



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

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



Rapport

R19:1979

BM 193 (632)

**Stöthållfasthet hos väggar.
Generell provningsmetod**

Björn Ottosson

Brita Roman

Odd Sylwan

Byggforskningen

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R19:1979

STÖTHÅLLFASTHET HOS VÄGGAR
GENERELL PROVNINGSMETOD

Björn Ottosson
Brita Roman
Odd Sylwan

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760072-8 från Statens råd för byggnadsforskning till BPA Byggproduktion AB och forskningsanslag 760107-0 till Avdelningen för byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan, Stockholm.

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

R19:1979

ISBN 91-540-2988-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 951145

FÖRORD

Föreliggande rapport utgör slutredovisning av ett projektarbete som har bedrivits i samarbete mellan BPA Byggproduktion AB, Avdelningen för Byggnadsmateriallära vid KTH och IFM Akustikbyrån AB. IFM Akustikbyrån har stått för den teoretiska bakgrunden inkl. metodutveckling och utfört mätningssarbetet samt därmed sammanhängande analys och beräkningar.

Till våra medarbetare vid BPA, KTH och IFM vilka medverkat till projektens genomförande samt till medlemmarna i den till projekten knutna referensgruppen riktar vi ett varmt tack.

Vi vill även tacka medarbetarna vid Institutionen för Konstruktionslära vid KTH, vilka välvilligt ställt upp med lokaler och annan hjälp.

Björn Ottosson Brita Roman Odd Sylwan

INNEHÅLL

1	INLEDNING.....	7
1.1	Allmänt.....	7
1.2	Bakgrund.....	7
2	UNDERLAG FÖR DIMENSIONERING AV ANSLAGSMASSOR FÖR STÖTPROV.....	9
2.1	Dimensioneringskriterier.....	9
2.2	Val av verkliga föremål.....	14
2.3	Impedansmätningar på verkliga föremål.....	17
3	IMPEDANSMÄTNINGAR PÅ VÄGGAR OCH MINDRE PROVKROPPAR AV VÄGGAR.....	19
3.1	Val av väggar.....	19
3.2	Impedansmätningar på hela väggar.....	21
3.3	Impedansmätningar på mindre provkroppar.....	22
3.4	Resultat.....	22
4	STÖTPROV MED VERKLIGA FÖREMÅL.....	25
4.1	Försökets genomförande.....	25
4.2	Signalanalys.....	27
4.3	Mätresultat.....	29
5	KONSTRUKTION AV ANSLAGSMASSOR.....	32
6	VERIFIERANDE STÖTPROV MED ANSLAGSMASSOR.....	37
7	JÄMFÖRELSE MELLAN RESULTAT FRÅN STÖTPROVNING MED VERKLIGA FÖREMÅL RESPEKTIVE ANSLAGSMASSOR.....	39
7.1	Stötparametrar.....	39
7.2	Skadeutveckling.....	44
8	METOD FÖR DIMENSIONERING AV ANSLAGSMASSOR.....	47
8.1	Allmänt.....	47
8.2	Metodik.....	49
8.2.1	Beräkning av massor och fjäderkonstanter	49

8.2.2	Beräkning av deformationer i fjäderelement vid dimensionerande stötbelastning.....	53
8.2.3	Val av geometriska dimensioner för del- massor och fjädrar.....	54
8.2.4	Beräkning av spänningar i fjäderelement..	57
8.2.5	Utformning av anslagsmassans nos.....	58
9	PROVNINGSMETOD, BESKRIVNING.....	60
9.1	Allmänt.....	60
9.2	Bestämning av motståndsförmåga mot stötar av hårda föremål.....	60
10	UTVECKLING AV METODEN.....	67
10.1	Stötprovning med små väggelement	67
10.2	Underlag för val av dimensionerande föremål och anslagshastighet.....	68
	REFERENSER	69
BILAGA 1	Anslagsmassa motsvarande sjukhussäng. Rit- ningar.....	70
BILAGA 2	Anslagsmassa motsvarande bår. Ritningar.....	72
BILAGA 3	Anslagsmassa motsvarande bord. Ritningar....	74

1 INLEDNING

1.1 Allmänt

Syftet med föreliggande projekt har varit att skapa underlag för framtagning av provningsmetoder för bestämning av väggkonstruktioners motståndsförmåga mot stötar av hårda föremål.

Denna rapport utgör en sammanfattning av resultaten av två BFR-finansierade forskningsprojekt: BPA Byggproduktion AB - "Stöthållfasthet hos gipsväggar. Provningsmetod" och KTH Byggnadsmateriallära - "Stöthållfasthet hos väggar. Generell provningsmetod". Det senare projektet var avsett som en vidareutveckling och uppföljning av det första. Under arbetets gång har projekten kommit att samordnas så nära och visa sådana resultat att de med fördel kan sammanfattas i en rapport. Tidigare resultat av projekten har redovisats som delrapporter till BFR, se REFERENS (1) - (6).

1.2 Bakgrund

Lätta mellanväggar av skivor på regelverk har under en följd av år varit den dominerande mellanväggskonstruktionen. Väggarnas konstruktion bestäms i allmänhet av krav på ljudisolering och stöthållfasthet, där i många fall stöthållfasthetskravet är svårare att uppfylla än ljudisoleringskravet. Väggarna måste tåla normalt förekommande stötblastningar från människor och föremål.

Stötblastningar på väggar kan vara av två principiellt olika slag, dels sådana som åstadkoms av mer eller mindre mjuka föremål vilka träffar en relativt stor yta av väggen och som framför allt påverkar väggens stomme och infästning, dels hårda föremål, vilka träffar en liten yta på väggen och som i första hand kan orsaka lokala skador på denna. I detta projekt har enbart stötblastningar av den senare typen behandlats.

För att bedöma stöthållfastheten hos väggar till ett enstaka byggnadsobjekt där ett eller ett fåtal specifika stötbelastande föremål förekommer är det möjligt att prova de konstruktioner som kan komma ifråga med de verkliga aktuella föremålen och välja konstruktion med ledning härav. Vill man däremot göra mer omfattande provningar av väggars motståndsförmåga mot stötar och göra det möjligt att ställa realistiska krav på stöthållfasthet på väggar i olika typer av miljöer är det i allmänhet opraktiskt att använda verkliga föremål. Dels är det rent provningstekniskt besvärligt, dels är det svårt att erhålla reproducerbara resultat, bl a beroende på att stöthastigheten för ett verkligt föremål är svår att bestämma. Vid stötprovning av väggar i laboratorium är det därför önskvärt att ersätta det verkliga föremålet med kompakta väl definierade anslagsmassor. Dessa skall ha sådana dynamiska egenskaper att man vid stötprovning erhåller samma krafttidförlopp hos stöten som med det verkliga föremål som anslagsmassan efterliknar.

I föreliggande rapport redovisas bl a en metod att dimensionera sådana anslagsmassor, vilken är generellt användbar för olika typer av verkliga föremål och väggtyper.

Under utvecklingsarbetet har några anslagsmassor tagits fram. I rapporten beskrivs en provningsmetod baserad på dessa och det provningsförfarande som använts. Denna provningsmetod kan även ligga till grund för provningsmetoder med andra anslagsmassor.

2 UNDERLAG FÖR DIMENSIONERING AV ANSLAGSMASSOR FÖR STÖTPROV

2.1 Dimensioneringskriterier

Det finns många typer av väggar i byggnader som kan utsättas för stötpåverkan vid normalt utnyttjande av byggnaden. En stötprovningssmetod som är generellt användbar på olika typer av väggar bör därför baseras på den verkliga stötblastning som väggar kan utsättas för vid normal hantering av vanliga föremål i den aktuella miljön.

Förekommande stötblastningar är naturligtvis mycket olika i olika typer av lokaler och deras karaktär och verkan bestäms av följande faktorer:

- Typ av föremål som stöter mot väggen
- Den geometriska utformningen hos och materialet i den del av föremålet som träffar väggen vid stötblastning
- Föremålets anslagshastighet
- Föremålets rörelseriktning i förhållande till väggen
- Typ av vägg
- Fukt- och temperaturförhållanden.

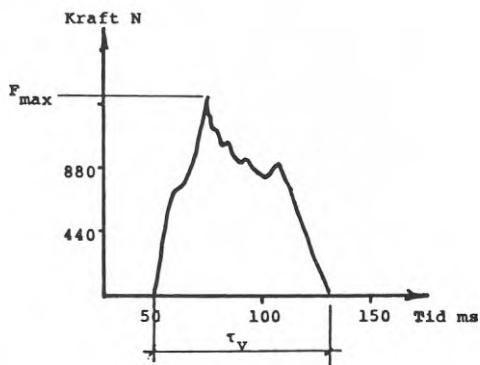
Vid utarbetandet av metodanvisningar för stötprovning av väggar bör därför dessa faktorer beaktas.

Provningssmetoden inklusive provningsanordningens konstruktion måste i första hand baseras på det verkliga stötblastande föremålets dynamiska egenskaper. Om man vid stötprovning använder en vägg med realistiska dimensioner och ett verkligt föremål och om övriga provningsbetingelser överensstämmer med verkligheten erhålles självfallet realistiska skador på väggen. Om man i stället för en hel vägg provar på en mindre del av en sådan eller använder konstgjorda anslagsmassor

i stället för det verkliga föremålet eller gör båda delarna måste man se till att väggens och/eller anslagsmassans dynamiska egenskaper i tillräcklig utsträckning överensstämmer med förebilderna. Vid stötprovning i laboratorium strävar man därför efter att åstadkomma ungefär samma kraft-tidförlopp i kontaktytan mellan anslagsmassa och provkropp som i motsvarande fall med verkligt föremål och hel vägg.

En vägg eller ett verkligt föremål kan i det här sammanhanget sällan betraktas som en stel kropp. Såväl väggen som det verkliga föremålet har resonanser (vekheter). Då det verkliga föremålet träffar väggen kommer olika delar av föremålet att röra sig relativt varandra. Rörelsen bestäms bl a av resonansfrekvenserna för föremålet och väggen. Det verkliga föremålet kan därför vid provning inte ersättas med en anslagsmassa som utgörs av en enda resonansfri "stel" kropp.

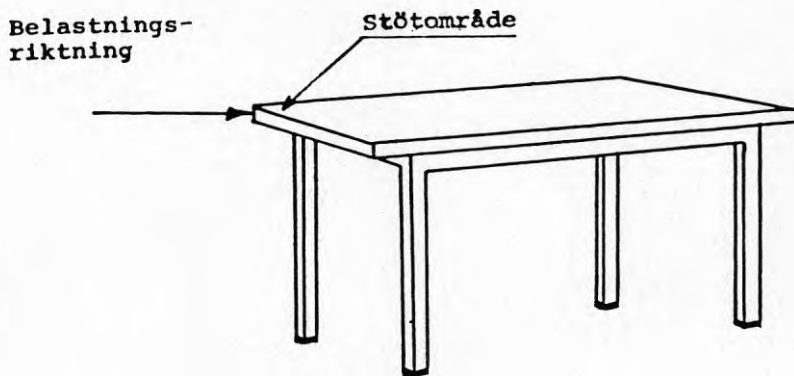
Om anslagsmassan utgörs av en "stel" kropp med massan ungefär lika stor som hos förebilden blir vid stötprovning på en hel vägg den maximala kontaktkraften F_{\max} mellan anslagsmassan och väggen alltför stor, medan varaktigheten τ_v och stigtiden för kraftpulsen blir alltför kort. Se FIGUR 2.1. Man kan i allmänhet inte korrigera avvikelserna enbart genom att minska massan eller hastigheten hos anslagsmassan.



FIGUR 2.1 Exempel på kraft-tidförlopp hos en stöt

Även om risken för att en vägg skadas av en stöt skulle bero av enbart den maximala kontaktkraften skulle inte en "stel" anslagsmassa vara generellt användbar på alla typer av väggar. Den maximala kontaktkraften beror både av anslagsmassans och väggens egenskaper, varför anslagsmassan i så fall måste justeras för varje ny vägg som provas.

Man kan visa att de dynamiska egenskaperna hos det verkliga föremålet för detta ändamål bäst kan beskrivas av punktimpedansen mätt i stötområdet (kontaktytan mellan föremål och vägg) hos föremålet i den aktuella belastningsriktningen. Punktimpedansen hos ett föremål är förhållandet mellan en yttre stationär sinuskraft, verkande på föremålet och föremålets hastighetsrespons i kraftens angreppspunkt. Impedansen utgör alltså ett mått på föremålets motstånd mot att bli satt i rörelse. Av beräkningstekniska skäl används i stället begreppet admittans som är det inverterade värdet av impedansen. Se FIGUR 2.2.



FIGUR 2.2 Exempel på ett verkligt föremål med belastningsriktning och stötområde

Punktadmittansen $Y(f)$ definieras av följande två storheter:

$$|Y(f)| = \frac{U_0(f)}{F_0(f)} = \text{beloppet av punktadmittansen, m/Ns}$$

$\phi(f)$ = fasförskjutningen mellan kraft och hastighet, radianer

där $F_0(f)$ = toppvärdet av kraften, N

$U_0(f)$ = toppvärdet av motsvarande hastighetsrespons i samma punkt och riktning, m/s

f = frekvensen, Hz

Det förutsätts att det verkliga föremålet har nära nog linjärelastiska dynamiska egenskaper inom det aktuella belastningsområdet. Denna förutsättning är inte alltid uppfylld nära stötområdet hos föremålet där spänningarna och deformationerna lokalt kan bli mycket stora.

Det är därför lämpligt att tänka sig en uppdelning av det stötdimensionerande föremålet i två delar enligt FIGUR 2.3.



FIGUR 2.3 Linjära och olinjära delar av ett verkligt föremål

Samma förhållande gäller även för väggen. Lokalt kan det uppstå sprickor, krosskador och genomstansning. Dessa effekter är av olinjär natur. Ett litet stycke från det berörda skadeområdet har väggen i allmänhet linjärt beteende.

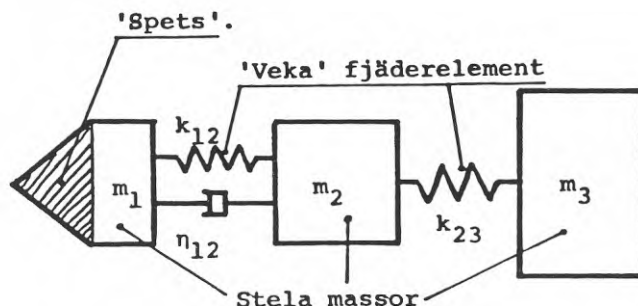
Under den tidrymd som föremålet är i kontakt med väggen kan man ur dynamisk synpunkt betrakta föremålet och väggen tillsammans som ett enda svängande dynamiskt system. Se FIGUR 2.4.



FIGUR 2.4 Det svängande systemet föremål-vägg

Systemet består av de linjära delarna av väggen och föremålet kopplade till varandra via ett icke linjärt område (skadeområdet).

Vid stötprovning av väggar bör man kunna ersätta den linjära delen av det verkliga föremålet med ett linjärt massa-fjädersystem, utformat på ett sådant sätt att punktadmittansen i tillräcklig utsträckning överensstämmer med föremålets. Den icke linjära delen av det verkliga föremålet kan inte enkelt ersättas. En anslagsmassa för laboratorieprov bör därför helst ha en "spets" som består av den icke linjära delen av föremålet eller liknande (t ex avsågat hörn av bord). Se FIGUR 2.5.



FIGUR 2.5 Principiell uppbyggnad av anslagsmassa för laboratorieprov där spetsen utgör den icke linjära delen av anslagsmassan och fjäderelementen motsvarar vektorer i det verkliga föremålet

m_1, m_2, m_3 = massan för anslagsmassans delmassor 1, 2 och 3, kg

k_{12}, k_{23} = fjäderkonstanter hos fjäderelementen 12 respektive 23, där 23 har försumbar dämpning, N/m

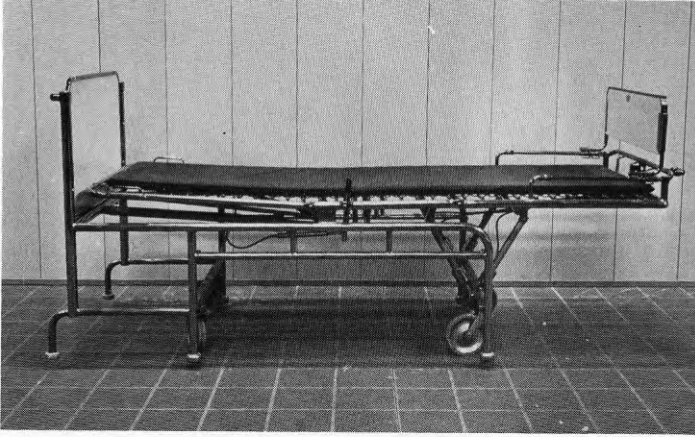
η_{12} = förlustfaktor i fjäderelement 12

2.2 Val av verkliga föremål

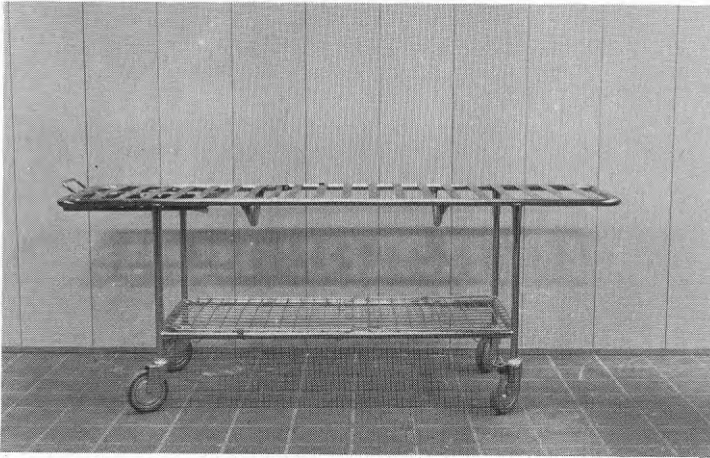
Valet av verkliga föremål är ej kritiskt för projektets genomförande, då arbetet i första hand avser att ta fram en metod för dimensionering av anslagsmassor för stötprovning av väggar. För att erhålla visst underlag för val av skadegörande föremål gjordes en orienterande studie över förekommande skador i sjukhus, skolor och bostäder.

För sjukhus befanns bårar, sängar, dörrhandtagsstoppar samt rullande bord med medicinsk utrustning vara främsta skadegörare. I skolmiljö angavs sparkar vara den främsta orsaken till skador i väggar och förvarings-skåp. Stötskador i väggar ansågs vara relativt ovanliga i kontor och bostäder.

Som verkliga föremål valdes sjukhussäng, bår, bord och träsko. Se FIGURERNA 2.6 - 2.9.



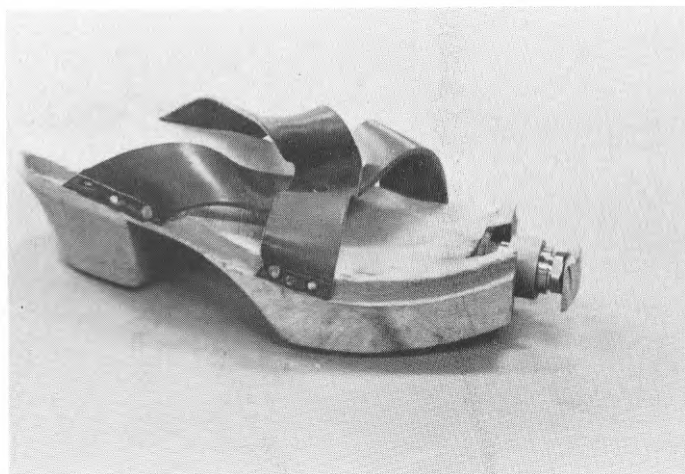
FIGUR 2.6 Sjukhussäng



FIGUR 2.7 Bår



FIGUR 2.8 Bord



FIGUR 2.9 Träsko

2.3 Impedansmätningar på verkliga föremål

För att bestämma de dynamiska egenskaperna hos de valda föremålen har impedansmätningar utförts på dessa.

