

# NEDBØYNING AV TREBJELKELAG

*Av Henry Hansen*



Norges byggforskningsinstitut

Postboks 123 Blindern, 0314 Oslo

OSLO 1958

# Nedbøyning av trebjelkelag

Av sivilingeniør Henry Hansen,

Norges byggforskningsinstitutt

DK 69.025.26 : 624.044

Det er to krav man stiller til et bjelkelag: Det skal være sterkt nok og stivt nok. Den nødvendige styrke er lett å beregne etter bygningsforskriftene. Her har man gitt både den beregningsmessige nyttelast og de tillatte spenninger for trebjelkene.

Man hører ofte påstått at husene bygges for sterke. Vanligvis klages det over at den beregningsmessige nyttelast er for stor. Litt krast sier man det slik at husene bygges for elefanter og ikke for mennesker. I lang tid forlangte man at bjelkelag i bolighus skulle regnes for en nyttelast på 200/kg m<sup>2</sup>. Senere har man foreskrevet nyttelasten 150 kg/m<sup>2</sup> for små hus. Det kan være spørsmål om ikke også denne nyttelast er for stor. Hvor stor den maksimale nyttelast kan være er lite undersøkt, da det er svært vanskelig å foreta slike undersøkelser på en måte som ikke kan kritiseres.

Vi gjengir i tabell I noen tall fra en undersøkelse utført i Sverige av tekn. dr. Arne Johnson.

Tabell I.

Nyttelast på bjelkelag i bolighus	Personer kg/m <sup>2</sup>	Mobler kg/m <sup>2</sup>	Nyttelast kg/m <sup>2</sup>
<i>Norske bygningsforskrifter.</i>			150
<i>Johnsons undersøkelser.</i>			
Maksimallast av personer i leiligheter i en 10-årsperiode.			
Middel av 219 leiligheter ....	30		
Maksimum .....	128		
Last av møbler.			
Middel fra 139 leiligheter ....		25	
Maksimum .....		ca 100	
<i>Norske undersøkelser.</i>			
Maksimallast av personer i leiligheter i løpet av en 2—3-årsperiode.			
Middel av 15 leiligheter ....	57		
Maksimum .....	84		

Man ser her at de midlere maksimallaster er relativt små; men i enkelte leiligheter kan det forekomme laster som er ganske store. En liten undersøkelse som er foretatt av NBI, viser noe høyere

Foredrag holdt på N.B.I., Blindern, i instituttets foredragsserie høsten 1957.

gjennomsnittlige laster enn de som er angitt av Johnson. Regner man i hele husets levetid, vil det nok forekomme høyere laster enn angitt både av Johnson og NBI. En svak reduksjon av nyttelasten til f. eks. 120—130 kg/m<sup>2</sup> kunne kanskje tilrådes. Den økonomiske vinning ved en slik lastreduksjon ville imidlertid bli liten, da det som regel er stivheten som bestemmer bjelke­dimensjonene i et bjelkelag.

De aller fleste land har bestemmelser om trebjelkelags stivhet, men svært ofte er det uhyre vanskelig å finne begrunnelsen for slike krav. Dette kommer av at ved fastsettelsen av forskrifter bruker man andre lands forskrifter som mønster, og begrunnelsen går da ofte tapt.

Går man tilbake i historien, finner man at en av de første som fremkom med regler for trebjelkelags stivhet var skotten *Tredgold*, som i 1820 skrev en bok om tømmerarbeider. *Tredgold* sier i sin bok, at en bjelke i et trebjelkelag ikke må bøye seg med mer enn 1/480 av spennvidden når den blir belastet med en enkel-last på 750 lbs (340 kg) på midten.

Senere er man gått over til å beregne nedbøyingene av trebjelkelag når dette er belastet med en jevnt fordelt last. Jeg kjenner ingen forskrift som holder fast ved prinsippet om enkel-last. Hvorfor man i sin tid forlot nedbøyingberegningen for enkel-last og gikk over til jevnt fordelt last, er ikke klart. Kanskje skyldes det at beregningene ble lettere å gjennomføre, kanskje skyldes det at man fant at jevnt fordelt last ga et bedre bilde av stivheten.

På fig. 1 er vist en sammenligning mellom en rekke forskrifter som gjelder idag. Man ser at alle forskrifter idag setter krav om at forholdet  $f/l$  ikke må være større enn en viss verdi for jevnt fordelt last. Ellers er ulikhetene store. Norge er av de land som foreskriver at nedbøyningen skal regnes for total-last (egenvekt + nyttelast). De fleste andre land foreskriver at nedbøyningen skal regnes bare for nyttelasten. Skal man kunne sammenligne de forskjellige krav til bjelkelagsstivheten, må bjelkelagene regnes for samme last.

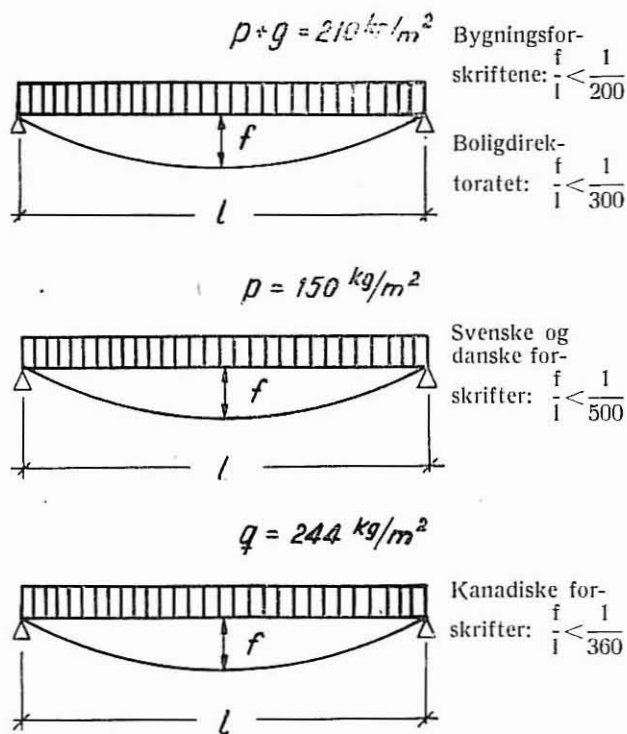


Fig. 1. Sammenstilling av forskjellige forskrifters krav til antatt belastning og nedbøyning.

