Kvaliteta drva

Majstorović, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:262746

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA

FILIP MAJSTOROVIĆ

KVALITETA DRVA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, kolovoz 2018.

Izjavljujem da je verzija rada objavljena na repozitoriju istovjetna verziji rada kojom je obranjen završni rad (preddiplomski studij drvne tehnologije).

Filip M.

24.11.2020

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Autor	Filip Majstorović 10.03.1995., Zagreb JMBAG: 0068228031
Naslov	Kvaliteta drva
Predmet	Anatomija drva
Mentor	Prof. dr. sc. Jelena Trajković
Izradu rada je pomogao	Dr. sc. Tomislav Sedlar
Rad je izrađen	Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za znanost o drvu
Akad. god.	2017./2018.
Datum obrane	21.9.2018.
Rad sadrži	Stranica: 30 Slika: 8 Navoda literature: 37
Sažetak	Pregled svojstava drva koja mogu utjecati na kvalitetu drva, te na koje se sve načine ona može izraziti.

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA	**OB ŠF 05 07**
		Revizija: 1
		Datum: 28.6.2017.

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

_____

vlastoručni potpis

Filip Majstorović

U Zagrebu, *27.8.2018*

SADRŽAJ

PODACI O ZAVRŠNOM RADU I
IZJAVA O IZVORNOSTI RADA II
SADRŽAJ.....III
1. UVOD..... 1
1.1. Zašto definiramo kvalitetu drva? 1
1.1.1. Definicija kvalitete drva..... 2
2. Anatomija drva u odnosu na kvalitetu drva..... 2
2.1. Anatomija drva..... 2
2.2. Širina goda i kvaliteta drva..... 3
2.2.1. Širina goda i kvaliteta drva četinjača 3
2.2.2. Širina goda i kvaliteta drva listača 4
2.3. Stijenke stanica i kvaliteta drva 5
3. Kemizam drva u korelaciji s kvalitetom drva.....6
6
3.1. Kemijske karakteristike kvalitete s obzirom na krajnju uporabu.....77
4. Trajnost drva..... 8
5. Gustoća i rast drva.....10
5.1. Značaj gustoće drva 10
5.2. Što uzrokuje varijacije u gustoći drva?.....12
5.2.1. Varijacije gustoće u odnosu na godove.....12
5.2.2. Varijacije gustoće unutar debla.....13
5.2.3. Varijacije u gustoći s obzirom na mjesto rasta 15
5.3. Da li postoji korelacija između gustoće i stope rasta?.....16
6. Reakcijsko drvo.....18
6.1. Struktura i formiranje reakcijskog drva.....19
6.1.1. Kompresijsko drvo 19
6.1.2. Tenzijsko drvo 20
6.2. Reakcijsko drvo i kvaliteta drva.....21
7. Mehaničke karakteristike drva.....22
7.1. Uvod.....22
7.2. Prednosti i nedostaci drva kao strukturnog materijala.....22
7.2.1. Prednosti.....23
7.2.1.1. Visoka čvrstoća i čvrstoća na savijanje usprkos maloj masi 23

7.2.1.2. Dostupnost i obnovljivost materijala.....23
7.2.1.3. Zahtijeva manje energije za obradu u konstrukcijski materijal.....24
7.2.1.4. Lakoća proizvodnje.....24
7.2.1.5. Dimenzijska stabilnost i trajnost.....24
7.2.1.6. Mala električna i termalna provodljivost 25
7.2.2. Nedostatci.....25
7.2.2.1. Varijabilnost 25
7.2.2.2. Prirodne greške drva 25
7.2.2.3. Dimenzijska nestabilnost 25
7.2.2.4. Podložno napadima bioloških štetnika 26
7.2.2.5. Anizotropnost.....26
7.2.2.6. Zapaljivost 26
8. Zaključak.....27
Literatura.....27

1. UVOD

Tijekom proteklih par desetljeća rast broja brzorastućih šuma u svijetu je stabilan. Očekivano je da će prikupljeni resursi brzorastućih šuma dominirati u ukupnom svjetskom drvnom materijalu u prvoj polovici ovog stoljeća. U svijetu je tranzicija prema ovisnosti o resursima prikupljenim iz brzorastućih šuma dovela do značajnog pada kvalitete trupaca (Zobel 1984; Kellogg 1989). Na primjer, indeks kvalitete drva priložen od strane Constantina i Haleya (1988) za Britansku Obalu Kolumbije pokazao je pad u kvaliteti trupaca za gotovo 25% između 1925 i 1980. Takav materijal je obično definiran mlađom dobi, manjem promjeru trupca, većem udjelu juvenilnog drva i različitim karakteristikama drva i obrade drva.

Što te promjene znače za drvnu industriju? Promjene u kvaliteti drva su pokrenule lančanu reakciju (Zobel 1984). Kvaliteta drva ima značajan utjecaj na obradu drva, finalnu kvalitetu proizvoda te marketing (Zobel 1984; Kellison et al. 1984; Kellog 1989). Na Britanskoj Obali Kolumbije je padanjem kvalitete drva došlo do pada kvalitete proizvoda, a u isto vrijeme javio se porast cijene izrade istih proizvoda (Constantino i Haley 1988.)

Može li se šumama upravljati i održavati ih tako da kvaliteta drva bude zadovoljavajuća i poželjna proizvođačima? Kako se drugačiji resursi mogu efektivno koristiti da bi se izradili proizvodi koje potrošači žele? Prije nego se može dati odgovor na ta pitanja, mora se definirati: 1) kako šumari, proizvođači i kupci percipiraju kvalitetu drva te; 2) koje karakteristike kvalitete drva proizvođači i kupci žele?

1.1. Zašto definiramo kvalitetu drva?

Poimanje kvalitete drva je različito šumarima, proizvođačima i kupcima. Dok šumari razmišljaju o visini i obliku drva, a drvna industrija o dugačkim, ravnim trupcima bez grešaka, kupci percipiraju kvalitetu drva s nekog drugog stajališta. Građevinska industrija je uglavnom zainteresirana za čvrstoću, gustoću i dimenzijsku stabilnost drva, ali obraća jako malo pažnje ostalim karakteristikama (Kliger 1994). Anketa provedena od strane Ureda za Agrikulturu dovela je do preko tisuću definicija kvalitete drva. U mnogo slučajeva, kvaliteta drva je bila sinonim za gustoću drva. Mnogi znanstvenici vjeruju da su gustoća drva i duljina drvnih vlakanaca ključni elementi kvalitete drva. Kilger (1994) je pripisao ovu zabunu lošoj komunikaciji između šumara, drvne industrije i sektora za uporabu drva. Ako se takva praksa nastavi, industrija neće

dobiti ono što želi, a u konačnici niti krajnji potrošači. Da bi se kvaliteta drva dobro definirala, te da bi se postiglo bolje razumijevanje njenih aspekata, potrebno je ostvariti međusobnu komunikaciju šumara, djelatnika drvne industrije i potrošača.

1.1.1. Definicija kvalitete drva

Kroz povijest, mnogo stručnjaka je pokušalo definirati kvalitetu drva (Keith 1985), ali definicija predložena od Mitchella (1961) je u konačnici najšire prihvaćena: „Kvaliteta drva je rezultat fizičkih i kemijskih karakteristika, sadržanih od strane drva ili dijela drva, koje mu omogućavaju da zadovoljava kriterije za izradu različitih finalnih proizvoda“. Skoro svi bi se mogli složili da kvaliteta drva mora uvažiti i specifične krajnje potrebe te ova definicija ističe njihovu važnost, ali ne spominje ostale aspekte koji su od važnosti proizvođačima, šumarima ili potrošačima. Prema tome, ova definicija nije pogodna za uporabu kod šumarstva, drvnotehnološke industrije te lanca potrošača.

Kako karakteristike drva utječu na razne aspekte proizvodnog procesa, kvaliteta drva mora biti definirana u odnosu na lanac oporavka vrijednosti. U konačnici, definicija mora sadržavati i informacije o uporabljivosti te atribute interesa konačnih kupaca, koji mogu, a i ne moraju imati direktan utjecaj na proces proizvodnje, ali će nastaviti biti od važnosti nakon što je proizvod prodan te u uporabi. Ovaj rad će definirati kvalitetu drva kao „sve karakteristike drva koje utječu na lanac vrijednosti i uporabljivost finalnih proizvoda“.

2. ANATOMIJA DRVA U ODNOSU NA KVALITETU DRVA

2.1. Anatomija drva

Drvo se dijeli na 'tvrdo' (listače) i 'meko' (četinjače), ovisno iz koje vrste drva je obrađeno. Ovi pojmovi u teoriji nisu točni jer nisu povezani sa stvarnom mekoćom, odnosno tvrdoćom drva. U mnogo slučajeva, četinjače uistinu dolaze iz mekših vrsta drva s manjom gustoćom i slabijim mehaničkim svojstvima, dok listače uglavnom dolaze iz tvrđih vrsta sa boljim mehaničkim svojstvima, ali to ne mora uvijek biti slučaj.

Četinjače i listače se sastoje od različitih vrsta stanica te kao rezultat imaju drugačiju strukturu. Kvaliteta i mehanička svojstva drva ovise prvenstveno o anatomskoj građi,

tj. o strukturi drva. Anatomska građa uvjetuje i osnovna fizička svojstva drva: gustoću. Ostala fizička svojstva drva ovise i o submikroskopskoj građi stijenki stanica, o kemijskom sastavu lignoceluloze, te o ekstraktivnim tvarima drva. Svaka vrsta, odnosno rod drva, ima specifičnu anatomsku građu te se više ili manje razlikuje od ostalih vrsta. Drvo je proizvod živog organizma koji za vrijeme rasta reagira na promjenjive uvjete života. Te reakcije se odražavaju na djelovanje kambija, tj. na formiranju i sazrijevanju goda, te na varijacijama u strukturi drva. Varijacije u strukturi i kvaliteti drva specifične su za drvo kao tehnički i građevni materijal. Po tim svojstvima drvo se bitno razlikuje od svih ostalih građevnih materijala, prirodnih i sintetskih.

2.2. Širina goda i kvaliteta drva

Postoji korelacija između gustoće te ostalih fizičkih i mehaničkih svojstava drva. Gustoća drva ovisi o prostoru kojeg ispunjavaju stanice drva izvjesnog tipa, o veličini stanica i debljine stijenki, te o količini sržnih tvari. Jednostavno rečeno, gustoća drva ovisi o količini drvne tvari i praznina (lumena) u izvjesnom volumenu drva.

