



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R61:1975

**Plåtpaneler i byggnads-
teknisk användning —
pågående forsknings-
projekt i Sverige**

Rolf Baehre

Byggforskningen

Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning

— pågående forskningsprojekt i Sverige

Rolf Baehre

Rapporten innehåller en översiktlig presentation av forskningsarbeten vid Avdelningen för Stålbyggnad, KTH. Utgångspunkt för dessa arbeten är dels ett långsiktigt forskningsprogram avseende plåtpaneler i byggnadsteknisk användning, dels uppgiften att tillhandahålla erforderligt kunskapsunderlag åt de normgivande myndigheterna och näringslivet med syfte att säkra och främja den expansiva utvecklingen inom tunnplåtområdet.

Forskningsresultaten kommer att redovisas i särskilda publikationer eller i anslutning till föreskrifter och standardiseringsdokument.

Lättbyggnadstekniken — i vid bemärkelse — har gamla anor i Sverige, där trä har varit ett dominerande byggnadsmaterial. Speciellt inom småhussektorn har denna tradition varit utgångspunkt för lätta prefabricerade element till väggar, bjälklag och takkonstruktioner, och användningsområdet för speciellt inner- och ytterväggskonstruktioner har vidgats till att omfatta även sådana bygghälsor i flervåningshus.

Ett successivt utbyte av träkomponenter mot tunnväggiga kallformade plåtelement inom småhussektorn har varit en möjlig utveckling, men tradition, kostnadsaspekter och en till träkomponenter anpassad produktionsapparat hämmade sådan utveckling.

I stället kom genombrottet för kallformade plåtprodukter inom industribyggnadsområdet i form av trapetsprofilerad plåt i aluminium och varmförzinkad stålplåt. Utvecklingen började i blygsam skala mot slutet av 50-talet och accelererade i mitten på 60-talet, när svenska stålverk började producera kallformade produkter, som var avpassade för byggnadsändamål.

I FIGUR 1 redovisad förbrukning av profilerad plåt för industritak och väggar under åren 1965–73 ger belägg för detta och illustrerar samtidigt den i svensk byggnadshistoria sannolikt mest genomgripande marknadsförändringen. Marknadstäckningen inom industribyggnadsområdet är nu ca 90 % för tak och ca 65 % för väggar. Den totala förbrukningen av profilerad aluminium-

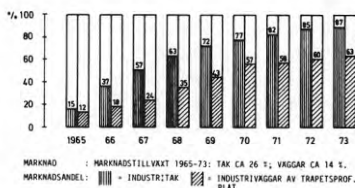


FIG. 1. Marknadsutveckling för trapetsprofilerad plåt till industribyggnader i relation till den totala marknaden.

och stålplåt uppgick år 1973 till uppskattningsvis 20 milj. m² eller ca 2,5 m² per capita.

Den vidare utvecklingen för användning av profilerad plåt pekar på områden såsom tak till flervånings- och envåningsbostadshus samt väggbeklädnadsmaterial till hus med lätta ytterväggar.

Parallellt med denna utveckling för yt-bärverk ökade intresset för kallformade plåtprodukter i funktion som balkar såsom takåsar, bjälklageelement och väggreglar av I- och Z-typ. Dessa konstruktionselement ersätter nu i ökad grad dels varmvalsade stålprofiler och dels konstruktionselement av trä.

När konstruktionstekniken väl var etablerad koncentrerades uppmärksamheten på såväl förbättringar av existerande produkter som på en exploatering av nya användningsområden.

På materialsidan noterades en trend mot högre hållfasthet och bättre yt-skydd, på formningssidan en strävan att genom tillämpning av avancerad formningsteknik erhålla produkter, som var mått noggranna, estetiskt tilltalande och hållfasthetsmässigt lämpliga.

Som ett resultat av denna utveckling må nämnas den nya generation av trapetsprofiler (FIG 2) med rillförstyvningar som tillåter ett optimalt utnyttjande av materialets hållfasthet med en sträckgräns om ca 340 N/mm².

Vidare aktualiserades frågor rörande förbindningarnas funktionssätt och hållfasthet, vilket gav upphov till en omfat-

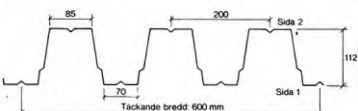


FIG. 2. Exempel på rillförstyvade profiler (typ NJA-TRP 110).

Bygghforskningen Sammanfattningar

R61:1975

Nyckelord: plåtpaneler, användningsområden, forskningsprojekt

Rapport R61:1975 hänför sig till forskningsanslag 71 09 13-8/C 913 från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för stålbyggnad, KTH, Stockholm.

UDK 691.714
69.001.5
SfB Nh
(29), (49)
ISBN 91-540-2501-X

Sammanfattning av: Baehre, R., 1975. *Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning — pågående forskningsprojekt i Sverige*. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm. Rapport R61:1975, 58 s., ill. 16 kr + moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution: Svensk Byggtjänst
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60
Grupp: konstruktion

tande studie av olika förbandstyper och en preliminär norm avseende förbindningars beräkning, dimensionering, utförande och kontroll.

Ökad kunskap om kallformade produkters beteende i bruks- och brottstadiet vid olika typer av lastpåverkan leder emellertid även produktutvecklingen i riktning mot byggsystem till bostadshus i form av prefabricerade plana byggelement respektive volyselement. Redan 1966 påbörjades utvecklingen av ett sådant byggsystem för flervåningshus, projekt G 2000, baserat på kallformade linjära konstruktionselement som hopfogas till bärande vägg- och bjälklagelement.

Projektet lades ned 1968 på grund av en vikande konjunktur inom husbyggnadssektorn; utvecklingsarbetet gav emellertid en rad spin-off-effekter, som skulle bli utgångspunkt för ett målmedvetet forsknings- och utvecklingsarbete, som här nedan skall refereras. Projektet gav emellertid också upphov till mera generella synpunkter för utveckling av lätta byggsystem med avseende på byggnadstekniska och funktionella krav.

Det finns framför allt två väsentliga teoner som stöder tanken på att använda tunnplåtskomponenter i byggsystem, ämnligen att

1. Vid materialval och konstruktiv utformning av bärverket är restvärdesproblemet med avseende på rivning,

ombyggnad, materialåtervinning och avfallshantering en del av den totala optimeringsprocessen.

Framtidsperspektivet aktualiserar värdefrågan allmänt och restvärdesfrågan i synnerhet. Accepterar man denna tes, tvingas man till en mer differentierad syn på byggnadens framtida värde i relation till grundinvesteringen, representerad genom produktionskostnaden.

2. En väsentlig del av byggprocessen kan utföras med processindustrins metoder och kvalitetskrav.

Industrialiseringen av tillverkningsprocessen omfattar i huvudsak planelement, och rummet utformas på arbetsplatsen — förädlingsgraden är låg.

För lättkonstruktioner på tunnplåtsbasis är den industriella tillverkningen av basprodukter en nödvändighet och en produktförädling till ett volyelement en naturlig fortsättning av tillverkningsprocessen. Vid användning av lämpliga komplementmaterial kan en hög förädlingsgrad uppnås i en industriell tillverkningsprocess.

Bland de tekniska subsystemen, exemplifierade i FIG. 3, intar bjälklag och väggar med såväl lastupptagande som rumsbildande funktion en central position i utvecklingshänseende eftersom egenskapskraven är komplexa. Följande fem egenskapskrav är därvid av speciell

betydelse eftersom dessa principiellt har normmässig förankring och kvalitetsmässigt delvis är bestämda genom byggherrens önskemål:

- I BÄRFÖRMÅGA (GENERELLT KRAV)
- II STABILISERING OCH STYVHET (GENERELLT KRAV)
- III LJUDGRÄNS (FUNKTIONSBUNDET KRAV)
- IV BRANDGRÄNS (FUNKTIONSBUNDET KRAV)
- V KLIMATGRÄNS (FUNKTIONSBUNDET KRAV)

Nämnda krav kan uppfyllas genom materialkombinationer. Härvid är valet av lämpliga komponenter av speciell betydelse för konstruktionernas kvalitet och ekonomi. Principiellt bör vid materialval och kombination av komponenter eftersträvas att uppfylla flera egenskapskrav samtidigt. Exempel ges i FIG. 4 och 5.

I rapporten redovisas delresultat från pågående forskning inom skilda tillämpningsområden.

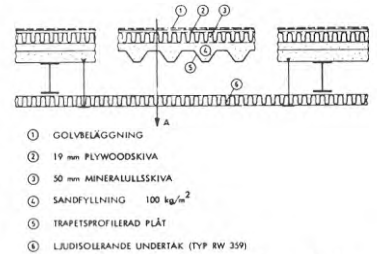


FIG. 4. Exempel på bjälklag med tunnplåtskomponenter.

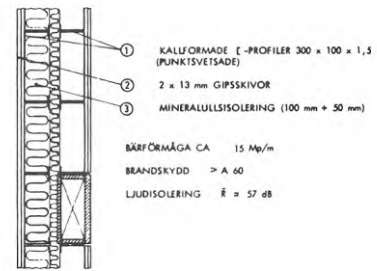


FIG. 5. Exempel på dubbelvägg med tunnplåtskomponenter.

Tekniska delsystem	Tekniska subsystem	Egenskapskrav	Föränderbarhetskrav	Optimeringskriterier
Lastupptagande komponenter	Vertikalt bärverk	Lastupptagande förmåga	Nej	Produktionskostnad
	Horisontellt bärverk	Funktionsstabilitet	Begränsad hålltagning	Rivning
	Ytterväggar	Styvhets (tekn.egensk.)	Utbytbarhet av ytskikt	Materialåtervinning
	Lägenhetsskijl. väggar	Brandgräns	Begränsad hålltagning	Prod.- och årskostnad
Rumsbildande komponenter	Rumskiljande väggar	Ljudgräns, bullergräns	Begränsad hålltagning	Produktionskostnad, årskostnader med avseende på underhåll, ytskikt, renhållning, ombyggnad
	Golv och tak	Ytskikt	Begränsad variabilitet av väggplacering	
	Kommunikationssystem	Fysiologiska krav	Utbytbarhet av ytskikt	
	Våtenheter	Ljudabsorption	Mekaniska transportsystem	Framtida utrymmeskrav
Försejnings-tekniska komponenter	Uppvärmning	Utrymningskrav	Utbytbarhet av installation	Ombyggnad
	Ventilation	Försejning	Anpassning till framtida krav och förändringar av standard.	Produktions- och årskostnader, Tillförlitlighet
	El + Tele	Rumsklimat	Utbytbarhet	Livsångd
	Vatten + avlopp	Ljudisolering	Begränsad omdisponering	Energiproblem
	Sanitet	Vattenisolering	Utbytbarhet	
		Utrymmeskrav		
	Hygienkrav			
	Åtkomlighet för rep.			

FIG. 3. Exempel på tekniska subsystem i bostadshus och tillhörande kravspecifikationer.

Sheet metal panels for use in building construction

— current research projects in Sweden

Rolf Baehre

This report contains an outline presentation of research taking place at the Department of Steel Construction, Royal Institute of Technology, Stockholm. This work is based on a long-term research programme concerning the use of sheeting panels in building construction, and also has the object of supplying the coding authorities and the business sector with the information necessary in order that the expansive development in the metal sheeting sector may be maintained and promoted.

Research results will be reported in separate publications or in conjunction with regulations and standards documents.

Light-weight techniques — in the broad sense of the term — have a long tradition in Sweden where timber has been a dominant building material. Particularly in the single-family house sector, this tradition was the starting point for pre-fabricated lightweight elements for walls, floors and roof structures, and the field of application, especially for partitions and external wall structures, has been broadened so as to comprise these building components even in blocks of flats.

Successive replacement of timber components by thin-walled cold-formed sheet elements in the single-family house sector was a possible line of development, but tradition, cost aspects and production apparatus geared to timber components hampered such development.

The breakthrough for cold-formed sheet products took place instead in the field of industrial building in the form of corrugated sheeting made of aluminium and galvanized steel. Development began on a modest scale at the end of the fifties and accelerated in the middle of the sixties when Swedish steelworks started production of cold-formed products suited for building purposes.

FIG. 1 shows the consumption of corrugated sheeting for industrial roofs and walls over the period 1965–73 as an illustration of this development, and also shows what is probably the most sweeping change in market conditions ever to take place in the history of Swedish building. Market coverage in the field of industrial building is now about 90% for roofs and about 65% for walls. Total consumption of corrugated aluminium and steel sheeting in 1973 was approximately 20 million m² or about 2.5 m² per capita.

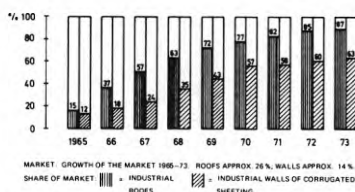


FIG. 1 Growth of the market for corrugated sheeting for industrial buildings over the period 1965–73, in relation to the total market.

ni-um and steel sheeting in 1973 was approximately 20 million m² or about 2.5 m² per capita.

The areas indicated for further developments in the use of corrugated sheeting are roofs for multi-storey and single-storey residential buildings and wall cladding for buildings of light-weight external walls.

Parallel with this development in the field of structural surface elements, there was increasing interest in cold-formed sheet products to perform beam functions such as purlins, floor elements and wall studs of the channel and Z type. These structural elements are now replacing, to an increasing extent, both hot-rolled steel sections and structural components of timber.

Once the construction technique had become established, attention concentrated on improvement of existing products and utilisation of new fields of application.

In the field of materials there could be noted a trend towards higher strengths and better external protection, and in the field of forming an endeavour to apply advanced forming techniques in such a way as to obtain products which were dimensionally accurate, aesthetically pleasing and suitable from the point of view of strength.

One result of this trend which may be mentioned is the new generation of corrugated sheeting with intermediate stiffeners (FIG. 2) which permits optimum utilisation of the strength of the material, the yield strength being approximately 340 N/mm².

Issues concerning the mode of action

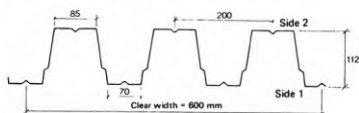


FIG. 2 Examples of corrugated sections with intermediate stiffeners (type NJA-TRP 110).

Swedish Building Research Summaries

R61:1975

Key words:

sheet metal panels, fields of application, research projects

Report R61:1975 refers to research grant 71 09 13-8/C 913 from the Swedish Council for Building Research to Avdelningen för stålbyggnad, KTH, Stockholm.

UDC 691.714
69.001.5

SfB Nh
(29), (49)

ISBN 91-540-2501-X

Summary of:

Baehre, R. 1975. *Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning — pågående forskningsprojekt i Sverige*. Sheet metal panels for use in building construction — current research projects in Sweden. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm. Report R61:1975. 58 p., ill. Skr. 16.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst,
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

and strength of the connectors also became of interest, and this gave rise to a comprehensive study of different types of joints and a preliminary code relating to the analysis, design, construction and control of these joints.

Increased knowledge concerning the behaviour of cold-formed products at the working and ultimate stages under different types of loading had the result, however, that product development also progressed towards building systems for residential buildings in the form of pre-fabricated planar building components and also room components. As early as 1966, development of such a building system for multi-storey buildings, project G 2000 was put in hand, based on cold-formed linear structural components which are connected so as to form load-bearing wall and floor elements.

The project was discontinued in 1968 owing to the decline in demand in the house building sector; however, the work produced a number of spin-off effects which were the starting points for purposeful research and development work which will be described in the following. However, the project also gave rise to views of a more general nature concerning development of lightweight building systems with regard to constructional and functional requirements.

There are two main arguments which support the idea of using sheet metal components in building systems. These are

1. In choosing the materials for the structural system and in designing it, the matter of residual value with regard to demolition, conversion, material recovery and refuse handling, is

part of the overall optimisation process.

Considerations of the future make the matter of value in general, and the matter of residual value in particular, of pressing interest. If this argument is accepted then a differentiated view must inevitably be taken concerning the future value of the building in relation to the basic investment, represented by the production cost.

2. A substantial proportion of the building process can be carried out using the methods and quality requirements of processing industry.

Industrialisation of the manufacturing process mainly refers to planar elements, and the room is made up on the building site – the degree of processing is low.

In the case of lightweight structures based on sheet metal, industrial manufacture of the basic products is essential, and processing of the product so as to form a volume element, a natural continuation of the manufacturing process. By the use of appropriate complementary materials, a high degree of finish can be accomplished in an industrial manufacturing process.

The above also implies that research efforts in the field of lightweight construction must include consideration of the requirements which the characteristics of the end product must satisfy, and also the actual manufacturing transport and assembly problems.

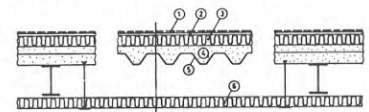
Among the technical subsystems illustrated in FIG. 3, floors and walls which have both a loadbearing and

space-enclosing function, occupy a central position with regard to development, since the requirements concerning their characteristics are complex. The following five characteristics are in this connection of particular interest since, in principle, they are governed by codes and their quality is partly determined by the wishes of the developer.

- I LOADBEARING CAPACITY (GENERAL REQUIREMENT)
- II STABILITY AND STIFFNESS (GENERAL REQUIREMENT)
- III SOUND BARRIER (FUNCTIONAL REQUIREMENT)
- IV FIRE BARRIER (FUNCTIONAL REQUIREMENT)
- V CLIMATIC BARRIER (FUNCTIONAL REQUIREMENT)

The above requirements can be met by means of material combinations. In this context, choice of appropriate components is of particular importance for the quality and economy of the structures. The principle aimed at in choosing materials and combining components should be that several requirements are satisfied at the same time.

Examples are shown in FIG. 4 and 5. The report is dealing with results from the research work under progress.



- ① FLOOR COVERING
- ② 19 mm PLYWOOD SHEET
- ③ 50 mm MINERAL WOOL SLAB
- ④ SAND FILL 100 kg/m²
- ⑤ CORRUGATED SHEETING
- ⑥ FALSE CEILING TO PROVIDE SOUND INSULATION (TYPE RW 39)

FIG. 4 Example of floor using sheet metal components.

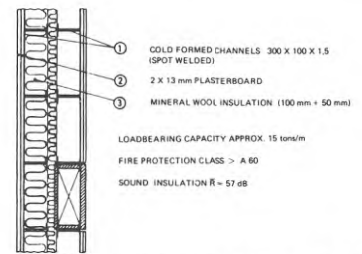


FIG. 5 Example of double wall using sheet metal components.

Technical part system	Technical subsystem	Property requirements	Variability requirements	Optimisation criteria
Loadbearing components	Vertical loadbearing structure	Loadbearing capacity	None	Production costs
	Horizontal loadbearing structure	Functional stability	Driving a limited number of holes	Demolition
	External walls	Stiffness (tech. prop.)	Replaceability of surface layer	Recovery of materials
	Walls separating flats	Stiffness (physi.prop.)	Driving a limited number of holes	Production and annual costs – heat economy
Space enclosing components	Walls separating rooms	Climatic barrier	Limited variability of wall placing	Production costs, annual costs with regard to maintenance, surface layer, cleaning, conversion
	Floors and ceilings	Surface layer	Replaceability of surface layer	Future space requirements
	Communication system	Physiological requirement.	Mechanical transport systems	Conversion
	Wet units	Sound absorption	Replaceability of installation	Production costs
Supply engineering components	Heating	Supply	Adaptation to future requirements and changes in standards	Annual costs
	Ventilation	Room climate	Replaceability	Reliability
	Electricity and telephone	Sound insulation	Limited alteration of layout	Life
	Water and drainage	Water insulation	Replaceability	Energy problems
	Sanitation	Space requirements		
		Hygienic requirements		
		Accessibility for repair		

FIG. 3 Examples of technical subsystems and associated requirement specifications.

R61:1975

PLÅTPANELER I BYGGNADSTEKNISK ANVÄNDNING -
pågående forskningsprojekt i Sverige

av professor Rolf Bæhre

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 710913-8 C913 från
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för stålbyggnad,
KTH, Stockholm.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
ISBN 91-540-2501-X

LiberTryck Stockholm 1975

INNEHÅLL		sid
1	UTVECKLING AV LÄTTBYGGNADSTEKNIKEN I SVERIGE OCH FORSKNINGSBEHOV	4
2	NÅGRA GENERELLA SYNUNKTER PÅ UTVECKLING AV LÄTTA BYGGSYSTEM	7
3	FORSKNINGSPROGRAMMET 1971 - 1980 VID AVDELNINGEN FÖR STÅLBYGGNAD, KTH, STOCKHOLM	14
4	PRESENTATION AV FORSKNINGRESULTAT	18
4.1	Trapetsprofilerad plåt	18
4.11	Böjmoment	19
4.12	Upplagstryck	24
4.13	Tvärkraft och böjmoment	25
4.14	Skivverkan	29
4.2	Kallformade C-profiler	32
4.21	Normalkraftpåverkan	33
4.22	Transversallastpåverkan	36
4.23	Skivverkan	39
4.3	Förbindningar	41
4.31	Skjuvförsök (statisk belastning)	41
4.32	Utdragsförsök	43
4.33	Skjuvförsök (dynamisk belastning)	46
5	TILLÄMPNING AV FORSKNINGRESULTAT	48
5.1	Provning av trapetsprofilerad plåt	48
5.11	Jämnt fördelad last	48
5.12	Koncentrerad last	50
5.2	Provning av förband	51
5.21	Skjuvprov	51
5.22	Utdragsprov	51
	LITTERATURREFERENSER	54

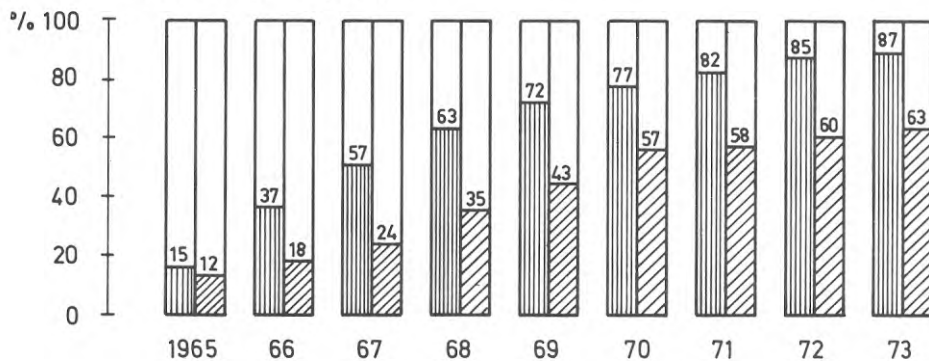
1 UTVECKLING AV LÄTTBYGGNADSTEKNIKEN I SVERIGE OCH FORSKNINGSBEHOV

Lättbyggnadstekniken - i vid bemärkelse - har gamla anor i Sverige, där trä har varit ett dominerande byggnadsmaterial. Speciellt inom småhussektorn har denna tradition varit utgångspunkt för lätta prefabricerade element till väggar, bjälklag och takkonstruktioner, och användningsområdet för speciellt inner- och ytterväggskonstruktioner har vidgats till att omfatta även sådana bygghus i flervåningshus.

