

# BIOPROIZVODNOST AMORFE (*Amorpha fruticosa* L.) U JEDNOGODIŠNJOJ, DVOGODIŠNJOJ I ČETVEROGODIŠNJOJ OPHODNJI

## BIOPRODUCTIVITY OF INDIGOBUSH (*Amorpha fruticosa* L.) IN ONE-YEAR, TWO-YEAR AND FOUR-YEAR ROTATION

Ante P. B. KRPAN<sup>1</sup>, Željko TOMAŠIĆ<sup>2</sup>, Željko ZEČIĆ<sup>3</sup>, Dijana VULETIĆ<sup>4</sup>

### Sažetak

U radu se razmatraju rezultati četvrte godine istraživanja bioproizvodnog potencijala amorfe, uz osvrt na europsku normizacijsku propisnost što određuje njen položaj u porodici obnovljivih izvora šumske drvene biomase za energiju. Bioproizvodnost amorfe istraživana je na tri pokusne plohe unutar četiri pokusna polja. Broj ploha ujedno označava duljinu ophodnje. Mjerenjem su utvrđeni parametri bioproizvodnosti amorfe od broja panjeva na ploham, broja izdanaka na pojedinom panju i na plohi, visine i promjera izdanaka te izmjere zelene biomase nakon sječe odvagom. Određeni parametri preračunati su na hektar.

U jednogodišnjoj ophodnji zelena biomasa amorfe u četvrtom turnusu u rasponu je od 7,40 t/ha do 13,20 t/ha, a prosječna 10,15 t/ha. Uz udio vlage 35,92 % suha je biomasa 6,50 t/ha. Prosječna zelena masa jednog izdanka amorfe na ploham iznosi 0,0897 kg.

Prosječna dvogodišnja proizvodnja zelene biomase u drugome turnusu dosegla je iznos od 24,52 t/ha, dok je prosječna godišnja bioproizvodnja 12,26 t/ha. Udio vlage u zelenoj biomasi je 35,71 %, što znači da je dvogodišnja bioproizvodnja suhe biomase 15,76 t/ha, odnosno godišnji je prosjek 7,88 t/ha. Prosječna masa jednog izdanka amorfe na ploham iznosi 0,2404 kg.

Zelena biomasa u četverogodišnjoj ophodnji ostvarena je u rasponu 33,24 t/ha do 51,40 t/ha, s prosjekom od 42,06 t/ha. Prosječna godišnja proizvodnja zelene biomase ostvaruje se od 8,31 t/ha do 12,85 t/ha, s prosječnom vrijednošću za sve plohe 10,52 t/ha. Uz vlagu od 33,19 %, bioproizvodnja suhe biomase tijekom četiri vegetacije iznosi 28,10 t/ha, s godišnjim prosjekom od 7,03 t/ha. Prosječna masa jednog izdanka je 0,3859 kg.

**KLJUČNE RIJEČI:** Bioproizvodnost amorfe, norme za čvrsta biogoriva, nizinski šumski ekosustavi, Hrvatska.

### UVOD

#### INTRODUCTION

U ranijim radovima (Krpan i Tijardović, 2009, Krpan i Tomašić, 2009, Krpan i dr. 2011 – 1, Krpan i dr. 2011 – 2) razmatrana je problematika obnovljivih energijskih izvora općenito, problemi gospodarenja nizinskim šumskim

ekosustavima u kojima se amorfa kao nepoželjna agresivna vrsta udomačila čineći velike poteškoće pri obnovi sastojina, razmatrana je biologija amorfe i načini njenog dosadašnjeg korištenja, proučavan je njen prirodni biopotencijal u produkciji biomase i potencijalna korisnost u energetske sektoru biomase s utjecajem na energetske neovisnost te održivost i razvoj ruralnih prostora u području njenog

<sup>1</sup> Prof. dr. sc. Ante P. B. Krpan, Akademija šumarskih znanosti, Trg Mažuranića 11, 10 000 Zagreb, e-mail: krpan@sumfak.hr

<sup>2</sup> Dr. sc. Željko Tomašić, Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, J. Vukotinovića 2, 10 000 Zagreb, zeljko.tomasic@hrsume.hr

<sup>3</sup> Prof. dr. sc. Željko Zečić, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, e-mail: zecic@sumfak.hr

<sup>4</sup> Dr. sc. Dijana Vuletić, Hrvatski šumarski institut, Cvijetno naselje 41, 10 450 Jastrebarsko, e-mail: dijanav@sumins.hr

pridolaženja, ponajprije u Posavini te u drugim slivovima nizinskih rijeka u Hrvatskoj.

## PROBLEMATIKA SCOPE OF RESEARCH

Biomasa je u teoriji definirana kao suha masa neisparljivih dijelova živih organizama (Anon. 2012). Šumska drvena biomasa bi prema tome bila suha masa dijelova živih organizama biljnoga podrijetla kao gradbenog sastava drveća i grmlja. Međutim, u području zakonodavstva, normativne propisnosti, manipulacije i trgovine nailazimo na različite pojmove biomase.

Republički Zakon o energiji iz 2001. s kasnijim dopunama definira biomasu kao prirodno obnovljivi biorazgradivi dio proizvoda, ostataka i otpadaka poljoprivredne proizvodnje, šumarstva i drvne industrije te kao biorazgradivi dio za energijsko korištenje dopuštenog komunalnog i industrijskog otpada. Prema normi HRN EN 14588:2010 *Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi*, u znanstvenom i tehničkom smislu, biomasa je materijal biološkog podrijetla, isključujući materijal pohranjen u geološkim formacijama i/ili pretvoren u fosile. Biomasa se, prema navedenoj normi, jednim dijelom koristi za proizvodnju biogoriva, a preostali dio kao biomasa za drugu uporabu. Biogoriva iz biomase razvrstavamo na čvrsta, tekuća i plinovita. Biomasa za drugu uporabu odnosi se na biomasu za industrijsku preradu i uporabu te za prehrambene potrebe, pri čemu se misli na izvore i oblike biomase biljnog i životinjskog podrijetla. Najveći dio šumske biomase otpada na masu živih organizama biljnoga podrijetla što tvore šumske biljne zajednice, a manji dio na životinje koje žive u šumi. Biomasa za energiju se prema podrijetlu i izvorima razlikuje, a definirana je također usvojenom europskom normom HRN EN 14961-1:2010 *Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi*. Čvrsta šumska biogoriva su navedenom normom definirana kao tržišni oblici. Kao čvrsta biogoriva možemo na tržištu ponuditi cijela stabla, stabilca ili dijelove stabla, drvenu sječku, drveni iver, dugo i kratko oblo i cijepano ogrjevno drvo, koru, svežnjeve grana, drvenu prašinu, piljevinu i dr.

Labudović (2012) dijeli biomasu prema podrijetlu, pa razlikuje šumsku ili drvenu biomasu, ne-drvnu biomasu i biomasu životinjskog podrijetla, a prema pojavnim oblicima razlikuje krutu biomasu, bioplinovito stanje i kapljevitost biogoriva. Krutu biomasu čine kruta biogoriva, među kojima su cijepano drvo, drvena sječka, kora, piljevina, strugotine i peleti (Anon. 2012). Labudović (2012) dalje navodi da se danas šumska biomasa na tržištu pojavljuje u četiri osnovna uporabna oblika: cijepano drvo, sječka, briketi i peleti. Kratko cijepano drvo i drvena sječka su najčešći tržišni oblici šumske biomase, a briketi i peleti su industrijski proizvodi. Izvor sirovine za proizvodnju briketa i peleta pretežito je šumska drvena biomasa, ali se u značajnim količinama ko-

risti ostatak iz primarne prerade tehničke oblovine u drvno-industrijskim pogonima.

Ovdje je potreban kritički osvrt na čestu pojavu neprimjerene uporabe šumarske terminologije. To je posljedica ambicije ljudi različitih obrazovnih profila da uđu u prostor šumske biomase, bez volje da propituju nazivlje jedne struke kojoj šumska drvena biomasa u biti pripada. Za primjer, navedeni autor kao i neki drugi koriste izraz cjepanice za svo oblo i cijepano ogrjevno (energijsko) drvo, što upućuje na nedovoljno poznavanje šumarske stručne terminologije. Nije rijedak slučaj da se u publikacijama izraz cjepanice prati fotografijama složaja oblica ili paleta ispunjenim kratkim cijepanim drvom.

Iznesenim želimo ukazati na nužnost pridržavanja i poštivanja stručne terminologije jedne dugogodišnje organizirane struke (prve su šumarice u Hrvatskoj osnovane prije 250 godina), što je sustavno odjeljuje od drugih strukovnih djelatnosti i koju sudionici šumarskih zbivanja moraju poštovati bez obzira dolaze li iz šumarskih krugova ili izvan njih. Uz navedeno, potrebno je naglasiti kako terminološka simplifikacija vodi osiromašenju jezika naroda i jezika struke, što nikako nije prihvatljivo.

