



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

R75:1973

TEKNISKA HÖRSKOLEN I GÖTEBORG
SEXTIONEN FÖR BYGG- OCH VATTEN
BYGGGIFORSKNINGEN

**Lättbärverk med
samverkande
blandkomponenter**

Jens-Fredrik Larssen

Byggforskningen

Lättbärverk med samverkande blandkomponenter

Jens-Fredrik Larssen

Rapporten behandlar översiktligt statistiska frågeställningar kring bärverkselement av samverkande blandkomponenter (tunnplåtsprofiler, skivor av artfrämmande material). Den utgör ett delprojekt inom ramen för det forskningsarbete som bedrivs vid avdelningen för stålbyggnad (KTH) och som avser "Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning - Förstyvade plattfältets funktion och bärförmåga".

Analysens fortsatta behandling som innefattar experimentella och teoretiska studier av aktuella bärverkstyper, kommer att integreras i avdelningens fortsatta forskningsprogram.

Bakgrund

Det snabbt ökande utbudet av tunnplåt med garanterade hållfasthetsvärden och hög förädlingsgrad från metallindustrin och olika skivprodukter från skogs- och övriga industrier har givit impulser till en lättbyggnadsteknik inom husbyggnadssektorn, där flera material ingår i bärverket.

För denna lättbyggnadsteknik generellt har översiktligt redogjorts i en tidigare rapport av Baehre, Thomasson, "Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning. Förstyvade plattfältets funktion och bärförmåga". Statens institut för byggnadsforskning, rapport R10:1971.

Fördelen med blandkomponentlösningar är möjligheten till materialval av det bärande ytbeväpnade skiktet, anpassat till funktion och krav. Skivor, som tidigare enbart har använts som beklädnadsmaterial, får således ytterligare en funktion som lastupptagande ytskikt, vilket innebär att den totala materialåtgången reduceras.

Samverkande blandkomponenter

Blandkomponenten består av flera hopfogade samverkande material.

Problemanalysen koncentreras i rapporten på bärverkselement uppbyggda av tunnplåtsprofil som baskomponent med ytskikt av ett artfrämmande material, exempelvis plywood. Detta innebär att arbetskurvorna för blandmaterialen har olika utseende och att säkerhetsproblemen samt de nominella säkerhetsfaktorerna är olika.

Delkomponenternas påkänningar i bruksstadiet

Rapporten redogör för de samverkande materialens påkänningar i bruks- och

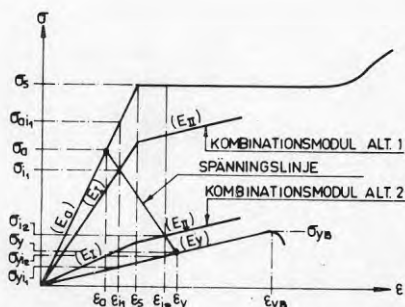


FIG. 1. Arbetskurvor för samverkande material.

brotsstadiet.

I FIG. 1 visas i princip arbetskurvorna för plåt- och skivmaterial. Beträktas blandkomponenten (plåt och skiva) som ett ideellt material kan dess ideella elasticitetsmodul, även kallad kombinationsmodulen, uttryckas som en funktion av de båda blandmaterialens areor och elasticitetsmoduler.

Varje delkomponents hållfasthetsegenskaper läggs till grund för bedömning av blandedementet som helhet. Linjen mellan punkterna σ_a/ϵ_a och σ_y/ϵ_y benämnes spänningslinjen där σ_a och σ_y anger plåt- resp. skivmaterialens påkänningar i bruksstadiet. Skärningspunkten mellan spänningslinjen och kombinationsmodulen anger blandkomponentens ideella påkänning σ_i i bruksstadiet. Denna motsvarar plåtpåkänningen σ_{ai} och skivpåkänningen σ_{yi} . Påkänningarna varierar med materialens dominerande statistiska egenskaper inom blandkomponenten (jfr. kombinationsmodul alt. 1 och alt. 2).

Som framgår i FIG. 1 kan plåtmaterial ha uppnått flytgränsen redan i bruksstadiet och dess säkerhetsfaktor ha reducerats till noll. För skivmaterial är emellertid påkänningen mindre och följaktligen säkerhetsfaktorn större än den normalt tillåtna.

FIG. 2 visar arbetskurvorna för kombinationsmaterialen vid på- och avlastning där brukspåkänningen i plåtmaterial är lika med σ_s . Pålastningen till bruksstadiet försäkras av flytning av plåtmaterial. En avlastning från bruksstadiet med efterföljande pålastning ändrar blandkomponentens spänningsupptagande egenskaper. Plåtmaterial uppnår sträckgränsen utan att detta flyter.

Arbetskurvorna för vanligen förekommande plåtmaterial saknar ibland ett karakteristiskt flytområde. Fram-

Bygghorsningen Sammanfattningar

R75:1973

Nyckelord:

lättbärverk, tunnplåtskonstruktion, blandkomponenter (byggnadsteknik), bärverkselement

Rapport R75:1973 hänför sig till anslag C 913 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för stålbyggnad, KTH, Stockholm.

UDK 691.7
691.116
624.016
SfB (29)
ISBN 91-540-2232-0

Sammanfattning av:

Larssen, J-F, 1973, *Lättbärverk med samverkande blandkomponenter*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R75:1973, 40 s., ill. 14 kr.

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

ställningen av kombinationsmodulen utanför det elastiska området utföres lämpligen grafiskt enligt FIG. 3. Förfaringssättet framgår ur rapporten.

Bärverkets utformning och lastupptagningsförmåga

För beräkning av ett bärverkets lastupptagningsförmåga i bruksstadiet söks med utgångspunkt från diagram, se exempel enligt FIG. 4, ett statiskt optimalt tvärsnitt representerat genom samhörande värden för X_1 , X_2 och X_3 . Dessa sektionsstorheter står i direkt relation till tvärsnittets dimensioner och utformning.

Med beaktande av den i rapporten redovisade böjningsteorin kan bärverkets lastupptagningsförmåga beräknas med hjälp av de erhållna sektionsstorheterna och de givna materialkonstanterna. FIG. 5.

Kommentar och utblick

I rapporten härledda uttryck och ekvationer för beräkning av bärverk med samverkande blandkomponenter grundar sig på ideella förutsättningar.

Som beräkningsexempel betraktas dock ett bärverk med givna värden utsatt för ett böjande moment.

Vid lättbärverk av tunnväggiga profiler kan ett flertal instabilitetsformer bli aktuella, varför lastupptagningsförmågan kan bli mindre än den teoretiskt beräknade.

Vid en viss kritisk tryckspänning kan de tunnväggiga oavstyvade partierna undandra sig lastupptagning genom utbuckling. Detta resulterar i ett totalt brott eller en spänningsomlagring till styvare partier. Det relativt styva ytskiktet i den tryckta zonen bidrar emellertid till en avstyvande verkan för den tryckspänningspåverkade livavstyvningen.

För att ett lättbärverk skall kunna motstå transversalbelastningar fordras därför förutom böjstyvhet en avpassad säkerhet mot instabilitet. Den stora valfriheten medger en sektionutformning som kan anpassas för detta. Det bör dock observeras att skivmaterialens instabilitet på grund av fukt, temperaturskillnader etc. för sektionen i övrigt utsätter bärverket för normalspänningar.

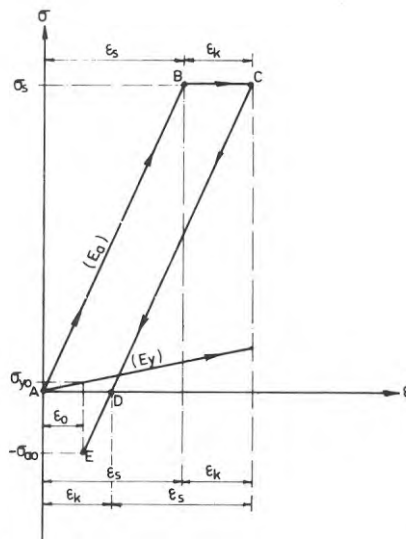


FIG. 2. Arbetskurvor för kombinationsmaterial plåt och skiva vid på- och avlastningar.

- Pålastning A-B: $\epsilon = \epsilon_s$
- Lastökning B-C: $\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_k$
- Avlastning C-D: $\epsilon = \epsilon_k$
- Total avlastning C-E: $\epsilon = \epsilon_0$ (kvarstående töjning)
- Pålastning E-D-C: $\epsilon = \epsilon_k - \epsilon_0 + \epsilon_s$

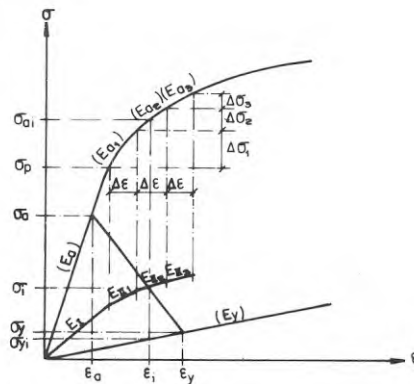


FIG. 3. Grafisk framställning av kombinationsmodulen och delkomponenternas påkänningar i bruksstadiet. Delkomponenternas påkänning σ_{ai} och σ_{yi} avläses ur figuren.

Lättbärverkets funktionssätt förutsätter en tillfredsställande fogningsmetod mellan profil och ytskikt samt skarvning av skivmaterialet. En speciell undersökning fordras därför beträffande dessa problem.

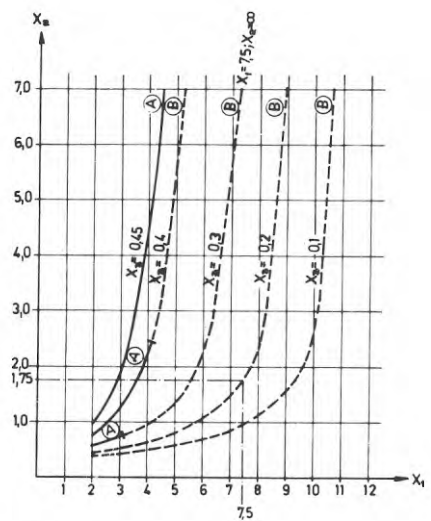


FIG. 4. Diagram över sammanhörande värden för X_1 , X_2 och X_3 vid statisk optimering av tvärsnitt.

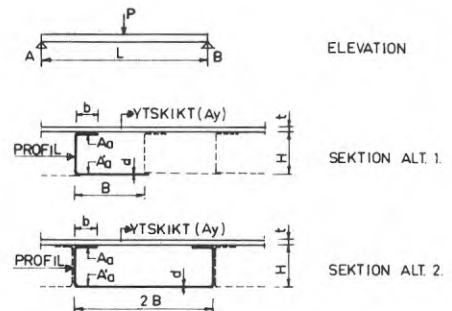


FIG. 5. Lättbärverk av valsade tunnplåtsprofiler med ytskikt av arifrämmande material.

Sektionsstorheter:

$$X_1 = \frac{t}{d}; \quad X_2 = \frac{B}{H}; \quad X_3 = \frac{b}{B}$$

Målsättningen är att via teoretisk behandling och praktiska försök kunna ge ett beräkningsunderlag för dimensionering av lättbärverk med samverkande blandkomponenter för olika typer av belastningar.

Lightweight structural elements comprising interacting mixed components

Jens-Fredrik Larssen

National Swedish Building Research Summaries

R75:1973

This report reviews structural problems associated with structural elements consisting of interacting mixed components (sheet metal sections and panels of a different material). It is a sub-project within the framework of the research being done at the Department of Steel Construction (Royal Institute of Technology, Stockholm), entitled "Sheet metal panels in building construction — the function and loadbearing capacity of stiffened plates."

Continued treatment of the analysis, comprising experimental and theoretical studies of types of structure of interest, will be integrated in the continued research programme of the Department.

Background

The rapidly increasing availability of sheet metal with a high degree of finish and guaranteed strengths from the metal industry, and of different panel products from the forestry and other industries, has given the impetus for the employment of lightweight construction techniques in the housing sector which uses a number of materials in the loadbearing structure.

An outline of the technique in general was given in an earlier report by Bæhre and Thomasson, entitled "Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning. Förstyvade plattfältets funktion och bärförmåga". (Sheet metal panels in building construction. Function and load-bearing capacity of stiffened plates), Report R10:1971 from the National Swedish Institute for Building Research.

