



Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner

Resultater etter 30 års eksponering (sluttrapport)

*Long-term durability
of structural adhesives for wood*

Results after 30 years exposure (final report)

Eirik Raknes, NTI

Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner.

Resultater etter 30 års eksponering (sluttrapport).

Saksbehandler: Eirik Raknes
Dato: 1995-09-20
Finansiering: NTNF, Casco Nobel, Dyno Industrier og NTI (egne midler)
Prosjektnummer: 557003

Sammendrag

Dette er sluttrapport fra et forsøk som ble startet i 1964, der man har undersøkt langtidsbestandigheten til lim av følgende typer: Kaseinlim (2 merker), modifiserte urealim (3 merker), vanlige urealim med fyllstoff (5 merker), syreherdende fenollim (1 merke), resorcinollim (1 merke), fenolresorcinollim (2 merker). Prøver er eksponert i tre inneklimaer (30 år), samt under tak ute (22 år) og ubeskyttet ute (10 år). Ut fra resultatene trekker vi følgende konklusjoner når det gjelder de enkelte limtypers langtidsbestandighet:

Kaseinlim er velegnet til bruk i bærekonstruksjoner som skal stå innendørs eller utendørs under tak. Konstruksjonene bør beskyttes mot vann i byggetiden.

Vanlige urealim m. fyllstoff har beholdt tilfredsstillende tørrstyrke innendørs og utendørs under tak. Vannbestandigheten går imidlertid nedover. Dette er bekymringsfullt, da det kan bety at også tørrstyrken vil bli redusert etter hvert. Disse lim må ansees for tvilsomme, selv om de nå er tillatt brukt i Europa til innendørskonstruksjoner (Eurocode 5, EN 301).

Modifiserte urealim har gitt bedre resultater enn de vanlige, og de furfurylmodifiserte har fortsatt tilfredsstillende tørrstyrke såvel som vannbestandighet, mens vannbestandigheten nå er litt under kravet for lim nr. 10. Dette lim ga imidlertid best resultat av UF-limene ved utendørsprøvingen. Både disse resultater og resultatene i (9) tyder på at man kan få frem egnede urealim ved modifisering som gjør limsubstansen mer fleksibel og mindre sprø. Slike lim er egnet til bruk innendørs og utendørs under tak.

Syreherdende fenollim. Lim av liknende type som var med i dette forsøket er uegnet til bruk i bærekonstruksjoner.

Resorcinol- og fenolresorcinollim er velegnet til bruk i bærende trekonstruksjoner både innendørs og utendørs.

Stikkord: Konstruksjonslim, prøving, holdbarhet.
Keywords: Structural adhesives, testing, durability.

Summary.

This is the final report from an experiment where the long-term durability of 14 different adhesives has been investigated over a period of 30 years. The adhesives are listed in table 1.

Samples (fig. 1) were exposed as follows:

1. 20 °C/65 % RH. (30 years.)
2. Outdoors protected by roof. (22 years).
3. Unheated, ventilated loft. (30 years.)
4. Cellar. (30 years.)
5. Unprotected outdoors (not caseins), 10 years.

The experiment is described in detail in ref. (1), which is a progress report after 2 years exposure.

Test results after 6, 10, 15 and 22 years are given in ref. (2)-(5), and after 15 years in (6). This report contains test results after 30 years natural ageing indoor, using test pieces as shown in fig. 1. Wood species: Spruce (*Picea abies*).

Results from delamination tests (ASTM D1101-59) are given in table 2 and fig. 2 and 3, and results from dry block shear tests (ASTM D905-49) are given in table 3 and fig. 4 and 5.

An evaluation of the results is given in table 4.

Samples of the various adhesives were examined microscopically. The appearance of the gluelines fit very well into the categories described by River & al. (9).

The ordinary UFs with inert fillers (no. 5-9) gave type I-gluelines, i.e. they were crazed. Example: Fig. 8. The modified UFs, no. 3, 4 and 10, generally gave type II gluelines, with transverse but not longitudinal cracks. Example: Fig. 9. In some areas these gluelines were without cracks (type III). Example: Fig. 7.

Caseins (fig. 6), resorcinols, phenol-resorcinols (fig. 11) and acid phenolic (fig. 10) gave type III-gluelines, without cracks.

The following conclusions are drawn considering the various adhesives:

Caseins (no. 1 and 2) have retained their dry strength more or less unchanged throughout the experiment for indoors and outdoors under roof exposure. (Wet strength and unprotected outdoor exposure were not tested.) These adhesives are considered suitable for indoor and protected outdoor wood constructions. They should be protected against water during the building period.

Straight UFs with inert fillers (no. 5-9) seem to post-cure the first two years, and then develop curing stresses during the 2-6 year period. This causes a reduction in the (observed) shear strength. A relaxation seems to take place in the 6-10 year period, probably because the adhesive layers crack transversely as

well as longitudinally. The observed dry shear strength increased in this period, and has since then been more or less constant.

The crazing of the gluelines have, obviously, reduced the wet strength of the wood at the glue-wood interface, This was observed also by River & al. (9). The wet strength decreases steadily, which could mean that ultimately also the dry strength will be affected.

These adhesives should therefore be considered with suspicion.

Modified UFs (no. 3, 4 and 10) have stood up better than the straight ones, especially the furfurylated brands (no. 3 and 4). For these the shear strength as well as the water resistance are still satisfactory. The resorcinol modified one, however, showed the best results in outdoor exposure.

Our results, as well as the results in (9) indicate that it is possible to make satisfactory UFs by making them more flexible and less brittle through suitable modifications. Such adhesives would be suitable for indoors and protected outdoors constructions.

Acid phenolic of the type tested here must be considered unsuitable for structural wood gluing, probably due to acid damage of the wood.

Resorcinols and phenol-resorcinols are suitable for structural use indoors as well as outdoors.

If these results are compared with accelerated tests carried out at the beginning of the experiment, the correlation is now quite good. It should therefore be possible to design a temperature/humidity cycling which in combination with glueline examination could make forecast as for the durability of UF adhesives.

Innhold

Sammendrag	3
Summary.....	5
Forord.....	8
Innledning.....	9
Forsøk med naturlig aldring.....	9
Prøveresultater.....	11
Delamineringsprøver etter ASTM D1101-59.....	11
Skjærfasthetsprøver etter ASTM D905-49.....	13
Undersøkelse av limfugene i mikroskop.....	18
Kommentarer.....	23
Sammenlikning naturlig/akselerert aldring.....	24
Samlet vurdering av limene etter 30 års eksponering.....	25
Kaseinlimene, nr. 1 og 2.....	25
Urealimene, nr. 3-10.....	25
Syreherdende fenollim, nr. 11.....	26
Resorcinol- og fenolresorcinollim.....	26
Konklusjoner.....	26
Litteraturhenvisninger.....	27

Forord

Dette forsøket har vært støttet av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd.

Vi takker også Casco Nobel AB og Dyno Industrier A/S for økonomisk støtte til avslutningen av forsøket.

Innledning

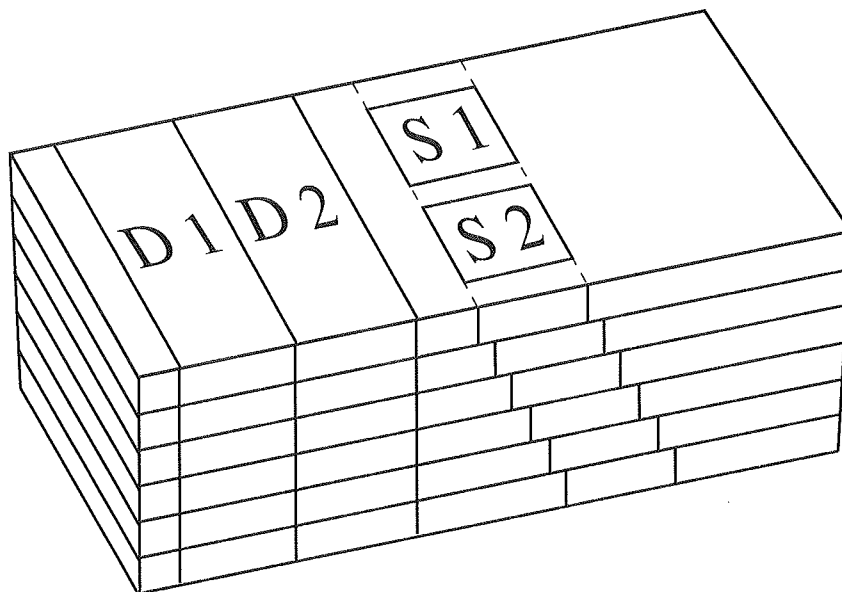
I 1964 ble det satt i gang et langtidsforsøk med i alt 14 lim av typer som dels brukes, dels er aktuelle til bruk i bærende konstruksjoner, se tabell 1. En detaljert beskrivelse av bakgrunnen for dette forsøket, samt av forsøksopplegget, er gitt i en tidligere rapport (1). Prøveresultater etter 2, 6, 10, 15 og 22 års eksponering er tidligere publisert (1), (2), (3), (4), (5), og en rapport på engelsk etter 15 års eksponering er publisert i (6). I det følgende gjengis resultater etter 30 års eksponering. Dette er sluttrapporten fra forsøket.

Forsøk med naturlig aldring.

Det ble her nyttet prøveblokker som vist i fig. 1. Treslag: Gran (*Picea abies*). Blokkene ble kappet ut av 4,5 m lange bjelker, som det ble laget 4 av pr. lim. Slike blokker ble eksponert i følgende klimaer: 1. Normalklima (20 °C, 65 % rel. fukt.), 2. Under tak ute (Lillestrøm), 3. Loftsklima (uoppvarmet, ventilert loft, Oslo), 4. Kjellerklima. Oppvarmet kjeller, med meget tørt klima (Lillestrøm).

Det ble ikke gjort registreringer av temperatur og luftfuktighet i klimaene 3 og 4. Anslag for klima 3: Temperatur + 10 - + 35 °C, 40 - 80 % rel. luftfuktighet. Anslag for klima 4 : 15 - 25 °C, 30 - 60 % rel. luftfuktighet.