Vežano za terminologiju, usvojene se europske HRN EN 14588:2010 *Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi* te HRN EN 14961-1:2010 *Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi* približavaju našem strukovnom nazivlju. Drvo za ogrjev ili energijsko drvo je drveno gorivo u kojemu je očuvan izvorni sastav drva. Dimenzijski neprikladni za manipulaciju i korištenje kao čvrsto gorivo u kućanstvima, ugostiteljstvu i kotlovima za centralno grijanje manjih zgrada, navedeni jednometarski oblici (oblice i cjepanice) te višemetarski oblici šumskih proizvoda poprečnim se piljenjem i cijepanjem (mehaničkim) svode na manje dimenzije, tvoreći kratko cijepano drvo. Usvojena norma nazivlja definira drvenu biomasu (drveća i grmlja), šumska goriva, ogrjevno drvo kao rezano ili cijepano biogorivo u obliku oblica i cjepanica, drvo za ogrjev ili energijsko drvo, posebno oblice, kratko rezano, cijepano i lomljeno drvo, deblovinu, panj i panjevinu s korijenjem, ostatke pri pridobivanju drva, drveno iverje kao ogrjevno drvo, drvenu sječku i naravno brojne stručne izraze povezane s biomasom, njenom biološkom proizvodnjom, pridobivanjem i korištenjem, koji su novina u našem šumarstvu. Biomasa, vrijedan obnovljivi izvor energije, kao novi šumarski i šumski proizvod javlja se kod nas s velikim zakašnjenjem u odnosu na naše okruženje, te se i danas pretežito izvozi na strano tržište, umjesto da se koristi u domaćim energetskim pogonima. Šumski tradicionalni proizvodi ogrjevnog drva u našim ranijim propisnicima i praksi razvrstani su i opisani u vrijeme kada se kod nas još nije govorilo o šumskoj biomasi i njenom korištenju za dobivanje energije u današnjem smislu. Unatoč tomu, mnogi navedeni nazivi u novousvojenim europskim normama za biomasu

istovjetni su s našim dugovjekim, u struci, znanosti i leksici tradicionalnim strukovnim nazivljem, o čemu dobronamjerni autori u svojim objavama moraju voditi računa.

Na temelju Saveznog zakona o standardizaciji, u bivšoj Jugoslaviji se na prijedloge Savezne komisije za standardizaciju između ostalih donose i standardi za drvo. Prvi standardi s obveznom primjenom na teritoriju cijele države stupaju na snagu 1955. godine. Istupom iz Jugoslavije Republika Hrvatska 1991. kao republički Zakon donosi Zakon o preuzimanju Saveznog zakona o standardizaciji (N. N. br. 53/91.) preimenujući standarde u norme uz jezičnu korekciju. JUS D. B5. 023 – Drvo za ogrjev donesen je po prvi put 1955. g., a dopunjavao 1979. i 1984. godine. Kao Hrvatska norma za ogrjev preuzet je JUS iz 1979. godine noseći oznaku HRN D. B5. 023 – 1979 – Drvo za ogrjev. U svima se ogrjevno drvo propisuje kao ono koje se koristi za proizvodnju topline. Izrađuje se tijekom zimske ili ljetne sječe od tvrdih i mekih bjelogoričnih vrsta te crnogoričnog drva. Navedenim je standardima i normom obuhvaćen te dimenzijski i kvalitativno definiran veći broj oblika ogrjevnog drva što se službeno rabe i u nazivlju europskih normi za biomasu.

*Cjepanice* se izrađuju u duljini od 1 m poprečnim rezanjem i cijepanjem obloga drva promjera od 15 cm naviše. Tetiva luka cjepanice iznosi 10 do 24 cm. Dozvoljeno duljinsko odstupanje iznosi 1,5 cm. Cijepane oblice su širine od 12 do 20 cm.

*Oblice* se izrađuju duljinski kao cjepanice poprečnim rezom na čelima komada drva promjera od 7 do 25 cm. Dozvoljeno odstupanje duljine je 5 cm.

*Sječenica* se izrađuje poprečnim rezom pilom ili sječenjem sjekirom u duljini od 0,90 do 1,20 m od oblog drva promjera od 3 do 7 cm.

*Gule* su kvrgavi, necjepivi komadi drva, debljine od 25 do 40 cm, a duljine od 0,5 do 1,2 m.

*Panjevinu* čine komadi drva dobiveni cijepanjem panja debljine od 15 do 40 cm.

*Otpaci* su komadi drva nastali pri sječi, rezanju, cijepanju, tesanju i koranju u šumi, u debljinama od 0,5 do 25 cm, širine od 2 do 25 cm i duljine od 15 do 120 cm.

Osim u prostornom obliku, drvo za ogrjev se u promet može staviti u *obliku oblovine* duljine od 1 m naviše, što se razvrstava u dvije klase kvalitete. Promjer s korom se zaočkružuje na puni cm, a duljina na 10 cm naniže.

Norma HRN EN 14961-1:2010 *Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi* propisuje duljine manje od 20 cm (L 20-), zatim od  $20 \pm 2$  cm (L 20;),  $25 \pm 2$  cm (L 25;),  $30 \pm 2$  cm (L 30;),  $33 \pm 2$  cm (L 33),  $40 \pm 2$  cm (L 40),  $50 \pm 4$  cm (L 50), ali i oblice i cjepanice duljine od  $100 \pm 5$  cm te oblo drvo duljina većih od 100 cm (L 100+) čiji je najveću duljinu potrebno navesti. Što se promjera tiče navedenom se normom propisuju razredi promjera i to: D < 2-, D 10 ( $2 \text{ cm} \leq D \leq 10 \text{ cm}$ ), D 12 ( $4 \text{ cm} \leq$

$D \leq 12 \text{ cm}$ ), D 15 ( $10 \text{ cm} \leq D \leq 15 \text{ cm}$ ), D 20 ( $10 \text{ cm} \leq D \leq 20 \text{ cm}$ ), D 25 ( $10 \text{ cm} \leq D \leq 25 \text{ cm}$ ), D 35 ( $20 \text{ cm} \leq D \leq 35 \text{ cm}$ ) i D 35 + (promjer > 35 cm, ali s navedenom najvećom vrijednosti). Kod oblica norma upućuje na mjerenje jednog promjera na čelu oblice (stvarni promjer s korom). Kod cjepanica mjeri se na čelu cjepanice međusobna udaljenost krajnjih točaka luka, odnosno baza kružnoga odsječka. Nadalje, normom se propisuju razredi vlage i to od M 10 do M 55, rastući po pet postotaka te M 55+ za koji je nužno navesti najveću vrijednost. Kratko se cijepano drvo slaže i isporučuje na paletama s visinama složaja od 1 m, 1,4 m, 1,8 m i 2,0 m.

Naziv suha tvar koristi se za biomasu bez sadržaja slobodne vode. Norma HRN EN 14588:2010 *Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi*, definira suhu tvar kao materijal nakon uklanjanja vlage pod određenim uvjetima. Termin zelena biomasa (Loibneggar 2011) odnosi se na drvenu sječku s različitim udjelima vode. Zelena sječka je prema spomenutoj normi drvena sječka izrađena iz svježih ostataka pri pridobivanju drva i ostataka od proreda, uključujući granjevinu i ovršine. Krpan i Tomašić 2009, Krpan i dr. 2011–1, Krpan i dr. 2011–2 u radovima o bioproizvodnosti amorfe koriste termine suha tvar, suha biomasa i zelena biomasa. Potonji se izraz odnosi na skupnu masu drva, kore i udjela slobodne vode neposredno nakon sječe amorfe.

Norma HRN EN 14961-1:2010 *Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi* precizno definira izvore biomase kroz četiri normativne razine zbog samih značajki i oblika čvrstog biogoriva, npr. drvene sječke. Prva razina izvora je drvena biomasa, druga razina je šuma ili šumski nasad, treća razina je oblik izvora i odnosi se na cijela stabla bez korijenja, a četvrta razina je grmlje (gdje pripada i amorfa) odnosno mjesto i oblik izvora iz šumske sastojine.

Porijeklo ili izvor se, prema normi HRN EN 15234-4:2012 *Jamstvo kvalitete goriva – 4. dio: Drvena sječka za neindustrijsku uporabu*, obvezno upisuje u deklaraciji proizvoda i to zbog drugih vrijednosti i značajki samog oblika čvrstog biogoriva na temelju kojih se razvrstava u određeni razred kakvoće odnosno vrijednosti, pa tako može nositi oznaku A1 ili A2, B1 ili B2.

Amorfa je grmolika drvenasta biljka udomaćena u našim nizinskim šumama, čiji je položaj u familiji izvora biomase za energiju definiran njenom bioproizvodnošću, normama za čvrsta biogoriva, uvjetima pridobivanja i tržišnim prilikama. Bioproizvodni potencijal amorfe u proizvodnji biomase za energiju i potencijalna korisnost u energetskektoru biomase potvrđen je rezultatima dosadašnjih vlastitih istraživanja u okviru projekta „*Biopotencijal i energetske značajke amorfe*“. Istraživanja provedena u Mađarskoj (Marosvölgyi et al. 2009) također potvrđuju njezinu vrijednost među obnovljivim izvorima biomase za energiju biljnoga podrijetla. Bioproizvodnja amorfe čini se znatno

manjim problemom od samog pridobivanja upravo zbog djelovanja poznatog Speidlovog zakona obujma komada, a zatim i potrebe korištenja većeg broja strojeva u tehnološkoj liniji, što kao posljedicu nosi povećanje troškova proizvodnje. Tehnologija pridobivanja amorfe iz sastojine djelomično određuje tržišni oblik i značajke biogoriva. Spoznaje o energijskoj vrijednosti i produkciji amorfe potaknule su stručnjake na uvođenje suvremenih tehničkih sredstava i tehnologija uporabom biobalera i kombajna za proizvodnju rolobala i drvene sječke. Proizvodnja drvene sječke iz rolobala odvija se u sabirno-logističkim centrima ili u krugu kogeneracijskih postrojenja. Primjenom tehnologije kombajniranja, drvena sječka se proizvodi u šumi najčešće za vrijeme mirovanja vegetacije. Za daljinski transport drvene sječke koriste se specijalne traktorske prikolice nasipnog obujma do 35 m<sup>3</sup>. Pri većim se udaljenostima transporta koriste kamionske poluprikolice kapaciteta od 60 do 90 m<sup>3</sup> nasipnog obujma.

Pri optimiziranju transporta drvene sječke nužno je poznavanje udjela slobodne vode u trenutku sječe ili pri iveranju. Iz jednoga kubičnog metra obloga drva proizvede se oko tri nasipna metra (nm) drvene sječke. Pojam nasipne gustoće definiran je normom kao masa dijela čvrstog goriva podijeljena obujmom spremnika koji je ispunjen tim dijelom pod određenim uvjetima. Nasipna gustoća je različita pri različitom udjelu vode u drvu. Normom su utvrđene prosječne vrijednosti nasipne gustoće drvene sječke posebno za listače i posebno za četinjače. Tako je pri udjelu vlage listača na osnovi svježeg stanja, odnosno stanja svježeg materijala pri određivanju ukupnog udjela vlage od 25 % do 35 %, nasipna gustoća 280–320 kg/m<sup>3</sup> nasipnog obujma.

