

INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Rapport nr. **127**

LAURITZ RASMUSSEN

**MINERALULDBASEREDE
SANDWICHELEMENTER
MATERIALEPRØVNING AF KRYDSFINER**

Den polytekniske Lærestalt, Danmarks tekniske Højskole
Lyngby 1978

SANDWICHELEMENTER

MATERIALEPRØVNING AF KRYDSFINER

LAURITZ RASMUSSEN

Delrapport under TEKNOLOGIRÅDSPROJEKT 1976-1978

Projektdeltagere

**Cowiconsult Rådgivende Ingeniører AS
Instituttet for Husbygning DTH
Rockwool A/S
Statens Byggeforskningsinstitut SBI
Superfos Glasuld a/s**

Rapport 127 · Instituttet for Husbygning · 1978

FORORD

Foreliggende rapport knytter sig til en serie delrapporter, der behandler mineraluldbaserede sandwichelementer med flanger af krydsfinér.

I relation til de styrke- og stivhedsmæssige undersøgelser af mineraluldens egenskaber som kraftoptagende materiale i en sandwichkonstruktion, blev det besluttet at anvende krydsfinér som gennemgående referencemateriale i flangerne.

Overfor langtidspåvirkninger er krydsfinér et materiale med "velkendte" egenskaber, men i relation til den teoretiske og eksperimentelle undersøgelse af sandwichelementernes bæreevne- og deformationsforhold har det vist sig nødvendigt med en nøjere undersøgelse af de anvendte krydsfinértypers styrke- og stivhedsegenskaber.

De materialeparametre, der er undersøgt, er således afgrænset til de parametre, der indgår i beregning af sandwichkonstruktionens bæreevne- og deformationsforhold.

Udover at referere de opnåede resultater er det forsøgt at give en mere generel omtale af de anvendte prøvemethoder.

Lyngby, maj 1978

Lauritz Rasmussen

INDHOLDSFORTEGNELSE

Side

FORORD	2
INDHOLDSFORTEGNELSE	3
RESUMÉ	4
1. INDLEDNING	5
2. TRÆKPRØVNING	7
3. TRYKPRØVNING	12
3.1 Metode A (sammenlignede prøvelegemer)	13
3.2 Metode B (prismatiske prøvelege- mer med pladetykkelse)	17
4. FORSKYDNINGSPRØVNING	20
4.1 Skiveforskydning	20
4.1.1 Forskydningsstyrke (trækprøvning)	20
4.1.2 Forskydningsstivhed	22
4.2 Pladeforskydning (rullende forskydning)	24
4.2.1 Forskydningsstyrke (trækprøvning)	25
4.2.2 Forskydningsstivhed	27
5. LITTERATURREFERENCER	30
SUMMARY	31

RESUMÉ

I rapporten beskrives materialeprøvninger på 4 krydsfinértyper anvendt som flanger i mineraluldbaserede sandwichelementer.

Alle de udførte materialeprøvninger knytter sig til bestemte forsøgsserier med sandwichelementer og er udført på prøver af samme materiale under samme konditioner.

De egenskaber, der er undersøgt, er primært krydsfinérens egenskaber overfor træk- og trykpåvirkning i pladens plan parallelt med yderfinérens fiberretning, og herunder svækkelserne i de anvendte skråskarringer 1:10 og 1:8.

Krydsfinérens egenskaber overfor bøjning er i relation til de undersøgte sandwichkonstruktioner uden væsentlig betydning og derfor ikke medtaget her.

I enkelte tilfælde er krydsfinéren undersøgt for forskydningspåvirkninger, idet den pågældende finértype er indgået i en forsøgsserie med kombinerede sandwich- og stressed-skin-elementer, hvor krydsfinéren også anvendes som kropplade. Resultaterne af de udførte prøvninger er samlet i nedenstående tabel.

De anvendte prøvemetoder er søgt beskrevet så detaljeret, at de ud fra foreliggende rapport kan reproducere. Desuden er angivet referencer til den litteratur, der danner baggrund for de anvendte metoder.

Krydsfinértype - kvalitet	Aktuel tykkelse mm	Konditio- nering 20°C	Træk ≠		Tryk ≠		Forskydning (skive/ gn.tykkelse)		Forskydning (plade/ rullende)	
			σ_{t0} N/mm ²	E_{t0} N/mm ²	σ_{c0} N/mm ²	E_{c0} N/mm ²	τ_0 N/mm ²	G_0 N/mm ²	τ_{90} N/mm ²	G_{90} N/mm ²
Amerikansk krydsfinér C-D BRAND S	12,0 12,0	65%RF 50%RF	27,1 28,0	9880 11200	33,3	8300				
Amerikansk krydsfinér C-D BRAND S <u>m.skråskarring 1:10</u>	12,0 12,0	65%RF 50%RF	16,2 17,0		30,8					
Amerikansk krydsfinér C-D	12,0	50%RF	21,2	8460	33,4	10200	7,4	875*	1,6	650
Amerikansk krydsfinér C-D <u>m.skråskarring 1:8</u>	12,0	50%RF	19,7							
Amerikansk krydsfinér A-C	12,6	50%RF			33,3	7830				
Canadisk krydsfinér CSP Sheating	12,6	50%RF			36,4	8330				

Oversigt over resultater af udførte prøvninger. Styrke- og stivhedstallene er middelværdier svarende til korttidslast.
(* fra litt. [7]).

1. INDLEDNING

I relation til anvendelsen af krydsfinér som flanger i mineraluldbaserede sandwichkonstruktioner er de egenskaber, der efterspørges, primært finérens egenskaber overfor træk- og trykpåvirkning i fiberretningen (af yderfinéren). Krydsfinérens egenbøjningsstivhed har kun betydning for fordelingen af koncentrerede belastninger.

Ved anvendelse af sandwichelementerne som dæk- og tagelementer vil elementlængden normalt være større end den produktionsbestemte pladelængde (oftest 2,44 m), og det er altså nødvendigt at udføre stød. I forsøgselementerne er anvendt skråskarringer 1:8 og 1:10, der især ved trækpåvirkning giver anledning til mærkbare styrkereduktioner.

I undersøgelsen af anvendelige elementtyper er desuden indgået en afart af sandwichkonstruktionen, en kombineret sandwich- og stressed-skin-konstruktion, hvor sandwichelementerne langs samlingerne forsynes med kantskot af krydsfinér.

Krydsfinéren vil her optræde som krop i en stressed-skin-konstruktion, hvorved finérens egenskaber overfor forskydning kan blive afgørende for konstruktionens styrke- og stivhedsmæssige egenskaber.

Generelt er krydsfinérens mekaniske egenskaber afhængige af en lang række parametre (træsorter, lagtykkelser, fiberorientering, fugtindhold, belastningsvarighed o.m.a.).

Alle de udførte materialeprøvninger knytter sig til bestemte forsøgsserier med sandwichelementer, og er udført på prøver af samme materiale. Tilsvarende er det tilstræbt at bestemme materialeegenskaberne under helt analoge klimabetingelser (fugt/temperatur) som i forsøg.

Alle de angivne egenskaber er korttids-egenskaber (brud efter 4-6 minutter).

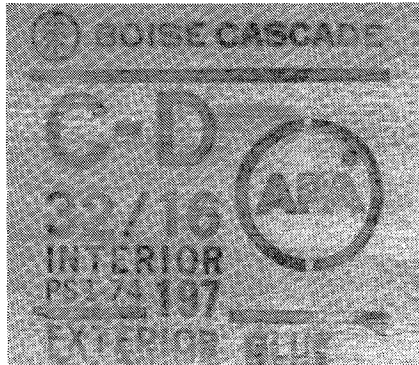
I det følgende er givet en detaljeret oversigt over de fire krydsfinértyper, der har været anvendt i forsøg.

Af den amerikanske krydsfinér i kvalitet C-D blev anvendt plader fra to forskellige produktioner. I C-D kvaliteter er normalt ingen træartsangivelse, idet forskellige styrke-/stivhedsegenskaber kombineres i

forskellige pladetykkelser. I den ene leverance fra "BRAND S" i Oregon, U.S.A., var anvendt Douglas Fir.

For at skelne de to typer er sidstnævnte i rapporten behæftet med betegnelsen "BRAND S".

For hver type er desuden angivet en henvisning til de forsøg (rapporter), hvortil de 4 krydsfinértyper er anvendt.



AMERIKANSK KRYDSFINÉR
C-D interior, exterior glue

Finérkvalitet: C i forside
D i mellemlag og i bagside

Tykkelse (nominel): 12½ mm (½").

Træart : 32/16 betegner, at yderfinéren er Group 1 & 2. 32 og 16 refererer i U.S.A. til den maksimale afstand (i tommer) mellem understøtninger, når finéren anvendes til henholdsvis tag- og gulvbeklædning.

Anvendelse : IFH-rapport nr. 130.



AMERIKANSK KRYDSFINÉR
C-D interior, exterior glue - BRAND S

Finérkvalitet: C i forside
D i mellemlag og i bagside

Tykkelse (nominel): 12½ mm (½")

Træart : 32/16 betegner, at yderfinéren er Group 1 & 2.

Anvendelse : IFH-rapport nr. 129.



AMERIKANSK KRYDSFINÉR
A-C Group 1 (exterior)

Finérkvalitet: A (bedste) i forside

Tykkelse (nominel): 12½ mm (½")

Træart : Group 1 (som fortrinsvis indeholder Douglas Fir).

