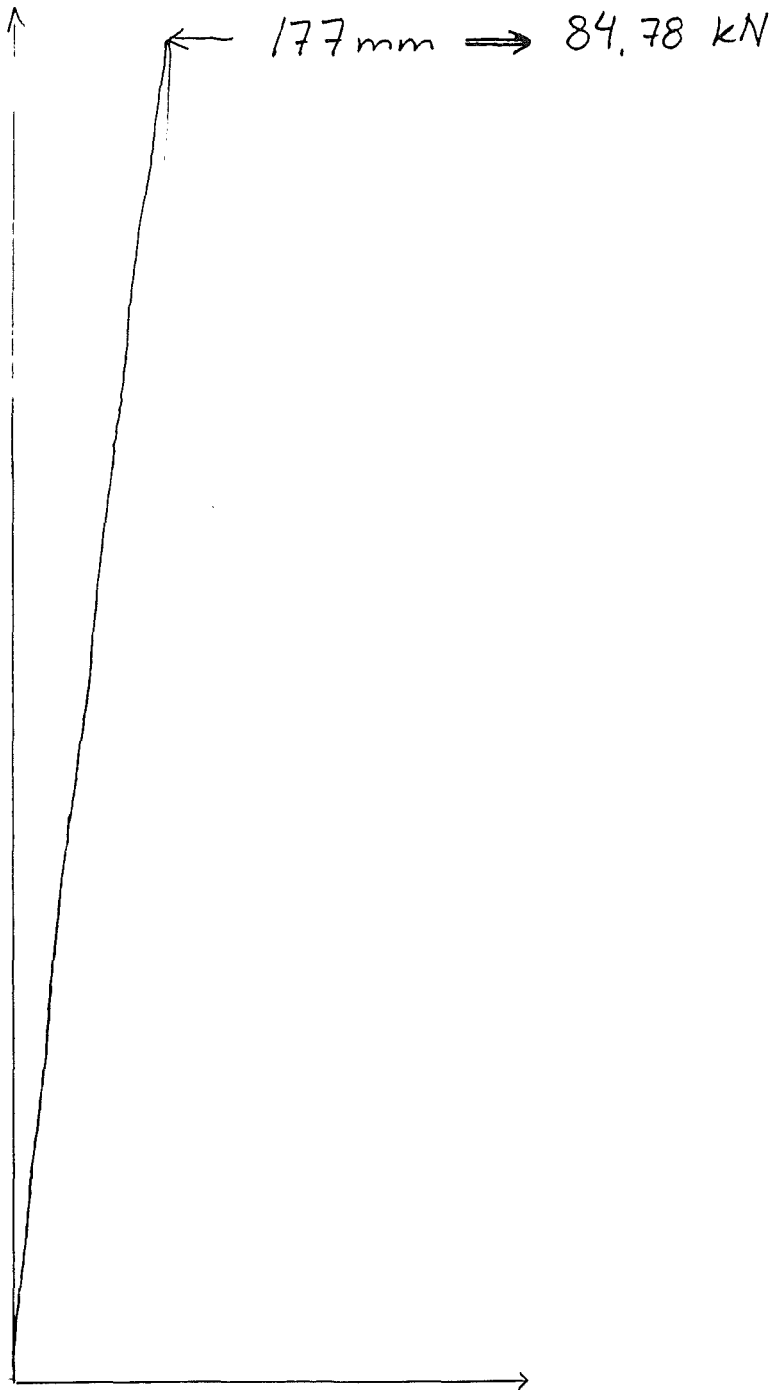
BALK 3

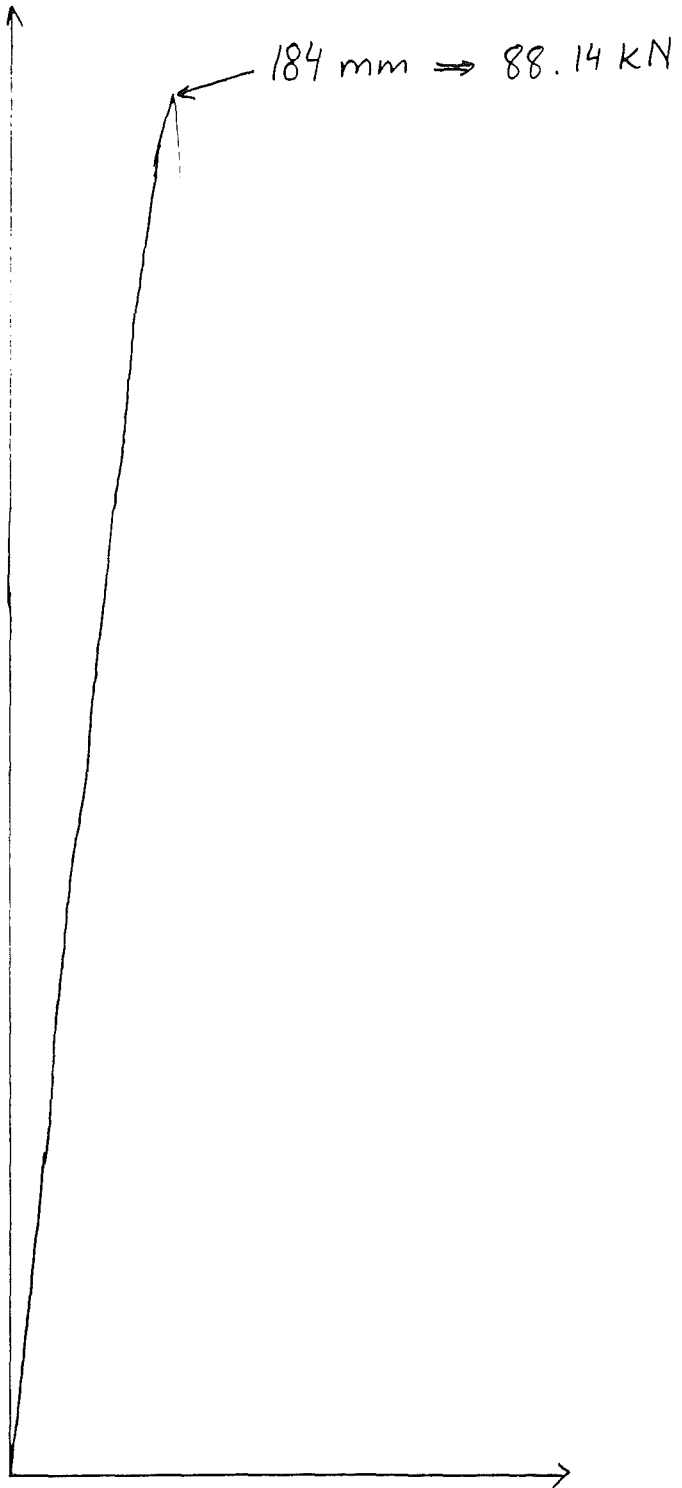
BALK 4

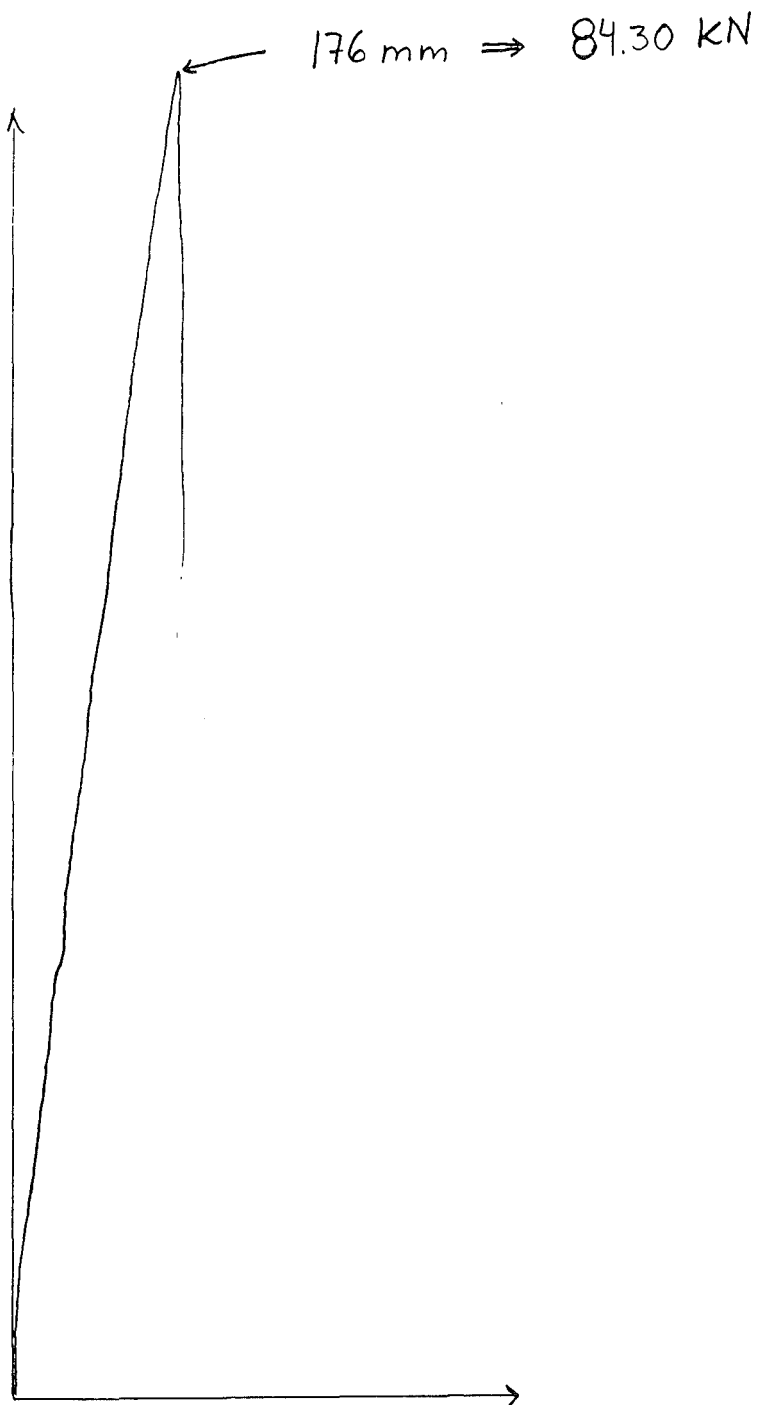


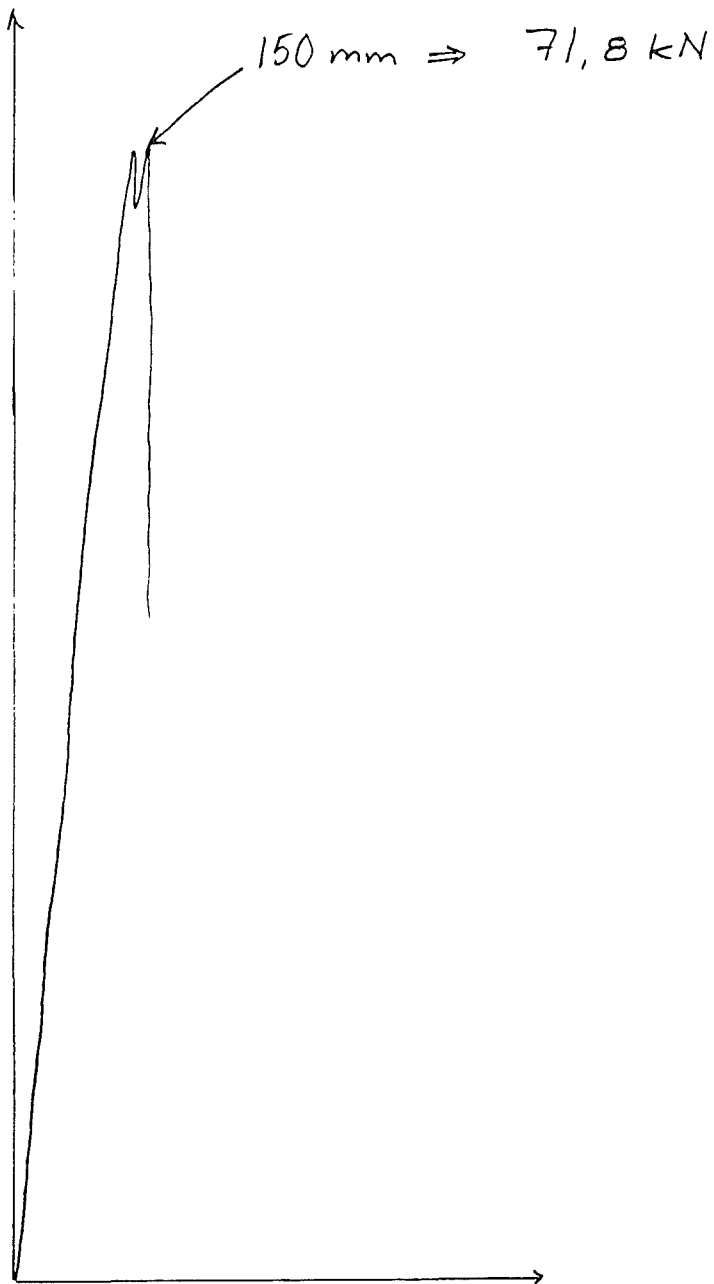
BALK 5

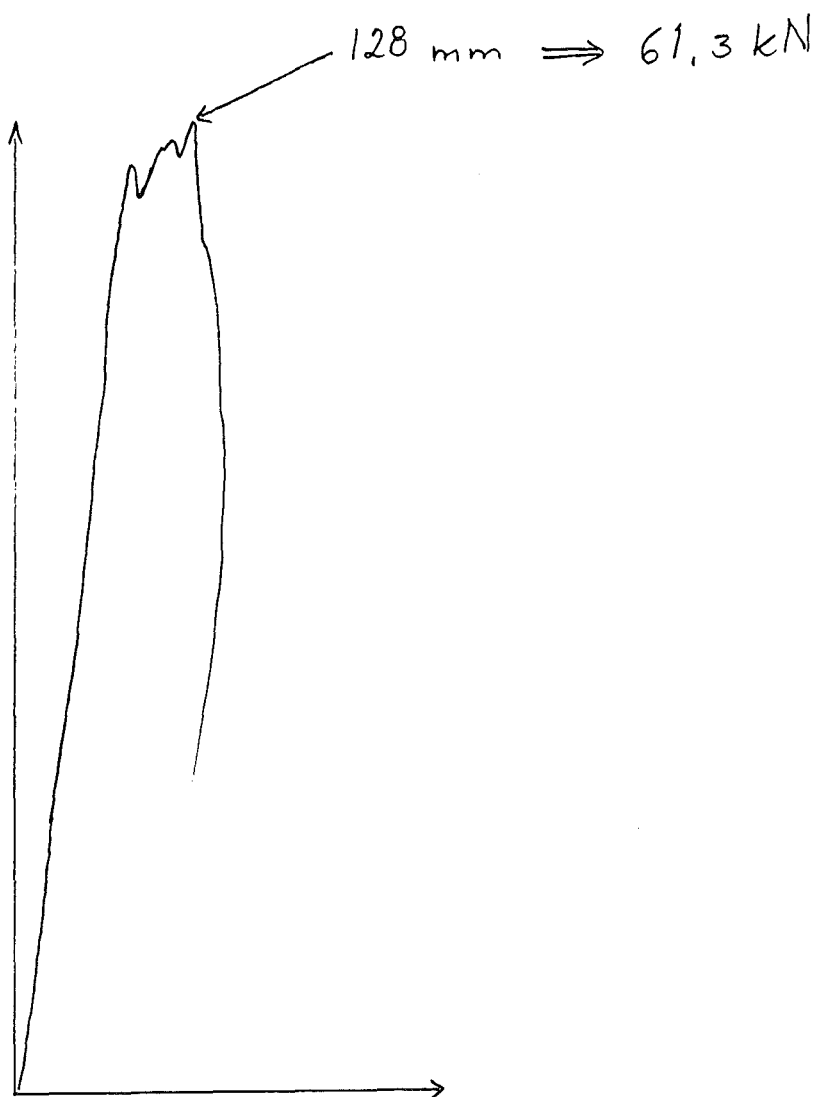
BALK 6

BALK 7

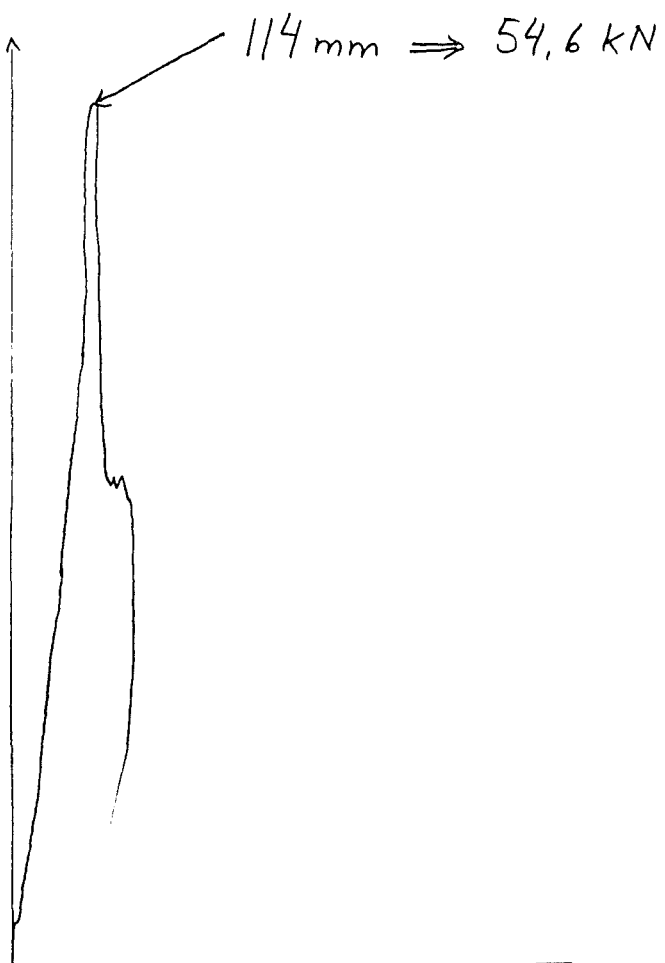
BALK 8