Pri proizvodnji, distribuciji i dostavi drvene sječke nužno je u deklaraciji proizvoda, prema normi HRN EN 15234-4:2012 *Čvrsta biogoriva – Jamstvo kvalitete goriva – 4. dio: Drvna sječka za neindustrijsku uporabu* navesti sve normativne značajke. Prethodno su spomenuti izvor, vlaga i nasipna gustoća. Nužno je navesti zemlju podrijetla te da li je drvo kemijski tretirano ili nije. U normativnim se značajkama također mora napisati granulometrijski sastav drvene sječke na temelju postotnog udjela svakoga granulata. Na-

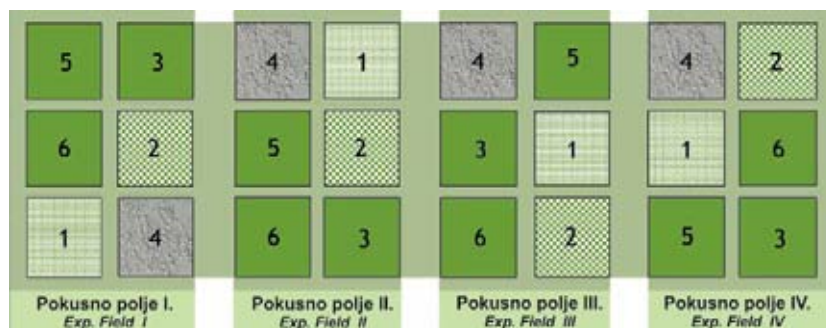
dalje, u skladu s normom utvrđuje se postotni udio pepela na suhoj osnovi. Na temelju navedenih značajki utvrđuje se neto (donja) kalorična vrijednost izražena u MJ/kg ili kWh/kg ili MWh/t uz međusobne odnose: 1 MJ/kg jednak je 0,2778 kWh/kg (1 kWh/kg jednak je 1 MWh/t i 1 MWh/t iznosi 3,6 MJ/kg).

Osim neto kalorične vrijednosti ispituje se i bruto kalorična vrijednost ( $q_{gr}$ ) ili gornja ogrjevna vrijednost (stariji naziv), a definira se kao izmjerena vrijednost specifične energije izgaranja za jediničnu masu goriva uz prisutnost kisika u kalorimetrijskoj bombi pod standardnim uvjetima. Pretpostavlja se da se rezultat izgaranja sastoji od kisika, dušika, ugljikovog dioksida i sumporovog dioksida u plinovitom stanju, od vode u tekućem stanju (u ravnoteži sa svojom parom) zasićene ugljikovim dioksidom pod uvjetima reakcije u bombi i od krutog pepela. Sve prethodno navedeno odvija se pri referentnoj temperaturi i stalnom obujmu.

## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA, MATERIJAL I METODE

### RESEARCH AREA, MATERIAL AND METHODS

Početakom 2008. u okviru projekta *Šumski proizvodi i tehnologije pridobivanja* ugovorenog s Hrvatskim šumama d. o. o., Zagreb, postavljena su višegodišnja istraživanja biopotencijala, energetske značajke i tehnologija pridobivanja i korištenja biomase amorfe. Iz navedenog projekta 2012. je izdvojen zaseban projekt *Biopotencijal i energetske značajke amorfe* i prenesen na Akademiju šumarskih znanosti. Istraživački poligon postavljen je u trinaestogodišnjoj sastojini čiste amorfe u gospodarskoj jedinici Posavske šume odjel 126a, šumarija Sunja, UŠP Sisak. U blok sustavu postavljena su četiri pokusna polja, svako sa šest pokusnih ploha dimenzija 5 x 5 m u određenom prostornom rasporedu. Plohe u pokusnim poljima nose brojčane oznake od 1 do 6 što ujedno određuju godišnje intervale njihovih izmjera (slika 1). U okviru projekta je po godinama razrađen protokol istraživanja kojim je utvrđena vrsta i opseg radova, metodologija terenskih izmjera i prikupljanja materijala, metode obrade podataka te vrsta i opseg laboratorijskih



Slika 1. Pokusna polja amorfe s pokusnim plohami

Fig. 1 Indigobush Experimental Fields with Experimental Plots



**Slika 2.** Pokusna polja amorfe za proljetne poplave  
Fig. 2. Indigobush Experimental Fields during Spring flooding

analiza. U ovom će se radu prikazati rezultati četvrte godine istraživanja biopotencijala amorfe, u kojoj su istraživanjima obuhvaćene pokusne plohe 1, 2 i 4 uzgajane u jednogodišnjoj, dvogodišnjoj i četverogodišnjoj ophodnji.

Pri terenskim izmjerama u pripremljene manuale ucrtavali su se tlocrtni položaji panjeva na plohama te utvrđivao broj izdanaka amorfe na svakom panju. Izdancima su se pomoću prijenosne mjerne letve mjerile visine s točnošću na cm, a pomoću pomičnog mjerila promjer na prsnoj visini s točnošću na mm. Potom su motornom pilom izdanci amorfe na svakoj plohi zasebno posječeni, uvezani u snopove, a snopovi odvučeni na prijenosnoj vagi uz preciznost očitavanja od deset dekagrama. Nakon vaganja sa svake je plohe uzet uzorak drva amorfe za laboratorijska ispitivanja.

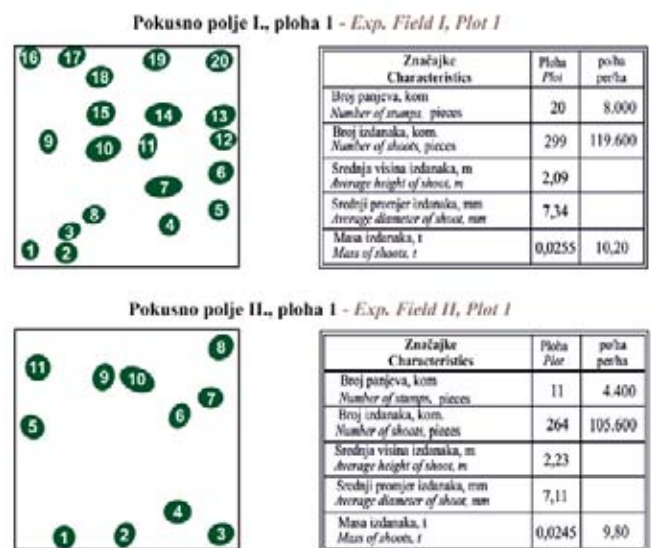
Uzorci su obrađeni u Laboratoriju za fizikalno-kemijska ispitivanja Hrvatskog šumarskog instituta, Jastrebarsko. Obrada je mjernih podataka izvedena na računalu uz uporabu programa Microsoft Excel 2010 i Statistica © v6.0.

## REZULTATI I DISKUSIJA RESULTS AND DISCUSSION

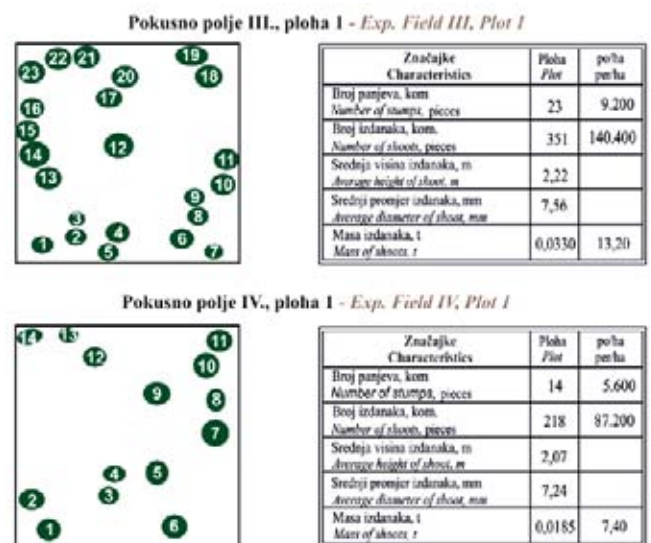
### Parametri produkcije zelene biomase u jednogodišnjoj ophodnji – Parameters of green biomass production in one-year rotation

Na slikama 3 i 4 prikazani su podaci za četiri pokusne plohe broj 1. Na tlocrtnom prikazu zabilježen je prostorni raspored panjeva na plohama, njihov oblik i procijenjena plošna veličina. Na plohama se nalazi od 11 do 23 panjeva amorfe, najmanje u pokusnom polju II., a najviše u pokusnom polju III. Broj izdanaka na plohama varira od 218 u pokusnom polju IV. do 351 u pokusnom polju III. Po hektaru nalazimo od 87.200 do 140.400 jednogodišnjih izdanaka amorfe. Srednje visine jednogodišnjih izdanaka na plohama variraju u uskom rasponu od 16 cm s vrijednostima od 2,07 m na pokusnom polju IV. do 2,23 m na pokusnom polju II. Sred-

nja visina uzorka je 2,2 m. Promjeri izdanaka amorfe na prsnoj visini razlikuju se u desetinkama milimetra. Najmanji je zabilježen na pokusnom polju II. i iznosi 7,11 mm, a najveći na pokusnom polju III. od 7,56 mm. Srednji promjer uzorka je 7,3 mm. Zelena masa amorfe na plohama 1 je u rasponu od 18,50 kg do 33,00 kg ili preračunato na hektar od 7,40 t/ha do 13,20 t/ha. Razlika između najmanje i najveće vrijednosti proizvodnje zelene mase je vrlo velika i iznosi 5.80 t/ha. Prosječna bioproizvodnja zelene mase amorfe na plohama 1 u četvrtoj godini istraživanja iznosila je 10.15 t/ha. Srednja masa jednog izdanaka amorfe za sve četiri plohe je 0,0897 kg.



