

Бојана Клашња
Саша Орловић
Зоран Галић
Предраг Пап
Марина Катанић

UDK: 630*238
Оригинални научни рад

ГУСТИ ЗАСАДИ ТОПОЛА КАО СИРОВИНА ЗА ПРОИЗВОДЊУ ЕНЕРГИЈЕ

Извод: У раду су приказани резултати одређивања горње тополотне моћи дрвета и коре неколико клонова тополе (*Populus* spp.). Испитивања су обухватила младе биљке - једногодишње саднице следећих клонова: *P.×euramericana* cl. *ostia*, *P. nigra* cl. 53/86, *P. deltoides* cl. PE19/66, *P.×euramericana* cl. I-214, *P. deltoides* cl. S6-7 и *P.×euramericana* cv. *robusta*. Помоћу FVI индекса који узима у обзир садржај пепела, запреминску масу дрвета, као и садржај влаге, установљено је да дрво топола може бити значајна енергетска сировина, првенствено због кратког циклуса производње и веома великог прираста дрвне масе. Констатоване су значајне разлике у вредностима запреминске масе дрвета које утичу на горњу топлотну моћ испитиваних клонова топола, а самим тим и на принос (тежину) биомасе произведену по јединици површине густих засада. То се одражава и на процењену количину енергије која се може произвести сагоревањем биомасе целих стабала једногодишњих биљака.

Кључне речи: *Populus* spp., клонови, густина садње, горња топлотна моћ

др Бојана Клашња, научни савешник, ИРЦ Института за низијско шумарство и животињу средину, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад
др Саша Орловић, научни савешник, ИРЦ Института за низијско шумарство и животињу средину, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад
др Зоран Галић, научни сарадник, ИРЦ Института за низијско шумарство и животињу средину, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад
др Предраг Пап, истраживач сарадник, ИРЦ Института за низијско шумарство и животињу средину, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад
д-р инж. Марина Катанић, истраживач и управник, ИРЦ Института за низијско шумарство и животињу средину, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад

DENSE POPLAR PLANTATIONS AS THE RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF ENERGY

Abstract: The higher heating value of wood and bark was determined for several poplar (*Populus* spp.) clones. The study included the juvenile - one-year old plants of the following clones: *P.×euramericana* cl. *ostia*, *P. nigra* cl.53/86, *P. deltoides* cl. PE 19/66, *P.×euramericana* cl. I-214, *P. deltoides* cl. S6-7 and *P.×euramericana* cv. *robusta*. By using FVI which takes into account ash content, wood bulk density, and moisture content, it was determined that poplar wood can be a significant energy raw material, primarily thanks to its short rotation cycle and a very high wood volume increment. Significant differences were determined in the values of wood basic density which affect the higher heating value of the study poplar clones, and consequently the yield (weight) of biomass produced per unit area of dense plantations. This is reflected also on the estimated amount of energy that can be produced by the combustion of biomass of the whole one-year-old plants.

Key words: *Populus* spp., clones, planting density, higher heating value

1. УВОД

Брзорастуће лишћарске врсте (тополе, врбе и багрем), које се гаје у густим засадима кратке опходње, врло често на земљиштима која нису погодна за пољопривредне културе, дају велики принос биомасе по јединици површине засада годишње. Директним сагоревањем биомасе младих биљака (старост од 1-3 године), превођењем у сечку и верањем целих стабала, заједно са кором и гранама, може се остварити значајна количина тополотне енергије. Практично је израсла нова грана специјализованог шумарства са развојем тзв. „енергетских плантажа“, са циљем да се дефинишу најпогодније врсте дрвећа, као и услови гајења у плантажама са великим бројем биљака по јединици површине. Високо продуктивне пионирске врсте су свакако врбе које се најчешће гаје у циклусима, тако да је прва сеча после пет година, а затим сваке три године, до 20-25 година старости засада. Такође, веома се успешно користе тополе, али са циклусима од 5-7 година, при чему је најчешће број (преживелих) биљака по хектару око 10.000. У прегледу (табела 1) су дате основне карактеристике узгоја засада топола и врба у циљу производње енергије (Fischer *et al.*, 2005).

