



DOI: 10.5937/topola2312033P

UDK: 620.952(497.11)

662.63(497.11)

Originalni naučni rad

Produkcija biomase klonova evroameričke topole (*Populus x euramericana* (Dode) Guinier) u zasadima kratke ophodnje sa različitim razmacima sadnje

Andrej Pilipović^{1*}, Saša Orlović¹, Branislav Kovačević¹, Leopold Poljaković-Pajnik¹, Jovana Popović², Dragan Raković², Aleksandra Jovanović²

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Novi Sad, Srbija

² Javno preduzeće „Srbijašume“, Beograd, Srbija

* Autor za korespondenciju: Andrej Pilipović; E-mail: andrejp@uns.ac.rs

Datum prispeća rukopisa u uredništvo: 11.09.2023; Datum recenzije: 27.10.2023; Datum prihvatanja rukopisa za publikovanje: 06.11.2023.

Apstrakt: Biomasa proizvedena u zasadima topola sa kratkim ophodnjama predstavlja dobru alternativu fosilnim gorivima u proizvodnji energije, ili kao njihova zamena ili kao dodatno gorivo. Ovo istraživanje predstavlja ispitivanje potencijala dva najčešće korišćena klona u topolarstvu u Republici Srbiji: (a) *Populus x euramericana* cl. I-214, i (b) *Populus x euramericana* cl. „Pannonia“ za proizvodnju biomase za energiju u zasadima različite gustine biljaka (2500, 3333, 5000 i 10000 biljaka ha⁻¹) na graničnom zemljištu za gajenje topola. Ispitivani parametri u ovom istraživanju su obuhvatili: (a) prečnik stabla na prsnoj visini, (b) visinu stabla, (c) biomasu proizvedenog drveta po jedinici površine, (d) potencijalnu toplotna energiju dobijenu od proizvedene biomase po jedinici površine, (e) zapreminu drvene mase pojedinačnog stabla i (f) zapreminu drvene mase po jedinici površine. Dobijeni rezultati su pokazali značajan uticaj gustine zasada na ispitivane parametre, dok uticaj klona i interakcije klon x gustina biljaka nije bio signifikantan. Takođe, ova studija ukazuje na značajan potencijal za proizvodnju biomase ispitivanih klonova, što bi trebalo da bude podsticaj za dalja istraživanja kako u pravcu izbora klonova i staništa, tako i unapređenja tehnoloških procedura.

Ključne reči: klon, drvena biomasa, biomasa za energiju, potencijalna toplotna energija.

Original scientific paper

Biomass production of euramerican poplars (*Populus x euramericana* (Dode) Guinier) in short rotation plantations with different spacing

Abstract: Biomass from short rotation poplar plantations presents a good alternative as a material for energy production, either as a substitute or as an addition to fossil fuels. This research presents the investigation of the potential of the Serbian forestry's most commonly used clones (a) *Populus x euramericana* cl. I-214 and (b) *Populus x euramericana* cl. „Pannonia“ for the production of biomass for

energy in different plant density plantations (2500, 3333, 5000 and 10000 plants ha⁻¹) on the marginal soil for the poplar production. Measured parameters included (a) diameter at breast height, (b); tree height, (c) wood biomass per unit of the area, (d) potentially produced energy per unit of the area, (e) individual tree volume and (f) wood volume per unit of the area. Obtained results indicated significant influence of the plant density on the investigated parameters, while there was no effect of the selected clone or clone x plant density interactio. Such results can be explained by the site conditions and production cycle duration.

Keywords: clone, wood biomass, bioenergy.

1. Uvod

Razvoj civilizacije u poslednja dva veka koji je okarakterisan u ubrzanoj industrijalizaciji, urbanizaciji i porastu broja stanovnika rezultovao je značajnim uticajem čoveka na životnu sredinu koji se najviše ogleda u povećanju zagađenja zemljišta, voda i vazduha. Korišćenje fosilnih goriva u industriji i svakodnevnom životu čovečanstva predstavlja značajnu pretnju usled prekomerne emisije ugljen-dioksida i drugih gasova staklene bašte. Njihova povećana koncentracija u atmosferi direktno utiče na klimatske promene koje se ogledaju u povećanju intenziteta i učestalosti ekstremnih vremenskih prilika kao što su visoka temperatura, padavine i suša (IPCC, 2001).

