

ISTRAŽIVANJA BIOPRODUKCIJSKIH I ENERGETSKIH POTENCIJALA AMORFE (*Amorpha fruticosa* L.)

STUDY OF BIOPRODUCTIVE AND ENERGY POTENTIALS OF INDIGOBUSH (*Amorpha fruticosa* L.)

Ante P. B. KRPAN¹, Željko TOMAŠIĆ², Igor STANKIĆ³

Sažetak:

U radu su prikazani rezultati treće godine istraživanja vezanih za biopotencijal i energetske značajke amorfe. Cjelokupno istraživanje planira se završiti unutar razdoblja od 6 godina. Prema utvrđenoj godišnjem planu, istraživanja su provedena na plohama 1 i 3. Istraživački blok poligon postavljen je u trinaestogodišnjoj amorfi u odjelu 126a u Gospodarskoj jedinici Posavske šume, Šumarija Sunja, UŠP Sisak. Istraživanja se provode na temelju protokola projekta i godišnjih planova rada na četiri pokusna polja, svako sa po šest pokusnih ploha veličine 5 x 5 m. Temeljna zadaća znanstveno-istraživačkog projekta je utvrđivanje trendova kretanja bioproizvodnog, odnosno bioenergijskog kapaciteta u od prirode zakorijenjenoj amorfi pri ponavljanim sječama. Vremenski ritam istraživanja određen je pripadnim brojem plohe, definiran uz to projektnim protokolom i godišnjim planovima rada.

Na plohama 1, koje se sijeku svake godine po završetku vegetacije, utvrđeno je da godišnja bioproizvodnost zelene i suhe biomase varira. Nakon prve vegetacije 2008. suha je tvar iznosila 12 t/ha (Krpan i Tomašić 2009), nakon druge (2009) 7,87 t/ha (Krpan et al. 2011b), a nakon treće (2010) 9,79 t/ha, pa se može zaključiti da je trend bioproizvodnje amorfe u opadanju u odnosu na prvu vegetaciju. Godišnja prosječna proizvodnja u dvogodišnjoj ophodnji amorfe je 8,19 t/ha, a u trogodišnjoj 7,03 t/ha. Zelena biomasa amorfe svedena je na suhu, prema udjelima mokrine drva koja u uzorcima u trenutku sječe varira ne prelazeći 35 %.

Bioproizvodnost amorfe iz panja ovisi o broju izdanaka i njihovim dimenzijama, na što će utjecati vanjski utjecaji poput hranidbenog potencijala tla te prevladavajućih klimatskih čimbenika u vrijeme vegetacije. Na plohama 1 srednji prsni promjer izdanka amorfe je 7,99 mm, a srednja visina 2,37 m, a na plohama 3 srednji je prsni promjer 11,61 mm, a srednja visina 2,79 m.

Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja, unatoč utvrđenim trendovima opadanja bioproizvodnosti, amorfa zadržava konkurentnost u području obnovljivih izvora energije. Posebice iz razloga potpune prirodne pojavnosti i razvoja bez ikakvih agrotehničkih mjera i troškova (osim troškova pridobivanja i manipulacije), bez kakvih nije zamislivo podizanje i gospodarenje energetskih nasada kratkih ophodnji poznatih brzorastućih vrsta drva.

KLJUČNE RIJEČI: Bioproizvodnost amorfe, energetska korisnost, nizinski šumski ekosustavi, Hrvatska

¹ Prof. dr. sc. Ante P. B. Krpan, Akademija šumarskih znanosti, Trg mažuranića 11, HR-10.000 Zagreb, antek@sumins.hr

² Dr. sc. Željko Tomašić, Hrvatske šuma d.o.o., J. Vukotinića 2, HR-10.000 Zagreb, zeljko.tomasic@hrsume.hr

³ Dr. sc. Igor Stankić, Šumarski fakultet Zagreb, Svetošimunska 25, HR-10.000 Zagreb, igor.stankic@sumfak.hr

Uvod

Introduction

Prve naftne krize sedamdesetih godina prošloga stoljeća pokreću razvijene zemlje prema traženju vlastitih alternativnih, trajno obnovljivih izvora energije, koji bi im omogućili daljnji ekonomski razvoj i globalnu konkurentnost u energetske neovisnosti. U početku je u prvom planu bila supstitucija fosilnih energenata drugim izvorima energije, a spoznaje o globalnim ekološkim opasnostima za planet Zemlju, koje izviru iz sve veće uporabe fosilnih goriva, postaju dominantne tek u kasnijoj fazi. Iz oba razloga zemlje članice EU donose obvezujuće političke odrednice o obujmu zamjene fosilnih goriva alternativnim, ekološkim, učinkovitim i obnovljivim izvorima energije povezano s vremenskim rokovima. Posljedica je takvih odluka povećana potražnja šumske biomase, što vodi višim tržišnim cijenama te uz pretpostavku državnih subvencija, mogući pristup onome dijelu šumske biomase (ostaci na sječinama, materijal iz čišćenja i ranih proreda, energetske šume kratkih ophodnji) koji do sada nije bio dostupan. Energija iz biomase u obliku topline, tekućih goriva ili električne energije osim socioekonomskih i ekoloških pogodnosti, donosi šire gospodarske prednosti kao što su: povećanje neovisnosti o uvozu energije, izbjegavanje povećanog deviznog odljeva zbog porasta cijena energenata, smanjenje emisije stakleničkih plinova, otvaranje novih tvrtki, stvaranje novih tehnologija, otvaranje novih radnih mjesta u industriji, obrtu, poljoprivredi i šumarstvu, stvaranje dugoročnih perspektiva za osiguranje energijskom opskrnom temeljeno na povećanju domaćih izvora (Gradečka deklaracija – 1. Srednjeeuropska konferencija o biomasi, Graz, siječanj 2005).

Uporabom biomase za energiju u zemaljsku atmosferu vraća se CO₂ u količini ekvivalentnoj utrošku pri gradbi biljaka fotosintetskim procesima. Spaljivanjem šumske biomase u suvremenim kotlovskim postrojenjima pojavljuju se izgorini plinovi (SO₂, NO_x, C_xH_y i CO) u količinama manjim od dopuštenih tehničkim propisima. Analizom kriterija učinkovitosti pretvorbe primarne energije iz biomase u finalnu energiju poput topline, struje i tekućih goriva, kriterija izlazne finalne energije po jedinici površine i kriterija troškova proizvodnje energije, dolazi se do odgovora da je najpovoljnije uporabiti biomasu za proizvodnju topline, zatim za proizvodnju tekućih goriva, a potom za kogeneracijsku proizvodnju topline i električne struje (AEBIOM, Biomass News 13-2007). Šumarski stručnjaci u Hrvatskoj procjenjivali su potencijale prirodnih šuma s obzirom na biomasu za energiju (Anon. 2001), vežući se pritom za biomasu stabala. Za planiranje i razvoj bioenergetskih kapaciteta važne su dostupne količine šumske biomase i kontinuiranost opskrbe. U ovom trenutku dostupnu šumsku biomasu u Hrvatskoj čini ogrijevno drvo iz redovne šumske proizvodnje, nešto ostataka nakon sječe i izrade, pilan-

ski otpad pri primarnoj preradi trupaca te otpad pri obradi drva. Navedeno čini manje od trećine raspoložive biomase za energiju iz prirodnih šuma. Biomasa amorfe pri navedenim izračunima nije uzimana u obzir, a ona je kako naslućujemo realnost, koju je potrebno istraživanjima potvrditi.

