



Fuktrörelser och deformationer i stomsystem av trä

Niklas Jordow och Per Enockson

Sektionen för Väg och Vattenbyggnad
Avdelningen för Bärande Konstruktioner
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 Lund

School of Civil Engineering
Department of Structural Engineering
Lund Institute of Technology
Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

Fuktrörelser och deformationer i stomsystem av trä

Deformation in timber framed constructions due to load and varying moisture content

av

Per Enockson
Niklas Jordow

1996

Abstract

This essay is a part of an extensive research project concerning multi-storey timber framed constructions in Sweden, initiated by Södra Timber and the Department of Structural Engineering at Lund Institute of Technology. The major part of the report is dealing with deformations in timber frames due to load and varying moisture content from an experimental point of view. It also includes a field-study of a construction-project, Orgelbänken in the city of Linköping, designed and contracted by Skanska. Orgelbänken is one of the first multi-storey timber framed constructions in Sweden.

Rapport TVBK-5079
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK--5079--SE

Examensarbete

Handledare: Annika Mårtensson

Januari 1996

Förord

Under arbetets gång har vi samlat på oss en mängd nyttiga erfarenheter.

Trä är ett komplicerat material att göra försök med. Materialet är så inhomogent att det blir svårt att få fram provbitar som uppvisar jämförbara egenskaper, då kvistar och lokala densitetsförändringar i provet stör resultaten.

Det har varit stimulerande och intressant att utveckla försöksmetoder och att utvärdera resultaten av dessa. Resultaten av försöken blev av varierande kvalitet, några försök lyckades över förväntan medan några blev sämre. De gånger då resultaten blev bra, d.v.s. då praktiken överensstämde med teorin, fick man en kick och arbetet flöt på enkelt och smärtfritt, men då det gick sämre var det lätt att misströsta.

Det visade sig ganska snart att rapportskrivande inte var den enklaste sak i världen, speciellt inte då man kommit så långt att man anser att rapporten egentligen nästan är klar och det "bara" återstår lite finputsning. Det är då det verkligt tidskrävande arbetet väntar nämligen att formulera sig så att en eventuell läsare förstår vad man menar. Detta är inte det lättaste när man knappt ibland inte ens riktigt själv vet vad man har tänkt sig att man kanske vill ha sagt.

Vi vill tacka vår handledare Annika Mårtensson för stöd och vägledning. P-O Rosenqvist för ovärderlig hjälp med allt som har anknytning till labhallen, Staffan Svensson för hjälp med krånglande datorer och Sven Thelandersson för att vi fick göra detta arbete åt Avdelningen för Bärande Konstruktioner. Vi vill även tacka Conny Sahlin, arbetsledare på Skanskas projekt Kv. Orgelbänken i Linköping, som med den äran skött mätningarna på plats i Linköping.

Lund, januari 1996

Per Enockson

Niklas Jordow

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att få en uppfattning om vilka parametrar som inverkar på deformationerna i trästommar. För att få lite ordning och reda i det komplexa system som en trästomme utgör har vi gjort en hel del laboratorieförsök. Målet med varje försök är att få ner antalet obekanta parametrar och försöka urskilja enskilda variablers inverkan på deformationerna i knutpunkter, t.ex. mellan syll och regel. De parametrar vi undersökte var bl.a. last, spänning och fuktkvot samt deras inverkan på krympning, krypning och elastisk deformation.

I försök 1, som varade i totalt fyra veckor undersöktes lastnivåns, kontaktytans och virkesdimensionernas betydelse för deformationen på syllen. Dessa försök efterföljdes av ett antal korttidsförsök, där lasten ökades tills vi fick en kollaps av systemet. Målet med detta försök var att få en uppfattning om träets E-modul. Samtliga ovannämnda försök gjordes för olika initiella fuktkvoter. Resultaten gav en empirisk modell av hur den totala deformationen såg ut för trä belastat vinkelrätt fibrerna.

Utöver dessa har ett antal fullskaleförsök gjorts för att se hur en komplett knutpunkt mellan yttervägg och bjälklag beter sig under inverkan av last. Här testades olika bärande material, såsom lättbalkar och lamellträbalkar. Det visade sig här bl.a. att lamellträbalken blev ”bäst i test”.

Vi har också utvecklat metoder för mätningar av deformationer vid uppförandet av höga trästommar. Dessa metoder applicerades på ett objekt i Linköping. Där vi mätte snedställningar, vertikala deformationer och bjälklagsnedböjningar.

En utvärdering av resultaten har gett oss nyttiga erfarenheter vad gäller trähusbyggande, men också en kunskap om svårigheterna med experimentell verksamhet.

Innehållsförteckning

<u>1 Inledning</u>	1
1.1 Svenskt trähusbyggande förr och nu	1
1.2 Stomsystem av trä - en översikt	1
1.3 Trästommens för- och nackdelar	2
<u>2 Materialet trä</u>	5
2.1 Klimat- och växtfelsbaserad materialpåverkan	5
2.2 Hållfasthet	6
2.3 Deformationer i trämaterial	6
2.3.1 δ_{el} (elastisk deformation)	7
2.3.1.1 Tryck vinkelrätt fiberriktningen	7
2.3.2 δ_{krymp} (fuktberoende deformation)	9
2.3.3 δ_{kryp} (tilläggsdeformation p.g.a. långtidslast)	10
2.3.4 δ_{ms} (deformation p.g.a. mekanosorption)	10
<u>3 Laboratieförsök</u>	13
3.1 Beskrivning och uppställning	13
3.1.1 Försöksserie 1a och 1b (långtidsförsök)	14
3.1.2 Försöksserie 2 (korttidsförsök)	15
3.2 Resultat av laboratieförsöken	16
3.2.1 δ_{el} (elastisk deformation)	16
3.2.1.1 Försök 1a	16
3.2.1.2 Försök 1b	18
3.2.1.3 Försök 2	20
3.2.1.4 Elasticitetsmodul	20
3.2.1.5 Ett försök att finna värden på den elastiska deformationen med utgångspunkt från deformationsvärden vid fem dygn	22
3.2.1.6 Betydelsen av sylltjockleken	23
3.2.1.7 Betydelsen av belastningslängden	25
3.2.2 δ_{krymp} (fuktberoende deformation)	30
3.2.2.1 Tjocklekskrämpning	31
3.2.2.2 Breddkrämpning	32
3.2.2.3 Jämförelser med teorin	33
3.2.3 δ_{kryp} (tilläggsdeformation p.g.a. långtidslast)	34
3.2.4 δ_{ms} (deformation p.g.a. mekanosorption)	36
3.3 Sammanfattning	39
<u>4 Knutpunktsförsök</u>	41
4.1 Beskrivning och uppställning	41
4.2 Resultat av knutpunktsförsöken	43
4.3 Sammanfattning	44

<u>5 Kvarteret Orgelbänken</u>	45
5.1 Konstruktionsdetaljer	47
5.2 Mätningar - metoder och resultat	49
5.3 Sammanfattning	53
<u>6 Slutsatser</u>	55
<u>7 Litteraturförteckning</u>	57
<u>8 Bilagor</u>	59

1 Inledning

Examensarbetet initierades av Avdelningen för Bärande Konstruktioner på LTH och är en del av ett större forskningsprojekt med inriktning på trähusbyggande. I projektet deltar ett antal forskningsinstitutioner och företag i Norden.

1.1 Svenskt trähusbyggande förr och nu

Sverige har en djupt rotad tradition, vad gäller småhusbyggande i trä. Vi bygger t.ex. snabbt och lätt hus, som Gullrings-, Boro- och LB-hus och det finns en väl utvecklad produktionskedja. Svenska arkitekter och konstruktörer har dock varit förbjudna att bygga i fler våningar än två ända sedan den stora stadsbranden i Sundsvall 1888. De normer som har varit gällande sedan dess har haft mycket strikta bestämmelser gällande byggande i trä; hus i fler våningar än två fick t.ex. ej byggas av brännbara material.

Detta håller nu på att ändras i och med införandet av den nya Europanormen (Eurocode 5). Kraven på brandsäkerhet finns givetvis kvar, men man talar inte längre om brännbara och icke brännbara material utan nöjer sig med att ställa krav på bärförmåga, täthet och isolering. Detta skapar ett helt nytt sätt att tänka, då man står inför byggandet av t.ex. hus i flera våningar. Helt plötsligt har trä blivit ett alternativ, som kan utvecklas och konkurrera med betongalternativet. En tillämpning av de kunskaper vi redan har, vad gäller elementtillverkning av småhus, kan leda till stora vinster med avseende på byggtider och produktionskostnader.

1.2 Stomsystem av trä - en översikt

Man skiljer i huvudsak på två typer av stomsystem av trä. Plattformbyggande (Plattformframing) och stombygge med kontinuerliga väggreglar (Balloonframing), se fig. 1.1. Med plattformbyggande menas att varje våning byggs upp för sig, innan nästa våning monteras ovanpå den föregående.

Vid tillämpning av plattformbyggande förenklas utförandet genom användandet av väggreglar i hanterbara längder. Det ger även en möjlighet till prefabricering av byggnadselement. Sammanslaget leder detta till kortare byggtider och därmed lägre produktionskostnader. Problem kan dock uppstå då många virkesdelar i ett sådant system belastas vinkelrätt fibrerna. Detta kan ge stora deformationer, vilket kommer att behandlas grundligare längre fram i rapporten.

I stombygge med kontinuerliga väggreglar elimineras dessa problem. Reglarna blir dock ofta så långa att utförandet kompliceras.

Det vanligast förekommande stomsystemet är utan vidare plattformsstommen. Exempel på hur plattformsstommen används i praktiken beskrivs i kap. 5.

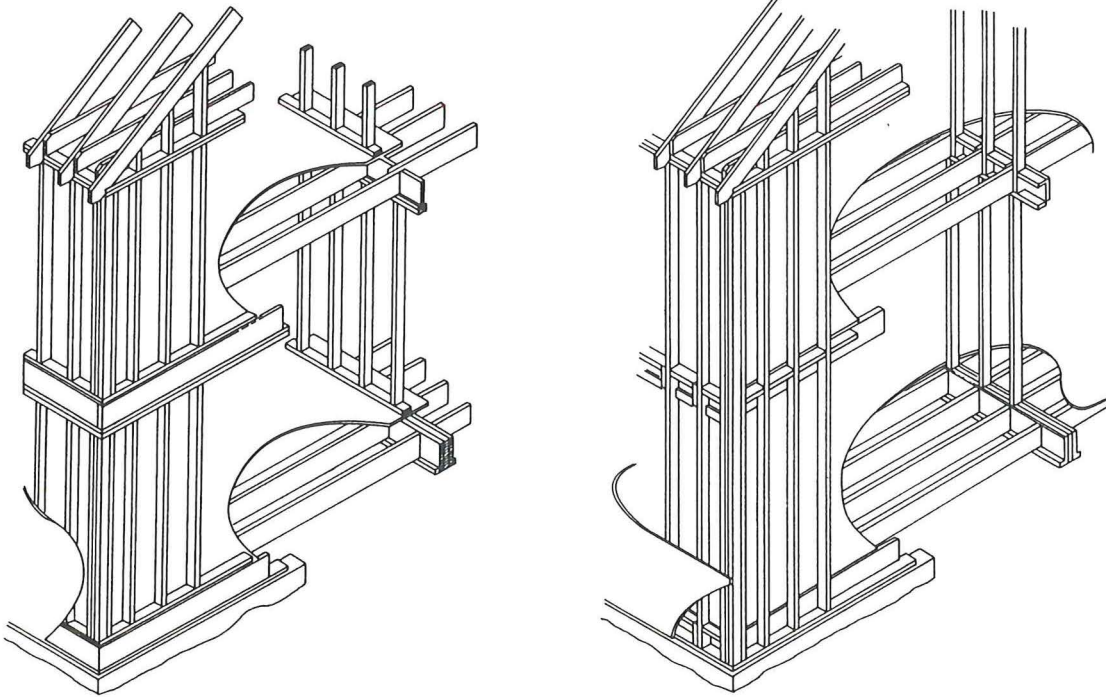


Fig. 1.1 Plattformsstomme

Stomme med kontinuerliga väggreglar

1.3 Trästommens för- och nackdelar

Erfarenheterna på området höga trästommar är i Sverige ganska begränsade av ovan givna anledningar. I USA och Kanada har man länge utvecklat och praktiserat kunskaper på området och byggare där är mycket medvetna om de för- och nackdelar som en trästomme för med sig. Här följer en snabb genomgång av några sådana erfarenheter:

Lägre byggkostnader

Den största fördelen är de låga produktionskostnaderna. Studier i USA har visat att en trästomme är 30 % billigare än en betongstomme och 20 % billigare än en stålstomme. Detta förutsätter givetvis att man kan bygga ”fuktsäkert” så att man i slutändan inte får problem med exempelvis mögel, vilket leder till höga saneringskostnader.

Kortare byggtider

Som vi tidigare nämnt medför plattformbyggnad ett snabbt byggande. T.ex. kan sägas att en grupp på 5 kanadensiska snickare utförde en komplett stomme till ett 150 m² stort tvåvåningshus på 17 arbetsdagar vid en uppvisning i Japan. Detta inklusive all isolering och golvläggning.

Flexibilitet i utformningen

Arkitekter och konstruktörer gillar att jobba med trä. Det ger dem möjlighet att skapa intressanta former och vara kreativa i detaljlösningar utan att priset skjuter i höjden.

Seismologisk motståndskraft

I områden med ofta förekommande jordbävningar har det visat sig att en trästomme klarar dessa påfrestningar bättre än en betongstomme. Detta p.g.a. trästommens flexibilitet i knutpunkterna i jämförelse med en relativt stel betongkonstruktion, som ofta spricker då den utsätts för dynamiska laster.

Brandsäkerhet

Den största svagheten hos en trästomme ligger möjligen i dess svårighet att motstå brand. Det är dock inte ett olösligt problem. Med gipsskivor och speciella så kallade Protect-F skivor skyddas träet så pass lång tid att människor hinner utrymma ett brinnande hus innan det finns risk för kollaps av stommen. Detta behandlas utförligare i ett examensarbete utfört av Roger Svensson, vilket även det är en del av det tidigare nämnda forskningsprojektet.

Akustik

En annan viktig parameter vid byggande av trähus är ljudrörelser. Dessa ljudrörelser kan delas in i:

- stomljud t.ex. stegljud, hissljud
- luftljud t.ex. röster, ljud från stereoapparater

Det är ganska lätt att dämpa luftljuden, medan stomljuden ställer till större problem. Stora ansträngningar måste därför göras för att komma till rätta med dessa olägenheter:

- Det är viktigt, när man planerar lägenheter, att man tänker på att kök och badrum inte kommer för nära angränsande lägenheters sovrum.
- Användandet av s.k. pendlande tak leder till en betydande dämpning av stomljuden.
- Mycket kan också göras åt själva bjälklagsutformningen såsom användandet av akustikprofiler och lättbalkar.

Deformationer

Ett ganska utforskat problem är träets benägenhet att deformeras. Det har visat sig att fuktkvot, belastningstid, uttorkningsförlopp och laststorlek spelar viktiga roller för hur deformationerna i träet kommer att uppträda och vilken storlek de får. Problemen uppstår

Fuktrörelser och deformationer i stomsystem av trä

främst då man har stela fasadbeklädnader, såsom puts och skalmurar. Deformationerna kan då leda till sprickbildning, vilket i sin tur kan ge allvarliga skador på den bärande stommen. Eventuella snedställningar skapar problem med inducerade spänningar i stommen, då t.ex. ett hisschakt gjuts i betong och resten av stommen byggs av trä. Större delen av denna rapport kommer att ägnas åt deformationsproblemen i trästommar.

2 Materialet trä

Trä är ett levande material som naturen själv formar och tilldelar egenskaper. Trädet växer dessutom olika i olika riktningar, vilket gör trä till ett utpräglat anisotropt material. Detta innebär att egenskaperna varierar i dess olika riktningar. Man brukar tala om tre huvudriktningar:

- fiberriktningen (trädet's längdriktning)
- radiell riktning (vinkelrätt årsringarna)
- tangentiell riktning (tangentiellt årsringarna)

Hållfasthet, elastisk deformation och krympning är exempel på egenskaper som varierar beroende på vilken riktning man betraktar. Densitet och porositet påverkas av klimat och växtförhållanden.

Vi ska nu göra en kort redogörelse över de parametrar som styr vilka egenskaper ett trämaterial får.

2.1 Klimat- och växtfelsbaserad materialpåverkan

De materialegenskaper som varierar från träd till träd och även inom samma trädstam p.g.a. klimatet är bl.a. porositeten och densiteten. Kompaktdensiteten är i stort sett densamma för alla träslag oberoende av klimatförhållanden (ca 1500 kg/m^3), men porositeten varierar till följd av olika årsringsbredd och även längs olika snitt i trädstammen. Det sistnämnda är speciellt utpräglat hos furu, där densiteten är lägre i mitt- och topppartierna än i rotpartierna. Porositetsförändringarna leder till variationer i skrymdensiteten. Den torra skrymdensiteten är normalt 460 kg/m^3 för furu och 410 kg/m^3 för gran, vilka är de vanligaste träslagen i konstruktionssammanhang i Sverige. Materialets hållfasthet, elasticitetsmodul och deformationsegenskaper är starkt beroende av densiteten.

Kvistanhopningar medför nedsättningar av draghållfastheten, men de kan även bidra till minskad deformation vid tryckpåverkan p.g.a. deras höga densitet.

Snedfibrighet, orsakad av spiralväxt eller snedsågning, innebär att virkets längdriktning inte följer fiberriktningen. Även detta ger förändringar i materialegenskaperna.

Allt virke som ska användas för konstruktioner kvalitetskontrolleras och delas in i olika kvalitetsklasser. För konstruktionsvirke benämns klasserna T30, T24, T18 och Ö. Sorteringen kan ske antingen visuellt eller maskinellt. Klass T30 motsvarar hållfasthetsklass K30, T24 motsvarar K24 och T18 motsvarar K18. Klass Ö motsvaras av K12.

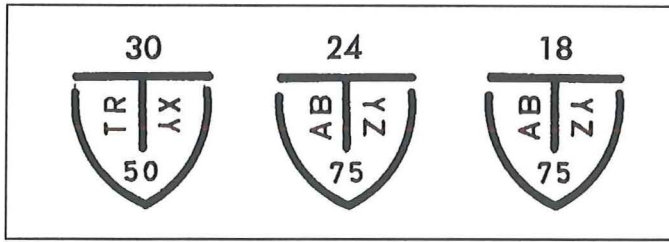


Fig. 2.1 Exempel på märkning av visuellt sorterat T-virke, Träinformation (1990)

2.2 Hållfasthet

Träets hållfasthet är en egenskap som är beroende av anisotropin. Detta innebär att beroende på spänningens riktning, d.v.s. om man utsätter materialet för tryck eller drag, kommer hållfasthetsvärdet att variera kraftigt.

Fukttinnehåll och temperatur påverkar också hållfasthetens storlek, trä får en avtagande hållfasthet med ökande fuktkvot respektive temperatur.

Hållfastheten varierar också med träslaget (se tabell 2.1).

Starkast är trä vid dragning i fiberriktningen och svagast vid tryck vinkelrätt fibrerna.

Träslag	Hållfasthet (MPa)			
	Tryck // fibrer	Böjning // fibrer	Dragning // fibrer	Skjuvning // fibrer
Furu	55	100	104	10
Gran	50	78	90	7
Teak	72	148	119	8

Tabell 2.1 Hållfasthet för några olika träslag, Nielsen (1990).