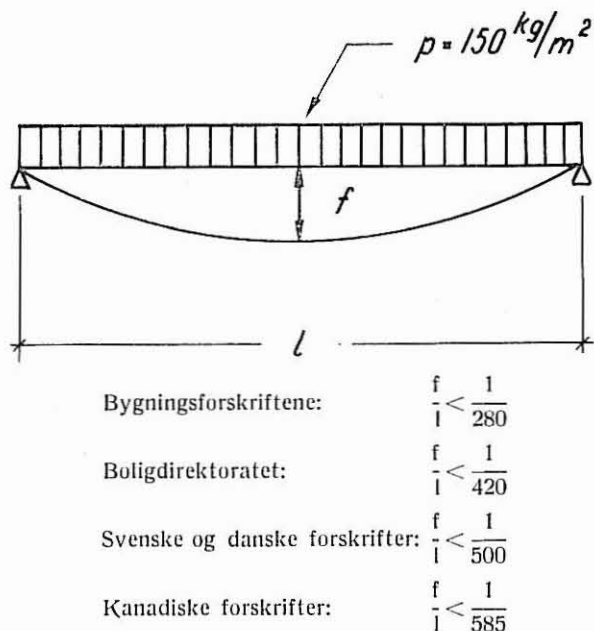


Fig. 2. Forskjellige forskrifters tillatte nedbøyning ved samme belastning.

I fig. 2 har man angitt kravene om bjelkelaget ble belastet med  $150 \text{ kg/m}^2$ .

Av denne sammenligning synes det å fremgå at Norge er et av de land som setter de minste krav til bjelkelagsstivheten. I USA er det dog bygget bjelkelag med  $f/l = 1/240$  for en last  $147 \text{ kg/m}^2$ .

Det spørsmål som nå reiser er: Hvordan skal man formulere kravet til bjelkelagsstivheten, og hvor strengt bør dette kravet være? Er det riktig

som forskriftene angir å sette en maksimalgrense for forholdet  $f/l$  når bjelkelaget belastes med en viss jevnt fordelt last, og skal den jevnt fordelte være nyttelast eller total-last? Kan det tenkes at stivhetskravet kan formuleres på en bedre måte enn den forskriftene angir?

Skal man kunne svare på disse spørsmål er det nødvendig å se litt nærmere på hvorfor man stiller krav til bjelkelagsstivheten. Man kan da stille opp følgende krav eller begrunnelser for at bjelkene må være stive:

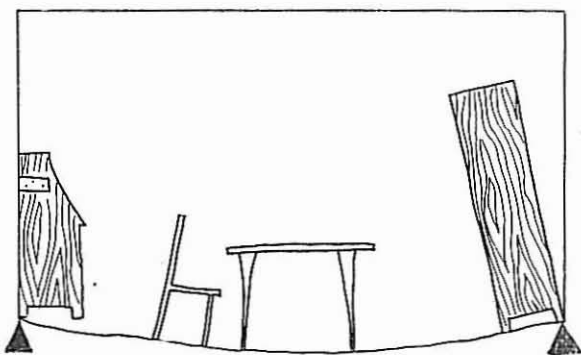
1. Estetiske krav
2. Praktiske krav
3. Ødeleggelser av bygningsdeler
4. Rystelser

For å unngå misforståelser vil jeg med en gang presisere at det som regel er rystelsene som setter en grense for hvor mykt et bjelkelag kan være. Jeg har aldri hørt klager over tregulv ut fra punktene 1, 2 og 3, men selvsagt kan også estetiske, praktiske og andre krav sette en grense for mykheten av bjelkelaget, og jeg vil derfor kort gjennomgå de ovenfor nevnte punkter litt nærmere.

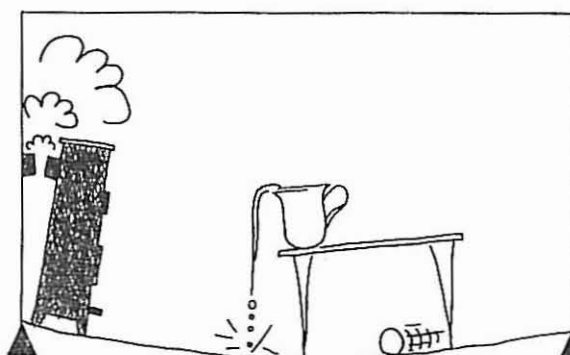
1. *Estetiske krav* er vanskelig å formulere. Det er her spørsmål om stygt og pent. Jeg har for-gjeves spurt arkitekter ved hvilken nedbøyning et gulv blir stygt. Rent generelt kan man imidlertid fastslå følgende:

Skal et gulv virke stygt p. g. a. nedbøyningen, må nedbøyningen være i en viss tid. En kortvarig nedbøyning av gulvet vil knapt støte noens estetiske følelser. Hvis gulvet var riktig opprettet, slik at det var plant ved egenvektlast, skulle man således bare behøve å regne nedbøyningen for en sterkt redusert nyttelast. Brukes det rå trelast, kan man få langtidsdeformasjoner av gulvet, og det er vel disse som er særlig aktuelle. Forsøk har vist at hvis man belaster en rå trebjelke (ca 30 % vann), så vil nedbøyningene øke til det firedobbelte av den øyeblikkelige nedbøyning i løpet av noen måneder. Enkelte land har tatt konsekvensene av dette. I Canada forlanges således at for rå trebjelke (green wood) skal nedbøyningen beregnes for 2 gange egenvekt + nyttelast.

