



ER VORE BYGNINGER RATIONELT DIMENSIONEREDE

NÅR HENSYN TAGES TIL SÅVEL ANLÆGS- SOM DRIFTSOMKOSTNINGER?

NIELS M. PLUM

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

21.2 00780 P
20 JULI 1988

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 8

ER VORE BYGNINGER RATIONELT DIMENSIONEREDE

NÅR HENSYN TAGES TIL SÅVEL ANLÆGS- SOM DRIFTSOMKOSTNINGER?

NIELS M. PLUM

civilingeniør, m. ing. f.

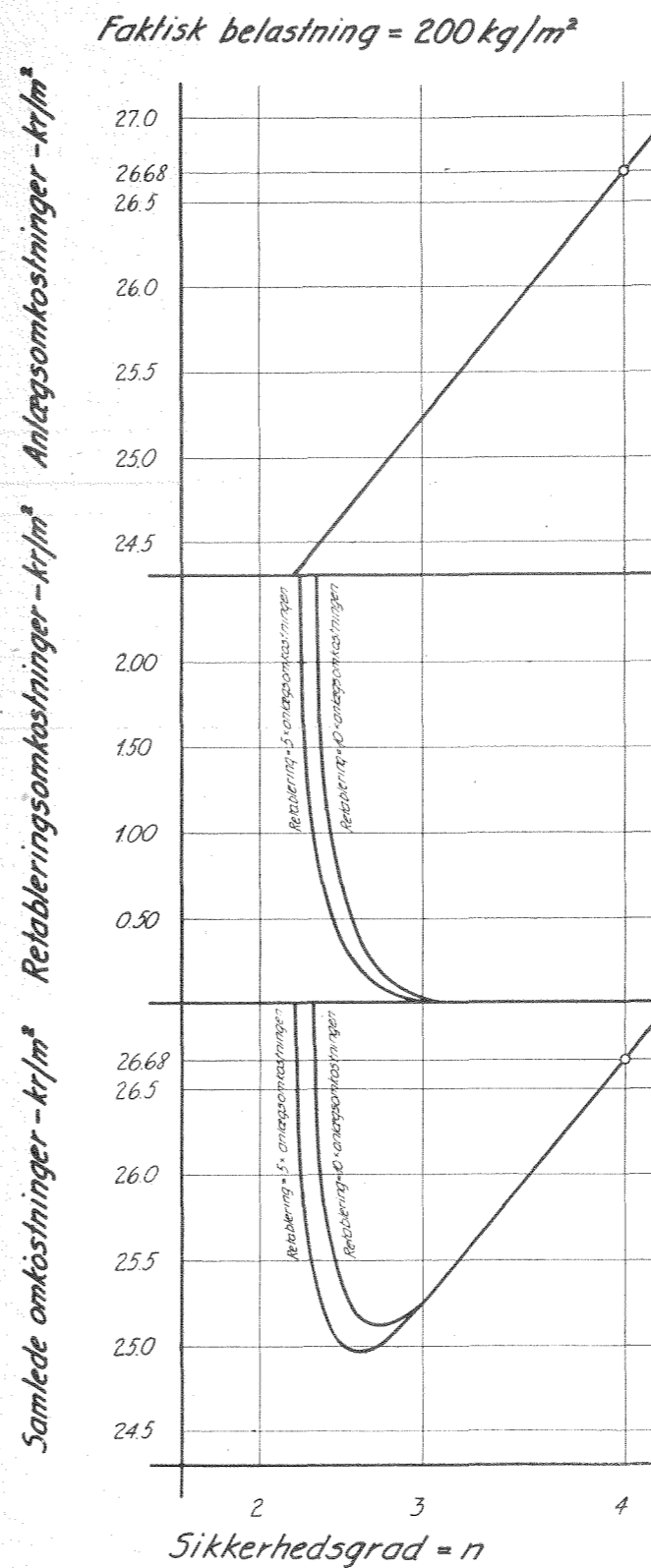


Fig. 1.

Indledning¹⁾.

Alt byggeri er forbundet med en betydelig økonomisk risiko, da det er en langvarig investering, hvis rentabilitet afhænger af forskellen mellem delvis ukendte og usikre indtægter og udgifter mange år fremover.

For at begrænse risikoen — eller for at vurdere dens størrelse — er det efterhånden blevet almindeligt, at der forud for påbegyndelsen af nybyggeri opstilles en finansieringsplan. For det støttede byggeri er det endda en betingelse, at den udarbejdede finansieringsplan på forhånd godkendes af staten. Normalt indeholder planen bl. a. en kalkulation over den forventede status ved byggeriets afslutning, og en rentabilitetsberegning, der angiver de forventede årlige driftsindtægter og udgifter, samt den forventede forrentning af bygherrens egen kapital.

Det må utvivlsomt betragtes som et fremskridt, at der således udarbejdes en oversigt over de forhold, som er afgørende for nybyggeriets økonomiske skæbne.

Finansieringsplanen udarbejdes i de fleste tilfælde ud fra foreliggende praksis og det offentlige krav til byggeriets tekniske udformning, uden dybere undersøgelse af de mere udviklede tekniske og økonomiske forhold, som bestemmer byggeriets rentabilitet i det lange løb.

Selv om en sådan undersøgelse hverken er nødvendig eller overkommelig i det enkelte tilfælde, vil det med visse mellemrum være hensigtsmæssigt at tage praksis, sædvane og offentlige krav op til kritisk revision med henblik på deres økonomiske og tekniske rationalitet.

Idet man går ud fra, at kriteriet for rationalitet er maximal rentabilitet, må der tilstræbes en sådan teknisk og økonomisk udformning af bygværket, at den valgte løsning giver den størst mulige forskel mellem de til bygværket knyttede forventede årlige indtægter og udgifter neddiskonteret til nutidsværdi og opsummeret.

Da der indgår mange elementer i denne ligning, som gensidig påvirker hverandre, er den temmelig kompliceret, og løsningen vanskeliggøres yderligere af den usikkerhed, der er knyttet til en række af de i funktionen indgåede størrelser, såsom den fremtidige rentefod, priser, lønninger, efterspørgsel m. m.

Selv om en fuldstændig korrekt løsning ikke skulle være mulig, vil en nærmere analyse af de vigtigste forhold, der indgår i funktionen, alligevel være vejledende for en approksimativ rigtig tilrettelæggelse og udformning af det enkelte bygværk og af bygge-lovgivningens og byggeregulativernes krav, som på forskellig vis øver indflydelse på disse forhold.

¹⁾ Indledningen er udarbejdet i samarbejde med forskningsleder, cand. polit. Lars Andersen.

Man skal derfor i det følgende pege på nogle af de vigtigste forhold, uden dog at tilstræbe nogen fuldstændig eller endelig redegørelse.

Ved tilrettelæggelse af et byggeforetagende må man i første række tage hensyn til, at der er en direkte sammenhæng mellem et bygværks indtægter og udgifter. Bygværkets alternative tekniske udformning påvirker ikke alene de årlige udgifter gennem forrentning og afskrivning af de dertil svarende forskellige håndværkerudgifter, men de årlige indtægter påvirkes også, idet lejen eller bygværkets nytte — uanset byggeriets størrelse — til en vis grad vil afhænge af byggeriets tekniske udformning iøvrigt.

