INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Rapport nr. **112**

EGIL BORCHERSEN & LAURITZ RASMUSSEN

BÆREEVNEFORSØG MED SANDWICHVÆGELEMENTER MED MINERALULDSKERNE OG KRYDSFINERSFLANGER

Den polytekniske Læreanstalt, Danmarks tekniske Højskole

Lyngby 1976

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	1
SAMMENFATNING	2
1. INDLEDNING	3
2. FORSØGSELEMENTER	5
3. FORSØGSOPSTILLING OG BELASTNINGSARRANGEMENT	6
4. MÅLEOPSTILLING	7
4.1 Kraftmåling	7
4.2 Deformationsmåling	7
4.3 Registrering af målinger	8
5. FORSØGSOVERSIGT	9
6. VURDERING AF RESULTATER	12
6.1 Vurdering af de enkelte faktorers indflydelse	13
6.2 Brudtyper	19
7. REFERENCER	21
BILAG A : Tegninger	A1-10
BILAG B : Detailbeskrivelse af forsøg	B1-12

FORORD

I Danmarks tekniske Højskoles 0-energihus er, så vidt vides, for første gang anvendt stive mineraluldsplader som kraftoptagende materiale i den bærende konstruktion. De anvendte elementer til ydervægge, tag og dæk er opbygget som en sandwichkonstruktion, hvor kernen (300 mm og 400 mm tyk) er lamelskåret mineraluld med fiberretningen vinkelret på elementets plan, og flangerne vandfast krydsfinér (9 mm tyk) henholdsvis fenollimet spånplade (12 mm tyk). Flangerne er fastholdt til kernelaget ved limlag af énkomponent-polyurethanlim.

Da den tilgængelige viden om dette nye konstruktionelements ydeevne er sparsom, har Instituttet for Husbygning i samarbejde med bl.a. SBI og en række firmaer igangsat en nøjere undersøgelse af disse elementer.

I denne rapport redegøres der for 33 korttids bæreevneforsøg med etagehøje sandwichvægelementer, opbygget af en Rockwool-mineraluldskerne og krydsfinérsflanger. Disse forsøg er udført i samarbejde med A/S Rockwool, som udover at levere elementerne har ydet en betydelig økonomisk støtte til forsøgenes gennemførelse.

Forsøgene har haft til formål at belyse følgende 5 faktorers indflydelse på elementernes korttidsstyrke og -stivhed.

Der er tale om:

- Kernetykkelsen
- Kernerumvægten
- Flangetykkelsen med ens tykke flanger
- Flangetykkelsen med uens tykke flanger
- Belastningens excentricitet.

Rapporten omtaler primært de målte styrke- og stivhedsegenskaber. Det er senere hensigten at lade forsøgsresultaterne danne baggrund for opstilling af beregningsmodeller for sandwich-vægelementernes bæreevne.

Instituttet for Husbygning

Januar 1976

Egil Borchersen Lauritz Rasmussen

SAMMENFATNING:

Med udgangspunkt i DtH-0-energihuselementerne er foretaget 33 korttids-bæreevneforsøg med etagehøje sandwichvægelementer, opbygget af en lamelskåret Rockwool-mineraluldskerne med pålimede krydsfinérsflanger.

Forsøgene belyser elementernes styrke/stivheder i relation til 5 parametre. Hver parameter er belyst gennem 3 varianter med en gennemgående reference, bestående af 12 mm krydsfinérsflanger og 200 mm mineraluldskerne med rumvægt 80 kg/m^3.

1. Variation i kernetykkelse (bøjningsstivhed) 100, 200 og 300 mm.

Med kernerumvægt 80 kg/m viser en tykkelsesændring fra 100 - 200 mm, at bæreevnen forøges proportionalt med tykkelsen, og bøjningsstivheden øges med kvadratet på afstanden mellem flangerne. Ved kernetykkelse 300 mm er kernestivhederne ikke tilstrækkelige til fuld samvirken mellem flangerne. Bæreevnen falder, og stivheden vokser ikke længere proportionalt med kvadratet på flangeafstanden.

2. Variation i kernerumvægt 60, 80 og 100 kg/m^3.

Med konstant kernetykkelse 200 mm vokser bæreevnen tilnærmelsesvis proportionalt med kernerumvægten (kernestivheden), idet den dog for rumvægt 100 kg/m^3 er begrænset af flangernes materialetrykstyrke.

3. Variation i flangetykkelse med ens tykke flanger 7, 12 og 16 mm.

Med kernetykkelse 200 mm og kernerumvægt 80 kg/m^3 viser resultaterne en sandsynlig retlinet sammenhæng mellem bæreevne og flangetykkelse.

4. Variation i flangetykkelse med uens tykke flanger 7 + 12 mm og 7 + 16 mm.

For kernetykkelse 200 mm og kernerumvægt 80 kg/m^3 er bæreevnen begrænset af materialetrykstyrken for den tyndeste flange.

5. Ændring af belastning fra centralt tryk - tryk på begge flanger - til excentrisk tryk - tryk på ene flange.

For symmetrisk opbygget element med kernetykkelse 200 mm og kernerumvægt 80 kg/m^3 bliver bæreevnen ca. halveret fra central til excentrisk belastning.

For usymmetrisk element (7 + 12 mm) er bæreevnen for central belastning bestemt af den tynde flanges materialetrykstyrke, og bæreevnen reduceret stort set ikke ved at overføre hele belastningen på den tykke flange.

1. INDLEDNING

I forbindelse med projekteringen af DtH-0-energihuset udførte civilingeniør Inger Nygaard i maj 1974 en række bæreevneforsøg med sandwichelementer af forskellig udformning. Forsøgene viste overraskende store korttidsstyrker, jvnf. [1] og [2].

Tiden tillod ikke en mere systematisk undersøgelse af denne vægelementtype inden opførelsen af 0-energihuset.

Instituttet har siden igangsat forskellige forskningsaktiviteter til belysning af den nye elementtypes ydeevne.

Som et led i disse undersøgelser indgik A/S Rockwool og instituttet i forsommeren 1975 en aftale om et delprojekt til belysning af forskellige faktorers indflydelse på sandwich-vægelementers styrke- og stivhedsforhold.

I den tilhørende forsøgsrække skulle følgende parametre varieres i forhold til en reference:

1. Serie: Kernetykkelsen
2. Serie: Kernerumvægten
3. Serie: Flangestivheden
4. Serie: Forskel i flangestivhed
5. Serie: Belastningens excentricitet.

Elementerne består af Rockwool-mineraluldskerne, hvorpå der på begge sider er limet krydsfinér. En nærmere beskrivelse er givet i afsnit 2. Elementerne er uden kantforstærkninger i modsætning til f.eks. de elementer, der er brugt i 0-energihuset.

Variantantallet blev begrænset til 11 i henhold til omstående oversigt, således at der i princippet er 3 varianter i hver serie.

Variant nr.	Serie nr.	Kerne-rumvægt kg/m^3	Kerne tykkelse mm	Flange-tykkelse mm	mm	Belastning
1	1	80	100	12	12	Central
2	1-2-3-4-5	80	200	12	12	Central
3	1	80	300	12	12	Central
4	2	60	200	12	12	Central
5	2	100	200	12	12	Central
6	3	80	200	7	7	Central
7	3	80	200	16	16	Central
8	4-(5)	80	200	7	12	Central
9	4	80	200	7	16	Central
10	5	80	200	12	12	Excentrisk
11	5	80	200	7	12	Excentrisk

Som reference valgtes variant nr. 2, d.v.s. elementet med:

Kernetykkelsen: 200 mm
Kernerumvægt : 80 kg/m^3
Flangetykkelse: 12 mm (begge flanger)
Belastning : Central

For alle varianter er der udført 3 forsøg (betegnet A, B og C).

