



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

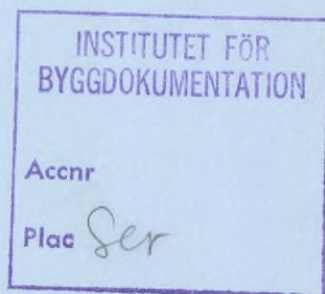
R38:1987

Plastmattors stegljudsdämpande egenskaper

En studie av materialparametrarnas betydelse

Kaj Bodlund
Gunnar Holmertz

R
AWA



Byggforskningsrådet

R38:1987

PLASTMATTORS STEGLJUDSDÄMPANDE EGENSKAPER

En studie av materialparametrarnas betydelse

Kaj Bodlund
Gunnar Holmertz

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830280-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provvningsanstalt, Borås.

REFERAT

Projektets målsättning har varit att ta reda på vilka materialparametrar det är som bestämmer plastmattors stegljudsdämpande egenskaper. För ändamålet har ett stort antal prov tillverkats med Forbo-Forshagas laboratoriebestrykningsmaskin. Dessa prov har sedan testats i provningsanstaltens stegljudslaboratorium. Det material som tillverkats omfattar både enkla skumfolier såväl som prov sammansatta av homogena och skummade skikt. Projektet har begränsats till sådana plastmattor där stegljudsdämpningen erhålles med hjälp av skum av mjukgjord PVC. Några plastfiltmattor har inte provats.

Resultaten visar att det som helt bestämmer stegljudsdämpningen är det fjädrande skiktets E-modul och tjocklek. Ju lägre E-modul och ju större tjocklek, ju högre blir stegljudsdämpningen. Undersökningen visar också att man kommer långt med att fastställa $(\rho/t)^{1/2}$ -värdet, där ρ och t betecknar skumskiktets densitet respektive tjocklek. Ett linjärt samband mellan denna parameter och $I_{\Delta i}$ presenteras. $I_{\Delta i}$ betecknar golvbeläggningens stegljudförbättringsindex. Med detta uttryck är det möjligt att förutsäga $I_{\Delta i}$ med en noggrannhet som normalt är bättre än 2 dB. Noggrannhetsuppskattningen är bl a baserad på ett studium av sju kommersiellt tillgängliga plastmattor. Samtliga dessa mattor härstammar från olika tillverkare. För att kunna göra säkrare predikteringar är det nödvändigt att detaljstudera betydelsen av olika receptvariabler vilket inte varit möjligt inom detta relativt begränsade projekt.

Rapporten avslutas med ett studium av sambandet mellan de stegljudsförbättringstal som förekommer i ett antal olika internationella standarder.

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

R38:1987

ISBN 91-540-4718-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

SAMMANFATTNING	4
1. INLEDNING	5
1.1 Problemställning	5
1.2 Projektets genomförande	5
2. EN KORT LITTERATURGENOMGÅNG	6
2.1 Flytande golv	6
2.2 Elastiska ytskikt	7
3. TILLVERKNING AV PVC-MATTOR	10
3.1 Allmänt	10
3.2 Skum av mjukgjord PVC	10
4. EXPERIMENT MED LÖSLAGDA SKUMFOLIER	12
4.1 Framställning och beskrivning av provmaterial	12
4.1.1 Tillverkning	12
4.1.2 Provkroppar	14
4.1.3 Materialegenskaper	15
4.1.4 Sammanfattning	18
4.2 Stegljudsmätningar	18
4.2.1 Enkelskikt	19
4.2.2 Kombinationer med ett styvt löslagt ytskikt	23
4.2.3 Kombinationer av löslagda skumskikt	25
5. EXPERIMENT MED SAMMANSATTA SKIKT	27
5.1 Kombinationer av skumskikt och homogena skikt	27
5.1.1 Tillverkning	27
5.1.2 Materialegenskaper	31
5.1.3 Stegljudsmätningar	31
5.2 Kommersiellt tillgängliga golvprodukter	36
6. OLIKA STEGLJUDSFÖRBÄTTRINGSTAL	40
7. TILLKÄNNAGIVANDEN	47
8. REFERENSER	48
BILAGA 1. PVC-skumprovns materialegenskaper	51
BILAGA 2. Intressanta materialparametrar för PVC-skumproven	52
BILAGA 3. PVC-skumprovns stegljudsförbättringstal	53
BILAGA 4. Stegljudsförbättringstal för 20 golvbeläggningar	54
BILAGA 5. Materialegenskaperna och stegljudsförbättringstalen för de sammansatta skumproverna.	55

SAMMANFATTNING

Projektets målsättning har varit att ta reda på vilka materialparametrar det är som bestämmer plastmattors stegljudsdämpande egenskaper. För ändamålet har ett stort antal prov tillverkats med Forbo-Fors-hagas laboratoriebestrykningsmaskin. Dessa prov har sedan testats i provningsanstaltens stegljudslaboratorium. Det material som tillverkats omfattar både enkla skumfolier såväl som prov sammansatta av homogena och skummade skikt. Projektet har begränsats till sådana plastmattor där stegljudsdämpningen erhålles med hjälp av skum av mjukgjord PVC. Några plastfiltmattor har inte provats.

Resultaten visar att det som helt bestämmer stegljudsdämpningen är det fjädrande skiktets E-modul och tjocklek. Ju lägre E-modul och ju större tjocklek, ju högre blir stegljudsdämpningen. Undersökningen visar också att man kommer långt med att fastställa $(\rho/t)^{1/2}$ -värdet, där ρ och t betecknar skumskiktets densitet respektive tjocklek. Ett linjärt samband mellan denna parameter och $I_{\Delta i}$ presenteras. $I_{\Delta i}$ betecknar golvbeläggningens stegljudsförbättringsindex. Med detta uttryck är det möjligt att förutsäga $I_{\Delta i}$ med en noggrannhet som normalt är bättre än 2 dB. Noggrannhetsuppskattningen är bl a baserad på ett studium av sju kommersiellt tillgängliga plastmattor. Samtliga dessa mattor härstammar från olika tillverkare. För att kunna göra säkrare predikteringar är det nödvändigt att detaljstudera betydelsen av olika receptvariabler vilket inte varit möjligt inom detta relativt begränsade projekt.

Rapporten avslutas med ett studium av sambandet mellan de stegljudsförbättringstal som förekommer i ett antal olika internationella standarder.

1. INLEDNING

1.1 Problemställning och projektidé

Kunskapen om hur olika materialegenskaper påverkar plastgolvs stegljudsdämpande egenskaper har hittills varit ganska begränsad. Detta gäller både bland akustiker och plastgolvstillverkare. När man utvecklar en ny produkt utnyttjar man naturligtvis tidigare erfarenheter men tyvärr har man sällan tillgång till eller råd med systematiska experiment. Man tvingas istället förlita sig till en "trial and error" filosofi vilket ofta kan medföra stora kostnader. Dessutom vet man inte hur man bäst kontrollerar tillverkningen så att man försäkras om en hög stegljudskvalité på produkterna.

Projektets idé är att med systematiskt utförda experiment studera hur olika materialegenskaper påverkar stegljudsdämpningen. Intressanta variabler är exempelvis slitskiktets tjocklek och styvhet, skumskiktets tjocklek och fjädring och mjukgörarhalten. Målet har varit att ta fram ett lättillgängligt konstruktionsunderlag för golvbranschen. Detta underlag kan förhoppningsvis utnyttjas för framtagning av resurssnålare och bättre konstruktioner samt för löpande produktionskontroll.

1.2 Projektets genomförande

Projektet har genomförts av Forbo-Forshaga AB och Statens provningsanstalt. Forbo-Forshagas del i projektet har varit att på sin laboratoriebestyrkningsmaskin framställa provmaterial för undersökningen samt att bestämma dessa provs allmänna materialegenskaper. Stegljudstester och resultatanalys har sedan genomförts av provningsanstalten. Projektplanering och rapportering har genomförts i samverkan.

2. EN KORT LITTERATURGENOMGÅNG

2.1 Flytande golv

När man studerar den tillgängliga facklitteraturen finner man att mycket av det som skrivits om övergolv och stegljudsdämpande åtgärder handlar om s k flytande golv [1-5]. För en mer fullständig litteraturlista se ex referens [5]. Ett flytande golv innebär att man på det bärande bjälklaget lagt ett fjädrande skikt och på detta material i sin tur en mer eller mindre styv och lastfördelande platta.

För ett flytande golv som reagerar lokalt, gäller att dess stegljudsdämpning ges av uttrycket

$$\Delta L = 20 \lg \left[1 + \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right] \approx 40 \lg \left[\frac{f}{f_0} \right] \quad . \quad (1)$$

där

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} (s/m)^{1/2} \quad . \quad (2)$$

f betecknar frekvensen (Hz), f_0 är övergolvets grundresonansfrekvens (Hz), s är mellanskiktets dynamiska styvhet per areaenhet (N/m^3) och m är den flytande plattans vikt per areaenhet (kg/m^2). Att ett övergolv reagerar lokalt innebär att den kraft som alstras av hammaren överförs till det underliggande bjälklaget enbart inom själva träffområdet och dess närhet.

Uttrycket visar att stegljudsdämpningen blir högre ju lägre grundresonansfrekvens man har. Grundresonansen blir i sin tur lägre ju mjukare mellanskiktet är och ju tyngre den flytande plattan är. Styvhetsdata presenteras för en rad olika mellanmaterial i referens [2] och det kan vara värt att notera att fibermaterial ofta har en styvhet som domineras av den instängda luftens fjädringsegenskaper

Om överplattan är alltför styv och har för liten dämpning verkar inte kraftöverföringen enbart lokalt, utan det bildas ett vibrationsfält i hela överplattan som i sin tur exciterar undergolvet. Sambanden för denna typ av stegljudstransmission diskuteras bl a i referenserna [3] och [5], men eftersom mekanismerna för överföringen ej är typisk eller tillämpbar för plastmattor så behandlas dessa ej vidare i denna rapport.

2.2 Elastiska ytskikt

Till kategorin elastiska ytskikt räknas exempelvis plastmattor. Litteraturen som beskriver mekanismerna bakom stegljudsdämpningen hos denna typ av golvbeläggningar är relativt knapphändig [3, 6, 7]. Följande approximativa uttryck anses gälla under förutsättning att ytskiktet har en väsentlig inre dämpning vid kompression och att fjädningen är linjär

$$\Delta L = 40 \lg \left[\frac{f}{f_0} \right] \quad f \gg f_0 \quad . \quad (3)$$

$$\text{där } f_0 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{A_h}{m_h} \right)^{1/2} \left(\frac{E}{t} \right)^{1/2} \quad . \quad (4)$$

f_0 betecknar grundresonansfrekvensen för systemet där hammaren utgör massan och golvbeläggningen är fjädern. Vidare betecknar A_h hammarens träffarea (m^2), m_h är hammarens massa (kg), E är ytskiktets dynamiska E-modul (N/m^2) och t är ytskiktets tjocklek (m). Om golvbeläggningens inre dämpning är låg kommer hammaren att studsas och man erhåller en högre stegljudsdämpning vid frekvenser som är udda multipler av grundresonansfrekvensen ($f = n \cdot f_0$, $n = 3, 5, 7 \dots$). Vid jämna multipler av grundresonansfrekvensen ($f = n \cdot f_0$, $n = 2, 4, 6, \dots$) blir stegljudsdämpningen i gengäld något lägre än enligt ekvation (3). Den standardiserade hammarapparatens träffarea = $7,07 \cdot 10^{-4} m^2$ och hammar-

vikten = 0,5 kg, dvs $[A_h/m_h]^{1/2} = 0,0376 \text{ (m/kg}^{1/2}\text{)}$.
Med dessa värden kan ekvation (3) och (4) skrivas om enligt

$$\Delta L = 40 \lg (f) + 20 \lg (t/E) + 89 \text{ dB} \quad f \gg f_0 \quad (5)$$

$$f_0 = 0,006 \left(\frac{E}{t}\right)^{1/2} \quad (6)$$

Uttrycket visar på det naturliga beroendet att stegljudsdämpningen ökar med ökande skiktjocklek och ju mjukare materialet är.