Према Директиви Европске Уније (European Commission's White Paper, 1997), постављен је циљ да се удео обновљиве биомасе у укупној потрошњи енергије у Европској Унији удвостручи, са садашњих 6% на 12%, до 2010. године. Према Директиви, највећи део обновљиве биомасе треба да потиче од биомасе дрвета. То значи да, би требало додатно да се користи преко 160 милиона m^3 биомасе дрвета годишње (Patička, 2004). Међутим, пошто се око 50% расположиве биомасе пољопривредних остатака (најчешће слама) користи за производњу енергије, укупне потребе за биомасом дрвета се процењују на 101 милион m^3 годишње (Küper *et al.*, 1998).

Већина прогноза, које се односе на глобалну потрошњу енергије, предвиђа да ће биомаса бити веома важан извор примарне енергије у наредним декадама, а да ће

ГУСТИ ЗАСАДИ ТОПОЛА КАО СИРОВИНА ЗА ПРОИЗВОДЊУ ЕНЕРГИЈЕ

засади са великим бројем биљака - густе засади са кратким опходњама (тзв. SRWC, Short Rotation Woody Crops) - бити главни извор биомасе дрвета (Berndes *et al.*, 2003). Осим директног сагоревања и гасификације, као најчешћих начина конверзије биомасе у енергију и топлоту, SRWC засади представљају униформну, локално доступну сировину за низ споредних производа - течна горива и хемикалије, која се данас убрајају у најважније петрохемијске производе.

Табела 1. Карактеристике узгајања „енергетских плантажа“
Table 1. Growing characteristics of „energy plantations“

Карактеристика Characteristics	Опис Description
Дрвне врсте	Врбе: <i>Salix alba</i> и <i>S. viminalis</i> Тополе: <i>Populus nigra</i> , <i>P. × euramericana</i> cv. <i>robusta</i> , <i>P. alba</i> , <i>P. tremula</i> , <i>P. balsamifera</i> , <i>P. maximowiczii</i> , <i>P. tomentosa</i> и <i>P. euphratica</i>
Производ	Биомаса
Циљеви управљања	Комерцијална производња био-масе; засади брзорастућих врста врба у кратким циклусима са обнављањем из корена; засади топола у кратким опходњама у једном циклусу; максимални принос биомасе, сеча засада уз помоћ „харвестера“
Интензитет капитала	Висок
Интензитет рада	Низак, углавном контрола корова, болести и непожељних биљних врста
Примена механизације	Високо механизовано
Технологија	Селекционисани садни материјал; потпуно механизована садња и обнављање из пања; адекватна примена ђубрења, пестицида, потпуно механизована садња и сеча; неопходна заштита од пожара (може да заузме око 10% од површине засада)
Продуктивност	Врло висока
Ризици по околину	Загађење услед примене ђубрива, пестицида, хемијског третмана корова
Позитиван утицај на околину	Побољшање квалитета подземних вода кроз усвајање нитрата (фиторемедијација), секвестрација угљендиоксида у корену и земљишту
Инфраструктурни захтеви	Одговарајући произвођачи биоенергије, или произвођачи дрвних брикета; саветодавна служба високог нивоа и примена научних сазнања
Потенцијална предузећа	Средња и велика предузећа

Извор: Fischer *et al.*, 2005

Због тога је циљ овог рада одређивање горње топлотне моћи дрвета и коре неколико клонова топола, као и FVI индекса, који узима у обзир како густину, тако и садржај пепела и влаге у дрвету, поготово нових селекција са повећаном запреминском масом, у јувенилној фази, односно садница старости свега једну годину. Такође, израчунавањем и проценом количине тополотне енергије по јединици површине, могу се извести закључци о могућности примене густих засада топола за производњу енергије.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

Огледни засади, са којих су узете једногодишње биљке за одређивање горње тополотне моћи, су основани у пролеће 2000. године, резницама дугим око 25 cm, са густином садње од 38.461 биљака по хектару. Испитивања су обављена за следеће клонове произведене у Институту: *P. nigra* cl. 53/86, *P. deltoides* cl. PE19/66, *P. deltoides* cl. S6-7, *P. × euramericana* cl. I-214, *P. × euramericana* cl. *ostia* и *P. × euramericana* cv. *robusta*.