Anvendelse : IFH-rapport nr. 112.



CANADISK KRYDSFINÉR
Exterior CSP Sheathing

Finérkvalitet: C gennem hele tværsnittet

Tykkelse (nominel): 12½ mm (½")

Træart : Canadisk Softwood

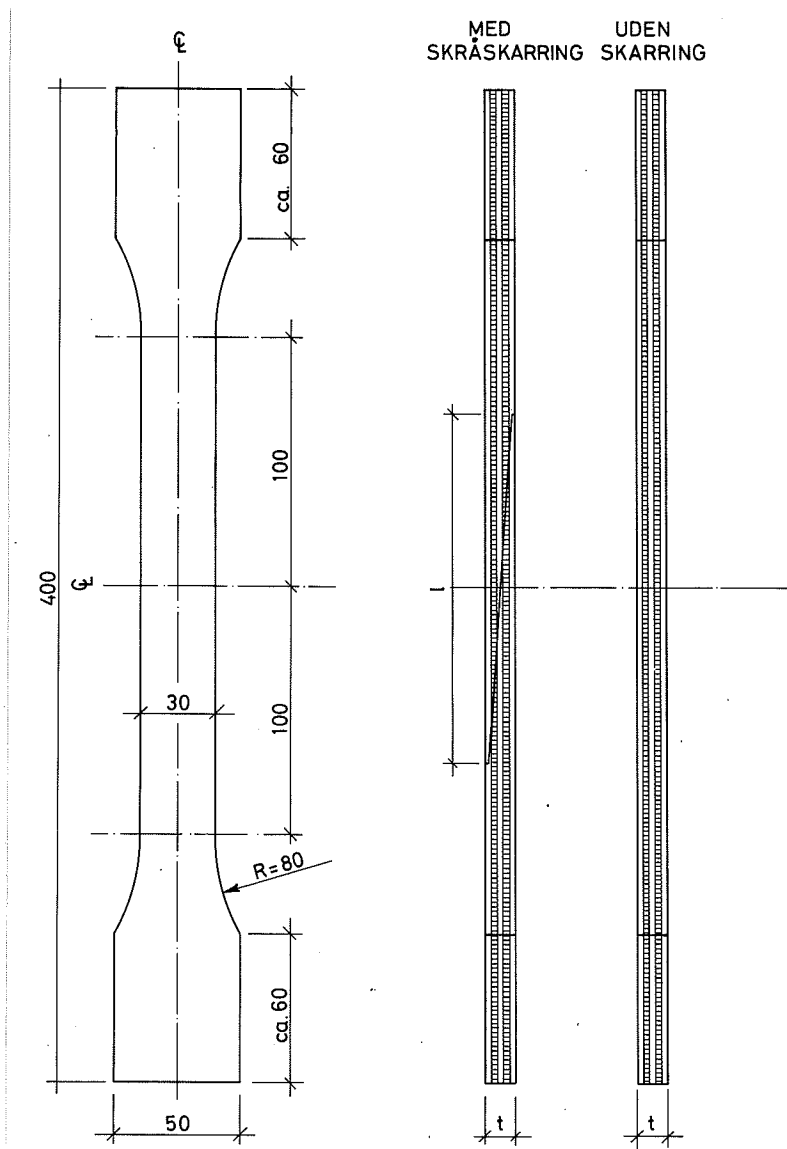
Anvendelse : IFH-rapport nr. 126 og 131.

2. TRÆKPRØVNING

Ved bestemmelsen af krydsfinérens trækstyrke og -stivhed anvendes et timeglasformet prøvelegeme (se figur 2.1) opspændt mellem kæberne i en trækprøvemaskine.

Princippet i prøvningen anvendes næsten overalt i verden, hvorimod tværsnitsdimensionerne varierer meget fra land til land.

Ved forsøget tilstræbes en homogen spændingstilstand i den del af prøvelegemet (det reducerede tværsnit), hvor bruddet skal ske, d.v.s. alle fibre er lige hårdt påvirket.



Figur 2.1:

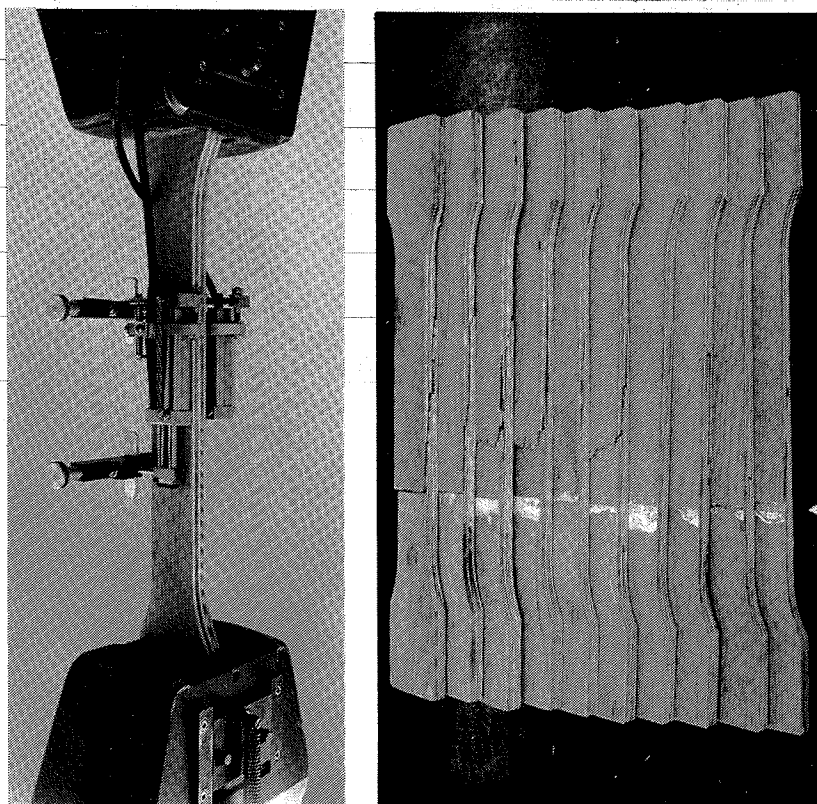
Udformning af trækprøvelegemer.

Prøvelegeme

Det større tværsnit ved indspændingen giver mulighed for at optage og udligne de spændingskoncentrationer, som uvægerligt opstår på dette sted, medens det jævne forløb fra det større til det mindre tværsnit har til formål at eliminere risikoen for kærnvirkning.

Den slanke prismatiske del af prøvelegemet, hvor bruddet ønskes placeret, giver mulighed for måling af finérens elastiske egenskaber over en "rimelig" strækning og giver mulighed for at bestemme trækstyrken af skarringer (styrkereduktion).

Af hensyn til reproducérbarheden er der ved valg af materiale foretaget en udvælgelse af emner uden store fejl. De krydsfinértyper, der er anvendt, indeholder en del strukturelle fejl (f.eks. huller fra store knaster), der med prøvelegemernes små tværsnitsdimensioner og det begrænsede antal prøver (10 i hver serie) ville spille en urimelig stor rolle og måske give urealistiske resultater.



Figur 2.2:

Til venstre: Prøvelegeme opspændt mellem kaberne i en trækprøvemaskine. På prøvelegemets prismatiske del er påmonteret et potentiometer for bestemmelse af længdetøjninger.

Til højre: 10 prøvelegemer (med skråskarring 1:10) efter brud. Bruddet optræder altid i eller ved skarring.

Konditionering

Inden prøvningerne blev prøvelegemerne konditioneret ved en temperatur på 20°C og en relativ fugtighed på 50%RF/65%RF, som angivet i tabeller. Ligevægtsfugtindholdet blev bestemt ved hjælp af tørre/vejemetoden. Ved 20°C og 65%RF målttes et fugtindhold i en massiv fyrretræsklods til 12,6% og et tilsvarende fugtindhold i krydsfinéren på 8,8%. Se i øvrigt litt. [1]. Forskellen kan skyldes limens opfyldning af en del af træets porer. I litt. [2] tilskrives forskellen den varmebehandling, finéren har været udsat for.

Procedure

Prøvelegemerne blev opspændt mellem kæberne i en trækprøvemaskine og belastet kontinuert ved en konstant deformationshastighed på 1 mm pr.minut til brud. Med denne hastighed optræder bruddet efter 4-6 minutter.

For prøvelegemer uden skarring er optegnet sammenhørende værdier for belastning og deformation. Deformationerne (længdetøjningerne) er målt ved hjælp af et tøjningspotentiometer, der automatisk kompenserer for eventuelle bøjningspåvirkninger hidrørende fra opspændingen. Målestrækningen er 100 mm.

Resultater

I nedenstående tabel er resultaterne angivet som spændinger (kraft pr.arealenhed) og tøjninger (forlængelse pr.længdeenhed). Det skal dog kraftigt understreges, at resultaterne knytter sig til en bestemt pladetykkelse.

Krydsfinérens egenskaber er primært bestemt af de fibre, der ligger i kraftretningen og hermed af forholdet mellem pladetykkelsen og lag med denne orientering.

Som hovedregel kan resultaterne overføres til andre pladetykkelser (af samme fabrikat) ved at kompensere for længdefibrenes større eller mindre andel af den samlede pladetykkelse. Det må dog bemærkes, at kvaliteten af de mellemste finérlag oftest er ringere og med mindre styrke.