Prøveblokkene var store nok til å gi to delamineringsprøver etter ASTM D1101-59 (D1 og D2 på fig. 1), samt to sett skjærfasthetsprøver á 5 limfuger etter ASTM D905-49 (S1 og S2 på fig. 1). For kaseinlim (nr. 1 og 2): 4 sett skjærfasthetsprøver á 5 limfuger. Prøver ble også eksponert ubeskyttet i friluft (ikke Kaseinlim) i 10 år, resultater i (3).



Figur 1. Prøveblokkene som ble brukt i forsøkene med naturlig aldring. Dimensjoner: 150 mm x 150 mm x 300 mm. D = delamineringsprøver, S = skjærfasthetsprøver.

(Test pieces used in the natural ageing experiment, 150 mm x 150 mm x 300 mm. D = Delamination test piece, S = Block shear test pieces.)

Tabell 1 *Lim*
Glues

Lim nr. (Glue no.)	Navn Name	Herder Hardener	Type Type	Herdetemp. Curing temperature	Produsent Producer
1	Casco A	-	Kaseinlim (Casein)	20 °C	Casco Nobel
2	Dynosin N	-	Kaseinlim (Casein)	20 °C	Dyno Industrier
3	Cascorit 1250	2656	Furfurylmod. urea (Furfurylated UF)	20 °C	Casco Nobel
4	Dynorit L166	H 126	Furfurylmod. urea (Furfurylated UF)	20 °C	Dyno Industrier
5	Cascorit 1201	2630	Urea m/fyllstoff (UF with inert fillers)	20 °C	Casco Nobel
6	Dynorit L101	H 118	(UF with inert fillers)	20 °C	Dyno Industrier
7	Dynorit L101	H 118	(UF with inert fillers)	40 °C	Dyno Industrier
8	Cascorit 1209	2697	(UF with inert fillers)	40 °C	Casco Nobel
9	Kaurit WHK	Herder 70	(UF with inert fillers)	20 °C	BASF
10	Aerolite 311	LB2	Gapfyll urea u/fyllstoff (mod. UF)	20 °C	Dynochem (UK) Ltd. *
11	Cascofen 1701	2580	Syreherd. fenollim (Acid PF)	20 °C	Casco Nobel
12	Cascosinol 1750	2612	Fenol-resorcinol (RF-PF)	40 °C	Casco Nobel
13	Dynosol S190	H620	Resorcinol (RF)	40 °C	Dyno Industrier
14	Dynosol S195	H625	Fenol-resorcinol (RF-PF)	40 °C	Dyno Industrier

* Tidligere (former) CIBA (A.R.L.) Ltd.

Prøveresultater.

Delamineringsprøver etter ASTM D1101-59.

For hvert lim unntatt kaseinlimene ble det tatt 8 delamineringsprøver før eksponering. Etter 2, 6 og 10 år ble det tatt ut henholdsvis 2, 2 og 4 delamineringsprøver for hvert lim og klima.

Prøvene som ble eksponert i friluft var for en stor del så ødelagt av råte at utendørseksponeringen måtte avbrytes. Resultatene for de første 10 år finnes i (3). Fra de tre innklimaene, samt under tak ute, ble det tatt ut henholdsvis 2 og 4 prøver etter 15 og 22 års eksponering. Etter 30 års eksponering ble det tatt 4 delamineringsprøver for hvert lim fra klimaene Normal (1), Loft (3) og Kjeller (4).

Av prøvene som lå ute under tak, kom en rekke på avveier, og en del ble utilsiktet utsatt for full værpåkjønning, bl.a. fordi taket raste sammen. Prøver fra dette klima er derfor utelatt i 30-årsresultatene. Prøvene ble som tidligere testet etter ASTM D1101-59, og resultatene er vist i tabell 2 og fig. 2 og 3. Her er resultatene for klimaene 1, 3 og 4 slått sammen. Delamineringen varierte betydelig både innen og mellom klimaene. Ser vi bort fra lim nr. 11, var det gjennomsnittlig 8 % delaminering i normalklima, 3 for loft og 3.4 for kjeller. Antall undermålere (eks. lim nr. 11) var henhv. 13, 2 og 1.

Tabell 2. Delaminering % (ASTM D1101-59). Middell av klima 1, 3 og 4.
Delamination % (ASTM D1101-59). Average, exp. 1, 3 and 4.

Limnr. (Glue no.)	Før eksp. (Bef. exp.)	* 2 år (2 years)	* 6 år	** 10 år	* 15 år	** 22 år	** 30 år
3	4,0	1,0	1,7	1,4	2,5	1,9	3,1
4	1,7	1,6	0,7	1,9	0,6	2,2	4,6
5	2,6	1,5	1,9	2,9	3,8 (1)	7,8 (4)	20,5 (9)
6	4,5	5,4 (3)	4,5 (1)	7,7 (5)	5,1 (2)	10,0 (5)	18,3 (11)
7	2,2	2,2	1,9	3,5	3,0	4,9	9,3 (4)
8	3,3	3,3 (1)	3,0	4,9 (2)	4,9 (2)	13,8 (7)	29,7 (12)
9	3,8	2,9	1,5	3,1 (1)	1,3	4,2	9,0 (7)
10	2,0	2,2	2,4	1,8	0,4	3,9 (1)	7,0 (2)
11	2,6	14,7 (6)	47,3 (6)	68,7 (12)	50,1 (6)	67,9 (12)	≈80,0 (12)
12	0,6	0,5	0,4	0,8	0,2	0,9	1,4
13	1,6	1,6	1,5	1,8	1,6	2,5	2,0
14	1,7	0,9	0,5	1,6	1,5	0,9	1,4
Middell (Average)	2,55	3,15	5,60	8,49	6,25	10,08	15,53

* Middell av 6 prøver (Average 6 samples).

** Middell av 12 prøver (Average 12 samples).

Tallene i parentes: Antall prøver som ikke fyller kravene.

(Numbers in brackets: Samples not meeting requirements.)

For syreherdende fenollim, nr. 11, er delamineringen etter 30 år nesten total. Ingen enkeltprøve fyller Limtrekontrollens krav (7). Det dårlige resultatet antas å skyldes syreskade på trevirket, da bruddflatene er dekket med et meget tynt fiberlag. Det var hverken adhesjonsbrudd eller kohesjonsbrudd i limet.

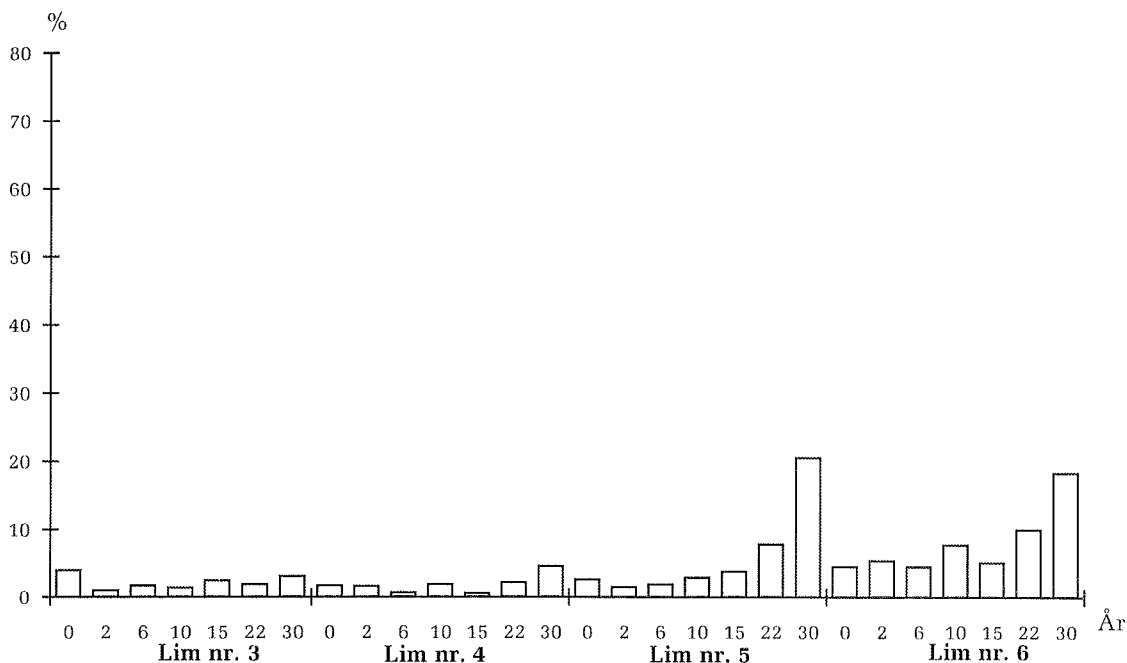
For resorcinollimet, nr. 13, og fenolresorcinollimene, nr. 12 og 14, er delamineringen fortsatt ubetydelig, og samtlige enkeltprøver fyller fortsatt Limtrekontrollens krav (7).

Av urealimene er det nå bare de to furfurylmodifiserte, nr. 3 og 4, der alle enkeltprøver fyller Limtrekontrollens krav. Delamineringen har likevel økt noe også for disse siden 22-årsprøvingen.

For Dynorit L101/H118 ser det ut for at 40 °C herdetemperaturer (nr. 7) gir betydelig bedre resultater enn 20 °C (nr. 6).

