

Rapport

R10:1971

Inst. för Byggnadsstatik

**Plåtpaneler i byggnads-
teknisk användning
Förstyvade plattfälts
funktion och bärförmåga**

Rolf Baehre

Per-Olof Thomasson

Byggforskningen

Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning. Förstyvade plattfälts funktion och bärförmåga

Rolf Baehre & Per-Olof Thomasson

Vid Institutionen för Stålbyggnad, KTH, pågår ett omfattande forskningsarbete kring förstyvade plattfält, även kallade plåtpaneler.

Föreliggande delrapport innehåller en översiktlig behandling av problemställningar som aktualiseras vid användning av plåtpaneler inom framför allt husbyggnadstekniken. Målsättningen har därvid varit att kartlägga behovet av forskning och utveckling för tillämpning av denna lättbyggnadsteknik, som bör kunna tillgodose krav på ökad prefabrikation och förädling inom husbyggnadssektorn.

I rapportens första del görs en analys av ändamålsenliga stomkomponenter med beaktande av statiska, funktionella, formnings- och fogningstekniska krav samt ekonomiska aspekter.

I den andra delen omfattar rapporten en kartläggning av beräknings- och dimensioneringstekniska förutsättningar för användning av tunnväggiga konstruktionselement.

Ett brett utrymme ges en litteraturredovisning avseende förstyvade plattfält under inverkan av skivkrafter.

Den konventionella stålbyggnadstekniken representerar normalt en komposition av linjära konstruktionselement, ett skelett med i huvudsak lastupptagande funktion. Inom husbyggnadstekniken är emellertid med avseende på slutprodukten kravet på ytbe-gränsande bärverkselement dominerande. Det snabbt ökande utbudet av tunna platta produkter med garanterade hållfasthetskaraktistika och hög förädlingsgrad erbjuder möjligheter att tillgodose detta krav. Ytbärverk kan konstrueras med såväl lastupptagande som ytbe-gränsande funktion, baserade på lämpligt förstyvade tunnväggiga plåtpaneler.

En konsekvent tillämpning av denna konstruktionsteknik bör resultera i byggnadselement och stomkomponenter som karakteriseras av:

- ökad lätthetsgrad
- hög förädlingsgrad genom prefabrikation
- rationellt utnyttjande av materialets hållfasthet
- framställning av lätta volymentelement
- tillämpning av industriella tillverkningsprocesser
- transport- och montagetekniska fördelar
- klimatberoende arbetsmiljö.

Statiska krav grundar sig på aktuella påkänningstyper, som för plåtpaneler i funktion som bärande och stomstabiliserande väggar i huvudsak bestäms av normalkrafts-, skjuvkrafts- och böjmomentpåverkan i väggplanet. Som grundformer för väggelement, se FIG. 1, behandlas här plattfält uppbyggda av plan plåt med separata förstyvningar, (flerkomponentlösning) respektive av plåtpaneler, formade i en enda arbetsprocess och hopfogade till väggenheter (enkomponentlösning). Vidare presenteras väggenheter i sandwichform (tvåkomponentlösning) samt väggar, uppbyggda av stålprofiler med ytskikt av artfrämmande material (blandkomponentlösning).

Från tillverkningssynpunkt tilldrar sig enkomponentlösningen speciellt intresse på grund av att modulariserade byggelement med mångsidig användning inom och utanför byggnadstekniskt område kan framställas i en relativt enkel formningsprocess. Den lastupptagande förmågan kan därvid

Bygghorsningen Sammanfattningar

R10:1971

Nyckelord:

tunnplåtskonstruktion, ytbärverk, byggnadselement, problemanalys, byggnadsteknisk tillämpning, litteraturinventering

plåtpanel, förstyvat plattfält, belastningstyper, brottyper, buckling, överkritiskt område, formning, fogning

Rapport R10:1971 avser anslag C 546 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Stålbyggnad, KTH.

UDK 624.014
624.072.1
691.7

Sammanfattning av:

Baehre, R & Thomasson, P-O, 1971, *Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning, Förstyvade plattfälts funktion och bärförmåga*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R10:1971, 50 s., ill. 12 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60

Abonnemangsgrupp:
(k) konstruktion

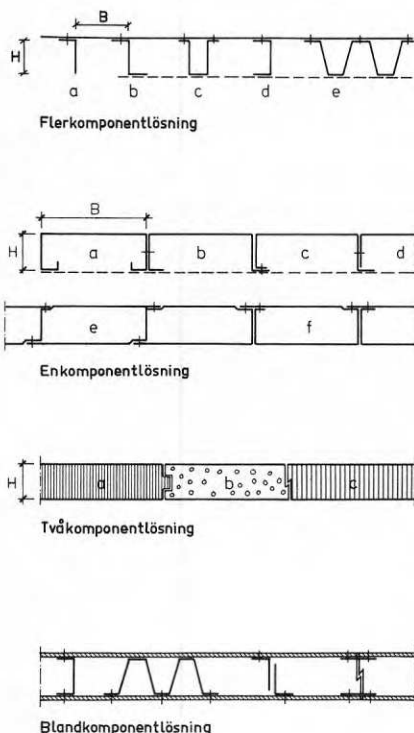


FIG. 1. Grundformer för ytbärverk.

varieras genom enkla formningsåtgärder.

En väsentlig förutsättning för användningen av plåtpaneler inom byggnadssektorn är att bärverkselementets statiska funktion kan kopplas med möjligheten att tillgodose aktuella funktionella krav i fråga om t.ex. miljö (klimatgräns, ljud- eller bullergräns), ombyggnadskrav med hänsyn till framtida flexibilitet, installationer, brandcells begränsande funktion osv. Användningen av plåtpaneler i bärande och avskiljande funktion är av säkerhetsmässiga skäl bunden till en kvalitetskontroll som speciellt berör geometriska imperfektioner, av produktionstekniska skäl till en förstklassig måttnoggrannhet och av ekonomiska skäl till en rationell formning och fogning.

Dessa krav kan tillgodoses genom kvalificerad tillverkning i en industrialiserad process under kontinuerlig kontroll.

Till förfogande för formningsprocessen står vid lämplig seriestorlek rullformningen, vid begränsade serier och för detaljer kantpressverktyg.

Som lämpliga fogningsmetoder kan nämnas skruvförband med gängformande eller självborrande skruvar, blindnitförband, punktsvetsförband och limförband. Vid koncentrerad lastinföring är friktionsförband lämpligt. Fogningsmetoder kommer att behandlas i en särskild rapport från Byggeforskningen.

Med hänsyn till att avancerade formningsmetoder är relativt investeringskrävande bör produktvalet ske med beaktande av mångsidig tillämpning inom och utanför byggnadssektorn.

Framställningen i rapportens andra huvuddel inleddes med en översiktlig beskrivning av bärverkselementens beteende i brukslast- och brottstadiet under påverkan av normalkraft, skjuv-

kraft och transversallast. Den lastupptagande förmågan hos tunnväggiga plåtpaneler är i hög grad styrbar genom val av lämpliga förstyvningar i form av kantförstyvningar, rillor osv. Målsättningen är därvid att dels höja bucklingslasten för enskilt plant defält samt dels öka lastupptagningsförmågan i utbucklat tillstånd. Som underlag för dimensioneringen används förenklade beräkningsmodeller, verifierade genom experimentella undersökningar. Den exakta matematiska behandlingen av lastupptagningen inom överkritiskt område är begränsad till ett fåtal idealiserade plattfält.

Ett brett utrymme i rapporten ges åt en litteraturredoisning avseende förstyvade plattfält under inverkan av skivkrafter. Huvudprincipen för urvalet, omfattande 99 titlar, har varit att ge en fyllig översikt rörande teoretiska och experimentella undersökningar inom området samt ge underlag för behandling av speciella frågeställningar med anknytning till här aktuella bärverkselement.

För att underlätta användningen av referenslistan har denna kompletterats med hänvisningar till områden som speciellt har varit föremål för behandling i respektive referens. Hänvisningsdelen upptar därvid som huvudrubriker:

- Bärverkstyper
- Belastningstyper
- Kritisk bucklingsspänning
- Överkritiskt område
- Diskontinuerlig förbindning mellan fält och förstyvning
- Redovisning av försöksresultat
- Dimensioneringsanvisningar.

Litteraturinventeringen har visat att det teoretiska underlaget är väl underbyggt för dimensionering av normalkraftspåverkade plåtpaneler under idealiserade förhållanden. Däremot är

lastfall av sammansatt karaktär med avseende på verkningsätt inom överkritiskt område behandlade i förhållandevis ringa omfattning.

I rapporten ges som sammanfattning av litteraturinventeringen vissa rekommendationer för beräkning och dimensionering av förstyvade plattfält. Vid tillämpning av dessa dimensioneringsmetoder bör dock tas hänsyn till de speciella konstruktiva frågeställningar rörande lastinföring, anslutningar och skarvar, som aktualiseras vid användning av plåtpaneler i byggnadstekniskt sammanhang.

Sammanfattningsvis kan konstateras att en tillämpning av den här skisserade lättbyggnadstekniken kan möjliggöra en tillämpning av de inom processindustrin vanliga tillverkningsmetoderna för rationellt framställda och kvalitetsgaranterade produkter. Tunnpålsprodukterna måste härvid anpassas till statiska, byggnadstekniska, funktionella och miljömässiga krav, vilket aktualiserar behovet av forskning och utveckling i fråga om:

- Kartläggning av bärverkselementtyper i byggnadsteknisk användning med sikte på delkomponenter för allsidig användning
- Anpassning av teoretiskt beräkningsunderlag till aktuella konstruktionsformer
- Behandling av konstruktiva frågeställningar i samband med lastupptagningen
- Studium av miljötekniska och funktionella frågeställningar mot bakgrund av normkraven
- Studium av formnings-, fognings- och tillverkningsstekniska problem
- Inordning av bärverkselementen i byggprocessen.

Det fortsatta arbetet inom ramen för detta anslag från Byggeforskningen koncentreras till utvalda delar av ovan nämnda problemställningar.

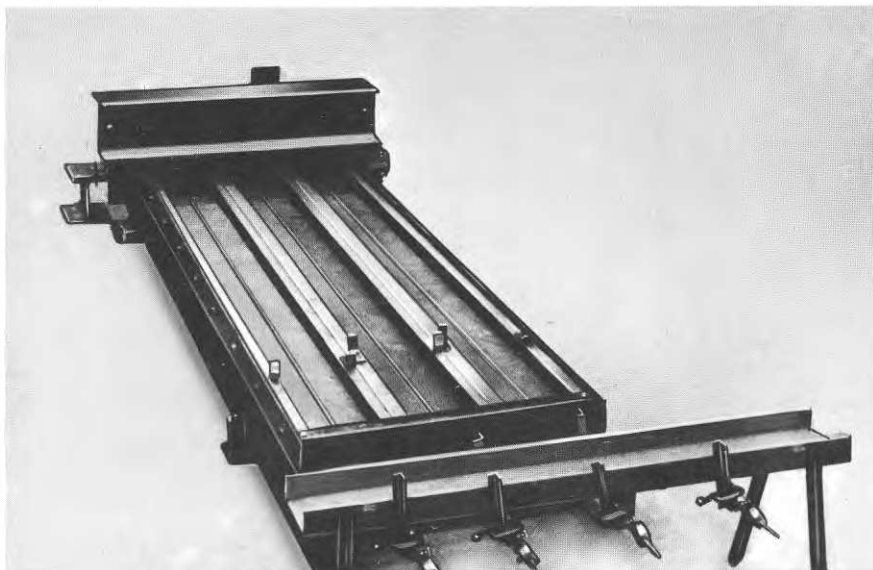


FIG. 2. Plåtpanel under provning.

Sheet metal panels in building construction. Function and load-bearing capacity of stiffened plates

Rolf Baehre & Per-Olof Thomasson

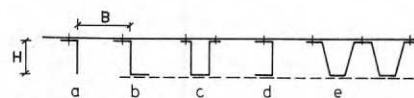
The Department of Steel Construction, Royal Institute of Technology, Stockholm, is carrying out comprehensive research concerning stiffened plates, and sheet metal panels.

This report deals in a general manner with the problems that arise in connection with the use of sheet metal panels in, primarily, building construction. The objective has been to elucidate the need for research and development work associated with the application of this lightweight construction method which should be capable of satisfying the demands raised in the building sector for a higher degree of prefabrication and finish.

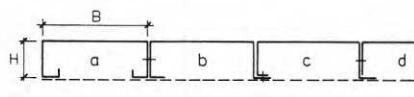
The first part of the report contains an analysis of appropriate frame components, with due regard to structural, functional, metal forming and jointing requirements and the economic aspects.

The second part of the report contains a review of design conditions to be used in connection with thin-walled structural elements.

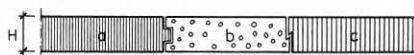
Considerable space is devoted to a review of literature concerning stiffened sheet metal panels subject to in-plane forces.



Multi-component solution



Single-component solution



Two-component solution



Mixed-component solution

FIG. 1. Basic forms of load-bearing wall structures.

The basis of conventional steel construction is an arrangement of linear structural elements, a skeleton which has the principal function of carrying the imposed loading. In building construction, however, with regard to the end product, it is load-bearing elements, which at the same time fulfil the function of enclosing space, that constitute the primary requirement. The rapidly increasing availability of thin flat products which have guaranteed strength characteristics and a high degree of finish opens the possibility of this requirement being satisfied. A load-bearing wall structure with the dual function of carrying loads and of enclosing space can be constructed on the basis of thin-walled sheet metal panels stiffened as appropriate.

Consequent application of this constructional technique should result in building elements and frame components characterised by:

- a reduction in weight
- a high degree of finish due to prefabrication
- rational utilisation of the strength of the material
- the production of lightweight room units
- the application of industrial production processes
- advantages as regards transport and assembly
- a working environment independent of climatic conditions.

Structural requirements are based on the stresses that arise, which for sheet metal panels acting as load-bearing and frame-stabilising walls are mainly due to the action of normal force, shear force and bending moment in the plane of the wall. The basic forms of wall unit dealt with here, FIG. 1, consist of large panels made up of a flat plate and separate stiffeners (multi-component solution), or plates formed in one working process which are then assembled to make up wall units (single-component solution). Wall units of sandwich construction (two-component solution) and walls made up of steel sections with a surface layer of a different material (mixed-component solution) are also presented.

From the production point of view, the single-component solution is of particular interest, due to the fact that modularised building elements, capable of

National Swedish Building Research Summaries

R10:1971

Key words:

thin sheet metal structure, load-bearing wall structure, building element, problem analysis, application, inventory of literature

sheet metal panel, stiffened plate, types of loading, types of failure, buckling, supercritical region, forming, jointing

Report R10:1971 has been supported by Grant C 546 from the National Swedish Council for Building Research to the Department of Steel Construction, at the Royal Institute of Technology, Stockholm.

UDC 624.014
624.072.1
691.7

Summary of:

Baehre, R & Thomasson, P-O, 1971, *Sheet metal panels in building construction, Function and load-bearing capacity of stiffened plates*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R10:1971, 50 p., ill. 12 Sw. Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

many uses both inside and outside the field of building construction, can be produced in a comparatively simple cold-forming process. The load-bearing capacity can be varied by simple changes in the forming operation.

An essential requirement as regards the use of wall panels in the building sector is that the load-bearing elements, in addition to performing their structural function, should also be capable of satisfying the appropriate functional requirements with regard to the external environment (climatic limits, noise or sound limits), and the requirement that conversion should be easy so as to permit flexibility, should accommodate installations and have adequate fire resistance. The use of sheet metal panels as load-bearing and space-separating units is conditional, for reasons of safety, production and economics respectively, on quality control concerning, in particular, geometrical imperfections, on first-class dimensional accuracy and on rational forming and jointing processes.

These requirements can be satisfied by advanced production methods in an industrialised process subject to continuous control.

As far as the forming process is concerned, forming between rolls can be used if the run is long enough, or forming can be carried out between edging tools in the case of details and if the runs are of limited length.