Hvis kraftretningen ikke er sammenfaldende med fiberorienteringen af yderlagene kan dette princip selvfølgelig ikke anvendes, men prøvemethoden er stadig anvendelig, idet prøverne blot udskæres med den ønskede fiberorientering i forhold til kraftretningen.

Krydsfinértype - kvalitet	Aktuel tykkelse mm	Konditionering (20°C)	Trækstyrke		Trækstivhed	
			σ_{t_0} N/mm ²	Var. koeff. %	E_{t_0} N/mm ²	Var. koeff. %
1 Amerikansk krydsfinér C-D - BRAND S	12,0	65%RF	27,1	17	9880	10
2 Amerikansk krydsfinér C-D - BRAND S <u>m.skråskarring 1:10</u>	12,0	65%RF	16,2	30	-	-
3 Amerikansk krydsfinér C-D	12,0	50%RF	28,0	20	11200	8
4 Amerikansk krydsfinér C-D <u>m.skråskarring 1:10</u>	12,0	50%RF	17,0	29	-	-
5 Amerikansk krydsfinér A-C	12,6	50%RF	21,2	15	8460	14
6 Amerikansk krydsfinér A-C <u>m.skråskarring 1:8</u>	12,6	50%RF	19,7	10	-	-

Tabel 2.1:

Resultater af udførte trækprøvninger (træk parallelt med yderfinérens fiberretning). Middelværdier af 10 prøver.

Styrkereduktion
i skråskarringer

Sammenlignes trækstyrkerne af prøveemner henholdsvis med og uden skråskarring ses en tydelig styrkereduktion:

Styrkereduktion

Skråskarring 1:10	40%
Skråskarring 1:8	7%

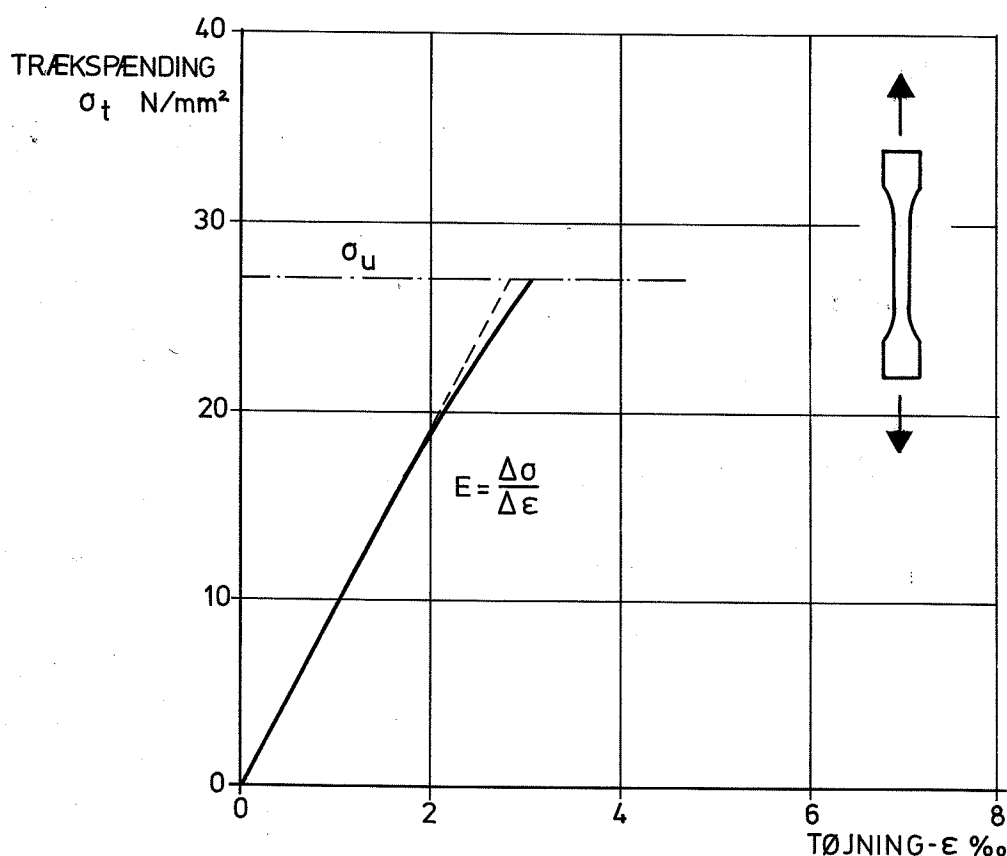
At skråskarringen 1:10 skulle give anledning til større styrkereduktioner end skarring 1:8 synes ganske ulogisk.

Samtidig må der konstateres en meget dårlig overensstemmelse med de sædvanlige reduktionsfaktorer (se f.eks. litt. [3]), der anvendes i praksis: 20% for skarring 1:10, 25% for skarring 1:8. Forholdet kan skyldes produktionsfejl, men samtidig må det understreges, at antallet af prøvelegemer (2×10 stk) er utilstrækkeligt med for store spredninger til følge.

De relative spredninger på selve krydsfinérens styrke og stivhed (8-20%) er dog ikke usædvanlige.

Karakteristisk styrke

Den karakteristiske trækstyrke (σ_{tk}) svarende til 5%-fraktilen og et konfidensniveau på 75% (jvf. DS 413.4) kan med det foreliggende antal prøver beregnes som: $\sigma_{tk} = \sigma_{to}(1 - 2,10 \cdot \delta)$, hvor δ angiver variationskoefficienten (rent tal), i tabel angivet i %.



Figur 2.3:

Typisk arbejdslinie for træk af en 12 mm "Amerikansk krydsfinér C-D" (20°C - 50%RF).

På figur 2.3 er angivet et eksempel på en trækarbejdslinie for en af de undersøgte finértyper. For trækpåvirkning (i fiberretningen) er arbejdslinien med god tilnærmelse ret helt op til brud.

3. TRYKPRØVNING

Ved trykprøvningen belastes et prismatisk prøvelegeme til brud.

Ligesom ved trækpåvirkningen tilstræbes en homogen, enakset spændingstilstand. Hvad der egentlig skal forstås ved brud under trykpåvirkning, er en kompliceret sag, idet selve brudbilledet er et resultat af sammentrykningens følgevirkninger. I nogle tilfælde sker bruddet ved, at prøvelegemet revner på grund af de spændinger, der opstår på tværs af kraftretningen. I andre tilfælde (som oftest) sker bruddet som et stabilitetsbrud, der indtræder, uden at prøvelegemet går i stykker. Visuelt ytrer bruddet sig ved en stukning af fibrene ved den ene kant.

Hvis disse stabilitetsfænomener ikke skal blive alt for dominerende, kræves meget "korte" prøvelegemer (lille slankhedsforhold) eller etablering af tværunderstøtning af prøvelegemet. I den amerikanske standard, ASTM: D805-63, anvises en metode, hvor prismatiske prøvelegemer af krydsfinéren understøttes sideværts; metoden synes dog ret omstændelig.

Anvendelsen af prøvelegemer udskåret direkte af krydsfinérpladen gør selve prøvningen hurtig og enkel. Et meget vigtigt forhold skal dog fremhæves her.

Tværudvidelser

Ved sammentrykningen i kraftretningen vil der ske en udvidelse i tværretningen. Den del af prøvelegemet, der befinder sig ved endefladerne, vil ikke uhindret kunne udvide sig på grund af friktionen fra prøvemaskinens trykflader. Friktionskræfterne vil lokalt holde sammen på prøvelegemet og dermed give anledning til en forøget styrke.

Denne forstærkende virkning vil ved meget korte prøvelegemer gøre sig gældende over hele prøvelegemet, medens de længere prøvelegemer vil være uberørt af denne effekt. Korte prøvelegemer vil derfor give større styrker end lange prøvelegemer med samme tværsnit.

Prøvelegemets form (kantforhold) må derfor vælges, så virkningen af friktionen og risikoen for stabilitetsbrud bliver mindst mulig.

Hvis der samtidig ønskes en bestemmelse af krydsfinérens elastiske egenskaber, vil det dog oftest være nødvendigt at sikre en rimelig strækning til måling af deformationer, da strukturelle fejl eller inhomogeniteter ellers kan få alt-afgørende indflydelse.

I litt. [2] anbefales for massivt træ, at trykprøvelegemer har et slankhedsforhold (L/i) på 10-15. Dette svarer til et kantforhold på mellem 1:2,9 og 1:4,3.

I det følgende beskrives to metoder, den ene baseret på sammenlimning af flere krydsfinérplader til et prismatisk prøvelegeme med kvadratisk tværsnit, og den anden baseret på "korte prøvelegemer", hvor den mindste kantlængde svarer til krydsfinérens tykkelse.

3.1 Metode A (sammenlimesede prøvelegemer)

Metoden er kun beskrevet få steder i litteraturen, og standarder findes ikke for prøvelegemets dimension. Metoden er f.eks. beskrevet i litt. [5].