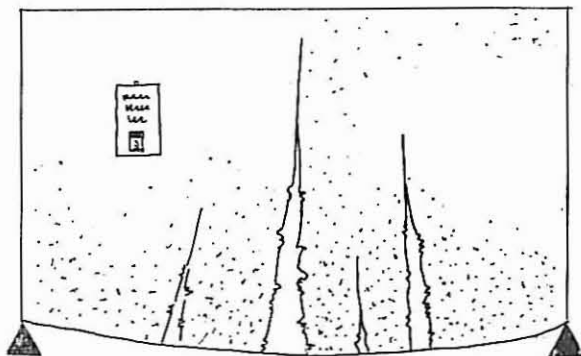
2. *Praktiske krav.* Her gjelder det samme som det som er sagt om de estetiske krav. Ofte er det slik at man blander sammen de estetiske og de praktiske kravene. Når det gjelder de praktiske krav er også treets langtidsdeformasjon av avgjørende betydning. Det er imidlertid sjelden å høre folk klage over at gulvet heller. At gulv ikke er helt vannrette kan ha så mange grunner, og en viss



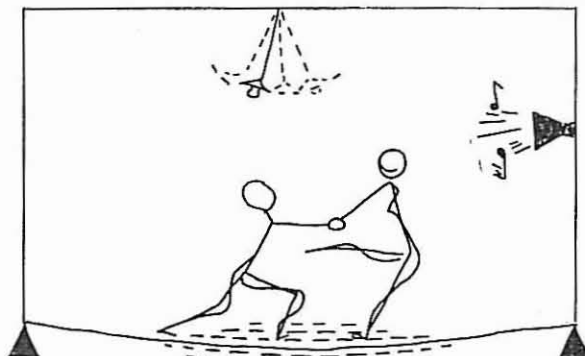
Estetiske krav.



Praktiske krav.



Ødeleggelse av bygningsdeler.



Rystelser.

Fig. 3. Fire forskjellige årsaker til at det må stilles krav til bjelkelags stivhet.

skjevhet blir vanligvis akseptert. Jeg skulle anta at en helling  $1/100$  kan aksepteres helt inne ved veggen (ved bjelkeoppleggene). Dette vil tilsvare  $f/l = 1/320$ . Går man ut fra at gulvet er ordentlig opprettet, skulle man beregne nedbøyningen bare for egenvekt.

3. *Ødeleggelser av bygningsdeler* kan inntreffe hvis bjelkelaget bøyer seg for mye ned. Ødeleggelser av vegger p. g. a. at bjelkelaget har bøyet seg for mye ned har man vesentlig hatt ved murvegger i betongbygg. Trevegger er mer myke og vil tåle større nedbøyning enn murveggene. Vanligvis behøver man derfor ikke å frykte ødeleggelser av veggene i et trehus.

Hvis man bruker et bjelkelag med pusset himling, så kan det være fare for at den kan sprekke når bjelkene bøyer seg. I USA, hvor pusset himling er ganske alminnelig, har man undersøkt dette nærmere. Det fremgår av denne undersøkelsen at sprekkdannelsen i høy grad er avhengig av hvordan det pussbærende element er festet til bjelkene. Er det pussbærende element helt stivt forbundet med bjelkene, f. eks. gipsplater limt til bjelkene, så vil pussen virke som en del av bjelken (virke som flens i bjelken), og nedbøyningene må da være meget

små hvis pussen ikke skal sprekke.

Når det gjelder ødeleggelse av andre bygningsdeler p. g. a. bjelkelagets nedbøyning så er det, forutsatt tørre materialer, nedbøyningen p. g. a. nytte-lasten som er avgjørende. Nedbøyning p. g. a. egenvektslasten har jo bjelkelaget allerede fått når lettvegger settes opp og himlingen pusses. Ved rå trelast kan også bildet her bli et annet p. g. a. langtidsdeformasjonene. Langtidsdeformasjonene er imidlertid ikke så farlige her, idet både puss og lettvegger vil tåle større deformasjoner når disse kommer langsomt.

4. *Rystelser*. Som nevnt foran er rystelsene den ting som i høy grad bestemmer hvor fornøyd folk vil være med gulvets stivhet. I den forbindelse kan det stilles mange spørsmål, f. eks. hvordan påvirker gulvets stivhet rystelsene, og hvilke rystelser er folk villig til å akseptere?

I Tyskland ble det i 1931 utført noen forsøk for å klarlegge hvor følsomme menneskene var overfor rystelser. Resultatet av disse undersøkelsene er gitt på fig. 4.

Vi ser av denne figur at hvis  $a \cdot f < 50$  (a er amplitude i  $\mu$  og f er svingninger pr sek), var svingningene ikke merkbare.

