Kulture kratkih ophodnji topole - potencijal i značajke nadzemne biomase

Švenda, Mišel

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:582150

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVO

TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU

MIŠEL ŠVENDA

KULTURE KRATKIH OPHODNJI TOPOLE – POTENCIJAL I ZNAČAJKE BIOMASE

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2017.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

KULTURE KRATKIH OPHODNJI TOPOLE – POTENCIJAL I ZNAČAJKE BIOMASE

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij šumarstvo: smjer Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Šumski proizvodi

Ispitno povjerenstvo: 1. Prof. dr. sc. Željko Zečić

2. Prof. dr. sc. Davorin Kajba

3. Dr. sc. Dinko Vusić

Student: Mišel Švenda

JMBAG: 0068205925

Broj indeksa: 573 / 2014

Datum odobrenja teme: 11.04.2016.

Datum predaje rada: 15.09.2016.

Datum obrane rada: 29.09.2017.

Zagreb, rujan, 2017.

Dokumentacijska kartica

Naslov	*Kulture kratkih ophodnji topole- potencijal i značajke biomase*
Title	*Poplar short rotation coppice – potential and properties of above ground biomass*
Autor	Mišel Švenda
Adresa autora	Braće Radića 11, Pribislavec, 40 000 Čakovec
Rad izrađen	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof. dr. sc. Željko Zečić
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Dinko Vusić
Godina objave	2017.
Obujam	35 stranica, 30 slika, 8 tablica, 31 navoda literature
Ključne riječi	Topola, biomasa, pepeo
Keywords	Poplar, biomass, ash
Sažetak	Provedeno je terensko istraživanja S-18 i M1 klonova topola s ciljem utvrđivanja ukupne nadzemne biomase u periodu mirovanja vegetacije. Određivanje mase posječenih stabalaca i uzorkovanje kolutova se obavilo na terenu, a nakon laboratorijskih gravimetrijskih analiza obavio se izračun vlage, gustoće u trenutku sječe i nominalne gustoće, odnosno preračun i iskaz standardno suhe biomase. Osim toga određen je i maseni odnos drva i kore na te maseni udio pepela kore, odnosno drva na prethodno pripremljenim laboratorijskim uzorcima sukladno HRN EN normama za čvrsta biogoriva. Matematičko statističkim analizama istražene su razlike u prinosu biomase između klonova, razlike u postotnom udjelu kore između klonova ,te razlike u udjelu pepela drva i kore kao i između klonova. Rezultati istraživanja trebaju poslužiti pri izboru odgovarajućih klonova topola za podizanje kultura kratkih ophodnji za proizvodnju energijskoga drva (drvne sječke) s naglaskom na postizanje optimalne količine i kakvoće proizvedenog biogoriva.

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

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

_____

vlastoručni potpis

Mišel Švenda

U Zagrebu,

SADRŽAJ :

1. **Uvod…….....1**
2. **Problematika……...2**
   - **2.1. Biomasa kao obnovljiv izvor energije……..2**
   - **2.2. Šumska biomasa……3**
   - **2.3. Kulture kratkih ophodnji, energetski nasadi……..5**
     - **2.3.1. Topole…….....5**
     - **2.3.2. Vrbe……6**
     - **2.3.3. Bagrem……...7**
   - **2.4. Cilj rada……8**
3. **Materijal i metode……..9**
   - **3.1. Mjesto i materijal istraživanja……9**
     - **3.1.1. Mjesto istraživanja……10**
     - **3.1.2. Materijal istraživanja……14**
       - **3.1.2.1. *Populus deltoides* S 1-8……14**
       - **3.1.2.2. *Populus x canadensis* M 1……15**
   - **3.2. Metode istraživanja……15**
     - **3.2.1. Terensko mjerenje i uzorkovanje……..15**
     - **3.2.2. Laboratorijske analize……..15**
     - **3.2.3. Obrada podataka……...18**
4. **Rezultati……19**
   - **4.1. Dimenzije stabala i tehnologije pridobivanja……..19**
   - **4.2. Udio vode……..21**
   - **4.3. Biomasa (suha drvna tvar)……...21**
   - **4.4. Maseni udio kore u stablu te udio pepela u kori i drvu…….23**
   - **4.5. Kalorična vrijednost……24**
   - **4.6. Prirodno prosušivanje……24**
5. **Zaključak……26**
6. **Prilozi……..28**
7. **Literatura……34**

POPIS SLIKA :

Slika 1. Usklađenost sječe i prirasta dovodi do neutralnosti CO_2 (http://www.greenhome.co.me/index.php?IDSP=450&jezik=lat).....2

Slika 2. Šumska biomasa (http://www.huffingtonpost.com/2013/07/15/forest-biomass-court-ruling_n_3600806.html).....3

Slika 3. Postupak eksploatacije (http://www.sumari.hr/biomasa/urhsisak2008/1-3Sucic.pdf) 4

Slika 4. Energetski nasad topola (http://www.good4plants.com/sumartsvo-hr/?lang=hr) 6

Slika 5. Energetski nasad vrba (http://www.energetika-net.com/u-fokusu/res-publica/prijedlog-zakona-o-kulturama-kratkih-ophodnji-zadrzava-monopol-hrvatskih-suma-23052) 7

Slika 6. Energetski nasad bagrema (https://www.vdberk.co.uk/trees/robinia-pseudoacacia-pyramidalis/) 8

Slika 7. Mjesto istraživanja 9

Slika 8. Reljefna karta Osječko-baranjske županije (Baza podataka OIKON).....10

Slika 9. Geološko-litološka karte Osječko-baranjske županije (Osnovna geološka karta Hrvatske M 1:100000) 13

Slika 10. Pedološka karta Osječko-baranjske županije (Husnjak, Bogunović, Agronomski fakultet Zagreb).....14

Slika 11. Primjerno stablo klona S 18.....15

Slika 12. Uzorkovanje kolutova.....15

Slika 13. Uzorci u sušioniku Binder FD 115.....16

Slika 14. Priprema uzorka.....17

Slika 15. Gravimetrijska analiza.....17

Slika 16. Priprema uzorka.....17

Slika 17. Priprema kompozitnih uzoraka.....17

Slika 18. Detalj laboratorijskih analiza……17

Slika 19. Pepeo nakon spaljivanja……..17

Slika 20. Prsni promjeri istraživanih klonova……19

Slika 21. Visine istraživanih klonova……..19

Slika 22. Promjer vrata korijena istraživanih klonova i utjecaj na odabir tehnologije sječe…….20

Slika 23. Maseni udio vode istraživanih klonova……21

Slika 24. Biomasa stabala istraživanih klonova……21

Slika 25. Maseni udio kore istraživanih klonova……..23

Slika 26. Odnos udjela pepela u drvu i kori istraživanih klonova……..23

Slika 27. Udio pepela u drvu istraživanih klonova……23

Slika 28. Udio pepela u kori istraživanih klonova……23

Slika 29. Maseni udio vode istraživanih klonova……24

Slika 30. Ovisnost neto kalorične vrijednosti o tehničkom masenom udjelu vode….24

POPIS TABLICA :

Tablica 1. Prinosi (i ostale značajke) klonova topole prema Byrd 2013……22

Tablica 2. Laboratorijska analiza vlage pri sječi za klon S 1-8 prema HRN EN ISO 18134-2:2015…….28

Tablica 3. Laboratorijska analiza vlage pri sječi za klon M 1 prema HRN EN ISO 18134-2:2015…….29

Tablica 4. Laboratorijska analiza udjela pepela prema HRN EN ISO 18122:2015…30

Tablica 5. Laboratorijska analiza udjela ugljika, vodika i dušika prema HRN EN ISO 16948:2015 te udjela kisika prema HRN EN ISO 16993:2015……31

Tablica 6. Laboratorijska analiza udjela sumpora prema HRN EN 15289:2011…….31

Tablica 7. Laboratorijska analiza kalorične vrijednosti

prema HRN EN 14918:2010.32……...31

Tablica 8. Laboratorijska analiza vlage pri prosušivanju prema HRN EN ISO 18134-2:2015……..32

1. Uvod

Drvna masa je nedovoljno iskorištena sirovina koja uz današnja stalna povećanja cijena nafte i fosilnih goriva postaje sve aktualnija. Nedostatak fosilnih goriva dovodi do naglog razvoja korištenja energije iz obnovljivih izvora, a pretvorba energije drva u druge oblike energije sve je značajnija Upravo zbog velikih gubitaka sirovine u postupku obrade biomasa postaje sve češći izbor u odabiru izvora energije. Za razliku od fosilnih goriva biomasa kao izvor energije je neutralna i doprinosi smanjenju emisije stakleničkih plinova te smanjenju ovisnosti o raznim oblicima fosilnih goriva.

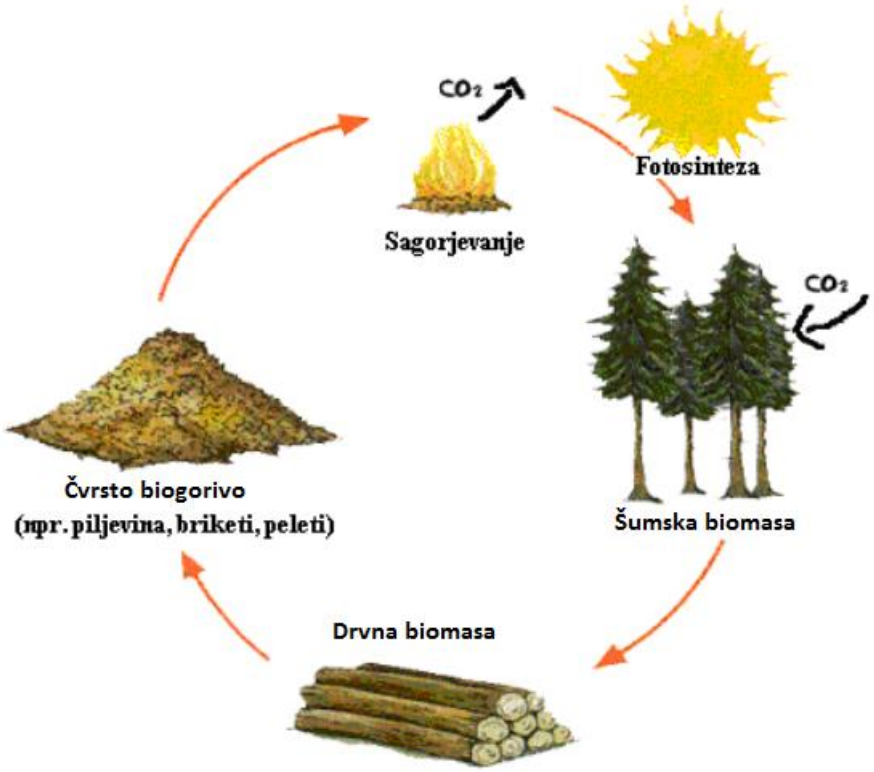
Ubrzani razvoj uporabe drvne sječke kao obnovljivog izvora energije u zemljama EU i pozitivne zakonske promjene o energiji u Republici Hrvatskoj potaknuli su tržište prostornog i sitnog energetskog drva. Kroz državne subvencije, stvara se mogućnost nastanka novog segmenta gospodarske grane s novim zapošljavanjem u proizvodnji drvne sječke i opreme, logistici i upravljanju energetskim sustavima. Biomasa može Republici Hrvatskoj osigurati energetsku neovisnost.