2.3 Deformationer i trämaterial

När man talar om deformationer i trä är det lätt att villa bort sig bland alla begrepp och parametrar som behövs för att göra en fullständig beskrivning av fenomenet. Materialets anisotropi och fukttinnehåll ger tillsammans med belastningens storlek, angreppsytta och varighet, alla sitt bidrag till det komplexa system som bestämmer träets totala deformation. För att få en uppfattning om detta kan man dela upp den totala deformationen enligt följande modell:

$$\delta_{\text{tot}} = \delta_{\text{el}} + \delta_{\text{krymp}} + \delta_{\text{kryp}} + \delta_{\text{ms}} \quad (2.1)$$

δ_{el} anger den rent elastiska deformationen, δ_{krymp} behandlar krympning och svällning vid fuktkvotsförändringar, δ_{kryp} är krypdeformationen p.g.a. långtidslast. δ_{ms} kallas för deformation p.g.a. mekanosorption. Denna deformation uppstår då trä utsätts för fuktkvotsförändring samtidigt som det belastas med en mekanisk last. Samtliga deldeformationer är starkt beroende av anisotropin.

Ett mål med detta examensarbete är, som tidigare nämnts, att bestämma storleken på den totala deformation som uppstår då trä belastas vinkelrätt mot fiberriktningen. I denna målformulering ingår även att isolera deldeformationerna. Detta för att kunna uppskatta vilka deformationer som uppstår i en godtycklig konstruktionsdel, t.ex. en bjälklagsknutpunkt i ett trähus i flera våningar.

Inledningsvis behandlas teorierna bakom respektive deldeformation. Låt oss börja med att beskriva den elastiska deformationen.

2.3.1 δ_{el} (elastisk deformation)

Trä kan i allmänhet förväntas följa Hooke's lag (dvs $\sigma = \epsilon \cdot E$) för spänningar upp till ca 75% av brotthållfastheten, Nielsen (1990). Elasticitetsmodulen, E , varierar emellertid vid belastning i olika riktningar. Tabell 2.2 visar ungefärliga värden på E -modulen för furu och gran vid 12% fuktkvot.

TRÄSLAG	E-MODUL (MN/m^2)	
	fiberriktning	vinkelrätt fibrerna
Furu	12 000	460
Gran	11 000	550

Tabell 2.2 E-modul för furu och gran vid 12% fuktkvot, Nielsen (1990).

E -modulen ökar för övrigt med ökande densitet samt minskar med ökande fuktkvot och temperatur.

För oss är det främst E -modulen vinkelrätt fibrerna som är intressant, då det där sker störst deformationer, se tabell 2.2.

2.3.1.1 Tryck vinkelrätt fiberriktningen

Vid provtryckning av exempelvis en syll vinkelrätt fibrerna måste man ta hänsyn till effekten av det s.k. stämpeltrycket.

Då endast en del av provkroppen belastas tillför de angränsande obelastade delarna bärfkraft, vilket gör att intryckningen blir mindre än förväntat enligt Hooke's lag. Storleksordningen på intryckningen är, utöver lastnivån, beroende av belastningsytans storlek. En mindre belastningsyta ger liten intryckning jämfört med en större, för samma spänning och sylltjocklek.

I en tvådimensionell betraktelse av en belastad syll kan belastningsytan ses som en belastningslängd (L), se fig. 2.2.

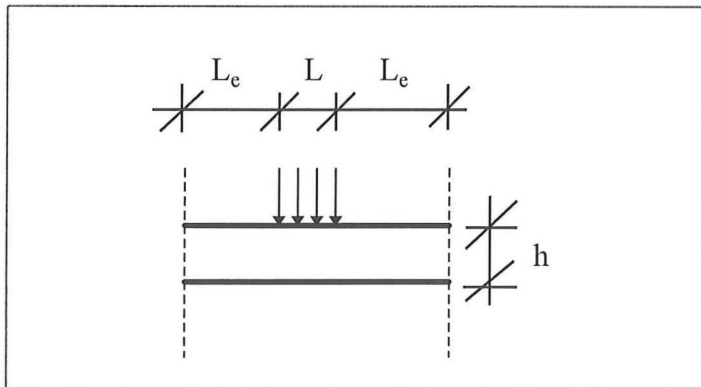


Fig. 2.2 Belstningslängd (L), provkroppens tjocklek (h) och obelastad längd (L_e) vid stämpeltryck.

Carling (1990) beskriver hur effekterna av stämpeltrycket beror på belstningslängden med sambanden 2.2 - 2.4 nedan. κ_c kan anses vara en förstöringsfaktor till E-modulen.

$\kappa_c = 1,8$	för	$L \leq 15 \text{ mm}$	(2.2)
$\kappa_c = \sqrt[4]{\frac{150}{L}}$	för	$15 < L < 150 \text{ mm}$	(2.3)
$\kappa_c = 1,0$	för	$150 \text{ mm} \leq L$	(2.4)

Effekten av stämpeltrycket är även beroende av provkroppens tjocklek (h). En ökad tjocklek ger en minskad töjning ($\epsilon = \delta/h$). Detta behandlar Frater & Thelandersson (1996) och Mårtensson (1995). För att få fram förväntad deformation beräknar de båda spänningen över en fiktiv area A^* , där provkroppstjockleken kommer in som en parameter.

$\sigma = \frac{P}{A^*}$	Hooke's lag ger	(2.5)
$\epsilon = \frac{P}{A^*E}$	eller	(2.6)
$\delta = \frac{P}{A^*E} h$	där	(2.7)
$A^* = b(L + 1.06h)$	om $L_e > 1.6h$	F & T (1996) (2.8)
$A^* = b(L + 0.5h)$		Mårtensson (1995) (2.9)

En stor del av försöken till detta examensarbete har ägnats åt att komma till klarhet med hur effekterna från stämpeltryck verkar i sammansatta konstruktioner.

2.3.2 δ_{krymp} (fuktberoende deformationer)

Trämateriäl innehåller alltid en viss mängd vatten. Vatteninnehållet kallas för träets fuktkvot och anges i procent vatten i förhållande till materialets torra vikt. Vattnet kan vara dels fritt i mellanrummen mellan fibrerna och dels bundet i cellväggarna. Det är det fria vattnet som avges först vid uttorkning. Den fuktkvot vid vilken allt fritt vatten avgivits och endast bundet vatten återstår kallas för fibermättnadspunkten. Denna inträffar för de vanligaste träslagen mellan 25% och 30% fuktkvot. Området under fibermättnadspunkten kallas för det hygroskopiska området. Det är i detta område som de fuktberoende rörelserna sker i trämaterial.

Materialet strävar efter att uppnå fuktjämvikt med omgivningen, vilket leder till stora variationer i fuktkvoten över året, men framförallt från tidpunkten då materialet byggs in till dess det ställt in sig efter omgivande klimat. Därför är det viktigt ur deformationssynpunkt att materialet får torka ut ordentligt innan det byggs in. Ett annat skäl till att torka ut virket innan det byggs in är den positiva effekt man får p.g.a. hysteres i sorptionsisotermen.

Trä krymper då fuktkvoten minskar och sväller då fuktkvoten ökar, men anisotropin gör att deformationerna varierar i de olika huvudriktningarna. Tangentiellt och radiellt sker de största deformationerna. Ungefärliga värden på dessa är 40-60 promille tangentiellt resp 20-30 promille radiellt, vid en RF-ändring på 90-30% för furu och gran. Volymändringen motsvarar ungefär volymen av det vatten som avgår.

Några formler och teorier:

$$\text{Fuktkvot } u = \frac{\text{vikt i fuktigt tillstånd} - \text{vikt i uttorkat tillstånd}}{\text{vikt i uttorkat tillstånd}} \quad (2.10)$$

$$\text{Krympning } \varepsilon_{\text{krymp}} = \frac{(u_2 - u_1)}{u_f} \alpha_f \quad (2.11)$$

u_f = fibermättnadspunkt i %

$u_2 - u_1$ = förändring i fuktkvot

α_f = krympningskonstant, se nedan tabell 2.3

Träslag	Krympning α_f (%)		
	tangentiellt	radiellt	fiberriktning
Furu	7,7	4,0	0,4
Gran	7,8	3,6	0,3

Tabell 2.3 Träets krympning, Nielsen (1990)

2.3.3 δ_{kryp} (tilläggsdeformation p.g.a. långtidslaster)

Då trä belastas med en långtidslast uppstår förutom den momentana elastiska deformationen en tilläggsdeformation, s.k. krypning. Krypdeformationen ökar med tiden om lasten hålls konstant. Den brukar anges som en tidsberoende tilläggstöjning till den elastiska töjningen. Tillägget kallas för kryptal, ϕ . Kryptalet adderas till den elastiska töjningen så att Hooke's lag kan tillämpas, formel 2.12.

Krypningen kan enligt Nielsen (1990) beskrivas med formeln:

$$\phi = at^b \quad \text{där } b \text{ är ca } 0,3 \text{ och } a \text{ är } 1 - 1,5 \text{ då } t \text{ mäts i år.} \quad (2.12)$$

$$\varepsilon = (1 + \phi) \frac{\sigma}{E} \quad (2.13)$$

Detta avser krypning i fiberriktningen. För tvärriktningen är krypningen större.

2.3.4 δ_{ms} (deformation p.g.a. mekanosorption)

Mekanosorption kan beskrivas enkelt som en samverkan mellan mekanisk last och fuktvariationer i materialet. Redan i början av 1960-talet fick man upp ögonen för fenomenet och sedan dess har en mängd försök gjorts för att bestämma mekanosorptionens inverkan på deformationen hos belastade trämaterial.

Det man för närvarande vet kan kort sammanfattas i tre punkter:

- Då fukttinnehållet hålls konstant får man inte några mekanosorptiva effekter.
- Då fukttinnehållet varieras med tiden får man på en belastad provkropp tilläggs deformationer, vilka härrör från mekanosorptionen.
- Tryck ger större mekanosorptiva effekter än drag.

S. Mohager vid KTH i Stockholm har gjort försök som påvisar dessa effekter se fig. 2.3. De två balkarna har samma konstanta last. Den ena balken har dock utsatts för periodisk

varierande uppfuktning respektive uttorkning. De mekanosorptiva effekterna syns tydligt och balken går till kollaps efter 550 dagar.

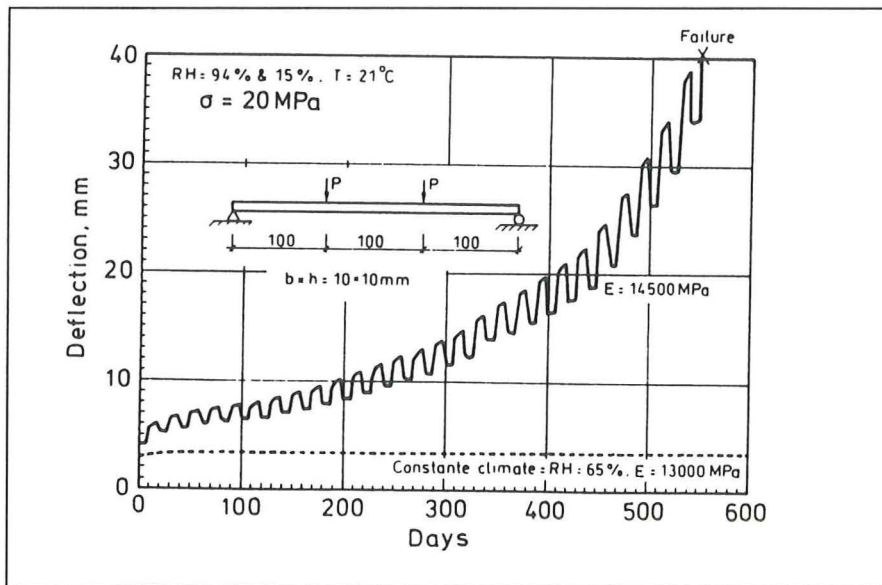


Fig. 2.3 Mekanosorptiva effekter, Mohager (1987)

3 Laborieförsök

Laborieförsöken utfördes under september och oktober månad, 1995, i V-husets labhall på LTH.

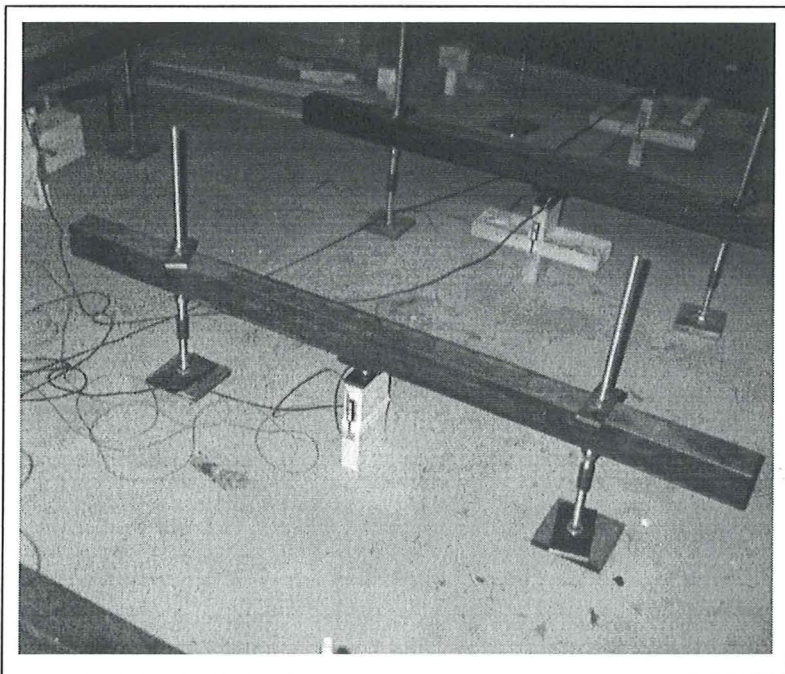


Bild 3.1 Försöksuppställning till försök 1a och försök 1b

3.1 Beskrivning och uppställning

För att kunna särskilja de olika komponenterna i deformationsekvationen gjordes en mängd laborieförsök.

$$\delta_{\text{tot}} = \delta_{\text{el}} + \delta_{\text{krymp}} + \delta_{\text{kryp}} + \delta_{\text{ms}} \quad (2.1)$$

Dessa ställdes upp och genomfördes enligt följande:

3.1.1 Försöksserie 1a och 1b (långtidsförsök)

Nio försöksuppställningar ”riggades”:

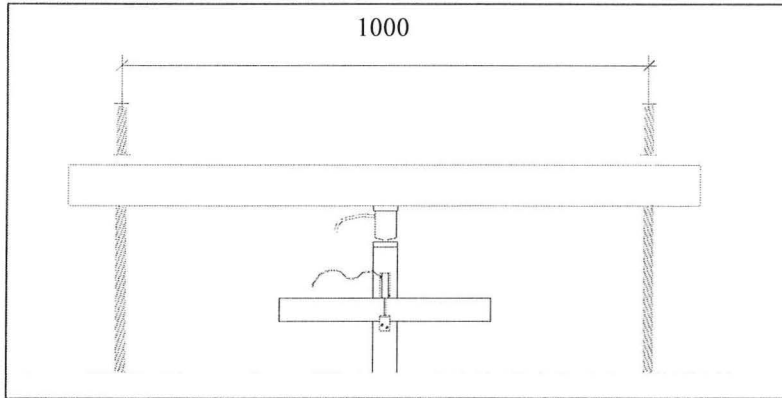


Fig. 3.1 Laborationsuppställning 1a och 1b

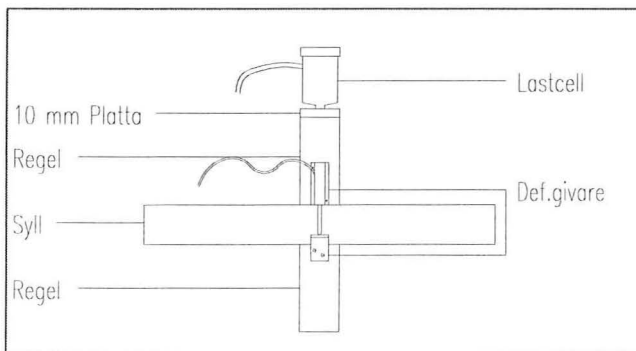


Fig. 3.2 Detalj av provkroppen.

Laborationsuppställningarna består av stålbalkar (VKR 80), vilka är inspända med gängstänger (se fig. 3.1) genom labhallens våningsbjälklag. Dimensionerna på regler och syllar valdes till 45 x 120 vilket är en vanligt förekommande dimension i konventionella trästommar. Samtligt virke är av hållfasthetsklass K 12.

För att få fram jämförbara värden på deformationerna belastas alla försöksuppställningar med en konstant spänning. 14 kN visade sig vara en bra lastnivå för uppställningarna med enkel regel vilket gav en spänning på 2,6 MPa. Detta motsvarar ungefär den last som förs ned per regel på bottenvåningen i ett fyra- till femvåningshus. För fallet med fyra belastade regler (se kap. 3.2.1), fås vid den valda spänningen en last på 56 kN, vilket också är maxvärdet för våra lastceller.

Lasten påföres genom att muttrarna på gängstängerna dras åt tills rätt last avläses på den till lastcellerna uppkopplade datorn. Lasten hålls sedan konstant genom att muttrarna dras åt med jämna mellanrum.

Deformationsgivarna monteras så att de mäter deformationen över hela syllen, d.v.s. det material vilket är belastat tvärs fiberriktningen.

Litteraturstudier visar att elasticitetsmodulen är starkt beroende av fuktkvoten. För att kunna jämföra de olika resultaten är det därför viktigt att noga följa fuktkvotsvariationen i virket under försökstiden, vilket ombesörjdes genom vägning av en kontrollkropp med jämna mellanrum.

Innan försöket påbörjades fuktades virket upp till ca 18% fuktkvot i klimatrum. Det fick sedan torka ut till ca 12% (jämvikt med labhallsklimatet) under försökets gång, se bilaga 1 och bilaga 3. Fuktkvoten bestämdes gravimetriskt.

3.1.2 Försöksserie 2 (korttidsförsök)

Dessa försök genomfördes för att ta reda på elasticitetsmodulen för trä då det belastas vinkelrätt mot fiberriktningen. Försöken ställdes upp på samma sätt som i fig. 3.2, men till skillnad från fig. 3.1 placerades uppställningen i en rigg där last påfördes tills systemet kollapsade, se bild 3.2. Under hela pålastningen registrerades deformationen i en mättdator. Förhållandet mellan spänning och deformation kunde därmed påvisas och vidare ge ett värde på elasticitetsmodulen. För att få reda på E-modulens fuktberoende gjordes försöken med tre olika fuktkvoter, helt uppfuktat, uppfuktat i klimatrum (RF=93%) samt med virke i jämvikt med labhallens klimat.