Elementerne blev ved prøvningen anbragt lodret i en belastningsramme (se afsnit 3) og derefter udsat for en voksende, jævnt fordelt last på henholdsvis øverste og nederste endeflade indtil brud. Under prøvningen blev der foretaget en række målinger af deformationerne, dels i flangeplanerne, dels vinkelret på disse (se afsnit 4).

På grundlag af disse målinger er sidst i rapporten optegnet arbejdskurver m.v. for hver variant.

2. FORSØGSELEMENTER

Sandwich-vægelementerne er opbygget af en mineraluldskerne, på hvis to sider krydsfinérsflanger er pålimet (se tegning 1, bilag A).

Alle elementerne er udført med højden 2400 mm, og bredden 1200 mm, medens kernetykkelsen og flangetykkelsen er varieret.

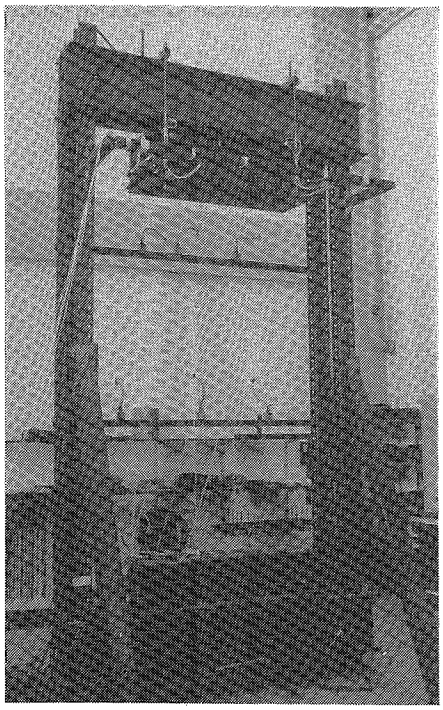
Kernen består af tværstillet (lamelskåret) Rockwool-mineraluld med rumvægte 50, 80 og 100 kg/m^3. Flangerne består af Canadisk Douglas Fir Plywood - Group Exterior PS1-74, A-C i tykkelserne 6,2 , 12,6 og 15,6 mm.

På instituttet er kun foretaget kontrolmålinger af flangetykkelserne, og de angivne tykkelser er middeltal af målingerne.

Som det fremgår af tegning 1, bilag A, er elementerne udført uden side-og kantforstærkninger.

Elementerne er fremstillet af A/S Rockwool, og samtlige elementer har inden prøvningen været lagret i mindst 2 uger ved 20°C ± 2°C og 65%RF ± 2%RF. Hvert element var "lufttæt" indpakket i plast ved leverancen til instituttets forsøgshal, hvor de maksimalt henlå 1 uge inden prøvning. Indpakningen blev fjernet umiddelbart før montering af måleudstyr, og der er løbende registreret lufttemperatur og relativ luftfugtighed.

3. FORSØGSOPSTILLING OG BELASTNINGSARRANGEMENT





Forsøgsopstillingen og belastningsarrangementet er vist på tegningerne 2-7, bilag A.

Elementet er opstillet på en fast trykfod (se tegning 4), idet der mellem trykfod og element dog er indskudt en trykfordelende mellemlægsplade. For de første tre varianter (V1 - V2 - V3) blev en blød træfiberplade anvendt som mellemlægsplade, men den blev i de efterfølgende forsøg erstattet af en krydsfinérsplade.

Belastningen påføres foroven med lodret virkende hydrauliske presser som via et trykhoved fordeler trykket til de to flanger.

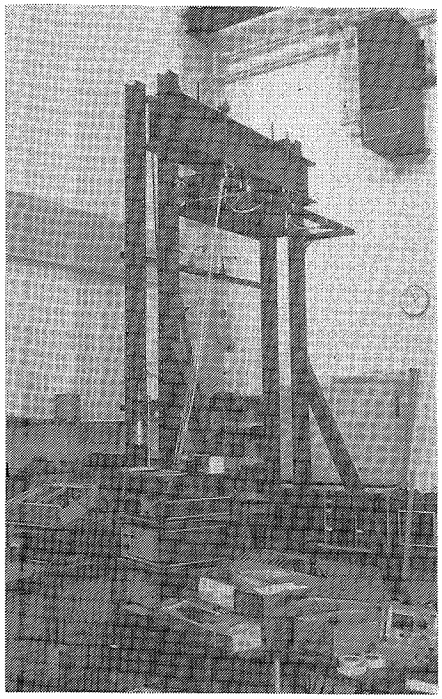
Trykhovedet er med kugleskåle gjort drejelig om en vandret akse i elementernes plan i højde med stempelstængernes endeflader (se tegning 5). Pressetrykket vil så fordeles ligeligt til flangerne, uanset disses sammentrykning, hvis element og trykhoved er anbragt perfekt i den lodrette belastningsplan.

Drejeligheden af trykhovedet kunne give anledning til vandrette påvirkninger af stempelstængerne og således øge friktionskræfterne i presserne. Dette ville øge usikkerheden på kraftmålingen og efter V1, V2 og V3 forsøgene blev der derfor mellem stempelstænger og trykhoved desuden anbragt vandrette rullelejer (se tegning 5). Den vandrette bevægelighed af trykhovedet, som derved er etableret, blev elimineret ved at anbringe et vandret sidestyr, som vist på tegning 5, som fastholder trykhovedet omkring drejningsaksen.

Trykhovedet blev i de sidste seks forsøg (V10 A, B, C og V11 A, B, C) ændret, således at en excentrisk belastningspåførsel kunne finde sted. Som vist på tegning 7 skulle elementet i disse tilfælde kun belastes på den ene flange, hvorfor den anden flanges trykoptagende funktion blev overtaget af to trækstænger. Idet trækket i trækstængerne måles ved hjælp af strain-gages, kan det resulterende tryk på flangen bestemmes.

4. MÅLEOPSTILLING

4.1 Kraftmåling



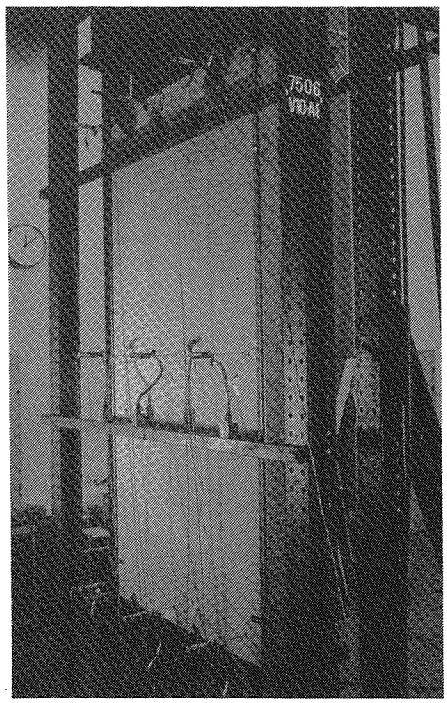
Målingen af kraften skete via to trykceller, der var tilsluttet det hydrauliske system. Den ene trykcelle var tilsluttet et digitalinstrument, der løbende registrerede olietrykket, og som derved gjorde det muligt til stadighed at følge belastningens størrelse. Den anden trykcelle var tilsluttet datalogging-udstyret, og dens udslag blev registreret ved hvert scan med dataloggeren.

