

YAPIŞTIRILMIŞ TABAKALI AĞAÇ MALZEMEDE RUTUBET DEĞİŞİMİ NEDENİYLE GERİLMELERİN OLUŞUMU¹

Dr. Ahmet KURTOĞLU²

Kı s a Ö z e t

Bu çalışmada farklı iklim koşullarında kuruma gerilmelerinin büyüklüğü, gidişi ve yapıştırılmış tabakalı ağaç taşıyıcı yüzeyinde çatlamalara neden olabilen gerilmelerin en büyük olduğu kritik zamanın belirlenmesine çalışılmıştır.

Yapıştırılmış tabakalı ağaç taşıyıcı ne kadar şiddetli kurutulursa, rutubet meylî o kadar çabuk ortaya çıkmaktadır.

Kuruma çekme gerilmelerinin en büyük olduğu zaman, bağıl nem ve sıcaklığa bağıl olarak yerini değiştirmekte, sıcaklık ne kadar yüksek veya bağıl nem ne kadar düşük ise liflere dik yöndeki en büyük gerilmeler o kadar geç oluşmaktadır.

Kuruma şiddetinin yapıştırılmış tabakalı ağaç taşıyıcının, en dışta bulunan tabakasından ortasına doğru rutubet meylî üstüne etkisinde, açıkça görülmektedir.

Yürütülen denemelerden 20°C ve 30°C arasındaki sıcaklıklarda, tekniğine uygun olarak yapılan Hetzer - yapıştırılmış tabakalı taşıyıcıların pratikteki kullanıma rutubetleri (% 37 ile % 86 bağıl nem arasında) bölgesinde klima değişikliği nedeniyle, muhtemelen çatlakların oluşması için tehlikenin söz konusu olmadığı saptanmıştır.

1. GİRİŞ

Yapıştırılmış tabakalı ağaç taşıyıcının, amaca uygun kullanımı için higroskopik özelliklerinin göz önünde tutulması gerekmektedir. Konstruksiyon elemanı kullanılmayan yeri koşullarının belirlediği gerekli rutubete sahip olmalı ve bu rutubet miktarını aşmamalıdır.

Son zamanlarda tutkal ile yapıştırılmış tabakalı ağaç konstruksiyonlar tekniğine uygun elde edildikleri halde kusurlar görülebilmektedir. Rutubete karşı korunaksızın inşaat sahasına taşınan ve orada uzun süre doğal hava koşullarında bira-

¹ Universität für Bodenkultur, Institut für Holzforschung, Wien'de yapılmış olan «Tabakalı taşıyıcı kalın ağaç malzemede rutubet değişimleri nedeni ile oluşan gerilmeler» (Spannungsänderungen in grössen Holzquerschnitten infolge von Feuchtigkeitsänderungen) adlı doktora tezinin kısaltılarak Türkçeleştirilmiş bir bölümüdür.

² İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Ürünlerinden Faydalanma Kürsüsü.

kılmış olan yapıştırılmış tabakalı taşıyıcılarda montaja kadar hiçbir kusura rastlanmamaktadır.

Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı fazla rutubet aldığıında, ek olarak alınan bu rutubeti tekrar geri vermek için yeterli zaman bulunduğında başlangıçta tehlikeye neden olmamaktadır. Fakat örneğin: Bu malzemenin kullanıldığı bina beklenmesizin hemen işletmeye açılıp, ısıtıldığında, salondaki bağı nem miktarı çok hızlı bir şekilde düşmektedir. Bunun sonucunda yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı kısa süre içinde rutubet kaybetmekte ve yüzeyinde liflere dik yönde gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Kuruyan odun kısımlarında ortaya çıkan liflere dik yöndeki gerilmeler liflere dik yöndeki çekme direncini aştığı zaman çatlamalara neden olabilmektedir. Liflere dik yöndeki daralma gerilmeleri konusunda bir çok çalışma yapılmış bulunmaktadır. Gerilmeler için esas tutulan şekil değişimleri farklı koşullar altında ve çeşitli yöntemler ile ölçülmüş olup nedenleri açıklanmış bulunmaktadır. Burada en yeni çalışma olan «Mekanik olarak daralmayı engellemek suretiyle dik yöndeki çekme gerilmelerinin oluşumu ve büyüklüğü» üzerine GERSTETTER (1976)'in araştırması örnek verilebilir.

Kuruma çekme gerilmelerinin oluşumu ve büyüklüğü üstüne bugüne kadar elde olunan bilgileri tamamlamak için, aşağıdaki çalışmada yapıştırılmış tabakalı ağaç malzeme üzerinde bu gerilmelerin oluşumu, büyüklüğü ve çatlamalara neden olabilen gerilmelerin en büyük olarak ortaya çıktığı kritik zamanın belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. ODUNDAKİ ÇEŞİTLİ GERİLMELERİN NEDENLERİ

Her madde aktif ve pasif olmak üzere iki türlü gerilme gösterebilmektedir.

Pasif gerilmenin nedeni, maddenin kendi içinde değil aksine maddeyi dışarıdan etkileyen mekanik kuvvetler tarafından olmakta, buna karşın aktif gerilmelerin nedeni maddenin kendi içinde olup, dışarıdan mekanik kuvvetlerin etkisi olmaksızın oluşmaktadır. Odunda kuruma sırasında ortaya çıkan aktif gerilmelerin oluşumunun bazı nedenleri aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Ayrı ayrı odun tabakalarının eşit olmayan hızda kurumması nedeni ile daralmanın engellenmesi

Kurumaya bırakılan odundan difüzyon ve kapiler güçler nedeniyle su çekilmektedir. Böylece odunun en dışta bulunan tabakalarında, havanın sıcaklık ve bağı nemine uygun odun denge rutubeti ortaya çıkmaktadır. Daha derinde bulunan tabakalarda, kuruma, dış tabakalara göre daha yavaş olmakta ve dolayısıyla odunun enine kesiti üzerinde bir rutubet düşüşü (rutubet meyli) oluşmaktadır. Rutubet düşüşü yüzünden daralma, kurumuda hızlı ilerleyen dış tabakada kurumda geri kalan iç tabakalar tarafından mekanik olarak engellenmektedir ve bunun sonunda da aktif çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Odunun enine kesitindenki rutubet düşüşü nedeniyle ortaya çıkan kuruma çekme gerilmeleri'ne yalnız kısa süre devam eden gerilmeler olarak bakılmaktadır. Zira, genellikle kuruyan iç ve dış odun tabakaları arasında odunun yapısı bakımından spesifik daralma farkı bulunmamaktadır. Bu gerilmelerin odunun enine kesiti üzerinde eşit bir rutubet miktarına erişilinceye kadar önce bir maximuma ulaşacağı ve daha sonra yavaş yavaş kaybolacağı beklenilmektedir (SCHNIEWIND 1960).

Odunda rutubet düşüşü nedeniyle ortaya çıkan gerilmeler esas olarak kurumanın başlangıç safhasında dış çatlaklara neden olmaktadır (PERKİTNY - HELİNSKA - RACZKOWSKA 1974).

2.2. Odun dokusunun daralma anizotropisi nedeniyle daralmanın engellenmesi

Mikrofibril yerleşiminin, hücre çeperi tabakaları kalınlığının ve hücre çeperi kimyasal ana maddeleri (Selüloz - hemiselüloz - lignin)'nin dağılımındaki farklılıklar farklı odun tabakalarında farklı daralma kabiliyetinin beklenilmesine neden olmaktadır.

SCHNIEWIND (1960) münferit hücre çeperlerinde farklı daralma kabiliyetinden dolayı ortaya çıkan gerilmeleri 1. derecede gerilmeler olarak görmektedir. 1. derecede kuruma gerilmeleri yanında kuruyan odunda ek olarak nedeni farklı hücre dokularının (öz ışını hücreleri - ilk bahar ve yaz odunu hücreleri) eşit olmayan daralmaları nedeniyle 2. derecede Gerilmeler ortaya çıkmaktadır. 3. derecede Gerilmeler büyük odun parçalarında ortaya çıkmakta, hem kuruma esnasında eşit olmayan rutubet dağılımı, hemde odunun ayrı ayrı kısımlarının eşit olmayan daralma kabiliyeti nedeni ile oluşmaktadır.

2.3. Büyüme gerilmeleri nedeniyle daralmanın engellenmesi

Daralma engellenmesinin bir nedeni de ağaçta dikili halde iken var olan büyüme gerilmeleridir. Büyüme gerilmeleri ağacın kesilmesi halinde çeşitli şekillerde değişebilen oldukça karmaşık Fiziksel - Mekanik bir olgudur (PERKİTNY und HELİNSKA 1966).

Gövdenin kesilmesi halinde bu gerilmelerin bir kısmı ortadan kalkmaktadır.

Rutubetli odunun kurutulmasında hücre dokusu içerisindeki denge durumu bozulmakta ve büyüme gerilmeleri altındaki odun tabakası odunun kurutulmasında farklı bir daralma kabiliyetine neden olmaktadır. Bu nedenle de kurutma gerilmeleri oluşmaktadır.

3. YAPIŞTIRILMIŞ TABAKALI TAŞIYICILARIN YÜZEYİNDE GERİLMELERİN OLUŞUMU VE BELİRLENMESİ

Odunun rutubet alması veya vermesi boyutlarında değişimlere (Daralma - Genişleme) neden olmaktadır. Odunun enine kesiti üzerinde eşit olmayan rutubet dağılımı yer yer daralma veya genişlemeye neden olmakta, bunlarda daralma ve genişleme gerilmelerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır.

Odunun enine kesitinde rutubet düşüşünün bulunması durumunda, kurutmada en dışta bulunan tabakalar, daha yavaş takip eden iç tabakalar tarafından daralmada engellenmektedir. Liflere dik yönde daha ziyade yüzeyde daralmanın engellenmesi çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olmakta, bu gerilmeleri SERQOWSKIJ 1961 «Rutubet Gerilmeleri» olarak adlandırmaktadır. Odunun enine kesitindeki rutubet düşüşü nedeniyle meydana gelen bu gerilmeler SCHNIEWIND (1960)'a göre «Geçici Gerilmeler» olarak kabul edilmektedir. Bu gerilmeler odun rutubetinin lif doygunluğu rutubet bölgesi altına düşmesi halinde ortaya çıkmakta ve deneme örneği enine kesiti üzerinde denge rutubetinin tamamen sağlanmasından sonra ortadan kaybolmaktadır (KUBLER 1956).

Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyinde oluşan gerilmelerin kuruma hızına bağlı olarak belirlenmesi için aşağıdaki denemelerin yapılması öngörülmüştür.