2. Problematika

2.1. Biomasa kao obnovljiv izvor energije

Biomasa potječe od grčke riječi *bios*, što znači život i latinskog *massa*, što znači tijelo, pa se stoga može reći da se pojam biomase odnosi na organsku tvar jednog ili više organizama ili njihovih dijelova (HRN EN 14588:2010.). Zbog negativnih utjecaja fosilnih goriva na okoliš u zadnje se vrijeme sve više biomasa koristi kao izvor energije. Korištenjem fosilnih goriva se oslobađaju stakleнički plinovi koji imaju negativni utjecaj na klimatske promjene, ali i zagađenja vode, tla i zraka. Uz sve to zalihe fosilnih goriva su ograničene, a samim smanjenjem zaliha dolazi do porasta cijena istih. Biomasu možemo koristiti kao gorivo, ali se može koristiti i za proizvodnju električne energije i topline te je svaka od tih varijanti ekološki prihvatljivija od upotrebe fosilnih goriva.

Razbijanjem kemijske konstrukcije jedinice biomase oslobađa se energija. Energetskim sadržajem produkta biomase smatra se količina energije oslobođene po jedinici težine ili volumena. Različiti produkti imaju različite energetske sadržaje i svaki od njih se može koristiti na specifičan način (CEUBIOM, 2010).



Slika 1. Usklađenost sječe i prirasta dovodi do neutralnosti CO_2 (http://www.greenhome.co.me/index.php?IDSP=450&jezik=lat)

Sagorijevanje je najučestaliji način dobivanja bioenergije. Sagorijevanje biomase oslobađa toplinu koja se može, ili izravno koristiti za grijanje, ili se može upotrijebiti za proizvodnju električne energije. Plinofikacija je postupak kojim se biomasa pretvara u plin koji se potom koristi izravno kao plin ili za dobivanje drugih oblika energije kao što je električna energija. Biodizel se dobiva iz ekstrahiranih ulja koja se mogu pronaći u raznim oblicima biomase, a koristi se ekvivalentno tradicionalnom fosilnom dizel gorivu. Također biomasu možemo koristiti kao komercijalno gorivo u obliku ogrjevnog drva, drvne sječke, peleta i briketa (CEUBIOM, 2010).

2.2. Šumska biomasa

Biomasa je „biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka biološkog porijekla iz poljoprivrede (kako biljnog tako i životinjskog porijekla), šumarstva i srodnih sektora kao što je ribarstvo i akvakultura kao i biorazgradivi dio industrijskog i komunalnog otpada“ prema direktivi 2009/28/EK. Pod terminom šumska biomasa podrazumijevaju se cijela stabla i dijelovi stabala (uključujući deblo, krošnju s lišćem, odnosno iglicama, sjemenke i češere te panj).



Slika 2. Šumska biomasa (http://www.huffingtonpost.com/2013/07/15/forest-biomass-court-ruling_n_3600806.html)

Drvna biomasa za energiju uključuje ogrjevno drvo, grane i drvni otpad iz šumarstva, te piljevinu, koru i drvni ostatak iz drvne industrije. Drvna biomasa ima veći udjel celuloze, hemiceluloze, veću energetsku vrijednost, manji udio pepela i manji udio štetnih elemenata u usporedbi s poljoprivrednim kulturama i njihovih izvora biomase

pa takve značajke daju prednost korištenju drvne biomase za izgaranje, pirolizu, proizvodnju bioetanola, sintetskih biogoriva, bioplina i biovodika. Izvori šumske biomasu su prirodne sastojine, šumske kulture i plantaže te energetski nasadi (Sučić, 2008).

U proces pretvorbe šumske biomase u oblik pogodan za iskorištavanje spada ugušćavanje biomase, te rukovanje, odnosno transport, skladištenje i sušenje. Metodom iveranja (iverač) usitnjavamo šumsku biomasu kako bi je učinkovitije mogli iskorištavati i lakše transportirati. Osim drveta pridobivenog iz redovnog gospodarenja šumama, u energetske svrhe može se koristiti i oštećeno drvo (vjetrolomi, ledolomi, oboljela stabla), s opožarenih površina i uz šumske ceste (Sučić, 2008).



Slika 3. Postupak eksploatacije (http://www.sumari.hr/biomasa/urhsisak2008/1-3Sucic.pdf)

Udio različitih kategorija šumskog zemljišta u ukupnoj površini iznosi za obraslo 89 %, neplodno 2 %, neobraslo proizvodno 8 %, neobraslo neproizvodno 1 % (Anon 2006). Šumskih kultura ima 3 % (Anon 2006) u ukupnoj površini šuma Republike Hrvatske, a plantaža još i manje pa vidimo da postoji veliki potencijal koji ostaje neiskorišten. Tako možemo reći da u Hrvatskoj imamo velike potencijale na području biomase iz šumarstva, kao i ostatke i otpad iz drvne industrije, poljoprivrednu biomasu te biomasu iz energetskih nasada, odnosno nasada brzorastućih vrsta drveća, najviše vrba i topola.

2.3. Kulture kratkih ophodnji, energetski nasadi

Kulture kratkih ophodnji (KKO), (engl. Short Rotation Coppice ili Short Rotation Intensive Culture) definiraju se kao intenzivni nasadi brzorastućih vrsta drveća na tlima koja su napuštena, na kojima poljoprivredna proizvodnja nije rentabilna ili su nepodesna za uzgoj vrjednijih šumskih vrsta, a nazivaju se i bioenergetski nasadi ili bioenergetske plantaže (Kajba, 2009.).

Nakon sječe KKO se mogu ili ponovno zasaditi ili se uzgajaju kao panjače. . Višegodišnje drvenaste vrste KKO-a su: joha, jasen, bukva, breza, eukaliptus, topola, vrba, paulovnija, određene vrste duda, bagrem, javor i dr. Glavne vrste koje se koriste u Europi su topola i vrba. KKO su izvrsna alternativa godišnjim energetskim usjevima i mogu biti nadopuna postojećem poljoprivrednom sustavu. Općenito, uzgoj KKO-a je poljoprivredna praksa s malim ulaganjima koja općenito podrazumijeva niske emisije stakleničkih plinova zbog ograničene primjene kemikalija, ali i zato jer se usjevi uzgajaju određen broj godina, što dovodi do ograničenih inputa kod upravljanja plantažom (Dimitriou i Rutz, 2015).

U Republici Hrvatskoj se također najviše u kulturama kratkih ophodnji koriste topole, a u plantažama vrbe. Ovi nasadi se koriste kao panjače u vrlo kratkim ciklusima i sijeku se svake druge do pete godine, i osnivaju se sa velikom gustoćom sadnje (od 1 000 do 30 000 biljaka/ha). Nakon sječe potjeraju novi izbojci koji će se ponovo posjeći za dvije do pet godina, te će se na taj način sječi sukcesivno u šest do osam ophodnji, nakon čega se kultura mora iskrčiti i zamijeniti novih sadnim materijalom budući da vitalitet stabalaca, kao i produkcija biomase tada značajno otpada (Kajba, 2009.)

2.3.1. Topole

Topola pripada rodu *Populus* porodice *Salicaceae* te je, uz vrbu, najčešća vrsta u plantažama KKO za proizvodnju bioenergije u Europi. Prirodna distribucija topole prostire se od tropa pa sve do granične geografske širine i dužine sjeverne hemisfere. Za plantaže KKO-a obično se koriste klonovi topole. Tijekom proteklih godina povećao se interes za uzgoj topola u sustavu KKO-a koja će se sjeći i upotrebljavati za proizvodnju energijskog drva (www.srcplus.eu/images/EIHP_Handbook.compressed.pdf).

Prednosti topole :

- Najproduktivnija vrsta umjerenog pojasa

- Dobra svojstva rasta u širokom rasponu geografskih širina
- Lagano vegetativno razmnožavanje
- Velika izbojna snaga
- Velika mogućnosti povećanja prinosa kroz genetičko oplemenjivanje



Slika 4. Energetski nasad topola (http://www.good4plants.com/sumartsvo-hr/?lang=hr)

2.3.2. Vrbe

Vrba pripada rodu *Salix* koji uključuje oko 400 vrsta bjelogoričnog drveća i grmova te u prirodi dolazi prvenstveno na vlažnom tlu u hladnim i umjerenim regijama sjeverne hemisfere. Vrba je vrsta koja se u Europi najčešće upotrebljava za proizvodnju energije na plantažama zbog niza odgovarajućih značajki poput brzog rasta i visokih prinosa, mogućnosti dobrog rasta na različitom tlu (npr. idealno pH vrijednost 5 – 7,5, ali i izvan tog raspona) i u različitim vrstama okoliša (od teških glina do laganijih tla), dobre

sposobnosti stvaranja izbojaka nakon sječe (stoga nije potrebna ponovna sadnja nakon sječe) te je otporna na visoke razine podzemne vode i plavljenja (http://www.srcplus.eu/images/EIHP_Handbook.compressed.pdf).



Slika 5. Energetski nasad vrba (http://www.energetika-net.com/u-fokusu/res-publica/prijedlog-zakona-o-kulturama-kratkih-ophodnji-zadrzava-monopol-hrvatskih-suma-23052)

2.3.3. Bagrem

Bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.*)* je strana vrsta drveća podrijetlom s istoka Sjedinjenih Američkih Država, koja je u Europu donesena tijekom 17. stoljeća. Od tada, bagrem se brzo proširio Europom ili prirodnim razmnožavanjem (invazivna vrsta) ili sadnjom, prvo kao ukrasno drvo, a kasnije na prostranim plantažama u svrhu proizvodnje drvne građe. Bagrem je odgovarajuća vrsta za oporavak tla nekadašnjih rudnika i kamenoloma te ga karakterizira mogućnost rasta na golom tlu u ekstremnim uvjetima, brzi rast te dobra mogućnost rasta izbojaka nakon sječe kao i visoka gustoća drveta. Stoga se pokazao vrlo korisnom vrstom u sustavu KKO za proizvodnju bioenergije. Prednosti bagrema u usporedbi s topolom i vrbom su sposobnost fiksacije dušika te bolja kvaliteta drveta, veća gustoća i ogrjevna vrijednost (http://www.srcplus.eu/images/EIHP_Handbook.compressed.pdf).



Slika 6. Energetski nasad bagrema (https://www.vdberk.co.uk/trees/robinia-pseudoacacia-pyramidalis/)

2.4. Cilj rada

Provođenjem terenskih istraživanja dvaju klonova topole utvrđuje se ukupna nadzemna biomasa. Na terenu se određuju mase posječenih stabalaca i uzorkovanje, a nakon laboratorijskih gravimetrijskih analiza obavlja se izračun vlage, gustoće u trenutku sječe i nominalne gustoće, odnosno preračun i iskaz standardno suhe biomase. Također se određuje i maseni odnos drva i kore na pojedinim uzorcima te maseni udio pepela kore, odnosno drva na prethodno pripremljenim laboratorijskim uzorcima sukladno HRN EN ISO normama za čvrsta biogoriva. Rezultati istraživanja trebaju poslužiti pri izboru odgovarajuće tehnologije sječe (i izrade-usitnjavanja) biomase u kulturama krathih ophodnji topole.

