

RASFÖRLOPPSSTUDIE KORTEDALA SPRÄNGNINGSRIVNING

FOU RAPPORT P21-010/90



MSB Karlstad



2 6370 003543

STATENS
RÄDDNINGSVÄRK
Karolinen
651 80 Karlstad
Tfn 054-10 30 00

Beställningsnr: P 21 - 010 / 90

PPB
Rasförloppsstudie



RÄDDNINGSS
VERKET

**RASFÖRLOPPSSTUDIE
KORTEDALA
SPRÄNGNINGSRIVNING**



© 1990 Statens räddningsverk, Karlstad

Beställningsnr P 21 - 010/90
1990 års utgåva

Utgivare Statens Räddningsverk		Uppdragsgivare Statens Räddningsverk	
Författare Uno Dellgar och Inger Westling			
Titel Rasförloppsstudie Kortedala, sprängningsrivning			
Inom projekt			
Sammanfattning Studier genomförda i samband med sprängningsrivning av ett 10-vånings bostadshus i Kortedala. Husets stomme var utförd av platsgjuten betong med slät armering i bjälklagen och i huvudsak oarmerade väggar. I källaren fanns ett skyddsrum. Ett kilformat parti i husets nedre del sprängdes bort varvid husets övre delar fick falla fritt. 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 Rasförloppsstudium, rasförsök, raslast			
ISSN	Antal sidor 83	Datum 1990-06-29	
Övrigt			

FÖRORD

Rapporten innehåller redovisning av de studier som civilförsvarsstyrelsen genomfört i samband med sprängningsrivning, 1985-04-17 av ett 10-vånings bostadshus med adress Kvartsekselgatan 13 i kv Gaständaren, Kortedala.

Studierna är ett led i det pågående forskningsarbete som genomförs för att utöka kunskaperna kring byggnaders beteende vid överpåverkan och ge underlag till det tekniska normarbetet.

Projektansvarig har varit Ove Hedman, civilförsvarsstyrelsen och räddningsverket. Medverkande vid planering, genomförande och analys har varit Bernt Johansson, Bloms Ingenjörbyrå AB och Uno Dellgar, Tyréns Företagsgrupp AB. Uno Dellgar och Inger Westling, Tyréns har sammanställt rapporten. FOA och Statens Provningsanstalt har utfört höghastighetsfilmning. Lastmätningar har utförts av Statens Provningsanstalt.

STATENS RÄDDNINGSVÄRK
Tekniska enheten

INNEHÅLL	SID
Sammanfattning	3
Beskrivning av byggnaden och sprängningen	5
Försöksplattor	13
Stämpning i källare	16
Höghastighetsfilmning	18
Beskrivning av rasförloppet	21
Resultat från försöksplattorna	25
Resultat från stämpan	28
Resultat från höghastighetsfilmning	30
Rasmassornas fördelning	35
Röjningsarbetet	36
Studier av brottsnitt	37
Raslast	38
Bilagor	41

SAMMANFATTNING

Rasförloppsstudier har utförts i samband med sprängningsrivning av ett 10 våningar högt bostadshus. Husets stomme var utförd av platsgjuten betong med slät armering i bjälklagen och i huvudsak oarmerade väggar.

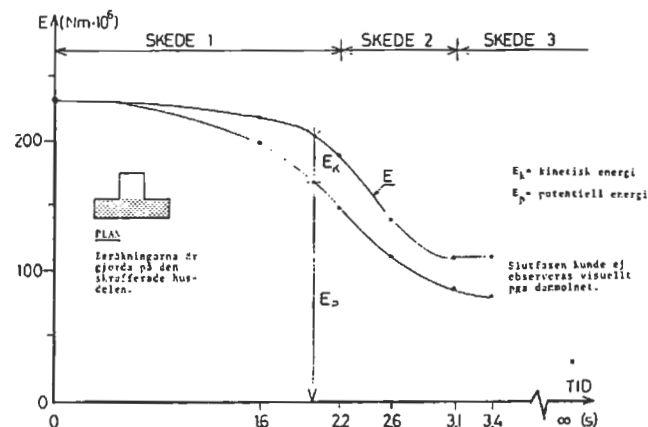
Ett kilformat parti i husets nedre del sprängdes bort varvid husets övre delar fick falla fritt.

Det bortsprängda partiet sprängdes i intervall varvid hela sprängningen tog cirka 1,9 sekunder från första till sista delsprängning.

Under tiden sprängning pågick roterade husets övre delar kring kvarvarande bäring för att sedan övergå till ren vertikal rörelse medan konstruktionen bröts sönder nerifrån. Mot slutet av raset bröts huset sönder i sin helhet.

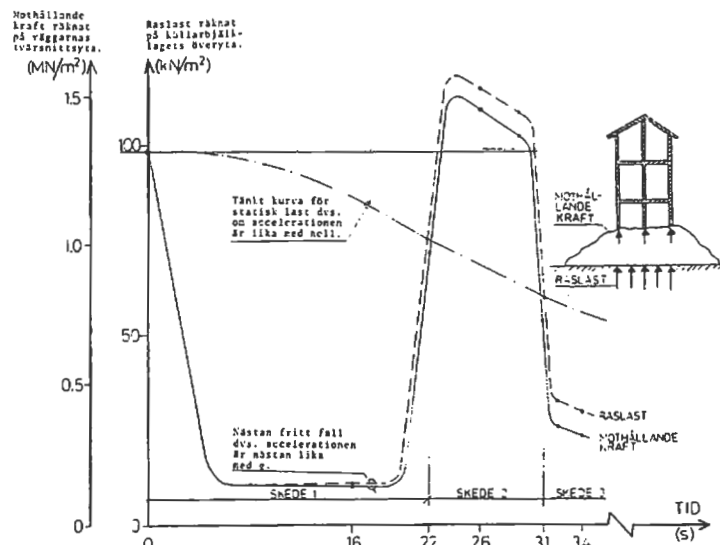
De övre delarna utvecklade från början nästan ett fritt fall under rotationsrörelser utan större motstånd nerifrån. När det bortsprängda snittet tryckts ihop började en kraftig inbromsning utan att processen avstannade. Mot slutet av raset minskade mothållet när huset bröts sönder så att fallhastigheten åter ökade.

Läges- och rörelseenergin för hela huset över källaren varierade under rasförloppet enligt FIGUR 1. Slutfasen av raset kunde ej observeras visuellt eftersom dammoln bildades.



Figur 1

Den mothållande kraften på väggytan samt raslasten på den ursprungliga husytan varierade under rasförloppet enligt FIGUR 2.



FIGUR 41

Kraften blev i slutfasen liten på grund av att stora delar av rasmassorna hamnade utanför den ursprungliga husytan. Som mest var raslasten i medeltal över husytan endast cirka 20 % högre än den ursprungliga statiska lasten. Dock förekom betydande variationer över ytan beroende på var väggarna hos det fallande huset träffade underlaget.

BESKRIVNING AV BYGGNADEN OCH SPRÄNGNINGEN

Byggnaden

Rivningsobjektet var ett bostadshus uppfört 1954.

Antal våningar 10

Byggnadshöjd ca 33 m

Byggnadsyta (byggnadens projektion på marken) ca 272 m²

Byggnadsvolym ca 8160 m³

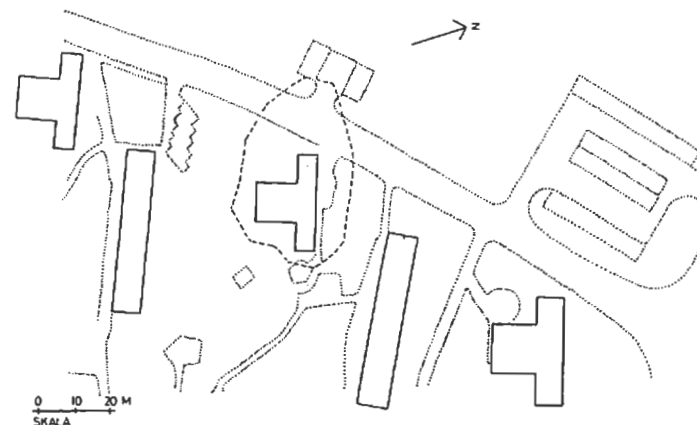
Beräknad vikt ca 2000 ton enligt tidiga beräkningar. Konstruktionsuppgifter enligt nedan tyder på att vikten var ca 2800 ton ovan källartakets överkant.

Stommen bestod av platsgjuten betong med slät armering i underkant på bjälklagen och oarmerade väggar.

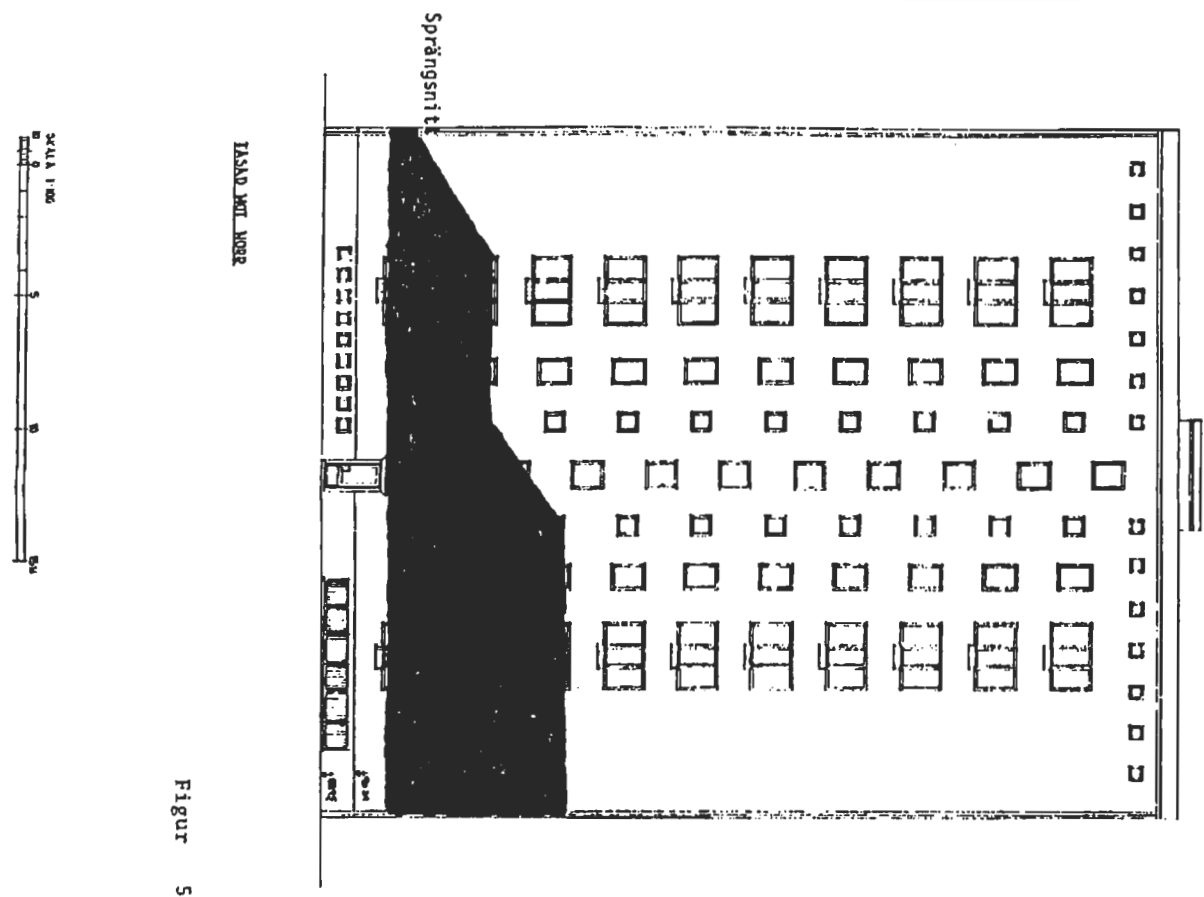
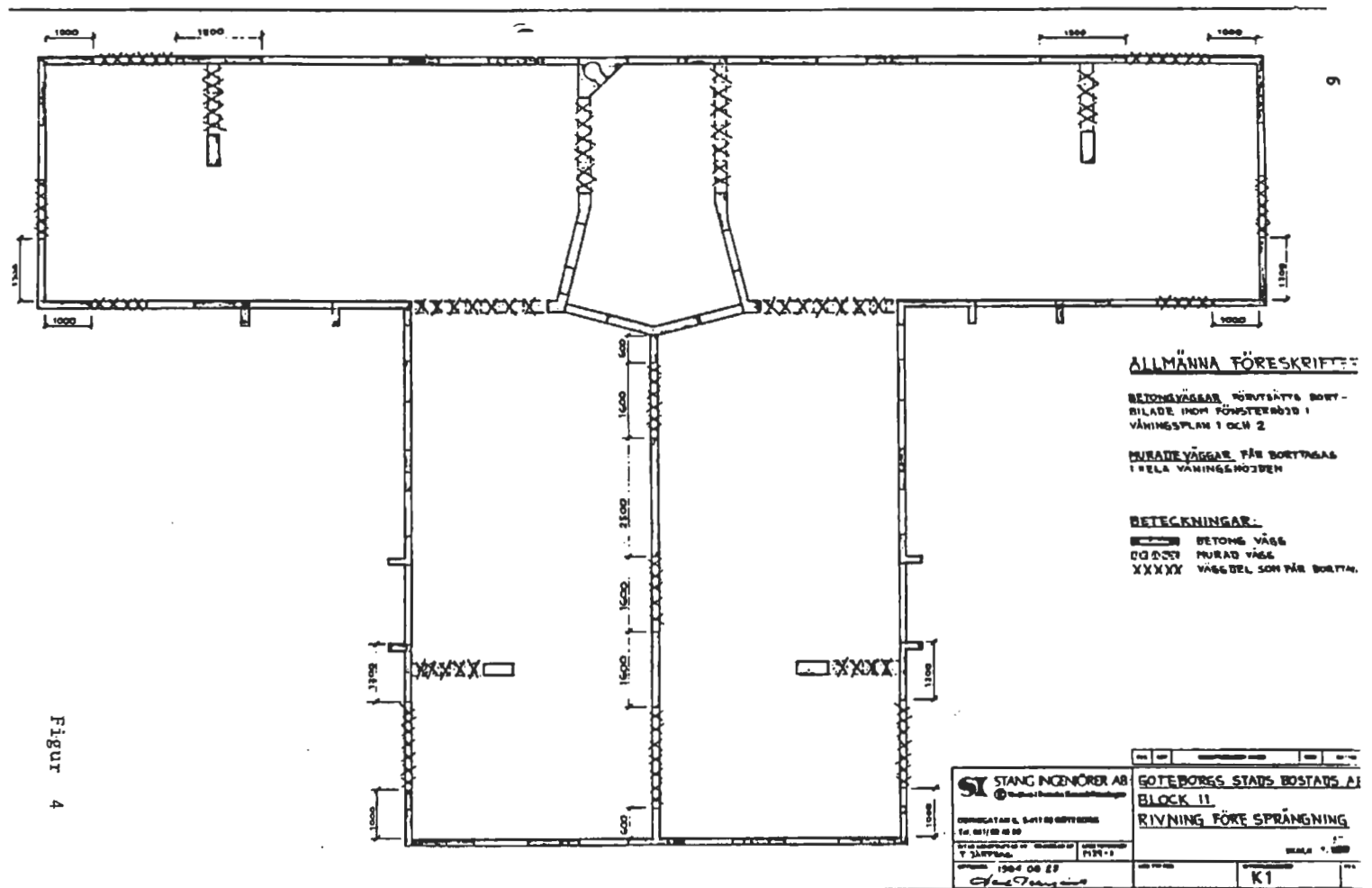
Bjälklagstjocklek över skyddsrummet var 200 mm och i våningsbjälklagen 140-160 mm. I våningarna bestod övergolvet av flytande golv med parkett på ca 150 mm sand.

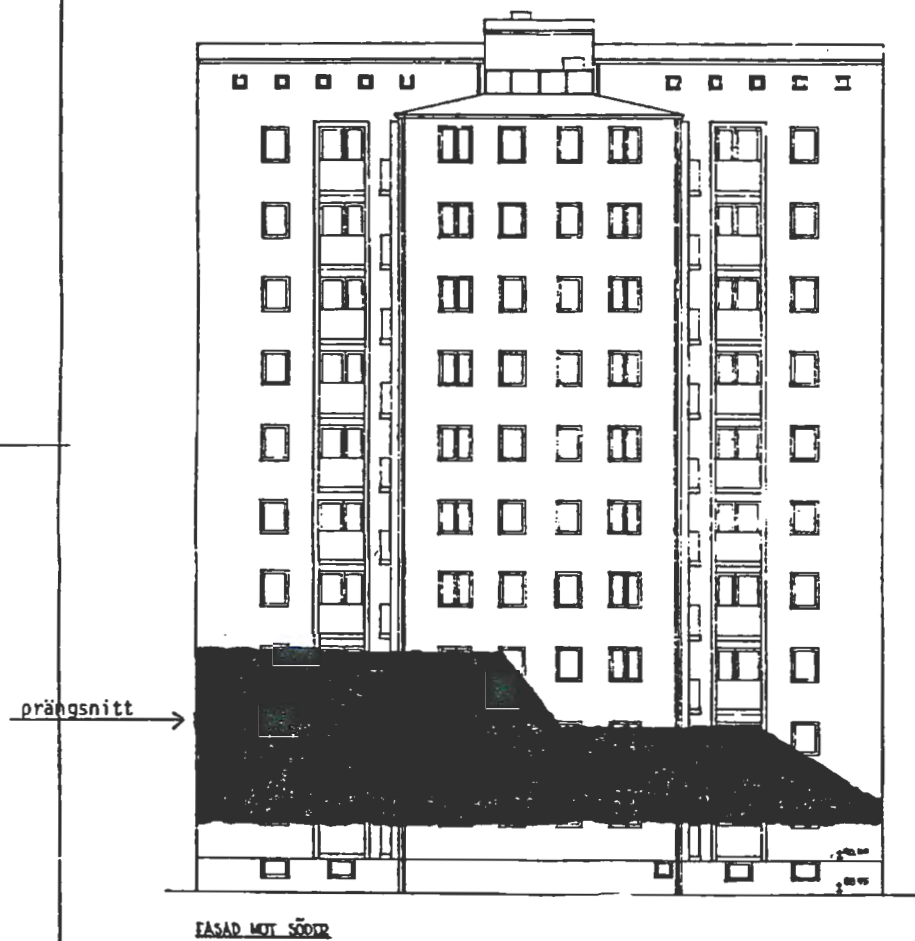
Ytterväggarna bestod av 150 mm betong, utvändig isolering av 125 mm gasbetong och fasadplattor (typ Sidiplattor) på reglar. Fasadplattorna monterades ned före sprängningsrivningen. De bärande innerväggarna bestod av 150 mm betong.

