



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R85:1985

Ny konstruktionslimning

S Åke Lundgren

R
AWA

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

su

Bygghforskningsrådet

R85:1985

NY KONSTRUKTIONSLIMNING

S Åke Lundgren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800023-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Åke Lundgren
Ingeniörsbyrå AB, Nyköping.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R85:1985

ISBN 91-540-4422-7
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
1.1	Problemet	5
1.2	Projektet	5
1.3	Rapporten	6
2	LIMTYPER	6
2.1	Kaseinlim	6
2.2	Karbamidlim	7
2.3	Fenollim	7
2.4	Resorcinlim	8
2.5	Polyuretanlim	8
2.6	Vinyllim	8
2.7	Elastomerer	9
3	METODIK VID PROVNING AV LIMFOGARS HÅLLFASTHET	9
3.1	Traditionella metoder	9
3.2	Ny provningsmetod	11
4	HÅLLFASTHETENS TIDSBEROENDE	15
4.1	Bakgrund	15
4.2	Resorcinlim	16
4.3	Belastningsdiagram nr 2 - 16	
5	SPÄNNINGSTILLSTÅND I FOGAR	19
5.1	2-axlig spänning	19
5.2	Draghållfasthet hos 1720	22
5.3	Tryckhållfasthet hos 1720	22

5.4	Böjhållfasthet hos 1720	22
5.5	E- och G-moduler för 1720	23
5.6	Hygroskopi hos 1720	24
5.7	Spänningskoncentrationer	25
6	NY LIMNINGSTEKNIK	29
6.1	Val av lim	29
6.2	Härdning av limfogar	30
6.3	Utformning av fogar	31
6.4	Kostnader för limfogar	33
7	LIMFORSKNINGSINSTITUT	33

1 INLEDNING

1.1 Problemet

Lim godkända för bärande konstruktioner medger knappast rationell limningsteknik : De är icke fogfyllande utan kräver betydande press-tryck för att säkert ge tunna fogar. De härdar relativt långsamt men blir redan från början spröda. Det kan innebära risk vid hantering och omöjliggör samverkan med spikförband.

Som konsekvens av ovannämnda har Planverkets anvisningar för spiklimning (godkännanderegler 1975:6) varit stränga vad gäller krav på ytornas planhet och limbarhet, fuktkvot hos trämaterialiet samt spiktäthet för säkert presstryck. I kombination med krav på klimatiska betingelser - uppvärmda lokaler, helst med fuktkontroll - har ovannämnda i praktiken begränsat spiklimning till industriellt utförande. En outtalad förhoppning om limning ute på fältet har sålunda ej uppfyllts.

Normerna för spiklimning är principiellt samma som för andra limfogar : Speciell tillverkningskontroll kräves, och två hållfasthetsklasser förekommer med kravvärden 6 och 3 MPa motsvarande τ till 1,2 resp. 0,6 MPa, se SBN 27:227 och SBN 1975:6 pkt 3.1.3.

1.2 Projektet

Syftet med det nu redovisade projektet är att utveckla rationella metoder för sammanlimning av lätta, måttexakta och styva byggelement av trä, såväl virke som skivmaterial.

Infallsvinklar :

- a/ Nya och lämpligare (fogfyllande) limtyper har kommit fram eller är på väg.
- b/ Intresset börjar svänga över från virke till skivmaterial vid uppbyggnad av lätta bärande element.
- c/ Skiktskjuvhållfastheten hos skivmaterial är relativt låg. Kraven på limfogar kan ofta ställas lägre än i traditionella renodlade virkeskonstruktioner.
- d/ I många fall kan limning på byggnadsplatsen vara önskvärd.

I den mån detta utvecklingsarbete lyckas, bör det successivt följas av moderniserade normer för rationell limning, både i form av godkända nya limtyper med preciserade hållfasthetsdata och ny metodik vid limningen vad gäller ytors kvalitet, limfogars tjocklek och presstryck samt klimatiska förhållanden, ävenså tillverkningskontroll. Denna etapp blir tidsmässigt beroende av myndigheternas handläggning.

1.3 Rapporten

I en Förundersökning (1978 - 79, BFR-anslag 781446-7) granskades gällande normer för spiklimning i Skandinavien, Tyskland, England och Nordamerika, men utbytet blev magert. Sammanfattningen innebar närmast att radikalt nya lim och metoder måste utvecklas från grunden.

Nu föreliggande rapport börjar med en genomgång av limtyper tänkbara för bärande konstruktioner, tekniska egenskaper samt möjligheter till utveckling.

Därefter följer redogörelse för metodik vid hållfasthetsprovning vid kort- och långtidslast.

Belastningstidens inverkan på brotthållfastheten visas i ett stort antal diagram för olika limtyper.

Inverkan av 2-axliga påkänningar samt spänningstillstånd beroende av materialens hårdhet (E, G och krypning) diskuteras.

Slutligen följer uppgifter om praktisk limningsteknik och fogutformning enligt nya, rationella principer.

2 LIMTYPER

2.1 Kaseinlim

Gammaldags kaseinlim, som numera har en tillsats av röt- och mögelskyddande medel och kallas 'laminlim', är godkänt för bärande konstruktioner av klass I (Inomhus). Limmets förmåga att motstå åldring och klara långvarig last visas av de många limträbågar och perrongtakstolar som tillverkats i Töreboda under mer än ett halvt sekel.

Laminlim är lättarbetat, har lång 'potlife', ger inga miljöproblem och är relativt billigt. Men det är ej fogfyllande, tål ej långvarig fukt/blötning samt ger spröda fogar.

2.2 Karbamidlim

Karbamidlim, alltså urea-lim av olika kvalitéer (och en stor mängd alternativa härdare) har ofta accepterats för bärande inomhuskonstruktioner och gör så fortfarande i några få länder, däribland Tyskland. Man har emellertid i USA konstaterat, att karbamidlim sakta åldras genom 'överhärdning', sålunda en kondensering med vattenavspaltning och krackelering. Förloppet går alltid långsamt men påskyndas av varmt och torrt klimat, obs ej fuktigt! Hållfastheten hinner reduceras avsevärt under 20 - 30 år, vilket bedömes vara en alltför kort tid för byggnadskonstruktioner, varför limmet ej längre användes för sådana ändamål.

2.3 Fenollim

Det har hittills funnits två principiellt skilda typer av fenollim: Surhärdande och basiskt härdande, varav sistnämnda tillverkats både i värme- och kallhärdande kvalitéer. Vattenfast plywood limmas i varm-pressar. Kallhärdande lim användes för diverse mer hantverksmässiga ändamål, t. ex. båtbyggnad och trädgårdsmöbler. För att härdningen skall bli fullständig vid låga temperaturer (15 - 20 °C) fordras ett överskott av härdaren, som ofta är en starkt basisk vätska. Den har visat sig fräta på vedmaterialets trästruktur intill limfogar och därmed undergräva limförbandets styrka. Av detta skäl har fenollim numera uteslutits ur gruppen godkända lim för klass U (Utomhus).

En nackdel med basiska härdare är f. övr. tendensen att medföra saltvandring mot trämaterialets yta, exempelvis på plywood. Saltbeläggningen kan ge överslag vid högfrequenslimning i ett senare produktions-tillfälle, och den kan försämma och förfula målning när skivorna användes som fasadbeklädnad. Saltet är svårslösligt, varför rengöring är besvärlig.

Fenollim kan också härdas med formaldehyd. På allra senaste tiden har Cascos fenol-hobbylim 1702 med flytande basisk härdare (hälsovådlig) ersatts med en ny produkt 1703 med pulverhärdare, som är mindre riskabel vid hantering. Kanske kan detta lim komma att godkännas som U-lim men står då i konkurrens med resorcin-baserade alternativ, se nedan.

2.4 Resorcinlim

Oöverträffat gott rykte för åldrings- och väderbeständighet har resorcinlim. De är t. o. m. kokfasta. Härdning sker med formaldehyd, som ej ger frätande restprodukter. Ofta inblandas fenol (1:1) som billigare utdryingning och möjligen bättre yt-vätning.

Resorcin-fogar härddas vanligen vid övertemperatur, t. ex. med HF (limträbalkar) eller 'varmtält' med ca 40 °C under 8 - 12 h. Dessa fogar är sålunda godkända i U-klass, men hittills har krav på presstryck, ytfinhet etc. enligt SBN gällt - alltså icke något särskilt godkännande för tjocka fogar med fogfyllande lim-karaktär.

Emellertid har Casco utvecklat även fogfyllande kvalitéer av resorcinlim, och de har vid provning hos NTT i Oslo bedömts vara fullgoda för utomhus-exponerade konstruktioner såsom stora kraftledningsstolpar m. m. Uppgifter härom var en av de starkast stimulerande faktorerna vid tillkomsten av detta FoU-arbete "Ny Konstruktionslimning". Möjligheten att härda sådana fyllnadslim kallt (ca 20 °C) kunde bredda användbarheten radikalt, både i fabrik och vid mer hantverksmässig limning, kanske även på byggnadsplatser.

2.5 Polyuretanlim

'PUR'-lim finns i många olika kvalitéer, en- och två-komponent. Förstnämnda härddas av luftfuktigheten men har en tendens att jäsa och bli poröst. En kvalitet är på dispens godkänd av Planverket för limning av plåt mot trä i s. k. lättakelement. Limmet är utvecklingsmässigt på stark frammarsch men ännu icke alltid så lätthanterligt. Det fordrar precision vid hantering och noggrann kontroll av resultaten men har framtiden för sig. Den specifika hållfastheten blir ofta måttlig p. gr. av porositet (jäsning). En utpräglad seghet kan vara till stor fördel för hållfastheten i vissa fogar, där extraspänningar tillfälligt kan förekomma. Fogens tjocklek har stor inverkan på styrka och seghet. PUR mjuknar redan under 100 °C.

2.6 Vinyllim

PVAc-lim, s. k. vitlim, har en oerhört stor marknad för 'diverse ändamål'. Fogarna blir mycket starka vid korttidsbelastning men

limmet är fukt- och temperaturkänsligt samt kryper mycket vid varaktig last. Sistnämnda gäller även specialkvalitéer med separata härdare, t. ex. Casco nr 3333 som dock kan vara fuksäkra.

På senaste tid har PVAc-lim med isocyanat-härdare kommit på marknaden. Sådant lim kan vara både väderbeständigt och stabilt mot långtidslast, dessutom en aning segt och ej verktygsslitande men har ej egentlig fyllnadskaraktär. Härdaren är hälsovådlig/frätande. Limmet mjuknar vid ca 150 °C.

2.7 Elastomerer

Cascos elastomerlim 3877 med organiskt lösningsmedel (tål köldgrader) och 3887 i vattendispersion (limmar även mot fuktiga ytor) är intressanta p. gr. av sin elasticitet: Sådana limfogar kan samverka med spikförband samt 'svälja' förekommande rörelser under byggnadstid och uttorkning av ett hus. Elasticiteten är utmärkt, men avtager efter lång tid (5 - 10 år). Limmen mjuknar av fukt och i värme. Vid lösningsmedlens avgång uppstår försvagande porositet, särskilt om fogvidden hålles konstant och ej följer limmets volymminskning. Om limytorna först bestrykes tunt med lim, som får torka, erhålles efter ny limpåföring en tät och stark fog.

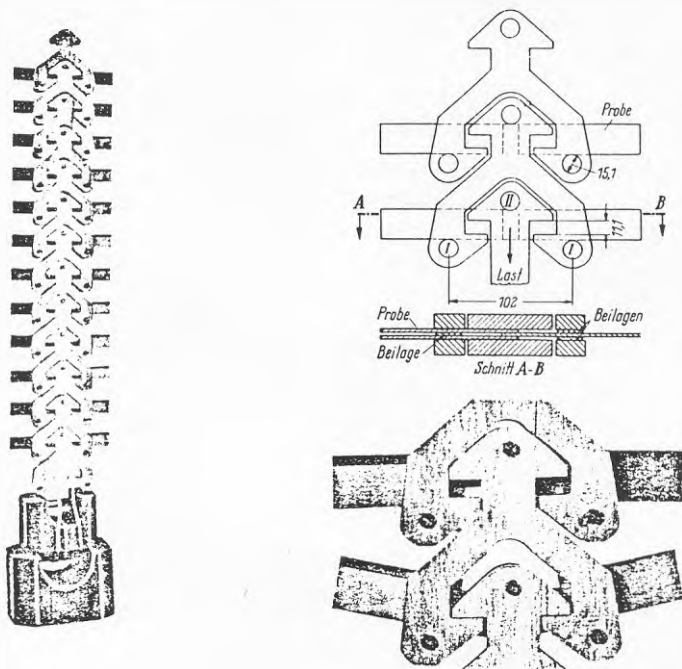
3 METODIK VID PROVNING AV LIMFOGARS HÅLLFASTHET

3.1 Traditionella metoder

Limfogar i limträ brukar testas enligt metoder baserade på amerikansk standard, ASTM D 1101-59. Detaljerad beskrivning finnes i SBN 1975:6 Bilaga 3 samt Bilaga 4 (förbehandling med fuktcykel).

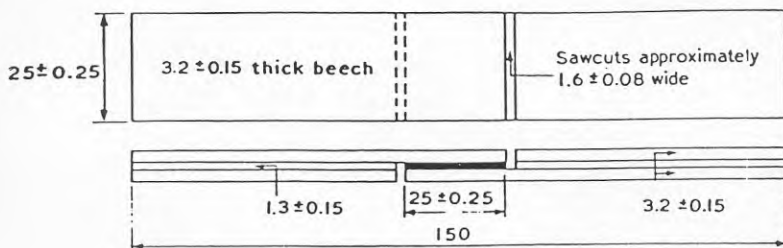
Dessa delamineringsprov förutsätter emellertid utrustning som ej lämpar sig för långtidsprovning i stora serier. Eftersom provningsmetodiken har mycket stort inflytande på de absoluta resultaten, blir relationen mellan korttids- och långtidsprovning missvisande om olika metoder användes. Apparaturen måste alltså vara så enkel och rationell, att den kan mångfaldigas billigt för att klara tillräckligt stora serier under lång tid. Limindustrien har utvecklat en 'kätting' enl. figur på nästa sida, men nackdelarna med detta arrangemang är uppenbara: Dels är överlappsfogens specifika max-påkänning svårbedömd, dels ger brott i varje enskild länk en stöt (dynamiskt last-

tillskott) i övriga. Men för jämförelse olika provstavar emellan, kan metoden vara bekväm.



Det finns en mängd provningsmetoder, bl. a. BS 1204 Part 1:1979 avseende fogfyllande konsthartslim (se fig), men de tycks alla ha gemensamt, att limfogarna belastas icke endast med skjuvkrafter utan även med moment som ger tvärkrafter på oberäkneligt sätt - en följd av excentrisk belastning. Trästavarnas styvhet mot böjning samt limmets grad av seghet/sprödhet torde inverka i vilseledande grad.

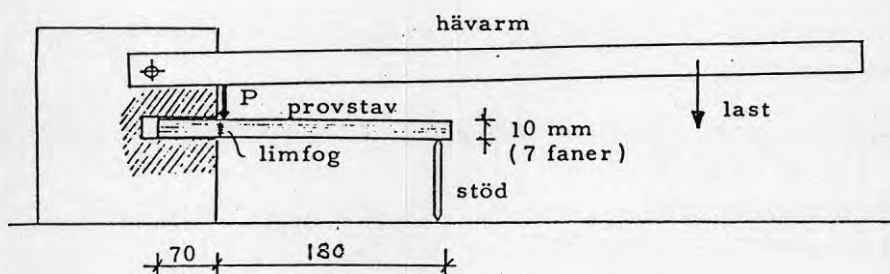
En mer renodlad och enkel form av skjuvbelastning har sålunda varit eftersträfvärd för projektets provningar.



3.2 Ny provningsmetod

Vid långtidsprovning använder man lämpligen hävarmar med flyttbar viktbelastning. Den principen har tillämpats också i detta FoU-arbete. Metoden finns mer detaljerat beskriven i en BFR-rapport, forskningsanslag 820750-9 'Provningsmetod för långtidshållfasthet hos lim för trämaterial', Lundgren (1984).

