

Prirodno sušenje piljenog drva

Dautanec, Gabrijela

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:283199>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-04**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA**

GABRIJELA DAUTANEC

PRIRODNO SUŠENJE PILJENOG DRVA

ZAVRŠNI RAD

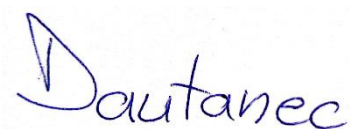
ZAGREB, SRPANJ 2024.

Podaci o završnom radu

Autor	Gabrijela Dautanec 29.09.2001. Koprivnica JMBAG: 0068237069
Naslov	Prirodno sušenje piljenog drva
Predmet	Tehnologija sušenja drva
Mentor	doc. dr. sc. Miljenko Klarić
Komentor	
Rad je izrađen	Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Drvnotehnološki odsjek, Zavod za tehnologije materijala
Akad. god.	2023./2024.
Datum obrane	20. rujna 2024.
Rad sadrži	Stranica: I-VII + 23 Slika: 12 Tablica: 2 Navoda literature: 12
Sažetak	Sušenje drva ima veliku primjenu u drvnoj industriji, ono utječe na trajnost, uporabljivost kao i na mehanička svojstva drva. Postoji nekoliko načina na koje se može provoditi proces sušenja piljenog drva, a u ovom je radu opisano prirodno sušenje. Opisan je način slaganja složajeva i izgled stovarišta piljene građe. Istaknuti su parametri o kojima ovisi sušenje. Navedene su i razjašnjene greške koje se mogu dogoditi tijekom procesa te načini zaštite drva. Opisane su prednosti i nedostaci takvog načina sušenja te je na kraju napisan zaključak na ovu temu.

	IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	OB FŠDT 05 07
		Revizija: 2
		Datum: 12.09.2024.

„Izjavljujem da je moj *završni rad* izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam *koristila* drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.



vlastoručni potpis

Gabrijela Dautanec

U Zagrebu, 12. rujna 2024.

Sadržaj

Podaci o završnom radu.....	I
Sadržaj	III
Popis slika.....	V
Popis tablica.....	VI
Predgovor.....	VII
1. UVOD.....	1
2. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	3
3. PROCES SUŠENJA.....	4
4. IZVEDBA.....	5
4.1. Kako.....	6
4.2. Gdje.....	8
4.3. Kada.....	10
4.4. Koliko	10
5. PARAMETRI KOJI UTJEČU.....	11
5.1. Relativna vlaga zraka.....	11
5.2. Temperatura.....	12
5.3. Cirkulacija zraka.....	12
5.4. Ostalo.....	13
6. GREŠKE DRVA I ZAŠTITA GRAĐE.....	14
6.1. Greške pri sušenju.....	14
6.1.1. Promjena oblika	14
6.1.2. Skorjelost	14
6.1.3. Pukotine	15
6.1.4. Promjena boje	16
6.1.5. Nepravilno slaganje	17

6.2. Zaštita drva	17
7. KARAKTERISTIKE	19
7.1. Prednosti	19
7.2. Nedostatci	19
7.3. Usporedba sa sušenjem u komornim sušionicama	19
8. ZAKLJUČAK.....	21
9. POPIS LITERATURE.....	23

Popis slika

Slika 1. Natkriveni složaj (Hiziroglu, Hitch 2017)

Slika 2. Betonska postolja za složajeve (Kollmann 1968)

Slika 3. Letvice (Pervan, 2022)

Slika 4. Složaj s ravnim krovom (<https://www.woodcraft.com/blogs/wood/how-to-air-dry-lumber-turn-freshly-cut-stock-into-a-cash-crop-of-woodworking-woods> , 16.7.2024)

Slika 5. Stovarište s građom (Pervan, 2022)

Slika 6. Zaštitna tkanina (<https://ucoatings.com/products/shade-dri/> , 18.7.2024)

Slika 7. Skorjelost (Simpson, 1991)

Slika 8. Raspukline na čelima (Simpson, 1991)

Slika 9. Promjena boje (Pervan, 2022)

Slika 10. Spajanje pukotina (Pervan, 2022)

Slika 11. Zaštitni premazi za čela piljenica ([https://preservation-solutions.com/; https://sitolor.com/cuvar-fronta/](https://preservation-solutions.com/https://sitolor.com/cuvar-fronta/), 18.7.2024)

Slika 12. Zaštita čela piljenica (Pervan, 2022)

Popis tablica

Tablica 1. Koeficijenti za zračno suho drvo za pojedine vrste drva (Novak, 2008)

Tablica 2. Psihrometrijska tablica prema Torgesonu (Pervan, Klarić, 2018)

Predgovor

Ovim putem želim zahvaliti svom mentoru doc. dr. sc. Miljenku Klariću koji mi je uvelike pomogao pri izradi ovog završnog rada, za njegovu strpljivost i razumijevanje. Također želim zahvaliti i svim ostalim profesorima koji su uvijek bili tu za studente spremni pomoći.

Želim zahvaliti svojoj obitelji koja mi je davala podršku, te svojim prijateljima i kolegama za lijepo provedene trenutke za vrijeme studiranja. Ovo je prilika da pokažem znanje koje sam stekla na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije kroz svoje trogodišnje obrazovanje.

1. UVOD

Da bi mogli pričati o sušenju drva, prvo se moramo upoznati sa živim stablom. Stabla kroz svoje korijenje crpe vodu i pojedine elemente koji putuju kroz lišće te se fotosintezom stvaraju hranjive tvari. Izgledom stablo podsjeća na valjak, možemo reći da u širinu raste u slojevima koje nazivamo godovi. Stabla su produkti prirode te su stvoreni s obrambenim mehanizmom, bjeljika i srž (koju ljudi koriste za preradu) zaštićene su korom koja sprječava napade nametnika, atmosferske utjecaje i slično.