Suitable jointing methods are screwed connections using thread-forming or thread-cutting screws, blind-riveted connections, spot-welded connections and glued connections; in the case of concentrated loading, friction joints are suitable. Jointing methods are dealt with in a special report, to be issued by the National Swedish Institute for Building Research in 1971.

In view of the fact that advanced methods of metal forming require relatively large capital investment, the choice of product should be made with regard to

the possibility of manifold use both inside and outside the building sector.

The second main part of the report is introduced by a general description of the behaviour of the load-bearing elements, when acted upon by normal force, shear force and transverse loading, in both the working range and at ultimate load. The load-bearing capacity of thin-walled plate panels can be controlled to a great extent by suitable choice of stiffening, such as edge stiffening, grooves etc. The aim of such stiffening is to raise the buckling load of the individual flat partial panel and also to raise the load-carrying capacity in the buckled condition. Simplified calculation models, verified by experiment, are used for design. The exact mathematical treatment of the load-carrying capacity within the post-buckling region is confined to a few idealised plate panels.

The report devotes considerable space to a review of literature concerning stiffened plate panels subjected to in-plane forces. The basic principle governing the selection, which comprises 99 publications, has been to provide a detailed review of theoretical and experimental investigations in this field, and to provide the basis for a treatment of the special problems which are associated with the load-bearing elements dealt with.

In order to facilitate use of the list of references, this has been augmented by the addition of notes indicating the fields which are especially dealt with by the references concerned. The main headings into which these notes are divided are:

- types of load-bearing element
- types of loading
- critical buckling stress
- supercritical region
- discontinuous connection between panel and stiffener
- description of experimental results
- design recommendations.

The review of literature has shown that there is ample theoretical basis for the

design of sheet metal panels subjected to normal force in idealised conditions. On the other hand, however, there is relatively scant treatment of the mode of action of loads of composite character within the postbuckling region.

The report gives, as a summary of the literature review, certain recommendations for the design of stiffened sheet metal panels. In applying these design methods, however, account must be taken of the special constructional problems in connection with application of load, joints and junctions, which arise in using sheet metal panels in building construction.

It may be stated in conclusion that application of the lightweight building method outlined in the report may make possible the application of the manufacturing methods for rationally produced and quality-guaranteed products which are usual in the processing industry. In this connection, thin sheet metal products must be adapted to the structural, constructional, functional and environmental requirements applicable, and this necessitates research and development work on:

- a review of the types of load-bearing element in building construction, with a view to constructing partial components capable of manifold application
- adaptation of theoretical design procedures to the constructional forms in question
- treatment of constructional problems connected with load-bearing capacity
- a study of environmental engineering and functional problems against the background of standard requirements
- a study of problems connected with metal forming, jointing and production engineering
- incorporation of the load-bearing elements in the building process.

Continued work financed by this building research grant is concentrated on selected parts of the above list of problems.

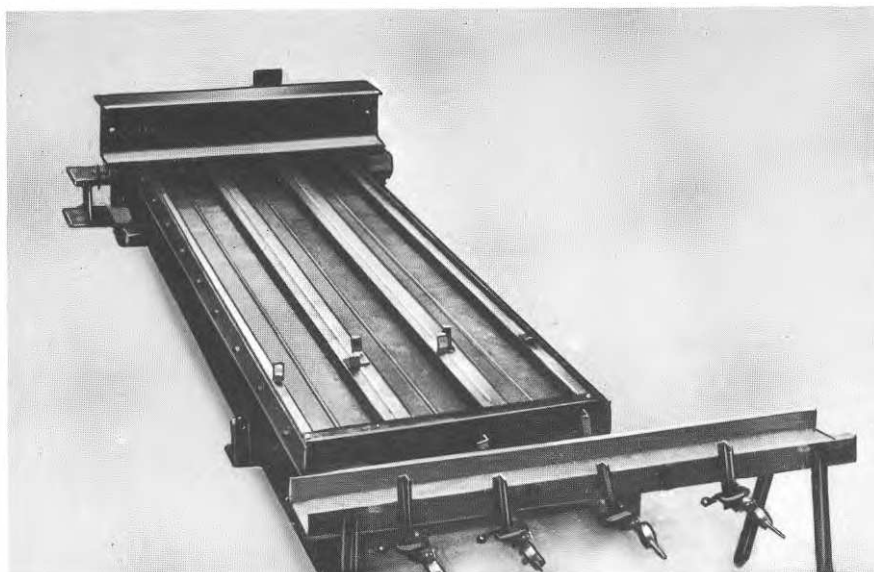


FIG. 2. Sheet metal panel during testing.

Rapport R10:1971

PLÅTPANELER I BYGGNADSTEKNISK ANVÄNDNING
FÖRSTYVADE PLATTFÄLTETS FUNKTION OCH BÄRFÖRMÅGA

SHEET METAL PANELS IN BUILDING CONSTRUCTION
FUNCTION AND LOAD-BEARING CAPACITY OF STIFFENED PLATES

av Rolf Baehre och Per-Olof Thomasson

Denna rapport avser anslag C 546 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Brobyggnad, avd. Stålbyggnad, KTH. Författare är professor Rolf Baehre och civilingenjör Per-Olof Thomasson. Intäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm
Rotobekman AB, Stockholm 1971, 10 9010 1

INNEHÅLL

- 1 Inledning
- 2 Tunnväggiga ytbärverk i byggnadsteknisk användning
 - 2.1 Statiska krav
 - 2.2 Funktionskrav
 - 2.3 Formningstekniska krav
 - 2.4 Fogningstekniska krav
 - 2.5 Ekonomiska aspekter
- 3 Tunnväggiga ytbärverk under lastpåverkan
 - 3.1 Definitioner
 - 3.2 Beteckningar
 - 3.3 Plant plattfält under normalkraftpåverkan
 - 3.4 Plant plattfält under skjuvkraftpåverkan
 - 3.5 Förstyvat plattfält under normalkraftpåverkan
 - 3.6 Förstyvat plattfält under skjuvkraftpåverkan
 - 3.7 Förstyvat plattfält under inverkan av transversallast
- 4 Litteraturinventering
 - 4.1 Redovisningsgrunder
 - 4.2 Litteratursammanställning
 - 4.3 Diskussion av väsentliga frågeställningar
- 5 Dimensioneringskriterier och -grunder

Stålbyggnadstekniken har under den tid då materialet använts inom byggsektorn karakteriserats av en "linjär" konstruktionsfilosofi, varvid det linjära bärverkselementet i form av balk-, profil- och stångmaterial hopfogas till ett stålskelett. Dagens konventionella bärverk med därtill hörande komponenter såsom pelare, balkar, fackverk, ramverk och bågar baseras på dessa grundformer. Även det ökade utbudet av planvalsade produkter i form av band och plåt, har inom byggsektorn i huvudsak utnyttjats för linjära bärverkselement, såsom profiler, som med hjälp av nitning och senare svetsning kunnat framställas med större dimensioner och ökad lastupptagande förmåga.

Linjära bärverkselement har enbart bärande funktion, medan konstruktionens yt- och volymbegränsande funktion hänvisas till ett separat system, t ex lätta väggar och bjälklag.

Genom att använda "platta produkter" kan man framställa bärverkselement som kombinerar ytbegränsande och bärande funktion, s_k_ytbärverk.

Komponentframställningen är i väsentlig utsträckning knuten till ändamålsenliga fogningsmetoder.

Vid tredimensionella bärverkselement (krökta plattfält) fordras en mera avancerad formningsprocess för framställning av bärverkskomponenter om dessa själva är tredimensionella. Det är vanligare och formningsmässigt enklare att hopfoga linjära eller tvådimensionella grundformer till ett ryldbärverk.

Samspelet mellan grundformerna och bärverkstyperna illustreras i FIG. 1.

En bärverkskonstruktion med såväl ytbegränsande som lastupptagande funktion, är tunnväggiga plattfält, som förses med ändamålsenliga förstävningar för att ge bärverkselementet önskad styvhet och bärförmåga. Tillämpningen av en sådan konstruktionsteknik medger bl a:

- rationellt utnyttjande av materialhållfastheten
- ökad lätthetsgrad
- hög förädlingsgrad genom prefabrikation
- möjlighet att framställa lätta volymelement
- tillämpning av industriella tillverkningsprocesser
- transport- och montageekonomisk vinst
- klimatberoende arbetsmiljö.

Som nackdel skall nämnas att en koppling av nämnda funktionskrav i viss utsträckning begränsar den framtida planflexibiliteten. Detta innebär att med hänsyn till möjliga och rimliga flexibilitetskrav en avvägning ifråga om konstruktionsprinciper bör ske. Det är dock möj-

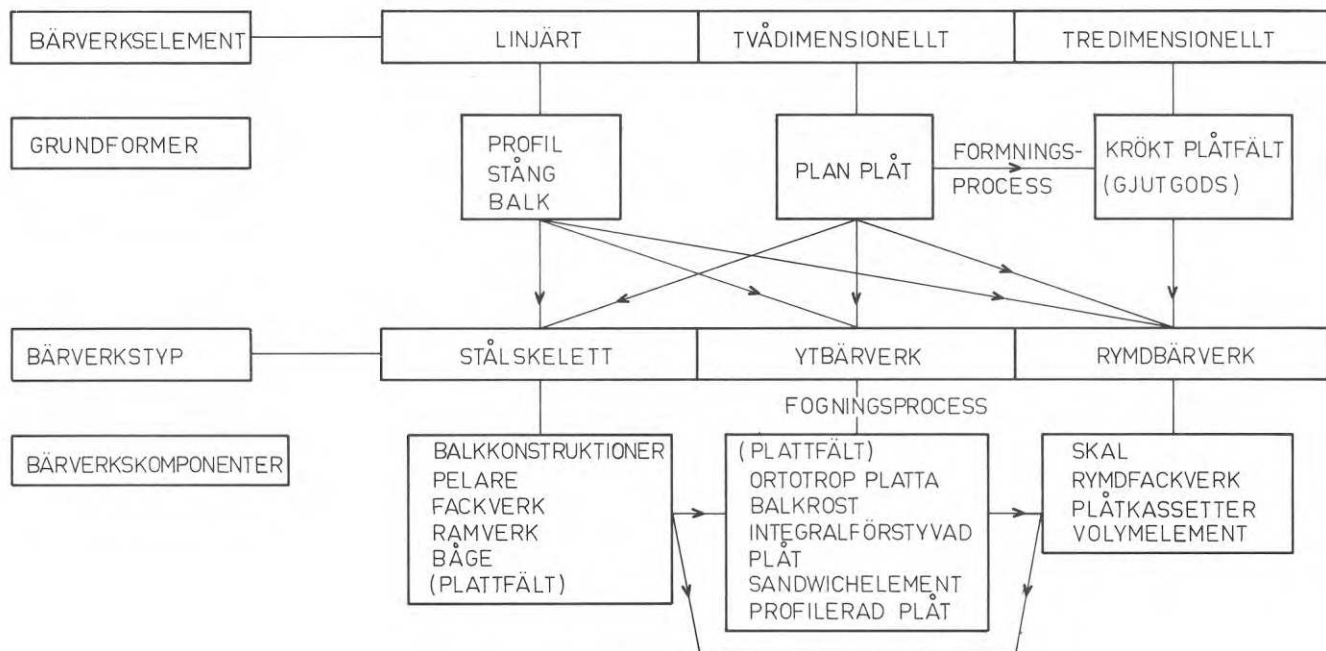


FIG. 1. Bärverkstyper och ingående komponenter.

Types of load-bearing element and component parts.

ligt att tillgodose begränsade flexibilitetskrav även vid tillämpning av ytbärverk.

Det snabbt ökande utbudet av tunna platta produkter med garanterade hållfasthetsvärden och hög förädlingsgrad i form av korrosionsskydd och ytbehandling, den expansiva utvecklingen inom formnings- och fogningssektorn samt det alltmer ökande kravet på prefabrikation och förädling av stomkomponenterna ger impulser till en lättbyggnadsteknik med tunnplåt som basmaterial. En liknande konstruktionsteknik har sedan lång tid tillbaka använts inom flyg- och transportsektorn, dvs inom områden där inbesparad vikt medför ökad ekonomi. Detta medför att de grundläggande hållfasthetsproblemen i huvudsak behandlas inom respektive litteraturområden. Dokumentationen är mycket omfattande men svårtillgänglig för konstruktörer inom byggsektorn.

Denna rapport redovisar en del av det forskningsarbete kring förstyvade plattfält, även kallade plåtpaneler, som pågår vid Institutionen för Stålbyggnad, KTH. Syftet med denna delrapport är att dels översiktligt behandla statistiska, tillverkningsmässiga och funktionella frågeställningar i anslutning till en användning av förstyvade plattfält i byggnadstekniska sammanhang samt dels redovisa en litteraturinventering rörande väsentliga hållfasthetsteoretiska studier. Det är vår förhoppning att rapporten kan bilda utgångspunkt för en systematisk behandling av problemställningar som utkristalliseras under det fortsatta arbetets gång och som är intimt förknippade med lättbyggnadsteknikens tillämpning i en integrerad byggprocess. En sådan behandling måste innefatta statistiska, byggnads- och installationstekniska samt tillverknings- och transporttekniska frågeställningar och kräver ett intimt samarbete mellan berörda parter.

2 TUNNVÄGGIGA YTBÄRVERK I BYGGNADSTEKNISK ANVÄNDNING










Inom byggnadstekniken används plåtpaneler som ytbärverk i form av väggar, bjälklag, tak och fasader eller ges stomstabiliserande funktion. Den allmänna strävanden torde vara att knyta till den lastupptagande och avskiljande funktionen även installationstekniska och miljömässiga funktioner. Detta är dock meningsfullt endast om den färdiga produkten kan innehålla sådana funktioner med bibehållen driftsäkerhet och ekonomisk konkurrenskraft. Den följande översiktliga behandlingen ger en belysning av funktionskravens konsekvenser för bärverkskomponenternas utformning.

2.1 Statiska krav

Ett av huvudkriterierna för val av lämplig bärverkskomponent är de vid aktuellt bärverk uppträdande påkänningsstyperna. En översiktlig samordning av påkänningsformer och bärverkskomponenter med en koppling till vanliga användningsområden ges i FIG. 2.

Generellt kan sägas, att antalet lämpliga påkänningsformer minskar med avtagande godstjocklek och böjstyvhet. Sålunda är vid plana och krökta plattfält i huvudsak enbart dragning och skjuvning samt i viss utsträckning tryck lämpliga påkänningsstyper. Vid membraner är dragning och skjuvning acceptabla påkänningsformer, medan vid nät- och linkonstruktioner den lastupptagande förmågan begränsas till dragpåkänningar.

För att ett ytbärverk skall kunna motstå transversalbelastningar fordras således en ökad böjstyvhet i kombination med en avpassad säkerhet mot instabilitet, utom i de fall då belastningen direkt kan transformeras till membranspänningar i t ex cisterner. Det senare kravet innebär antingen att instabilitetsrisk utsluts eller att bärverkskomponenten ges sådan utformning att en lokal instabilitet inte ger upphov till kollaps av hela bärverket. Till förfogande står härvid bärverkskomponenter med enbart endimensionell lastöverföring samt sådana med lägre grad av anisotropi (tvådimensionellt verkningssätt) och därmed ökande lastupptagande förmåga. Förutom dessa komponenters förmåga att motstå böjmomentpåverkan ökar även effektiviteten ifråga om upptagande av påkänningsformer. Lämpligheten för vissa påkänningsformer såsom antytts i FIG. 2, bestäms härvid inte enbart av den lastupptagande förmågan utan i hög grad av materialekonomiska skäl. Som framgår av exemplifieringen för användningsområden domineras bärverkskomponenterna av tunnväggiga konstruktioner.

