

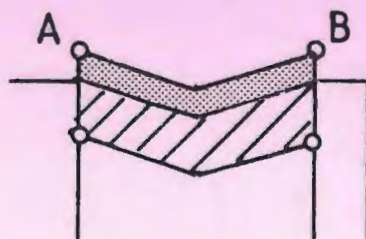
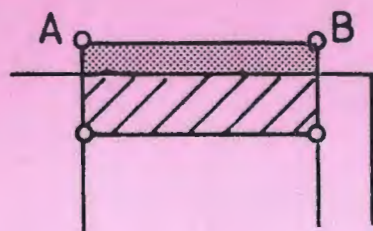
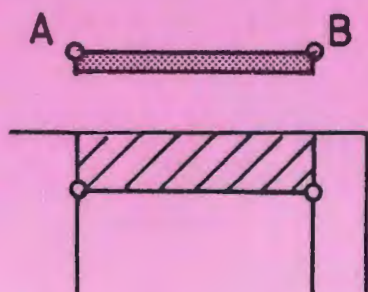
RASFÖRLOPPSSTUDIE MALMBERGET FALLFÖRSÖK

FOU RAPPORT P 21-012/90



RIB

nr: 3337



RÄDDNINGSVÄRKET

**RASFÖRLOPPSSTUDIE
MALMBERGET
FALLFÖRSÖK**



© 1990 Statens räddningsverk, Karlstad

Beställningsnr P 21 - 012/90
1990 års utgåva

Utgivare Statens Räddningsverk		Uppdragsgivare Statens Räddningsverk	
Författare Uno Dellgar och Inger Westling			
Titel Rasförloppsstudie i Malmberget, fallförsök			
Inom projekt			
Sammanfattning Rasförloppsstudier har utförts på två bostadshus i Malmberget. Husen var byggda i två våningar samt källare och stommarna bestod av platsgjutna betongplattor på bärande ytter- och innerväggar. De bärande väggarna i våningarna bestod av murad lättbetong och i källarna av platsgjuten betong. Betongelement släpptes på bjälklagen för att simulera att bjälklagsdelar från ett byggnadsras föll på underliggande bjälklag. Alla försöken filmades med höghastighetskameror. Studierna genomfördes för att öka kunskaperna kring byggnaders beteende vid överpåverkan, främst till följd av vapenverkan och för att ge underlag till bestämmelser för skyddsrum vad avser raslast.			
Sökord skjuvbrott, stukbrott, skjuvkon, chockdämpare, rasförsök, byggnad, raslast på skyddsrum			
ISSN	Antal sidor	59	Datum
			1990-06-29
Övrigt			



**RÄDDNINGSG
VERKET**

Karolinen
651 80 KARLSTAD
TFN 054-10 30 00

INNEHÅLL	SID
FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	2
BESKRIVNING AV BYGGNADERNA	4
BESKRIVNING AV FÖRSÖKEN	8
HÖGHASTIGHETSFILMNING	10
RESULTAT FRÅN FÖRSÖKEN	13
Resultat från höghastighetsfilmning	13
Resultat från teoretiska beräkningar	23
ENERGIUPPTAGNING	30
 BILAGOR	 33

FÖRORD

Rapporten innehåller redovisning av de fallförsök som Civilförsvarsstyrelsen, numera Räddningsverket, genomfört i samband med rivning av två stycken tre-vånings flerbostadshus i Malmberget.

Studierna är ett led i det pågående forskningsarbete som genomförs för att utöka kunskaperna kring byggnaders beteende vid överpåverkan, främst byggnadsras till följd av vapenverkan, och för att ge underlag till bestämmelser för skyddrum vad avser raslast.

Metoden att göra fullskaleförsök på rivningshus och följa händelseförloppet med höghastighetsfilming ger till en låg kostnad värdefulla bidrag till kunskaperna om byggnadsras.

Dessa studier har letts av Ove Hedman, Civilförsvarsstyrelsen och Räddningsverket. Uno Dellgar och Inger Westling, Tyréns Företagsgrupp AB, har utfört analys och sammanställt rapporten. Vad beträffar analys av höghastighetsfilmer har även Tommy Johnson, Tyréns Företagsgrupp AB, medverkat. FOA har ansvarat för höghastighetsfilmningen och medverkat i inventering av byggnadernas konstruktion och skador. Betong- och armeringsprovning har utförts på KTH, Institutionen för byggnadsstatik, under ledning av Lars Andersson. FortF's forskningsbyrå har utfört mätningar av bjälklagsdeformationer och medverkat i försökets genomförande.

SAMMANFATTNING

Rasförloppsstudier har utförts på två bostadshus i Malmberget i maj 1984. Stommarna i båda husen bestod av platsgjutna betongplattor på bärande ytter- och innerväggar. De bärande väggarna i våningarna bestod av murad lättbetong och i källarna av platsgjuten betong.

Specialtillverkade betongelement släpptes på bjälklagen för att simulera att bjälklagsdelar från ett byggnadsras föll på underliggande bjälklag.

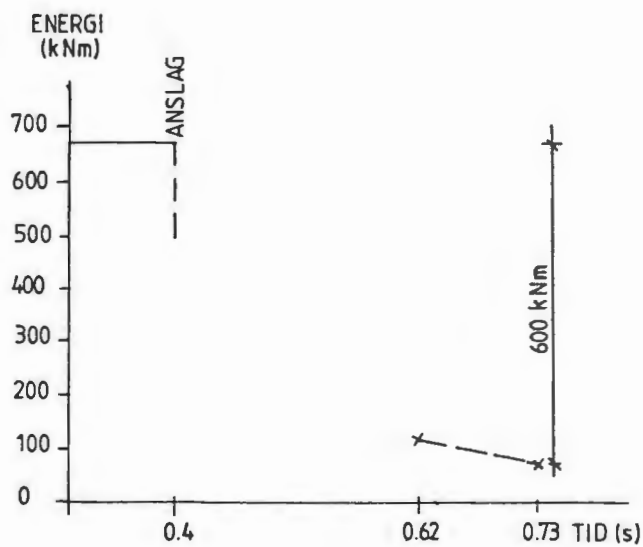
Alla försöken filmades med höghastighetskameror.

I försök 1 släpptes en betongplatta 2,50 x 4,00 x 0,17 m med flatsidan nedåt, från 17 m's höjd på ett platsgjutet betongbjälklag. Bjälklagsplattan kollapsade och bröts sönder i småbitar. Filmanalysen ger som resultat bl a att energiåtgången vid sönderbrytningen var 110 Nm/kg medverkande takplatta inklusive stötförlust vid anslag. Fallkroppens hastighet reducerades från 18 m/s till 6 m/s.

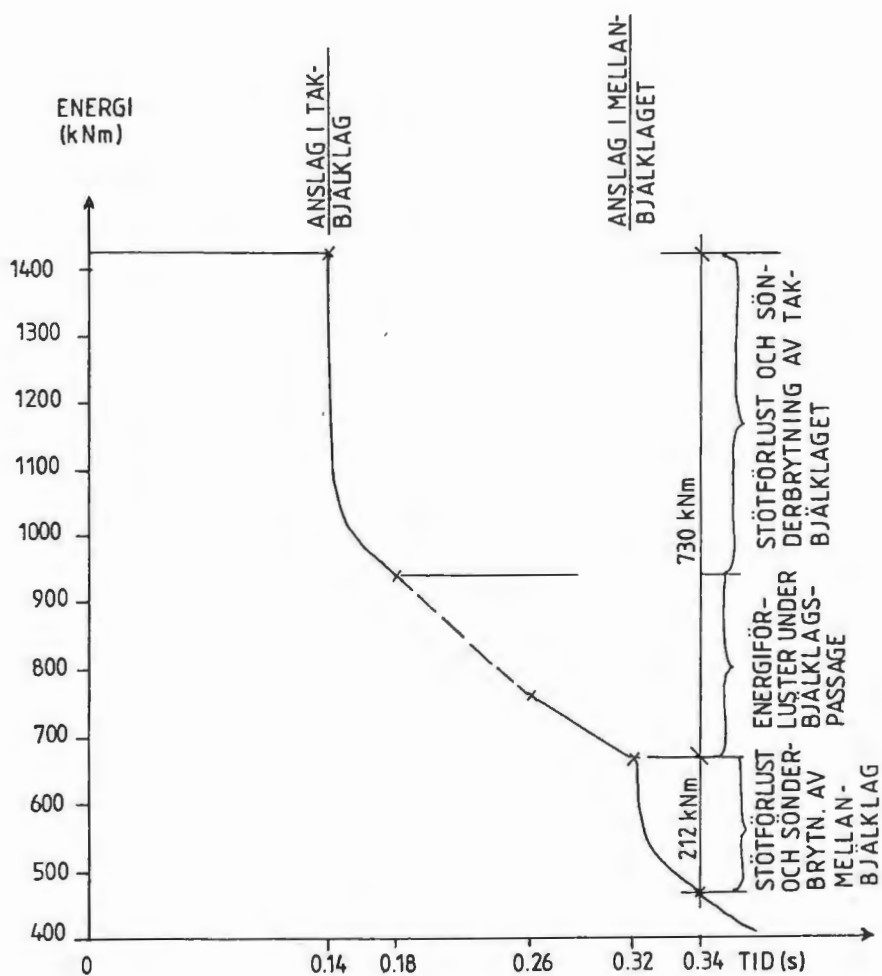
I försök 2 släpptes två betongplattor, med samma mått som i försök 1, med flatsidan nedåt från 20 m höjd på ett platsgjutet betongbjälklag. Höghastighetsfilmerna var svåra att utvärdera och hastigheterna har endast kunnat beräknas för ett antal otydliga dammoln och klumpar. Två av de studerade massorna uppvisar topphastigheter strax under 12 m/s efter anslag, mot bakgrund av resultaten från försök 1 är det fullt rimliga värden.

I försök 3 släpptes tre betongplattor, med samma mått som i försök 1, med flatsidan nedåt från 20 m höjd på ett platsgjutet betongbjälklag. Höghastighetsfilmerna var svåra att utvärdera. Samma problem som i försök 2 fanns här vid utvärderingen. De uppmätta maxhastigheterna för observerade bjälklagsdelar ligger runt 11 m/s för två bjälklagsdelar och runt 5 m/s för en bjälklagsdel. Mot bakgrund av resultaten från försök 1 och 4 är det fullt rimliga värden.

I försök 4 släpptes två betongplattor, med samma mått som i försök 1, på högkant från 18 m's höjd. De skar rakt igenom översta takbjälklaget, fortsatte genom mellanbjälklaget och så småningom även genom källarbjälklaget för att slutligen göra en grop i källargolvet. Brottet i takbjälklaget var ett rent skjuvbrott. Filmanalysen ger vid handen att energiåtgången vid skjuvbrottet var 1200 Nm/kg sönderbruten takplatta inklusive stötförlust vid anslag. Fallkroppens hastighet reducerades från 18 m/s till 16 m/s. Någonting hindrade sedan fallkropparna från att falla fritt mot mellanbjälklaget. Energiåtgången för detta ingår i de 1200 Nm/kg. Brottet i mellanbjälklaget var inte lika knivskarpt som det i takbjälklaget och energiåtgången var mindre, 350 Nm/kg sönderbruten takplatta inklusive stötförlust vid anslag. Fallkroppens hastighet reducerades från 16 m/s till 13 m/s. Den senare energiåtgången kan ha varit större på grund av ett mera ihålligt motstånd i likhet med ovanförvarande våning.



FIGUR 1a Totalenergi för försök 1



FIGUR 1b Totalenergin för försök 4

BESKRIVNING AV BYGGNADERNA

De två tre-vånings flerbostadshusen, byggda vid slutet av 1960-talet, hade likartad planlösning och konstruktion.

Stommen bestod av platsgjutna betongplattor på bärande ytter- och innerväggar. De bärande väggarna bestod i våningarna av murad lättbetong och i källarna av platsgjuten betong.

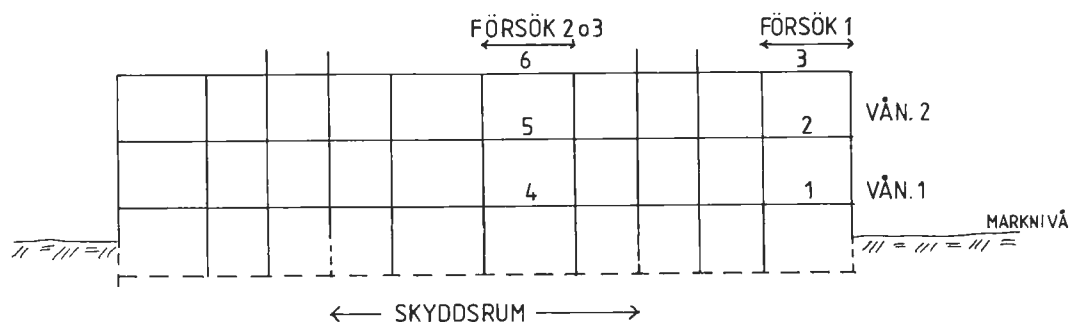
Bjälklagsplattorna var 160 mm tjocka över våning 1 och 2, och 200 mm tjocka över skyddsrummen.

Egenskaper hos betong och armering har för beräkningarna bestämts ur protokoll från provningar.

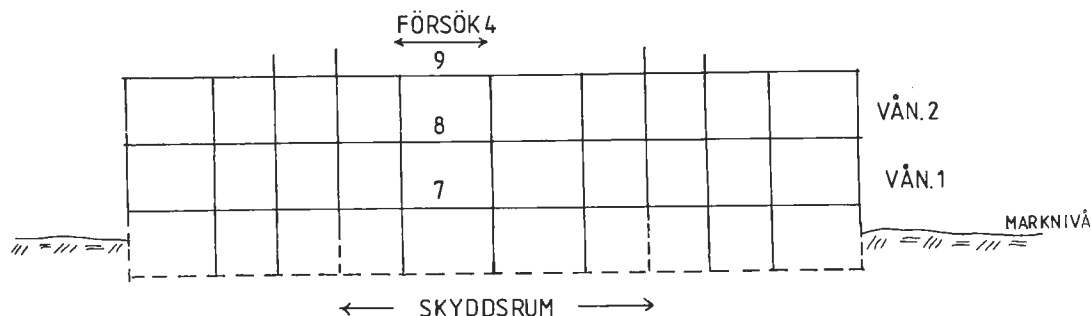
I brist på uppgifter om bjälklagsplattorna i försök 1, har dessa antagits lika plattorna i försök 2 och 3.

Uppgifterna om armeringen, dess kvalitet, läge och omfattning är sparsamma och osäkra även för försök 4.

Ytterväggarna i våningarna var av 250-290 mm murad lättbetong, klädda invändigt med 70 mm lättbetongskivor. De bärande innerväggarna bestod i våningarna av 250-290 mm murad lättbetong. Icke bärande innerväggar bestod av 70 mm lättbetongskivor av samma typ som ytterväggarnas inre beklädnad.