- Deneme 1 :* 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin % 86 dan % 65 değişmesi nedeniyle odun rutubetinin $u = \% 17,5$ den $u = \% 12$ ye değişmesi.
- Deneme 2 :* 20 °C sıcaklıkta bağıl nemin % 86 dan % 17 ye değişmesi nedeniyle odun rutubetinin ortalama $u = \% 17,5$ den $u = \% 8$ 'e değişmesi.
- Deneme 3 :* 20 °C sıcaklıkta ve % 86 bağıl nemde odun rutubetinin ortalama dan 30 °C sıcaklık ve % 63 bağıl nemde ortalama $u = \% 11,5$ 'e değişmesi.
- Deneme 4 :* 20 °C sıcaklıkta ve % 86 bağıl nemde odun rutubetinin ortalama $u = \% 17,5$ dan 30 °C sıcaklıkta ve % 37 bağıl nemde ortalama $u = \% 6$ 'a değişmesi.
- Deneme 5 :* Yapay yağmurlama ve tekrar kurutmada odun rutubetinin değişmesi :
20 °C sıcaklıkta ortalama başlangıç rutubeti $u_0 = \% 17,5$ - 12 °C sıcaklıkta yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyi üzerinde ortalama en yüksek odun rutubeti $u_{max} = 27,1$ ve 30 °C sıcaklıkta ortalama son rutubet $u = \% 6$.

4. DENEME ÖRNEKLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Denemelerde örnek olarak 1 metre boyunda 10 cm genişliğinde ve 30 cm yüksekliğinde 5 adet Ladin odunundan yapılmış HETZER yapıştırılmış tabakalı parçası kullanılmıştır. Taşıyıcının lamelleri ortalama 3,3 cm kalınlığında redelenmiş ladin odunu tahtalarından elde edilmiş olup, yalnız öz ihtiva etmeyen tahtalar kullanılmıştır. Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı elde edilmeden önce, taşıyıcı oluşturan her bir tahta 20 °C ve % 86 bağıl nemde klimatize edilmiştir. Klimatize edilen tahtalar tekniğine uygun olarak Phenol-Resorcin Formaldehid tutkallı ile soğuk sertleşme altında yapıştırılmıştır. Sıkıştırma basıncı ortalama 5 kp/cm², süresi 24 saat olarak alınmıştır. Daha sonra yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı rendelenip eşit parçalara bölünmüş, deneme örnekleri denemenin yürütülmeye başlayınca kadar klima dolabında 20 °C sıcaklık ve % 86 bağıl nemde bekletilmiştir. Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcının ortalama özgül ağırlığı 0,450 gr/cm³ bulunmaktadır.

5. DENEME METODU

Mekanik şekilde dışarıdan etki etmeksizin materyalde oluşan gerilmelerin (Aktif Gerilme) belirlenmesinde halen çeşitli metodlar kullanılmaktadır (BIRKENFELD 1968). Bu gerilmeler mekanik olarak dışarıdan etki etmek suretiyle tekrar kazanılarak gerilme uzama ölçme şeridi yardımıyla ölçülebilmektedir. Uzama ölçme şeritleri (DMS) gerilme altında bulunan ölçme yerine yapıştırılmakta ve daha sonra odunun doğal yapısı ölçme yeri bölgesinde kesici bir aletle parçalanmaktadır. ayırma sırasında geriye kalan küçük kısımlardaki şekil değişimleri uzama ölçme şeridi aracılığı ile ölçülmektedir. Parçalanan bu kısımda parçalara ayırmadan önce bulunan gerilmeler ölçülen şekil değişimleri vasıtasıyla hesaplanılmaktadır. Hooke kanunu uzama ölçmelerinin kıymetlendirilmesinde ana temeli oluşturmaktadır. Bu

konuda «Liflere dik yönde elastikiyet modülü'nun belirlenmesi» bölümünde bilgi verilmektedir.

Parçalayarak ölçme metodu odunda çeşitli araştırmacılar tarafından farklı şekilde yürütülmüş bulunmaktadır. En dışta bulunan odun tabakasının rendelenmesi dahi gerilme çözülmesine neden olmakta, bununla birlikte aktif gerilmeler bu şekilde tamamen ortadan kaldırılamamaktadır (UGELOV 1955).

SAURAT ve GAENEAU (1976) ölçme yerinin kenarında iki kez burgu ile delik açmak suretiyle varolan gerilmelerin % 90 nını çözebilmiştir.

Öngörülen denemelerde olabildiğince tüm gerilmeleri çözebilmek için Bölüm 5.3 de belirtilen ön deneme yürütülmüş bulunmaktadır.

5.1. Deneme düzeni ve yürütülmesi

Denemelerde normal klima dışındaki klima ayarlamaları için aşağıda belirtilen tuz çözeltileri kullanılmıştır.

t°C	Bağıl nem %	u _g	Taban tuzuyla birlikte tuz çözeltisi	
30	37	6	MgCl ₂ ·H ₂ O	(Magnezyumklorür)
20	47	8	K ₂ Co ₃ ·2H ₂ O	(Potasyumkarbonat)
30	63	11,5	NaNO ₃	(Sodyumnitrat)
20	65	12,0	Klima odasında	
20	86	17,5	KCl	(Potasyumklorür)

Gerilmenin çözülmesi nedeniyle oluşan şekil değişikliğinin ölçülmesinde uzama ölçme şeritleri kullanılmaktadır. Bir objenin üzerine yapıştırılmış olan uzama ölçme şeridinin direnci üzerine yapıştırıldığı objenin şekil değişmesine orantılı olarak değişmektedir.

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

R = Uzama ölçme şeridinin direnci

ΔR = Genişleme veya daralma nedeni ile oluşan direnç değişikliği

$\frac{\Delta l}{l}$ = Objenin şekil değişikliği

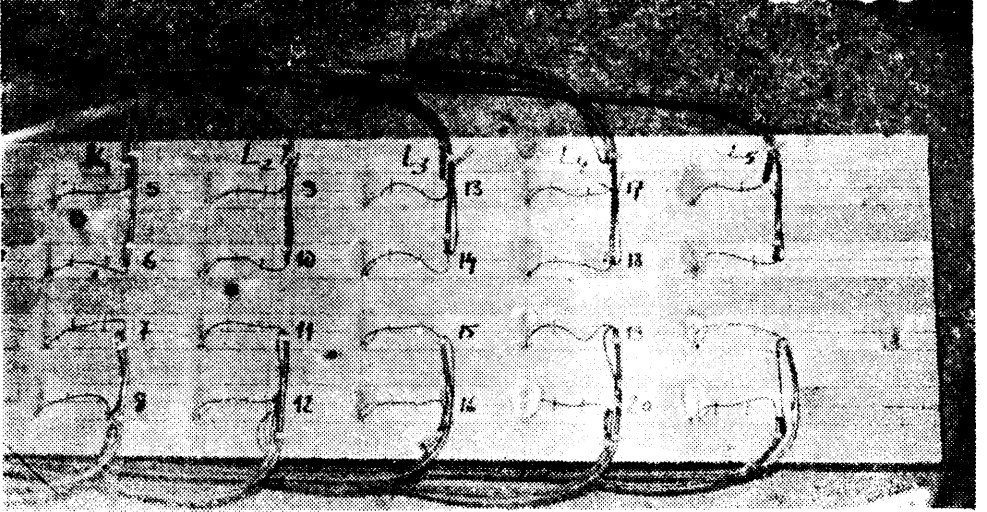
k = Uzama ölçme şeridi faktörü (Kullanılan uzama ölçme şeridi paketinde verilen pratik olarak belirlenmiş bir değer).

Uzama ölçme şeridi ile ölçmeler için pratikte daima Wheatsone metodu kullanılmaktadır.

Uzama ölçme şeridi Şekil 1'de gösterildiği gibi yapıştırılmış tabakalı taşıyıcının herbir ikinci lameli üzerine yapıştırılmaktadır.

Aplike edilmeden önce yapıştırma yeri etilalkol ile temizlenip, yarım saatlik bekleme süresinden sonra uzama ölçme şeridi, amaca uygun yapıştırma maddesi ile deneme materyali üzerine yapıştırılmaktadır. Bu araştırmada kullanılan uzama

ölçme şeridinin ön koşul öne sürmeksizin odun gibi metalik olmayan maddelerde kullanılamayacağını belirtmek gerekmektedir. Liflere dik yönde çok düşük elastikiyet modülüne sahip maddelerde uzama ölçme şeridi sertleşmekte, kendi sertlik özellikleri ölçme bölgesine etki etmekte ve bu nedenle de güvenilir olmayan ölçme sonuçları elde edilebilmektedir. Bu etken aynı şekilde yapıştırıcı madde içinde geçerli bulunmaktadır.



Şekil 1. Uzama ölçme şeridinin aplikasyonu
Abb. 1. Applikation der Dehnungsmesstreifen

SLIKER (1971)'in araştırmalarına göre odun liflerine paralel yönde uzama ölçme şeridi ile ölçmeler oldukça problemsiz olarak görülmekte, liflere dik yöndeki ölçmeler biraz daha kritik bulunmaktadır. Zira gerilmelerin belirlenmesi yalnız $2-4 \cdot 10^3$ kp/cm² arasında elastikiyet modülü ile hesaplanmaktadır. Bu denemelerden elde edilen sonuçların dağılımı uzama ölçme şeridinin yukarıda belirtilen sakıncasından daha büyük bulunmakta, bu nedenle de bu çalışmada aynı yöntem kullanılmaktadır.

5.2. Uzama ölçme şeridi ölçme yerinin başlangıç noktasının sabitleştirilmesi

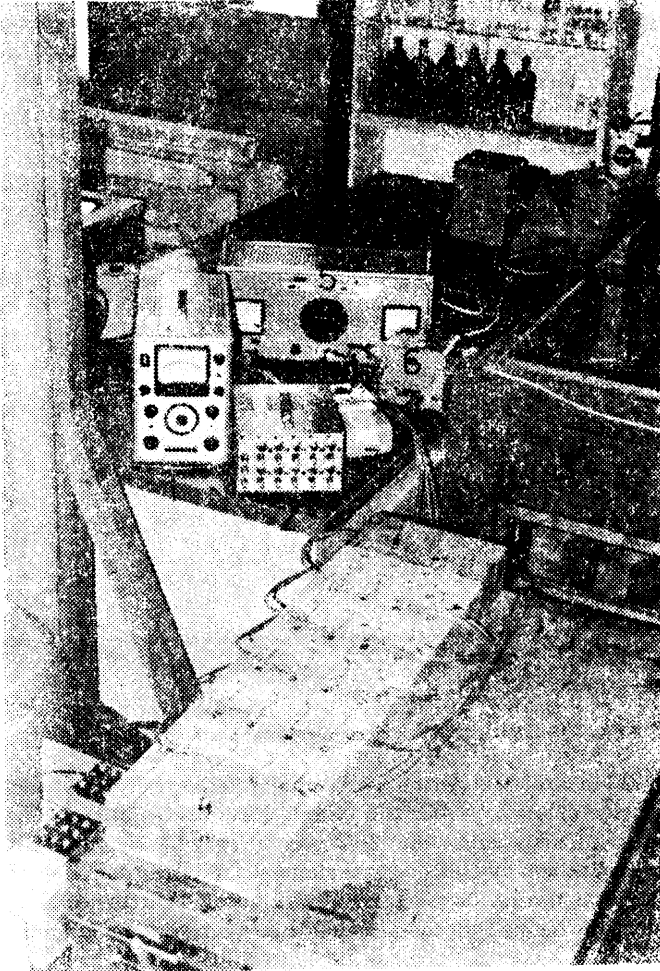
Pratik ölçmelere hazırlanmak için yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı üzerindeki uzama ölçme şeridi ölçme yerinin başlangıç noktasının sabitleştirilmesi gerekmektedir.

