

Utjecaj grešaka drva na mehanička svojstva drva

Sinković, David

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:108:218724>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-25**



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

DAVID SINKOVIĆ

UTJECAJ GREŠKA DRVA NA MEHANIČKA SVOJSTVA
DRVA

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

UTJECAJ GREŠAKA DRVA NA MEHANIČKA SVOJSTVA
DRVA

ZAVRŠNI RAD


Prediplomski studij:	Drvena tehnologija
Predmet:	Tehnološke karakteristike drva
Mentor	izv. prof. dr. sc. Tomislav Sedlar
Student:	David Sinković
JMBAG:	0068239838
Datum odobrenja teme:	26.04.2024.
Datum predaje rada:	20.09.2024.
Datum obrane rada:	25.09.2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov:	Utjecaj greška drva na mehanička svojstva drva
Autor:	David Sinković
Adresa autora:	Ljudevita Gaja 3, Gornja Stubica
Mjesto izradbe:	Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave:	Završni rad
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Tomislav Sedlar
Izradu rada pomogao:	
Godina objave:	2024.
Opseg:	28 str., 14 slika, 9 tablica i 10 navoda literature
Ključne riječi:	Greške drva, mehanička svojstva drva
Sažetak:	<p>U radu se opisuju greške drva, te njihov utjecaj na svojstva i kvalitete drva kao materijala. Greške su opisane i podijeljene na skupine s obzirom na način postanka. Naglasak rada je na njihovo djelovanje na mehanička svojstva drva. Greške drva nisu nužno nedostaci koji se javljaju tijekom rasta stabla, nego se mogu javiti tijekom obaranja, sušenja i obrade. Također, razni biološki činitelji poput gljiva, bakterija i insekata koji se hrane drvnom tvari uzrokuju oštećenja koja možemo smatrati greškama drva. Poznavanje utjecaja ovih grešaka na mehanička svojstva drva vrlo je bitno zbog preventivnog djelovanja i klasifikacije proizvoda od drva, pogotovo u konstrukcijskim namjenama.</p>

BASIC DOCUMENTATION CARD

Title:	Influence of wood defects on mechanical properties of wood
Author:	David Sinković
Adress of Author:	Ljudevita Gaja 3, Gornja Stubica
Thesis performed at:	University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology;
Publication Type:	Undergraduate thesis
Supervisor:	assoc. prof. dr. sc. Tomislav Sedlar
Preparation Assistant:	
Publication year:	2024.
Volume:	28 pages, 9 tables, 14 figures and 10 references
Key words:	Wood defects, mechanical properties of wood
Abstract:	<p>This work describes wood defects and their influence on the properties and qualities of wood as a material. Wood defects are described and divided into groups with regard to the way they occur. The emphasis of the work is on their effect on the mechanical properties of wood. Wood defects are not necessarily defects that occur during tree growth, but can occur during felling, drying and processing. Also, various biological factors such as fungi, bacteria and insects that feed on wood cause damage that can be considered wood defects. Knowled of the impact of these defects on the mechanical properties of wood is very important for preventive action and classification of wood products, especially for construction purposes.</p>

	IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	OB FŠDT 05 07
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

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

Zagreb, 20.9.2024. godine

vlastoručni potpis

David Sinković

SADRŽAJ

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	II
BASIC DOCUMENTATION CARD	III
SADRŽAJ.....	V
POPIS SLIKA.....	VI
POPIS TABLICA.....	VII
1. UVOD.....	1
1.1. Drvo kao materijal.....	1
2. OPĆENITO O GREŠKAMA DRVA.....	1
3. OPĆENITO O MEHANIČKIM SVOJSTVIMA DRVA.....	2
4. UTJECAJ PRIRODNIH GREŠKA DRVA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA	7
4.1. Utjecaj kvrga na mehanička svojstva drva.....	7
4.2. Utjecaj usukanosti na mehanička svojstva drva.....	9
5. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH U TOKU SUŠENJA I PRERADE NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA	11
5.1. Utjecaj pukotina na mehanička svojstva drva	11
6. UTJECAJ GREŠKA DRVA UZROKOVANIH DJELOVANJEM GLJIVA I BAKTERIJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA.....	13
6.1. Utjecaj djelovanja smeđe truleži na mehanička svojstva drva	13
6.2. Utjecaj djelovanja bijele truleži na mehanička svojstva drva.....	14
7. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH OŠTEĆENJIMA OD INSEKATA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA	17
8. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH OŠTEĆENJIMA OD MORSKIH ŽIVOTINJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA.....	19
9. ZAKLJUČAK	20
LITERATURA.....	21

POPIS SLIKA

Slika 1. Dvostruko srce (Izvor: https://www.enciklopedija.hr/clanak/drvo, pristupljeno 26.8.2024.)	1
Slika 2. Primjer ravne žice (lijevo) i usukane žice (desno) (Horvat et.al., 1967)	2
Slika 3. Shematski prikaz kvrga (Horvat et.al., 1967)	2
Slika 4. Okružljivost (Izvor: https://www.enciklopedija.hr/clanak/drvo, pristupljeno: 26.8.2024.)	3
Slika 5. Prikaz paljivosti; a) jednostrana, b) unakrsna, c) zvjezdasta (Horvat et.al., 1967)	3
Slika 6. Deformacije drva izazvane sušenjem; a) izbočenost, b) sabljatost, c) vitoperenje (Horvat et.al., 1967)	4
Slika 7. Neprava srž (Izvor: https://www.enciklopedija.hr/clanak/drvo, pristupljeno: 26.8.2024.)	4
Slika 8. Uzorci drva napadnuti gljivama uzročnicama smeđe truleži (Izvor: Zbirka uzoraka Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije)	5
Slika 9. . Uzorci drva napadnuti gljivama uzročnicama bijele truleži (Izvor: Zbirka uzoraka Fakulteta šumarstva i drvene tehnologije)	5
Slika 10. Shematski prikaz drva napadnutog različitim vrstama insekata i njihovog načina razaranja strukture drva (Horvat et.al., 1967)	6
Slika 11. Shematski prikaz djelovanja broskog crva na drvo (Horvat et.al., 1967)	6
Slika 12 Grafički prikaz razlike krutosti u postocima između 12 greda sa pukotinama (K) u odnosu na grede bez pukotina (K_{ref}) s obzirom na smjer orijentacije pukotina (I_x – horizontalne pukotine, I_y – vertikalne pukotine) (Mergny et.al., 2016)	11
Slika 13 Grafički prikaz utjecaja smeđe truleži na gubitak mase i mehaničkih svojstava drva; ♦ - masa ■ - modul elastičnosti, ● – čvrstoća na savijanje, ▲ – rad do maksimalnog opterećenja	14
Slika 14 grafički prikazi mehaničkih svojstava i kemijskih komponenti bukovog drva izloženog gljivama bijele truleži tijekom razdoblja od 30 i 120 dana. (Bari et.al., 2014)	16

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1 Čvrstoća na vlak izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967).....</i>	<i>2</i>
<i>Tablica 2 Čvrstoća na tlak izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)</i>	<i>3</i>
<i>Tablica 3 Čvrstoća na smicanje izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)</i>	<i>4</i>
<i>Tablica 4 Čvrstoća na savijanje izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)</i>	<i>4</i>
<i>Tablica 5 Tablica 4 Tvrdoća izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)</i>	<i>5</i>
<i>Tablica 6. Utjecaj kvrga na mehanička svojstva običnog bora (Pinus sylvestris). (As et.al.,2006).....</i>	<i>8</i>
<i>Tablica 7. Usporedba smične čvrstoće 4 grupe uzoraka žutog bora (Pinus spp.) s kvrgama I bez kvrga (Cao et.al., 2018)</i>	<i>8</i>
<i>Tablica 8. Utjecaj povećanja kuta usukanosti bora na čvrstoću na savijanje (MOR), modul elastičnosti i gustoću u odnosu na uzorak sa ravnom žicom. (Tsehaye et.al., 1996).....</i>	<i>10</i>
<i>Tablica 9 Gubici čvrstoće na tlak, modula elastičnosti, i svojstva drva okomito na vlakanca uzrokovani oštećenjima od insekata (Verbist et.al., 2020)</i>	<i>18</i>

1. UVOD

1.1. Drvo kao materijal

Drvo je prirodan materijal nehomogene i anizotropne strukture korišten već tisućama godina u graditeljstvu, izradi alata, namještaja i dr. Također, drvo se upotrebljavalo kao gorivo za dobivanje toplinske energije te kao sirovina za kemijsku pretvorbu raznih drugih materijala (topljenje željeza, katrana, smole...). Kemijski sastav drvene tvari može se podijeliti na tri osnovna spoja. To su lignin (20 – 30 %), celuloza (~40 %), hemiceluloza (25 – 35 %), te ostale akcesorne i mineralne tvari (>5 %).

Zbog svojeg specifičnog načina nastajanja i rasta drvo je vrlo kompleksan materijal u tehničkom i strukturnom smislu. Iako su sastav i anatomija drva poznata i istraživana već početkom njegovog korištenja ono je vrlo nepredvidiv materijal. Uvjeti u kojima je drvo raslo uvelike ovisi o tome na koji način će se razviti te će rezultirati na svojstva materijala koji dobijemo iz njega. To mogu biti vremenski uvjeti poput kiše, snijega, vjetra, slabe zime ili sušnog ljeta.

Raznorazne prepreke kod rasta stabla, strana tijela te učinci čovjeka također mogu rezultirati promijenjenoj strukturi drva. Podneblje u kojem stablo raste, nadmorska visina i vrsta tla mogu utjecati na kemijski sastav i strukturu stabla.

Kod obaranja stabla i tijekom procesa prerade u materijal (najčešće prilikom pada stabla na tlo i sušenja) također može doći do fizičkih promjena poput pucanja i razdvajanja vlakanca i raznih deformacija poput vitoperenja i savijanja.