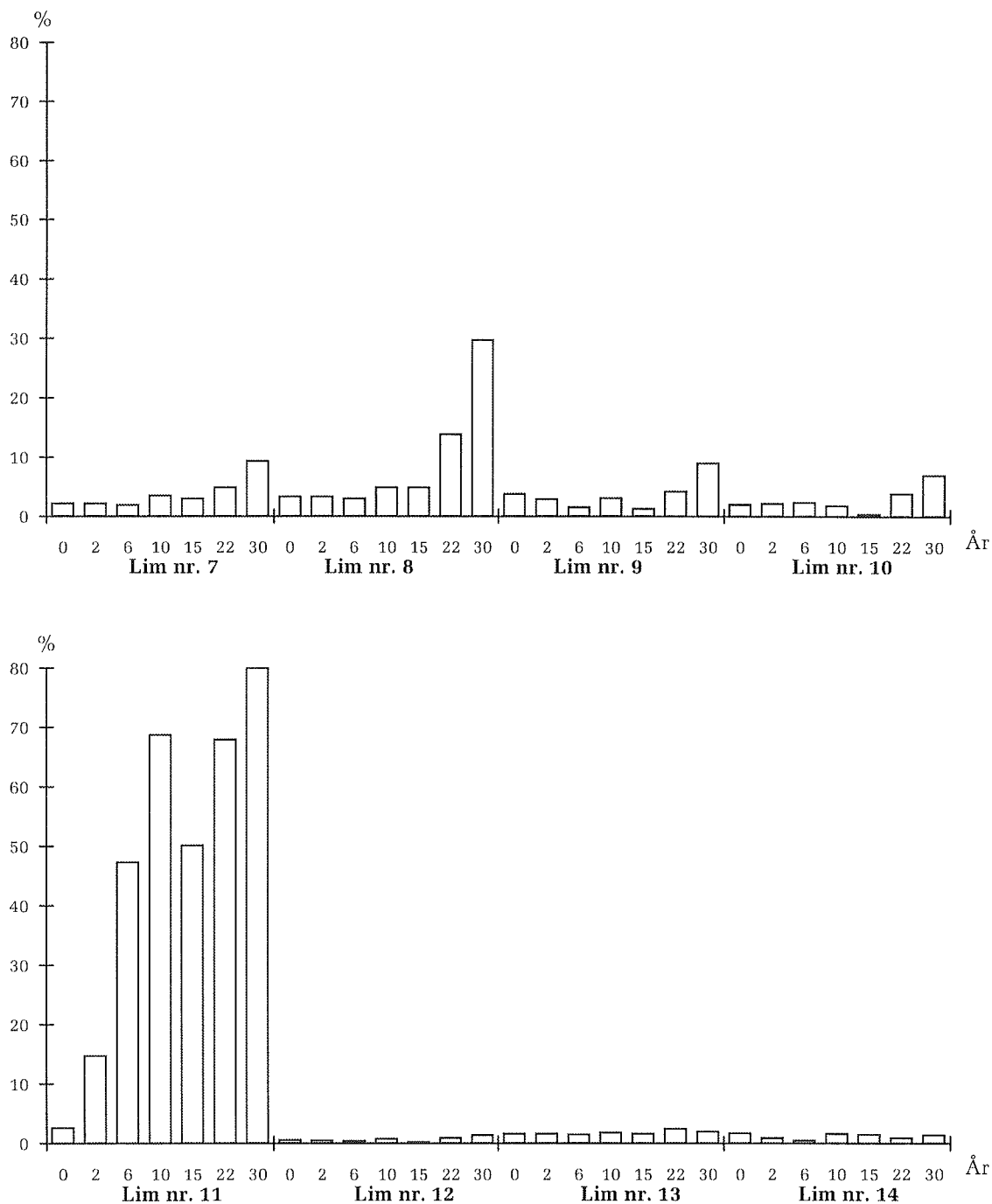
For de to Casco-limene derimot, er 20 °C-limet (nr. 5) noe bedre enn 40 °C-limet (nr. 8). Man kan ikke ut fra dette si noe generelt om effekten av herdetemperatur, da de to Casco-limene er forskjellige.

Bortsett fra nr. 3 og 4 er alle urealimene blitt betydelig svekket m.h.t. vannfasthet siden 22-årsprøvene, og som tidligere er det nr. 5, 6 og særlig 8 som er blitt svekket mest.



Figur 2 Delaminering i % (ASTM D1101-59) i middel for klimaene 1, 3 og 4 for limene 3 - 6.

Delamination %. Average, exposures 1, 3 and 4 for the glues 3 - 6..



Figur 3 Delaminering i % (ASTM D1101-59) i middel for klimaene 1, 3 og 4 for limene 7 - 14.

Delamination %. Average, exposures 1, 3 and 4 for the glues 7 - 14.

Skjærfasthetsprøver etter ASTM D905-49.

Skjærfasthetsprøver ble tatt ut før eksponering, etter 2, 6, 10, 15 og 22 år for klimaene 1-4, og etter 30 år for klimaene 1, 3 og 4. Prøvene ble testet som beskrevet i ASTM, og skjærfasthet samt % trebrudd ble registrert.

Prøveresultatene er vist i tabell 3 og fig. 4 og 5. Gjennomsnittlig hadde normal- og kjellerprøvene lik skjærfasthet, mens loftsprøvene lå ca. 7 % lavere.

Vi ser at skjærfastheten tilsynelatende har gått litt opp siden 22-årsprøvene, men dette skyldes nok at "under tak ute", som ikke er med i 30-års-resultatene, lå ca. 4 % under de andre (5). Trebruddsprosenten er imidlertid gått merkbart ned for samtlige lim. De som har greid seg best, er faktisk kaseinlimene, både når det gjelder skjærfasthet og trebrudd.

*Tabell 3. Skjærfasthet etter ASTM D905-49, kp/cm² (% trebrudd).
30 år: Middel av klima 1, 3 og 4. De andre: Middel klima 1-4.
Blockshear strength, ASTM D905-49, kp/cm² (% wood failure).
30 years: Average, exp. 1, 3 and 4. The rest: Average exp. 1-4.*

Lim nr. (Glue no.)	Før eksponering Before exposure	Eksponeringstid, år (Exposure time, years)					
		2	6	10	15	22	30
1	95 (90)	89 (92)	83 (90)	92 (91)	85 (86)	88 (91)	94 (74)
2	95 (88)	92 (90)	86 (90)	95 (90)	87 (80)	90 (88)	93 (70)
3	88 (62)	76 (82)	68 (68)	81 (86)	74 (72)	77 (77)	82 (57)
4	76 (71)	80 (90)	73 (69)	82 (84)	73 (72)	77 (81)	84 (63)
5	81 (72)	77 (92)	70 (76)	81 (78)	74 (63)	73 (70)	83 (47)
6	89 (72)	73 (83)	64 (79)	78 (80)	74 (64)	72 (76)	78 (44)
7	88 (73)	73(81)	72 (81)	83 (80)	74 (73)	74 (75)	79 (57)
8	88 (55)	75 (90)	73 (78)	77 (77)	75 (48)	74 (64)	77 (44)
9	86 (68)	75 (88)	71 (83)	78 (85)	75 (72)	75 (75)	79 (46)
10	83 (73)	78 (86)	78 (78)	84 (84)	77 (68)	76 (74)	83 (51)
11	96 (83)	78 (85)	55 (63)	68 (69)	65 (62)	64 (65)	67 (42)
12	94 (87)	82 (93)	77 (90)	89 (91)	84 (85)	82 (88)	87 (51)
13	88 (71)	83 (95)	77 (87)	89 (88)	81 (84)	80 (85)	89 (59)
14	102 (85)	87 (91)	80 (89)	92 (90)	88 (78)	91 (88)	93 (59)

Det skal bemerkes at et tynt fiberlag på bruddflaten ikke er regnet som trebrudd, bare "ordentlig" trebrudd er tatt med. Adhesjonsbrudd eller kohesjonsbrudd i limet forekom stort sett ikke ved noen av limene, bare trebrudd og fiberbrudd.

Trebrudd bedømmes skjønnsmessig, og med så lang tid som 8 år mellom hver bedømmelse kan det ikke utelukkes at vurderingen av hva som er "ordentlig trebrudd" kan variere noe fra gang til gang.

Som tidligere (5) vurderer vi skjærfasthetsverdiene ut fra Norsk Standard 3470 (8). Der er langtidskravet til skjærfasthetens nedre 5 %-fraktil satt til 2 MPa. Regner vi om dette til korttidsskjærfasthet og skifter enhet til kp/cm^2 (for å kunne bruke de enhetene som har vært brukt fra starten), får vi en anslått grenseverdi ved korttidsbelastning på ca. $35 \text{ kp}/\text{cm}^2$. Det betyr at høyst 1 av 20 prøver kan ha lavere skjærfasthet enn dette. Av tabell 4 fremgår det at alle limene unntatt nr. 11 fyller dette kravet.

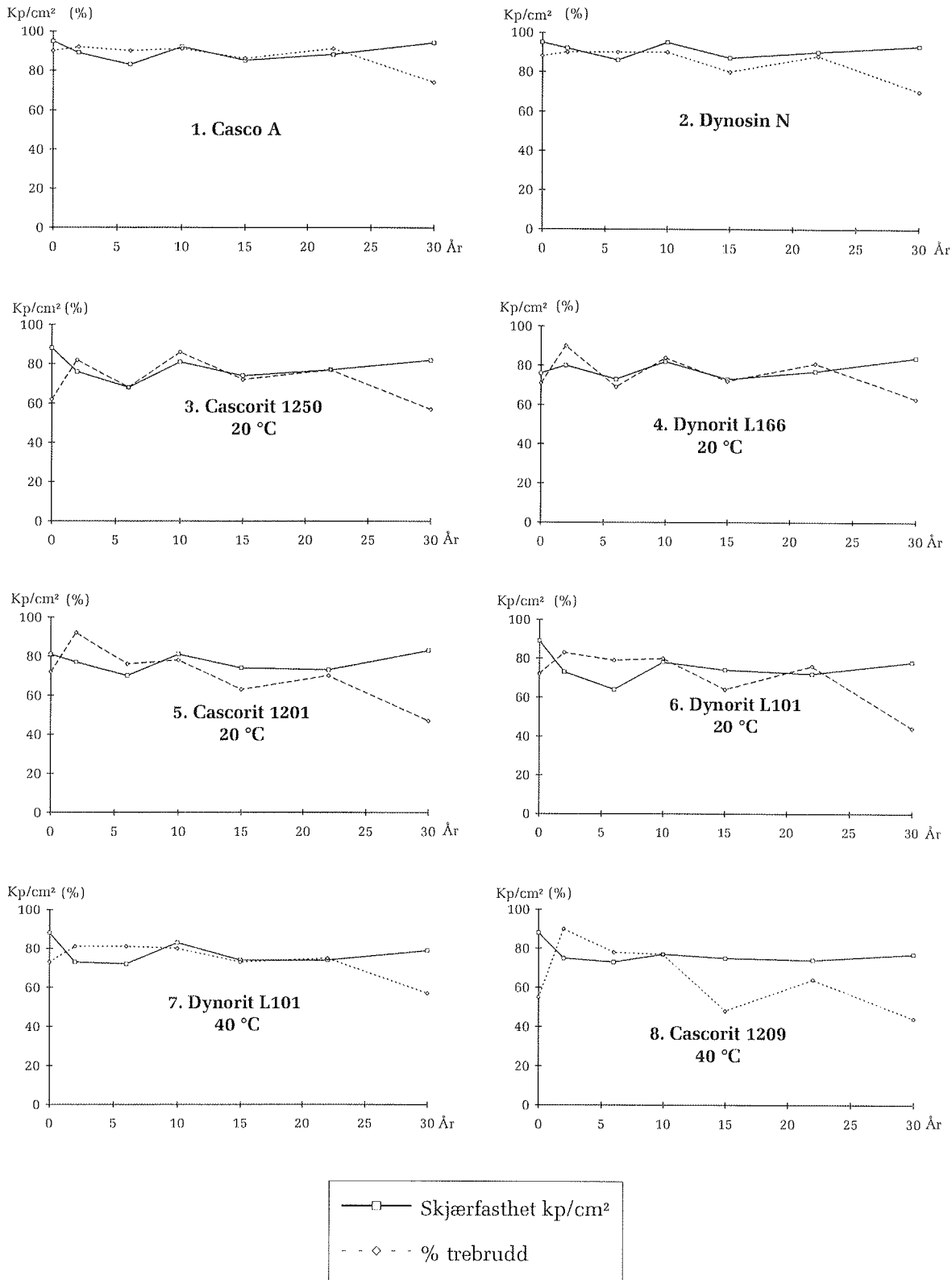
Som tidligere har vi ved beregning av gjennomsnittlig skjærfasthet utelatt prøver med skjærfasthet under $60 \text{ kp}/\text{cm}^2$ dersom % trebrudd samtidig var minst 80. Dette er gjort for at lokale svakheter i treet ikke skal virke inn på vurderingen av limene.