**Slika 3.** Podaci izmjere na plohama 1 u pokusnim poljima I. i II.  
Fig. 3 Measured data on Plots no. 1 within Experimental Fields I and II



**Slika 4.** Podaci izmjere na plohama 1 u pokusnim poljima III. i IV.  
Fig. 4 Measured data on Plots no. 1 within Experimental Fields III and IV

Usporedbe radi, donosimo neke rezultate bioproizvodnje amorfe na plohama 1 iz ranijih izmjera. Bioproizvodnost jednogodišnje amorfe u prvoj godini istraživanja (2008) preračunato na hektar iznosila je prosječno 15,20 t/ha zelene biomase uz prosječno 135.000 izdanaka/ha. Prema podacima izmjere 2009. godine (Krpan i dr. 2011 – 2) na plohama 1 nalazimo srednje visine izdanaka amorfe od 2,13 do 2,25 m, a srednje promjere od 7,00 do 7,60 mm. Broj izdanaka iznosio je od 110.400 do 182.000 kom/ha, a zelena masa izdanaka od 9,32 (polje IV.) do 15,26 t/ha (polje III.) ili prosječno 11,96 t/ha. U trećoj godini istraživanja (2010) zabilježene su u odnosu na rezultate izmjera 2011. godine veće vrijednosti promatranih veličina. Srednje su visine na plohama imale raspon od 2,23 do 2,48 m, a srednji promjeri

od 7,35 do 8,58 mm. U pokusnom polju IV. zabilježena je masa izdanaka od 11,00 t/ha kao najniža vrijednost, u polju III. od 18,40 t/ha kao najveća vrijednost. Srednja vrijednost produkcije zelene biomase za sve četiri plohe broj 1 tijekom vegetacije 2010. godine iznosila je 14,78 t/ha, dok je ista 2011. godine iznosila 10,15 t/ha uz 113.200 izdanaka/ha (Krpan i dr. 2014). Podaci ukazuju na oscilacije godišnje proizvodnje zelene biomase amorfe.

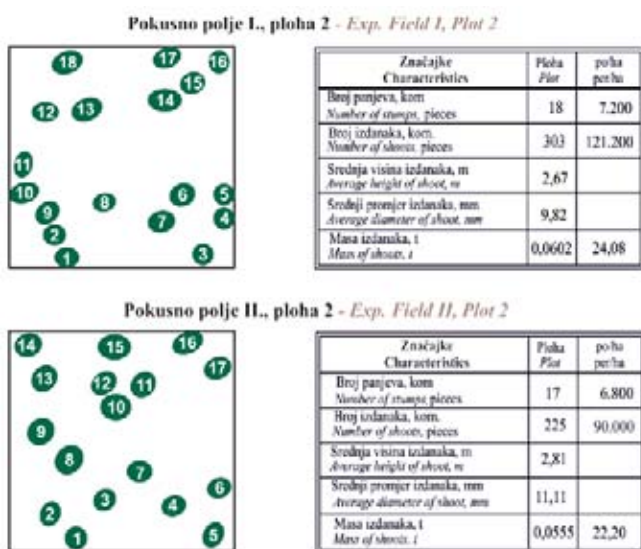
### Parametri produkcije zelene biomase u dvogodišnjoj ophodnji – Parameters of green biomass production in two-year rotation

Biopotencijal amorfe na plohama broj 2 istraživani je po drugi put. Podaci prvih izmjera predloženi su u radu Krpan i dr. (2011 – 2), a najnoviji rezultati dati su na slikama 5 i 6. Slike sadrže tlocrtni položaj amorfnih panjeva te tablični dio s podacima izmjere amorfnih izdanaka. Broj panjeva na plohama 2 u pokusnim poljima varira od 16 u polju III. do 19 u polju IV. Broj izdanaka na plohama je u rasponu od 225 u poljima II. i IV. do 303 u polju I. odnosno od 90.000 do 121.000 kom/ha. Najmanja srednja visina od 2,67 m zabilježena je u polju I. a najveća u polju II. i to od 2,81 m. Srednji prsni promjer najmanji je na plohi 2 u polju I. i iznosi 9,82 mm, a najveći je 11,77 mm na pokusnom polju IV. Nakon druge vegetacije utvrđena je produkcija zelene biomase amorfe na plohama od 55,50 kg do najviše 70,50 kg ili preračunato od 22,20 do 28,20 t/ha. Prosječna dvogodišnja proizvodnja zelene biomase iznosi 24,52 t/ha, a srednja godišnja je 12,26 t/ha, uz prosječnih 129.100 izdanaka/ha. Srednja masa jednog izdanaka amorfe na plohama prima vrijednosti od 0,1986 kg do 0,2640 kg, odnosno prosječnih 0,2404 kg za sve 4 plohe.

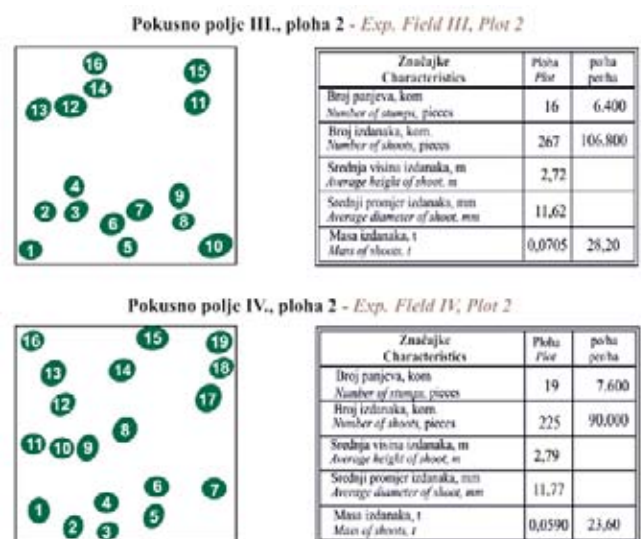
Pri prvim istraživanjima na pokusnim plohama 2 (2009) broj panjeva je od 29, utvrđen u polju IV., do 17 u poljima I. i II. Najveći je broj izdanaka 432 u polju III., a najmanji 265 u polju II. Srednje se visine izdanaka na plohama kreću od 2,28 m u polju I. do 2,58 m u poljima II. i IV. Srednji promjer izdanaka je u rasponu od 9,1 mm u polju I. do 10,5 mm u polju II. Produkcija zelene biomase pri prvoj izmjeri u dvogodišnjoj ophodnji kreće se od 21,73 t/ha do 31,42 t/ha, prosječno 24,52 t/ha uz prosjek od 135.650 izdanaka/ha (Krpan i dr. 2011 – 2). Srednja godišnja proizvodnja na plohama 2 iznosila je 12,25 t/ha, te je gotovo istovjetna onoj iz drugog dvogodišnjeg ciklusa.

### Parametri produkcije zelene biomase u četverogodišnjoj ophodnji – Parameters of green biomass production in four-year rotation

Plohe 4 u poljima I. – IV. su, sukladno postavljenoj vremenskoj shemi istraživanja na projektu, mjerene 2011. nakon četiri vegetacije. Podaci izmjera predloženi su na slikama 7 i 8. Na plohama se nalazi od 17 do najviše 19 aktivnih panjeva



Slika 5. Podaci izmjere na plohama 2 u pokusnim poljima I. i II.  
Fig. 5 Measured data on Plots no. 2 within Experimental Fields I and II

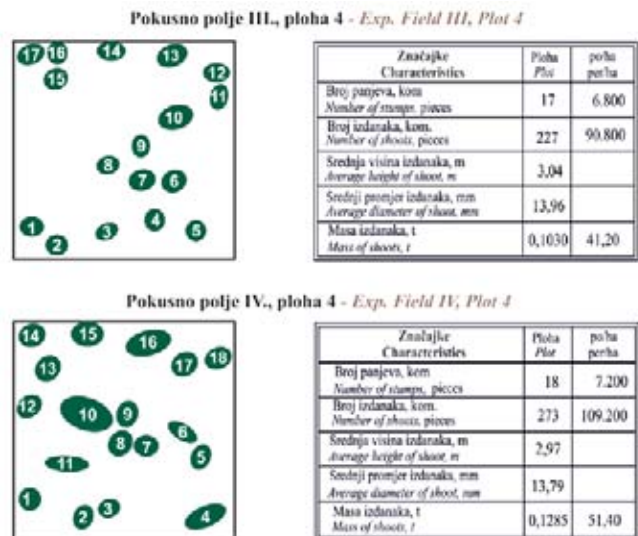


Slika 6. Podaci izmjere na plohama 2 u pokusnim poljima III. i IV.  
Fig. 6 Measured data on Plots no. 2 within Experimental Fields III and IV

na kojima je razvijeno od 227 (polje III.) do 329 (polje I.) stabalaca amorfe. Srednje vrijednosti visina stabalaca amorfe na plohama su u rasponu 2,82 do 3,04 m, a prsnih promjera od 11,49 mm do 13,96 mm. Srednja vrijednost visine za sve četiri plohe je 2,96 m te prsnih promjera 13,03 mm.

Nakon četverogodišnje ophodnje po hektaru nalazimo od 90.800 do 131.600 ili prosječno 109.000 izdanaka. Zelena biomasa amorfe kumulirana tijekom četiri vegetacije je od 83,10 do najviše 128,50 kg/plohi, što je od 33,24 do 51,40 t/ha ili prosječno 42.06 t/ha kumulirano na 109.000 izdanaka/ha. Prosječna godišnja produkcija zelene biomase na plohama 4 je u rasponu od 8,31 do 12,85 t/ha sa srednjom vrijednosti za sve 4 plohe od 10,52 t/ha. Srednja zelena masa jednog stabalca amorfe iznosi 0,3859 kg.

