



Kesintisiz Kereste Kurutma Fırınları

Hızır Volkan GÖRGÜN^{1*}, Öner ÜNSAL¹

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34473, Bahçeköy, Sarıyer, İSTANBUL, TÜRKİYE

Öz

Bu çalışmanın amacı; Dünya’da yaklaşık 40 yıl geçmişi olan kesintisiz kereste kurutma fırınlarının, geleneksel sabit kurutma fırınlarıyla karşılaştırılması yapılarak tanıtılmasıdır. Önceki çalışmalarda kerestelerin hareketli olarak kurutulması amacıyla daha çok frekans esaslı yöntemler denenmesine karşın, bu yöntemde sabit fırınlarda yaygın bir şekilde tercih edilen konvansiyonel yöntem kullanılmaktadır. Uzunlukları 90m’ye kadar çıkabilen bu tip fırınlarda kurutma aşamaları, farklı ortam şartlarına sahip bölgelerde sağlanmaktadır. Hareket kontrollü vagonlar üzerinde istiflenen kerestelerin bu bölgelerden geçmesiyle kurutma uygulanmaktadır. Ekipman yerleşimi ve buna bağlı olarak oluşan farklı kurutma atmosferlerine göre, kendi içerisinde de çeşitleri bulunmaktadır. Bu yeni fırın tipi teoride kalmayıp, aynı zamanda birçok kereste fabrikası tarafından da tercih edilmeye başlanmıştır. Karakteristik özellikleri nedeniyle, daha çok hızlı kurutulabilen ağaç türlerinin ince keresteleri tercih edilmesine karşın, teknolojik gelişmeler ve edinilen tecrübelerle kurutulabilecek kereste özelliklerinde esneklik sağlanacağı da söylenebilir. Yıllık kapasiteleri 170.000 m³’e kadar çıkabilen bu tip fırınların, Türkiye’deki kereste fabrikalarının çok sayıda fakat düşük kapasiteli olmaları nedeniyle bu aşamada tercih edilmesi ekonomik açıdan uygun gözükmemektedir. Bununla birlikte belirli şartlar oluştuğu takdirde, tercih edilmeye ve hatta yerli üreticiler tarafından üretilmeye başlanacağı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Kereste kurutma, kesintisiz kurutma fırını, kurutma süresi, kurutma atmosferi, kurutma fırını ekipmanları.

Continuous Lumber Drying Kilns

Abstract

The aim of this study is to introduce the continuous kilns, which have a history of nearly 40 years in the world, by comparing them with traditional batch kilns. In the previous studies, although frequency-based methods have been more tried in order to dry the timber with continuous system, this relatively new method uses the commonly preferred conventional method in batch kilns. Drying phases of these types of kilns, which can reach up to 90 m in length, are provided in regions with different atmospheric conditions. Drying is applied by passing the lumbers stacked on the movement-controlled wagons through these regions. There are varieties in itself according to the equipment layout and the different drying atmospheres formed accordingly. This relatively new kiln type is not only in theory, but is also preferred by many sawmills. Due to their characteristic properties, it is possible to say that although wood species which can be dried more quickly are preferred to thin lumber, the flexibility of the timber properties can be extended with the technological advances and gained experience. Preferring these type kilns which annual capacities can reach up to 170.000 m³ does not seem economically viable with a plurality of low capacity sawmill in Turkey at this stage. However, it can be said that if some conditions occur, it will start to be preferred and even produced by domestic producers.

Keywords: Lumber drying, continuous drying kiln, drying duration, drying conditions, drying kiln equipment.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

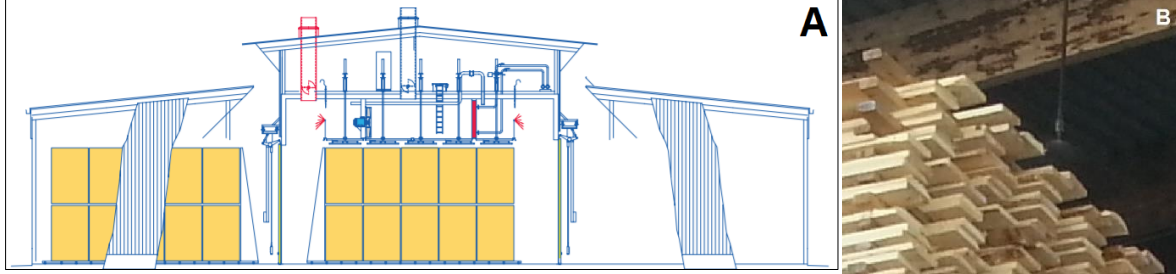
Hızır Volkan GÖRGÜN; İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bahçeköy, Sarıyer, İstanbul-Türkiye. Tel: +90 (212) 338 2400, Fax: +90 (212) 226 1113, E-mail: volkan.gorgun@istanbul.edu.tr,
ORCID: 0000-0002-2537-2105

Geliş (Received) : 30.08.2019
Kabul (Accepted) : 14.02.2020
Basım (Published) : 15.04.2020

2. Mevcut Fırınlara Göre Farkları

2.1. Fırın Yerleşimi ve Kapasite

Sabit fırınlarda bazı ekstra işlemlerin yapılabilmesi için kurulan ve fırının giriş - çıkışında kerestelerin sundurmaları altında bekletildiği tampon bölgeler, bir nevi üç bölge kesintisiz fırın şekline benzediği söylenebilir (Şekil 2).