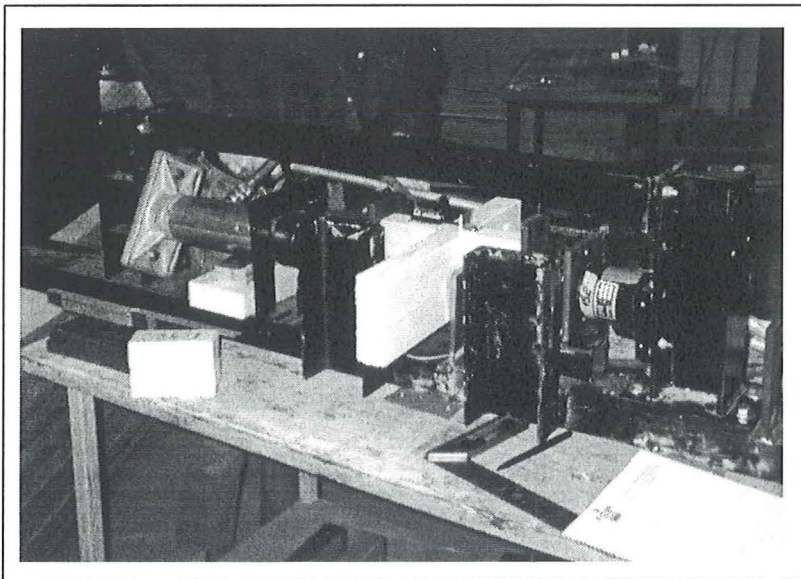


Bild 3.2 Försöksuppställning till försök 2.

3.2 Resultat av laborieförsöken

3.2.1 δ_{el} (elastisk deformation)

Den rena elastiska deformationen beskrivs som tidigare nämnts enklast med Hooke's lag:

$$\varepsilon = \frac{P}{A^*E} \quad (2.6)$$

eller

$$\delta = \frac{P}{A^*E} h \quad (2.7)$$

För syllar och hammarband måste man beakta effekter av belastningslängden L och av den obelastade längden utanför L . även syllens tjocklek kan ha effekt på deformationens storlek. För att få en uppfattning om detta har vi gjort två typer av försök. Dels försök 1a där vi har varierande sylltjocklek och konstant belastningslängd och försök 1b där vi varierar belastningslängden men håller tjockleken konstant.

3.2.1.1 Försök 1a

Försök 1a innehöll följande kombinationer (se fig 3.3):

- RS - en regel på en syll
- RSS - en regel på två syllar
- RSSS - en regel på tre syllar

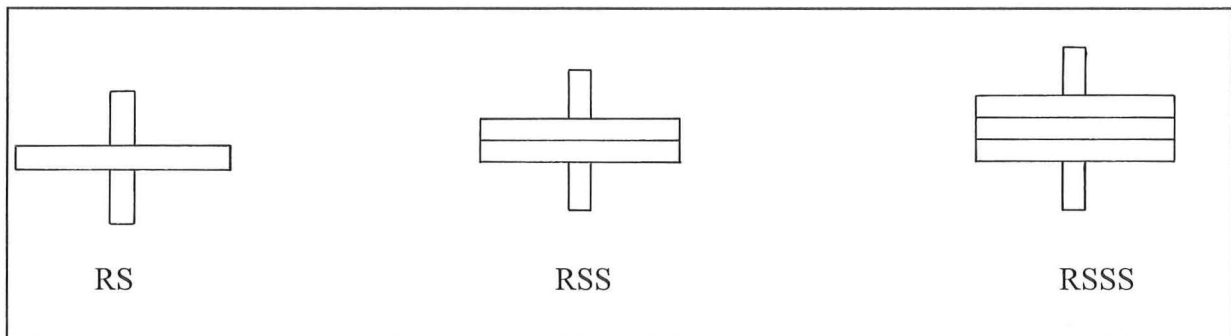


Fig 3.3 Försök 1a (varierande sylltjocklek)

Försök 1a gjordes för utröna sylltjocklekens inverkan på stämpeltrycket. Resultaten av försöken redovisas i diagram 3.1 och 3.2

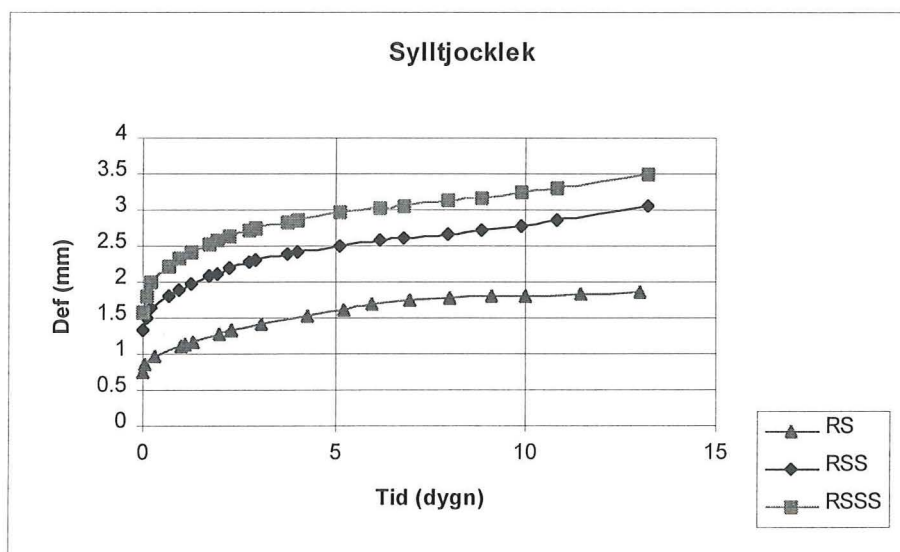


Diagram 3.1 Resultat försök 1a

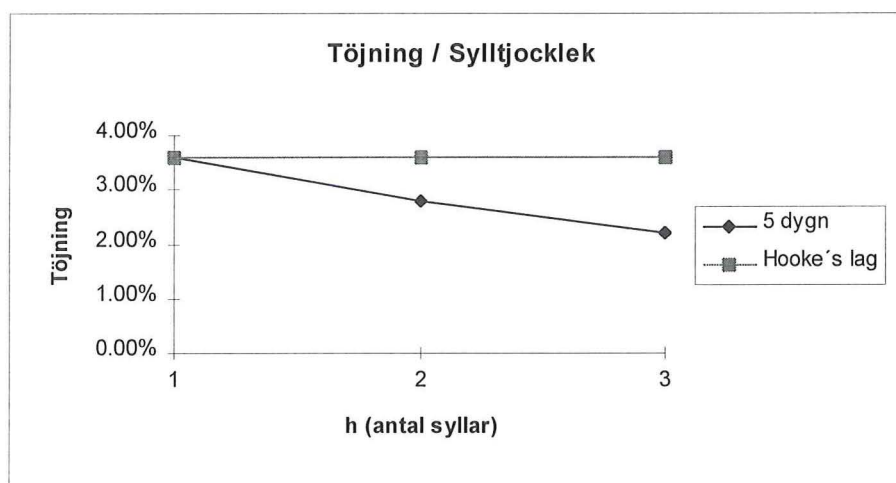


Diagram 3.2 Töjningens variation med ökande sylltjocklek

Töjningen minskar med ökad sylltjocklek, se diagram 3.2. Detta stöder de ekvationer i kapitel 2.3.1.1 som anger att ϵ skulle minska med ökande h , ekv. 2.8 och 2.9. En jämförelse kan göras med de töjningar som hade fåttts om Hooke's lag tillåtit råda ensam, se diagram 3.2.

3.2.1.2 Försök 1b

Försök 1b innehöll följande kombinationer, se fig 3.4:

- RS - en regel på en syll
- RRS - två regler på en syll
- RRRS - tre regler på en syll
- RRRRS - fyra regler på en syll
- RKS- en regel på kortsyll

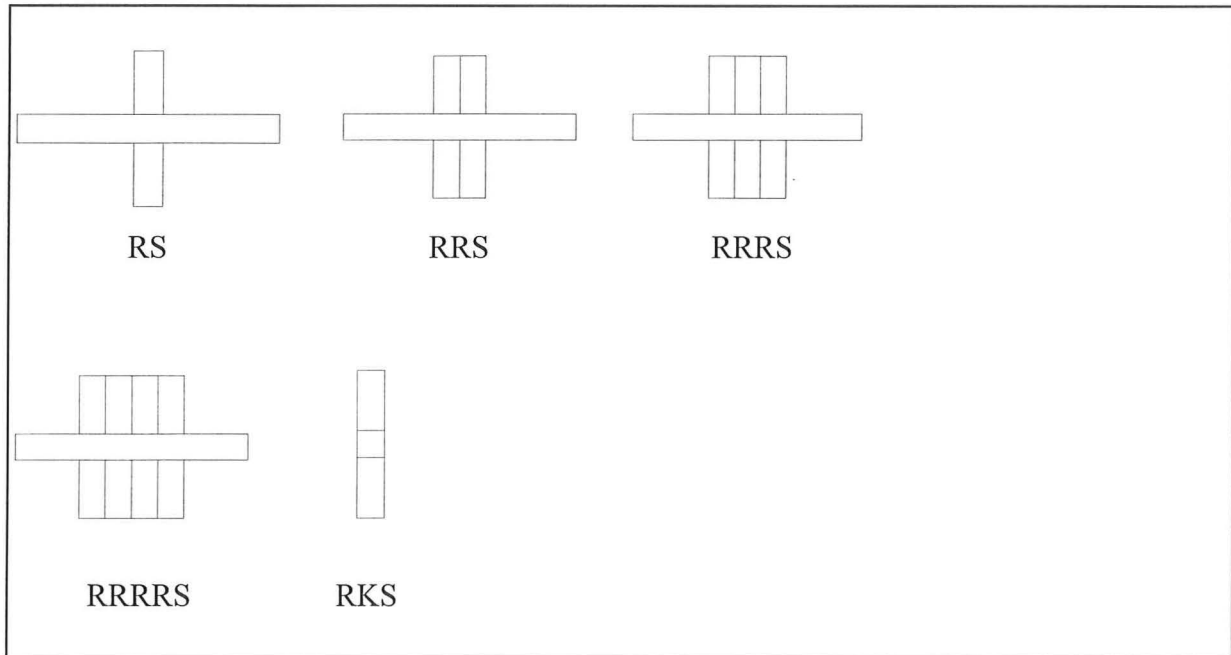


Fig 3.4 Försök 1b (varierande belastningslängd)

Försök 1b syftade till att ta reda på stämpeltryckseffekterna av varierande belastningsbredd. Kombinationen RKS gjordes för att efterlikna fallet med oändlig belastningslängd.

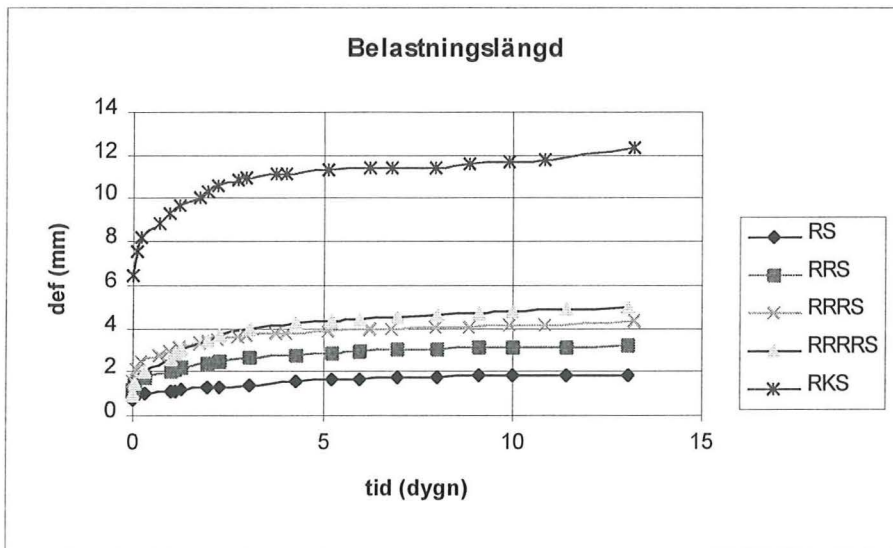


Diagram 3.3 Resultat av försök 1b

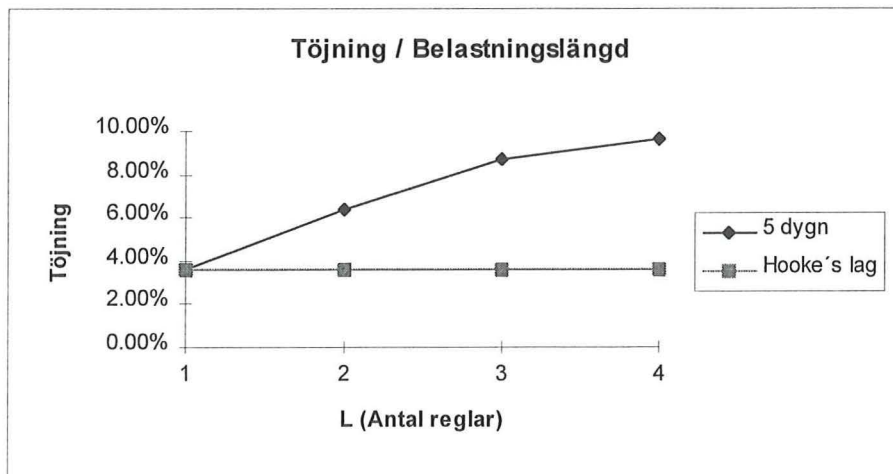


Diagram 3.4 Töjningens variation med ökande belastningslängd

Resultaten av försök 1b visar på att töjningarna ökar med ökande belastningslängd, se diagram 3.4. Om inte effekterna från stämpeltrycken hade funnits, skulle enligt Hooke's lag töjningen varit konstant för alla kombinationerna i Försök 1b.

En målsättning med ovanstående försök, 1a och 1b, var att försöka skapa en modell som beskriver hur trä deformeras med hänsyn tagen till stämpeltrycket. Detta kan göras genom att ersätta belastningsarean A i formel 2.6 och 2.7 med en fiktiv belastningsarea A^* , vars storlek beror på belastningslängd och sylltjocklek. Mer om detta följer under kapitel 3.2.1.6 och 3.2.1.7.

3.2.1.3 Försök 2

Försöksserie 2, kortidsförsöken, genomfördes som tidigare nämnts med målsättning att finna en elasticitetsmodul för trämaterial, vilket är belastat vinkelrätt mot fibrerna.

Försök 2 innehöll följande kombinationer, se fig 3.4:

RS -	en regel på en syll
RKS -	en regel på kortsyll

Provtryckningar utfördes på provkroppar med fuktkvoterna 12%, 18% och 37% för båda kombinationerna, RS och RKS, med två försök för varje fuktkvot och kombination.

RKS-försöken gav inte några användbara resultat p.g.a.:

- Provkroppen snedställdes tidigt under belastningsförloppet och systemet kollapsade vid relativt låg last.
- Snedställning ledde i några fall även till att provuppställningen kom i kontakt med delar av riggen, vilket ledde till ökad styvhet i systemet.

Resultaten av RS-försöken kan däremot användas för att få en uppfattning om elasticitetsmodulens fuktberoende.

3.2.1.4 Elasticitetsmodul

Under försöksserie 1 gjordes ett antal RS-försök med avsikt att undersöka elasticitetsmodulens fuktkvotsberoende. Även kortidsförsöken (försök 2) genomfördes med samma målsättning.

Ur diagram 3.5 kan man utläsa att den elastiska deformationen och därmed också E-modulen är närapå konstant för fuktkvoter mellan 12% och 18%. Det är t.o.m. så att den elastiska deformationen är något större för 12% än för 18% fuktkvot, vilket kan förklaras med att det finns en stor osäkerhet m.a.p. den elastiska deformationen i dessa försök. För uppställningarna med 37% fuktkvot är den elastiska deformationen nästan tre gånger så stor, vilket innebär att E-modulen endast är en tredjedel mot vad den är för de båda torrare försöken.

En förklaring till att skillnaden är så stor är att en fuktkvot på 37% befinner sig över fibermättnadspunkten och att det fria vattnet som då finns i träet pressas undan då det sätts under tryck och vi får en initiell deformation som endast härrör från vattenavgången.

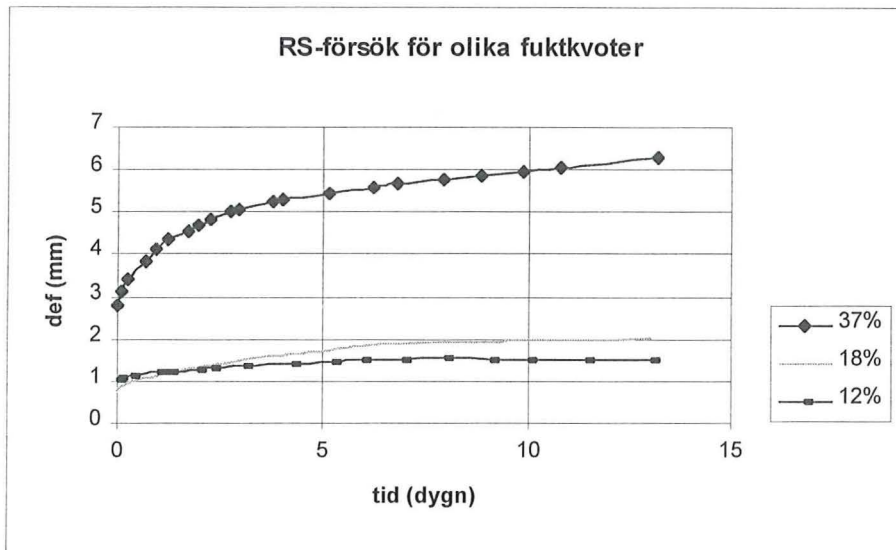


Diagram 3.5 Deformationer för regel på syll-försök med olika fuktkvoter

Diagram 3.6 visar E-modulerna för RS-uppställningar med 12% resp 37% fuktkvot. E-modulen representeras av lutningen på kurvan i last- töjningsdiagrammet. Man ser även här att E-modulen är betydligt lägre för de fuktigare syllarna. De E-moduler som ges av diagram 3.6 gäller som sagt för RS-syllar. E-modulerna är därför högre än vad de skulle ha varit om man inte hade fått tillgodoräkna sig effekter från stämpeltrycket.

En E-modul för tryckt trä, utan dessa inverknings, kunde inte fås fram med dessa försök, så vi får nöja oss med att konstatera att E-modulen är starkt fuktberoende.

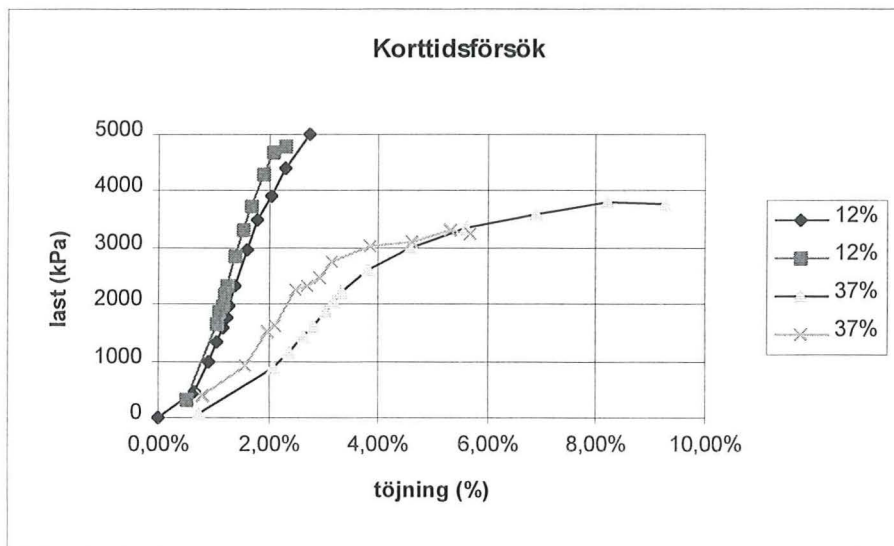


Diagram 3.6 Last- töjningsdiagram för korttidsförsöken.