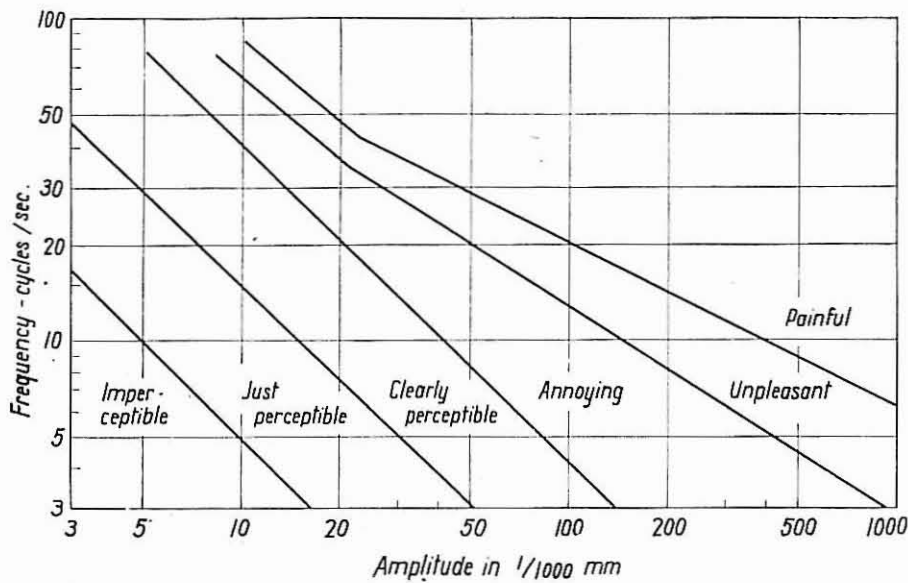


Fig. 4. Resultater av tyske undersøkelser.

Det er forskjellige grader av irritasjon over rystelsene, og hvis  $(a \cdot f)^2 > 39\,000$ , så fremkalte svingningene smerter. Ved de tyske forsøkene ble forsøkspersonen utsatt for udempede rystelser. De rystelser man har i et bjelkelag er i høy grad dempede, og dette gjør en stor forskjell. En direkte sammenligning er derfor ikke mulig. Av de tyske forsøkene kan man imidlertid slutte at når produktet av frekvens og amplitude når en viss størrelse, så vil folk begynne å klage over rystelser.

### Utførte forsøk

For å skaffe nærmere greie på hvordan et bjelkelag oppfører seg under belastning, ble det foretatt en rekke forsøk. Ved forsøket bygget man et prøvebjelkelag (fig. 5). Dette ble lagt opp på bukker

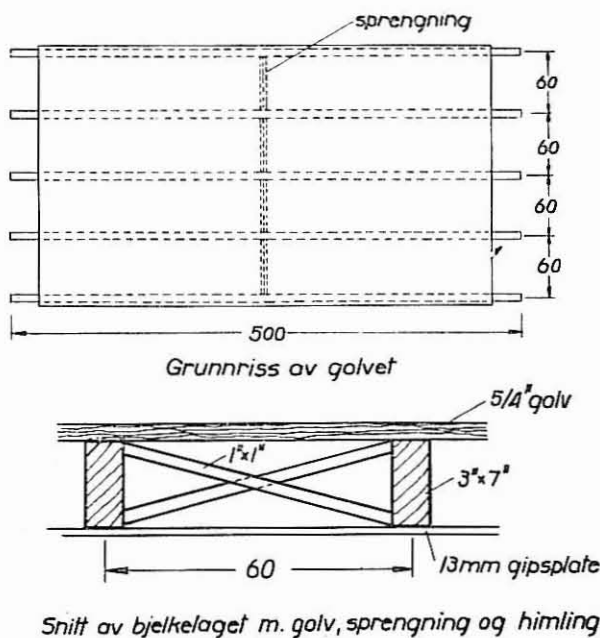


Fig. 5. Utførelse av prøvebjelkelag.

(fig. 6) og man plasserte måleutrustning slik at man kunne lese av nedbøyningene.

Det første man undersøkte var om et bjelkelag ble stivere når man spikret gulv på bjelkene. Det kunne jo tenkes at gulvbordene ville virke som flensen i en T-bjelke. Man fant imidlertid ingen virkning av gulvbordene. Nedbøyningen ble den samme enten man hadde bare bjelkene eller bjelkene med gulvbord.

Det er jo så at rystelser som regel frembringes av en enkel-last, en person som går, danser eller hopper. Den nedbøyning denne person frembringer, er det samme som svingningsamplituden. Nedbøyningen for enkel-last er således en karakteristisk egenskap ved bjelkelaget og — det skulle det senere vise seg — en avgjørende egenskap. Man var således interessert i å vite nedbøyningen for enkel-last, og resultatet av disse målinger er vist i fig. 7. Som man kunne vente fordelte lasten seg bedre på de forskjellige bjelker jo stivere tverrforbindelsen mellom bjelkene var. Som et resultat av disse målinger kan man si at sprengning eller kryssavstivning viste seg å være lite effektiv som lastfordeler. Dette er også i høy grad blitt bekreftet ved lignende amerikanske undersøkelser. Videre ser man at spikret gulv fordeler lasten langt bedre enn løst gulv. Dette er viktig, da det sier oss at ved løst eller flytende gulv bør man ha stivere bjelker enn ved spikret gulv.

På grunnlag av de forsøk som ble utført, forsøkte man å beregne lastfordeling i et bjelkelag. For å lette beregningen gikk man ut fra at den nedadrettede last på nabobjelkene var sinusformet. Ved å sette opp ligningene for bjelkenes og gulvbordenes deformasjoner fikk man en rekke ligninger, og ved å eliminere de statisk ubestemte størrelser fikk man da et uttrykk for bjelkelagets lastfordelende

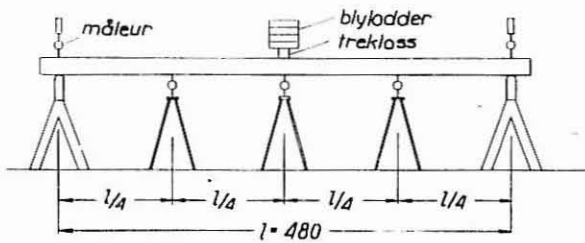


Fig. 6. Anordning ved laboratiemessig prøving av bjelkelag.