Poredak elemenata drva unutar goda nije konstantan. To vrijedi posebice za prstenasto-porozno drvo koje je u ranom drvu izgrađeno iz drugačijih elemenata nego u kasnom drvu. Ukoliko je čitav god izgrađen iz istovrsnih elemenata, elementi ranog drva su barem nešto krupniji i tanjih stijenki, nego što su elementi kasnog drva. Razlike u građi goda jače su naglašene kod onih vrsta drva koje imaju nejednolik prirast i godove različite širine. Utjecaj širine goda na kvalitetu drva četinjača posve je drugačiji nego kod drva listača (Špoljarić, Z. 1978).

2.2.1. Širina goda i kvaliteta drva četinjača

Kasno drvo četinjača veće je gustoće od ranog drva. Razlika u gustoći nastaje zbog toga što su traheide u vanjskom završnom dijelu goda tangentno spljoštene u većoj mjeri, debljih stijenki i manjeg lumena, nego traheide u unutarnjem, početnom dijelu goda. Iz razlike u građi traheida unutar jednog goda proizlazi da kasno drvo sadrži veću količinu drvne tvari u jedinici volumena i zato je teže i gušće od ranog drva. Korelacija između gustoće i čvrstoće drva postoji i unutar jednog goda. U drvu normalne građe, kasno drvo je veće čvrstoće od ranog drva. Izuzetak je kompresijsko drvo koje sadrži veće količine kasnog drva od normalno građenog (zdravog) drva jednake širine godova, a ipak je znatno manje čvrstoće.

Drvo ekstremno uskih godova ima bolja mehanička svojstva od drva ekstremno širokih godova. Bez obzira na širinu godova, juvenilno drvo je manje gustoće i slabije kvalitete od zrelog drva. Drvo najbolje kvalitete se može očekivati od stabala iz sastojina koje su imale jednoliki i osrednji prirast, tj. „normalni“ prirast za dotičnu vrstu. Zvučna i toplinska izolacijska svojstva najpovoljnija su u drvu ekstremno širokih godova (Špoljarić, Z. 1978)

2.2.2. Širina goda i kvaliteta drva listača

Prema rasporedu traheja unutar goda, drvo listača može biti prstenasto-porozno ili difuzno-porozno. Obje skupine ne reagiraju jednako na promjenu širine goda, te ih je potrebno razmotriti posebno. Kvaliteta prstenasto-poroznog drva može znatno varirati kod jednake ili različite širine godova. Drvo male gustoće i slabe čvrstoće često proizvoide stabla koja su uzrasla na velikim visinama i slabom tlu. U takvim slučajevima širina goda može biti i unutar normalnih granica, a kvaliteta drva je lošija nego što bi odgovaralo srednjoj širini goda. Slaba kvaliteta prstenasto-poroznog drva s visokih staništa uvjetovana je anomalnom strukturom kasnog drva. Takvo kasno drvo sadrži više parenhima normalne debljine stijenki ili tankih stijenki, više traheja kasnog drva, a drvna vlakanca su relativno tankih stijenki i velikog lumena. Dva uzorka prstenasto-poroznog drva jednake širine godova i jednake gustoće, mogu biti različite čvrstoće i zbog lokalne koncentracije traheja kasnog drva. Nejednolik raspored traheja nastaje iz fizioloških razloga, a ograničen je samo na izvjesni dio stabla.

U difuzno-poroznom drvu listača širina goda također utječe na kvalitetu drva. Ta korelacija je dobro uočljiva samo u vanjskim godovima zrelog drva, prilično udaljenim od srčike. Razlike u kvaliteti nastaju zbog varijacija u gustoći i veličini pora u uskim i širokim godovima. U uzastopnim uskim godovima razvija se povećana količina poroznog drva manje gustoće i tvrdoće. Difuzno-porozno drvo takve građe proizvode oslabljena stara stabla s umanjenim debljinskim prirastom. Na kvalitetu difuzno-poroznog drva djeluju u manjoj mjeri i ostali čimbenici koji djeluju na kvalitetu prstenasto-poroznog drva. Razlike u gustoći i kvaliteti difuzno-poroznog drva teže se uočavaju nego kod prstenasto-poroznog, a nastaju zbog varijacija u količini i poretku raznih vrsta elemenata, te razlika u debljini stijenki i lumena elemenata istog tipa.

2.3. Stijenke stanica i kvaliteta drva

Varijacije u kvaliteti drva nastaju uglavnom zbog različite širine godova, promjenjive količine kasnog drva u godu i različite gustoće drva. Međutim, postoje varijacije u svojstvima drva koje se ne mogu pripisati nijednom od spomenutih razloga.

Na čvrstoću drva utječe i građa stijenki stanica. Svojstva stijenki ovise o razlikama u kemijskom sastavu lignoceluloze, o debljini lamela i slojeva stijenki te o kutu mikrofibrila. Za sada ima malo podataka o utjecaju submikroskopske građe i kemijskog sastava stijenki na kvalitetu drva.

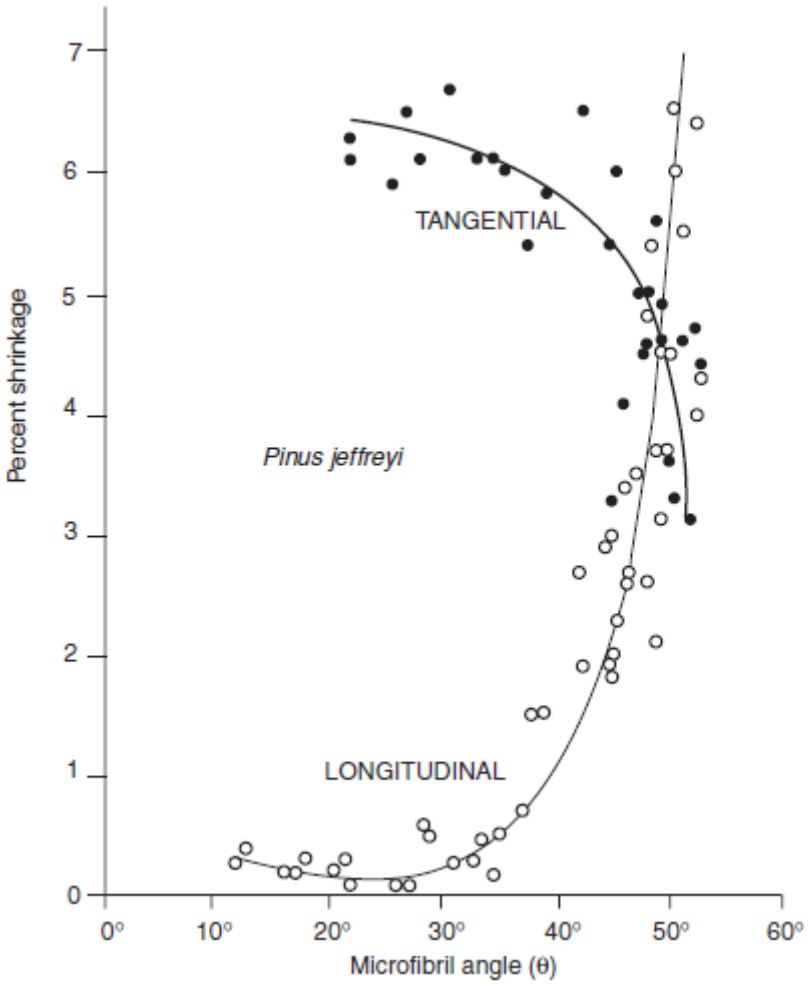
Čvrstoća drva ovisi i o stupnju lignifikacije stijenki. Kompresijsko drvo je jače lignificirano od normalnog drva iste gustoće, a ipak su neki parametri čvrstoće znatno manji nego što su kod zdravog drva. Slične rezultate dala su i istraživanja submikroskopske građe normalnog drva. Glavni nosilac čvrstoće drva na vlak je celulozni skelet, a na tlak amorfni lignin. Šupljine u celuloznom skeletu su mjesta najmanjeg otpora kod mehaničkog preopterećenja drva.

Na čvrstoću drva utječe i kut uvijanja mikrofibrila u pojedinim slojevima stijenki. Veliki kut uvijanja mikrofibrila uvjetuje malu čvrstoću kompresijskog i tenzijskog drva. Kut uvijanja ili smjer protezanja mikrofibrila je kut što ga zatvaraju mikrofibrilski nizovi sa smjerom protezanja elemenata, odnosno s njegovom glavnom osi. Prosječni kut uvijanja mikrofibrila varira i u drvu normalne građe. Te fluktuacije mogle bi imati izvjesan utjecaj i na čvrstoću normalnog drva i smjera kuta uvijanja mikrofibrila. Elementi građe juvenilnog drva imaju znatno veći kut uvijanja mikrofibrila od elemenata zrelog drva. Promjena kuta uvijanja mikrofibrila se zbiva u unutar nekoliko prvih godova.

Sastav slojeva stijenki stanica također utječe na tehnička svojstva drva. Želatozni tokovi libriforma i vlaknastih traheida umanjuju čvrstoću tenzijskog drva. Veće razlike u sastavu srednjeg podsloja sekundarnog sloja stijenki uvjetuju varijacije čvrstoće i u normalno građenom drvu. Varijacije u submikroskopskoj građi stijenki lignoceluloze neovisne su o intenzitetu rasta i gustoći drva. Za sada nisu poznati čimbenici koji uvjetuju razlike u finoj strukturi lignoceluloze stijenki stanica drva.

Druga velika karakteristika kvalitete kada govorimo o kutu mikrofibrila je utezanje u longitudinalnom smjeru. Longitudinalno utezanje raste s povećanjem kuta uvijanja mikrofibrila. Longitudinalno uvijanje je uvijek veće od transvezalnog uvijanja. Juvenilno i kompresijsko drvo pokazuju ekstremno visok utjecaj kod utezanja u

longitudinalnom smjeru. Problem koji se javlja kod utezanja je pojava grešaka prilikom sušenja drva te se stvaraju daljnji problemi prilikom prerade i iskoristivosti materijala.



Slika 1. Odnos utezanja i kuta mikrofibrila (Meylan, 1968.)

3. KEMIZAM DRVA U KORELACIJI S KVALITETOM DRVA

Drvo po svojem kemijskom sastavu nije jednostavne, već složene građe. Ono sadrži dvije skupine tvari. Prva skupina, osnovne tvari, koji tvore sastavni dio stijenke stanica drva. To su uglavnom organske tvari, ali one sadrže i mineralne tvari (pepeo). Druga skupina, akcesorne tvari, koje se mogu nazvati i ekstraktivne tvari, odnosno infiltrati, sporedni su dio stijenke stanice.

