

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 145/2015

Марија Т. Гвозденовић

**Сушење храстових талпи у кондензационој сушари
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Небојша Лукић -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Завршни рад

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да обради тему под називом Сушење храстових талпи у кондензационој сушари. Описане су карактеристике дрвета, као и сама грађа, како уопштено тако и посебно за храст. Наведени су и описани параметри који утичу на сам процес сушења. Сушење је потребно одрадити вештачким путем, па је акценат стављен на кондензациону сушару која је детаљно описана.

Препоручена литература:

[1] <https://www.fpl.fs.fed.us/documents/fputr/fputr8.pdf>

[2] Бранко Колин, хидротермичка обрада дрвета, Југославијапублик, Београд, 1994 година

[3] <http://www.srbijasume.rs>

Крагујевац, октобар 2018

Ментор:
Проф. др Небојша Лукић

Садржај

1	Увод	5
2	Грађа и карактеристике дрвета	6
2.1	Хемијски састав дрвета.....	6
2.2	Физичка својства дрвета	6
2.3	Влажност ваздуха.....	6
2.4	Релативна влажност ваздуха.....	7
2.5	Влага у дрвету	7
2.6	Скупљање и бубрење	9
2.7	Хигроскопност и равнотежна влажност дрвета.....	10
2.8	Храст.....	10
3	Влажан ваздух	11
3.1	Величине стања влажног ваздуха.....	11
3.2	Молијеров h-x дијаграм за влажан ваздух	13
3.3	Процес загревања влажног ваздуха.....	14
3.4	Процес хлађења влажног ваздуха.....	14
3.5	Хлађење и сушење влажног ваздуха	15
3.6	Процес испаравања влаге	16
3.7	Психрометар.....	16
4	Општи појмови о сушењу дрвета	18
4.1	Начини кретања загрејаног медијума	18
4.2	Брзина сушења	19
4.3	Сушење дрвета	20
4.4	Природно сушење дрвета	20
5	Вештачко сушење дрвета	22
5.1	Конвенционалне сушаре	22
5.2	Кондензационе сушаре	24
5.2.1	Грађевински објект	25
5.2.2	Пратећа опрема	27
5.2.3	Мерно регулациона опрема	29
5.3	Комбиноване сушаре	31
5.4	Одржавање опреме и инсталације за вештачко сушење	32
5.5	Режими вештачког сушења дрвета.....	33
5.6	Режими загревања.....	34
5.7	Режими активне фазе сушења	34

5.7.1	Амерички – медисонски режими	35
5.7.1.1	Режими за лишћарске врсте дрвећа	35
5.7.1.2	Режими за четинарске врсте дрвећа	38
5.8	Режими завршне обраде.....	39
5.8.1	Режими изједначавања влаге	39
5.8.2	Режими кондиционирања	40
6	Обрада и сушење храста	41
7	Димензионисање протока ваздуха и капацитета кондензационе сушаре	44
8	Закључак	46
9	Литература:.....	47

Abstract

This paper seeks to elaborate on the so-called conventional industrial drying (warm air stream) in a controlled area, or standard drying oak in dryers that under certain controlled conditions artificially drain water-moisture from the material.

There is a number of types of dryers, but conventional, condensing and combined dryers are commonly used, and their common feature is to work at atmospheric pressure. No matter what is the type of the dryer, each of them has the basic elements and those are the area where the material is stored during drying, heat source, heat exchangers, fans.

The basic parameters of drying, humid air, materials and characteristics of wood in general, as well as the oak itself and the functioning of the condenser dryer are described.

Keywords: condensing dryer, drying, oak, moist air, wood

Резиме

Овим радом настоји се казати нешто више о тзв. индустријском конвенционом сушењу (струјом загрејаног ваздуха) у контролисаном простору тј. стандарно сушење храста у сушарама у којима се под одређеним контролисаним условима вештачки одводи вода-влага из неког материјала.

Постоји велики број типова сушара, али су најчешће употребљиване конвенционалне, кондензационе и комбиноване сушаре, а заједничка особина им је да раде при атмосферском притиску. Без обзира о ком се типу сушаре ради, свака од њих има основне елементе и то су простор где се смешта материјал током сушења, топлотни извор, измењивач топлоте, вентилаторе.

Описани су основни параметри сушења, влажан ваздух, грађа и карактеристика дрвета уопште, као и самог храста и функционисање кондензационе сушаре.

Кључне речи: кондензациона сушара, сушење, храст, влажан ваздух, дрво

1 Увод

Потреба за сушењем дрвета, као и њени почеци датирају још из доба старог Рима, где је сушење дрвета вршено у кућама које су се грејале. Према архивским подацима, прва сушара за дрво израђена је у средњем веку (1727. године). У 19. веку дрво почиње да се суши у затвореним цилиндрима који су се загревали димним гасовима. Интензивнија примена вештачког сушења, па самим тим развој опреме и инсталација, почиње после I светског рата. Тада почиње и развој метода и научног приступа разрешавања ове сложене технолошке проблематике, а све у циљу да се грађи снизи влага од почетне (сировога стања или природно сушене) до потребне количине влажности уз услов да не дође до настајања унутрашњих напрезања и видљивих грешака сушења. При томе је битно да се води рачуна економичности процеса тј. да се користи таква опрема која ће омогућити најниже трошкове.

Под сушењем се подразумевају процеси издвајања влаге из дрвета. У овим процесима размена топлоте иде упоредо са разменом влаге. Наиме, за одстрањивање влаге потребно је дрвету доводити топлоту и то све интензивније уколико је интензивније сушење.

Приликом топлотне обраде долази до делимичне промене физичких и механичких својстава дрвета. Циљеви топлотне обраде могу бити различити у зависности од технолошких процеса где се она примењује. Топлотна обрада у занатској и индустријској преради и обради дрвета примењује се пре свега код: израде фурнира, савијања и пресовања дрвета у циљу повећања пластичности дрвета, парења грађе, слепљивања дрвета у циљу убрзавања ове технолошке операције и друго.

2 Грађа и карактеристике дрвета

Дрво карактерише низ позитивних својстава: високе механичке карактеристике при сразмерно малој запреминској маси, ниска топлотна проводљивост, добра отпорност на дејство мраза, задовољавајућа отпорност према деловању појединих хемијских агенаса, лакоћа обраде и др. Међутим, дрво има и низ недостатака: нехомогеност грађе и анизотропност својстава, присуство разних дефеката грађе, хигроскопност, подложност труљењу и горењу и др.

2.1 Хемијски састав дрвета

Хемијски састав дрвета варира од врсте до врсте, али се просечно може узети да има око 50% угљеника, 42% кисеоника, 6% водоника, 1% азота и 1% других елемената (углавном калцијум, калијум, натријум, магнезијум, гвожђе и манган), рачунајући по масеном односу. У мањим количинама у дрвету има и сумпора, хлора, силицијума и фосфора, као и многих других елемената у траговима.

Осим воде, дрво садржи три основне компоненте. Целулоза, кристални полимер изведен из глукозе чини од 41 до 43% масе дрвета. Следећа по уделу је хемицелулоза, која чини 20% састава листопадних, али и готово 30% четинарских стабала. То су углавном петокарбонски шећери који су спојени на неправилан начин, за разлику од целулозе. Лигнин је трећа компонента дрвета којег има око 27% у зимзеленом и 23% у листопадном дрвећу. Лигнин даје хидрофобне особине дрвету рефлектујући чињеницу да је заснован на ароматским угљениковим прстеновима. Све три компоненте дрвета се међусобно испреплићу, а директна ковалентна веза постоји између лигнина и хемицелулозе. Основни фокус индустрије папира је одвајање лигнина од целулозе, од које се даље производи папир.

У хемијском аспекту, разлика између меког и тврдог дрвета огледа се у саставу његовог састојка лигнина. Лигнин у тврдом дрвету углавном је изведен из синапил-алкохола и кониферил-алкохола. Лигнин у меком дрвету је претежно изведен из кониферил-алкохола.

2.2 Физичка својства дрвета

Фактори који утичу на сушење дрвета су температура, влажност и циркулација ваздуха. Температура и влажност се мењају током сушења, жељена циркулација постиже се принудним путем уз помоћ вентилатора и она је углавном фиксна величина за конкретну сушару.

2.3 Влажност ваздуха

Под појмом влажност ваздуха подразумева се присутност водене паре у ваздуху. Приодређеној температури ваздух може да прими водену пару до неке количине, а преко тога долази до кондензације. За ваздух који садржи максималну количину водене паре каже се да је засићен. Максимална количина водене паре у 1 m³ ваздуха

зависи од температуре. При повећању температуре повећава се и максимална количина водене паре коју ваздух може да прими, а то се може видети у табели 1:

Табела 1– Утицај температуре на апсолутну влажност засићеног ваздуха

Температура ваздуха °C	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Максимална количина водене паре g/m ³	4,8	9,4	17	30	51	83	130	198	293	423	597

Ако се засићен ваздух загрева, повећава му се могућност да прими још водене паре, а ако се хлади, јавља се вишак водене паре (појављује се кондензација). Ова особина се користи за извлачење влаге из дрвета, односно за његово сушење.

2.4 Релативна влажност ваздуха

Као важан елемент код сушења дрвета користи се појам релативна влажност ваздуха и изражава се у %. Релативна влажност ваздуха представља однос парцијалног притиска водене паре и парцијалног притиска сувозасићене водене паре.

Засићен ваздух има релативну влажност 100%, а апсолутно сув ваздух 0%. Релативна влажност зависи од температуре ваздуха. Са повећањем температуре релативна влажност се смањује, док смањивањем температуре, релативна влажност расте.

Смер кретања ваздуха зависи од температуре. Загрејан ваздух струји према горе, јер је лакши, а хладан наниже. Пролазећи кроз слојаје резане грађе ваздух се хлади и влажи. Тако охлађен и влажан струји наниже и врши се кондензација вишка влаге.

2.5 Влага у дрвету

Дрво је као материјал капиларно-порозно колоидно тело и као такво има способност да прима (адсорбује) и отпушта (десорбује) влагу. То је омогућено његовом анатомском структуром, хемијском грађом и физичким својствима.

Влага у дрвету се током живота стабла распоређује унутар његових анатомских елемената и остаје у стаблу и после његовог обарања. У зависности од места где се влага у дрвету налази, као и од карактера везе влаге и дрвета, влага може у дрвету да се нађе у два основна вида и то: слободна и везана влага.

Слободна влага је она која се креће кроз судове дрвне масе и ње има онолико колико има шупљина у дрвној маси.

Везана влага се дели на адхезиону и конституциону. У првом случају ради се о физички везаној влаги, влаги која натапа судове и влакна дрвета, док се у другом

случају ради о хемијски везаној влаги. Хемијски везана влага је, на пример, влага која је конституциони елемент целулозе и није је могуће одстранити из дрвета поступцима исушивања.

Утврђено је да садржај воде у дрвету изнад 30% отпада на слободну влагу, а кад дрво има влажност до 30% онда садржи само везану влагу. Та граница од око 30% влажности дрвета назива се тачка засићености дрвних влаканаца. Влага дрвета изражава се у % и она представља однос тежине присутне воде у дрвету и тежине апсолутно сувог дрвета:

$$V = (mV / mO) \cdot 100 \%$$

где је:

V - влага дрвета у %,

mV - тежина воде у грамима,

mO - тежина апсолутно сувог дрвета у грамима.

На пример, ако се каже да је влажност дрвета 10%, то значи да у парчету дрвета које би апсолутно суво тежило 1000 g, има 100 g влаге. Влажност сировог дрвета зависи од врсте дрвета, а може се кретати и до 200%. Врсте дрвета које се код нас примењују после сечења углавном садрже влагу од 50 - 100%. Зависно од примене, дрво се суши до одређене влажности и то:

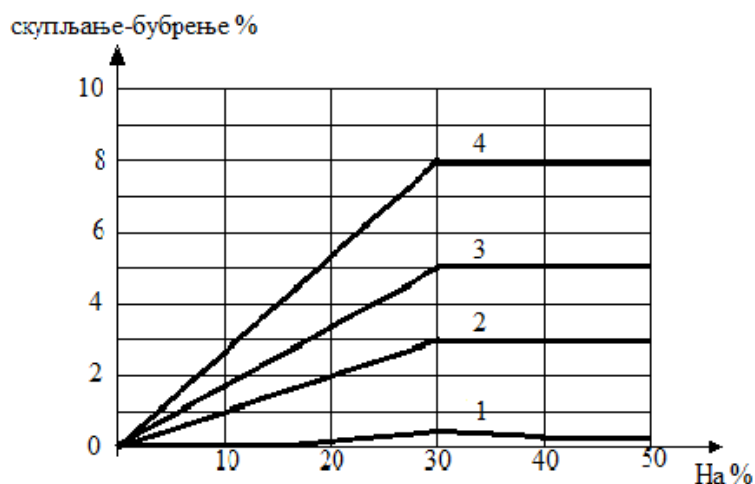
- музички инструменти 5 - 8%
- паркет 8 - 10%
- унутрашњи намештај 8 - 10%
- баштенски намештај 13 - 16%
- унутрашња столарија 10 - 12%
- спољна столарија 11 - 14%

Садржај влаге у дрвету дефинише се појмом влажност дрвета. Влажност дрвета представља однос влаге у дрвету и масе дрвета у апсолутно сувом стању. Према важећем JUS стандарду разликују се следећи степени влажности дрвета:

- напојено дрво (дрво засићено водом), код кога је влажност далеко изнад тачке засићености влакана; у овом случају шупљине у дрвету су у потпуњености испуњене водом,
- сирово дрво, код кога је влажност већа од тачке засићености влакана,
- полусуво дрво, које не садржи слободну влагу (влажност 30%),
- просушено дрво, код кога је влажност највише 22%; ово дрво може да буде транспортно суво (влажност 18-22%) и ваздушно суво (влажност 12-18%),
- исушено дрво, код кога се влажност креће од 6-12% и
- суво дрво, код кога је влажност 0%.

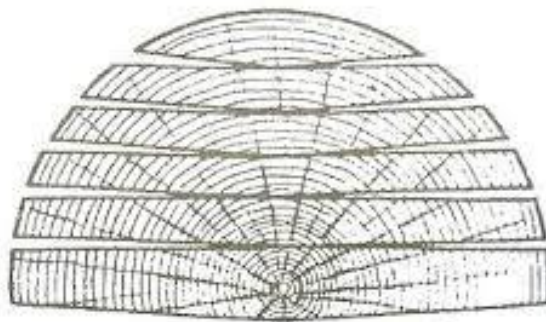
2.6 Скупљање и бубрење

Промену влажности дрвета од вредности 0% па до тачке засићености влакана ($H_a \approx 30\%$) прати повећање димензија и запремине, при чему се ова појава одвија по приближно линеарном закону (слика 1). У подручју влажности изнад 30%, димензије и запремина дрвета практично се не мењају. Идентично понашање, само у супротном смислу, запажа се при сушењу дрвета; за вредности влажности изнад 30% на дрвету се не запажају никакве промене, док се при влажностима мањим од ове границе запажа смањивање димензија и запремине.



Слика 1: Скупљање и бубрење дрвета [1]

Појаве скупљања и бубрења дрвета изазивају у дрвној маси унутрашње напоне који могу да доведу до разних деформација и дефеката дрвене грађе. На пример, услед наведених појава бочни крајеви дасака изрезаних из дебла дрвета теже да се деформишу на начин приказан на слици 2; највеће деформације имаће широке даске и даске које су добијене из дела пресека дрвета ближег периферији. Да би се спречило кривљење, витоперење, појава пукотина и друге штетне појаве које су најтешње повезане са „радом“ дрвета услед промене влажности, дрво током експлоатације по правилу треба да садржи само уравнотежену влагу, односно дрвена грађа треба да се користи у условима који се у погледу влаге кроз време неће битније мењати.



Слика 2. Деформисање дрвене грађе услед скупљања и бубрења [1]

2.7 Хигроскопност и равнотежна влажност дрвета

Хигроскопност је особина материјала да мења влажност под утицајем влаге околног ваздуха. Ако дрво не садржи влагу већу од 30% (тачка засићености дрвних влаканаца), оно има особину хигроскопности. То значи да, зависно од влаге спољашњег ваздуха, дрво може да упија или отпушта влагу. Што је влага у дрвету мања то је сила упијања влаге из ваздуха већа. Такође, што је релативна влажност ваздуха мања сила упијања влаге из дрвета према околини је већа. Значи, зависно која је од ове две силе већа, кретање влаге може бити из дрвета према околини (дрво отпушта влагу), или обрнуто (дрво упија влагу). Кад су ове две силе једнаке, нема кретања влаге и то је онда равнотежна влажност дрвета. Дрво стајањем у одређеном простору увек тежи да достигне равнотежну влажност. Оно ће отпуштати или упијати влагу ако је његова влажност већа или мања од равнотежне. Једном осушено дрво испод равнотежне влажности не може више примити влагу тачно до равнотежне влажности, већ нешто мало нижу. Ова појава се зове хистереза и износи око 1 до 2 % влаге дрвета. Бескорисно је и штетно сушити дрво ниже од равнотежне влажности која одговара средини где се дрво користи

2.8 Храст

Храст је дрво које се одликује великом чврстоћом и тврдоћом. Може да нарасте и до 50 m и да има стабло дебљине 100 cm. Боја храстовине је жућкастобела; временом постаје затворенија, тако да прелази у затвореноцрвенкасту или мрку. У попречном пресеку јасно се разликују срчевина и релативно танак појас бељиковине. Као још једна карактеристика храстовине су и врло изражени сржни зраци. Храстовина је врло отпорна и трајна, а такође је постојана и у води.

Густина храстовине износи: у апсолутном сувом стању – 650, у просушеном – 690, а у сировом стању влажности до 1150 kg/m³. Порозност храстовог дрвета износи око 57%. Линеарна утезања храстовине износе: аксијално 0,4%, радијално од 3,5 до 4,7 % и тангенцијално од 7,7 до 10 %. Укупно запреминско утезање храстовине износи 12,2 до 15%. Специфично запреминско утезање храстовине по 1% хигроскопске влажности износи око 0,45%.

Храстовина се, углавном, машински добро обрађује. Оптимална брзина кретања алата при сечењу и љуштењу је око 33 m/s. Дрво храста држи ексеру и завртње. Углавном се добро суши, мада због појаве пукотина захтева лагано сушење. Храстовина се углавном добро лепи, мада је могућа појава флека на лепљеним површинама. Добро се лакира и боји. Приликом обраде може доћи до појаве корозије алата којим се врши обрада храстовог дрвета.

Храстовина је врло цењено техничко дрво и има широку примену. Употребљава се за производњу железничких прагова, градњу бродова, у грађевинарству, столарству, у индустрији намештаја, затим за производњу фурнира и паркета, за рудничко дрво, затим као танинско дрво, за производњу дрвене буради, као огревно дрво и дрво за поугљивање.

3 Влажан ваздух

Атмосферски сув ваздух је састављен (запремински удео) од 78,08% азота, 20,95% кисеоника, 0,93% аргона, 0,03% угљендиоксида, док се остали присутни гасови налазе у веома малим количинама (неон, хелијум, криптон,...). Међутим, у природи практично не постоји сув ваздух, напред дефинисаног састава, већ он увек у мањој или већој мери садржи водену пару. Мешавина сувог ваздуха и водене паре се назива влажан ваздух. Како се при атмосферским условима и сув ваздух и водена пара практично понашају као идеални гасови (са веома малим одступањем) за њих ће важити термодинамичка једначина стања идеалног гаса, а њихова мешавина ће се посматрати као мешавина идеалних гасова. У овој мешавини атмосферског влажног ваздуха количина сувог ваздуха је непроменљива, док количина водене паре може значајно варирати, у зависности од услова.

Влага у ваздуху се може појавити у сва три агрегатна стања (пара, капљице-магла и кристали леда-иње), а влажан ваздух при томе може бити хомогена (ваздух и пара) или хетерогена мешавина (ваздух, пара, капљице воде и/или кристали леда).

3.1 Величине стања влажног ваздуха

Величина стања влажног ваздуха, која дефинише његов састав је апсолутна влажност, x (kg влаге/kg сувог ваздуха):

$$x = m_w / m_L \quad (1)$$

где су: m_w (kg) – укупна маса влаге у ваздуху (у сва три агрегатна стања) и m_L (kg) – маса сувог ваздуха.

У општем случају количину влаге чини количина влаге у парном стању m_g , количина влаге у течном стању m_f , количина влаге у чврстом стању m_s па можемо написати:

$$m_w = m_g + m_f + m_s \quad (2)$$

Ове количине влаге дају односе влажности x_g , x_f , x_s

$$x_g = m_g / m_L, \quad x_f = m_f / m_L, \quad x_s = m_s / m_L, \quad (3, 4, 5)$$

па је у том случају апсолутна влажност:

$$x = x_g + x_f + x_s \quad (6)$$

Уколико се количина ваздуха и влаге изражава у киломоловима:

$$\kappa = N_w / N_L, \quad (7)$$

где су: κ (kmol/kmol) – апсолутна моларна влажност ваздуха, N_w (kmol) – број киломолова влаге у ваздуху и N_L (kmol) – број киломолова сувог ваздуха.

У атмосферским или сличним условима температура и притисака, влажан ваздух се понаша као мешавина идеалних гасова, па се претпостављајући да се ради о хомогеној мешавини и коришћењем Далтоновог закона:

$$p = p_g + p_L, \quad (8)$$

термичке једначине стања идеалног гаса:

$$p_L V = N_L R_u T, \quad p_g V = N_w R_u T, \quad (9, 10)$$

може се добити веза између апсолутне влажности и парцијалног притиска водене паре:

$$p_g V / p_L V = N_w R_u T / N_L R_u T \Rightarrow \kappa = p_g / p - p_g \Rightarrow x_g 0,622 p_g / p - p_g, \quad (11)$$

где су: p (Pa) – притисак мешавине (атмосферски притисак), p_g (Pa) – парцијални притисак водене паре, p_L (Pa) – парцијални притисак сувог ваздуха, V (m³) – запремина мешавине, T (K) – температура мешавине и R_u (J/kgK) – универзална гасна константа.

Релативна влажност је веома битна величина стања влажног ваздуха, која указује на могућност ваздуха да и даље прима влагу у гасовитом стању.

$$\varphi = p_g / p_g'', \quad (12)$$

p_g'' (Pa) – парцијални притисак сувозасићене водене паре.

Степен засићења је величина стања влажног ваздуха дефинисана као:

$$\Psi = x_g / x_g'', \quad (13)$$

x_g'' (kg/kg) – апсолутна влажност засићеног ваздуха.

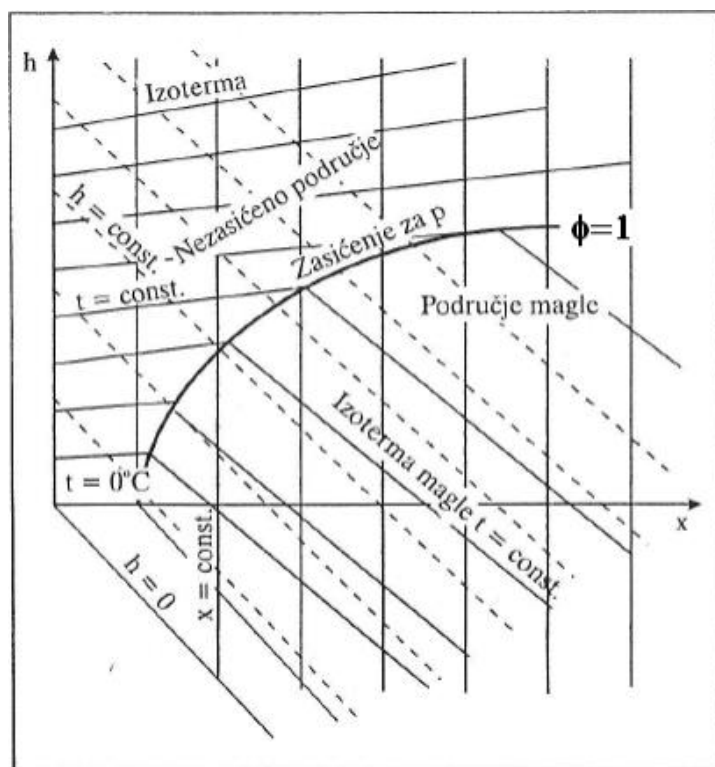
Енталпија влажног ваздуха (топлотни садржај) означава се са h , а изражава се у (kJ/kg) и представља садржај топлоте по сваком килограму сувог ваздуха. Енталпија влажног ваздуха представља збир енталпија сувог ваздуха и прегрејане водене паре и може се приказати изразом:

$$h = h_L + x_g h_g, \quad (14)$$

где су: h (kJ/kg) – енталпија влажног ваздуха, h_L (kJ/kg) – енталпија сувог ваздуха и h_g (kJ/kg) – енталпија прегрејане водене паре.

3.2 Молијеров h-x дијаграм за влажан ваздух

Приликом пројектовања инсталација за сушење, као и за вођење процеса сушења и многих других топлотних процеса, потребно је одредити за различита стања ваздуха одговарајуће параметре: t , ϕ , x , h . Ове величине, као што смо видели, могу да се одреде аналитичким путем. Промене стања ваздуха и параметри ваздуха могу се такође пратити и одређивати веома једноставно и брзо са довољном тачношћу и графичким путем, коришћењем Молијеровог (Richard Mollier) h - x дијаграма, приказаног на слици 3.

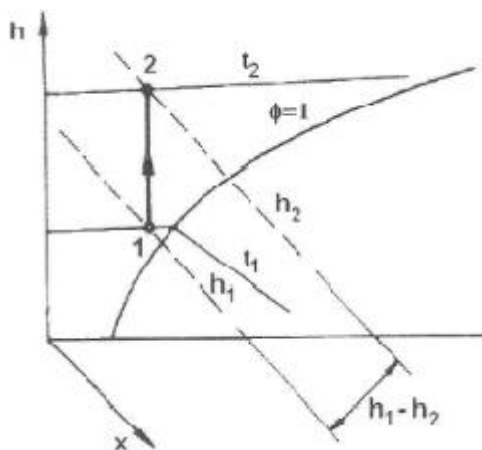


Слика 3: Молијеров h - x дијаграм [2]

Координате овог дијаграма представљају h – енталпија влажног ваздуха и x – апсолутна влажност. Формирани дијаграм важи само за један, константан притисак мешавине, тј. влажног ваздуха. Линија која спаја све вредности енталпија за вредности апсолутне влажности засићења за различите вредности температура, дели незасићено од засићеног подручја влажног ваздуха и назива се линија засићења ($\phi=1$). Изотерма $99,64^{\circ}\text{C}$ сече линију засићења у бесконачности, тада је $x=\infty$, а мешавина у ствари представља чисту сувозасићену пару. Испод линије засићења део влаге је у течном стању па се та област назива подручје магле. Изотерме у h - x дијаграму су праве линије чији нагиб расте са вишим температурама.

3.3 Процес загревања влажног ваздуха

На слици 4 је приказано загревање влажног ваздуха. Како приказани Молијеров дијаграм важи само за притисак мешавине до 1 bar, практично сви процеси са влажним ваздухом су изобарски.

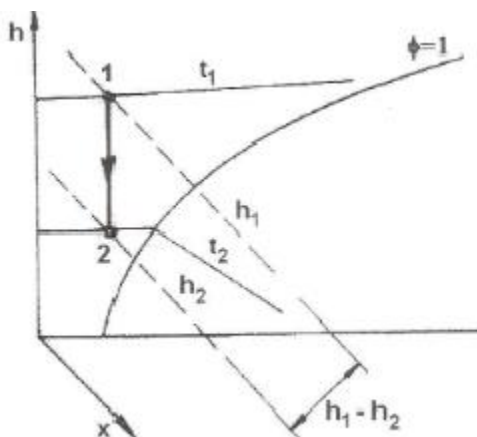


Слика 4: Загревање влажног ваздуха [2]

При загревању влажног ваздуха не мења се његова апсолутна влажност x , па се промена одвија по вертикали у правцу виших температура и енталпија. Како је промена изобарска доведена количина топлоте је једнака разлици крајње и почетне енталпије: $q_{12} = h_2 - h_1$. При процесу загревања не мења се ни парцијални притисак паре, док се мењају температура и енталпија. Иако ваздух у стању 2 садржи исту количину влаге, он је „сувљи“ јер му се смањила релативна влажност у односу на почетну.

3.4 Процес хлађења влажног ваздуха

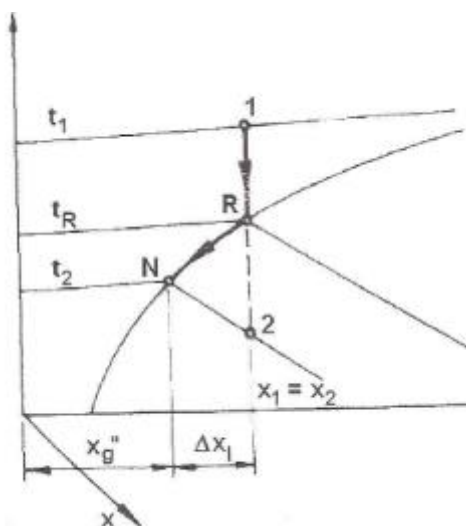
На слици 5 је приказано хлађење влажног ваздуха. И хлађење влажног ваздуха се због непроменљиве апсолутне влажности током процеса одвија по вертикали, само се сада топлота одводи, а температура влажног ваздуха смањује. Мора се напоменути да се ваздух хлади по вертикали само до линије засућења. Како је промена изобарска одведена количина топлоте (увек негативна) је једнака разлици крајње и почетне енталпије: $q_{12} = h_2 - h_1$ (или ако се жели апсолутна влажност одведене количине топлоте, $h_2 - h_1$). Парцијални притисак паре се при овом процесу не мења, а опадају температура, енталпија и релативна влажност.



Слика 5:Хлађење влажног ваздуха [2]

3.5 Хлађење и сушење влажног ваздуха

На слици 6 је приказано хлађење влажног ваздуха испод линије засићења, односно хлађење и сушење.



Слика 6. Хлађење и сушење влажног ваздуха [2]

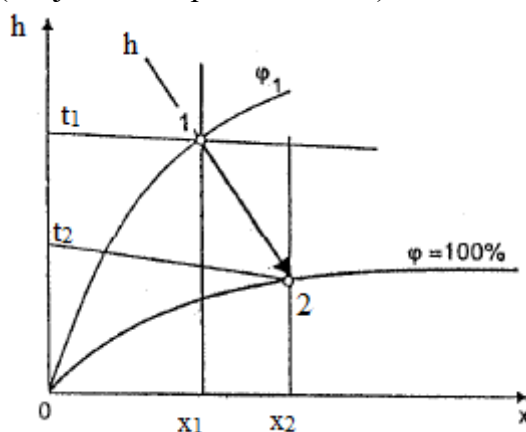
Када се влажан ваздух хлади до линије засићења процес се одвија по вертикали ($x=\text{const}$). Ако се настави са хлађењем ваздуха и после достизања засићеног стања (тачка R), доћи ће се до тачке 2, која се налази у подручју магле. У тачки 2 би се формирала магла (вишак влаге у парном стању би се кондензовао), која би лебдела у ваздуху и била његов саставни део. При великим дневним осцилацијама температуре, појава магле се јавља у атмосферском ваздуху. Са друге стране, како се процеси хлађења влажног ваздуха у техници одвијају у коморама и размењивачима где ваздух струји преко хладне чврсте површине, чим се на површини достигне тачка росе R, започеће кондензација и издвајање капљица воде на њој. Ваздух се хлади и про томе се издваја, кондензује извесна количина влаге, а процес се одвоја приближно по линији засићења (R-N). На крају процеса хлађења достиже се тачка N и температура t_2 . Да би

се одредило колико се влаге кондензовало у тачки 2, уочава се тачка N на линији засићења, која се налази на истој изотерми t_2 . У тачки 2 влажан ваздух садржи x_2 влаге у парном стању и $\Delta x_1 = x_2 - x_g$ у течном стању. Одведена количина топлоте је $q_{12} = h_2 - h_1 \approx h_N - h_1$. Енталпија h_N је незнатно нижа од енталпије h_2 (разлику представља енталпија издвојене воде). У процесу хлађења ваздуха испод линије засићења, долази до издвајања кондензоване влаге па се при овој промени стања, влажан ваздух хлади и истовремено суши, јер му се смањује апсолутна влажност ($x_N < x_1$).

3.6 Процес испаравања влаге

Предпоставимо да је незасићен ваздух стања 1 (слика 7) у додиру са водом чија је температура $t = 0^\circ\text{C}$. У том случају вода испарава и постепено засићује ваздух. Испаравање воде врши се на рачун топлоте ваздуха, услед чега његова температура опада до температуре t_2 , када ваздух постаје засићен (стање 2).

Температура t_2 се назива температура границе хлађења. Приликом испаравања воде ослобађа се топлота (латентна топлота) испаравања 2500 kJ/kg испарене воде. Ова се топлота са воденом паром враћа поново ваздуху. На тај начин апсолутна влажност се повећава по $h = \text{const.}$ (адијабатска промена стања).

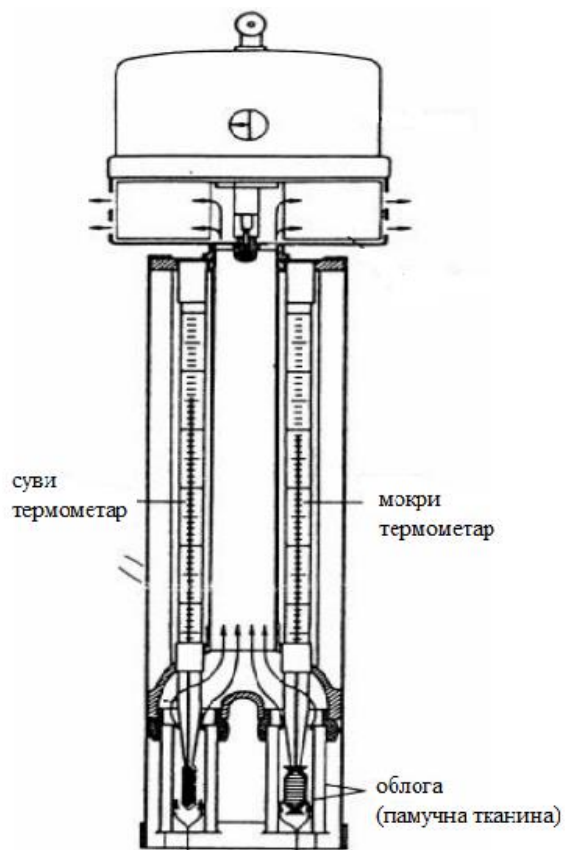


Слика 7: Процес испаравања влаге [2]

3.7 Психрометар

За одређивање параметара влажног ваздуха користе се инструменти који се називају психрометри. Састоје се од два термометра од којих се један назива суви и мери температуру околног ваздуха, док је други мокри (влажни) и он показује тачку росе за тренутно стање влажног ваздуха. Јабучица мокрог термометра обмотана је памучном тканином, која се стално влажи водом (слика 8). На тај начин, приликом струјања влажног ваздуха преко јабучица термометара, мокри термометар је константно у микроклими која има релативну влагу од 100%. Уколико је релативна влага ваздуха, чији се параметри психрометром мере, нижа тада је интензивнији процес испаравања влаге са тканине која влажи мокри термометар тако да се температура на мокрог термометру снижава. На тај начин се повећава разлика температура сувог и мокрог термометра, која се назива психрометарска разлика.

Уколико је влажан ваздух засићен, тада је и јабучица сувог термометра у клими релативне влаге $\varphi=100\%$, а истовремено са тканине влага испарава, тако да оба термометра показују исте вредности температура. Психрометарска разлика је у том случају 0°C .



Слика 8: Психрометар [3]

4 Општи појмови о сушењу дрвета

Док дрво расте односно, док се налази у дубећем стању, вода је дрвету неопходна за размену минералних материја са земљом и ваздухом и њихов транспорт кроз ткиво дрвета ради његовог раста. Међутим, после обарања стабла и његове прераде у сортименте и полупроизводе (на пример: резана грађа, фурнир, ивер и слично) влага у дрвету представља сметњу његовој даљој обради. Уколико фурнир желимо да користимо за израду фурнирских плоча, или за оплемењавање површина, тада се мора применити нека техника лепљења, тј. лепкови, који су предвиђени за дрво које садржи одређену количину влаге. Такође, свака даља примена пиљене грађе (која представља полупроизвод) у неке финалне производе захтева одстрањивање мањег или већег садржаја влаге из дрвета. Исто тако, дрво са одређеним садржајем влаге представља хранљиву подлогу за развој ксилофагних гљива и инсеката, тако да је један од циљева сушења постизање тзв. сувог имунитета. Уколико дрво желимо да касније површински обрађујемо (на пример: бојама, лаковима итд.) морамо увек поштовати технолошке захтеве таквих поступака у погледу у погледу садржаја влаге дрвета.

На ових неколико примера види се да, уколико дрво користимо као сировину за израду различитих врста полупроизвода и финалних производа, једна од основних претпоставки је да из њега уклонимо један део влаге, односно воде. Треба имати у виду да је дрво као сировина материјал биљног порекла, веома сложене хамијске грађе и анатомске структуре, тако да и процеси сушења у којима се врши одстрањивање влаге из дрвета захтевају добро познавање како материјала, односно дрвета, а исто тако технолошких процеса и опреме који се за ту сврху користе. Дрво као сировина данас је веома драгоцено, све га мање има, па је самим тим постало скупо. Осим тога, у процесу сушења дрвета троше се велике количине топлотне и електричне енергије (од укупно утрошене топлотне енергије у дрвној индустрији, око 70% се користи у процесу сушења). Све ово указује да се процесу сушења дрвета мора посветити изузетна пажња, како у погледу задржавања потребног квалитета, а исто тако у смислу рационалног коришћења капацитета инсталација за сушење као и енергије која се том приликом троши.

4.1 Начини кретања загрејаног медијума

Постоје три начина кретања загрејаног медијума у односу на кретање производа: истосмерни, супротносмерни и циклонски.

Истосмерни правац кретања загрејаног медијума и сировине која се суши, обезбеђује сушење од више ка нижој температури. Сушење почиње са највишом температуром да би у завршној фази температура била најнижа. Због наглог испаравања воде у првој фази сушења производ треба да буде припремљен тако да буду обезбеђени услови за брзо и довољно притицање воде из унутрашњих делова ткива што омогућава скраћивање времена трајања сушења.

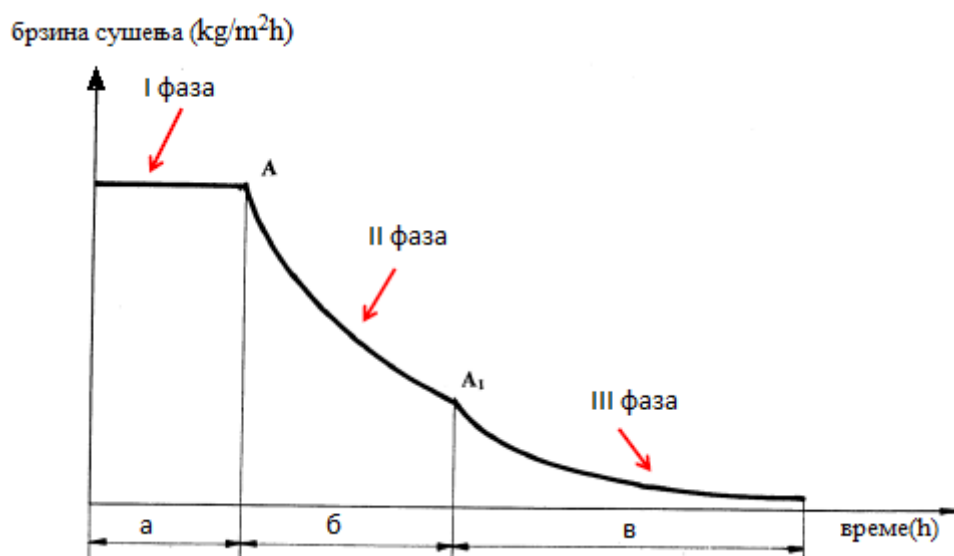
Супротносмерни начин сушења се врши кретањем загрејаног медијума у супротном смеру од кретања сировине. Сушење започиње на нижој температури,

поступније да би у завршној фази када је испаравање најспорије температура била највиша.

Циклонско струјање представља улазак загрејаног медијума са бочних страна сушнице. Карактеришу га једнаки услови током сушења, као и доста интензивно испаравање што зависи од температуре.

4.2 Брзина сушења

Квалитет осушеног производа је основни параметар према коме се утврђују сви остали фактори технологије сушења. Физичке карактеристике загрејаног медијума, односно атмосфере у којој се обавља сушење, физичке и хемијске особине производа, дебљина слоја кроз који дифундује вода и режим сушења, што је везано за карактеристике уређаја за сушење су елементи који утичу на брзину сушења и квалитет коначног производа. Брзина сушења се посматра под сталним условима и дефинише количином воде која испарава са његове површине у јединици времена, при чему се под сталним условима подразумева температура, релативна влажност и брзина струјања ваздуха. Брзина струја се дефинише кроз три фазе као што се може видети на слици 9.



Слика 9: квалитативни опис процеса сушења хигроскопских материјала високог садржаја (изнад 80%) почетне влаге [4]

У почетној фази сушења губитак воде је највећи и тада брзина испаравања расте, све док се не постигне равнотежна влажност између производа и загрејаног медијума. Затим настаје фаза константне брзине испаравања при чему је уједначен губитак влаге. Површина производа је тада засићена влагом и брзина испаравања је иста или чак нешто мања од брзине дифундовања воде из унутрашњих слојева ка површини. Брзина испаравања је директно пропорционална количини топлоте коју

загрејани медијум пренесе на површину испаравања, као и количини воде која из унутрашњих делова доспе на површину.

На брзину сушења између осталог утиче и начин на који је вода везана у ткиву производа, па разликујемо слободну и везану воду.

Слободна вода је део влаге у производу која је механички везана, смештена на површини у капиларима, брзо и лако испарава већ у првој фази сушења.

Физичко-хемијски везана вода налази се у микрокапиларима чврсто везана капиларним силама, па се зато теже одстрањује, потребна је виша температура и дуже време. Позната је још као колоидно везана вода и чини већински део воде у производу који се одстрањује из производа константном брзином испаравања, али не у потпуности.

Кад слободна вода испари, достигнут је тзв. критични садржај влаге и брзина сушења не зависи на даље само од температуре и влажности ваздуха већ и од брзине притицања воде из унутрашњих слојева производа до површине. Температура површине производа у овој фази почиње да расте, приближавајући се температури сувог термометра.

Због смањења површине испаравања, трећу фазу сушења одликује пад брзине сушења која пада линеарно док не испари сва вода са површине, а ниво воде се спушта у капиларе. Кретање воде из унутрашњих слојева ка површини може бити капиларно, дифузијом течности и паре.

4.3 Сушење дрвета

Дрвена грађа која се користи у грађевинарству мора да буде довољно осушена. Сушењем се не само побољшавају физичко-механичка својства, већ се и обезбеђује одређен степен трајности дрвета.

Процес сушења започиње одмах по обарању стабла у шуми, а обично се завршава у специјалним погонима за сушење дрвета. У оваквим погонима суши се како необрађено дрво, тако и дрво које је прошло кроз одређене фазе обраде (дрвена грађа).

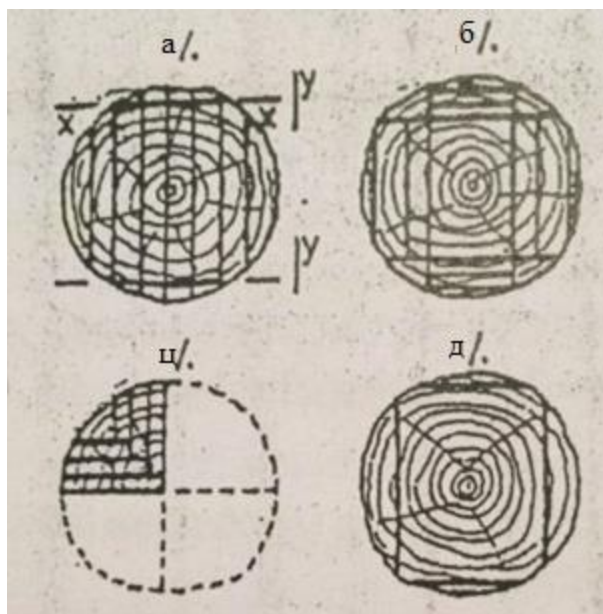
Сушење дрвета може да буде природно (на слободном ваздуху) или вештачко; вештачко сушење се изводи у нарочитим сушарама, применом различитих поступака.

4.4 Природно сушење дрвета

Природно сушење остварује се слагањем дрвета у витлове у слободном или наткривеном простору, чиме се обезбеђује струјање ваздуха око дрвета и задовољавајућа равномерност сушења. Природно сушење не захтева практично никакву специјалну опрему, међутим, оно тече врло споро, зависи од атмосферских прилика и може да се примењује само у ограниченом временском раздобљу током године. У зависности од карактеристике дрвета и његове дебљине, природно сушење траје у просеку од 2-3 недеље до 1-1,5 године. На овај одређени број пута у правцу у-у. Даске такође могу да се добију на начин приказан на слици 9ц; трупац се прво разреже

на четвртаче, а затим се четвртачи режу паралелно равним странама са наизменичним окретањем за угао $\pm 90^\circ$.

Грађа облика греда, гредица, летви, талпи и дасака добија се поступком резања трупаца приказаним на слици 9б. Као што показује ова слика, на предметни начин се добијају греде релативно ограничених висина и ширина попречног пресека. Стога се, уколико конкретне околности то дозвољавају, у пракси често примењују и тзв. лисичаве греде које се добијају поступком резања приказаним на слици 9д.



Слика 10: Начини резања трупаца [1]

На ток и трајање природног сушења утиче веома велики број фактора спољне средине, а пре свега:

- релативна влажност ваздуха;
- температура ваздуха;
- брзина струјања, тј. ветрови;
- атмосфералија (киша, снег, роса) и сунце;
- гљиве;
- механичко оптерећење слојаја;
- прашина.

Релативна влажност ваздуха има велики утицај на ток и брзину природног сушења. Са повишењем релативне влаге ваздуха успорава се процес природног сушења. Просечне вредности релативних влаге ваздуха зависе од климатских услова одређеног региона, а такође и од годишњег доба. Од величина просечних релативних влажности и просечних температуре одређених региона зависе просечне вредности влаге равнотеже, која је од директног утицаја на процес природног сушења дрвета.

Температура ваздуха у директној је сразмери са потенцијалом природног сушења, који се манифестује у повећаном капацитету адсорпције воде. Са повишењем

температуре повећава се и брзина дифузије влаге у дрвету. На вредности температуре ваздуха код природног сушења утиче годишње доба.

Брзина струјања ваздуха има велики утицај на ток и брзину природног сушења. Са повећањем брзине струјања ваздуха расте и брзина природног сушења. Брзина циркулације ваздуха код природног сушења зависи од преовлађујућих ветрова у појединим климатским регионима.

Утицај атмосфералија и сунца - Атмосфералије (киша, снег, роса, магла) смањују брзину природног сушења пиљене грађе. Директно деловање сунца на пиљену грађу можеда изазовепојаву одређених грешака при природном сушењу.

Утицај гљива - У току процеса природног сушења дрво може бити заражено гљивама које тада доводе до модрења, буђи и трулежи. То је чест случај када су оптимални временски услови за развој гљива, тј. код температура од 10-30°C, а у дијапазону влага дрвета 20-60% и прирелативним влажностима ваздуха вишим од 50%.

Утицај прашине - Прашина на простору за природно сушење узрокује промену боје пиљене грађе, што представља естетску грешку.

5 Вештачко сушење дрвета

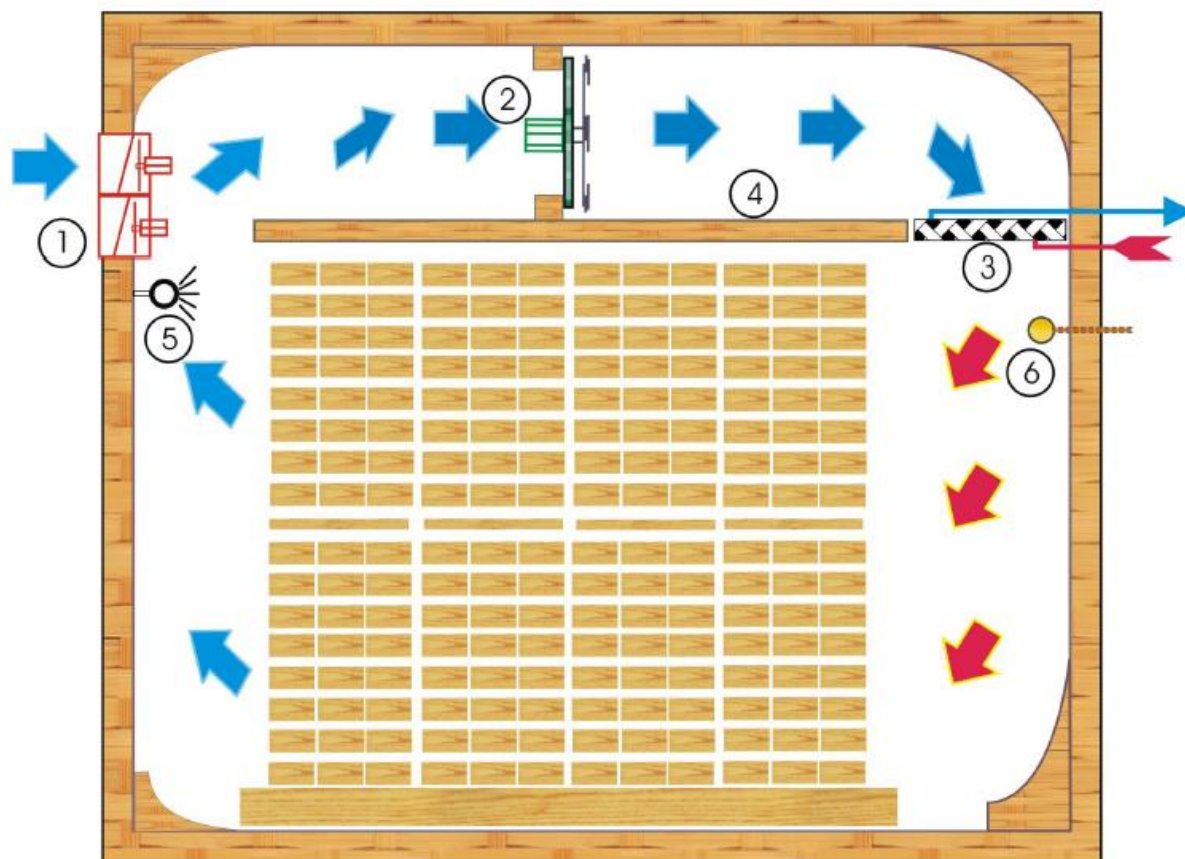
Сушење дрвета у сушарама има широку примену у дрвној индустрији. За сушење резане грађе користе се посебно опремљене просторије које се зову сушаре. У односу на примењену методу разликује се више типова сушара, од којих су најчешће у употреби:

- конвенционалне сушаре
- кондензационе сушаре
- вакуумске сушаре
- микроталасне сушаре

Због сложенијег руковања и већих трошкова у опреми код вакуумских и микроталасних сушара, данас се најчешће употребљавају конвенционалне и кондензационе сушаре.

5.1 Конвенционалне сушаре

Конвенционалан (класичан) начин сушења је до сада најчешће примењиван у пракси, јер су сушаре у техничком смислу релативно једноставне, чак и за велике капацитете (преко 100 m³ грађе). Оне не захтевају специјално одржавање, а проблем велике потрошње енергије се ублажава употребом дрвног отпада или пиљевине као погонског горива за ложење котла. Сушење се обавља разменом унутрашњег влажног ваздуха са спољашњим. Погонски медијум код конвенционалних сушара може бити топла вода или пара. Овакве сушаре се препоручују фирмама већег капацитета, где се дрвни отпад појављује у знатним количинама. Основни облик класичне сушаре дат је на слици 10.



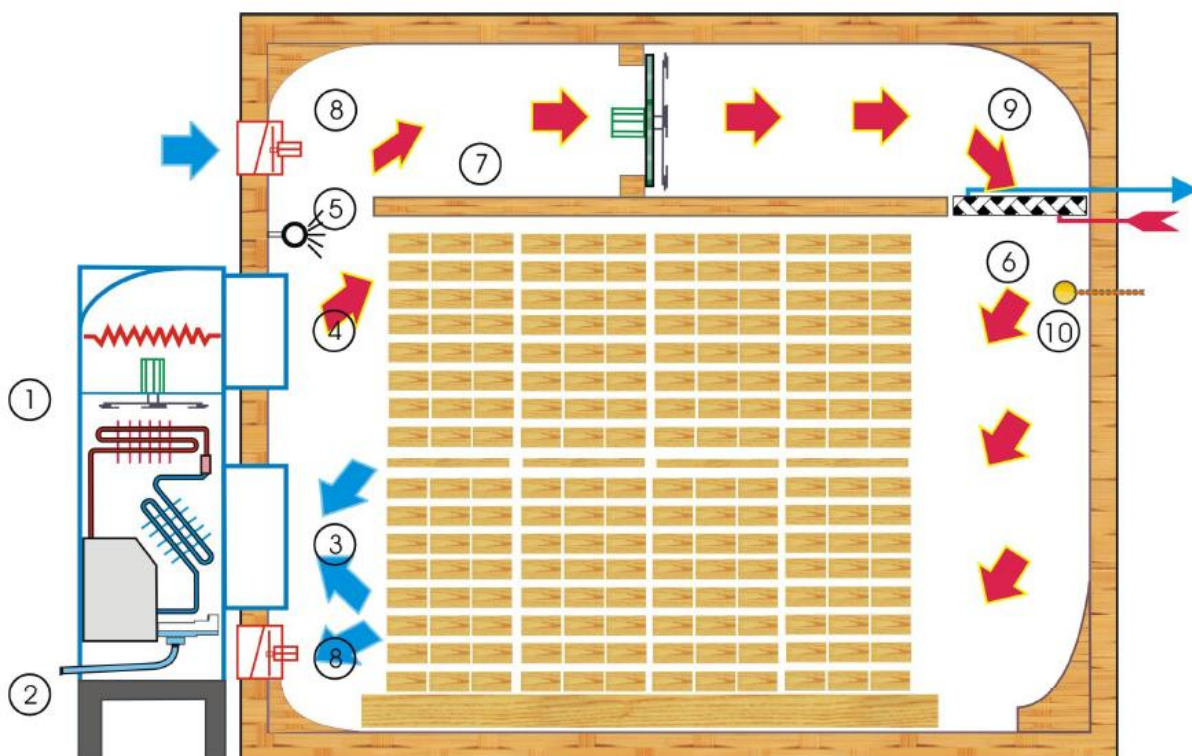
Слика 11: Шема класичне конвенционалне сушаре (1-клапне са серво погоном; 2-вентилатори за циркулацију; 3-грејачи (топлотни измењивачи); 4-подплафон (међутаванице); 5-систем за влажење; 6-психрометар.) [5]

Уз помоћ реверзибилних вентилатора ваздух циркулише кроз сложај (са променом смера), а притом пролази преко грејача (топлотног измењивача), где се по потреби догрева. Под утицајем топлоте, влага из дрвета одлази у околни ваздух. Зависно од степена отворености клапни, део влажног ваздуха излази кроз клапну, а са њим и влага из дрвета. Истовремено иста количина свежег ваздуха улази кроз клапну. Он се меша са унутрашњим ваздухом, циркулише кроз сложај и овај процес континуално траје (све док траје сушење).

Равномерна циркулација кроз све сложаје се постиже помоћу подплафона израђеног од алуминијума. Свеж ваздух који улази у сушару је хладнији (поготово зими), па грејачи увек морају да раде одређеном снагом да би одржавали потребну температуру унутар сушаре. Температура сушења се креће до максималних 80°C.

5.2 Кондензационе сушаре

Кондензационе сушаре припадају новијим технологимаја сушења дрвета. Код њих се кондензацијом издваја влага из дрвета, при чему нема размене са спољашњим ваздухом. Уз минималну потрошњу енергије (100-250 kWh/m грађе за цео циклус сушења), остварује се веома квалитетно и довољно брзо сушење свих врста грађе. Не захтевају котловско постројење (минимално инвестирање) и раде аутоматски (без присуства руководиоца). Посебно добре резултате дају код сушења непарене грађе (буква, јасен итд.). Принцип рада кондензационе сушаре дат је на слици 11.

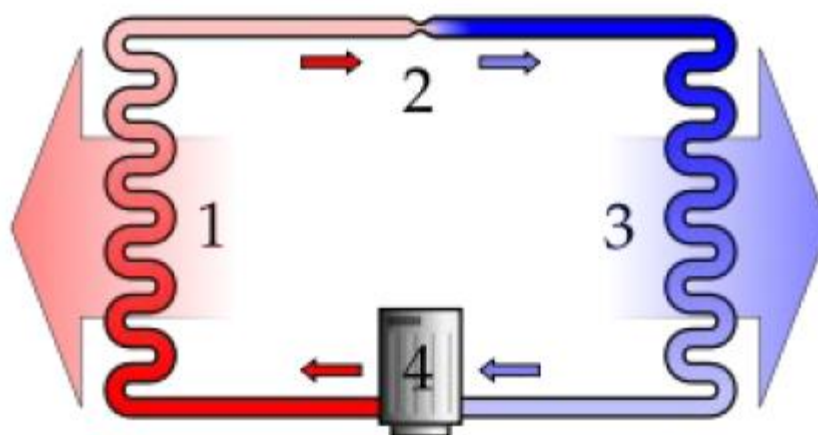


Слика 12: Кондензациона сушара (1-топлотна пумпа; 2-одлив кондензата; 3-отвори за усисавање хладног и влажног ваздуха из сушаре у топлотну пумпу; 4-отвори за удубавање сувог и загрејаног ваздуха из топлотне пумпе у сушару; 5-систем за влажење; 6-топлотни измењивач (за комбиноване сушаре); 7-вентилатори за циркулацију; 8-систем за размену ваздуха (усисне и издувне клапне); 9-кулиса; 10-психрометар. [5])

Вођење процеса сушења се врши преко аутомата. Аутомат поседује режиме сушења за све врсте дрвета и води процес аутоматски. Оптималне услове за процес сушења, аутомат остварује регулацијом температуре и влажности ваздуха, а на бази мерења влаге у дрвету.

Најважнији део кондензационих сушара је топлотна пумпа. Основни делови топлотне пумпе су компресор (као медијум се користи гас R134a), испаривач (хладни део), кондензатор (топли део), вентилатори топлотне пумпе и електро грејачи. Топлотна пумпа ради тако да компресор гоњен електромотором усисава гас који се у расхладној техници назива фреон и сабија га. Преузимајући енергију која је при том коришћена фреон је прешо у течно стање и загрејао се. Текући тада кроз веома уску

цев-капилару, прелази поново у гасовито стање и хлади се. Принципијелна шема топлотне пумпе приказана је на слици 12.



Слика 13: Шема топлотне пумпе (1-испаривач; 2-капилара; 3-кондензатор; 4-компресор) [5]

Грејачи раде у фази загревања да би се постигли оптимални услови (температура и влага) у сушари, након чега почиње процес сушења. Када почне сушење они се веома ретко укључују. Ваздух који циркулише унутар сушаре (помоћу вентилатора за циркулацију) апсорбује влагу из дрвета и пролази кроз топлотну пумпу. На хладном делу (испаривач) врши се кондензација влаге из ваздуха и кондензат се одводи ван сушаре. Топли део (кондензатор) служи за догревање ваздуха у сушари без укључивања грејача. Осушени и загрејани ваздух се поново враћа у комору сушаре. Вода из дрвета се на овај начин извлачи без размене са спољним ваздухом, тако да је потрошња енергије минимална. У случају превисоке влаге или температуре у комори, повремено се врши размена ваздуха са спољашњим.

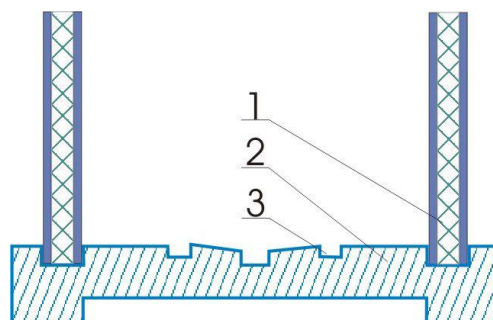
5.2.1 Грађевински објект

Под сушаре (и код зиданих и код металних) мора имати одговарајућу носивост. Она мора бити толика, да без промена може подносити терет вагонета максимално натоварених резаном грађом који се у току процеса сушења крећу или стоје на колосеку уграђеном у под. Водопропусност пода се мора обезбедити ради кондензата који се ствара током сушења. У под се редовно уграђује преливни сифон којим се кондензат гравитационо одстрањује из сушаре. Мада су топлотни губици мањи од оних кроз врата, о изолационим својствима зидова и плафона код пројектовања сушаре се мора водити рачуна. На слици 14 је представљен конструктивни изглед сушаре.

Поред добре изолације, за под је битно да има и добру носивост. За ручно налагање потребна је носивост од минимум $2 \text{ t} / \text{m}^2$, а за налагање виљушкарком двоструко и више већа носивост. Ако се ради нови под, најбоље је урадити га на следећи начин:

- подлога од 20 см шљунка
- "мршав" бетон дебљине 15 см
- хидроизолација: кондор

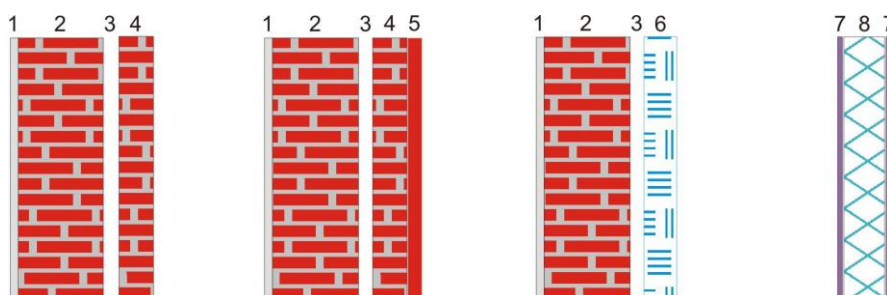
- термоизолација: тврдо пресовани стиропор дебљине 3 cm
- PVC фолија
- јак набијени армирани бетон дебљине $8 \div 10$ cm за налагање виљушкарком; $5 \div 8$ cm за ручно налагање. Код пода је обавезан нагиб према месту за одлив кондензата (0,5 - 1) %



Слика 14: Конструкција сушаре (1-зидови; 2-темељ; 3-колосек)

Темељ сушаре носи зидове сушаре, спољашње и унутрашње. За зидане сушаре темељи се прорачунавају на класичан начин, а за префабриковане, металне сушаре, нацрте даје произвођач сушаре.

Зидови сушаре. Код зиданих сушара, зидови - спољни и унутрашњи, осим неопходне носивости морају поседовати и задовољавајућа изолациона својства. Сматра се да су зидови добро конструисани уколико коефицијент пролаза топлоте мањи од ($2 \text{ kJ} / \text{mS}$). Потребан ниво топлотне изолације може се обезбедити разним конструкцијама зидова (слика 15).



Слика 15: Могуће конструкције зидова сушаре (1–цементни малтер, 2- шупља цигла, 3-ваздух, 4- кисело-отпорна цигла 5- пуна цигла, 6- бетон, 7- алуминијумски лим, 8- минерална вуна)

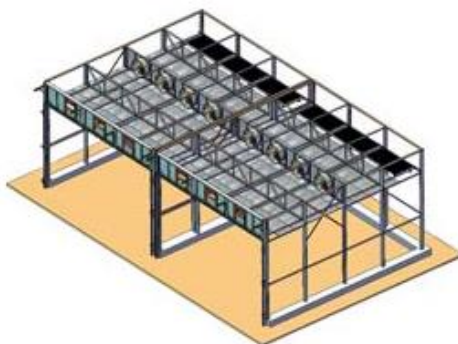
Врата сушаре морају добро заптивати улаз, јер у противном настају повећани топлотни губици уз то не могу се обезбедити стабилни услови сушења, а ремете се и услови аеродинамике инсталације. Врата су најкритичнији елемент објекта сушаре, јер уз лаку покретљивост морају обезбедити квалитетну изолацију и добро дихтовање. Најбоље је да буду израђена од полиуретанског панела дебљине 80 mm обострано обложеним Al лимом, пластифицираним. По ободу врата мора се ставити профилисана гума (најбоље силиконска) због бољег пријањања и дихтовања. Гуму најбоље ставити и према унутрашњој и према спољашњој страни. Величина, положај и начин отварања врата зависе од положаја објекта и начина налагања. Ако се код пуне коморе кроз главна врата не може прићи до топлотне пумпе, онда обавезно направити мала

помоћна врата на одговарајућем месту. Врата на сушари морају имати и могућност отварања изнутра без употребе помоћних средстава (алата и слично). Уколико се закључавају катанцем или кључем, при уласку у сушару са собом обавезно понети катанац или кључ.

Таваница може бити класична бетонска или од дрвених греда. Облагање таванице се изводи на исти начин као и код зидова, с тим што термоизолација треба бити бар 50% дебља него код зидова, осим ако изнад таванице не постоји друга просторија.

5.2.2 Пратећа опрема

Објект сушаре може бити зидан или монтажни са алуминијумском конструкцијом (слика 16). Изолација зидова и крова (код монтажних сушара) и врата, постиже се полиуретанским панелима са облогама од алуминијумског пластифицираног лима. Заптивање врата је двоструком гумом. Врата сушаре могу бити крилна или клизна са специјалним механизмом за померање. Саставни део сушаре су и контролна врата.



Слика 16: Конструкција сушаре [5]

Циркулација ваздуха се изводи помоћу вентилатора (слика 17) смештених испод таванице сушаре. Монтирају се на носаче од алуминијумских L профиле, а празан простор између њих се затвара алуминијумским лимом. Вентилатори су аксијалног типа, алуминијумске конструкције. Радно коло се састоји од алуминијумске главчине и лопатица од полиамида ојачаног стакленим влакнима. Мотор је тропикализован (отпоран на повишену влагу и температуру). Зависно од типа сушаре вентилатори могу бити за једносмерну или реверзибилну циркулацију.



Слика 17: Вентилатори [5]

Систем за размену ваздуха (слика 18) код сушара са циркулацијом у једном смеру чине клапне са вентилаторима и аутоматским засторима. Код сушара са променом смера циркулације ваздуха, користе се клапне са серво погоном. Клапне су израђене од алуминијумског лима и омогућују хомогену размену ваздуха.



Слика 18: Систем за размену ваздуха (клапне) [5]

Производња хладне паре помоћу високог притиска омогућује квалитетно влажење у току процеса сушења. Систем за влажење (слика 19) се састоји од филтера за воду, пумпе, електромагнетног вентила и прскалица.



Слика 14: Систем за влажење [5]

Биметални топлотни измењивачи (слика 20) могу бити плочасти (ламелни) или оребрени цевни, зависно од погонског медијума (топла вода или водена пара). Израђени су од алуминијума или прохрона. Монтирају се на зид сушаре што ближе плафону и то у делу сушаре изнад главних врата или топлотне пумпе (зависно од типа сушаре).



Слика 15: Топлотни измењивач [5]

5.2.3 Мерно регулациона опрема

За вођење процеса сушења дрвета неопходна је мернорегулациона техника која се можесврстати у три групе и то:

- опрема за утврђивање влаге у дрвету,
- мерни елементи, сонде,
- уређаји за реализовање постављених захтева.

Влага у дрвету може се одредити гравиметријском методом или електричним влагомером. Заутврђивање влаге гравиметријском методом потребне су: прецизна вага и техничка вага.

Прецизна вага у процесу сушења користи се за мерење масе малих проба, масе сеизражавају у грамима (g), мерно подручје је од 0 g- 200 g.

Техничка вага користи се за мерење промене масе великих проба током вођења процесасушења. Маса се изражава у (kg) мерно подручје је од 0,5 kg- 50 kg.

Цео систем аутоматског сушења заснива се на мерењупросечне влаге у дрвету, која се мери на шест мерних места електричним влагомером.

Електрични влагомер се користи за директно мерење влаге у дрвету. Његов изглед је приказан на слици 21.



Слика 16: Влагомер са сондама [5]

Познати су влагомери који раде на принципу електричног отпора као и на принципу капацитивности. Сонде за мерење влаге у дрвету се постављају приликом слагања грађе у сложај и распоређују тако да сложај буде „обухваћен“ што равномерно по дужини, ширини и висини. Пошто се грађа на бочној страни сложаја најбрже суши јер ту долази најсувљи ваздух и са највећом брзином, сонде је потребно поставити тако да буду удаљене минимално 50 cm од бочних страна сложаја.

Психрометар је комбиновани инструмент којим се директно мери температура и посредно релативна влага ваздуха којим се суши дрво у сушари. Постављају се тако да се могу пратити параметри ваздуха одмах након изласка из спремишта.

Аутомат за вођење процеса сушења (слика 22) се своди на регулацију температуре и релативне влажности ваздуха у сушари, а процесом сушења управља аутомат који има могућност обављања те намене. Параметри потребни за исправно вођење процеса добијају се мерењем. Мерење температуре и равнотеже влаге ваздуха на шест мерних места. Ове вредности се приказују на дисплејима аутомата, тако да је у сваком тренутку могућ преглед тренутних услова у сушари.



Слика 17: Аутомат за вођење процеса сушења [5]

Регулација температуре остварује се управљањем електромоторним (серво) вентилом за грејање, а регулација влажности ваздуха отварањем и затварањем клапни за сушење и вентила за влажење (прскалица). Могући начини рада аутоматиком су: аутоматски, полуаутоматски и ручни.

У аутоматском режиму рада, при стартовању, корисник треба да унесе врсту, дебљину и жељену крајњу влажност грађе, као и да ли жели одређене фазе процеса. Аутомат, сам, на основу ових података и измерених вредности бира одговарајући програм сушења за тај тип грађе и остварује жељене вредности управљањем опремом у сушари (грејачима, вентилаторима, топлотним пумпама, прскалицама итд.) аутоматски, преко својих релејних излаза.

У полуаутоматском режиму рада, корисник поставља жељене вредности за температуру и равнотежу влаге на основу сопственог искуства и измерене влаге у дрвету, а аутомат само одржава кориснички задате вредности.

Ручни начин рада се користи само код аутоматизације постојећих сушара и представља специфичну функцију аутомата. Код ручног рада, корисник сам управља радом опреме у сушари, односно сам регулише температуру и равнотежну влажност ваздуха у сушари, отварањем и затварањем вентила за грејање и клапни за сушење и укључивањем и искључивањем вентила за влажење (прскалица). Аутомат у овом случају на својим дисплејима само приказује мерену температуру, равнотежну влажност ваздуха и влагу у дрвету.

Пошто аутомат поседује комуникацију, могуће је водити процес даљински преко РС-а, а такође се може повезати и више сушара на рачунар.

Поред дигиталне технике за вођење сушара потребно је због могућих кварова на аутоматима поседовати комплетну аналогну технику како би се вођење сушења могло наставити ручно.

5.3 Комбиноване сушаре

Комбиноване сушаре се добијају уграђивањем измењивача за топлу воду и додатне опреме у кондензациону сушару. У зимском периоду се остварује велика уштеда електричне енергије коришћењем енергије из котла, док се у летњем периоду сушење обавља помоћу топлотне пумпе и котао се не укључује. Комбинована сушара обједињује добре карактеристике конвенционалне и кондензационе сушаре. Њеном применом се за најкраће време постиже најквалитетније сушење уз најмању потрошњу енергије.

Код сушара непрекидног дејства, сирова или просушена грађа улази на један крај канала, где владају најблажи услови сушења (високе релативне влажности ваздуха и ниже температуре). Грађа се континуално креће ка другом (сувом) крају канала, наилазећи на све оштрије услове сушења дрвета (ниже релативне влажности ваздуха и више температуре).

5.4 Одржавање опреме и инсталације за вештачко сушење

Да би инсталација, тј. сушара и опрема исправно функционисали и да би се добијала квалитетно осушена резана грађа, неопходно је брижљиво инвестиционо и текуће одржавање. Ово подразумева проверу исправности рада, баждарење и евентуалну замену неисправних делова.

Нарочиту пажњу требало би посветити опреми за циркулацију и измену ваздуха, инсталацију за грејање и влажење и уређајима и инструментима за вођење процеса сушења.

Електромотори вентилатора често не раде или прегорјевају, па је потребно вршити дневну контролу истих. Уколико су вентилатори спојени са електромоторима каишним преносом, потребно је проверавати стање каишника и њихову затегнутост у циљу обезбеђења одговарајућег броја обртаја, а тиме и потребних количина ваздуха. Лежишта вентилатора потребно је редовно подмазивати.

Рад клапни у вентилационим отворима треба проверавати, а њихова лежиста повремено подмазивати. То исто односи се и на систем полуга за регулацију положаја клапни код ручног вођења процеса сушења.

Сви вентили у систему за грејање морају беспрекорно функционисати. Ручни вентили, нарочито када се као медијум грејања користи водена пара, често попуштају, па се повремено морају заптивати. Код електромоторних вентила, вучна вретена потребно је да су редовно подмазана.

Кондензни лонци морају такође беспрекорно да раде, тј. да омогућавају континуално одвођење кондензата уз задржавање водене паре у случају да је медијум за грејање водена пара. У противном долази до стварања водених чепова у грејним регистрима, чиме се смањује ефикасност грејања и продужава процес сушења, тј. снижава капацитет инсталације. Кондензни лонци се повремено чисте од прљавштине, а такође и баждаре на радни притисак инсталације.

Грејни регистри морају да обезбеде довољну количину топлотне енергије, која може бити знатно смањена услед западања пиљевине у спирале грејача. Услед тога потребно их је редовно чистити продувавањем сабијеним ваздухом.

Када се као мерни уређаји користе психрометри, за вођење процеса и добијање квалитета осушене грађе посебно је значајно да они беспрекорно функционишу. Уколико се као психрометри користе стаклени термометри (са живом или алкохолом), они временом почињу да дају погрешне резултате, тј. троше се. Услед тога потребно је (макар једном годишње) да се сви термометри изваде из кућишта и да се изврши њихова контрола тачности. То се ради на тај начин што се термометри ставе у један суд са загрејаном водом заједно са тачним (тзв. еталон) термометром. Сви термометри који показују одступање веће од ± 1 °C у односу на еталон-термометар замењује се новим. Памучне крпице на мокрим термометрима често се прљају и запуњавају каменцем, па их је потребно редовно мањати. Такође, мора се водити рачуна о резервоарима психрометара има довољно воде за влажење мокростермометра.

Када се као медијум за влажење ваздуха користи вода, тада се дизне у цевима за влажење често запрљају, па их је стога потребно редовно чистити. У противном може

доћи до озбиљног оштећења пиљене грађе, нарочито у фази загревања када је овај део опреме изузетно значајан.

Веома је битно да комора буде у потпуности заптивена, те посебну пажњу треба обратити на „дихтовање“ врата. Временом се гумене или азбестне заптивке троше и оштећују околу врата, те их је потребно контролисати и по потреби мењати. У противном долази до повећања топлотних губитака и ремећења режима сушења.

У току процеса сушења долази до појаве хидролизе дрвета, тако да киселине из дрвета прелазе у смешу ваздуха и водене паре, односно кондензат. Кисели кондензат (који је веома изражен код сушења буковине) веома агресивно делује на све металне делове инсталације. Услед тога, потребно је стално и брижљиво вршити бантикорозивну заштиту у циљу продужења века трајања опреме.

5.5 Режи́ми вештачког сушења дрвета

Под режимима се подразумевају услови под којима се одређена технолошка операција обавља. Данас се у пракси користе режими који су развијени у водећим светским лабораторијама индустријски развијених земаља. Ти режими представљају, у ствари, препоруке у форми табела којих се можемо придржавати и при том очекивати релативно добре резултате, како у погледу трајања сушења и утрошка енергије, тако и погледу квалитета сушења. Међутим, ти режими не представљају и коначне „рецепте“ за сушење, јер их је потребно прилагођавати конкретним условима сушења. У последње време развијају се наменски режими сушења за специфичне захтеве (на пример: режими сушења букових обрадака одређених димензија или режим за сушење храстових талпи и слично).

Режими сушења могу се поделити, зависно од лабораторија, односно земаља где су развијани на:

- немачке;
- америчке;
- енглеске.

Зависно од начина промене параметара влажног ваздуха режими сушења могу се4 поделити на:

- режиме на бази промене влаге у дрвету;
- режиме на бази времена (временски режими);
- режими на бази унутрашњих напрезања у дрвету.

Обзиром да се један циклус сушења у кондензационим сушарама састоји из три фазе: фазу загревања, активног сушења и фазу завршне обраде; горе наведени режими се односе на активну фазу, док се остале две фазе базирају на посебним режимима.

5.6 Режи́ми загревања

У току фазе загревања мора се поступно повисити температура пиљене грађе од почетне температуре грађе до почетне температуре сушења. Притом, не сме се дозволити да дође до одстрањивања влаге из дрвета, односно у току фазе загревања треба се спречити сушење. Да би се онемогућило сушење, у току фазе загревања одржавају се високе вредности релативне влаге ваздуха (изнад 95%) уз интензивно коришћење система за влажење при затвореним вентилационим отворима. Услед тога у току фазе загревања треба одржавати минимално могућу психрометарску разлику (1-1,5 °C), тј. Максимално могућу влагу равнотеже ($u_r > 27\%$).

Почетна температура грађе одговара температури средине у којој су сложаји били до момента уношења у сушару, док почетна температура сушења је прва вредност температуре одабраног режима за фазу активног сушења.

Трајање вазе загревања зависи од врсте дрвета, дебљине дрвета и временског периода (зима, лето) када се процес сушења обавља. Експерименталним истраживањима дошло се до података о нормативима времена загревања који се у пракси користе, а приказани су у табели 2.

Табела 2: Нормативи времена загревања

Врста дрвета	Норматив времена (h/cm дебљине)	
	Лети	Зими
Лишћари	1,5 - 2	30 - 50 %
Четинари	0,8 - 1	30 - 50 %

У току фазе загревања температура се интервално повишава уз одржавање константне минимално могуће психрометарске разлике. Број интервала слободно се дефинише, мађутим треба се руководити начелом да код грађе код које су чешће могуће грешке у току сушења (дебља грађа, лишћарке врсте дрвећа, шира грађа, сирова грађа) број интервала треба да буде већи, односно поступније подизање температуре.

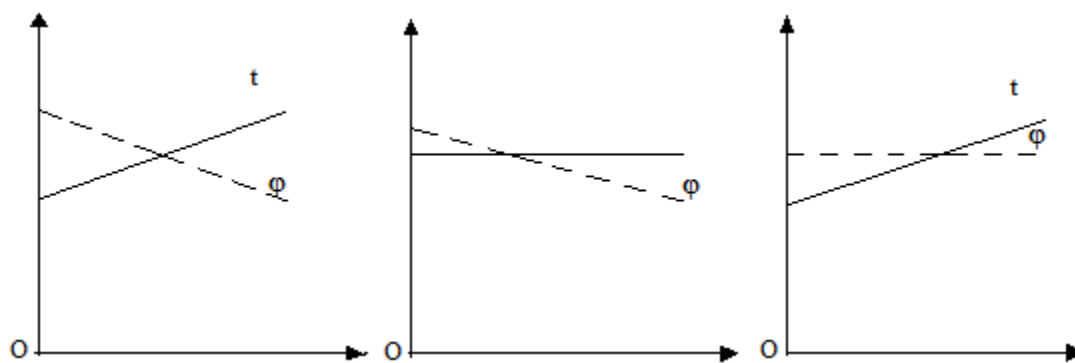
За формирање режима загревања неопходни су следећи параметри: врста дрвета, дебљина грађе, почетна температура грађе, почетна температура сушења (према усвојеном режиму) и временски период сушења (зима, лето).

5.7 Режи́ми активне фазе сушења

Промену параметара влажног ваздуха у фази активног сушења могуће је вршити на три начина:

- температура сувог термометра се константно повишава, а истовремено се снижава релативна влага ваздуха;
- температура сувог термометра константно се одржава, док се релативна влага ваздуха константно снижава;
- температура сувог термометра се константно повишава уз одржавање константне вредности релативне влаге ваздуха.

Шематски приказ ова три случаја дат је на слици 23.



Слика 18: Принципи конструисања режима сушења [6]

Сви наведени режими (немачки, медисонски, енглески) су режими на основу влажности, са изузетком медисонских који могу бити и временски. Код режима на основу влажности, параметри влажног ваздуха (температура и релативна влага) мењају се у зависности од стања влажности пиљене грађе, што значи да се при вођењу процеса сушења коришћењем ових режима мора вршити стална контрола влажности пиљене грађе било гравиметријски било електровлагомерима. Код временских режима параметри влажног ваздуха мењају се у правилним временским интервалима.

Режими сушења у кондензационој сушари базирани су на основу промене параметара влаге у резаној грађи па су параметри влажног ваздуха везани за промену параметара у дрвету. Због тога је за вођење сушења у кондензационој сушари најбоље користити медисонски (амерички) режим сушења.

5.7.1 Амерички – медисонски режими

Медисонски режим обухвата:

- режиме сушења лишћарских врста,
- режиме сушења четинарских врста и
- временске режимо.

Због своје непрецизности и грубости временски режим није могуће користити за вођење процеса сушења у кондензационим сушарама.

5.7.1.1 Режији за лишћарске врсте дрвећа

Главна карактеристика овог типа режима је да су они одређени на основу влажности резане грађе, тј. промена параметара влажног ваздуха зависна је од промене садржаја влаге у дрвету.

Препоручени режими са њиховим ознакама и параметрима приказани су у 3 табеле. У табели 3 наведене су лишћарске врсте дрвећа са одговарајучим ознакама препоручених режима зависно од дебљине грађе. Први део ознаке односи се на

одговарајући температурни режим наведен у табели 4, док други део ознаке (иза децималног зареза) је ознака режима промене влажности (одговарајуће слово) и ознака режима психрометарских разлика (одговарајући број), а подаци су садржани у табели 5.

Табела 3: Ознаке препоручених медисонских режима за лишћарске врсте

Врста дрвета	Ознака режима за грађу дебљине (mm)				
	25-38	50	60	75	100
Буква	T5,C1	T5,C1	-	-	-
Јасен	T5,B3	T5,B3	T3,B3	T3,B2	T3,A1
Бреза	T5,C3	T5,B3	T5,B3	T3,B2	T3,A1
Топола	T8,F4	T6,E3	T6,E3	T5,D2	-
Брест	T5,D3	T3,B2	T3,B2	T3,B1	T3,A1
Јавор	T6,C3	T5,C2	T5,C2	T3,B2	-
Храст	T3,C1	T3,B1	T3,B1	T3,B1	-
Орах	T3,D3	T3,D3	T3,D3	T3,C2	-

Завршни рад

Табела 4: Медисонски температурни режими

Редни број промене	Садржај влаге (%)	Температуре сувог термометра (°C) за температурни режим број													
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
1.	изнад 30	38	38	43	43	49	49	54	54	60	60	66	71	77	82
2.	30 до 25	40	43	49	49	54	54	60	60	66	66	71	77	82	88
3.	25 до 20	40	49	54	54	0	60	66	66	71	71	71	77	82	88
4.	20 до 15	46	54	60	60	66	66	71	71	71	77	77	82	88	93
5.	15 до uk	49	66	71	82	71	82	71	82	71	82	82	82	88	93

Табела 5: Медисонски режими разреда влаге и психрометарских разлика за лиићарске врсте

Редни број промене	Садржај влаге у (%) за разред влаге						Психрометарске разлике у °C за режим психометр. разлика број							
	А	Б	Ц	Д	Е	Ф	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	изнад 30	изнад 35	изнад 40	изнад 50	изнад 60	изнад 70	1.5	2	3	4	5	8	11	14
2.	30 до 25	35 до 30	40 до 35	50 до 40	60 до 50	70 до 60	2	3	4	5	8	11	17	19
3.	25 до 20	30 до 25	35 до 30	40 до 35	50 до 40	60 до 50	3	4	6	8	11	17	22	28
4.	20 до 15	25 до 20	30 до 25	35 до 30	40 до 35	50 до 40	5	8	10	14	19	28	28	28
5.	15 до 10	20 до 15	25 до 20	30 до 25	35 до 30	40 до 35	14	17	19	22	28	28	28	28
6.	10 до uk	15 до uk	20 до uk	25 до uk	30 до uk	35 до uk	28	28	28	28	28	28	28	28

Сви режими на бази влаге могу се приказати у виду табеле или графика. Чешћи случај приказа режима је табеларни. Заглавље табеле може да има следећу форму:

- колона 1 – редни број промене
- колона 2 – разред влаге дрвета
- колона 3 – температура сувог термометра (°C)
- колона 4 – психрометарска разлика (°C)
- колона 5 – температура мокрог термометра (°C)
- колона 6 – релативна влага ваздуха (%)
- колона 7 – влага равнотеже (°C)

Табела 4 обухвата 14 температурних режима, од којих је режим са ознаком Т1 најблажи, док је онај са ознаком Т14 најоштрији. Прва вредност температуре у свих 14 режима се задржава константном, све док се влажност у резаној грађи не смањи испод GH, односно испод 30%.

Ознаке режима промене влаге означене су абecedно словима од А до F, док су ознаке режима психрометарских разлика дате бројевима од 1 до 8. Режим психрометарских разлика са ознаком 1 је најблажи, док је онај са ознаком 8 најоштрији. Највиша вредност психрометарске разлике је 28 °C.

5.7.1.2 Режи́ми за четинарске врсте дрвећа

Ови режими су садржани у три табеле. У табели 6 су дате ознаке режима зависно од врсте и дебљине грађе, слично као и код табеле 3 која се односи на ознаке медисонских режима за лишћарске врсте дрвећа. Температурни режими заједнички су и за лишћарске и за четинарске врсте дрвећа, па према томе подаци за температуру сувог термометра узимају се и код четинара из табеле 4. У табели 7 су дати медисонски режими промене влажности и психрометарских разлика за четинарске врсте дрвећа.

Табела 6: Ознаке препоручених медисонских режима на основу влажности за четинарске врсте дрвећа

Врста дрвета	Ознака режима за грађу дебљине (mm)					
	25	38	50	60	75	100
Јела	T12,E5	-	T10,E4	T8,A4	T8,A4	-
Смрча	T11,B4	-	T10,B3	T5,A2	T5,A2	-
Бор	T11,C5	-	T10,C4	T10,C4	T8,C3	T5,C2
Ариш	T9,B4	T7,C3	T7,C3	T7,A3	T7,A2	-

Табела 7: Медисонски режими промене влаге и психрометарских разлика за резану грађу четинара на бази влаге

Број разре да влаге	Режим промене влаге у пиљевој грађи (влажност у %)						Психрометарске разлике у °C за режим број							
	A	B	C	D	E	F	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Up-30	Up-35	Up-40	Up-50	Up-60	Up-70	1,5	2	3	4	5	8	11	14
2.	30-25	35-30	40-35	50-40	60-50	70-60	2	3	4	5	8	11	14	17
3.	25-20	30-25	35-30	40-35	50-40	60-50	3	4	6	8	11	14	17	19
4.	20-	25-20	30-25	35-30	40-35	50-40	5	8	8	11	14	17	19	19
5.	(1)	20-	25-20	30-25	35-30	40-35	8	11	11	14	17	19	19	19
6.		(1)	20-	25-20	30-25	35-30	11	14	14	17	19	19	19	19
7.			(1)	20-	25-20	30-25	14	17	17	19	19	19	19	19
8.				(1)	20	25-20	17	19	19	19	19	19	19	19
9.					(1)	20-15	19	19	19	19	19	19	19	19
10.						(1)	28	28	28	28	28	28	28	28

5.8 Режими завршне обраде

Под завршном обрадом подразумевају се технолошке фазе које се обављају након активне фазе сушења у којима се смањују или уклањају грешке настале у току сушења. Разликују се две врсте завршне обраде и то:

- изједначавање влаге грађе и
- кондиционирање грађе.

5.8.1 Режими изједначавања влаге

У току сушења грађе често долази до значајних одступања у погледу влажности појединих сортимената. Узроци о овоме су бројни и разнолики: неуједначена почетна влажност сортимената, неједнаки услови климе у појединим зонама коморе, велика ширина слојаја, неравномерна циркулација ваздуха и слично. Под изједначавањем влаге подразумева се технолошка фаза у којој је циљ да се сви сортименти сушени у једној садржи доведу на приближно исту вредност. Поступак изједначавања почиње онда када је влажност најсувље контролне даске за 2% мањи од потребне коначне влажности. У току фазе изједначавања успоставља се такав режим да температура остаје иста као и у последњем ступњу режима сушења, док влажност равнотеже треба да буде за 2% (у апсолутном смислу) мања од коначне влажности. Фаза изједначавања траје све док највлажнија контролна даска не достигне потребну коначну влажност.

5.8.2 Режими кондиционирања

Под кондиционирањем влажности подразумева се такав технолошки поступак коме је циљ да се грађи смањи градијент влаге који је настао у току процеса сушења, чиме се истовремено смањују и унутрашња напрезања у дрвету. У току фазе кондиционирања пресушени површински слојеви примају одређену количину влаге из ваздуха, док влага из унутрашњих влажнијих слојева дифундује према спољним слојевима дрвета. Поступак кондиционирања обавезно се спроводи код дебље грађе, а нарочито код лишћарских врста дрвећа. Фаза кондиционирања одвија се после фазе изједначавање влаге, а почиње онда када је влажност највлажније контролне даске једнака потребној количини влажности.

Режим кондиционирања формира се тако што је и у овој фази температура једнака оној која је била у последњем ступњу активне фазе сушења, док се влажност узима за 3% већа (у апсолутном смислу) код четинара, односно 4% (у апсолутном смислу) већа код лишћара у односу на потребну коначну влажност. Трајање фазе кондиционирања зависи од врсте дрвета и дебљине грађе и може се израчунати на основу следећих емпиријских формула:

-за грађу лишћара: $t = 7,43 + 0,77 d \text{ (h)}$

-за грађу четинара: $t = 1,14 + 0,36 d \text{ (h)}$

6 Обрада и сушење храста

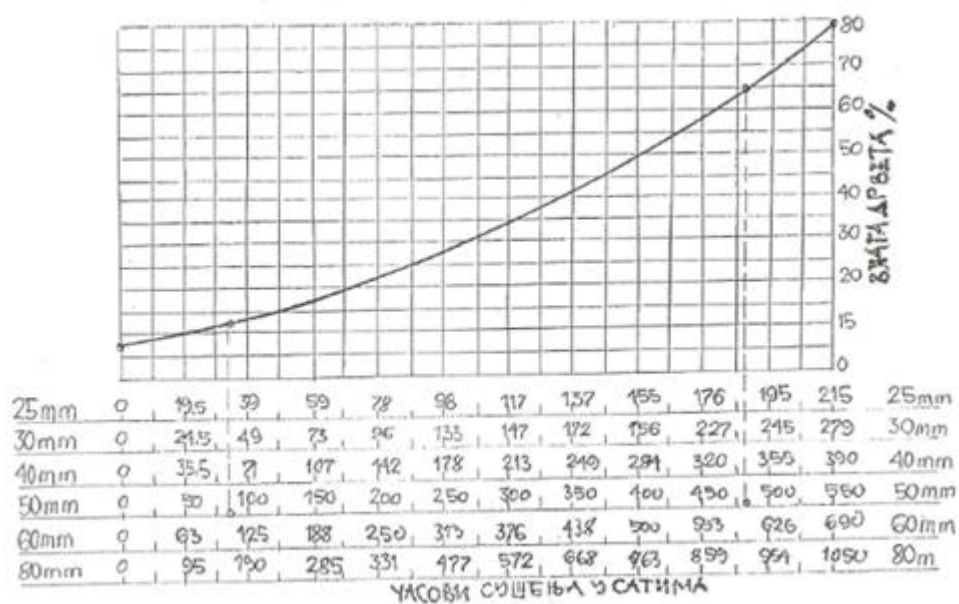
Храст је дрво које се као материјал и даље користи и у великој је потражњи за израду намештаја, подова и слично. Храст је главна врста тврдог дрвета на комерцијалном земљишту и заузима око 35% запремине. Међутим, употреба храста за израду намештаја и уопште у грађевинске сврхе захтева квалитетно сушење. Брзина и начин сушења зависи од врсте и дебљине дрвета, као и од њене густине. Такође битан фактор је и локација, тј. подручје на коме се дрво налази и у ком се режиму обавља природно сушење. Пре него што започне вештачко сушење, дрво се мора природно осушити. Конкретно за храст, тај процес може да траје од 70 до 200 дана у зависности на ком се подручју обавља сушење. Дрво је најбоље сушити у летњем режиму, односно са пролећа до краја јесени, јер се у зимском режиму може десити да уопште не дође до сушења.

Природно сушење храста се обавља на ваздуху. Након обарања стабала грађа се мора премазати до дужине, јер се у супротном може изгубити и до 5% обима грађе. Храст никако не треба сушити на отвореном простору тако што ће бити изложено сунцу, киши и ветру. Најбоље решење за сушење храста ваздухом је испод неке надстрешнице или шупе.

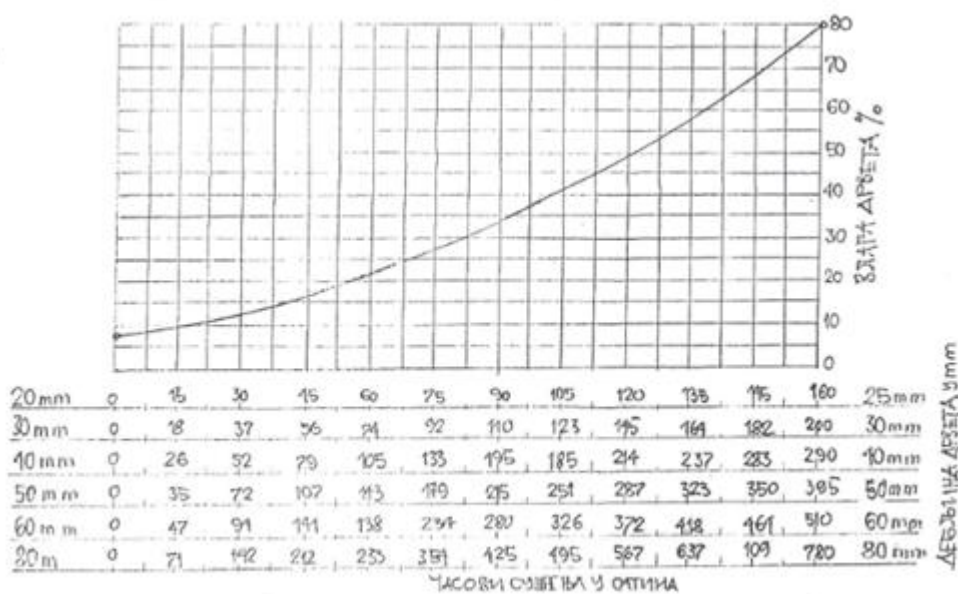
Истраживања и комерцијална пракса показују да се претходним поступком уклањају ситни преломи на површини плоча. Као резултат добија се то да сушење у сушарама може бити убрзано, чиме се смањује време сушења, као и очување дрвне грађе. Такође, широк опсег садржаја влаге након сушења су минимизирани, а изједначавајући периоди су скраћени.

Дрво живих стабала може се инфицирати бактеријама које производе ензиме способне за слабљење дрвета. Ово најчешће резултира прстенима на дрвету, а када се исече дрво емитује посебан мирис. Током сушења у сушарама, овако ослабљено дрво ће се деградирати и изазвати отказивање прстенова. У току је истраживање метода сушења зараженог дрвета и идентификација и изолација бактеријског зараженог материјала. Због тога, заражене талпе треба сушити одвојено како би се смањило деградирање сушења.

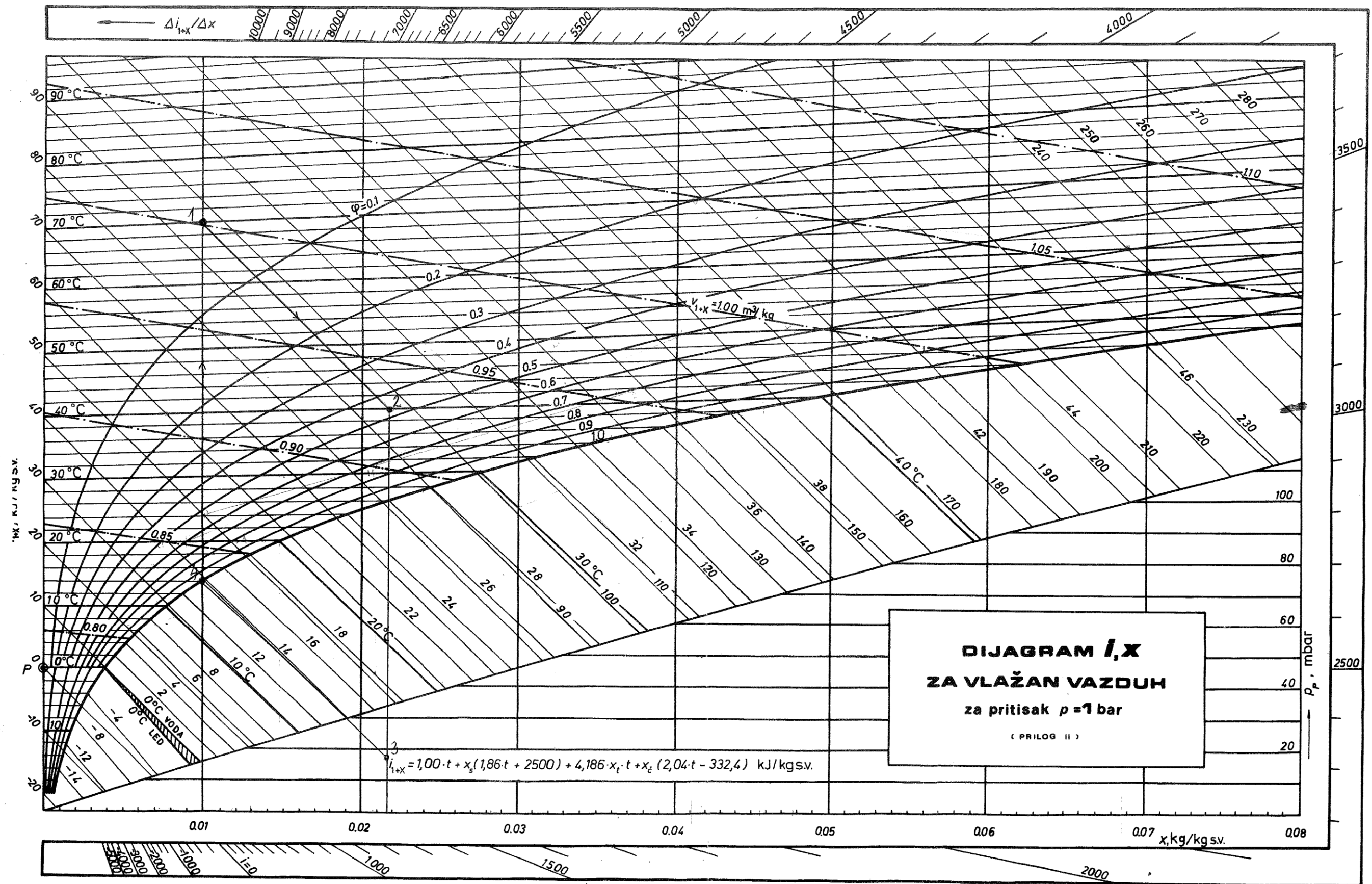
Када се заврши процес природног сушења и обави се провера дрвета, даљи процес сушења се обавља вештачки у сушарама. Пример употребе сушења храста у кондензационој сушари при одређеној температури се може видети на сликама 1 и 2. Ако је дебљина талпе 60 mm, почетна влажност 65%. Након 397 сати сушења добија је коначна влажност од 12%, као што се може видети на слици 24.



Слика 24: Преглед часова сушења за храст при температури сушења T_s 65-70 °C



Слика 25: Преглед часова сушења за храст при температури сушења T_s 80 °C



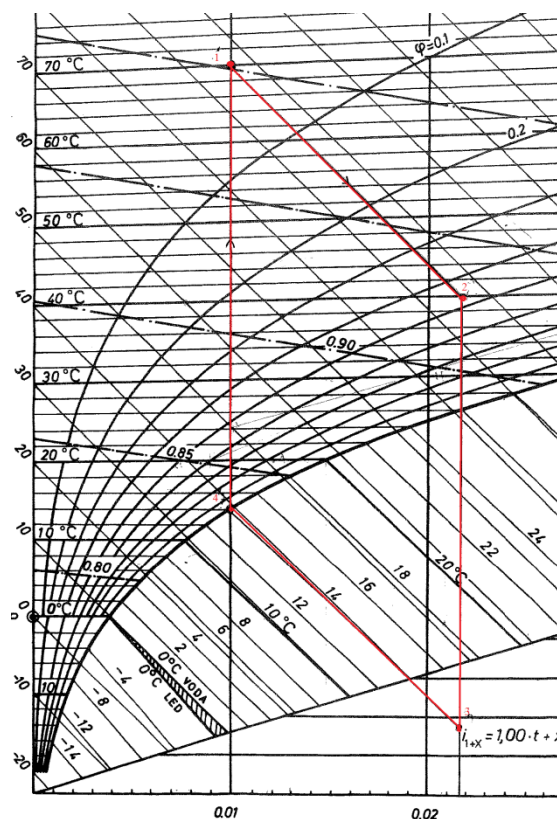
7 Димензионисање протока ваздуха и капацитета кондензационе сушаре

Почетни подаци:

$$t_{sr} = 60^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi_{sr} = 50\%$$

$$\dot{m}_w = 0,01 \text{ kg/s}$$



Слика 26: Дијаграм i, x за влажан ваздух (за притисак $p = 1 \text{ bar}$)

(1)

$$t_1 = 70^{\circ}\text{C}$$

$$x_1 = 0,01 \text{ kg/kg}$$

$$h_1 = c_{pL} t_1 + x_1 (r_o + c_{pg} t_1);$$

где су: c_{pL} (J/kgK) – специфична топлота при константном притиску сувог ваздуха, c_{pg} (J/kgK) – специфична топлота при константном притиску водене паре, r_o (J/kg) – латентна топлота испаравања воде на 0°C . За уобичајени опсег температура коришћења влажног ваздуха (сушење, климатизација), могу се приближно усвојити вредности: $c_{pL} = 1$ (J/kgK); $c_{pg} = 1,86$ (J/kgK); $r_o = 2500$ (kJ/kg).

$$h_1 = 96,302$$

(2)

$$t_2 = 40^{\circ}\text{C}$$

$$x_2 = 0,0216 \text{ kg/kg}$$

$$h_1 = h_2$$

$$h_2 = 96,302$$

(3)

$$t_3 = 14,2^{\circ}\text{C}$$

$$x_3 = 0,0216 \text{ kg/kg}$$

$$h_3 = h_4$$

$$h_3 = 39,46$$

(4)

$$\varphi = 100\%$$

$$t_4 = 14,2^{\circ}\text{C}$$

$$x_4 = 0,01 \text{ kg/kg}$$

$$h_4 = c_{pL} t_3 + x_1 (r_o + c_{pg} t_3)$$

$$h_4 = 39,46$$

$$\dot{m}_v x_2 = \dot{m}_v x_1 + \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_v x_2 - \dot{m}_v x_1 = \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_v (x_2 - x_1) = \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_w / (x_2 - x_1)$$

$$\dot{m}_v = 0,86 \text{ kg/s}$$

Капацитет испаривача:

$$Q_{isp.} = \dot{m}_v (h_2 - h_3)$$

$$Q_{isp.} = 56,842 \text{ kW}$$

Фактор хлађења:

$$\varepsilon_h = 5$$

Снага компресора:

$$P_k = Q_{isp.} / \varepsilon_h$$

$$P_k = 11,37 \text{ kW}$$

Капацитет кондензатора:

$$Q_{kond.} = P_k + Q_{isp.}$$

$$Q_{kond.} = 68,212 \text{ kW}$$

8 Закључак

Потреба за сушењем дрвета датира још од давнина. Дрво као грађевински материјал је доста тражен и доста се примењује (за израду фурнира, савијања и пресовања дрвета у циљу повећања пластичности дрвета, парења грађе, слепљивања дрвета у циљу убрзавања ове технолошке операције итд.). Поступак сушења се обавља у циљу да се што више смањи влага у дрвету како у његовом даљем коришћењу не би дошло до унутрашњег напрезања и осталих грешака.

У овом раду је дат детаљан опис сушења дрвета кроз све његове фазе, осврћући се како на хемијски састав и основне карактеристике самог дрвета, тако и на технологију и начине сушења дрвета у различитим врстама сушара са посебним освртом на сушење у кондензационој сушари. Важан елемент кондензационе сушаре који је чини различитом јесте топлотна пумпа.

Пројектовање инсталација за сушење и праћење топлотних процеса је од велике важности када је реч о сушарама. Промене стања ваздуха и параметри ваздуха могу се такође пратити и одређивати веома једноставно и брзо са довољном тачношћу и графичким путем, коришћењем Молијеровог h-x дијаграма који су такође приказани у самом раду.

Посебан осврт базирак је конкретно на храст. Храст је доста тражено дрво као грађевински материјал, за израду разних ствари попут намештаја, ограда, греда и сл. У великој мери је заступљен како у нашој тако и у другим државама. Међутим, употреба храста за израду намештаја и уопште у грађевинске сврхе захтева квалитетно сушење. Брзина и начин сушења зависи од врсте и дебљине дрвета, као и од њене густине. Након обарања стабала, дрво се мора прво природним путем просушити, па након тога може се започети вештачко сушење у сушари. У зависности од дебљине храст се природним путем може сушити од 70 до 200 дана. Након тога процес се наставља у сушарама вештачким путем и овај процес може да потраје од неколико сати до неколико месеци, опет зависи од многих параметара као што су дебљина дрвета, влажност дрвета, температура сушаре итд.

9 Литература:

- [1] Михаило Мурављов, грађевински материјали, IV издање, Грађевински факултет, Београд, 2002. година
- [2] Проф. др Небојша Лукић - влажан ваздух, скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2017. година
- [3] <https://repozitorij.unizg.hr/islandora/object/rgn%3A513/datastream/PDF/view>
- [4] Доц. др Анте Чикић, климатизација зрака, главни чимбеник конвективног сушења пиљеног дрва
- [5] http://www.nigos.rs/kondenzacione_susare_za_drvo.html
- [6] Бранко Колин, хидротермичка обрада дрвета, Југославијапублик, Београд, 1994 година
- [7] <http://www.pbf.unizg.hr/content/download/2618/25111/version/1/file/SUSENJE.pdf>
- [8] <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fputr/fputr8.pdf>
- [9] <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp378.pdf>
- [10] https://www.Techniques_Procedures_ocr.pdf
- [11] <http://www.srbijasume.rs>