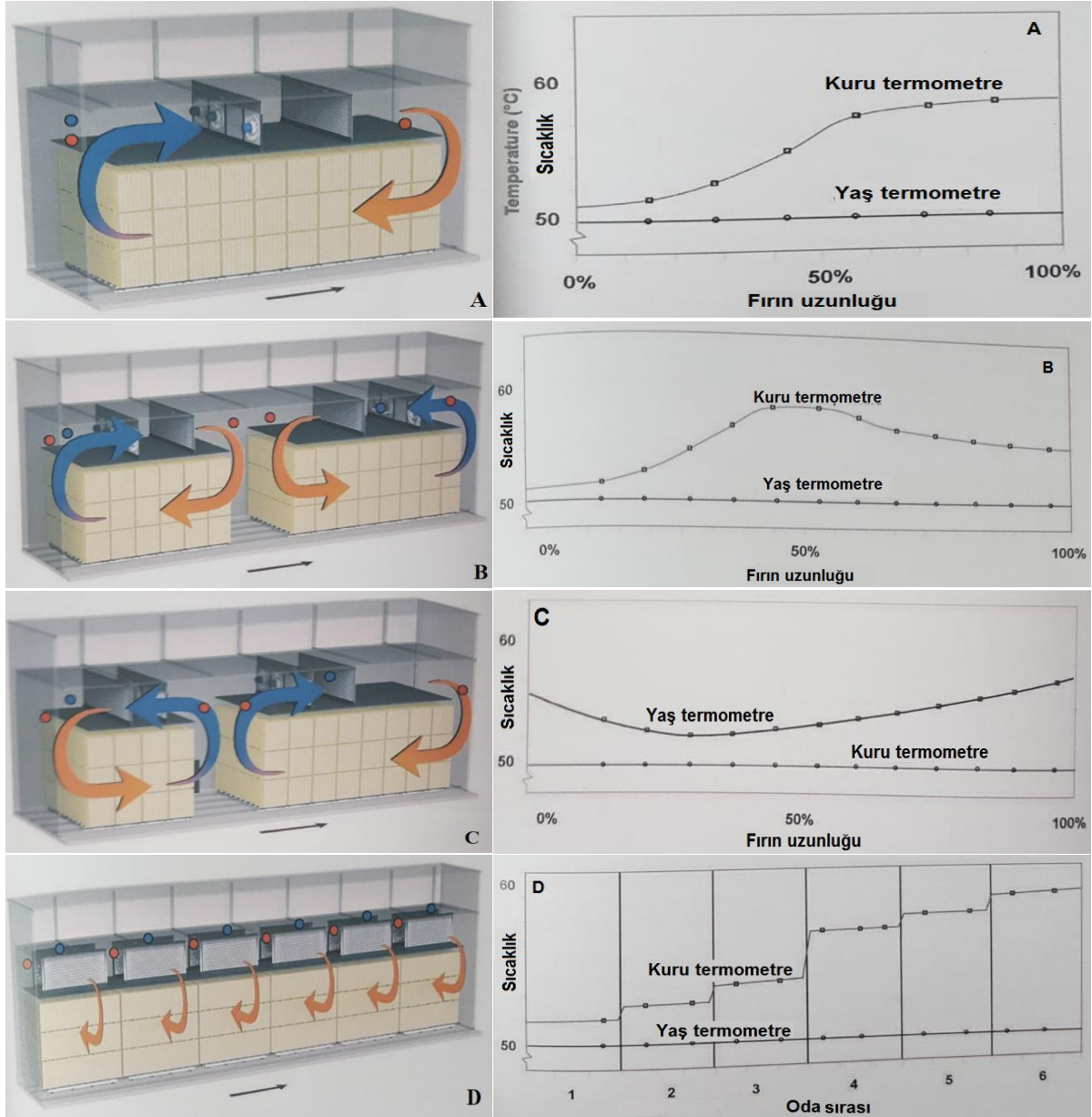


Şekil 2. (Sol) Sabit fırınlarda tampon bölgeleri (Heinola, 2019b), (Sağ) Kurutmadan önce tampon bölgede ıslatma (Fotoğraf: Hızır Volkan Görgün – Norra Timber fabrikası).
((Left) Buffer zones in batch kilns, (Right) Wetting before drying on buffer zone (Photo: Hızır Volkan Görgün-Norra Timber Sawmill)).

Bu tampon bölgelerde, fırına girecek kerestelerin bir sundurma altında kontrollü bir şekilde istiflenmesi, ısıtma öncesi daha homojen kurutma için ıslatılması, çıkış kısmında ise soğutma sonrası bekletme süresinin artırılması, kurutma kalitesinin kontrolü gibi ekstra işlemler yapılmaktadır. Ancak bu tip yerleşimlerde bile şarj edilecek keresteler bir bütün halinde bekletilmekte ve kurutma bitiminde bir önceki partiden sonra fırına alınabilmektedir. Kesintisiz fırınlarda ise tekli veya çoklu istiflerin sürekli ilerlemesi söz konusudur. Şekil 1’de görüldüğü gibi kesintisiz fırın sistemlerinde keresteler, ilerledikçe ortam şartları değişen bölgelerden geçerek kurumaktadır. Bu bölgelerdeki atmosferin sağlanması için oluşturulan ekipman ve kereste düzeni, Moren (2016)’e göre 4 ana grupta toplanabilir (Şekil 3).

Şekil 3’te görüldüğü gibi, bu tip fırınlarda ekipmanın yeri, sırası ve pozisyonuna göre kurutma aşamalarının gerçekleşeceği ortamlar belirlenebilmektedir. Ekipman durumuna göre kesintisiz fırın çeşitlerine bakıldığında; Tek bölge fırında (Şekil 3 – A), çıkış noktasına doğru kurutma şiddeti giderek artmaktadır. Çift bölge ve geri besleme denetimli fırında (Şekil 3 – B) kurutma şiddeti en fazla fırının orta kısmında oluşmaktadır. Çift bölge ve optimize fırında (Şekil 3 – C) ise kurutma şiddeti giriş ve çıkış noktalarında fazlayken, orta kısımdaki nispeten soğuk bölgeden dolayı azalmaktadır. Enine sirkülyasyonlu fırında (Şekil 3 – D) ise kurutma şiddetinde kademeli bir artış söz konusudur. Ancak her bir bölgenin (veya odanın) ayrı ekipmanı olduğundan değiştirilebilmektedir.

Tek bölge fırınlar, kenar tahtalarının (side boards) sonuç rutubeti ve dağılımıyla ilgili minimum gereksinimleri ekonomik şekilde karşılamaları için geliştirilmiştir. Yıllık kurutma kapasiteleri, %15-18 sonuç rutubeti hedeflendiğinde 35.000 m³ olabilmektedir. Enerji ve yatırım maliyetleri açısından en ekonomik seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak fırın atmosferi, fırın boyutları, istif ilerleme hızı, fırın şarj oranı gibi faktörlerden kolayca etkilenebilmektedir. Çift bölge ve geri besleme denetimli fırınlar, kurutma kapasitesinin ve fonksiyonunun artırılabilmesi için geliştirilmiştir. Atmosferik şartları farklı iki ayrı bölge oluşturulan bu fırının giriş kısmında hızlı bir şekilde kurutma sağlanırken, diğer bölgede ise kurutmanın son aşamaları uygulanmaktadır. Çıkıştan önceki bölgeye yerleştirilen psikrometre ile şartlar incelenerek proses kontrolü (geri besleme) yapılmaktadır. Tek bölge fırına göre boyut ve sonuç rutubetinde daha esnek davranılabilen bu tür fırınlarda, yıllık kapasite 90.000 m³’e kadar çıkabilmektedir. Çift bölge ve optimize fırınlarda, çift bölge ve geri besleme denetimli fırınlarda uygulanan hava hareket yönlerinin tersi uygulanmaktadır. Böylece daha nemli bir atmosfer sağlanarak kapasite korunurken, özellikle kalın kerestelerde çatlak oluşumu ve buna bağlı kalite kayıpları azalmaktadır. Ancak bu tip fırınlarda işlevselliğin dış ortam sıcaklığından kolayca etkilenebildiği ve kurutma koşullarının da buna göre ayarlanması gerektiği belirtilmektedir (Vikberg ve Moren, 2015). Yine de yıllık kapasiteleri %12-18 sonuç rutubeti hedeflendiğinde 100.000 m³’e kadar çıkabilmektedir (Moren, 2016). Bu üç tip dikkate alındığında, kesintisiz fırınların en zayıf noktası kurutma esnekliğinin (farklı kalınlıkta kereste kullanımı, daha düşük sonuç rutubetleri vb.) sabit fırınlara göre daha az olmasıdır (Rietz, 1950). Ancak son yıllarda geliştirilen ve hava hareketinin fırın genişliği yönünde sağlandığı enine sirkülyasyonlu fırınlarla bu esneklik daha da artırılmıştır. Toplamda 4 ila 10 (isteğe göre daha fazla) bölgenin hepsinde farklı iklim koşulu sağlanabildiği için, kurutma koşulları konusunda en esnek fırın türüdür. Yıllık kurutma kapasiteleri %12-18 sonuç rutubeti hedeflendiğinde 170.000 m³’e kadar çıkabilmektedir (Moren, 2016).



