

## OVISNOST GUSTOĆE PROSTORNOG DRVA POLJSKOG JASENA I HRASTA LUŽNJAKA O PRIRODNOM SUŠENJU

THE DEPENDENCE OF STOCKWOOD DENSITY ON A NATURAL DRYING PERIOD  
FOR EUROPEAN ASH AND COMMON OAK

Juraj ZELIĆ\*, Marinko STOJIC\*\*

*SAŽETAK: Prostorno drvo (ogrjev, celulozno drvo, drvo za kemijsku preradu, sitno tehničko drvo) se u šumarstvu zaprima, evidentira i knjiži u materijalnim evidencijama u volumnoj mjeri ( $m^3$ , prm), a katkada komercijalno prodaje po masi (kg) ili gustoći ( $kg/m^3$ ).*

*U radu se utvrđuju promjene na gustoći prostornog drva poljskog jasena i hrasta lužnjaka različitih dužina (1, 2 i 4 m), u ovisnosti o dužini trajanja prirodnog sušenja.*

*Mjerenja su obavljena tijekom zime, proljeća i ljeta, 174 dana sušenja u prirodnim okolišnim uvjetima.*

*Rezultati mjerenja tijekom šestomjesečnog razdoblja izravnati su matematičkim funkcijama (parabole) i prezentirani odgovarajućim tablicama i grafikovima.*

*Statističko-matematičkom metodom (analiza varijance,  $F$  – test,  $t$  – test) utvrđena je signifikantnost razlike između ponašanja ispitivanog obilježja (promjena gustoće) između dužina sortimenata (1, 2 i 4 m) i između vrsta drva (poljski jase, hrast lužnjak).*

*Ključne riječi: prirodno sušenje prostornog drva, gustoća drva, trend opadanja gustoće drva, dužine sortimenata, razdoblje sušenja.*

### UVOD – Introduction

Jedno od osnovnih fizikalnih svojstava drva je poroznost (Horvat, 1959), to jest svojstvo da mu ukupan volumen nije popunjen drvnom tvari nego se sastoji od drvnih stijenki i pora. Pore, a djelomično i stijenke, su popunjene tekućinom (vodom) u kojoj su otopljene mineralne tvari i produkti asimilacije. Za života stabla porama se odvijaju ascendentni i descendentni tokovi anorganskih i organskih tvari potrebnih za rast, prirast i razvoj stabla.

Sječom stabla prestaje funkcija provođenja tekućine u drvu, te se voda u prirodnim uvjetima izlučuje iz drva do određene razine.

Sadržaj vode u drvu različit je za pojedine vrste drveća, no vrijedi za sve opće pravilo po kojemu je masa sirovog drva veća što je veći udio vode. Voda u drvu može biti slobodna, te se nalazi u porama, i vezana, koja se nalazi u stijenkama. Provelo drvo izgubi svu slobodnu vodu, a prosušeno i suho slobodnu i dio vezane vode. U međusobnom odnosu s okolinom, koja je uvjetovana promjenama relativne vlage, temperature i tlaka zraka, prosušenost oscilira oko higroskopske ravnoteže drva.

U prirodnim uvjetima sušenja promjene nastaju u masi drva, ali ne i u volumenu, jer se tijekom sušenja sadržaj vode u drvu poljskog jasena i hrasta lužnjaka ne smanjuje ispod točke zasićenosti vlaknanaca.

Naš cilj je utvrditi za prostorno drvo poljskog jasena i hrasta lužnjaka promjenu gustoće u prirodnim okolišnim uvjetima tijekom određenog razdoblja.

\* Mr. sc. Juraj Zelić, dipl. ing. šum., "Hrvatske šume" d.o.o.,  
Uprava šuma Podružnica Požega, Milke Tmine 2,  
34 000 Požega

\*\*Marinko Stojic, dipl. ing. šum., "Hrvatske šume" d.o.o.,  
Uprava šuma Podružnica Nova Gradiška, Šumarija Jasenovac

Gustoća drva (Ražnjević, 1985) u obrnutom je razmjeru s poroznošću, tj. što je veća gustoća drva, to je manji volumen pora i obratno.

Zato od gustoće drva valja lučiti specifičnu gustoću drvene tvari, koja je za sve vrste drveća približno jednaka (u prosjeku  $1,5 \text{ g/cm}^3$ ).

Higroskopska ravnoteža drva ovisi o adsorpciji i desorpciji vode.

Adsorpcija (upijanje vlage iz zraka) zapravo započinje u trenutku kada je sadržaj vode u staničnim stijenkama drva manji od onoga koji odgovara stanju higroskopske ravnoteže. Ako je sadržaj vode u drvu veći od onoga koji odgovara stanju higroskopske ravnoteže, drvo isparuje (desorbira) vodu.

Procesi adsorpcije i desorpcije vode mijenjaju se ovisno o vanjskim uvjetima (vlažnost, tlak, temperatura, strujanje zraka) te je u skladu s tim gustoća drva (masa izražena u jedinici volumena) promjenjiva veličina.

Za kretanje vode u drvu ili difuziju značajno je da je najjače u smjeru vlaknaca drva, a okomito na taj smjer (radijalno i tangencijalno) znatno manje. Difuzija u smjeru vlaknaca je 10 do 15 puta veća u odnosu na okomit smjer vlaknaca. Kod sušenja drva ipak je

značajan čimbenik površina izložena sušenju (primjerice, plašt drva dužine jednog metra u odnosu na čeoone strane istog promjera).

Osim vrste drveta, na gustoću znatno utječu građa drva, dio stabla, stanište, položaj u sastojini, tip šume, starost stabla, kemijski sastav (odnos lignina i celuloze), rano i kasno drvo, širina goda, debljina kore i dr.

Prema **Hrvatskim normama** u iskorištavanju šuma, prostorno drvo se isporučuje s korom. Gustoća sirove kore je zbog većeg udjela vode veća od istog volumena sirovog drva. Volumen kore, njegovo postotno sudjelovanje u volumenu stabla i tzv. čimbenik kore različiti su za pojedine vrste drveća i djelove stabla za istu vrstu drveća (Krpán, 1986). Kora štiti drvo od naglog isušivanja te djeluje kao djelomičan izolator od vanjskih utjecaja.

Budući se prostorno drvo isporučuje volumno i po masi s korom, to je čimbenik kore od važnog utjecaja na komercijalno poslovanje.

Ovisnost gustoće prostornog drva nekih autoktonih vrsta drveća (hrast kitnjak, bukva, grab, breza i bijela topola) o razdoblju prirodnog sušenja istraživali su Zelić i Međugorac, 2001.