Problematika

Scope of research

Provedena istraživanja biomase u Hrvatskoj bila su pretežito usmjerena prema komercijalnim šumskim vrstama. Pretpostavka je da će zbog sve veće tržišne potražnje uz biomasu stabala i poneke od drugih sastavnica šumske biomase, u dogledno vrijeme biti komercijalno zanimljive. Jedna od njih je amorfa, sjevernoamerička vrsta, koja je na našim prostorima poznata pod nazivljem: čivitnjača, grmasta čivitnjača, divlji bagrem, bagremac i kineski bagrem. Amorfa je listopadna vrsta latinskog naziva *Amorpha fruticosa* L. Sistematizirana je u rod *Amorpha* L. i familiju *Fabaceae* L. Rodu *Amorpha* L. pripada oko petnaest vrlo srodnih grmova, polugrmova i zeljanica koje dolaze u Sj. Americi. Prirodno je rasprostranjena u istočnom i jugoistočnom dijelu SAD-a. U Europu je unesena 1724. godine, a u Hrvatskoj se pojavila početkom 20. stoljeća. Raste kao uspravni, šiboliki grm do 3 m visine. Listovi su neparno perasto sastavljeni. Cvjetovi su raznospolni, entomogamni i skupljeni u uspravnim, vršnim klasovima. Cvjeta krajem proljeća i početkom ljeta. Plodovi su sitne, oko 1 cm duge bradavičaste mahune, koje sadrže po jednu sjemenku. Redovito i obilno plodonosi, a osim generativno obnavlja se i vegetativno izdancima iz korjena. Raste na neutralnim, slabo kiselim i slabo bazičnim tlima, a izbjegava ekstremno kisela i bazična tla. Heliofilna je ili hemiskiofitna vrsta. Najviše joj odgovaraju vlažna staništa te raste uz obale rijeka i potoka od kuda se širi vodom, posebno poplavnim (Idžojić et al. 2009).

Amorfa, posebno u Posavini, zauzima velike površine šumskoga tla, od kojih su neke suvislo obrasle sprječavajući zasjenom prirodnu obnovu sastojina vrijednim autohtonim vrstama drva. Kao biljka svijetla, osvaja šumske terene nakon sječe stabala i gustim sklopom zasjenjuje i guši željeni autohtoni pomladak. Zbog toga je ponijela epitet vrlo opasnog korova, jer znatno otežava i poskupljuje obnovu naših najvrijednijih nizinskih šuma. Ilustracije radi Krpan i Tomašić (2009) pri prvim istraživanjima utvrđuju da izdanci amorfe u prvoj godini nakon sječe dosegnu prosječnu visinu od preko dva metra. Istražujući pomlađivanja poljskoga jasena u optimalnoj fazi sječom u prugama Anić (2001) nalazi od 15.000 do 400.000 biljaka amorfe/ha. Ako je visinski prirast amorfe iz sjemena u prvoj godini i značajno niži od onog iz panja, o kojima govore Krpan i Tomašić, očito je da joj pri obnovi sastojina na staništima naj-

vrijednijih vrsta poplavnih šuma (hrast lužnjak, poljski jasen) one ne mogu visinskim prirastom konkurirati, budu potisnute u sjenu te ostajući bez dovoljno svijetla za opstanak ugibaju. Unazad nekoliko desetljeća te su se sastojine vrlo teško obnavljale zbog grešaka koje su se tada radile, a posebno zbog izvođenja nepotrebnog pripremnog sijeka, čak nekoliko naplodnih sijekova te zbog izostanka radova na pripremi staništa, njezi i zaštiti ponika i pomlatka (Matić 2009). Isti autor iznosi mišljenje da je uklanjanje amorfe skup i dugotrajan proces, posebno ako unosimo vrste koje sporije rastu od nje i nemaju u prvim godinama razvoja startnu prednost u visinskom rastu i prirastu. Matić (2009) navodi da se o amorfi, za šumarstvo štetnoj stranoj vrsti koja je na našim prostorima nazočna preko 120 godina, relativno malo pisalo u našim šumarskim stručnim i znanstvenim glasilima. Sa šumarskog motrišta, kako navodi isti autor, amorfom su se u svojim objavama detaljnije bavili Ettinger (1889), Petračić (1938), Anić (1943), Spaić (1957), Glavaš (1990) i Anić (2001). Tom popisu dodajemo autore koji su s različitih gledišta istraživali amorfu: Liović i Halambek (1988), Puljak (2005), Oršanić et al. (2006), Belčić i Sučić (2009), Gagić (2009), Glavaš (2009), Gradečki et al. (2009), Jovanović i Halilović (2009), Jurišić et al. (2009), Kajba (2009), Krpan i Tomašić (2009), Krpan i Tijardović (2009), Liović (2009), Lovrić et al. (2009), Novak et al. (2009), Nuspahić i Božić (2009), Poršinsky i Raguž (2009), Posarić i Bašić (2009), Vrbek i Pilaš (2009), Zečić et al. (2009). Krpan et al. (2011a), Krpan et al. (2011b).

Sušenje hrasta lužnjaka kao rezultat poremećene prirodne ravnoteže uz nestanak nizinskog brijesta iz naših poplavnih šuma, širom je otvorio vrata ovoj agresivnoj vrsti. Amorfa je indikator stanja sastojina, jer što je više ima u lužnjakovim sastojinama, to je njihovo zdravstveno stanje lošije. Zbog nedostupnog terena uslijed ratnih djelovanja i nepravovremeno izvedenih šumskouzgojnih radova, danas predstavlja veliki problem pri obnovi sastojina i hrasta lužnjaka i poljskog jasena. Prvi počeci suzbijanja zabilježeni su 80-tih godina prošloga stoljeća, pri čemu su ponajprije korištene mehaničke metode.

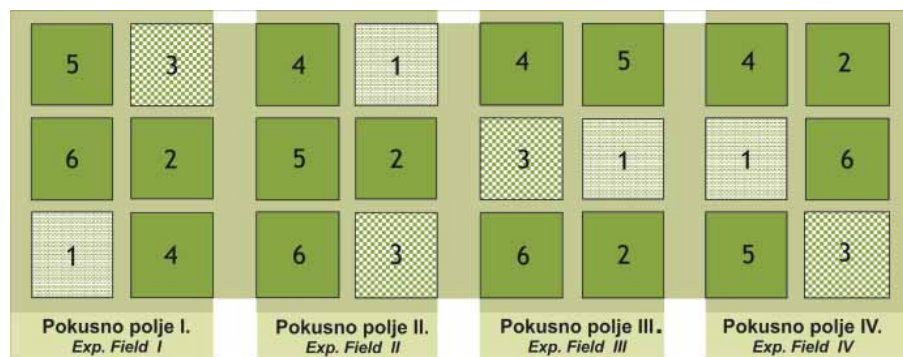
Svrhovitost istraživanja biopotencijala amorfe ogleda se u ideji korištenja biomase za energiju. Navedena vrsta je u šumi nepoželjna u biljno-sociološkom i gospodarskom smislu, a zbog izraženog biopotencijala i morfoloških značajki u kratkom vremenu stvara značajnu količinu biomase po jedinici površine. U šumama i na napuštenim obradivim površinama širi se od prirode i stvara biomasu bez agrotehničkih mjera. Ne koristi se za ljudsku ili stočnu hranu te se njena uporaba kao bioenergenta ne sukobljava s drugim interesima.