Şekil 3. Kesintisiz fırın çeşitleri ve fırın içi koşulları: (A) Tek Bölge, (B) Çift Bölge ve Geri Besleme Denetimli, (C) Çift Bölge ve Optimize, (D) Enine Sirkülasyonlu (Moren, 2016).

(Different Continuous Kilns and Drying Atmosphere Conditions: (A) Single Zone, (B) Two-zone and FeedBack, (C) Two-zone and Optimized, (D) Transverse Circulation).

Bu 4 tipin dışında, son yıllarda istif ilerleyişi açısından farklı bir fırın çeşidi daha geliştirilmiştir. 2012 yılında alınan bir patente (Tinsley vd., 2012) göre, istiflerin taşındığı raylarda hareket doğrultuları birbirine paralel olup, yönleri ise zıttır. Fırının her iki tarafından da giriş sağlanmasına karşın, yan yana gelen farklı raylardaki istiflerin kurutma aşamaları için gerekli ortam şartları benzerdir. Her ray doğrultusunda oluşan ısı fazlası diğer hatta kullanılabilirdi için de enerjiden büyük oranda tasarruf sağlandığı belirtilmektedir. Başka bir yoruma göre, kapıları veya nemli havayı uzaklaştırmayı sağlayan ilave bir sistemin olmaması bazı olumsuzluklar oluşturmaktadır. Büyük hacimlerde oluşan yoğunlaşmanın da kontrol edilmesi gerektiği, prosesi hassas bir şekilde düzenlemek ve kontrol etmek zor olduğu ve bu tür sebeplerden dolayı fazladan enerji kaybı oluşabileceği belirtilmektedir (Şekil 4) (URL 3, 2018).



Şekil 4. İstifleri zıt yönde ilerleyen kesintisiz fırın çeşidi (URL4 2019).
(A Counter flow kiln type that stacks moving opposite directions).

2.2. Kurutma Süresi

Sabit fırınlarda bakım, arıza, tamir işleri dışında, yükleme-boşaltma, ısıtma-soğutma gibi nedenlerle önemli süre kayıpları yaşanmaktadır. Ancak bu kayıplar kesintisiz fırınlarda çok daha az olduğu için birim zamanda daha fazla kereste kurutulabilmektedir. Bununla ilgili olarak, kesintisiz fırınlarda yılın %98'inde kurutma yapılabildiği, sabit fırınlarda ise bu oranın belirtilen nedenlerden dolayı %80'e düştüğü belirtilmektedir (URL5 2018). Bir başka kaynakta ise kesintisiz fırınlara şarj edilen kerestelerin kurutma özellikleri benzer olduğundan, fırın atmosferinin değiştirilmesiyle ilgili kayıpların azalmasıyla, toplam kurutma süresi %30'a varan oranda azalmaktadır (Katres, 2019).

Kerestelerin toplam kurutma sürelerine bakıldığında; üç bölgeden oluşan kesintisiz bir fırında kurutma, ağaç türü ve diğer faktörlere bağlı olarak 30 ila 40 saat sürebilmektedir (URL6 2017) ve boyutlar arttıkça 85 ila 90 saate kadar çıkabilmektedir. Bu üç kat artışa rağmen, sabit fırınlara göre her bir istif paketinin kurutma süresinde bir gün tasarruf edildiği belirtilmektedir (URL7 2017). Vikberg ve Moren (2015) tarafından çift bölge ve optimize bir fırında yapılan çalışmada, 22mm kalınlığında ve 4,5m uzunluğundaki Norveç ladini keresteleri 1,5m x 1,5m x 6m'lik istiflerde, %110'dan %17,4 rutubete 36 saatte getirilebildiği belirtilmiştir. Moren (2016)'ın başka bir çalışmasında; ilk bölgede 7, diğer bölgede ise 11 istif bulunan çift bölge ve geri beslemeli bir fırında, 38 x 150 mm ölçülerindeki sarıçam tahtalarının maks. ~68°C kuru termometre sıcaklığı ile 96 saatte kurutulabildiği belirtilmiştir. Ticari bir uygulamada ise, 25mm kalınlığındaki sarıçam kenar tahtalarının %120'den %18 rutubete (\pm %1,5) 21 saatte getirilebildiği belirtilmiştir (URL7 2017). Nispeten bu kısa süreler nedeniyle 2 ila 6 saatte bir fırında istif girişi-çıkışı yapılabildiği de belirtilmektedir (Salin ve Wamming, 2008).