## SVRHA I CILJ ISTRAŽIVANJA – The research aim

Svrha određivanja gustoće drva, u odnosu na vrijeme prirodnog sušenja prostornog drva autoktonih vrsta poljskog jasea i hrasta lužnjaka je povezivanje volumne mjere, po kojoj se izrađuje prostorno drvo i gustoće, po kojoj se djelomično obavlja prodaja prostornog drva. Gustoća prostornog drva važna je prilikom kamionskog i željezničkog transporta, jer su zakonski ograničeni nosivost kamionskog agregata ili vagona, odnosno osovinski pritisak na kolnik ili željezničku prugu.

U operativnom se šumarstvu drvo za kemijsku preradu (celulozno drvo) zaprima i evidentira u materijalnom knjigovodstvu po volumenu ( $\text{m}^3$ , prm), a uglavnom realizira (prodaje) po masi (t, kg). Od sječe i izrade prostornog drva, u uobičajenoj dužini od 1, 2, 4 i iznad 4 m, do prodaje katkada prođe vremensko razdoblje od nekoliko mjeseci.

Ugovorima o prodaji prostornog drva (kemijska industrija, tvornice ploča iverica, izvoz) katkada se određuje cijena za masu drva (kg), odnosno definira se masa po jedinici volumena (gustoća), npr.  $1000 \text{ kg/m}^3$ , što približno odgovara gustoći drva u sirovom stanju.

Za neke autoktone vrste drva navedena je gustoća ( $\text{kg/m}^3$ ) u **Cjeniku glavnih šumskih proizvoda**, Hrvatske šume d.o.o., Zagreb, 1997. Budući da je ugovorna cijena fiksna za masu (kg), nastaje gubitak vrijednosti za isporučeni volumen, jer se tijekom vremena gustoća drva  $\text{kg/m}^3$  smanjila zbog sušenja.

Cilj istraživanja je da se pokuša iznaći metoda i način izračunavanja (matematički model) i za operativu primjenjive tablice gustoće ( $\text{kg/m}^3$ ) za poljski jasea i hrast lužnjak, u ovisnosti protoka vremena (broja dana) od sirovog, provelog do prosušenog drva.

## METODA ISTRAŽIVANJA – The Research method

### Opis rada

Istraživanje je obavljeno za poljski jasea i hrast lužnjak na području šumarije Jasenovac. Sortiment prostornog drva u oblom s korom izrađen je u dužini 100, 200 i 400 cm. Promjer odabranog sortimenta je od 14,96 do 23,94 cm.

Kao uzorak za određivanja gustoće poljskog jasea odabrana su po tri predstavnika za dužine 1, 2 i 4 m,

ukupno 9 komada. Pojedini komadi obilježeni su masnom bojom i rimskim brojevima, 1 m (III, X, XI), 2 m (IV, XII, XIII), 4 m (V, XIV, XV).

Hrast lužnjak predstavljen je s dva komada dužine 1, 2 i 4 m, ukupno sa šest komada. Pojedini komadi obilježeni su masnom bojom i velikim slovima, 1 m (E, F), 2 m (D, G), 4 m (H, N).



Svi komadi bili su izloženi vanjskim vremenskim uvjetima u razdoblju od 7. 3. 2003. godine do 27. 8. 2003. godine, ukupno 174 dana (Slika 1.).



Slika 1. Prostorno drvo poljskog jasena i hrasta lužnjaka izloženo vanjskim uvjetima

Picture 1 The stockwood of European ash and common oak exposed to exterior conditions

Volumen drva, izražen u  $\text{cm}^3$  izračunat je stereometrijski po formuli valjka ( $V = r^2 \cdot \pi \cdot l$ ), te je masa drva (kg) svakog pojedinog komada i ukupno preračunata u gustoću ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Za dobivanje veće točnosti volumena komada stereometrijskim putem mjereno je opseg s korom komada na tri mjesta (početku, sredini i kraju) dužine. Točnost mjere opsega komada je 1 cm.

Osim dužina jasena od 1, 2 i 4 m, vagani su nepravilni komadi "perac" i "rašlje", dužine 50 cm. Zbog strukture drvnih vlakana u donjem dijelu stabla (panj) i mjestu granjanja (rašlje) pretpostavlja se kako su gustoće drva navedenih dijelova stabla različite od ostalih dijelova (deblo, grane). Volumen "perca" i rašlje" utvrđen je metodom potapanja u vodi, kao razlika volumena vode prije i poslije potpunog uranjanja "perca", odnosno "rašlje" drva u bačvi pravilnog, okruglog oblika. Za utvrđivanje gustoće rašlje obrađivana su dva (I, IX), a za gustoću perca četiri predstavnika (II, VI, VII, VIII).

Volumen svih komada poljskog jasena i hrasta lužnjaka prikazuje Tablica 1.

Tablica 1. Volumen drvnih sortimenata poljskog jasena i hrasta lužnjaka

Table 1 Volume of stockwood sortiments of European ash and common oak

Poljski jasen ( <i>European ash</i> )					Hrast lužnjak ( <i>Common oak</i> )		
Oznaka sortimenta ( <i>Sortiment designation</i> )					Oznaka sortimenta ( <i>Designation</i> )		
III+X+XI 1 m	IV+XII+XIII 2 m	V+XIV+XV 4 m	I+IX rašlje (50 cm) <i>forced branch</i>	VI+VII+VIII+II perac (50 cm) <i>tree - stump</i>	E+F 1 m	D+G 2 m	H+N 4m
Volumen ( $\text{m}^3$ )					Volumen ( $\text{m}^3$ )		
1	2	3	4	5	6	7	8
0,10462	0,17852	0,26185	0,06880	0,11890	0,04929	0,08824	0,14019

Vaganje svakog pojedinog komada po vrsti drva obavljeno je mehaničkom vagom "Bizerbo", točnosti 50 g, s mogućnošću pojedine odvage od 2,5 kg do 170



Slika 2. Vaga "Bizerbo", točnost 50 g

Picture 2 "Bizerbo" scales, precision of 50 g

kg (Slika 2.). Ritam vaganja određen je tako da je u početku vaganje bilo svakodnevno u 13 sati, a protokom vremena rjeđe u isto vrijeme.

