

UPOREDNA ANALIZA SUŠENJA DRVETA

Vuk Marović^{*1}, Damir Đaković² i Miroslav Kljajić³

Srednja mašinska škola Novi Sad¹

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu²

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu³

Apstrakt: Cilj rada je predstavljanje nekoliko različitih metoda sušenja drveta i analiza njihovih performansi. Poseban akcenat analize je na energetske performansama, ali je urađena i ekonomska analiza. Analiza je primenjena na dve vrste drveta (bukva i bor) debljina 24 mm i 50 mm. Jedan od bitnih pokazatelja energetske efikasnosti sušenja je *SMER* (eng. *Specific Moisture Extraction Rate*), koji predstavlja odnos mase izdvojene vlage iz drveta, izražene u kg i ukupno iskorišćene energije za proces izražene u kWh. Analizirano je nekoliko različitih metoda sušenja obe vrste drveta, obe debljine i to u konvencionalnoj sušari korišćenjem ogrevnog drveta, prirodnog gasa i peleta kao pogonskih goriva, sa prethodnim prirodnim sušenjem i bez njega, kao i u sušari sa toplotnom pumpom sa prethodnim prirodnim sušenjem i bez njega. Analizirani su parametri za svaku od faza i za svaki navedeni slučaj. Na kraju, uporedno su analizirani sledeći rezultati: udeo energetskih troškova u ukupnim proizvodnim troškovima, *SMER* koeficijent za svaku od varijanti, kao i ostvarene dobiti u periodu od 1, 2 i 5 godina rada postrojenja. Rezultati su pokazali da je sa aspekta korišćenja energije najnepovoljnije drvo bukve debljine 50 mm sušeno u konvencionalnoj sušari sa ogrevnim drvetom kao pogonskim gorivom, a najpovoljnije sušenje bora debljine 24 mm u sušari sa toplotnom pumpom sa prethodnim prirodnim sušenjem. Kada se upoređuje *SMER* koeficijent, sušare sa toplotnom pumpom imaju izraženu prednost u odnosu na konvencionalne sušare. Analizom ostvarene dobiti u poslovanju, sušenje u sušari sa prethodnim prirodnim sušenjem u prvoj godini poslovanja daje najlošije rezultate, ali posle dve, a naročito posle 5 godina poslovanja ima evidentnu prednost u odnosu na metode bez prethodnog prirodnog sušenja.

Ključne reči: sušenje drveta, toplotna pumpa, tehnoekonomska analiza

1. UVOD

Čovek, od samog nastanka čovečanstva, koristi drvo i proizvode od drveta. Prvobitna primena drveta je bila za ogrev i izradu oruđa i oružja. Oblast primene drveta se širila napretkom čovečanstva. Drvo je primenjivano u građevinarstvu, kao materijal za izradu drumskih prevoznih sredstava, u brodogradnji itd. U današnje vreme drvo i proizvodi od drveta su najzastupljeniji u energetici (kao gorivo), građevinarstvu i industriji nameštaja (kao konstrukcioni materijal).

Drvo predstavlja primarni izvor energije za preko dve milijarde ljudi u svetu, sa ukupnim udelom u proizvodnji primarne energije na svetskom nivou od preko 14% [1].

2. SUŠENJE DRVETA

2.1 Vlaga u drvetu

Sadržaj vlage u drvetu može da se definiše kao vlažnost po suvoj osnovi ili po vlažnoj osnovi.

Sadržaj vlage po suvoj osnovi se definiše na sledeći način:

$$u = w^s = \frac{W}{G_{SM}} = \frac{W}{(W - G)} \left[\frac{kg_{vlage}}{kg_{suve\ materije}} \right] \quad (1)$$

gde je:

u – vlažnost po suvoj osnovi

W - masa vlage u drvetu [kg]

G_{SM} - masa suve materije [kg]

G - ukupna masa materijala za sušenje [kg].

Postoje dva oblika vlage u drvetu: slobodna i vezana [3].