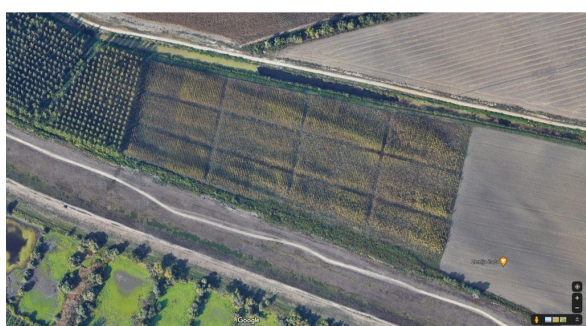
Imajući u vidu navedene činjenice, sve je veća potreba za obezbeđivanjem obnovljivih izvora energije radi smanjenja korišćenja energije iz neobnovljivih izvora u cilju obezbeđenja održivog razvoja. Kao jedno od rešenja, proizvodnja biomase za energiju u zasadima topola kratke ophodnje može predstavljati značajan doprinos u smanjenju uticaja klimatskih promena na različite načine. Prema Zalesny et al. (2009), biomasa topola postaje sve više ekonomski isplativa usled rasta cena fosilnih goriva na svetskom tržištu, dok zasadi za njenu proizvodnju obezbeđuju različite ekosistemske usluge poput deponovanja ugljenika, remedijacije kontaminata i stabilizacije zemljišta, obezbeđujući trajnost prinosa usled mogućnosti nakupljanja biomase i njenog iskorišćenja tokom cele godine. Istraživanja potencijala klonova topola za proizvodnju biomase (usluge snabdevanja) se vrše poslednjih nekoliko decenija širom sveta s tim što je u poslednje vreme fokus istraživanja proširen na obezbeđenje i ekosistemskih usluga regulisanja i podrške poput fitoremedijacije, rekultivacije i ublažavanja klimatskih promena (Zalesny et al. 2012; Zalesny et al. 2015; Zalesny et al. 2016; Zalesny et al. 2019). Imajući u vidu klimatske promene koje će u budućnosti uticati na rasprostranjenje i prilagodljivost drvenastih vrsta, sve više istraživanja se usmerava na sposobnost adaptacije novoselekcionisanih genotipova na promenjene uslove sredine (Oliver et al. 2009; Headlee et al. 2013; Broeckx et al. 2014; Nelson et al. 2018; Pilipović et al. 2020; Pilipović et al. 2022).

Istraživanja mogućnosti korišćenja topola za proizvodnju biomase za energiju se na Institutu za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu vrše od početka devedesetih godina XX veka. Uvođenjem direktne selekcije, odnosno proizvodnje klonova za posebne namene uključujući i proizvodnju drveta u zasadima kratke ophodnje (Guzina et al. 1992; Guzina et al. 1995; Guzina et al. 1996) proširila su se istraživanja potencijala institutskih klonova za proizvodnju biomase za energiju uvođenjem novih oblasti istraživanja kao što su anatomija i fiziologija topola (Orlović et al. 1998; Orlović et al. 2003) i svojstva drveta (Klašnja et al. 2008). Kombinacija podataka dobijenih novim metodologijama i tradicionalnim biometrijskim metodama je pokazala značajan potencijal Institutskih genotipova za proizvodnju biomase u zasadima kratke ophodnje (Klašnja et al. 2002; Klašnja et al. 2003; Klašnja et al. 2008; Klašnja et al. 2012; Pilipović et al. 2020).

U cilju nastavka istraživanja mogućnosti proizvodnje biomase za energiju u zasadima kratke ophodnje, kao i unapređenja saradnje Instituta i Javnog preduzeća „Srbijašume“ Šumskog gazdinstva „Beograd“, 2015. godine su na teritoriji Šumske uprave „Rit“ osnovani zasadi kratke ophodnje za proizvodnju biomase sa dva klona evroameričke topole koja su najčešće korišćena u praksi topolarstva Srbije.

2. Materijal i metode

Ogled zasada kratke ophodnje za produkciju biomase za energiju je osnovan u februaru 2015. godine na zemljištu kojim gazduje JP „Srbijašume“, ŠG „Beograd“, ŠU „Rit“, (44°52'0.4" N; 20°23'54.4" E; 70 m nadmorske visine). Zemljište na kome je osnovan ogled spada u klasu hidromorfni zemljiša, tip fluvisol sa fosilnim zemljištem teksturne klase glinovita ilovača do peskovito-glinovita ilovača (Galić, 2002). Za osnivanje su korišćene jednogodišnje ožiljenice klonova evroameričke topole: (I) *Populus × euramericana* cl. I-214, i (II) *Populus × euramericana* cl. „Pannonia“, koji predstavljaju najčešće korišćene klonove topole u šumarstvu u Republici Srbiji. Ogled je osnovan na ukupnoj površini od 6.26 ha u blok dizajnu sa četiri bloka sa različitim razmacima: (I) 2×0.5 m, (II) 2×1 m, (III) 2×1.5 m i (IV) 2×2 m. Korišćeni razmaci (2 × 0.5 m; 2×1 m; 2×1.5 m i 2×2 m) su imali gustinu: (I) 10.000 st/ha, (II) 5.000 st/ha, (III) 3.333 st/ha i (IV) 2500 st/ha. Svaki razmak sadnje (blok) se sastojao iz 3 podbloka (ponavljanja) koji su sadržavali plohe odabranih klonova I-214 i „Pannonia“ (Slika 1).