Det er imidlertid ikke det eneste forhold, der rationelt skulle bestemme bygværkets tekniske udformning, idet der ikke er nogen eentydig funktion mellem byggeriets tekniske standard og de årlige udgifter. De vil for det første afhænge af bygværkets levetid, idet de årlige udgifter umiddelbart vil formindskes ved en forlængelse af levetiden, hvilket dog modvirkes af rentefodens højde og den med tiden stærkt stigende risiko for bygværkets økonomiske forældelse, der i beregningerne af den rationelle levetid kan indgå som en med bygværkets levealder progressivt stigende omkostning.

Hertil kommer, at visse tekniske forhold — de enkelte bygningselementers forskellige tekniske levetid og deres forskellige absolutte og relative retableringsomkostninger — ligeledes må tages i betragtning ved bestemmelsen af bygværkets optimale levetid. Der vil sikkert her kunne opnås betydelige økonomiske resultater ved iværksættelse af et forskningsarbejde, der tager sigte på en teknisk forbedring af de svageste og mest uharmoniske led i dette forhold. Det samme gælder for et forskningsarbejde, der tager sigte på at forlænge de mest kortvarige elementers levetid, idet den økonomiske gevinst her er langt større end ved en tilsvarende forlængelse af de mere langvarige elementers levetid, både på grund af rentefodens indflydelse og den stigende økonomiske risiko for forældelse af hele bygværket.

For det andet vil de årlige udgifter blive bestemt af vedligeholdel-

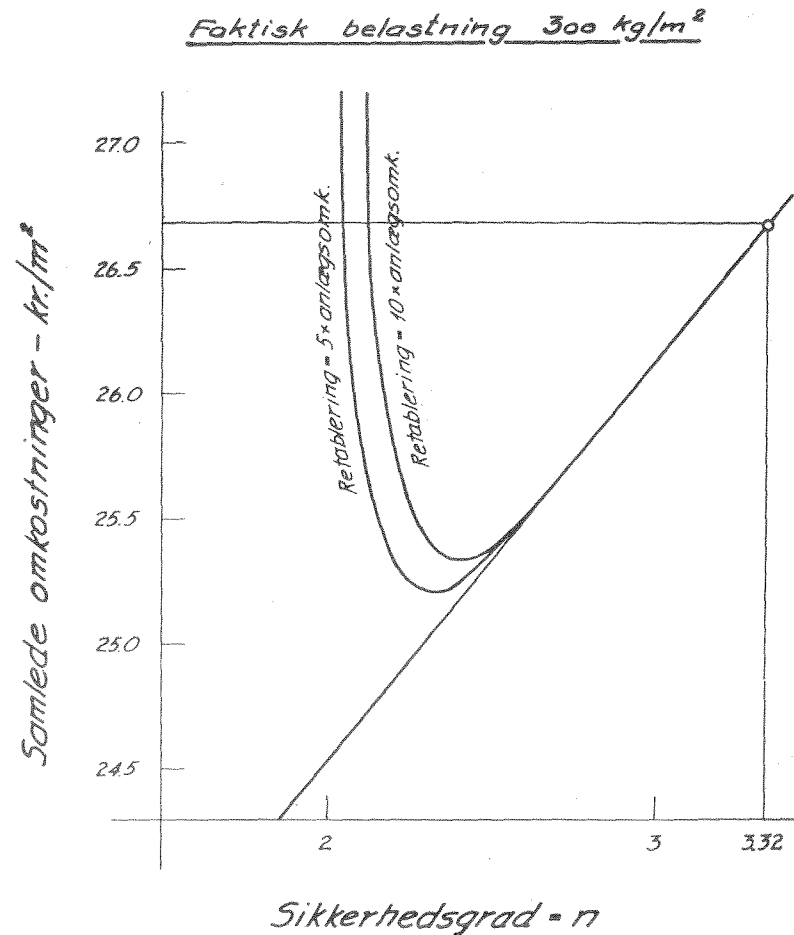


Fig. 2.

sesomkostningerne. Størsteparten af disse vedligeholdelses- og retableringsomkostninger afhænger teknisk set af bygværkets oprindelige udformning. Er byggeriets tekniske standard høj, vil de fremtidige vedligeholdelsesomkostninger blive små, til gengæld vil den årlige forrentning og amortisering forøges.

Omvendt vil disse udgifter formindskes ved et mindre solidt byggeri, medens de årlige vedligeholdelsesudgifter bliver større.

Det gælder da, når bygværkets optimale levetid er fastlagt, at finde den kombination, som giver den mindste årlige udgift til vedligeholdelse og amortisering af de oprindelige håndværkerudgifter *tilsammen*.

Denne kombination er ikke alene bestemt af den givne tekniske sammenhæng mellem bygværkets udførelse og udformning og den dertil svarende fremtidige vedligeholdelse, men også af rent økonomiske forhold.

Således vil forventninger om ændrede priser og lønninger kunne

spille en rolle for det valg, der skal træffes. I regelen ser man vel bort fra dette mere spekulative forhold og regner med nogenlunde samme omkostningsniveau for opførelse af byggeriet og dets senere vedligeholdelse, eller også søger man f. eks. under et forbigående højt omkostningsniveau så vidt muligt at udsætte hele byggeriet til en senere periode med mere normale pris- og lønforhold.

Derimod vil rentens højde også spille en rolle ved det rationelle valg mellem forskellige tekniske muligheder i denne henseende. En høj rentefod vil medføre, at det vil betale sig at begrænse anlægsomkostningerne, og til gengæld afholde større årlige vedligeholdelsesomkostninger, medens en lav rentefod virker på modsat måde.

Bortset fra særlige tilfælde tages der sikkert ikke tilstrækkeligt hensyn til sammenhængen mellem anskaffelsesudgifternes og vedligeholdelsesudgifternes størrelse. I mange tilfælde vælges en billig løsning, der ganske visst i øjeblikket giver