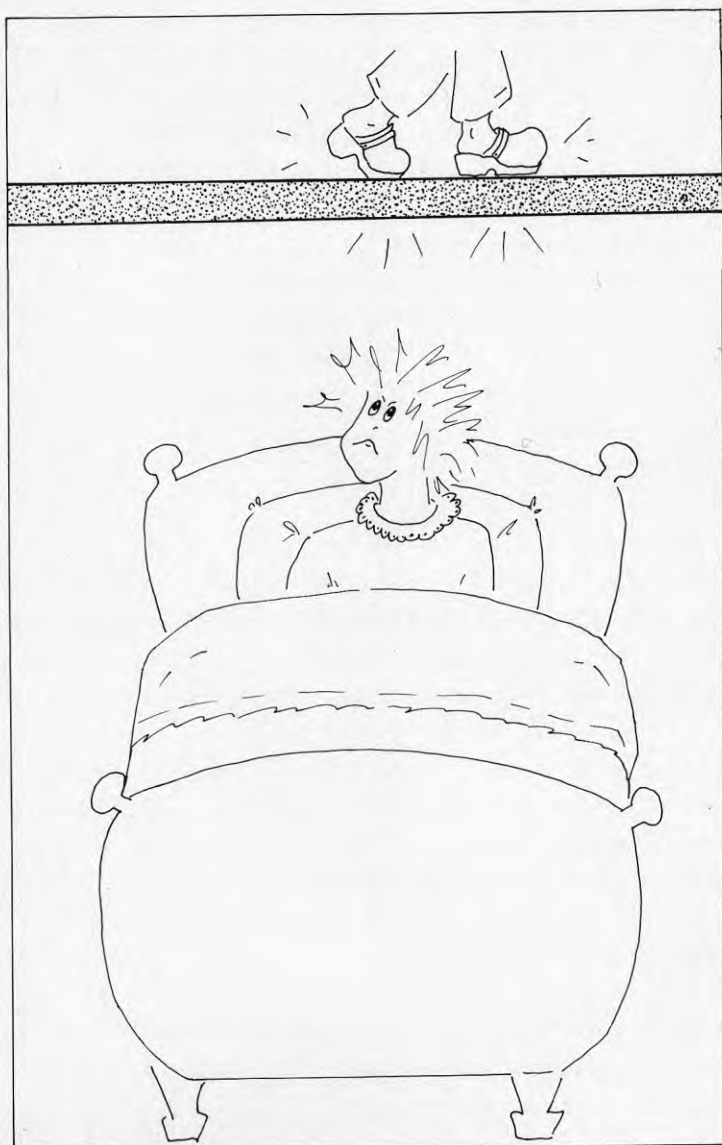
Ett alternativt sätt att beskriva förhållandena presenteras i referenserna [8, 9]. Här anges att grundresonansfrekvensen bestäms av den s k slagtiden enligt

$$f_0 = 0,465/\tau \quad (7)$$

där τ betecknar slagtiden dvs den tidsperiod under vilken det är kontakt mellan golvbeläggningen och hammaren under ett enskilt slag. Ju längre slagtiden eller ihoptryckningstiden blir, ju högre stegljudsdämpning erhålles. Genom att mäta τ kan man således uppskatta f_0 .

I Lindblads rapport [7] behandlas grunderna bakom ekvationerna ovan och uttryck presenteras även för frekvenser under f_0 och för fallen med respektive utan studsande hammare och med respektive utan inre förluster hos det fjädrande skiktet. Uttrycken visar att stegljudsdämpningen under f_0 är större än 0 och att stegljudsdämpningen i detta frekvensområde huvudsakligen bestäms av golvbeläggningens inre dämpning. Låg inre dämpning ger liten stegljudsförbättring medan hög inre dämpning ger en större och i stort sett frekvensoberoende förbättring upp till f_0 . I denna referens studeras även olinjär fjäd-ring vilket betyder att styvheten (E) hos det elastiska skiktet beror av tiden under själva slagförloppet. Ett sådant beteende medför att man erhåller

annorlunda förbättringsvärden över resonansfrekvensen än enligt ekvation (3). Olinjär fjädring innebär vanligtvis att fjäderstyvheten ökar med sammantryckningen.



3. TILLVERKNING AV PVC-MATTOR

3.1 Allmänt

Golvbeläggningar av mjukgjord PVC kan framställas på olika sätt. De vanligaste metoderna är kalandrering, extrudering och bestrykning. I de två förstnämnda bearbetas en massa av PVC, mjukgörare och tillsatsmedel (stabilisatorer, fyllmedel etc) på upphettade valsar (kalander) eller i strängsprutningsmaskin (extruder) med s k bredslitsmunstycke.

Bestrykning innebär bearbetning av flytande blandningar av PVC, mjukgörare och tillsatsmedel. Blandningen som benämns pasta eller plastisol stryks ut i ett jämntjockt skikt på ett underlag, t ex papper, filt eller glasfibernonwoven. Övergången till fast form (gelatinering) sker sedan genom upphettning, vanligtvis i ugn.

Med kalandrering och extrudering kan endast homogena, dvs kompakta skikt åstadkommas. Vanligtvis lamineras flera sådana folier ihop till kompletta golvbeläggningar. Sådana homogena beläggningar har emellertid mycket begränsade stegljudsdämpande egenskaper. Därtill erfordras något slag av dämpande skikt såsom filt eller skum. Filt av jute eller polyester har tidigare varit dominerande i sådant syfte men numera överväger skum. Sådana skum av mjukgjord PVC tillverkas med bestrykningsmetoden.

3.2 Skum av mjukgjord PVC

Skum av mjukgjord PVC kan vara av kemisk eller mekanisk typ. I båda fallen rör det sig om bearbetning av plastisol och om bestrykning.

Kemiskt skum kan erhållas om ett s k jäsmedel, vanligtvis azodikarbonamid, tillsättes plastisolen. Under upphettningen som gelatineringen erfordrar bryts också jäsmedlet ner under bildning av kvävgas. Varje jäsmedelspartikel ger i princip upphov till en enskild skumcell. Ökar man jäsningsgraden dvs höjer temperaturen får man ett skum med större andel öppna celler. Samspelet mellan gasutveckling, smältviskositet (i PVC-blandningen) och gelatinering är avgörande för skumstrukturen. Tämligen stor variation i den slutliga densiteten kan uppnås.

Nedbrytningen av kemiska jäsmedel kan förhindras med hjälp av s k inhibitorer. Dessa kan tillsättas på ytan av det ojästa skiktet. Görs detta tillsammans med mönstertryckning kan relieffeffekter erhållas (kemisk prägling).

Mekaniskt skum erhålles enligt samma princip som vispgrädde. PVC-pastan, med tillsats av skumstabilisatorer (emulgatorer), vispas upp med luft. Det bildade skummet stryks ut på avsett underlag och gelatineras i ugn. Skum av den här typen har en struktur med större andel öppna celler än vad kemiskt skum har.

Tjockleken på skumskikt med mekanisk framställning kan göras tämligen exakt. Man erhåller samma skikt-tjocklek efter gelatinering som vid bestrykningen. Med kemiskt skum krävs noggranna inställningar av ugnstemperatur etc för att styra den exakta slut-tjockleken. Det är också vanligt i golvsammanhang att de båda teknikerna kombineras.

4. EXPERIMENT MED LÖSLAGDA SKUMFOLIER

4.1 Framställning och beskrivning av provmaterial

4.1.1 Tillverkning -----

För den första delen av projektet tillverkade Forbo-Forshaga AB provmaterial av skummad, mjukgjord PVC. Vid folieframställningen varierades mjukgörarehalt (elasticitet), påläggningsmängd (ytvikt) resp tjocklek (jäsningsgrad). Enbart kemiskt skum tillverkades.

Laboratoriebestrykningsmaskinen bestod i sina huvuddelar av

- 1) avrullningsanordning för bärare
- 2) rakel för påstrykning av pasta
- 3) ugn för gelatinerings
- 4) upprullningsanordning för färdigvara

Maskinens arbetsbredd är 0,50 m. Tillverkningshastigheten är maximalt ca 7 m/min. Ugnen är 6 m lång och upphettas med konvektionsvärme. Maximal arbetstemperatur är ca 280 °C.

Vid provmaterialframställningen användes sk releasepapper som bärare. Detta papper har en ytbehandling av kromstearat som möjliggör en separering av det gelatinerade PVC-skiktet. Bärarens enda uppgift i det här fallet var sålunda att fungera som transportmedel för PVC-delen.

I den reguljära produktionen av golvbeläggning används PVC-pasta för framställning av kemiskt skum. Denna pasta, komplett i alla beståndsdelar togs ut i erforderlig kvantitet för provtillverkningen. De önskade variationerna av sammansättningen erhölesedan genom olika tillsatser av mjukgörare resp PVC

till baspastan. Sammanlagt fem olika recept enligt tabell 1 och 2 ingick. Tabell 2 visar den procentuella sammansättningen. Recept A utgjorde basrecept. Med DIOP avses diisooktylfitalat, primärmjuktöraren i blandningen. Bland de fasta komponenterna ingick förutom jäsmedel även pigment och fyllmedel.

Tabell 1.

Komponenter	Receptbeteckning				
	A	B	C	D	E
PVC (kg)	5,51	5,51	5,51	6,06	6,61
DIOP (kg)	1,72	1,96	3,52	1,72	1,72
Övr flytande komp (kg)	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59
Fasta komponenter (kg)	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
SUMMA (kg)	10,00	10,24	11,80	10,55	11,10

Tabell 2.

Komponenter	Receptbeteckning				
	A	B	C	D	E
PVC (%)	55,1	53,8	46,7	57,4	59,6
Tot flytande komp (%)	33,1	34,7	43,3	31,4	29,8
Fasta komponenter (%)	11,8	11,5	10,0	11,2	10,6

Tillsatsernas storlek valdes enbart med syftet att få fram stora variationer i densitet och E-modul på det färdiga skummet. De här angivna recepten är summariska d v s varje angiven grupp består av ett flertal komponenter. Tillsatserna begränsades till endast en flytande (DIOP) resp bindemedelskomponent. Därigenom erhålls inget direkt samband mellan tillsatsmängden och egenskapsförändringar. Dessutom sker under gelatineringsuppvärmningen mindre flyktighetsförluster av de flytande komponenterna. Högre jäsningsgrad motsvarar därvid större förluster. Det är sålunda i första hand de färdiga skumfoliernas egenskaper som skall utgöra egentligt jämförelseunderlag.

Mängden pålagd pasta regleras av rakelinställningen och avsikten var att för vart och ett av de olika recepten ställa rakeln på tre olika ytvikter. Det visade sig emellertid svårt att på ett acceptabelt sätt stryka tjockare skikt av pastorna med högre mjukgörarhalt p g a den avsevärt lägre viskositeten hos dessa. De utgick sålunda.

Den lägsta påläggningsnivån motsvarade ca 350 g/m^2 , de högre ca 600 resp ca 900 g/m^2 . De faktiskt erhållna slutvikterna för varje recept framgår av bilagda sammanställning. Påläggningsmängderna har där betecknats med I, II resp III.

För varje recept och påläggningsmängd varierades sedan den slutliga skumtjockleken i ett antal steg. Beläggningshastigheten sänktes successivt, dvs uppehållstiden i ugnen ökades och därmed också jäsningsgraden. Jäsningsgraden används också som beteckning i bilagda sammanställning och avser förhållandet mellan erhållen skumtjocklek och ursprunglig pastatjocklek (approximativt). Varje serie inleddes med framtagning av kompakt material. Detta kördes under sådana betingelser (hög hastighet) att någon nedbrytning av jäsmedlet ej erhöles. Därefter sänktes sålunda hastigheten i etapper. Av varje tjockleksvariant kördes ca 10 löpmeter.

4.1.2 Provkroppar

Bredden på skumfolierna som tillverkades var genomgående ca 40 cm. Av den tillgängliga kvantiteten av varje prov togs tre eller fyra provkroppar ut för stegljudsmätning hos SP. Dessa vara 75 cm långa och foliens hela bredd. Mellan varje sådant stegljudprov togs provkroppar med 25 cm längd, vilka behölls hos Forbo-Forshaga för bestämning av ytvikt, tjocklek, densitet och elasticitetsmodul.

4.1.3 Materialegenskaper

Ytvikten bestämdes för var och en av de tre ovan nämnda referensproven. Mätytan var $0,060 \text{ m}^2$ ($0,20 \times 0,30 \text{ m}$). Tjockleken bestämdes i mikroskop med mätskala enligt SS 923515. Mätpunkterna motsvarade mitten resp ca 10 cm från vardera ytterkanten på tillverkningsbanan. Elasticitetsmodulen bestämdes vid dragning enligt DIN 53455. Provkropparnas bredd var 15 mm, inspänningslängden 100 mm och draghastigheten 5 mm/min. Två provkroppar i vardera längd- resp tvärriktningen togs för vart och ett av proven. Tjockleken på provkropparna bestämdes också genom mikroskopmätning. Medelvärdena för dragprovkropparnas tjocklekar redovisas separat. Elasticitetsmodulen fastställdes vid 5 % töjning (E_5).