The advantage of the mixed component solution is that the material of the loadbearing space enclosing layer can be selected in view of function and requirements. Panels which were previously used only as cladding material are thus given another function as a loadbearing external layer, which implies that the total material consumption is reduced.

Interacting mixed components

The mixed component consists of several materials which are joined together to form an interacting composite unit.

In the report, analysis of this problem concentrates on structural elements made up of *sheet metal sections* as the basic component and an external layer of a *different material*, for instance plywood. This means that the stress-strain curves for the materials have different shapes and that the problem of safety and the nominal factors of safety are different.

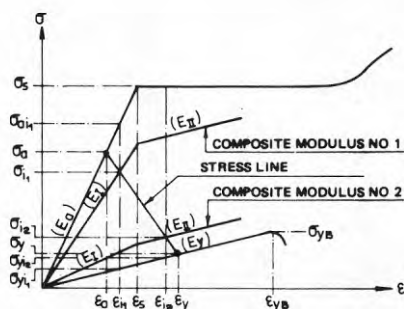


FIG. 1. Stress-strain curves for interacting materials.

Stresses in the part components in the working range

The report gives an account of the stresses in the interacting materials in the working range and ultimate stage.

FIG. 1 shows typical stress-strain curves for the sheet metal, and the panel material. If the mixed component is considered as *one* ideal material, then its ideal modulus of elasticity, also called the composite modulus, can be expressed as a function of the areas and moduli of elasticity of the two materials.

The strength characteristics of each part component are used as the basis in assessing the mixed component as a whole. The line connecting the points σ_a/ϵ_a and σ_y/ϵ_y is called the stress line where σ_a and σ_y are the stress in the working range in the sheet metal and panel material respectively. The point of intersection between the stress line and the composite modulus line gives the ideal stress σ_i in the mixed component in the working range. This is equivalent to the sheet metal stress σ_{ai} and the panel stress σ_{pi} . The stresses vary depending on which material in the mixed component has the dominant structural characteristics (see alternative composite moduli Nos 1 and 2).

As will be evident from FIG. 1, it is possible for the sheet metal to have reached the yield point already in the working range and for its factor of safety to have been reduced to nil. For the panel material, however, the stress is lower and consequently the factor of safety is higher than that normally permitted. FIG. 2 shows the stress-strain curves for the composite material during application and removal of the load, the working stress in the sheet metal being equal to σ_s . Application of load in the working range causes the sheet metal material to yield. Removal of load and its subsequent re-application changes the stress resistance capacity of the mixed component. The sheet metal now reaches

Key words:

lightweight structural elements, sheet metal panel construction, mixed components (building technology), structural element

Report R75:1973 refers to Research Grant C 913 from the Swedish Council for Building Research to the Department of Steel Construction, at the Royal Institute of Technology, Stockholm.

UDC 691.7
691.116
624.016
SfB (29)
ISBN 91-540-2232-0

Summary of:

Larssen, J-F, *Lightweight structural elements comprising interacting mixed components*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R75:1973, 40 p., ill. 14 Sw. Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

Rapport R 75:1973

LÄTTBÄRVERK MED SAMVERKANDE
BLANDKOMPONENTER

av Jens-Fredrik Larssen

Rapport R 75:1973 hänför sig till anslag C913 från Statens råd för byggnads-
forskning till Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm

INNEHÅLL

	BETECKNINGAR	4
1	INLEDNING	5
2	SAMVERKANDE BLANDKOMPONENTER	6
2.1	Kombinationsmodulen	6
2.2	Spänningslinjen	8
2.3	Modulstadium A och B i bruksstadiet	9
2.4	Grafisk framställning av kombinationsmodulen och delkomponenternas påkänningar i bruksstadiet	13
3	LÄTTBÄRVERK UTSATT FÖR BÖJNING	15
3.1	Påkänningar inom modulstadium A	15
3.2	Påkänningar inom modulstadium B	16
3.3	Arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningen ...	18
4	STATISK OPTIMERING AV TVÄRSNITT	22
4.1	Statisk optimering av tvärsnitt vid modulstadium A ...	22
4.2	Statisk optimering av tvärsnitt vid modulstadium B ...	23
4.3	Bedömning av säkerhet och påkänningar med utgångspunkt från bruks- resp. brottstadiet	26
5	SAMMANFATTANDE BEHANDLING AV LÄTTBÄRVERKETS LASTUPPTAGNINGSFÖRMÅGA	29
5.1	Beräkning av lastupptagningsförmågan inom modulstadium A	29
5.2	Beräkning av lastupptagningsförmågan inom modulstadium B	30
5.3	Statisk ekonomisk optimering av lastupptagningsförmågan	32
6	SAMMANFATTNING OCH UTBLICK	33
7	BERÄKNINGSEXEMPEL	34

BETECKNINGAR

σ_a	Tillåten plåtpåkänning	(N/mm ²)
σ_{ai}	Blandkomponentens plåtpåkänning i bruksstadiet	(N/mm ²)
σ_p	Plåtmateriallets prop. gränspåkänning	(N/mm ²)
σ_s	Plåtmateriallets sträckgränspåkänning	(N/mm ²)
σ_{aB}	Plåtmaterialwts brottgränspåkänning	(N/mm ²)
σ_j	Plåtmateriallets påkänning inom konsolideringsområdet	(N/mm ²)
σ_y	Tillåten skivpåkänning	(N/mm ²)
σ_{yi}	Blandkomponentens skivpåkänning i bruksstadiet	(N/mm ²)
σ_{yB}	Skivmateriallets brottgränspåkänning	(N/mm ²)
σ_i	Blandkomponentens ideella påkänning i bruksstadiet	-
B	Sektionsbredd	(mm)
H	Sektionshöjd	(mm)
d	Sektionens plåttjocklek	(mm)
b	Sektionens plåtbredd vid övre fläns	(mm)
t	Sektionens skivtjocklek	(mm)
A_a	Blandkomponentens plåtarea	(mm ²)
A_y	Blandkomponentens skivarea	(mm ²)
A'_a	Arean av sektionens undre fläns	(mm ²)
X_1	Sektionsstorheten t/d	-
X_2	Sektionsstorheten B/H	-
X_3	Sektionsstorheten b/B	-
E_a	Plåtmateriallets elasticitetsmodul	(N/mm ²)
E_y	Skivmateriallets elasticitetsmodul	(N/mm ²)
E_I	Blandkomponentens elasticitetsmodul för $\epsilon < \epsilon_s$	(N/mm ²)
E_{II}	Blandkomponentens elasticitetsmodul för $\epsilon > \epsilon_s$	(N/mm ²)

$$\text{N/mm}^2 = 10^{-1} \text{ kp/mm}^2 = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\text{N/m}^2 = 10^{-7} \text{ kp/mm}^2 = 10^{-6} \text{ N/mm}^2$$

1 INLEDNING

Det snabbt ökande utbudet av tunnplåt med garanterade hållfasthetsvärden och hög förädlingsgrad från metallindustrin och olika skivprodukter från skogs- och övriga industrier har givit impulser till en lättbyggnadsteknik inom husbyggnadssektorn, där flera samverkande material ingår i bärverket. Ytbärverks-elementen är uppbyggda av tunnplåtprofiler som baskomponent med ytskikt av artfrämmande material. Fördelen med blandkomponentlösningar är möjligheten till materialval av det bärande ytbegränsande skiktet, anpassad till funktion och krav. Skivor, som tidigare enbart har använts som beklädnadsmaterial, får således ytterligare en funktion som lastupptagande ytskikt, vilket innebär att den totala materialåtgången reduceras. Fördelarna vid tillämpning av denna lättbyggnadsteknik överhuvudtaget har redogjorts i en tidigare rapport (R10:1971) och karakteriseras av:

- rationellt utnyttjande av materialhållfastheten
- stor lastupptagningsförmåga i förhållande till bärverkets vikt
- hög förädlingsgrad genom prefabrikation med industriella tillverkningsprocesser under klimatoberoende arbetsmiljö
- möjlighet att framställa lätta volymelement med minskade transport- och montagekostnader.

Syftet med denna rapport är att översiktligt behandla statistiska frågeställningar kring bärverkselement av samverkande blandkomponenter.

Ämnesområdet utgör ett delprojekt inom ramen för det forskningsarbete, som med ekonomiskt stöd från BFR bedrivs vid Avdelningen för Stålbyggnad (KTH) och som avser "Plåtpaneler i byggnadsteknisk användning - Förstyvade plattfälts funktion och bärförmåga."

Problemanalysen har utförts i nära samarbete med Avdelningen för Stålbyggnad och den fortsatta behandlingen innefattande experimentella och teoretiska studier av aktuella bärverkstyper, kommer att integreras i avdelningens forskningsprogram.

2 SAMVERKANDE BLANDKOMPONENTER

Blandkomponenten består av flera hopfogade och samverkande material. Som ovan nämnts skall i fortsättningen intresset koncentreras på bärverkselement uppbyggda av tunnplåtprofiler som baskomponent med ytskikt av ett artfrämmande material. Det förutsättes därför att blandkomponenten består av tunnplåt och ett valfritt skivmaterial. Detta innebär att arbetskurvorna för blandmaterialen har olika utseende och att säkerhetsproblemen samt de nominella materialknytna säkerhetsfaktorerna är olika.

2.1 Kombinationsmodulen

FIG. 1 visar i princip en provstav bestående av två hopfogade och samverkande material, det ena av tunnplåt, det andra av en skiva. Tvärsnittsarea och elasticitetsmodul för resp. material är A_a och E_a resp. A_y och E_y .

Utsättes staven för en yttre drag- eller tryckkraft P , får denna en töjning resp. en stukning $\delta_L = L \cdot \epsilon$ %, vilket motsvarar ϵ % av provstavens ursprungliga längd L . Påkänningen σ varierar med ϵ och framgår av FIG. 2 som i princip visar arbetskurvorna för plåt- och skivmaterialet. För enkelhetens skull förutsättes här och i fortsättningen att skivmaterialets elastiska område sträcker sig till brott och att arbetskurvan för plåtmaterialet uppvisar ett typiskt flytområde. Denna förutsättning är ej nödvändig för det fortsatta resonemanget. Arbetskurvan t ex för plåtmaterialet kan ha ett annat utseende (jfr. avsn. 2.4). Förutsättningarna ovan medger däremot enklare beräkningsförutsättningar, vilket även är syftet med denna redogörelse.

Betraktas blandkomponenten som ett ideellt material kan dess ideella elasticitetsmodul, även kallad kombinationsmodulen (se FIG. 2), uttryckas som en funktion av de båda blandmaterialens areor och elasticitetsmoduler.

$$\text{För } 0 < \epsilon < \epsilon_S \quad \text{är } E_I = \frac{A_a \cdot E_a + A_y \cdot E_y}{A_a + A_y}$$

$$\text{För } \epsilon > \epsilon_S \quad \text{är } E_{II} = E_y$$

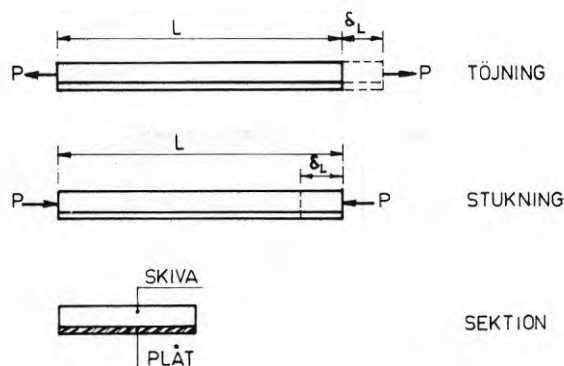


FIG 1. Provstav av samverkande material.-blandkomponent.