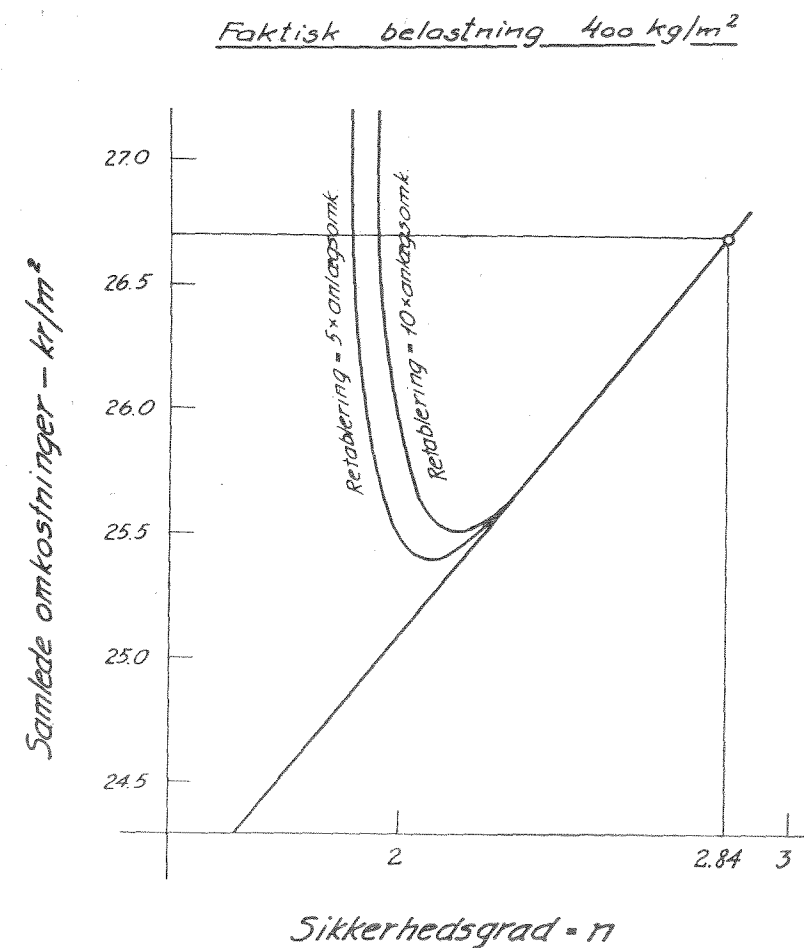


Fig. 3.

lave håndværkerudgifter, men som i det lange løb medfører langt højere årlige udgifter, end det ellers ville være nødvendigt at afholde, da de billige tekniske løsninger ofte resulterer i endnu større vedligeholdelsesarbejder og hyppigere retableringer af byggeriets enkelte elementer. Marmor er således sikkert et billigere materiale end fyrretræ til vindueskarme. Til gengæld findes der også mangfoldige områder, hvor bygværkets tekniske udformning er altfor solid og derfor medfører ikke alene højere anskaffelsesudgifter men også større årlige udgifter end mindre solide løsninger, idet de årlige nødvendige vedligeholdelsesarbejder af tekniske grunde ikke formindskes så meget som forhøjelsen af byggeriets anskaffelsessum skulle tilsi. Det gælder ofte udformningen af sådanne elementer, hvor tradition er særlig grundfæstet, eller hvor den er underbygget af offentlige krav af byggeteknisk art.

Disse krav fordyrer byggeriet ikke alene privatøkonomisk, men

de giver også et samfundsøkonomisk tab i form af unødigt og overflødig forbrug af arbejdskraft og materialer, der anvendt på andre områder kunne give større nytte.

Ved opførelse af et enkelt byggeforetagende er det som tidligere fremhævet næppe muligt at tage alle de her antydede forhold i betragtning — projekterne nåede da næppe ud over overvejelsernes stadium. På den anden side må disse forhold efterhånden tages op for at efterprøve tradition og sædvane og ikke mindst for at undersøge, om det offentlige krav til byggeriets tekniske udformning er privat- og samfundsøkonomisk forsvarlig. De økonomiske synspunkter har haft vanskeligt ved at trænge igennem på disse områder, hvor de mere tekniske og sikkerhedsmæssige opfattelser har spillet en dominerende rolle.

På adskillige punkter er de økonomiske misforhold, der er fremkaldt af særlige tekniske krav og sædvaner, sikkert så store, at de vil kunne påvises ganske uden hen-

syn til de forventninger, der iøvrigt må gøres om renter og priser, inden for meget vide grænser. Dette synes den følgende undersøgelse af det offentlige krav til projekteringen af etageadskillelser i hvert fald at bekræfte.

Eksempelvis anvendelse af omkostningernes minimalisering på bolig- og kontorbyggeriets etageadskillelser.

Det nuværende projekteringsgrundlag.

De dimensioner og dermed følgende anlægsomkostninger, et dæk ved projekteringen i dag får, er nøje bundet af bygningsslovgivningen, normer o.s.v., som på den ene side bestemmer de maksimalt tilladelige belastninger (hvilket er det samme som de *minimalt* tilladelige beregningsforudsætninger) og på den anden side de maksimalt tilladelige materialspændinger, og det er klart, at disse to størrelser: de tilladelige belastninger og de tilladelige spændinger igennem tiderne er forsøgt afpasset bedst muligt efter hinanden.

Det vil i det følgende blive vist, at de nuværende dæktyper er temmelig langt fra det i indledningen omtalte økonomiske optimum, og for til sin tid på rette måde at kunne rette den eller de fejl, der betinger, at man i dag bygger sine dæk alt for svære, vil det derfor være naturligt først og fremmest at finde ud af, hvad de nugældende projekteringsregler baserer sig på.

Så vidt det kan ses, er myndighedernes primære krav, at der aldrig må kunne ske sådanne beskadigelser som følge af dimensioneringen, at menneskeliv bringes i fare, og dette imperativ er efterhånden identificeret med et krav om, at der overhovedet *aldrig* må opstå større beskadigelser.

Hvad vil det sige, at der *aldrig* må opstå sådanne skader, og hvilke økonomiske konsekvenser får et sådant krav?

Man må her straks gøre sig klart, at et krav om 100 % sikkerhed imod skader er en fiktion. Ifølge sandsynlighedsregningens første grundsætninger kan man teoretisk ikke lave et materiale så stærkt, at selv et meget beskedent styrkekrav ikke en skønne dag underskrides, når materialets mængde vokser imod uendelig. Så længe mængden er begrænset, kan det i praksis se

ud, som om man har en 100 % sikkerhed, men teoretisk — og det vil også i praksis vise sig, som tiden går — kan man kun opnå en sikkerhed, der er mindre end 100 %.

Når man kender den lov, hvorefter materialets styrke fordeler sig om middelværdien — og som almindeligvis med god tilnærmelse kan antages at være den »normale« gaussiske — kan man selv vælge sin sikkerhed til f. eks. 99,9 %, 98 %, eller som i biologien ofte anvendt: 95 %, den afhænger blot af forholdet mellem materialets middelbrudstyrke og den faktiske belastning, hvilket forhold normalt benævnes sikkerhedsgrænse = n.

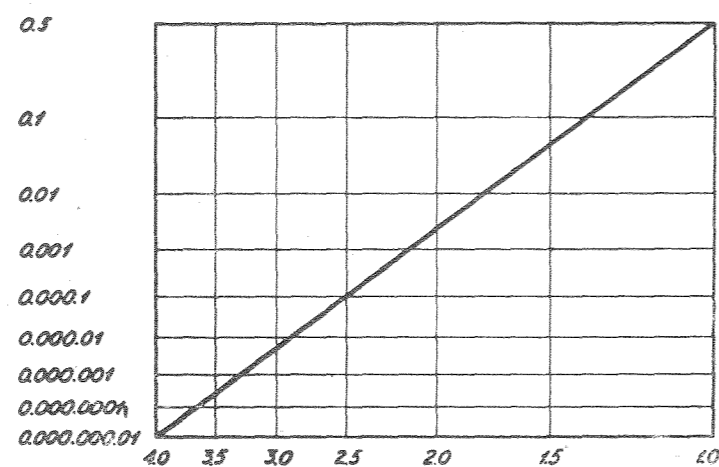
Myndighedernes krav om, at der *aldrig* må ske skader, er da også, som det vil ses i det følgende, ikke identisk med 100 % sikkerhed, men blot med 99,999,999 % sikkerhed, idet der faktisk trods alle forsigtighedsforanstaltninger er sket et par skader i den sidste menneskealder.