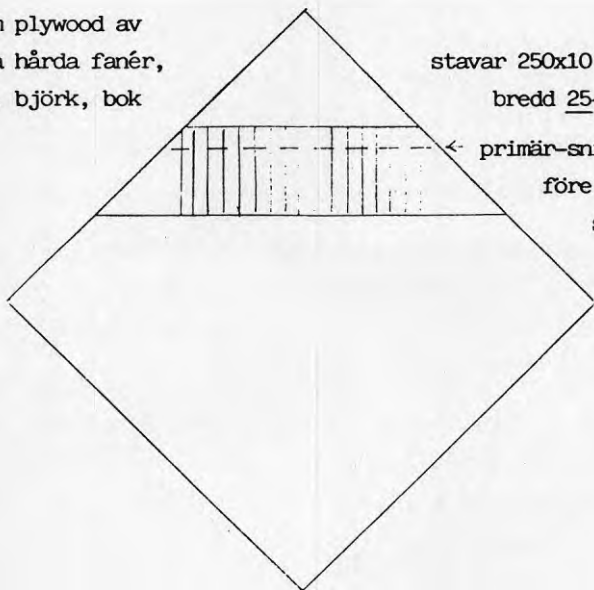
Last-arrangemang och tillverkning av provstavar med limfogar redovisas i all enkelhet :



10 mm plywood av
tunna hårda fanér,
t.ex. björk, bok

stavar 250x10 mm (l.x.t)
bredd 25-30 mm

← primär-snitt, som limmas
före uppdelning i
stavar



Med denna lastform utsättes limfogen för en tämligen renodlad och konstant skjuspänning. Probstavar av plywood med många tunna faner gör ev. krypning direkt synlig. En nackdel med plywood är otillräcklig hårdhet (tunna faner och sådana av björk, bok eller annat hårt lövträ skall föredragas), vilket kan medföra spänningskoncentrationer i limmet invid stavens ytor, där last och upplagsreaktion komprimerar trämaterialiet.

Jämförande försök med högkant-ställda stavar har givit liten skillnad. Däremot kan stavar av högklassig 8 mm tjock hård K-board (Masonite) ge högre brottvärden. Det beror dels på materialets större hårdhet (relativt limfogens egen - mer därom senare i rapporten), dels på limmets bättre vidhäftning mot fiberstrukturen i boardens snittyta.

Detta sistnämnda - limmets vidhäftning - finns anledning att diskutera mer ingående. När man provar hållfastheten hos limfogar, kan brott uppkomma på flera principiellt olika sätt, som definitivt måste särskiljas vid resultatens bedömning.

Brott i själva limmet.

Brott i vidhäftningen mellan lim och trä.

Brott i trämaterialiet invid fogen.

Alternativen innebär, att hållfasthetsprovning av lim (läs 'limfogar') egentligen är komplex och testar flera olika egenskaper på en gång, förmodligen ofta till förvillelse

Brott i limmet är ovanligt i tunna limfogar men förekommer i fyllnadslim.

Spjälkning i gränsytan mellan lim och trämaterial är desto vanligare - och farligare, skulle man direkt kunna tillägga eftersom bristande presstryck, ytplanhet eller 'vätbarhet' hos ytan lätt medför radikal nedsättning av fogens styrka.

Brott i trämaterialiet är snarast ett sundhetstecken, ty då är den specifika foghållfastheten tillräcklig i alla normala fall. Endast torksprickor i virke eller delaminering i skivor (fabrikationsfel) kan ge obehagliga överraskningar.

Vid tillverkningskontroll av plywood brukar man med brett stämjärn spjälka fanerens fogar för att kontrollera limningen. Om brottet går i faneren (och ej i limningen), är man nöjd.

En omfattande undersökning 1969 på laboratoriet i Nyköping avslöjade dock metodens allvarliga brister : När brotten kom i faneren, var dessa regelmässigt dåliga p. gr. av sprickor, frodvuxenhet e. dyl. ; sålunda inget bevis för att limfogarna var bra nog att svara mot goda faners hållfasthet! När spjälkningen gick i limmet, var detta sällan dåligt men faneren extra bra, tätvuxna och sprickfria.

I princip samma kritik kan riktas mot hittillsvarande regler för kontroll av limträbalkar : Man exponerar provstycken för 2 eller 3 hårda blöt-cykler och mäter sedan sprickbildningen i limfogarna. Dessa klarar sig självfallet om virket är svagt och spricker ! En renodlad tvärdragprovning skulle ge klarare besked, snabbare också.

Metoden att enl. fig sid 11 diagonal-skära provstavar av plywood tillkom i syfte att öka materialets styrka mot spjälkning intill limfogen och samtidigt erbjuda bättre limfäste än mot renodlat ändträ, som alltid ger dålig vidhäftning.

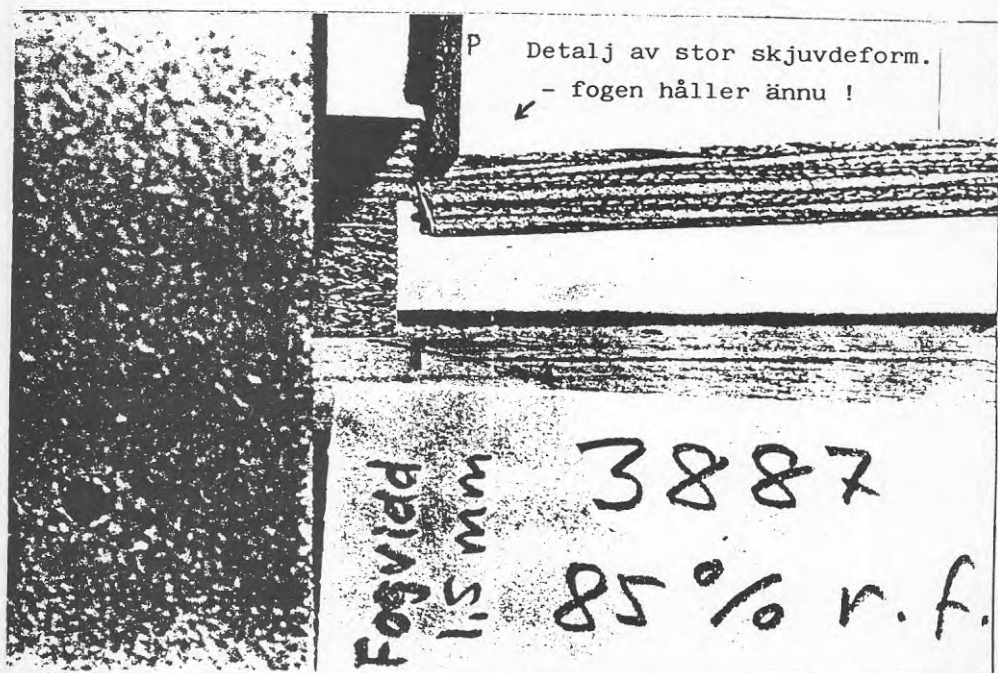
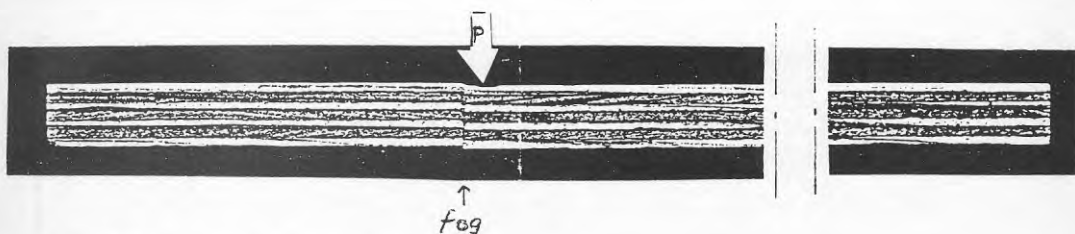
Vid långtidsprovning i fuktigare klimat (85 % r. f.) deformeras provstavar av plywood och board, vilket kan medföra okontrollerbara extra-spänningar i hårda limfogar. Man tvingas använda stavar av massivt trä (t. ex. bok), som måste räfflas/lettras för att ge limmet vidhäftning i ändträytor. Resultatet kan påverkas avsevärt av bättre förankring :

Ett relativt hårt lim, Casco 1720 resorcinlim, har vid jämförande provning av olika stavmaterial och limytor givit följande brottpåkänningar MPa vid korttidslast (1,5 mm fogtjocklek):

	Stav-material			
	9 mm furu-ply diagonal	8 mm K-board 35	Bok-trä ändträ	Mv
Rak snittyta	1,79	1,91	1,79	1,83
Räfflad snittyta	2,32	2,30	2,58	2,40

Rent praktiskt tillgår provning enl. Metoden så, att ett 20-tal provstavar tillverkas på ovan angivet sätt (i ett sammanhängande block som efter lämplig tid uppsågas). Väntetiden behövs för limmets härdning/mognad och ev. fuktconditionering. Slumpvis uttages några provstavar och belastas till korttidsbrott. Det ger en idé om lämpliga långtidslaster, som t. ex. kan väljas inom lastintervallet 90 - 70 % av $P_{\text{korttid}}^{\text{brott}}$. Snart har tendenserna klarnat så att man kan 'skjuta in sig' på troliga brott-tider 1 vecka → 1 månad → 1 år (beroende på hur lång tid provningen får pågå).

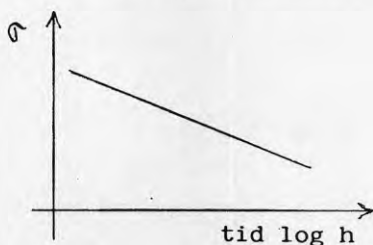
Under pågående provning kan man för mjuka lim och tjocka fogar lätt studera krypningen och ev. följa upp med fotografering. PVA-lim och elastomerer kan deformerar nästan otroligt mycket utan att brista : Exempel finns på att tunna fogar med en tjocklek av bara några tiondels millimeter skjувats 1 - 2 mm före brott, se fig



4 HÅLLFASTHETENS TIDSBEROENDE

4.1 Bakgrund

Omfattande provningar under 1960-talet vid laboratoriet i Nyköping visade, att hållfastheten hos träbaserade skivmaterial - board och spånskivor - var tidsberoende : Brottlasten visade sig vara omvänt proportionell mot logaritmen för belastningstiden i stort sett.



Eftersom brott i skivorna inträffade mellan partiklarna (fiber, spån), sålunda i fogar med 'lim-karaktär', kunde man misstänka, att även traditionella limfogars hållfasthet var beroende av belastningens varaktighet. Detta måste i så fall beaktas vid dimensionering av de skivbaserade bärande element, som tillkomsten av K-skivor siktade på.

Redan 1970 påbörjades därför långtidsprovning av lim i Nyköping trots att uppdragsgivare saknades - struts-attityden var total från alla håll, märkligt nog även limindustrier som rimligtvis borde forska kring sina produkters mest väsentliga egenskap : Limfogens hållbarhet !

Redan de första provningsresultaten var skrämmande : Vynyllim, som användes för montering och fogning av golvspånskivor, hade vid korttidsbelastning (ca 15 sek) en skjuvhållfasthet av ca 7 à 8 MPa, men vid varaktig belastning förlorades ca 90 % därav redan inom en vecka ! Upptäckten var extra intressant eftersom knarrande spånskivegolv orsakade många reklamationer runt om i landet.

Inom skivbranschen undrade man om det fanns stabilare (och mer fogfyllande) monteringslim och om karbamidlimmet i skivorna kanske också var tidsberoende vid varaktig last ? Denna oro resulterade i att Sv. Spånskiveföreningen lät laboratoriet i Nyköping utföra en ganska omfattande provning av långtidsegenskaperna hos de skivtyper som närmast kunde ifrågakomma inom den branschen. Rapporten "Limfogars beständighet mot rörelser i golv" förelåg klar i mars 1977 (och torde fortfarande kunna erhållas från föreningen). Mycket stora skillnader -

radikala sådana - mellan olika limtypers last-beteende påvisades, även tålighet mot störningar under pågående torkning/härdning. Studien gällde dock primärt monteringslim, ej limningsteknik för egentliga bärande konstruktioner.

Ovanstående 'historik' förklarar varför laboratoriet disponerar över åtskilliga resultat från mycket långvariga lastprovningar, längre än arbetstiden för nu rapporterat BFR-projekt. Därmed finns också en säkrare grund för utvärdering både av metodik och resultat.

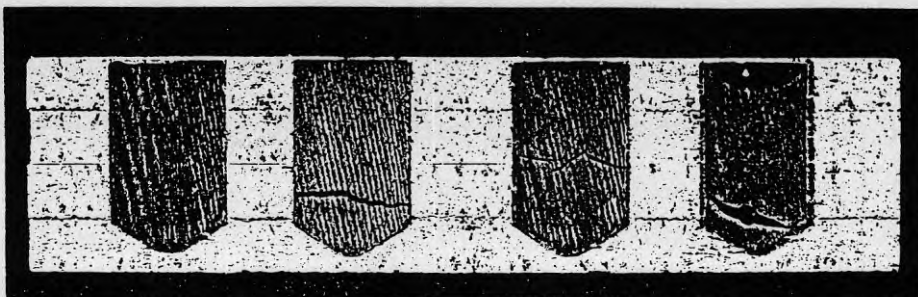
I det följande redovisas lasttidens inverkan för olika limtyper, varibland några kan tyckas 'ointressanta' som K-lim men har orienterande värde. PVAc-limmens kvalitetsutveckling, elastomerernas karaktär (i tänkbar samverkan med spikförband) må exemplifiera sådana sidoblickar.

4.2 Resorcinlim

Provningarna kom redan efter förstudier att koncentreras mot resorcinol-fenol-lim, vars kemiska och mekaniska stabilitet motsvarade kraven på ett K-lim. Men ingen kvalitet uppfyllde kravet på krympfrihet vid härdning. Fogfyllande lim får ej minska nämnvärt i volym ty då uppkommer krackelering och i värsta fall även sprickor parallella med fogytorna.

Enligt Casco skulle resorcinlim använt i Töreboda vara krympfritt, men undersökningar i laboratoriet gav annat resultat. Det är ganska lätt att lura sig: Om man gjuter lim i en grund skål, t. ex. ett burklock, erhålles efter härdning en sprickfri kaka utan synlig diameterkrympning. "Alltså krympfritt!", hade man sagt. Men krympningen hade skett i tjockleksriktningen eftersom limmet fungerat som en tjockflytande vätska under pågående härdning och därför flutit ut ungefär som asfalt. Detta lim betecknades Casco 1719.

Om man däremot gjuter limmet i ett borrarhål, förslagsvis i ett block av trä, sammanlimmade träskivor e. dyl., och efter limmets härdning klyver blocket tvärs igenom de limfyllda hålen, då upptäcker man krympsprickor och ev. även sjunkning vid ytan, se fig sid 17.



Alternativt kan man gjuta lim i små plastburkar (för filmkassetter) och efter härdning uppmäta krympning som diameter- och höjdminskning. Nackdelen med detta förfarande är att limdispersionens vatten har svårt att avgå på det naturliga sätt som däremot kan ske mot en limfogs träytor. Små vattendroppar kan bli kvar i plastburkars limkroppar och förhindra krympning.

Arbetet med dessa problem, alltså att nå ett verkligt fogfyllande resorcinlim, krävde lång tid. Limkropparnas volym stabiliseras mycket långsamt, varför egenskaperna hos en ny kvalitet ej genast kan iakttagas. Det kändes meningslöst att påbörja omfattande långtidsprovning av limmens hållfasthet, innan krymp-egenskaperna var acceptabla. Efter ett par års arbete lyckades emellertid Casco med konststycket, att höja fastmassan från ca 65 % till 80 à 85 % med bibehållande av limmets smidighet och ytvätande förmåga i ohärdat tillstånd. Detta torde vara helt unikt och får nog en revolutionerande betydelse för framtida konstruktionslimning.

Experimentkvalitéerna under senare fasen av utvecklingsarbetet kallades EP (nr), men det slutliga limmet döptes till Casco 1720 med härdare 2677. Av denna slutliga kvalitet finnes ännu icke några riktigt långa belastnings-serier, men karaktären är densamma som för tidigare lim, t. ex. det EP-lim som redovisas i ett av följande diagram med tider fram till 17 500 h för ett fogbrott och 22 000 h för ännu intakt fog vid praktiskt taget samma påkänning som givit korttidsbrott för andra slumpvis uttagna provstavar. Se diagram nr 5.