Dersom det etter hvert blir mange prøver med lav skjærfasthet og høyt trebrudd, kan dette tyde på at det bygger seg opp spenninger i limfugene, eller at treet er blitt svekket. Mange kasserte prøver er derfor betenkelig.

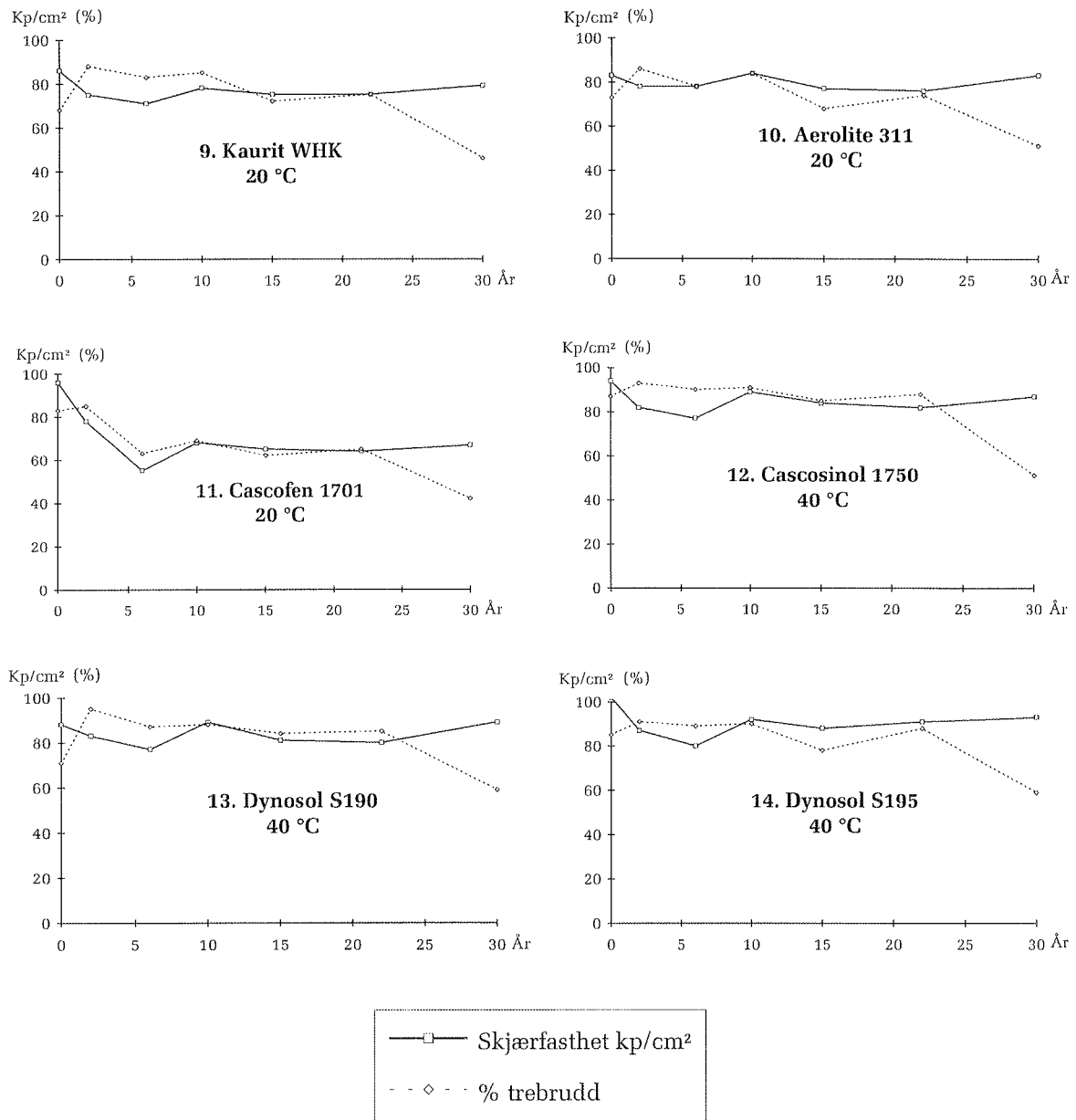
Totalt antall kasserte prøver her er 16 (tabell 4), dvs. 1,7 %, og det er bare ved lim nr. 5 at man har mer enn 2 kasserte prøver. Dette er så få at det ikke gir grunnlag for alarm.

Av tabell 4 ser vi at alle limene unntatt nr. 11 fortsatt har tilfredsstillende skjærfasthet bedømt etter kravene i NS 3470 (8). Limtrekontrollens krav, nemlig at høyst 1 av 20 prøver får ha lavere skjærfasthet enn $60 \text{ kp}/\text{cm}^2$, fylles fortsatt av kaseinlimene (nr. 1 og 2) av urealimene nr. 4 og 5, av resorcinollimet (nr. 13) og av det ene fenol-resorcinollimet (nr. 14).

Skjærfastheten har altså holdt seg meget bra gjennom 30 år, bortsett fra lim nr. 11, syreherdende fenollim.



Figur 4 Skjærfasthet etter ASTM D905-49 for limene 1 - 8. Eksponeringstid 30 år: Middell av klima 1, 3 og 4. De andre: Middell av klima 1 - 4. Block shear test, ASTM D905-49 for glues 1 - 8. Exposure time 30 years: Average exp. 1, 3 and 4. The rest: Average exp. 1 - 4.



Figur 5 Skjærfasthet etter ASTM D905-49 for limene 9 - 14. Eksponeringstid 30 år: Middell av klima 1, 3 og 4. De andre: Middell av klima 1 - 4. Block shear test, ASTM D905-49 for glues 9 - 14. Exposure time 30 years: Average exp. 1, 3 and 4. The rest: Average exp. 1 - 4.

Tabell 4. Antall prøver med skjærfasthet under 60, resp. under 35 kp/cm².
Middel av klima 1, 3 og 4. 30 års eksponering.
No. of tests with shear strength below 60, resp. below 35 kp/cm². Average
exposures 1, 3 and 4. 30 years exposure.

Lim nr. <i>Glue</i> no.	Antall prøver (kasserte pr. *) <i>No. of tests</i> (<i>rejects</i>)	Totalt antall under <i>Tot. no.</i> <i>below</i> 60 kp/cm ²	Totalt antall under <i>Tot. no. below</i> 35 kp/cm ²	Akseptabel skjærfasthet <i>Acceptable</i> <i>shear strength</i>	Akseptabel delaminering (D1101-59) <i>Acceptable</i> <i>delamination</i>
1	109 (1)	2	-	+	
2	118 (2)	2	-	+	
3	58 (2)	6	-	+	+
4	60 (-)	3	-	+	+
5	59 (1)	2	-	+	- (9)
6	60 (-)	6	-	+	- (11)
7	58 (2)	4	-	+	- (4)
8	55 (5)	9	-	+	- (12)
9	59 (1)	7	-	+	- (7)
10	60 (-)	5	-	+	- (2)
11	60 (-)	18	6	-	- (12)
12	58 (2)	6	-	+	+
13	60 (-)	-	-	+	+
14	60 (-)	-	-	+	+

* Kassert ved skjærfasthetsberegningen.

* (*Rejected in calc. of shear strength.*)

For delaminering: Tallene i parentes angir undermålere av i alt 12.

For delamination: No. in brackets: No. out of 12 samples not meeting req.

Krav (4) resp. (7): Høyest 1 av 20 prøver få ha skjærfasthet under 35 kp/cm² resp. 60 kp/cm².

Requirement (4) resp. (7): Only 1 out of 20 tests should have shear strength below 35 kp/cm² resp. 60 kp/cm².

Undersøkelse av limfugene i mikroskop.

For hvert lim ble det tatt ut tre prøveklosser der fugene ble stikkprøveundersøkt i pålysmikroskop. Prøvene var:

- Delamineringsprøver (ikke kaseinlim).
Den dårligste for hvert lim ble plukket ut.
- Skjærfasthetsprøver. Den dårligste trappetrinnsprøve for hvert lim ble plukket ut.
- "Reservestykker", dvs. biter som blir til overs ved utkapping av prøvestykker (fig. 1). Disse har altså ikke vært prøvet.

For lim nr. 1, 3, 8, 10, 11 og 12 ble prøver fra reservestykker undersøkt i scanning elektronmikroskop (SEM). Vi prøvde da å fjerne treet inntil limfugene, slik at selve limsubstansen ble blottlagt. Det var vanskelig å få dette til uten at limsiktets overflate ble påvirket.