На одабраним средњим стаблима у огледним засадима су извршена мерења пречника на прсној висини и висине садница. Одмах после обарања извршено је мерење масе целих стабала, као и масе коре после окоравања, у влажном стању. После сушења биомасе у лабораторији, обављено је сушење у сушници и одређене су апсолутно суве тежине (TAPPI standards, T12 wd-82).

Одређивање калоричне вредности (горње топлотне моћи) за узорке дрвета и коре испитаних клонова обављено је према стандардној методологији у калориметарској бомби. Таблете (узорци) су припремљене од уситњеног дрвета после једномесечног ваздушног сушења узорака дрвета и коре. Одређен је садржај пепела за све узорке (TAPPI standards, T211 m-58). Таблете су направљене у специјалном уређају, маса им је варијала од 0,35-0,64 g. Пре спаљивања узорака у калориметарској бомби (DIN 51708), одређен је водени еквивалент са бензоевом киселином. Сва одређивања горње тополотне моћи коре и дрвета испитиваних клонова су урађена у три понављања. Горња тополотна моћ је коригована на апсолутно суво стање, а корекција због настајања киселина није укључена.

Израчунат је FVI индекс (fuel value index) на основу познатих калоричних вредности, густине дрвета, садржаја пепела и садржаја влаге (Goel, Behl, 1996), према следећој формули:

$$FVI = \frac{\text{калорична вредност [kJ}\cdot\text{kg}^{-1}] \times \text{густина [g}\cdot\text{cm}^{-3}]}{\text{садржај пепела [g}\cdot\text{g}^{-1}] \times \text{садржај влаге [g}\cdot\text{g}^{-1}]}$$

На основу прираста биомасе после једногодишњег циклуса, одређена је количина енергије која се може добити сагоревањем укупне биомасе (целих биљака) по јединици површине густих засада топола.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Одмах по обарању средњих стабала извршена су мерења пречника на прсној висини и висине садница, као и масе целих стабала и коре после окоравања у влажном стању. Узети су узорци за одређивање садржаја воде. После *n* сушења биомасе у лабораторији, обављено је сушење у сушници и одређене су апсолутно суве тежине (табела 2).

Табела 2. Основне карактеристике средњих стабала
Table 2. Average tree parameters

Клон Clone	Пречник Diameter	Висина Height	Удео коре Bark share	Запремина* Volume*	<i>rn</i> **	Маса*** Mass***
	<i>cm</i>	<i>m</i>	%	<i>m</i> ³	<i>kg·m</i> ⁻³	<i>kg a.s.</i>
I-214	1,9	2,60	19,0	0,00092	338	0,310
PE 19/66	2,5	3,30	18,6	0,00153	403	0,620
<i>ostia</i>	2,8	2,95	15,90	0,00157	376	0,590
S6-7	2,5	3,65	18,50	0,00198	378	0,748
<i>robusta</i>	2,1	3,50	22,70	0,00154	406	0,625
53/86	1,9	3,30	19,80	0,00114	-	0,433

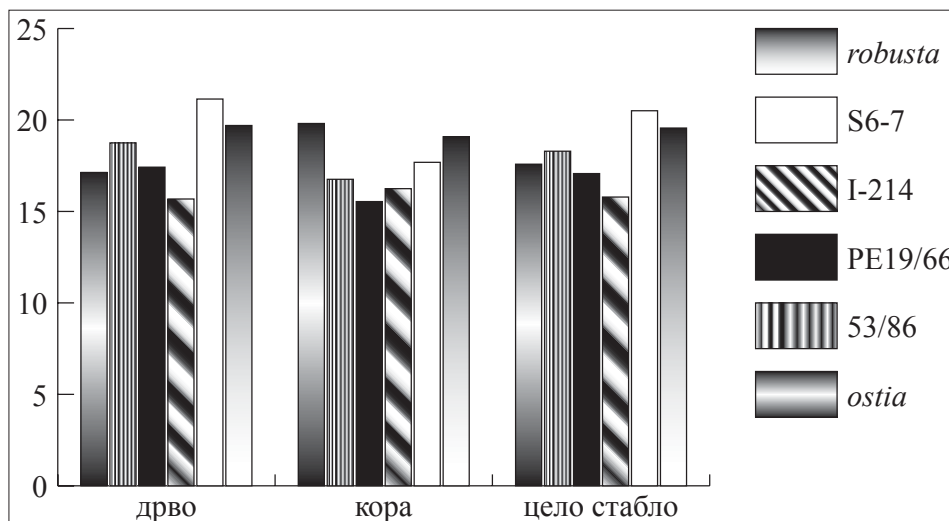
* запремина без грана / volume without branches