Mogućnost uporabe biomase amorfe za dobivanje energije ograničava veći broj čimbenika. Među najznačajnijima su količina biomase po jedinici površine i ekonomičnost njene žetve, usitnjavanja, transporta do potrošača te skladištenja i sušenja do zadovoljavajuće mokrine. Što se energetske vrijednosti drva amorfe tiče, u literaturi nalazimo nedvosmisleno potvrdu iste. U Mađarskoj su izvedena opsežna istraživanja bioenergetskih potencijala različitih biljnih vrsta, među ostalim i amorfe. Marosvölgyi et al. (2009) navode da su ispitivanjem amorfe iz prirode i iz energetske nasada utvrdili da je amorfa materijal izuzetno povoljan za pridobivanje energije. Inicijalna je mokrina jednogodišnjih izdanaka tijekom jednomjesečnog skladištenja pala s 47,0 % na 34,2 %. Izmjerena ogrjevna vrijednost pri $W = 34,2$ % iznosila je 12,7 MJ/kg. U suhom je stanju energetska vrijednost amorfe 20,2 MJ/kg. Za usporedbu, suha borova piljevina ima nešto manju vrijednost – 19,7 MJ/kg. Nadalje, kod amorfe nalaze sadržaj pepela od 1,5 %, te relativno viši sadržaj isparljivih materijala. Puljak (2005) spaljivanjem amorfe u energani na biomasu u Ogulinu potvrđuje njenu energetska vrijednost kao goriva mjerenjima temperatura ložišta, dimnih plinova i vode, koja su zadovoljila postavljene kriterije.

Područje istraživanja, materijal i metode

Research area, Material and Methods

Početak 2008. u okviru projekta "Šumski proizvodi i tehnologije pridobivanja" ugovorenog s Hrvatskim šumama d. o. o., Zagreb, postavljena su višegodišnja istraživanja biopotencijala, energetske značajki i tehnologija pridobivanja



Slika 1. Pokusna polja amorfe s plohami
Figure 1 Indigobush Experimental Fields with Exp. Plots

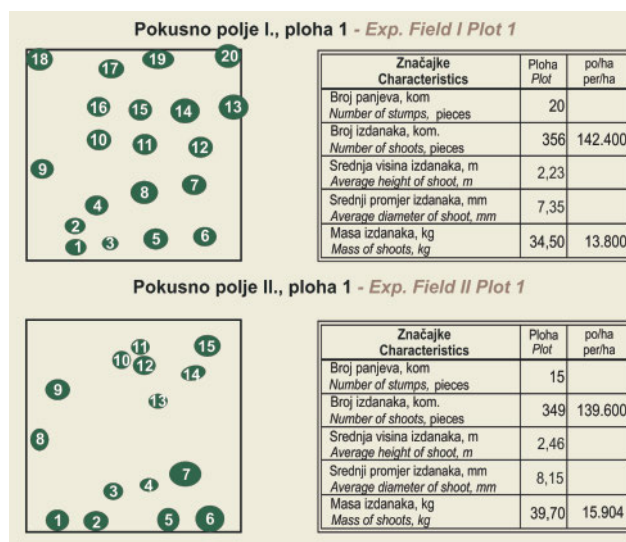
i korištenja biomase amorfe. Iz navedenog projekta 2012. izdvojen je zaseban projekt "Biopotencijal i energetske značajke amorfe" i prenesen na Akademiju šumarskih znanosti. Istraživački poligon postavljen je u trinajstogodišnjoj amorfi u odjelu 126a u gospodarskoj jedinici Posavske šume, šumarija Sunja, UŠP Sisak. Postavljena su četiri pokusna polja, svako sa šest pokusnih ploha dimenzija 5 x 5 m u drukčijem prostornom rasporedu. Plohe nose brojčane oznake od 1 do 6, koje ujedno određuju vremenske intervale izmjera na plohama (slika 1). U okviru projekta po godinama je razrađen protokol istraživanja, kojim je utvrđena vrsta i opseg radova, metodologija terenskih izmjera i prikupljanja materijala, metode obrade podataka te vrsta i opseg laboratorijskih analiza. U ovom će se radu prikazati rezultati treće godine istraživanja biopotencijala amorfe, u kojoj su istraživanjima obuhvaćene pokusne plohe 1 i 3. Ukupno su izvršena mjerenja na osam pokusnih ploha te planirana laboratorijska istraživanja.

Pri terenskim izmjerama u unaprijed pripremljene manule ucitava se tlocrtni položaj panjeva na plohama, utvrđuje se broj izdanaka na svakom panju, a izdancima se mjere visine s točnošću na cm pomoću prijenosne mjerne letve i promjer na prsnoj visini s točnošću na mm pomoću pomičnog mjerila – šublera. Potom se motornom pilom posjeku izdanci amorfe na svakoj plohi zasebno i uvežu u snopove, nakon čega se snopovi odvagaju na prijenosnoj vagi uz preciznost od deset dekagrama. Nakon vaganja uzimaju se iz snopova uzorci za laboratorijska ispitivanja. Masa uzorka kreće se oko 2 dva kilograma, a sa svake plohe uzima se po jedan uzorak.

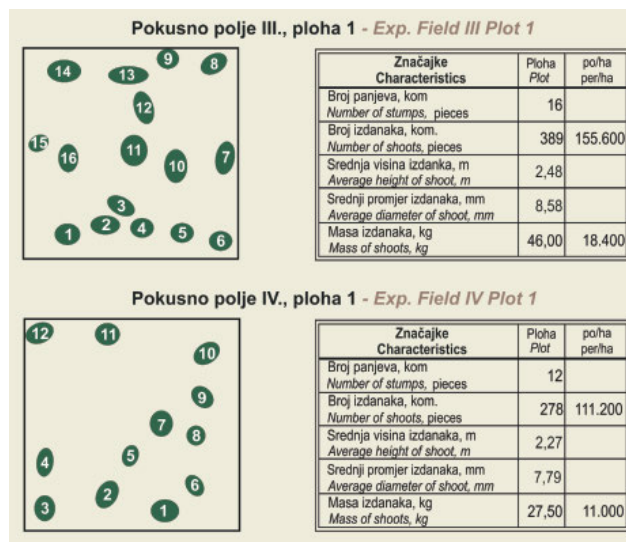
Uzorci se obrađuju u Laboratoriju za fizikalno-kemijska ispitivanja Hrvatskog šumarskog instituta, Jastrebarsko. Za utvrđivanje mokrine na gram se točno odvaguju uzorci te suše na $105 \pm 2^\circ\text{C}$ do konstantne težine. Tada se ponovno odvagom utvrđuje masa uzorka u suhom stanju. U istom laboratoriju vrše se analize sastava drva i kore amorfe. Obrada mjernih podataka izvodi se na računaru uz uporabu programa Excel i Statistika.

Rezultati Results

Nakon treće vegetacije izvedene su izmjere i sakupljeni uzorci na plohama 1 i 3 u pokusnim poljima, s tim da se radovi na plohama jednom godišnje ponavljaju, a na plohama 3 izvode po prvi put, ponavljajući se u trogodišnjem ritmu ophodnje. Rezultati terenskih izmjera prikazuju se na slikama 2, 3, 4 i 5. Na njima su za plohe 1 i 3 na svakom pokusnom polju predočeni tlocrtni položaji panjeva amorfe, a u odnosnoj tablici dani su podaci o ukupnom broju panjeva i izdanaka, srednjoj visini i srednjem promjeru izdanaka te masi izdanaka. Broj i masa izdanaka preračunana je na hektar.