Egentligen pågår provning och utveckling av 1720 fortfarande, nämligen i syfte att för vissa ändamål uppnå hårdare eller mjukare kvalitéer, öka eller minska hygroskopiciteten (fuktbedingade rörelser för

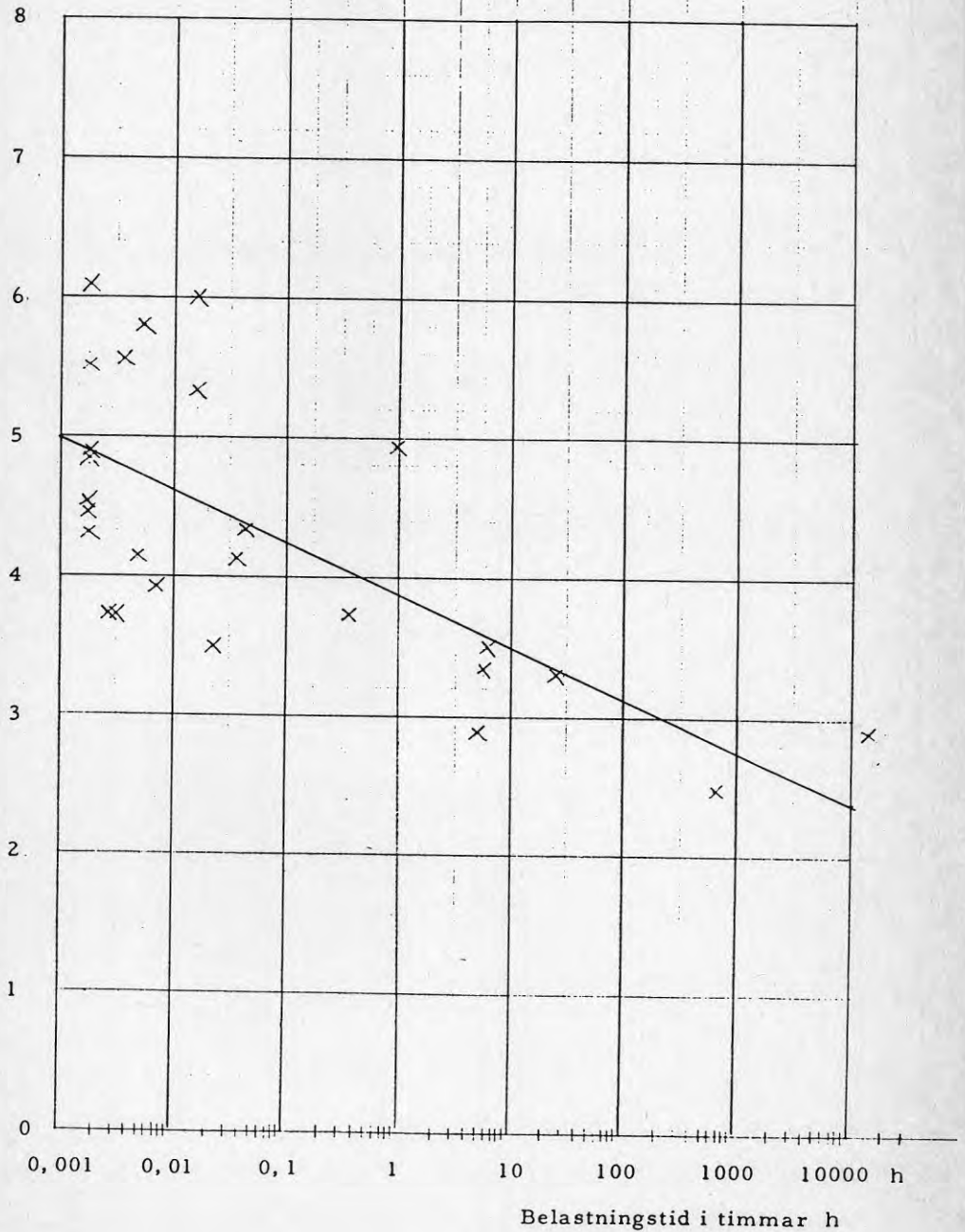
anpassning till de limmade materialens natur). Andra egenskaper återstår ännu att studera mer ingående : Brandhärdighet, rostskydd mot ev. ståldetaljer, härdningsförlopp vid onormalt låga temperaturer etc.

Förteckning över diagram

Nr	Limtyp	Beteckning
1	Resorcin	Casco 1720, 2-axl. spänning, sid
2	Kasein	Casco Laminlim 0102
3	Karbamid	Cascorit 1209 + härdare 2630
4	Fenol	Cascofen 1702
5	Resorcin	Casco EP IV (1982)
6	PVAc	Snabbcascol 3327
7	PVAc	Cascol 3305
8	PVAc	Bostik Trälim Extra
9	PVAc	Casco 3333 (2-komponent)
10	PVAc	Cascoli, 3 provkval. med isocyanat-härdare
11 a	Elastomer	Casco 3877 ('Cascozet'), 0 mm fogvidd
11 b	"	" " " 1,5 mm fogvidd
11 c	"	" " " 2,5 mm fogvidd
12	"	" 3887, 3 olika fogvidder
13	"	" " jmf 65 och 85 % r. f.
14	"	" " jmf olika härdtid före belastn.
15	"	Goodrich PL 400
16	Polyuretan	Cascobond 1820 + härd. 1821, 3 fogvidder
17	1720 och 3887	Jmf flat- och högkant-last

Långtidsprov med lim 0102
Kasein, 'laminlim'

$$\tau = 3,86 - 0,37 \cdot \log h$$

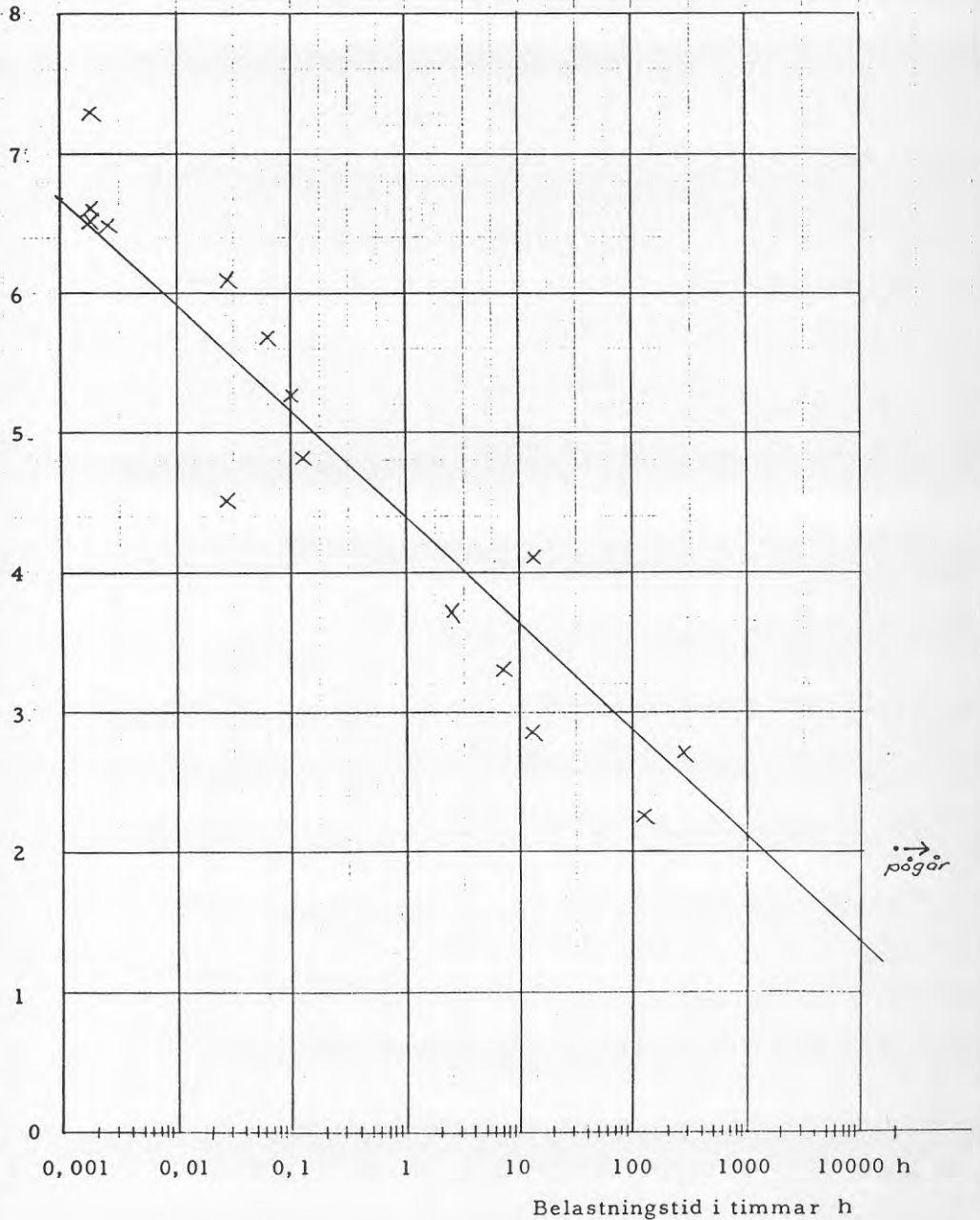
 $r = 0,70$ (regressionslinjens korrelation) τ MPa

Långtidsprov med lim 1209
Cascorit med härdare 2630
karbamidlim

$$\tau = 4,40 - 0,76 \cdot \log h$$

korrel. koeff. $r = 0,95$

τ MPa

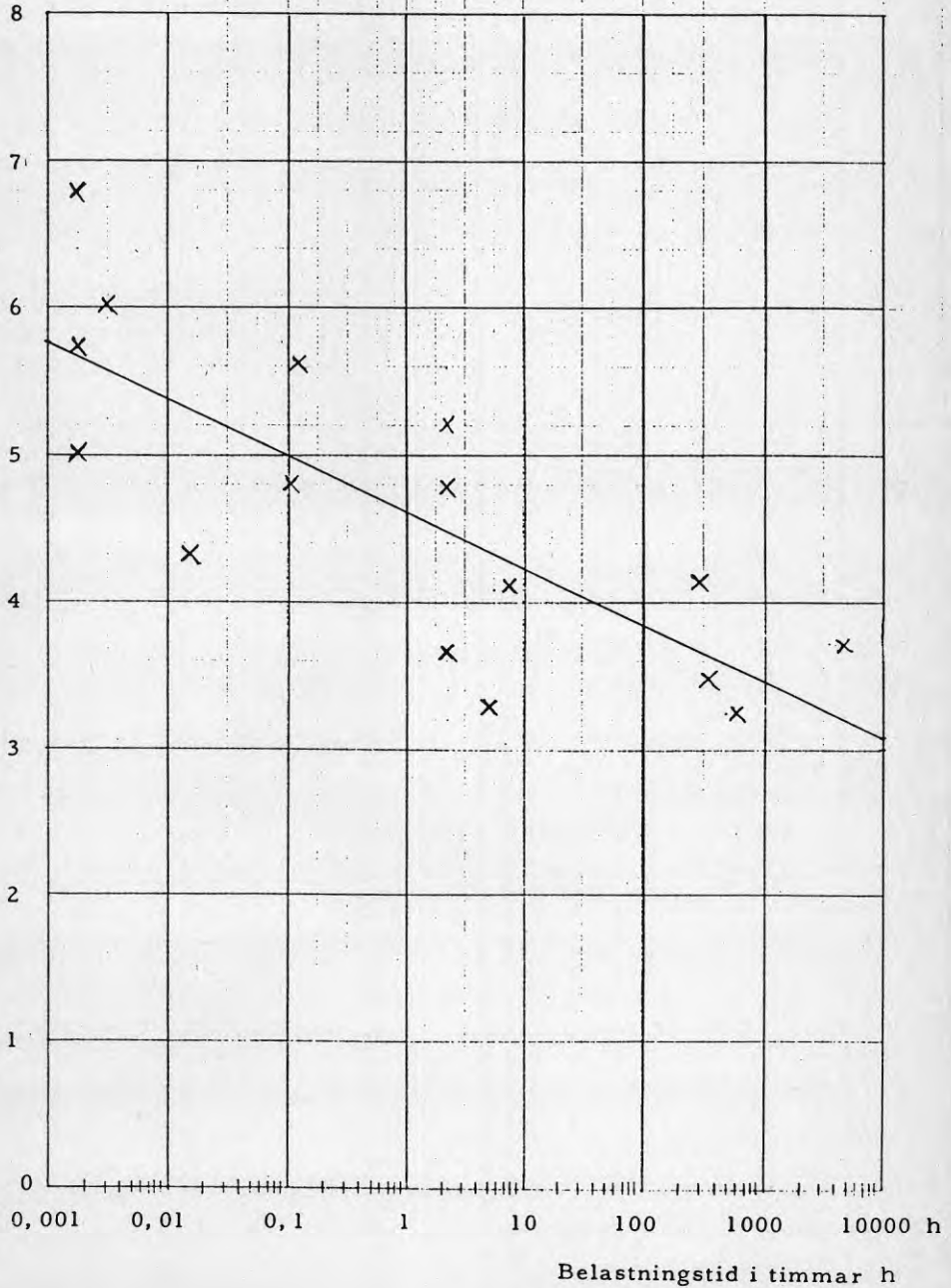


Långtidsprov med Cascofen 1702
Kallhårdande fenol

$$\tau = 4,61 - 0,38 \cdot \log h$$

Korrel.-koeff. $r = 0,78$

τ MPa

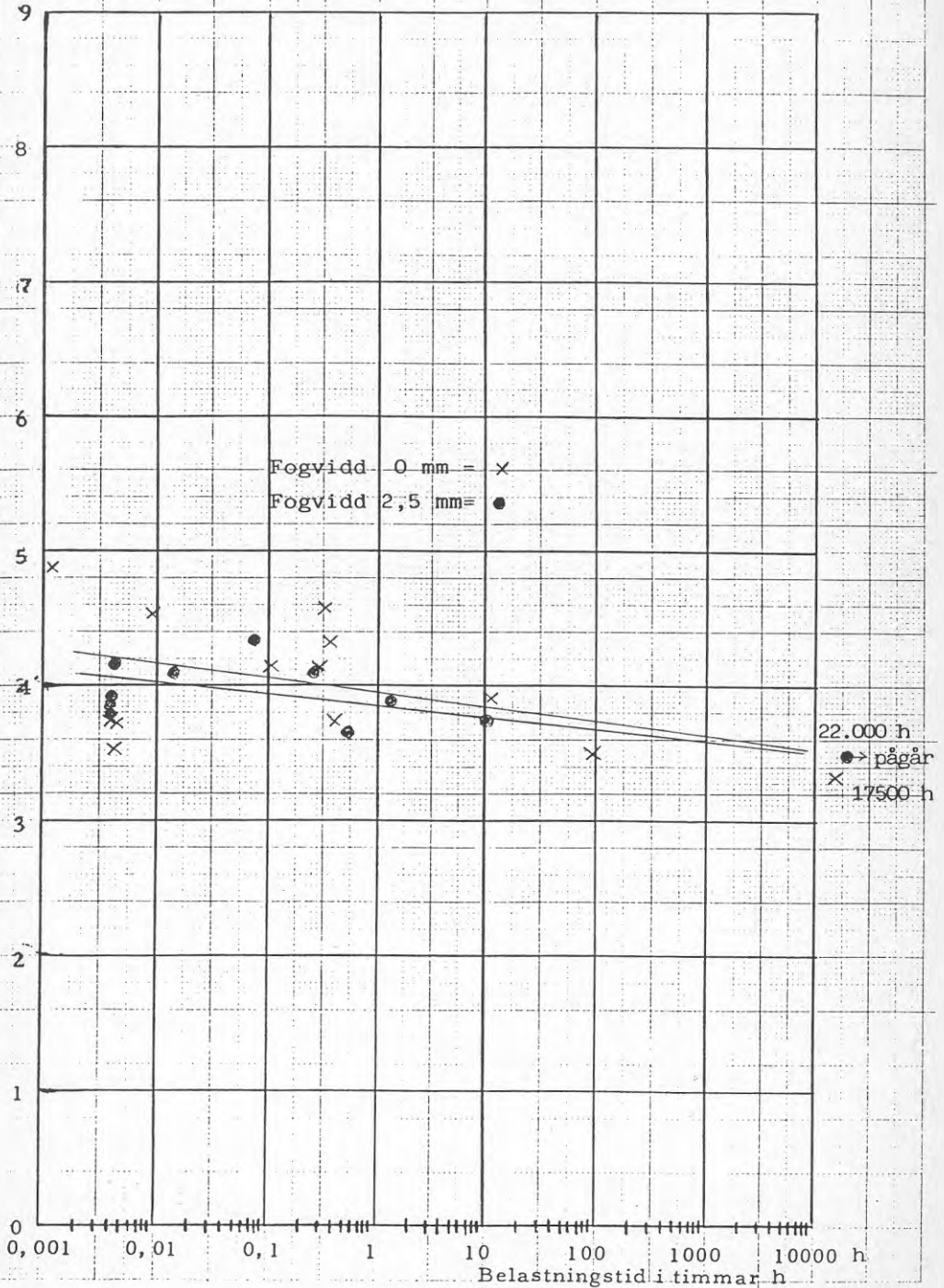


Långtidsprov med lim EP IV (1982-84)
 Fogfyllande resorcinlim, Cascos provkval.
 65% r.f.