3.2.1.5 Ett försök att finna värden på den elastiska deformationen med utgångspunkt från deformationsvärden vid fem dygn.

Följande resonemang bygger på de formler av Frater & Thelandersson (1996) och Mårtensson (1995) som tidigare beskrivits.

$$\varepsilon = \frac{P}{A^*E} \quad \text{eller} \quad (2.6)$$

$$\delta = \frac{P}{A^*E}h \quad \text{där} \quad (2.7)$$

$$A^* = b(L + 1.06h) \quad \text{om } L_e > 1.6h \text{ (se fig. 2.2) F \& T (1996)} \quad (2.8)$$

$$A^* = b(L + 0.5h) \quad \text{Mårtensson (1995)} \quad (2.9)$$

Resultaten av försök 1a och 1b ger inte någon bra uppfattning om den elastiska deformationen. Deformationen under de två första dygnen är t.ex. större för RRRS än för RRRRS, se diagram 3.3, vilket helt bestrider teorin om stämpeltryckets effekt. Försöket att finna en elasticitetsmodul för trä som belastas vinkelrätt mot fibrerna gav inte heller några användbara resultat. Det blir därför svårt att finna något reellt värde på de elastiska deformationerna vid försök som dessa.

Vi kan däremot göra relativa jämförelser mellan deformationerna för olika kombinationer i förhållande till en referenskombination. Som referens används RS-kombinationen.

Nedan följer en beskrivning av hur den elastiska deformationen för referensen RS tas fram, samt hur de jämförande värdena för övriga kombinationer beräknas.

Tabellerna 3.1 och 3.2 visar på att den procentuella ökningen från ett tidssteg till ett annat är konstant för varje kombination.

Regelbredd	δ_{L5} (mm) (5 dygn)	δ_{L11} (mm) (11 dygn)	Def. ökning δ_{L11}/δ_{L5}
L= 45mm	1,6	1,8	1,1
L= 90mm	2,9	3,2	1,1
L= 135mm	3,9	4,2	1,1
L= 180mm	4,3	4,9	1,1

Tabell 3.1 Procentuell deformationsökning mellan två tidssteg.

Sylltjocklek	δ_{L5} (mm) (5 dygn)	δ_{L11} (mm) (11 dygn)	Def. ökning δ_{L11}/δ_{L5}
h=45mm	1,6	1,8	1,1
h= 90mm	2,5	2,9	1,2
h= 135mm	3,0	3,3	1,1

Tabell 3.2 Procentuell deformationsökning mellan två tidssteg.

Det kan därmed antas att det förhållande som råder mellan deformationerna vid 5 dygn, för de olika kombinationerna, även råder vid pålastningstillfället, 0 dygn. Deformationen för referensen RS vid 0 dygn sätts till 1,0 längdenheter. Deformationerna för övriga kombinationer räknas upp lika mycket, procentuellt sett, som försöksresultaten efter 5 dygn indikerar, se tabell 3.1 och 3.2. De antagna deformationerna vid 0 dygn visas i tabell 3.3 och 3.4.1.

Man gör härmed en ganska grov approximation då ingen hänsyn tas till skillnader i krympning, krypning och mekanosorption mellan de olika kombinationerna, men dessa skillnader bör inte vara så stora att de gör någon större inverkan på slutresultatet.

3.2.1.6 Betydelsen av sylltjockleken

Syllens tjocklek är en viktig parameter att ta hänsyn till då man talar om stämpeltryck. En ökad tjocklek ger en minskad töjning, p.g.a. att kraften fördelar sig över en större fiktiv area ju större tjocklek man har. Detta ger en lägre spänning vilket i sin tur leder till minskad töjning. I tabell 3.3 jämförs de uppmätta värden och de, med referensen som grund, framtagna värdena vid 0 dygn med värdena enl. Mårtensson (1995) och F&T (1996).

Följande ekvationer kommer av ekvationerna 2.6 - 2.9, där L och h är regelbredden respektive sylltjockleken och n är antalet syllar travade på varandra.

$$\delta_{h,ref} = \frac{P}{b(L + 0,5h)E} h \quad \text{Mårtensson (1995)} \quad (3.1)$$

$$\delta_{nh} = \frac{P}{b(L + 0,5nh)E} nh \quad \text{Mårtensson (1995)} \quad (3.2)$$

$$\delta_{h,ref} = \frac{P}{b(L + 1,06h)E} h \quad \text{F \& T (1996)} \quad (3.3)$$

$$\delta_{nh} = \frac{P}{b(L + 1,06nh)E} nh \quad \text{F \& T (1996)} \quad (3.4)$$

$$\delta_h^{rel} = \frac{\delta_{nh}}{\delta_{h,ref}} \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_h^{rel} = \frac{\delta_h^{rel}}{n} \quad (3.6)$$

Insättning av 3.1 och 3.2 respektive 3.3 och 3.4 i 3.5 ger:

$$\delta_h^{rel} = \frac{\delta_{nh}}{\delta_{h,ref}} = \frac{\frac{P}{b(L+0,5nh)E}nh}{\frac{P}{b(L+0,5h)E}h} = \frac{n(L+0,5h)}{(L+0,5nh)} \quad \text{Mårtensson (1995)}$$

I detta fallet är $h = L = 45$ mm vilket ger:

$$\delta_h^{rel} = \frac{n(1+0,5)}{(1+0,5n)}$$

och

$$\varepsilon_h^{rel} = \frac{(1+0,5)}{(1+0,5n)} \quad \text{Mårtensson (1995)}$$

respektive

$$\delta_h^{rel} = \frac{n(1+1,06)}{(1+1,06n)}$$

och

$$\varepsilon_h^{rel} = \frac{(1+1,06)}{(1+1,06n)} \quad \text{F \& T (1996)}$$

	Uppmätt värde (δ_h) (5 dygn)	(δ_h^{rel}) (0 dygn)	(ε_h^{rel}) (0 dygn)	Mårtensson (δ_h^{rel})	Mårtensson (ε_h^{rel})	F & T (δ_h^{rel})	F & T (ε_h^{rel})
n = 1	1,6	1,0 (ref.)	1,0 (ref.)	1,0	1,0	1,0	1,0
n = 2	2,5	1,6	0,8	1,5	0,75	1,32	0,66
n = 3	3,0	1,9	0,6	1,8	0,6	1,48	0,5

Tabell 3.3 Jämförelser mellan uppmätta värden och värden enligt Mårtensson respektive F & T.

Vid en jämförelse mellan ε_h för 0 dygn och ε_h^{rel} enligt Mårtensson respektive F & T, finner man att Mårtenssons formel stämmer bäst i det här fallet. Därför kommer Mårtenssons formel att användas fortsättningsvis då belastningslängdens betydelse behandlas.

3.2.1.7 Betydelsen av belastningslängden

Carling (1990) ger följande samband med hänsyn tagen till regelbredden vid stämpeltryck:

$$\kappa_c = 1,8 \quad \text{för} \quad mL \leq 15 \quad (2.2)$$

$$\kappa_c = 4\sqrt{\frac{150}{mL}} \quad \text{för} \quad 15 < mL < 150 \text{ mm} \quad (2.3)$$

$$\kappa_c = 1,0 \quad \text{för} \quad 150 \leq mL \quad (2.4)$$

där κ_c kan ses som en förstoringfaktor till E- modulen. L är regelbredden, vilken i det här fallet är 45 mm och m är antalet regler bredvid varandra.

I tabell 3.4.1 visas de uppmätta värdena vid tiden 5 dygn tillsammans med värdena efter 0 dygn och värden enligt Carling.

$$\varepsilon_{L,ref} = \frac{\sigma}{\kappa_c E} \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_{mL} = \frac{\sigma}{\kappa_c E} \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_L^{rel} = \frac{\varepsilon_{mL}}{\varepsilon_{L,ref}} \quad (3.9)$$

Belastningslängd (mL)	Uppmätt värde (δ_L) (5 dygn)	(ε_L^{rel}) (0 dygn)	(ε_L^{rel}) Carling
45 mm	1,6	1,0	1,0
90 mm	2,9	1,8	1,18
135 mm	3,9	2,4	1,31
180 mm	4,3	2,7	1,35

Tabell 3.4.1 Jämförelse mellan uppmätta värden och beräknade värden enligt Carling (1990).

Som synes är överensstämmelsen inte speciellt god. T.ex. är i försöken töjningen för mL = 180 dubbelt så stor som motsvarande ε_L^{rel} enligt Carling.

I försöksresultaten syns tydligt att belastningslängden är av stor betydelse för hur stora deformationer man får i en konstruktionsdel. Det är därför av intresse att införa betydelsen av belastningslängden, mL, i Mårtenssons formel.

Vi ansätter:

$$A_{L,ref}^* = bf(1)(L + 0.5h) \quad (3.10)$$

$$A_{mL,nh}^* = bf(m)(mL + 0.5nh) \quad (3.11)$$

relativ töjning:

$$\varepsilon_{L,ref} = \frac{P_L}{A_{L,ref}^* E} \quad ; \quad P_L = \sigma b L \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_{mL,nh} = \frac{P_{mL,nh}}{A_{mL,nh}^* E} \quad ; \quad P_{mL,nh} = \sigma b m L \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_L^{rel} = \frac{\varepsilon_{mL,nh}}{\varepsilon_{L,ref}} \quad (3.14)$$

$$\varepsilon_L^{rel} = \frac{\varepsilon_{mL,nh}}{\varepsilon_{L,ref}} = \frac{\frac{\sigma b m L}{A_{mL,nh}^* E}}{\frac{\sigma b L}{A_{L,ref}^* E}} = \frac{mf(1)(L + 0,5h)}{f(m)(mL + 0,5nh)} \quad (3.15)$$

för $L = h = 45 \text{ mm}$:

$$f(m) = \frac{mf(1)(1 + 0,5)}{(m + 0,5n)\varepsilon_L^{rel}}$$

ε_L^{rel} är de uppmätta värdena på töjningen enligt tabell 3.4.1 och n är i samtliga fall 1.

m	ε_L^{rel}	f(m)
1	1	f(1)
2	1,8	0,6667f(1)
3	2,4	0,5357f(1)
4	2,7	0,4938f(1)

Tabell 3.4.2

Dessa värden plottas i diagram 3.7

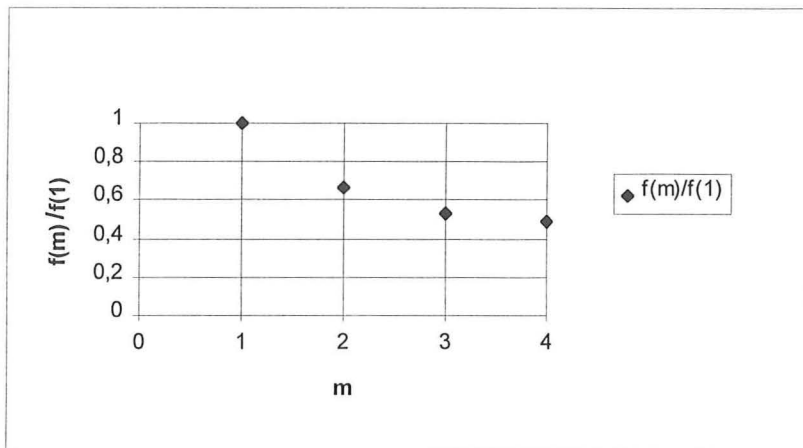


Diagram 3.7 $f(1)/f(1)$, $f(2)/f(1)$, $f(3)/f(1)$, $f(4)/f(1)$

Formen på en antagen kurva, som punkterna formar, liknar en $f(x) = 1/x$. Vi antar funktionen:

$$f_c(m) = \frac{a}{(m-b)} + c \quad (3.16)$$

För att A^* skall gå mot A då m går mot oändligheten ansätts att $f_c(m)$ går mot 1 då m går mot oändligheten d.v.s. $c = 1$. Då kan ekvationssystemet lösas:

$$f_c(1) = \frac{a}{(1-b)} + c = 1,0 f(1)$$

$$f_c(2) = \frac{a}{(2-b)} + c = 0,6667 f(1)$$

$$f_c(4) = \frac{a}{(4-b)} + c = 0,4938 f(1)$$

$$\text{ger: } a = 2,27; \quad b = -0,05; \quad c = 1,0$$

för att hyfsa formeln sätts $a = 2,3$; $b = 0$; $c = 1,0$;

I diagram 3.8 plottas kurvan $f_c(m)$ och jämförs med våra uppmätta värden, $f(1)$, $f(2)$, $f(3)$ och $f(4)$. Det framgår tydligt att $f_c(m)$ är ett bra antagande så $f(m)$ ges direkt ur $f_c(m)$.

$$f(m) = f_c(m) = \frac{2,3}{m} + 1,0 \quad (3.17)$$

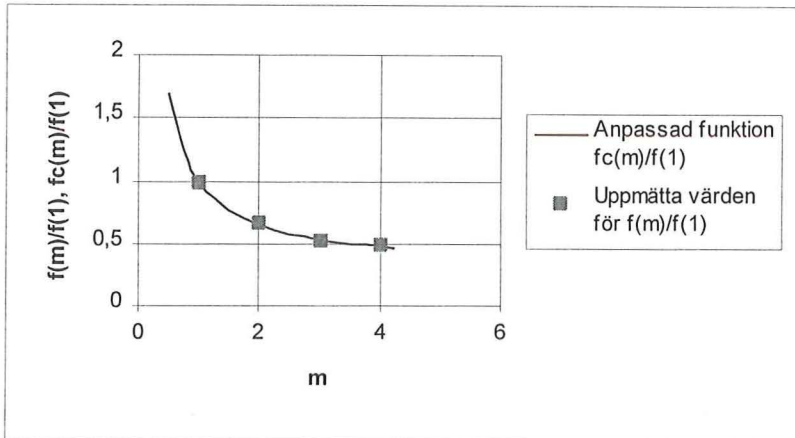


Diagram 3.8 $f_c(m)/f(1)$ plottad tillsammans med $f(m)/f(1)$

Därmed finns det ett samband mellan deformationen och belastningslängd respektive sylltjocklek:

$$\delta_{cl} = \frac{P}{A^* E} nh$$

där

$$A^* = b \left(\frac{2,3}{m} + 1 \right) (mL + 0,5nh)$$

; L, h = regelbredd resp. sylltjocklek

; m, n = antal reglar bredvid varandra resp. syllar travade ovanpå varandra

Om man som i det här fallet saknar en giltig E-modul kan man ändå göra relativa jämförelser mellan deformationer eller tøjningar för olika kombinationer. Detta görs nedan:

$$\varepsilon_L^{rel} = \frac{1,5mf(1)}{f(m)(m + 0,5n)} \quad (3.15)$$

$$f(m) = \frac{2,3}{m} + 1,0 \quad (3.17)$$

Värdena för $\varepsilon_{L,h}^{rel}$ redovisas nedan i tabell 3.5, där $L = h = 45$ mm.

Belastningslängd (antal regler)

Sylltjocklek (antal syllar)	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = ∞
n = 1	1,0 (ref)	1,8	2,4	2,8	5,0
n = 2	0,75	1,5	2,1	2,5	5,0
n = 3	0,6	1,3	1,9	2,3	5,0

Tabell 3.5 Töjningar för olika kombinationer att jämföra med referenskombinationen RS

Värdena i tabell 3.5 är de framräknade värdena på ϵ för olika kombinationer insatta i den modifierade formeln som nu tagits fram. I en jämförelse med de uppmätta värdena på ϵ^{rel} i tabell 3.3 och tabell 3.4.1 ser man att överensstämmelsen är god, för samtliga kombinationer där jämförelse kan göras, d.v.s. för kombinationerna i första raden och första kolumnen. För värdet med oändligt antal regler görs jämförelse med RKS i diagram 3.3. Den momentana deformationen för RS, d.v.s. den kombination med vilken alla jämförelser görs, är här 0,85mm och för RKS ca. 7 mm. Deformationen för RKS borde enligt formeln ha varit 5 * deformationen för RS = 4,25 mm. Skillnaden är ganska stor, vilket kan förklaras enligt följande:

- Syllarna låg i samma klimatrums under lika lång tid. Tiden var dock för kort för att de skulle ställa in sig helt efter rådande klimat. RKS kan, p.g.a. att den är mindre, därför ha blivit fuktigare än RS och därmed deformerats mer än förväntat (se kap 3.2.2).
- Försöket med RKS gjordes endast i ett exemplar. Detta ger en större osäkerhet än försöket med RS, vilket gjordes i två exemplar.
- Det är inte säkert att en kort syll som belastas över hela sin längd är helt jämförbar med en oändligt lång syll belastad över hela dess längd.
- De initiella deformationerna är som tidigare nämnts känsliga för störningar, vilket gör det svårt att jämföra de elastiska deformationerna, 0,85 mm och 7 mm, för RS och RKS.

Sammanfattningsvis kan sägas att de framtagna formlerna ger en god approximation till vad som händer ur deformationssynpunkt, då belastningslängd respektive sylltjocklek ändras. Vad som dock saknas, för att kunna bestämma den elastiska deformationen för en godtycklig konstruktionsdel med trä belastat vinkelrätt mot fiberriktningen, är en väl definierad elasticitetsmodul.

3.2.2 δ_{krymp} (fuktberoende deformationer)

Då ett trämaterials fuktkvot går från en högre till en lägre nivå krymper det, vilket är en deformation endast beroende på fuktavgång. Detta har behandlats tidigare ur en teoretisk synvinkel och det är nu dags att titta på vad som händer i praktiken.

Krympningsförsöket gick till på följande sätt:

En noga tillsågad träkloss med dimensionerna 140 x 120 x 45 (längd x bredd x tjocklek) fuktades i klimatrum med RF=93%. Efter ungefär fyra veckor plockades provbiten ut och mätningarna inleddes. Vid varje mätning vägdes provbiten för att kontrollera fuktkvoten. Då uttorkningen avstannade lades provbiten i en ugn för att torrvikten skulle erhållas.

Med skjutmått mättes åtta olika punkter i alla tre riktningarna:

- I provbitens längd, mätpunkt 1 och 2
- Provbitens bredd, mätpunkt 3 och 4
- Provbitens tjocklek, mätpunkt 5, 6, 7 och 8

Mätpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8
24/10	139,95	140,1	124,9	124,2	44,9	45,0	44,4	44,4
25/10	139,5	140,0	122,3	122,9	44,4	44,5	43,8	43,8
26/10	139,5	140,0	122,0	122,0	44,3	44,4	43,8	43,7
29/10	139,5	140,1	120,9	120,9	44,1	44,2	43,5	43,4
1/11	139,5	140,1	120,2	120,2	44,0	44,2	43,4	43,4
2/11	139,4	140,0	119,8	119,8	43,9	44,1	43,4	43,2
4/11	139,4	140,0	119,2	119,7	43,8	44,0	43,3	43,1
6/11	139,4	140,0	119,1	119,2	43,8	44,0	43,3	43,1
13/11 (torr)	139,3	139,9	116,3	116,3	43,3	43,4	42,7	42,5

Tabell 3.6 Mätresultat från krympningsförsöken.

I tabell 3.6 syns tydligt vilka riktningar, som behöver beaktas. Krympningen i längdriktningen är till det närmaste försumbar (0.2 mm). Bredden och tjockleken har procentuellt krympt ungefär lika mycket. Vi ska nu titta lite närmare på hur tjockleken och bredden krymper med varierande fuktkvot.

