



# LUND UNIVERSITY

## Knarr i spånskivegolv på cellplast

Badics, Laszlo; Berglind, Olle; Erlandsson, Leif

1984

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Badics, L., Berglind, O., & Erlandsson, L. (1984). *Knarr i spånskivegolv på cellplast*. (Rapport TVBM; Vol. 3018). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

*Total number of authors:*

3

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# KNARR I SPÅNSKIVEGOLV PÅ CELLPLAST

LASZLO BADICS

OLLE BERGLIND

LEIF ERLANDSSON

# KNARR I SPÅNSKIVEGOLV PÅ CELLPLAST

LASZLO BADICS

OLLE BERGLIND

LEIF ERLANDSSON

2:a upplagan, september 1984

ISSN 0348-7911

Denna rapport utgör slutredovisning av forskningsanslag 830050-9 från Statens råd för byggnadsforskning till avdelningen för Byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan i Lund.

## I N N E H Å L L

	FÖRORD	. . . . .	2
	SAMMANFATTNING	. . . . .	3
1	INLEDNING	. . . . .	6
1.1	Bakgrund	. . . . .	6
1.2	Problem och syfte	. . . . .	10
1.3	Avgränsning	. . . . .	11
1.4	Metod	. . . . .	11
2	KNARR I GOLV	. . . . .	12
2.1	Ljudet	. . . . .	12
3	KONSTRUKTIONEN	. . . . .	17
3.1	Spänningar i olika tvärsnitt	. . . . .	18
3.1.1	Spänningar i vertikalplanet	. . . . .	18
3.1.2	Spänningar i horisontalplanet	. . . . .	19
3.2	Nedsjunkningens orsaker	. . . . .	24
3.3	Friktionskoefficienter	. . . . .	25
4	MATERIALEN	. . . . .	28
4.1	Spånskiva	. . . . .	28
4.2	Cellplasten	. . . . .	29
4.3	Betongplattan	. . . . .	36
4.4	Sandavjämningen	. . . . .	36
4.5	Sammanfattning	. . . . .	37
5	LABORATORIEFÖRSÖK	. . . . .	38
6	NORMER	. . . . .	44
7	ÅTGÄRDER	. . . . .	46
7.1	Tre förslag till åtgärder	. . . . .	46
7.1.1	Hårt vax	. . . . .	46
7.1.2	Mjukt vax	. . . . .	47
7.1.3	Lim	. . . . .	47
7.2	Andra synpunkter	. . . . .	47
7.3	En reparationsmetod	. . . . .	48
7.4	I förebyggande syfte . . .	. . . . .	49
8	ENKÄT	. . . . .	50
9	RESULTATDISKUSSION	. . . . .	54
	LITTERATUR	. . . . .	55
	REFERENSER	. . . . .	56
	BILAGA	. . . . .	57

## FÖRORD

Knarr i flytande golv av spånskivor på cellplast har under senare år blivit ett alltmer omfattande problem. Det är framförallt småhus som drabbas, men konstruktionen, och därmed knarret förekommer även i kontor, barnstugor och lägenheter.

Avd för Byggnadsmateriallära (BML) vid Lunds Tekniska Högskola har dels på uppdrag av olika företag i branschen, dels som ett mindre projekt från Byggforskningsrådet, undersökt problemet. Vid BML har flera undersökningar genomförts av Wojciech Roszak och Leif Erlandsson.

Laszlo Badics och Olle Berglind har gjort ett examensarbete med detta tema och senare utfört arbetet inom Byggforskningsprojektet.

Inom examensarbetet utvecklade Badics och Berglind, efter en idé av prof. Arne Hillerborg, en metod att åtgärda knarrande golv. Metoden beskrivs här, liksom övriga metoder som framkommit genom enkätundersökning och samtal med branschfolk.

Denna skrift innehåller Badics och Berglinds examensarbete, och utgör dessutom slutredovisning av projektet 830050-9 från Statens råd för byggnadsforskning.

Författarna har haft omfattande kontakter med branschfolk och skadedrabbade husägare. Kolleger inom LTH har välvilligt lyssnat och värderat hugskott samt genom diskussioner fört arbetet framåt. Britt Andersson och Marita Karlsson har med sedvanlig noggrannhet bearbetat manus och ritningar till tryckvänlig form. Till alla riktas ett varmt tack för synpunkter som gjort arbetet möjligt.

Lund i juni 1984

Laszlo Badics    Olle Berglind    Leif Erlandsson

## SAMMANFATTNING

I slutet av 1960-talet prövades en alternativ metod att lägga flytande golv på betongbjälklag. Över en eventuell sandavjämning lades styrencellplastskivor, spånskivor och golvbeläggning.

I några fall uppstod kraftigt missljud, s.k. knarr, i golvet, och Byggnadsmateriallära, LTH kontaktades 1979 av företag som fått reklamationer på grund av knarrande golv.

Som ett examensarbete av L. Badics och O. Berglind utarbetades en fungerande metod att åtgärda redan knarrande golv. I denna rapport redovisas dessutom ett fortsatt BFR-projekt. Där framförs en teori om hur och var knarrljudet uppstår, en enkät om hittills använda reparationsmetoder redovisas och författarna föreslår åtgärder mot knarr vid nybyggnation.

Då spånskivan belastas, förflyttar den sig gentemot cellplasten. Denna skjuvkraft gör att cellplastkulorna följer med i rörelsen tills vilofriktionen överskrids. Samtidigt övergår lägesenergin till rörelseenergi. När enskilda cellplastkullor kolliderar med antingen fibrerna i spånskivan eller med andra cellplastkullor, uppstår knarrljudet.

Det verkliga knarrljudets frekvensfördelning har jämförts med det ljud man erhåller när man gnider en enskild cellplastkula mot antingen en annan cellplastkula eller mot en spånskiva. Frekvensfördelningarna har som väntat mycket stora likheter.

Tanken med konstruktionen är att spånskivan med sin höga E-modul och tryckhållfasthet skall sprida lasten över cellplasten, som har en klart lägre E-modul och tryckhållfasthet.

Spänningarnas och deformationernas utbredning i de olika planen har beräknats med Finita Element Metoden.

Golvets funktion tycks vara lika känsligt för variationer i cellplastens som i spånskivans E-modul. Storleken på de beräknade spänningarna ligger med god marginal under materialens hållfasthetsgränser. De framräknade nedsjunkningarna ligger också klart under de värden som

uppmätts i knarrande hus. Beräkningarna förutsätter dock en perfekt anliggning mellan materialen.

Om kvoten mellan vilofriktion och rörelsefriktion är nära 1, uppkommer inget knarr, eftersom cellplasten inte följer med i rörelsen. Är kvoten mycket större än 1, uppkommer inte heller knarr, eftersom cellplasten följer med i hela rörelsen. Knarret kräver sålunda en tillräckligt stor rörelse (0,03 mm), en lagom stor belastning i kombination med en lagom stor vilofriktion. Det är av dessa skäl knarrljudet inte uppkommer direkt under belastningspunkten när man går över ett golv.

Vi har undersökt friktionskoefficienterna för några olika cellplaster. Kvoten  $\mu_v / \mu_r$  är lägst för de trådiskurna cellplasterna, dock fortfarande långt över 1.

Vilofriktionen sjunker med tiden, för en och samma belastning, då cellplast och spånskiva gnids mot varandra. Den tycks kunna öka eller minska, beroende på spånskivefabrikat vid belastningar mindre än  $200 \text{ N/m}^2$ .

För att utröna omfattningen av golvknarr och entreprenörernas syn på problemet skickade vi ut en enkät till 53 olika byggföretag. Endast 22 svarade och av dessa var det 13 som hade använt flytande golv-konstruktionen. Tillsammans hade de minst 750 knarrande hus. Knarret uppstod vanligen ett halvår efter inflyttningen, i några enstaka fall tidigare.

Det visade sig finnas ett antal olika metoder för åtgärdande av golvknarr såsom:

- Remsor av board, plastlaminat eller plåt inskjutes som mellanlägg.
- Förankring av spånskivan med expanderbult eller träskruv och plastexpander.
- Omläggning med plastfolie eller lumppapp som mellanlägg.
- Injektering av lim mellan cellplast och spånskiva.

Inom projektet har, genom praktiska försök, ett väl fungerande åtgärdspaket tagits fram. Metoden bygger på att man lyfter upp spånskivan från cellplasten och sprutar in ett mjukt vax mellan materialen. Vaxet fungerar som ett glidskikt.

Av alla normer och bestämmelser är det endast i RA 83 som man klart och tydligt kan utläsa att ett mellanlägg mellan spånskiva och cellplast ska anbringas för att undvika knarr vid nybyggnation.

Enligt vår mening måste ett mellanlägg finnas mellan spånskiva och cellplast. Ett lämpligt sådant vore en perforerad fiberarmerad plastfolie.



## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

I slutet av 1960-talet prövades en alternativ metod att lägga flytande golv. Dittills förhärskande var att lägga skivor eller parkett på ett avjämningslager av sand. Nu lade man i stället ut styrencellplast och över detta, flytande, spånskivor eller parkett. Fördelarna var ett varmt och lagom elastiskt golv. Oftast lades sand, som tidigare, över betongytan för att få ett plant underlag för det övriga golvet.

Konstruktionen förekom först sparsamt, men under mitten av 1970-talet mera allmänt. Ett skäl var yrkeshygieniskt. Sanden för avjämning var tung att hantera, den skulle vara torr och dammade därför. Genom att använda cellplast och speciellt den med densitet  $15 \text{ kg/m}^3$  kunde man få ett tillfredsställande plant undergolv utan extra avjämning. Snart konstaterade man för mycket svikt i golven. En högre densitet,  $20 \text{ kg/m}^3$ , förordades för cellplasten. Denna tyngre cellplast hade inte samma möjligheter att utjämna ojämnheter i betongytan, men gav ett fastare färdigt golv.

Konstruktionen nämns inte i AMA eller motsvarande publikationer förrän i RA 78. Där förordas spånskivor, lägst klass 2 och minst 19 mm, samt densiteten  $20 \text{ kg/m}^3$  för cellplasten. Först i RA83 nämns knarrproblemet. Under O4.5233 står: "...ange mellanlägg mellan isolerskiva och spånskiva för att undvika knarr." Det som för övrigt gällt denna golvkonstruktion har varit de allmänna uppgifterna om planhets- och buktighets-toleranser. De uppgifter om flytande golv som förekommit i AMA-publikationer från 1965, redovisas i tabell 1.

TABELL 1. Normtext om golv, från 1965 och framåt.

PUBLIKATION	RUBRIK	TEXT
ByggAMA 1965	Ea 5.121	Planhetstoleranser för undergolv, betong, klass 3, $\pm 7$ mm över 2 m.
Råd och anvisningar	-	-
HusAMA 72	E 3.5	Buktighet över 2 m mätlängd: lägst klass 3, max $\pm 5$ mm.
RA78	E	Buktighet ...klass 2. $\pm 3$ mm för bostad.
	K	Styrencellplastskivor får krympa högst 2 % efter montering.
	K 3.1	...bör cellplasten ha en densitet av $20 \text{ kg/m}^3 \pm 10 \%$ och en tjocklekstolerans $\pm 0.5$ mm
	O 4.5233	Spånskivor, lägst klass 2 bör ha en tjocklek, minst 19 mm.
HusAMA 83	O 4.523	-
	K 2	Cellplastens tjocklekstolerans $\pm 0.5$ mm. Cellplast som krymper $> 2\%$ skall vara falsad.
		Två toleransklasser för buktighet, 3A och 3B, $\pm 5$ mm resp $\pm 3$ mm över 2 m mätlängd.
RA 83	O 4.5233	"...ange mellanlägg mellan isolerskiva och spånskiva för att undvika knarr."

De berörda materialleverantörerna, för spånskivor och cellplast, hade länge inga uppgifter om att knarr kunde uppstå i denna materialkombination. Svenska Spånskiveföreningens informationsblad 1978 rekommenderade plastfolie under cellplasten men nämner inget om mellanlägg mellan spånskiva och cellplast.

GullfiberNytt 1980-01 redovisar bara RA 78:s text, men ingenting om risk för knarr. Så sent som i Svensk Byggekatalog 1981 visas inga rekommendationer om mellanlägg mot knarr, vare sig från Spånskiveföreningen eller från cellplastleverantörer. Då hade Bygginfo 1979, nr 2, redan kommit ut med en varning för knarr vid lamellbrädor på cellplast - en kombination som emellertid sällan ger knarr.

1981 diskuterade Spånskiveföreningen nya läggningsanvisningar för flytande golv och i dess Monteringsanvisningar Sv 144, Aug 1982, finns mellanlägg tydligt angivet och rekommenderat.

Man använde sig således i början av 1970-talet, när konstruktionen var ny och sällan förekommande, av en densitet på cellplasten av  $15 \text{ kg/m}^3$  och minst 16 mm spånskiva. Efter erfarenheter att golven sviktade, höjdes kravet på cellplasten kring 1978 till en densitet av  $20 \text{ kg/m}^3$  och rekommenderades 19 mm spånskiva. SAMTIDIGT UPPMÄRKSAMMADES KNARRPROBLEMET!

1979 kontaktades avd Byggnadsmateriallära, LTH, av en spånskiveleverantör, som fått reklamationer på grund av knarr i golv. En trähustillverkare i Norrland hade cirka 100 hus som drabbats och knarret hade uppstått på kort tid. Vi gjorde en enkel besiktning i ett representativt hus i Bollnäs och konstaterade kraftigt, mycket besvärande ljud vid gång över golvet.

Utredningens resultat blev att vi framförde några tänkbara skadeorsaker, men flera frågor uppstod också. Varför drabbades just denna trähustillverkare, varför just i Norrland, varför just nu? Spånskivorna levererades till många andra byggare, till hela landet och hade enligt tillverkaren inte förändrats på något sätt. Något svar på frågorna hittade vi inte då. Efterhand kom emellertid andra inom byggbranschen till oss med sina knarrande golv. Dessa kontakter gav oss dels utrednings-

uppdrag, dels samlades mycket information om skilda förutsättningar bakom de drabbade husen. Någon enhetlig bild skapades inte.