Ladin odunundan yapılmış deneme örneği üzerindeki bir uzama ölçme şeridi, ölçme yerinde 47 saatten fazla sürede yüksek bir sabitleşme göstermektedir.

Bu sonuçlar topraktan yapılmış malzeme üzerinde bulunan 60 saatlik sınır değerinden biraz daha uygun bulunmaktadır (ANONYMUS 1967).

Bu sonuçlardan da anlaşıldığı gibi deneme materyali üstüne uzama ölçme şeridi yapıştırıldıktan sonra en az iki gün beklemek gerekmektedir. Böylece yapıştırıcı madde dolayısıyla ortaya çıkan gerilmeler, bu arada ortadan kalkmakta ve değişmeksizin ayar edilebilecek bir duruma ulaşılmaktadır.

Şekil 2 yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyindeki şekil değişmelerinin belirlenmesi için deneme düzenini göstermektedir.



Sekil 2. Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyindeki gerilmelerin belirlenmesinde deneme düzeni

Abb. 2. Versuchsordnung für die Bestimmung der Spannungen an der Trägeroberfläche.

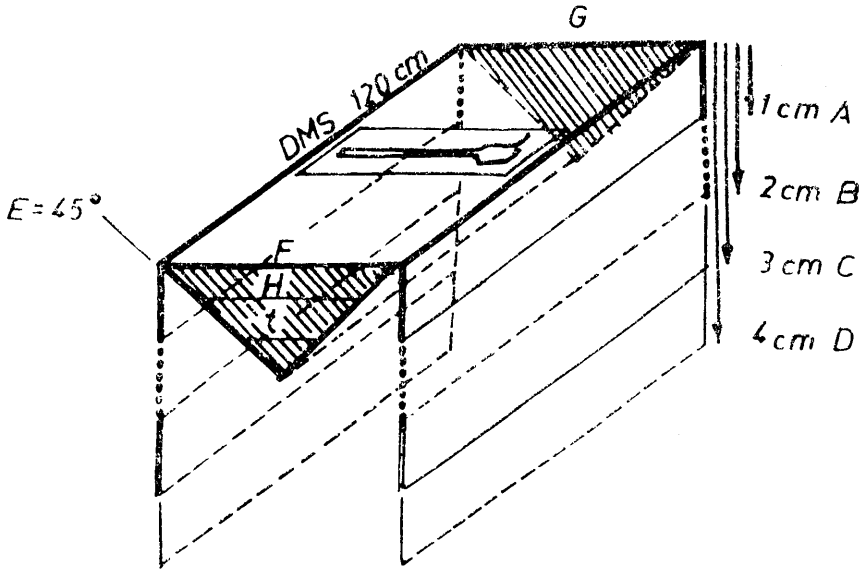
- 1 — Ölçme kuvvetlendiricisi - Messverstärker KWS/II - 5
- 2 — Ölçmeyi değiştiricisi - Messtellenumschalter UMG - 23, C1
- 3 — Klima dolabı - Klimaschrank
- 4 — Uzun ölçme şeritli deneme materyali - Probe mit DMS
- 5 — Transformator - Transformator
- 6 — Doğrultmaç (Redresör) - Gleichrichter
- 7 — Ampermetre - Ampmeter

5.3. Liflere dik yönde gerilmelerin elde edilmesi üzerine kesme derinliğinin etkisi

Farklı klima değişiklikleri nedeniyle ortaya çıkan gerilmeleri olabildiğince doğru çözebilmek için aşağıdaki deneme yürütülmüştür.

Altmış cm uzunluğunda 10 cm genişliğinde ve 13 cm yüksekliğinde yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı parçası deneme materyali olarak kullanılmaktadır. Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı 6 adet ortalama 3.3 cm kalınlıkta ladin tahtalarından oluşmaktadır. Deneme başlamadan önce numuneler 20°C sıcaklık ve % 86 bağıl nemde ($U_{rel} = \% 17.5$) klimatize edilmiş ve yaklaşık iki aylık bekleme süresinden sonra herbir ikinci lamel üzerine enine kesitten başlayarak 21,5 cm uzaklıkta uzama ölçme şeridi yeri belirlenmiştir. Bu kısım etil alkol ile temizlenip, yağlı maddeler uzaklaştırıldıktan sonra 30 dakika beklenip uzama ölçme şeridi (Hottinger Messtechnik Ges.m.b.H. Darmstadt, firmasının tip 20/120 LA 21), aynı firmanın X 60 yapıştırıcı maddesi ile yapıştırılmıştır.

Yapıştırıcı madde nedeniyle ortaya çıkan gerilmelerin büyük bir bölümünün ortadan kalkması için 2 gün süre ile beklenilmiştir. Bundan sonra herbir uzama ölçme şeridi 14 Wheatstone köprüsü ile elektrik akımı verilerek ayar edilmiştir. Si-



Sekil 3. Çekme gerilmelerinin çözülmesinde kesme şekilleri
Abb. 3. Schnittarten zur Auslösung von Querspannungen

- A — Liflere paralel yönde, kesiş derinliği 1 cm
Parallel zur Faser, Schnitttiefe 1 cm
- B — Liflere paralel yönde, kesiş derinliği 2 cm
Parallel zur Faser, Schnitttiefe 2 cm
- C — Liflere paralel yönde, kesiş derinliği 3 cm
Parallel zur Faser, Schnitttiefe 3 cm
- D — Liflere paralel yönde, kesiş derinliği 4 cm
Parallel zur Faser, Schnitttiefe 4 cm
- E — 45° Eğimli - Schräg 45° geneigt
- F, G — Lifler dik yönde, uzama ölçme şeridinden 1,2 cm uzaklıkta
Quer zur Faser, 1,2 cm Entfernung von DMS
- H — Horizontal, uzama ölçme şeridinin 0,5 cm altında
0,5 cm unter DMS, Horizontal
- I — Horizontal yönde, uzama ölçme şeridinin 1,0 cm altından
1,0 cm unter DMS, Horizontal

cahlığın dengelenmesi zorunlu olan fakat rutubetin önemli bir rol oynamadığı çelik hammaddesinin aksine olarak odunda rutubet değişikliğinde dengelenmesi gerekmektedir. Burada rutubet değişikliği sıcaklığa göre daha önemli bulunmaktadır. Yürütülmüş olan denemede rutubetin rahatsız edici etkisi daima 20°C sıcaklık ve % 86 bağıl neme ayar edilmiş olan dengeleme uzama ölçme şeridi aracılığıyla ortadan kaldırılmaktadır.

Ayarlamadan sonra deneme materyali klima dolabından dışarı alınıp, 20°C sıcaklık ve % 65 bağıl neme sahip ayrı bir klima dolabında kurutulmağa bırakılmaktadır. 18 saatlik kurutma süresinden sonra liflere dik yöndeki şekildeğişiklikleri KWS/II - 5 ölçme kuvvetlendiricisi aracılığıyla ölçülmüş ve ölçme yerleri 1) % 0,58 - 2) % 0,64 - 3) % 1,15 olarak bulunmuştur.

Şekil değişikliklerinin belirlenmesinde, Şekil 3 de görüldüğü gibi yapıştirilmiş tabakalı taşıyıcı parçası ölçme yerinin kenarında özel bir yuvarlak testere ile farklı şekillerde kesilmektedir.

Kesme işi Liflere dik ve paralel yönde farklı kesme derinlikleri ile ve 45° lik açı altında meyilli olarak özel bir yuvarlak testere aracı ile yürütülmektedir. Deneme sonuçları ölçme yerleri için aşağıda gösterilmiştir.

Şekli Kesme	Şekil değişimleri % Ölçme yeri			Ortalama
	1	2	3	
A	0,24	0,32	0,30	0,29
B	0,36	0,43	0,48	0,42
C	0,42	0,45	0,56	0,48
D	0,45	0,43	0,64	0,51
E	0,55	0,59	1,12	0,75
F	0,34	0,50	0,65	0,50
G	0,12	0,32	0,45	0,30
H	0,10	0,20	0,41	0,24
I	0,10	0,18	0,43	0,24

Görüldüğü gibi Kesme şekli E (45° eğimli karşılıklı iki kesiş) ile en büyük şekil değişikliği (Böylece gerilme çözülmesi) elde edilmektedir. Bu nedenle liflere dik yöndeki çekme gerilmelerinin çözülmesinde kesme şekli E'nin denemelerde kullanılması uygun bulunmaktadır.

5.4. Liflere dik yönde elastikiyet modülünün belirlenmesi

Ölçülen şekil değişmelerinden varolan gerilmeleri saptamak için üzerinde uzama ölçme şeridi (DMS) yapıştirilmiş her ölçme yeri için elastikiyet modülünün bilinmesi gerekmektedir. Elastikiyet modülü, materyalin elastiki şekil değiştirme özellikleri üzerine aydınlatıcı bilgi veren bir materyal tanıtma büyüklüğü olarak tanımlanabilir. Gerilmelerin belirlenmesi için mukavemet bilgisi esaslarının bilinmesi gereklidir. Hook doğrusu bölgesinde materyal elastik bulunmakta ve bu bölgede meydana gelen şekil değişimleri tersinir olmaktadır.