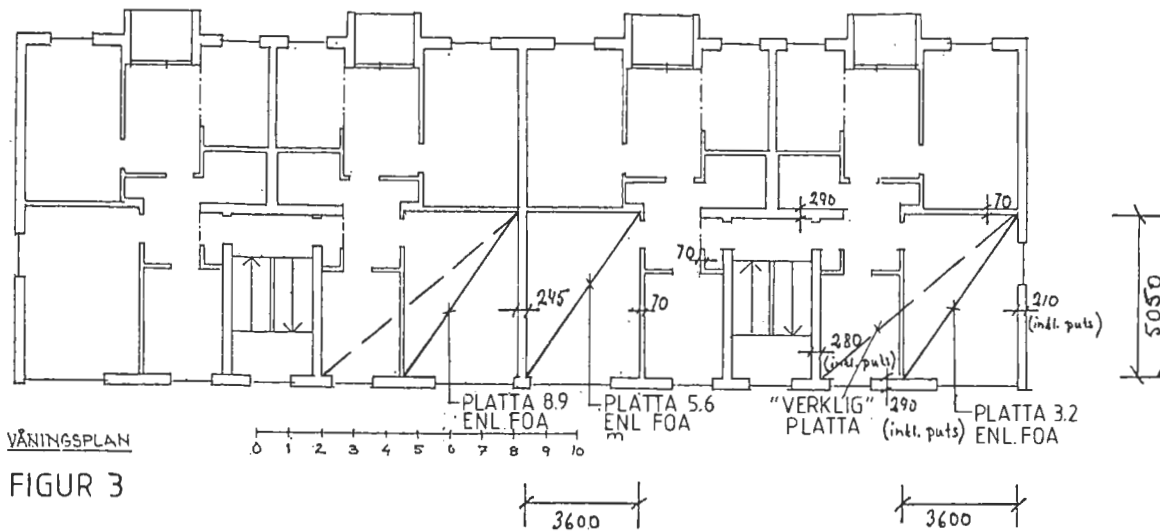


FIGUR 2a Längdsektion hus 1

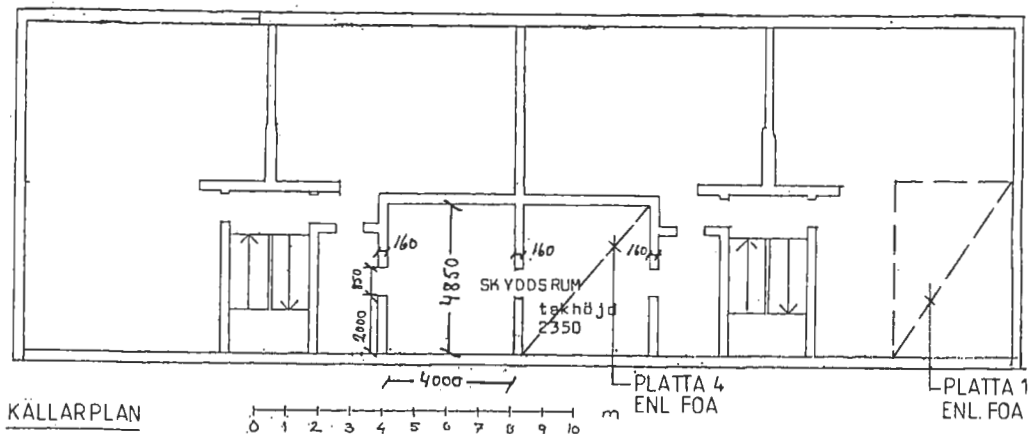


FIGUR 2b Längdsektion hus 2

VÄGGTJOCKLEKAR OCH ÖVRIGA MÅTT FÖR DE BÅDA HUSENS VÅN. 1 OCH 2

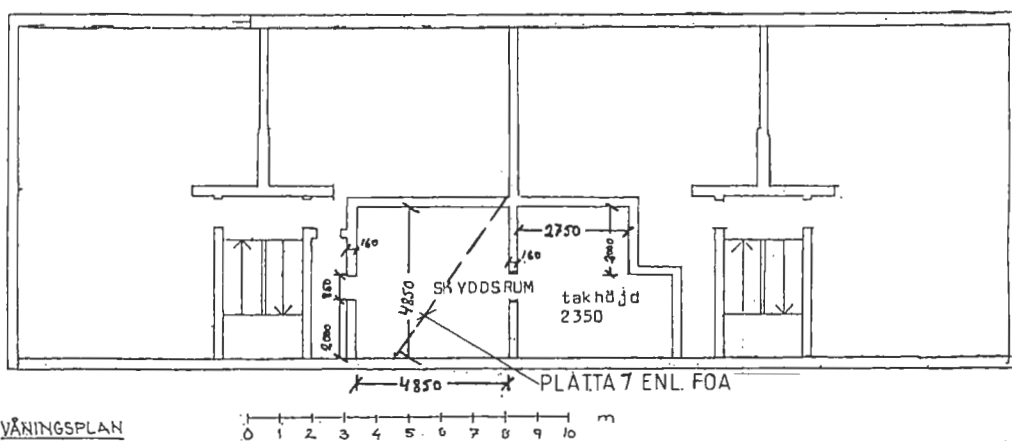


VÄGGTJOCKLEKAR OCH ÖVRIGA MÅTT FÖR HUS 1, SKYDDSRUMMET



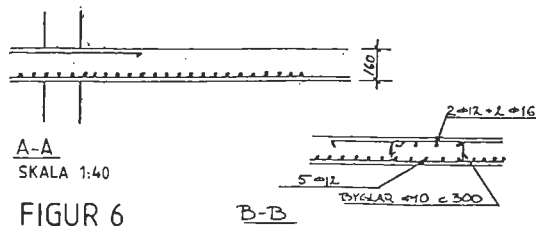
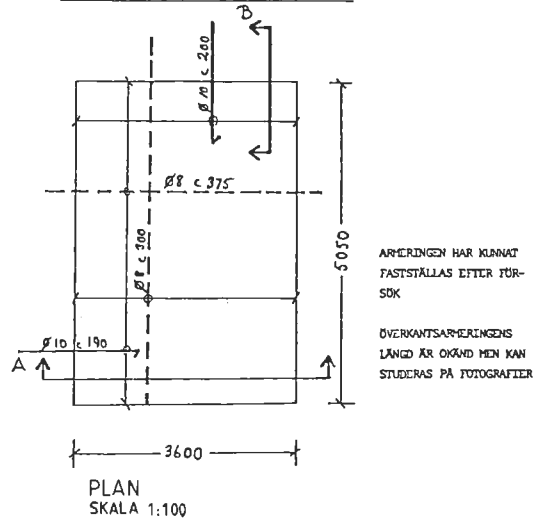
OBS! Källarplanen är ej
fullständig.

VÄGGTJOCKLEKAR OCH ÖVRIGA MÅTT FÖR HUS 2, SKYDDSRUMMET



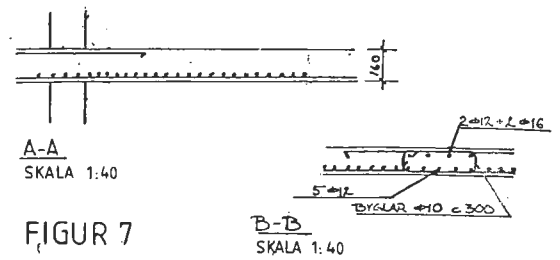
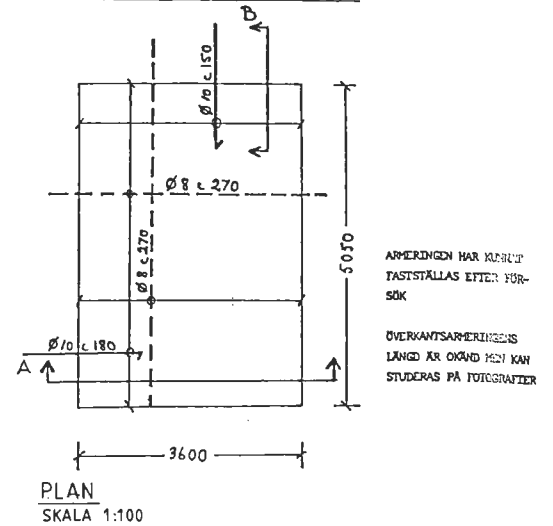
OBS! Källarplanen är ej

ARMERING I PLATTA 6, HUS 1



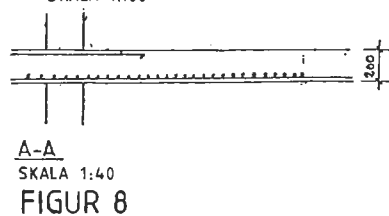
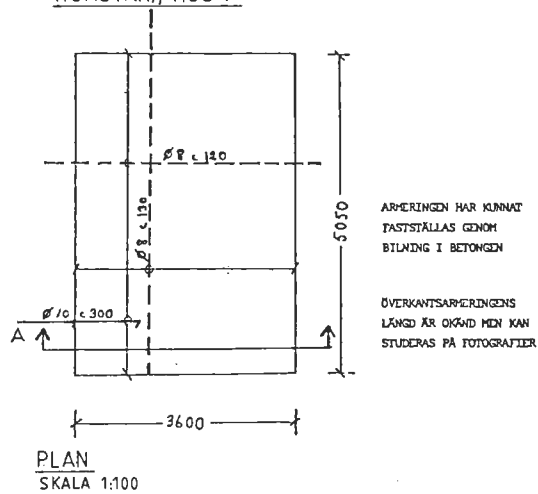
FIGUR 6

ARMERING I PLATTA 5, HUS 1



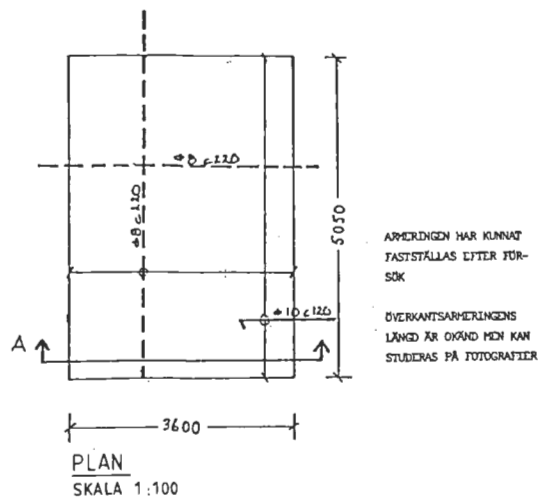
FIGUR 7

ARMERING I PLATTA 4 (SKYDDSRUMSTAK), HUS 1



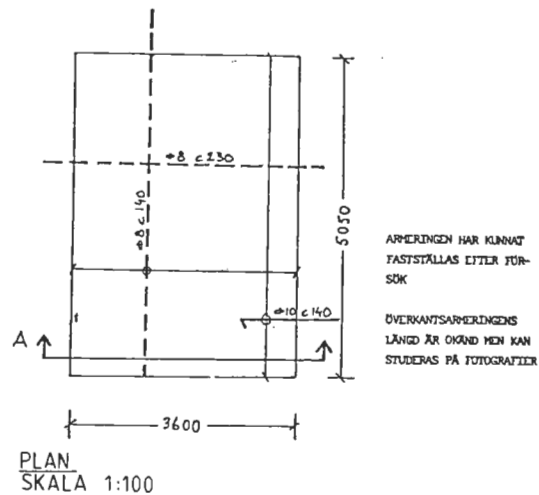
FIGUR 8

ARMERING I PLATTA 9, HUS 2

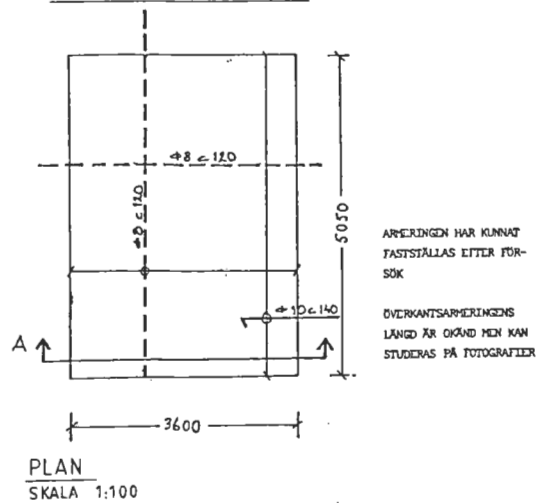


A-A
SKALA 1:40
FIGUR 9

ARMERING I PLATTA 8, HUS 2



A-A
SKALA 1:40
FIGUR 10

ARMERING I PLATTA 7
(SKYDDSRUMSTAK) HUS 2

A-A
SKALA 1:40
FIGUR 11

BESKRIVNING AV FÖRSÖKEN

Syftet med försöken var att studera bjälklagens motståndsförmåga mot raslaster.

De två husen skulle rivas eftersom LKAB ansåg att de låg för nära gruvan i Malmberget. Sprängning av större laddningar i försökssyfte var uteslutet då det fanns andra hus i närheten. I stället valde man att simulera att bjälklagsdelar slets loss och föll på underliggande bjälklag.

Specialtillverkade betongelement med måtten 2,50x4,00x0,17 m, vikt 4 ton, släpptes från en lyftkran.

Fyra försök utfördes, tre i hus 1 och ett i hus 2.

Innan försöken påbörjades hade Cfs givit en entreprenör i uppdrag att riva bort yttertak, övergolv, inredning, fönster, fönsterbröstningar m m i husen. Fönsterbröstningarna togs bort för att underlätta filmning av försöken varvid man tvingades att staga upp bjälklaget vid fönsteröppningarna.

Före försöken gjordes dessutom följande.

- Nedböjningsgivare sattes upp på de aktuella plattorna för att maximal nedböjning av bjälklagen och nedböjningshastighet skulle kunna registreras. Resultaten redovisas ej i denna rapport.
- Avvägningar gjordes av de aktuella plattorna, redovisas ej i denna rapport.
- Kameror monterades upp utanför husen för att filma undersidan av varje bjälklag. Se FIGUR 16. Dessutom fanns kameror monterade i skyddsrummen. Plattornas undersida hade dessförinnan försetts med ett rutnät för att underlätta en senare utvärdering av filmerna. En översiktskamera monterades upp för att dokumentera förloppen i deras helhet, se FIGUR 16.

FÖRSÖK_1_

Ett betongelement, vikt 4 ton, släpptes från 17 m höjd, se FIGUR 12, på platta 3 i hus 1.

FÖRSÖK_2_

Två betongelement, total vikt 8 ton, släpptes från 20 m höjd se FIGUR 13, på platta 6 i hus 1.

FÖRSÖK_3_

Tre betongelement, total vikt 12 ton, släpptes från 20 m höjd, se FIGUR 14 platta 5 i hus 1. Detta gjordes efter det att försök 2 utförts och platta 2 rensats bort.

FÖRSÖK_4_

Två betongelement, total vikt 8 ton, släpptes på högkant från 18 m höjd, se FIGUR 15, på platta 9 i hus 2.



FIGUR 12 Fallkropp
försök 1



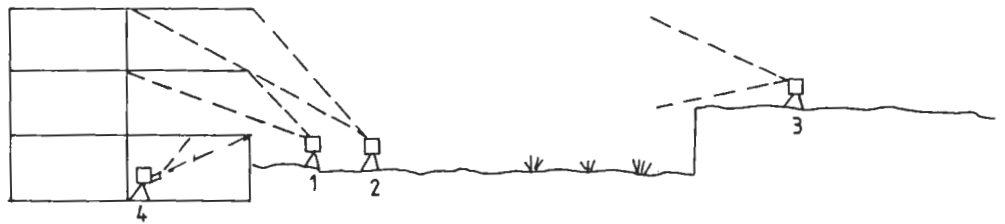
FIGUR 13 Fallkropp
försök 2



FIGUR 14 Fallkropp
försök 3



FIGUR 15 Fallkropp
försök 4

HÖGHASTIGHETSFILMNING

FIGUR 16 Kameraplaceringar

Rasförloppen filmades i sin helhet med en 16 mm höghastighetskamera, ca 190 bilder/sek. Placering enligt FIGUR 16, kamera 3.

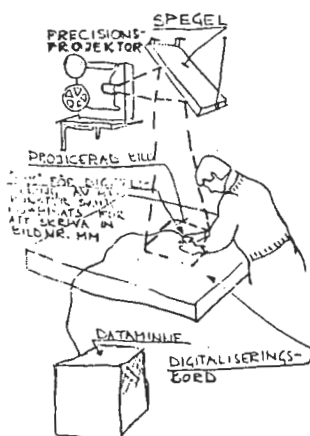
Kamera 1 och 2 filmade undersidan av bjälklagen, 60-70 bilder/sek.

Kamera 4 filmade undersidan av skyddsrumsbjälklagen.

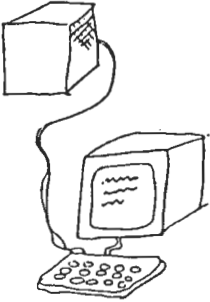
Syftet var att dokumentera rasförloppet och kartlägga byggnadsras samt byggnadsdelars beteende. Vidare används filmen för att mäta läge och hastighet hos fallkropparna i förhållande till tiden för att därur beräkna den energiupptagande förmågan hos konstruktionen.

Filmen analyseras bild för bild.

Bestämda mätpunkter på motivet, målade markeringar eller andra synliga konturer, registreras i varje bild på ett digitaliseringsbord, se FIGUR 17a. För att få rätt skala och för att korrigera för att kameran inte står vinkelrätt mot motivet så registreras även referenspunkter vilkas läge på motivet är kända.

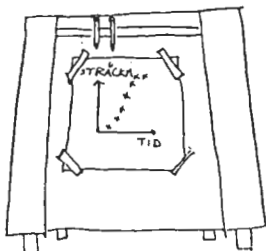


FIGUR 17a



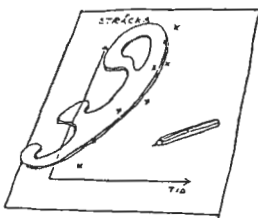
FIGUR 17b

Alla data från digitaliseringen databehandlas och resulterar i uppgifter om mätpunkternas läge i vertikalled som funktion av tiden.



FIGUR 17c

Resultatet från datakörningen ritas upp maskinellt. På den horisontella axeln redovisas tiden och på den vertikala redovisas mätpunkternas läge i vertikalled. Data fås även i tabellform.

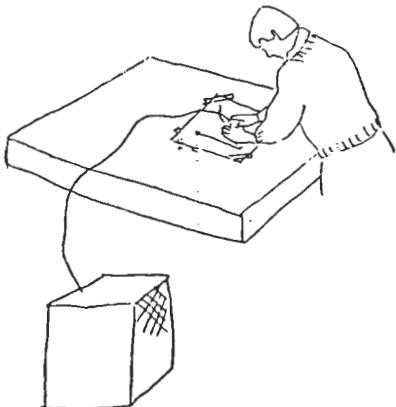


FIGUR 17d

I det dataritade diagrammet inritas för hand kontinuerliga kurvor. På detta sätt kan man undvika onödiga fel och dessutom få med diskontinuiteter som man sett på filmen.

En datorritad kurva kan bli hoppig på grund av mätfel eller så utjämnad att verkliga diskontinuiteten ej syns.

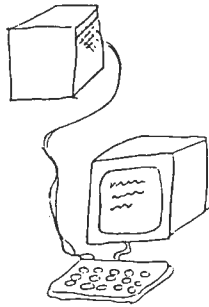
Utgjänningsgraden hos en dataritad kurva beror på hur programmet är skrivet. Erfarenheterna får visa om det kan bli motiverat att i framtiden öka automatiseringsgraden.



FIGUR 17e

Diagrammen med de inritade kurvorna tejpas fast på digitaliseringsbordet. Diagrammets axlar och de för hand inritade kurvorna digitaliseras.

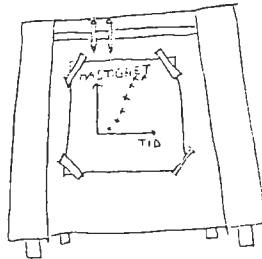
De digitaliserade uppgifterna databehandlas och resulterar i uppgifter om mätpunkternas vertikala hastighet som funktion av tiden.



FIGUR 17f

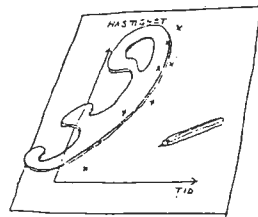
Resultatet från datakörningen ritas upp maskinellt. På den horisontella axeln redovisas tiden och på den vertikala redovisas mätpunkternas vertikalhastighet.

