Rapport R99:1983

Säkerhetsteoretiska dimensioneringsmetoder

En översikt av principer och forskningsbehov

Kent Andersson
Gunnar Kärrholm

Byggforskningsrådet

R99:1983

SÅKERHETSTEORETISKA DIMENSIONERINGSMETODER

En översikt av principer och forskningsbehov

Kent Andersson Gunnar Kärrholm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730546-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Byggnadskonstruktion, CTH, Göteborg.

/Även utg. som: Chalmers tekniska högskola. Avd för byggnadskonstruktion 1983:7/

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

R99:1983

ISBN 91-540-3983-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

FÖRORD

Föreliggande skrift avser att ge en översikt av några väsentliga problem vid utveckling av säkerhetsteoretiska beräkningsmetoder. Den påvisar samtidigt de problemområden som under det sista decenniet med stöd från Statens råd för byggnadsforskning bearbetats vid avdelning för byggnadskonstruktion CTH beträffande bärverks tillförlitlighet.

Författarna önskar uttrycka sin uppskattning av BFR:s omfattande bidrag och sin tacksamhet för värdefulla synpunkter från docent Kamal Handa. Vi vill också tacka Margaret Micrander för utskrift av konceptet samt Wera Magnusson och Miloslav Svoboda för uppläggning och ritning av figurer.

Göteborg februari 1983

Kent Andersson Gunnar Kärrholm

INNEHÅLL

1 INLEDNING

Under de sista decennierna har nya metoder börjat tillämpas vid dimensionering av bärande konstruktioner. Dessa metoder bygger på principer som avses möjliggöra en kvantitativ bedömning av bärverks tillförlitlighet och sålunda underlätta projektörens val av ändamålsenliga konstruktionslösningar. Också i Sverige pågår en sådan utveckling, Svensk byggnorm 1980 tillåter i princip tillämpning av s k säkerhetsteoretiska metoder.

Flera motiv kan anföras till att nya förfaranden för närvarande framstår som speciellt angelägna. Den traditionella dimensioneringen kan inte relateras till några av brukarna formulerade trygghetskrav och torde i många fall leda till överdrivet materialbehov i ett läge då resursbrister blir alltmer besvärande. Dessa brister har vidare framtvingat ökad användning av slanka och tunnväggiga konstruktioner vilka ofta utsätts för fluktuerande påfrestningar av ett slag som inte kan beskrivas på ett tillfredsställande sätt med de gamla metoderna. Moderna konstruktioners funktion är ofta komplicerad och kan äventyras på flera olika sätt. Därmed ökar skaderisken i en omfattning som traditionella beräkningsregler inte beaktar. En mera adekvat behandling av dessa förhållanden kräver en omsorgsfull och ofta komplicerad analys av inverkan från de mångfaldiga faktorer som bestämmer en konstruktions tillförlitlighet. Sådana grundläggande studier underlättas numera i hög grad genom datoranvändning.

Syftet med denna skrift är att ge en orientering om den pågående utvecklingen av säkerhetsteoretiska dimensioneringsmetoder och om de mera väsentliga problem som aktualiseras under detta arbete. Framställningen leder fram till en kort beskrivning av dagsläget som utgör grund för en till sist skisserad sammanställning av aktuellt forskningsbehov.

2 PRINCIPER FÖR ATT VERIFIERA EN KONSTRUKTIONS FUNKTION

2.1 Hållfasthetsvillkor

En lastbärande konstruktion dimensioneras med utgångspunkt från matematiskt formulerade villkor för hållfasthet, stabilitet, styvhet och andra mekaniska egenskaper. I villkoren ingår dels variabler X_R som karaktäriserar hållfastheter och styvheter för de i bärverket ingående materialen, dels variabler X_L som anger bärverkets dimensioner och lasternas lägen, dels variabler X_S som beskriver lasternas storlek. Samtliga dessa variabler säges i det följande vara primära.

Med hjälp av primära variabler bildar man uttryck på en konstruktionsdels bärförmåga R och den av yttre påverkningar åstadkomna lasteffekten S i konstruktionsdelen. Bärförmågan utgör övre gräns för de lasteffekter som kan föreligga utan att skada uppkommer. Exempel på bärförmåga är brottmomentet i ett balktvärsnitt och knäckkraften för en pelare. Motsvarande lasteffekt är det av belastningarna åstadkomna momentet i balktvärsnittet och den lastbetingade axialkraften i pelaren.

De ovannämnda dimensioneringsvillkoren kan framställas med hjälp av samband antingen mellan primära variabler eller mellan bärförmågor och lasteffekter,

$$Z (X_1, X_2 ....) > 0 \qquad (2.1)$$

där $X_1, X_2 ...$ står för primära variabler X_{Ri}, X_{Li} och X_{Si} eller från dessa härledda variabler såsom R och S. Funktionen Z är större än 0 om den aktuella konstruktionen uppvisar ett acceptablet beteende med avseende på det villkor Z skall beskriva.

I ett enkelt fall då endast en bärförmåga R och en lasteffekt S är aktuell, antar (2.1) formen

$$Z = R - S > 0 \qquad (2.2)$$

Specialfallet

$$Z = 0$$

kännetecknar ett gränstillstånd vid vilket ställda krav är nätt och jämt uppfyllda. Antag att det för ett visst belastningstillstånd beräknade värdet på Z är positivt. Detta värde är då ett uttryck för den marginal med vilken dimensioneringsvillkoret är uppfyllt. Funktionen Z brukar också kallas säkerhetsmarginal eller tillförlitlighetsfunktion.

Ett positivt utfall av Z-funktioner med realistiskt uppskattade värden insatta på variablerna visar inte i och för sig att konstruktionen är tillförlitlig. Erfarenhetsmässigt gör man mer eller mindre grova felbedömningar. I praktiken kan de på jämvikten inverkande storheterna råka anta så ogynnsamma värden att skada uppkommer.

I syfte att nå en hög grad av tillförlitlighet hos projekterade konstruktioner användes i traditionella dimensioneringsmetoder krav på att kvoten mellan representativa värden R^* och S^* för bärförmåga och lasteffekt skall vara minst lika med en s.k. säkerhetsfaktor $\gamma > 1$. En villkorsformulering enligt (2.1) får då formen

$$\frac{1}{\gamma} R^* - S^* > 0$$

Principen tillämpades troligen första gången på 1730-talet av de matematiker som på påvligt uppdrag analyserade bakgrunden till skador på St Peterskyrkans kupol [1]. Vid jämförelse mellan beräknade ringkrafter i kupolen och erforderlig bärförmåga hos ringankare användes säkerhetsfaktorn 2.

Förfarandet utvecklades senare så att flera säkerhetsfaktorer introducerades i fall med flera yttre laster vilket innebar dimensioneringsvillkor av typen

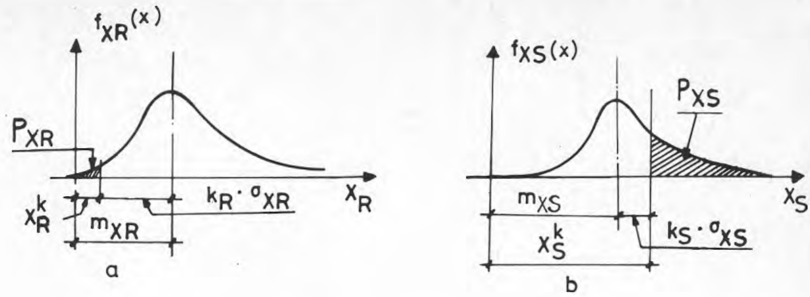
$$\frac{1}{\gamma_R} R^* - S(\gamma_{S1} X^*_{S1}, \gamma_{S2} X^*_{S2}, \ldots\ldots) > 0 \qquad (2.3)$$

där $S(\ )$ anger lasteffekten för en studerad konstruktionsdel som funktion av primära variabler X^*_{Si} betecknande yttre laster.