Hook Kanununa göre,

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ kp/cm}^2$$

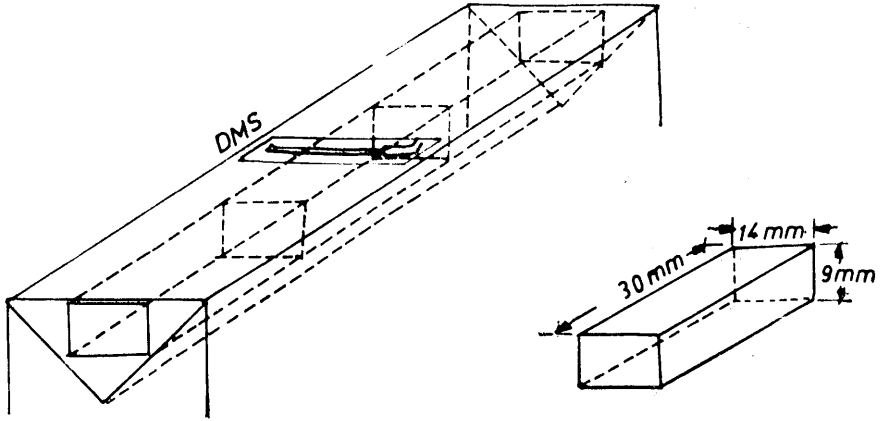
$$\sigma = \text{Gerilme kp/cm}^2$$

$$E = \text{Elastikiyet modülü kp/cm}^2$$

$$\varepsilon = \text{Şekil değişikliği cm/cm}$$

Şekil değişimleri daha önce açıklandığı biçimde belirlenmiştir.

Elastikiyet modülünün belirlenmesi için Şekil 4 de gösterildiği gibi doğrudan doğruya ölçme yeri bölgesinde 3 adet $30 \times 14 \times 9$ mm boyutlarında örnekler arka arkasına alınmıştır.



Şekil 4. Deneme materyalinin elde edilmesi
Abb. 4. Herstellung der Versuchsproben

Bu amaç ile kullanılan örnekler 20°C sıcaklık ve % 65 bağıl nemde ($u_{gl} = \% 12$) iklimize edilmiştir. Denemenin yürütülmesinden önce, örneklerin rutubeti kurutma metodu ile belirlenmiştir. Elastikiyet modülünün deneysel yolla belirlenebilmesi için rutubet miktarlarında kesin kez göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Liflere dik yönde odunun elastikiyet özellikleri farklı sıcaklık ve odun rutubetleri göz önünde bulundurularak çeşitli odun türleri için birçok çalışmada geniş şekilde açıklanmış bulunmaktadır (YLINEN 1954 - GOULET 1960).

YLINEN (1954)'e göre liflere dik yönde Karaçam odununun elastiklik modülü için oda sıcaklığında ve $u = \% 6 - u = \% 24$ arasındaki odun rutubeti bölgesinde doğrusal bir bağıllık bulunmaktadır. Belirtilen çalışmalardan liflere dik yöndeki elastiklik modülünün artan odun rutubeti ve sıcaklık ile düştüğü saptanmıştır.

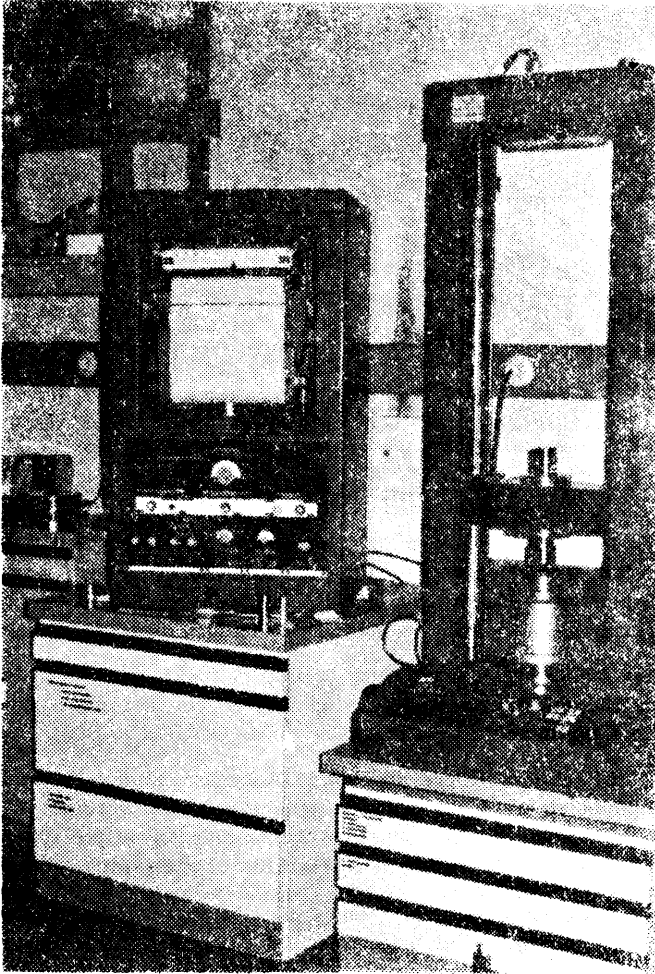
POZGAJ (1974) tarafından odunun basınç elastikiyet modülünün tashiinde rutubet faktörleri öne konulmuş bulunmaktadır. % 0 dan % 24 e kadar odun rutubeti bölgesinde % 1 lik rutubet değişiminde liflere dik yöndeki basınçta elastikiyet modülü kıymetinin değişmesi Ladin odununda radyal yönde 300 kp/cm^2 , teğetsel yönde 60 kp/cm^2 olmaktadır.

KOLLMANN (1959)'e göre liflere dik yönde basınç denemelerinde elastikiyet modülü her % 1 lik rutubet azalmasında yaklaşık olarak % 2 düşmektedir. Bunun sonucunda bilinen bir E_1 (Elastiklik modülü) ve u_1 (Odun rutubeti) den verilen bir odun rutubeti u için elastikiyet modülü E hesaplanabilmektedir.

$$E_2 = E_1 \cdot (1 - 0,02 (u_1 - u)) \text{ kp/cm}^2$$

Yapılan araştırmalarda gerilmelerin serbest duruma geçirilmesi anında elastiklik modülü belirlenmesinde kullanılan örneklerde odun rutubetleri belirlenmiş ve yukarıda belirtilen formül yardımı ile elastiklik modülü hesaplanmaktadır.

Denemeler Şekil 5 de gösterilen Instron - mukavemet deneme makinasında yük bölgesi maximum 1000 kg da yürütülmüştür.



Şekil 5. Liflere dik yönde elastikiyet modülünün belirlenmesinde deneme düzeni
Abb. 5. Versuchsanordnung für die Bestimmung des E-Moduls quer zur Faserrichtung.

**6. YAPIŞTIRILMIŞ TABAKALI TAŞIYICI ÜZERİNDE ÇATLAMALARA
NEDEN OLABİLEN GERİLMELERİN OLUŞTUĞU
KRİTİK ZAMANIN BELİRLENMESİ**

Kurumamın ilk bölümü sırasında odun enine kesiti üzerinde büyük bir odun rutubet düşüşü ortaya çıkmakta, bu arada odunun en dışta bulunan tabakalarında çekme gerilmelerinin oluşmasından kaçınılması olanak dışı bulunmaktadır.

Genellikle bu çekme gerilmeleri bilinmeyen bir kuruma zamanından sonra en büyük değere ulaşmakta ve daha sonrada yavaş yavaş azalmaktadır.

Çekme gerilmeleri en dışta bulunan odun tabakasında odunun çekme direncinden büyük oldukça odun yüzeyinde çatlakların oluşumu tehlikesi ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda belirtilen neden ile yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyi üzerinde çatlamalara sebep olabilen gerilmelerin oluştuğu kritik zamanın belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çeşitli kurutma zamanlarında ölçülen şekil değişiklikleri ve elastikiyet modülü, hesaplanan gerilmeler ve rutubetin düşüşü çizelge II de gösterilmektedir.

Kurutma zamanı Trocknungszeit Gün - Tage	$\epsilon = \% 0$	$E = \text{kp/cm}^2$	$\sigma = \text{kp/cm}^2$	R. D. = $\% / \text{cm}$
1	0.062	6138	3.67	3.9
3	0.042	6387	2.55	3.8
7	0.027	6395	1.75	3.8
14	0.0095	6077	0.48	3.2

Çizelge II₁ : Çeşitli kurutma zamanlarına göre elde edilen ortalama deneme sonuçları değerleri

Tabelle II₁ : Durchschnittliche Werte der ermittelten Versuchsergebnisse nach verschiedenen Trocknungszeiten

$u_a = \% 17.5$	$\rho = \% 86$	$t^\circ = 20^\circ \text{C}$
$u_{g1} = \% 12.0$	$\rho = \% 65$	$t'' = 20^\circ \text{C}$

Kurutma zamanı Trocknungszeit Gün - Tage	$\epsilon = \% 0$	$E = \text{kp/cm}^2$	$\sigma = \text{kp/cm}^2$	R. D. = $\% / \text{cm}$
1	0.103	5899	5.76	3.6
2	0.145	6570	8.67	5.0
3	0.148	5803	8.22	4.7
7	0.083	6465	5.21	4.4
14	0.005	6328	0.04	4.3

Çizelge II₂ : Çeşitli kurutma zamanlarına göre elde edilen ortalama deneme sonucu değerleri.

Tabelle II₂ : Durchschnittliche Werte der ermittelten Versuchsergebnisse nach verschiedenen Trocknungszeiten.

$u_a = \% 17.5$	$\rho = \% 86$	$t^\circ = 20^\circ \text{C}$
$u_{g1} = \% 8$	$\rho = \% 47$	$t'' = 20^\circ \text{C}$

Kurutma zamanı Trocknungszeit Gün - Tage	$\varepsilon = \% 0$	$E = \text{kp/cm}^2$	$\sigma = \text{kp/cm}^2$	R. D. = $\% / \text{cm}$
1	0.126	3842	4.88	4.5
2	0.150	4122	6.09	5.1
7	0.068	3925	2.63	3.1
14	0.0048	3744	0.10	2.7

Çizelge II₃: Çeşitli kurutma zamanlarına göre elde edilen ortalama deneme sonuçları değerleri.

Tabelle II₃: Durchschnittliche Werte der Ermittelten Versuchsergebnisse nach verschiedenen Trocknungszeiten.

$$u_{21} = \% 17.5 \quad \varphi = \% 86 \quad t = 20^\circ\text{C}$$

$$u_{21} = \% 11.5 \quad \varphi = \% 63 \quad t = 30^\circ\text{C}$$

Kurutma zamanı Trocknungszeit Gün - Tage	$\varepsilon = \% 0$	$E = \text{kp/cm}^2$	$\sigma = \text{kp/cm}^2$	R. D. = $\% / \text{cm}$
1	0.149	6830	10.25	8.6
3	0.187	6262	11.81	8.9
7	0.034	8169	3.54	7.9
14	0.022	7091	1.59	5.4

Çizelge II₄: Çeşitli kurutma zamanlarına göre elde edilen ortalama deneme sonuçları değerleri.