Programmet beräknar hastigheten enligt minsta kvadrat-metoden med tre punkter.



FIGUR 17g

I det dataritade diagrammet inritas för hand kontinuerliga kurvor.



FIGUR 17h

$$\begin{array}{l} \text{ENERGI} \\ \text{RÖRELSE} \end{array} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\begin{array}{l} \text{ENERGI} \\ \text{LÄGE} \end{array} = mgh$$

$$\begin{array}{l} \text{ENERGI} \\ \text{TOTAL} \end{array} = \begin{array}{l} \text{ENERGI} \\ \text{RÖRELSE} \end{array} + \begin{array}{l} \text{ENERGI} \\ \text{LÄGE} \end{array}$$

Med uppgifter om ingående systemdelars massa tillsammans med uppgifter om tid/läge samt tid/hastighet kan läges- och rörelseenergi samt totalenergin för systemet, dvs byggnaden, beräknas.

RESULTAT FRÅN FÖRSÖKEN

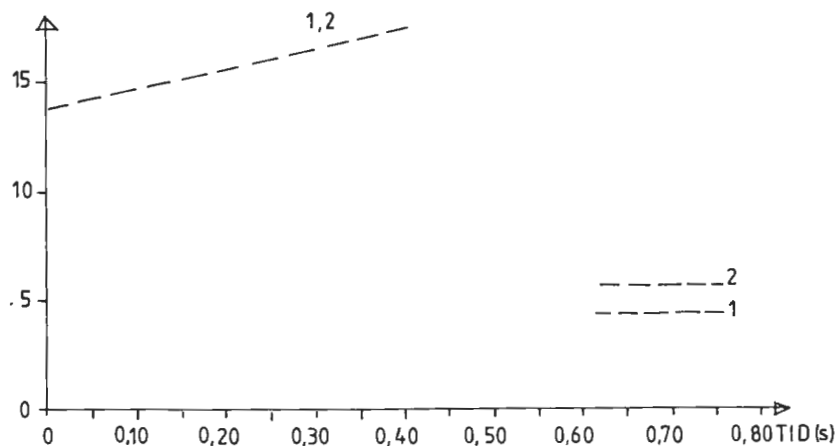
Resultat från höghastighetsfilmning

Försök 1, platta 3, kamera 3

Fallkroppen släpptes med flatsidan nedåt, se FIGUR 12, från 17 m:s höjd över takbjälklaget. Direkt efter anslag bildades ett dammoln som skymde förloppet under 0,22 sekunder, därefter kunde förloppet studeras under 0,16 sekunder innan dammoln ånyo dölde huset, se FIGUR 18.

FÖRSÖK 1, PLATTA 3, KAMERA 3. FALLKROPPEN

HASTIGHET
VERTIKALT (m/s)



*Anm: Inget tidssamband med resultaten från kamera 2

FIGUR 18 Kurvorna 1 och 2 är mätpunkter på fallkroppen, se Bilaga 2, sid 1-2.

Fallkroppen slog i plattan så att den senare slogs i bitar vilka hölls ihop av armeringen. Den övre delen av gavelväggen som plattan vilade på rasade. Fönsterbalken, på husets långsida, på vilken plattan också vilade lossnade och föll ner samtidigt som den roterade kring sin längdaxel, se FIGUR 19.

De övriga två väggarna på vilka plattan var upplagd, stod kvar och från deras överkanter hängde sjok av plattan. Dessa två väggar var tunna lätta betongväggar som ej medräknats i det statiska bäringssystemet, men fungerade som bärande för detta belastningsfall.

Hastigheter efter anslag har ej direkt kunnat mätas på takplattan eftersom den ej kunnat identifieras bland den mängd med bitar och stoff som uppstod.

Efter anslag var även fallkroppen alltför odefinierad på filmen varför mätningarna efter anslag gjordes på en lyftanordning till fallkroppen. Lyftanordningen har förutsatts ha samma hastighet efter anslag som fallkroppen.

När fallkroppen representerad av sin lyftanordning blev synlig efter anslaget hade den konstant hastighet, dvs någonting bromsade upp den med en sådan kraft att den inte kunde falla fritt.

Beräkning av rörelsemängden, p , före och efter bjälklagsgenomgång, fullständigt plastisk stöt antas, ger följande resultat.

$$P = m \cdot V \quad P_{\text{före}} = P_{\text{efter}}$$

$$P_{\text{före}} = m_{\text{fallkropp}} \cdot V_{\text{före}}$$

$$P_{\text{efter}} = (m_{\text{fallkropp}} + m_{\text{takplatta}} + m_{\text{fönsterbalk}}) \cdot V_{\text{efter}}$$

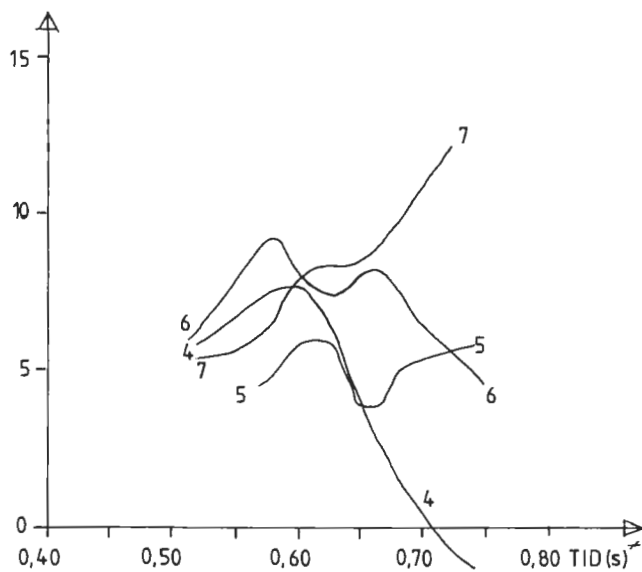
Med känt värde på fallkroppens massa och antagna värden på massan hos den medverkande takplattan och fönsterbalken fås hastighet omedelbart efter anslag till 8 m/s. Fallkropp och takplatta antas då följas åt efter anslag. Hastigheten direkt före anslag var 18 m/s.

Filmanalysen ger att hastigheten i fallkroppens tyngdpunkt, när huset är synligt igen, är konstant 6 m/s. Skillnaden mellan teoretiskt beräknad hastighet efter anslag, 8 m/s, och filmanalysens resultat, 6 m/s, dvs 2 m/s anses bero på uppbromsning till följd av sönderbrytning hos plattan.

Hastighet hos fönsterbalken visas i FIGUR 19.

FÖRSÖK 1, PLATTA 3, KAMERA 3, FÖNSTERBALKEN

HASTIGHET
VERTIKALT (m/s)



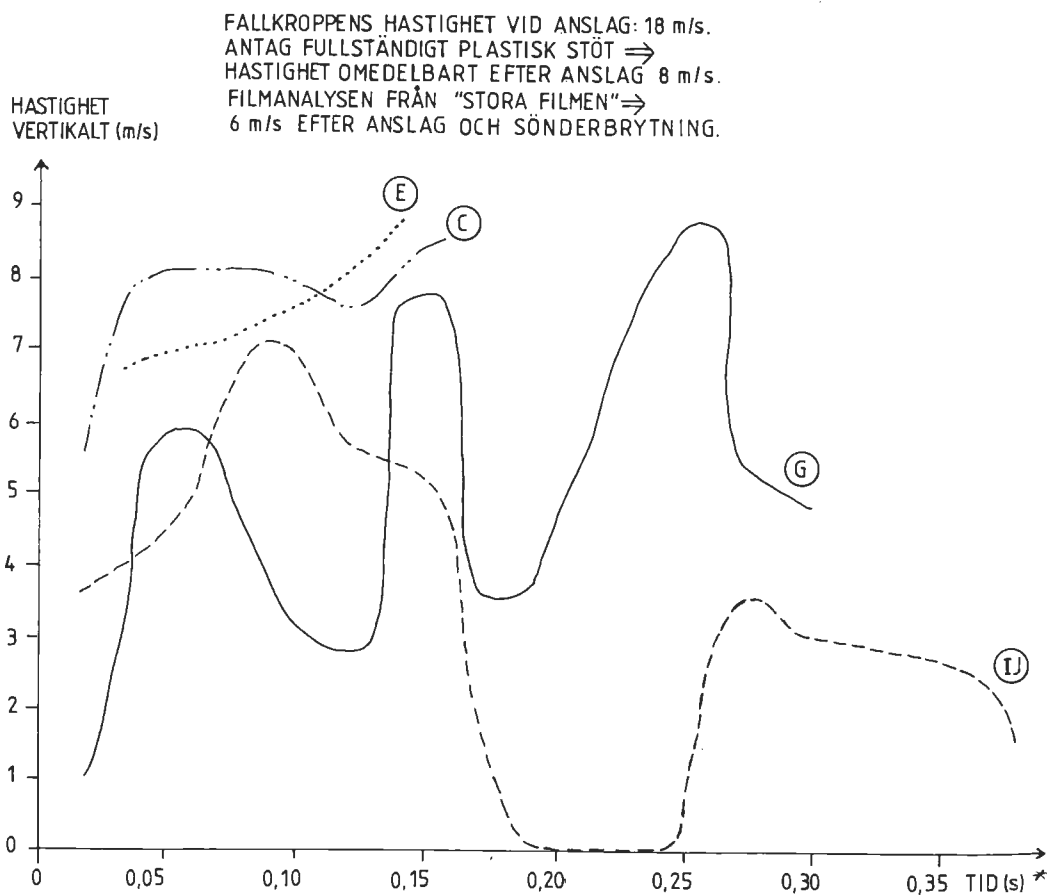
*Anm: Inget tidssamband med resultaten från kamera 2.
Tidsaxeln är dock gemensam med FIGUR 18

FIGUR 19 Kurvorna 4-7 är mätpunkter på fönsterbalken,
se Bilaga 2, sid 3-4.

Försök 1, platta 3, kamera 2, plattans undersida

Bildkvaliteten är alltigenom dålig. Antalet möjliga referenspunkter var för få, och otydliga för att ge en säker skala i bilden. Dessutom rör sig mätobjekten i ett plan vinkelrätt mot de plan där de eventuella referenspunkterna kan urskiljas. Fönsterbalken skymmer i början av förloppet så att det är osäkert varifrån i takplattan bitarna kommer och när de första rörelserna i plattan uppträder, jämför FIGUR 21. Mot denna bakgrund ska takplattans hastighetskurvor i FIGUR 20 studeras. Hastigheterna som uppmätts i filmen från kamera 3 ligger runt 6 m/s. Med tanke på de osäkerheter som filmen från kamera 2 är behäftad med får resultaten från den senare anses som rimliga.

MALMBERGET FÖRSÖK 1, PLATTA 3, KAMERA 2



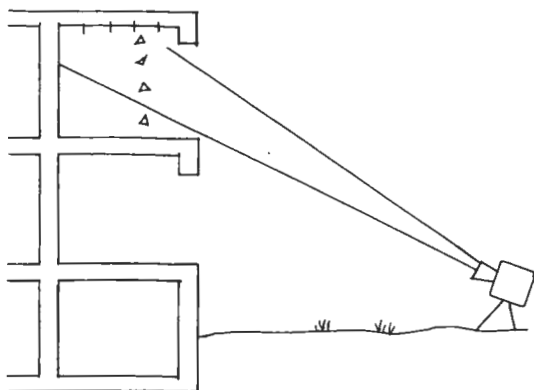
*Anm: Inget tidssamband med resultaten från kamera 3

FIGUR 20 Kurvorna E, C, G och IJ är mätpunkter på fallkroppen

Försök_2_och_3, kamera_3_

Höghastighetsfilmerna kunde ej utvärderas på grund av kraftiga dammoln direkt efter anslag.

Försök_2, platta_6, kamera_2, plattans_undersida_



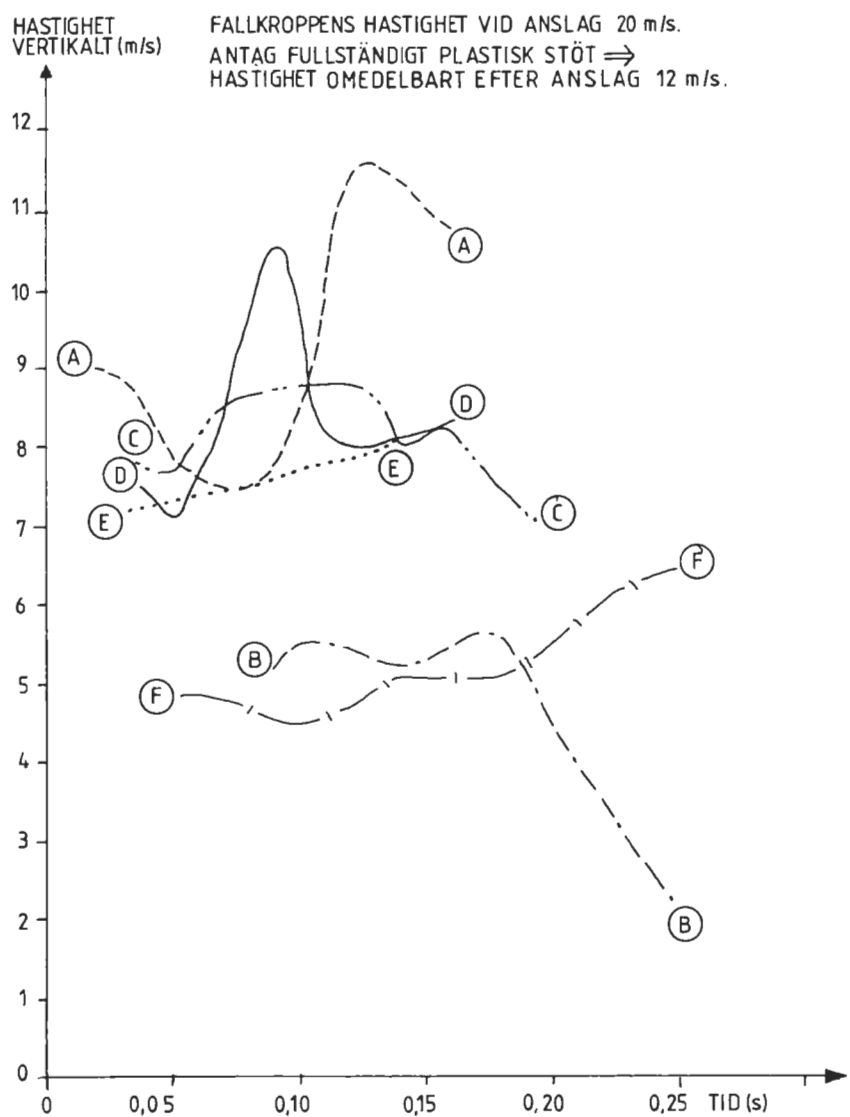
Bildkvaliten var dålig. På filmen ans målade streck i taket, dock endast i en riktning. Det är dessa parallella streck som ger uppfattningen om skalan i bilden. Dessutom ligger dessa skalgivande linjer i ett plan vinkelrätt mot mätplanet, se FIGUR 21. Med dessa förutsättningar har hastigheterna beräknats för ett antal otydliga dammoln och klumpar m m som rört sig i bilden, se FIGUR 22.

FIGUR 21

Antas rörelsemängdens bevarande vid fullständigt plastisk stöt vid fallkroppens anslag mot platta 6 får man en hastighet efter anslag $V = 12 \text{ m/s}$. Två av de studerade massorna uppvisar topphastigheter strax under 12 m/s . Mot bakgrund av resultaten från försök 1 är det förmodligen rimliga värden som här redovisas för detta försök.

Försök 2, platta 5

Filmen tydde inte på någon som helst rörelse i plattan,

MALMBERGET FÖRSÖK 2, PLATTA 6, 1 TR, KAMERA 2

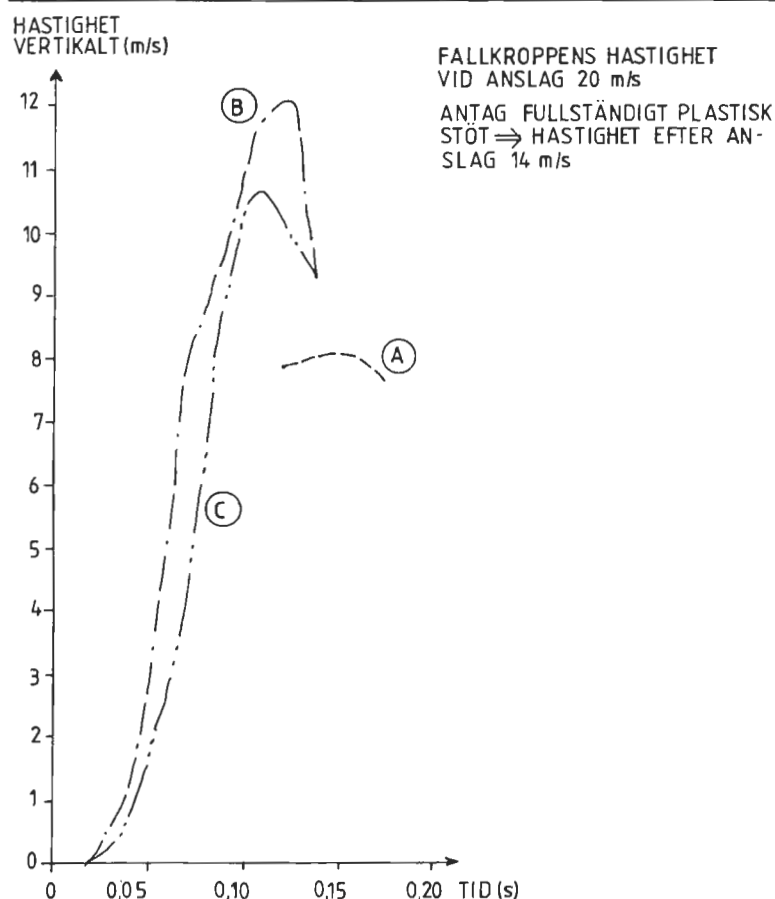
FIGUR 22 Kurvorna A, B, C, D, E och F är mätpunkter på studerade massorna.