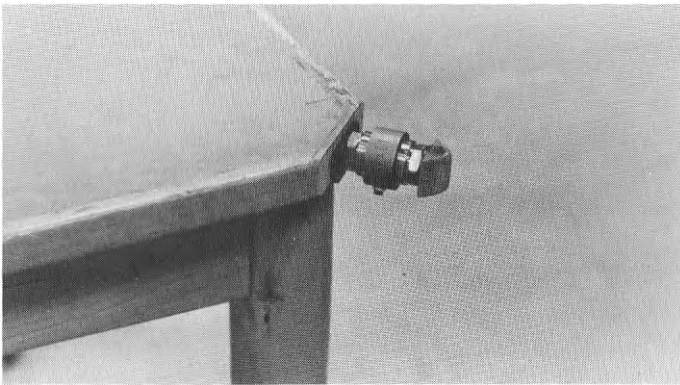
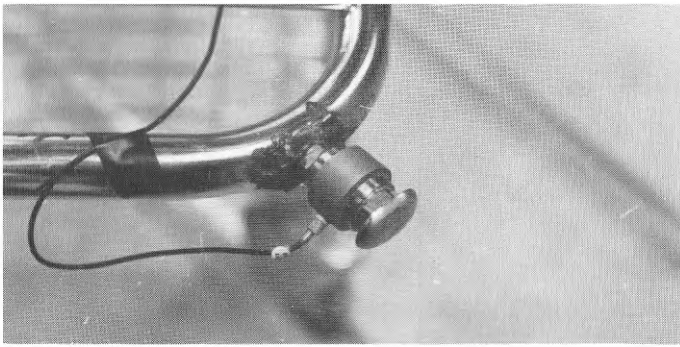
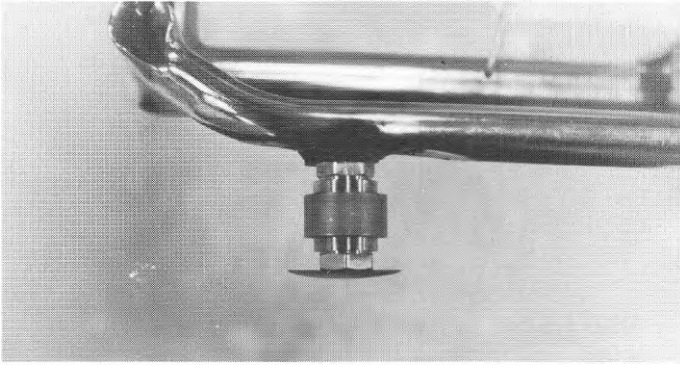
På samtliga föremål har av naturliga skäl ett hörn (i fallet träsko tån) valts som kontaktområde mellan föremål och vägg. Hörnen på sjukhussängen och baren utgörs av stålrör med diametern 19 mm respektive 24 mm och med krökningsradien 100 mm respektive 80 mm. Bordsskivans hörn är 25 mm tjockt och avrundat i horisontalled med radien ca 3 mm. Tån på träskon är i horisontell riktning rundad med radien ca 50 mm. Stötriktningen har valts så att den går genom hörnets krökningscentrum och bildar 45° vinkel med föremålets sidor. På träskon motsvarar stötriktningen en rakt framåtriktad rörelse.

Den yttersta delen av hörnet på samtliga föremål sågades av och i dess ställe monterades ett impedanshuvud, som innehöll både kraft- och accelerationsgivare.

Se FIGUR 2.10.

Vid den första mätomgången exciterades (sattes i svängning) föremålen av en elektromekanisk vibrator med ett verksamt frekvensområde mellan 50 och 3000 Hz. Resultatet av dessa mätningar redovisas fullständigt i REFERENS (1). Mätresultaten visade att information om impedansen behövdes också för frekvenser under 50 Hz. Kompletterande mätningar har därför utförts inom ett lägre frekvensområde.

I FIGUR 5.2 - 5.4 ges den mekaniska punktadmittansen (inverterade värdet av punktimpedansen) som funktion av frekvensen för föremålen säng, bår och bord. Dessa diagram är sammansatta av resultaten från de båda mätomgångarna.



FIGUR 2.10 Impedanshuvud fäst vid sjukhussäng, bår
respektive bord

3 IMPEDANSMÄTNINGAR PÅ VÄGGAR OCH MINDRE PROV- KROPPAR AV VÄGGAR

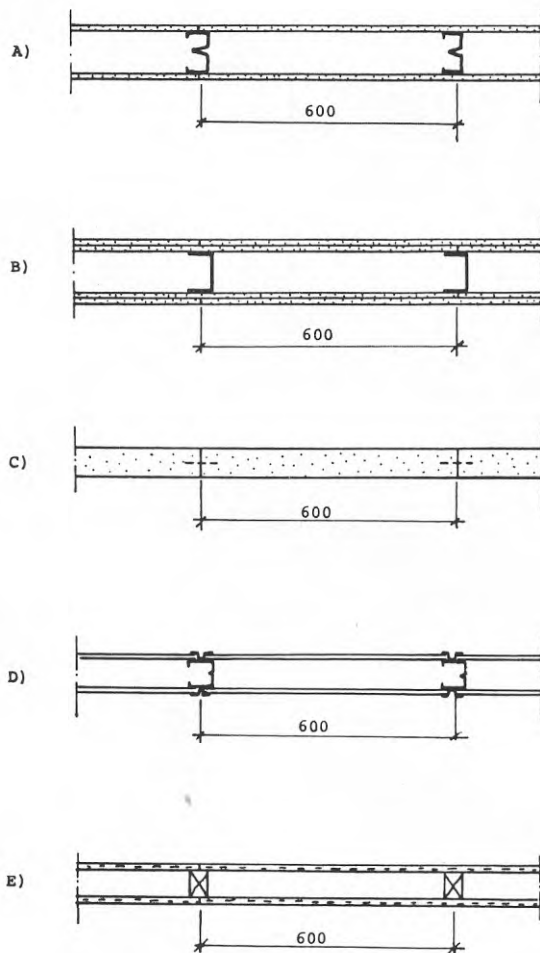
3.1. Val av väggar

Valet av väggar för stötprovning är delvis betingat av att denna rapport sammanfattar resultaten från två olika projekt. BPA:s projekt avser utveckling av en stötprovningssmetod enbart för gipsskiveväggar medan KTH:s projekt utgör en utvidgning av detta med syfte att utveckla en provningsmetod som är generellt användbar på väggar. Det har alltså ingått i förutsättningarna att gipsskiveväggar av något slag skulle vara med. Det är också naturligt med hänsyn till deras omfattande användning. De övriga väggarna har valts dels så att de har dynamiska egenskaper som skiljer sig markant från gipsväggarnas, dels så att de kan användas i de typer av byggnader som är intressanta i den här undersökningen. Följande väggar har valts:

- A. Enkla gipsskivor på BPA:s veka specialreglar av plåt
- B. Dubbla gipsskivor på konventionella stålreglar
- C. Mellanväggselement av lättbetong
- D. Träfiberskivor med ytskikt av mineralfiber (Karlit) på stålreglar
- E. Spånskivor på träreglar

Se FIGUR 3.1.

Väggarna tillverkades enligt fabrikanternas anvisningar och spändes fast mellan golv och tak.

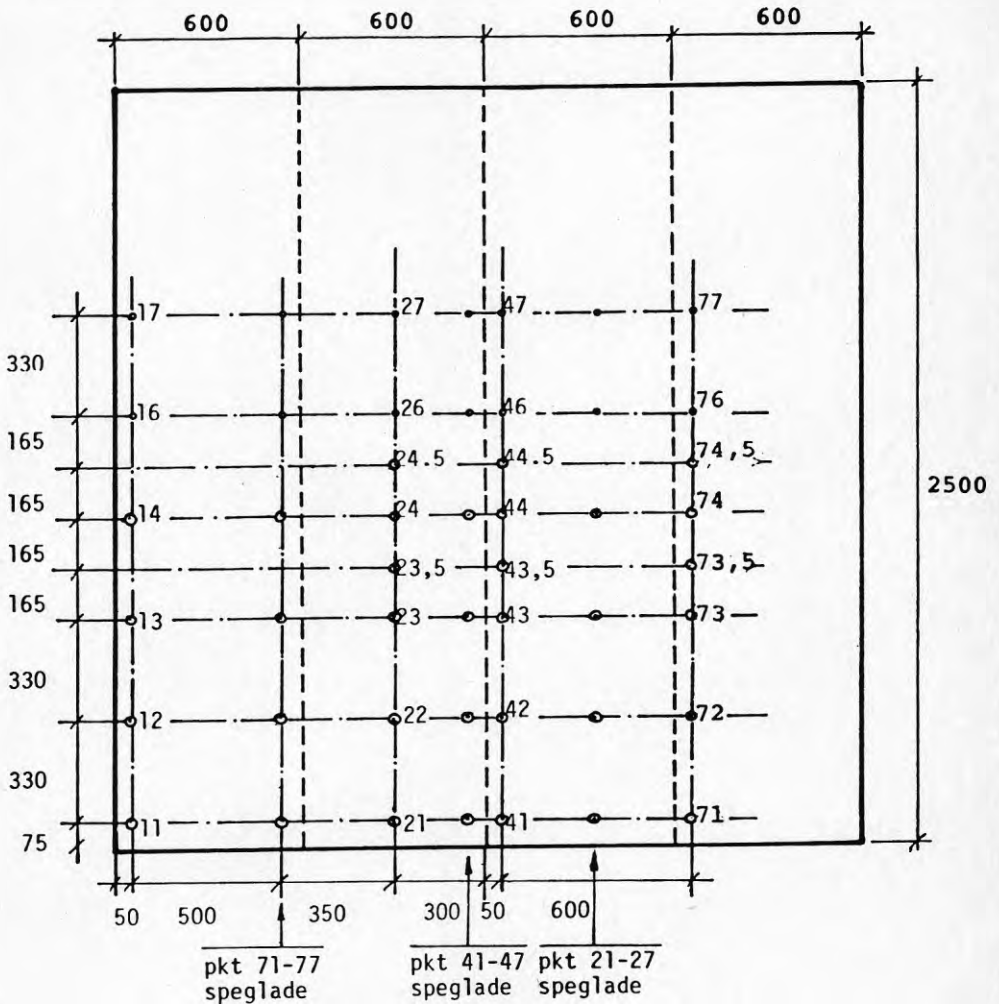


FIGUR 3.1 Väggar som stötprovas

- a) 13 mm gipsskivor på 95 mm veka stålreglar
- b) Dubbla 13 mm gipsskivor på 95 mm stålreglar
- c) Mellanväggselement av gasbetong
- d) 12 mm träfiberskivor med 2,5 mm mineralisk ytbeleggning (Karlit täandskyddande) på 70 mm stålreglar
- e) 12 mm spånskivor på 45 x 70 mm träreglar

3.2 Impedansmätningar på hela väggar

Punktimpedansmätningar utfördes i ett stort antal punkter på väggarna, se FIGUR 3.2. Avsikten med dessa mätningar var att få fram underlag för en bedömning av dels vilka delar av väggarna som ur dynamisk synpunkt kunde anses likvärdiga, dels vilka frekvenser som måste beaktas vid dimensionering av anslagsmassor för laboratoriebruk.



FIGUR 3.2 Stort väggelement. Mätpunktsplacering

Väggarna exciterades med en elektromekanisk vibrator med konstant stationär sinuskraft och i frekvensområdet mellan 50 och 3000 Hz. Hastighetsresponsen och kraften registrerades för hela frekvensområdet.

3.3 Impedansmätningar på mindre provkroppar

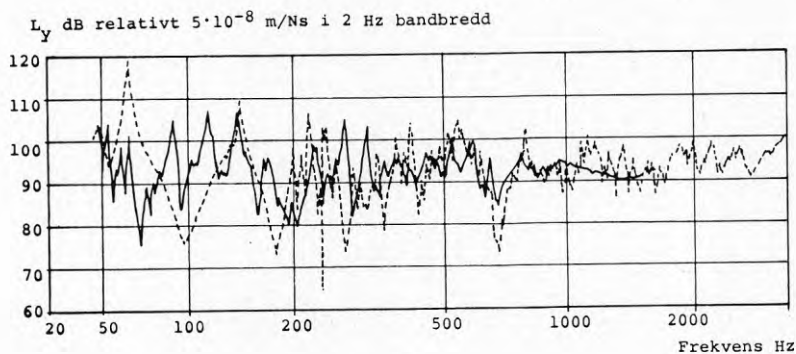
Man har från främst fabrikanthåll framfört önskemål om att kunna utföra stötprov på mindre provkroppar än hela väggar för att förenkla provningsförfarandet framför allt i samband med produktutveckling. Av den anledningen har vi utfört impedansmätningar även på 60 x 60 cm provkroppar utförda i samma konstruktion som de fem väggtyperna. Dessa ställdes vertikalt med understöd bakom hörnen där de också var infästade. Mätningar utfördes mot tre olika punkter varav två intill randen och en i fältmitt.

3.4 Resultat

De fullständiga resultaten från punktimpedansmätningarna finns redovisade i REFERENS (1) och (2). De visar bl a att för hela väggar är sannolikt de dynamiska egenskaperna någorlunda likvärdiga utmed vertikala linjer på väggarna, (vilka endast har stående regler) med undantag för punkter nära ränderna, d v s golv och tak. Med nära avses att avståndet mellan en mätpunkt och randen understiger ca 300 mm. Längs punkter belägna utmed horisontella linjer på väggarna varierar de stötdynamiska egenskaperna avsevärt, beroende på avståndet till regel.

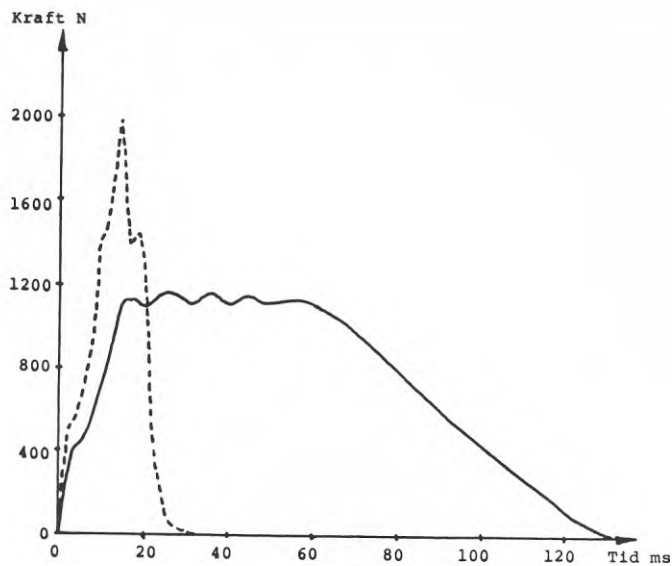
Punktadmittansen för de små provkropparna avviker avsevärt från punktadmittansen mätt i motsvarande punkter på väggar i full skala. I FIGUR 3.3 visas exempel på två olika admittansspektra för en Karlitvägg: dels hel vägg i fältmitt, dels en 60 x 60 cm provkropp mitt på plattan. Av figuren framgår bl a att:

- formen på impedanskurvorna i de två fallen avviker avsevärt, speciellt i det betydelsefulla låg- och mellanfrekvensområdet
- antalet toppar och dalar (resonanstätheten) är avsevärt mindre i fallen med de små provkropparna än för fallen med väggar i full skala.



FIGUR 3.3 Admittansspektrum för Karlitvägg. Hel vägg - heldragen linje och liten provkropp - streckad linje.

Vid stötexcitering med ett verkligt föremål eller en anslagsmassa erhålles därför ofta skillnader i formen på kraft-tidförloppet för de två typerna av provkroppar. Den kanske allvarligaste skillnaden gäller stöt-kraftens maximalvärde, som ofta blir större för de små provkropparna vid jämförbar stötbelastning. Se FIGUR 3.4. Orsaken är att de små provkropparna monteras till en tämligen styv ram. Eftergivligheten (admittansen) i viktiga frekvensområden blir därför mindre för de små provkropparna varvid kontaktkraften mellan stötbelastande föremål och provkropp blir alltför stor.



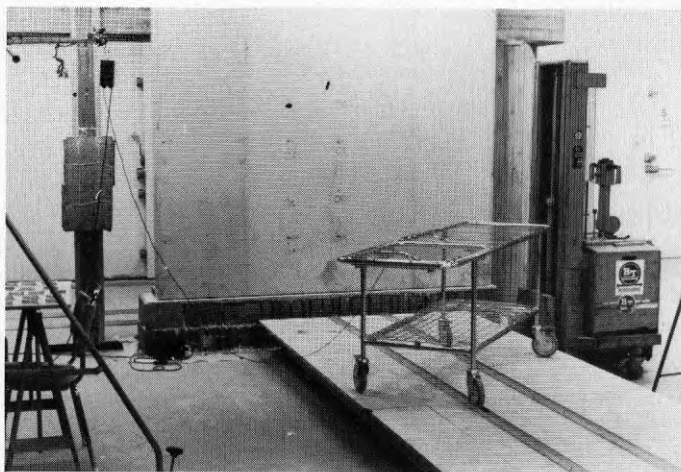
FIGUR 3.4 Kraft-tidförlopp vid stötexcitering av Karlitvägg med sjukhussäng. Hel vägg - heldragen linje och liten provkropp - streckad linje.

4 STÖTPROV MED VERKLIGA FÖREMÅL

4.1 Försökets genomförande

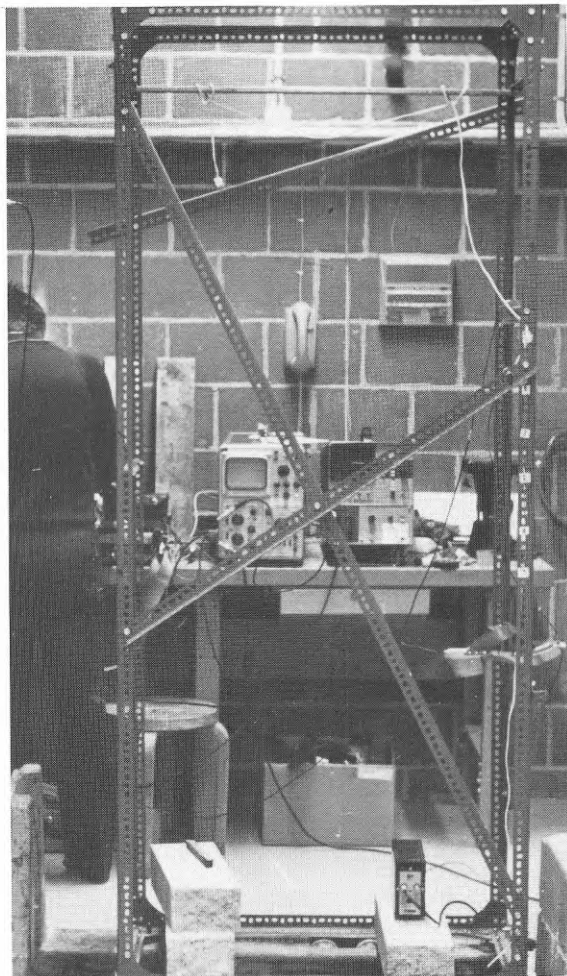
Samtliga väggar utsattes för stötbelastning från samtliga (4 st) utvalda verkliga föremål. Stötbelastningen upprepades för varje kombination av föremål och vägg ca 3-5 gånger med växande hastighet hos föremålet ända tills brott inträffade (där detta var möjligt att åstadkomma).