Sušenjem drva, bilo prirodnim, bilo u komornim sušionicama ili kakvim drugim načinom, želi se smanjiti sadržaj vode ili što je više moguće odstraniti voda koja se u njemu nalazi. Želi se postići lakši materijal, boljih mehaničkih svojstava, veće otpornosti na biološke štetnike i spremniji za daljnju preradu. Prirodnim se sušenjem smanjuje sadržaj vode najviše koliko je moguće kako bi se olakšali daljnji procesi, najčešće je to oko točke zasićenosti vlaknaca. Drvo se u komornim sušionicama suši kako bi se postigao znatno manji sadržaj vode, nizak onoliko koliko je ravnotežni sadržaj u uvjetima u kojima će se koristiti kao gotov proizvod.

U drvu se nalaze tri oblika vode: slobodna, vezana i kemijski vezana voda. Slobodna se voda nalazi u porama drva i nju je najlakše odstraniti; vezana voda nalazi se unutar staničnih stjenki, o njoj se govori kada sadržaj vode prijeđe točku zasićenosti vlaknaca (TZV) koja je za svaku vrstu drva različita. Prilikom susretanja s TZV-om potrebno je promijeniti režime sušenja kako ne bi došlo do nastanka greški. Treći oblik vode je kemijski vezana voda koja je dio drva, nalazi se u spojevima koji čine drvo i za proizvodnju nije ju potrebno odstranjivati.

S obzirom na sadržaj vode, drvo možemo podijeliti na:

- Sirovo, sirovim se smatra svako drvo sa sadržajem većim od 40 %
- Provelo stanje ima sadržaj vode u drvu između 22 i 40 %
- Prosušeno stanje dijeli se na:
 - Brodosuho (18 – 22 %)
 - Zrakosuho (12 – 18 %)
 - Sobosuho (8 – 12 %)
- Apsolutno suho stanje je ono sa 0 % sadržaja vode

Drvo je porozan materijal, a glavna karakteristika nasuprot ostalih materijala je da ono ima nehomogenu strukturu, njegova su svojstva u različitim smjerovima različita što se naziva anizotropnost. Pa tako i voda u drvu nejednoliko izlazi iz drva pri sušenju. Drvo je porozno, ima lumene kroz koje putuju voda i mineralne tvari. Također je i higroskopan materijal što znači da može upijati ili otpuštati vlagu, a taj proces naziva se bubrenje i utezanje drva. Otpuštanjem vode iz drva do TZV-a dimenzije drva se ne mijenjaju, ali ako sadržaj vode prijeđe tu točku, drvo se dimenzijski mijenja, uteže se.

Prirodno je sušenje drva najstariji i najprirodniji način sušenja. Drvo se izlaže prirodnim uvjetima u koje ubrajamo faktore kao što su temperatura, relativnu vlagu zraka i vjetar, odnosno strujanje zraka. Iako je to spor proces za kojeg se čini da nije potrebno ulaganje puno truda, čak i prirodni uvjeti mogu biti rizični za izvršavanje kvalitetnog sušenja.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

U ovome će završnom radu biti obrađena tema prirodnog sušenja piljenog drva. Bit će opisan proces sušenja; kako, gdje i kada se izvodi te koliko je vremena potrebno za sušenje. Nadalje, parametri koji utječu na sušenje, pojedine greške koje se mogu dogoditi prije ili tijekom sušenja te zaštita drvne građe. Analizirat će se prednosti i nedostaci prirodnog sušenja piljenog drva. Na samom kraju rada nalazi se zaključak u kojem je sažet završni rad s istaknutim dijelovima.

3. PROCES SUŠENJA

Drvo se sušenjem ispod točke zasićenosti vlaknaca počinje utezati, ta je dimenzijska promjena znatno vidljiva. Iako se drvo nepravilno uteže, ima svojih prednosti poput povećanja otpornosti na napade gljiva, smanjenje napada insekata, manje uvijanje i savijanje, manja masa građe, povećana krutost, mehanička čvrstoća, tvrdoća, bolje prijanjanje lakova, ljepila i drugih premaza ili zaštitnih sredstava.

Postoji nekoliko procesa pomoću kojih se može sušiti piljena građa, a u nastavku će svaki biti ukratko opisan. Način sušenja drva koji je ujedno i tema ovog rada, prirodno sušenje, bit će opisan u sljedećem poglavlju pod naslovom *Izvedba*.

Najzastupljenije sušenje je ono u klasičnim komornim sušionicama, gdje je drvna građa u složajevima slaže u betonsko aluminijske komore pri čemu je jedini kontakt s vanjskim zrakom kada se zrak, prezasićen vodenom parom, ispušta u okolinu. U komorama moraju biti ventilatori koji omogućuju sušenje građe. Smjer strujanja zraka izmjenjuje se svakih dva do tri sata. Kada drvo ima visok sadržaj vode, suši se na niskim temperaturama pri višoj relativnoj vlazi zraka.

Kondenzacijsko sušenje razlikuje se od sušenja u komornim sušionicama u tome što se u kondenzacijskim sušionicama obavlja odvlaživanje zraka pri čemu se zrak hladi ispod točke rosišta. Vlaga koja se nalazi u zraku odstranjuje se kondenziranjem na rashladnoj ploči kondenzacijskog agregata. Za ovaj način sušenja karakteristične su niže temperature (od 25 °C do 45 °C) radi čega je sušenje sporije u usporedbi s klasičnim te je veći rizik od razvoja gljiva i plijesni. U kondenzacijskim je sušionicama primjereno sušiti sve vrste drva te debljina piljenica ne igra ulogu.

Vakuumsko se sušenje prema Novaku (2008) očituje se smanjenjem točke vrenja vode u vakuumu. U vakuumu je vodi potrebna manja temperatura da bi ključala. Povećanjem vakuuma povećava se koeficijent difuzije, a sušenje se provodi u podtlaku.

Visokofrekventno je sušenje jako rijedak način sušenja drvne građe iako je osmišljen davno. Sirovo se drvo stavlja između dvije elektrodne ploče koje su spojene na generator frekvencije, te toplinska energija koja se stvara suši građu. Ovaj način uvelike je brži.