Försök 3, platta 5, kamera 1, plattans undersida

Höghastighetsfilmen från kamera 2 var ej möjlig att utvärdera. Samma problem som i försök 1 och 2 fanns här vid utvärderingen av filmen från kamera 1 och 2.

Antas rörelsemängdens bevarande vid fullständigt plastisk stöt får man att hastigheten omedelbart efter anslag blir 14 m/s. De uppmätta max.hastigheterna för platta 5 ligger runt 11 m/s för två av de observerade bjälklagsdelarna, kurva B och C i FIGUR 17, och runt 8 m/s för den tredje observerade bjälklagsdelen, kurva A i FIGUR 23. Skillnaden mellan uppmätt och teoretisk hastighet blir då 3 respektive 6 m/s som kan hänföras till uppbromsning på grund av sönderbrytning. Resultaten från försök 1 och 4 ger uppmätta hastigheter efter anslag och sönderbrytning som är 2 m/s lägre än de teoretiska direkt efter anslag men före sönderbrytning. Mot denna bakgrund verkar de uppmätta hastigheterna från plattan rimliga, se FIGUR 23.

MALMBERGET FÖRSÖK 3, PLATTA 5, MELLANBJÄKLÄGET, KAMERA



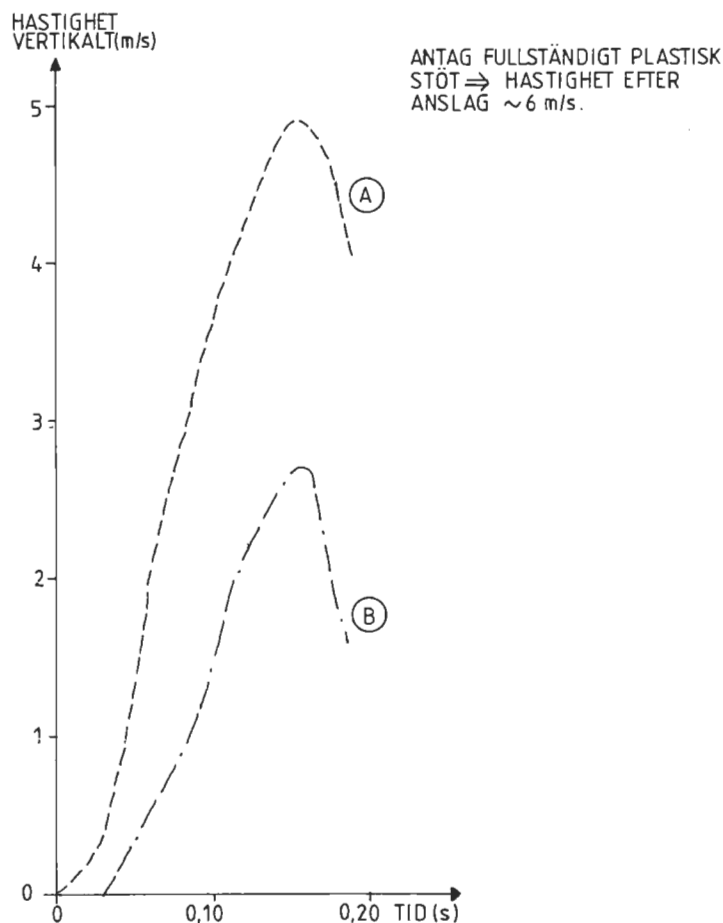
FIGUR 23 Kurvorna A, B och C är mätpunkter på studerade massorna

Försök_3, platta_4, kamera_4, inifrån skyddsrummet_

Det är svårt att bedöma rimligheten hos hastighetskurvorna för denna platta, se FIGUR 24. Att göra en teoretisk beräkning av hastigheten efter en fullständigt plastisk stöt består av tre problem. Först skall en anslagshastighet bestämmas, sedan skall medverkande massor före samt efter stöt bestämmas. De uppmätta max-värdena efter anslag för de två studerade massorna är 5 respektive 3 m/s. Det är inte orimliga värden om det är så att fallkroppen och platta 5 faller med 9 m/s på platta 4. Efter anslaget antas hela platta 4 medverka. Antas rörelsemängdens bevarande vid fullständig plastisk stöt får man att hastighet omedelbart efter anslag i platta 5 blir ca 7 m/s. Med resultaten från försök 1, kamera 3, i åtanke kan hastigheten reduceras med 2 m/s och vi får då att plattan rör sig med 5 m/s efter anslag, att jämföras med kurvorna vars max.hastigheter är 5 respektive knappt 3 m/s.

MALMBERGET

FÖRSÖK 3, PLATTA 4, SKYDDSRUMMET, KAMERA 4



FIGUR 24 Kurvorna A och B är mätpunkter på studerade massorna

Försök_4, platta_9, kamera_3_

Fallkroppen släpptes på högkant, se FIGUR 15, från 18 m höjd över takbjälklaget. De två hopkopplade betongelementen skar igenom takbjälklaget. Foton tagna efteråt visar tydligt att det varit fråga om ren stansning. Övriga delar av takplattan utsattes troligen inte nämnvärt för böjning i samband med brottet.

När sedan fallkroppen passerade genom hålet i takbjälklaget på väg mot mellanbjälklaget skedde det med konstant hastighet. Något bromsade upp fallkroppen så att den hindrades från att falla fritt. Om den fallit fritt mellan de två bjälklagen skulle hastigheten ha ökat med drygt 7 m/s.

Dammolnet blev sedan så kraftigt att det fortsatta förloppet doldes i molnet.

Beräkningar av rörelsemängden, P , före och omedelbart efter bjälklagsgenomgång, varvid fullständig plastisk stöt antas:

$$P = m \cdot V \quad P_{\text{före}} = P_{\text{efter}}$$

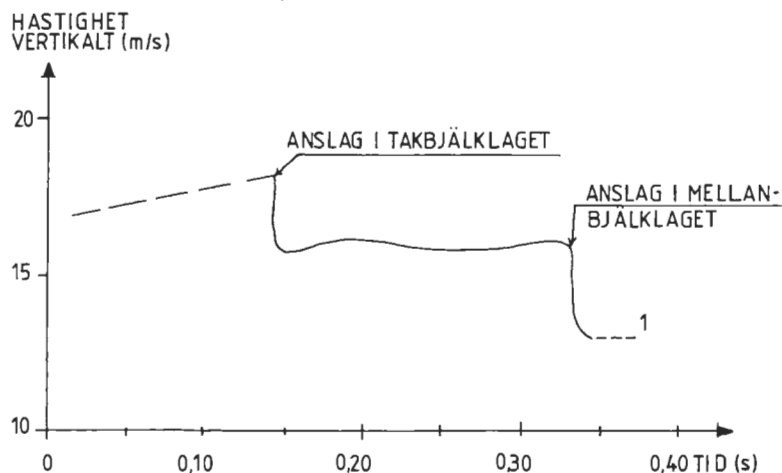
$$P_{\text{före}} = m_{\text{fallkropp}} \cdot V_{\text{före}}$$

$$P_{\text{efter}} = (m_{\text{fallkropp}} + m_{\text{skjuvkon}}) \cdot V_{\text{efter}}$$

$$V_{\text{efter}} = \frac{m_f}{m_f + m_s} \cdot V_{\text{före}}$$

Med känt värde på fallhöjd och fallkroppens massa samt med antaget värde på skjuvkonens massa fås hastighet omedelbart efter anslag i takbjälklaget till 17 m/s. Filmanalysen, se FIGUR 25 ger ett värde på 16 m/s, skillnaden beror på sönderbrytning i takplattan. Hastigheten direkt före anslag var 18 m/s.

FÖRSÖK 4, PLATTA 9, KAMERA 3



FIGUR 25 Kurvan visar rörelsen hos en mätpunkt på fallkroppen

Hastigheten före anslag i mellanbjälklag fås från filmanalysen till 16 m/s och samma värde på massorna antas som vid beräkningen av genomgången av takbjälklaget. Hastigheten omedelbart efter anslag blir då 15 m/s medan filmanalysen ger 13 m/s.

Vid båda anslagen blir således skillnaden mellan teoretisk hastighet efter enbart stötförluster och hastighet från filmanalysen 1-2 m/s.

Skillnaden beror i båda fallen på sönderbrytning av respektive bjälklag.

Resultat från teoretiska beräkningar

Beräkningsmetodiken

Vid tidigare försöksutvärderingar inom Rasgruppen har datorprogram tagits fram som hjälpmedel vid beräkning av konstruktioner utsatta för dynamiska laster.

Beräkningarna sker i två steg:

- 1) Arbetskurvan för böjning respektive skjuvning av en armerad betongplatta eller -balk beräknas.
- 2) Deformationer och deformationshastigheter vid dynamisk påverkan beräknas.

Nedan följer en beskrivning av de två beräkningsstegen.

Beräkning av arbetskurvan för böjning

Vid beräkning av konstruktioner utsatta för dynamiska laster måste ofta stora deformationer tillåtas för att med rimlig materialåtgång kunna ta hand om den tillförda rörelseenergin. Beräkningar av detta slag kräver alltså kännedom om den aktuella konstruktionens arbetskurva, dvs last-deformationskurva ända fram till brott. För att underlätta beräkning av arbetskurvan och standardisera beräkningsmetoden har ett datorprogram utvecklats.

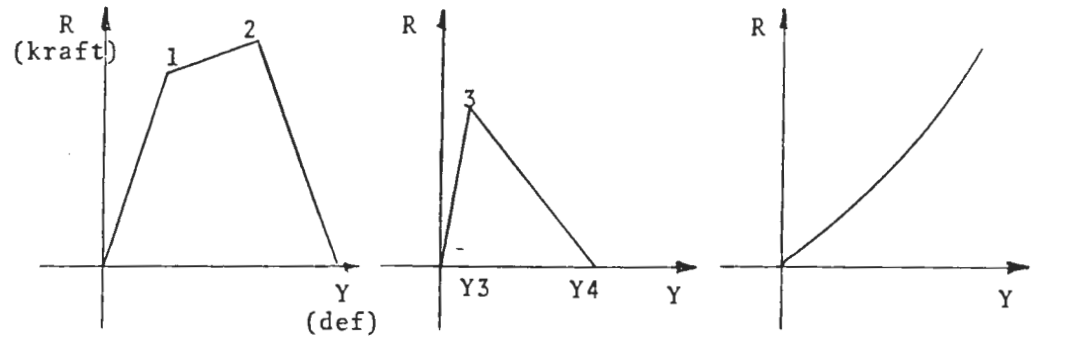
Programmet beräknar ekvivalent mothållande kraft (= inre kraft) och tillhörande deformationer för armerade betongbalkar och plattor. Deformationen kopplas till en given punkt, systempunkten, vilken oftast väljs till punkten för maximaldeformation. Beräkningen sker punktvis och beräkningspunkter är sådana där "brott" av något slag erhålls. Brott definieras antingen som avsliten armering eller som betongstukbrott och beror av de aktuella materialegenskaperna.

Programmet kontrollerar i vilken ordning de olika brotten sker; avsliten armering och betongstukbrott i stöd respektive fält och sätter efter brott den andelen av bärförmågan lika med noll. Beräkningen pågår tills total kollaps erhålls, dvs resthållfastheten = 0. Tillhörande deformationer beräknas via vissa antaganden om flyttledslängder och grundar sig på Plems arbeten.

Genom att kombinera arbetskurvan från -

- 1) Momentmotstånd
- 2) Valvverkan
- 3) Membranverkan

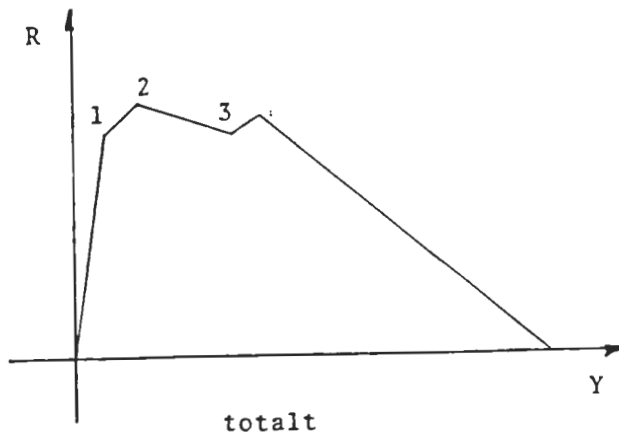
- fås en total arbetskurva



Momentverkan
 1. sträckgräns nådd
 2. gränstörning nådd

Valvverkan
 3. valvverkan max vid
 Y3 som i programmet
 sätts till 0.12h.
 Y4 sätts till 0.8h
 (h=plattjockleken)

Membranverkan



1. valvverkan max
2. sträckgränsen nådd
3. valvverkan noll

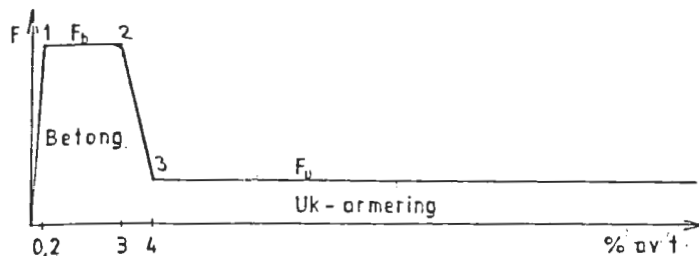
FIGUR 26 a-d

Beräkning av arbetskurvan för skjuvning

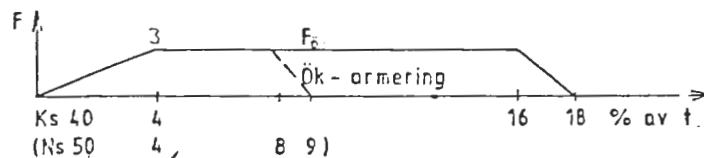
Genom att kombinera arbetskurvan för skjuvning från

- betong och underkantsarmering, se FIGUR 26e
- överkantsarmering, se FIGUR 26f

fås en total arbetskurva.



FIGUR 26e Arbetskurva för betong och underkantsarmering

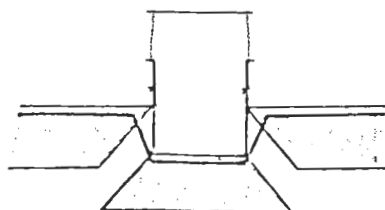


FIGUR 26f Arbetskurva för överkantsarmering

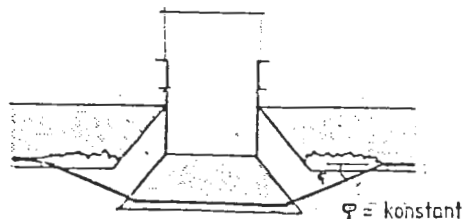
Betongen antas svara för förloppets inledande del, punkt 1-3 i FIGUR 26e, med höga kraftnivåer orsakade av skjuvspänningar och friktionskrafter i brottytan.

Från och med punkt 3 i FIGUR 26f antas överkantsarmeringen i huvudsak fungera genom dymlings- och linverkan, se FIGUR 26g

Samtidigt verkar underkantsarmeringen som ett skyddsnät i vilket den utstansade konen vilar, se FIGUR 26h. Vid ökad deformation fläks täckskiktet bort varvid järnens upplagspukter i betongen flyttats utåt.



FIGUR 26g Överkantsarmering



FIGUR 26h Underkantsarmering

Beräkning av deformation och deformationshastigheter:

Betongplattor utsatta för dynamiska belastningar måste ibland ta upp stora deformationer. En lämplig beräkningsmodell för att studera verkningssättet hos sådana konstruktioner är att välja ett fjäder-massa-system. Antalet frihetsgrader, dvs antalet oberoende rörelsekoordinater bör av hanteringsskäl väljas så lågt som möjligt, dock ändå tillräckligt många för att ge en verklighetstrogen bild av skeendet.

Beroende på vilken dynamisk belastning en platta kan förväntas få har två datorprogram utvecklats. Det ena programmet löser rörelseekvationerna från en beräkningsmodell där plattan utsätts för en utbredd belastning. Vid denna typ av belastning kan plattan förväntas få ett böjbrott. Det andra programmet löser rörelseekvationerna där belastningen utgörs av en punktlast och där brottet kan förväntas bli genomstängning eller böjbrott. Programmen löser rörelseekvationerna genom tidsstegring. Utdata består av de ingående kropparnas rörelse, hastighet och inre krafter, samt plattans deformation.