Provföremålen sjukhussäng, bår och bord var försedda med hjul. Dessa föremål placerades på en speciell plattform försedd med styrskenor. En person rullade föremålen styrda i skenorerna med approximativt konstant hastighet mot väggen. Hastigheten mättes dels med hjälp av ett tidtagarur och dels med en specialtillverkad hastighetsmätare med vars hjälp föraren av det verkliga föremålet kunde avläsa ett närmevärde på den hastighet varmed föremålet rullades och hålla denna så långt möjligt konstant. Plattformen kunde höjas och sänkas med hjälp av två stycken gaffeltruckar. Se FIGUR 4.1.



FIGUR 4.1 Plattform för manövrering av föremålen

Provföremålet träsko försågs med en extra massa på 1 kg. Därefter monterades träskon i en pendelanordning. Se FIGUR 4.2.



FIGUR 4.2 Pendelanordning med träsko

Föremålens hastighet varierades mellan ca 0,2 till 1,1 m/s för sängen, båren och bordet och mellan 2,9 och 3,8 m/s för träskon.

Stötbelastning av en vägg bör ej ske flera gånger i samma punkt på väggen eftersom den föregående stöten kan ha försvagat väggen lokalt. Med hänsyn till resultaten från impedansmätningarna på väggarna bedömdes det därför vara lämpligt att stötbelasta en vägg med ett verkligt föremål i punkter med inbördes avstånd ca

330 mm längs vertikala linjer på väggen belägna antingen nära en regel eller mitt emellan två regler.

Vid stötblastning av väggarna mättes dels kraft-tidförloppet nära kontaktområdet mellan vägg och provföremål och dels acceleration-tidförloppet på väggen i en punkt belägen några cm från stötområdet. Uppkomna skador på väggarna fotograferades och deras dimensioner uppmättes (längd, bredd, diameter och djup). Exempel på typiska skador som erhållits med de olika stötblastande föremålen visas i FIGUR 4.3.

4.2 Signalanalys

Det uppmätta kraft-tidförloppet registrerades på ett oscilloskop samt fouriertransformerades med hjälp av en "real-time analysator". Se även FIGUR 4.5.

Fouriertransformationen innebär att kraften som funktion av tiden transformeras till kraften som funktion av frekvensen genom följande matematiska operation.

$$F'(f) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\tau_v} F(t) \cdot e^{-j \cdot 2\pi ft} \cdot dt \quad (4.1)$$

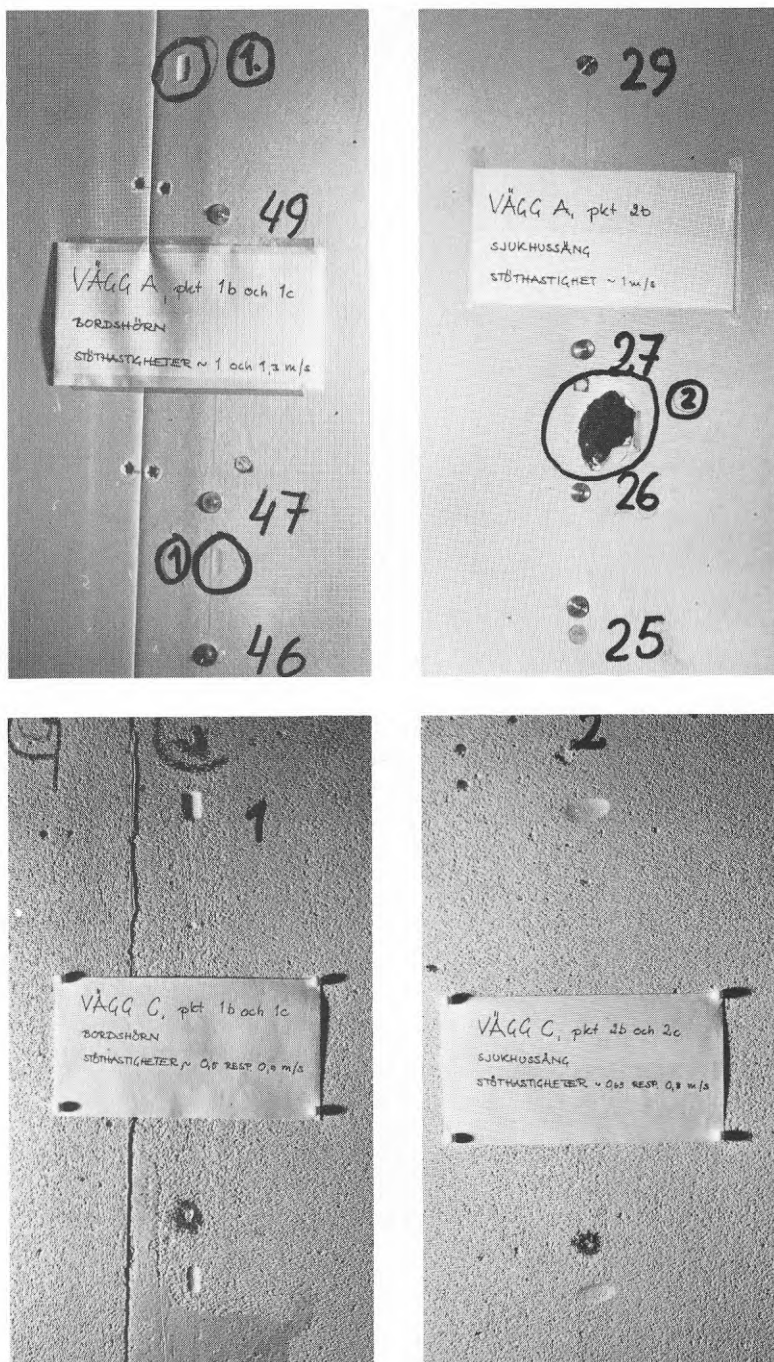
där $F(t)$ = kraften som funktion av tiden, N

$F'(f)$ = kraften som funktion av frekvensen, Ns

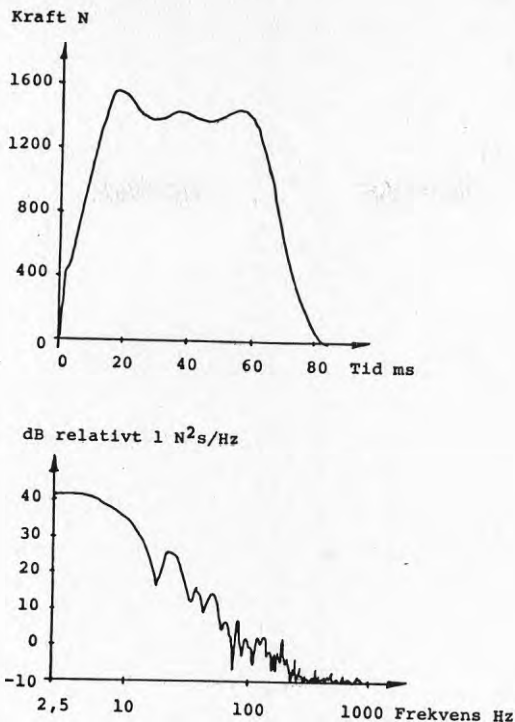
j = $\sqrt{-1}$

Härigenom kan man få upplysning om vilka frekvenser som är viktiga för stötförloppet och därmed vilka resonanser som måste beaktas vid dimensionering av anslagsmassor.

Exempel på ett kraft-tidförlopp och dess fouriertransform visas i FIGUR 4.4.



FIGUR 4.3 Skador på en dubbel gipsskivevägg respektive gasbetongvägg åstadkomna vid stötar med en sjukhussäng och ett bord



FIGUR 4.4 Kraft-tidförloppet vid en stöt med sjukhussäng mot en Karlitvägg med stöthastigheten 1 m/s samt kraftens fouriertransform

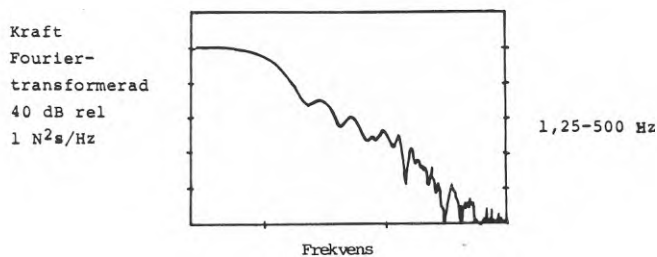
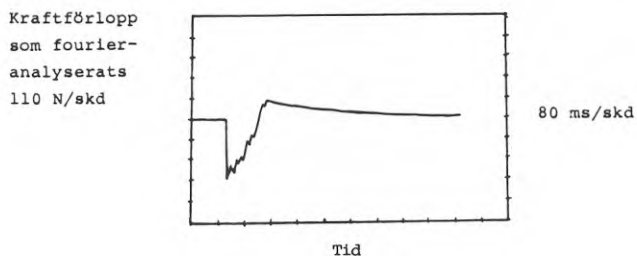
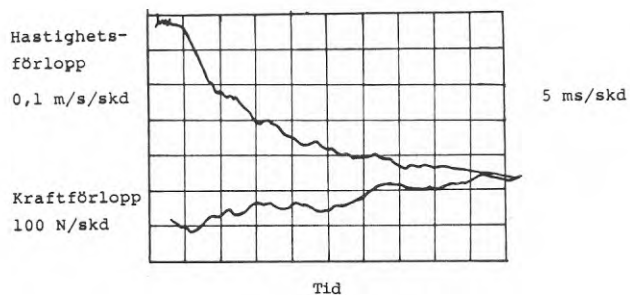
4.3 Mätresultat

De fullständiga resultaten av stötmätningarna har redovisats i REFERENS (3) och (4). Exempel på utseendet hos ett mätprotokoll ur dessa referenser visas i FIGUR 4.5. Protokollet utgörs av avfotograferade oscilloskopbilder. Det övre diagrammet visar hastighets- och kraftförloppen. Mittdiagrammet visar samma kraftförlopp i en annan skala och det undre diagrammet visar kraftens fouriertransform.

Ur mätresultaten har maximal stötkraft F_{\max} och varaktighet τ_v beräknats. En sammanställning av dessa för olika kombinationer av verkliga föremål och väggar re-

dovisas tillsammans med tillhörande anslagshastighet v i TABELL 4.1. Värdena gäller för de högre av de anslagshastigheter som använts, där resultatet i flertalet fall blivit lokala skador på väggarna.

Diagram 10 Vagg: Enkel gipsskiva Provföremål: 3
Hastighet: 0,50 m/s Mätpunkt: 73



FIGUR 4.5 Exempel på mätprotokoll från stötprovning av en enkel gipsvägg

TABELL 4.1 Uppmätt maximal stötkraft F_{max} , varaktighet τ_v (se figur 2.1) samt tillhörande anslagshastighet v för det verkliga föremålet med olika typer av skador som följd.

Verkligt föremål ¹⁾	Enkel gipsvägg		Dubbel gipsvägg		Lättbetongvägg		Karlitvägg		Spånskivevägg		Anmärkning			
	F_{max} N	v m/s	τ_v m/s	F_{max} N	v m/s	τ_v m/s	F_{max} N	v m/s	τ_v m/s	F_{max} N		v m/s		
Sjukhus-säng	460	0.67	78	1270	1.0	59	3000	1500	1.0	77	1200	1.1	120	mitt i fält
Bår	790	1.1	42	1600	1.0 ³⁾	59	2250	1260	1.0 ⁴⁾	56	1650	0.91 ⁴⁾	61	nära regel
Bord	750	1.3	46	2200	1.3 ³⁾	43	2200	1300	1.0 ⁴⁾	79	1600	1.0 ⁴⁾	42	nära regel

- 1) Värden för träskon har utelämnats
 - 2) Endast märken i väggytan
 - 3) Sprickor i pappan vid kanterna
 - 4) Skivan ej skadad
- I övriga fall har totalt brott inträffat.

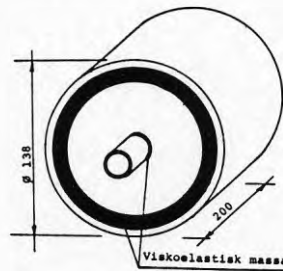
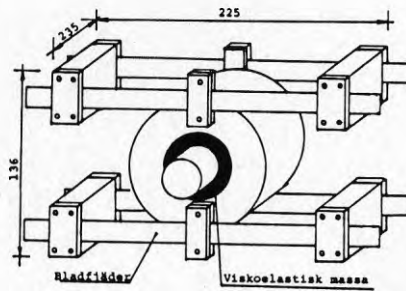
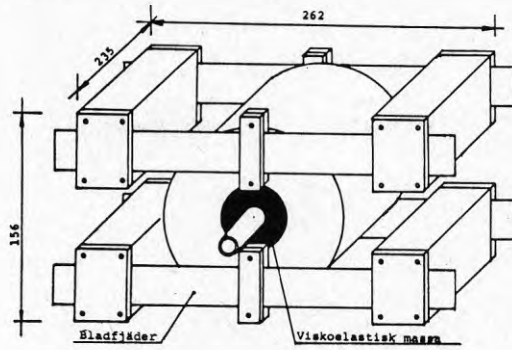
5 KONSTRUKTION AV ANSLAGSMASSOR

Med utgångspunkt från resultaten av de utförda admittansmätningarna på verkliga föremål och väggar har framtagits anslagsmassor motsvarande föremålen sjukhussäng, bår och bord. Då det visade sig att träskon lika gärna kunde användas direkt för provning, har den ej medtagits här.

Anslagsmassorna är i princip uppbyggda av tre stycken massor med två stycken mellanliggande fjäderelement enligt FIGUR 2.5. Metodiken att konstruera anslagsmassor redovisas i avsnitt 8. Massor och fjäderkonstanter har valts på sådant sätt att beloppet av punktadmittansen mitt i "spetsen" på anslagsmassan liknar admittansen i det provföremål som anslagsmassan skall ersätta inom det mest betydelsefulla frekvensområdet som vanligtvis är 5 - 500 Hz. För att återge den snabbt växande delen av kraft-tidförloppet i början på kraftpulsens måste nämligen punktadmittansen i anslagsmassan och i motsvarande verkliga föremål ligga på ungefär samma nivå upp till ca 500 Hz. För frekvenser $>$ ca 500 Hz bör admittansen i anslagsmassan vara ungefär lika stor som eller större än i föremålet.

Den konstruktiva utformningen av de framtagna anslagsmassorna framgår av ritningar i BILAGA 1a och b, 2a och b, 3a och b samt FIGUR 5.1 a-c.

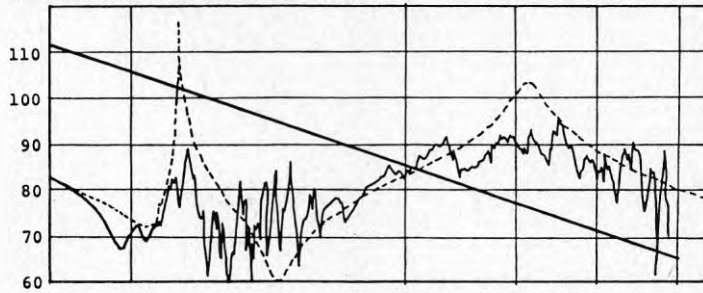
Anslagsmassan som motsvarar bordet består av tre stycken cylindriska massor kopplade till varandra via fjädrar tillverkade av viskoelastisk massa av polyuretantyp. Den valda massan har de rätta elastiska egenskaperna och lagom stora inre förluster (d v s förmåga att omvandla vibrationer till värme).



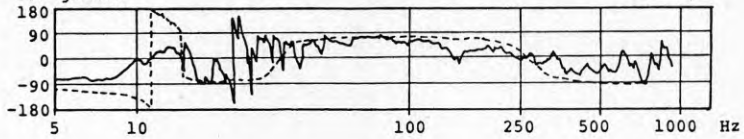
FIGUR 5.1 Konstruktiv utformning hos anslagsmassor motsvarande sjukhussäng, bår och bord

De anslagsmassor som motsvarar sjukhussängen och bårn består egentligen av 6 st massor, 4 st bladfjädrar samt ett fjäderelement av polyuretanmassa. Den tredje massan har nämligen delats upp i fyra stycken lika massor, symmetriskt monterade på fyra stycken bladfjädrar. De fyra massorna fungerar vid stötbelastning som en massa på en fjäder. Den konstruktiva utformningen av nämnda anslagsmassor har bestämts av bl a hållfasthetstekniska skäl. Dessa fjäderelement motsvarande k_{23} i FIGUR 2.5 är relativt vecka och måste därför vid stötbelastning kunna ta upp tämligen stora deformationer av storleksordningen 1 å 2 cm. Motsvarande fjäderelement i den anslagsmassa som motsvarar bordet är väsentligt styvare. Deformationerna i detta blir därför ca en tiopotens mindre.

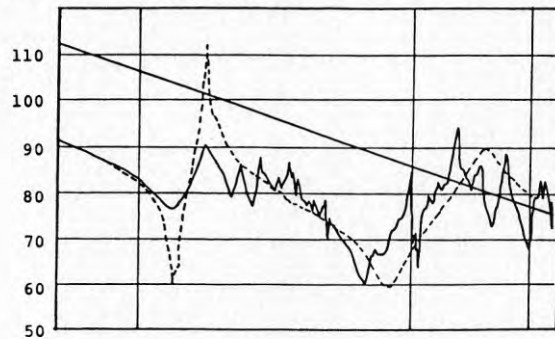
I FIGUR 5.2, 5.3 och 5.4 redovisas parvis uppmätta admittanser för anslagsmassa och tillhörande provföremål. I diagrammen har också inlagts admittansen för en ren massa med massan 1 kg. Av figurerna framgår att överensstämmelsen är god inom stora delar av det aktuella frekvensområdet. Överensstämmelsen är mycket god för bordet. Den är hygglig för de två övriga provföremålen med undantag för partier kring toppar och dalar i spektrum. Man kan dock visa att för kraft-tidförlopp av den aktuella typen är det viktigare att överensstämmelsen är god i partier mellan de utpräglade topparna och dalarna i admittansspektrum.