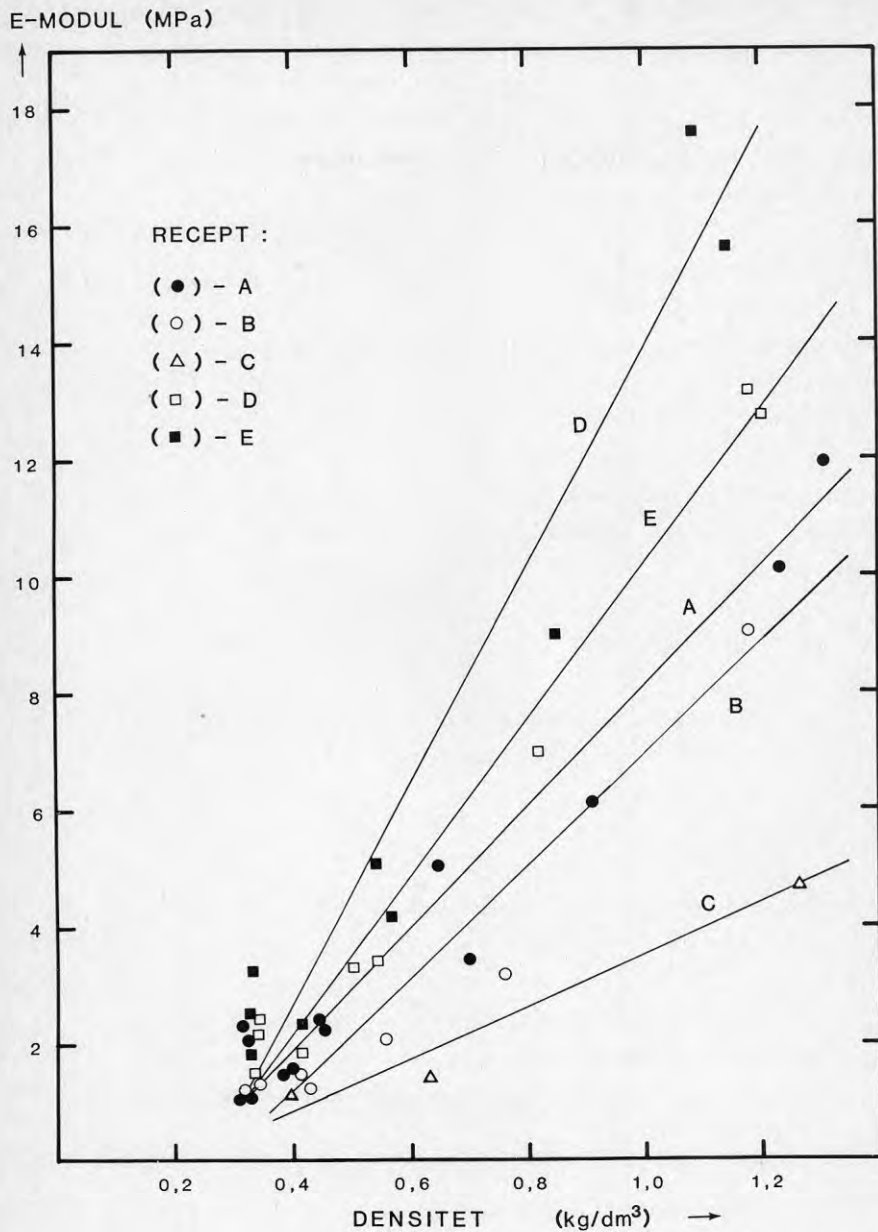
Resultaten av dessa mätningar redovisas i form av medelvärden för respektive prov i bilaga 1.

Av ekvation (4) ser man att det är skumskiktets tjocklek och E-modul som är de viktigaste materialegenskaperna. Den E-modul som avses är dock den dynamiska E-modulen och dessutom kan man mycket väl tänka sig att elasticitetsmodulen är olika i olika riktningar, dvs att folierna är anisotropa. I referens [3] anges emellertid att den dynamiska E-modulen för de flesta elastiska material är ungefär dubbelt så stor som den statistiskt uppmätta E-modulen. En statistiskt uppmätt E-modul bör alltså kunna fungera som en värdemätare även på den dynamiska E-modulen. Beträffande den eventuella anisotropin så motiveras valet att studera E-modulen i fel ledd av att det är mycket lättare att mäta enligt DIN-metoden än att fastställa foliens E-modul i normalens riktning. För att det skall vara någon vits med att leta fram en materialegenskap med vars hjälp man kan förutsäga

stegljudsdämpningen, så måste den vara lätt att mäta upp i golvproducentens laboratorium. Huruvida det är tillräckligt att studera denna E-modul kommer att studeras nedan.

Eftersom en jäsning innebär att man huvudsakligen endast fördelar materialet på en viss volym och materialet i sig inte förändras, kan det vara intressant att studera hur förhållandet är mellan provernas densiteter och E-moduler. En sådan sammanställning, som baseras på uppgifterna i bilaga 1, presenteras i figur 1. Figuren och den genomförda regressionsanalysen visar att för ett givet recept så finns det ett nära linjärt samband mellan densiteten och E-modulen. Korrelationskoefficienterna för de olika recepten varierade mellan 96,7 % och 98,9 % (korrelationskoefficienten är 100 % vid perfekt linjärt samband). Dessutom kan man se att E-modulen varierar mest i absoluta tal för de ojästa proven och att man för dessa har lägre E-modul ju högre tillverkningsreceptets mjukgörarhalt är. Detta stämmer för samtliga prov utom om man inbördes jämför resultaten för D- och E-recepten. Dessa recept har dock nästan samma mjukgörarhalt, varför man troligen kan hitta förklaringen i någon annan receptvariabel. Även för de prov som har jäst ordentligt, kan man hitta ett receptberoende hos E-modulen. Skillnaderna är dock inte lika entydiga i detta område eftersom spridningen är stor mellan likvärdiga prov.

I bilaga 2 redovisas en sammanställning över de mest intressanta materialparametrarna: $(E/t)^{1/2}$ och $(\rho/t)^{1/2}$. ρ används som beteckning för densiteten. Ju mjukare och tjockare ett golvmaterial är ju större stegljudsförbättring kan man vänta sig (jmf med ekv (3) och (4)).



FIGUR 1. Sambandet mellan PVC-skumprovns densitet och E-modul. Regressionslinjerna för de olika recepten har inkluderats i figuren.

4.1.4 Sammanfattning

De framställda proverna representerar materialtjocklekar mellan ca 0,3 och ca 2,8 mm och densiteter mellan ca 0,3 och ca 1,3 kg/dm³. Detta täcker mycket väl in de områden som förekommer på skumskikt ingående i normala golvbeläggningar.

4.2 Stegljudsmätningar

Mätningarna som genomförts i provningsanstaltens stegljudslaboratorium har i alla väsentliga delar utförts enligt svensk och internationell standard [10, 11]. Instrumentuppkoppling och ytterligare metoddetaljer överensstämmer med redovisningen i referens [12]. Som speciella detaljer bör man notera

- att det studerade frekvensområdet omfattar samtliga tersband från 50 Hz till 3150 Hz
- att samtliga mätningar har genomförts på ett 177 mm tjockt betongbjälklag
- att enbart en fast bjälklagsposition utnyttjats
- att enbart en fast hammarapparatsposition utnyttjats per provkropp
- att stegljudsnivåerna först faststälts efter en viss förbearbetning av proven med hammarapparaten vilket säkerställer att stegljudsdämpningen är stationär.

Provens förbättringskurvor har fastställts genom medelvärdesbildning av provkropparnas förbättringsvärden och varje förbättringskurva har entalsutvärderats enligt följande metoder:

- | | | |
|-------|--|--------------------------------------|
| (i) | Nordtest metod NT ACOU 034
Stegljudsförbättringsindex | Referens [13]
$I_{\Delta i}$, dB |
| (ii) | Internationell standard ISO 717/2
Vägt stegljudsförbättringsindex | Referens [14]
ΔL_w , dB |
| (iii) | Fransk standard NF S 31-053
A-vägd stegljudsförbättring | Referens [15]
ΔL_A , dBA |

Som kontentan av ett nyligen avslutat byggforskningsprojekt med titeln

"Metod för utvärdering av stegljudsmätningar som svarar mot subjektivt upplevd isolering".

föreslås nya metoder för utvärdering av stegljudsmätningar [16]. Dessa metoder lägger betydligt större vikt vid de lägre frekvensbanden än de standardiserade metoderna. De alternativa metoderna och konsekvenserna av en sådan förändring, diskuteras i ett särskilt kapitel av denna rapport.

Eftersom Nordtest-metodens förbättringstal har det största variationsområdet och dessutom är det tal som användes i provningsanstaltens klassningssystem för golvbeläggningar [17], så användes primärt endast detta tal för studium av sambanden mellan materialegenskaperna och stegljudsförbättringen. Korrelationen med de andra förbättringstalen studeras i kapitel 6.

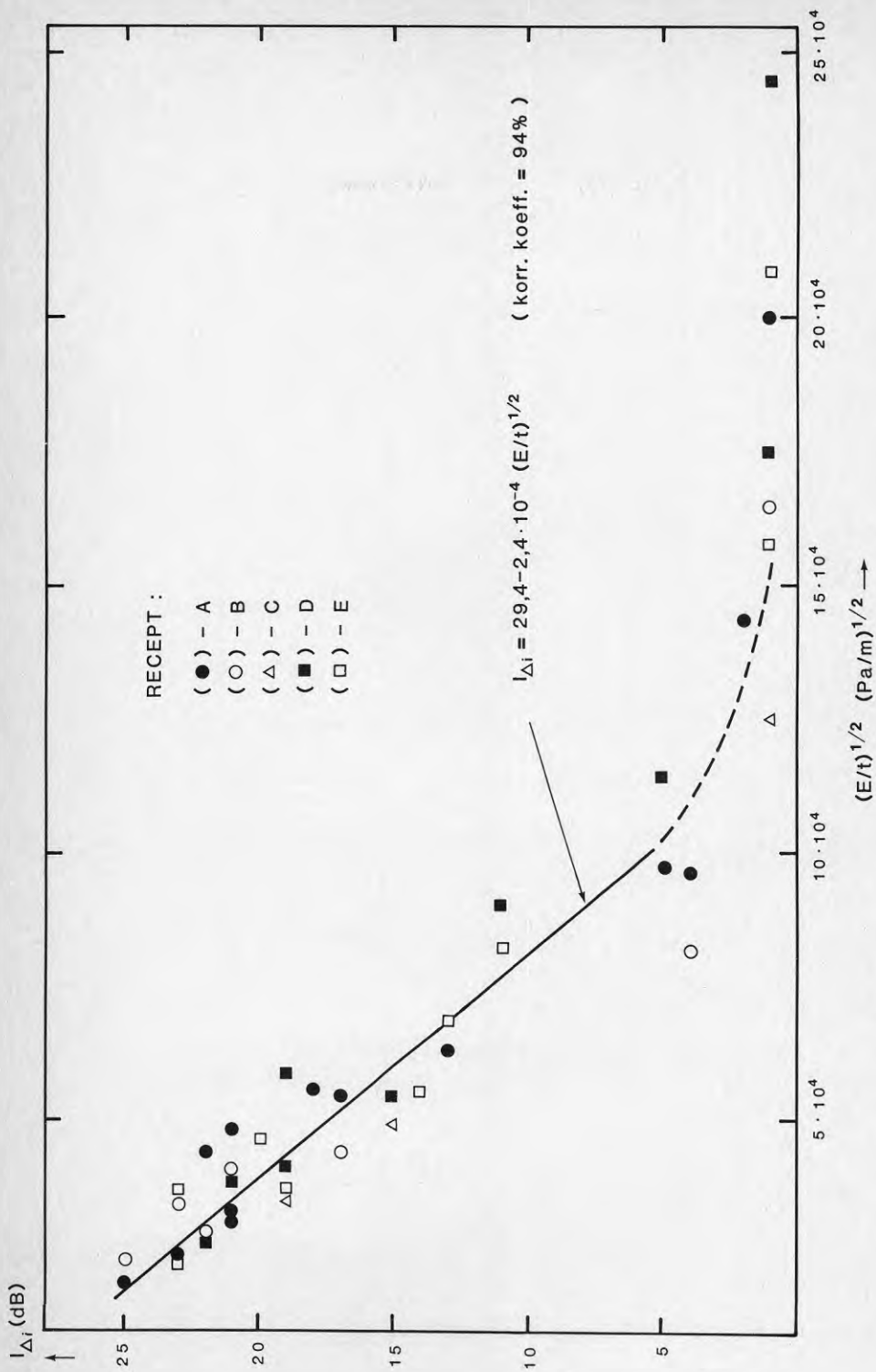
4.2.1 Enkelskikt

I en första mätserie studerades skumfolierna helt för sig själva, dvs utan att något ytterligare material placerades mellan hammarapparaten och skumproverna. Vid dessa mätningar lades särskild vikt vid att kontrollera huruvida hamrarna skulle slå