Suha drvna tvar sastoji se od ugljika (50%), kisika (43.5%), vodika (6%), dušika (0.2%) i pepela (0.3%). Kemijski sastav i promjene u kemijskom sastavu od najveće su važnosti za svojstva drva. Razlike u kvaliteti srži i bjeljike su uvjetovane kemijskim

promjenama u stijenkama i lumenima stanica srži. Sudjelovanje celuloze i lignina u izgradnji stijenki pojedinih stanica je promjenjivo, iako je lignoceluloza drva prilično konstantnog kemijskog sastava. Stijenke mogu biti prigodice i želatozne. Tanin, infiltriran u stijenkama stanica može se razviti u znatnim količinama, a lumeni stanica mogu sadržavati tekućine, smole i tanin.

Na mehanička i fizička svojstva drva utječe fina struktura stijenki i submikroskopska građa lignoceluloze. Raspored kristalita i mikrofibrila, te stupanj lignifikacije celuloznog skeleta stijenki je od većeg utjecaja na svojstva drva, nego što je kemijski sastav lignoceluloze.

Kemijski sastav stijenke stanice drva listača i četinjača prikazan je u tablicama:

TAB. 5

	Drvo	
	četinjač	listača
	%	%
Ugljikohidrati		
a) celuloza	50,0	50,0
b) hemiceluloze	23,0	26,0
Lignin	27,0	24,0
	100,0	100,0

Tiemann, 1947.

Slika 2. Kemijski sastav stijenke stanice drva

3.1. Kemijske karakteristike kvalitete s obzirom na krajnju uporabu

Kemijske komponente i njihov raspored u staničnoj stijenci su direktno povezane s karakteristikama drva i njihov utjecaj može biti pozitivan ili negativan, ovisno o krajnjoj uporabi. U drvu, uloga lignina je asocirana s kompresijskom snagom, a celuloza s vlačnom čvrstoćom i savitljivošću, te su promjene u njihovom udjelu od velike važnosti kada pričamo o takvim karakteristikama. Međutim, većina varijacija u drvu je uzrokovana utjecajem različitih tipova drva, prvenstveno reakcijskim drvom, kod kojeg se mogu naći najveća odstupanja strukturnih komponenti stanične stijenke.

Kod normalnog drva, najvažniji kemijski faktori koji utječu na kvalitetu drva su ekstraktivne tvari, s obzirom da njihova prisutnost utječe na obradu i uporabu drva.

Najveća uloga ekstraktiva u uporabi drva je zasigurno prirodna trajnost. Izloženo u uporabi, bilo to u zemlji, iznad zemlje ili u vodi, drvo je podložno napadu raznih mikroorganizama (Zabel i Morell, 1992). S obzirom da su ekstraktivi većinom smješteni u srži, prirodna trajnost srži je znatno veća od prirodne trajnosti bjeljike.

Veliki udio ekstraktiva, pogotovo kada se nalaze u staničnoj stijenci, može uzrokovati povećanje gustoće te smanjenje bubrenja i utezanja u srži drva, s pozitivnim posljedicama za uporabnost drva (Tsoumis, 1991; Walker, 1993). Kombinirani efekt veće trajnosti i manjih dimenzijskih varijacija čini srž odličnim materijalom za strukturnu primjenu (Faherty i Williamson, 1995).

4. TRAJNOST DRVA

Trajnost drva je sposobnost da se ono odupire promjenama i razaranjima nastalim djelovanjem atmosferilija, raznih kemijskih tvari te štetnika biljnog i životinjskog porijekla. Drvo zadržava duže ili kraće vrijeme svoja prirodna svojstva, osobito građu, boju, fizička i mehanička svojstva. Taj vremenski interval u kojem drvo zadržava prirodna svojstva zove se prirodna trajnost drva. Prirodna trajnost kreće se u vrlo širokim granicama, od nekoliko mjeseci do nekoliko tisuća godina.

Prirodna trajnost drva prikazana je u tablici.

TAB. 52

Vrst drva	Trajnost drva u godinama			
	žel. pragovi	na slobodnom prostoru nezaštićeno	na slobodnom postoru pod krovom	stalno u suhom
Ariš	9 ... 10	40 ... 65 ... 90	90 ... 120 ... 150	1800
Bor	7 ... 8	40 ... 60 ... 85	90 ... 100 ... 120	120 ... 1000
Jela	4 ... 5	50	50	900
Smreka	4 ... 5	40 ... 55 ... 70	50 ... 60 ... 75	120 ... 900
Breza	—	3 ... 20 ... 40	3 ... 20 ... 40	500
Brijest	—	60 ... 80 ... 100	80 ... 130 ... 180	1500
Bukva	2 ... 3	10 ... 35 ... 60	5 ... 50 ... 100	300 ... 800
Hrast	14 ... 18	50 ... 85 ... 120	100 ... 150 ... 200	300 ... 800
Jasen	—	15 ... 40 ... 60	30 ... 60 ... 100	300 ... 800
Joha	—	3 ... 20 ... 40	3 ... 20 ... 40	400
Topola	—	3 ... 20 ... 40	3 ... 20 ... 40	500
Vrba	—	5 ... 10 ... 30	5 ... 20 ... 40	600

Slika 3. Prirodna trajnost drva u godinama

Prirodna trajnost drva ovisi o mnogo faktora, unutarnjih i vanjskih. Unutarnji faktori odnose se na vrstu drva, građu, kemijski sastav, gustoću i sadržaj vode u drvu. Od vanjskih faktora važni su zrak, svjetlo i voda, kemijske tvari, štetnici biljnog i životinjskog porijekla, stanište, vrijeme sječe te način i mjesto uporabe drva.

Prirodna trajnost drva ovisi i o vrsti drva. Jedričave vrste su u pravilu trajnije od bakuljavih vrsta. Trajnost drva ovisi i o njegovoj građi. Postoje znatne razlike u trajnosti ranog i kasnog drva jednog goda, te bjeljike i srži istog srabla. Rano drvo; meko i porozno; znatno je manje trajnosti nego kasno drvo.

Sadržaj smole uvećava trajnost drva. Što je veći sadržaj smole, to je veća trajnost drva. Tako se može objasniti veća trajnost bora, ariša i smreke u odnosu na trajnost jelovine. Gustoća drva mogla bi poslužiti kao mjerilo trajnosti s obzirom da su mnoge vrste veće gustoće ujedno i vrlo trajne. I sadržaj vode u drvu važan je za trajnost. Sadržaj vode, odnosno vode i zraka u drvu, od bitnog je značaja za razvoj gljiva i insekata. Drvo se, za razliku od metala, nalazi u kemijskoj ravnoteži sa svojom okolinom. Njegova otpornost na koroziju je zbog toga vrlo visoka. U čistom i suhom zraku te vodi drvo je gotovo neograničene trajnosti, ako je zaštićeno od napada gljiva i insekata. Drvo je vrlo postojano kada se govori o utjecaju Sunčeve svjetlosti (fotodegradacija).

Djelovanjem svjetla tanki slojevi drva postaju lomljivi i mijenjaju boju. Uslijed djelovanja svjetla drvo na svojoj površini mijenja prirodni ton boje (sivljenje, smeđenje i crnjenje). Kemijsko i fizičko rastvaranje drva uslijed djelovanja atmosferilija raste s intenzitetom i vremenom trajanja utjecaja svjetla, veličinom razlike u temperaturi, brzinom vjetra i snagom kiše. Najveću trajnost pokazuje drvo uporabljeno u posve suhoj prostoriji, jednolične niske temperature i bez pristupa zraka. Veoma veliku trajnost pokazuje drvo stalno pokriveno vodom ili ledom. Drvo izloženo pristupu zraka, ali zaštićeno od direktnog utjecaja oborina ima znatnu trajnost (Horvat I, 1967). Slabu trajnost pokazuje drvo na slobodnom prostoru, ako je naizmjence izloženo vlagi i suhoći. Malen stupanj trajnosti pokazuje drvo u vlažnim, srednje toplim zatvorenim prostorijama. Najniži stupanj trajnosti pokazuje drvo u površinskom sloju zemlje.

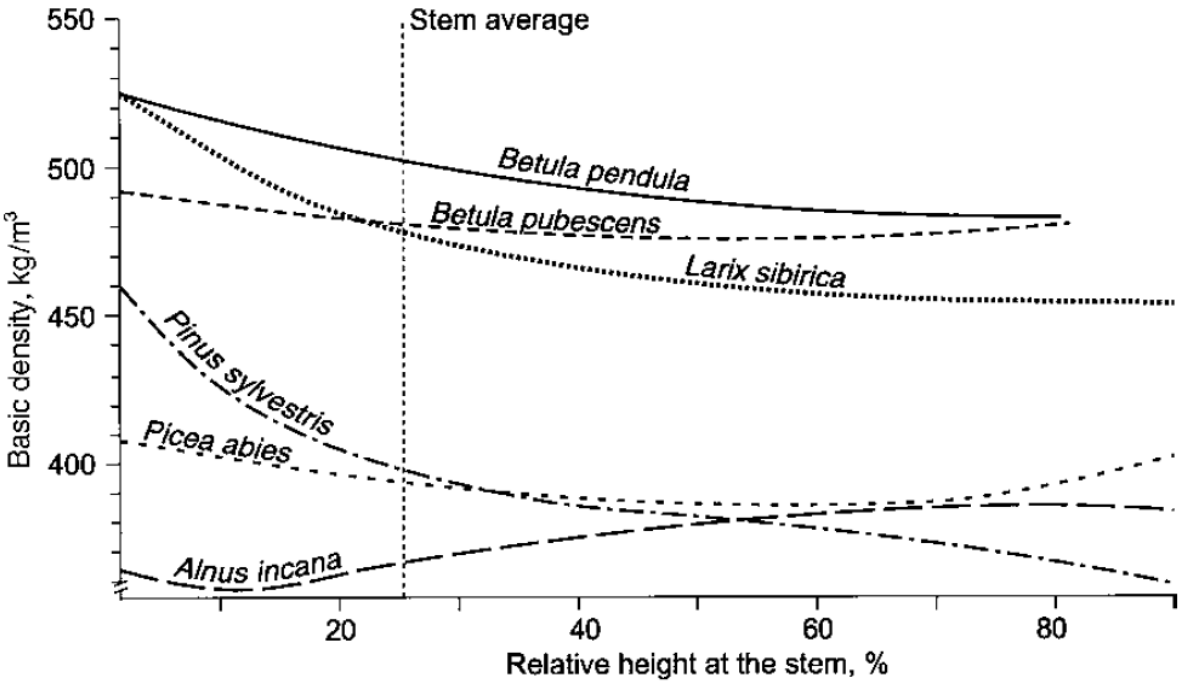
5. GUSTOĆA I RAST DRVA

5.1. Značaj gustoće drva

Gustoća drva je jedno od najbitnijih fizičkih svojstava drva. Relativno ju je lako odrediti i povezana je s mnogim drugim fizičkim svojstvima kao što su čvrstoća, krutost itd. Bubrenje i utezanje drva je također usko povezano s gustoćom, iako ta veza nije jaka kao kod npr. gustoće i čvrstoće. Npr., čvrstoća na savijanje smrekovine raste s porastom gustoće i korelacija tih parametara je velika (e.g. Okstad i Karstad, 1985; Seeling, 1999; Saranpaa i Repola, 2001). Gustoća se također koristi kao pokazatelj kvalitete drva u smislu da se pomoću nje može utvrditi optimalna krajnja uporaba nekog finalnog proizvoda. Strukturno drvo mora imati veliku gustoću i čvrstoću. Vrste drva manje gustoće pogodnije su za izradu papira i sličnih proizvoda. Gustoća drva je dobar pokazatelj kvalitete drva za izradu papira zbog njezine povezanosti s pojedinim karakteristikama drva i drvnih vlakanaca, kao što je debljina stanične stijenke.