I de sidste 6 forsøg (V10 og V11) bestemtes elementets belastning som differensen mellem pressernes tryk og trækket i de to trækstænger. Trækket i de to stænger blev bestemt ved hjælp af 2×2 pålimede straingage, idet der til brug for omregningen fra målt tøjning til træk blev foretaget en kalibrering.

Belastningen fra presserne er bestemt med en usikkerhed på omkring 5 kN, men kan ved kraftig tværpåvirkning af stempelstængerne være noget større.

For en ordens skyld blev også tøjningerne i de vandrette sidestyr målt med straingages under forsøgene.

4.2 Deformationsmåling



Elementernes deformationer blev målt dels ved brug af 16 elektriske flytningsmålere, dels ved brug af 14 strain-gages pålimet flangeoverfladen.

De fire flytningsmålere (T13, T14, T15 og T16) registrerede sammentrykningen af de lodrette flangekanter ved hjælp af fire spærmål påmonteret, som vist på tegning 8 i bilag A.

De resterende 12 flytningsmålere registrerede de vandrette bevægelser vinkelret på elementplanen af 9 henholdsvis 3 flangeoverfladepunkter, som vist på tegning 9, bilag A. Disse målinger giver mulighed for at bestemme flangernes udbøjningsfigur og endvidere elementets tykkelsesvariation i tre højder.

Måleusikkerheden for flytningsmålingerne er omkring 0,05 mm.

Endelig blev overfladetøjningerne på de to flanger målt med strain-gages i lodret og vandret retning i en række punkter, som vist på tegning 10, bilag A.

Resultaterne fra disse målinger er ikke medtaget i denne rapport, men vil indgå i det fortsatte arbejde med elementtypen.

4.3 Registrering af målinger

Registreringen af de ca. 40 målepunkter skete automatisk ved hjælp af en datalogger og en skrive- og hulleenhed. Der blev foretaget to aflæsninger af samtlige målepunkter (to scan) for hvert lasttrin, og det er middeltallet af disse to aflæsninger, der er anvendt som målt værdi senere i rapporten.

5. FORSØGSOVERSIGT

Forsøgene blev gennemført i perioden september - november 1975.

Belastningen blev påført i trin på ca. 10 kN (1 ton), og for hvert lasttrin registreredes to scan af samtlige målepunkter med dataloggeren.

Belastningshastigheden blev derved ca. 5 kN/min. Forsøgenes varighed strakte sig fra ca. 10 min. til ca. 50 min., afhængigt af de enkelte elementers bæreevne.

Luftens temperatur og relative fugtighed i forsøgshallen blev registreret i forsøgsperioden. Temperaturen varierede i intervallet 20°C - 22°C, medens luftfugtigheden hovedsageligt lå i intervallet 55%RF-68%RF, idet der ved forsøgene V5C og V6A dog måltes 44%RF.

På næste side er vist en oversigt over forsøgene, idet der udover målt bæreevne, lodret sammentrykning og brudtype er angivet en række relevante størrelser for de enkelte elementer.

På grundlag af de målte størrelser er der optegnet arbejdslinier, tykkelsesvariation, flangepilhøjder og flangehældninger. Disse er gengivet i bilag B sammen med kommentarer til de enkelte forsøg.

Efter forsøgene blev flangerne flået fra hinanden i de tilfælde, den ene flange ikke allerede ved bruddet var gået fri af kernen. Der er i bilag B gengivet fotografier af flangeindersiderne. Disse fotografier kan give et vist indtryk af limningens kvalitet og brudfladerne i kernematerialet.

Kommentarer til oversigtsskema:

ad.kolonne 4:

Kernerumvægt.
Angivne rumvægte er fabrikantens oplysninger.
Stikprøvekontrolleret efter prøvning.

ad.kolonne 6-7:

Flangetykkelser.
Middelværdier af stikprøvekontrol.

ad.kolonne 8:

Fladevægt.
Elementtypens vægt pr.m^2 flade, baseret på flangerumvægt 600 kg/m^3, flangetykkelse, kernetykkelse og kernerumvægt i henhold til skema.
Stikprøvekontrolleret.

ad.kolonne 9:

Slankhedsforhold - λ.

$\lambda = L \cdot \sqrt{\frac{A}{I}}$, hvor I er inertimomentet, A tværsnitsarealet og L knæklængden (den frie søjlelængde), overalt sat til 240 cm.

ad.kolonne 10:

Bøjningsstivhed - EI.

$EI = \left(E_I \cdot t_I + E_{II} \cdot t_{II}\right) \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2$, idet der ses bort fra kernens bøjningsstivhed ($E_k \sim 0$) og flangernes egen bøjningsstivhed.

h = afstand mellem flangemidtpunkter
b = elementbredden (120 cm)
t_I = tykkelse af flange I
t_{II} = tykkelse af flange II
E_I = E-modul af flange I (bestemt ved forsøg)
E_{II} = E-modul af flange II (bestemt ved forsøg)

ad.kolonne 11:

Lodret sammentrykning.
Elementets lodrette sammentrykning i absolut mål på højden 240 cm.

ad.kolonne 12-13-14:

Bæreevne.
Elementets/elementtypens bæreevne defineret ved den største belastning, der tillader dobbeltaflæsning på samtlige målepunkter (ca. 2 min.'s varighed) uden at indeholde usædvanlige deformationsforløb.

I kolonne 12 er angivet de målte værdier for hvert element.

Kolonnerne 12 og 13 er middelværdier for hver elementtype i enhederne henholdsvis kN og tons.

ad.kolonne 15:

Brudtype.
Betegnelserne refererer til brudfigurerne beskrevet side 20.

6. VURDERING AF RESULTATER

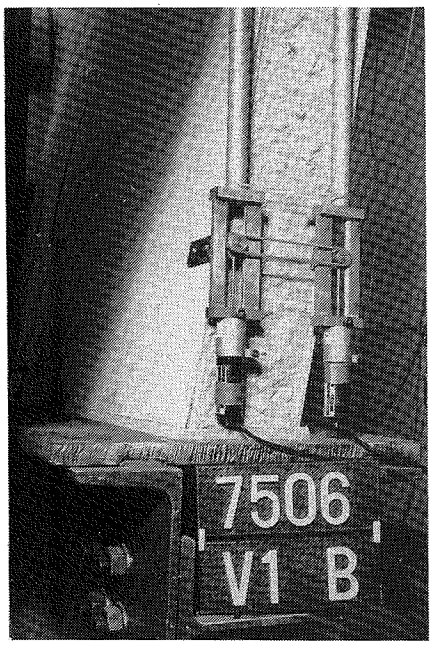
Forsøgene havde primært til formål at belyse fem faktorers indflydelse på bæreevnen. Med den relativt store spredning og det begrænsede antal forsøg pr.variant er det ud fra en statistisk betragtning for spinkelt et materiale at drage alt for kategoriske slutninger af.

Visse sammenhænge synes forsøgsresultaterne dog at antyde. Disse beskrives nærmere i det følgende afsnit 6.1.

I forbindelse med forsøgene og de observerede brudtyper har forfatterne forsøgt at analysere brudårsagerne og er derved kommet frem til 8 brudtyper. Typerne beskrives nærmere i afsnit 6.2,og i oversigtsskemaet side 9 er udfor hvert forsøg angivet, hvilken brudtype forfatterne mener at have observeret.