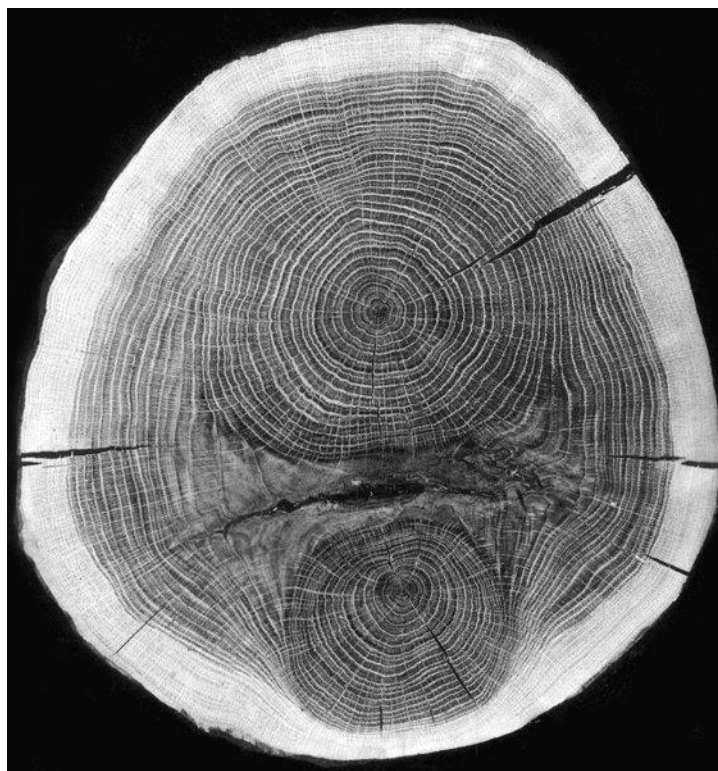
Svi ti činitelji rezultiraju promjeni strukture drva kao materijala i stvaraju „greške“ koje mogu mehanički ili vizualno narušiti, a u nekim slučajevima čak poboljšati (specifične i rijetke teksture pr. dževeravi javor, javor rebraš) kvalitetu gotovog proizvoda.

U ovom radu bit će izneseni rezultati i komentari već provedenih istraživanja o greškama drva i kako one utječu na mehanička svojstva drva primijenjenog za inženjerske i građevinske projekte.

2. OPĆENITO O GREŠKAMA DRVA

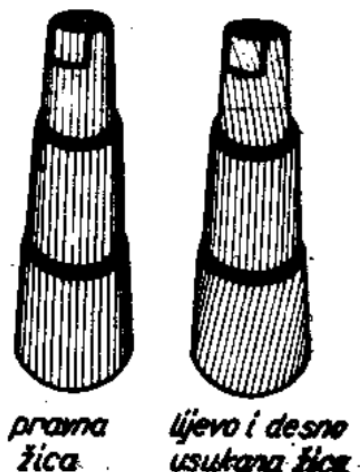
Kada se priča o greškama drva one se najčešće odnose na drvo u tehničko – trgovačkom smislu. Sve „nepravilnosti“ koje su nastale tijekom rasta stabla ili nekim biološkim činiteljima koje bi mogle smanjiti mogućnost prerade drva i narušavati funkcionalnost gotovog proizvoda te estetske karakteristike poput promjene boje i nejednolike teksture koje mogu utjecati na izgled i prodaju materijala mogu se smatrati greškama drva. Također, postoje i greške drva koje se gledaju s botaničkog gledišta poput oštećenja drva nastala napadima insekata koje direktno utječu na život stabla.

Greške drva mogu se podijeliti na više skupina s obzirom na način nastanka. To su: prirodne greške drva, greške drva nastale u toku sušenja i prerade, greške boje drva, greške drva uzrokovane djelovanjem gljiva i bakterija, greške drva nastale oštećenjima od insekata, i greške drva nastale oštećenjima od morskih životinja. Prirodne greške drva su: valovitost linije godova, dvostruko ili višestruko srce, valovitost toka vlaknaca, dževeravost, okružljivost, paljivost, usukanost žice, kosa žica, smolne vrećice i kvрге koje su najzastupljenija vrsta greške i predstavljaju najveći problem kod mehaničkih svojstava drva.



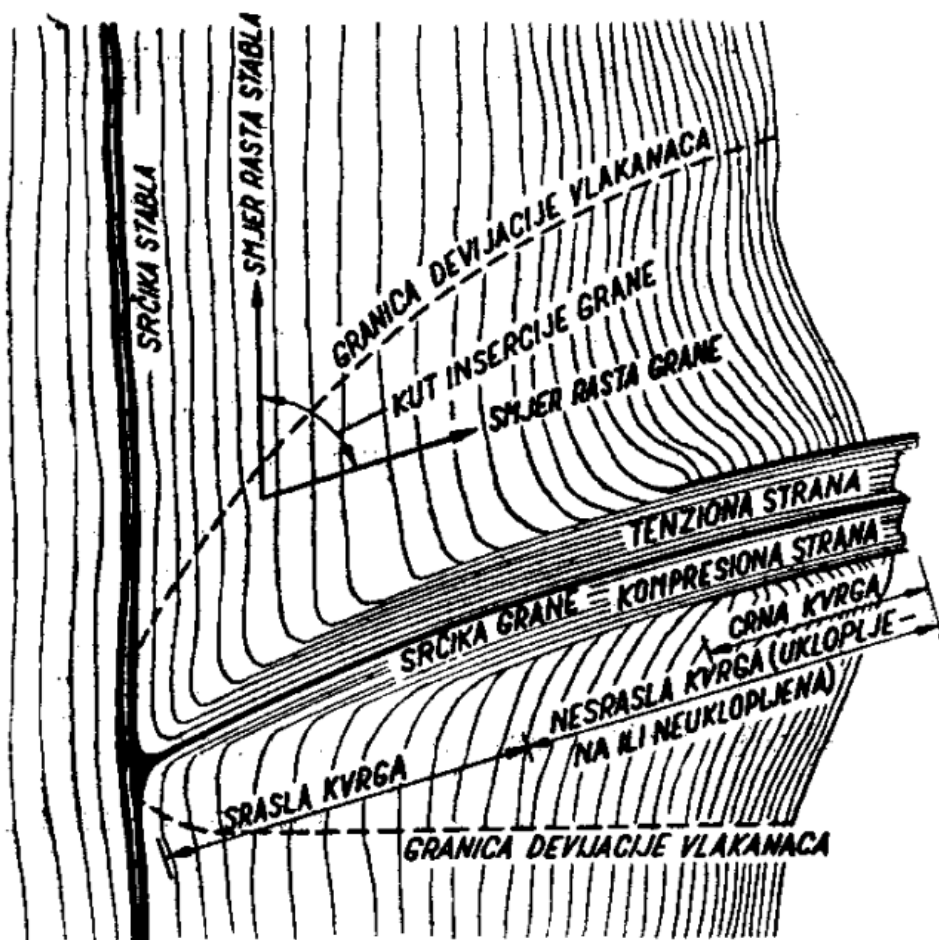
Slika 1. Dvostruko srce (Izvor: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/drvo>)

2. OPĆENITO O GREŠKAMA DRVA



Slika 2. Primjer ravne žice (lijevo) i usukane žice (desno) (Horvat et.al., 1967)

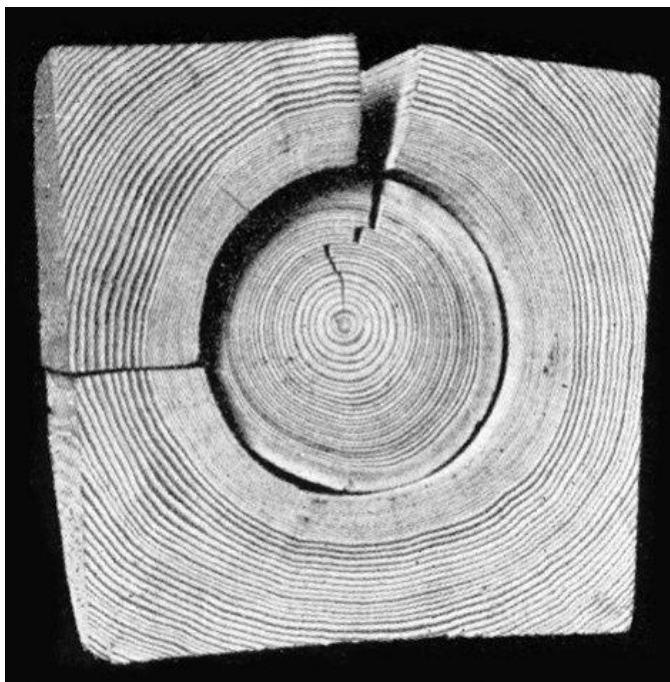
Kvrge su ostatci grana urasle u deblo. Dijele po postanku, sraslosti, uraslosti, veličini, obliku, stupnju zdravlja i konzistenciji.