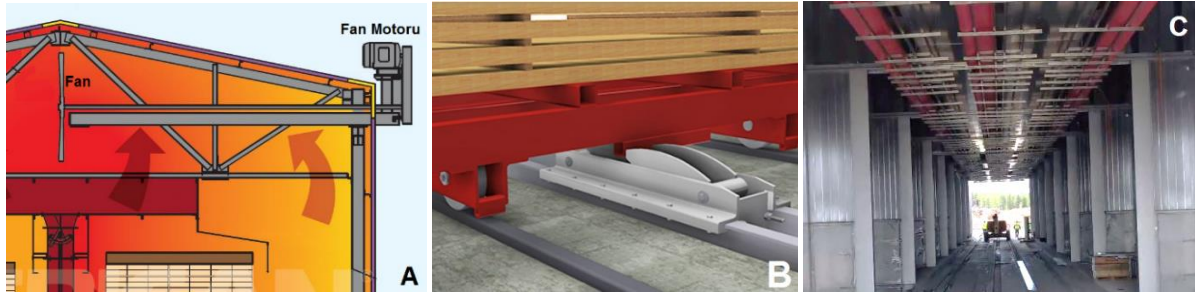
2.3. Boyut ve Kapasite

Yaygın olarak tercih edilen ve 100 m³ net kereste doldurulabilen sabit fırınlarda hızlı kuruyan ağaç türleri ve kalınlıklar tercih edildiğinde, kapasite yılda 6.000 m³'e kadar çıkabilmektedir. Kesintisiz fırınlarda ise kapasiteler yılda 25.000 m³ ila 170.000 m³ arasında değişebilmektedir. Bu kapasiteler fırın boyutları, bölge yerleşimleri, istif boyutları gibi niteliklere göre değişmektedir. Salin ve Wamming (2008)'e göre ise kesintisiz fırınların alınabileceği istif sayısı 10 ila 25 arasında değişmektedir. İstif ve hatta bölge sayısındaki farklılık, istiflerin fırın doğrultusuna paralel veya dik yerleştirilmesine göre değişebilmektedir. Örneğin 50.000 m³ kapasiteli bir fırının, giriş ve çıkış tarafındaki tampon bölgeleri de dâhil olmak üzere, toplamda 20 istif alabildiği belirtilmektedir (Valutec, 2018). Bir başka projede ise yine 50.000m³ kapasiteli ama enine sirkülasyonlu bir fırının 6 bölgeden (Valutec, 2017), 100.000 m³ kapasiteli bir fırının ise 10 bölgeden oluştuğu belirtilmektedir (Valutec, 2016).

Fırın konstrüksiyonunda mesafeler her boyutta fırın tipinden etkilenmektedir. Ancak genişlik istif yönü ve yan yana gelen ray sayısına göre, yükseklik istif yüksekliği, standart ekipman ve ısı geri kazanım sistemleri gibi enerji tasarrufu sistemlerine göre değişebilmektedir. Uzunluk ise istif yönü, kapasite gibi faktörlere bağlı olarak değişmekte ve tampon bölgeleriyle 91,5m uzunluğa kadar çıkabilmektedir (URL8 2017; URL9 2017; URL10 2018). Bununla birlikte uzunluk, kurutma atmosferini doğrudan etkilediği için, ağaç türüne, başlangıç ve sonuç rutubetine göre farklılık gösterebilmektedir (Simpson, 1991). Çünkü ticari bir uygulamada çok sayıda farklı uzunluktaki kereste kurutulmasının, hava hareket hızını ve hava üfleme derinliğini etkilediği, bunun da kaliteyi düşürdüğü belirtilmiştir. Bu sebeple enine sirkülasyonlu bir fırın tasarlanırken, her biri 5m uzunluğunda olan 8 adet fırın yerine, her biri 10,5m uzunluğunda olan 4 bölge tasarlanması yoluna gidildiği belirtilmiştir (Valutec, 2019c).

2.4. Ekipman

Kesintisiz fırınlarda, sabit fırınlardaki gibi konvansiyonel yöntem kullanılmasına karşın, ekipmanlarda bazı değişiklikler bulunmaktadır. Örneğin istifler hareketli olduğu için raylı sistemler tercih edilmektedir. Ancak kurutma atmosferini bile etkilediği için, taşıdığı ağırlıkları 450 tona kadar çıkabilen vagonların (AWD, 2019) hareketlerinin de kontrol edilebilmesi gerekmektedir. Diğer yandan atmosferi etkileyen veya ölçen ısıtıcı, fan, denge nemi duyucuları gibi ekipmanlarda da başta pozisyonları olmak üzere birçok farklılık ortaya çıkmaktadır. Örneğin hızlı kurutmalar için bazı fırınlarda yüksek sıcaklıklar kullanılabildiği için, fan motorlarının dışarı alınması da söz konusu olabilmektedir (AWD, 2019). Ya da sabit fırınlarda üstte serbest kalan kerestelerin deforme olmaması için konulan ağırlıklar yerine, her biri 1 ton ağırlık uygulayabilen baskı silindirleri (Valutec, 2019b) gibi eklemeler yapılabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. A: Fan motorunun konumu (AWD, 2019), B: Kontrollü istif götürücü (BES Bolmann, 2019), C: Baskı silindirleri (Valutec, 2019b).

(A: Fan engine position, B: Controlled stack conveyor, C: Pressure cylinders).

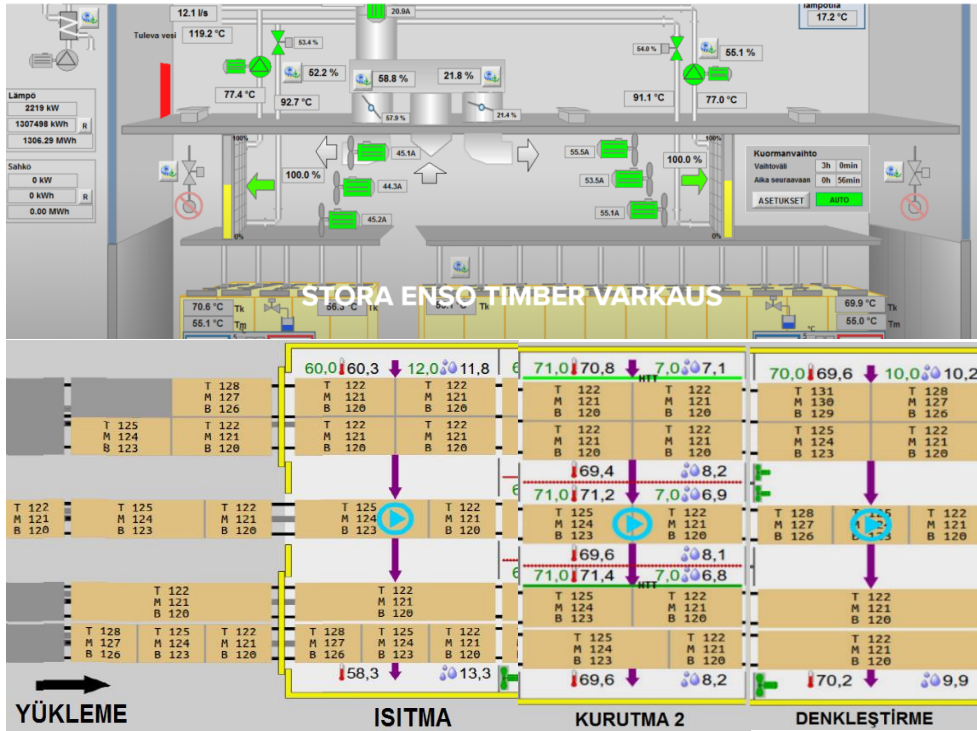
Kurutma takibinde ise otomasyona bağlı donanım ve yazılım açısından iki ayrı farklılık ortaya çıkmaktadır. Kesintisiz fırınlarda keresteler hareket halinde olduğu için, rutubet değerlerinin kablolarla aktarılmasının zor olacağı söylenebilir. Bu yüzden bazı firmalar tarafından hâlihazırda üretilen (Dynalse, 2019; Logica, 2019 vb.) kablosuz yöntemle rutubet verisi aktaran ölçerlerin tercih edileceği söylenebilir. Bu sistemler kullanıldığı takdirde ise sensörlerdeki veri akışının ortamdan etkilenmemesi, fırın uzunluğuna bağlı iletim mesafelerinin önem kazanması gibi daha önce hesaplanmayan yeni mühendislik sorunlarının da çözülmesi gerekmektedir. Ayrıca bölge ve ekipman sayısı arttığı için, bu tip fırınlara özel yeni kurutma takip yazılımlarının da oluşturulması gerekmektedir (Şekil 6).