Förbryllande var från början att knarrande golv tycktes bara finnas i Norrland. Ingen annan ville vidkännas problemet. Först när det blev mer omfattande (eller när konstruktionen blev mera vanlig), vidgick även andra byggare att man hade knarr i golv. Av konkurrensskäl och omtanke om sitt rykte undanhöll troligen flera materialtillverkare det faktum att man fick reklamationer. Det var frustrerande att vi måste söka efter det som framkallade knarr i hus i Norrland och inte i övriga Sverige, trots att samma konstruktionsmaterial användes där. Först så småningom konstaterades att knarrande golv fanns i hela landet, hos många byggare, byggt med olika konstruktionslösningar.

Det blev snart klart att knarret uppstod i gränssytan mellan spånskiva och cellplast. Efter att flera husägare, byggare och materialtillverkare kontaktat oss, kunde ett gemensamt drag skönjas. Där det knarrade, där fanns också rörelser i golvet! Vanlig var den s. k. gångjärnseffekten. Skarvarna mellan spånskivorna var i många fall inte tillräckligt bra, (limning, skarvresning eller utformning), och golvet fungerade inte som en plan styv skiva. Det blev en led mellan skivorna, rörelse och knarr.

Olika lösningar för att åtgärda problemen prövades också. Entreprenörer, materialtillverkare och enskilda husägare försökte på olika sätt skapa ett icke knarrande glidskikt, eller att limma de knarrande materialen mot varandra. Så småningom har några få metoder utkristalliserats, insprutning av lim eller glidmedel, samt rekommendationen att lägga t.ex. plastfolie eller lumpapp som mellanlägg vid nyproduktion.

## 1.2 Problem och syfte

Avd Byggnadsmateriallära hade som uppdrag genomfört ett antal skadeutredningar. Efter kontakt med branschfolk stod det klart att knarrande golv fanns i 100-tal, kanske 1000-tal. Därmed var problemet och den bristande kunskapen definierad:

- Varför knarrar golven?
- Hur förhindras knarr i nya golv?
- Hur repareras redan byggda golv?

Avd BML hade inga egna resurser för att arbeta med problemet, varför ett examensarbete initierades. Badics och Berglind åtog sig detta.

Efter inledande diskussioner gjordes den bedömningen att den egentliga orsaken till knarret skulle vara svår att finna. Knarret uppstod uppenbarligen i kontaktytan mellan cellplast och spånskiva. Vid nyproduktion kunde man eliminera risken för knarr genom att lägga ett mellanlägg på denna plats. Flera byggfirmor använde lumppapp med gott resultat. Därmed föreföll det mest angeläget att bearbeta problemet med de redan knarrande golven. Examensarbetet fick också inriktningen "utveckla en reparationsmetod för knarrande golv av spånskiva på cellplast".

Efter att examensarbetet avslutats - en fungerande reparationsmetod hade utvecklats - konstaterades att flera frågor var olösta:

1. - Hur stora är de rörelser som orsakar knarr och varför uppträder de?
2. - Kan man genom laboratorieförsök bedöma risk för knarr?
3. - Hur bedömer man knarr vid en besiktning?
4. - Hur fungerar vidtagna åtgärder mot knarr, vid nyproduktion och efter reparation?

Genom Byggeforskningsrådet erhöles ett anslag, 830050-9, med målet att lösa uppgift 1 och 4 enligt ovan, samt att utfärda anvisningar för reparation och nyproduktion.

### 1.3 Avgränsning

Arbetet har endast handlat om en speciell golvkonstruktion, flytande golv av spånskiva på styrencellplast, och det knarrljöd som kan uppstå i kontaktzonen mellan dessa båda material. Knarr och gnissel kan förvisso finnas i hus på flera ställen såsom vid trappor, lister, träbjälklag etc, men orsaken där är uppenbar för alla. Man kan i allmänhet utan svårighet lokalisera ljudkällan och med varierande arbetsinsats åtgärda felen. Dessa sistnämnda missljud berörs inte i denna rapport.

### 1.4 Metod

Examensarbetet har genomförts huvudsakligen som laboratoriearbete. I flera fall har emellertid praktiska försök utförts i knarrande hus för att testa reparationsmetoden.

En enkät har sänts ut till ett antal byggföretag, se bil. 1, för att få en uppfattning om problemets omfattning och vilka metoder som använts i nyproduktion och vid reparation. Därigenom erhöles också en uppföljning av vidtagna åtgärders effekt.

Den litteratur som studerats, har huvudsakligen varit tidigare utgivna rapporter från BML. Eftersom problemet varit avgränsat i tiden, och sammanfallande med det pågående arbetet, har eventuell information utifrån bedömts kunna finnas i sedvanliga byggtidskrifter, som kontinuerligt bevakas. Någon datorbaserad litteratursökning har därför inte genomförts.

## 2. KNARR I GOLV

### 2.1 Ljudet

Knarr uppstår med säkerhet vid rörelser mellan spånskiva och cellplast. Ljudet försvinner nämligen helt då ett effektivt glidskikt placeras mellan materialen eller då spånskivan fixeras till cellplasten.

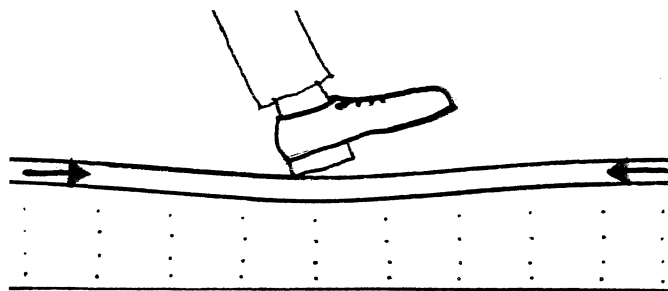


Fig 2.1 Spånskivan förskjuts i horisontell riktning.  
Cellplasten komprimeras.

Ljudet har vi kallat knarr. Ibland talar man om gnissel, men det ljud vi avser är knarrande, dvs knäppningar, flera upprepade korta smällar, ungefär som om en påse ärtor hälldes ut på golvet. Ljudnivån har vid några olika tillfällen uppmätts till 50 dB A, Erlandsson och Roszak (1980 a).

Vad sker då mellan spånskiva och cellplast?

Cellplasten kan sägas bestå av små plastkulor. Dessa har en tunn elastisk yta med många ojämnheter. Då spånskivan förflyttar sig gentemot cellplasten så verkar friktionen mellan materialen. Denna skjuvkraft gör att cellplastkulorna följer med i rörelsen tills vilofriktionen överskrids och samtidigt övergår lägesenergin till rörelseenergi. När enskilda cellplastkulor kolliderar, med antingen fibrerna i spånskivan eller med andra cellplastkulor, överförs energin och ju snabbare energin överförs desto högre frekvens får den alstrade vågen. Den alstrade vågens frekvens är ungefär inverterade värdet på pulslängden. Det behöver inte förekomma en hög repetitionsfrekvens för att få ett spektrum med

högfrekvent inslag utan det räcker med att pulserna är korta. Detta kan jämföras med en pingpongboll som träffar en vägg eller ett bjälklag. Fastän pingpongballen är lätt kan den få de mycket tyngre och styvare föremålen att alstra en svängningsvåg.

Man kan också se cellplastkulan som en uppblåst ballong och fingret som spånskivan. Drar man fingret över ballongen så tvingar man ballongmembranet att följa med en liten bit. När vilofriktionen överskrids försöker membranet att återgå till sitt neutralläge. Den vibration som uppstår när membranet träffar fingret eller när den vibrerar kring sitt neutralläge, uppfattas som knarr eller högfrekvent ljud.

En annan förklaring till knarret kan vara de ojämnheter som finns på cellplastkulornas yta och de relativt långa fibrerna i spånskivan. När lägesenergin frigörs accelererar cellplastkulan tills den möter på ett hinder eller passerar neutralläget. Om hindret utgörs av en träfibersträng med hartsinnehåll eller ett hartsskikt, så fungerar träfibersträngen som en stråke och ett missljud bildas när topparna på ojämnheterna i cellplastytan vibrerar.

Tar man med en pincett en cellplastkula och gnider den mot en annan cellplastkula (CMC), eller mot en liten bit spånskiva (CSMP) så erhåller man en frekvensfördelning enligt fig 2.2.



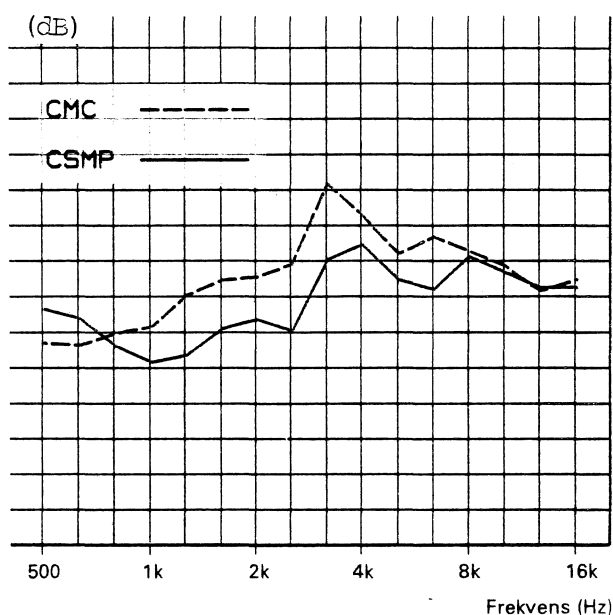


Fig 2.2 Frekvensfördelningen för cellplast mot cellplast (CMC) och cellplast mot spånskiva (CSMP).

Det alstrade luftljudet reduceras vid passage genom spånskivan. Spånskivans reduktionskurva har bildats genom tre ekvationer:

$$R_m = 20 \log m + 20 \log f - 48 \quad f < 0.5 f_c \quad (1)$$

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{m}{B}} \sim 64\,000 \cdot \frac{1}{h} \cdot \sqrt{\frac{\rho_s}{E}} \quad (2)$$

$$R_m = 20 \log \left( \frac{\pi m f}{\rho c} \right) + 10 \log \left( \frac{2 \eta f}{\pi f_c} \right) \quad f > f_c \quad (3)$$

$m$  = skivans ytvikt ( $\text{kg/m}^2$ )

$f$  = frekvensen (Hz)

$f_c$  = koincidensfrekvensen (Hz)

$c$  = ljudets hastighet i luft (343 m/s)

$B$  = skivans böjstyvhets per enhetsbredd (Nm)

$h$  = skivans tjocklek (m)

$\rho_s$  = skivans densitet ( $\text{kg/m}^3$ )

$E$  = skivans elasticitetsmodul ( $\text{N/m}^2$ )

$\rho$  = luftens densitet ( $1,29 \text{ kg/m}^3$ )

$\eta$  = förlustfaktorn (0,01 - 0,03)

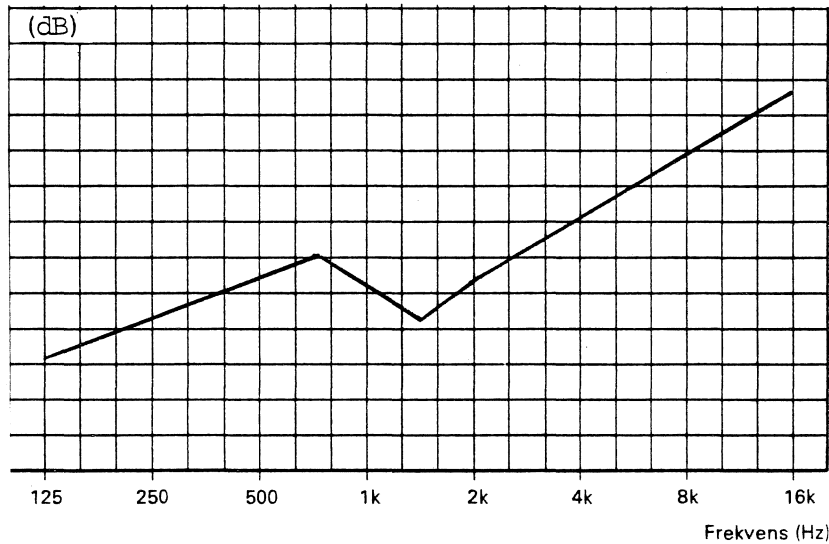


Fig 2.3 Reduktionskurva för 19 mm spånskiva.

Den första ekvationen bygger på masslagen, vilken innebär att den största delen av energin transmitteras via de påtvingade vibrationerna.

Vid ökande frekvens kröks spånskivan mer och styvheten kommer att spela en roll. Härigenom blir i ett övergångsområde reduktionstalet lägre genom en typ av resonans kallad koincidens. Vid denna koincidensfrekvens eller kritisk frekvens utbreder sig den alstrade vågen lika fort i spånskivan som i fria luften, vilket gör att reduktionskurvan får en markant dal.

Den avvägda frekvenskurvan kan jämföras med frekvensfördelningen för ett verkligt knarrande golv, se fig 2.4. De båda kurvorna visar som väntat stor likhet. Avvikelserna vid de lägre frekvenserna är bruset utifrån och från en spisfläkt som inte kunde stängas av utan att göra ingrepp i det elektriska systemet.