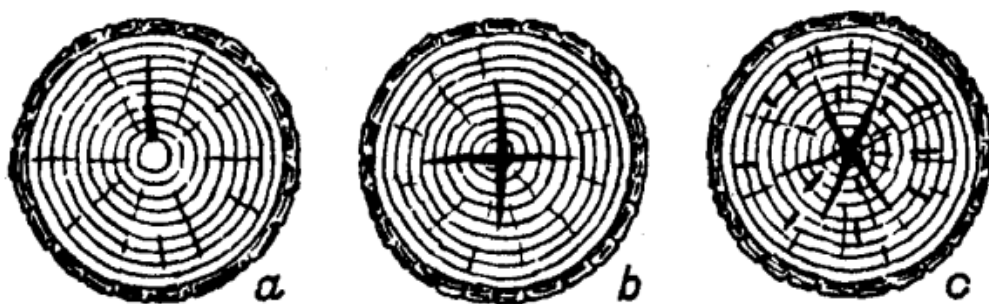
Slika 3. Shematski prikaz kvrga (Horvat et.al., 1967)

2. OPĆENITO O GREŠKAMA DRVA

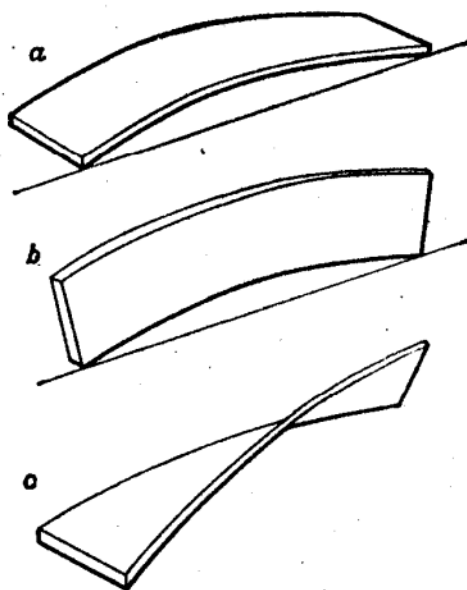
Prilikom prirodnog sušenja drva nakon obaranja, te sušenja uz nepravilne parametre u sušionicama (temperatura, relativna vlaga zraka) može doći do raznih pukotina (okružljivost i paljivost kod prirodnog sušenja tek oborenog debla ili pukotina čela i raspucavanja srca kod piljenica sušenih umjetnim putem) i deformacija oblika piljenica kao što su: vitoperenje, sabljatost, izbočenost, koritavost, skorjelost i kolaps.



Slika 4. Okružljivost (Izvor: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/drvo>)



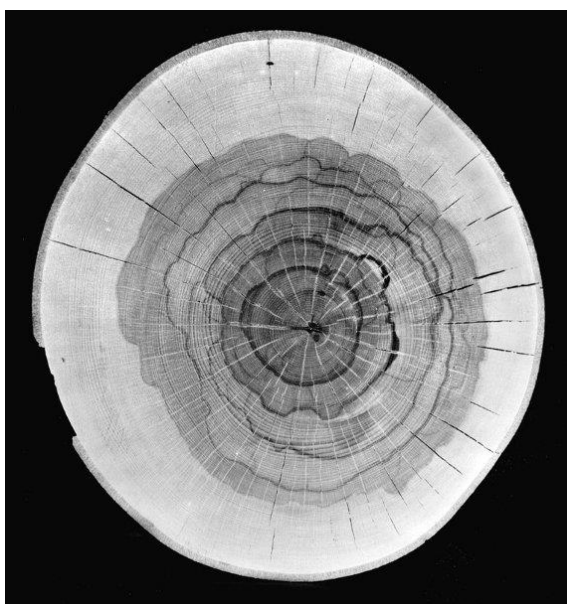
Slika 5. Prikaz paljivosti; a) jednostrana, b) unakrsna, c) zvjezdasta (Horvat et.al., 1967)



Slika 6. Deformacije drva izazvane sušenjem; a) izbočenost, b) sabljatost, c) vitoperenje (Horvat et.al., 1967)

Kod obrade drva brušenjem i blanjanjem može doći do izdignutosti vlaknaca koje narušavaju estetiku i teksturu površine drva.

Kod promjene boje drva (neuzrokovane biološkim činiteljima) najčešće su dvostruka bijel, neprava srž i mrazna srž. Pojava dvostruke bijeli i mrazne srži uzrokovane su niskim temperaturama uslijed jakih zima dok se točan uzrok neprave srži još uvijek ne zna. Neprava i mrazna srž javljaju se kod bakuljavih vrsta drva, najčešće bukve.



Slika 7. Neprava srž (Izvor: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/drvo>)

2. OPĆENITO O GREŠKAMA DRVA

Gljive i bakterije također uzrokuju promjenu boje drva. Najučestalije pojave su modrenje (plavilo), piravost (prozuklost), zelenjenje i smeđenje (rujavost). Gljive uzrokuju i promjenu u konzistenciji drva te ga razgrađuju – trulež. Dvije vrste truleži koje su najrazornije su smeđa i bijela trulež. Smeđa trulež napada celulozu, a lignin ostaje nepromijenjen. Bijela trulež istovremeno razgrađuje celulozu, hemicelulozu i lignin. Napadi gljiva truležnica najčešće se javljaju kod nezaštićenog drva u vlažnim, neprozračenim i tamnim prostorima.



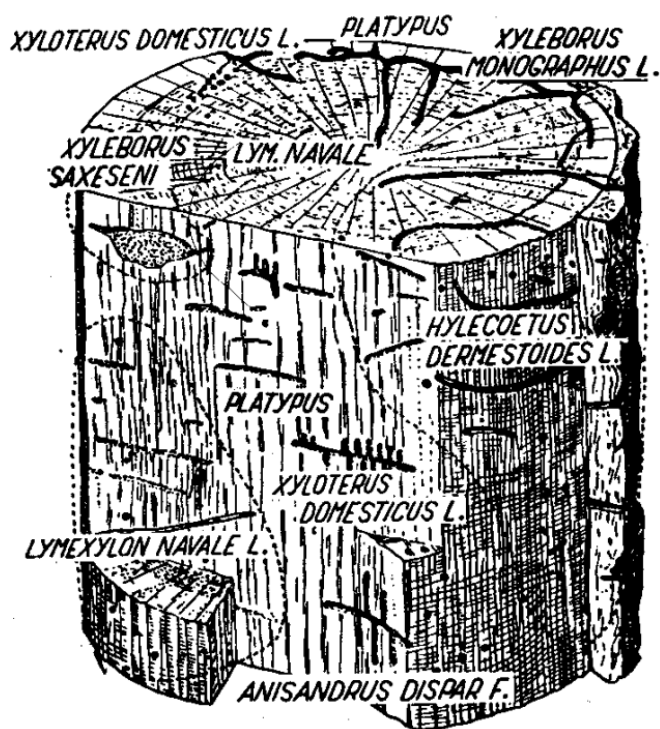
Slika 8. Uzorci drva napadnuti gljivama uzročnicama smeđe truleži (Izvor: Zbirka uzoraka Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije)



Slika 9. . Uzorci drva napadnuti gljivama uzročnicama bijele truleži (Izvor: Zbirka uzoraka Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije)

2. OPĆENITO O GREŠKAMA DRVA

Greške nastale djelovanjem insekata i morskih životinja očituju se u hodnicima koje rade unutar strukture drva koje rade kao skloništa ili se hrane drvnom tvari. Veličina hodnika može varirati od milimetra pa do par centimetara ovisno o veličini insekta. Takva vrsta oštećenja može uzrokovati narušavanje čvrstoće i trajnosti drva. Drvo ugrađeno u slanoj vodi može biti meta napada broskog crva koji može biti vrlo destruktivan.



Slika 10. Shematski prikaz drva napadnutog različitim vrstama insekata i njihovog načina razaranja strukture drva (Horvat et.al., 1967)



Slika 11. Shematski prikaz djelovanja broskog crva na drvo (Horvat et.al., 1967)

3. OPĆENITO O MEHANIČKIM SVOJSTVIMA DRVA

O mehaničkim svojstvima drva govori se kada neka vanjska mehanička sila djeluje na drvo. Prilikom djelovanja tih vanjskih sila može doći do deformacija. Deformacije mogu biti plastične (trajne) ili elastične (privremene).

Mehanička svojstva drva dijele se na čvrstoću, tvrdoću i otpornost prema habanju.

Čvrstoća je najveće unutarnje naprezanje neposredno prije loma; njome se neko tijelo opire djelovanju mehaničkih vanjskih sila koje ga nastoje smrviti, raskinuti, saviti, prelomiti itd. (Horvat et.al.,1967.). S obzirom na brzinu djelovanja vanjske mehaničke sile čvrstoću možemo podijeliti na statičku i dinamičku. Statička čvrstoća je čvrstoća materijala kod polaganog povećanja naprezanja, dok je dinamička čvrstoća materijala otpornost prema djelovanju naglog naprezanja.

Čvrstoća na vlak je naprezanje koje nastaje kod djelovanja dviju sila na tijelo u suprotnim smjerovima. Čvrstoća na vlak u smjeru vlakanca kod drva znatno je veća od čvrstoće na vlak okomito na vlakanca. Najčešće se ispituje u smjeru vlakanca, a u praksi se ovakva vrsta naprezanja vrlo rijetko pojavljuje.

Tablica 1 Čvrstoća na vlak izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)

Vrsta drva	Čvrstoća na vlak		
LISTAČE	kp/cm ²		
Bagremovina	1000	1480	1850
Brestovina	650	800	2100
Brezovina	350	1370	2700
Bukovina	570	1350	1800
Grabovina	470	1350	2000
Hrastovina	500	900	1800
Jasenovina	700	1650	2930
Javorovina		800	
Johovina		940	
Kestenovina, pitoma		1350	
Kestenovina, divlja	560	810	100
Lipovina	230	850	1450
Orahovina		1000	
Topolovina, crna	430	770	1100
Vrbovina	270	640	1000
ČETINJACE			
Ariševina		1070	
Borovina	350	1040	1960

3. OPĆENITO O MEHANIČKIM SVOJSTVIMA DRVA

Duglazijevina	1050		
Jelovina	480	840	1200
Smrekovina	210	900	2450

Čvrstoća na tlak je naprezanje kod kojega sila djeluje na tijelo okomito na horizontalnu podlogu na kojoj se tijelo nalazi te ga nastoji stlačiti (smrviti, zgnječiti). Čvrstoća na tlak u smjeru vlakana je 3 do 10 puta veća od čvrstoće na tlak okomito na vlakana. U praksi je čvrstoća na tlak posebice bitna za nosive konstrukcijske elemente poput drvenih stupova.