Ett successivt utbyte av träkomponenter mot tunnväggiga kallformade plåtelement inom småhussektorn har varit en möjlig utveckling, men tradition, kostnadsaspekter och en till träkomponenter anpassad produktionsapparat hämmade sådan utveckling.

I stället kom genombrottet för kallformade plåtprodukter inom industribyggnadsområdet i form av trapetsprofilerad plåt i aluminium och varmförzinkad stålplåt. Utvecklingen började i blygsam skala mot slutet av 50-talet och accelererade i mitten på 60-talet, när svenska stålverk började producera kallformade produkter, som var anpassade för byggnadsändamål.

I FIGUR 1.1 redovisad förbrukning av profilerad plåt för industrietak och väggar under åren 1965-73 ger belägg för detta och illustrerar samtidigt den i svensk byggnadshistoria sannolikt mest genomgripande marknadsförändringen. Marknadstäckningen inom industribyggnadsområdet är nu ca 90 % för tak och ca 65 % för väggar. Den totala förbrukningen av profilerad aluminium- och stålplåt uppgick år 1973 till uppskattningsvis 20 milj. m² eller ca 2,5 m² per capita.



MARKNAD : MARKNADSTILLVAXT 1965-73: TAK CA 26 %; VÄGGAR CA 14 %.

MARKNADSANDEL: ||||| = INDUSTRIETAK // = INDUSTRIVÄGGAR AV TRAPETS-PROF. PLÅT

FIG 1.1. Marknadsutveckling för trapetsprofilerad plåt till industribyggnader i relation till den totala marknaden.

Den vidare utvecklingen för användning av profilerad plåt pekar på områden såsom tak till flervånings- och envånings-bostadshus samt väggbeklädnadsmaterial till hus med lätta ytterväggar.

Parallellt med denna utveckling för ytbärverk ökade intresset för kallformade plåtprodukter i funktion som balkar såsom tak-åsar, bjälklagselement och väggreglar av [- och]-typ. Dessa konstruktionselement ersätter nu i ökade grad dels varmvalsade stålprofiler och dels konstruktionselement av trä.

När konstruktionstekniken väl var etablerad koncentrerades uppmärksamheten på såväl förbättringar av existerande produkter som på en exploatering av nya användningsområden.

På materialsidan noterades en trend mot högre hållfasthet och bättre ytskydd, på formningssidan en strävan att genom tillämpning av avancerad formningsteknik erhålla produkter, som var måttnoggranna, estetiskt tilltalande och hållfasthetsmässigt lämpliga.

Som ett resultat av denna utveckling må nämnas den nya generation av trapetsprofiler (FIG 1.2) med rillförstyvningar som tillåter ett optimalt utnyttjande av materialets hållfasthet med en sträckgräns om ca 340 N/mm^2 .

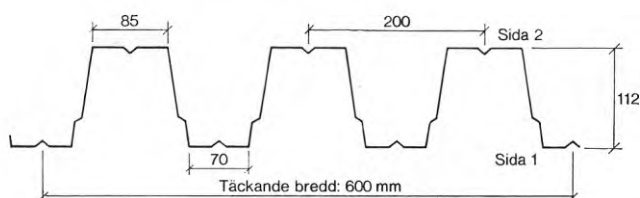


FIG 1.2. Exempel på rillförstyvade profiler (typ NJA-TRP 110)

Vidare aktualiserades frågor rörande förbindningarnas funktions-sätt och hållfasthet, vilket gav upphov till en omfattande studie av olika förbandstyper [1] och en preliminär norm avseende förbindningars beräkning, dimensionering, utförande och kontroll [2].

Ökad kunskap om kallformade produkters beteende i bruks- och brottstadiet vid olika typer av lastpåverkan ledde emellertid även produktutvecklingen i riktning mot byggsystem till bostads-hus i form av prefabricerade plana byggelement respektive volymselement. Redan 1966 påbörjades utvecklingen av ett sådant byggsystem för flervåningshus, projekt G 2000 (se FIG 1.3), baserat på kallformade linjära konstruktionselement som hopfogas till bärande vägg- och bjälklagselement.

Projektet lades ned 1968 på grund av en vikande konjunktur inom husbyggnadssektorn; utvecklingsarbetet gav emellertid en rad spin-off-effekter, som skulle bli utgångspunkt för ett målmedvetet forsknings- och utvecklingsarbete, som här nedan skall refereras. Projektet gav emellertid också upphov till mera generella synpunkter för utveckling av lätta byggsystem med avseende på byggnadstekniska och funktionella krav, som i det följande kortfattat redovisas [3], [4].

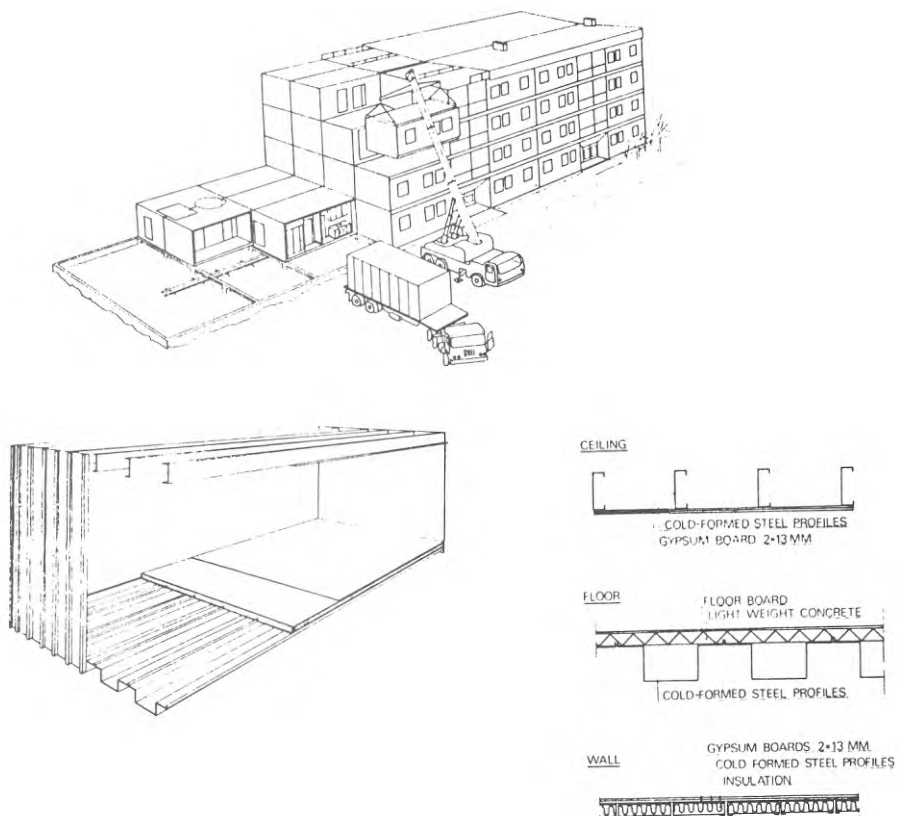


FIG 1.3. Volymelement med tunnplåtskomponenter för byggsystem till bostadshus (typ G 2000)

2 NÅGRA GENERELLA SYNPUNKTER PÅ UTVECKLING AV LÄTTA BYGGSYSTEM [3], [4]

Drömmen om ett generellt byggsystem som tillfredsställer alla upptänkliga egenskapskrav hos slutprodukten är lika gammal som vår förmåga att komponera rumsbildande strukturer. En realistisk målsättning bör kunna vara att skapa industriellt tillverkade byggsystem som uppfyller rimliga krav på föränderbarhet inom en given ram och samtidigt innehåller en måttfull avvägning mellan funktion, boendemiljö och ekonomi.

Om man utgår från slutproduktens funktionskrav, kan begreppet byggsystem beskrivas som det tekniska systemet, dvs helheten av de byggnadskomponenter som tillgodoser de tekniska funktionskraven och som innehåller vissa tekniska delsystem. Stomsystemet med bärande och stabiliserande funktion är ett sådant delsystem. "Rumsbildande komponenter" är ett annat delsystem, "försörjningskomponenter" ett tredje (jfr FIG 2.1).

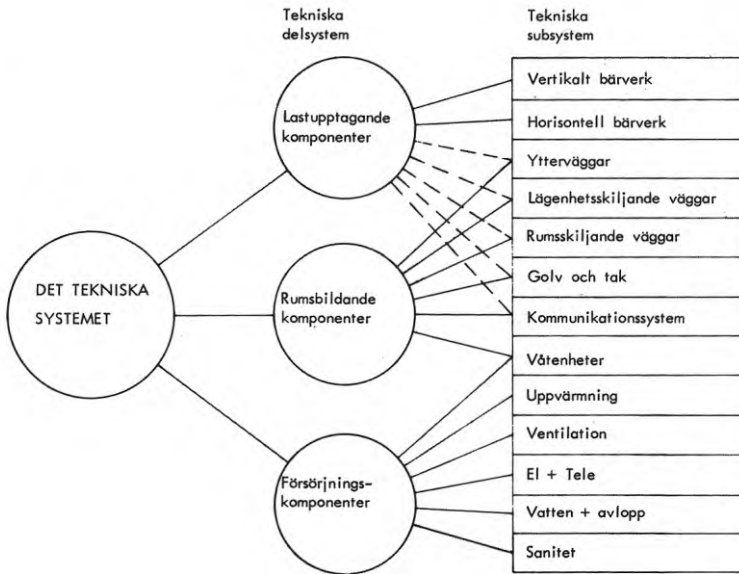


FIG 2.1. Tekniskt system-delsystem-subsystem

Det tekniska systemet, definierat som helheten av byggnadskomponenterna som skall tillgodose de tekniska funktionskraven för varje nyttjandeform, styrs i sin utformning av överordnade egenskapskrav: funktion, säkerhet, funktionsstabilitet, miljö, ekonomi och föränderbarhet, FIG 2.2. Av dessa krav intar föränderbarhetskravet en särställning som bör underkastas en kritisk granskning med avseende på nyttjandeformen, ty detta krav är i hög grad ekonomiskt styrande.

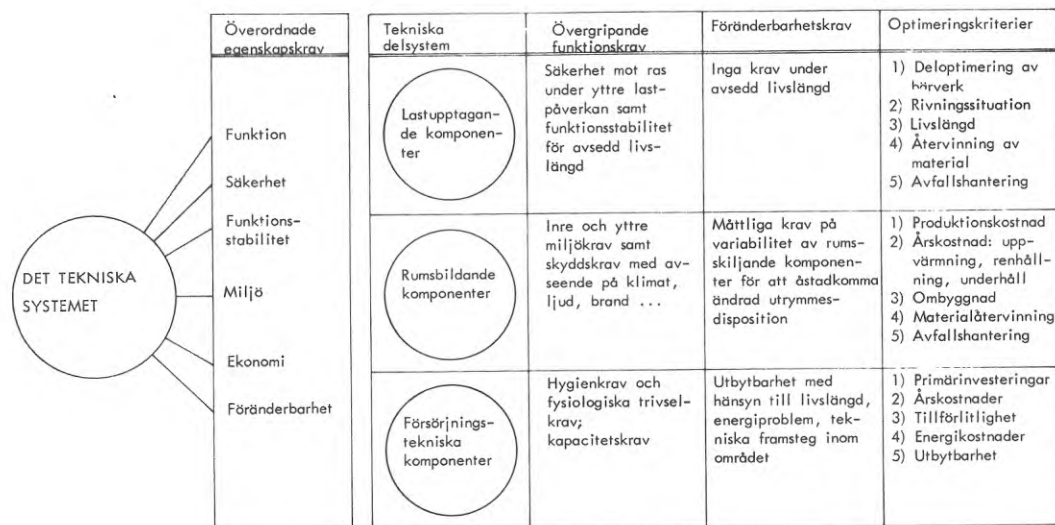


FIG 2.2. Kravspecifikationer för det tekniska systemet i bostadshus

I FIG 2.2 återfinns en hypotes avseende föränderbarhetskrav och en exemplifiering av optimeringskriterier. Förutom produktions- och årskostnader bör långtidsaspekter som tillförlitlighet, ombyggnadsalternativ och rivningssituationen inkluderande återvinning av material och avfallshanteringsproblem ägnas speciell uppmärksamhet.

Det beslutsunderlag som grundas på dessa överväganden kommer att ha avgörande betydelse för subsystemens konstruktiva utformning samt materialvalsfrågor.

Detta framgår av FIG 2.3, som ger exempel på tekniska subsystem i bostadshus och tillhörande kravspecifikationer.

Urvalet av tekniska subsystem, som tillsammans representerar det tekniska systemet, har systematiserats med hänsyn till överskåd- lighet. I praktisk tillämpning kan det vara aktuellt att sam- manföra vissa subsystem till en enhet. Vidare kan vissa sub- system samtidigt uppfylla funktionskrav för olika delsystem.

Tekniska delsystem	Tekniska subsystem	Egenskapskrav	Föränderbarhetskrav	Optimeringskriterier
Lastupptagande komponenter	Vertikalt bärverk	Lastupptagande förmåga	Nej	Produktionskostnad
	Horisontellt bärverk	Funktionsstabilitet	Begränsad håltagning	Rivning
	Ytterväggar	Styvhet (tekn.egensk.)	Utbytbarhet av ytskikt	Materialåtervinning
	Lägenhetsskilj. väggar	Styvhet (fysiol.egensk.)	Utbytbarhet av ytskikt	Prod.- och årskostnad värmeekonomi
Rumsbildande komponenter	Lägenhetsskilj. väggar	Klimatgräns	Begränsad håltagning	Produktionskostnad, årskostnader med avse- ende på underhåll, ytskikt, renhållning, ombyggnad
	Rumsskiljande väggar	Brandgräns	Begränsad variabilitet av väggplacering	
	Golv och tak	Ljudgräns, bullergräns	Utbytbarhet av ytskikt	
	Kommunikationssystem	Ytskikt	Mekaniska transport- system	Framtida utrymmeskrav
Försörjnings- tekniska komponenter	Våtenheter	Fysiologiska krav	Utbytbarhet av installa- tion	Ombyggnad
	Uppvärmning	Ljudabsorption	Anpassning till framtida krav och förändringar av standard.	Produktions- och årskostnader, Tillförlitlighet
	Ventilation	Utrymningskrav	Utbytbarhet	Livslängd
	El + Tele	Försörjning	Begränsad omdisponering	Energiproblem
	Vatten + avlopp	Rumsklimat	Utbytbarhet	
	Sanitet	Ljudisolering		
		Vattenisolering		
		Utrymmeskrav		
	Hygienkrav			
	Åtkomlighet för rep.			

FIG 2.3. Exempel på tekniska subsystem i bostadshus och till- hörande kravspecifikationer

Det finns framför allt två väsentliga teser som stödjer tanken på att använda tunnplåtskomponenter i byggsystem, nämligen att

1. Vid materialval och konstruktiv utformning av bärverket är restvärdesproblemet med avseende på rivning, ombyggnad, materialåtervinning och avfallshantering en del av den to- tala optimeringsprocessen.

Framtidsperspektivet aktualiserar värdefrågan allmänt och restvärdesfrågan i synnerhet. Accepterar man denna tes, tvingas man till en mer differentierad syn på byggnads framtida värde i relation till grundinvesteringen, repre- senterad genom produktionskostnaden.

2. En väsentlig del av byggprocessen kan utföras med process- industrins metoder och kvalitetskrav.

Industrialiseringen av tillverkningsprocessen omfattar i huvudsak planelement, och rummet utformas på arbetsplatsen - förädlingsgraden är låg.

För lättkonstruktioner på tunnplåtsbasis är den industriella tillverkningen av basprodukter en nödvändighet och en produktförädling till ett volyemelement en naturlig fortsättning av tillverkningsprocessen. Vid användning av lämpliga komplementmaterial kan en hög förädlingsgrad uppnås i en industriell tillverkningsprocess.

Ovanstående innebär också, att forskningsinsatser inom lättbyggnadsområdet måste inkludera ett beaktande av såväl slutproduktens egenskapskrav som aktuella tillverknings-, transport- och montageproblem.

Bland de tekniska subsystemen, exemplifierade i FIG 2.3, intar bjälklag och väggar med såväl lastupptagande som rumsbildande funktion en central position i utvecklingshänseende eftersom egenskapskraven är komplexa. Följande fem egenskapskrav är därvid av speciell betydelse eftersom dessa principiellt har normmässig förankring och kvalitetsmässigt delvis är bestämda genom byggherrens önskemål:

I	BÄRFÖRMÅGA	(GENERELLT KRAV)
II	STABILISERING OCH STYVHET	(" ")
III	LJUDGRÄNS	(FUNKTIONSBUNDET KRAV)
IV	BRANDGRÄNS	(" ")
V	KLIMATGRÄNS	(" ")

Nämnda krav kan uppfyllas genom materialkombinationer. Härvid är valet av lämpliga komponenter av speciell betydelse för konstruktionernas kvalitet och ekonomi. Principiellt bör vid materialval och kombination av komponenter eftersträvas att uppfylla flera egenskapskrav samtidigt.

Exempel på den principiella uppbyggnaden av bjälklag och väggar på basis av tunnplåtskomponenter ges i FIG 2.4 och FIG 2.5. Som komplement därtill visas exempel på den konstruktiva utformningen i FIG. 2.6 och FIG 2.7.

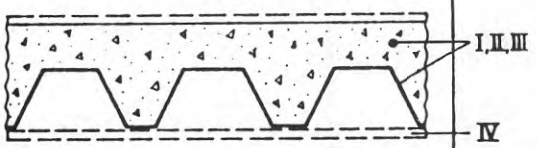
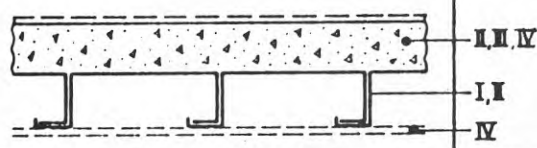
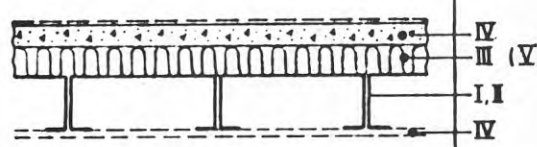
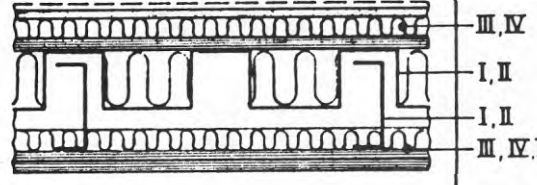
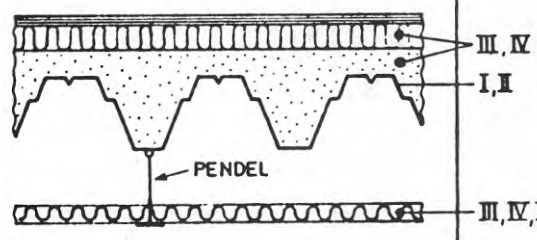
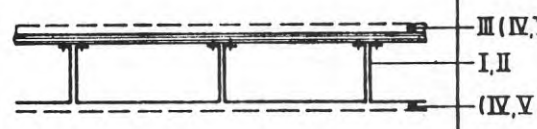
TYP	KONSTRUKTIONSFORM	PRINCIPIELL UPPBYGGNAD	FUNKTION
A	TRAPETSPROFILERAD PLÅT + BETONG (MED ELLER UTAN SAMVERKAN). VID BEHOV: BRANDSKYDD GENOM UNDERTAK		I, II, III IV
B	PLÅTKONSTRUKTION MED ÖVERGJUTNING AV BETONG (VID BEHOV: BRANDSKYDD GENOM UNDERTAK)		I, II, IV I, II IV
C	PLÅTKONSTRUKTION MED ISOLERINGSSKIKT OCH ÖVERBETONG (VID BEHOV: BRANDSKYDD GENOM UNDERTAK)		IV III (V) I, II IV
D	FLERSKIKTSPLÅTKONSTRUKTION MED TORR UPPBYGGNAD AV SKIVMATERIAL		III, IV I, II I, II III, IV, V
E	PLÅTKONSTRUKTION MED BÖJVEKT FÖRSÄNKT UNDERTAK (FLERSKIKTSKONSTRUKTION)		III, IV I, II III, IV, V
F	LÄTT PLÅTBJÄLKLAG MED TORR UPPBYGGNAD AV SKIVMATERIAL (VID BEHOV: BRANDSKYDD OCH KLIMATSKYDD)		III (IV, V) I, II (IV, V)