Admittans dB relativt $5 \cdot 10^{-8}$ m/Ns

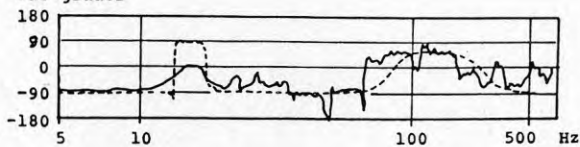
Fas grader



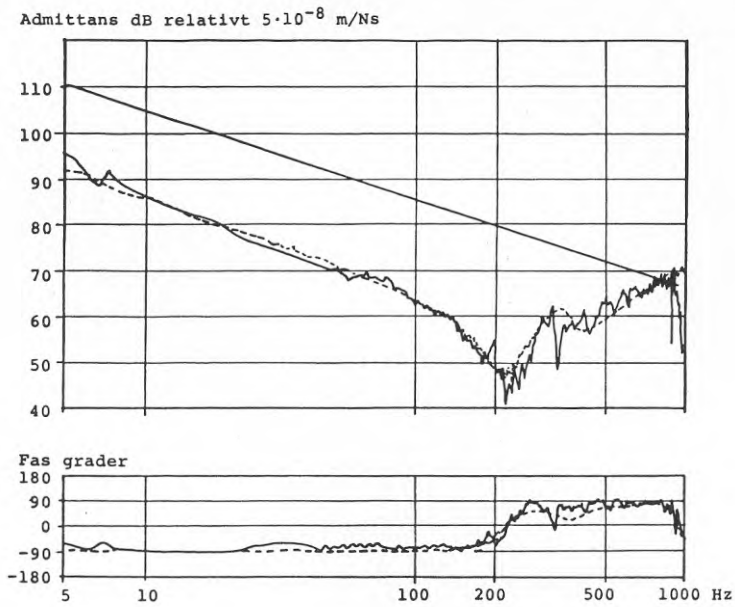
FIGUR 5.2 Admittanskurvor för en sjukhussäng, dels verkligt föremål - heldragen linje, dels konstruerad anslagsmassa - streckad linje. Den räta heldragna linjen motsvarar admittansen hos en ren massa med massan 1 kg.

Admittans dB relativt $5 \cdot 10^{-8}$ m/Ns

Fas grader



FIGUR 5.3 Admittanskurvor för en båt, dels verkligt föremål - heldragen linje, dels konstruerad anslagsmassa - streckad linje. Den räta heldragna linjen motsvarar admittansen för en ren massa med massan 1 kg.



FIGUR 5.4 Admittanskurvor för ett bord, dels verkligt föremål - heldragen linje, dels konstruerad anslagsmassa - streckad linje. Den räta heldragna linjen motsvarar admittansen för en ren massa med massan 1 kg.

6. VERIFIERANDE STÖTPROV MED ANSLAGSMASSOR

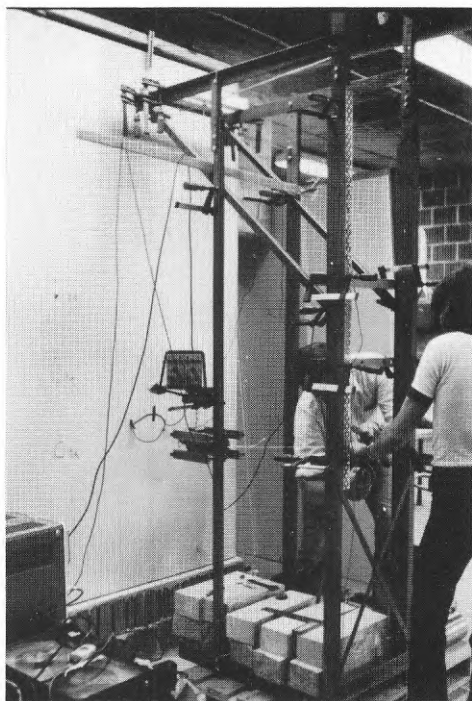
För att undersöka om de framtagna anslagsmassorna gav samma påverkan på väggarna som de verkliga föremålen gjordes verifierande stötprov på samma väggtyper som enligt avsnitt 4. Vid dessa prov användes samma lättbetongvägg, spånskivevägg och Karlit-vägg som tidigare. De två gipsväggarna blev dock så skadade under de första provningarna att nya gipsväggar byggdes för dessa försök.

Stötprovning utfördes i möjligaste mån med samma anslagshastigheter och i samma punkter som med de verkliga föremålen för att man direkt skulle kunna jämföra resultaten från de båda provningarna. För de väggar som också användes vid de första provningarna utnyttjades likvärdiga punkter på andra sidan väggen eller speglade punkter på samma sida.

Anslagsmassorna monterades i en speciell pendelanordning som framgår av FIGUR 6.1.

Anslagsmassan hängde i två parallella ställinor, som i vila var vertikalt orienterade. Anslagsmassans läge justerades så att dess spets i vila nätt och jämnt berörde väggen. Då anslagsmassan skulle excitera väggen drogs den rakt bakåt med hjälp av en tredje lina till ett förutbestämt avstånd från väggen. (Avståndet bestäms entydigt av den önskade anslagshastigheten). Därefter frigjordes den tredje linan. Anslagsmassan erhöll då en ren translationsrörelse (utan rotation) med önskad hastighet på grund av den speciella upphängningen i två parallella linor.

Samma mätningar och signalanalys utfördes som vid stötprovningen med verkliga föremål.



FIGUR 6.1 Pendelanordning för upphängning av anslagsmassor

7. JÄMFÖRELSE R MELLAN RESULTAT FRÅN STÖTPROVNING
MED VERKLIGA FÖREMÅL RESPEKTIVE ANSLAGSMASSOR

7.1 Stötparametrar

Det samlade mätmateriallet omfattar totalt 52 stötprovningar med de verkliga föremålen och 64 stötprovningar med de konstruerade anslagsmassorna. Materialet har därför delvis bearbetats med statistiska metoder.

De uppmätta tidsförloppen har i allmänhet en relativt komplicerad sträckning. Ett fåtal definierbara parametrar har därför valts ut för att karakterisera tidsförloppen vid den statistiska bearbetningen.

För karakterisering av stötkraftens tidsförlopp har valts följande parametrar:

- Maximala värdet av kraften F_{\max}
- Varaktigheten hos kraftpulsen τ_v

För karakterisering av hjälpstorheten väggens hastighet nära anslagsområdet har endast utnyttjats det maximala värdet av hastigheten v_{\max} .

Jämförelser har utförts parvis mellan förloppen hos stötar med nära samma anslagshastighet och samma eller likvärdiga träffpunkt. Följande storheter har bildats:

$\frac{F_{\max}^{II}}{F_{\max}^I}$ = förhållandet mellan den maximala kraften vid provning med anslagsmassa (II) respektive verkligt föremål (I)

$\frac{\tau_v^{II}}{\tau_v^I}$ = förhållandet mellan varaktigheten hos kraftpulsen för anslagsmassa (II) respektive verkligt föremål (I)

$\frac{v_{\max}^{II}}{v_{\max}^I} =$ förhållandet mellan det maximala värdet av väggens hastighet nära anslagsområdet för anslagsmassa (II) respektive verkligt föremål (I)

Om överensstämmelsen är god mellan mätresultaten från de två etapperna bör det aritmetiska medelvärdet av var och en av nämnda kvoter bli nära 1 för olika statistiska skärningar i mätmaterialen.

Vi har vidare studerat ytterligare ett par parametrar nämligen

$\frac{F_{\max}^{II}}{F_{\max}^I} \cdot \frac{\tau_v^{II}}{\tau_v^I} =$ produkten av de två förstnämnda kvoterna

$\frac{F_{\max}^{II}}{v_{\max}^{II}} \Big/ \frac{F_{\max}^I}{v_{\max}^I} =$ kvoten mellan "impedanserna"

Under förutsättning att kraftpulsens form är densamma för anslagsmassa som för verkligt föremål gäller att:

Produkten ovan ger ett mått på förhållandet mellan de impulser som väggen utsätts för.

Kvoten kan ses som ett grovt mått på förhållandet mellan de dynamiska egenskaperna (impedanserna) hos vägarna i jämförbara exciteringspunkter vid de två olika provningarna.

I TABELL 7.1 a) och 7.1 b) redovisas resultatet av den statistiska bearbetningen.

Det framgår av tabellerna att resultaten över lag är mycket bra. Det gäller i första hand de tre primära parametrarna $F_{\max}^{II} / F_{\max}^I$, τ_v^{II} / τ_v^I samt $v_{\max}^{II} / v_{\max}^I$. Medelvärden för dessa parametrar enligt TABELL 7.1 a) ligger i området 0,7-1,2 med typisk standardavvikelse ca 0,2.

TABELL 7.1a Medelvärden och standardavvikelser för vissa stötparametrar. Beteckningar se texten i avsnitt 7.1.

Kombination av vägg och "föremål"	Kraft $F_{\max} \frac{II}{I}$ N \bar{x} σ	Varaktighet $\tau_V \frac{II}{I}$ N \bar{x} σ	Hastigh. vägg $v_{\max} \frac{II}{I}$ N \bar{x} σ	"Impuls" $F_{\max} \frac{II \cdot \tau_V}{I}$ N \bar{x} σ	"Impedans" vägg $F_{\max} \frac{II \cdot v_{\max}}{I}$ N \bar{x} σ	Medelvärde och std.avvikelse för medelvärden enligt vidstående rader N \bar{x} σ	Anm.
HELA MATERIALET	52 0.84 0.18	47 0.81 0.18	49 1.00 0.22	47 0.66 0.25	49 0.87 0.26	5 0.84 0.12	
ALLA VÄGGAR							
"Bord"	18 0.93 0.18	18 0.81 0.12	17 1.00 0.21	18 0.75 0.21	17 0.96 0.26	5 0.89 0.11	
"Sjukhussäng"	18 0.75 0.14	16 0.76 0.28	16 0.90 0.17	16 0.56 0.30	16 0.86 0.23	5 0.77 0.13	
"Bår"	16 0.83 0.19	13 ^{x)} 0.85 0.28	16 1.09 0.23	13 ^{x)} 0.65 0.19	16 0.80 0.27	5 0.84 0.16	x) ej lättbetong
ALLA PROVFÖREMÅL							
Enkel gips	12 1.00 0.16	11 0.80 0.36	12 0.99 0.22	11 0.79 0.35	11 1.07 0.18	5 0.93 0.13	
Dubbel gips	10 0.71 0.11	10 0.82 0.21	9 1.00 0.22	10 0.59 0.21	9 0.73 0.22	5 0.77 0.15	
Lättbetong	10 0.91 0.17	7 ^{xx)} 0.73 0.18	9 0.84 0.19	7 ^{xx)} 0.65 0.28	9 1.12 0.09	5 0.85 0.18	xx) ej "båren"
Karlit	10 0.68 0.07	10 0.83 0.16	10 1.18 0.25	10 0.56 0.11	10 0.60 0.14	5 0.77 0.25	
Spånskiva	10 0.84 0.13	9 0.83 0.15	10 1.02 0.18	9 0.69 0.20	10 0.85 0.17	5 0.85 0.12	

N = antal observationer

\bar{x} = medelvärde

σ = standardavvikelse

TABELL 7.1b Medelvärden och standardavvikelser för vissa stötparametrar.
Beteckningar se texten i avsnitt 7.1.

Kombination av vägg och "föremål"	F_{\max}^{II}/F_{\max}^I			τ_V^{II}/τ_V^I			v_{\max}^{II}/v_{\max}^I			$F_{\max}^{II} \cdot \tau_V^{II} / F_{\max}^I \cdot \tau_V^I$			$F_{\max}^{II} \cdot v_{\max}^{II} / F_{\max}^I \cdot v_{\max}^I$			Medelvärde och std.avvikelse för medelvärden enligt vidstå- ende rader		
	N	\bar{x}	σ	N	\bar{x}	σ	N	\bar{x}	σ	N	\bar{x}	σ	N	\bar{x}	σ	N	\bar{x}	σ
ENKEL GIPSVÄGG																		
"Bord"	5	1.09	0.15	5	0.76	0.11	4	0.90	0.08	5	0.83	0.21	4	1.22	0.15	5	0.96	0.19
"Sjukhussäng"	3	0.91	0.14		1.03	0.71	4	1.13	0.34	2	0.94	0.78	3	0.94	0.17	5	0.99	0.09
"Bår"	4	0.96	0.15		0.73	0.47	4	0.96	0.12	4	0.67	0.32	4	1.01	0.13	5	0.87	0.15
DUBBEL GIPSVÄGG																		
"Bord"	4	0.78	0.08	4	0.71	0.03	4	0.86	0.13	4	0.56	0.08	4	0.92	0.18	5	0.77	0.14
"Sjukhussäng"	3	0.68	0.13	3	0.88	0.32	2	0.90	0.02	3	0.63	0.36	2	0.67	0.03	5	0.75	0.13
"Bår"	3	0.64	0.10	3	0.91	0.23	3	1.25	0.16	3	0.60	0.23	3	0.51	0.06	5	0.78	0.30
LÄTTBETONGVÄGG																		
"Bord"	3	1.03	0.14	3	0.92	0.05	3	0.92	0.19	3	0.94	0.13	3	1.13	0.11	5	0.99	0.09
"Sjukhussäng"	4	0.75	0.06	4	0.59	0.03	3	0.64	0.08	4	0.44	0.03	3	1.15	0.10	5	0.71	0.27
"Bår"	3	1.02	0.09	-	-	-	3	0.96	0.13	-	-	-	3	1.07	0.05	-	-	-
KÄRLIVÄGG																		
"Bord"	3	0.73	0.05	3	0.76	0.04	3	1.27	0.10	3	0.56	0.02	3	0.58	0.02	5	0.78	0.29
"Sjukhussäng"	4	0.66	0.08	4	0.75	0.19	4	0.94	0.11	4	0.49	0.13	4	0.71	0.13	5	0.71	0.16
"Bår"	3	0.64	0.07	3	0.99	0.03	3	1.41	0.23	3	0.64	0.09		0.46	0.04	5	0.83	0.38
SPÅNSKIVEVÄGG																		
"Bord"	3	0.93	0.09	3	0.96	0.12	3	1.13	0.28	3	0.90	0.18	3	0.85	0.14	5	0.95	0.11
"Sjukhussäng"	4	0.79	0.17	3	0.72	0.13	4	0.99	0.14	3	0.51	0.06	4	0.82	0.26	5	0.77	0.17
"Bår"	3	0.83	0.07	3	0.82	0.11	3	0.94	0.05	3	0.67	0.05	3	0.88	0.06	5	0.83	0.10

I den mer detaljerade tabellen 7.1 b) blir motsvarande område för medelvärden något bredare medan den typiska standardavvikelsen blir mindre.

Kraft- och varaktighetsparametrarnas medelvärden är i medeltal ca 17 % lägre än önskade värden, medan hastighetsresponsens medelvärden i medeltal ej avviker från önskat värde.

"Impulsparameterns" medelvärden ligger lägre än för de övriga parametrarna eller ca 33 % lägre än önskat värde. Förklaringen är att för flertalet statistiska skärningar sammanfaller medelvärdet för "impulsparametern" med produkten av medelvärdet för den aktuella kraftparametern och medelvärdet för varaktighetsparametern. Det beror på att ett lågt värde på F_{\max}^{II} också åtföljs av ett lågt värde på τ_v^{II} och samma sak gäller också för F_{\max}^I och τ_v^I .

Det finns en tendens till att parametrarna antar värden som är något lägre än de önskade. Dessa avvikelser beror troligen i första hand på att vid stötprovningen med verkliga föremål kördes dessa mot väggen av en försöksperson som med sin kropp sannolikt påverkade provföremålet och därmed stöten olika mycket från fall till fall. Bestämningen av hastigheten hos de verkliga föremålen är dessutom osäker.

Avvikelser hos "väggimpedansparameterns" medelvärde tyder vidare på att väggarnas dynamiska egenskaper kan ha varit något olika vid de två etapperna bl a beroende på olika relativ luftfuktighet. (Stötproven under etapp I utfördes på sommaren medan proven under etapp II utfördes på vintern).

Spridningen i resultaten beror troligen i första hand på variationer i den kraft varmed försökspersonen påverkar provföremålet, mät- och analysfel, träffnoggrannhet på väggen samt avläsningsnoggrannheten på fotografier av registrerade förlopp etc.

Man bör här tillägga att noggrannheten i ett avancerat mätsystem av den här typen från givare till resultat i form av siffror nedtecknade på papper knappast blir bättre än ± 15 á 20 % eller cirka $\pm 1,5$ dB.

7.2 Skadeutveckling

En jämförelse mellan de skador som åstadkommits på väggarna med verkliga föremål respektive med anslagsmassor visar bl a att märken och andra skador är något större för jämförbara fall med verkligt föremål jämfört med anslagsmassor. En sammanställning över storleken hos erhållna skador ges i TABELL 7.2 och exempel på skadornas utseende visas i FIGUR 4.3.

TABELL 7.2 Sammanställning av skador på väggar exciterade dels med verkliga föremål, dels med anslagsmassor.

Vägg	Föremål	Provpunkt	Verkligt föremål				Anslagsmassa					
			Hastighet	Skadans mått			Beskrivning	Hastighet	Skadans mått			Beskrivning
				Djup	Längd	Bredd			Djup	Längd	Bredd	
m/s	mm	mm	mm		m/s	mm	mm	mm				
Enkel gips	Säng	23	0.38	-	-	-	skivan helt genombruten	0.38	-	-	-	
		24	0.67			φ40		0.67	-	-	-	
		26	0.59	-	-	-		0.60	-	-	-	mkt svag fördjupning
		23.5						0.90	0.25	28	11	
		24.5						1.2				φ60 skivan helt genombruten
	Bår	73	0.29	-	-	-		0.29	-	-	-	
		74	0.5	-	-	-		0.50	0.07	9	6	
		76	0.75	<0.1	-	-	svag fördjupning	0.75	-	-	-	mkt svag fördjupning
		73.5						1.5	0.4	21	12	
		72	1.11				φ30 skivan helt genombruten	1.11	0.1	9	6	
	Bord	42	0.24	-	-	-		0.24	-	-	-	
		43	0.48	-	-	-	mycket svag fördjupning	0.48	-	-	-	mycket svag fördjupning
		44	0.77	0.1	-	-		0.77	-	-	-	"
		46	1.11	1.8	20	13	pappen sprucken i kantierna	1.1	-	-	16	pappen genombruten, gipsen krossad
		43.5	1.25				φ30 skivan helt genombruten	1.3			φ28	skivan helt genombruten
Dubbel gips	Säng	22	0.26	0.1	-	-		0.26	-	-	-	
		23	0.50	0.15	-	-		0.50	0.04	13	9	
		24	1.0				φ50 skivorna genombrutna	1.0	0.15	21	12	
		26						1.2	0.2	26	12	
		24.5						1.5	0.35	32	14	gipsen troligen krossad bakom pappen
		23.5						1.77			φ50	båda skivorna genombrutna
	Bår	73	0.33	0.1	-	-		0.33	0.1	12	6	
		74	0.50	0.2	13	8		0.50	0.15	12	6	
		76	1.0	1.1	24	16	sprickor i pappen vid kantierna	1.0	0.3	19	10	
	Bord	42						0.12	-	-	-	svag fördjupning
		43	0.29	-	-	-		0.28	0.30	19	7	
		44	0.59	0.1	-	-		0.43	1.8	21	10	kraftiga sprickor i pappen
		46	1.0	0.2	-	-		0.55	3	22	12	mkt kraftiga sprickor i pappen
		47	1.33	-	20	10	sprickor i pappen vid kantierna					

