

## **Temat: Planowanie procesu suszenia.**

### **1) Ustalanie początkowej i końcowej wilgotności drewna.**

**Pierwszą czynnością przygotowawczą przed zaplanowaniem suszenia jest określenie rzeczywistej wilgotności drewna przeznaczonego do suszenia w suszarni.** Jest to niezbędne do ułożenia prawidłowego planu suszenia oraz ustalenia wzorcowego przebiegu zmian temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz określenia czasu suszenia. **Partia materiałów tartych suszonych w jednej komorze lub w jednym cyklu suszenia w jednym tunelu powinna mieć podobną wilgotność początkową.** W tym celu wybiera się sztuki próbne i pobiera się próbki. **Jeśli w takiej partii występują różnice wilgotności należy pobrać sztuki o większej wilgotności.** Taki wybór spowoduje wprawdzie wydłużenie czasu suszenia, ale daje pozytywne wyniki, gdyż zapewnia wysuszenie całej partii równomiernie i w zamierzonym stopniu. W początkowym bowiem okresie suszenia sztuki bardziej suche nie będą schły, a nawet mogą ulec nawilżeniu, lecz z chwilą wyrównania się wilgotności przebieg suszenia będzie jednolity dla całej partii.

Pobierane próbki są:

- małe, potrzebne do dokładnego określenia wilgotności początkowej,
- większe, tzw. wyrzynki kontrolne, do bieżącego stwierdzenia postępu wysychania drewna w czasie procesu suszenia. Próbki pobiera przy dłuższych sztukach tarcicy w odległości 50 cm od czoła, przy krótszych w połowie ich długości, ze względu na to, że czołowe partie mają mniejszą wilgotność. Próbki wycina się przez całą grubość i szerokość sztuki próbnej. Szerokość próbki wynosi zwykle 5-10 mm, grubość odpowiada grubości sztuki próbnej, a długość jej szerokości. Z każdej sztuki próbnej pobiera się 3-4 próbki.

Obok próbek wycina się przez całą szerokość i grubość sztuki próbnej wyrzynek kontrolny o długości kilkudziesięciu centymetrów. Przy pobieraniu próbek z materiałów tartych o mniejszej długości (np. fryzy) jako wyrzynek kontrolny traktuje się resztę sztuki próbnej pozostałą po odcięciu próbek. Po pobraniu próbek należy je ponumerować, przy czym próbkom i wyrzynkom kontrolnym pochodzącym z tej samej sztuki próbnej nadaje się ten sam numer. Po ponumerowaniu próbki waży się z dokładnością do 0,01 g, a wyrzynki kontrolne z dokładnością do 0,1 g. Następnie umieszcza się próbki w suszarce elektrycznej i suszy w temperaturze 100-1050C, ważąc je w określonych odstępach czasu. Pierwsze ważenie przeprowadza się po 12 godzinach, następnie po 6, kolejne co 2 godziny. Suszenie uważa się za zakończone, gdy różnica między wynikami dwóch ostatnich ważeń nie przekracza dokładności pomiaru,

a więc próbka nie wykazuje już ubytku masy. W tym samym czasie należy zważyć wyrzynki kontrolne z dokładnością do 1 g.

Od trafnego wyboru sztuk próbnych oraz prawidłowego i dokładnego wykonania wszystkich czynności związanych z ustaleniem procentu początkowej wilgotności drewna (obliczanego według wzorów zawartych we wskazanej literaturze), zależy prawidłowe zaplanowanie przebiegu suszenia, a tym samym w znacznym stopniu również efekt suszenia drewna.

**Końcowa wilgotność, do której chcemy doprowadzić materiały tarte przez suszenie w suszarni, zależy od ich przeznaczenia. Procent końcowej wilgotności suszonych materiałów powinien odpowiadać stanowi równowagi higroskopijnej wyrobów z warunkami klimatycznymi otoczenia, w którym będą one użytkowane.**

**Ponieważ i one są w pewnych granicach zmienne, zakłada się warunki przeciętne, a materiały tarte suszy się do wilgotności 1-2% niższej od wilgotności odpowiadającej stanowi równowagi z przeciętnymi warunkami klimatycznymi. Tak ustalony procent wilgotności końcowej drewna powoduje, że nie będzie ono nadal wysychać, ani nawilżać się w warunkach nowego otoczenia. Nie nastąpi więc zmiana jego wymiarów, kształtu, nie wystąpią pęknięcia ani spaczenia.**