Figurerna 3-7 visar huset i plan och fasad.



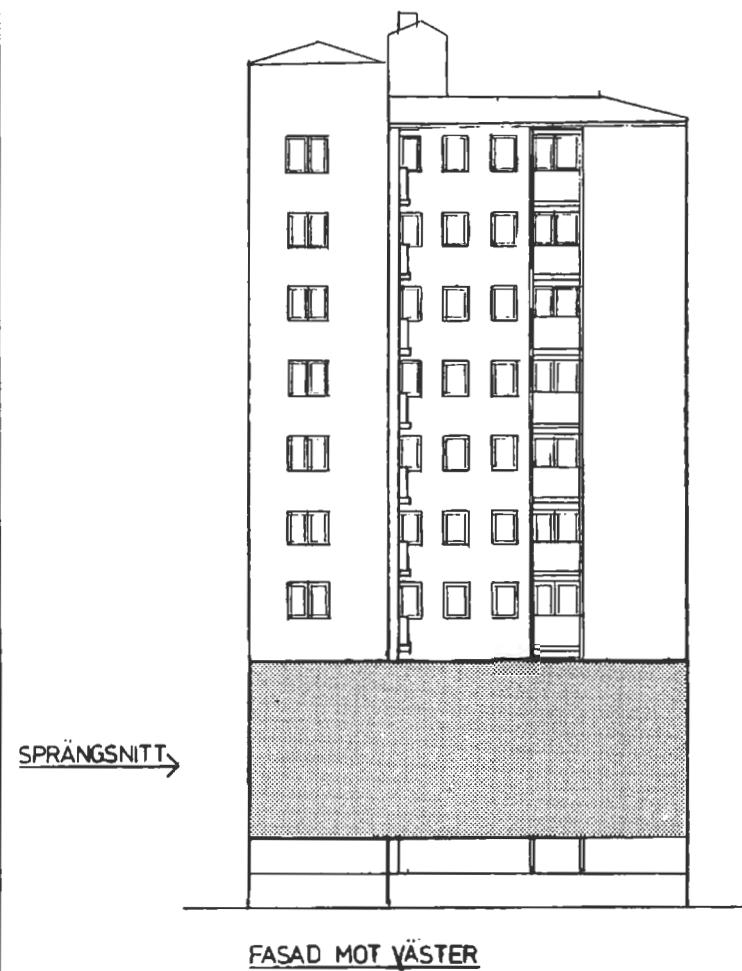
Figur 3





Figur 6

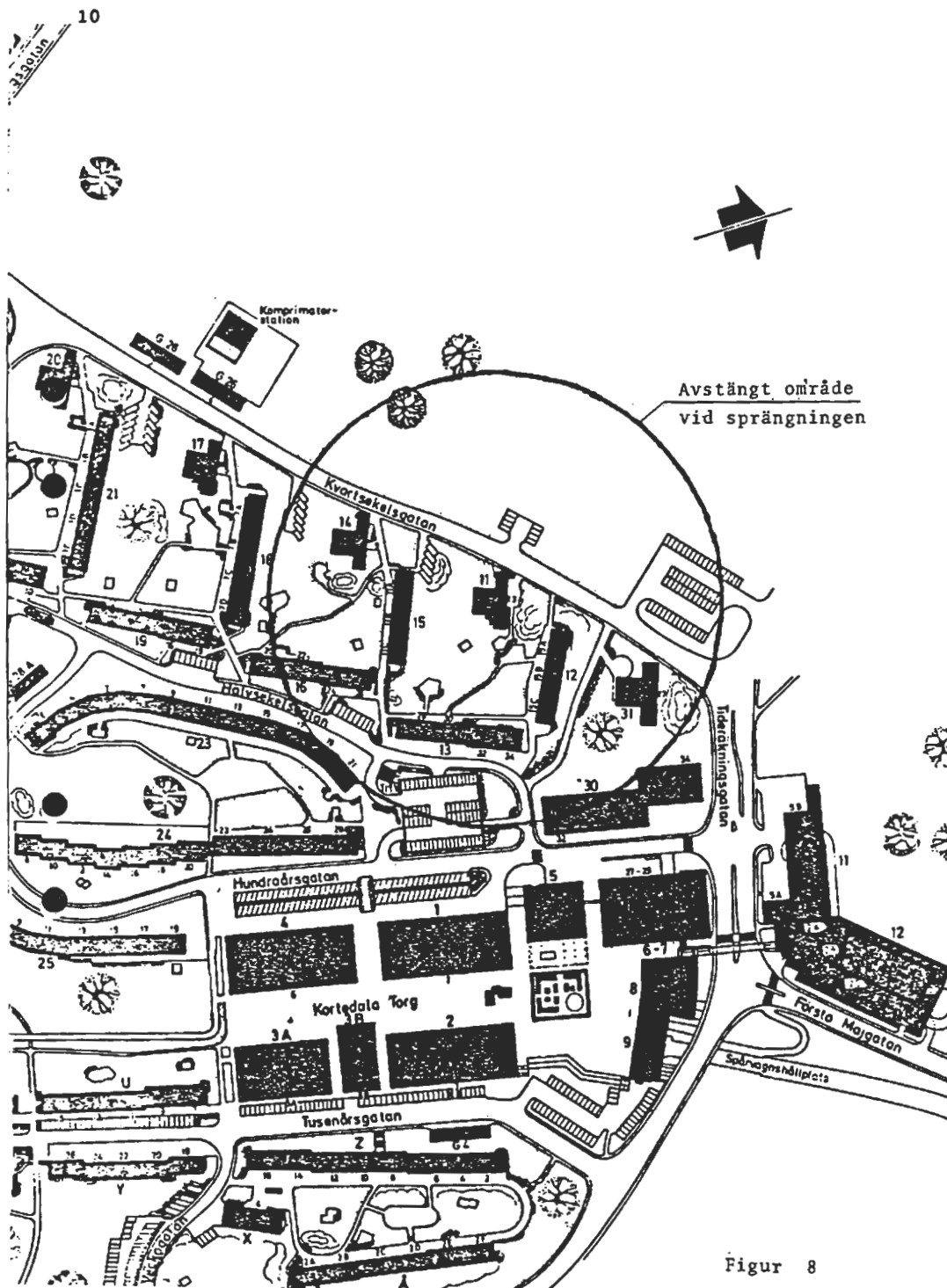
SKALA 1:100



0 5 10 M

SKALA

FIGUR 7



Figur 8

Rivningsmetod

Vid val av rivningsmetod bedömdes husets höjd och konstruktion vara lämplig för sprängning. Erfarenheter saknades dock i Sverige från sprängningsrivning av bostadshus med denna storlek och med stomme av platsgjuten betong.

Denna rivningsmetod innebär att man med sprängning åstadkommer ett snitt av sådan höjd att byggnadens egen vikt förmår bryta sönder konstruktionen till hanterbara massor.

Sprängsnittets höjd bör omfatta 2-3 våningar för att åstadkomma fullgod säkerhet med avseende på fallriktning och fallhastighet. Vid sprängning av tunna konstruktioner i betong (< 25 cm) erfordras ofta en tät borrning som innebär ett stort antal borrhål.

För att nedbringa antalet borrhål och erforderlig laddning har konstruktionen beräknats med avseende på möjligheten att i förväg ta upp öppningar i mellanväggar och ytterväggar i de våningsplan där snitt skall läggas, (våningsplanen 1-3).

Antalet borrhål var 3000 st. Total laddningsmängd var 90 kg Dxm med 25-40 g i varje borrhål.

Borrhålen placerades i vertikala rader med inbördes avstånd ca 300 mm.

Sprängningen skedde i 77 intervall med tidsförskjutningen 25/1000 sekund mellan varje intervall.

Tidsskillnaden mellan sprängning i första hålraden som låg närmast Kvartersegatan och sista hålraden var således 1,9 sekunder.

Principer för sprängsnittets placering framgår av FIGUR 5-7. Ansvarig för sprängningen var Nitro Consult AB.

Vibrationer

Vid rivning åstadkommes vibrationer från fallande massor oberoende av rivningsmetod. Vid sprängningsrivning kan man bortse från de vibrationer som uppstår vid detonationen och som överförs genom byggnadsstommen till omgivande mark och byggnader.

Luftstöt vågor

Sprängningsrivning medför ofta tryckvågor av två skilda typer som man måste ta hänsyn till

- Tryckvågor från detonerade laddningar

- Tryckvågor från i byggnaden innesluten luft som pressas ut när byggnaden faller samman. (Effekten av dessa tryckvågor varierar starkt beroende av byggnadens typ och konstruktion).

Tryckvågor från detonationen kan reduceras genom laddningens inneslutningsgrad och av den mängd sprängämne som tillåtes detonera samtidigt.

Skyddsåtgärder

Information

Information till boende i området ordnades genom Göteborgs Bostads AB:s försorg. Informationen omfattade det område som antogs bli berört av rivningsarbetena.

Besiktningar

Närliggande fastigheter inom ett område upp till 100 meter från rivningsobjektet besiktigades med avseende på eventuella skador på fasader och fönster.

Utrymningsområde

I anslutning till sprängning informerades alla boende inom utrymningsområdet. Förslag till avstängningar, se FIGUR 8.

Avstängningar

I samband med sprängningen avstängdes parkeringsplatser och gatumark. Avstängningsområdets storlek och erforderlig tid för denna avstängning bestämdes i samråd med berörda parter.

Gatumark och parkering inom det område som berördes av rivningsmassor skyddades med ett täckskikt bestående av ca 0,4 m sand.

Ledningar i mark belägna inom det område som berördes av rivningsmassor avstängdes där så ansågs erforderligt. Gatubelysning demonterades.

Högspänningsledning väster om Kvartsekelsgatan beräknades ej bli berörd, men området under ledningen närmast avstängningsområdet avspärrades som en säkerhetsåtgärd.

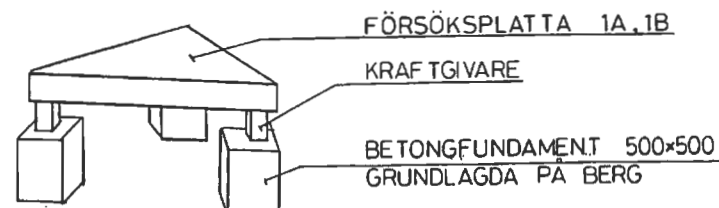
Vattenfall kontaktades om eventuella åtgärder. Inga skador på ledningen inträffade.

FÖRSÖKSPLATTOR

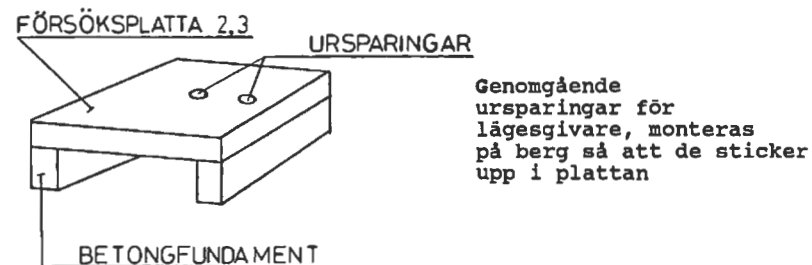
För att studera last och deformation under rasförloppet placerades fyra armerade betongplattor strax utanför huslivet, se FIGUR 11.

Försöksplattorna bestod av 2 st triangulära starka plattor för direkt lastmätning och 2 st rektangulära svagare plattor för last- och energimätning via deformationsmätning.

De två triangelformade plattorna 1A och 1B lades upp på kraftgivare en i varje upplagspunkt. Lasten mäts med trådtöjningsgivare på kraftgivaren och 2 mätvärden erhöles för varje givare. Kraftgivarna mäter last som en funktion av tiden. Den triangulära formen valdes för att få statistiskt bestämda upplag. Se FIGUR 9 och 12.



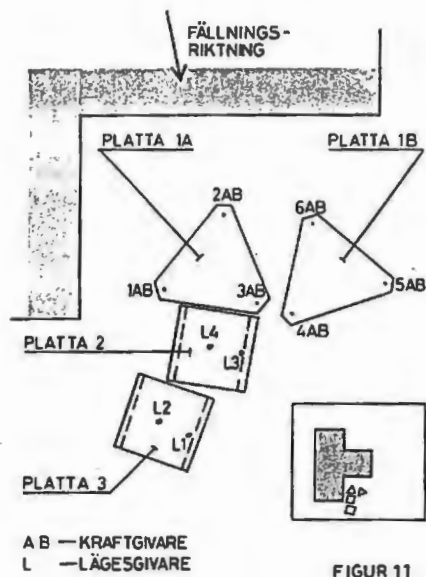
FIGUR 9



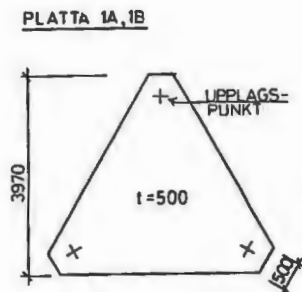
FIGUR 10

De två kvadratiske plattorna, 2 och 3, lades upp på långsmala betongfundament grundlagda på berg och dimensionerades så att raslasten om möjligt skulle orsaka brott. Se FIGUR 10 och 13.

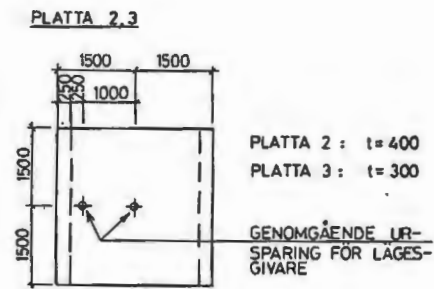
Platta 2 dimensionerades för 120 kN/m² + egenvikt och platta 3 dimensionerades för 70 kN/m² + egenvikt. Båda plattorna försågs med lägesgivare, se FIGUR 11, vilka skulle mäta deformationer.



FIGUR 11

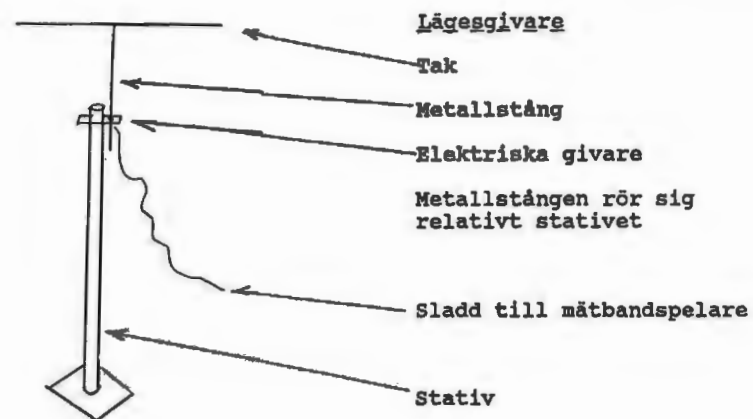


FIGUR 12



FIGUR 13

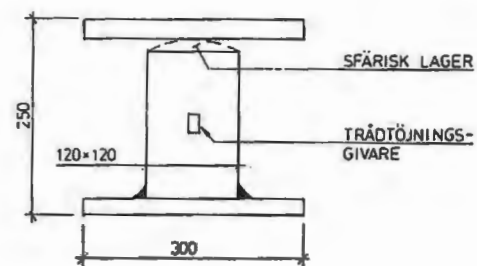
Kort beskrivning av lägesgivare och kraftgivare samt deras funktion



FIGUR 14

Kraftgivare

Används som upplag, mäter lasten.



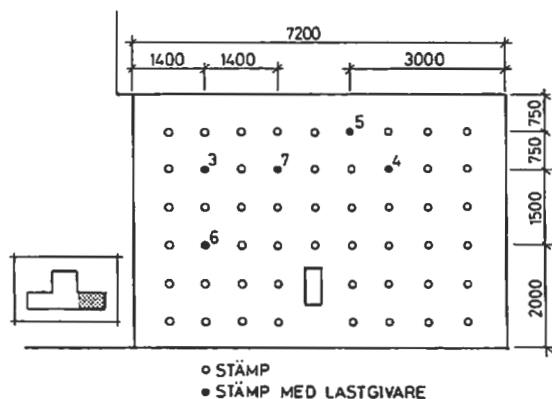
FIGUR 15

STÄMPNING I KÄLLARE

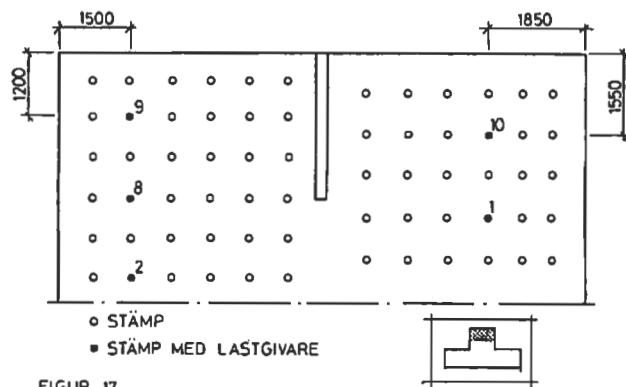
(Stämp: En provisorisk pelare som används på byggen för att stötta t ex bjälklag under byggnadstiden)

Stämpningen hade gjorts på uppdrag av fastighetsägaren/byggherren för att om möjligt bevara källarvåningen. Val av stämp samt dess placering, se FIGUR 16-17 kunde därför inte påverkas av Forskningsgruppen. Stämpan som användes var av en typ vilken nyttjas till att stämpa upp våningsbjälklag på byggarbetsplatser. Avståndet mellan stämpan kom att bli nog så ungefärligt.

