

INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Rapport nr. **122**

LAURITZ RASMUSSEN

**BRANDFORSØG MED
2 MINERALULDBASEREDE
SANDWICHDÆKELEMENTER**

Den polytekniske Lærestalt, Danmarks tekniske Højskole
Lyngby 1977

FORORD

Brandforsøget, beskrevet i nærværende rapport, var et led i undersøgelserne af de sandwichkonstruktioner, der blev anvendt i DtH's 0-energihus.

Forsøget havde til formål at belyse dæk-konstruktionens brandmodstandsevne, uden at der var tale om en egentlig klassifikationsprøvning for bærende bygningsdele efter DS 1052.

Selve den brandtekniske prøvning er udført i overensstemmelse med DS 1051: "Brandtekniske prøvninger af bygningsdeles modstandsevne mod brand".

Forsøget blev udført på Statsprøveanstalten under mit eksamensarbejde i foråret 1975.

Lyngby, april 1977

Lauritz Rasmussen

INDHOLDSFORTEGNELSE:

	Side
FORORD	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	2
SAMMENFATNING	3
1. INDLEDNING	4
2. FORSØGSBESKRIVELSE	5
2.1 Forsøgselementer	5
2.2 Forsøgsopstilling	6
2.3 Målinger	7
2.3.1 Kraft- og deformationsmålinger	8
2.3.2 Temperaturmålinger	8
2.3.3 Kvalitative målinger under forsøg	8
3. DISKUSSION AF FORSØG OG MÅLERESULTATER	11
4. BEREKNING AF RESTBÆREEVNE	17
5. KONKLUSION	25
6. REFERENCER	26

BILAG:

- Bilag 1 : Forsøgselementer
- Bilag 2 : Forsøgsopstilling
- Bilag 3 : Målepunkter for nedbøjningsmå-
ling under lastpåførsel
- Bilag 4 : Prøveelementernes arbejdslinie
under lastpåførsel
- Bilag 5 : Målepunkter for nedbøjningsmå-
ling under brandprøvning
- Bilag 6 : Deformationsforløb under brand-
prøvning
- Bilag 7 : Temperaturmålinger under brand-
prøvning (termoelementernes pla-
cering)

SAMMENFATNING

I rapporten beskrives et brandforsøg med to mineraluldbaserede sandwich-dækelementer inkl. samling for vurdering af konstruktionens brandtekniske klassifikation.

Elementerne blev brandpåvirket efter den tid-temperaturkurve, der er fastsat i DS 1051 og belastet svarende til brugslast på etagedæk.

På grund af en fejl ved den praktiske udførelse af en kantstopning langs den ene ovnside måtte forsøget afbrydes efter 44 minutters forløb.

En beregning af restbæreevnen af det reducerede tværsnit viser, at konstruktionen efter 44 minutters brandpåvirkning kan bære ca. 2,1 gange prøvelasten.

Konstruktionen var stabil under hele forsøget, samlingerne forblev røgtætte og næsten uskadte, og temperaturerne på konstruktionens ueksponerede overflade forblev uændrede.

Konstruktionens brandtekniske klassifikation svarer mindst til BD-bygningsdel 30 og sandsynligvis til BD-bygningsdel 60.

1. INDLEDNING

Bærende sandwichkonstruktioner udnytter primært styrkeegenskaberne i konstruktionsernes overflade og er derfor særlig udsatte ved brandpåvirkning både udefra og indefra. De styrkemæssige egenskaber under brand afhænger primært af valget af flangemateriale, men også af limforbindelsen og kernematerialet.

Anvendelsen af mineralsk kernelag i modsætning til kunsstofkerner er en væsentlig forbedring af sandwich-konstruktioners evne til at modstå høje temperaturer, og gennembrændingstiden forlænges betydeligt.

Skal konstruktionen imidlertid klassificeres som en bærende, branddrøj bygningsdel (BD-bygningsdel) i henhold til DS 1052, skal den bl.a. opfylde følgende krav: "Hvis prøvelegemet er belastet under prøvningen, må det ikke bryde sammen, og det skal efter slukning og afkøling have en restbæreevne, som er $\geq 1,5 \times$ prøvelasten".

Dette krav kan synes urimeligt i konstruktioner af træbaserede materialer, hvor konstruktionen alligevel må fornys efter en brandpåvirkning, men spørgsmålet om konstruktionens sikkerhed må naturligvis vurderes i relation til personsikkerheden (redningstid m.v.).

Den bedste måde at sikre konstruktionen en tilstrækkelig restbæreevne er naturligvis at indskrænke valget af flangematerialer til brandimprægnerede eller ikke brændbare materialer.

I 0-huskonstruktionen er flangerne af træbaserede materialer, og restbæreevnen skal alene sikres gennem elementernes kantbegrænsninger, samlebjælken og overflangen (bjælke med tynd krop og tynd flange). Konstruktionen kan i dette tilfælde ikke betragtes som en ren sandwichkonstruktion, men må betegnes som en kombineret sandwich- og stressed-skin-konstruktion.

2. FORSØGSBESKRIVELSE

Prøvningen blev foretaget på Statsprøveanstalten, hvor dækelementerne blev monteret på en horisontalovn, som automatisk styres efter den tid-temperaturkurve, som er foreskrevet efter DS 1051.

Elementerne blev belastet under forsøget svarende til brugslasten på etagedæk i almindeligt boligbyggeri fastsat efter DS 410.

Nyttelast:	1,50 kN/m ²
Lette skille vægge + slidlag:	1,20 kN/m ²
Påført last ialt:	2,70 kN/m ²
Egenlast:	0,50 kN/m ²
Samlet last	3,20 kN/m ²

Denne last svarer til et maksimalmoment på 10,6 kNm/m.

Af forsøgstekniske grunde blev elementerne ikke belastet med en jævnt fordelt last, men belastet på en sådan måde, at der i kritiske områder frembragtes spændinger af samme størrelse.

2.1 Forsøgselementer

De to anvendte forsøgselementer med tilhørende samlebjælke er vist på bilag 1.

Elementerne bestod på oversiden af en 12 mm spånplade og på undersiden af en 12 mm krydsfinér (Douglas Fir Plywood) limet på begge sider af 400 mm høje mineraluldslameller med en énkomponent polyurethanlim.

Mineraluldslamellerne var af glasuld med rumvægt 50 kg/m³.

Desuden var elementerne forsynet med en simpel kantafstivning af 15,6 mm krydsfinér.

Elementbredden var 1,20 m og længden 5,4 m. Ca. 0,13 m fra enderne, svarende til vederlagsbredden, var elementerne forsynet med et ekstra endeskot. Elementerne blev samlet som i 0-energihuset med en I-formet fugebjælke (pr. 1,20 m). For at sikre elementernes frie deformation på langs i spændretningen langs ovnsiderne, var elementerne forsynet med kantplader, der styrke- og stivhedsmæssigt modsvarede halvdelen af fugebjælkens styrke og stivhed.

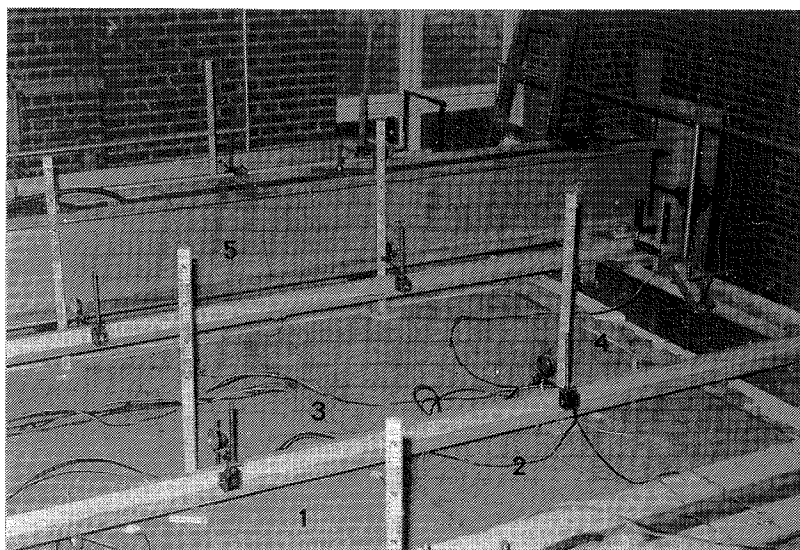
2.2 Forsøgsopstilling

Elementerne blev oplagt på horisontalovn som vist på bilag 2.

Elementerne er simpelt understøttet langs ovnens korte sider og har en fri spændvidde på 5,15 m.

Det eksponerede areal er ca.

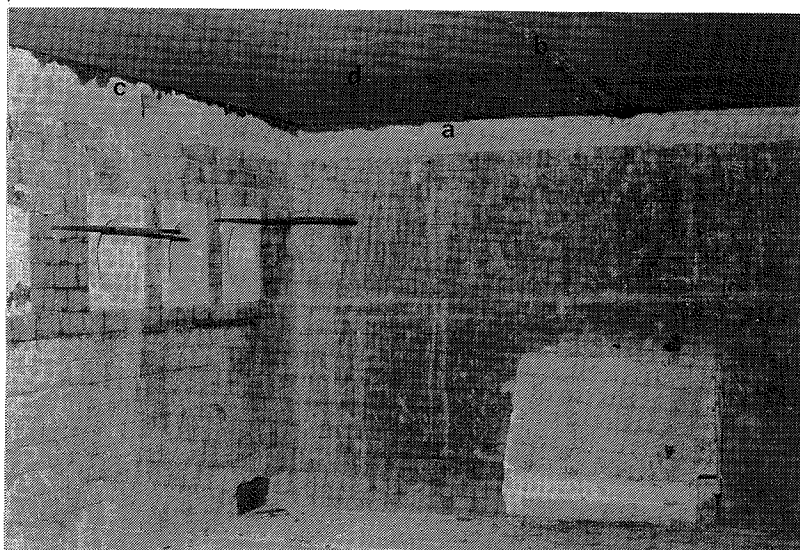
$$2,55 \times 5,15 = 13,1 \text{ m}^2.$$



Figur 2.1:

Forsøgsopstilling.

- 1-2: Prøveelementer (spånpladeflanger)
- 3: Langsgående samling
- 4: Blød kantstopning langs ovnside.
- 5: Travers for pressetryk (4.delslinie).



Figur 2.2:

Prøveelementer set fra brandkammer.

- a: Vederlag
- b: Langsgående samling (stopning + masticforsegling)
- c: Kantstopning m.blød mineraluld
- d: Skarring i krydsfinérflange.