Slika 1. Satelitski snimak ogleđa preuzet sa Google Maps® platforme.

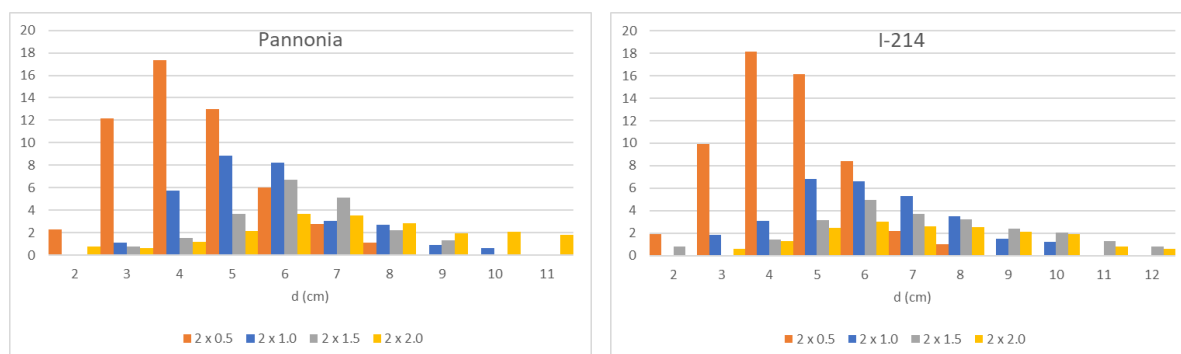
Image 1. Satellite image of the trial downloaded from Google Maps® platform.



Slika 2. Drobljenje odabranih stabala.

Image 2. Chopping of the sampled trees.

Proizvodni ciklus u ovom ogledu je trajao 7 godina, nakon čega su u sezoni jesen/zima 2021/2022. godine izvršene aktivnosti na sakupljanju podataka o produktivnosti klonova. Metodologija uzorkovanja i premera predstavlja modifikovanu metodologiju Niemczyk (2021), gde su u okviru svakog klona u određenom razmaku i ponavljanju izabrane pruge za premer prečnika (24 pruge ukupno) širine 4 m. Na ovim prugama je izvršen premer prečnika svih stabala ($d_{1.3}$, cm) i na osnovu dobijenih podataka je urađena distribucija prečnika po debljinskim stepenima od 1 cm (Grafikon 1).



Grafikon 1. Distribucija prečnika klonova „Pannonia“ (levo) i I-214 (desno) premera pruga u novembru 2021. godine.

Figure 1. Diameter frequencies of clones „Pannonia“ (left) and I-214 (right) measured within the experimental plots.

Na osnovu frekvencija debljinskih stepena izvršen je proporcionalni odabir 20% stabala, kao uzorka u svakom polju (razmak/klon/ponavljanje), za dalja merenja visine, produkcije biomase i proračuna potencijalno dobijene energije.

Odabrani uzorak stabala je posečen u februaru 2022. godine, visina stabala (h, m) je premerena pantljkikom do tačnosti od 5 cm nakon čega je izvršeno drobljenje biljaka (Slika 2). Masa posečenih biljaka je izmerena za svako polje (razmak/klon/ponavljanje) vagom do tačnosti od 0.01 kg. Iz svakog polja (razmak/klon/ponavljanje) je uzet i uzorak sečke za određivanje sadržaja vlage (suve mase) i toplotne moći posečenog drveta. Za određivanje sadržaja vlage uzorci sečke su sušeni na temperaturi od 104°C do konstantne mase. Na osnovu dobijenih podataka, izračunata je zapremine drvene mase pojedinačnih stabala (V_{st} , cm^3), kao i vrednosti proizvedene zapremine (V_P , $m^3 ha^{-1}$) i proizvedene biomase (m_P , $Mg ha^{-1}$) po hektaru. Određivanje toplotne moći drveta je izvršeno pomoću kalorimetra IKA C200, prema metodologiji Klačnja et al. (2012) i potencijalna količina dobijene energije (E_P) je izračunata u $GJ ha^{-1}$.

Za svaki parametar su izmerene ili izračunate vrednosti na nivou polja (razmak/klon/ponavljanje), i te vrednosti su predstavljale ulaz za dalju statističku analizu. Efekti kontrolisanih izvora variranja (Gustina zasada, Klon, Blok i interakcija Gustina zasada \times Klon) su ispitani dvofaktorijalnom analizom varijanse – blok sistem. Rezultati ove analize su bili osnova za poređenje tretmana korišćenjem Takijevog testa. Podaci preživljavanja reznica su transformisani arcsin transformacijom kako bi se dobila normalna distribucija frekvencija, koja je uslov za primenu korišćenih statističkih metoda.