Töjningen resp. stukningen $\delta_L = \epsilon \cdot L$

Vidare är A_y, E_y och A_a, E_a skivans resp. plåtens area och elasticitetsmodul

Inom det elastiska området är enl. Hookes lag:

$$\epsilon = \frac{\sigma_y}{E_y} = \frac{\sigma_a}{E_a} \text{ varvid inom blandkomponenten:}$$

$$\text{Skivans lastupptagning } P_y = \sigma_y \cdot A_y = \frac{A_y \cdot E_y}{A_a \cdot E_a + A_y \cdot E_y} \cdot P \text{ och}$$

$$\text{Plåtens lastupptagning } P_a = \sigma_a \cdot A_a = \frac{A_a \cdot E_a}{A_a \cdot E_a + A_y \cdot E_y} \cdot P$$

Om $A_y \cdot E_y \gg A_a \cdot E_a$ är $P_y \gg P_a$ och

-s- $A_a \cdot E_a \gg A_y \cdot E_y$ är $P_a \gg P_y$

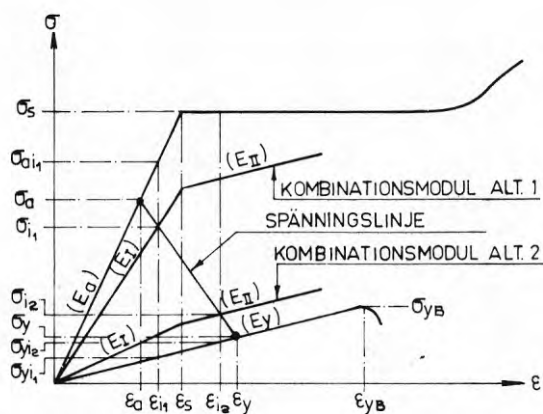


FIG. 2. Arbetskurvor för samverkande material

Kombinationsmodulen E_I resp. E_{II} :

$$E_I = \frac{E_y \cdot A_y + E_a \cdot A_a}{A_a + A_y} \text{ för } 0 < \epsilon < \epsilon_s$$

$$E_{II} = E_y \text{ för } \epsilon > \epsilon_s$$

För $A_a \gg A_y$ eller $E_a \cdot A_a \gg E_y \cdot A_y$ är:

$$E_I \approx E_a \text{ och } \sigma_{a1} \approx \sigma_a$$

Plåtmaterialens statiska egenskaper är dominerande inom blandkomponenten.

För $A_y \gg A_a$ eller $E_y \cdot A_y \gg E_a \cdot A_a$ är

$$E_I \approx E_y \text{ och } \sigma_{y1} \approx \sigma_y$$

Skivmaterialens statiska egenskaper är dominerande inom blandkomponenten.

vilket förutsätter att arbetskurvan för plåtmaterialiet är av ideal-elastoplastisk typ.

Som framgår av uttrycken för kombinationsmodulen närmar sig kurvans utseende plåtmaterialiets resp. skivmaterialiets arbetskurvor, allt i förhållande till delmaterialens relativa lastupptagning. Enligt FIG. 2 anger E_I alt. 1 kombinationsmodulen för blandkomponenten när $A_a \gg A_y$ ($A_a E_a \gg A_y E_y$) och E_I alt. 2 kombinationsmodulen för blandkomponenten när $A_y \gg A_a$ ($A_y \cdot E_y \gg A_a \cdot E_a$).

2.2 Spänningslinjen

För utveckling av ett statistiskt och ekonomiskt gynnsamt bärverk av blandkomponenter är det - som följande utredning visar - motiverat att utgå från bruksstadiet för bedömning av säkerhet och påkänningar (jfr. avsn. 4.3 och 7). Varje delkomponents hållfasthetsegenskaper läggs till grund för bedömning av blandelementet som helhet. Enligt FIG. 2 anger σ_a plåtmaterialiets och σ_y skivmaterialiets tillåtna påkänningar i bruksstadiet. Linjen mellan pkt σ_a/ϵ_a och σ_y/ϵ_y benämnes spänningslinjen. Skärningspunkten mellan denna och kombinationsmodulen anger blandkomponentens tillåtna ideella påkänning σ_i i bruksstadiet. Detta motsvarar plåtpåkänningen $\sigma_{ai} > \sigma_a$ och skivpåkänningen $\sigma_{yi} < \sigma_y$. Säkerheten för plåtmaterialiet är således mindre och för skivmaterialiet större än vad som föreskrivs för resp. material. Den reducerade säkerheten för plåtmaterialiet kompenseras av den ökade säkerheten för skivmaterialiet. Ju mer kombinationsmodulen närmar sig arbetskurvan för ett av delmaterialen, desto mer dominerande blir detta delmaterials säkerhetsfaktor inom blandkomponenten.

Ur FIG. 2 framgår följande speciella förhållanden:

Kombinationsmodul alt. 1.

En relativ ökning av blandkomponentens plåtmaterial medför att:

- kurvan för kombinationsmodulen närmar sig arbetskurvan för plåtmaterialiet
- plåtmaterialiets relativa lastupptagning inom blandkomponenten ökar

- blandkomponentens plåtpåkänning i bruksstadiet σ_{ai} närmar sig σ_a samtidigt som σ_{yi} reduceras
- plåtmaterialets statistiska egenskaper får en ökande dominans inom blandkomponenten.

Kombinationsmodul alt. 2.

En relativ ökning av blandkomponentens skivmaterial medför att:

- kurvan för kombinationsmodulen närmar sig arbetskurvan för skivmaterialet
- skivmaterialets relativa lastupptagning inom blandkomponenten ökar
- blandkomponentens skivpåkänning i bruksstadiet σ_{yi} närmar sig σ_y . Plåtpåkänningen ökar (max. σ_s) samtidigt som $E_a \cdot A_a$ (plåtens lastupptagning) minskar.
- skivmaterialets statistiska egenskaper får en ökande dominans inom blandkomponenten.

2.3 Modulstadium A och B i bruksstadiet.

Skärningspunkten σ_i/ε_i mellan spänningslinjen och kombinationsmodulen enligt FIG. 2 anger enligt ovanstående blandkomponentens tillåtna ideella påkänning σ_i motsvarande plåt- och skivpåkänningen σ_{ai} resp. σ_{yi} .

Är $\sigma_{ai} < \sigma_s$ eller m.a.o. $\varepsilon_i \leq \varepsilon_s$ motsvarar detta modulstadium A (jfr. FIG. 3). Påkänningarna ligger inom delkomponenternas elastiska område. Är däremot $\sigma_{ai} > \sigma_s$ eller m.a.o. $\varepsilon_i > \varepsilon_s$ motsvarar detta modulstadium B (jfr. FIG. 4) och plåtpåkänningen ligger utanför materialets elastiska område.

Det senare fallet innebär att ståluppkänningen i blandkomponenten har överskridit flytgränsen redan i bruksstadiet. En avlastning från bruksstadiet förorsakar initialuppkänningar i kombinationsmaterialet och blandkomponenten erhåller ändrade spänningsupptagande egenskaper. I princip kan detta förklaras på följande sätt: Utsättes en provstav av stål för en draguppkänning är töjningen proportionell mot spänningen upp till proportionalitets-

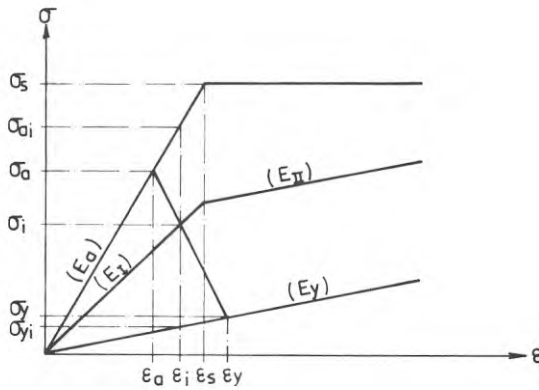


FIG. 3. Arbetskurvor för blandkomponenter inom modulstadium A

Förutsättning $0 < \varepsilon_i < \varepsilon_s$

Ekvationerna för

$$\text{Spänningslinjen: } \frac{\sigma_a - \sigma_i}{\sigma_i - \sigma_y} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_a}{\varepsilon_y - \varepsilon_i};$$

$$\text{Kombinationsmodulen } E_I = \frac{E_y \cdot X_1 + E_a \cdot X_a}{X_1 + X_a}$$

$$\text{där } \varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a}; \quad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y}; \quad \varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_I}$$

Blandkomponentens ideella påkänning i bruksstadiet:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_a \cdot \sigma_y \left[\frac{1}{E_y} - \frac{1}{E_a} \right]}{\frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\sigma_a}{E_a} + \frac{1}{E_I} (\sigma_a - \sigma_y)}$$

Blandkomponentens skivpåkänning $\sigma_{yi} = \varepsilon_i \cdot E_y$
 plåtpåkänning $\sigma_{ai} = \varepsilon_i \cdot E_a$

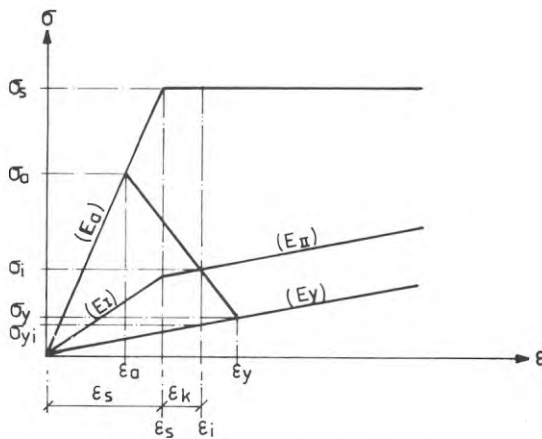


FIG. 4. Arbetskurvor för blandkomponenter inom modulstadium B.

Förutsättning: $\varepsilon_i > \varepsilon_s$

Ekvationerna för:

$$\text{Spänningslinjen: } \frac{\sigma_a - \sigma_i}{\sigma_i - \sigma_y} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_a}{\varepsilon_y - \varepsilon_i}$$

$$\text{Kombinationsmodulen: } \sigma_i - E_I \cdot \varepsilon_s = E_y (\varepsilon_i - \varepsilon_s)$$

$$\text{där } \varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a}; \quad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y}; \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_a} \quad \text{varvid}$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{E_y} \left[\sigma_i - \frac{\sigma_s}{E_a} (E_I - E_y) \right] \text{ ger}$$

Blandkomponentens ideella påkänning i bruksstadiet:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_s (\sigma_a - \sigma_y) (E_I - E_y)}{\sigma_a (E_a - E_y)} + \sigma_y$$

$$\text{där: } E_I = \frac{E_y \cdot X_1 + E_a \cdot X_a}{X_1 + X_a}; \quad \text{och } \varepsilon_k = \varepsilon_i - \varepsilon_s$$

Blandkomponentens skivpåkänning $\sigma_{yi} = \varepsilon_i \cdot E_y$
 plåtpåkänning $\sigma_{ai} = \sigma_s$

gränsen σ_p enligt arbetskurvan FIG. 5. Vid avlastning före en påkänning σ_p återgår staven till sin ursprungliga form (Hookes lag). Vid påkänningar över σ_p uppträder allt större avvikelser från det linjära sambandet. En avlastning från förlängningen $(\epsilon_s + \epsilon_k)$ medför en kvarstående töjning lika med ϵ_k . Avlastningskurvan följer en tillnärmelsevis rak linje, parallell med spänningstöjningskurvan i det elastiska området.

Utsättes en provstav av kombinationsmaterialet plåt och skiva enligt FIG. 6 för en dragbelastning P visar FIG. 7 kombinationsmaterialens arbetskurvor för provstavens olika belastningssteg. A_a , A_y , E_a och E_y anger plåtens och skivmaterialets area resp. elasticitetsmodul. Pålastningen A-B motsvarar töjningen $\delta_B = L \cdot \epsilon_s$. Plåtpåkänningen är σ_s och skivpåkänningen $\epsilon_s \cdot E_y$. En ytterligare lastökning B-C inom stålets flytområde motsvarande den totala töjningen $\delta_C = L(\epsilon_s + \epsilon_k)$ har ökat påkänningen i skivmaterialet till $\sigma_y = E_y(\epsilon_s + \epsilon_k)$, medan påkänningen i plåtmaterialet är konstant och lika med σ_s . Plåten har däremot fått en kvarstående förlängning lika med $L \cdot \epsilon_k$. Därefter sker en avlastning C-D. Töjningen reduceras till $\delta_D = L \cdot \epsilon_k$. Plåtpåkänningen är lika med noll, medan skivpåkänningen är $\sigma_y = E_y \cdot \epsilon_k$. Slutligen göres en total avlastning. Skivmaterialet, vars påkänningar under hela belastningsproceduren har legat inom sitt elasticitetsområde, eftersträvar att återgå till sin ursprungliga form. Plåten med sin kvarstående förlängning $L \cdot \epsilon_k$ i sitt spänningslösa tillstånd, utsättes för tryck under skivmaterialets inverkan. Jämvikt uppnås då tryckkraften i stålet är lika med dragkraften i skivan:

$$\sigma_a \cdot A_a = \sigma_y \cdot A_y$$

$$(\epsilon_k - \epsilon_0) \cdot E_a \cdot A_a = \epsilon_0 \cdot E_y \cdot A_y$$

$$\epsilon_0 = \frac{E_a \cdot A_a}{E_a \cdot A_a + E_y \cdot A_y} \cdot \epsilon_k$$

$\delta_E = L \cdot \epsilon_0$ anger provstavens kvarstående töjning sedan den yttre lasten borttagits.