2.2 Sušenje drveta u atmosferskim uslovima (prirodno sušenje)

Prirodno sušenje predstavlja sušenje drveta sa spoljašnjim vazduhom kao agensom sušenja. Drvena građa se složi u složajeve na takav način da omogući vetrovima strujanje kroz sam složaj i oko njega. Minimalan dostižan sadržaj vlage prirodnim sušenjem je 20 – 30% u zavisnosti od spoljašnjih uslova. Izuzetno, u slučaju veoma povoljnih meteoroloških uslova, prirodnim sušenjem je moguće dostići sadržaj vlage niži od 20%, ali bi sam proces sušenja u tom slučaju trajao duže od godinu dana [3]. Prirodno sušenje može biti primenjeno pre veštačkog sušenja što donosi uštede u energiji potrebnoj za veštačko sušenje, ali značajno produžava proces samog sušenja.



Slika 1 sušenje drveta u atmosferskim uslovima [4]

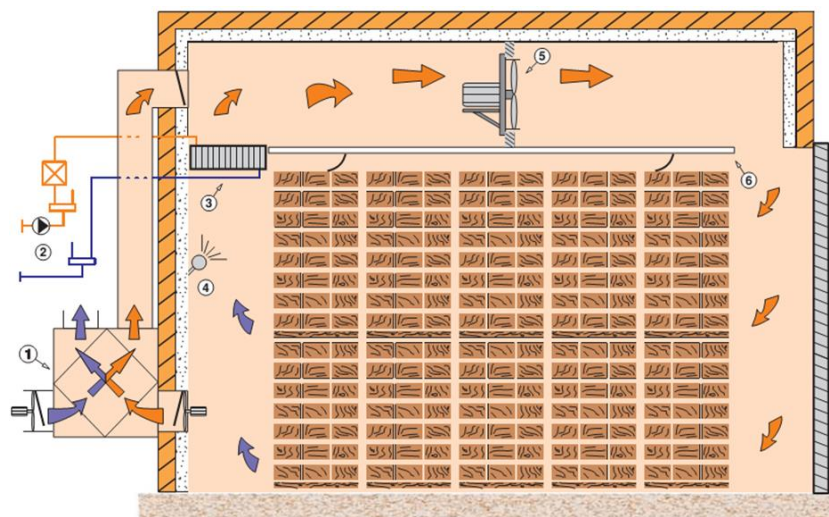
2.3 Sušenje drveta u kontrolisanim uslovima (veštačko sušenje)

Postrojenja za veštačko sušenje drveta su sušare. One omogućavaju kontrolu temperature, relativne vlažnosti i brzine strujanja agensa sušenja (vazduha). Najzastupljenije su konvencionalne sušare. Drvena građa se složi u složajevе, na sličan način kao kod prirodnog sušenja.



Slika 2 slaganje građe u sušari [8]

Konvencionalna sušara funkcioniše tako što se spoljašnji vazduh zagreje (neposredno pomoću peći ili posredno pomoću vodenih cevniх zagrejača snabdevenih toplom vodom iz kotla). Tako zagrejan vazduh visoke temperature i male relativne vlažnosti, struji kroz i oko složaja drvene građe i uzrokuje isparavanje dela vlage iz drveta, čime se povećava relativna vlažnost vazduha. Nakon toga, izrađeni vazduh napušta sušaru. Često se primenjuje rešenje sa delimičnom recirkulacijom agensa sušenja, gde se deo izrađenog vazduha oslobodi u atmosferu, a deo izrađenog vazduha recirkuliše i meša sa zagrejanim svežim vazduhom. Kao dodatna mera energetske efikasnosti može se primeniti rekuperacija toplote u rekuperatoru. To podrazumeva da onaj deo izrađenog vazduha koji se ne recirkuliše, pre ispuštanja u atmosferu prođe kroz rekuperator u kojem predgreva svež vazduh pre ulaska u kotao. Takvo rešenje je šematski prikazano na slici 3.