BÄRVERKSKOMPONENT	ÖPPEN PROFIL	SLUTEN PROFIL	YTBÄRVERK		PLANT PLATTFÄLT	KRÖKT PLATTFÄLT (SKAL)	MEMBRAN	NÄT	LINA
			ENDIM. 	TVÄDIM. 					
DRAGNING	●	●	○	○	●	●	●	●	●
TRYCK	●	●	●	●	○	○			
VRIDNING	○	●	○	●					
BÖJNING	●	○	●	○					
SKJUVNING	●	○	●	●	●	●	●		
DRAGNING+BÖJNING	●	●	●	○					
TRYCK+BÖJNING	●	●	●	○					
BÖJNING+VRIDNING	○	●	○	○					

LÄMPLIGHETSGRADERING FÖR AVSEDD PÅKÄNNINGSFORM:

● MYCKET LÄMPLIGT

○ MINDRE

ANVÄNDNINGSOMRÅDEN	BALK PELARE STRÄVA	BJÄLKLAG VÄGG SKIVA FARBANA	BALKROST SANDWICH (ORTOTROP) PLATTA	LIVPLÅT SKJUVFÄLT	SKAL CISTERN BEHÅLLARE	HÄNGBÄRVERK TÅLTKONSTRUKTIONER KABEL
--------------------	--------------------------	--------------------------------------	--	----------------------	------------------------------	--

FIG. 2. Samband mellan bärverkskomponent, påkänningstyp och användningsområden.

Relationship between load-bearing component, type of stress and fields of application.

	VARM VALSADE PROFILER	SVETSADE BALKAR	FACKVERK	TUNNV. SLUTNA PROFILER	TUNNV. ÖPPNA PROFILER	TUNNV. RYMDBÄRVERK	
KOMPONENT-TYP BROTTYP							ANM.
BÖJBROTT	●	○	●	○			$P_B \approx \sigma_s$
SKJUVBROTT	○	●		●	○		$P_B \approx \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$
PLAN-KNACKNING	●		●	●	●		$\sigma_k < \sigma_s$
RYMD-KNÄCKNING					●		
VIPPNING	○	●	○		●		
BUCKLING		●		●	●	●	
LOKAL BUCKLING				●	●		
GENOMSLAG						●	

● = VANLIG BROTTYP, ○ = MINDRE VANLIG BROTTYP

FIG. 3. Sannolika brottformer vid olika typer av bärverkskomponenter under inverkan av normalkraft respektive transversallast.

● = vanlig brottyp, ○ = mindre vanlig brottyp.

Probable forms of failure in different types of load-bearing element subjected to normal force and transverse force respectively.

● = usual type of failure ○ = less usual type of failure.

Tabellen indikerar att ett byggelement för allsidig användning bör utformas så att normalkraft och transversallast samt skjuvkrafter i skivplanet kan upptas samt att utifrån grundformen den lastupptagande förmågan för viss belastningstyp eller belastningskombination med enkla medel kan höjas i förhållande till övriga belastningstyper.

Ett minimikrav på styvhet med hänsyn till transport och montering kan bilda en lämplig utgångspunkt för en diskussion av bärverksgrundformen. En annan utgångspunkt bildar exempelvis aktuella böj- och vridmoment och en funktionellt betingad minimistyvhet för en icke bärande innervägg.

Grundformen skall således ha avskiljande funktion (= plattfält) och en definierad minimistyvhet, som kan uppnås genom lämpligt val av förstävningar. Utvecklingen av grundformen framgår av FIG. 4-7.

Grundformerna enligt FIG. 4 utgör ett sammansatt bärverk, "flerkomponentlösning", med plan plåt respektive kallformade tunnväggiga profiler som basprodukter, varvid erforderlig minimistyvhet erhålls genom variation av profildelningen B respektive profilhöjden H. Bärverkselementet kan vara ensidigt eller dubbelsidigt täckt med plåt samt på enkelt sätt krökts tvärs förstävningarna.

FIG. 5 visar "enkomponentlösningar" för en- respektive dubbelsidiga plattfält med kantförstävade kallformade profiler som basprodukter. Den principiella skillnaden mellan dessa och de i FIG. 4 redovisade grundformerna (a-d), ligger i att plattfältet som helhet utgörs av elastiskt kopplade delfält. Med grundform e erhålls en koppling av delfälten i plattfältets plan som funktionsmässigt är beroende av förbindningarnas styvhet. Grundform f intar i detta hänseende ett mellanläge. Lastupptagningsförmågan och styvheten kan förändras genom variation av bredden B och höjden H för tvärförbindningarna.

I FIG. 6 illustreras "tvåkomponentlösningar", där erforderlig minimistyvhet erhålls genom koppling av två plana plåtar via ett kontinuitetsmedium av exempelvis skumplast, mineralull, tvärwellit eller annan typ av cellsystem. Vid sandwichkonstruktioner av här beskrivet utförande varierar den lastupptagande förmågan med plåttjocklek, elementtjocklek H och kontinuitetsmediets hållfasthetsegenskaper.

FIG. 7 illustrerar några grundformer för "blandkomponentlösningar", varmed här avses en statisk samverkan mellan kallformade plåtprofiler och ytskikt av artfrämmande material. Sådana former av "compound"-konstruktioner har stor aktualitet inom byggnadssektorn. Det statistiska verknings sättet är härvid i hög grad beroende av ytskiktets hållfasthetsegenskaper samt fogningen mellan dessa och plåtprofilerna.

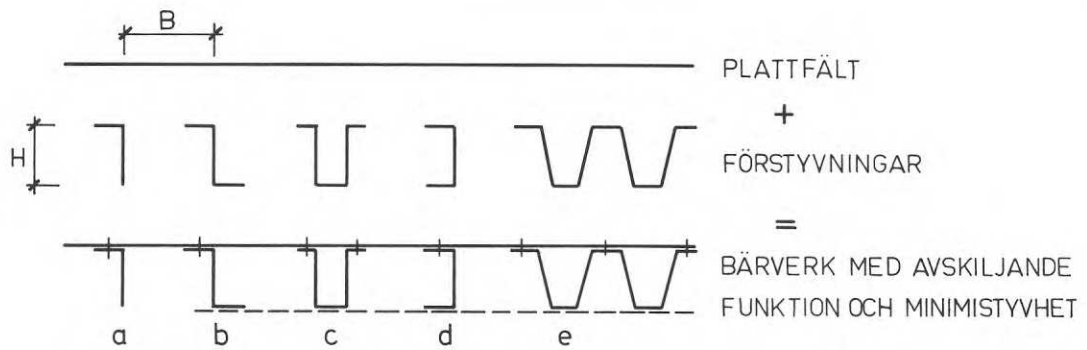


FIG. 4. Grundformer för ytbärverk. Flerkomponentlösning.
Basic forms of load-bearing wall structure. Multi-component solution.

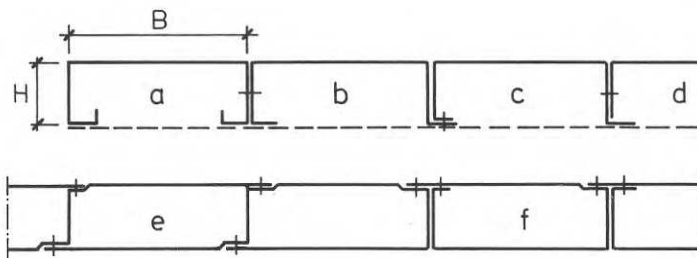


FIG. 5. Grundformer för ytbärverk. Enkomponentlösning.
Basic forms of load-bearing wall structure. Single-component solution.

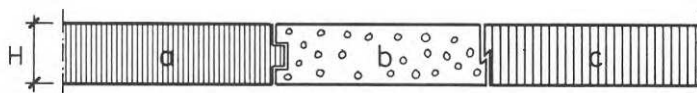


FIG. 6. Grundformer för ytbärverk. Tvåkomponentlösning.
Basic forms of load-bearing wall structure. Two-component solution.

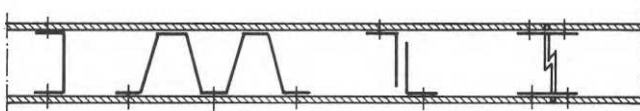


FIG. 7. Grundformer för ytbärverk. Blandkomponentlösning.
Basic forms of load-bearing wall structure. Mixed-component solution.

En väsentlig värderingsgrund för användning av tunn-
väggiga bärverkselement utgör kraven på funktionssta-
bilitet under bruksspänningar samt bärverkets beteen-
de i brottstadiet.

I FIG. 3 redovisas karakteristiska brottformer för någ-
ra utvalda komponenttyper under inverkan av normalkraft
respektive transversallast. Som framgår accentueras vid
tunnväggiga komponenter risken för uppkomst av insta-
bilitetsformer som kan medföra ett plötsligt och glo-
balt brott av hela bärverket.

Särskilt vid tunnväggiga öppna profiler kan flertalet
instabilitetsformer bli aktuella. Detta innebär att
vid lättkonstruktioner, som innehåller sådana bärverks-
komponenter, den konstruktiva bearbetningen, i högre
grad än vid konventionella bärverk, måste innefatta ett
omsorgsfullt studium av bärverkets lastupptagande för-
måga.

Å andra sidan medger den ökade valfriheten ifråga om
komponentframställningen i många fall en tvärsnittsut-
formning som kan balanseras med hänsyn till aktuella
instabilitetsformer (jfr kapitel 3).

I TAB. 2.1 anges de påkänningstyper som är aktuella i
byggnadsteknisk användning.

TABELL 2.1. Aktuella påkänningstyper vid plåtpaneler
som byggelement.

Byggelement	Påkänningstyper						Anmärkning
	T	B	S	T+B	T+S	B+S	
Yttervägg (icke bärande)		•					Utfacknings- vägg
Yttervägg (bärande)	•	•		•			
Innervägg (icke bärande)		○					Mellanvägg
Innervägg (bärande)	•	○		○			T.ex.lägenhets- skiljande vägg
Innervägg (bärande + stab)	•	○	•	○	•	○	
Bjälklag		•	○			○	
Tak	○	•	•	○	○	•	Takskiva för stabilisering

T = tryckpåkänningar
B = böjningspåkänningar
S = skjuvpåkänningar i
skivplanet

• = dominerande påkän-
ningar
○ = mindre väsentliga
påkänningar

Utöver här redovisade grundformer förekommer många, vars utförande främst bestäms av funktionella och miljömässiga krav. Några exempel på det behandlas i avsnitt 2.2.

En granskning av redovisade grundformer visar att de bärverkselement som utformas med hänsyn till hanteringskravet även får en mindre eller större grad av lastupptagande förmåga för påkänningar av normalkraft respektive skjuvkraft i plattfältets plan. Generellt gäller att tunnväggiga oavstyvade partier av panelen vid en viss kritisk tryckspänning undandrar sig lastupptagningen genom utbuckling. Om därvid inte någon spänningsomlagring till styvare partier inom tvärsnittet kan äga rum, inträffar ett globalt brott. I annat fall inträder ett nytt jämviktsläge i spänningsfördelningen och instabiliteten begränsas till lokala bucklor som i många konstruktionselement från utseendesynpunkt är acceptabla eller på enkelt sätt kan döljas med hjälp av speciella ytskikt som av funktionella skäl ändå fordras.

Som i kapitel 3 närmare redovisas kan bucklingsproblemet i många fall karakteriseras av en "medverkande bredd" inom vilken plattfältet inte är utbucklat och där tryckpåkänningar kan upptas. Dessa områden koncentreras kring förstyvningar eller kantavstyvningar och är till sin utsträckning beroende av bl a plattfältets geometri, inspänningsförhållandena och den aktuella spänningsnivån.

Den ovan antydda möjligheten att öka den lastupptagande förmågan genom att variera delfältsbredden B enl FIG. 4 och 5 finns således även för normal- och skjuvpåkänningar. I de fall då plattfältet som helhet utgörs av elastiskt kopplade delfält (FIG. 5, typ a-d) måste speciell uppmärksamhet ägnas åt diskontinuiteten i kraftflödet. Under skjuvkraftpåverkan kommer därvid tvärförbindningarna att utsättas för speciella påkänningstyper. Några alternativa möjligheter att öka bärverkselementens lastupptagande förmåga redovisas i FIG. 8.

De i FIG. 8 redovisade exemplen på utförandeformer visar att de statiska krav som ställs på bärverkselementet väl kan tillgodoses med hjälp av den i kallformningsprocessen inneboende variationsrikedomen för formgivningen. Det bör emellertid uppmärksammas att en avancerad formgivning normalt kräver avsevärda investeringar i ändamålsenliga formningsverktyg.

Det skall vidare påpekas att vid bärverkselement, avsedda att ingå i byggnadskonstruktioner med distinkta funktionskrav, sällan den rent statiska aspekten är utslagsgivande för slutproduktens ekonomi och lämplighet.

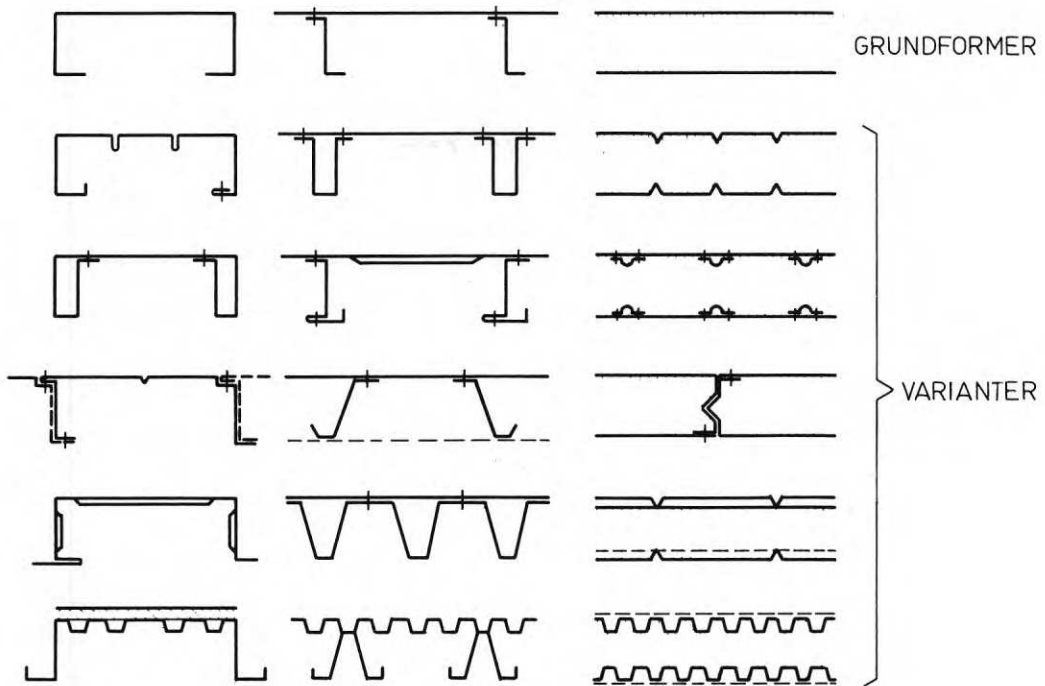


FIG. 8. Exempel på plattfält med i relation till grundformen ökad lastupptagande förmåga.

Example of plate panel with load-bearing capacity increased in relation to the basic form.

2.2 Funktionskrav

En väsentlig förutsättning för en tillämpning av den här behandlade konstruktionstypen inom byggnadssektorn är - inte minst från ekonomisk synpunkt - att bärverks-elementets statiska funktion kan kopplas med möjligheten att tillgodose aktuella funktionella krav. I TAB. 2.2 ges en summarisk överblick av sådana krav i anslutning till bärverkselementens placering inom byggnaden.

TABELL 2.2. Aktuella funktionskrav vid olika byggelement.

Byggelement	Funktionskrav							Anmärkning
	A	B	E	F	K	L	V	
Yttervägg	○	●	●	●	●●	●●	●●	F: utbytbart ytskikt
Innervägg: bärande	○	●●	○	●●		●	●●	V: schaktutrymme
lägenhets- skiljande	○	●●	○	●●		●●	●●	V: schaktutrymme
trappom- slutande	○	●●	○		●	●●		
våtenheter	○		○		●●	●	●●	V: schaktväggar
icke bär- ande	○		○	●		○	●	V: schaktutrymme
Bjälklag	○	●●	○	●●		●●	●●	F: håltagning
Vindsbjälklag	○	●●	○		●●			K: även bjälklag mot kallt utrymme
Trappor		●●				●●		
Yttertak (kallt)	○	●	○	●	●●		●●	F: byte av ytskikt
Yttertak (varmt)	○	●	○	●	●●	●●	●●	V: avvattning

A = allmänt avskiljande funktion
 B = brandcells begränsning eller föreskrivet brandmotstånd
 E = försörjningszon (el, tele)
 F = ombyggnadskrav med hänsyn till framtida flexibilitet
 K = klimatgräns
 L = ljud- eller bullergräns
 V = försörjningszon (VVS).