FIG 2.4. Principiell uppbyggnad av bjälklag med tunnplåtskomponenter

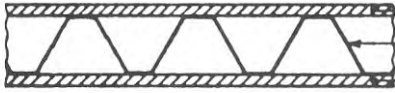
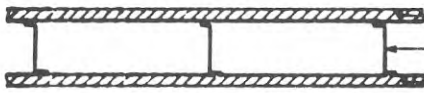
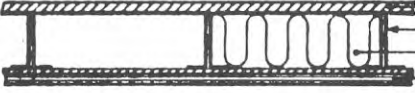

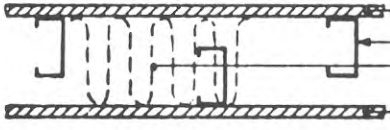
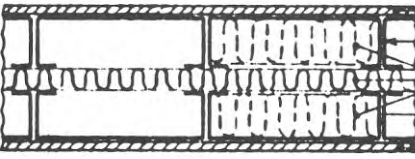
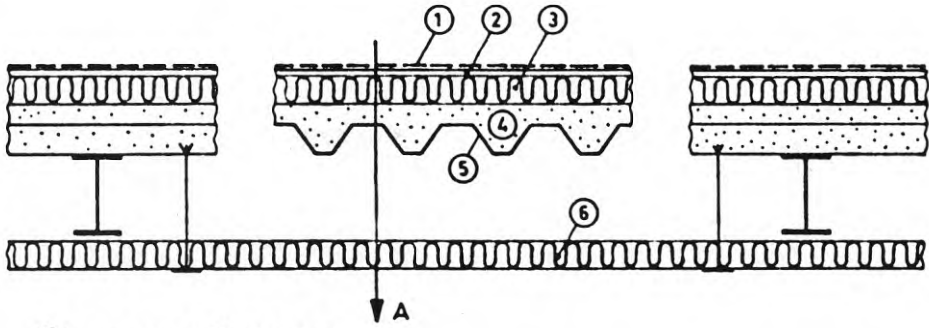
TYP	KONSTRUKTIONSFORM	PRINCIPIELL UPPBYGGNAD	FUNKTION
A	TRAPETSPROFILERAD PLÅT MED YTSKIKT AV SKIVMATERIAL MED ELLER UTAN SAMVERKAN (VID BEHOV: BRANDSKYDD)		III IV I II III IV
B	SLUTNA PLÅTKASSETTER MED YTSKIKT AV SKIVMATERIAL MED ELLER UTAN SAMVERKAN. (VID BEHOV: BRANDSKYDD)		III(IV) I II III(IV)
C	PLÅTPANELER MED YTSKIKT AV SKIVMATERIAL MED ELLER UTAN SAMVERKAN. (VID BEHOV: KLIMATSKYDD OCH BRANDSKYDD)		III IV I II (IV)(V) III IV
D	SANDWICHELEMENT MED LÄTT KÄRNMATERIAL OCH YTSKIKT AV SKIVMATERIAL. (VID BEHOV: BRANDSKYDD)		I II III V I (IV)
E	DUBBELSKALIG LÄTTVÄGG AV TUNNVÄGGGIGA KALLFORMADE PLÅTPROFILER OCH YTSKIKT AV SKIVMATERIAL. (VID BEHOV: KOMPL. LJUDISOLERING OCH KLIMATSKYDD)		III IV I II (V)(III) III IV
F	DUBBELSKALIG LÄTTVÄGG AV PLÅTPANELER MED YTSKIKT AV SKIVMATERIAL OCH KOMPLETTERANDE SKYDDSÅTGÄRDER (KLIMAT, LJUD, BRAND)		IV I II III IV V I II IV

FIG 2.5. Principiell uppbyggnad av väggar med tunnplåtskomponenter



- ① GOLVBELÄGGNING
- ② 19 mm PLYWOODSKIVA
- ③ 50 mm MINERALULLSSKIVA
- ④ SANDFYLLNING 100 kg/m²
- ⑤ TRAPETSProfilerAD PLÅT
- ⑥ LJUDISOLERANDE UNDERTAK (TYP RW 359)

FIG 2.6. Exempel på bjälklag med tunnplåtskomponenter

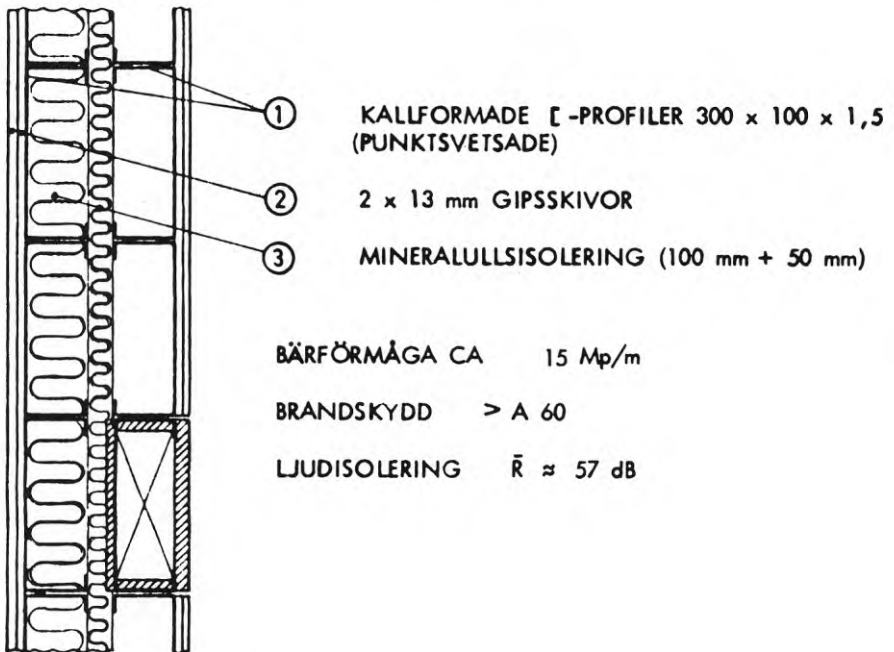


FIG 2.7. Exempel på dubbelvägg med tunnplåtskomponenter

3 FORSKNINGSPROGRAMMET 1971 - 1980 VID AVDELNINGEN
FÖR STÅLBYGGNAD, KTH, STOCKHOLM

Med utgångspunkt från överväganden rörande lättbyggnadsteknikens framtida position inom husbyggnadssektorn och en grundläggande studie [5] om tunnväggiga kallformade plåtprofilers användbarhet i lätta byggsystem upprättades 1969 ett förslag till forskningsprogram för perioden 1971 - 1980, som redovisas i FIG 3.1.

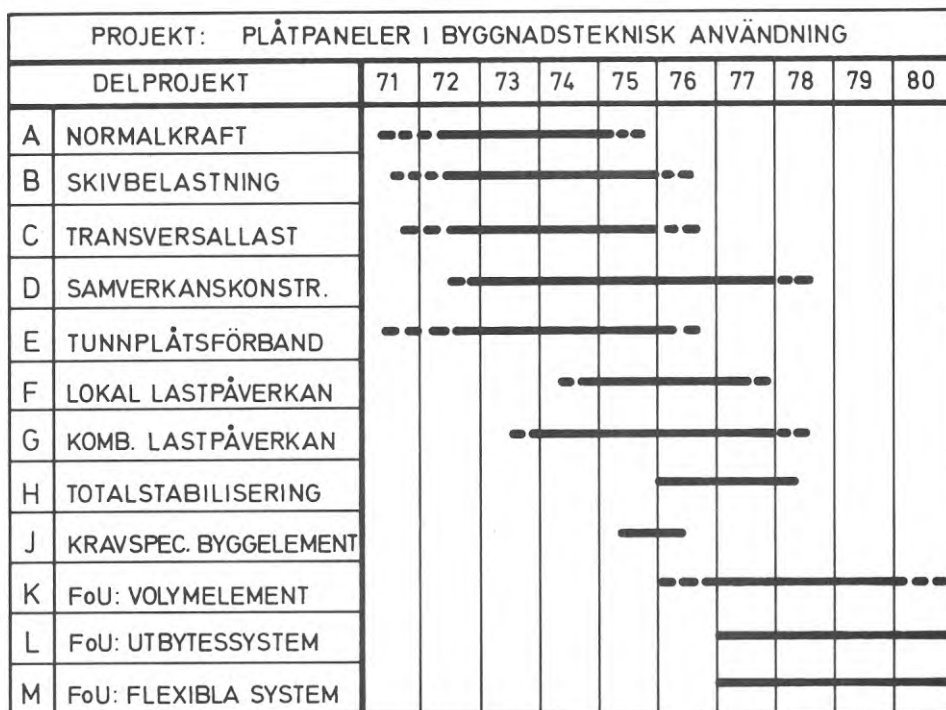


FIG 3.1. Forskningsprogram 1971-1980 vid Avdelningen för Stålbyggnad, KTH

Målsättningen för projektet är att framlägga beräknings- och dimensioneringsgrunder samt att kartlägga byggnadstekniska och ekonomiska förutsättningar för användning av tunnväggiga plåtpaneler inom byggnadssektorn.

Forskningsprojektet utförs i huvudsak med anslag från Statens råd för byggnadsforskning av forskarstuderande vid Avdelningen för Stålbyggnad. Parallellt bedrivs sådan uppdragsforskning åt industrin som bidrar till en kunskapsökning inom det aktuella forskningsområdet och således kan integreras i projektet.

Som framgår av FIG 3.1 är de olika delaktiviteterna i viss utsträckning kopplade till varandra, vilket innebär att ett

forskarteam om ca 7 personer är engagerat i projektet.

Forskningsprojektet innefattar i princip fyra olika nivåer:

- I Grundläggande studier avseende dimensionering av delkomponenter med hänsyn till i praktisk tillämpning uppträdande lastpåverkan.
- II Optimeringsstudier med beaktande av funktionella, tillverkningsstekniska och montagetekniska aspekter.
- III Utvecklingsarbeten av överordnad karaktär med speciell inriktning på lätta byggsystem för plan- och volymelement, inkluderande byggnadstekniska aspekter och samverkan med artfrämmande material såsom skivor och plattsgjuten betong.
- IV Speciella utvecklingsarbeten med avseende på funktionsbestämda byggkomponenter såsom volymelement för bostäder, utbytessystem för sanering och planelement för byggnader med flexibilitetskrav.

Nuläget för forskningsprojektet (1975) är sammanfattningsvis:

Delprojekt A: Normalkraftpåverkan

Målsättningen med projektet är att utifrån en numerisk beräkningsmodell för profiler med godtycklig tvärsnittsutformning och med stöd av experimentella undersökningar utarbeta praktiskt tillämpbara dimensioneringsregler för plåtpaneler med i huvudsak normalkraftpåverkan.

Den praktiska tillämpningen ligger inom området "bärande väggar" för lättbyggnadssystem till bostads- och kontorshus samt hallbyggnader med bärande ytterväggar.

De experimentella undersökningarna omfattar Γ -profiler med varierande geometriska förhållanden samt olika typer av rillförstyvningar med speciellt beaktande av normala tillverknings-toleranser. Utvärderingen av provningsresultat samt den slutliga bearbetningen av projektet beräknas vara avslutad under 1975.

Delprojekt B: Skivbelastning

Målsättningen med projektet är att utifrån en numerisk beräkningsmodell och med stöd av experimentella undersökningar utarbeta dimensioneringsregler för ytbärverk av sammansatta Γ -profiler under huvudsakligen skjuvbelastning.

Den praktiska tillämpningen ligger inom området "bärande och stabiliserande väggar" samt "bjälklag och tak med skivfunktion". Vidare har problemet betydelse vid transport och montage av volymelement och stora skivkonstruktioner. Olika fackverksmodeller har undersökts och den experimentella verksamheten med varierande geometriska förhållanden av de i skivan ingående delelementen pågår. Utvärderingen och den slutliga bearbetningen av projektet kommer att ske under år 1975.

En speciell provningsram har tillverkats, som tillika skall an-

vändas för standardprovning av skivor, uppbyggda av trapetsprofilerad plåt.

Inom ramen för rubricerat delprojekt har ävenledes skivverkan [6] av trapetsprofilerad plåt behandlats med det resultatet, att ett förslag till dimensionering, beräkning och utförande har godtagits av Statens planverk som provisorisk norm. [7]

Delprojekt C: Transversalbelastning

Målsättningen med projektet är att utifrån en numerisk beräkningsmodell och med stöd av experimentella undersökningar utarbeta dimensioneringsregler för ytbärverk av sammansatta C-profiler under huvudsakligen transversalbelastning.

Den praktiska tillämpningen ligger inom området "bjälklags- och takkonstruktioner".

Problemområdet innehåller säkerhetsmässiga samt fysiologiska aspekter i fråga om erforderlig styvhet vid bjälklagsfunktion. Speciellt intresse tilldrar sig lokala förstuvningar (rillor) i tryckta plana plåtpartier.

Teoretiska undersökningar med anknytning till delprojektet "Normalkraftpåverkan" är avslutade och de experimentella undersökningarna av C-profiler med varierande geometriska proportioner pågår. Utvärdering och slutlig bearbetning av projektet beräknas vara avslutad under år 1975.

Delprojekt D: Samverkanskonstruktioner

Målsättningen med projektet är att utifrån en numerisk beräkningsmodell och med stöd av experimentella undersökningar utarbeta dimensioneringsregler för ytbärverk i form av plåtkassetter med överfläns av plywoodskivor. [8]

Den praktiska tillämpningen ligger inom området "bjälklags- och takkonstruktioner" i lätta byggsystem, småhus och hallbyggnader.

Beräkningsmodeller föreligger och resultat från en omfattande serie experimentella undersökningar avseende böjmoment- och tvärkraftpåverkan är under bearbetning. Den slutliga behandlingen av projektet sker under våren 1975 (avhandling).

Det fortsatta arbetet omfattar en mera generell behandling av samverkanskonstruktioner av plåtprofiler och skivmaterial av exv. gipsplattor, träfiberskivor och betong.

Delprojekt E: Tunnplåtsförband

Målsättningen med projektet är att som komplement till BFR:s Informationsblad B14:1971 "Tunnplåtsförband", framlägga dimensioneringsanvisningar för tunnplåtsförband som varaktigt utsätts för upprepade belastningar. Härvid behandlas i första hand blindnitförband och icke-konventionella skruvförband.

En inventering av litteraturuppgifter samt ett studium av fak-

torer som påverkar förbandens lastupptagande förmåga har genomförts och ett provningsprogram har upprättats.

Utmattningsförsök pågår och beräknas vara avslutade på hösten 1975, varefter utvärderingen och den slutliga behandlingen av projektet företas.

I projektet har också inkluderats ett upprättande av standardiseringsförslag för typprovning av fästdon och förband i nära anslutning till pågående standardiseringsarbete inom BST.

Delprojekt F: Lokal lastinföring

Målsättningen med projektet är att som komplement till ovan beskrivna delprojekt studera problemet av koncentrerad lastöverföring i tunnplåtskonstruktioner.

Problemet har aktualitet vid skarvning och anslutning av bärverkselement samt vid lokala punktbelastningar.

En översiktlig studie av aktuella problemställningar har utförts; erforderliga provningar vid utarbetande av rekommendationer kommer att genomföras under 1975.

Den fortsatta verksamheten inriktas i första hand på att slutföra nu aktuella delprojekt, vilket i huvudsak torde kunna ske under år 1975. På dimensioneringssidan kvarstår då problem som hänför sig till sammansatta byggelement med kombinerad lastpåverkan, såsom ytbärverk av plåtprofiler under samtidig påverkan av olika belastningstyper, samverkanskonstruktioner av plåt och artfrämmande material och stabilitetsproblem avseende komplexa byggsystem.

Dessa arbeten kommer att bedrivas under perioden 1975 - 1977.

Parallellt med nämnda grundläggande studier skall under 1975 utvecklingsdelen i ramprogrammet (punkterna I, K, L, M enligt forskningsprogrammet) inledas med en kartläggning av funktionella, byggnadstekniska och tillverkningstekniska krav som leder fram till en generell kravspecifikation som grund för det egentliga utvecklingsarbetet, vilket beräknas kunna påbörjas 1976.

4 PRESENTATION AV FORSKNINGRESULTAT

Den följande kortfattade presentationen av delresultat från experimentella undersökningar avser trapetsprofilerad plåt (4.1), kallformade [-profiler (4.2) och förbindningar (4.3).

Undersökningarna avseende trapetsprofilerad plåt är tillfälligt avslutade och har lett till modifierade beräkningsregler, jämfört med AISI-normen [9], [10].

Undersökningar rörande kallformade [-profiler och förbindningar pågår för närvarande; resultaten från undersökningarna jämte tillhörande teoretiska analyser kommer senare att publiceras i sin helhet.

4.1 Trapetsprofilerad plåt

För bestämning av den trapetsprofilerade plåtens bärförmåga användes i Sverige tidigare AISI-normens beräkningsregler. Önskemålet att använda material med hög hållfasthet ($F_y \approx 340 \text{ N/mm}^2$) ledde till en reduktion av godstjockleken, innebärande ett ökande slankhettal hos oförstyvade tvärsnitt. Detta medförde, att bredd-tjockleksförhållandet i tryckta tvärsnittsdelar tangerade eller överskred i AISI-normen angivna gränsvärden och gjorde det nödvändigt att på experimentell väg verifiera beräkningsreglerna.

Undersökningarna omfattade en bestämning av lastupptagningsförmågan hos trapetsprofilerad plåt med avseende på böjmomentpåverkan, upp-lagstryck och samtidig påverkan av böjmoment och tvärkraft.

Resultaten av dessa undersökningar visade, att ökande materialhållfasthet inte medförde en motsvarande ökning av bärförmågan samt att tillämpningen av AISI-normens dimensioneringsregler i vissa fall medförde en överskattning av bärförmågan hos trapetsprofilerad plåt.

Detta ledde till en utveckling av nya profiler och omfattande provningar av trapetsprofilerad plåt med rillförstyvningar i såväl flänsar som även livplåtar.

Resultaten från nämnda undersökningar återges i avsnitt 4.11-4.13.

Krav på ett optimalt utnyttjande av den trapetsprofilerade plåten medförde också, att plåtens stabiliserande förmåga genom skivverkan kom i centrum för intresset. En inventering av den befintliga litteraturen [6] och resultat från tidigare provningar indikerade att skiveffekten för trapetsprofilerad plåt med plana tvärsnittsdelar nöjaktigt kunde bestämmas på analytisk väg. Däremot saknades sådant underlag för trapetsprofilerad plåt med rillförstyvningar. I syfte att bestämma skiveffekten hos sådana profiler samt att kontrollera beräkningsförutsättningar enligt de svenska föreskrifterna [7] utfördes en omfattande provningsserie med trapetsprofilerad plåt av typen NJA-TRP 50, 70, 110, som översiktligt presenteras i avsnitt 4.14.

4.11 Böjmoment

Den trapetsprofilerade plåtens momentkapacitet är beroende av bucklingsbenägenheten hos flänsar och liv. Livets andel av kapaciteten är ca 30-50 % vid normala geometriska förhållanden. En reduktion av livets medverkan till följd av livplåtsbuckling har därför förhållandevis stor inverkan på momentkapaciteten. Flänsplåten, som utsätts för böjtryckpåkänningar, har ofta ett stort slankhetstal och uppvisar en bucklingsbenägenhet som också påverkar livets planhet. När livet bucklar gäller Navier's princip av den linjära böjspänningsfördelningen endast approximativt och är mindre representativ ju större bucklingsdjupet är.

Brottstadiet uppnås vid normala geometriska förhållanden som regel när tryckpåkänningen i övergången mellan liv och fläns motsvarar flytgränsspänningen - i undantagsfall när flytning inträffar i den dragna flänsen.

För de experimentella undersökningarna valdes en serie provkroppar med varierande bredd-tjockleksförhållanden för flänsar och liv (se FIG 4.1) och en provningsanordning för gravitationsbelastning i provelementens fjärdedelspunkter (se FIG 4.2).

Under försöken registrerades dels elementens mittnedböjning, dels töjningsfördelningen över tvärsnittet i mittsnittet.

Provningsresultaten presenteras i FIG 4.3, varvid på vertikalaxeln anges förhållandet M_{exp}/M_{AISI} och på horisontalaxeln livets fiktiva slankhetstal α resp. förhållandet s/t . Framställningen omfattar 78 försök, varvid de markerade provningsresultaten utgör medelvärden av två eller tre försök med geometriskt lika profiler.