Forskningsgruppen gavs tillfälle att utföra mätningar med trådtöjningsgivare, se FIGUR 18 på stämp för att registrera laster på dem. Tillåten last på stämpan var 24 kN och brottlasten var ca 48 kN. Stämpan bestod av rör $\varnothing$ 61 med sprintar $\varnothing$ 16, se FIGUR 19.

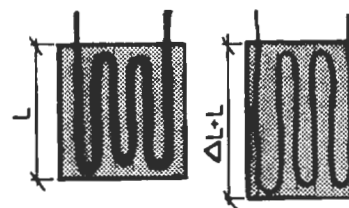


FIGUR 16



FIGUR 17

Kort beskrivning av trådtöjningsgivare och dess funktion

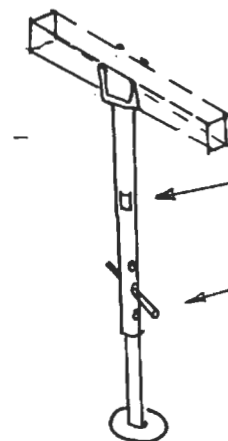


Mäter såväl töjning som sammantryckning.

När den frimärksstora metallfolien, fastklistrad på mätobjektet, töjs förändras resistansen. Mätningen sker relativt en likadan obelastad givare fastklistrad på likadant underlag.

Skala 1:1

FIGUR 18



Bockrygg, träregel

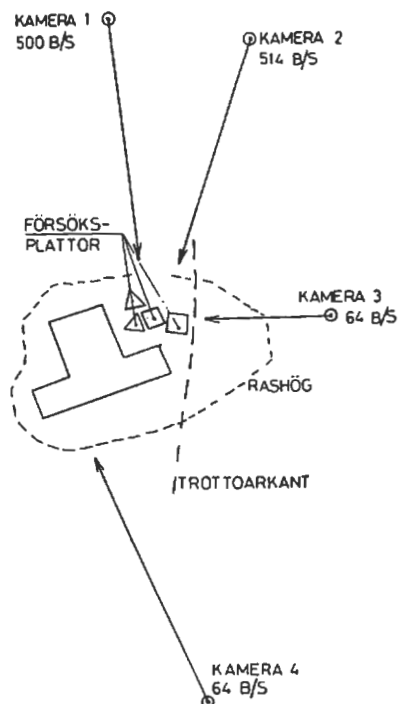
Trådtöjningsgivare

Sprint

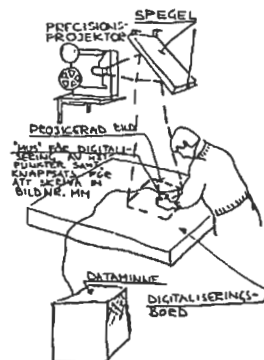
STÄMP MED TRÅDTÖJNINGSGIVARE

FIGUR 19

HÖGHASTIGHETSFILMNING



FIGUR 20



FIGUR 21a

Rasförloppet filmades med fyra 16 mm höghastighetskameror, ca 500 respektive 64 bilder/sekund, placerade runt huset. Se FIGUR 20.

Syftet var att med filmens hjälp bestämma enskilda husdelars läge och hastighet under rasförloppet, för att därur beräkna den energiupptagande förmågan hos konstruktionen.

Punkter på fasaderna samt kamerornas lägen mättes in noggrant före sprängningen.

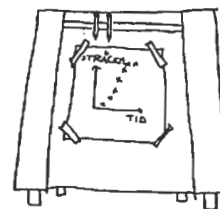
Kamera 3 placerades så att den huvudsakligen skulle filma försöksplattorna under rasförloppet. Förutom de fyra kamerorna utomhus placerades även två höghastighetskameror i de stämplade källarutrymmena.

Filmen analyseras bild för bild.

Bestämda mätpunkter på motivet t ex fönsterhörn, registreras i varje bild på ett digitaliseringsbord, se FIGUR 21a. För att få rätt skala och för att korrigera för att kameran inte står vinkelrätt mot motivet så registreras även referenspunkter vilkas läge i verkligheten är kända



FIGUR 21b



FIGUR 21c

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

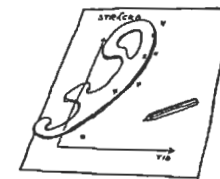
Resultatet från datakörningen ritas upp maskinellt. På den horisontella axeln redovisas tiden och på den vertikala redovisas mätpunkternas vertikala läge. Data fås även i tabellform.

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

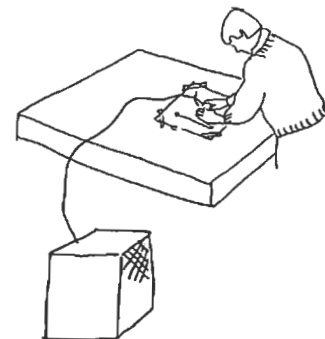
En datorritad kurva kan bli hoppig på grund av mätfel eller så utjämnad att verkliga diskontinuiteten ej syns.

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

Diagrammen med de inritade kurvorna tejpas fast på digitaliseringsbordet. Med musen digitaliseras punktvis diagrammets axlar, samt de för hand inritade kurvorna.



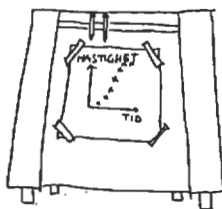
FIGUR 21d



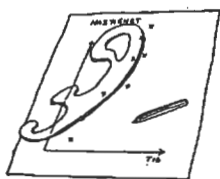
FIGUR 21e



FIGUR 21f



FIGUR 19g



FIGUR 21h

ENERGI	= $\frac{1}{2} mv^2$
RÖRELSE	
ENERGI	= mgh
LÄGE	
ENERGI = ENERGI + ENERGI	
TOTAL	RÖRELSE LÄGE

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

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

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

I det dataritade diagrammet inritas för hand kontinuerliga kurvor.

Med uppgifter om ingående systemdelars massa tillsammans med uppgifter om tid/läge samt tid/hastighet kan läges- och rörelse-energi samt totalenergin för systemet beräknas.

BESKRIVNING AV RASFÖRLOPPET

Sprängningen i husets nedre delar tog 1,9 sekunder och började närmast gatan. Tryckvågen och spränggaserna satte presenningen kring de nedersta våningarna i rörelse. Tiden $t=0$ är satt till bilden innan presenningen börjar röra sig, sedan tar det 3,5 - 4,0 sekunder innan de sista husresterna helt har dolts i dammolnet, se FIGUR 22.

Förloppet kan delas in i tre skeden. Under själva sprängningen roterar huset eftersom sprängsnittet bildar ett "fällhugg" och hela vertikalstödet ännu ej är borta. Så småningom sker en kombination av vertikalkhastighet och rotation, FIGUR 23a-d samt 24a-d.

I skede två, FIGUR 23e-g, FIGUR 24e-g har sprängningen upphört och det fallande huset har tryckt ihop det bortsprängda snittet så att kontakt med underlaget åter uppstått. En uppbromsning sker medan mothållen i huskroppen bryts sönder. Rotationen har upphört och det sker endast en hopsjunkning och sönderbrytning i de delar som ligger närmast sprängsnittet.

I skede tre, FIGUR 23h-i, FIGUR 24h-i är huset uppsprucket ända upp till takkanten samtidigt som dammolnen hindrar studier av det avslutande rasförloppet.

TIDSAXEL

SPRÄNGNING

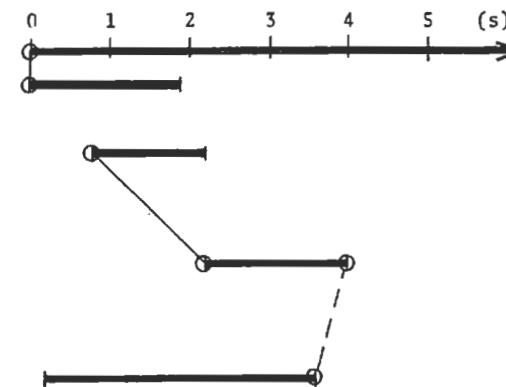
STÄMP

Värden från lastgivare

FÖRSÖKSPLATTOR

Värden från läges- och lastgivare

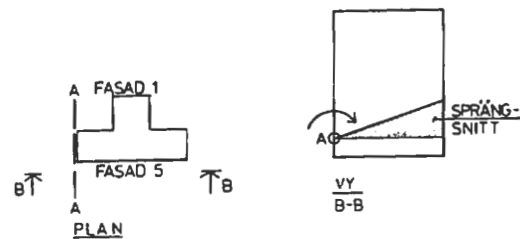
FILMMÄTNING



○—○ Koppling mellan händelser

○--○ Eventuell koppling mellan händelser

Figur 22



Fasad 5

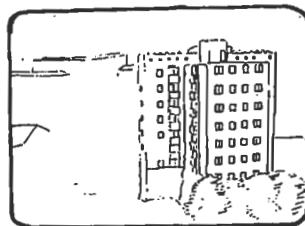
Fasad 1

t=0s

Fig 23 A



Fig 24 A



t=0.76s

Fig 23 B

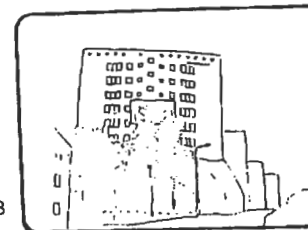
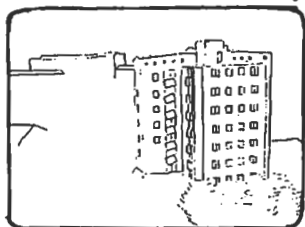


Fig 24 B

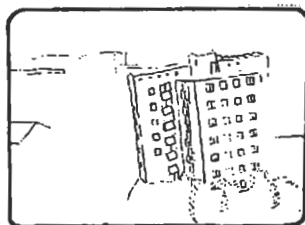


t=1.39s

Fig 23 C



Fig 24 C

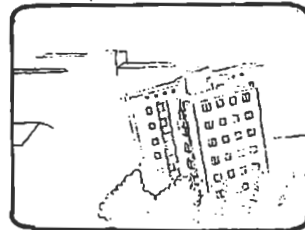


t=1.80s

Fig 23 D



Fig 24 D



Fasad 5

Fasad 1

t=2.22s

Fig 23 E

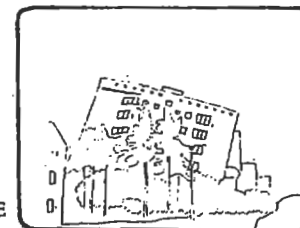
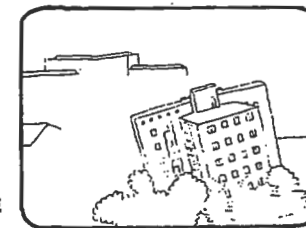


Fig 24 E



t=2.53

Fig 23 F

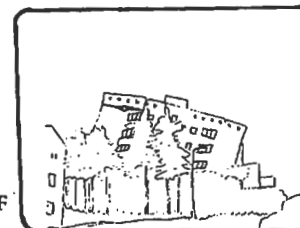
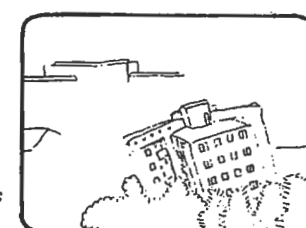


Fig 24 F



t=2.84s

Fig 23 G

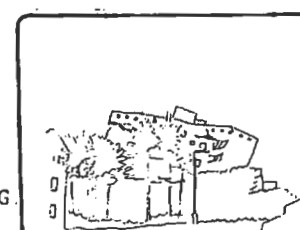
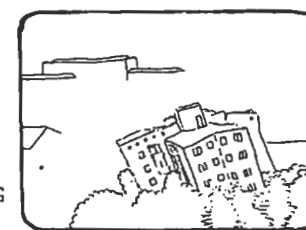


Fig 24 G



t=3.17s

Fig 23 H

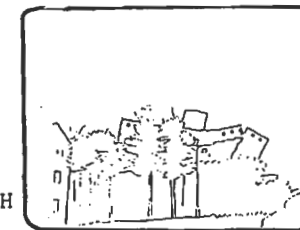
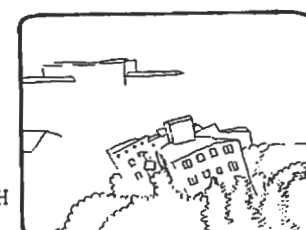


Fig 23 H

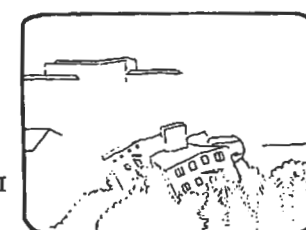


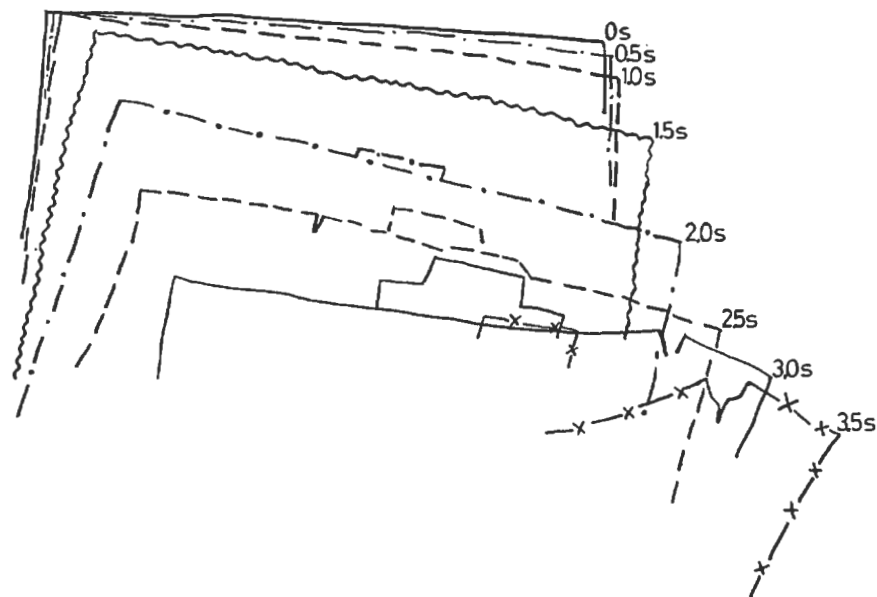
t=3.40s

Fig 23 I



Fig 24 I





FIGUR 25

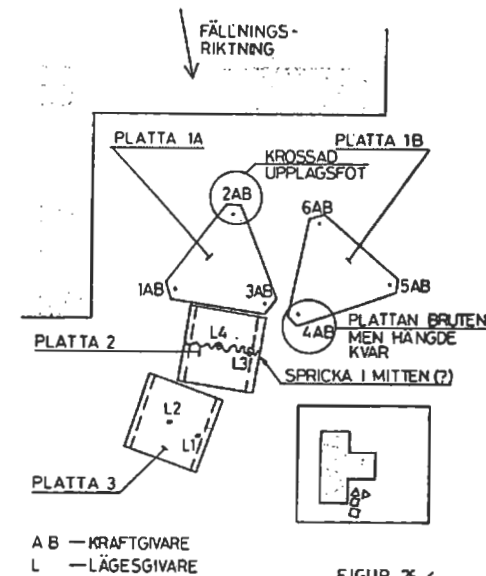
Projicerad kontur av fasad 5, med 0,5s intervall

RESULTAT FRÅN FÖRSÖKSPLATTORNA

Deformationsmätningen hos de kvadratiske plattorna tyder inte på någon kvarstående deformation.

I tre av de fyra mätpunkterna registrerades mellan 0,5 och 2,0 mm deformation under själva raset, däremot registrerades ingen kvarstående deformation. I den fjärde mätpunkten, L3, vid ett upplag till platta 2 registrerades 9 mm deformation momentant och 7,5 mm kvarstående deformation.

Rasgruppens avsikt var att schaktentreprenören varsamt skulle gräva fram plattorna för att ge tillfälle till studie av eventuella brott, något som nu inte skedde. I andra hand har Rasgruppen istället fått höra om skador på plattorna efter raset, se FIGUR 26.



FIGUR 26 /

Sprickan i "fel" riktning kan vara upphov till den lilla, men dock kvarstående deformationen i mät punkt L3.

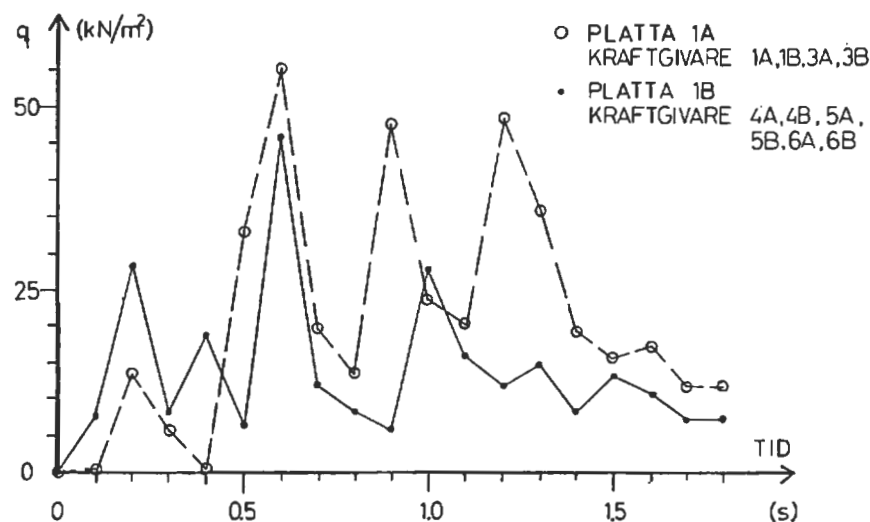
Kommentarer till resultaten från kraftgivare, FIGUR 27

Kraftgivare visade raslast under ca 1,8 sekunder.