Iz gustoće se može zaključiti mnogo o drvu kao prirodnom materijalu. Drvna tvar ˈmekogˈ i ˈtvrdogˈ drva ima približno konstantnu gustoću od 1540kg/m^3. Unatoč jednakoj specifičnoj težini drvne tvari ˈmekogˈ i ˈtvrdogˈ drva, promjenjivi volumni udjel stijenki u izgradnji drva uvjetuje velike razlike u gustoći drva. Drvo s malim udjelom lumena i velikim udjelom drvne tvari velike je gustoće. Drvo izgrađeno pretežito iz vlakanaca uskih lumena i debelih stijenki ima veliku gustoću. Velika gustoća drva uvjetovana je debelim stijenkama i malim lumenima svih elemenata građe drva. ˈMekoˈ

drvo izgrađeno je samo iz tankostijenih elemenata ili su takvi elementi znatno brojniji od debelostijenih. Brojne tankostijene traheje mogu znatno umanjiti gustoću drva. ˈMekoˈ drvo takve građe može imati vlakanca osrednje debelih stijenki. Ekstremno ˈmekoˈ drvo koje je po težini nalik na pluto, izgrađeno je dobrim dijelom iz velikih, slabo lignificiranih, tankostijenih stanica parenhima. Parenhimske stanice i vlakanca ekstremno ˈmekogˈ drva imaju velike lumene i veoma tanke stijenke. Donja granica gustoće drva uvjetovana je statičkim i dinamičkim faktorima. Daljnjim smanjivanjem količine drvne tvari u izgradnji drva stablo bi se slomilo zbog težine krošnje, pritiska vjetra i oborina. Gornja granica gustoće drva uvjetovana je fiziološkim razlozima. Daljnjim smanjivanjem promjera pora i lumena stanica prestala bi provodna i fiziološka funkcija stabla.



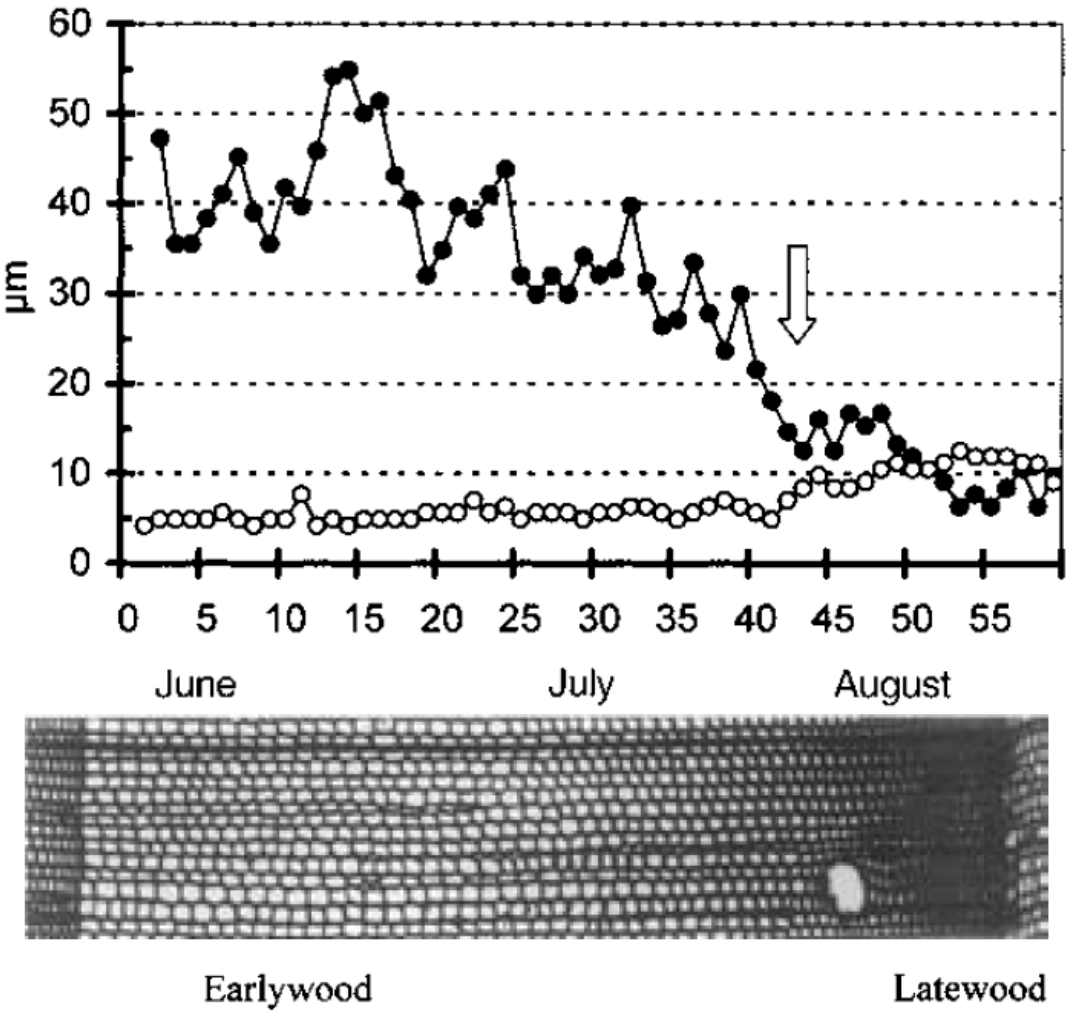
Slika 4. Odnos nominalne gustoće i visine debla (Hakilla, 1998.)

5.2. Što uzrokuje varijacije u gustoći drva?

Ako pretpostavimo da je gustoća stanične stijenke konstantna onda je gustoća drva određena veličinom staničnih stijenki ili njihovih lumena i njihovom debljinom. Udio kasnog drva je dobar pokazatelj gustoće drva kod četinjača (e.g. de Kort et al., 1991; Wimmer, 1995). U normalnim granicama udjela kasnog drva (19-50%); debljina stijenki ranog drva, radijalna ili tangentna, ima veliki potencijal utjecaja na gustoću drva. Međutim, najveći utjecaj na gustoću drva imaju radijalni promjer i debljina stijenki traheida kasnog drva (Wimmer, 1995). Postotak kasnog drva može objasniti i do 60% varijacija u gustoći drva kod obične američke duglazije. Brzina rasta, dob stabla i nasljedstvo su glavni faktori koji određuju gustoću drva (e.g. Lewark, 1982; Zobel i Jett, 1995; Lindstrom; 1996; Haapanen et al., 1997; Beets et al., 2001; Wodzicki, 2001).

5.2.1. Varijacije gustoće u odnosu na godove

Većina vrsta drva pokazuju velike varijacije gustoće kod jednog godišnjeg prirasta. Po Megrawu (1985), najveće varijacije gustoće pojavljuju se kod svakog godišnjeg prirasta u 'mekim' vrstama drva. Razlog tomu su klimatske promjene i formacija kasnog drva. Kasno drvo u mekim vrstama drva sadrži traheide u kojima je stijenka između dvije stanice točno 50% ili malo više od 50% radijalne širine lumena (Mork, 1928). Drugim riječima, dvostruka debljina stijenke (mjerena od lumena do lumena) je jednaka polovici ili malo više od polovice lumena stanice. Slika 5 prikazuje primjer formacije jednog goda u 42 godine staroj Norveškoj smreki (*Picea Abies*) u južnoj Finskoj. God je imao otprilike 60 traheida u jednom radijalnom redu. Prosječni promjer traheida ranog drva bio je 30 µm i prosječna dvostruka debljina stijenke bila je 6 µm. Prijelaz iz ranog u kasno drvo bio je postupan te se promjer lumena počeo smanjivati u središtu goda. Zahvaljujući razlici između ranog i kasnog drva, gustoća u jednom godu varira znatno više nego gustoća debla.

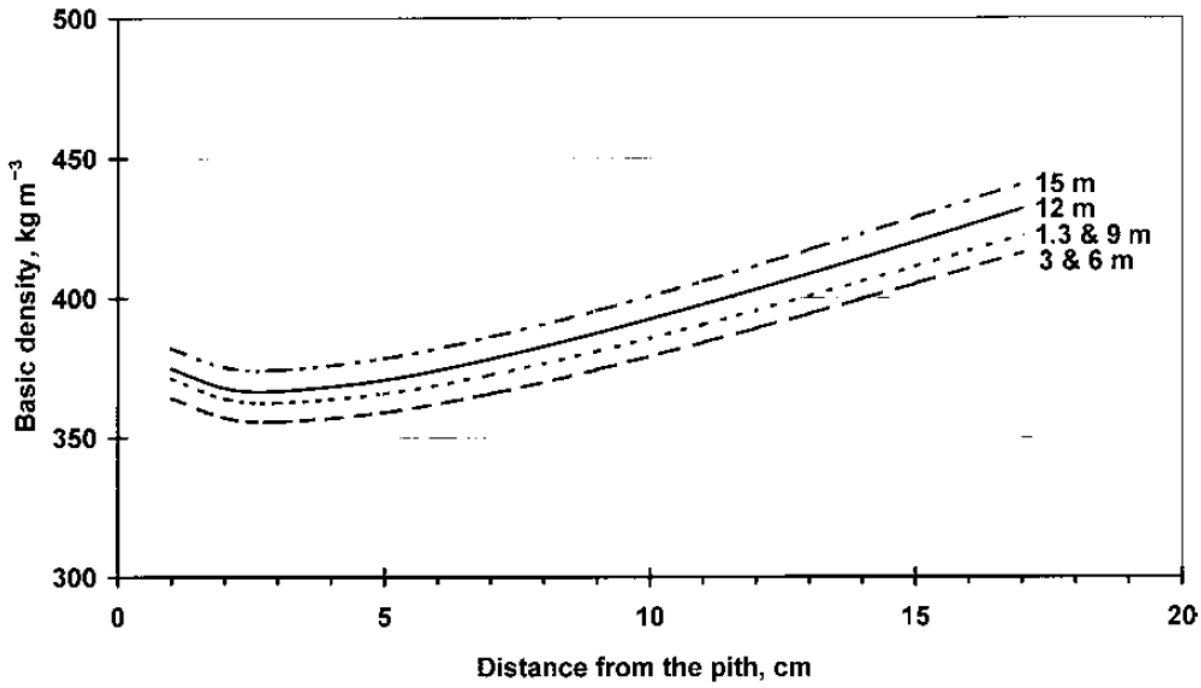


Slika 5. Formacija goda u 42 godine staroj Norveškoj smreki (*Picea Abies*) (puni kružići predstavljaju pad promjera staniče stijenke, a bijeli kružići porast dvostruke debljine stijenke od ranog do kasnog drva)