Prøvelegemer

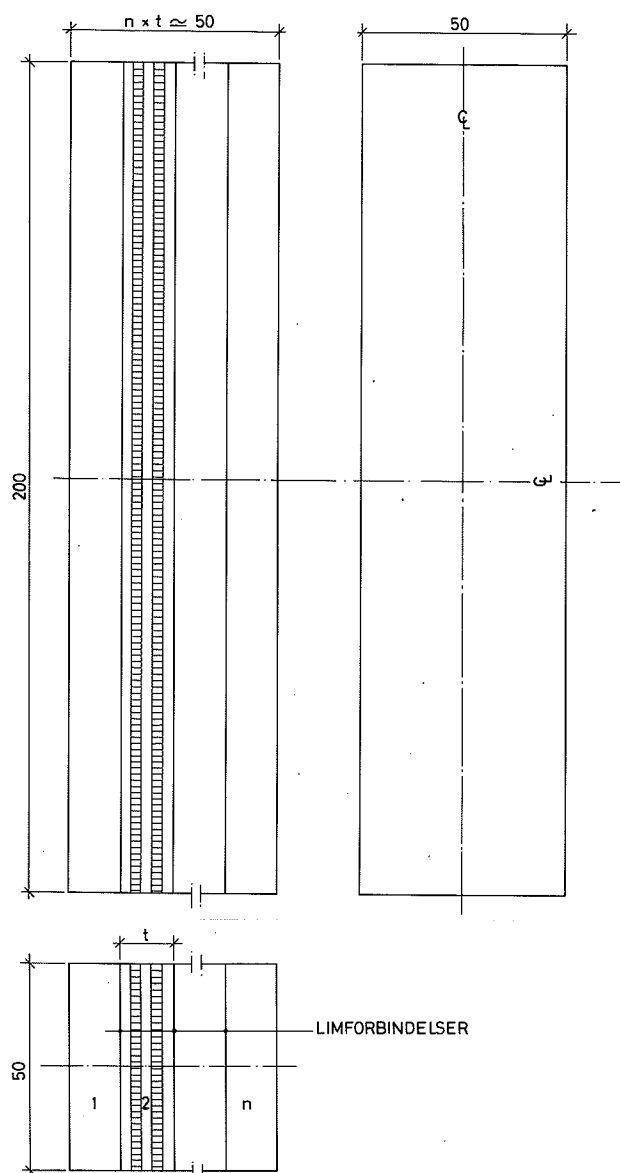
I den her beskrevne version anvendes et prismatisk prøvelegeme (se figur 3.1) sammenlimet af 50×200 mm krydsfinérplader. Der sammenlimes n plader med tykkelsen t , således at $n \cdot t \approx 50$ mm. Prøvelegemet får herved et kantforhold på ca. 1:4 (slankhedsforhold $L/i \sim 13,8$).

Prøvelegemets længde (200 mm) giver god mulighed for måling af krydsfinérens elastiske egenskaber på en strækning, der må anses for upåvirket af friktionskræfterne ved trykfladerne.

En enkelt serie prøvelegemer er udført med skråskarring 1:10 i de plader, prøvelegemet består af. Sædvanligvis regnes ikke med styrkereduktioner af skarringer ved enakset tryk i fiberplanet.

Konditionering

Inden prøvningen er prøvelegemerne konditioneret ved en temperatur på 20°C og en relativ fugtighed på 50%/65%, svarende til de forhold, der eksisterede under afprøvningen af de sandwichelementer, hvortil resultaterne knytter sig.



Figur 3.1:

Sammenlimet prøvelegeme til trykprøvning af krydsfinér.

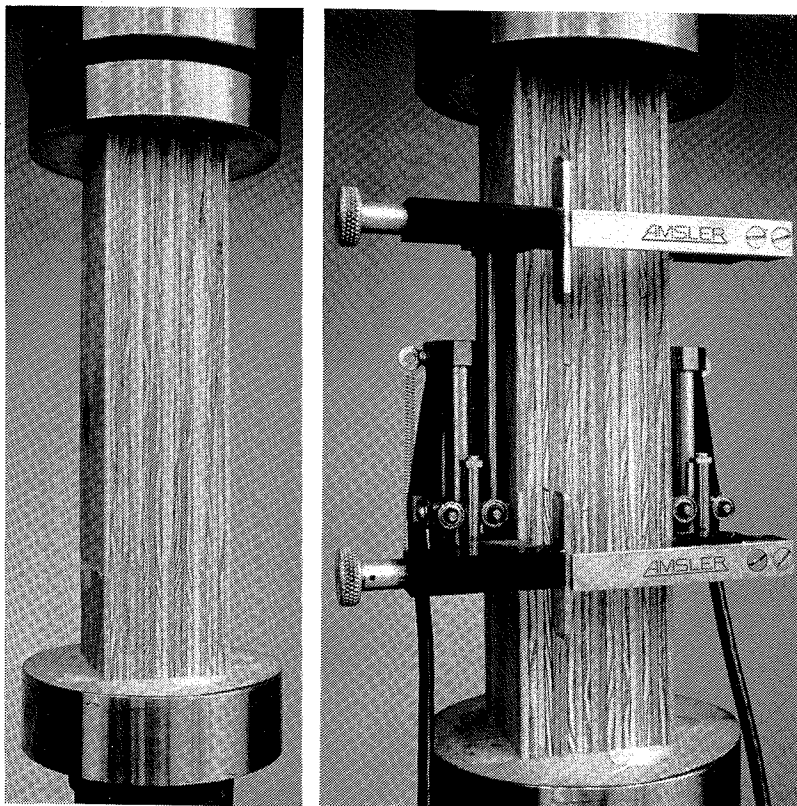
Procedure

Prøvelegemerne anbringes mellem kæberne i en trykprøvemaskine (se figur 3.2). Belastningen øges kontinuert med en deformationshastighed på 0,5 mm pr.minut. Med denne hastighed sker bruddet efter 4-6 minutter.

Ved hjælp af et tøjningspotentiometer påmonteret på prøvelegeme og prøvemaskinens vejecelle registreres sammenhørende værdier af belastning og deformation.

Resultater

På figur 3.3 er vist en typisk arbejdslinie for en af de undersøgte krydsfinértyper.

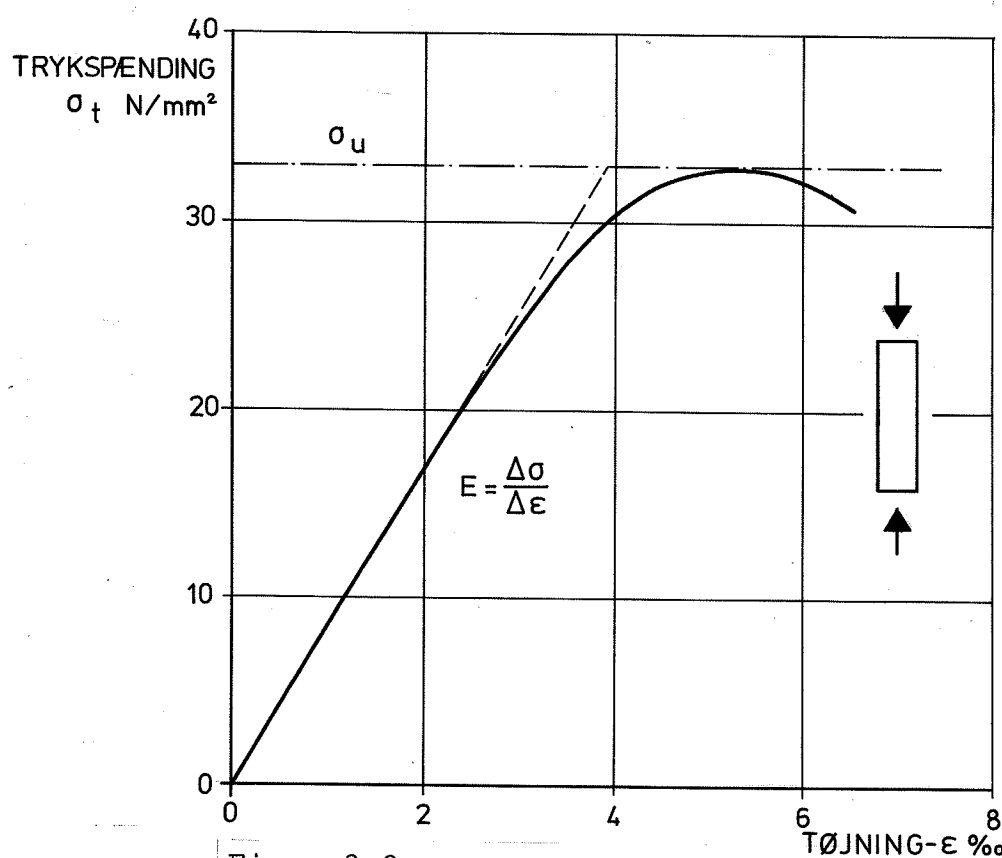


Figur 3.2:

Sammenlignede trykprøvelegemer anbragt i trykprøvemaskine.

Til venstre: Prøvelegeme med skråskarring 1:10.

Til højre : Prøvelegeme forsynet med tøjningspotentiometer (målestrækning 100 mm).



Figur 3.3:

Typisk arbejdslinie for trykpåvirkning af en 12 mm Amerikansk krydsfinér C-D (20°C - 50%RF).

I nedenstående tabel er resultaterne angivet som spændinger i N/mm^2 og elasticitetsmoduler i N/mm^2 , og således i princip gjort uafhængige af pladetykkelsen. Der gælder dog de samme forhold vedrørende parametrene tilknytning til en bestemt pladetykkelse, som beskrevet i kapitel 2.