Følgende ble notert for de enkelte lim:

Kaseinlim, nr. 1 og 2: Disse var nokså like. Limsjiktene så ut som en "sintret masse" uten sprekker, fig. 6. På skjærprøven var alle bruddflater dekket av et mer eller mindre tykt lag med trefibre. Unntak: Ved konvergerende fiberretning i de to bitene var det kohesjonsbrudd i limet et par steder.

Furfurylmodifisert urea, nr. 3. I delam- og skjærprøven hadde limsjiktet tverrsprekker av lengde 0,3 - 1 mm og avstand 0,3 - 1 mm. Ikke lengdesprekker og ikke adhesjons- eller kohesjonsbrudd.

Limsjiktene i reserveprøven hadde bare noen få, korte tverrsprekker med langt mellomrom. Det var også noen få lengdesprekker. På SEM-bildet fra denne prøven (fig. 7) sees bare noen få tverrsprekker nederst til høyre.

Furfurylmodifisert urea, nr. 4. Limsjiktene i delamprøven hadde bare få tverr- og lengdesprekker, mens skjærprøvens limsjikt hadde tverrsprekker av lengde og avstand 0,3 - 1 mm.

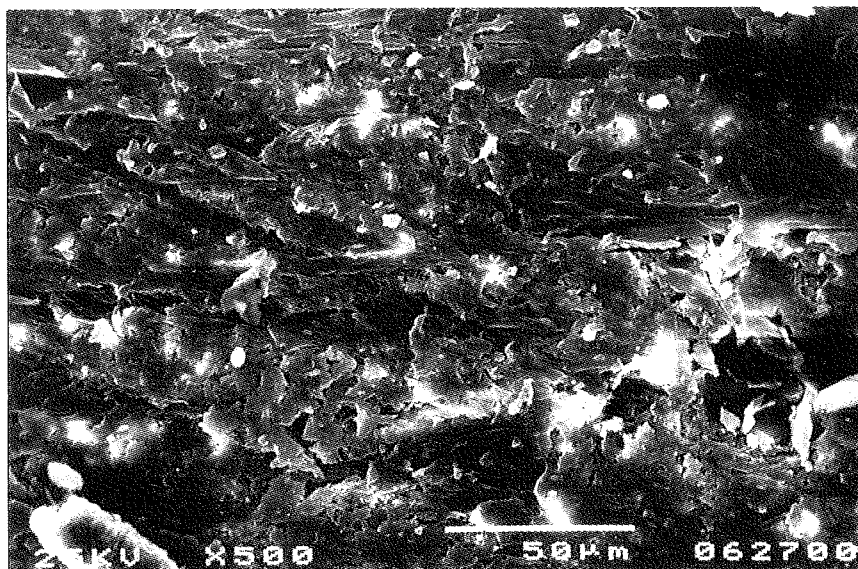
Reserveprøvenes limsjikt hadde tett med lange tverrsprekker, avstand 0,01 - 0,15 mm. Noen lengdesprekker, men ikke krakelering.

Urea m. fyllstoff, nr. 5 og nr. 6. Disse var nokså like. Limsjiktene i alle prøvene var krakelert. Tverrsprekker: Lengde 1 - 1,5 mm, avstand 0,08 - 0,35 mm. Lengdesprekker i varierende avstand, fra 0,15 mm og oppover. Til dels meget tynt "Fiberbrudd", men ikke adhesjons- eller kohesjonsbrudd.

Urea m. fyllstoff, nr. 7. Nokså lik nr. 5 og 6, men noe tettere med sprekker.

Urea m. fyllstoff, nr. 8. Finkrakelert, verre enn nr. 5 - 7. SEM-bilde i fig. 8.

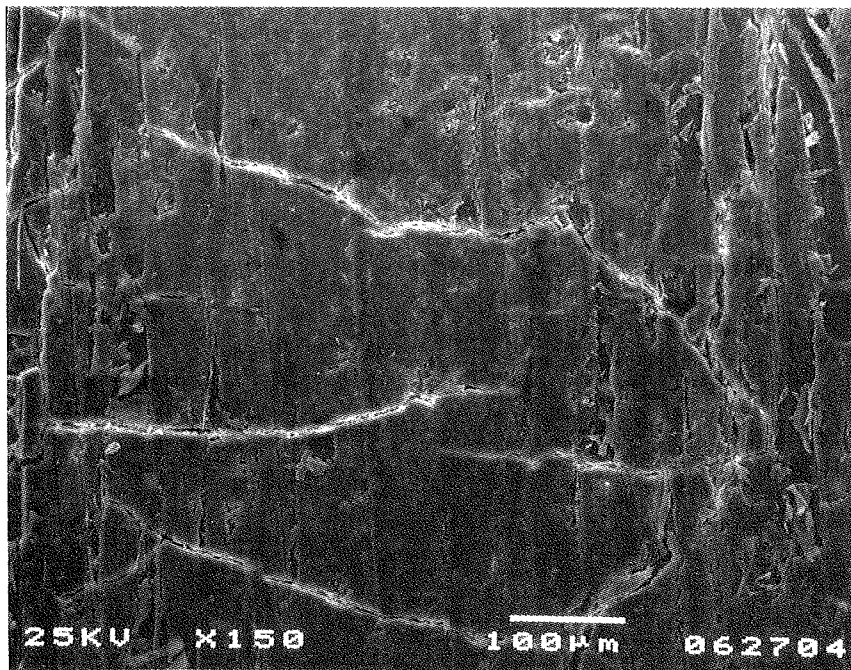
Urea m. fyllstoff, nr. 9. Finkrakelert. Avstand tverr- og lengdesprekker 0,08 - 0,15 mm.



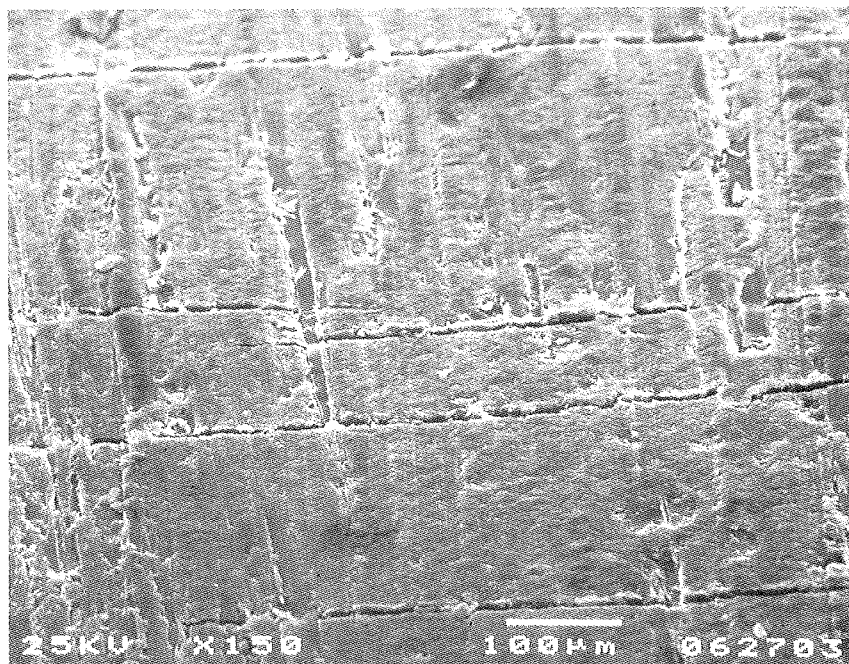
Figur 6 SEM-bilde av kaseinlimfuge sett ovenfra. (Ingen sprekker.)
SEM-picture of casein gluejoint viewed from above. (No cracks.)



*Figur 7 Furfurylmodifisert UF var på enkelte prøver uten sprekker.
On some samples furfurylated UF was without cracks.*

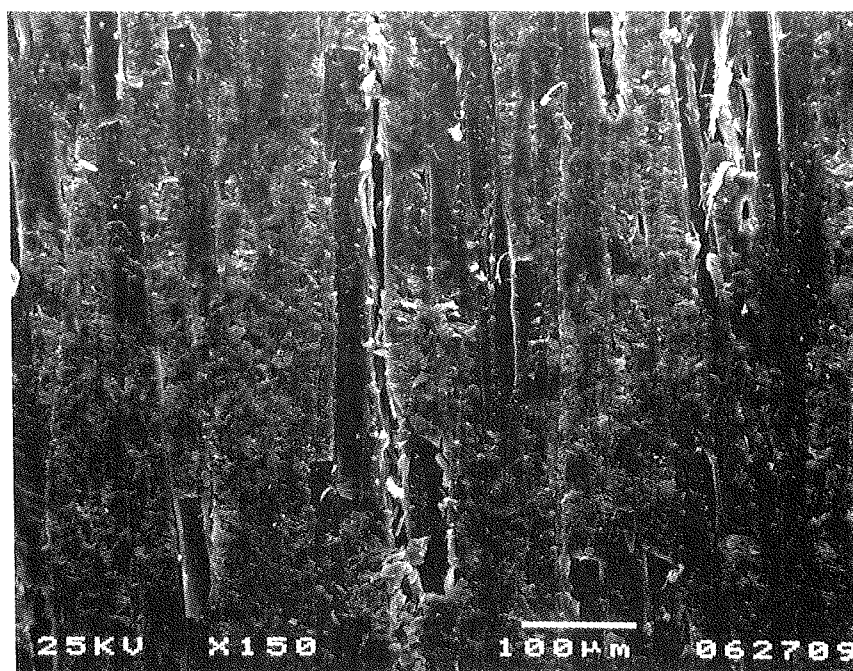


*Figur 8 Vanlige urealim med fyllstoff var krakelert.
Straight UFs with inert fillers were crazed.*



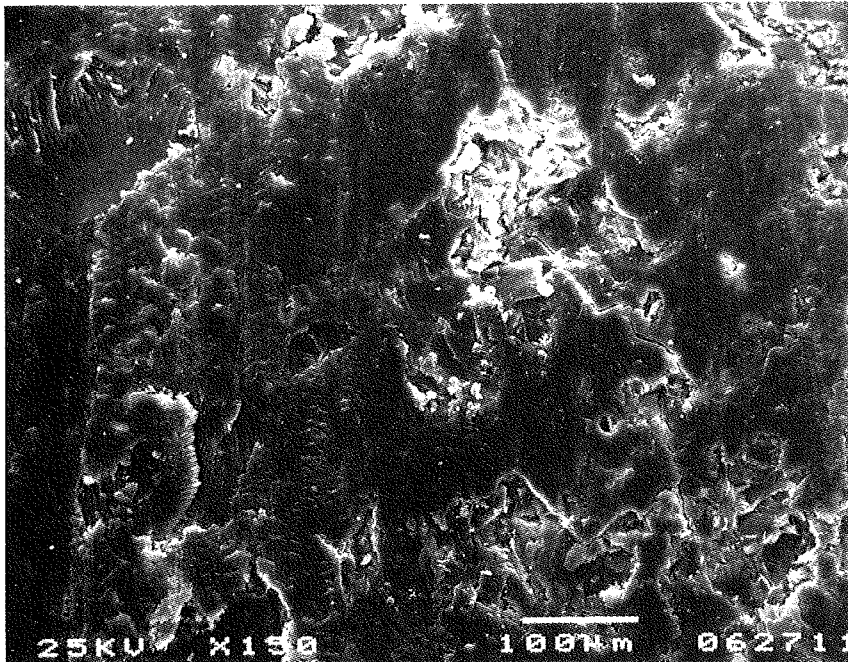
Figur 9 De modifiserte urealim hadde stort sett bare tverrsprekker og var ikke krakelert.