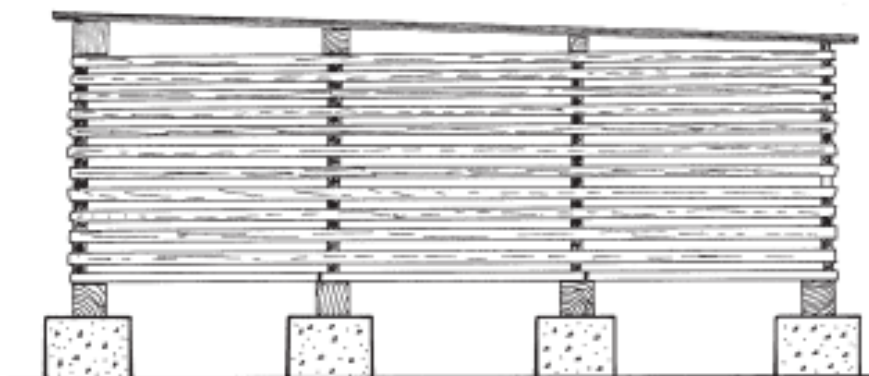
4. IZVEDBA

Proces prirodnog sušenja piljene građe definiran je kao odstranjivanje slobodne vode i dijela vezane vode iz drva pri vanjskim, atmosferskim uvjetima. No drvo zahtjeva posebnu njegu te ga nije moguće samo ostaviti vani na zraku, potrebno je osigurati adekvatne uvjete kako ne bi došlo do uništenja.

Novak (2008) ističe da se prirodno sušenje izvodi kao preosušenje drva koje nakon što dosegne određeni sadržaj vode odlazi u sušionice gdje je stroži i jači režim sušenja jer je vodu teže „izvući“ iz drva. Osim preosušenja, drvo se može sušiti s namjerom da se ne prelazi sadržaj vode između 15 % i 20 %.

Drvo s tim sadržajem vode koristi se u eksterijeru gdje je izloženo slobodnom bubrenju i utezanju, i jednostavno nema potrebe da se suši na manji sadržaj vode. Sušenje samo prirodnim procesom nije dovoljno za predmete koji će se koristiti u interijeru. Drvo je potrebno osušiti na sadržaj vode koji je približan vlazi i temperaturi okoline u kojoj će se koristiti.

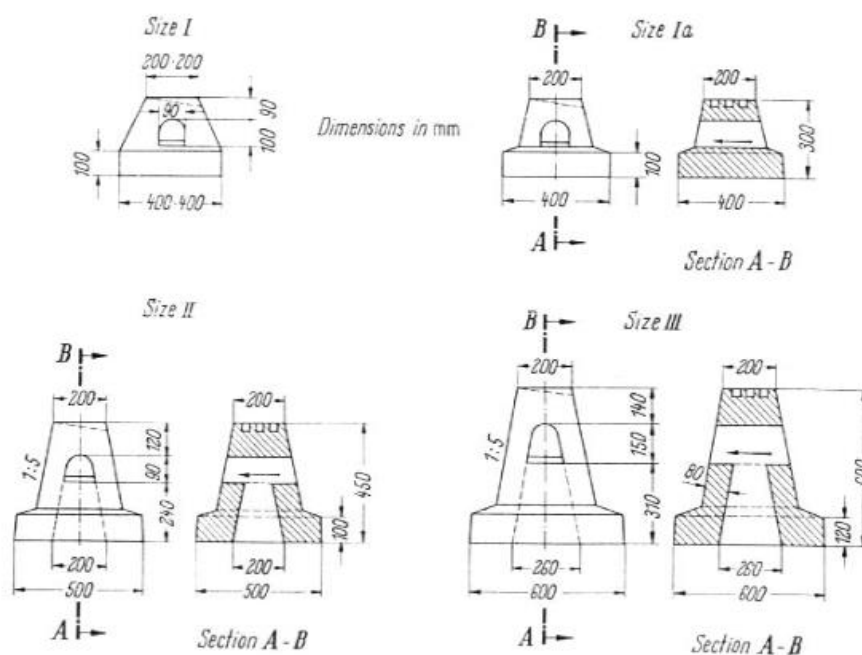
Tehnika sušenja na zraku najstariji je način sušenja drvene građe. S godinama se ta tehnika unaprijedila i modificirala u nekoj mjeri. Možemo ih grupirati u četiri kategorije: prostor s ventilacijom, grijani prostor s ventilacijom, negrijani prostor te vanjski natkriveni prostor. Najzastupljenija izvedba u Hrvatskoj je natkriveni prostor za sušenje koji ima prirodnu cirkulaciju zraka vjetrom, a na slici 1. prikazan je zasebni složaj pokriven krovom radi zaštite od vremenskih utjecaja.



Slika 1. Natkriveni složaj

4.1. Kako

Prvi korak zaštite drva prije sušenja u kakvom bilo načinu sušenja je dobro pripremanje složaja. Između složajeva treba postojati bočni razmak od najmanje 60 centimetara i razmak od tla kako bi zrak mogao strujati. Složajevi trebaju biti na podvišenom, često na betonskim stupićima visine od 30 do 60 centimetara. Na slici 2. prikazana su betonska postolja u 3 različite visine. Nalikuju na čunjeve, a za svaki je prikazan nacrt i presjek sa kotiranim dimenzijama.



Slika 2. Betonska postolja za složajeve

Složajevi su najčešće kvadratnih oblika poravnati sa sve četiri strane bez da ijedan element strši. Visina složaja je takva da se njome može manipulirati, da stroj može slagati jedan složaj na drugi, maksimalno do tri složaja. Ako je složaj previsok može doći do urušavanja građe ili prevrtanja stroja za transport. Često je niz složajeva orijentiran okomito na vjetar, a složajevi u nizu jedan prema drugom gledaju čelima. Na taj je način spriječeno pretjerano sušenje drva s čela.