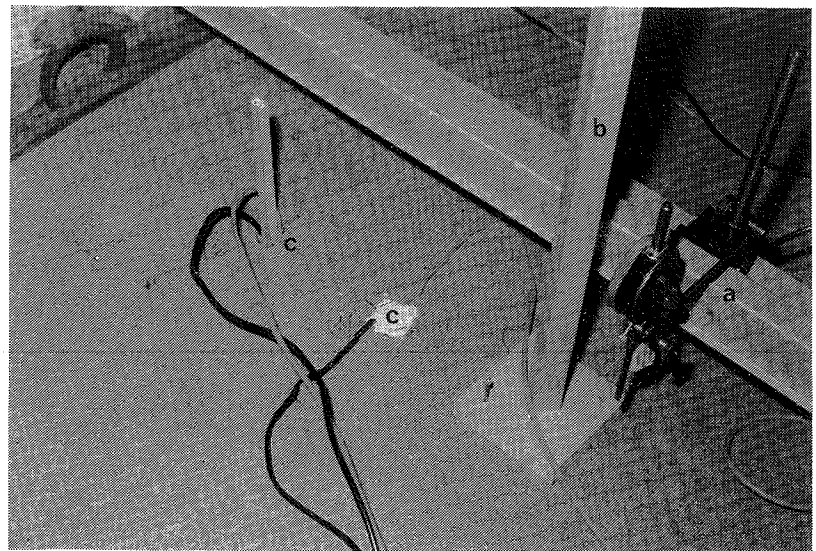
Belastningen blev påført med hydrauliske presser, som tværgående linielaste i elementernes 4.delspunkter. De to elementer blev belastet uafhængigt af hinanden.

Linielastene blev påført gennem fire presser og fire fordelingsåg. Når elementernes egenlast og egenlasten af fordelingsåg blev fradraget, skulle hver presse for at frembringe det bøjende moment på $10,6 \text{ kNm/m}$ præstere en kraft på $7,8 \text{ kN}$, svarende til et olietryk på $6,2 \text{ MN/m}^2$.

2.3 Målinger

Inden brandprøvning blev elementerne belastet til det ønskede statiske arbejdstryk, og elementernes arbejdslinie blev bestemt.

Under prøvningen blev der foretaget målinger af elementernes nedbøjning med 5 minutters interval samt kontinuert måling af temperaturforløbet i og på prøvelegemet.



Figur 2.3:

Måleopstillinger:

- a: Nedbøjningsmåling under lastpåføring
(målebro + måleure)
- b: Nedbøjningsmåling under brandprøvning
(målestok + nivellerinstrument)
- c: Temperaturmåling på og i elementer
(termoelementer tilkoblet målebro og skrivers)

2.3.1 Kraft- og deformationsmålinger

Målingen af kraften skete ved hjælp af en trykcelle, der var tilsluttet det hydrauliske system. Trykcellen var tilsluttet et digitalviserinstrument, efter hvilket olietrykket blev styret manuelt.

Måling af nedbøjninger under belastningspåførslen skete ved hjælp af 6 stk. måleure, anbragt som vist på bilag 3.

På bilag 4 er optegnet elementernes arbejdslinier.

Måling af elementernes nedbøjning under brandprøvningen blev foretaget ved niveaulement til lodrette målestokke placeret på elementerne i 10 målepunkter, som vist på bilag 5. Måling blev foretaget med 5 minutters intervaller under hele prøvningen. På bilag 6 er deformationsforløbet afbildet grafisk.

2.3.2 Temperaturmålinger

Til målingerne blev anvendt termoelementer tilkoblet målebro og skriver. Der anvendtes ialt 24 termoelementer, hvoraf de 16 blev anbragt i og på prøveelementerne, som vist på bilag 7.

De øvrige 8 termoelementer er permanent monteret. Heraf tjener 7 til styring af ovntemperaturen og 1 til registrering af lufttemperaturen.

Resultatet af temperaturmålingerne fremgår af figur 3.1.

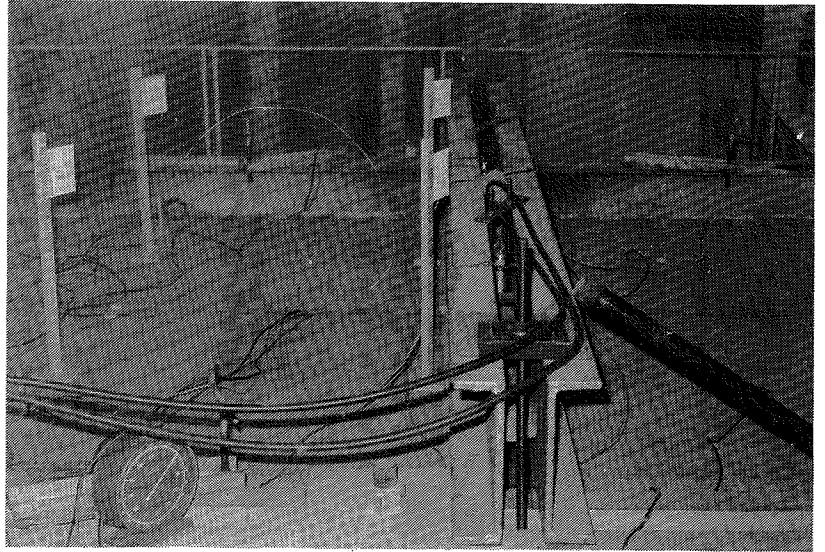
2.3.3 Kvalitative målinger under forsøg

Iagttagelser under forsøget beskrives i det følgende suppleret af en fotografisk montage.

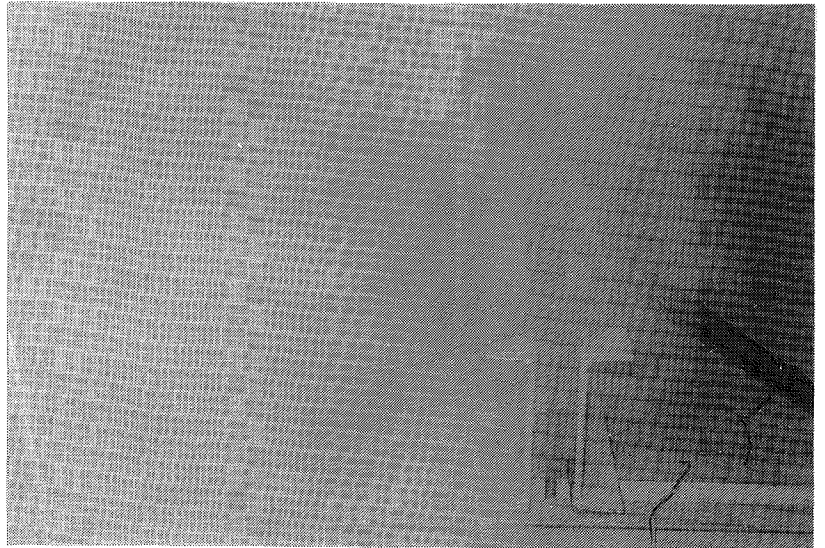
I beskrivelsen er angivet tidtagning fra prøvningens start umiddelbart efter påførsel af prøvelasten.

0 minutter: Brandprøvning påbegyndes
1. deformationsmåling (reference)

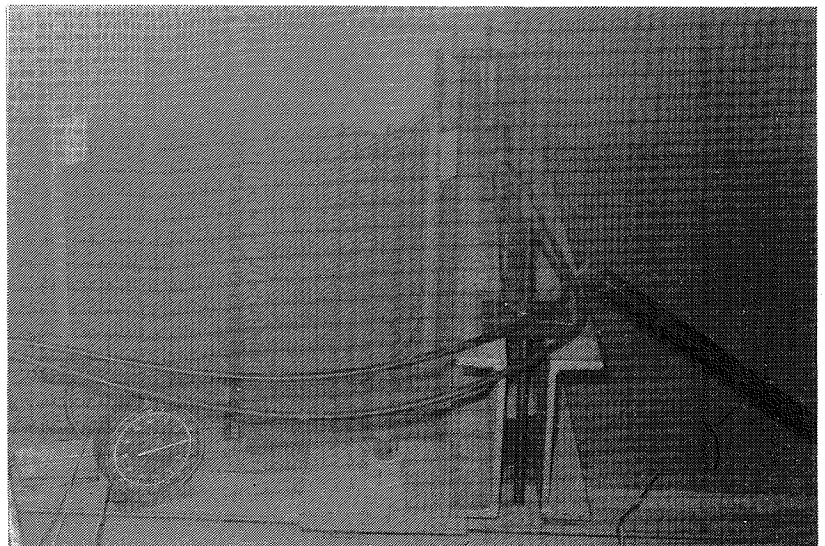
3 minutter: Svag røg gennem stopning ved langsgående rand. Ophører igen.



10 minutter: Begyndende røgudvikling langs kantstopning, men ikke langs element-samling. 3. deformationsmåling.

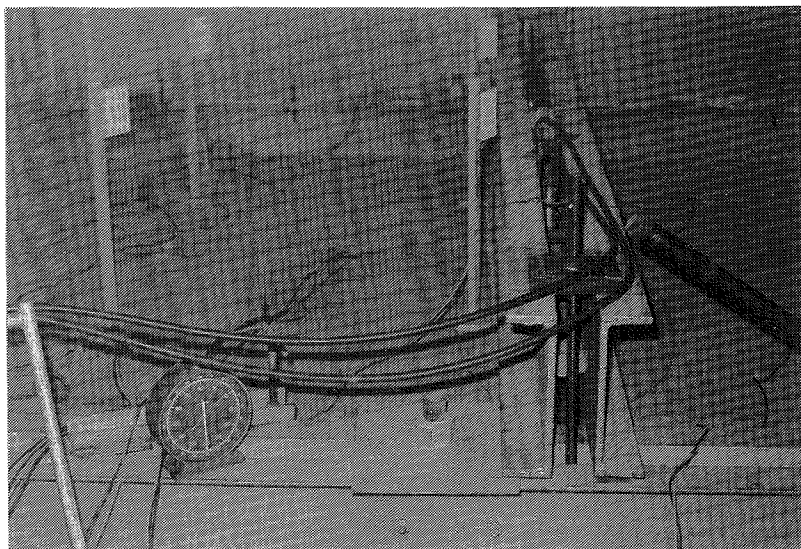


12 minutter: Meget kraftig røgudvikling langs kantstopning. Ilden slår ud gennem åbninger i ovnens side.