Prvo vaganje obavljeno je u sirovom stanju (odmah nakon sječe i izrade). Drvni sortimenti iz zimske sječe ostavljeni su pod utjecajem vanjskih uvjeta sve dane mjerenja, a obuhvaćeno je razdoblje zime, proljeća i ljeta, dakle različitih vremenskih i temperaturnih uvjeta. Vaganje drvnih sortimenata i bilježenja vremenskih uvjeta (temperatura, tlak zraka, vlažnost zraka i strujanje vjetra) obavio je Milan Čevizović, poslovođa glavnog stovarišta na željezničkoj postaji Jasenovac.

Na temelju podataka mjerenja volumena prostornog drva poljskog jasena i hrasta lužnjaka te vaganja u određenom razdoblju (174 dana), obavljeno je izjednačenje (STATISTICA 5.0) vrijednosti krivuljom oblika II. reda (parabolom).

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Research results

a) *Tablice gustoće prostornog drva po vrsti, dužini sortimenta i vremenu prirodnog sušenja*  
*Tables of stockwood density by tree-species, lenght of sortiments and drying period*

Ovisnost gustoće drva poljskog jasena s dužinama zana je u Tablici 2.  
 drvnih sortimenata 1, 2 i 4 m, o danima sušenja prika-

Tablica 2. Ovisnost gustoće prostornog drva poljskog jasena, dužine drvnih sortimenata 1, 2 i 4 m, o danima sušenja  
 Table 2 The dependence of stockwood density on days of drying for European ash of 1, 2 and 4 m wood sortiment length

Dan Day	Datum Date	Oznaka sortimenta (Designation of sortiment)					Temp. Temp.	Opaska Note
		III+X+XI 1 m	IV+XII+XIII 2 m	V+XIV+XV 4 m	I-IX rašlje (50 cm) forked branch	VI+VII+VIII+II perac (50 cm) tree-stump		
gustoća (density) kg/m <sup>3</sup>							°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	7.3.2003.	882,32	882,32	882,32	1040,94	1061,40	13	sunčano
4	10.3.2003.	875,58	876,60	877,61	1028,60	1040,37	15	sunčano
5	11.3.2003.	871,24	875,74	875,80	1026,42	1035,74	15	sunčano, vjetrić
6	12.3.2003.	871,72	875,46	873,80	1023,52	1031,54	18	poluoblačno
7	13.3.2003.	874,13	875,46	873,62	1021,34	1026,91	8	oblačno, kiša
8	14.3.2003.	871,24	873,74	873,08	1017,71	1021,87	4	oblačno, snježno
11	17.3.2003.	867,87	872,31	860,93	1014,81	1011,35	14	sunčano
12	18.3.2003.	865,46	870,88	859,12	1012,63	1006,73	9	polusunčano
13	19.3.2003.	863,05	870,31	857,67	1010,45	1002,10	10	poluoblačno
14	20.3.2003.	861,12	868,88	856,04	1007,55	998,32	12	sunčano
15	21.3.2003.	858,71	865,45	854,41	1004,65	990,75	9	sunčano
18	24.3.2003.	853,89	863,45	850,24	1000,29	984,86	12	sunčano
19	25.3.2003.	851,00	860,59	847,88	996,66	978,55	14	sunčano
20	26.3.2003.	848,11	858,59	845,35	993,03	971,83	18	sunčano
21	27.3.2003.	845,22	855,73	842,81	988,68	965,94	19	sunčano
22	28.3.2003.	842,33	854,01	841,36	982,87	953,32	19	sunčano
25	31.3.2003.	834,62	846,29	835,20	975,61	947,43	18	sunčano
26	1.4.2003.	833,17	844,87	846,43	973,43	944,07	13	sunčano
27	2.4.2003.	831,24	843,44	849,33	971,25	940,29	12	sunčano
28	3.4.2003.	828,83	841,72	844,26	967,62	935,24	10	oblačno, vjetrovito
29	4.4.2003.	828,83	840,86	842,99	966,90	933,56	11	oblačno, noću kiša
32	7.4.2003.	828,35	840,29	841,54	964,00	932,30	4	oblačno, snježno
33	8.4.2003.	832,21	844,01	844,08	970,53	936,50	6	oblačno, pao snijeg
34	9.4.2003.	831,72	843,44	844,08	969,80	935,66	8	poluoblačno
35	10.4.2003.	829,31	842,29	843,17	968,35	932,72	11	poluoblačno
36	11.4.2003.	830,76	843,44	843,90	969,80	935,16	12	poluoblačno, kiša
39	14.4.2003.	828,83	842,86	843,35	966,90	933,56	16	polusunčano, kiša
40	15.4.2003.	830,28	843,72	843,90	968,35	935,66	14	oblačno, noću kiša
41	16.4.2003.	830,28	844,01	844,08	968,35	929,77	12	oblačno, kiša
42	17.4.2003.	830,28	843,44	844,26	965,45	927,25	15	poluoblačno
43	18.4.2003.	832,21	843,15	843,90	966,90	926,41	13	oblačno
47	22.4.2003.	824,98	839,43	841,90	956,74	918,84	14	poluoblačno
48	23.4.2003.	821,60	836,57	840,63	955,28	917,16	18	sunčano
49	24.4.2003.	819,68	835,14	839,55	954,56	914,21	17	poluoblačno
50	25.4.2003.	817,75	833,43	838,64	952,38	912,53	17	poluoblačno
53	28.4.2003.	824,01	833,71	839,37	959,64	918,84	18	poluoblačno
54	29.4.2003.	819,20	830,86	837,73	956,01	911,27	22	poluoblačno
55	30.4.2003.	816,79	829,14	837,01	953,83	907,06	23	poluoblačno
60	5.5.2003.	802,81	811,41	814,90	936,41	888,14	25	sunčano
61	6.5.2003.	799,92	810,84	813,45	934,23	885,62	28	sunčano



62	7.5.2003.	797,51	809,98	809,10	932,06	883,52	30	sunčano
63	8.5.2003.	791,73	805,70	805,84	926,25	875,53	33	sunčano
64	9.5.2003.	789,32	803,98	804,75	923,34	869,64	30	sunčano
67	12.5.2003.	785,46	801,69	802,21	917,54	865,43	30	sunčano
69	14.5.2003.	789,80	802,55	801,67	924,07	869,22	15	oblačno
74	19.5.2003.	778,24	794,54	796,05	910,28	855,76	26	sunčano
78	23.5.2003.	796,07	803,98	802,39	925,52	872,16	20	poluoblačno, kiša
85	30.5.2003.	788,36	795,12	791,52	913,18	862,91	20	polusunčano
88	2.6.2003.	779,68	787,40	785,90	907,38	850,29	30	sunčano
96	10.6.2003.	771,97	775,39	778,65	898,66	843,99	27	sunčano
103	17.6.2003.	766,67	771,96	775,02	895,03	839,78	30	sunčano
112	26.6.2003.	766,67	768,53	771,04	892,13	833,89	31	sunčano
117	1.7.2003.	758,96	764,24	765,24	888,50	830,11	32	sunčano
125	9.7.2003.	754,14	760,24	760,52	884,15	825,90	33	sunčano
148	1.8.2003.	735,35	741,08	747,84	866,00	808,24	34	sunčano
154	7.8.2003.	731,98	737,93	746,20	863,10	802,35	33	sunčano
161	14.8.2003.	728,12	733,65	739,86	860,19	796,05	32	sunčano
168	21.8.2003.	723,78	729,93	735,15	855,84	791,42	32	sunčano
174	27.8.2003.	720,41	726,78	731,89	852,21	785,95	30	sunčano