I (2.3) är ofta R^* en funktion av ett antal primära variabler såsom brottspänningar och vissa dimensioner. Bärförmågans säkerhetsfaktor γ_R ersätts därvid med faktorer för de primära variablerna så att första termen i (2.3) skrivs $R(X^*_{R1}/\gamma_{R1}, X^*_{R2}/\gamma_{R2}, \ldots)$. Om X^*_{Ri}/γ_{Ri} hänför sig till en spänning, betecknas denna kvot "tillåten spänning".

Användningen av säkerhetsfaktorer medför en minskad risk för skadefall. Metoden ger däremot ingen möjlighet att dimensionera för en viss acceptabel risknivå P_f och normerade säkerhetsfaktorer saknar vanligen anknytning till något bestämt värde på P_f .

Större möjligheter att nyansera dimensioneringen med hänsyn till variationsförhållandena hos bärförmågor och lasteffekter erhålls om värdena X^*_{Ri} och X^*_{Si} ersätts med storheter vilka med viss given sannolikhet inte under- eller överskrids. Primära variabler och därmed funktionerna R och S realiseras i konkreta konstruktioner på ett slumpmässigt sätt. Upprepade observationer av relevanta storheter kan sammanfattas i en mer eller mindre noggrann approximation av respektive variablers frekvensfunktioner. Därmed blir det också möjligt att uppskatta <u>karaktäristiska värden</u>, X^k_{Ri} , X^k_{Si} med givna sannolikheter P_{XRi}, P_{XSi} för under- eller överskridande, fig.1.



Figur 1 Frekvensfunktioner $f_{XR}(x)$, $f_{XS}(x)$ för bärförmåga (a) och lasteffekt (b). Abscissan x_R^k, karaktäristiska värdet, underskrids med sannolikheten P_{XR}, abscissan x_S^k överskrids med sannolikheten P_{XS}.

m_{XR}, m_{XS} är väntevärden för X_R, X_S

σ_{XR}, σ_{XS} är motsvarande standardavvikelser

k_R, k_S är faktorer betingade av önskade värden på P_{XR} och P_{XS}.

Villkoret (2.3) kan nu skrivas under formen

$$Z = R\left(\frac{1}{\gamma_{R1}} x_{R1}^k, \frac{1}{\gamma_{R2}} x_{R2}^k \ldots\right) - S(\gamma_{S1} x_{S1}^k, \gamma_{S2} x_{S2}^k \ldots) > 0 \qquad (2.4)$$

Faktorerna γ_{Ri} och γ_{Si} brukar vid användning tillsammans med karaktäristiska värden betecknas partialkoefficienter. Kvoterna x_{Ri}^k / γ_{Ri} och produkterna $\gamma_{Si} x_{Si}^k$ kallas dimensioneringsvärden.

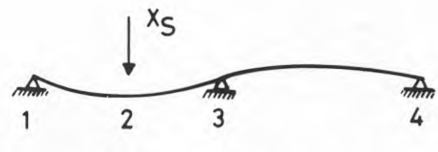
Partialkoefficienternas storlek kan väljas så att rimlig anslutning erhålls till äldre dimensioneringsmetoder men också genom jämförelser med utfallet av noggranna statistiska analyser i konkreta fall. Valda normvärden har endast i mycket begränsad utsträckning nyanserats med hänsyn till aktuella bärverkstyper eller dessas tilltänkta användningsområden. Konstruktioner är emellertid olika känsliga för slumpvariationer hos rumsliga dimensioner, material och laster. En förstoring eller förminskning av utgångsvärdena med en viss konstant faktor γ leder därför inte till att samma ändring av tillförlitligheten uppnås i olika bärverk. För att vid konstruktionsberäkningar uppnå samma tillförlitlighet hos olika bärverk med skilda laster och dimensioner måste i stort sett varje kombination av bärverkstyp och belastningar tilldelas speciella värden på partialkoefficienterna.

Användning av partialkoefficienter skall heller inte ses som ett försök att möjliggöra noggrann verifikation av en given tillförlitlighetsnivå utan snarare som en systematisering och öppen redovisning av olika faktorer som bedöms påverka tillförlitligheten. Förfarandet underlättar vidare en differentiering av valda säkerhetsmarginaler med hänsyn till omfattningen hos eventuellt uppkomna skador. En sådan differentiering kan också behöva göras mellan lastnivåer beroende på det sammanhang i vilket lasterna förekommer (i deformations- eller brottkriterier, i kombinationer eller separat mm).

För många konstruktioner blir dimensioneringsvillkoren av mera komplicerat slag än det i (2.3) angivna, som endast omfattar fall där gränsvillkoret kan uttryckas med skillnaden mellan <u>en</u> bärförmågefunktion R och <u>en</u> lasteffektfunktion S. Flera R- och S-variabler måste då ingå i de villkor som skall beskriva acceptabel bärverksfunktion

$$Z(R_1, R_2, \ldots , S_1, S_2, \ldots) \geq 0 \qquad (2.5)$$

Den i figur 2 visade kontinuerliga balken kräver exempelvis att böjmomenten, S_i, och tillhörande momentkapaciteter, R_i, studeras i åtminstone två snitt, i=2 och 3.



Figur 2 Kontinuerlig balk med fler än ett kritiskt snitt

Skillnader mellan tillförlitligheten hos olika bärverk dimensionerade enligt samma principer uppkommer i ett sådant fall inte bara på grund av att R och S är olika känsliga för variationer i de primära variablerna X_{Ri} och X_{Si}, på sätt som nämnts ovan. Skillnader förorsakas också av att bärverken kan kräva olika antal lokala brott innan total kollaps uppnås. För att undvika okontrollerbara och stora variationer hos projekterade konstruktioners tillförlitlighet har man introducerat verifikationsmetoder baserade på probabilistisk analys. Dessa s k säkerhetsteoretiska eller probabilistiska metoder syftar till kontrollberäkning av storheter som direkt eller indirekt skattar skaderisken.

2.2 Deformationsvillkor

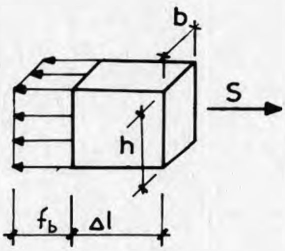
Framställningen har hittills i första hand inriktats på risken för att bärverk skall bryta samman. Dimensioneringen måste emellertid vanligen också genomföras med beaktande av risker för besvärande deformationer, sprickor och vibrationer. De kriterier som uppställs för sådana skadefall, kan också formuleras med tillförlitlighetsfunktioner. I dessa ingår acceptabla deformationer, R, i stället för bärförmågor medan lastbetingade deformationer, S, blir den adekvata formen av lasteffekter. Den förra typen av storheter kan vara deterministisk, dvs vara tilldelad ett bestämt värde. Acceptabla nivåer på exempelvis vibrationer kan också ha studerats genom fysiologiska tester vars resultat tillåter en statistisk behandling. I så fall kan R såväl som S framställas som stokastiska variabler.

Lastbetingade förskjutningar i ett visst kritiskt segment bestäms regelmässigt av deformationerna i ett bärverks olika delar. Vid beräkning av deformationer är det därför i många fall ändamålsenligt att tillämpa finita elementmetoder. Dessa låter sig också anpassas till beräkning av erforderliga statistiska parametrar för såväl deformationer som snittkrafter och spänningar i olika segment [2],[3].

3 FÖRHÅLLANDEN SOM PÅVERKAR SANNOLIKHETEN FÖR SKADA I EN BÄRVERKSDEL

3.1 Bärförmågan

En del av ett bärverk, t ex det i figur 3 skisserade segmentet av en rak, centriskt dragen stång, antas belastad av en axialkraft S . Dess bärförmåga R kan, om materialet är homogent, anges som produkten



Figur 3 Segment med längden Δl utskuret ur en rak stång påverkad av axialkraften S

av tvärsnittsarean $A = b \cdot h$ och brottspänningen f_b så att

$$R = Af_b$$

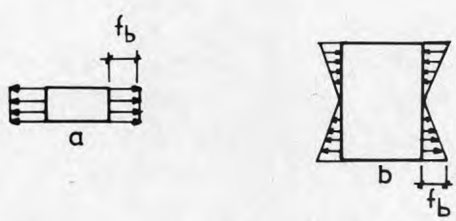
Så länge stången håller är dragkraften

$$S < Af_b$$

En serie dragprovningar av lika stora segment med tvärsnittsarean A kan ge information om brottspänningens stokastiska parametrar, t ex medelvärdet m_{fb}, standardavvikelse σ_{fb} samt om formen på frekvensfunktionen. Dennas utseende bör i princip vara beroende av materialets beteende vid brott. I spröda material kan de olika delarna inom en belastad materialvolym anses samverka enligt ett seriesystem, se 4.2, på grund av att brott i en begränsad del vanligen ger så stor lastökning på övriga delar att brottutvecklingen omedelbart fortskrider utan ytterligare ökning av yttre laster. För ett renodlat sprött material är det därför rimligt att anta en extremfördelning som kan beskriva spridningsegenskaperna hos den svagaste delen av tvärsnittet. Ett idealplastiskt material utsatt för relativt likformigt fördelad spänning bör på grund av att materialvolymens olika delar samverkar enligt ett parallellsystem, se 4.2, kunna karaktäriseras med en frekvensfunktion som nära ansluter till normalfördelningen. Denna karaktäriserar nämligen summor av ett stort antal (oberoende) variabler, vilka i sin tur är typiska för bärförmågefunktioner i parallellsystem. Normalfördelningen uppvisar emellertid en viss sannolikhet också för negativa hållfasthetsvärden vilket gör att man stundom sökt beskriva brottspänningens variabilitet med en lognormalfördelning.

Förekomsten av skilda hållfasthetsfördelningar medför att de statistiska egenskaperna hos brottspänningen f_b kan variera på olika sätt med det studerade segmentets tvärsnittsstorlek och längd. Ett för provstycken med vissa bestämda dimensioner bestämt värde på f_b kan inte omedelbart tillämpas på en konstruktion med andra dimensioner. Detta storleksberoende påverkas också av materialets struktur. Studier av oregelbundenheter och felaktigheter i vissa konstruktionsmaterial visar att den praktiskt utnyttjbara styrkan på ett avgörande sätt bestäms av olika typer av materialimperfektioner och endast i ringa grad av styrkan hos perfekta kristaller eller fibrer av aktuellt material. Antalet defekter per volymsenhet varierar kraftigt i olika typer av material. Ett till synes homogent material kan innehålla miljontals hållfasthetsnedsättande defekter medan däremot s k inhomogena material kan ha färre antal imperfektioner per volymsenhet. Eftersom en provkropp av den förstnämnda typen innehåller ett mycket stort antal felaktigheter är det osannolikt att detta antal varierar mera påtagligt mellan nominellt lika provkroppar. I det inhomogena materialet är en sådan variation däremot mycket trolig. Om provkropparnas storlek ökas, kommer i båda fallen antalet defekter också att öka. Betydelsen av ökningen blir emellertid olika för de båda materialen.

Det i figur 3 visade segmentet är utsatt för en homogent fördelad påkänning. Om segmentet i stället hade ingått i en böjd balk, hade spänningen varierat med avståndet från neutrallagret. Lameller belägna på olika höjd i segmentet hade därmed påverkats olika vilket i princip bör inverka så att brottsannolikheter blir olika vid centrisk dragning och böjning även om den för en viss lastpåverkning beräknade maximispänningen i båda fallen är lika stor, fig.4. När ett dimensioneringsvärde på spänning skall väljas med utgångspunkt från



Figur 4 Spänningsblock på:
a) provkropp, och
b) segment av projekterat bärverk

resultatet av mätningen på en provkropp bör därför <u>spänningsblockets form</u> i den projekterade konstruktionen beaktas.

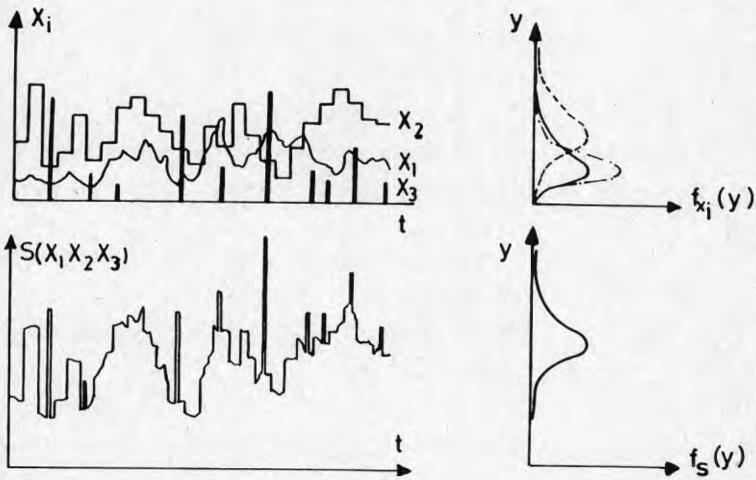
Bärförmågan R för segmentet i fig. 3 framställs som en produkt av en spänning f_b och en area $A = b \cdot h$. Om A liksom f_b uppvisar så stora, slumpvisa variationer att de behöver beaktas, kan man ställas inför uppgiften att bestämma fördelningsfunktionen för den av primära variabler f_b, b och h beroende variabeln R. I det enkla fallet $R = b \cdot h \cdot f_b$ kan detta i princip genomföras vid vissa gynnsamma egenskaper hos b, h och f_b men i övriga fall och vid mer komplicerad R-funktioner kan härledning av frekvensfunktioner knappast komma till praktisk användning. Därtill kommer problemet att på ett tillförlitligt sätt verifiera vilka typer av frekvensfunktioner som bäst beskriver de mycket extrema slumputfall av primära bärförmågevariabler som är av intresse vid studie av bärverks säkerhet. Bl.a. dessa två svårigheter gör att man för praktisk dimensionering förmodligen måste tillgripa någon eller några typer av normenligt föreskrivna frekvensfunktioner för att entydiga och rättvisande dimensioneringsregler skall uppnås. I princip medför detta att de sannolikheter som beräknas utifrån sådana formella frekvensfunktioner också blir formella och därmed inte direkt jämförbara med risken för olyckor vilket diskuteras nedan i avsnitt 5.3.

Inte endast det ovan nämnda storleksberoendet och förekomsten av primära variabler med olika typer av frekvensfunktioner inverkar på bärförmågorna R_i. Också eventuella beroenden mellan de ingående variablerna spelar en ofta väsentlig roll för R_i liksom för sannolikheten hos händelser av typen (2.1).

Under vissa förhållanden kan beroenden beskrivas exakt eller approximativt med korrelationskoefficienter. Det är då möjligt att relativt enkelt bestämma effekten av beroenden mellan variablerna X_{Ri} förutsatt att sambanden mellan primära variabler och bärförmågor är linjära. Man kan då också finna korrelationskoefficienter mellan bärförmågor i olika delar av ett bärverk.

3.2 Belastningen

Vi vänder oss nu till de belastningar som bestämmer lasteffekten S . Denna uttrycks normalt som en funktion av flera olika lasttyper vilka ofta uppvisar stora, slumpvisa variationer. Väsentligt för segmentets tillförlitlighet är sannolikheten för att totala lasteffekten når höga värden. Problemet att finna den fördelning efter vilken den sammansatta lasteffekten faller ut måste lösas med beaktande av lastens tidsvariation, fig 5.



Figur 5 Exempel på olika typer av primära lastprocesser X_i och dessas sammantagna lasteffektprocess $S(\;)$ i en viss bärverksdel. De två högra diagrammen visar de till processerna hörande frekvensfunktionerna.

Övergången från primära lastvariabler till lasteffekter erbjuder därför större problem än de som uppkommer vid transformation av primära variabler till bärförmågor. Detta förhållande ökar behovet av exempelvis förenklingar genom val av ändamålsenliga och enhetliga frekvensfunktioner. Beräkningar av lasteffekters medelvärden, varianser och korrelationer kan därefter genomföras relativt enkelt enligt samma principer som ovan beskrivits för R-funktioner, se Andersson [3].

3.3 Tillförlitlighetsfunktionen

Segmentet i figur 3 har tillförlitlighetsfunktionen

$$Z = R - S \tag{3.1}$$

Om fördelningarna för R och S är kända kan fördelningsfunktionen $F_Z(z)$ för Z i princip bestämmas. Därefter erhålles skadesannolikheten P_f genom att $F_Z(z)$ beräknas för $z = 0$ vilket ju anger sannolikheten för att z är mindre än 0. På liknande sätt kan sannolikheten beräknas om Z är en funktion av flera funktioner R_i och S_i eller av primära variabler X_{Ri}, X_{Li} och X_{Si}. Användning av enhetliga frekvensfunktioner och korrelationer kan här motiveras av samma skäl som ovan anförts vid härledning av R-funktioner.

Tillförlitlighetsfunktioner kan väljas på olika sätt för ett och samma bärverk. Ofta beräknas varianser och kovarianser med utgångspunkt från lineariserade approximationer av aktuella Z-funktioner. Approximationerna leder till varierande noggrannhet beroende på valda Z-uttryck. Önskemålet att göra resultatet oberoende av ovannämnda val kan då inte alltid tillmötesgås med användning av tillförlitlighetsfunktioner, det så kallade invariansproblemet.

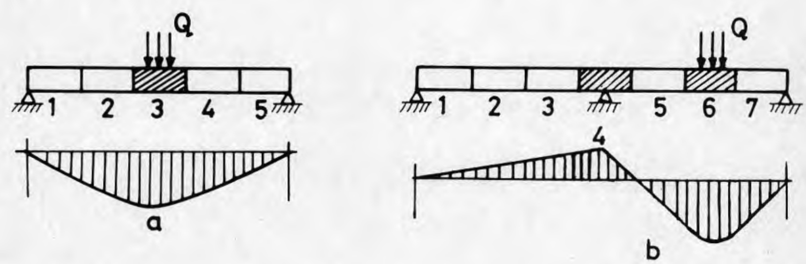
När det gäller lastbärande konstruktioner kan detta eventuellt lösas så att specificerade krav på minsta tillåtna P_f varieras något beroende på de principer efter vilka Z-funktionerna valts.

4 BÄRVERK SAMMANSATTA AV FLERA SEGMENT

4.1 Motiv för segmentindelning

Segment av den typ som behandlades i föregående avsnitt, förutsätts ha homogen bärförmåga med avseende på visst slag av lasteffekt. Dennas storlek antas variera endast obetydligt för olika tänkbara brottfigurer inom segmentet. Ett helt bärverk uppfyller i allmänhet inte dessa villkor utan måste behandlas som en kombination av flera segment [4].

Bärverkets brottsannolikhet blir då i princip beroende av alla de ingående segmentens skadebenägenhet. I fig. 6a har en fritt upplagd balk indelats i fem segment vars



Figur 6 Balkar indelade i segment varav endast de sektionerade enheterna beaktas vid tillförlitlighetsanalys
a) Fritt upplagd balk indelad i 5 segment
b) Kontinuerlig balk indelad i 8 segment

bärförmågor med avseende på snittmoment antas ha lika fördelningar. Sannolikheten P_f för brott i balken bestäms i huvudsak av det mest påfrestade segmentet, nr 3, som ger det dominerande bidraget till P_f. För en kontinuerlig balk enligt fig.6b bör både segment nr 4 över mellanstödet och nr 6 under lasten Q medtas i kalkylen, eventuellt ytterligare några segment.

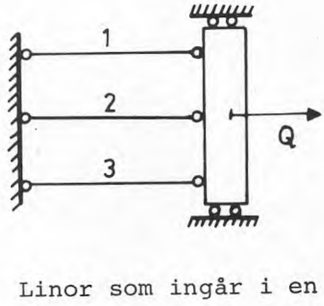
Antalet segment som behöver beaktas vid en given indelning, blir stort om segmenten dimensioneras med lika brottsannolikheter. Detta medför bl.a. att jämnstarka konstruktioner inte blir så materialsnåla vid en probabilistisk dimensionering som vid en traditionell, där ingående variabler har bestämd storlek eller m a o behandlas som deterministiska företeelser. Å andra sidan kan man säga att om den (okända) risknivå som svarar mot mycket komplexa konstruktionssystem dimensionerade enligt deterministisk metod skulle accepteras även för enkla system, skulle dessa komma i en mycket gynnsammare situation om probabilistiska principer tillämpades.

Det sätt på vilket segmenten blir sammanställda i ett bärverk, har i allmänhet stor betydelse för tillförlitligheten. Man skiljer på olika huvudtyper av kombinationer, serie- och parallellmodeller, mellan vilka också blandformer förekommer.

4.2 Serie- och parallellstrukturer

Segmenten kan vara ordnade på sådant sätt att skada i ett av dem räcker för att konstruktionen inte längre skall uppfylla ställda krav. Man talar då om en seriestruktur, som exemplifieras av den fritt upplagda balken i fig.6a och av en belastad kedja vars länkar kan betraktas som segment.

I en renodlad parallellstruktur samverkar segmenten så att brott inte uppkommer förrän alla segment nått



Figur 7 Linor som ingår i en parallellstruktur

brottvärden. Som exempel visas i figur 7 tre linor som antas tillverkade av ett ideal plastiskt material. De bildar en struktur som inte bryter samman förrän kraften Q nått summan av linornas flytlaster.

Om segmenten i de båda fallen har kända brottsannolikheter p_{fi} kan systemets brottsannolikhet P_f lätt beräknas förutsatt att de olika länkarnas bärförmågor inte är beroende av varandra utan fördelas på ett slumpmässigt sätt i de olika segmenten.

Föreligger beroenden mellan segmentens bärförmågor, R_i, minskar P_f i seriekopplingsfallet. I gränsen då de slumpvisa utfallen av R_i för samtliga länkar i en kedja alltid står i bestämda relationer till varandra, d v s de är fullständigt beroende av varandra, blir P_f lika med det största av p_{fi}-värdena. I motsats till vad som gäller för seriestrukturer erhålles för parallellstrukturer lägre tillförlitlighet, d v s högre brottrisk, om linornas bärförmågor är statistiskt beroende.

Beroenden mellan ovannämnda ytterligheter är i allmännare fall svåra att analysera. Detta vållar olägenheter eftersom de mot de två gränsfallen svarande brottsannolikheterna ofta är vitt skilda.

4.3 Mellanformer

Statiskt obestämda bärverk kännetecknas av att fler än ett segment måste brista innan total kollaps uppnås. Ur praktisk synpunkt kan det ibland vara svårt att avgöra vad som skall räknas till total kollaps eftersom även lokala brott kan vara oacceptabla. Bortses från denna möjlighet kan emellertid en total kollaps av ett n-faldigt statiskt obestämt bärverk definieras av att n+1 segment brister. Konstruktionen har i detta avseende "parallellkaraktär". Statiskt obestämda bärverk har därför åtminstone samma tillförlitlighet som sina mest utsatta segment i motsats till statiskt bestämda som ju är exempel på seriesystem och således är åtminstone lika riskabla som sina minst tillförlitliga segment. I en deterministisk analys är det möjligt att bestämma den ordningsföljd i vilken kritiska segment i en statiskt obestämd konstruktion kommer att brista eller flyta vid ökande belastning. Om däremot lasteffekter och bärförmågor är slumpvariabler, blir denna ordningsföljd styrd av slumpen. Spröda material förlorar hela sin lastbärande förmåga när deras brottspänning uppnås. Det första segmentbrottet i en konstruktion av sprött material leder därför till avsevärt ökad belastning på resterande segment. Trots att det i princip krävs $n+1$ segmentbrott för en totalkollaps, kan man då i allmänhet nöja sig med att beräkna sannolikheten för det första segmentbrottet eftersom sannolikheten för det näst-följande vanligen är mycket nära 1 om bärverket inte avviker allt för mycket från optimalt utförande. Antalet brottfigurer eller brott-moder blir då lika med antalet tänkbara segmentbrott. Dessa kan betraktas som seriekopplade eftersom det är tillräckligt att bärverket går sönder på något sätt. Brotthändelsen blir därmed lik den för statiskt bestämda bärverk.

Den totala brotthändelsen för statiskt obestämda bärverk av plastiska material kan också tecknas med kombinationer av delhändelser karaktäriserade av tillförlitlighetsfunktioner Z_i . Vid analys av exempelvis balkar eller ramar enligt flytledsteori betecknar Z_i-funktionerna skillnaden mellan inre deformationsenergi och yttre lasters arbete vid en virtuell deformation. Varje möjlig brottmekanism, i, karaktäriseras således av <u>en</u> tillförlitlighetsfunktion Z_i . De olika mekanismerna kan betraktas som seriekopplade eftersom ingen av dem får inträffa.

Bärverket fungerar som parallellkopplat vad gäller en enskild brottmod eftersom ett antal segment måste utsättas för flytmoment innan kollaps inträder. Med hänsyn till totalsituationen med alla brottmekanismer beaktade fungerar emellertid bärverket enligt seriemodellen. Brott enligt en av de möjliga kollapsalternativen räcker för att ett oacceptabelt sammanbrott skall utlösas.

5 DIMENSIONERINGSMETODER

5.1 Nivåindelning

Mot bakgrund av de traditionella dimensioneringsförfarandenas brister har man som nämnts utvecklat metoder byggda på sannolikhetsläran. Graden av konsekvens och ambition i dennas tillämpning har givit anledning till följande nivåindelning.

I metoder på nivå 1 anses en konstruktionsdels tillförlitlighet uppfylld genom att i en kravfunktion insätta dimensioneringsvärden på aktuella hållfastheter, påverkningar och dimensioner. Dimensioneringsvärdena beräknas som produkten av partialkoefficienter och karaktäristiska eller nominella värden. Inverkar flera belastningar introduceras ibland också reduktionskoefficienter som på ett överslagsmässigt sätt skall beakta den relativt ringa sannolikheten för att varierande laster samtidigt skall nå sina maxima.

I en nivå 2-metod beaktas slumpmässiga kombinationer av hållfastheter och lasteffekter. Konstruktören arbetar med stokastiska variabler representerade av sina medelvärden och varianser. Ibland beaktas även stokastiska beroenden mellan variabler. Detta sker då med korrelationskoefficienter vilka ju är ett mått på slumpvariablers tendens till linjär samvariation. På grund av att bärverksanalysen görs med slumpvariabler fås spridningsmått för exempelvis en genom ekv. (2.1) eller (2.5) uttryckt "säkerhetsmarginal", Z . Därmed kan tillförlitligheten tillgodoses genom att krav på vissa skattade, formella sannolikheter för acceptabel bärverksfunktion i olika avseenden uppfylls i stället för att i analysen arbeta med försiktikt valda ingångsvärden. Eftersom spridningen hos slumpvariablerna och funktioner av dessa endast beskrivs med andra ordningens variationsmoment (varianser och korrelationer) och inte med fullständiga frekvensfunktioner måste de beräknade sannolikheterna betraktas som formella, grova skattningar. De kan därmed inte jämföras med andra sannolikheter för exempelvis olyckshändelser i samhället men väl användas som ett lämpligt hjälpmedel för att jämföra tillförlitligheten hos skilda typer av bärverk av olika material.

Nivå 3 kännetecknas av att frekvensfunktioner introduceras för alla stokastiska variabler, att beräknade sannolikheter baseras på dessa frekvensfunktioner och att kända beroenden mellan variablerna beaktas. I mycket enkla fall kan nämnda sannolikheter beräknas. I de flesta praktikfall är dock bärförmågorna R och lasteffekterna S funktioner av ett flertal slumpvariabler, vilket komplicerar både de gränsvillkor som karaktäriserar acceptabla kombinationer av slumputfall och själva sannolikhetsberäkningen. Man behöver inte ge sig i kast med särskilt avancerade konstruktioner för att finna att formuleringen av gränstillstånd i primära slumpvariabler, bestämningar av relevanta, flerdimensionella frekvensfunktioner och lösningen av härledda uttryck för sannolikheter leder till alltför stora svårigheter för att kunna genomföras i allmänt praktiserade dimensioneringsmetoder.

Man har också introducerat en fjärde nivå som avses medge bestämning av lämplig tillförlitlighetsgrad utifrån ett optimeringsförfarande baserat på vissa värderingar.

Hållfasthetsmodeller med slumpvariabler studerades tidigt av bl a Mayer [5], Weibull [6], Jonsson [7] och Volkov [8]. De senaste 10-15 åren har intresset för probabilistiska dimensioneringsmetoder ökat och ett flertal olika förslag till mer eller mindre praktiskt användbara förfaranden har presenterats. Mera allmänt kända sådana förfaranden har utarbetats av Cornell [9], Rosenbleuth och Esteva [10], Ditlevsen [11], Paloheimo och Hannus [12], Veneziano [13] och Hasofer och Lind [14]. En sammanfattning av 70-talets diskussioner redovisas i CIRIA [15] och översikter av olika metoder ges i Dyrbye et al [16], Ditlevsen [17] och Thoft-Christiansen och Baker [18].

5.2 Metoder på nivå 1

Partialkoefficientmetoden som introducerats i SBN 80 och i ett flertal andra länders normer, är en nivå 1-metod. Den har i sina huvuddrag beskrivits i avsnitt 2 De i 5.1 påtalade reduktionskoefficienterna vid lastkombinationer, ψ , uppträder tillsammans med partialkoefficienterna som faktorer framför belastningarnas karaktäristiska värden.

Den för tillförlitlighetskontrollen aktuella kravfunktionen

$$Z\ (R_1^{\,d},\ R_2^{\,d},\ \ldots\ L_1^{\,d},\ L_2^{\,d},\ \ldots\ S_1^{\,d},\ S_2^{\,d},\ \ldots) \geq 0 \qquad (5.1)$$

analyseras därför med följande dimensioneringsvärden:

$$R_i^{\,d} = \frac{1}{\gamma_{Ri}} \cdot R_i^{\,k}, \qquad L_i^{\,d} = \gamma_{Li}\ L_i^{\,k}, \qquad S_i^{\,d} = \psi_i \cdot \gamma_{Si} \cdot S_i^{\,k} \qquad (5.2)$$

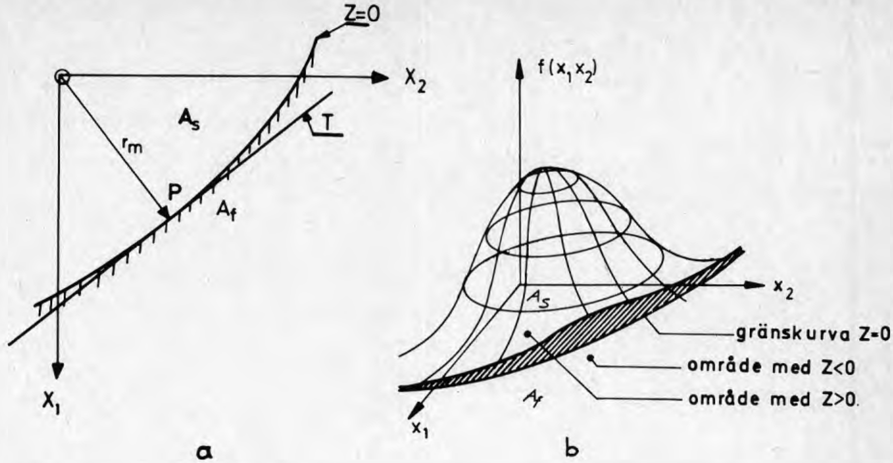
Metoden ger i förhållande till traditionella förfaranden förbättrade möjligheter att jämföra olika bärverks effektivitet. Den gör inga utsagor om skaderisker och kan inte uttrycka dessa riskers beroende av sättet för de olika konstruktionsdelarnas hopkoppling i ett komplext bärverk.

5.3 Metoder på nivå 2

En metod på nivå 2 möjliggör dimensionering av bärverk på sådant sätt att ett visst formellt mått på tillförlitligheten innehålles. Låt oss anta att metoden skall tillämpas på ett fall då utebliven skada kan beskrivas med ett villkor på tillförlitlighetsfunktionen Z ,

$$Z\ (X_1,\ X_2) \geq 0 \qquad (5.3)$$

De två stokastiska variabler vilka ingår i problemet har omtransformerats till variablerna X_1 och X_2 som har väntevärdena 0 och standardavvikelserna 1. Sambandet (5.3) markerar vid likhet mellan höger och vänsterled gränsen mellan gynnsamma och ogynnsamma utfall. Det åskådliggöres i fig. 8a med en kurva. Dennas minsta avstånd till origo, r_m, bestämmer i viss mån sannolikheten för att skada skall utebli. Detta framgår av fig. 8b där en yta som beskriver den tvådimensionella frekvensfunktionen $f_Z(X_1,X_2)$ lagts in över X_1,X_2-planet. Ju längre origo flyttas från gränskurvan desto större blir r_m och desto mindre den volym V mellan ytan och X_1 X_2-planet, som ger sannolikheten p_f för skada. Avståndet r_m väljes därför som säkerhetsmått. Dimensioneringsuppgiften innebär att väntevärdena och om möjligt varianserna på de primära variablerna avvägs i förhållande till varandra på sådant sätt att avståndet r_m blir minst lika med ett givet tillförlitlighetsmått, β.



Figur 8 Skadesannolikhet P_f åskådliggjord som en volym V.
a. Gränskurva för den del, A_f, av X_1X_2-planet som ger oacceptabla kombinationer av variablerna X_1 och X_2
b. Frekvensfunktionen för X_1, X_2 bildar över ytan A_f en volym som ger P_f. Volymen över ytan A_s som svarar mot utebliven skada, är $1 - V$.

Om gränskurvan är krökt, approximeras den med tangenten T i den punkt P på kurvan som har minst avstånd till origo. Förfarandet kan generaliseras till att gälla för större antal variabler X_i.

De förenklingar som använts i den ovan beskrivna β-metoden är:

1. Dimensioneringen bestäms av minsta avståndet mellan origo och gränsytan och i allmänhet inte av sannolikheten för skada.

2. De i gränsvillkoret ingående variablerna antas normalfördelade. Den i beräkningar introducerade frekvensfunktion $f(X_1, X_2, \ldots)$ avviker därför i allmänhet från den verkliga vilket också leder till osäkra relationer mellan β och skadesannolikheten P_f.

3. Eventuella beroenden mellan variablerna X_i måste beaktas på ett förenklat sätt. De karaktäriseras därvid av första ordningens korrelationer gällande normalfördelade variabler.

Antagandet 1 innebär att bärverk med väsentligt olika gränsytor och tillförlitlighet kan ha samma minsta avstånd mellan origo och gränskurvan vilket givetvis inte är tillfredsställande.

Antagandet 2 att samtliga ingående variabler är normalfördelade möjliggör praktiska tillämpningar men försämrar skärpan i dimensionskontrollen. De beräknade sannolikheterna är i hög grad beroende av vilka frekvensfunktioner som användes, se t ex Handa [19]. Sannolikheter som beräknas utgående från mer eller mindre godtyckligt valda frekvensfunktioner för ingångsvariablerna kan därför inte betraktas som något annat än formella mått på den marginal varmed vissa krav uppfylls. Det är en nackdel på så sätt att jämförelser ej kan göras med andra statistiskt väl underbyggda sannolikheter. Om en sådan jämförelse skulle vara möjlig fordras, förutom betryggande statistiskt underlag, dessutom att exempelvis grova fel, sabotage och olyckshändelser beaktas vid dimensioneringen, vilket förefaller omotiverat i normala konstruktioner. Sådana åtgärder som införande av systematiska kontrollåtgärder för undvikande av grova fel, se Öfverbeck [20] , kan emellertid bidra till minskad materialåtgång även om sannolikheten för grova fel inte explicit ingår i riskanalysen. Kontrollåtgärder medför ju oftast gynnsammare spridning hos vissa bärförmågevariabler.

Probabilistiska dimensioneringsmetoder bör i första hand underlätta framtagandet av resurssnåla bärverk och möjliggöra rättvisare jämförelser mellan olika typer av konstruktioner och material än vad som varit möjligt tidigare. Med en sådan målsättning kan valet av frekvensfunktion göras tämligen fritt och framför allt så att användningen underlättas. Ett konsekvent val av normalfördelningar åtminstone i en första approximation framstår då som rimligt. Det har också visat sig möjligt att genom vissa transformationer i någon mån beakta inverkan av variablers avvikande fördelningsförhållanden [18].

Användningen av normalfördelningar medger enligt antagandet 3 ett beaktande av korrelationer mellan ingående variabler. Sker inte detta kan endast övre och undre gränsfall erhållas som svarar mot fullständig eller obefintlig korrelation. Eftersom de i verkliga konstruktioner förekommande korrelationerna varierar kraftigt, blir skillnaden mellan resultat baserade på mer nyanserade korrelationsbeskrivningar och på ovan nämnda gränser ofta avsevärd. Detta gäller speciellt då många kritiska segment förekommer.

För att precisera parametrarna till flerdimensionella fördelningar krävs uppgifter om medelvärden, varianser och korrelationskoefficienter. När det gäller primära variabler är detta en fråga om framtagning av statistiskt underlag från experiment eller observationer. Beträffande sammansatta uttryck av typer som förekommer i R-, S- eller Z-funktioner kan dessa variationsmoment som tidigare nämnts utan alltför omfattande arbetsinsats bestämmas för olika slag av bärverk genom att man använder en viss matrisformalism och linjariserade uttryck för Z-funktionerna, se Andersson [3].