Slika 3 uprošćeni prikaz konvencionalne sušare sa delimičnom recirkulacijom agensa sušenja i rekuperacijom toplote [6]

Pored konvencionalnih sušara često su u upotrebi i sušare sa toplotnom pumpom. Šematski prikaz jedne takve sušare je na slici 4.



Slika 4 šematski prikaz sušare sa toplotnom pumpom [7]

Vazduh visoke temperature i niske relativne vlažnosti ulazi u komoru za sušenje, kao i kod konvencionalne sušare. Nakon što prođe kroz komoru za sušenje, izrađeni vazduh visoke relativne vlažnosti i visoke temperature nailazi na isparivač toplotne pumpe gde se hladi, a vlaga iz vazduha se kondenzuje na cevima isparivača, sakuplja i u tečnom stanju odvodi van sušare. Latentna toplota koju je nosila vlaga u vazduhu se na taj način predaje radnom fluidu toplotne pumpe. Na izlazu iz isparivača toplotne pumpe vazduh je niske temperature i niske relativne vlažnosti. Takav vazduh ulazi u kondenzator toplotne pumpe gde mu se podiže temperatura, a latentna toplota izrađenog vlažnog vazduha, koja je predata radnom fluidu toplotne pumpe na isparivaču, se vraća vazduhu na kondenzatoru toplotne pumpe. Nakon izlaska iz kondenzatora vazduh je visoke temperature i niske relativne vlažnosti što ga čini spremnim za upotrebu u ulozi agensa sušenja. Time se omogućava da

se zagrejeni vazduh ne izbacuje u atmosferu kao kod konvencionalne sušare, čime se stvaraju znatne uštede u energetskej potrošnji. Ipak, kod sušara sa toplotnom pumpom postoji ograničenje po pitanju maksimalne temperature vazduha na izlazu iz kondenzatora koja iznosi 60 °C [7]. Ukoliko postoji potreba da agens sušenja bude više temperature na ulazu u komoru za sušenje, to se omogućava dopunskim grejačem (može biti električni ili cevni toplovodni grejač).

Jedan od glavnih pokazatelja energetske performansi sušenja je SMER (eng. *Specific Moisture Extraction Rate*) koji predstavlja odnos izdvojene količine vlage iz drveta i ukupno uložene energije u proces sušenja, odnosno :

$$SMER = \frac{\text{Masa izdvojene vlage}}{\text{Energija uložena u proces}} \left[\frac{kg}{kWh} \right] \quad (2)$$

3. TEHNOEKONOMSKA ANALIZA SUŠENJA

Poređeni su parametri sušenja dve vrste drveta (bukve i bora), dve različite debljine (24 mm i 50 mm) u konvencionalnoj sušari primenom tri različite vrste goriva (ogrevno drvo, pelet i prirodni gas) i u sušari sa toplotnom pumpom. Svaki slučaj je analiziran sa prethodnim prirodnim sušenjem (početni sadržaj vlage 25% – 30%) i bez prethodnog prirodnog sušenja (početni sadržaj vlage 64%). Krajnji sadržaj vlage je 10% u svim slučajevima.

Kao referentna konvencionalna sušara je izabrana sušara proizvođača “Nigos” tip “VKS-60” , a sušara tip “Nigolux-60K2” istog proizvođača je odabrana kao referentna sušara sa toplotnom pumpom.

Detaljna metodologija primenjenih proračuna se nalazi u literaturi [8].

Sušena građa obe vrste drveta debljine 24 mm su sortimenti dužine 2 m i širine 10 cm. Sušena građa obe vrste drveta debljine 50 mm su sortimenti dužine 4 m i širine 20 cm. Građa je poslagana u složajevе na taj način da u jednoj šarži sušenja sortimenata debljine 24 mm ima ukupno 63,1 m³ građe, a u jednoj šarži sušenja sortimenata debljine 50 mm ima 62,6 m³ građe.