- betecknar krav med betydande anspråk på bärverksutförande
 betecknar krav med måttliga anspråk på bärverksutförande
 betecknar krav med små anspråk på bärverksutförande
 betecknar att kravet normalt inte är aktuellt

Som framgår av tabellen ställer ett utnyttjande av bärverkselementet som klimat- och ljudgräns samt som försörjningsenhet betydande anspråk på konstruktionsutformningen liksom även brandskyddskravet. Svårigheterna accentueras med ökande antal inbyggda funktionskrav.

Vissa funktionskrav ger i kombination med varandra även upphov till kontroversiella utförandekrav, i synnerhet om det statistiska grundkravet har dominerande inflytande på elementutformningen.

I FIG. 9 ges några exempel på bärverkselement med olika kravkombinationer. Exempelen är endast avsedda att belysa olika utförandeformer och gör inte anspråk på att vara i alla avseenden godtagbara byggnadstekniska lösningar.

Delfigur A illustrerar ett bärverk med i huvudsak klimatbegränsande funktion, där klimatgräns I i form av profilerad plåt utgör en regnkapp och klimatgräns II i två skikt utgör värmeisoleringen. Den bärande funktionen hänvisas till ett förstyvat plattfält. Ett inre ytskikt ger erforderligt brandskydd.

Delfigur B visar en enkelvägg med ett förstyvat plattfält som bärverk och ett brandskyddsisolerande ytskikt. Det fria utrymmet mellan ytskikten kan utnyttjas för installationsändamål.

Delfigur C utgör en variant till B med bärverk i form av en trapetsprofilerad plåt och ytskikt av artfrämmande material (t ex gipsskivor).

Delfigur D karakteriserar en lägenhetsskiljande vägg med höga krav på ljudisolering, som här tillgodoses genom väggfördubbling i kombination med avpassat ytskikt och en inre isoleringsmatta. Bärverket utgörs av dubbla förstyvade plattfält.

Delfigur E utgör en variant till D med bärverk av enkomponenttyp (kantförstyvade profiler). Väggen är även avsedd att inrymma speciella installationsschakt.

Delfigur F visar en icke bärande demonterbar vägg, uppbyggd av kantförstyvade ytbehandlade plattfält med bucklingsförstyvning i form av pålimmade plattor. Den nedre väggdelen erfordrar åtkomlighet från två sidor under montage medan den övre väggdelen kan monteras från utsidan, varvid väggelementen låses till varandra med hjälp av klämförband.

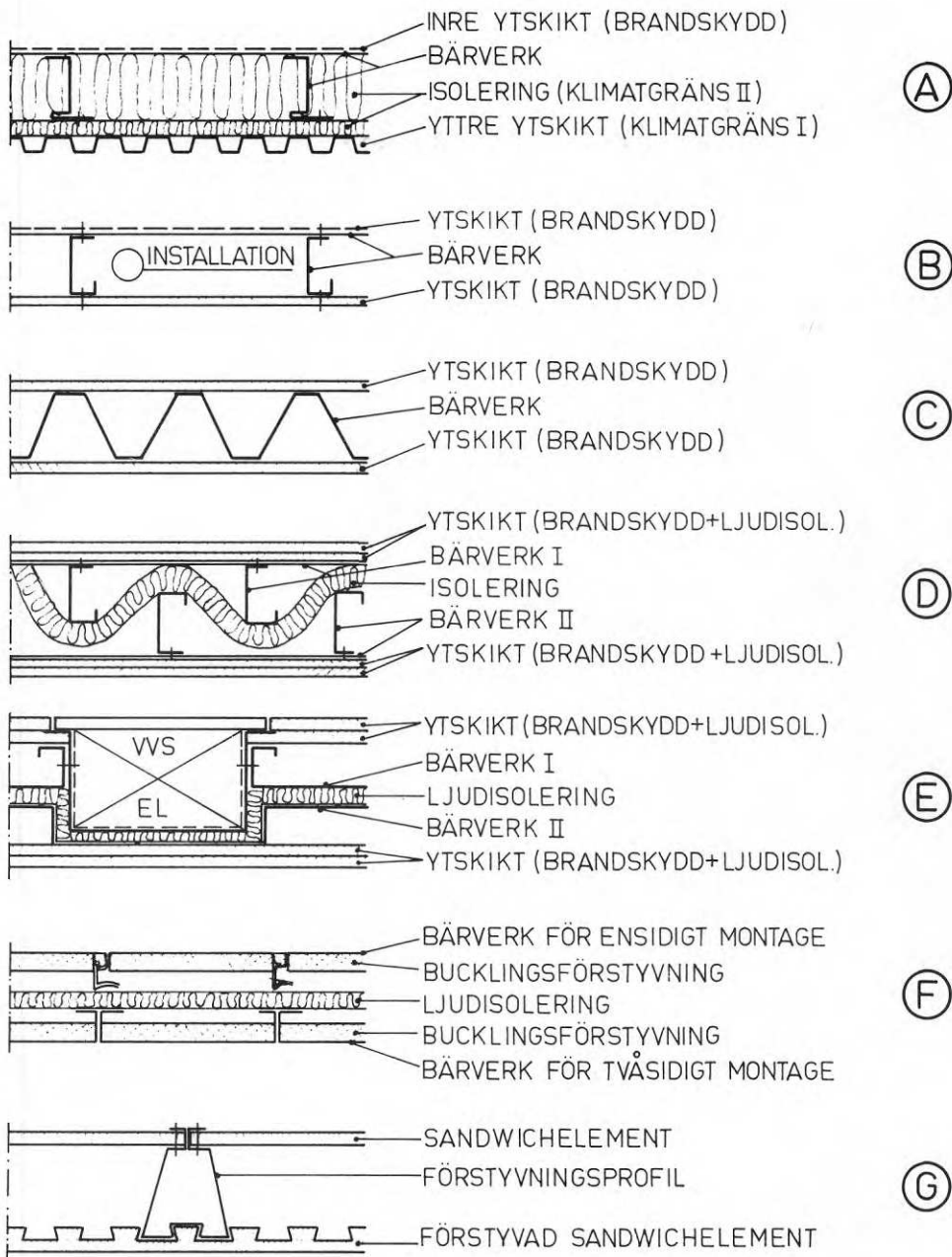


FIG. 9. Exempel på bärverkselement med komponenter av tunnplåt och artfrämmande material.

Example of load-bearing element with components of thin sheet and a different material.

Delfigur G illustrerar en tvåskalig sandwichkonstruktion med bärande funktion i statisk samverkan. Sandwichskivorna med avpassade styvhetskrav förbindes med hjälp av specialformade förstyvningssprofiler.

Samtliga redovisade bärverkselement är som lättkonstruktioner speciellt känsliga ifråga om ljudöverföring, vilket medför att det vid höga krav på ljudisolering fordras flerskiktsskonstruktioner med lämplig massfördelning.

Vid tunnväggiga konstruktioner accentueras kravet på ett varaktigt korrosionsskydd. Under normala atmosfäriska betingelser torde inom husbyggnadssektorn som regel en varmförzinkning ge ett fullgott korrosionsskydd. Vid speciellt utsatta områden där en varaktig nedfuktning måste befaras kan ytterligare skyddsåtgärder bli erforderliga.

Ett annat problem, som kan påverka funktionskraven, utgör den konstruktiva utformningen av skarvar, anslutningar och lastinföringen. Speciellt bör beaktas att lastöverföringen från bjälklag till vägg kan fordra en utrymmeskrävande elementkoppling som inkräktar på det i övrigt disponibla utrymmet för installationer i respektive konstruktionsdel.

2.3 Formningstekniska krav

Bärverkselement av här aktuell typ karakteriseras enligt ovanstående av en långtgående anpassning till statiska och funktionella krav. Variationsmöjligheterna för formvaror, som kan framställas genom kontinuerlig rullformning, illustreras i FIG. 10. Genom att utnyttja plåtens bandbredd kan även andra profiltyper, exv trapetsprofilerad plåt, framställas.

Bland de redovisade profiltyperna kan de "öppna" profilerna såsom L-, C-, Z- och i begränsad omfattning även hattprofilerna framställas i kantpress, medan övriga profiler normalt kräver en rullformning och - av kostnadsskäl - en serieproduktion.

I kantpress framställda profiler kan fin erhållas upp till ca 12 m längd, vilket med hänsyn till hanteringsmöjligheter och här avsett användningsområde är tillräckligt. Emellertid reduceras måttnoggrannheten med tilltagande längd och antal "kanter", vilket vid monteringsfärdiga element med hänsyn till passningskravet kan vara besvärande.

Rullformningen medger dels en mera avancerad formgivning och dels en skärpning av toleranskravet. Å andra sidan ökar investeringskostnaderna progressivt med ökat antal kanter, med ökat profileringsdjup samt vid profilformer som kräver en bockningsvinkel större än 90°.

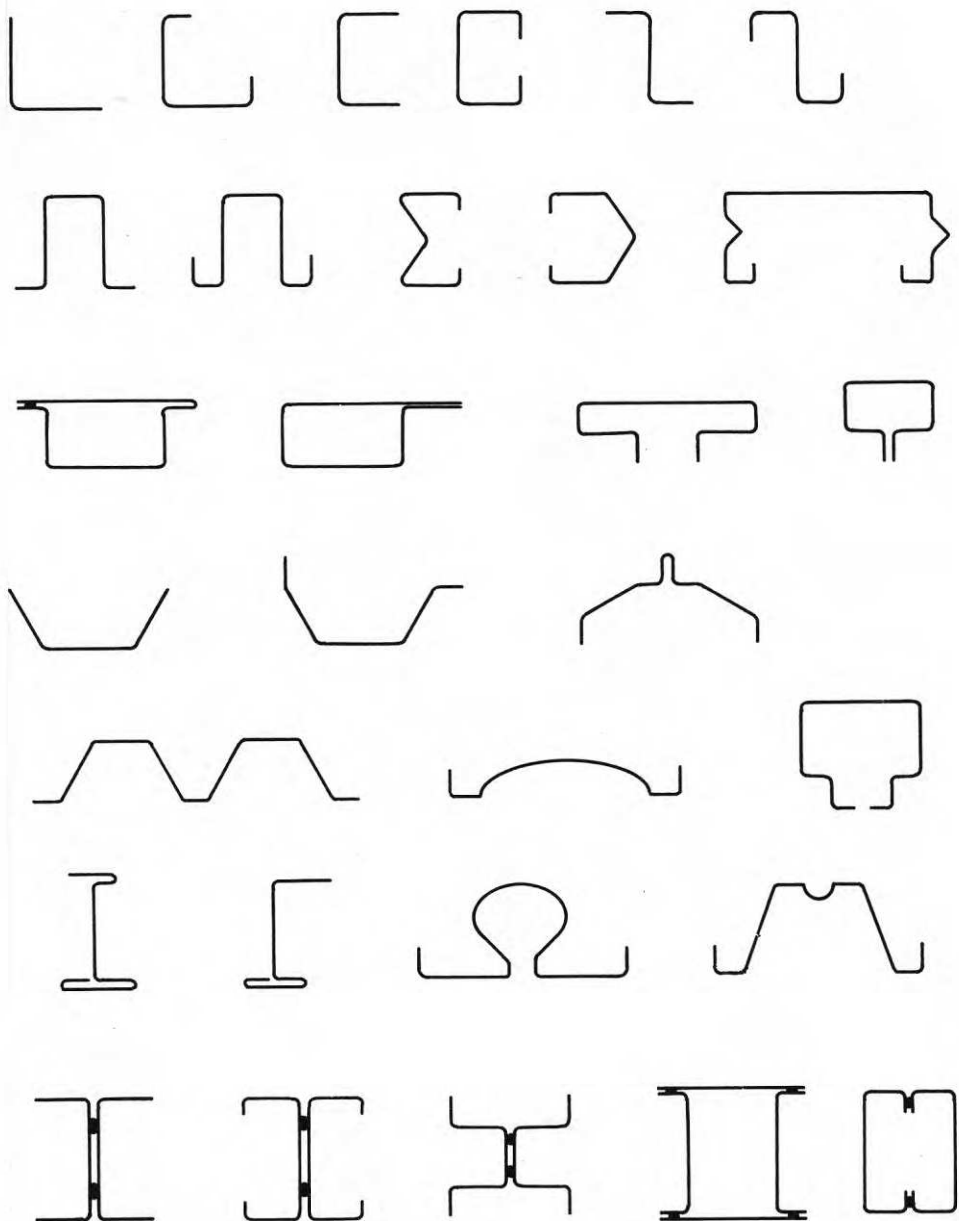


FIG. 10. Exempel på kallformade profiler.
Example of cold-formed sections.

Rullformningskapaciteten är f n starkt begränsad, så den i FIG. 10 demonstrerade valfriheten i profilutformningen existerar inte i realiteten. Det framförda sortimentet begränsas i huvudsak till profilerad plåt och enstaka profilformer, framtagna för speciella ändamål.

Samtliga här behandlade profiltyper karakteriseras av en distinkt profileringsriktning. För framställning av ytbärverk med förstyvningar eller kantavstyvningar i godtycklig riktning tillämpas andra formningsprocesser såsom drag- eller sträckpressning och explosionsformning. Som tillämpningsområden för sådana grundformer må nämnas dekorativa fasadelement samt komponenter till rymdfackverk, kupoler, veckade konstruktioner och skal. Några exempel på grundformer ges i FIG. 11. Med utgångspunkt från den plana kassetten (a), där plattfältet begränsas av kantavstyvningar, kan det plana fältet förstyvas genom plana "tak"-strukturer (b-d) eller genom en omformning till krökta delytor (e). Formningstekniken medger också utformning av godtyckliga kantförstyvade sadelytor eller skalelement (f). På detta sätt erhållna grundformer kan antingen fogas till ett linjärt bärverk, t ex som takyta till ett rymdfackverk, eller kopplas med varandra till ett fribärande ryddbärverk. Valfriheten i utformningen av bärverkelementet begränsas i huvudsak av materialets formbarhet, erforderligt presstryck och möjligheten att framställa lämplig matris för formningsprocessen.

2.4 Fogningstekniska krav

Användningen av tunnväggiga ytbärverk inom byggnadssektorn förutsätter från tillverknings-, kontroll- och säkerhetssynpunkter tillfredsställande lösningar av fogningsproblemet.

Ytbärverkens funktionssätt innebär att den vid linjära bärverksformer aktuella koncentrerade kraftöverföringen ersätts med en ytmässig kraftupptagning längs bärverkets kanter och skarvar. Detta medför, speciellt vid tunnväggiga bärverkskomponenter, att det konventionella skruvförbandet (med hänsyn till hållkantryckbegränsningen) och den ordinära smältsvetsningen (med hänsyn till erforderligt minsta godstjocklek) inte är lämpliga fogningsmetoder.