I diagrammet betecknar

M_{exp} = vid provningen erhållet brottmoment

M_{AISI} = enligt AISI-normen beräknat brottmoment, varvid hänsyn tagits till medverkande bredd och livplåtsbuckling

F_y = materialets sträckgränsspänning $\approx 340 \text{ N/mm}^2$

F_{bc} = livplåtens bucklingsspänning, bestämd med utgångspunkt från bucklingsfaktorn $k = 23,9$ för linjär spänningsfördelning (AISI)

s = livplåtens bredd

t = tjocklek av stålkärnan, bestämd vid avzinkat material

$$\alpha = \sqrt{\frac{F_y}{F_{bc}}} = \frac{s}{t} \sqrt{F_y / \frac{k\pi^2 E}{12(1-r^2)}} \approx 86 \cdot 10^{-3} \left(\frac{s}{t}\right)$$

M_{F_y} = brottmoment, beräknat med antagandet att sträckgränsspänningen F_y uppnås vid övergången mellan fläns och liv

M_{StBK} = brottmoment enligt Svensk Stålbyggnadsnorm 70

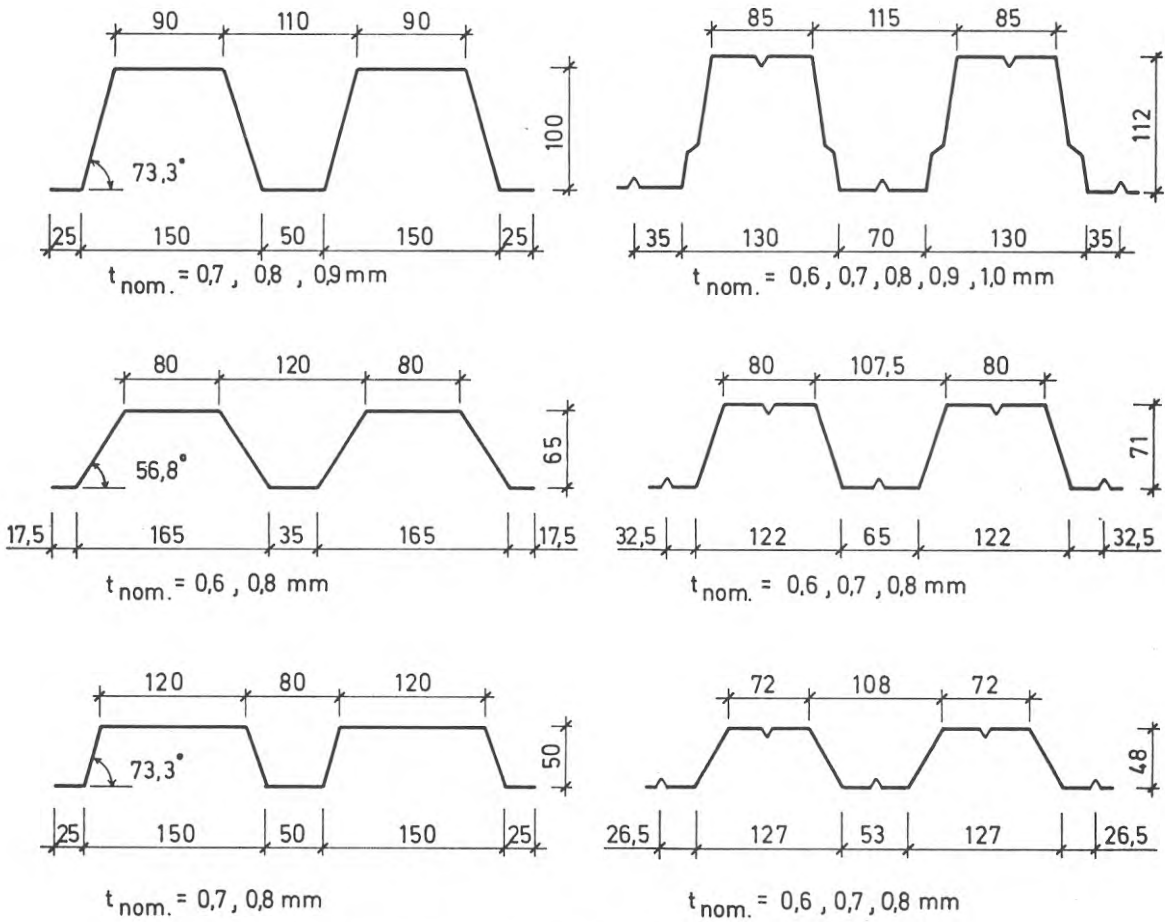


FIG 4.1. Provkroppar för böjmoment- och stödförsök

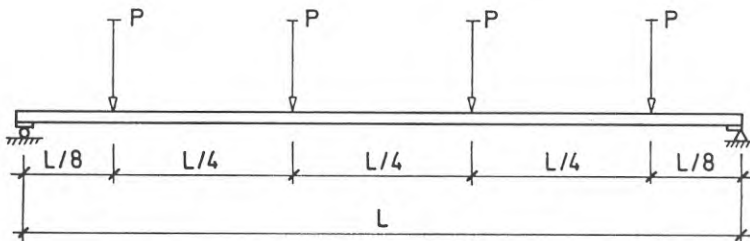


FIG 4.2. Provningsanordning för böjmomentförsök

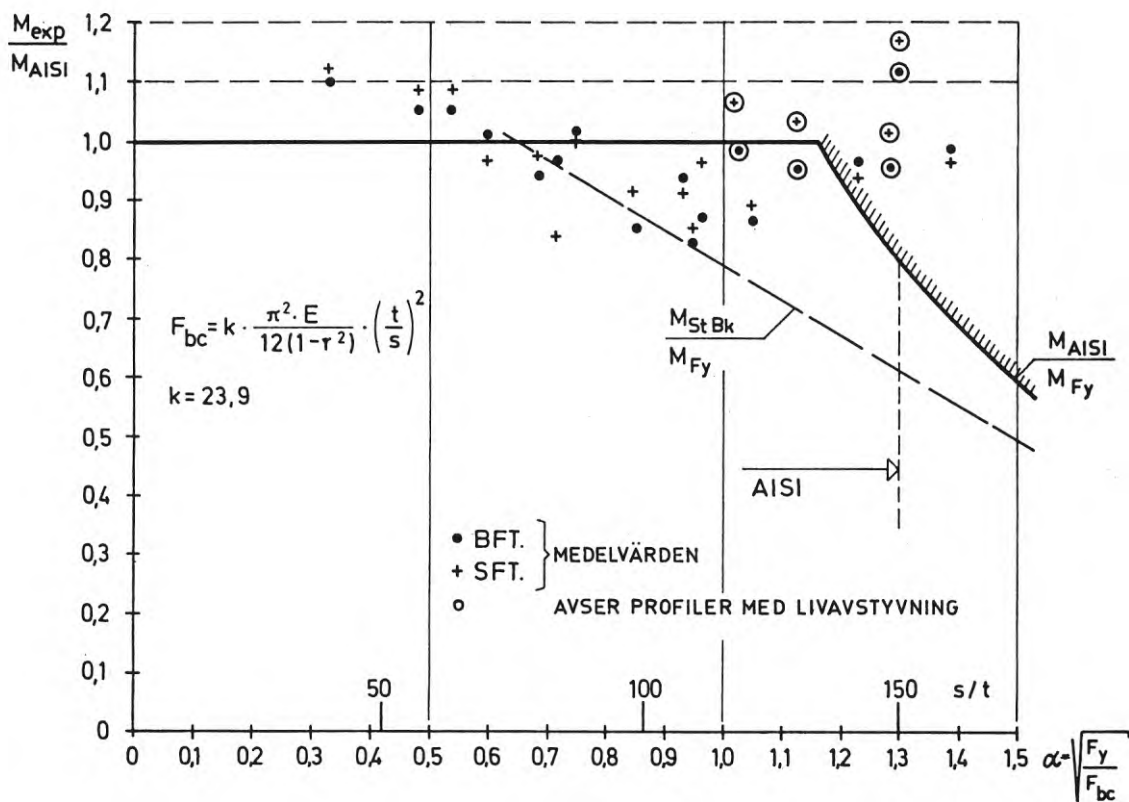


FIG 4.3. Resultat av 78 prov med böjmomentpåverkan i relation till bärförmågan enligt AISI

BFT = bred fläns tryckt

SFT = smal fläns tryckt

I diagrammet inlagd heldragen kurva M_{AISI}/M_{F_y} representerar brottmomentet enligt AISI i relation till M_{F_y} ; denna kurva erhålls om vid beräkning av tillåten påkänning enligt AISI hänsyn tas till dels säkerhetsfaktorn 1,67 mot uppnående av sträckgränsspänningen F_y , dels säkerhetsfaktorn 1,23 mot uppnående av kritisk bucklings-spänning F_{bc} , innebärande att bucklingsfenomenet beräkningsmässigt får aktualitet när $\alpha = 1,16$ ($s/t \approx 133$) vid aktuell hållfasthetsklass. Å andra sidan ges en övre gräns för AISI-normens giltighet, bestämd till $s/t = 150$ ($\alpha \approx 1,30$).

Granskningen av erhållna provningsresultat indikerar, att AISI-normen inom området $90 \lesssim s/t \lesssim 130$ ($0,7 \lesssim \alpha \lesssim 1,15$) ger en överskattning av bärformågan för trapetsprofilerad plåt. Detta beror uppenbarligen på att livplåtsbucklingen vid aktuellt säkerhetskrav inte blir beaktad inom detta område.

I den svenska stålbyggnadsnormen [11] beaktas denna effekt genom ett övergångsområde i knäckningskurvan, där hänsyn tas till effekt av livbucklingen när $\alpha \geq 0,67$ ($s/t \approx 77$). Reduktionen illustreras i FIG 4.3 genom den streckade M_{StBK}/M_{F_y} .

Övannämnda avvikelser mellan M_{exp} och M_{AISI} föranledde ett närmare studium av töjningsfördelningen över livet, som för tre olika slankhetstal $s/t = 163, 122$ och 82 är återgivna i FIG 4.4. Det framgår där att vid böjmomentpåverkan nära brottmomentet den linjära töjningsfördelningen över livet har ersatts med en konkav fördelning som medför en reduktion av livets lastupptagningsförmåga. Under försöken observerades ett ökande bucklingsdjup i livets tryckta delar.

Som en konsekvens av denna iakttagelse har i den svenska tunnplåtsnormen [9] livplåtsbucklingen beaktats genom en beräkningsmodell (se FIG 4.5), där beräkningen av livets momentupptagningsförmåga baseras på en medverkande bredd (s_{e1}, s_{e2}), grundad på bucklings-

figurationen och bestämd till $s_{e1} = 0,76 t \sqrt{E/F_y}$ och $s_{e2} =$

$1,1 t \sqrt{E/F_y}$, vilket ger $s_{e1} = 345 t / \sqrt{F_y}$ och $s_{e2} = 500 t / \sqrt{F_y}$.

Denna regel gäller för $s_0 > 845 t / \sqrt{F_y}$ och medför således ett beaktande av livplåtsbucklingen om $s/t \gtrsim 90$ vid $F_y = 340 \text{ N/mm}^2$.

Denna beräkningsmodell ger rimlig överensstämmelse med försöksresultaten när plättjockleken är större än ca 0,65 mm. För extremt tunna profiler och starkt osymmetriska tvärsnitt med tryckpåkänningar i den breda flänsen är emellertid överensstämmelsen mellan provningsresultat och beräkningsmodell inte tillfredsställande. Förklaringen därtill kan vara att utbucklingen av flänsen på ett oönskat sätt initierar livplåtsbucklingen samt att extremt tunna profiler uppvisar betydande initialbucklor.

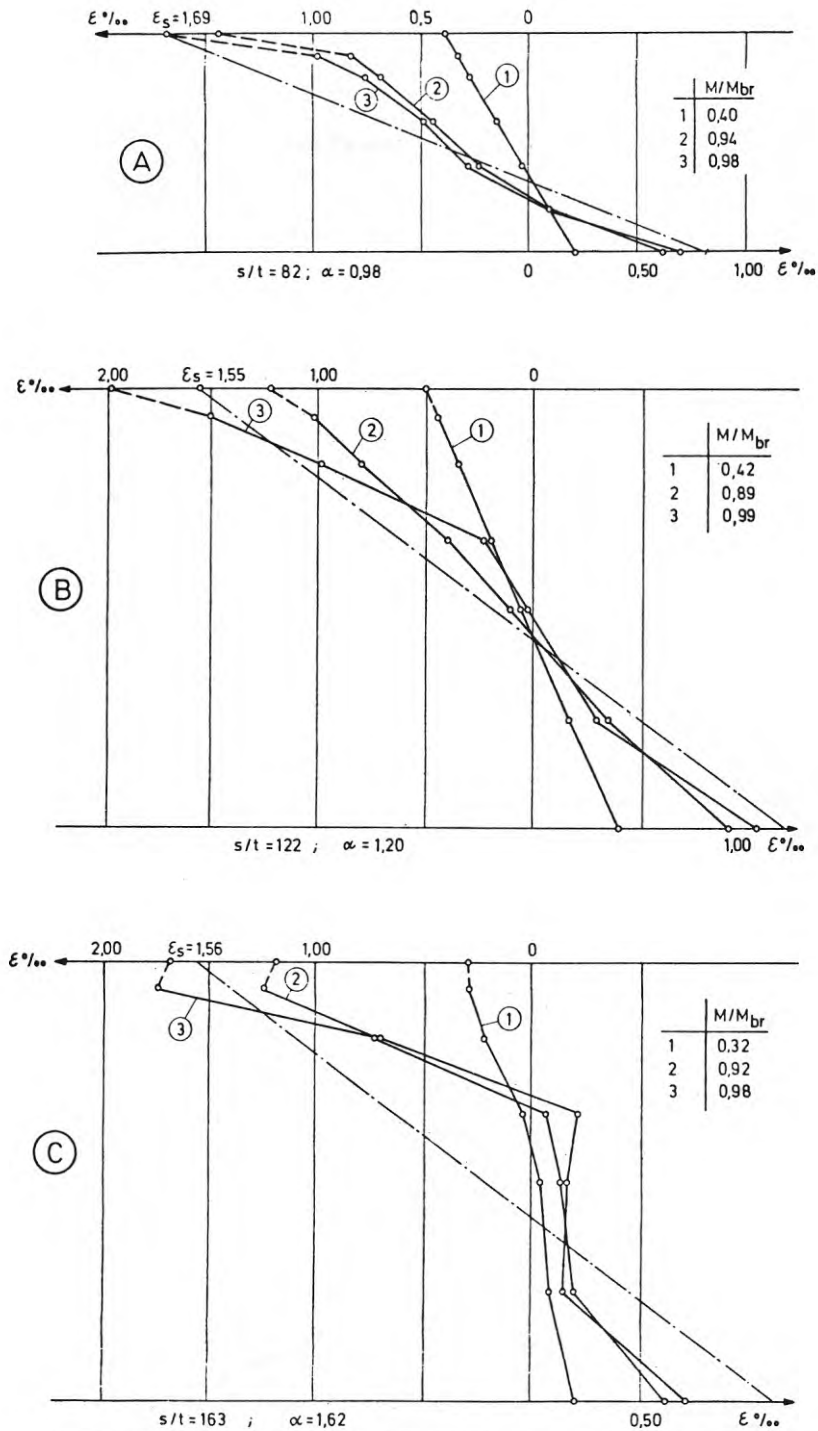


FIG 4.4.(A, B, C). Exempel på uppmätt töjningsfördelning över livtvärsnitt (M_{br} = uppmätt brottmoment)

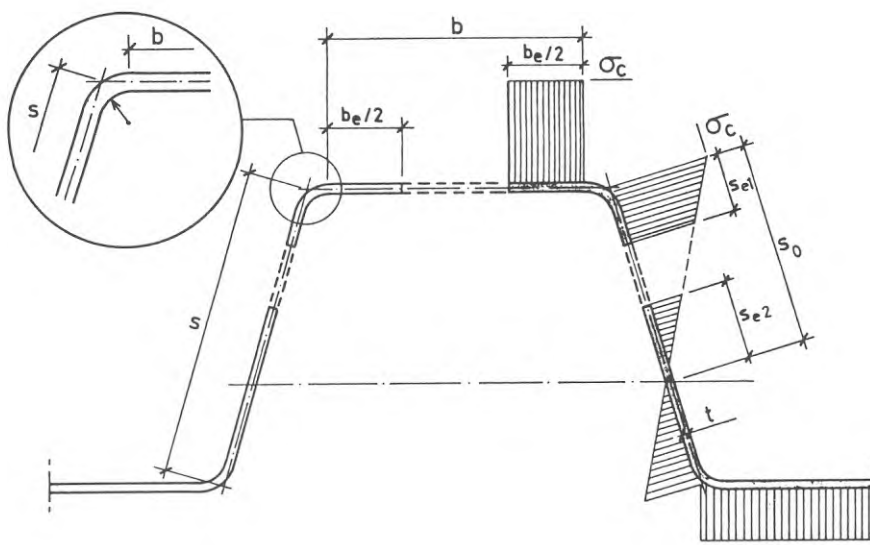


FIG 4.5. Beräkningsmodell för bestämning av effektiv bredd vid momentpåverkad trapetsprofil

Det kvarstår således uppgiften att finna en beräkningsmodell som beaktar ovan nämnda effekter. Vidare bör nämnas att det för närvarande saknas en tillförlitlig analytisk modell för beräkning av livrillors effekt på bärförmågan. Som framgår av FIG 4.3 ökar effekten med avtagande plåttjocklek och ökande slankhetstal av livet.

4.12 Upplagstryck

Risk för livplåtsbuckling (web-crippling) föreligger även vid lokalt lastangrepp såsom vid änd- och mellanupplag för den profilerade plåten. I AISI-normen (3.5) begränsas denna lokala lastpåverkan R_{max} genom en empiriskt bestämd ansats som beaktar inverkan av lastangreppsbredden L_s , plåttjockleken t , hörnradien r , profilhöjden h och sträckgränsen F_y . Tillämpningen av denna ansats är begränsad till ett bredd-tjockleksförhållande för livet $s/t \leq 150$ samt en maximal hörnradius om $r = 4t$.

På grund av att ansatsen ursprungligen är framtagen för plåtprofil med vertikalt liv saknas inverkan av livets lutning i förhållande till upplagsplanet. Denna omständighet samt det faktum att vid aktuella trapetsprofiler $r/t > 4$ och $s/t > 150$ förekommer, föranledde experimentella undersökningar. Provkropparnas utformning framgår av FIG 4.6. Provningsen omfattade 78 enheter med lämplig variation av ovan nämnda parameter hos de redovisade provkropparna. Livlutningen \ominus har varierats inom området $50^\circ \leq \ominus \leq 90^\circ$ och bredd-tjockleksförhållandet har uppåt begränsats till $s/t \leq 170$.

Som väsentliga resultat av provningen kan noteras att livlutningen \ominus har betydande inflytande på brottlasten samt att för $s/t \leq 170$ någon signifikant påverkan av brottlasten inte har kunnat konstateras.

Utvärderingen av provningsresultat med avseende på nämnda parameter har lett till ansatsen för brottlasten vid mellanupplag:

$$R_B = 1,8F_y \cdot t^2 \left[(2,8 - 0,8 \cdot \frac{F_y}{340}) (1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}}) (1 + 0,01 \frac{L_s}{t}) (2,4 + (\frac{\ominus}{90})^2) \right] [\text{N}]$$

$$F_y \quad [\text{N/mm}^2]$$

Härvid gäller att:

$$r/t \leq 10; \quad 50^\circ \leq \ominus \leq 90^\circ; \quad s/t \leq 170.$$

För brottlasten vid ändupplag föreligger inga provningsresultat och det har antagits att halva den för mellanupplag gällande brottlasten bör vara en på säkra sidan liggande bedömningsgrund.

Sambandet mellan provningsresultat (R_{test}) och enligt ovanstående beräknad brottlast ($R_{\text{teor.}}$) återges i FIG 4.7. I diagrammet redovisas också det fåtal värden som ligger inom AISI-normens giltighetsområde. Som synes är överensstämmelsen med provningsresultaten delvis otillfredsställande.

4.13 Tvärkraft och böjmoment

Vid mellanupplag för trapetsprofilerad plåt erhålls en maximal påverkan av tvärsnittet genom såväl böjmoment som tvärkraft. Ovan refererade provningar gav anledning att förmoda att den sammanlagda effekten av båda påverkansformerna skulle medföra en reduktion av lastupptagningsförmågan.

För att kartlägga lastupptagningsförmågan i ett stödsnitt utfördes 151 stödförsök med marknadsförda profiler som motsvarar ovan redovisade geometriska förhållanden.

Vid provningen simulerades förhållandena för en kontinuerlig plåt vid en enfältsbalk med spännvidden $L = 0,4 L^*$ och en linjelast i mittnittet, varvid L^* är den med aktuell profil korresponderande tillåtna spännvidden. Belastningsbredden har med anpassning till verkliga förhållanden varierats mellan 40 och 100 mm.

Under försöken konstaterades, att lokalt höga upplagstryck i kombination med livbuckling av böjtryckspänningar har en hållfasthetsnedsättande effekt som bör beaktas genom ett lämpligt "interaction"-samband.