3.1 Faza zagrevanja

Faza zagrevanja građe prethodi fazi aktivnog sušenja. Cilj faze zagrevanja je da se temperatura građe podigne na nivo temperature prve etape aktivnog sušenja uz veoma bitan uslov da ne dođe do sušenja građe u ovoj fazi, kako ne bi došlo do oštećenja same građe [2]. Zbog toga se relativna vlažnost vazduha održava na visokoj vrednosti (preko 95%) [9]. To se postiže sistemom za ovlaživanje vazduha koji poseduju referentne sušare. Kod konvencionalnih sušara se toplotna energija za zagrevanje obezbeđuje pomoću kotla (preko cevne grejače), dok se kod sušare sa

toplotnom pumpom koristi električni grejač (konkretno 18 kW snage u ovom slučaju) u kombinaciji sa toplovodnim cevnom zagrevačem vazduha [6 i 10].

Obrazac po kojem je obračunata ukupna toplotna energija potrebna za zagrevanje je:

$$Q_z = \zeta \cdot c_d \cdot m_{vd} \cdot (t_{F1} - t_0) [kJ] \quad (3)$$

gde su:

ζ – koeficijent gubitaka [-],

c_d – specifični toplotni kapacitet drveta [$kJ \cdot (kg \cdot K)^{-1}$] [11],

m_{vd} – masa vlažnog drveta [kg],

t_{F1} – ulazna temperatura agensa sušenja prve etape aktivnog sušenja [$^{\circ}C$],

t_0 – usvojena temperatura spoljašnjeg vazduha [$^{\circ}C$]

U fazi zagrevanja, kao i u svakoj narednoj fazi pored toplotne, utrošena je i električna energija za rad ventilatora. Ventilatori su snage 15 kW [6] u oba referentna tipa sušare. Ukupna utrošena električna energija za rad ventilatora je obračunata zbirno za sve faze sušenja, množenjem snage ventilatora sa ukupnim vremenom trajanja sušenja.

3.2 Faza aktivnog sušenja

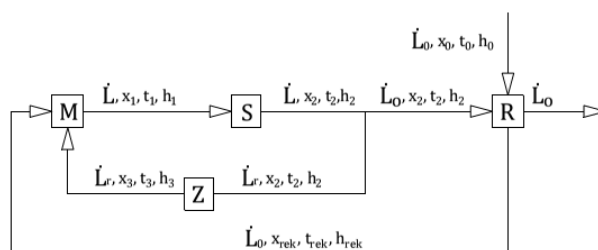
Faza aktivnog sušenja se odvija u nekoliko etapa. Etapa podrazumeva održavanje ulaznih parametara vazduha (temperature i relativne vlažnosti na određenoj vrednosti). Parametri vazduha su određeni režimom sušenja, zavise od vrste drveta, početne i krajnje vlažnosti a usvojeni su iz literature [2 i 9].

Primer jednog režima sušenja za slučaj bukovih sortimenata debljine 50 mm početnog sadržaja vlage od 64% i krajnjeg sadržaja vlage od 10% je dat u tabeli 1.

Tabela 1 režimi i vreme trajanja etape aktivnog sušenja bukovih sortimenata debljine 50 mm

Etapa	Razred vlage [%]	Temp. vazduha [$^{\circ}C$]	Rel vlažnost vazduha [%]	Trajanje etape [h]
1	64 - 40	50	90	293
2	40 - 35	55	85	61
3	35 - 30	60	78	62
4	30 - 25	65	67	61
5	25 - 20	70	51	61
6	20 - 10	80	30	122

Šematski prikaz aktivne faze sušenja se nalazi na slici 5



Slika 5 šematski prikaz faze aktivnog sušenja [9]

Na slici 5 simboli označavaju: S – komora za sušenje, R – rekuperator, Z – zagrejač vazduha, M – mešanje zagrejanog i recirkulisiranog vazduha.

Ukupno iskorišćena toplotna energija tokom jedne etape iznosi:

$$Q_1 = \tau_1 \cdot \zeta \cdot \dot{L}_r \cdot (h_3 - h_2) \text{ [kJ]} \quad (4)$$

gde su:

τ_1 – trajanje etape [s],

ζ – koeficijent gubitaka [-],

\dot{L}_r – maseni protok recirkulisiranog vazduha [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

$(h_3 - h_2)$ – razlika specifičnih entalpija na izlazu i ulazu u zagrejač respektivno [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$].