** *m* - номинална запреминска маса / basic wood density

*** стабло са кором / stem with bark

Подаци из табеле 2 говоре о значајним разликама које се јављају у вредности-ма пречника и висина стабала у зависности од клона топола. Максимална вредност пречника је констатована за кл. *ostia* (2,8 *cm*), а минималну вредност од 1,9 *cm* имају клонови I-214 и 53/86. Висине садница су у интервалу од 2,60 *m* (кл. I-214, минимална вредност) до 3,50 *m* за кл. *robusta* и 3,65 *m* за кл. S6-7 (максимална вредност). Такође, вредности запреминске масе дрвета, веома важне карактеристике дрвета намењеног за производњу тополотне енергије, се у великој мери разликују. Минимална вредност је поново забележена за клон I-214 (338 *kg·m*⁻³), док су остале вредности више, а максималну вредност има дрво кл. *robusta* и кл. PE19/66 (406, односно 403 *kg·m*⁻³).

Неколико аутора је потврдило утицај селекције на карактеристике влакана и запреминску масу дрвета топола (De Bell *et al.*, 1998, Goyal, 1999, Ivkovich, 1996, Peszlen, 1998, Matyas, Peszlen, 1997). Као што је познато, то су фактори који у великој мери могу да утичу, како на квалитет дрвета уопште, тако и на количину произведене енергије. Тиме се понавља закључак из наших претходних разматрања, да је запреминска маса условљена генетским пореклом клонова (Клашња *et al.*, 2003/а) и да се са старењем биљака не мења у значајнијој мери. Постојање разлика у вредностима запреминске масе је најчешће условљено интерклоналним разликама (Клашња *et al.*, 2003/б, 2005).



Графикон 1. Горња топлотна моћ дрвета и коре
Diagram 1. Higher heating values of wood and bark

Да би се могла извршити процена количине енергије која се добија после једногодишњег циклуса потпуном сечом засада, одређене су калоричне вредности - горње топлотне моћи за узорке дрвета и коре испитаних клонова према стандардној методологији у калориметарској бомби. При томе су коришћени резултати ранијих истраживања која се односе на клонове I-214 и PE19/66 (Марковић *et al.*, 1996, Клашња *et al.*, 1996, 1998). Добијене вредности су приказане на графикону 1.

Анализа калоричних вредности дрвета и коре испитаних клонова показује да се њихове топлотне моћи крећу у интервалу од 15,68 MJ·kg⁻¹ (*min*) за клон I-214, до 21,145 MJ·kg⁻¹ (*max*) за клон S6-7.

Вредности топлотне моћи коре су у ужем интервалу од 15,539-19,808 MJ·kg⁻¹ и имају и позитивна и негативна одступања од одговарајућих вредности за дрво. Израчунате вредности за стабла са кором (на основу одговарајућег удела коре од 18-19%) показују да минималну вредност има сl. I-214 (15,787 MJ·kg⁻¹), док је максимална (20,505 MJ·kg⁻¹) забележена за клон S6-7. Ове вредности су нешто ниже у поређењу са одговарајућом вредношћу

Табела 3. Садржај воде и пепела [%]
Table 3. Moisture and ash content [%]

Клон Clone	Садржај воде Moist. content		Садржај пепела Ash content	
	Стабло Stem	Кора Bark	Стабло Stem	Кора Bark
<i>ostia</i>	9,56	10,80	1,28	7,55
53/86	9,82	9,94	0,92	6,53
PE19/66	8,42	9,26	1,13	5,95
I-214	9,10	10,30	1,16	6,84
S6-7	12,56	9,03	1,04	5,25
<i>robusta</i>	10,05	8,72	1,12	7,07