5.2.2. Varijacije gustoće unutar debla

Juvenilno drvo je drvo koje se nalazi odmah pored kambija, u blizini središta debla. Nema naglog prijelaza iz juvenilnog u zrelo drvo u jednoj godini, nego se ta promjena događa tijekom nekoliko godina. Unutar juvenilnog drva gotovo sve karakteristike drva variraju od goda do goda, a unutar adultnog drva imaju veći stupanj konstantnosti. Stablo proizvodi juvenilno drvo bez obzira na svoju dob. S obzirom da je kambij neprekinut plašt koji se omotava oko debla, on proizvodi juvenilno drvo blizu vrha debla, a adultno drvo blizu baze debla (Thomas, 1984; Zobel i van Buijtenen, 1989). Prisutnost juvenilnog drva pokazala se kao jedan od najboljih pokazatelja

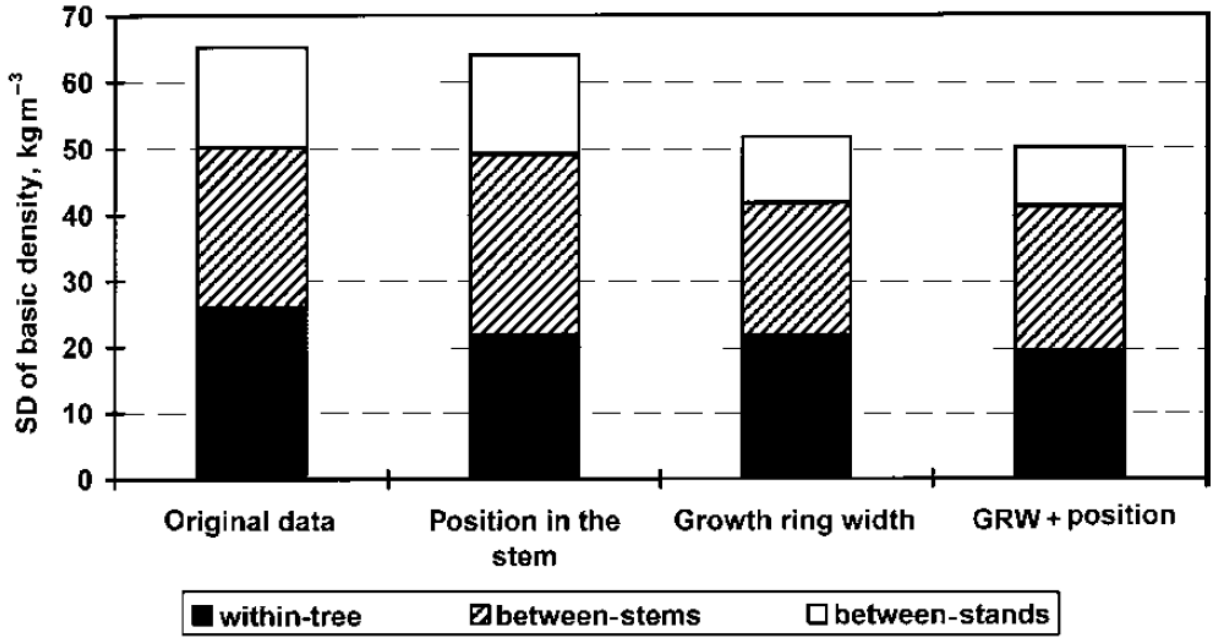
varijacija karakteristika kod četinjača. Duljina stanica, promjer i debljina stanične stijenke rapidno se povećavaju od središta prema kori (Thomas,1984; Zobel i Sprague, 1988; Saranpaa et al., 2000). Veliki kut mikrofibrila, kratka vlakanca unutar tankih stijenki i mali udio kasnog drva u godovima blizu srčike uzrokuju manju kvalitetu proizvoda od juvenilnog drva. Juvenilno drvo je također karakterizirano manjom gustoćom, ali većim longitudinalnim utezanjem od adultnog drva (Boutelje, 1968; Pearson i Gilmore, 1971; Bendtsen, 1978; Thomas, 1984; Zobel i van Buijtene, 1989; Zobel i Sprague, 1998). Veliki udio kompresijskog drva uočen je kod brzorastućih vrsta drva (Bendtsen, 1978). Međutim, utvrdilo se da kompresijsko drvo ima malo utjecaja na karakteristike juvenilnog drva. U mnogo vrsta, pogotovo kod borova, gustoća se povećava postupno od središta prema kori. Slika 6 pokazuje model općih varijacija gustoće od središta prema kori pri različitim visinama kod Norveške smreke (*Picea Abies*). Gustoća se pokazala za nijansu većom bliže središtu debla. Ove varijacije u gustoći mogu biti problematične kada deblo dosegne određenu dob, pogotovo kada se govori o dimenzijskoj stabilnosti. Da bi se to izbjeglo, juvenilnu fazu rasta potrebno je održati kratkom i sa sporijim inicijalnim rastom. Juvenilno i adultno drvo se ne bi trebalo uspoređivati kada se gledaju faktori okoline na rast i gustoću drva.



Slika 6. Varijacija u gustoći od središta prema kori kod Norveške smreke *(Picea Abies)*. Gustoća također varira po duljini debla (najmanja gustoća nalazi se na visini od 3 do 6 m.)

5.2.3. Varijacije u gustoći s obzirom na mjesto rasta

Razlike u plodnosti tla, geografskom položaju i klimatskim uvjetima glavni su izvori varijacija kada se govori o mjestu rasta. Ljudski utjecaj na šume se također uzima u obzir. Razlike koje su nastale ljudskim utjecajem kao što su stanjivanje, obrezivanje i oplodnja povećavaju ili smanjuju varijacije između debala. Varijacija između pojedinih debala, te između juvenilnog i zrelog drva glavni su uzroci varijacija kod Norveške smreke (*Picea Abies*). Slika 7 prikazuje varijacije gustoće kod 240 debala Norveške smreke sa 48 različitih područja rasta, podijeljenih u 3 komponente: između mjesta rasta, između debala i unutar debla (uzorci od središta do kore i razlike po visini debla). Odgovarajuće varirajuće komponente neobjašnjenih varijacija između 3 izabrana kriterija koji imaju različite fiksirane dijelove su također prikazani na slici. Fiksirana varijabla prvog modela, pozicija u deblu, prikazuje razlike u gustoći kao funkciju udaljenosti od središta prema kori te od panja prema vrhu debla. Fiksirani dio drugog modela, širina goda, pokazuje efekt širine goda na gustoću drva. Kod trećeg modela, širina goda i mjesto rasta, tj. efekt pozicije u drvu i širine goda je prikazan u fiksiranom dijelu. Varijacije između debala i varijacije u pojedinim deblima bio je glavni uzrok varijacija u gustoći. Međutim, veliki dio varijacija ostaje neobjašnjen. Wilhelmsson i suradnici (2002) objasnili su 50% ukupnih varijacija u gustoći Norveške smreke (*Picea Abies*) koristeći promjer debla, broj godova i klimu područja kao izvore dokazivanja.



Slika 7. Varijacije u gustoći drva Norveške smreke (*Picea Abies*) podijeljene u 3 komponente

5.3. Da li postoji korelacija između gustoće i brzine rasta?

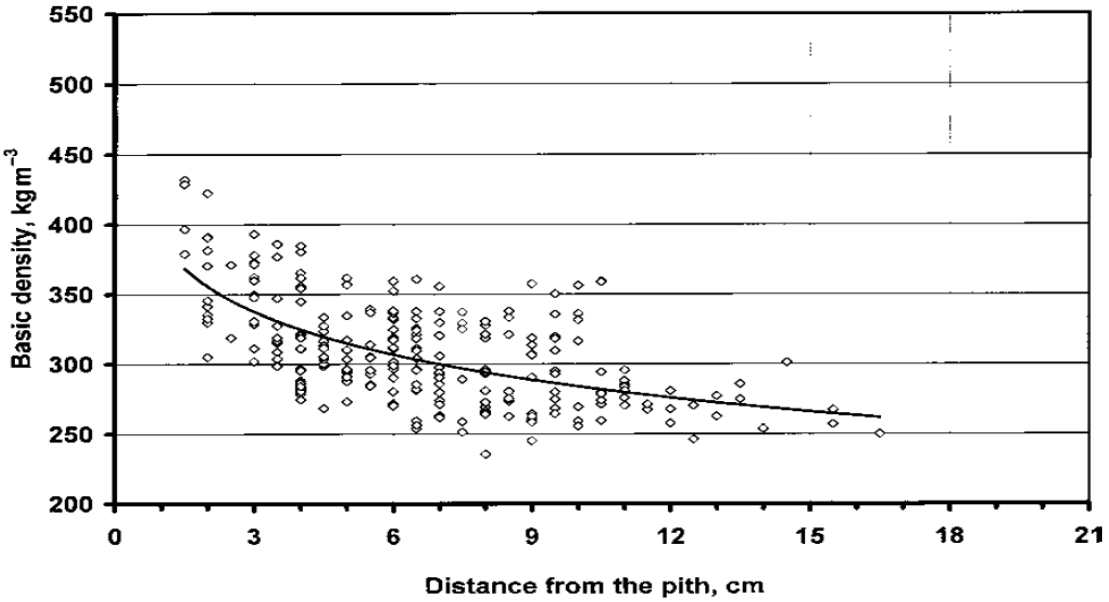
Efektivna proizvodnja proizvoda od drva je bila tema mnogih istraživanja proteklih godina. Trend u šumarstvu, kroz nekoliko zadnjih desetljeća, bio je fokusiran na ubrzani rast i kraće rotacije sadnje. Međutim, intenzivna proizvodnja može uzrokovati promjene u anatomskim i tehničkim karakteristikama drva te samim time smanjiti pogodnost za izradu određenih proizvoda. Kao rezultat, pojavila se zabrinutost za promjene u karakteristikama drva uzrokovanim intenzivnim režimima u uzgajanju šuma (Ballard i Long 1988; Barbour i Kellog, 1990). Generalno govoreći, intenzivni menadžment šuma, tj. regularno stanjivanje i oplodnja, uzrokuju rapidni rast, ali manju gustoću i tako narušavaju mehanička svojstva drva.