Till förfogande vid fogning av tunnväggiga bärverkskomponenter står icke-konventionella skruvförband (gångformande eller självborrande skruvar), blindnitförband, motståndssvetsningsmetoder (punkt-, söm- eller brännsvetsning), smältpunktsvetsning samt limning (kall- och varmhärdande lim). Dessa metoder har varit vanliga inom traditionella tunnplåtsområden såsom flygplansbyggnad och transportsektorn. Användningen har därvid dock i huvudsak skett inom ramen för en tillverkning som underkastas rigorösa kontrollåtgärder. En tillämpning av dessa fogningsprinciper inom bygg-

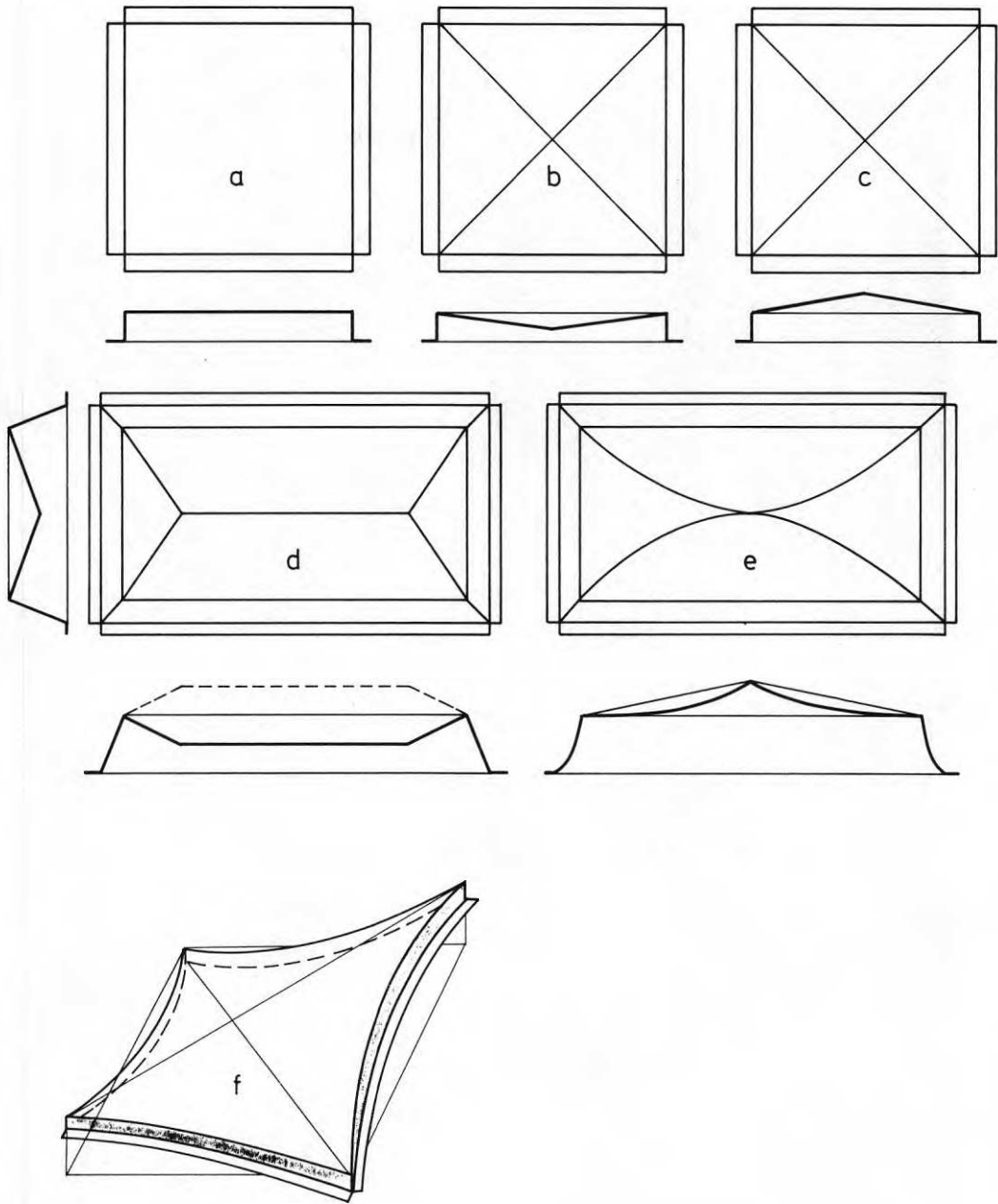


FIG. 11. Exempel på grundformer till formpressade ytbärverk.
 Example of basic forms of moulded load-bearing wall elements.

nadsindustrin förutsätter en anpassad konstruktionsteknik och ett upprättande av distinkta kontrollföreskrifter. Bland annat fordras också en kartläggning av förbandskaraktäristika med hänsyn till bärverkets funktionskrav. En exemplifiering av tillämpliga fogningsmetoder ges i FIG. 12.

Fogningsproblemet behandlas för närvarande med stöd av Statens råd för byggnadsforskning inom ramen för ett speciellt forskningsarbete, vars resultat beräknas föreligga under 1971.

2.5 Ekonomiska aspekter

Den ekonomiska aspekten vid användning av tunnplåtskonstruktioner inom husbyggnadssektorn är för närvarande svårbedömd på grund av att erfarenhetsunderlaget är bristfälligt.

Bärverk av tunnplåt har hittills i huvudsak använts som tak- och väggkonstruktioner i form av profilerad plåt; i enstaka fall förekommer plåtprofiler. Ett utnyttjande av materialet i såväl bärande som avskiljande funktion förekommer i övrigt endast i samband med småhus och i vissa speciella byggelement.

Vad gäller trapetsprofilerad plåt ensam eller i kombination med åsar och regler av plåtprofiler är dess konkurrenskraft gentemot andra tak- och väggkonstruktioner styrkt genom den expansiva utvecklingen inom området.

Även för enbart plåtprofiler av C- och Z-typ visar kostnadsjämförelser med inom konventionell stålbyggnadsteknik tillämpade varmvalsade profiler en gynnsam ekonomisk bild.

Man kan således förmoda, att även bärverk av här aktuell typ kan bli konkurrenskraftiga. Mätvärdet är dock här mera komplext eftersom inom husbyggnadstekniken de sammanlagda kostnaderna för den färdiga produkten bör värderas.

Förutsättningen för att en seriös bedömning av tunnplåtskonstruktioners ekonomiska konkurrenskraft inom byggnadssektorn kan utföras är emellertid att produktionskostnaden för sådana bärverkselement kan kartläggas.

Erfarenheterna från ovan nämnda tillämpningsexempel visar att formningsprocessens kostnader i väsentlig grad påverkar produktens totalkostnad. Å andra sidan är dessa vid en kontinuerlig formningsprocess starkt beroende av utnyttjandegraden och profilseriens storlek. Dessa förhållanden kräver en noggrann marknadsanalys och en sådan avstämning av profilprogrammet, att produkterna kan få en mångsidig användning.

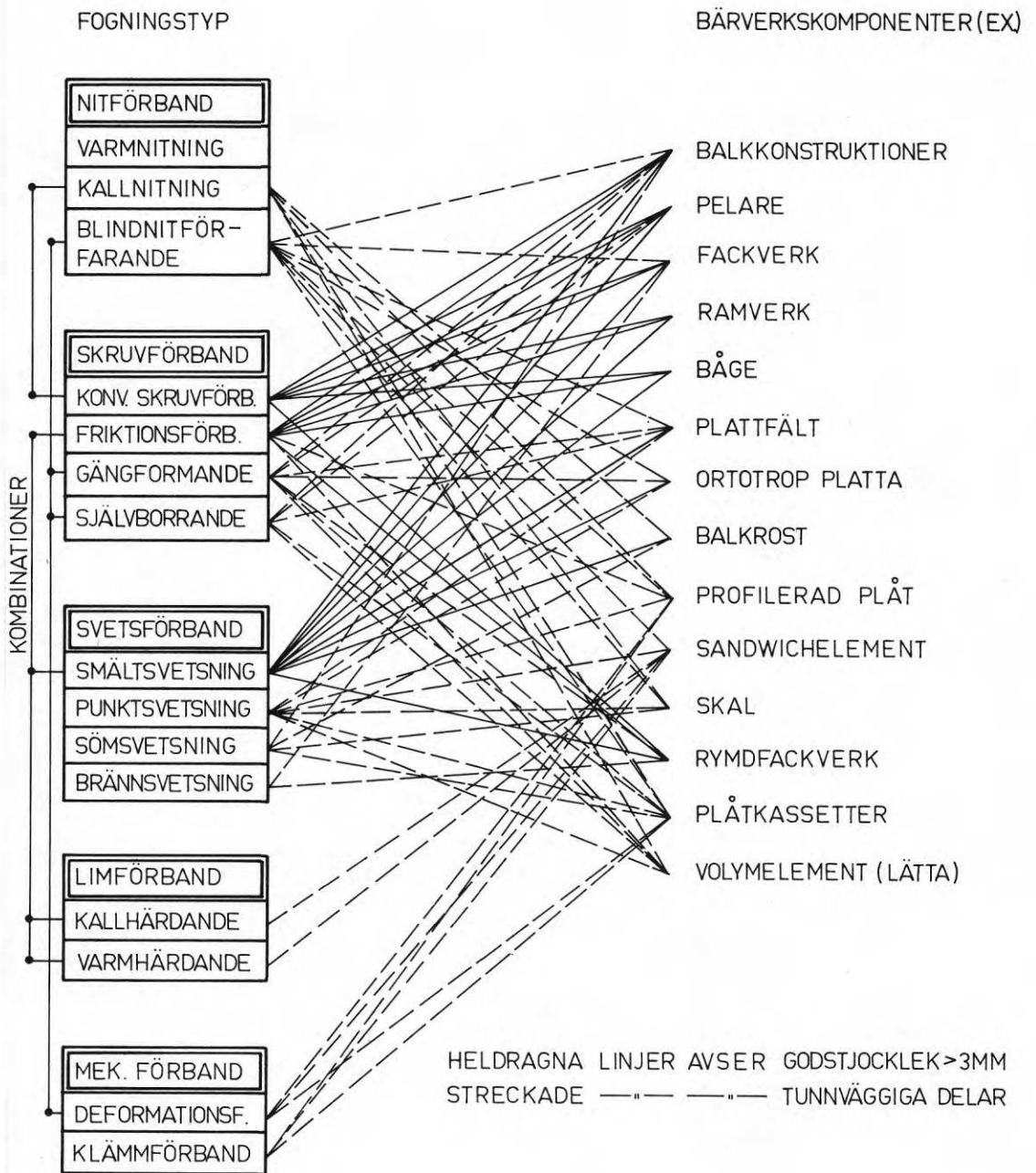


FIG. 12. Exempelificering av tillämpliga forgningsmetoder vid framställning eller sammanfogning av bärverkskomponenter.

Examples of jointing methods which can be used in the manufacture or jointing of load-bearing components.

En annan ekonomisk aspekt utgör den specifika materialåtgången per enhet lastupptagande förmåga. Denna materialåtgång är inte enbart beroende av materialhållfastheten och påkänningssättet utan - i högre grad än vid konventionella stålkonstruktioner - av formnings- och fogningsättet samt av funktionella och hanteringsmässiga krav. Punktundersökningar för enklare bärverkstyper - exv takelement - tyder på att en statistiskt möjlig, minimal materialåtgång inte nödvändigtvis innebär en lägsta produktkostnad. Förhållandena illustreras schematiskt i FIG. 13, där med hänsyn tagen till formnings- och fogningskostnaderna den optimala lätthetsgraden (= materialåtgången) inte sammanfaller med den lägsta möjliga elementvikten.

En användning av tunnväggiga förstyvade plattfält inom byggnadssektorn kräver en tillämpning av industriella tillverkningsmetoder, dvs en serieproduktion av delkomponenterna samt en långtgående förädling i riktning mot slutprodukten i fabriksmässigt utförande. Med hänsyn till investeringsbehovet å ena sidan och marknadens förhållandevis ringa storlek å andra sidan synes en samordning av resurser ifråga om tillverkning av allsidigt användbara grundformer vara nödvändigt. FIG. 14 illustrerar en tänkbar samordning av formnings- och tillverkningsprocesserna.

Exemplet grundar sig på förutsättningen att formnings- och förädlingsprocessen var för sig är investeringskrävande. Profilutbudet ifråga om grundformerna i synnerhet, men även komponenterna med viss förädlingsgrad bör med tanke på tillverkningskapaciteten utformas så att produkterna kan bli attraktiva även utanför den egentliga byggnadsmarknaden. I figuren redovisat förädlingskedje avser en tillverkning av komponenter med indirekt anknytning till byggnadstekniska produkter. Produktutbudet vänder sig därmed till såväl byggnadsindustrin som till annan industri. Den byggnadstekniska förädlingen avser framställning av funktionsavpassade bärverkselement med hög förädlingsgrad som antingen utgör delprodukter i en integrerad byggprocess eller slutprodukten.

Profilutbudet liksom olika förädlingsprocesser måste bli föremål för speciella undersökningar med beaktande av de faktorer som i varje led påverkar den ekonomiska konkurrenskraften.

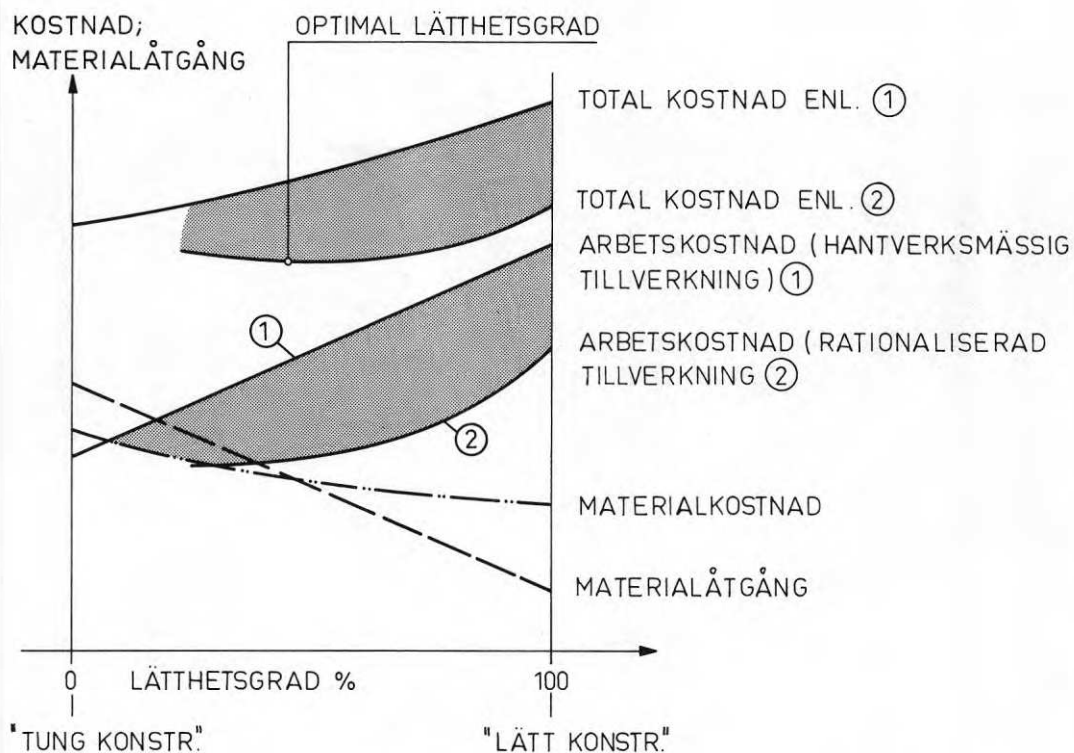


FIG. 13. Schematisk framställning av materialåtgång och kostnad som funktion av lätthetsgraden.

Diagrammatic representation of material requirements and cost as a function of weight.