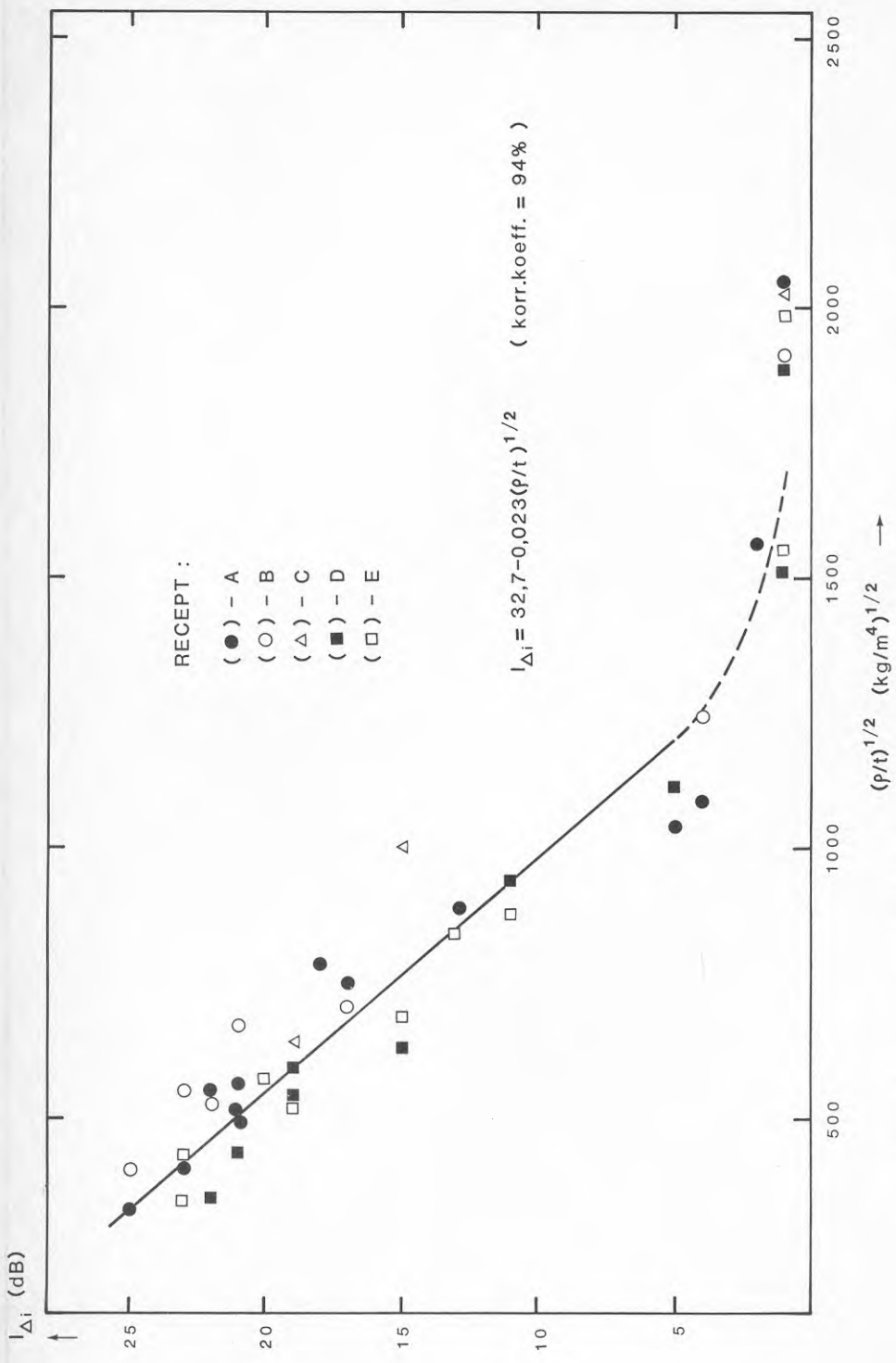
sönder skumproven. Ingen sådan tendens kunde dock observeras för något av proven. Om så hade varit fallet så skulle stegljudsnivån ha ökat med tiden efter det att hammarapparaten startats. Istället uppvisade tidshistorierna en oberoende eller till en början svagt fallande stegljudsnivå, vilket också är typiskt för PVC-golv.

Mätningarna på de 41 proven genomfördes i ett sammanhang och resultaten har sammanställts som funktion av de intressanta materialparametrarna $(E/t)^{1/2}$ och $(\rho/t)^{1/2}$ i figur 2 och 3. De olika förbättringstalen redovisas i bilaga 3. Figur 2 visar ett i stora drag linjärt samband mellan förbättringstalet och $(E/t)^{1/2}$ för de jästa proverna. Regressionsanalysen har begränsats till att omfatta talpar med $I_{\Delta i}$ -värden större än 2 dB eftersom linjäriteten helt naturligt inte kan extrapoleras till de hårda och tunna proverna. Inget klart receptberoende avslöjas vilket innebär att den uppmätta E-modulen verkar fungera som avsett. Studerar man sedan sambandet mellan förbättringstalet och $(\rho/t)^{1/2}$ i figur 3, så finner man här i stort samma beroende och dessutom en lika hög korrelationskoefficient som i figur 2. Även $(\rho/t)^{1/2}$ är således användbar för beskrivning av ett skummaterials stegljudsegenskaper. Emellertid kan man spåra ett receptberoende för $I_{\Delta i}$ -värden större än 5 dB. Recept D ger exempelvis lägre $I_{\Delta i}$ -värden än recept B för samma $(\rho/t)^{1/2}$ -värden.

Genomför man en individuell regressionsanalys för de olika recepten med begränsningen att $I_{\Delta i} > 5$ dB erhåller man följande samband. Recept C har utelämnats eftersom antalet prover för denna grupp är för få.



FIGUR 2. Observerat samband mellan I_{Δ_i} och materialparametern $(E/t)^{1/2}$



FIGUR 3. Observerat samband mellan $I_{\Delta i}$ och materialparametern $(\rho/t)^{1/2}$

Recept A: $I_{\Delta i} = 31,3 - 0,019 (\rho/t)^{1/2}$ (n=9, r=97 %)

Recept B: $I_{\Delta i} = 34,4 - 0,022 (\rho/t)^{1/2}$ (n=5, r=90 %)

Recept C:

Recept D: $I_{\Delta i} = 29,2 - 0,020 (\rho/t)^{1/2}$ (n=6, r=97 %)

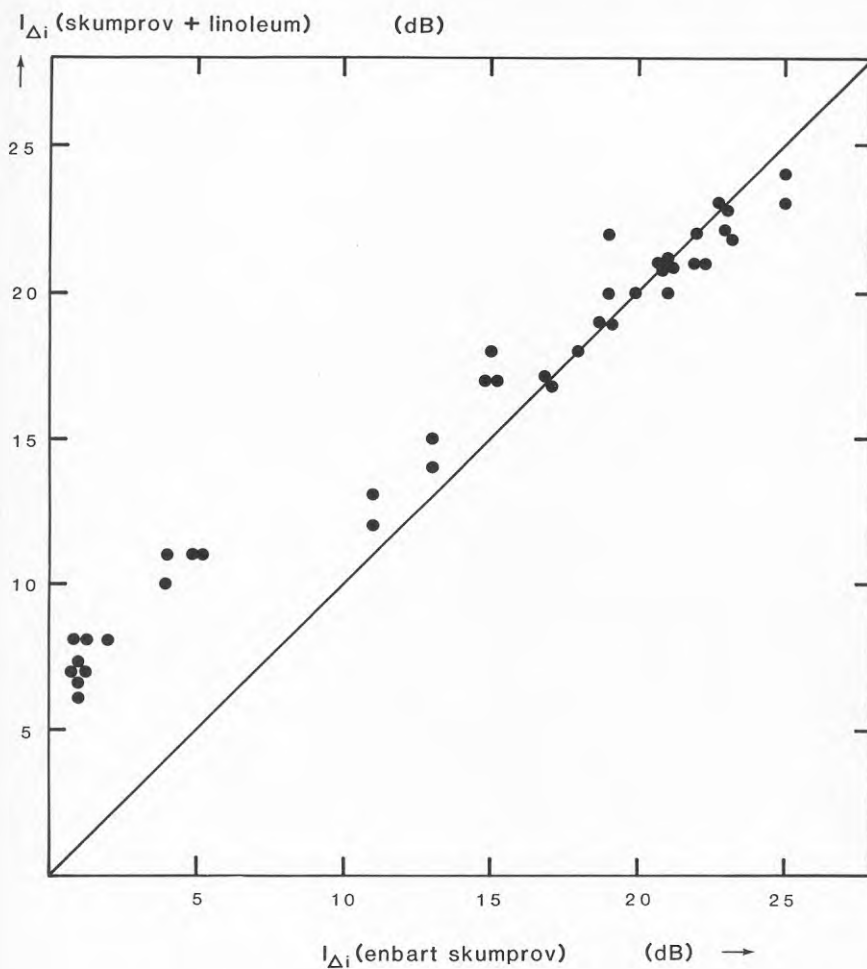
Recept E: $I_{\Delta i} = 32,0 - 0,023 (\rho/t)^{1/2}$ (n=7, r=98 %)

Om man sedan använder dessa uttryck till att beräkna förväntade förbättringsvärden för $(\rho/t)^{1/2}$ mellan 250 och 750 $(\text{kg/m}^4)^{1/2}$, så finner man att recept B ger högst förbättringstal i tur och ordning följt av recept A, E och D. Rangordningen är alltså densamma som observerades i figur 1.

4.2.2 Kombinationer med ett styvt löslagt ytskikt

Nästa fråga som kan vara intressant att studera är hur ett skumskikt fungerar i kombination med ett löslagt ytskikt. Om ytskiktet är tillräckligt styvt kommer det att verka lastfördelande, dvs de krafter som alstras av hammarslaget kommer att fördelas över en större area och golvbeläggningen kommer att verka hårdare samt få en lägre stegljudsförbättring. Dessutom kan man naturligtvis tänka sig att toppskiktet i sig har en viss elasticitet, tjocklek och stegljudsdämpande effekt.

För att studera denna frågeställning så testades de 41 skumproven på nytt men nu med en 2 mm tjock linoleummatta placerad mellan hammarapparaten och skumprovet. Resultaten redovisas i figur 4. Linoleummattan som ensam hade förbättringstalet 4 dB ger ett väsentligt tillskott till stegljudsdämpningen när den kombineras med ojästa och tunna prover vars stegljudsdämpning är liten. I kombination med de bättre skumproven så domineras däremot förbättringen



FIGUR 4. Sambandet mellan skumprovets stegljudsförbättringstal med resp utan ett löslagt toppskikt av 2 mm linoleum. Om toppskiktet hade saknat betydelse skulle samtliga observationer ha grupperat sig nära eller på den inritade räta linjen

helt av skumskikten. Med de allra mjukaste skikten hittar man några lägre värden med linoleummattan än utan detta toppskikt vilket innebär att toppskiktet verkar lastfördelande. Den lastfördelande effekten tycks dock vara ganska begränsad.

Normala PVC-golv har oftast ett tunt toppskikt av homogen PVC (slitskiktet) och detta skikt torde således knappast påverka stegljudsdämpningen hos de bättre produkterna. Hammarslaget går rakt igenom slitskiktet och dämpningseffekten bestäms huvudsakligen av skumskiktets elasticitet och tjocklek. Dessa frågor kommer att penetreras vidare i kapitel 5.

4.2.3 Kombinationer av löslagda skumskikt

Om man lägger ihop två elastiska skikt finns det en möjlighet att beräkna det förväntade resultatet genom att beakta sambandet

$$\left(\frac{t}{E}\right)_{\text{res}} = \frac{t_1}{E_1} + \frac{t_2}{E_2} \quad (8)$$

$(t/E)_{\text{res}}$ används här för att beteckna den resulterande eftergivligheten. För att kontrollera detta uttryck och visa hur det kan användas studeras två exempel.

Exempel 1:

Skumprov nr 5 och nr 17 kombineras. Enligt bilaga 2 erhålles

$$\left(\frac{t}{E}\right)_{\text{res}} = 4,3 \cdot 10^{-10} + 8,4 \cdot 10^{-10} = 12,7 \cdot 10^{-10} \text{ (m/Pa) ,}$$

vilket efter insättning i regressions sambandet i figur 2 ger $I_{\Delta i} = 23 \text{ dB}$. En kontrollmätning gav följande resultat

enbart prov nr 5:	$I_{\Delta i} = 20 \text{ dB}$
enbart prov nr 17:	$I_{\Delta i} = 21 \text{ dB}$
prov nr 5 + nr 17:	$I_{\Delta i} = 24 \text{ dB}$

Uppskattningen gav alltså ett nästan helt korrekt resultat. Felet var 1 dB, vilket är normalt med hänsyn till de variationer som förekommer.