I tabellen er endvidere angivet variationskoefficienten (den relative spredning) for de 10 prøvninger, der ligger til grund for hvert enkelt resultat.

Krydsfinértype - kvalitet	Aktuel tyk- kelse	Kondi- tione- ring (20°C)	Trykstyrke		Trykstivhed	
			σ_{c_0} N/mm^2	Var. koeff. %	E_{c_0} N/mm^2	Var. koeff. %
1. Amerikansk krydsfinér C-D - BRAND S	12,0	65%RF	33,3	7	8300	6
2. Amerikansk krydsfinér C-D - BRAND S <u>m.skråskarring 1:10</u>	12,0	65%RF	30,8	7	-	-
3. Amerikansk krydsfinér C-D	12,0	50%RF	33,4	12	10200	23
4. Amerikansk krydsfinér A-C	12,6	50%RF	33,3	10	7830	11
5. Canadisk krydsfinér C	12,6	50%RF	36,4	5	8330	6

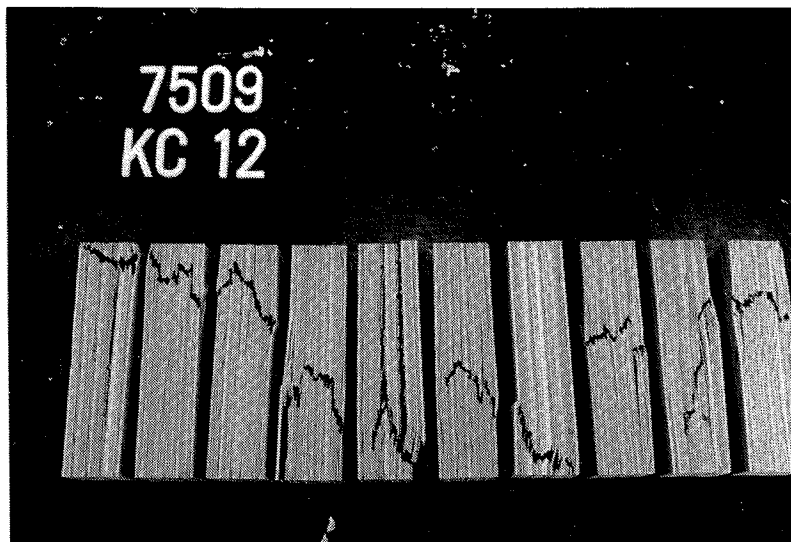
Tabel 3.1:

Trykprøvning af krydsfinér (tryk parallelt med yderfinérens fiberretning), metode A. Middelverdier af 10 prøver.

Resultaterne af trykprøvningserne viser overraskende, at trykstyrken, σ_{c_0} , er større end trækstyrken, σ_{t_0} , for samme krydsfinértyper (sammenlign tabel 2.1). Sædvanligvis er krydsfinérs trykstyrke 5-20% lavere end trækstyrken.

De observerede brudbilleder (se figur 3.4) kan grupperes i "flækningsbrud" og "stukningsbrud", analogt til de brudtyper der optræder ved trykprøvning af massivt træ. Stukningen udvikler sig i flere tilfælde ved den ene kant og er sandsynligvis en følge af stabilitetsfænomener. Angående

"flækningsbruddet" skal bemærkes, at flækningen ikke sker i limforbindelserne men i finérlagene med fiberorientering vinkelret på kraftretningen.



Figur 3.4:

Typiske brudbilleder af trykprøvelegemer sammenlimet af flere krydsfinérplader (10 prøver fra samme serie).

3.2 Metode B (prøvelegemer med pladetykkelse)

Denne alternative metode bygger på "korte" prismatiske prøvelegemer udskåret direkte af en krydsfinérplade med mindste kantlængde svarende til pladens tykkelse. Metoden kan kun anvendes til bestemmelse af trykbrudstyrken, medmindre der etableres en kontinuert tværunderstøtning for at hindre stabilitetsbrud (se f.eks. litt. [6], D 805).

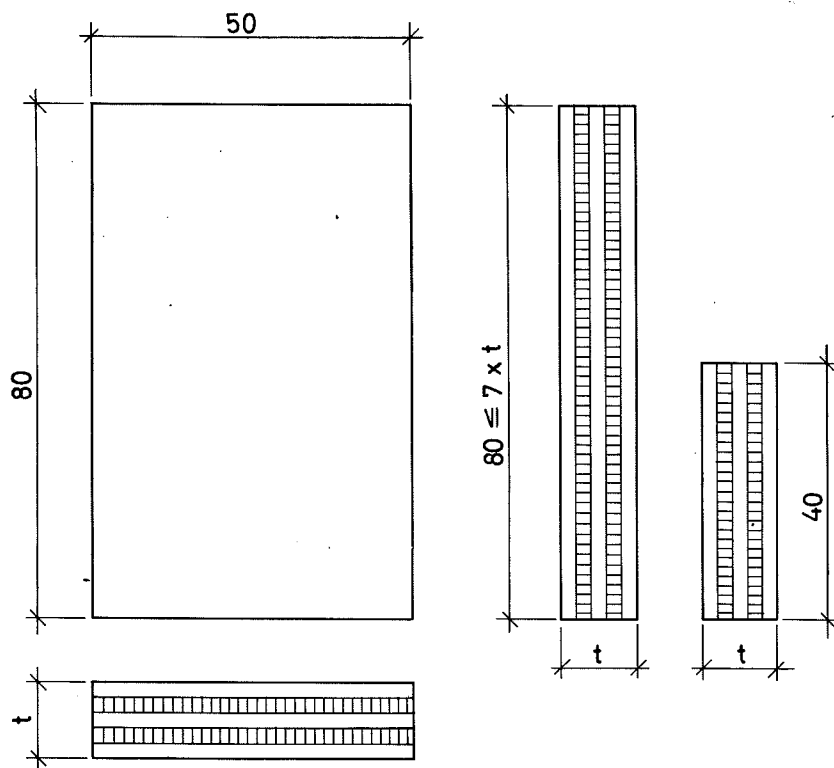
Uden tværunderstøtning frarådes metoden sædvanligvis også til styrkebestemmelse, hvis pladetykkelsen er mindre end 6 mm.

Prøvelegemer

I engelsk og amerikansk standard foreskrives minimumsbredder på 50 mm og maksimumlængder (højder) på 7 gange pladetykkelsen.

Dimensionerne af de her anvendte prøvelegemer er henholdsvis 12×50×80 mm og 12×50×40 mm (se figur 3.5).

Den krydsfinértype, der er anvendt, svarer til type 1 i tabel 3.1, idet prøvnin-gen kun tjener til sammenligning med metode A.



Figur 3.5:

Trykprøvelegemer med pladetykkelse.

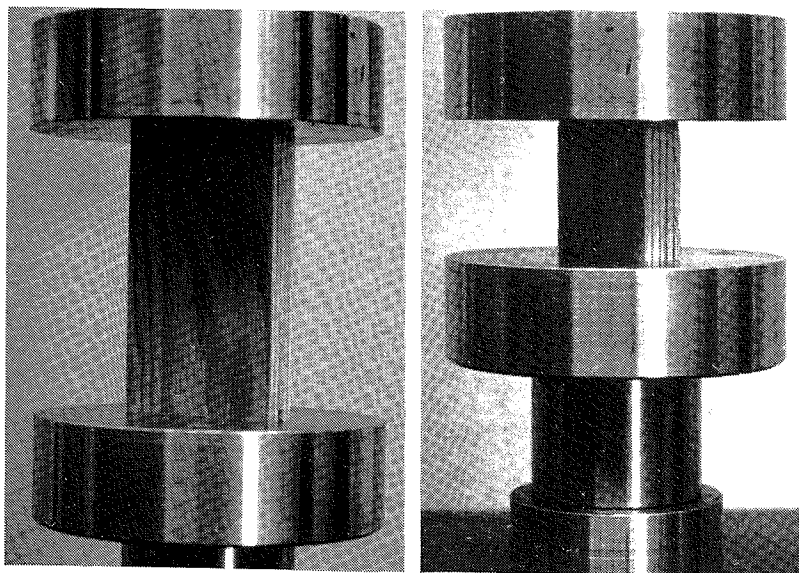
Prøvningen er udført, som beskrevet i afsnit 3.1, idet der dog ikke er målt deformationer.

Selv om prøvelegemets sammentrykning kan måles gennem måling af trykfladernes bevægelse, fås meget misvisende resultater, hvis den sammen med kraftmålingen anvendes til bestemmelse af krydsfinérens elasticitetstal.

Krydsfinértype	Aktuel tykkelse mm	Kondi- tione- ring (20°C)	Prøve- legeme Bredde × højde mm × mm	Trykstyrke N/mm ²	Var. koeff. %
1 Amerikansk krydsfinér C-D - BRAND S	12,0	50%RF	50 × 80	40,5	9
2 Amerikansk krydsfinér C-D - BRAND S	12,0	65%RF	50 × 80	37,7	6
3 Amerikansk krydsfinér C-D - BRAND S	12,0	65%RF	50 × 40	40,1	12

Tabel 3.2:

Trykprøvning af krydsfinér, metode B (middelværdier af 10 prøver).