Na isti način je moguće odrediti ukupnu utrošenu energiju u svakoj narednoj etapi.

3.3 Faza izjednačavanja vlage

Izjednačavanje vlage se sprovodi kako bi se eliminisala razlika u sadržaju vlage između pojedinih sortimenata koji se nalaze na različitim pozicijama tokom faze aktivnog sušenja. Faza se sprovodi tako što se klapne za izmenu vazduha zatvore (nema razmene vazduha sa okolinom). Faza aktivnog sušenja se sprovodi do trenutka kada najsuvlji sortiment dostigne sadržaj vlage za 2% niži od zadanog, zatim se tokom faze izjednačavanja vlage temperatura vazduha održava na vrednosti poslednje etape aktivnog sušenja, a relativna vlažnost vazduha se pomoću sistema za ovlaživanje održava na onoj vrednosti koja je u ravnoteži sa vlažnošću drveta za 2% većoj od konačno zadate [2]. Pošto tokom faze izjednačavanja nema razmene vazduha sa okolinom (osim usled nezaptivenosti sušare), utrošena toplotna energija je samo ona izgubljena u vidu transmisionih gubitaka kroz zidove sušare.

3.4 Faza kondicioniranja

Nakon faze izjednačavanja vlage, odnosno nakon što je izjednačen srednji sadržaj vlage između sortimenata na nivou celog tovara i dalje postoji razlika između sadržaja vlage u spoljašnjim delovima pojedinačnog sortimenta (spoljašnji delovi su suvlji) i unutrašnjih delova. Zbog toga se sprovodi faza kondicioniranja. Kao i kod faze izjednačavanja vlage, proces se odvija bez razmene vazduha sa okolinom, temperatura se održava na vrednosti koju je imala u poslednjoj etapi faze aktivnog sušenja, a relativna vlažnost vazduha se održava na onoj vrednosti koja je u ravnoteži sa vlažnošću drveta za 3 – 4 % većom u odnosu na krajnju zadatu [2]. Kao i kod faze izjednačavanja vlage, razmene vazduha sa okolinom nema (osim usled nezaptivenosti sušare) pa su obračunati samo transmisioni gubici toplote kroz zidove sušare.

3.5 Analiza sušenja građe u sušari sa toplotnom pumpom

Osnovna razlika u parametrima sušenja primenom sušare sa toplotnom pumpom je što je za proračune energetskih parametara faze aktivnog sušenja relevantna kondenzaciona moć sušare koja u ovom slučaju iznosi $875 \text{ litara} \cdot (24 \text{ h})^{-1}$ (podatak je dobijen usmeno od proizvođača opreme, kao i podatak o kompresoru toplotne pumpe i ventilatoru).

Ukupno izdvojena masa vlage tokom sušenja se proračunava na osnovu obrasca:

$$W_{odv} = \left(\frac{u_{poč}}{1 + u_{poč}} \cdot \rho_v + 1 - \frac{u_{poč}}{1 + u_{poč}} \right) \cdot \rho_{sd} \cdot V_{tovara} \cdot \frac{u_{poč} - u_{kr}}{1 + u_{poč}} \quad [kg] \quad (5)$$

gde su: $u_{poč}$ – početna vlažnost drveta [-],

u_{kr} – krajnja vlažnost drveta [-],

ρ_v – gustina vode [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

ρ_{sd} – gustina apsolutno suvog drveta [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

V_{tovara} – ukupna zapremina drvene građe u šarži.