TABELL 7.2 forts

Vägg	Föremål	Provpunkt	Verkligt föremål				Anslagsmassa					
			Hastighet m/s	Skadans mått			Hastighet m/s	Skadans mått				
				Djup mm	Längd mm	Bredd mm		Beskrivning	Djup mm	Längd mm	Bredd mm	Beskrivning
Lättbetong	Säng	23s	0.48	0.7	21	13	0.48	0.4	17	11		
		24s	0.31	0.5	17	12	0.31	0.2	16	9		
		26s	0.67	0.7	27	13	0.67	0.5	20	12		
		27s	0.83	1.1	30	15	0.83	0.7	23	14		
	Bår	74	0.29	0.4	15	10	0.29	0.4	12	8		
		76	0.54	1	18	12	0.54	0.9	18	11		
		77	1.0	2.1	25	17	1.0	1.5	21	14		
	Bord	44s	0.28	0.8	19	5	0.28	0.5	17	7		
		46s	0.56	1.3	19	9	0.56	1.4	20	9		
		47s	0.91	3	20	13	0.91	2.6	20	11		
	Karlit	Säng	22	0.29	-	-	-	0.29	-	-	-	
			23	0.56	-	-	-	0.56	-	-	-	
24			0.77	-	-	-	0.77	-	-	-		
26			1.0			φ35	skivan helt genomburen	1.0	-	-	-	mycket svag fördjupning
23,5								1.5	0.03	17	5	
Bår		73	0.29	-	-	-	0.29	-	-	-		
		74	0.53	-	-	-	0.53	0.01	4	4		
		76	1.0	-	-	-	1.0	0.02	8	5		
Bord		43					0.3	-	-	-		
		44	0.5	-	-	-	0.5	-	-	-		
		46	1.0	-	-	-	1.0	-	-	-		
Spån-skiva		Säng	22	0.31	-	-	-	0.31	-	-	-	
			23	0.53	-	-	-	0.53	-	-	-	
			24	0.77	-	-	-	0.77	-	-	-	
			26	1.1			φ40	skivan helt genomburen	1.1	-	-	-
	24,5							1.46	-	-	-	
	Bår	73	0.29	-	-	-	0.29	-	-	-		
		74	0.50	-	-	-	0.50	-	-	-		
		76	0.91	-	-	-	0.91	-	-	-		
		73a					0.29	-	-	-		
		74a					0.50	-	-	-		
	Bord	43	0.29	-	-	-	0.29	-	-	-		
		44	0.50	-	-	-	0.50	-	-	-		
		46	1.0	-	-	-	1.0	-	22	22	skivan helt genomburen	

8. METOD FÖR DIMENSIONERING AV ANSLAGSMASSOR

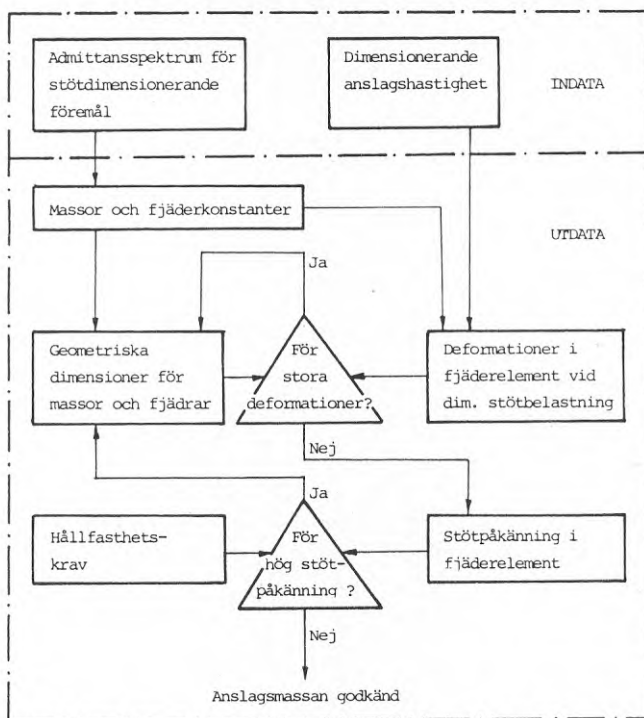
8.1 Allmänt

I detta avsnitt redovisas en metod att dimensionera anslagsmassor med vilka man kan simulera en stöt från verkliga hårda föremål för stötprovning av väggkonstruktioner. En anslagsmassa dimensioneras på ett sådant sätt att dess stötdynamiska egenskaper efterliknar motsvarande egenskaper hos något utvalt verkligt föremål.

Som underlag för bestämning av anslagsmassans dynamiska egenskaper och beräkning av dess massor och fjäderkonstanter erfordras ett uppmätt punktadmittansspektrum för det verkliga föremålet i det aktuella stötområdet och stötriktningen. Det uppmätta admittansspektrum bör omfatta så stort frekvensområde att såväl massområdet som vågledarområdet (se FIGUR 8.2) är väl identifierbara. Detta frekvensområde ligger i allmänhet mellan 5 och 1000 Hz.

För att kunna kontrollera att den framtagna anslagsmassan inte får för stora deformationer i fjäderelementen eller att tillåtna påkänningar inte överskrider erfordras kännedom om den dimensionerande hastigheten (v_0) hos det verkliga föremålet.

Den principiella gången vid dimensionering av anslagsmassor framgår av FIGUR 8.1.



FIGUR 8.1 Metod för dimensionering av anslagsmassor. Principskiss.

8.2 Metodik

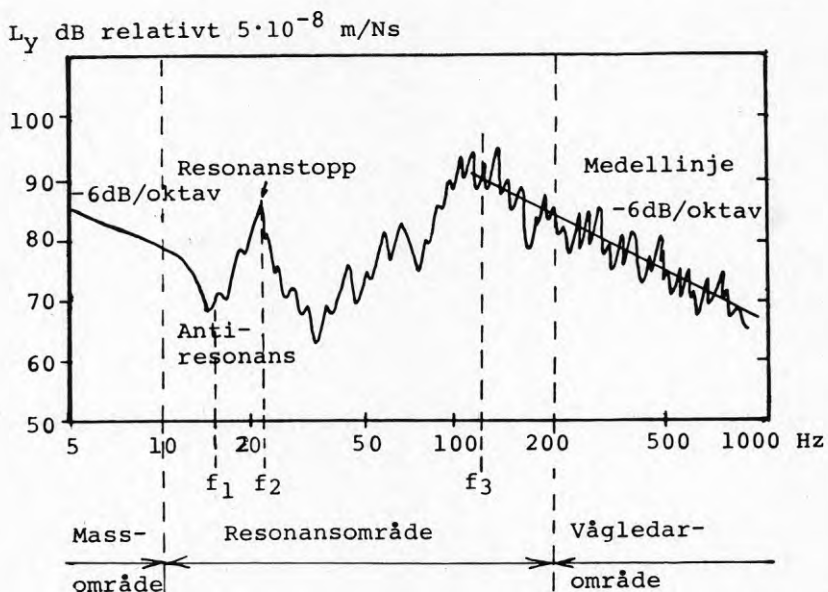
8.2.1 Beräkning av massor och fjäderkonstanter

Moment 1

Utgå från uppmätt punktadmittansspektrum (beloppsspektrum) för det verkliga föremålet, inritat på papper med logaritmisk skala enligt moment 2.

Moment 2

Dela in admittansdiagrammet i tre frekvensområden enligt FIGUR 8.2.



FIGUR 8.2 Exempel på uppmätt admittansspektrum där

$$L_Y = 20 \cdot 10 \log \left(\frac{|Y|}{Y_0} \right)$$

$|Y|$ = beloppet av admittansen

Y_0 = referensadmittansen som ofta sätts till $5 \cdot 10^{-8}$ eller 1 m/Ns

Massområdet kännetecknas av att admittansen som funktion av frekvensen bildar en rät linje som lutar -6 dB/oktav. Dess övre gräns ligger där linjen viker av från denna lutning.

Resonansområdet kännetecknas av markerade toppar och dalar i spektrum.

Vågledarområdet kännetecknas av mycket "snabba" variationer i admittansen med en medelnivå som ofta lutar ca -6 dB/oktav och har sin undre gräns någonstans ovanför den sista markerade resonanstoppen.

Moment 3

Markera i diagrammet dalen i resonansområdet med den lägsta frekvensen, som här betecknas f_1 . I de fall där man har två tätt liggande dalar skall grovstrukturen i kurvan följas.

Moment 4

Markera den mest markanta resonanstoppen närmast över frekvensen f_1 . Frekvensen vid toppen betecknas f_2 .

Moment 5

Markera den mest markanta toppen i resonansområdet närmast vågledarområdet. Frekvensen vid den toppen betecknas f_3 . Även här skall grovstrukturen i kurvan följas om man har flera tätt liggande toppar.

Moment 6

Drag en medellinje genom admittanskurvan i vågledarområdet med lutningen -6 dB/oktav.

Moment 7

Utgå från ett massa-fjäder-system med uppbyggnad enligt FIGUR 2.5.

Bestämning av värden på m_1 , m_2 , m_3 , k_{12} och k_{23} utförs enligt moment 8 - 12. Bestämningen göres på sådant sätt

att admittanskurvans sträckning för anslagsmassan i tillräcklig utsträckning överensstämmer med den uppmätta admittanskurvan för det verkliga föremålet.

Moment 8

Avläs ett värde L_{ym} på admittanskurvan i massområdet vid valfri frekvens f_m .

Moment 9

Avläs ett värde L_{yv} på medellinjen i vågledarområdet vid valfri frekvens f_v .

Moment 10

Beräkna värdena på m_1 och $m_{tot} = m_1 + m_2 + m_3$ ur

$$m_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f_v \cdot Y_0} \cdot 10 \cdot \frac{L_{yv}}{20} \quad (\text{kg}) \quad (8.1)$$

$$m_{tot} = \frac{1}{2\pi \cdot f_m \cdot Y_0} \cdot 10 \cdot \frac{L_{ym}}{20} \quad (\text{kg}) \quad (8.2)$$

Moment 11

Beräkna närmevärdena på m_2 , m_3 , k_{12} och k_{23} ur

$$m_2 \approx m_1 \cdot \frac{\left(\frac{f_3}{f_2}\right)^2 + 1 - \left(\frac{m_1}{m_{tot}}\right) \left[\left(\frac{f_3}{f_1}\right)^2 + 1\right]}{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1 + \left(\frac{m_1}{m_{tot}}\right) \left[\left(\frac{f_3}{f_1}\right)^2 + 1\right]} \quad (\text{kg}) \quad (8.3)$$

$$m_3 = m_{tot} - m_1 - m_2 \quad (\text{kg})$$

$$k_{12} \approx (2\pi \cdot f_3)^2 \cdot \frac{1}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \quad (\text{N/m}) \quad (8.4)$$

$$k_{23} \approx (2\pi \cdot f_2)^2 \cdot \left(1 - \frac{m_3}{m_{tot}}\right) \cdot m_3 \quad (\text{N/m}) \quad (8.5)$$

Moment 12

Kontrollera att

$$m_1 \leq 0,2 \cdot m_2 \quad (8.6)$$

$$0,2 \leq \frac{m_3}{m_2} \leq 5 \quad (8.7)$$

$$\frac{f_3}{f_2} \geq 3,5 \quad (8.8)$$

Dessa villkor bör uppfyllas för att man skall erhålla goda närmevärden på parametrarna enligt moment 11. Det gäller särskilt villkor (8.8).

Beräknade närmevärden enligt moment 11 förhåller sig till de teoretiskt riktiga på följande sätt:

- Beräknat m_2 -värde blir alltid något mindre än det teoretiska riktiga
- Beräknat m_3 -värde blir alltid något större än det teoretiskt riktiga
- Beräknat k_{12} -värde blir i allmänhet obetydligt större än det teoretiskt riktiga
- Beräknat k_{23} -värde blir ibland större, ibland mindre än det teoretiskt riktiga

De absoluta avvikelserna är i allmänhet inte större än ca 10% för m_2 , m_3 och k_{23} samt ca 3 % för k_{12} om villkoren uppfylles. Dessa avvikelser kan accepteras.

8.2.2 Beräkning av deformationer i fjäderelement vid dimensionerande stötblastning

Moment 1

Beräkna maximala deformationer i fjäderelementen 12 respektive 23 enligt följande:

$$\delta_{23 \text{ max}} \approx v_0 \cdot \sqrt{\frac{m_3}{k_{23}}} \quad (\text{m}) \quad (8.9)$$

$$\delta_{12 \text{ max}} \approx \frac{k_{23}}{k_{12}} \cdot \delta_{23 \text{ max}} \quad (\text{m}) \quad (8.10)$$

Vid tillämpning av formlerna (8.12) och (8.13) erhålles i allmänhet värden på säkra sidan, om anslagsmassan dimensioneras för väggar med låg punktadmittans (t ex lättbetongväggar). För anslagsmassor av den typ som har bladfjädrar kan beräknad deformation i bladfjädrarna (δ_{23}) vara 10-50% högre än verklig deformation och beräknad deformation i det viskoelastiska skiktet (δ_{12}) bli ungefär dubbelt så stor som verklig deformation. För anslagsmassor av den cylindriska typen med enbart viskoelastiska fjädrar erhålles beräknade värden på δ_{23} som kan vara tre gånger större än verkligt värde. För beräknat δ_{12} kan skillnaden bli ännu större.

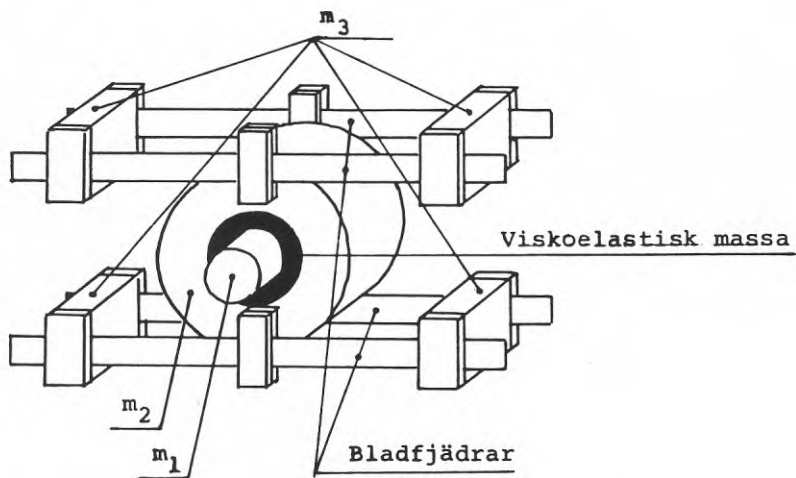
För lätta väggkonstruktioner (t ex gipsväggar) blir de verkliga deformationerna mindre och skillnaderna mellan beräknad och verklig deformation större än vad som nämnts ovan.

8.2.3 Val av geometriska dimensioner för delmassor och fjädrar

Moment 1

Välj typ av anslagsmassa enligt endera av FIGUR 8.3 och 8.4. Massorna m_1 och m_2 samt i FIGUR 8.3 även massa m_3 består av stålrör (massa m_1 kan även vara en massiv stålcyllinder) instuckna i varandra med en viskoelastisk massa emellan. Massa m_3 i FIGUR 8.2 är uppdelad i fyra stycken delmassor vilka är fästade på massa m_2 via bladfjädrar. Massa m_1 bör sticka ut minst ca 5 cm utanför massa m_2 och m_3 .

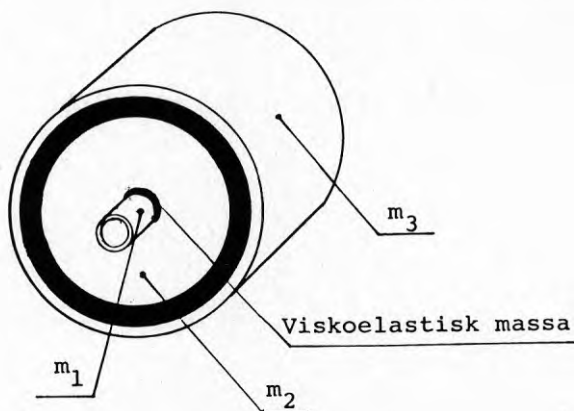
För stötdimensionerande föremål med den lägsta resonansfrekvensen $f_2 < 50$ å 100 Hz väljes anslagsmassa med bladfjädrar av samma typ som enligt FIGUR 8.3. Om $f_2 > 50$ å 100 Hz väljes cylindrisk anslagsmassa av samma typ som enligt FIGUR 8.4.



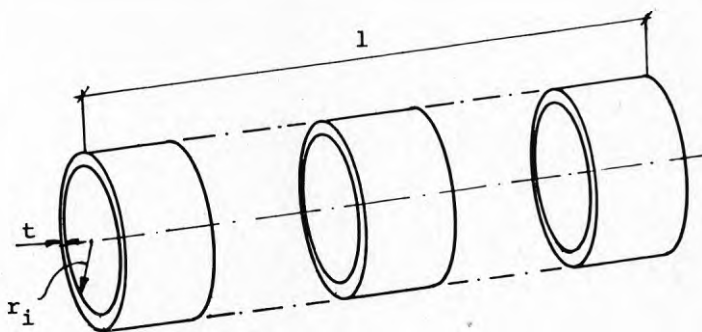
FIGUR 8.3 Anslagsmassa med bladfjädrar motsvarande verkliga föremål med lägsta resonansfrekvensen < 50 -100 Hz

Moment 2

Utforma delmassa m_1 . Se även moment 1.



FIGUR 8.4 Anslagsmassa av cylindrisk typ motsvarande verkliga föremål med lägsta resonansfrekvensen $> 50\text{--}100\text{ Hz}$



FIGUR 8.5 Principiellt utseende hos det viskoelastiska skiktet i spalten mellan massorna m_1 och m_2 och i fallet med cylindrisk anslagsmassa även m_2 och m_3 . Beteckningar:

l = längden av massa m_2

p = andel av spalten som är fylld med viskoelastisk massa

t = den viskoelastiska massans tjocklek

r_i = den viskoelastiska massans inre radie

Moment 3

Välj dimensioner på anslutande viskoelastiska fjäder-element så att

$$(k_{12} - \pi \cdot G_{12} \cdot \ell \cdot p_{12}) \cdot t_{12} = 2\pi \cdot r_{i12} \cdot G_{12} \cdot \ell \cdot p_{12} \quad (8.11)$$

där ℓ , p , t och r_i definieras enligt figur 8.5 och

G = dynamiska skjuvmodulen för den viskoelastiska massan (realdelen), Pa

12, 23 = index för det aktuella fjäderelementet

Moment 4

Utforma delmassa m_2 . Se även moment 1.

Moment 5

Utforma fjäderelement med den sammanlagda fjäderkonstanten k_{23} med dimensioner som uppfyller tillämpligt villkor

a) viskoelastisk fjäder

$$(k_{23} - \pi \cdot G_{23} \cdot \ell \cdot p_{23}) \cdot t_{23} = 2\pi \cdot r_{i23} \cdot G_{23} \cdot \ell \cdot p_{23} \quad (8.12)$$

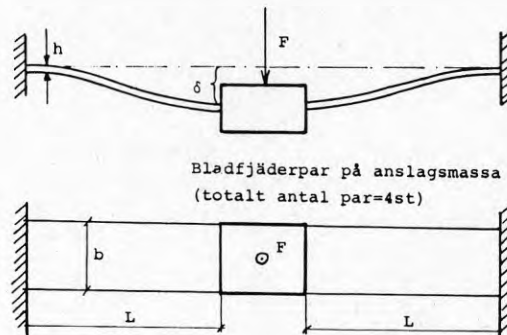
b) bladfjäder (av stål)

$$k_{23} = 1,7 \cdot 10^{12} \cdot b \left(\frac{h}{L}\right)^3 \quad (= 4 \cdot \frac{F}{\delta} \text{ enligt FIGUR 8.6}) \quad (8.13)$$

där b , h , L , F och δ definieras i FIGUR 8.6.