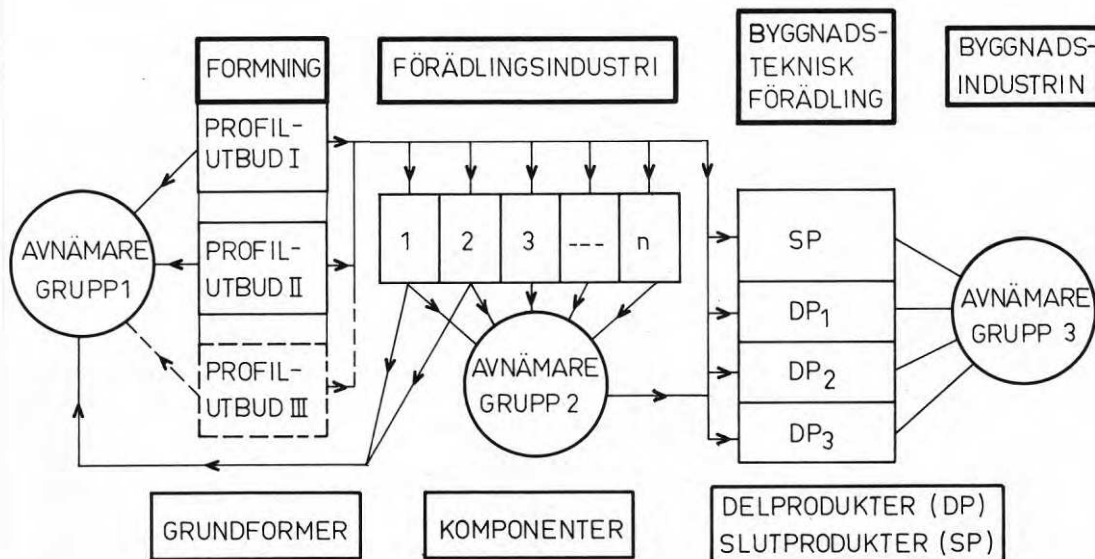


FIG. 14. Exempel på samordning och resursfördelning vid marknadsföring av tunnplåtsprodukter för allsidig användning.

Example of co-ordination and distribution of resources in marketing thin-sheet products for manifold application.

3 TUNNVÄGGIGA YTBÄRVERK UNDER LASTPÅVERKAN

3.1 Definitioner

Med förstyvad plattfält förstås här en plan plåt försedd med en eller flera förstyvningar. För den sistnämnda typen används även beteckningen panel. Exempel på olika typer av förstyvade plattfält visas i FIG. 15. Vanligt förekommande profiler för förstyvningar är t ex I, L, T, C, Z, Y och hattprofiler.

3.2 Beteckningar

b	Plattbredd
b_e	Medverkande bredd
k	Bucklingsfaktor
n	Koefficient
t	Plattjocklek
A	Tvärsnittsarea för förstyvning
D	Plattböjstyvhet = $\frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$
E	Elasticitetsmodul
G	Skjuvmodul
I	Tröghetsmoment för förstyvning
I_p	Polärt tröghetsmoment för förstyvning
K_v	Vridstyvhetens tvärsnittsfaktor för förstyvning
K_w	Välvningsstyvhetens tvärsnittsfaktor för förstyvning
P_g	Brottlast (gränslast)
α	Koefficient
λ	Slankhetstal
ν	Tvärkontraktionstal
σ_g	Medelspänning vid brott
σ_k	Kritisk bucklingsspänning vid tryck
σ_R	Normalspänning vid randen
σ_s	Sträckgränsspänning
σ_1	Huvuddragsspänning
σ_2	Huvudtrycksspänning
τ	Skjuvspänning (aktuell)
τ_k	Kritisk bucklingsspänning vid skjuvning

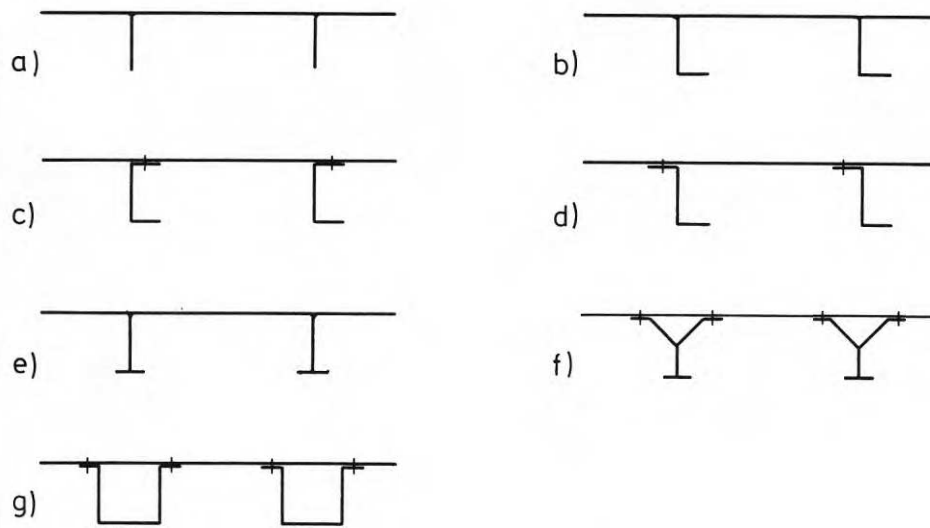


FIG. 15. Exempel på förstivade plattfält.
Examples of stiffened plates.

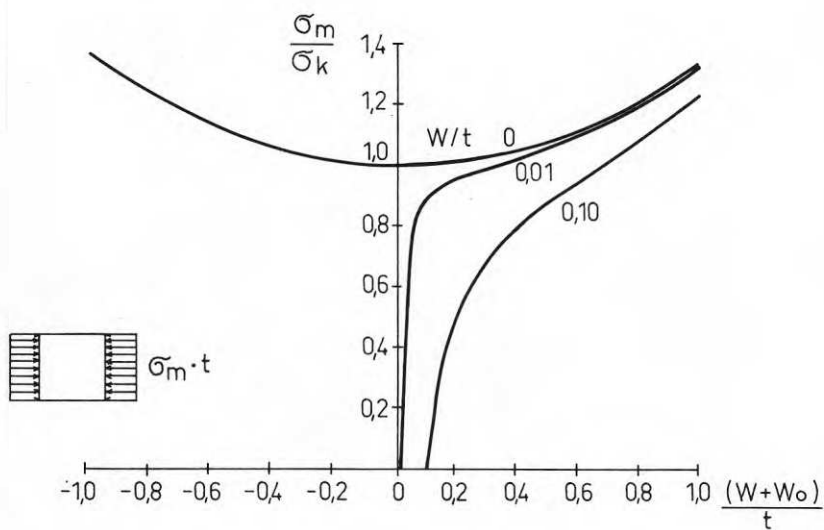


FIG. 16. Utböjning hos normalkraftpåverkad platta (enl. /48/).
Deflection of plate subjected to normal force (According to /48/).

3.3 Plant plattfält under normalkraftpåverkan

Lastupptagningsförmågan hos ett lämpligt förstyvat plant plattfält utgörs av dels en belastningsandel för vilken fältet förblir i bucklingsfritt tillstånd (underkritiskt område) samt dels en belastningsandel, som av det utbucklade fältet upptas genom aktivering av membranspänningar (överkritiskt område). Den teoretiska bucklingsspänningen för ett initiellt plant konstruktionselement är den spänning vid vilken det antar ett utböjt stabilt jämviktssläge. Den reella betydelsen av att ett plattfält nått den teoretiska bucklingsspänningen är att bucklingen inleder en accelererad ökning av utböjningen som framledes leder till brott.

Den matematiska behandlingen av bucklingsproblemet kräver att jämvikts- och gränsvillkor är uppfyllda. För plattor av idealelastiskt material påverkade av skivkrafter kan beräkningar genomföras medelst integration av Saint Venant's differentialekvation, se t ex /15/, /48/, /64/, /93/. Stowell /90/ har härlett motsvarande differentialekvation gällande för elastoplastiskt material. Gemensamt gäller för dessa att exakta beräkningar medelst integration endast kan utföras för ett begränsat antal bucklingsproblem av praktisk betydelse. Detta medför ett behov av approximativa beräkningsmetoder. Metoder, baserade på energisamband har härvid spelat en stor roll (/15/, /64/, /78/, /93/). Trots att dessa är approximativa ger de för praktisk användning tillräckligt noggranna resultat. Generellt gäller att metoder baserade på energisamband ger ett för högt värde på den kritiska lasten. Exempel på numeriska beräkningsmetoder anges i /64/.

Den kritiska spänning vid vilken buckling inträder anges ofta i litteraturen under formen

$$\sigma_k = K \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad \dots (1)$$

Bucklingsfaktorn k är härvid beroende av plattans geometri, belastningsform och uppläggningsförhållanden. Värden på k finns redovisade i ett mycket stort antal referenser, se t ex /15/, /44/, /64/, /78/, /95/. Om en fritt upplagd platta belastad med jämnt fördelad normalkraft undergår pålastning utöver bucklingslasten ökar enligt FIG. 15 utböjningen mycket kraftigt. Härvid kan inte längre töjningen av plattans medelyta försummas /58/. Som en följd av detta kommer normalspänningsfördelningen att märkbart avvika från den som rådde innan buckling inträffade. I stället för att ha varit jämnt fördelad kommer den nu att ha ett maximum intill den obelastade randen och ett minimum i plattans mitt (jfr FIG. 17). Om de obelastade ränderna tvingas förbli raka kommer transversella påkänningar att uppträda /25/, /84/. På mitten av den obelastade randen är dessa av typen dragspänningar, vilka motverkar en ytterligare utböjning, och sålunda gör det möjligt för

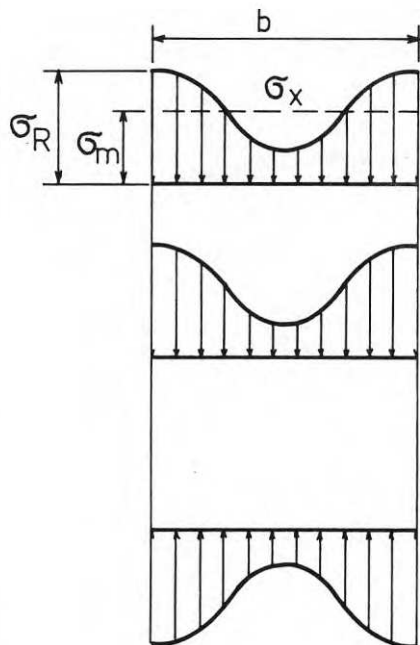


FIG. 17. Principiell spänningsfördelning efter utbuckling (enl. /48/).

Typical stress distribution after buckling (According to /48/).

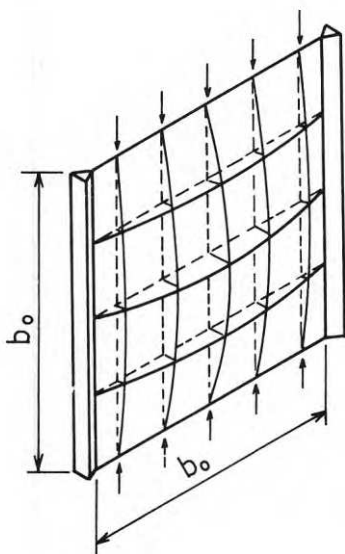


FIG. 18. Modell av verkningssättet för en platta inom överkritiskt område.

Model of the behaviour of a plate in the supercritical region.

plattan att uppta laster avsevärt överstigande den teoretiska bucklingslasten (jfr FIG. 19a). En modell som klargör verkningssättet hos en platta i överkritiskt område visas i FIG. 18. Vid i praktiken förekommande fall är förutsättningen att de obelastade ränderna hos ett enskilt plattfält skall förbli raka i allmänhet inte realiserbar. För det fall randen fritt kan röra sig kommer normalspänningsfördelningen i överkritiskt område att i princip ha det utseende som FIG. 19b visar. Värt att observera i detta fall är att normalspänningen intill de obelastade ränderna är jämförelsevis större än vid fallet med raka ränder /25/.

FIG. 16 visar även inverkan av initiella deformationer hos plattan. Det kan härvid konstateras att utböjningarna avviker märkbart från den initiiellt plana plattans i närheten av kritisk spänning σ_k . För mycket stora utböjningar tenderar kurvorna att sammanfalla, /48/, /54/. FIG. 20 visar sambandet mellan medelspänning och plattans förkortning. Av denna figur framgår också att plattans fiktiva styvhet vid normalkraftpåverkan nedsätts efter inträdd buckling. Om plattfältet skulle ingå i exempelvis en pelarprofil kommer således lokalbucklingen att nedsätta pelarens knäckningsspänning, se t ex /49/.

Brott antas inträffa när randtöjningen ϵ_R uppgår till sträckgränstöjningen. I själva verket torde lasten ytterligare kunna ökas något. Denna reserv är dock försumbar.

Vid dimensionering av normalkraftbelastade plattor kan den lastupptagande förmågan bestämmas antingen med utgångspunkt från begreppet medverkande bredd eller en medelspänning vid brott. Begreppet "medverkande bredd" vid behandling av tryckkraftpåverkade plattor introducerades av Theodor von Karman /59/. Vid försök, utförda 1930, observerades att om plattbredden ökades utöver en viss bredd så ökade inte den lastupptagande förmågan /3/. Breda plattor verkade som om de smala sidopartierna eller de "effektivt medverkande" delarna upptog större delen av lasten. Von Karman /59/ härledde följande approximativa formel för den medverkande bredden:

$$b_e = \frac{\pi}{3(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{E}{\sigma_R t}} \quad \dots (2)$$

Genom substitution av uttrycket för kritisk bucklingsspänning för en fritt upplagd platta övergår ekv (2) till:

$$\frac{b_e}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_k}{\sigma_R}} \quad \dots (3)$$

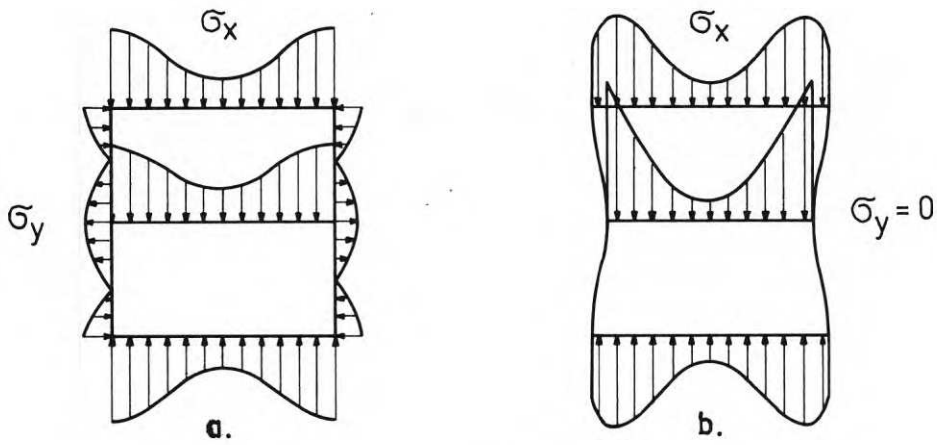


FIG. 19. Principiella spänningsfördelningar vid utbucklad platta:
 a. vid raka ränder
 b. plattans ränder är fritt rörliga i planet (enl. /25/).

Typical stress distribution in a buckled plate:
 a. with the edges straight
 b. with the edges of the plate freely movable in the plane (According to /25/).

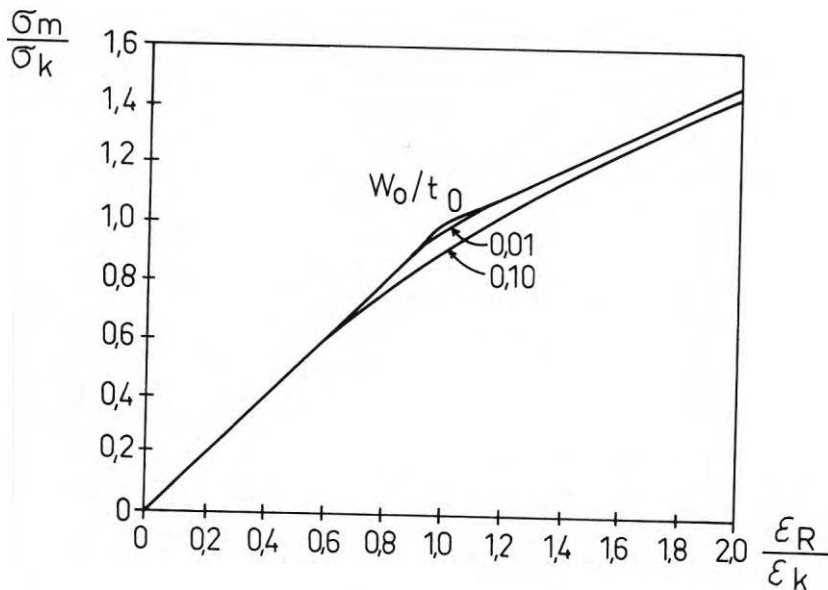


FIG. 20. Samband mellan medelspänning och randförkortning (enl. /48/).