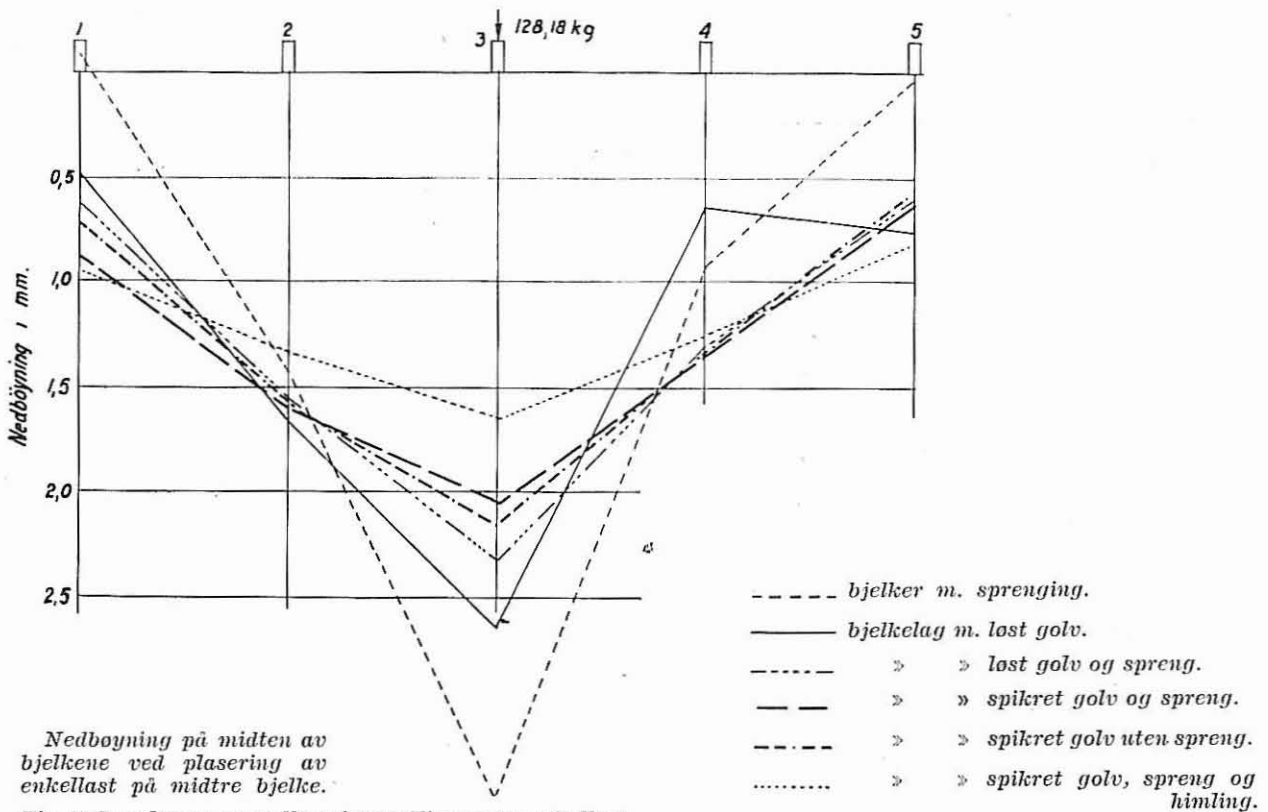
evne. Som ventet er lastfordelingen avhengig av forholdet mellom gulvbordenes og bjelkenes stivhet.

Når man festet himling til bjelkelaget, stemte ikke den nedbøyning man fant ved forsøk med den man beregnet. Ved å anta at gulvbord og bjelker til en viss grad var fast forbundet, altså at gulvbordene til en viss grad var innspenst i bjelkene, fikk man igjen noenlunde overensstemmelse mellom beregning og forsøk. Når det var himling kunne bjelkene ikke vri seg, og de kunne følgelig ta opp et visst vridningsmoment. Ved forsøk kom man til at innspenningsgraden mellom bjelke og bord var ca 0,5. For vanlige gulv kan man kanskje sette innspenningsgraden til 0,4. Dette kan synes å være en stor innspenningsgrad, når man tenker på at hvert gulvbord er festet bare med en spiker; men man må huske på at lastene er svært moderate.

For å få greie på hva folk synes om stivheten til forskjellige bjelkelag, ble prøvegulvet rigget til slik

at det skulle illudere et rom (fig. 8). Ved å flytte på lektene på gulvet kunne man få til forskjellige spennvidder. En rekke personer fikk så gå på gulvet og uttale seg om stivheten. Man innførte et karaktersystem hvor 1 betegnet tilfredsstillende, 2 tvilsomt og 3 utilfredsstillende. På grunnlag av de gitte karakterer kunne man så regne ut en gjennomsnittskarakter for hver spennvidde. Imidlertid viste det seg at svært mange var i tvil og ga karakteren 2. For å få en oversikt over hvor mange % det var som ga karakteren 2, satte man denne % som funksjon av gjennomsnittskarakteren, og man fikk da den grafiske fremstilling som vist på fig. 9.