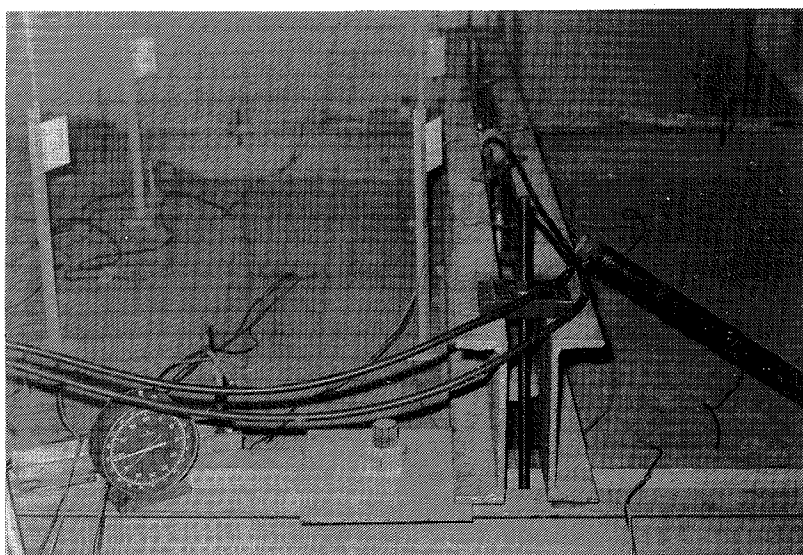


15 minutter: Røgudvikling langs stopning aftager. 4. deformationsmåling. Deformations-hastighed aftager.

- 20 minutter: Røgudvikling næsten ophørt. 5. deformationsmåling. Deformationshastighed aftager.
- 25 minutter: Begyndende røgudtrækning ved begge oplæg ud for elementsamling. 6. deformationsmåling.
- 26 minutter: Mineraluldslameller konstateret "frie" ved kig gennem ovnside.



- 30 minutter: Svag røgudvikling i samling ved endekanter fortsætter. 7. deformationsmåling. Deformationshastighed uændret.
- 40 minutter: Svag røgudtrækning ved samlebjælkens ender fortsætter. 9. deformationsmåling. Deformationshastigheden tiltager kraftigt for element 1. Element 2 uændret.
- 42 minutter: Nederste kantliste i forreste element 1 konstateret bortbrændt lokalt.



- 44 minutter: Knagelyde. Forreste element sætter sig. Begge elementer aflastes. Ilden afbrydes.

3. DISKUSSION AF FORSØG OG MÅLERESULTATER

Udsivende røggasser

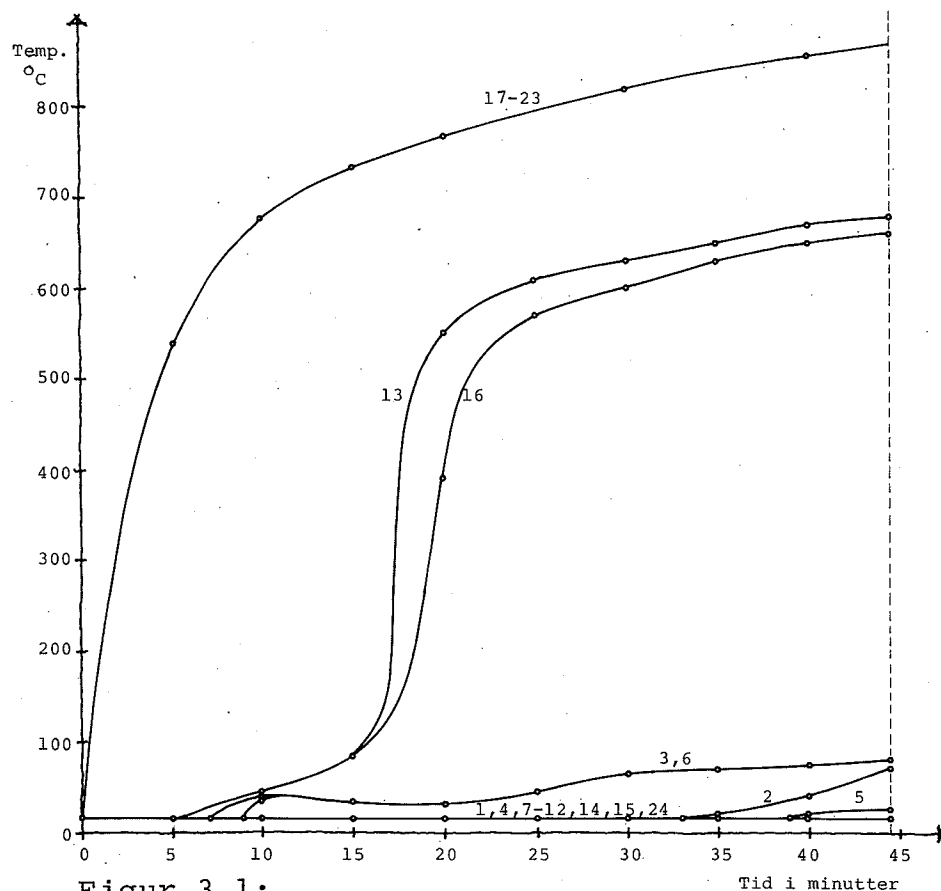
Under hele forsøget er der kun konstateret udsivende røggasser langs ovnens kanter og ikke gennem elementerne eller samlingerne mellem disse. Det betyder, at der ikke er sket gennemgående revnedannelser, og at fugerne er forblevet tætte - integriteten er bevaret.

De udsivende røggasser langs ovnens kanter skyldes vanskeligheder med at sikre en effektiv tætning, når elementerne samtidig skal kunne deformere frit.

Den udsivende hvide røg i starten af forsøget er hovedsagelig vanddamp, der dels stammer fra eksisterende vand i krydsfinérflangen, dels fra den under brandprocessen udviklede vandmængde. Den meget kraftige røgudvikling efter 12-15 minutter kan skyldes, at der på dette tidspunkt sker gennembrænding af underflangen, således at brandfronten er nået op til limforbindelsen og mineraluldslamellerne. Limforbindelsen, der er en énkomponent polyurethanlim påført i en mængde på ca. 300 g/m², afgiver under forbrænding en kraftig, mørk, farvet røg.

Det var ikke muligt under forsøget at udtage og analysere prøver af de udviklede røggasser, men undersøgelser hos limproducenten (Foss Kemi A/S) viser, at forbrændingsgasserne indeholder så svage koncentrationer af cyanbrinte og kulmonoxyd, at der ingen sundhedsfare er.

Endelig bemærkes, at den kraftige røgudvikling næppe kan skyldes, at der på dette tidspunkt sker overtænding. Overtænding sker, når materialet selv kan vedligeholde branden, d.v.s. når frigørelsen af brændbare gasser bliver exoterm (varmeafgivende). Dette sker for træbaserede materialer ved temperaturer over ca. 280°C. Efter standard-brandkurven opnås denne temperatur efter ganske få minutter.



Figur 3.1:

Temperaturforløb under brandprøvning.

- 1 og 4 : Lufttemperatur ved samlebjælkens overflange.
- 2 og 5 : Lufttemperatur ved samlebjælkens midte.
- 3 og 6 : Lufttemperatur ved samlebjælkens underflange.
- 7 til 12: Overfladetemperatur af overflange.
- 13 og 16: Lufttemperatur ved overside af underflange.
- 14 og 15: Overfladetemperatur af overflange over kantbegrænsning.
- 17 til 23: Ovntemperatur
- 24: Lufttemperatur.

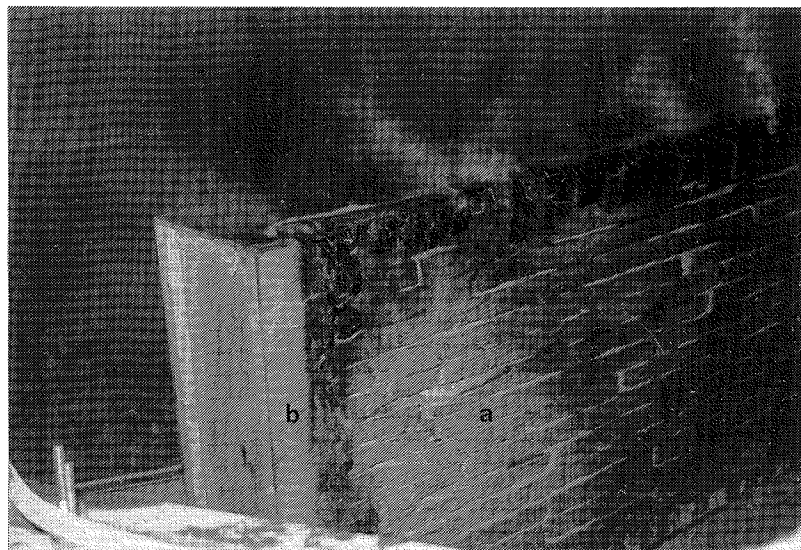
Temperaturforløb

På figur 3.1 er afbildet de registrerede temperaturer som funktion af prøvetiden. Det fremgår, at der ikke indenfor de 44 minutters prøvetid blev registreret temperaturstigninger på elementernes overside.

Dette skyldes uden tvivl mineraluldens gode isolationsevne og modstandsevne over for brandpåvirkning.

Bindemidlerne mellem mineraluldsfibrene brænder bort ved temperaturer over 250°C , men fibrene tåler væsentlig højere temperaturer og bliver derfor stående og beskytter det bagved liggende isolationsmateriale.

Herved ydes brandbeskyttelse af de brændbare materialer, overflange og kantbegrænsninger, der ligger bagved isolationsmaterialet. Det skal understreges, at fastholdelse af mineraluldslamellerne, d.v.s. limforbindelsen til overflangen, spiller en afgørende rolle for brandisolationen.



Figur 3.2:

Prøveelement set fra indbrændingsside efter 44 minutters brandpåvirkning.

a: mineraluldslameller (frilagt).

b: vederlagsflade (uberørt)

Af temperaturforløbet, figur 3.1, fremgår endvidere, at der efter 15-20 minutter sker en kraftig temperaturstigning ved overside af underflange.

Det betyder, at underflangen på dette tidspunkt er gennembrændt, således at disse to termoelementer herefter registrerer ovntemperaturen. At de ikke når helt op på ovntemperaturen skyldes, at de anvendte termoelementer maksimalt tåler 600°C.

Den beskedne temperaturstigning i disse to målepunkter indtil gennembrændingen skyldes dels træflangens lille varmeledningsevne, dels at fordampningszonen virker som et isolerende lag.