Moment 6

Kontrollera att det finns fritt utrymme för fjäder-elementet 23 att ta upp den maximala deformationen $\delta_{23 \text{ max}}$. (Detta gäller speciellt fallet med bladfjädrar.) Om det fria utrymmet inte är tillräckligt stort göres erforderliga konstruktiva förändringar enligt momenten 1 - 5 ovan.



FIGUR 8.6 Princip figur över deformation av bladfjäderpar vid stötblastning med anslagsmassan. Beteckningar:

b = bladfjäderens bredd

h = bladfjäderens tjocklek

L = bladfjäderens längd mellan infästningarna

δ = maximal utböjning hos bladfjädrarna vid dimensionerande stöthastighet v_0

F = maximal belastning vid dimensionerande stöthastighet v_0

8.2.4 Beräkning av spänningar i fjäderelement

Moment 1

Beräkna maximal skjuvspänning i fjäderelement 12 enligt:

$$\tau_{12 \max} \approx \frac{k_{12} \cdot \delta_{12 \max}}{2\pi \cdot r_{i12} \cdot l \cdot p_{12}} \quad (\text{Pa}) \quad (8.14)$$

Moment 2

Beräkna maximal spänning i fjäderelement 23

a) Viskoelastisk fjäder

$$\tau_{23 \max} \approx \frac{k_{23} \cdot \delta_{12 \max}}{2\pi \cdot r_{i23} \cdot l \cdot p_{23}} \quad (\text{Pa}) \quad (8.15)$$

b) Bladfjäder

$$\sigma_{\max} \approx \frac{3 \cdot L \cdot k_{23} \cdot \delta_{23 \max}}{8 \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{Pa}) \quad (8.16)$$

Moment 3

Jämför beräknade maximala spänningar med motsvarande tillåtna spänningar.

De senare beror av

- valt fjädermaterial
- antal önskade belastningsväxlingar (utmattning)
- infästning mellan fjäderelement och delmassa (gäller särskilt fjäderelement av viskoelastiskt material)

För fjäderelement av viskoelastiskt material kan man acceptera en maximal skjuvspänning på ca 0,5 å 0,6 MPa (=5 å 6 kp/cm²) om kontaktytorna på omgivande anslagsmassor räfflas (= gängade eller frästa spår) för att förbättra vidhäftningen till fjäderelementet).

För bladfjädrar av god kvalitet kan man acceptera spänningar upp mot 800 - 1 000 MPa (= 80 - 100 kp/mm²) för rimligt antal belastningsväxlingar, säg av storleksordningen 10⁴ st.

Om de beräknade maximala spänningarna är större än de tillåtna göres erforderliga förändringar i anslagsmassans konstruktion. Därefter kontrolleras att det finns fritt utrymme för förekommande deformationer i fjäderelement 23 etc.

8.2.5 Utformning av anslagsmassans nos

Utforma en nos med samma geometriska utformning och av samma material som den stötpåverkande delen av det verkliga föremålet. Nosen skall kunna fästas mot massa m_1 och bör ha liten massa i förhållande till m_1 eller annars räknas in i denna. Den på väggen projicerade

ytan av nosen bör vara lika stor som den del av det verkliga föremålet som kan tränga in i väggen vid en stöt. Nosen bör vara lätt avtagbar för att möjliggöra utbyte av den om den skadats av stötpåverkan.

9 PROVNINGSMETOD, BESKRIVNING

9.1 Allmänt

I detta avsnitt redovisas ett förslag till metodbeskrivning efter vilken man kan stötprova väggar. Den föreslagna provningsmetoden är dock endast representativ för just de aktuella typerna av sjukhussäng, bår respektive bord. Resultaten av stötprovning med dessa tre anslagsmassor kan alltså inte utan vidare användas för en mer generell värdering av hur väggkonstruktioner motstår stötbelastning i allmänhet. Valet av belastningsnivåer givna av anslagshastigheterna är inte underbyggt av längre provserier. De kan därför behöva modifieras när man vunnit mer erfarenhet av metoderna.

9.2 Bestämning av motståndsförmåga mot stötar av hårda föremål

1. Orientering

Denna beskrivning omfattar en metod att bestämma invändiga väggars och väggytors motståndsförmåga mot stötar av hårda föremål motsvarande a) en sjukhussäng b) en bår och c) ett träbord.

2. Utrustning

a) en anslagsmassa motsvarande en sjukhussäng bestående av två cylindriska stålrör med en mellanliggande viskoelastisk massa. Den viskoelastiska massan skall ha skjuvmodulen $G = 1,2 \cdot 10^6$ Pa och förlustfaktor 0,2-0,4 i frekvensområdet 50 - 500 Hz. På det yttre rörets ändar skall vara fästade fyra stycken bladfjädrar på vilka är monterade fyra stycken lika stora parallelepipediska massor av stål. Anslagsmassans utseende framgår av FIGUR 5.1 a och måtten och den exakta utformningen av BILAGA 1a och 1b. På den utstickande delen av det inre röret skall vara monterat en nos bestående av härdat stål. Nosens främre del skall ha formen av en dubbelkrökt yta med den ena krökningsra-

dien 10 mm och den andra 100 mm. Nosen skall ha plan baksida och båghöjden 4 mm och därmed längden 55,9 mm och bredden 16,0 mm. Nosen skall vara monterad med den långa symmetriaxeln horisontell.

b) En anslagsmassa motsvarande en bår med samma utformning som anslagsmassa a) och med mått enligt FIGUR 5.1 och BILAGA 2a och 2b. Nosens främre del skall ha formen av en dubbelkrökt yta med den ena krökningsradien 12 mm och den andra 80 mm. Nosen skall ha plan baksida och båghöjden 4 mm och därmed längden 50,0 mm och bredden 17,9 mm.

c) En anslagsmassa motsvarande ett träbord bestående av tre cylindriska stålrör med en mellanliggande viskoelastisk massa. Anslagsmassans utseende framgår av FIGUR 5.1 och måtten och den exakta utformningen av BILAGA 3a och 3b. På den utstickande delen av det inre röret skall vara monterat en nos bestående av teak med densiteten ca $0,75 \text{ g/cm}^3$. Nosen skall vara utformad som ett avsågat vinkelrätt hörn till en bordsskiva och ha tjockleken 25 mm och kantlängden 25 mm. Träets fiberriktning skall vara orienterad vertikalt, dvs parallellt med hörnets spets. Såväl den vertikala spetsen på hörnet som de horisontella kanten skall vara avrundade med radien 3 mm.

Massor och fjäderkonstanter för de olika delkomponenterna i anslagsmassorna sammanfattas i TABELL 9.1.

Anslagsmassorna skall i den yttre cylinderns fjärdedelspunkter vara försedda med igångade krokar eller öglor för upphängning. I dessa skall fästas en ca 4 mm ställlina. Linornas andra ändrar skall löpa genom två öglor monterade i en ställning så att ställlinorna är parallella och anslagsmassan kan höjas och sänkas genom att man drar i linorna. Linorna skall kunna fixeras i valfria höjdlägen som motsvarar lägen för anslagsmassan mellan 400 och 1800 mm över väggens

TABELL 9.1 Sammanfattning av massor och fjäderkonstanter för anslagsmassor. Beteckningar se FIGUR 2.5.

Anslagsmassor som motsvarar:	Massor, kg			Fjäderkonstanter, N/m	
	m_1	m_2	m_3	k_{12}	k_{23}
Sjukhussäng	0.4	20.0	15.0	$9.2 \cdot 10^5$	$8.5 \cdot 10^4$
Bår	2.0	7.5	7.5	$1.7 \cdot 10^6$	$4.9 \cdot 10^4$
Bord	0.4	12.5	3.6	$2.1 \cdot 10^7$	$9.0 \cdot 10^6$

undre kant. Den minsta längden mellan öglorna och anslagsmassan bör inte understiga 500 mm.

En anordning med vilken anslagsmassan kan hållas fast i ett bakåtfört läge för en bestämd fallhöjd och som kan utlösas så att massan faller fritt och utan sekundärsvingningar.

Ett skjutmått med vilket längd kan mätas på 0,1 mm.

En längdindikator med vilken intrycksdjup kan mätas på 0,1 mm. Mätspetsen skall vara sfärisk med 3 mm diameter. En sådan längdindikator kan exempelvis bestå av ett mätur på en trefot, vars fötter bör ha ett inbördes avstånd på minst ca 70 mm och till vilken skall höra en cirkelring av ca 5 mm tjock plan och jämn plåt med yttre diametern ca 150 mm och inre diametern ca 50 mm.

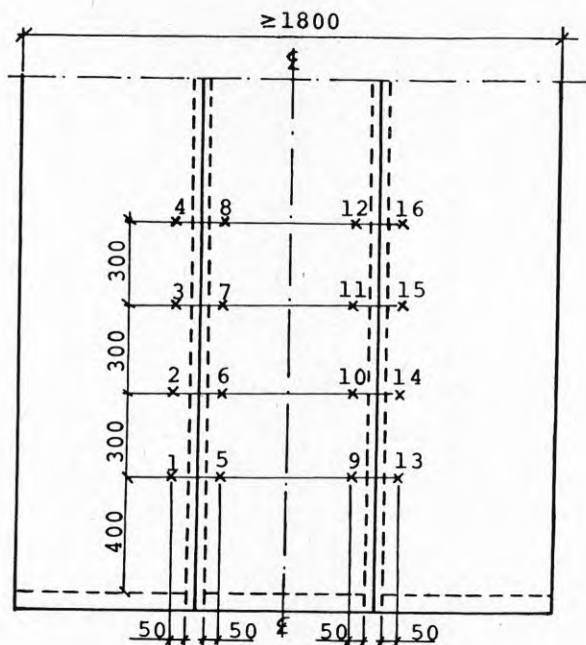
Ett utrymme för konditionering av provväggar och provning vid $23 \pm 2^\circ\text{C}$ temperatur och $50 \pm 5\%$ relativ fuktighet.

3. Provkroppar

En provkropp utgörs av en hel provvägg med eller utan färdig ytbehandling.

Provväggar

Vägghöjden skall vara lika med aktuell rumshöjd och väggbredden minst 1800 mm, FIGUR 9.1. Provväggar av förtillverkade element som är smalare än 1200 mm skall bestå av minst tre hela element. Regelväggar skall innehålla minst tre fack avdelade av vertikala regler. Väggarna monteras eller byggs upp enligt leverantörens anvisningar.



FIGUR 9.1 Provvägg. Placering av mätpunkter.

4. Konditionering

Provväggar bör om möjligt förvaras minst en vecka i luft med $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatur och $50 \pm 5\%$ relativ fuktighet före provning.

5. Provning

Provning skall ske i konditioneringsatmosfären. Om detta inte är möjligt skall provningsatmosfären och tiden för förvaring i denna registreras.

Före provning justeras anslagsmassans läge så att den hänger horisontellt och dess nos nätt och jämnt berör den avsedda punkten på provväggen, då linorna hänger vertikalt och pendelplanet är vinkelrätt mot provväggens yta.

Anslagsmassan dras bakåt - uppåt till den avsedda fallhöjden, hålls fast och släpps sedan mot väggen. Efter stöten skall anslagsmassan hindras att på nytt studsas mot provkroppen.

Stötprovning skall utföras med hastigheterna hos anslagsmassan 0.4, 0.8, 1.2 och 1.6 m/s varvid respektive fallhöjder blir 0.008, 0.033, 0.073 och 0.130 m.

Stötprovning skall antingen utföras på ett 600 mm brett mittparti av väggen eller på väggar med flera fack på eller omedelbart intill det mittersta facket eller elementet.

Stötprovning görs med vardera av de fyra hastigheterna mot fyra olika punkter, alltså totalt sexton punkter, vilka i förväg markerats på väggen enligt FIGUR 9.1, varvid följande skall iakttas. Med varje hastighet provas punkter belägna på samma vertikala linje så att med de två lägsta hastigheterna provas i punkterna 1-4 respektive 9-12 och med de två högre i punkterna 5-8 respektive 13-16. Streckade linjer i figuren avser kanten på bakomliggande regel eller förstövning där sådan finns. På övriga väggar placeras i horisontalled

punkterna 100 mm på ömse sidor om begränsningslinjerna för väggens mittparti enligt ovan och i vertikalled placeras punkterna 1, 5, 9 och 13 400 mm från väggens undre begränsningsyta. Det vertikala avståndet mellan provningspunkterna skall vara minst 300 mm. Om väggen innehåller horisontella regler eller andra avstyvningar belägna så att någon eller några av provningspunkterna kommer närmare dessa än 300 mm förskjuts punkterna uppåt så att avståndet till avstyvningen om möjligt överstiger 300 mm.

Den största längden och bredden hos varje intrycksmärke mäts med skjutmått på 1 mm och dess största djup mäts med längdindikatorn på 0,1 mm. Då en väggskiva är helt genombruten mäts endast den genomsnittliga diametern på brottets kanter. Med största intrycksdjupet avses annars höjdskillnaden mellan en representativ punkt på ytan vid sidan av intrycket och den djupast belägna delen av intrycket. Vid mätning med hjälp av mätur på trefot skall cirkelringen läggas på provkroppens yta med intrycket och erforderlig yta vid sidan av detta i ringens öppning varpå trefoten med mäturet placeras på dirkelringen.

Tränosen på anslagsmassan enligt c) skall besiktigas efter varje stöt och bytas ut om den uppvisar deformationer eller sprickor.

6. Resultat

Provningsrapport skall ge besked om

- a) den provade konstruktinen eller materialet (typ, fabrikat och benämning)
- b) väggens uppbyggnad och nominella skiktthjocklekar i mm
- c) provtagningen
- d) bredden och längden alternativt medeldiametern hos intrycken i mm och största djupet på 0.1 mm. Medelvärde för längd, bredd och djup för varje hastighet i mm respektive på 0.1 mm
- e) övriga förhållanden som kan vara av betydelse för tolkning av resultaten, t ex avvikelse ifråga om provningsklimat samt iakttagna skador.

10. UTVECKLING AV METODEN

10.1 Stötprovning med små väggelement

Projektet har avsett utvecklandet en funktionsanknuten metod för provning av väggars motståndsförmåga mot stötar av hårda föremål.

Vid tillämpning av den framtagna metoden erhålles god överensstämmelse mellan stötpåkänningar i verklig miljö och provningsmiljö. Det har åstadkommits genom att dimensionera anslagsmassor för provningsändamål med dynamiska egenskaper som väl efterliknar egenskaperna hos motsvarande verkliga föremål. Den framtagna provningsmetoden har tillämpats på väggar i full skala (dimensioner 2,5 x 2,5 m). På sikt är det dock önskvärt att utnyttja små billiga väggelement med dimensioner ca 0,6 x 0,6 m.

Skälet till detta är framförallt att det i produktutvecklingsskedet är önskvärt att ha en metod med vilken man på ett tidigt stadium kan bestämma om en framtagen produkt har tillräcklig motståndsförmåga mot stötar. Det kan då vara onödigt besvärligt och kostsamt att behöva framställa produkten i så stort format som den framtagna metoden förutsätter. Detta minskar givetvis fabrikanternas möjlighet och benägenhet att använda provningsmetoden.

På ett tidigt stadium i projektarbetet utfördes admitansmätningar och stötprovsmätningar på såväl stora som små väggelement. Resultaten visar att de dynamiska egenskaperna hos de små väggelementen i vissa fall avviker mycket från de som gäller för de stora väggelementen. Det beror väsentligen på att resonansfrekvenserna (som ju är dimensionsberoende) hos de små väggelementen avviker mycket från motsvarande för de stora väggelementen. Det vore därför önskvärt att utveckla provningsmetoden så att även små väggelement kan stötprovras med realistisk stötblastning. En vidare-

utveckling skulle endast avse de små väggelementens dynamiska egenskaper och inte gälla anslagsmassornas konstruktiva utformning.

En anpassning av de små väggelementens dynamiska egenskaper till motsvarande för de stora väggelementen bör kunna göras genom att ta fram en eller ev flera infästningsramar för de små väggelementen med sådana egenskaper att det lilla väggelementet med ram får ungefär samma dynamiska egenskaper som det stora väggelementet.

10.2 Underlag för val av dimensionerade föremål och anslagshastighet

Som underlag för framtagning och verifiering av provningsmetoden har bl a utnyttjats ett litet antal föremål valda på grunder som framgår av avsnitt 2.2.

För framtagning av dimensionerande föremål och anslagshastigheter lämpliga för olika typer av miljöer och verksamheter (t ex skolor, sjukhus, daghem, offentliga lokaler, industrilokaler av skilda slag) bör man genomföra en mer omfattande studie av verkliga stötbelastande föremål i olika miljöer.

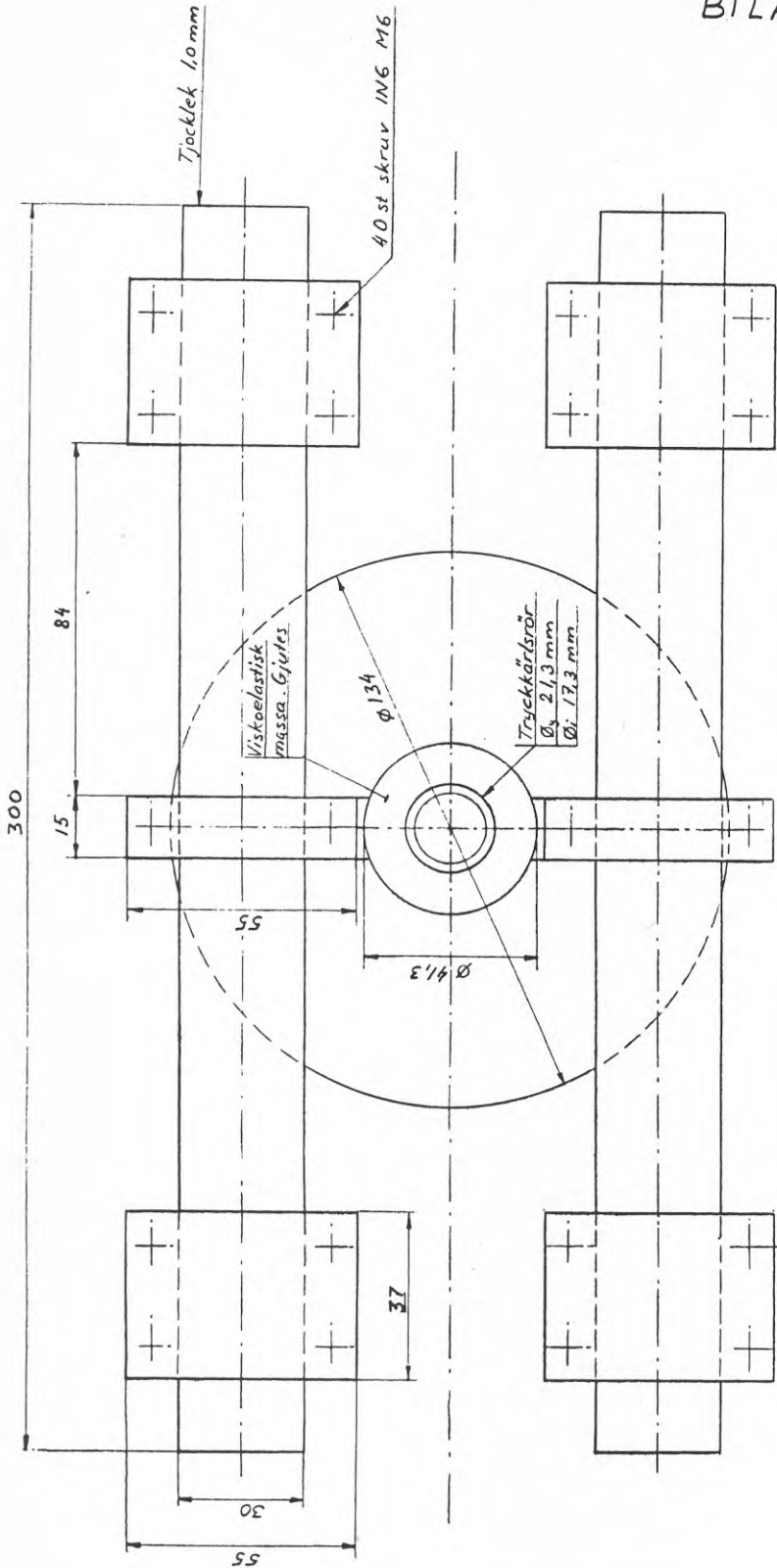
En sådan studie kan omfatta

- a) en inventering av miljöer i vilka väggar kan utsättas för den aktuella typen av stötbelastning
- b) en inventering av aktuella stötbelastande föremål i miljöer enligt a)
- c) en inventering av väggtyper i miljöer enligt a)
- d) stötbelastningsfrekvenser och anslagshastigheter för föremål enligt b)
- e) val av ett dimensionerande föremål och anslagshastighet för varje miljö enligt a)

Valet enligt punkt e) bör primärt kunna göras på basis av material från punkterna a) - d) och admittansmätningar på aktuella föremål.