Uz redne dane mjerenja i datum prikazane su gustoće ( $\text{kg/m}^3$ ) po dužini sortimenta za poljski jasen (stupci 3, 4, 5, 6, 7). Gustoća ( $\text{kg/m}^3$ ) za sve tri dužine (1, 2 i 4 m) svedena je na istu početnu vrijednost (aritmetička sredina gustoće svih mjerenih komada). Početne vrijednosti gustoće po dužinama drvnih sortimenta izračunate su dijeljenjem mase (npr. komadi III+X+XI = 91,55 kg) s volumenom (npr.  $0,10462 \text{ m}^3$ , Tablica 1., stupac 1). Tako je za dužinu uzorka poljskog jasea 1 m izračunata gustoća sirovog drva  $875,07 \text{ kg/m}^3$ , za dužinu 2 m gustoća je  $864,53 \text{ kg/m}^3$ , a za 4 m gustoća je  $907,57 \text{ kg/m}^3$ . Vaganjem tijekom vremena utvrđeno je kako opadanje gustoće ovisi o dužini drvnih sortimenata, a da bi se trendovi smanjenja gustoće protokom vremena za različite dužine mogli uspoređivati, svedene su početne vrijednosti gustoće na srednju vrijednost  $882,32 \text{ kg/m}^3$ , te u relativnom odnosu i ostale izmjerene vrijednosti tijekom 174 dana mjerenja.

U pokus je uključeno vaganje dijelova stabla, "rašlji" i "peraca", dužine 0,50 m, nepravilnog oblika, kako bi se utvrdila razlika u gustoći drva u odnosu na druge dijelove stabla (deblo, grane). Iz tablice je vidljivo kako je gustoća "rašlji" i "perca" znatno veća od gustoće ostalih dijelova stabla u tijeku vremena mjerenja.

U stupcu 8 prikazana je temperatura zraka za dane mjerenja, a u stupcu 9 opisno je navedena značajka vremena istoga dana. Zapaža se da je volumna masa (gustoća drva) bila, među ostalim, uvjetovana vremenskim prilikama (kiša, vlaga zraka, temperatura...) te se događalo da je gustoća pojedinog komada drva zbog kiše, odnosno adsorpcije vode, bila ponekad veća od težine utvrđene prethodnim vaganjem istog komada.

Na temelju podataka iz stupaca 3., 4., 5., te 6. i 7. u Tablici 2. obavljeno je izjednačenje funkcijama parabole. Funkcije izjednačenja za pojedine dužine drvnih sortimenata prostornog drva poljskog jasea su sljedeće:

$$G_{p.j. 1m} = 877,560 - 1,397 t + 0,003 t^2 \dots \text{poljski jasen, 1 m,}$$

$$G_{p.j. 2m} = 883,355 - 1,228 t + 0,002 t^2 \dots \text{poljski jasen, 2 m,}$$

$$G_{p.j. 4m} = 876,444 - 1,062 t + 0,001 t^2 \dots \text{poljski jasen, 4 m,}$$

$$G_{p.j. rašlje} = 1029,966 - 1,842 t + 0,005 t^2 \dots \text{poljski jasen, rašlje,}$$

$$G_{p.j. perac} = 1029,966 - 3,002 t + 0,010 t^2 \dots \text{poljski jasen, perac.}$$

Ovisnost gustoće drva hrasta lužnjaka s dužinama drvnih sortimenata 1, 2 i 4 m, o danima sušenja prikazana je u Tablici 3.

Tablica 3. Ovisnost gustoće prostornog drva hrasta lužnjaka, dužine drvnih sortimenata 1, 2 i 4 m, o danima sušenja  
Table 3 The dependence of stockwood density on days of drying for European ash of 1, 2 and 4 m wood sortiment length

Dan Day	Datum Date	Oznaka sortimenta (Designation)			Temp. Temp.	Opaska Note
		E+F	D+G	H+N		
		1m	2 m	4 m		
		gustoća (density) $\text{kg/m}^3$			$^{\circ}\text{C}$	
1	2	3	4	5	6	7
1	7.3.2003.	1005,37	1005,37	1005,37	13	sunčano
4	10.3.2003.	995,77	997,35	993,39	15	sunčano
5	11.3.2003.	993,85	995,63	991,89	15	sunčano, vjetroć