I samlingen mellem de to prøveelementer, d.v.s. ved den I-formede samlebjælke, er temperaturforløbet registreret i 3 niveauer.

Ved samlebjælkens nederste flange, der var hårdest påvirket, blev der ikke registreret større temperaturer end ca. 80°C.

I mellemste niveau steg temperaturen først efter ca. 35 minutters forløb, mens der i toppen endnu ikke ved prøvens afslutning konstateredes temperaturstigninger.

Da de her registrerede temperaturer er lufttemperaturer, betyder det, at der ikke i samlingen har været varme røggasser, d.v.s. samlingen har bevaret tæthed under hele prøvetiden.

Den lille temperaturstigning, der er registreret, skyldes varmeledning i træet.

Deformationsforløb

Forløbet af elementernes nedbøjninger under brandprøvningen er vist på bilag 6. På figur 3.3. er nedbøjningerne afbildet som funktion af prøvetiden. Største registrerede nedbøjning målt efter 40 minutter, var for element 1 ca. 24 mm og for element 2 ca. 20 mm.

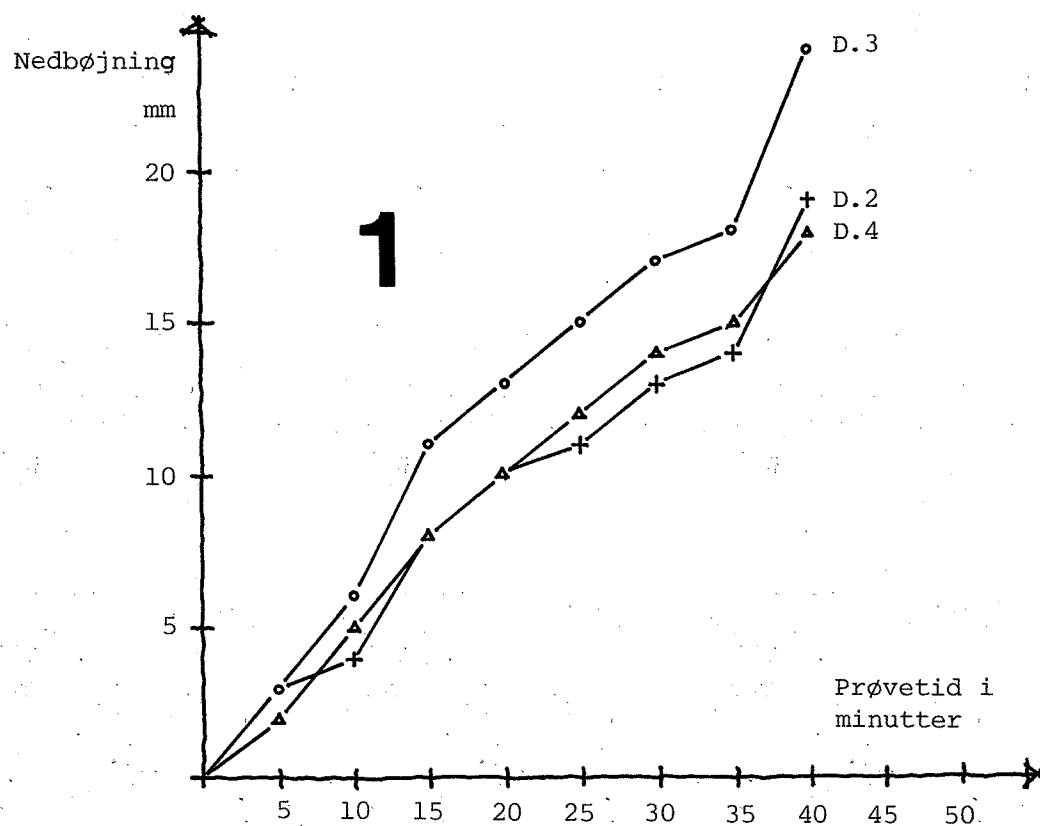
Det ses af figur 3.3, at deformationshastigheden tiltager mærkbart efter 10 til 15 minutters forløb, hvorefter den igen stabiliseres.

Tilvæksten skyldes sandsynligvis, at underflangen på dette tidspunkt er næsten gennembrændt og har mistet bæreevnen.

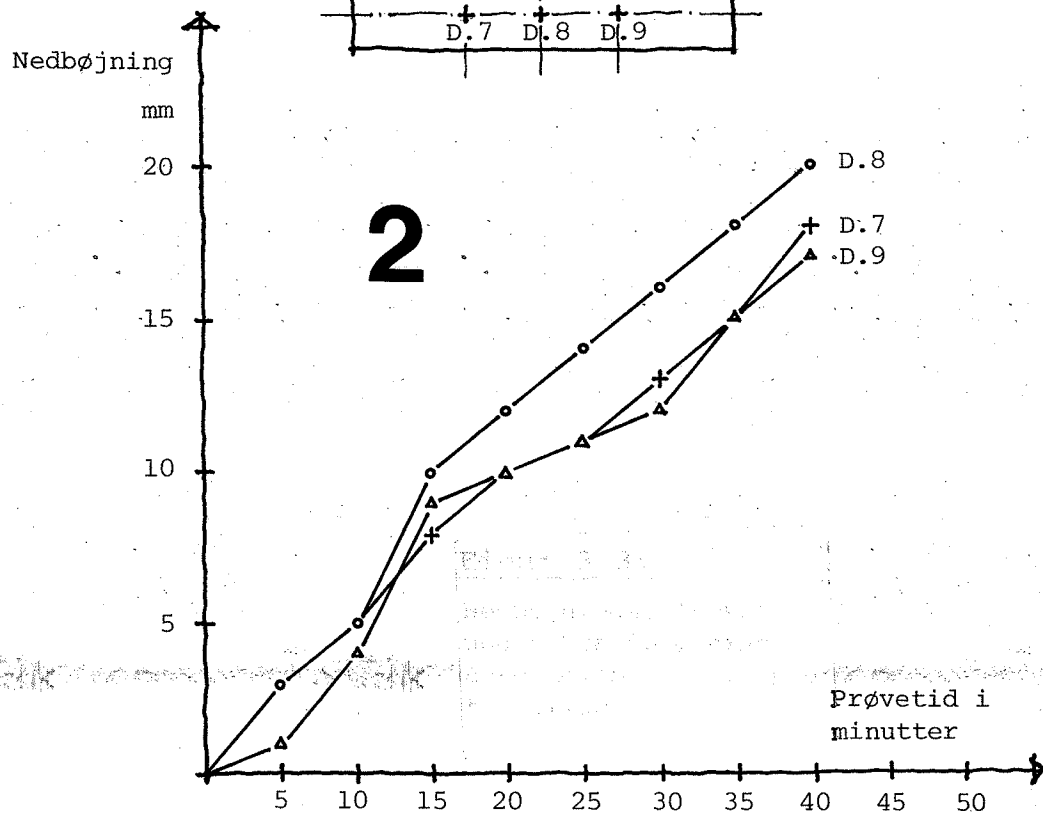
På dette tidspunkt er der sket en spændingsomlejring, således at kantaftivninger, samlebjælke og overflange herefter samvirker om belastningsoptagelsen.

Herefter er deformationshastigheden tilnærmelsesvis konstant, indtil bæreevnen af element 1 begynder at svinge efter 30-40 minutter.

På grund af lokalt store deformationer langs element 1's frie rand måtte forsøget afbrydes efter 44 minutter.

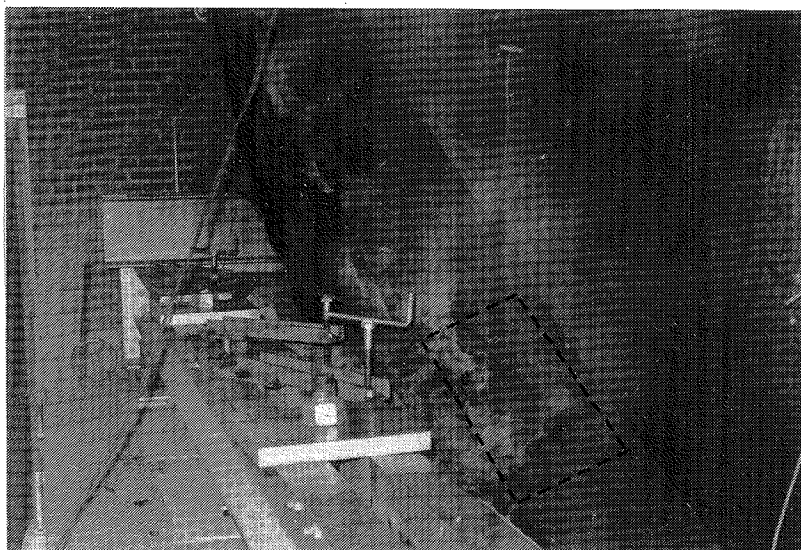


D.2	D.3	D.4
D.7	D.8	D.9



Figur 3.3:

Nedbøjningstilvækst under brandprøvning.
Betegnelserne refererer til bilag 7.



Figur 3.4:

Udsnit af element 1 efter prøvning. Billedet viser den lokalt kraftige indbrænding af kantbegrænsningen, forårsaget af en manglende mineraluldstopning i det indrammede område under kantpladen.

Ved nærmere eftersyn, se figur 3.4, kunne konstateres, at bæreevnesvigtet af element 1 skyldtes en lokal kraftig indbrænding i elementets kantbegrænsning mod ovnside (mellem D2 og D3). Indbrændingens lokale karakter skyldtes, at der i denne, af forsøgstekniske årsager specielle, kantløsning manglede udfyldning med mineraluld på en strækning af ca. 30 cm.

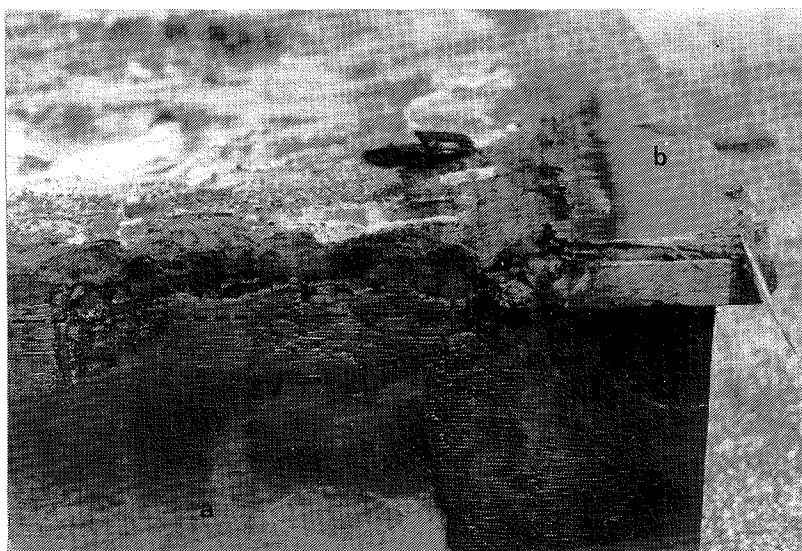
Bæreevnesvigtet skyldtes således ikke brud på den egentlige konstruktion, men en fejl ved den praktiske udførelse af forsøgsopstillingen.