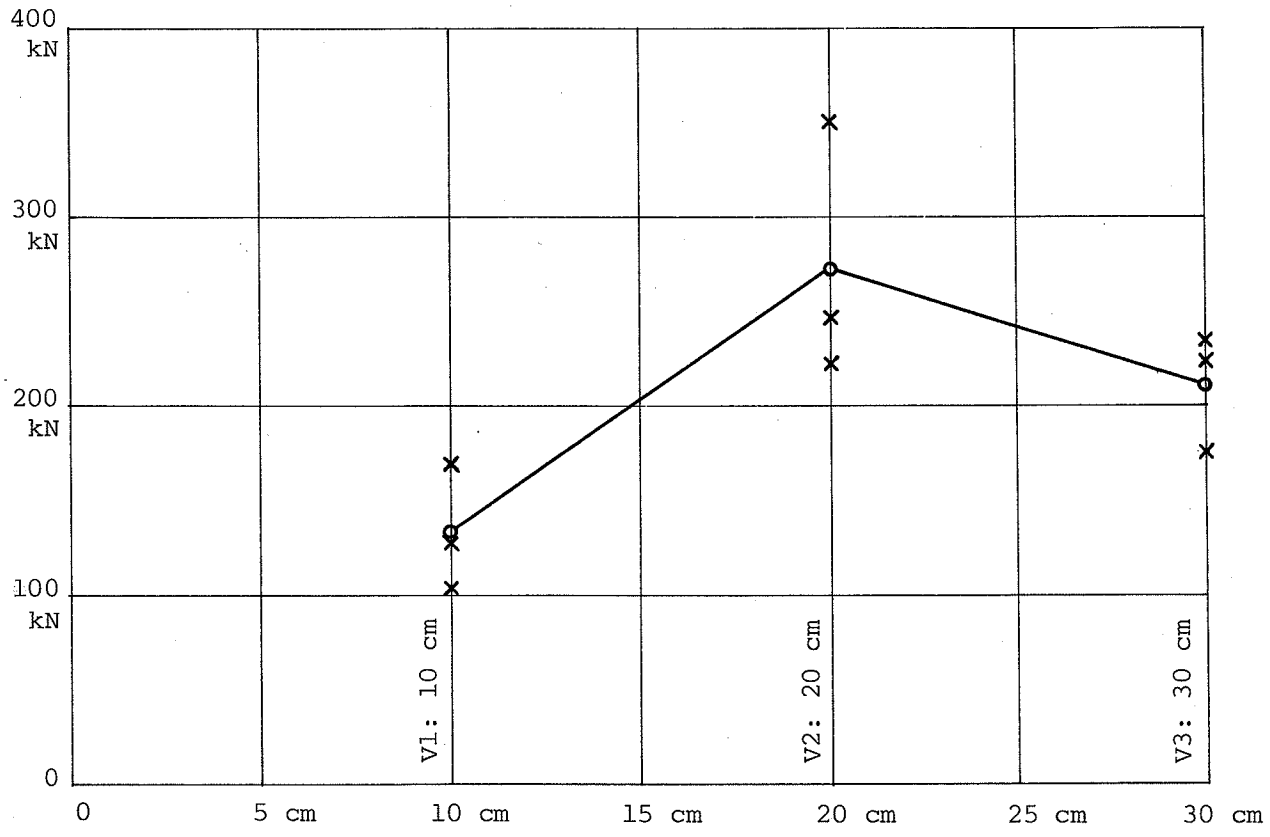
6.1 Vurdering af de enkelte faktorers indflydelse.

Serie 1: Variation i kernetykkelse



Sandwichelementets kernetykkelse er en afgørende parameter for konstruktionens bøjningsstivhed, idet inertimomentet og dermed bøjningsstivheden er tilnærmelsesvis proportional med kvadratet på afstanden mellem flangerne. For de 10 cm tykke elementer optræder brud som "Euler-knækning", og bæreevnen forøges med øget stivhed og dermed kernetykkelse. I et grænseområde mellem 10 og 30 cm synes bæreevnen med de givne kernestivheder ikke at kunne forøges yderligere, idet flangerne ikke samvirker via kernen, men optræder som to uafhængige søjler, understøttet af et kontinuert elastisk medium. Resultaterne tyder endog på, at bæreevne versus kernetykkelse har et optimum, hvor flangerne samvirker optimalt.

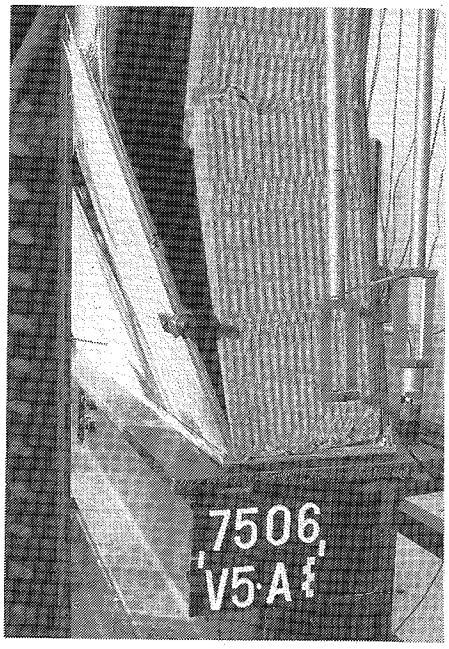
Nedre grænseværdi svarer til flangernes samlede Euler-bæreevne.



SERIE 1: Variation i kernetykkelse
Kernerumvægt: 80 kg/m^3
Flangetykkelse: 12.6+12.6 mm