Širina goda je često korištena metoda za određivanje zdravlja stabla, uvjeta rasta te također kvalitete drva. Efekt stope rasta na karakteristike drva i pogotovo gustoću je intenzivno proučavan tijekom zadnjih par desetljeća. Korelacija brzine rasta i gustoće drva je od velike važnosti. Ako ubrzana brzina rasta rezultira drvom manje gustoće, to također znači da dobivamo materijal slabije kvalitete kojim ograničavamo krajnju kvalitetu proizvoda. S druge strane, također je moguće izabrati stabla s relativnom brzom brzinom rasta, a kojima se time nužno ne narušava gustoća. Na primjer, Zobel i Buijtenen (1989) su naveli 59 referenci o odnosu između brzine rasta i gustoće kod tvrđih vrsta borova (npr. *Pinus terda, P. radiata, P. elliottii, P. sylvestris, P. contorta*). Od navedenih, 35 su pokazale da brzina rasta nema nikakav utjecaj na gustoću, 9 je pokazalo malu korelaciju između to dvoje, a 11 je pokazalo značajan pad u gustoći drva. Samo 4 vrste su pokazale veću gustoću kod većih brzina rasta. Međutim, opće je prihvaćeno da rapidan rast rezultira manjom gustoćom drva. Zhang (1994,1995) je proučavao značajan broj raznih mekih i tvrdih vrsta i podijelio ih je u 4 kategorije:

1. Meke vrste s postupnim prijelazom ranog u kasno drvo pokazuju značajan pad gustoće s povećanom brzinom rasta;
2. Meke vrste s naglim prijelazom ranog u kasno drvo pokazuju da povećana brzina rasta nema skoro nikakav utjecaj na gustoću drva;
3. Prstenasto-porozne vrste pokazuju veoma malu korelaciju brzine rasta i gustoće, a povećanom brzinom rasta može doći do poboljšanih mehaničkih karakteristika drva;

4. Difuzno-porozne vrste pokazuju da brzina rasta ima veoma malo utjecaja na gustoću i mehaničke karakteristke drva.

Veoma je bitno utvrditi razliku između juvenilnog i zrelog drva kada se proučava efekt brzine rasta na gustoću drva. Široki godovi i mala gustoća su povezani s juvenilnim drvom blizu središta debla, a uži godovi i velika gustoća su tipično povezani sa zrelim drvom. Obzirom na to, negativna korelacija između širine godova i gustoće je logična ako su i zrelo i juvenilno drvo uključeni u analizu.



Slika 8. Distribucija nominalne gustoće od srčike prema kori

Slika 8. pokazuje varijacije gustoće od srčike prema kori na prsnoj visini kod 15 brzorastućih debala Finske smreke. Prosječna gustoća na prsnoj visini iznosila je 310kg m^{-3}, a prosječna širina goda iznosila je 5.9 mm.

Madsen i suradnici (1978) proučavali su varijacije gustoće u eksperimentu gdje se koristilo drvo Norveške smreke (*Picea Abies*) staro 32 godine iz proreda. Izdvojili su juvenilno drvo i pokazali da se javlja veoma sličan trend pada gustoće povećanjem širine godova u zrelom drvu od 500kg m^{-3} kod širine goda od 0.5mm do 300kg m^{-3} kod

širine goda od 6mm. Olesen (1977, 1982) je dokazao sličnu vezu. Veza između gustoće i širine goda, razvijena od Olesena (1976) je data jednadžbom:

$$R = \frac{a + b}{(RW + c)}$$

R= gustoća, RW= šriina goda, a,b i c= koeficijenti

6. REAKCIJSKO DRVO

Jedan od bitnijih atributa stabala je njihova sposobnost da održe vertikalan položaj debla tokom rasta i fiksiran raspored kuteva grana s obzirom na faktore okoliša kao što su gravitacija, vjetar itd. S pretpostavkom da bi ovi faktori trebali uzrokovati naginjanje debla ili opadanje kuta grana kako se masa povećava rastom, jasno je da se stablo aktivno odupire tim faktorima. Fascinantan aspekt reakcijskog drva je taj da su se četinjače i listače naučile prilagođavati promjenama nagiba i naprezanja uzrokovanih savijanjem i to svaka skupina stabala na svoj način. U formiranju reakcijskog drva sudjeluju i drugi faktori kao što su sila teža, svjetlo, hormoni rasta itd.. Postoje velike razlike u lokalizaciji i izgledu reakcijskog drva kod četinjača i listača. Reakcijsko drvo kod četinjača nastaje s donje strane nagnutih stabala i grana i zove se kompresijsko drvo. Kod listača se ono razvija s gornje strane nagunutih debala i grana te se zove tenzijsko drvo. U pravilnom i uspravnom stablu za vrijeme rasta djeluju transverzalne i longitudalne sile, ali u pravilu se ne formira reakcijsko drvo. Unutarnji godovi debla longitudinalno su opterećeni na tlak, a vanjski na vlak. Unutarnja naprezanja u živom stablu razlog su i čestim pukotinama na oborenim stablima. Te pukotine nastaju odmah nakon obaranja ili piljenja. Reakcijsko drvo ima značajan efekt na iskoristivost drva, ali ekonomska važnost četinjača je pokazala da se kompresijsko drvo znatno više proučavalo od tenzijskog. Formiranje reakcijskog drva je također povezano s rapidnim formiranjem drva u stablima. Vertikalno rastuće četinjače s odličnom strukturom debla svejedno mogu proizvesti cijele godove kompresijskog drva. Brzorastuće četinjače su također sklonije kompresijskom drvu

zbog naprezanja uzrokovanih gravitacijom. Trend pojavljivanja reakcijskog drva kod brzorastućih vrsta sadrži ozbiljne ekonomske posljedice za uzgajivače.

6.1. Struktura i formiranje reakcijskog drva

Uzevši u obzir lokaciju i suprotne strane debla ili grane, strukturne karakteristike drva također su u mnogo čemu suprotne. Četinjače i listače evoluirale su s kompletno različitim strategijama za nošenje s istim problemom. Struktura reakcijskog drva je posljedica odstupanja od normalnog rasporeda stanica ksilema koje su proizvod vaskularnog kambija.

6.1.1. Kompresijsko drvo

Količina kompresijskog drva nije u velikoj korelaciji s nagibom stabla, odnosno s brzinom njegova uspravljanja. Često se formiraju znatne količine kompresijskog drva i mnogo godina nakon što se stablo uspravilo. Trupci s veoma ekscentričnim godovima obično sadržavaju i kompresijsko drvo. Ekscentričnost, odnosno nadprosječna širina takvih godova, uvjetovana je abnormalnim udjelom kasnog drva. Zbog velikog postotka sadržaja kasnog drva, kompresijsko drvo je tamnije boje od normalnog drva. Prijelaz ranog u kasno drvo istog goda postepen je i slabije uočljiv nego u normalnom drvu. Tipično kompresijsko drvo je za 15 do 40% teže od normalnog drva iste vrste i jednake prosječne širine goda. Anatomska građa kompresijskog drva razlikuje se od normalnog drva. Traheide kasnog drva su manje ili više okrugle, dok su u normalnom drvu poligonalne. Na poprečnom presjeku drva se na bridovima traheida kasnog drva vide velike intercelulare, kojih obično nema u normalno građenom drvu. Stijenke kompresijskog drva neznatno su jače lignificirane od stijenki normalne građe drva. Longitudinalno utezanje kompresijskog drva veće je i nepravlinije nego kod normalnog drva te uzrokuje savijanje piljene građe. Radijalno i tangentno utezanje je manje nego kod normalnog drva. Kompresijsko drvo je abnormalno tvrdo i slabije od normalnog drva iste gustoće. Zbog navedenih grešaka

ono se ne upotrebljava za radove kod kojih se traži velika i jednolika čvrstoća ili posebna estetska svojstva drva (avioni, čamci, olovke itd.) (Horvat, I.1985)

6.1.2. Tenzijsko drvo

Tenzijsko drvo je obično najbolje razvijeno u najširim dijelovima ekscentričnih godova. U gornjim dijelovima debla ono se može razviti u smjeru svakog promjera, bez obzira na smjer nagiba debla u donjim dijelovima stabla. Tenzijsko drvo nikada se ne prostire neprekinuto po cijelom opsegu goda. Na poprečnom presjeku drva ono može biti raspoređeno u dobro uočljivim nepravilnim skupinama ili su želatozna vlakanca dispergirana među elemente normalne građe drva. U slabo nagnutim deblima tenzijsko se drvo teško razlikuje od normalnog. U trupcima s tamnom srži veće skupine tenzijskog drva mogu se raspoznati na licu piljenica po srebrnastom sjaju duž žice drva. Taj sjaj potječe od longitudinalnih skupina želatoznih vlakanaca u ranom drvu. Razlike u sjaju tenzijskog i normalnog drva u bjeljici su znatno manje nego u srži; one se mogu uočiti po upadnoj svjelosti uz povoljan kut promatranja. Vlakanca ranog drva sa želatoznim tokovima pouzdana su strukturna karakteristika tenzijskog drva. Stijenke vlakanaca kasnog drva su uglavnom normalne građe. Srednji, deblji podsloj sekundarnog sloja stijenke želatoznih vlakanaca ima prosječan kut uvijanja fibrila od 45 stupnjeva prema smjeru protezanja vlakanaca. U unutarnjem, želatoznom podsloju, smjer fibrila približno je paralelan s longitudinalnom osovinom vlakanaca. Sluzna vlakanca tenzijskog drva bukovine imaju u stijenkama kratke, prekinute spiralne pruge. Spiralna pruganja stijenki prvi su stadij kosih pukotina, koje nastaju zbog djelovanja sila u živom stablu. Tenzijsko drvo sadrži manje lignina, a više celuloze i pentozana od normalnog drva. Tenzijsko drvo ima znatno veće longitudinalno, a malo manje poprečno utezanje od normalnog drva. Čvrstoća na vlak i žilavost obično je nešto veća, a čvrstoća na tlak jednaka je ili znatno manja nego kod normalnog drva. Tvrdoća tenzijskog drva obično je manja od tvrdoće normalnog drva ista vrste. Tenzijsko drvo postaje uočljivije ako se blanjani poprečni ili uzdužni presjek premaže specifičnim

reagensom za celulozu, odnosno lignin. Zbog slabije lignifikacije sluznih vlakanaca normalno drvo rezultira drugačijom bojom od tenzijskog (Horvat, I. 1985)

6.2. Reakcijsko drvo i kvaliteta drva

Zahvaljujući modificiranoj anatomiji (oblik i duljina stanica, debljina stijenke), kemiji (lignifikacija) i ultra-strukturi (kut mikrofibrila u stijenkama stanica) u odnosu na normalno drvo, reakcijsko drvo ima različita fizička i mehanička svojstva. Ta svojstva nisu nužno lošija od onih koje posjeduje normalno drvo, a u nekim slučajevima su znatno bolja: čvrstoća na tlak kompresijskog drva je veća nego u normalno drvu, a vlačna čvrstoća tenzijskog drva je također veća nego ista u normalnom drvu. Međutim, ove za stablo poželjne i nužne biomehaničke optimizacije istodobno mijenjaju ostale karakteristike drva, te sveukupno bitno utječu na kvalitetu drva.