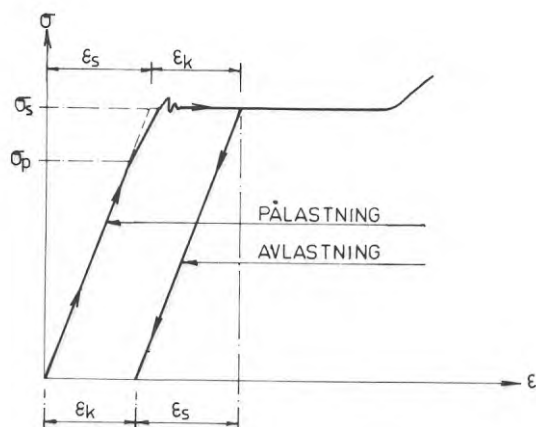


FIG. 5 Arbetskurva för provstav av stål:

Avlastning från förlängningen $(\epsilon_s + \epsilon_k)$ medför en kvarstående töjning ϵ_k

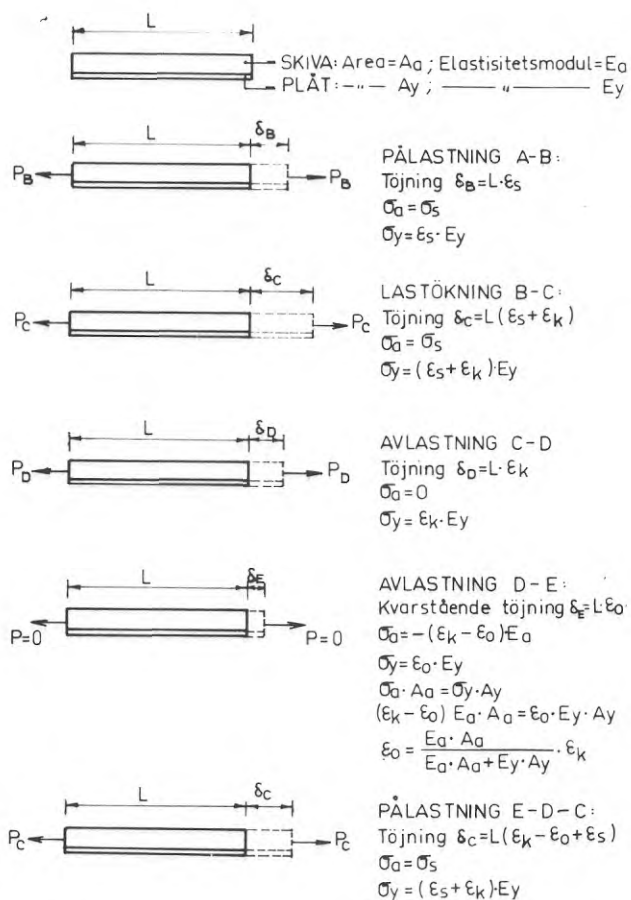


FIG. 6. Provstav av kombinationsmaterial plåt och skiva vid på- och avlastning.-Jfr. Fig 7.

Vid en ny pålastning E-D-C enligt FIG. 7 återgår påkänningarna i skivmaterialet till: $\sigma_y = E_y(\epsilon_k + \epsilon_s)$ och i plåtmaterialet till σ_s utan att sistnämnda flyter.

2.4 Grafisk framställning av kombinationsmodulen och delkomponenternas påkänningar i bruksstadiet.

Arbetskurvan för vanligen förekommande plåtmaterial saknar ibland ett karakteristiskt flytområde och har då i princip ett utseende enligt FIG. 8. Framställningen av kurvan för kombinationsmodulen utanför det elastiska området utföres i detta fall lämpligen grafiskt. Området uppdelas i mindre enheter $\Delta\epsilon$. Spänningsökningen $\Delta\sigma_1$, $\Delta\sigma_2$, $\Delta\sigma_3$ dividerad med tillhörande töjningsmått $\Delta\epsilon$ (här framställt som sekantmodul) anger således plåtens momentana formändringsmodul:

$$E_{a_1} = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\epsilon}$$

$$E_{a_2} = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\epsilon}$$

$$E_{a_3} = \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\epsilon} \quad \text{osv}$$

Motsvarande uttryck för kombinationsmodulen blir:

$$E_{II_1} = \frac{A_y \cdot E_y + A_a \cdot E_{a_1}}{A_y + A_a}$$

$$E_{II_2} = \frac{A_y \cdot E_y + A_a \cdot E_{a_2}}{A_y + A_a}$$

$$E_{II_3} = \frac{A_y \cdot E_y + A_a \cdot E_{a_3}}{A_y + A_a} \quad \text{osv}$$

som i diagrammet markeras i anslutning till kombinationsmodulen inom det elastiska området (E_I). Blandkomponentens ideella påkänning σ_i , delkomponenternas påkänningar σ_{yi} och σ_{ai} samt ϵ_i kan avläsas ur figuren.

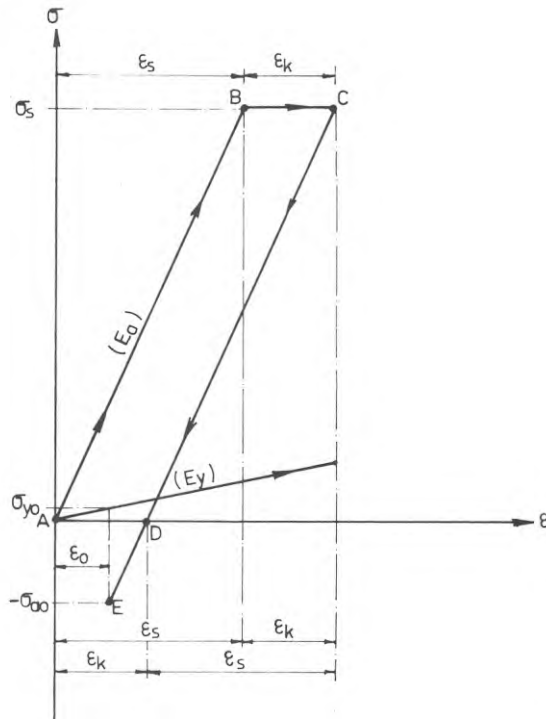


FIG. 7 Arbetskurvor för kombinationsmaterial plåt och skiva vid på- och avlastningar.

- | | |
|------------------|--|
| Pålastning | A-B: $\epsilon = \epsilon_s$ |
| Lastökning | B-C: $\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_k$ |
| Avlastning | C-D: $\epsilon = \epsilon_k$ |
| Total avlastning | C-E: $\epsilon = \epsilon_0$ (kvarstående töjning) |
| Pålastning | E-D-C: $\epsilon = \epsilon_k - \epsilon_0 + \epsilon_s$ |

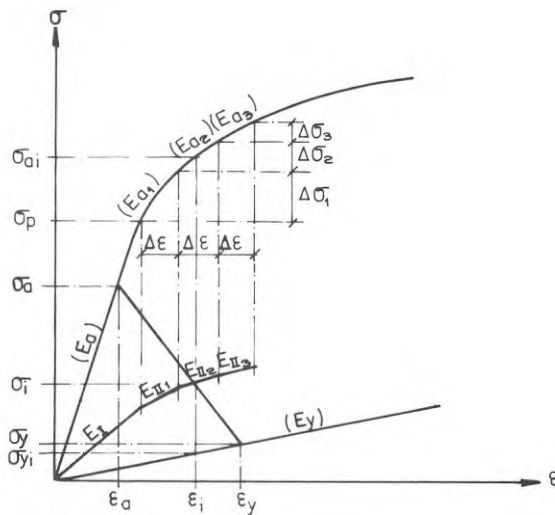


FIG. 8 Grafisk framställning av kombinationsmodulen och delkomponenternas påkänningar i bruksstadiet.

Utanför det elastiska området indelas ϵ i mindre enheter $\Delta\epsilon$ varvid sekantmodulen beskrives genom:

$$E_{a1} = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\epsilon}; \quad E_{a2} = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\epsilon}; \quad E_{a3} = \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\epsilon}; \quad \text{o.s.v.}$$

Uttrycken för kombinationsmodulen:

$$E_{\text{I}_1} = \frac{E_y \cdot A_y + A_0 \cdot E_{a1}}{A_y + A_0}$$

$$E_{\text{II}_2} = \frac{E_y \cdot A_y + A_0 \cdot E_{a2}}{A_y + A_0}$$

$$E_{\text{III}_3} = \frac{E_y \cdot A_y + A_0 \cdot E_{a3}}{A_y + A_0} \quad \text{o.s.v. upprättas i anslutning till } E_{\text{I}}$$

Delkomponenternas påkänning $\bar{\sigma}_{ai}$ och $\bar{\sigma}_{yi}$ avläses ur figuren.

3 LÄTTBÄRVERK UTSATT FÖR BÖJNING

FIG. 9 visar en principsektion genom ett lättbärverk bestående av kallformade tunnplåtsprofiler med livavstånd B (resp. $2B$) och plåttjocklek d . Ytskiktet utgöres av en skiva med tjocklek t , oeftergivligt förbunden med plåtprofilen på bredden b . Bärverket utsättes för ett böjande moment där sektionens nedre del ingår i den dragna zonen och blandkomponenten (skiva och plåt) ingår i den tryckta zonen. Gemensamt för alla sektionstyper gäller sektionsstorheterna:

$$X_1 = \frac{t}{d} \quad X_2 = \frac{B}{H} \quad X_3 = \frac{b}{B}$$

En statistiskt och ekonomiskt optimal uppbyggd sektion motsvarar vissa inbördes förhållanden mellan storheterna, varvid beaktas att maximalt tillåtna påkänningar innehålls i bruksstadiet.

Blandkomponenten utgöres av ytskiktet och plåtbredden b , varvid:

$$A_a = b \cdot d = X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

och

$$A_y = t \cdot B = X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

varvid uttrycket för kombinationsmodulen blir:

$$E_I = \frac{E_y \cdot X_1 + E_a \cdot X_3}{X_1 + X_3} \quad \text{för} \quad 0 < \epsilon < \epsilon_S$$

och

$$E_{II} = E_y \quad \text{för} \quad \epsilon > \epsilon_S$$

där, som tidigare förutsatt, arbetskurvan för plåtmaterialet utvisar ett utpräglat flytområde.

3.1 Påkänningar inom modulstadium A.

Med ledning av FIG. 3 sökes skärningspunkten mellan kombinationsmodulen och spänningslinjen. Figuren förutsätter att $\epsilon_i \leq \epsilon_S$, vil-

ket innebär att blandkomponentens ideella påkänning:

$$\sigma_i \leq \frac{E_I}{E_a} \cdot \sigma_s$$

Med hjälp av spänningslinjens ekvation:

$$\frac{\sigma_a - \sigma_i}{\sigma_i - \sigma_y} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_a}{\varepsilon_y - \varepsilon_i}$$

där

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a}, \quad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y} \quad \text{och} \quad \varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_I}$$

erhålles blandkomponentens ideella påkänning:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_a \cdot \sigma_y \left(\frac{1}{E_y} - \frac{1}{E_a} \right)}{\frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\sigma_a}{E_a} + \frac{1}{E_I} (\sigma_a - \sigma_y)}$$

Vidare är:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_I}$$

Blandkomponentens skiv- och plåtpåkänning är således:

$$\sigma_{yi} = \varepsilon_i \cdot E_y \quad \text{resp.} \quad \sigma_{ai} = \varepsilon_i \cdot E_a$$

3.2 Påkänningar inom modulstadium B

Med ledning av FIG. 4 sökes skärningspunkten mellan kombinationsmodulen och spänningslinjen. Figuren förutsätter att $\varepsilon_i > \varepsilon_s$, vilket innebär att blandkomponentens ideella påkänning blir:

$$\sigma_i > \frac{E_I}{E_a} \cdot \sigma_s$$

Med hjälp av spänningslinjens ekvation

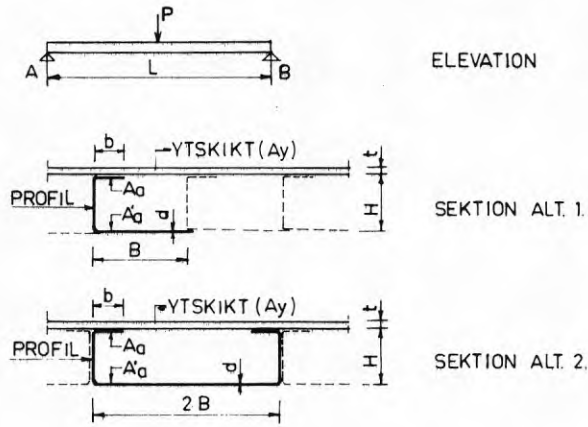


FIG. 9. Lättbärverk av valsade tunnplåtprofiler med ytskikt av artfrämmande material.