x-aktuelle bæreevner
o-middelværdier

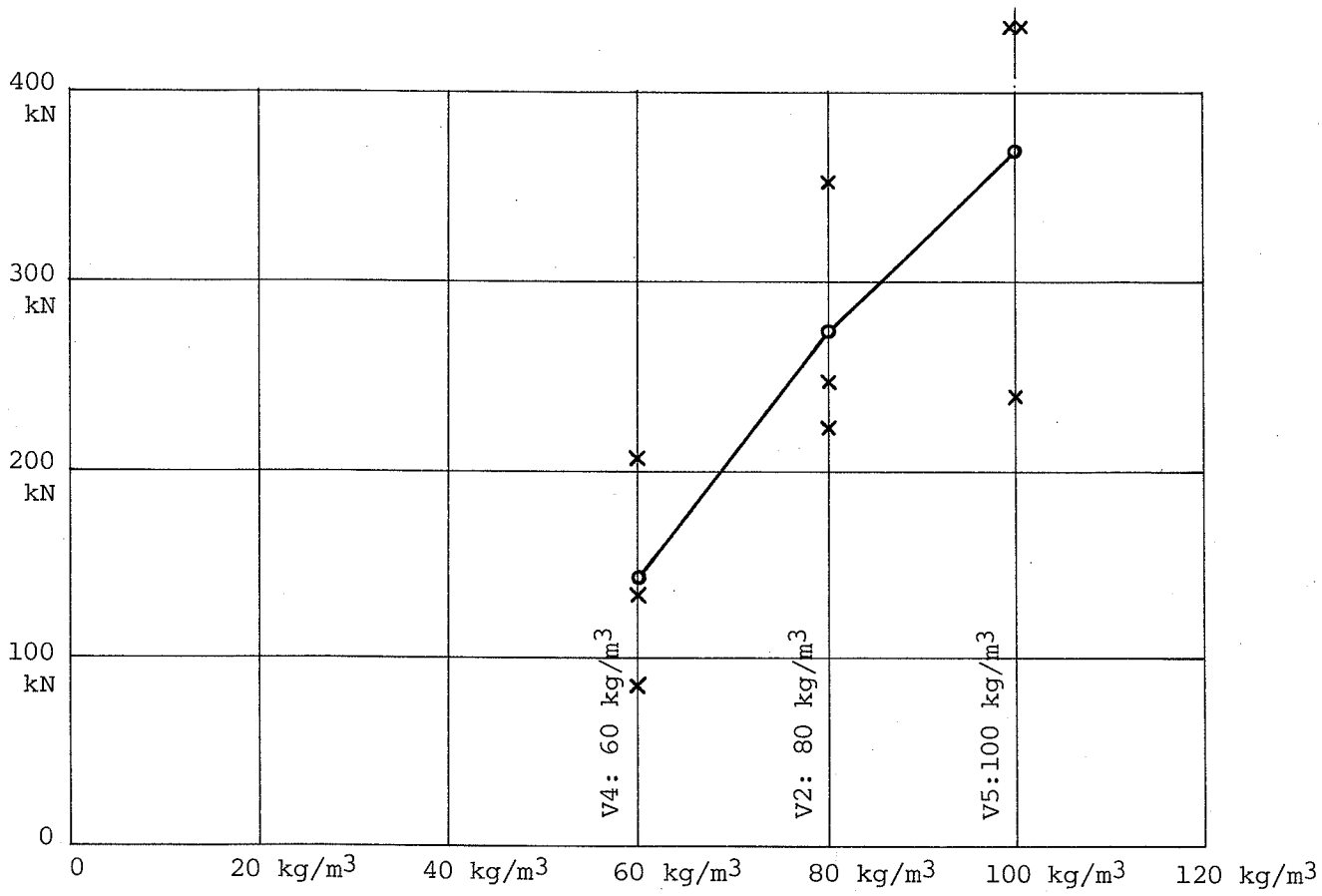
Serie 2: Variation i kernerumvægt



Forsøgene viser en markant stigning i bæreevnen fra rumvægt 60 kg/m^3 til 100 kg/m^3. For den sidste elementtype V5: 100 kg/m^3 tangerer bæreevnen flangernes materialetrykstyrke, hvilket viser, at mineraluldens egenskaber her er tilstrækkelige til maksimal udnyttelse af flangernes styrkeegenskaber.

Kernens statiske funktion i en sandwichkonstruktion er at stabilisere flangerne, d.v.s. at holde flangerne i korrekt afstand fra hinanden og hindre, at flangerne glider i forhold til hinanden. Kernematerialets mekaniske egenskaber i tryk, træk og forskydning vinkelret på flangerne er derfor afgørende for elementets bæreevne. Materialeegenskaberne vil blive nærmere bestemt i efterfølgende forsøg. Tidligere undersøgelser tyder på, at de mekaniske stivheder er tilnærmelsesvis proportional med rumvægten.

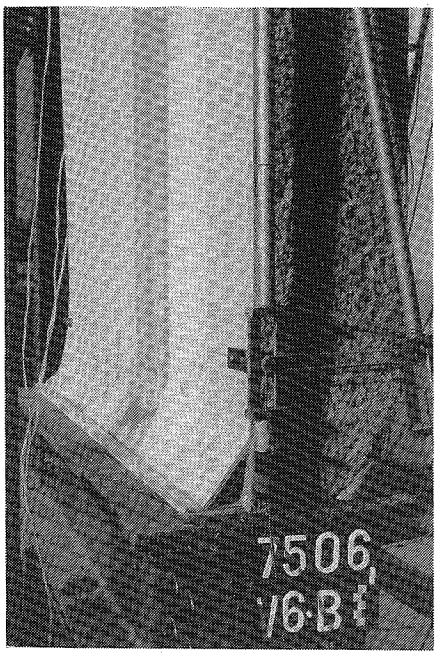
Nedre grænseværdi svarer til flangernes egne Euler-bæreevner.



SERIE **2**: Variation i kernerumvægt
Kernetykkelse: 20 cm
Flangetykkelse: 12.6+12.6 mm

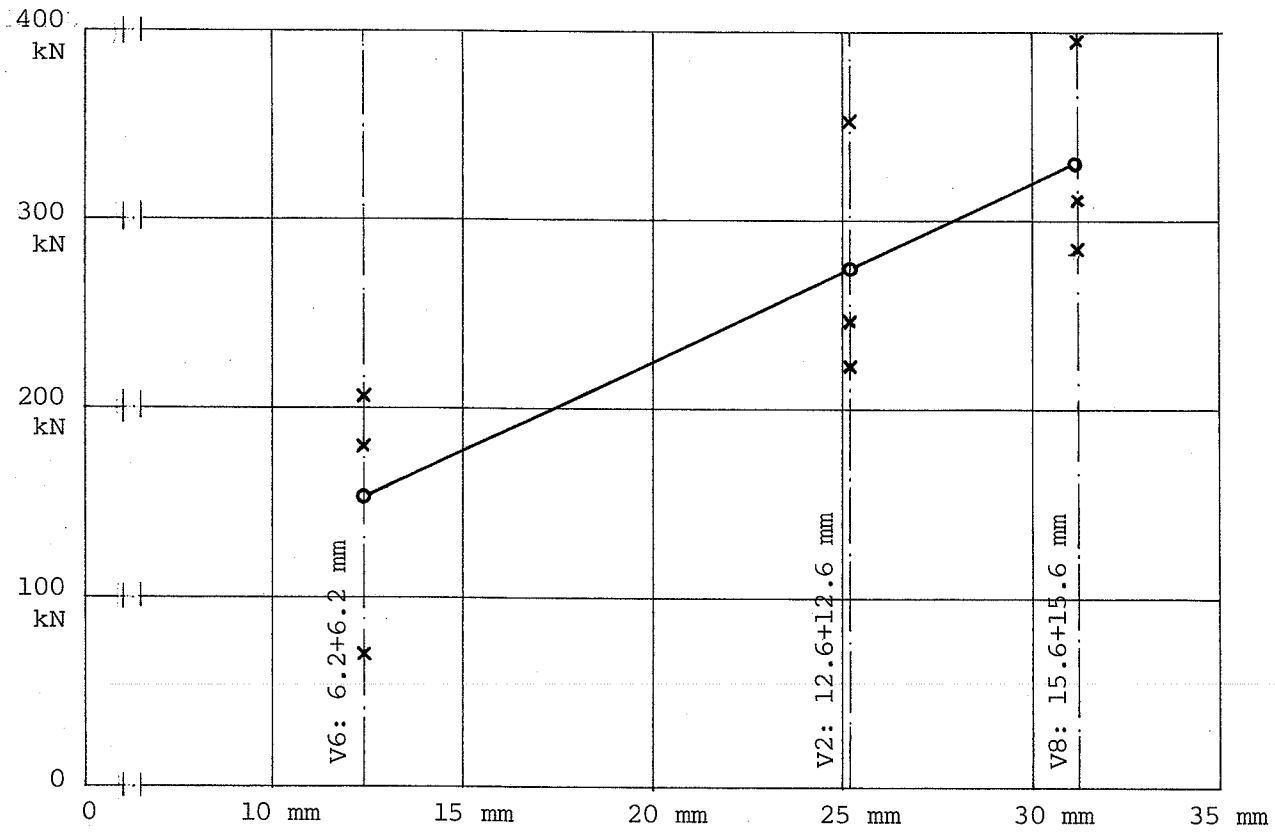
×-aktuelle bæreevner
o-middelværdier

Serie 3: Variation i flangetykkelse



Når kernematerialets styrke/stivheder i tryk, træk og forskydning er tilstrækkeligt store for optimal samvirkning af flangerne, vil sandwichelementets bæreevne være begrænset af flangematerialets trykstyrke. For et givet materiale vil flangetykkelsen, eller -arealet derfor bestemme elementets bæreevne. Afbildningen viser en sandsynlig retlinet sammenhæng mellem bæreevne og flangetykkelse.