3. Rezultati i diskusija

Prema rezultatima analize varijanse faktor Gustina zasada je ostvario značajan efekat na variranje svih ispitivanih svojstava, izuzev na preživljavanje reznica. Pri tome preživljavanje reznica nije bilo pod značajnim uticajem ni jednog kontrolisanog izvora variranja. Uticaj faktora Klon je bio značajan samo kod prečnika stabla na prsnoj visini, dok efekat interakcije Gustina zasada \times Klon nije bila značajna ni kod jednog ispitivanog svojstva. Faktor Blok je imao značajan uticaj na variranje svih ispitivanih svojstava izuzev na preživljavanje. To ukazuje na značaj njegovog uvođenja u dizajn ogleada, čime je postignuta veća preciznost u analizi razlika između tretmana kontrolisanih izvora variranja (Tabela 1).

Tabela 1. F-test analize varijanse ispitivanih svojstava klonova eurameričke topole *P. \times euramericana* cl. "Pannonia" i cl. I-214.

Table 1. F-test results of the investigated parameters of clones "Pannonia" and I-214.

Izvor variranja Source of variation	$d_{1,30}$	h	m_P	E_P	Preživljavanje Survival	V_{st}	V_P
Gustina zasada (G) Plant density (G)	52.725 **	6.396 **	3.560 *	3.449 *	2.442 ns	21.716 **	4.724 *
Klon (K) Clone (K)	4.856 *	0.764 ns	0.645 ns	0.669 ns	2.172 ns	1.675 ns	1.572 ns
Interakcija G \times K Interaction G \times K	0.557 ns	0.451 ns	0.046 ns	0.046 ns	1.021 ns	0.685 ns	1.259 ns
Blok Block	5.523 *	7.545 **	5.436 *	5.265 *	0.548 ns	4.478 *	10.398 **

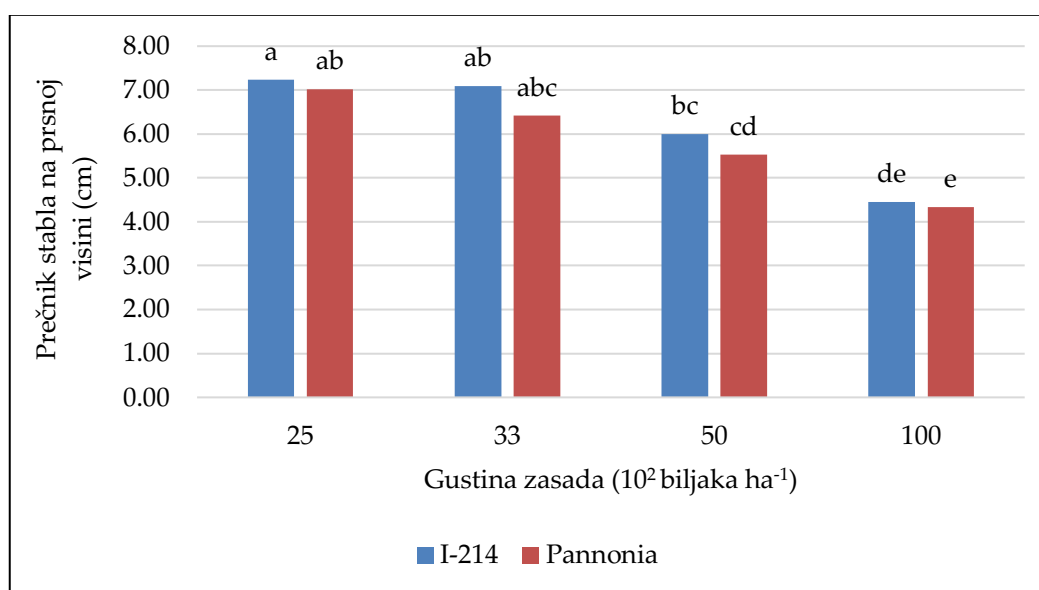
Oznake za značajnost F-testa: ns - nije značajan ($p>0.05$), * - značajan ($p<0.05$), ** - veoma značajan ($p<0.01$).

Label for the significance of F-test: ns – not significant ($p>0.05$), * - significant ($p<0.05$), ** - very significant ($p<0.01$).