Tablica 2 Čvrstoća na tlak izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)

Vrsta drva	Čvrstoća na tlak kp/cm ²		
LISTAČE			
Bagremovina	560	730	960
Brestovina	370	560	730
Brezovina	380	570	1000
Bukovina	410	620	990
Grabovina	550	820	990
Hrastovina, kitnjaka	480	650	700
Hrastovina, lužnjaka	540	610	670
Jasenovina	230	520	800
Javorovina	290	490	720
Johovina	350	470	600
Kestenovina, pitoma	330	410	470
Kestenovina, divlja	280	305	335
Lipovina	260	520	780
Orahovina	465	720	890
Topolovina, crna	260	350	560
Vrbovina	200	280	440
ČETINJACE			
Ariševina	350	470	690
Borovina	350	530	940
Duglazijevina	470		
Jelovina	310	470	590
Smrekovina	350	500	790

Čvrstoća drva na smicanje je najveće unutarnje naprezanje koje se javlja kod djelovanja dviju sila suprotnog smjera koje nastoje razdvojiti tijelo u smjeru vlakana.

3. OPĆENITO O MEHANIČKIM SVOJSTVIMA DRVA

Tablica 3 Čvrstoća na smicanje izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)

Vrsta drva	Čvrstoća na smicanje kp/cm ²		
LISTAČE			
Bagremovina			160
Brestovina			79
Brezovina			120
Bukovina	65	80	190
Grabovina			85
Hrastovina	60	110	130
Jasenovina	90	128	146
Javorovina			90
Jhovina			45
Kestenovina, pitoma	30	80	155
Orahovina			70
Topolovina, crna	40	50	60
Vrbovina			70
ČETINJACE			
Ariševina	45	90	100
Borovina	61	100	146
Duglazijevina			79
Jelovina	37	50	63
Smrekovina	40	67	120

Najveće unutarnje naprezanje koje nastoji savinuti tijelo poduprto na jednom ili oba kraja silom koja djeluje okomito na smjer vlaknaca naziva se čvrstoća na savijanje. U praksi je vrlo bitna za nosive grede konstrukcija.

Tablica 4 Čvrstoća na savijanje izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)

Vrsta drva	Čvrstoća na savijanje kp/cm ²		
LISTAČE			
Bagremovina			1500
Brestovina	560	890	2000
Brezovina	780	1470	1530
Bukovina	740	1230	2100
Grabovina	580	1600	2000
Hrastovina, lužnjaka	740	880	1050
Hrastovina, kitnjaka	780	1100	1170
Jasenovina	580	1200	2100

3. OPĆENITO O MEHANIČKIM SVOJSTVIMA DRVA

Javorovina	500	950	1400
Johovina	440	970	1720
Kestenovina, pitoma	480	540	760
Kestenovina, divlja	535	635	695
Lipovina	460	1060	1470
Orahovina	900	1470	1700
Toplovina, crna	470	650	940
Vrbovina	260	310	350
ČETINJACE			
Ariševina	640	990	1320
Borovina	410	1000	2060
Duglazijevina		790	
Jelovina	470	730	1180
Smrekovina	490	780	1360

Još neka unutarnja naprezanja koja se javljaju u drvu su čvrstoća na sukanje, cijepanje I na udarac.

Tvrdoća je mehaničko svojstvo drva kojom se određuje otpor drva prema nekom drugom tijelu koje nekom silom prodire u njega. Takvo prodiranje može biti postepeno ili trenutno (statička i dinamička tvrdoća). Tvrdoća ovisi o vrsti drva, građi i volumenu, dijelu debla i sadržaju vode te se uvelike razlikuje s obzirom na kojem anatomskom presjeku sila djeluje (radijalno, tangентno ili poprečno). Tvrdoća na poprečnom presjeku veća je 1,6 do 2,5 puta od tvrdoće radijalnog i tangентnog presjeka, dok se razlike u tvrdoći radijalnog i tangентnog presjeka neznatno razlikuju.

Tablica 5 Tablica 4 Tvrdoća izdvojenih komercijalnih vrsta drva (Horvat et.al., 1967)

Vrsta drva	Tvrdoća kp/cm ²		
LISTAČE			
Bagremovina	450	590	770
Brestovina	470	640	1140
Bukovina	540	780	1100
Grabovina	670	890	1260
Hrastovina, lužnjaka	280	650	1010
Hrastovina, kitnjaka	430	690	990
Jasenovina	410	760	1150
Javorovina	520	670	860
Johovina	320	440	590
Kestenovina, pitoma	320	510	730
Kestenovina, divlja		345	
Lipovina	260	330	390
Orahovina	530	720	880

3. OPĆENITO O MEHANIČKIM SVOJSTVIMA DRVA

Topolovina, crna	200	270	340
Vrbovina	210	330	480
ČETINJACE			
Ariševina	220	380	700
Borovina	190	300	500
Duglazijevina		300	
Jelovina	180	340	530
Smrekovina	140	270	460

Otpornost prema habanju svojstvo je drva kojom se ono opire destruktivnim djelovanjem na njegovu površinu. Vrlo je bitno svojstvo kod ispitivanja otpornosti drvenih podova, pragova, stepenica, skija i dr.

Mehanička svojstva drva ne ovise samo o vrsti drva nego i o uvjetima u kojem je ono raslo. Svako stablo raste pod različitim prilikama poput klime, staništa, sastojine, koje utječu na tijek rasta i strukturu drva, pa tako i na mehanička svojstva. Stoga je teško odrediti točne vrijednosti mehaničkih svojstava za takav kompleksan prirodan materijal pa se kod ispitivanja u većini slučajeva uzimaju srednje vrijednosti.

4. UTJECAJ PRIRODNIH GREŠKA DRVA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

4.1. Utjecaj kvrga na mehanička svojstva drva

Kvrge su najčešća prirodna vrsta greške na drvu. Prisutnost kvrga u drvu je neizbježna s obzirom na to da su one sastavan dio razvoja i rasta stabla, posebice na drvu četinjača. Zbog svoje drugačije strukture, razlike u gustoći i sadržaju vode značajno utječu na mehanička svojstva drva. Prilikom procesa sušenja kvrga se utežu brže od okolnog drva pa mogu ispasti, stvarajući rupe koje smanjuju strukturni integritet drva. Veći broj kvrga na određenom području uvelike utječe na gustoću cijelog uzorka što se značajno odražava na mehanička svojstva drva.

Istraživanja su pokazala da kvrga znatno smanjuju vlačnu čvrstoću. Kvrge stvaraju prekid u kontinuitetu drvnih vlaknaca. U zoni vlačnog naprezanja, vlakna nose značajan dio opterećenja. Kada kvrga prekida vlakna, dolazi do koncentracije naprezanja oko kvrga, što povećava mogućnost pucanja drva na tom mjestu. Vlačna čvrstoća može biti drastično smanjena u prisutnosti kvrga. Na primjer, za drvo koje inače ima vlačnu čvrstoću od 70 MPa, prisutnost kvrga može smanjiti tu vrijednost na 35 MPa ili čak niže, ovisno o veličini i položaju kvrga. Što je kvrga veća ona stvara veći diskontinuitet u toku vlaknaca pa je i vlačna čvrstoća manja.

Utjecaj kvrga na tlačnu čvrstoću manje je izražen nego na vlačnu čvrstoću ali još uvijek je značajan. Prema istraživanju (As et.al., 2006) kod uzorka koji je najviše zahvaćen kvrgama (75 % do 100 %) čvrstoća se smanjila za oko 15% u odnosu na kontrolni uzorak. Naime, prema istraživanju (Cao et.al., 2018.) utvrđeno je da kvrga u laminiranim elementima nemaju utjecaja na promjenu mehaničkih svojstava u odnosu na uzorke bez kvrga.

Kvrge također značajno smanjuju savojnu čvrstoću drva, osobito kada su smještene u zoni maksimalnog savojnog naprezanja. Smanjenje savojne čvrstoće može iznositi i do 75 % kada su kvrga smještene u vlačnoj zoni, dok je smanjenje manje (do 66 %) kada se kvrga nalaze u tlačnoj zoni drva.

4. UTJECAJ PRIRODNIH GREŠKA DRVA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

Tablica 6. Utjecaj kvrga na mehanička svojstva običnog bora (*Pinus sylvestris*). (As et.al.,2006)

Compression strength	Tensile strength	Bending strength		MOE		Impact bending	
		Knots on compression zone	Knots on tension zone	Knots on compression zone	Knots on tension zone	Knots on compression zone	Knots on tension zone
		MPa				J.cm ⁻²	
Control 39.7 (4.92)* A**	2.87 (0.46) A	75.0 (11.0) A	75.0 (11.0) A	8568.3 (1318.0) A	8568.3 (1318.0) A	4.5 (0.88) A	4.5 (0.88) A
I 31.5 (5.69) B	3.33 (0.55) A	68.8 (12.5) B	59.1 (12.2) B	7120.2 (1413.4) B	6732.8 (1303.0) B	3.6 (0.74) B	3.2 (0.67) B
II 29.5 (5.48) B	2.88 (0.46) B	44.2 (11.1) C	39.8 (7.7) C	5238.2 (886.8) C	4740.5 (982.8) C	2.8 (0.55) C	2.2 (0.45) C
III 30.2 (6.26) B	2.61 (0.49) C	36.6 (7.7) D	27.9 (5.1) D	4063.0 (705.5) D	3055.3 (620.8) D	1.8 (0.36) D	1.5 (0.33) D
IV 33.7 (6.0) C	2.41 (0.49) C	25.3 (4.9) E	18.8 (3.7) E	2638.0 (526.9) E	2140.8 (450.9) E	1.2 (0.27) E	1.0 (0.24) E

Utjecaj kvrga na smičnu čvrstoću drva može utjecati pozitivno i negativno. Zdrave kvrga mogu čak povećati smičnu čvrstoću drva. Istraživanja su pokazala da zdrave kvrga mogu povećati smičnu čvrstoću do 26.2 % kada su orijentirane kroz tangencijalnu površinu drva. Međutim, nezdrave kvrga (oštećene ili trule) smanjuju smičnu čvrstoću jer takve kvrga ne pružaju dovoljnu potporu kod opterećenja, što dovodi do loma pri manjim opterećenjima.