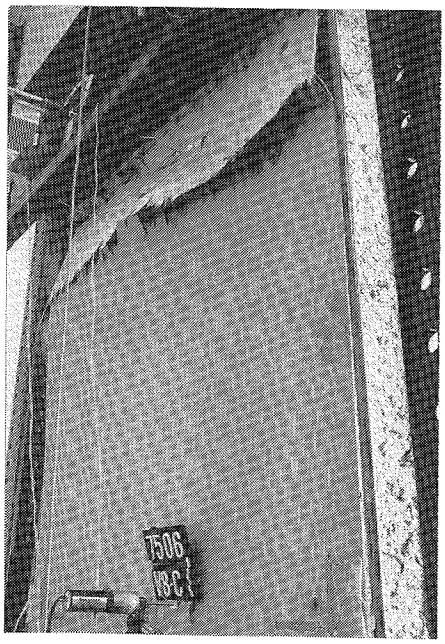
Nedre grænseværdi svarer til mineraluldens egen bæreevne.



SERIE **3**: Variation i flangetykkelse
Kernetykkelse: 20 cm
Kernerumvægt: 80 kg/m^3

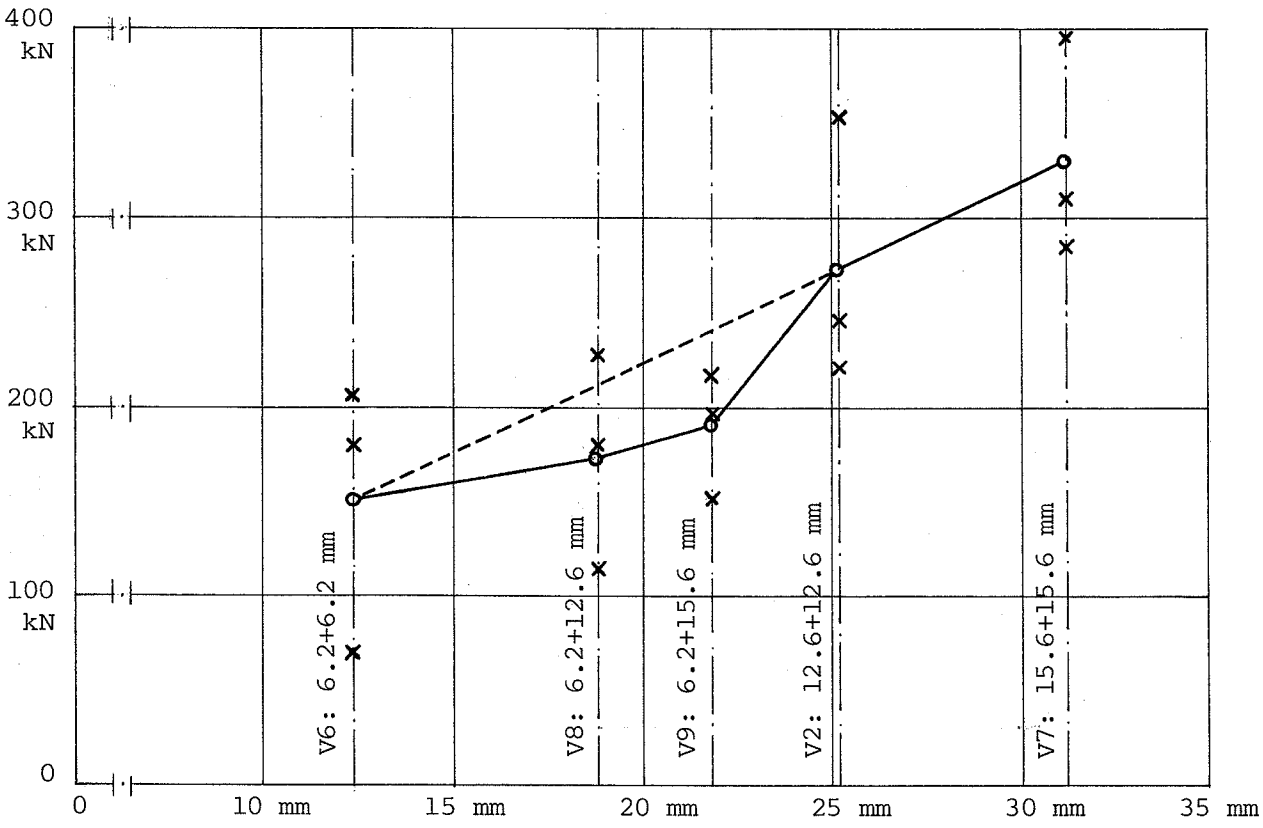
×-aktuelle bæreevner
o-middelværdier

Serie 4: Kombinationer af uens flangetykkelser



I nedenstående grafiske fremstilling er medtaget resultaterne af serie 3, hvor elementerne har samme flangetykkelse på begge sider.

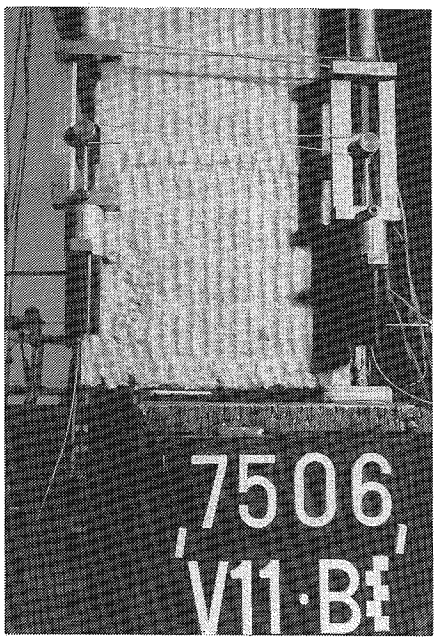
Bæreevnen er ikke længere proportional med det samlede flangetværsnit, men er begrænset af bæreevnen for den tyndeste flange. I alle forsøg (V8 - V9) optrådte materialebrud i tyndeste flange.



SERIE **4**: Kombinationer af uens flangetykkelser - V8-V9
Kernetykkelse: 20 cm
Kernerumvægt: 80 kg/m^3

×-aktuelle bæreevner
o-middelværdier

Serie 5: Excentrisk belastning.



Afbildningen viser, hvordan bæreevnen fordeler sig over tværsnittet, når en given elementtype belastes centralt eller excentrisk.