3.2.2.1 Tjocklekskrypning

Datum	24/10	25/10	26/10	29/10	1/11	2/11	4/11	6/11	13/11 (torr)
Fuktkvot	25,64%	20,93%	18,26%	14,59%	12,50%	11,55%	10,15%	9,52%	0%
Mätpunkt 5	0	1,11%	1,34%	1,78%	2,0%	2,23%	2,45%	2,45%	3,56%
Mätpunkt 6	0	1,11%	1,33%	1,78%	1,78%	2,0%	2,22%	2,22%	3,56%
Mätpunkt 7	0	1,35%	1,35%	2,03%	2,25%	2,25%	2,48%	2,48%	3,83%
Mätpunkt 8	0	1,35%	1,58%	2,25%	2,25%	2,70%	2,93%	2,93%	4,28%

Tabell 3.7 Krymptöjningar från uppfuktad till torr provbit för tjockleksriktningen.

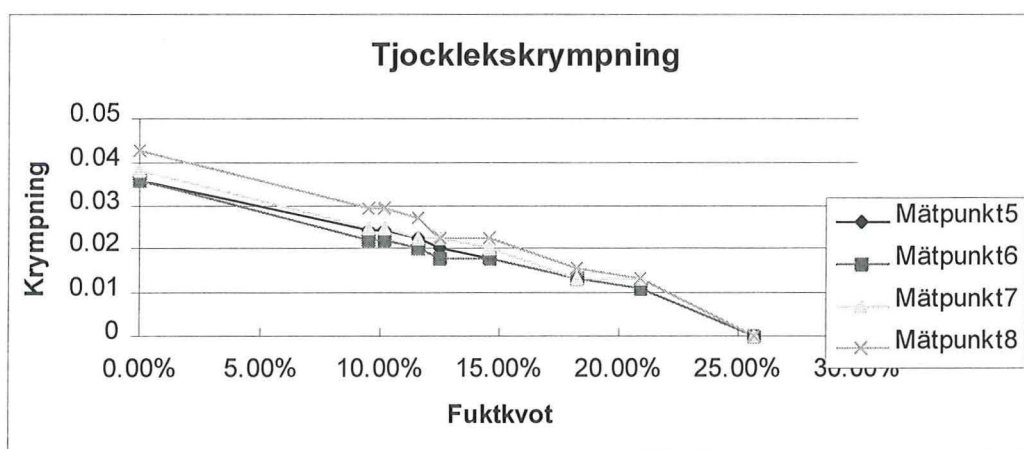


Diagram 3.9 Tjocklekskrypningen plottad mot fuktkvoten.

En rät linje kan i diagram 3.9 approximeras:

$$\varepsilon_{\text{krymp}} = 0,04 - \frac{0,04}{25} u$$

vilket ger en formel för tjocklekskrypning:

$$\Delta\varepsilon_{\text{krymp}} = \frac{4}{25}(u_1 - u_2) \quad u \text{ anges i \%} \quad (3.18)$$

Formeln kan nu ge en uppfattning om hur stor krympning blir vid fuktkvotsförändring från u_1 till u_2 . T.ex. ger en ändring från 20% till 10% en krympning på ungefär 1,6%.

3.2.2.2 Breddkrympning

Datum	24/10	25/10	26/10	29/10	1/11	2/11	4/11	6/11	13/11 (torr)
Fuktkvot	25,64%	20,93%	18,26%	14,59%	12,50%	11,55%	10,15%	9,52%	0%
Mätpunkt 3	0	2,08%	2,32%	3,20%	3,76%	4,16%	4,56%	4,64%	6,89%
Mätpunkt 4	0	1,05%	1,77%	2,50%	3,06%	3,38%	3,46%	3,86%	6,36%

Tabell 3.8 Krymptöjningar från uppfuktad till torr provbit för breddriktningen.

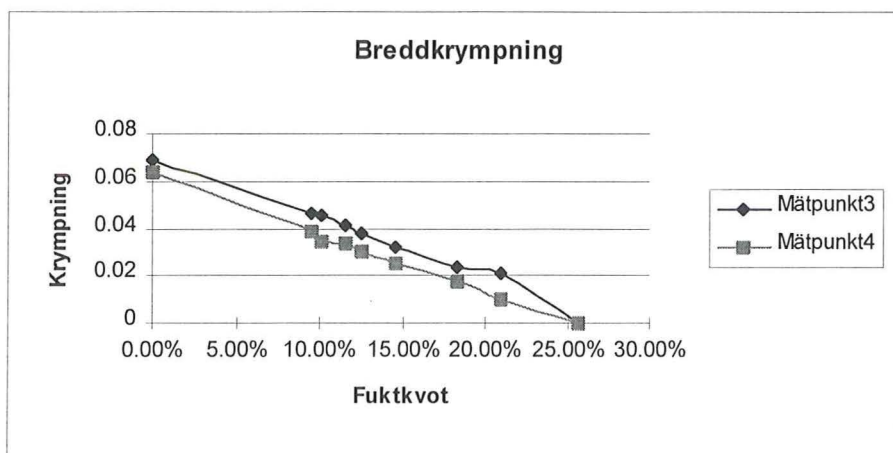


Diagram 3.10 Breddkrympningen plottad mot fuktkvoten.

En rät linje kan i diagram 3.10 approximeras:

$$\varepsilon_{\text{krymp}} = 0,065 - \frac{0,065}{25} u$$

vilket ger en formel för breddkrympning:

$$\Delta\varepsilon_{\text{krymp}} = \frac{6,5}{25}(u_1 - u_2) \quad u \text{ anges i \%} \quad (3.19)$$

3.2.2.3 Jämförelser med teorin

Nedan följer en jämförelse med den tidigare nämnda uttrycket för krympning:

$$\Delta \varepsilon_{\text{krymp}} = \frac{u_2 - u_1}{u_f} \alpha_f \quad (2.11)$$

$\alpha_f = 7,7 \%$ (tangentiellt) $\alpha_f = 4,0 \%$ (radiellt) ; för furu

Antag att breddkrympningen motsvaras av krympning tangentiellt, i formel 2.11, $\alpha_f = 7,7 \%$ och att tjocklekskrympningen motvaras av krympning radiellt, i formel 2.11, $\alpha_f = 4,0 \%$

$$(u_2 - u_1) = 25,64 - 0 = 25,64 \%$$

u_f , fibermåtnadspunkten sätts till 30 %

Detta ger $\Delta \varepsilon_{\text{krymp}} = 6,6 \%$ (breddkrympning) $\Delta \varepsilon_{\text{krymp}} = 3,4 \%$ (tjocklekskrympning)

Jämför detta med breddkrympningen på 6,5 % och tjocklekskrympningen på 4 %, som försöken visade på. Överensstämmelsen är förbluffande god, vilket ytterligare bekräftar giltigheten för formel 2.11.

Vi gör även en kontroll av provbitens volymändring i jämförelse med det avgångna vattnets volym:

Det finns en viss mängd vatten som avgått som motsvarar en volym, V_v . Massan av provbiten ändras från 321,14 gram till 255,6 gram, se bilaga 2, vilket är en minskning på 65,54 gram. Detta ger $V_v = 65,54 / 1e6 = 65,54 \text{ e-6 m}^3$. Volymändringen av provbiten beräknas:

$$V_{p1} = 0,14 * 0,125 * 0,0447 = 782,25e-6 \text{ m}^3 \quad (\text{Se mätresultat 24-okt})$$

$$V_{p2} = 0,1396 * 0,1163 * 0,043 = 698,13e-6 \text{ m}^3 \quad (\text{Se mätresultat torr})$$

$$(V_{p1} - V_{p2}) = 84,12 \text{ e-6 m}^3 \quad ; \quad \text{vilket ska jämföras med } 65,54 \text{ e-6 m}^3.$$

Detta kan anses ganska bra med tanke på osäkerheten i mätningarna.

Den funna formeln för tjocklekskrympningen blir alltså :

$$\delta_{\text{krymp}} = \frac{4}{25} (u_1 - u_2) h$$

Den kan nu enkelt appliceras i modellen för de totala deformationerna vinkelrätt fibrerna.

3.2.3 δ_{kryp} (tilläggsdeformationer p.g.a. långtidslast)

Krypningen är i försöken svår att få något grepp om. För det första är krypningen tidsberoende och försöken höll endast på i 13 dygn, vilket är lite i dessa sammanhang. För det andra är det viktigt att, för att kunna isolera deformationen p.g.a. krypning ur den totala deformationen, man gör försöken i en kontrollerad miljö t ex i ett klimatrums, då det annars blir svårt att skilja krypningen från krympningen och mekanosorptionen. Försöken kunde inte utföras i klimatrums p.g.a. försöksupställningens utformning.

Försöken utgjordes av två RS-uppställningar där materialet var i klimatbalans med labhallen. Lastnivån var även här 2,6 MPa. Försöken pågick i 13 dygn och lastnivån hölls konstant under hela förloppet.

Fuktkvoten i materialet höll sig relativt stabil omkring 12%, se diagram 3.11, vilket begränsade krympningens och mekanosorptionens inverkan.

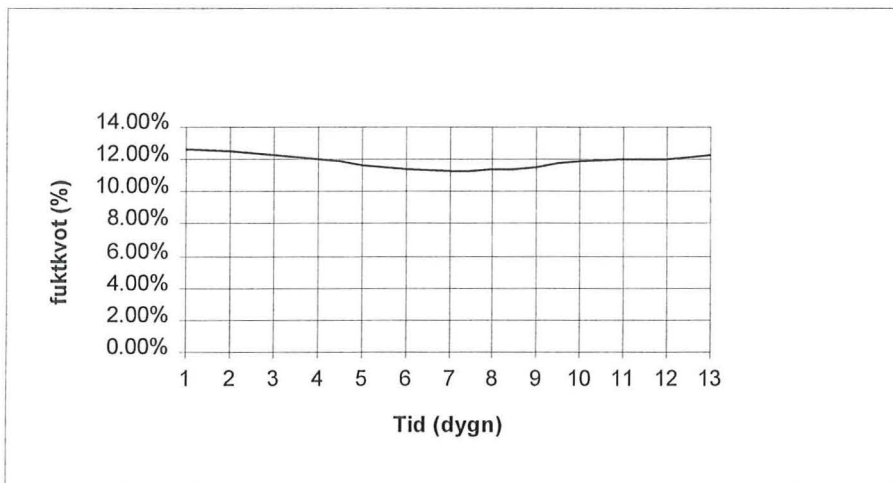


Diagram 3.11 Fuktkvotsändring under krypningsförsöket.

Tilläggsdeformationen, d v s den totala deformationen, 1,53 mm, minus den elastiska deformationen, 1,08 mm blev för försöken ca 0,45 mm eller 1,0 %, se diagram 3.12.

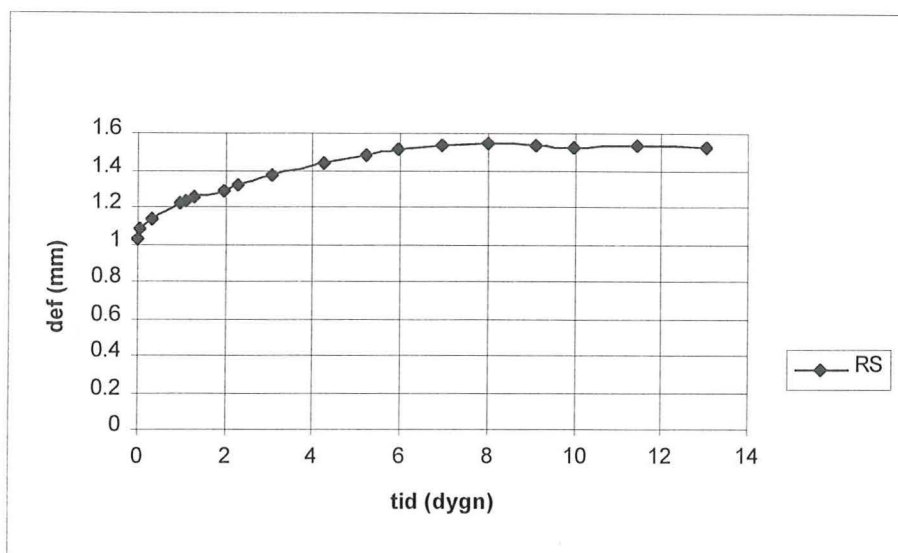


Diagram 3.12 Deformation p.g.a krypning.

Den fuktkvotsförändring på ca 1,2 %, från 12,6-11,4 %, som skedde under förloppet (se bilaga 1) ger enligt formel 3.18 en krympning - svällning på ca 0,19 %. Detta kan ses som en osäkerhet i resultaten.

Krypdeformationen blir således enligt försöken:

$$1,0 \% \pm 0,19\%$$

Detta gäller som sagt efter 13 dygn. För att få en hyfsad uppfattning om vad som händer efter lång tid sätts de uppmätta värdena in i ekvationen:

$$\phi = at^b \quad (2.12)$$

där ϕ är kryptalet som definieras som en procentuell ökning av den elastiska deformationen p.g.a. krypning. b är ca 0,3, a är ca 1-1,5 och t är tiden i år. Detta gäller som tidigare nämnts för krypning i fiberriktningen, men då det ej finns någon annan formel att tillgå görs nu en uppskattning av konstanterna för krypning i radiell ledd.

För mätningarna gäller:

Den totala deformationen efter 13 dygn = 1,53 mm. Den elastiska delen är 1,08 mm

$$\phi = (1,53 - 1,08)/1,08 = 0,41 \quad t = 13/365 = 0,036 \quad b = 0,3 \quad \Rightarrow \underline{a = 1,2}$$

Således kan krypdeformationen beskrivas som:

$$\delta_{kryp} = \phi * \delta_{el} \quad \text{då}$$

$$\phi = 1,2t^{0,3}$$

krypningen efter 1 år blir då: $(\epsilon = 1 + \phi)$

$$\phi = 1,2 \Rightarrow \epsilon = 2,2$$

3.2.4 δ_{ms} (deformation p.g.a. mekanosorption)

Deformationen beroende av mekanosorption är svår att förutsäga i vårt fall, därför gör vi ett försök att gå bakvägen genom att från den totala deformationen dra de tidigare beräknade deformationerna, beroende av krympning, elasticitet och krypning. Vi tittar nu på en enkel syll belastad av en regel med lasten 14 kN (RS). Enligt tidigare använda formeln för den totala deformationen.

$$\delta_{tot} = \delta_{el} + \delta_{krymp} + \delta_{kryp} + \delta_{ms} \quad (2.1)$$

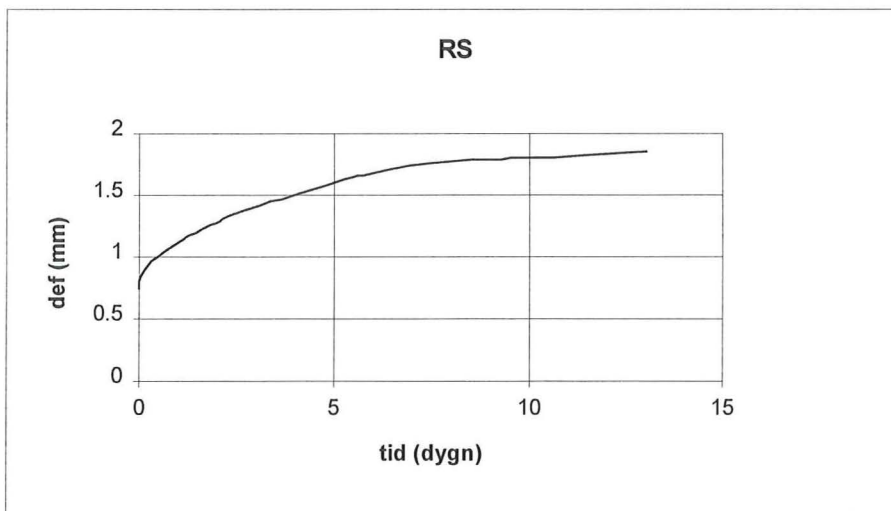


Diagram 3.13 Deformationsbild för en regel- sylluppställning.

$$\delta_{tot} = \underline{1,8 \text{ mm}} ; \text{ enligt diagram 3.13}$$

$$\delta_{el} = \underline{0,85 \text{ mm}} ; \text{ enligt diagram 3.13}$$

Vi går nu över till att betrakta de fuktberoende deformationerna. Diagrammet nedan visar på ändringen av fuktkvoten i syllan under belastningstiden.

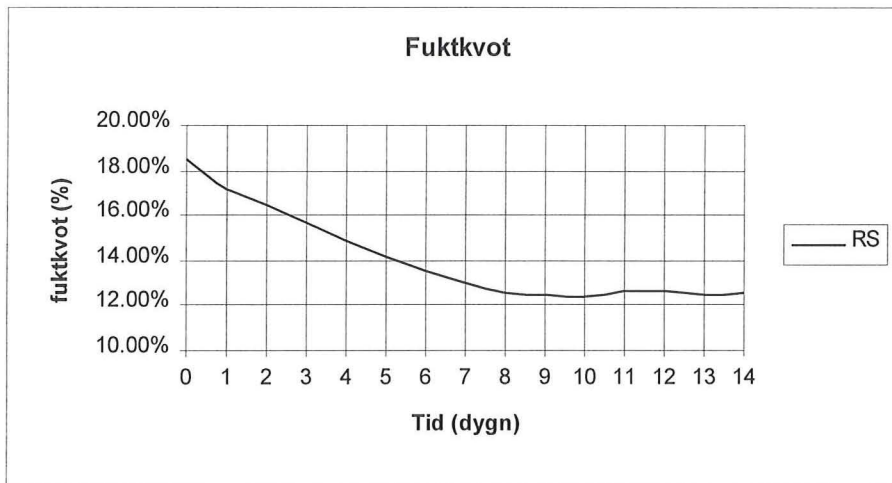


Diagram 3.14. Fuktkvotsvariation under belastningstiden.

Krympningen beräknas nu ur det tidigare funna sambandet:

$$\Delta\varepsilon_{\text{krymp}} = \frac{4}{25}(u_1 - u_2) \quad (3.18)$$

$$\delta_{\text{krymp}} = \Delta\varepsilon_{\text{krymp}} * 0,045 = \underline{0,44 \text{ mm}} \quad ; \text{ fuktkvoten går från } 18,5 \% \text{ till } 12,4\% \text{ efter } 10 \text{ dygn}$$

Krypningen fås enligt följande:

$$\delta_{\text{kryp}} = \phi * \delta_{\text{el}}$$

$$\phi = at^b = 1,2 (10/365)^{0,3} = 0,41$$

$$\delta_{\text{kryp}} = 0,41 * 0,85 = \underline{0,35 \text{ mm}}$$

Detta ger oss nu slutligen:

$$\delta_{\text{el}} + \delta_{\text{krymp}} + \delta_{\text{kryp}} = \underline{1,64 \text{ mm}}$$

$$\delta_{\text{tot}} = \underline{1,8 \text{ mm}} \quad ; \text{ vilket ger oss } \delta_{\text{ms}} = \underline{0,16 \text{ mm}}$$

0,16 mm blir alltså deformationen beroende på den så kallade mekanosorptionen i detta fall. På samma sätt fås mekanosorptionen vid tiden 2 , 5 och 13 dygn, tabell 3.9.

	δ_{tot} (mm)	δ_{el} (mm)	δ_{krymp} (mm)	δ_{kryp} (mm)	δ_{ms} (mm)
2	1,27	0,85	0,14	0,21	0,07
5	1,60	0,85	0,32	0,28	0,15
10	1,80	0,85	0,44	0,35	0,16
13	1,85	0,85	0,43	0,38	0,19

Tabell 3.9 Mekanosorption vid olika tidpunkter.

Effekterna av mekanosorptionen blir som synes små, så de kan anses vara försumbara vid denna typ av försök.

3.3 Sammanfattning

Resultaten av försöken kan sammanfattas i följande punkter:

- Den funna modellen för träs deformation kan nu beskrivas enligt:

$$\delta_{\text{tot}} = \frac{P}{A^* E} nh(1 + \phi) + \frac{4}{25}(u_1 - u_2)h$$

där

$$A^* = b\left(\frac{2,3}{m} + 1\right)(mL + 0,5nh) \quad ; L, h = \text{regelbredd resp. sylltjocklek}$$

; m, n = antal regler bredvid varandra
resp. syllar travade ovanpå varandra

$$\phi = 1,2t^{0,3} \quad ; \phi \text{ är bidraget från krypning}$$

$$u_1 - u_2 \quad ; \text{är fuktkvotsförändringen i procent}$$

- De elastiska deformationerna har varit svåra att få någon uppfattning om. Dels beroende på att den initiella deformationen är relativt känslig för störningar som härrör från varierande materialegenskaper och dels att det samtidigt är svårt att göra en empirisk uppskattning av E-modulen.
- Krympningsförsöken verifierade den i litteraturen funna formeln, vilken därmed lätt kan appliceras i praktiken för att ge ett bra värde på krympningen i trämaterial.
- Krypformlerna visade sig också ge en god approximation av krypdeformationerna i försöken. Det är däremot svårt att säga något om krypdeformationen efter en längre tid då sådana försök inte genomfördes i denna studie.
- Då de ovan nämnda deformationerna utretts och man gör en jämförelse med den totala deformationen inses lätt att något saknas för att göra deformationsbeskrivningen komplett. Dessa skillnader har dock varit nära på försumbara, men kan ändå antas ha sina ursprung i mekanosorptiva deformationer. Dessa effekter blir märkbart betydande då fukttinnehållet i träet varierar från uttorkning till uppfuktning och vice versa ett större antal gånger under belastningstiden. I försök 1 och 2 undergick endast ett uttorkningsförlopp, vilket inte gav några nämnvärda mekanosorptiva effekter.

4 Knutpunktsförsök

4.1 Beskrivning och uppställning

Efter allt teoretiskt resonemang om deformationer i trämaterial behandlas här vad som händer vid belastning av en ”verklig konstruktion” i ett ”verkligt hus”. Med ”verkliga konstruktioner” menas bjälklagsknutpunkter i, fullskala uppbyggda i laboratoriemiljö, vilka belastats på samma sätt som försök 1. Resultaten av knutpunktsförsöken kan lätt överföras till ett ”verkligt hus”. Det finns dock vissa skillnader som är viktiga att beakta. Knutpunktsförsöken utförs t.ex. inomhus under kontrollerade former och i försöken tillåts en viss snedställning p.g.a. ojämn deformation, vilket inte tillåts i det verkliga huset. De knutpunkter som testades ställdes upp enligt fig. 4.1. De består av regel, dubbelt hammarband, golvbjälke, syll och på det ytterligare en regel. Detta är en knutpunkt för plattformbyggnad, som är mycket vanlig i USA.

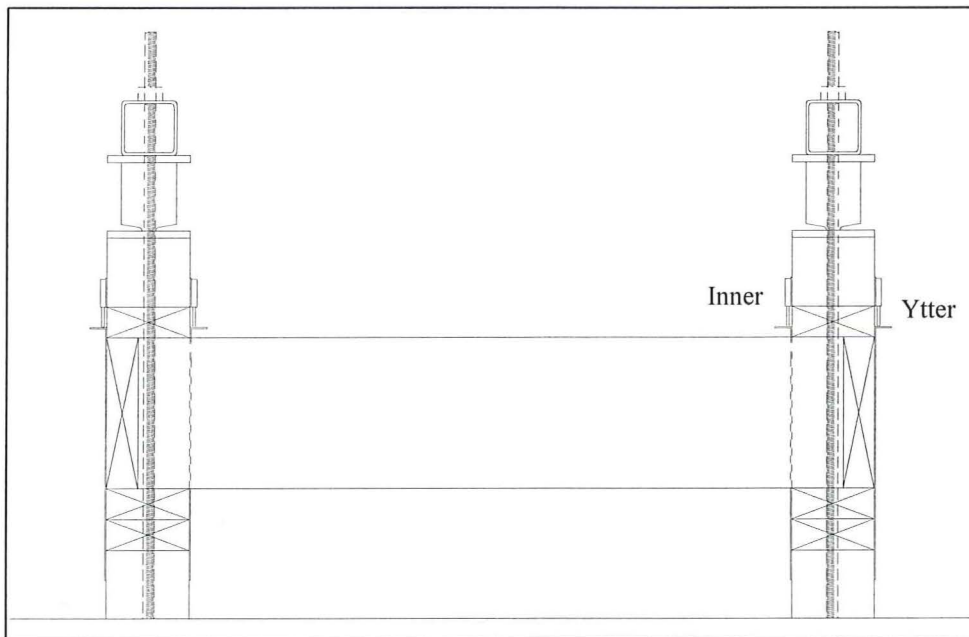


Fig. 4.1 Försöksuppställning knutpunktsförsök.

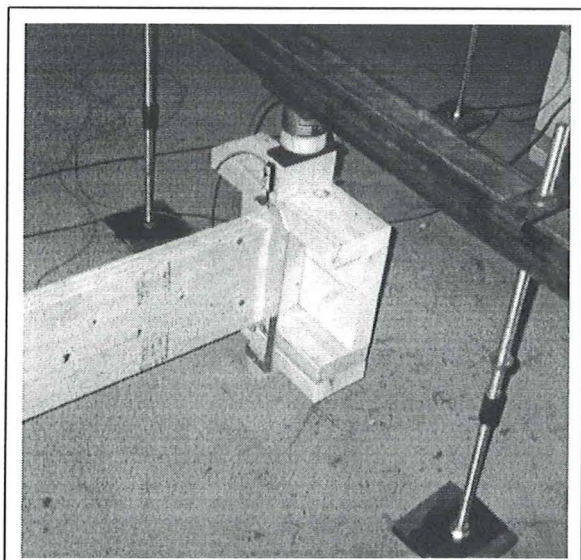


Bild 4.1 Försöksuppställning knutpunktsförsök.

Olika typer av golvbjälkar testades i två exemplar av varje:

1. Träbjälke 220 x 45
2. Lättbalk typ Masonite 220 x 45
3. Lamellträbalk typ Kerto 220 x 45
4. Träbjälke 220 x 45 med en stående regel ytterst.

I samtliga fall utom i 4 lades en träbjälke, 220 x 45, vinkelrätt mot golvbjälken ytterst, se bild 4.1. I 4 byttes denna ut mot en stående regel.

Lastnivån var 14 kN, d.v.s. 2,6 MPa även i detta försök och den hölls konstant genom att muttrarna på gängstängerna drogs åt med jämna mellanrum. Deformationerna mättes från regel till regel, vilket gav deformationen av allt trä belastat vinkelrätt fibrerna.

Fuktkvoterna för de olika uppställningarna varierade enligt följande:

1. 17,8% - 11,6%
2. Ungefär jämvikt med labhallen.
3. 13% - 9,5%
4. 17,8% - 11,6%

Då fuktkvoten ändras kan man räkna med att deformationerna p.g.a. såväl krympning, krypning som mekanosorption uppträder jämte den rent elastiska deformationen. Detta gäller dock inte för Masonitebalken, vilken ej hann bli uppfuktad innan försöken påbörjades.

Fuktkvotsändringarna är i försöken av rimlig storlek jämfört med vad som händer då en motsvarande konstruktion byggs in i ett hus i Sverige. De uppmätta deformationerna bör därför även de vara rimliga vid samma jämförelse.

4.2 Resultat av knutpunktsförsöken

Resultaten av knutpunktsförsöken redovisas i diagram 4.1 och 4.2. Det mest slående är snedställningarna som uppträdde i försök 1 och 4, se bild 4.2.

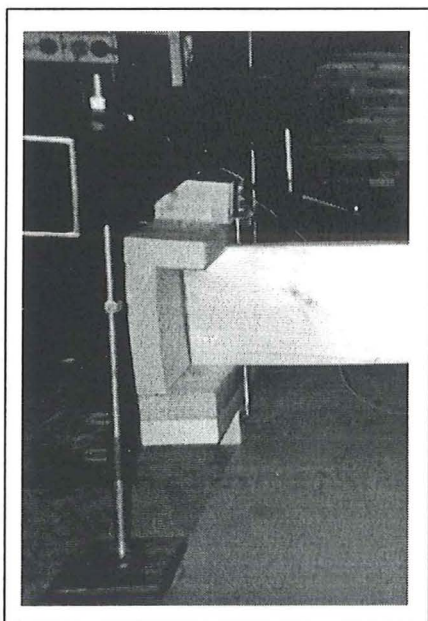


Bild 4.2 Snedställning av försöksuppställningen

Trägolvbjälkarna deformerades så mycket att deformationsgivarna på insidorna gick i botten efter 18 dygn. De hade då tryckts ihop 16 mm innermått och 7 mm yttermått för försök 1 respektive 13 mm innermått och 3 mm yttermått för försök 4.

För lättbalken och lamellträbalken deformerades insidan och utsidan ungefär lika mycket, ca 10 mm inner och 9 mm ytter respektive 9 mm inner och 7 mm ytter.

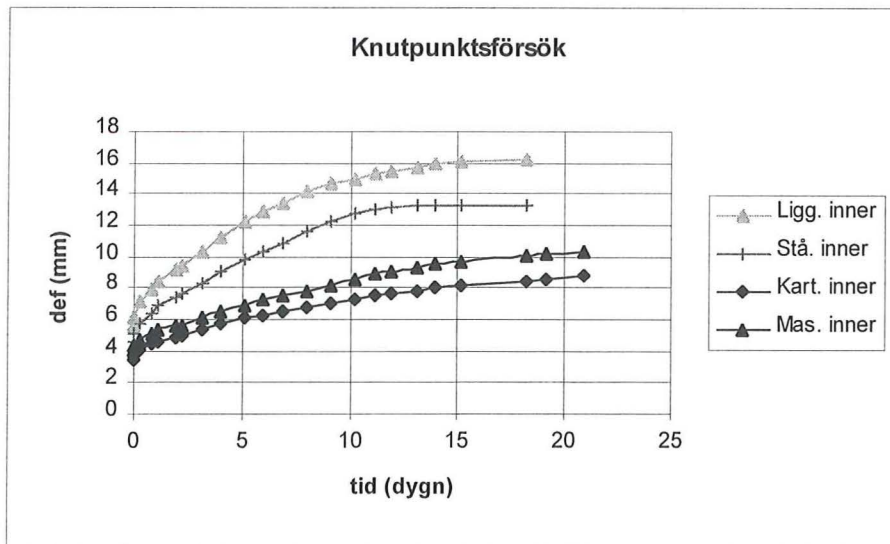


Diagram 4.1 Insidans deformation.

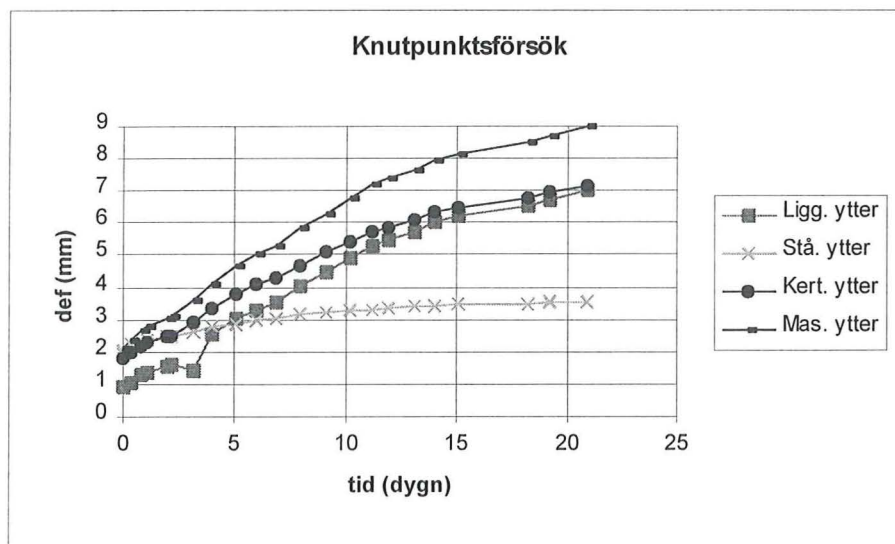


Diagram 4.2 Yttersidans deformation.

4.3 Sammanfattning

Lamellträbalken och lättbalken gav klart mindre deformationer än bjälken i massivt trä. I en verklig konstruktion kommer lättbalken att få ännu bättre värden och därmed ”knappa in” på lamellträbalken, i och med att bjälklagen blir lättare och därmed belastar knutpunkterna med en mindre last än för motsvarande tungt bjälklag.

5 Kvarteret Orgelbänken



I Sverige finns för närvarande bara ett fåtal höga hus med trästomme. Forskning och utveckling på området går dock framåt med stormsteg, där målsättningen ligger i att bygga miljövänligt och kostnadseffektivt. Skanska är just nu, på uppdrag av det kommunala fastighetsbolaget Stångåstaden, mitt uppe i ett pilotprojekt i Linköping, nybyggnad av Kv. Orgelbänken. I genuin 50-talsmiljö bygger man ett flerfamiljshus i fyra våningar med stomme av trä. Fastigheten ska komma att inrymma 36 lägenheter och beräknas stå färdig i mars '96. Man har lyckats vara helt konsekvent vad gäller materialval, t.o.m. hisschaktet är konstruerat i trä, se bild 5.1.

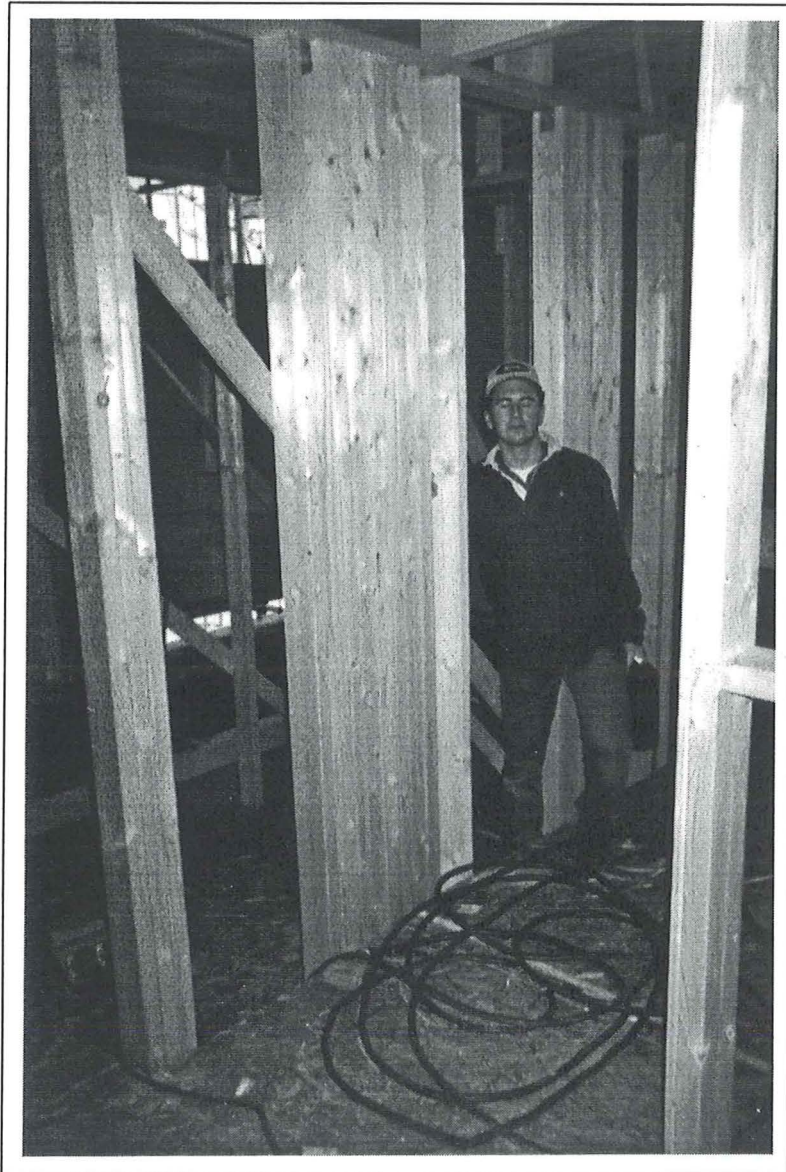


Bild 5.1 Hisschakt i trä

Ett projekt som detta, där man inte riktigt kan lita till gamla beprövade tekniker och rutiner löper sällan helt smärtfritt. Detta gäller även Kv. Orgelbänken, där man hade ett byggstopp på fem veckor i mitten på sommaren 1995. Stoppet berodde på att man hade fått stabilitetsproblem orsakade av att golvsnivåerna kapats vid lägenhetsskiljande väggar för att motverka överföringen av stegljud. Konstruktörer och projektledare fick tänka om och man bestämde sig till slut för att dra den amerikanska OSB-skivan oskarvad över hela våningsbjälklaget. Detta visar på att det fortfarande finns mycket att lära, men också på den "tjurskallighet" som är mycket viktig för att leda en sådan här utveckling vidare.

Nedan beskrivs några i huset använda konstruktionslösningar och deras bakgrund diskuteras. Det redovisas även en del mätningar som gjordes för att kartlägga eventuella snedställningar, vertikaldeformationer och bjälklagsnedböjningar.

5.1 Konstruktionsdetaljer - viktiga knutpunkter ur deformationssynpunkt

Kv. Orgelbänken har konstruerats av Skanska Teknik AB, som i ett tidigt skede lämnade ett förslag på ett betongalternativ, vilket man senare omvärderade och tog initiativ att bygga helt i trä. Konstruktörerna på Skanska stod nu inför en hel del frågeställningar, vad gäller stabilitet, akustik, deformationer, fuktrörelser samt utformandet av ett hisschakt helt i trä. Detta ledde till ett nytänkande som utmynnade i många geniala lösningar.

Huset plattformsbbyggdes för att ge en smidig produktion. Det var också meningen att OSB-skivan skulle ligga som ett tätt skikt över varje våning med uppgift att skydda övriga trämaterial under uppbyggnaden av huset våning för våning. Detta p.g.a. att man blivit informerad om att OSB-skivan var behandlad med vax för att motstå fuktpåverkan. Det visade sig inte vara helt sant. Problem uppstod då skivan började svälla då den utsattes för fukt. Skivan började trycka ut ytterväggarna under svällningen, men orsakade som tur var bara minimal vägguttryckningar. Längre fram redovisas en mätning av OSB-skivans svällnings- och krympningsegenskaper.

Man valde att använda en fackverksbalk i golvbjälklaget, för att minska mängden trä belastat vinkelrätt fibrerna och för att göra ett så lätt bjälklag som möjligt. Man har också försökt att i så stor utsträckning som möjligt inte ha golvbjälkarna upplagda på ytterväggarna se fig 5.1. Problem uppstår annars ofta i dessa knutpunkterna där lasten är relativt hög. En annan elegant konstruktiv lösning är hisschaktet, som man konstruerat med massiva regelpaket infästa i varje våningsbjälklag se bild 5.2. Vidare löste man som tidigare nämnts stabilitetsfrågan med den amerikanska OSB-skivan.

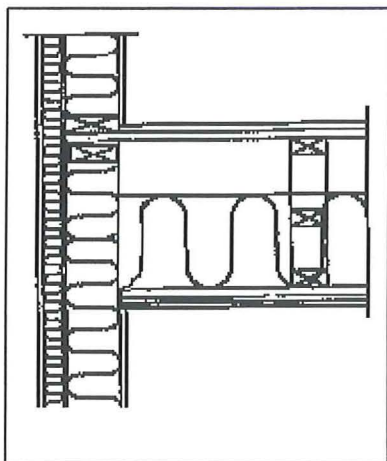


Fig. 5.1 Knutpunkt1 - Yttervägg-Bjälklag

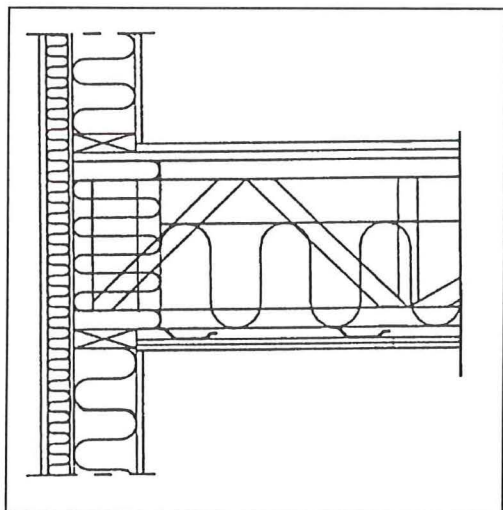


Fig.5.2 Knutpunkt2 - Yttervägg-Bjälklag

Knutpunkten i fig 5.2 är ingen vanlig företeelse i huset. Det är i princip bara vid hisschaktet, som balkarna lagts upp på ytterväggen. Anledningen till detta är som redan nämnts att de största lasterna förs ner genom ytterväggen och man vill inte utsätta allt för mycket liggande trä för denna belastning.

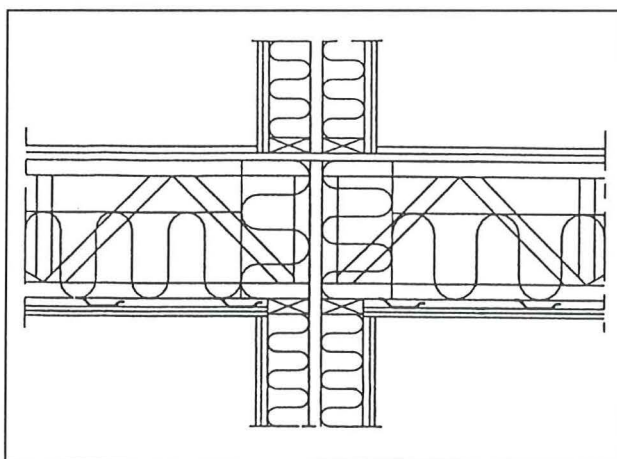


Fig. 5.3 Knutpunkt3 - Mellanvägg-Bjälklag

Fig 5.3 visar på en knutpunkt mellan bjälklag och en bärande mellanvägg. Även här syns den stående regeln i fackverksbalkens ytterkant, som har till uppgift att föra lasten vidare utan att ge upphov till stora deformationer. Man ser också hur OSB-skivan går oskarvad genom väggen allt för att öka stabiliteten hos stommen. På fackverksbalkens undersida sitter en s.k. akustik profil av plåt, vars uppgift är att sänka ljud transmissionen mellan våningarna. Den viktigaste detaljen, ur deformationssynpunkt, är dock att man lyckats minimera mängden virke belastat vinkelrätt fibrerna.

5.2 Mätningar - metoder och resultat.

Tre olika mätningar utfördes på huset för att kartlägga vertikala deformationer, snedställningar och bjälklagsnedböjningar. Mätningarna utfördes på plats av Skanskas arbetsledare Conny Sahlin. Initieringen av mätningarna gjordes den 19/9 1995 efter en kort rundvandring på bygget. Mätningarna fortlöpte sedan med varierande intervall och avslutades den 15/11 med den sista mätningen. Nedan följer en beskrivning av de olika mätningarna och tillhörande resultat.

Vertikala deformationer:

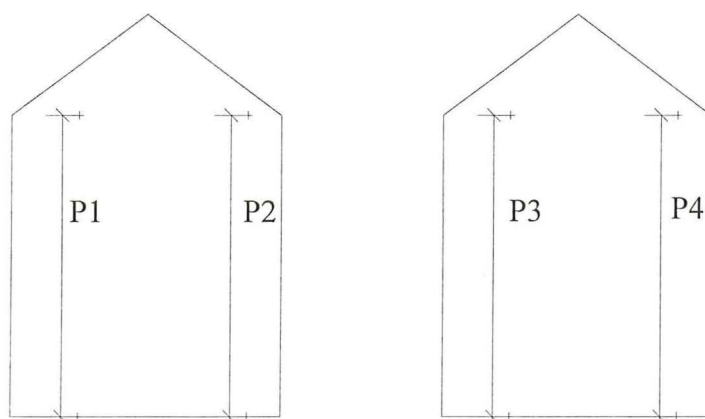


Fig 5.4 Gavel I

Gavel II

Mätningen gjordes med hjälp av stålmåttband över fyra våningar av huset, se fig.5.4. En fransk träskruv fästes i hammarbandet på fjärde våningen på vilken måttbandet hängdes. Husets höjd mättes sedan ner till en markering på grundplattan. Fyra mätpunkter användes, P1, P2, P3 och P4, se fig 5.4. Gavel II befann sig på rakt motsatta sida av huset jämfört med gavel I. Temperaturvariationerna var förhållandevis låga varför måttbandstöjningen beroende på temperaturdifferanser försumrades.

Datum	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	P4 (mm)
19-september	11249	11250	11250	11300
27-september	11247	11250	11248	11298
10-oktober	11247	11250	11251	11298
15-november	11240	11241	11238	11292

Tabell 5.1 Resultat av vertikalmätningar

Som synes visar resultatet inte på någon större deformation under den första månaden, vilket har sin naturliga förklaring i att last samt fuktkvot varit relativt konstanta. Det syns dock tydligt att något inträffat inför den sista mätningen. I slutet av oktober började man nämligen färdigställa taket, vilket innebär en lastökning främst i samband med läggningen av takpannorna.

Det skulle naturligtvis vara intressant att följa deformationerna under en längre tid, men p.g.a. praktiska problem med mätinrättningens placering avbröts mätningarna den 15/11. Det kunde t.ex. vara så, som de tidigare redovisade experimentella resultaten visar, att man får en tillägsdeformation då fuktkvoten sjunker från 17 % vid inbyggnad till närmare 11%, då huset värmts upp. Tyvärr fanns det ingen möjlighet att påvisa någon sådan deformation.

Snedställningar:

För att identifiera eventuella snedställningar utvecklades en mätmetod, vilken enkelt visar på detta. Vi mäter diagonaler från mellanvägg till yttervägg i två rum på fjärde våningen. Differanserna på diagonalerna ska genom en geometrisk betraktelse ge oss en uppfattning om hur stora snedställningarna blir. Fyra mätpunkter initierades, D1, D2, D3 och D4, se fig. 5.5.

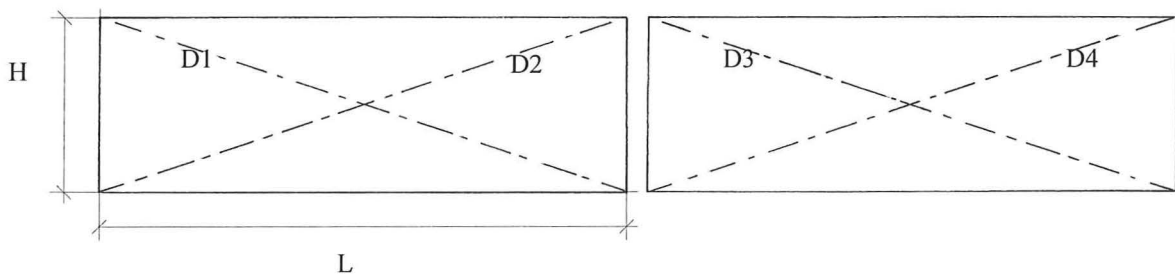


Fig 5.5 Diagonalernas placering i de båda rummen

cosinussatsen ger:

$$D^2 = H^2 + L^2 - 2HL \cos \alpha \quad (5.1)$$

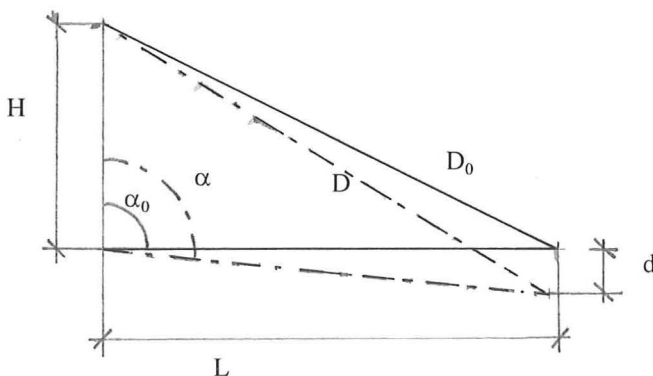


Fig 5.6

$$d = L \sin(\alpha - \alpha_0) \quad ; \text{ där } \alpha_0 \text{ är vinkeln efter första mätningen}$$

Datum	D1	D2	D3	D4
19-september	7.563	7.574	7.580	7.593
27-september	7.563	7.574	7.579	7.594
10-oktober	7.563	7.574	7.579	7.593
15-november	-----	-----	-----	-----

Tabell 5.2 Resultat av diagonalmätningar

Tyvänn kunde inga mätningar göras efter takläggningen i slutet av oktober eftersom väggmonteringen kommit så långt att mätutrustningen tvingades plockas ner. Om mätningen kunnat utföras hade en eventuell snedställning enkelt kunnat påvisas med denna metod.

Bjälklagsnedböjningar

På en fem meter lång aluminium profil monterades fem olika mätpunkter, N1, N2, N3, N4, och N5. Avståndet till golvskivan mättes med mätklocka. Första mätningen den 19/9 sattes till referens, varvid de följande mätningarna endast uttrycker en förändring.

Datum	N1 (mm)	N2 (mm)	N3 (mm)	N4 (mm)	N5 (mm)
19-september	12.7	15.9	17.2	16.0	12.4
27-september	+1.3	+1.5	+1.3	+0.7	+1.0
10-oktober	+0.65	+0.9	+1.15	+0.8	+0.8
15-november	+1.20	+1.40	+1.10	+1.70	+0.8

Tabell 5.3 Resultat av nedböjningsmätningar

Dessa mätningar är väldigt känsliga för störningar och då utslaget inte blivit större är det svårt att dra någon slutsats.

OSB-skivan

Det gjordes även en mätning av krympning- och svällnings-egenskaperna hos det i huset använda skivmaterialet. Anledningen till detta var att OSB-skivan inte tidigare använts i Sverige och man visste därmed inte mycket om dess uppförande vid fuktvariationer. Detta är viktigt att utreda då man lätt kan få problem om släppet mot ytterväggarna inte gjorts stora nog för att godta svällning.

Metod

De tre provkropparna O, S och B placerades i klimatrum med RF=87% där de fuktades upp under tre veckor. Vidare mättes svällningen vid vissa tidpunkter genom att provbiten placerades på en plåt på vilken två aluminium profiler monterats i rät vinkelrät till varandra. Provbiten fördes dikt an de två profilerna och svällningen mättes i fyra punkter. Då provbitarna antogs vara relativt fuktmättade placerades de i ett torrare klimatrum med RF=50% och mätningarna förlöpte för att kartlägga krympningen. Resultaten ses i diagram 5.1. Där är även en approximerad kurva plottad:

$$y = 30x$$

Detta leder till att krympningen / svällningen hos en OSB-skiva, under fibermättnadspunkten, kan beskrivas enligt följande:

$$\varepsilon_{\text{krymp}} = \frac{(u_2 - u_1)}{30} \quad (5.2)$$

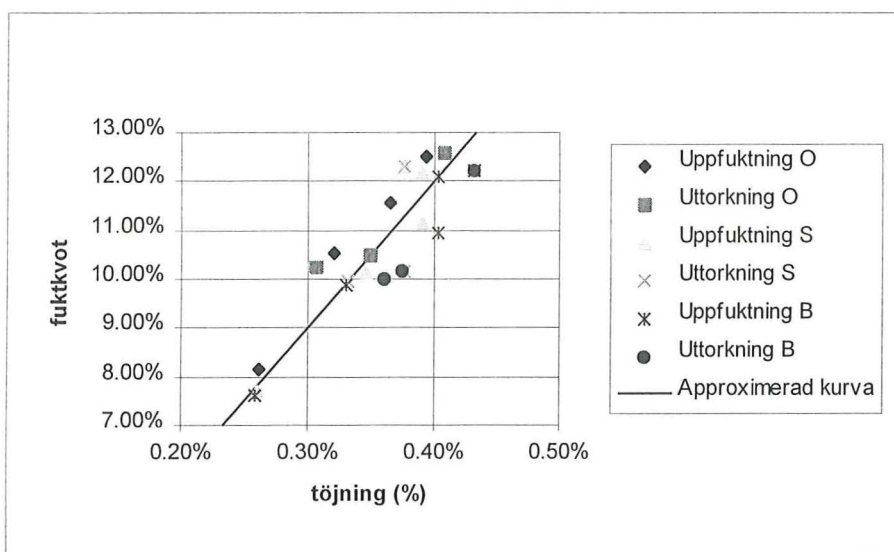


Diagram 5.1 Töjningens fuktberoende för OSB-skivan

En uppfuktning från 9% till 12% ger alltså en svällning hos OSB-skivan på 0,1% d.v.s 1 mm/m, vilket kan leda till besvärligheter om man ej har tillräckligt släpp mellan skivorna.

5.3 Sammanfattning

De utförda mätningarna utmynnade i ett antal mer eller mindre viktiga slutsatser:

- Vertikalmätningen visade inte på några större deformationer förrän ytterligare last, i form av takpannor, påfördes. Mätmetoden är användbar då den enkelt visar på när under byggskedet deformationerna uppkommer.
- Diagonalmätningen gav inte några användbara resultat då mätningarna upphörde innan någon ytterligare pålastning gjordes. Metoden bör vara användbar och är helt klart värd vidare provning.
- Metoden för horisontalmätningen är för känslig för yttre påverkan och är därför inte användbar.
- OSB-skivorna har en betydande tendens till svällning / krympning vid fuktkvotsförändringar. Detta måste beaktas då man vill ha skivan som stomstabilisering, d.v.s då skivan ligger obruten över ett helt våningsplan.

6 Slutsatser

För att komma tillrätta med deformationernas storlek i ett system av trä belastat vinkelrätt fiberriktningen genomfördes ett antal försök och teoretiska resonemang.

Resultaten av detta kan sammanfattas i följande punkter:

- Den funna modellen för beskrivning av deformationer i trä belastat vinkelrätt fibrerna kan sammanfattas i

$$\delta_{\text{tot}} = \frac{P}{A^* E} nh(1 + \phi) + \frac{4}{25}(u_1 - u_2)h$$

där

$$A^* = b(mL(\frac{0,5}{(m-0,3)} + 0,3) + 0,5nh) \quad ; L, h = \text{regelbredd resp. sylltjocklek}$$

; m, n = antal regler bredvid varandra
resp. syllar travade ovanpå varandra

$$\phi = 1,2t^{0,3} \quad ; \phi = \text{bidraget från krypning}$$

$$u_1 - u_2 \quad ; \text{är fuktkvotsförändringen i procent}$$

- Formeln kräver en väl definierad E-modul, vilken ej kunde påvisas ur försöksresultaten. Vidare visade sig den rent elastiska deformationen vara svår att uppskatta med de försöksupställningar som användes.
- De i litteraturen funna teoretiska formlerna för krympning respektive krypning visade sig vara bra approximationer av verkligheten.
- Betydelsen av mekanosorptionen är försumbar i dessa sammanhang.

Dessutom genomfördes ett antal knutpunktsförsök i fullskala. Försöken gjordes för att jämföra olika golvbjälksmaterial med avseende på deformationerna då dessa belastas av regelväggar. De golvbjälksmaterial som användes var:

- Vanliga träbjälkar
- Lamellbalk
- Lättbalk

Deformationerna visade sig vara störst för den vanliga träbjälken. Vidare fick lamellträbalken och lättbalken klart mindre deformationer än bjälken i massivt trä. I en verklig konstruktion kommer lättbalken att få ännu bättre värden och därmed "knappa in" på lamellträbalken, i och med att bjälklagen blir lättare och därmed belastar knutpunkterna med en mindre last än för motsvarande tungt bjälklag.

I rapporten behandlades även ett verkligt projekt, Kvarteret Orgelbänken i Linköping, där mätningarna gjordes i fullskala.

De utförda mätningarna utmynnade i ett antal mer eller mindre viktiga slutsatser t.ex.:

Fuktrörelser och deformationer i stomsystem av trä

- Några av de mätmetoder som utvecklades för att mäta deformationerna i trästommen är användbara, men de behöver testas lite till innan man kan dra några slutsatser av dem.
- OSB-skiivorna, vilka användes som stomstabilisering i Kv Orgelbänken har en relativt stor benägenhet till svällning och krympning vid fuktkvotsförändringar. Detta kan leda till stora problem om det ej beaktas.

7 Litteraturförteckning

- Alsmarker T, Trähus i fyra våningar, En renässans för träbyggnadstekniken, Lund 1993,
- Carling O, et al, Dimensionering av träkonstruktioner, 1992,
- Frater G S, Thelandersson S, Bearing Performance of Structural Timber in a Platform Frame
- An Experimental Study, 1996,
- Månsson A, Caprile R, Fuktinducerade deformationer hos trä, Lund 1990,
- Mårtensson A, Mechanical behaviour of wood exposed to humidity variations, Lund 1992,
- Nielsen A, Hillerborg A, Burström P G, Kompendium Byggnadsmaterial AK för V, Lund 1990,
- Sveriges Tekniska Attachéer, Utlandsrapport, 2-tum-4 Ryggraden i amerikanska flerbostadshus, USA 1993,
- Thorson B, Multi-storey timber frame construction in Canada, Kanada,
- Thorson B R, Fire safety in Multi-storey timber residential buildings, Kanada,
- Träinformation, Att välja trä, Stockholm 1990,

8 Bilagor

Bilaga 1, Fuktkontroll Försök 1.

Bilaga 2, Fuktkontroll Knutpunktsförsök & Krympning.

Bilaga 3, Labhallsklimatet under försökstiden.