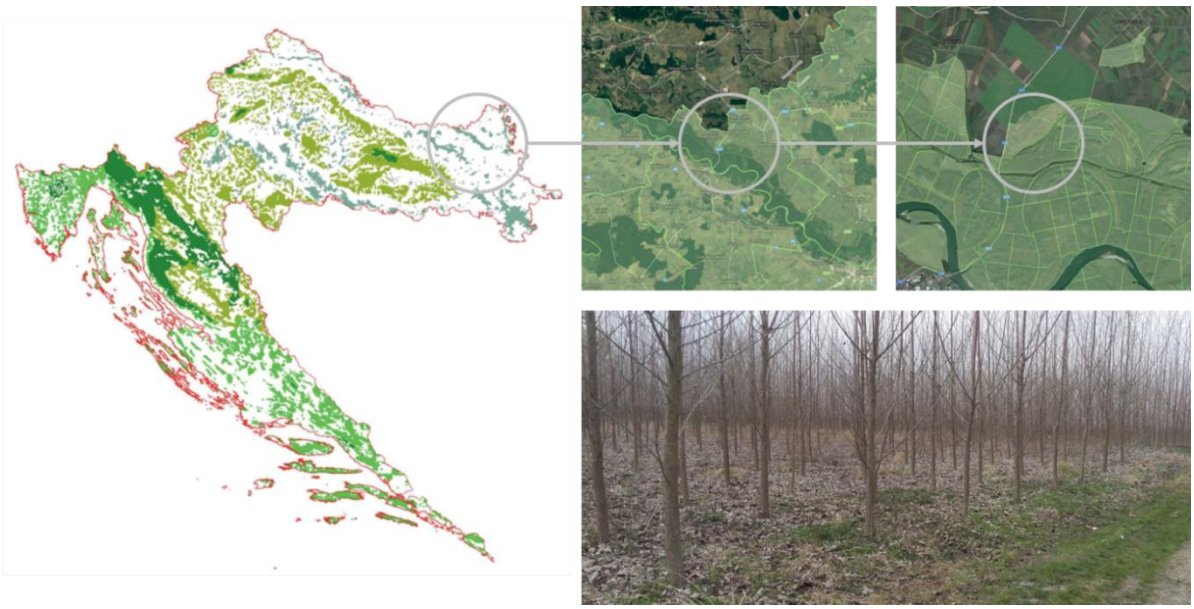
3. Materijal i metode

3.1. Mjesto i materijal istraživanja

Istraživanje je provedeno u kulturi kratke ophodnje osnovanoj sadnjom klonova topole (1/1) u jesen 2012. godine. Kultura je osnovana na površini 25 ha u odjelu 1 gospodarske jedinice »Jagodnjačke šume« kojom gospodari Šumarija Baranjsko Petrovo Selo, UŠP Osijek trgovačkog društva »Hrvatske šume« d.o.o. Za podizanje kulture korišteni su klonovi S 1-8 (*Populus deltoides*) – 8870 kom. te M 1 (*Populus* x *canadensis*) – 14770 kom. i 'Pannonia' (*Populus* x *canadensis*) – 7100 kom. u razmaku sadnje 2,8 m između redova i 2.4 m između biljaka unutar reda.

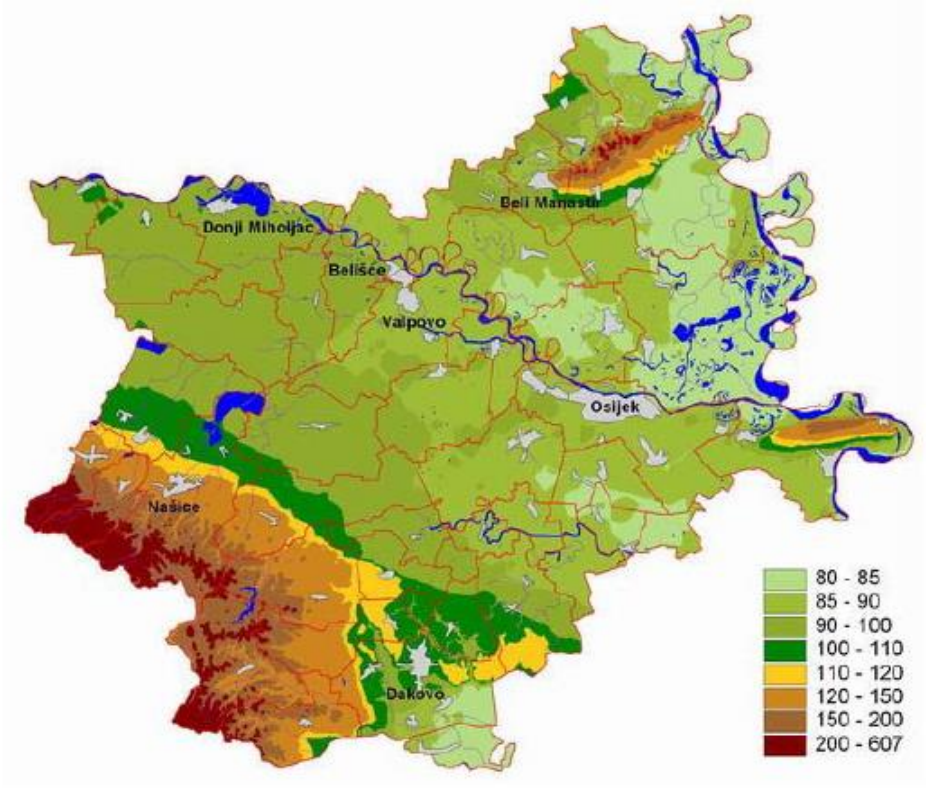
Gustoća sadnje (1488 kom/ha), odnosno razmak sadnje odstupao je od uobičajenog (značajno većeg) broja biljaka pri osnivanju kultura kratkih ophodnji. Naime, razmak sadnje prilagođen je mogućnosti »prevođenja« kulture kratke ophodnje u šumsku plantažu prorjeđivanjem (ovisno u stanju na tržištu, raspoloživoj mehanizaciji i ostalim utjecajnim čimbenicima u planiranom vremenu izvođenja prve sječe).

Prihrana umjetnim gnojivom nije obavljana, no prije podizanja kulture obavljena je zelena gnojidba zaoravanjem uljane repice.



Slika 7. Mjesto istraživanja

3.1.1. Mjesto istraživanja



Slika 8. Reljefna karta Osječko-baranjske županije (Baza podataka OIKON)

Prostor Šumarije Baranjskog Petrovog Sela dio je šireg prostora, koji reljefno pripada sjeveroistočnom, pretežito nizinskom ravničarskom dijelu geografske cjeline Istočne Hrvatske. Na modeliranje i izgled današnjeg reljefa presudnu su ulogu imali riječni tokovi Drave (Program zaštite okoliša za područje Osječko-baranjske županije, 2005).

Na području tipične nizine kakvom tipu reljefa pripada ovo područje, mogu se izdvojiti međusobno različiti geomorfološki oblici u nizinskom reljefu:

• naplavne (aluvijalne) ravni

• riječne terase

• lesne zaravni

Naplavne ravni nastale uz Dravu formirale su se u mlađem holocenu (aluviju). To su područja gdje je dubina temeljnice vrlo mala, te se odlikuju velikom vlažnošću ali i područja koja su u prošlosti bila redovito plavljena. U sastavu naplavnih ravni prevladava pijesak, pretaloženi prapor i gline. U okviru naplavne ravni rijeke Drave izdvajaju se viši i niži dijelovi naplavne ravni. Viši dio čine konkavni dijelovi meandra,

grede i područja plavljenja za najviših vodostaja, dok niži dio naplavne ravni čine mrtvaje i rukavci nastali linearno-erozijskim djelovanjem. Najniža točka naplavne ravni na ušću Drave u Dunav je na 82 m.n.v.

Nešto viša reljefna područja iznad naplavnih ravni su terasne nizine Drave nastale neotektonskim pokretima u pleistocenu, u čijem sastavu, uslijed eolske akumulacije prevladavaju lesne i lesu slične naslage. Riječne sedimentacije pokrivaju naslage prapora debljine i do 20 m. Na jugu je terasa Drave omeđena naplavnom ravni Vuke prema kojoj je i cijela terasa blago nagnuta. Nadmorske visine kreću se od 94-87 m n.v. na jugoistoku toka.

Riječne terase i lesne zaravni su ocjeditija područja od naplavnih ravni, te su pogodnije za naseljavanje i poljodjelsko iskorištavanje (Program zaštite okoliša za područje Osječko-baranjske županije, 2005).

Klimatska obilježja na prostoru Baranjskog Petrovog Sela dio su klime šireg prostora Istočne Hrvatske, gdje prevladava umjereno kontinentalna klima.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, koja se temelji na srednjem godišnjem hodu temperature zraka i količini oborine, najveći dio Hrvatske ima umjereno toplu kišnu klimu sa srednjom mjesečnom temperaturom najhladnijeg mjeseca višom od -3°C i nižom od 18°C (oznaka C). U unutrašnjosti najtopliji mjesec u godini ima srednju temperaturu nižu od 22°C (oznaka b). Nizinski kontinentalni dio Hrvatske, kojemu pripada i Baranjsko Petrovo Selo, ima klimu Cfwbx". Uz spomenute temperaturne karakteristike (oznake C i b), tijekom godine nema izrazito suhih mjeseci, a mjesec s najmanje oborine u hladnom je dijelu godine (fw). U godišnjem hodu oborine javljaju se dva maksimuma (x") (DHMZ).

Obilježje klime ovog prostora su izrazito suhih mjeseci, a oborina je više u toplom dijelu godine. Prosječne godišnje količine oborina kreću se od 700-800 mm. Od vjetrova najčešći su slabi vjetrovi i tišine, dok su smjerovi vjetrova vrlo promjenjivi.

Na širem području izražena je homogenost klimatskih prilika, što je posljedica reljefnih obilježja (pretežito ravničarski reljef).

Za područje Baranjskog Petrovog Sela od velikog je značaja raspored oborina u vegetacijskom razdoblju. Prema raspoloživim mjerenjima optimalni raspored oborina u vegetacijskom razdoblju je 390,4 mm (Postaja Osijek).