Tablica 7. Usporedba smične čvrstoće 4 grupe uzoraka žutog bora (*Pinus spp.*) s kvrgama i bez kvrga (Cao et.al., 2018)

Groups/Parameter	Knot Condition	N ^a	Mean Shear Strength ^b (MPa)	Specific Gravity
Group A (shear plane parallel to tangential face)	Sound	30	12.50 (0.17) ^c	0.63 (0.14)
	Matched clear	30	9.91 (0.17)	0.44 (0.10)
Group B (shear plane parallel to tangential face)	Unsound	30	9.91 (0.25)	0.61 (0.12)
	Matched clear	30	10.70 (0.13)	0.46 (0.06)
Group C (shear plane parallel to radial face)	Sound	30	10.50 (0.17)	0.61 (0.14)
	Matched clear	30	9.59 (0.17)	0.42 (0.10)
Group D (shear plane parallel to radial face)	Unsound	30	9.34 (0.23)	0.59 (0.11)
	Matched clear	30	10.90 (0.14)	0.45 (0.10)

^a N = number of observations; ^b Adjusted to 12% moisture content; ^c Values in parentheses are coefficients of variation

Kvrga također utječu na obradu drva, kao što je piljenje, blanjanje, lijepljenje i završna obrada. Zbog nepravilnosti u žici drva oko kvrga, može doći do poteškoća u obradi, što rezultira smanjenom kvalitetom konačnog proizvoda. Prisutnost kvrga

općenito smanjuje mehanička svojstva drva, i zato je važno pažljivo razmotriti raspored, veličinu i broj kvrga kada se drvo koristi za konstrukcijske namjene.

4.2. Utjecaj usukanosti na mehanička svojstva drva

Usukanost se javlja kada vlakna u stablu rastu pod kutom u odnosu na vertikalnu os stabla, umjesto paralelno s njom. Ovo stanje može nastati zbog različitih čimbenika, uključujući genetsku predispoziciju i utjecaj okoline.

Stupanj usukanosti kvantificira se kutom usukanosti mjerenim u stupnjevima, i predstavlja ključni faktor u određivanju mehaničkih svojstava drva. Mehanička svojstva koja su najviše pod utjecajem usukanosti su savojnu čvrstoću drva, i modul elastičnosti, koji mjeri njegovu krutost. Oba ova svojstva su ključna za procjenu prikladnosti drva za primjene u kojima se zahtijeva nosivost.

Istraživanja su pokazala da savojna čvrstoća i krutost drva opadaju s povećanjem kuta usukanosti (Tsehaye et.al., 1996.). Na primjer, linearna regresijska analiza između kuta usukanosti i savojne čvrstoće daje sljedeću jednadžbu:

$$\text{Savojna čvrstoća} = 72.09 - 1.91 \cdot \text{Kut usukanosti (MPa)}$$

Ova jednadžba pokazuje da se s povećanjem kuta usukanosti za svaki stupanj, savojna čvrstoća smanjuje za 1,91 MPa. Sličan odnos postoji i između kuta usukanosti i krutosti, gdje linearna regresija daje jednadžbu:

$$\text{Modul elastičnosti} = 8.56 - 0.23 \cdot \text{Kut usukanosti (GPa)}$$

Prema ovoj jednadžbi, krutost drva smanjuje se za 0,23 GPa za svaki stupanj povećanja kuta usukanosti.

Istraživanja su dalje potvrdila da kod drva s kutom usukanosti od 6°, savojna čvrstoća iznosi 81 % vrijednosti drva ravnog toka vlaknaca, dok je kod kuta od 10° ta vrijednost smanjena na 66 %. Slično tome, krutost kod kuta od 6° iznosi 80 % u usporedbi s ravnim drvom, dok je kod kuta od 10° ta vrijednost smanjena na 63 %. Ovi rezultati potvrđuju da usukanost ima značajan negativan utjecaj na mehanička svojstva drva, a postotne vrijednosti dobivene iz gore navedenih jednadžbi podudaraju se s rezultatima provedenih u istraživanjima.

Istraživanja su također pokazala da usukanost ima različit utjecaj na mehanička svojstva drva ovisno o njegovom položaju unutar stabla. Srževina, koja se nalazi bliže središtu stabla, općenito ima veći kut usukanosti u usporedbi s vanjskim drvom koje se nalazi bliže kori. Dokazano je da se krutost srži kod usukanosti smanjuje manje od drva bliže kori što se može pripisati anatomskim karakteristikama srževine, koje uključuju veći kut mikrovlakana, tanje stijenke stanica, niži sadržaj celuloze i manji postotak kasnog drva.

4. UTJECAJ PRIRODNIH GREŠKA DRVA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

Tablica 8. Utjecaj povećanja kuta usukanosti bora na čvrstoću na savijanje (MOR), modul elastičnosti i gustoću u odnosu na uzorak sa ravnom žicom. (Tsehaye et al., 1996)

Class	N	Angle of spiral grain (°)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	Density (kg/m ³)
Straight grain	294	0.0	72.8 (11.5)	8.6 (1.7)	480 (40.3)
1–1.9°	47	1.4 (0.3)	68.0 (15.1)	8.4 (1.9)	471 (46.1)
2–2.9°	110	2.4 (0.3)	67.4 (12.0)	7.9 (1.7)	468 (36.3)
3–3.9°	152	3.4 (0.3)	66.5 (11.6)	7.7 (1.7)	471 (36.5)
4–4.9°	122	4.3 (0.3)	63.3 (9.5)	7.7 (1.6)	459 (35.5)
5–5.9°	76	5.4 (0.3)	61.0 (10.4)	7.5 (1.6)	461 (41.6)
6–6.9°	55	6.4 (0.3)	59.2 (7.6)	6.9 (1.5)	469 (36.3)
7–7.9°	31	7.3 (0.3)	56.6 (8.1)	6.6 (1.4)	465 (43.1)
8–8.9°	20	8.4 (0.3)	59.4 (9.5)	6.9 (1.7)	475 (37.1)
9–9.9°	6	9.3 (0.3)	53.1 (6.8)	6.7 (1.7)	453 (27.7)
10–10.9°	2	10.5	48.4	5.4	495
All	915	2.9 (2.5)	66.8 (12.2)	7.9 (1.8)	471 (39.4)

5. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH U TOKU SUŠENJA I PRERADE NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

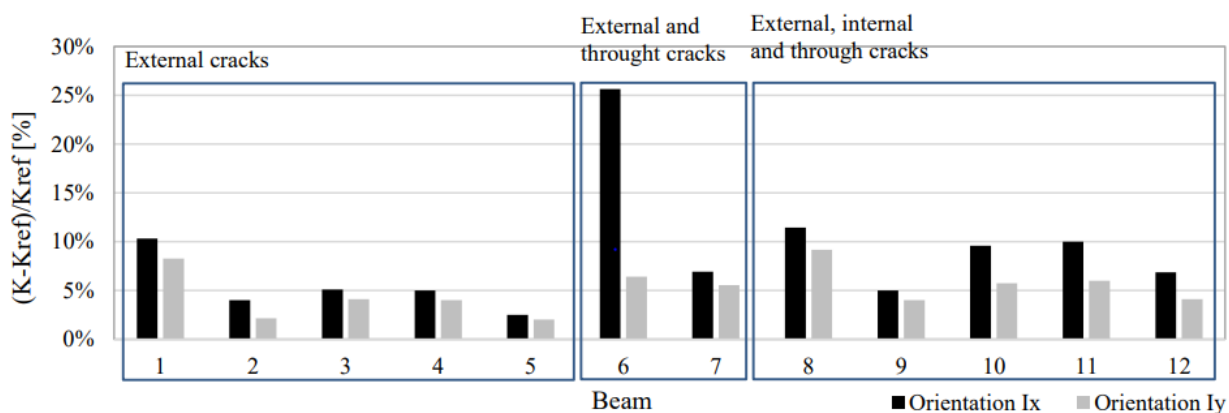
5.1. Utjecaj pukotina na mehanička svojstva drva

Pukotine u drvu predstavljaju veliki problem kod mehaničkih svojstava drva što je za očekivati jer su struktura drva i tok vlaknaca kod takvog oštećenja bitno narušeni, pogotovo kod opterećenja s kojima se nosi drvo za konstrukcijske namjene.

Pukotine mogu nastati iz različitih razloga, kao što su sušenje drva, mehanička oštećenja, prirodni rast i klimatski uvjeti. Iako su pukotine često smatrane nepovoljnim za drvene konstrukcije, njihovo točno djelovanje na mehanička svojstva drva često je nedovoljno istraženo.

Pukotine značajno utječu na krutost drvenih elemenata. Istraživanja su pokazala da prisutnost pukotina dovodi do smanjenja krutosti drva, iako je to smanjenje u većini slučajeva manje od 10 %. Međutim, kod većih i dubljih pukotina, posebno onih koje prolaze kroz cijeli presjek drvenog elementa (tzv. "through cracks"), smanjenje krutosti može biti značajnije, dosežući čak i do 25 %. Ove pukotine djeluju kao razdjelnici unutar presjeka, smanjujući njegovu sposobnost da prenosi opterećenje. Zanimljivo je da pukotine koje su vidljive samo na površini drva mogu također imati značajan utjecaj, osobito ako su dovoljno duboke.