Som den historiske udvikling har formet sig, er der ingen grund til at tro, at netop den ovennævnte sandsynlighed skulle betegne de sidste mulige skridt i udviklingen. Sandheden er sikkert den, at myndighederne ikke har gjort sig klart, hvor langt man bør gå i sine krav, og også kun har haft meget ringe muligheder for nøjagtigt at konstatere dette, og derfor blot ved hjælp af et meget stort sikkerhedskrav har søgt at lægge ansvaret fra sig uden at gøre sig klart, hvad denne fremgangsmåde koster samfundet og den enkelte borger i penge.

Efter at de nugældende normer m. v. har været i kraft så længe, at man — som det blandt andet fremgår af det følgende — kan se, at det opstillede imperATIVE sikkerhedskrav fører til unødvendige fordyrelser, må der derfor nu være anledning til at tage hele spørgsmålet op til ny drøftelse på en realistisk basis.

Naturligvis vil det, at man eventuelt af økonomiske grunde alene skal overveje at forlade den næsten 100 %-ige sikkerhed, give anledning til mange og vanskelige overvejelser for rette vedkommende, idet man jo nemt, og for eksempel på linie med den politik, brandvæsenet længe har ført, kan fremføre, at intet økonomisk offer er for stort, hvis der kan spares menneskeliv.

Beskadigelses sandsynlighed



Sikkerhedsgrad = n

Fig. 4.

I den anledning er der grund til at fremhæve:

dels at samfundet i mange andre henseender forlængst har erkendt, at det, alt taget i betragtning, ikke har råd til at opretholde de meget høje sikkerhedskrav. Som et godt eksempel kan her nævnes færdselsforholdene. Tænk, hvad det i dag ville betyde for landets økonomi m. m., hvis politiet forlangte færdselsmidler og veje indrettet, så der *aldrig* kunne ske noget som helst uheld;

dels at den reduktion af sikkerhed og sikkerhedsgrad, der i det følgende vil blive foreslået, alene vil føre til en forøgelse af skaderne på selve bygningskonstruktionerne, idet disse vil ske med så langt varsel og så langsomt, at der kun i et ganske forsvindende antal tilfælde vil bringes menneskeliv i fare.

Som det fremgår af det foregående, er der to veje at gå ved en eventuel ændring af den nuværende dimensioneringspraksis, nemlig enten en ændring i den tilladelige belastning og/eller i den tilladelige material-spænding.

Disse to muligheder vil i det følgende blive behandlet hver for sig.

Den tilladelige bevægelige belastning.

Det første spørgsmål, der melder sig ved en eventuel revision af den tilladelige bevægelige belastning — som her i landet iflg. normerne for det byggeri, vi her taler om, som

regel skal ansættes til 200 kg/m² — er, om disse 200 kg/m² er i overensstemmelse med den faktisk forekommende belastning.

Så vidt det har kunnet oplyses, er de 200 kg/m² ikke fastsat på baggrund af nogen større systematisk analyse af de faktiske forhold — og selv om de i sin tid havde været det, var materialet vel nu på grund af ændrede boligvaner uden større værdi. Der er derfor god grund til at stille sig skeptisk med hensyn til anvendeligheden af de 200 kg/m² i det nuværende og fremtidige byggeri.

Som en første prøve på deres rigtighed er det nærliggende at sammenligne dem med de i udlandet anvendte forskrifter. Vi har derfor sammenstillet sådanne i følgende tabel 1.

De 200 kg/m² bevægelig belastning, der kræves for beregning af dæk i dansk bolig- og kontorbyggeri, ses efter tabellen at ligge nøje på linie med det, der kræves i udlandet, hvorfor denne sammenstilling ikke kan anvendes til motivering for at foretage forandringer.

Med hensyn til kontorbygninger synes den krævede belastning i udlandet at være noget større end herhjemme, men det er næppe muligt at lægge vægt på dette forhold.

Alt i alt bør der næppe lægges nogen større vægt på den fundne overensstemmelse mellem vort og andre landes bestemmelser, idet det må antages, at ingen af disse forskrifter bygger på rationelle un-

Tabel 1.

Lande	Boliger	Kontorer	Loftsrum ubeboede	Trapper Gange Altaner	Lette skillerum ⁷⁾
Danmark	200	200	100	400	100
Sverige	200	200	100—150	400	— ⁸⁾
Norge	200	250 ⁴⁾	150	400	— ⁸⁾
Finland	200 ⁴⁾	200 ¹⁾	—	—	—
England	196	245	—	294	98
Holland	200	250	—	200	— ⁹⁾
U.S.A. ²⁾	196	392 ⁵⁾	100	490	— ¹⁰⁾
Tyskland	200 ³⁾	200 ³⁾	—	350	75—150 ¹¹⁾
New Zealand	196	490—294 ⁶⁾	—	—	— ¹²⁾

1) Ved andre udførelser end jernbeton dog 250 kg/m².

2) Vægten af alle tekniske installationer, der bæres af dækkene, skal tillægges disses egenvægte.

Ved kontinuerte konstruktioner, hvor den bevægelige belastning overstiger 740 kg/m² eller to gange egenvægten, beregnes de enkelte dele også for sådanne mindre delbelastninger, der måtte give større påvirkninger end den jævnt fordelte belastning. Den bevægelige belastning på konstruktionselementer, der bærer mindst 150 sq ft = 13,5 m², kan reduceres 0,08 % pr. sq ft = 0,85 % pr. m².

I jordskælvsdistrikter regnes med særlige tillæg.

3) Anvendes rummene til oplag for papirer, bøger, varelagre og lette maskiner, skal den bevægelige belastning tillægges 300 kg/m², med mindre en mindre vægt kan eftervises.

4) Ifølge meddelelser fra NIF i brev 19.3.48 vil denne værdi i de kommende normer blive reduceret til 200 kg/m².

5) Eller for en enkeltkraft på 900 kg fordelt over et areal på 0,23 m².

Ved trapper skal alternativt undersøges for to enkeltkræfter à 150 kg anbragt i 90 cm afstand og hver virkende over en bredde af 30 cm.

6) 490 for stueetager og lavere etager. 294 øvre etager.

7) I Danmark, Tyskland og New Zealand tillægges vægten af skillerum den bevægelige belastning, i England tillægges den egenvægten (dead load).

8) Der har ikke i de svenske og norske normer kunnet findes bestemmelser om krævet belastning for lette skillerum på pladerne.

9) Lette skillerum, på tværs af hjælkelaget, der vejer mindre end 300 kg/lb.m., behøver ikke at medtages i beregningen.

10) Ansættes til den virkelige vægt medmindre den bevægelige belastning er beregnet for mere end 80 lbs/sq ft = 390 kg/m².

11) 6,5 cm skillerum = 125 kg/m². 6,5—10 cm skillerum = 125 kg/m².