Det skal naturligvis understreges, at en omhyggelig udførelse af mineraluldsfyldninger i samlingerne er særdeles vigtig i en praktisk anvendelse af konstruktionen, men samtidig må det pointeres, at den her anvendte specielle kantløsning langs ovnens sider er væsentlig mere sårbar overfor forglemmelser med udfyldninger end samlingen mellem elementerne i midtersnittet.

Samlebjælken mellem de to elementer og en stor del af kantbegrænsningerne til disse var intakte ved forsøgets afslutning, og da stabiliteten var i orden til "brud", er der rimelig grund til at antage, at bæreevnen ved forsøgets afbrydelse endnu ikke var udtømt.

4. BEREGNING AF RESTBÆREEVNE

Ifølge DS 1052 skal belastede prøveelementer have en restbæreevne $\geq 1,5 \times \text{prøvelasten}$. Under de givne forsøgsomstændigheder var det ikke muligt at kontrollere elementernes restbæreevne, men i det følgende gennemgås en teoretisk beregning baseret på den tekniske elasticitetsteori. Restbæreevnen er alene baseret på resttværsnittene af indgående træbaserede materialer.



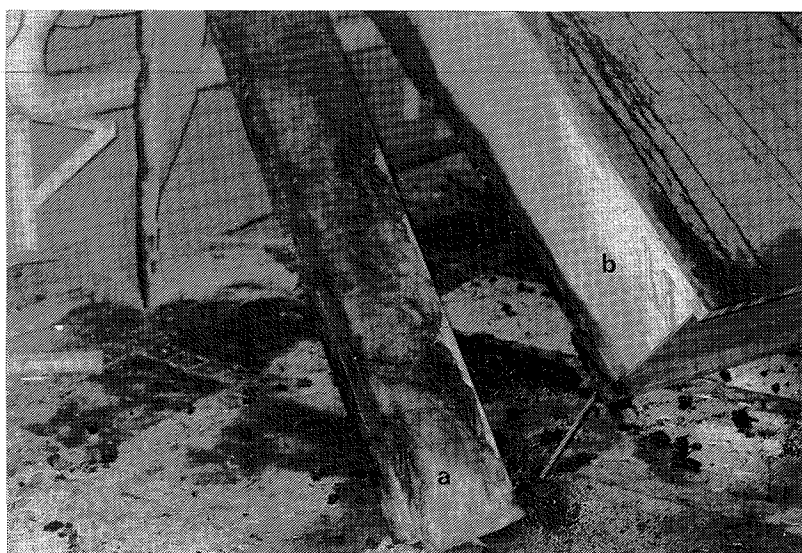
Figur 4.1:

Udsnit af element efter prøvning.

a: Kantbegrænsning mod samlebjælke.

b: Vederlag.

Den punkterede linie angiver højden for det uforkullede, intakte resttværsnit.

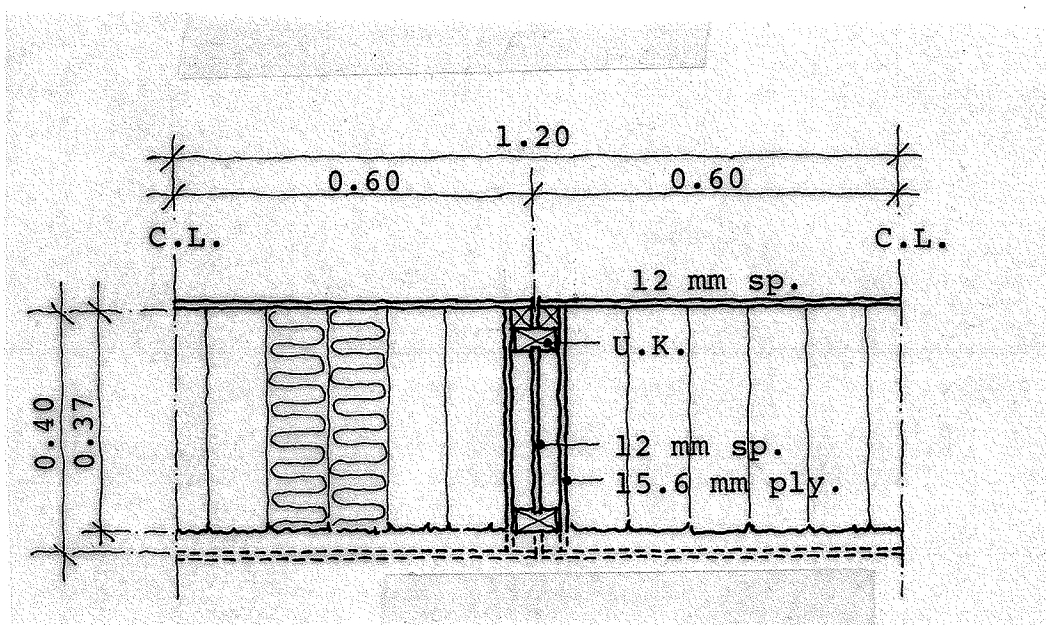


Figur 4.2:

Samlebjælke adskilt fra element.

a: Samlebjælke med blød mineraluld (tilsodningen er sket under nedtagningen).

b: Elementkant mod samlebjælke.



Figur 4.3:

Resttværsnit af elementer inkl. samling efter 44 minutters brandpåvirkning.

Fastsættelse af resttværsnittet, som vist på figur 4.3, er baseret på gjorte iagttagelser efter prøvning.

Indbrændingen i konstruktionen er foregået efter en plan flade, såvel over elementfladen som i elementsamlingen.

Indbrændingshastigheden har i gennemsnit været ca. 1,0 mm pr.minut, d.v.s. noget hurtigere end indbrændingshastigheden i massivt træ på omkring 0,6 mm/minut. Dette forhold skyldes sandsynligvis, at isolationsmaterialet ligger umiddelbart bagved træmaterialerne, så der ikke sker nogen bortledning af varmen. Det betyder højere temperaturer i materialet og hermed hurtigere frigørelse af brændbare gasser og dermed hurtigere indbrændingshastighed.

I afsnit 3 blev det nævnt i vurderingen af de kvantitative målinger, at den kraftige røgudvikling efter ca. 12 minutter kunne skyldes, at brandfronten var nået op til limforbindelsen bagved nederste 12 mm krydsfinérplade. Dette stemmer fint overens med, at indbrændingen i krydsfinéren er foregået med en hastighed på ca. 1,0 mm/minut.

Beregnings- forudsætninger

Til grund for beregningen af restbæreevnen gøres følgende forudsætninger:

- 1: Restbæreevnen er resttværsnittets karakteristiske korttidsbæreevne beregnet i henhold til DS 413.
- 2: Styrken og stivheden af det uforkullede træ regnes uændret efter brand.
- 3: Styrke- og stivhedstal baseres for uklassificeret konstruktionstræ på litt. [3], for spånpladerne på litt. [4] og for krydsfinéren på litt. [5].
- 4: Langtidsstyrke og -stivheder er for massivt træ og krydsfinér ca. 60% af de tilsvarende korttidsstyrker og -stivheder og for spånplade ca. 40%.

Med disse forudsætninger kan restbæreevnen bestemmes forholdsvis enkelt som bæreevnen af samlebjælken + bæreevnen af det sammensatte tværsnit bestående af rest kantbe-
grænsninger + overflange (bjælke med tynd krop og tynd flange).

	Træk- styrke $\# s_o$ MN/m ²	Tryk- styrke $\# s'_o$ MN/m ²	Forskydnings- styrke		E-modul E_o MN/m ²
			t_{90} MN/m ²	t_o MN/m ²	
15,6 mm krydsfinér	23,0	15,8	0,9	4,8	8330
12 mm spånplade	9,0	12,0	1,1	6,7	3000
Uklass. konstr.træ	8,7	15,2	2,4		4330

Figur 4.4:

Karakteristiske korttids-styrke- og stivhedstal anvendt i beregning (fugtklasse I).

Det bemærkes, at for plader er E-modulet en fiktiv størrelse, der beregnes som $E = (E_d/d)$, hvor E_d er pladens træk- eller trykstivhed pr.breddeenhed.

På grund af tværsnittets tynde overflange regnes, ifølge DS 413, med en effektiv flangebredde til hver side på $1/14$ af spændvidden, d.v.s. $5,15/14 = 0,37$ m.

Overflangen er også efter brandprøvningen fastholdt mod udknækning af mineralulden, hvorfor foldningssikkerheden antages tilstrækkelig.

Kantbegrænsningernes
restbæreevne

Da tværsnittet kun er enkeltsymmetrisk, bestemmes tyngdepunktsliniens beliggenhed.

Transformeret tværsnitsareal:

$$A_t = 2 \cdot 0,033^2 + \frac{8330}{4330} \cdot 2 \cdot 0,0156 \cdot 0,367 + \frac{3000}{4330} \cdot 2 \cdot 0,012 \cdot 0,37 = 0,030 \text{ m}^2$$

Statistiske moment om x-aksen:

$$S_{x,t} = 2 \cdot 0,033^2 \cdot 0,350 + \frac{8330}{4330} \cdot 2 \cdot 0,0156 \cdot 0,367 \cdot 0,184 + \frac{3000}{4330} \cdot 2 \cdot 0,012 \cdot 0,37 \cdot 0,373 = 0,0071 \text{ m}^3$$

Tyngdepunktets afstand (η) fra x-aksen:

$$\eta = \frac{S_{x,t}}{A_t} = \frac{0,0071}{0,030} = 0,237 \text{ m}$$

Transformeret inertimoment om x-aksen:

$$I_{x,t} = 2 \cdot 0,033^2 \cdot 0,350^2 + \frac{8330}{4330} \cdot 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,0156 \cdot 0,367^3 + \frac{3000}{4330} \cdot 2 \cdot 0,012 \cdot 0,37 \cdot 0,373^2 = 0,00211 \text{ m}^4$$

Transformeret inertimoment om tyngdepunktsaksen:

$$I_{\eta,t} = I_{x,t} - \eta^2 \cdot A_t = 0,00211 - 0,237^2 \cdot 0,030 = 0,00042 \text{ m}^4$$

Tværsnittets normalspændinger (σ) hidrørende fra bøjningspåvirkningen kan herefter bestemmes af udtrykket:

$$(4-1) \quad \sigma = \frac{E}{E_c} \cdot \frac{M}{I_{\eta,t}} \cdot z, \text{ hvor:}$$

E = Elasticitetsmodulet for det pågældende materiale.