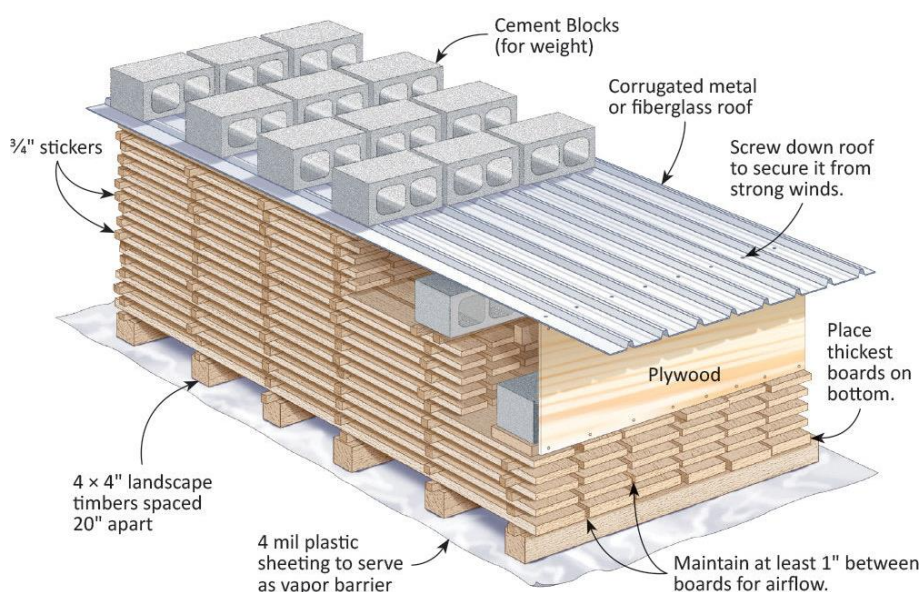
Elementi unutar složaja moraju biti ravni, jednolične debljine po cijeloj dužini. Između svakog sloja piljenica stavljaju se tanke letvice kako bi se osigurao bolji protok zraka. Mogu biti drvene ili metalne, profilirane ili ravne. Stavljaju se od ruba do ruba i to na svakih 30 do 60 centimetara ovisno o debljini piljenica. Tanje piljenice zahtijevaju više

letvica, odnosno manje razmake između letvica, kako bi se spriječilo savijanje, a trebaju biti postavljene točno jedna iznad druge. Nakon sušenja, već iskorištene letvice slobodno se mogu koristiti za sljedeći složaj. Na slici 3. prikazane su drvene i metalne letvice.



Slika 3. Letvice; lijevo drvena profilirana letvica, desno metalne profilirane letvice

Poželjno je na složaj postaviti metalni krov koji bi spriječio kontakt s padalinama, direktnim suncem i prljavštinom. Krov je moguće pričvrstiti na drvene grede te ga staviti pod nekim kutom. Može biti i ravan, također postavljen na grede, a na njega treba dodati teret koji podupire krov i pomaže gornjem sloju da ne dođe do savijanja ili nepravilnog utezanja. Teret treba biti raspoređen točno iznad letvica. U svakom slučaju između krova i građe treba postojati razmak kojim će biti omogućena cirkulacija zraka. Na slici 4. je prikazan složaj s ravnim krovom čija građa nije jednake duljine.



Slika 4. Složaj s ravnim krovom

4.2. Gdje

Zemljopisni položaj na kojem će se izvršavati prirodno sušenje drva potrebno je odrediti istražujući meteorološke podatke proteklih godina za relativnu vlažnost zraka i temperature u željenom području. Odabirom odgovarajućih parametara može se postići kvalitetno sušenje drva. Jedino pomoću starih meteoroloških podataka možemo predvidjeti vrijeme i pretpostaviti kako će se proces odvijati. Podatke za Hrvatsku je moguće pregledati na internetskim stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda.

„Stovarište je dio najčešće pilane namijenjeno za skladištenje, prirodno sušenje, sortiranje i pripremu za otpremu piljene građe“ tako navodi *Struna*, dok je stovarište za prirodno sušenje drva definirano kao: „otvoreni prostor namijenjen odlaganju i prirodnome sušenju složajeva piljenog drva ili drvnih proizvoda“, uz napomenu da može biti nenatkriveno ili, češće, natkriveno. Na složajevima se trebaju nalaziti podaci o vrsti drva, dimenzijama složaja, kada je građa stavljena na sušenje i slično, u današnje se vrijeme stavljaju barkodovi koji su praćeni upravljačkim programom poput GoSoft-a. Organizacijom stovarišta lakše se vodi proizvodni sustav, informacije su lako dostupne i točne. Na slici 5. prikazan je primjer dobrog stovarišta piljene građe koja se suši na otvorenom, složajevi su natkriti i spriječen je prevelik utjecaj sunčevih zraka.



Slika 5. Stovarište s građom

Prirodno sušenje građe odvija se na stovarištu, na kojem teren treba biti suh. Poželjna je šljunčana podloga jer se na taj način postiže ravna površina bez smetnji poput trave ili blata, a nakon kiše, kamenje zadržava vodu uz zemlju i ne isparava te tako ne ometa sušenje donjih dijelova složajeva. Pristup viličaru ili nekom drugom radnom stroju, kao i čovjeku, treba biti konstanto omogućen.

Stovarište bi trebalo biti smješteno dalje od šuma, gradova sa visokim zgradama, pjeskovitog terena ili potpuno omeđenog područja planinama jer takva mjesta sprječavaju protok vjetra koji je nužan za proces sušenja.

Direktno izlaganje suncu može naštetiti drvnoj građi pa je poželjno staviti prozračnu tkaninu. U slučaju jakog vjetra valja staviti gušće, deblje tkanine koje smanjuju protok zraka jer nekim vrstama poput hrastovine bolje odgovara sporije sušenje. Na slici 6. vidljivo je pokrivalo za složaj koje može biti pričvršćeno za stupove ili za krov složaja (ako složaj ima krov). Složajeve je moguće sušiti u šupi koja je najčešće izrađena od drva i ima dobar protok zraka, a sprječava djelovanje neželjenih utjecaja.