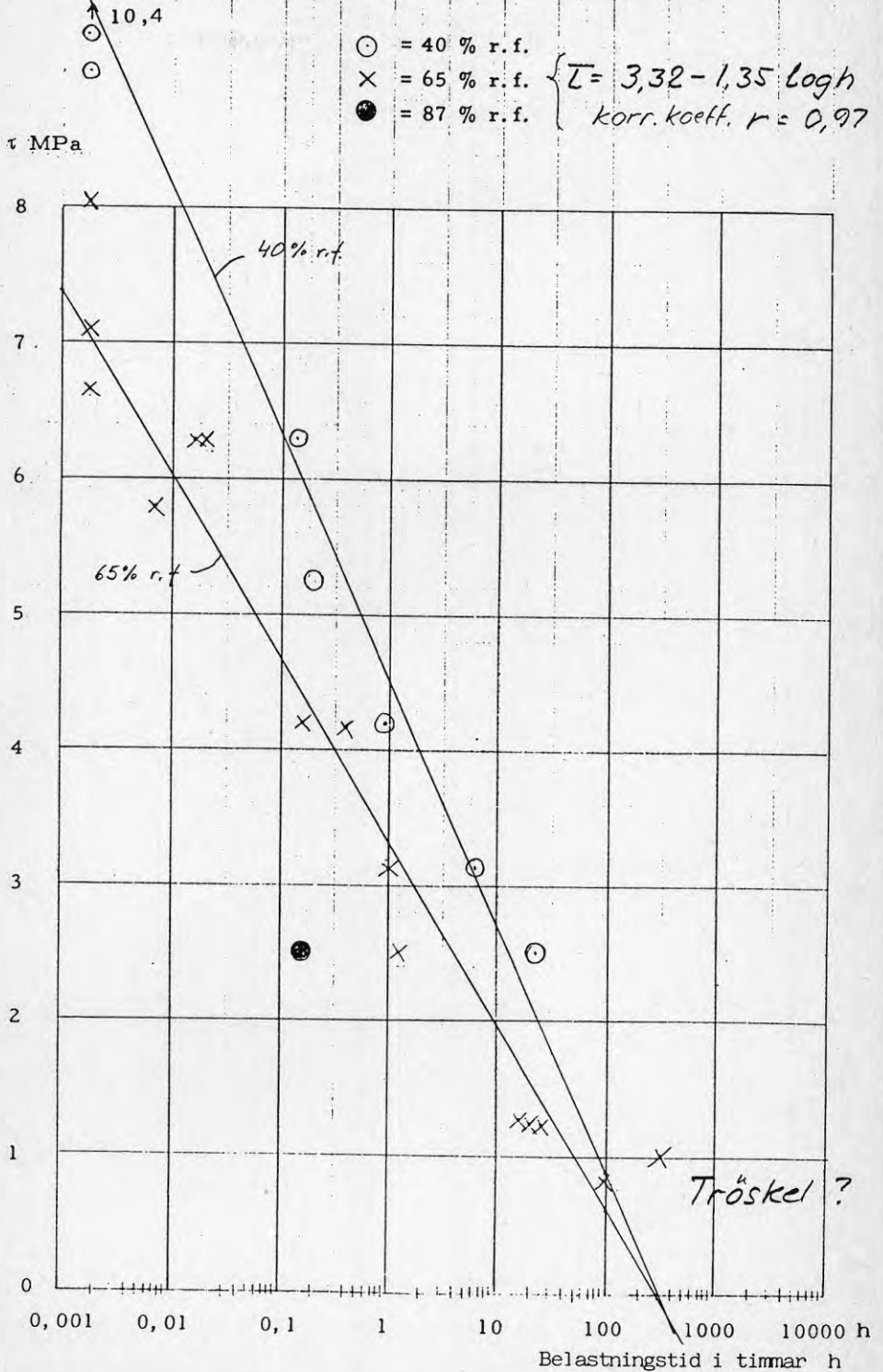
Limfogens skjuvhållfasthet
 τ MPa

$$\times \tau = 3,96 - 0,11 \log h$$

$$\bullet \tau = 3,87 - 0,07 \log h$$



Långtidsprov med lim 3327
 (Snabbcascol)
 Provkroppar 2 mån gamla före pålastning

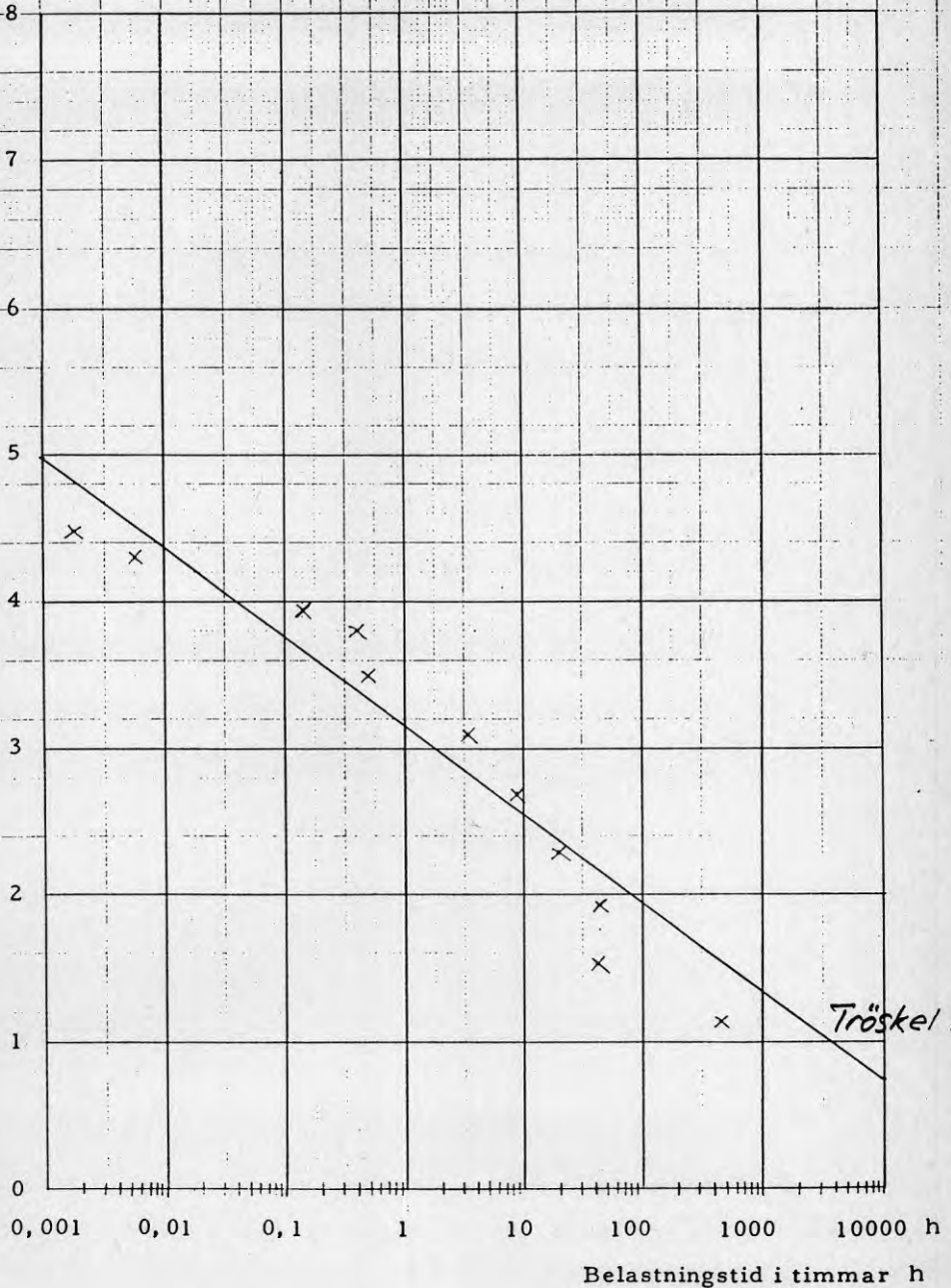


Långtidshållf. hos Bostik Trälim Extra
(vinyllim)
65% rf, en-komponent

$$\tau = 3,16 - 0,61 \cdot \log h$$

korrel.koeff. $r = 0,78$

τ MPa



Långtidsprov med lim 3333

PVAC med härdare

Normalklimat, 20°C 65% rel.fukt

$$\tau = 4,09 - 0,93 \cdot \log h$$

korrel.koeff $r = 0,95$

LIMFOGENS SKJUVHÅLLFASTHET

 τ . MPa

8.

7.

6.

5.

4.

3.

2.

1.

0

0,001

0,01

0,1

1

10

100

1000

10000 h

Belastningstid i timmar h

x

8.

7.

6.

5.

4.

3.

2.

1.

0

0,001

0,01

0,1

1

10

100

1000

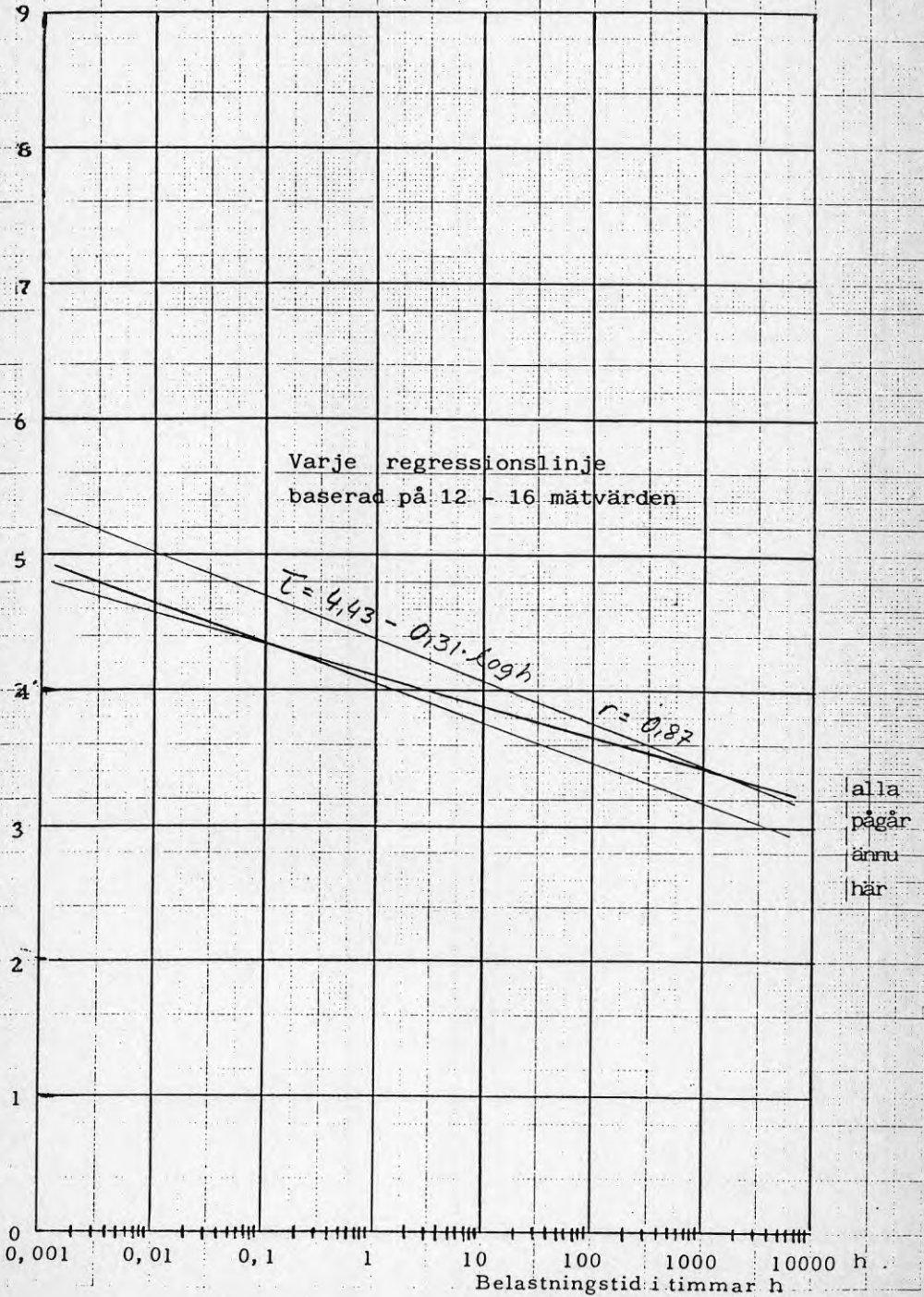
10000 h

Tröskel ?

•→
pågår

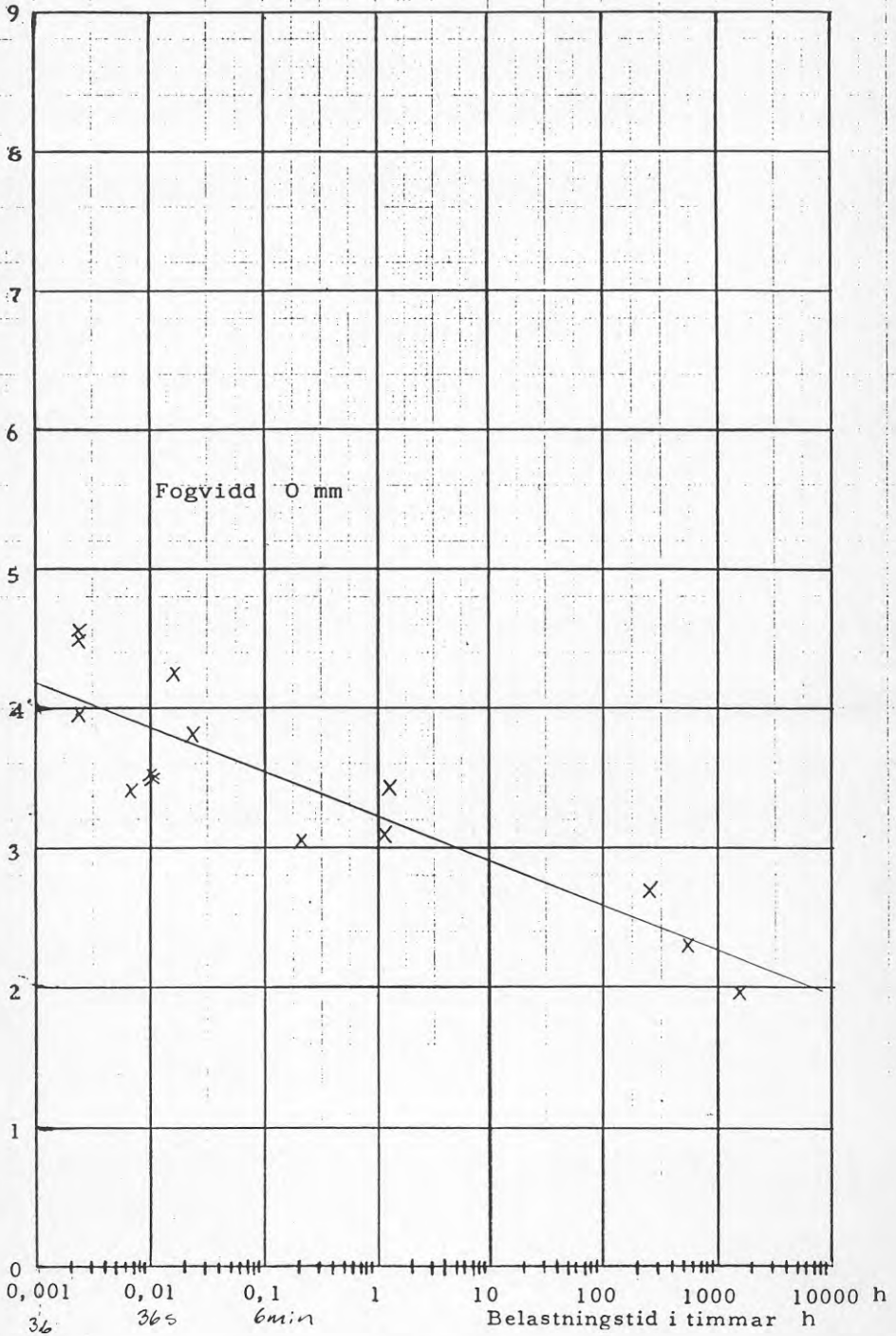
Långtidsprov med lim PVAc 2-komponent
3 prov-kvaliteer isocyanathärdare