E_c = Referencemodulet.

M = Bøjningsmomentet.

$I_{\eta,t}$ = Transformeret inertimoment om tyngdepunktsaksen

z = afstand fra tyngdepunktsaksen.

Forudsat at normalspændingerne og ikke forskydningsspændingerne bliver kritiske, kan bæreevnen herefter udtrykkes ved det maksimale bøjningsmoment, og vi får af (4-1):

$$(4-2) \quad M = \frac{E}{E} \cdot I_{\eta,t} \cdot \frac{\sigma}{z}$$

For de givne styrke- og stivhedstal bliver maksimalmomentet bestemt af bøjningstrækspændingerne i underkant krydsfinér, og vi får af (4-2):

$$M_{\max} = \frac{4330 \cdot 0,00042 \cdot 23,0}{8330 \cdot 0,237} = 0,021 \text{ MNm}$$

Forskydnings-undersøgelse af kantbjælker

Til dette max-moment svarer, med den givne spændvidde (L), en max-forskydningskraft:

$$Q_{\max} = \frac{4}{L} \cdot M_{\max} = \frac{4}{5,15} \cdot 0,021 = 0,016 \text{ MN}$$

I snit parallelt med bjælkeaksen kan forskydningsspændingerne (τ) bestemmes af udtrykket:

$$(4-3) \quad \tau = \frac{Q \cdot \Delta S_{\eta,t}}{I_{\eta,t} \cdot b}, \quad \text{hvor}$$

$\Delta S_{\eta,t}$ = det transformerede statiske moment om TP-aksen af tværsnitsdelene på den ene side af snittet.

I limforbindelse mellem kantliste og spånplade fås:

$$\Delta S_{\eta,t} = \frac{3000}{4330} \cdot 0,012 \cdot 0,37 \cdot 0,136 = 0,00042 \text{ m}^3$$

Af (4-3) fås:

$$\tau = \frac{0,016 \cdot 0,00042}{0,00042 \cdot 0,033} = 0,48 \text{ MN/m}^2 < 1,1 \text{ MN/m}^2$$

I limforbindelsen mellem kantliste og krydsfinérkrop fås:

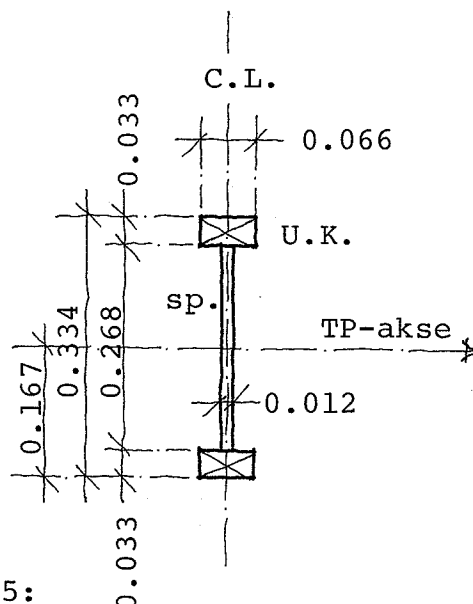
$$\Delta S_{\eta,t} = 0,00042 + 0,033^2 \cdot 0,130 = 0,00056 \text{ m}^3$$

$$\tau = \frac{0,016 \cdot 0,00056}{0,00042 \cdot 0,033} = 0,65 \text{ MN/m}^2 < 0,9 \text{ MN/m}^2$$

I krydsfinérkroppen fås:

$$\Delta S_{\eta,t} = 0,00056 + \frac{8330}{4330} \cdot 0,0156 \cdot 0,130 \cdot 0,065 = 0,00081 \text{ m}^3$$

$$\tau = \frac{0,016 \cdot 0,00081}{0,00042 \cdot 0,0156} = 2,0 \text{ MN/m}^2 < 4,2 \text{ MN/m}^2$$



Figur 4.5:

Regningsmæssigt resttværsnit af samlebjælke.

Samlebjælkens
restbæreevne

Samlebjælken er ikke efter 44 minutters brandprøvning blevet påvirket af branden, tværsnittet er uændret (dobbeltsymmetrisk).

Transformeret inertimoment om TP-aksen:

$$I_t = \frac{1}{12} \cdot 0,066 \cdot (0,334^3 - 0,268^3) + \frac{3000}{4330} \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,012 \cdot 0,268^3 = 0,00011 \text{ m}^4$$

Samlebjælkens bæreevne bliver bestemt af bøjningstrækspændingerne i underflangen.

Af (4-2) fås:

$$M_{\max} = \frac{4330 \cdot 0,00012 \cdot 8,7}{4330 \cdot 0,167} = 0,006 \text{ MNm}$$

Forskydnings-
undersøgelse
af samlebjælke

$$Q_{\max} = \frac{4}{L} \cdot M_{\max} = \frac{4}{5,15} \cdot 0,006 = 0,005 \text{ MN}$$

I snit mellem krop og flange fås:

$$\Delta S_t = 0,033 \cdot 0,066 \cdot 0,150 = 0,0003 \text{ m}^3$$

Af (4-3) fås:

$$\tau = \frac{0,005 \cdot 0,0003}{0,00011 \cdot 0,012} = 1,1 \text{ MN/m} < 2,4 \text{ MN/m}^2$$

I kroppen fås:

$$\Delta S_t = 0,0003 + \frac{3000}{4330} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,012 \cdot 0,134^2 = 0,0004 \text{ m}^3$$

$$\tau = \frac{0,005 \cdot 0,0004}{0,00012 \cdot 0,012} = 1,4 \text{ MN/m}^2 < 6,7 \text{ MN/m}^2$$

Samlet restbæreevne

Bæreevnen af resttværsnittet, svarende til figur 4.3, d.v.s. pr. 1,20 m, kan herefter udtrykkes ved summen af delbjælernes bæreevne som:

$$M_{\max} = 0,021 + 0,006 = \underline{0,027 \text{ MNm}}$$

Prøvelasten, svarende til brugslasten på etagedæk i almindeligt boligbyggeri (uden partialkoefficienter) giver et max. bøjende moment pr. 1,20 m på:

$$M_{\max, \text{prøvelast}} = 1,2 \cdot 0,0106 = \underline{0,013 \text{ MNm}}$$

Sikkerhed mod brud
efter 44 minutter

D.v.s. konstruktionens sikkerhed mod brud (f) efter 44 minutters brandpåvirkning bliver:

$$f = \frac{0,027}{0,013} \approx \underline{2,1}$$

D.v.s. restbæreevnen efter 44 minutter er $\geq 1,5 \times$ prøvelasten.

Hvis indbrændingen var fortsat endnu 16 minutter, svarende til ialt 60 minutters brandpåvirkning, med en jævnt fordelt konstant indbrænding på 1,0 mm/min, ville resttværsnittet på figur 4.3 være yderligere reduceret med 16 mm.

Gennemføres en beregning som ovenstående på dette resttværsnit, vil restbæreevnen også efter 60 minutter være $\geq 1,5 \times$ prøvelasten.

1. Konstruktionens stabilitet var i orden til "brud" (bæreevnesvigt af speciel kantløsning mod ovenside).

2. Konstruktionens "integritet" blev bevaret under hele prøvningen. Samlingen mellem elementerne forblev tæt - ingen røggasser.

3. Temperaturstigningen på den bort fra den vendende side af konstruktionen var ikke registrerbar (ifølge DS 1052 må middeltemperaturstigningen ikke overstige 140°C, og temperaturstigningen må i intet punkt overstige 180°C).

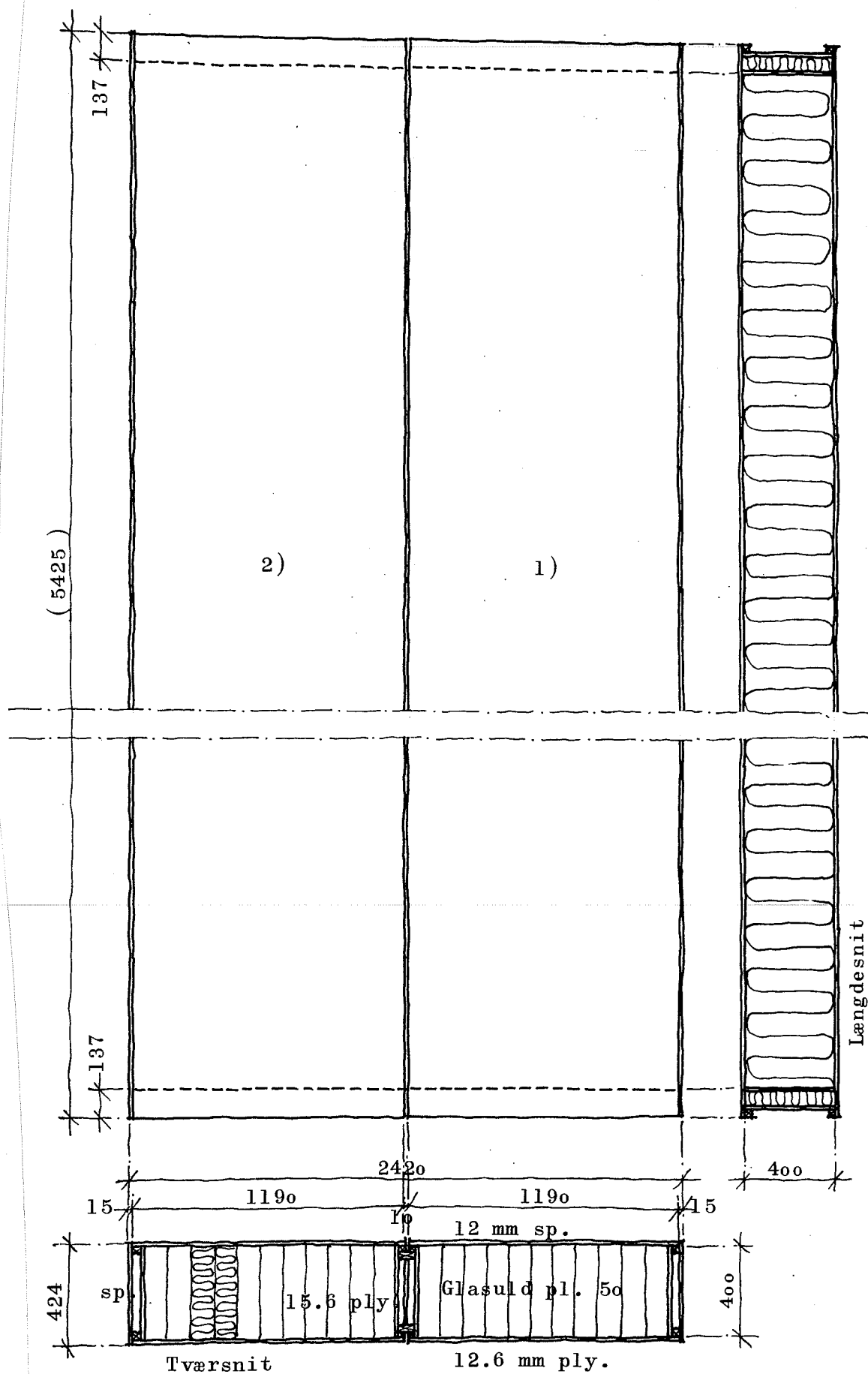
4. Konstruktionens restbæreevne efter 44 minutters prøvning er ved beregning fundet til ca. 2,1 x prøvelasten (ifølge DS 1052 skal belastede prøveelementer have en restbæreevne $\geq 1,5 \times$ prøvelasten).