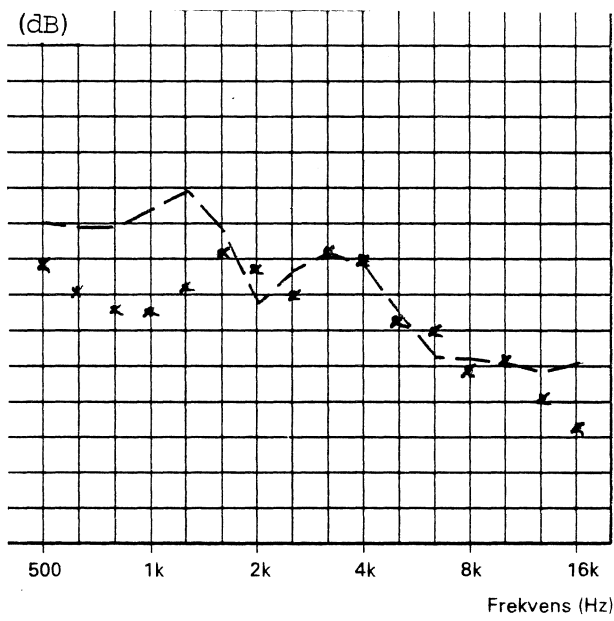


Fig 2.4 --- verkligt knarr  
\*\*\* reducerad frekvensfördelning (CMC).

### 3. KONSTRUKTIONEN

Golvkonstruktionens uppbyggnad visas i figur 3.1. Det finns vissa variationer i utförandet. Golvet läggs ibland utan sandavjämning, andra typer av avjämning förekommer också. Ibland saknas fuktspärren mellan betong och cellplast.

Tanken är att spånskivan med sin höga E-modul och tryckhållfasthet skall sprida lasterna över cellplasten som har klart lägre E-modul och tryckhållfasthet.

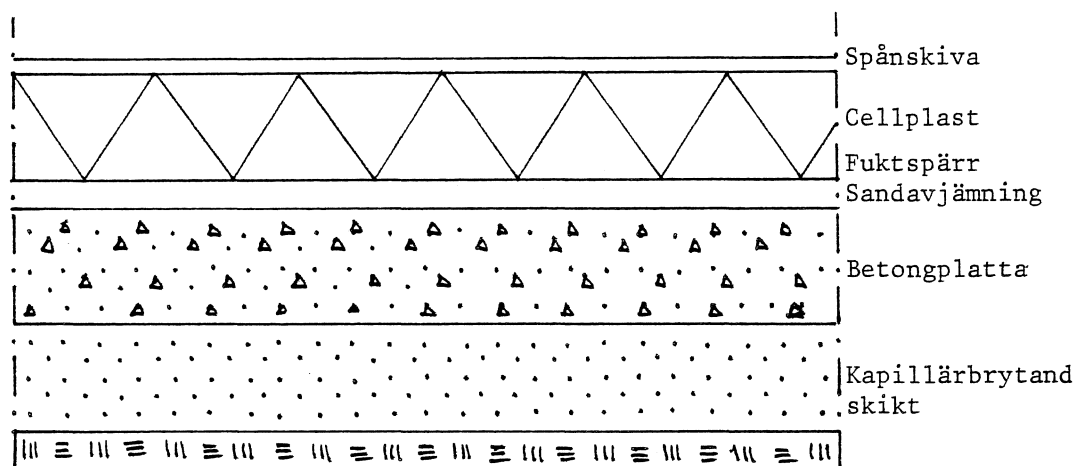


Fig 3.1 Golvkonstruktionens uppbyggnad.

För att få en bild av hur konstruktionen fungerar under belastning och för att bestämma storleken på de spänningar som uppstår, redovisas nedan beräkningar utförda med hjälp av Finita Element Metoden (FEM) på dator.

Vid Lunds datacentral (LDC) finns programpaketerna SKIVA och PLATTA tillgängliga. Båda är FEM-program. Programmet SKIVA har använts för att undersöka spänningarnas fördelning i ett snitt i golvet, medan PLATTA har givit svar på spänningarnas utbredning i planet.

### 3.1 Spänningar i olika tvärsnitt

#### 3.1.1 Spänningar i vertikalplanet

SKIVA är avsett för beräkning av rektangulära skivor, men det går utmärkt att använda för beräkning av flytande golv. För att anpassa konstruktionen till programmet får man tänka sig en 10 cm bred remsa av golvet indelad i element enligt figur 3-2. Remsan belastas i centrum med en punktlast på 1 kN. Spånskivans E-modul ( $E_s$ ) har satts till  $2300 \text{ MN/m}^2$  och cellplastens ( $E_c$ ) till  $2.8 \text{ MN/m}^2$ , tvärkontraktionstalet ( $\nu$ ) har angivits till 0.25 för båda materialen. Cellplasten antas vila på en oändligt styv betongplatta, i övrigt är golvremsan fri.

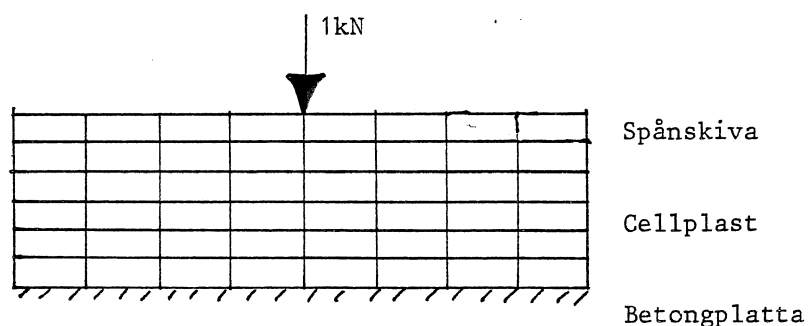
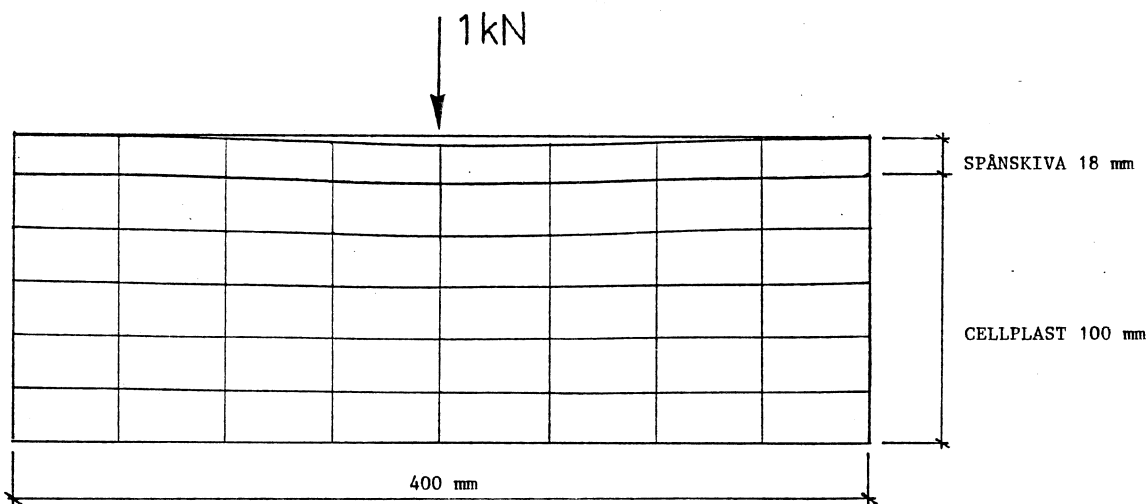


Fig 3.2 Elementindelning vid beräkning med FEM-programmet SKIVA.

SKIVA beräknar förskjutningarna i noderna (skärningspunkterna mellan elementen) och tillhörande reaktionskrafter. Av resultatet kan utläsas att spånskivan böjs utan att komprimeras medan cellplasten enbart komprimeras. Förskjutningarna i horisontell led i cellplasten är mycket små, dvs. materialet sprider inte lasten. Följden blir att tryckspänningarna är lika stora i överkant som i underkant. En plottning av förskjutningarna åskådliggör detta, se figur 3.3.



NEDBÖJNINGEN ÄR FÖRSTORAD 4 GÅNGER

$$E_c = 2.78 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 2326 \text{ MN/m}^2$$

Fig 3.3 Nedböjningslinjer enligt FEM-programmet SKIVA.

### 3.1.2 Spänningar i horisontalplanet

Programmet PLATTA är avsett för beräkning av plattor. Det går bra att beräkna flytande golv med PLATTA, men man måste då göra antagandet att cellplasten fungerar som en fjäderbädd. Detta antagande låter sig göras med tanke på att ingen horisontell lastspridning sker i cellplasten. Fjäderbäddens bäddmodul (B) ges av

$$B = \frac{EA}{L}$$

där E är cellplastens E-modul, A är ytan och L är cellplastens tjocklek.

Modellen för beräkningen är en 18 mm tjock kvadratisk spånskiva med sidan 0.6 m. Skivan indelas i element. I varje nodpunkt har skivan stöd av en fjäder motsvarande bäddmodulen. Skivan belastas med en punktlast (1 kN) placerad i centrum.

För att klarlägga spånskivans respektive cellplastens inverkan på nedsjunkning och spänningsfördelning vid belastning, har en serie olika beräkningar utförts. I dessa har materialens E-moduler varierats, spånskivans mellan 2000 och 4000 MN/m<sup>2</sup> i steg om 500 MN/m<sup>2</sup> och cellplastens mellan 2.0 och 4.0 MN/m<sup>2</sup> i steg om 0.5 MN/m<sup>2</sup>.

Tabell över resultat från körning av PLATTA

Tabell 3.1

$E_c$ (MN/m <sup>2</sup> )	$E_s$ (MN/m <sup>2</sup> )	Största nedsjunkning (mm)	Största tryckspänning (kPa)
2.0	2000	0.86	17.2
"	2500	0.76	15.5
"	3000	0.71	14.3
"	3500	0.67	13.3
"	4000	0.63	12.6
2.5	2000	0.76	19.1
"	2500	0.69	17.2
"	3000	0.63	15.8
"	3500	0.59	14.7
"	4000	0.56	13.9
3.0	2000	0.69	20.8
"	2500	0.62	18.7
"	3000	0.57	17.2
"	3500	0.53	16.0
"	4000	0.50	15.1
3.5	2000	0.64	22.4
"	2500	0.57	20.1
"	3000	0.53	18.5
"	3500	0.49	17.2
"	4000	0.46	16.2
4.0	2000	0.60	23.9
"	2500	0.54	21.5
"	3000	0.49	19.7
"	3500	0.46	18.3
"	4000	0.43	17.2

Maximal nedsjunkning vid kombinationen  $E_c = 2.0$  ,  $E_s = 2000$

Maximal spänning i cellplasten då  $E_c = 4.0$  ,  $E_s = 2000$



I tabell 3.1 redovisas största spänning och största nedsjunkning. Största spänning är beräknad på  $6.25 \text{ cm}^2$  direkt under punktlasten. I figur 3.4 har jämviktslinjer för största nedsjunkning och största spänning ritats in. Nedsjunkningens utbredning i planet, för några intressanta kombinationer, visas i figur 3.5. Den varierar som synes lite trots stora variationer i materialens egenskaper.

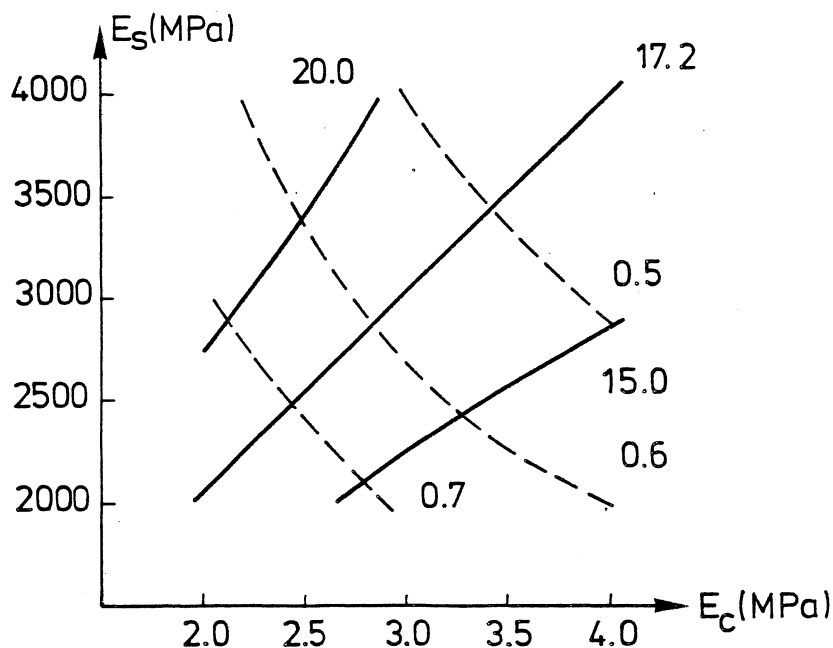


Fig 3.4 Jämviktskurvor för största nedsjunkning och största spänning.