Sektionsstorheter:

$$X_1 = \frac{t}{d} ; X_2 = \frac{B}{H} ; X_3 = \frac{b}{B}$$

Areor:

$$A_0 = d \cdot b = X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$A_y = t \cdot B = X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$A_0 = d \cdot B = X_2 \cdot H \cdot d$$

Kombinationsmodulen:

$$E_I = \frac{E_y \cdot X_1 + E_0 \cdot X_3}{X_1 + X_3} \text{ för } 0 < \epsilon_i < \epsilon_s$$

Modulstadium	σ - ϵ diagram	Bruksstad. Laststeg I	Laststeg II	Laststeg III	Brottstadiet
A $\epsilon_i < \epsilon_s$					
	Elevation - märkning av uppträdande flytområde				
B $\epsilon_i > \epsilon_s$			Ej aktuell!		
	Elevation - märkning av uppträdande flytområde				

FIG 10. Schematisk framställning av arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningen.

$$\frac{\sigma_a - \sigma_i}{\sigma_i - \sigma_y} = \frac{\epsilon_i - \epsilon_a}{\epsilon_y - \epsilon_i}$$

där

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a}, \quad \epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y}$$

och kombinationsmodulens ekvation:

$$\sigma_i - E_I \cdot \epsilon_s = E_y (\epsilon_i - \epsilon_s)$$

där

$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_a}$$

och

$$\epsilon_i = \frac{1}{E_y} \left[\sigma_i - \frac{\sigma_s}{E_a} (E_I - E_y) \right]$$

erhålles blandkomponentens ideella påkänning:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_s (\sigma_a - \sigma_y) (E_I - E_y)}{\sigma_a (E_a - E_y)} + \sigma_y$$

Vidare är:

$$\epsilon_k = \epsilon_i - \epsilon_s = \epsilon_i - \frac{\sigma_s}{E_a}$$

Blandkomponentens skiv- och plåtpåkänning är således:

$$\sigma_{yi} = \epsilon_i \cdot E_y \quad \text{resp.} \quad \sigma_{ai} = \sigma_s$$

3.3 Arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningen.

En schematisk framställning av arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningen visas i FIG. 10. De olika laststegen II och III uppträder vid elasticitetslinjernas brytpunkter. Det bör observeras att vid modulstadium B plåtmaterial i sektionens överkant redan i bruksstadiet har uppnått flytgränsen och att dess säkerhetsfaktor har reducerats till noll. För skivmaterial är emellertid påkänningen mindre och följaktligen säkerhetsfaktorn större än den normalt tillåtna ($\sigma_{yi} < \sigma_y$). Detta och

skivmaterialets dominerande lastupptagning inom blandkomponenten bidrar till att ersätta den reducerade säkerhetsfaktorn för plåtmaterialiet (jfr avsn 2.2). En avlastning från bruksstadiet med efterföljande pålastning ändrar dock bärverkets spänningsupptagande egenskaper. Orsaken till detta framgår i princip av tidigare beskrivning av provstaven (FIG. 6) samt arbetsdiagrammet enligt FIG. 7 (jfr. avsn. 2.3).

Om lättbärverket enligt FIG. 9, som befinner sig inom modulstadium B, utsättes för en yttre last P , visar FIG. 11 dess arbetsdiagram. Diagrammets högra del representerar bärverkets övre fläns (blandkomponenten) och den vänstra delen dess undre fläns. Vidare anger FIG. 12 den schematiska framställningen av arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningen vid på- och avlastning inom bruksstadiet:

Pålastning A-B-C:

Bärverket utsättes för lasten P , vilket motsvarar stukningen $(\epsilon_k + \epsilon_s)$ i den övre och töjningen ϵ'_c i den undre flänsen. Plåtpåkänningen i övre flänsen är σ_s och i undre flänsen σ'_c . Påkänningen i skivmaterialet är $\sigma_{yc} = E_y(\epsilon_s + \epsilon_k)$.

Avlastning C-D:

Stukningen i övre flänsen reduceras till ϵ_k och töjningen i undre flänsen till ϵ_D . Den kvarstående stukningen ϵ_k i övre flänsens plåtmaterial reducerar plåtpåkänningen till noll. Påkänningen i undre flänsen reduceras till $\sigma'_D = E_a \cdot \epsilon'_D$ och i skivmaterialet till $\sigma_{yD} = E_y \cdot \epsilon_k$.

Total avlastning D-E:

Skivmaterialet, vars påkänningar under hela belastningsproceduren har legat inom sitt elasticitetsområde, eftersträvar att återgå till sin ursprungliga form. Stålmaterialet i övre flänsen med sin kvarstående stukning ϵ_k i sitt spänningslösa tillstånd utsättes för dragning under skivmaterialets inverkan. Vid jämvikt erhålles en kvarstående stukning i övre fläns lika med ϵ_0 och i undre fläns en töjning lika med ϵ'_E som motsvarar drag-

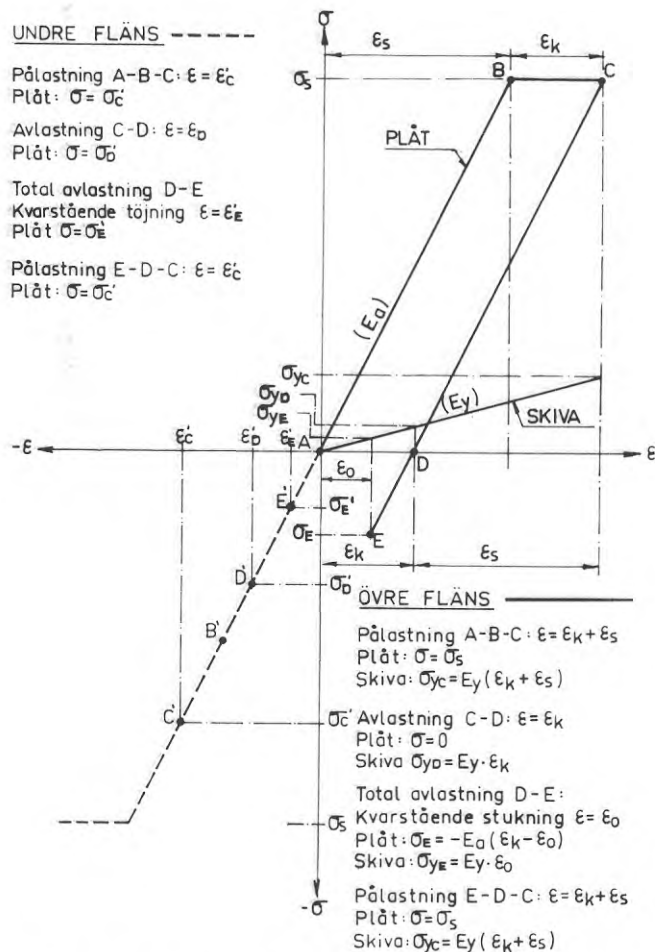


FIG. 11. Arbetsdiagram för lättbärverk inom modulstadium B

Laststeg	Pålastning A-B-C	Avlastning C-D	Total avlastning	Pålastning E-D-C
Tvårsnittsdeformation				
Tvårsnittspökning				
Elevation bärverk				

FIG. 12. Schematisk framställning av arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningelningen vid på- och avlastning inom modulstadium B.

spänningarna $\sigma_E = E_a(\epsilon_k - \epsilon_0)$ i övre fläns och $\sigma'_E = E_a \cdot \epsilon'_E$ i undre fläns. Den kvarstående påkänningen i skivmaterialet är $\sigma_{yE} = E_y \cdot \epsilon_0$. Bärverket har således erhållit en initialpåkänning.

Pålastning E-D-C:

Stukningen i övre flänsen ökar från ϵ_0 till $(\epsilon_s + \epsilon_k)$ och töjningen i undre flänsen från ϵ'_E till ϵ'_C . Spänningsfiguren har således fått samma utseende som efter första pålastningen. Påkänningen i övre flänsens plåtmaterial har återgått till σ_s utan att detta flyter. Upprepade av- och pålastningar förorsakar både drag- och tryckpåkänningar i stålaterialet vid sektionens överkant, vilket under vissa förutsättningar kan förorsaka utmattningsproblem. Utan att här närmare redogöra för detta bör det dock påpekas att konstruktionen under normala förhållanden är påverkad av en ständig last, som reduceras eller helt eliminerar dragpåkänningen i plåtaterialet.

4 STATISK OPTIMERING AV TVÄRSNITT

Med beaktande av den ovan redovisade böjningsteorin kan tvärsnittet statistiskt optimeras med hänsyn till material- och sektionstorheterna, där hänsyn även tages till de olika modulstadierna. Vid beräkning av tvärsnittspåkänningarna ingår uttrycken för kombinationsmodulen E_I och blandkomponentens ideella påkänning σ_i (jfr. avsn. 3). Vidare förutsättes att påkänningen i underflänsen är den maximalt tillåtna och lika med $\frac{2}{3} \cdot \sigma_s$ i bruksstadiet. Enligt avsn. 3 gäller med beaktande av FIG. 9 att:

$$A_a = X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$A_y = X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$A'_a = X_2 \cdot H \cdot d$$

varvid $A_a = b \cdot d$, $A_y = t \cdot B$ och $A'_a = d \cdot B$.

4.1 Statisk optimering av tvärsnitt vid modulstadium A.

Villkoret för att bärverket ligger inom modulstadium A är att:

$$\varepsilon_i \leq \varepsilon_s$$

där

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_I} \quad \text{och} \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_a}$$

vilket ger:

$$\sigma_i \leq \frac{E_I}{E_a} \cdot \sigma_s$$

Med hjälp av ansatsen för kombinationsmodulen

$$E_I = \frac{X_1 \cdot E_y + X_3 \cdot E_a}{X_1 + X_3}$$

och uttrycket för blandkomponentens ideella påkänning vid stadium A (Jfr. avsn. 3.1):

$$\sigma_i = \frac{\sigma_a \cdot \sigma_y \left(\frac{1}{E_y} - \frac{1}{E_a} \right)}{\frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\sigma_a}{E_a} + \frac{1}{E_I} (\sigma_a - \sigma_y)}$$

kontrolleras att modulstadiet A råder under brukslast.

Enligt FIG. 13 erhålles tvärsnittskrafterna:

$$K_1 = \sigma_{yi} \cdot A_y = \sigma_{yi} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$K_2 = \sigma_{ai} \cdot A_a = \sigma_{ai} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$K_3 = \frac{1}{2} \cdot h \cdot \sigma_{ai} \cdot d = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{ai}^2}{\sigma_a + \sigma_{ai}} \cdot H \cdot d$$

$$K_4 = \frac{1}{2} \cdot (H - d) \cdot \sigma_a \cdot d = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a + \sigma_{ai}} \cdot H \cdot d$$

$$K_5 = \sigma_a \cdot A'_a = \sigma_a \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

där

$$\sigma_{yi} = \frac{E_y}{E_I} \cdot \sigma_i \quad \text{och} \quad \sigma_{ai} = \frac{E_a}{E_I} \cdot \sigma_i$$

Enligt jämviktsvillkoren är:

$$K_1 + K_2 + K_3 - K_4 - K_5 = 0$$

eller

$$\frac{\sigma_i}{E_I} \cdot X_2 (E_y \cdot X_1 + E_a \cdot X_3) + \frac{1}{2} \left(\frac{E_a}{E_I} \cdot \sigma_i - \sigma_a \right) - \sigma_a \cdot X_2 = 0$$

Med hjälp av denna ekvation kan statistiskt optimerade tvärsnitt inom modulstadium A erhållas. Sammanhörande värden för X_1 , X_2 och X_3 kan sammanställas i diagramform. Exempel på ett sådant diagram visar i princip och i ett förenklat utförande FIG. 15.