The modified UFs generally had transverse but not longitudinal cracks. They were not crazed.



Figur 10 Syreherdende fenollim var gjennomgående uten sprekker.

Acid phenolic was generally free from cracks.



Figur 11 Resorcinol- og fenol-resorcinollim var uten sprekker, unntatt i inhomogene partier.

RFs and RF-PFs were without cracks apart from inhomogeneous zones.

Modifisert urealim u. fyllstoff, nr. 10. Limsjiktet i delamprøven hadde tverrsprekker av lengde opptil 1,5 mm og avstand 0,2 - 1 mm. Ikke lengdesprekker.

I skjærprøven var det tettere med tverrsprekker, 0,08 - 0,25 mm. I reserveprøven var det lange tverrsprekker, over 1,5 mm, med avstand 0,2 - 0,3 mm, stort sett. Noen få, lange lengdesprekker. fig. 9 er et SEM-bilde fra reserveprøven.

Syreherdende fenollim, nr. 11. Alle limsjiktene var fri for sprekker. Hverken kohesjonsbrudd i limet eller adhesjonsbrudd forekom, men fiberlaget på bruddflatene var til dels svært tynt. Fig. 10 viser et SEM-bilde fra reserveprøven. (Limsjiktets overflate er nok blitt skadet ved prepareringen.)

Resorcinol- og fenolresorcinollimene, nr. 12 - 14. Limsjiktene var uten de typiske krympesprekker, men virket som en sintret, til dels uhomogen masse. Trass i omhyggelig omrøring under limingen var fyllstoffet noe ujevnt fordelt, og enkelte steder forekom det i små klumper. Her kunne det være små felter med kohesjonsbrudd i limet.

Nr. 14 hadde stort sett en noe mer homogen fuge enn nr. 12 og 13.

Fig. 11 viser et SEM-bilde fra reserveprøven til lim nr. 12.

Kommentarer.

For kaseinlimene (1 og 2), fenollimet (11), resorcinollimet (13) og fenolresorcinollimene (12 og 14), ser selve limsjiktene ut til å være temmelig upåvirket av 30 års aldring. (Ved fenollimet, nr. 11, var lim-fugen derimot sterkt påvirket.)

Alle urealimene har mer eller mindre tverrsprekker. De modifiserte, nr. 3, 4 og 10 var ikke krakelert, mens de vanlige urealimene med fyllstoff, nr. 5, 6, 7, 8 og 9 var alle krakelert.

For de modifiserte urealimene varierte sprekkmengden noe fra prøve til prøve. Dette kan muligens skyldes forskjeller i limfugetykkelse.

Bruddmekanismer for urealimfuger er inngående studert av River, Ebewele og Meyers (9). De hevder at den dårlige holdbarheten til slike limfuger skyldes at de er for sprø, slik at svulle/krympespenninger og egenspenninger gir sprekker i limsjiktet. Dette, sammen med hydrolyse, svekker limfugene. Ved å reagere inn fleksible di- og tri-funksjonelle aminer i urealim, gjorde de limene seigere og mer fleksible, og dermed økte holdbarheten betydelig.

River et al. (9) undersøkte en rekke modifiserte og ikkemodifiserte urealim, og tok med et "fenollim" for sammenlikning. De undersøkte limfugene i mikroskop både før og etter testing til brudd, og fant at de utherdete fugene kunne deles inn i tre typer selv før de var utsatt for aldring eller mekanisk prøving.

Type I: Denne er karakteristisk for umodifiserte urealim. Limsjiktet er fullt av relativt rette sprekker i og på tvers av fiberretningen. Ser man ned på limsjiktet er det inndelt i relativt rettvinklede rektangler.

Sprekkene gir avlastning for spenninger som skyldes herdekrymping, og oppstår fordi tresubstansen "holder igjen" så limsjiktet ikke får krympe fritt. Treet holder mest igjen i lengderetningen, derfor er det flere sprekker på tvers enn på langs.

Type II: Denne forekommer ved svakt modifiserte urealim. Herdekrympesprekker opptrer på tvers av fiberretningen, men bare i liten grad på langs.

Type III: Limsjiktet er uten sprekker, enten fordi limet krymper lite, eller fordi det er seigt og fleksibelt nok til å gi spenningsavlastning uten at sprekker oppstår. Denne typen finner man ifølge (9) ved fenollim, ved urealim som herdes ut med maursyre, og ved enkelte modifiserte urealim.

Ser vi på våre limfuger så kommer kaseinlimene (1 og 2), syreherdende fenollim (11), samt resorcinol- og fenolresorcinollimene (12, 13, 14) i type III, se fig. 6, 10 og 11.

Av de modifiserte urealimene gir nr. 10 typiske type II-fuger, se fig. 9.

De furfurylmodifiserte, nr. 3 og 4, ga type II-fuger ved undersøkelse etter prøving. Den ene som ble undersøkt uprøvet ga type III-fuger, fig. 7.

De vanlige urealimene ga type I-fuger, se fig. 8. Sprekkene er ikke så rette og rettvinklet som River & al. fant, noe som muligens kan skyldes at våre lim inneholdt fyllstoffer, noe deres neppe gjorde. De nevner i hvert fall ikke noe om det.

River et al. fant at de oppsprukne type I og type II-fugene fortsatt hadde god tørrstyrke, men med til dels meget grunt trebrudd.

Fukte/tørke-påkjenninger, som i delamineringsprøvingen, ga sterk svekkelse av fugene, noe som tydeligvis skyldes at oppsprekningen av limet har svekket tresubstansen slik at den ikke lenger tåler fukte-tørke-påkjennningene like godt. Type III-fugene hadde god tørr- såvel som våtstyrke.

Alt dette stemmer helt med resultatene i vårt forsøk.

Sammenlikning naturlig/akselerert aldring.

I løpet av de 5 første forsøksårene ble det utført akselerert prøving der prøvestykker etter British Standard 1204 ble lagret i to forskjellige vekselklimaer, 3 år i klima A (25°/90 % r.f. - 50°/55 %), 5 år i klima B (25°/90 % r.f. - 25°/30 %), samt 5 år i normalklima (20°/65 % r.f.).

Resultatene av disse akselererte prøver kan kort oppsummeres slik:

- Normalklima ga bare svekkelse ved limene 6, 7, 8 og 11.
- Resorcinol- og fenolresorcinollimte prøver ble ikke svekket nevneverdig i noen av klimaene (CC og gap, våt- og tørrstyrke).
- Kaseinlimte prøvers tørrstyrke ble heller ikke svekket nevneverdig. (Våtstyrke ble ikke prøvet.)
- Syreherdende fenollim ga varierende resultater, og særlig gap-prøvenes våtstyrke ble sterkt redusert i vekselklima.
- Alle urealimene fikk sin våtstyrke kraftig redusert i vekselklima, særlig for gap-prøvene. Nr. 3, 4 og 10 greide seg best, men selv de hadde dårligere *tørrstyrke* enn det beste kaseinlimet etter 3 år i klima A.

Resultatene må sies å stemme ganske bra med resultatene fra 30-årsprøvene. Vekselklimalagring med passende betingelser bør derfor kunne brukes til å forutsi langtidsegenskapene for konstruksjonslim av UF-typen. For å få resultatene raskt bør man nok bruke atskillig kortere sykluser enn vi har gjort (1 mnd. i hvert klima). Temperaturen bør ikke være over 50°C, som er øvre grense for innendørslim i CEN's standard for konstruksjonslim, EN 301.

Samlet vurdering av limene etter 30 års eksponering.

Kaseinlimene nr. 1 og 2.

Kaseinlimene, nr. 1 og 2 er de limene som har beholdt sin skjærfasthet best i innendørsklimaene. De holdt seg også nesten uforandret "Under tak ute" i de 22 år eksponeringen varte.

Ved akselerert prøving i vekselklima beholdt kaseinlim tørrstyrken sin på linje med de modifiserte urealimene, og tydelig bedre enn de vanlige.

Kaseinlim er ikke værbestandige. Dette skyldes at limsubstansen ikke er tilstrekkelig vannbestandig. Årsaken kan dels være at limsubstansen blir hydrolysert, og dels at vann gjør den så plastisk at den blir for svak rent mekanisk. Den siste effekten kan - paradoksalt nok - være medvirkende til at kaseinlim har bedre bestandighet i fuktig luft enn urealim. Ved kaseinlim kan det nemlig være at fuktig luft gjør limet så plastisk at man unngår spenninger og får bedret lastfordeling, men uten å få hydrolyse eller for stor svekkelse av styrken. Kfr. Clad (10) som fant at elastisk-plastiske lim ga høyere bruddlaster enn sprø og stive lim, forutsatt at egenstyrken var tilstrekkelig.

Urealimene, nr. 3-10.

Alle urealimene får krympespenninger i limsjiktet når de herder. Etter en tid sprekker limet opp mer eller mindre, og dette gir avlastning av spenningene.

Det ser ut til (3) at vi fikk en *etterherding* av noen av urealimene de første 2 år, og dermed en styrkeøkning. Deretter fulgte perioden 2-6 år der det bygget seg opp krympespenninger i limene, noe som resulterte i nedsatt *registrert* skjærfasthet.