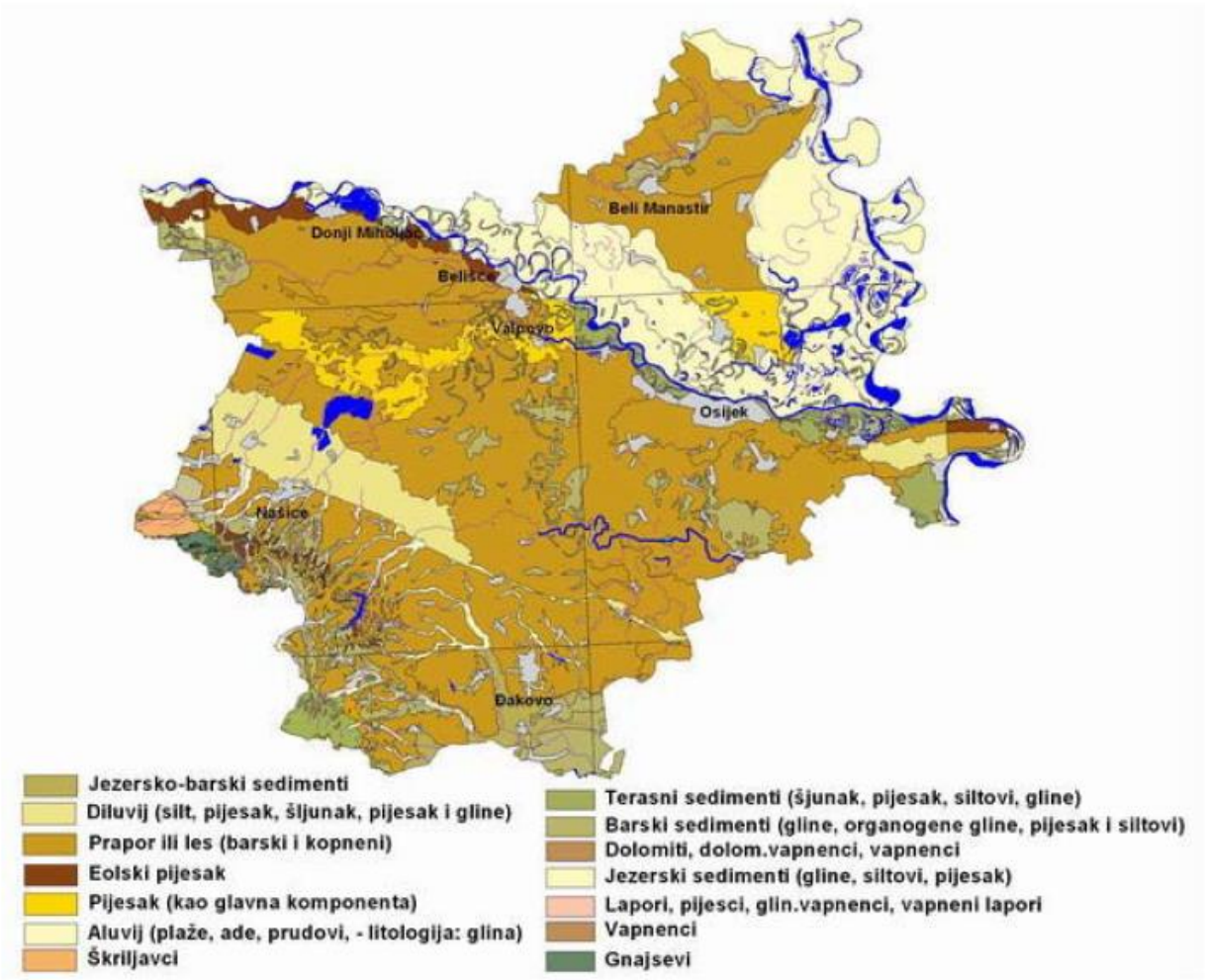
Na ovom području može se godišnje očekivati prosječno 1800-1900 sati sijanja sunca, a u vegetacijskom razdoblju od 1290 - 1350 sati (Državni hidrometeorološki zavod-Prikaz općih klimatskih karakteristika područja zajednice općina Osijek).

Prema godišnjoj ruži vjetrova (Postaja Osijek) najučestaliji su vjetrovi iz sjeverozapadnog, zapadnog, te jednakog udjela sjevenog i jugoistočnog smjera. Zimi je najčešći vjetar iz jugoistočnog, a ljeti iz sjeverozapadnog smjera. Pojave tišina vezuju se za ljeto i jesen. (Državni hidrometeorološki zavod-Prikaz općih klimatskih karakteristika područja zajednice općina Osijek)

Broj dana s maglom iznosi u prosjeku 30-50 dana godišnje. Najveći broj magli u nizinama su radijacijskog porijekla, tj. prizemne magle koje nastaju ižaravanjem tla u vedrim noćima.

Pojava mraza javlja se u prosjeku od 30 - 50 dana godišnje. Najveći broj dana s mrazom imaju zimski mjeseci, osobito prosinac (8 dana).

Glavninu prostora županije čine mlade naslage koje pokrivaju stare blokove u većim dubinama. U strukturi prostora posebno su važne pleistocenske naslage. Procesima zamrzavanja i odmrzavanja trošeno je površinsko tlo i nastao je pokrov koji je u doba otapanja klizio prema nižim krajevima. Takve naslage karakteriziraju podnožja gora prema Pridravskoj ravnici. Posebno su važne naslage prapora ili lesa, karakterističnog elementa u pokrovu ovog dijela Panonske ravnice. Debele naslage (i do 20 m) prekrivaju padine istaknutih dijelova, npr. Bansko brdo, Jabučku kosu i Erdutsko brdo. Praporom je pokriven i Đakovački ravnjak. Znatni su dijelovi prapornog pokrova sprani i pretaloženi, te čine nižu stepenicu, odnosno višu naplavnu ravnicu, koja je glavna obradiva površina. U mladim i neotpornim pleistocenskim taložinama rijeke su usjekle prostrane i znatnim dijelom močvarne nizine. To je najmlađi element u sastavu područja (Program zaštite okoliša za područje Osječko-baranjske županije, 2005).

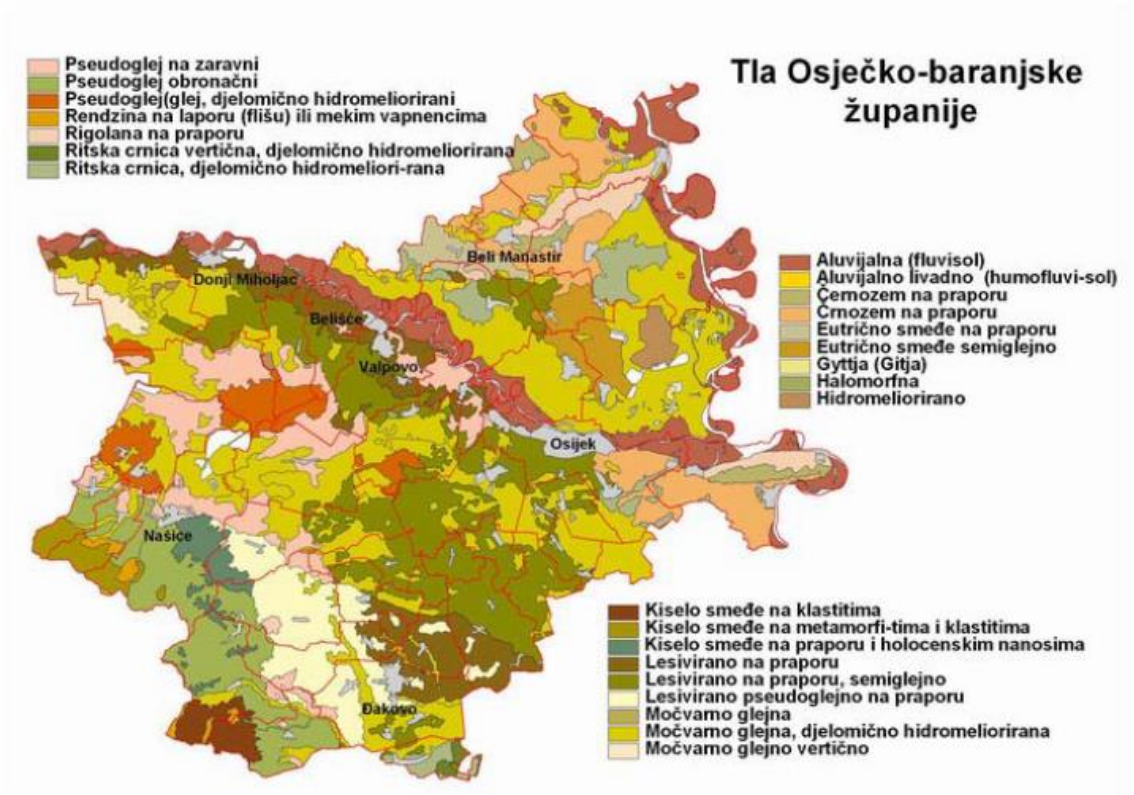


Slika 9. Geološko-litološka karte Osječko-baranjske županije (Osnovna geološka karta Hrvatske M 1:100000)

Tla na području Osječko-baranjske županije čine ovaj dio najkvalitetnijim dijelom hrvatske panonske žitnice (A. Škurčić i sur., 1977.). Tip tla koji nalazimo na području gospodarske jedinice »Jagodnjačke šume« kojom gospodari Šumarija Baranjsko Petrovo Selo je crnica (ritska crnica) ili černozem. Smatra se bogatim biogenim elementima i humusom te ga prema tome karakterizira visok potencijal plodnosti. Humus se u černozemu nakuplja u dubokom površinskom sloju, do 60 cm dubine. Osobito je prikladno za intenzivan uzgoj ratarskih kultura budući da se ubraja u najplodnija tla za ratarsku proizvodnju (https://www.agroklub.com/agropedija/zemljiste/tlo-istocne-regije-10//).

Ritska crnica (sklop profila Aa-Gso) zauzima pretežno priterasni dio poloja i depresije te prvu nadpolojnu terasu gdje se također osjeća kolebanje razine podzemne vode.

Supstrat je ilovasti do glinasti riječni nanos. Amplituda kolebanja podzemne vode vrlo je velika od površine do 150 cm i više. Uz proces oglejavanja mogući su i procesi zaslinjavanja i alkalizacije. Hidromolični horizont im debljinu 30-70 cm i sadrži 3-6 % humusa. Ritske su crnice pretežito glinaste (30-40% gline) i zbog toga imaju slabu filtracijsku sposobnosti. Na karbonatnom supstratu tla su neutralne do slabo alkalne reakcije (pH 7,0-8,5). Tlo je vrlo dobro opskrbljeno kalijem i također ima i dovoljno fosfora (Martinović, 2000).



Slika 10. Pedološka karta Osječko-baranjske županije (Husnjak, Bogunović, Agronomski fakultet Zagreb)

3.1.2. Materijal istraživanja

Ukupno je za potrebe istraživanja posječeno šest stabala klona S 1-8 (*P. deltoides*) i pet stabala klona M 1 (*P.* x *canadensis*) za utvrđivanja potencijala i kakvoće nadzemne biomase. Osim toga posječeno je dodatnih šest stabala svakog klona u cilju praćenja prirodnog prosušivanja tijekom pet mjeseci u ljetnom razdoblju.

3.1.2.1. *Populus deltoides* S 1-8

S 1-8 je hibrid američke topole koji je dobiven u novosadskom institutu za topolarstvo. Muški klon kod kojeg je kora hrapava i izbrazdana, u gornjim dijelovima siva i glatka. Nije osjetljiv na rak kore (*Dothichiza populea*) i na bolesti lišća (*Melampsor sp., Marssonina sp*.) Osjetljiv je na ksilofagne insekte ali ne i na jake vjetrove. U rasadničkoj proizvodnji zauzima 4 %.

3.1.2.2. *Populus x canadensis* M 1

Klon porijeklom iz Mađarske. Postoje indicije da je ovaj klon ustvari već poznati klon »Pannonia«.