U istraživanjima provedenim na hrastovim gredama (Mergny et.al., 2016.), pukotine su podijeljene u nekoliko kategorija, ovisno o njihovoj orijentaciji i položaju (radijalne, tangencijalne, unutarnje, vanjske i one koje prolaze kroz cijeli presjek elementa). Tangencijalne pukotine imale su najznačajniji utjecaj na smanjenje krutosti.



Slika 12 Grafički prikaz razlike krutosti u postocima između 12 greda sa pukotinama (K) u odnosu na grede bez pukotina (K_{ref}) s obzirom na smjer orijentacije pukotina (I_x – horizontalne pukotine, I_y – vertikalne pukotine) (Mergny et.al., 2016)

5. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH U TOKU SUŠENJA I PRERADE NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

Otpornost drva na smicanje također je značajno smanjena prisutnošću pukotina. Pukotine koje se nalaze blizu neutralne osi presjeka ili koje su orijentirane paralelno s vlaknima, mogu dramatično smanjiti otpornost drva na smicanje.

Europske norme, kao što je Eurocode 5, predviđaju smanjenje širine presjeka kako bi se uzeo u obzir učinak pukotina na smicanje, dok druge norme, poput onih iz SAD-a i Švicarske, predviđaju smanjenje same otpornosti na smicanje primjenom faktora korekcije.

Eksperimentalna istraživanja pokazala su da, u slučajevima gdje su pukotine orijentirane paralelno s opterećenjem, gornje i donje polovice grede mogu djelovati kao odvojeni elementi, čime se smanjuje ukupna otpornost na smicanje. Također, poznato je da je formiranje pukotina u drvu često nepredvidivo, što dodatno komplicira njihovu analizu i procjenu.

6. UTJECAJ GREŠKA DRVA UZROKOVANIH DJELOVANJEM GLJIVA I BAKTERIJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

6.1. Utjecaj djelovanja smeđe truleži na mehanička svojstva drva

Smeđa trulež predstavlja značajan izazov za drvo, posebno u građevinskoj primjeni, gdje mehanička svojstva drva igraju ključnu ulogu u njegovoj upotrebljivosti i sigurnosti.

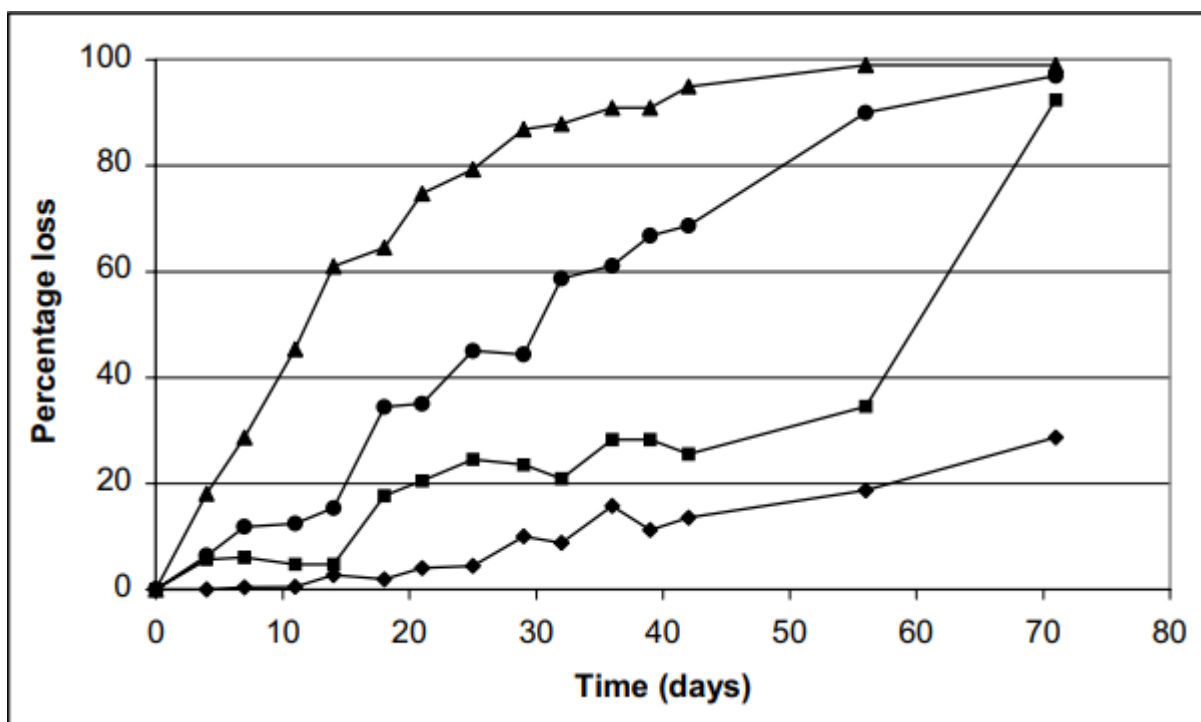
Glavni uzročnici smeđe truleži su gljive koje napadaju polisaharidne komponente drva, prvenstveno hemicelulozu i celulozu, dok lignin ostaje uglavnom netaknut. Ovaj proces rezultira gubitkom mehaničke čvrstoće prije nego što se zabilježi značajan gubitak mase drva.

Ove gljive prvenstveno razgrađuju hemicelulozu, koja čini 20 do 30 % drva, te obavlja celulozne mikrofibrile, čineći ih dostupnijima za daljnju razgradnju. Proces započinje u S2 sloju sekundarne stanične stijenke, koji ima manji sadržaj lignina u usporedbi sa S1 i S3 slojevima, što ga čini ranjivijim na napad gljivica. Istraživanja su pokazala da se prvom značajnom degradacijom hemiceluloze čvrstoća savijanja može smanjiti do 40 %, dok je gubitak mase drva još uvijek neznatan, ispod 5 %. Ova pojava čini smeđu trulež posebno opasnom za konstrukcijske elemente gdje su mehanička svojstva ključna, kao što su zgrade, mostovi i drugi infrastrukturni objekti. Razvoj smeđe truleži može se podijeliti u tri faze. U prvoj fazi dolazi do degradacije manjih hemiceluloznih komponenti, poput arabinana i galaktana, što uzrokuje smanjenje čvrstoće na savijanje do 40 % bez značajnog gubitka mase. Gubitak težine u ovoj fazi je manji od 5 %. U drugoj fazi, kako trulež napreduje, dolazi do značajne degradacije većih hemiceluloznih komponenti, kao što su manan i ksilan. Gubici u čvrstoći na savijanje u ovoj fazi dosežu do 80 %, dok se masa smanjuje za 5 - 20 %. U zadnjoj fazi dolazi do degradacije celuloze, pri čemu čvrstoća na savijanje opada iznad 80 %, a masa se smanjuje za više od 20 %. Ova faza je kritična za stabilnost strukture drva.

Eksperimentalna istraživanja su potvrdila da smeđa trulež uzrokuje značajne promjene u mehaničkim svojstvima drva prije nego što se detektira gubitak mase. Po uzorcima izloženim gljivama poput *Gloeophyllum trabeum*, utvrđeno je da dolazi do gubitka čvrstoće na savijanje brzinom koja je četiri puta veća od gubitka težine drva. U istraživanju provedenom na boru *Pinus spp.* (Curling et.al., 2001.), otkriveno je da gubitak čvrstoće na savijanje i rada do maksimalnog opterećenja (WML) započinje prije nego gubitak modula elastičnosti, što sugerira da smeđa trulež prvo utječe na sposobnost drva da podnosi savijanje i opterećenje, nego na njegovu krutost.

6. UTJECAJ GREŠKA DRVA UZROKOVANIH DJELOVANJEM GLJIVA I BAKTERIJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

Istraživanja su pokazala da se elastična svojstva smanjuju u omjeru 9:1 u usporedbi s gubitkom težine, dok je omjer za čvrstoću na savijanje 4:1, a za krutost 1,5:1.



Slika 13 Grafički prikaz utjecaja smeđe truleži na gubitak mase i mehaničkih svojstava drva; ♦ - masa
■ - modul elastičnosti, ● - čvrstoća na savijanje, ▲ - rad do maksimalnog opterećenja
(Curling et.al., 2001)

6.2. Utjecaj djelovanja bijele truleži na mehanička svojstva drva

Bijela trulež, koju uzrokuju vrste gljiva poput *Trametes versicolor* i *Pleurotus ostreatus*, predstavlja značajan izazov za održavanje mehaničkih svojstava drva.

Ove gljive razgrađuju drvo razaranjem lignina, celuloze i hemiceluloze, što dovodi do značajnog smanjenja njegove čvrstoće i gustoće. Za razliku od smeđe truleži, gljive bijele truleži prvenstveno napadaju lignin, koji je ključna komponenta u održavanju strukturnog integriteta drva. Lignin djeluje kao vezivno sredstvo između celuloznih vlakana, a njegovo razlaganje rezultira smanjenjem čvrstoće drva.

Gustoća drva igra ključnu ulogu u određivanju njegovih mehaničkih svojstava. Istraživanje provedeno na uzorcima smrekovog drva pokazalo je da bijela trulež uzrokuje značajan pad gustoće drva. Nakon 24 tjedna izloženosti gljivom *T. versicolor*,

6. UTJECAJ GREŠKA DRVA UZROKOVANIH DJELOVANJEM GLJIVA I BAKTERIJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

gustoća smrekovog drva smanjila se za više od 30 %. Ovaj pad gustoće ima izravan utjecaj na nosivost drva, čineći ga manje otpornim na utjecaj vanjskih sila.