REFERENSER

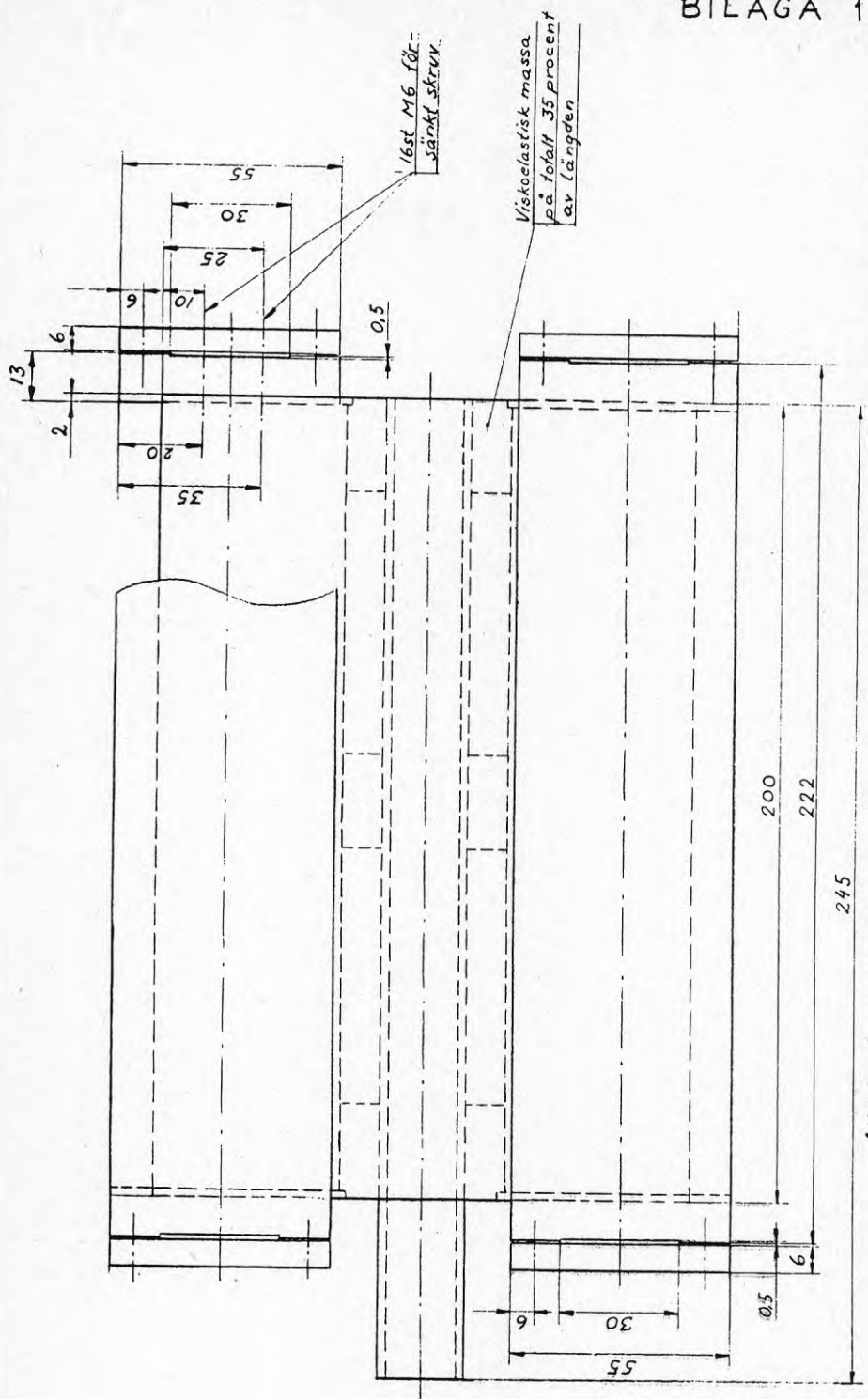
- (1) Admittansmätningar på väggelement av gipsskivor samt på föremål för stötexcitering av väggelement, 1977
(IFM Akustikbyrån) Tekniskt Meddelande TM 4.151.01
- (2) Admittansmätningar på väggelement och provplattor av lättbetong, Karlit- och spånskivor, 1977,
(IFM Akustikbyrån) Tekniskt Meddelande TM 4.216.01
- (3) Stötresponsmätningar på gipsväggar. Excitering med stötdimensionerande föremål. Mätrapport, 1977,
(IFM Akustikbyrån) Tekniskt Meddelande TM 4.151.02
- (4) Stötresponsmätningar på väggar. Excitering med stötdimensionerande föremål. Mätrapport, 1977,
(IFM Akustikbyrån) Tekniskt Meddelande TM 4.216.02
- (5) Stötresponsmätningar på gipsväggar. Excitering med anslagsmassor. Mätrapport, 1977, (IFM Akustikbyrån)
Tekniskt Meddelande TM 4.151.03
- (6) Stötresponsmätningar på väggar. Excitering med anslagsmassor. Mätrapport, 1977, (IFM Akustikbyrån)
Tekniskt Meddelande TM 4.216.03



Tryckkärlsröret gängas utvändigt med ett något för stort gängsnitt i syfte att få god vidhäftning mellan den viskoelastiska dämpmassan och rörvidgen. Av samma anledning gängas det större röret invändigt med en något för liten gängtapp.

SNALLA	TILLM. RTIN.	DET.	BENÄMNING	ANT.	MATERIAL	DIMENSIONER M.M.
MIT. O.S.	TILLM. RTIN.	DET.	BENÄMNING	ANT.	MATERIAL	DIMENSIONER M.M.
DAT. 2/5-77	UPPDR.					
			Anslagsmassa typ sjukhus-säng. Gavel.			4.151.1

BILAGA 1b

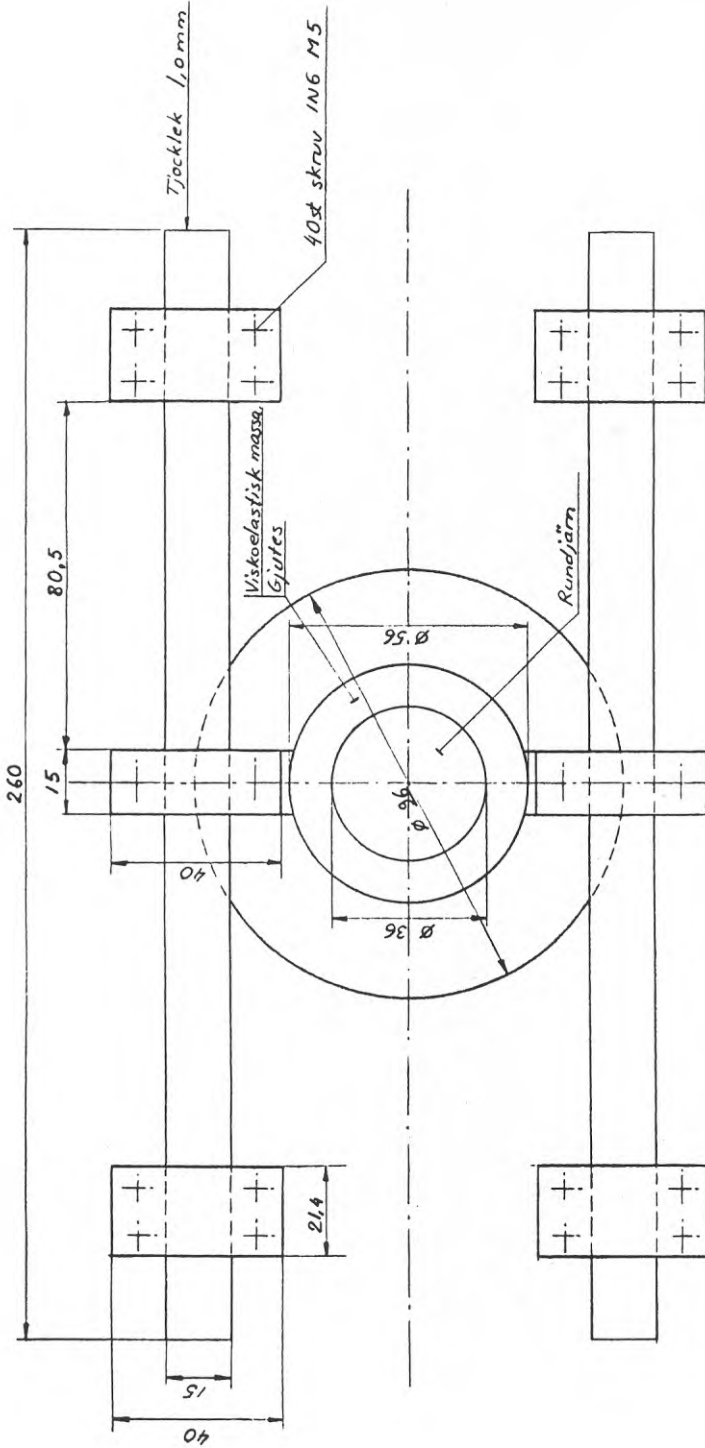


Alla kanter gradas och rundas.
 Toleranser v6ljes s6 att godpassning
 erh6lles mellan ing6ende maskin-
 element.

BKALA	TILLK. RITN.	DET.	BENÄMNING	ANT.	MATERIAL	DIMENSIONER M.M.
NT. O. S.	UPPOR				St6l	
DT. 25-77						4.151.2

Anslagsmassa typ sjukhus-s6ng. Sida.

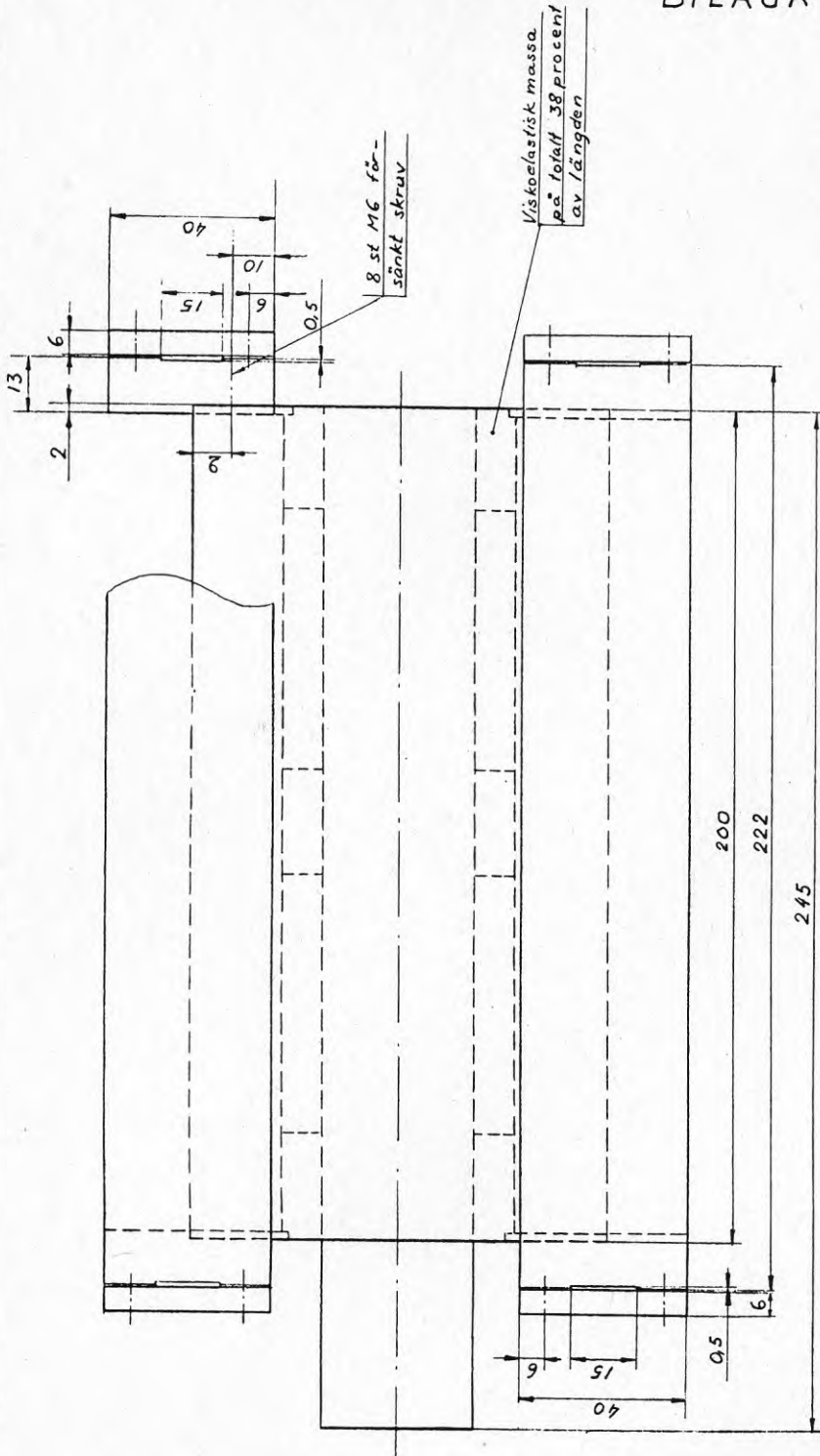
BILAGA 2a



BALA	RIT. O.S.	TILLH. RITN.	UPFOR.	DET.	BENÄMNING	ANT.	MATERIAL	DIMENSIONER N.M.
			3/5-77		Anslagsmassa typ bär Gavel.		Stål	4,151.3

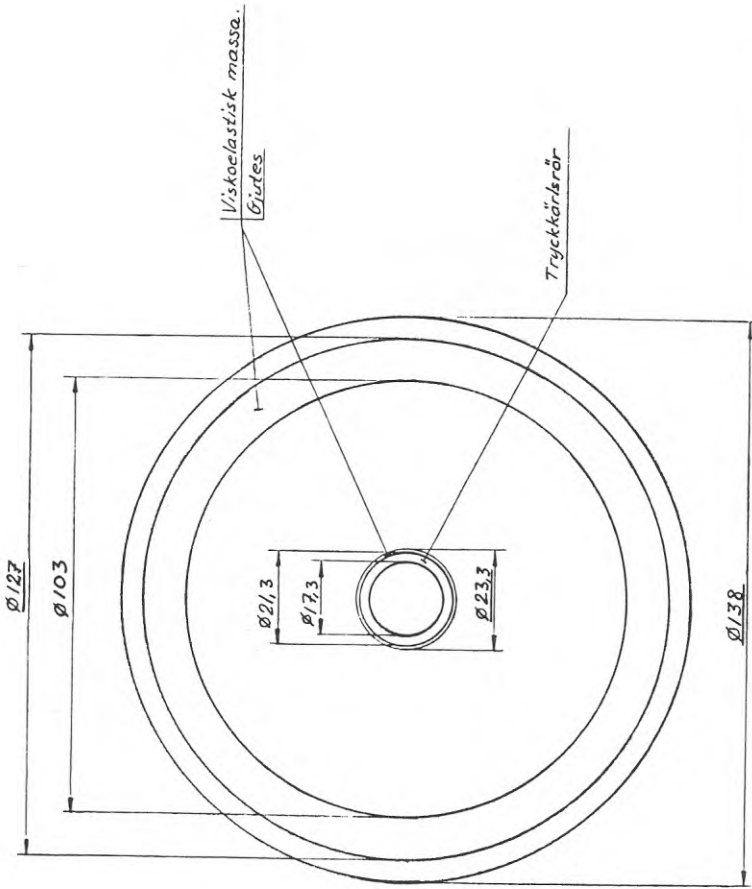
Rundjärnet gängas utvändigt med ett något för stort gängsnitt. Röret gängas invändigt med en något för liten gängtapp.

BILAGA 2b



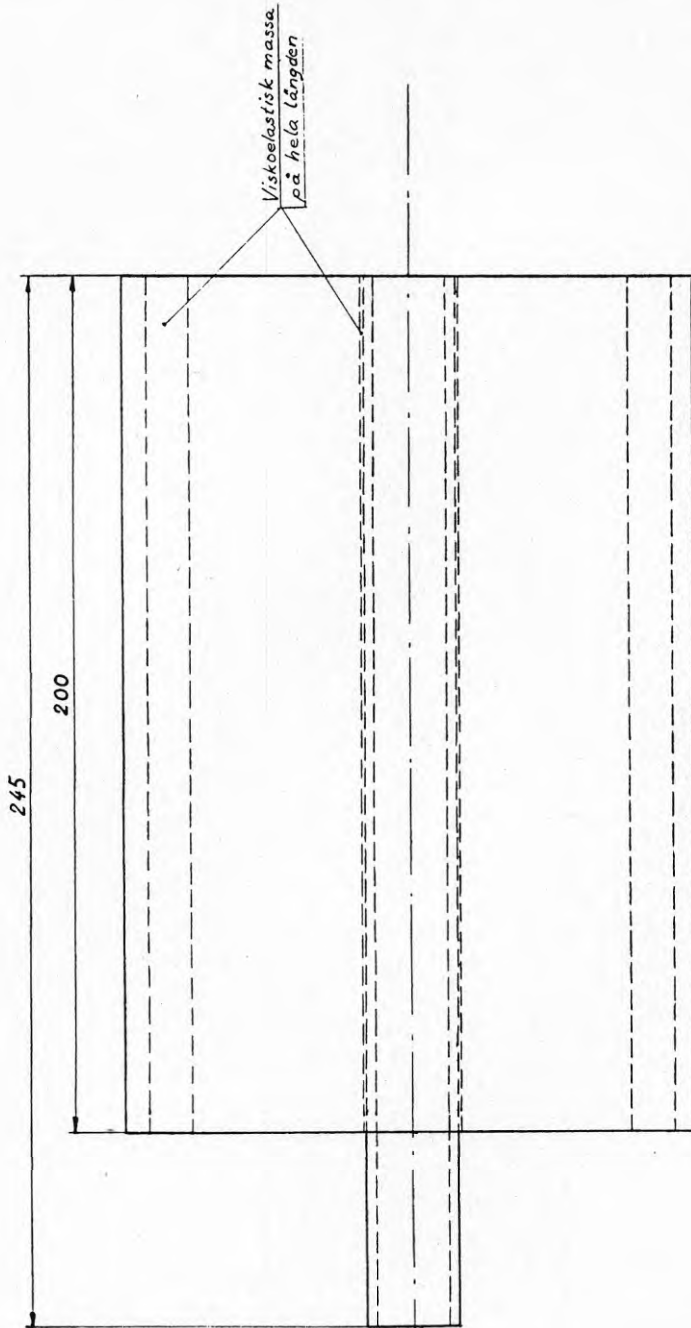
BILAGA	TILLK. ANT.	DET.	BENÄMNING	ANT.	MATERIAL	DIMENSIONER M.M.
BT. 0.5					Stål	
DAT. 3/5-77	UPFOR.					
Anstigs massa typ bär. Sida.						4.151.4

Alla kanter gradas och rundas.
Toleranser väljes så att god passning erhålles mellan ingående maskinelement.