I perioden 6-10 år fikk man så tydeligvis en *avlastning* av krympespenningene, antakelig p.g.a. oppsprekking (kfr. 9), og dermed økt registrert skjærfasthet. Siden har (tørr) skjærfasthet holdt seg nokså konstant i de tre innendørsklimaene (30 år) og "under tak ute" (22 år).

Krymping og oppsprekking av limsubstansen svekker trevirket i grenseflaten. Tørrstyrken holder seg likevel godt, mens vannfastheten blir redusert (kfr. 9). Dette ga seg utslag i at *utendørsprøvenes* skjærfasthet ble betydelig svekket i løpet av de 10 år eksponeringen varte (3). (I tillegg til denne mekaniske svekkelsen kan det også ha vært en viss hydrolyse.)

Den reduserte vannfastheten kan også spores i resultatene fra delamineringsprøving av inneklimatestene, se tabell 2 og fig. 2 og 3: Fra 15-årsprøvingen har % delaminering økt mer eller mindre kraftig for alle urealimene.

Det er forskjell mellom de modifiserte urealimene og de vanlige med fyllstoff. Sistnevnte har sprukket både på langs og på tvers (krakelert), se fig. 8, og tilsvarende type I i (9). Deres vannbestandighet er nå for lav, se tabell 2 og fig. 2 og 3. De modifiserte har bare sprukket på tvers, tilsvarende type II i (9), se fig. 9. De har beholdt sin vannfasthet bedre enn de andre, og best er de

furfurylmodifiserte, nr. 3 og 4, som fortsatt har tilfredsstillende vannfasthet. For nr. 10 ligger 2 av 12 prøver over grensen.

De akselererte prøver som ble gjort de første 5 år ga liknende resultater (2), men her ble de vanlige urealimenes *tørrstyrke* også betydelig redusert (klima A). De store temperatur- og fuktpåkjønningene har sannsynligvis svekket treet i grensesjiktet, og gitt økte krympespenninger i limsjiktet istedenfor plastifisering og avspenning, slik det ser ut for at vi har fått ved kaseinlimene. Dette er neppe en hydrolyse-effekt. Da ville vi fått den i sterkere grad ved kaseinlim enn ved urealim, da sistnevnte er mest hydrolysebestandig.

Syreherdende fenollim (nr. 11).

Limet gir fuger av type III etter klassifiseringen i (9), dvs. at limsubstansen er uten sprekker (fig. 10). Etter 30 år ligger limfugenes skjærfasthet såvel som vannbestandighet godt under det som er akseptabelt, og allerede før prøving var enkelte fuger 100 % delaminert, med meget tynt fiberbrudd. Da det ikke er noe som tyder på at spenninger i limet har skadet treet, er det sannsynlig at de dårlige resultatene skyldes at den sure herderen i limet har skadet tresubstansen i grenseflaten. En vandring av syre fra limsjiktet og inn i treet er forøvrig påvist av Hedlund for syreherdende fenollim (11).

Resorcinol- og fenolresorcinollim.

Også disse lim gir fuger av type III etter klassifiseringen i (9), og limsubstansen har bare få, lokale lengdesprekker (fig. 11).

Også i disse fuger bygget det seg opp spenninger i perioden 2-6 år, bedømt ut fra tabell 3 og fig. 4 og 5. Siden har det tydeligvis foregått en avspenning uten at det er blitt sprekker i limsjiktet, noe som antakelig betyr at det har foregått en viss glidning i tresubstansen i eller nær grenseflaten. Dette har bare svekket fugens skjærfasthet ubetydelig, og det har ikke gått ut over deres vannbestandighet (tabell 2 og fig. 2 og 3). Selv om fugene er tilfredsstillende, kunne man ønsket seg at de var *litt* mer fleksible.

Konklusjoner.

Ut fra 10-30 års eksponering av prøver som fig. 1 i forskjellige klimaer, trekker vi følgende konklusjoner vedrørende de enkelte limtypers langtidsbestandighet.

Kaseinlim er velegnet til bruk i bærekonstruksjoner som skal stå innendørs eller utendørs under tak. Konstruksjonene bør beskyttes mot vann i byggetiden.

Vanlige urealim m. fyllstoff har beholdt tilfredsstillende tørrstyrke innendørs og utendørs under tak. Vannbestandigheten går imidlertid nedover. Dette er bekymringsfullt, da det kan bety at også tørrstyrken vil bli redusert etter hvert.

Disse lim må ansees for tvilsomme, selv om de nå er tillatt brukt i Europa til innendørskonstruksjoner (Eurocode 5, EN 301).

Modifiserte urealim har gitt bedre resultater enn de vanlige, og de furfurylmodifiserte har fortsatt tilfredsstillende tørrstyrke såvel som vannbestandighet, mens vannbestandigheten nå er litt under kravet for lim nr. 10. Dette lim ga imidlertid best resultat av UF-limene ved utendørsprøvingen. Både disse resultater og resultatene i (9) tyder på at man kan få frem egnede urealim ved modifisering som gjør limsubstansen mer fleksibel og mindre sprø. Slike lim er egnet til bruk innendørs og utendørs under tak.

Syreherdende fenollim. Lim av liknende type som var med i dette forsøket er uegnet til bruk i bærekonstruksjoner.

Resorcinol- og fenolresorcinollim er velegnet til bruk i bærende trekonstruksjoner både innendørs og utendørs.

Litteraturhenvisninger.

References.

1. Raknes, E.: Norsk Skogindustri 22 (4), 1968, 119.
2. Raknes, E.: Norsk Skogindustri 25 (11), 1971, 325.
3. Raknes, E.: Norsk Skogindustri 30 (6), 1976, 168.
4. Raknes, E.: Norsk Skogindustri 35 (10), 1981, 260, 270.
5. Raknes, E.: Norsk Skogindustri 41 (5), 1987.
6. Raknes, E.: I & EC Products Res. & Development 22, 1983, 662.
7. Norsk Limtrekontroll: Produksjonsforskrifter for limtre. (Production manual for making laminated constructions.) Norsk Treteknisk Institutt, Oslo 1975.
8. Norsk Standard 3470. Prosjektering av trekonstruksjoner. Beregning og dimensjonering. NSF 1979.
9. B. H. River, R. O. Ebewele, G. E. Meyers: Failure mechanisms in wood joints bonded with urea-formaldehyde adhesives. Holz Roh. u. Werkst. 52 (1994) 179-184.
10. Clad, W.: Über die Fugenelastizität ausgehärteten Leimfugen bei Holzverleimungen. Holz Roh. u. Werkst. 23 (2), 1965, 58.
11. Hedlund, B.: Syraskadade fenollimmade och stålarmade Träbalkar. (Acid damaged phenolic glued and steel reinforced wooden beams.) SP-Rapport 1990:27. Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden.

Rapporter

1. Energisparing og energiøkonomisering ved trelasttørking. Magnar Eikerol. 1981.
2. Oppvarming og rengjøring av skurtømmer før barking. Per Skogstad og Sverre Tronstad. 1982.
3. Betydningen av å kappe skurtømmeret etter kvalitet. Bjørn Lier. 1982.
4. NTI's simuleringsprogram for skur. Andreas Garnæs. 1982.
5. Metalldetektorer. Bjørn Lier. 1983.
6. Bruk av tre i svømmehaller. Håkon Bergsrud og Hans-Kristian Ellingsen. 1983.
7. Kvalitetskrav til skurlast av lauvtre. Bohumil Kucera. 1983.
8. Skurnøyaktighet ved råskur. Bjørn Lier og Magnar Müller. 1983.
9. Emneproduksjon. Markeder og produksjonsanlegg. Rolf Birkeland og John Rønningen. 1985.
10. Skurnøyaktighetsundersøkelser '86. Nye sirkelsagmaskiner - råskur med sagbladstyringer og tørrkløyving. Magnar Müller og John Rønningen. 1987.
11. Fingerskjøting av konstruksjonslast. Undersøkelser av forhold ved produksjon og styrke. Per Lind. 1987.
12. Skjærforhold i sagblad. Håkon Toverød. 1988.
13. MPS i trelastindustrien. Andreas Garnæs, Per R. Nordby og Håkon Toverød. 1988.
14. Trevirke. Prosjekt fasader - fornyet overflatebehandling. Redigert av Eirik Raknes. 1989.
15. Støydemping av sorterverk og internt transportutstyr. Samarbeidsprosjekt Odden Verksted A/S og NTI. Andreas Garnæs. 1992.
16. Arbeidsmiljø ved båndkløyve. Endring av avslug og demping av støy. Andreas Garnæs. 1992.
17. Tørking - trekvalitet. Resultater fra 4 tørkeforsøk. Sverre Tronstad. 1993.
18. Tørking av stolper. Resultater fra litt.studier, forsøk og økonomiske kalkyler vedr. kunstig tørking av stolper. Marie-Louise Edlund og Sverre Tronstad. 1993.
19. Nordisk samkalibrering av styrkesorteringsmaskiner. Kjell Solli. 1993.
20. Sammenliming av gulvbord ved lakkering. Blocking tendency of floor seals. Eirik Raknes. 1993.
21. Metoder for destruksjon/deponering av avfall fra impregneringsindustrien. En litteraturstudie. Fred G. Evans. 1994.
22. Miljø ved produksjon og bruk av trykkimpregnert tre. Sluttrapport. Fred G. Evans. 1994.
23. Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet. Wei Han og Håkon Toverød. 1994.
24. Måling av tømmerkvalitet. Seminarrapport. Wei Han. 1995.
25. Lysbeskyttende forbehandling av tre kombinert med klarlakk. Lightprotecting pretreatment of wood in combination with clear coatings. Erik Raknes. 1995.
26. Styrkesortering ger mervärde. Del 1 - Spørreundersøkelse. Strength grading gives added value. Part 1 - Questionnaire. Kjell Helge Solli. 1995.
27. Miljøargumenter for nordisk trevirke og treprodukter. Environmental arguments for Nordic wood and wood products. Tore Opdal. 1995.
28. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner (sluttrapport). Long-term durability of structural adhesives for wood (final report). Eirik Raknes. 1995.