BALK 9

BALK 10

BALK 11

BALK 12



BALK 13

BALK 14

1mm = 478,9 kN



REFERENSLITTERATUR

- / 1/ Betonghandbok, Konstruktion, AB Svensk Byggtjänst, andra upplagan 1983
- / 2/ Betonghandbok, Material, AB Svensk Byggtjänst, andra upplagan 1982
- / 3/ Byggnadsmateriallära AK, Del 1, Byggnadsmateriallära, Tekniska högskolan i Lund, 1983
- / 4/ Byggnadsmateriallära AK, Del 2, Byggnadsmateriallära, Tekniska högskolan i Lund, 1983
- / 5/ Sannolikhetsteori med tillämpningar, Gunnar Blom, Studentlitteratur i Lund, andra upplagan 1984
- / 6/ Betong och grundläggning, 1988, Bärande konstruktioner AK 1, Lunds tekniska högskola
- / 7/ Autoclaved Aerated Concrete, Comite' Euro-International du Beton (CEB), 1978, The Construction Press Ltd, Lancaster, England
- / 8/ Siporex lättbetong, MF-block och balkar, januari 1987
- / 9/ Nordisk betong nr 5, 1975, Dimensionering av betongkonstruktioner med hänsyn till tvärkrafter, Ove Hedman och Anders Losberg
- /10/ Betong konstruktioner, Lunds tekniska högskola, 1988, Bärande konstruktioner FK 1
- /11/ Bygg del 1 A, AB Byggmästarens Förlag, Stockholm
- /12/ Bygg del 2, AB Byggmästarens Förlag, Stockholm
- /13/ Anteckningar från Siporex arkiv, Dalby