Slika 6. Zaštitna tkanina

4.3. Kada

Drvni elementi trebaju se staviti na sušenje odmah nakon piljenja. Razdoblje u kojem građa treba biti stavljena na sušenje uključuje godišnje doba. Na primjer građa koja se kreće sušiti u kasnije proljeće može se relativno brzo osušiti jer se suši za vrijeme viših do visokih temperatura kroz ljetne mjesec. Suprotno tome, piljena građa koja je u složajevima spremna za sušenje u kasno ljeto ili ranu jesen, sušit će se kroz hladnije mjesec i bit će potrebno duže vremena da bi se građa osušila do željenog sadržaja vode.

4.4. Koliko

Vrijeme sušenja prirodnim putem teško je odrediti jer ovisi o: klimi, početnom sadržaju vode, vrsti drva, debljini piljenica koje se suše, godišnjem dobu i o geografskom položaju na kojem se izvodi proces. Novak (2008) navodi da se prema formuli može odrediti okvirni broj mjeseci za sušenje pri čemu je T jednako vremenu sušenja u mjesecima, k koeficijent za zračno suho drvo (naveden dolje u tablici 1.), a d debljina piljenice izražena u centimetrima. Formula glasi $T = k \times d$.

Tablica 1. Koeficijenti za zračno suho drvo za pojedine vrste drva

VRSTA DRVA	KOEFICIJENT
hrast	5,3
bukva	5,3
javor	5,0
topola	3,5
Brijest	5,0
smreka	3,2
bor	4,5

Vrijeme sušenja za različite vrste drva varira, ali često da bi se građa potpuno osušila treba šest mjeseci do dvije godine. Četinjače zahtijevaju kraće vrijeme oko 6 mjeseci za razliku od listača kojima je potrebno duže vremena da bi bile prikladne za uporabu.

5. PARAMETRI KOJI UTJEČU

Prema Dimitrovu (1992): „Higroskopsko tijelo zadržava ravnotežni sadržaj vode dok se ne promijeni relativna vlaga zraka ili temperatura zraka, ili i jedno i drugo. Pritom temperatura zraka manje utječe na sušenje ili vlaženje higroskopskog tijela nego relativna vlaga zraka. Ako drvo ima veći sadržaj vode od ravnotežnog, suši se (desorpcija); a kad ima manji sadržaj vode od ravnotežnog, vlaži se (adsorpcija); dok se ne uspostavi ravnoteža. To vrijedi samo unutar higroskopskog područja, odnosno ispod točke zasićenja vlakana, što za drvo iznosi oko 30 % (od približno 20 % do 40 %).“

Iz ovog odlomka vidljivo je da se drvo prilagođava uvjetima u kojima se nalazi, sadržaj vode može padati i rasti, a cilj je postići optimalnu veličinu za dobivanje najboljih rezultata koji se vide na kvaliteti nakon sušenja.

5.1. Relativna vlaga zraka

Prvi parametar ili čimbenik koji utječe na sušenje drva je relativna vlaga zraka. Relativna je vlažnost zraka omjer parcijalnog tlaka vodene pare u zraku i parcijalnog tlaka pri zasićenju zraka, odnosno maksimalne količine vodene pare koju zrak može zadržati pri istoj temperaturi. Kada je taj omjer jednak jedan, sušenje nije moguće jer je zrak prezasićen i voda iz drva nema kamo isparavati. Relativna se vlažnost može još izraziti kao odnos gustoće u zraku i pri zasićenju; kao mase vodene pare ili kao omjer sadržaja vodene pare po kilogramu suhog zraka i graničnog sadržaja vode.

Vlažni se zrak sastoji od suhog zraka i vodene pare. Vlažnost se mjeri pomoću psihrometra kojeg čine dva termometra, suhi i mokri; na temelju razlike između ove dvije temperature i pomoću tablice 2. određuje se relativna vlažnost zraka, prema Pervanu i Klariću (2018). U priloženoj tablici temperatura suhog termometra doseže samo 48,9 °C što je dovoljno za prirodno sušenje drva, za sušenje u komornoj sušionici postoji produžetak tablice koji doseže do 100 °C.

5.4. Ostalo

Debljina piljenica jedan je od parametara koji utječe na brzinu sušenja, opće je poznata činjenica da se deblje drvo sporije suši. Iako ima jednak postotak vode u drvu kao tanka piljenica, količina vode je veća i potrebno je više vremena da voda izađe iz drva.

Anatomija drva ima znatan utjecaj na sušenje; na primjer, gušće drvo sporije se suši. Isto tako struktura drva utječe na sušenje, hrast u svojem sastavu ima tile koje sprječavaju izlaženje vode iz drva. Hrast radi veće gustoće i tila zahtjeva duže i sporije sušenje, za razliku od mekih vrsta drva koje se mogu u kraćem vremenu kvalitetno osušiti.

Važno je koliki je početni sadržaj vode netom prije sušenja i na koji konačni sadržaj vode je drvo potrebno osušiti. Ako treba ispariti vlaga do nižeg sadržaja, potrebno je više vremena za sušenja.

Oborine, prašina i sunčeva svjetlost također utječu na sušenje drvene građe na otvorenom.

6. GREŠKE DRVA I ZAŠTITA GRAĐE

Hiziroglu i Hitch (2017) zapisali su da je prije procesa sušenja potrebno osigurati složajeve kako bi bili dobro i kvalitetno napravljeni. U slučaju nepravilnog slaganja može doći do krivljenja, uvijanja, savijanja drva, pojave mrlja ili produljenja vremena sušenja. Piljenice se razvrstavaju po debljini kako bi se omogućila dobra cirkulacija zraka kroz složajeve i što je više moguće smanjile mogućnosti nastanka greški prilikom sušenja.