3.2. Metode istaživanja

3.2.1. Terensko mjerenje i uzorkovanje

Terensko je mjerenje (01. travnja 2016.) uključivalo odabir reprezentativnih stabala sukladno distribuciji promjera, određivanje prsnih promjera (na točnost 0,1 cm), visina (na točnost 0,01 m) i masa stabala u svježem stanju (0,1 kg). Utvrđeni su i promjeri na vratu korijena stabalca kao bitan čimbenik pri odabiru mogućih strojeva za mehanizirano pridobivanje drvne biomase.

Uzorkovanje je obuhvatilo izuzimanje kolutova drva u razmacima 1,3 m od mjesta reza na panju do završetka krošnje. Postupak uzorkovanja i pripreme uzorka proveden je sukladno normi HRN EN 14778:2011.



Slika 11. Primjerno stablo klona S 18



Slika 12. Uzorkovanje kolutova

3.2.2. Laboratorijske analize

Uzorcima prikupljenim 1. travnja 2016. godine na terenu je određena masa u svježem stanju (na točnost 0,1 g), a uzorci za praćenje prirodnoga prosušivanja na adekvatan su način nakon uzorkovanja zaštićeni od gubitka vode i u najkraćem mogućem roku dostavljenu u Laboratorij za šumsku biomasu na daljnju obradu i analizu.

U cilju utvrđivanja tehničkog udjela vode provedene su gravimetrijske analize sukladno normi HRN EN ISO 18134-2:2015, a korišteni su uređaji Binder FD 115 i Binder FD 240. Prvo su šublerom uzorcima (kolutovima) izmjerene visine (najmanja i najveća) i promjeri (najmanji i najveći), te su im izračunate srednje visine i srednji promjeri. Uzorci su stavljeni na sušenje na 105 °C u vremenu od 24 sata. Razlika masa uzorka prije sušenja i poslije sušenja jednaka je količini vlage. Prije sušenja odvojena je kora od drveta, te su izmjerene mase posebno kore i posebno drveta kako bi se odredio njihov udio. Kora i drvni materijal su usitnjeni i pripremljeni za analizu. Postupak je ponovljen za svaki klon. Na temelju rezultata određeni su tehnički maseni udjeli vode pojedinih uzoraka, ali i maseni udio kore svakog pojedinog uzorka.



Slika 13. Uzorci u sušioniku Binder FD 115

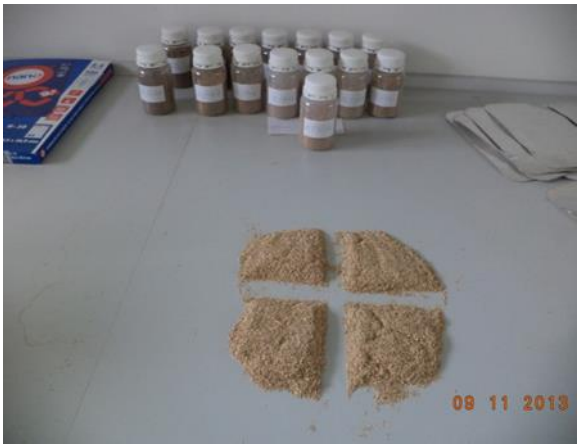
Nakon sušenja uzorci su usitnjeni na nominalnu veličinu < 1,0 mm reznim alatom mlina Retsch SM 300 brzinom vrtnje 2000 min^{-1}. Iz tako pripremljenih laboratorijskih uzoraka pripremljeni su kompozitni uzorci koji su predstavljali reprezentativni uzorak drva, odnosno kore svakog pojedinog, na terenu uzorkovanog stabla. Uzorak je razdijeljen na četiri jednaka dijela, nakon toga od četiri dijela uzela su se dva nasuprotna, postupak je ponavljan dok se uzorak ne bi smanjio na količinu koju propisuje norma (300 – 500 grama). Navedeni su uzorci poslužili za utvrđivanje masenog udjela pepela (HRN EN ISO 18122:2015) u kori, odnosno drvu svakog pojedinog uzorkovanog stabala.



Slika 14. Priprema uzorka



Slika 15. Gravimetrijska analiza



Slika 16. Priprema uzorka



Slika 17. Priprema kompozitnih uzoraka



Slika 18. Detalj laboratorijskih analiza



Slika 19. Pepeo nakon spaljivanja

Daljnjom pripremom formirani su reprezentativni uzorci drva, odnosno kore na razini istraživanog klona. Ti su uzorci podvrgnuti laboratorijskim analizama s ciljem utvrđivanja bruto kalorične vrijednosti (HRN EN 14918:2010) te laboratorijskim analizama određivanja sadržaja ugljika, vodika, dušika (HRN EN ISO 16948:2015) i sumpora (HRN EN ISO 16994:2015), a s ciljem preračuna iz bruto kalorične vrijednosti na razinu neto kalorične vrijednosti.

3.2.3. Obrada podataka

Na temelju rezultata terenskih izmjera i laboratorijskih analiza izračunate su prosječne vrijednosti tehničkog masenog udjela vode pojedinog uzorkovanog stabla ponderiranjem udjela vode pojedinih uzorka početnim masama uzoraka. Temeljem udjela vode na razini pojedinog stabla i mase stabla u svježem stanju izračunata je količina biomase po stablu. S obzirom na masu stabla prosječnog promjera pojedinog klona i razmaka sadnje (broja biljaka po hektaru) iskazan je potencijal biomase po jedinici površine pojedinog klona i uspoređen sa dostupnim rezultatima prinosa biomase različitih klonova topole iz literature.

Uspoređeni su maseni udjeli pepela kore, odnosno drva po pojedinom klonu i definiran najpovoljniji krajnji korisnik (optimalni oblik čvrstog biogoriva iz proizvedene drvne biomase).

Uspoređeni su i rezultati neto kalorične vrijednosti drva i kore između istraživanih klonova.

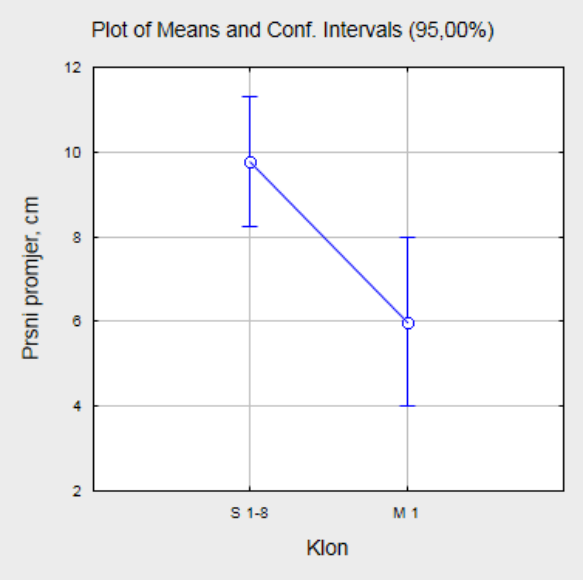
Na temelju utvrđenih promjera na korijenovom vratu pojedinog klona i trendova prirodnog prosušivanja ponuđene su preporuke odabira tehnologije sječe i primarnog transporta te optimizacije sustava pridobivanja.

4. Rezultati

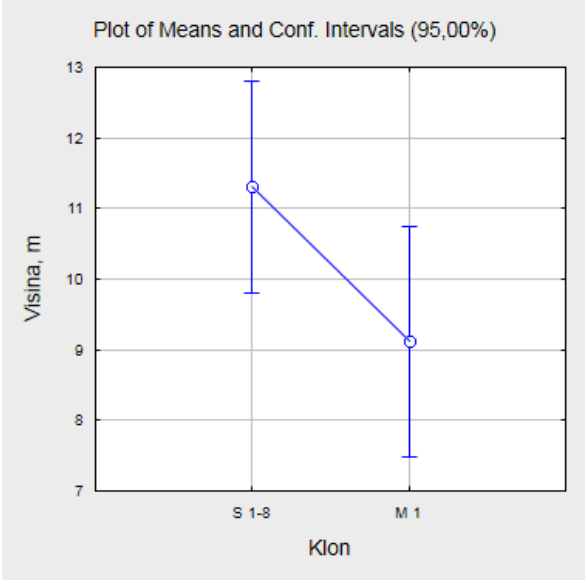
U ovom je poglavlju naveden sažeti prikaz glavnih rezultata s osvrtom na kakvoću proizvedene nadzemne drvne biomase i potencijal (prinos) istraživane šumske kulture kratke ophodnje. Rezultati laboratorijskih analiza prikazani su u prilozima u poglavlju 6.

4.1. Dimenzije stabala i tehnologije pridobivanja

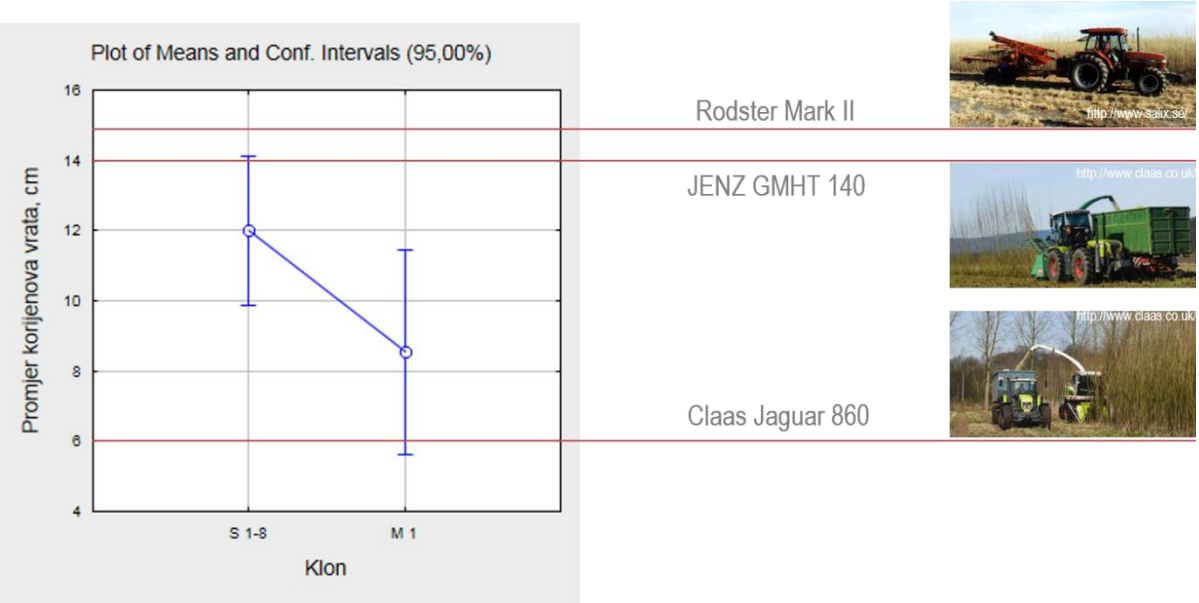
Prsni je promjer stabala klona S 1-8 iznosio 9,8±1,5 cm i statistički je značajno veći (p = 0,0026) od prsnog promjera stabala klona M 1 koji je iznosio 6,0±1,6 cm (slika 20). Visina je stabala klona S 1-8 iznosila je 11,31±1,43 m i također je statistički značajno veća (p = 0,0277) negoli visina stabala klona M 1 koja je iznosila 9,12±1,32 cm (slika 21). Promjer je vrata korijena stabala klona S 1-8 iznosio 12,0±2,0 cm i statistički je značajno veći (p = 0,0267) od promjera vrata korijena stabala klona M 1 koji je iznosio 8,5±2,3 cm (slika 22).