4.2 Statisk optimering av tvärsnitt vid modulstadium B.

Villkoret för att bärverket ligger inom modulstadium B är att:

$$\varepsilon_i > \varepsilon_s$$

där

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_I} \quad \text{och} \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_a}$$

vilket ger

$$\sigma_i > \frac{E_I}{E_a} \cdot \sigma_s$$

Med hjälp av ansatsen för kombinationsmodulen

$$E_I = \frac{X_1 \cdot E_y + X_3 \cdot E_a}{X_1 + X_3}$$

och uttrycket för blandkomponentens ideella påkänning vid modulstadium B (jfr. avsn. 3.2)

$$\sigma_i = \frac{\sigma_s(\sigma_a - \sigma_y)(E_I - E_y)}{\sigma_a(E_a - E_y)} + \sigma_y$$

samt:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{E_y} \left[\sigma_i - \frac{\sigma_s}{E_a} (E_I - E_y) \right] \quad \text{och}$$

$$\varepsilon_k = \varepsilon_i - \varepsilon_s = \frac{1}{E_y} \left[\frac{\sigma_s(\sigma_a - \sigma_y)(E_I - E_y)}{\sigma_a(E_a - E_y)} + \sigma_y - \frac{\sigma_s}{E_a}(E_I - E_y) \right] - \frac{\sigma_s}{E_a}$$

kan enligt FIG. 14 tvärsnittskrafterna erhållas:

$$K_1 = \sigma_{yi} \cdot A_y = \sigma_{yi} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d = \varepsilon_i \cdot E_y \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$K_2 = \sigma_{ai} \cdot A_a = \sigma_s \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$K_3 = h_1 \cdot \sigma_s \cdot d = \frac{3\varepsilon_k}{5\varepsilon_s + 3\varepsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d$$

$$K_4 = \frac{1}{2} \cdot h_2 \cdot \sigma_s \cdot d = \frac{1,5 \cdot \varepsilon_s}{5\varepsilon_s + 3\varepsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d$$

$$K_5 = \frac{1}{2} \cdot h_3 \cdot \frac{2}{3} \cdot \sigma_s \cdot d = \frac{\frac{2}{3} \cdot \varepsilon_s}{5\varepsilon_s + 3\varepsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d$$

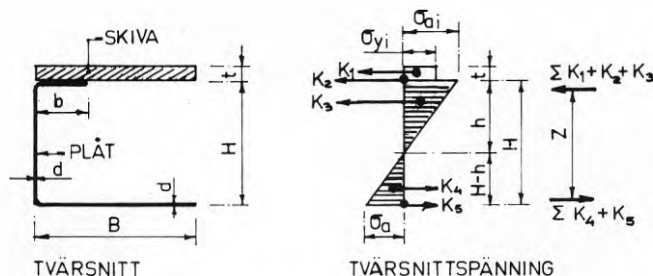


FIG. 13 Statisk optimering av tvärsnitt samt lastupptagningsförmåga vid modulstadium A

$$K_1 = \sigma_{yi} \cdot t \cdot B = \sigma_{yi} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$K_2 = \sigma_{0i} \cdot d \cdot b = \sigma_{0i} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$K_3 = \frac{1}{2} \cdot h \cdot \sigma_{0i} \cdot d = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{0i}^2}{\sigma_0 + \sigma_{0i}} \cdot H \cdot d$$

$$K_4 = \frac{1}{2} \cdot (H - h) \cdot \sigma_0 \cdot d = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_0^2}{\sigma_0 + \sigma_{0i}} \cdot H \cdot d$$

$$K_5 = \sigma_0 \cdot d \cdot B = \sigma_0 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

Enl. jämviktsvillkoren är:

$$K_1 + K_2 + K_3 = K_4 + K_5 \text{ eller}$$

$$\frac{\sigma_{yi}}{E_I} \cdot X_2 (E_y \cdot X_1 + E_0 \cdot X_3) + \frac{1}{2} \left[\frac{E_0}{E_I} \cdot \sigma_i - \sigma_0 \right] - \sigma_0 \cdot X_2 = 0$$

Tvärsnittets inre hävarm:

$$Z = \frac{(h+t/2)(K_1+K_2+2/3 K_3)}{K_1+K_2+K_3} + \frac{(H-h)(K_5+2/3 K_4)}{K_4+K_5} \text{ varvid } \frac{t}{2} \sim 0$$

$$M = Z (K_4 + K_5)$$

Betr. σ_i och E_I se Fig. 3.

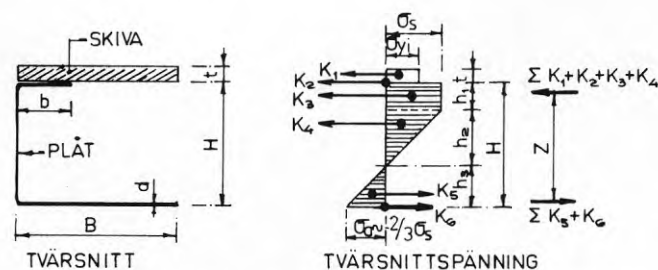


FIG. 14. Statisk optimering av tvärsnitt samt lastupptagningsförmåga vid modulstadium B.

$$K_1 = \sigma_{yi} \cdot t \cdot B = \sigma_{yi} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d = \varepsilon_i \cdot E_y \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$K_2 = \sigma_{0i} \cdot d \cdot b = \sigma_0 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$K_3 = h_1 \cdot \sigma_0 \cdot d = \frac{3 \cdot \varepsilon_k}{5 \varepsilon_s + 3 \varepsilon_k} \cdot \sigma_0 \cdot H \cdot d$$

$$K_4 = \frac{1}{2} \cdot h_2 \cdot \sigma_0 \cdot d = \frac{1.5 \cdot \varepsilon_s}{5 \varepsilon_s + 3 \varepsilon_k} \cdot \sigma_0 \cdot H \cdot d$$

$$K_5 = \frac{1}{2} \cdot h_3 \cdot \frac{2}{3} \cdot \sigma_0 \cdot d = \frac{2/3 \cdot \varepsilon_s}{5 \varepsilon_s + 3 \varepsilon_k} \cdot \sigma_0 \cdot H \cdot d$$

$$K_6 = \frac{2}{3} \cdot \sigma_0 \cdot d \cdot B = \frac{2}{3} \cdot \sigma_0 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$\text{där } h_1 = \frac{3 \cdot \varepsilon_k}{5 \varepsilon_s + 3 \varepsilon_k} \cdot H$$

$$h_2 = \frac{3 \cdot \varepsilon_s}{5 \varepsilon_s + 3 \varepsilon_k} \cdot H$$

$$h_3 = \frac{2 \cdot \varepsilon_s}{5 \varepsilon_s + 3 \varepsilon_k} \cdot H$$

Enligt jämviktsvillkoren är:

$$K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = K_5 + K_6 \text{ eller}$$

$$X_2 \left(\varepsilon_i \cdot \frac{E_y}{\sigma_0} \cdot X_1 + X_3 \right) + \frac{18 \cdot \varepsilon_k + 5 \cdot \varepsilon_s}{18 \cdot \varepsilon_k + 30 \cdot \varepsilon_s} - \frac{2}{3} \cdot X_2 = 0$$

Tvärsnittets inre hävarm

$$Z = \frac{K_1(h_1+h_2+t/2)+K_2(h_1+h_2)+K_3(1/2 h_1+h_2)+K_4 \cdot 2/3 h_2}{K_1+K_2+K_3+K_4} + \frac{K_5 \cdot 2/3 h_3 + K_6 \cdot h_3}{K_5+K_6} \text{ där } \frac{t}{2} \sim 0$$

$$M = Z (K_5 + K_6)$$

Betr. ε_i och ε_k se Fig. 4.

$$K_6 = \frac{2}{3} \cdot \sigma_S \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

där:

$$\frac{\sigma_S}{\frac{2}{3} \cdot \sigma_S} = \frac{h_2}{h_3} \therefore h_2 = \frac{3}{2} \cdot h_3$$

$$\frac{\epsilon_S + \epsilon_k}{\epsilon_S} = \frac{h_1 + h_2}{h_2} \therefore h_2 = \frac{\epsilon_S}{\epsilon_k} \cdot h_1$$

$$h_1 + h_2 + h_3 = H = h_1 + \frac{5\epsilon_S}{3\epsilon_k} \cdot h_1$$

$$h_1 = \frac{3\epsilon_k}{5\epsilon_S + 3\epsilon_k} \cdot H$$

$$h_2 = \frac{3\epsilon_S}{5\epsilon_S + 3\epsilon_k} \cdot H$$

$$h_3 = \frac{2\epsilon_S}{5\epsilon_S + 3\epsilon_k} \cdot H$$

Enligt jämviktsvillkoren är:

$$K_1 + K_2 + K_3 + K_4 - K_5 - K_6 = 0$$

eller

$$X_2 \left[\epsilon_i \cdot \frac{E_y}{\sigma_S} \cdot X_1 + X_3 \right] + \frac{18\epsilon_k + 5\epsilon_S}{18\epsilon_k + 30\epsilon_S} - \frac{2}{3} \cdot X_2 = 0$$

Med hjälp av denna ekvation kan statistiskt optimerade tvärsnitt inom modulstadium B erhållas. Sammanhörande värden för X_1 , X_2 och X_3 kan sammanställas i diagramform. Exempel på ett sådant diagram visar i princip och i ett förenklat utförande FIG. 15.

4.3 Bedömning av säkerhet och påkänningar med utgångspunkt från bruks- resp. brottstadiet.

FIG. 16 visar en schematisk framställning av arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningen, där den statistiska optime-

ringen av tvärsnittet har beräknats med utgångspunkt från bruks- resp. brottstadiet.

Alt. 1. Med utgångspunkt från bruksstadiet.

Brukspåkänningen i övre och undre flänsens material uppgår till maximalt tillåtna - σ_{yi} för skivmaterialet, σ_{ai} och σ_a för över- resp. underflänsens plåtmaterial (jfr. avsn. 3.1 och 3.2). Förhållandet mellan sektionsstorheterna X_1 , X_2 och X_3 uppfyller således villkoren för ett statiskt optimerat tvärsnitt enligt avsn. 4.1 och 4.2 och är alltså i överensstämmelse med diagrammet FIG. 15.

Vid brottbelastning inträffar brottet i blandkomponentens skivmaterial (σ_{yB}) och plåtpåkänningen i övre flänsen är σ_s . Påkänningen i undre flänsen (σ_j) har överskridit sträckgränsen (σ_s) och befinner sig inom konsolideringsområdet ($\sigma_s < \sigma < \sigma_{aB}$).

Alt. 2. Med utgångspunkt från brottstadiet.

Förutsättes att en statisk optimering av tvärsnittet sker med utgångspunkt från brottstadiet för bedömning av tillåtna påkänningar i bruksstadiet, medför detta en höjning av underflänsens påkänning från σ_j till σ_{aB} jämfört med alt. 1. Detta kan åstadkommas genom en ökning av överflänsens dimensioner (X_1 och eller X_3) men förorsakar en överdimensionering av blandkomponenten i bruksstadiet.

En statisk optimering av tvärsnittet med utgångspunkt från bruksstadiet och ej från brottstadiet skulle därför vara motiverad. För övrigt hänvisas till beräkningsexemplet under avsn. 7.