Figur 3.6:

Prismatiske prøvelegemer med pladetykkelse anbragt mellem kæberne i en trykprøvemaskine. Prøvelegemernes kantforhold har mærkbar indflydelse på trykbrudstyrken.

Resultaterne af denne trykprøvning (tabel 3.2) viser, som forventet, noget større trykbrudstyrker (ca. 10%) end metode A (sammenlign tabel 3.1), hvilket må tilskrives den forstærkende virkning af friktionen mellem prøvelegeme og trykflader for disse "korte" prøvelegemer. Virkningen afspejler sig også ved sammenligning af 2 og 3 i tabel 3.2, hvor prøvelegemets højde er halveret.

Ændringen i fugtindhold fra 50% til 65%RF medfører en forventet styrkereduktion, selv om en sådan sammenligning skal tages med forbehold på grundlag af det begrænsede antal prøver.

4. FORSKYDNINGSPRØVNING

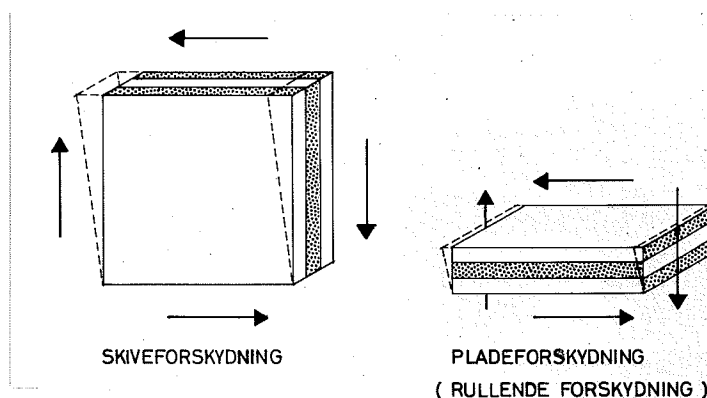
Bestemmelsen af krydsfinérens egenskaber overfor forskydning må opdeles i to principielt forskellige tilfælde, afhængigt af om forskydningen sker i et plan vinkelret på pladen eller i pladens plan (se figur 4.1).

Skive

Hvis forskydningsspændingerne ligger i pladens plan, betegnes påvirkningen "skivefor-skydning" eller "forskydning gennem tykkel-sen" (på engelsk: Panel Shear).

Plade

Ligger forskydningsspændingerne i et plan vinkelret på pladens plan, kaldes påvirkningen "pladeforskydning" eller "rullende forskydning" (på engelsk: Plate Shear, Rolling Shear). Betegnelsen "rullende for-skydning" hidrører fra tværfinérens tendens til at rulle på længdefinérene.



Figur 4.1:

Illustration af henholdsvis skive- og pladefor-skydning.

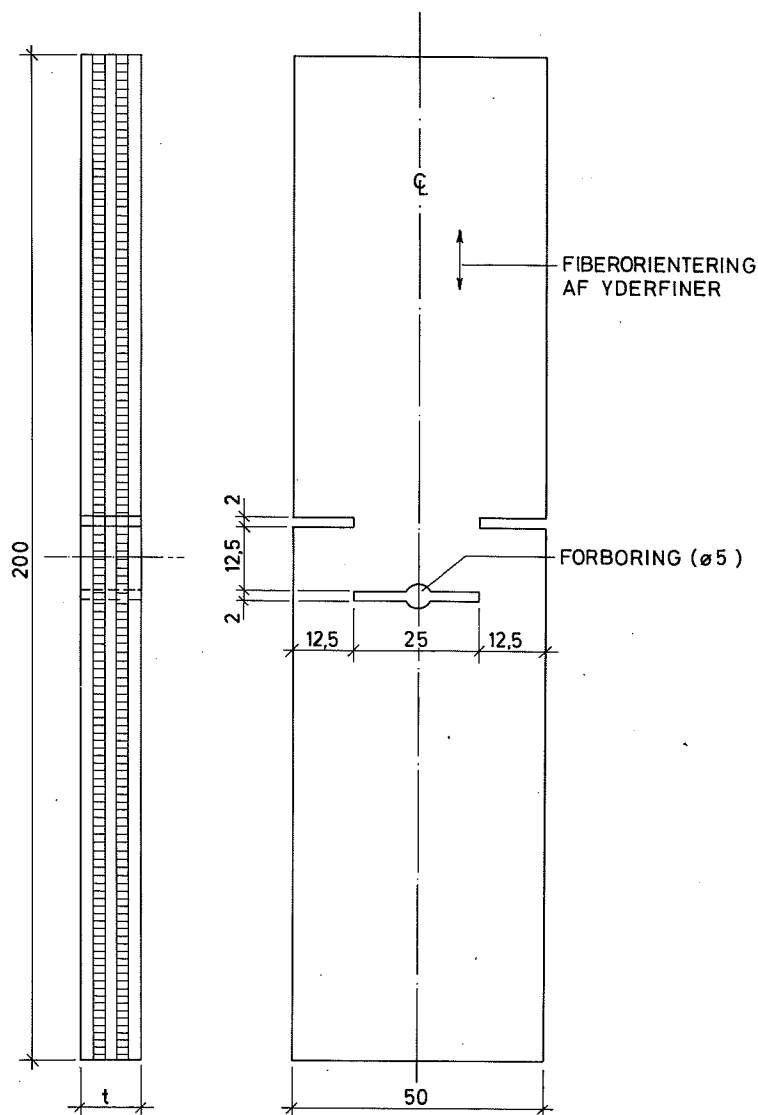
4.1 Skivefor-skydning

Denne påvirkningsform er kun undersøgt for det tilfælde, hvor forskydningsspændingerne er parallelle med fiberretningerne svarende til mindste forskydningsstyrke (τ_0). Største styrke fås for vinkler under 45° (τ_{45}).

I det foreliggende tilfælde er i øvrigt kun undersøgt styrkeegenskaberne, idet be-stemmelsen af stivhedsegenskaberne af tids-mæssige årsager ikke har kunnet gennemføres. En metode svarende til den amerikanske stan-dard vil dog blive omtalt.

4.1.1 Forskydningsstyrke (trækprøvning)

Bestemmelsen af krydsfinérens forskydningsstyrke ved skivepåvirkning kan ske ved hjælp af et specielt udformet trækprøve-legeme.



Figur 4.2:

Trækprøvelegeme til bestemmelse af krydsfinérs skiveforskydningsstyrke (efter ASTM-D805).

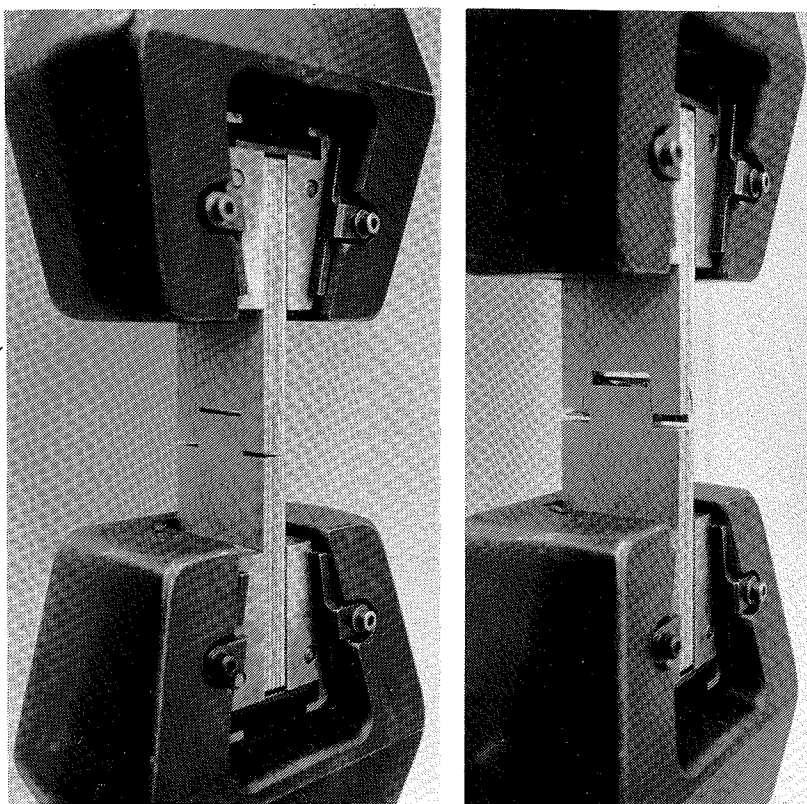
Prøvelegeme

Prøvelegemet er udformet i henhold til ASTM-D805, som vist på figur 4.1, med tykkelse svarende til pladetykkelsen. Udfræsningerne må udføres med stor præcision, så forskydningsarealet kan fastlægges med tilstrækkelig nøjagtighed.

Forskydningsstyrken bestemmes som brudkraften pr. arealenhed af de to snit mellem udfræsningerne.

Procedure

Prøvelegemet opspændes i kæberne på en trækprøvemaskine og belastes til brud. Kraften forøges kontinuert ved en deformationshastighed på 0,2 mm pr. minut, således at bruddet optræder efter 4-6 minutter.



Figur 4.3:

Trækprøvelegemer til bestemmelse af forskydningsstyrken opspændt mellem kaberne i en trækprøve-maskine. Til højre ses et prøvelegeme efter brud.