Exempel 2:

Skumprov nr 19 kombineras med en 2 mm tjock gummiduk. Gummiduken ensam gav förbättringstalet 11 dB vilket enligt sambandet i figur 2 motsvarar ett t/E -värde som är lika med $1,7 \cdot 10^{-10}$. Med hjälp av skumprovets t/E -värde enligt bilaga 2 erhålles

$$\left(\frac{t}{E}\right)_{\text{res}} = 12,4 \cdot 10^{-10} + 1,7 \cdot 10^{-10} = 14,1 \cdot 10^{-10} \text{ (m/Pa)},$$

vilket efter insättning i sambandet i figur 2 ger

$I_{\Delta i} = 23 \text{ dB}$. En kontrollmätning gav följande resultat

enbart prov nr 19:	$I_{\Delta i} = 22 \text{ dB}$
enbart gummiduken:	$I_{\Delta i} = 11 \text{ dB}$
gummiduk + prov nr 19:	$I_{\Delta i} = 23 \text{ dB}$

Exemplen visar på ett slående sätt hur mycket det behövs för att man skall åstadkomma en större ökning av stegljudsförbättringen.

5. EXPERIMENT MED SAMMANSATTA SKIKT

5.1 Kombinationer av skumskikt och homogena skikt

5.1.1 Tillverkning

Under våren 1986 tillverkades provmaterial i form av kombinationer av skumskikt och kompakta skikt. Uppehållet i provtillverkningen från december månad 1984 till våren 1986 orsakades av en omfattande ombyggnad av laboratoriet hos Forbo-Forshaga AB. Ombyggnaden innebar bl a att laboratoriebestrykningsmaskinen flyttades och försågs med både ny ugn och hetoljetrumma för gelatinerings. En bild av den nya maskinen visas på nästa sida.

Den nya ugnen har längden 2,5 m och är försedd med både IR- och konvektionsvärme. Den har 12 st IR-strålare på 1 kW vardera. Konvektionsvärmens är på 15 kW. Hetoljetrumman är uppvärmsbar till 150 °C.

Med denna förbättring av bestrykningslinjen är det sålunda möjligt att tillverka kombinationsmaterial i en enda operation. De prov som tillverkades för detta projekt gjordes alla enligt följande princip. Releasepapper, enligt tidigare beskrivning, användes som bärare. Icke skumbar pasta som bildar det homogena skiktet, beströks på releasepappret och förgelatinerades mot hetoljetrumman. På detta skikt beströks sedan den skumbara pastan, dvs innehållande jäsmedel. Slutlig gelatinerings och jäsning gjordes i ugnen. Efter avsvälning togs releasepappret bort.

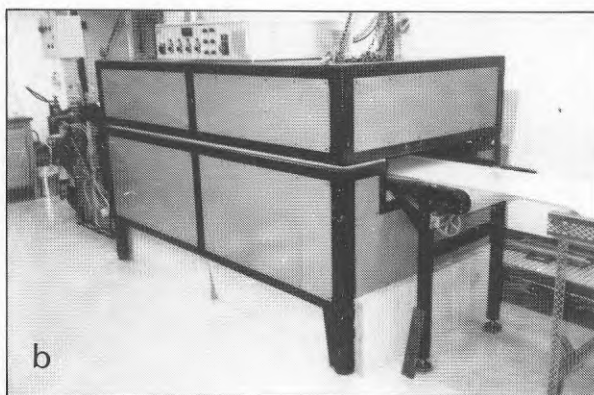
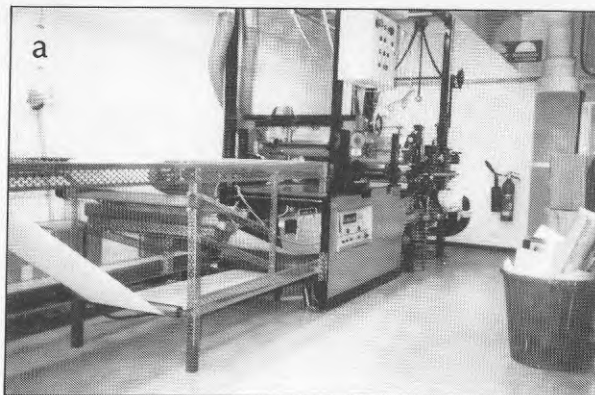


BILD 1. Forbo-Forshagas laboratoriebestrykningsmaskin

- a) Avrullningsanordning för bärare och påstrykningsdelen
- b) Ugnsdelen

Enligt tidigare principer delades sedan det tillgängliga provmaterialet upp på så sätt att provningsanstalten erhöll provkroppar med 75 cm längd och med provbanans fulla bredd, ca 40 cm. Mellan varje sådan provkropp togs material som Forbo-Forshaga behöll. Detta material användes för bestämning av ytvikter, skiktjocklekar, densiteter etc.

De provserier som kördes presenteras i tabell 3 och 4. Tjockleken på det homogena skiktet hölls konstant inom varje serie. Påläggningmängden och jäsningsgraden hos skumskikten varierades.

Tabell 3.

Serie	Prov nr	Homogent skikt	Skumskikt	Anm
1	1-0	Recept I	-	
	1-1	Recept I	Recept III	
	1-2	Recept I	Recept III	
	1-3	Recept I	Recept III	
	1-4	Recept I	Recept III	
	1-5	Recept I	Recept III	
2	2-0	Recept II	-	
	2-1	Recept II	Recept III	
	2-2	Recept II	Recept III	
	2-3	Recept II	Recept III	
	2-4	Recept II	Recept III	
3	3-0	Recept II	-	
	3-1	Recept II	Recept III	
	3-2	Recept II	Recept III	
4	4-0	Recept II	-	Glasfiber
	4-1	Recept II	Recept III	Glasfiber

Tabell 4.

Komponenter		Receptbeteckning		
		I	II	III
PVC	(%)	45,9	67,9	55,1
DIOP	(%)	18,0	15,2	17,4
Övr flytande komp	(%)	2,7	16,9	15,2
Fasta komponenter	(%)	33,4	--	10,9
Jäsmedel	(%)	--	--	1,4
SUMMA	(%)	100,0	100,0	100,0

Recept III motsvarar närmast recept A i tabell 1 och 2. Mjukgörarhalten har sänkts något i recept III (från 33,1 % till 32,6 %).

Som framgår av ovanstående sammanställning ingick glasfiber som en komponent i provserie 4. Avsikten med detta var att, i relation till provserie 3, studera effekten av en höjning av elasticiteten hos det homogena skiktet. Provtillverkningen gick till så att en sk non-woven av glasfiber, 50 g/m², laminerades på det utstrukna homogena skiktet före hetoljetrumman. Glasfiberarmeringen inneslöts därvid helt i det homogena skiktet. Normalt ingår glasfiber i de flesta golvkonstruktioner som armeringsskikt och fungerar därvid också som bärare under tillverkningsprocessen. Att, som i det här fallet, använda både releasepapper och glasfiber med ett elastiskt skikt däremellan innebär normalt problem vid varje böjning över valsar etc. Tillvägagångssättet valdes dock för att variationerna mellan de olika serierna inte skulle tillåtas bli för stora.

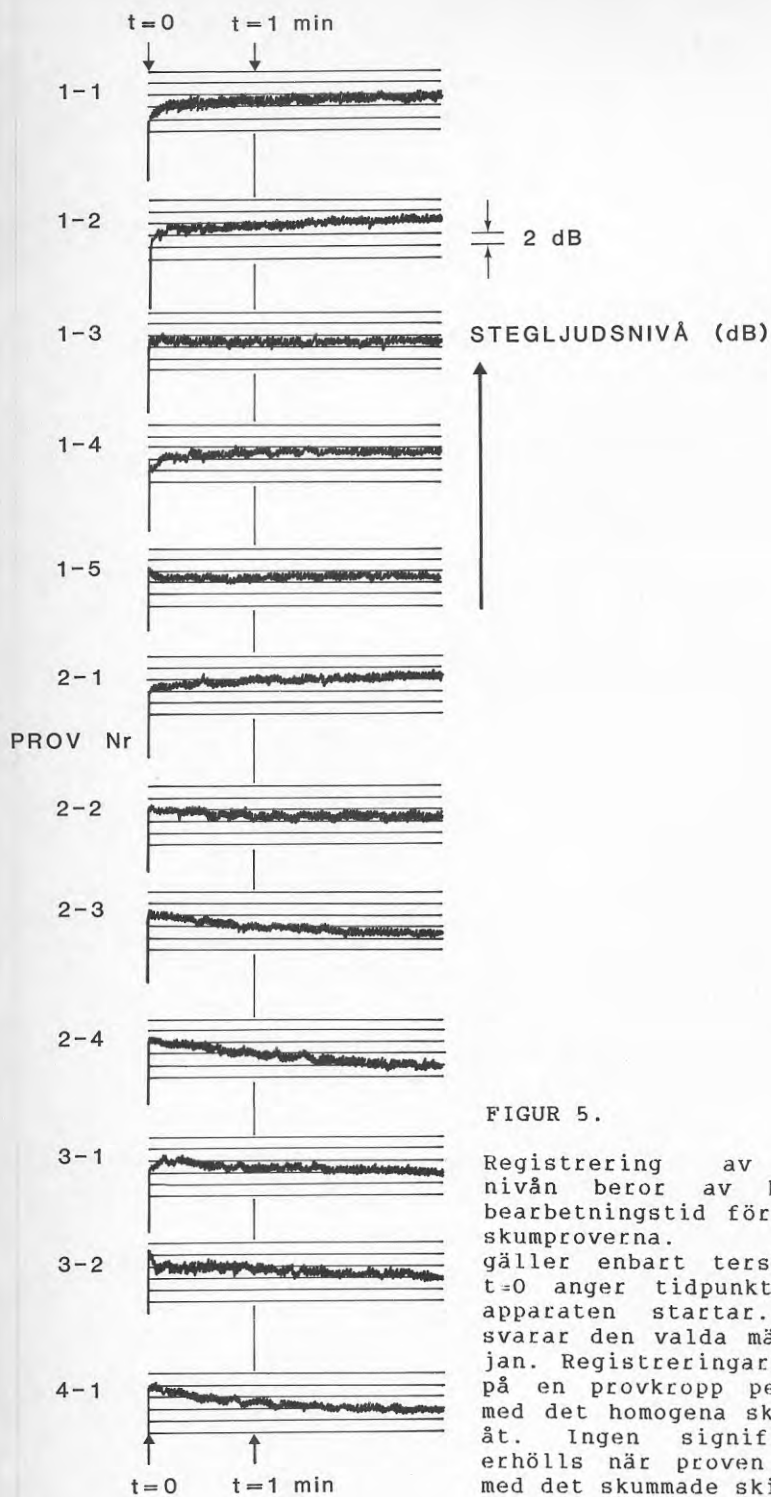
5.1.2 Materialegenskaper

På Forbo-Forshagas provkroppar bestämdes ytvikten, totaltjockleken samt skikttjocklekarna. Dessa uppmättes i mikroskop försett med mätskala enligt SS 92 35 13. Densiteten på det homogena skiktet bestämdes på nollproven inom resp provserie. Med hjälp av detta värde och de enskilda tjockleksmätningarna beräknades därefter vikten hos den homogena delen i de skumbelagda proven. Genom subtraktion erhöles sedan vikten hos skumskiktet och därmed kunde skumdensiteten bestämmas. Elasticitetsmodulen bestämdes som tidigare på nollproven i varje serie. De uppmätta materialegenskaperna redovisas tillsammans med stegljudsresultaten i bilaga 5.

5.1.3 Stegljudsmätningar

Stegljudsmätningarna på de sammansatta proven utfördes på samma sätt som på skumproven. Det enda avsteget som förekom var att mätningarna nu gjordes med ytterligare en hammarapparatposition per provkropp. Istället för en position per provkropp användes således två positioner. Antalet provkroppar per prov var nu dessutom 3 till 6 mot tidigare 3 eller 4.

Vid samtliga mätningar användes liksom tidigare en förbearbetningsperiod på 60 s. Detta innebär att den egentliga ljudnivåmätningen påbörjas först 60 s efter att hammarapparaten startats. Ett antal tidshistorier som uppmätts för de sammansatta skumproverna redovisas i figur 5. Dessa registreringar visar att det är nödvändigt att vänta minst 60 s för att villkoren skall bli stationära vilket krävs enligt anvisningarna i referens [21]. För vissa prov borde man faktiskt vänta ännu längre, se ex prov nr 2-4. Tidshistorierna visar också att de olika proverna beter sig olika under initialskedet. Flera



FIGUR 5.