- - - - Största nedsjunkning (mm)
- Största spänning (kPa)

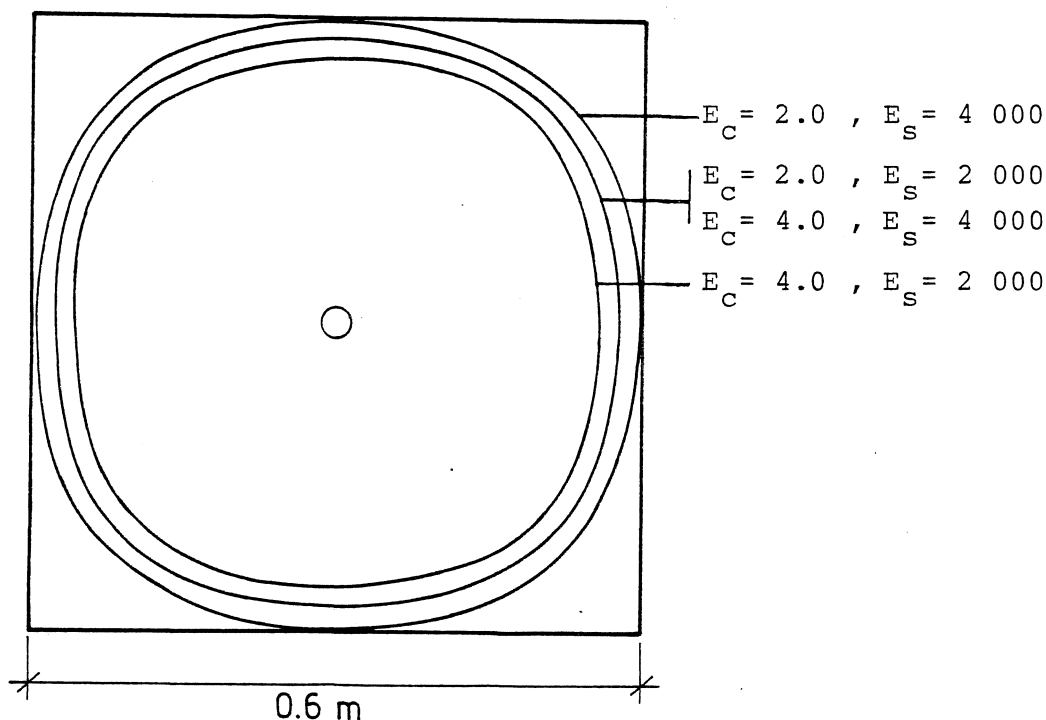


Fig 3.5 0-nedböjningslinjer vid centriskt belastad platta  
E-moduler i MN/m<sup>2</sup>

De framräknade förskjutningarna och spänningarnas skall tas med en nypa salt med tanke på de förenklingar som gjorts. Inget av programmen tar hänsyn till att dragspänningar inte kan uppstå mellan cellplast och spånskiva, utan räknar som om materialen vore ihoplimmade.

Golvets funktion tycks vara lika känslig för variationer i cellplastens som i spånskvivans E-modul. Storleken på de beräknade spänningarna ligger med god marginal under materialens hållfasthetsgränser, men man skall beakta att beräkningarna förutsätter perfekt anliggning mellan materialen. De framräknade nedsjunkningarna ligger också klart under de värden som uppmätts i hus i Ljungby med golvkunnar, mätningar som redovisas längre fram i rapporten. Rörelsen mellan materialen kan överslagsmässigt beräknas med en rätvinklig triangel. Med den ena kateten lika med maximal nedsjunkning (0.86 mm) och den andra lika med nedsjunkningens utbredning (300 mm) fås hypotenusan till 300,0012 mm. Den horisontella rörelse som uppkommer mellan materialen är alltså i storleksordningen 0.001 mm. Detta skall jämföras med försök av Erlandsson och

Roszak (1980 b), som visar att det krävs en rörelse på minst 0.03 mm för att knarr skall uppstå.

### 3.2 Nedsjunkningens orsaker

Orsakerna till nedsjunkningen kan delas in i två delar, dels en som beror av styvheten och ojämnheter i material och underlag, dels en tids- och användarberoende del. Troligen är ojämnheter i material och underlag en förutsättning för att de tids- och användarberoende skall uppstå.

Vi tänker oss en spånskiva placerad på en skiva av cellplast, enligt figur 3.6.

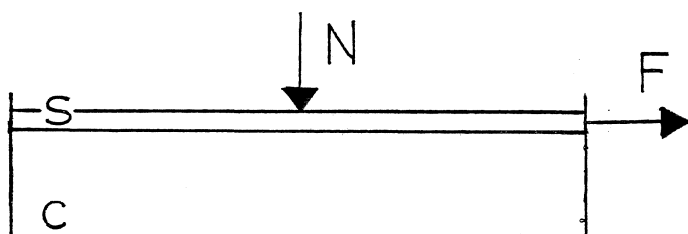


Fig 3.6

Cellplasten belastas med en tryckande normalkraft ( $N$ ). Då krävs en dragkraft ( $F$ ), med storleken  $F > \mu_v N$ , för att få spånskivan att börja glida.  $\mu_v$  är vilofriktionskoefficienten. För att spånskivan skall fortsätta glida krävs att  $F > \mu_r N$ , där  $\mu_r$  är rörelsefriktionskoefficienten. Så länge  $F < \mu_v N$  så följer cellplasten med utan att släppa kontakten med spånskivan.

Dragkraften  $F$  och anliggningsytan  $A$  ger skjuvspänningen.

$$\tau = F/A$$

Skjuvspänningen kan även uttryckas som

$$\tau = G \gamma$$

Vinkeln  $\gamma$  kallas skjuvvinkeln och motsvarar här den horisontella rörelsen, figur 3.7.

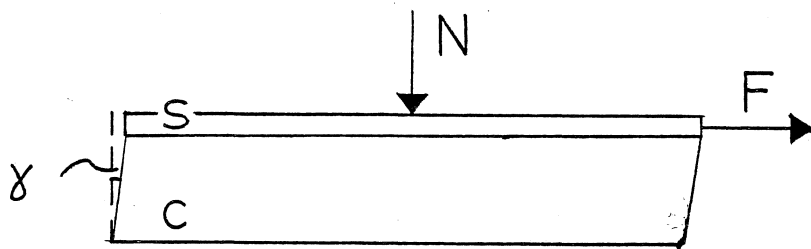


Fig 3.7

Enligt tidigare resonemang är

$$\mu = F/N$$

eller

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma_N}$$

uttrycken för  $\tau$  kopplas samman

$$\gamma_G = \mu \sigma_N$$

och

$$\gamma_v = \frac{\mu_v \sigma_N}{G} \quad \gamma_r = \frac{\mu_r \sigma_N}{G}$$

Om  $\mu_v \sigma_N$  är litet uppkommer inget knarr eftersom cellplasten inte följer med i rörelsen. Är  $\mu_v \sigma_N$  stort uppkommer inte heller knarr, cellplasten följer med i hela rörelsen. Knarret kräver sålunda en tillräckligt stor rörelse (0.03 mm), en lagom stor belastning i kombination med en lagom stor vilofriktion. Det är av dessa skäl knarrljud inte uppkommer direkt under belastningspunkten när man går över ett golv.

### 3.3 Friktionskoefficienter

Två olika försök för att få fram friktionskoefficienterna har gjorts. Det ena bygger på att man ändrar lutningen på en spånskiva och ser vid vilken vinkel som cellplasten börjar

glida. Vid det andra försöket har man fäst in spånskivan i botten på en ställning. Ovanpå ställningen placerades, i en bottenlös vagn, cellplastskivor. Genom att belasta cellplastskivan och sedan mäta den kraft som behövs för att dra vagnen, kan friktionskoefficienten beräknas.

Två av proverna kom från hus med golvknarr. Dessa testades på båda sidor, dvs. både ytan mot spånskivan och ytan mot underlaget, för att utröna om friktionskoefficienten förändras vid knarr. Av de tre övriga proverna hade två trådkuren yta och en slipad yta. Fem försök utfördes på varje cellplastskiva. I tabell 3.2 redovisas  $\mu_v$ ,  $\mu_r$  resp. kvoten  $\mu_v/\mu_r$  för några olika cellplaster.  $\mu_v/\mu_r$  kan ses som ett uttryck för knarrbenägenheten. Knarrljudet avtar då kvoten närmar sig 1, Bengtsson & Folkesson (1982).

Tabell 3.2

$\mu_v$  = vilofriktionskoefficienten

$\mu_r$  = rörelsefriktionskoefficienten

Cellplast	$\mu_v$	$\mu_r$	$\mu_v/\mu_r$
Trådkuren (1)	0.29	0.17	1.71
Trådkuren (2)	0.39	0.18	2.17
Slipad	0.54	0.22	2.45
Trådkuren, knarrande sida 1	0.40	0.18	2.22
Trådkuren, knarrande sida 2	0.35	0.18	1.94
Slipad, knarrande sida 1	0.62	0.24	2.58
Slipad, knarrande	0.58	0.24	2.42

Sida 1 har vilat mot underlaget, sida 2 är den knarrande sidan.

De trådkurna proverna visar en klart lägre friktionskoefficient. Båda typerna har dock en kvot, mellan 1.71 och 2.17, som skiljer sig från 1. Det har dessutom framkommit att vilofriktionskoefficienten sjunker med tiden, då materialen gnider mot varandra. Med en belastning av 1 kN/m<sup>2</sup> sjunker friktions-

koefficienten från 0,7 till 0,4. En tendens att den ändras, ökar eller minskar, vid en belastning mindre än  $200 \text{ N/m}^2$  beroende på spånskivefabrikat har också framkommit. Se fig 3.8.

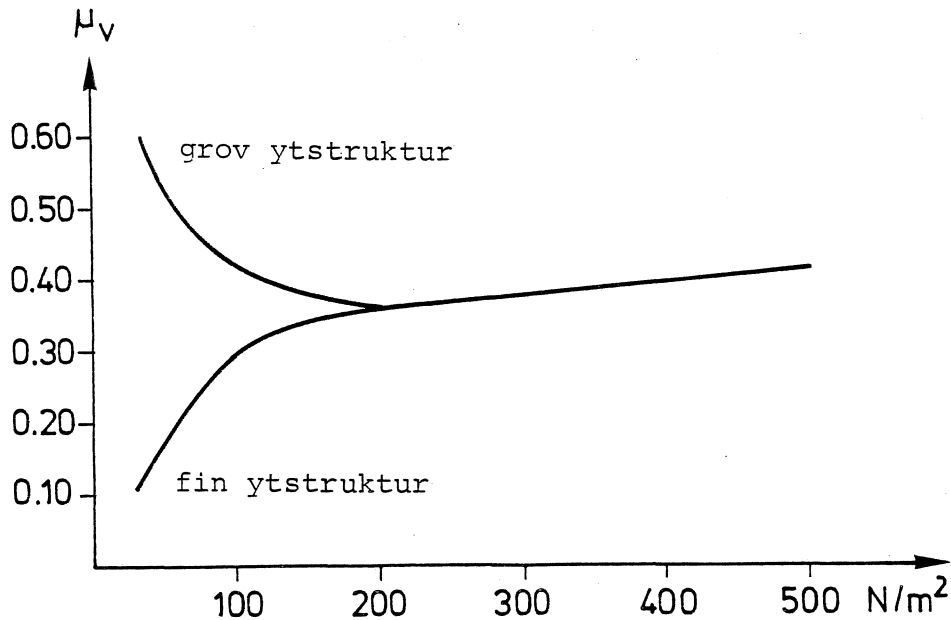


Fig 3.8 Vilofriktionskoefficienten som funktion av lasten.

En förklaring till detta är nog att en spånskiva vars ytstruktur är finare, slipar lättare av cellplastytan och det slipdamm som bildats verkar friktionsnedsättande.

Rörelsefriktionen måste alltså vara mindre än vilofriktionen för att cellplastkulorna skall kunna göra den hastigt återgående rörelsen som får knarret att uppstå. För att komplicera problemet ytterligare för oss så gäller inte  $\mu_r$  alltid vid den återgående rörelsen. En viss del av återgången sker, på grund av ojämnheter, helt utan kontakt mellan ytorna!

4. MATERIALEN

4.1 Spånskivan

Avvikelserna i spånskivans tjocklek är så små att de knappast har någon inverkan på nedsjunkningen. Däremot, vilket visats vid beräkningarna på dator, är spånskivans E-modul av betydelse. Medelvärdet för E-modulen på golvspånskivor är cirka  $3400 \text{ MN/m}^2$ , men det förekommer variationer mellan olika fabrikat. En undersökning, utförd för Spånskiveföreningen, av 12 olika fabrikat gav vid handen att E-modulen varierade mellan 2400 och  $4200 \text{ MN/m}^2$ . Samma undersökning visade att det förekommer en variation inom fabrikatens storleksordningen  $\pm 500 \text{ MN/m}^2$ . Figur 4.1 visar två ytterligheter av arbetskurvor i en provserie om 20 spånskivor.

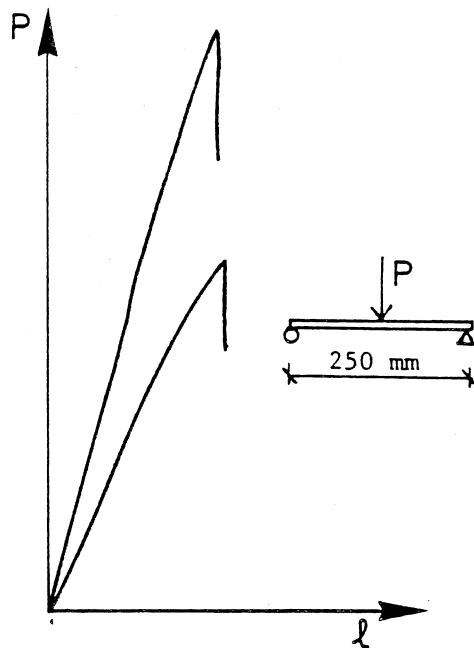


Fig 4.1 Arbetskurvor för olika spånskivor.  $250 \times 100 \times 18 \text{ mm}^3$ .

Spånskivans E-modul påverkas av långtidslast, så att styvheten efter 1000 timmar kan sjunka till 50 % av ursprungsvärdet. Efter 10000 timmar kan E-modulen vara så låg som 30 % av den ursprungliga.

Även fukthalten påverkar E-modulen. Normalt anges skivans styvhet vid 65 % RF. Vid 90-95 % RF är dock E-modulen betydligt lägre. I en undersökning av Lars-Olof Nilsson (1979) visas bland annat hur E-modulen varierar för några olika RF.

$$43 \% \text{ RF} \Rightarrow E = 3600 \text{ MN/m}^2$$

$$67 \% \text{ RF} \Rightarrow E = 3000 \text{ MN/m}^2$$

$$95 \% \text{ RF} \Rightarrow E = 1800 \text{ MN/m}^2$$

Det är inte otänkbart att spånskivorna har en fuktkvot motsvarande 95 % RF vid inläggning om skivorna lagrats en tid i utomhusklimat och lagts in utan föregående torkning. Om skivorna därtill beläggs med en plastmatta ökas fukttinnehållet och uttorkningen fördröjs.