Samtliga ytor som skall täckas med viskoelastisk massa ruggas upp för bättre vidhäftning.

BALA	TILLH. RITT	BEHÄNING	ANT.	MATERIAL	DIMENSIONER M M.
RT. O.S.				Stål	
DAT 4/5-77					
Anslagsmassa typ stort rull- bord, Gavel.					4.151.5



BIALA	TILL. RITN.	DET.	BENÄMNING	ANT.	MATERIAL	DIMENSIONER M.M.
RIT.					Stål	
DAT.						
						Anslagsmassa typ stort rull- bord. Sida.
						4.151.6

Alla kanter gradas och rundas.

- FIGUR 2.1 Exempel på kraft-tidförlopp hos en stöt
- FIGUR 2.2 Exempel för ett verkligt föremål med belastningsriktning och stötområde
- FIGUR 2.3 Linjära och olinjära delar av ett verkligt föremål
- FIGUR 2.4 Det svängande systemet föremål-vägg
- FIGUR 2.5 Principiell uppbyggnad av anslagsmassa för laboratorieprov där spetsen utgör den icke linjära delen av anslagsmassan och fjäderelementen motsvarar vekheter i det verkliga föremålet.
- m_1, m_2, m_3 , = massan för anslagsmassans delmassor 1, 2 och 3, kg.
- k_{12}, k_{23} = fjäderkonstanter hos fjäderelementen 12 respektive 23, där 23 har försumbar dämpning, N/m.
- η_{12} = förlustfaktor i fjäder-element 12.
- FIGUR 2.6 Sjukhussäng
- FIGUR 2.7 Bår
- FIGUR 2.8 Bord
- FIGUR 2.9 Träska
- Figur 2.10 Impedanshuvud fäst vid sjukhussäng, bår respektive bord
- FIGUR 3.1 Vägg som stötprovas
- 13 mm gipsskivor på 95 mm veka stålreglar
 - Dubbla 13 mm gipsskivor på 95 mm stålreglar
 - Mellanväggselement av gasbetong
 - 12 mm träfiberskivor med 2,5 mm mineralisk ytbeläggning (Karlit tändskyddande) på 70 mm stålreglar
 - 12 mm spånskivor på 45x70 mm träreglar

- FIGUR 3.2 Stort väggelement. Mätpunktsplacering
- FIGUR 3.3 Admittansspektrum för Karlitvägg, Hel vägg - heldragen linje och liten provkropp - streckad linje.
- FIGUR 3.4 Kraft-tidförlopp vid stötexcitering av Karlit-vägg med sjukhussäng. Hel vägg - heldragen linje och liten provkropp - streckad linje.
- FIGUR 4.1 Plattform för manövrering av föremålen.
- FIGUR 4.2 Pendelanordning med träsko.
- FIGUR 4.3 Skador på en dubbel gipsskivevägg respektive gasbetongvägg åstadkomna vid stötar med en sjukhussäng och ett bord.
- FIGUR 4.4 Kraft-tidförloppet vid en stöt med sjukhussäng mot en Karlit-vägg med stöthastigheten 1 m/s samt kraftens fouriertransformation.
- FIGUR 4.5 Exempel på mätprotokoll från stötprovning av en enkel gipsvägg.
- FIGUR 5.1 Konstruktiv utformning hos anslagsmassor motsvarande sjukhussäng, bår och bord.
- FIGUR 5.2 Admittanskurvor för en sjukhussäng, dels verkligt föremål, heldragen linje, dels konstruerad anslagsmassa, streckad linje. Den räta heldragna linjen motsvarar admittansen hos en ren massa med massan 1 kg.
- FIGUR 5.3 Admittanskurvor för en bår, dels verkligt föremål, heldragen linje, dels konstruerad anslagsmassa, streckad linje. Den räta heldragna linjen motsvarar admittansen för en ren massa med massan 1 kg.
- FIGUR 5.4 Admittanskurvor för ett bord, dels verkligt föremål, heldragen linje, dels konstruerad anslagsmassa, streckad linje. Den räta heldragna linjen motsvarar admittansen för en ren massa med massan 1 kg.

- FIGUR 6.1 Pendelanordning för upphängning av anslagsmassor.
- FIGUR 8.1 Metod för dimensionering av anslagsmassor. Principskiss.
- FIGUR 8.2 Exempel på uppmätt admittansspektrum där
- $$L_Y = 20 \cdot 10 \log \left(\frac{Y}{Y_0} \right)$$
- $|Y|$ = beloppet av admittansen
 Y_0 = referensadmittansen som ofta sätts till $5 \cdot 10^{-8}$ eller 1 m/Ns
- FIGUR 8.3 Anslagsmassa med bladfjädrar motsvarande verkliga föremål med lägsta resonansfrekvensen 50-100 Hz.
- FIGUR 8.4 Anslagsmassa av cylindrisk typ motsvarande verkliga föremål med lägsta resonansfrekvensen 50-100 Hz.
- FIGUR 8.5 Principiellt utseende hos det viskoelastiska skiktet i spalten mellan massorna m_1 och m_2 och i fallet med cylindrisk anslagsmassa även m_2 och m_3 . Beteckningar:
 l = längden av massa m_2
 p = andel av spalten som är fylld med viskoelastisk massa
 t = den viskoelastiska massans tjocklek
 r_i = den viskoelastiska massans inre radie
- FIGUR 8.6 Principfigur över deformation av blad-fjädrpar vid stötblastning med anslagsmassan. Beteckningar:
 b = bladfjäderns bredd
 h = bladfjäderns tjocklek
 L = bladfjäderns längd mellan infästningarna
 δ = maximal utböjning hos bladfjädrarna vid dimensionerande stöthastighet v_0
 F = maximal belastning vid dimensionerande stöthastighet v_0
- FIGUR 9.1 Provvägg. Placering av mätpunkter.

TABELLFÖRTECKNING

- TABELL 4.1 Uppmätt maximal stötkraft F_{\max} , varaktighet T_V (se figur 2.1) samt tillhörande anslags-hastighet v för provföremålet med olika typer av skador som följde.
- TABELL 7.1 a Medelvärden och standardavvikelser för vissa stötparametrar. Beteckningar se texten i avsnitt 7.1.
- TABELL 7.1 b Medelvärden och standardavvikelser för vissa stötparametrar. Beteckningar se texten i avsnitt 7.1.
- TABELL 7.2 Sammanställning av skador på väggar exciterade dels med verkliga föremål, dels med anslagsmassor.
- TABELL 9.1 Sammanställning av massor och fjäderkonstanter för anslagsmassor. Beteckningar se figur 2.5.

SAMMANFATTNING

Lätta mellanväggar av skivor på regelverk har under en följd av år varit den dominerande mellanväggskonstruktionen. Väggarnas konstruktion bestäms i allmänhet av krav på ljudisolering och stöthållfasthet, där i många fall stöthållfasthetskravet är svårare att uppfylla än ljudisoleringskravet. För att man skall kunna avgöra om väggarna har tillräcklig motståndsförmåga mot förekommande stötbelastning behövs en provningsmetod enligt vilken man kan återskapa sådana belastningar. Verkliga stötbelastande föremål bör vid laboratorieprovning av väggar ersättas med kompakta väl definierade anslagsmassor. Dessa skall ha sådana dynamiska egenskaper att man vid stötprovning erhåller ungefär samma kraft-tid-förlopp hos stöten som med det verkliga föremål som anslagsmassan efterliknar. I denna rapport redovisas en metod att dimensionera sådana anslagsmassor efterliknande hårda föremål vilken är generellt användbar för olika väggtyper. Metoden baseras på föremålets mekaniska impedanser. I rapporten beskrivs också en provningsmetod baserad på några anslagsmassor som tagits fram under utvecklingsarbetet. Denna provningsmetod kan även ligga till grund för provningsmetoder med andra anslagsmassor.

Teoretisk bakgrund

Då ett verkligt föremål stöter mot en vägg kommer olika delar av föremålet att röra sig i förhållande till varandra. Det beror på att såväl föremålet som väggen har resonanser (vekheter). Det verkliga föremålet kan därför inte vid provning ersättas med en anslagsmassa som utgörs av en enda resonansfri, stel, kropp. Man kan visa att de dynamiska egenskaperna hos det verkliga föremålet för detta ändamål bäst kan beskrivas av den s.k. punktimpedansen mätt i stötområdet (kontaktytan mellan föremål och vägg) hos föremålet i den aktuella belastningsriktningen. Punktimpedansen hos ett föremål definieras som förhållandet mellan en yttre stationär sinus-kraft verkande på föremålet och hastighetsresponsen i

kraftens angreppspunkt och riktning. Impedansen utgör alltså ett mått på föremålets motstånd mot att bli satt i rörelse. Av beräkningstekniska skäl används i stället begreppet admittans som är det inverterade värdet av impedansen. Punktadmittansen $Y(f)$ definieras av följande två storheter:

$$|Y(f)| = \frac{U_0(f)}{F_0(f)} = \text{beloppet av punktadmittansen, m/Ns}$$

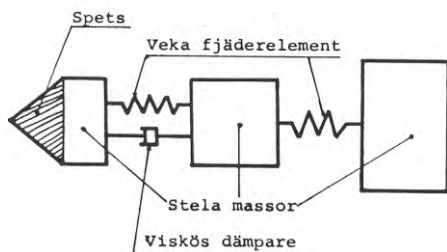
$$\phi(f) = \text{fasförskjutningen mellan kraft och hastighet, radianer}$$

där $F_0(f)$ = toppvärdet av kraften, N

$U_0(f)$ = toppvärdet av motsvarande hastighetsrespons i samma punkt och riktning, m/s

f = frekvensen, Hz

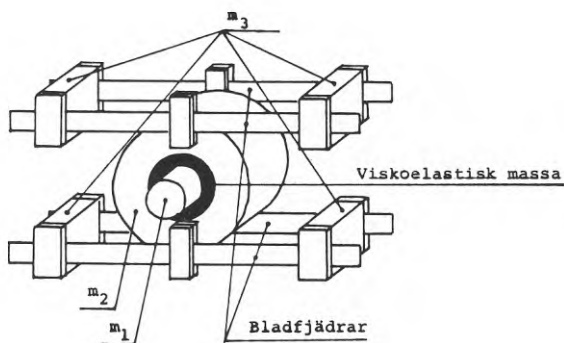
Sambandet gäller under förutsättning att det verkliga föremålet har nära nog linjärelastiska dynamiska egenskaper inom det aktuella belastningsområdet. Denna förutsättning är inte alltid uppfylld nära stötområdet hos föremålet där lokalt spänningarna och deformationerna kan bli mycket stora. Man bör därför dela upp föremålet i en icke-linjär och en linjär del. Vid stötprovning av väggar bör man kunna ersätta den linjära delen av det stötdimensionerande föremålet med ett linjärt massafjädersystem, utformat på ett sådant sätt att punktadmittansen i tillräcklig utsträckning överensstämmer med föremålets. Den icke linjära delen av det verkliga föremålet kan inte enkelt ersättas. En anslagsmassa för laboratorieprov bör därför helst ha en 'spets' som består av den icke-linjära delen av föremålet. En anslagsmassa kan då få ett principiellt utseende som framgår av FIGUR 1.



FIGUR 1 Principiell uppbyggnad av anslagsmassa för laboratorieprov där spetsen utgör den icke-linjära delen av anslagsmassan.

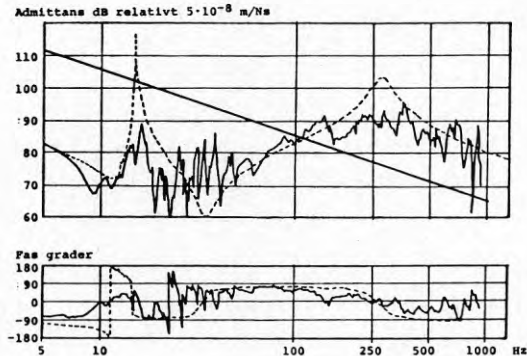
Konstruktion av anslagsmassor

Med utgångspunkt från resultaten av de utförda admittansmätningarna på verkliga föremål och väggar har framtagits anslagsmassor motsvarande de verkliga föremålen. Anslagsmassorna är i princip uppbyggda av tre stycken massor med två mellanliggande fjäderelement enligt FIGUR 1. Massor och fjäderkonstanter valdes så att beloppet av punktadmittansen mitt i "spetsen" på anslagsmassan liknar admittansen i det provföremål som anslagsmassan skall ersätta inom det mest betydelsefulla frekvensområdet som vanligtvis faller inom intervallet 5-500 Hz. Exempel på den konstruktiva utformningen av en anslagsmassa visas i FIGUR 2.



FIGUR 2 Exempel på konstruktiv utformning av anslagsmassa.

I FIGUR 3 visas uppmätta admittanser för en sjukhussäng och motsvarande anslagsmassa. I diagrammet har också lagts in admittansen för en ren massa med massan 1 kg. Av figuren framgår att överensstämmelsen är god inom stora delar av det aktuella frekvensområdet med undantag för partierna kring toppar och dalar i spektrum. Man kan dock visa att partierna mellan topparna och dalarna är viktigast för de aktuella kraft-tidförloppen.



FIGUR 3 Admittanskurvor för en sjukhussäng, dels verkligt föremål, heldragen linje, dels konstruerad anslagsmassa, streckad linje. Den räta heldragna linjen motsvarar admittansen hos en ren massa med massan 1 kg.

Stötmätningar

För bestämning av, om de framtagna anslagsmassorna gav samma stötpåverkan på väggarna som de verkliga föremålen utsattes samtliga väggar för stötbelastning med såväl verkliga föremål som anslagsmassor. Stötbelastningen upprepades för varje kombination av föremål respektive anslagsmassa och vägg ca 3-5 gånger med växande hastighet hos föremålet ända tills brott inträffade (där detta var möjligt att åstadkomma). I möjligaste mån användes samma anslagshastigheter och provpunkter på väggarna med anslagsmassor som med verkliga föremål. Vid stötbelastningen mättes dels kraft-tidsförloppet nära kontaktområdet mellan vägg och föremål och dels accelerations-tidförloppet på väggen i en punkt belägen någ-

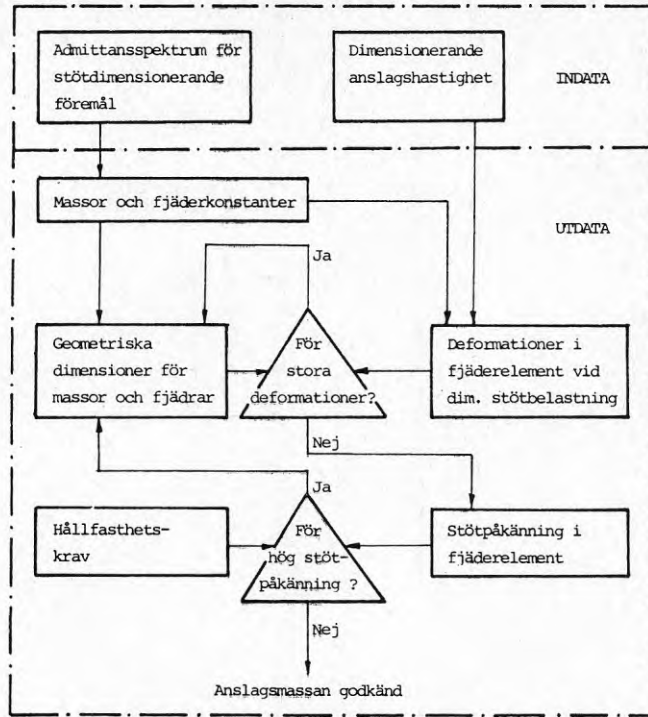
ra cm från kontaktområdet. Uppkomna skador på väggarna fotograferades och deras geometriska dimensioner uppmättes.

För att underlätta en jämförelse mellan de uppmätta resultaten av stötförloppen för verkliga föremål respektive anslagsmassor valdes tre parametrar för att karakterisera dessa. De valda parametrarna är maximala värdet av kraften, varaktigheten hos kraftpulsen samt väggens maximala hastighet nära stötområdet. Data för dessa parametrar bearbetades sedan statistiskt och jämfördes. Resultaten visar överlag mycket god överensstämmelse. En jämförelse mellan de skador som åstadskommits på väggarna med verkliga föremål respektive med anslagsmassor visar bl a att för jämförbara fall är märken och andra skador något större med verkliga föremål än med anslagsmassor.

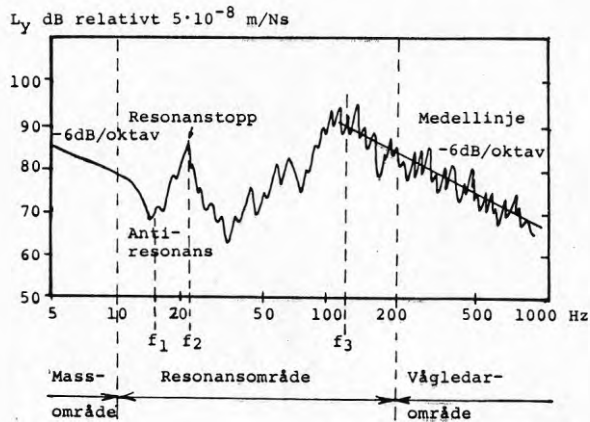
Metod för dimensionering av anslagsmassor

Den principiella gången vid dimensionering av anslagsmassor framgår av FIGUR 4. Som underlag för dimensioneringen fordras ett uppmätt punktadmittansspektrum för det verkliga föremålet i det aktuella stötområdet och stötriktningen. Det uppmätta admittansspektrum har ett principiellt utseende enligt FIGUR 5 och indelas i olika frekvensområden enligt samma figur. Det bör omfatta så stort frekvensområde att såväl massområdet som vågledarområdet är väl identifierbara.

Med hjälp av den redovisade metodiken erhålles färdiga konstruktionsdata för anslagsmassor.



FIGUR 4 Metod för dimensionering av anslagsmassor. Principskiss.



FIGUR 5 Exempel på uppmätt admittansspektrum.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760072-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till BPA Byggproduktion AB
och forskningsanslag 760107-0 till Avdelning för byggnads-
materiallära, Tekniska Högskolan, Stockholm**

R19:1979

ISBN 91-540-2988-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600919

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms