

SBI-publ.

SBI-SÆRTRYK 261

Byggeindustrien nr. 11, 1976

Mogens Buhelt:
Skivekonstruktioner

STATENS
BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

I kommission hos Teknisk Forlag
Hørsholm 1977



01190P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
ex-3
18 JAN. 1977

skivekonstruktioner

anvendes ofte til stabilisering af bygninger — men rummer flere muligheder.

Alle ingeniører, bygningskonstruktører og en lang række arkitekter har lært at dimensionere bjælker og søjler og at beregne stangkræfter i en gitterdrager og i et spærfag. Men tilsyneladende har beregning af snitkræfter i en skivekonstruktion været et forsømt område mange steder, på trods af, at skivevirkning mere eller mindre bevidst udnyttes i mange bygningstyper.

Beregning af skivekonstruktioner er i mange tilfælde en ganske simpel proces, og det kan ofte være en fordel at »tænke i skiver«, når man opbygger eller analyserer en bygningskonstruktion (et bærende system). Det gælder også, hvis konstruktionen er en rumlig gitterkonstruktion.

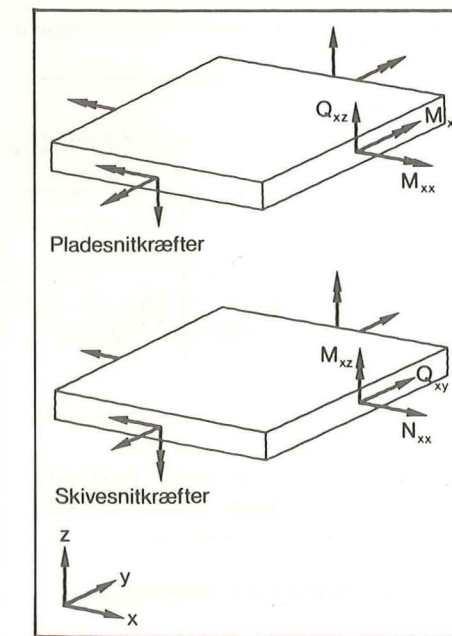
Denne artikel giver, gennem et par simple eksempler, en introduktion til emnet. Den, der vil vide mere, henvises til en netop udsendt SBI-anvisning.

Den plane skive

De fleste skivekonstruktioner består af plane skiver. En plan skive er teoretisk set et todimensionalt element, som kun kan optage kræfter i sit eget plan. I praksis har en skive dog en vis tværstivhed, således at den dels kan optage tryk- og forskydningskræfter uden at folde, dels kan overføre last, der virker på tværs af skiven, til skivens understøtninger.

Skiven er således analog til en trykstang i en gitterkonstruktion, fx. hovedet i et spærfag. Lige som man normalt forudsætter charnier'er i enderne af en trykstang, er det praktisk at opfatte skiven som et fladt element, der er forbundet til omgivelserne ved hængsler, som har akser i skivens plan, ofte langs skivens kanter.

Lidt mere præcist kan man skelne mellem plade- og skivesnitkræfter, se figur 1. Ved beregning af en skivekonstruktion tænker man sig først på-



Figur 1. Alle snitkræfter på et givet snit kan opløses i seks komponenter, nemlig to bøjningsmomenter, et vridningsmoment, to forskydningskræfter og en normalkraft. For flade elementer kan disse seks snitkraftkomponenter opdeles i pladesnitkræfter og skivesnitkræfter, svarende til elementets funktion ved påvirkning af disse kræfter. Momenter er angivet ved de akser, hvorom de drejer, forsynet med dobbelte pilespidser.

af akademiingeniør Mogens Buhelt

virkningerne ført hen til skivernes understøtninger (hængslerne) ved pladevirkning, derefter betragter man konstruktionen som en ren skivekonstruktion, påvirket af linielaster i skivernes samlinger.

Skivekonstruktioner i stabil ligevægt

En fritstående, lodret skive, der er understøttet af et hængsel langs sin nederste kant, kan optage en nedadrettet trykkraft, der virker nøjagtigt i skivens plan, se figur 2a. Men blot en ganske lille tværkraft vil få skiven til at vælte. Skiven er i ustabil ligevægt for den givne last. Hvis man kobler en afstivende tværskive på, kan konstruktionen optage en enkeltkraft, der virker i samlingen, se figur 2b. Konstruktionen er derimod i ustabil ligevægt, hvis den belastes som i figur 2c, idet skiver forudsættes vridningsslappe, jf. figur 1. Hvis der lægges en vandret skive henover væggene, og hvis der yderligere placeres en lodret skive, som hindrer den vandrette skive i at dreje sig om A, så er de lodrette skivers øverste kanter fastholdt mod vandrette bevægelser, og de lodrette skiver kan da belastes hvor som helst langs kanten, se figur 2d.

Konstruktionsprincipper

Efter sædvanlig praksis udformes langt de fleste bygninger således, at de lodrette lastpåvirkninger på den intakte bygning føres ned til jorden ved pladevirkning i dækkene og søjlevirkning i væggene. Dette medfører som regel ikke større problemer. Konstruktionselementernes bæreevner er normalt velkendte, og samlingerne udføres ofte ved at stable elementer oven på hinanden, således at der i samlingerne kun skal overføres trykkrafter.

De vandrette lastpåvirkninger: vindlast, masselast og evt. jordskælvslast skal også føres til jorden. I skivebygninger foregår dette gennem

de samme elementer, som fører den lodrette last ned. Men den vandrette last må nødvendigvis fremkalde forskydningskræfter i væggenes planer: man må udnytte væggenes skivevirkning. Ofte udnyttes også dækkenes skivevirkning. I denne situation påvirkes samlingerne til både tryk, træk og forskydning. Afhængigt af materiale og byggemetode kan dette medføre større eller mindre problemer.

Skivevirkning kan også udnyttes til optagelse af lodret last, idet man kan forskyde lodrette kræfters angrebslinier og dermed eliminere den sædvanlige binding, at enhver bærende væg skal understøttes af enten en bærende væg eller en bjælke, som skal være placeret direkte under den pågældende væg. Dette princip byder på mange muligheder for en friere udformning af bygninger. Hidtil er det dog ikke udnyttet i større omfang i forbindelse med intakte konstruktioner. Derimod benyttes det ofte ved vurdering af stabiliteten i lokalbrud-situationen.

Eksempel 1. Garagebygning

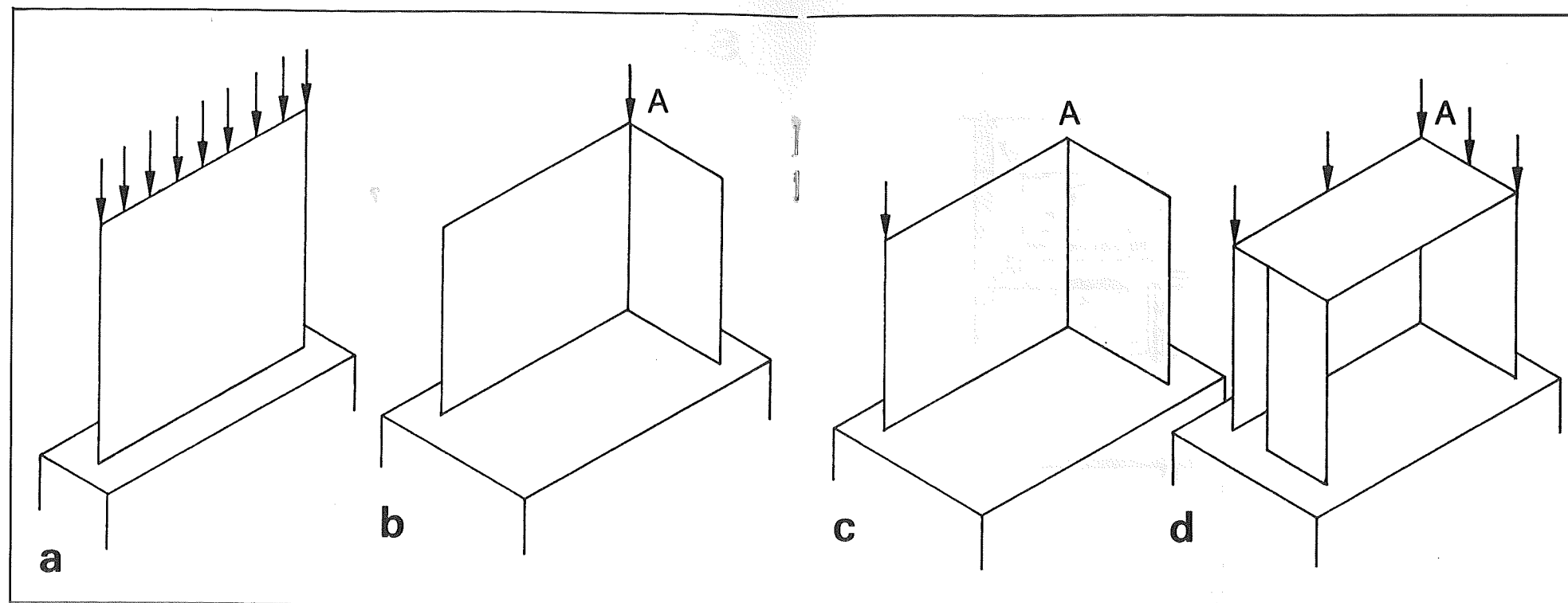
Konstruktionen i figur 2d er nok den simpleste skivekonstruktion, man kan tænke sig. Figur 3 viser en praktisk anvendelse af denne konstruktion: en garage- eller redskabsbygning, bestående af to gavle, en bagvæg, et tag og en række søjler.

Vægge og tag er udformet som skiver. Disse skiver kan fx. være af beton, de kan bestå af et træskelet med pladebeklædning eller med skråbånd, og der er mange andre muligheder. Søjlerne er pendulsøjler, som bærer nogle skjulte bjælker, der spænder fra søjle til bagvæg og bærer taget sammen med gavlene.

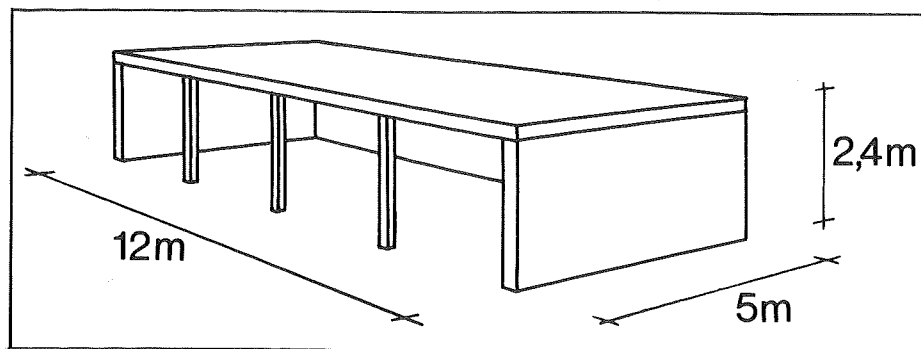
Vind på tværs af bygningen

Når vinden blæser mod den åbne facade, trykker den på bagvæggen, som ved bøjning overfører en vandret kraft til tagskivens bageste kant.

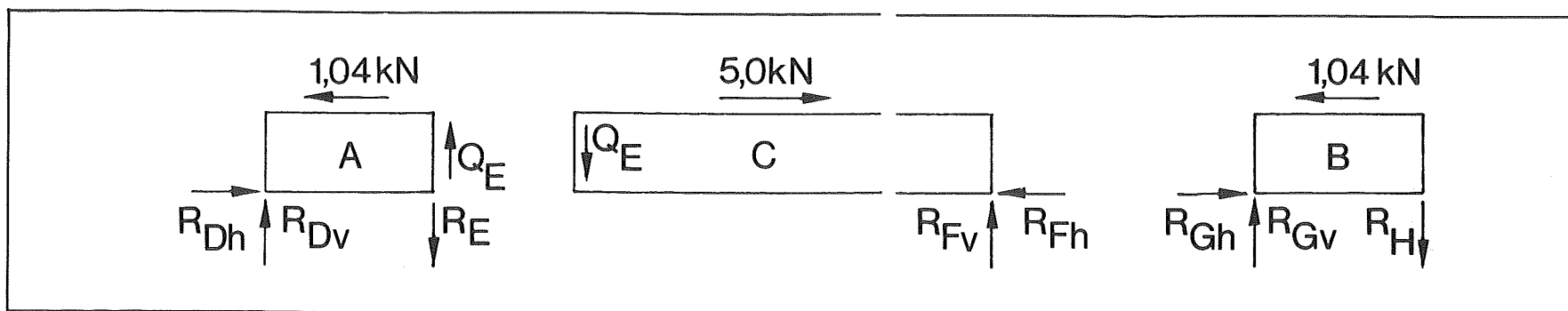
Tagskiven understøttes i vandret retning af de tre vægge, som kan levere vandrette reaktioner i deres egne planer, men ikke vinkelret derpå, jf. figur 1. Tagskiven er derfor statisk bestemt understøttet, og de tre reaktioner kan bestemmes ved hjælp af simple ligevægtsligninger. Resultatet er, at hver af gavlvæggene skal overføre en vandret kraft fra tagplanet til fundamentplanet, som er halvdelen



Figur 2. Grundlæggende skivekonstruktioner. a og c er i ustabil ligevægt, b og d er i stabil ligevægt.



Figur 3. Garagebygning — en elementær skivekonstruktion.



Figur 4. Vandrette kræfter på tagskiven ved vind på langs.

Figur 5. Kræfter på vægskiverne ved vind på langs. Lodret last er ikke vist. Vægskiverne er set inde fra bygningen.

af den samlede vandrette kraft på tagskiven, og at bagvæggen ikke påvirkes af vandrette kræfter.

Vind på langs af bygningen

Når vinden blæser på langs af bygningen, belastes primært gavlene, som ved bøjning overfører vandrette kræfter til tagskivens korte kanter. Fra den luv gavl overføres 1,2 kN/m i vindens retning; fra den læ gavl 0,2 kN/m mod vinden, da undertrykket inde i bygningen ifølge det nye vind-

normforslag forudsættes at være større end undertrykket bag bygningen.

På figur 4 er vist tagskiven og dens last og reaktioner. Opstilling og løsning af ligevægtsligninger giver

$$R_C = (1,2 - 0,2) \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} = 5,0 \text{ kN}$$

$$R_A = - \frac{5,0 \text{ kN} \cdot 2,5 \text{ m}}{12 \text{ m}} = -1,04 \text{ kN}$$

$$R_B = 1,04 \text{ kN}$$

Herefter kan de enkelte vægskiver

snittes løs og betragtes enkeltvis.

Figur 5 viser de tre vægge, set inde fra bygningen. De benævnes A, B og C. Da væggene er indbyrdes forbundne i hjørnerne, foruden at de er tilstrækkeligt understøttede på fundamentterne, er konstruktionen statisk ubestemt. Den simpleste måde at klare det på, er ved at forudsætte, at nogle af de overtallige er nul. Her er forudsat, at den lodrette forskydningskraft i samlingen mellem skiverne C og B er nul, og at den lodrette

reaktion fra fundamentet i den modsatte ende af skive C er nul.

Fremgangsmåden er da, at man opstiller og løser ligevægtsligningerne for skiverne B og C, som hver har tre ubekendte reaktioner eller snitkræfter. Resultatet heraf er:

$$R_H = 1,04 \text{ kN} \frac{2,4 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 0,50 \text{ kN}$$

$$R_{Gv} = R_H = 0,50 \text{ kN}$$

$$R_{Gh} = 1,04 \text{ kN}$$

$$R_{Fv} = 5,0 \text{ kN} \frac{2,4 \text{ m}}{12,0 \text{ m}} = 1,0 \text{ kN}$$

$$Q_E = R_{Fv} = 1,0 \text{ kN}$$

$$R_{Fh} = 5,0 \text{ kN}$$

Herefter kan de tre ligevægtsligninger for skive A opstilles og løses:

$$R_E = 1,04 \text{ kN} \frac{2,4 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} + 1,0 \text{ kN} = 1,50 \text{ kN}$$

$$R_{Dv} = 1,04 \text{ kN} \frac{2,4 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 0,50 \text{ kN}$$

$$R_{Dh} = 1,04 \text{ kN}$$

I eksemplet her er kun den vandrette last og de tilhørende snitkræfter og reaktioner medtaget; i praksis skal den lodrette last naturligvis også medtages i ligevægtsligningerne. For en let konstruktion kan egenlasten (egenvægten) ikke holde ligevægt med den opadrettede vindlast. R_H og R_E bliver derfor numerisk større: der kommer større træk i forankringerne end ligevægtsligningerne til figur 5 giver. Og i samlingerne mellem tagskive og gavlvægge optræder der — foruden den vandrette forskydningskraft på 1,04 kN — også en lodret trækraft.

Forankringer og spændinger

Når skivekonstruktionen på denne måde er regnet igennem for vind fra alle retninger samt lodret last, kan de fundne snitkræfter og reaktioner på den ene side benyttes til en dimensionering af skivernes indbyrdes samlinger og af vægskivernes forankringer og vederlag. På den anden side kan de benyttes til en beregning af spændingerne i skiverne. Hertil kræves, foruden skiverandkræfterne, opstilling af en række forudsætninger, som bør afhænge af skivernes konstruktion og materialer.

Eksempel 2.

Udkræget vægskive

Figur 6 viser den bærende konstruktion til et rækkehus (Boligforeningens Rækkehus, type 4). Konstruktionen (vægge og dæk) er udført af beton, støbt på stedet, og er udformet som en skivekonstruktion med en udkræget væg i etage 2. Denne væg fungerer som mellemunderstøtning for dækene over etagerne 1 og 2. Af praktiske grunde ønskede man ikke at placere en søjle i den lette facade.

Bygningen er i stabil ligevægt, idet den udkragede vægdel understøttes lodret i sit nederste hjørne (ved døråbningen) af væggen i etage 1, og

vandret af dækskiverne over etagerne 1 og 2, mens disse dækskiver understøttes vandret af de stive vægge i lejlighedsskellene.

Figuren viser de skiverandkræfter, der er nødvendige for at holde den udkragede væg i ligevægt. Ved at betragte hver skive for sig i en passende rækkefølge, kan alle disse kræfter bestemmes ved ligevægtsligninger alene.

Skrå og krumme skiver

I de viste eksempler er kun anvendt lodrette og vandrette, plane skiver. Man kan imidlertid også anvende både skrå skiver (fx. trappeløb) og krumme skiver som kraftoverførende og stabiliserende elementer i en skivekonstruktion.

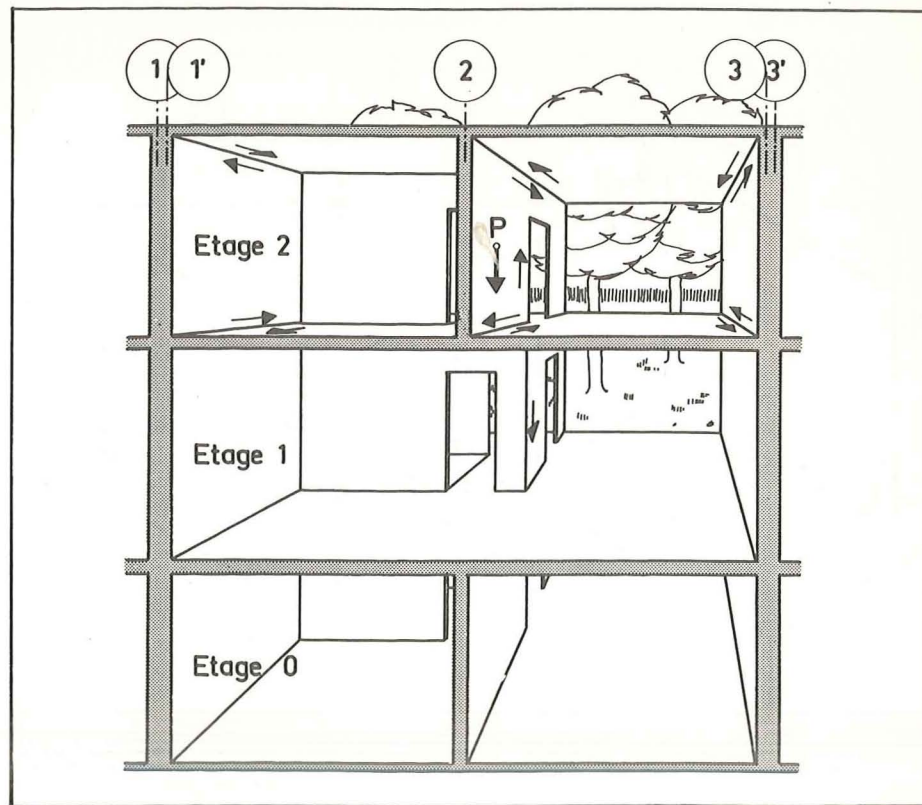
For krumme skivers vedkommende peger den nedennævnte SBI-anvisning på nogle hidtil uudnyttede muligheder.

Anvisningen beskæftiger sig både med enkeltkrumme og med dobbeltkrumme skiver. Af størst umiddelbar interesse for praksis er nok vægskiver udformet som »stående« cylinderflader. En vægskive, der er udformet som en cylinderflade med lodrette frembringere og vilkårlig ledelinie (en cylinder behøver ikke være cirkulær), og placeret mellem to vandrette, plane dækskiver, kan i næsten alle henseender erstatte en plan vægskive som stabiliserende element. Hvis en sådan cylindervæg er understøttet i mere end to punkter af sin underste kant, og hvis den har en passende krumning, kan den endog erstatte et system af plane vægskiver.

Spændinger

I modsætning til, hvad der gælder for snitkræfterne i en statisk bestemt skivekonstruktion, kan spændingsfordelingen i en skive ikke bestemmes ved ligevægtsbetingelser alene; de må suppleres med fysiske og eventuelt geometriske betingelser. Som regel benyttes enten elasticitetsteorien, som giver en éntydig spændingsbestemmelse, eller plasticitetsteoriens nedreværditeknik, hvor man vælger en statisk tilladelig spændingsfordeling, dvs en spændingsfordeling, der opfylder ligevægtsbetingelserne.

Ved valget af en statisk tilladelig spændingsfordeling starter man ofte med at begrænse mængden af mulige fordelinger ved fx at inddеле skiven i et antal zoner og kræve konstante spændinger inden for hver zone for sig.



Figur 6. Boligforeningens Rækkehuse, type 4. Perspektiv af råhus. Pilen mærket P viser påvirkningen på den udkragede væg; de øvrige pile viser de skiverandkræfter, der virker på vægge og dæk som følge af påvirkningen.

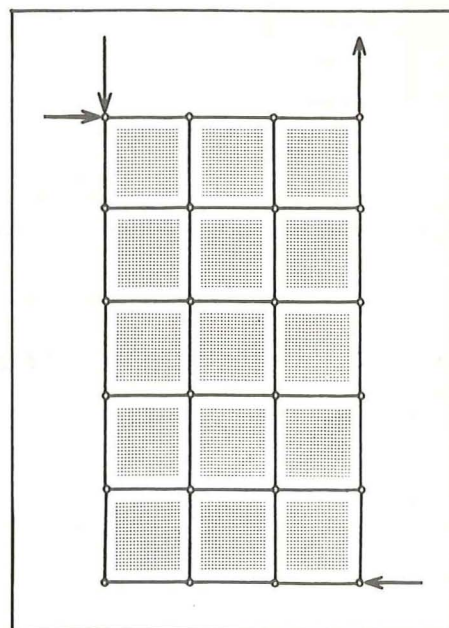
Stringermodellen

Den såkaldte stringermodel er et eksempel på en sådan zoneinddeling, se figur 7. Skiven tænkes opbygget som et skelet af træk- og trykstænger og en hud, bestående af firkantede felter, de såkaldte forskydningsfelter. Da skelettet er et stangsystem, opbygget over et net af firkanter, er det bevægeligt, men det stabiliseres af forskydningsfelterne, som kun regnes at optage forskydningskræfter.

Stringermodellen er ikke nogen egentlig beregningsmetode, men en model for en skives virkemåde, som gør det muligt at udtrykke en spændingsfordeling i skiven ved hjælp af et bestemt, begrænset antal talværdier. Man kan derfor benytte den som en del af en nedreværditeknik til bestemmelse af en statisk tilladelig spændingsfordeling.

Mere om emnet

De principper, som er belyst eller berørt i denne artikel, er behandlet mere udførligt i den netop udsendte SBI-anvisning 82: *Skivebygningers stabilitet 1. Konstruktionsprincipper*. Den er på 64 sider og indeholder bl.a. 29 eksempler på skivekonstruktioner, hvoraf nogle er udførligt beskrevet og gennemregnet, andre blot vist og forsynet med en kort kommentar. An-



Figur 7. Stringermodel af en simpel, rektangulær skive, påvirket af et kraftsystem i ligevægt, fx en ydre kraft og tre reaktionskomponenter.

visningen koster 46 kr. incl. moms og kan bestilles hos teknisk forlag, (01) 21 68 01, eller SBI, (02) 86 55 33.

I løbet af 1977 udkommer anvisningen *Skivebygningers stabilitet 2. Beregningsmetoder*, som dels behandler beregning af etagehuse, udformet som skivekonstruktioner, dels redegør for bæreevnen af nogle almindeligt anvendte samlinger i betonelementbyggeriet.