Proučavajući amorfu spoznali smo njene sjajne prilagodbe, koje joj omogućuju uspješnost i nažalost punu funkciju invazivne vrste. Zapaženo je da amorfa prve godine nakon sječe snažno iz panja potjera šibolike izdanke, trošeći svu energiju za visinski rast. U gornjoj trećini deblca samo lateralnim listovima formira krošnjicu. Nikakvo se granjanje kao ni cvatnja i pridonosenje ploda u prvoj vegetaciji ne događa. Zadivljujući je visinski rast u prvoj vegetaciji, kada šibolike izdanci bez krošnjica dosežu srednju visinu iznad dva metra. Time amorfa iz panja, a slično je i s onom iz sjemena, nadjačava bilo koju konkurentnu vrstu u pozicioniranju prema svjetlu, pa nažalost i one vrste što od prirode čine najkvalitetnije nizinske poplavne šume. Dosegnuvši dominantnu poziciju već tijekom prve godine, u drugoj i daljnjim vegetacijama stvara krošnju, intenzivno cvate i plodonosi. Zreli plodovi lako se truse i u vrijeme poplava raznose vodom, osvajajući na taj način nova područja. Kao što je u prvoj vegetaciji sva energija bila usmjerena na visinski rast, u drugoj i sljedećim vegetacijama amorfa mije-



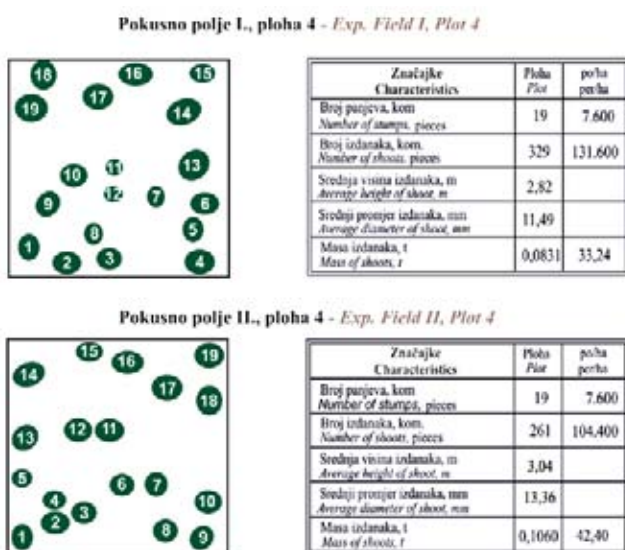
**Slika 8.** Podaci izmjere na plohama 4 u pokusnim poljima III. i IV.  
Fig. 8 Measured data on Plots no. 4 within Experimental Fields III and IV

nja strategiju usmjeravajući pretežito energiju u stvaranje sjemena uz značajno i sukcesivno smanjenje godišnjeg visinskog prirasta. Tako je u drugoj vegetaciji zabilježena srednja visina od 2,74 m, a godišnji prirast od svega 0,58 m. U četvrtoj vegetaciji prema našim mjerenjima srednja visina stabalaca je 2,96 m, a dvogodišnji visinski prirast svega 0,22 m. Debljinski rast i prirast nisu izraženi. Nakon prve vegetacije izmjereni srednji promjer je 7,33 mm, nakon druge 11,01 mm, a nakon četvrte 13,03 mm.

### Deskriptivna statistika srednjih prsnih promjera i visina izdanaka amorfe – Descriptive Statistics of Mean DBHs and Heights of Indigobush Shoots

U tablici 1 te na slikama 9, 10 i 11 prikazani su rezultati analize varijance prsnih promjera amorfe na istraživanim plohama. Na plohama 1 u pokusnim poljima I. – IV. uz  $F = 2,10$ , st. sl. = 3 i  $p < 0,098$  nisu utvrđene statistički značajne razlike. Međutim, statistički značajne razlike srednjih vrijednosti prsnih promjera pojavljuju se na pokusnim plohama 2 i 4. Kod dvogodišnje amorfe prsni promjeri izdanaka na plohi u pokusnom polju I. značajno se razlikuju ( $F = 8,804$ , st. sl. = 3,  $p < 0,0001$ ) u odnosu na vrijednosti srednjih promjera u ostala tri pokusna polja, među kojima inače nije utvrđena značajna statistička razlika.

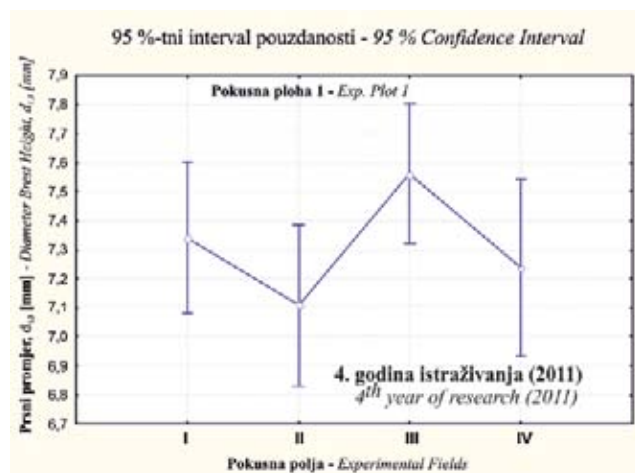
Kod četverogodišnje amorfe (plohe 4) razlika srednjih prsnih promjera je statistički značajna ( $F = 19,896$ , st. sl. = 3,  $p < 0,0001$ ). Iz provedene analize Tukey-evim Post Hoc testom, vidljivo je da se srednji promjer na plohi u prvom polju statistički značajno razlikuje od srednjih promjera na plohama ostalih polja. Srednji promjeri na plohama u drugom, trećem i četvrtom pokusnom polju međusobno ne pokazuju signifikantnu razliku.



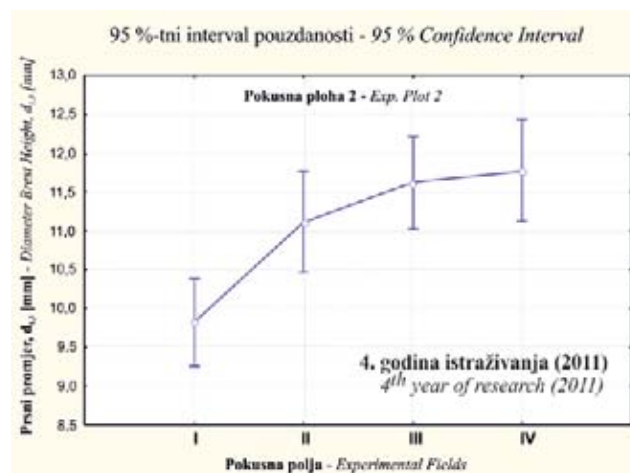
**Slika 7.** Podaci izmjere na plohama 4 u pokusnim poljima I. i II.  
Fig. 7 Measured data on Plots no. 4 within Experimental Fields I and II

**Tablica 1.** Deskriptivna statistika prsnih promjera izdanaka amorfe za plohe 1, 2 i 4 na pokusnim poljima I. – IV.**Tab. 1** Descriptive Statistics of Indigobush shoots DBH for Experimental Plots 1, 2 and 4 on Experimental Fields I - IV

Godina istraživanja Year of research 2011.	N	Aritmetička sredina - mm <i>Mean - mm</i>	Standardna devijacija <i>Standard Deviation</i>	Standardna pogreška <i>Standard Error</i>	Donja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti <i>Lower Limit 95 % Confidence Interval</i>	Gornja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti <i>Upper Limit 95 % Confidence Interval</i>
<b>Pokusna ploha 1 - Experimental Plot 1</b>						
<b>Ukupno - Total</b>	1132	7,33	2,309	0,069	7,200	7,469
Pokusna polja <i>Exp. Fields</i>	I.	299	7,34	2,290	7,081	7,602
	II.	264	7,11	2,420	6,814	7,401
	III.	351	7,56	2,367	7,312	7,809
	IV.	218	7,24	2,070	6,961	7,514
<b>Pokusna ploha 2 - Experimental Plot 2</b>						
<b>Ukupno - Total</b>	1020	11,01	5,064	0,159	10,697	11,319
Pokusna polja <i>Exp. Fields</i>	I.	303	9,82	3,395	9,437	10,205
	II.	225	11,11	3,696	10,626	11,597
	III.	267	11,62	2,827	11,284	11,965
	IV.	225	11,77	8,661	0,577	10,633
<b>Pokusna ploha 4 - Experimental Plot 4</b>						
<b>Ukupno - Total</b>	1090	13,03	4,520	0,137	12,760	13,297
Pokusna polja <i>Exp. Fields</i>	I.	329	11,49	3,729	11,089	11,897
	II.	261	13,36	4,522	12,805	13,907
	III.	227	13,96	4,370	13,383	14,527
	IV.	273	13,80	5,037	0,305	13,196

**Slika 9.** Srednji prsni promjeri na plohama 1, pokusna polja I. – IV.  
**Fig. 9** Mean DBH within exp. Plots no. 1, exp. Fields I – IV

U tablici 2 prikazani su rezultati analize varijance visina izdanaka amorfe na istraživanim plohama. Grafički prikaz dat je na slikama 12, 13 i 14. Analizom rezultata mjerenja utvrđeno je kako postoji statistički značajna razlika u visinama na plohi 1 ( $F = 11,48$ , st. sl. = 3,  $p < 0,001$ ). Tukeyev Post Hoc test pokazuje da se srednje visine u poljima I. i IV. statistički značajno razlikuju od polja II. i III. Između srednjih visina u poljima I. i IV., kao i poljima II. i III. nije utvrđena statistički značajna razlika.