Det ovan beskrivna förfarandet med en flerdimensionell fördelningsfunktion rekommenderas i planverkets publikation "Allmänna regler för bärande konstruktioner" [21], närmast i anslutning till den av Hasofer och Lind [14] utarbetade versionen.

En konstruktion som kan skadas på olika sätt, måste enligt kap.4 ovan karaktäriseras med flera tillförlitlighetsfunktioner Z_i . Hasofer och Linds metod kan i princip användas också i detta fall, varvid gränsytan kommer att bestå av flera avsnitt med skilda ekvationer. Detta innebär svårigheter vid bestämning av minsta avståndet β till gränsytan och ofta större avvikelser mellan den av β indikerade skadesannolikheten och den exakt beräknade. Arbete pågår därför på flera håll för att finna bättre approximationer till de flerdimensionella integraler som uppkommer ur tecknandet av P_f men ännu har ingen presenterat någon metod som med rimligt beräkningsarbete ger önskvärd noggrannhet för olika i praktiken förekommande gränsytor och korrelationer. En beskrivning av publicerade förslag och referenser till originaluppsatser ges i Dolinski [22]. Den för närvarande kanske mest uppmärksammade tekniken presenteras i Hohenbichler och Rackwitz [23] och Hohenbichler [24] och bygger på att gränsytan efter transformation till oberoende variabler approximeras med ett tangentplan genom den punkt som ligger närmast de aktuella variablernas medelvärdespunkt. Approximationens noggrannhet blir emellertid svåruppskattad och varierar kraftigt med olika typer av gränsytor.

Ett alternativ till metoder som bygger på en drastisk förenkling av gränsytan, är att genomföra integrationen av den mångdimensionella fördelningsfunktionen numeriskt på ett effektivt sätt. Introduceras z_i-funktionerna som integrationvariabler kan en metod beskriven i Andersson [3] användas för ett måttligt antal variabler. Den innebär att det innanför gränsytan belägna delrummet uppdelas i smala sektorer med spetsen i medelvärdespunkten. Sektorernas höjd bestäms av det i aktuell riktning beräknade avståndet till gränsytan. På så sätt kan man beakta den sammansatta gränsytans verkliga form vid integnationen samtidigt som antalet integrationspunkter reduceras avsevärt.

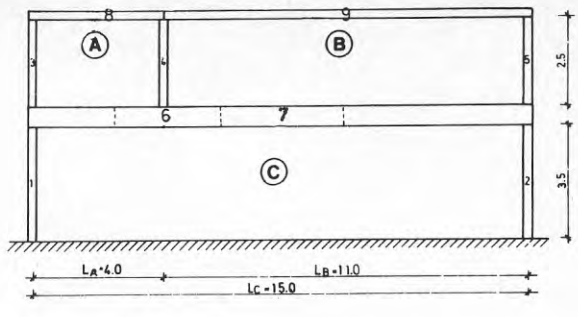
I många praktiska fall kan de olika tillförlitlighetsfunktionerna exakt eller med god tillnärmelse betraktas som linjära kombinationer av ett antal gemensamma variabler och därutöver av helt oberoende variabler som endast förekommer i <u>en</u> tillförlitlighetsfunktion. Den sökta sannolikheten för skada kan då framställas med hjälp av integraler vars storlek låter sig skattas relativt enkelt också när variablerna tilldelats olika typer av fördelningsfunktioner, Kärrholm [25].

6 KRAVFORMULERING

De ovan diskuterade problemen har gällt bestämning av tillförlitlighetsmått. Måttet är då relaterat till vissa kravformuleringar som karaktäriserar acceptabel bärverksfunktion. För somliga bärverkstyper är innebörden av begreppet acceptabel självklar. En fritt upplagd balk måste exempelvis alltid bära sin avsedda last utan att störta samman. När det gäller ytbärverk såsom plattor och skal är definitionen av acceptabel funktion mera oklar eftersom mycket besvärande "lokala" skador kan uppkomma innan total kollaps inträffar, Handa och Lautersztajn [26].

Tillförlitlighetsmått för system sammansatta av ett flertal delar eller bärverk (t ex en byggnadsstomme) kan utnyttjas för att karaktärisera trygghetskrav ställda av dem som vistas i en byggnad. Ett sådant krav kan exempelvis avse ett största acceptabelt värde på brottrisk P_f i den mest utsatta rumsenheten. En största tillåten brottrisk lika med P_f dividerad med aktuell rumsyta skulle kunna vara ett annat alternativ som i viss mån beaktar att konsekvenserna av ett brott kan bli allvarligare i större rum. För att belysa betydelsen av kravformuleringen betraktar vi balk-pelarsystemet i figur 9. Systemet har i figuren uppdelats i 9 segment som vart och ett innefattar en vid säkerhetsanalys beaktad, tänkbar brottfigur.

Dagens normer ställer i stort sett enbart krav på enskilda tvärsnitt. Varken samverkan mellan bärförmågor i olika konstruktionsdelar eller eventuell förekomst av olika brottmoder beaktas i krav-formuleringen. Detta leder till vissa erforderliga medelvärden för bärförmågorna under förutsättningen att de olika kritiska



Figur 9 Balk-pelarsystem med numrerade segment 1-9

segmenten (numrerade 1-9 i figur 9) var för sig måste ha en högsta brottsannolikhet lika med P_f vid en probabilistisk dimensionering.

En alternativ kravformulering kan vara att sannolikheten för att något av de 9 segmenten bryter samman får vara högst P_f . Detta krav motsvaras av andra bärförmågor än de ovan erhållna.

Ytterligare ett sätt att formulera kravet kan vara att brottrisken i varje rum skall vara mindre än P_f . Eftersom brott för rum C leder till brott även i A och B blir de översta två rummen farligast. Enbart om brottrisken för rum C dominerar, fås ungefär lika risker i alla rum. En uppsättning bärförmågor (bland många tänkbara) som uppfyller kravet på högst P_f i något rum avviker från dem som erhållits vid de båda föregående kravformuleringarna.

Om kraven anpassas till rumstorlekarna kan det exempelvis krävas att P_f /4,0 = 0,25 P_f är maximalt tillåten brottrisk i rum A, P_f /11,0 = 0,091 P_f i rum B och P_f/15,0 = 0,067 P_f i rum C. Detta uppfylls med ytterligare en ny uppsättning bärförmågor.

De fyra olika kombinationerna av bärförmågor representerar skilda definitioner på önskvärd säkerhet. Trots att alltså samma sannolikhet P_f har utgjort basen för alla kravformuleringarna visar det sig att de olika alternativen med vissa rimliga numeriska ingångsvärden ger bärförmågor motsvarande erforderliga materialmängder i relationerna 1.00:1.21:1.24:1.43. Det vid olika kravformuleringar uppkommande materialbehovet har därvid helt enkelt antagits proportionellt mot H_iL_i för såväl pelare som balkar där H_i anger erforderlig konstruktionshöjd vid en gemensam, given balk- och pelarbredd och L_i respektive konstruktionsdelars längd.

Ur trygghetssynpunkt torde de två senare kravformuleringarna i princip vara att föredra eftersom de beaktar såväl enskilda kritiska segment som det sätt på vilket de påverkar riskförhållandena i byggnadens vistelsezoner. Införandet av liknande principer skulle förmodligen resultera i avsevärda förändringar när det gäller avvägning mellan dimensionerna hos bärverk i storskaliga, komplexa system å ena sidan och i upplösta, enklare system å den andra.