Slika 20.. Prsni promjeri istraživanih klonova



Slika 21. Visine istraživanih klonova



Slika 22.. Promjer vrata korijena istraživanih klonova i utjecaj na odabir tehnologije sječe

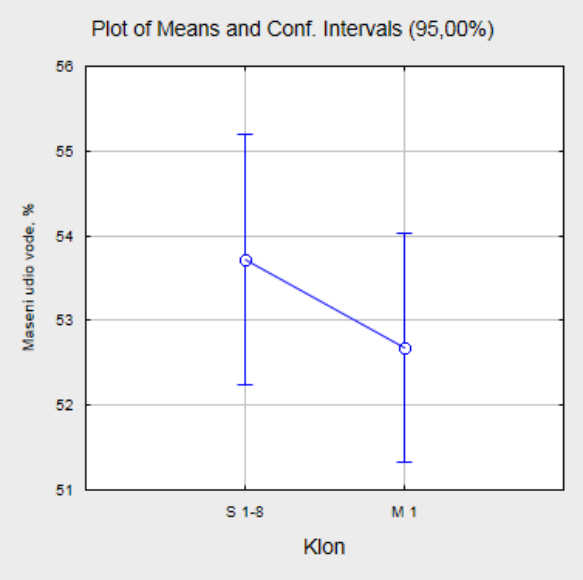
Promjer vrata korijena, utvrđen na stablima oba klona, onemogućuje primjenu najuobičajenijeg načina sječe kultura kratkih ophodnji primjenom modificiranog silažnog kombajna (najveći promjera na vratu korijena koji se može posjeći iznosi 6 cm). Navedena tehnologija ujedinjuje radni zahvat sječe i radni zahvat usitnjavanja. Drvna sječka se izvozi traktorskom prikolicom na pomoćno stovarište (ili direktno korisniku). Uvjetuje sječu u trenutku najmanjeg tehničkog udjela vode jer je prirodno prosušivanje sječke s više od 35 % izrazito ograničeno (nepovoljno s obzirom na gubitak drvne tvari uslijed mikrobiološke aktivnosti).

Novija tehnološka rješenja za istovremenu sječu i usitnjavanje mogu biti primijenjena do zaključno 14 cm promjera korijenova vrata. No, s obzirom na relativno malene površine kultura kratkih ophodnji, sličnih značajki, u istraživanom području njihova je učinkovita primjena upitna.

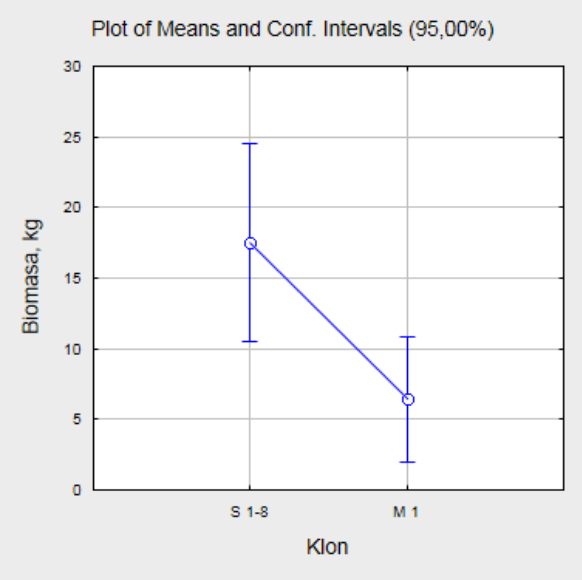
Tehnologija sječe i izvoženja uz naknadno iveranje (omogućuju prirodno prosušivanje nakon sječe) limitirana je promjerom vrata korijena do 15 cm.

4.2. Udio vode

Tehnički maseni udio vode pri sječi (1. travnja 2016. godine) iznosio 53,7±1,4 % za uzorke stabala klona S 1-8, a 52,7±1,1 % za uzorke stabala klona M 1 (slika 23). Statistički značajna razlika nije utvrđena (p = 0,2083).



Slika 20. Maseni udio vode istraživanih klonova



Slika 21. Biomasa stabala istraživanih klonova

4.3. Biomasa (suha drvna tvar)

Biomasa (količina suhe drvne tvari) po stablu iznosila je za uzorkovana stabla klona S 1-8 prosječno 17,5±6,7 kg i bila je statistički značajno veća (p = 0,0026) od prosječne biomase po stablu klona M 1 koja je iznosila 6,4±3,6 kg (slika 24).

Preračunom prosječne količine biomase po stablu na jedinicu površine prinos biomase iznosi 26,1 t/ha (8,7 t/ha/god.) za klon S 1-8, a 9,6 t/ha (3,2 t/ha/god.) za klon M 1 u ovoj trogodišnoj šumskoj kulturi kratke ophodnje.

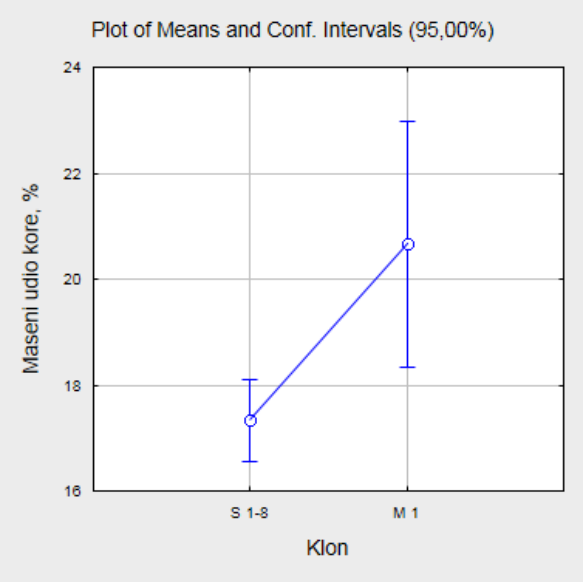
Prosječni godišnji prinos različitih klonova topole, u različitim uvjetima prema Byrd 2013, za 25 različitih slučajeva iznosi 9,6 t/ha/god i prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Prinosi (i ostale značajke) klonova topole prema Byrd 2013

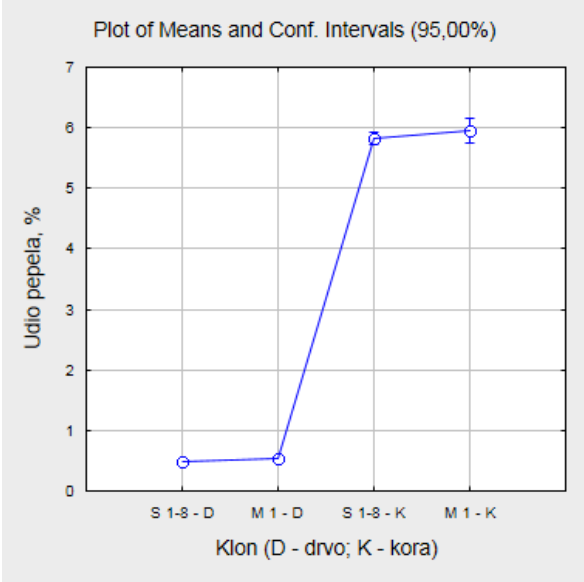
Species	Stand age (years)	Tree weight Kg (dia., mm)	Total Production (ton/ha)	Growth Rate (ton/ha/yr)	Tree s/ha	Location	References
P. trichocarpa clone Muhle Larsen	5	nr	62	12.4	nr	Germany	(Hofmann-Schielle et al., 1999)
P trichocarpa x P. deltoides "Boelare"	4	nr	54.4	13.6	nr	England	(Armstrong et al., 1999)
P trichocarpa x P. deltoides Clone 11-11	7	13.4 (77)	127.7	18.2	9530	Washington, USA	(DeBell et al., 1996)
P.x Canadensis "Gelrica"	24	198 (253)	154.8	6.4	782	Sweden	(Persson, 1973)
P. trichocarpa x P. deltoides "Beaupré"	6	9.7	45.9	7.7	4732	Sweden	(Telenius, 1999)
P. trichocarpa	12	(151)	55.2	4.6	nr	Norway	(Langhammer and Rep, 1967)
P. deltoides, Clone I-69	6	70.6 (150)	78.4	13.1	1105	China	(Fang et al., 1999)
Unknown Origin	4	(58)	45.2	11.3	nr	Kentucky,USA	(Wittmer and Immel, 1976)
P. deltoides, P. trichocarpa clone 11-11	4	(97)	140.8	35.2	nr	Washington, USA	(Scaracia-Mugnozza et al., 1997)
P. maximowiczii x P. trichocarpa	10	13.4 (117)	32	3.2	2388	Maine, USA	(Czapowskyj and Safford, 1993)
P. trichocarpa x P. deltoides "Siouxland"	7	46.9 (140)	nr	nr	nr	N. Dakota, USA	(Tuskan and Rensema, 1992)
P. deltoides	11	167.6 (230)	81.6	7.4	487	Mississippi, USA	(Blackmon et al., 1979)
P. trichocarpa x P. deltoides	12	146.9	163.2	13.6	1110	B.C. Canada	(Zabek and Prescott, 2006)
P. maximowiczii x P. trichocarpa	4	(34)	26.1	6.5	nr	Pennsylvania, USA	(Bowersox and Ward, 1976)
P. trichocarpa	8	(46)	60.8	7.6	nr	Canada	(Heilman and Peabody Jr, 1981)
P. trichocarpa Clone Muhle Larsen	8	(55)	49	6.1	nr	Germany	(Bungart and Hüttl, 2004)
P trichocarpa x P. deltoides "Boelare"	8	(119)	31.8	4	nr	France	(Brahim et al., 2000b)
P. trichocarpa x P. deltoides "Beaupré"	9	27.6 (104)	110.4	12.3	4000	France	(Brahim et al., 2000a)
P. trichocarpa x P. deltoides "Hazendans"	4	4.6	45.6	11.4	nr	Belgium	(Laureysens et al., 2004)
P. balsamifera x P. trichocarpa "Balsam Spire"	5	nr	72.1	14.4	nr	Scotland	(Proe et al., 2002)
P. sp	**6**	**205 (117)**	**22.1**	**3.7**	**1080**	**Maryland, USA**	**(Felix et al., 2008)**
P. deltoides	**9**	**160 (423)**	**92.9**	**10.32**	**576**	**India**	**(Das et al., 2011)**
P. balsamifera	**nr**	**278 (250)**	**142**	**6.71**	**510**	**Sweden**	**(Johansson and Karacic, 2011)**
P. balsamifera	**nr**	**170.9 (195**	**nr**	**nr**	**nr**	**Alaska, USA**	**(Yarie et al., 2007)**
P. balsamifera	**2**	**1.5 (11.47)**	**11**	**5.5**	**7333**	**Alaska, USA**	**(Byrd et al., Unpublished)**

4.4. Maseni udio kore u stablu te udio pepela u kori i drvu

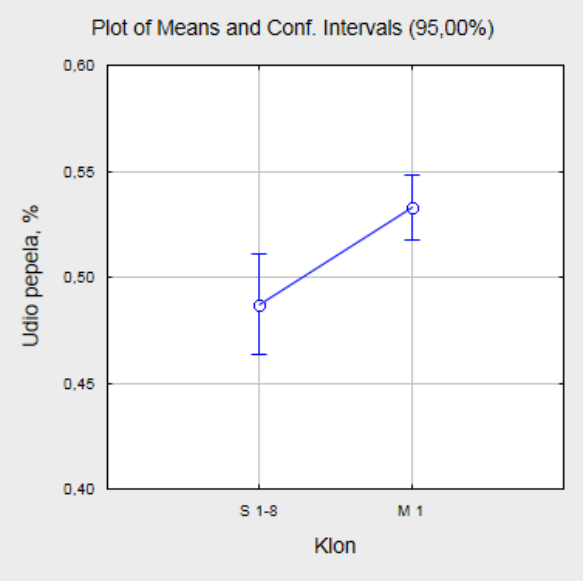
Na slici 25 prikazane su statistički značajne razlike (p = 0,0030) između masenog udjela kore klona S 1-8 (17,3±0,7 %) i masenog udjela kore klona M 1 (20,7±1,9 %).