5. Konstruktionens brandtekniske klassifikation svarer mindst til BD-bygningsdel 30.

Konstruktionens virkelige branddrøjhed svarer sandsynligvis til BD-bygningsdel 60.

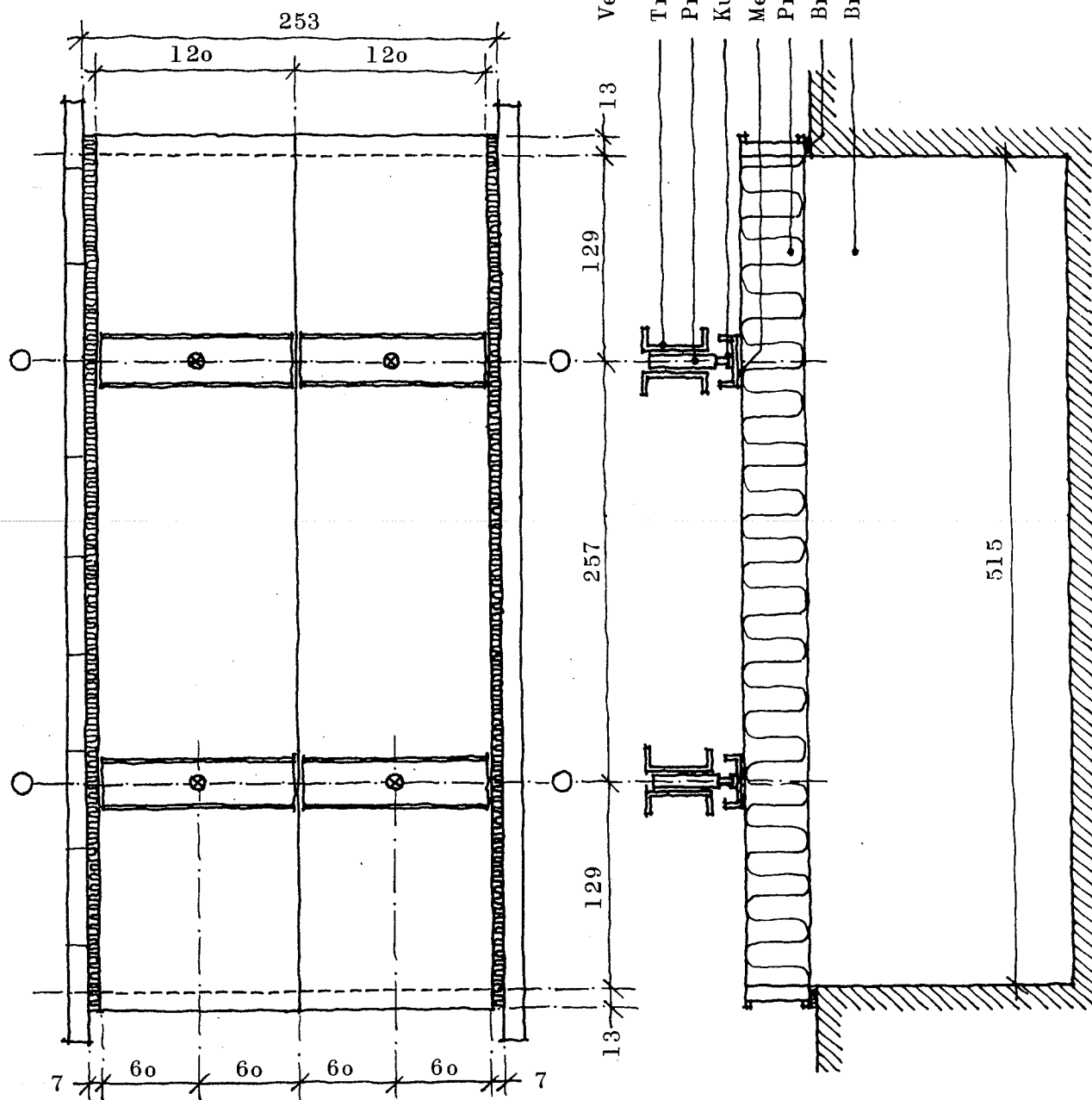
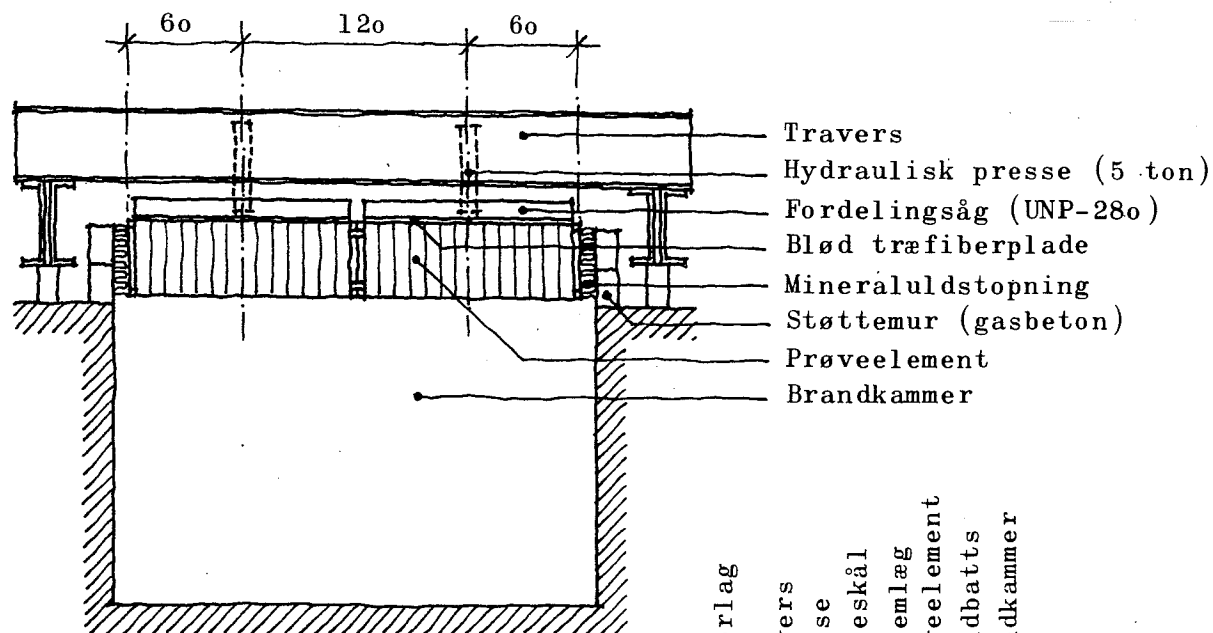
6. REFERENCER

- [1] DS 1051. Brandteknisk prøvning af bygningsdeles modstandsevne mod brand. 1. udgave, juni 1966.
- [2] DS 1052. Brandteknisk klassifikation af bygningsdele (ekskl. døre). 1. udgave, juni 1966.
- [3] DS 413. Dansk Ingeniørforenings norm for trækonstruktioner. 3. udgave, december 1974.
- [4] NKB-skrift nr. 18, Nordiska riktlinjer för träkonstruktioner 3. December 1973.
- [5] Larsen, H.J.: Materialer og forbindelsesmidler til trækonstruktioner. Teknisk Forlag, 1971.
- [6] Larsen, H.J.: Beregning af trækonstruktioner. 2. udgave. Teknisk Forlag, 1967.
- [7] Jensen, Bjarne Chr.: Branddimensionering af konstruktionselementer i træ. IFH-forelæsningsnotat nr. 41, 1975.