Registrering av hur stegljudsnivån beror av hammarapparatens bearbetningstid för de sammansatta skumproverna. Tidshistorierna gäller enbart tersbandet 2000 Hz. t=0 anger tidpunkten när hammarapparatens startar. t=1 min motsvarar den valda mätperiodens början. Registreringarna har uppmätts på en provkropp per skumprov och med det homogena skiktet vänt uppåt. Ingen signifikant skillnad erhöles när proven istället lades med det skummade skiktet uppåt.

prov uppvisar en försämring medan andra uppvisar förbättrade värden som funktion av bearbetningstiden. Försämringseffekten syns framförallt på de prov där skumskiktet är tunt. I dessa fall kan förklaringen vara att cellerna i skumskiktet slås sönder eller ges en bestående deformation av hamrarna.

För att kontrollera om det har någon betydelse var skumskiktet är placerat och om ett homogent slit-skikt har någon lastfördelande effekt, så testades proverna dessutom både rättvända och felvända. Med ett rättvänt prov avses att det homogena skiktet ligger uppåt under stegljudstesten. Ett felvänt prov betyder att hamrarna slår direkt på skumskiktet och att det massiva skiktet är vänt nedåt mot betonggolvet.

De erhållna stegljudsförbättringstalen presenteras tillsammans med de övriga materialegenskaperna i bilaga 5. Mot bakgrund av erfarenheterna i avsnitt 4.2.2 och 4.2.3 och eftersom de homogena skikten visade sig ha en obetydlig stegljudsdämpande effekt ($I_{\Delta i} = 1$ till 3 dB), kan man förvänta sig att skumskiktets egenskaper är helt avgörande för stegljudsdämpningen. Dessutom bör man inte få några större skillnader beroende av om provet är rättvänt eller felvänt. De aktuella homogena skikten bör ju vara vekare än den linoleummatta som användes som toppskikt i avsnitt 4.2.2.

Dessa förväntningar bekräftas av resultaten i bilaga 5. I några enstaka fall erhöles visserligen olika $I_{\Delta i}$ -värden beroende på hur proven var vända, men detta torde snarare bero på den ofullständiga mätnoggrannheten än på att stegljudsdämpningen beror av det homogena skiktets placering.

Resultaten för de sammansatta proverna har sammanställts i figur 6. $I_{\Delta i}$ -värdena har här tecknats som funktion av $(\rho/t)^{1/2}$ -värdena för skumskikten. I figuren har även de tidigare resultaten enligt figur 3 inkluderats.

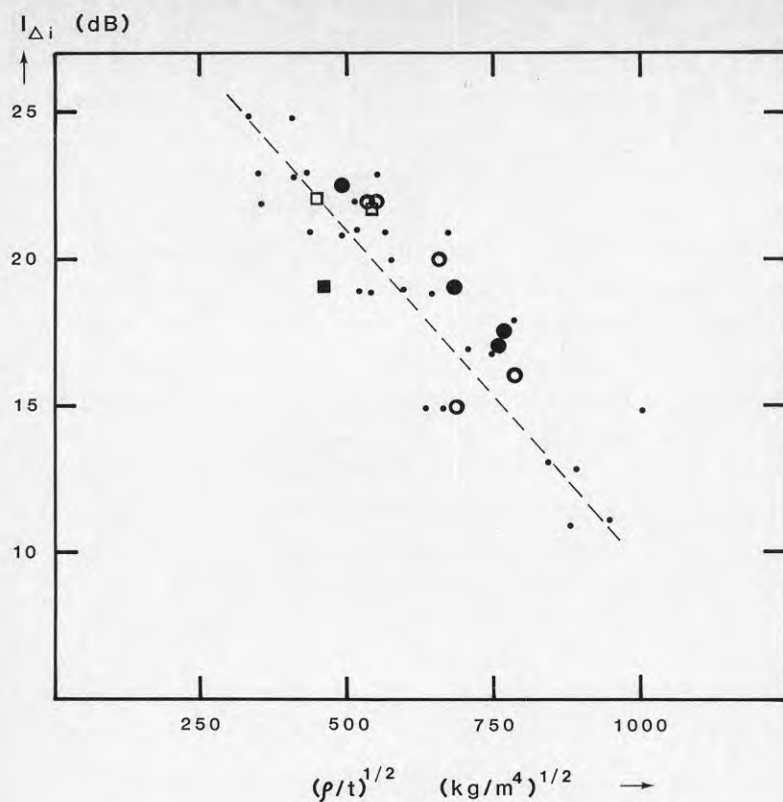
Som framgår av figur 6 så stämmer de nya resultaten väl med de tidigare resultaten. Man kan inte heller med detta begränsade material skönja något beroende av det homogena skiktets egenskaper. Prov nr 4-1 som innehöll en glasfiberväv gav visserligen ett lägre $I_{\Delta i}$ -värde än prov nr 3-1 och 3-2. Detta var dock oberoende av om provet lades rättvänt eller felvänt, varför skillnaden bör kunna förklaras av en faktisk skillnad hos skumskikten.

Slutsatsen måste alltså bli att det räcker att beakta skumskiktets egenskaper när det gäller att förutsäga stegljudsdämpningen hos plastmattor med $I_{\Delta i}$ -värden som är större än 13 dB.

Om man nu genomför en regressionsanalys och tar med både resultaten för enkelfolierna och resultaten för de sammansatta proverna erhålles följande samband

$$I_{\Delta i} = 30,6 - 0,019 \sqrt{\rho/t} \quad (n=41, r=87 \%) \quad (9)$$

Enbart prov med $I_{\Delta i}$ -värden ≥ 5 dB har inkluderats i beräkningarna. Skillnaden i förhållande till motsvarande samband för enbart enkelfolierna är helt obetydlig.



FIGUR 6. De sammansatta provernas stegljudsförbättringstal tecknade som funktion av skumskiktens $(\rho/t)^{1/2}$ -värden. De tidigare resultaten för skumfolierna enligt figur 3, har inkluderats för att underlätta jämförelser.

- (○), provserie 1
- (●), provserie 2
- (□), prov nr 3-1 och 3-2
- (◻), prov nr 4-1
- (•), individuella resultat enligt figur 3
- (---), regressionslinje enligt figur 3

5.2 Kommersiellt tillgängliga golvprodukter

Prover togs på några golvmaterial som var tillgängliga på marknaden. På dessa bestämdes vikt och skikt tjocklekar. Skumdensiteterna bestämdes genom att skikten separerades och vägdes var för sig eller efter beräkningar med utgångspunkt från nominella ytvikter för de homogena skikten och eventuellt förekommande armeringsmaterial och bärare. De nominella uppgifterna erhöles från tillverkarna. Homogen ofylld (klar) PVC har t ex en densitet som normalt ligger nära $1,24 \text{ kg/dm}^3$.

De sju golvmaterialen som kommer från lika många tillverkare, diskuteras var och en för sig. De förväntade dämpningsvärdena har bestämts med hjälp av ekvation (9) och jämföres med de uppmätta $I_{\Delta i}$ -värdena.

Plastmatta A: Slitskikt av homogen fylld PVC 0,88 mm, och baksida av mekaniskt skum med fyllmedel med låg densitet (sk mikrosfärer) 2,30 mm.

Plastmattans totala tjocklek och ytvikt var 3,18 mm respektive $2,36 \text{ kg/m}^2$. Skumskiktets densitet bestämdes till $0,48 \text{ kg/dm}^3$ genom att skikten separerades. $(\rho/t)^{1/2}$ för skumskiktet är således $456 (\text{kg/m}^4)^{1/2}$, vilket ger ett förväntat förbättringsindex på 22 dB enligt ekvation (9). Den faktiska stegljudsmätningen gav $I_{\Delta i} = 21 \text{ dB}$. Samma värde erhöles även när mattan vändes upp och ned. Felet i skattningen var således +1 dB.

Plastmatta B: Slitskikt av ren mjukgjord PVC 0,29 mm, kemiskt skum 0,95 mm, mineralfiberbärare 0,40 mm och baksida av mekaniskt skum 0,71 mm.

Den totala tjockleken och ytvikten var 2,35 mm respektive 1,46 kg/m². Baksidan har en svag och obetydlig prägling i form av ett regelbundet prickmönster. Präglingsdjupet är 0,1 mm och präglingen täcker endast ca 4 % av baksidan. Enligt tillverkaren är de nominella ytvikterna för slitskiktet och mineralfiberbäraren 360 g/m² respektive 230 g/m².

Med hjälp av dessa uppgifter erhålles att $(\rho/t)^{1/2} = 562 \text{ (kg/m}^4)^{1/2}$ för de bägge skumskikten. Efter insättning i ekvation (9) erhålles ett förväntat förbättringsindex på 20 dB. Den faktiska stegljudsmätningen gav $I_{\Delta i} = 21 \text{ dB}$. Felet i skattningen var alltså -1 dB.

Plastmatta C: Slitskikt av ren mjukgjord PVC 0,15 mm och baksida av skum med armering av glasfiber 2,25 mm.

Plastmattans totala tjocklek och ytvikt var 2,40 mm respektive 1,35 kg/m². Glasfiberarmeringen uppskattas väga 50 g/m² och slitskiktets ytvikt uppskattas till 186 g/m² med hjälp av densiteten för ofylld homogen PVC (1,24 kg/dm³). Med dessa uppgifter beräknas skumskiktets $(\rho/t)^{1/2}$ -värde till 469 (kg/m⁴)^{1/2}, vilket ger $I_{\Delta i} = 22 \text{ dB}$ enligt ekvation (9). Motsvarande mätvärde blev $I_{\Delta i} = 24 \text{ dB}$. Felet i skattningen var således -2 dB.

Plastmatta D: Slitskikt av transparent PVC 0,80 mm, skumskikt 0,80 mm, mellanskikt av glasfiberarmerad homogen PVC 0,50 mm och baksida av skummad PVC 0,45 mm.

Den totala tjockleken och ytvikten var 2,55 mm respektive 2,52 kg/m². Baksidan har en obetydlig prägling i form av ett prickmönster. Präglingdjupet är 0,2 mm och prickarna täcker 9 % av mattarean. Enligt tillverkaren är de nominella ytvikterna för slitskiktet och mellanskiktet 995 g/m² respektive 694 g/m² (inkl glasfiberarmeringen som väger 50 g/m²).

Med hjälp av dessa uppgifter erhålles att $(\rho/t)^{1/2} = 730 \text{ (kg/m}^4)^{1/2}$ för de bägge skumskikten. Efter insättning i ekvation (9) erhålles ett förväntat förbättringsindex på 17 dB. Den faktiska stegljudsmätningen gav $I_{\Delta i} = 18 \text{ dB}$. felet i skattningen var alltså -1 dB.

Plastmatta E: Slitskikt av klar PVC 0,27 mm och baksida av skum med glasfiberarmering 2,18 mm.

Plastmattans totala tjocklek och ytvikt var 2,45 mm respektive 2,11 kg/m². Baksidan hade en obetydlig prägling i form av ett prickmönster. Genom att räkna bort vikten hos glasfiberarmeringen (50 g/m²) och det homogena slitskiktet erhålles att $(\rho/t)^{1/2} = 603 \text{ (kg/m}^4)^{1/2}$ för skumskiktet. Detta värde ger $I_{\Delta i} = 19 \text{ dB}$ enligt ekvation (9) medan stegljudstesten gav $I_{\Delta i} = 20 \text{ dB}$.

Plastmatta F: Slitskikt av klar homogen PVC 0,20 mm, skumskikt 1,10 mm, bärare av papper 0,40 mm och baksida av homogen PVC 0,25 mm.

Den totala tjockleken och ytvikten uppgick till 1,95 mm respektive 1,43 kg/m². Genom separering fastställdes ytvikten för de två understa skikten till 647 g/m². Genom att räkna bort slitskiktet erhöles ytvikten 535 g/m² för skumskiktet dvs $(\rho/t)^{1/2} = 665 \text{ (kg/m}^4\text{)}^{1/2}$. Med detta värde erhålles $I_{\Delta i} = 18 \text{ dB}$ enligt ekvation (9). Den faktiska stegljudsmätningen gav samma resultat.

Dessa exempel visar att man kan ha stor glädje av skumskiktens $(\rho/t)^{1/2}$ -värden och ekvation (9) när det gäller att förutse $I_{\Delta i}$ -värdet. Noggrannheten är normalt $\pm 1 \text{ dB}$ även om större avvikelser kan förekomma. Felet förefaller dessutom ofta ligga på säkra sidan, dvs det uppskattade värdet är oftast för lågt.