Deljenjem ukupne izdvojene vlage iz drveta sa kondenzacionom moći sušare, dobija se vreme trajanja faze aktivnog sušenja, koje je veće u odnosu na vreme aktivnog sušenja u konvencionalnoj sušari, na osnovu čega se može zaključiti da režim sušenja u sušari sa toplotnom pumpom nije oštriji od onog u konvencionalnoj sušari i ne postoji rizik od oštećenja sortimenata usled sušenja preoštrim režimom. Na konkretnom primeru sušenja bukovih sortimenata debljine 24 mm se može uočiti da faza aktivnog sušenja u konvencionalnoj sušari traje 236 časova, a faza aktivnog sušenja iste građe u sušari sa toplotnom pumpom traje 462 h [8]. Tokom faze aktivnog sušenja rade

kompresor snage 10 kW i ventilator snage 15 kW. Tokom faze zagrevanja radi električni grejač snage 18 kW [10].

Ukupna iskorišćena energija za proces sušenja predstavlja zbir iskorišćene električne energije za rad kompresora, ventilatora i električnog grejača toplotne pumpe i iskorišćene toplotne energije za rad dopunskog grejača.

Deljenjem ukupno izdvojene vlage sa ukupnom utrošenom energijom dobija se *SMER* koeficijent.

4.6 Prethodno prirodno sušenje kao opcija

Kao što je već spomenuto, prirodno sušenje može biti prethodna operacija sušenju u sušari. Prethodno prirodno osušena građa ima početni sadržaj vlage 25-30%, umesto 64% u slučaju bez prethodnog prirodnog sušenja. Takođe, pomenuto je da proces prirodnog sušenja dugo traje (usvojeno 300 dana za bukvu i 150 dana za bor [4]). Jedini način da se sprovođenjem prethodnog prirodnog sušenja iskoristi pun godišnji kapacitet sušare jeste da se primeni takav poslovni model u kojem se odmah na početku poslovanja nabavi i iseče ona količina sirovog drveta koja se može osušiti u sušari veštačkim sušenjem, a za vreme trajanja prirodnog sušenja i ti troškovi se obračunaju kao investicioni. Primenom takvog modela, nakon prirodnog sušenja te, velike, količine sirovog drveta, postoji zaliha prirodno osušenih sirovina tako da nakon završetka sušenja svake šarže postoji spremna prirodno osušena građa za narednu šaržu sušenja u sušari. Takođe, nakon završetka sušenja svake šarže neophodno je nabaviti i iseći novu količinu sirovog drveta koja će biti upotrebljena nakon isteka perioda prirodnog sušenja. Ovakav model značajno povećava investicione troškove i negativno utiče na ostvarenu dobit u prve dve godine poslovanja, ali daje dobre rezultate u periodu od 5 godina poslovanja što će biti prikazano.

4.7 Uporedni prikaz rezultata

U tabeli 2 će biti prikazani *SMER* koeficijent kao i predviđena ostvarena dobit nakon 1, nakon 2 i nakon 5 godina poslovanja. Kao referentne cene energenata uzete su aktuelne cene na tržištu i to 33 RSD · m⁻³ za prirodni gas [12], 10 700 RSD · prm⁻¹ (prm – prostorni kubni metar) [13] za ogrevno drvo i 38 000 rsd · t⁻¹ [14] za pelet, dok je usvojena cena električne energije 75 € · MWh⁻¹ [15].

Analizirani su slučajevi sušenja građe od drveta bukve (u tabeli „bk“) i bora (u tabeli „br“) debljine 24 mm i 50 mm, u konvencionalnoj sušari (u tabeli „ks“) i sušari sa toplotnom pumpom (u tabeli „stp“). Kao gorivo kod konvencionalnih sušara je korišćen prirodni gas (u tabeli „prg“), ogrevno drvo (u tabeli „odr“) i pelet (u tabeli „pt“). Analiza je izvršena na procesu sušenja sa prethodnim prirodnim sušenjem (u tabeli „PS“) i bez njega.