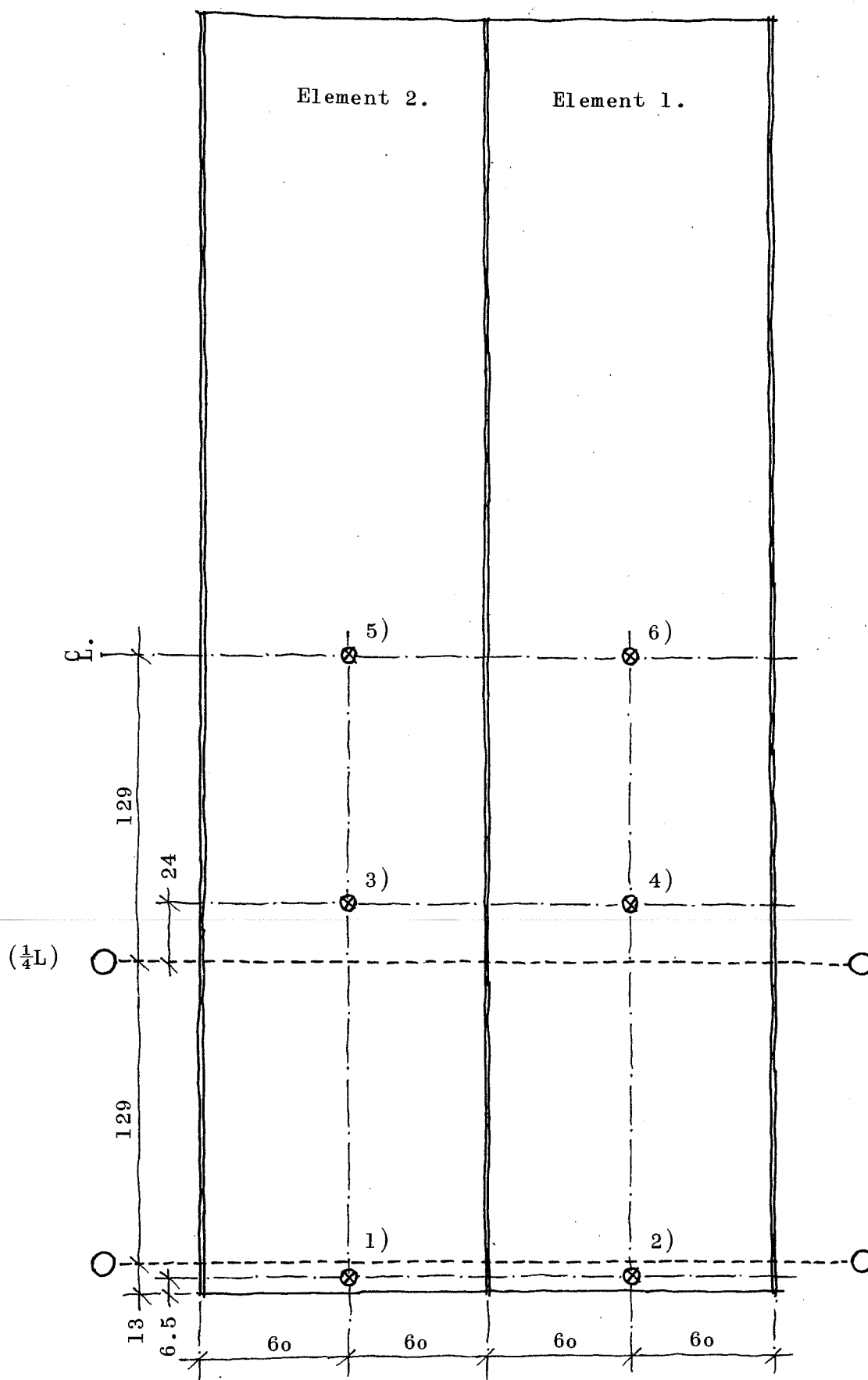
Ubenævnte mål i mm.

FORSØGSELEMENTER



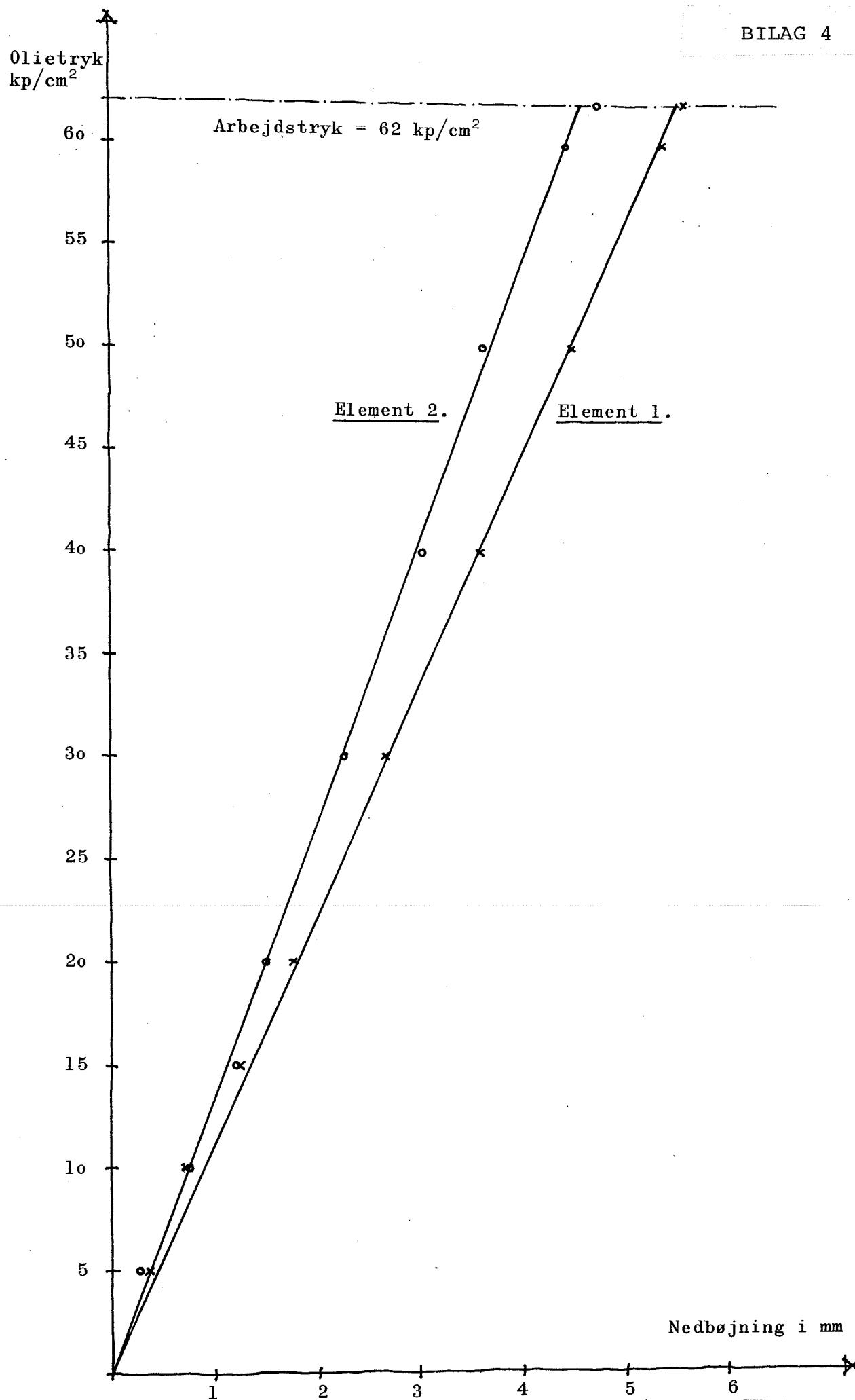
FORSØGSOPSTILLING

Ca.mål 1:40.



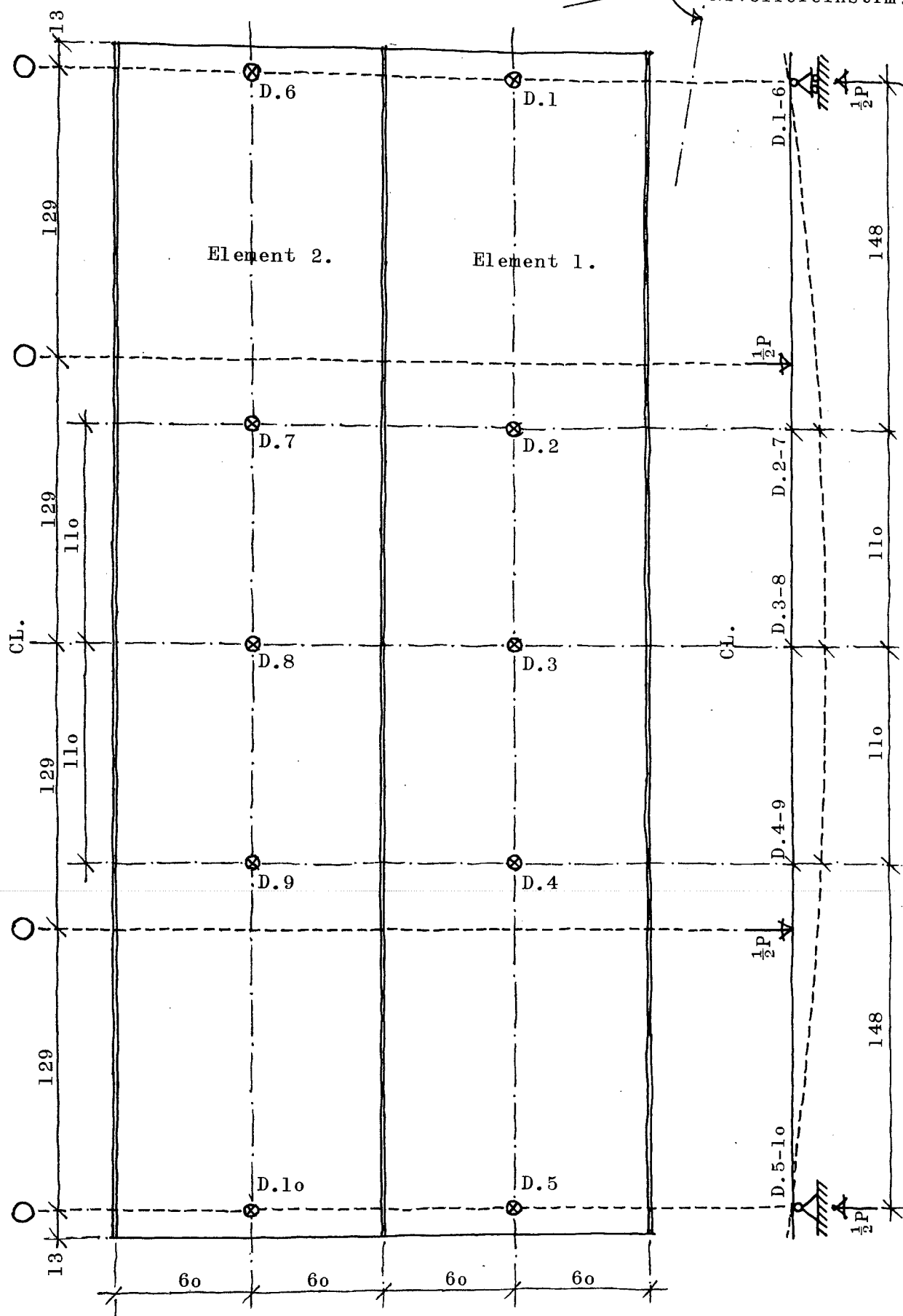
MÅLEPUNKTER FOR

NEDBØJNINGSMÅLING UNDER LASTPÅFØRSEL



PRØVEELEMENTERNES ARBEJDSLINIER UNDER LASTPÅFØRSEL

Nivellereinstrm.



MÅLEPUNKTER FOR NEDBØJNINGSMÅLING UNDER BRANDPRØVNING