Tekniske småskrifter

20. Tabeller over statiske verdier for trelast. 1992.
21. Skadeinsekter i forarbeidet trevirke. 1967.
22. Endeskjøting av trelast. 1968.
23. Trebeskyttelse. Gustav S. Klem. og Fred G. Evans. 1992.
24. Mekaniske treforbindelsesmidler. 1991.
25. Sagbruksavfall som industribrensel. 1974.
26. Tregulv - typer og egenskaper. Michael Foslie. 1976.
28. Sortererhåndboka. Kvalitetsforhold i trevirke. Michael Foslie. 1979.
29. ABC for fingerskjøting. Karl Mørkved. 1980.
30. Råteskader i bygninger. Årsaker - Forebyggende tiltak - Utbedring. Jöran Jermer og Carl Michael Johannesson. Oversatt av Fred G. Evans. 1982.
31. Impregnert trevirke. Bruksområder og egenskaper. Fred G. Evans. 1984.
32. Fuktavhengige dimensjonsforandringer i høvellast. Michael Foslie. 1989.
33. Treteknisk Håndbok. 1991.

Utredninger

47. Kontroll og styring av trelasttørker. Trygve Raen og Sverre Tronstad. 1978.
48. Tørkeskjemaer for norske og utenlandske treslag. Trygve Raen og Sverre Tronstad. 1979.
49. Bjørk - Produksjon, egenskaper, bearbeiding og anvendelse. K. Vadla, N. Berg og M. Foslie. 1980.
50. Trekonstruksjoner. Eksempelsamling. 1988.

Meddelelser

1. Skurutbyttets variasjon med skurordre, tømmerdimensjon og avsmaling ved en moderne sirkelsag. Gustav S. Klem og Ole Karlsen. 1951.
2. Sammenliknende skurforsøk mellom sirkelsagblad med viggete og stukete tenner. Gustav S. Klem og Ole Karlsen. 1951.
3. En undersøkelse av skurnøyaktigheten ved forskjellige sagbrukstyper. Gustav S. Klem og Martin Seem. 1951.
4. Tannvinklenes innvirkning på kraftforbruket ved saging med og mot fibrene. Curt Skoglund og Gullik Hvamb. 1953.
5. En transportteknisk undersøkelse på stabeltomtene ved trelastbrukene. Utført ved Produksjonsteknisk Forskningsinstitutt etter oppdrag og i samarbeid med NTI. 1954.
6. Fuktighetsopptak i gulvbord under lagring på byggeplassen. Ole Karlsen. 1954.
7. Noen resultater fra undersøkelser over saging med og mot fibrene. Torstein Englesson, Gullik Hvamb og Bertil Thunell. 1954.
8. Skurnøyaktigheten ved våre viktigste sagbrukstyper. Gullik Hvamb. 1956.
9. Laminering av trykkimpregnert furu. Magnus M. Selbo og Ole Grønvold. 1956.
10. Fastmasse i stabet, kappet bakhon. Michael Foslie. 1957.
11. Undersøkelser over metoder for tørking av rå sagflis. Per Granlund. 1958.
12. Tørrekløyving med koniske sirkelsagblad. Lester H. Reineke og Gullik Hvamb. 1958.
13. Metode for beregning av pneumatisk tørkeanlegg basert på eksperimentelle undersøkelser med sagflis. Per Granlund. 1959.
14. Brikettering av bark og sagflis. H. Millstein og K. Mørkved. 1960.
15. Strength and Stiffness of Glued Laminated Timber Beams. Johannes Moe. 1961.
16. Fingerskjøting av furubord. Eirik Raknes. 1961.
17. A Study of Nail-Glued Timber Truss Joints. Johannes Moe. 1961.
18. Stability in Fire of Protected and Unprotected Glued Laminated Beams. K. Imaizumi. 1962.
19. The Mechanism of Failure of Wood in Bending. Johannes Moe. 1962.
20. Studier over stukete og viggete rammesagblad og skurnøyaktighet. M. Breznjak og G. Hvamb. 1962.
21. Liming av trykkimpregnert bøk. E. Raknes. 1962.
22. Forsøk med trykkimpregnering av skurlast av gran etter en spesiell metode. Per Hanetho. 1962.
23. Studier over skurnøyaktigheten ved båndagskur av frosset og ikke frosset virke. Rolf Birkeland og Gullik Hvamb. 1963.
24. Styrkeegenskapene hos furu (*Pinus sylvestris*) fra Pasvik og fra Østlandet. Michael Foslie. 1963.
25. Strength Properties and Testing Methods of Glued Finger Joints in Structural Timbers. O. Brynildsen. 1965.
26. Sammenligning av beregningsmetoder for enkle tretakstoler. O. Brynildsen. 1966.
27. Limte bjelkelagselementer. O. Brynildsen. 1966.
28. Varigheten av granvirke behandlet med forskjellige konserveringsmidler og under anvendelse av forskjellige konserveringsmetoder. Gustav S. Klem. 1966.
29. Slagbruddfasthet og kløvfasthet til furuvirke trykkimpregnert med et vannløselig saltkonserveringsmiddel. Gustav S. Klem. 1966.
30. Investigations on Sawing Accuracy for Big Bandsaw when Sawing Frozen and Unfrozen Logs with Different Feed Speeds and Different Swage Sizes. Rolf Birkeland. 1967.
31. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Eirik Raknes. 1968.
32. Fingerskjøting med resorcinlim ved høy trefuktighet. Eirik Raknes. 1967.
33. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 1. Bøvestyrke, elastisitetsmodul og strekkstyrke målt på 3" x 8" og 2" x 4". Michael Foslie og Knut Moen. 1968.
34. Resultatene av målinger av skurnøyaktigheten ved sirkelsagbruk og båndagsbruk. R. Birkeland. 1968.
35. Lagringsskader på ubarket skurtømmer og effekten av sprøyting med insekt- og soppdrepende midler. Gunnar Wilhelmsen og Michael Foslie. 1968.
36. Fingerskjøting av konstruksjonsvirke med høy trefuktighet. Eirik Raknes. 1969.
37. Fritt bærende tretakstoler. Odd Brynildsen og Rolf Schjødt. 1969.
38. Skur med stukete tenner på sirkelsagblad med høy matning pr. tann. M. Breznjak og Knut Moen. 1969.
39. Betydningen av sterk tilvekstøkning hos vanlig furu for trevirkets tørkeskader, bøye- og skjærfasthet. Gustav S. Klem. 1970.
40. On the Vibration of the Circular Saw Blade under Sawing Conditions. M. Breznjak og Knut Moen. 1970.
41. Fingerskjøting av "lufttørr" trelast ved hjelp av høyfrekvensoppvarming. Eirik Raknes og Martin Seem. 1971.
42. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 3. Styrkeegenskaper for små, feilfrie prøver. Michael Foslie. 1971.

43. NTI's Trebjelkefasit. NTL. 1971.
44. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Eirik Raknes. 1972.
45. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 2. Bøyestyrkens og strekkstyrkens sammenheng med enkelte sorteringskriterier. Michael Foslie og Knut Moen. 1972.
46. On the Lateral Movement of the Bandsaw Blade under Various Sawing Conditions. M. Breznjak og K. Moen. 1972.
47. Korrosjon på metaller i kontakt med trykkimpregnert trevirke. Egil Ormstad. 1973.
48. Theory and Experiment on the Optimal Operation of Circular Saws. C.D. Mote, Jr. og Sindre Holøyen. 1973.
49. The Temperature Distribution in Circular Saws during Cutting. C.D. Mote, Jr. og Sindre Holøyen. 1973.
50. Saltakstoler. Asbj. Aass jr. og Odd Brynildsen. 1974.
51. Egenskaper til trevirke fra gjødslet gran- og furuskog. Gustav S. Klem. 1974.
52. Automatic setting of a twin circular saw. M. Breznjak, A. Garnæs, S. Holøyen og B. Lier. 1975.
53. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Resultater etter 10 års eksponering. Eirik Raknes. 1976.
54. Apparat for ikke-ødeleggende prøving av sponplater. K. Mørkved, S. Johannesen og E. Ormstad. 1976.
55. Sagbladstyringer. Sindre Holøyen. 1977.
56. Feedback control of sawblade temperature with inductionheating. C.D. Mote, Jr. og S. Holøyen. 1977.
57. Kroksksur. M. Breznjak, B. Lier, M. Müller og A. Storm. 1977.
58. Småhusfundamenter av tre. Tore Haavaldsen. 1979.
59. Structural models for trussed rafters. O. Brynildsen. 1979.
60. Saw stability control by thermal tensioning. S. Holøyen, C.D. Mote, Jr. og G.S. Schajer. 1979.
61. Tverravstivning av bjelkelag. Jon Lundesgaard. 1980.
62. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Resultater etter 15 års eksponering. Eirik Raknes. 1981.
63. Oppbøyning av takstoler. N. Mjøs og O. Ellingsrud. 1982.
64. Temperaturspenninger og sideutbøyning på enkeltkoniske sirkelsagblad. Sindre Holøyen. 1982.
65. Hydrodynamic sector bearings as circular saw guides. C. D. Mote, Jr., G.S. Schajer og L.I. Telle. 1982.
66. Målesystem for vurdering av kantingsoperasjoner. 1983. I. Sandqvist, K.O. Sommardahl, L.I. Telle og A. Usenius.
67. Usymmetriske sirkelsagblad. Sindre Holøyen. 1983.
68. Korrosjon på metaller. Fred G. Evans. 1984.
69. Gran og sitka innplantet på Vestlandet. M. Foslie. 1985.
70. Usymmetriske sirkelsagblad. Del II. S. Holøyen. 1985.
71. Sawing Accuracy at Norwegian Bandsaw Mills. Nobuaki Hattori. 1986.
72. Konstruksjonsvirke med små tverrsnitt. 1986. Kjell Solli og Reinhard Lackner.
73. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Resultater etter 22 års eksponering. E. Raknes. 1987.
74. Gran fra Vestlandet. Styrke og sortering. R. Lackner og M. Foslie. 1988.
75. Lysbeskyttende forbehandling av tre. E. Raknes. 1988.
76. Belastningstidens innflytelse på strekkfasthet for konstruksjonsvirke i dimensjon 45 x 145 mm. R. Lackner. 1990.
77. The performance of glued laminated beams manufactured from machine stress graded norwegian spruce. R.H. Falk, K.H. Solli og E. Aasheim. 1992.