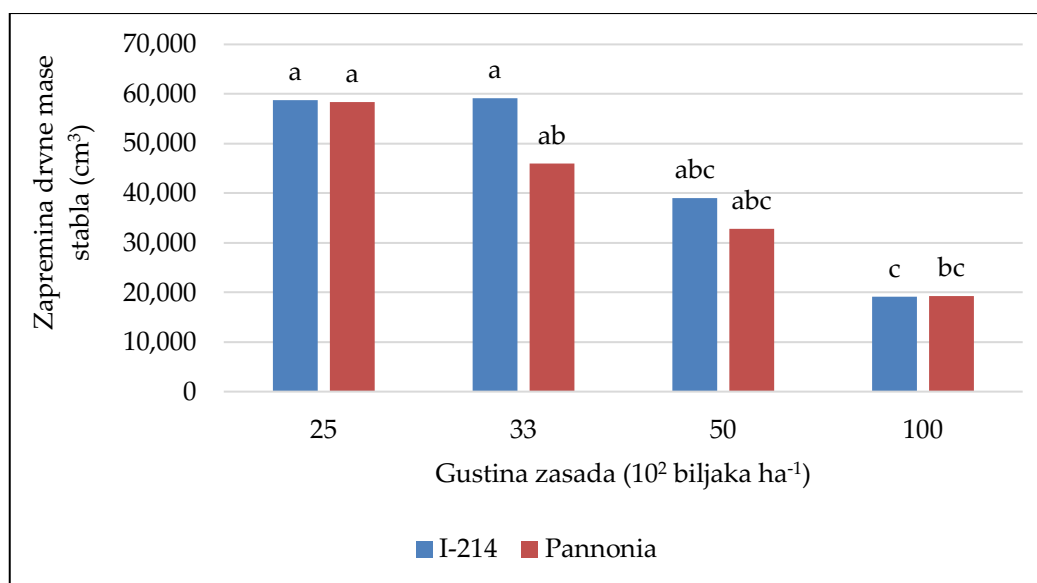
Tabela 2. Srednje vrednosti i Takijev test za gustine zasada.**Table 2.** Average values and Tukey's test results for the investigated parameters.

Gustina zasada (10 ² ha ⁻¹) Plant density (10 ² ha ⁻¹)	d _{1.30} (cm)	h (m)	m _P (Mg ha ⁻¹)	E _P (GJ ha ⁻¹)	Preživljavanje	V _{st} (cm ³)	V _P (m ³ ha ⁻¹)
					(%) Survival rate (%)		
25	7.13 a	9.70 a	26.18 b	486.56 b	90.44 a	58522.74 a	129.80 b
33	6.76 a	9.95 a	28.16 ab	518.79 ab	94.67 a	52563.08 a	165.90 ab
50	5.76 b	9.42 ab	33.58 ab	616.37 ab	93.55 a	35923.04 b	164.45 ab
100	4.40 c	8.56 b	40.84 a	751.99 a	98.06 a	19214.01 c	187.27 a

U skladu sa činjenicom da efekat interakcije Gustina zasada × Klon za prečnik stabla na prsnoj visini nije statistički značajan, i prema rezultatima Takijevog testa (Grafikon 2) ne primećuju se razlike u reakciji klonova prema tretmanima gustine zasada. Naime, variranje oba klona odražava opšti trend variranja prečnika stabla među ispitivanim tretmanima, tj. izostanak značajnih razlika između tretmana sa 2500 i 3333 biljka ha⁻¹ i značajan pad vrednosti u tretmanima sa 5000 i 10000 biljaka ha⁻¹. Ovakvi rezultati su u skladu sa istraživanjima Rončević et al. (2013), koji takođe nisu zabeležili značajan uticaj G×E interakcije (klona i gustine sadnje) na produktivnost ispitivanih klonova.

**Grafikon 2.** Takijev test među tretmanima interakcije Gustina zasada × Klon za prečnik stabla na prsnoj visini (cm).**Figure 2.** Tukey's test results of plant density × clone interaction for the DBH (cm).