Tabelle II₄: Durchschnittliche Werte der ermittelten Versuchsergebnisse nach verschiedenen Trocknungszeiten.

$$u_{21} = \% 17.5 \quad \varphi = \% 86 \quad t = 20^\circ\text{C}$$

$$u_{21} = \% 6.0 \quad \varphi = \% 37 \quad t = 30^\circ\text{C}$$

Kurutma süresi Trocknungszeit Gün - Tage	$\varepsilon = \% 0$	$E = \text{kp/cm}^2$	$\sigma = \text{kp/cm}^2$	R. D. = $\% / \text{cm}$
1	0.185	5150	9.36	4.9
2	0.265	5545	14.71	10.8
3	0.274	5662	15.59	11.2
7	0.080	5304	4.93	9.6
14	0.019	5526	1.12	7.5

Çizelge II₅: Suni yağmurlardan sonra çeşitli kuruma zamanlarına göre elde edilen ortalama deneme sonuçlarının değerleri.

Tabelle II₅: Durchschnittliche Werte der ermittelten Versuchsergebnisse nach verschiedenen Trocknungszeiten nach der künstlichen Beregnung.

$$u_{21} = \% 17.5 \quad \varphi = \% 86 \quad t = 20^\circ\text{C}$$

$$u_{21} = \% 6.0 \quad \varphi = \% 37 \quad t = 30^\circ\text{C}$$

1) Her bir değer dört teker teker ölçümün ortalamasıdır.

2) $\varepsilon =$ Şekil değişikliği $\%$
 $\sigma =$ Gerilme kp/cm^2

$E =$ Elastikiyet modülü kp/cm^2
R. D. = Rutubet düşüşü $\% / \text{cm}$

Yukarıda çizelgede gösterilen çeşitli kuruma sürelerine göre farklı klimalarda yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyinde oluşan gerilmeleri Şekil 6 da gösterilmektedir.

Şekil 6 ve çizelgelerden görüldüğü gibi değişmeyen sıcaklıklarda kuruma çekme gerilmelerinin gidişi ve büyüklüğü ilk önce bağıl neme bağlı bulunmaktadır. Aynı sıcaklıkta bağıl nem kadar düşük ise, kuruma çekme gerilmeleri o kadar büyük olmaktadır.

Örneğin: Odun başlangıç rutubeti $u_0 = \% 17,5$ den 20°C sıcaklık ve $\% 65$ bağıl neme ayarlanması halinde (Şekil 6, Eğri no: 1) en büyük çekme gerilmesi 1. günde $3,67 \text{ kp/cm}^2$ 'e ulaşmaktadır.

20°C sıcaklık ve $\% 47$ bağıl nem (Şekil 6, Eğri no: 2) klima ayarlanması için en büyük çekme gerilmesi değerine 2. günde $8,67 \text{ kp/cm}^2$ ile ulaşılmaktadır. Değişmeyen bağıl nemde çekme gerilmelerinin büyüklüğü ve gidişi sıcaklığa bağlı bulunmaktadır. Sıcaklık ne kadar yüksek ise, çekme gerilme değerleri o kadar büyük olmaktadır.

Örneğin: 30°C ve $\% 65$ bağıl nemde (Şekil 6, Eğri: 1) yalnız $3,67 \text{ kp/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Şekil 6, Eğri 1'den (Odun başlangıç rutubeti $u = \% 17,5$, Klima ayarlanması 30°C sıcaklık ve $\% 37$ bağıl nem) en büyük çekme gerilmesine 3. günde $11,81 \text{ kp/cm}^2$ ile erişildiği anlaşılmaktadır.

Aynı koşullarda kurutulmaya bırakılan yapay olarak yağmurlandırılmış deneme örneğinde ise en büyük liflere dik yöndeki çekme gerilmesine 3. günde $15,59 \text{ kp/cm}^2$ ile ulaşılmış bulunmaktadır.

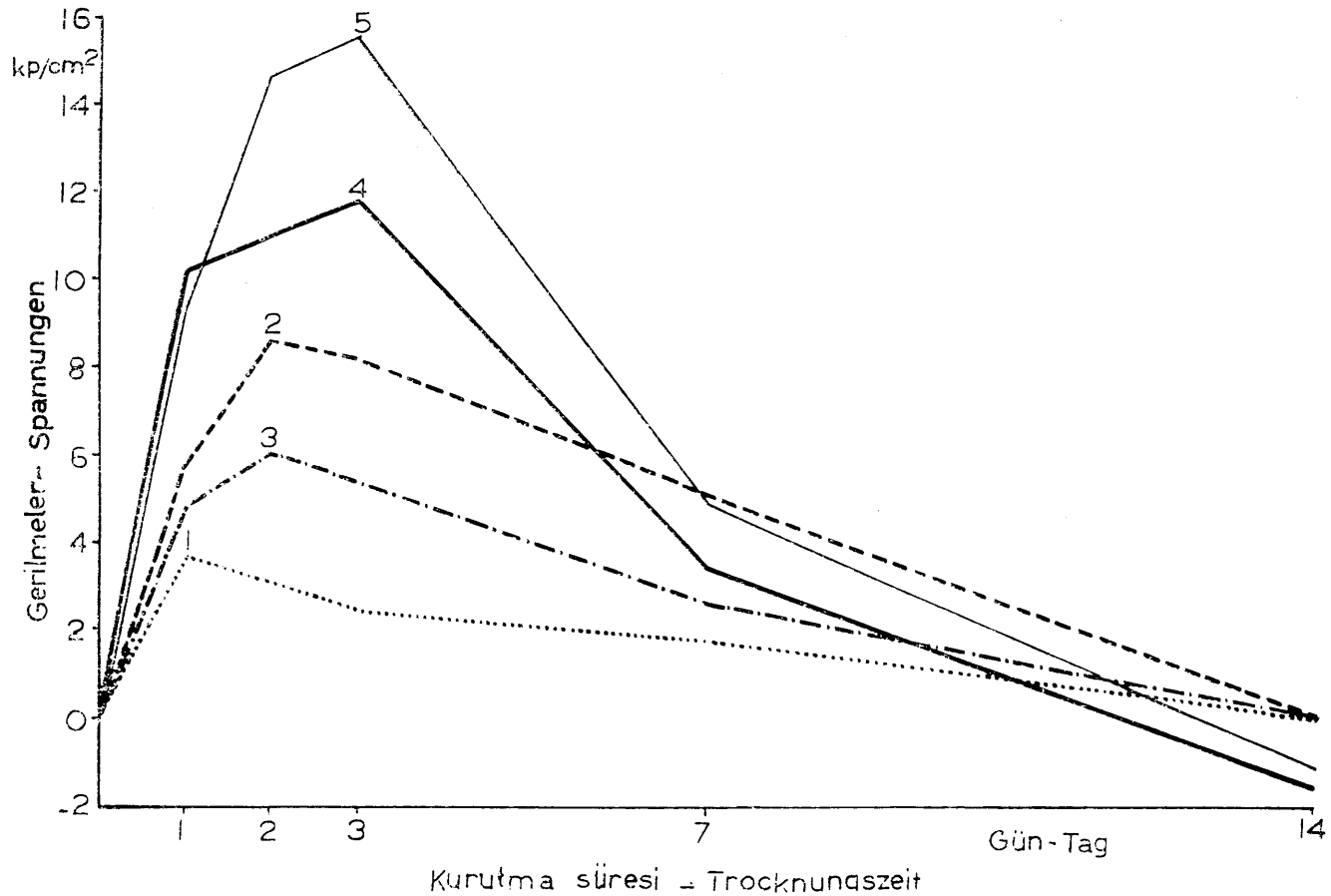
Ayrıca çizelge II, ve II den şekil değişikliği tersine olmasına rağmen, 30°C sıcaklık ve $\% 63$ bağıl neme klima ayarlamasında elde edilen gerilme değerleri, 20°C sıcaklık ve $\% 43$ bağıl neme ayarlanmış klimada elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak her iki denemede kullanılan yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı parçalarının Elastikiyet modüllerinin farklı olması gösterilebilir. Bundan yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyindeki gidişi ve büyüklüğü yalnız sıcaklık ve bağıl neme değil, ayrıca odunun elastikiyet özelliklerine bağlı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı enine kesiti üzerinde farklı kuruma zamanları için belirlenen rutubet dağılımları şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir.

Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı enine kesiti üzerindeki rutubet dağılımında belirli bir kuruma zamanının da kuruma gerilmeleri üzerine etkisi bulunmaktadır. Taşıyıcı ne kadar şiddetli kurutulursa o kadar çabuk rutubet meyli oluşmakta ve rutubetin düşüşü de okadar dik olmaktadır.

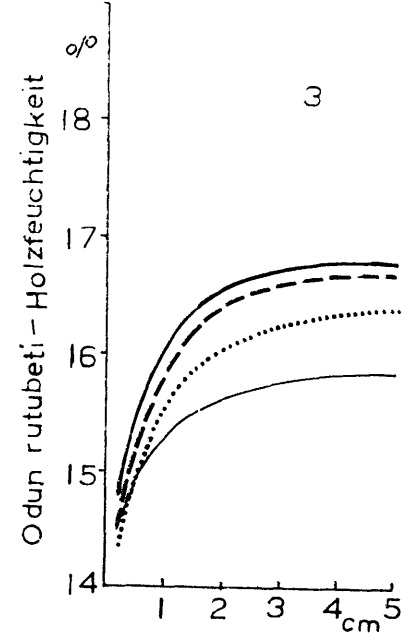
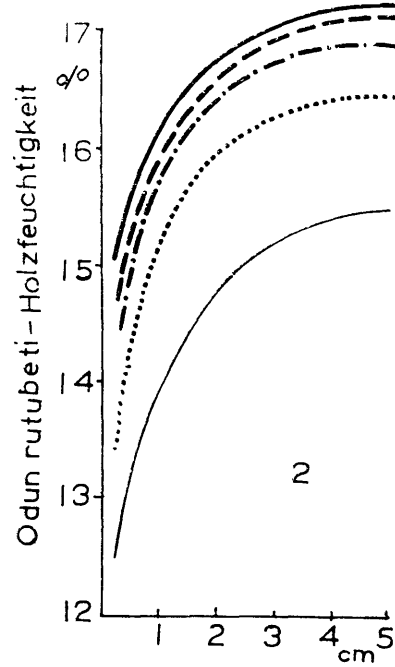
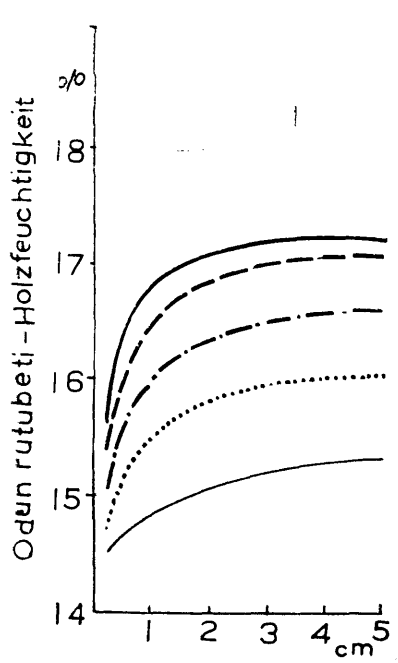
Dene sonuçları aşağıdaki gibi kısaca özetlenebilir :

- 1 — Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyindeki gerilmelerin gidişi ve büyüklüğü yalnız sıcaklık ve bağıl neme değil aynı zamanda odunun elastikiyet özelliklerine bağlı bulunmaktadır.