Limfogens skjuvhållfasthet
 τ MPa



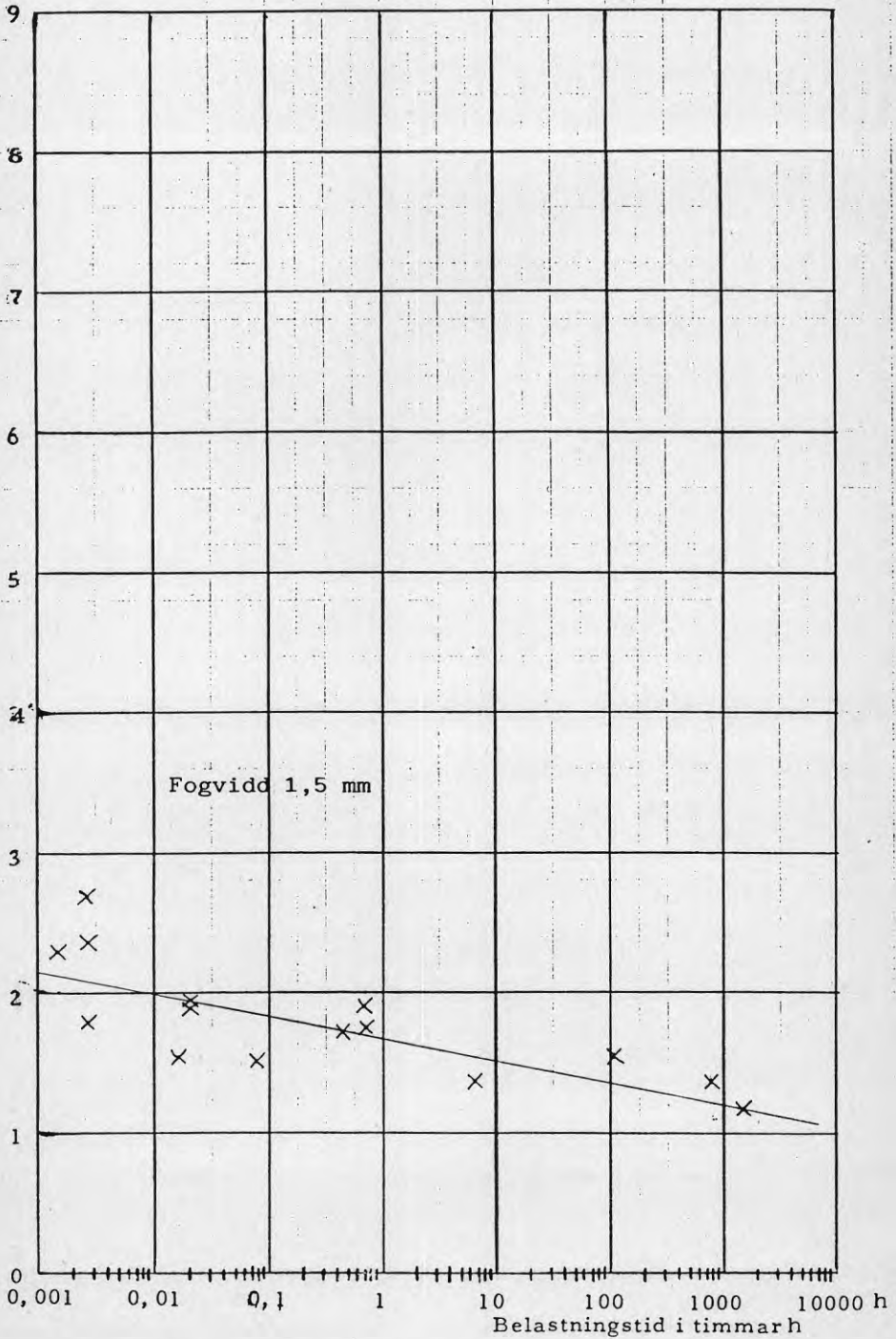
Långtidsprov med lim Casco 3877
Elastomer med org.lösningsmedel
Fogvidd 0 mm 65% r.f.

Limfogens skjuvhållfasthet
 τ MPa



Långtidsprov med lim Casco 3877
Elastomer med org. lösningsmedel
Fogvidd 1,5 mm 65% r.f.

Limfogens skjuvhållfasthet
 τ MPa

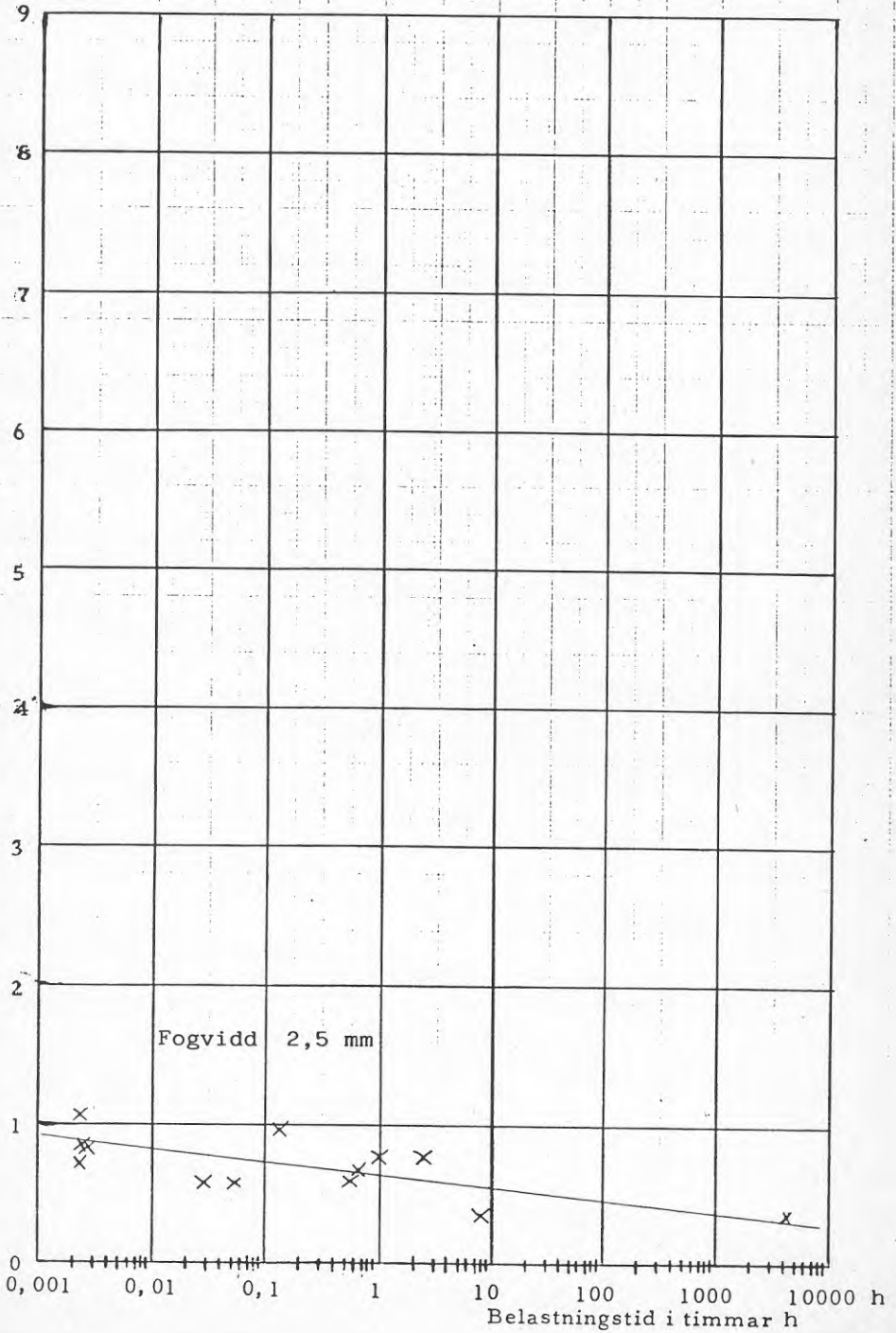


Långtidsprov med lim Casco 3877

Elastomer med org. lösn.medel

Fogvidd 2,5 mm 65% r.f.

Limfogens skjuvhållfasthet

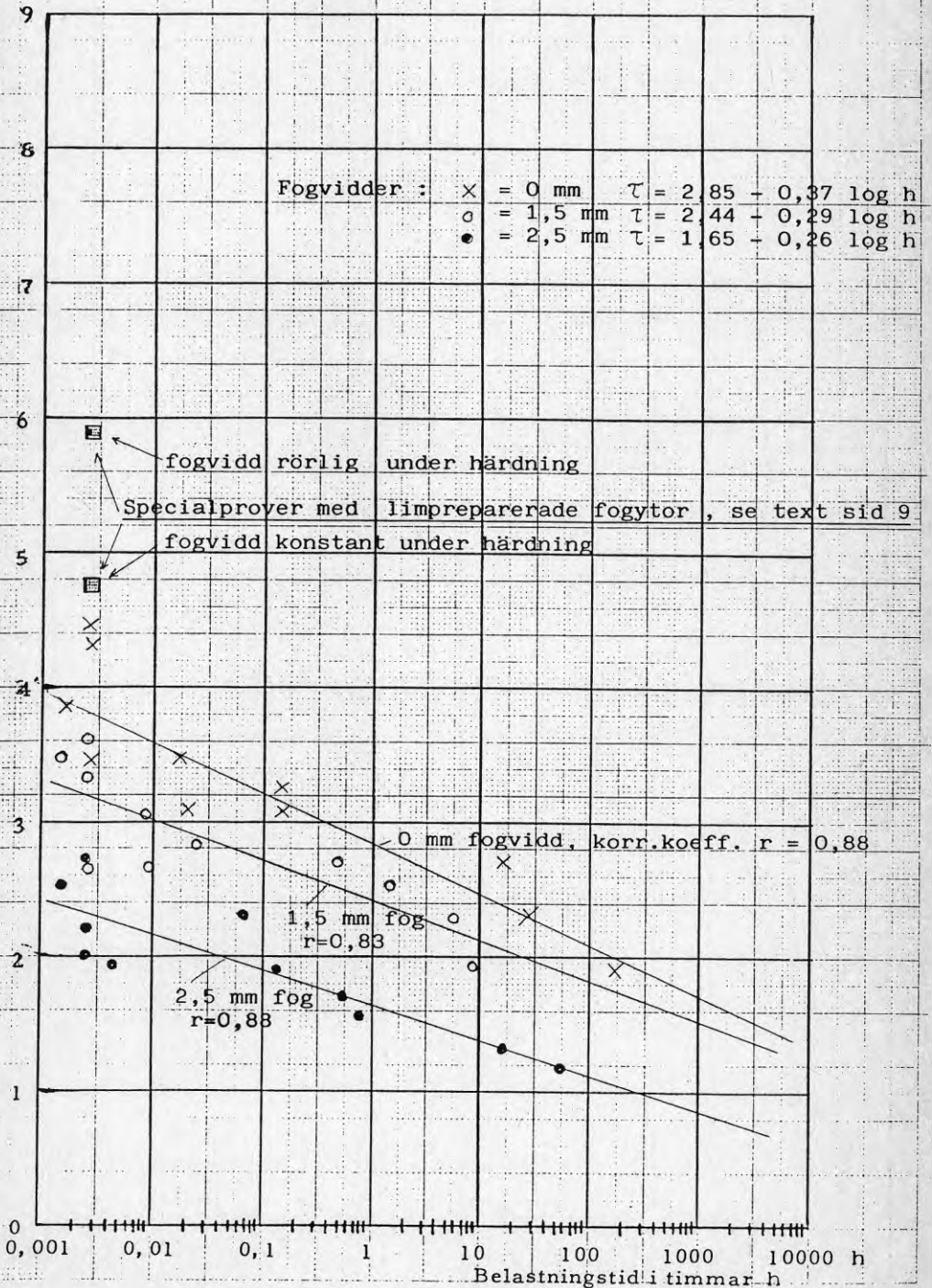
 τ MPa

Långtidsprov med lim Casco 3887
 Elastomer i vattendispersion
 Fogtjocklekar 0 1,5 och 2,5 mm

65% r.f.

Limfogens skjuvhållfasthet

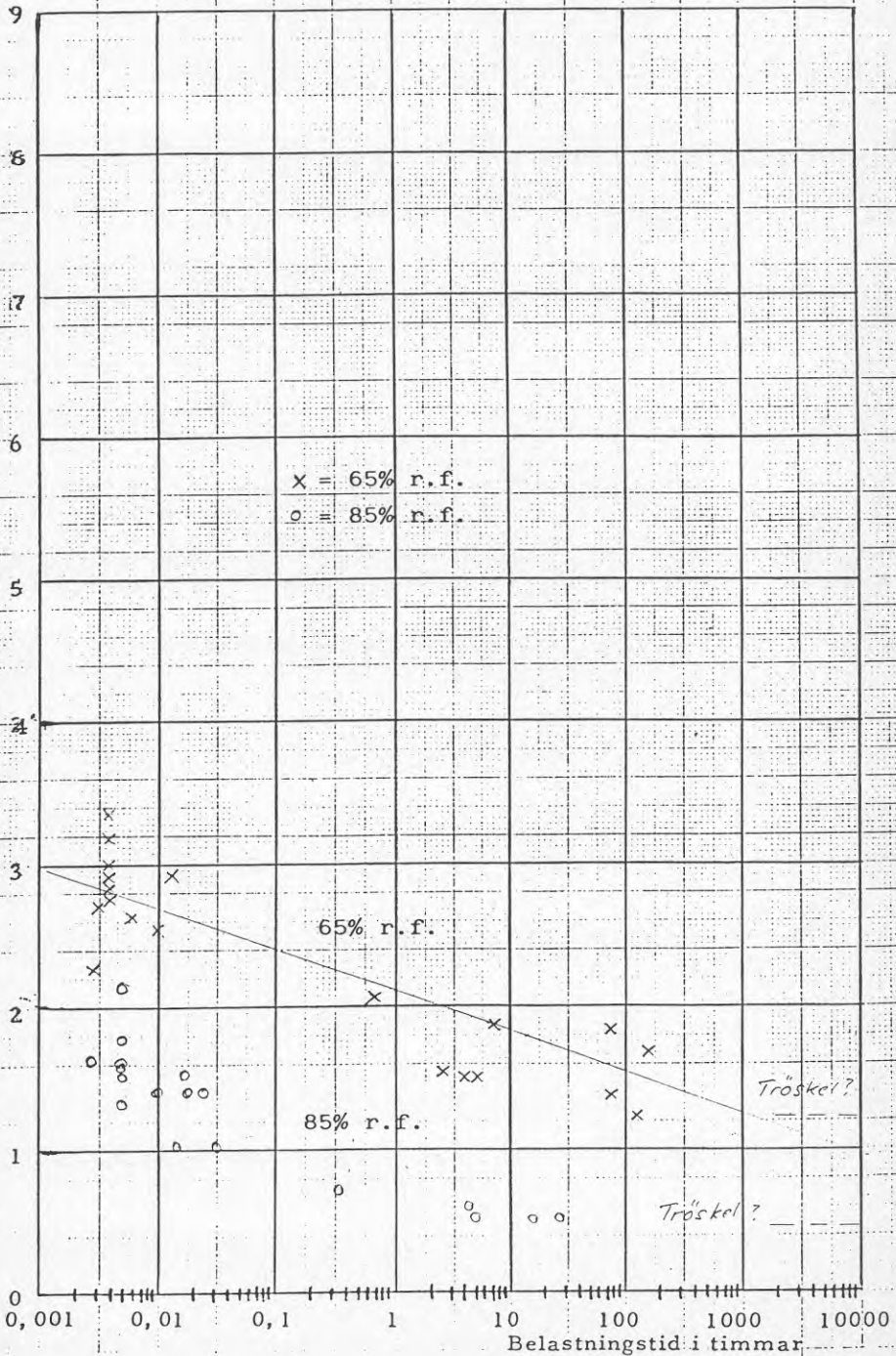
τ MPa



Långtidsprov med lim Casco 3887
 Elastomer i vattendispersion
 Vakuumblandat (för minskad por)
 Jämförelse mellan 65 och 85% r.f.