**Slika 10.** Srednji prsni promjeri na plohama 2, pokusna polja I. – IV.  
**Fig. 10** Mean DBH within exp. Plots no. 2, exp. Fields I – IV

Kod srednjih visina dvogodišnje amorfe također postoji statistički značajna razlika ( $F = 3,54$ ; st. sl. = 3;  $p < 0,01426$ ) i to između prvog i drugog polja, dok se ostala polja međusobno statistički značajno ne razlikuju, na što ukazuje Tukeyev Post Hoc test.

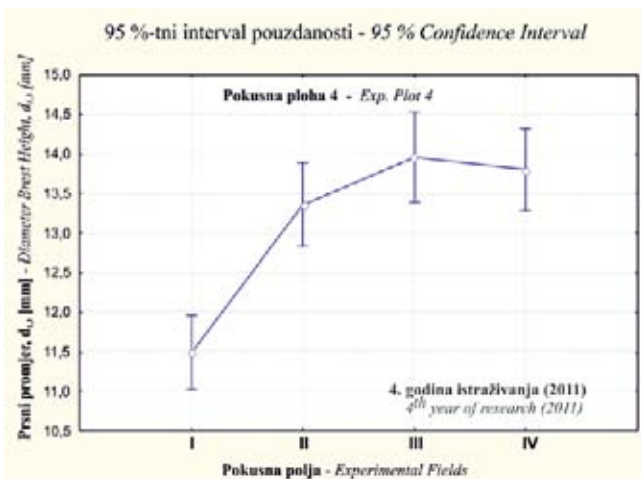
Statistički značajnu razliku u vrijednostima srednjih visina nalazimo na četverogodišnjim plohama ( $F = 8,74$ , st. sl. = 3,  $p = 0,0001$ ) na način da se srednja visina na pokusnoj plohi u prvom polju statistički značajno razlikuje od svih ostalih



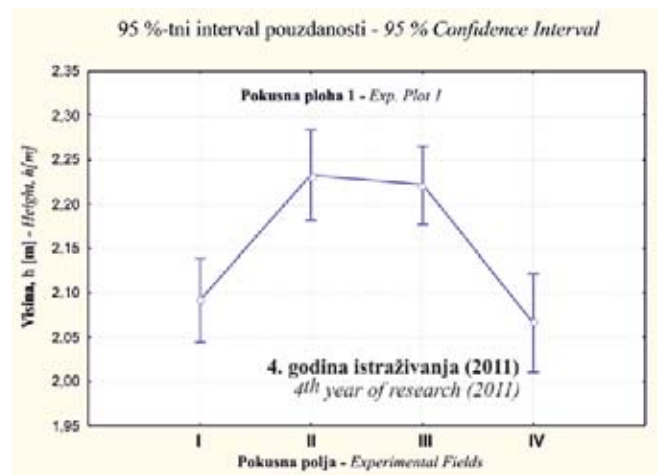
**Tablica 2.** Deskriptivna statistika visina izdanaka amorfe za plohe 1, 2 i 4 na pokusnim poljima I – IV.

**Tab. 2** Descriptive Statistics of Indigobush shoots heights for Experimental Plots 1, 2 and 4 on Experimental Fields I – IV

Godina istraživanja Year of research 2011.	N	Aritmetička sredina - m <i>Mean - m</i>	Standardna devijacija <i>Standard Deviation</i>	Standardna pogreška <i>Standard Error</i>	Donja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti <i>Lower Limit 95 % Confidence Interval</i>	Gornja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti <i>Upper Limit 95 % Confidence Interval</i>
<b>Pokusna ploha 1 - Experimental Plot 1</b>						
<b>Ukupno - Total</b>	1132	2,16	0,423	0,012	2,135	2,184
Pokusna polja <i>Exp. Fields</i>	I.	299	2,09	0,391	2,047	2,136
	II.	264	2,23	0,455	2,177	2,287
	III.	351	2,22	0,431	2,176	2,267
	IV.	218	2,07	0,382	2,015	2,117
<b>Pokusna ploha 2 - Experimental Plot 2</b>						
<b>Ukupno - Total</b>	1020	2,74	0,569	0,018	2,707	2,777
Pokusna polja <i>Exp. Fields</i>	I.	303	2,67	0,560	2,606	2,732
	II.	225	2,81	0,620	2,733	2,896
	III.	267	2,72	0,484	2,665	3,782
	IV.	225	2,79	0,790	2,710	2,870
<b>Pokusna ploha 4 - Experimental Plot 4</b>						
<b>Ukupno - Total</b>	1090	2,95	0,618	0,019	2,919	2,992
Pokusna polja <i>Exp. Fields</i>	I.	329	2,82	0,530	2,759	2,874
	II.	261	3,04	0,602	2,968	3,115
	III.	227	3,04	0,654	2,951	3,122
	IV.	273	2,97	0,672	2,893	3,053



**Slika 11.** Srednji prsni promjeri na ploham 4, pokusna polja I – IV.  
**Fig. 11** Mean DBH within exp. Plots 4, exp. Fields I – IV



**Slika 12.** Srednje visine na ploham 1, pokusna polja I – IV.  
**Fig. 12** Mean of shoots heights within exp. Plots 1, exp. Fields I – IV

polja (II., III. i IV). Međutim, srednje visine navedenih polja međusobno ne pokazuju statistički značajne razlike.

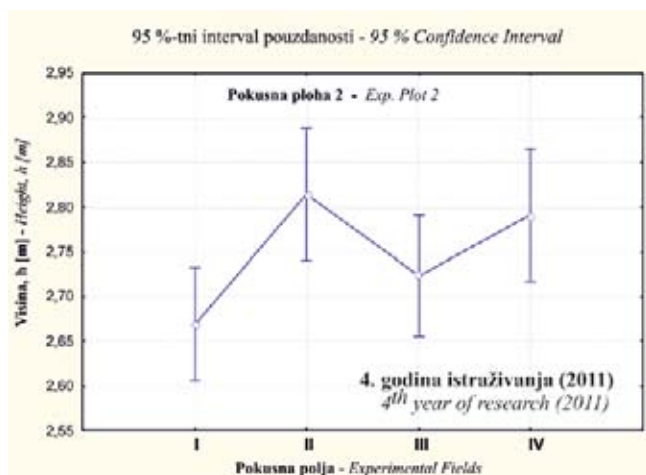
### Bioproizvodnost amorfe

#### *Bioproductivity of Indigobush*

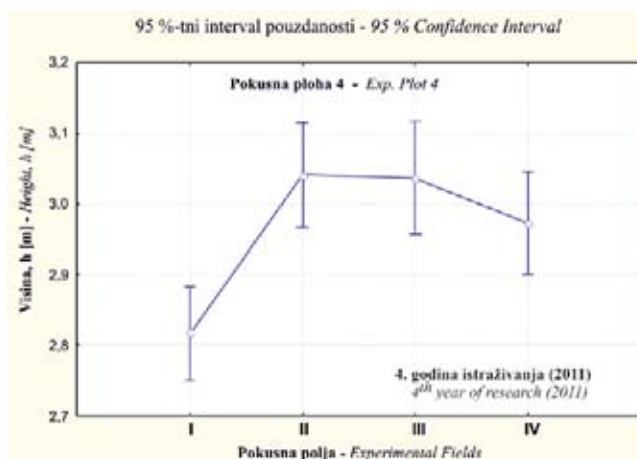
U tablici 3 prikazana je proizvodnja zelene i suhe biomase amorfe na ploham 1, 2 i 4 u pokusnim poljima I – IV. Podaci se odnose na prinos zelene mase (drva s korom) na

ploham utvrđene izmjerom neposredno nakon sječe amorfe (tablice na slikama 3 – 8). Postotni udio mokrine u drvu amorfe određen je laboratorijskim ispitivanjem. Na temelju tih dviju veličina izračunana je zelena biomasa po hektaru, udio suhe tvari u zelenoj masi amorfe te bioproizvodnja suhe tvari na ploham preračunato na hektar.

Mokrina drva amorfe u času sječe važna je radi nasipne gustoće, tržišne vrijednosti sječke vezane za sadržaj vode i vre-



Slika 13 Srednje visine na plohama 2, pokusna polja I. – IV.  
Fig. 13 Mean of shoots heights within exp. Plots 2, exp. Fields I – IV



Slika 14. Srednje visine na plohama 4, pokusna polja I. – IV.  
Fig. 14 Mean of shoots heights within exp. Plots 4, exp. Fields I – IV

mensko trajanje sušenja sječke. Na plohama 1 postotak mokrine drva amorfe je u rasponu od 35,27 % do 37,02 % sa srednjom vrijednosti od 35,92 %, na plohama 2 raspon mokrine je od 35,26 % do 36,03 % uz srednju vrijednost od 35,71 %, a na plohama 4 raspon je 30,91 % do 35,59 % sa srednjom vrijednosti od 33,19 %. Uzorci su na svim plohama uzimani istoga dana, što je slučaj i s provedbom laboratorijskih izmjera i postupaka s uzorcima drva amorfe, što potvrđuje da je u drvu najstarije četverogodišnje amorfe postotak mokrine nešto niži u odnosu na mlađe izdanke amorfe razvijene na plohama jednogodišnje i dvogodišnje ophodnje. Ranijim utvrđivanjem mokrine na uzorcima jednogodišnjeg drva amorfe u času sječe što ih donose u objavama Krpan i Tomašić

(2009), Krpan i dr. (2011 – 2), Krpan i dr. (2012) zabilježene su sljedeće srednje vrijednosti: 2008. godine 40,00 %, 2009. godine 34,23 % i 2010. godine 33,71 %. Godine 2011. srednja mokrina uzoraka drva amorfe na plohama 1, kako je već navedeno, iznosila je 35,92 %. Dvogodišnja amorfa (plohe 2) je osim 2011. ranije istraživana 2009. godine kada je utvrđena mokrina iznosila od 32,89 % do 33,42 % uz srednju vrijednost od 33,12 %. Uzimajući u obzir sve plohe mokrina se amorfe u vegetacijskom mirovanju kretala u relativno uskom rasponu od 30,91 % do 37,02 %.