Kommentarer till försök 1

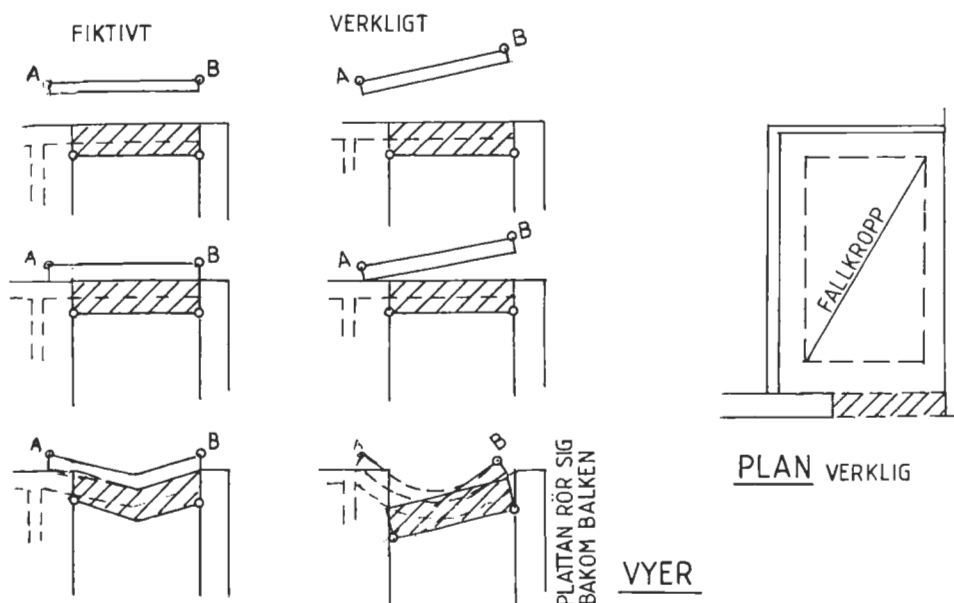
Det händelseförlopp som beräkningarna har gjorts på skiljer sig något från det verkliga mer komplicerade händelseförloppet.

På filmen roterade fallkroppen AB så att punkt A slog i takbjälklaget före punkt B, medan man i beräkningarna har antagit att hela plattan samtidigt slår i takbjälklaget, se FIGUR 27. Rotationen fortsätter även efter det att plattan gått igenom takbjälklaget.

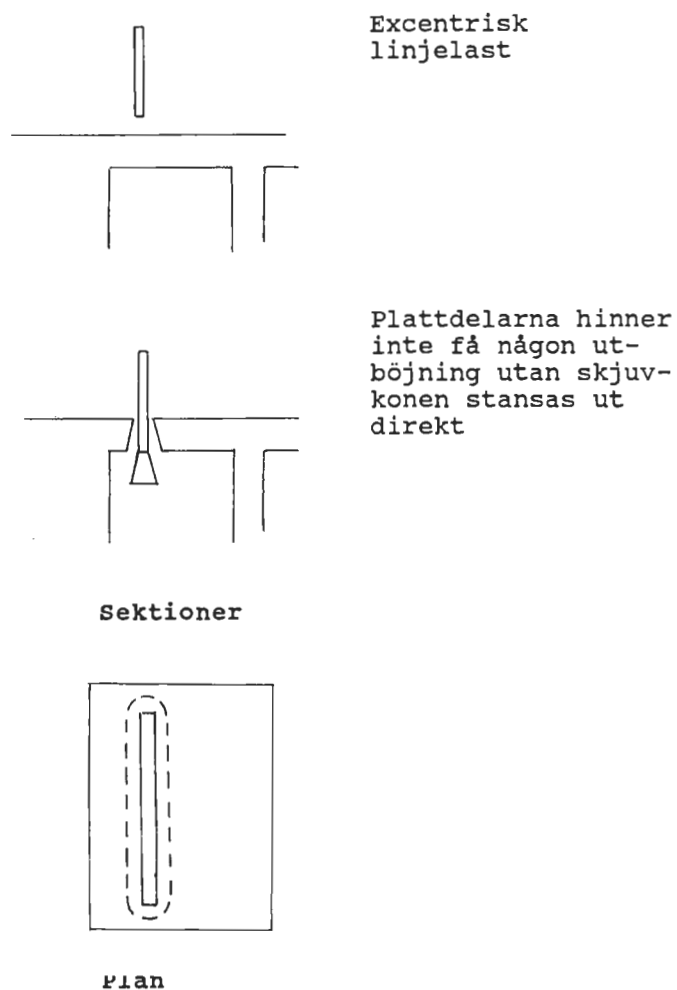
Upplagsförhållanden för takbjälklaget är inte lika på alla fyra sidorna. Dessutom förändras de med tiden. När fönsterbalken lossnar från sina upplag förlorar takbjälklaget sitt upplag där. Under sitt fall roterar fönsterbalken kring sin längsaxel. Stödet på ytterväggar försvinner också under förloppet.

Det går inte att direkt jämföra resultaten med de från filmanalysen eftersom förloppet doldes i damm en stund direkt efter anslaget. Vad som går att jämföra är fallkroppens hastighet vid steg-beräkningens slut jämförd med filmanalysens resultat när förloppet återigen börjar bli synligt.

Filmanalysens värden efter anslag ligger mellan 4,4 och 5,7 m/s och får betraktas som inte helt säkra på grund av filmkvaliteten och dammolnen, se FIGUR 18. Vid den teoretiska stegberäkningens slut, dvs efter kollaps i takplattan, har fallkroppen en hastighet på ca 6 m/s. Den teoretiska stegberäkning för takplattan, går här inte att direkt jämföra med filmanalysen eftersom den senare visar fönsterbalken respektive fallkroppen och inte takplattan. Dessutom skiljer sig verkligheten så mycket från den använda beräkningsmodellen att inga säkra värden på hastigheten kan fås ur beräkningen. Trots detta är resultaten från den teoretiska beräkningen ungefär lika som det från filmanalysen.



FIGUR 27 Fiktivt händelseförlopp, försök 1, som beräkningarna har gjorts på samt det verkliga händelseförloppet

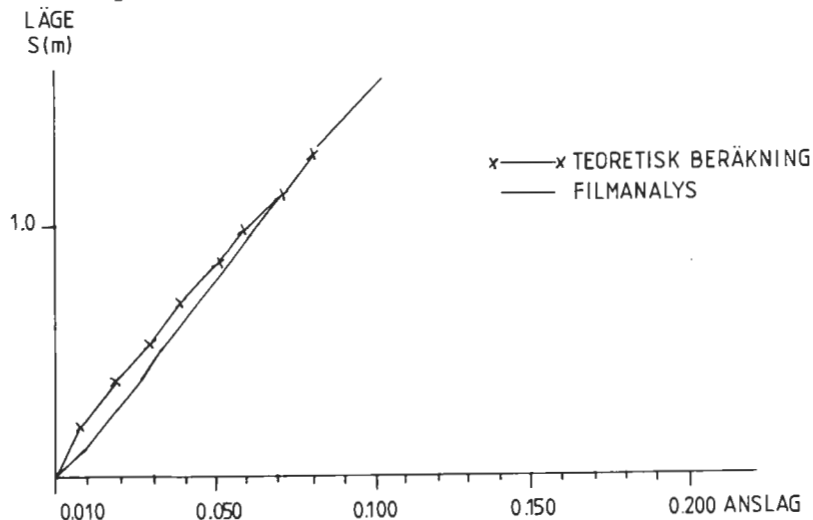
Kommentarer till försök 4

FIGUR 28 Fiktivt händelseförlopp, för försök 4, som beräkningarna har gjorts på samt det verkliga händelseförloppet är identiskt.

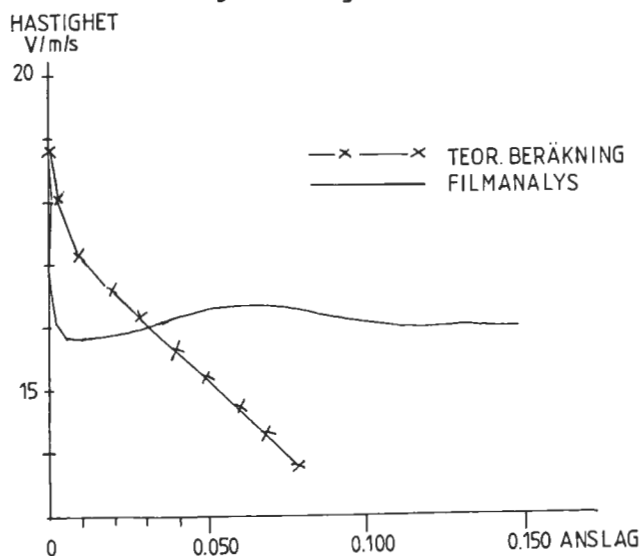
Mot bakgrund av resultaten från Lars Anderssons laborieförsök på KTH (Dynamiska försök på enkelspända betongplattor. Meddelande nr 148, 1987 Inst. f. byggnadsteknik) har endast skjuvkonen antagits accelerera. Övriga delar har inte hunnit med, fallkroppen skär igenom plattan som en kniv. Lågesdiagrammen från filmanalysen skiljer sig inte från motsvarande diagram över fritt fall.

Resultaten från beräkningarna av fallkroppens läge och hastighet redovisas i FIGUR 29 respektive FIGUR 30 där motsvarande resultat från filmanalysen har lagts in som en jämförelse.

I FIGUR 29 där läget redovisas som en funktion av tiden är resultaten samstämmiga. Vad beträffar hastigheten som en funktion av tiden, FIGUR 30, är inte samstämmigheten lika god. Den teoretiska beräkningen ger en mjukare uppbromsning, troligen beroende på för stor antagen medverkan från armeringen.



FIGUR 29 Fallkroppens läge, försök 4, som en funktion av tiden. Motsvarande resultat från filmanalysen är medtagna som jämförelse.



FIGUR 30 Fallkroppens hastighet, försök 4, som en funktion av tiden. Motsvarande resultat från filmanalysen är medtagna som jämförelse.

ENERGIUPPTAGNINGFÖRSÖK_1_

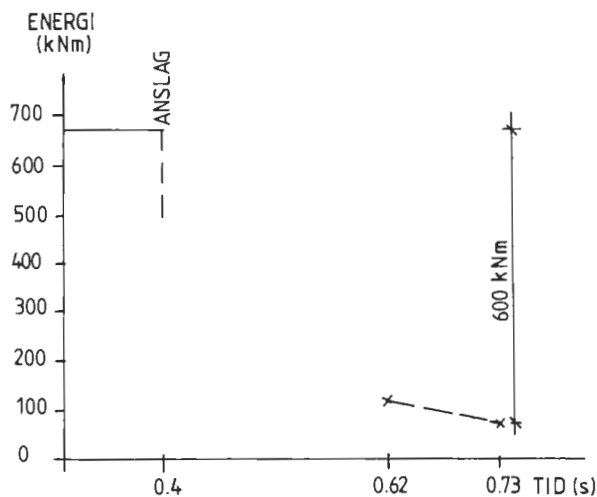
Energiåtgången under och efter bjälklagspassagen är enligt filmanalysen drygt 600 kNm inklusive stötförlust vid anslag, se FIGUR 31.

Medverkande takplattans massa antas vara 5,3 ton.

Fönsterbalkens massa uppskattas vara 0,3 ton.

$$\frac{\text{Energiåtgång}}{\text{Medverkande takplattans massa}} = \frac{600 \times 10^3 \text{ Nm}}{5.3 \times 10^3} = 110 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}}$$

Eftersom delar av förloppet doldes av damm på filmen och den del som kunde observeras uppvisade konstant hastighet hos fallkroppen är det inte av intresse att beräkna mothållande kraft och raslast.



FIGUR 31 Totalenergin, försök 1, för det system där fallkropp, takplatta och fönsterbalk ingår.

FÖRSÖK_4_

Energiåtgången under och efter takbjälklagspassagen inklusive stötförlust vid anslag är 730 kNm räknat fram till omedelbart före anslag mot mellanbjälklaget, se FIGUR 32.

Den verkliga skjuvkonens ekvivalenta omkrets var ca 6,5 m, i längsled hade 3 järn ø 8 gått av och i tvärled 11 järn ø 8.

Den teoretiska skjuvkonens massa antogs vara 0,6 ton.

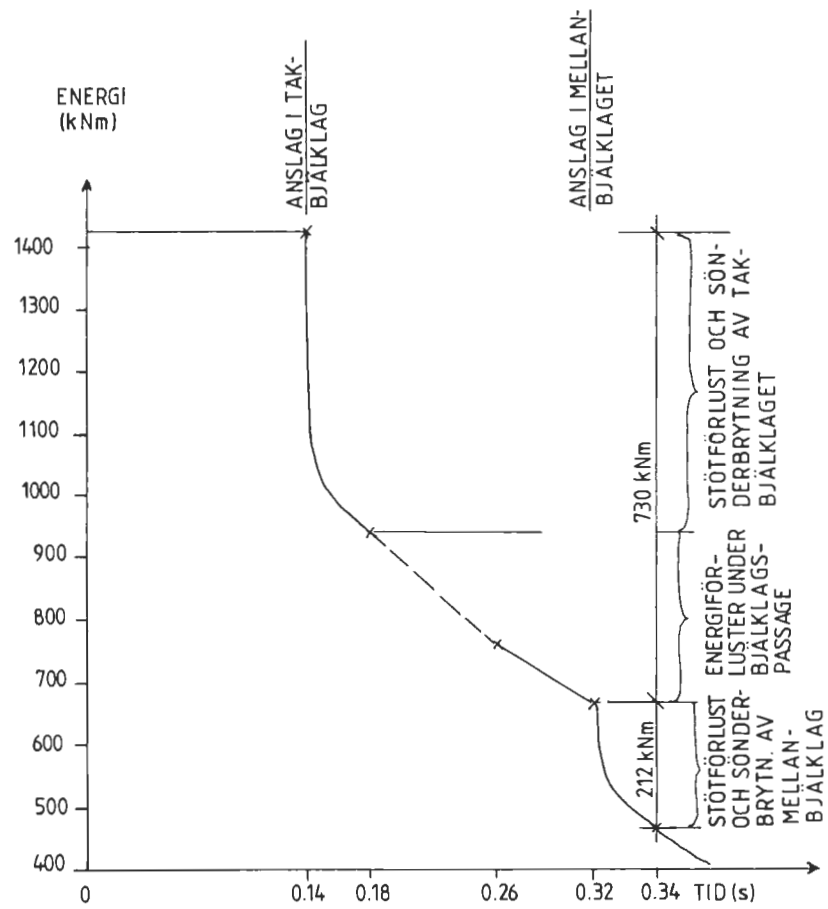
$$\frac{\text{Energiåtgång}}{\text{Skjuvkonens massa}} = \frac{730 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 10^3} \frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = 1200 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}}$$

Energiåtgång under och efter mellanbjälklagspassagen var 210 kNm inklusive stötförlust vid anslag.

Den teoretiska skjuvkonen antogs till 0,6 ton.

$$\frac{\text{Energiåtgång}}{\text{Skjuvkonens massa}} = \frac{210 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 10^3} \frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = 350 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}}$$

Det låga värdet här skulle nog varit högre om förloppet kunnat observeras fram till nästa bjälklagspassage.



FIGUR 32 Totalenergin, försök 4, för det system där fallkropp och skjuvkon ingår

BILAGOR

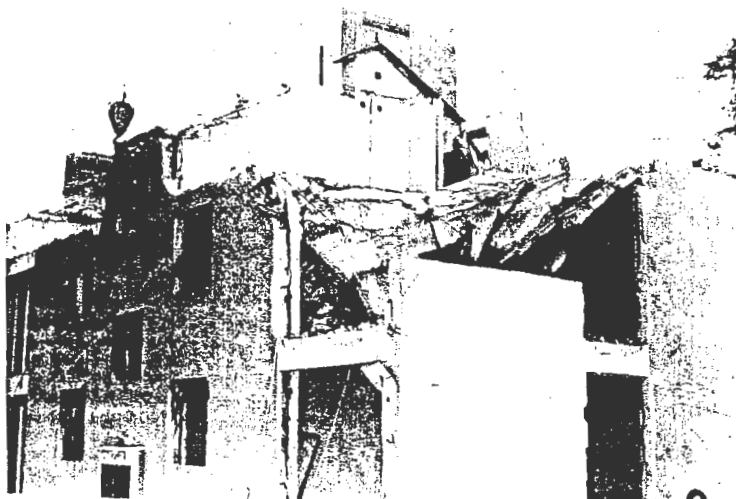
1. Foton och skisser på försök och skador.
 2. Läges- och hastighetsdiagram
 3. Provningsprotokoll över betong- och armeringsprovning
 4. Indata till teoretiska beräkningar rörande försök 1, platta 3, samt försök 4, platta 9.
- .

FOTON OCH SKISSER PÅ FÖRSÖK OCH SKADOR

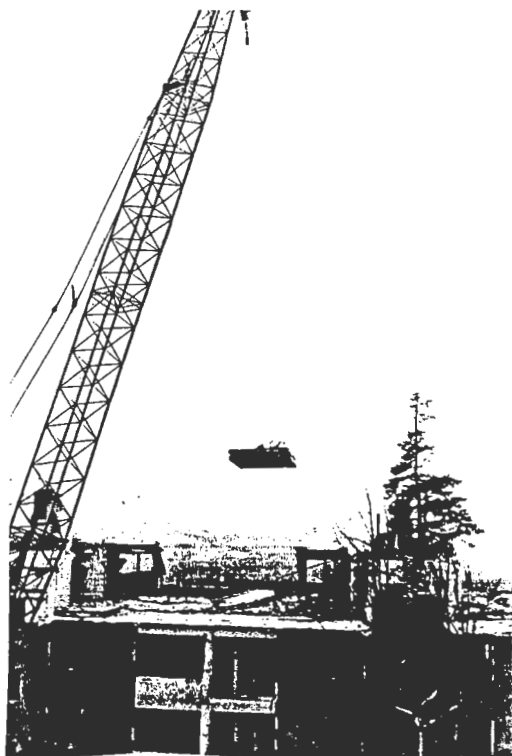
Foton och skisser från FOA'S inventering av byggnadernas konstruktion och skador samt foton tagna av Ove Hedman, SRV.