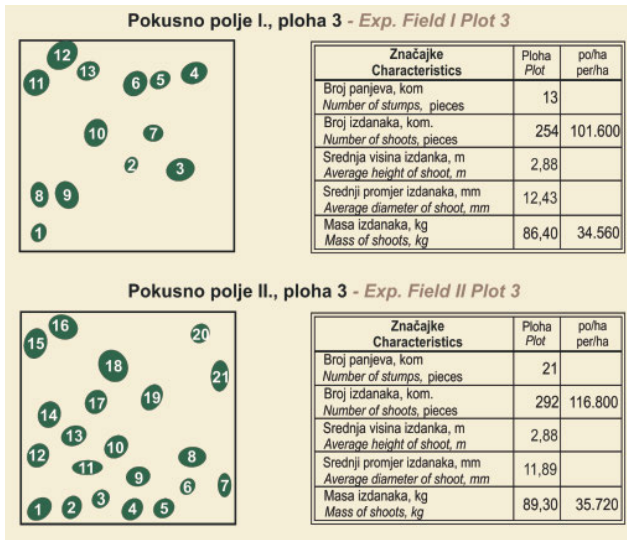


Slika 2. Podaci izmjere na plohama 1 u pokusnim poljima I. i II.
Figure 2 Measuring Data for Plots 1 within Experimental Fields I and II

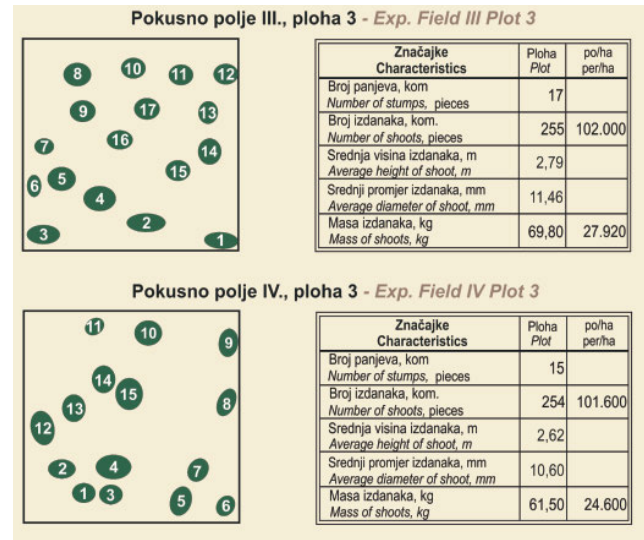


Slika 3. Podaci izmjere na plohama 1 u pokusnim poljima III. i IV.
Figure 3 Measuring Data for Plots 1 within Experimental Fields III and IV

Na slici 2 prikazani su podaci za plohe 1. Na tlocrtnom prikazu zabilježen je prostorni raspored panjeva, njihov oblik i plošna veličina. Na plohama nalazimo od 12 do 20 panjeva. Zapažamo da broj panjeva nije indikator proizvodnosti amorfe (slučaj s plohom u polju IV., koja ima najmanji broj panjeva i s plohom u polju I. gdje je broj najveći), već će, kako je vidljivo iz tabličnih podataka, korespondirati s brojem i dimenzijama izdanaka. Broj izdanaka na plohama varira u rasponu od 278 kom/plohi (111.200 kom/ha) do 389 kom/plohi (155.000 kom/ha). Srednje visine na plohama imaju raspon od 2,23 m do 2,48 m, a srednji promjeri od 7,35 mm do 8,58 mm. U pokusnom polju IV. zabilježena je masa izdanaka od 11.000 kg/ha kao najniža vrijednost, a u polju III. najveća vrijednost od 18.400 kg/ha. Srednja vri-



Slika 4. Podaci izmjere na plohama 3 u pokusnim poljima I.–II.
Figure 4 Measuring Data for Exp. Plots 3 within Experimental Fields I–II



Slika 5. Podaci izmjere na plohama 3 u pokusnim poljima III.–IV.
Figure 5 Measuring Data for Exp. Plots 3 within Experimental Fields III–IV

jednost bioproizvodnje zelene biomase tijekom jedne vegetacije iznosi 14.776 kg/ha

Prema objavljenim podacima istraživanja godinu ranije (Krpan et al. 2011b) na plohama 1 nalazimo od 11 do 23 panja, srednje visine su od 2,13 m do 2,25 m, a srednji promjeri od 7,00 mm do 7,60 mm. Broj izdanaka je od 110.400 kom/ha do 182.000 kom/ha, a zelena masa izdanaka od 9.316 kg/ha (polje IV.) do 15.256 kg/ha (polje III.) ili prosječno 11.960 kg/ha.

Razlika srednje godišnje proizvodnje u korist je treće godine istraživanja u odnosu na drugu za vrijednost od 2.816 kg/ha. Kako se usporedbom dviju uzastopnih godina istraživanja

na plohama 1 vidi, ista su polja zadržala najmanje (IV.) i najveće (III.) vrijednosti bioproizvodnje zelene mase amorfe.

Pokusne plohe 3 mjerene su po prvi puta, a rezultati njihove izmjere prikazani su na slikama 4 i 5. Broj panjeva je na plohama od 13 do 21, broj izdanaka je od 254 kom/plohi do 292 kom/plohi ili od 101.600 kom/ha do 116.800 kom/ha. Srednje visine na plohama su od 2,69 m do 2,88 m, a srednji promjeri od 10,60 mm do 12,43 mm. Masa izdanaka je od 61,50 kg/plohi ili 24.600 kg/ha do 89,30 kg/plohi ili 35.720 kg/ha. Prosječna ukupna proizvodnja zelene mase na plohama 3 iznosi 30.700 kg/ha, a prosječna godišnja proizvodnja 10.233 kg/ha.

Tablica 1. Deskriptivna statistika prsnih promjera izdanaka amorfe za plohe 1 i 3 na pokusnim poljima I.–IV.

Tab. 1 Descriptive Statistics of Indigobush Shoots DBH-s for Experimental Plot 1 and Plot 3 on Experimental Fields I–IV

Godina istraživanja – Year of research 2010.	N	Aritmetička sredina – mm Mean – mm	Standardna devijacija Standard Deviation	Standardna pogreška Standard Error	Donja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti Lower Limit 95 % Confidence Interval	Gornja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti Upper Limit 95 % Confidence Interval	
Pokusna ploha 1 – Experimental Plot 1							
Ukupno – Total	1372	7,992755	3,256070	0,087906	7,820311	8,165199	
Pokusna polja Exp. Fields	I.	356	7,353933	3,443060	0,182482	6,995051	7,712814
	II.	349	8,152607	3,078761	0,164802	7,828474	8,476741
	III.	389	8,579434	3,148398	0,159630	8,265586	8,893283
	IV.	278	7,789209	3,225959	0,193480	7,408330	8,170087
Pokusna ploha 3 – Experimental Plot 3							
Ukupno – Total	1055	11,60701	4,436408	0,136586	11,33900	11,87503	
Pokusna polja Exp. Fields	I.	254	12,43386	4,876389	0,305972	11,83128	13,03643
	II.	292	11,89007	4,340373	0,254001	11,39016	12,38998
	III.	255	11,45882	4,240486	0,265550	10,93586	11,98178
	IV.	254	10,60354	4,084351	0,256275	10,09884	11,10825

Tablica 2. Deskriptivna statistika visina izdanaka amorfe za plohe 1 i 3 na pokusnim poljima I.–IV.**Tab. 2** Descriptive Statistics of Indigobush Shoots Heights for Experimental Plot 1 and Plot 3 on Experimental Fields I–IV