Krydsfinértype - kvalitet	Aktuel tykkelse mm	Konditio- nering (20°C)	Forskydnings- styrke τ_o N/mm ²	Variations- koefficient %
Amerikansk krydsfinér C-D	12,0	50%RF	7,4	4

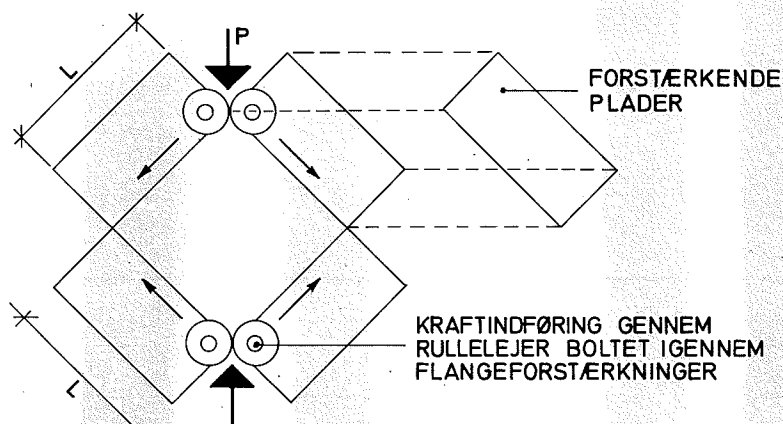
Tabel 4.1:

Skiveforskydningsstyrke i snit parallelt med yderfinérens fiberretning. Middelværdi af 10 prøver.

4.1.2 Forskydningsstivhed

Forskydningsmodulen ved skiveforskydning kan ikke bestemmes så simpelt som forskydningsstyrken.

En metode baseret på engelsk og amerikansk standard (se litt. [5] og [6]) skal kort omtales.



Figur 4.4:

Princip i ASTM's metode til bestemmelse af forskydningsmodulen ved skiveforskydning.

Princip i prøvning

Metoden går i princippet ud på at trykbelaste en kvadratisk krydsfinérplade diagonalt.

For at få overført kræfterne som forskydningskræfter udskæres prøvelegemet med flige, der yderligere forstærkes med pålimede massive træstykker (se figur 4.3).

Vedrørende prøvelegemernes dimension i forhold til pladetykkelsen henvises til litt. [6].

Beregning af forskydningsmodul

Bestemmelsen af forskydningsmodulen G sker ved måling af sammenhørende værdier for kraft og diagonal-tøjning. Diagonal-tøjninger kan måles ved at forsyne prøvelegemet med strain gage placeret i diagonalen på begge sider af prøvelegemet (kompensation for eventuel bøjning).

Forskydningsspændingen τ , svarende til en påført last P , kan bestemmes som:

$$\tau = \frac{\sqrt{2} P}{2 L t}$$

hvor L er kantlængden og t pladetykkelsen.

Vinkeltøjningen, svarende til en diagonal-tøjning ε , kan udtrykkes ved:

$$\gamma = 2 \varepsilon$$

Forskydningsmodulen, G , kan herefter udtrykkes ved hældningen af arbejdslinien i et τ - γ -diagram.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\sqrt{2}}{4 L t} \frac{P}{\epsilon}$$

Måles i stedet for diagonaltøjningen den absolutte, diagonale sammentrykning, e , kan G findes af udtrykket:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{P}{2 t e}$$

Forskydningsmodulens størrelsesorden

Metoden er desværre ikke efterprøvet her af tidsmæssige årsager. For at give et indtryk af størrelsesordenen af forskydningsmodulen gengives resultaterne af en amerikansk undersøgelse, refereret i litt. [7].

Forskydningsmodulen er stort set uafhængig af pladetykkelsen, men afhængig af vinklen mellem fiberretningen og forskydningspændingernes retning.

For påvirkninger under vinklen 0° med fiberretningen svarende til mindste forskydningsstivhed angives for "Douglas Fir Plywood":

$$G_0 = 875 \text{ N/mm}^2 \text{ (variationskoefficient 35\%)}$$

Den opgivne værdi er den aktuelle middelværdi af 100 prøver med et ligevægtsfugtindhold på ca. 7%.

4.2 Pladeforskydning

For påvirkningen "pladeforskydning" eller "rullende forskydning" findes ikke velegnede metoder til bestemmelse af både styrke- og stivhedsegenskaber samtidig.

Forskydningsstyrken (rullende forskydningsstyrke) kan ligesom skiveforskydningsstyrken bestemmes ved hjælp af et specielt udformet trækprøvelegeme.

Den rullende forskydningsstyrke har stor betydning, hvor krydsfinéren optræder som flange i en sandwich- eller stressed-skin-konstruktion, hvor forskydningskræfter skal overføres mellem krop og flange.

Forskydningsmodulen svarende til pladeforskydning (normalt betegnet G_{90}) har ikke den store interesse, idet bidraget til nedbøjningerne fra forskydningsspændingerne af denne karakter er forsvindende.

En simpel metode til bestemmelse af denne parameter medtages dog her for fuldstændighedens skyld.

4.2.1 Forskydningsstyrke (trækprøvning)

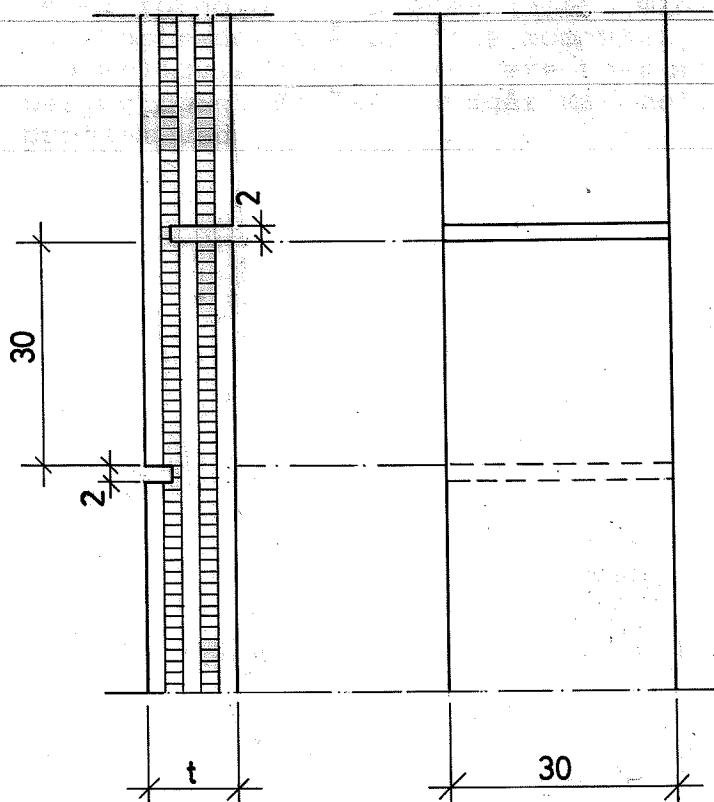
Metoden bygger på et princip anvendt i Holland (se litt. [5]).

Prøvelegeme

Et trækprøvelegeme, som vist i afsnit 2, figur 2.1, forsynes med parallelle indsnit, som vist på figur 4.4.

Indsnittene vinkelret på kraftretningen går ind til midten af et finérslag med fiberorienteringen vinkelret på kraftretningen.

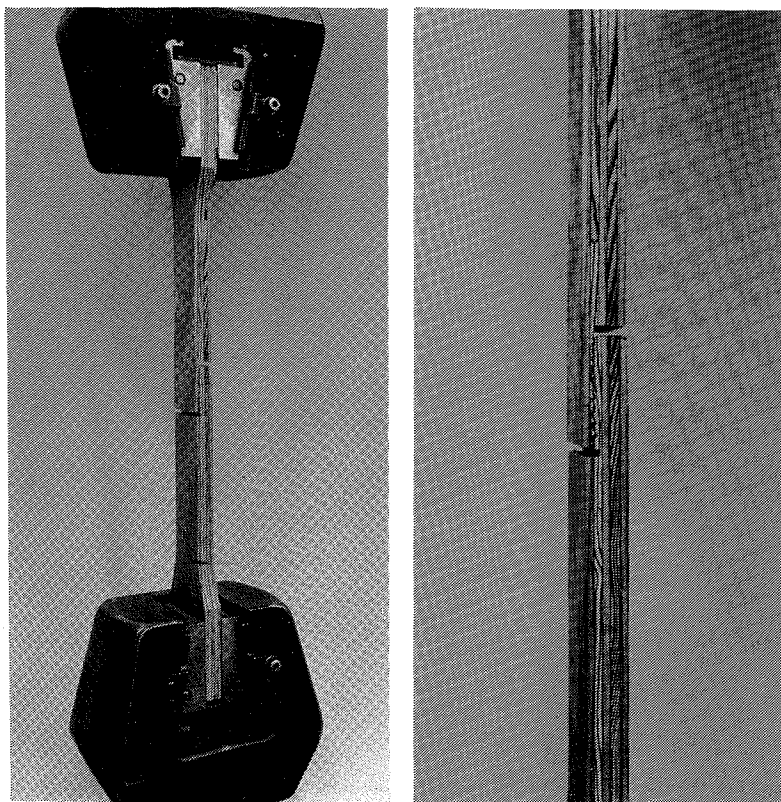
I snittet mellem disse udfræsninger skal kræfterne overføres ved forskydning (rullende).