10—13 cm skillerum = 150 kg/m².

Når den bevægelige belastning er større end 500 kg/m², regnes intet skillerumstillæg.

12) Lette skillerum skal ikke medregnes, når de vejer mindre end den »fortrængte« belastning. Vejer skillerummene mere, skal tillægges en belastning pr. m², der svarer til vægten af 1 lb.m. skillerum.

dersøgelser, men på nu delvis umotiveret overlevering, samtidig med at de sandsynligvis i vid udstrækning ganske ukritisk ligefrem er skrevet af efter hinanden, frem og tilbage gennem årtierne.

Den eneste tilbageblevne, men også mest direkte vej til verifikation af de 200 kg/m² bliver herefter en analyse af den faktisk forekommende belastning.

En sådan undersøgelse vil naturligvis berede mange vanskeligheder, hvis den virkelig skal være repræsentativ. Ved samarbejde med I/S Statistika er det dog lykkedes at opstille et foreløbigt arbejdsprogram, der vil blive nærmere omtalt i slutningen.

Under alle omstændigheder vil en sådan undersøgelse tage lang tid, og der er derfor anledning til at påpege, at man — som vist i det følgende — ganske uanset hvor stor den faktiske bevægelige be-

lastning en gang vil vise sig at være, kan påbegynde en undersøgelse af berettigelsen af de tilladelige material-spændinger (og den dermed sammenhængende sikkerhedsgrad »n«), idet de nu foretagne undersøgelser allerede har vist, at uanset rigtigheden af de 200 kg/m² vil der under alle omstændigheder være meget betydelige gevinster at hente blot ved en nedsættelse af den i øjeblikket anvendte sikkerhedsgrad på ca. 4, fordi denne fra et nationaløkonomisk synspunkt er urimelig stor.

Den tilladelige material-spænding og sikkerhedsgraden.

I den nu gennemførte undersøgelse er det først forudsat, at den faktiske belastning netop udgør 200 kg/m², og under denne forudsætning er så undersøgt, hvormed sikkerhedsgraden kan reduceres, for at summen af anlægsom-

kostningerne og vedligeholdelsesomkostningerne = retableringsomkostningerne skal blive minimum.

Derefter er på lignende måde undersøgt, hvad der vil ske, hvis den faktiske belastning afviger fra de 200 kg/cm².

I alle tilfælde findes — som det nærmere fremgår af det følgende — at der er anledning til en betydelig reduktion af sikkerhedsgraden.

Hvis den faktiske bevægelige belastning netop er 200 kg/m².

Forholdene er her nærmere belyst i tabel 2.

Den nuværende situation fremgår af tabellens første vandrette linie: Med en sikkerhedsgrad, der i øjeblikket antages at være 4, og en foreskrevet dimensioneringsbelastning på 200 kg/m² findes under visse antagne størrelses- og understøtningsforhold, der skulle svare til de gennemsnitlige i boligbyggeriet, ved dimensioneringen en egenvægt på 290 kg/m².

Prisen for det hertil svarende rå jernbeton dæk incl. forskalling er beregnet under de ovennævnte størrelses- og understøtningsforhold af Byggeriets Beregningsinstitut til kr. 26,68 pr. m², hvilket tal fremgår af tabellens tredje kolonne samt af fig. 1 a, hvor den rette linie angiver sammenhængen mellem sikkerhedsgraden n og anlægsomkostningerne for dette repræsentative tilfælde.

Med hensyn til den nuværende beskadigelseshyppighed (der findes i kolonne 9) viste det sig ved de foreløbige beregninger hurtigt, at beligheden af det økonomiske minimum og dermed selve den mulige besparelses størrelse var meget afhængig af, hvor stor den nuværende sikkerhed faktisk var. Det er jo også ved en umiddelbar betragtning klart, at jo færre dæk, der under de nuværende forudsætninger beskædiges, jo mere er man på den sikre side, og jo mere vil der være mulighed for at spare.

Det var derfor nødvendigt så nøjagtigt som muligt at søge den nuværende beskadigelseshyppighed bestemt.

Det dokumentariske materiale til dette formål var imidlertid ikke stort, og ifølge Stadsbygmesterens Direktorat kan den hidtidige beskadigelseshyppighed i forbindelse med de ovennævnte årsager

ikke ansættes til en fra 0 forskellig værdi.

I de statistiske beregninger vil det naturligvis ikke være muligt at indføre værdien nul. For dog at få at begreb om sagen, og under forhold hvor man klart er på den sikre side, er her indført den sandsynlighed på 2 stk. pr. 30 år, der svarer til antallet af nedstyrtninger de sidste 30 år, uanset at disse nedstyrtninger skyldes eklatant overbelastning eller urimelig forældelse, altså forhold de nærværende overvejelser faktisk ikke mener at måtte tage i betragtning.

For at formindske antallet af beskadigelser og nedstyrtninger mest muligt i fremtiden vil det under alle omstændigheder være ønskeligt, om det tilsyn, der i øjeblikket føres med, at dæk ikke overbelastes, men anvendes efter deres hensigt, bliver væsentligt skærpet. Den overgang fra kontorer og beboelse til værksteder og lagerrum, der i et begrænset omfang finder sted i visse bydele, fortrinsvis i storbyerne, bør nøje overvåges og kun tillades, hvis der træffes særlige foranstaltninger, medmindre en sådan ændret anvendelse har været forudset ved projekteringen.

Forhold af denne art er dog ikke taget i betragtning i det følgende, da de kun vil være aktuelle for en forsvindende lille del af byggeriet, som nok allerede i forvejen vil kræve en række særbestemmelser.

Med en skønnet boligmasse på ca. 5.000.000 dæk (à ca. 10 m²) svarer 2 skader på 30 år til en årlig beskadigelsesandsynlighed på:

$$\frac{2}{30 \cdot 5.000.000} \sim 0,000.000,01,$$

hvilket tal er indført i kolonne 9, tabel 2 (sammenlign også fig. 4).

Det må imidlertid her og i det følgende stadig erindres, at de tal, som i det følgende udledes ud fra denne udgangssandsynlighed, stadig må betragtes som et absolut maximum, der aldrig vil kunne indtræffe, hvis man blot fører en rimelig kontrol med forældelsen, og at bygningerne alene anvendes til de formål, hvorefter de er dimensioneret. Endelig skal det understreges — som det nærmere vil fremgå af det følgende — at selv om udgangssandsynligheden er skønnet forkert — (så den for eksempel var 10, 100, ja endog 1.000 gange større), rækker dette ikke ved princippet i vore konklusioner,

Tabel 2.
Faktisk bev. belastning = 200 kg/m².