Udio suhe tvari u uzorcima drva amorfe promatrajući sve istraživane plohe ima raspon od 62,98 % do 69,09 %, najniži u plohama 1 s prosjekom 64,08 %, u plohama 2 iznosi

Tablica 3. Proizvedena biomasa amorfe te udjeli mokrine i suhe tvari

Tab. 3 Indigobush Biomass production, moisture and dry mass

Pokusno polje Experimental Field	Pokusna ploha Experimental Plot	Zelena masa Green mass		Udio Share of		Suha tvar Dry mass	
		na plohi per plot	po hektaru per hectare	mokrine moisture	suhe tvari dry mass	po plohi per plot	po hektaru per hectare
		kg	t/ha	%	%	kg	t/ha
I.	1	25,50	10,20	37,02	62,98	16,05	6,42
	2	60,20	24,80	35,79	64,21	38,65	15,92
	4	83,01	33,24	33,75	66,25	55,05	22,02
II.	1	24,55	9,80	35,68	64,32	15,75	6,30
	2	55,50	22,20	35,78	64,22	35,64	14,26
	4	106,00	42,40	35,51	64,49	68,35	27,34
III.	1	33,00	13,20	35,27	64,73	21,36	8,54
	2	70,50	28,20	36,03	63,97	45,10	18,04
	4	103,00	41,20	30,91	69,09	71,16	28,46
IV.	1	18,50	7,40	35,75	64,25	11,88	4,75
	2	59,00	23,60	35,26	64,74	38,20	15,28
	4	128,50	51,40	32,59	67,41	86,62	34,65
<b>Prosječno Average</b>	<b>1</b>	<b>25,37</b>	<b>10,15</b>	<b>35,92</b>	<b>64,08</b>	<b>16,26</b>	<b>6,50</b>
	<b>2</b>	<b>61,30</b>	<b>24,52</b>	<b>35,71</b>	<b>64,29</b>	<b>39,41</b>	<b>15,76</b>
	<b>4</b>	<b>105,15</b>	<b>42,06</b>	<b>33,19</b>	<b>66,81</b>	<b>70,25</b>	<b>28,10</b>

64,29 %, a u plohama 4 je sa 66,81 % najviši. Apsolutne vrijednosti proizvedene suhe biomase amorfe 2011. godine na plohama 1 su od 11,88 kg/plohi do 21,36 kg/plohi ili prosječno 16,26 kg/plohi odnosno 6,50 t/ha. Ranijim mjerenjima utvrđena je bioproizvodnost suhe biomase na plohama 1, što je 2008. iznosila 12 t/ha (Krpan i Tomašić 2009), 2009. godine 7,87 t/ha (Krpan et al. 2011 – 2), 2010. godine 9,79 t/ha, a 2011. godine 6,5 t/ha, pa se može zaključiti da bioproizvodnost amorfe u jednogodišnjim ophodnjama značajno varira s trendom opadanja.

U dvogodišnjoj ophodnji na plohama 2, proizvedeno je od 35,64 kg do 45,10 kg suhe biomase, prosječno 39,41 kg/plohi ili 15,76 t/ha. Srednja godišnja bioproizvodnja suhe tvari amorfe u dvogodišnjem turnusu iznosi 7,88 t/ha. U drugoj godini istraživanja (2009) na plohama 2 suha je drvena tvar iznosila od 36,46 kg do 52,30 kg, uz prosjek od 40,99 kg/plohi (Krpan i dr. 2011–2). Znači da je srednja dvogodišnja bioproizvodnja suhe tvari amorfe iznosila 16,40 t/ha ili godišnje prosječno 8,20 t/ha, što čini za 0,31 t/ha veću vrijednost bioproizvodnje u odnosu na drugi dvogodišnji turnus iz 2011. godine.

U četverogodišnjoj ophodnji amorfe na plohama 4, suha biomasa amorfe poprima vrijednosti od 55,05 kg do najviše 86,62 kg ili prosječno 70,25 kg/plohi odnosno prosječno 28,10 t/ha. Srednja godišnja bioproizvodnja suhe biomase u četverogodišnjoj ophodnji iznosi 7,03 t/ha. Usporedivši srednje vrijednosti bioproizvodnje suhe tvari u jednogodišnjem turnusu na plohama 1 tijekom četiri godine (2008 – 2011) s prosječnom bioproizvodnjom suhe biomase u jednom četverogodišnjem turnusu, nalazimo da je pri godišnjim turnusima tijekom četiri godine bioproizvodnja amorfe veća za prosječno 2,01 t/ha. Slično, u dva dvogodišnja turnusa srednja godišnja bioproizvodnja amorfe je iznosila 8,04 t/ha, što je u odnosu na jedan četverogodišnji turnus za 1,01 t/ha više. U ranijim radovima već smo naveli tvrdnju Klačnje et al. (2012) da najveću godišnju biomasu među klonovima topole postiže klon B81 i to 6,62 t/ha nakon prve godine i klon B-299 s 20,10 t/ha nakon druge godine. Nadalje, utvrdili su da je najveća godišnja produkcija u plantažama kratkih ophodnji 7,24 t/ha, a pripada klonu PE 19/66. Meritorna su istraživanja Kajbe (2009) koji navodi da klonovi stablastih vrba imaju najveći potencijal u produkciji biomase u kratkim ophodnjama. U raznim se pokusima proizvedena suha biomasa kretala od 9,3 t/ha do 19,8 t/ha. Izneseni podaci ukazuju na konkurentnost amorfe u proizvodnji biomase u kratkim ophodnjama, tim više što produkciju biomase može postizati bez ikakvih agrotehničkih mjera, pa tako i pripadnih troškova. Utvrđena bioproizvodnja amorfe odnosi se na masu drva i kore. Pri pokušaju branja sjemena zapaža se veliki gubitak zbog trešnje stabilaca, kao i prirodnim osipanjem. Po našoj procjeni gubici sjemena bi mogli iznositi više od 70 %, što je onemogućilo utvrđivanje realne količine mase sjemena. Navedeno

ukazuje kako se pri sječi nakon završene vegetacije, manipulaciji, usitnjavanju i transportu zapravo gubi svo sjeme, te ga uz lišće ne možemo očekivati u procesu spaljivanja u energanama.

## ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Amorfa, sjevernoamerička vrsta unesena u Hrvatsku prije nešto više od jednog stoljeća od prirode se vrlo uspješno širi u pojasu nizinskih šuma Hrvatske, nanoseći velike štete obnovi sastojina, podvrgnuta je šestogodišnjim istraživanjima usmjerenim prema utvrđivanju čimbenika njenog biopotencijala i moguće korisnosti kao obnovljivog izvora biomase za energiju. Šumska biomasa za energiju u svim je elementima definirana europskim normama, što su putem Zavoda za normizaciju Republike Hrvatske prihvaćene kao hrvatske norme. Amorfa je tim normama razvrstana u četvrtu razinu izvora oblika drvene biomase, što se odnosi na biomasu grmlja.

Bioprodukcija amorfe u prezentiranom radu, utemeljena na izmjeri parametara rasta i prirasta, gustoći izdanačke populacije, parametrima laboratorijskih istraživanja, njenoj zelenoj masi, mokrini i suhoj masi po jedinici ploštine u jednogodišnjoj, dvogodišnjoj i četverogodišnjoj ophodnji, unatoč razumljivim oscilacijama, ukazuje na potencijalnu korisnost amorfe u obitelji krutih goriva šumske biomase za energiju. Prikazani su prethodni rezultati istraživanja na temelju kojih, zbog oscilacija godišnje produkcije biomase, nije moguć odabir i preporuka optimalne ophodnje.

## ZAHVALE ACKNOWLEDGEMENTS

Ovaj je članak realiziran kao dio projekta *Biopotencijal i energetske značajke amorfe*, koji je putem Akademije za šumarske znanosti u Zagrebu ugovoren s Hrvatskim šumama d.o.o. Stoga se zahvaljujemo Povjerenstvu za znanstveno-istraživački rad radi prihvaćanja i financiranja projekta, nadalje Upravi šuma Podružnici Sisak i Šumariji Sunja na čijem smo terenu postavili pokus te svim operativnim i timskim suradnicima na projektu koji su dali svoj doprinos njegovoj provedbi. Posebno se zahvaljujem Hrvatskom šumarskom institutu, Jastrebarsko, radi pomoći pri terenskim izmjerama i laboratorijskoj obradi uzoraka.

## LITERATURA REFERENCES

- Anon., 2012: Priručnik o gorivima iz drvene biomase. Biomass trade centre 2008; Izdanje na hrvatskom jeziku – Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske 2012, Laser plus d. o. o., 1–77, Zagreb.