Något har inträffat med kraftgivare 2A och 2B redan 2 sekunder innan raset börjar registreras. I beräkningarna har mätvärdena från dessa kraftgivare ej medtagits.

På en med verkligheten dåligt överensstämmande skiss märkt "andrahandsinformation" finns en anteckning om "krossad pelfot", något som skulle kunna förklara värdena från kraftgivare 2A och 2B.

På samma skiss märkt "andrahands-information" finns en anteckning om "plattan bruten, men hängde kvar", den anteckningen går inte att koppla ihop med något av mätvärdena.



FIGUR 27

Anm: Tiden t=0 är ej relaterad till sprängningen eller filmmätningen.

Uppmätt last efter raset

Upplagspunkt med kraftgivare	Uppmätt last efter raset (kN/m²)	Rashögens måktighet, se FIGUR 37 (m)	Rashögens tunghet (kN/m³)
1 AB	25,0	2,5	10,0
2 AB	(-27,0)	3,0	(-9,0)
3 AB	16,5	2,0	8,3
4 AB	12,0	2,2	4,1
5 AB	16,5	1,5	11,0
6 AB	8,5	3,0	2,8

TABELL 1

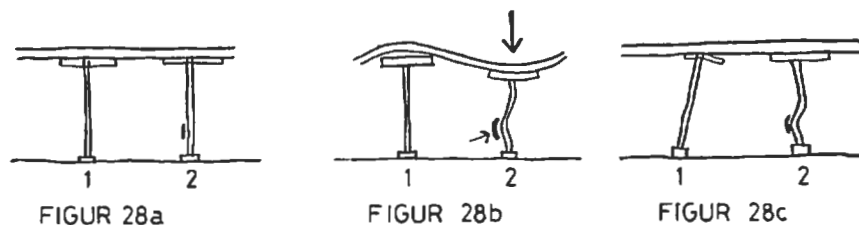
Jämför med betong 24 kN/m³

De två kvadratiska plattorna var dimensionerade för 70 kN/m² + egenvikt respektive 120 kN/m² + egenvikt. Rasmassornas måktighet över dem var något mindre än över de triangulära plattorna.

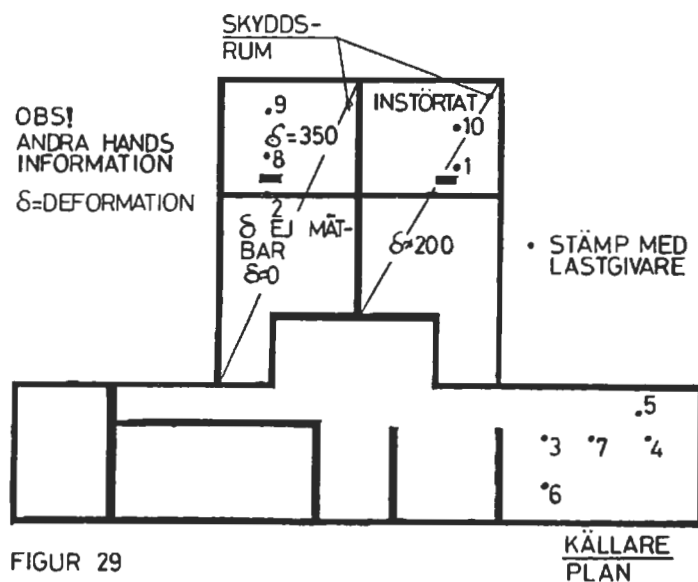
RESULTAT FRÅN STÄMPEN

Diagrammen från nio av de tio trådtöjningsgivarna, se FIGUR 29 är svåra att tolka, det tionde diagrammet visar bara ett rakt streck.

Stämpan var endast fastspänd mellan golv och tak. Några försök till tolkning av diagrammen:

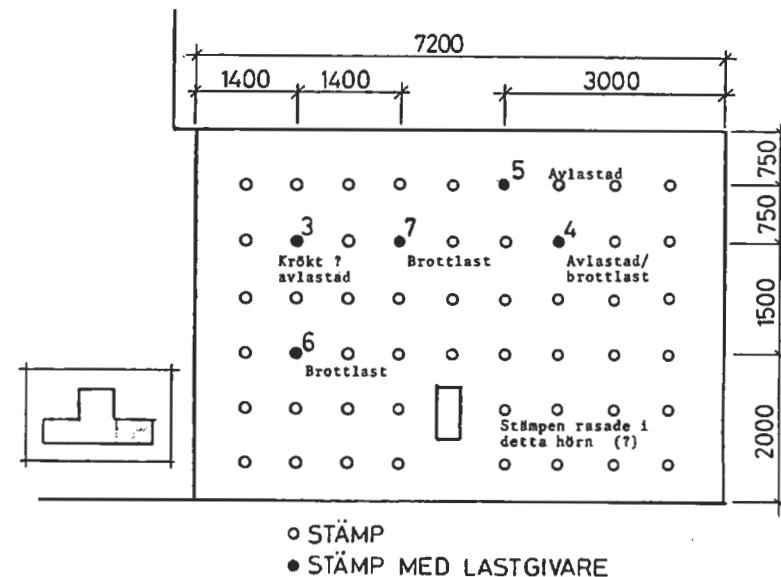


Bjälklaget ovanför stämp 2 belastas så mycket att stämp 2 kröker sig. På yttersidan av det krökta partiet sitter trådtöjningsgiaren vilken då på diagrammet visar en för stor last. När bjälklaget ovanför stämp 2 belastades lättade det istället ovanför stämp 1. Eftersom stämp 1 inte var fixerad vare sig i golv eller tak ramlade den eller åtminstone började falla när bjälklaget svängde tillbaka. Stämpan 1 står inte längre vinkelrätt mot golvet och bjälklaget och trådtöjningsgivaren mäter därför inte vertikallasten.

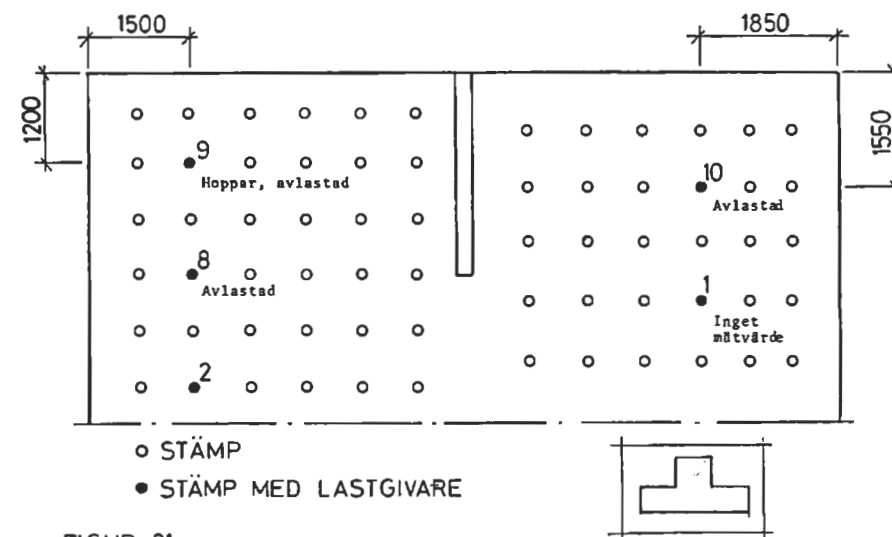


FIGUR 29

KÄLLARE
PLAN



FIGUR 30



FIGUR 31

RESULTAT FRÅN HÖGHASTIGHETSFILMNING

Kamerorna 1 och 4, se FIGUR 20, visade respektive långfasad tydligt med en mängd mätpunkter. Avståndet mellan kamerorna och de observerade mätpunkterna ändrades inte mycket under rasförloppet. Kamera 2 däremot stod snett gentemot alla fasader och fallriktningen var delvis emot kameran. Analys av filmen från kamera 2 var svårare att utföra med högre krav på noggrannhet och skulle heller inte ge nämnvärt mera information än vad filmer från kamerorna 1 och 4 ger. Filmen från kamera 2, se FIGUR 20, har därför inte analyserats.

Dammet från sprängningen dölde försöksplattorna, som kamera 3 var riktad mot, innan något hann rasa på dem.

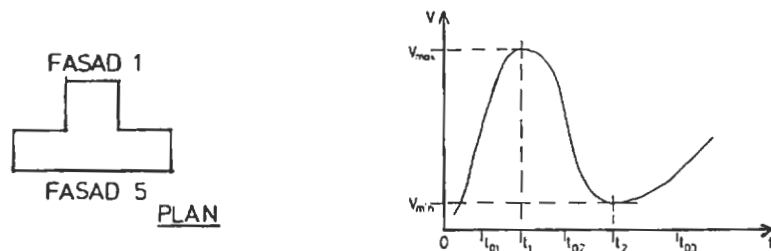
Filmen inifrån källaren kunde blivit bra om inte belysningen i rummet slutat fungera just innan det började hända något.

Således har endast filmerna från kamera 1 och 4 analyserats.

- Tiden $t = 0$ är för de två studerade fasaderna, se FIGUR 35 och 36, satt till filmbilden innan presenningen runt sprängsnittet syns bukta sig på grund av sprängningen.

- Såväl läges- som hastighetsdiagrammen avser endast rörelse i vertikalled, se bilaga 4.

Hastighet och acceleration hos olika mätta punkter på huset framgår av FIGUR 33 och TABELLERN 2 och 3.



FIGUR 32

FIGUR 33

	MAX.HASTIGHET		MIN.HASTIGHET	
	V (m/s)	t_1 (s)	V (m/s)	t_2 (s)
Fasad 1	6,4-8,9	1,8	2,8-4,1	2,7-2,9
Fasad 5	8,0-9,8	2,0-2,4	1,7-2,7	3,0-3,1

TABELL 2

Anm. Sprängning, ej tidsrelaterad till filmmätningen, tog 1,9 sekunder från första till sista laddningen.

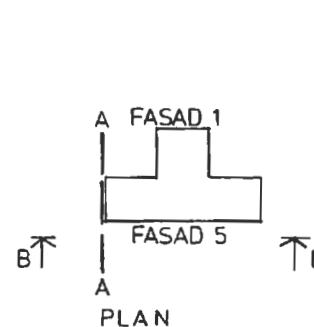
	Acceleration		
	$t=t_{01}$ (m/s ²)	$t=t_{02}$ (m/s ²)	$t=t_{03}$ (m/s ²)
Fasad 1	7,9	- 7,1	2,5
Fasad 5	8,7	- 7,0	4,9

TABELL 3

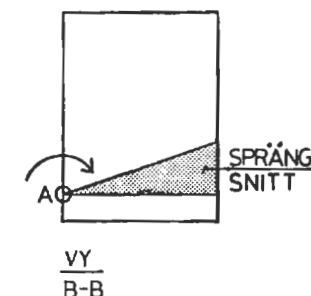
Skede 1

Tiden $t=0$ till $t=t_1$, se FIGUR 23a-d, 24a-d, 34b-d

Tidsrymden överensstämmer väl med den tid sprängningen tog, dvs 1,9 sekunder.

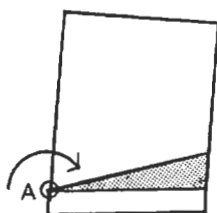


FIGUR 34a



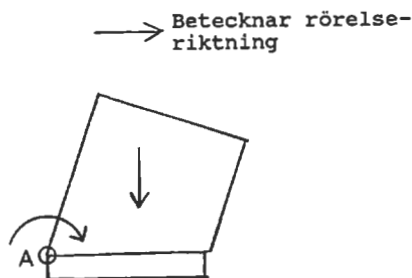
FIGUR 34b

Under den tid sprängningen tar finns det inte något som förenar husdelarna ovanför respektive under sprängsnittet. Medan sprängningen pågår roterar huset kring en axel A-A och det bortsprängda snittet minskar tills ny kontakt uppnås. I de våningar som ligger närmast sprängsnittet sker en viss sönderbrytning medan de övre våningarna inte går sönder nämnvärt.



FIGUR 34e

Enbart
rotation kring A



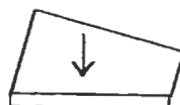
FIGUR 34d

Rotation kring A samt
sönderbrytning av våningarna
närmast sprängsnittet

Accelerationen i flertalet mätpunkter ligger i detta skede under eller nära g, dvs nästan fritt fall.

Skede 2

Tiden t_1 till t_2 , FIGUR 23e-g, 24e-g, 34e



FIGUR 34e

Rotationen har upphört i och med att sista laddningen detonerade. Den energi som finns att bryta sönder huset med är enbart den läges- och rörelseenergi som huset själv besitter vilket får till följd att rörelsen bromsas upp samtidigt för hela huset och hastigheten avtar.

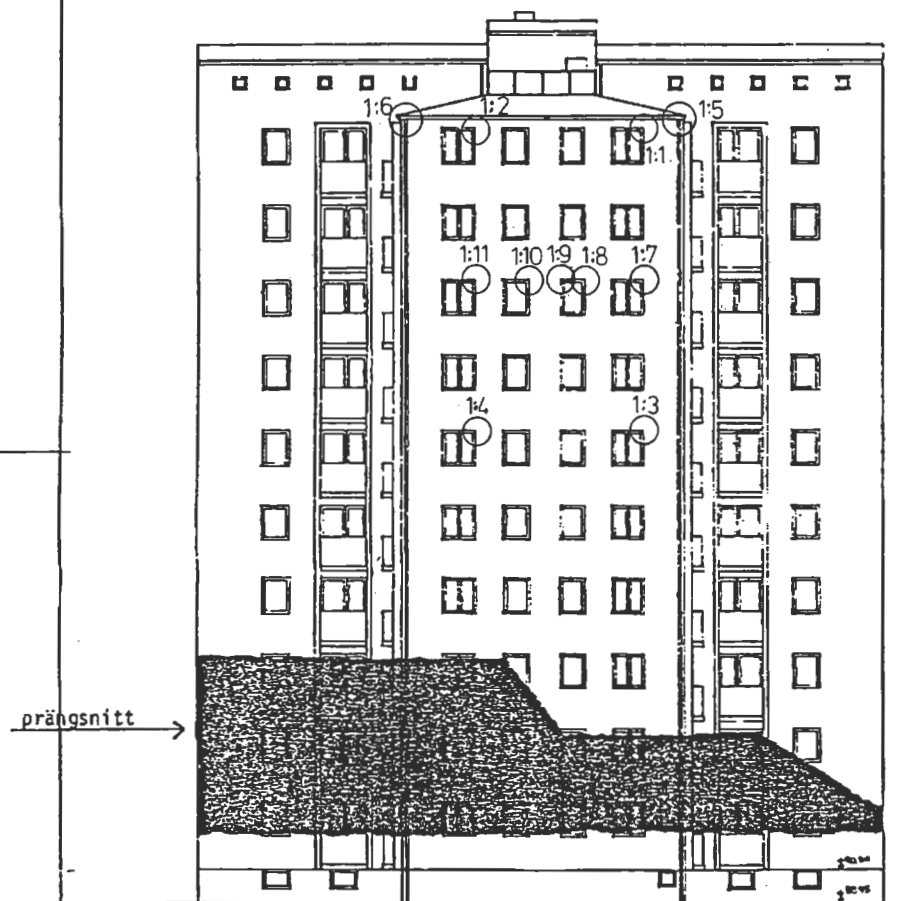
Det fallande huset vandrar i sidled och i riktning mot gatan och väggarna hamnar ej längre över källarens vägglägen. De fallande väggarna bryts dock successivt sönder mot underliggande rasmassor.

Huset är fortfarande nästan helt i de översta våningarna.

Skede 3

Tiden efter t_2 , FIGUR 23h-i, FIGUR 24h-i

De mothåll som funnits i konstruktionen har alltmer brutits sönder och hastigheten ökar ånyo. Fasaderna skjucas av vid fönsterraderna och djupa sprickor öppnar sig vid takkanten. Hela huset kollapsar innan dammet helt döljer ruinen.



FASAD MOT SÖDER

FASAD 1

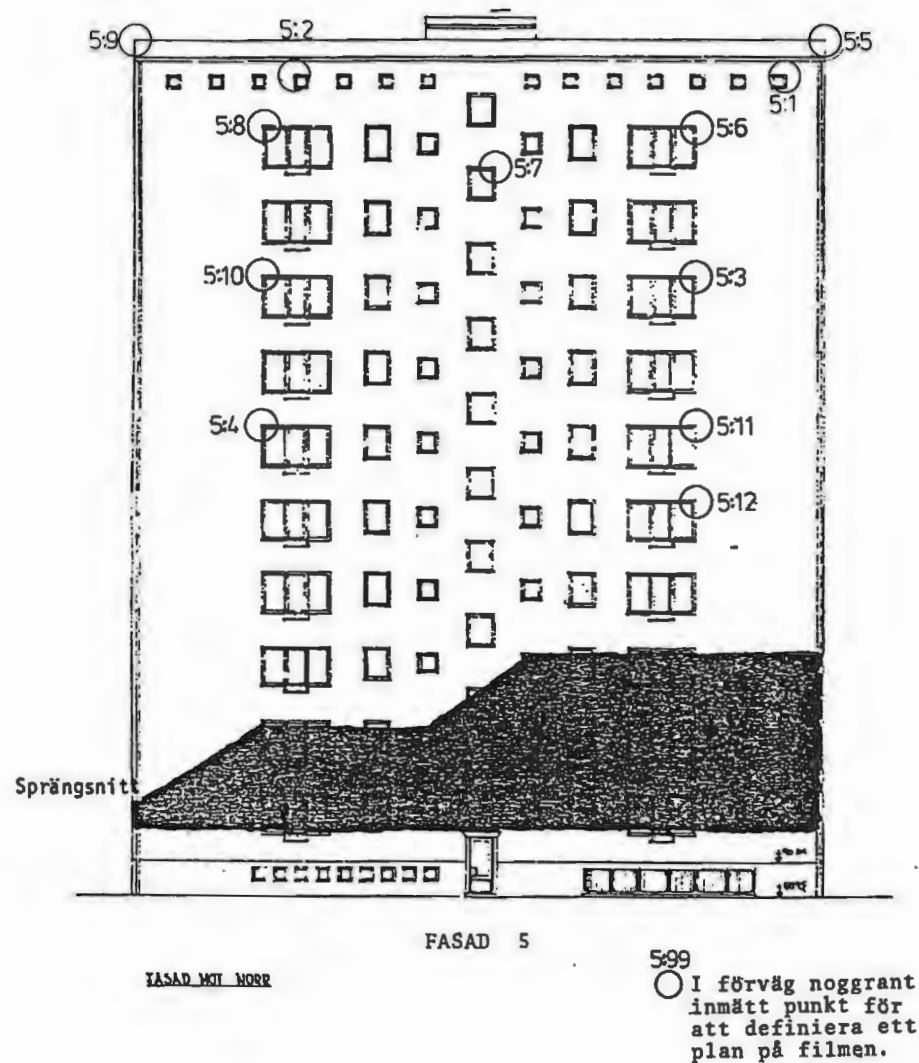
1:99

○ I förväg noggrant
inmätt punkt för
att definiera ett
plan på filmen.