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sikkerhedsgraden	Tilsvarende egenvægt: kg/m ²	Anlægsomkostninger for den rå jernbeton — kr/m ²	Sparede anlægsomkostninger øre/m ² :	Retableringsomkostninger øre/m ² (ved 5 × anlægsudg.)	Retableringsomkostninger øre/m ² (ved 10 × anlægsudg.)	Resultierende besparelse øre/m ² (ved 5 × anlægsudg.)	Resultierende besparelse øre/m ² (ved 10 × anlægsudg.)	Øvre grænse for den tilsvarende beskadigelsehyppighed	Hertil svarende antal beskadigelser i hele landet om året
4,0	290	26.68	0	.	.	.	.	0,000.000,01	0,05
.
3,25	260	25.56	112	.	1	112	111	0,000.001,4	7
3,17	258	25.44	124	1	2	123	122	.002,4	12
3,08	254	25.31	137	1	3	136	134	.004,5	22
2,98	251	25.19	149	2	5	147	144	.007,8	39
2,90	248	25.07	161	4	9	157	152	.014	70
2,80	246	24.95	173	8	16	165	157	.025	125
2,71	243	24.83	185	15	29	170	156	.046	230
2,61	240	24.70	198	27	54	171	144	.085	425
2,52	236	24.58	210	49	99	161	111	.155	775
2,42	233	24.46	222	92	185	130	37	.290	1450
.
1,0	193	.	.	.	.	.	.	0,500.000	2,5 mill.

men blot ved den mulige besparelser størrelse.

Hvis man nu (se tabel 2) formindsker sikkerhedsgraden, vil efterhånden antallet af årlige beskadigelser forøges, og når man er nået ned til en sikkerhedsgrad på 3,25, vil det ses (kolonne 10), at antallet af beskadigelser (iflg. den ovenfor nævnte urimelig pessimistiske forudsætning) ikke overstiger 7 om året.

Den samtidig opnåede besparelse i anlægsomkostninger udgør, som det fremgår af kolonne 3 og 4 112 øre/m² (sammenlign også fig. 1), hvilket med en normal årlig produktion på ca. 2.000.000 m² altså svarer til ialt ca. 2,25 mill. kr. om året.

Til at retablere de beskadigede etageadskillelser medgår et beløb, hvorover der er skønnet på følgende måde:

Til retablering af selve dækket
3 × den oprindelige pris
til efterarbejder m. m.
2 × den oprindelige pris
Ialt 5 × den oprindelige pris

Hertil er at bemærke:

- 1) At det forudsættes, at der ikke sker materiel skade på indbo og inventar, og at der ikke går menneskeliv tabt. Forsåvidt undersøgelsen fortrinsvis beskæftiger sig med støbte dæk, vil denne forudsætning være opfyldt. Alle skader vil ske så langsomt og med så tydelige varsler, at alt og alle i god tid vil kunne fjernes.
- 2) At der ikke er taget hensyn til noget »genetillæg« for de beboere, det kommer til at gå ud over. Dette er sket, dels fordi en stor del af beskadigelserne vil kunne repareres ved meget simple midler — f. eks. anbringelse af een enkelt bjælke midt under pladen — så at langtfra alle de ca. 1.300 kr. pr. dæk kommer til anvendelse, dels fordi en endnu større del af beskadigelserne alene vil bestå i revner i skillerum etc., der kan repareres for endnu mindre, hvorefter disse plusser og minusser skønnes at ophæve hinanden.
- 3) At der, som det fremgår af ta-

Tabel 3. Faktisk bev. bel. = 300 kg/m ²				Tabel 4. Faktisk bev. bel. = 400 kg/m ²			
Sikkerhedsgraden, når dækket er dimensioneret for 200 kg/m ²	Resultierende besparelse øre/m ² (ved 5 × anlægsudg.)	Resultierende besparelse øre/m ² (ved 10 × anlægsudg.)	Hertil svarende antal beskadigelser i hele landet om året	Sikkerhedsgraden, når dækket er dimensioneret for 200 kg/m ²	Resultierende besparelse øre/m ² (ved 5 × anlægsudg.)	Resultierende besparelse øre/m ² (ved 10 × anlægsudg.)	Hertil svarende antal beskadigelser i hele landet om året
3,32	.	.	.	2,84	.	.	.
.
.	.	.	.	2,40	88	87	8
2,75	100	99	8	2,33	99	98	16
2,67	111	110	16	2,27	110	108	35
2,60	122	120	29	2,20	119	115	75
2,53	133	130	55	2,14	128	118	150
2,45	142	135	110	2,07	130	110	310
2,37	148	134	219	2,00	120	80	640
2,29	147	121	409	1,94	90	8	1300
2,21	135	86	785	1,87	17	-151	2630
2,13	97	-3	1590	.	.	.	.
.
1,0	.	.	2,5 mill.	1,0	.	.	2,5 mill.

I første linie vil man bemærke, at sikkerheden i dag i så fald er reduceret til 3,32 henhv. 2,84. Sammenlign også fig. 3 og 4.

bellens kolonne 5 og 7, samtidig er gennemregnet eksempler, hvor retableringsomkostningerne er skønnet til 10 × den oprindelige pris. Det vil bemærkes, at det er uden større betydning for størrelsesordenen af den opnåelige besparelse og minimets beløghed, om man regner med den ene eller den anden retableringsomkostning.

- 4) At der ved beregning af retableringsomkostningerne er regnet med:
at dækkenes afskrivningstid er 100 år;
at rentefoden er 4 %;
at beskadigelserne indtræffer jævnt fordelt over de 100 år.

Som nævnt i indledningen vil ændringer i disse sidste forudsætninger medføre ændringer i den opnåelige besparelser størrelse. Det skal dog påpeges, at forudsætningerne skal ændre sig temmelig langt fra de gjorte, før der røkes væ-

sentligt ved størrelsesordenen af de nu fundne mulige besparelser.

Det fremgår af kolonne 5 og 6, at først når sikkerhedsgraden er formindsket til 3,25, har retableringsomkostningerne nået et praktisk betydende niveau: 0 ~ 0,5 og 1 øre/m², således at den samlede besparelse er 112 og 111 øre/m².

Når efterhånden (se også fig. 1 b og 1 c) sikkerhedsgraden nu sænkes til først 2,80 og så 2,61, opnås maximum af besparelse for retableringsomkostninger på henhv. 10 og 5 × anlægsudgiften, som andrager:

$$157 \text{ og } 171 \text{ øre/m}^2$$

eller med et bolig- og kontorbyggeri på 2.000.000 m² om året:

$$3.100.000 \text{ og } 3.400.000 \text{ kr. ialt.}$$

Reduceres sikkerhedsgraden yderligere, fortsættes besparelsen ikke mere, idet det fortsatte fald i anlægsudgifter nu modvirkes af stærkt stigende retableringsomkostninger.

Betragter man kolonne 9 og 10

for de to fundne maximale besparelser, vil man se, at antallet af beskadigelser efter de gjorte forudsætninger nu er kommet helt op på indtil 125 resp. 425 om året*).

Måske vil man som tidligere omtalt dårligt kunne tænke sig — selv om det er en klar nationaløkonomisk fordel, og selv om der ikke bringes menneskeliv i fare — at drive rationaliseringen så vidt, at der vil finde indtil 125 resp. 425 beskadigelser sted her i landet om året.

Man må imidlertid her klart erindre sig, at disse beskadigelsesandsynligheder baserer sig på de gjorte meget pessimistiske forudsætninger, og at det faktiske antal beskadigelser formentlig kun vil udgøre en meget lille brøkdelen heraf.