- HRN EN 14588:2010 – Solid biofuels – Terminology, definitions and descriptions – Čvrsta biogoriva – Nazivlje, definicije i opisi
- HRN EN 14961-1:2010 – Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements – Čvrsta biogoriva – Specifikacije goriva i razredi – 1. dio: Opći zahtjevi.
- HRN EN 15234-4:2012 – Fuel quality assurance – Part 4: Wood chips for non-industrial use. Jamstvo kvalitete goriva – 4. dio: Drvna sječka za neindustrijsku uporabu
- HRN D. B5. 023 – 1979 – Drvo za ogrjev.
- JUS D. B5. 023 – 1955 Drvo za ogrjev
- JUS D. B5. 023 – 1979 Drvo za ogrjev
- JUS D. B5. 023 – 1985 Drvo za ogrjev
- Kajba, D. 2009: Produkcija biomase vrba u kulturama kratkih ophodnji//*Willow biomass production in short rotation coppice*. U: A.P.B. Krpan (ur.) Biological-Ecological and Energetic Characteristics of Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) in Croatia, Book of Abstracts and CD, M. Benko, p.20/46, Zagreb.
- Klačnja, B., Orlović, S., Z. Galić, 2012: Energetski potencijal nasada topola sa dva razmaka sadnje i dvije dužine ophodnje// Energy potential of poplar plantations in two spacing and two rotations. Šum. List, 136 (3–4): 161–167, Zagreb.
- Krpan, A. P. B., Tijardović, M. 2009: Prezentacija projekta: Šumski proizvodi i tehnologije pridobivanja – biopotencijal i energetske značajke amorfe (*Amorpha fruticosa* L.)//*Project: Forest products and harvesting technology – Biopotential and energetic characteristics of Indigobush (Amorpha fruticosa L.)*. U: A.P.B. Krpan (ur.) Biological-Ecological and Energetic Characteristics of Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) in Croatia, Book of Abstracts and CD, M. Benko, p.32/58, Zagreb.
- Krpan, A. P. B., Ž. Tomašić, 2009: Amorfa (*Amorpha fruticosa* L.) – izvor biomase za energiju//*Indigobush (Amorpha fruticosa L.) – biomass source for energy*. U: A.P.B. Krpan (ur.) Biological-Ecological and Energetic Characteristics of Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) in Croatia, Book of Abstracts and CD, M. Benko, p.18/44, Zagreb.
- Krpan A. P. B., Tomašić Ž., P. Bašić Palković, 2011–1: Bioenergetski potencijal amorfe (*Amorpha fruticosa* L.) // Bioenergetic Potential of Indigobusch (*Amorpha fruticosa* L.). Zbornik radova 3. međunarodne energetske konferencije: Kako iskoristiti drvenu biomasu za regionalni razvoj i nove ulagačke projekte u gospodarstvo i lokalnu samoupravu u jugoistočnoj Europi. 5. svibnja 2011., Slavonski Brod, str.133–140, Slavonski Brod.
- Krpan, A. P. B., Tomašić, Ž., P. Bašić Palković, 2011–2: Biopotencijal amorfe (*Amorpha fruticosa* L.) – druga godina istraživanja, Šumarski list vol. 135, Posebni broj (2011), Zagreb, Hrvatska, str. 103–113, Zagreb.
- Krpan, A. P. B., Tomašić, Ž., I. Stankić, 2014: Istraživanja bioprodukcijaskih i energetskeg potencijala amorfe (*Amorpha fruticosa* L.), Šumarski list vol. 138, br. 1–2, Zagreb, Hrvatska, str. 43–54, Zagreb.
- Labudović, B., 2012: Osnove primjene biomase. Energetika/Marketing d. o. o. (u. B. Ilijaš), Grafika Hrašće Zagreb, 1–318, Zagreb.
- Loibneggar, T., 2011: Smjernice za primjenu normi za goriva iz drvne biomase. Landwirtschaftskammer Steiermark. Izdanje na hrvatskom jeziku – Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, Hrvatske šume d. o. o., Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva (u. V. Šegon, Z. Benković), 1–32, Zagreb.
- Marosvölgyi, B., Hájos, A., Zs. Horváth, 2009: Ispitivanje energetske pogodnosti amorfe (*Amorpha fruticosa* L.) u Mađarskoj// *Examinations on energetics utilization of Indigobush (Amorpha fruticosa L.) in Hungary*. U: A.P.B. Krpan (ur.) Biological-Ecological and Energetic Characteristics of Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) in Croatia, Book of Abstracts and CD, M. Benko, p.17/43, Zagreb.

## Summary

At the beginning of 2008, within the scope of the project *Forest products and harvesting technology* agreed with Croatian Forests Ltd, Zagreb, we have set up a research of biopotential, energetic characteristics and harvesting technology and use of indigobush biomass. From the above mentioned project, in 2012, a separate project *Biopotential and energy characteristics of indigobush* was transferred to the *Academy of forestry sciences*. The research ground was established in the pure indigobush stand in the forest management unit of the Posavina Forests, department 126a, Forest Office Sunja, Forest Administration Sisak. Within the block system, four test fields have been established; each with six 5 x 5 m large sub-test plots. (Figure 1)

This paper shows the results of the fourth year of research of indigobush considering its bioproductivity potential with a reference to the prescribed standards, harvesting characteristics and market demands, all which determines its position within the family of renewable resources of wood biomass for energy purposes. The research has encompassed plots 1, 2 and 4, i.e. bioproductivity of indigobush in one-year, two-year and four-year rotations. Within the scope of forest biomass issues, a higher number of HRN EN standards was considered, and a critical review of the terminology related to forest biomass, i.e., hard fuels, a term unscrupulous authors use in their publications.

Data of plots 1 are shown in Figures 3 and 4. In a one-year rotation per hectare, there were 87 200 to 140 400 one-year-old sprouts of indigobush. Mean height of sprouts on plots vary in a narrow range of 16 cm, taking a value of 2.07 m on the test field IV and up to 2.23 m on the test field II. The smallest mean diameter is recorded on the test field II and it amounts to 7.11 mm, while the largest was found on the test field III and it was 7.56 mm. Green indigobush mass on plots 1 ranges between 18.50 kg to 33.00 kg or in the calculation per hectare of the surface, it ranges between 7.40 t/ha and 13.20 t/ha. The difference between the smallest and the biggest value of green mass production on plots 1 is significant and it amounts to 5.80 t/ha. Average bioproduction of the green mass of indigobush on plots 1 in the fourth year of research amounts to 10.15 t/ha. Mean mass of one sprout of indigobush for all four plots is 0.0897 kg.

Data of plots 2 are shown in Figures 5 and 6. Number of sprouts on plots 2 ranges from 225 on fields II and IV up to 303 on field I, respectively, from 90 000 pcs/ha to 121 000 pcs/ha. Minimal mean height of 2.67 m is recorded in field I, and the maximal in field II, namely, 2.81 m. Mean diameter was the lowest on plot 2 in field I and it amounts to 9.82 mm, while the largest of 11.77 mm was recorded on test field IV. After long vegetation the established production of green mass of indigobush on plots amounts from 55.50 kg to a maximum of 70.50 kg or from 22.20 t/ha to 28.20 t/ha.

Average biannual production of green biomass amounts to 24.52 t/ha, respectively, average annual value amounts to 12.26 t/ha. Mean mass of one sprout of indigobush on plots assumes the value from 0.199 kg to 0.264 kg, i.e. 0.240 kg on average for all plots.

The parameters of bioproduction of indigobush for plots 4 are shown in Figures 7 and 8. Mean sprout height on plots 4 varies from 2.82 m to 3.04 m, and the diameter from 11.49 mm to 13.96 mm. The accumulated green biomass of indigobush during four vegetative periods varies between 83.10 kg/plot to a maximum of 128.50 kg/plot. After four-year rotations, per hectare, we acquired from 90 800 to 131 600 or an average of 109 000 sprouts and green biomass between 33.24 t/ha and 51.40 t/ha or an average of 42.06 t/ha. Average annual production of green biomass on plots 4 ranges from 8.31 t/ha to 12.85 t/ha and the mean value for all plots is 10.52 t/ha. Mean mass of one sprout of indigobush on all plots is 0.386 kg.

Table 1 and Figures 9, 10 and 11 show data of the variation analysis of diameter at breast height, and Table 2 and Figures 12, 13 and 14 show data of the variation analysis of mean sprout height of indigobush, including a discussion.

Table 3 shows the production of green biomass, laboratory determined percentages of moisture ratio of green indigobush and dry biomass matter. On plots 1, the percentage of moisture of indigobush wood ranges from 35.27 % to 37.02 % with a mean value of 35.92 %, on plots 2 the range of moisture is between 35.26 % and 36.03 % with mean value of 35.71 %, while on plots 4 it ranges between 30.91 % and 35.59 % with a mean value of 33.19 %. The proportion of dry matter in the samples of indigobush wood, relevant for all tested plots, ranges from 62.98 % to 69.09 %. In average, it is lowest on plots 1 with 64.08 %; on plots 2 the average value is 64.29 %, and on plots 4 it is the highest and it amounts to 66.81 %. Absolute values of the produced dry indigobush biomass in 2011 on plots 1 ranges from 11.88 kg/plot to 21.36 kg/plot or in average 16.26 kg/plot, i.e., or 6.5 t/ha of dry biomass.

On plots 1, which are harvested on a yearly basis at the end of every vegetative period, the annual level of bioproduktivity of dry biomass after the first vegetation in 2008, it amounted to 12 t/ha (Krpan and Tomasic, 2009), after the second (2009) it was 7.87 t/ha (Krpan et al. 2011 –2), after the third (2010) it was 9.79 t/ha, and in 2011 it was 6.5 t/ha, and thus it could be concluded that bioproduktivity of indigobush in one year rotation varies and has a decreasing trend in comparison with the first vegetation.

In a two-year rotation on plots 2, it was produced between 35.64 kg and 52.30 kg, with an average of 40.99 kg/plot (Krpan et al. 2011 –2). Therefore, the mean biannual bioproduktivity of dry indigobush matter amounted 16.40 t/ha or on an annual average basis it was 8.20 t/ha which increases the value of bioproduktivity for 0.31 t/ha in comparison with the second biannual yield in 2011.

In the four-year rotation of indigobush on plots 4, the established bioproduktivity of dry biomass of indigobush has a value from 55.05 kg/plot to a maximum of 86.62 kg/plot or an average of 70.25 kg/plot, respectively, 28.10 t/ha. Mean annual bioproduktivity of dry biomass in the four year rotation was 7.03 t/ha.

Bioproduktivity of indigobush in this paper, based on the measurements of growth and increment parameters, density of the sprouts, parameters of laboratory research, its green mass, moisture and dry matter per plot unit in one-year, two-year and four-year rotation, despite the understandable variations, shows the potential benefit of indigobush within the family of solid fuels derived from forest biomass for energy. This paper showed previous research results based on which, due to the variations in the annual biomass production, it is not possible to choose and recommend an optimal rotation.

---

KEY WORDS: Indigobush bioproduktivity, biomass standards, lowland forest ecosystems, Croatia