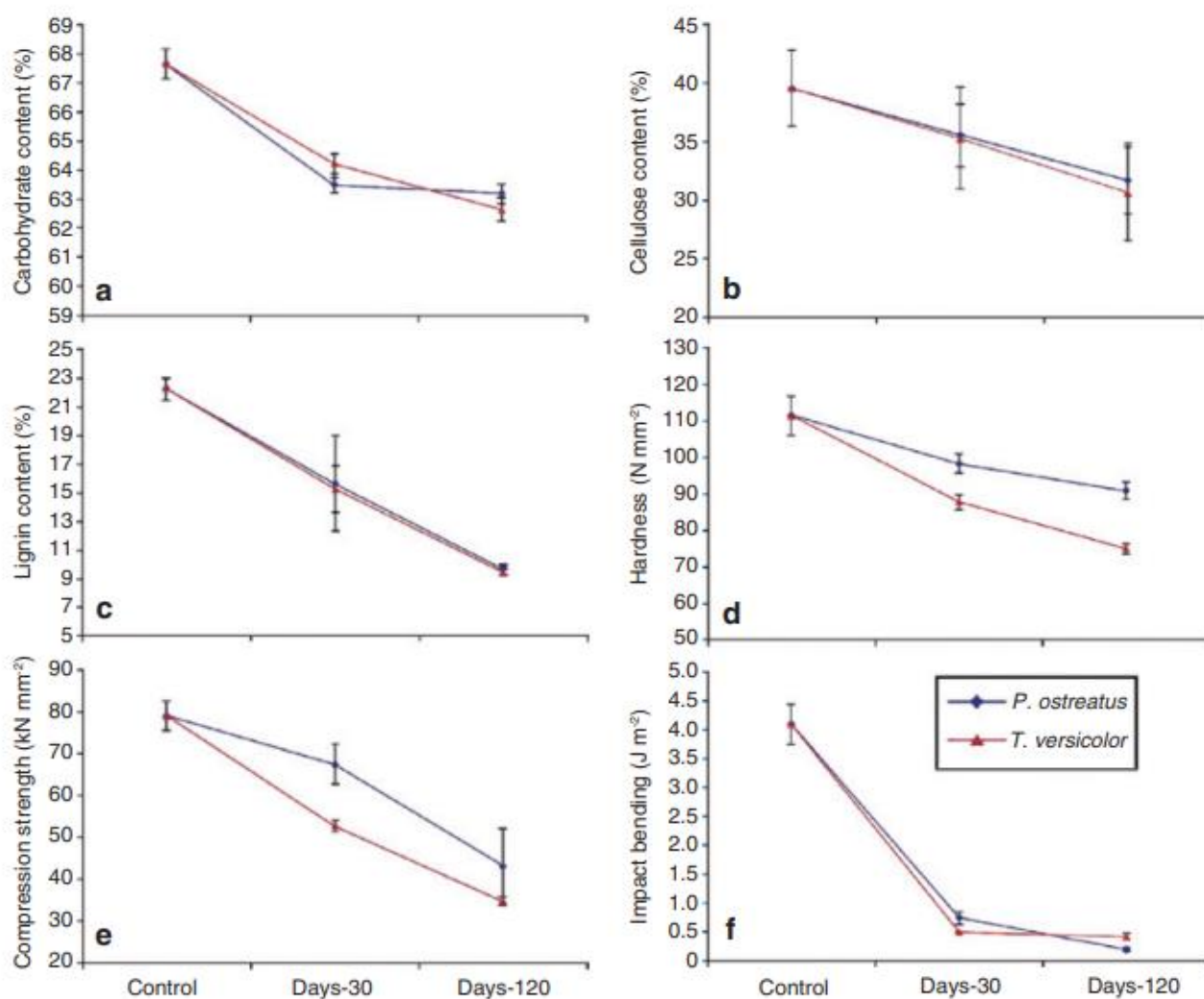
Istraživanja pokazuju da gljive poput *T. versicolor* i *P. ostreatus* mogu uzrokovati smanjenje sadržaja lignina za čak 30 % u drvu koje je izloženo tim gljivama tijekom 120 dana (Bari et.al., 2014.). Celuloza je također podložna degradaciji, ali u manjoj mjeri nego lignin.

Mehanička svojstva poput čvrstoće na savijanje, tlačne čvrstoće i tvrdoće znatno su smanjena djelovanjem bijele truleži na drvo. U istraživanju provedenom na bukovom drvu, izloženom bijeloj truleži tijekom 120 dana, pokazano je da su čvrstoća na savijanje i tvrdoća smanjeni za više od 50 %. Ovaj gubitak mehaničkih svojstava povezan je s degradacijom lignina i celuloze, što potvrđuju visoke korelacije između smanjenja ovih kemijskih komponenti i mehaničkih svojstava drva.

Unatoč tome što bijela trulež ne uzrokuje toliko brzo smanjenje celuloze kao smeđa trulež, smanjenje lignina i hemiceluloza dovoljno je da drvo postane krhko i osjetljivo na mehaničke udarce. Smanjenje otpornosti na udarce je posebno izraženo, s padom od čak 95 % u uzorcima izloženim *P. ostreatus*.

Iako različite vrste gljiva uzrokuju slične učinke na drvo, postoje razlike u brzini i intenzitetu degradacije. Na primjer, *T. versicolor* uzrokuje nešto bržu degradaciju lignina nego *P. ostreatus*, što rezultira bržim smanjenjem mehaničkih svojstava u ranim fazama izloženosti. S druge strane, *P. ostreatus* može uzrokovati veće smanjenje gustoće, što je značajno za dugoročnu stabilnost drva.

6. UTJECAJ GREŠKA DRVA UZROKOVANIH DJELOVANJEM GLJIVA I BAKTERIJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA



Slika 14 grafički prikazi mehaničkih svojstava i kemijskih komponenti bukovog drva izloženog gljivama bijele truleži tijekom razdoblja od 30 i 120 dana. (Bari et.al., 2014)

7. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH OŠTEĆENJIMA OD INSEKATA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

Štete koje uzrokuju insekti mogu ozbiljno utjecati na strukturne i funkcionalne karakteristike drva, uključujući njegovu čvrstoću, elastičnost i otpornost na savijanje što može dovesti do degradacije strukturnih elemenata u građevinskim primjenama.

Insekti koji napadaju drvo, poput drvoleža, izravno utječu na njegovu strukturu bušenjem tunela kroz srž i bjeliku. Ovi tuneli, koji mogu biti dugi i složeni, oslabljuju drvo smanjujući njegovu ukupnu čvrstoću i otpornost na savijanje. Primjerice, u istraživanju provedenom na običnom boru (*Pinus sylvestris*) i smreki (*Picea abies*) (Dimoua et.al., 2015.), utvrđeno je da insekti poput *Ergates faber* i *Monochamus galloprovincialis* mogu uzrokovati ozbiljne štete bušenjem velikih tunela, čime se drastično smanjuje otpornost drva na tlačna i savojna opterećenja.

Tuneli koje buše insekti smanjuju efektivni poprečni presjek drva, što rezultira smanjenjem sposobnosti drva da podnosi opterećenja na tlak. U članku iz 2015. godine, koji analizira utjecaj biotskih čimbenika na mehanička svojstva drva, utvrđeno je da je tlačna čvrstoća drva običnog bora i smreke značajno smanjena nakon napada insekata, posebno kod drva koje je bilo izloženo napadu tijekom duljih razdoblja.

Savojna čvrstoća drva također je podložna smanjenju zbog djelovanja insekata. Insekti poput drvoleža buše tunele koji djeluju kao točke naprezanja, gdje se opterećenje koncentrira, što povećava rizik od loma drva pod savojnim opterećenjem.

Potkornjaci, posebno oni iz roda *Ips* i *Dendroctonus*, mogu uzrokovati ozbiljna oštećenja drva napadajući ga i bušeći tunele u srži drva. Ovi insekti preferiraju stresom oslabljena stabla, ali u uvjetima visoke populacije mogu napadati i zdrava stabla. Oštećenja uzrokovana potkornjacima često su povezana s posljedičnom kolonizacijom gljivica, kao što su one iz roda *Ophiostoma*, koje uzrokuju tzv. plavilo. Iako plavilo samo po sebi ne uzrokuje značajno smanjenje mehaničkih svojstava, njegova prisutnost može negativno utjecati na estetske i tržišne vrijednosti drva, što dodatno komplicira njegovu uporabu u građevinskoj industriji. Napad potkornjaka smanjuje gustoću drva, što izravno utječe na njegova mehanička svojstva. Istraživanje provedeno u Češkoj, gdje je nedavno došlo do velikog izbijanja potkornjaka, pokazala je da se tlačna i vlačna čvrstoća drva smreke znatno smanjuju nakon napada insekata. Ovi gubici mehaničkih svojstava posebno su izraženi kada drvo ostane u šumi duže vrijeme nakon što su ga insekti napali, zbog čega dolazi do sekundarnih infekcija gljivama.

U članku objavljenom u časopisu Buildings (Verbist et.al., 2020.), istraživači su ispitivali tlačnu čvrstoću i modul elastičnosti drva kestena (*Castanea sativa*) koje su napali drvoleži. Testiranja tlačne čvrstoće provedeni su okomito na vlakanca drva, što je omogućilo precizno mjerenje gubitka mehaničkih svojstava uzrokovanih napadom

7. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH OŠTEĆENJIMA OD INSEKATA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

insekata. Rezultati su pokazali da postoji linearna korelacija između gubitka gustoće drva i smanjenja tlačne čvrstoće i modula elastičnosti.