Imidlertid var man interessert i å vite hvor mange % som var direkte misfornøyd med gulvet, idet man gikk ut fra at de som var i tvil ikke var misfornøyde. Denne %-sats er det nå lett å beregne når man vet gjennomsnittskarakteren og hvor mange % som hadde gitt karakteren 2. I fig. er vist sammenhengen mellom gjennomsnittskarakter og % misfornøyde. Denne metode kan synes noe indirekte; men den er den sikreste måten å få frem % misfornøyde som funksjon av gjennomsnittskarakteren. Den mest direkte metoden ville uten tvil være å spørre forsøkspersonene direkte om de var fornøyd eller ikke. Dette ville imidlertid lede til at de som var i tvil ville bli tvunget til å gi et klart svar, og det ville være mer eller mindre tilfeldig om de sa at de var tilfreds eller ikke.



Nedbøyning på midten av bjelkene ved plassering av enkellast på midtre bjelke.

Fig. 7. Resultater av nedbøyningsmålinger for enkellast.

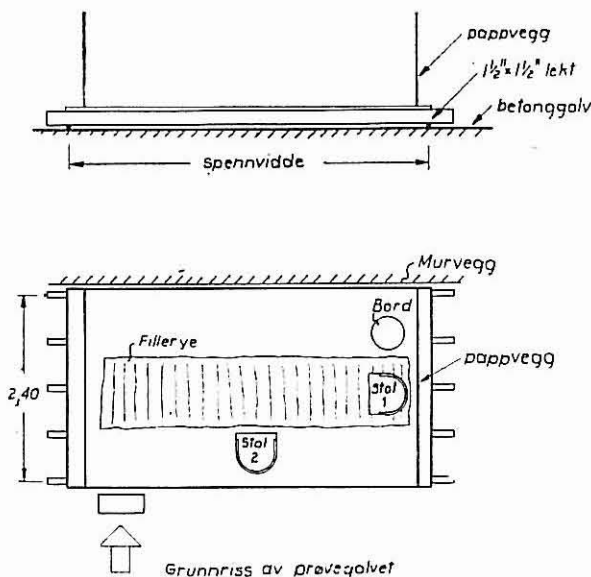


Fig. 8. Proverom på bjelkelaget i laboratoriet.

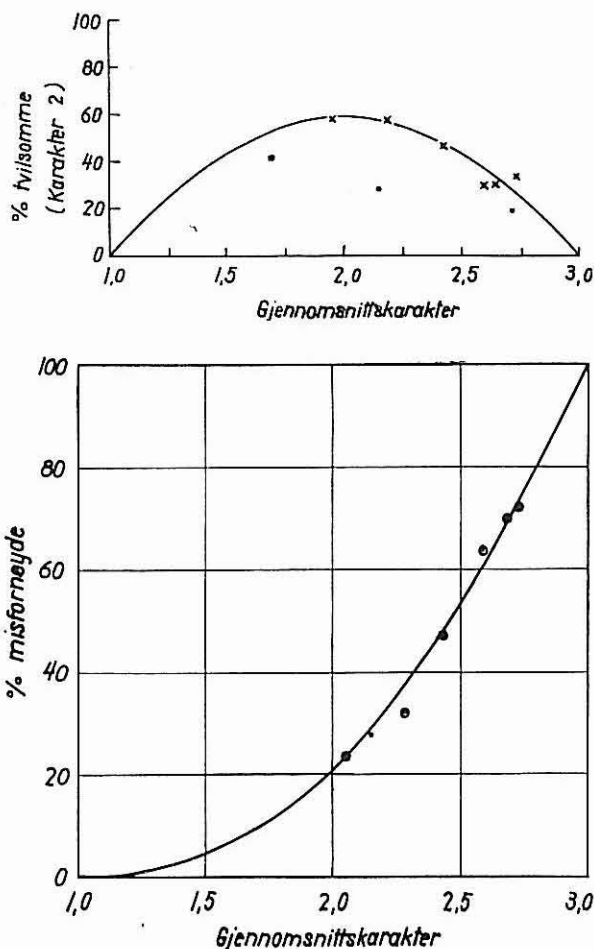


Fig. 9. (Øverst.) Prosentvis andel tvilsomme som funksjon av gjennomsnittskarakteren. (Nederst.) Prosentvis andel misfornøyd som funksjon av gjennomsnittskarakteren.

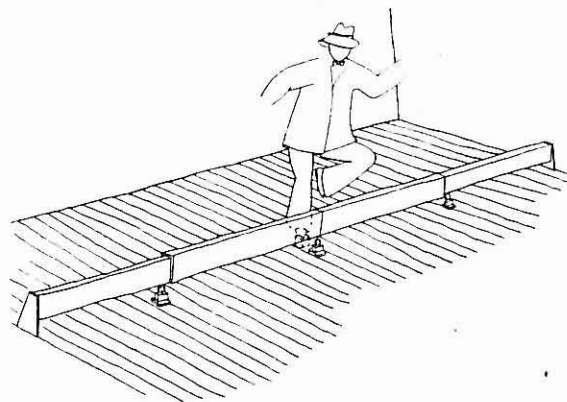


Fig. 10. Anordning med en person som bevegelig belastning ved nedboyningsmålinger på bjelkelag i bygninger.

Forøvrig viste det seg at en slik masseundersøkelse ofte har mindre verdi. Folk som har vanskelig for å ta standpunkt vil ofte bli påvirket av massepsykosen. Hvis første mann som prøver gulvet tydelig gir tilkjenne at gulvet er elendig, vil også de etterfølgende ha lett for å felle samme dom.

De bjelkelag som ble prøvet på denne måten var lette. Det er alminnelig antatt at tunge bjelkelag ikke ville ryste så ubehagelig som lette. Det er større masse som skal settes i svingninger, og både amplitude og frekvens vil bli mindre. Ved å måle svingningene fant man da også at amplitude og frekvens var mindre ved et tungt bjelkelag. Det tunge bjelkelaget ble frembragt ved å legge 600 kg blylodder på gulvet.