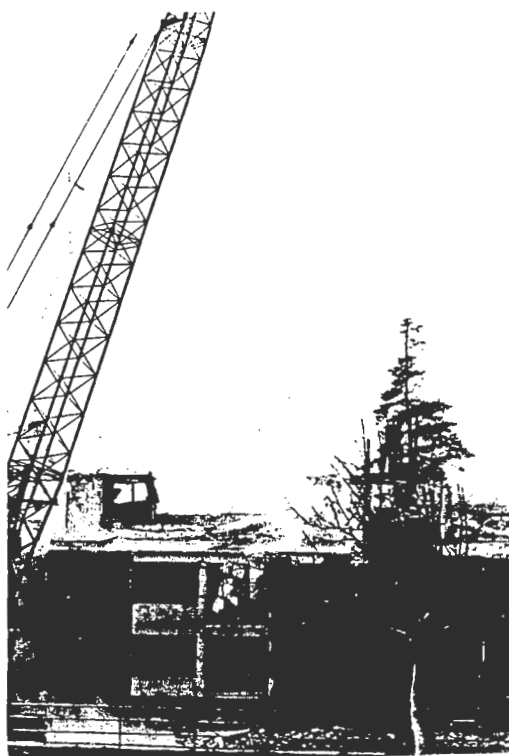
FIGUR 1 Hus 1 efter försöksförberedelserna



FIGUR 2 Försök 1, platta 3. Halva ytterväggen av lättbetong rasade ner på marken



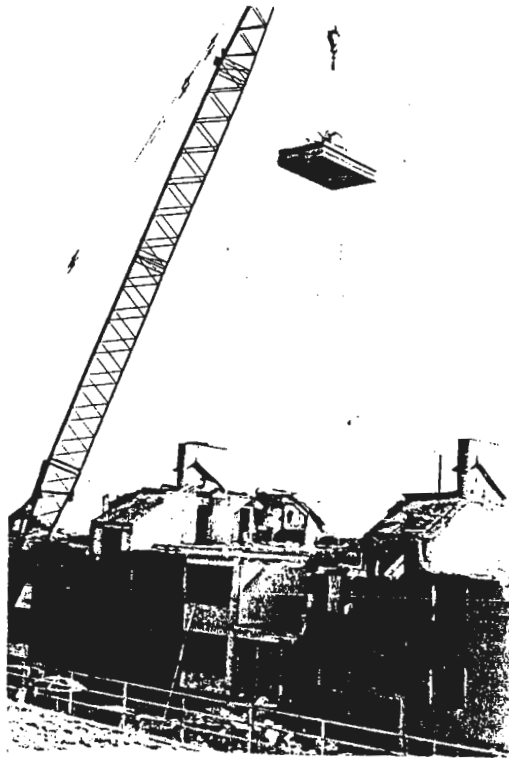
FIGUR 3 Försök 2, fallkroppen faller fritt.



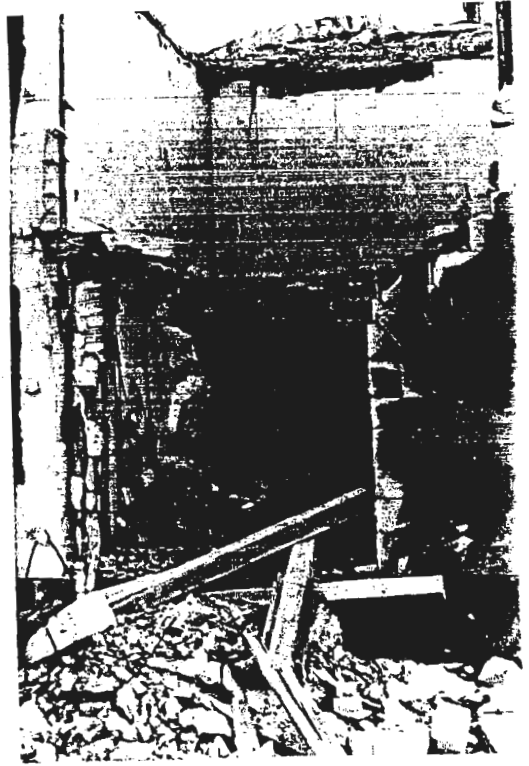
FIGUR 4 Försök 2 efter släppet.



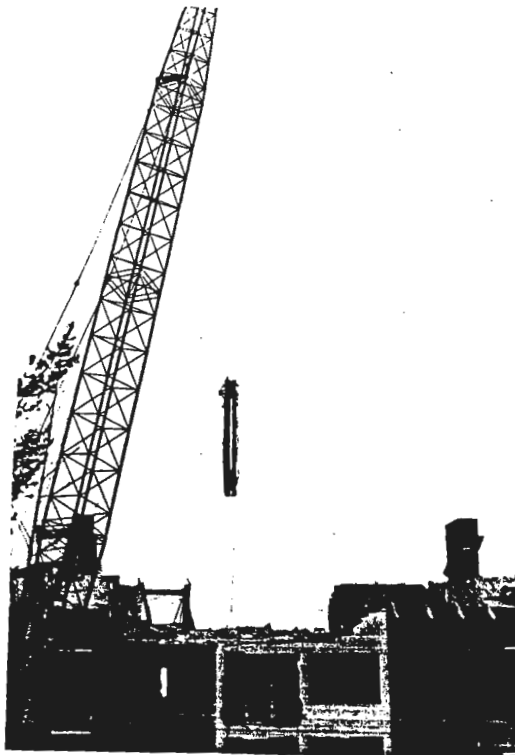
FIGUR 5 Försök 2, platta 6 sedd underifrån. En stor del av underkantsarmeringen har gått av.



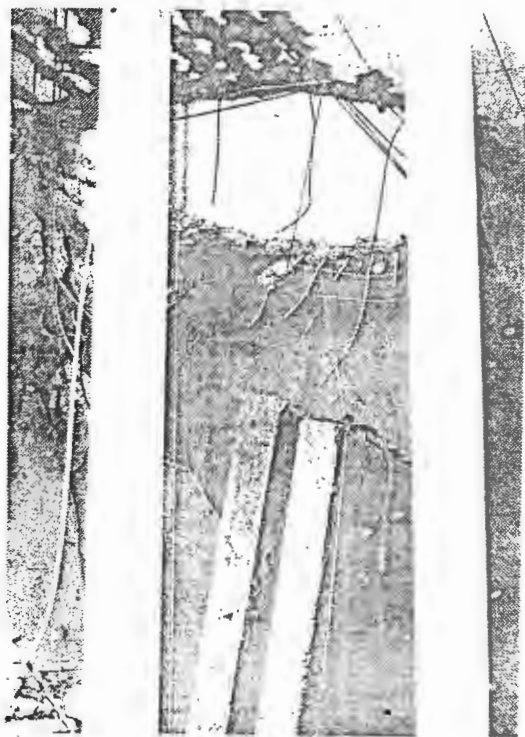
FIGUR 6 Försök 3, fallkroppen hänger i lyftkranen. Resterna av platta 6 är borttagna.



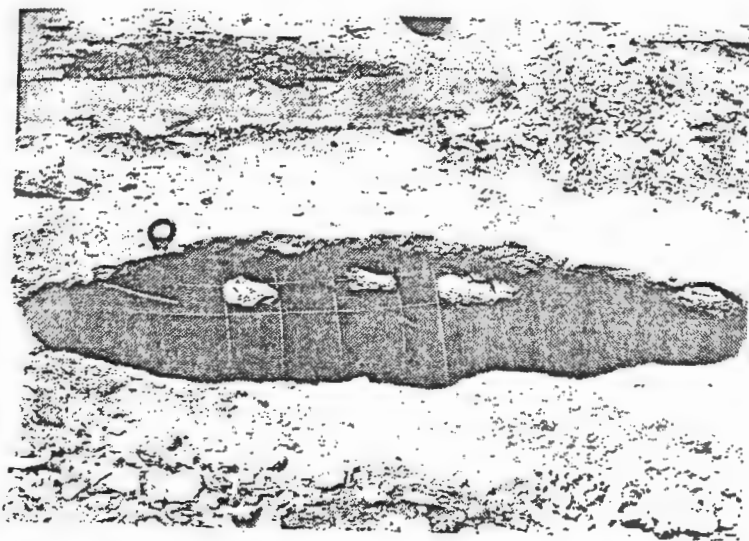
FIGUR 7 Försök 3, efter försöket.



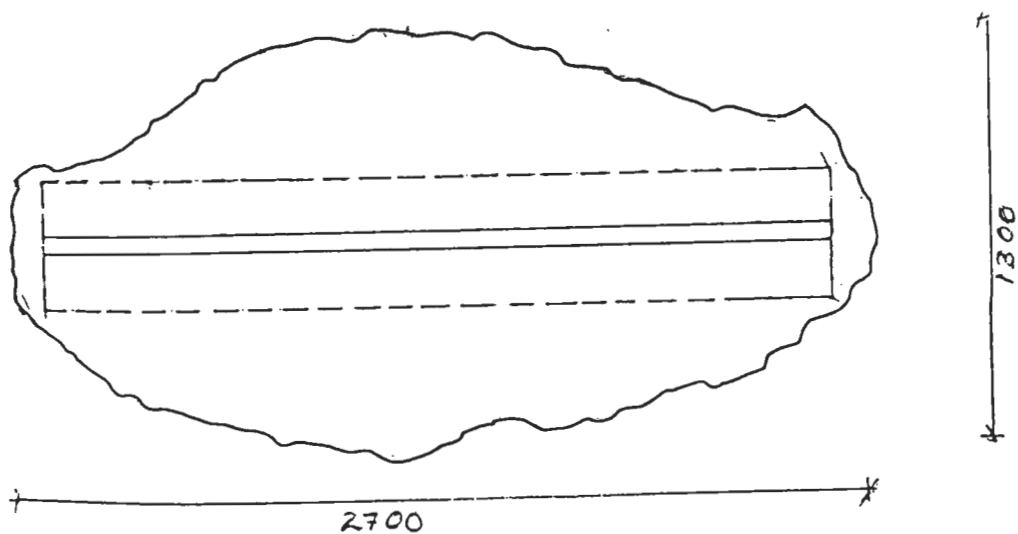
FIGUR 8 Försök 4. Fallkroppen faller fritt.



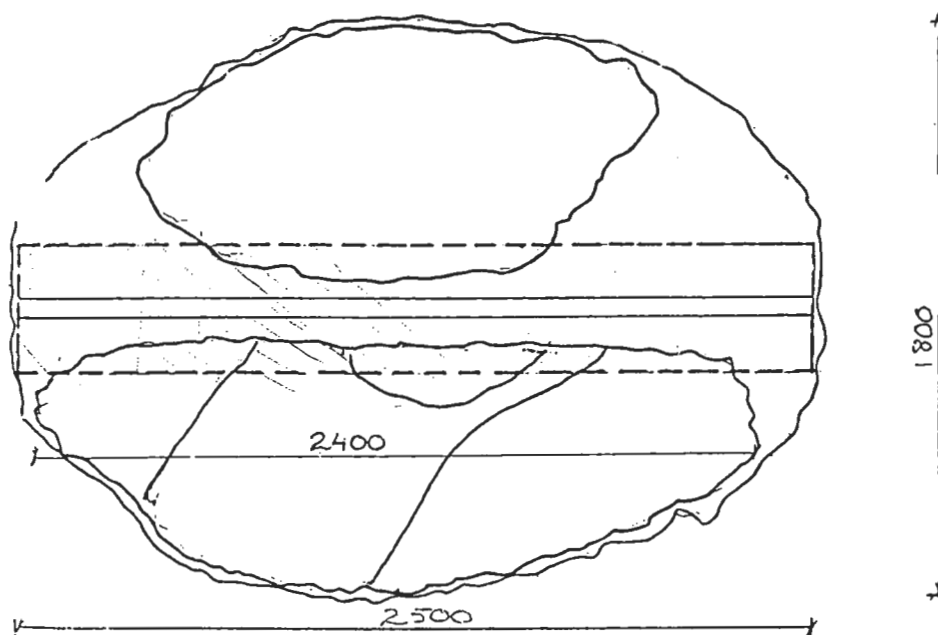
FIGUR 9 Försök 4. Fallkroppen gick igenom de tre bjälklagen och ställde sig på skyddsrumsgolvet.



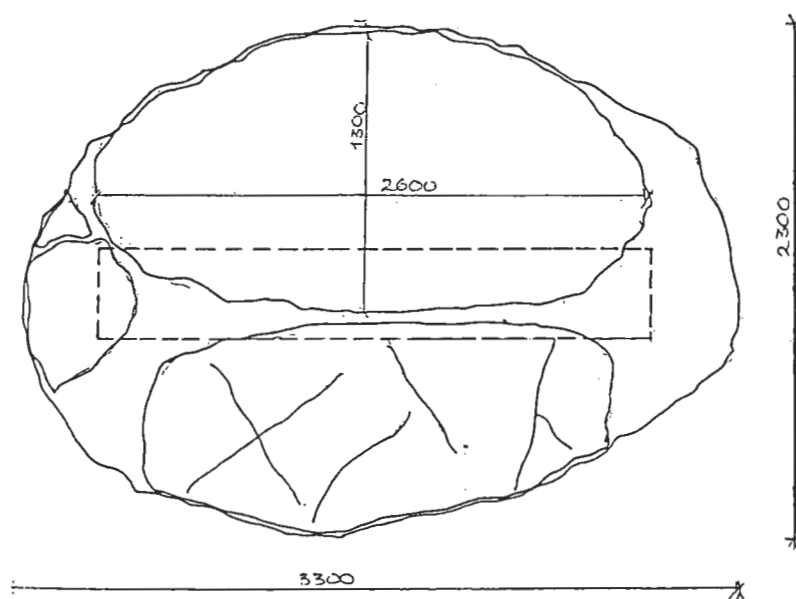
FIGUR 10 Försök 4, platta 9. Det översta hålet blev det minsta.



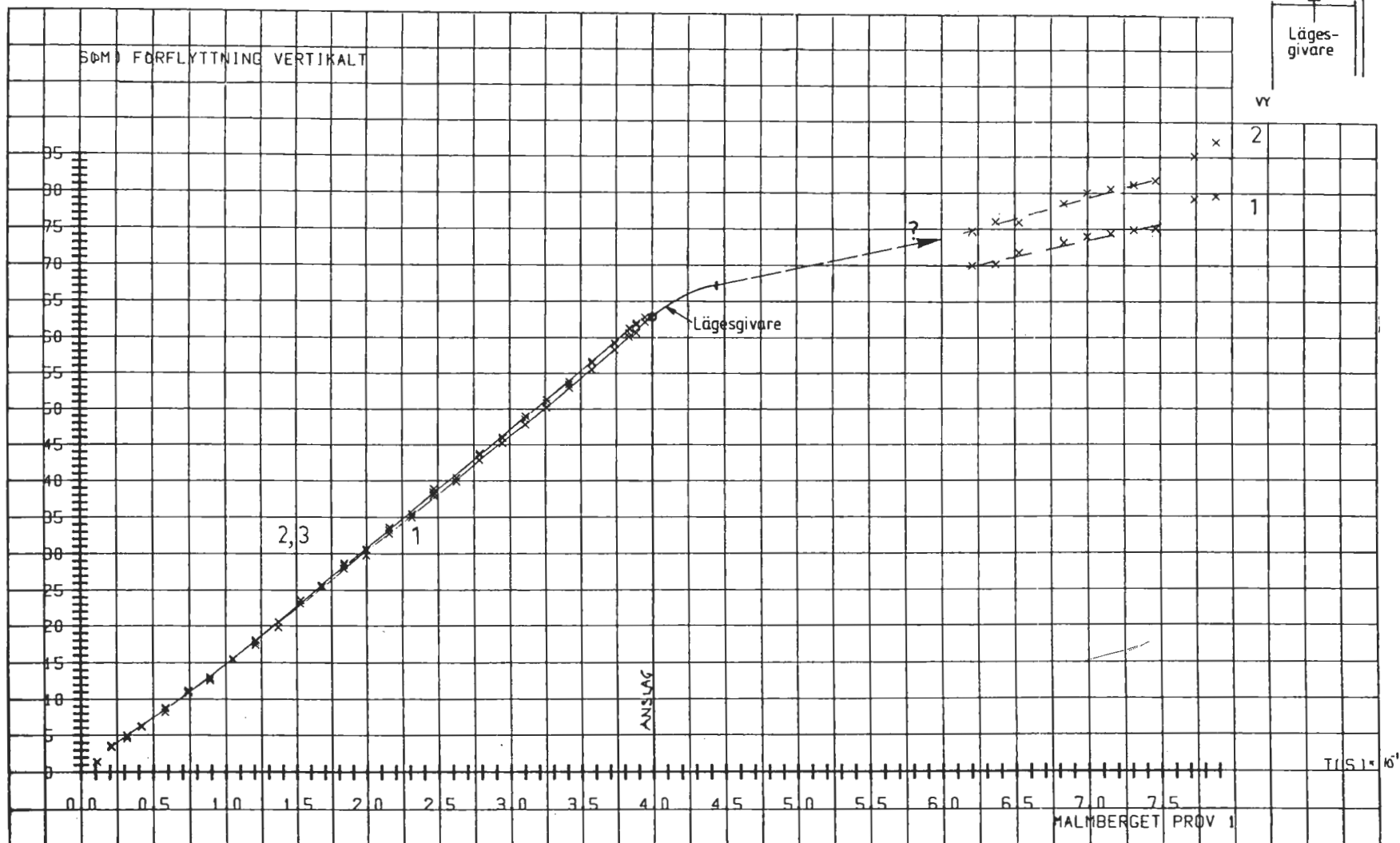
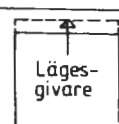
FIGUR 11 Försök 4, platta 9, storleken på hålet i bjälklaget. I längsled hade 3 armeringsjärn gått av och i tvärlä 11 stycken. Dessutom fanns ett antal järn i längsled som var skadade.