Den nøjagtige og endelige afvejning af disse forhold vil ikke kunne finde sted på det foreliggende grundlag, men først når der f. eks. ved de forsøg, der er foreslået i det følgende til bestemmelse af sammenhængen mellem belastning og beskadigelsehyppighed, foreligger et mere detaljeret materiale.

Det fremgår imidlertid klart af undersøgelsen, og det var også alene dens formål, at hvis den forudsatte nuværende beskadigelsehyppighed nogenlunde holder stik, så vil der, hvis den faktiske belastning netop er 200 kg/m², være muligheder for meget betydelige besparelser, hvis sikkerheden nedsættes 30—35 %.

Civilingeniør A. J. Moe og senere andre har påpeget, at allerede de nuværende etageadskillelser af jernbeton er så slappe, at de medfører revner bl. a. i skillerummene, og at det derfor vil give store vanskeligheder som foreslået at reducere dimensionerne yderligere. Det skal derfor her lige bemærkes, at bortset fra, at der hersker betydelig uenighed om, hvor stive dækkene bør være, så behøver en nedsættelse af styrken ikke nødvendigvis at medføre en nedsættelse af stivheden, idet man f. eks. kan tænke sig ved anvendelse af ringere eller lettere betonkvaliteter end i øjeblikket at reducere styrken og prisen uden at reducere tykkelsen og dermed stivheden tilsvarende.

* Det bemærkes, at det ovennævnte antal beskadigelser forudsætter, at hele boligmassen er »reformeret«. Hvis dette skønnes at vare 50 år, vil der altså det første år kun ske 1/50 af dette antal beskadigelser, og derefter vil tallet vokse med 1/50 om året.

Hvis den faktiske belastning er mindre end 200 kg/m².

Det er ud fra det foregående klart, at den opnåelige besparelse vil stige, jo mere den faktiske belastning ligger under de 200 kg/m².

Der er ikke foretaget nøjagtige beregninger for dette tilfælde, da opgaven i dag jo alene er at påvise besparelsernes eksistens mere end deres nøjagtige størrelse, men ved sammenligning med det øvrige kan besparelsen, hvis den faktiske belastning kun er 100 kg/m², skønnes til ca. 200 øre/m², eller ca. 4 mill. kr. om året.

Det må dog her erindres, dels at ekstrabesparelsen er ret lille i sammenligning med den, der fandtes ovenfor ud fra de rent nationaløkonomiske betragtninger, dels at der endnu intet er fremkommet, der kan underbygge troen på, at den faktiske belastning virkelig er mindre end 200 kg/m².

Hvis den faktiske belastning er større end 200 kg/m².

Da det på indeværende tidspunkt ikke vides, om den faktiske belastning er større eller mindre end de 200 kg/m², og det ikke umiddelbart ud fra værdierne i tabel 2 kan skønnes, om der også vil fremkomme besparelser, hvis den faktiske belastning er større end 200 kg/m², er der foretaget tilsvarende beregninger som i tabel 2, ud fra forudsætningerne, at den faktiske belastning engang findes at være 300 henhv. 400 kg/m².

Resultaterne er resumeret i tabel 3 og 4, der omfatter kolonnerne 1, 7, 8 og 10 fra tabel 2.

Længere nede i linierne vil det ses, at de maksimale besparelser ved de to forskellige retableringskostninger er 148—135 og 130—118 øre/m², svarende til besparelser i de samlede anlægsomkostninger på fra ca. 3,0 til 2,36 mill. kr. om året.

Da det må anses for usandsynligt, at den faktiske belastning skulle overstige 400 kg/m², vil dette altså sige, at hvor den faktiske belastning end ligger, så vil der ved en revision af dimensioneringsreglerne kunne opnås meget væsentlige besparelser.

Sammenfatning.

Ud fra det ovenstående må det vist erkendes, at der er anledning til at tage spørgsmålet om en revision af den eksisterende praksis ved dimensionering af etageadskillelser op.

Det vil af det fremførte være klart, at en formindskelse af de nu krævede 200 kg/m² blot vil være een af de måder, hvorpå en sådan revision kan iværksættes, og at det ikke uden videre er klart, at det er denne vej, man bør gå.

Det, der skal ske, er en nedsættelse af sikkerhedsgraden, hvad enten man så tænker på en fælles sikkerhedsgrad for såvel hvilende som bevægelig belastning, eller på den f. eks. af civilingen. A. J. Moe foreslåede sikkerhedsgrad for den bevægelige belastning alene, og så vidt det foreliggende materiale viser, skulle nedsættelsen altså andrage 30—40 %.

Den i begyndelsen foreslåede konstatering af den faktisk forekommende bevægelige belastning er alene et led i den herefter følgende tilrettelæggelse af, hvorledes denne reduktion af sikkerhedsgraden bedst gennemføres. Viser det sig, at den faktiske belastning er mindre end de 200 kg/m², er der naturligvis anledning til at reducere den krævede beregningsbelastning, men viser det sig, at de 200 kg/m² er rigtige eller måske endda for lidt, er det altså de tilfældige spændinger og sikkerhedsgraden, man skal revidere. Alt sammen for at opnå, at de dimensioneringsregler, der herefter fremkommer, får så nøje rod i de faktiske forhold som overhovedet muligt.

Iøvrigt må det erindres, at den endelige fastlæggelse af en evt. ændret tilladelig belastning og spænding kræver også andre end nationaløkonomiske overvejelser og bør ske i nøje tilknytning til hele normarbejdet indenfor dette område, men det må anses for særdeles ønskeligt, om det dertil nødvendige grundlag etableres så snart som muligt.

UNDERSØGELSENS VIDEREFØRELSE

Til at skabe det fuldstændige grundlag, hvorpå en revision af dimensioneringsforskrifterne kan baseres, kræves ifølge det ovenstående altså:

1) at man bestemmer størrelsen af den i praksis faktisk forekommende belastning.

Til dette formål har Byggeforskningsinstituttet i samarbejde med I/S Statistika udarbejdet et forsøg omfattende følgende tre tempi:

a) Bestemmelse af gennemsnitsvægt (og spredning på denne) for

alle gængse møbeltyper (m/indhold). Dette er »laboratoriearbejde«, der bør udføres i samarbejde med møbelbranchen.

b) Registrering af møbler, rumstørrelser, middel og maksimalt personantal etc. etc. i et mindre antal lejligheder. Ved en foreløbig statistisk behandling skal dette materiale kontrollere og supplere de i forvejen opstillede forudsætninger for belastningernes variation.

Denne undersøgelse bør ske i nøje tilknytning til den allerede iværksatte boligvaneundersøgelse.

c) Når man herudfra har præciseret alle de forhold, f. eks. kvarter, byggeår, anvendelse, størrelse, antal beboere, løn, lofthøjde etc., der betinger belastningernes variationer, kan den egentlige store registrering tilrettelægges og udføres. Dette kan først ske, når b) er færdigbehandlet.

Når materialet fra c-undersøgelsen er færdigbehandlet, vil der så for enhver kombination af forudsætninger, f. eks. kvarter, byggeår, anvendelse, størrelse, antal beboere, løn, lofthøjde etc., kunne angives sammenhængen mellem den faktiske belastning og den sandsynlighed, hvormed den vil forekomme, hvilken sammenhæng er den første hovedforudsætning for opgavens løsning.