6	12.3.2003.	991,94	992,77	991,52	18	poluoblačno
7	13.3.2003.	993,85	994,49	992,64	8	oblačno, kiša
8	14.3.2003.	990,02	992,77	991,52	4	oblačno, snježno
11	17.3.2003.	986,18	989,34	986,65	14	sunčano
12	18.3.2003.	982,34	991,63	984,41	9	polusunčano
13	19.3.2003.	977,55	984,76	979,17	10	poluoblačno
14	20.3.2003.	974,67	982,47	973,93	12	sunčano
15	21.3.2003.	970,83	980,18	967,94	9	sunčano
18	24.3.2003.	961,24	977,89	965,69	12	sunčano
19	25.3.2003.	956,44	966,43	963,45	14	sunčano
20	26.3.2003.	949,73	975,02	961,57	18	sunčano
21	27.3.2003.	943,01	960,71	960,45	19	sunčano
22	28.3.2003.	936,30	957,27	958,95	19	sunčano
25	31.3.2003.	931,50	949,83	955,58	18	sunčano
26	1.4.2003.	927,66	948,69	955,58	13	sunčanop
27	2.4.2003.	924,78	948,11	954,46	12	sunčano
28	3.4.2003.	922,87	946,97	953,71	10	oblačno, vjetrovito
29	4.4.2003.	923,82	944,11	953,71	11	oblačno, noću kiša
32	7.4.2003.	920,95	942,96	953,34	4	oblačno, snježno
33	8.4.2003.	927,66	944,68	955,58	6	oblačno, pao snijeg
34	9.4.2003.	926,70	944,68	954,84	8	poluoblačno
35	10.4.2003.	922,87	942,96	953,71	11	poluoblačno
36	11.4.2003.	924,78	944,68	955,21	12	poluoblačno, kiša
39	14.4.2003.	922,87	944,11	954,46	16	polusunčano, kiša
40	15.4.2003.	924,78	944,68	954,84	14	oblačno, noću kiša
41	16.4.2003.	924,78	940,67	953,71	12	oblačno, kiša
42	17.4.2003.	924,78	936,66	952,59	15	poluoblačno
43	18.4.2003.	915,19	932,08	948,85	13	oblačno
47	22.4.2003.	900,80	924,07	943,98	14	poluoblačno
48	23.4.2003.	896,00	919,49	943,23	18	sunčano
49	24.4.2003.	893,13	916,05	940,61	17	poluoblačno
50	25.4.2003.	891,21	912,62	937,99	17	poluoblačno
53	28.4.2003.	892,17	908,04	936,50	18	poluoblačno
54	29.4.2003.	885,45	902,31	933,50	22	poluoblačno
55	30.4.2003.	880,66	897,73	930,88	23	poluoblačno
60	5.5.2003.	859,55	885,13	905,05	25	sunčano
61	6.5.2003.	856,67	881,70	898,69	28	sunčano
62	7.5.2003.	853,79	879,41	894,57	30	sunčano
63	8.5.2003.	842,28	874,83	890,08	33	sunčano
64	9.5.2003.	838,45	869,10	887,84	30	sunčano
67	12.5.2003.	828,85	862,23	883,35	30	sunčano
69	14.5.2003.	831,73	860,52	876,98	15	oblačno
74	19.5.2003.	815,42	846,78	860,89	26	sunčano
78	23.5.2003.	836,53	859,37	868,00	20	poluoblačno, kiša
85	30.5.2003.	828,85	851,93	859,39	20	polusunčano
88	2.6.2003.	808,71	824,45	830,94	30	sunčano
96	10.6.2003.	800,07	810,71	811,11	27	sunčano
103	17.6.2003.	793,36	803,26	801,75	30	sunčano
112	26.6.2003.	787,60	796,39	794,26	31	sunčano
117	1.7.2003.	779,93	790,09	788,27	32	sunčano
125	9.7.2003.	772,25	778,64	795,76	33	sunčano
148	1.8.2003.	721,41	724,83	740,74	34	sunčano
154	7.8.2003.	712,77	717,96	734,75	33	sunčano
161	14.8.2003.	703,18	706,50	727,64	32	sunčano
168	21.8.2003.	694,55	700,78	720,90	32	sunčano
174	27.8.2003.	687,83	693,91	715,66	30	sunčano



Uz redne dane mjerenja i datum, prikazane su gustoće ( $\text{kg/m}^3$ ) po dužini sortimenata za hrast lužnjak (stupci 3, 4 i 5). Gustoća ( $\text{kg/m}^3$ ) za sve tri dužine (1, 2 i 4 m) svedena je na istu početnu vrijednost (aritmetička sredina gustoće svih mjerenih komada). Početne vrijednosti gustoće po dužinama drvnih sortimenata izračunate su dijeljenjem mase (npr. komadi E+F = 52,40 kg) s volumenom (npr.  $0,04929\text{m}^3$ , Tablica 1., stupac 6). Tako je za dužinu uzorka hrasta lužnjaka 1 m izračunata gustoća sirovog drva  $1063,10\text{kg/m}^3$ , za dužinu 2 m gustoća je  $995,01\text{kg/m}^3$ , a za 4 m gustoća je  $957,99\text{kg/m}^3$ . Vaganjem tijekom vremena utvrđeno je kako opadanje gustoće ovisi o dužini drvnih sortimenata, a da bi se trendovi smanjenja gustoće protokom vremena za različite dužine mogli uspoređivati, svedene su početne vrijednosti gustoće na srednju vrijednost  $1005,37\text{kg/m}^3$ , te u relativnom odnosu i ostale izmjerene vrijednosti tijekom 174 dana mjerenja.

U stupcu 6. prikazana je temperatura zraka za dane mjerenja, a značajka vremena u stupcu 7. Također se

zapaža kako je volumna masa (gustoća drva) bila, među ostalim, uvjetovana vremenskim prilikama (kiša, vlaga zraka, temperatura...) te se događalo da je gustoća pojedinog komada zbog kiše, odnosno primanja vode, bila ponekad veća od težine utvrđene prethodnim vaganjem istog komada.

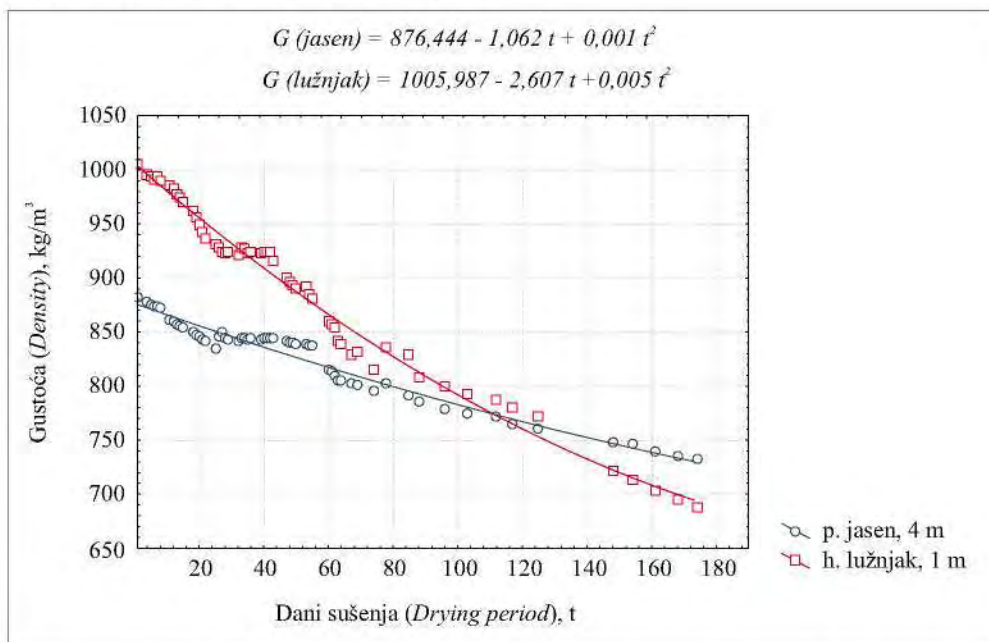
Na temelju podataka iz stupaca 3, 4 i 5 u Tablici 3. obavljeno je izjednačenje (STATISTICA 5.0) vrijednosti krivuljom II. reda (parabolom). Funkcije izjednačenja gustoće ( $\text{kg/m}^3$ ) za pojedine dužine drvnih sortimenata prostornog drva hrasta lužnjaka su sljedeće:

$$G_{h.l. 1m} = 1005,987 - 2,607 t + 0,005 t^2 \dots \text{hrast lužnjak, 1 m,}$$

$$G_{h.l. 2m} = 1010,950 - 2,134 t + 0,002 t^2 \dots \text{hrast lužnjak, 2 m,}$$

$$G_{h.l. 4m} = 1006,376 - 1,710 t + 0,0001 t^2 \dots \text{hrast lužnjak, 4 m,}$$

Grafički prikaz izjednačenja mjerenih podataka s pripadajućim funkcijama iz Tablice 1., za poljski jasen, 4 m i Tablice 2., za hrast lužnjak, 1 m vidljiv je na Grafikonu 1.



Grafikon 1. Krivulje izjednačenja gustoće prostornog drva ( $\text{kg/m}^3$ ) za poljski jasen (4 m) i hrast lužnjak (1 m), ovisno o razdoblju sušenja.

Graph 1 The equalization curve of stockwood density ( $\text{kg/m}^3$ ) for european ash (4 m) and Common oak tree (1 m) depending on the drying period

b) *Signifikantnost razlika ispitivanog obilježja (opadanje gustoće drva) u ovisnosti o dužini komada sortimenta (analiza varijance, F – test, t – test,)*

*The significance of the difference of the examined feature (the decreasing of the wood density) depending on the length of pieces of sortiments variance analysis, F – test, t – test*

Varijanca u matematičko-statističkoj obradi istraživanih vrijednosti obilježja neke pojave je kvadratno odstupanje od srednje vrijednosti (aritmetičke sredine). Pomoću varijance mjeri se vjerojatnost, odnosno signifikantnost neke srednje vrijednosti obilježja, te utvrđuje da li se izračunata srednja vrijednost obilježja razli-

kuje od neke druge pojave iz istog skupa obilježja (Serđar, 1966).

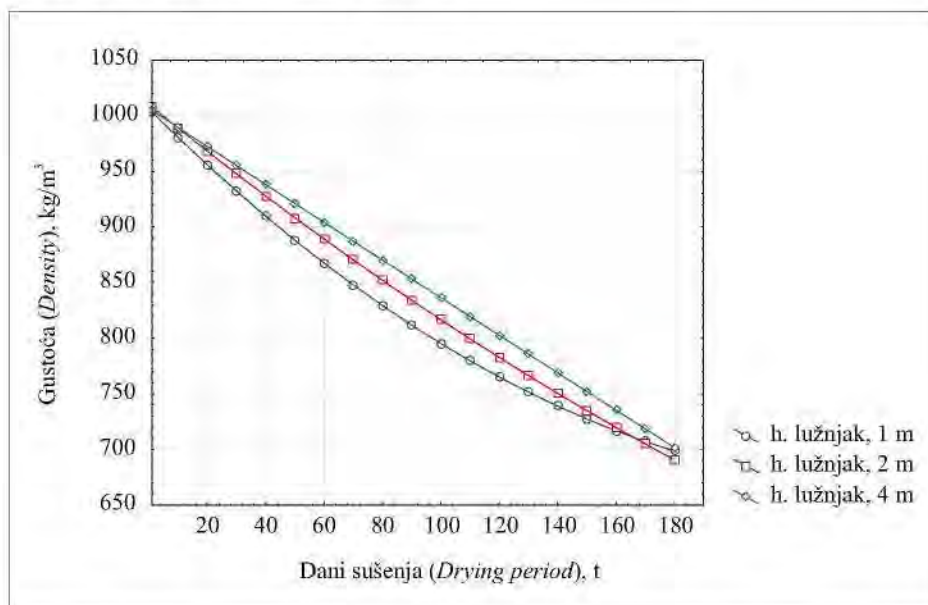
U našem primjeru cilj je bio da se utvrdi razlikuje li se brzina sušenja (trend pada gustoće drva) za prostorno drvo dužine 1, 2 i 4 m.

Analiza varijance i t – test provedeni su unutar grupa (nizova vrijednosti gustoće), između grupa nizova vrijednosti i po razlici srednjih vrijednosti nizova (t – test). Analiza varijance i t – test provedeni su na nizovima izjednačenih vrijednosti (Tablica 4.), a rezultati analize prikazani su u Tablici 5.

Analiza varijance (po Fischeru, tablice po Snedecoru) za testiranje razlike kvadratnog odstupanja srednjih vrijednosti, između grupa obilježja (dužine 1, 2 i 4 m) i

unutar grupa obilježja za poljski jasen, pokazuje da na razini signifikantnosti 5 % ne postoji signifikantna razlika između i unutar grupa obilježja.

Signifikantnih razlika nema ni za hrast lužnjak po analizi varijance, no t – test pokazuje kako je signifikantna razlika u trendu brzine sušenja samo između hrasta dužine 1 m i dužine 4 m. Takva razlika uočava se i na Grafikonu 2.



Grafikon 2. Ovisnost gustoće prostornog drva ( $\text{kg/m}^3$ ) za hrast lužnjak dužine 1, 2, i 4 m o danima sušenja

Graph 2 The dependence of stockwood density ( $\text{kg/m}^3$ ) of common oak, lengths 1, 2, and 4 m, on drying period

Izjednačene gustoće drva ( $\text{kg/m}^3$ ) za poljski jasen i hrast lužnjak s vremenskim razmakom po 10 dana prikazuje Tablica 4.