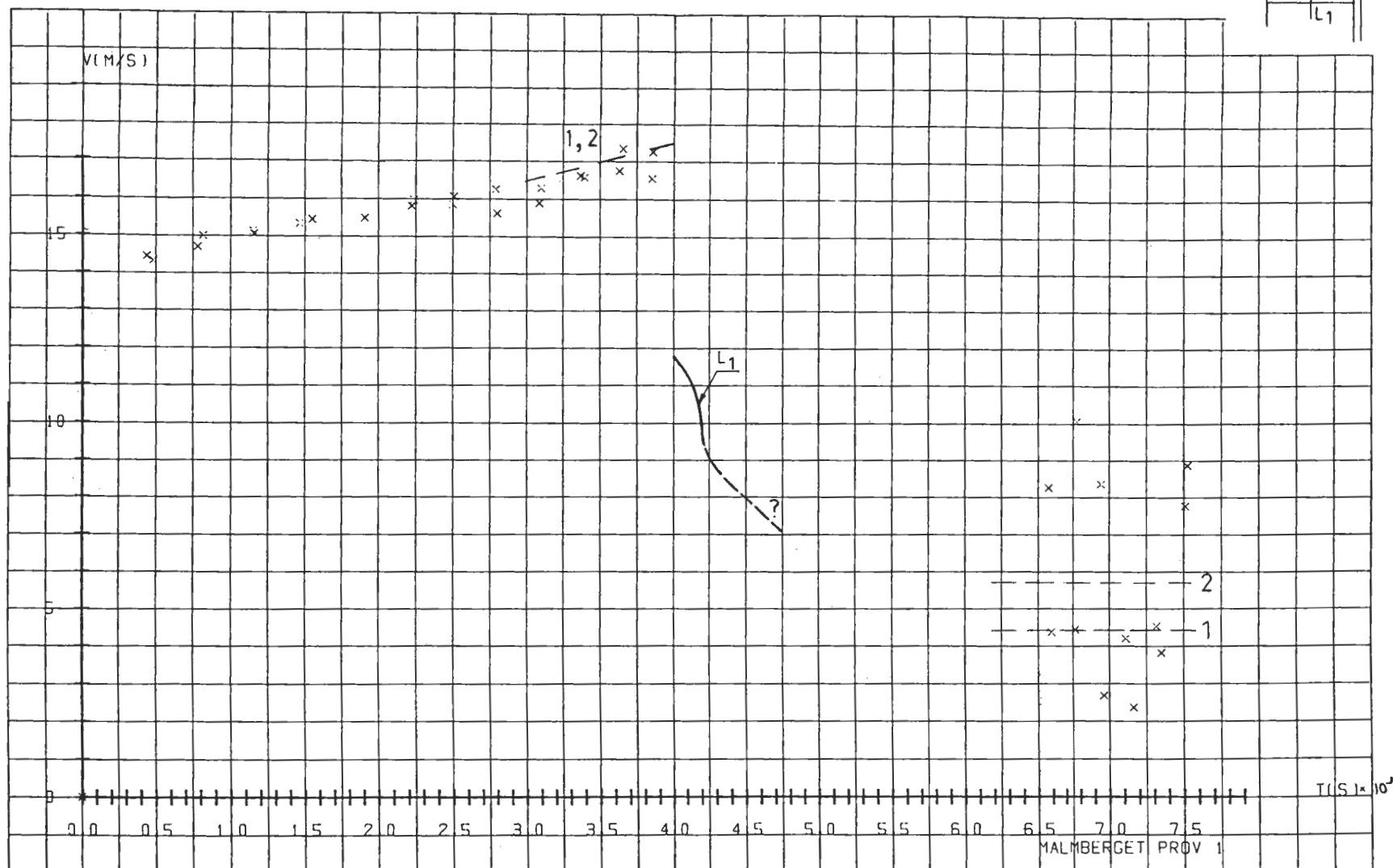
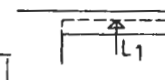
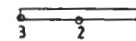
FIGUR 12 Försök 4, platta 8, hålets storlek i bjälklaget. De flesta armeringsjärnen gick av, 10 stycken i längsled. Stora sammanhängande betongklumpar hängde kvar i armeringen.

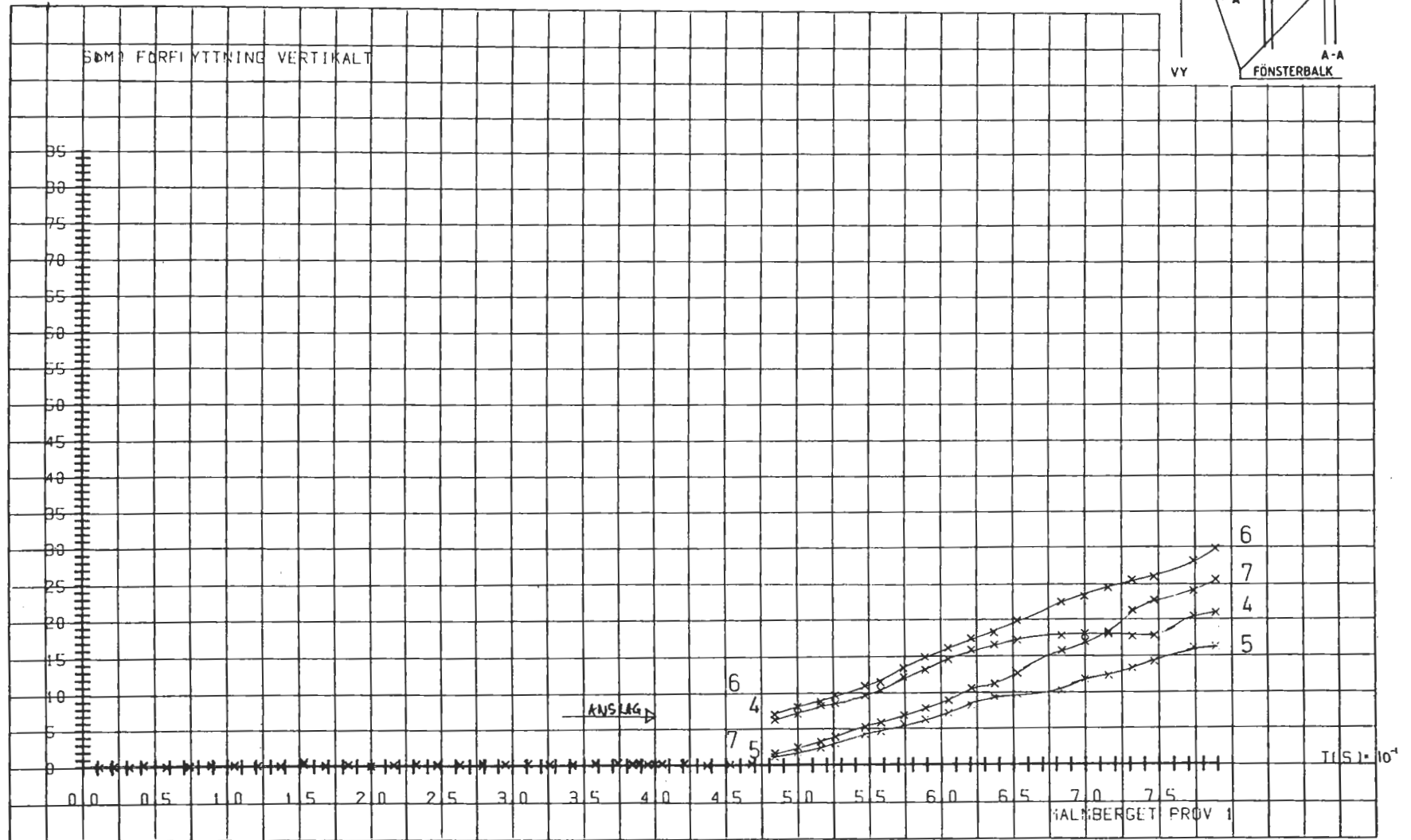
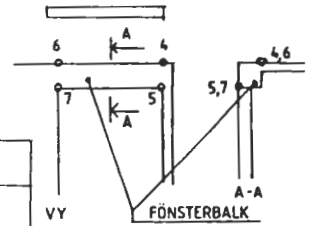


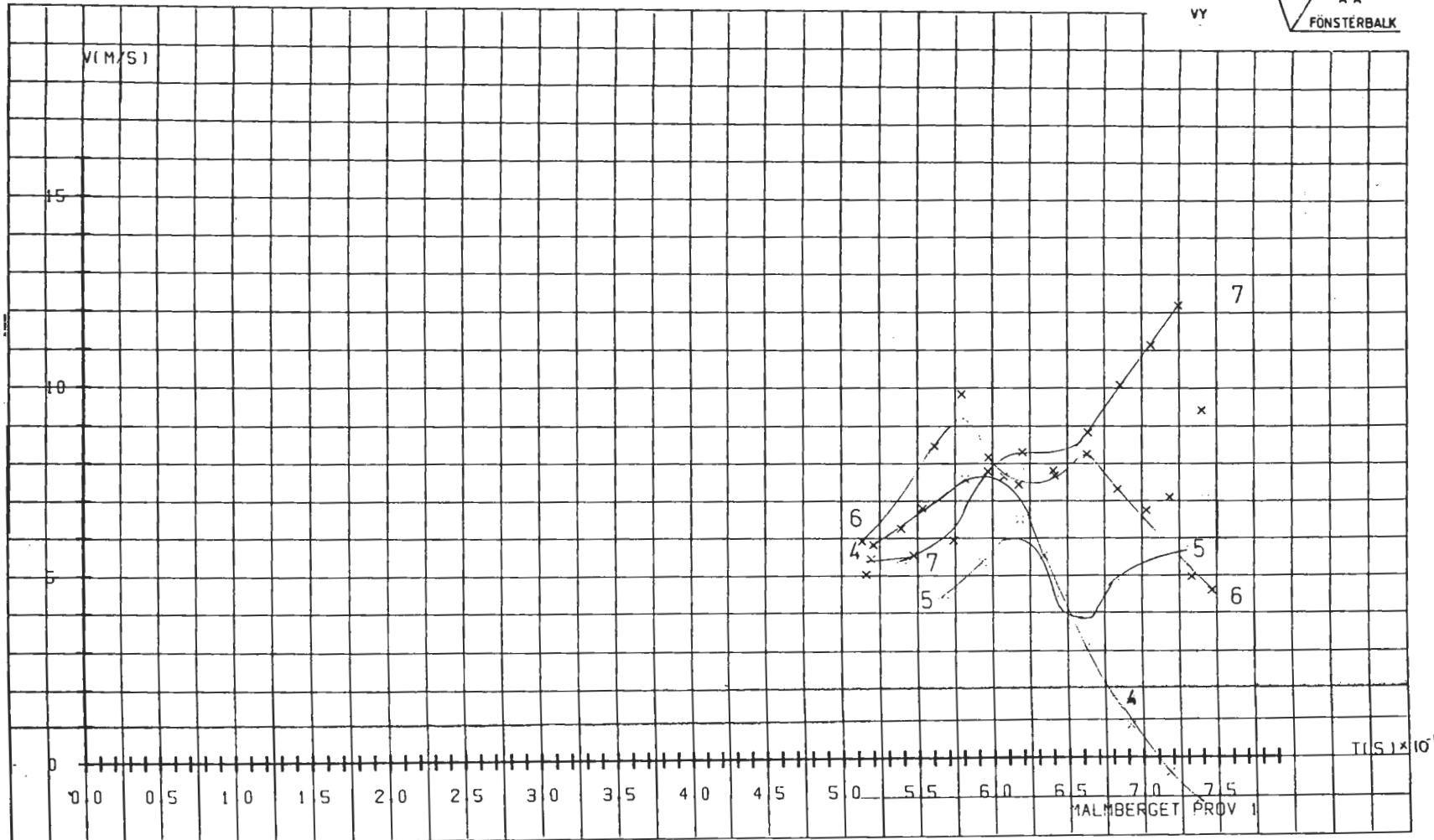
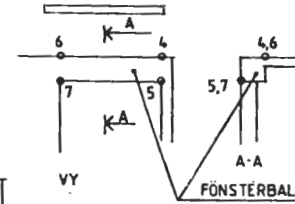
FIGUR 13 Försök 4, platta 7, skyddsrumstaket, fick vid genomslaget det största hålet. Det mesta av armeringen kom att hänga kvar i armeringen i två sjok, varav det ena mycket sprucket.

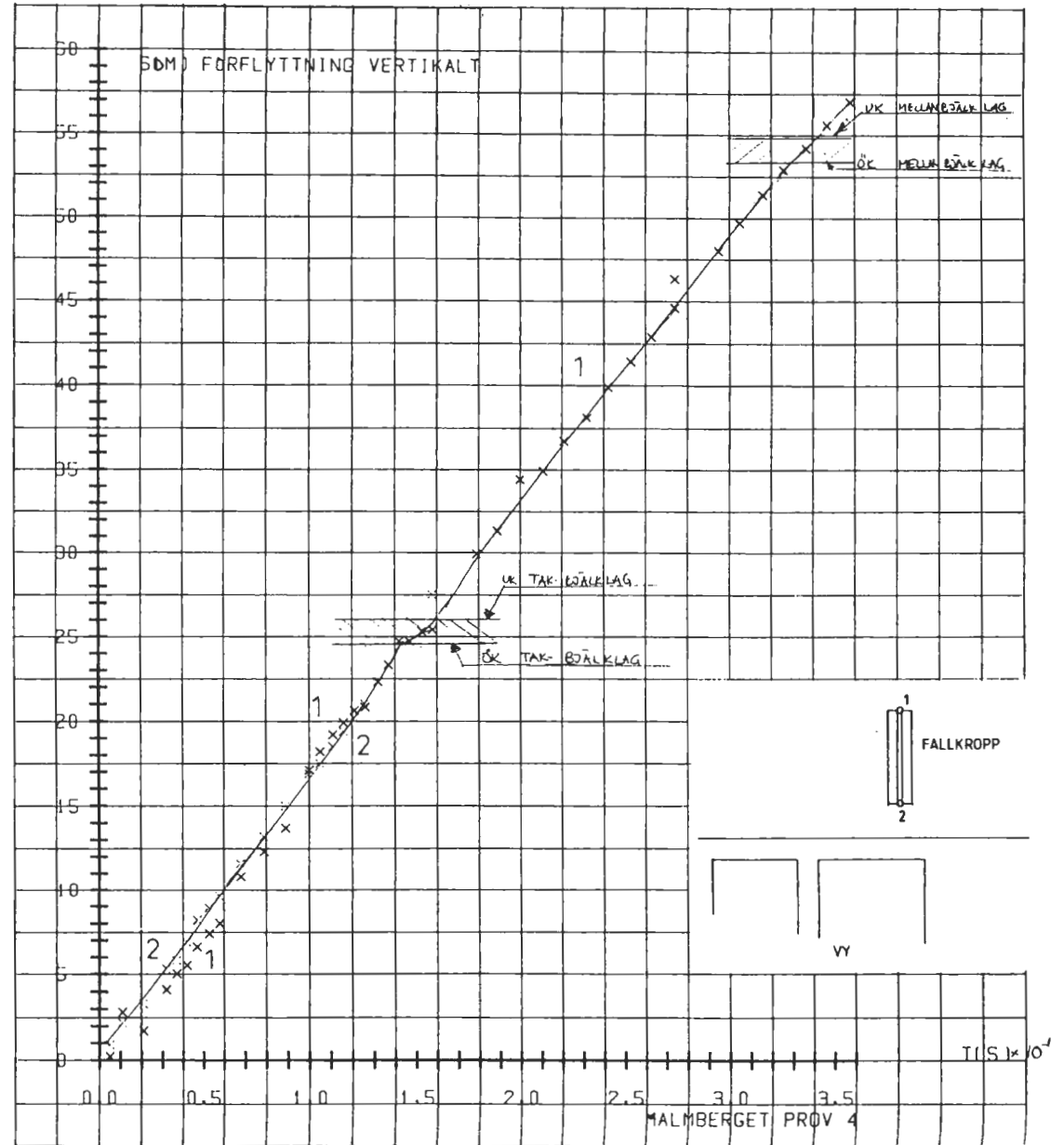


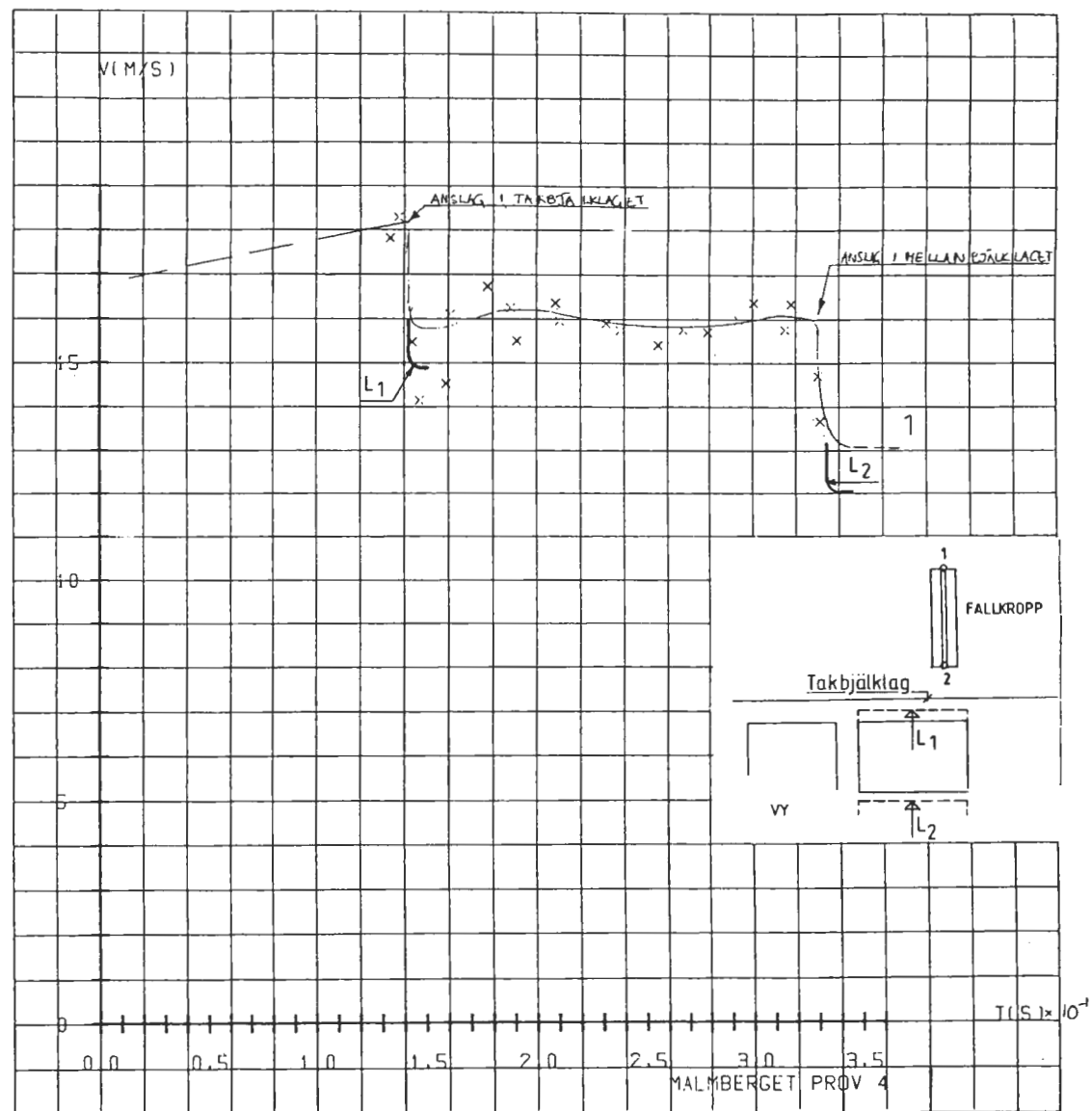
FALLKROPP













KUNGL.
TEKNISKA
HÖGSKOLAN

INSTITUTIONEN FÖR BYGGNADSTATIK

Handledare, direktor

Lars Andersson

Bilaga 3 1(5)