6. OLIKA STEGLJUDSFÖRBÄTTRINGSTAL

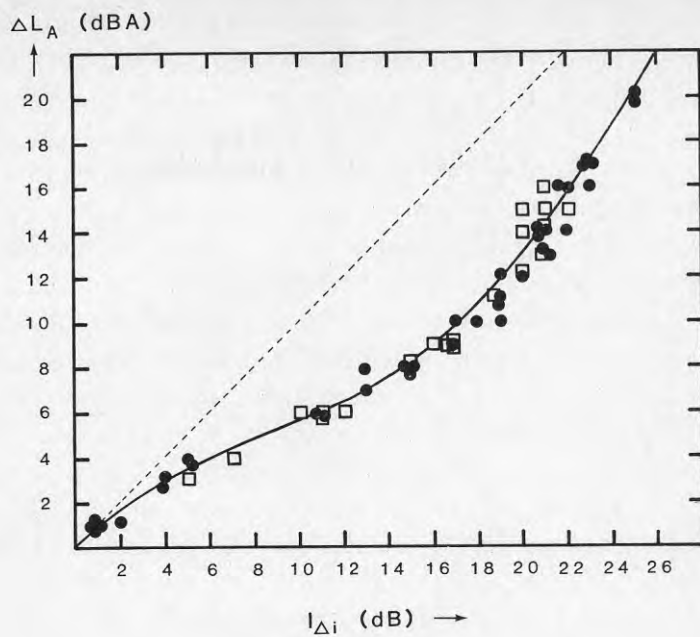
Det datorprogram som används vid stegljudsmätningarna är uppbyggt så att varje förbättringskurva entalsutvärderas enligt flera aktuella och intressanta metoder. Metoderna har redan omnämnts i avsnitt 4.2. Sambanden mellan de olika förbättringstalen studeras nedan. Eftersom den nordiska metoden inte överensstämmer helt med den nyligen reviderade ISO-metoden, kan man förvänta sig en framtida revidering av Nordtest-metoden. Vidare är det av intresse att studera sambanden med tanke på handeln av golvprodukter mellan olika länder och för en analys av de faktiska konsekvenserna av olika förbättringstal. Det kan vara värt att notera att ISOs förbättringstal numera även tillämpas i Västtyskland [20] ($\Delta L_w = \text{Trittschallverbesserungsmass}$).

PVC-skumprovets förbättringstal har sammanställts i bilaga 3. Om man utnyttjar dessa resultat tillsammans med resultaten från 20 stegljudstestade golvbeläggningar, vilka redovisas i bilaga 4, så finner man att följande samband syns gälla mellan Nordtest-metodens och ISO-metodens förbättringstal

$$I_{\Delta i} = \Delta L_w + 4 \qquad I_{\Delta i} \geq 11 \text{ dB} \qquad (10)$$

Att förhållandet är konstant beror av att metoderna är nära identiska. Det är bara den s k 8 dB-regeln som tillämpas i NT ACOU 034 som utgör skillnaden. För hårdare golvbeläggningar gäller att differensen successivt krymper ju lägre stegljudsförbättringen är.

Korrelationen mellan $I_{\Delta i}$ och den franska metodens A-vägda förbättringstal ΔL_A kan studeras i figur 7. Figuren visar att differensen är ännu större än i ekvation (10) samtidigt som sambandet är mera komplext.



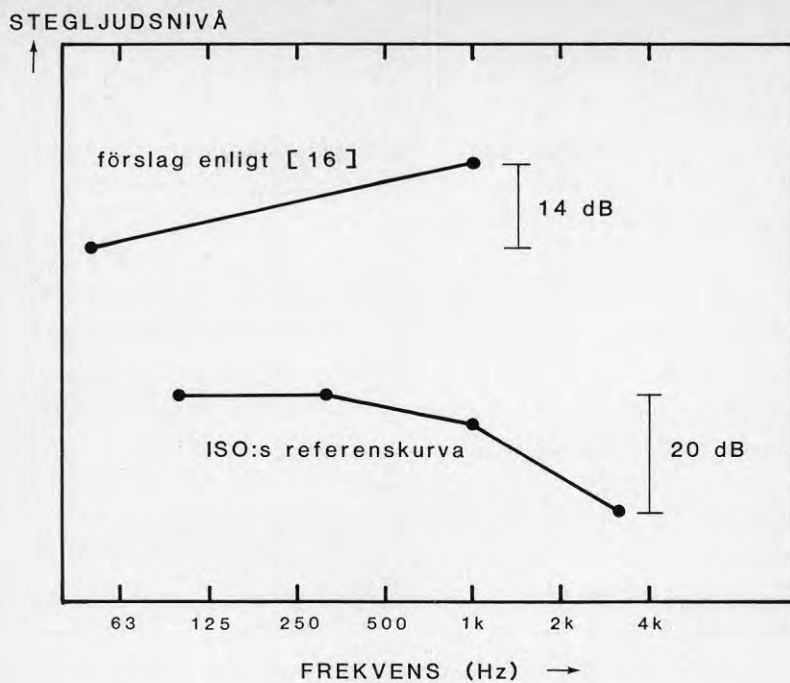
FIGUR 7. Observerat samband mellan stegljudsförbättringstalen $I_{\Delta i}$ och ΔL_A .

(●), 41 st PVC-skumprov; (□), 20 st golvbeklägningar; (—), generaliserat samband; (-----), referenslinjen $\Delta L_A = I_{\Delta i}$.

Förutom de standardiserade förbättringstalen så har ytterligare två förbättringstal studerats. De alternativa metoderna är baserade på resultaten av ett nyligen genomfört stegljudsprojekt [16, 19]. Detta projekt visar att man får en signifikant bättre korrelation mellan tillämpat stegljudsindex och den subjektivt upplevda stegljudsisoleringen om man frångår ISOs referenskurva och lägger betydligt större vikt vid de lägsta frekvensbanden. I figur 8 visas den referenskurva som utgör grunden i både den internationella [14] och den nordiska standarden [13]. I figuren visas dessutom den referenskurva som föreslås i referens [16]. Denna kurva användes på samma sätt som i ISO-metoden, dvs referenskurvan parallellförskjutes och jämföres med de uppmätta stegljudsnivåerna tills summan av de ogynnsamma avvikelserna är så stor som möjligt men mindre än 32 dB. Ingen 8 dB-regel tillämpas således och stegljudstalet som betecknas I_s avläses som referenskurvans värde vid 500 Hz. Index s står för "suggested".

Som ett obetydligt mindre effektivt men samtidigt betydligt mera praktiskt alternativ föreslås i referens [16] att man istället gör frekvensvägningen med det standardiserade C-filtret. På detta sätt slipper man det besvärliga referenskurveförfarandet och hela stegljudsmätningen kan genomföras mycket enklare och snabbare än tidigare. Man behöver bara fastställa ett C-vägt värde och inte som tidigare 16 st 1/3-oktavbandsvärden.

Eftersom dessa stegljudsindex bygger på att man betonar lågfrekvensresultaten och inkluderar stegljudsalstringen från 1/3-oktavbanden 50, 63 och 80 Hz, är det nödvändigt att utvidga referensbjälklagets stegljudsnivåspektrum. Beräkningen av ett förbättringstal bygger på att man mäter upp ett förbättringsspektrum för golvbeläggningen. Dessa värden



FIGUR 8. ISO:s referenskurva för bestämning av stegljudsindex samt motsvarande kurva enligt förslaget i referens [16]. Det är endast kurvformen och frekvensområdet som är relevanta variabler.

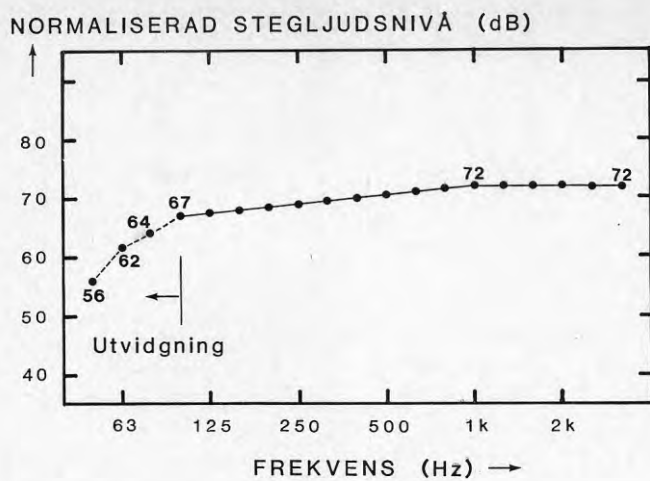
subtraheras sedan från ett standardspektrum som gäller för ett s k referensbjälklag. Referensvärdena har erhållits genom att studera resultaten från ett stort antal typiska betongbjälklag utan golvbeläggningar. Förbättringstalet ges slutligen av differensen mellan referensbjälklagets stegljudsindex utan respektive med golvbeläggningen.

Den av provningsanstalten tillämpade utvidgningen av referensbjälklagets stegljudsspektrum framgår av figur 9. Valet har träffats med ledning av faktiska mätvärden på några normala betongbjälklag hämtade från referens [18].

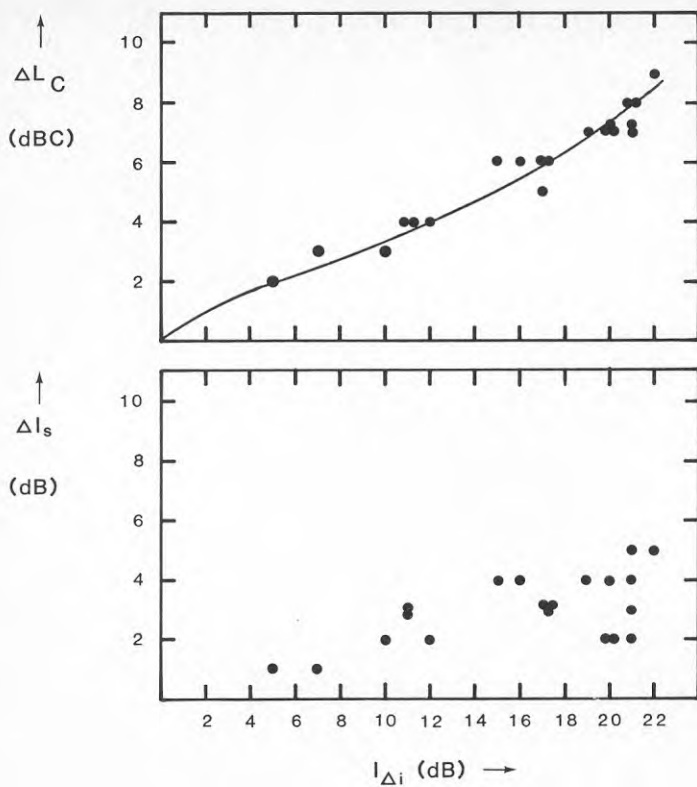
De föreslagna förbättringstalen betecknas med

$$\Delta I_s \text{ respektive } \Delta L_C$$

I bilaga 4 kan man se vilka ΔI_s - och ΔL_C -värden man erhåller för olika golvbeläggningar. Eftersom man förskjutit intresset mot de lägre frekvensbanden blir följdriktigt dessa förbättringsvärden avsevärt lägre än standardvärdena. Förhållandet mellan $I_{\Delta i}$ och ΔL_C respektive ΔI_s kan studeras i figur 10. Eftersom $I_{\Delta i}$ för normala plastmattor bestäms i mittfrekvensområdet och av de högre frekvensbanden och ΔI_s lägger all vikt under 1000 Hz erhålles följdriktigt en dålig korrelation mellan $I_{\Delta i}$ och ΔI_s . Samberoendet ökar dock helt naturligt för högre förbättringstal än de som studeras i figuren.



FIGUR 9. Föreslagen utvidgning i lågfrekvensområdet av referensbjälklagets stegljudsnivåer.



FIGUR 10. Studium av sambanden mellan I_{Δ_i} och de alternativa förbättringstalen ΔI_s och ΔL_C .

(●), 20 st golvbeläggningar;
 (—), generaliserat samband.

7. TILLKÄNNAGIVANDEN

Författarna vill härmed uttrycka sitt stora tack till Lasse Ryde som deltog vid framställningen av provmaterialet och vid uppmätningen av materialegenskaperna. Vidare riktas ett varmt tack till Yvonne Samuelsson för den skickligt genomförda renskrivningen av manuskriptet.

Slutligen vill vi tacka Statens råd för byggnadsforskning som finansierat projektet.