Tablica 4. Izjednačene gustoće prostornog drva poljskog jasea i hrasta lužnjaka po jedinici volumena i razdoblju sušenja  
Table 4 The equalization stockwood density of European ash and common oak per volume unit and drying period

Dani Days	Poljski jasen (European ash)			Hrast lužnjak (Common oak)		
	Dužina sortimenta (Length)			Dužina sortimenta (Length)		
	1 m	2 m	4 m	1 m	2 m	4 m
	Gustoća (Density) $\text{kg/m}^3$			Gustoća (Density) $\text{kg/m}^3$		
1	876,17	882,13	875,38	1003,39	1007,87	1004,67
10	863,89	871,28	865,92	980,42	988,86	989,29
20	850,82	859,60	855,60	955,85	968,12	972,22
30	838,35	848,32	845,48	932,28	947,78	955,17
40	826,48	837,44	835,56	909,71	927,84	938,14
50	815,21	826,96	825,84	888,14	908,30	921,13
60	804,54	816,88	816,32	867,57	889,16	904,14
70	794,47	807,20	807,00	848,00	870,42	887,17
80	785,00	797,92	797,88	829,43	852,08	870,22
90	776,13	789,04	788,96	811,86	834,14	853,29
100	767,86	780,56	780,24	795,29	816,60	836,38
110	760,19	772,48	771,72	779,72	799,46	819,49
120	753,12	764,80	763,40	765,15	782,72	802,62



130	746,65	757,52	755,28	751,58	766,38	785,77
140	740,78	750,64	747,36	739,01	750,44	768,94
150	735,51	744,16	739,64	727,44	734,90	752,13
160	730,84	738,08	732,12	716,87	719,76	735,34
170	726,77	732,40	724,80	707,30	705,02	718,57
180	723,30	727,12	717,68	698,73	690,68	701,82

Tablica 5. Procjena parametara proučavanih varijabli, analiza varijance, F - test, t - test

Table 5 The parameters estimate of studied variables, variance analysis, F - test, t - test

Statistički parametar <i>Statistical parameter</i>	Hrast lužnjak ( <i>Common oak</i> )			Poljski jasen ( <i>European ash</i> )		
	1 m	2 m	4 m	1 m	2 m	4 m
Minimum ( $\text{kg/m}^3$ ) <i>Minimum (<math>\text{kg/m}^3</math>)</i>	703,749	700,186	711,864	725,310	730,235	721,930
Maksimum ( $\text{kg/m}^3$ ) <i>Maximum (<math>\text{kg/m}^3</math>)</i>	1003,385	1008,818	1004,666	876,166	882,129	875,383
Srednja vrijednost ( $\text{kg/m}^3$ ) <i>Aritmetic mean (<math>\text{kg/m}^3</math>)</i>	889,209	905,209	914,376	816,537	826,628	823,850
Varijanca ( $\sigma^2$ ) <i>Variance (<math>\sigma^2</math>)</i>	6474,966	6435,281	5600,831	1678,868	1624,804	1591,173
Standardna greška (se) <i>Standard error (se)</i>	10,476	10,443	9,744	5,334	5,248	5,193
Koeficijent korelacije (R) <i>Coefficient of regression (R)</i>	0,990	1,000	1,000	0,990	0,990	1,000
Varijanca unutar grupe ( $\sigma_1^2$ ) <i>Group variance (<math>\sigma_1^2</math>)</i>	19137,220	19137,220	19137,220	1728,160	1728,160	1728,160
Varijanca između grupa ( $\sigma_2^2$ ) <i>Variance between groups (<math>\sigma_2^2</math>)</i>	9571,330	9571,330	9571,330	4954,440	4954,440	4954,440
F - test ( $F_{0,05}$ ) izračunati <i>F - test (<math>F_{0,05}</math>) calculated</i>	0,500	0,500	0,500	0,349	0,349	0,349
F - test ( $F_{0,05}$ ) tablični <i>F - test (<math>F_{0,05}</math>) tables</i>	3,170	3,170	3,170	3,170	3,170	3,170
t - test ( $t_{0,05}$ ) <i>t - test (<math>t_{0,05}</math>)</i>	18,668	10,480	<b>16,387</b>	34,854	9,672	12,689
Razlika srednjih vrijednosti <i>Aritmetic means diference</i>	1/2 (16,012)	2/4 (10,480)	<b>1/4 (25,166)*</b>	1/2 (10,091)	2/4 (2,772)	1/4 (7,314)

## RASPRAVA O REZULTATIMA ISTRAŽIVANJA I ZAKLJUČCI – Discussion and conclusions

Provedena mjerenja gustoće drva poljskog jasena i hrasta lužnjaka potvrđuju znatne oscilacije za različite gustoće uzorka iste vrste drveća. Za svih 16 pojedinačnih komada, dužine 1, 2 i 4 m, "rašlji" i "perca" poljskog jasena i 6 komada hrasta lužnjaka izmjerene su različite gustoće u sirovom stanju. Gustoća uzorka drva ovisi ponajprije o dijelu stabla i stanišnim uvjetima u kojima je stablo raslo, no prosječne izmjerene vrijednosti gustoće drva orijentacijski su blizu onima koje se koriste u šumarskoj operativi.

Prosječna vrijednost gustoće drva poljskog jasena je  $882,32\text{kg/m}^3$ , a hrasta lužnjaka  $1006,37\text{kg/m}^3$ .

Utvrđeno je da tijekom procesa prirodnog sušenja vanjski uvjeti znatno usporavaju, zaustavljaju i pospješuju tok prirodnog sušenja.

Matematičke funkcije (parabole) pokazuju parametrima "b" i "c" kako postoji razlika u brzini sušenja (opadanju gustoće drva) komada dužine 1, 2 i 4 m. Što je parametar "b" veći, to je krivulja strmija, to jest veća je brzina sušenja. Zbog toga što se gustoća drva smanjuje protjecanjem vremena, parametar "b" ima negativnu vrijednost. Parametar "b" predstavlja vrijednost tangensa kuta, što ga tangenta na krivulju zatvara s osi X.

Veća vrijednost parametra "c" u jednadžbi parabole pokazuje na usporavanje brzine sušenja (opadanja gustoće drva) protjecanjem vremena.

Ipak, analizom varijance i t - testom nije dokazana signifikantna razlika između brzine sušenja (opadanja gustoće drva) za dužine 1, 2 i 4 m poljskog jasena.

Utvrđena je  $t$  – testom signifikantna razlika u brzini sušenja za dužine 1 i 4 m hrasta lužnjaka (Tablica 5.). Grafički prikaz opadanja gustoće drva protjecanjem vremena sušenja za dužine 1, 2 i 4 m pokazuje Grafikon 2.