SKALA 1:100



Figur 35



Figur 36

RASSASSORNAS FÖRDELNING

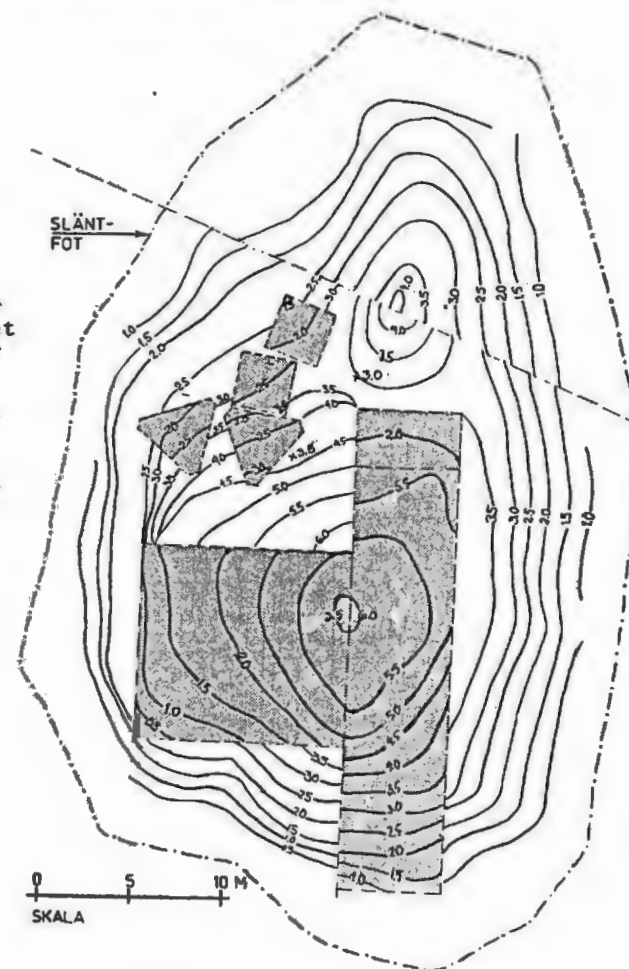
Rasmassornas volym ca 2300 m³, se FIGUR 37

Rasmassornas tunghet ca 12 kN/m³ (1,2 ton/m³)
om hela vikten är 2800 ton

Jämför tungheten hos betong, 24 kN/m³.
Ungefär hälften av rashögens volym består av luft.

Nivåkurvorna visar högens tjocklek. Rashögens botten är marken, källargolvet och källartaket där detta ej rasat in.

Gatumark och parkering inom det område som berördes av rivningsmassorna skyddades med täckskikt av ca 0.4 m sand.



FIGUR 37

RÖJNING SAR BET ET

Under tiden som röjningsarbetet pågick gjordes ett försök att simulera en räddningsinsats. Grävmaskinen arbetade sig fram emot en källaringång för att bereda utrymningsmöjlighet, se bilaga 1.

Arbetet kunde dock inte bedrivas tillräckligt verklighets-troget för att ge indikation på en realistisk undsättnings-tid. Hänsyn måste tas till rationellt grävande och till att inte sidorörelser skulle ske i rashögen.

STUDIER AV BROTTSNITT

Översikt av hela huset

Se bilaga 1, bild 8-27, 29-32.

Det armerade hissmaskinrummet är vridet men håller ihop. Högen garneras i sina södra och östra delar av våningshöga, rumsbreda oarmerade ytterväggs-kivor med fönsterbågar och -karmar kvar. Ytterväggs-kivorna är förledande lika monterade element där de ligger på högen.

Uppspruckna armerade bjälklagsplattor i lägenhetsstorlek ligger utbredda som lakan på högen.

Lite längre ner i högen finns det inga hela bitar av väggar eller bjälklag utan allt är nedbrutet av det som rasat ovan-på.

Den ringa mängden armeringsjärn är högst påtaglig i bilderna.

Detaljstudier av källarbjälklaget

Se bilaga 1, bild 53-59, 61-64, se även FIGUR 29.

Några armeringsjärn i underkant platta vid det instörtande partiet av skyddsrumstaket har slitits av vid upplag. Dessutom har observerats ett armeringsjärn i överkant platta som slitits av 0,5 m från upplag samt en annan som slitits av nära stångänden.

I de delar av källarbjälklaget som ej störtat, se FIGUR 29, har armeringen vid rivningen inte avslitits vid upplag och normalt ej heller i fält.

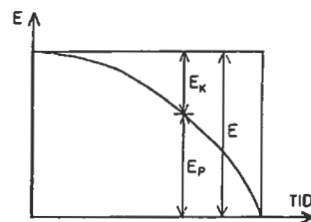
Fakta om det instörtande skyddsrumstaket

Plattjocklek: 200 mm

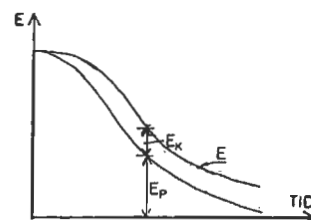
Armering i underkant platta: $\varnothing$ 10 c 120, släta stänger

Armering i överkant platta: $\varnothing$ 10 c 200, släta stänger

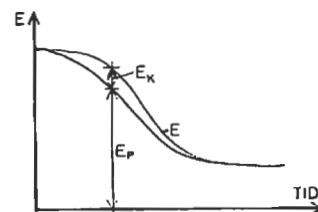
Överkantsarmeringen slutar med ändkrokar 1,6 m från ytterkant vägg.

RASLASTTotalenergin för huset

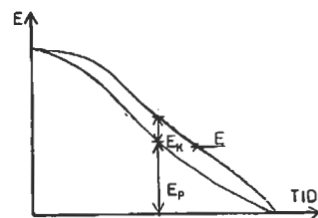
FIGUR 38a



FIGUR 38b



FIGUR 38c



FIGUR 38d

Totalenergin, E är konstant vid fritt fall dvs

$$E_p + E_k = \sum mgh + \sum \frac{mv^2}{2} = \text{konstant}$$

E_k = kinetisk energi
 E_p = potentiell energi

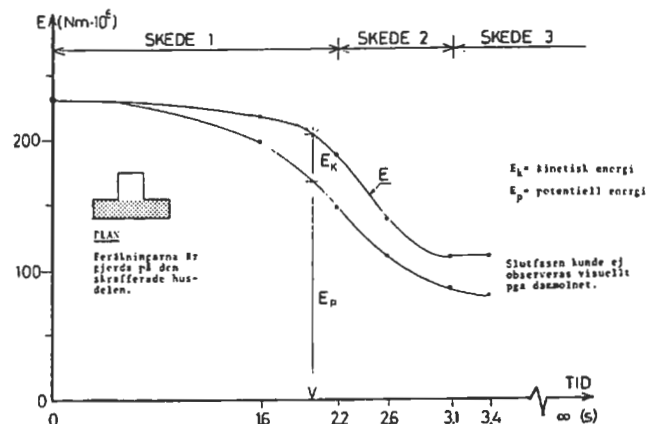
När det inte är fritt fall minskar systemets energiinnehåll. Den energi som avgår från systemet åtgår till att bryta ner konstruktionen och att ge värme.

Typiskt för energikurvan hos en konstruktion som kan förhindra fortskridande ras är att rörelseenergin E_k är liten under hela förloppet samt att energikurvan planar ut medan det fortfarande finns stor potentiell energi kvar.

Vid sprängningsrivning ska huset ges tillräcklig rörelseenergi, genom bortsprängning av bärande delar, så att nedbrytningsenergin ej räcker för att stoppa raset förrän det är fullbordat. Det är önskvärt att huset vid sprängningsrivning faller med liten hastighet. Konstruktionen bör alltså försvagas så att den successivt kan brytas sönder av en liten hastighet hos de fallande delarna. En rejäl duns kan ge onödiga skador på omgivningen, se figur 38d.

Totalenergin för det aktuella huset redovisas i FIGUR 39.

Läges- respektive rörelseenergi hos husets delar har medräknats oavsett om rasmassorna hamnat inom eller utanför den ursprungliga husytan.



FIGUR 39

Total mothållande kraft P

$$\sum m_1(g-a) - \sum P = 0 \quad m_1 = \text{pådrivande massa}$$

Den totala mothållande kraften för huset har beräknats i nivå med källarbjälklagets överkant. Acceleration har framräknats ur hastighetsdiagrammen, FIGUR 40, för de tre olika skedena i fyra punkter på huset. Resultaten överensstämmer med husets rörelseriktning med rotation kring en tänkt axel genom gaveln i sprängsnittet under punkt 5:9, se FIGUR 36.

Total mothållande kraft per ytenhet väggtvärsnitt redovisas i FIGUR 41. Trots den kraftiga uppbromsningen under skede 2 blir den största mothållande kraften bara ca 15 % större än den ursprungliga statiska lasten var längst ner i huset, eftersom stora delar av huset redan rasat till marken och stannat upp. Stora variationer förekommer beroende på var det fallande husets väggar etc träffar underlaget.

Raslast q_{ras}

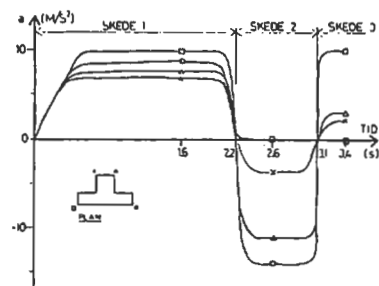
$$\frac{\sum m_1 \cdot (g-a)}{A} + \frac{\sum m_2 \cdot g}{A} = q_{ras}$$

m_1 = pådrivande massa

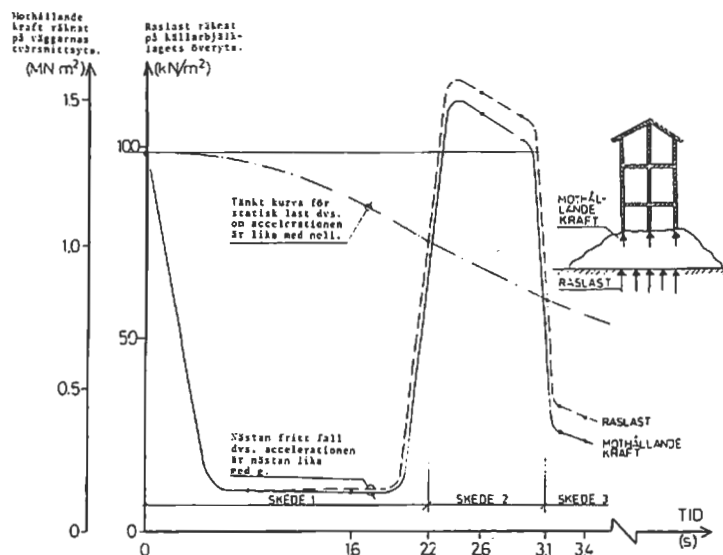
m_2 = krossad massa på källarbjälklaget

A = källarbjälklagets yta

Raslasten har beräknats i nivå med källarbjälklagets överkant och redovisas i FIGUR 41. Stora delar av rasmassorna hamnar på marken utanför den ursprungliga husytan och ger inget bidrag till den vilande slutliga lasten inom husytan. Som mest var raslasten i medeltal över husytan endast cirka 20 % högre än den ursprungliga fördelade statiska lasten.



FIGUR 40



FIGUR 41

BILAGOR

1. Foton, med innehållsförteckning
2. Mättdiagram från försöksplattorna
3. Mättdiagram från stämpan
4. Läges- samt hastighetsdiagram

Bilaga 1

Foton

Bild_1: Försöksplattornas fundament.
Lastcellerna till plattorna 1a och 1b sätts på plats.

Bild_2-6: De fyra försöksplattorna

Bild_7: Skydd på närliggande hus

Bild_8: Fasad 5, de ljusa fasadplattorna har tagits bort och endast regelverket är kvar.

Bild_9-10: Innan schaktningen.
Det armerade hissmaskinrummet även kallat "katthuset" syns vara relativt oskadat.

Bild_11-12: Schaktningen påbörjad

Bild_13: "Katthuset" (En katt sade ha blivit kvar inne i huset innan sprängningen. Strax efter sprängningen påstås en katt ha sprungit ut ur hissmaskinrummet på toppen av rashögen.) är vridet, men håller ihop.

Bild_14-16: Våningshög, rumsbredda ytterväggsskivor med fönsterbågar och karmar.

Bild_17-19: Rashögen

Bild_20-22: Bortre gaveln, från gatan sett, har sakta fallit ovanpå högen. Viss sammanhållning i vägghörnen.

Bild_23-24: Uppspruckna lägenhets/rumsstora bjälklagssjok ligger som utbredda lakan på rashögen.

Bild_25-27: Rashögen

Bild_28: Röjning

Bild_29: Rashög

Bild_30-32: Väggskivor

Bild_33-38: Röjning

Bild_39: Igenrasade källarnedgången

Bild_40-45: Röjning

Bild_46-49: Igenrasade källarnedgången

Bild_50-52: Röjning

Bild_53-59: Armeringsrester från det bortrivna källarbjälklaget.

Bild_60: Röjning, skydd

Bild_61: Rester av källarväggar

Bild_62-63: Armeringsrester från det bortrivna källarbjälklaget.

Bild_64: Brotningsnitt till följd av raset



Bilaga 1 1(16)



Bilaga 1 2(16)





Билга 1 5(16)



Билга 1 6(16)





Bilaga 1 9(16)



Bilaga 1 10(16)



Bilaga 1 11(16)



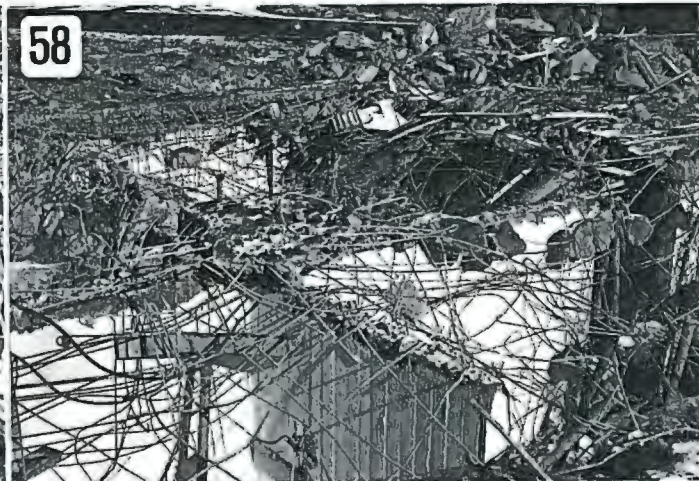
Bilaga 1 12(16)



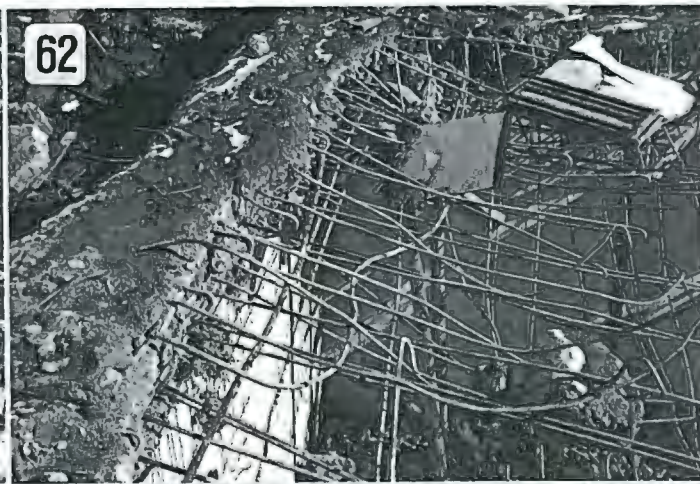
Bilaga 1 13(16)



Bilaga 1 14(16)



Bilaga 1 15(16)

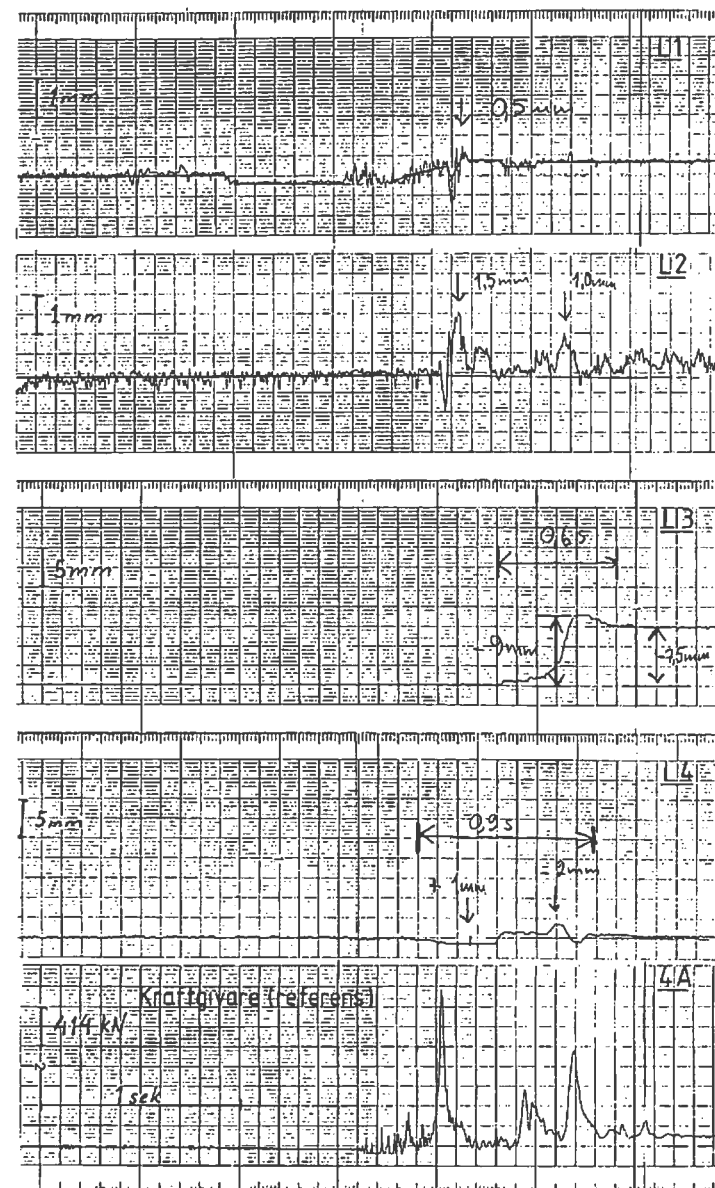


Bilaga 1 16(16)

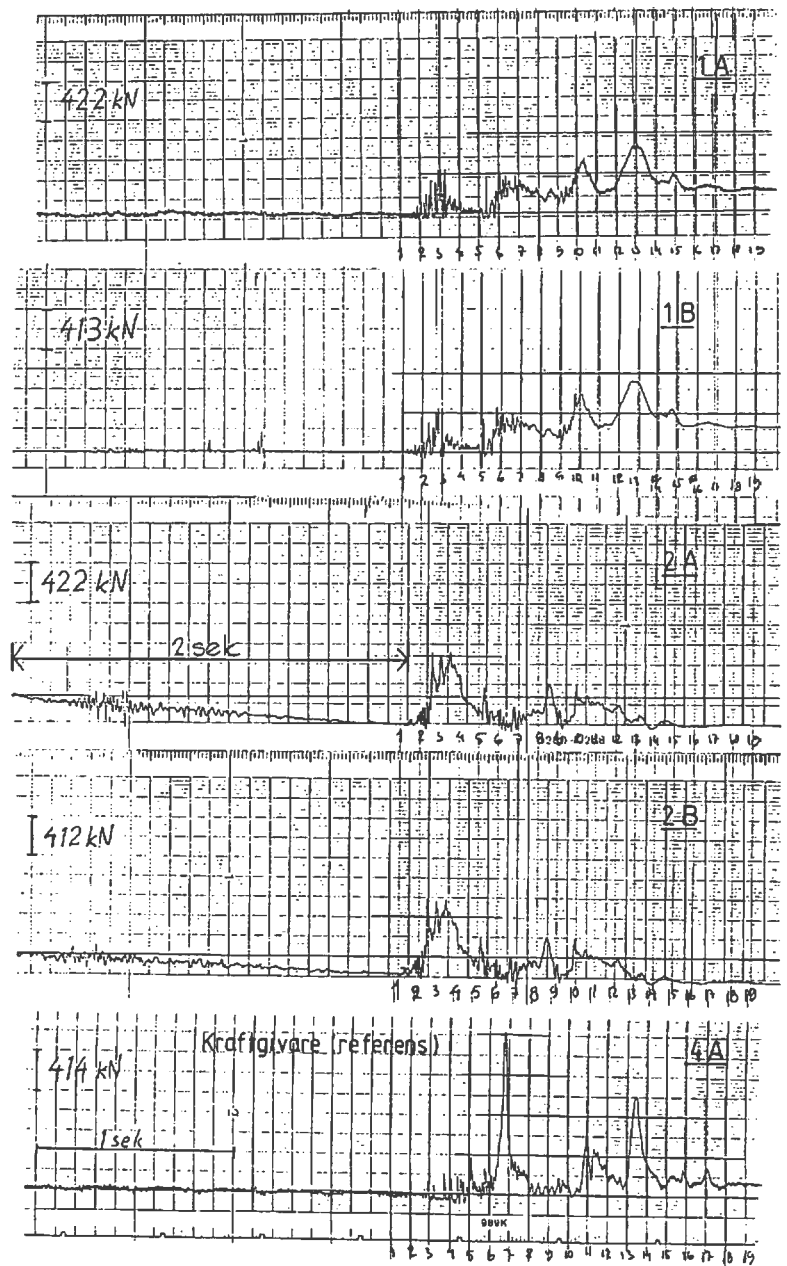
LÄGESGIVARE — FÖRSÖKSPLATTOR

L1, L2 — PLATTA 3

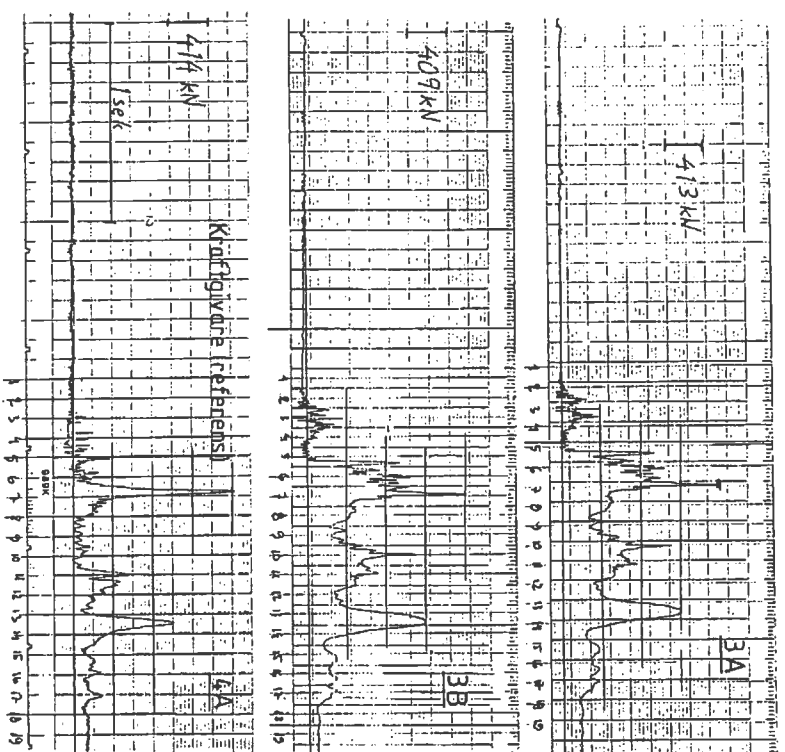
L3, L4 — PLATTA 2



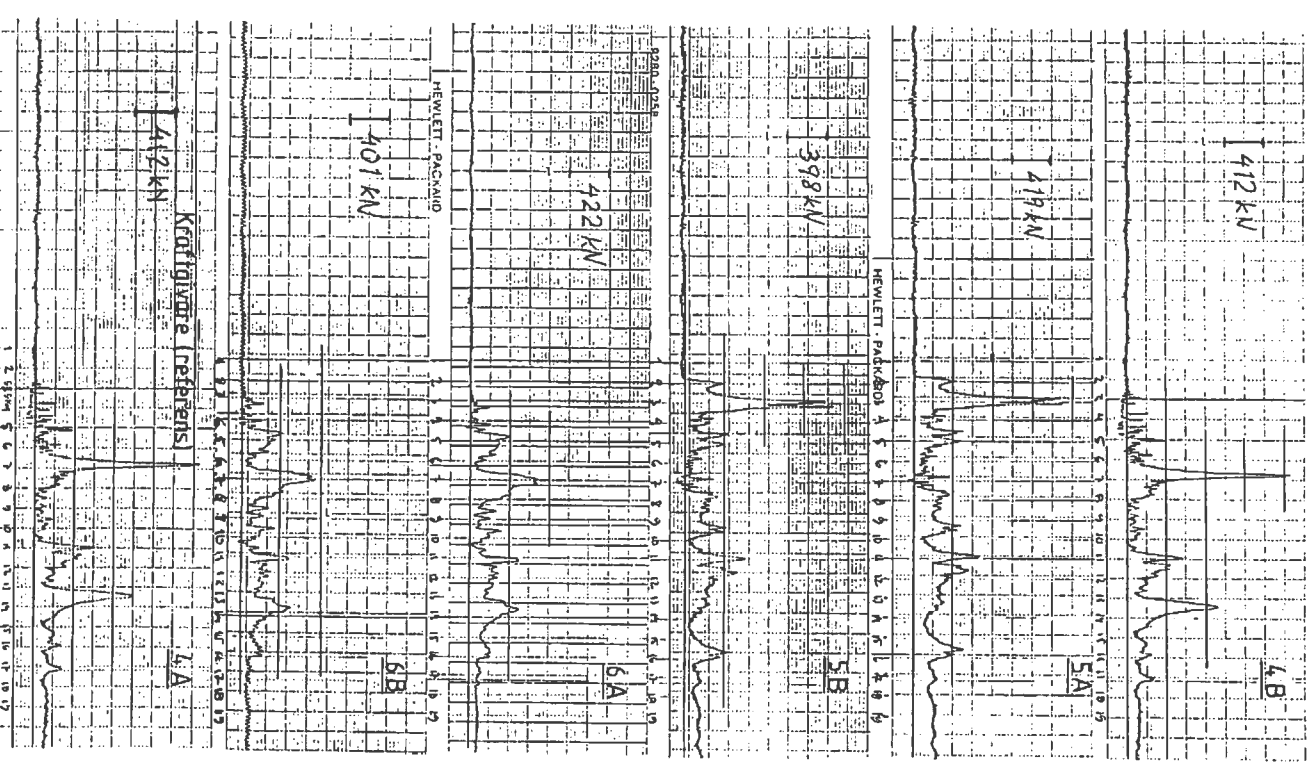
FÖRSÖKSPLATTA 1 KRAFTGIVARE



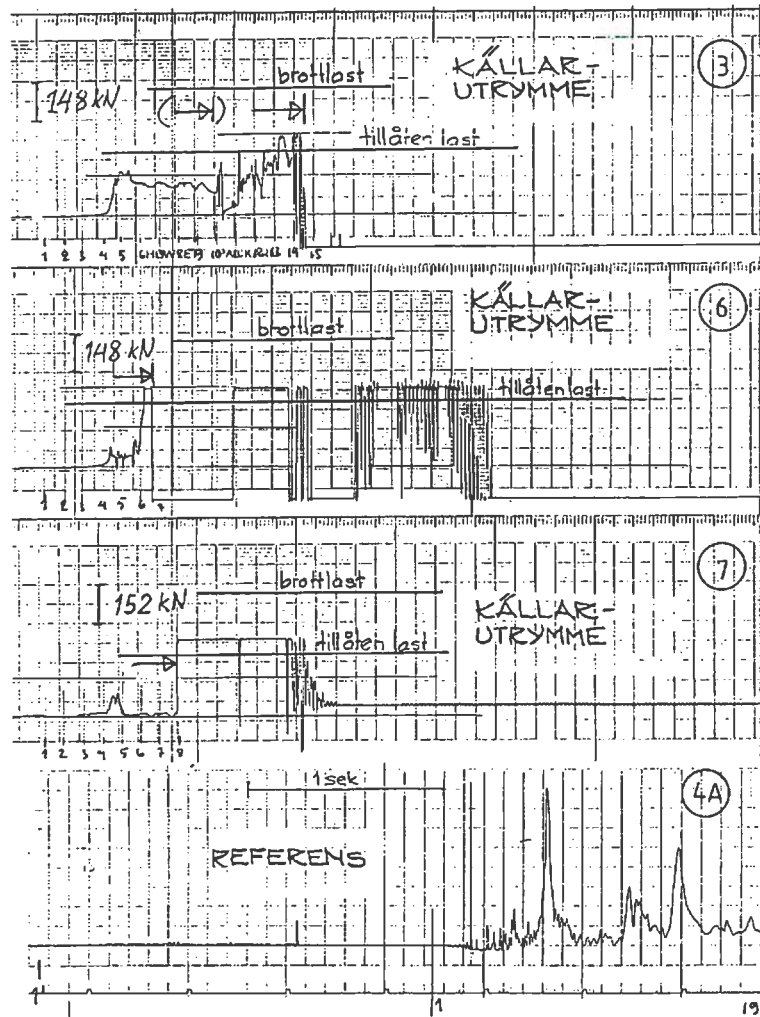
FÖRSÖKSPLATTA 1 KRAFTGIVARE



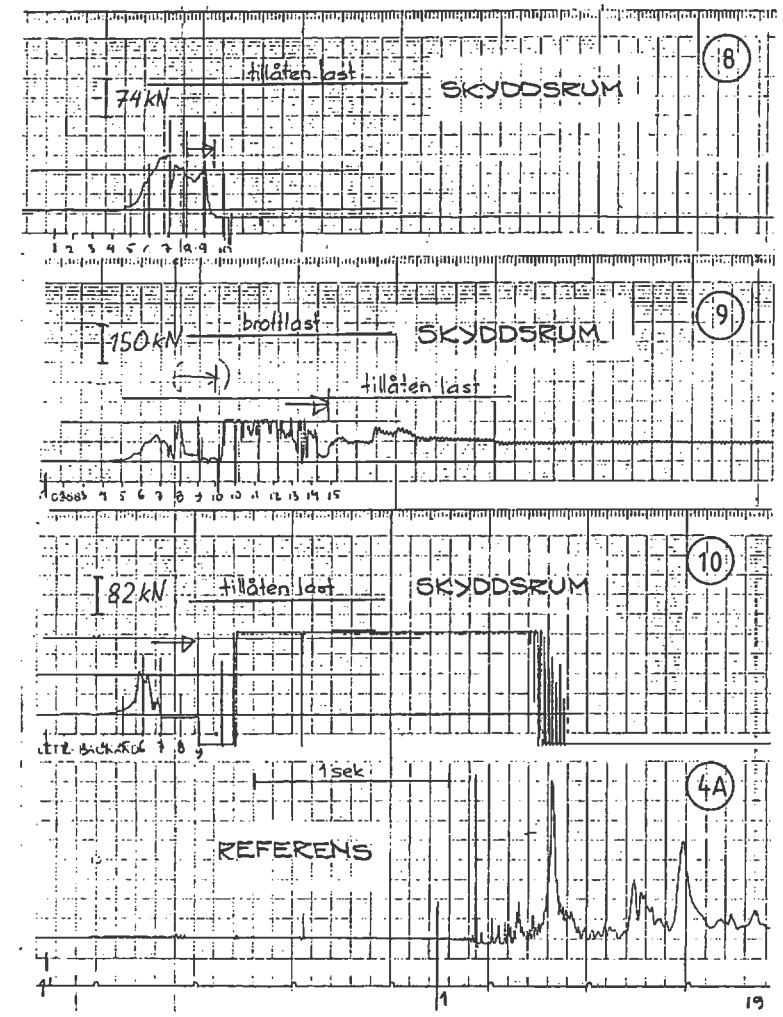
FÖRSÖKSPLATTA 1 KRAFTGIVARE



STÄMP KRAFTGIVARE

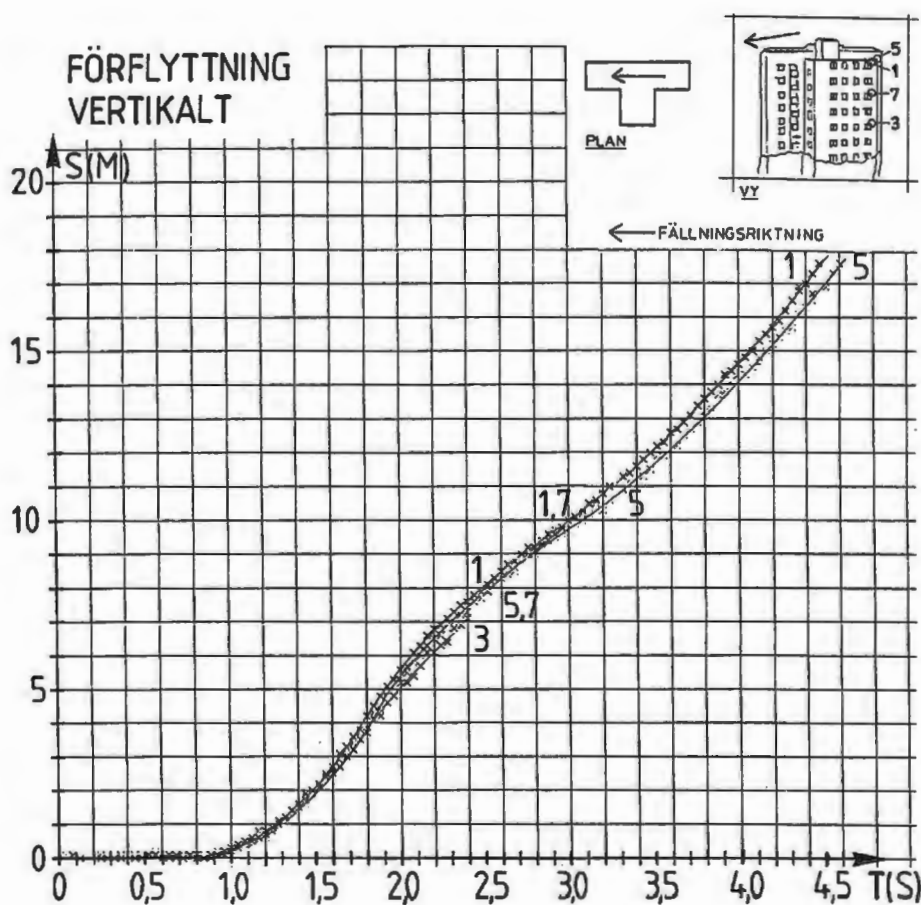
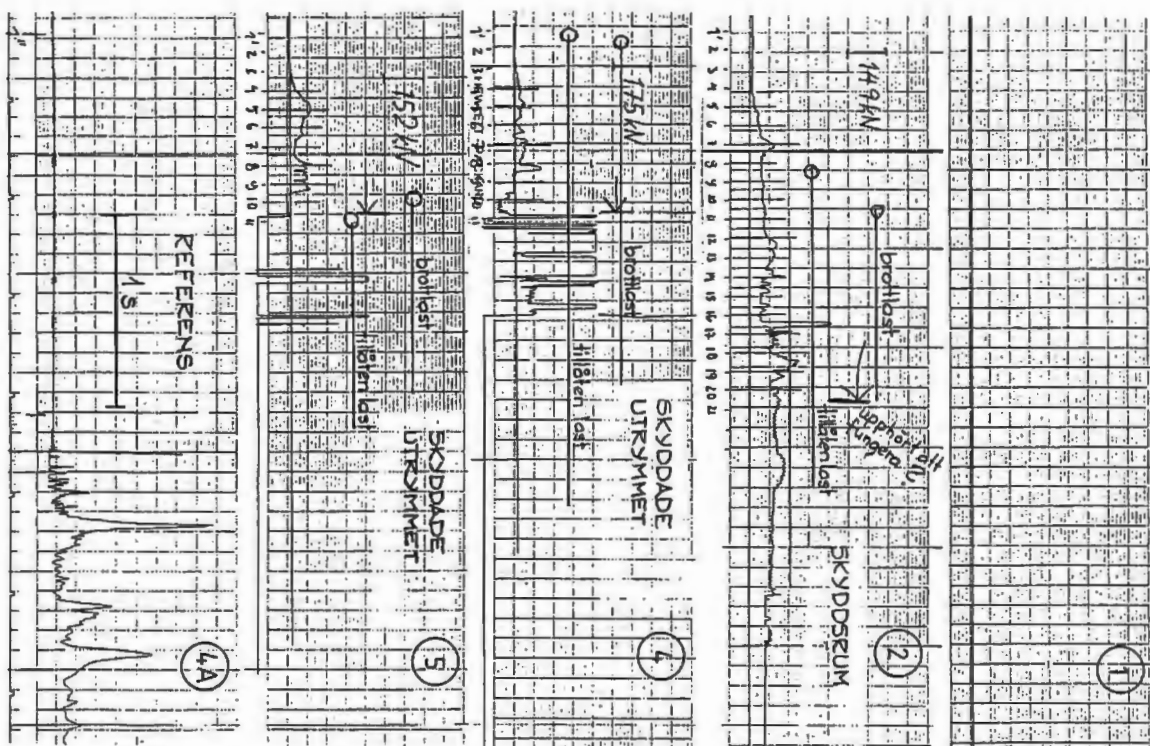


STÄMP KRAFTGIVARE

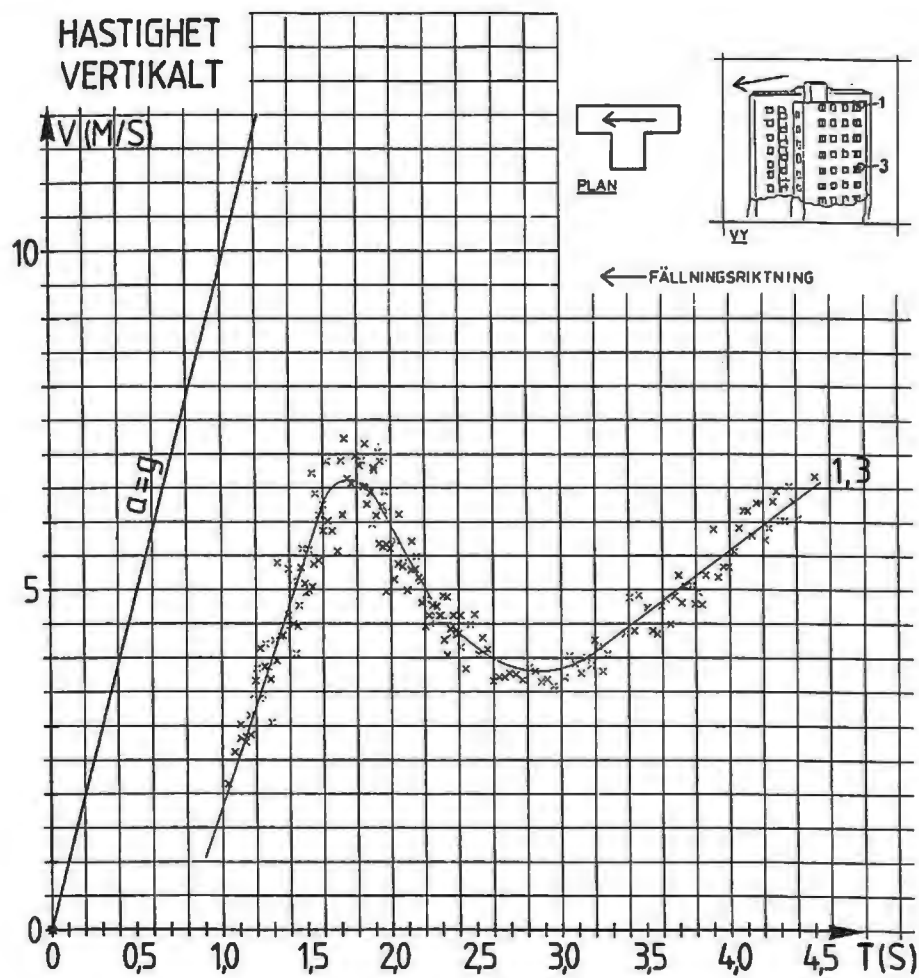


STÄMP KRAFTGIVARE

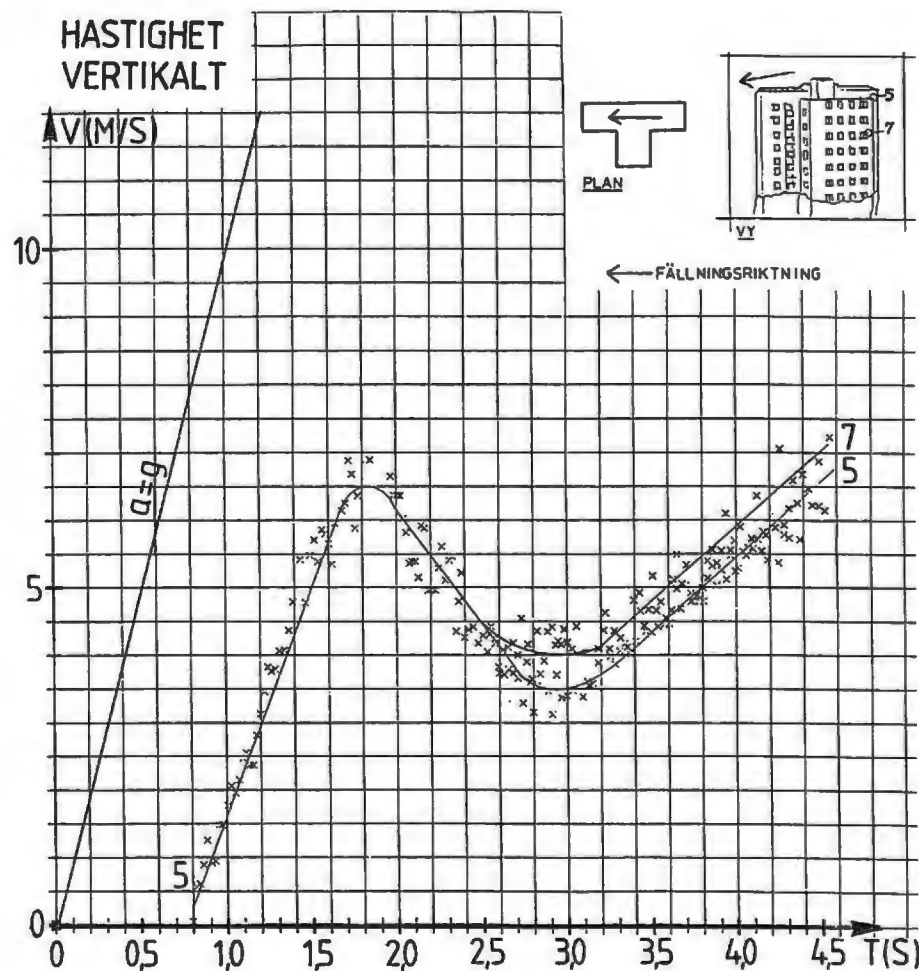
BILAGA 3 3(3)



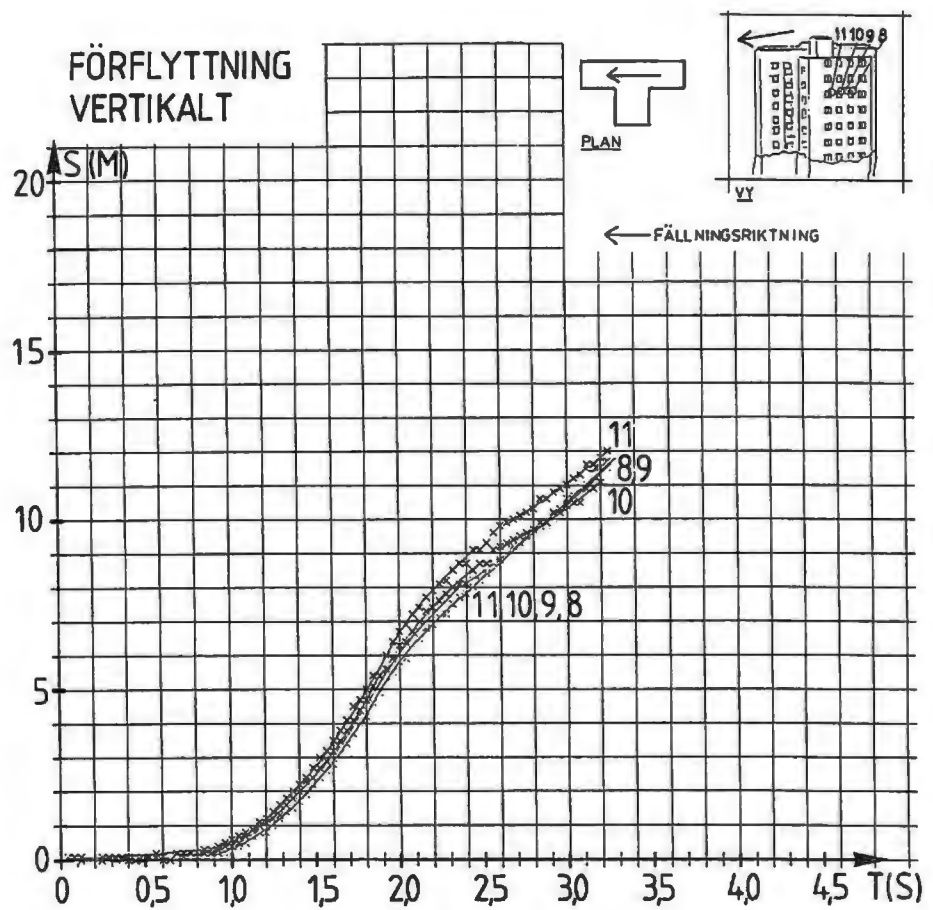
BILAGA 4 1(13)



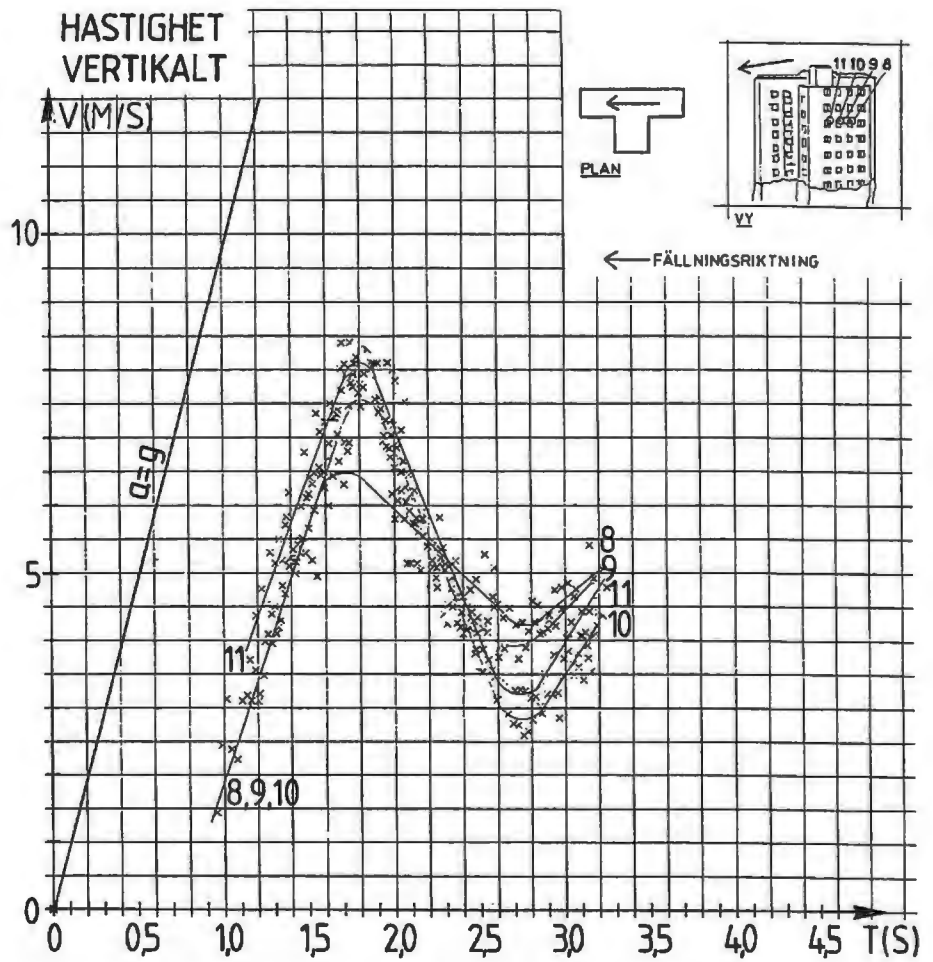
BILAGA 4 2 (13)



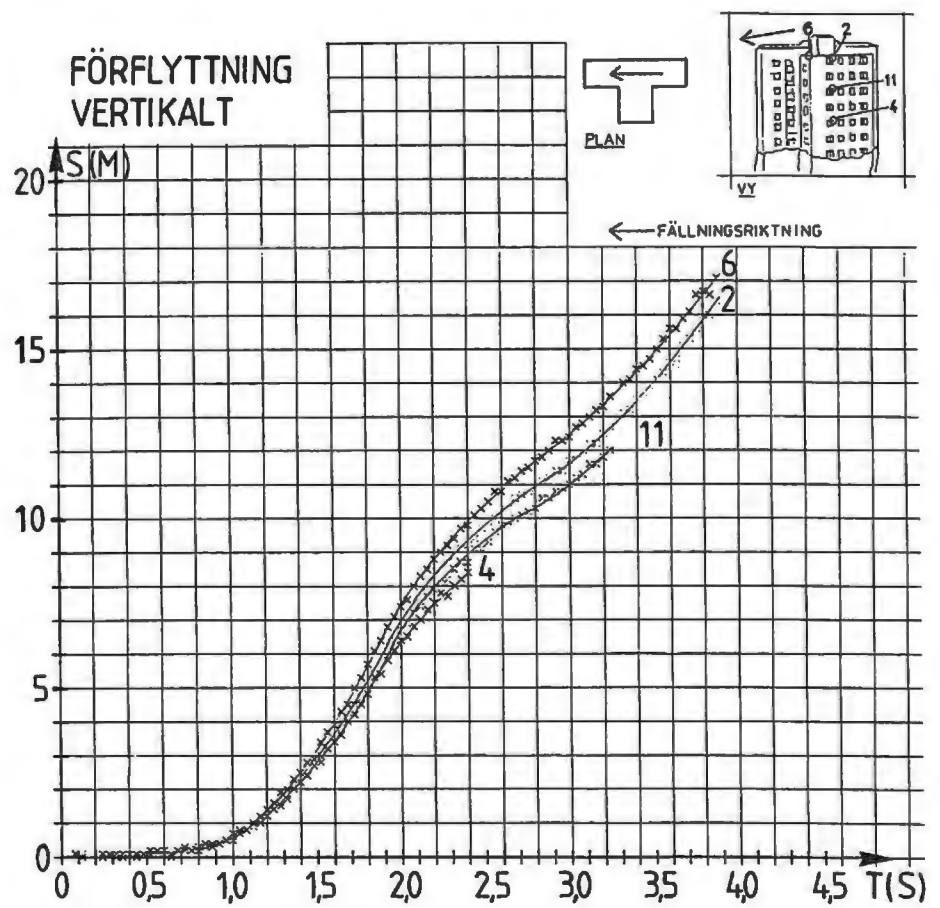
BILAGA 4 3 (13)