Tabela 2 uporedni prikaz *SMER* koeficijenta i proračunate dobiti nakon jedne, dve i pet godina rada postrojenja za sušenje

Vrsta, debljina drveta, metoda sušenja i gorivo	<i>SMER</i> [kg·kWh ⁻¹]	Dobit nakon jedne godine poslovanja [€]	Dobit nakon dve godine poslovanja [€]	Dobit nakon pet godina poslovanja [€]
Bk. 24 mm – ks - odr	0,56	492 096	1 034 665	2 662 373
Bk. 24 mm – ks - prg	0,69	511 933	1 074 338	2 761 554
Bk. 24 mm – ks - pt	0,68	492 235	1 034 943	2 663 066
Bk. 24 mm – stp	1,12	276 294	616 689	1 637 872
Bk. 24 mm – ks – odr - PS	0,51	- 449 016	1 356 465	4 324 935
Bk. 24 mm – ks – prg - PS	0,63	- 446 122	1 389 465	4 407 436
Bk. 24 mm – ks – pt - PS	0,63	- 448 995	1 356 695	4 325 511
Bk. 24 mm – stp –PS	0,90	- 315 661	806 906	2 655 342
Bk. 50 mm – ks – odr	0,45	172 357	394 825	1 062 231
Bk. 50 mm – ks – prg	0,53	180 696	411 505	1 103 930
Bk. 50 mm – ks – pt	0,53	172 415	394 942	1 062 522
Bk. 50 mm – stp	1,09	245 845	555 791	1 485 627
Bk. 50 mm – ks – odr - PS	0,43	- 248 859	638 010	2 096 151
Bk. 50 mm – ks – prg - PS	0,50	- 247 438	654 228	2 136 695
Bk. 50 mm – ks – pt - PS	0,50	- 248 850	638 123	2 096 434
Bk. 50 mm – stp - PS	0,84	- 306 042	739 471	2 438 044
Br 24 mm – ks - odr	0,63	1 520 882	3 092 237	7 806 301
Br 24 mm – ks - prg	0,80	1 555 878	3 162 229	7 981 281
Br 24 mm – ks - pt	0,79	1 517 984	3 086 441	7 791 813
Br 24 mm – stp	1,12	437 835	939 769	2 445 573
Br 24 mm – ks – odr - PS	0,66	1 062 438	4 497 915	11 760 169
Br 24 mm – ks – prg - PS	0,83	1 074 137	4 538 200	11 860 881
Br 24 mm – ks – pt - PS	0,82	1 063 759	4 502 464	11 771 540
Br 24 mm – stp –PS	0,90	378 006	1 759 240	4 667 801

Tabela 2 nastavak

Br 50 mm – ks – odr	0,58	794 823	1 639 759	4 174 565
Br 50 mm – ks – prg	0,71	813 780	1 677 672	4 269 347
Br 50 mm – ks – pt	0,71	793 254	1 636 619	4 166 717
Br 50 mm – stp	1,07	408 025	880 149	2 296 524
Br 50 mm – ks – odr - PS	0,61	677 284	2 952 455	7 743 440
Br 50 mm – ks – prg - PS	0,74	684 970	2 979 173	7 810 234
Br 50 mm – ks – pt - PS	0,74	676 648	2 950 243	7 737 910
Br 50 mm – stp - PS	0,84	328 491	1 574 418	4 193 017

U tabeli 3 je prikazan proračunat udeo troškova za nabavku energenata u ukupnim proizvodnim troškovima za svaki analizirani slučaj (korišćene skraćenice su iste kao u tabeli 2):

Tabela 3 Udeo troškova za nabavku energenata u ukupnim proizvodnim troškovima u zavisnosti od vrste drveta i metode sušenja