Skarvresning och välvning hos spånskivor på cellplast har utretts av Lars-Olof Nilsson (1979). Undersökningen utredde orsakerna till problemet. Här skall endast konstateras att välvning och skarvresning är ett vanligt fenomen. Det kan vara direkt orsak till alltför stor glidning mellan spånskiva och cellplast och därmed orsaken till knarr. Det kan också inverka på de användarberoende orsakerna då spånskivans lastfördelande egenskaper försämras vilket i sin tur kan ge permanenta deformationer i cellplasten.

Spånskiveskarvarnas styvhet kan också påverka rörelsen mellan materialen. Ofta uppstår så kallat gångjärnseffekt i flytande golv. Fenomenet har utretts av Erlandsson (1980 c). Även gångjärnseffekten försämrar spånskivans lastfördelande egenskaper.

#### 4.2 Cellplasten

Cellplast är unikt inom byggnadsindustrin då det är ett av de få plastbaserade material som används i en bärande konstruktion.

Cellplast tillverkas genom expansion av plastkulor av poly-



styren. Expansionen sker med hjälp av jäsningsmedel, vanligen ett kolväte, i två faser. Under förexpansionen är kulorna fria och sammansintringen sker i samband med efterexpansionen vid gjutningen. Cellplast gjuts i strängar eller i block. Vid blocktillverkning skärs skivorna till önskad tjocklek med glödtråd medan stränggjuten cellplast ges rätt dimension vid gjutningen. Eventuellt slipas skivorna efter tillverkningen.

Måttnoggrannheten på cellplast varierar mellan olika tillverkningsmetoder. Stränggjuten slipad cellplast anges vanligen variera  $\pm 0.5$  mm medan glödtrådsskuren varierar  $\pm 1$  mm, vid leverans.

Cellplast krymper under en lång tid efter tillverkningen på grund av att kvarstående jäsningsmedel avgår. Omständigheterna kring krympningen har utretts av BASF's laboratorier i Väst-Tyskland, BASF (1971). Krympningens storlek och hastighet beror framför allt på andelen jäsningsmedel och på mellanlagringstid, det vill säga lagring av materialet efter förexpansionen men före gjutningen. Mellanlagras cellplasten minskar krympningen av den färdiga produkten. På samma sätt verkar lagring efter gjutning. Krympningen som är störst omedelbart efter gjutningen minskar efter hand och avklingar så småningom mot ett gränsvärde. Skivornas tjocklek påverkar krympningshastigheten så att en tjockare skiva krymper långsammare. God ventilation vid lagringen ökar krympningshastigheten. I figur 4.2 redovisas krympningen för några olika densiteter på cellplast, BASF (1971).

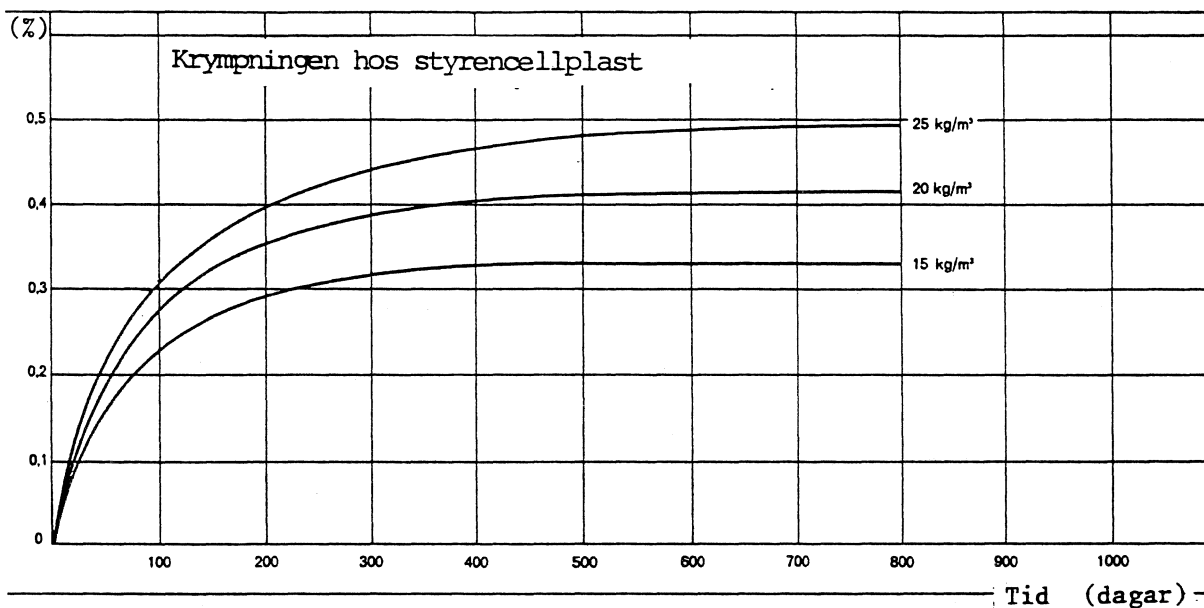


Fig 4.2

Ur figur 4.2 kan utläsas att krympningsgränsvärdet för cellplast,  $20 \text{ kg/m}^3$ , är 0.4 %. Värdet, som uppnås efter cirka 600 dagar, påverkar skivans tjocklek obetydligt men innebär en minskning av längden med 4 mm/m. En sådan förkortning kan, om den sker efter läggningen av isoleringen, försämra spånskivans stöd, genom att det bildas öppna spalter mellan cellplastskivorna. Detta kan på sikt öka nedsjunkningen på grund av bestående deformationer i cellplasten.

Figur 4.3 visar en typisk arbetskurva för tryckt cellplast. Någon tydlig brottgräns finns inte, men ett elastiskt område kan utläsas. Figur 4.4 visar cellplast som belastats upprepade gånger med efter hand ökad last. Figuren visar att den kvarstående deformationen i cellplast kan bli betydande, men också att de spänningar som räknades fram på dator ligger klart i det elastiska området. Det skall dock påpekas att beräkningarna på dator förutsätter perfekt anliggning mellan materialen.

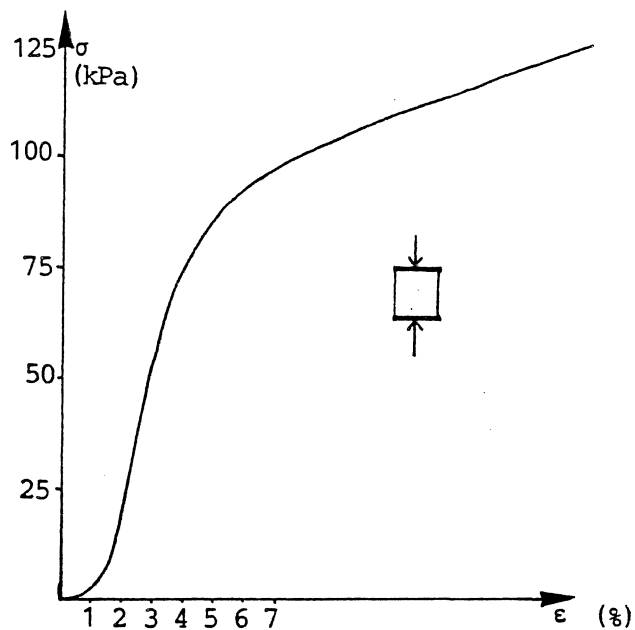


Fig 4.3 Arbetskurva för tryckt cellplast.

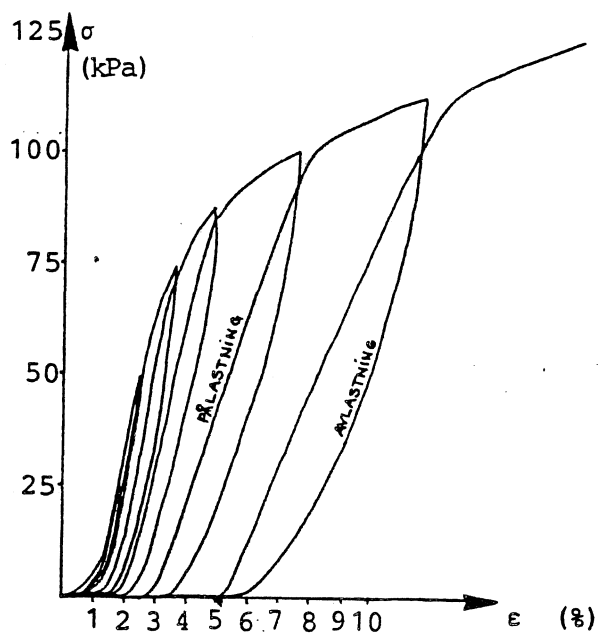


Fig 4.4 Belastad cellplast med efter hand ökad last.

Liksom för spånskivor varierar E-modulen och tryckhållfastheten mellan och inom olika fabrikat. 37 cellplastprover har provtryckts, och i figur 4.5 redovisas några ytterlighetsfall.

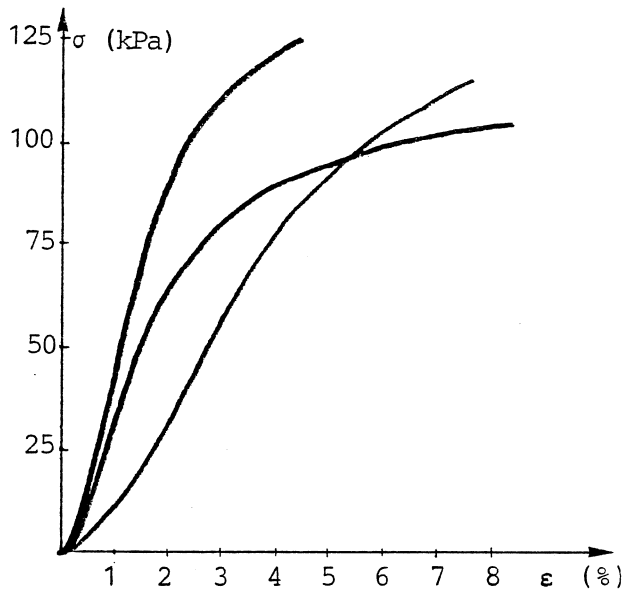


Fig 4.5 Arbetskurvor för tryckt cellplast.

Figur 4.6 visar resultaten av en provserie där cellplasten utsatts för cyklisk last, med frekvensen 5 cykler per minut. Av provningstekniska skäl har antalet cykler begränsats till 300. Kurvorna visar tydligt hur krypningen ökar med ökad amplitud på lasten.

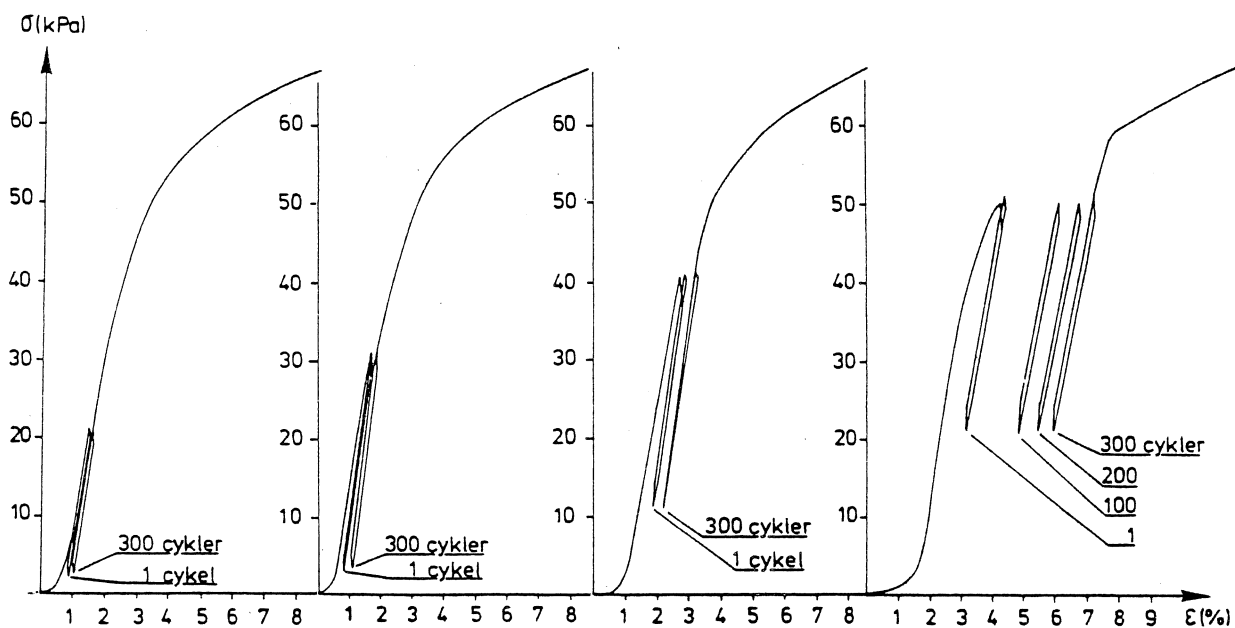


Fig 4.6 Cellplast, cykliskt belastad med varierande lastamplitud.

BASF har även undersökt cellplastens krypning under konstant last, BASF(1975). Krypningen är marginell i ett golv med cellplast som ger spånskivan gott stöd, men den kan bli betydande om golvet är ojämnt. Under tunga möbler t.ex. bokhyllor kan krypningen bli stor trots att spånskivan ligger an mot cellplasten. I figur 4.7 visas krypning under konstant last.