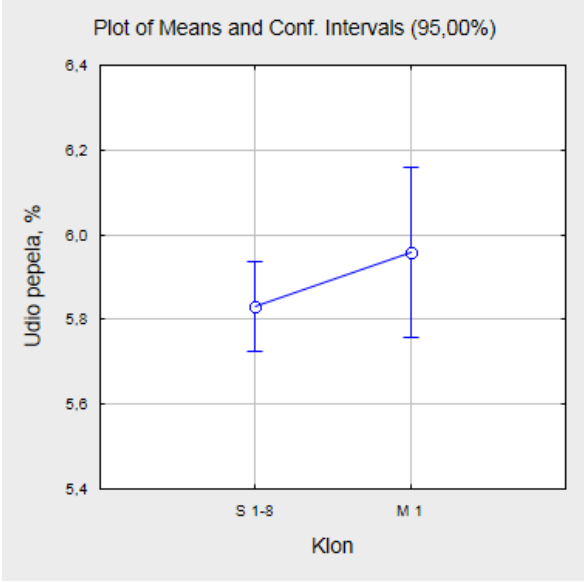
Slika 22. Maseni udio kore istraživanih klonova



Slika 23. Odnos udjela pepela u drvu i kori istraživanih klonova



Slika 24. Udio pepela u drvu istraživanih klonova



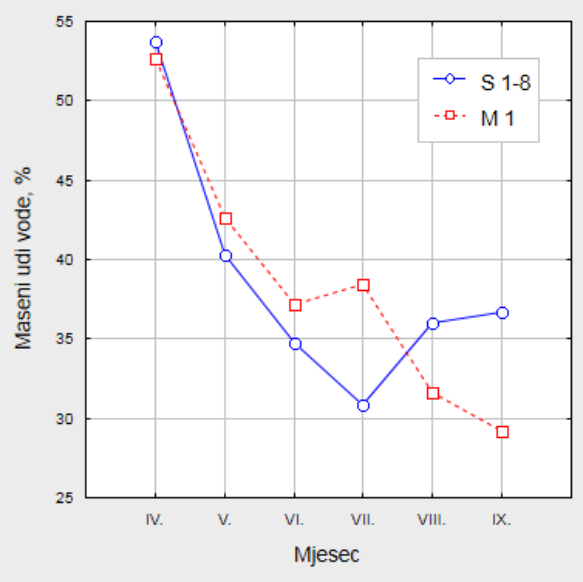
Slika 25. Udio pepela u kori istraživanih klonova

Udio pepela u drvu bez kore (slika 27) istraživanih klonova iznosi ≈ 0,5 % (0,49±0,02 za klon S 1-8 i 0,53±0,01 % za klon M 1), a udio pepela u kori (slika 28) iznosi ≈ 5–6 % (5,83±0,10 za klon S 1-8 i 5,96±0,16 % za klon M 1).

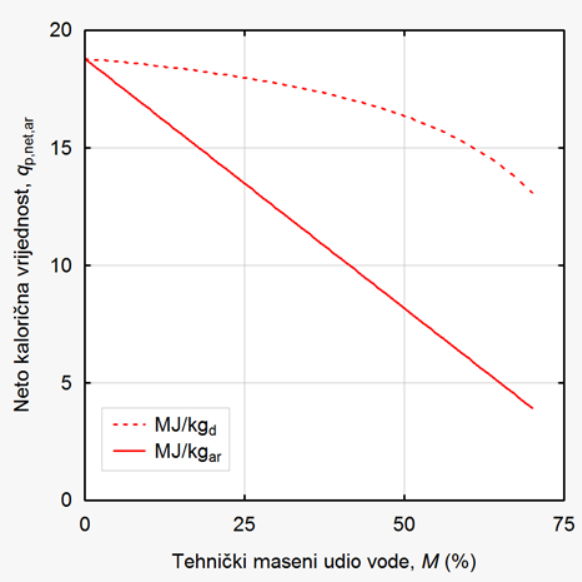
4.5. Kalorična vrijednost

Neto kalorična vrijednost suhog drva (18,21 MJ/kg za klon S 1-8 i 18,36 MJ/kg za klon M1) nešto je veća nego kalorična vrijednost kore (17,81 MJ/kg za klon S 1-8 i 17,85 MJ/kg za klon M1). Razlike su prvenstveno posljedica većeg udjela pepela kod uzoraka kore.

U dostavnom stanju (> 50 % tehničkog udjela vode u trenutku sječe) neto kalorične vrijednosti iznosile su ≈ 7 MJ/kg sukladno zakonitosti smanjenja kalorične vrijednosti s povećanjem udjela vode (slika 30).



Slika 29. Maseni udio vode istraživanih klonova



Slika 30. Ovisnost neto kalorične vrijednosti o tehničkom masenom udjelu vode

za $q_{\mathrm{p,net,d}} = 18.800\ \mathrm{J/g}$

4.6. Prirodno prosušivanje

Prirodnim je prosušivanjem moguće sniziti udio vode drvne biomase istraživanih kolonova topole s početnih > 50 % (utvrđenih u trenutku sječe) na 30-35 % udjela vode prikladnih za većinu kogeneracijskih postrojenja koja koriste drvnu sječku kao gorivo.

Prirodno prosušivanje je prikazano na slici 29 odnosno maseni udio vode tijekom razdoblja od travnja do rujna. Očekivani trend smanjenja masenog udjela vode je značajan u travnju, svibnju i lipnju, za klon M1, a za klon S1-8 i u srpnju. Poremećaj trenda, odnosno povećanje masenog udjela vode za klon M1 u srpnju može se objasniti položajem primjernoga stabalca u sastojini ili utjecaju oborinske vode dok se u kolovozu i rujnu zadržao očekivani pad masenog udjela vode. Za klon S1-8 se maseni udio vode u kolovozu i rujnu značajno povećao (7-8 %) u odnosu na srpanj, a djelomično se može objasniti upijanjem relativne vlage zraka ili oborinskom vodom. Prema prikazanim rezultatima se može preliminarno zaključiti da je za prosušivanje dovoljno oko četiri mjeseca promatranog razdoblja.

5. Zaključak

Prinosom suhe drvne tvari od 26,1 t/ha (8,7 t/ha/god.) za klon S 1-8 može se smatrati prihvatljivim, dok je prinos od 9,6 t/ha (3,2 t/ha/god.) za klon M 1 značajno manji od očekivanih vrijednosti.

Udio je pepela drva dvaju istraživanih klonova (≈ 0,5 %) povoljan. No, s obzirom na visok udio pepela kore (≈ 5–6 %) i visok udio kore (≈ 17–21 %) kao i nemogućnost okoravanja, drvna sječka je prvenstveno pogodna samo kao gorivo. Upitno je korištenje navedene drvne sječke u procesu proizvodnje peleta s obzirom na presudan utjecaj udjela pepela na kakvoću i cijenu peleta.

Odsutnost lisne mase ključna je za kakvoću drvne sječke i mogućnost primjene u većini energetskih postrojenja i zbog toga se sječa kultura kratkih ophodnji gotovo isključivo provodi u periodu mirovanja vegetacije (najčešće zimi). Uostalom, u periodu mirovanja vegetacije očekuju se i značajno manji udjeli vode presudni za mogućnost primjene sustava direktnog usitnjavanja (u trenutku sječe) s obzirom na ograničenja pri uporabi i skladištenju sječke s preko 35 % udjela vode.

Prirodno prosušivanje je pokazalo da se sječa istraživane kulture može izvoditi i izvan zimskog perioda (ali svakako u vrijeme odsutnosti lisne mase). Naime, utvrđeno je da se prirodnim prosušivanjem može smanjiti udio vode na prihvatljivih 30-35%, odnosno značajno povećati kalorična vrijednost sa utvrđenih ≈ 7 MJ/kg na prihvatljivih ≈ 11–12 MJ/kg.

Očekivana količina energijskog drva nakon prirodnog prosušivanja (s udjelom vode 35 %) iznosila bi 40,2 t/ha (13,4 t/ha/god.) za klon S 1-8, odnosno 14,8 t/ha (4,9 t/ha/god.) za klon M 1.

Dimenzije stabala u istraživanoj kulturi kratke ophodnje limitiraju mogućnost primjene uobičajenih tehnoloških rješenja pridobivanja (modificirani silažni kombajn) kao i ostalih tehnoloških sustava direktnog usitnjavanja. Iako su dimenzije stabala prihvatljive novim tehnološkim rješenjima strojne sječe i izvoženja te naknadnog usitnjavanja treba imati na umu ovogodišnji prirast i očekivani porast kritičnog parametra – promjera vrata korijena te raspoloživost navedene tehnologije.

S obzirom na prethodno navedeno, predlaže se razmatranje primjene strojne sječe višezahvatnom sječnom glavom i izvoženje traktorskom ekipažom ili forvarderom te naknadno usitnjavanje. Ovisno o vremenu sječe (i udjelu vode u trenutku sječe) usitnjavanje treba obaviti po izvoženju ili nakon odgovarajućeg perioda prirodnog prosušivanja, odnosno u trenutku optimalnog udjela vode (30–35 %).