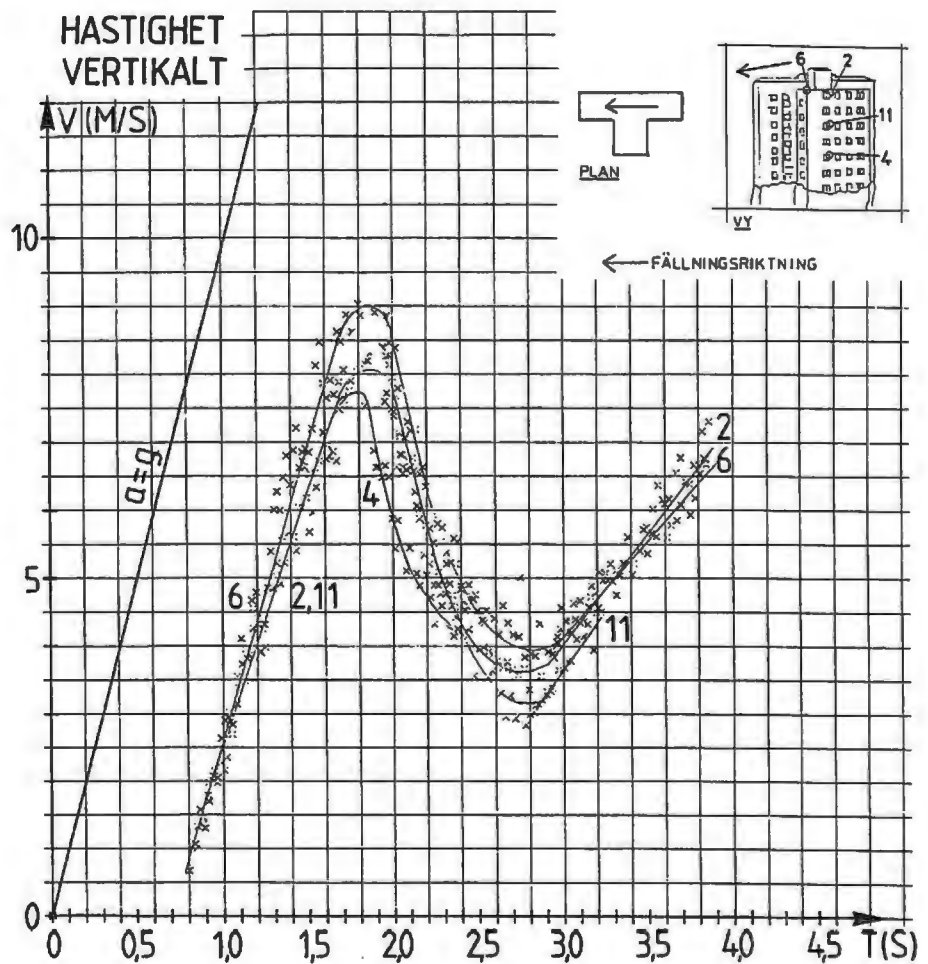
BILAGA 4, 4(13)



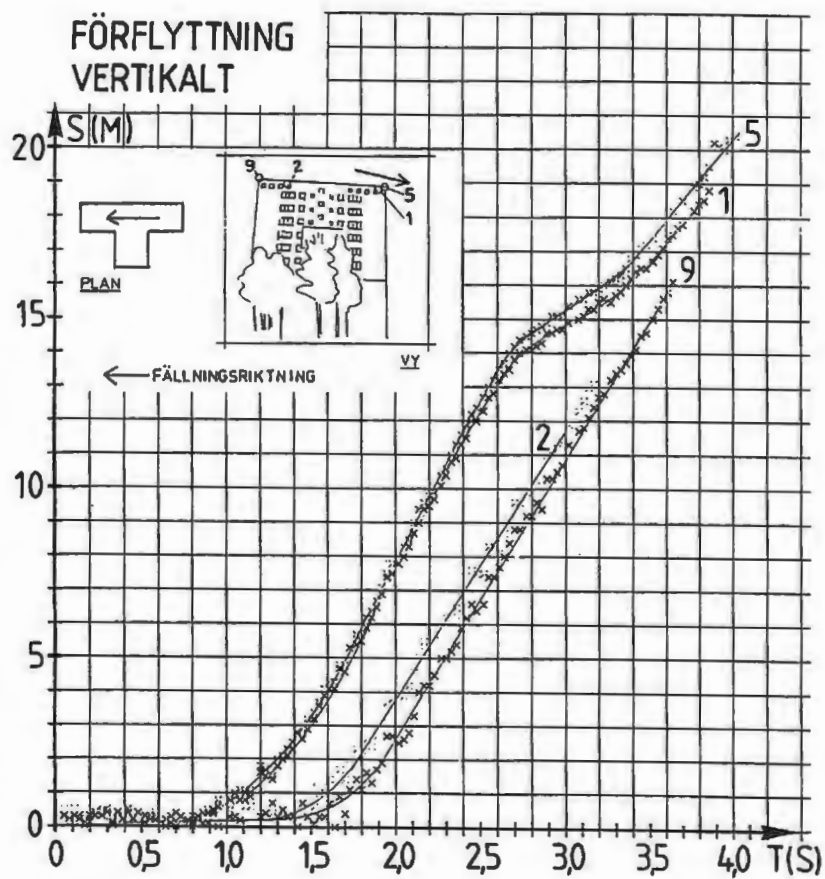
BILAGA 4, 5(13)



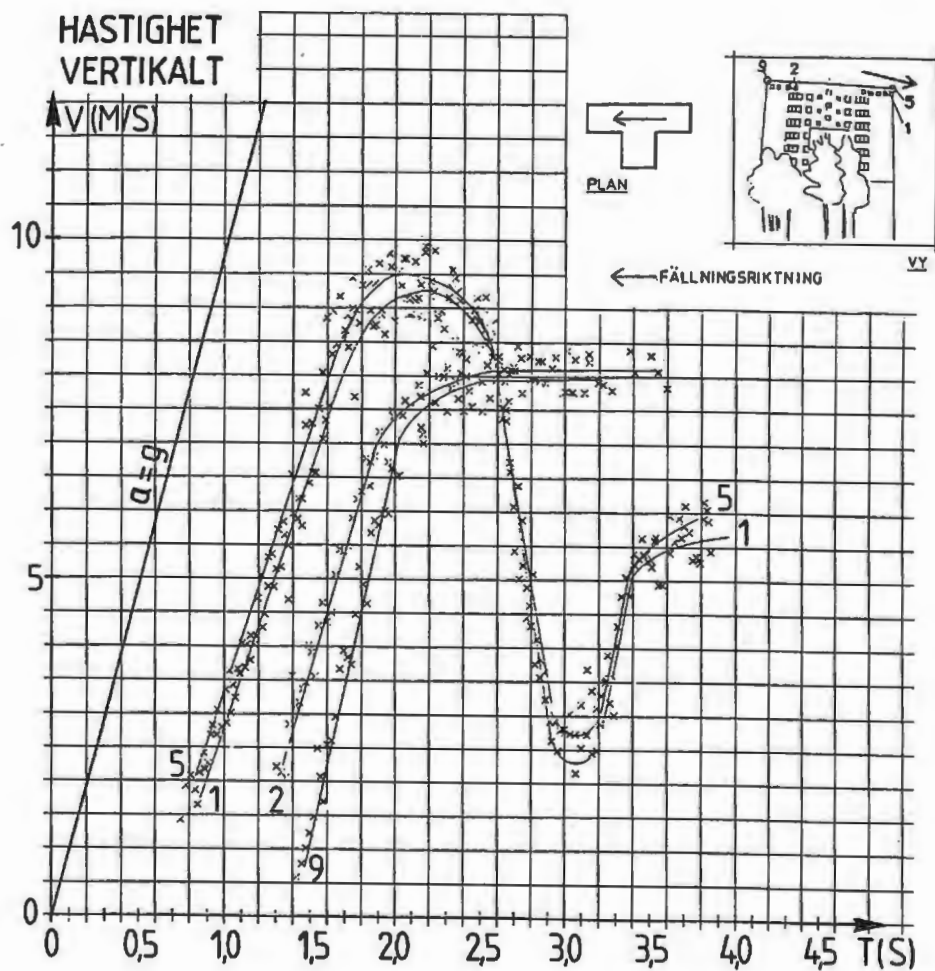
BILAGA 4, 6(13)



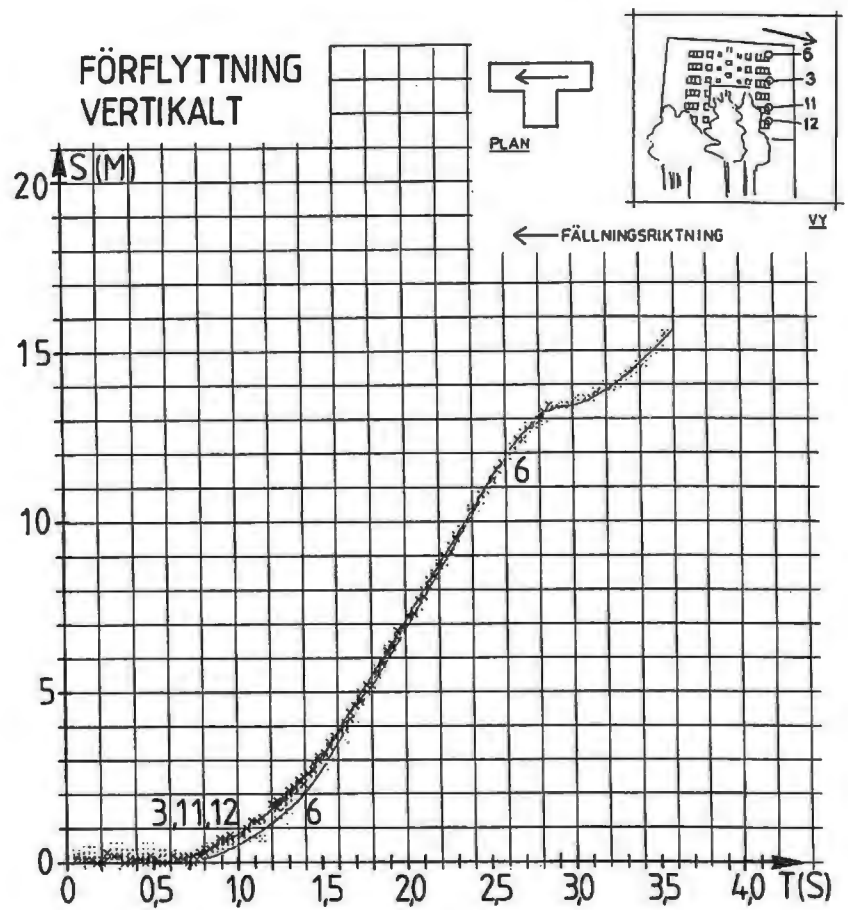
BILAGA 4, 7(13)



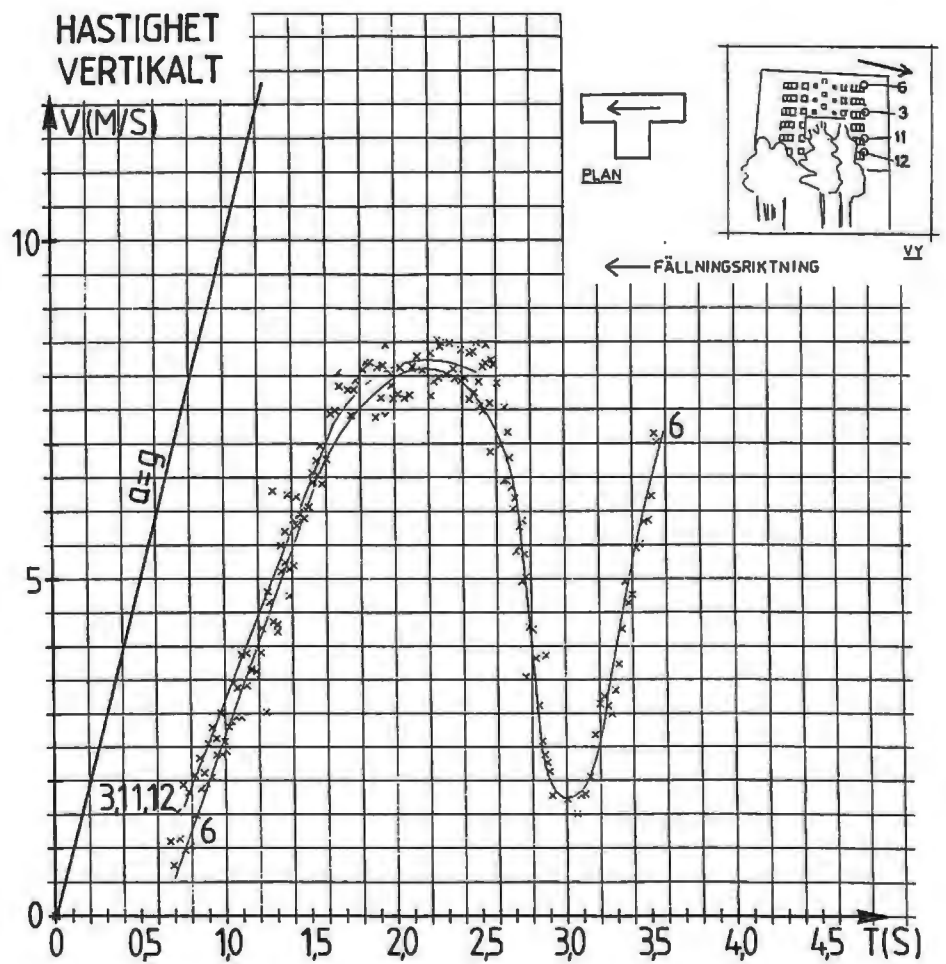
BILAGA 4, 8(13)



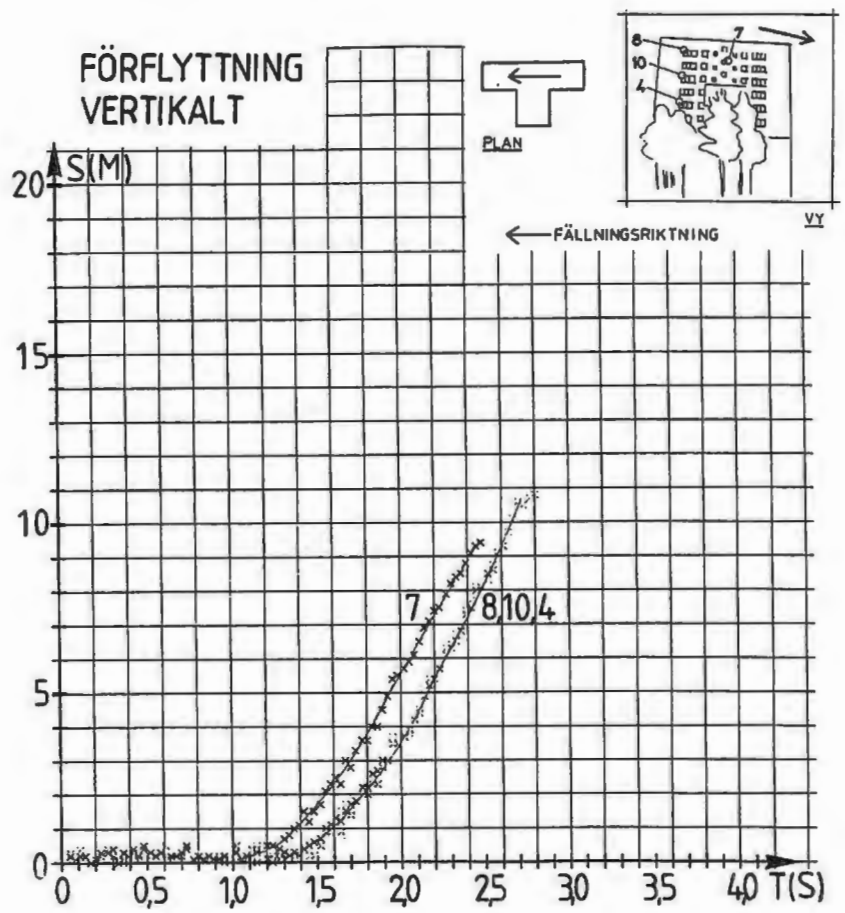
BILAGA 4, 9(13)



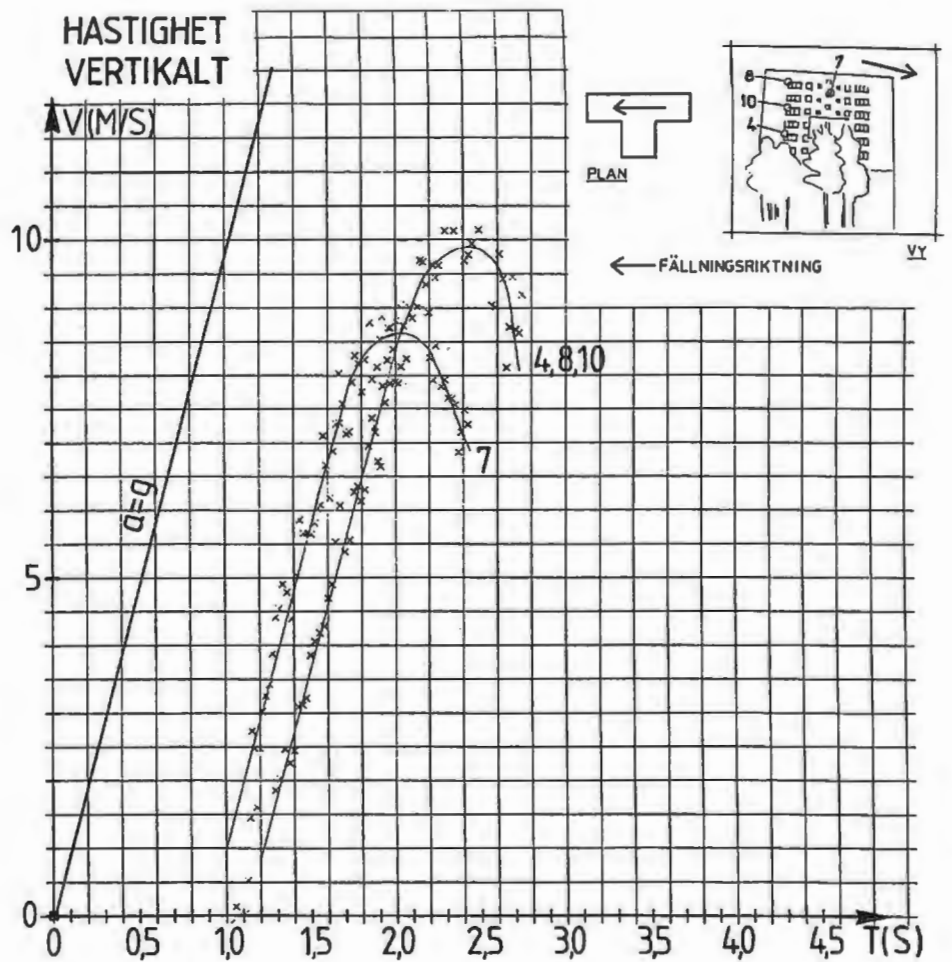
BILAGA 4 10(13)



BILAGA 4 11(13)



BILAGA 4, 12(13)



BILAGA 4, 13(13)