Relationship between mean stress and edge shortening
 (According to /48/).

Många andra formler för medverkande bredd har föreslagits. En översikt av ett flertal ges i /57/, som även innehåller en omfattande bibliografi över plattors beteende i överkritiskt område. Den för byggnadskonstruktioner sannolikt mest kända och använda formeln är den av G Winther /99/ uppställda empiriska formeln:

$$\frac{b_e}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_k}{\sigma_R}} \left(1 - 0,25 \sqrt{\frac{\sigma_k}{\sigma_R}}\right) \dots\dots (4)$$

Formeln innefattar även inverkan av initiella deformationer hos plattan, vilket framgår av att $\frac{b_e}{b} < 1$ för $\frac{\sigma_k}{\sigma_R} = 1$. Den lastupptagande förmågan beräknad med (4) blir då:

$$P_g = \sigma_s b_e = \sigma_s b \sqrt{\frac{\sigma_k}{\sigma_s}} \left(1 - 0,25 \sqrt{\frac{\sigma_k}{\sigma_s}}\right) \dots\dots (5)$$

Den andra metoden som bygger på en medelspänning σ_m är företrädesvis använd av flygplansbyggare. Gerard /48/ anger:

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_k} = \alpha \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_k}\right)^n \dots\dots (6)$$

där α och n är konstanter. Vid brott är $\sigma_R = \sigma_s$ och medelspänningen vid brott σ_g kan då skrivas:

$$\sigma_g = \alpha \sigma_k^{(1-n)} \sigma_s^n \dots\dots (7)$$

I detta fall blir:

$$P_g = \sigma_g b = b \alpha \sigma_k^{(1-n)} \sigma_s^n \dots\dots (8)$$

Konstanterna α och n är bestämda genom försök. Den senare metoden har inom flygsektorn använts för beräkning av brottlaster för förstyrningsprofiler av t ex Z- och [-typ då risk för elastisk knäckning ej föreligger, jämför t ex /45/, /46/.

3.4 Plant plattfält under skjuvkraftpåverkan

Vid skjuvkraftpåverkade plattor används för beräkning av kritisk bucklingsspänning i princip samma tillvägagångssätt som vid normalkraftpåverkade plattor, jämför t ex /15/, /64/, /93/. Den kritiska bucklingsspänningen anges i formen:

$$\tau_k = K \frac{n^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \dots\dots (9)$$

Bucklingsfaktorn k är beroende av plattans geometri och upplagsförhållanden. Värden på k finns angivna i t ex /15/, /44/, /64/, /78/, /93/.

Även för skjuvkraftbelastade plattor existerar ett utpräglat överkritiskt område (/12/, /94/) om efter utbuckling en spänningsomlagring till styvare partier inom fältet är möjlig. Vid ren skjuvkraftsbelastning blir huvudspänningarna $\sigma_1 = -\sigma_2 = \tau$ så länge $\tau < \tau_k$. Uppnåendet av τ_k medför att plattan bucklar och en omfördelning av påkänningarna sker. Ytterligare pålastning medför att $|\sigma_1|$ ökar snabbare än $|\sigma_2|$. För en mycket tunn platta kommer σ_2 att vara försumbar jämfört med σ_1 . Ett ideellt dragfält har utbildats. En enkel modell som i princip klargör verkningssättet visas i FIG. 21. Så länge kraften i D_2 är mindre än knäckningslasten för diagonalen är krafterna i diagonalerna lika stora fast med motsatta tecken. När D_2 knäcker är bärförmågan hos den uttömd och ytterligare ökning av lasten måste tas av D_1 .

Teorin för det ideella dragfältet stämmer med verkligheten först när $\tau/\tau_k \gg 1$. Därför har även andra dragfältsteorier utvecklats. Beroende på antaganden om huvudtryckspänningens storlek görs följande uppdelning av dragfältstyperna /50/, /81/.

1. Ideellt dragfält: $\sigma_2 = 0$
2. Fullständigt dragfält: $\sigma_2 = -\tau_k$
3. Ofullständigt dragfält: $\sigma_2 = < -\tau_k$

Olika dragfältsteorier behandlas i /8/, /50/, /65/, /66/, /80/, /81/ och /94/.

3.5 Förstyvat plattfält under normalkraftpåverkan

Underkritiskt område

Enligt ekv (1) är bucklingsspänningen proportionell mot kvoten $\left(\frac{t}{b}\right)^2$. Av detta framgår att bucklingsspänningen kan höjas genom ökning av plattjockleken. Ett sådant förfarande är ej ekonomiskt om man ser på materialförbrukningen. Från den synpunkten är det lämpligare att förse plattan med förstyvningar. Materialåtgången blir härvid avsevärt lägre jämfört med en ökning av plattjockleken om bucklingslasten skall vara den samma i båda fallen. Olika typer av förstyvningar redovisas i FIG. 15.

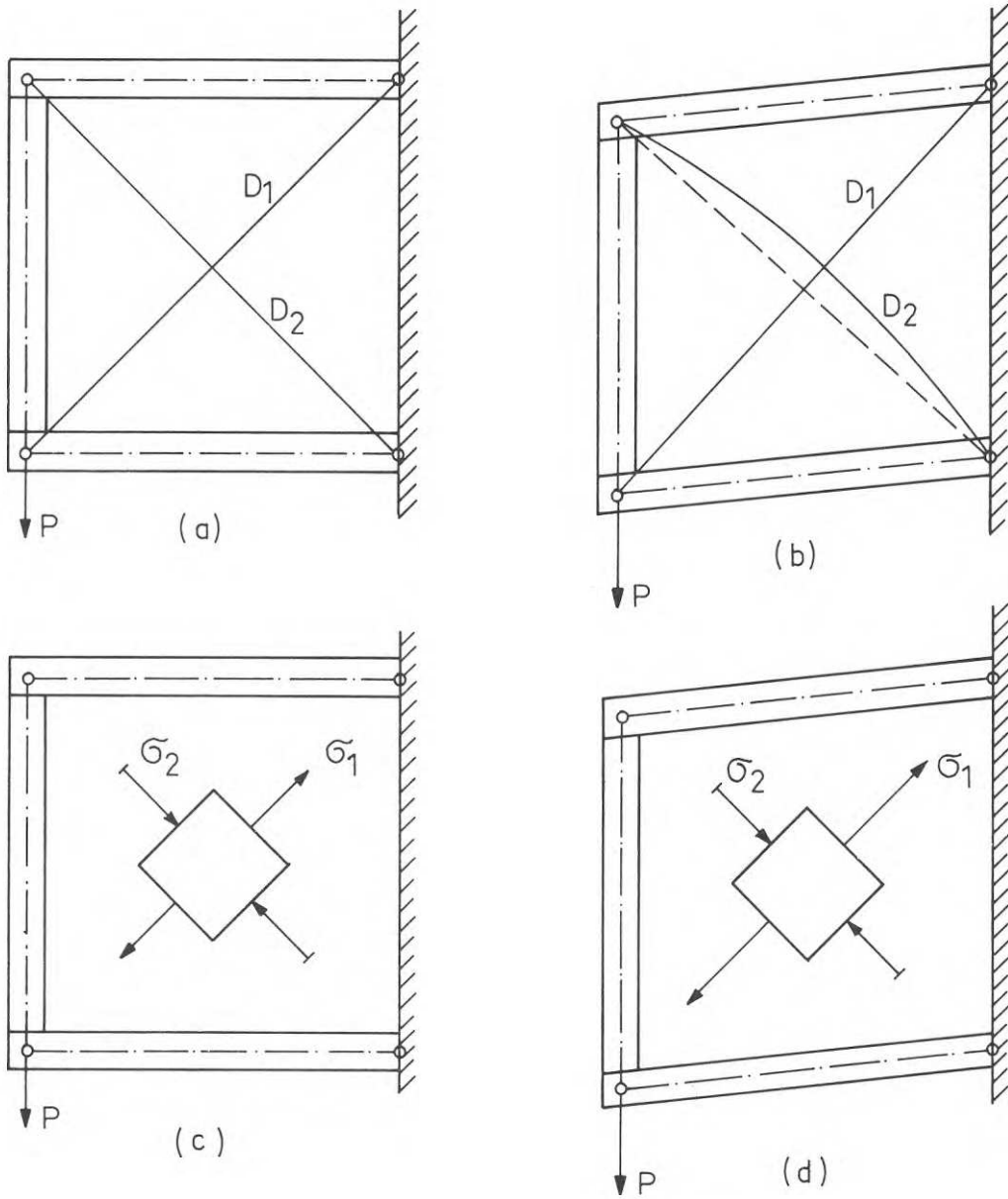


FIG. 21. Princip för dragfältutbildning (enl. /66/).

Principle of the formation of the zone subjected to tension (According to /66/).

På samma sätt som för oförstyvade plattor anges även vid förstyvat plattfält bucklingsspänningen i formen:

$$\sigma_k = k \frac{n^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \dots\dots (10)$$

Bucklingsfaktorn k beror av plattans sidoförhållande $\frac{a}{b}$, belastningstyp, uppläggning, samt två parametrar γ och δ , vilka innefattar förstyvningselementens inverkan. Dessa två parametrar är uppbyggda enligt följande:

$$a) \quad \gamma = \frac{EJ}{Db}$$

$$b) \quad \delta = \frac{A}{bt}$$

Vid beräkning av bucklingsspänningen på basis av nämnda parametrar har hänsyn inte tagits till förstyvnings-elementens vridstyvhet. Om denna inverkan skall beaktas tillkommer ytterligare tre parametrar (jfr /60/), nämligen:

$$c) \quad \gamma_D = \frac{G K_v}{Db}$$

$$d) \quad \gamma_\omega = \frac{E K_w}{Db^3}$$

$$e) \quad \delta_D = \frac{I_p}{b^3 t}$$

I diagram uppgjorda för bestämning av bucklingsfaktorn är i allmänhet inverkan av förstyvningsarnas vridstyvhet utelämnad. Vridstyvhetens inverkan på bucklingsspänningen har diskuterats av bl a Becker /11/.

Vid dimensionering av förstyvade plattor är det ej tillräckligt att bestämma erforderligt tröghetsmoment och tvärsnittsarea hos förstyvningar för att uppnå önskad bucklingsspänning. På grund av tryckspänningarna i förstyvningarna måste även riskerna för lokalbuckling och rymdknäckning av dessa beaktas.

Överkritiskt område

Någon exakt matematisk behandling av beteendet hos förstyvade plattfält i överkritiskt område existerar endast för enstaka fall, jämför t ex /69/, /74/. Formler för bestämning av brotthållfastheten är baserade på förenklade beräkningsmodeller och försöksresultat, /1/, /47/.

För tryckpåverkade plåtpaneler är bärförmågan beroende av bl a panelens slankhetstal λ och sektionssdelarnas b/t-förhållande, varvid följande brottorsaker är möjliga:

- a) Ren knäckning
- b) Kombination av lokalbuckling och knäckning
- c) Lokalbuckling

Som tidigare nämnts innebär en inträdd lokalbuckling i allmänhet ej att den lastupptagande förmågan för ett normalkraftbelastat plattfält är uttömd. Styvheten hos en panel sammansatt av flera plattfält reduceras emellertid vid förekomst av lokalbucklor, vilket resulterar i en reducerad knäckningsspänning för panelen i dess helhet jämfört med det bucklingsfria fallet. Ett i litteraturen inom detta område vanligt förekommande sätt att ange den lastupptagande förmågan för normalkraftpåverkade paneler är att med hjälp av σ_k - λ -diagram beskriva denna. Knäckningskurvorna inkluderar härvid de i punkterna a) - c) angivna brottorsakerna. Den medelspänning σ_g som råder vid brott orsakat av lokalbuckling (c) väljs som utgångspunkt för en övergångskurva, vilken skall innefatta inverkan av bl a kombination av lokalbuckling och knäckning. Olika former av övergångskurvor existerar. Vanligt förekommande typer är parabel eller rät linje, se t ex /29/, /46/, /86/.

Olika metoder att bestämma medelspänningen vid brott förekommer. Samtliga metoder är approximativa. Som exempel kan nämnas (se t ex /29/ och /99/)

$$\sigma_g = \frac{\sum b_e t}{\sum bt} \sigma_s$$

där b_e är bestämd med någon av formlerna för medverkande bredd /57/. En annan metod redovisas av Gerard /46/, som baseras på provning av olika paneler. Denna torde ge säkrare värden, emedan man genom provningen automatiskt får med effekten av de enskilda plåtfältens in-spänningsförhållanden. Den sistnämnda metoden har inom flygsektorn i ökande omfattning lagts till grund för dimensioneringen.

3.6 Förstyvat plattfält under skjuvkraftpåverkan

Den kritiska bucklingsspänningen för ett skjuvkraftpåverkat förstyvat plattfält är beroende av samma parametrar som för normalkraftpåverkan. Bucklingsfaktorer för olika typer av förstyvningsplacering finns redovisade i referenserna /60/ och /61/.

Liksom vid plana plattfält existerar det även vid förstyvade plattfält ett överkritiskt område, såvida de omfördelade påkänningarna kan upptas av styvare delar i konstruktioner, se t ex /4/, /8/, /50/, /63/, /65/, /66/, /75/, /78/, /80/, /81/, /85/ och /94/. Detta innebär att infästningar av plåten samt omgivande förstyvningar måste dimensioneras för i dragfälten uppträdande krafter. Randförstyvningarna upptar därvid krafterna i dragfälten genom böjning (kring en axel vinkelrätt mot skivplanet), normalkrafter och tvärkrafter. Om fältet är försett med förstyvningar i endast en riktning blir de randförstyvningar (randbalkar) som är parallella med plattans förstyvningar särskilt ansträngda. Detta kan i vissa fall medföra att ett utnyttjande av överkritiskt område inte är praktiskt genomförbart. Randförstyvningarna vinkelrätt mot plattfältets förstyvningar blir jämföreslevis mindre ansträngda då de är understöttade av plattförstyvningar /75/.

3.7 Förstyvad plattfält under inverkan av transversallast

Den dominerande belastningstypen för här avsedda plåtpaneler är krafter i skivplanet. En viktig frågeställning är då hur kombinationen av skivkrafter och transversallaster påverkar bärförmågan.

För plåtpaneler under påverkan av normalkraft och transversallast har experimentella undersökningar utförts av Mc Phersson, Levy och Zibritosky /79/.

Problemet med inverkan av kombinerade skivkrafter och transversallaster är för övrigt behandlat i ringa omfattning. Det synes därför nödvändigt att denna fråga ägnas ytterligare uppmärksamhet.

4 LITTERATURINVENTERING

4.1 Redovisningsgrunder

Målsättningen för litteraturinventeringen har varit att kartlägga kunskapsområdet för förstyvade plattfält under inverkan av skivkrafter. Redovisningen kan inte göra anspråk på att vara fullständig. Det finns en mycket omfattande mängd referenser, som behandlar det aktuella området. Huvudprincipen vid urval till denna litteraturinventering har varit att uppta sådana referenser som ofta hänvisas till. Dessutom har litteratur medtagits som mera indirekt har betydelse för förståelsen av här aktuella konstruktionselements verkningsätt. Till den senare hör exempelvis litteratur som behandlar oförstyvade plana plattfält i under- och överkritiskt område.

Avsikten är att de förstyvade plattfälten skall tillverkas av tunnplåt. Konstruktionselement av sådan art har huvudsakligen använts av flygplans- och transportfordonstillverkare. Detta har medfört att en stor del av referenserna har direkt anknytning till och behandlar frågeställningar som är specifika för just dessa sektorer. Kravet på t ex lätthet är dominerande inom dessa sektorer. Detta har lett till att en stor del av litteraturen företrädesvis behandlar aluminiumkonstruktioner och dit hörande speciella problem. Detta förhållande har sannolikt ej någon betydelse, utan inom detta område vunna erfarenheter kan till stor del överföras till att gälla även tunnplåt av stål.