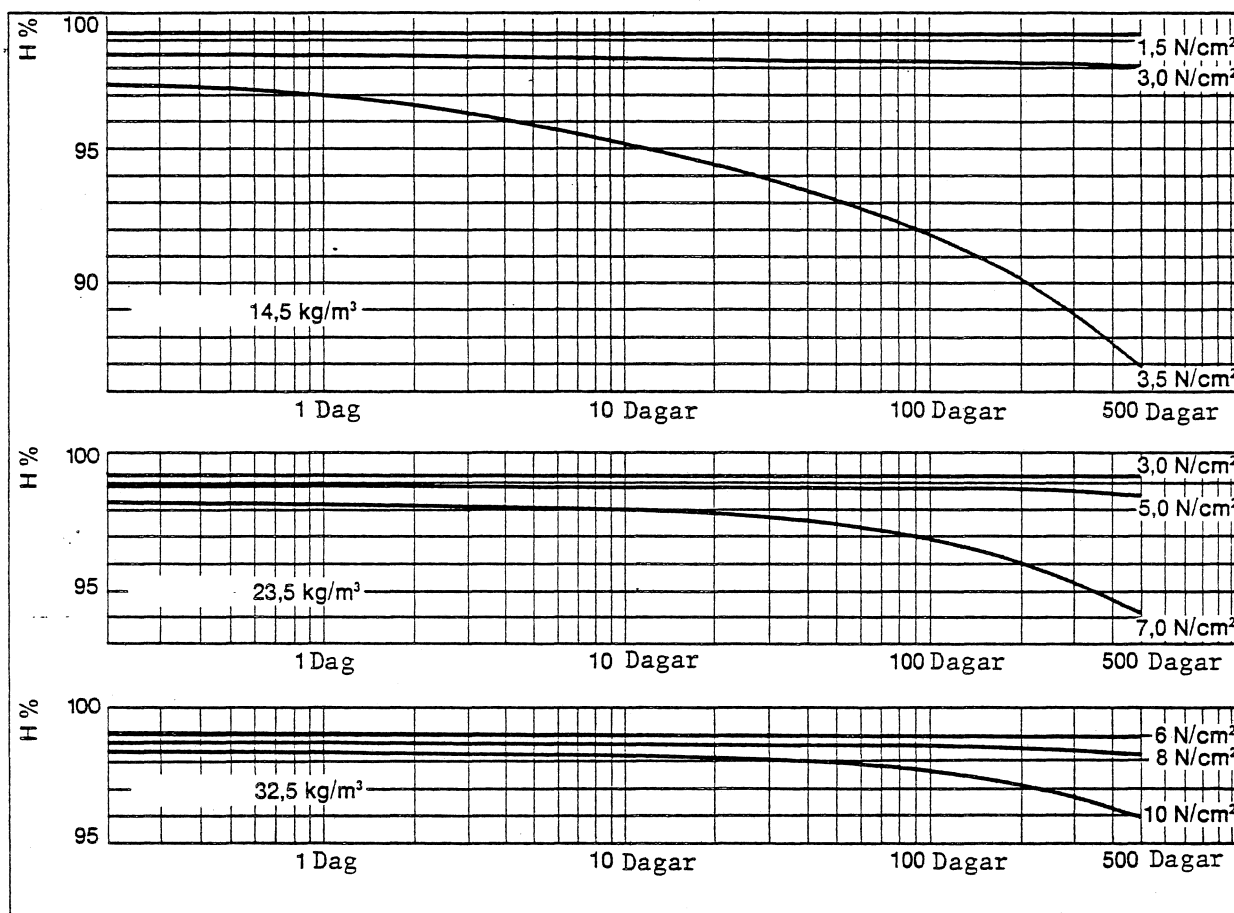


Fig 4.7 Krypning under konstant last.

Detta kan medföra en avsevärd välvning av golvet. Den icke önskade överhöjningen trycks ned när man går över golvet och ger glidning mellan spånskiva och cellplast. Den vertikala rörelsen kan därför också bli oacceptabelt stor och upplevas som obehaglig, vilket låg bakom rekommendationerna om 19 mm spånskiva och den högre densiteten på cellplasten.

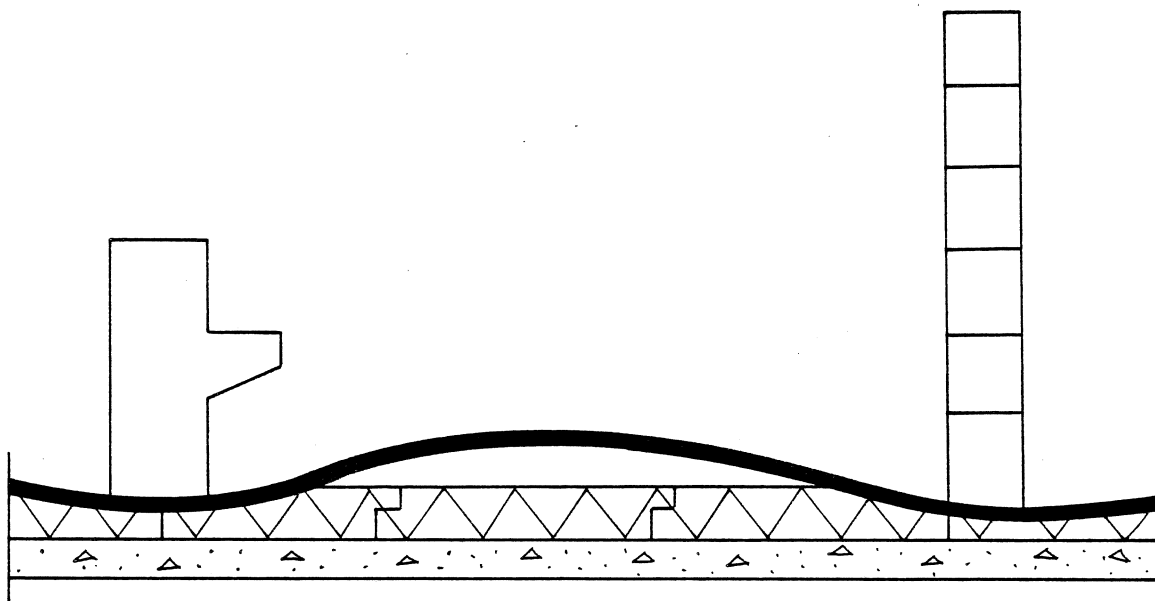


Fig 4.8 Vävning, överdriven skala.

#### 4.3 Betongplattan

Om inte betongplattan avjämnas med sand kommer noggrannheten på gjutningen att inverka på risken för att knarr skall uppstå. Rimligt är att anta att ojämnheter med liten utbredning tas upp i cellplasten medan ojämnheter med omfattande yta påverkar golvet's funktion.

#### 4.4 Sandavjämningen

För sandavjämningen gäller samma resonemang som för betongplattan. Vid uppbrytning av knarrande golv har vid något tillfälle observerats att sandavjämningen varit undanpressad från de knarrande områdena, vilket troligen har förvärrat knarret.

#### 4.5 Slutsatser

Risken för att knarr skall uppstå i ett perfekt lagt golv är liten. De spänningar som då uppkommer i materialen är så små att de inte gör skada. Att lägga ett perfekt golv är dock svårt. Inbyggda ojämnheter blir ofrånkomliga. Dessa kan, tillsammans med krympning och krypning i materialen, på sikt försämra golvets funktion. Ty när väl de initiella ojämnheterna finns, kan spänningarna i materialen bli så stora att permanenta deformationer uppkommer. De kvarstående deformationerna påverkar i sin tur golvets funktion så att spånskivan i allt större utsträckning rider på cellplasten.



5 LABORATORIEFÖRSÖK

Vi började med åtgärdspaketet som bedömdes vara mest akut. Som första åtgärd sökte vi efter ett medel som kunde fungera som glidskikt. I försöken ingick talk, silikon, oljor och vaxer i fast form.

Talk visade sig fungera utmärkt. Det var lätt att applicera, billigt, ofarligt och tog bort knarret effektivt. Tyvärr hade talken en tendens att flytta sig och pressades ner i cellplastens håligheter. Därmed återkom knarret efter en tid. Denna negativa effekt bekräftades också av erfarenheter från praktiska försök, vilket gjorde att metoden kasserades.

Efter samtal med kemister på Kemicentrum i Lund, fortsattes försöken helt och hållet med vaxer. Vax har den fördelen gentemot de övriga medlen att dess molekyler är stora och molekylkedjan är relativt lång. Detta gör att vaxet inte diffunderar ner i cellplasten eller suggs upp i spånskivan. Problemet med vax är att det är i fast form vid rumstemperatur. För att kunna sprida vaxet måste det vara lättflytande, vilket det blev genom dispergering i vatten. Tyvärr lyckades vi bara få medlet att förbli stabilt i ett par dagar, varefter vaxet började att flocka sig. Nya försök med andra dispersionsmedier gjordes, samtidigt som vi undersökte vilka företag som tillverkade liknande medel som vi var i behov av.

Efter att vi hade varit i kontakt med ett kemiföretag erhöll vi ett tjugotal prover ur deras sortiment. Genom att se efter hur vaxet såg ut när vi hade torkat bort vattnet bestämde vi oss för ett relativt smalt band i sortimentet. Vi erhöll nya prover och vi satt igång med försöken.

I en provbänk, där vi kunde spänna in cellplast i en ram och sedan dra spånskivan över cellplasten, gjordes framför allt tre experiment.

För det första undersöktes om vaxet limmade fast cellplasten mot spånskivan och vilken kraft som behövdes för att dra loss spånskivan. I de fallen där spånskivan fastnade, uppfattades ljudet som knäppningar som kan jämföras med enstaka knarr.

Det andra försöket gick ut på att se om vaxet tålde slitage. För den skull lät vi en belastad spånskiva dras fram och åter, över cellplasten, efter det att vi hade sprutat vax på spånskivan. Rörelsens amplitud var 3 mm vilket ska jämföras med 0,03 mm som erfordras för att knarr ska uppstå. I vissa fall fick vi ansamling av vaxet vid vändpunkterna och i andra fall lossnade vaxet från spånskivan.

Vid det tredje experimentet undersökte vi förhållandet mellan vilofriktionen och rörelsefriktionen.

När försöken var slutförda hade vi skiljt ut två vaxer med speciella egenskaper, ett mjukt och ett hårt.

Nu hade vi fått fram ett friktionsnedsättande medel och nu gällde det att kunna applicera medlet mellan spånskivan och cellplasten.

Av en uppfinnare i Skara, som tog fram sprututrustning för rostskyddsbehandling av bilar, fick vi en begagnad pump.

Lyftanordningen i sig var vi tvungna att själva ta fram. Vi gjorde några försök innan vi bestämde oss för att ett gängat rör var det bästa alternativet. För den skull testade vi hur olika sorters gängor höll i spånskivan. Med en fingänga erhöles bästa resultatet. Med denna kunde vi lyfta 750 kg, vilket ska jämföras med vad ett golv på 10 m<sup>2</sup> väger, ca 200-300 kg.

För att få ett så verklighetstroget försök som möjligt byggde vi ett 13 m<sup>2</sup> stort golv. Ytterkanterna belastades med tyngder varefter vi lyfte golvet och avvägde det, för att se hur mycket vi kunde lyfta. Se fig. 5.1.

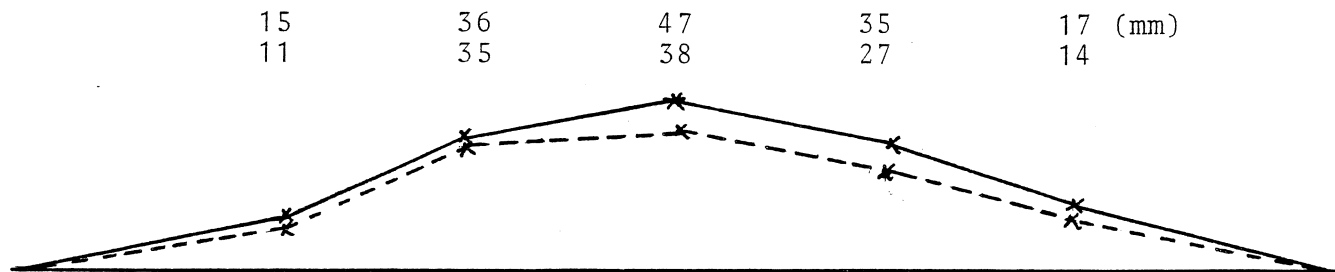


Fig 5.1 Avvägning av golvet efter lyft med en kraft av (----- 2.05 kN, - - - - - 1.75 kN). Siffrorna anger antalet mm över golvet nollnivå.

Försöket utvecklades till ett sprutningsförsök för att se spridningen och vilken mängd vätska som sögs upp i de i förväg utplacerade läskapperna. Se fig 5.2.

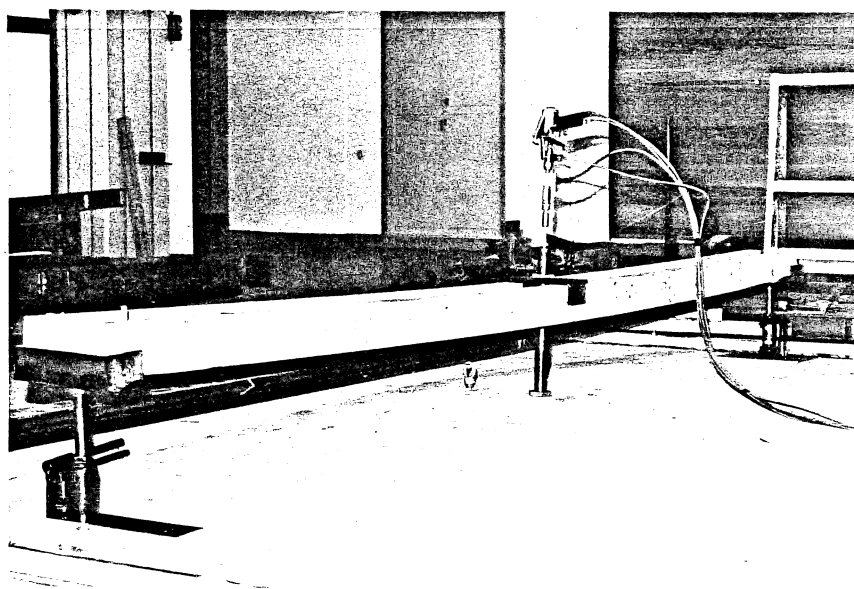


Fig 5.2 Lyftanordning och sprututrustning.