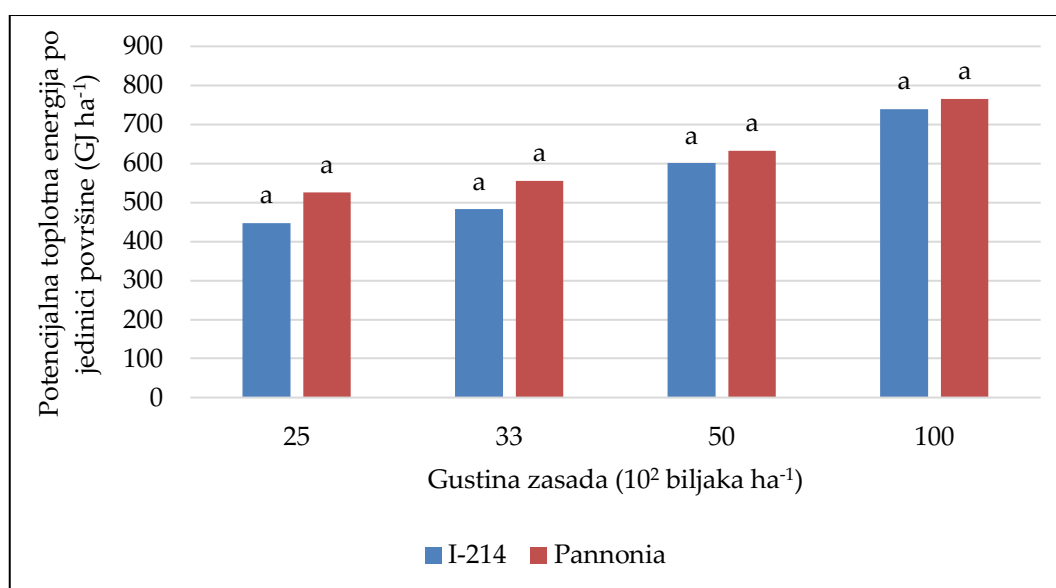
Takijev test za zapreminu drvene mase stabla takođe ukazuje da variranje oba klona odražava opšti trend variranja ovog svojstva među ispitivanim tretmanima gustine zasada (Grafikon 3). Nije bilo značajne razlike ni kod jednog klona između gustina zasada 2500 i 3333, a pad zapremine drvene mase stabla u tretmanu sa 10000 biljaka ha⁻¹ kod oba klona je bio značajan. Jedino je tretman sa 5000 biljaka ha⁻¹ imao značajno manje vrednosti kod oba klona u odnosu na tretman sa 2500 biljaka ha⁻¹, ali, za razliku od opšteg trenda, nije imao statistički značajno manje vrednosti u odnosu na tretman sa 3333 biljaka ha⁻¹.



Grafikon 3. Takijev test među tretmanima interakcije Gustina zasada \times Klon za zapreminu drvene mase stable (cm³).

Figure 3. Tukey's test results of plant density \times clone interaction for the volume of the individual tree (cm³).

Prema rezultatima Takijevog testa za potencijalnu toplotnu energiju biomase po jedinici površine, nije bilo značajnih razlika među tretmanima na nivou interakcije Gustina zasada \times Klon (Grafikon 4). Ipak, jasan je trend povećanja ovog parametra sa povećanjem gustine zasada, kako je i utvrđeno na nivou totala gustina zasada.



Grafikon 4. Takijev test među tretmanima interakcije Gustina zasada \times Klon za potencijalnu toplotnu energiju biomase po jedinici površine (GJ ha^{-1}).

Figure 4. Tukey's test results of plant density \times clone interaction for the potentially produced energy per unit of the area (GJ ha^{-1}).

Dobijeni rezultati produkcije biomase (Tabela 2) su se kretali u rasponu od 26.18 do 40.84 Mg ha^{-1} , što je u skladu sa rezultatima Klačnja et al. (2012) koji su u sedmogodišnjem zasadu za biomasu zabeležili produkciju klona „Pannonia“ od 28.50 Mg ha^{-1} . Slični rezultati su zabeleženi u istraživanju Niemczyk (2021) u pogledu proizvodnje biomase, kao i pojedinačne zapremine stabala različitih klonova topola nakon 7 godina proizvodnje. Isti autori su zabeležili slične vrednosti dobijene energije

po jedinci površine, gde su vrednosti za klon „Pannonia“ iznosile 528.16 GJ ha⁻¹, dok se u našem slučaju prinos energije za klon „Pannonia“ kretao u rasponu od 526.24 do 764.84 GJ ha⁻¹, zavisno od gustine biljaka.

Nedostatak značajne razlike u pogledu produktivnosti između ispitivanih klonova, sa izuzetkom dimenzija prečnika, se može ogledati u više faktora kao što su starost zasada, izbor staništa i genetska bliskost klonova. Prvi faktor koji treba uzeti u obzir je starost zasada i faza rasta. Prema rezultatima Vučković et al. (2005), starost zasada od 7 godina predstavlja početak prelaza u fazu rasta koja se karakteriše intenzivnim povećanjem zapreminskog prirasta kod klona I-214. Andrašev et al. (2003) su takođe zabeležili sporiji rast klona „Pannonia“ u istom periodu. Imajući i vidu genetsku bliskost između ispitivanih klonova, a koja se odnosi na pripadnost istoj taksativnoj grupi evroameričkih topola (*Populus × euramericana* (Dode (Guinier))), pretpostavka je da je nedostatak jasnih razlika u ovoj ranoj fazi rasta posledica ove bliskosti. Izbor staništa takođe predstavlja jedan od značajnih faktora koji mogu uticati na dobijene rezultate. Uzimajući u obzir da je studija pedološke osnove za gazdovanje lokalitetom na kome se nalazi podignuti zasad (Galić, 2002) zabeležila početak procesa oglejavanja zemljišta koji predstavlja negativne uslove za razvoj topola, može se doći do pretpostavke da je i ova okolnost rezultovala u nedostatku izražene diferencijacije klonova u pogledu njihove produktivnosti. Takođe, istraživanja Rončević et al. (2011) su pokazala manju produktivnost 11-godišnjeg zasada klona „Pannonia“ gajenog na oglejanom zemljištu, u poređenju da drugim klonovima američke crne topole (*Populus deltoides* Bartr.).