## **2) Planowanie czasu suszenia**

**Czas suszenia materiałów tartych uzależniony jest od rodzaju drewna, jego budowy i szczególnych właściwości, od wymiarów suszonych materiałów, głównie ich grubości, od procentu wilgotności początkowej drewna i wymaganego procentu wilgotności końcowej, od temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz od rodzaju suszarni. Ponadto na czas suszenia wpływają warunki klimatyczne zewnętrzne i wymagana dokładność i ostrożność suszenia.**

**Wzorcowy czas suszenia oblicza się najczęściej przed ustaleniem przebiegu temperatury i wilgotności względnej powietrza. Jest on istotnym elementem planu suszenia tylko przy przyjęciu czasowej regulacji parametrów powietrza suszącego. W innych przypadkach jest on elementem pomocniczym.**

**Do obliczenia wzorcowego czasu suszenia przyjmuje się wilgotność najwilgotniejszej sztuki próbnej jako wilgotność początkową. Obliczenia wzorcowych czasów suszenia wykonuje się sposobami podanymi w literaturze specjalistycznej lub w instrukcjach.**

Przy planowaniu procesu suszenia oprócz czasu całkowitego oblicza się cząstkowe czasy suszenia, odpowiadające ubytkom wilgotności początkowej o każde 10%, a po obniżeniu się wilgotności poniżej 40% co 5%. Czasy cząstkowe oblicza się metodą, według której ustalono wzorcowy czas całkowity suszenia.

### **3) Ustalanie przebiegu temperatury i wilgotności względnej powietrza**

**Jeżeli planuje się suszenie ze stopniowym wzrostem temperatury, obliczając czas według sposobu opartego na jednej temperaturze, wówczas miarodajna jest średnia temperatura okresu właściwego suszenia. Ostatni okres to kilkugodzinne ochładzanie, czyli stopniowe obniżanie temperatury do 30-40°C już po zakończeniu właściwego procesu suszenia.**

**Długość okresu nagrzewania jest tym większa, im drewno jest twardsze, suchsze i grubsze. W tym czasie następuje ogrzanie nie tylko suszarni, ale również nagrzanie umieszczonej w niej tarcicy.**

**W suszarniach z naturalnym obiegiem powietrza szybkie podniesienie temperatury powietrza i utrzymanie jej na stałym, wymaganym poziomie, jest z zasady niemożliwe. W suszarniach takich zwykle podnosi się temperaturę do wymaganego poziomu stopniowo, prawie przez cały czas suszenia, i dopiero w końcowym okresie można ją utrzymać w stałej wysokości.**

**W suszarniach o działaniu ciągłym temperatura powietrza w określonym miejscu jest stała przez cały czas cyklu suszenia, ale odmienna w każdym miejscu tunelu – najniższa przy wejściu, a najwyższa przy wyjściu suszonego materiału. W celu zapobieżenia ujemnym skutkom nadmiernego wysuszania powietrza (pękanie tarcicy) w okresie nagrzewania stosuje się równocześnie z nagrzewaniem parowanie, czyli doprowadza się do wnętrza suszarni świeżą parę wodną. Parowanie nie tylko podnosi wilgotność względną powietrza w suszarni do wymaganego poziomu, ale również szybko nagrzewa materiały tarte.**

**Najwydatniejszy wpływ na przebieg suszenia materiałów tartych i na zachowanie jakości suszonych materiałów ma odpowiednie obniżanie wilgotności względnej powietrza. W praktyce posługujemy się tzw. gradientem spadku wilgotności drewna. Jest to stosunek rzeczywistej średniej wilgotności drewna w danym momencie do jego wilgotności przy stanie równowagi z panującymi w tym momencie warunkami klimatycznymi, przy których drewno schnie. Gradient spadku wilgotności drewna powinien w procesie schnięcia drewna być zawsze większy od jedności. Gdy jest on równy jedności wówczas wilgotność drewna znajduje się w stanie równowagi z warunkami klimatycznymi powietrza, a drewno nie schnie. Gradient mniejszy od jedności odpowiada procesowi wchłaniania wody przez suche drewno z wilgotnego powietrza.**