6. PRILOZI

Tablica 2. Laboratorijska analiza vlage pri sječi za klon S 1-8 prema HRN EN ISO 18134-2:2015

Uzorak	Vlaga, M_{ar} (%) (tehnički maseni udio)	Uzorak	Vlaga, M_{ar} (%) (tehnički maseni udio)
S1-8-1-0	53,5	S1-8-4-1	56,1
S1-8-1-1	55,7	S1-8-4-2	54,9
S1-8-1-2	52,2	S1-8-4-3	53,0
S1-8-1-3	55,1	S1-8-4-4	51,7
S1-8-1-4	55,1	S1-8-4-5	54,5
S1-8-1-5	56,2	S1-8-4-6	54,8
S1-8-2-0	53,0	S1-8-4-7	53,0
S1-8-2-1	56,8	S1-8-5-0	50,7
S1-8-2-2	54,0	S1-8-5-1	36,7
S1-8-2-3	52,4	S1-8-5-2	47,9
S1-8-2-4	54,5	S1-8-5-3	50,9
S1-8-2-5	55,7	S1-8-5-4	54,7
S1-8-2-6	55,1	S1-8-5-5	54,8
S1-8-2-7	55,8	S1-8-5-6	54,7
S1-8-3-0	54,4	S1-8-5-7	55,3
S1-8-3-1	57,5	S1-8-6-0	50,7
S1-8-3-2	55,9	S1-8-6-1	54,6
S1-8-3-3	54,5	S1-8-6-2	52,7
S1-8-3-4	54,3	S1-8-6-3	54,2
S1-8-3-5	54,8	S1-8-6-4	54,1
S1-8-3-6	54,0	S1-8-6-5	55,4
S1-8-3-7	55,3	S1-8-6-6	54,2
S1-8-4-0	54,5	S1-8-6-7	53,5

Tablica 3. Laboratorijska analiza vlage pri sječi za klon M 1 prema HRN EN ISO 18134-2:2015

Uzorak	Vlaga, M_{ar} (%) (tehnički maseni udio)	Uzorak	Vlaga, M_{ar} (%) (tehnički maseni udio)
M1-1-0	46,8	M1-3-4	53,0
M1-1-1	56,4	M1-3-5	53,5
M1-1-2	56,3	M1-3-6	51,7
M1-1-3	54,1	M1-3-7	53,6
M1-1-4	54,0	M1-4-0	50,8
M1-1-5	53,9	M1-4-1	56,7
M1-1-6	51,7	M1-4-2	55,6
M1-2-0	53,0	M1-4-3	52,3
M1-2-1	56,6	M1-4-4	54,6
M1-2-2	49,3	M1-4-5	51,3
M1-2-3	54,0	M1-5-0	51,5
M1-2-4	58,5	M1-5-1	55,3
M1-3-0	46,4	M1-5-2	55,8
M1-3-1	55,9	M1-5-3	55,1
M1-3-2	55,6	M1-5-4	52,6
M1-3-3	53,1	M1-5-5	51,5

Tablica 4. Laboratorijska analiza udjela pepela prema HRN EN ISO 18122:2015

Uzorak drva	Maseni udio pepela, A_{db} (%) (standardno suho stanje)	Uzorak kore	Maseni udio pepela, A_{db} (%) (standardno suho stanje)
S1-8-1	0,53	S1-8-1	5,99
S1-8-2	0,48	S1-8-2	5,85
S1-8-3	0,49	S1-8-3	5,89
S1-8-4	0,48	S1-8-4	5,73
S1-8-5	0,48	S1-8-5	5,75
S1-8-6	0,47	S1-8-6	5,77
M1-1	0,54	M1-1	5,97
M1-2	0,53	M1-2	6,03
M1-3	0,53	M1-3	6,12
M1-4	0,52	M1-4	5,69
M1-5	0,55	M1-5	5,99

Tablica 5. Laboratorijska analiza udjela ugljika, vodika i dušika prema HRN EN ISO 16948:2015 te udjela kisika prema HRN EN ISO 16993:2015

Uzorak	Maseni udio, % (standardno suho stanje)			
	Ugljika (C)	Vodika (H)	Dušika (N)	Kisika (O)
S 1-8 drvo	49,5	6,08	0,16	43,7
S 1-8 kora	48,7	5,5	0,83	39,0
M 1 drvo	49,5	5,9	0,30	43,7
M 1 kora	48,7	5,6	0,78	38,5

Tablica 6. Laboratorijska analiza udjela sumpora prema HRN EN 15289:2011

Uzorak drva	Maseni udio sumpora (S), % (standardno suho stanje)	Uzorak kore	Maseni udio sumpora (S), % (standardno suho stanje)
S 1-8	0,018	S 1-8	0,065
M 1	0,019	M 1	0,064

Tablica 7. Laboratorijska analiza kalorične vrijednosti prema HRN EN 14918:2010

Uzorak	Neto kalorična vrijednost ($q_{p,net,d}$), MJ/kg (standardno suho stanje)	Neto kalorična vrijednost ($q_{p,net,m}$), MJ/kg (dostavno stanje)
S 1-8 drvo	18,21	7,12
S 1-8 kora	17,81	6,93
M 1 drvo	18,36	7,40
M 1 kora	17,85	7,16

Tablica 8. Laboratorijska analiza vlage pri prosušivanju prema HRN EN ISO 18134-2:2015

Uzorak S 1-8	Vlaga, M_{ar} (%) (tehnički maseni udio)	Uzorak M1	Vlaga, M_{ar} (%) (tehnički maseni udio)
S1-8-V-0	39,1	M1-V-0	43,0
S1-8-V-1	40,8	M1-V-1	41,5
S1-8-V-2	40,6	M1-V-2	42,6
S1-8-V-3	41,6	M1-V-3	41,5
S1-8-V-4	42,2	M1-V-4	42,5
S1-8-V-5	41,5	M1-V-5	43,5
S1-8-V-6	45,5	-	-
S1-8-VI-0	28,6	M1-VI-0	34,4
S1-8-VI-1	36,9	M1-VI-1	38,4
S1-8-VI-2	37,6	M1-VI-2	39,5
S1-8-VI-3	36,7	M1-VI-3	37,7
S1-8-VI-4	38,9	M1-VI-4	39,3
S1-8-VI-5	40,1	M1-VI-5	41,4
S1-8-VI-6	41,1	M1-VI-6	42,7
S1-8-VI-7	44,5	-	-
S1-8-VII-0	24,6	M1-VII-0	36,7
S1-8-VII-1	36,8	M1-VII-1	38,3
S1-8-VII-2	32,4	M1-VII-2	39,4
S1-8-VII-3	32,9	M1-VII-3	40,0
S1-8-VII-4	39,9	M1-VII-4	39,1
S1-8-VII-5	35,6	M1-VII-5	40,4
S1-8-VII-6	38,9	M1-VII-6	41,8
S1-8-VII-7	38,9	M1-VII-7	50,0
S1-8-VIII-0	40,3	M1-VIII-0	33,1
S1-8-VIII-1	38,6	M1-VIII-1	24,3
S1-8-VIII-2	36,0	M1-VIII-2	31,9
S1-8-VIII-3	29,3	M1-VIII-3	39,3

S1-8-VIII-4	30,7	M1-VIII-4	34,0
S1-8-VIII-5	22,3	M1-VIII-5	23,2
S1-8-VIII-6	15,9	-	-
S1-8-IX-0	41,9	M1-IX-0	27,1
S1-8-IX-1	35,7	M1-IX-1	28,9
S1-8-IX-2	34,7	M1-IX-2	33,0
S1-8-IX-3	34,3	M1-IX-3	38,6
S1-8-IX-4	23,4	M1-IX-4	20,6
S1-8-IX-5	20,5	-	-
S1-8-IX-6	18,8	-	-

7. Literatura

1. Mladen Figurić, Stjepan Risović 2003 Šumska biomasa, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, 9-35.
2. Domac, J. i dr., 2001: BIOEN – Program korištenja energije biomase i otpada: Nove spoznaje i provedba. Energetski institut „HrvojePožar“, Zagreb (J. Domac, ur.), 1- 144.
3. HRN EN 14774-3:2010 Solid biofuels – Determination of moisture content – Oven dry method – Part 3: Moisturein general analysis sample. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–7.
4. HRN EN 14775:2010 Solid biofuels – Determination of ash content. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–8.
5. HRN EN 14780:2011 Solid biofuels -- Sample preparation. Hrvatski zavod za norme, Zagreb
6. Anon., 2006: Šumskogospodarska osnova za razdoblje 2006. – 2015., „Hrvatske šume“ d.o.o.
7. Annon., 2007: Velike mogućnosti proizvodnje biomase u hrvatskom šumarstvu. Hrvatske šume
8. Bojana Klašnja , Saša Orlović, Zoran Galić, 2013: Comparison of Different Wood Species as Raw Materials for Bioenergy. South-East Eur For 4
9. Kajba, D., S. Bogdan, I. Katičić, 2007: Produkcija biomase vrba u pokusnim kulturama kratkih ophodnji u Hrvatskoj. HAZU – Zbornik radova znanstvenog skupa: Poljoprivreda i šumarstvo kao proizvođači obnovljivih izvora energije, Matić, S. (ed.): 99-105.
10. Kajba, D.,2009: Contribution of Poplars and Willows to Sustainable Livelihoods and Land-use in Croatia: Status and Needs, Presentation at the International Workshop “Improve the contribution of Poplars and Willows in meeting sustainable livelihoods and land-use in selected Mediterranean and Central Asian countries” FAO Project GCP/INT/059/ITA, Izmit, Turkey, 27-31 July 2009.
11. Šljivac, D., 2008: Obnovljivi izvori energije-Energija biomase
12. Tomić, F., Krička, T., Matić, S., 2008: raspoložive poljoprivredne površine i mogućnosti šuma za proizvodnju biogoriva u Hrvatskoj. Šumarski list broj 7-8, 323–330.
13. Werther Guidia, Emiliano Piccionia, Marco Ginannib, Enrico Bonaria, 2005: Bark content estimation in poplar (Populus deltoides L.) short-rotation coppice in Central Italy, pdf.,str 518-525.

14. Kajba, D., Domac, J., Krpan, A., Zečić, Ţ., Bogdan, S., 2002.: Status andpotentialsofbiomassin Croatia (Stanje i potencijal biomase u Hrvatskoj). Short-rotationcorps for energypurpose. Meetingof IEA BioenergyTask 17, NetherlandsandSweden, U:Christherrson L. AndKuiper L. (u). Proceedings
15. Kajba D., Andrić I., 2014: Selection of Willows (Salix sp.) for Biomass Production. South-east Eur for 5 (2). pdf., str. 145-152.
16. Marco Manzone, Sara Bergante , Gianni Facciotto, 2013: Energy and economic evaluation of a poplar plantation for woodchips production in Italy, pdf., str. 164-172.
17. Priručnik o gorivima iz drvne biomase, Zagreb, 2008., pdf., str. 17–19
18. http://www.sumari.hr/sumlist/pdf/201201610.pdf
19. http://www.hkisdt.hr/
20. http://meteo.hr/index.php
21. https://scholar.google.hr/scholar?q=populus+x+canadensis+M1&hl=hr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart&sa=X&ved=0ahUKEwiG7Lf1_8TWAhUFOJoKHfMhCJ4QgQMIIzAA
22. http://www.sumari.hr/biomasa/urhsisak2008/1-3Sucic.pdf
23. http://www.energetika.potrosac.hr/images/pdf/BIOMASA_KAO_IZVOR_ENERGIJE_I_ENERGETSKA_UCINKOVITOST_OBITELJSKIH_KUCA.pdf
24. http://www.obz.hr/hr/index.php?tekst=497
25. http://www.obz.hr/hr/pdf/zastitaokolisa/Osnova%20obiljezja.pdf
26. http://www.srcplus.eu/images/WP3/National_training_materials/Croatia/1_Fistrek.pdf
27. http://www.srcplus.eu/images/EIHP_Handbook.compressed.pdf
28. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669015302375
29. http://www.eihp.hr/biomasa-iz-kko-za-povecanje-konkurentnosti-i-ruralni-razvoj-zavrsna-konferencija-srcplus-projekta/
30. http://www.srcplus.eu/images/EIHP_Handbook.compressed.pdf
31. https://www.agroklub.com/agropedija/zemljiste/tlo-istocne-regije-10//