Figur 4.5:

Trækprøvelegeme til bestemmelse af krydsfinérs rullende forskydningsstyrke.

På grund af trækkræfternes ekscentriciteter i forhold til prøvelegemets midtersnit optræder små bøjende momenter, der sædvanligvis antages at være uden større betydning. I England undgår man dette problem ved at gøre prøvelegemet symmetrisk ved sammenlimning af flere krydsfinérplader med skiftevis orientering af yderfibreneren.



Figur 4.6:

Rullende forskydning ved hjælp af trækprøvning.

Til venstre: Prøvelegeme opspændt i trækprøve-maskine.

Til højre : Prøvelegeme efter brud. Det takkede brudsnit viser, hvordan tværfibrenerne ruller mellem længdefibrenerne.

Procedure

Trækbelastningen påføres kontinuert med en deformationshastighed på 0,5 mm pr. minut indtil brud (fysisk adskillelse).

Bruddet optræder herved efter 1-2 minutter i overensstemmelse med engelsk og hollandsk standard.

Krydsfinértype - kvalitet	Aktuel tykkelse	Konditio- nering	Rullende forskydnings- styrke	Variations- koefficient
	mm	(20°C)	τ_{90} N/mm ²	%
Amerikansk krydsfinér C-D	12,0	50%RF	1,6	15

Tabel 4.2:

Rullende forskydningsstyrke.
Middelværdi af 10 prøver.

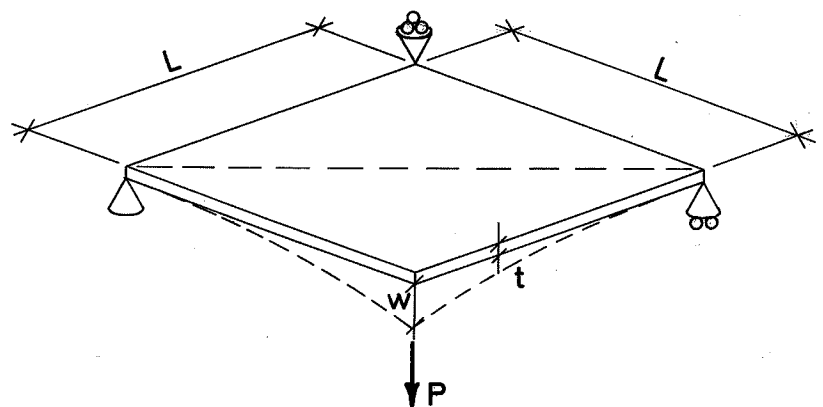
I tabel 4.2 er gengivet resultaterne af de udførte prøvninger. Prøvningerne er udført for påvirkning parallelt med en af hovedretningerne svarende til den mindste styrke.

Metoden er temmelig følsom overfor småfejl i limningen mellem finérlagene, der kan afstedkomme uønsket brud.

4.2.2 Forskydningsstivhed

Bestemmelsen er sket efter princippet i den amerikanske standard (se litt. [6]). En kvadratisk krydsfinérplade påvirkes til bøjning over diagonalen.

I ASTM-udgaven understøttes pladen i to diagonalt placerede hjørner og belastes over de to andre. Deformationerne måles ved en 4-punktsmåling i de to diagonaler.



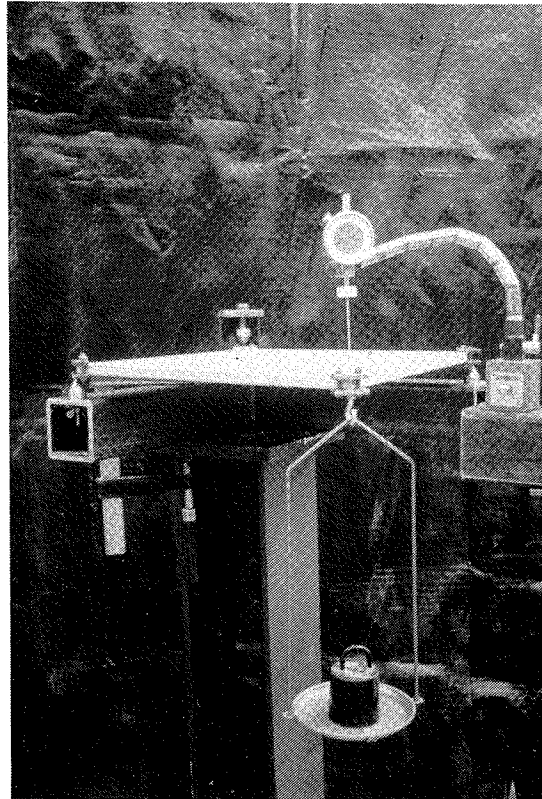
Figur 4.7:

Forsøgsprincip ved bestemmelse af krydsfinérs forskydningsmodul ved pladeforskydning.

I den her anvendte version understøttes pladen i de tre hjørner og belastes i det fjerde (se figur 4.6). Nedbøjningen måles i det hjørne, hvor belastningen påføres.

I den amerikanske standard foreskrives en sidelængde mellem 25 og 40 gange plade-tykkelsen.

Prøvningen er udført på 12 mm krydsfinér-plader med dimensionen 400×400 mm.



Figur 4.8:

Opstilling til bestemmelse af krydsfinérs forskydningsmodul ved pladeforskydning. Understøtningerne er udformet, så de tre punkter tillades fri deformation i diagonal retning.

Procedure

Belastningen påføres ved hjælp af lodder i lasttrin af 2 N til en max. last på 18 N.

Nedbøjninger måles ved hjælp af et måleur, og arbejdslinie optegnes.

For at eliminere indflydelsen fra eventuelle forhåndskrumninger drejes prøvelegemet 90°, og forsøg gentages.

Beregning af
forskydningsmodul

Forskydningsmodulen kan beregnes af udtrykket:

$$G = \frac{3 L^2 P}{t^3 w}$$

hvor L er pladens sidelængde, P den påførte last, t er pladetykkelsen, og w den til lasten hørende nedbøjning. Forholdet mellem P og w bestemmes af arbejdsliniens hældning. Resultatet er indført i tabel 4.3.

Krydsfinértype - kvalitet	Aktuel tykkelse mm	Konditionering (20°C)	Forskydnings- modul G_{90} N/mm ²	Variations- koefficient %
Amerikansk krydsfinér C-D	12,0	50%RF	650	5

Tabel 4.3:

Forskydningsmodul ved pladeforskydning (rullende forskydning). Middelværdi af 10 prøver.

5. LITTERATURFORTEGNELSE

- [1] Nicolajsen, Asta:
Mineraluldbaserede Sandwichelementer
Laboratorieforsøg til bedømmelse af
de fugttekniske egenskaber.
SBI-rapport 114, 1978.
- [2] Larsen, H.J.:
Materialer og forbindelsesmidler til
trækonstruktioner.
Teknisk Forlag, 1971.
- [3] Larsen, H.J.:
Trækonstruktioner, hæfte 4.
Teknisk Forlag, 1969.
- [4] Herholdt, Aage D.:
Træ, styrke- og deformationsforhold.
DIA-B, Ålborg 1972.
- [5] Kuipers, I.:
Standard Methods of Testing for the
Determination of Mechanical Properties
of Plywood.
Technical University of Delft,
Netherlands 1974.
- [6] ASTM Standards, Part 16,
Structural Sandwich Constructions;
Wood; Adhesives.
Philadelphia, 1969.
- [7] Smith, G.R.:
Plywood Strength Test Program
Report 105
Council of Forest Industries of
British Columbia,
Vancouver, 1974.

SUMMARY

Concerning the structural performance of sandwich components with faces of plywood and core of mineral wool material tests have been carried out on four types of plywood.

The material tests are connected with certain full-scale tests on sandwich components tested under the same conditions.

The mechanical properties are primarily investigated with regard to stress-strain relations in compression and tension including the scarph joints used in longer components.

The properties in bending are without essential importance in relation to the examined sandwich components and therefore not included here.

In a few cases the plywood have been tested under influence of shear-forces as the type of plywood has been used as edge web plates in the span direction.

The results of the tests are shown in the table stated below.

The different test-methods are described with regard to reproduction with references to the literature on which the methods have been based.

Plywood - quality	Thick- ness mm	Condit- ioning 20°C	Tension $\neq$		Compression $\neq$		Panel Shear		Plate Shear/ Rolling Shear	
			σ_{t_0} N/mm ²	E_{t_0} N/mm ²	σ_{c_0} N/mm ²	E_{c_0} N/mm ²	τ_0 N/mm ²	G_0 N/mm ²	τ_{90} N/mm ²	G_{90} N/mm ²
American Plywood C-D BRAND S	12.0 12.0	65%RF 50%RF	27.1 28.0	9880 11200	33.3	8300				
American Plywood C-D BRAND S with scarph joint 1:10	12.0 12.0	65%RF 50%RF	16.2 17.0		30.8					
American Plywood C-D	12.0	50%RF	21.2	8460	33.4	10200	7.4	875*	1.6	650
American Plywood C-D with scarph joint 1:8	12.0	50%RF	19.7							
American Plywood A-C	12.6	50%RF			33.3	7830				
Canadian Plywood CSP Sheeting	12.6	50%RF			36.4	8330				

Key table of results of tests carried out. Values for strength and rigidity are average values corresponding to short time load, (* from lit. [7]).