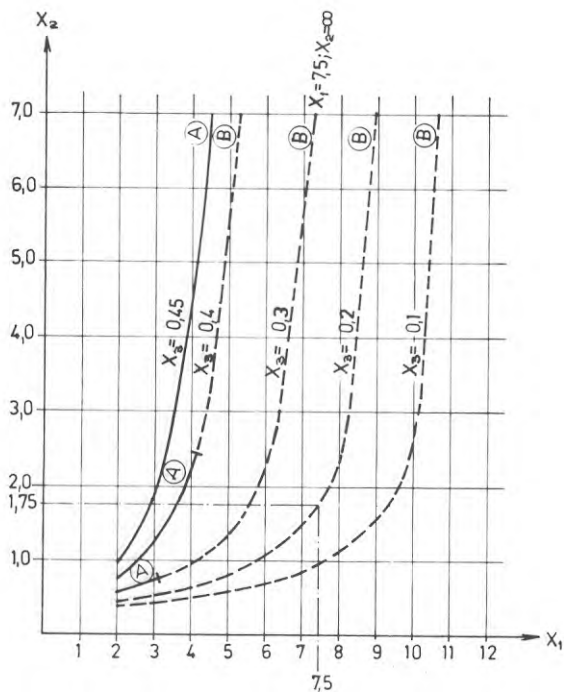


FIG.15 Diagram över sammanhörande värden för X_1, X_2 och X_3 vid statisk optimering av tvärsnitt.

Profil av tunnplåt där $\sigma_a = 160 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_s = 240 \text{ N/mm}^2$
 $E_a = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$ och arbetskurva med utpräglat flytområde
 Ytskikt av plywood där $\sigma_y = 12 \text{ N/mm}^2$ och $E_y = 10^4 \text{ N/mm}^2$
 Heldragna och streckade linjer anger att påkänningar ligger inom modulstadium A resp. B.

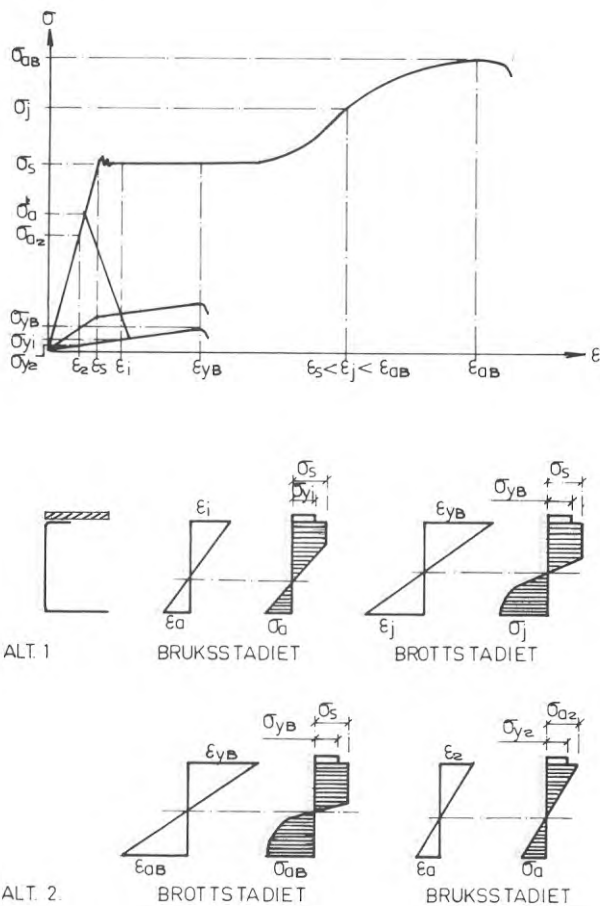


FIG. 16. Schematisk framställning av arbetskurvornas inverkan på spänningsfördelningen för bedömning av säkerhet och påkänningar med utgångspunkt från brottstadiet resp. bruksstadiet.

5 SAMMANFATTANDE BEHANDLING AV LÄTTBÄRVERKETS LASTUPPTAGNINGSFÖRMÅGA

För beräkning av bärverkets lastupptagningsförmåga i bruksstadiet söks med utgångspunkt från diagrammen enligt FIG 15 ett statistiskt optimalt tvärsnitt representerat genom samhörande värden för X_1 , X_2 och X_3 . Vissa förutsättningar såsom ytskiktmaterial och tjocklek, plåtmaterial och dess tjocklek, sektionshöjden H , livavstånd B eller överflänsens plåtbredd b (jfr. FIG. 9) antages givna. Med hjälp av sektionstorheterna och de givna materialkonstanterna beräknas tvärsnittskrafterna (jfr. avsn. 4) och sektionens inre hävarm Z . Momentupptagningsförmågan i bruksstadiet erhålles som produkten av tvärsnittskrafterna i dragzonen (eventuellt tryckzonen) och hävarmen Z .

5.1 Beräkning av lastupptagningsförmågan inom modulstadium A.

Enligt avsn. 4.1 är tvärsnittskrafterna för modulstadium A lika med:

$$K_1 = \sigma_{yi} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$K_2 = \sigma_{ai} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$K_3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{ai}^2}{\sigma_a + \sigma_{ai}} \cdot H \cdot d$$

$$K_4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a + \sigma_{ai}} \cdot H \cdot d$$

$$K_5 = \sigma_a \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

där

$$\sigma_{yi} = \frac{E_y}{E_I} \cdot \sigma_i \quad \text{och} \quad \sigma_{ai} = \frac{E_a}{E_I} \cdot \sigma_i$$

Tvärsnittets inre hävarm Z (se FIG. 13):

$$Z = \frac{K_1(h + \frac{t}{2}) + K_2 \cdot h + \frac{2}{3}K_3 \cdot h}{K_1 + K_2 + K_3} + \frac{(H - h)(K_5 + \frac{2}{3}K_4)}{K_4 + K_5}$$

Då skivtjockleken t är relativt ringa försummas denna varvid

$$\frac{t}{2} \sim 0.$$

$$Z = \frac{h(K_1 + K_2 + \frac{2}{3}K_3)}{K_1 + K_2 + K_3} + \frac{(H - h)(K_5 + \frac{2}{3}K_4)}{K_4 + K_5}$$

$$M = Z(K_4 + K_5)$$

5.2 Beräkning av lastupptagningsförmågan inom modulstadium B.

Enligt avsn 4.3 är tvärsnittskrafterna för modulstadium B lika med:

$$K_1 = \sigma_{y1} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d$$

$$K_2 = \sigma_s \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d$$

$$K_3 = \frac{3\epsilon_k}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d$$

$$K_4 = \frac{1,5 \cdot \epsilon_s}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d$$

$$K_5 = \frac{\frac{2}{3} \cdot \epsilon_s}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d$$

$$K_6 = \frac{2}{3} \cdot \sigma_s \cdot X_2 \cdot H \cdot d \quad - \quad \text{obs!} \quad \sigma_a = \frac{2}{3} \cdot \sigma_s$$

Tvärsnittets inre hävarm Z (se FIG. 14):

$$Z = \frac{K_1(h_1 + h_2 + \frac{t}{2}) + K_2(h_1 + h_2) + K_3(\frac{1}{2} \cdot h_1 + h_2) + K_4 \cdot \frac{2}{3} \cdot h_2}{K_1 + K_2 + K_3 + K_4} + \frac{K_5 \cdot \frac{2}{3} \cdot h_3 + K_6 \cdot h_3}{K_5 + K_6}$$

Då skivtjockleken t är relativt ringa sättes $\frac{t}{2} \sim 0$.

Vidare är enligt avsn. 4.2:

$$h_1 + h_2 = \frac{3(\epsilon_k + \epsilon_s)}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot H$$

$$\frac{1}{2} h_1 + h_2 = \frac{3(0,5\epsilon_k + \epsilon_s)}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot H$$

$$\frac{2}{3} h_2 = \frac{2\epsilon_s}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot H$$

$$\frac{2}{3} h_3 = \frac{\frac{4}{3} \cdot \epsilon_s}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot H$$

$$h_3 = \frac{2\epsilon_s}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot H$$

varvid uttrycket för Z blir:

$$Z = \left[\frac{(K_1 + K_2)(\epsilon_k + \epsilon_s) \cdot 3 + K_3(0,5 \cdot \epsilon_k + \epsilon_s) \cdot 3 + K_4 \cdot 2 \cdot \epsilon_s}{K_1 + K_2 + K_3 + K_4} + \frac{K_5 \cdot \frac{4}{3} \cdot \epsilon_s + K_6 \cdot 2 \cdot \epsilon_s}{K_5 + K_6} \right] \cdot \frac{H}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k}$$

där följande uttryck tidigare har härletts under avsn. 3.2.

$$\epsilon_i = \frac{1}{E_y} \cdot \left[\frac{\sigma_s(\sigma_a - \sigma_y)(E_I - E_y)}{\sigma_a(E_a - E_y)} + \sigma_y - \frac{\sigma_s}{E_a} (E_I - E_y) \right]$$

$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_a}$$

$$\epsilon_k = \epsilon_i - \epsilon_s$$

$$\sigma_{yi} = \epsilon_i \cdot E_y$$

$$M = Z \cdot (K_5 + K_6)$$

5.3 Statisk ekonomisk optimering av lastupptagningsförmågan.

Med utgångspunkt från marknadens aktuella materialpriser kan kostnaden i förhållandet till momentupptagningsförmågan i princip sättas lika med:

$$\text{kostnad} = \frac{\Sigma \text{kostnad (plåt + skiva)}}{M} + A$$

där A utgör övriga framställningskostnader, vilka betraktas konstanta för de olika sektionstyperna. Vid given sektionshöjd H kan ett ekonomiskt optimerat tvärsnitt erhållas genom upprepning av beräkningen med varierande sektionsstorheter. För underlättande och erhållande av översiktliga beräkningar rekommenderas att dessa görs upp i tabellform eller att datorer utnyttjas.

6 SAMMANFATTNING OCH UTBLICK

Ovan härledda uttryck och ekvationer för beräkning av bärverk med samverkande blandkomponenter grundar sig på ideella förutsättningar.

Vid lättbärverk av tunnväggiga profiler kan ett flertal instabilitetsformer bli aktuella, varför lastupptagningsförmågan kan bli mindre än den teoretiskt beräknade. Vid en viss kritisk tryckspänning kan de tunnväggiga oavstyvade partierna undandra sig lastupptagning genom utbuckling. Detta resulterar i ett totalt brott eller en spänningsomlagring till styvare partier. Det relativt styva ytskiktet i den tryckta zonen bidrager emellertid till en avstyvande verkan för den tryckspänningspåverkade livavstyvningen. För att ett lättbärverk skall kunna motstå transversalbelastningar fordras därför förutom böjstyvhet en avpassad säkerhet mot instabilitet. Den stora valfriheten medger en sektionutformning som kan anpassas för detta. Det bör dock observeras att skivmaterialets instabilitet på grund av fukt, temperaturskillnader etc. för sektionen för övrigt utsätter bärverket för normalspänningar.

Lättbärverkets funktionssätt förutsätter en tillfredsställande fogningsmetod mellan profil och ytskikt samt skarvning av skivmaterialet. En speciell undersökning fordras därför beträffande dessa problem.

Målsättningen är att via teoretisk behandling och praktiska försök kunna ge ett beräkningsunderlag för dimensionering av lättbärverk med samverkande blandkomponenter för olika typer av belastningar.

7 BERÄKNINGSEXEMPEL

Som beräkningsexempel betraktas ett bärverk utsatt för ett böjande moment M (FIG. 17). Ytskiktet utgöres av plywood med elasticitetsmodul $E_y = 10^4 \text{ N/mm}^2$. Tillåten tryckpåkänning i fibrernas längdriktning är $\sigma_y = 12 \text{ N/mm}^2$ och brottpåkänningen är $\sigma_{yB} = 32,5 \text{ N/mm}^2$. Som grundmaterial väljes 1 mm förzinkad plåt med en antagen sträck- och brottgräns lika med 240 N/mm^2 resp. 440 N/mm^2 . Tillåten påkänning $\sigma_a = 160 \text{ N/mm}^2$. Plåtmaterialiets arbetskurva karakteriseras av ett utpräglat flytområde och dess elasticitetsmodul är $E_a = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$.

Plywoodtjockleken väljes 12,5 mm (5-skiktsplywood) där den effektiva tjockleken är lika med $3 \times 2,5 = 7,5 \text{ mm}$. Av praktiska skäl förutsättes att profilbredden $2B$ är lika med 600 mm, vilket motsvarar halva skivbredden. Vidare väljes profilbredden b lika med 60 mm för erhållandet av den nödvändiga kontaktytan mellan plåt och skiva.