Tablica 9 Gubici čvrstoće na tlak, modula elastičnosti, i svojstva drva okomito na vlakanca uzrokovani oštećenjima od insekata (Verbist et al., 2020)

Specimen Labelling	$F_{c,90}$ ² (kN)	$f_{c,90}$ ² (MPa)	$f_{c,90,L}$ ² (%)	$E_{c,90}$ ² (MPa)	$E_{c,90,L}$ ² (%)
Di_1	22.79	4.78	21.80	822.25	27.42
Di_2	25.60	5.37	12.15	1123.63	0.81
Di_3	15.53	3.26	46.67	517.95	54.28
Di_4	16.33	3.43	43.89	854.97	24.53
Di_5	19.40	4.07	33.42	746.15	34.14
Di_6	6.19	1.38	77.42	198.29	82.50
Di_7	14.21	2.98	51.25	502.42	55.65
Di_8	27.11	5.69	6.91	896.2	20.89
Di_9	16.57	3.48	43.07	758.35	33.06
Di_10	22.59	4.74	22.45	800.59	29.33
Di_11	26.02	5.46	10.67	925.95	18.26
Di_12	5.07	1.06	82.66	150.22	86.74

² Legend: $F_{c,90}$, maximal elastic compressive force; $f_{c,90}$, compressive strength; $f_{c,90,L}$, compressive strength loss; $E_{c,90}$, compressive elastic modulus; $E_{c,90,L}$, compressive elastic modulus loss.

Ovi rezultati potvrđuju da tuneli koje buše insekti značajno narušavaju strukturni integritet drva, smanjujući njegovu sposobnost da podnosi opterećenja.

8. UTJECAJ GREŠKA DRVA NASTALIH OŠTEĆENJIMA OD MORSKIH ŽIVOTINJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

Drvo se često koristi u izgradnji struktura koja su u doticaju s morem. Međutim, izloženost slanoj vodi predstavlja veliki izazov za trajnost i funkcionalnost drva, prvenstveno zbog napada morskih životinja, uključujući različite vrste školjkaša i rakova.

Ove životinje, najčešće brodski crvi i morski račići, mogu uzrokovati ozbiljna oštećenja drva, značajno smanjujući njegova mehanička svojstva. Brodski crvi (*Teredinidae*) spadaju među najrazornije organizme koji napadaju drvene konstrukcije u moru.

Ove životinje, koje izgledom podsjećaju na crve, buše drvo stvarajući duge tunelaste strukture unutar njega. Kako ovi organizmi prodiru duboko u drvo, često je teško na vrijeme primijetiti štetu sve dok ona nije značajna. Oštećenje uzrokovano brodskim crvima dovodi do drastičnog smanjenja gustoće drva, čime se smanjuje i njegova sposobnost da izdrži vanjska opterećenja.

Laboratorijska istraživanja pokazala su da drvo izloženo djelovanju broskog crva u morskim uvjetima pokazuje smanjenje tlačne čvrstoće paralelno s vlaknima, što je posebno problematično za konstrukcije koje moraju izdržati vertikalna opterećenja poput potpornih stupova molova i mostova (Lynes J., Mamaghani I. H. P., 2021.).

Osim brodskih crva, drvo u moru napadaju i morski račići (*Limnoria spp.* i *Sphaeroma spp.*). Ovi organizmi napadaju vanjske slojeve drva, uzrokujući površinska oštećenja koja mogu dovesti do povećanog upijanja vode i daljnje degradacije drva. Iako račići obično ne prodiru duboko kao brodski crvi, njihovo djelovanje može oslabiti površinski sloj drva, čineći ga ranjivijim na druge oblike degradacije, uključujući truljenje.

Smanjenje mehaničkih svojstava drva izravno je povezano s opsegom štete uzrokovane morskim organizmima. Istraživanja su pokazala da drvo koje je napadnuto brodskim crvima i račićima ima značajno smanjenje čvrstoće na savijanje i tlačne čvrstoće. Ovo smanjenje čvrstoće može biti posebno izraženo u donjim dijelovima drvenih stupova koji su stalno pod utjecajem morske vode i napada organizama.

Morski organizmi preferiraju napadati mekše dijelove drva, kao što je bjelika, koja nije otporna na truljenje i ima nižu gustoću od srži. Kada organizmi probiju zaštitne slojeve tretiranog drva, mogu napasti unutarnju srž, što dovodi do brze degradacije mehaničkih svojstava drva.

9. ZAKLJUČAK

Istraživanja su pokazala da greške drva, bile prirodne ili uzrokovane vanjskim čimbenicima, značajno utječu na mehanička svojstva drva. Prirodne greške poput kvrga i usukanosti mogu ozbiljno oslabiti čvrstoću, posebno na savijanje i smicanje. Kvrge prekidaju kontinuitet vlakana, što dovodi do koncentracije naprezanja na njihovim položajima i povećane mogućnosti pucanja. Greške nastale tijekom sušenja, kao što su pukotine, također smanjuju krutost i otpornost drva na smicanje. Biološki čimbenici poput gljiva i insekata mogu izazvati trulež i narušiti strukturu drva te tako značajno smanjiti mehanička svojstva drva, čak i prije nego što se uoči značajan gubitak mase. Oštećenja uzrokovana morskim organizmima, poput brodskih crva, mogu drastično smanjiti gustoću i tlačnu čvrstoću drva.

Sve ove greške smanjuju funkcionalnost drva u inženjerskim i građevinskim primjenama, što stavlja poseban naglasak na važnost kontrole kvalitete, pravovremeno uočavanje, preveniranje i sanaciju grešaka kako bi se osigurala dugovječnost i sigurnost drvenih konstrukcija.

LITERATURA

1. As N., Goker Y., Dundar T., 2006: Effect of knots on the physical and mechanical properties of Scots pine. *Wood Research*, 51 (3): 2006, 51-58.
2. Bari E., Taghiyari H. R., Mohebbi B., Clausen C. A., Schmidt O., Mohammad Ghanbary M. A. T., Vaseghi M. J., 2014: Mechanical properties and chemical composition of beech wood exposed for 30 and 120 days to white-rot fungi. *Holzforschung* 2015; 69(5): 587–593.
3. Barbosa M., C., Street J., Frank C., Shmulsky O. R., 2019: The effect of multiple knots in close proximity on southern pine lumber properties. *Forest Prod. J.* 69(4):278–282. doi:10.13073/FPJ-D-19-00027.
4. Cao Y., Street J., Mitchell B., To F., DuBien J., Seale R. D., Shmulsky R., 2018: Effect of knots on horizontal shear strength in southern yellow pine. *BioResources* 13(2), 4509-4520. DOI: 10.15376/biores.13.2.4509-4520.
5. Cown D. J., Walford B., Kimberley M. O., 1996: Cross-grain effect on tensile strength and bending stiffness of *Pinus radiata* structural lumber. *New Zealand Journal of Forestry Science* 25(2).
6. Curling S. F., Clausen C. A., Winandy J. E., 2001: The effect of hemicellulose degradation on the mechanical properties of wood during brown rot decay. Paper prepared for the 32nd Annual Meeting, svibanj 20. – 25., 2001, Nara, Japan.
7. Curling S. F., Clausen C. A., Winandy J. E., 2002: Relationships between mechanical properties, weight loss, and chemical composition of wood during incipient brown-rot decay. *Forest Products Journal*, 52, 7/8.
8. Dimoua V., Kaziolasb D. N., Zygomalasc I., Avtzis N., 2015: Influence of biotic factors on the mechanical properties of wood, taking into account the time of harvesting. *Wood Material Science & Engineering*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2015.1063004>.
9. Horvat I., Krpan J. i dr., 1967: *Drvno industrijski priručnik*, Tehnička knjiga, Zagreb.
10. Lynes J., Mamaghani I. H. P., 2021: Strength properties of hardwood timber species exposed to decay and marine borer attack in tidal zones. *Proceedings of the 6th International Conference On Civil Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'21), Virtual Conferences– May 17-19, 2021*. DOI: 10.11159/iccste21.145.
11. Löwe R., Sedlecký M., Sikora A., Prokupková A., Modlinger R., Novotný K., Turčáni M., 2021: How bark beetle attack changes the tensile and compressive strength of spruce wood (*Picea abies* (L.) H. Karst.). *Forests* 2022, 13, 87. <https://doi.org/10.3390/f13010087>.
12. Mania P., Siuda F., Roszyk E., 2020: Effect of slope grain on mechanical properties of different wood species. *Materials* 2020, 13, 1503. doi:10.3390/ma13071503.

13. Mergny E., Mateo R., Esteban M., Descamps T., Latteur P., 2016: Influence of cracks on the stiffness of timber structural elements. World Conference on Timber Engineering, kolovoz 22. – 25., 2016, Beč, Austrija.
14. Qu H., Chen M., Hu Y., Lyu J., 2019: Effect of trees knot defects on wood quality. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 738 (2020) 012027. doi:10.1088/1757-899X/738/1/012027.
15. Reinprecht L., Novotná H., Štefka V., 2007: Density profiles of spruce wood changed by brown-rot and white-rot fungi. Wood Research, 52 (4): 2007, 17-28.
16. Roohnia M., Yavari A., Tajdini A., 2010: Elastic parameters of poplar wood with end-cracks. Ann. For. Sci. 67 (2010) 409. DOI: 10.1051/forest/2009129.
17. Tsehaye A., Walker J. C. F., 1996: Spiral grain in Canterbury Pinus radiata: Within- and between-tree variations and effect on mechanical properties. New Zealand Journal of Forestry Science 25(3): 358-6.
18. Verbist M., Branco J. M., Nunes L., 2020: Characterization of the mechanical performance in compression perpendicular to the grain of insect-deteriorated timber. Buildings 2020, 10, 14; doi:10.3390/buildings10010014.
19. Vilkovský P., Uličný H. M., Klement I., Vilkovska T., 2024: The differences in shape stability for hornbeam (Carpinus betulus L.) lumber with and without spiral grain. Appl. Sci. 2024, 14, 5250. <https://doi.org/10.3390/app14125250>.
20. Wieruszewski M., Trocinski A., Kawalerczyk J., Derkowski A., Mirski R., 2022: The strength of pine (Pinus sylvestris L.) sawn timber in correlation with selected wood defects. Materials 2022, 15, 3974. <https://doi.org/10.3390/ma15113974>.
21. Winandy J. E., Morrell J. J., 1993: Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas-fir heartwood. Wood and Fiber Science, 25(3). 1993, pp. 278-288.