## **I. Zjawiska fizyczne w procesie suszenia drewna.**

### **1) Woda w drewnie.**

**Wysychanie drewna polega na obniżaniu się jego wilgotności, tj. zmniejszaniu zawartości wody w drewnie. W świeżo ściętym drewnie wyróżnia się trzy rodzaje wody:**

- wolna, która wypełnia wnętrza komórek i przestrzeni międzykomórkowych,**
- związana, która nasyca błony komórkowe, wypełniając przestrzenie międzymicelarne,**
- krystalizacyjna, wchodząca w skład niektórych związków chemicznych występujących w drewnie, nazywana również konstytucyjną.**

**W czasie suszenia obniża się tylko zawartość wody wolnej i związanej w drewnie, natomiast woda krystalizacyjna nie bierze żadnego udziału w procesach jego suszenia.**

Woda związana występuje w nasyconych błonach komórkowych w postaci warstewek zawartych między sąsiednimi micelami. Micele błonnika tworzą z wodą rodzaj roztworu koloidalnego. Chcąc usunąć z drewna wodę związaną trzeba mu dostarczyć pewną ilość energii cieplnej, oprócz wynikającej z parowania. Woda wolna natomiast występująca w naczyniach włoskowatych (porach) drewna jest przy suszeniu wydalana z niego stosunkowo łatwo bez dostarczania dodatkowych ilości ciepła. Komórki drzewne, których micidele są rozdzielone warstewkami wody związanej, pęcznieją i zwiększają swoją

objętość do pewnych granic. Nadmiar wody wypełnia wnętrza komórek jako woda wolna. Przy wysychaniu drewna najpierw zmniejsza się w nim zawartość wody wolnej, a pozostaje tylko woda związana. Przy dalszym suszeniu, a więc wydalaniu wody związanej, międzymicelarne warstewki wody stają się coraz cieńsze, micidele zbliżają się do siebie, komórki drewna zmniejszają swoje wymiary, w następstwie czego całe drewno ulega skurczeniu. Tak więc zmniejszanie lub zwiększanie się zawartości wody wolnej nie ma znaczenia dla zmiany wymiarów i kształtu drewna. Natomiast zmniejszaniu się zawartości wody związanej towarzyszy kurczenie się drewna, a zwiększaniu pęcznienie i zwiększanie się jego objętości. Zmiany te występują zarówno przy suszeniu materiałów tartych na wolnym powietrzu jak i w suszarniach. Wydalanie wody wolnej z drewna następuje w sposób mechaniczny i przebiega stosunkowo łatwo, podobnie jak przy odparowywaniu wody z powierzchni otwartych. Woda związana, utrzymywana siłami włośkowatości i siłami molekularnymi, opuszcza drewno na zasadzie zjawisk osmozy, dyfuzji i termodyfuzji, przemieszczając się ze ścianki jednej komórki do ścianki następnej, aż do powierzchni drewna, z której wyparowuje do atmosfery.

Osmoza to przemieszczanie się cząsteczek wody przez błonę komórkową oddzielającą dwa roztwory różniące się potencjałami chemicznymi. Różnica potencjałów chemicznych wynika z różnicy składu (stężenia) roztworów. Jeżeli pomiędzy takimi roztworami istnieje różnica potencjałów chemicznych, pojawia się wówczas proporcjonalne do niej tzw. Ciśnienie osmotyczne, które wymusza przepływ cząsteczek wody przez błonę komórkową. W ten sposób w czasie schnięcia drewna odbywa się stały ruch wody od jego wnętrza ku powierzchni. Jednym z zadań suszarników jest utrzymywanie takiej samej szybkości parowania wody na powierzchni drewna, z jaką przebiega jej dyfuzja w jego wnętrzu. Jeżeli szybkość parowania na powierzchni jest mniejsza od szybkości dyfuzji drewno schnie za wolno. Jeśli natomiast szybkość parowania na powierzchni jest większa od szybkości dyfuzji, następuje przerwanie strumienia dyfundującej wody, co powoduje szkodliwe zjawiska, przede wszystkim pęknięcie drewna.

Dyfuzja wzdłuż włókien jest 2-4 razy szybsza od dyfuzji w poprzek włókien, dlatego w czasie schnięcia materiałów tartych często występują pęknięcia na czołach, które kurczą się znacznie szybciej niż dalsze odcinki tarcicy. Punkt nasycenia włókien jest to taki stan wilgotności drewna, w którym błony drzewne są całkowicie nasycone wodą, a jednocześnie nie występuje woda związana. Po uzyskaniu przez drewno wilgotności odpowiadającej punktowi nasycenia włókien, dalsze jego schnięcie postępuje aż do osiągnięcia stanu równowagi higroskopijnej, tzn. do chwili gdy wilgotność drewna ustali się na poziomie odpowiadającym warunkom klimatycznym otoczenia (wilgotności względnej, temperaturze i ciśnieniu powietrza). Po osiągnięciu stanu równowagi higroskopijnej nie odbywa się już dalsze wydalanie wody (schnięcie drewna), ani jej wchłanianie przez drewno z powietrza (wtórne nawilżanie).

Wilgotność względna powietrza jest to procentowy stosunek rzeczywistej ilości wody (pary wodnej), zawartej w jednostce jego objętości, do największej ilości wody możliwej do wchłonięcia przez powietrze o określonej temperaturze aż do stanu pełnego nasycenia. Przy suszeniu drewna używa się tego określenia, ponieważ bardzo dobrze obrazuje jaką procentowo ilość wody może powietrze jeszcze wchłonać. Stan równowagi higroskopijnej zależy tylko od wilgotności drewna oraz od wilgotności względnej i temperatury powietrza, natomiast nie zależy od rodzaju drewna.

## **2) Zjawiska fizyczne przy suszeniu drewna.**

**Przy suszeniu materiałów tartych powietrzem niezbędna jest znajomość jego parametrów, tj. właściwości fizycznych charakteryzujących jego stan: temperatury, wilgotności i ciśnienia. Podstawą techniki suszenia drewna jest wzrost pojemności wilgotnościowej powietrza przy podwyższaniu temperatury.** Do suszarni wprowadza się powietrze atmosferyczne o pewnej wilgotności, zawierające ilość pary wodnej odpowiadającej jego pojemności wilgotnościowej, przy aktualnej temperaturze. Gdy powietrze zostanie ogrzane, jego pojemność cieplna, tzn. zdolność wchłaniania wody z otoczenia, gwałtownie wzrasta i chłonie ono wodę z drewna. Spadek wilgotnościowej pojemności powietrza przy obniżaniu temperatury jest wykorzystywany w technice suszarniczej w celu osuszenia silnie nawilgoconego powietrza. Ciepłe powietrze można osuszyć przez skierowanie jego strumienia na jakieś ciało silnie ochłodzone, wskutek czego pojemność wilgotnościowa ulega zmniejszeniu, a nadmiar pary wodnej ulega skropleniu i może być wówczas wydalony z suszarni.

### **Podstawowe zjawiska fizyczne zachodzące w procesie suszenia:**

**a) parowanie wody wolnej w procesach powietrznego suszenia drewna - odbywa się w wierzchniej warstwie drewna, zwanej strefą parowania. Uwarunkowane jest temperaturą i ciśnieniem na granicy wody i powietrza. Parowanie ma szybkość proporcjonalną do różnicy ciśnienia pary przy samej powierzchni wody i ciśnienia pary w otaczającym powietrzu.**

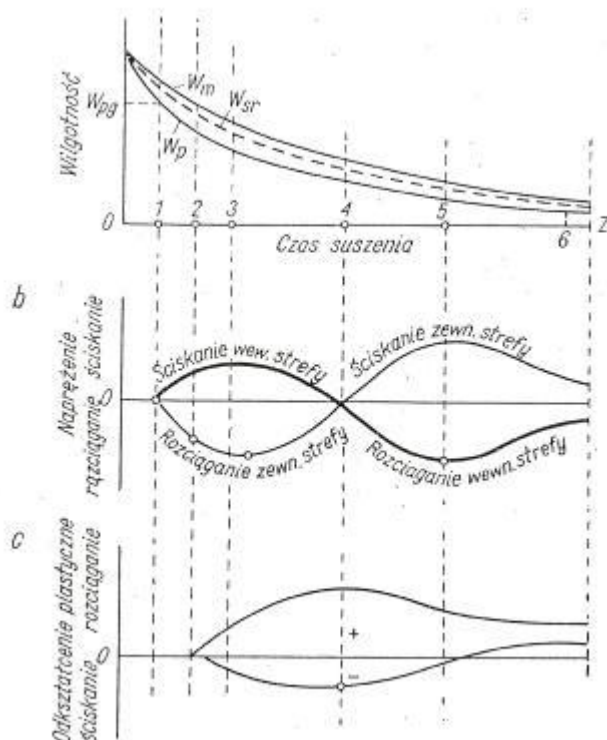
**b) przemieszczanie się wody – zachodzi w drewnie od warstw głębszych ku powierzchni i następuje zarówno w postaci ciekłej jak i pary.**

## **3. Czynniki umożliwiające przemieszczanie się wody w drewnie:**

**a) - dyfuzja pary lub cieczy jest ruch cząsteczek substancji dyfundującej, tzn. dążącej do rozprzestrzeniania się w całej objętości materiału, w którym się znajduje. Ponieważ dyfuzja jest przemieszczaniem się wody od miejsc wilgotniejszych do suchszych, warunkiem prawidłowego suszenia drewna jest spadek jego wilgotności od wnętrza w stronę powierzchni. Dyfuzja wówczas powoduje przemieszczanie wody z wnętrza drewna na jego powierzchnię, gdzie następuje jej odparowanie.**

**b) - termodyfuzja - to zjawisko przemieszczania się wody w kierunku strumienia ciepłego od miejsc o wyższej temperaturze do miejsc chłodniejszych. Wpływa to hamująco na przebieg dyfuzji i przemieszczania się wody w stronę powierzchni drewna, ponieważ ciepło powietrza nagrzewa najpierw silnie powierzchnie drewna, a dopiero potem stopniowo wewnętrzne jego warstwy. Dlatego stosuje się m.in. nocne przerwy w pracy suszarni, w czasie których ochładza się najpierw powierzchnia drewna, a to powoduje, że termodyfuzja działa w tym samym kierunku co dyfuzja. Podobnie jest przy suszeniu diatermicznym, kiedy materiał nagrzewa się w całej swej objętości tak, że wewnątrz drewna jest nieco cieplejsze od stale chłodzonej powietrzem powierzchni.**

**c) osmoza - skutek tego zjawiska woda przemieszcza się w drewnie przez przewody przeważnie w postaci ciekłej, natomiast woda związana zarówno w postaci ciekłej jak i pary. Im materiał jest bardziej suchy i grubszy tym więcej wody przemieszcza się w postaci pary. Istotny wpływ na przebieg przemieszczania się wody w drewnie ma budowa drewna. Drewno o skomplikowanej budowie, np. dębowe, przewodzi wodę w poprzek włókien o wiele wolniej i trudniej niż drewno drzew iglastych. Biorąc pod uwagę zmiany wilgotności warstw zewnętrznych i wewnętrznych, występowanie i zmiany naprężeń oraz plastyczne odkształcenie drewna, można w jego zachowaniu się wyróżnić sześć charakterystycznych okresów schnięcia.**



**Rys. 1. Zmiany zachodzące w drewnie w czasie procesu suszenia: a – zmiany wilgotności drewna: powierzchniowej ( $W_p$ ), wewnętrznej ( $W_m$ ) i średniej ( $W_{sr}$ ),  $W_{pg}$  – wilgotność przy granicy higroskopijności; b – zmiany naprężeń desorpcyjnych, c – odkształcenia plastyczne drewna.**

#### 4. Okresy schnięcia drewna wyróżniają się następująco:

(0-1) pierwszy okres schnięcia drewna, gdy jego wilgotność w warstwach zewnętrznych i wewnętrznych jest jeszcze powyżej granicy higroskopijności; w okresie tym nie występują ani naprężenia, ani plastyczne odkształcenia drewna;

(1) moment, w którym wilgotność warstw zewnętrznych drewna osiąga granicę higroskopijności;

(1-2) drugi okres schnięcia drewna, w którym wilgotność warstw zewnętrznych stopniowo spada poniżej granicy higroskopijności, wywiązują się pierwsze słabe naprężenia rozciągające w warstwach zewnętrznych i ścisające w wewnętrznych; odkształcenia plastyczne nie występują, ponieważ naprężenia nie przekroczyły jeszcze granicy sprężystości;

(2) moment, w którym naprężenia zaczynają przekraczać granicę sprężystości;



(2-3) trzeci okres schnięcia drewna, w którym wilgotność warstw zewnętrznych obniża się silnie poniżej granicy higroskopijności, rosną naprężenia rozciągające w warstwach zewnętrznych, rozpoczyna się plastyczne wydłużanie warstw zewnętrznych i kurczenie wewnętrznych;

(3) moment największej różnicy wilgotności warstw zewnętrznych i wewnętrznych oraz maksimum naprężeń;

(3-4) czwarty okres schnięcia drewna, w którym warstwy wewnętrzne też obniżają swoją wilgotność poniżej granicy higroskopijności; plastyczne wydłużenie warstw zewnętrznych i skurczenie się wewnętrznych dążą do swojego maksimum, natomiast naprężenia stopniowo maleją;

(4) moment zmian kierunku naprężeń i chwilowego ich braku; odkształcenia plastyczne w tym momencie osiągają swoje maksimum;

(4-5) piąty okres suszenia, w którym wskutek coraz silniejszego wysychania i tendencji do kurczenia się warstw wewnętrznych występują wzrastające naprężenia ściskające w plastycznie wydłużonych warstwach zewnętrznych, a rozciągające w warstwach wewnętrznych;

(5) moment drugiego maksimum naprężeń z odwrotnym znakiem niż w momencie 3; odkształcenia plastyczne warstw wewnętrznych zmieniają się, a warstwy te zaczynają się wydłużać;

(5-6) szósty okres schnięcia drewna, w którym różnice wilgotności warstw zewnętrznych i wewnętrznych zmniejszają się dążąc do wyrównania; następuje stopniowe zanikanie naprężeń; odkształcenia plastyczne zmniejszają się, pozostaje jednak niewielkie plastyczne wydłużenie warstw zewnętrznych o wewnętrznych.

Z analizy przebiegu naprężeń i odkształceń plastycznych wynika, że najbezpieczniejszy dla suszonego drewna jest pierwszy okres schnięcia. Po przekroczeniu granicy sprężystości szczególnie duże niebezpieczeństwo pęknięć zewnętrznych występuje w momencie największej różnicy wilgotności między warstwami zewnętrznymi i wewnętrznymi oraz na początku czwartego okresu schnięcia drewna. W momencie zmiany znaku naprężeń można stosować energiczne przyspieszenie suszenia, jednak w momencie drugiego maksimum naprężeń występuje największe niebezpieczeństwo pęknięć wewnętrznych.

Znajomość opisanych odkształceń naprężeniowych i plastycznych oraz ich przebiegu w poszczególnych etapach suszenia jest niezbędna dla prawidłowego kierowania procesem suszenia materiałów tartych, zwłaszcza twardych gatunków drewna i grubszych sortymentów przy większych wymaganiach jakościowych.

Przy powietrznym suszeniu konwekcyjnym powietrze musi znajdować się w ciągłym ruchu od grzejników do suszonego materiału o od materiału do grzejników. Ruch powietrza w suszarni jest niezbędny, aby można było szybko doprowadzić ciepło przekazywane przez grzejniki do suszonego materiału, powtórnie ogrzać powietrze ochłodzone przez zetknięcie się z nim i

odprowadzić wyparowaną z drewna wodę. Ruch powietrza w suszarni może być:

- swobodny, polegający na przemieszczaniu się ogrzewanego i ochładzanego powietrza wskutek zmiany jego gęstości, czyli tzw. naturalny obieg powietrza,
- wymuszony przez ssąco-tłoczące działanie wentylatorów, najpowszechniej stosowany w suszarnictwie,
- wymuszony iniekcyjny, gdzie powietrze zasysane jest przez wentylator i następnie tłoczone do kanału iniekcyjnego, skąd specjalnymi dyszami jest wtryskiwane z dużą prędkością do wnętrza komory suszarniczej.

W procesie suszenia materiałów tartych pożądanym jest tzw. ruch wirowy powietrza. Umożliwia on mieszanie się strumieni wypełniających komorę, rozbijając warstwę graniczną i rozprowadzając nadmiar pary w całej ilości powietrza znajdującego się w suszarni.