Limfogens skjuvhållfasthet Fog 1,55 mm för båda

τ MPa

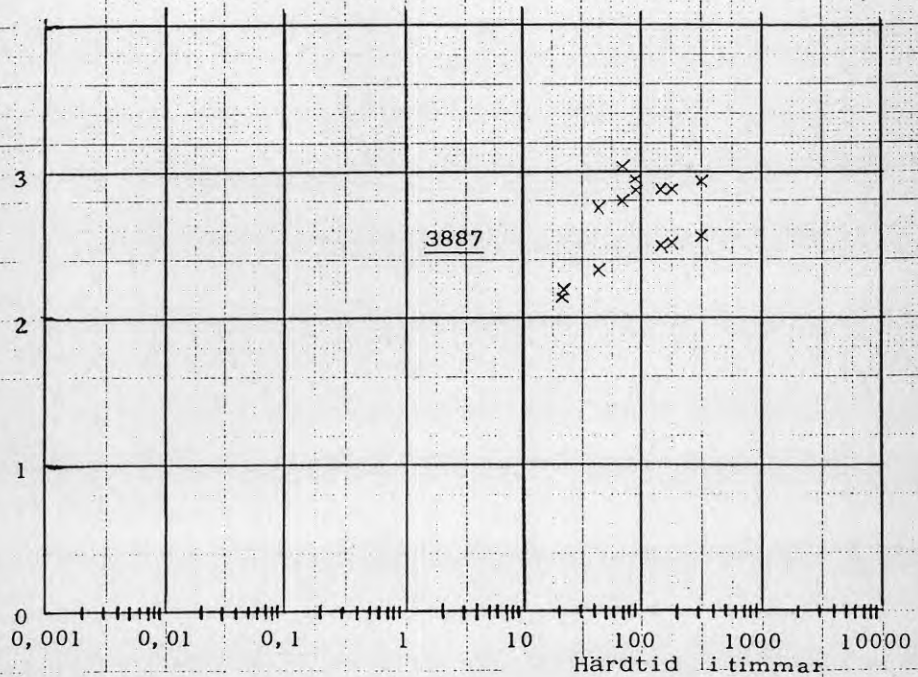
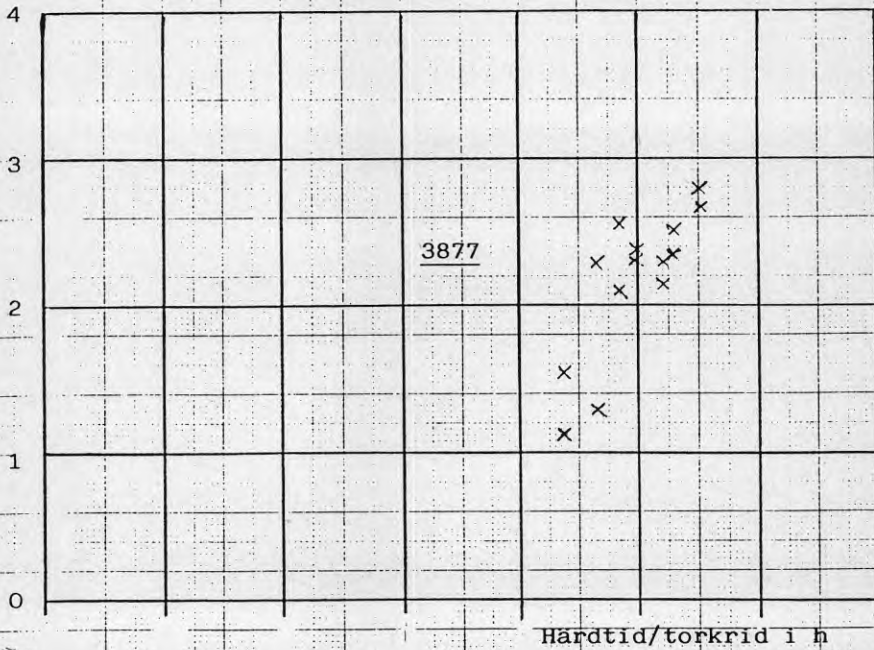


Korttidshållfasthet Casco 3877 3887

Elastomerer i org.lösn.m. & vattendisp.

Härddningstidens inverkan på kort-hållf.

Limfogens skjuvhållfasthet

 τ MPa

Långtidshållf. hos Goodrich PL 400
(elastomer)

Diagram 15

$$\tau = 3,18 - 0,36 \cdot \log h$$

korr.koeff. $r = 0,92$

τ MPa

8

7

6

5

4

3

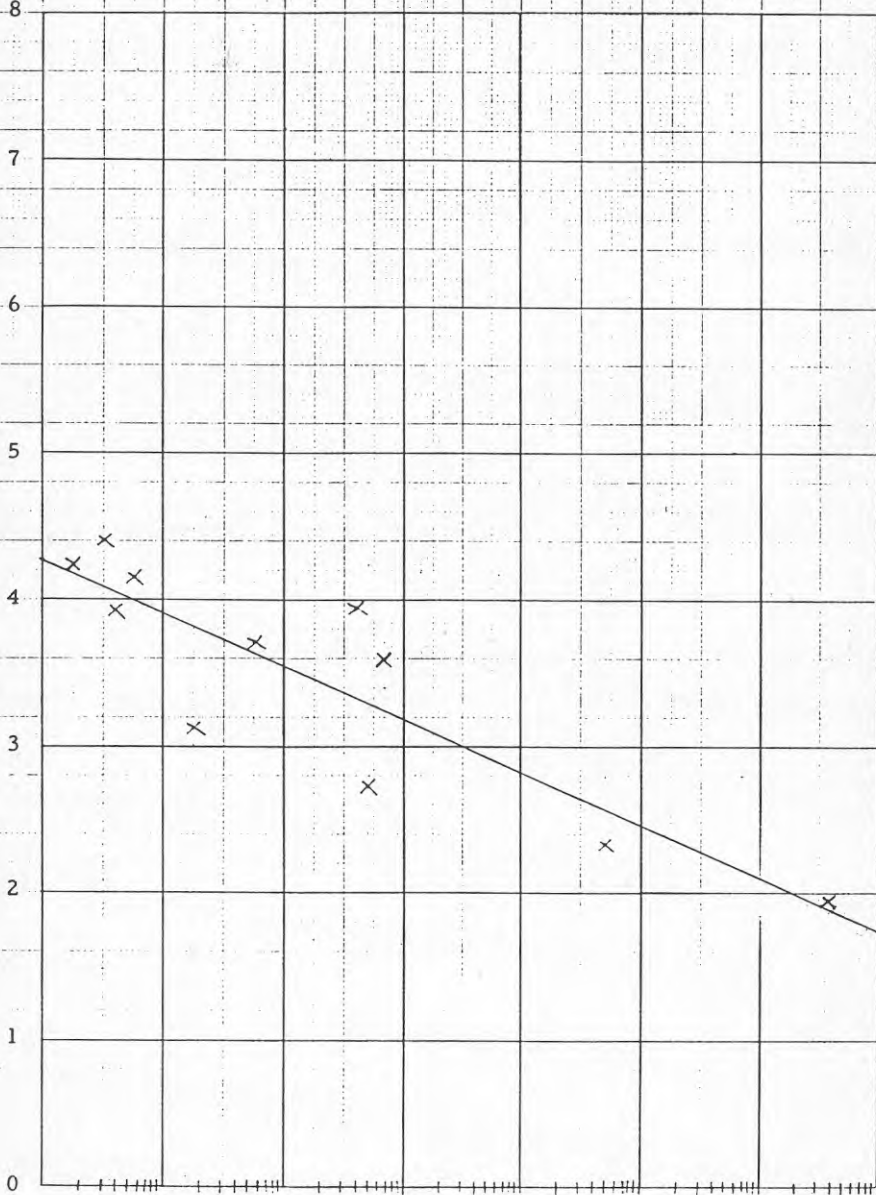
2

1

0

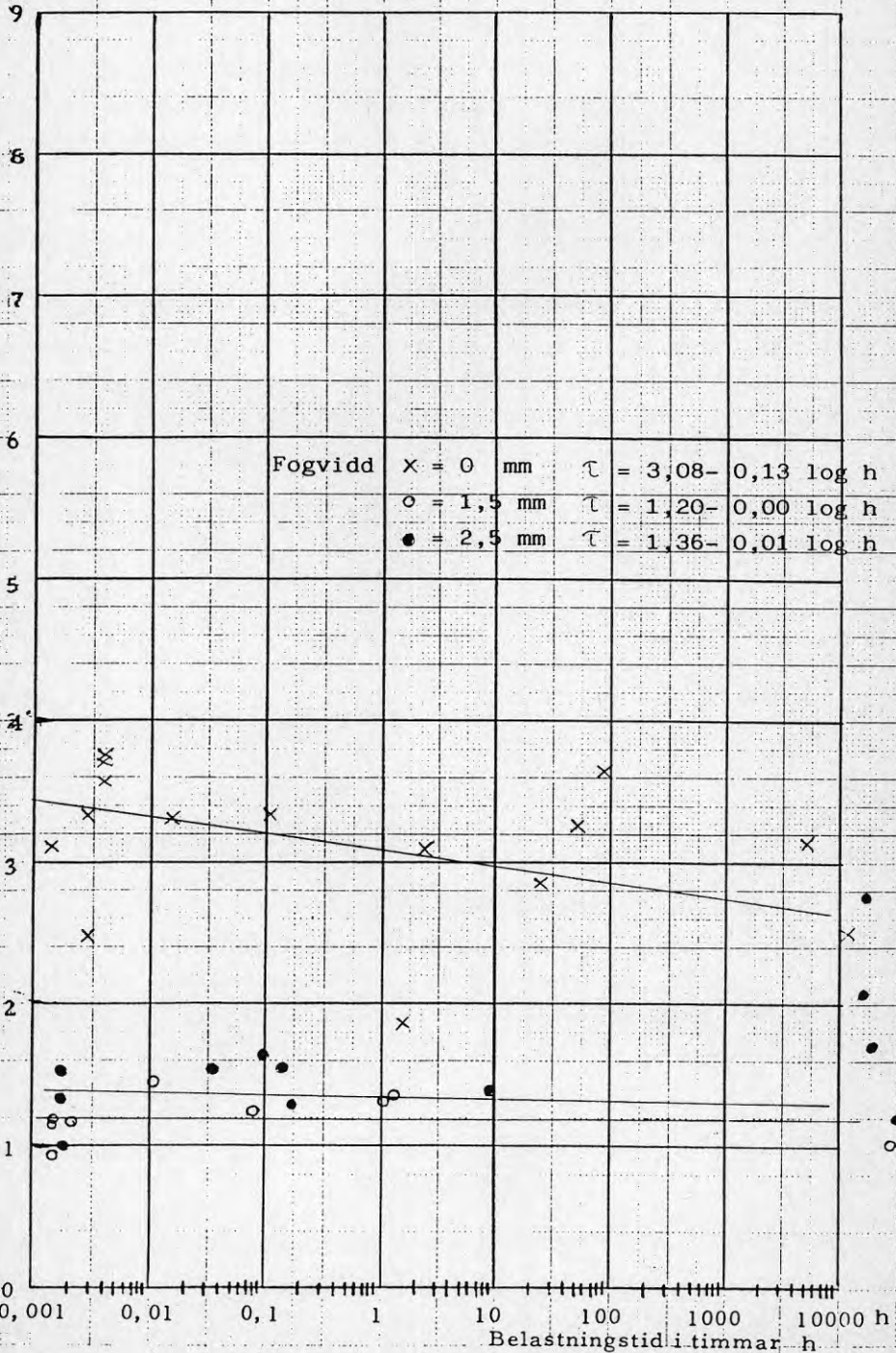
0,001 0,01 0,1 1 10 100 1000 10000 h

Belastningstid i timmar h



Långtidsprov med lim Casco PUR 1820
 Polyuretanlim med separat härd.1821
 Jmf fogvidder 0, 1,5 och 2,5 mm
 65% r.f.

Limfogens skjuvhållfasthet
 τ MPa



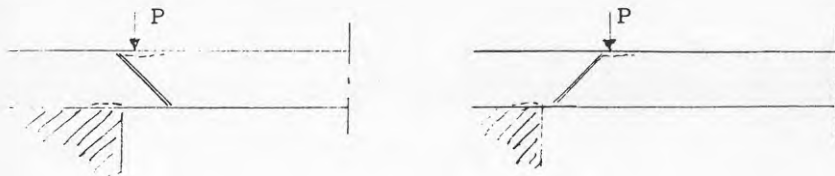
5 SPÄNNINGSTILLSTÅND I FOGAR

5.1 2-axlig spänning

Man kan knappast tänka sig ett renodlat plant skjuvbrott i en limfog. I praktiken förekommer alltid lokala avvikelser i materialen så att brottet blir hoppande mellan olika skikt. Varje förskjutning orsakad av skjuvspänningar medför tvär-rörelser och därmed dragspänning i limmet. Man kan möjligen uttrycka saken så, att tvärdraghållfastheten hos en limfog är avgörande för den uppmätta skjuvhållfastheten ! (Som bekant är drag- och tryckkrafter komposanter till alla skjuvkrafter.)

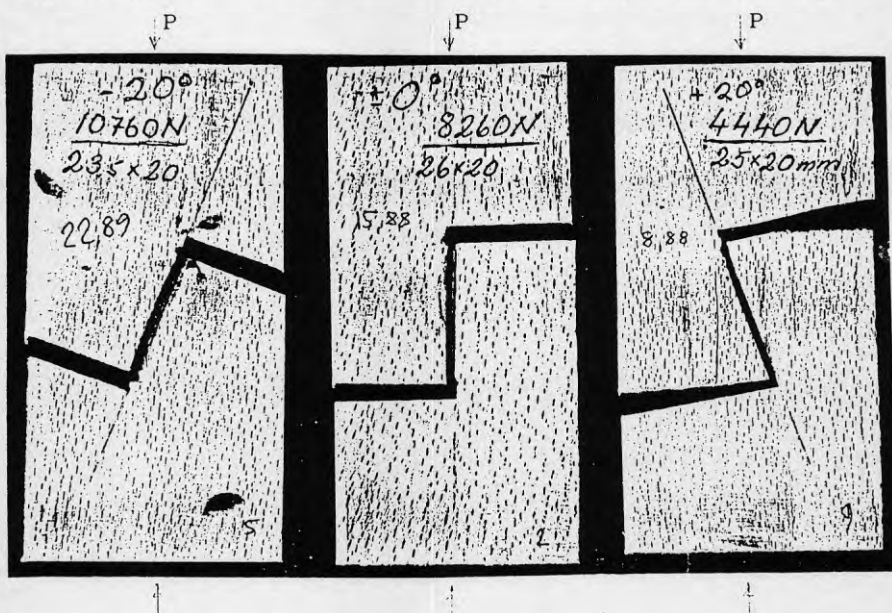
Om detta resonemang gäller, skulle limfogars styrka mot skjuvning kunna påverkas avsevärt om tvärriktade drag- eller tryckkrafter ansattes mot fogen. En tvärdragkraft skulle snart leda till skjuvbrott vid sådan belastning, medan däremot en tvärtryckkraft skulle kunna öka skjuvhållfastheten avsevärt (även om denna förbättring vore svår att särskilja från effekten av friktion - skillnaden ligger subtilt i kemiska contra fysikaliska/mekaniska kopplingar).

För att kontrollera dessa tankar har åtskilliga provningar genomförts. I första hand har fogytorna i provstavar lagts lutande så att drag- eller tryckkomposanter uppkommit :



Effekten av dessa första försök med 2-axliga spänningstillstånd har emellertid blivit ringa och diskutabel, statistiskt osäker. Förmodligen har små lokala deformationer vid lasternas smala angreppsytor initierat brottspänningar som vandrat vidare i fogen.

För att bättre studera 2-axliga spänningstillstånd provades grövre provkroppar än de vanliga stavarna. Försök med olika träslag och dimensioner ledde till 20 mm tjocka bokklotsar klivna till limytor i olika vinklar för reglering av tvärkraft-komponentens storlek. Bilden nedan visar några alternativa klotsar (i något förminskad storlek) och påtecknade brottlaster vid 1,5 mm tjocka 1720-limfogar.