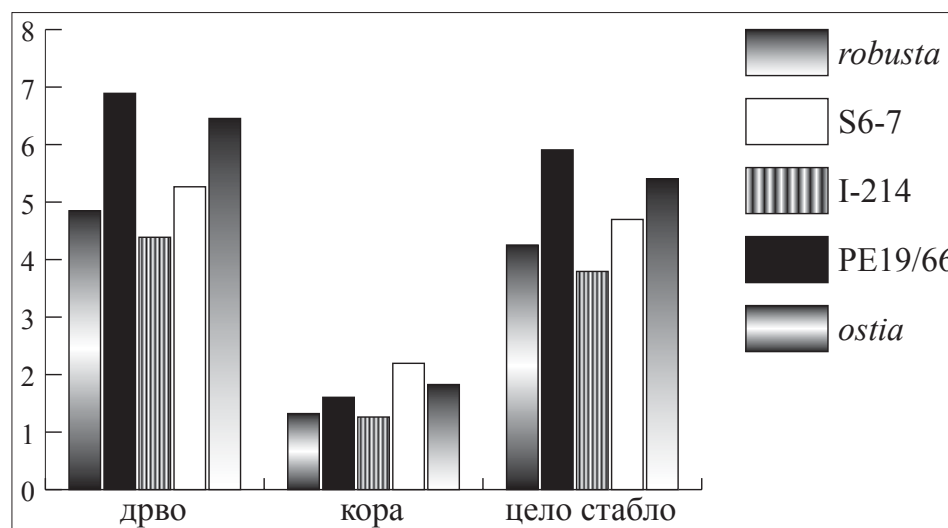
од $20,293 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Клашња *et al.*, 1998), за одрасла стабла. Такође, Cigia и сар. (1996) су саопштили средњу вредност топлотне моћи за стабла старости 3-5 година (цела стабла, са гранама) од $18,1\text{-}18,3 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Топлотна моћ коре клона I-214 ($16,245 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) је нешто већа у поређењу са вредношћу од $16,065 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,

која је дата у раду Данона и сар. (1996) за исти клон, али нешто нижа у поређењу са вредностима за црну топола (*P. nigra*) од $17,260 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Садржај лигнина у кори cl. I-214 износи око 24% (Данон *et al.*, 1996), што доприноси повећању топлотне моћи, јер је горња тополотна моћ лигнина око $25,000 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. У раду Venetke и сар. (2002) дате су вредности топлотне моћи за дрво клонова црне тополе за стабло од $18,6\text{-}18,75 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, што је за око 4% ниже у поређењу са вредностима за грањевину.

Ако се узме у обзир садржај влаге и пепела (табела 3), и нарочито, запреминска маса дрвета (табела 2), односно коре испитаних клонова топола, и на основу тога, према напред наведеној формули, израчуна FVI, може се доћи до нешто другачијих закључака (графикон 2).

Табела 4. Принос биомасе после прве сезоне [$t\cdot ha^{-1}$]
Table 4. Biomass production after first growing season [$t\cdot ha^{-1}$]

Клон Clone	Стабло без коре Stem without bark	Кора Bark	Стабло са кором Stem with bark
<i>ostia</i>	20,807	1,885	22,692
53/86	12,923	3,731	16,654
PE19/66	19,231	4,615	23,846
I-214	9,846	2,077	11,923
S6-7	23,808	4,961	28,769
<i>robusta</i>	20,653	3,385	24,038



Графикон 2. Вредности FVI индекса дрвета и коре
Diagram 2. FVI values of wood and bark

Наиме, мора да се нагласи да дрво веће запреминске масе даје већу количину топлоте приликом сагоревања, што се потврђује добијеним вредностима FVI индекса. Наиме, највећи индекс има клон PE 19/66, а затим *robusta*, чије су запреминске масе највеће, мада је максимална вредност горње топлотне моћи одређена за дрво клона S6-7. Ако се посматра стабло као целина, те разлике су нешто мање изражене, због извесних одступања запреминске масе коре у односу на дрво. То значи, да већа запреминска маса дрвета, уз нижи садржај влаге и пепела, позитивно утичу на вредности топлотне моћи. Но, пошто је запреминска маса карактеристика врсте дрвета, прираста, локације, климатских услова, густине садње и других фактора, тако се и тумаче разлике у вредностим топлотне моћи и VFI индекса испитаних врста дрвета.