8. REFERENSER

- [1] K. Gösele 1954 Gesundheits-Ingenieur 75, Heft: 1/2, 3/4. Neue Wege zur Entwicklung von Trittschall-Dämmstoffen.
- [2] K. Gösele 1960 Boden Wand und Decke, Heft: 4/60, 5/60. Die Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von Trittschall-Dämmstoffen.
- [3] L.L. Beranek, Noise and Vibration Control, p 334-341. Mc Graw-Hill Book Company 1971.
- [4] L. Cremer 1952 Acustica 2 (4), s 167-178. Theorie des Kolpfschalles bei Decken mit Schwimmenden Estrich.
- [5] S. Gudmundsson 1984, Lund Institute of Technology, Report TVBA-3017. Sound Insulation Improvement of Floating Floors.
- [6] K. Gösele 1956, VDI-Berichte Bd. 8, s 23-28. Trittschall-Entstehung und Dämmung.
- [7] S. Lindblad 1968, Division of building technology Lund Institute of Technology Bulletin 2. Impact sound characteristics of resilient floor coverings. A study of linear and nonlinear dissipative compliance.
- [8] V.I. Zaborov and L.P. Tyumentseva 1965 Soviet Physics-Acoustics, 11 p 46-49. Allowance for Local Deformation in the Analysis of Impact Noise Insulation.
- [9] V.I. Zaborov et al. 1967 Soviet Physics-Acoustics 12, p 263-265. Reduction of Impact Noise by Flooring Materials.

- [10] Svensk standard SS 01 52 54. Byggakustik - Mätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Internationell standards giltighet som svensk standard.
- [11] Internationell standard ISO 140/VIII. Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part VIII: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a standard floor.
- [12] K. Bodlund 1983. National Testing Institute, Borås, Technical Report SP-RAPP 1983:01. Laboratory measurement of the improvement of impact sound insulation by floor coverings on a standard floor.
- [13] Nordtest method NT ACOU 034 (1980). Floor coverings: Rating of impact sound improvement.
- [14] International standard ISO 717/2 (1982). Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 2: Impact sound insulation.
- [15] Norme Française Homologuée NF S 31-053 (1979). Mesure du pouvoir d'isolation acoustique des éléments de construction et de l'isolement des immeubles - Mesure en laboratoire de la réduction de la transmission du bruit de choc par les revêtements de sol et les dalles flottantes.
- [16] K. Bodlund 1985. Journal of Sound and Vibration 102(3), s 381-402. Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings.

- [17] K. Bodlund 1981. Statens provningsanstalt SP-RAPP 1980:23. Tillämpning av golvbeläggningars stegljudsdämpningsdata på betongbjälklag.
- [18] K. Bodlund och L. Eslon 1983. Statens provningsanstalt SP-RAPP 1983:37. En kartläggning av ljudklimatet i några moderna svenska bostäder. Subjektiva och objektiva ljuddata för 8 bostadsområden och 350 bostadslägenheter.
- [19] K. Bodlund 1986. Statens provningsanstalt SP-RAPP 1985:1. Rating of impact sound insulation between dwellings.
- [20] Deutsche Norm DIN 52210 Teil 4, Aug 1984. Luft- und Trittschalldämmung, Ermittlung von Einzahl-Angaben.
- [21] Nordtest method NT ACOU 050 (1985). Floor coverings: Reduction of transmitted impact noise - Laboratory method.

BILAGA 1

PVC-skumprovns materialegenskaper

Prov nr	Tillverkningsparametrar			Vikt kg/m ²	Tjocklek (huvudmätning)		Densitet kg/dm ³	Tjocklek (E-moduls-mätning)		E-modul MPa
	Recept	Påläggnings- mängd	Jäsnings- grad		a	b		a/b	c	
1	A	I	1,0	0,392	0,30	1,307	0,28	11,88		
2	A	I	1,7	0,361	0,56	0,645	0,51	5,06		
3	A	I	2,7	0,336	0,75	0,448	0,74	2,27		
4	A	I	2,8	0,357	0,80	0,446	0,79	2,40		
5	A	I	3,3	0,307	0,98	0,313	0,90	2,29		
6	A	I	3,7	0,354	1,08	0,328	1,05	2,04		
7	A	II	1,0	0,615	0,50	1,230	0,48	10,11		
8	A	II	1,2	0,600	0,66	0,909	0,62	6,15		
9	A	II	1,7	0,621	0,89	0,698	0,92	3,47		
10	A	II	2,9	0,596	1,51	0,395	1,50	1,56		
11	A	II	3,1	0,620	1,58	0,392	1,61	1,54		
12	A	II	3,8	0,624	1,94	0,322	1,94	1,13		
13	A	III	4,0	0,896	2,84	0,315	2,82	1,03		
14	B	I	1,0	0,378	0,32	1,181	0,34	9,04		
15	B	I	1,7	0,371	0,49	0,757	0,52	3,19		
16	B	I	3,0	0,377	0,92	0,410	0,96	1,50		
17	B	I	3,7	0,377	1,11	0,340	1,12	1,32		
18	B	II	2,2	0,612	1,11	0,551	1,10	2,11		
19	B	II	3,1	0,635	1,53	0,427	1,55	1,23		
20	B	II	3,8	0,623	1,95	0,319	1,96	1,07		
21	C	I	1,0	0,378	0,30	1,260	0,32	4,71		
22	C	I	2,0	0,381	0,61	0,625	0,66	1,48		
23	C	I	3,3	0,367	0,94	0,390	0,96	1,12		
24	D	I	1,0	0,328	0,30	1,093	0,30	17,57		
25	D	I	2,2	0,336	0,62	0,542	0,61	5,05		
26	D	I	3,5	0,324	0,97	0,334	0,98	3,26		
27	D	II	1,0	0,571	0,50	1,142	0,50	15,55		
28	D	II	1,5	0,585	0,69	0,848	0,67	8,97		
29	D	II	3,0	0,591	1,44	0,410	1,52	2,39		
30	D	II	3,5	0,590	1,80	0,328	1,80	2,52		
31	D	III	2,2	0,837	1,46	0,573	1,50	4,18		
32	D	III	3,7	0,849	2,59	0,328	2,59	1,88		
33	E	I	1,0	0,353	0,30	1,177	0,31	13,21		
34	E	I	2,3	0,356	0,71	0,501	0,70	3,32		
35	E	I	3,5	0,336	1,02	0,329	1,00	2,13		
36	E	II	1,0	0,599	0,50	1,198	0,49	12,73		
37	E	II	2,3	0,612	1,15	0,532	1,12	3,47		
38	E	II	2,9	0,616	1,49	0,413	1,50	1,85		
39	E	II	3,7	0,601	1,84	0,327	1,87	2,42		
40	E	III	1,6	0,878	1,07	0,821	1,02	6,96		
41	E	III	3,4	0,905	2,72	0,333	2,79	1,46		

BILAGA 2

Intressanta materialparametrar för PVC-skumproven

Prov nr	Tjocklek (mm)	Densitet (kg/dm ³)	E-modul (MPa)	$\sqrt{\rho/t}$ (kg/m ⁴) ^{1/2}	$\sqrt{E/t}$ (Pa/m) ^{1/2}
1	0,30	1,307	11,88	2088	1990 · 10 ²
2	0,56	0,645	5,06	1073	952 "
3	0,75	0,448	2,27	773	549 "
4	0,80	0,446	2,40	747	546 "
5	0,98	0,313	2,29	565	483 "
6	1,08	0,328	2,04	551	435 "
7	0,50	1,230	10,11	1567	1429 "
8	0,66	0,909	6,15	1174	962 "
9	0,89	0,698	3,47	886	625 "
10	1,51	0,395	1,56	512	322 "
11	1,58	0,392	1,54	498	312 "
12	1,94	0,322	1,13	407	242 "
13	2,84	0,315	1,03	333	190 "
14	0,32	1,181	9,04	1919	1681 "
15	0,49	0,757	3,19	1242	807 "
16	0,92	0,410	1,50	668	403 "
17	1,11	0,340	1,32	553	345 "
18	1,11	0,551	2,11	705	437 "
19	1,53	0,427	1,23	528	283 "
20	1,95	0,319	1,07	405	234 "
21	0,30	1,260	4,71	2049	1250 "
22	0,61	0,625	1,48	1012	493 "
23	0,94	0,390	1,12	644	345 "
24	0,30	1,093	17,57	1908	2420 "
25	0,62	0,542	5,05	935	901 "
26	0,97	0,334	3,26	587	581 "
27	0,50	1,142	15,55	1511	1764 "
28	0,69	0,848	8,97	1109	1136 "
29	1,44	0,410	2,39	534	406 "
30	1,80	0,328	2,52	427	375 "
31	1,46	0,573	4,18	627	535 "
32	2,59	0,328	1,88	356	269 "
33	0,30	1,177	13,21	1980	2083 "
34	0,71	0,501	3,32	840	685 "
35	1,02	0,329	2,13	568	457 "
36	0,50	1,198	12,73	1548	1587 "
37	1,15	0,532	3,47	680	549 "
38	1,49	0,413	1,85	526	352 "
39	1,84	0,327	2,42	422	362 "
40	1,07	0,821	6,96	876	806 "
41	2,72	0,333	1,46	350	231 "

Beteckningar:

t = tjocklek (m)
 ρ = densitet (kg/m³)
 E = E-modul (Pa)

BILAGA 3

PVC - skumprovens stegljudsförbättringstal

Prov nr	NT ACOU 034 $I_{\Delta i}$ (dB)	ISO 717/2 ΔL_w (dB)	NF S 31-053 ΔL_A (dBA)
1	1	0	1
2	5	4	4
3	18	14	10
4	17	13	10
5	21	17	14
6	22	18	14
7	2	1	1
8	4	3	3
9	13	9	7
10	21	17	13
11	21	17	13
12	23	19	17
13	25	21	20
14	1	0	1
15	4	3	3
16	21	17	14
17	23	19	16
18	17	13	9
19	22	18	16
20	25	21	20
21	1	1	1
22	15	11	8
23	19	15	12
24	1	0	1
25	11	7	6
26	19	15	10
27	1	1	1
28	5	3	4
29	19	15	11
30	21	17	14
31	15	11	8
32	22	18	16
33	1	0	1
34	13	9	8
35	20	16	12
36	1	1	1
37	15	11	8
38	19	15	11
39	23	19	17
40	11	7	6
41	23	19	17

BILAGA 4

Stegljudsförbättringstal för 20 golvbeläggningar

Golvbeläggning nr	$I_{\Delta i}$ (dB)	ΔL_w (dB)	ΔL_A (dBA)	ΔL_C (dBC)	ΔI_s (dB)
1	5	3	3	2	1
2	7	4	4	3	1
3	10	6	5	3	2
4	11	7	6	4	3
5	11	7	6	4	3
6	12	8	6	4	2
7	15	11	8	6	4
8	16	12	9	6	4
9	17	13	9	6	3
10	17	13	9	5	3
11	17	13	9	6	3
12	19	15	11	7	4
13	20	16	12	7	4
14	20	16	15	7	2
15	20	16	14	7	2
16	21	17	14	8	4
17	21	17	16	7	3
18	21	17	15	7	2
19	21	17	13	8	5
20	22	18	15	9	5

BILAGA 5

Materialegenskaperna och stegljudsförbättringstalen för de sammansatta skumproverna.

a) De homogena skiktens egenskaper

Prov nr	Tjocklek (mm)	Densitet (kg/dm ³)	$\sqrt{\rho/t}$ (kg/m ⁴) ^{1/2}	E-modul (MPa)	I _{Δi} (dB) ¹⁾
1-0	1,00	1,485	1219	15,29	3, 3
2-0	1,01	1,235	1106	14,04	2, 2
3-0 ²⁾	0,69	1,229	1335	15,56	1, 2
4-0 ²⁾	0,76	1,211	1262	27,92	2, 2

b) De sammansatta provens egenskaper

Prov nr	Tjocklek (mm)		Data för skumskiktet		I _{Δi} (dB)	
	Homog.	Skum	ρ (kg/dm ³)	$\sqrt{\rho/t}$ (kg/m ⁴) ^{1/2}	Felvänd ³⁾	Rättvänd
1-1	1,01	0,56	0,263	685	15	15
1-2	1,00	0,55	0,336	782	16	16
1-3	1,02	0,76	0,325	654	20	20
1-4	1,03	1,05	0,315	548	22	22
1-5	1,04	1,20	0,341	533	22	22
2-1	1,02	0,61	0,350	757	17	17
2-2	1,04	0,71	0,418	767	17	18
2-3	1,03	1,03	0,476	680	19	19
2-4	1,03	1,43	0,343	490	23	22
3-1	0,68	1,19	0,346	539	22	22
3-2	0,68	1,97	0,388	444	22	22
4-1	0,74	1,08	0,495	458	19	19

- Noter
- 1) Proven har stegljudstestats på båda sidorna i analogi med mätningarna på kombinationsproven i tabell b.
 - 2) Samtliga materialegenskaper gäller med glasfiberskiktet.
 - 3) Med felvänd avses att proven legat med skumskiktet uppåt under mätningen

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830280-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.**

R38: 1987

ISBN 91-540-4718-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707038

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

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

Cirkapris: 36 kr exkl moms