Försöken gav vid handen att en lyftkraft på cirka 2 kN höjde golvet ungefär 45 mm vid centrum och 15 mm 1,2 m från centrum. Den genom pumpningen uppnådda spridningen var mycket bra, vilket visades genom att skillnaden mellan maximalt och minimalt uppsugen mängd var under 10 %.

När vi hade slutfört försöken med vaxerna togs ett limningsalternativ fram. I och med detta ansåg vi oss vara klara för att testa metoderna på knarrande golv.

Vi skrev en delrapport med vilken vi försökte övertyga olika byggföretag att ställa upp med tre knarrande hus, ett för varje alternativ.

Sent om sidor fick vi två hus att åtgärda och då hade vi också förbättrat lyftanordningen betydligt. Vi hade ersatt gängorna med en expanderanordning samtidigt som vi flyttade in domkrafterna till lyftanordningen, så att en ensam person kunde utföra lyftet.

Försöken fick begränsas till de båda vaxerna, varvid det framkom att det mjuka vaxet var lämpligast.

Nya försök utfördes i småländska Ljungby och då passade vi på att mäta golvrörelserna i två hus. Husen låg i samma område, hade liknande planlösningar och hade färdigställt ungefär samtidigt. I det ena huset hördes ett tydligt knarr medan det i det andra nästan var tyst.

Mätutrustningen bestod av en 4 m lång stålbalk, vilken lades upp på 5 cm höga stöd i ändarna. På balken monterades 6 st givare, c/c 50 cm, för registrering av golvets vertikala rörelse. Det faktum att balkens stöd placerades direkt på golvet minskar mätningarnas noggrannhet särskilt i punkterna 1 och 6. Mätningarna utfördes i gångstråken i köken, där nedsjunkningen upplevdes som störst, se figur 5.3. Givarnas utslag registrerades då en 100 kg tung person gick längs balken. I figur 5.4 visas givarnas maximala utslag i stapelform, en stapel motsvarar en mätpunkt.

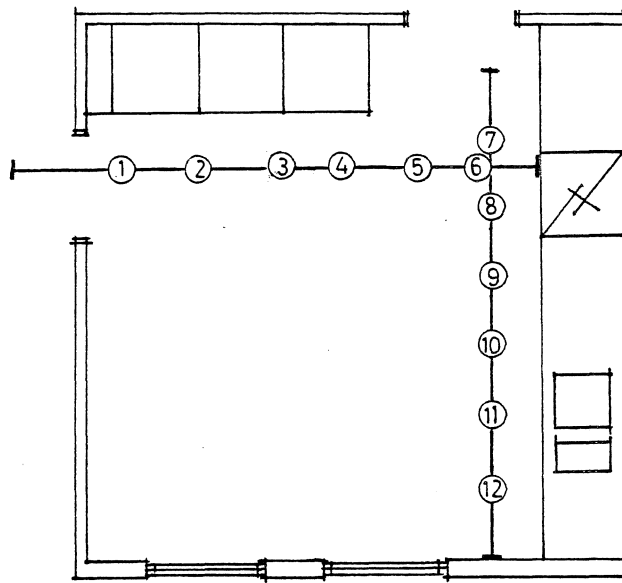


Fig 5.3 Mätning av nedsjunkning i hus i Ljungby.

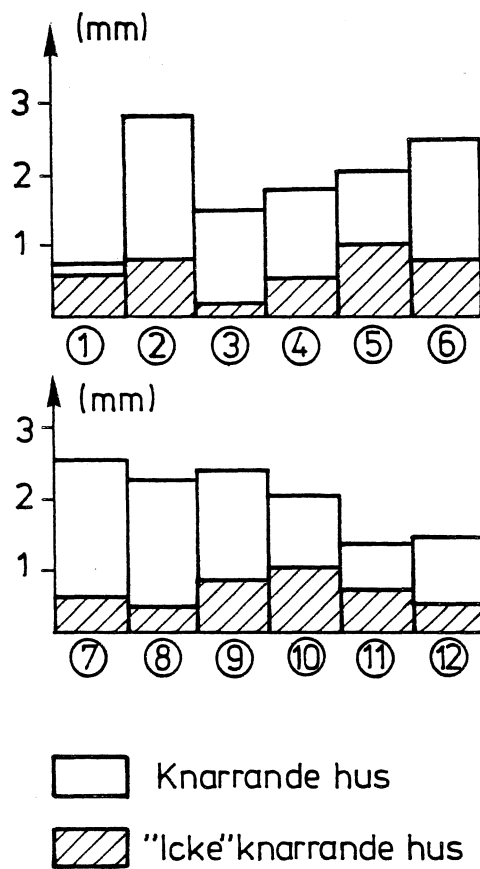


Fig 5.4 Rörelsernas storlek.

Försöket visar klart och tydligt att ju mer golvet rör sig desto mera knarrar det. En förklaring till att det knarrade mera i det ena huset är att i detta bodde en familj där frun arbetade hemma om dagarna, medan det bodde ett ungt par som båda förvärvsarbetade i det andra. Belastningsfrekvensen var betydligt högre i det knarrande huset och inom snar framtid så bör båda husen knarra lika mycket.

6. NORMER

Det finns tre publikationer som kan innehålla regler eller anvisningar för flytande golv, Svensk Byggnorm (SBN), Allmän Material- och Arbetsbeskrivning för Hus-byggnadsarbeten (HusAMA) samt Råd och Anvisningar till HusAMA (RA). Det är endast SBN som utgives av Statens Planverk, medan de två andra publikationerna utges av Svensk Byggtjänst.

För att få en uppfattning om problemet knarrande golv, har vi tagit ut de punkter och avsnitt i varje publikation som kan tänkas beröra det.

SBN anger att "styvheten hos ett bjälklag godtas ifråga om krav på frihet från besvärande svängningar, om nedböjningen hos en enskild bjälke i träbjälklaget inte överstiger 1,5 mm under inverkan av en kortvarig punktlast på 1 kN."

HusAMA föreskriver att:

- Cellplastvaror, som krymper mer än 2 % efter inbyggnad i konstruktion, skall vara falsade.
- Cellplastvaror skall vara märkta med tillverkningsdatum och uppgift om de skall skyddas mot solljus.
- Cellplastskivor som underlag för spånskivor, lamellbrädor o d i golvkonstruktioner skall ha en tjocklekstolerans av  $\pm 0,5$  mm.
- Utlagd isolering får under byggtiden inte belastas eller beträdas så att skador uppstår.
- Isolervaran skall monteras med anslutning mot angränsande byggnadsdel och mot angränsande isolervara. Enstaka fogar med bredd upp till 5 mm tillåts när varan läggs på mark och upp till 2 mm i övriga fall.
- Falsar skall skäras bort vid anslutning mot andra konstruktioner eller hinder så att isoleringen ansluter med hela sin tjocklek.

- Vid läggning av skivor som undergolv inomhus skall material, underlag och arbetsställe vara uppvärmt till minst 15<sup>o</sup> C. Relativa luftfuktigheten får vara högst 60 %.

- Spånskivor till undergolv på isolerskivor. Spånskivor skall vara lägst klass 2 enligt SIS 234801. Skivorna ska läggas med förskjutna skarvar och limmas i falsarna med vinyllim eller likvärdigt lim. Limmängden skall vara sådan att ett mindre överskott pressas fram i skarven vid hopfogningen. Under limmets bindningstid skall limningstryck åstadkommas. Golvet får inte trafikeras medan limmet binder.

Det är endast RA som klart och tydligt pekar på problemet knarrande golv. Där står att läsa "ange mellanlägg mellan isolerskiva och spånskiva för att undvika knarr", och detta är först i den senaste upplagan RA 83.

En speciell läggningsanvisning för golvtypen har tagits fram av Svenska Spånskiveföreningen. I den sägs följande. Underlaget skall avjämnas till minst klass 2, enligt Hus AMA tabell Ell. Vidare skall bärande väggar föras ned till bärande betong. Endast obelastade väggar får placeras på spånskivegolvet. Förstärkningar av golvet utföres vid trappanfang och tunga installationer. Ångspärren placeras närmast under spånskivan eller på det avjämnade underlaget. Om ångspärren placeras på underlaget läggs ett mellanlägg av ventilerad plastväv eller grålumpapp mellan spånskiva och cellplast.

Som förslag från vår sida, hävdar vi att om man skall komma bort från problemet knarrande golv, så måste ett mellanlägg appliceras mellan spånskiva och cellplast.

Utan att ha gjort alltför djupgående försök så rekommenderar vi ett finmaskigt, fiberarmerat plastnät som mellanlägg.

Alternativet till plastnätet är att respektive materialleverantör kontrollerar hur friktionskoefficienten förändras vid långtidsförsök. Om vilofriktionen sjunker, kan materialkombinationen vara lämplig.



## 7. ÅTGÄRDER

I princip kan vi tänka oss tre alternativ för att få tyst på de knarrande golven.

1. Förhindra rörelsen
2. Sänka kvoten  $\mu_v / \mu_r$
3. Höja vilofriktionen

Att helt förhindra rörelsen tycks svårt med de material vi har i golven. Däremot kan ett rörelseupptagande skikt mellan spånskiva och cellplast fungera utmärkt.

En sänkning av kvoten  $\mu_v / \mu_r$  innebär att cellplastkulornas återgående rörelse bromsas. Helst så mycket att inga vibrationer uppstår. Idealiskt är att  $\mu_v / \mu_r = 1$  dvs. rörelsefriktionen är lika stor som vilofriktionen. En sänkning av kvoten ger ett minskat knarr men helt tyst blir det först då  $\mu_v / \mu_r = 1$ .

Höjning av vilofriktionen innebär att  $\mu_v$  ökar så mycket att cellplasten följer spånskivan i hela rörelsen.

### 7.1 Tre förslag till åtgärder

Med utgångspunkt från de tre åtgärdsalternativen som nämnts tidigare har vi tagit fram tre förslag. De bygger alla på att spånskivan lyfts och en vätska sprutas in med hjälp av en pump och en kompressor.

#### 7.1.1 Hårt vax

Det första alternativet är ett polyetenbaserat vax. Vaxet finns dispergerat i vatten och då vattnet avdunstar bildas en hård och reptålig yta med gynnsamma friktionsegenskaper. Kvoten  $\mu_v / \mu_r$  sänks från 2 till 1.15. Subjektivt bedömt minskar knarret utan att försvinna helt. Ytans slittålighet testades i en provbänk där spånskivan ges fram och återgående rörelser över cellplasten. Efter 100.000 rörelser, vilket bör motsvara omkring 5 års förslitning i ett golv, märktes ingen ökning av knarret. För att undvika att spånskivan klistras mot

cellplasten bör vaxet få torka innan golvet sänks.

### 7.1.2 Mjukt vax

Det andra alternativet är ett vax baserat på fettsyra-derivat. Konsistensen kan jämföras med vaselin.  $\mu_v / \mu_r$  sänks till 1 och knarret försvinner helt. Slittålligheten testades under samma betingelser som ovan. Tyvärr fanns en svag tendens till förslitning efter 100.000 rörelser i provbänken. På grund av vaxets höga smältpunkt (ca 70<sup>o</sup>) och molekylkedjornas storlek, är risken att vaxet sugts upp i cellplast eller spånskiva mycket liten.

### 7.1.3 Lim

Lim är det tredje alternativet. Limmet är baserat på etylen-vincylacetat. Limfogens skjuvhållfasthet har uppmätts till ca 300 kPa. Aktuella skjuvpåkänningar i golven ligger enligt datorberäkningar under 30 kPa.

Då limmet torkar bör golvet belastas för att ge maximal kontaktyta och en hållfast fog.

Risken med limalternativet är att cellplastskivorna kan börja röra sig sinsemellan och därmed orsaka knarr.

## 7.2 Andra synpunkter

Eftersom alla tre alternativen innebär att vatten sprutas in i golven måste man försäkra sig om att inga fuktskador uppstår.

Torrvikten för 16 mm spånskiva är ca 10 kg/m<sup>2</sup>. För att få tillräcklig beläggning och spridning av vätskan krävs ca 0,2 l/m<sup>2</sup>. Vätskan innehåller 50 % vatten, vilket ökar fuktkvoten med 1 %. Normalt ligger fuktkvoten i ett spånskivegolv mellan 6 och 9 %. Fuktskador uppstår först då fuktkvoten uppgår till 16-18 %. Vår ökning är alltså relativt liten, speciellt med tanke på att en del av vattnet kommer att diffundera ned i cellplasten.

De tre vätskorna är väl beprövade inom industrin och innehåller inte lösningsmedel.

Bedömningen av långtidseffekterna är självfallet mycket osäker. Vi har endast kunnat undersöka långtidseffekterna med avseende på förslitning. Våra slutsatser grundar sig på att de accelererade försöken i provbänken ger ett verklighetstroget resultat.

De största problemen kan uppstå när man ska lyfta upp spånskivan från cellplasten. Eftersom man vid läggningen ska limma spånskivornas fogar med riklig mängd lim, har överflödigt lim runnit ned på cellplasten och klistrat blocken mot spånskivan. Den ideala spridningsbilden förändras därför. Å andra sidan behövs inte friktionsnedsättande vax mellan de ytor som redan är limmade fast till varandra.