Följande frågeställningar skall utrönas:

- Sektionshöjden H för ett statistiskt optimalt tvärsnitt.
- Blandkomponentens skiv- och plåtpåkänning i bruksstadiet.
- Bärverkets tillåtna belastning q i kp/m^2 (bortse från dess egenvikt)
- Förklaringen till att säkerhet och påkänningar bestämmas med utgångspunkt från bruksstadiet och ej från brottstadiet.

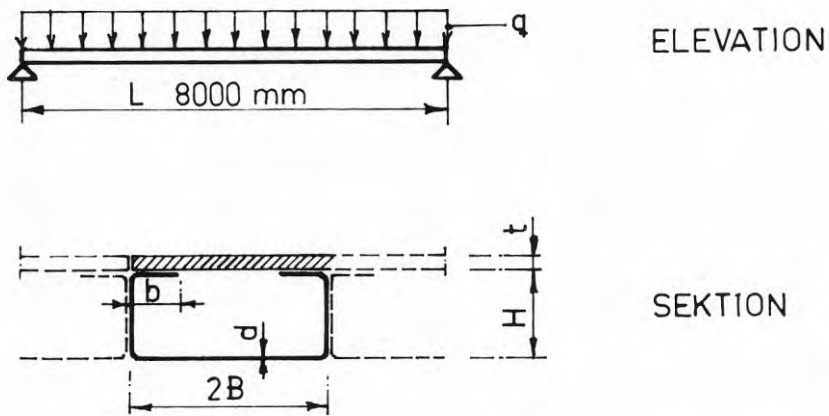
Sektionsstorheterna:

$$X_1 = t/d = 7,5/1 = 7,5$$

$$X_3 = b/B = 60/300 = 0,2$$

där den tredje storheten avläses ur diagram FIG. 15:

$$X_2 = 1,75 = B/H \quad H = 170 \text{ mm}$$



Givet:

Profil: $\sigma_a = 160 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_s = 240 \text{ N/mm}^2$; $E_G = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$

Ytskikt: Plywood $\sigma_y = 12 \text{ N/mm}^2$; $E_y = 10^4 \text{ N/mm}^2$

$X_1 = t/d = 7,5 / 1,0 = 7,5$; $X_3 = b/B = 60/300 = 0,2$

Sökes:

- Sektionshöjden H för ett statiskt optimalt tvärsnitt
- Blandkomponentens skiv- plåtpåkänning i bruksstadiet
- Bärverkets tillåtna belastning q [kp/m^2]
- Orsaken till att säkerhet och påkänningar bestäms med utgångspunkt från bruksstadiet och ej från brottstadiet.

FIG 17. Bärverk utsatt för böjning – beräkningsexempel.

Frågeställning a): För ett statistiskt optimalt tvärsnitt är sektionshöjden $H = 170$ mm.

Påkänningarna inom blandkomponenten befinner sig inom modulstadium B (FIG. 15). Enligt avsn. 4.2 och 5.2 är ansatsen för kombinationsmodulen:

$$E_I = \frac{\chi_1 \cdot E_y + \chi_3 \cdot E_a}{\chi_1 + \chi_3} = \frac{7,5 + 4,2}{7,5 + 0,2} \cdot 10^4 = 1,52 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

och uttrycket för blandkomponentens ideella påkänning:

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \frac{\sigma_s (E_I - E_y) (\sigma_a - \sigma_y)}{\sigma_a \cdot (E_a - E_y)} + \sigma_y = \frac{240 \cdot 10^4 (1,52 - 1) (160 - 12)}{160 \cdot 10^4 (21 - 1)} + \\ &+ 12 = 17,77 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Vidare är:

$$\begin{aligned} \epsilon_i &= \frac{1}{E_y} \left[\sigma_i - \frac{\sigma_s}{E_a} (E_I - E_y) \right] = \frac{1}{10^4} \left[17,77 - \frac{240 \cdot 10^4 (1,52 - 1)}{21 \cdot 10^4} \right] = \\ &= 11,83 \cdot \frac{1}{10^4} \end{aligned}$$

$$\epsilon_k = \epsilon_i - \epsilon_s = \epsilon_i - \frac{\sigma_s}{E_a} = \frac{1}{10^4} \left[11,83 - \frac{240}{21} \right] = 0,4 \cdot \frac{1}{10^4}$$

Varför påkänningarna i blandkomponenten blir:

$$\sigma_{yi} = \epsilon_i \cdot E_y = 11,83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ai} = \sigma_s = 240 \text{ N/mm}^2$$

Frågeställning b): Blandkomponentens skiv- och plåtpåkänning i bruksstadiet är:

$$\sigma_{yi} = 11,83 \text{ N/mm}^2 \text{ resp. } \sigma_{ai} = 240 \text{ N/mm}^2.$$

Uttrycken för tvärsnittskrafterna är:

$$K_1 = \sigma_{yi} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot H \cdot d = 11,83 \cdot 7,5 \cdot 1,75 \cdot H \cdot d = 155,28 \cdot H \cdot d \text{ N}$$

$$K_2 = \sigma_{ai} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot H \cdot d = 240 \cdot 1,75 \cdot 0,2 \cdot H \cdot d = 84,00 \cdot H \cdot d \text{ N}$$

$$K_3 = \frac{3\epsilon_k}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d = \frac{3 \cdot 0,4 \cdot 240}{5 \cdot 11,43 + 3 \cdot 0,4} \cdot H \cdot d = 4,94 \cdot H \cdot d \text{ N}$$

$$K_4 = \frac{1,5 \cdot \epsilon_s}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d = \frac{1,5 \cdot 11,43 \cdot 240}{5 \cdot 11,43 + 3 \cdot 0,4} \cdot H \cdot d = 70,52 \cdot H \cdot d \text{ N}$$

$$K_5 = \frac{\frac{2}{3} \cdot \epsilon_s}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d = \frac{\frac{2}{3} \cdot 11,43 \cdot 240}{5 \cdot 11,43 + 3 \cdot 0,4} \cdot H \cdot d = 31,44 \cdot H \cdot d \text{ N}$$

$$K_6 = \frac{2}{3} \cdot X_2 \cdot \sigma_s \cdot H \cdot d = \frac{2}{3} \cdot 1,75 \cdot 240 \cdot H \cdot d = 280,00 \cdot H \cdot d \text{ N}$$

där H och d är uttryckt i mm.

Tvärsnittets inre hävarm blir:

$$Z = \left[\frac{(K_1 + K_2)(\epsilon_k + \epsilon_s) \cdot 3 + K_3(0,5 \cdot \epsilon_k + \epsilon_s) \cdot 3 + K_4 \cdot 2 \cdot \epsilon_s}{K_1 + K_2 + K_3 + K_4} + \frac{K_5 \cdot \frac{4}{3} \cdot \epsilon_s + K_6 \cdot 2 \cdot \epsilon_s}{K_5 + K_6} \right] \cdot \frac{H}{5\epsilon_s + 3\epsilon_k} =$$

$$= \left[\frac{239,28 \cdot 11,83 \cdot 3 + 4,94 \cdot 11,63 \cdot 3 + 70,52 \cdot 2 \cdot 11,43}{155,28 + 84,0 + 4,94 + 70,52} + \frac{31,44 \cdot \frac{4}{3} \cdot 11,43 + 280,0 \cdot 2 \cdot 11,43}{31,44 + 280,0} \right] \cdot \frac{H}{5 \cdot 11,43 + 3 \cdot 0,4}$$

$$Z = 0,938 \cdot H$$

Tillåtet moment per profilbredd $B = 300$ mm:

$$M = Z(K_5 + K_6) = 0,938(31,44 + 280,0) \cdot H^2 \cdot d = 292,13 \cdot H^2 \cdot d$$

$$= 292,13 \cdot 170^2 \cdot 1,0 = 8442600 \text{ Nmm}$$

Tillåtet moment per breddmeter

$$M' = \frac{1}{8} \cdot q \cdot 8,0^2 = \frac{844,26}{0,3} \quad \therefore q = 352 \text{ kp/m}^2$$

Frågeställning c) Bärverkets tillåtna belastning är $q = 352 \text{ kp/m}^2$.

För enkelhetens skull bortses från livets medverkan. Det ideella tvärsnittet består således av blandkomponenten med arean $b \cdot d + t \cdot B$ i den tryckta zonen och med arean $d \cdot B$ i den dragna zonen varvid:

$$x_1 = 7,5$$

och

$$E_I = \frac{7,5 + 21 \cdot x_3}{7,5 + x_3} \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

För modulstadium B är:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_s(E_I - E_y)(\sigma_a - \sigma_y)}{\sigma_a(E_a - E_y)} + \sigma_y = \frac{240(E_I - 10^4)(160 - 12)}{160(21 - 1) \cdot 10^4} + 12$$

Ett statistiskt optimalt tvärsnitt förutsätter att:

$$\frac{\sigma_i}{E_I} \cdot x_2 \cdot 10^4 (x_1 + 21 \cdot x_3) + \frac{1}{2} \left(\frac{21}{E_I} \cdot \sigma_i - 160 \right) - 160 \cdot x_2 = 0$$

För $x_2 = \infty$ är:

$$\frac{\sigma_i}{E_I} \cdot 10^4 \cdot (x_1 + 21 \cdot x_3) - 160 = 0$$

$$\sigma_i = \frac{160 \cdot E_I}{10^4 (x_1 + 21 \cdot x_3)} = \frac{160}{7,5 + x_3}$$

som insättes i ekvationen ovan, vilket ger:

$$X_3 = 0,3$$

och som överensstämmer med diagram FIG. 15.

$$\sigma_i = 20,51 \text{ N/mm}^2$$

$$E_I = 1,77 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i > \frac{E_I}{E_a} \cdot \sigma_s = 20,23 \text{ N/mm}^2 \text{ (som antagit modulstadium B)}$$

$$\varepsilon_i = \frac{1}{E_y} \left[\sigma_i - \frac{\sigma_s}{E_a} (E_I - E_y) \right] = \frac{1}{10^4} \left(20,51 - \frac{240}{21} \cdot 0,77 \right) = 11,71 \cdot \frac{1}{10^4}$$

och påkänningarna i blandkomponenten blir:

$$\sigma_{yi} = \varepsilon_i \cdot E_y = 11,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ai} = \sigma_s = 240 \text{ n/mm}^2$$

Bärverket belastas mot brott. Då jämvikt råder mellan krafterna i övre och undre fläsen lika med:

$$\sigma_j = \sigma_s \cdot X_3 + \sigma_{yB} \cdot X_4 = 240 \cdot 0,3 + 32,5 \cdot 7,5 = 315,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{aB}$$

Jämföres resultatet med arbetsdiagrammet enligt FIG. 16 framgår det att brottet inträffar i blandkomponentens skivmaterial medan påkänningen i undre fläsen har överskridit sträckgränsen och befinner sig inom konsolideringsområdet.

Utgår man från brottstadiet för bedömning av tillåtna påkänningar i bruksstadiet, innebär detta att en dimensioneringsökning av blandkomponenten är nödvändig, exempelvis en ökning av skivans tjocklek.

Jämviktsvillkoret förutsätter att:

$$\sigma_{aB} = \sigma_s \cdot X_3 + \sigma_{yB} \cdot X_1 = 240 \cdot 0,3 + 32,5 \cdot X_1 = 440$$

Härav:

$$X_1 = 11,3$$

I bruksstadiet inom modulstadium A är:

$$\epsilon_i = \frac{\sigma_{ai}}{E_a} = \frac{\sigma_{yi}}{E_y} \quad \therefore \sigma_{ai} = 21 \cdot \sigma_{yi}$$

och

$$\sigma_{ai} \cdot X_3 + \sigma_{yi} \cdot X_1 = 160$$

$$21 \cdot \sigma_{yi} \cdot 0,3 + \sigma_{yi} \cdot 11,3 = 160$$

$$\sigma_{yi} = 9,09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ai} = 190,9 \text{ N/mm}^2$$

som visar att påkänningarna i blandkomponentens skiv- och plåtmaterial har reducerats, vilket tyder på en överdimensionering av blandkomponenten i bruksstadiet (frågeställning d).

R75:1973

Denna rapport avser anslag C 913 från Statens råd för byggnadsforskning till Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Grupp: konstruktion

Pris: 14 kronor