Instituttet har netop vedtaget at forberede iværksættelsen af de under a) og b) nævnte undersøgelser.

2) At man bestemmer den i øjeblikket eksisterende beskadigelsehyppighed og i det hele sammenhængen mellem antallet af beskadigelser og sikkerhedsgraden.

Ved en bestemmelse af den nuværende beskadigelsehyppighed vil man altså få verificeret ordinaten til det nederste punkt af sandsynlighedskurven (se fig. 4) svarende til $n = 4$, og som ovenfor blot er skønnet til at være mindre end 0,000.000.01.

Vi regner med, at dette nogenlunde vil kunne gøres ved en mitios gennemgang af ældre skader.

Hvis fordelingen iøvrigt er normal, bliver kurven retliniet i det anvendte koordinatsystem og kan som vist tegnes i sin helhed, da den også vides at gå gennem punktet, hvor $n = 1$, og sandsynligheden er 0,50, og det er bl. a. på denne sidste forudsætning, at det foregående har kunnet opbygges. Inden man går videre, må imidlertid

også kurveforløbet mellem de to yderpunkter bestemmes, da dette er afgørende for det økonomiske optimums beliggenhed.

Verifikationen af en række mellem punkter må ske eksperimentelt og i fuld skala for at få alle de forhold med vedr. indspænding o.s.v., som i praksis betyder en ikke uvæsentlig forøgelse af den regningsmæssige sikkerhed.

En sådan undersøgelse til dette formål alene vil blive meget kostelig, og vil trods de meget store besparelser, den i fremtiden vil kunne medføre, næppe foreløbig kunne sættes i gang på grund af Institutets begrænsede midler.

Når saneringen af den indre by om forhåbentlig få år igen påbegyndes, håber vi imidlertid at få mulighed for at deltage i nedbrydningen ved hjælp af prøvebelastninger, og der skulle så være mulighed for, på en særdeles billig måde at indhøste de nødvendige erfaringer.

EFTERSKRIFT

Det er kort nævnt i indledningen, at de mere rationelle synspunkter, der her er fremført vedrørende dimensionering af dæk med lige så stor ret bør lægges til grund for dimensioneringen af bygværker som helhed.

Betragtningens måde er utvivlsomt ikke ny, tværtimod må den på grund af sin nærliggenhed være en gammel travet, som gennem årene sikkert mange gange forgæves har måttet rende panden imod den mur, vort samfunds opbygning medfører af træghed og af vanskeligheder ved placeringen af svaret for et så radikalt skridt.

På baggrund af de erfaringer, der nu efterhånden foreligger, skulle man dog synes, der måtte være muligheder for tankens realisation, idet man i høj grad har brug for reduktioner af byggeomkostningerne, samtidig med at man har erkendt, at bygningernes nuværende lange levetid ikke er lutter fordele og nok burde gøres til genstand for nærmere studium.

Det kan ikke i dag siges, hvor store besparelser en gennemførelse af de nævnte synspunkter for alle byggeriets dele ialt vil medføre, men at det er store tal, fremgår jo uden videre af, at der for dækene (som udgør omkring en tiendedel af hele byggesummen) som påvist kan spares 5—7 % — ca. 3 mill. kr. i anlægsomkostninger.

Ved gennemgangen af alle bygningens elementer med det formål at give dem samme levetid og sikkerhedsgrad — en opgave, som jo i sig selv er indlysende rigtig, og da også såre velkendt f. eks. indenfor industrien — vil der i tillæg til de besparelser, der må komme fra en simpel reduktion af dimensionerne, sikkert også vise sig nye rationaliseringsmuligheder med tilsvarende besparelser, som det i dag kan være vanskeligt at få øje på.

Litteraturfortegnelse.

Sikkerhetsproblemet i bygnadskonsten. W. Kjellman og Georg Wästlund. Ingenjörsvetenskapsakademiens handlingar. nr. 156. 58 sider. Stockholm 1940.

Prøvning af Beton. Niels M. Plum. Ingeniøren. Copenhagen, June 2nd. 1945.

Vol. 54. No. 22. Pages B. 61—B. 72. Re abstract see Proc. ACI. Vol. 44. Sept. 1947. Pages 88—89.

Sikkerhedsgrad, brotrisk och möjligheter til materialbesparing i bygnadskonstruktioner. Ivar Häggbom. Teknisk Tidskrift. side 391—394, årgang 77. Stockholm 1947.

Sekundære spændinger. Definition og betydning for sikkerhedsgraden. A. J. Moe. Bygningsstatistiske meddelelser. årgang 18, hefte 3. København 1947.

The Conception of Safety. A. J. Moe. International Association for Bridge and Structural Engineering. Third Congress. Liège 1948.

Qualité des matériaux et sécurité dans le bâtiment. M. Ros. Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics, no. 41. 52 sider. Paris september 1948.

Risque et sécurité. Henry Lossier. Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics. no. 44. 10 sider. Paris oktober 1948.

Thema V: Begriff der Sicherheit und dynamische Beanspruchung von Bauwerken. — Schweizerische Bauzeitung, 66. årgang no. 46. Zürich 13 nov. 1948.

The Fiducial Argument in Statistical Inference. R. A. Fischer. Ann. of Eugenics. 1935. Vol. 6. Pag. 391—98.

The Design of Experiments. R. A. Fischer. Oliver and Boyd. 1949. Pag. 242.

Statistiske Metoder. A. Hald. Det private Ingeniørfond. 1948. 654 sider. København 1948.

Summary in English.

The economy of a structure is today commonly judged only by its initial costs.

This is very erroneous. It is the combined initial and maintenance costs which shall be minimum.

In a number of cases this judgement will lead to better constructions with higher initial costs, which however gives much smaller maintenance costs, and a saving in the combined total costs.

With regard to for instance floor-slabs in dwellings and offices the public demand on safety first and at all costs has led to the opposite combination of too high initial costs and too low repair costs.

In the paper it is shown that the total combined costs of initial and maintenance costs will be minimum (compare tables 2, 3 and 4 together with figures 1, 3 and 4) when the margin of safety is reduced about 35 per cent from a nominal value of about four to-day to about two point six.

The total saving depends on the actual value of the live load — which is to-day estimated at 200 kg/m² — and is found to:

If the live load is 100 kg/m²:
about 200 øre/m²
If the live load is 200 kg/m²:
about 157—171 øre/m²
If the live load is 300 kg/m²:
about 135—148 øre/m²
If the live load is 400 kg/m²:
about 118—130 øre/m²

At the same time the number of collapsing floor-slabs will increase from a very negligible figure to 110—425 a year. Speaking mainly about reinforced concrete floor it is however estimated that these damages will not involve the risk of human lives.

The paper further questions the magnitude of the live loads stated in the building codes to be used for the calculation of slabs etc. and after a comparison of the live loads prescribed in many countries (table no. 1) which comparison gives very little information regarding the reasons for the requirements which seem to be very uniform, a proposal for actual determination of live loads in dwellings is forwarded.