Försöken med dessa kraftigare provkroppar bekräftade idéerna om tvärkraftens inverkan på skjuvhållfastheten i limfogar. Diagrammet på nästa sida visar sambandet mellan fogens lutning visavi lastriktningen. Ordinatan (y -axeln) ger skjuvpåkänningen och abscissan (x -axeln) tvärkraften i MPa för olika vinklar och motsvarande totala brottlaster. Renodlad (tvär)draghållfasthet i limmet har efter separata prov prickats in som $-3,5$ MPa, men detta värde är troligen för lågt. Med perfekt centrerung av belastningen samt åtgärder för att undvika de krympspänningar som alltid torde finnas i grövre limkroppar (se sid 22), kan man nog få mätvärden kring 5 MPa eller t. o. m. högre.

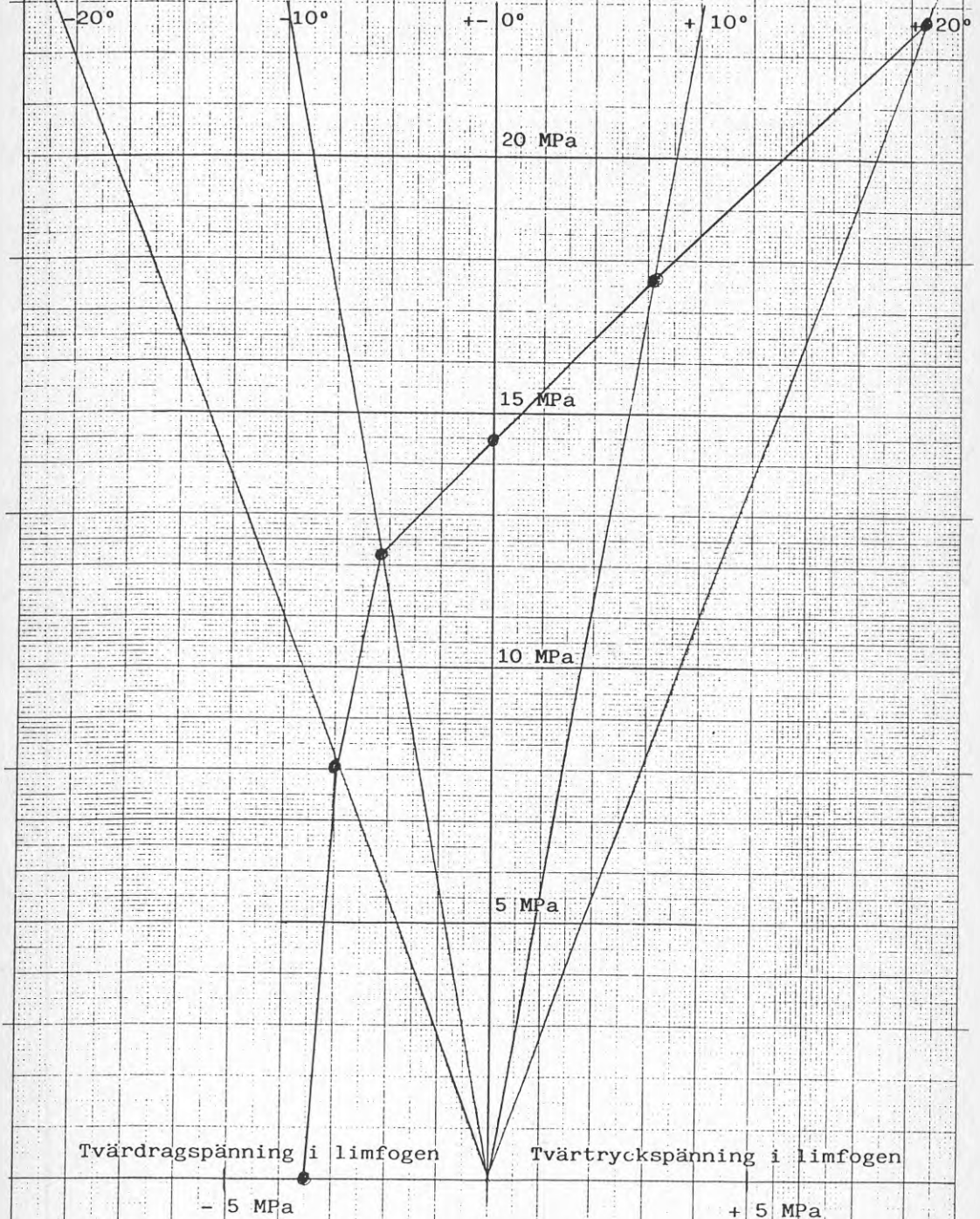
Fogfyllande resorcinlim, Casco 1720

Diagram 1

2-axligt spänningstillstånd

korttidslast vid 65 % r.f.

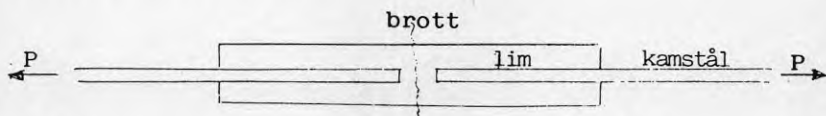
lastriktningens avvikelse från fog-planet



5.2 Draghållfasthet hos 1720

Draghållfastheten hos lim kan mätas på flera sätt, t. ex. som tvärdraghållfastheten i en limfog. Men man brukar få en blandning av limbrott, vidhäftningsbrott och träbrott, därför osäkra och för låga värden.

Ett annat sätt är att tillverka massiva limstavar, t. ex. 150 mm långa och 25 - 30 mm i tvärmått, med ett klenstål ingjutet i vardera änden. Vid dragning i stålen brister staven i mitten, där ingen armering finns på en kort sträcka, och den specifika draghållfastheten för limmet kan där lätt kalkyleras. (I princip samma metod användes för betong.)



För resorcinlim 1720 har vid sådan provning erhållits $\sigma_{\text{drag}} = 3,5 \text{ MPa}$, men förmodligen blir värdet något högre om metodiken förfinas. Som jämförelse kan nämnas, att tvärdragprovning av limfogar mot trä givit endast ca 1,5 MPa - då uppstår en hel del makro-träbrott även i bokträ.

5.3 Tryckhållfasthet hos 1720

Den specifika tryckhållfastheten hos hårda lim beror på provkroppens storlek (liksom för betong). Om man väljer små kubiska eller cylindriska prover med lastsektion t. ex. 20 x 20 mm eller ϕ 20 mm och samma axiella höjd, blir brotthållfastheten 25 - 30 MPa och brottbilden lik betongkubers, alltså skjuvbrott. Brott-nivån torde bekräfta kurvan i diagrammet för 2-axliga spänningstillstånd.

5.4 Böjhållfasthet hos 1720

Några enkla böjprov på limstavar med sektion ca 25 x 10 mm ($b \times h$) och längd 120 - 180 mm har givit $\sigma_{\text{brott böj}}^{\text{brott}} = 10 - 15 \text{ MPa}$. Det högre värdet motsvarar felfri limstruktur (inga gasblåsor) och kan förmodligen höjas ytterligare något (en långsam efterhärdning ökar styrkan utöver den som uppnås efter några dygn vid 20 °C).

5.5 E- och G-moduler för 1720

Den höga böjhållfasthet som redovisats i föregående punkt tyder på mycket krokig σ/ϵ -kurva och kanske olika E för drag- och tryckspänning. En felkälla kan också vara skillnader i täthet inom en stavs sektion (gasblåsor vandrar uppåt under limmets långsamma härdning).

Vid förnyat böjprov med stav gjuten i vertikal form har nedböjning under långtidslast uppmätts noggrant, varefter $E_{\text{böj}}$ kalkylerats på samma sätt som vid kryp-provning av skivmaterial. Korrelationen mellan observerade värden och den kalkylerade regressionslinjen har blivit god, 0,997, varför resultaten kan bedömas pålitliga åtminstone för måttliga lasttider :

Lasttid h	E MPa	%
0,01	1740	100
1000	450	26
10000	240	14

Krypningen är överraskande stor, vilket föranlett nya studier :

- a/ Kan limmets hårdhet varieras genom kemiska åtgärder ?
- b/ Hur är återfjädringen vid avlastning ?
- c/ Är krypningen till praktisk nackdel i en skjvbelastad fog av t. ex. 1 mm tjocklek ?

Enligt tillverkaren (Casco) kan limmets hårdhet varieras genom ändringar i fabrikationsprocessen. Ökad hårdhet ger styvare förband ; mjuka kvalitéer bättre följsamhet vid påtvingade formförändringar av hygroskopisk eller termisk natur, stötar etc. En reglerbar 'seghet' bör vara en mycket stor praktisk fördel, särskilt om segheten är av elastisk - ej plastisk - natur.

Studier av återfjädring under långvarig avlastning pågår ännu, när denna rapport sammanställs. Redan nu är det emellertid uppenbart, att måttliga deformationer återfjädrar i oväntat hög grad, praktiskt taget fullständigt och enl. lagarna för superposition vid lastförändring.

Om E (eller rättare σ/ϵ) sjunkit till så låg nivå som 240 MPa efter 10000 oavbrutna last-timmar, och man kan uppskatta G till knappt halva värdet av E , säg $G = 100$ MPa, beräknas skjuvdeformationen i en limfog med 1 mm vidd

$$G \cdot \gamma = \tau$$

$$\text{Antag } \tau = 1 \text{ MPa}$$

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{1}{100} = 0,01$$

$$\begin{aligned} \text{Skjuvdeformation vid 1 mm fog} &= \\ &= 0,01 \cdot 1 = 0,01 \text{ mm} \end{aligned}$$

(För spikförband är 0,5 mm normalt.)

5.6 Hygroskopi hos 1720

Något överraskande visar sig resorcinlim av typen 1720 ha ganska stora hygroskopiska dimensionsförändringar.

Vid renodlat hygroskopiska mätningar för intervallet 30 - 90 % r. f. 20 °C har absorptionen givit 5,6 % viktökning och 1,2 % svällning linjärt.

Små massiva lim-provkroppar med längd 100 mm och tvärmått 20 mm har vid blötläggning i vatten under 10 dygn svällt isotropt (lika i alla riktningar) ca 5 % från utgångsvärde vid 50 % r. f. 20 °C. Viktökningen har därvid varit 20 % (varav en del torde härröra från vattenfyllda porer i limstrukturen.

Båda dessa fuktprovningar har stort praktiskt intresse :

- a/ Vid fuktförändring sväller limmet ungefär lika mycket som virke i tvärled och 15 ggr mer än i längsled.
- b/ Om limmets svällning 1,2 % mothålles helt, och uppfuktningen utvecklas under ca 100 timmar, kan tryckpåkänningen i limmet beräknas ungefärligt till

$$\sigma = \epsilon \cdot E = 0,012 \cdot 1000 \quad (\approx E \text{ efter } 100 \text{ h})$$

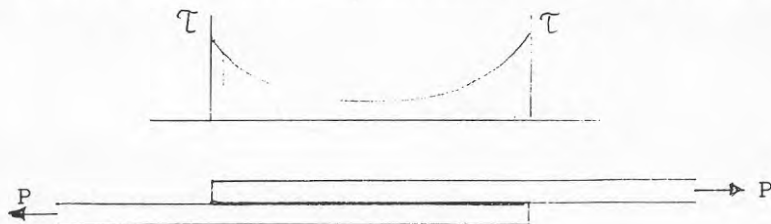
$$\sigma = 12 \text{ MPa}$$

Limmet håller vid denna tryckpåkänning men riskerar att få dragbrott (sprickor) vid motsvarande torkning/krympning.

5.7 Spänningskoncentrationer

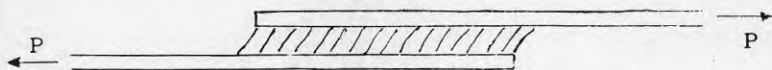
Olämplig utformning och tillverkning av limfogar kan resultera i momentana brott, s. k. sprödbrott, som kommer överraskande och kan vara katastrofala. En plötslig dynamisk last - en stöt - kan utlösa förloppet, men i de flesta fall torde brottet ske helt 'regelmässigt' och bero på sådana lokala spänningskoncentrationer som ej beaktas vid enkel dimensionering. Man har kanske dividerat beräknad max-last P i limförbandet med tillåten skjuvpåkänning τ och erhållit erforderlig limyta A - därmed har saken ansetts vara klar. Men det är den icke alltid. Planverkets föreskrifter om 6-faldig säkerhet räcker ej om inverkan av långtidslast, extraspänningar av fukt och temp. samt kanteffekter beaktas. De sistnämnda behöver kommenteras rätt utförligt.

Från elasticitetsläran är känt, att kraftöverföringen i skjuvförband ger större specifika τ -påkänningar vid fogens ändar än i mitten :

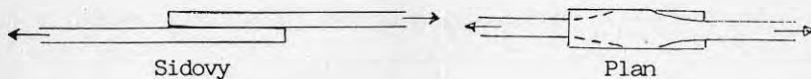


Vid överbelastning börjar fogen att spricka upp vid ändarna, men brottet går vidare in mot mitten så snabbt, att det hela verkar momentant.

Man kan påverka förloppet genom att bättre eller sämre anpassa hårdheten hos limmet efter de limmade materialens egenskaper. Om man väljer ett mjukt lim och samtidigt gör fogen tjock, blir skjuvningen praktiskt taget likformig över fogens hela längd :

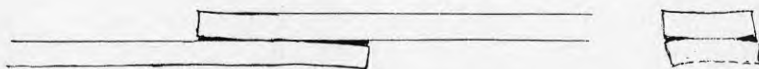


Motsatta förhållanden - en hård tunn fog mellan mjuka material - ger däremot extrema spänningar och deformationer vid fogens ändar och därifrån vandrande brott mot mitten (limma gummi med kontorsklister !), som gör fogen helt oduglig :



Limfogar i konstruktioner brukar traditionellt vara hårda och dessutom mycket tunna (vilket är lika betydelsefullt). Därmed blir risken för spänningskoncentrationer maximal i fogar med stor längd i kraftriktningen.

Vid uttorkning tillkommer tvärdragspänningar eftersom de överlappande virkena tenderar att bli kupiga just vid fogen, där torkning och krympning sker enkelsidigt :



Man skulle i stället önska en tvär-tryckkraft vid virkets ändar och kanter, t. ex. några hårt ansatta skruvar. Spikning har däremot motsatt effekt eftersom spikar alltid successivt vandrar utåt vid växlande fuktighet, svällning och krympning. Det medför tvärdragkrafter i limfogen, och storleken beror på spiktyp och antal. Långa spikar är farligast eftersom de påverkas av tjockare virkens större svällningsrörelser.

SBN:s anvisningar om spikning vid s. k. spiklimning är sålunda tveeggad : Nog behövs spiken för att ge limmet presstryck vid härdningen, men sedan vore det bättre om spiken icke funnes - annat än som fullgod säkerhet när limmet total-kollapsat ! P. gr. av spiken.

Avd. för Byggnadsmekanik vid LTH har börjat studera kantspänningar i limfogar teoretiskt med FEM. Redan de allra första beräkningarna tyder på radikal skillnad i hållfasthet mellan lim av olika hårdhet relativt det limmade trämaterialiet. Lim med G-data som för 1720 i kombination med tjocka limfogar (1 mm eller ev. mer) torde fungera mycket bättre, d. v. s. säkrare än hittills SBN-normerade limfogar. Mer perfekta beräkningsmetoder ligger inom räckhåll. Limningstekniken som sådan ger nu möjligheter till radikala förändringar i fogars utformning, nämligen genom optimering av fogtjocklek samt limmets G-modul.

En smula marginellt men dock i detta sammanhang kan ett par jämförelser mellan provstavar belastade på flatan och på högkant redovisas. Högkantfogarna har som regel lägre brottlast, och skillnaden är som väntat mer utpräglad för hårt resorcinlim än för mjuk elastomer. Se diagram 17 nästa sida.