Да би се могла извршити процена енергије која се може произвести по јединици површине, сагоревањем целих стабала овако густог засада, израчунат је принос биомасе по јединици површине преко тежине пробних стабала и броја биљака. На бази одређеног удела коре обрачуната је и количина коре по хектару засада (таб. 4).

Због тога што је у испитивањима коришћено дрво младих стабала, практично једногодишњих садница, код којих је удео коре веома висок, а због великих разлика у пречнику испитиваних средњих стабала, посебно је исказана тежина коре по јединици површине, без обзира што се она код овако младих засада не одваја, односно стабла се не окорављују пре иверања. Међутим, кора има релативно високе вредности горње топлотне моћи, па је са тог аспекта значајно приказати удео коре у укупној енергији коју ослобађа биомаса сагоревањем.

Максималне вредности приноса биомасе у засаду су забележили клонови S6-7 ($28,769 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$) и PE 19/66 ($23,846 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$), док је најмањи принос биомасе по хектару опет забележен за клон I-214 (само $11,923 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), што је око 41% од максималног приноса.

Ови резултати су у потпуности у складу са резултатима других аутора који дају податке о приносу од 10-12 t (Strauss, Grado, 1997) у једногодишњем засаду врба са 52.500 биљака по хектару продукција биомасе је такође око $12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Dawson, Cracker, 1995). Према Jiraneк-у и Weger-у (1998), принос најбољих клонова топола (јер је принос у природним популацијама нижи), може да превазиђе $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. После прве сезоне у четворогодишњем циклусу у средње густим засадима (10.000 биљака по хектару), средња вредност приноса биомасе је од $10-12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Jossart *et al.*, 1998). Продукција од $11,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ годишње у циклусу од 9 година, са годишњом сечом и обнављањем из пања (Марковић *et al.*, 1996), може се постићи при густини садње од 40.000 биљака по хектару.

На основу вредности горње топлотне моћи дрвета и коре испитаних клонова, као и прорачунате биомасе по хектару, израчуната је количина енергија која се може добити сагоревањем уситњене биомасе (табела 5).

Према израчунатим количинама енергије може се констатовати слична тенденција као и код прорачуна приноса биомасе. Максимална вредност је за клон S6-7

(589,908 $GJ\cdot ha^{-1}$), а минимална количина енергије добија се код клона I-214 (188,728 $GJ\cdot ha^{-1}$). *Robusta* и cl. PE19/66 су у предности над осталим испитаним клоновима.

Као што се може видети, енергија која обично настаје потпуним сагоревањем био-месе из засада клона I-214 је приближно троструко нижа у поређењу са топлотом коју би сагоревањем дала биомаса клона S6-7, али и више од два пута нижа у поређењу са клоновима *robusta*, PE 19/66 и *ostia*. Тиме се само потврђује значај и утицај запреминске масе дрвета на квалитет дрвета уопште, а поготово у случају када служи за прераду у енергију и за производњу влакана.

Табела 5. Процењена количина енергије по јединици површине засада [$GJ\cdot ha^{-1}$]

Table 5. Estimated energy produced per hectare of plantation [$GJ\cdot ha^{-1}$]

Клон Clone	Стабло без коре Stem without bark	Кора Bark	Стабло са кором Stem with bark
<i>ostia</i>	360,169	37,338	398,993
53/86	242,267	62,520	315,144
PE19/66	335,004	71,712	407,051
I-214	154,385	33,741	188,728
S6-7	503,420	87,735	589,908
<i>robusta</i>	406,823	64,599	470,159

4. ЗАКЉУЧАК

У раду су извршена испитивања дрвета и коре неколико клонова тополе из нових селекција Института, са циљем да се дефинишу вредности запреминске масе и горње топлотне моћи.

Одређивањем масе биљака једногодишњег циклуса гајења (засад основан резницама са 38.416 биљака по хектару), прорачунат је принос биомесе по хектару и процењена количина енергије која би се могла добити потпуним сагоревањем целокупне био-месе испитаних клонова. Констатоване су значајне разлике између испитаних клонова, и установљен веома велики утицај запреминске масе на потенцијалну количину енергије из специјалних густих засада.

Као најбољи су се показали клонови америчке црне тополе *Populus deltoides*, пошто имају релативно високу запреминску масу и висок прираст дрвне масе, у односу на клонове еурамеричких топола (најчешће је то клон I-214), који је још увек највише заступљен у постојећим вештачким засадима у Србији.