Datum

Stockholm 1984-09-03

Byrådirektör Ove Hedman
Civilförsvarsstyrelsen
Karolinen
651 80 KARLSTAD

Ang. försök i Malmberget, maj 1984

Översänder härmed provningsresultat av diverse material
uttagna från försökshusen i Malmberget.

De består av dragning av armeringsstänger, tryckning av
utborrade betongcylindrar samt tryckning av lättbetong-
kuber.

Några kommentarer till materialprovningarna:

1. Betongcylindrarna sågades först så att cylinderns höjd
blev lika med diametern. Därefter skedde avplaning med
Plastic Padding så att cylindrarnas ändtytor blev helt
parallella och släta. Provtryckning skedde sedan efter
hårdandet.
2. Många armeringsstänger uppvisade ett mer ovalt än runt
tvärsnitt. Den i protokollet angivna tvärsnittsytan
baseras på ett ekvivalent runt tvärsnitt med diametern
lika med medelvärdet av d_1 t o m d_2 . Detta gör att
beräknade sträckgräns- och brottgränsspänningar får tas
med en nypa salt.
3. Som framgår av protokollen saknar vissa armeringsstänger
undre sträckgräns. Det kan bero på att de under fall-
försök blivit så hårt belastade att de har kallbearbetats.
4. Ett antal cylindrar vägdes och mättes. Densiteten uppskatta-
des till ca 2350 kg/m³.

Med vänlig hälsning

Lars Andersson

Kopia: Asa Erkander, FOA

Postadress:
Kungl. Tekniska Högskolan
Inst. för byggnadsstatik
100 44 STOCKHOLM

Besöksadress:
Teknikringen 78

Telefon:
Direktval av områdes t.v.
Vx 08 - 757 70 00

Telegramsadress:
Technology

Postgiro:
1 56 53 - 0

DRAGPROV PÅ ARMERINGSSTÄNGER

Försök MALMBERGET

S_0 = ursprunglig tväryta

L_0 = ursprunglig mätlängd

L_u = slutlig mätlängd efter brott

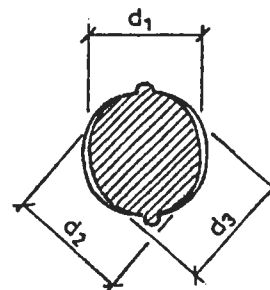
A_{200} = förlängning vid $L_0 = 200$ mm

F_{eL} = flytlast

R_{eL} = undre sträckgräns

F_m = maximal belastning

R_m = brottgräns



KORTA RÄKT
ÖVER RÄKANDE VÄRDE

BESECK. KVALITET LÖSNING	d_1 mm	d_2 mm	d_3 mm	S_0 mm ²	L_0 mm	L_u mm	A_{200} %	F_{eL} kN	R_{eL} MPa (N/mm ²)	F_m kN	R_m MPa (N/mm ²)
NEOREHUS BOL3 ÖK STÖDRETT	915	920	920	63.2	200	235	17.5	327	487	4785	712
ÖRE HUS BOL1 ÖK STÖDRETT	980	980	990	75.9	"	222	11.0	342	450	5240	690
ÖRE HUS BOL3 ÖK STÖD LÅNGA	980	995	985	76.5	"	235	17.5	325	425	4950	647
NEOREHUS BOL2 ÖK STÖD LÅNGA	900	940	900	65.5	"	230	15.0	324	484	4770	728
ÖRE HUS BOL2 ÖK STÖD LÅNGA	920	1000	980	76.5	"	220	10.0	326	426	4960	648
NEOREHUS BOL1 ÖK STÖD LÅNGA	940	900	915	66.2	"	240	20.0	347	524	4910	742
HUSA SKR ÖK VÄGA	900	915	915	65.0	"	230	15.0	332	510	476	732
NEOREHUS BOL3 ÖK STÖD LÅNGA	920	925	925	66.9	"	242	21.0	—	—	452	675
HUSA KR ÖK FASAD	875	885	885	61.0	"	226	13.0	335	549	474	777
NEOREHUS BOL2 ÖK STÖD KORTA	925	925	930	67.4	"	234	17.0	337	500	492	730
Medelvärde											

DRAGPROV PÅ ARMERINGSSTANGER

Försök MALMBERGET
 S_0 = ursprunglig tväryta

 L_0 = ursprunglig mätlängd

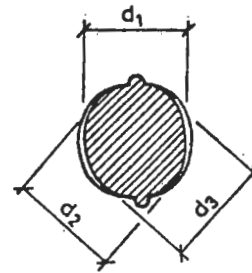
 L_u = slutlig mätlängd efter brott

 A_{200} = förlängning vid $L_0 = 200$ mm

 F_{eL} = flytlast

 R_{eL} = undre sträckgräns

 F_m = maximal belastning

 R_m = brottgräns


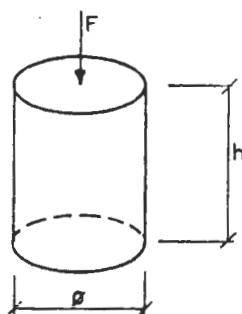
BETECK- KORTA NING	d_1 mm	d_2 mm	d_3 mm	S_0 mm ²	L_0 mm	L_u mm	A_{200} %	F_{eL} kN	R_{eL} MPa (N/mm ²)	F_m kN	R_m MPa (N/mm ²)
NEDRE HUS BOL 1 UK KORTA RÖR	685	820	820	47.2	200	228	14.0	240	508	335	708
ÖVERE HUS BOL 3 UK LÅNGA RÖR	690	760	760	40.7	"	228	14.0	25.4	624	340	835
NEDRE HUS BOL 2 UK KORTA RÖR	615	720	750	38.3	"	224	12.0	260	679	341	890
NEDRE HUS BOL 3 UK KORTA RÖR	620	660	680	33.5	"	200?	—	—	—	30.6	913
HUS A SKR UK KORTA RÖR	640	750	720	39.2	"	220	10.0	—	—	332	847
HUS A SKR UK LÅNGA RÖR	640	730	760	39.6	"	234	17.0	235	593	335	845
ÖVERE HUS BOL 2 UK KORTA RÖR	755	765	765	45.6	"	200?	3.0	—	—	338	741
ÖVERE HUS BOL 2 UK LÅNGA RÖR	775	785	775	47.6	"	212	6.0	218	458	308	647
ÖVERE HUS BOL 1 UK LÅNGA RÖR	750	750	770	44.2	"	218	9.0	230	520	325	736
ÖVERE HUS BOL 3 UK KORTA RÖR	735	720	755	43.0	"	200?	3.0	—	—	336	781
ÖVERE HUS BOL 1 UK KORTA RÖR	745	740	780	44.8	"	208	4.0	—	—	335	747
ÖVERE HUS BOL 3 UK LÅNGA RÖR	740	720	780	44.2	"	212	6.0	—	—	336	760
NEDRE HUS BOL 1 UK LÅNGA RÖR	670	750	750	41.1	"	236	18.0	248	603	340	827
Medelvärde											

Datum

24/884

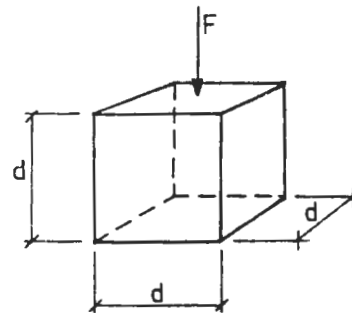
Sign

RM

CYLINDERHÅLLFASTHET HOS BETONGFörsök: MalmbergetProvningsdatum: 1984-08-23Utförd av: BM/LA

$$f_{cc} = \frac{F}{A}$$

	ϕ (mm)	h (mm)	A (mm ²) $\cdot 10^{-4}$	F (kN)	f_{cc} (MPa)
<u>Hus A</u>					
SKR. BJL	103	100	83.3	247.0	29.6
	101	100	80.1	192.5	24.0
	150.5	150	177.9	507.5	28.5
MELLANBJL	103	100	83.3	245.5	29.5
	103	100	83.3	334.5	40.1
ÖVRE BJL	103	100	83.3	306.5	36.8
	103.5	100	84.1	307.5	36.6
<u>Hus B</u>					
SKR. BJL	102.5	100	82.5	275.0	33.3
	102.5	100	82.5	342.5	41.5
MELLANBJL	103	100	83.3	357.0	42.8
	103	100	83.3	305.5	36.6
ÖVRE BJL	103	100	83.3	355.0	42.6
	103	100	83.3	404.5	48.5

KUBHALLFASTHET HOS LÄTTBETONG (YTONG)Försök: MalmbergetProvningsdatum: 1984-08-23Utförd av: BM/LA

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$f = \frac{F}{A}$$

Hus A	F (kN)	A (m ²) *10 ⁻⁴	f (MPa)	Massa (kg)	Densitet (kg/m ³)
VAN. 1	9.45	49.0	1.93	0.205	598
	8.98	49.0	1.83	0.204	595
	8.70	49.0	1.78	0.200	583
VAN. 2	10.6	49.0	2.16	0.233	679
	10.8	49.0	2.20	0.248	723
	11.2	49.0	2.28	0.235	685
	11.3	49.0	2.31	0.241	703

BILAGA 4

Indata till beräkningar av deformationer och deformations-hastigheter vid dynamisk påverkan, med hjälp av dataprogrammen BMOD, FALL och UTBR.

Försök 1, platta 3, indata till BMOD

Det finns inga uppgifter om materialkvaliteter och armering för platta 3, istället har platta 6 i samma hus antagits likvärdig. Max stukning för betong har satts till 0,7 % i enlighet med programbeskrivningen.

Gränstojningen i armeringen har beräknats som ett medelvärde ur provningsprotokollen för överkants- respektive underkantsarmering.

$$\begin{array}{lll} \text{ök-arm:} & \xi_g & 16 \% \\ \text{uk-arm:} & \xi_g & 11 \% \end{array}$$

Brottspänningen för betong har beräknats ur ett medelvärde av f_{cc} i provningsprotokollen $b = 1,2 \times 0,6 \times 36,7$ (MPa)

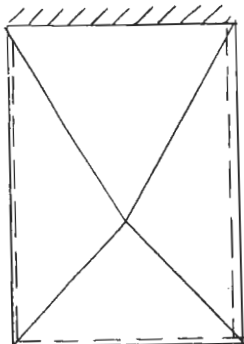
Flytspänningen för armeringen har beräknats ur ett medelvärde av R_{el} i provningsprotokollen.

$$\begin{array}{lll} \text{ök-arm:} & \sigma_y & = 2,3 \times 485 \text{ (MPa)} \\ \text{uk-arm:} & \sigma_y & = 1,2 \times 569 \text{ (MPa)} \end{array}$$

Brottspänningen för armeringen har beräknats ur ett medelvärde av R_{el} i provningsprotokollen.

$$\begin{array}{lll} \text{ök-arm:} & \sigma_g & = 1,2 \times 1,25 \times 485 \text{ (MPa)} \\ \text{uk-arm:} & \sigma_g & = 1,2 \times 1,25 \times 569 \text{ (MPa)} \end{array}$$

Armeringsinnehåll, effektiv plattjocklek och reducerad effektiv plattjocklek, se FIGUR 6.



FIGUR 4:1 Antagen brottfigur

Vid bestämning av deformationskonstant för "elastisk nedböjning", V , antas en punktlast i systempunkten.

Graden av valvverkan har varierats mellan 0,3 och 0.

Graden av membranverkan har varierats mellan 0,3 och 0.

Dynamisk påslagsfaktor för membranverkan har satts till 1,2.

Dynamisk påslagsfaktor för valvverkan har satts till 1,2.

Försök_1, platta_3, indata_till UTBR

Yttre dämpning mellan fallvikt och takplattan 500 MN.

Fallkroppens massa 4000 kg

Takplattans massa 6930 kg

Översättningskonstanter för enfrihetsgradsmodellen har beräknats både före och efter brott i fönsterbalken.

$$\alpha_{po} = 0,73$$

$$\alpha_m = 0,26$$

$$\alpha_p = 0,54$$

Dynamisk förstöringsfaktor till inre mothållande kraften, får antas vara hög då betong mot betong ger mycket snabba belastningar. Antag 1,5 eftersom den är fritt upplagd på tre respektive två sidor samt inspänd på en sida.

Försök_4, platta_9, indata_till BMOD

Max stukning för betong har satts till 0,7 % i enlighet med programbeskrivningen.

Gränstøjningen i armeringen har beräknats som ett medelvärde ur provningsprotokollen för överkants- respektive underkants-armering.

$$\begin{array}{ll} \text{ök-arm:} & \xi_g \sim 16 \% \\ \text{uk-arm:} & \xi_g \sim 11 \% \end{array}$$

Brottspänningen för betong har beräknats ur ett medelvärde av f_{cc} i provningsprotokollen $\sigma_b = 1,2 \times 0,6 \times 37,4$ (MPa)

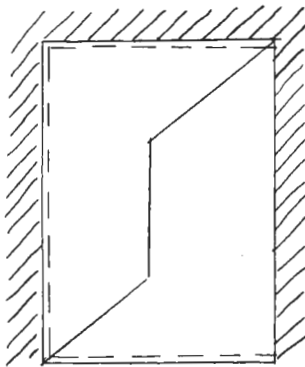
Flytspänningen för armeringen har beräknats ur ett medelvärde av R_{el} i provningsprotokollen.

$$\begin{aligned} \text{ök-arm: } \sigma_y &= 1,2 \times 485 \text{ (MPa)} \\ \text{uk-arm: } \sigma_y &= 1,2 \times 569 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

Brottspänningen för armeringen har beräknats ur ett medelvärde av R_{el} i provningsprotokollen.

$$\begin{aligned} \text{ök-arm: } \sigma_g &= 1,2 \times 1,25 \times 485 \text{ (MPa)} \\ \text{uk-arm: } \sigma_g &= 1,2 \times 1,25 \times 569 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

Armeringsinnehåll, effektiv plattjocklek och reducerad effektiv plattjocklek. se FIGUR 9.



FIGUR 4:2 Antagen brottfigur

Vid bestämning av deformationskonstant för "elastisk nedböjning", ψ , antas en punktlast i systempunkten.

Graden av valvverkan har varierats mellan 0,3 och 0,6.

Graden av membranverkan har varierats mellan 0,3 och 0,6.

Dynamisk påslagsfaktor för membranverkan har satts till 1,2 när graden av membranverkan satts till 0,3 samt 1,5 när graden av valvverkan satts till 0,6.

Dynamisk påslagsfaktor för valvverkan har satts till 1,2 när graden av valvverkan satts till 0,3, samt 1,5 när graden av valvverkan satts till 0,6.

Försök_4, platta_9, indata_till FALL_

Vid beräkning av arbetskurvan för skjuvning har σ_{kub} satts till 50 MPa.

Yttre dämpning mellan fallvikt och takplattan, 100 MN.

Inga chockdämpare.

Fallkroppens massa 8000 kg

Skjuvkonens massa 463 kg

Takplattans massa 6980 kg

Vinkeln mellan den utspjälkade underkantsarmeringen och horisontalplanet är 70°.

$$\alpha_{\text{po}} = 0,467 \quad \text{och} \quad \alpha_{\text{M}} = 0,163$$

Räddningsverkets bibliotek
Karlstad



26152003423

Beställningsnr: P 21 - 012 / 90



RÄDDNINGSS
VERKET

Ppa

Rasförloppsstudie