Şekil 6. Değişen klima koşullarında çeşitli kurutma zamanlarına göre yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı yüzeyinde oluşan gerilmeler.

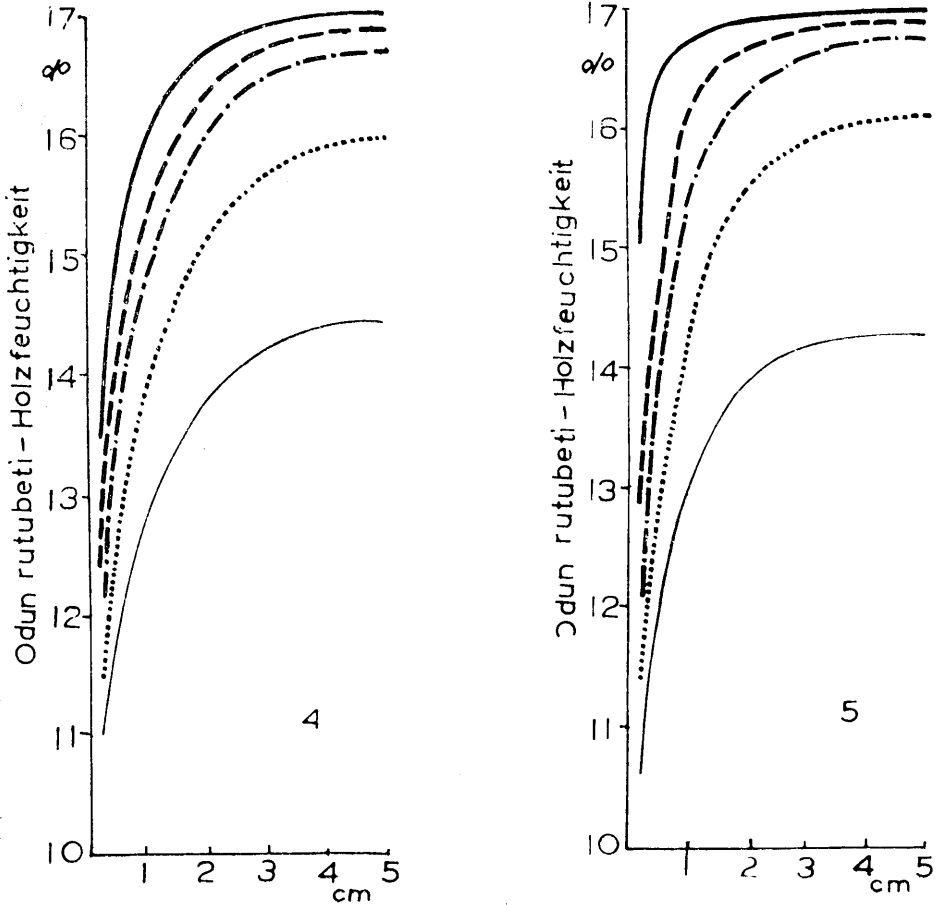
Abb. 6. Die Spannungen auf der Trägeroberfläche nach verschiedenen Trocknungszeiten bei geänderten Klimaten.



Şekil 7. Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı parçasının ortasından kenarına doğru rutubet dağılımı.
Abb. 7. Feuchtigkeitsverteilung vom Rand zur Mitte eines Trägerabschnittes. $a_{21} = \% 17,5$

1) $u_{21} = \% 12$, $\varphi = \% 65$, $t = 20^\circ\text{C}$, 2) $u_{21} = \% 8$, $\varphi = \% 47$, $t = 20^\circ\text{C}$, 3) $u_{21} = 11,5$, $\varphi = \% 83$, $t = 30^\circ\text{C}$

— 3 günlük kurutma zamanı - 2 Tage Trocknungszeit, 7 günlük kurutma zamanı - 7 Tage Trocknungszeit.
—— 1 günlük kurutma zamanı - 1 Tag Trocknungszeit, - - - - 14 günlük kurutma zamanı - 14 Tage Trocknungszeit.
- - - 2 günlük kurutma zamanı - 2 Tage Trocknungszeit,



Şekil 8. Yapıştırılmış tabakalı taşıyıcı parçasının ortasından kenarına doğru rutubet dağılımı.
Abb. 8. Feuchtigkeitsverteilung von Rand zur Mitte eines Trägerabschnittes.

4) $u_{el} = \% 6$, $\varphi = \% 37$, $t = 30^{\circ}\text{C}$, 5) $u_{el} = \% 6$,
 $\varphi = \% 37$, $t = 30^{\circ}\text{C}$ (Nach der Berechnung - Yağmurlamadan sonra)

- 1 günlük kuruma zamanı - 1 Tage Trocknungszeit.
- - - 2 günlük kuruma zamanı - 2 Tage Trocknungszeit.
- . - . 3 günlük kuruma zamanı - 3 Tage Trocknungszeit.
- 7 günlük kuruma zamanı - 7 Tage Trocknungszeit.
- - - - 14 günlük kuruma zamanı - 14 Tage Trocknungszeit.

- 2 — Kuruma çekme gerilmelerinin en büyük olduğu zaman, bağıl nem ve sıcaklığa bağlı olarak yerini değiştirmekte, sıcaklık ne kadar yüksek veya bağıl nem ne kadar düşük ise liflere dik yöndeki en büyük gerilmeler o kadar geç oluşmaktadır.
- 3 — Tekniğine uygun olarak yapılan tabakalı taşıyıcılarda, pratik kullanılma rutubetleri (% 37 - % 86 bağıl nem arasında), bölgesinde, 20°C ve 30°C sıcaklık arasında klima değişikliği nedeni ile muhtemelen çatlakların oluşması için söz konusu olmadığı ortaya çıkmaktadır.

SPANNUNGSÄNDERUNGEN IN BRETTSCHICHTTRÄGERN INFOLGE VON FEUCHTIGKEITSÄNDERUNGEN ¹

Dr. Ahmet KURTOĞLU ²

Kurze Zusammenfassung

In der vorliegende Arbeit wurde Verlauf der Schwindzugspannungen während der Versuchszeit in Abhängigkeit der verschiedenen Klimabedingungen und die kritische Zeit, in der auf grössen Holzquerschnitten die grössten Spannungen entstehen, durch welche Risse verursachen können, untersucht.

Grösse und der Verlauf der Spannungen an der Trägeroberfläche sind nicht nur von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit sondern auch von elastischen Eigenschaften des Holzes abhängig.

Die Zeit, in der die Schwindzugspannungen am grössten sind, ändert sich in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeiten und Temperatur. Je höher Temperatur oder je niedriger relative Luftfeuchtigkeit war, desto später entstanden die grössten Zugspannungen.

Aus diesem Untersuchungen lässt sich folgern, das bei ordnungsgemäss hergestellten Trägern durch Klimaänderungen im Bereich der praktischen Gebrauchsfeuchtigkeiten voraussichtlich keine Gefahr der Rissbildung gegeben ist.

1. EINLEITUNG

Für einen Zweckmässigen Einsatz des Hetzerträgers ist es erforderlich seine hygroskopischen Eigenschaften zu berücksichtigen. Je nach der Art der Verwendung sind die Konstruktionselemente auf einen als Sollfeuchte bezeichneten Feuchtigkeitsgehalt einzustellen. Der Feuchtigkeitsgehalt eines Trägers kann so hergestellt werden, dass die für eine betreffendes Konstruktionselement geltende Sollfeuchte nicht überschritten wird.

In der letzten Zeit konnten bei Holzleimbaukonstruktionen einige Schäden beobachtet werden, obwohl die Träger ordnungsgemäss verleimt waren. An Träger, die ohne Feuchtigkeitschutz auf die Baustelle transportiert wurden und dort längere Zeit der Witterung ausgesetzt waren, konnten bis zur Montage keine Schäden bemerkt werden. Wenn ein verleimter Träger Feuchtigkeit aufnimmt, ist dies zunächst

¹ Ein Teil aus der am Institut für Holzforschung der Universität für Bodenkultur in Wien durchgeführte Dissartationsarbeit (Spannungsänderungen in grossen Holzquerschnitten infolge von Feuchtigkeitsänderungen).

² An der Forstlichen Fakultät der Universität Istanbul.

nicht schädlich. Wenn er ausreichend Zeit hat, die zusätzlich aufgenommene Feuchtigkeit wieder abzugeben. Wenn aber z.B. eine Holzleimbauhalle sofort in Betrieb genommen und beheizt wird, sinkt in der Halle die relative Luftfeuchtigkeit stark ab. Daraus folgt, dass dem Trägern in kurzer Zeit viel Feuchtigkeit entzogen wird und auf der Trägeroberfläche grosse Querkzugspannungen auftreten können.

Wenn die Querkzugspannungen die Querkzugfestigkeit des Trägers überschreitet, verursachen die in den trocknenden Holzteilen entstehenden Querkzugspannungen Risse. Die Schwindzugspannungen sind für die schwächste Stelle am gefährlichsten. Untersuchungen über die Querschwindzugspannungen wurden von zahlreichen Forschern durchgeführt. Die für die Spannungen massgebenden Dehnungen wurden mit unterschiedlichen Methoden unter verschiedenen Bedingungen gemessen und ihre Ursachen gedeutet. Hier sei auf die neueste Arbeit über die Ausbildung von Querschwindzugspannungen bei mechanischer Schwindungsbehinderung von GERSTETTER (1976) verwiesen.

Um die bisherigen Kenntnisse über die Höhe und die Ausbildung der Schwindzugspannungen zu ergänzen, soll in der vorliegenden Arbeit die Ausbildung und Grösse dieser Spannungen und auch die kritische Zeit, in der sich auf grossen Holzquerschnitten die maximale Schwindspannungen ausbilden, die Risse verursachen können, untersucht werden.