6.1. Greške pri sušenju

Greškama se smatraju deformacije drva tijekom sušenja koje mogu nastati u slučaju prenoglog sušenja, odnosno previsokih temperatura ili prebrzog protoka zraka. Prekomjerna naprezanja unutar drva mogu izazvati unutarnje ili vanjske pukotine. Ljudske pogreške također mogu utjecati na proces sušenja poput nepažnje ili neznanja.

6.1.1. Promjena oblika

Piljenice uslijed utezanja drva i nepravilnog sušenja mogu se drastično promijeniti; izbočiti, uviti, savinuti ili iskoritaviti. Koritavost je promjena pri kojoj piljenica zaprimi oblik korita, uzdužni rubovi ostaju približno paralelni dok se središnji dio ulegne.

Najčešća promjena oblika je savijanje, djelovanje opterećenja okomito na uzdužnu os piljenice. Luk koji nastane opisuje odstupanje ravne linije od jednog kraja ploče do drugog. Savijanje se događa pri prevelikom razmaku letvica unutar složaja ili kod nepravilnog slaganja letvica, kada se ne nalaze u istoj ravnini.

6.1.2. Skorjelost

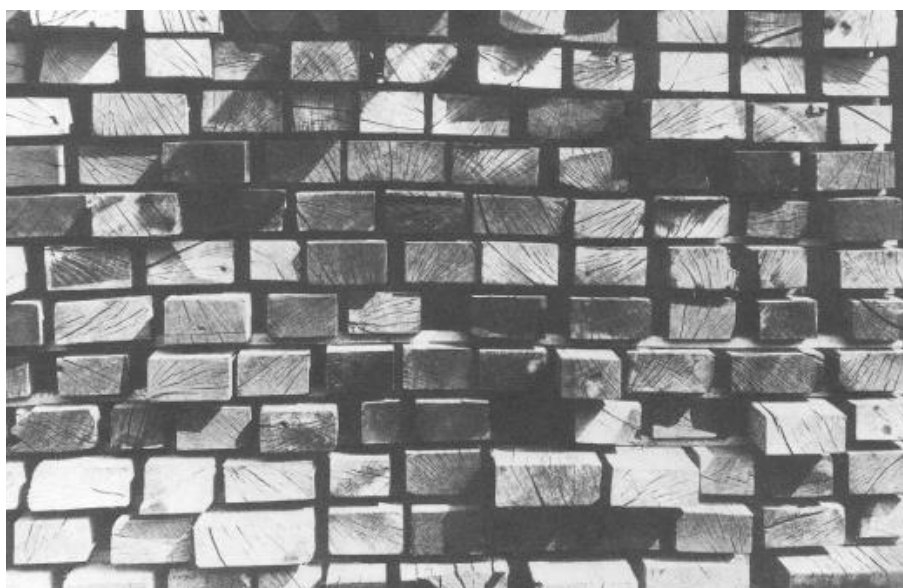
Uslijed nepravilnog sušenja u drvu nastaju unutarnja naprezanja i mogu se dogoditi greške u drvu poput skorjelosti. Pukotine nastaju radi sušenja pri višim temperaturama dok je vlažnost visoka. Nepravilnosti nisu vidljive na površini drva tijekom sušenja, nego pri daljnjoj obradi. Skorjelošću se nazivaju pukotine koje često nastaju unutar građe i tek nakon daljnje obrade, odnosno piljenja drva, su vidljive. Iako se čini da je drvo još uporabljivo, svojstva i kvaliteta piljenice znatno su narušeni. Slika 7. prikazuje spomenute pukotine.



Slika 7. Pukotine uslijed skorjelosti

6.1.3. Pukotine

Vanjske pukotine nastale tijekom sušenja mogu biti: površinske i čeone. Čeone su pukotine posljedica brzog izlaska vode u uzdužnom smjeru dok su površinske rezultat velikih vlačnih sila u vanjskim slojevima. Jedan primjer čeonih pukotina je kada se krajevi suše brže od sredine piljenice te nastaju naprezanja koja dovode do pucanja drva. Raspukline se protežu dužinom drva, a kreću najčešće od poprečnog presjeka. Prikaz raspuklina na čelima hrastovine vidljiv je na slici 8.



Slika 8. Raspukline na čelima

6.1.4. Promjena boje

Promjena boje često je posljedica pogrešnog skladištenja i slaganja drva prije, nakon ili za vrijeme sušenja. Uslijed presporog sušenja s niskim temperaturama i visokom relativnom vlažnosti uz nedovoljnu cirkulaciju zraka dolazi do pojave plijesni i gljivica. One napadaju drvo i svojom prisutnošću mijenjaju mu boju. Da bi se to izbjeglo drvo bi se trebalo osušiti brže, što pri prirodnom sušenju ne možemo kontrolirati.

Prema Novaku (2008) kondenzacijske mrlje nastaju prilikom kondenzacije vodene pare ili kapanja vode na površini građe. Voda u kojoj se nalaze akcesorne tvari isparava te nastaju mrlje na drvu.

Prilikom osiguravanja građe vezanjem željeznim užetom ili stavljanjem željeznih letvica unutar složaja može doći do taninske promjene boje, najčešće kod hrastovine. Kada se u određenim vrstama drva s velikom količinom tanina u anatomskoj strukturi, uslijed nejednolikog isparavanja pojavljuju tamne, crne mrlje na površini drva. Slika 9. prikazuje mrlje nastale izlučivanjem tanina uzrokovane kemijskom reakcijom.



Slika 9. Promjena boje

6.1.5. Nepravilno slaganje

Urušavanje složaja greška je koju radi čovjek pri slaganju složaja. U slučaju nepravilnog slaganja građe, stavljanja letvica različitih debljina između piljenica ili kojeg drugog razloga, ne samo da se ne može provoditi proces sušenja, već radnik takvim postupkom narušava svoju sigurnost i sigurnost svakoga tko se približi tom složaju.