Увођењем нових клонова у производњу, који су селекционисани на одабране карактеристике, може се у значајној мери утицати на принос биомесе по јединици површине. У комбинацији са одговарајућим густинама садње, уз неопходне биолошке мере неге и заштите, могу се остварити сви неопходни предуслови за оснивање плантажа за производњу енергије (тзв. „енергетских плантажа”) из обновљивих природних извора.

ЛИТЕРАТУРА

- Benetka V., Bartakova I., Mottl J. (2002): *Productivity of Populus nigra L. ssp nigra under short rotation culture in marginal areas*, Biomass and Bioenergy 5, vol. 23, Pergamon (327-336)
- Berndes G., Hoogwijk M., Van den Broek R.(2003): *The contribution of biomass in the future global energy system: A review of 17 studies*, Biomass and Bioenergy 25, Pergamon (1-28)
- Danon G., Stevanović-Janežić T., Bujanović B., Stanojević G. (1996): *Short-rotation poplar bark utilization for the production of light briquettes*, „Biomass for the energy and the environment”, 9th European Bioenergy Conference, vol. 2, Pergamon (942-947)
- Dawson W.M., McCracken A.R (1995): *The performance of polyclonal stands in short rotation coppice willow for energy production*, Biomass and Bioenergy 8, Pergamon (1-5)
- De Bell J.D., Gartner B.L., De Bell D.S. (1998): *Fiber length in young hybrid Populus stems grown at extremely different rates*, Can. J. Forest Res. 28/4, National Research Council of Canada, Ottawa (603-608)
- (1997): *White Paper for a Community Strategy and Action Plan Communication from the commission*, Energy for the future, renewable sources of energy, FOR/086/97, European Commission, Brussels
- Goyal G.C., Fisher J.J., Krohn M.J., Packood R.E., Olson J.R. (1999): *Variability in pulping and fiber characteristics of hybrid poplar trees due to their genetic makeup, environmental factors, and tree age*, TAPPI 82/5, TAPPI, Norcross (141-147)
- Goel V., Behl H.M. (1996): *Fuelwood quality of promising tree species for alkaline soil sites in relation to tree age*. Biomass and Bioenergy 10/1, Pergamon (57-61)
- Ivkovich M. (1996): *Genetic variation of wood properties in Balzam Poplar (Populus balsamifera L.)*, Silvae Genetica 45,2-3, Saurlander's Verlag, Frankfurt a.M. (119-124)
- Jiranek J., Weger (1998): *The potential and utilization of biomass in the Czech Republic*, “Biomass for Energy and Industry”, International Conference C.A.R.M.E.N. (1002-1005)
- Jossart J.M., Dubu Isson X., Ledent J.F. (1998): *Short rotation coppice production in Belgium: productivity trials*, “Biomass for Energy and Industry”, International Conference, C.A.R.M.E.N. Germany (860-862)
- Klašnja B., Kopitović S.(1996): *Basic thermal characteristics of poplar wood in direct combustion process*, “Biomass for Energy and the Environment”, 9th European Bioenergy Conference, vol.2, Pergamon (974-979)
- Klašnja B., Kopitović Š. (1998): *Quality of wood of some poplar clones as a fuelwood*, “Biomass for Energy and Industry”, International Conference, C.A.R.M.E.N. (1085-1088)
- Klašnja B., Kopitović Š., Orlović S. (2003/a): *Variability of some wood properties of Eastern Cottonwood (Populus deltoides Bartr.) clones*, Wood Science and Technology, Vol. 37, № 3-4, Springer, Heidelberg (331-337)
- Klašnja B., Orlović S., Galić Z., Pekeč S., Pilipović A. (2003/б): *Main physical and chemical characteristics of wood of some poplar clones*, International Conference “Chemical Technology of Wood Pulp and Paper“, Slovak University of Technology, Bratislava (299-304)