AISI-normen (3.4) föreskriver härvid att villkoret

$$\left(\frac{f_b}{F_{bc}}\right)^2 + \left(\frac{f_t}{F_T}\right)^2 \leq 1 \text{ skall vara uppfyllt, varvid}$$

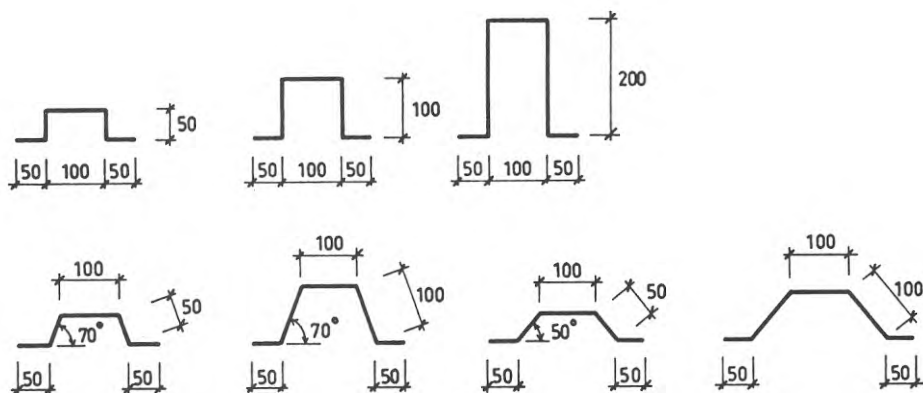


FIG 4.6. Provkroppar för upplagsförsök

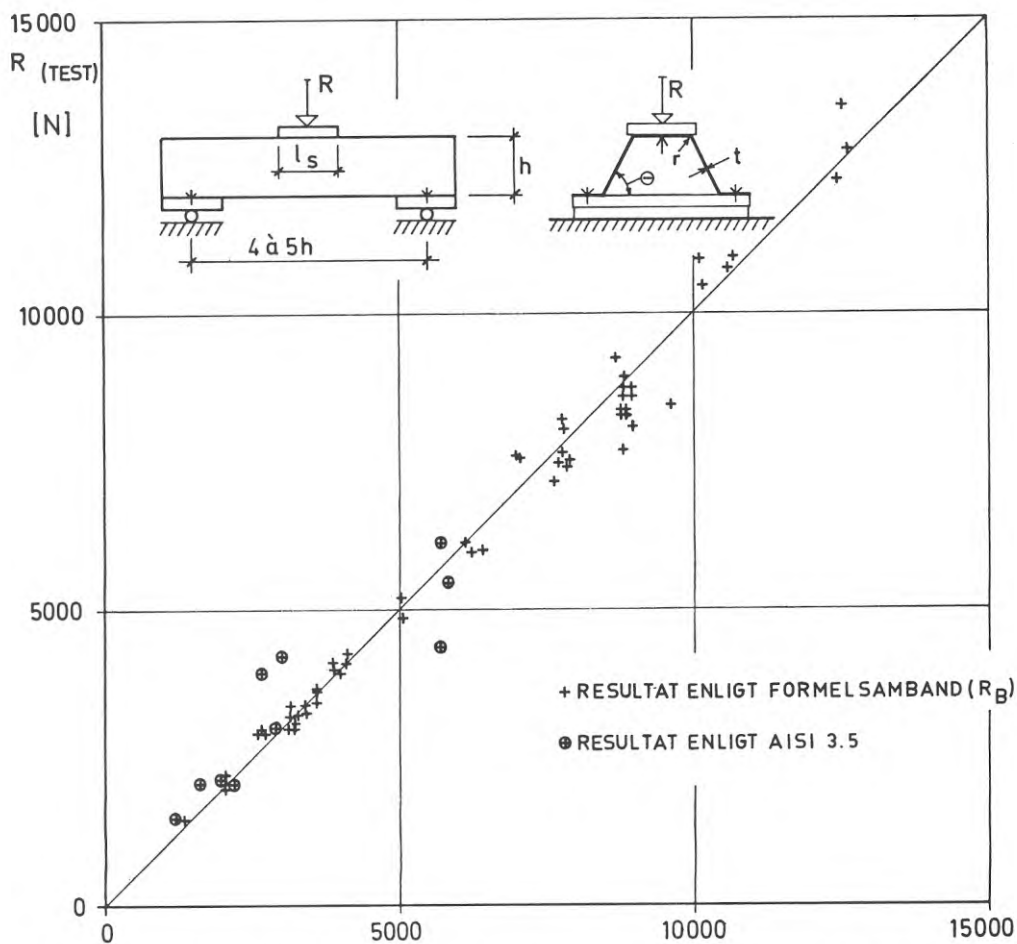


FIG 4.7. Resultat från upplagsförsök (R_{test}) i jämförelse med beräknad brottlast (R_{teor})

f_b = aktuell böjtryckspänning i livet

F_{bc} = livets bucklingsspänning (se ovan)

f_t = aktuell skjuvspänning

F_T = maximal skjuvspänning

Av ovan nämnda skäl är detta kriterium vid trapetsprofilerad plåt inte tillräckligt för bedömning av lastupptagningsförmågan. I realiteten är bidraget $(f_t/F_T)^2$ vid trapetsprofilerad plåt relativt litet medan inflytandet av det lokala upplagstrycket på livplåtsbucklingen är betydande.

Förhållandet illustreras i interaction-diagrammet enligt FIG 4.8, där på vertikalaxeln $M_{exp}/M_{teor.}$ och på horisontalaxeln $R_{exp}/R_{teor.}$ avsätts. Härvid är

M_{exp} = brottmoment vid provningen

$M_{teor.}$ = beräknat brottmoment enligt avsnitt 4.11

R_{exp} = brottlaster vid provningen

$R_{teor.}$ = beräknad brottlaster enligt avsnitt 4.12.

För $R_{exp}/R_{teor.} = 0$ föreligger lastfallet "ren böjning"; redovisat provningsresultat motsvarar medelvärden av samtliga ovan refererade brottförsök samt erhållet spridningsområde.

För $M_{exp}/M_{teor.} = 0$ föreligger lastfallet "upplagstryck"; redovisat provningsresultat motsvarar medelvärden av samtliga ovan refererade brottförsök samt erhållet spridningsområde.

Resultaten från stödprovningen har inlagts i diagrammet, liksom det interaction-samband som för närvarande föreskrivs i den preliminära svenska tunnplåtsnormen [9].

Av redovisningstekniska skäl har endast ca 60 % av provningsresultaten medtagits i FIG 4.8; övriga provningsresultat uppvisar samma tendens till avtagande momentupptagningsförmåga vid ökande lokal lastpåverkan. Vid osymmetriska profiler är som regel momentkapaciteten större när den smala flänsen utsätts för böjtryckspänningar.

En närmare analys av provningsresultatens spridning indikerar, att profilgeometri, godstjocklek och materialhållfasthet påverkar nivån av momentkapaciteten. Det har dock - med hänsyn till det stora antalet parameter å ena sidan och det för varje profiltyp relativt begränsade provningsunderlaget å andra sidan - inte varit möjligt att ge ett allmängiltigt analytiskt samband för bestämning av momentkapaciteten vid samtidig påverkan av böjmoment och upplagstryck.

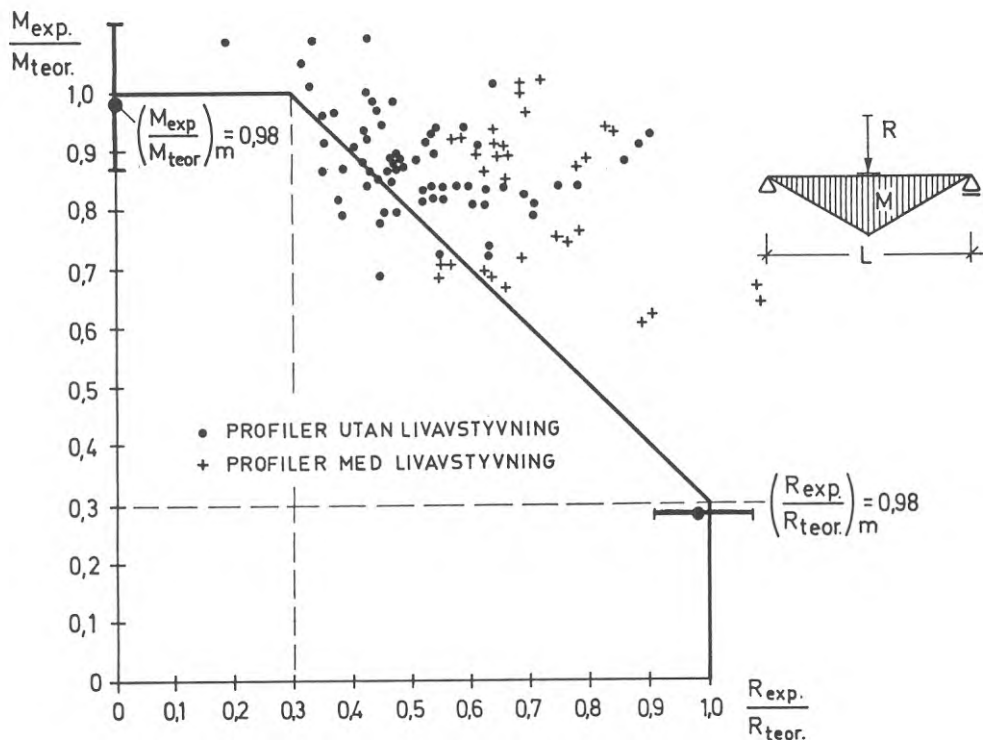


FIG 4.8. Jämförelse mellan experimentella och beräknade brottvärden vid samtidig inverkan av böjmoment och koncentrerad last. Heldragen kurva visar interaktion-samband enligt svensk norm.

Den i den svenska tunnplåtsnormen angivna interaktionkurvan (heldragen kurva i FIG 4.8) bör därför ses som ett skäligen hänsynstagande till denna påverkansform med lastfallen "ren böjning" och "upplagstryck" som grännsfall.

För utveckling av seriemässigt producerade profiltyper rekommenderas en dimensionering genom provning, varvid den experimentellt erhållna karakteristiska hållfastheten läggs till grund för bestämning av tillåten belastning (se avsnitt 5.2).

4.14 Skivverkan

Den trapetsprofilerade plåtens stabiliserande effekt har i Sverige utnyttjats sedan ca 10 år tillbaka - främst vid industritak [6]. Beräkning och dimensionering har därvid baserats på provningsresultat eller tillgängliga litteraturuppgifter (exv [12]).

I syfte att dels verifiera vissa beräkningsregler i de provisoriska svenska bestämmelserna [7], dels erhålla upplysningar om skiveffekten vid trapetsprofiler med rillförstyvningar i flänsar och liv utfördes en provserie om 41 enheter med profiltyper NJA-TRP 50, 70 och 110 (rillförstyvade profiler enligt FIG 4.1), varvid lastfallen "enbart skivverkan", "skivverkan inkl. snölast" och "skivverkan inkl. vindsug" behandlades.

Lastfallen simulerades i en provningsram (FIG 4.9) med transversallast påförd genom en portal som följer provningsramens förskjutningsrörelser. Fältets storlek anpassades till profiltypen och uppgick vid TRP-110 till maximalt 1800 mm parallellt med profileringen och 4220 mm i profileringsriktningen.

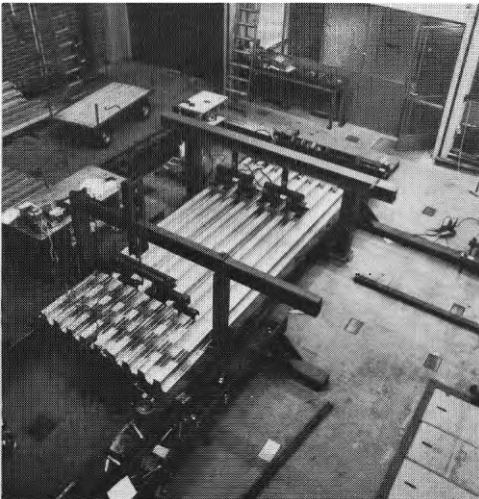


FIG 4.9.
Provningsram för
skivbelastning

Intresset koncentrerades på att studera fältets beteende, profiländarnas deformationer samt brottfenomen vid ändupplag. Av denna anledning utfördes överlappsskarvarna i profileringsriktningen överstarka med en nitdelning om endast 100 mm. Förbindningen mellan plåten och upplagsbalkar utfördes med varierande antal självgående skruvar i profilens undre flänsar. I provningsserien varierades plåttjockleken mellan 0,5 och 1,0 mm. Vid samtidig påverkan av skivkraft och transversallast påfördes den senare i full storlek, varefter skivkraften ökades från noll till maximalt värde.

Brottstadiet inleddes vid de flesta försök genom successivt ökande sidorörelser av överflänsen vid ändupplag, åtföljt av antingen livintryckning vid upplaget eller överdragsbrott vid skruvinfästningen.

Endast vid den lägsta profilhöjden (TRP 50) erhöjls i några fall en global skjvubuckling (FIG 4.10) av fältet. Skivlasten var dock därvid av samma storleksordning som vid inträffandet av ovan nämnda brottfenomen och bucklingsfenomenet saknar därför betydelse i praktiskt hänseende.



FIG 4.10 Global buckling av plåtfält med TRP 50

Av speciellt intresse är provningsresultat för den högsta profilen TRP 110, där förutom rillförstyvningar i flänsar även sådana i liv förekommer. På grund av livplåtens ringa sidostyvhet i kombination med stor profilhöjd är skjvudeformationer vid ändupplaget relativt stora. Vid provningen observerades, att transversallast i kombination med skivbelastning har relativt liten inverkan på formändringarna, som ökar något vid lastfallet "snö" och minskar något vid lastfallet "vindsug". Däremot är formändringarna starkt beroende av antalet fästdon vid upplaget.

Eftersom lastupptagningsförmågan är kopplad till formändringarna vid upplaget kan genom lämplig ändavstyvning kapaciteten ökas, vilket i praktiken framför allt har betydelse när en konstruktion primärt utnyttjas för skivverkan.

I FIG 4.11 illustreras översiktligt deformationsbeteendet för profil TRP 110 med nominell tjocklek (inkl. zink) om 0,65 mm, varvid såväl formändringen i skivplanet som sidoförskjutningar av överflänsen vid ändupplaget redovisas.

Utom vid skivan med speciell ändavstyvning har brott inträffat till följd av livplåtsbuckling. Överdragsbrott vid skruvinfästning har som regel endast aktualitet vid låga profiler.

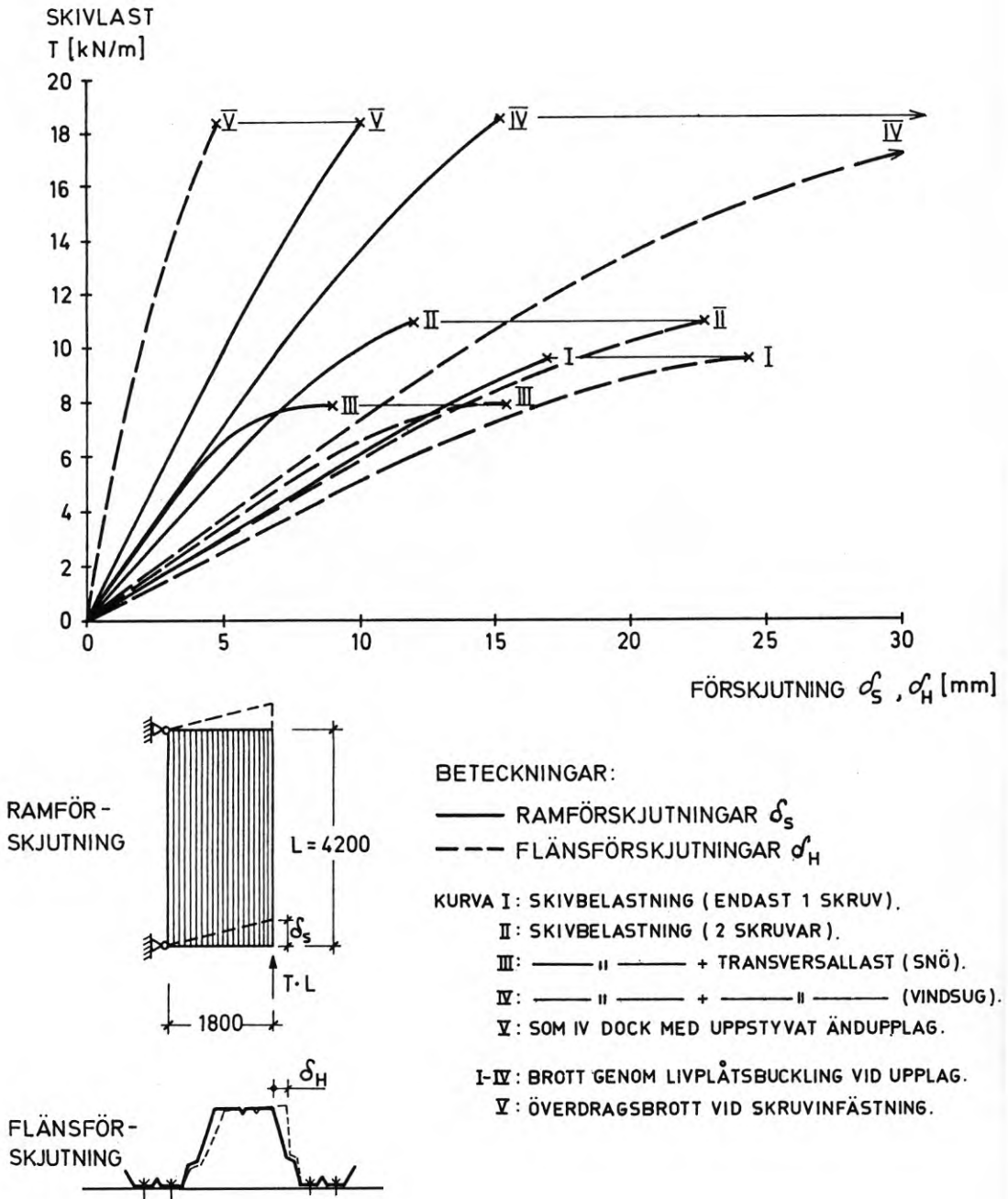


FIG 4.11. Deformationsförlopp för skiva av TRP 110-0,65 vid olika lastkombinationer

I brottstadiet uppgår deformationerna, som framgår av FIG 4.11 och 4.12, till avsevärd storlek. I det för normala takkonstruktioner aktuella lastområdet om $T \sim 3-4$ kN/m är horisontalförskjutningarna som regel av sådan storleksordning att takkonstruktionens funktion bibehålls. Flänsdeformationerna kan däremot få betydelse vid isolermaterial som under upprepade deformationspåverkan tenderar till utmattnings- eller uppsprickning.



FIG.4.12. Exempel på brott vid ändupplag genom livintryckning

Det synes därför angeläget att som komplement till säkerhetskraven finna lämpliga, till isolerskiktet anpassade deformationskriterier.

4.2 Kallformade C-profiler

Kallformade C-profiler och varianter därtill utgör grundelementet i forskningsprogrammet avseende plåtpaneler i byggnadsteknisk användning såsom bjälklag och väggar.

Eftersom de experimentella och teoretiska undersökningarna pågår skall i avvaktan på forskningsrapporterna endast några resultat översiktligt redovisas.

4.21 Normalkraftpåverkan (Forskare: Civ.ing. P O Thomasson)

Syftet med detta delprojekt är att undersöka bärförmågan hos axialkraftbelastade [-formade plåtpaneler samt att ta fram dimensioneringsregler för sådana konstruktionselement. Dessa plåtpaneler avses att sättas samman till väggelement, som samtidigt med bärande funktion även ges rumsavskiljande funktion (jfr FIG 2.7).

Verknings sätt och erfarenheter från provningar

För undersökning har en basprofil typ A med mått enligt FIG 4.13 valts. Med utgångspunkt från denna har sedan två varianter av denna skapats: typ B med en förstävning i den breda flänsen och typ C med två förstävningar.

Om en panel av typ A belastas med en axialkraft i tyngdpunkten och panelen förutsätts vara initiellt rak kommer denna att förbli rak upp till en viss last som motsvaras av kritisk bucklingspåckning (lokalbuckling). Vid överskridande av denna last kommer tyngdpunkten för det effektiva tvärsnittet att förskjutas mot den smälare flänsen. Förutsättes vidare att läget för kraftens verkningslinje inte förändras kommer det effektiva tvärsnittet att vara excentriskt belastat. Detta medför att panelen kommer att böja ut och ytterligare tillskott i böjande moment erhållas. Utböjningens tillväxt vid ökande belastning kommer att ske accelererande beroende dels på tillskottsmoment, dels på det faktum att den effektiva böjstyvheten avtar med ökande belastning. Effekten framgår av kurva A i FIG 4.13 resp. 4.14. Det beskrivna verknings sättet förutsätter att ett överkritiskt område existerar för de i tvärsektionen ingående plattfälten. Den slutgiltiga orsaken till att bärförmågan uttöms är beroende av sektionens utformning, plättjocklek, längd och materiallegenskaper. För praktiskt bruk kommer den huvudsakliga brottorsaken att vara en samverkan mellan lokalbuckling och knäckning, kännetecknad av att antingen materialhållfastheten överskrids eller att ett lokalbucklingsfenomen förändrar sektionens styvhet så att global instabilitet inträffar. Den senare typen har orsakat brott vid sektionstyp C i FIG 4.14.

Genom att förse den breda flänsen med mellanförstävning (typ D och C enligt FIG 4.13) kan styvhetsegenskaperna och bärförmåga förbättras. Detta framgår av kurvorna B och C i FIG 4.13 och 4.14. De förbättrade styvhetsegenskaperna hos panelen som helhet samt den ökade bärförmågan medför emellertid att risken för sidoutknäckning av den smala flänsen ökar. Denna risk är särskilt stor om denna utgörs av ett oförstävdat element som i det aktuella fallet C i FIG 4.14. Sidoutknäckning av den smala flänsen sker i våglängder som är 5 till 10 ggr våglängden för bucklingsvågorna i den breda flänsen. Om den breda flänsen är försedd med förstävningar är detta förhållande mindre. Detta fall av lokal instabilitet har i motsats till fallet med en firsidigt upplagd platta inget överkritiskt område, varför särskild uppmärksamhet ägnas detta fall. Vid försöken kopplades flänsarna ihop med bandjárn 3 x 20 mm c/c 300 mm för att förhindra denna brotttyp. I fall C enligt FIG 4.14 inträffade emellertid en antimetrisk utknäckning av flänsarna trots avsträvningen. Vid provningarna har även tröghetsmomentet hos mellanförstävningarna varierats. Helt entydiga resultat av denna åtgärd har dock inte erhållits. Tendensen i provningsresultat visar att utböjningen minskar vid ökande styvhet medan skillnaderna i bärförmåga emellanåt påverkas endast obetydligt.