6.2. Zaštita drva

Iako prirodna trajnost drva nudi određeni stupanj otpornosti, ne postoji idealno drvo koje bi se moglo koristiti u bilo kojoj primjeni bez ikakvih nedostataka. Zaštita drva uključuje svaki proces, bilo kemijski ili fizički koji je potrebno poduzeti kako bi se produžio vijek trajanja drva povećanjem njegove otpornosti na bilo koju opasnost koja ga može zadesiti, zapisali su Kollmann i Cole (1968).

Zaštita drva na stovarištu gdje se odvija prirodno sušenje moguća je i s fizičkog i kemijskog aspekta. Drva je potrebno zaštititi od utjecaja atmosferilija: kiše, snijega, sunca, vjetra i svega ostalog što bi moglo narušiti ili produljiti tijek sušenja. Za vrijeme transporta složajevi trebaju biti osigurani trakama dovoljno da se građa ne može pomicati. Sprječavanje širenja pukotina koja se već nalaze na čelima piljenica, moguće je zatvoriti gumenim ili željeznim spojnicama, kao što je prikazano na slici 10.



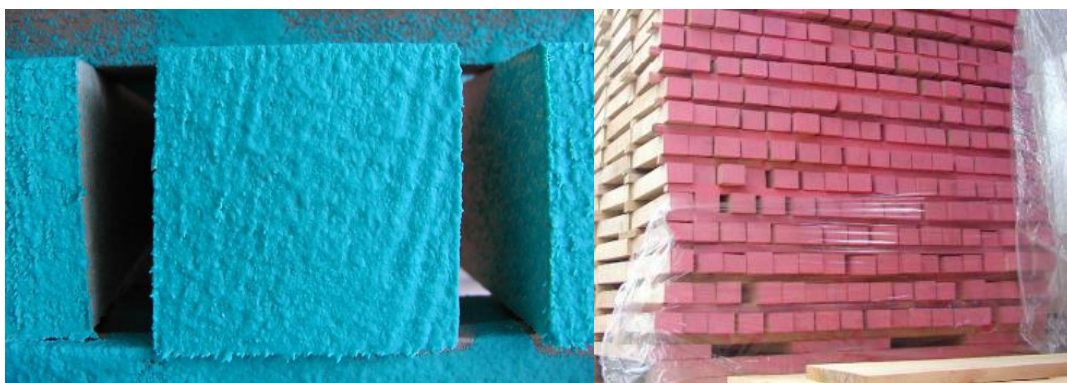
Slika 10. Spajanje pukotina

Kako je već navedeno da je drvo heterogen i anizotropan materijal, njegova svojstva u svim smjerovima nisu jednaka i voda ne isparava iz svakog djela drva jednako. S čela piljenica, tamo gdje su vidljivi godovi kao dijelovi kružnica, voda izlazi brže. Preporučljivo je čela debljih piljenica namazati zaštitnim sredstvom što je prije moguće nakon piljenja. Čela moraju biti premazana ravnomjerno i s dovoljnom količinom zaštitnog sredstva, pri čemu se dio upija u površinski sloj drva. Sredstvo ne smije biti preniske ili prevelike viskoznosti. Na slici 11. prikazani su primjeri zaštitnih sredstava.



Slika 11. Zaštitni premazi za čela piljenica

Kao premaz često se koriste emulzije voska ili lateks boja. U premaznom sredstvu nalazi parafin koji drvo čini hidrofobnim čime se smanjuje ili onemogućuje brzo isparavanje vode iz čela piljenice. Radi lakše evidencije piljenica moguće je u sredstvo za zaštitu staviti boju ili kupiti premaz u boji kao što je prikazano na slici 12.



Slika 12. Zaštita čela piljenica

7. KARAKTERISTIKE

Kao i svaki proces koji se izvodi, prirodno sušenje drva ima svoje prednosti i mane koje će biti nabrojane i razjašnjene pri sljedećim podnaslovima, a bit će i ukratko opisana usporedba prirodnog sušenja sa sušenjem u komornim sušionicama.

7.1. Prednosti

Sušenje piljenica na zraku ima mnoge praktične mogućnosti, a najbitnije je istaknuti malu potrošnju energije. Prirodno sušenje ne zahtjeva gotovo nikakvu potrošnju energenata, jedino je građu potrebno prijevoznim sredstvom dopremiti do mjesta na kojem će se sušiti. Usko vezano je očuvanje okoliša, bez potrošnje energije okoliš nije zagađen. Prirodno sušenje ekološki je prihvatljivo zato što u potpunosti ovisi o vremenskim uvjetima i klimi. Iz toga proizlazi da su troškovi prirodnog sušenja minimalni, proces je znatno jeftiniji.

7.2. Nedostaci

Nedostaci prirodnog sušenja su dugo vrijeme sušenja, vrlo spor proces jer se vremenski uvjeti ne mogu kontrolirati. Može se smanjiti utjecaj atmosferilija na način da se drvo zaštititi, ali kad je potrebno povećati, na primjer, temperaturu ili protok zraka, tu se ne može učiniti ništa. Drvo se ne može osušiti na vrlo nizak sadržaj vode, nego dovoljno za upotrebu u građevini, eksterijeru i uvjetima povišene relativne vlage zraka. Pri nižim temperaturama i visokoj vlažnosti moguć je razvoj plijesni i gljiva. Građa je na otvorenom, lako dostupna štetnicima.

7.3. Usporedba sa sušenjem u komornim sušionicama

Prirodno sušenje za sve vrste drva zahtjeva duže vrijeme za sušenje od klasičnog sušenja u komornim sušionicama, isto tako parametri na zraku nisu u tolikoj količini kontrolirani, ali to nikako ne znači da je kvaliteta sušenja i sušene građe manje vrijedna pri prirodnom sušenju.