### 7.3 En reparationsmetod

För att åtgärden ska bli så effektiv som möjligt flyttar man ut tyngre möbler och skåp som belastar golvet. Man placerar ut pluggar på golvet i rummet för att man skall kunna bedöma och se att man täcker hela ytan och för att inga onödiga hål ska tas upp. Uppskärning av mattan sker med ett snitt i vinkel varefter mattan viks undan. Man borrar ett 32 mm:s hål i spånskivan och en bit ner i cellplasten.

Med hjälp av den specialbyggda expanderlyften och en brygga lyfter man upp spånskivan ca 20 mm med två domkrafter.

Inuti lyften finns det roterbara munstycket med vilket man fördelar det friktionsnedsättande medlet. Tack vare ett högt tryck och en stor mängd luft så får man vätskan i dimform, vilket gör att den har lättare att fördela sig även vid små spalter mellan cellplasten och spånskivan.

En noggrann rengöring av spånskivan vid mattkanten gör att mattan kan limmas tillbaks och det enda som syns efter åtgärden är den blanka kemsvetsen, som gör att snittet blir vattentätt.

Åtgärden tar ungefär 1 timme per rum för två vana snickare.

Det som är positivt med metoden är att man inte behöver ta bort fasta inredningar och köksutrustning som t.ex. kyl och spis.

#### 7.4 I förebyggande syfte ...

Till sist de vanligaste sätten att förebygga golvknarr.

- Plastfolie eller lumpapp som placeras mellan cellplasten och spånskivan.

Metoden är teoretiskt riktig, för man får ett glidskikt mellan materialen. Dock finns det vissa saker man bör beakta och det är att inte lägga plastfolien ända ut till väggarna så att cellplasten och materialen i anslutning till den inte kan ventileras. Det har vid försök och i praktiken uppfattats vissa knäppningar när man har använt plastfolie som glidskikt. Orsaken till detta är oklar.

Lumpappen kan ha den nackdelen att när spånskivan glider över pappen så nöts den bort eller rullar upp sig i små strängar. I vilken utsträckning detta inträffar har vi ingen kunskap om.

Vi rekommenderar ett fiberarmerat finmaskigt nät, av den typ som används som skyddsnät på takstolarna när man lägger takbeläggning.

Nätet fungerar som glidskikt, har hög slitstyrka och kan ventileras. Det uppfyller därmed de krav man kan ställa på ett mellanlägg. Nätet har med framgång använts i praktiken vid ett flertal tillfällen.

8. ENKÄT

Som en del av uppdraget för Byggforskningsrådet skickade vi ut en enkät till 53 olika entreprenadföretag i syfte att utröna omfattningen av problemet och samla entreprenörernas syn på orsakerna till golvknarr. Vidare för att ge svar på vilka olika metoder som förekommer vid reparation av golven och för att sammanställa de metoder som brukas i förebyggande syfte.

Det var endast 22 företag som svarade och av dessa var det 13 som hade använt flytande golvkonstruktionen.

Nästan alla hade drabbats av knarr i varierande omfattning. Tillsammans hade de minst 750 knarrande hus. Vid en jämförelse mellan knarrande och icke knarrande hus visade det sig att ca 10 % av husen byggda före 1978 knarrade medan andelen efter 1978 var över 30 %.

Enkäten gällde framförallt småhus, men konstruktionen är vanlig även i andra byggnader t.ex. barnstugor, kontor, ålderdomshem och flerfamiljshus. Även här förekommer knarr i varierande omfattning.

Golvkonstruktionen i de knarrande husen varierade något. I vissa fall hade cellplasten lagts direkt på betongen, i andra hade en ångspärr placerats mellan cellplast och betong. Sandavjämning av betongplattan förekom i flera fall och i något fall hade plattan avjämnats med flytspackel.

Knarret uppstod vanligen ett halvår efter inflyttningen, i några enstaka fall tidigare.

En av frågorna i enkäten gällde möjliga orsaker till knarret. Frågan kan formuleras om till, vad orsakar rörelserna i golven? Det är nämligen med största säkerhet rörelser mellan cellplast och spånskiva som ger upphov till missljudet. En del möjliga orsaker nämndes.

- utmattning i cellplastens ytskikt
- ojämnheter i cellplasten
- krympning i cellplasten

- krypning i cellplasten
- låg densitet på cellplasten
- ojämn betongplatta
- skarvresning i spånskivan
- varierande styvhet i spånskivan

Samtliga dessa punkter har diskuterats och utretts i denna och tidigare rapporter, se litteraturförteckningen.

Det visade sig finnas ett antal olika metoder för åtgärdande av golvknarr. Vi presenterar dem kortfattat och lämnar några personliga synpunkter. De namngivna representanterna, för de olika byggföretagen, ställer välvilligt upp med fler upplysningar om det skulle behövas.

- Remsor av board, plastlaminat eller plåt skjuts in mellan cellplast och spånskiva. Längden på remсорna är ca 2,5 m. Tjockleken varierar mellan 0,7 mm och 3,2 mm, bredden mellan 70 mm och 150 mm. För att kunna få remсорna på plats går man antingen in vid tröskeln eller från angränsande rum. Om man utnyttjar tröskeln så får man ett solfjädersformat system på remсорna. Detta gör att ju längre in från tröskeln man tittar desto mer ökar andelen area som inte är täckt av remсорna. Är remсорna tunna och smala finns risken att man pressar ner remсорna i cellplasten och knarr uppstår vid de icke täckta ytorna. Metoden har använts i minst 200 hus för en kostnad mellan 25 kr/m<sup>2</sup> och 40 kr/m<sup>2</sup>.



Referens: Johan Sundberg Kullenbergbyggen AB,  
Stockholm  
tel 08-63170

se även 7.4 I förebyggande syfte ...

- Injektering av lim mellan cellplast och spånskiva. Man borrar med ett ca 12 mm stort borr upp hål med ett c-c avstånd på ungefär 1 m och pumpar ner en blandning av betong och plast. På detta viset täcker man hela ytan och fyller upp mellanrummet mellan cellplasten och spånskivan. Tyvärr hade metoden i början en stor nackdel och det var att man tillför spånskivan en stor mängd vatten. Fuktkvoten i spånskivan kunde ibland vara uppe i 20 %. Detta lär man ha löst nu och metoden fungerar tillfredsställande. Det har åtgärdats över 270 hus med metoden till en kostnad något över 100 kr/m<sup>2</sup>.

Referens: Jan Ekblad SCG, Malmö  
tel 040-144000

- Insprutning av glidskikt av paraffin mellan cellplast och spånskiva. Metoden har beskrivits i förgående. Den har en liten nackdel och det är att utrymmet mellan spånskivan och cellplasten inte fylls upp utan man har kvar svikten på golvet. Dock upplevs inte svikten så mycket när knarret är borta. Metoden har använts i ca 250 hus till en kostnad av 100-150 kr/m<sup>2</sup>.

Referens: Laszlo Badics Björnstorps Byggservice  
Lund  
tel 046-55077



## 9. RESULTATDISKUSSION

Trots en längre tids arbete med problemet knarrande golv så tycker vi att det fortfarande är mycket som är oklart. Problemet är väldigt komplext eftersom många olika faktorer påverkar om ett golv knarrar eller ej.

Ur akustisk synpunkt är det fortfarande inte bevisat om det är mellan olika cellplastkulor eller mellan spånskivan och cellplasten som knarret uppstår. Troligen är knarrljudet en kombination av båda men med en dragning åt att det är spånskivans träfibrer som får cellplastkulorna att vibrera.

En liten antydning till att en spånskiva med en finare ytstruktur inte knarrar lika mycket som en med grövre, har kunnat skönjas. Detta kan förklaras med att en finare struktur har lättare att slita ner cellplasten och bilda ett slipdamm som fungerar som ett glidskikt. I den grövre strukturen fastnar däremot cellplastdamm, vilket gör att friktionskoefficienten ökar.

Frekvensfördelningen i ljudet som bildas när man gnider en cellplastkula mot en annan, är mera lik ett verkligt knarrande golvs, än om man tar en cellplastkula och gnider den mot en spånskivebit. Skillnaden är dock inte stor.

En minskning av formaldehydhalten i spånskivan har medfört en ökad hartsmängd i ytan, vilket i sin tur har medfört att kvoten mellan vilofriktionen och rörelsefriktionen har ökat. Om detta har haft en avgörande betydelse vet vi tyvärr inte. Spånskivor, som tillverkats före 1978, då man säger sig ha minskat formaldehydhalten, har ej kunnat anskaffas.

När materialkombinationen är olämplig så är det svikten i golvet och därmed de horisontella rörelserna som avgör hur mycket ett golv kommer att knarra. Svikten beror på de ingående materialens elasticitetsmodul och vi har sett att dessa varierar mycket. Om spånskivans E-modul är låg så fördelar den inte lasten som avsetts. Om samtidigt cellplastens E-modul är låg, får den en stor kvarstående deformation, vilket gör att spånskivan måste göra en vertikal rörelse nästa gång den blir belastad.

L I T T E R A T U R

Badics, L & Berglind, O, 1982, Knarrande golv. Delrapport av examensarbete. (Intern rapport, avd Byggnadsmateriallära, LTH). LUND

BASF, 1971. Technische Information. Die Nachschwindung von Schaumstoffblöcken und -platten aus Styropor.

BASF, 1975. Technische Information. Alterung von Styropor-schaumstoffen.

Bengtsson, Tean & Folkeson, Maria, 1982. Knarr i spånskivegolv. (Intern seminarierapport, avd Byggnadsmateriallära, LTH). LUND

Bengtsson, Bengt, 1979. Trämaterialet spånskivor i undergolvs-konstruktioner. Golv till tak, 2/79, sid 6-7.

Erlandsson, L & Roszak, W, 1980 a. Spånskivegolv med knarr. (Rapport för PREFABHUS, Umeå. Avd Byggnadsmateriallära, LTH). LUND

Erlandsson, L, & Roszak, W, 1980 b. Knarr vid flytande golv av spånskiva på cellplastskivor. (Rapport åt ASSI; Laxåverken. Avd Byggnadsmateriallära, LTH). LUND

Erlandsson, L, 1980 c. Fogstyvhet hos spånskivegolv. Mätningar på prover från 6 hus med knarrproblem. (Rapport åt PREFABHUS, Umeå. Avd Byggnadsmateriallära, LTH). LUND

Erlandsson, L & Roszak, W, 1980 d. Knarr i spånskivegolv på cellplastisolering. Jämförande undersökning av material. (Rapport för SCG, Malmö. Avd Byggnadsmateriallära LTH). LUND

Nilsson, L-O, 1979. Flytande golv på styrencellplast. Skarvresning hos spånskivor. (Rapport åt Svenska Spånskive-föreningen. Avd Byggnadsmateriallära, LTH). LUND

Petersson, P-E, Fogstyvhet hos spånskivor på flytande golv. Limkvalitetens inverkan. (Rapport åt Svenska Spånskiveföreningen. Avd Byggnadsmateriallära, LTH). LUND

Smedberg, Olle, 1979. Flytande golv på spånskivor: Tänk på principen, fukten och golvbeläggningen för ett gott resultat. Golv till tak, 2/79 sid 6-7.

#### REFERENSER

Olika delar av problemet har mera utförligt diskuterats med följande personer:

- Ingenjör Lars Hedström, tidigare Svenska Spånskiveföreningen. STOCKHOLM.
- Professor Sven Lindblad, Avd f Byggnadsakustik, LTH, LUND.
- Adj professor Sven Åke Lundgren, Inst f Konstruktionsteknik, LTH, LUND.

Slutsatser och framförda påståenden är emellertid helt författarnas egna.



TEKNISKA HÖGSKOLAN  
I LUND

Byggnadsmateriallära

Bilaga 1

ANGÅENDE PROBLEMET " KNARRANDE " GOLV.

*Knarr i flytande golv av spånskivor på styrencellplast har under senare tid blivit ett stort problem. På uppdrag av Byggforskningsrådet utför avd. Byggnadsmateriallära vid Lunds Tekniska Högskola en undersökning i syfte att utröna omfattningen av och orsakerna till problemet. Vidare görs en sammanställning av vilka olika reparationsåtgärder som vidtagits och resultaten av dessa.*

*Vi vore mycket tacksamma om Ni kunde delge oss Era erfarenheter genom att besvara följande frågeformulär.*

*Med Vänlig Hälsning*

*avd. Byggnadsmateriallära, LTH*

*Laszlo Badics*

*Olle Berglind*

Hur stor är Er omsättning på nybyggnads sidan?

.....

Vilken typ av byggnader inriktar Ni Er på och hur fördelar sig dessa över omsättningen? (Småhus, flerfamiljshus osv)

.....

.....

Hur många enfamiljshus har Ni byggt under:

1973-78 .....

1978-83 .....

I hur många av dessa använde Ni konstruktionen flytande golv av cellplast och spånskiva?

1973-78 .....

1978-83 .....

I hur många hus har det uppstått " knarr " ?

1973-78 .....

1978-83 .....

I vilken omfattning har konstruktionen använts i andra byggnader än enfamiljshus och i vilken omfattning har " knarr " uppstått?

.....

.....

.....

Var i Sverige är dessa fastigheter belägna?

.....  
.....  
.....

Hur är golvkonstruktionen uppbyggd i de "knarrande" husen?

.....  
.....  
.....

Vid vilka fabrikat, dimensioner och materialkvalitéer har "knarr" uppstått?

.....  
.....  
.....

Hur lång tid efter inflyttningen uppträder "knarret"?

.....

Vad tror Ni att "knarret" beror på?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Vilka åtgärder har vidtagits för att minska eller att eliminera " knarret " ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Vilken eller vilka är de mest lyckade åtgärderna?

.....  
.....  
.....

Hur många fastigheter har åtgärdats enligt det bästa alternativet?

.....

Hur mycket kostar åtgärden, per kvadratmeter golvyta eller per lägenhet?

.....

Hur garderar Ni Er mot " knarr " vid nyproduktion?

.....  
.....