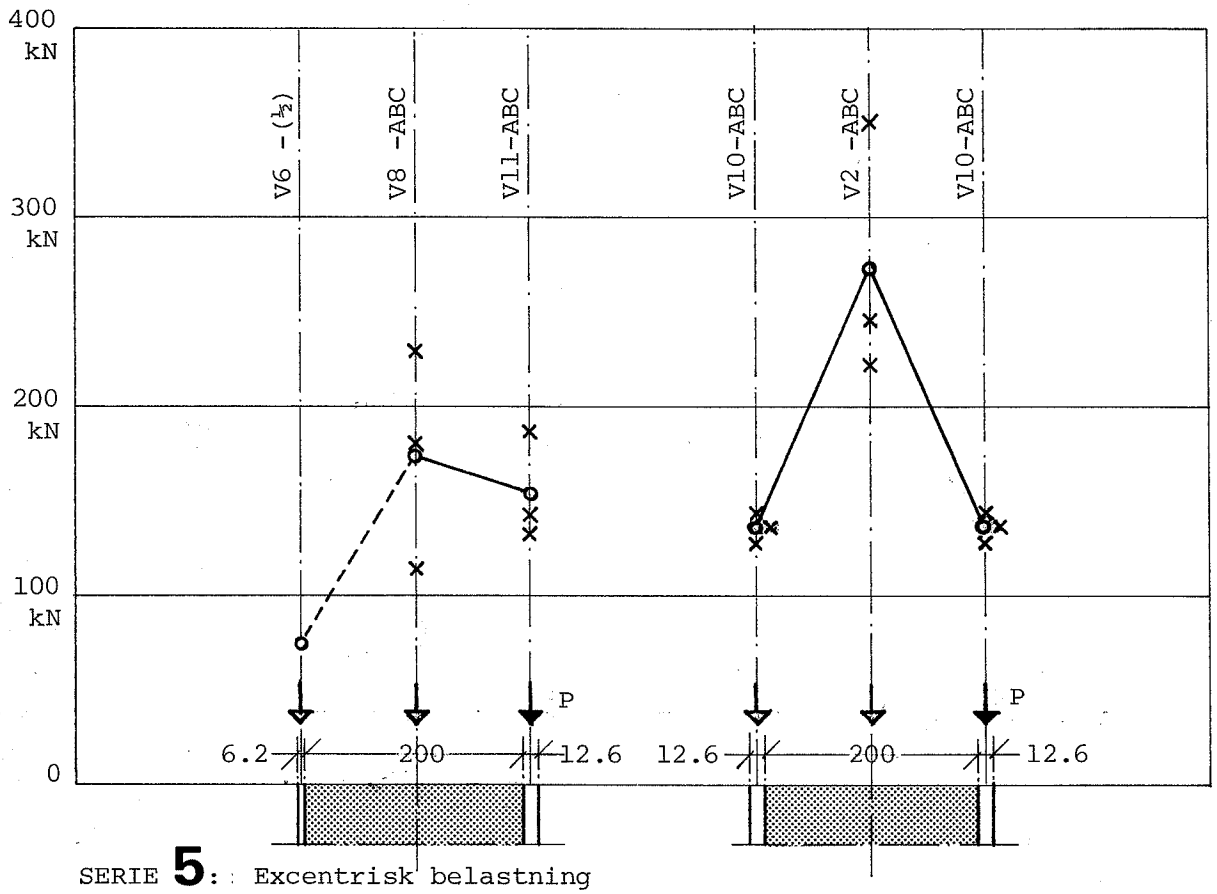
I tilfælde 1: V10-V11 er elementet symmetrisk opbygget, og bæreevnen bliver ca. halveret, når belastningen ændres fra centralt tryk, ensartet tryk på begge flanger, til excentrisk tryk, tryk på den ene flange.

I tilfælde 2: V11-V8-(V6) har elementet uens flangetykkelser, og bæreevnen ændres stort set ikke fra centralbelastning til belastning af tykkeste flange.

Bæreevnen af denne usymmetriske elementtype er, jvnf. serie 4, betinget af bæreevnen for den tyndeste flange.

For at illustrere bæreevnefordelingen over hele tværsnittet, er middelværdien for bæreevnen af den tyndeste flange angivet. Denne svarer til ca.halvdelen af bæreevnen for elementtype V6.

(fortsættes)



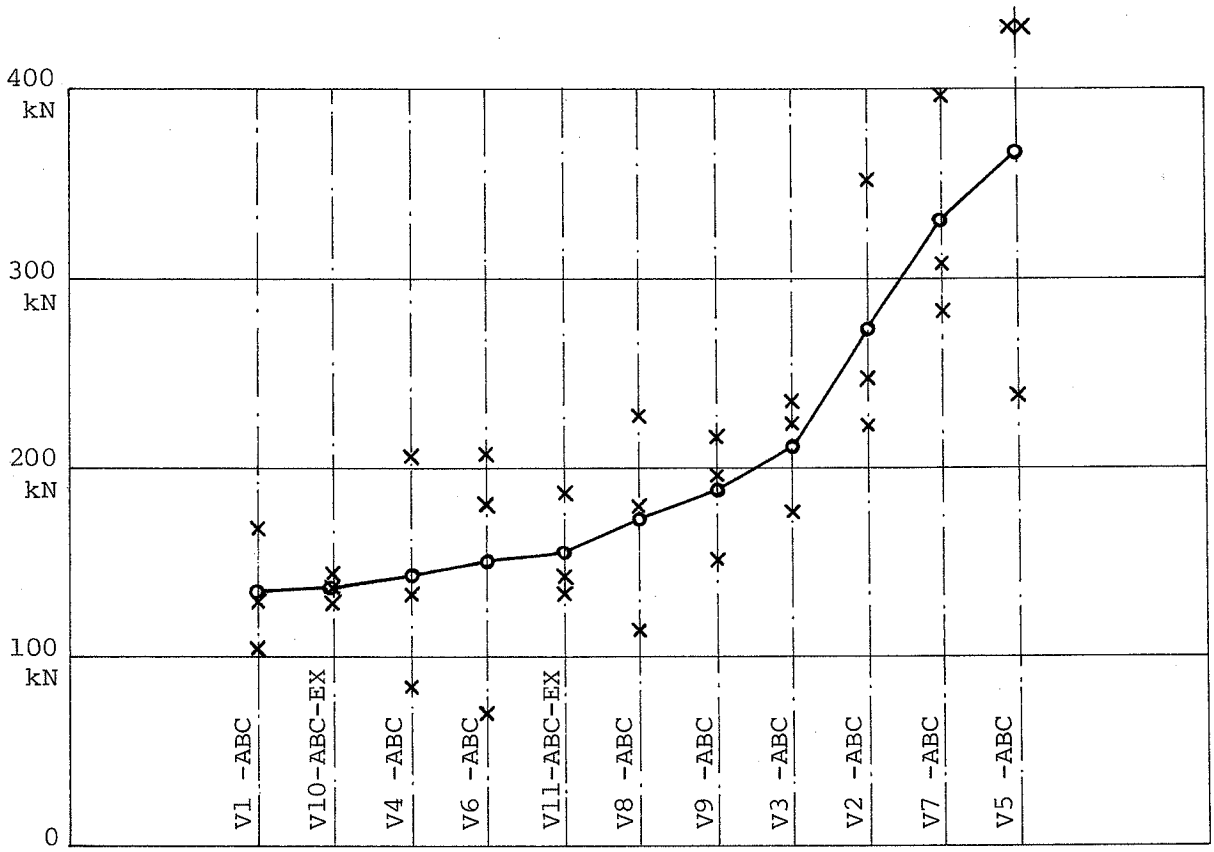
SERIE **5**: Excentrisk belastning
Kernetykkelse: 200 mm
Kernerumvægt: 80 kg/m^3

×-aktuelle bæreevner
o-middelværdier

En sammenligning af bæreevnen for V10 og V11 excentrisk belastet, tyder på, at det tilsyneladende svagere element, V11, har samme bæreevne eller endog større bæreevne. Alle excentrisk belastede elementer bøjede ud til samme side fra den belastede flange mod den ubelastede med pilhøjder på 4-5 mm umiddelbart før brud. De ubelastede flangers egen bøjningsstivhed vil modvirke denne udbøjning og tilføje trækspændinger i top og bund. Dette kan forklare, at den tykkere flange på V10 vil slippe kernen på et tidligere tidspunkt.

Brudværdier i stigende orden

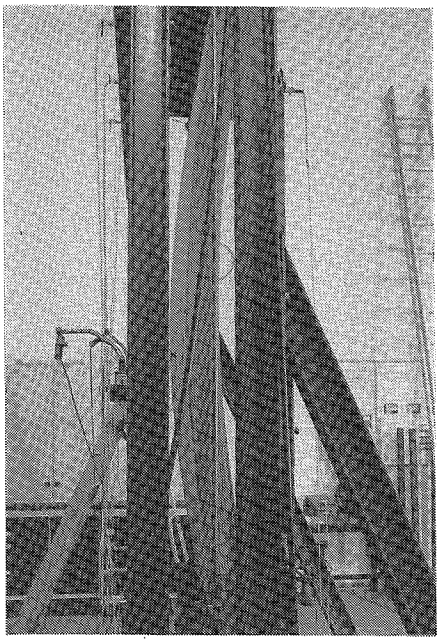
Til orientering er på nedenstående figur afbildet varianterne, ordnet efter middelbæreevners størrelse.