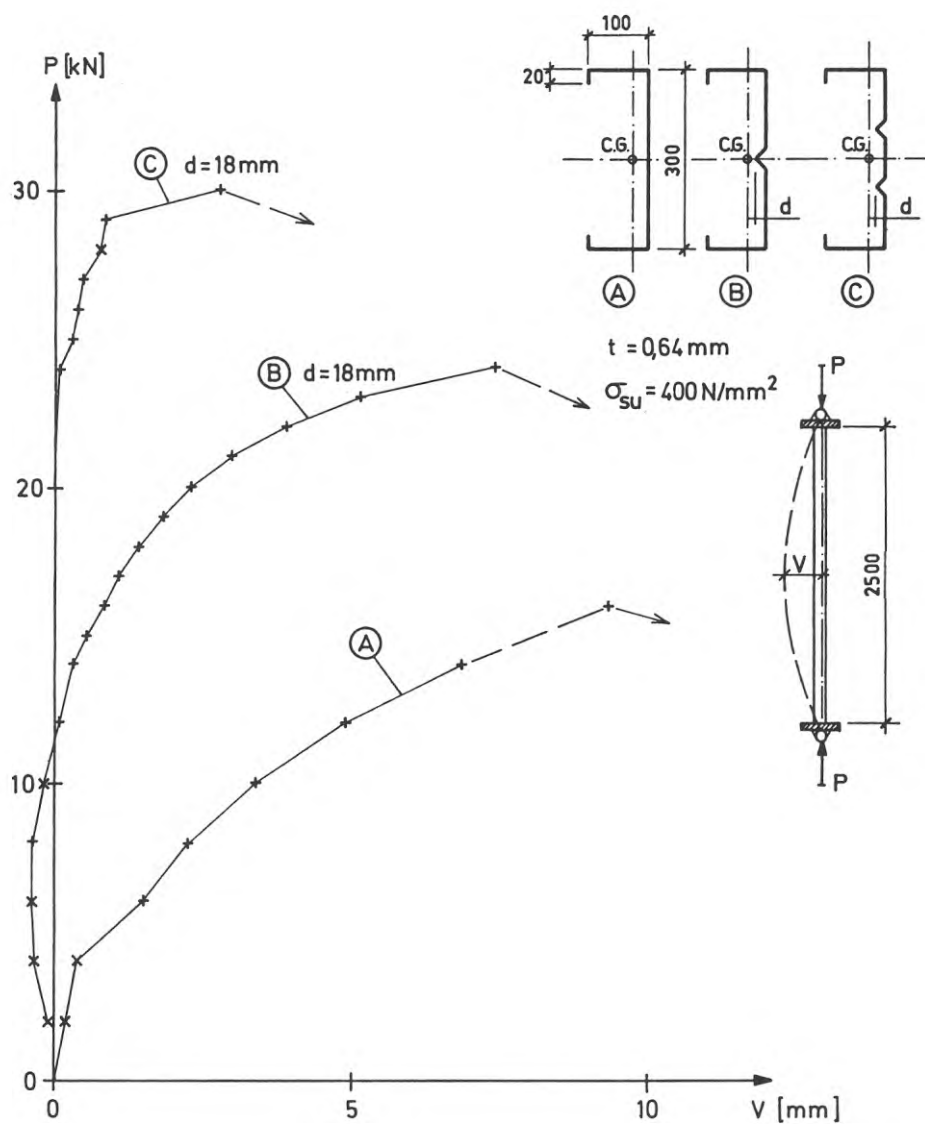


FIG 4.13. Last-utböjningssamband för axialbelastade \lceil -profiler. A utan rilla, B med en rilla, C med två rillor.

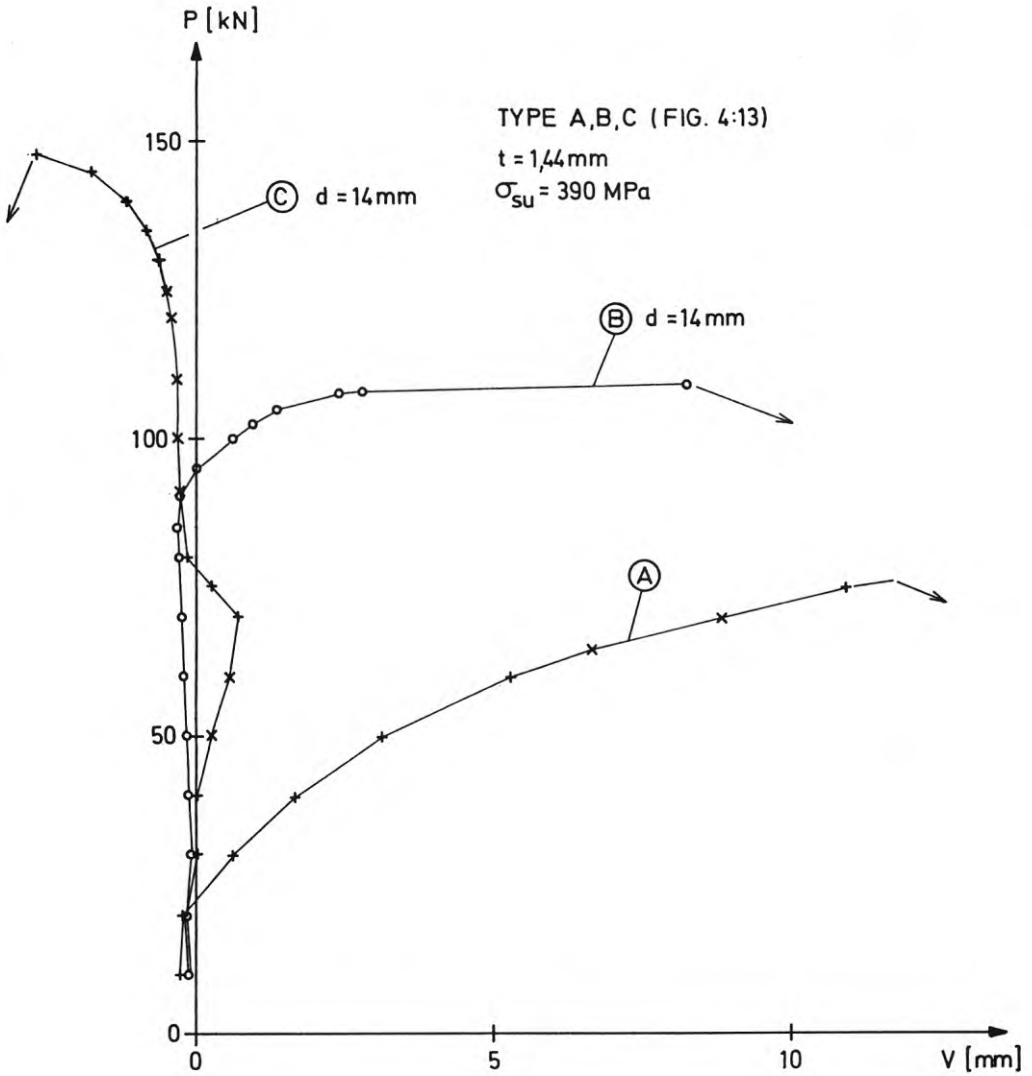


FIG 4.14. Last-utböjnings samband för axialbelastade $\left[\right]$ -profiler

4.22 Transversallastpåverkan (Forskare: Civ.ing. J König)

De i detta försöksprogram aktuella C-panelerna är avsedda att fungera som element i tak och bjälklag. För närvarande provas en serie av 31 provkroppar. De huvudparametrar som varierar är antalet rillor (noll, en eller två) i den tryckta flänsen.

Syftet med försöksserien är att undersöka avstyvningarnas inverkan på brottlast och deformationer. Undersökningens mål är

- bestämning av avstyvningens minimistyvhet som säkerställer att brott inträffar genom lokalbuckling
- bestämning av avstyvningarnas effektivitetsgräns (d v s bucklingslast för hela överflänsen) samt den styvhet hos avstyvningarna som innebär maximal effektivitetsgräns för en viss fläns
- bestämning av den styvhet hos avstyvningar som ger de minsta lokala deformationerna med hänsyn till buckling av hela flänsen och "flange curling" på grund av balken krökning
- bestämning av en ekonomisk styvhet hos avstyvningarna som ger den största bärförmågan av hela balken respektive de minsta deformationerna i förhållande till använt material.

Då plåtens sträckgräns med $320 - 400 \text{ N/mm}^2$ ligger mycket högre än som tidigare var vanligt är det av intresse att se om den högre stålqualiteten ger högre brottvärden i motsvarande grad.

Vid val av profilgeometrin förutsattes att alla balkar skulle ha samma överflänsbredd 300 mm som passar det modulsystem som används i Sverige (FIG 4.15). Underflänsarna är av försökstekniska skäl utåtbockade i stället för inåtbockade. Detta påverkar dock inte försöksresultaten. Två plåttjocklekar valdes. En serie av 14 provkroppar som är 3,0 m långa tillverkades av plåt som är 0,7 mm tjock medan den andra serien av 14 st 6,0 m långa provkroppar tillverkades av 1,5 mm tjock plåt. Detta motsvarar b/t-förhållanden av ca 430 resp. 200.

Då syftet med försöksserien är att undersöka enbart de tryckta flänsarnas brott- och deformationsbeteende, skulle livhöjden begränsas för att förhindra att buckling av livet påverkade flänsen.

Provkropparnas livhöjd blev därmed 60 mm hos de korta och 100 mm hos de långa balkarna. Underflänsarnas bredd bestämdes så att sträckgränsspänningen i dessa med säkerhet inte skulle uppnås.

Provkropparna tillverkades med både oavstyvade och avstyvade överflänsar, de avstyvade utfördes med en V-formad rilla i flänsens mitt respektive två V-formade rillor i flänsens tredjedelspunkter. Rillornas tröghetsmoment valdes så att de motsvarade det enligt AISI-normen beräknade minimitröghetsmomentet respektive dess halva och dubbla värde.

Alla provkroppar provas som balkar på två stöd. Den kontinuerliga belastningen ersätts därvid genom 4 punktlaster med inbördes avstånd $L/4$.

Belastningen sker med hjälp av vikter som medelst ok föres in i balkens underflänsar. Därigenom undviks brott vid lastinföringspunkter på grund av livintryckning (web crippling). Samtidigt är balkarnas överflänsar fria för mätning av överflänsens relativa förskjutning i förhållande till livet (FIG 4.16). Detta sker med hjälp av en flyttbar mätklocka som är upplagd på balken vid kanten mellan liv och överfläns.

Då krypdeformationerna tilltar vid högre belastningar hålls lasten konstant under fem minuter före nästa laststeg. Som brottlast anses den last som balken tål under minst fem minuter innan kollaps inträffar.

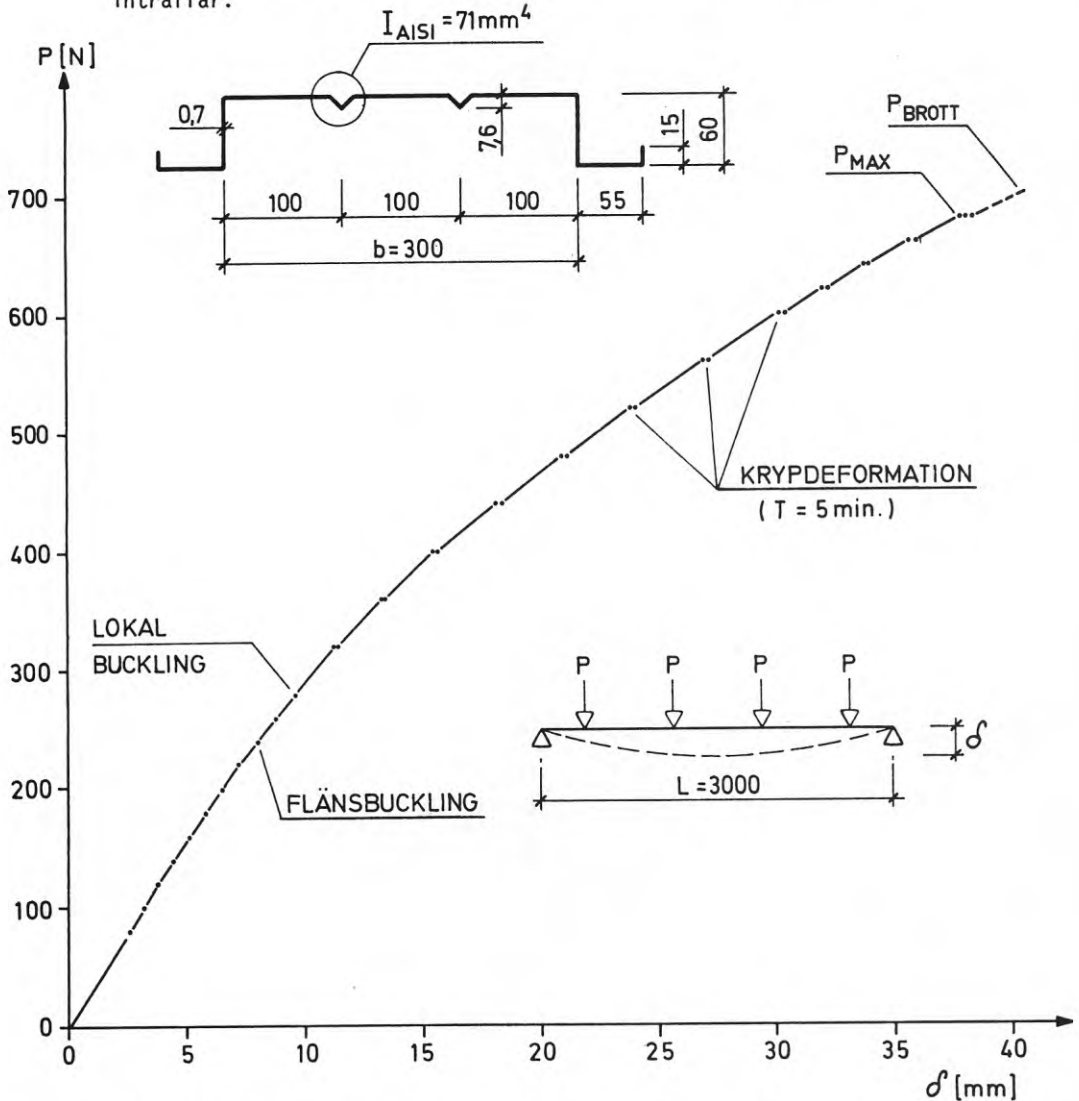


FIG 4.15. Exempel på last-deformationskurva för C-panel under transversalbelastning

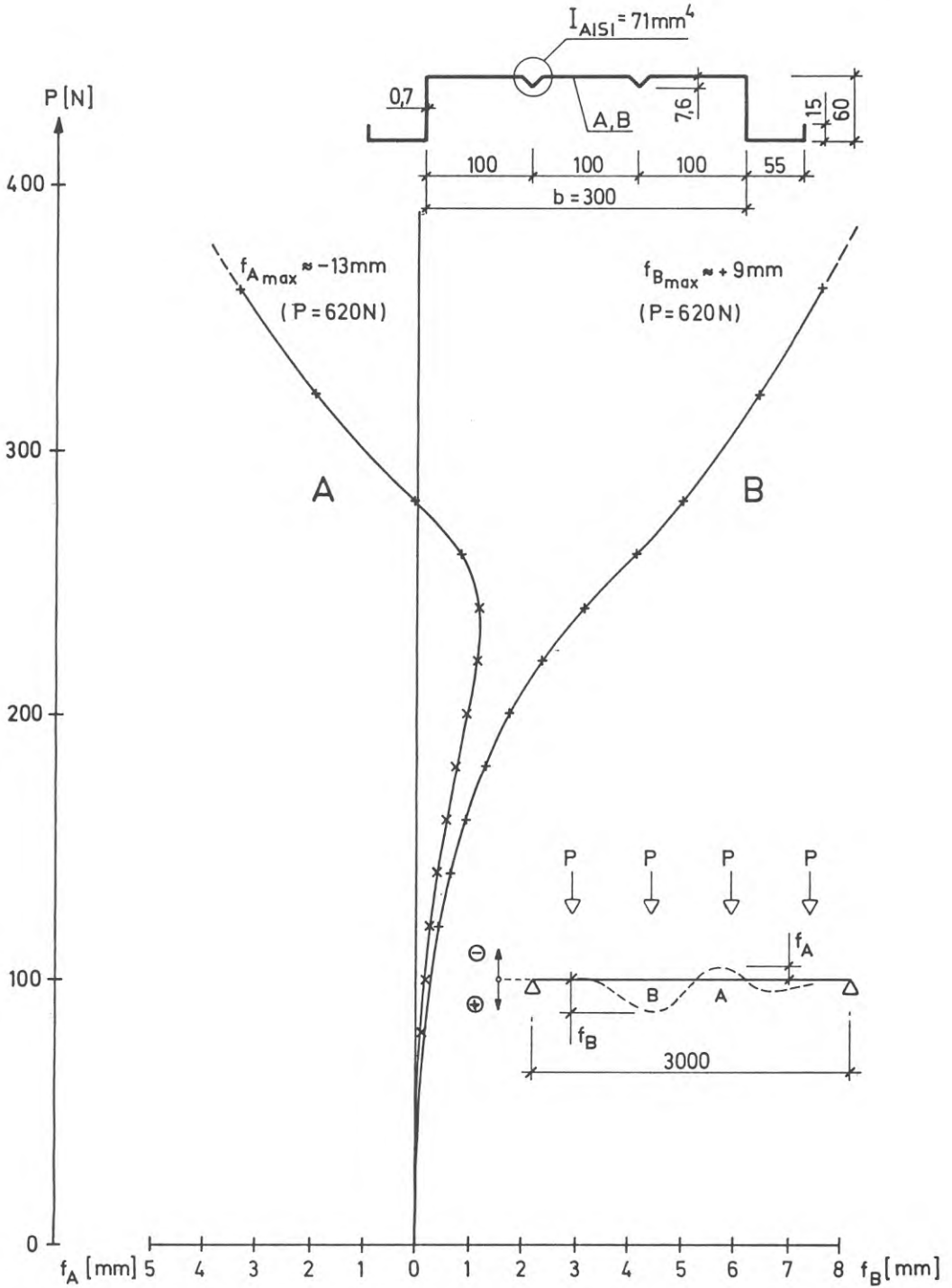


FIG 4.16. Bucklingsfiguration av rillförstyvad fläns vid transversalbelastad [-profil]

4.23 Skivbelastning (Forskare civ.ing. G Nyberg)

Väggkonstruktioner sammansatta av tunnväggiga paneler med Γ -format tvärsnitt (se FIG 4.17) har, förutom sin primära uppgift att uppbära axiell och transversell belastning även en sekundär lastupptagande funktion att genom skivverkan ge erforderlig stabilitet vid främst vindbelastning.

Även vid bjälklagskonstruktioner sammansatta av Γ -paneler är förmågan att uppta belastning i skivans plan av betydelse.

Syftet med projektet är i första hand att genom begränsade experiment erhålla ett underlag för en bedömning av i vilken utsträckning skivverkan kan påräknas i aktuella konstruktioner. I andra hand skall en numerisk beräkningsmodell utarbetas. Beräkningsmodellen skall tillsammans med experimenten ligga till grund för upp rättandet av dimensioneringsregler.

Den elasticitetsteoretiska skjuvbucklingslasten hos tunnväggiga, icke rillförstyvade Γ -paneler är mycket låg. Det kan dock förväntas att skjuvbelastning överstigande den elasticitetsteoretiska skjuvbucklingslasten under vissa förhållanden kan upptas genom att ett "överkritiskt område" utnyttjas, d v s ett s k dragfält bildas.

Förutsättningen för att ett dragfält skall kunna bildas är att förbindningarna mellan Γ -panelerna är tillräckligt starka och att de är placerade så att dragfältets dragkrafter kan överföras mellan panelernas livplåtar.

Det dragfält som bildas måste också förankras i lämpligt utformade kantbalkar.

I den pågående försöksserien testas paneler med bredden $B = 300$ och $B = 600$ mm med plåttjocklekarna $t = 0,7$ och $1,2$ mm (se FIG 4.17). Vid bredden $B = 300$ ingår 14 paneler i skivan och vid bredden $B = 600$ ingår 7 paneler. Förbindningarna mellan panelerna och mellan panelerna och kantbalkarna utgöres av punktsvetsar.

Förbindningarnas läge (d) i förhållande till livet skall varieras för att erhålla upplysning om hur detta inverkar på skivans styvhet och lastupptagningsförmåga.

I en möjlig beräkningsmodell (se FIG 4.18) kan Γ -panelernas liv ersättas av korsande tryckta och dragna stänger. När den kritiska skjuvbucklingslasten är uppnådd upptas lastökningen enbart av de dragna stängerna. Γ -panelernas flänsar bildar tillsammans med en del av livet balkar som tillsammans med de dragna stängerna i livet utgör ett fackverk som beräknas med dator. Genom att t ex variera arean hos de dragna stängerna kan olika förbindningstypers lastförskjutningskarakteristika simuleras.