Kompresijsko drvo koje je optimizirano da ima povećanu tlačnu čvrstoću, rezultira drvom koje je veoma lomljivo i opasno ako se koristi u građevinarstvu, čak i kada je prisutno u malim količinama, pogotovo kada spomenemo da ga je ponekad veoma teško detektirati. Tenzijsko drvo ima veću vlačnu čvrstoću i Youngov modul od normalnog drva, čak i na specifičnoj bazi. Također ima veću otpornost na lom i otpornost na udar. Glavni problem povezan s kvalitetom i iskoristivosti drva koje sadrži reakcijsko tkivo je činjenica da se njihova svojstva utezanja razlikuju od istih svojstava normalnog drva. To ne bi bio velik problem kada bi trupci ili piljenice bili u potpunosti od reakcijskog drva, ali kao što je spomenuto, reakcijsko drvo je obično locirano na jednoj strani debla ili grane i samim time dolazi do problema kod sušenja drva. Sušenje takvog materijala rezultira u brojnim greškama kao što su izvijenost, sabljatost, pukotine, vitoperenje itd.

Sposobnost za razvijanjem reakcijskog drva je biološki neophodna za drvo kako bi ono moglo održati vertikalan rast debla i kontrolirati kut rasta grana. Poznato je da je tendencija razvijanja reakcijskog drva pojedinog stabla unutar genetske kontrole, ali sasvim je jasno da bi uzgajanje ili modificiranje stabala koja ne bi razvijala reakcijsko drvo bilo nepraktično. Bitno je da se kod odabira stabala za preradu i obradu posveti vrijeme proučavanju forme i oblika debla te da se probaju izabrati stabla sa manjim udjelom reakcijskog drva. Međutim, još je bitnije da se stekne razumijevanje načina

eliminiranja, u velikoj mjeri nepotrebnog, formiranja reakcijskog drva u brzorastućim vrstama.

7. MEHANIČKE KARAKTERISTIKE DRVA

7.1. Uvod

Ljudi su optimizirali unikatne i prvobitne mehaničke karakteristike drva od vremena kada su alati prvi put proizvedeni. Od primitivnijih vremena do danas, drvo je i dalje jedan od najkorištenijih konstrukcijskih materijala. Visoka trajnost drva u građevinarstvu može se pripisati njegovim mnogim karakteristikama; uključujući jednostavnost proizvodnje i obrade, izvrstan omjer snage i težine, otpornost na udar, dimenzijska stabilnost, prilagodljivost u uporabi, mala potrošnja energije i stalna dostupnost. Prirodna ljepota i toplina drva je nadmašila sve druge materijale u građevinarstvu. Mehanička svojstva drva učinila su ga materijalom koji se može koristiti u izgradnji širokog spektra struktura; od konvencijalnih stambenih zgrada do velikih modernih konstrukcija kao što su kupole, arene, mostovi itd. U svijetu, više građevina je izgrađeno od drva nego od bilo kojeg drugog strukturnog materijala. Većina tih građevina su obiteljske kuće, ali danas se gradi sve više i više modernih struktura od drva. Drvo se također koristi u kombinaciji s drugim konstrukcijskim materijalima kao što su beton, cigla itd. Relativno lako se zaštiti od požara, lako je i trajno, te ostvaruje estetski primamljive građevine. Drvo je jedini konstrukcijski materijal koji je u potpunosti obnovljiv.

7.2. Prednosti i nedostaci drva kao strukturnog materijala

Kada govorimo o strukturnim aplikacijama onda je čvrstoća primarni kriterij za odabir materijala. Pojam „čvrstoća“ ima mnogo značenja u općem govoru, ali u svojstvima strukturnih materijala, čvrstoća je definirana kao sposobnost materijala da bude opterećeno ili da se odupire određenim silama. Čvrstoća drva određuje njegovu mehaničku primjenjvost i bitan je parametar u sušenju, strojnoj obradi, savijanju, lijepljenju i učvršćavanju (Hoadley, 1992). Kada je drvo korišteno u građevinarstvu, ono pruža dizajnerima i korisnicima velike izazove, ali i mnogo prilika. Drvo je dostupno

u mnogo oblika i veličina i pruža velik broj kombinacija unikatnih karakteristika za razliku od ostalih konstrukcijskih materijala.

7.2.1. Prednosti

7.2.1.1. Velika čvrstoća usprkos maloj masi

Drvo je začuđujuće čvrst materijal s obzirom na svoju masu. Npr., potrebno je skoro 267 N pritiska da bi došlo do loma grede američke duglazije duljine 40cm i poprečnog presjeka 1.27x1.27cm. Greda sama po sebi ima masu od 120g. Odličan omjer snage i mase drva može se pripisati prirodnom materijalu staničnih stijenki i njihove distribucije kao sustava načinjenog od tankostijenih cjevčica (Panshin i de Zeeuw, 1980). Zbog toga što su sastojci stanične stijenke raspoređeni u obliku tankih cijevi okruženih šupljim lumenima, čvrstoća na savijanje je znatno veća nego kod materijala veće gustoće. Kao rezultat, drvo pokazuje dobar potencijal za savijanje za razliku od ostalih materijala. Ova činjenica čini drvo veoma prikladnim za uporabu u situacijama koje zahtijevaju elastičnu stabilnost kao kod dugačkih greda i stupova ili kod građevina koje podnose značajan teret. Međutim, drvo zaostaje za metalom kada govorimo o čvrstoći na smicanje i tlak okomito na vlakanca zbog toga što tanke cijevi u drvu, koje pridonose savijanju, smanjuju tlačnu i smičnu efikasnost (Pashin i de Zeeuw, 1980).

7.2.1.2. Dostupnost i obnovljivost materijala

Drvo je neobičan konstrukcijski materijal iz razloga što se njegova opskrba može obnoviti šumskom regeneracijom. Tehnike upravljanja šumama koje u obzir uzimaju intenzivno mijenjanje tehnologije drva mogu osigurati neprekidnu opskrsbu drvnim materijalom. Međutim, proizvodnja i potrošnja drvnog materijala svakim danom se povećava zapanjujućim tempom. Na primjer, masa drva korištena svake godine u SAD-u je jednaka kombinaciji ukupne mase svih metala, plastike i cementa. Na svu sreću, moderno upravljanje šumama je uspjelo održati korak sa visokom potražnjom drva te se šume diljem svijeta povećavaju u teritoriju ili su stabilne u svojoj veličini (Sedjo i Lyon, 1990). Također se otvara dostupnost novih teritorija za menadžment šuma u istočnoj Rusiji, sjevernoj Europi i u nekoliko dijelova Južne Amerike. Napredak

u obnavljanju šuma, karakteristikama materijala, procesnim tehnikama i pretvorbi energije proširuju opskrbu drvnim materijalom.

7.2.1.3. Zahtijeva manje energije za obradu u konstrukcijski materijal

Drvo ima znatnu prednost nad ostalim materijalima kada govorimo o potrošnji energije po jedinici ili finalnom proizvodu (Nacionalni odbor za istraživanje, 1976). Čak i sa značajnim napretcima u tehnologiji od 1976., nedavna istraživanja su potvrdila prednosti drva (Buchanan, 1991; Marcea i Lau, 1992; Meil, 1993). Drvne konstrukcije su se pokazale kao mnogo efikasnije kod potrošnje energije nego čelik, aluminij, beton ili cigla. Uporaba energije povezana s prikupljanjem sirovog materijala, transport, proizvodnja i izgradnja je uzeta u obzir kod računa. Drvena konstrukcija na betonskoj podlozi je pokazala potrebu od 35% energije koliko je trebala čelična konstrukcija na istoj podlozi. Iako svi tipovi konstrukcija, uključujući i drvene, imaju utjecaj na okoliš, Meil (1993) je otkrio da su utjecaji na okoliš kao što su emisija u zraku, ispuštanje vode i solidan otpad drvnih konstrukcija minimalni u usporedbi s čelikom. Kada se koristi reciklirani čelik, razlike su manje, ali drvo i dalje ima veliku prednost.

7.2.1.4. Lakoća proizvodnje

Ručni i električni alati mogu se koristiti za proizvodnju u tvornici, kao i na gradilištu. Ova prednost je u velikom dijelu ono što čini drvo kompetetivnim materijalom ako gledamo cijenu proizvodnje u usporedbi s ostalim materijalima (Loferski, 1997). Drvo i kompoziti od drvnih materijala mogu biti povezani jednostavnim veznim materijalima i adhezivima, koji omogućuju proizvodnju različitih oblika i gotovo neograničenih dimenzija. Velika drvena krovišta i sustavi krovišta, lamelirane grede i lukovi su učinili drvo visoko učinkovitim materijalom u građevinarstvu koji predstavlja visoku kvalitetu uz relativno nisku cijenu.

7.2.1.5. Dimenzijska stabilnost i trajnost

Kada je drvo korišteno u povoljnim uvjetima tj. kada se pravilno zaštiti od degradacije, ono je veoma trajan i stabilan materijal. Drvo će održavati svoju kvalitetu dokle god je ono zaštićeno od vlage i ostalih bioloških štetnika. Drvo također može biti zaštićeno raznim premazima koji ga štite od insekata, svjetlosti, vlage itd. Drvo

zaštićeno prikladnim premazima i koje je održavano u prikladnim uvjetima će održavati svoje karakteristike i kvalitetu veoma dugo.

7.2.1.6. Mala električna i termalna provodljivost

Ove karakteristike nisu povezane uz mehaničke karakteristike drva, ali su svejedno bitne kada govorimo o strukturnom materijalu. Ostali strukturni materijali ne pružaju dostatnu električnu i termalnu izolaciju pa se moraju uvesti dodatni materijali koji povećavaju cijenu proizvodnje.