Vrsta, debljina drveta, metoda sušenja i gorivo	Udeo troškova za nabavku energenata u ukupnim proizvodnim troškovima [%]	Vrsta, debljina drveta, metoda sušenja i gorivo	Udeo troškova za nabavku energenata u ukupnim proizvodnim troškovima [%]
Bk. 24 mm – ks - odr	10,01	Br 24 mm – ks - odr	13,08
Bk. 24 mm – ks – prg	5,72	Br 24 mm – ks - prg	7,06
Bk. 24 mm – ks - pt	9,98	Br 24 mm – ks - pt	13,55
Bk. 24 mm – stp	6,46	Br 24 mm – stp	10,14
Bk. 24 mm – ks – odr - PS	5,07	Br 24 mm – ks – odr - PS	5,66
Bk. 24 mm – ks – prg - PS	2,85	Br 24 mm – ks – prg - PS	3,04
Bk. 24 mm – ks – pt - PS	5,05	Br 24 mm – ks – pt - PS	5,87
Bk. 24 mm – stp –PS	3,51	Br 24 mm – stp –PS	5,31
Bk. 50 mm – ks – odr	12,77	Br 50 mm – ks – odr	14,59
Bk. 50 mm – ks – prg	8,75	Br 50 mm – ks – prg	8,78
Bk. 50 mm – ks – pt	12,74	Br 50 mm – ks – pt	15,04

Tabela 3 nastavak

Bk. 50 mm – stp	6,70	Br 50 mm – stp	10,62
Bk. 50 mm – ks – odr - PS	6,38	Br 50 mm – ks – odr - PS	6,36
Bk. 50 mm – ks – prg - PS	4,25	Br 50 mm – ks – prg - PS	3,77
Bk. 50 mm – ks – pt - PS	6,37	Br 50 mm – ks – pt - PS	6,56
Bk. 50 mm – stp - PS	3,77	Br 50 mm – stp - PS	5,78

5 ZAKLJUČAK

Na *SMER* koeficijent, koji je glavni pokazatelj energetske efikasnosti procesa sušenja, vrsta drveta nema veliki uticaj. *SMER* koeficijent je nepovoljniji kod sušenja prethodno prirodno osušene građe, a najpovoljniji kod sušenja u sušari sa toplotnom pumpom. Međutim proračuni su pokazali da energetski najefikasniji proces sušenja ne mora biti i najprofitabilniji. Zbog primenjenog poslovnog modela, prethodno prirodno sušenje stvara gubitak u prvoj godini poslovanja u slučaju sušenja bukve, zbog visokih investicionih troškova i sporog procesa prirodnog sušenja bukve. Međutim, posmatrajući period od 5 godina rada postrojenja prednost prethodnog prirodnog sušenja je evidentna.

6 LITERATURA

- [1] B. Glavonjić „Drvena Goriva“ *SNV Montenegro*, 2011.
- [2] B. Tomić *Sušenje drveta*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva , 1983.
- [3] V. Minea *Industrial Heat Pump-Assisted Wood Drying*. New York: CRC press, 2019.
- [4] <https://extension.unh.edu/resource/design-considerations-lumber-pile-covers-air-dry-yards> [01. 06. 2022.]
- [5] https://thewoodmillofmaine.com/wp-content/uploads/2018/06/1397237_754414211242104_226376054_o-1024x768.jpg [01. 06. 2022.].
- [6] https://www.nigos.rs/manuals/katalog_susara_za_drvo.pdf. [05.09.2021].
- [7] A. S. Mujumdar *Handbook of Industrial Drying*. CRC 2006.
- [8] V. Marović „Analiza različitih metoda sušenja drveta sa stanovišta korišćenja energije“ Master rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2022.
- [9] B. Kolin *Hidrotermička obrada drveta*. Beograd: Jugoslavijapublik, 2000.
- [10] M. Dinić, *Lična komunikacija* 10.2021.

- [11] K. Radmanović, I. Đukić, S. Pervan. (2014). „Specific Heat Capacity of Wood“. *Drvena industrija*. 65. pp. 151-157, 2014.
- [12] https://www.srbijagas.com/?page_id=2562&script=lat [28. 10. 2022.].
- [13] <https://ogreviverak.com/product-category/drva/> [28. 10. 2022.].
- [14] <https://toppelet.rs/> [28. 10. 2022.].
- [15] <https://balkangreenenergynews.com/rs/cena-elektricne-energije-za-privrednu-u-srbiji-fiksirana-na-75-evra-rezervno-slabdevanje-poskupelo/> [28. 10. 2022.]