Bilaga 1, Fuktkontroll Försök 1

Fuktkontroll Försök 1a och 1b							
Första uppställningen:							
Datum	RF 50%		RF 60%		RF 98%		
	vikt (g)	fuktkvot	vikt (g)	fuktkvot	vikt (g)	fuktkvot	
22-sep							18,50%
25-sep							17,20%
26-sep	980	12,61%	1273,15	12,94%	1388,05		16,50%
27-sep	978,7	12,50%	1270,85	12,74%	1377,7		15,63%
28-sep	976,75	12,27%	1267,8	12,47%	1368,5		14,85%
29-sep	974,1	11,96%	1264,1	12,14%	1360		14,14%
30-sep	971,7	11,69%	1260,825	11,84%	1353,225		13,56%
01-okt	969,3	11,41%	1257,55	11,55%	1346,45		12,99%
02-okt	968,55	11,32%	1256,1	11,42%	1341,25		12,55%
03-okt	969,25	11,40%	1256,7	11,48%	1340,45		12,49%
04-okt	970,7	11,57%	1258,3	11,62%	1339,8		12,43%
05-okt	973,6	11,91%	1262,1	11,96%	1342,1		12,62%
06-okt	974,85	12,05%	1263,35	12,07%	1342,6		12,67%
07-okt	974,45	12,01%	1262,6	12,00%	1340,25		12,47%
09-okt	976,2	12,21%	1264,6	12,18%	1341,2		12,55%
Torrsvikt	870,9		1128,1		1192,5		
stift	7,47		7,52		7,51		
Andra uppställningen:							
	RF 98%		RF100%				
	vikt (g)	fuktkvot	vikt (g)	fuktkvot			
09-okt	967,4	18,82%	1120,15	37,77%			
10-okt	955,75	17,39%	1061,75	30,59%			
11-okt	950,35	16,72%	1025	26,07%			
12-okt	941	15,57%	991,7	21,97%			
13-okt	939,2	15,35%	976,8	20,14%			
14-okt	935,65	14,92%	962,8	18,42%			
15-okt	933,2	14,62%	956,05	17,59%			
16-okt	932,8	14,57%	952,45	17,15%			
17-okt	932,2	14,49%	948,75	16,69%			
18-okt	929,2	14,12%	942,15	15,88%			
19-okt	926,2	13,76%	936,3	15,16%			
20-okt	923,7	13,45%	931,8	14,61%			
21-okt	918,775	12,84%	925,05	13,78%			
22-okt	913,85	12,24%	918,3	12,95%			
Torrsvikt	814,2		813,05				

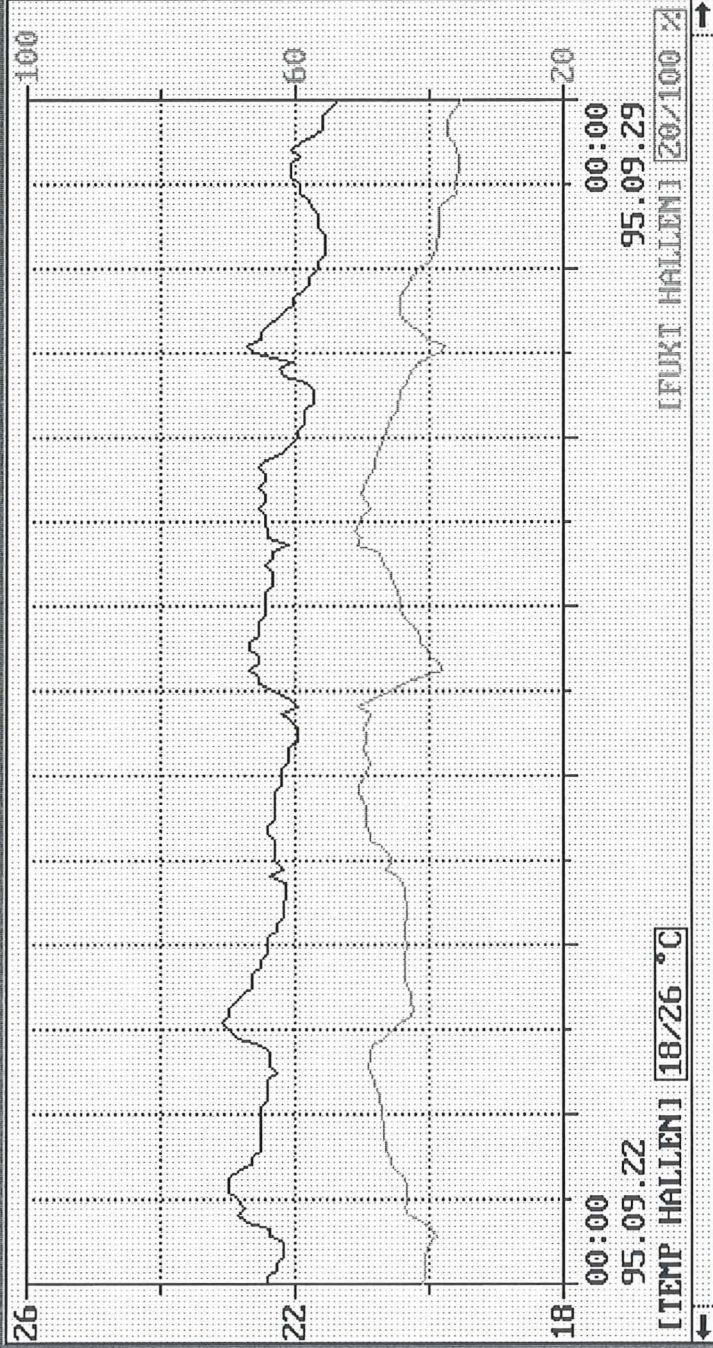
Bilaga 2, Fukt Knutp. & Krymp.

Fuktkontroll Knutpunktsförsök och Krympning							
		krympning		syll		kartobalk	
		vikt (g)	fuktkvot	vikt (g)	fuktkvot		fuktkvot
24-okt		321,14	25,64%	1036,8	17,80%	1487,45	12,94%
25-okt		309,1	20,93%	1024,6	16,42%	1478,15	12,24%
26-okt		302,28	18,26%	1018,85	15,77%	1472,05	11,77%
27-okt	ej			1016,75	15,53%	1471,2	11,71%
28-okt	ej			1011,85	14,97%	1465,8	11,30%
29-okt		292,89	14,59%	1007,2	14,44%	1462,5	11,05%
30-okt	ej				-100,00%		-100,00%
31-okt	ej				-100,00%		-100,00%
01-nov		287,56	12,50%	999,25	13,54%	1457	10,63%
02-nov		285,11	11,55%	993,85	12,92%	1452,1	10,26%
03-nov					-100,00%		-100,00%
04-nov		281,54	10,15%	klant		1444,45	9,68%
05-nov		279,89	9,50%	982,65	11,65%	1442,1	9,50%
06-nov		279,94	9,52%	982,55	11,64%	1442,9	9,56%
07-nov	Torkning inleds						
13-nov		255,6		880,1		1317	

CyberVision 2

HISTORIK

95.11.08 10:54



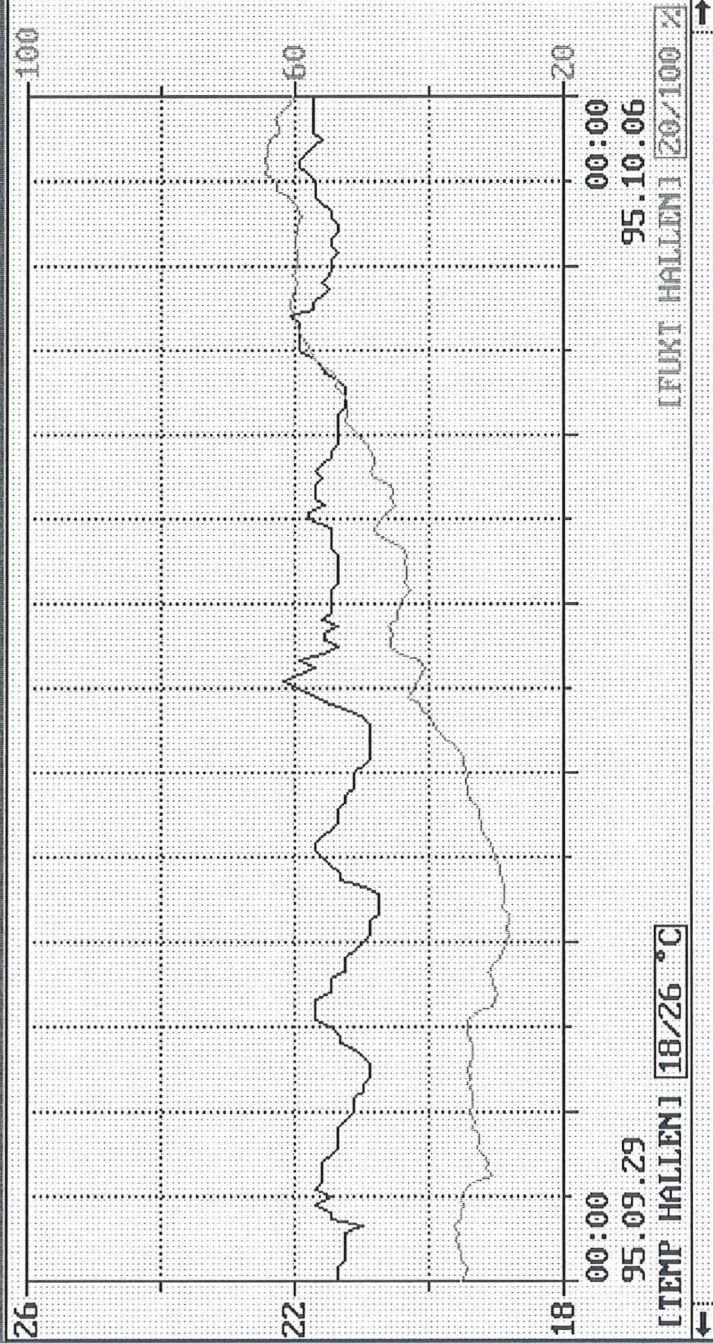
MENY LARM LOGG TIDK TIDM RAPP HJÄLP

95.11.08 00:07 0 HIDE FUKT KOND. PUM 0409 ÅKTÖVERING FJÖTÖRAN

CyberVision 2

HISTORIK

95.11.08 10:55



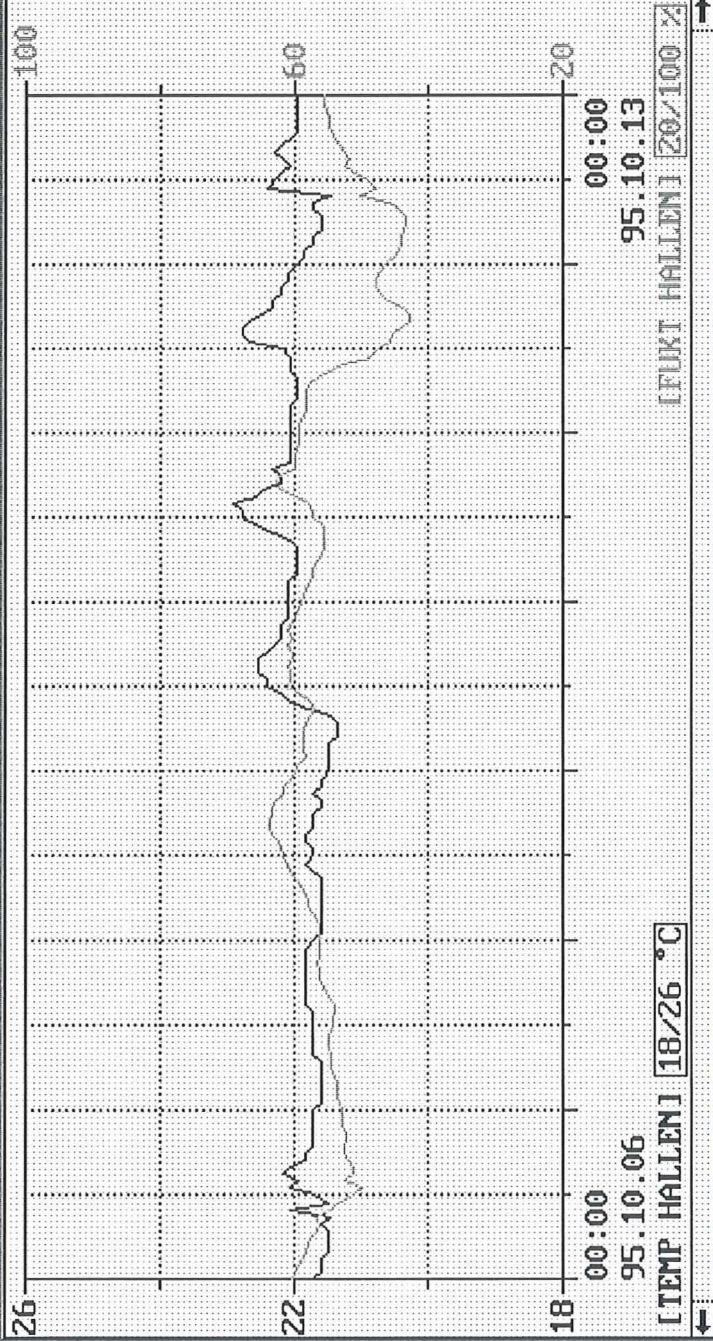
MENY LARM LOGG TIDK TIDM TIDM RAPP HJÄLP

95.11.08 09:27 8 HUS FUKT KOND. SUN 0479 FÄRVERING FUKTIGT

CyberVision 2

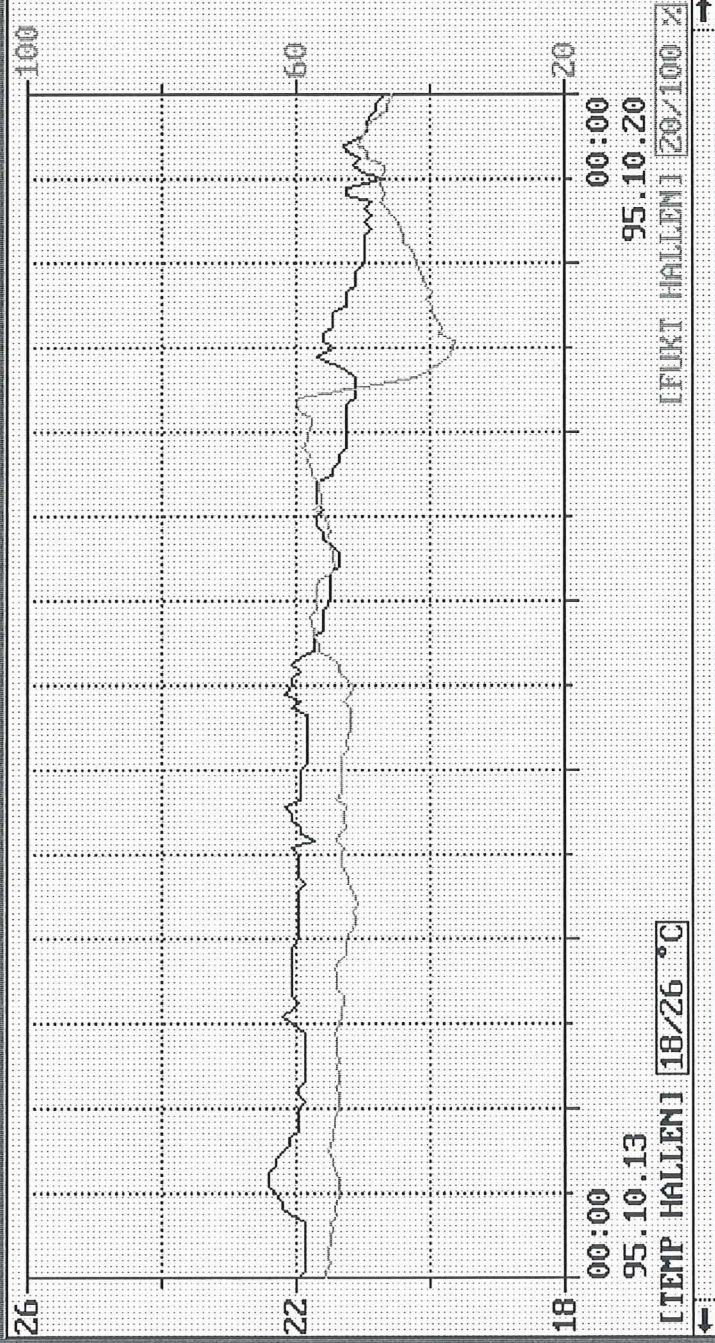
HISTORIK

95.11.08 10:55



MENY LARM LOGG TIDK TIDM TIDM RAPP HJÄLP

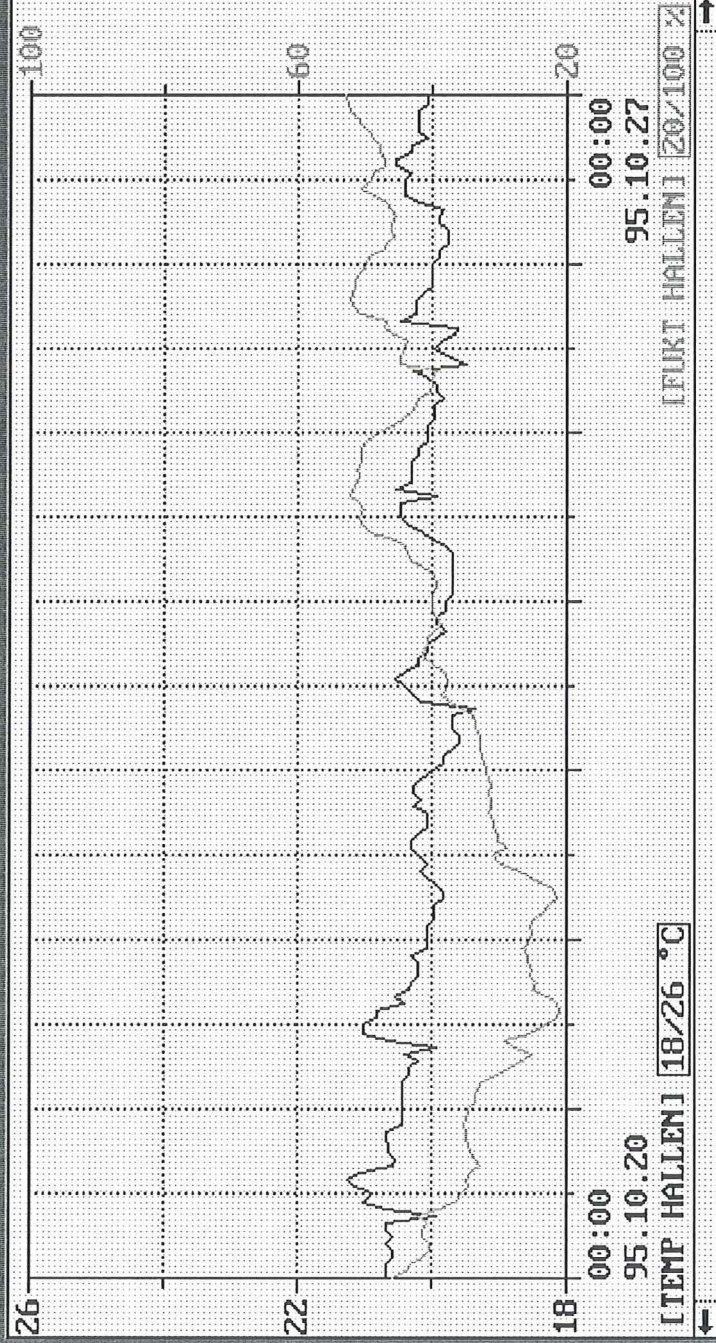
95.11.08 09:07 3 HIG FUKT KONP. RUM 0429 870.000000 FUKTBART



CyberVision 2

HISTORIK

95.11.08 10:57



MENY LARM LOGG TIDK TIDM TIDM RAFF RAFF HJÄLP

95.11.08 04:09 5 HIS TUM KLAR JUN 2475 900000000 FLYLEAF