2. SPANNUNGS-AUSBILDUNG AUF DER TRÄGEROBERFLÄCHE

Durch Trocknung oder Befeuchtung des Holzes wird eine Grösseänderung, also eine Schwindung oder Quellung ausgelöst. Eine ungleichmässige Feuchtigkeitsverteilung über dem Holzquerschnitt verursacht örtliche Schwindungs- bzw. Quellungshinderungen, es ergeben sich Schwind- bzw. Quellungsspannungen.

Bei Vorhandensein eines Holzfeuchtigkeitsgradienten im Holzquerschnitt werden bei der Trocknung die aussen liegende Schichten durch die langsamer folgenden innenschichten mechanisch am Schwinden behindert. Diese Behinderung der Schwindung ruft die Ausbildung von Zugspannungen quer zur Faserrichtung, ausgehend von der Oberfläche, hervor. Diese Spannungen nennt man, nach SERGOWSKI (1961), «Feuchtigkeitsspannungen». Solche Spannungen, die durch den Feuchtigkeitsgradienten in Holzquerschnitten verursacht werden, betrachtet man nach SCHNIEWIND (1960) als vorübergehende Spannungen. Diese Spannungen treten in den Augenblick ein, in dem der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes unterhalb des Fasersättigungsbereiches absinkt und verschwinden nach dem völligen Feuchtigkeitsausgleich über den Probenquerschnitt (KÜBLER 1956).

3. BESTIMMUNG DER SPANNUNGEN AN DER TRÄGEROBERFLÄCHE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TROCKNUNGSGESCHWINDIGKEIT

Für die Bestimmung der Spannungen, die an der Trägeroberfläche entstehen, sind in abhängigkeit von der Trocknungsgeschwindigkeit folgende Versuche vorgenommen worden:

1) Holzfeuchtigkeitsänderung von durchschnittlich $u=17,5\%$ auf durchschnittlich $u=12\%$ bei 20°C durch Änderung der relativen Luftfeuchtigkeit von 86% auf 65% .

2) Holzfeuchtigkeitsänderung von durchschnittlich $u \pm 17,5\%$ auf durchschnittlich $u \pm 8\%$ bei 20°C durch Änderung der relativen Luftfeuchtigkeit von 86% auf 47% .

3) Holzfeuchtigkeitsänderung von durchschnittlich $u \pm 17,5\%$ bei 20°C ($\varphi \pm 86\%$), auf durchschnittlich $u \pm 11,5\%$ bei 30°C ($\varphi \pm 63\%$).

4) Holzfeuchtigkeitsänderung von durchschnittlich $u \pm 17,5\%$ bei 20°C ($\varphi \pm 86\%$), auf durchschnittlich $u \pm 6\%$ bei 30°C ($\varphi \pm 37\%$).

5) Holzfeuchtigkeitsänderung bei künstlicher Beregnung und wieder Trocknung. Anfangsfeuchtigkeit im Durchschnitt $u_{\text{a}} \pm 17,5\%$ bei 20°C . Maximale Holzfeuchtigkeit an der Oberfläche im Durchschnitt $u_{\text{m}} \pm 27,1\%$ bei etwa 12°C und Endfeuchtigkeit im Durchschnitt 6% bei 30°C .

3.1. Herstellung der Probe

Als Versuchsproben dienten 1 meter lange verleimte Hetzer-träger aus Fichtenholz mit Querschnitten (Breite \times Höhe) von 10×30 cm. Die Lamellen des Trägers bestanden aus rd. 3,3 cm. dicken gehobelten Fichtenholzbrettern. Es wurden nur Bretter ohne Mark verwendet. Bevor die Träger hergestellt wurden, sind die einzelnen Bretter bei 20°C 86% r.L. klimatisiert worden. Nach der Klimatisierung wurden die Bretter mit Phenol Resorein - Formaldehyd - Leim unter Kaltaushärtung verleimt. Der Pressdruck bei der Verleimung betrug ca. 5 kp/cm^2 . Die Presszeit war ca. 21 Stunden. Nach der Aushärtung sind die Träger gehobelt und abgelängt worden. Die Proben wurden bis zur Durchführung der Versuche im Klimaschrank bei 20°C und 86% relativer Luftfeuchtigkeit gelagert. Die Rohdichte der Träger lag im Mittel bei $0,45 \text{ g/cm}^3$.

1. VERSUCHSMETHODE

Zur Bestimmung der Eigenspannungen sind bereits verschiedene Methoden verwendet worden (BIRKENFALD, 1968). Diese Spannungen kann man mit Hilfe der Dehnungsmesstechnik nur bestimmen, wenn sie durch mechanische Eingriffe ausgelöst werden. Die lässt sich so ausführen, dass man einen Dehnungsmesstreifen (DMS) auf die unter Spannung stehende Messtelle klebt und dann den natürlichen Aufbau des Holzes im Bereich um die Messtelle durch Einschnitte zerlegt. Die bei der Zerlegung an den verbleibenden Teilstücken aufgetretenen Verformungen können dadurch gemessen werden.

Die Eigenspannungen, die in den Teilstücken vor der Zerlegung vorhanden waren, lassen sich aus den gemessenen Formänderungen errechnen. Den Auswertungen der Dehnungsmessungen liegt das Hookeesche Gesetz zugrunde. Darüber wird im Abschnitt «Die Bestimmung des Elastizitätsmodule quer zur Faserrichtung im Holz» berichtet.

Die Feuchtigkeitsspannungen, die an der Oberfläche des Holzes am grössten sind, müssen auch als Eigenspannungen betrachtet werden. Zerstörungsmessverfahren wurden von verschiedenen Forschern bei Holz auf unterschiedliche Weise durchgeführt.

Ein Abhobeln der äusseren Schichten bewirkt ebenfalls einen Spannungsabbau,

jedoch lassen sich die vorhandenen Spannungen durch Hobel nicht gänzlich beseitigen (UGELOV, 1955) SAURAT und GUENEAU (1976) konnten mit zwei Anbohrungen 90 % der vorhandenen Spannungen lösen.

Um die durch die verschiedenen Behandlungen (Klimaänderungen) hervorgerufenen Spannungen möglichst genau erfassen zu können, wurde der vorliegende Versuch durchgeführt.

4.1. Einfluss der Schnitt-Tiefe auf die Erfassung der Spannungen im Holz quer zur Faser

Vor den Versuchen wurden die vorher beschriebene Weise hergestellte Proben bei 20°C und 86 % relativer Luftfeuchtigkeit klimatisiert. Nach etwa 2-monatiger Klimatisierung wurden auf jeder zweiten Lamelle in jeweils 21,1 cm. Entfernung vom Hirnende je eine DMS - Messtelle aufgebracht. Die Klebstellen wurden mit Athylalkohol gereinigt und entfettet. Nach einer halben Stunde Wartezeit wurden DMS typ 20/120 LA 21 (20=Messgitterlänge, 120=Ω), von Hottinger Messtechnik G.m.b.H. Darmstadt, mit dem Klebstoff > 60 der gleichen Firma aufgeklebt.

Für die Vorbereitung zu einer praktischen Messung musste die Nullpunktstabilität von DMS - Messtellen auf Holz bestimmt werden. Zur Überprüfung der Nullpunktstabilität von DMS - Messtellen auf Fichtenholz wurde ein Vorversuch durchgeführt. Wenn eine DMS - Messtellen auf Proben aus Fichtenholz länger als 47 Stunden appliziert war, wies sie bei einer Raumtemperatur 20°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit eine hohe Stabilität auf. Aus diesem Grund sollte man nach der Applizierung des DMS auf dem Prüfkörper mindestens zwei Tage warten, damit inzwischen durch den Klebstoff hervorgerrufene Spannungen abgebaut werden, bzw. als konstant angesehen und abgeglichen werden können. Nach 2-tägigen Wartezeit wurden die einzelnen DMS in viertel Brücken geschaltet und abgeglichen. Die Kompensations DMS befanden sich immer in einem Klimaschrank, in dem ein auf 20°C und 86 % relative Luftfeuchtigkeit eingestelltes Klima herrscht. Nach der Abgleichung wurde die jeweilige Probe heraus genommen und in einem anderen Klimaschrank bei 20°C und 65 % relative Luftfeuchtigkeit Trocknung gelagert.

Nach 18-stündiger Trocknungszeit wurden die Schwindverformungen des Trägerabschnittes an seiner Oberfläche quer zur Faserrichtung mittels KWS/II - 5 Messverstärker und Messtellenumschalter gemessen.

Zur Bestimmung der vorhandenen Dehnungen wurden der Trägerabschnitt auf mehrere verschiedene Arten am Rand der Messtelle mit einer speziellen Kreissäge eingeschnitten. Das schneiden wurde einerseits mit verschiedenen Schnitt-Tiefen andererseits unter 45° Schrägneigung der Säge durchgeführt, wobei festgestellt wurde, dass mit der 45° Schrägneigung der Säge die größten Formänderungen (und damit Spannungsentlastungen) erhalten wurden. Aus diesem Grund wurde zur Auslösung der Querzugspannungen die oben erwähnte Schnittart angewendet.

4.2. Versuchsanordnung und Durchführung der Versuche

Die gewünschten Beträge der relativen Luftfeuchtigkeit für die Versuche wurden den Klimakasten mittels verschiedener Salzlösungen eingestellt. Für die Klimateinstellung wurden, ausgenommen Normklima, folgende Salzlösungen verwendet.

t_1	Relative Luftfeuch. %	u_{21} %	Salzlösungen mit Bodensatz
30	37	6	$MgCl_2 \cdot H_2O$
20	47	8	$K_2CO_3 \cdot 2H_2O$
30	63	11,5	$NaNO_2$
20	65	12,0	Im Klimaraum
20	86	17,5	KCl

Zur Messung der Formänderungen wurden Dehnungsmesstreifen (DMS) verwendet. Dehnungsmesstreifen verändert seinen Widerstand proportional der Dehnung des Objektes, auf das er aufgeklebt wurde. Für Messungen mit DMS wird praktisch immer die wheatstonsche Brückenschaltung verwendet. Mit deren Hilfe ist die Messung unbekannter elektrischer Widerstände durch Vergleich mit solchen bekannter Grösse möglich. Die Dehnungsmesstreifen wurden, wie in Bild 1 dargestellt, auf jeder zweiten Lamelle des Trägerschnittes appliziert. Vor der Applikation wurden die Klebstellen mit Athylalkohol gereinigt und entfettet. Nach einer halben Stunde Wartezeit wurden DMS mit einem geeigneten Klebstoff auf die Holzproben geklebt.

Im Bild 2 wird die Versuchsanordnung für die Bestimmung der Verformungen (Spannungen) an der Trägeroberfläche dargestellt.