7.2.2. Nedostatci

7.2.2.1. Varijabilnost

Sudeći po tome da je drvo materijal proizveden u biološkim uvjetima, a stablo je subjekt raznih uvjeta rasta, ono je visoko varijabilan materijal. Koeficijenti varijacije kreću se od 10% za relativnu gustoću do 34% za rad kod maksimalne čvrstoće kod statičkog savijanja. Kod bilo koje vrste drva javlja se znatna varijacija u karakteristikama materijala, čak i od lokacije do lokacije u pojedinim dijelovima drva. U prošlosti, ovo je značilo da su dizajneri bili u nekoj mjeri ograničeni i da je dolazilo do visokog stupnja viška „nepravilnog“ materijala. Odstupanja u svojstvima drva su ponekad bila toliko velik problem da su se počeli koristiti alternativni materijali. Na svu sreću, napretci u matematičkim analizama i inženjerskim tehnikama omogućili su stabilnije i pouzdanije drvene strukture koristeći drvne kompozite koji su homogeniji od prijašnjih materijala od masivnog drva.

7.2.2.2. Prirodne greške drva

Greške drva kao što su kvrge, usukanost vlakanaca, reakcijsko drvo, trulež, pukotine, mrlje itd. su prirodne deformacije drva koje smanjuju njegova mehanička svojstva i u konačnici vrijednost. Moderni građevni kompoziti su minimizirali i randomizirali utjecaj tih prirodnih defekata, ali dimenzijska nestabilnost drva u uporabi je i dalje velik problem.

7.2.2.3. Dimenzijska nestabilnost

Drvo je anizotropna, higroskopna supstanca koja je sklona vlaženju. Problem nastaje zbog kapilarne strukture drva koja ga čine odličnom „spužvom“ kada je u

kontaktu s vodom. Kao rezultat, komad drva mijenja svoje dimenzije kada se postotak sadržaja vode u njemu povećava ili smanjuje. Promjene dimenzija nisu jednake u sva 3 presjeka drva te dolazi do raznih grešaka drva (pukotine, greške oblika itd.) koje ga čine neprikladnim za daljnju obradu i uporabu.

7.2.2.4. Podložno napadima biološkiх štetnika

S obzirom da je drvo biorazgradiv materijal, ono je podložno napadima bioloških organizama kao što su gljive, bakterije i određeni insekti. Degradacija uzrokavana biološkim napadima može znatno smanjiti mehaničke karakteristike drva i uzrokovati strukturnu nestabilnost. Na svu sreću, postoje razni premazi i načini zaštite drva koji se mogu relativno lako nanjeti na površinu te znatno smanjiti šansu za biološkom degradacijom. Bitno je napomenuti da je nekada fizička i konstrukcijska zaštita drva dovoljna kako bi se ono očuvalo, te se na taj način mogu izbjeći štetni ekološki utjecaji kemikalija koje dolaze iz raznih premaza.

7.2.2.5. Anizotropnost

Drvo je anizotropan materijal u svojoj staničnoj građi i to također rezultira anizotropnim svojstvima. Svojstva paralelno sa smjerom vlakanaca znatno se razlikuju od svojstava u smjeru vlakanaca. Neki ljudi nazivaju drvo ortotropnim materijalom zbog činjenice da ima različita svojstva u 3 međusobno okomita presjeka. Mehanička svojstva su dobar primjer anizotropije drva. Vrijednosti čvrstoće i tvrdoće u smjeru vlakanaca mogu se razlikovati za 20 puta ili čak više od vrijednosti u smjeru paralelno s vlakancima. Karakteristike radijalnog i tangentnog smjera također se znatno razlikuju.

7.2.2.6. Zapaljivost

U današnje vrijeme sve se veća pažnja daje sigurnosti življenja. Stoga se zapaljivost drva često puta stavlja na prvo mjesto. Međutim, potrebno je znati da drvo gori na površini, a da pri tome konstrukcija zadržava svoju čvrstoću, za razliku od metalnih konstrukcija koje se deformiraju na povišenoj temperaturi. Zapaljivost drva ublažava se usporivačima gorenja ili impregnacijskim sredstvima na osnovi raznih kemijskih spojeva.

8. Zaključak

Proučavanjem raznih aspekata i karakteristika drva, može se zaključiti da je ono jedan od najraznolikijih sirovih materijala dostupan čovjeku. Konstantan rast potražnje za drvom rezultira istovremenim porastom u njegovoj uporabi te znači da su šume pod stalnim pritiskom. Potreba za sječom stabala je u direktnom konfliktu s očuvanjem biološke raznolikosti i CO2 otiskom. Kako bi se spriječili negativni utjecaji na okoliš, jako je bitno da se šumama upravlja odgovorno i pametno. Ovo se može ostvariti osnivanjem novih šuma i zamjenjivanjem stabala koja su posječena, a u isto vrijeme pobrinuti se da stabla koja rastu pridonose drvo dobre kvalitete. Problem leži u definiciji kvalitete drva. Kvaliteta drva ovisi o mnogo raznih faktora. Ona se može iskazati s obzirom na razne karakteristike kao što i je prikazano u ovom radu (s obzirom na kemizam, gustoću, mehanička svojstva itd.) Da bi dobili drvo što bolje kvalitete, potrebno je uzeti u obzir sve navedene faktore. Problem koji je danas pogotovo prisutan, a tiče se kvalitete drva je ljudska potreba da se drvo kao sirovina pribavlja što je brže moguće. Tim načinom dobijamo konstantne i brze zalihe materijala, ali po kojoj cijeni? Drvna industrija i Hrvatske šume trebaju konstantno unapređivati suradnju kako bi se našla zlatna granica između brzine uzgoja stabala i kvalitete drva koja proizlazi iz tog uzgoja.

Literatura

1. Zhang S.Y, 2003: Wood quality attributes and their impacts on wood utilization, Quebec City
2. Benić R.; Biljan M.; Brezinščak M.; Emrović B.; Horvat I.; Jambrošić Ž.; Krpan J.; Kugler M.; Pinter V.; Vidaković M., 1967: Drvoindrustrijski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb
3. Horvat I., 1985: Osnove nauke o drvu, Šumarski fakulter sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 28-66.
4. Špoljarić Z., 1978: Anatomija drva, Šumarski fakultet Zagreb, Zagreb, str. 203-217.
5. Zabel, R.A; Morrell, J.J. 1992: Wood Microbiology, decay and its prevention, Academic Press, San Diego, Kalifornija.
6. Kellog, R.M. 1989: Second-growth Douglas-fir: its management and conversion for value. Special Publication No. SP-32, Forintek Canada Corp., Vancouver. BC.
7. Constantino, L.F; Haley D. 1988: Trends in wood quality for British Columbia Coast and the United States, Pacific Northwest, Westside. Forest Sci. 34 (1): 176-189
8. Kliger, I.R; Johansson, G.; Perstorper, M; Engstrom, D. 1994: Formulation of requirements for the quality of wood properties used by construction industry, Chalmers Univ. Technol., Goteborg, Švedska
9. Keith, C.T. 1985: Defining wood quality: what's important? Proc. a Workshop on Wood Quality Considerations in Tree Imporvement Programs, August 19, 1995, Quebec City
10. Mitchell, H.L. 1961: A concept of intrinsic wood quality and nondestructive methods for determining qualitz in standing timber. Report No. 2233, Forest Products Laboratorz, Madison, Wisconscin
11. Faherty, K.F. & Williamson, G.T. (1995) Wood Engineering and Construction Handbook. 2nd edn, McGraw-Hill Inc., New York.
12. Tsoumis, G. (1991) Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization, Van Nostrand Reinhold, New York.
13. Walker, J.C.F. (ed.) (1993) Primary Wood Processing: Principles and Practice, Chapman & Hall. London
14. Bendtsen, B.A. (1978) Properties of wood improved and intensively managed trees, Forest Products Journal

15. Ballard, L.A. & Long, J.N. (1988) Influence of stand densitz on log quality of lodgepole pine. Canadian Journal of Forestry Research

16. Boutelje, J.B. (1968) Juvenile wood, with particular reference to northern spruce.

17. Lewark, S. (1982) Studies of wood characteristics of young Norway spruce from clonal experiments.

18. Lindstrom, H. (1996) Basic density in Norway spruce. Part I. A literature review. Wood and Fiber Science

19. De Kort, I. (1991) Ring width, density and wood anatomy of Douglas-fir with different crown vitality

20. Madsen, T.L., Moltesen, P. & Olesen, P.O. (1978) The Influence of thinning degree on basic density, production of dry matter, branch thickness and number of branches of Norway Spruce

21. Megraw, R.A. (1985) Wood Quality Factors in Loblolly Pine. The Influence of Tree Age, Position in Tree, and Cultural Practise on Wood Specific Gravity, Fiber Length, and Fibril Angle

22. Mork, E. (1928) Qualitat des Fichtenholzes unterbesonderer Rucksichtnahme auf Shleif- und Papierholz.

23. Pearson, R.G. & Gilmore, R.C. (1971) Characterization of the strenght of juvenile wood of loblolly pine, Forest Products Journal

24. Saranpaa, P. (1994) Basic density, longitudinal shrinkage and tracheid length of juvenile wood of Picea Abies

25. Seeling, U. (1999) Einfluss von Richtgewebe auf Festigkeit und Elastizitat des Fichtenholzes, Holz als Roh- und Werkstoff

26. Okstad, T. & Karstad, H. (1985) Mehaniske egenskpaer hos sma, feilfrie prover av granvirke

27. Thomas, R.J. (1984) The characteristics of juvenile wood, in Proceedings of the Symposium on Utilisation Changes in Wood Research in the Southern U.S., North Carolina State University, Raleigh

28. Zhang, S.Y. (1995) Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties individual species from distinct wood categories. Wood Science and Technology

29. Wimmer, R. (1995) Intra-annual cellular characteristics and their implications for modeling softwood density. Wood and Fiber Science

30. Wodzicki, T.J. (2001) Natural factors affecting wood structure. Wood Science and Technology

31. Buchanan, A. (1991) Building materials and the greenhouse effect. New Zealand Journal of Timber Construction

32. Loferski, J. (1997) Long term performance and durability of engineered wood products, in Engineered Wood Products, PFS Research Foundation, Madison, Wisconsin

33. Marcea, R.L.& Lau, K.K. (1992) Carbon dioxide implications of building materials Journal of Forest Engineering

34. Meil, J.K. (1993) Environmental measures as substitution criteria for wood and nonwood building products, in The Globalization of Wood, Supply, Processes, Products, and Markets, Forest Products Society Proceedings

35. Hoadley, R.B. (1992) Understanding Wood. Taunton Press, Newtown, Connecticut

36. Panshin, A.J. & de Zeeuw, C. (1980) Textbook of Wood Technology, 4th edn, McGraw-Hill Inc., New York

37. Sedjo, R.A. & Lyon, K.S. (1990) The long term adequacy of world timber supply, in Resources for the Future, Washington, DC.