Prema Kollmannu i Coteu (1968) sušenje u komornim sušionicama više smanjuje masu drva jer se drvo suši na niži sadržaj vode. Građa se može sušiti do željenog sadržaja vode, dok kod prirodnog sušenja to nije u potpunosti moguće. S obzirom da je u komornim sušionicama moguća kontrola parametara, sušenje se odvija brže i kraća je vrijeme potrebno da bi se postigli željeni postotak vode u drvenoj građi. Manji je rizik od razvoja gljivica i napada insekata uz uvjet da se slijede odgovarajuća pravila sušenja u komornim sušionicama.

Pri prirodnom sušenju drva često boja ostaje postojanija, rjeđe se događaju greške promjene boje. Nasuprot tome, kod umjetnog sušenja veća je mogućnost kondenzacijskih mrlja ili kemijske reakcije. Prirodno je sušenje jeftinije jer nema uporabe električne energije koja napaja grijače i ventilaciju te samim time ekološki je prihvatljivije.

8. ZAKLJUČAK

Drvo se suši radi postizanja boljih svojstava, radi smanjenja mase i za potrebe daljnje obrade. Postoji nekoliko načina na koje je moguće provoditi proces sušenja: u komornim sušionicama, kondenzacijsko sušenje, vakuumsko, visokofrekventno i prirodni način sušenja.

Drvo se suši na prirodan način od kad je čovjek drvo počeo koristiti kao materijal. Proces se provodi na način da iz piljenog drva isparava slobodna voda i dio vezane, sve do približno 15 % sadržaja. Postupak prirodnog sušenja može služiti kao predsušenje za komornu sušionicu ili kao sušenje do konačnog sadržaja vode u drvu. Građa se može sušiti u vanjskim uvjetima kada je natkrivena, u negrijanom prostoru, uz pomoć ventilacijskog sustava ili sa ventilacijom i grijanjem.

Sušenje se provodi na način da se građa stavlja u složajeve koji su na stovarištu jedan od drugog međusobno razmaknuti i odignuti od tla. Složajevi su kvadratnih oblika dovoljne visine za manipulaciju viličarom pri čemu se na stovarištu maksimalno 3 složaja stavljaju jedan na drugi. Elementi unutar složaja jednake su debljine i postavljeni na tanke letvice koje održavaju protok zraka. Letvice su postavljene 30 – 60 cm jedna od druge u istoj vertikali.

Građa se treba sušiti u odgovarajućim klimatskim uvjetima na ravnom šljunčanom stovarištu, pri čemu je omogućen prolaz transportnih vozila asfaltiranim cestama. Preporučljivo je da se stovarište nalazi dalje od zgrada i drveća koje bi mogle narušiti protok zraka. Za zaštitu od direktnog zračenja sunca mogu se staviti prozračne mreže. Sušenje je brže tijekom ljetnih mjeseci radi većih temperatura i manje količine relativne vlage.

Na sušenje utječu: relativna vlaga zraka, temperatura, vjetar, i ostali parametri poput anatomije drva, debljine piljenica i broja sunčanih dana. Navedeni uvjeti ne mogu biti kontrolirani.

Greške koje mogu nastati tijekom procesa sušenja uključuju: promjenu oblika (koritavost, savijanje i sl.), unutarnje i vanjske pukotine (skorjelost, površinske i čeone), promjenu boje (utjecaj gljiva i plijesni, kemijske promjene) te nepravilno slaganje složaja.

Piljenu je građu potrebno zaštititi, pri čemu se razvoj raspuklina na čelima može zaustaviti spojnicama. Na čela se stavlja premaz koji usporava prekomjerno isparavanje vode iz čela piljenica. Premazi mogu biti na bazi voska ili s dodatkom parafina, treba biti jednoliko stavljen po cijelom čelu piljenice.

Prednosti prirodnog sušenja su:

- velika ušteda energije
- minimalni troškovi
- očuvanje okoliša

Nedostatci prirodnog sušenja su:

- spor proces
- nekontrolirani uvjeti
- rizik od razvoja plijesni, gljiva, promjene boje i pukotina

9. POPIS LITERATURE

1. Dimitrov, T. 1992: Klima i prirodno sušenje drva, *Drvena industrija* 43 (2), 62-70
2. Hiziroglu, S.; Hitch, K. 2017: *Practicalities in Air Drying Lumber*, Oklahoma State University, Oklahoma, SAD
3. Kollmann, F.; Cote, W. 1968: *Principles of Wood Science and Technology*, Springer-Verlag, New York, SAD
4. Novak, M. 2008: *Sušenje lesa*, Drvodjelska škola Maribor, Ljubljana, Slovenija
5. Pervan, S.; Klarić, M. 2018: *Vlažni zrak pri sušenju drva (Vježba, preddiplomski studij Drvna tehnologija)*, Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb, Hrvatska.
6. Pervan, S. 2022: *Prirodno sušenje, zaštita i greške sušenja (Predavanje, prijediplomski studij Drvna tehnologija)*, Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb, Hrvatska
7. Reeb J. E.; Brown T. D. 1995: *Air- and Shed-drying Lumber*, Oregon State University, U.S. Department of Agriculture, SAD
8. Rietz R. C.; Page R. H. 1972: *Air drying of Lumber*, U.S. Department of Agriculture, Madison, SAD
9. Simpson, W. T.; Hart, C. A. 2000: *Estimates of Air Drying Times for Several Hardwoods and Softwoods*, United States Department of Agriculture, Minnesota, SAD
10. Simpson, W. T. 1991: *Dry Kiln Operator's Manual*, Agriculture Handbook No. 188, United States Department of Agriculture, Madison, SAD

*Struna 2011, Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje

<http://struna.ihjj.hr/naziv/stovariste-piljene-gradje/36803/> (17.7.2024)

<http://struna.ihjj.hr/naziv/stovariste-za-prirodno-susenje-drva/35833/#naziv>

(17.7.2024)

*WOODCRAFT magazine, 2024: How To Air-Dry Lumber

<https://www.woodcraft.com/blogs/wood/how-to-air-dry-lumber-turn-freshly-cut-stock-into-a-cash-crop-of-woodworking-woods> (19.7.2024)