Brudværdier for alle typer i stigende orden

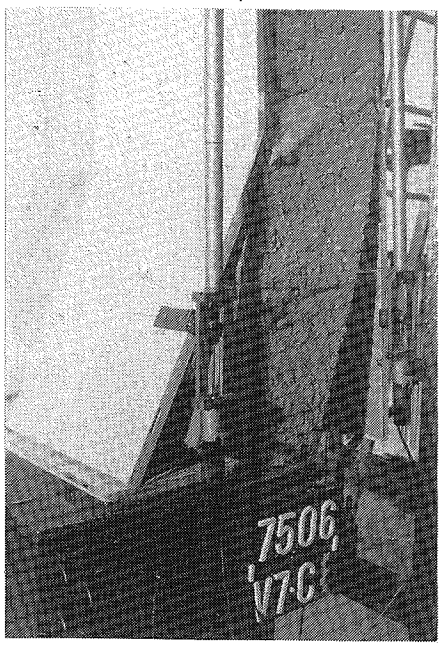
×-aktuelle bæreevner
o-middeltal

6.2 Brudtyper

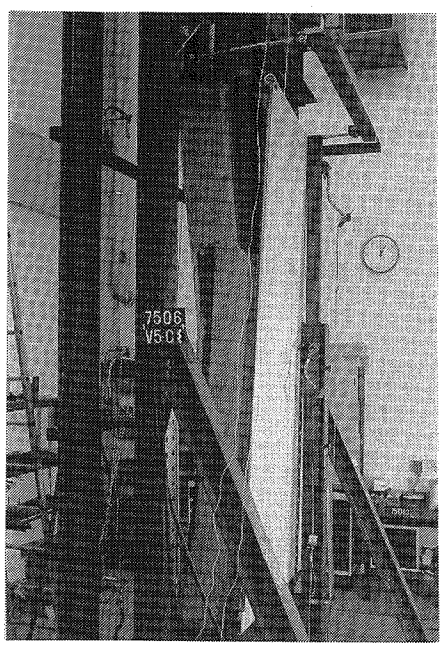


I sandwich-lamelelementer består kernen af et meget let materiale med små stivheder i tryk, træk og forskydning. Det betyder, at tøjningsfordelingen ikke forbliver lineær, og tværsnittets form kan ændres under belastningen. Effekten bliver for det første øgede forskydningsdeformationer, og hermed større udbøjning ved trykbelastning i eget plan, for det andet giver det anledning til øget instabilitet hos flangerne, som folder tidligere.

Er kernematerialets stivheder tilstrækkeligt høje til at forhindre lokalfoldning, og er konstruktionens slankhedstal ikke alt for lille, indtræffer stabilitetsbrud som "Euler-knækning" med tilskud til udbøjningen hidrørende fra forskydningsdeformationer.



Lave kernestivheder vil føre til lokalfoldning af flangerne. Er forholdet mellem kernetykkelse og flangetykkelse tilstrækkeligt lille, vil flangerne påvirke hinanden via kernen og danne et symmetrisk eller antimetrisk foldningsbillede. Er forholdet tilstrækkeligt stort, vil flangerne ikke påvirke hinanden via kernen. Flangerne kan betragtes som uafhængige søjler, undersøttet af et kontinuert elastisk medium.

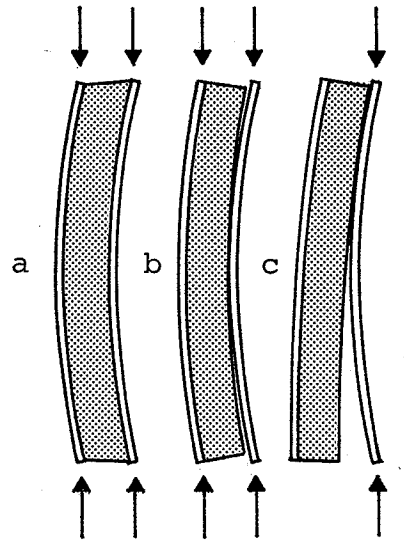


Lokalfoldning af flangerne er ikke observeret i nærværende forsøg, men kan have været et mellemstadium i brudtyperne 2 og 3, side 16,uden at de anvendte målemetoder har kunnet afsløre dette.

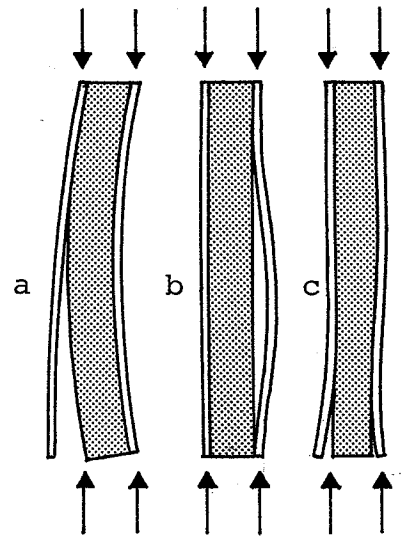
Hvornår brud indtræffer i en sådan struktur, er sandsynligvis betinget af spændingsforøgelser fra uundgåelige excentriciteter og initialdeformationer eller på grund af dårlig vedhæftning mellem flange og kerne. Hvis der ingen vedhæftning er i et område, reduceres bøjningsstivheden til flangens egenbøjningsstivhed, d.v.s. til en størrelse, som sædvanligvis kan negligeres.

Disse ukontrolable forhold forklarer den store spredning på prøvningsresultaterne.

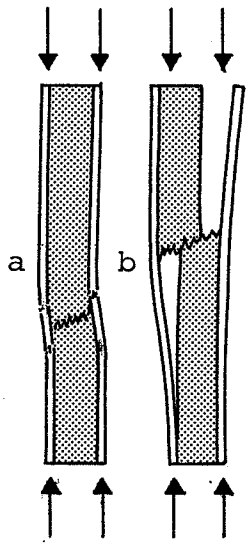
Brudtyper ved prøvning:



1. Formfast knækning (Euler)
   Intet materialebrud i flanger.
   a. Kernen deformeres - svag kerne (intet slip).
   b. Flange slipper kerne i top og bund.
   c. Excentrisk belastning.
   Som b, men udskridning i top eller bund - ingen fastholdelse.



2. Svækkelse af flange (wrinkling).
   Inhomogeniteter, initialdeformationer eller dårlig vedhæftning mellem flange og kerne.
   a. Flange slipper kerne i top eller bund - lynlåseffekt (generel dårlig vedhæftning).
   b. Lokal dårlig limforbindelse medfører på grund af lynlåseffekt hel eller delvis flangeslip.
   c. Kernen deformeres lokalt (sammentrykning) - materialebrud i flange.



3. Stukning.
   Forskydningsbrud i kerne.
   a. Materialebrud i flanger.
   b. Slipning og krumning af flanger.

7. REFERENCER

1 : "Overraskende resultater med elementer til nulenergihuset".

Ingeniørens Ugeblad

18.årg. nr.32 side 1 (9.august 1974)

2 : "Lette, limede ydervægselementer". Rapport udført på grundlag af legat fra Træfonden af civilingeniørerne Hans Nielsen og Knud Prebensen

November 1974

COWIconsult Rådgivende Ingeniører A/S