Endel av forsøkspersonene fikk også uttale seg om det tunge bjelkelaget, og det viste seg at de jevnt over var mer misfornøyd med det tunge bjelkelaget enn med et lett bjelkelag av tilsvarende stivhet. Dette synes å gå på tvers av alle teorier; men årsaken var tydelig at i det tunge bjelkelaget varte svingningene lengre enn i det lette bjelkelaget. Det er således tydelig at svingningene må vare en viss tid før de blir generende.

For å gi et sikrere grunnlag enn det man hadde fått ved disse forsøk, ble det foretatt en undersøkelse i ferdige hus. I alt ble 23 leiligheter undersøkt. Denne undersøkelse omfattet 2 ting:

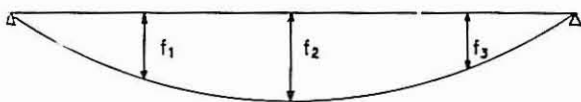
1. Undersøkelse av hvordan folk var tilfreds med bjelkelagene.
2. Undersøkelse av hvor stivt bjelkelaget var.

Undersøkelse av gulvets stivhet ble foretatt som vist på fig. 10. Ved at mannen flyttet seg fikk man et bilde av lastfordelingen på de forskjellige bjelker. Enten måleapparatet eller mannen ble flyttet til nabobjelken er likegyldig.

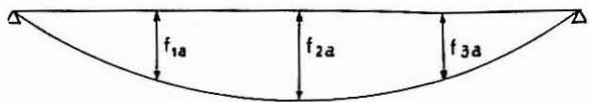
Det var 3 mann fra NBI som deltok i undersøkelsen, og disse skulle da si sin mening om

Tabell II.

Antall forsøk	Karakter			Nedbøyning f mm				Bjelker				Beregn.-messig nedb. i mm for 100kgenkeltlast $f = \frac{100 \cdot l^3}{48 E I} \cdot 10$	Nedb. etter forskrift $\frac{f}{l}$	
	NBI	Husmor	Mid-del	1	2	3	2 a	Type	Spenn cm	Dim.	Avst. cm			l
1	1	1.66	1.33	0.38	1.00	0.41	0.68	Fritt oppl.	460	3'' × 8''	60	5000	3.25	1/312
3	1	1.44	1.22	0.45	0.83	0.48	0.49	—, —	498	3'' × 8''	60	5000	5.18	1/245
1	2.33	2.33	2.33	0.70	1.12	0.88	0.85	Kontin.	445	2'' × 8''	60	3330		
2	1.0	2.66	1.83	0.47	1.01	0.48	0.57	—, —	498	2'' × 8''	60	3330	7.78	1/434
3	2.33	3.0	2.67	0.57	1.81	0.60	0.83	—, —	380	2'' × 6''	60	1410	8.16	1/420
2	1.16	1.00	1.08	0.265	0.57	0.31	0.28	Fritt oppl.	380	3'' × 8''	60	5000	2.3	1/550
3	1.56	1.33	1.44	0.43	0.78	0.41	0.38	—, —	423	2'' × 8''	60	3330	4.76	1/267
3	1.77	1.11	1.44	0.38	0.77	0.39	0.35	—, —	423	2'' × 8''	60	3330	4.76	1/267
2	2.33	1.5	1.92	0.53	0.99	0.66	0.66	—, —	354	68 × 145 mm	55	1725	5.34	1/238
2	1.67	1.67	1.67	0.41	0.91	0.41	0.36	—, —	360	66 × 163 mm	55	2380	4.10	1/337



Belastning midt på bjelken



Belastning midt på nabobjelken

Fig 11. Betegnelser på målte nedbøyninger som angitt i tabell II.

gulvets stivhet ved hjelp av det karaktersystem som er nevnt foran. Husmoren i hver av de undersøkte leiligheter skulle også karakterisere gulvet. Her kunne man ikke direkte be husmoren om å gi en karakter; men ved å stille husmoren en rekke spørsmål kunne man på grunnlag av svarene regne ut en karakter.

Resultatet av disse undersøkelser er vist i tabell II.

Hvis man setter karakteren som en funksjon av nedbøyningen for 100 kg enkel-last, får man den grafiske fremstilling som er vist i fig. 12. Man ser her at husmødrene er langt sikrere i sin dom enn de 3 mann fra NBI. Dette er kanskje ikke så merkelig, da husmødrene hadde todd i huset i lengre tid og gjort seg opp en mening om gulvet. De 3 mann fra NBI skulle derimot ta standpunkt til en rekke gulv i løpet av dagen.

Vi ser at man er kommet frem til at karakteren er en funksjon av nedbøyningen for enkel-last. Hvis det er så at det er rystelsene som er utslagsgivende for om gulvet er tilfredsstillende eller ikke, skulle man tro at spennvidden også hadde en viss innflytelse. Man satte derfor karakteren som funksjon av  $y^{plq}$ . Hvis  $q = -p$  så ville man få at gulvets godhet var avhengig av  $f/l$  hvor  $f$  var nedbøyningen for enkel-last. Hvis gulvet var helt stivt, altså ingen nedbøyning i det hele tatt, så måtte karakteren være 1, og var nedbøyningene uendelig store, måtte

karakteren nødvendigvis være 3. Vi kan derfor sette karakteren som en funksjon av  $y^{plq}$ .