2.5. Fırın Atmosferi

Kesintisiz fırınların ortam şartları bakımından en bariz avantajlarından biri de, tampon bölgeden alınan keresteler dış ortam sıcaklığında olsa da, kondenzasyon ısınmaya (kereste boyunca yüzeylerin çiy noktası sıcaklığı altında kalması) bağlı olarak, mevcut sıcak ve nemli ortam da elverişli bir ısınma sağlamaktadır. Bu da ısınmayı hızlandırmakta ve yüzeyi kurumaya ve çatlamaya karşı korumaktadır. Fırın içindeki ortamda ise fırın boyunca ilerleyen havanın nem profili, istifler arasından çıkan rutubetin buharlaşma oranına bağlı olmaktadır (Moren, 2016). Bu durum fırın atmosferini, ekipmanını ve tasarımını derinden etkilemektedir.

İlk üretilen kesintisiz fırınlarda doğal hava sirkülasyonu tercih edilebiliyordu. Ancak Pratt (1974)'a göre kurutma aşamalarının programa uygun bir şekilde sağlanabilmesi için, uygun bir fırın tasarımı ile her bölgeye göre hızlandırılmış hava hareketiyle sirkülasyonun yapılması gerektiği belirtilmiştir. Çünkü kurutma atmosferi, sabit fırınlardaki gibi kesin bir şekilde kontrol edilemediği için, sonuç rutubeti homojenliği azalıyor. Bu homojenliği sağlamak için de sürekli kurutulabilme özellikleri ve başlangıç rutubetleri benzer kerestelerin şarj edilmesi gerekiyordu. Mevcut fırınlarda sonuç rutubeti homojenliği, fırın tipi ne olursa olsun, yaş kerestelerin şarj hızından da etkilenmektedir. Bu yapılmadığı takdirde, kurutma atmosferinde ciddi farklılıklar oluşmakta ve buna bağlı olarak sonuç rutubeti ve kaliteye ciddi etkileri olmaktadır (Moren, 2016).

Tercih edilen hava hareket hızları kurutmaların yapıldığı bölgelerde 8m/sn'ye kadar çıkabilirken, diğer bölgelerde 1,5-2 m/sn'ye kadar inebilmektedir (URL10 2008). Ancak genel olarak 3-4 m/sn hava hareket hızları tercih edilmektedir. Çift bölge ve optimize bir fırında yapılan çalışmada (Vikberg ve Moren, 2015), 3 istif olduğu ilk bölgede 75°C sıcaklıkta 4m/sn, 12 istif bulunduğu diğer bölgede ise 45°C sıcaklıkta 3,8m/sn hava hareket hızı uygulanarak %17,4 rutubete kadar kurutma yapılabildiği belirtilmiştir.



*Bazı kurutma bölgeleri yer almamaktadır (Some drying zones weren't shown in figure)

Şekil 6. Örnek kurutma otomasyonu yazılımları* (Heinola, 2019b; Bruner-Hildebrand, 2017).
(A sample of drying automation software).

Salin ve Wamming (2008)'e göre kesintisiz fırınlarda sıcaklığın kurutma süresi, enerji tüketimi ve bunlara bağlı kurutma ekonomisinin güçlü bir ilişkisi bulunmaktadır ve bu ilişki sabit fırınlara göre daha güçlüdür. Bu yüzden istenen malzeme kalitesi ve mevcut fırın donanımını da dikkate alarak, uygulanabilecek en yüksek sıcaklığın uygulanması gerektiği belirtilmiştir. Bununla birlikte günümüzde kullanılan yüksek sıcaklık seviyeleriyle düşük rutubetler elde edilebildiği de belirtilmiştir.

2.6. Ağaç Malzeme

Kesintisiz fırınların geliştirilmesinin temelinde yatan fikir, özellikle ince tahtaların kurutulmasında, ekonomik bir şekilde kapasiteyi arttırmak adına birden fazla fırının kombine edilmesidir. Gelişen teknolojiyle birlikte daha kalın kerestelerin kurutulması için de uygun hale gelmeye başlamıştır (Moren, 2016). Çalışma prensibi nedeniyle, birçok fırın tipinde farklı kereste uzunluğu, kalınlığı ve başlangıç rutubetlerine sahip istifler kombine edilememektedir ve bu sebeple düşük kapasiteli fabrikalar için verimli değildir.

Genellikle 16 ila 50 mm arasında değişen kalınlıklarda keresteler tercih edilmektedir. Örneğin ticari bir uygulamada 50mm'ye kadar taze haldeki çam ve ladin kerestelerinin %8 rutubete kadar kurutulabildiği belirtilmektedir (Heinola, 2019a). Bununla birlikte enine sirkülasyonlu fırın çeşidi (Moren, 2016), diğer fırınlarda bazı bölgelerin ayrılarak farklı kurutma atmosferi oluşturan KPZ (Kiln Prime Zone) teknolojisi (Bruner-Hildebrand, 2019b) gibi gelişmeler, kurutulabilecek kereste kombinasyonlarını arttırmaktadır. Örneği ticari bir uygulamada kurutulabilecek kereste kalınlığı sınırının 75mm'ye kadar çıktığı belirtilmektedir (Valutec, 2019b).

Hedeflenen sonuç rutubetlerinde, sabit fırınlarda $\pm\%3-4$ sapma olduğu, ancak kesintisiz fırınlarda bu oranın $\pm\%2-3$ 'e inebildiği belirtilmektedir (URL5 2018). Bu da EDG kriterlerine (1994) göre kurutma kalitesinin daha iyi olabildiğini (Standart-S \rightarrow Kaliteli-Q) göstermektedir. Bununla birlikte kurutma prensibine bağlı kusur azalışı, renkte daha az koyulaşma vb. nedenlerle de kurutma kalitesi de artmaktadır.

Diğer yandan son zamanlarda geliştirilen 3 bölgeli fırın tipinde, 100.000 m³ yıllık kapasiteyle %8 gibi düşük rutubetler yakalanabildiği belirtilmektedir. Diğer fırın tiplerine ilave olarak, kendine özel ekipmanları ve 2. bölgeyle arasında bir kapı bulunan bu bölgeyle, fırının geri kalanından farklı iklim koşulları oluşturulabildiği belirtilmektedir (Valutec, 2019b).

2.7. Enerji Tüketimi

Sabit fırınlarda, dış ortam sıcaklığından kurutma sıcaklığına kadar ısıtma, sonrasında bu sıcaklıktan ortam sıcaklığına kadar soğutma işlemi, hem süre hem de enerji kaybı oluşturmaktadır. Ayrıca her bir kurutma için bu işlem sürekli tekrarlanmaktadır. Ancak kesintisiz fırınlarda her aşamanın gerçekleştiği bölgede ısı devamlı korunmaktadır. Böylece süreden kazanç sağlandığı gibi, bu bölgelerde tekrar tekrar ısıtma-soğutma yapılmadığı için enerji tasarrufu yapılmaktadır. Çünkü bir ortamı tekrar ısıtmak için gerekli olan enerji, o ortamdaki ısıyı korumak için gerekli olan enerjiden çok daha fazla olacaktır. Moren (2016) kesintisiz fırınların en önemli avantajlarından birinin, serpantinlere gelen enerji desteği ve havalandırma oranı büyük oranda sabit olduğunu ve bu da ısı geri kazanım sistemlerinin sabit fırınlara göre daha verimli olmasını sağladığını belirtmektedir. Ayrıca yan yana gelen bölgelerin arasındaki ısı farkı nispeten az olduğundan, ısıtma ve sabit sıcaklıkta tutmadaki enerji daha düşük kalmaktadır.

Diğer yandan sabit fırınlarda kerestelerdeki boyut farklılığı, özellikle düzenli ve kontrollü hava akışını sağlamayı güçleştirdiğinden, kurutma atmosferi homojenliğini düşürmekte ve sonuç rutubetlerinde farklılıklara sebep olmaktadır. Ayrıca bu tip fırınlarda farklı başlangıç rutubetlerindeki kerestelerin kurutulmasında fazladan süre ve enerji harcanabilmektedir. Çünkü düşük rutubettekiler daha kısa sürede lif doyunluğu noktasına (LDN) gelirken, yüksek olanlar daha uzun sürede ulaşmaktadır. Düşük rutubettekiler için LDN altındaki seviyede daha şiddetli kurutma şartlarına geçilmesi gerekirken, yüksek rutubettekilerin LDN'ye ulaşmasını beklemektedir. Kesintisiz fırınlarda kereste istiflerinin farklı atmosfer koşullarına sahip ayrı bölgelerde kurutulma imkânı olduğu için, farklı uzunluk, kalınlık ve başlangıç rutubetlerine göre sınıflandırılarak istiflenebilmektedir. Böylece tür, boyut ve rutubete göre sınıflandırılmış istiflerin, geçtiği bölgedeki programın şiddeti gerektiği anda değiştirilmekte ve ölü zamanlar da ortadan kaldırılmaktadır.

Bu tip farklılıklar bir araya getirildiğinde genel olarak kesintisiz fırınlarda, sabit fırınlara göre %10-15 civarında enerji tasarrufu sağlanırken, ısı geri kazanım sistemleri entegre edilmiş enine sirkülasyonlu kesintisiz fırınlarda, %15 de enerji tasarrufu sağlanabildiği belirtilmektedir (URL7 2017). Ayrıca farklı fırın tasarımlarıyla da ilave tasarruflar sağlanabilmektedir. Bir fırın üreticisi enerji tasarrufu için, iki bölgeli ve üç bölgeli fırın modelinde, kurutma bölgelerindeki ısı enerjisini kullanan ön-kurutma bölgesi ilavesi edildiğini belirtmiştir. Bu bölge için ekstra enerji kullanılmadığından, uygulamaya bağlı olarak %50'ye varan enerji tasarrufu sağlanabildiğini belirtmektedir. Ayrıca bu sistemin kullanılmadığı diğer modellerde ise, yine diğer sistemlere göre %25'e varan enerji tasarrufu sağlandığı da belirtilmektedir (Mühlböck, 2019). Bir başka firma ise; sabit fırınlarda da kullanılan, dışardaki soğuk ve kuru havanın ısıtılmadan direkt içeri alınmadığı ve içerdeki sıcak ve nemli havanın nemi atılarak tekrar fırına kazandırıldığı ısı geri kazanım sistemiyle %10 ısı enerjisi tasarruf sağlandığını belirtmektedir. Bununla birlikte hava akışını yönlendiren plakalar sayesinde de %30 daha az elektrik enerjisi harcandığı belirtilmektedir (BEP, 2019).

Kesintisiz fırınların, sabit fırınlara karşılaştırıldığı bir çalışmada (Salin ve Wamming, 2008), 47 x 100 mm enine kesitli Norveç ladini keresteleri, %16 sonuç rutubetine maks. 80°C'de kurutulduğunda, aşağıdaki sonuçların elde edildiği belirtilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Norveç ladini kurutmada fırın tiplerinin karşılaştırılması.
(Drying kiln comparison while drying Norway spruce).

Fırın tipi	İstif sayısı	Kurutma Süresi (saat)	Enerji Tüketimi (kWh/m ³)	Kurutma maliyeti (€/m ³)
Sabit - sabit KT & azalan YT	5	37	229	10,1
Sabit - sabit YT & artan KT	5	39	232	10,5
Kesintisiz - tek bölgeli	15	51	205	8,9
Kesintisiz - çift bölgeli ve GB	9+12	54	204	8,3
Kesintisiz - çift bölgeli ve OPT	5+17	50	206	8,1

*KT: Kuru termometre sıcaklığı, YT: Yaş termometre sıcaklığı, GB: Geri Beslemeli, OPT: Optimize

(*KT: Dry-bulb temperature, YT: Wet-bulb temperature, GB: Feedback, OPT: Optimized)

Tablo 1'de, sabit fırınlara göre kesintisiz fırınlarda kurutma süresinin arttığı gözükse de, kurutulan istif sayısı 3 ila 4 katına çıkmakta, birim hacimde %10 enerji ve maliyet tasarrufu sağlanabildiği de görülmektedir. Diğer yandan sabit fırınların kesintisiz fırına dönüştürüldüğünde, kapasitesinin % 150'ye kadar artabildiği, ancak enerji maliyetlerinin aynı kaldığı belirtilmektedir (URL6 2017).

2.8. Ekonomiklik

Kesintisiz fırınların yüksek kurutma kapasiteleri, daha kısa zamanda pazara kuru kereste satılma olanağı sağlayarak gelir akışını hızlandırmaktadır. Böylece üretimden çıkmış yaş kerestelerin atıl bir şekilde bekletilme süresi azaltılarak depolama maliyetlerini azaltmaktadır. Fırının giriş ve çıkış bölgelerindeki tampon bölgeler uzatıldığı takdirde, hafta sonu gibi uzun bir süre forklifte ihtiyaç olmadan çalışma imkânı sağlanabilmektedir. Entegrasyonu yapıldığı takdirde kuru kereste işlenen hatta otomatik geçiş sağlanarak, forklift giderlerinde azalma sağlanabilir (URL7, 2017). Sonuç kalitesi arttığı için de, birim hacimdeki keresteden daha yüksek gelir elde etme imkânı da sağlanmaktadır.

Sabit fırınların kesintisiz fırınlara oranla enerji tüketimi %10-15 ve kurutma maliyetleri de %20-25 daha fazladır. %50'ye varan (ortalama %20) enerji tasarrufu ile yüksek maliyetli enerji giderlerinden de tasarruf sağlanmaktadır. Diğer yandan kesintisiz fırınlarda her ne kadar donanım olarak daha komplike olarak gözüke de, çift bölgeli fırınlarda tek bölgeli fırınlara göre çok daha düşük maliyetli kurutmalar yapılabilmektedir (Salin ve Wamming, 2008). Pratt (1974)'a göre de büyük kapasiteli kesintisiz bir fırının kurulması ve yönetilmesi, aynı kapasitede çok sayıdaki sabit fırının yönetilmesine göre daha ucuzdur.

3. Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında değerlendirilen farklılıklar dikkate alındığında kesintisiz fırınların, sabit fırınlara göre; kurutma kapasitesi artışı, birim hacim başına düşük enerji tüketimi, homojen sonuç rutubet dağılımı, yüksek kurutma kalitesi, planyalama kalitesi gibi avantajları olduğu söylenebilir. Bu avantajları nedeniyle, birçok firma tarafından tercih edilmeye başlanmış ve sadece Avrupa'da, 2014 yılı itibariyle, 500'den fazla kesintisiz fırın faaliyete geçmiştir (Elustondo, 2014). Mevcut teknoloji ve endüstriyel tecrübe ile günümüzde hızlı kurutulabilen türlere ait ince kerestelerin kurutulmasında kullanılsa da, yaşanan gelişmeler bu konuda da esnekliğin artacağını göstermektedir. Ancak bu gelişmelerin sağlanabilmesi için, sabit fırınlarda gündeme gelmeyen özel durumların (hızı kontrol edilebilen istif vagonları, kurutma takip otomasyon yazılımı, donanımı vb.) dikkate alınarak tecrübe edilmesi gereklidir.

Kesintisiz fırınlar daha çok benzer nitelikte, hızlı kurutulabilen ağaç türlerini üreten kapasiteli fabrikalar için uygun gözükmektedir. Bununla birlikte, yapılan çalışmalar ve gelişen teknoloji ile kurutulabilen malzeme çeşitliliğinin artacağını göstermektedir. Bugün itibariyle, kesintisiz kurutma fırınlarının Türkiye'de uygulanabilir olması ekonomiklik açısından zor gözükmektedir. Çünkü bu tip fırınlar yüksek kereste üretim kapasiteli fabrikalara hitap ederken, ülkemizdeki kereste fabrikaları çok sayıda fakat düşük kapasitelidir. Bununla birlikte aşağıdaki değişimlerin bir ya da birkaçı gerçekleştiği takdirde, kullanılabileceği ve hatta yerli üreticiler tarafından da üretilmeye başlanacağı söylenebilir:

- Endüstriyel plantasyon ormancılığının artmasıyla yüksek miktarda ve kalitede hammadde tedarikinin artması,
- Türkiye kereste endüstrisinde yer alan fabrikaların, birçok ülkede olduğu gibi daha büyük kapasiteli ve daha az sayıda olacak şekilde yapısal bir değişim yaşaması,
- Doğrudan masif ahşabı kullanan ahşap yapı endüstrisinin daha da gelişmesi,
- Masif ahşap sektöründe "kullanım yerine göre ahşabın nem değerinin düşürülmesi" bilincinin artarak devam etmesi.

Kaynaklar

1. **AWD (2019)**. Continuous Kilns, American Wood Dryers, LLC, A.B.D. <http://www.drykilns.com/continuous-kilns/> (30.08.2019).
2. **BEP (2019)**. Continuous Flow Wood Drying Kiln Advantages, BEP Industries Ltd. <https://www.bepindustries.com/continuous-kilns> (30.08.2019).
3. **BES Bolmann (2019)**. Progressive drying, Bes Bolmann Drying & Control Systems. <https://www.bes-bollmann.com/progressive/> (30.08.2019).
4. **Bruner-Hildebrand (2017)**. Brochure Continues Kiln, Bruner-Hildebrand, Brunner Trockentechnik GmbH, <https://www.brunner-hildebrand.de/en/service/downloads/> (30.04.2017).
5. **Bruner-Hildebrand (2019a)**. Progressive Kiln, Bruner-Hildebrand, Brunner Trockentechnik GmbH, <https://www.brunner-hildebrand.de/en/products/progressive-kiln/> (30.08.2019).
6. **Bruner-Hildebrand (2019b)**. Kiln Prime Zone (KPZ), Bruner-Hildebrand, Brunner Trockentechnik GmbH, <https://www.brunner-hildebrand.de/en/innovation/kiln-prime-zone-en> (30.08.2019).
7. **Christensen FJ, Barker LS (1973)**. High speed drying research and the development of an experimental continuous feed mechanical kiln for sawn timber. *Aust. Forest Ind. J.* 39(7): 30-35.

8. **Dynalse (2019)**. Kiln Scout, Wireless Wood Moisture Meter in Kilns, Dynalse AB, İsveç. <https://dynalyse.com/products/moisture-measurement-lumber-timber/kilnscout> (30.08.2019).
9. **EDG (1994)**. Assessment of Drying Quality of Timber, EDG- Recommendation, European Drying Group.
10. **Elustondo D (2014)**. Guest editorial: R&D needs in wood drying technology. *Drying Technology* 32(6), 629-630.
11. **Heinola (2019a)**. KUHMO OY, HTC Progressive Kiln, Finland, Heinola Drying Kilns Deliveries 2019, Heinola Sawmill Solutions Inc. https://www.heinolasm.fi/wp-content/uploads/2019/05/HSM_kuivaamot_pikkuesite_ENG_netti.pdf (30.08.2019).
12. **Heinola (2019b)**. Heinola Drying Kilns, Heinola Sawmill Solutions Inc. https://www.heinolasm.fi/wp-content/uploads/2019/05/HSM_kuivaamot_esite_ENG_netti.pdf (30.08.2019).
13. **Katres (2019)**. A Continuous Process in a Tunnel Dryer, Katres Drying Technology. https://www.katres.cz/tunnel_kilns (30.08.2019).
14. **Koch, P., Wellford, Jr. W.L. (1977)**. Continuous tunnel kiln direct-fired with bark to dry 1.75 inch southern pine in 12 hours. *Forest Prod. J.* 27(5): 39 - 47.
15. **Logica (2019)**. Wireless Sensors System by Logica, Logica, İtalya. <https://www.logica-hs.com/en/sensors-and-wireless.html> (30.08.2019).
16. **Moren, T. (2016)**. *The Basics of Wood Drying – Moisture Dynamics, Drying Methods, Wood Responses*. Valutec AB. Skellefteå, Sweden, 117 pages. ISBN: 978-91-639-0619-0.
17. **Mühlböck (2019)**. Mühlböck progressive kiln DYNAMIC 1003 PREMIUM, Mühlböck Holztrocknungsanlagen GmbH. <https://www.muehlboeck.com/en/drying-systems/progressive-kiln/progressive-kiln-dynamic/muehlboeck-progressive-kiln-dynamic-1003-premium-holztrocknungsanlagen-trockenkammern-holztrocknung-trocknungstechnik-oesterreich-49854.html> (30.08.2019).
18. **Pratt, G.H. (1974)**. *Timber drying manual*. Building Research Establishment Report, Princes Risborough Laboratory, Her Majesty's Stationery Office, Londra, İngiltere.
19. **Resch, H. (2006)**. High-frequency electric current for drying of wood-historical perspectives. *Maderas. Ciencia y tecnología* 8(2), 67-82.
20. **Rietz, R.C. (1950)**. *Accelerating the kiln drying of hardwoods*. US Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, A.B.D.
21. **Salin, J.G., Wamming, T. (2008)**. Drying of timber in progressive kilns: Simulation, quality, energy consumption and drying cost considerations. *Wood Material Science and Engineering* 3(1-2), 12-20.
22. **Seyfarth, R., Leiker, M., Mollekopf, N. (2003)**. Continuous drying of lumber in a microwave vacuum kiln. In *8th International IUFRO Wood Drying Conference* (Vol. 8, pp. 159-163), 24-29 August, 2003, Brasov-Romania.
23. **Simpson, W.T. (1984)**. Drying wood: A review-Part II. *Drying technology* 2(3), 353-368.
24. **Simpson, W.T. (Ed.) (1991)**. *Dry kiln operator's manual, Handbook No. 188*. Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture, Madison, Wisconsin, A.B.D.
25. **Tinsley, D.M., Freeman, T.R., Smoke, W.S., Pollard, L.A. (2012)**. *Dual Path Kiln Improvement*, U.S. Patent No. 8,201,501. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC, USA.
26. **URL-1 (2018)**. https://www.lesprom.com/en/news/Versowood_to_install_two_Valutec_continuous_kilns_at_sawmill_in_Vierumaki_Finland_81950, Versowood to install two Valutec continuous kilns at sawmill in Vierumaki, Finland, Lesprom Network, (08.02.2018).
27. **URL-2 (2019)**. https://www.lesprom.com/en/news/Heinola_to_supply_new_progressive_kilns_for_Sdras_sawmill_in_Vr_Sweden_89481, Heinola to supply new progressive kilns for Södra's sawmill in Värö, Sweden, Lesprom Network, (12.06.2019).
28. **URL-3 (2018)**. <https://timberlinemag.com/2018/07/maine-softwood-producer-plans-three-fold-expansion-project>, Maine Softwood Producer Plans Three-Fold Expansion Project, Industrial Reporting Inc., Timberline Magazine, (01.07.2018).
29. **URL-4 (2019)**. <https://www.youtube.com/watch?v=P6KdUHHxKhM>, USNR's Counter-Flow Kiln – time lapse video, Youtube, (23.01.2019).
30. **URL-5 (2018)**. <https://www.woodbusiness.ca/drying-decisions-4820/> Drying decisions: industry experts weigh in on the role of continuous dry kiln systems, Canadian Forest Industries, (26.03.2018).
31. **URL-6 (2017)**. <http://www.timberlinemag.com/articledatabase/view.asp?articleID=4888>, KDS Windsor a Leader in Lumber Drying Systems, IndustrialReporting., Inc, Timberline Magazine, (01.07.2017).
32. **URL-7 (2017)**. <http://www.timberlinemag.com/articledatabase/view.asp?articleID=4910>, Unidirectional Continuous Kilns Poised for North American Breakthrough, IndustrialReporting, Inc., (01.07.2017).
33. **URL-8 (2017)**. <http://www.3bconstruction.co.uk/news/new-progressive-kiln-for-adam-wilson-sons-sawmill/>, New progressive kiln for Adam Wilson & Sons Sawmill, 3b Construction Ltd., (01.02.2017).

34. **URL-9 (2017)**. https://www.timber-online.net/sawn_timber/2017/01/first_timber_kilninggreatbritain.html , First timber kiln in Great Britain, Timber Online, (04.01.2017).
35. **URL-10 (2008)**. <http://www.timberlinemag.com/articledatabase/view.asp?articleID=2752>, New Kiln Boosts Efficiency, Lumber Quality, IndustrialReporting, Inc., Timberline Magazine, (01.12.2008).
36. **Valutec (2016)**. Valutec to exhibit at the Internationale Holzmesse Klagenfurt, Valutec AB. <https://www.valutec.ca/news/news-archive/internationale-holzmesse/> (18.08.2016).
37. **Valutec (2017)**. Kurekss first in the Baltic region with TC continuous kiln, Valutec AB. <https://www.valutec.ca/news/news-archive/kurekss/> (28.06.2017).
38. **Valutec (2018)**. Continuity and quality key in Mosser investment in Valutec kiln, Valutec AB. <https://www.valutec.ca/news/news-archive/continuity-and-quality-key-in-mosser-kiln-investment/> (19.12.2018).
39. **Valutec (2019a)**. 2-zone fb continuous kiln, Valutec AB. <https://www.valutec.ca/products/continuous-kilns/2-zone-fb-continuous-kiln/> (30.08.2019).
40. **Valutec (2019b)**. Continuous kilns, Valutec AB. https://www.valutec.ca/media/1688/300-7881-kanaltork-rev_2019_ena7.pdf (30.08.2019).
41. **Valutec (2019c)**. Custom zone lengths, Valutec AB https://www.valutec.ca/media/1697/egger-ref-case-2019_en_low.pdf (30.08.2019).
42. **Vikberg T., Moren T. (2015)**. Internal Heat Exchange in Progressive Kilns. *Pro Ligno*, 11(4), 318-323.