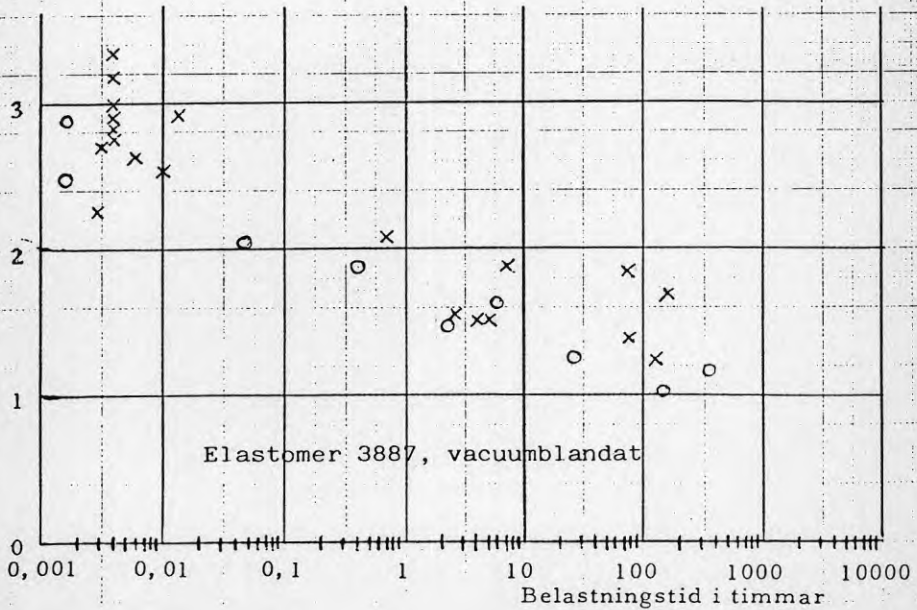
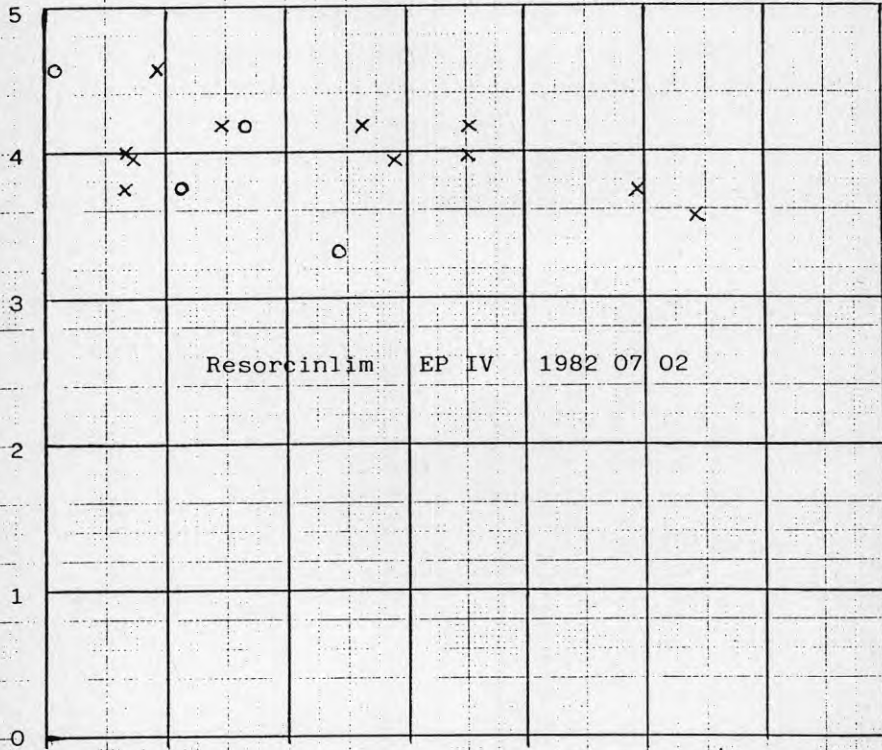
Diagram 17.

Långtidsprov med lim, 65% r.f. 1,5 mm fog

Stavar belastade på flatan x

Stavar belastade på högkant o

Limfogens skjuvhållfasthet
 τ MPa



6 NY LIMNINGSTEKNIK

6.1 Val av lim

Rapportens många sakuppgifter motiverar en sammanfattande utvärdering av limalternativen. På marknaden tillkommer hela tiden nya förbättrade kvalitéter, men karaktären för de skilda limtyperna kommer nog att stå sig. Med den utgångspunkten ställs frågan : Vilka är önskemålen ? Tabellen nedan försöker betygsätta limmen enligt skalan :

- + Bra
- o Tveksamt
- Dåligt

Betygen gäller limmens användning vid rationell limning av bärande konstruktioner. Självfallet kan kraven ibland ställas högre eller påverkas av speciell utrustning t. ex. vid massproduktion.

	Kasein	Karba- mid	Fenol	Resor- cin	PVAc	Elasto- mer	PUR
Beständighet :							
Åldring	+	-	o	+	o	o	+
Väder	-	-	+	+	+	o	+
Temperatur	+	+	+	+	-	-	-
Långtidslast	+	-	o	+	o	o	+
Fogfyllnad	-	-	o	+	o	+	o
Vidhäftning	o	-	o	+	+	+	+
Elasticitet :							
Spänn. utjämn.	-	-	-	+	+	+	+
Samv. spik	-	-	-	-	o	+	-
Miljö	+	o	o	o	-	+	-

Sammanfattning :

Resorcinlim av fogfyllande typ (Casco 1720 med härdare 2677) uppfyller önskemålen bäst.

Polyuretan (PUR) av modernaste kvaliteer kan vara fullgoda, men fogarna får ej vara tjocka och 'jästa'. Viss miljö-risk om epoxi-innehåll.

Elastomerer kräver omsorg (liksom PUR) för att bli starka, och fogarna bör gärna säkras med spikförband.

PVAc med isocyanat är ännu 'nytt' och kan t. v. prövas i rel. 'ofarliga' element, fasaddetaljer etc. Har knappast någon fördel gentemot 1720.

6.2 Härdning av limfogar

I tabellen ovan och dess utvärdering borde egentligen medtagits även frågan om limmens härdning. Den är dock så komplex, att den knappast kan betygsättas med + o - eftersom härdning kan utföras på en mångfald sätt. Ofta är processen avgörande för limningstekniken, t. ex. när limmet fordrar presstryck och hög temperatur samtidigt för att ge pålitliga fogar. Gäller produktionen tjocka trämaterial som i limträbalkar, är högfrequens-härdning (HF) enda sättet att uppnå hög produktivitet.

I andra fall kan man nöja sig med varmpressning (om materialet är tunt och leder in värme till fogen på rimlig tid) eller 'varmlufttält' med ca 40 °C. Så härdas ännu stora träbalkar och -bågar under 8 h eller en natt.

Samtliga tabellerade lim kan härda redan vid rumstemperatur. Resorcin 1720 når 'hanterbar' styrka efter 8 - 12 timmar men behöver ungefär tre dygn för att nå full hållfasthet. Detta kan vara acceptabelt för markant fogfyllande lim, där några få spikar eller enkla klämmor räcker för att hålla delarna i läge. Fordras presstryck, är hanteringen svårare eftersom man måste få bort de limmade elementen - ofta stora sådana - ur fabriktions-linen. Man kan då 'häfta' punktvis med HF-härdning och låta limmet i övrigt härda vid rumstemperatur i lagerutrymme. En begränsad härdning kan alternativt ordnas med värmestrålning från infra-lampor (IR-), då strålningen kan komma åt

någon kant av fogen eller nå igenom tunt material. IR-utrustning är relativt billig och finns i färdiga enheter för olika arrangemang.

Betr. härdning bör ytterligare nämnas, att alltför hög temperatur kan vara skadlig: Lösningemedlet (ev. vattendispersionen) kan börja koka och ge en försvagad porös limfog. För 1720 gäller också, att limmet blir hårdare efter härdning vid hög temperatur - en del av den önskvärda elasticiteten går alltså förlorad. Bäst resultat erhålles nästan alltid vid långsammare processer, som tillåter anpassning till ytorna samt fukt- och spänningsutjämning. Detta behöver ej hindra ev. fixerande 'häftning' med HF eller ythärdning med IR för att hindra limmet att rinna.

6.3 Utformning av fogar

Förmodligen skulle man kunna ge några hundra exempel på fogars utformning, bättre eller sämre, men här får några principiella råd vara nog:

- a. I stort sett bör man hålla på SBN-kravet att limytor skall vara rena, torra och helst fräscha, d. v. s. utan beläggning av kåda och näringsämnen från vedens inre.
- b. Däremot får ytorna gärna vara grova, alltså ej hyvlade/putsade när fogfyllande lim användes. En K-plywood behöver alltså ej sandputsas före limning; en bibehållen bruttotjocklek är alltid till fördel mot knäckning, buckling och direkt hållfasthet.
- c. Hyvlat virke fordrar mindre mängd lim per m^2 än ohyvlat (tunnare fog), men i gengäld behövs mer trä för att bygga upp erforderlig sektion t. ex. i en balk eller pelare. Kalkyler tyder på att totalkostnaden blir ungefär samma i båda fallen.
- d. Om man är osäker på limmets vidhäftning mot en material-yta, bör man alltid prova först. Det finns preparat för mätning av 'ytvätning', men de är icke helt pålitliga. Ett klassiskt exempel är slätsidan på oljehärdad Masonite. Lab-försök med resorcinlim 1720 har givit fullgod vidhäftning, kanske tack vare limmets innehåll av metylalkohol, men var försiktig i tveksamma fall!

- e. I rapportens inledning framhålles, att träbaserade skivmaterial har låg skiktskjuvhållfasthet, varför kraven på limfogar mot skivor kan ställas lägre än i renodlade virkeskonstruktioner. Det är en sanning med modifikation : Just med tanke på skiktskjuvning bör man alltid söka undvika krafttagande limfogar mot planpressade skivors ytor.

Man bör eftersträva fogar som går in på djupet i skivorna, t. ex. kilfogen enl. Sv. patent 140019 (Lundgren 1949) använd bl. a. i boardbalkar. Vid fogning av skivor sinsemellan kan den ena skivans kant tandas och införas i ett grunt limfyllt spår i den andra skivans yta enl. Sv. pat. ans. nr 8001399-8, utlägg. skrift 436 427, (Lundgren 1980).

- f. Danska normer begränsar en limfogs yta till 5 dm^2 . Avgörande är snarast längden i kraftriktningen (spänningskonc. vid ändarna) men även fuktrörelser och skålning i tvärled utgör risker. De kan reduceras med mjukare lim och ev. tjockare fogar, ev. med någon låsande hårddragen skruv vid ändar eller kanter. Skivmaterial (och knutpunkter av skivor) är dimensionsstabilare men har lägre E-modul, vilket kan öka spänningskoncentrationer vid kanter. I kritiska fall kan man tunna ut materialtjockleken där.
- g. Med tanke på virkes tvärsvällning undviker man normalt sammanlimning i vinkel som i fackverk. Förmodligen skulle slitsning (spår av sågklinga) kunna lösa problemet, men några praktiska prov har ej utförts ännu.
- h. Viktigast av allt : Se till att limfogarna ej utsättes för tvärdragkrafter ! Försök i stället att få dem tryckta, helst permanent.
- i. Det är nu möjligt att stålarmera trämaterial, varvid klens kamjärn (ϕ 5 - 8 mm) användes och förankras med fogfyllande resorcinlim i spår frästa i virket eller skivorna, Sv. patent 398907 (Lundgren 1976). Armeringstekniken har studerats ingående under flera år, och en utförlig rapport torde offentliggöras under innevarande år (1985).

6.4 Kostnader för limfogar

Det torde vara helt omöjligt att mer generellt ange kostnaden för limfogar - variablerna är oändligt många. Men en jämförelse med spikförband kan ha sitt intresse, i all enkelhet :

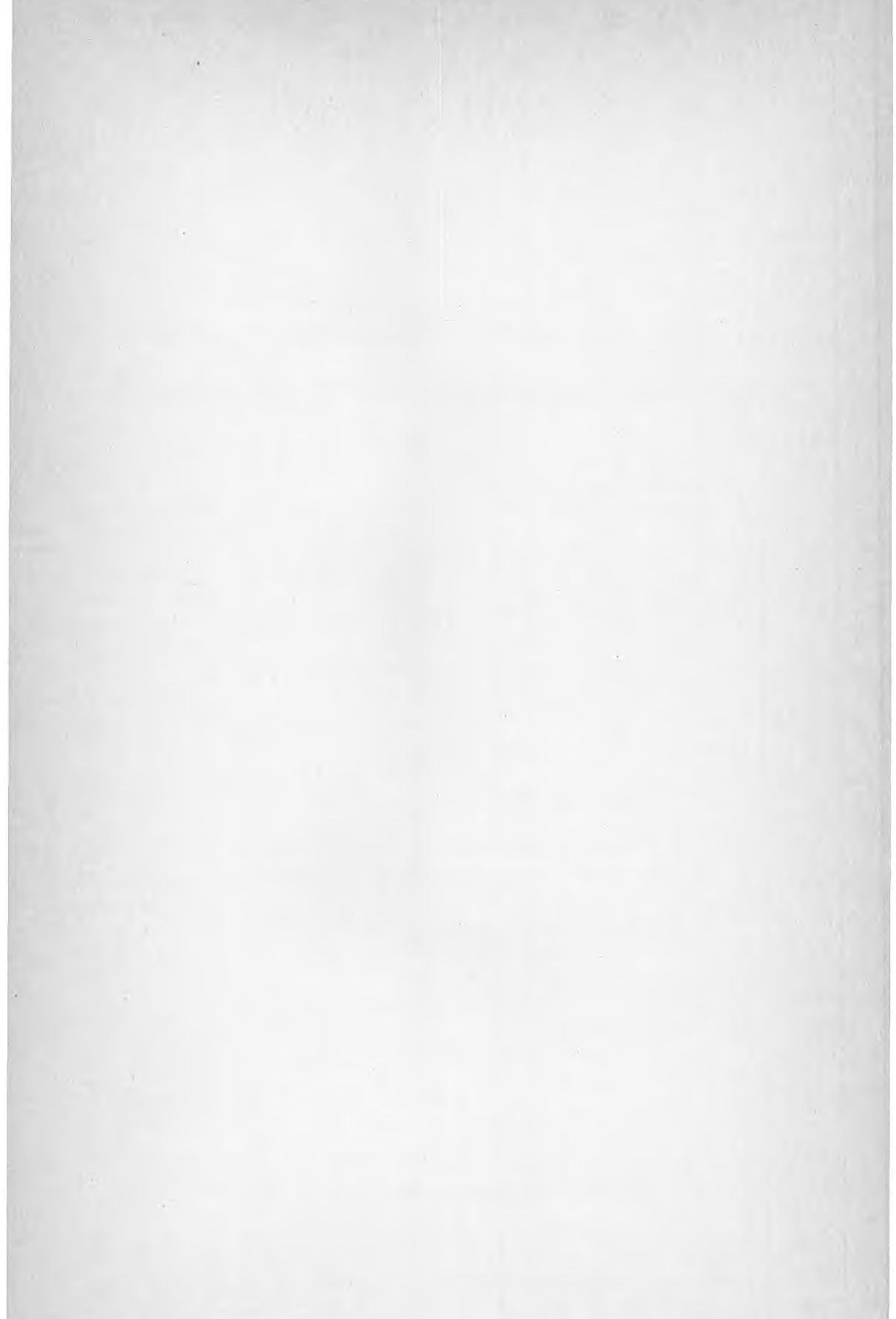
Resorcinlim 1720 + härdare 2677 kostar 25 kr/dm³ färdig fogvolym. Med 1 mm fog blir det 25 kr/m² eller 0,25 öre/cm². Med en brott-hållfasthet ≥ 6 MPa (6 N/mm²), som ger $\tau_{\text{till}} = 1$ N/mm² = 100 N/cm² erhålles 100 N/0,25 öre, sålunda 400 N/öre = 0,4 kN/öre. Eller omvänt 2,5 öre/kN.

Spik 100 x 34 kostar 10 öre/st och kräver enl. SBN en fogyta 34 x 17 mm = 540 mm². Den tillåtna lasten är 0,45 kN = 450 N, d. v. s. en lastintensitet av 450 : 540 = 0,83 N/mm². Detta är fullt jämförbart med limfogens värde (1 N/mm²). Men kostnaden : 450 N per 10 öre = 45 N/öre = 0,045 kN/öre! Eller omvänt 22 öre/kN !

Materialkostnaden för spik är 10 ggr högre än för en limfog med samma styrka. Men de kräver lika stor yta.

7 LIMFORSKNINGSINSTITUT

Separat har till BFR överlämnats synpunkter på limteknisk utveckling inom landet i syfte att aktivera både produktutveckling, marknadsföring inkl. konsulentverksamhet samt praktisk tillämpning och rationell tillverkningskontroll (Lundgren 1979). Svensk limindustri ligger väl framme internationellt och borde få ett aktivt stöd vad gäller limtekniska tillämpningar på flera områden, icke minst inom bärande konstruktioner av trä, även armerat sådant. Men även andra material blir allt intressantare att limma.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800023-6
från Statens råd för byggnadsforskning till Åke Lundgren
Ingeniörsbyrå AB, Nyköping.**

R85: 1985

ISBN 91-540-4422-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705085

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms