

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesní a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva

**Způsoby sušení dřeva a jejich ekonomické
zhodnocení**

Bakalářská práce

Autor: Vojtěch Šinfelt

Vedoucí práce: Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Šinfelt

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Způsoby sušení dřeva a jejich ekonomické zhodnocení

Název anglicky

Wood drying methods and their economic evaluation

Cíle práce

Cílem práce je charakterizovat a poukázat na jednotlivé způsoby, kterými sušení dřeva lze uskutečnit a jejich ekonomické zhodnocení.

Metodika

Charakteristika technologie sušení, vliv vlhkosti, ekonomické aspekty technologií sušení. Výhody a nevýhody procesu sušení.

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stran

Klíčová slova

přirozené a umělé sušení, řezivo, vlhkost, výstavby hrání

Doporučené zdroje informací

- DEJMAL, A. Základy hydrotermické úpravy a ochrany dřeva. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 1995. ISBN 80-7157-163-6.
- HOADLEY, B. R. Understanding wood. 2000. 253 s., ISBN 978-1-56158-358-4.
- MATOVÍČ, A. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva. Brno: Vysoká škola zemědělská. 1993. ISBN 80-7157-086-9.
- PELEŠKA, K. Přirozené sušení řeziva. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 1963. ISBN L19-B2-IV-31/8561.
- SKAAR, Ch. Water in wood. Kalifornská univerzita. 1972. 218 s., ISBN 9780815650348.
- TREBULA, P., KLEMENT, I. Sušenie a hydrotermická úprava dreva. Vyd. 2. Zvolen: Technická univerzita Zvolen. 2005. 449 s., ISBN 80-228-1421-0.
- ZEJDA, I. J. Sušení dřeva. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 2009.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Elektronicky schváleno dne 3. 5. 2016

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2017

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2017

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Způsoby sušení dřeva a jejich ekonomické zhodnocení vypracoval samostatně pod vedením Ing. Moniky Sarvašové Kvietkové, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č.111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V dne

.....

Vojtěch Šinfelt

Poděkování

Rád bych poděkoval mé vedoucí bakalářské práce Ing. Monice Sarvašové Kvietkové, PhD., za ochotu a pomoc při zpracování této práce, ale především za poskytnutí jejích znalostí a zkušeností. Díky kvalitní spolupráci jsem ušetřil mnoho času zabýváním se nezbytnými náležitostmi patřícím k těmto druhům prací a mohl se naplno věnovat problematikou řešeného tématu. Nakonec bych chtěl poděkovat mé rodině, blízkým, přátelům a přítelkyni za veškerou pomoc a trpělivost, kterou se mnou měli během celého studia.

Abstrakt

Tato práce řeší a shrnuje poznatky o vlastnostech dřeva, zejména jeho chování za působení vlhkosti. Dále vysvětluje kladné a záporné vlastnosti dřeva ve všech směrech a různých vlhkostech. Ukazuje způsoby a techniky přirozeného i umělého sušení řeziva a napomáhá tak k přehlednosti tohoto tématu. V první části se píše o historii sušení řeziva a zaměřuje se na vlastnosti dřeva, zejména jeho chování při působení vlhkosti. Práce popisuje důvody a nedostatky sušení řeziva, čímž navazuje na hlavní část - způsoby sušení řeziva.

V hlavní části se práce zaměřuje na přirozené sušení řeziva, výstavbu hrání a prvky ovlivňující kvalitu a rychlost sušení. Také detailně popisuje způsoby a technologické postupy umělého sušení řeziva a příklad postupu sušení v praxi. Nakonec řeší technologicko-ekonomické vlastnosti sušáren, jaké je třeba učinit rozhodnutí při výběru sušárny a ekonomické zhodnocení sušáren.

Klíčová slova: přirozené a uměle sušení, řezivo, vlhkost, výstavby hrání

Abstract

Bachelor thesis solves and summarizes information about the properties of wood, especially its behavior under the influence of moisture. This work is explaining positive and negative characteristics of wood in all directions and different humidity. It describes methods and techniques of natural and artificial drying of timber and it helps to clarity of this topic. The first part describes the history of timber drying and focuses on the properties of wood, especially its behavior when exposed to moisture. The work describes the reasons of drying timber, which follows the main part – ways of drying timber.

The main part of the work focuses on natural drying timber, building stacks and elements affecting the quality and speed of drying. In detail, it describing methods and techniques of artificial drying and practice example. Finally, the work describes economic evaluations of dryers and techno-economic properties of dryers and what is necessary to make a decision when choosing a dryer.

Keywords: natural and artificial drying of wood, timber, humidity, stacks construction

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod | 14 |
| 2 | Cíl | 16 |
| 3 | Historie sušení dřeva | 17 |
| 4 | Základní informace o dřevě | 19 |
| 4.1 | Chemické složení dřeva | 19 |
| 4.2 | Rozdělení druhů dřeva | 19 |
| 4.3 | Stavební elementy | 19 |
| 5 | Vlhkost dřeva | 21 |
| 5.1 | Vazba vody se dřevem | 21 |
| 5.2 | Vlhkostní termíny | 22 |
| 5.3 | Absolutní vlhkost | 22 |
| 5.4 | Relativní vlhkost | 22 |
| 5.5 | Rozdělení podle technologické vlhkosti | 23 |
| 5.6 | Doporučené vlhkosti dřevěných výrobků | 23 |
| 6 | Důvody a nedostatky sušení dřeva | 24 |
| 6.1 | Nedostatky sušení | 24 |
| 6.2 | Napětí a deformace při sušení řeziva | 24 |
| 6.3 | Vlhkostní spád | 25 |
| 6.4 | Sušící spád | 25 |
| 7 | Přirozené sušení řeziva | 26 |
| 7.1 | Výběr místa pro sklad | 28 |
| 7.2 | Velikost skladu | 29 |
| 7.3 | Výstavba hrání | 30 |
| 7.4 | Podstavce pod hráně | 30 |
| 7.5 | Podklady pro hráně | 31 |
| 7.6 | Proklady do hrání | 32 |
| 8 | Prvky ovlivňující kvalitu a rychlost sušení | 33 |
| 8.1 | Základní informace a prvky pro výstavbu hráně | 33 |
| 8.1.1 | Pasivní, které nelze ovlivnit: | 33 |
| 8.1.2 | Aktivní, které je možno ovlivňovat: | 33 |

| | | |
|--------|--|----|
| 8.1.3 | Urychlování přirozeného sušení dřeva | 33 |
| 9 | Speciální hraně | 34 |
| 9.1 | Kmenování..... | 34 |
| 9.2 | Křížové hraně..... | 35 |
| 9.3 | Ukládání do trojúhelníku | 35 |
| 9.4 | Ukládání do čtverce | 35 |
| 10 | Umělé sušení řeziva | 36 |
| 10.1 | Vývoj umělých sušáren..... | 37 |
| 11 | Teplovzdušné sušení řeziva | 38 |
| 11.1 | Stanovení doby sušení | 38 |
| 11.2 | Teplota při sušení | 39 |
| 11.3 | Vlhkost vzduchu v sušárně | 39 |
| 11.4 | Sušící řády | 40 |
| 11.4.1 | Vlhkostní sušící řád..... | 40 |
| 11.4.2 | Časový sušící řád | 41 |
| 12 | Postup sušení v praxi | 41 |
| 12.1 | První úsek operací před sušením | 41 |
| 12.1.1 | Vyřezávání sušících vzorků a určování počáteční vlhkosti ... | 42 |
| 12.1.2 | Vyrovňávání řeziva do hraní..... | 42 |
| 12.1.3 | Příprava sušárny..... | 43 |
| 12.2 | Proces sušení..... | 43 |
| 12.2.1 | Ohřev | 43 |
| 12.2.2 | Vlastní sušení | 44 |
| 12.2.3 | Konečné ošetření řeziva | 46 |
| 12.2.4 | Zjišťování jakosti | 47 |
| 12.3 | Uskladnění vysušeného materiálu | 47 |
| 13 | Vysokoteplotní sušení řeziva | 48 |
| 13.1 | Výhody | 49 |
| 13.2 | Nevýhody | 49 |
| 14 | Kondenzační sušení řeziva..... | 50 |
| 14.1 | Princip částečného odvlhčení proudícího vzduchu | 50 |
| 14.2 | Princip úplného odvlhčení vzduchu..... | 50 |

| | | |
|--------|---|----|
| 14.3 | Výhody | 51 |
| 14.4 | Nevýhody | 51 |
| 15 | Vakuové sušení řeziva..... | 51 |
| 15.1 | Vakuové sušení s přehřátou párou | 52 |
| 15.1.1 | Průběh sušení s přehřátou párou | 52 |
| 15.1.2 | Přehřátá pára v porovnání s teplovzdušným sušením | 53 |
| 15.2 | Vakuové sušení s vysokou frekvencí | 53 |
| 16 | Sublimační sušení řeziva | 55 |
| 17 | Kontaktní sušení řeziva | 55 |
| 17.1 | Výhody kontaktního sušení..... | 55 |
| 17.2 | Ekonomické faktory | 56 |
| 18 | Rotační sušení řeziva | 56 |
| 19 | Základní rozhodnutí při výběru sušárny | 56 |
| 19.1 | Podmínky sušení | 56 |
| 19.2 | Požadavky na sušárnu | 57 |
| 19.3 | Energetické zdroje..... | 57 |
| 19.4 | Požadavky na druh regulace | 57 |
| 19.5 | Ekonomika..... | 57 |
| 20 | Ekonomické zhodnocení sušáren | 58 |
| 20.1 | Pořizovací náklady | 59 |
| 20.2 | Provozní náklady..... | 59 |
| 20.3 | Kalkulace nákladů v provozovně | 60 |
| 21 | Porovnání technologicko-ekonomických vlastností | 61 |
| 21.1 | Přirozené a uměle předsušené řezivo..... | 61 |
| 21.1.1 | Elektrická energie a teplo | 62 |
| 21.1.2 | Čas sušení..... | 62 |
| 21.1.3 | Kvalita..... | 62 |
| 21.1.4 | Pracovní síly a údržba..... | 63 |
| 21.1.5 | Výroba, ztráty a vlhkost..... | 63 |
| 21.1.6 | Základní ekonomické podmínky pro předsoušení řeziva | 63 |
| 22 | Metodika..... | 64 |

| | | |
|----|-------------------|----|
| 23 | Závěr | 64 |
| 24 | Bibliografie..... | 66 |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Mikroskopická stavba jehličnatých dřevin..... | 20 |
| Obr. 2 Mikroskopická stavba listnatých dřevin | 20 |
| Obr. 3 Výsušná radiální trhlina..... | 25 |
| Obr. 4 Změny tvaru při sesychání příčných průřezů dřeva | 27 |
| Obr. 5 Přirozené sušení řeziva s přístřeškem na výrobu dřevěných metrů..... | 28 |
| Obr. 6 Přirozené sušení řeziva bez přístřešku | 29 |
| Obr. 7 Příklad stavby hráně | 30 |
| Obr. 8 Využití skladové kapacity přirozeně sušeného řeziva..... | 31 |
| Obr. 9 Tenké proklady pro jehličnaté řezivo | 32 |
| Obr. 10 Princip kmenování | 34 |
| Obr. 11 Speciální hráň u Slavonic..... | 36 |
| Obr. 12 Schéma vysokoteplotní sušárny řeziva | 49 |
| Obr. 13 Schéma vakuové sušičky dřeva | 54 |

Seznam zkratek a symbolů

| | | |
|-------|---|-----------------------------|
| °C | - | stupeň Celsia |
| apod. | - | a podobně |
| atd. | - | a tak dále |
| tzv. | - | takzvaně |
| např. | - | například |
| MH | - | mez hygroskopicity |
| MNBS | - | mez nasycení buněčných stěn |
| BNV | - | bod nasycení vláken |
| Pa | - | pascal |
| Kč | - | korun českých |
| Tzn. | - | to znamená |
| Tj. | - | to je |
| kJ | - | kilojaul |
| kg | - | kilogram |
| kWh | - | kilowat hodina |
| max. | - | maximálně |
| Mhz | - | megahertz |

1 Úvod

Dřevo je materiál budoucnosti a jako stavební materiál je vzhledem k jeho dostupnosti a zpracovatelnosti využíváno již od nejstarších dob. Jedná se o obnovitelný surovinový zdroj s výbornou opracovatelností. Od začátečního užívání kulatiny se postupně přecházelo na deskové a hraněné řezivo, později lepené dřevo a materiály na bázi dřeva.

Dřevo má nízkou objemovou hmotnost v závislosti na vysoké pevnosti v tahu a tlaku. Zároveň vyniká dobrými tepelně izolačními, akustickými a rezonančními vlastnostmi. Jelikož je to přírodní materiál, má dřevo pozitivní vliv na estetiku a duši člověka. Jeho nedostatky jsou v anizotropii materiálu, protože nehomogenní struktura má za následek rozdílné vlastnosti v různých směrech namáhání. Jak již víme, dřevo je cenný materiál, který je po celém světě stále více využíván, ale také vznikají velké ztráty při zpracování tohoto materiálu. Velké ztráty zaznamenáváme díky dřevokaznému hmyzu a dřevokazným houbám, ale i kvůli špatnému zacházení po pokácení. Postupem času a vlivem změny vlhkosti okolního prostředí dochází ve dřevě ke změně fyzikálních vlastností např.: k bobtnání, sesychání, nebo hnití.

Z celé technologie zpracování dřeva je nejnákladnější právě sušení dřeva, které jsem si vybral jako téma této práce. Sušení dřeva je zároveň jeden z nejdůležitějších technologických procesů, který je třeba udělat. Jak již bylo zmíněno, vlhkost řeziva významně ovlivňuje jeho mechanické i fyzikální vlastnosti. Také se bere v úvahu při přejímce zboží nebo při transportu materiálu a zmenšuje odolnost vůči napadení dřevokazným houbám a hmyzu. Různá odvětví dřevozpracujícího průmyslu vyžadují jinou koncovou vlhkost a liší se i od způsobu použití.

V dnešní době známe mnoho způsobů, jak dřevo zbavit vlhkosti a o možnostech a typech sušení se dozvíme právě z této práce. Můžeme použít přirozené sušení používané od pradávna, dále jsou vysokoteplotní, teplovzdušné, konvekční, mikrovlnné, vakuové, chemické apod. Každý způsob sušení má své výhody a nevýhody, své specifikace a využití. Vždy je třeba si správně vybrat, jaký způsob je pro nás nejvýhodnější a zároveň nejefektivnější. Musíme tedy hledět na cenu, čas a kvalitu vysušení.

Když se budeme bavit o globálně nejpoužívanějším způsobu umělého sušení, jsou to dodnes horkovzdušné konvekční sušárny a to z několika důvodů. Dle mého nejpodstatnější je v porovnání s ostatními technologiemi nízká pořizovací cena, menší nároky na obsluhu a možnost postavit si k tomu budovu dle vlastních potřeb a rozměrů. Ať použijeme jakoukoli metodu, musíme být k dřevu šetrní a vysoušet ho pozvolna a postupně, abychom místo přidané hodnoty neměli odpad.

2 Cíl

Hlavní cíl této práce je především vysvětlit, jak která technologie sušení funguje, popsat ji s jejími výhodami i nevýhodami. Specifikovat způsoby sušení a vybudovat ekonomický přehled o technologiích sušení. Součástí této problematiky je bezpochybně dřevo, a proto je potřeba se s tímto materiálem nejprve seznámit, popsat jeho chování v různých situacích a vybudovat přehled o jeho základních vlastnostech a stavbě dřeva.

Dílčím cílem je popsat v praxi používaný technologický postup se všemi jeho náležitostmi a popsat základní rozhodnutí, která jsou zapotřebí učinit při výběru sušárny – tzn. možnost použití získaných informací v praxi.

3 Historie sušení dřeva

O sušení dřeva se jsou první zmínky již v letech 500 let před naším letopočtem. Tzv. průmyslově sušit se začalo až v průběhu 18. a 19. století. Už v roce 1654 se v Německu konaly pokusy se sušením dřeva ve vakuu. Za tímto účelem byla zkonstruována speciální vývěva nazývaná také jako vzduchové čerpadlo. První „sušící pec“ na sušení dřeva byla zkonstruována přibližně okolo roku 1756. V Anglii se v roce 1825 konaly první pokusy s vakuově kondenzačním sušením dřeva a v tomto období ve Francii se zkoušelo také sušení dřeva v přehřáté páře při teplotách okolo 175 °C a výsledky ukázaly, že tento způsob sušení je paradoxně vůči materiálu poměrně šetrný. První zmínky o zkouškách sušení řeziva v teplém vzduchu spojeném s odvlhčováním tohoto média kondenzací pochází z oblasti Anglie, Francie a Německa počínaje rokem 1858. Dále se rozšiřovalo sušení v dřevěné komoře ve vzduchu zahřátém na teplotu 53 až 106°C. Teplý vzduch se prostorem pohyboval přes hráň řeziva vertikálním směrem od vstupu ve spodní části komory až po výfukové otvory ve střeše. Zpočátku bylo topeniště umístěno přímo uvnitř komory. Postupně bylo topeniště z požárních důvodů přesunuto mimo vlastní sušící prostor a teplé spaliny byly do sušárny přiváděny kanálem v podlaze.

V roce 1880 byl v USA k zabezpečení pohybu vzduchu v sušící komoře poprvé použit ventilátor. První ventilátory byly umístěny do prostoru pod podlahou sušárny. Řízení procesu sušení se začalo ovlivňovat způsobem uložení materiálu v prostoru sušárny a intenzitou topení v topeništi. Proto se záhy objevil náznak dalšího zlepšení řízení procesu sušení tím, že vnitřní prostor komory byl dveřmi rozdělen na dvě části podle vzdálenosti od zdroje tepla. Napřed se dřevo uložilo ve vzdálenější části s nižší teplotou, kde se předsušilo, a následně se přesunulo do prostředí s teplotou vyšší k dosušení na požadovanou vlhkost.

Pokrok byl dosažen na přelomu 19. a 20. století. Ventilátory, které byly původně poháněné transmisí s jednou hřídelí, byly osazeny samostatnými elektromotory, což umožnilo opravy bez nutnosti odstavení celé sušárny. Běžným se stal ohřev vzduchu v sušárně přes výměníky (radiátory) do nichž byla přiváděna pára nebo horká voda ze vzdáleného zdroje tepla umístěného mimo sušárenský prostor.

Okolo roku 1920 byly nově budované sušárny zděné a základní vybavení bylo již téměř shodné s vybavením soudobé komorové sušárny. Ventilátory se začaly umísťovat do horní části sušárny. Do roku 1920 se podařilo vyvinout

tunelovou kontinuální sušárnu dřeva, jako variantu ke konvekční komorové sušárně. Byly též zkonstruovány první velkokapacitní konvekční sušárny s kapacitou až 200 kubíků řeziva. Další změny se postupně týkaly konstrukce komor a řízení procesu sušení dřeva. Tunelové sušárny v USA dosahovaly délky přes 100 m.

V roce 1928 byl vydán v Anglii patent na vysokofrekvenční sušení dřeva. V Dánsku se začalo sušit dřevo průmyslové kontaktním způsobem. Objevují se pokusy s tzv. chemickým sušením, v Japonsku se potvrdilo, že dlouhodobé máčení ve slané mořské vodě urychluje sušení. Zkoušelo se také sušení dřeva v jímavých parách organických rozpouštědel. Ve Švédsku byly bez většího efektu realizovány pokusy s odstředivým sušením řeziva.

Mezi nejpoužívanější postupy sušení současnosti se řadí konvekční sušení, kontaktní sušení, vakuové sušení, sušení s využitím kondenzace vlhkého vzduchu a sušení dielektrické (Zejda, 2009).

4 Základní informace o dřevě

Dřevo je rostlinné pletivo a jeho buněčné stěny obsahují lignin. Z hlediska zkoumání se stavba dřeva rozlišuje na makroskopickou stavbu dřevního pletiva, to je vše co lze pozorovat pouhým okem nebo zvětšovacího skla. Dále mikroskopická stavba, kterou můžeme pozorovat pouze mikroskopem, jelikož je to na úrovni buněk a nakonec submikroskopická stavba dřeva, kde zkoumáme odlišnosti ve stavbě buněčné stěny a chemické složení (Gandelová & Šlezingerová, 2014).

4.1 Chemické složení dřeva

Chemická stavba dřeva se skládá z hlavních látek celulózy, která je obsažena ze 40-50%, dále ligninu (20-30%) a hemicelulózy (20-30%). Dřevo také obsahuje další doprovodné složky, jako jsou organické látky (tuky, vosky, třísloviny, pryskyřice apod.) zastoupené v (1-3%) a anorganické látky (0,1-0,5%), které po spálení tvoří popel (Lexa a kol., 1952).

4.2 Rozdělení druhů dřeva

Základní druhy dřevin, které se vyskytují v české republice, se dělí na dvě základní skupiny.

1. Jehličnaté dřeviny např.: smrk, jedle, borovice, modřín, douglaska

2. Listnaté dřeviny, které se dále dělí do tří skupin podle stavby pórů.

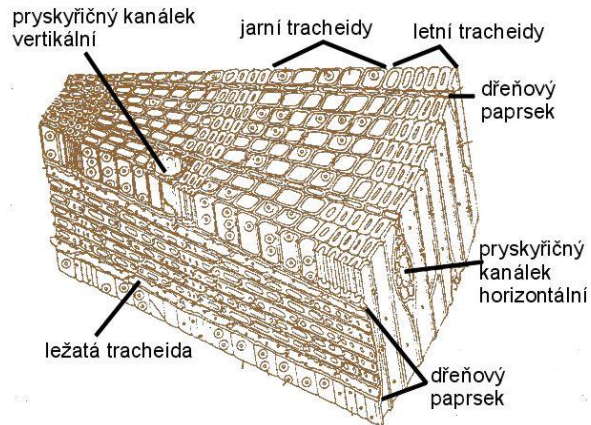
- S kruhovitě pórovitou stavbou např.: dub, jasan, akát, jilm, morušovník
- S polokruhovitě pórovitou stavbou např.: třešeň, švestka, ořech
- S roztroušeně pórovitou stavbou např.: buk, platan, habr, lípa, vrba, topol

4.3 Stavební elementy

Listnaté dřeviny obsahují cévy, cévice, libriformní vlákna a parenchymatické buňky, zatímco jehličnaté pouze cévice a parenchymatické buňky, protože jsou vývojově mnohem starší než listnaté. Na pohyb vody ve dřevě má veliký vliv anatomická stavba dřeva (Regináč a kol., 1990).

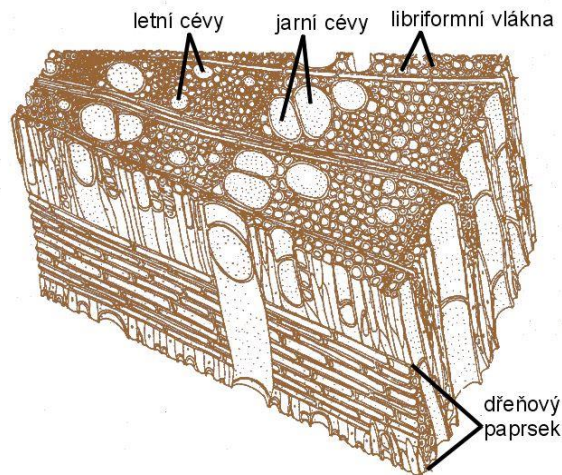
V podélném směru je pohyb nejrychlejší, vzhledem k orientaci vodivých anatomických elementů. Na přenos vlhkosti mají také vliv např.: jádrové látky, dřeňové paprsky, thyly nebo ztenčeniny v buněčné stěně. Strukturální změny

během sušení jsou ovlivněny složením a vlastnostmi buněčné stěny. Velmi významné jsou také anatomické směry a anizotropnost jejich vlastností. Sušení také ovlivňuje hustota dřeva, suky, vady, podíl běle a jádra nebo i tvar a podíl letokruhů (Hoadley, 2000).



Obr. 1 Mikroskopická stavba jehličnatých dřevin

<http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavbadreva/vyuka/mikro/jehlicnany.htm> (31.3.2017).



Obr. 2 Mikroskopická stavba listnatých dřevin

<http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavbadreva/vyuka/mikro/listnace.htm> (31.3.2017).

5 Vlhkost dřeva

Obsažená voda ve dřevě je v závislosti s jeho vlastnostmi. Snižováním vlhkosti dochází ke změnám mechanických vlastností a zmenší se možnost napadení dřeva biotickými škůdci. Vysychání dřeva je proces, při kterém dochází k odstraňování vody ze dřeva a zkoumají se při něm zejména fyzikální jevy. Je to proces technologický, který se nazývá sušení.

Snižováním vlhkosti prostředí se vlhkost dřeva snižuje a to má zároveň za následek snižování rozměrů dřeva – sesychání. Při zvyšování vlhkosti prostředí nebo ponoření dřeva do vody dochází ke zvýšení vlhkosti a zvětšování rozměrů - bobtnání. Bobtnání a sesychání se vztahují k vlhkosti pod mezí hygroskopicity a jsou to procesy vratné. Vysoká vlhkost prostředí nebo máčení ve vodě mají vliv na chemickou strukturu dřeva. Mechanické vlastnosti zásadně nemění.

Zvýšením vlhkosti prostředí se omezí proces úbytku vlhkosti dřeva a sníží se riziko vzniku trhlin, vyrovná se vlhkost průřezu a některá napětí uvnitř se odstraní. Tvarové změny závisí především na anatomické stavbě dřeviny, hustotě dřeva, rozměrech a orientací dřevních vláken ve vysoušeném dílci. Na základě vypracovaných studií se dospělo k tomu, že rychlejší vysoušení má za následek menší tvarové změny (Dejmal, 1995).

5.1 Vazba vody se dřevem

Rostoucí strom obsahuje velké množství vody, která je nezbytná k jeho existenci. Po jeho skácení se voda ve dřevě snižuje nebo zvyšuje, záleží na jeho dalším využití. Vodu ve dřevě rozdělujeme na 3 druhy.

Voda chemicky vázaná – zjišťuje se při chemických analýzách a je součástí chemické stavby dřeva, sušením ji ze dřeva nelze odstranit, odstraní se pouze spálením dřeva. Ze sušiny dřeva představuje voda chemicky vázaná maximálně 2 %. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností dřeva nemá chemicky vázaná voda zásadní význam.

Voda vázaná – neboli hygroskopická, jež se do dřeva dostává z vlhkého vzduchu, se nachází v buněčných stěnách a je vázána přes vodíkové můstky na OH skupiny amorfni části celulózy a hemicelulózy. Je vázána chemickými a fyzikálně – chemickými silami. Ve dřevě se vyskytuje při vlhkostech 0 až 30 % a při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností dřeva má zásadní význam.

Voda volná - kapilární vyplňuje ve dřevě buněčné lumeny a mezibuněčné prostory. Z hlediska mechanických vlastností dřeva má podstatně menší význam jak voda vázaná. Vyskytuje se ve dřevě jen tehdy, pokud je v buněčných stěnách voda vázaná (Babiak, 1990).

5.2 Vlhkostní termíny

Bod nasycení vláken (BNV) charakterizován jako stav buněčné stěny dřeva, kdy je buněčná stěna plně nasycena vodou vázanou a lumen při tom neobsahuje žádnou vodu kapalnou (volnou). V našich podmínkách je BNV v rozmezí 22 až 35% vlhkosti dřeva, závisí na druhu dřeviny, anatomické a chemické stavbě dřeva. Někdy se pro stav nasycení buněčných stěn používá označení mez nasycení buněčných stěn (MNBS). Vzhledem k tomu, že tento stav je při máčení suchého dřeva ve vodě velmi obtížné určit, používá se termín mez hygroskopicity (MH).

MH je takovou rovnovážnou vlhkostí dřeva, které je dosaženo dlouhodobým uložením dřeva ve vzduchu, jehož vlhkost je blízká 100%. Rozdíl mezi oběma charakteristikami je tedy v prostředí, v němž je materiál uložen (Zeida, 2009).

5.3 Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost dřeva se používá pro charakteristiku fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Hodnoty těchto vlastností se udávají převážně při 12% vlhkosti. Absolutní vlhkost se vyjadřuje v procentech z hmotnosti absolutně suchého dřeva a rozumí se tím množství vody ve dřevě (Dejmal, 2004).

5.4 Relativní vlhkost

Relativní vlhkost se využívá v případě, že potřebujeme znát procentuální zastoupení vody z celkové hmotnosti sortimentu. V praxi nejvíce využíváme při nákupu nebo prodeji dřeva podle jeho hmotnosti v absolutně suchém stavu. Je to množství vody ve dřevě vyjádřené v procentech z hmotnosti dřeva vlhkého (Dejmal, 2004).

5.5 Rozdělení podle technologické vlhkosti

Podle určitého obsahu vlhkosti bývá v praxi dřevo označováno různými názvy. Pro ozřejmění jsou uvedeny tyto:

- dřevo s technickou vlhkostí vlhkost vhodná pro danou technologii výroby
- dřevo čerstvě pokácené 80% surové
- dřevo s vlhkostí nad MH mokré
- dřevo s vlhkostí okolo MH vlhké
- dřevo s vlhkostí 15% -MH předsušené
- dřevo s vlhkostí pod 20 % transportní (hranice napadení)
- dřevo s vlhkostí 200% a víc uložené v bazénech; dřevo archeologické
- dřevo s vlhkostí pod 15% vysušené
- dřevo s nulovou vlhkostí, dřevo absolutně suché (Dejmal, 1995).

5.6 Doporučené vlhkosti dřevěných výrobků

- součásti k elektrickým přístrojům 5%
- hudební nástroje, hračky, tužky, nábytek do místností 7%
- dřevo pro vnitřní stavebně-truhlářské výrobky 8%
- běžný dřevěný nábytek a vybavení lodí 8%
- židle, sportovní potřeby, vnitřní vybavení dopravních prostředků 10%
- běžné dřevěné podlahy 11%
- vnější okna a dveře 13%
- čluny a nákladní železniční vagóny 14%
- lepené nosníky, stavebně-truhlářské výrobky 15%
- vnější dveře, zahradní nábytek, vnější obklady 16%
- bedny, obaly, sudy, stavební dřevo 18%
- exportní řezivo, obaly na ovoce 20%
- dřevo na ohýbání a impregnaci 25% (Dejmal, 1995).

6 Důvody a nedostatky sušení dřeva

Pomocí sušení dřeva chceme zamezit rozměrovým změnám a stabilizovat tvar dílce. Omezení napadení dřevokaznými houbami. Po sušení máme také lepší možnost povrchové úpravy a impregnace, dále levnější dopravu díky snížené hmotnosti a zmenšení rozměrů. Můžeme se přizpůsobovat požadavkům zákazníku a zlepšujeme mechanické vlastnosti. Zvyšuje se pevnost, výhřevnost a odolnost proti dřevokazným houbám. Vysušené dřevo se lépe opracovává broušením, hoblováním nebo řezáním a má lepší tepelné, akustické a elektrické vlastnosti (Matovič, 1988).

6.1 Nedostatky sušení

- Tvorba trhlin
- Zkornatění
- Kolaps
- Sesychání
- Změna barvy

6.2 Napětí a deformace při sušení řeziva

Při snižování vlhkosti vznikají zpravidla ve dřevě v důsledku nerovnoměrného sesychání jednotlivých vrstev vnitřní napětí, která se skládají ze dvou složek. Jedná se o napětí vlhkostní, vzniklá v důsledku rozdílné vlhkosti na průřezu materiálu (gradientu vlhkosti), která způsobují tzv. pružné deformace a jsou přechodná. Dále napětí zbytková, která vznikají v důsledku relativně rychlého sušení dřeva, která mají v podstatě trvalý charakter. Výsledkem působení napětí v průběhu sušení jsou deformace materiálu. U deskového řeziva se rozlišuje zborcení (rozměrová transformace) příčné a podélné.

Příčné zborcení je důsledkem rozdílné velikosti tangenciálního a radiálního seschnutí dřeva. Zvětšuje se vzdáleností desky od středu kmene. Nejčastějším projevem příčného zborcení je žlábkovitý tvar desky.

Podélné prohnutí sortimentu může být vyvoláno například rozdílným podélným seschnutím části jádrové a části bělové, přítomností reakčního dřeva (rozdílnou hustotou dřeva), točivým růstem, přítomností dřeně, suku a vad (Gandelová & Šlezingerová, 2014).

6.3 Vlhkostní spád

Při sušení řeziva se vlhkost odpařuje nejdříve z povrchu a nová vlhkost zvnitřku přichází na její místo. Takto se to opakuje stále dokola, dokud není řezivo vysušené. Mezi vnitřkem a povrchem bývá rozdíl vlhkostí, který nazýváme vlhkostní spád. Při sušení řeziva si musíme tedy dát pozor, abychom povrch dřeva nepřesušili a tím nepřerušili tok vlhkosti ve dřevě. Z toho vyplývá, že odpařování vlhkosti na povrchu a tok vlhkosti ve dřevě musí být sladěny (Horský, 1978).

6.4 Sušící spád

Sušení bude rychlejší za podmínek většího rozdílu mezi vlhkostí dřeva a rovnovážnou vlhkostí prostředí, které dřevo obklopuje – vlhkost a teplota vzduchu. Sušící spád vyjadřuje poměr mezi skutečnou vlhkostí dřeva a rovnovážnou vlhkostí prostředí (Skaar, 1972).



Obr. 3 Výsušná radiální trhlina

http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad/bocni_trhliny_vysusne.htm (31.3.2017).

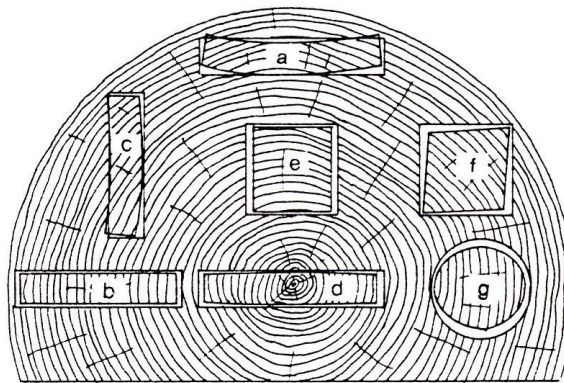
7 Přirozené sušení řeziva

Pod přirozeným sušením řeziva si představujeme uskladňování proloženého řeziva nebo přířezu na volném prostranství nebo pod vzdušnými kůlnami do hrání podle pravidel a zásad tak, aby nedošlo k poškození tohoto materiálu. Vyrobené řezivo, pražce nebo přířezy se uskladňují z největších částí na venkovních skladech pro přirozené sušení buďto přímo v areálu pily nebo u zpracovatele. Řezivo se uskladňuje proložené na předem určeném místě – skladu.

Přirozené sušení se řídí stejnými zásadami jako sušení umělé a proto závisí také na teplotě, vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu, na dřevině, rozměrech materiálu (zejména tloušťce), na počáteční vlhkosti a na požadované konečné vlhkosti. Přirozené sušení se od umělého liší tím, že ho nemůžeme regulovat, závisí na okolní vlhkosti, teplotě a povětrnostních podmínkách. Při umělém sušení lze parametry sušicího prostředí měnit a řezivo vysušit na naší požadovanou konečnou vlhkost (Koberle, 1988).

V našich klimatických podmínkách lze přirozeně řezivo vysušit maximálně na 13 až 15 % vlhkosti. Běžně se uvádí hodnoty okolo 20 %, normy pro přirozené sušení dokonce uvádějí konečnou vlhkost okolo 30 %. V praxi se předsušuje přirozeně na co nejmenší vlhkost je možné a následně se dosouší v umělých sušárnách. Přesto se přirozeně suší poměrně značné objemy řeziva dodnes, jelikož nepotřebujeme tak velký kapitál na stavbu sušárny a hlavně její provoz není nákladný a ze všech způsobů vysoušení nejlevnější. Můžeme tam zohledňovat jen pronájem za prostor, pokud máme pronajatý. Přirozeně se suší také ve velkých závodech, kde nemají dostatek sušáren. Dřevo můžeme sušit kdekoliv, ale můžeme způsob zlepšit např. betonovou plochou, aby se neudržovala voda, správnou tloušťkou podkladů a samozřejmě zastřešením. Řezivo se může značně poškodit, pokud nedodržíme tyto základní věci, mohou vzniknout trhliny, hniloby nebo modráni a může být zařazeno do nižší třídy jakosti. Dosahují se menší výtěžky, produktivita práce se zmenšuje a snižuje se i přidaná hodnota na surovině.

Přirozeným sušením se člověk zabývá od nepaměti, přesto se dodnes opomíjí jeho vývoj přes neustálou snahu zlepšit způsoby umělého sušení. Původně se řezivo skládalo do velkých a těsných hrání a po rozebrání byla vždy uprostřed neusušená surovina i s hnilobou. Tomu se pomohlo proklady, které se dávají přesně nad sebe a ve stejných vzdálenostech, aby se řezivo neprohýbalo a nebortilo. Vzduch se musí vždy dostat i dovnitř hráně, aby vzduch mohl odebírat přebytečnou vlhkost. Čím dokonaleji bude proudit vzduch, tím rovnoměrněji bude řezivo vysychat. Hráně musí být postaveny na dostatečně vysoké betonové základně, která jednak umožní unikat vlhkému vzduchu z hráně a zároveň vysoušení spodních vrstev hráně. Aby nedošlo k poškození řeziva trhlinami, ohýbáním nebo houbami, tak se nesmí stavět hráně příliš veliké.



Obr. 4 Změny tvaru při sesychání příčných průřezů dřeva

(Peleška, 1963)

Dřevo není ve všech směrech stejnorodé, proto nebobtná ani nesesychá ve všech směrech stejně. Nejméně sesychá ve směru vláken (podélně) až o 0,1 – 0,3%. Proto tento fakt zanedbáváme, protože u 5 metrového prkna se nám po usušení zkrátí o 0,5 mm. U reakčního dřeva, v tomto směru sesychá okolo 5% a musíme si dávat pozor na deformaci, v tomto případě zborcení. Dřevo nám více sesychá ve směru příčném – kolmo na letokruhy a to 4 – 8% a ve směru letokruhů nejvíce 8-12%. Při přirozeném sušení stavíme konstrukce hráně tak, aby vždy prkna byly nahoru pravou stranou (blíže středu kmene), protože tato strana méně sesychá (Missuth, 1953).

7.1 Výběr místa pro sklad

Zpravidla se volí plochy se suchou půdou a je možné je dobře odvodňovat. Nejvhodnější je pozemek se štěrkovanou nebo písčitou půdou s mírným sklonem a s přístupem větrů ze všech stran. Naopak velmi nevhodné je přirozeně sušit blízko řek, rybníků nebo v horském údolí. Skladovací plocha musí být oplocená, kvůli možnosti krádeže. Minimální výška plotu je 180 cm a ideálně z drátěného pletiva, aby nebránil proudění vzduchu. Povrch se musí upravit, vyrovnat a zbavit humusu, abychom zabránili růstu vegetace. K vyrovnání nerovností použijeme písek nebo štěrk v tloušťce minimálně 15 cm, která zároveň zabrání růstu nežádoucích rostlin. Vegetaci můžeme plít, nebo použít nehořlavé chemické prostředky jako prevenci výskytu. Ve skladech, kde se manipuluje pomocí vysokozdvížných vozíků, se musí vybetonovat cesty a v místech, kde budou pod hráněmi podstavce, se musí povrch zpevnit pilotami nebo vyštětováním. Tím se zabrání nerovnostem, deformaci, naklonění nebo dokonce kolapsu hráně. Celý povrch upravíme odtokovými kanálky po stranách cest, aby voda co nejrychleji odtekla a nezdržoval se pod hráněmi. Toto vše je nejlepší udělat před stavbou hrání, jelikož v průběhu sušení je obtížné upravovat povrch. Z toho vyplývá, že povrch celé sušárny musí být kvalitně zpevněn jak pod hráněmi, tak na cestách pro vysokozdvížné vozíky.

Po mnoha zkušenostech je důležité při úpravě povrchu věnovat největší pozornost terénu mezi základy, kde se manipuluje při skládání svazků. Aby se zabránilo rozrušování půdy při manipulaci, zpevňuje se terén betonovými silničními panely. Tím zůstane základ trvale rovný (Trebula, 1989).



Obr. 5 Přirozené sušení řeziva s přístřeškem na výrobu dřevěných metrů

<http://www.metrie.cz/proces-vyroby/cz> (31.3.2017)

7.2 Velikost skladu

Při plánování si musíme nejdříve zjistit jaké objemy řeziva uskladňovat a vypočítat prostor pro skladování materiálu. Je to veškerá plocha, kde budeme vyrovnávat hráně, kromě manipulačních cest a uliček mezi hráněmi. Využití skladovací plochy je důležitý ekonomický ukazatel pro sklad na přirozené sušení řeziva. Pomocí ukazatele můžeme vyjádřit poměr využití skladovací plochy. A to jako poměr skladovací plochy vůči skladové ploše. Velikost můžeme vyjádřit v procentech a záleží na druhu a rozměrech sušeného řeziva, uspořádání skladu, tloušťkách prokladů, výšce hrání nebo způsobu ukládání do hrání. Vysoký ukazatel znamená nižší náklady na skladovaný materiál (Peleška, 1963).

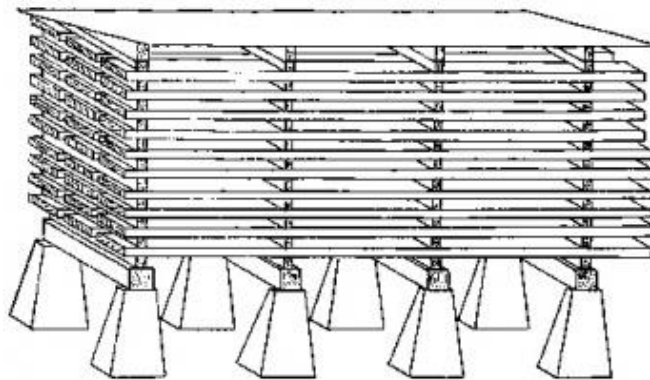


Obr. 6 Přirozené sušení řeziva bez přístřešku

(Zeida, 2009)

7.3 Výstavba hrání

Jak již bylo zmíněno, je zapotřebí dobře provětrávané místo s dostatečnou cirkulací vzduchu, pokud možno ve větší vzdálenosti od povrchových vodních zdrojů a lesů a návaznost na dopravní komunikace. Aby nedocházelo k problémům na sklade musí být správně vyprojektovány hlavní rozdělovací linie skladu, jednotlivá pole skladu, průjezdy, uličky, prostor pro uložené řezivo včetně skladovací rezervy, s ohledem na příslušnou mechanizaci, při dodržení všech zásad bezpečnosti práce a požární ochrany. U hrání širších jak 170 cm se doporučuje ve středu šířky přes celou výšku hráně vytvořit široký svislý komín. Nedoporučuje se stavět hráně širší jak 2 m. Výška hráně při ručním ukládání se doporučuje maximálně do 4 m, při mechanizovaném ukládání do 6 m. Kombinuje-li se přirozené sušení s umělým, mají rozměry hráně korespondovat s rozměry sušárny. Doporučuje se stavět hráně do výšky, která odpovídá maximálně trojnásobku šířky hráně (Krečetov, 1954).



Obr. 7 Příklad stavby hráně

(Kvietková & Bomba, 2013)

7.4 Podstavce pod hráně

Podstavce se dělají betonové s podklady rozestavěnými prostorově tak, aby se pomocí mechanizačních prostředků nebo ručně mohlo ukládat nebo odebírat řezivo. Jsou to základy hráně, které jsou při sušení nemálo důležité, jelikož pod hráněmi odchází ochlazený a vlhký vzduch z vysoušeného řeziva. Pokud pod hráněmi není vytvořený tento prostor pomocí betonových podstavců, zůstává tam vlhký vzduch a sušení neprobíhá optimálně, protože je omezena výměna vzduchu v hrání a dolní řezivo zůstává stále vlhké (Drahoš & Viktorin, 1975).

První vrstva musí být od země minimálně 50 cm, aby byla možná výměna a proudění vzduchu v hráni. Ideálně se používají pouze betonové podstavce s tvarem komolého jehlanu tvořené dolní základnou 40 x 40 cm, výškou 40 cm a horní ložnou plochou 20 x 20 cm. Tyto podstavce mohou být použity s kolejovou i bezkolejovou přepravou (Peleška, 1963).



Obr. 8 Využití skladové kapacity přirozeně sušeného řeziva

(Zeida, 2009)

7.5 Podklady pro hráně

Jako podklady se používají dřevěné a betonové trámce nebo kolejnice, které se kladou na betonové podstavce a spolu tvoří spodní základ hráně. Podklady jsou hranoly o rozměrech 10 x 12 cm pro menší hráně do 2,5 m a 10 x 15 cm pro hráně vyšší. Délka prokladů je odlišná, dle délky hráně a nesmí se prohýbat pod vahou řeziva. Celý základ hráně musí být v rovině, jelikož každá nerovnost se přenesse na řezivo a po vysušení zůstane trvale poškozené. Proklady dřevěné musí být impregnované a jejich nevýhoda je jejich trvanlivost cca 5 let, kvůli povětrnostním vlivům. Z hlediska úspory je proto výhodnější používat železné podklady (kolejničky), stačí výška 80 mm, nebo podklady betonové. Betonové podklady nepodléhají povětrnostním vlivům, ušetří se náklady na jejich výměnu a mají pětkrát delší životnost než dřevěné (Peleška, 1963).

7.6 Proklady do hrání

Proklady oddělují vrstvy řeziva v hrání a používají se dřevěné latě ze zdravého jehličnatého dřeva bez většího množství suků. Proklady musí být předem vysušené, aby na styčných plochách řezivo nemodralo. Tloušťka prokladů se používá 18 – 24 mm a vzdálenost mezi nimi se pohybuje u jehličnanů od 70 – 150 cm, u listnáčů 40 – 100 cm. Dovnitř hrání se osvědčila šířka prokladů 4 cm a do čel hrání, kde se nechávají proklady trochu přečnívat, se používá šířka 6 cm. U listnatého řeziva mohou být proklady ještě širší a délka je stejná jako šířka hráně. Pomocí porovnání rychlosti sušení při jiných tloušťkách prokladů se zjistilo, že ve výsledku není patrný rozdíl. Zpočátku sušení se vlhkost dostávala z hrání s tlustšími proklady rychleji, ale při zhruba 20% kdy se vlhkost v hrání vyrovnala, sušení probíhalo stejnou rychlostí jako s proklady tenčími.



Obr. 9 Tenké proklady pro jehličnaté řezivo

<http://www.elegantnibydleni.cz/suseni-dreva/> (31.3.2017)

S tlustšími proklady můžeme nepatrně urychlit proces sušení, ale jsou vyšší náklady nejen za vyšší pořizovací cenu tlustších prokladů, ale zároveň uložíme menší množství řeziva do určité výšky hráně. Proklady musí mít ve skladu speciální určené místo chráněné střechem před povětrnostními vlivy a po sušení se musí ihned uložit. Množství použitých prokladů na kubík řeziva se nedá přesně vyjádřit, jelikož při sušení tenkého řeziva jich používáme více naopak při tlustším nebo listnatém řezivu je jejich spotřeba menší. Průměrně se však použije 0,04 m³ prokladů na 1 m³ řeziva (Vanek, 1992).

8 Prvky ovlivňující kvalitu a rychlost sušení

8.1 Základní informace a prvky pro výstavbu hráně

- Základy hráně - dostatečně zpevněná, odvodněná plocha.
- Podstavce - nejčastěji betonové s minimální výškou 40 cm.
- Podklady - dřevěné hranoly nejčastěji 10x12 cm a 10x15 cm, délka je dána šířkou hráně.
- Proklady - dřevěné latky tloušťky 18 nebo 24 mm, šířky 40 až 60 mm a délky podle šířky hráně
- Zastřešení vlastním materiálem

8.1.1 Pasivní, které nelze ovlivnit:

- 1 Mechanizace běžně používaná na skladě
- 1 Rozměry prokladových latěk používaných na skladě
- 1 Výška podstavců pod hrání
- 1 Lokalizace skladu
- 1 Klima, nadmořská výška, roční období, počasí

8.1.2 Aktivní, které je možno ovlivňovat:

- Prostorové uspořádání skladu
- Rozmístění řeziva v rámci skladu
- Konstrukce hráně – šířka a výška
- Mezera mezi boky řeziva
- Možnost volby tloušťky prokladových latěk
- Volba vertikálních kanálů v rámci hráně

8.1.3 Urychlování přirozeného sušení dřeva

- Řídké uložení hráně
- Speciální konstrukce hrání
- Malá výška a šířka hráně
- Šikmé uložení hráně vůči terénu

- Vertikální kanálky uvnitř hráně
- Natáčení stříšky
- Mobilní ventilátory

(Zejda, 2009).

9 Speciální hráně

Speciální hráně se vyznačují ojedinělým vzhledem a určitou nápaditostí v procesu sušení řeziva. Některé způsoby jsou již zažité a nové stále vznikají. V této kapitole se objasní ty nejznámější a nejzajímavější.

9.1 Kmenování

Zejména jakostní listnaté a BO neomítané řezivo se ukládá do tvaru původního kmene. Způsob je v některých státech poměrně značně rozšířen. Prkna nebo fošny se prokládají ve stejném pořadí, v jakém byla v kmenu po vyjetí nejčastěji z rámové pily. Pro lepší stabilitu se proklady ukládají tak, aby bylo společně provázáno řezivo alespoň ze dvou výřezů. Mezera mezi boky nejširších kusů by měla mít nejméně 10 až 20 cm a tloušťka prokladů minimálně 25 mm. Hlavní důvod tohoto způsobu ukládání je udržení materiálu stejného charakteru až do výroby v jednom souboru. Pokud chceme mít jakost velmi vysokou, doporučuje se materiál ukládat pravou stranou nahoru, zamezí se tím zborcení. Tímto způsobem se ukládá hlavně jakostní borové a listnaté řezivo z výřezů ponechaných v kůře a pořezané na ostro (Švorc, 1953).



Obr. 10 Princip kmenování

(Trebula, 2005)

9.2 Křížové hraně

Do křížových hraní se ukládá hraněné řezivo stejných šířek a délek, jehož délka obvykle nepřesahuje 120 cm, ale například i sloupy a pražce. Při vyrovnávání tohoto materiálu se převážně nepoužívají proklady, ale vrstvy se prokládají vlastním materiálem, čímž ušetříme za proklady. Podle druhu, rozměru a ročního období se potom tvoří mezery mezi jednotlivými kusy, aby sušení probíhalo co možná nejrychleji, ale bez zbytečného poškození materiálu. Ukládají se tak menší kusy, kde by používání prokladu bylo spíše problematické. Uvádí se, že jakost sušení není vysoká a vysoušení je nepravidelné. Řezivo uvnitř těchto až 6 m širokých hraní schne velmi dlouho a nestejněsměrně. V místech, kde přes sebe leží prkna křížem, může řezivo modrat a nevysušit se ani za delší dobu. Široké základy pod hraněmi většinou nejsou rovné a po usušení je řezivo pokřivené. Ve výsledku jsou tyto hraně vhodné a ekonomicky výhodné jen pro kratší a užší řezivo nebo přířezy, kde nepotřebujeme tak vysokou jakost (Peleška, 1963).

9.3 Ukládání do trojúhelníku

Ukládání do trojúhelníku se používá především pro rychlé předsušení nebo dosušení řeziva. Ukládá se bez prokladu do trojúhelníku a nedoporučuje se pro prkna delší jak 4m, jinak prkna praskají a prohýbají se. Suší se tak především podřadné řezivo hlavně na výrobu beden. V místě překrytí (konce materiálu) je sušení pomalejší - šetrnější a méně praská, středové části se naopak suší rychleji (Krečetov, 1954).

9.4 Ukládání do čtverce

Ukládá se podobně jako do trojúhelníku a to zejména kratší přířezy na výrobu dužin do sudů. Střední přířezů jsou volné a mohou dobře vyschnout, naopak na čelech, kde je obvykle proces sušení rychlejší se přířezy překrývají a v koncích se sušení brzdí. Veliká výhoda tohoto procesu sušení je zamezení tvorby čelních trhlin a borcení přířezů přes roh, jelikož jsou všechny přířezy kvalitně zatíženy (Peleška, 1963).



Obr. 11 Speciální hráň u Slavonic

<http://www.bydleni-iq.cz/architektura-a-design/rekreace-relaxace/hran-u-slavonic>

(6.2.2017)

10 Umělé sušení řeziva

Umělé sušení je při použití dřeva na výrobky skoro ve všech případech nutnou technologickou operací. Je to základ všech ostatních technologií dřevozpracujícím průmyslu. Při umělém sušení, při němž je teplo – energie potřebná na odstranění vody ze dřeva přiváděna ze zvláštního zdroje a sušený materiál je uložen v prostředí s řízeným klimatem. Je to plynné prostředí (vzduch), které v průběhu procesu sušení přijímá a odvádí vodní páru odstraněnou ze dřeva. Při sušení řeziva se nesnižuje pouze vlhkost, ale mění se jeho mechanické i fyzikální vlastnosti stejně jako při přirozeném sušení. Mění se pevnost, obrobiteľnosť, výhřevnosť, hmotnosť, rozměry, tvar, izolační schopnost, elektrická a zvuková vodivost, odolnost vůči houbám, plísním a hmyzu. Sušení dřeva je technologickou operací, která určuje kvalitu budoucích výrobků.

Kvalita vysoušeného řeziva a také velikost přidané hodnoty na materiálu závisí na odborné vyspělosti pracovníku v sušárně a na sušárenském zařízení, především jeho technickém stavu.

Abychom mohli sušit správně, levně, rychle a beze ztrát na sušeném materiálu, musí mít sušárenský mistr základní rozsah znalostí o technologii sušení, funkci sušárenského zařízení a možnostech přenastavení chodu sušárny (Kruml, 1974).

10.1 Vývoj umělých sušáren

Poznatky o výhodách umělého sušení a zároveň zvyšující se poptávka po kvalitně vysušeném řezivě používaném v náročnějším prostředí vedly ke stavbě prvních sušáren, dříve nazývaných sušící pece. Byly to jednoduché zděné komory, kam se řezivo rovnalo ručně a vytápělo se kamny na dříví. Komory měly podsklepení, kde se vytápělo a proudění vzduchu probíhalo přirozeně.

Postupem času se sušárny zdokonalovaly v oblasti provedení stavby a vytápění a hlavně se začaly využívat zkušenosti ohledně proudění vzduchu v komoře. K rychlejšímu Konec první světové války znamenal velký rozvoj pro sušení dřeva a zejména objektivní poznatky ohledně významu rovnovážné vlhkosti. Umožnilo vymezení vztahu mezi vlhkostí dřeva a relativní vlhkostí a teplotou vzduchu, ve kterém se řezivo suší nebo využívá. Vědomosti o bobtnání a sesychání dřeva, a také pohybu vlhkosti ve dřevě znamenaly velký pokrok a napomohly k sušení za použití vyšších teplot a rychlosti proudění vzduchu. Byly vypracovány technologické předpisy a sušící řady pro řízení procesu sušení. Zdokonalovala se také tepelná izolace ve stavebním provedení sušáren, vzduchotechnické uspořádání, zlepšil se odvod odpařené vlhkosti a začalo se rovnoměrněji sušit.

Tyto všechny poznatky přispívaly k lepší ekonomii, ke zkvalitňování a zkracování doby sušení.

Po druhé světové válce se začaly tyto praktiky používat v praxi všude po světě a prosadilo se příčné proudění vzduchu – kolmo ke směru dřevních vláken. Osové ventilátory umožnily změny směru proudění vzduchu a sušárny s přirozeným prouděním se přestaly používat. Topné zařízení začaly dokazovat pružnou regulaci a možnost vysokých teplot během krátké doby a zdokonalovaly se odvětrávací a vlhčící zařízení. V důsledku vyšších teplot se přešlo z betonových na celokovové nerezové sušárny, které byly naprosto vzduchotěsné a tepelně izolované. Sušárny se začaly vybavovat přístroji, které mohly sami řídit proces vlastního sušení a přecházelo se až na plnoautomatický proces sušení.

Začaly se uplatňovat nové technologie sušení, zejména vysokoteplotní a dielektrické, ale také prověřovat nové možnosti sušení pomocí zkoušek a laboratorních testů. Bylo to sušení ve vakuu, chemické nebo např. odstředivé (Trebula & Klement, 2005).

11 Teplovzdušné sušení řeziva

Teplovzdušné sušení řeziva a drobných pilařských sortimentů probíhá v komorových sušárnách pomocí konvekčního ohřevu dřeva při normálním atmosférickém tlaku vzduchu a neobejde se bez regulace teploty a vlhkosti vzduchu v sušárně. U tohoto způsobu sušení dřeva se jako sušící prostředí používá směs vzduchu a vodní páry o teplotě 40 až 100°C. Toto prostředí je v případě dodržení všech požadavků vhodné k odstraňování vlhkosti ze dřeva. Teplota a vlhkost sušícího prostředí se řídí podle požadavku na konečnou kvalitu řeziva. Jistou nevýhodou tohoto způsobu sušení je, že materiál se při sušení může bortit, praskat nebo sesychat.

Každá dřevina nebo tloušťka řeziva reaguje jinak na vlhkost a teplotu vzduchu v sušárně. Jehličnany obecně snášejí beze škody vyšší teplotu než listnáče a jinak vysychá dřevo předsušené nebo surové. Můžou se také vyskytnout anomálie jako reakční dřevo tahové a tlakové nebo náhle střídání úzkých a širokých letokruhů. Všechny tyto činitele se musí brát v potaz, jelikož se podílejí na průběhu sušení a z toho vyplývá, že každý proces sušení probíhá za jiných podmínek a musí se předem naplánovat. Nejprve si musíme stanovit dobu sušení, k čemuž potřebujeme znát všechny činitele, které ji ovlivňují (tloušťka a typ řeziva). Určit nebo vypracovat sušící řád a neméně důležité je vést záznam o sušení, který se v průběhu sušení doplňuje a na konci procesu uzavře (Trebula & Klement, 2002).

11.1 Stanovení doby sušení

Stanovení doby sušení je nejdůležitější ukazatel sušení, jelikož v této fázi se operuje s největšími náklady, kterými jsou čas a ekonomický ukazatel. Dle doby posuzujeme výkon, kapacitu, sušící řád, technologické provádění sušícího procesu a technologickou dokonalost sušáren.

Vlastní sušení řeziva je doba při jednom procesu sušení a to od konce ohřevu do doby než přejdeme ke konečnému ošetření řeziva.

Celková doba sušení řeziva je čas na vlastní dobu sušení s přičtenou dobou potřebnou na ohřev a konečné ošetření materiálu. Dnes se tyto doby dají zjistit s tabulek a grafů, nebo výpočtem. Největší význam pro nastavení sušárny a řízení procesu sušení mají hlavní sušící činitele, kterými je proudění sušícího prostředí, teplo a vlhkost vzduchu. K vedlejším sušícím činitelům patří objemová hmotnost, vlhkost a tloušťka řeziva, směr vláken, druh dřeviny, provoz a technický stav sušáren a v neposlední řadě požadavek na jakost vysušeného řeziva.

Všechny vlivy těchto činitelů se při procesu uplatňují a výsledek je doba sušení. Tento fakt využíváme k možnostem, jak sušit rychle, hospodárně a s vysokou jakostí řeziva (Kruml, 1974).

11.2 Teplota při sušení

Hlavní problém při sušení není odpařování vlhkosti z řeziva (přeměna vody v páru), nýbrž pomalé proudění vlhkosti z řeziva. Zvýšením teploty sušícího prostředí se tento proces dá nejvíce urychlit, a proto platí pravidlo, že čím vyšší je teplota, tím je kratší sušení. U jehličnanů používáme teploty od 60 do 90°C při teplovzdušném sušení a do 120°C při sušení přehřátou párou. Z důvodu citlivějších listnáčů se používají teploty od 40 do 80°C. Zpočátku se v sušárně udržuje teplota nejnižší pod bod nasycení vláken a ke konci se používá teplota nejvyšší (Hildebrand, 1969).

11.3 Vlhkost vzduchu v sušárně

Čím vyšší je vlhkost vzduchu v sušícím prostředí, tím menší je jeho schopnost pohlcovat vodní páru. V rámci urychlení procesu sušení a ušetření nákladů můžeme tento fakt využít. Musíme udržet co nevhodnější plynulý tok ve dřevě při nejmenším spádu vlhkosti, jelikož největším problémem je proudění vody z vnitřku dřeva směrem na povrch. Při rychlém sušení se přerušují povrchové vrstvy, které pak špatně vodí vodu a vytváří škodlivý strmý spád vlhkosti. Nejrychlejší sušení nastává, pokud se nepřerušují povrchové vrstvy a zůstávají vlhké. Největší nebezpečí porušení vrstev je zpočátku sušení u surového materiálu, a proto musíme během této doby udržovat vysokou relativní vlhkost a postupem sušení ji snižovat. Ke konci procesu nemá zásadní význam, protože už nehrozí přesušení povrchu. Při sušení listnáčů udržujeme vyšší relativní vlhkost než u jehličnanů, jelikož jsou citlivější. Zpočátku sušení je vlhkost vzduchu okolo 85 % a ke konci klesá až na 30%. Vlhkost vzduchu je dána také sušícími řády (Trebula, 1989).

11.4 Sušící řády

Sušící řády jsou sestavená a rozepsaná data vlhkostí a teplot vzduchu v sušárně pro daný proces sušení. Je v závislosti na době sušení nebo vlhkosti sušeného materiálu. Máme řády vlhkovní a časové, které mají své výhody a nevýhody. Je několik způsobů jak tyto řády sestavit, v praxi je potřeba, aby byly co nejjednodušší. Pro sušárenského mistra nesmí být nikterak složité, aby je musel složitě vypočítávat. Sušící řád může být ve formě grafu nebo tabulky. Graf je pro přehlednost průběhu hodnot jistě přehlednější, co se týče relativní vlhkosti vzduchu a dřeva, ale potíže činí přesné odečítání teplot v závislosti na vlhkosti řeziva a na čase. Využívají se pro znázornění průběhu celého procesu sušení. Sušící řády, pro vysvětlení jak máme sušit a jako návod, se osvědčili lépe ve formě tabulek (Kruml, 1974).

11.4.1 Vlhkovní sušící řád

Tento řád v základním znění obsahuje vlhkost sušeného řeziva, rozpis suché a vlhké teploty, dřevinu tloušťku a tvrdost sušení. Podle řádu zjistíme, jakou vlhkost máme v sušárně udržovat. Největší předností je přizpůsobování se sušenému řezivu a to pomocí sušících vzorků, které se suší spolu s ostatním řezivem. Sušícími vzorky určujeme pokles vlhkosti v sušeném materiálu a zároveň jeho stav. V praxi můžeme tedy proces zpomalit nebo zrychlit a předejít tak poničení řeziva nebo naopak ušetřit náklady spojené se zbytečně dlouhým sušením. Z ekonomického hlediska můžeme tedy provést nejrychlejší možný způsob vysušení řeziva, ale je k tomu zapotřebí sušárenský mistr, který v pravidelných intervalech musí vzorky ze sušárny vyjímat ke zvážení. To není zrovna příjemná práce chodit do 100°C a je to práce navíc s vyřezáváním vzorků, určováním vlhkosti a vážením (Kruml, 1974).

11.4.2 Časový sušicí řád

Kromě nezbytných údajů o sušeném materiálu se udávají hlavně hodiny počítané od začátku sušení nebo časové odstupy, kdy se má změnit klima v sušárně. Dále udává teplotu vlhkou a suchou. V tomto případě se zpravidla neřídíme vlhkostí sušeného materiálu, ale časem. Používání těchto řádů je v praxi jednodušší, protože potřebujeme znát jen počáteční vlhkost řeziva k sušení, ale mají malou přizpůsobivost k řezivu. Pokud však zvolíme správný časový sušicí řád, tak se řezivu nesníží jakost. V praxi se u našich hlavním dřevin uvádí pro každý případ více variant sušení. Měkké se používá u řeziva náročného na jakost a u nevyzkoušených sušáren. Tvrdý sušicí řád se naopak používá řeziva, které můžeme sušit rychleji (smrk) a u vyzkoušených sušáren, v nichž můžeme udržovat předepsané klima a jsou dobře fungující a vzduchotěsné (Koberle, 1954).

12 Postup sušení v praxi

Sušení vždy začíná na místě, kde se vyrovnává na sušárenské vozíky a odváží do sušáren. Některé kroky v této kapitole jsou dnes již automatizované, ale pro úplnost informací se zmíním o všech procesech, které je potřeba provést. Všechny operace v procesu můžeme rozdělit na tři základní úseky.

1. Do prvního úseku spadají všechny operace od vyrovnávání řeziva na sušárenské vozíky až po uvedení sušárny do provozu. Musí se určit počáteční vlhkost, vyřezat sušicí vzorky a uložit do hrání, naplánovat sušicí proces a připravit sušárnu k provozu tzn.: Zkontrolovat funkci jednotlivých částí, provést údržbu a čištění sušárny, zavezení řeziva do sušárny a připravit ji ke spuštění.

2. Proces sušení, do kterého spadá ohřev řeziva, vlastní sušení a konečné ošetření ve kterém se řezivo ochlazuje, ošetřuje, paří a zjišťuje se jakost vysušeného řeziva.

3. Uskladnění vysušeného materiálu, jelikož řezivo není hned po sušení způsobilé k dalšímu zpracování a je potřeba, aby se po určitou dobu uskladnilo ve vhodném prostředí k ustálení.

12.1 První úsek operací před sušením

Sem spadají všechny přípravné práce, které je potřeba provést před zavezením do sušárny a spuštěním procesu sušení.

12.1.1 Vyřezávání sušících vzorků a určování počáteční vlhkosti

Při vyrovnávání hrání se namátkou vyberou a odloží některé kusy řeziva, z nichž se pak vyřezou sušící vzorky pro určení počáteční vlhkosti řeziva. Z hráně by to měli být vzorky nejvlhčí, středně vlhké a nejsušší. Pokud se sušící vzorky nevyřezávají, určí se vlhkost váhovou zkouškou nebo pomocí elektrických vlhkoměrů za podmínky předsušeného řeziva pod BNV.

Před váhovou zkouškou odebíráme minimálně tři vzorky a s časovým předstihem, jelikož vysoušení vlhkostních vzorků trvá až jeden den. Při měření počáteční vlhkosti elektrickým vlhkoměrem se provádí více měření na různých kusech řeziva, protože se musí zachytit správný rozsah vlhkosti a vlhkoměry nejsou zcela přesné. Na vyřezávání a určování sušících vzorků závisí kvalita sušení, a proto se na tuto operaci klade velký důraz (Janík, 1960).

12.1.2 Vyrovnávání řeziva do hrání

Je další důležitá přípravná operace, na které závisí jakost vysušeného materiálu. Vyrovnáváním řeziva do hrání a jeho prokládáním se zlepšují podmínky pro rovnoměrné proudění vzduchu vrstvami řeziva a také jeho rovnoměrné sušení v rovném nezborceném stavu. Sušárenské vozíky, na které řezivo vyrovnáváme, mají délku uskladněného řeziva, aby se řezivo neprohýbalo. Ložná plocha musí být rovná a příčné proklady husté.

Hráň musí mít všechny strany svislé a musí lícovat. Za splnění těchto podmínek se řezivo rovnoměrněji suší. Jak již bylo zmíněno pro přirozené sušení (8.6), také při umělém se dávají proklady nejčastěji ze smrkového řeziva a jejich tloušťka se mění s tloušťkou řeziva. Proklady v hrání vyrovnáváme přesně nad sebou a vzdálenost prokladů mezi sebou závisí také na tloušťce řeziva a druhu dřeviny. Pro tenké řezivo se dávají tenčí proklady s menšími rozestupy a u tlustšího je to naopak. Při vyrovnávání hrání uložíme na přístupná místa sušící vzorky a hráně se mohou zavést do sušárny a naplánovat proces sušení jak je uvedeno v 11. kapitole (Zejda, 2009).

12.1.3 Příprava sušárny

Do této části spadají všechny údržbové práce jako mazání ložisek otočných zařízení, kontrola pohyblivých částí sušárny a ochranný nátěr na celém vnitřku. Sušárna se udržuje v čistotě, bez pilin, kůry, třísek a prachu. Kontrolují se vývody ze sušárny nebo těsnění dveří. Pozornost při přípravě věnujeme také správné funkčnosti psychrometrů. Poté se dveře od sušárny a komíny pro odvod teplého vzduchu zavřou a přechází se k ohřevu (Dejmal , 1995).

12.2 Proces sušení

Do této části spadají procesy jako je ohřev, vlastní sušení, konečné ošetření řeziva, ochlazování, zjišťování jakosti a uskladnění sušeného materiálu.

12.2.1 Ohřev

Ohřev provádíme za účelem prohřátí materiálu, nikoliv pro přílišné sušení nebo vlhčení. Pokud začne řezivo při ohřevu vysychat, přeruší se povrchové vrstvy, zatímco středové vrstvy jsou ještě chladné. To způsobí zpomalení prohřátí řeziva, jelikož se teplo na povrchu již spotřebovává na odpařování vlhkosti a povrchová vrstva zkornatí, praská a vytváří se trhliny. Abychom řezivo při ohřevu nepoškodili, musíme dodržovat při ohřevu psychrometrický rozdíl při sušení jehličnanů 4 – 6°C a u listnáčů 2 - 3°C.

Menší psychrometrické rozdíly platí pro tlustší a syrové řezivo, větší pro tenké a předsušené řezivo. Teplota vzduchu v sušárně se zvyšuje co nejrychleji na počáteční teplotu sušení v sušícím řádu, podle kterého začneme sušit. Doba ohřevu závisí na tloušťce materiálu, v praxi však platí pravidlo, že na 1 cm tloušťky řeziva je zapotřebí 1 hodina ohřevu. Doba ohřevu se počítá od okamžiku, kdy v sušárně začne stoupat teplota.

Nejprve se zapíše počáteční stavy měřících zařízení, spustí se ventilátory a pozvolna se otevírají ventily topných těles. Během celého ohřevu musí zůstat komíny zavřené. Dle kontroly psychrometru se popřípadě může otevřít ventil vlhčení a vpustí se tolik páry, aby se zachoval předepsaný psychrometrický rozdíl. V potřebných intervalech se sledují psychrometry a řídí se průběh procesu. Během stoupaní teploty řídíme psychrometrický rozdíl dvěma způsoby.

V případě, že jsou ventily topení otevřené naplno, reguluje se psychrometrický rozdíl pouze ventilem vlhčení. Pokud však vlhčící zařízení nestačí udržovat potřebný psychrometrický rozdíl, otevře se ventil vlhčení naplno a řídíme rozdíl regulací topného ventilu. Když se dosáhne požadovaná teplota ohřevu, vypne se část topného zařízení nebo páry, aby teplota dále nestoupala. Tento stav se udržuje s psychrometrickým rozdílem až do konce ohřevu (Trávník, 1962).

12.2.2 Vlastní sušení

Vlastní sušení začíná po ohřevu, kdy se musí udržovat suchá a vlhká teplota předepsaná sušícím řádem, který se stanovil na začátku. V průběhu sušení se mění klima v sušárně na předepsané hodnoty. Pokud se používají sušící vzorky, tak se v průběhu váží a zjišťuje se pokles jejich vlhkosti. V praxi platí, že s přibývajícím dobou sušení teplota vlhkého teploměru klesá a teplota suchého teploměru stoupá. Vše musí pobíhat dle sušícího řádu, aby na sebe navazovali fyzikální zákonitosti, podle nichž probíhá proces sušení tj. vytváření spádu vlhkosti, napětí ve dřevě nebo sesychání.

Během vlastního sušení se vlhčí co nejméně, ideálně vůbec, jelikož k úpravě vlhkosti vzduchu se využívá páry, která se uvolňuje ze sušeného dřeva. Pokud se vlhčí během vlastního sušení, znamená to ekonomické a tepelné ztráty, špatné hospodaření s párou a zvyšování nákladů na sušení (Bandouch, 1989).

12.2.2.1 Ztráty a hospodaření během vlastního sušení

Během vlastního sušení je někdy zapotřebí vlhčit a to zejména pokud sušárny nejsou těsné a vlhkost uvolněná z řeziva nestačí krýt ztráty vzniklé únikem. V zimním období k tomu může přispívat i nedostatečná izolace – to se projevuje kondenzací vodní páry na vnitřních stranách sušárny. Tato závada se dá odstranit řádnou údržbou nebo rekonstrukcí sušárny. Dlouhodobě se tato investice zcela jistě vrátí.

Pokud je nepečlivá obsluha sušáren a nedostatečně se o ni zajímá během procesu vlastního sušení, mohou nastat komplikace s malou vlhkostí také. V krajním případě je možné situaci zachránit dočasným zavřením komínů (hromadění vlhkosti uvnitř). I tento případ však znamená ztrátu a nemělo by k němu docházet.

Při vlastním sušení by se tedy mělo používat k řízení sušárny pouze přívodních a odvětrávacích komínů a ventilů od topení, kdy regulujeme vlhkost vzduchu a teplotu v sušárně. Otevřením komínů se vypuzuje vlhký vzduch a na jeho místo přichází chladný a suchý vzduch. Způsobuje snižování vlhkosti a teploty vzduchu.

Zjistí-li se na psychrometru, že suchá teplota odpovídá teplotě předepsané, avšak psychrometrický rozdíl je menší (vlhká teplota je vyšší než předepsaná), upraví se klima pootevřením nebo otevřením komínů, ale sníží se teplota. V tomto případě se musí pootevřít ventily topení.

Zjistí-li se na psychrometru, že suchá teplota je odpovídající, avšak psychrometrický rozdíl je větší, upraví se klima přivřením nebo zavřením komínů. Pokud to nepomůže, musí se přivlhčit a to má za následek vyšší teplotu v sušárně – přivírají se topná tělesa.

Neodpovídá-li suchá teplota předepsané, upravuje se regulací topného zařízení. Při zvyšování teploty se zvyšuje i psychrometrický rozdíl, a proto se současně s tím musí upravovat i vlhká teplota zavíráním komínů.

Všechny tyto případy a zásahy v sušárně se dělají pozvolna, jelikož teploměry mají prodlevy, proto musíme např. komíny přivírat dříve, než ukáže psychrometr, aby nedošlo k výkyvu na druhou stranu. V praxi se výkyvy suchých a vlhkých teplot dějí zcela běžně a pro sušené řezivo jsou nejnebezpečnější výkyvy psychrometrického rozdílu od předepsaného. Na jeho dodržování se tedy klade největší pozornost a z toho vyplývá, že pokud se zachová předepsaný psychrometrický rozdíl – nevadí např. teplota o 5°C vyšší než je stanovená řádem.

Dle dlouholetých zkušeností by neměl teplota v sušárně kolísat o více než +/- 5°C a psychrometrický rozdíl o +/- 1/10 hodnoty stanovené sušícím řádem.

Suší-li se podle časových sušících řádů (11.4.2) a doba stanovená pro sušení uplynula, kontroluje se elektrickým vlhkoměrem, zda souhlasí vlhkost řeziva požadované konečné vlhkosti. Provádí se více měření a průměr musí souhlasit nebo být menší než konečná vlhkost.

Pokud se suší podle vlhkostních sušících řádů (11.4.1), považuje se vlastní sušení za ukončené, jestliže vlhkost většiny sušících vzorků klesne pod požadovanou konečnou vlhkost, pro jistotu se může použít také elektronický vlhkoměr. Často se v praxi stává, že vlhkost vzorků je na konci sušení až o 3% nižší než vlhkost ostatního řeziva. Naměřené konečné vlhkosti se zapisují do záznamu o sušení (Kruml, 1974).

12.2.3 Konečné ošetření řeziva

Vždy záleží na požadované jakosti vysušeného materiálu a za jakým účelem bude použito, nebo jaké výrobky se z něho budou vyrábět. Záleží také na ostrosti sušení, rozdílech v počáteční vlhkosti nebo tloušťce řeziva. Za určitých podmínek se může řezivo ihned po skončení vlastního sušení vyvážet ze sušárny. Například za letního teplého období u tenkého jehličnatého řeziva vysušeného na nízkou konečnou vlhkost, kde nebývají vysoké nároky na jakost. To se děje jen ojediněle, dřevu neškodí změna teploty jak při sušení, tak venku v okolí sušárny, pokud zároveň není provázena změnami vlhkostmi dřeva.

Při vyvezení horkého dřeva ze sušárny nastává samovolné proudění vnějšího vzduchu kolem řeziva, vzduch se ohřívá a silně vysušuje. Řezivo může dodatečně dále vysychat a poškodit se. Proto se musí řezivo v praxi vždy před vyvezením ze sušárny ochladit (Dejmal, 1995).

12.2.3.1 Ochlazování

Řezivo nikdy zbytečně neochlazujeme, protože společně s ochlazováním řeziva v sušárně se ochlazují i stěny a vnitřní zařízení sušárny. Při dalším sušení se pak musí sušárna znovu zahřívat a zbytečně se plýtvá energiemi. V praxi se tedy snaží řezivo co nejdříve vyvézt a nové do sušárny zavézt, aby se využilo naakumulovaného tepla. Teoreticky by mělo ochlazování trvat stejně dlouho jako ohřev, v praxi to však trvá dobu kratší. Platí zde zásadní pravidlo, že řezivo se nevyváží ze sušárny dříve, dokud je rozdíl teplot mezi sušárnou a prostorem kam řezivo vyvážíme větší než 30°C. U citlivých dřevin je potřeba kontrolovat psychrometr, zabraňuje se tím poškození řeziva a napomáhá se vyrovnání vlhkosti na příčném řezu. Sušárenský mistr vždy musí stanovit správnou dobu a podmínky ochlazování.

Zpočátku ochlazování se vždy zavírají parní ventily topení (nebo vlhčení), ventilátory se nechají v chodu a pootevřou se nebo zcela otevřou komíny. Při tomto postupu začne teplota v sušárně rychle klesat a je třeba kontrolovat psychrometrický rozdíl, který se může poupravit přivlhčením nebo zpomalením poklesu teploty. Pokud klesá teplota při otevřených komínech pomalu, mohou se ke konci otevřít i dveře od sušárny a potom se materiál vyváží (Babiak, 1990).

12.2.4 Zjišťování jakosti

Jakost vysušeného řeziva se určuje rozdíly v konečné vlhkosti jednotlivých kusů řeziva, které jsou způsobeny velkými rozdíly v počáteční vlhkosti řeziva v sušárně a během vlastního sušení se nestačí vyrovnat. Čím ostřejší je sušení, tím více se uplatňuje různorodá stavba dřeva, což přispívá k rozdílům ve vlhkosti. U dobře vysušeného řeziva by tyto rozdíly neměli být vyšší než 2% od požadované konečné vlhkosti. Konečná vlhkost se určuje elektrickými vlhkoměry nebo váhovou zkouškou.

Jakost můžeme určit také vlhkostním spádem – jeho velikost je závislá na tloušťce materiálu, vlhkosti, na kterou se řezivo vysouší, na ostrosti sušícího řádu a na tom, jestli řezivo na konci je ošetřeno zlahodněním nebo pařením. Rozdíly mezi vlhkostí povrchových a středových vrstev nemají přesahovat 2 – 3%. Další způsob měření jakosti je vidličkovou a hřebenovou zkouškou na zkornatění a může se také určit pouhým okem podle vzniklých trhlin.

Trhliny jakéhokoliv druhu kromě vláskových a malých čelních jsou vážným poškozením vysušeného řeziva a znehodnocení se určuje početností a rozměry trhlin. Dobře vysušené řezivo nesmí mít trhliny kromě krátkých koncových, které se vyskytují téměř vždy (Kruml, 1974).

12.3 Uskladnění vysušeného materiálu

Kondicionování je proces ustálení řeziva po sušení a ošetření. Ve dřevě musí dojít k úplnému vyrovnání vlhkosti a uvolnění zbývajících napětí. Doba k tomu potřebná je různá a závisí na několika činitelích, které jsem již několikrát zmiňoval. Tj. dřevina, tloušťka, konečná vlhkost, ostrost sušení a konečné ošetření. Doba tedy nelze přesně určit, ale obecně rozmezí 2 – 5 dní. Řezivo se musí uskladňovat v krytých prostorách, jejíž klimatické podmínky odpovídají konečné vlhkosti.

Řezivo se nenechává na volném prostranství, jelikož navlhá. Proto by neměl chybět sklad vysušeného materiálu, kde se může udržovat potřebné klima. Pokud se vysušené řezivo nezpracovává na místě a převáží se, musí se chránit před navlháním zakrytím při co nejrychlejším převozu (Dejmal, 2004).

13 Vysokoteplotní sušení řeziva

Od teplovzdušného se liší sušícím prostředím, kde je buď směs vzduchu a přehřáté páry nebo přehřátá pára. Obecně převládá názor, že vysokoteplotní sušení dřeva – sušení při teplotách nad 100°C je vhodné zejména pro jehličnatá dřeva. Suší se zpravidla materiál do tloušťky 50 mm. Tento způsob sušení lze použít také na sušení topolu, lípy a tropických dřev s obdobnou hustotou dřeva. Aby nedošlo k poškození struktury materiálu kolapsem a trhlinami, zvyšuje se teplota nad 100°C až po dosažení meze hygroskopicity.

Při sušení materiálu o vlhkosti nad mezí hygroskopicity se udržují parametry sušícího prostředí jako u klasického teplovzdušného sušení. Při tomto způsobu sušení mohou vznikat celní trhliny, proto se doporučuje před zahájením procesu chránit čela desek.

V případě, že je sušícím prostředím směs vzduchu a přehřáté páry přestane se po překročení teploty 100°C s regulací sušícího prostředí a bez zvlhčování při otevřených klapkách v nasávacích a odvětrávacích komínkách je dosaženo nízké rovnovážné vlhkosti dřeva. Tento způsob lze použít pro tenké jehličnaté sortimenty při nízkých požadavcích na výslednou kvalitu dřeva.

Při sušení v přehřáté páře je teplota suchého teploměru maximálně 130°C, teplota mokrého teploměru je konstantní 100°C. Podmínkou je hermetičnost konstrukce sušící komory. V opačném případě se proces sušení stane nekontrolovaným.

Přehřátá pára má stejné vysoušecí vlastnosti jako suchý nebo vlhký nenasycený vzduch. Tzn., že pokud dáme vlhké dřevo do přehřáté páry, bude vysychat, dokud nevyschne na rovnovážnou vlhkost nebo dokud se přehřátá pára nenasytí vodní párou ze dřeva a nestane se z ní pára nasycená.

Dřevo, které bylo podrobena vysokoteplotnímu sušení má po vysušení tmavší barvu a sníženou rovnovážnou vlhkost až o 4 %. Při obrábění dřeva vzniká kratší tříska. Rychlost sušení je 3 až 5 – ti násobná ve srovnání s teplovzdušným sušením. Komora sušárny musí být velmi dobře izolována tepelně. S ohledem na velké množství odpařené vlhkosti musí být i vysoký přepravní výkon ventilátoru. V důsledku vysokých teplot je dřevo plastifikováno, čímž je částečně omezena tvorba trhlin. Vysoké teploty se projevují barevnými změnami. Rychlost sušení je vysoká (Zejda, 2009).

13.1 Výhody

Velmi krátký čas sušení, zhruba 40 – 60% času teplovzdušného sušení. Nižší spotřeba tepla a elektrické energie, jednoduché ovládání průběhu sušení pomocí regulátoru teploty. Žádné povrchové trhliny, snižuje se navlhavost a ekonomika sušení je velmi příznivá (Kruml, 1974).

13.2 Nevýhody

Zejména vhodné jen pro jehličnaté dřeviny menších rozměrů, ve kterých často vznikají vnitřní trhliny a zřícení buněk (do 130°C), při vyšší teploty jsou tyto chyby méně časté, jelikož dochází k plastifikaci dřeva. Dále vzniká povrchové zabarvení, které je možné odstranit hoblováním.

Větší množství vytékání pryskyřice v důsledku velkého namáhání sušeného materiálu vysokou teplotou. Je zapotřebí vyšších rychlostí proudění vzduchu a vysoký teplený příkon sušárny v krátkém čase ohřevu. Veliký problém bývá v netěsnosti a korozi sušáren (Trebula & Klement, 2002).



Obr. 12 Schéma vysokoteplotní sušárny řeziva

(Zejda, 2009)

14 Kondenzační sušení řeziva

Odvod a přívod vzduchu prochází komíny a nepoužívá se vlhčení. V praxi se dělí na dva technické postupy kondenzačního sušení.

14.1 Princip částečného odvlhčení proudícího vzduchu

Vzduch nepřetržitě cirkuluje mezi prostorem v sušárně a kondenzačním zařízením, kde dochází k jeho sušení ochlazením a odvodem kondenzované vody. Odvlhčený cirkulující vzduch v sušárně je okolo 35 %. Ochlazený a vysušený vzduch je vedený skrz hlavní kondenzátor, kde se ohřívá a putuje zpět do sušárny. Dále je v sušárně nainstalovaný ohříváč s přívodem primární energie pro počáteční proces sušení, kde se upravuje na pracovní teplotu a přídavný kondenzátor s ventilátorem chladící vzduch pro odvod přebytečného tepla.

Teploty se pohybují mezi 25 až 45 °C, maximálně však až do 70 °C. Teplota sušení je tedy relativně nízká a šetrná k sušenému materiálu, ale čas sušení je dlouhý, spotřeba energie vysoká a kvalita vysušení velmi dobrá. Tento typ sušení se využívá pro tvrdé, citlivé a drahé dřeviny, kde se požaduje vysoká kvalita. Hospodárnost by se v této metodě však hledala těžko. Příprava a sušení je obdobná jako u komorového sušení, ale zlahodnění a ochlazování se neprovádí. Zařízení jsou určena na umělé předsušení řeziva a pomocí tepelného čerpadla a dosušením a dosušení klasickým způsobem na požadovanou konečnou vlhkost. Předsoušení se používá z vysokým počátečních vlhkostí na 40 – 25 % vlhkosti při teplotě 40 °C. Dосуšení se provádí až na 8 – 10% při parametrech sušícího prostředí stanovených normou pro umělé sušení řeziva.

Rychlost proudění vzduchu je 2 m/s a v vlastní sušení řeziva se provádí sušícím prostředím, kde cirkulaci vzduchu zabezpečují ventilátory a výměníky tepla. Přívod a odvod čerstvého vzduchu se provádí skrz rekuperační zařízení, které umožňuje znovu získat část tepla odcházející sušícím prostředím ven (Kruml, 1974).

14.2 Princip úplného odvlhčení vzduchu

Jak již název vypovídá, v tomto případě se v kondenzátoru vzduch odvlhčí úplně. Z ekonomického hlediska tedy vyplývá, že kondenzační sušení se využívá tam, kde se nevyžadují velké denní výkony, není požadovaná nízká konečná vlhkost, je dostupná pouze elektrická energie a suší se hrubé tvrdé dřeviny s malými teplotami (Dejmal, 2004).

14.3 Výhody

Šetrné sušení vhodné pro tvrdé a drahé listnaté dřeviny. Nevznikají velké ztráty na řezivu (okolo 3 %), vysoká flexibilita a možnosti sušit různé druhy dřevin s různou počáteční vlhkostí a tloušťkou. Tato metoda je také šetrná vůči životnímu prostředí, jelikož neprodukuje žádné emise a obsluha sušárny je jednoduchá (Kruml, 1974).

14.4 Nevýhody

Vyšší náklady z důvodu až 3 – krát delšího času na sušení než je zapotřebí při konvekční metodě. Pokud je požadovaná konečná vlhkost nižší než 14 %, náklady vzrostou ještě více. Pro jehličnaté a měkké listnaté dřeviny se tato metoda nedoporučuje jednak z důvodu ne hospodárnosti (tyto dřeviny se dají sušit rychleji a efektivněji) a také může nastat změna barvy, protože se velké množství vody při tak nízkých teplotách nestačí odpařovat z povrchu dřeva (Trebula & Klement, 2002).

15 Vakuové sušení řeziva

V dnešní době se využívají dvě metody sušení pomocí vakua. První metoda je založena na zvýšení teploty topným tělesem a druhá na zvyšování teploty pomocí vysokofrekvenčního signálu. Vakuové sušení řeziva je založeno na vytvoření podtlaku v bezprostředním okolí vysoušeného dřeva a tlak v komoře bývá $10^4 - 10^3$ Pa, ale i vyšší. V důsledku toho dochází ke zrychlení pohybu vlhkosti přes dřevní strukturu, což znamená vyšší rychlost vysoušení. Sušení probíhá zpravidla při teplotách do 50°C místo normálních 60 - 120°C. Jedná se tedy spíše o nízkoteplotní způsob sušení řeziva. Podtlak je stav plynu, par nebo směsí, který vzniká v případě, že je jejich tlak menší než okamžitý atmosférický tlak vzduchu. Díky těmto vlastnostem se tento typ sušení používá především pro dosažení vysoké kvality a jakosti řeziva, nebo pro zrychlení procesu sušení, jelikož oproti např. vysokoteplotnímu sušení je vakuově sušené řezivo vysušené 3 – násobně rychleji.

Bod varu se snižuje s klesajícím tlakem a nutné množství tepla na vypařování vody se zvyšuje. To je nepříznivý energetický jev ale zvýšení není větší než několik procent. Při vakuovém sušení se musí dávat pozor na tlakovou a teplotní závislost kinematické viskozity sušícího plynu, který je také závislý s tlakem a přestupem tepla při určité rychlosti. Z toho vyplývá, že s klesáním absolutního tlaku sušícího prostředí se dosáhne stejně velký konvektivní přestup tepla při zvýšení rychlosti sušícího plynu. Vzhledem na termodynamické podmínky procesu sušení dřeva je vakuové daleko příznivější než klasické sušení. Jsou lepší gradienty vlhkosti, teploty a tlaku. Úplně nepříznivější jsou podmínky vakuového sušení s vysokofrekvenčním ohřevem a termodynamická analýza ukazuje, že vakuový způsob je intenzivní proces sušení. Největší význam má výběr sušícího prostředí, jelikož s ním se ovlivňuje konstrukce sušárny, regulace a spotřeba tepla, elektrické energie a kvalita vysušeného materiálu (Trebula, 1993).

15.1 Vakuové sušení s přehřátou párou

Zlepšením zařízení a regulační techniky se vytvořilo konvektivní vakuové sušení v přehřáté páře. Časem se tento způsob osvědčil a má nejvíce výhod. Přehřátá pára má při stejném tlaku vyšší teplotu jako příslušející nasycená pára nebo nižší tlak při stejné teplotě. Je možné ji získat zvětšením objemu nasycené páry, která je spojená se snížením tlaku. Pokud v sušárně není vzduch, pára se ohřeje nad teplotu varu vody – má sušící schopnost. Při relativním tlaku páry pod 100 %, odebírá v sušárně vodu ze dřeva.

Pokud je vyšší teplota páry ve vztahu k bodu varu vody, potom je nižší relativní tlak přehřáté páry, čímž se zvýší pohlcovací schopnost a sušení je rychlejší. S přehřátou párou je tedy sušení možné při teplotě pod 100 °C. Sušení v přehřáté páře probíhá na základě zvláštních zákonitostí transportu vody při tomto způsobu nejen rychle, ale i jemněji v porovnání se sušením ve směsi páry a vzduchu při stejných teplotních podmínkách (Trebula, 1993).

15.1.1 Průběh sušení s přehřátou párou

Mokrý dřev je nahříván přehřátou párou. Pokud má povrch dřeva teplotu pod mezí ochlazení přehřáté páry, začne voda kondenzovat a ohřev dřeva se velmi urychlí, až dosáhne teploty bodu varu vody.

Voda z povrchu se při konstantní rychlosti vypařuje a tlak nasycené páry je o něco vyšší než tlak přehřáté páry. Pohyb vody je v důsledku absolutního spádu tlaku skrz mezní vrstvu na povrchu do přehřáté páry. Tento pohyb vody zevnitř na

povrch jde konstantní rychlostí sušení, v závislosti od teplotních rozdílů mezi přehřátou párou a teplotou povrchu dřeva, která je rovná teplotě varu vody.

V určitém časovém úseku se pohyb vody na povrch snižuje a dosáhne hodnoty pod BNV, která se stále víc přenáší dovnitř. Teplota povrchu se zvyšuje a vytváří se malý vlhkostní spád ve dřevě. Poslední úsek sušení nastává, pokud je na celém materiálu vlhkost pod BNV. Tento proces se vyznačuje vysokým stoupáním teploty uvnitř dřeva, která přibližuje k teplotě přehřáté páry. Úplná shoda teplot nastane, když je dřevo rovnoměrně vysušené na rovnovážnou vlhkost, která odpovídá teplotě přehřáté páry.

Toto sušení nezbarvuje dřevo v důsledku nízkého podílu kyslíku v sušárně, který způsobuje oxidační procesy i během sušení s teplotami 60 až 80 °C (Dejmal, 2004).

15.1.2 Přehřátá pára v porovnání s teplovzdušným sušením

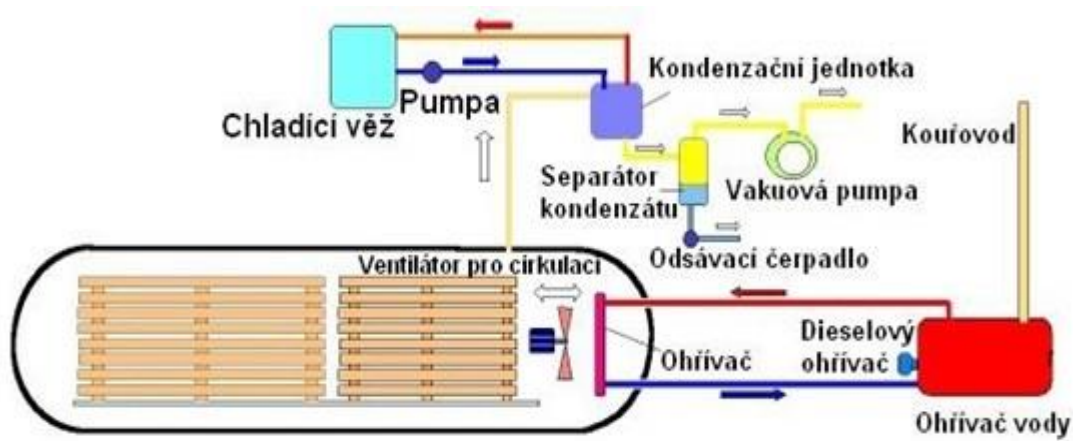
- 1. Žádné riziko zmodrání nebo napadení houbami**
2. Efektivnější přenos tepla, voda ve dřevě se mění na páru
3. Nižší vlhkostní gradient – menší trhliny a napětí ve dřevě
4. Čas sušení je až 7 – krát kratší než při konvekčním sušení
5. Spotřeba tepla je o 50 % nižší než v konvekčních sušárnách
6. Regulace sušícího postupu je přesná a jednoduchá

(Koberle, 1988).

15.2 Vakuové sušení s vysokou frekvencí

Konvektivní vakuové sušárny s koncentrovanou energií. Stálý stav frekvence se pohybuje okolo 6 MHz. Ve dřevě vzniká malý teplotní a vlhkostní gradient, zároveň sušení probíhá při malém vlhkostním spádu a vnitřních napětích ve dřevě. Dřevo je nahříváno na 50 °C a je vhodné pro lehké dřeviny.

V praxi se příliš nevyužívá, jelikož náklady jsou velmi vysoké. Ovšem snižuje se čas ohřevu a sušení. Používá se pro těžko se sušící dřeviny. Tento způsob je velmi složitý na zařízení a údržbu a zároveň spotřebovává velké množství elektrické energie (Trebula & Klement, 2002).



Obr. 13 Schéma vakuové sušičky dřeva

<http://www.tritherm.com/images/products/Vacuum%20Dryer/VacuumDryer.htm> (13.4.2017)

16 Sublimační sušení řeziva

Sublimační sušení řeziva se využívá při nízkých teplotách a napomáhá zachovat technologické vlastnosti vysoušeného materiálu na původních hodnotách. Látka prochází přímo z pevného do plynného skupenství a sublimace při atmosférickém tlaku je pomalá stejně jako u přirozeného sušení. Sublimaci zvyšuje vakuum. Materiál se nejprve zmrazí na $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vytvoří se vakuum okolo 270 Pa. U této metody se předpokládá, aby se sušenému materiálu dodalo potřebné skupenské a výparné teplo. Na kg ledu alespoň $2,5 \times 10^3$ Pa, přičemž se musí dodržet teplota $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při tomto postupu se voda v kapalném skupenství nepohybuje – materiálu nehrozí kolaps. Tento způsob se používá na archeologické kusy, ale je velmi pomalé spolu s velkými náklady na investici (Kruml, 1974).

17 Kontaktní sušení řeziva

Kontaktní sušení je způsob, při kterém se sušený materiál nachází mezi vyhřívanými pláty lisu a je sušený pod stálým tlakem. Prostup tepla probíhá kondukcí a je velmi rychlý. Tlak závisí na tloušťce a typu dřeviny – listnaté 0,4 – 2,5 MPa a jehličnaté 0,2 – 1,2 MPa při teplotě 160 – 170 $^{\circ}\text{C}$.

Voda se ze dřeva vypařuje u krátkých sortimentů kontinuálně skrz čela a boky dřeva nebo skrz profilované dílce s dírami v zavřeném lisu. Nekontinuální sušení může probíhat v čase otevírání lisu. Sušení se považuje za ukončené, jakmile teplota ve středu materiálu je shodná s teplotou lisovacích plátů.

Vysoký tlak páry uvnitř dřeva při málo propustných dřevinách vnitřní a čelní trhliny. Proto se tlak ve dřevě vyrovnává prudkým snížením lisovacího tlaku nebo otevřením lisu. V praxi se tato metoda kombinuje s vysokou frekvencí nebo vakuový sušením. Dřeviny o maximální tloušťce 30 mm je vždy potřeba předsušit na BNV, pro lepší prostup tepla se před sušením materiál opracovává. Nejvyšší využití takto vysušeného materiálu je na výrobu parket (Drahoš & Viktorin, 1975).

17.1 Výhody kontaktního sušení

Velmi zkrácený čas sušení - jen 20 až 30% z času sušení přehřátou párou. Dřevo získává teplejší odstín (roční kruhy se zvýrazní). Tento typ sušení má také stabilizační účinek – dřevo jako finální výrobek není tolik náchylný na sesychání nebo bobtnání vlivem relativní vlhkosti vzduchu. Dřevo je po sušení rovnější než při teplotovzdušném sušení. Pevnost dřeva stoupne o 10 % a je bez trhlín (Trebula, 1989).

17.2 Ekonomické faktory

Nižší spotřeba tepla až o 30 %. Materiál je stabilnější a dobře se opracovává. Dále je zapotřebí vždy zjistit pro každou dřevinu – tloušťku, počáteční vlhkost, optimální tlak, teplotu a čas klimatizace. V případě, že by fungoval třisměnný provoz, je možné uspořit několik malokapacitních sušáren řeziva. A to z důvodu, že není možné zpětné získání tepla. Vysoké investiční a provozní náklady (Kruml, 1974).

18 Rotační sušení řeziva

Rotační sušárny jsou založené na principu odstředivého efektu. Voda se může dostat ze dřeva jen otvory membrán při vysokém vnitřním tlaku, který se vytváří odstředivým zrychlením do 12 g. Je to proces konvekční a zároveň odstředivý, při kterém se přenos tepla a vody mezi materiálem a prostředím uskutečňuje konvekcí a pohyb volné vody se zintenzivní odstředivým efektem. Jako u každého typu sušení, délka procesu závisí počáteční vlhkosti, tloušťky a typu dřeviny. V porovnání s klasickým sušením je tento proces 3 až 4 – krát rychlejší. Počet otáček hřídele, která je poháněná elektromotorem o příkonu 3 – 5 kW se pohybuje okolo 60. Výhody spočívají ve vysoké kvalitě vysušeného řeziva za krátký čas a rovnoměrné sušení. V průmyslu se nikterak velké využití nenašlo, protože je složitá a velká konstrukce s malým užitkovým objemem (Trebula & Klement, 2002).

19 Základní rozhodnutí při výběru sušárny

19.1 Podmínky sušení

Nejdřív se musí ujasnit, kolik m³ řeziva se bude sušit za určité časové období v závislosti na druhu, rozměru dřeviny a sušeného sortimentu např. – deskové, hraněné, omítané nebo neomítané. Na čas sušení vyplývá koeficient objemového zaplnění klece a umístění sušárny v toku výroby. Další kritéria jsou počáteční vlhkost, konečná vlhkost, kvalita vysušeného materiálu, čas sušení a provozní čas sušení (Kruml, 1974).

19.2 Požadavky na sušárnu

- Velikost plochy nebo prostoru, kde se má sušárna nacházet a umístění sušárny v prostoru
- Vybavení a komplexní technická úroveň sušárny
- Napojení na tok výroby nebo doprava materiálu
- Tepelná účinnost, náročnost údržby, oprav a obsluhy
- Plánovaná doba používání sušárny – životnost
- Dodací lhůty a celková hospodárnost sušení
- Investiční náklady a finanční možnosti (popřípadě napojení na komunikace) apod. (Trávník, 1962).

19.3 Energetické zdroje

- Vzdálenost zdroje tepelné energie od sušárny
- Druh vlhčícího média v sušícím prostředí co nejmenší
- Zdroj tepla na ohřev a jeho parametry
- Spotřeba tepla a elektrické energie (Zeida, 2009).

19.4 Požadavky na druh regulace

Druh regulace ovlivňuje nejen kvalitu sušení a výkon sušení, ale vztahují se k němu investiční náklady, spotřeby tepla a elektrické energie.

Může být ruční, poloautomatická nebo plně automatizovaná.

19.5 Ekonomika

Náklady celého sušení závisí od investičních i provozních nákladů a stoupají se zvětšující se sušárnou. Naopak náklady na vysušení 1 m³ se snižují. Velkokapacitní sušárny tedy pracují daleko hospodárněji než malokapacitní.

Někteří výrobci sušáren nabízejí dotazníky pro volbu sušárny, kde na základě vyplněných údajů výrobce vybere typ sušárny a stanoví počet sušení. Nejlepší však je, pokud to vykoná dřevařský inženýr na pracovišti, kde pozná do detailu celou problematiku (Trebula, 2005).

Při volbě sušárny se hledí především na hospodárnost celkového sušení. Flexibilita stoupá při větším počtu jednotlivých sušáren. Pokud se zpracovává větší počet dřevin, jiné tloušťky nebo konečné vlhkosti je vhodné mít více menších sušáren. Pokud je vysoušený materiál z jedné dřeviny a tloušťky, dává se přednost střední nebo velkokapacitní sušárně. U velkokapacitních sušáren je lepší manipulace třeba s vysokozdvížným vozíkem. Kvalita vysušeného řeziva bývá většinou průměrná, ale objem vysušeného řeziva značně vyšší – produktivní výroba. Vždy je potřeba najít optimální řešení pro danou situaci, aby sušení bylo hospodárné (Trebula & Klement, 2002).

20 Ekonomické zhodnocení sušáren

O nákladech na sušení přirozeného nebo umělého řeziva, o hospodárnosti sušení se uvádí odlišné údaje. Hraje v tom roli několik ukazatelů. Může se postavit nekvalitní, netěsněná sušárna s nekvalifikovaným personálem a pořizovací cena sušárny i kvalita vysušeného řeziva budou nižší. Počítejme tedy s průměrem při srovnání jednotlivých druhů a velikostí sušáren. V praxi se udávají zpravidla náklady nižší, než ve skutečnosti jsou, což má za následek dezinformaci při kalkulaci vlastních nákladů na výrobu sušených přířezů.

Prvotní evidence sušáren má zabezpečit stanovení i zpracování výkonových i nákladových údajů tak, aby sloužily nejen ke zjišťování a sledování nákladů, ale také k sledování využití užitečného objemu sušáren, jejich výkonu do jakosti a množství, náročnosti na údržbu a obsluhu, výši pořizovacích nákladů a dodržování sušících řádů. Užitečný prostor je vyhrazen pro hraně s řezivem.

Pokud chceme, aby sušárna vyhovovala požadavkům kapacitou, jakostí sušení i hospodárností a má být vhodná i z hlediska sortimentu, který se má sušit, je nutno srovnáním technickoekonomických rozborů sušáren vyhledat sušárnu optimálně vyhovující stanoveným požadavkům. Aby se dala sledovat ekonomie sušáren, je zapotřebí seznámit se s příslušnými pojmy a ukazateli i se způsobem vedení prvotní evidence (Trebula, 2005).

20.1 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady jsou všechny náklady vynaložené na vybudování sušárny, na obestavěný prostor i vestavěné zařízení. V našich poměrech se uvádí, že za 1 m³ obestavěného prostoru stojí průměrně 8 000 – 12 000 Kč za kompletně zařízenou sušárnu. Náklady se samozřejmě mění dle vybavení a druhu sušárny. Pozemek, na kterém sušárna stojí je uveden v příslušné evidenci a neamortizuje se.

Náklady na pořízení sušárny spadají do nákladu na sušení jako odpisy, protože se jejich výše nemění a jsou vypočteny za celý rok. Mohou se snížit na jednotku m³ vysušeného materiálu jen vyšším využitím kapacity sušárny nebo zvýšit nedostatečným využíváním kapacity (Trebula, 2005).

20.2 Provozní náklady

Provozní náklady se mění podle druhu a sortimentu sušeného řeziva, jeho počáteční vlhkosti, požadované konečné vlhkosti, technologického postupu, druhu sušárny i roční doby. Jejich výše je závislá i na tloušťce, jelikož například zvýšení tloušťky z 30 na 80 mm znamená zhruba trojnásobné zvýšení nákladů a sušení. Velikost sušárny má vliv nejen na konstantní náklady, ale i náklady provozní. Ze statistik vyplývá, že rozsah optimálních nákladů je při velikosti sušárny 20 - 25 m³.

Do provozních nákladů spadají náklady na přípravné práce, vyrovnání řeziva na sušárenský vozík, zavezení do komory, vyvezení ze sušárny a uložení ve skladu suchého materiálu. Podle stavu mechanizace a uspořádání skladu se tyto práce dělají ručně nebo pomocí mechanismů. Samozřejmě automatizovaná sušárna při vhodném druhu řešení ovlivňuje náklady příznivě.

Náklady na páru a elektrickou energii pro pohon ventilátorů přímo závisejí na předepsaném sušícím řádu a jeho dodržování. Provozní náklady dále zahrnují mzdové náklady odborných zaměstnanců sušárny a doplňkové mzdy, pojištění, mazání čištění, opravy závad a podíl dílenské režie z celé organizace (Dejmal, 2004).

20.3 Kalkulace nákladů v provozovně

Například provozovna, která má samostatný paroměr pro sušárnu, každý měsíc zúčtuje náklady kotelny a rozdělí podle spotřeby páry pro středisko sušáren. V prvotní evidenci jsou kromě ostatních položek zaznamenány spotřeby páry, elektrické energie a množství vysušeného řeziva. Podle těchto dat provede provozní účetní kalkulaci za měsíc a jiná časová období. Jediný měsíc nemůže ukázat správné náklady, a proto je potřeba srovnávat průměry spotřeby nákladů celoročně a za delší časové úseky. Aby byla evidence o sušení jednotná, doporučuje se používat formuláře prvotní evidence, do kterého sušárenský mistr zapisuje veškerá potřebná data tak, aby provozní účetní po doplnění dat z účetní evidence mohla udělat výpočty a kalkulace. Sušárenský mistr vede záznam odděleně pro jehličnaté a listnaté řezivo na volných listech, které po ukončení měsíce založí do desek.

Každá vsádka se řádně označí pořadovým číslem a současně čitelným označením množstvím v m³, dřevina zkratkami. Tloušťka řeziva se uvádí v mm, počáteční a konečná vlhkost se zjišťuje minimálně třemi váhovými zkouškami nebo měřením vlhkoměry, ze kterých se vypočítá průměrná vlhkost. Uvádí se začátek a konec sušení datem a hodinou, dále počet hodin konečného ošetření a celkovou dobu sušení. Spotřeba páry se vyčte podle údajů na paroměru a elektrická energie elektroměrem.

Dále se uvádí spotřeba práce (pracovních hodin), které odpracovala obsluha sušárny, mistr nebo pomocníci během jednoho sušení. Kromě odpracovaných hodin se označuje mzdová sazba pro příslušného pracovníka za hodinu. Pokud nastane nějaká mimořádná událost během procesu sušení, zapíše se také. Např.: Nutný zákrok údržbáře, změna sušícího řádu, kontroly apod.

Teoretické využití sušárny nám udává ideální počet vsádek za celý rok násobený užitečným objemem sušárny a součet opravdu vysušených m³ za rok udává skutečné využití sušárny. Tyto dva údaje v poměru nám vyjádří procentuální využití kapacity sušárny. Sušárenský mistr má mít u sušárny v deskách záznam měsíce, který po uplynutí odevzdá provozní účetní ke zpracování a založení, aby se zápisy uchovaly čisté a zabránilo se jejich ztrátě.

Sušárenský mistr může data o sušení použít ve své praxi pro srovnání výsledků jakosti sušení a nákladů na ně, při použití sušících řádů nebo odlišných rozmezí vlhkosti. Kromě mistra je využije hlavně provozní účtárna ke zpracování měsíčního výkazu o sušení. Tento výkaz se doplní výpočtem mzdových nákladů, náklady na páru a energii, odpisy sušárny, náklady na údržbu a vyčíslení škod na řezivu pokud nějaké byly a podílem ostatních režijních nákladů na sušárnu. Součet těchto nákladů se přepočte na 1 m³ vysušeného řeziva.

Z těchto výkazů vznikne pro sušárnu přehled celoročních výkonů a nákladů. Porovnáním vypočítané teoretické kapacity sušárny se skutečným množstvím vysušeného řeziva se ukáže využití sušárny a získá se přehled o využití směn (Kruml, 1974).

21 Porovnání technologicko-ekonomických vlastností

Přirozené sušení je v centru pozornosti, kvůli cenám energií. Jelikož není třeba žádná energie na tento proces, tak s velkokapacitním skladem se tato metoda používá i přes její nevýhody. Ve výrobě se může zkombinovat proces přirozeně a uměle předsušeného řeziva v létě a v zimě.

Ekonomická výhodnost je v nižších nákladech porovnávací kombinace přirozeného a umělého dosušení, předsušení a umělého dosušení nebo umělého sušení, v závislosti od počáteční vlhkosti a plánované konečné vlhkosti. Případně se dá porovnat jen přirozené sušení a předsušení řeziva. Zvýšení obrátových prostředků při předsušení řeziva je až 6 - ti násobné. Velká výhoda je zkrácení celkového času sušení – max. 10 dní. Dále rovnoměrnější rozložení vlhkosti ve dřevě, zvýšení kvality, snížení ztrát, rovnoměrnější výroba, nezávislost na ročním období, jednoduchost sušení, menší sklady řeziva nebo možnost využití jiných zdrojů tepla (Kruml, 1974).

21.1 Přirozené a uměle předsušené řezivo

Energetické problémy a zvýšené požadavky na kvalitu řeziva vyvolává u odborníků spoustu otázek ohledně přirozeného a předsušeného řeziva. Do budoucna se nepředpokládá o významných zjištění u přirozeného sušení řeziva. Pro zlepšení současné stavu je však nutné dodržovat technologické předpisy a osvědčené zkušenosti. V předsušení řeziva je možnost použití jiných, levnějších zdrojů energie.

Aby se mohla posoudit výhodnost způsobů předsušení a tedy výběru varianty, ve velkém množství případů se hledí na ekonomickou podstatu věci a jen ve výjimečných případech to bývá vysoký požadavek na kvalitu, export nebo dodací lhůty. Z hlediska nákladů způsobů předsušení se posuzují při stejné vlhkosti nebo při dosažení možné vlhkosti v zachování ekonomické únosnosti (Trebula & Klement, 2002).

21.1.1 Elektrická energie a teplo

Přirozené sušení řeziva nevyžaduje žádné náklady na teplo, čímž z ekonomického hlediska je to velká přednost a elektrickou energii je zapotřebí jen při osvětlení skladu. Naopak při umělém předsušení je samozřejmě nárok na teplo a dnešní sušárny na předsušení mají měrnou spotřebu tepla 3 700 kJ/kg a elektrické energie 0,212 kWh/kg. Tyto údaje jsou vztaženy ke kvalitním technickým stavům sušáren. U nekvalitního technického stavu bude spotřeba energie narůstat. Náklady je možné snížit použitím jiných zdrojů energie – např. spalováním odpadu nebo využitím sluneční energie (Peleška, 1963).

21.1.2 Čas sušení

U přirozeného sušení řeziva je to dlouhá doba závislá na ročním období, počasí, druhu dřeva, tloušťky řeziva, počáteční a konečné vlhkosti. Např. buk o tloušťce 24 mm, počáteční vlhkosti 80% a konečné vlhkosti 20% bude vysychat 40 až 195 dní v závislosti na ročním období uložení řeziva na sklad. Při umělém předsušení je několikanásobně kratší a není závislá na ročním období. Pro ten stejný příklad je v tomto případě potřeba ke snížení vlhkosti pouze 7 dní (Trebula, 2005).

21.1.3 Kvalita

U přirozeného sušení se nemůže zajistit regulovatelnost procesu, jelikož ho ovlivňují klimatické podmínky. Pokles kvality je vyšší než u uměle předsušeného řeziva a v závislosti od ročního období a času sušení se vyskytuje rozdíl mezi jednotlivými kusy – je zapotřebí provést egalizaci. Rozdíly ve vlhkosti jsou větší u tlustších a tvrdých nejčastěji v zimě. Proto se tento způsob volí především u tenkého jehličnatého řeziva. U uměle předsušeného řeziva je pokles kvality závislý na možnosti regulace procesu a nízkých teplotách. Je možnost uložení různých dřevin, tloušťky a vlhkostí a kolísání konečné vlhkosti je menší, čímž je možné zkrátit nebo vyloučit egalizaci. Tím se ušetří energie a zvýší se kapacita sušárny (Kruml, 1974).

21.1.4 Pracovní síly a údržba

Přirozené sušení vyžaduje mnoho namáhavé práce a pracovní tým s nižší kvalifikací. Je zapotřebí velkých ploch – prodlužují se transportní cesty a údržbářské práce velkého rozsahu (čištění, odhrabávání sněhu) se v praxi zřídka kdy vykonávají. Uměle předsoušené řezivo má menší nároky na plochu, servis má menší rozsah, ale je zapotřebí specializovaný tým s vyšší kvalifikací. Ve finále je méně namáhavé práce (Dejmal, 1995).

21.1.5 Výroba, ztráty a vlhkost

Při přirozeném sušení jsou dodací lhůty relativně dlouhé a je velká nerovnoměrnost výroby. Podíl ztrát na řezivě je zhruba 5 % a více. Nejčastěji jsou tyto ztráty ovlivněné chybami ještě před sušením a procento ztrát se zvyšuje u citlivých dřevin, větší tloušťky a řezivu sušeném v letním období. V závislosti od ročního období, dřeviny a tloušťky se může dosáhnout ve středoevropských podmínkách konečná vlhkost v zimě 18 – 21 %, v létě 12 – 14%.

Naopak při uměle předsušeném řezivu se dosahuje konečná vlhkost v průměru 20 – 30%, jelikož předsušení na nižší vlhkosti je neekonomické. Výroba je rovnoměrná, dodací lhůty krátké, je možnost s předstihem plánovat dodávky pro odběratele, tudíž obrat skladu je vyšší. Podíl ztrát je dvojnásobně menší okolo 2,5% (Trebula & Klement, 2002).

21.1.6 Základní ekonomické podmínky pro předsoušení řeziva

- 1. Sušení jen na vlhkost něco málo pod 30 %.**
2. Sušit zejména kvalitní listnaté řezivo a tlustší jehličnaté
3. Důsledné využití objemu sušárny řezivem
4. Sladěnost zásob nebo pořezu řeziva a kapacity sušárny
5. Zachování nutných technologických přestávek (Kruml, 1974).

22 Metodika

Téma bakalářské práce Způsoby sušení dřeva a jejich ekonomické zhodnocení jsem si vybral, protože sušení je jeden z nejdůležitějších a nejnákladnějších technologických procesů, který je třeba provést. Zaujala mě možnost zjistit, jakými způsoby je možné dřevo vysušit bez poškození s přidanou hodnotou a zároveň ušetřit co nejvíce financí. Informace jsem čerpal z odborné literatury, která je uvedena v bibliografii, internetových zdrojů a školní exkurze do našeho školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy.

23 Závěr

V této bakalářské práci byly zdárně posloupně popsány vlastnosti dřeva a jeho chování při různých typech sušení. Po sblížení s tímto materiálem byly řešeny způsoby přirozeného a umělého sušení řeziva, kde jsem se zabýval touto problematikou od základu, tzn. od výstavby hrání, proklady, podklady, teploty sušení a operace, které je potřeba aplikovat během samostatného procesu sušení.

Jelikož téma této práce nebylo jen popsat způsoby a druhy sušení řeziva, ale také je ekonomicky zhodnotit porovnat mezi sebou, tudíž jsou v textu zasazeny informace o hospodaření v podnicích, dále o pořizovacích a provozních nákladech a také navíc některá pravidla, které se ve školách neučí, ale v praxi běžně využívají.

Dílním cílem bylo poukázat na využití získaných informací v praxi a dle mého názoru, pokud chceme vybudovat kvalitní a prosperující sušárnu, musíme se zaměřit nejdříve na typ dřeviny, který chceme sušit a hlavně jakým způsobem tzn. za jakým účelem použití, výslednou vlhkostí a jakostí řeziva. Od tohoto bodu je možné se odrazit a zejména nešetřit na kvalitě sušárny (pořizovací náklady), jelikož odstupem času se přijde na to, že ušetřené provozní náklady díky kvalitní, těsnící, funkční a méně údržbové sušárně nejen splatí dražší investici, ale sušárna začne prosperovat ve vyšším měřítku.

Práce se v některých částech píše obecněji, protože je to velmi obsáhlé téma. Myslím si, že sušení řeziva zdaleka nedosáhlo konce svého vývoje a postupem času se v našich končinách bude více využívat přirozeného sušení, jelikož je nenáročné na energii a velice ekonomicky výhodné zejména přes letní

období. Domnívám se díky vzrůstajícím tendencím průměrných ročních teplot a krátkých zimních období.

24 Bibliografie

- Babiak, M. (1990). *Wood-water system*. Zvolen: VŠLD. 63 s.
- Bandouch, V. (1989). *Dřevařská příručka*. Praha: SNTL. 986 s.
- Dejmal, A. (1995). *Základy hydrotermické úpravy a ochrany dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 193 s. ISBN 80-7157-163-6.
- Dejmal, A. (2004). *Sušení dřeva - učební texty*. Brno: Mendelova lesnická a zemědělská univerzita v Brně. 89 s.
- Drahoš, V.; Viktorin, Z. (1975). *Souhrn poznatků a výpočtových podkladů z výzkumu sešení a sušáren řeziva*. Praha: Výzkumný a vývojový ústav dřevařský. 264 s.
- Gandelová, L.; Šlezingerová, J. (2014). *Stavba dřeva*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 187 s. ISBN 978-80-7375-966-7.
- Hildebrand, R. (1969). *Die Schnittholztrocknung*. Vlast. vydání.
- Hoadley, B. (2000). *Understanding wood*. USA: Group West. 253 s. ISBN 978-1-56158-358-4.
- Horský, D. (1978). *Hydrotermická úprava a ochrana dřeva, část ochrana dřeva*. Zvolen: VŠLD. 271 s.
- Janík, W. (1960). *Handbuch der Holztrocknung*. Leipzig: Fachbuchverlag.
- Koberle, M. (1954). *Sušiarne v drevopriemysle*. Bratislava: ŠNTL. 151 s.
- Koberle, M. (1988). *Predsúšanie a sušanie reziva*. Bratislava: Alfa. 94 s.
- Krečetov, J. (1954). *Vysoušení dřeva*. Praha: STNL.
- Kruml, J. (1974). *Umělé sušení řeziva*. Praha: Nakladatelství technické literatury. 228 s.
- Kvietková, M.; Bomba, M. (2013). *Pilařské zpracování dřeva. Technologie pořezu rámovou pilou. 1.vyd.* Praha: Powerprint. 242 s. ISBN 978-80-87415-79-5.
- Lexa, J. a kol. (1952). *Mechanické a fyzikálne vlastnosti dřeva 1.vyd.* Bratislava.
- Matovič, A. (1988). *Nauka o dřevě*. Brno: VŠZ. 159 s.
- Matovič, A. (1993). *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně. 212 s. ISBN 80-7157-086-9
- Missuth, J. (1953). *Uskladňovanie a urovnávanie dřeva*. Bratislava: ŠPN. 119 s.

- Peleška, K. (1963). *Přirozené sušení řeziva*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 210 s. ISBN L19-B2-IV-31/8561
- Regináč, L. a kol. (1990). *Naúka o dreve II*. Zvolen: VŠLD. 424 s.
- Skaar, C. (1972). *Water in wood*. Kalifornie: Kalifornská univerzita. 218 s.
ISBN 9780815650348
- Švorc, J. (1953). *Vysoušení dřeva*. Praha: ROH. 53 s.
- Trávník, A. (1962). *Príručka drevárenskeho technológa*. Bratislava: SVTL. 599 s.
- Trebula, P. (1989). *Hydrotermická úprava a ochrana dreva*. Zvolen: VŠLD. 301 s.
- Trebula, P. (1993). *Vacuum drying of wood*. Zvolen: VŠLD. 292 s.
- Trebula, P.; Klement, I. (2005). *Sušenie a hydrotermická úprava dreva*. Zvolen: Technická univerzita Zvolen. 449 s. ISBN 80-228-1421-0
- Trebula, P.; Klement, I. (2002). *Sušenie a hydrotermická úprava dreva*. Zvolen: Technická univerzita ve Zvoleni. 449 s. ISBN 80-228-1182-3
- Vanek, M. (1992). *Wood drying*. Vienna.
- Zejda, J. (2009). *Optimální šířka hraně pro komorové sušárny*. Brno: Mendelova zemědělská univerzita v Brně. 121 s.
- Zejda, J. (2009). *Sušení dřeva - učební texty*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.