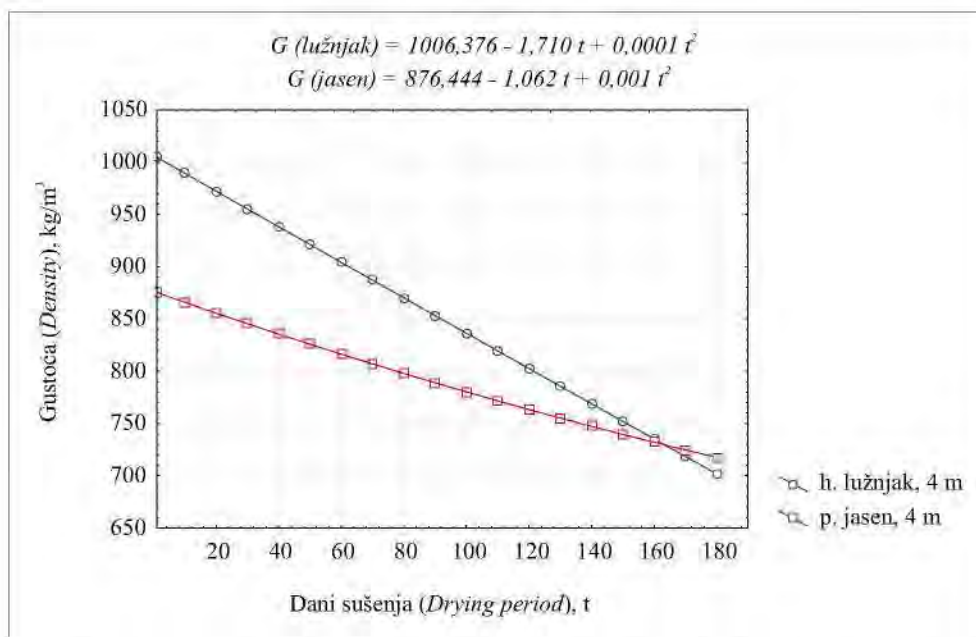
Vaganjem dijelova stabla, tzv. perca i rašlji, utvrđeno je za poljski jasen kako postoji znatna razlika u gustoći drva u odnosu na ostale dijelove stabla (deblo, grane). Svi pojedinačni komadi “rašlji” (2 uzorka) i “perca” (4 uzorka) veće su gustoće od  $1000\text{kg/m}^3$ . Srednja gustoće drva “rašlji” poljskog jasena je  $1040,94\text{kg/m}^3$ , a “perca”  $1061,40\text{kg/m}^3$ .

Gubljenjem vode drveni sortimenti postaju lakši za manipulaciju, utovar i prijevoz te traže manji utrošak energije za istu volumnu mjeru.

Iako su gustoće sirovog prostornog drva poljskog jasena i hrasta lužnjaka različite, a trend opadanje gustoće drva (brzine sušenja) protjecanjem vremena pripada dvama nezavisnim nizovima vrijednosti, utvrđeno je da se gustoće drva poljskog jasena i hrasta lužnjaka izjednačavaju nakon 160 dana sušenja, te iznose  $731\text{kg/m}^3$ .

Trend opadanja gustoće poljskog jasena je sporiji od opadanja gustoće drva hrasta lužnjaka, kako je to vidljivo na Grafikonu 3.

Primjena navedenih matematičkih funkcija je jednostavna. Praktički je dovoljno imati jednu “odvagu” kamiona ili vagona natovarenog prostornim drvom i poznato vrijeme od sječe do vaganja (broj dana). Pomoću



Grafikon 3. Ovisnost gustoće prostornog drva ( $\text{kg/m}^3$ ) za hrast lužnjak i poljski jasen dužine 4 m o danima sušenja

Graph 3 The dependence of stockwood density ( $\text{kg/m}^3$ ) of common oak and european ash, lengths 4 m, on drying period

početnog stanja lako se projektira gustoća drva na sirovo stanje, odnosno prosušeno stanje drvnih sortimenata

prostornog drva određene vrste. Volumen prostornog drva ( $\text{m}^3$ ) ostaje isti tijekom razdoblja sušenja.

#### LITERATURA – References

- Cjenik glavnih šumskih proizvoda, “Hrvatske šume”, 1997.
- Horvat, I. 1959: Tehnička svojstva drva, Šumarska enciklopedija 1 (A–Kos): 268–311, JLZ, Zagreb.
- Hrvatske norme proizvoda iskorištavanja šuma. II. izdanje. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb.
- Krpan, A. P. B., 1986: Kora bukve sa stanovišta eksploatacije šuma, Kolokvij o bukvi. Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, Zagreb.
- Ražnjević, K. 1985: Fizikalne veličine i mjerne jedinice međunarodnog sustava (SI), Nakladni zavod Znanje, Zagreb.
- Serdar, V. 1966: Udžbenik statistike, Školska knjiga Zagreb.
- Zelić, J., K. Međugorac, 2001: Ovisnost gustoće drva prostornog drva nekih autoktonih vrsta drveća o razdoblju prirodnog sušenja, Šumarski list 5–6, str. 263–272.



*SUMMARY: In this article the modifies of stockwood density are presented for European ash and common oak of various lengths (1, 2 i 4 m) and depending on period of natural drying.*

*The original weighing in winter, spring and summer time, 174 days in natural drying has a significant influence on the stockwood density.*

*The investigation results are presented with mathematical functions (parabola), tables and graphs.*

*The equalization functions depending on density and natural drying period of stockwood for European ash are as follows:*

$$G_{e.a. 1m} = 877,560 - 1,397 t + 0,003 t^2 \dots \dots \dots \text{European ash, 1 m,}$$

$$G_{e.a. 2m} = 883,355 - 1,228 t + 0,002 t^2 \dots \dots \dots \text{European ash, 2 m,}$$

$$G_{e.a. 4m} = 876,444 - 1,062 t + 0,001 t^2 \dots \dots \dots \text{European ash, 4 m,}$$

$$G_{e.a. \text{forked branch}} = 1029,966 - 1,842 t + 0,005 t^2 \dots \dots \dots \text{european ash, "forked branch"},$$

$$G_{e.a. \text{tree-stump}} = 1029,966 - 3,002 t + 0,010 t^2 \dots \dots \dots \text{european ash, "tree-stump"},$$

*and for common oak are as follows:*

$$G_{c.o. 1m} = 1005,987 - 2,607 t + 0,005 t^2 \dots \dots \dots \text{common oak, 1 m,}$$

$$G_{c.o. 2m} = 1010,950 - 2,134 t + 0,002 t^2 \dots \dots \dots \text{common oak, 2 m,}$$

$$G_{c.o. 4m} = 1006,376 - 1,710 t + 0,0001 t^2 \dots \dots \dots \text{common oak, 4 m,}$$

*The parameters estimate of studied variables (density, drying period), variance analysis, F-test, t-test are presented in Table 4.*

*Key words: natural stockwood drying, density, density trend decrease, sortiment length, drying period, equalization functions.*