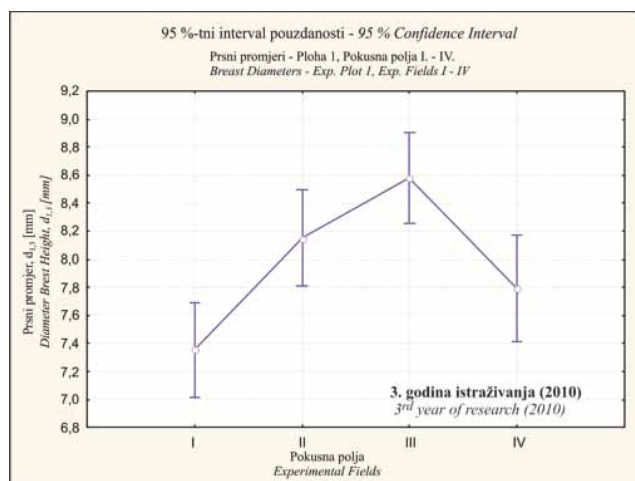
Godina istraživanja Year of research 2010.	N	Aritmetička sredina – m Mean – m	Standardna devijacija Standard Deviation	Standardna pogreška Standard Error	Donja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti Lower Limit 95 % Confidence Interval	Gornja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti Upper Limit 95 % Confidence Interval
Pokusna ploha 1 – Experimental Plot 1						
Ukupno – Total	1372	2,369023	0,569485	0,015375	2,338863	2,339184
Pokusna polja Exp. Fields	I.	2,234831	0,569279	0,030172	2,175494	2,294169
	II.	2,461605	0,567069	0,030355	2,401903	2,521306
	III.	2,476093	0,566340	0,028715	2,419637	2,532548
	IV.	2,274820	0,526907	0,031602	2,212610	2,337030
Pokusna ploha 3 – Experimental Plot 3						
Ukupno – Total	1055	2,796682	0,614513	0,018919	2,759559	2,833806
Pokusna polja Exp. Fields	I.	2,881102	0,662876	0,041593	2,799191	2,963014
	II.	2,880137	0,558055	0,032658	2,815862	2,944412
	III.	2,789412	0,640071	0,040083	2,710475	2,868349
	IV.	2,54	2,623622	0,564770	0,035437	2,553833

Na plohama 1 i 3 izvršena je analiza varijance za prsne promjere i visine izdanaka amorfe. Rezultati su prikazani u tablicama 1 i 2, a slikovni prikaz srednjih vrijednosti vidljiv je na slikama 6, 7, 8 i 9. Iz analize varijance u tablici 1 može se zaključiti da postoji statistički značajna razlika srednjih prsnih promjera između analiziranih pokusnih polja ($F = 9,597$; st. sl. = 3; $p < 0,001$).

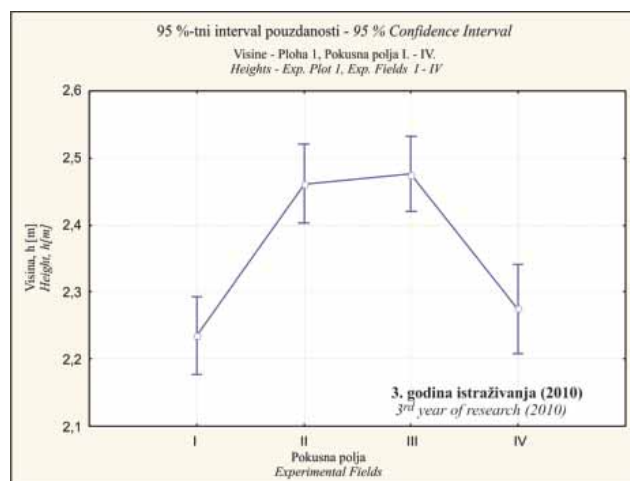
Tukey-ev post hoc test je pokazao da se polje III. statistički značajno razlikuje od polja I. i IV., te polje I od polja II. i III. Na pokusnom polju III. utvrđen je statistički značajno najveći prsni promjer i to 8,58 mm.

Analiza varijance ukazuje da postoji statistički značajna razlika kod prosječnih vrijednosti visina za analizirana pokusna polja ($F = 17,38$; st. sl. = 3; $p < 0,001$). Tukey-ev post hoc test pokazuje da se pokusna polja I. i IV. statistički značajno razlikuju od polja II. i III., dok se ista (I. i IV.) te (II. i III.) međusobno ne razlikuju.

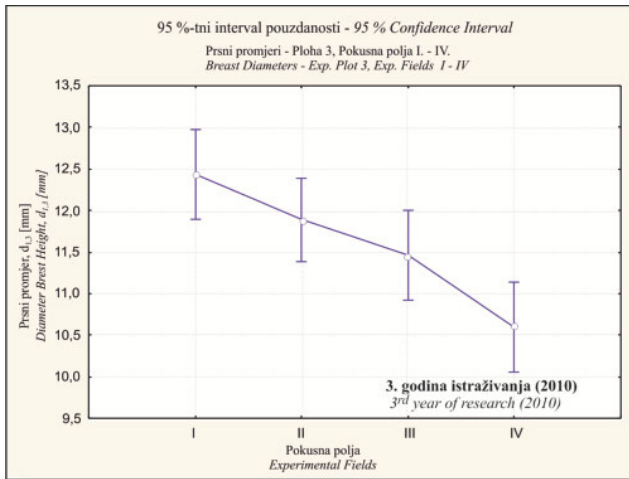
Tukey-ev post hoc test pokazuje statistički značajnu razliku prosječnih vrijednosti prsnih promjera trogodišnje sastojine (tablica 2) između pokusnih polja I. i IV. te II. i IV., dok se navedene prosječne vrijednosti između pokusnih polja III. i IV. statistički značajno ne razlikuju. Na pokusnome polju I. utvrđen je najveći prsni promjer.



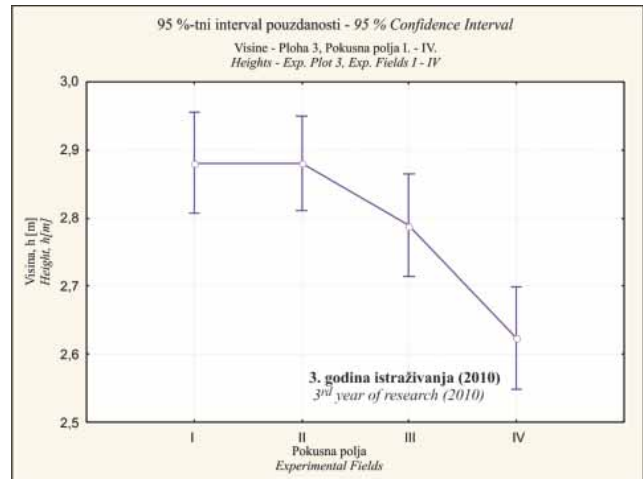
Slika 6. Srednji prsni promjeri na plohama 1, pokusna polja I.–IV.
Figure 6 Mean BDH within Plots 1, Exp. Fields I–IV



Slika 7. Srednje visine na plohama 1, pokusna polja I.–IV.
Figure 7 Mean BDH within Plots 1, Exp. Fields I–IV



Slika 8. Srednji prsni promjeri na plohama 3, pokusna polja I.–IV.
Figure 8 Mean of Heigh within Plots 3, Exp. Fields I–IV



Slika 9. Srednji prsni promjeri na plohama 3, pokusna polja I.–IV.
Figure 9 Mean of Heigh within Plots 3, Exp. Fields I–IV

Kod analiziranih prosječnih vrijednosti visina, statistički značajna razlika također postoji između pokusnih polja ($F = 10,39$; st.sl. = 3; $p < 0,0001$). Prema rezultatima Tukey-eva post hoc testa, utvrđeno je da se prosječna vrijednost visina na pokusnom polju 4 statistički značajno razlikuje od prosječnih vrijednosti svih ostalih pokusnih polja, dok se ove vrijednosti na pokusnim poljima 1, 2 i 3 međusobno statistički značajno ne razlikuju.