7 FORSKNINGSUPPGIFTER

Många väsentliga problem behöver utredas innan ett tillfredsställande underlag kan sägas föreligga för en mera allmän tillämpning av probabilistiska dimensioneringsmetoder.

För påverkningar saknas i stor utsträckning empiriska uppgifter om hur olika belastningar varierar och samverkar i tiden. Bättre kunskap i dessa avseenden behövs framförallt för att lastkombinationer skall kunna hanteras på ett rimligt sätt.

Behovet av experimentella data om olika variablers stokastiska beroenden gäller också hållfasthetsparametrarna i de olika segmenten. Som tidigare nämnts påverkas bärförmågevariablerna också av segmentens storlek och påkänningsfördelning. Ett omfattande empiriskt material krävs därför innan resultat erhållna på provkroppar i laboratorium med rimlig tillförlitlighet kan "översättas" till motsvarande uppgifter för ett bärverks segment. Resonemanget ger en bakgrund till vad som brukar kallas stokastiskt storleksberoende, vilket vanligtvis innebär att ökad materialvolym ger minskad hållfasthet. Fenomenet är således nära knutet till problemet med stokastiska beroenden och samverkan mellan olika imperfektioner inom ett och samma material. Kunskapen om dessa förhållanden är för närvarande otillfredsställande med tanke på dess centrala betydelse i samband med probabilistisk dimensionering. Omfattande experimentella och teoretiska studier är därför angelägna. Konkret kan införandet av stokastiskt storleksberoende och korrelationer komma till uttryck genom att de i konstruktionsberäkningarna använda bärförmågeparametrarna relateras till aktuella segmentvolymer.

Lösningen av den tidigare nämnda, mångdimensionella integralen är ett problem som alltjämt sysselsätter många forskare. Parallellt med detta arbete bör det alternativa förfarande som antyddes i slutet av 5.3 studeras närmare. Det är väsentligt att tillförlitlighetsproblemet kan löses med metoder som har tillfredsställande skärpa, medger anpassning till ändamålsenliga kravformuleringar och kan användas med insats av måttligt beräkningsarbete.

Dagens kravformuleringar tillgodoser tillförlitligheten med avseende på en speciell skada i en avgränsad konstruktionsdel (tvärsnitt). De bör ersättas med kriterier som tar sikte på risker för personskador och omfattningen av en skadas ekonomiska konsekvenser. Denna omorientering kommer att kräva tillämpning, vidareutveckling och komplettering av nu tillgänglig, probabilistisk beräkningsmetodik. Metoder på både nivå 3 och 4 blir aktuella.

Dimensionering med hänsyn till gränstillstånd i bruksstadiet är exempel på ett annat, föga utrett problemområde. Nivån på de acceptabla lasteffekter som skall införas i skadekriterierna, är i många fall ytterst osäker. Kriterierna tar inte hänsyn till det förhållandet att skador stundom kan accepteras under vissa villkor. De kanske då bör omformuleras så att optimala kostnader erhålls för reparationsåtgärder och initiella produktionskostnader.

Trots att åtskilliga problem återstår att lösa kan avslutningsvis betonas att det redan idag finns möjligheter att tillämpa probabilistiska metoder som ger väsentliga fördelar framför traditionella förfaranden. De nya metoderna gör det exempelvis möjligt att jämföra bärverk av olika typ och material på ett mer rättvisande sätt än tidigare. Metoderna medger också att sammansatta system av olika komplexitet kan jämföras med hjälp av formella sannolikheter för systemens totala funktion.

[24] Hohenbichler,M. An approximation to the multivariate normal distribution function. SFB 96, Technische Universität, München -82.

[25] Kärrholm, G. A method of estimating the reliability of structures. Beräknas bli publ. VT 83, avd. Byggnadskonstruktion, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1983.

[26] Handa, K. Lautersztajn,N. Probability analysis of plates. Rapport 1983:5, avd. Byggnadskonstruktion, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1983.

8 REFERENSER

[1] Shanb,H — Die Geschichte der Bauingenieurkunst, ein Überblick von der Antike bis in die Neuzeit. Verlag Birkhäuser, Basel 1949.

[2] Handa,K; Kärrholm,G — Application of Finite Element Methods in the Statistical Analysis of Structures. Rapport 1975:6, avd Byggnadskonstruktion, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1975.

[3] Andersson,K — Stochastic Load Effect on the Reliability of Structures. Dokt.avh., Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1982.

[4] Andersson,K; Kärrholm,G — Formell brottrisk för enkla bärverk. Rapport 1976:5,avd. Byggnadskonstruktion, Chalmers Tekniska Högskola,Göteborg 1976.

[5] Mayer,H. — Die Sicherheit der Bauwerke. Springer Verlag, Berlin 1926.

[6] Weibull,W — A Statistical Theory of Strength of Materials Ingenjörsvetenskapsakademin, Publ. 151 Stockholm 1939.

[7] Jonsson,A.I. — Strength, Safty and Economical Dimensions of Structures. Document D7:1971, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm 1971. (nytryckning av original från 1953).

[8] Volkov,D.S. — Statistical Strength Theory. Polytechnic Institute of Urals, Gordon and Breach Science Publishers, New York 1962.

[9] Cornell,C.A. — A Probability-based Structural Code. ACI Journal Vol. 66, 1969, pp 974-985.

[10] Rosenblueth; Esteva — Reliability basis for some Mexican Codes. ACI Publ.SP-31, 1972, pp 1-41.

[11] Ditlevsen,O. — Structural Reliability and the invariance Problem. Report no.22, Univ. of Waterloo, Solid Mechanics Division, March 1973.

[12] Paloheimo,E.; Hannus,M. — Structural Design Based on Weighted Fractiles. Proc. Am.Soc.Civ.Engrs., Jour. Struct. Div. 1974-100.

[13] Veneziano,D. Contributions to Second-moment reliability Theory.
Dept.Civ.Engr., Massachusetts Institute of Technology, Structures Publ. 389, April 1974

[14] Hasofer,A.M. Lind,C.N. An exact and Invariant first order Reliability format.
Proc.Am.Soc.Civ.Engr., Jour.Eng.Mech.Div., 1974, pp 111-121.

[15] CIRIA Rationalisation of Safety and Serviceability Factors in Structural Code.
Construction Industry Research and Information Association, Report 63, London July 1977.

[16] Dyrbye et al Konstrukktioners sikkerhed
Den Private Ingeniørfond ved Danmarks tekniske Højskole, København 1979.

[17] Ditlevsen,O. Uncertainty Modeling.
McGraw-Hill Inc 1981.

[18] Thoft-Christiansen,P. Baker,M.J. Structural Reliability Theory and its Applications.
Springer Verlag,1982.

[19] Handa,K. Influence of Probability Distribution and Correlation Functions on the Safety of Structures.
Rapport 1977:3,avd. Byggnadskonstruktion, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1977.

[20] Öfverbeck,P. Small Sample Control and Structural Safety.
Report TVBK-3009,Lunds Tekniska Högskola,Lund.

[21] AK 79/81 Allmänna regler för bärande konstruktioner.
Statens Planverk, rapport 50, Stockholm 1982.

[22] Dolinski,K. First order second moment approximation in reliability of structural systems; Critical review and alternative approach.
Institute of Fundamental Technological Researches, Warsaw, Poland.

[23] Hohenbichler,M. Rackwitz,R. Non-normal Dependent Vectors in Structural Safety.
Proc.Am.Soc.Civ.Engrs.,Vol 107,No EM6, dec-81.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
730546-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till Byggnadskonstruktion, CTH, Göteborg.

R99: 1983

ISBN 91-540-3983-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700799

Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 25 kr exkl moms