Die Verformungen konnten auf die vorher beschriebene Weise bestimmt werden. Für die Bestimmung des E-Moduls wurden, wie in Abb. 4 dargestellt, im unmittelbaren Bereich der Messtelle drei Stück Proben ($30 \times 14 \times 9$ mm.) hintereinander entnommen. Die Proben wurden bei $20^\circ C$ und 65 % relativer Luftfeuchtigkeiten klimatisiert. Vor der Versuchsdurchführung wurde die Holzfeuchtigkeit der Probe mit der Darmmethode bestimmt.

Für die experimentelle Bestimmung des E-Moduls soll auch auf den Feuchtigkeitsgehalt der Probe Rücksicht genommen werden.

Nach YLINEN (1954) besteht für den Druckelastizitätsmodul des Kieferholzes quer zur Faser bei Raumtemperaturen eine lineare Abhängigkeit von der Feuchtigkeit (Im Bereich zwischen $u=6\%$ und $u=4\%$ Holzfeuchtigkeit).

4.3. Bestimmung des Elastizitätsmoduls quer zur Faserrichtung

Um aus den Verformungen auf herrschende Spannungen schliessen zu können, muss für jede Messtelle, auf der DMS appliziert waren, der Elastizitätsmodul bekannt sein. Der Elastizitätsmodul ist eine Werkstoffkenngrösse, die Aufschluss über das elastische Verformungsverhalten des Werkstoffes gibt.

Für die Spannungsbestimmung sind die Kenntnisse der Grundlagen der Festigkeitslehre nötig. Im Bereich der Hookeschen Geraden verhalten sich die Werkstoffe elastisch. Die eintretenden Verformungen sind reversibel. Nach dem Hookeschen Gesetz gilt :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

σ = Spannungen (Kp cm²)

E = Elastizitätsmodul (Kp cm²)

ε = Dehnung (cm/cm)

VON POZGAJ (1974) wurden Feuchtigkeitsfaktoren zur Berichtigung des Druckelastizitätsmoduls des Holzes vorgelegt. Die Feuchtigkeitsänderung um 1 % im Feuchtigkeitsbereich von 0 bis 24 % verändert beim Druck quer zur Faser den Wert des E-Moduls bei Fichte in Radialrichtung um 300 kp/cm², in Tangentialrichtung um 60 kp/cm².

Im Hyroskopischen Bereich sinkt der E-Modul bei Querdruckversuchen je 1 % Feuchtigkeitszunahme annähernd um 2 % (KOLLMANN, 1959).

Es kann aus allen erwähnten Arbeiten geschlossen werden, dass der E-Modul quer zur Faser mit zunehmender Holzfeuchtigkeit und Temperatur abnimmt.

Daraus folgt, dass aus einem bekannten E₁ und u₁ für eine gegebene Holzfeuchte u berechnet werden kann.

$$E_2 = E_1 \cdot [1 - 0,02 (u_2 - u_1)] \text{ kp/cm}^2$$

In den eigenen Untersuchungen wurde der E-Modul für die Holzfeuchten, die während der Spannungsauslösung in der Probe vorhanden waren, mit der obigen Formel errechnet. Die Prüfungen wurden auf der Instron-Festigkeitsprüfmaschine im Lastbereich von max=1000 kg. durchgeführt.

5. BESTIMMUNG DER KRITISCHEN ZEIT, IN DER AUF GROSSEN HOLZQUERSCHNITTEN SPANNUNGEN ENTSTEHEN, DIE RISSE VERURSACHEN KÖNNEN

Während des ersten Teiles der Trocknung bildet sich im Holzquerschnitt ein grosser Holzfeuchtigkeitsgradient aus. Es ist dabei unvermeidlich, dass in den aussen liegenden Schichten Zugspannungen entstehen. Nach einer meist unbekanntenen Trocknungszeit ist das Maximum der Zugspannungen erreicht, dann lassen diese Spannungen allmählich nach. Solange die Zugspannungen in den aussen liegenden Schichten gross sind, ist die Gefahr der Rissbildung an der Oberfläche gegeben.

Es wird nun aus diesem Grund auch die kritische Zeit untersucht, in der sich auf grossen Holzquerschnitten die maximale Schwindspannungen ausbilden, die Risse verursachen können. Nach der für verschiedene Trocknungszeiten gemessenen Verformungen und Elastizitätsmodul gerechnete Spannungen wurden in Abb. 6 dargestellt.

Wie aus der Abbildung ersichtlich, ist die Grösse und der Verlauf der Schwindzugspannungen bei konstanter Temperatur von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig. Je niedriger die relative Luftfeuchtigkeit bei gleicher Temperatur ist, desto grösser sind die Spannungen, z.B. für die Abtrocknung von u₁=17,5 % bei dem Klima 20°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit (Kurve Nr. 1 in Abb. 6) wird eine maximale Schwindzugspannung am 1. Tag mit 3,67 kp/cm² erreicht.

Für die Klimateinstellung 20°C und 47 % relativer Luftfeuchtigkeit (Kurve Nr. 2 in Abb. 6) war der maximale Wert am 2. Tag mit 8,67 kp/cm² erreicht.

Es wird deutlich, dass die Grösse und der Verlauf der Zugspannungen bei konstanter relativer Luftfeuchtigkeit von der Temperatur abhängig ist. Je höher die Temperatur bei gleicher relativer Luftfeuchtigkeit ist, desto grösser sind die Werte.

Für die Klimateinstellung 30 C und 63 % relative Luftfeuchtigkeit wird eine maximale Zugspannung am 2. Tag mit 6,09 kp/cm² erreicht. (Kurve Nr. 3 in Abb. 6).

Aus der Kurve 1 (Klimateinstellung 30 C und 37 % relative Luftfeuchtigkeit) geht hervor, dass die maximale Zugspannung am 3. Tag mit 11,81 kp/cm² erreicht war.

Die künstlich berechnete Probe, die der gleichen Trocknung ausgesetzt war, erreichte im Maximum sogar 15,59 kp/cm² und zwar ebenfalls am 3. Tag. Also je schärfer der träger getrocknet wird, oder je niedriger die relative Luftfeuchtigkeit bei gleicher Temperatur ist, desto grösser sind die Schwindzugspannungen.

Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass Grösse und Verlauf der Schwindzugspannungen von verschiedenen Einflussfaktoren, wie der Trocknungsgeschwindigkeit, den rheologischen Eigenschaften des Holzes sowie von der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig sind.

Von entscheidendem Einfluss auf die Schwindzugspannungen zu einer bestimmten Trocknungszeit ist auch die Feuchtigkeitsverteilung über den Trägerquerschnitt.

Die für verschiedene trocknungszeiten ermittelten Feuchtigkeitsverteilungen über den Trägerquerschnitt sind in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt, und zeigen deutlich den Einfluss der Trocknungsschärfe auf das Feuchtigkeitsgefälle von der Mitte zur Aussenschicht des Trägers.

Je schärfer der Träger getrocknet wird, desto schneller bildet sich ein Feuchtigkeitsgefälle und desto steiler ist die Feuchtigkeitsgradient.

Wie aus der Abbildung 6 hervor geht, sind die maximalen Schwindzugspannungen in Abhängigkeit von der Trocknungszeit eine Funktion der Trocknungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeiten.

Je höher die Temperatur oder je niedriger die relative Luftfeuchtigkeit ist, desto grösser sind die Zugspannungen.

Die Zeitpunkte, in denen die Schwindzugspannungen am grössten sind, verschieben sich in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeiten und der Temperatur.

Je höher Temperatur oder je niedriger relative Luftfeuchtigkeit war, desto später entstanden die grössten Querzugspannungen.

Aus den durchgeführten Modelversuchen kann abgeleitet werden, dass im Temperaturbereich zwischen 20 C und 30 C bei Abtrocknung von ordnungsgemäss hergestellten Hetzer - Träger, von 86 % auf 37 % relativer Luftfeuchtigkeit kein Gefahr für eine Rissbildung besteht.

KAYNAKLAR (LITERATURNACHWEIS)

ANONYMUS, 1967, Nullpunktstabilität von DMS Messstellen auf Steingut, HBM Messtechnische Briefe, 3, 52 - 53.

BIRKENFELD, W., 1968, Messungen von Eigenspannungen mittels Dehnungsmessstreifen, HBM Messtechnische Briefe, 4, 37 - 42.

GERSTETTER, E., 1976. *Untersuchungen über die Ausbildung von Schwindzugspannungen in Holz bei mechanischer Schwindungsbehinderung. Dissertation, Hamburg.*

KOLLMANN, F., 1959. *Zur Frage der Querdruckfestigkeit von Holz. Holzforschung und Holzverwertung, 11, 109 - 121.*

KUBLER, H., 1956. *Plastische Formung und Spannungsbeseitigung bei Hölzern, unter besonderer Berücksichtigung der Holz Trocknung. Holz als Roh- und Werkstoff, 14, 442 - 447.*

PERKITNY, T. and HELINSKA - RACZKOWSKA, L., 1966. *Über den Einfluss von Wachstumsspannungen auf die durch Temperatur und Feuchtigkeitsänderung ausgelösten Verformungen des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff, 24, 281 - 286.*

PERKITNY, T. and HELINSKA - RACZKOWSKA, L., 1974. *Über den Einfluss der Trocknungstemperatur auf das Entstehen von Schwindrissen im Holz. Holztechnologie, 8, 83 - 92.*

POZGAJ, A., 1974. *Berichtigungszahlen der Druck - E - Module hinsichtlich Holzfeuchte. Drevarsky Vyskum, 19, 83 - 92.*

SAURAT, J. and GUENEAU, P., 1976. *Growth in Beech. Wood Science and Technology, 10, 111 - 123.*

SCHNIEWIND, A. P., 1960. *On the Natur of Drying Stresses in Wood. Holzforschung, 14, 151 - 168.*

SERGOWSKIJ, B. S., 1961. *Über die elastisch - plastischen Eigenschaften des Holzes im Zusammenhang mit den Spannungen und Verformungen bei der Trocknung. De-revoobrabatjva juscaja Promyslennost. Moskva 10, 3 - 6. Übersetzung IHF Nr. 16.*

SLIKER, A., 1971. *Resistance Strain Gages and Adhesives for Wood. Forest Prod. Journ. 21, 12, 40 - 43.*

UGELOV, B. N., 1955. *Method of Measuring internal Stresses in Wood During Air Drying. Zavodskaya Laboratoriya, Moscow, 21, 1224 - 1229, PST Cat. No. 167.*

YLINEN, A., 1954. *Über die Beziehung zwischen Spätholzanteil, Rhoiwichte, Jahrringbreite, Feuchtigkeitsgehalt und den Elastizitätsmodul beim finnischen Kiefernholz. Holz als Roh- und Werkstoff, 12, 253 - 258.*