Bioproizvodnost amorfe Bioproduction of Indigobusch

U tablici 3 donose se podaci analize bioproizvodnje amorfe zelene i suhe mase na plohama 1 i 3 u pokusnim poljima te preračunano na hektar ploštine. Prkazani su nadalje podaci

postotnog udjela mokrine, izračunani na temelju rezultata laboratorijskih ispitivanja uzoraka drva amorfe i suhe tvari koja je izračunana kao razliku postotnog udjela mokrine i 100 %-nog iznosa. Apsolutne vrijednosti zelene mase amorfe u plohama i po hektaru prikazane su već u potpoglavlju *Mjerenja na pokusnim plohama*, pa su nam poznati, a poslužiti će uz primjenu postotaka mokrine ili postotaka suhe tvari za izračun proizvedene suhe tvari na plohama odnosno po hektaru ploštine. Uzimanje uzoraka drva amorfe upriličeno je pri sječi i vaganju proizvedene biomase amorfe dana 31. siječnja 2011. godine, a laboratorijske analize završene su 24. veljače 2011. Mokrina sjemena u laboratoriju počela se određivati 13. 12. 2010. i završena 3. siječnja 2011. Mokrina drva amorfe u trenutku sječe važna je radi cijenovne vrijednosti vezane za sadržaj vode i eventu-

Tablica 3. Proizvedena biomasa amorfe te udjeli mokrine i suhe tvari
Tab. 3 Production of Biomass of Indigobush and Rate of Moisture and Dry Mass

Pokusno polje Experimental Field	Pokusna ploha Experimental Plot	Zelena masa Green Mass		Udio Rate of		Suha tvar Dry Mass	
		na plohi per plot	po hektaru per hectare	mokrina moisture	suha tvar dry mass	po plohi per plot	po hektaru per hectare
		kg	t/ha	%		kg	t/ha
I.	1	34,50	13,80	32,78	67,22	23,19	9,28
	3	86,40	34,56	30,09	69,91	60,40	24,16
II.	1	39,70	15,90	34,50	65,50	26,00	10,41
	3	89,30	35,72	31,75	68,28	60,97	24,38
III.	1	46,00	18,40	33,78	66,22	30,46	12,18
	3	69,80	27,92	31,51	68,49	47,81	19,12
IV.	1	27,50	11,00	33,76	66,24	18,21	7,28
	3	61,50	24,60	31,90	68,10	41,88	16,75
Prosječno Average	1	36,93	14,78	33,71	66,30	24,47	9,79
	3	76,75	30,70	31,31	68,70	52,77	21,10

alnu potrebu sušenja sječke u skladištu do optimalnog sadržaja vode. Na plohama 1 postotak mokrine drva amorfe je u rasponu od 32,78 % do 34,50 % (prosječno 33,71 %), znači ispod 35 %, pa ima višu komercijalnu vrijednost bez sušenja sječke, što vrijedi i za drvo amorfe na plohama 3 koje sadrži još niže vrijednosti i to od 30,09 % do 31,90 % (prosječno 31,33 %).

Sadržaj mokrine utvrđene istraživanjima 2009. godine, u drugoj godini projekta, na plohama 1 (Krpan et al. 2011b) iznosio je od 33,84 % do 34,54 % ili prosječno 34,23 %. Na plohama 2 sadržaj vode je od 32,89 % do 33,42 % ili prosječno 33,12 %. U oba slučaja zabilježena je mokrina u trenutku sječe ispod 35 %.

Suha drvena tvar je na plohama 1 od 18,21 kg do 30,46 kg uz srednju vrijednost od 24,47 kg, a na plohama 3 od 41,88 kg do 60,97 kg uz srednju vrijednost od 52,72 kg. Suha drvena tvar izražena u tonama je na plohama 1 od 7,28 t/ha do 12,18 t/ha uz srednju vrijednost od 9,79 t/ha, a na plohama 3 od 16,75 t/ha do 24,38 t/ha uz srednju vrijednost od 21,09 t/ha.

Rasprava Discussion

U drugoj godini istraživanja (2009) na plohama 1 utvrđena je suha drvena tvar u količinama od 15,27 kg do 24,97 kg uz srednju vrijednost od 19,67 kg/plohi. Na plohama 2 suha je drvena tvar iznosila od 36,46 kg do 52,30 kg, uz prosjek od 40,99 kg/plohi. Prema preračunanim podacima ploha 1 suha je drvena tvar iznosila od 6,11 t/ha do 9,99 t/ha, uz prosjek od 7,87 t/ha, a na dvije godine starom amorfom na plohama 2 od 14,59 t/ha do 20,92 t/ha, uz srednju vrijednost od 16,39 t/ha (Krpan et al. 2011b).

Na plohama 1, koje se sijeku svake godine po završetku vegetacije, utvrđeno je da godišnja bioproizvodnost varira. Nakon prve vegetacije 2008. suha je tvar iznosila 12 t/ha (Krpan i Tomašić 2009), nakon druge (2009) 7,87 t/ha (Krpan et al. 2011b), a nakon treće (2010) 9,79 t/ha, pa se može zaključiti da je trend bioproizvodnje u opadanju u odnosu na prvu vegetaciju. Godišnja prosječna proizvodnja dvogodišnje amorfe je 8,19 t/ha, a trogodišnje 7,03 t/ha, te se, iako teoretski nisu za usporedbu, i ovdje zapaža trend smanjenja bioproizvodnje. Kako je već navedeno, bioproizvodnost amorfe iz panja ovisit će o broju izdanaka i njihovim dimenzijama na koje će utjecati vanjski čimbenici poput hranidbenog potencijala tla te prevladavajućih klimatskih čimbenika u vrijeme vegetacije.

Na plohama 3 sakupljeno je 2,68 kg sjemena ili 1.073 kg/ha. Rezultat je informativan, jer se zapaža veliki gubitak sjemena do berbe prirodnim opadanjem, a pri berbi zbog trešnje izazvane savijanjem grana. Po našoj procjeni gubici sjemena mogli bi iznositi preko 50 % te se ovdje neće

podrobnije razmatrati. 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.

Klašnja et al. (2012) istraživali su na području Vojvodina-šuma proizvodnost biomase pet klonova topola u dvije gustoće sadnje (6 x 6 m, 278 biljaka/ha i 1,5 x 0,4 m, 16.667 biljaka/ha), u dvije ophodnje (2 i 7 godina) i na dvije vrste tla (sandy and row soil). Istraživani klonovi bili su: *P. deltoides* cl. B229, cl. B81, cl. 182/81, cl. PE 19/16 te klon eurameričke topole (*P. x canadensis*) cl. *Pannonia*. Istraživanjima su utvrdili da najveću godišnju biomasu postiže klon B81 i to 6,617 t/ha nakon prve godine i klon B-299 s 20,103 t/ha nakon druge godine. Nadalje, utvrdili su da najveća godišnja produkcija u plantažama kratkih ophodnji od 7,236 t/ha pripada klonu PE 19/66. Energetske vrijednosti istraživanih klonova topola slijede trendove proizvedene biomase.

Krpan i Tomašić (2009) citiraju podatke Spinellija i Oradinija (2009) koji navode da su poljoprivrednici na sjeveru Italije, zahvaljujući subvencioniranju od strane države, u pet godina podigli 5.000 ha nasada odabranih klonova topole u jedno ili dvogodišnjim ophodnjama, te da se uz sve agrotehničke mjere na dobrim tlima postiže ili nešto premašuje produkcija od 30 t/ha zelene mase. Kajba (2009) 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 prikazanu produkciju biomase postiže bez ikakvih agrotehničkih mjera, pa tako i pripadajućih troškova.

Zaključci Conclusions

Temeljna zadaća znanstveno-istraživačkog projekta je utvrđivanje trendova kretanja bioproizvodnog odnosno bioenergijskog kapaciteta u prirodno zakorijenjenoj amorfi. Uključivanje biomase amorfe u alternativne energetske tokove donosi višestruke koristi i razvojne šanse. Mišljenja smo da bi se time značajno povećala količina raspoložive šumske biomase u Hrvatskoj, smanjili bi se troškovi obnove nizinskih šuma, šumarstvo bi proširilo asortiman proizvoda, a žiteljima ruralnih i urbanih sredina u području rasprostranjenja amorfe otvara se mogućnost stjecanja prihoda, vezano za pridobivanje biomase amorfe i rad energetske pogona.