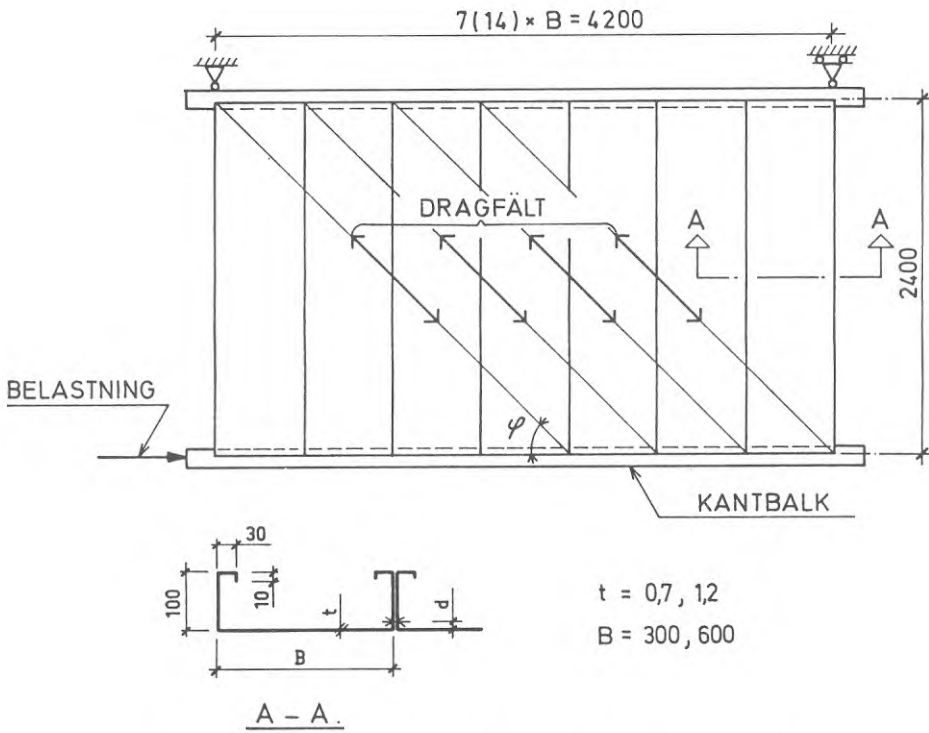


FIG 4.17. Försöksanordning för provning av skivverkan

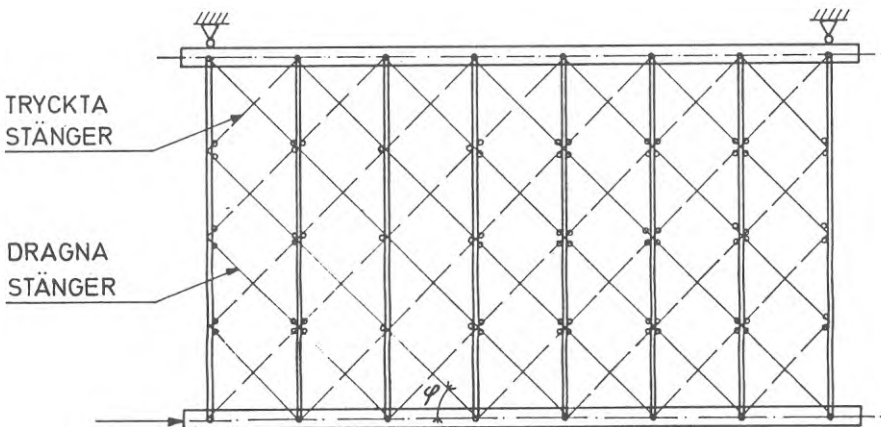


FIG 4.18. Beräkningsmodell typ "fackverk" för bestämning av lastupptagningsförmågan

4.3 Förbindningar (Forskare civ.ing. B Nissfolk)

Dimensionering av tunnplåtsförband sker för närvarande med utgångspunkt från provisoriska bestämmelser [2], som grundar sig på utförda brottförsök [1] med lämpliga förbindare såsom friktionsbult, gängformande skruv, hålnit och punktsvets (motståndssvets och smält-punktsvets).

Den grundläggande dimensioneringsfilosofin har därvid varit att begränsa förbindningarnas formändringar under brukslast, innebärande att den karakteristiska brottlasten formellt har reducerats till en fiktiv flytlast, som karakteriseras av progressiva formändringar. I brist på erfarenhetsunderlag har därvid relativt konservativa värden för tillåten last angivits. I praktiken är en sådan hård koppling mellan säkerhets- och funktionskrav ofta onödigt och oekonomisk.

En förutsättning för en mera liberal dimensioneringsmetodik är emellertid, att en enhetlig provnings- och utvärderingsmetodik med reproducerbara resultat tillämpas. En annan förutsättning är att även formändrings- och hållfasthetsvillkoren vid upprepad belastning är kända.

I syfte att kartlägga dessa förhållanden utförs kompletterande provning och standardiseringsarbete avseende provningsmetodiken för dels statiskt belastat förband under påverkan av skjuvkraft (4.31) respektive utdragskraft (4.32), dels dynamiskt belastat förband (4.33).

4.31 Skjuvförsök (statisk belastning)

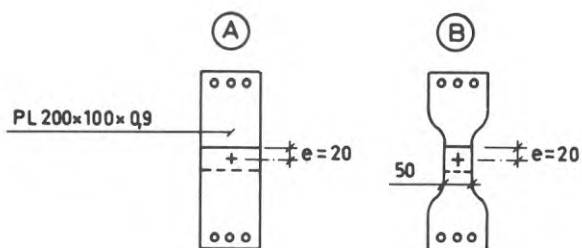
Det primära syftet med skjuvförsöken har varit att bestämma olika förbandstypers karakteristiska styvhet under pålastningen till brott. Förbandets formändringar har framför allt betydelse vid bedömning av deformationer i skivor av exv. trapetsprofilerad plåt, där dessa formändringar har påtaglig inverkan på den totala styvheten.

Som exempel på nitförbandets beteende redovisas i FIG 4.19 ett last-förskjutningsdiagram, där vid olika lastnivåer en avlastning och förnyad pålastning företagits. Två olika typer av provstavar är behandlade.

Materialets elasticitetsmodul har separat bestämts till $E_0 = 195.300 \text{ N/mm}^2$; det relativt låga värdet tyder på en viss anisotropi i den varmförzinkade plåten.

Som framgår av F- δ -diagrammet är förbandets fiktiva E-modul (E^*) upp till ca 70 % av brottlasten av storleksordningen $E^* \approx 0,06 - 0,07 E_0$. Uttryckt som förskjutningsstorhet c [mm/kN] karakteriseras förbandets eftergivlighet genom värdet $c \approx 0,17 - 0,20 \text{ mm/kN}$.

Last-förskjutningsdiagrammet enligt FIG 4.19 visar vidare att formändringen i någon mån är beroende av provstavsutformningen men att huvuddelen av förskjutningen är hänförlig till den lokala spänningskoncentrationen vid niten. Vid avlastning erhålls redan vid relativt små belastningar en kvarstående formändring till följd av dels lokal plasticering i nitskaft och hålränd, dels ofullständig utfyllnad av hålet.



MATERIAL: $\sigma_{SU} = 350 \text{ N/mm}^2$

$t = 0,9 \text{ mm}$

NIT: USM SD 630 BS

$d = 4,8 \text{ mm}$

HÅLDIAMETER: $D = 4,9 \text{ mm}$

MÄTLÄNGD: 100 mm

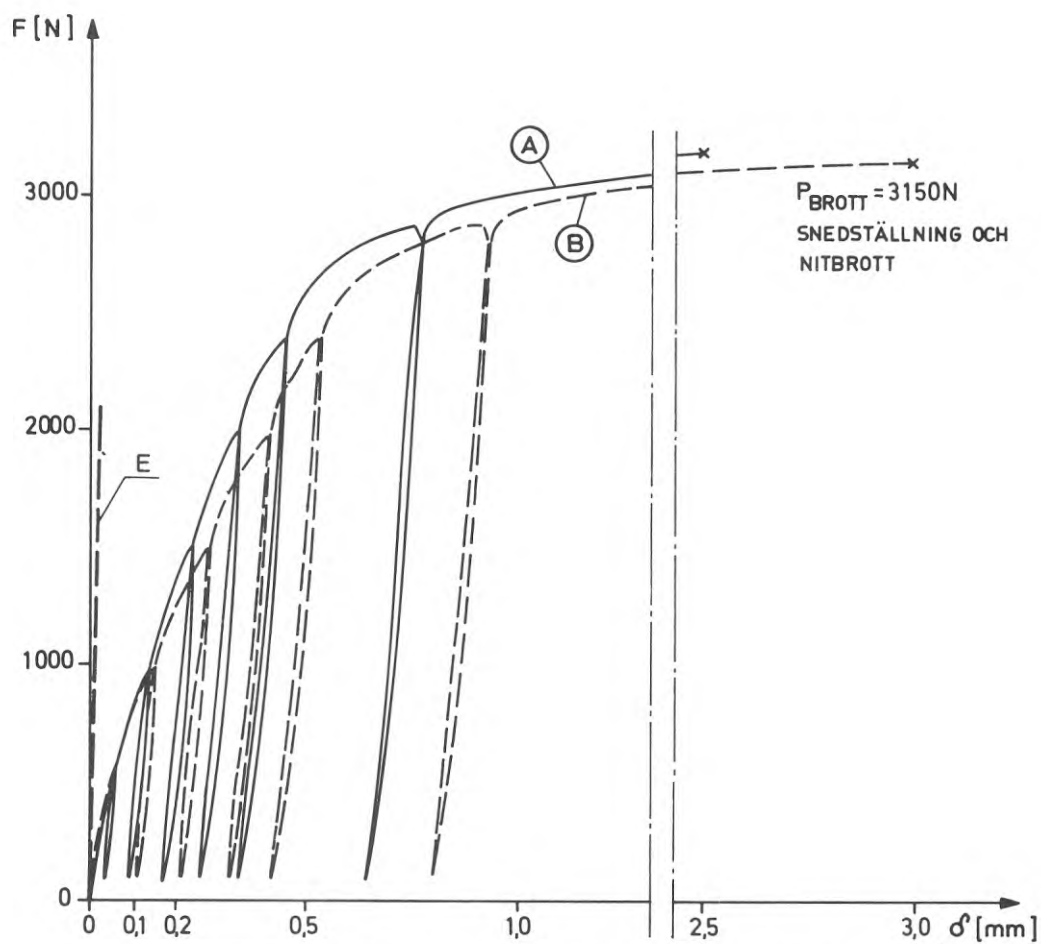


FIG 4.19. Samband mellan lastnivå och deformation vid nitförband

Den lokala kallbearbetningen av hålkanten medför sannolikt även en hållfasthetsökning, ty vid avlastning från viss lastnivå och förnyad pålastning erhålls ett närapå linjärt samband mellan last och formändring med en kraftigt minskad eftergivlighet hos förbandet. Den kvarstående formändringen är vid redovisat förband och avlastning från ca 60 % av brottlasten av storleksordningen 0,3 mm.

Brottet uppträder, som vanligt vid "tunn mot tunn" -förband, genom snedställning och urdragning eller brott av niten.

4.32 Utdragsförsök

I samband med utnyttjandet av den trapetsprofilerade plåten som taksäkra aktualiseras, som också framgår av ovan redovisade skivförsök (4.14), kraftpåverkan vinkelrät mot förbandets plan, som kan resultera i utdrags- eller överdragsbrott vid skruvinfästningen. Även här föreligger dels ett säkerhetsproblem och dels ett formändringsproblem (överdragsbrott = överkrängning).

I syfte att kartlägga formändringsbeteendet samt bestämma överdragslasten vid aktuella profil- och skruvtyper utfördes några försöksserier.

I en inledande provserie undersöktes överdragslastens beroende av profilgeometrin och provkroppslängden. Som framgår av FIG 4.20 är överdragslasten såväl profil- som provlängdberoende. Detta förhållande ledde till ett krav på standardisering av provningsmetodiken (se avsnitt 5.2) för att kunna erhålla reproducerbara provningsresultat.

I en provningsserie omfattande 50 provenheter av trapetsprofilerad plåt typ TRP 50, 70 och 110 med nominella plåttjocklekar mellan 0,65 och 0,9 mm bestämdes därefter den karakteristiska bärförmågan X , som gäller med 95 % sannolikhet vid 75 % konfidensnivå, varvid

$$X = \bar{x} (1 - c_5 \cdot \delta)$$

där \bar{x} är medelvärdet av brottlasten

c_5 är en koefficient, beroende av antalet mätvärden

δ är variationskoefficienten.

En sammanställning av provningsresultaten redovisas i FIG 4. , där också den karakteristiska bärförmågan är angiven. Approximativt gäller för samtliga profiler med 1 skruv i profilbotten sambandet

$$X \approx 8,750 \cdot t_k^{1,72} \quad [\text{kN}];$$

med t_k = plåtkärnans tjocklek [mm].

För profiler med 2 skruvar i profilbotten erhöles något varierande resultat. För profil TRP 50 gäller med god approximation per skruv

$$X_2 \approx 8,200 \cdot t_k^{1,65} \quad [\text{kN}]$$

vilket således innebär en reduktion av överdragslasten, jämfört med endast en skruv.

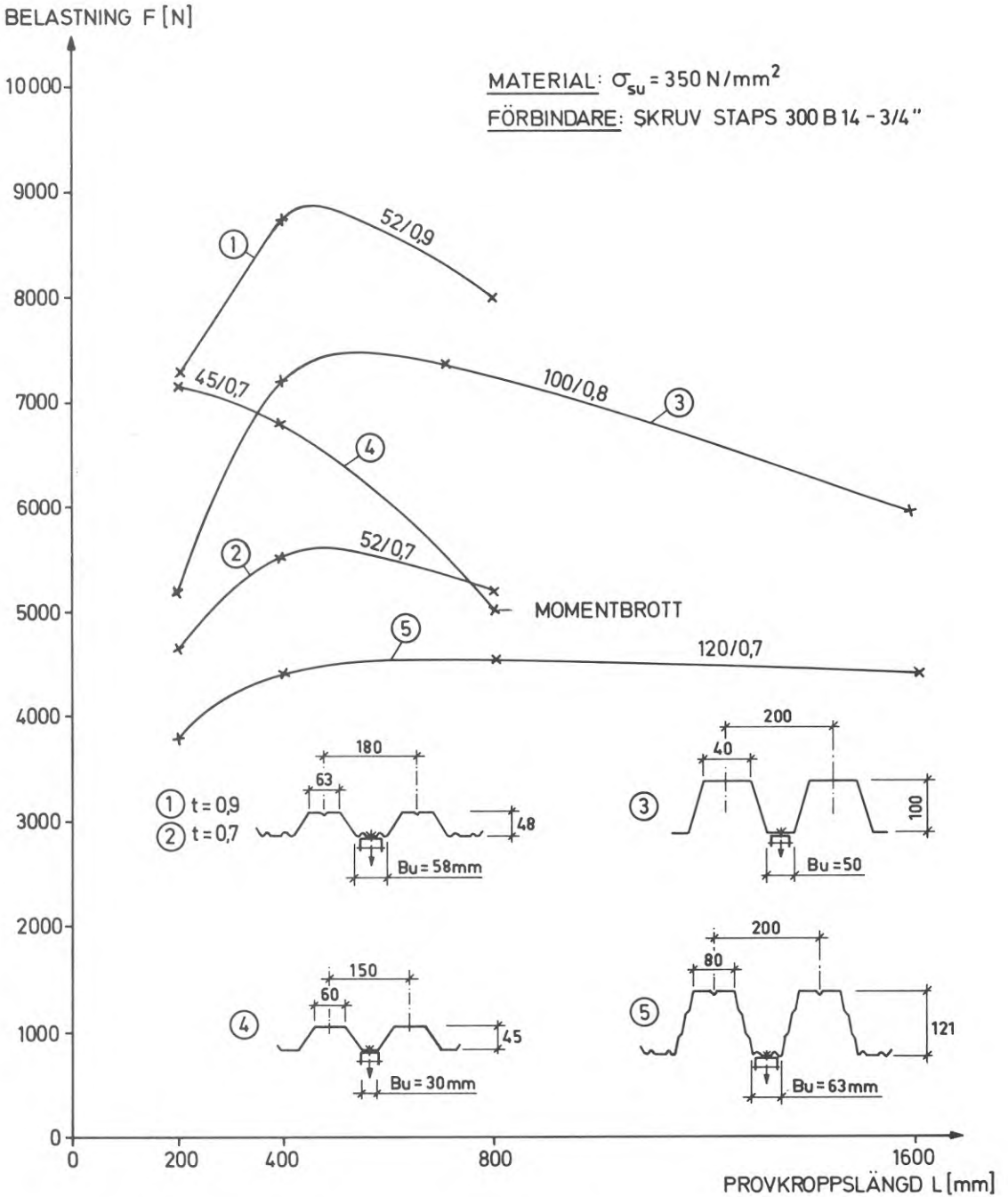


FIG 4.20. Utdragshållfasthet vid trapetsprofilerad plåt

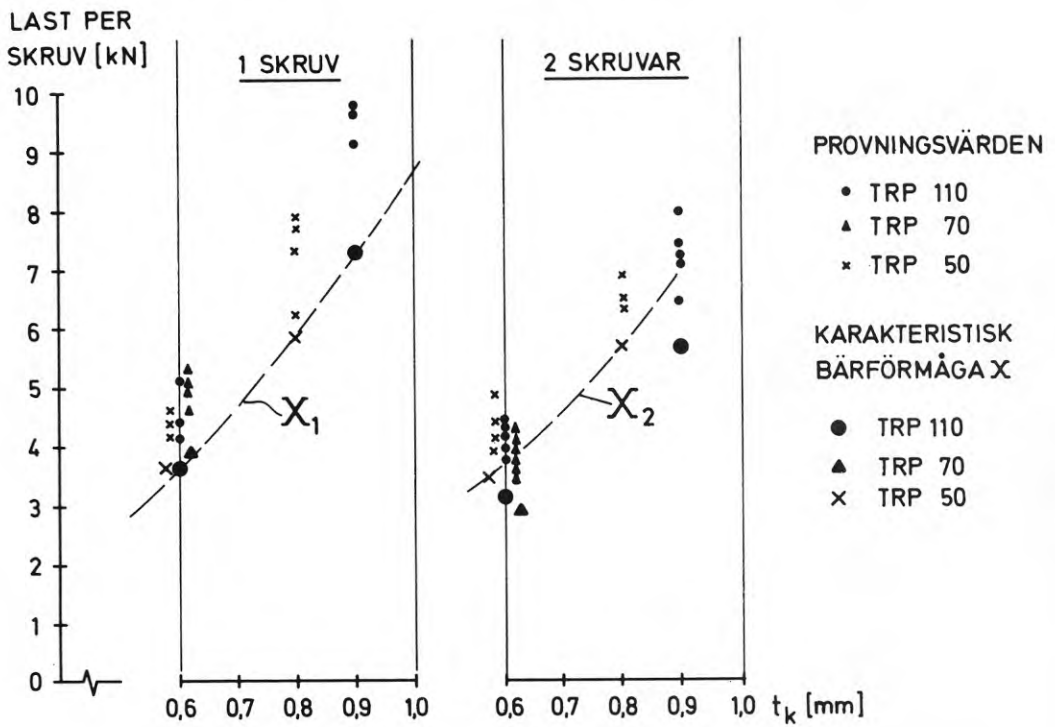


FIG 4.21. Resultat från utdragsprov vid TRP 50, 70 och 110 med 1 resp. 2 skruvar STAPS 300 B 14

Formändringarna uppgår vid tillåten belastningsnivå till ca 6 mm med en kvarstående deformation om ca 3 mm, vilket anses acceptabelt med tanke på att belastningsnivån motsvarar vindstyrkan som uppträder en gång per 50 år.

4.33 Skjuvförsök (dynamisk belastning)

För tunnplåtsförband, utsatta för upprepade eller dynamiska belastningar saknas hittills dimensioneringsunderlag i Sverige. Utnyttjandet av skivverkan i byggnader med lätta traverser, ofrivillig dynamisk påverkan i svängningsbenägna konstruktioner och en vidgad användning av tunnplåtskonstruktioner även utanför den egentliga byggsektorn gör det emellertid nödvändigt att kunna bedöma förbindningarnas dynamiska hållfasthet.

Detta utgör bakgrunden till dynamiska provbelastningar vid skjuvförband med hålnitar i stål, monelmetall och aluminium.

Totalt omfattar provningen 20 provserier med ca 20 provkroppar i varje serie. Med målsättningen att kunna framlägga Wöhlerkurvor utförs provningarna på tre olika spänningshorisonter, som approximativt skall motsvara lastväxlingstalen $N = 30.000$, 100.000 och 500.000 .

Provningen utförs i MTS-universalprovningssmaskin i form av dragpulsering.

Följande parameter varierar:

Spänningsförhållande: $R = P_{\min}/P_{\max} = 0,1; 0,25; 0,5$

Frekvens: $f = 25; 5; 1$ Hz

Plåttjocklek: $t = 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; 1,2; 1,5; 2,0$ mm

Materialhållfasthet: $F_y = 250; 280; 350$ N/mm²

Nitdiameter: $d = 3,2; 4,0; 4,8; 6,4$ mm

Provkropparna belastas från 0 till P_{\max} , varefter en avlastning till lastnivån $1/2(P_{\max} + P_{\min})$ sker. Därefter påförs den dynamiska belastningen.

Deformationsmätningen sker med 2 extensometrar med vardera 4 foliegivare.

Som ett resultat från dessa provningar redovisas i FIG 4.22 Wöhlerkurvor för hålnitförband med nitar av stål, monelmetall och aluminium ($d = 4,8$ mm) i 0,9 mm stålplåt med hållfastheten $F_y = 350$ N/mm².

Brottorsaken har i regel varit hålkantflytning i kombination med sprickbildning i hålkanten och snedställning av niten.

Kurvorna representerar en överlevnadssannolikhet om 95 % i överensstämmelse med definitionen för karakteristisk bärförmåga enligt svensk norm.

För stålningar redovisas Wöhlerkurvor för spänningsförhållandet $R = 0,1$; $0,25$ och $0,5$ (B, E, F), för aluminium och monelningar för $R = 0,1$ (C, D). Det framgår av diagrammet att Wöhlerkurvorna i dubbellogaritmisk framställning approximativt utgör räta linjer inom området $10^4 \lesssim N \lesssim 10^6$ lastväxlingar.

PROV-SERIE	$R = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}$	FREKV. Hz	PROVPLÅT			FLÄNSELEMENT: NITAR (USM)	
			t_k [mm]	σ_{su} [MPa]	KVAL.	ϕ [mm]	MATERIAL, BETECKNING
B	0,1	25	0,77	433	SUB350	4,8	STÅL; STÅLSPLINT; SD 630 BS
C	0,1	25	0,72	474	---	4,8	MONEL; STÅLSPLINT; LD 630 BS
D	0,1	25	0,74	467	---	4,8	ALUMINIUM; --- ; AD 66 BSLF
E	0,25	25	0,80	405	---	4,8	STÅL; STÅLSPLINT; SD 630 BS
F	0,50	25	0,77	463	---	4,8	STÅL; STÅLSPLINT; SD 630 BS

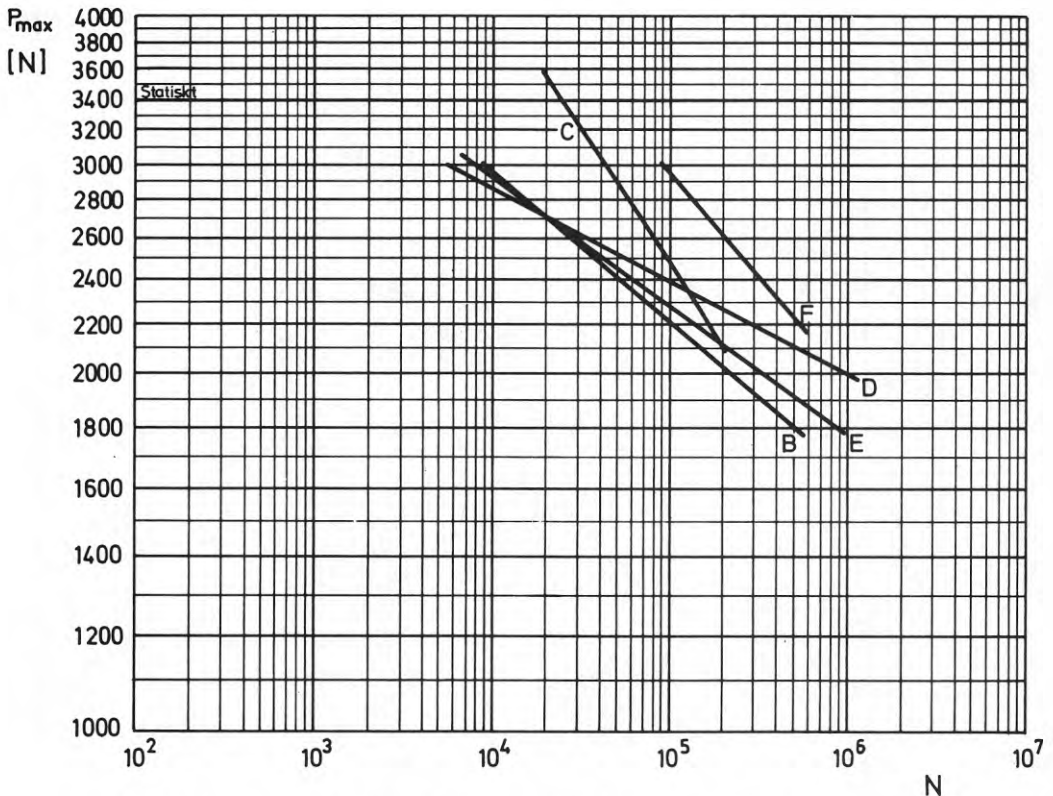


FIG 4.22. Utmattningsprovning av tunnplåtsförband med olika nittyper

5 TILLÄMPNING AV FORSKNINGRESULTAT

Ovan redovisade forskningsarbeten ligger centralt inom ett expansivt utvecklingsområde. Detta medför att den långsiktiga forskningen ofta överlagras av akuta kunskapsbehov som bör tillfredsställas antingen för att främja utvecklingen eller för att undvika misstag. Följden av detta har blivit ett intimt växelspel mellan forskning och tillämpning men också ett värdefullt kunskapsunderlag för den fortsatta forskningen, även om en störning av den planlagda forskningen ofta upplevs som irriterande av den enskilde forskaren.

Resultat av experimentella och teoretiska undersökningar har funnit tillämpning i såväl konstruktionsnormer [2, 7, 9] som standardiseringsdokument.

Standardiseringsarbete utförs i en teknisk kommitté "Stålkonstruktioner" (TK 83) inom BYGGSTANDARDISERINGEN. Med hänsyn till att vid utveckling av nya produkter men även i samband med komplicerade konstruktionselement ofta en dimensionering genom provning i stället för en analytisk behandling företas, har intresset i första hand inriktats på en standardisering av provningsmetoder och utvärderingsmetodik.

I det följande ges en kortfattad redovisning av standardiseringsprojekt avseende provningsförfaranden inom tunnplåtssektorn, som är under bearbetning eller avslutade.

5.1 Provning av profilerad plåt

Provningsföreskrifter för bestämning av bärförmåga avser jämnt fördelad last [13] respektive koncentrerad last [14]. Standarden beräknas gälla från hösten 1975.

5.11 Jämnt fördelad last [13]

Denna standard beskriver provningsmetoder som ger upplysning om styvhet, momentkapacitet och upplagsreaktion vid jämnt fördelad last.

Provningsanordningen för bestämning av fältmoment, stödmoment och upplagsstryck illustreras i FIG 5.1.

Som alternativ provningsmetod för bestämning av momentupptagningsförmåga över stöd tillåts provning av kontinuerlig tvåfältsbalk med 4 linjelaster i vardera fältet.

Vid utvärderingen av provningsresultat korrigeras avvikelser från nominella värden i fråga om hållfasthet F_g och plåttjocklek t enligt fastställd metod, varefter den karakteristiska hållfastheten R_0 bestäms enligt sambandet

$$R_0 = R_m (1 - C_5 \cdot \delta)$$

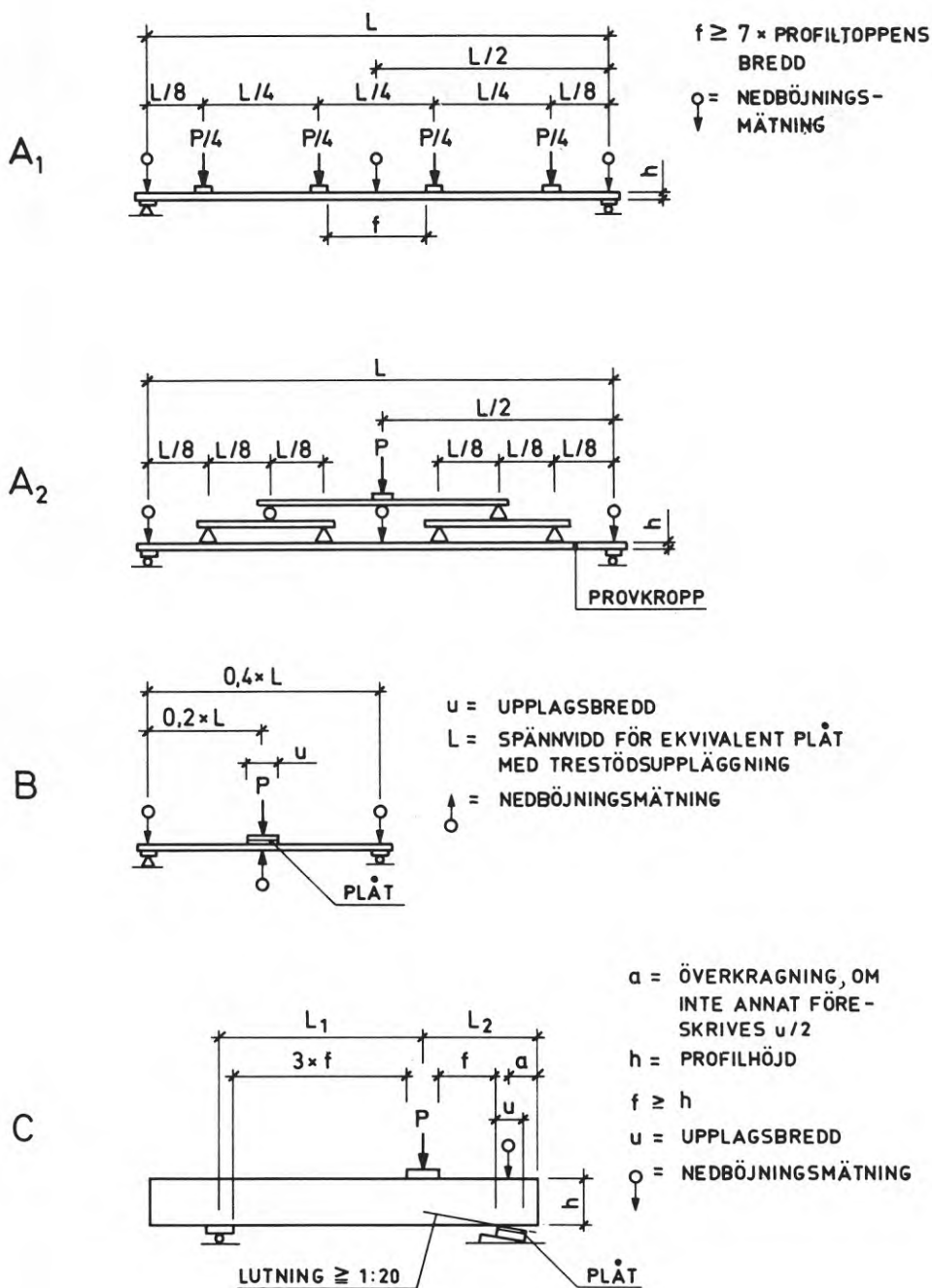


FIG 5.1. Provningsanordning för bestämning av fältmoment (A), stödmoment (B) och upplagsstryck (C)

där R_m är medelvärdet av försöksresultaten

C_5 är en koefficient som beror av antalet mätvärden enligt nedanstående tabell

δ är variationskoefficienten, bestämd med utgångspunkt från en till försöksvärdena anpassad kurva ($R = f(t)$).

Antal mätvärden	3	4	5	6	8	10	15	20	40
C_5	3,2	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8

Härvid förutsätts att vid statistiskt normalfördelade mätvärden den karakteristiska bärförmågan med 95 % sannolikhet inte underskrids vid 75 % konfidensnivå.

5.12 Koncentrerad last [14]

Denna standard beskriver metod för bestämning av plåtens förmåga att bära personlast (gåbarhet) och tillfälliga lokala laster i samband med isolerings- och taktäckningsarbete.

Provningsförfarandet redovisas i FIG 5.2.

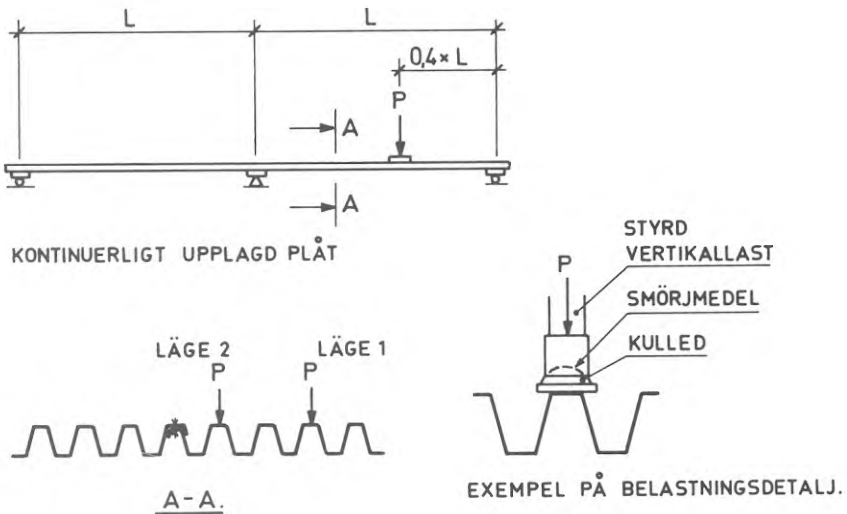


FIG 5.2. Provningsanordning för koncentrerad belastning

Lasten appliceras i det farligaste av lägena 1 och 2 via en träkub med basmått 100 mm och höjden 45 mm. Lasten påförs i steg med avlastning mellan varje steg till noll, varvid kontrolleras att den kvarstående nedböjningen hos belastad profiltopp jämförd med närmast intill liggande inte överstiger 3 mm.

Gåbarhetskriteriet för profilerad plåt är att denna kvarstående nedböjning om 3 mm inte får överskridas samt att kvarstående bucklor inte får uppträda vid avlastning från nivån 1 kN. Det nämnda kriteriet grundar sig på fältundersökningar, där personens subjektiva bedömning av gåbarhet kvantifierats i angivna formändringar.

5.2 Provning av förband

Provningsföreskrifter för tunnplåtsförband avser skjuvprov [15] respektive utdragsprov [16]. Förslag till standard är för närvarande under diskussion; standarden beräknas gälla från 1976.

5.21 Skjuvprov [15]

Aktuellt förslag till provningsmetod avser infästning av tunnplåt till annan tunnplåt eller upplag av metall, betong eller trä.

Alternativa provningsanordningar redovisas i FIG 5.3 för förbindning av tunna plåtar (A) och för infästning av tunnplåt i grövre plåt (B) respektive upplag av trä eller betong. Vid provningen används förbindning med 2 fästdon. Plåtens bredd skall vara 60 mm.

Under provningen registreras kraft-deformationssambandet, varvid förlängningen mäts över mätlängden L_0 enligt FIG 5.3.

För utvärdering av mätresultaten tillämpas åter statistisk metod, varvid dimensionerande brottlast R_0 bestäms enligt sambandet

$$R_0 = R_m - k \cdot s$$

varvid

R_m = medelvärdet av försöksresultat

k = en faktor som beror på antalet mätvärden (jfr tabell enl. 5.11)

s = standardavvikelsen

5.22 Utdragsprov [16]

Standarden avser bestämning av utdrags- eller överdragslast vid infästning mellan trapetsprofiler och plåt och upplag.

Alternativa provningsanordningar för utdragsprov redovisas i FIG 5.4, varvid spännvidden för provet skall motsvara ca 6 ggr profiltjockleken. Provlängden motiveras av att utbildningen av en trätt kring fästdonet inte hindras. Å andra sidan måste också beaktas att inte profilen i sin helhet viker sig.

Lastpåföringen skall göras i minst fem laststeg med återgång till obelastat tillstånd mellan varje laststeg. Provningshastigheten får inte överskrida 20 mm/min.

Under provningen registreras kraft-deformations sambandet avseende rörelsen mellan fästdonets överkant och profiltoppen.

Utvärderingen av mätresultat sker enligt samma principer som redovisats under 5.21.

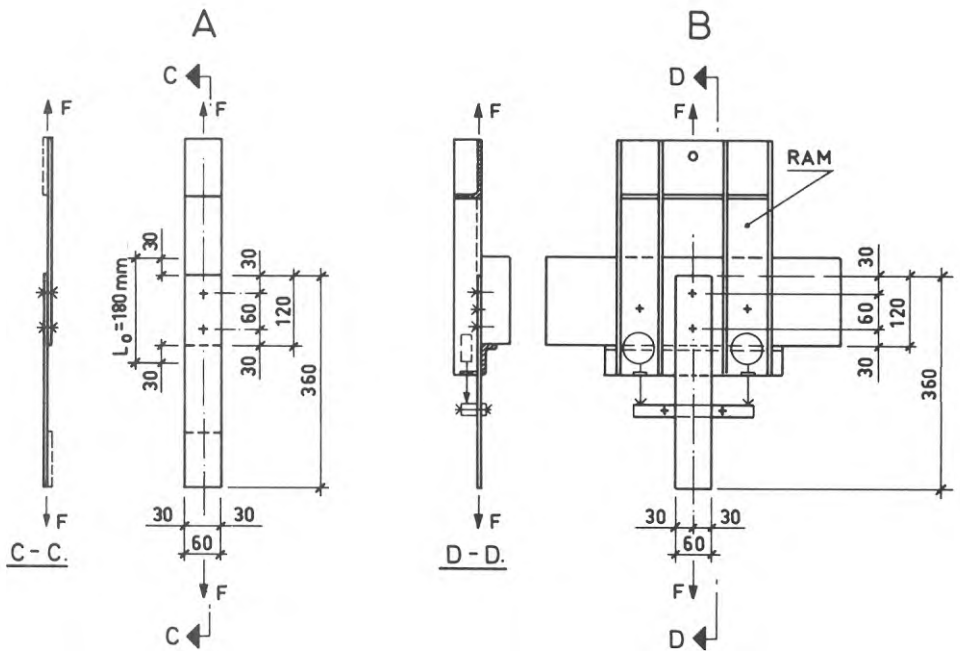


FIG 5.3. Provningsförfaranden för skjuvbelastat förband

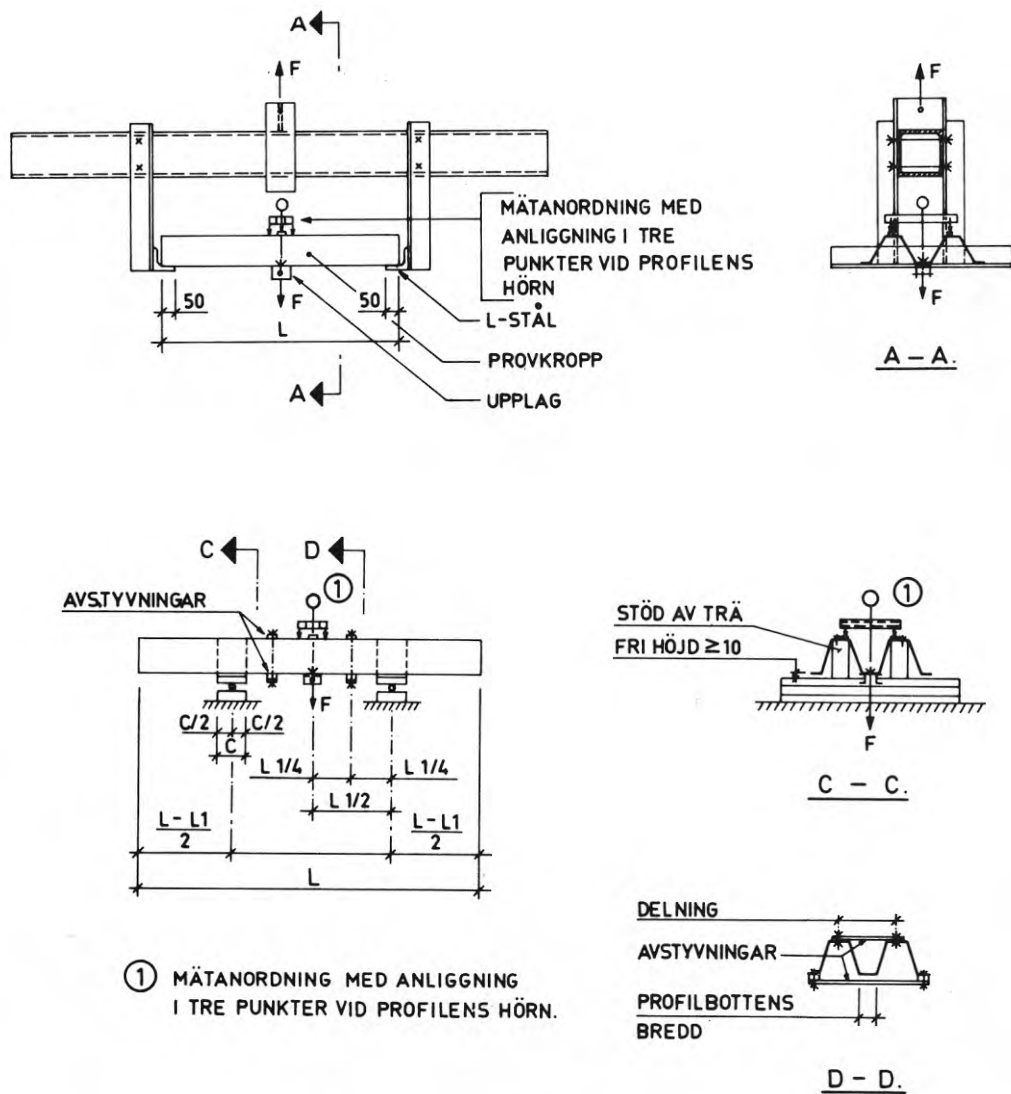


FIG 5.4. Provningsanordningar för utdragsförsök

LITTERATURREFERENSER

- [1] Baehre, R & Berggren, L, "Hopfogning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner 2". BFR-rapport R30:1971.
- [2] "Tunnplåtsförband". BFR Informationsblad B14:1971.
- [3] Baehre, R, "Building Systems in Housing Construction - Points of Criticism". Bidrag till Polskt-Svenskt Symposium 1973, publicerat i Perspectives of Development of Housing Industrialization, Swedish Council for Building Research.
- [4] Baehre, R, "Lightweight Structural Components for Floors and Walls". Bidrag till Svenskt-Polskt Symposium 1975, BFR.
- [5] Baehre, R & Thomasson, P O, "Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning". BFR-rapport R10:1971.
- [6] Baehre, R & Nyberg, G, "Stabilisering av byggnader genom ytbärverk av profilerad plåt". BFR-rapport R4:1974.
- [7] Baehre, R & König, J, "Skivverkan av trapetsprofilerad plåt" (Dimensionering, utförande, provning). Byggeforskningens informationsblad B1:1975.
- [8] Larssen, J F, "Lättbärverk med samverkande blandkomponenter". BFR-rapport R75:1973.
- [9] Tunnplåtskonstruktioner. Regler för dimensionering, utförande och kontroll av tunnplåtskonstruktioner, Godkännanderegler nr 3. Utgiven av Statens planverk 1974.
- [10] "Specifications for the Design of Cold-formed Steel Structural Members", 1968 Edition. American Iron and Steel Institute, New York.
- [11] STÅLBYGGNADSNORM 70, StBK-N1. Statens Stålbyggnadskommitté.
- [12] Bryan, E, "The Stressed Skin Design of Steel Buildings". Constrado Monographs, Gosby Lockwood Staples, London, 1972.
- [13] Profilerad plåt. Bestämning av bärförmåga vid jämnt fördelad last. Förslag till Svensk Standard SIS
- [14] Profilerad plåt. Bestämning av bärförmåga vid punktlaster. Förslag till Svensk Standard SIS
- [15] Tunnplåtsförband. Bestämning av skjuvhållfasthet. Förslag till Svensk Standard SIS
- [16] Infästning av profilerad plåt. Bestämning av hållfasthet vinkelrät plåtplanet. Förslag till Svensk Standard SIS

R 61: 1975

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 710913-8 C913 från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för stålbyggnad, KTH, Stockholm.

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: konstruktion**

Pris: 16 kronor + moms