4.2 Litteratursammanställning

För att markera vad som behandlas i litteraturen har i anslutning till referenslistan ett system med numrerade kolumner införts. Numren hänför sig till rubriker enligt nedan. Därest någon eller några av frågeställningarna som innefattas av rubrikerna behandlas i referensen markeras dessa med symbolen o i respektive kolumn. Om någon av rubrikerna behandlas mera ingående eller utgör huvudinnehållet i referensen betecknas denna med symbolen ●.

RUBRIKER

- 1 Referensen behandlar ett mycket omfattande område
- 2 Bärverkstyper
 - 2.1 Platta
 - 2.2 Förstyvningselement – profil
 - 2.3 Panel eller platta + förstuvning
- 3 Belastningstyper
 - 3.1 Enaxlig tryckkraft
 - 3.2 Tvåaxlig tryckkraft
 - 3.3 Skjuvkraft
 - 3.4 Kombination av tryckkraft och skjuvkraft
- 4 Kritisk bucklingsspänning
- 5 Överkritiskt område
- 6 Diskontinuerlig förbindning mellan filt och förstuvning
- 7 Redovisning av försöksresultat
- 8 Dimensioneringsanvisningar

FÖRKORTNINGAR

- ARC Aeronautical Research Committee, London
 R&M Reports and Memoranda
 ASCE American Society of Civil Engineers
 ASME American Society of Mechanical
 ASME American Society of Mechanical Engineers
 IABSE International Association for Bridge and Structural Engineering, Zürich
 NACA National Advisory Committee for Aeronautics, Washington
 TN Technical Note
 R Report
 WR Wartime Report
 NLA National Luchtvaartlaboratorium, Amsterdam

Nr	Författare Förlag el. motsv.	År	Titel	Sid.	1		2			3				4	5	6	7	8
					1	2	1	2	3	1	2	3	4					
33	Dow, N. F, Hickman, W. A. NACA TN 1467	1947	Effect of Variation in Diameter and Pitch of Rivets on Compressive Strength of Panels with Z-Section Stiffeners. – Panels of Various Stiffener Spacing That Fail by Local Buckling					○	○							●	○	
34	Dow, N. F, Hickman, W. A. NACA TN 1640	1948	Direct-Reading Design Charts for 75 S-T Aluminum-Alloy Flat Compression Panels Having Longitudinal Straight – Web Y-Section Stiffeners					○	○									●
35	Dow, N. F, Hickman, W. A. NACA TN 1737	1948	Effect of Variation in Diameter and Pitch of Rivets on Compressive Strength of Panels with Z-Section Stiffeners. Panels That Fail by local Buckling and Have Various Values of Width-to-Thickness Ratio for the Webs of the Stiffeners					○	○							●	○	
36	Dow, N. F, Hubka, R. E, NACA TN 1777	1949	Direct-Reading Design Charts for 24 S-T Aluminum-Alloy Flat Compression Panels Having Longitudinal Straight – Web Y-Section Stiffeners					○	○									●
37	Dow, N. F, Keevil, A. S. Jr NACA TN 1778	1949	Direct-Reading Design Charts for 24 S-T Aluminum-Alloy Flat Compression Panels Having Longitudinal Formed Z-Section Stiffeners					○	○									●
38	Dow, N. F, Hickman, W. A. NACA TN 2139	1950	Effect of Variation in Rivet Diameter and Pitch on the Average Stress at Maximum Load for 24 S-T3 and 75 S-T6 Aluminum-Alloy Flat, Z-Stiffened Panels That Fail by Local Instability					○	○							●	○	
39	Dow, N. F, Hickman, W. A, Rosen, B. W. NACA TN 3064	1954	Data on the Compressive Strength of Skin-Stringer Panels of Various Material					○	○								○	
40	Ebner, H, Köller, H. Luftfahrtforschung Vol 15, München & Berlin	1938	Über den Kraftverlauf in Längs- und Querversteiften Scheiben	527				○										
41	Faxen, O. H. Zeitschrift für Angew. Mathematik und Mechanik Vol 15, Berlin	1935	Die Knickfestigkeit rechteckiger Platten	268		○				○				●				
42	Fröhlich, H. Bauingenieur Vol 18, Berlin	1937	Stabilität der gleichmässig gedrückten Rechteckplatte mit Steifenkreuz	673				○	○					●				
43	Gallaher, G, Boughan, R. B. NACA TN 1482	1947	A Method of Calculating the Compressive Strength of Z-Stiffened Panels That Develop Local Instability					○	○				○					
44	Gerard, G, Becker, H. NACA TN 3781	1957	Handbook of Structural Stability, Part I – Buckling of Flat Plates		○	○								●				○
45	Gerard, G. NACA TN 3784	1957	Handbook of Structural Stability, Part IV. – Failure of Plates and Composite Elements				○	○	○						●		○	○
46	Gerard, G. NACA TN 3785	1957	Handbook of Structural Stability, Part V. – Compressive Strength of Flat Stiffened Panels					●	○						●	○	○	○

Nr	Författare Förlag el. motsv.	År	Titel	Sid.	1	2			3				4	5	6	7	8
						1	2	3	1	2	3	4					
47	Gerard, G. Journal of the Aeronautical Sciences, New York	1958	The Crippling Strength of Com- pression Elements					○	○					○		○	
48	Gerard, G. Mc Graw-Hill Book Co, Inc, New York	1962	Introduction to Structural Sta- bility Theory		●												
49	Graves Smith, T. R. Crosby Lockwood & Sons Ltd,	1969	The Ultimate Strength of Locally Buckled Columns of Arbitrary Length. »Thin Walled Steel Structures»	35			○	○						●			
50	Hertel, H. Springer-Verlag Berlin /Göttingen/ Heidelberg	1960	Leichtbau		●												○
51	Hickman, W. A, Dow, N. F. NACA TN 1553	1948	Compressive Strength of 24 S-T Aluminum-Alloy Flat Panels with Longitudinal Formed Hat-Section Stiffeners Having Four Ratios of Stiffener Thickness to Skin Thicknes				○	○									○
52	Hickman, W. A, Dow, N. F. NACA TN 2435	1952	Direct-Reading Design Charts for 75 S-T6 Aluminum-Alloy Flat Com- pression Panels Having Longitudinal Extruded Z-Section Stiffeners				○	○									○
53	Hickman, W. A, Dow, N. F. NACA TN 2792	1953	Direct-Reading Design Charts for 24 S-T3 Aluminum-Alloy Flat Com- pression Panels Having Longitudinal Formed Hat-Section Stiffeners and Comparisons with Panels Having Z-Section Stiffeners				○	○									○
54	Hu, P. C, Lundquist, E. E, Batdorf, S. B. NACA TN 1124	1946	Effect of Small Deviations From Flatness on Effective Width and Buckling of Plates in Compression				○		○					●			
55	Iguchi, S. Ingenieur-Archiv Vol 7, Berlin	1936	Allgemeine Lösung der Knickungs- aufgabe für rechteckige Platten	207	○			○						●			
56	Iguchi, S. Ingenieur-Archiv Vol 9, Berlin	1938	Die Knickung der rechteckigen Platte durch Schubkräfte	1	○				○					●			
57	Jombock, J. R, Clark, L. W. Proceedings ASCE Vol 87 ST 5	1961	Postbuckling Behavior of Flat Plates	17	○			○						●			
58	v. Karman, Th. Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, Leipzig	1910	Derived the Differential Equations for the Plate with Large Deflections	349	○									○			
59	v. Karman, Th, Sechler, E. E. ASME Transactions 54 (APM-54-5)	1932	The Strength of Thin Plate in Compression	53	○			○						●			
60	Klöppel, K, Scheer, J. Wilhelm Ernst & Sohn Berlin	1960	Beulwerte ausgesteifter Rechteck- platten			○	○	○	○	○	○	○	○	●			
61	Klöppel, K, Möller, K. H. Wilhelm Ernst & Sohn Berlin	1968	Beulwerte ausgesteifter Rechteck- platten (2. Band)			○	○	○	○	○	○	○	○	●			
62	Koiter, W. T. N. L. A. S 287	1943	The Effective Width of Infinitely Long Flat Rectangular Plates Under Various Conditions of Edge Restraint			○		○						●		○	
63	Koiter, W. T. N. L. A. S 295	1944	Theoretical Investigation of the Diagonal Tension Field of Flat Plates					○		○				●			

Nr	Författare Förlag el. mots.	År	Titel	Sid.	1	2			3				4	5	6	7	8
						1	2	3	1	2	3	4					
82	Schleicher, F, Barbre, B. Der Bauingenieur Vol 18, Berlin	1937	Stabilität versteifter Rechteckplatten mit anfänglicher Ausbiegung	665				○	○				○				
83	Schmieden, C. Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt Vol 21, Munchen & Berlin	1930	Das Ausknicken versteifter Bleche unter Schubbeanspruchung	61				○		○			●				
84	Schandel, G. Proceedings of the Third International Congress for Applied Mechanics Vol III, Stockholm	1930	Die Überschreitung der Knickgrenze bei dünnen Platten	73	○				○					●			
85	Sechler, E. E. Journal of Aeronautical Sciences Vol 4, New York	1937	Stress Distribution in Stiffened Panels Under Compression	320				○	○					●			
86	Sechler, E. E, Dunn, L. G. John Wiley & Sons, Inc	1942	Airplane Structural Analysis and Design		●												○
87	Seide, P, Stein, M. NACA TN 1825	1949	Compressive Buckling of Simply Supported Plates with Longitudinal Stiffeners					○	○				●				
88	Seide, P. NACA TN 2873	1953	The Effect of Longitudinal Stiffeners Located on One Side a Plate on the Compressive Buckling Stress of the Platestiffener Combinations					○	○	○			○				
89	Stein, M, Frahlich, R. W. NACA TN 1851	1949	Critical Shear Stress of Infinitely Long Simply Supported Plate with Transverse Stiffeners					○			○		●				
90	Stowell, E. Z. NACA TN 1556	1948	A Unified Theory of Plastic Buckling of Columns and Plates										●				
91	Stowell, E. Z. NACA TN 2020	1950	Compressive Strength of Flanges			○			○				●				
92	Timoshenko, S. P. Eisenbau Vol 12, Leipzig	1921	Über die Stabilität versteifter Platten	147	○			○	○		○		●				
93	Timoshenko, S. P, Gere, J. M. Mc Graw-Hill Company, Inc New York	1961	Theory of Elastic Stability		●												
94	Wagner, H. Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt Vol 20, Munchen & Berlin	1929	Ebene Blechwandträger mit sehr dünnem Stegblech	200 227 256 279 306	○			○			○		●				
95	Van der Neut, A, Floor, W. K. G. N. L. A. S 266	1943	The Effective Width of Flat Plates with Longitudinal Stiffeners of Open Corsection					○	○				●				
96	Van der Neut, A, Floor, W. K. G, Binkhorst, I. N. L. A. S 300 N. L. A. S 328	1947	Experimental Investigation of the Postbuckling Behaviour of Stiffened Flat Rectangular Plates Under Combined Shear and Compression. Part I and II.					○			○		○		○		
97	Wang T. K. Journal of Applied Mechanics Vol 14, New York	1947	Buckling of Transverse Stiffened Plates Under Shear	A 269				○		○	○						

4.3 Diskussion av väsentliga frågeställningar

Litteraturinventeringen har visat att det teoretiska underlaget är väl underbyggt för dimensionering av normalkraftpåverkade plåtpaneler under idealiserade förhållanden. Däremot är lastfall av sammansatt karaktär (t ex samtidig påverkan av normalkraft och skjuvkraft) med avseende på verkningssätt i överkritiskt område behandlade i förhållandevis ringa omfattning. Det synes därför motiverat att med utgångspunkt från byggnadstekniskt intressanta utförandetyper och lastfallskombinationer närmare undersöka panelernas verkningssätt.

Infästning av förstyvningar och dess inverkan på lastupptagningsförmågan vid olika utföranden har varit föremål för omfattande undersökningar (/32/, /33/, /35/, /38/). Dessa har i huvudsak behandlat nitade förbindningar. För normalkraftpåverkade paneler har härvid konstaterats att lastupptagningsförmågan är beroende av nitdiameter och nitavstånd /32/. Kvalitativt kan resultaten sammanfattas i att ökande nitdiameter samt minskande nitavstånd ökar den lastupptagande förmågan vid paneler med litet slankhetstal, medan för paneler med stort slankhetstal resultatet blir en sänkning. Detta förklaras enligt /32/ med att den ökade förekomsten av initiella deformationer till följd av ökad nitdiameter och minskat nitavstånd har en ogynnsammare inverkan vid stora slankhetstal.

För byggnadsteknisk användning finns olika möjligheter att lösa de fogningstekniska problemen. För närvarande pågår som nämnts ett forskningsobjekt rörande hopfogning av tunnväggiga stålkonstruktioner med medel från Statens råd för byggnadsforskning. Resultatet torde få stor betydelse för val av lämpliga fogningsmetoder.

Vid tunnväggiga konstruktioner är lastinföringsproblemet mycket viktigt. Införing av lokala punktlaster ställer med hänsyn till risken för lokalt brott speciella krav på den konstruktiva utformningen. En grundläggande princip bör härvid vara att koncentrerade laster införs i panelerna via förstyvningar. Frågor rörande lastinföring behandlas bl a av Hertel /50/.

En användning av i FIG. 14 visade typer av paneler inom husbyggnad medför att dessa kompletteras med andra material för att konstruktionen som helhet skall vara i stånd att fylla olika funktioner. Dessa kan t ex vara krav på ytjämnhet, värme-, brand- eller ljudisolering (jfr FIG. 9). Det synes därför angeläget att utreda huruvida dessa komponenter kan påverka konstruktionselementens lastupptagningsförmåga. Ett statistiskt utnyttjande av dessa komponenter kräver därför en ingående analys av de olika funktionerna så att en optimal lösning kan erhållas.

Vid dimensionering av plåtpaneler bör i tillämpliga fall regler och rekommendationer i den amerikanska AISI-normen "Light Gage Cold-formed Steel Design Manual" /99/ tillämpas. Vid dimensionering av tryckkraftpåverkade paneler bör således i första hand metoderna enligt /99/ tillämpas. Detta kan dock i vissa fall medföra alltför konservativa resultat (jfr /99/). Metoden enligt AISI-normen medför å andra sidan säkerhet mot lokala deformationer. Alternativt kan en beräkning av sektionen ske med hjälp av formler och diagram enligt Gerard /46/. Det skall härvid påpekas att dessa är baserade på försök med aluminiumpaneler, varför försiktighet bör iakttagas vid användning av dessa formler.

För skjувkraftbelastade paneler ställs stora krav på infästningar och förstyvningar om ett överkritiskt område skall kunna existera. Dimensionering bör i avvaktan på närmare utredning kunna ske med utgångspunkt från ett antagande av ett ideellt dragfält (jfr /1/, /66/, /75/).

Vid kombination av tryckkraft och skjувkraft kan med försiktighet och iakttagande av tillhörande förutsättningar en interaction-formel för samtidigt axialkraftpåverkade och vridmomentpåverkade slutna förstyvade cylinderskal tillämpas, varvid vridmomentet ersätts av ett skjувkraftflöde. Formeln jämte förutsättningar redovisas bl a i /1/ och /66/ (jfr även ref /67/).

Om krav på bucklingsfrihet föreligger blir den kritiska bucklingsspänningen bestämmande för lastupptagningsförmågan. Bucklingsfaktorer redovisas för ett stort antal lastfall och förstyvningsplaceringar i /60/, /61/. Förstyvningarna skall härvid ha sådana dimensioner att lokalbuckling utesluts.

Bestämning av avstånd mellan förbindningspunkter med hänsyn till risk för buckling av plåten mellan förbindningarna kan ske enligt AISI-normen /99/. Beträffande förbindningstyper och dimensionering av dessa hänvisas till kommande rapport från Byggforskningen.

R10:1971

Denna rapport avser anslag nr C 546 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Brobyggnad, KTH, Stockholm

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84, Stockholm
Abonnemangsgrupp: k (konstruktion)**

Pris: 12 kronor