U ovome radu izneseni su rezultati istraživanja provedeni na plohama 1 i 3 u trećoj godini šestogodišnjeg projekta *Biopotencijal i energetske značajke amorfe*. Istraživački blok poligon postavljen je u trinajstogodišnjoj amorfi u odjelu 126a u gospodarskoj jedinici Posavske šume, Šumarija Sunja, UŠP Sisak. Istraživanja se provode na temelju protokola

projekta i godišnjih planova rada na četiri pokusna polja, svako sa po šest pokusnih ploha veličine 5 x 5 m. Vremenski ritam istraživanja određen je pripadnim brojem plohe.

Na plohama 1, koje se sijeku svake godine po završetku vegetacije, utvrđeno je da godišnja bioproizvodnost varira. Nakon prve vegetacije 2008. suha tvar iznosila je 12 t/ha (Krpan i Tomašić 2009), nakon druge (2009) 7,87 t/ha (Krpan et al. 2011b), a nakon treće (2010) 9,79 t/ha, pa se može zaključiti da je trend bioproizvodnje amorfe u opadanju u odnosu na prvu vegetaciju. Godišnja prosječna proizvodnja dvogodišnje amorfe je 8,19 t/ha, a trogodišnje 7,03 t/ha, te se i ovdje zapaža trend smanjenja bioproizvodnje. Kako je već navedeno, bioproizvodnost amorfe iz panja ovisit će o broju izdanaka i njihovim dimenzijama, na što će utjecati vanjski čimbenici poput hranidbenog potencijala tla te prevladavajućih klimatskih čimbenika u vrijeme vegetacije. Rezultati istraživanja amorfe u trećoj godini, unatoč utvrđenim trendovima opadanja bioproizvodnosti, u usporedbi s proizvodnošću klonova topola ili vrba navedenih radi usporedbe u ovom radu (Klašnja et al. 2012; Spinelli i Oradini 2009; Kajba 2009) zadržava konkurentnost, posebice iz razloga potpune prirodne pojavnosti i razvoja bez ikakvih agrotehničkih mjera i troškova, bez kakvih nije zamislivo podizanje i gospodarenje energetske kulture ili plantažama brzorastućih vrsta kratkih ophodnji. Pri tome nije nevažno zamijetiti relativno nizak sadržaj mokrine u zelesnoj biomasi amorfe, koji se pri sječama po završetku vegetacije kreće ispod 35 %, čineći sječku amorfe pogodnim izvorom energije s kratkim vremenom dosušivanja.

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.

Literatura

References

- Anon., 2001: BIOEN. Program korištenja energije biomase i otpada (ur. J. Domac i S. Risović), Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb:1–144. Zagreb.
- Anić, M., 1943: O kljivosti amorfnog sjemena. Šumarski list, 9. str.261–263, Zagreb.
- Anić, I., 2001: Uspijevanje i pomlađivanje sastojina poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Posavini. Disertacija. Šumarski fakultet Zagreb, str.1–197, Zagreb.
- Belčić, B., Ž. Sučić, 2009: Tehnologije pridobivanja drvene sječke i opravdanost korištenja amorfe (*Amorpha fruticosa* L.)//*Technologies for wood chips production and justification of the use 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.24/50, Zagreb.
- Gagić, R., 2009: Štetnici na amorfi (*Amorpha fruticosa* L.) s posebnim naglaskom na *Acanthoscelides pallidipennis* Motschulsky i njegove prirodne neprijatelje u Srbiji//*Insect pests on Indigobush (Amorpha fruticosa L.) with special emphasis on Acanthoscelides pallidipennis Motschulsky and its natural enemies in Serbia*. 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.33/59, Zagreb.
- Glavaš, M., 1990: Upoznajmo amorfu. Pčela, 8 (109): str. 223–227, Zagreb.
- Glavaš, M. 2009: Ekonomski značaj amorfe (*Amorpha fruticosa* L.)//*Economic importance 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.16/42, Zagreb.
- Gradečki-Poštenjak, M., Liović, B., S. Novak Agbaba, 2009: Kvalitativne osobitosti sjemena čivitnjače (*Amorpha fruticosa* L.)//*Qualitative properties of Indigobush seed (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.31/57, Zagreb.
- Idžojtić, M., Poljak, I., M. Zebec, S. Perić, 2009: Biološka svojstva, morfološka obilježja i ekološki zahtjevi čivitnjače (*Amorpha fruticosa* L.)//*Biological, morphological and ecological 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.13/39, Zagreb.
- Jovanović, B., V. Halilović, 2009: Nekomercijalno drvo kao šumska biomasa za energiju //*Noncommercial wood as forest biomass 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.21/47, Zagreb.
- Jurišić, P., Petrović, V., D. Domazetović, 2009: Amorfa (*Amorpha fruticosa* L.) kao indikator narušenog zdravstvenog stanja poplavnih šuma hrasta lužnjaka na području UŠP Sisak //*Indigobush (Amorpha fruticosa L.) as an indicator of disturbed health condition of floodplain forests of common oak – FA Sisak*. 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.25/51, Zagreb.
- 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.
- Klašnja, 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 spacings and two rotations*. Šum. List, 136 (3–4): 161–167, 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., 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., Tomašić Ž., P. Bašić Palković, 2011a: Bioenergetski potencijal amorfe (*Amorpha fruticosa* L.) // Bioenergetic Potential of Indigobush (*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, 2011b: Biopotencijal amorfe (*Amorpha fruticosa* L.) – druga godina istraživanja, Šumarski list vol. 135, Posebni broj (2011), Zagreb, Hrvatska, str. 103–113, Zagreb.
 - Liović, B. 2009: Obnova šuma hrasta lužnjaka u uvjetima zakorovljenja čivitnjačom (*Amorpha fruticosa* L.)//Regeneration of pedunculate oak forest under competition 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.14/40, Zagreb.
 - Liović, B., M. Halambek, 1988: Suzbijanje bagremca (*Amorpha fruticosa* L.). Radovi, 23 (75): str. 141–145, Zagreb.
 - Lovrić, I., Hace, D., D. Vagner, 2009: Amorfa (*Amorpha fruticosa* L.) kao gospodarski problem u nizinskim šumama Uprave Šuma Podružnice Zagreb//Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) as management problem in lowland forests of FA Zagreb. 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.28/54, 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.
 - Matić, S. 2009: Načini privođenja šumskoj kulturi staništa osvojenih amorfom (*Amorpha fruticosa* L.)//Introduction to forest culture of habitats conquered with 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.11/37, Zagreb.
 - Novak Agbaba, S., Čelepirović, N., A. P. B. Krpan, 2009: Patogeni organizmi utvrđeni na amorfi (*Amorpha fruticosa* L.) u Hrvatskoj//Plant pathogen organisms on Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) in Croatia. 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.29/55, Zagreb.
 - Nuspahić, K., T. Božić, 2009: Tehnike obnove poplavnih šuma na staništima zakorovljenim amorfom (*Amorpha fruticosa* L.) – Uprava Šuma Podružnica Nova Gradiška//Techniques of forests regeneration on habitats under competition of Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.)– FA Nova Gradiška. 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.27/53, Zagreb.
 - Oršanić, M., Anić, I., D. Drvodelić, 2006: Prilog poznavanju morfološko-bioloških značajki plodova i sjemena grmaste čivitnjače (*Amorpha fruticosa* L.).Zagreb.
 - Petračić, A., 1938: *Amorpha fruticosa* L. kao nov i opasan korov u posavskim šumama. Šumarski list, 62: str. 623–626, Zagreb.

Summary:

The paper shows the results of the third year of research into biopotential and energy properties of indigobush. The research is planned to last for 6 years. According to the annual plan, the experiments were done in sample plots 1 and 3 in the third year of research. A research block polygon was established in a thirteen-year-old natural stand of indigobush in the compartment 126a of the Management Unit Posavske Šume, Sunja Forest Office, Sisak Forest Administration. The research is based on a project protocol and annual work plans and is carried out in four experimental fields, each containing six 5 x 5 m experimental plots. The basic task of the scientific-research project is to determine trends in bioproductive or bioenergy capacity in naturally planted indigobush at repeated felling operations. The time rhythm of the research was determined by the number of the plot, in combination with the project protocol and annual work plan.

Indigobush, particularly in the lowland systems of the Posavina region, covers large areas of forest soil. In some of these areas indigobush is so widespread that its shade prevents natural regeneration of stands of valuable autochthonous tree species. As a species of light, indigobush invades forest areas after tree cutting and overshadows the desired autochthonous young growth with its dense canopy. For this reason, it is perceived as an aggressive plant and a very dangerous weed, since not only does it considerably hinder the regeneration of Croatia's most valuable lowland forests but also makes it more costly.

The possibility of using indigobush biomass for energy is limited by a number of factors. The most important ones include the quantity of biomass per surface unit and the profitability of its harvesting, chipping, transport

to the user, storage and drying to the desired level of moisture. The energy value of indigobush wood has been firmly confirmed by various literary sources. Extensive research into bioenergy potentials of different plant species, including indigobush, has been conducted in Hungary. According to Marosvölgyi et al. (2009), experiments related to naturally grown indigobush and energy plants showed that indigobush is an exceptionally suitable material for energy production. Initial moisture of one-year-old sprouts during one-month storage dropped from 47.0 % to 34.2 %. The measured fuel value at $W = 34.2\%$ was 12.7 MJ/kg. In dry condition, the energy value of indigobush is 20.2 MJ/kg. In comparison, dry pine sawdust has a slightly lower value of 19.7 MJ/kg. Moreover, the ash content in indigobush was found to be 1.5 %, while the content of volatile materials was relatively higher. Puljak (2005) burned indigobush in a biomass energy plant in Ogulin to confirm its energy value as fuel by monitoring the temperature of the firebox, smoke gases and water, which satisfied the set criteria.

Figures 2 and 3 show the data for plots 1. A spatial arrangement of the stumps, their form and surface size are shown in the layout. There are from 12 to 20 stumps in the plots. The number of the stumps is not an indicator of indigobush productivity (the case with a plot in field IV with the lowest number of stumps and field 1 with the highest). As seen from table data, indigobush productivity correlates with the number of the sprouts and their dimensions. The number of the sprouts in the plots varies from 278 pcs/plot (111,200 pcs/ha) to 389 pcs/plot (155,000 pcs/ha). The mean heights in the plots range from 2.23 m to 2.48 m and the mean diameters vary from 7.35 mm to 8.58 mm. The lowest sprout mass of 11,000 kg/ha was recorded in sample field IV, and the highest of 18,400 kg/ha was found in field III. The mean value of green biomass bioproduction during one vegetation season amounts to 14,776 kg/ha of green indigobush mass per hectare.

Sample plots 3 were measured for the first time. The results of measurements are given in Figures 4 and 5. The number of the stumps ranged from 13 to 21, and that of the sprouts from 254 pcs/plot to 292 pcs/plot, or from 101,600 pcs/ha to 116,800 pcs/ha. The mean heights in the plots were from 2.69 m to 2.88 m, and the mean diameters were from 10.60 mm to 12.43 mm. The sprout mass ranged from 61.50 kg/plot or 24,600 kg/ha to 89.30 kg/plot or 35,720 kg/ha. The average overall green mass production in plots 3 amounts to 30,700 kg/ha, and the average annual production amounts to 10,233 kg/ha.

Variance analysis was used for indigobush breast diameters and sprout heights in plots 1 and 3. The results are given in Table 1 and 2, and mean values are presented graphically in Figures 6, 7, 8 and 9. It can be concluded from Table 1 and variance analysis that there is a statistically significant difference in mean breast diameters between the analysed sample fields ($F = 9.597$; $df = 3$; $p < 0.001$). The Tukey post hoc test showed a statistically significant difference between field III and fields I and IV, as well as between field I and field II and III. The statistically significant highest breast diameter of 8.58 mm was found in sample field III.

Variance analysis found a statistically significant difference in the average height values for the analysed sample fields ($F = 17.38$; $df = 3$; $p < 0.001$). The Tukey post hoc test showed that sample fields I and IV differed statistically significantly from fields II and III, whereas the former (I and IV) and (II and III) did not differ from one another.

According to the Tukey post hoc test, there was a statistically significant difference among the average values of breast diameters in the three-year-old stand (Table 2) between experimental fields 1 and 4, as well as between 2 and 4. The mentioned average values between exp. fields 3 and 4 did not show any statistically significant difference.

Related to the analysis of the average height values, a statistically significant difference was also found between the sample fields ($F = 10.39$; $df = 3$; $p < 0.0001$). According to the results of the Tukey post hoc test, the average height value in sample field IV was found to differ statistically significantly from the average values in all other sample fields. These values did not differ statistically significantly in sample fields I, II and III.

Table 3 shows data of indigobush bioproduction analysis, both green and dry mass, in plots 1 and 3 in the sample fields, as well as data calculated per surface hectare. Data are also given of the percentage share of moisture calculated on the basis of laboratory research into indigobush wood samples and dry matter, expressed as a difference between the percent share of moisture and 100 % amount. The moisture content of indigobush wood at the moment of harvesting is important in terms of price, which depends on water content and a possible need to dry the chips in the storehouse until they reach the optimal water content. In exp. plots 1 the indigobush wood moisture percentage ranges from 32.78 % to 34.50 % (33.71 % on average), meaning that all percentages are lower than 35 %. Exp. plots 3 contain even lower values, which oscillate from 30.09 % to 31.90 % (31.33 % on average). Dry wood matter in plots 1 ranges from 18.21 kg to 30.46 kg, with the mean value of 24.47 kg, and in plots 3 from 41.88 kg to 60.97 kg, with the mean value of 52.77 kg. Dry wood matter in plots 1 is from 7.28 t/ha to 12.18 t/ha, with the mean value of 9.79 t/ha, and in plots 3 from 16.75 t/ha to 24.38 t/ha with the mean value of 21.09 t/ha.

In plots 1, which are harvested every year at the end of vegetation, bioproductivity was found to vary. After the first vegetation in 2008, dry matter amounted to 12 t/ha (Krpan and Tomašić 2009), after the second (2009) it came to 7.87 t/ha (Krpan et al. 2011a,b), and after the third (2010) it was 9.79 t/ha. It can therefore be concluded that, in relation to the first vegetation, bioproduction manifests a downward trend. The average annual production of two-year-old indigobush is 8.19 t/ha, while that of three-year-old indigobush is 7.03 t/ha. Hence, a downward trend in bioproduction is present here as well.

A quantity of 2.68 kg seed or 1,073 kg/ha was collected in exp. plots 3. This result is tentative because a large amount of seed naturally falls off by the time of collection, as well as during collection due to shaking caused by bending the branches. According to our estimates, seed loss may amount to over 50 %. To avoid the possibility of incorrect evaluation, seed loss will not be analysed in more detail here. It is evident from the above that almost all the seed is lost during harvesting after vegetation, handling, chipping and transport and that it cannot be expected to accompany the leaves in the combustion process in energy plants.

The results of indigobush research in the third year of the project show that, despite the established downward trends in bioproductivity, the plant still retains its competitiveness in the field of renewable energy sources, particularly because it occurs and develops naturally. It does not require any agrotechnical measures, nor does it incur any costs (except for harvesting and handling costs), which are otherwise indispensable when establishing and managing energy cultures and short rotation orchards of well-known fast growing tree species.

KEY WORDS: indigobush bioproductivity, energy benefit, lowland forest ecosystems, Croatia