- Klašnja B., Orlović S., Galić Z., Pilipović A. (2005): *Poplar and willow wood of whole trees and branches as raw material for the production sulphate pulp*, 14th European Biomass Conference and Exhibition "Biomass for Energy", Industry and Climate Protection, Paris (in prints)
- Kuiper L.C., Sikkema R., Stolp J.A.N. (1998): *Establishment needs for short rotation forestry in the EU to meet the goals of the commission's White Paper on renewable energy*, Biomass and Bioenergy 15/6, Pergamon (451-456).
- Marković J., Rončević S., Pudar Z. (1996): *Possibility of poplar biomass production as raw material for bioenergy production*, Biomass for energy and the environment, Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference, Vol. 1, Pergamon (739-744)
- Matyas C., Peszlen I. (1997): *Effect of age on selected wood quality traits on poplar clones*, Silvae Genetica 46/2-3, Saurlander's Verlag Frankfurt a.M. (64-72)
- Parikka M. (2004): *Global biomass fuel resources*, Biomass and Bioenergy 27/6, Pergamon (613-620)
- Peszlen I. (1998): *Variation in specific gravity and mechanical properties of poplar clones*, Drevarsky Vyskum 43, Vol. 2, ŠDVU Bratislava (1-17).
- Strauss C.H., Grado S.C. (1997): *Economics of producing Populus biomass for energy and fiber systems*, "Klopfenstein" (Eds. N.B. Chun, Z.W. Kim, M.S. Ahuja), M.R. Micropropagation, genetic engineering, and molecular biology of Populus, Gen. Tech. Rep. RM-GTR-297, Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station (241-247).
- Fischer G., Prieler S., Velthuisen H. (2005): *Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe*, Northern and Central Asia, Biomass Bioenergy 2, Vol. 28, Pergamon (119-132)
- Ciria M.P., Gonzales E., Mazon P., Carrasco J. (1996): *Influence of the rotation age and plant density on the composition and quality of poplar biomass*, „Biomass for energy & the environment“, 9th European Bioenergy Conference, Vol. 2, Pergamon (968-973)

Bojana Klašnja
 Saša Orlović
 Zoran Galić
 Predrag Pap
 Marina Katanić

DENSE POPLAR PLANTATIONS AS THE RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF ENERGY

Summary

Biomass has a large energy potential. A comparison between the available potential with the current use shows that, on a worldwide level, about two-fifths of the existing biomass energy potential is used. According to the European Commission's White Paper, the overall aim is to double the share of renewable energy from 6-12% of the total energy consumption in the European Union by 2010. According to the White Paper, the major part of this renewable energy could come from woody biomass. This means that, additionally, over 160 million m³ of woody biomass per year would be used for energy in Europe. Most projections of global energy use predict that biomass will be

an important component of primary energy sources in the coming decades, and that SRWC will be a primary source of biomass. Fast-growing broadleaf species (poplars, willows and black locust), raised in dense, short-rotation plantations, very often on the soils unsuitable for agricultural crops, produce a high yield of biomass. A significant amount of thermal energy can be obtained by direct combustion of young plant biomass (aged from one to three years) converted into chips by chipping the whole trees together with bark and branches.

In this aim, the Institute of Lowland Forestry and Environment carried out systematic multi-annual research on the improvement of several poplar clones in order to increase the yield of biomass and wood characteristics, especially wood density. Also for this purpose, the selection focused on the clones which are best adapted to the conditions of very dense planting, which is the main condition required from the foresters in the establishment of energy plantations.

Based on the calorific value of wood and bark of the study poplar clones, it is assessed the quantity of energy which could be produced by the combustion of the chipped biomass of one-year-old plants. The higher heating value of wood and bark was determined for several poplar clones (*Populus* spp.). By FVI (Fuel Value Index) which takes into account ash content, wood basic density, as well as moisture content, it was determined that poplar wood can be significant energy raw material, primarily because of its short production cycle and very high volume increment.

Significant differences between the study clones, and a very high effect of bulk density on the potential amount of energy from the special dense plantations were determined. The best clones were eastern cottonwood *P. deltoides*, because they have a relatively high bulk density and a high wood volume increment compared to Euramerican poplar clones (most often clone I-214) which is still most represented in the existing plantations. Biomass yield per unit area can be significantly affected by introducing the new clones which are selected for the desired characteristics, and in combination with the appropriate planting densities, with the necessary biological maintenance and protection, the preconditions can be realised for the establishment of the so-called "energy plantations" for the production of energy from renewable sources.