4. Zaključak

Dobijeni rezultati su pokazali potencijal ispitivanih klonova za proizvodnju biomase za dobijanje energije u zasadima kratke ophodnje, a vrednosti proizvedene biomase su u skladu rezultatima istraživanja drugih autora u zemlji i inostranstvu.

Razmak sadnje, odnosno gustina biljaka je imala značajnu ulogu gde su najveće razlike proizvedene biomase, i potencijalne energije zabeležene između gustine od 2500 i 10000 biljaka po hektaru. Takođe, ovi rezultati su pokazali da se zasadi gustine 10000 biljaka ha⁻¹ mogu gajiti u proizvodnom ciklusu dužem od 3 godine sa značajnim prinosom biomase.

Iako se ispitivano stanište ne smatra optimalnim za rast i razvoj ispitivanih klonova, u ogledu su ostvareni zadovoljavajući rezultati kod oba klona. To dovodi do zaključka da se marginalna zemljišta mogu koristiti za gajenje klonova „Pannonia“ i I-214 u zasadima kratke ophodnje za proizvodnju biomase za energiju. Uzimajući u obzir da se radi o dva najčešće korišćena klona u topolarstvu u Republici Srbiji od kojih se svake godine proizvedu velike količine njihovog šumskog reproduktivnog materijala i da postoje značajne površine pod graničnim zemljištima za klasično gajenje topola, može se zaključiti da postoji veliki potencijal za proizvodnju biomase ovih klonova u zasadima kratke ophodnje. Takođe, vrlo je verovatno da bi navedeni klonovi na zemljištima povoljnijim za rast i razvoj topola, pogotovo onim sa lakšim mehaničkim sastavom, i povoljnim režimom vlaženja, ostvarili i značajno višu proizvodnju biomase. To ukazuje na značaj nastavka istraživanja u domenu proizvodnje biomase topola, kako u pravcu izbora klonova i staništa, tako i unapređenja tehnoloških procedura.

Zahvalnica

Istraživanja za potrebu izrade ovog rada sprovedena su u okviru projekta: „Naučno istraživački projekat proučavanje i unapređivanje vitalnosti i proizvodnih potencijala mekih lišćara“, finansiranog od strane JP Srbijašume, ŠG „Beograd“ – Beograd.

Literatura:

1. Andrašev, S., Rončević, S., Bobinac M. (2003): Uticaj gustine sadnje na debljinsku strukturu klonova crnih topola S 6-7 i M1 (sekcija *Aigeiros* Duby). Glasnik Šumarskog fakulteta Beograd 88: 7-16.

2. Broeckx, L.S., Fichot, R., Verlinden, M.S., Ceulemans, R. (2014): Seasonal variations in photosynthesis, intrinsic water-use efficiency and stable isotope composition of poplar leaves in a short-rotation plantation. *Tree Physiology* 34(7): 701-715.
3. Galić, Z. (2002): Pedološka osnova za osnivanje rasadnika za proizvodnju sadnog materijala topola i vrba - Studija. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet – Institut za topolarstvo i vanšumsko zelenilo: 7.
4. Guzina, V., Avramović, G., Orlović, S., Kovačević, B. (1996): Assessment of the possibility of Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) selection for biomass production in short rotations. *Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference* 1: 751-756.
5. Guzina, V., Orlović, S., Kovačević, B. (1995): Selekcija crnih topola (sekcija *Aigeiros* Duby) usmerena za namensku proizvodnju drveta za celulozu i papir. *Radovi Instituta za topolarstvo* 26: 5-20.
6. Guzina, V., Tomović, Z., Avramović, G. (1992): Evaluation of the possibility of selection of Eastern cottonwood (*P.deltoides*) by half-sib progenies. *Proceedings of 19th Session of the International Poplar Commission* I: 450-460.
7. Headlee, W.L, Zalesny, R.S. Jr., Donner, D.M., Hall, R.B. (2013): Using a process-based model (3-PG) to predict and map hybrid poplar biomass productivity in Minnesota and Wisconsin, USA. *BioEnergy Research* 6: 196-210.
8. IPCC (2001) *Climate Change 2001 – the Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 881 pp.
9. Klašnja, B., Kopitović, Š., Orlović, S. (2002) Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood. *Biomass and Bioenergy* 23: 427-432.
10. Klašnja, B., Orlović, S., Galić, Z. (2012): Energy potential of poplar plantations in two spacings and two rows. *Šumarski list* 136(3-4): 161-167.
11. Klašnja, B., Orlović, S., Galić, Z., Drekić, M., Vasić, V., Pilipović, A. (2008): Poplar biomass of high density short rotation plantations as raw material for energy production. *Wood Research* 53: 27-38.
12. Klašnja, B., Orlović, S., Galić, Z., Kebert, M., Stevanov, M. (2009): Hemijski sastav drveta odabranih klonova topola. *Topola* 183-184: 29-37.
13. Klašnja, B., Orlović, S., Pekeč, S., Drekić, M. (2003): Uticaj razmaka sadnje na vrednosti zapreminske mase drveta mladih zasada crnih topola. *Topola* 171-172: 25-34.
14. Nelson, N.D., Berguson, W.E., McMahon, B.G., Cai, M., Buchman, D.J. (2018): Growth performance and stability of hybrid poplar clones in simultaneous tests on six sites. *Biomass Bioenergy* 118: 115-125.
15. Niemczyk M. (2021): The effects of cultivar and rotation length (5 vs. 10 years) on biomass production and sustainability of poplar (*Populus spp.*) bioenergy plantation. *GCB Bioenergy* 13: 999-1014.
16. Oliver, R.J., Finch, J.W., Taylor, G. (2009): Second generation bioenergy crops and climate change: a review of the effects of elevated atmospheric CO₂ and drought on water use and the implications for yield. *Global Change Biology Bioenergy* 1(2): 97-114.
17. Orlović, S., Klašnja, B., Pilipović, A., Radosavljević, N., Marković, M. (2003): Mogućnost rane selekcije crnih topola (Section *Aigeiros*) za proizvodnju biomase na osnovu njihovih anatomskih i fizioloških svojstava. *Topola* 171-172: 35-44.
18. Orlović, S., Guzina, V., Merkulov, L. (1998): Genetic variability in anatomical, physiological and growth characteristics of hybrid poplar (*Populus × euramericana* Dode (Guinier)) and eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. *Silvae Genetica* 47: 183-190.