Karakteren beregnes av ligningen:

$$K = 3 - 2e^{-ay^{plq}}$$

En regresjonsanalyse gir:

$$K = 3 - 2e^{-0,421y^{3,23}}$$

Koeffisientene a, p og q er bestemt ved regresjonsanalyse. En slik analyse viste at det var forholdsvis svak sammenheng mellom karakter og spennvidde, og man satte derfor  $q = 0$ . Dette er i

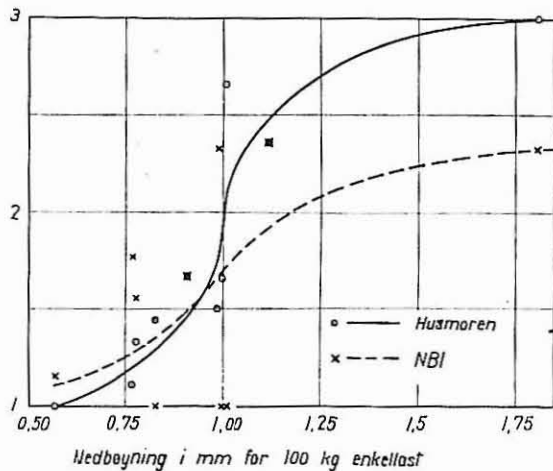


Fig. 12. Gitt karakter som funksjon av nedbøyning for 100 kg enkellast.



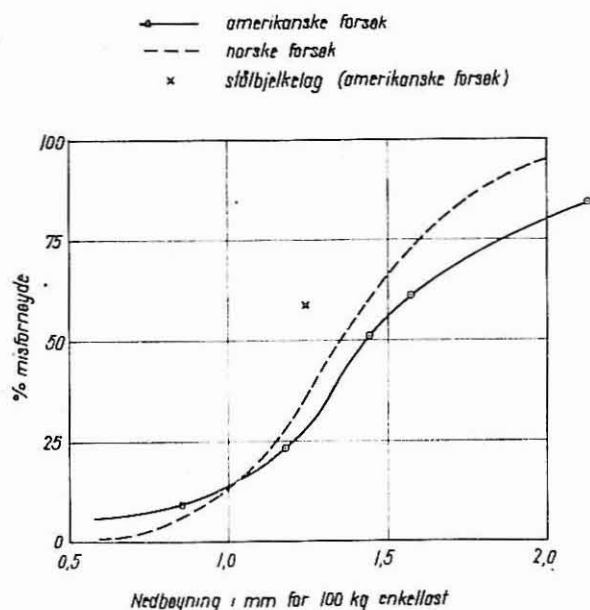


Fig. 13. Sammenstilling mellom norske og amerikanske resultater.

og for seg et noe rart resultat og må kanskje tilskrives at man har prøvd bare en type bjelkelag, nemlig de såkalte lette bjelkelag. Hadde man prøvet tunge bjelkelag, ville sannsynligvis bjelkelagets vekt kommet inn i bildet.

Når man nå har karakteren som en funksjon av nedbøyningen, kan man også finne hvor mange prosent misfornøyde man vil ha for en bestemt nedbøyning. Kan man derfor beregne nedbøyningen for et gulv, skulle det også være mulig å si hvor mange prosent som ble misfornøyd med gulvet.

Da de målinger man foretok bare omfattet 23 leiligheter, er det materiale man har noe spinkelt. Man har derfor sammenlignet de norske resultatene med tilsvarende undersøkelser i USA (fig. 13).

For beregning av nedbøyningen var målingene i ferdige hus viktige. Det viste seg her at bjelke-lagene jevnt over var langt stivere enn en skulle vente etter vanlig beregning for fritt opplagte bjelker. Dette kan bare forklares ved at enten må bjelkene være innspente, eller så må bjelkenes E-modul være langt større enn man regnet med. Jevnt over fant man at nedbøyningen bare var

halvparten av den beregningsmessige. Ved beregningen er det da regnet med en E-modul for tre på 100 000 kg/cm<sup>2</sup>. Ved den videre regning har man regnet med en E-modul på 120 000 kg/cm<sup>2</sup> og antatt at resten av nedbøyningsreduksjonen skyldes innspenning av gulvbjelkene. Man kommer da til at gulvbjelkene i vanlige bindingsverks-hus er halvt innspente.

På dette grunnlag har man så regnet ut bjelke-lagstabeller. For disse tabeller har man antatt at det skal være 6 % misfornøyde. Man kommer da til det noenlunde samme stivhetskrav som Boligdirektoratet i sine tabeller. For de lange spennvidder er kravet noe mindre enn angitt i Boligdirektoratets tabeller, for korte spennvidder er kravet noe strammere. Tabell III er et eksempel på en slik bjelke-lagstabell.

Tabell III.

Spennvidde	Bjelke-dim.	Avstand mellom bjelkene i cm		
		Boligdirek-toratet	Etter beregning	
			5/4" gulv	1" gulv
4.3 m	1 1/2" × 8"	35	36	29
3.1 m	2 " × 6"	58	50	40
5.2 m	3 " × 9"	63	66	52

## Konklusjon

For 60 cm bjelkeavstand kan man stort sett si at Boligdirektoratets bjelkelagstabeller gjelder forutsatt 5/4" gulv. Ved 1" gulv må spennvidden minskes med ca 8 % eller treghetsmomentet økes med ca 15 %.

Ved løst eller flytende gulv bør bjelkenes treg-hetsmoment økes noe (10—12 %).

Ved kontinuerlige bjelker kan spennvidden økes med ca 6 % eller treghetsmomentet minskes med ca 12—13 %. Har man rå trelast og er redd for lang-tidsdeformasjoner av gulvet, er det en vesentlig fordel å lage gulvet kontinuerlig. Riktignok har man funnet endel innspenning selv ved nominelt fritt opplagte bjelker; men det er et stort spørsmål om denne innspenning vil virke overfor en så kraftig last som langtidslast.