19. Pilipović, A., Headlee, W.L., Zalesny, R.S. Jr., Pekeč, S., Bauer, E.O. (2022): Water use efficiency of poplars grown for biomass production in the Midwestern United States. *Global Change Biology – Bioenergy* 14(3): 287-306.
20. Pilipović, A., Zalesny, R., Orlović, S., Drekić, M., Pelkeč, S., Katanić, M., Poljaković-Pajnik, L. (2020): Growth and physiological responses of three poplar clones grown on soils artificially contaminated with heavy metals, diesel fuel, and herbicides. *International Journal of Phytoremediation* 22(4): 436-450.
21. Rončević, S., Andrašev, S., Ivanišević, P., Kovačević, B., Klašnja, B. (2013): Biomass production and energy potential of some eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr. Ex Marsh.) Clones in relation to planting spacing. *Šumarski list* 137(1-2): 33-40.
22. Rončević, S., Andrašev, S., Ivanišević, P. (2011): Mogućnost gajenja selekcionisanih klonova crnih topola na rekultivisanim glejnim zemljištima. *Topola* 187-188: 123-135.
23. Vučković, M., Andrašev, S., Rončević, S., Bobinac, M. (2005): Uticaj gustine sadnje na razvoj zapremine stabla i zasada *Populus x euramericana* (Dode) Guinier, cl I-214. *Glasnik Šumarskog fakulteta Beograd* 91: 77-87.
24. Zalesny, R.S. Jr., Berndes, G., Dimitriou, I., Fritsche, U., Miller, C., Eisenbies, M., Ghezehei, S., Hazel, D., Headlee, W.L., Mola-Yudego, B., Negri, M.C., Nichols, E.G., Quinn, J., Shifflet, S.D., Therasme, O., Volk, T.A., Zumpf, C.R. (2019): Positive water linkages of producing short rotation poplars and willows for bioenergy and phytotechnologies. *WIREs Energy Environ* 8(5): e345.
25. Zalesny, R.S. Jr., Donner, D.M., Coyle, D.R., Headlee, W.L. (2012): An approach for siting poplar energy production systems to increase productivity and associated ecosystem services. *Forest Ecology and Management* 284: 45-58.
26. Zalesny, R.S. Jr., Headlee, W.L. (2015): Developing woody crops for the enhancement of ecosystem services under changing climates in the North Central United States. *Journal of Forest and Experimental Science* 31(2): 78-90.
27. Zalesny, R.S. Jr., Stanturf, J.A., Gardiner, E.S., Bañuelos, G.S., Hallett, R.A., Hass, A., Stange, C.M., Perdue, J.H., Young, T.M., Coyle, D.R., Headlee, W.L. (2016): Environmental technologies of woody crop production systems. *BioEnergy Research* 9: 492-506.
28. Zalesny, R.S. Jr., Hall, R.B., Zalesny, J.A., Berguson, W.E., McMahon, B.G., Stanosz, G.R. (2009): Biomass and genotype × environment interactions of *Populus* energy crops in the Midwestern United States. *BioEnergy Res.* 2: 106-122.